

《中国模具设计大典》篇目

China Die & Mould Design Canon Contents

卷次	卷名	篇目
第1卷 Vol.1	现代模具设计基础 Fundamentals of Die & Mould Design	1.模具计算机辅助设计 2.材料成形过程的数值模拟 3.金属塑性成形过程优化设计方法 4.模具计算机辅助制造 5.快速成形与快速制模 6.模具材料及热处理 7.模具设计通用基础标准
第2卷 Vol.2	轻工模具设计 Design of Moulds for Light Industry	8.塑料模设计基础 9.注射模设计 10.压模与传递模设计 11.挤塑模设计 12.中空吹塑与热成形模具设计 13.塑料模标准件 14.橡胶模设计 15.铝型材挤压模设计 16.玻璃模设计 17.陶瓷模设计
第3卷 Vol.3	冲压模具设计 Design of Press Tool	18.冲压模具设计基础 19.冲压工艺设计 20.冲压模具结构设计 21.冲压自动送料与冲压安全技术 22.冲压模具标准件
第4卷 Vol.4	锻模与粉末冶金模设计 Design of Forging Die and Powder Metallurgy Tool	23.锻模设计基础 24.普通锻模设计 25.特种锻模设计 26.粉末冶金与粉末锻造模具设计
第5卷 Vol.5	铸造工艺装备与压铸模设计 Design of Foundry Tool and Die-casting Die	27.砂型铸造工艺装备设计 28.消失模铸造工艺装备设计 29.压铸模设计

中國模具設計大典

何光遠題

模具設計精華

二〇〇一年七月

楊鏗

中國模具工業協會
名譽理事長 楊鏗

全國政協常委、中國機械工程
學會榮譽理事長 何光遠

創新模具技術
振興製造產業

路甬祥
二〇〇三年仲夏



中国科学院院长、中国机械工程学会理事长 路甬祥

中国模具设计大典编委会

China Die & Mould Design Canon Committee

名誉主任: 何允斌、杨 晋、路甬祥

主 任: 阮雪榆

委 员: (按姓氏笔划为序)

于德弘 (西安交通大学副校长, 教授)

万仁芳 (东风汽车公司, 教授级高工)

王 萍 (中国模具工业协会, 副理事长)

王祖仁 (哈尔滨工业大学, 教授)

王炎山 (中国机械工程学会塑性工程分会, 教授)

邓光东 (江西省新闻出版局副局长, 编审)

李敏强 (北京工业大学校长, 院士)

冯宗晋 (机械工业出版社, 教授级高工)

申长雨 (国家橡胶模具工程中心主任, 教授)

孙友斌 (广东工业大学副校长, 教授)

刘世参 (中国机械工程学会常务理事, 教授)

阮雪榆 (国家模具工程研究中心主任, 院士)

朱伟成 (中国第一汽车集团公司, 教授级高工)

许志坚 (江西省出版总社社长)

许发德 (中国模具工业协会, 副秘书长)

李志刚 (模具技术国家重点实验室主任, 教授)

李德群 (华中科技大学材料学院院长, 教授)

李骏荣 (中国模具设计大典编委会, 高工)

何允斌 (全国政协常委, 中国机械工程学会名誉理事长)

杨 晋 (中国模具工业协会名誉理事长)

杨叔子 (模具技术国家重点实验室, 院士)

张旭初 (江西科学技术出版社, 编审)

吴运金 (江西省新闻出版局局长)

吴明松 (东风汽车公司, 教授级高工)

宋玉泉 (吉林大学, 院士)

陈蕴博 (机械科学研究院, 院士)

肖祥芷 (模具技术国家重点实验室, 教授)

沈永生 (江西科学技术出版社社长, 编审)

滕 辛 (北京机电研究所, 教授级高工)

陆夏俊 (中国重型机械总公司总经理)

范卫平 (江西省新闻出版局副局长, 编审)

周 萍 (教育部副部长, 院士)

周榕芳 (江西省出版总社副社长, 编审)

周尧和 (上海交通大学, 院士)

周贇寅 (北京航空航天大学, 教授)

周祖德 (武汉理工大学校长, 教授)

姜奎华 (武汉理工大学, 教授)

柳百成 (清华大学, 院士)

胡正寰 (北京科技大学, 院士)

傅 强 (中南大学, 院士)

钟尧光 (清华大学, 教授)

赵一平 (东风汽车公司, 教授级高工)

夏巨谟 (华中科技大学, 教授)

海锦涛 (机械科学研究院原院长, 教授)

唐志玉 (四川大学, 教授)

梅 熠 (中国机械工程学会, 高工)

翟 直 (模具技术国家重点实验室, 院士)

黄乃瑜 (华中科技大学, 教授)

黄远东 (中国模具设计大典编委会, 高工)

黄伯云 (中南大学, 院士)

黄树槐 (模具技术国家重点实验室, 教授)

傅涌福 (吉林大学, 教授)

韩凤麟 (中国机协粉末冶金分会, 教授)

路甬祥 (中国科学院院长, 中国机械工程学会理事长, 院士)

蔡安定 (上海材料研究所所长, 研究员)

滕有亮 (华中科技大学, 院士)

潘际锳 (南昌大学校长, 院士)

潘宪曾 (西安仪表厂, 教授)

总主编: 夏巨谟、李志刚

副总主编: 李德群、肖祥芷、黄乃瑜、潘宪曾、万仁芳、唐志玉、韩凤麟、赵一平

总编辑: 李骏荣

副总编辑: 冯宗晋、张旭初

总策划: 黄远东

秘书长: 黄远东(兼)

前言

Introduction

模具在汽车、拖拉机、飞机、家用电器、工程机械、动力机械、冶金、机床、兵器、仪器仪表、轻工、日用五金等制造业中，起着极为重要的作用；模具是实现上述行业的锻件、铸件、粉末冶金件、铸件、压铸件、注塑件、橡胶件、玻璃件和陶瓷件等生产的重要工艺装备。采用模具生产毛坯或成品零件，是材料成形的重要方式之一，与切削加工相比，具有材料利用率高，能耗低、产品性能好，生产效率高和成本低等显著特点。

从20世纪80年代初开始，工业发达国家的模具工业，已从粗坯工业中分离出来，并发展成为一个独立的工业部门，而且其产值已超过机床工业的产值。改革开放以来，中国的模具工业发展十分迅速；近年来，一直以每年15%左右的增长速度快速发展。目前，中国约有17000多个模具制造厂点，从业人数60多万；2001年中国模具工业总产值达320亿元人民币。中国模具工业的技术水平取得了长足的进步。国民经济的高速发展对模具工业提出了越来越多且越来越高的要求，巨大的市场需求推动着中国模具工业更快地发展。2001年中国大陆制造业对模具的市场总需求量约为430亿元人民币；今后几年仍将以每年10%以上的速度增长。对于大型、精密、复杂、长寿命模具需求的增长将远超过每年10%的增幅。

早在1989年，在国务院颁布的《关于当前产业政策要点的决定》中，模具被列为机械工业技术改造序列的首位。1997年以来，又相继把模具及其加工技术和设备列入《当前国家重点鼓励发展的产业、产品和技术目录》和《鼓励外商投资产业目录》。为贯彻落实国家关于模具工业的发展战略和具体政策，为适应我国“人世”后模具工业面临的国际市场激烈竞争的新形势，为全面提高我国模具技术水平的客观需要，中国机械工程学会、中国模具设计大典编委会首次聘请了国内数百位从事模具科研、设计、开发等工作的专家教授，经过近3年的共同努力，编撰了这部大型实用工具书《中国模具设计大典》（简称《模具大典》）。

《模具大典》是在认真总结我国有关模具设计与材料成形技术手册编写经验，广泛吸收建国50多年来尤其是改革开放20多年来模具工业所取得的科技成果，以及国内外在模具设计与制造技术方面的成功经验的基础上编撰而成。其特点是：以创新设计为主线，充分体现模具设计的创新思维、理论和方法，集中反映当代模具技术的最新成果与发展方向；以实用为主，兼顾模具技术的前瞻性与导向性；全书的内容与模具工业的生产实践紧密结合，全方位地总结各种模具专业生产技术，并吸收国内外模具工业的前沿技术和研究成果；跳出资料汇编型的传统模具专业工具书的编写模式，采用了将工艺分析、计算方法、结构设计与应用实例融会贯通于模具设计全过程的新的模式编写。因此《模具大典》实用性强，权威性高，前瞻性好，适用范围广。

《模具大典》由“现代模具设计基础”、“轻工模具设计”、“冲压模具设计”、“锻模与粉末冶金模设计”、“铸造工艺装备与压铸模设计”5卷29篇约1300万字组成。它的出版，对于加快我国模具技术的发展、产品的创新，对于我国模具企业走向世界、全面参与国际合作与竞争，都具有深远的战略意义与现实意义。

《模具大典》的编写工作，受到有关领导人的亲切关怀，并得到了众多高等学校、科研院所和企业的热心支持与帮助，在此一并表示衷心的感谢。对于书中存在的不妥和疏漏错误之处，我们诚恳地期待着广大读者予以批评指正。

2002年10月

《中国模具设计大典》卷目
CHINA DIE&MOULD DESIGN CANON CONTENTS

第1卷

Vol.1

现代模具设计基础

Fundamentals of Die&Mould Design

第2卷

Vol.2

轻工模具设计

Design of Moulds for Light Industry

第3卷

Vol.3

冲压模具设计

Design of Press Tool

第4卷

Vol.4

锻模与粉末冶金模设计

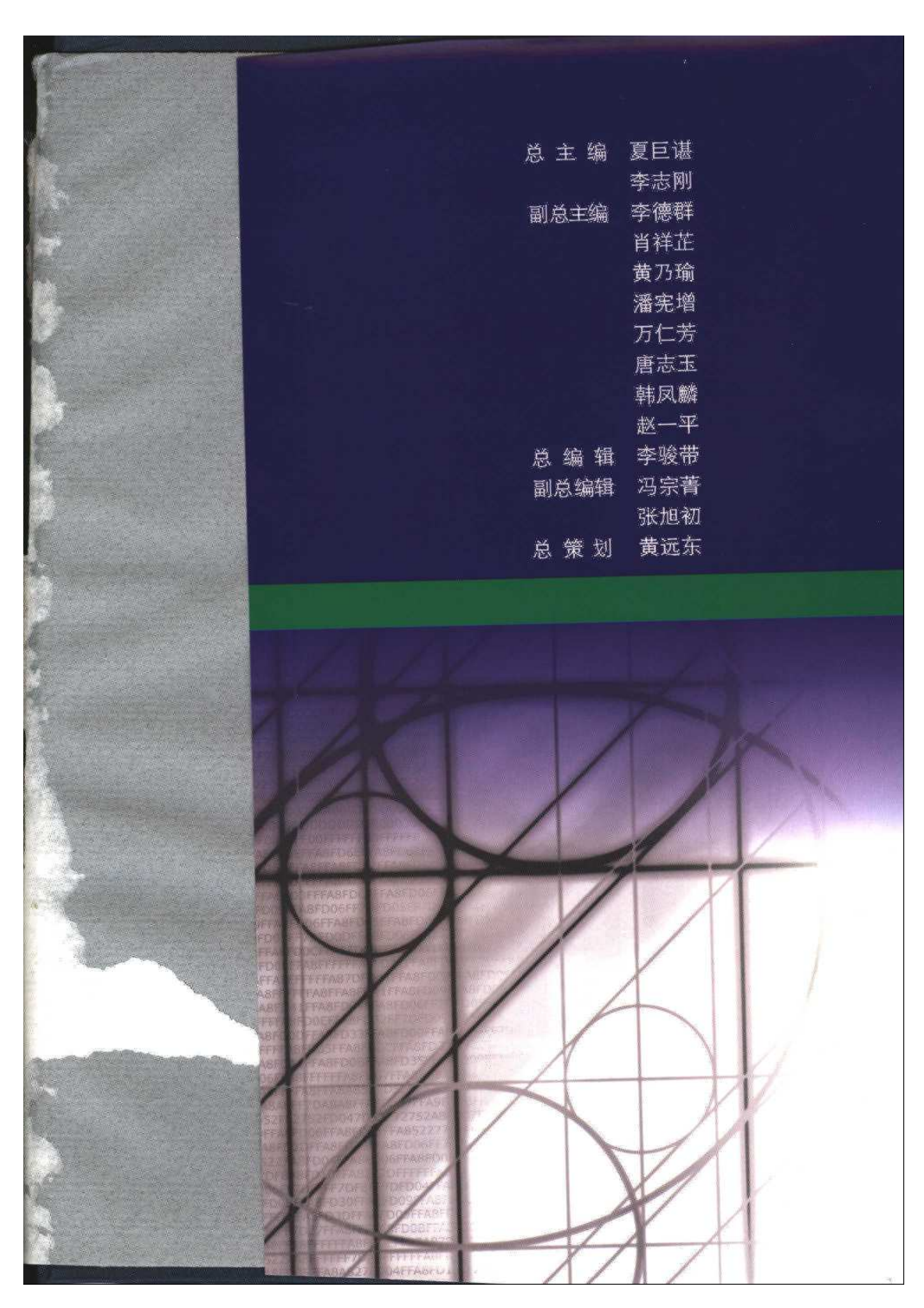
Design of Forging Die and Powder Metallurgy Tool

第5卷

Vol.5

铸造工艺装备与压铸模设计

Design of Foundry Tool and Die-Casting Die



总主编 夏巨湛
李志刚
副总主编 李德群
肖祥芷
黄乃瑜
潘宪增
万仁芳
唐志玉
韩凤麟
赵一平
总编辑 李骏带
副总编辑 冯宗菁
张旭初
总策划 黄远东

目 录

第 23 篇 锻模设计基础

第 1 章 概论	3	6.1 锻模的失效形式及影响因素	11
1 模锻工艺概述	3	6.2 锻模设计时提高强度的措施	13
2 锻模的分类	3	第 2 章 锻模设计常用资料 and 标准	15
3 锻模的设计程序和一般要求	4	1 各种金属材料的锻造温度范围	15
4 模锻成形过程及其主要影响因素	4	2 常用金属材料的线胀系数和收缩率	22
4.1 开式模锻成形过程与影响金属充满模膛的主要因素	4	3 常用金属材料的变形抗力	26
4.2 闭式模锻成形过程及影响模锻力的主要因素	6	4 常用模锻设备类型和规格	29
5 锻模设计与锻件尺寸精度的关系	9	5 锻模技术标准	38
6 锻模设计与模具寿命的关系	11	5.1 锻模标准体系	38
		5.2 锻模标准内容	40
		参考文献	98

第 24 篇 普通锻模设计

第 1 章 下料用剪切模设计	101	1.4 锤上模锻件的分类	126
1 概述	101	1.5 锻件图设计	127
1.1 剪切方法的选择	101	1.6 模锻工步的选择	143
1.2 剪切过程及毛坯端头畸变	101	1.7 锻锤吨位的确定	149
1.3 剪切工艺参数及剪切缺陷	102	1.8 坯料尺寸的确定	150
1.4 剪切质量的评定和毛坯长度的修正	105	2 锤用锻模模膛设计	152
2 剪床切片设计	106	2.1 终锻模膛设计	152
2.1 刀片类型	106	2.2 预锻模膛设计	153
2.2 刀片设计	108	2.3 拔长模膛设计	156
3 剪切模设计	112	2.4 滚压模膛设计	158
3.1 剪切下料模特点	112	2.5 压肩模膛设计	161
3.2 剪切模结构及主要零件设计	112	2.6 弯曲模膛设计	161
4 精密剪切模设计	119	2.7 成形模膛设计	162
4.1 精密剪切下料的质量评定	119	2.8 墩粗台与压扁台设计	163
4.2 几种精密剪切模的工作原理及结构	119	2.9 切断模膛设计	164
5 自动卧式带锯锯切下料	124	3 锤用锻模结构设计	165
第 2 章 锤类设备用锻模设计	125	3.1 模膛布置	165
1 概述	125	3.2 钳口设计	168
1.1 锤上模锻的特点	125	3.3 锁口设计	169
1.2 锤上模锻的工艺路线	125	3.4 模膛壁厚的确定	173
1.3 锤锻模的设计步骤	125	3.5 模块尺寸的确定	174
		3.6 镶块锻模	176
		3.7 装模空间和锻模紧固	177

II

4 锤用闭式与半闭式锤模设计	182	4 精锻模设计	253
4.1 锤用闭式锻模设计	182	4.1 锻件图的制定及模 膛设计要点	253
4.2 锤用半闭式锻模设计	185	4.2 模具结构设计与制造要点	255
5 锤用锤模设计实例	187	5 成组锻模的设计	255
5.1 常啮合齿轮的锤模锻 工艺和锻模	187	6 锻模结构设计	257
5.2 汽车连杆锤模锻工艺和锻模	190	6.1 锻模的结构型式	257
5.3 突缘叉锻模	196	6.2 组合式锻模结构设计	257
5.4 特型转向节模锻工艺与锻模	198	6.3 导锁设计	273
5.5 转向主动杆杆锻模	201	6.4 通用件系列	275
5.6 前减震器支架锻模	201	6.5 模具加工精度要求	275
5.7 离合器拨叉锻模	206	6.6 顶出机构	278
5.8 曲轴锻模	206	7 锻模设计实例	278
5.9 齿轮闭式模锻工艺及锻模	206	7.1 齿轮坯开式锻模	278
6 锤用胎模设计	211	7.2 连杆开式锻模	278
6.1 概述	211	7.3 突缘叉开式锻模	279
6.2 摔模设计	211	7.4 前桥半轴突缘闭式锻模	279
6.3 扣模设计	212	7.5 调整背母闭式锻模	279
6.4 垫模设计	214	7.6 圆锥齿轮精锻模	284
6.5 套模设计	215	第4章 热模锻压力机用 锻模设计	287
6.6 合模设计	218	1 概述	287
6.7 漏模设计	222	1.1 热模锻压力机的模锻特点	287
6.8 胎模附件设计	224	1.2 热模锻压力机上模锻件分类	287
6.9 自由锻锤固定模设计	227	1.3 锻件图设计	288
6.10 胎模设计实例	232	1.4 模锻工步的选择	289
7 高速锤闭式锻模设计	234	1.5 坯料计算	290
7.1 高速模锻工艺的制定	234	1.6 设备吨位的确定	291
7.2 模具设计和制造特点	237	1.7 模具设计的基本参数	292
7.3 一些典型锻件的高速闭式模锻	240	2 模膛设计	296
第3章 螺旋压力机用锻模设计	244	2.1 终锻模膛	296
1 概述	244	2.2 预锻模膛	299
1.1 螺旋压力机上模锻的特点	244	2.3 制坯模膛	304
1.2 锻件分类和锻件图设计	244	3 模架设计	306
1.3 模锻工步的选择	247	3.1 模架设计的主要内容	306
1.4 设备吨位的确定及其 规格的选择	248	3.2 模架的结构形式	307
2 开式锻模设计	250	3.3 模块	314
2.1 飞边槽	250	3.4 顶料装置	326
2.2 模膛布置	251	3.5 导向装置	332
2.3 模壁厚度的确定	251	4 锻模设计实例	341
3 闭式锻模设计	252	4.1 转向节锻模	341
3.1 凸、凹模间隙的确定	252	4.2 转向节闭式锻造预成形 工艺及其模具	345
3.2 凸模尺寸的确定	252		

4.3 套管叉锻模	348	5.1 变速箱操纵杆锻模	427
4.4 万向联轴器叉锻模	350	5.2 手制动凸轮锻模	432
4.5 十字轴锻模	353	5.3 抽油杆锻模	434
4.6 分离叉锻模	355	5.4 小链轮轮毂锻模	437
4.7 倒档内轮锻模	357	5.5 转向摇臂轴锻模	441
4.8 磁极锻模	360	5.6 倒车齿轮锻模	443
4.9 连杆锻模	361	5.7 半轴锻模	448
4.10 前轴锻模	364	5.8 轮毂轴管锻模	450
4.11 变速杆下段锻模	369	5.9 轴套管锻模	454
第5章 平锻机用锻模设计	373	第6章 水压机用锻模设计	458
1 概述	373	1 概述	458
1.1 平锻机的模锻特点	373	1.1 水压机上模锻的特点	458
1.2 平锻件分类	374	1.2 水压机上模锻件分类	458
1.3 模锻工步的选择	375	1.3 模锻工步选择	459
1.4 锻件图的制定	375	1.4 设备吨位的确定	460
1.5 棒料尺寸的选定	379	2 锻件图设计	461
1.6 设备吨位确定及其技术参数	380	2.1 分模面的选择	461
2 模膛、凸模及凹模设计	387	2.2 余量和公差确定	462
2.1 终锻模膛	387	2.3 结构要素及其最佳 比值的确定	466
2.2 预锻模膛	389	2.4 设计锻件图的其他问题	480
2.3 聚集模膛	393	2.5 模锻件设计实例	481
2.4 夹紧模膛	396	3 模膛设计	482
2.5 卡细模膛	397	3.1 终锻模膛	482
2.6 扩径模膛	398	3.2 预锻模膛	485
2.7 穿孔模膛	398	3.3 制坯模膛	487
2.8 切边模膛	401	4 模具结构设计	487
2.9 切断模膛	403	4.1 模膛的布置	487
2.10 管料墩粗(聚集)模膛	404	4.2 模膛壁厚的确定	488
3 平锻模总体设计	407	4.3 模块尺寸的确定	488
3.1 模具总体结构	407	4.4 钳口	489
3.2 凸模夹持器	409	4.5 导柱和锁扣	489
3.3 凹模体	413	4.6 顶出器	491
3.4 平锻机模具的常用材料 和热处理硬度	416	4.7 模具的固定	492
3.5 模具主要尺寸公差和 表面粗糙度	416	4.8 模块标准	494
4 挤压模设计	420	5 等温锻造模具设计	494
4.1 水平分模平锻机挤压 工艺分析	420	5.1 等温锻造的特点与应用	494
4.2 挤压模结构及工作部分 主要尺寸	422	5.2 等温锻造的常用材料及 工艺规范	496
4.3 热挤压模设计实例	423	5.3 等温锻造变形力的计算 及设备吨位选择	497
5 平锻模具设计实例	427	5.4 等温锻造模具设计	501
		6 锻模设计实例	503

6.1 普通锻模设计实例	503	3.1 冲孔模的结构型式	535
6.2 重型水压机用模具装置	507	3.2 冲孔凸凹模间的间隙	536
6.3 分步模锻工艺及模具	512	3.3 冲孔凹模设计	536
6.4 深孔挤压与拉深模	512	3.4 冲孔凸模设计	538
6.5 130 型汽车连杆等温模锻 工艺及工装	512	3.5 模座设计	538
第 7 章 切边、冲孔、校正和精 压模设计	516	3.6 卸锻件装置	539
1 切边、冲孔模的选择及其力的计算 ..	516	4 切边冲孔连续模设计	540
1.1 切边冲孔模的选择	516	5 切边冲孔复合模设计	540
1.2 切边冲孔力的计算及压力机吨 位的选择	516	6 切边冲孔模实例	546
2 切边模的设计	516	7 校正模设计	546
2.1 切边模的结构型式	516	7.1 校正模的作用及分类	546
2.2 切边凸凹模之间的间隙	516	7.2 需要采用校正模校正的锻件	551
2.3 切边凹模设计	517	7.3 校正模设计	552
2.4 切边凸模设计	522	7.4 校正模设计实例	557
2.5 凸、凹模座设计	525	8 精压模设计	562
2.6 卸飞边装置	529	8.1 精压的作用及分类	562
2.7 模具闭合高度	531	8.2 精压工序安排和精压力 的计算	567
2.8 切边模压力中心	533	8.3 精压工艺和模具设计应注意 的几个问题	567
3 冲孔模的设计	535	8.4 精压模具设计及实例	569
		参考文献	579

第 25 篇 特种锻模设计

第 1 章 辗锻模设计	583	3.2 型槽类型	601
1 概述	583	3.3 型槽的中性线	602
1.1 辗锻变形特点	583	3.4 轧制压力的概念及型槽在锻辊上 的配置原则	602
1.2 辗锻工艺的分类和应用	583	4 制坯辗锻模具设计	603
1.3 辗锻机的类型、用途和 结构特点	583	4.1 辗锻毛坯图设计	603
1.4 辗锻机的技术参数	586	4.2 辗锻型槽系选择	604
1.5 辗锻力及力矩	588	4.3 辗锻道次的确定	606
1.6 辗锻变形的单位压力	590	4.4 辗锻毛坯各道截面尺寸计算	606
2 辗锻工艺基本参数计算	592	4.5 型槽几何尺寸、相应矩形和型槽尺寸 的变换方法	611
2.1 辗锻变形区及其几何参数	592	4.6 型槽设计的图解方法	614
2.2 咬入条件	593	4.7 型槽的纵向尺寸设计	620
2.3 延伸系数计算	594	5 成形辗锻模具设计	621
2.4 前滑的计算	596	5.1 成形辗锻件的分类	621
2.5 宽展的计算	597	5.2 成形辗锻工艺方案选取	622
3 辗锻模具结构与固定方式	600	5.3 长轴类锻件成形辗锻 模具设计	623
3.1 辗锻模具结构与固定方式	600		

5.4 板片类锻件成形辊锻 模具设计	627	1 概述	699
6 辊锻模设计实例	632	1.1 可分凹模模锻的特点	699
第2章 楔横轧与孔型斜轧		1.2 可分凹模模锻锻件的类型及常见的 工艺方案	704
模具设计	640	2 可分凹模模具设计	704
1 概述	640	2.1 可分凹模模具设计要点及设计方法 与步骤	704
1.1 工作原理	640	2.2 可分凹模夹紧机构的 基本型式	705
1.2 工艺特点	641	2.3 分流降压腔的设计	706
1.3 模具特点与成形原理	642	3 普通模锻设备用可分凹模模具 设计及实例	713
2 楔横轧模具设计	644	3.1 热模锻压力机用可分凹模模具设计 及实例	713
2.1 模具设计一般原则	644	3.2 曲柄压力机用可分凹模模具设计 及实例	720
2.2 工艺参数确定	645	3.3 螺旋压力机用可分凹模模具设计 及实例	732
2.3 对称轴类件模具设计	646	3.4 高速锤上可分凹模模锻	737
2.4 非对称轴类件模具设计	648	4 双动压力机用可分凹模模具 设计及实例	737
2.5 带内直角阶梯轴模具设计	650	4.1 双动压力机用可分凹模的 典型结构	738
3 孔型斜轧模具设计	653	4.2 垂直可分凹模模具	738
3.1 模具设计一般原则	653	4.3 水平可分凹模模具	739
3.2 工艺参数确定	654	4.4 双动压力机	741
3.3 斜轧孔型设计方法	658	第5章 多向模锻模具设计	746
4 模具设计实例	662	1 概述	746
4.1 楔横轧模具设计实例	662	1.1 多向模锻的特点	746
4.2 斜轧钢球模具设计实例	669	1.2 多向模锻件图设计	751
第3章 摆辗模具设计	672	1.3 多向模锻力的计算	753
1 概述	672	2 多向模锻压力机	755
1.1 摆辗的工作原理、特点及应用	672	3 多向模锻模具设计	758
1.2 摆辗工艺的分类	673	3.1 模具设计要点	758
1.3 摆辗锻件图设计	674	3.2 模具结构设计	758
1.4 摆辗机	676	4 多向模锻模具设计实例	763
1.5 摆辗的力能参数计算	682	4.1 下套筒模具设计	763
2 摆辗模具设计	685	4.2 助力器外筒模具设计	765
2.1 摆辗模结构设计	685	4.3 缸体多向模锻工艺及模具	768
2.2 摆辗镶块组合模	687	5 中小件专用多向模锻压力机模锻	769
3 提高摆辗模具寿命的措施	689	第6章 挤压模具设计	772
3.1 合理选择模具材料	689	1 概述	772
3.2 模具的预热和冷却	690	1.1 挤压方法分类	772
3.3 摆辗成形过程中的润滑	690		
4 摆辗模设计实例	691		
4.1 汽车后半轴热摆辗模	691		
4.2 炮弹药筒底板冷摆辗模	694		
4.3 锥齿轮冷摆辗模	695		
4.4 烧结体金属阀座环冷摆辗模	697		
第4章 可分凹模模具设计	699		

1.2 挤压的特点及应用范围	773	6.3 缩径挤压模具设计及 应用实例	862
1.3 冷挤压零件的分类	775	第7章 冷镦模设计	864
1.4 挤压件图设计	778	1 概述	864
1.5 挤压变形程度	786	1.1 冷镦工艺过程和力的计算	864
1.6 挤压力的计算	788	1.2 典型零件冷镦工艺	867
2 冷挤压模具设计	803	2 自动冷镦机模具	869
2.1 模具的设计要求及主要内容	803	2.1 冷镦模具的分类	869
2.2 模具的结构型式及基本组成	803	2.2 自动冷镦机模具结构	871
2.3 模架结构	804	2.3 自动冷镦机模膛尺寸	873
2.4 模具工作部分的设计	807	3 杆状零件冷镦模具设计	874
2.5 组合凹模的优化设计	812	3.1 冲头设计	874
2.6 导向、顶出及紧固件设计	819	3.2 凹模设计	878
3 温挤压模具设计	828	3.3 切边模具设计	885
3.1 温挤模具的特点	828	3.4 六角头螺栓冷镦模具标准件	886
3.2 模具型腔尺寸的设计 和模具材料	829	3.5 冷镦螺钉模具标准件	909
4 热挤压模具设计	830	3.6 冷镦内六角圆柱头螺钉 模具标准件	920
4.1 热挤压模具设计的要求	830	4 螺母类零件冷镦模具设计	934
4.2 模具结构及零部件设计	830	4.1 镦球模具设计	934
5 挤压模具实例	842	4.2 镦六角模具设计	935
5.1 冷挤压模具	842	4.3 冲孔模具设计	938
5.2 温挤压模具	852	4.4 六角螺母冷镦模具标准件	940
5.3 热挤压模具	854	5 通用模具设计	970
6 变径管缩径挤压成形工艺 及模具设计	859	5.1 切料模具设计	970
6.1 缩径挤压过程分析及 工艺参数的确定	860	5.2 滚压工具设计	985
6.2 缩径成形力和壁厚变化 的计算	862	6 冷镦模具技术条件	986
		参考文献	986

第26篇 粉末冶金与粉末锻造模具设计

第1章 概述	991	2.7 热压	1003
1 粉末冶金技术概要	991	3 零件制造工艺的比较与选择准则	1003
1.1 粉末冶金零件生产过程	993	3.1 传统粉末冶金工艺、金属注射成 形及粉末锻造之间的比较	1003
1.2 粉末冶金制品的本征特点	994	3.2 粉末冶金和铸造工艺比较	1004
1.3 粉末冶金技术的限制	995	3.3 粉末冶金工艺和热模锻及板料 冲裁工艺比较	1004
2 粉末冶金制品的基本生产工艺	996	3.4 粉末冶金工艺和切削加 工比较	1005
2.1 传统粉末冶金工艺	996	第2章 粉末冶金模具设计基础	1007
2.2 金属注射成形	996	1 粉末冶金零件的材料选择	1007
2.3 粉末锻造	997	1.1 烧结金属含油轴承	1007
2.4 温压工艺	999		
2.5 冷等静压	1002		
2.6 热等静压	1002		

1.2 铁基结构零件材料(烧结钢和 烧结不锈钢)	1010	5.1 I型零件压坯的成形模具	1104
1.3 有色金属烧结材料	1016	5.2 II型零件压坯的成形模具	1108
1.4 磁性材料及电工合金	1020	5.3 III型零件压坯的成形模具	1112
2 粉末冶金零件形状与尺寸精度	1022	5.4 IV型零件压坯的成形模具	1115
2.1 压坯形状	1022	5.5 V型零件压坯的成形模具	1118
2.2 压坯密度	1033	第5章 精整模具结构设计	1123
2.3 压坯尺寸精度的确定	1033	1 精整方式的选择	1123
3 粉末冶金零件压制成形原理	1039	2 精整模具结构基本方案示例	1124
3.1 模架和模具的基本 结构与动作	1039	3 送料机构	1128
3.2 压制和精整过程中 力的分析	1040	3.1 装料机构(料斗)	1128
3.3 压坯密度分布与压制 方式的关系	1044	3.2 料仓	1132
3.4 常用压制方式的分析与选择	1045	3.3 供料机构	1135
3.5 不等高压坯压模的设计原理	1053	4 精整模具结构示例	1139
3.6 组合模具设计原理	1054	4.1 通过式精整模具	1139
4 粉末冶金模具尺寸设计原则	1057	4.2 全精整式精整模具	1140
4.1 决定模具尺寸的步骤	1057	第6章 粉末锻造模具设计	1152
4.2 模具的变形量	1059	1 粉末锻造的特点及应用	1152
第3章 粉末冶金成形模架	1061	1.1 概述	1152
1 粉末冶金成形模架	1061	1.2 粉末锻造工艺分类	1152
1.1 成形模具的动作设计	1062	1.3 粉末锻造工艺过程与 生产自动化	1152
1.2 粉末冶金成形模架的功能	1065	1.4 粉末锻造工艺的特点及应用	1153
1.3 模架中的粉末移送机构和模冲速度 控制系统	1067	2 粉锻件和预制坯的设计	1157
1.4 多层板模架	1072	2.1 粉锻件的分类与锻件图设计	1157
2 压坯内裂纹形成	1075	2.2 预制坯的设计	1157
2.1 裂纹形成机理	1075	3 粉末锻造工艺及其变形特点	1161
2.2 裂纹形成的防止	1075	3.1 粉末锻造工艺	1161
第4章 成形模具结构设计	1081	3.2 预制坯锻前加热	1163
1 成形模具结构基本方案	1081	3.3 粉末烧结锻造变形 特点与致密	1164
2 成形模具主要零件和模座 的连接方式	1085	4 粉末锻造模具设计及实例	1171
3 浮动结构	1092	4.1 粉末锻造模具设计	1171
3.1 弹簧浮动	1092	4.2 粉末锻造模具设计实例	1173
3.2 气压浮动	1097	第7章 金属注射成形模具设计	1181
3.3 液压浮动	1100	1 金属注射成形模具设计	1182
4 辅助机构	1100	1.1 金属注射料的特点	1182
4.1 脱模复位机构	1100	1.2 金属注射成形模具的基本 结构与形式	1183
4.2 调节装粉结构	1103	1.3 模具设计	1185
5 成形模具结构示例	1104	2 带外侧凹制品的模具设计	1200
		2.1 瓣合模	1201
		2.2 侧向抽芯模具	1205
		3 带内侧凹制品的模具设计	1206

4 金属注射成形模具的强度 计算与设计实例·····	1211	3.2 包套和模具设计的主要因素·····	1220
4.1 金属注射成形模具的 强度计算·····	1213	4 包套材料的选择·····	1228
4.2 金属注射成形模具设计实例·····	1214	第9章 热等静压成形包套 模具设计 ·····	1232
第8章 冷等静压成形包套 模具设计 ·····	1216	1 包套技术·····	1232
1 包套和模具的作用和种类·····	1216	1.1 包套材料选择原则·····	1232
1.1 “湿袋”法等静压成形用 湿包套模具·····	1216	1.2 包套的种类·····	1232
1.2 “干袋”法等静压成形用 干包套模具·····	1216	1.3 包套设计·····	1236
1.3 均衡压制用厚壁模具·····	1217	2 包套焊接·····	1239
2 包套和模具的组成·····	1217	2.1 软钢包套的焊接·····	1239
2.1 塑性模件·····	1217	2.2 钛包套的焊接·····	1241
2.2 刚性模件·····	1217	2.3 钼包套的焊接·····	1241
2.3 端口密封装置·····	1217	2.4 玻璃包套的焊接·····	1241
2.4 支撑装置·····	1218	3 包套检漏·····	1241
3 包套和模具的设计·····	1219	3.1 氦质谱检漏法·····	1241
3.1 包套和模具的设计步骤·····	1219	3.2 卤素检漏法·····	1242
		4 包套的充填·····	1242
		5 包套的抽空及封焊·····	1244
		参考文献 ·····	1245

中国模具设计大典
CHINA DIE & MOULD DESIGN CANON

第
23
篇

锻模设计基础

主编 夏巨谔

编写 夏巨谔

审稿 赵一平



中国机械工程学会
CMDC 中国模具设计大典编委会



第 1 章 概 论

1 模锻工艺概述

模锻工艺是金属毛坯在外力作用下发生变形充满模膛，获得所需形状、尺寸并具有一定机械性能的模锻件的锻造生产工艺。

根据模锻时锻件是否形成横向飞边，模锻工艺可分为两种：

1) 有飞边模锻 即开式模锻，如图 23.1-1a 所示。分模面与模具运动方向垂直，在模锻过程中分模面之间的距离逐渐缩小，沿分模面形成横向飞边，依靠飞边的阻力使金属充满模膛。其特点是锻件周围沿分模面形成横向飞边。

2) 无飞边模锻 即闭式模锻，如图 23.1-1b

所示。分模面与模具运动方向平行，在模锻过程中分模面之间的间隙保持不变，不形成飞边。如果毛坯体积过多，则在模膛充满后出现少量的纵向毛刺。

根据金属毛坯的温度不同，模锻工艺可以分为三种：

1) 热模锻 将金属毛坯加热至再结晶温度以上始锻温度范围内进行模锻。

2) 温模锻 将金属毛坯加热至金属再结晶温度以下某个适当的温度范围内进行模锻。

3) 冷模锻 在室温中对金属毛坯进行模锻。

2 锻模的分类

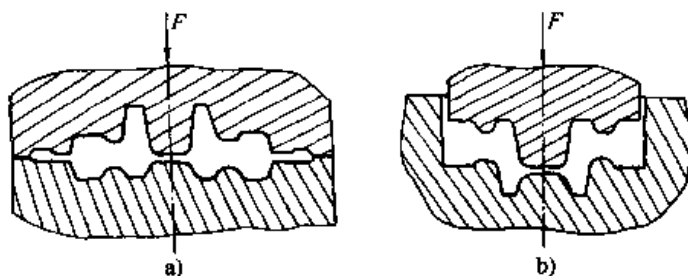
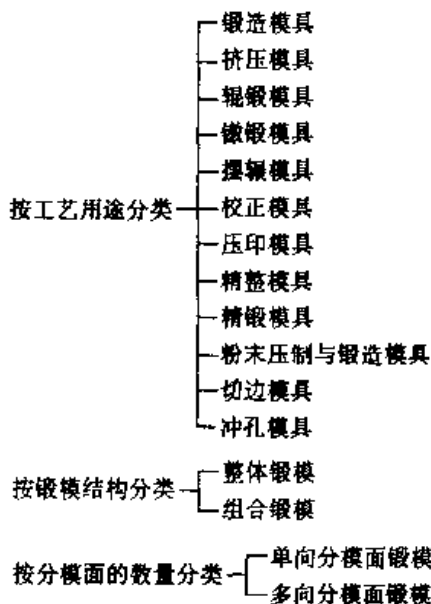
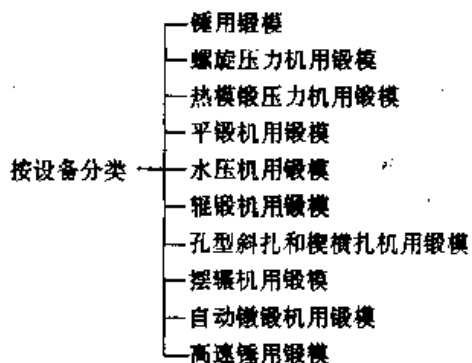


图 23.1-1 开式模锻与闭式模锻

a) 开式模锻 b) 闭式模锻

锻模是实现模锻工艺的工装，是进行模锻生产的关键因素之一。可以按所使用的模锻设备进行分类，也可按工艺用途进行分类，还可按锻模结构和分模面的数量等进行分类。其具体分类情况如下：



3 锻模的设计程序和一般要求

锻模设计是为了实现一定的变形工艺而进行的,因此,为了实现某一模锻件的生产,首先应根据相应零件的形状、尺寸、技术要求、生产批量和车间的生产条件等情况确定变形工艺和模锻设备,然后再设计锻模。

在锻造生产中,为了从原材料获得锻件,需要采用一系列的生产工序。由这一系列生产工序构成的锻件生产过程,就称为锻造工艺过程。

模锻的生产流程,也就是模锻工艺过程一般由下列基本工序构成:

- 1) 坯料准备——根据选定的坯料规格下料。
- 2) 坯料加热——将坯料加热到规定的温度范围。
- 3) 模锻——将加热好的坯料在模膛内成形。
- 4) 切边、冲孔——切除飞边和冲去连皮。
- 5) 热校正或热精压。
- 6) 磨去毛刺。
- 7) 热处理。
- 8) 清理——去除氧化皮。
- 9) 冷校正或冷精压。
- 10) 质量检验等。

上述工序中,模锻工序是锻件成形工序,是获得所需形状和尺寸的锻件的主要工序,对锻件的组织 and 性能也有重要影响。

一种零件是否适宜采用模锻方法生产,需要通过工艺性和经济性分析来确定。零件的工艺性分析,主要考虑下述因素:零件材料、零件形状、零件尺寸精度和表面质量、生产批量等等。显然,采用模锻生产是否经济,直接与生产批量有关,与节约原材料、减少机械加工的效果以及模具成本等有关。需要进行具体的技术经济分析。依据工艺性和经济性分析选择工艺方案,确认采用模锻生产是工艺上可能和经济上合理后,即可进行工艺设计计算,制订模锻工艺过程,设计工模具。

(1) 模锻工艺过程的制订

制订模锻工艺过程,就是要确定生产锻件的工序顺序,确定各工序的规范和要求。其主要内容如下:

- 1) 根据产品零件图绘制锻件图。
- 2) 确定模锻工序和辅助工序(包括切除飞边、清除毛刺和校正等),决定工序间尺寸。

- 3) 确定加热方法和加热规范。
- 4) 确定坯料尺寸、质量及其允许公差、选择下料方法。

- 5) 选择设备。
- 6) 确定模具润滑、冷却方法。
- 7) 确定锻件冷却方法和规范。
- 8) 确定锻件热处理方法。
- 9) 确定清除锻件表面氧化皮的方法。
- 10) 提出锻件的技术要求和检验要求。

(2) 锻模设计内容、步骤与要求

锻模设计是在制订模锻工艺过程之后进行的,应以锻件图、工艺参数、金属流动分析、变形力和变形功、设备参数等为依据。锻模设计的主要内容和一般步骤如下:

- 1) 确定模膛形状和尺寸。
- 2) 确定坯料在模膛中定位的方法。
- 3) 确定从锻模中迅速取出锻件的方法。
- 4) 确定模膛的压力中心和模具的压力中心。
- 5) 确定模具工作部分或工作零件的结构、材料、硬度和核算其强度。
- 6) 进行模具的整体和零件设计,选定零件的材料,进行必要的强度核算。
- 7) 确定模具零件的加工精度、表面粗糙度等级和技术条件。

设计锻模时应满足以下要求:

- 1) 保证获得满足尺寸精度要求的锻件;
- 2) 锻模应有足够的强度和高的寿命;
- 3) 锻模工作时应当稳定可靠;
- 4) 锻模的结构应满足生产率的要求;
- 5) 便于操作;
- 6) 模具制造简单;
- 7) 锻模安装、调整、维修方便;
- 8) 在保证模具强度的前提下尽量节省锻模材料;
- 9) 锻模的外廓尺寸应符合设备的技术规格。

4 模锻成形过程及其主要影响因素

4.1 开式模锻成形过程与影响金属充满模膛的主要因素

(1) 开式模锻成形过程

开式模锻成形过程及锻造力—行程曲线如图23.1-2所示。其成形过程大体可分为三个阶段:

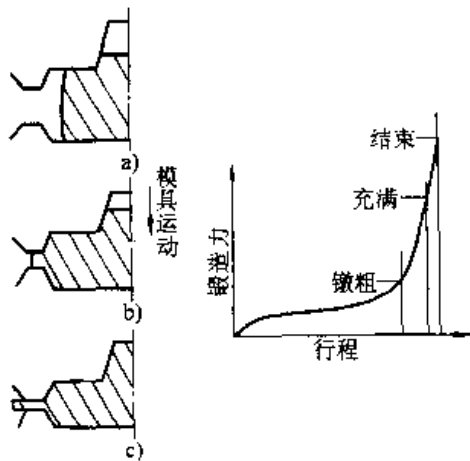


图 23.1-2 开式模锻成形过程及锻造力—行程曲线

a) 锻粗 b) 充满 c) 结束

1) 锻粗阶段 坯料外圈金属流向法兰部分, 内圈金属流向凸台部分。

2) 模膛充满阶段 下模膛已经充满, 而凸台部分尚未充满, 金属开始流入飞边槽。随着桥部金属的变薄, 金属流入飞边的阻力增大, 迫使金属流向凸台和角部, 以完全充满模膛。

3) 打靠阶段 金属已完全充满模膛, 但上、下模面尚未打靠。此时, 多余金属挤入飞边槽, 锻造变形力急剧上升。

(2) 模锻时影响金属充满模膛的主要因素

1) 模锻件(模膛)的形状和尺寸 模锻件的形状和尺寸对模膛的充满有重要影响。例如:
 ①具有高肋的锻件(图 23.1-3), 尤其肋较薄时模膛较难充满。因为模腔愈窄愈深, 在其他条件相同的情况下, 金属向模腔内流动的阻力愈大, 金属温度降低也愈严重, 故充满模膛愈困难。因此, 对高肋锻件一般需进行预锻。此时, 预锻件(预锻模膛)的形状和尺寸应有利于终锻时减小金属充填模膛的阻力。
 ②具有叉形部位的锻件, 在其内端角处常常产生充不满的现象(图 23.1-4)。将毛坯直接进行终锻时, 金属的变形流动情况如图 23.1-5 所示。由于横向流动的金属首先沿水平方向外流, 与模壁接触后, 部分金属转向内角处流动, 因此, 金属变形流动的情况决定了内角部分是最难充满的地方。内角部分更不易充满的原因是由于此处被排出的金属, 除了沿横向流入模膛外, 还有很大一部分金属沿纵向流入飞边槽(图 23.1-6), 造成内端角处金属量不足。

因此, 对该类锻件, 终锻前需先将坯料在此处劈开, 这样才能保证金属充满模膛。

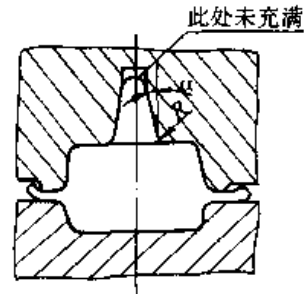


图 23.1-3 具有高肋的锻件

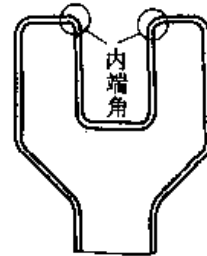


图 23.1-4 具有叉形部分的锻件

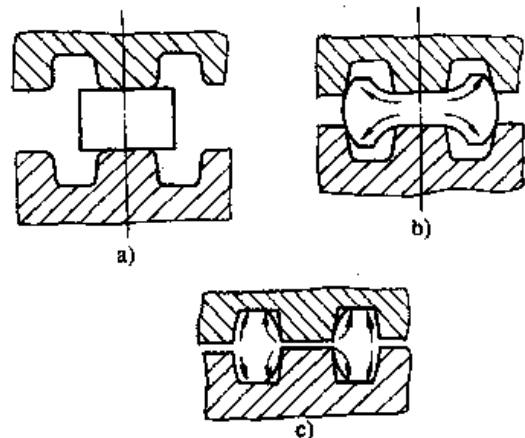


图 23.1-5 模锻叉形件时金属的流动情况

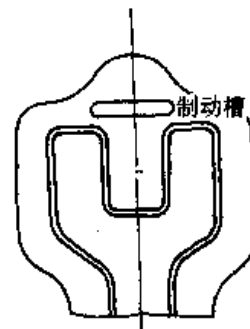


图 23.1-6 大量金属流向飞边槽

2) 金属充填模膛的方式 模锻时金属充填模膛的方式有墩粗和压入两种方式(图 23.1-7),其中以墩粗方式较易充满模膛。

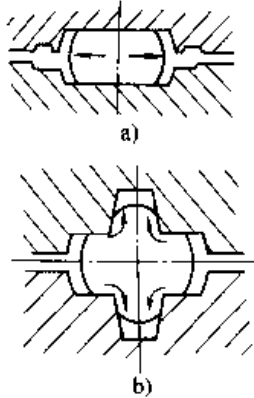


图 23.1-7 金属填充模膛的方式

a) 墩粗方式 b) 压入方式

3) 模壁斜度 模膛制成一定的斜度是为了模锻后,锻件易于从模膛内取出。因为金属充填模膛的过程实质上是一个变截面的挤压过程。金属处于三向压应力状态(图 23.1-8)。为了使充填过程得以进行,必须使 $\sigma_3 \geq \sigma_s$ (在上端面 $\sigma_1 = 0, \sigma_3 = \sigma_s$)。为了保证获得一定大小的 σ_3 ,模壁斜度愈大,所需的压挤力 F 也愈大。

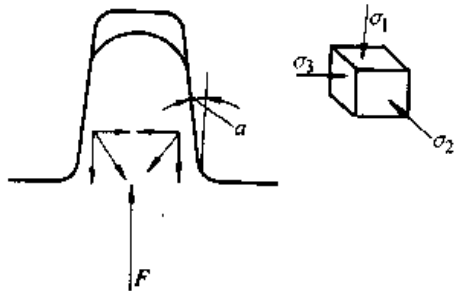


图 23.1-8 模壁斜度引起的应力

4) 摩擦阻力 摩擦阻力对金属充填模膛有重要影响。摩擦阻力愈大,金属充填模膛愈困难。因此,为了有利于金属充满模膛,应该降低模壁的表面粗糙度并采用润滑性能良好的润滑剂。

5) 孔口圆角半径 模具孔口圆角半径 R (见图 23.1-3)对金属流动有很大影响,当 R 很小时,在孔口处金属质点要拐一个很大的角度再流入孔内,这样要消耗较多的能量,故不易充满模膛,因此,孔口圆角半径应适当加大。

6) 金属变形温度和模具预热温度 坯料温度和模具预热温度愈低,金属的变形抗力愈大,

因此愈不易充满模膛。

7) 飞边槽桥部尺寸 飞边槽桥部的主要作用是产生横向流动阻力,迫使金属充满模膛。设置飞边槽桥部使沿上下接触面摩擦力增加,其值为 $2b\tau_s$ (设摩擦力达到最大值,等于 τ_s ,见图 23.1-9)。由于该摩擦力在桥部处引起的压应力(或称桥部阻力)为 $\sigma_1 = \frac{2b\tau_s}{h_z} = \frac{b}{h_z} \sigma_s$,即桥部阻力的大小与 b 和 h_z 有关。桥部愈宽,高度愈小,亦即 b/h_z 愈大时,阻力也愈大。

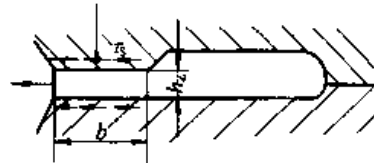


图 23.1-9 飞边槽

从保证金属充满模膛出发,希望桥部阻力适当大一些。否则,在模膛充满之前,会有大量金属经桥部由模膛内流出,以致模膛最后不能完全充满。但是桥部的阻力也不能过大,因为桥部阻力过大时,金属变形抗力很大,可能造成上下模不能打靠。根据有关文献及实验研究表明, $\frac{b}{h_z} = 4 \sim 6$ 为宜,即在该范围内,其飞边金属消耗和变形抗力的大小均处在合理的范围内。

8) 设备工作速度和设备吨位 设备工作速度较高时,一般地说,金属变形流动的速度也较快,这样有利于金属充填模膛,可以得到外形复杂,尺寸精确的锻件。这是因为在高速设备上模锻时,可以通过惯性流动增强变形金属的填充速度。

为了使金属产生塑性变形,使其克服阻力充填模膛,锻压设备必需有足够的吨位。否则将产生充不满的现象。但是设备也不宜过大,过大了将造成能源浪费。而且对冲击类设备,打击能量过大时,剩余打击能量需要靠模具和设备的弹性变形来吸收,极易造成模具的损坏。

4.2 闭式模锻成形过程及影响模锻力的主要因素

(1) 闭式模锻成形过程及与开式模锻比较 闭式模锻过程同样可分为三个阶段(图 23.1-10):

第一阶段为自由墩锻阶段(图 23.1-10a),

即从毛坯与上模模膛表面（或冲头表面）接触开始到坯料金属与模膛最宽处侧壁接触为止。在这一阶段中，金属充满模膛中某些容易充满的部分。

第二阶段为充满阶段（图 23.1-10b），即从毛坯金属与模膛最宽处侧壁接触开始到金属完全充满模膛为止。在这一阶段，坯料金属的流动受到模壁阻碍，毛坯各个部分处于不同的三向压应力状态。随着坯料变形的增大，模壁的侧向压力也逐渐增大，直到模膛完全充满。

第三阶段为结束阶段（图 23.1-10c），多余金属被挤出到上、下模的间隙中形成少量纵向毛刺，锻件达到预定的高度。

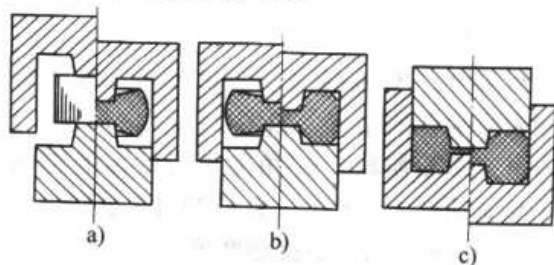


图 23.1-10 闭式模锻过程

闭式模锻与开式模锻比较，除了没有飞边外，还有如下一些特点。

开式模锻时模壁对变形金属的侧向压力较闭式模锻时小，虽然两者的坯料金属都处于三向受压状态，但剧烈程度不同。从应力状态图对金属塑性的影响来看，闭式模锻比开式模锻好，它适用于低塑性金属的锻造。

开式模锻时，金属流线在飞边附近汇集。锻件切边后，流线末端外露，会使零件的抗应力腐蚀能力降低。图 23.1-11 所示为开式模锻时的流线分布情况。此锻件的纵向与分模面平行，横向与分模面垂直。锻件横向抗拉能力低于纵向抗拉能力。其抗应力腐蚀能力较差。减少或消除应力腐蚀和使锻件有良好性能的有效措施，就是采用无飞边模锻。因此，对应力腐蚀敏感的材料（如高强度铝合金）和各向异性对机械性能有较大影响的材料（如非真空熔炼的高强度钢），采用闭式模锻更能保证锻件的质量。

(2) 闭式模锻时影响模锻力的主要因素

开式模锻过程中当上下模打靠时，虽然其模锻力急剧上升，但因多余金属流入飞边槽，其模锻力不会无限升高。闭式模锻时，因金属在封闭

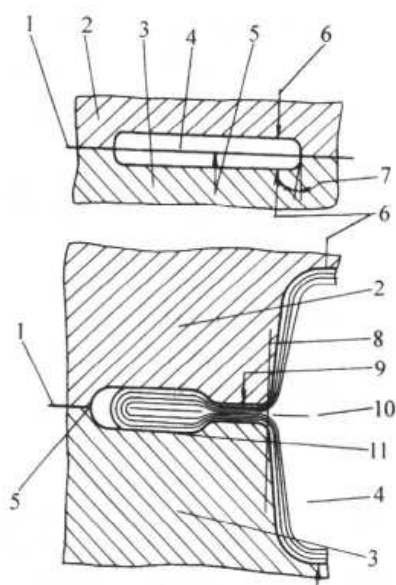


图 23.1-11 开式模锻件的流线分布

1—分模面 2—上模 3—下模
4—锻件 5—分模线 6—横向流线
7—模锻斜度 8—切边线 9—飞边

10—切边后流线末端外露处 11—飞边仓部

的模膛内成形，不形成飞边，当模膛充满时，从理论上讲（即假设模具和设备均为刚性）其模锻力会无限升高。过大的模锻力必然会使模膛负载急剧增大，导致模具急剧磨损甚至破坏。因此，模锻力是影响闭式模锻的最关键因素之一。

除了锻件材料性质、变形温度和变形速度外，还有锻件圆角半径、接触摩擦和锻件形状等也影响模锻力。

1) 锻件圆角半径的影响 锻件圆角半径相当于模具角半径向未充满值 a 。由实验得出的 a 与闭式模锻力间的关系如图 23.1-12 所示。由图可以看出，闭式模锻力与未充满值成线性反比关系，即力 P 随 a 值的减小而升高。另外，由于凹模模壁摩擦的影响，当 $H/D > 0.5$ 时， P 值随 H/D 的增加而增加，当 $H/D \leq 0.5$ 时，锻件高度对模锻力基本没有影响。

图 23.1-13 为理论计算所得凹模模壁、模底和冲头端面上法向应力分布曲线。计算时，假定各接触面上的摩擦达最大值，即 $\tau_k = K$ ，对应的锻件参数列于表 23.1-1。

图中曲线 1 和 2 描述了锻件高径比 $\frac{H}{D} = 1$ 时，法向应力随角隙充满程度而变化的分布状态，曲线 3 描述了锻件高径比 $\frac{H}{D} = 0.2$ 时，法向

应力随角隙充满程度而变化的状态。从曲线 1 到 2 可看出，法向应力随角隙不断充满而增大；曲线 3 显示，模锻低锻件比模锻高锻件时作用在模壁上的法向应力有所降低，而作用在冲头端面

上的法向应力有所增加。

对比图 23.1-12 和图 23.1-13 所示的曲线，可以看出，理论计算与实验两种方法所得结果是相符的。

表 23.1-1 为确定法向应力的锻件参数

$\frac{H}{D}$	$\frac{a_1}{a_2}$	$\frac{a_1}{\text{mm}}$	$\frac{a_2}{\text{mm}}$	$\frac{D}{a_1}$	$\frac{D}{a_2}$	$\frac{2a_1}{\text{mm}}$	$\frac{2a_2}{\text{mm}}$	η_1	η_2	No
1	0.25	4.000	16.00	40	10	8.00	32	0.2	0.8	1
1	0.25	1.334	5.34	120	30	2.67	10.68	0.2	0.8	2
0.2	0.75	1.330	1.78	120	90	2.67	3.56	0.085	0.115	3

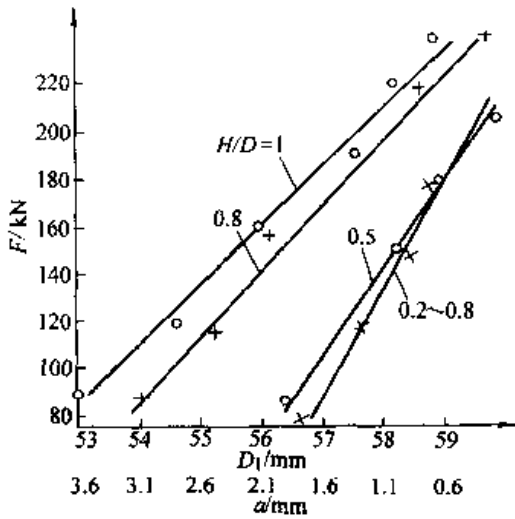


图 23.1-12 径向未充满程度与模锻力的关系

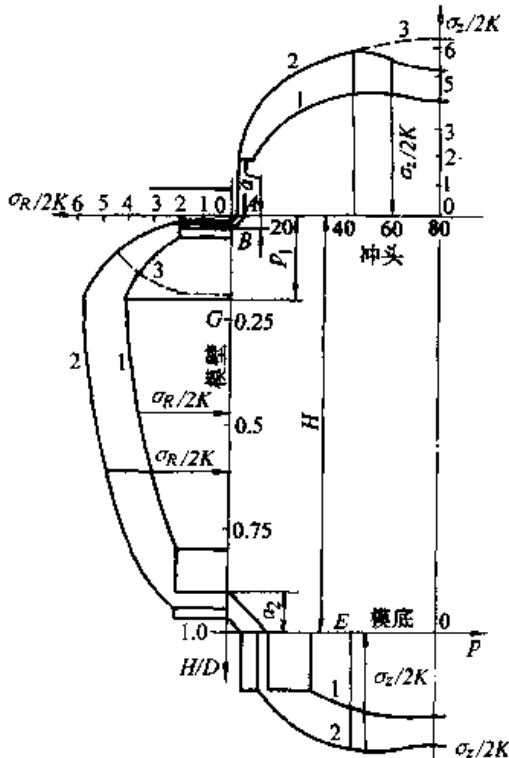


图 23.1-13 模壁上法向应力同角部充满程度的关系曲线

2) 接触摩擦的影响 变形金属与模具间，特别是凸凹模底面与变形金属间的接触摩擦对闭式模锻力有很大影响。

当利用粗糙板 ($\tau_k \approx 0.5$) 锻粗时，在自由锻粗阶段，试件成鼓形，端部尺寸的增大是由于侧表面翻转的结果，如图 23.1-14a 所示；当转入闭式锻粗阶段， α_1 角除了受摩擦的影响外，还与 a 值的大小有关，如图 23.1-14d 所示。

从理论上讲，当接触摩擦 $\mu = 0$ 时，试件将整体均匀变形，侧表面在压缩过程中平行地向外扩大，如图 23.1-14b 所示。这时闭式模锻力最小，单位变形力等于材料在变形条件下的流动应力。

当接触摩擦 $0 < \mu < 0.5$ 时，端部直径的增大是由于原有直径向外扩大与侧面金属下翻同时作用的结果，如图 23.1-14c 所示。

图 23.1-15 为当接触面上的摩擦达最大和无摩擦两种条件下进行闭式锻粗所得法向应力分布曲线。两条曲线的差别表明了凹模壁上同冲头端部一样，其法向应力随着接触摩擦的增大而增大。

3) 锻件形状的影响 对于表 23.1-2 中的六种不同形状的圆饼类锻件，分别用铅和 C_T.5 钢 (加热至 1 200°C) 在液压机上进行闭式模锻，所得结果分别列于表 23.1-3。

表 23.1-3 中 F_1 为工作行程开始时的模锻力； F_{\max} 为工作行程终了时的模锻力； F_2 为自由锻粗过渡到闭式锻粗交界点的力； s_p 为工作行程； s_2 为相应于 F_2 的工作行程。

由表 23.1-3 所示结果可以看出：对于铅试件，形状复杂的变形力比形状简单的大，但没有超过 10%；对于在高温下的钢试件，形状复杂的同形状简单的相比，初始变形力有一定程度的

增加，终锻变形力几乎没有增加。

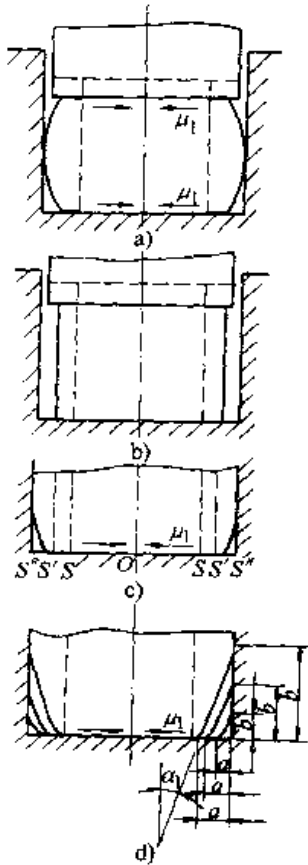


图 23.1-14 不同摩擦条件下端面的变形情况
 a) $\mu_1 = 0.5$ b) $\mu_1 = 0$
 c) $0 < \mu_1 < 0.5$, $OS'-OS$ 的扩大;
 $S'S''$ —侧面翻转 d) $\mu_1 = 0.5$ 时 α_1
 角在变形过程中的变化

锻件形状不仅在模锻开始阶段对变形力有影响，而且对最终模锻力也有影响。形状复杂锻件的模锻力，可比形状简单锻件的模锻力大 30%~40%。

两个结果间的差别在于前者所实验的 6 种锻件形状差别不大，因而形状复杂程度对变形力的影响不明显。后者所实验的锻件形状差别大，且又是在冷态下进行的，所以形状复杂程度的影响比较明显。然而，两个文献中实验的锻件均是外径相同、形状不同、坯料的体积也不同。如果采用体积相同或接近的坯料，模锻外径相同而形状不同的锻件，通过因形状不同模锻时需转移的金属量和转移的距离的不同而导致所需模锻力的差别，可能更为确切地表达出形状复杂程度对模锻力的影响。

5 锻模设计与锻件尺寸精度的关系

锻模设计对锻件的尺寸精度有很大影响，为保证获得要求的尺寸精度，设计锻模时应考虑以下各点。

(1) 锻件的热胀冷缩

热模锻和温模锻时，金属材料都会产生热胀冷缩。一是锻件形状与相对尺寸对热胀冷缩的均匀性有影响，例如，同一锻件截面积小比截面积大的部分冷却收缩要快一些，两个部分的收缩量会产生一定差别；又如，采用正向分流挤压工艺在垂直可分凹模上实现汽车传动轴万向联轴器

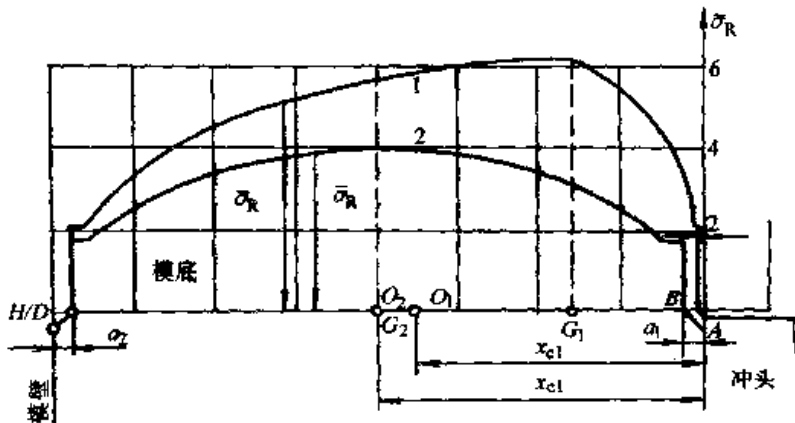


图 23.1-15 闭式模锻至模膛角隙充满时摩擦对模壁上法向应力分布的影响
 1—当摩擦最大时 2—当摩擦为 0 时

又(图 25.4-60)无飞边模锻，其叉形内侧尺寸比规定尺寸 57.5 mm 要小 1 mm 以上。设计时，通过增大模膛相应的尺寸，就可得到合格锻件。

二是毛坯加热温度和模具工作温度的变化，也会引起锻件热胀冷缩的不同，这在精密模锻模具设计尤其要给予考虑。

表 23.1-2 圆饼类锻件的特征参数

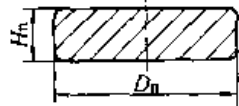
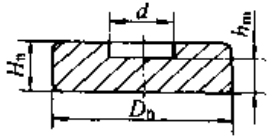
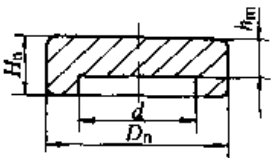
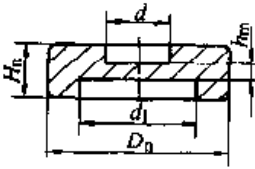
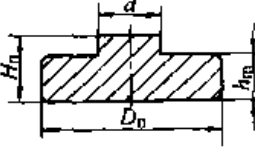
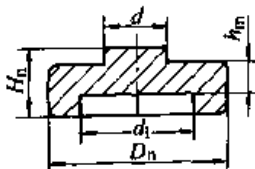
锻件分组	锻件名称	锻件图	D_n/H_n	d/mm	h_m/mm	h_m/H_n
1	实心		2.9	—	—	—
2	带单向向上腔		2.7	19.1	9.3	0.5
3	带单向向下腔		2.2	—	11.6	0.52
4	带双向内腔		2.0	19.1	3.5	0.15
5	带单向外凸		2.0	21.4	15.6	0.6
6	带上外凸和 下腔		1.65	21.4	9.9	0.32

表 23.1-3 圆饼类锻件闭式模锻的结果

锻件分组	铅			钢 C1.5	
	$\frac{F_1}{F_{\max}}$	$\frac{F_2}{F_{\max}}$	$\frac{s_2}{s_p}$	$\frac{F_1}{F_{\max}}$	$\frac{F_2}{F_{\max}}$
1	0.028	0.070	0.027	0.240	0.415
2	0.006	0.055	0.029	0.059	0.466
3	0.023	0.144	0.019	—	—
4	0.005	0.106	0.037	—	—
5	0.041	0.076	0.046	0.073	0.443
6	0.014	0.195	0.029	—	—

(2) 错移力的平衡和导向

错移力的平衡是保证锻件尺寸精度的一个重要因素,而且也是影响设备寿命的一个重要因素。

错移力产生的原因大致有下列几方面:

1) 当锻件分模线不在同一平面上(即具有落差的锻件),模锻时有水平方向的错移力;

2) 如果由于某些原因使得模膛中心与滑块或锤杆中心不一致时,模锻时产生一个偏心力矩,造成锻模的错移;

3) 如果设备的上、下砧面不平行(图 23.1-16),模锻时也要产生水平错移。

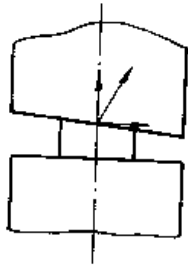


图 23.1-16 上下砧面不平行

错移力不仅造成锻件水平尺寸的错差,而且还必然引起锻件高度方向尺寸的偏差,后者对一般小锻件影响不大,但对大型模锻件有时偏差甚至超过 5 mm,因此,错移力的平衡是保证锻件尺寸精度的一个重要问题。

为减小错移力引起的锻件错差,可以从如下两个方面采取措施。

1) 从设备方面 使上、下砧面尽可能平行;减小导轨间隙;增加导向长度。

2) 从模具结构方面 尽可能使模膛中心和锤杆中心(或滑块中心)相一致,采用导销、导柱、导套、导筒等平衡和导向装置。

以上两方面中,设备的精度对减小锻件的错差有一定影响;但是,最根本的是从模具设计方面采取措施。具体措施见后面有关章节。

(3) 锻件高度方向的尺寸超差

引起锻件高度方向尺寸超差的各种因素:

1) 终锻模膛的充填性能 对某些具有高肋的锻件,为保证肋部能够充满,应在终锻模膛的相应部位设排气孔;对某些终锻时不易充满的锻件,可增加预锻模膛。

2) 终锻模膛的磨损 对终锻模膛易磨损的部位,应当在锻件公差允许的范围预先考虑磨

损量,以提高模具寿命,保证锻件的尺寸精度要求。

3) 氧化皮等在下模较深部位的堆积 当下模模膛局部存在较深部位并易聚积氧化皮时,应在下模此部位加深约 1~2 mm。

4) 设备吨位不足或过大 当设备吨位偏小可能产生锻压不足时,应适当减小模膛深度,以抵消锻压不足的影响,相反,当设备吨位偏大或模具承击面不够时,应适当增加模膛深度,以保证在承击面下陷后还能锻出合格锻件。

(4) 模具的加工精度

模具的加工精确度应当比锻件的精度高两级。

(5) 模具的刚度

精锻时,为能获得精确的锻件尺寸,应考虑锻件和模具的弹性变形量,应保证模具有足够的刚度。

影响模具刚度的因素有模具结构、模膛位置和模具材料及热处理等。

对于模具结构应力求简单,整体模的刚度较好,采用组合模时应避免构件间有游隙和较大的弹性变形。

对于模膛位置应力求模膛中心与滑块(或锤杆)的中心一致,否则会由于偏心力矩使上、下模产生相对转动,造成锻件高度方向和水平方向尺寸偏差。

对于模具材料应使模具材料本身硬度高、弹性变形小,例如平面冷精压采用 Cr12Mo 做精压平板比采用 T10A 时精压后零件中部的凸起高度小,因而零件的精度高。

6 锻模设计与模具寿命的关系

6.1 锻模的失效形式及影响因素

锻模设计的正确与否对模具的使用寿命影响很大。

热锻模失效的主要形式有破裂、磨损、热疲劳裂纹(以下简称热裂)和模具发生塑性变形(压塌)等,其中磨损和热裂属正常失效,而破裂和模具发生塑性变形属非正常失效。设计锻模时,为提高使用寿命要同时考虑这四方面的因素,尤其对非正常失效,更应予以重视。本节以解决破裂为主,侧重介绍锻模的强度设计。

图 23.1-17 是锻模常见的破裂形式，从外因看，引起破裂的原因主要是：

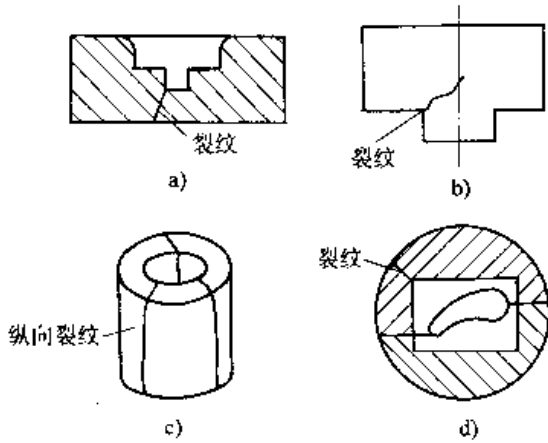


图 23.1-17 锻模常见的破坏形式

- a) 模膛深处开裂 b) 燕尾转角处开裂
c) 纵向裂纹 d) 模膛转角处开裂

1) 在极高的负载下由于应力值超过模具材料的强度极限所致。这时经一次模压（打击）或极少次数模压（打击），模具便产生破裂。

2) 在较低的应力下，经多次反复模压（打击），由于疲劳而产生破裂。

两种破裂形式可以从断口的特征加以区别。疲劳破裂断口一般分为两部分（图 23.1-18），一部分是疲劳裂纹发展形成的破裂部分，这部分由于疲劳裂纹的时进时停常常呈现出贝壳形状；另一部分是突然断裂部分，呈凸凹不平的粗糙状态。该部分的裂纹由于是急速发展的，所以破裂面不呈贝壳形状。

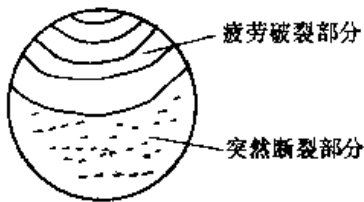


图 23.1-18 疲劳裂纹断口

模具承受冲击载荷时更易于破裂，这不仅是由于某些材料（例如高速钢）对冲击载荷具有敏感性，而主要是由模具承受冲击载荷时的受力特点所决定的。例如在冲击载荷下进行闭式模锻时，在毛坯充满模膛之后，如果锤头还有多余的能量则必然还要继续向下移动，多余的能量主要由模具及设备的弹性变形所吸收。当设备的能量远远超过锻件变形所需的力量时，模具常常因为承受不了这么大的应力而破坏，尤其是在模具具有应力集中处时更危险。

设备在模锻时具有多余能量的现象常常是不可避免的，这不仅在闭式模锻时有，开式模锻时也有。

从产生上述破坏情况的内因来看可能是：

1) 采用的模具材料冲击韧性低；
2) 模块没有锻透，组织不均，甚至内部有缺陷。

3) 热处理不当，有时效裂纹；

4) 模块内的纤维方向安排不当。

综上所述，为了防止模具破裂，在设计时应当考虑以下几点：

1) 确保在模锻时，模具内的应力值低于材料的允许强度极限；

2) 尽量减少应力集中情况；

3) 多余能量的吸收问题；

4) 选用适当的模具材料并对模块的锻造和纤维方向的布排提出要求。

磨损是模具与毛坯在高压下相对摩擦的结果，磨损使模具表面不平并且出现沟痕，这种沟痕有可能引起应力集中造成模具破裂。

热裂是由于模具表面热冷交替反复变化引起异符号的热应力的反复作用而产生的。热裂纹呈龟裂状，多发生在模具的突出部，因为突出部容易急冷急热。当模具材料的导热性差，热膨胀系数大，使用温度范围和润滑剂选用不合适时，更易产生热裂。

模具发生塑性变形的原因是因为模具的硬度过低或锻件的变形抗力过大所引起的。热锻时由于冷却不好，模具温升较高，引起模具退火而变软。而当坯料温度过低时锻件的变形抗力便会增大。

模具的磨损、热裂以及模具的塑性变形主要与模具材料、工艺操作和模具的润滑有关。模具的结构形式也有较大影响，下面从防止模具的破裂出发介绍有关模具强度设计方面的问题。以锤上锻模为例介绍开式锻模的设计，以摩擦压力机上的无飞边模锻为例介绍闭式锻模的设计。

锤上锻模常见的破裂形式有下列三种：

1) 在燕尾根部转角处产生的裂纹；

2) 沿高度方向开始于模膛深处的纵向裂纹；

3) 模壁被打断。

第 1 种破裂形式在多模膛锻造情况下是常见的。在燕尾根部转角处的这种断裂主要是由于应

力集中造成的。锤击时，燕尾与锤头和下砧的燕尾槽接触，而两侧是悬空的（间隙约0.5 mm），偏心打击时，燕尾根部转角处的应力集中较大。例如连杆锻模，由于有预锻和终锻两个模膛，常常从燕尾根部转角处破坏。燕尾转角半径愈小，加工时愈不光洁，留有加工刀痕等情况下愈易破坏。燕尾部分热处理后的硬度愈高（相应地冲击韧性下降）和有残余的集中应力时也愈易破坏。

如果设计不合理或制造不良，造成模块两侧与锤头和下砧接触而使燕尾悬空时，更易发生这种损坏。从模具本身来看如果锤模材质不好或纤维安排不合适时也易产生这种损坏。

第2种断裂是由于模锻时模膛侧壁受很大的压力，相对于一定的模膛深度，当锻模的高度（厚度）较小时，应力值可能超过材料的强度极限便引起断裂。当模膛的内圆角过小和模膛具有深而狭的凹槽或残留有加工刀痕时，由于应力集中更易产生这种损坏。

第3种是由于模壁太薄而引起的。模膛愈深，模壁斜度和模膛底部圆角愈小和留有加工刀痕时愈易产生这种破坏。

根据对以上几种模具损坏原因的分析可见，设计模具时应当考虑以下几点：

- 1) 模膛壁厚；
- 2) 模块高度；
- 3) 模具承击面；
- 4) 燕尾根部的转角；
- 5) 纤维方向的布置。

6.2 锻模设计时提高强度的措施

(1) 采用预应力组合模

闭式模锻时凹模受到很大的内应力。图23.1-17c就是由于压力过大而引起的纵向破裂，而且实践表明，总是由内壁开始破裂的。

为有效地提高凹模的承载能力，常常采用预应力组合凹模。产生预应力的方法一般是利用过盈配合，使凹模受到预紧的压应力。模锻时凹模内引起的切向拉应力将被预应力（压应力）部分或全部抵消。于是凹模的承载能力便可以得到显著的提高。

(2) 采用拼镶式凹模结构，避免或减小应力集中

对于整体模，在模膛内的转角处常易产生应

力集中，不论在模具热处理时或模锻打击时都容易产生。这种应力集中很易使模具产生疲劳或冲击破坏。将圆角适当放大，加工表面粗糙度降低只能使应力集中的程度减轻一些，而不能从根本上避免。避免应力集中的有效措施是采用组合结构的模具。图23.1-19为预应力组合凹模，原先四个角上应力集中很严重，常常在拐角处产生破裂。现将凹模分为四块，模锻时模内压力经过镶块A完全作用于外套B，而外套B无小圆角，故不会产生应力集中。

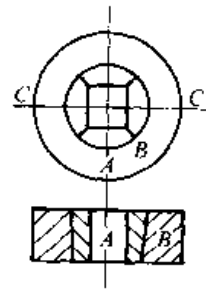


图 23.1-19 预应力组合凹模

图23.1-20所示凹模为镶块组合，由下冲头及凹模组成，这样可防止凹模在小圆角处开裂，受力严重的冲头损坏后可以取换，凹模的外边由凹模套进行加强。

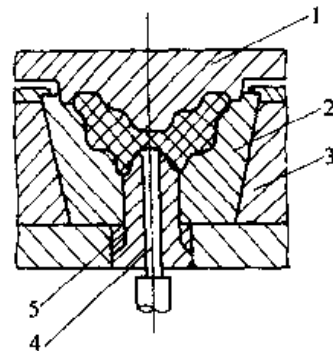


图 23.1-20 镶块组合凹模

1—上凸模 2—凹模 3—补强外套
4—顶料杆 5—下凸模

(3) 多余能量的吸收

设计闭式锻模时，应认真考虑多余能量的吸收。为吸收多余能量可以采取两方面的措施：

1) 在模具上设置分流降压腔，使毛坯成形后多余的金属挤入到分流腔中。由于金属从分流腔中挤出从而吸收了多余的能量，抑制了模腔内压力的增高，这对于防止模具破坏和提高模具寿命有较为显著的效果。

对某些锻件，为利于模膛的充满而设置的出

气孔，也可以起到吸收多余能量的作用。

2) 设计承击面，如图 23.1-21 所示。承击面除了保证锻件高度尺寸的精度外还用来承受锤头的多余打击能量。承击面取多大合适，尚无准

确的公式。某厂设计模具时按每焦耳的多余打击能量取 $1/30 \sim 1/40 \text{ cm}^2$ 的打击面，很少发生模具不正常的损坏现象。

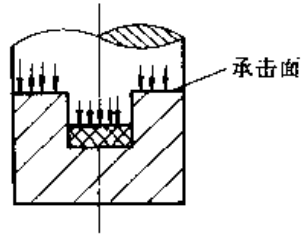


图 23.1-21 承击面

第 2 章 锻模设计常用资料 and 标准

1 各种金属材料的锻造温度范围

常用钢材的锻造温度范围和加热、冷却规范列于表 23.2-1。耐热合金钢锭的锻造温度范围及

冷却方式列于表 23.2-2。有色金属的锻造温度范围和冷却规范列于表 23.2-3。钛合金的锻造温度范围列于表 23.2-4。

表 23.2-1 一些常用钢材的加热冷却规范

钢 类	钢 号	加 热 规 范				锻 造 温 度		冷 却 规 范			
		装炉温度 $t_1/^\circ\text{C}$	最高炉温 $t_2/^\circ\text{C}$	每 10 mm 厚度的 加热时间 τ/min		始锻温度 $t_3/^\circ\text{C}$	终锻温度 $t_4/^\circ\text{C}$	毛 坯 尺 寸 d/mm			
				单 件	多 件			< 50	50~100	101~200	201~300
碳素结构钢	Q195	不限	1 350	2.5	5	1 300	700				
	Q215A	不限	1 350	2.5	5	1 300	700				
	Q235A	不限	1 300	2.5	5	1 250	700				
	Q255A	不限	1 300	2.5	5	1 250	750				
低合金结构钢	Q345	不限	—	2.5	5	1 160~ 1 180	850~ 900				
	Q390	850	1 280	—	5~6	1 080~ 1 200	850~ 950				
优质碳素结构钢	15	不限	1 350	2.5	5	1 300	700	空 冷			
	20	不限	1 300	2.5	5	1 250	750				
	25	不限	1 300	2.5	5	1 250	750				
	35	不限	1 300	2.5	5	1 250	750				
	40	不限	1 250	2.5	5	1 200	750				
	45	不限	1 250	3	6	1 200	750				
	50	不限	1 250	3	6	1 200	800				
	55	不限	1 250	3	6	1 200	800				
	60	不限	1 250	3.5	7	1 200	800	空冷	灰冷		
合金结构钢	15Mn	不限	1 300	3	6	1 250	800	空 冷			
	30Mn	不限	1 300	3	6	1 250	800	空 冷		灰冷	
	40Mn	不限	1 250	3	6	1 200	800	空 冷		灰冷	
	45Mn	不限	1 250	3	6	1 200	800	空 冷		灰冷	
	60Mn	不限	1 150	3.7	7.5	1 100	800				
	15Mn2	不限	1 250	3.7	7.5	1 200	800				
	20Mn2	不限	1 250	3.7	7.5	1 200	800	空 冷			

续表 23.2-1

钢 类	钢 号	加 热 规 范				锻 造 温 度		冷 却 规 范			
		装炉温度 $t_1/^\circ\text{C}$	最高炉温 $t_2/^\circ\text{C}$	每 10 mm 厚度的 加热时间 τ/min		始锻温度 $t_3/^\circ\text{C}$	终锻温度 $t_4/^\circ\text{C}$	毛坯尺寸 d/mm			
				单件	多件			< 50	50~100	101~200	201~300
合 金 结 构 钢	30Mn2	不限	1 250	3.7	7.5	1 200	800	空 冷		灰冷	
	35Mn2	不限	1 250	3.7	7.5	1 200	800				
	40Mn2	不限	1 250	3.7	7.5	1 200	800				
	45Mn2	不限	1 250	3.7	7.5	1 200	800				
	50Mn2	不限	1 250	3.7	7.5	1 200	800	空 冷	灰 冷		
	35SiMn	不限	1 250	3.7	7.5	1 200	800	>60 灰冷			
	42SiMn	不限	1 200	3.7	7.5	1 150	800				
	60SiMn	800	1 160	3.7	7.5	1 100	800	空 冷	灰 冷		
	25Mn2V	—	—	—	—	1 180	800	灰 冷			
	42Mn2V	—	—	—	—	1 180	800				
	15Cr	不限	1 250	2.5	5	1 200	800	空 冷			
	20Cr	不限	1 250	2.5	5	1 200	800				
	40Cr	不限	1 250	2.5	5	1 200	800	空 冷		灰冷	
	45Cr	不限	1 250	3	6	1 200	800				
	50Cr	不限	1 250	3	6	1 200	800				
	38CrSi	不限	1 200	3.7	7.5	1 150	850	空 冷		灰 冷	
	40CrSi	不限	1 200	3.7	7.5	1 150	850				
	20CrMn	不限	1 200	3	6	1 150	800				
	40CrMn	—	—	—	—	1 150	800	空冷	>75 灰冷		
	20CrMnSi	1 150	1 250	3	6	1 200	800	空 冷		灰 冷	
	30CrMnSi	800	1 200	3.7	7.5	1 150	850				
	35CrMnSiA	800	1 200	3.7	7.5	1 150	850				
	20CrV	不限	1 250	3	6	1 250	800	空冷	灰 冷		
	40CrV	不限	1 250	3.7	7.5	1 200	800	空 冷			
18CrMnTi	不限	1 250	3	6	1 200	800					
30CrMnTi	不限	1 250	3.7	7.5	1 200	800	空冷		>65 灰冷		
35CrMnTi	—	—	—	—	1 200	800					
40CrMnTi	—	—	—	—	1 200	800	空 冷				
15CrMo	不限	1 250	3.5	7	1 200	800					
20CrMo	不限	1 250	3.5	7	1 200	800					
30CrMo	不限	1 200	3.5	7	1 180	800	空冷	灰 冷			

续表 23.2-1

钢 类	钢 号	加 热 规 范				锻 造 温 度		冷 却 规 范				
		装炉温度 $t_1/^\circ\text{C}$	最高炉温 $t_2/^\circ\text{C}$	每 10 mm 厚度的 加热时间 τ/min		始锻温度 $t_3/^\circ\text{C}$	终锻温度 $t_4/^\circ\text{C}$	毛坯尺寸 d/mm				
				单件	多件			< 50	50~100	101~200	201~300	
合 金 结 构 钢	42CrMo	—	—	—	—	1 150	850	空冷	灰 冷			
	25Cr2MoVA	—	—	—	—	1 100	850					
	30Cr2MoV	—	—	—	—	1 180	850					
	40Cr2MoV	—	—	—	—	1 050	850					
	20MnTiB	—	—	—	—	1 200	800	空冷或堆冷				
	20CrMnB	—	—	—	—	1 150	800	坑 冷				
	20Cr3MoWA	—	—	—	—	1 150	850	—				
	12Mo	不限	1 250	3	6	1 200	800	空冷	灰 冷			
	30MoA	不限	1 250	3	6	1 200	800					
	40NiMo	900	1 200	3.5	7	1 150	900	空冷	灰 冷			
	12CrNi4	不限	1 200	3	6	1 150	850					
	20CrNiA	不限	1 200	3	6	1 150	800					
	40CrNi	不限	1 200	3	6	1 150	820					
	45CrNi	不限	1 200	3	6	1 150	830	空冷	灰 冷			
	12CrNi4MoA	不限	1 200	3.7	7.5	1 150	850					
	33CrNi3MoA	不限	1 200	3.7	7.5	1 150	870					
	40CrNiMo	不限	1 200	3.7	7.5	1 150	850					
	25CrNiW	不限	1 200	3.7	7.5	1 150	850	空冷	>75 灰冷			
	20Cr2Ni4	—	—	—	—	1 180	800					
	38CrMoAl	—	—	—	—	1 180	850					
45CrNiMoVA	1 150	1 200	4.3	8.5	1 150	850	空冷	灰 冷				
弹 簧 钢	65	不限	1 150	3.5	7	1 100	800	空冷	灰 冷			
	70	不限	1 150	3.5	7	1 100	800					
	75	不限	1 150	3.5	7	1 100	800					
	65Mn	不限	1 150	3.7	7.5	1 100	800	空冷		灰冷		
	60SiMn	800	1 160	3.7	7.5	1 100	800	空冷		灰冷		
	55Si2Mn	—	1 150	3.7	7.5	1 050~ 1 100	850~ 900	堆 冷				
	60Si2Mn	—	1 150	—	—	1 050~ 1 100	850~ 900					
	60Si2MnA	900	1 150	3.7	7.5	1 100	850	灰 冷				
	60Si2	不限	1 150	3.5	7	1 100	800	空冷	灰 冷			
50CrMn	不限	1 200	3.7	7.5	1 150	850						
50CrVA	不限	1 200	3.7	7.5	1 150	850	空冷	灰 冷				

续表 23.2-1

钢 类	钢 号	加 热 规 范				锻 造 温 度		冷 却 规 范			
		装炉温度 $t_1/^\circ\text{C}$	最高炉温 $t_2/^\circ\text{C}$	每 10 mm 厚度的 加热时间 τ/min		始锻温度 $t_3/^\circ\text{C}$	终锻温度 $t_4/^\circ\text{C}$	毛坯尺寸 d/mm			
				单件	多件			<50	50~100	101~200	201~300
滚 动 轴 承 钢	GCr6	800	1 200	5	10	1 150	870	700°C 以上空冷或喷水雾冷却, 然后灰冷或箱中堆冷			
	GCr9	800	1 200	5	10	1 150	870				
	GCr9SiMn	800	1 200	5	10	1 150	850				
	GCr15	800	1 180	5	10	1 130	870				
	GCr15SiMn	800	1 180	5	10	1 130	870				
碳 素 工 具 钢	T7	900	1 200	3	6	1 150	800	空 冷	灰 冷		
	T8	900	1 200	3.5	7	1 150	800				
	T8Mn	900	1 150	3.5	7	1 100	850	灰 冷			
	T10	900	1 150	3.5	7	1 100	870				
	T12	900	1 100	3.5	7	1 050	870				
合 金 工 具 钢	5SiMnMoV	不限	1 150	—	—	1 050~ 1 100	800	坑冷或灰冷			
	9SiCr	—	1 150	—	—	1 050~ 1 100	850~ 800				
	9Cr2	不限	1 150	3.7	7.5	1 100	850	空冷	灰 冷		
	8Cr	不限	1 100	3.7	7.5	1 050	850	灰 冷			
	Cr12	800	1 100	4.3	8.5	1 080	840				
	5CrMnMo	750	1 150	3.5	7	1 100	800	空 冷	灰 冷		
	3Cr2W8V	800	1 160	4.3	8.5	1 080~ 1 120	900~ 850	空冷	灰 冷		
	CrWMn	750	1 130	7.5	15	1 100	800	空 冷		灰 冷	
	9CrWMn	750	1 150	3.7	7.5	1 100	850				
	5CrW2Si	800	1 160	4.3	8.5	1 100	850	空冷	灰 冷		
	6CrW2Si	800	1 160	4.3	8.5	1 100	850				
	Cr12MoV	1 100	1 130	4.3	8.5	1 100	840				
	8CrV	不限	1 170	3.7	7.5	1 120	800				
	5CrNiMo	750	1 150	3.7	7.5	1 100	800				
	W2	不限	1 150	3.7	7.5	1 100	800	空冷	灰 冷		
Cr12V	800	1 160	3.7	7.5	1 100	900					
9CrSi	不限	1 150	5	10	1 100	850					
高 速 工 具 钢	W18Cr4V	800	1 200	7.5	15	1 150	900	灰 冷			
	W9Cr4V	800	1 200	7.5	15	1 150	900				
不 锈 耐 热 钢	1Cr13	900	1 200	4.3	8.5	1 150	850	空冷	灰 冷		
	2Cr13	900	1 200	4.3	8.5	1 150	850				

续表 23.2-1

钢 类	钢 号	加 热 规 范				锻 造 温 度		冷 却 规 范				
		装炉温度 $t_1/^\circ\text{C}$	最高炉温 $t_2/^\circ\text{C}$	每 10 mm 厚度的 加热时间 τ/min		始锻温度 $t_3/^\circ\text{C}$	终锻温度 $t_4/^\circ\text{C}$	毛坯尺寸 d/mm				
				单件	多件			< 50	50~100	101~200	201~300	
不 锈 耐 热 钢	3Cr13	900	1 200	4.3	8.5	1 150	850	空冷	灰 冷			
	4Cr13	900	1 200	4.3	8.5	1 150	850					
	Cr17Ni2	900	1 180	4.3	8.5	1 130	850	空 冷				
	1Cr18Ni9Ti	900	1 200	7.5	15	1 180	850					
	1Cr14Ni-14W2Mo	900	1 180	5	10	1 150	850					
	4Cr14Ni-14W2Mo	900	1 180	5	10	1 150	900					
	Cr28	800	1 120	4.3	8.5	1 050	800	空 冷				
	4Cr9Si2	800	1 170	4.3	8.5	1 120	850					空 冷
	Cr23Ni18	900	1 120	3.7	7.5	1 150	870	空 冷				
	Cr13Ni7Si2	900	1 180	4.3	8.5	1 130	870					
Cr20Ni14Si2	900	1 180	4.3	8.5	1 130	900						

表 23.2-2 耐热合金钢锭的锻造温度范围及冷却方式

钢 类	钢 号	锻 造 温 度		冷 却 方 式
		最高加热温度 $t_1/^\circ\text{C}$	最低锻造温度 $t_2/^\circ\text{C}$	
不 锈 耐 热 钢	4Cr14Ni14W2Mo	1 160	850	空 冷
	3Cr13Ni7Si2Mn	1 150	900	
	4Cr14Ni14W2Si3MoMn			
	20Cr3MoWV	1 150	850	
铁 基 热 强 钢	4Cr15Ni7Mn7V2MoSi	1 160	850	空 冷
	Cr23Ni18			
	Cr12Ni8Mn9MoVTiNb	1 150	950	
	Cr12Ni9Mn8W4V2Nb	1 160	900	
	Cr12Ni20Ti3B			
	Cr22Ni38WTi			
	Cr14Ni35Ti3MnAl	1 100	900	
	Cr15Ni35W2Mo2Al3Ti2B	1 050		

续表 23.2-2

钢类	钢号	锻造温度		冷却方式
		最高加热温度 $t_1/^\circ\text{C}$	最低锻造温度 $t_2/^\circ\text{C}$	
镍基热强合金	CrNi77TiAlB	1 180	900	空冷
	CrNi70WMoTiAlNb	1 160		
	CrNi75MoNbTiAl	1 180		
	CrNi70WMoTiAl	1 160		
	CrNi55W15TiAlMnSi	1 100		
	CrNi57Co15W6Mo5AlTiB	1 100		

表 23.2-3 有色金属的锻造温度范围和冷却规范

类别	牌号	装炉温度 $t_1/^\circ\text{C}$	最高炉温 $t_2/^\circ\text{C}$	1 mm 厚度的加热时间 τ/min	始锻温度 $t_3/^\circ\text{C}$	终锻温度 $t_4/^\circ\text{C}$	冷却方式
锌	Zn-2	150	160	—	150	110	空冷
	Zn-3	165	170	—	165	135	
镁合金	MB2	420	425	2	420	350	空冷
	MB5	400	400	2~2.5	410	320	
	MB15	400	405	2	400	320	
铝合金	2A11	470	480	1.5	470	380	空冷
	2A12	470	480	2	470	380	
	2A01	470	475	2	470	380	
	8A06	470	475	1~2	470	380	
	2A90	480	480	1.5~2	470	380	
	2A80	480	480	1.5~2	470	380	
	2A70	470	475	1.5~2	470	380	
	2A50	480	480	1.5~2	480	380	
	2B50	480	480	1.5~2	480	380	
	2A14	470	480	1.5~2	470	380	
	5A06	450	460	1.5~2	450	380	
	6A02	480	485	1.5~2	480	370	
	7A04	450	455	1.5~2	450	380	
2A02	455	460	2~2.5	455	380		

续表 23.2-3

类别	牌 号	装炉温度 $t_1/^\circ\text{C}$	最高炉温 $t_2/^\circ\text{C}$	1 mm 厚度 的加热时间 τ/min	始锻温度 $t_3/^\circ\text{C}$	终锻温度 $t_4/^\circ\text{C}$	冷却方式
紫 铜	T1	950	960	1~1.5	950	800	空冷
	T2	950	960	1~1.5	950	800	
	T3	950	960	1~1.5	950	800	
黄 铜	H59	800	820	1~1.5	800	700	空冷
	H62	820	830	1~1.5	820	700	
	H68	830	840	1~1.5	830	700	
	H80	870	880	1~1.5	870	700	
	H90	900	900	1~1.5	900	750	
	H96	930	950	1.5~2	930	700	
	HA177-2	760	770	1~1.5	760	670	
	HA185-0.5	820	840	1~1.5	820	670	
	HA160-1-1	750	760	1~1.5	750	650	
	HA159-3-2	780	800	1.5~2	780	650	
	HMn58-2	780	790	1.5~2	780	650	
	HFe59-1-1	780	790	1.5~2	780	650	
	HSi80-3	820	840	1.5~2	820	700	
	HSi65-0.5	780	800	1~1.5	780	670	
	HNi65-5	850	870	1.5~2	850	650	
	HSn60-1	800	810	1.5~2	800	650	
	HSn90-1	900	900	1.5~2	900	650	
	HPb59-1	800	810	1.5~2	800	650	
HPb64-2	850	860	1.5~2	850	700		
青 铜	QA7	840	850	1.5~2	840	700	空冷
	QBe2.5	750	770	1.5~2	750	650	
	QCr0.5	870	880	1.5~2	870	670	
	QA110-3-1.5	830	850	1~1.5	830	700	
	QSi3-1	800	820	1.5~2	800	630	
	QCd10	850	870	1.5~2	850	650	
	QMn5	850	870	1.5~2	850	650	
其他铜合金	B19	1 000	1 010	1~1.5	1 000	850	空冷
	BZn15-20 (德银)	940	950	1.5~2	940	810	

续表 23.2-3

类别	牌 号	装炉温度 $t_1/^\circ\text{C}$	最高炉温 $t_2/^\circ\text{C}$	1 mm 厚度 的加热时间 τ/min	始锻温度 $t_3/^\circ\text{C}$	终锻温度 $t_4/^\circ\text{C}$	冷却方式
其他铜合金	BMn40-1.5	1 030	1 050	1.5~2	1 030	800	空冷
	BMn3-12 (锰铜)	820	840	1.5~2	820	700	
	BMn43-0.5 (考铜)	1 120	1 130	1.5~2	1 120	750	
镍	Ni4	不限	1 200	0.75	1 150	870	灰冷
	Ni	不限	1 200	0.75	1 150	870	

表 23.2-4 钛合金的锻造温度

合金牌号	$\alpha + \beta/\beta$ 相变温度 $t/^\circ\text{C}$	铸锭开坯		铸 造	
		加热温度 $t_1/^\circ\text{C}$	终锻温度 $t_2/^\circ\text{C}$	加热温度 $t_3/^\circ\text{C}$	终锻温度 $t_4/^\circ\text{C}$
TA2 TA3	—	980	750	900	700
TC1	910~930	980	750	900	700
TC3	920~960	1 050	850	920	800
TC4	900~960	1 050	850	950	800
TC5	930~980	1 150	750	950	800
TC6	930~980	1 150	750	950	800
TC8	970~1 000	1 150	900	970	850
TC9	970~1 000	1 150	900	970	850
TC10	930~960	1 150	900	930	850
TA4	—	1 050	850	930	800
TA5	—	1 080	850	980	800
TA6	—	1 150	900	980	800
TA7	1 025~1 050	1 150	900	1 000	850
TA8	950~990	1 150	900	960	850
TB1	750~800	—	—	1 150	850

2 常用金属材料的线胀系数和收缩率

线胀系数表示摄氏温度升高一度时单位长度材料的尺寸变化。

收缩率是指由终锻温度至室温这段温度区间内单位长度金属材料的尺寸变化。它与材料的线膨胀系数和终锻温度两者有关。

模膛设计时, 需要考虑锻件的收缩率, 精密模锻时还需考虑模具的热胀冷缩问题。

热锻时钢材的收缩率一般取 1.2%~1.5%, 而对细长的杆类件, 扁薄的锻件, 冷却快或打击次数多、终锻温度低的锻件收缩率取 0.8%~1.2%; 带大头的长杆锻件, 头部和杆部的冷缩率应取不同值; 不锈钢的收缩率较大, 一般取 1.5%~1.8%。铝合金为 0.8%~1.0%, 镁合

金为0.8%，钛合金为0.5%~0.7%，铜合金为1.0%~1.3%。

温锻时，由于终锻温度较低，收缩率应当取小些。

钢材的线膨胀系数列于表23.2-5；结构钢的

线膨胀系数列于表23.2-6；一些不锈钢和工具钢的线膨胀系数列于表23.2-7；铜合金的线膨胀系数列于表23.2-8；镁合金的线膨胀系数列于表23.2-9；铝合金的线膨胀系数列于表23.2-10；钛合金的线膨胀系数列于表23.2-11。

表 23.2-5 钢材的线膨胀系数 α_1 ($10^{-6}K^{-1}$)

材 料	温 度 范 围 $t/^\circ C$					
	20~100	20~200	20~300	20~400	20~600	20~700
碳钢	10.6~12.2	11.3~13	12.1~13.5	12.9~13.9	13.5~14.3	14.7~15
铬钢	11.2	11.8	12.4	13	13.6	

表 23.2-6 结构钢的线膨胀系数 α_1 ($10^{-6}K^{-1}$)

材料牌号	温 度 范 围 $t/^\circ C$						
	20~100	20~200	20~300	20~400	20~500	20~600	20~700
10	11.53	12.61	13.0	13.0	14.18	14.6	—
15	11.75	12.41	13.45	13.60	13.85	13.90	—
20	11.16	12.12	12.78	13.38	13.93	14.38	14.81
25	11.18	12.66	13.08	13.47	13.93	14.41	14.88
35	11.7	11.9	12.7	13.4	14.02	14.42	14.88
45	11.59	12.32	13.09	13.71	14.18	14.67	15.08
50	12.0	12.4	—	13.3	14.1	14.1	—
65	11.8	12.6	—	13.3	14.0	14.0	—
20Cr	11.3	11.6	12.5	13.2	13.7	14.2	—
40Cr	11.0	12.0	12.2	12.9	13.5	—	—
12CrNi3A	11.8	13.0	—	14.7	—	15.6	—
12Cr2Ni4A	11.8	13.0	—	14.7	15.0	15.6	—
25CrNiWA	11.0	—	13.0	—	—	14.0	—
37CrNi3A	11.6	13.2	—	13.4	—	13.5	—
40CrNiMoA	11.7	—	12.7	—	—	—	—
35CrMoVA	11.8	12.5	12.7	13.0	13.4	13.7	14.0
38CrMoAlA	11.0	13.1	13.0	13.5	13.5	14.5	—
30CrMnSiA	11.0	11.72	12.92	13.13	13.92	14.23	14.59
30CrMnSiNi2A	11.37	11.67	12.68	12.90	13.53	13.84	13.97
40CrMnSiMoA	12.5	13.0	13.3	—	—	—	—
18CrMn2MoBA	12.37	12.73	13.17	13.60	—	—	—

表 23.2-7 一些不锈钢和工具钢的线膨胀系数 α_1 ($10^{-6}K^{-1}$)

材料牌号	温度范围 $t/^\circ C$							
	20~100	20~200	20~300	20~400	20~500	20~600	20~700	20~900
1Cr13	11.2	12.6	—	14.1	—	14.3	—	—
2Cr13	10.5	11.0	11.5	12.0	12.0	—	—	—
3Cr13	10.2	11.1	11.6	11.9	—	12.3	12.8	—
1Cr18Ni9Ti	16.6	17.0	17.2	17.5	17.8	18.2	18.6	19.3
1Cr17Ni2	10.3	10.3	11.2	11.8	12.4	—	—	—
2Cr18Ni9	16.0	—	—	—	18.5	—	—	—
1Cr11Ni2W2MoVA	9.3	10.3	10.8	11.3	11.7	12.2	—	—
1Cr14Ni3W2VBA	10.0	10.3	10.6	10.9	11.1	11.2	—	—
4Cr10Si2Mo	10.0	—	—	—	—	—	—	—
4Cr14Ni14W2Mo	—	—	17.0	—	18.0	—	18.0	19.0
Cr18Mn8Ni5	15.5	16.5	17.0	17.5	18.8	—	—	—
Cr12MoV	10.9	—	—	11.4	—	12.2	—	—
6Cr4MoNi2WV	11.1	11.2	11.9	12.5	13.1	13.1	13.3	—
GCr9	13	13.9	—	15	—	15.2	—	—
GCr15	14	15.1	—	15.6	—	15.8	—	—

表 23.2-8 铜合金的线膨胀系数 α_1 ($10^{-6}K^{-1}$)

材料牌号	温度范围 $t/^\circ C$			
	20	20~100	20~300	20~400
H62	—	—	20.6	—
HPb59-1	20.6	—	21	—
QA19-4	—	18.1	19.1	—
QA110-3-1.5	16.1	—	—	20.1
QA110-4-4	17.1	—	—	20.1

表 23.2-9 镁合金的线膨胀系数 α_1 ($10^{-6}K^{-1}$)

材料牌号	温度范围 $t/^\circ C$		
	20~100	100~200	200~300
MB1	26	27	32
MB2	26	27	27.9
MB3	26	—	—
MB5	26	27.1	31.2
MB8	23.7	26.1	32
MB15	20.9	22.6	—

表 23.2-10 铝合金的线膨胀系数 α_1 ($10^{-6}K^{-1}$)

材料牌号	温度范围 $t/^\circ C$							
	20~100	20~200	20~300	20~400	100~200	200~300	300~400	400~500
3A21	23.2	24.3	25.1	—	—	—	—	—
5A02	23.8	24.9	25.8	—	—	—	—	—
5A03	23.5	—	25.2	26.1	—	—	—	—
5A06	—	24.7	25.5	26.5	—	—	—	—
2A02	23.6	25.2	26	—	24.8	26.2	26.9	—
2A11	22.9	24.1	25.1	—	—	—	—	—
2A12	22.7	23.8	24.7	—	—	—	—	—
2A17	19.0	—	—	—	23.78	26.79	36.74	—
6A02	23.5	24.3	25.4	—	—	—	—	—
2A50	—	—	—	—	—	—	—	—
2B50	21.4	—	—	—	23.7	26.2	30.5	35.6
2A70	19.6	21.7	23.2	—	22.4	23.9	24.8	—
2A80	21.8	23.9	24.9	—	22.6	24.3	24.9	—
2A90	22.3	23.3	24.2	—	—	—	—	—
2A14	22.5	23.6	24.5	—	—	—	—	—
7A04	23.1	24.1	26.2	—	—	—	—	—

表 23.2-11 钛合金的线膨胀系数 α_1 ($10^{-6}K^{-1}$)

材料牌号	温度范围 $t/^\circ C$						
	20~100	100~200	200~300	300~400	400~500	500~600	600~700
TA2	8.0	8.6	9.1	9.6	9.4	9.8	10.2
TA3	8.0	8.6	9.1	9.6	9.4	9.8	10.2
TA4	8.1~8.2	—	—	—	—	—	—
TA5	8.3	8.9	9.5	10.4	10.6	10.8	—
TA6	8.3	8.9	9.5	10.4	10.6	10.8	—
TA7	—	—	—	10.07 (23~750 $^\circ C$)	10.36 (23~850 $^\circ C$)	10.48 (23~950 $^\circ C$)	10.65 (23~1 000 $^\circ C$)
TA8	8.88	9.34 (20~200 $^\circ C$)	9.46 (20~300 $^\circ C$)	9.53 (20~400 $^\circ C$)	9.62 (20~500 $^\circ C$)	9.71 (20~600 $^\circ C$)	—
TC1	8.0	—	—	—	—	—	—
TC2	8.0	8.6	9.1	9.6	9.4	9.8	10.2
TC3	8.41	8.98	10.13	10.14	—	—	—
TC4	8.4	8.94 (20~200 $^\circ C$)	9.12 (20~350 $^\circ C$)	9.18 (20~400 $^\circ C$)	—	—	—
TC5	8.4	—	—	8.53	—	—	—

续表 23.2-11

材料牌号	温度范围 $t/^\circ\text{C}$						
	20~100	100~200	200~300	300~400	400~500	500~600	600~700
TC6	8.6	—	—	—	11.6	—	—
TC7	8.4	8.8	8.9	9.4	10.4	10.9	—
TC8	8.4	8.8	8.9	9.4	10.4	10.9	—
TC9	8.3	8.90 (20~200 $^\circ\text{C}$)	9.27 (20~300 $^\circ\text{C}$)	9.64 (20~400 $^\circ\text{C}$)	9.85 (20~500 $^\circ\text{C}$)	—	—

3 常用金属材料的变形抗力

金属的变形抗力 σ_s 也称真实应力或流动应力。对于理想塑性材料, 变形抗力等于材料的屈服点; 对于塑性硬化材料, 变形抗力等于考虑了变形硬化后的屈服点。在热锻温度下, 变形抗力还可以用抗拉强度 σ_b 表示。通常金属的变形抗力与材料的化学成分、组织、变形温度, 应变速率及变形程度等有关, 可表达如下

$$\sigma_s = \sigma(T, \epsilon, \dot{\epsilon}, x)$$

式中 T — 变形温度;

ϵ — 变形程度;

$\dot{\epsilon}$ — 应变速率;

x — 材料的物理化学性质。

通常变形抗力随温度的升高而降低, 应变速率增大时, 变形抗力增大, 温度越高, 这种现象越明显。变形程度对变形抗力的影响有两种情况, 某些材料随变形程度增加, 变形抗力不断增

大; 而有些材料, 在某一温度下, 在某一变形程度前, 变形抗力随变形程度的增加而增大, 但超过该变形程度后, 由于动态恢复和动态再结晶进行迅速, 随变形程度增大时, 变形抗力逐渐减小。一般地讲, 当变形温度高于再结晶温度时, 由于形变硬化现象不明显, 应变速率的影响大, 变形程度的影响小; 而变形温度低于再结晶温度时, 变形程度的影响较大, 应变速率的影响较小。

表 23.2-12 所列是常用钢材在高温下真实应力的值。这些数值是在应变速率为 $5 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ 、变形程度为 20% 的条件测得的, 当实际情况与此不符合时, 则应作适当修正。

表 23.2-13 是各类锻压设备的工作速度和应变速率。

表 23.2-14 ~ 表 23.2-16 是铝合金、镁合金和铜合金在高温下的变形抗力。

表 23.2-17 ~ 表 23.2-18 分别是钢和某些合金在模锻结束温度下的变形抗力。

表 23.2-12 常用钢材 (退火状态) 在高温下的真实应力
(变形速率为 $5 \cdot 10^{-4} \text{s}^{-1}$, 变形量为 20%)

钢 号	应 力/MPa						
	600 $^\circ\text{C}$	700 $^\circ\text{C}$	800 $^\circ\text{C}$	900 $^\circ\text{C}$	1 000 $^\circ\text{C}$	1 100 $^\circ\text{C}$	1 200 $^\circ\text{C}$
Q235-A	160	112	80	50	30	21	15
Q275	200	124	82	52	36	22	15
10	140	98	68	47	32.5	22.6	15.8
50	215	136	86	56	35.5	22.8	14.6
30Mn	196	126	83	54.5	35.5	23.2	15.2
10Mn2	158	108	74	50	33.4	22	15.1
30CrMnSi	265	170	108	69	44	28	18
40Cr	220	139	86	57.5	36.5	23.2	15

续表 23.2-12

钢 号	应 力/MPa						
	600°C	700°C	800°C	900°C	1 000°C	1 100°C	1 200°C
12CrNi3	194	130	89	60.5	41	28	19
12Cr2Ni4	202	137	93	63.5	43	29.5	20
45CrNiMoV	243	160	104	67	44	29	18.5
T8	228	144	93	61	38	24	15.9
T10	235	150	93	58	37	21.5	13
T12	240	149	92	58	38	23	14
Cr	232	147	92	57	36	22.5	14
CrMn	222	140	91	58	37.6	25	16
5CrMnMo	231	145	90	59	36	24	15.4
3Cr2W8V	370	248	163	105	69	45.5	30
CrWMn	246	154	99	65	41	26	17
8CrV	230	145	94	60	37	24	16
W	248	156	100	65	40.5	25.5	17
W2	255	167	108	71	46	30.6	2.0
V	229	144	88	58	35	22	14.5
9Cr	234	148	93	59	37	23	15
W9Cr4V2	500	325	206	132	85	55	35
1Cr13	200	127	84	55	35	23	15.4
3Cr13	235	150	92	61	39	25	16
4Cr13	315	190	116	71	43	26.2	16
Cr14	202	128	84	55	35	23	15
Cr17	220	138	91	59	38	24	16
1Cr18Ni9Ti	410	262	166	108	70	45	29
1Cr25Al5	290	177	109	62	40	21.2	13
4Cr14Ni14W2Mo	430	270	173	110	68	43.5	28
70	240	150	92	59	37	24	15.6
60Mn	225	140	87	58	36	23	15
GCr15	260	162	100	63	37	23	14.2

表 23.2-13 各种锻压设备的工作速度和应变速率

设备类型	工作速度/(cm/s)	应变速率/s ⁻¹	设备类型	工作速度/(cm/s)	应变速率/s ⁻¹
水压机	1~30	0.03~0.5	锻锤	300~900	10~250
机械压力机	6~150	1~5	高速锤	600~2 400	—
螺旋压力机	6~120	2~10			

表 23.2-14 几种常用的变形铝合金高温抗拉强度 σ_b (MPa)

合金牌号	300°C	350°C	370°C	400°C	450°C	500°C
5A02	120	120	105	90	60	20
3A21	86	78	55	50	43	35
2A02	230	130	100	75	50	20
2A12	150	135	110	85	50	40
2A50	160	90	75	60	45	20
2A70	135	75	65	45	28	20
2A80	90	60	50	37	28	16
7A04	100	75	65	55	35	—

表 23.2-15 各种牌号镁合金在不同温度下的抗拉强度 σ_b (MPa)

牌 号	200°C	250°C	300°C	350°C	400°C	450°C	500°C
MB2	125	94	65	53	35	17	—
MB5	220	160	120	65	50	20	—
MB8	127	116	86	53	30	20	15
MB14	—	147	105	63	25	20	13
MB15	125	80	43	28	23	16	12
MB16	—	80	—	43	26	17	—

表 23.2-16 铜合金在高温下的抗拉强度 σ_b (MPa)

合 金 代 号	温 度 /°C						
	600	650	700	750	800	850	900
H80	35		20		15		10
H68	50		25		10		
H62	30		20		10		5
H59	100	75	60	45	30	25	
HAl77-2	100		65	30			
HFe59-1-1	20	15	10				
HNi65-5	90		50		20		
HSn	15		10		5		
HPb59-1	20		10		5	5	
QSn7-0.2	130		60	53	41	32	
QA15	100		60		50	35	
QA19-4	110		57		38	23	10
QA110-3-1.5	120		50		20		10

续表 23.2-16

合金代号	温度/°C						
	600	650	700	750	800	850	900
QA110-4-4	170		80		40		
QBe2	160		100	63	46	38	
QSi1-3	210		130		60	20	
QSi3-1	120		75		30		
QCt0.5	160		120		60	30	

表 23.2 17 钢在模锻结束温度下的抗拉强度 (MPa)

钢的特性	锤上模锻	曲柄压力机模锻	平锻机上模锻	热切边
碳的质量分数小于 0.25% 的碳素结构钢 (例如: 10 [#] 、20 [#] 钢)	55	60	70	100
碳的质量分数高于 0.25% 的碳素结构钢或碳的质量分数低于 0.25% 的低合金结构钢 (例如: 45 [#] 、20Cr 等)	60	65	80	120
碳的质量分数高于 0.25% 的低合金结构钢 (例如: 40Cr、45CrNi)	65	70	90	150
高合金结构钢 (例如: GCr15、45CrNiMoA、硅铬合金钢等)	75	80	100	200
合金工具钢 (例如: 3Cr2W8、7Cr3 等)	90~100	100~120	120~140	250

注: 含有冷却快的部位 (如薄壁、薄辐等) 的锻件选用表中垂直方向高一级的抗拉强度极限。例如, 锻造 45[#] 钢的该类锻件时应取 65 代换 60。

表 23.2-18 某些合金在模锻结束温度下的抗拉强度 (MPa)

牌号	σ_b	牌号	σ_b	牌号	σ_b
3A21	40	2A50	80~90	MB5	120
1035	40	2A14	120~140	MB15	50
5A02	70~80	2A02	120~140	MB16	50
5A03	70~80	7A04	75~85	QA19-4	40
5A05	100~110	2A11	100~120	QBe2	50
5A06	130~150	2A16	90~100	TA1	75
2A90	75~90	2A17	160~180	TC5	75
2A80	75~90	2A12	140	TC2	100
2A70	75~90	MB2	50	TA6	100

4 常用模锻设备类型和规格

常用模锻设备有模锻锤、螺旋压力机、液压机、机械压力机和辊锻机等。表 23.2-19 为我国锻压机械的分类和代号。表 23.2-20 为常用模锻设备的行程速度范围。

(1) 模锻锤 (蒸汽—空气模锻锤)

用于成批和大量条件下各种模锻件的生产, 其技术规格列于表 23.2-21。

(2) 螺旋压力机

用于模锻、冲压、精压、切边、弯曲和校正等操作。有摩擦螺旋压力机、液压螺旋压力机、

高能螺旋压力机和电动螺旋压力机等。表 23.2-22 列出双盘式摩擦螺旋压力机的技术规格。

表 23.2-19 我国锻压机械的分类和代号

类别	代号	类别	代号
机械压力机	J	锻机	D
液压压力机	Y	剪切机	Q
自动锻压机	Z	弯曲校正机	W
锤	C		

表 23.2-20 锻造设备的速度范围 (m/s)

锻造设备	速度范围	锻造设备	速度范围
液压机	0.06~0.30 ^①	自重落下锻锤	3.6~4.8
机械压力机	0.06~1.5	驱动锻锤	3.0~9.0
螺旋压力机	0.6~1.2	高速锤	12.0~20.0

① 较低的速度适用于大型液压机。

表 23.2-21 蒸汽-空气模锻锤技术规格

落下部分重量 m/t	1	2	3	5	10	16	
最大打击能量 E_1/kJ	25 000	50 000	75 000	125 000	250 000	400 000	
锤头最大行程 H/mm	1 200	1 200	1 250	1 300	1 400	1 500	
锻模最小闭合高度 (不算燕尾) H_1/mm	220	260	350	400	450	500	
导轨间距离 A_1/mm	500	600	700	750	1 000	1 200	
锤头前后方向长度 B_1/mm	450	700	800	1 000	1 200	2 000	
模座前后方向长度 B_2/mm	700	900	1 000	1 200	1 400	2 110	
打击次数 $n/(r/min)$	80	70	—	60	50	40	
蒸汽	绝对压力 p/MPa	0.6~0.8	0.6~0.8	0.7~0.9	0.7~0.9	0.7~0.9	0.7~0.9
	允许温度 $t/^\circ C$	—	200	200	200	200	200
砧座重量 m_1/t	20.25	40	51.4	112.547	235.533	325.852	
总重量 (不带砧座) m_2/t	11.6	17.9	26.34	43.793	75.737	96.235	
外形尺寸 (前后×左右×地面上高) $B_0/mm \times A_0/mm \times H_0/mm$	2 380×1 330×5 051	2 960×1 670×5 418	3 260×1 800×6 035	2 090×3 700×6 560	4 400×2 700×7 460	4 500×2 500×7 894	

(3) 锻造水压机

用于大锻件和钢锭的自由锻造。表 23.2-23 列出铸造水压机的技术规格。

(4) 机械压力机

1) 热模锻压力机 用于进行热模锻操作, 适合于锻件尺寸要求精确, 成批或大量生产的条件。现将几种型号的技术规格列于表 23.2-24。

表 23.2.22 摩擦压力机技术规范 (J53 型)

公称压力 F/kN	630	1 000	1 600	3 000	4 000	5 000	6 300	8 000	10 000	12 500
最大动能 E_k/J	2 500	5 000	10 000	20 000	40 000	—	80 000	—	160 000	—
行程 H/mm	270	310	360	400	500	900	600	650	700	650
行程次数 $n/(r/\text{min})$	22	19	17	15	14	6	11	11	7	6
尺寸 (前后 \times 左右) $B_0/\text{mm} \times A_0/\text{mm}$	315 \times 348	380 \times 355	400 \times 458	520 \times 400	635 \times 635	—	—	—	—	—
装模孔尺寸 (孔径 \times 深) $d_1/\text{mm} \times h_1/\text{mm}$	$\phi 60 \times 80$	$\phi 70 \times 90$	$\phi 70 \times 90$	$\phi 70 \times 100$	—	—	—	—	—	—
工作台尺寸 (前后 \times 左右) $B_1/\text{mm} \times A_1/\text{mm}$	450 \times 400	500 \times 450	560 \times 510	650 \times 570	820 \times 730	850 \times 850	920 \times 820	1 000 \times 800	800 \times 1 200	880 \times 1 200
工作台孔尺寸 d_2/mm	80	100	100	130	—	—	—	—	—	—
最小封闭高度 H_1/mm	190	220	260	300	400	—	470	—	470	470
导轨间距离 A_2/mm	350	400	460	560	650	850	750	800	850	850
空气工作压力 p/MPa	—	—	—	—	—	—	—	—	0.4 ~ 0.6	0.4 ~ 0.6
活塞直径 d_3/mm	—	—	—	—	—	—	—	—	500	500
活塞行程 H_2/mm	—	—	—	—	—	—	—	—	120	120
重量 m_1/t	2.75	5.3	7.0	14.0	16.5	57.4	50.0	62.257	≈ 71	≈ 75
外形尺寸 (前后 \times 左右 \times 高) $B/\text{mm} \times A/\text{mm} \times H_0/\text{mm}$	1 105 \times 1 538 \times 2 843	1 393 \times 1 884 \times 3 375	1 425 \times 2 043 \times 3 695	1 550 \times 2 548 \times 4 345	1 880 \times 2 812 \times 5 115	5 035 \times 3 800 \times 8 875	4 320 \times 5 000 \times 6 060	5 286 \times 3 500 \times —	5 734 \times 3 700 \times 6 750	5 925 \times 3 700 \times 6 680
电动机	J02-42-6	J02-52-6	J02-61-6	J02-72-6	J0-82-6	J02-92-8	J0-93-6	J0-94-8	JR117-8	JR7-10
功率 P_E/kW	4	7.5	10	22	28	55	55	55	80	115

表 23.2-23 锻造水压机技术规格

公称压力 F/kN	5 000	6 300	8 000	10 000	12 500	16 000	25 000	60 000	120 000	
工作液体压力 p/MPa	20	20	32	20	32	32	32	32	35	
各级压力	第一级 F_1/kN	5 000	6 300	4 000	10 000	6 000	8 000	8 000	20 000	30 000
	第二级 F_2/kN	—	—	8 000	—	12 500	16 000	16 000	40 000	60 000
	第三级 F_3/kN	—	—	—	—	—	—	25 000	60 000	120 000
行程次数 $n/(r/\text{min})$ 工作/快锻	—	—	—	—	16/60	16/60	8~10/ 35~45	5~12/ —	—	
活动横梁移动速度 $v/(\text{mm}/\text{s})$ 空程/工作	—	—	—	—	—/100	300/150	300/150	~300/ ~100	—	
活动横梁最大行程 H/mm	1 600	800	1 000	2 200	1 250	1 400	1 800	2 500	3 000	
行程长度 H_1/mm 锻压/快锻	—	100/25	50/18	—	—	—	200/50	—	—	
立柱中心距 $A/\text{mm} \times B/\text{mm}$	—	1 600× 1 100	1 760× 900	—	2 400× 1 200	2 400× 1 200	3 400× 1 600	5 200× 3 200	—	
工作台面尺寸 $A_1/\text{mm} \times B_1/\text{mm}$	900× 1 800	—	1 200× 2 400	1 250× 2 500	1 500× 3 000	1 500× 4 000	5 000× 2 100	9 000× 3 400	—	
工作台最大行程 A_2/mm	—	900	1 600	—	2 000	1 500	4 000	6 000	—	
上砧板与台面净空高 H_2/mm	650	—	2 000	1 100	1 250	2 800	3 500	6 000	6 500	
顶出器 有效顶出力 F_4/kN 伸出台面高度 h/mm	—	—	$\frac{460}{300}$	—	$\frac{600}{300}$	$\frac{650}{300}$	$\frac{1\ 600}{—}$	$\frac{2\ 000}{800}$	—	
提升缸数量及提升力 (个 $\times F_5)/\text{kN}$	—	—	2×700	—	2×1 250	2×1 300	2×1 200	2×2 900	—	
锻造时允许最大偏心距 Δ/mm	—	—	—	—	—	120	200	200	—	
可锻最大中碳钢锭重量 m/t 拔长/锻粗	—	5/1.5	6/2	—	9~12/ 4~5	8/3	45/3~20	150/80	—	

表 23.2-24 热模锻压力机技术规格

型 号	Y423.SM	Y251.JSM	Y252.JSM	Y253.JSM		S5214	KSPz1200
结构型式	双 连 杆					楔 式	
公称压力 F/kN	16 000	20 000	25 000	40 000	63 000	80 000	120 000
滑块行程 H/mm	280	300	320	400	450	460	450
滑块行程次数 $n/$ (r/min)	85	82	70	50	50	39	32
最大封闭高度 $H_1/$ mm	725	765	1 000	1 025	1 328	1 200	1 600
工作台调整量 h/mm	10	21.8	22.5	25	28	25	25
使用封闭高度 $H_2/$ mm	725	760	995	1 010	1 320	1 185	—

续表 23.2-24

型 号		Y423.SM	Y251.JSM	Y252.JSM	Y253.JSM		S5214	KSP ₂ 1200
模具高度 H_3/mm		260	280	轻 445 重 320	400	510	440	—
立柱间距 H_4/mm		1 250	1 080	1 200	1 450	1 900	1 840	2 300
上 顶 料 杆	个数	3	1	横梁式	横梁式	3	横梁式	双横梁
	直径 d_1/mm	60	60	—	—	80	—	80
	行程 h_1/mm	50	45	40	65	40	30	25
	顶出力 F_1/kN	80	100	—	200	—	400	600
下 顶 料 杆	个数	3	3	3	3	3	5	10
	直径 d_2/mm	60	70	75	85	140	100	89
	行程 h_2/mm	65	80 62 71	60	90	50-250	100	75 (40~115)
	顶出力 F_2/kN	160	200	—	400	1 120	800	600
滑块尺寸 (前后×左 右) $A_1/\text{mm} \times B_1/\text{mm}$		900× 900	1 000× 980	1 100× 1 040	1 300× 1 250	1 700× 1 800	1 700× 1 640	2 300× 2 190
工作台尺寸 (前后× 左右) $A_2/\text{mm} \times B_2/\text{mm}$		1 120× 1 240	1 720× 1 035	1 820× 1 140	2 300× 1 400	1 900× 1 850	2 750× 1 700	2 900× 2 240
侧窗尺寸 (宽× 高) $a/\text{mm} \times h_3/\text{mm}$		320× 430	700× 680	750× 900	890× 950	1 210× 1 350	1 200× 1 000	1 300× 1 550
主 电 动 机	型号	JR91-4	JR144-4	—	JR137-8	—	JR138-8	—
	功率 P_E/kW	75	115	155	210	315	2×245	530
	转速 $n/(\text{r}/\text{min})$	1 460	1 460	1 470	750	1 500	735	750
管路中压缩空气最小 压力 p/MPa		—	—	—	—	0.5	0.55	—
机器总重量 m/t		74.4	117.1	163	238	442	858	1 250
外形尺寸 (长×宽× 地面上高) $A_0/\text{mm} \times$ $B_0/\text{mm} \times H_0/\text{mm}$		3 190× 2 686× 5 610	3 793× 4 010× 5 521	3 890× 4 198× 5 960	4 790×— ×6 630	5 200× 6 880× 7 950	6 700× 7 265× 7 900	4 500× 6 525× 10 000

2) 平锻机 用于成批或大量生产中,可采用长棒料进行模锻,如顶锻、成形、挤压、冲孔、弯曲和切断等。按夹紧凹模的分开方向不同可分为垂直分模和水平分模两种平锻机。其技术规格列于表 23.2-25 和表 23.2-26。

3) 边切压力机 切边压力机用于热态或冷态下切除模锻件的飞边,以及模锻件的冲孔和热校正等。切边压力机与模锻锤配合使用时,大概的配合关系可参考表 23.2-27。表 23.2-28 列出一些切边压力机的技术规格。

4) 精压机 精压机用于工作行程小,变形

力较大的一些操作,如冷、热精压,模锻后的校正,波形冲压等。可得到较高精度的锻件。滑块下行进行工作的精压机称为下压式精压机,滑块上移进行工作的称为上移式精压机。其技术规格列于表 23.2-29 和表 23.2-30。

(5) 辊锻机

辊锻机可作为模锻前的制坯设备,亦可直接辊制锻件,适用于成批或大量生产。当用于制坯辊锻时,与模锻设备的大概配合关系可参考表 23.2-31。各类辊锻机的技术规格分别列于表 23.2-32~表 23.2-34。

表 23.2-25 垂直分模平锻机的技术规格

公称压力 F/kN	5 000	8 000	12 500	20 000	
夹紧滑块行程 B/mm	125	160	220	312	
主滑块行程 A/mm	280	380	460	610	
夹紧模闭合后主滑块的有效行程 A_1/mm	190	250	310	340	
夹紧模闭合时主滑块的返回行程 A_2/mm	30	130	170	140	
主滑块行程次数 $n/(r/min)$	45	33	27	25	
主滑块在最前极限位置时其边缘与 夹紧模间的距离 A_3/mm	110	175	180	230	
模具尺寸 (长 \times 宽 \times 高) $A_4/mm \times B_1/mm \times H_1/mm$	450 \times 180 \times 435	550 \times 210 \times 660	700 \times 260 \times 820	850 \times 320 \times 1 030	
进料窗口尺寸 (宽 $/mm \times$ 高 $/mm$)	410 \times 150	190 \times 610	265 \times 780	330 \times 980	
微锻滑块中心线至窗口右壁距离 B_2/mm	—	—	85	—	
电动机	型号	JH82-8	JR-92-8	JR-127-10	JR-128-8
	功率 P_E/kW	28	55	115	155
机器总重量 m/t	40.2	85	129.3	256.4	
外形尺寸 (长 \times 宽 \times 地面上高/总 高) $A_0/mm \times B_0/mm \times H_0/mm$ H_2/mm	4 600 \times 3 055 \times 1 945/2 310	5 215 \times 2 931 \times 2 296/3 041	6 345 \times 3 930 \times 3 000/3 680	8 620 \times 5 185 \times 3 140/4 140	

表 23.2-26 水平分模平锻机的技术规格

公称压力 F/kN	3 150	4 500	6 300	9 000	12 500	
夹模开口度 H/mm	120	135	155	180	205	
主滑块行程 A/mm	290	330	360	420	460	
夹紧模闭合后主滑块的有效 行程 A_1/mm	150	170	190	215	245	
夹紧模闭合时主滑块返回行 程 A_2/mm	80	95	100	108	130	
模具尺寸 (长 \times 宽 \times 高) $A_3/mm \times B_1/mm \times H_1/mm$	330 \times 380 \times 145	400 \times 450 \times 170	450 \times 530 \times 190	530 \times 600 \times 220	705 \times 720 \times 250	
主滑块在最前位置时其前边 缘与夹紧模间距离 A_4/mm	110	—	120	180	380	
主滑块行程次数 $n/(r/min)$	55	45	35	32	28	
电动机	型号	JHKJ2-62-4	JR-81-4	JR-92-8	JR-116-8	JR-126-10
	功率 P_E/kW	17	40	55	70	95
机器总重量 m/t	21.38	34.55	48.47	87.2	131.81	
地面上高度 H_2/mm	2 070	2 120	2 364.3	2 680	2 599	
外形尺寸 (长 \times 宽 \times 高) $A_0/mm \times B_0/mm \times H_0/mm$	3 442 \times 2 160 \times 2 415	3 905 \times 1 450 \times 2 440	4 320 \times 2 700 \times 3 098.3	6 535 \times 3 370 \times 3 626	7 645 \times 3 825 \times 4 149	

表 23.2-27 切边压力机与模锻锤吨位的配合关系

锻锤落下部分重量 m/t	1	2	3	5	10	16
切边压力机公称压力 F/kN	1 000~1 600	2 000	3 150	4 000~5 000	8 000~12 500	12 500~16 000

表 23.2-28 切边压力机的技术规格

公称压力	压力 F/kN	1 250	3 150	5 000	8 000	12 500
	公称压力点位置 (下死点前) h_0/mm	10	21	27	13	25
滑块行程次数 $n/(r/min)$		50	18	12	12	8
滑块行程 H/mm		160	315	400	400	500
最大闭合高度 H_1/mm		550	685	850	850	800
闭合高度调节量 Δ/mm		100	140	160	185	200
立柱间距离 (左右) A/mm		1 050	820	1 030	—	2 350
工作台垫板尺寸 (前后×左右×厚度) $B_1/mm \times A_1/mm \times h_1/mm$		800×1 000	800×1 250 ×140	1 000×1 400 ×150	1 780×1 250 ×220	1 600×1 820 ×200
工作台落料孔尺寸 (前后×左右) $B_2/mm \times A_2/mm$		400×250	—	—	500×400	—
滑块下平面尺寸 (前后×左右) $B_3/mm \times A_3/mm$		700×860	620×1 000	800×1 100	1 250×1 000	1 560×1 540
侧滑块	公称压力 F_1/kN	无侧滑块	1 000	1 600	无侧滑块	4 000
	行程 H_2/mm	—	80	100	—	200
	最大闭合高度 H_3/mm	—	320	350	—	630
	闭合高度调节量 Δ_1/mm	—	90	110	—	150
	滑块中心至立柱距离 A_4/mm	—	320	393	—	—
	台面尺寸 (前后×左右) $B_4/mm \times A_5/mm$	—	575×750	715×850	—	1 000×1 250
	工作台孔尺寸 (前后×左右) $B_5/mm \times A_6/mm$	—	200×315	250×400	—	—
	下平面尺寸 (前后×左右) $B_6/mm \times A_7/mm$	—	380×540	430×610	—	800×600
外形尺寸 (前后×左右×地面以上高) $B_0/mm \times A_0/mm \times H_0/mm$		1 646.5×2 091 ×3 313	2 005×2 872 ×5 650	2 780×2 815 ×6 410	2 900×3 076 ×6 825	3 470×4 361 ×8 370
机器总重量 m/t		12.5	28.5	47.0	79.35	—

表 23.2-29 下压式精压机的技术规格

公称压力	压力 F/kN	4 000	8 000	12 500	20 000	40 000
	公称压力点位置 (下死点前) h_0/mm	—	1.5	2	3	—
滑块行程 H/mm		130	125	120	200	230
滑块行程次数 $n/(r/min)$		50	26	25	18	—
最大闭合高度 H_1/mm		520	460	580	830	900
闭合高度调节量 Δ/mm		15	15	15	15	20

续表 23.2-29

公称压力	压力 F/kN	4 000	8 000	12 500	20 000	40 000
	公称压力点位置 (下死点前) h_0/mm	—	1.5	2	3	—
立柱间距离 A/mm		660	750	1 010	1 300	—
垫板厚度 H_2/mm		120	120	180	210	—
工作台尺寸 (前后 \times 左右) $B_1/\text{mm} \times A_1/\text{mm}$		660 \times 660	800 \times 720	980 \times 1 010	1 300 \times 1 280	1 500 \times 1 500
滑块下平面尺寸 (前后 \times 左右) $B_2/\text{mm} \times A_2/\text{mm}$		440 \times 620	410 \times 715	760 \times 640	850 \times 980	—
电动机	型 号	JH2-62-4	JC2-72-6	JC2-81-6	JR-91-6	—
	功率 P_E/kW	17	22	30	55	—
外形尺寸 (前后 \times 左右 \times 地面上高) $B_0/\text{mm} \times A_0/\text{mm} \times H_0/\text{mm}$		2 145 \times 1 677 \times 3 730	2 150 \times 2 165 \times 4 397	2 930 \times 3 200 \times 5 185	3 600 \times 3 700 \times 6 639	6 060 \times 4 500 \times 8 789
机器总重量 m/t		14	33.3	60.8	128.2	337.5

表 23.2-30 上移式精压机的技术规格

公称压力 F/kN		400	630	1 250	2 500
滑块最大行程 H/mm		65	25	25	65
滑块行程次数 $n/(r/\text{min})$		24	24	24	8
最大封闭高度 H_1/mm		260	260	340	400
封闭高度调节量 Δ/mm		5	5	5	5
立柱间距离 A/mm		410	410	410	440
滑块下平面工作面积 (前后 \times 左右) $B_1/\text{mm} \times A_1/\text{mm}$		230 \times 310	230 \times 310	255 \times 350	290 \times 310
电动机	型 号	IJB22-4	IJB22-4	IJB-31-4	IJB-12-8
	功率 P_E/kW	2.7	2.7	4.2	6
外形尺寸 (前后 \times 左右 \times 高) $B_0/\text{mm} \times A_0/\text{mm} \times H_0/\text{mm}$		1 890 \times 1 580 \times 1 970	1 890 \times 1 580 \times 1 970	1 950 \times 1 650 \times 2 240	2 200 \times 1 550 \times 2 210
机器重量 m/t		5.15	5.15	6.5	9

表 23.2-31 与辊锻机配用的模锻设备规格

辊锻机公称直径 D/mm	240	300	370	460	560	680
配用锻锤打击能量 E_k/J	10 000	12 500	25 000	40 000	50 000	80 000
配用模锻压力机公称 压力 F/kN	6 300	10 000	20 000	30 000	30 000~40 000	50 000~60 000

表 23.2-32 悬臂式辊锻机主要技术规格

技术规格名称		D41-250	D41-315	D41-400	D41-500	D41-800
锻模公称直径 D/mm		250	315	400	500	800
公称压力 F/kN		250	400	630	1 000	1 200
锻辊直径或模具孔径 D_1/mm		140	180	220	280	—
锻辊可用长度 A/mm		250	315	400	500	400
锻辊转速 $n/(\text{r}/\text{min})$		100	80	63	50	40
锻辊中心距调整量 Δ/mm		-12	-14	-16	-16	+5 -20
锻辊轴向调整量 δ/mm		± 3	± 3	± 3	± 3	± 2
锻模角度调整量 $\alpha/(\text{°})$		± 3	± 6	± 5	± 5	± 5
可锻毛坯最大断面尺寸 $A_1/\text{mm} \times B_1/\text{mm}$		45×45	75×75	90×90	110×110	125×125
主电动机	型 号	JHC2-62.4	JRC2-71.4	JR 81-6	JR 82-4	JR 92-6
	功率 P_E/kW	17	22	28	55	75
	转速 $n/(\text{r}/\text{min})$	1 330	1 460	965	1 440	970
	电源电压/V	380	380	380	380	380
机器外形尺寸(长×宽×高) $B_0/\text{mm} \times A_0/\text{mm} \times H_0/\text{mm}$		1 870×1 315×1 380	2 310×1 540×1 960	2 840×2 100×2 320	3 610×2 759×2 682	—
机器重量 m/t		3.5	6.5	12.8	21	—

表 23.2-33 双支承辊锻机主要技术规格

型 号	D42-250	D42-315	D42-400	D42-500	D42-630	D42-800	D42-1000	D42-1250
参数名称								
锻模公称直径 D/mm	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250
锻辊直径 D_1/mm	180	220	260	300	400	520	660	860
公称压力 F/kN	400	630	800	1 250	2 000	2 500	3 200	4 000
锻辊可用长度 A/mm	320	400	500	630	800	1 000	1 300	1 600
锻辊中心距调整量 Δ/mm	-10	-10	-14	-14	-18	-18	-20	-20
锻辊转速 $n/(\text{r}/\text{min})$	100	80	63	50	40	32	25	20
可锻毛坯最大断面尺寸($A_1/\text{mm} \times B_1/\text{mm}$)	40×40	50×50	63×63	80×80	100×100	125×125	140×140	160×160

表 23.2-34 D43-630 型复合式辊锻机主要技术规格

参数名称		内辊或外辊	数值
锻模公称直径 D/mm		内、外辊	630
公称压力 F/kN		内辊	1 600
		外辊	1 000
锻辊转数 $n/(\text{r}/\text{min})$		内、外辊	40/30
锻辊直径 D_1/mm		内辊	400
		外辊	320
锻辊可用长度 A/mm		内辊	800
		外辊	320
锻辊中心距调整量 Δ/mm		内、外辊	-30
		外辊补偿量	± 2
锻辊角度调整量 $\alpha/(\circ)$		内、外辊	15
		外辊补偿量	3
毛坯最大断面尺寸 $A_1/\text{mm} \times B_1/\text{mm}$		内、外辊	80 × 80
电动机	型号		JR82-4
	功率 P_E/kW		55
	转速 $n/(\text{r}/\text{min})$		1 440
外形尺寸(长×宽×高) $B_0/\text{mm} \times A_0/\text{mm} \times H_0/\text{mm}$			4 400 × 2 370 × 3 600
机器重量 m/t			≈45

5 锻模技术标准

5.1 锻模标准体系

锻模标准体系采取了以设备和工艺为中心的体系,包含了基础标准、零件标准、质量标准和相关包容标准。它概括了有关锻模的绝大部分内容。

(1) 通用锻制模块毛坯尺寸系列及计重方法 (JB/T 5900—1991)

该标准规定了通用锻制模块毛坯尺寸系列计重方法及重量公差。适用于锤锻、机锻、压铸、塑料成形等通用锻制模块毛坯,是供需双方交货时的计算依据。

该标准实质上是对 GB/T 11880—1989《模锻锤和大型压力机用模块技术条件》的发展与完善,在模块毛坯尺寸系列及计重方法上给以明确的规定,便于模块的专业化生产与计算机管理。

对常用模具钢,规定按钢材所含合金元素,

分 4 类按不同密度计算,使计算更加合理。

该标准以常用的密度为 $7.85 \text{ g}/\text{cm}^3$ 的钢种,按尺寸系列作出对应的计算重量。其他密度的钢种,其计算重量则取上述值再乘以换算系数来得到。

该标准还规定了通用锻制模块的重量公差。以限制锻件的肥头大耳。根据 GB/T 11880 规定的尺寸允差上限计,黑皮模块重量允差不得超过其计算重量的 13.6%,六面加工模块不得超过 5%。

该标准还规定,模块交货时重量是按模块基本尺寸的理论计算重量,对模块制造时必须保有的加工余量部分可在合同中注明。

(2) 锤及压力机锻模零件

1) 菱形固定楔 (JB/T 6060.1—1992) 该标准规定了菱形固定楔的结构、尺寸、材料、热处理及标记。该标准适用于锤锻模、螺旋压力机锻模及切边模。用来将工作零件紧固在砧座或模座上。

2) 键块 (JB/T 6060.2—1992) 该标准规定了锻模键块的结构、尺寸、材料、热处理及标记。该标准适用于锤锻模和螺旋压力机锻模。用以模块对砧座或模座的紧固定位。

3) 垫片 (JB/T 6060.3—1992) 该标准规定了锻模用固定楔和键块的垫片结构、尺寸、材料及标记。该标准适用于固定楔和键块的配用垫片。

4) 热模锻压力机锻模导柱 (JB/T 6059.1—1992) 该标准规定了热模锻压力机锻模导柱的结构、尺寸、材料、热处理及标记。该标准适用于热模锻压力机锻模导柱,也适用于其它锻模导柱。

5) 热模锻压力机锻模组合导套外壳 (JB/T 6059.2—1992) 该标准规定了热模锻压力机锻模组合导套外壳的结构、尺寸、材料、热处理和标记。该标准适用于热模锻压力机组合导套外壳,也适用于其他锻模组合导套外壳。

6) 热模锻压力机锻模组合导套衬套 (JB/T 6059.3—1992) 该标准规定了热模锻压力机锻模组合导套衬套的结构、尺寸、材料及标记。该标准适用于热模锻压力机锻模组合导套衬套,也适用于其它锻模组合导套衬套。

组合导套外壳和衬套在适当的位置应设置注油系统,其结构形式可参考整体导套。

7) 热模锻压力机锻模组合导套刮圈 (JB/T 6059.4—1992) 该标准规定了热模锻压力机锻模组合导套刮圈的结构、尺寸、材料及标记。该标准适用于热模锻压力机锻模组合导套刮圈。

8) 热模锻压力机锻模导套盖板 (JB/T 6059.5—1992) 该标准规定了热模锻压力机锻模导套盖板的结构、尺寸、材料及标记。该标准适用于热模锻压力机锻模导套盖板,也适用于其它锻模导套盖板。

导套盖板有两种类型, A型用于组合导套, B型用于整体导套。

组合导套的诸零件都是成组应用的。

9) 热模锻压力机锻模整体导套 (JB/T 6059.6—1992) 该标准规定了热模锻压力机整体导套的结构、尺寸、材料、热处理及标记。该标准适用于热模锻压力机锻模整体导套,也适用于其它锻模整体导套。

10) 热模锻压力机锻模导套油封圈 (JB/T 6059.7—1992) 该标准规定了机械压力机锻模整体导套油封圈的结构、尺寸、材料及标记。该标准适用于机械压力机锻模整体导套油封圈。

11) 切边模导柱 (JB/T 6499.1—1992) 该标准规定了切边模导柱的结构、尺寸、材料、热处理及标记。该标准适用于切边模导柱,也适用于其它锻模导柱。

12) 切边模导套 (JB/T 6499.2—1992) 该标准规定了切边模导套的结构、尺寸、材料、热处理及标记。该标准适用于切边模导套,也适用于其它锻模导套。

13) 热模锻压力机锻模定位销 (JB/T 6059.8—1992) 该标准规定了机械压力机锻模定位销的结构、尺寸、材料、热处理及标记。该标准适用于机械压力机锻模和螺旋压力机锻模模座在压力机滑块上定位的定位销。

结构型式有圆销和扁销两种。

14) 热模锻压力机锻模定位键 (JB/T 6059.9—1992) 该标准规定了热模锻压力机锻模定位键的结构、尺寸、材料、热处理及标记。该标准适用于热模锻压力机锻模模座、模块和垫板之间的定位键。

结构型式有定位平键和调整用偏头键两种。其中键宽 $B=25\text{ mm}$ 的定位平键用于模块定位; $B=30\text{ mm}$ 的定位平键用于压力机公称能力为 $F\leq 4\,000\text{ kN}$ 的模架中垫板在模座上的定位; $B=36\text{ mm}$ 的定位平键用于压力机公称压力为 $F\geq 6\,300\text{ kN}$ 的模架中垫板在模座上的定位。

15) 螺旋压力机锻模压圈 (JB/T 5110.7—1992) 该标准规定了螺旋压力机锻模圆形模块用压圈的结构、尺寸、材料、热处理及标记。该标准适用于螺旋压力机锻模 JB/T 5110.1—1992 中的 B型和 C型模块用压圈。

16) 锤及压力机锻模零件技术条件 (JB/T 6060.4—1992) 该标准规定了锤及压力机锻模零件的通用技术条件。该标准适用于锤及压力机锻模零件的制造与管理。

(3) 螺旋压力机锻模模座

1) 螺旋压力机锻模圆形模块用模座 (JB/T 5110.4—1992) 该标准规定了螺旋压力机锻模楔紧固和压圈紧固圆形模块用模座的结构、尺

寸、材料、热处理及标记。该标准适用于螺旋压力机锻模。

2) 螺旋压力机锻模矩形模块用模座 (JB/T 5110.5—1992) 该标准规定了螺旋压力机锻模矩形模块用模座的结构、尺寸、材料、热处理及标记。该标准适用于螺旋压力机锻模。

上述两项模座标准能够满足国产螺旋压力机机型,对引进设备应按具体条件来处理。

上述模座只给出了轮廓结构尺寸,若干细部结构尺寸都没详细规定,设计者可以根据具体情况,诸如产品对象,设备状况,加工能力,操作习惯等等,来合理地选择具体的方案,使得设计者在实施应用中有极大的灵活性。比如对圆形模块,设计者可以选择楔紧固,也可选择压圈紧固,压圈紧固中可以是圆锥面压紧,也可以是台阶压紧。楔如何摆放,螺钉如何分部,本标准都没作过细、过死的规定,而是由设计者根据选择的具体模块、模座、导向与紧固零件来自行确定。

对矩形模块用模座,该标准采用了以宽为主的原则,即一个模块宽,对应有若干个模块长。因为模块长度级差很小,作为模座就没有必要分得那么细,所以采用大级差分段。这样在一个模座上就可以变换安装几个不同长度的模块。生产厂家根据自己的产品需求,对同一模块宽度的锻模,可以选择某一长度的模座,在产品或工步变换中只更换模块即可。即减少了模座储备,也方便了生产。

该标准虽然在结构上未对键槽、燕尾槽等细部尺寸作出规定,但在下述技术条件中又对形状位置精度作了规定,这是为了方便设计者的选用,并提高模具的整体精度。

3) 螺旋压力机锻模模座技术条件 (JB/T 5110.6—1992) 该标准规定了螺旋压力机锻模模座通用技术条件。该标准适用于螺旋压力机锻模模座的制造与管理,也可供其他锻模模座选用。

(4) 螺旋压力机锻模模块结构尺寸及技术条件

1) 螺旋压力机锻模圆形模块结构与尺寸 (JB/T 5110.1—1991) 该标准规定了螺旋压力机锻模圆形模块的结构、尺寸、材料及标记。该标准适用于螺旋压力机锻模圆形模块,也可供其

他锻模选用。

2) 螺旋压力机锻模矩形模块结构与尺寸 (JB/T 5110.2—1991) 该标准规定了螺旋压力机锻模矩形模块的结构、尺寸、材料及标记。该标准适用于螺旋压力机锻模矩形模块,也可供其他锻模选用。

3) 螺旋压力机锻模模块技术条件 (JB/T 5110.3—1991) 该标准规定了螺旋压力机锻模模块的通用技术条件。该标准适用于螺旋压力机锻模圆形模块和矩形模块的制造和管理。

(5) 平锻机锻模模块结构尺寸及技术条件

1) 垂直分模平锻机凹模体结构与尺寸 (JB/T 5111.1—1991) 该标准规定了垂直分模平锻机凹模体的结构、尺寸、材料及标记。该标准适用于垂直分模平锻机凹模体。

2) 水平分模平锻机凹模体结构与尺寸 (JB/T 5111.2—1991) 该标准规定了水平分模平锻机凹模体的结构、尺寸、材料及标记。该标准适用于水平分模平锻机凹模体。

3) 平锻机凹模镶块毛坯结构与尺寸 (JB/T 5111.3—1991) 该标准规定了平锻机凹模镶块的结构、尺寸、材料及标记。该标准适用于平锻机凹模镶块。

4) 平锻机锻模模块技术条件 (JB/T 5111.4—1991) 该标准规定了平锻机模块通用技术条件。该标准适用于平锻机凹模体和凹模镶块的制造与管理。

(6) 辊锻模结构形式及尺寸 (JB/T 9194—1999)

该标准规定了辊锻模的外形结构、尺寸及槽型纵向尺寸的标注。该标准适用于辊锻模。

(7) 辊锻模通用技术条件 (JB/T 9195—1999)

该标准规定了辊锻模的技术要求,试验方法、检验规则及其标记、包装、运输。该标准适用于热态辊锻的制坯辊锻模和成形辊锻模。

上述两项是相互关联的标准,应同时应用,既选用了前一项的结构尺寸,就应选用后一项的技术条件要求。

5.2 锻模标准内容

(1) 锻模及其零件术语 (表 23.2-35)

表 23.2-35 锻模及其零件术语 (摘自 GB/T 9453—1988)

序号	术 语	定 义
1	锻模 forging die	模锻时使坯料成形而获得锻件的
2	开式锻模 open forging die	金属流动不完全受模膛限制的模具
3	闭式锻模 closed forging die	金属流动完全受模膛限制的模具
4	锤锻模 hammer forging die	在模锻锤上使坯料成形为模锻件或其半成品的模具
5	机械压力机锻模 (或简称机锻模) mechanical press forging die	在机械压力机上使坯料成形为模锻件或其半成品的锻模
6	平锻模 upset forging die	在水平锻造机上使坯料成形为模锻件或其半成品的模具
7	辊锻模 forge rolling die	在辊锻机上将毛坯纵轧成形的扇形模具
8	螺旋压力机锻模 screw press die	在螺旋压力机上使坯料成形为模锻件或其半成品的模具
9	冷锻模 cold heading die	在冷锻机上使坯料切断、预成形、成形为冷成形件的模具
10	高速锤锻模 high speed hammer forging die	在高速锤上使坯料成形为模锻件的模具
11	校正模 straightening die	用于校正已成形的锻件成为准确的形状和尺寸的模具
12	压印模 coining die	使锻件表层变形产生凹凸印纹的模具
13	切边模 trimming die	切除锻件飞边的模具
14	冲孔模 piercing die	切除孔内连皮等使锻件具有透孔的模具
15	挤压模 extrusion die	使金属挤压成形的模具
16	精锻模 precision forging die	锻制精密锻件的模具。精密模锻件是指在形状尺寸精度方面高于普通模锻件的锻件
17	精压模 sizing die	对锻件进行少量压缩, 以提高锻件局部或整体的尺寸精度的模具
18	多向锻模 multi-ram forging die	能从垂直和水平 (或倾斜) 方向分别或同时对金属毛坯施加压力, 使毛坯能多向成形的模具
19	闭塞锻模 core forging die	具有锻件外轮廓形状的模膛先闭合, 然后将冲头压进模膛内部, 使金属充满模膛同时冲出锻件孔部所用模具
20	胎膜 loose tooling	在自由锻设备上锻造模锻件时使用的模具
21	锻模模块 forging die block	模锻时承受某一变形工步全部锻击力并带有工作部分的模具主体
22	锻模镶块 forging die insert	对锻模的复杂或易损工作部分单独分开制造, 然后镶入模块的零件
23	飞边槽 flash cave	在分模面沿模膛周边设置的、用于保证模膛充满和容纳在成形过程中产生多余材料的凹槽, 它由飞边桥和飞边仓组成

续表 23.2-35

序号	术 语	定 义
24	飞边桥 flash land	飞边槽中和模膛紧相连接的间隙面, 多余金属越过该间隙面挤出而形成飞边, 它可产生阻力使金属充满模膛
25	飞边仓 cutter or flash gutter	围绕着飞边桥外周的凹槽, 用于容纳多余的金属材料
26	阻力沟 resistance slot	在飞边桥部或在模膛难充满处的外边沿垂直于金属流动方向局部设置的小沟槽。它可以增加水平方向的流动阻力, 以利于金属流向难充满的型腔部分
27	排气孔 vent hole	在锻模上为排除锻造时滞留于模膛内的空气而开设的小孔
28	导柱 guide pin or pillar	与导套(或孔)相配合, 用以确定模具运动部分的相对位置, 保证运动导向精度的圆柱形零件
29	导套 guide bushing	与导柱相配合, 用以确定模具运动部分的相对位置, 保证运动导向精度的圆筒状零件
30	衬套 bushing tube	为了提高导套等零件的寿命或改善摩擦条件而设置的起衬垫作用的圆筒形零件
31	垫板 bolster plate	加在凸、凹模支承面与模座间的平板, 承受和分散作用在凸模或凹模上的加工负荷
32	模座 die mounting base (plate)	将模具运动或静止部分的零件都安装在运动或静止的模具底座上, 该底座称为模座
33	模架 die sets	除直接起成形作用的零件外, 由导向装置与上下模座等构成的组合体
34	顶杆 ejector pin	将锻件由模具中顶出的杆形零件
35	模膛 impression	为了使被锻金属获得一定的形状和尺寸, 在模块上加工出的成形凹槽
36	分模面 die parting face	上下模或凸凹模的分界面。分模面可以是平面, 也可以是曲面
37	预锻模膛 blocking impression or rougher	为了改善终锻时金属的流动条件, 避免产生充填不满和折叠, 使锻坯最终成形前获得接近终锻形状的模膛, 它可提高终锻模膛的寿命
38	终锻模膛 finishing impression or finisher	模锻时最后成形用的模膛, 和热锻件上相应部分的形状、尺寸一致
39	定位键 locating key	定位键是用以确定模具模块等零件位置的一种定位零件
40	键槽 key seat	在模座或垫板上加工的用以安放定位键的凹槽称为键槽
41	制坯模膛 blanking impression	按锻件变形要求, 对坯料体积进行合理分配的模膛, 它可以分为滚压模膛、拔长模膛、卡压模膛、弯压模膛、压扁台、墩粗台
42	墩粗台 upset die	为墩粗坯料而在锻模分模面的局部设置的平台, 兼有去除坯料氧化皮的作用
43	压扁台 flattening die face	为压扁坯料而在锻模分模面的局部设置的长方形平台, 兼有去除坯料氧化皮的作用
44	拔长模膛 drawing impression	使坯料某部分长度增加横截面减小的模膛

续表 23.2-35

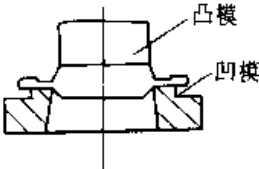
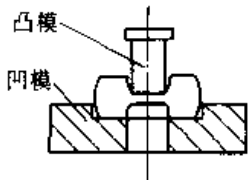
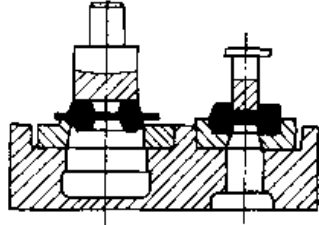
序号	术 语	定 义
45	滚压模膛 edge rolling impression, gathering impression	用来减小坯料某部分的横截面积, 以增大另一部分横截面积, 使坯料体积分配符合锻件轴向分布要求的模膛, 坯料在该模膛内成形时要反复翻转 90°
46	卡压模膛 (亦称压肩模膛) fullering impression	使坯料局部高度略为减小, 而宽度增加, 头部得到少量聚料的模膛, 坯料在该模膛内只锤击一次
47	弯曲模膛 bending impression	使坯料弯曲成与锻件水平投影形状相近似的模膛称为弯曲模膛。其坯料应翻转 90°放到下一模膛中去
48	成形模膛 forming impression	使坯料变形成为锻件水平投影形状相似并作不大的轴向流动的制坯模膛。在成形模膛锻出的坯料应翻转 90°放到下一模膛中去
49	模锻模膛 die forging impression	使坯料获得与锻件形状接近或完全一致的模膛, 它可分为预锻模膛和终锻模膛
50	切断模膛 cut-off die	一料多件锻造时, 用以从棒料上把已锻成的锻件分离的模膛
51	劈料台 cleaver divider	它是预锻模膛的一部分, 用以劈开叉部金属, 避免内角处充不满
52	钳口 gate	为了便于夹持锻坯, 取出锻件, 在模膛的出口处设置的凹腔
53	浇口 sprue	钳口与模膛间的沟槽称为浇口, 它不仅用作浇注铅样或金属盐样的注入口, 还增加了锻件与钳夹头连接的刚度有助于锻件出模
54	浇道 runner	多件同时模锻时, 为浇注铅或金属盐在两个终锻模膛间开设的浇料通道
55	燕尾 dovetail or shank	锻模上用楔铁与锤头或砧座相连接的部分
56	检验角 matched edge or match line	在锻模上加工出相互垂直的两个侧面, 它是模膛加工的划线基准也是上下模对模的基准
57	承击面 striking surface	上、下锻模接触的表面
58	锁扣 lock or kick crank	为防止锻锤打击时产生上下模错移, 而在上下模加工出凸凹相配的凸台和凹挡
59	平衡锁扣 counter lock	模锻在打击力方向具有弯曲轴线的锻件时, 为平衡水平分力所置的锁扣
60	侧锁扣 side lock	在模块两侧设置的锁扣
61	角锁扣 corner lock	在模块角部设置的锁扣
62	锻粗模 upsetting die	完成锻粗制坯工步的模块
63	卡压模 fullering die	具有卡压模膛用以完成卡压制坯工步的模块
64	成形模 forming die	完成成形制坯工步的模块
65	弯曲模 bending die	具有弯曲模膛用以完成弯曲制坯工步的模块

序号	术 语	定 义
66	预锻模 blocking die	具有预锻模膛用以完成预锻工步的模块
67	终锻模 finishing die	具有终锻模膛用以完成终锻工步的模块
68	导向装置 guiding device	用以保证上、下模工作时互相对正的装置。机锻模的导向装置一般由导柱、导套等零件组成
69	紧固装置 fixing device	用以将模块或其它零件固定于上、下模座的装置
70	压板 clamp plate	用于将模块等零件紧固于模座上的一种紧固零件。有斜面压板和直面压板等形式
71	后定位面 rear-locating face	模架后方的定位基准面称为后定位面
72	侧定位面 side-locating face	模架侧向的定位基准面称为侧定位面
73	顶出器 ejecter	把锻件从模膛中顶出的机构
74	顶出杠杆 ejection lever	把压力机顶杆的动作均匀传递到锻件的顶出器上的杠杆
75	多臂顶出杠杆 multi-arm ejection lever	是能同时推动多个锻件顶出器的顶出杠杆
76	顶出环 ejection ring	起顶出作用的环状零件, 用于回转体锻件的顶出
77	顶出板 ejection plate	将压力机顶杆的动作传递给各个顶出器的板状零件
78	凸模体 (凸模夹持器) body of punches (holder of punches)	将凸模夹紧固定成一整体, 使它和平锻机主滑块一起运动的模体, 有整体凸模体和组合式的凸模体
79	凸模柄 punch shank	将凸模接长和固定到凸模体上的连接柄称为凸模柄, 其作用可以简化凸模的制造及节约模具钢
80	凹模体 die body	将凹模镶块及所加工的各个模膛联结成可以开闭的组合模块称凹模体, 由静止凹模体和活动凹模体组成一副完整的凹模体, 前者装于机座专用槽内, 后者装于设备的活动部分上
81	凸模镶块 punch insert	组合凸模上局部可换的拼接镶件称凸模镶块, 它和凸模本体用不同材料制成, 以提高凸模使用寿命, 节约贵重材料
82	凹模镶块 die insert	凹模镶块多制成半圆柱体, 也有制成立方体的, 其上的模膛可全部或局部采用镶块, 镶块与凹模体的联接方式采用螺钉紧固
83	积聚模膛 (聚集模膛) gathering impression	使毛坯的局部横截面积增大, 以获得锻件粗大部分的模膛
84	穿孔模膛 piercing impression	将不透孔毛坯冲穿成透孔毛坯的模膛
85	切边模膛 trimming impression	切除锻件飞边的模膛
86	切断模膛 cutting impression	将锻件或工艺料头从棒料上剪断的模膛
87	夹紧模膛 gripping impression	将毛坯局部夹紧, 以免凸模加压时毛坯移动, 影响成形。夹紧模膛可以是光滑的或带凸纹的, 也可和卡细镶块结合在一起使用

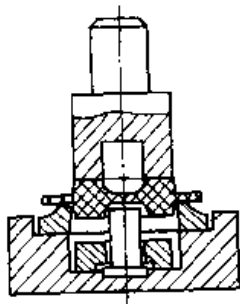
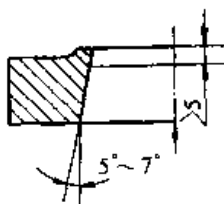
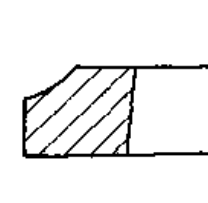
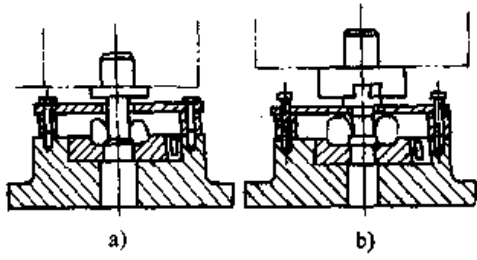
续表 23.2-35

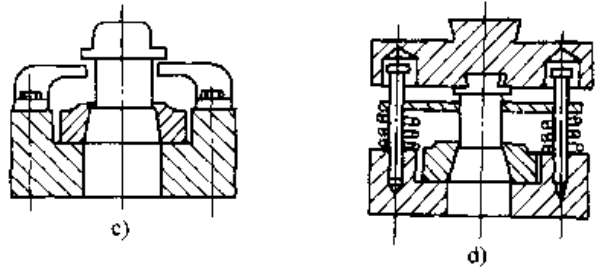
序号	术 语	定 义
88	卡细模膛 necking impression	利用活动凹模将棒料和已成形锻件的连接处夹细的模膛
89	扩径模膛 expanding impression	利用凸模将棒料或空心毛坯的内孔及外周直径扩大的模膛
90	管坯墩粗模膛 tube upsetting impression	对空心管坯进行墩粗使其横截面积增大、长度或高度减小的模膛
91	后挡板 rear stop	与棒料后端面接触, 以保证棒料送进定位正确的一种辅助装置称为后挡板
92	制坯型槽 blanking groove	使毛坯沿其长度方向进行金属体积分配的型槽称为制坯型槽, 它可以为模锻制坯
93	预成型型槽 preforming groove	使制件获得接近锻件形状的辊锻型槽称为预成型型槽, 其作用相当于锤锻模的预锻模膛
94	成型型槽 finishing groove	使制件获得热锻锻件最终形状的型槽称为成型型槽, 可分为开式型槽、闭式型槽、开式与闭式的组合型槽
95	扇形模块 fanlike die block	辊锻型槽加工在两个侧面呈扇形的模块上。其内径和轧辊直径相同, 外径即分型面, 扇形模块可用压铁和螺钉固定在轧辊上
96	型槽系 system of grooves	为获得一定形状的辊锻件所需要的形槽组合系列叫型槽系
97	凸模套 punch case	压装在凸模外部的圆筒状零件
98	凸模芯 punch insert	压装在凸模内部的嵌件, 是凸模的主要工作部分
99	凸模芯垫 punch insert supporter	压装在凸模套内, 位于凸模芯后边的圆筒形零件
100	凸模后垫 punch supporter	在机床的凸模夹持器内, 整个凸模后边的圆筒形零件
101	凸模推杆 punch knock-out pin	在凸模上装置用来推出坯料的销钉
102	凹模垫 die supporter	位于凹模底部起支承作用的零件
103	凹模套 die case	压装在凹模外部起增强作用的圆筒状零件
104	凹模芯 die insert	压装在凹模套内的带型腔的凹模嵌件称为凹模芯
105	凹模顶料杆 die knock-out	在凹模内设置的顶出坯料的零件
106	墩六角模 upsetting hexagon die	将坯料墩成六角形状的模具
107	缩径模 reducing die	使坯料直径变小, 用来得到尺寸准确的制件杆部的模具
108	整形模 sizing die	用于变形量小, 但能提高冷锻制件尺寸形状精度的整形模具
109	成形模 forming die	使坯料墩成所需形状的模具
110	墩球模 upsetting barril die	将坯料墩成桶形或球形的模具

续表 23.2-35

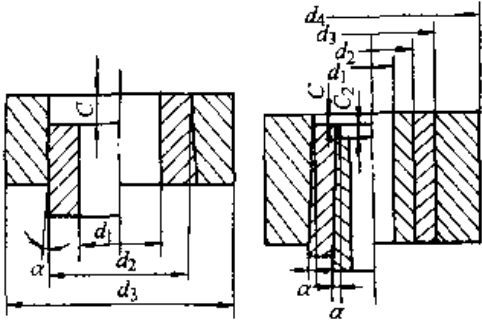
序号	术 语	定 义
111	初锻模 first upsetting die	对坯料进行初步锻锻加工的模具
112	终锻模 final upsetting die	对坯料进行最终锻锻加工的模具
113	切料刀 cutter	装在模具上用来剪断线材或棒材的刀具
114	切料凹模 quills	配合切料刀将线材或棒材切断的筒形零件
115	挡料器 stop pin	限定送料长度的装置
116	导料管 feeding pipe	送料时起导向作用的管子
117	送料轮 drawing-inroller	送料用的滚轮
118	传递夹钳 transfer finger	将坯料夹紧送至模具适当位置的夹钳
119	夹钳体 pincers body	夹钳的主体零件
120	夹钳片 pincers slice	安装在夹钳体上、夹持坯料的零件
121	简单切边模 simple trimming die	只用于完成切边工序的简单模具。该种模具结构简单，制造、调整方便，用于中、小批量生产 
122	简单冲孔模 simple piercing die	只用于完成冲孔工序的简单模具。该种模具结构简单，制造、调整方便，用于中、小批量生产 
123	切边-冲孔连续模 progressive die for trimming and piercing	在压力机一次行程内能在模具的一个工位完成锻件的切边和另一个工位完成冲孔的模具 

续表 23.2-35

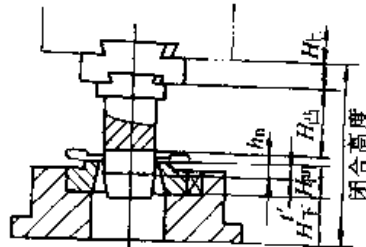
序号	术 语	定 义
124	切边-冲孔复合模 compound die for trimming and piercing	在压力机的一次行程中, 在一个工位完成切边和冲孔的模具 
125	凸模夹持器 punch holder	用于紧固凸模的零件称为凸模夹持器
126	凹模钳口 front gate of die	凹模上用以安放锻件夹料头的凹穴
127	凹模刃口 cutting edge of die	切边时, 凹模上直接起剪切作用的工作部分。凹模刃口的轮廓线按锻件图在分模面上的轮廓线制造
128	直刃口 straight cutting edge	凹模刃口的上部一段做成无斜度的刃口称为直刃口。这种刃口型式可增加刃口强度和便于修复 
129	斜刃口 declivous cutting edge	凹模刃口做成一定斜度的称为斜刃口 
130	波浪式刃口 wavelike cutting edge	将凹模刃口端面分段做成剪切斜面, 形成波浪状的刃口
131	卸料装置 stripper	用于卸掉箍在凸模上的锻件的装置。其可分为刚性卸料装置 (如图 a 所示) 和弹性卸料装置 (如图 b 所示) 

序号	术 语	定 义
132	卸飞边装置 stripper for flash	用于卸掉箍在凸模上的飞边的装置。它分为刚性卸飞边装置(图 c)和弹性卸飞边装置(图 d)
		 <p>The diagram consists of two cross-sectional views of flash strippers. Diagram (c) shows a rigid stripper with a central vertical rod and two side arms that clamp onto the flash of a die. Diagram (d) shows an elastic stripper with a similar central rod but with side arms that have a curved, spring-like shape to allow for flexibility.</p>
133	凹模座 die socket (die holder)	用来固定凹模的模座
134	热校正模 hot straightening die	在热态下校正锻件用的模具
135	冷校正模 cold straightening die	在室温下校正锻件用的模具
136	全校正模膛 fullstraightening impression	用于对锻件整体校正的模膛
137	局部校正模膛 locally straightening impression	用于对锻件局部校正的模膛称为局部校正模膛
138	热压印模 hot-coining die	在热态下进行压印用的模具
139	冷压印模 cold-coining die	在室温下进行压印用的模具
140	单面压印模 single-side coining die	对制件单面压印用的模具
141	双面压印模 double-side coining die	能同时对制件两面进行压印的模具
142	体积精压模 body-sizing die	对锻件整个体积都同时进行精压的模具
143	平面精压模 plano-sizing die	对锻件的一对或数对平行平面进行精压的模具
144	热挤压模 hot extrusion die	对加热到再结晶温度以上的金属进行挤压的模具
145	冷挤压模 cold-extrusion die	对再结晶温度以下,一般是室温的金属进行挤压的模具
146	温挤压模 warm-extrusion die	在高于室温而低于再结晶温度的某个温度范围内进行金属挤压成形的模具
147	反挤压模 backward extrusion die	挤压时,金属的流动方向与凸模的运动方向相反的模具
148	正挤压模 forward extrusion die	挤压时,金属流动的方向与凸模的运动方向相同的模具
149	复合挤压模 compound extrusion die	挤压时,一部分金属的流动方向与凸模的运动方向相同,而另一部分金属的流动方向则相反的模具
150	整体挤压凹模 solid extrusion die	由一个整体件构成的凹模。其特点是结构简单,制造方便

续表 23.2-35

序号	术 语	定 义
151	组合凹模 combined die or assembly	在凹模外压配有预应力圈的组合体称为组合凹模。一般可分为两层组合凹模和三层组合凹模 
152	预应力圈 shrink ring, container ring	为提高凹模强度, 防止凹模开裂, 加于凹模外部的过盈配合套圈, 因使凹模产生预置应力, 故称为预应力圈
153	凸(凹)模成形工作带 forming working straight of punch (die)	它是指在正挤时凹模或反挤时凸模上对工件起定径作用的部分
154	凸(凹)模矫正工作带 sizing straight of punch (die)	挤压用凸、凹模上在成形工作带后面为矫正成品尺寸及形状精度而设的刃带称为凸(凹)模矫正工作带
155	凹模锥角 extrusion angle of die	正挤压凹模的入口角
156	芯轴 mandril	正挤压空心件时与凹模一起组成环形挤压入模口的轴形零件称为芯轴
157	棒子(模) swaging die	用于锻造回转体或对称锻件的一种简单胎模, 有整形用和制坯用之分
158	扣模 buckling die	近似于锤锻模成形模膛用途的胎模, 多用于简单非回转体轴类锻件局部或整体的成形
159	垫模 cushion type die	只有下模, 上模即为平砧的胎模
160	套模 sleeve type die	闭式锻造用, 一般由套筒及上、下模垫组成
161	合模 closed die of loose tooling	是有飞边锻造用胎模, 其作用与终锻模膛相近, 有导向装置
162	漏模 through cutting die	是冲切用胎模, 用于切边、冲孔及冲切外形
163	下料模 cropping die for billet shearing	在自由锻锤上剪断坯料用模具
164	固定模 fixed die	在自由锻设备上锻造模锻件时使用的固定胎模的模具
165	型砧 mould block	固定模中仅用来制坯的模具
166	锻模中心 center of the forging die	锤锻模的燕尾中心线与键槽轴线的交点称为锻模中心, 它与锤杆中心线必须重合
167	锻模中心间距 center distance of forging die	多工位锻模各模块的中心间距离
168	模膛中心 center of die cavity	终锻或预锻时金属变形抗力的作用点称为模膛中心

续表 23.2-35

序号	术 语	定 义
169	模壁厚度 side thickness of die	模膛至模具侧面的壁厚及模膛之间的壁厚称为模壁厚度。模壁最小厚度一般是根据模膛深度、模壁斜度、模膛底部的圆角半径以及模膛在分模面上的形状来确定的
170	内圆角半径 fillet radius	模膛内凹处的圆角半径称为外圆角半径。它与模锻件上的外圆角半径相对应
171	外圆角半径 round radius	模膛内凸处的圆角半径称为内圆角半径。它与模锻件上的内圆角半径相对应
172	模锻斜度 draft angle	为了使锻件易于从模膛中取出, 锻件与模膛侧壁接触部分需带一定斜度, 这一斜度称为模锻斜度
173	分模线 parting line	分模轮廓线在视图平面上的投影称为分模线。分模轮廓线是指终锻模膛与分边交接处所构成的轮廓线
174	模膛排列 arrangement of die cavity	各模膛在锻模上的布置称为模膛排列
175	模膛深度 depth of die cavity	由分模面至模膛底部的距离
176	顶出行程 ejection stroke	顶出器在工作过程中可移动的距离称为顶出行程
177	模具闭合高度 die shut height	<p>模具工作刚结束时, 上模座的上表面与下模座的下表面间的距离称为模具的闭合高度</p> 
178	模具闭合高度允许调节量 adjustable range of die shut height	模具的闭合高度可以通过压力机上的连杆或其他调节机构进行调整, 其可调整的范围称为模具闭合高度的允许调节量
179	模具最大(最小)闭合高度 maximum (minimum) shut height of die	压力机滑块在下死点, 模具闭合高度调节向上(下)达到最大(最小)时的模具闭合高度
180	模具开启高度 operation space of die	滑块或锤头处于最上位置时, 上下模面间的距离
181	凸凹模间隙 clearance between punch and die	凹模与凸模工作部分垂直于运动方向的平面投影轮廓的单边距离
182	压力中心 center of load	锻压力合力的作用点
183	计算毛坯 preform configuration	它是指假想的具有圆形或方形横截面的坯料, 它的轴向各横截面积应等于锻件在相应长度上截面积与飞边面积之和。计算毛坯的形状说明了锻件沿长度上金属的分布情况
184	计算毛坯杆部 rod of preform configuration	计算毛坯中, 直径或边长小于其平均直径或边长的部分称为杆部
185	计算毛坯头部 head of preform configuration	计算毛坯中, 直径或边长大于其平均直径或边长的部分称为头部

注: 1. 锻模 理解为在锻压设备上完成模锻工艺的装备, 则含义更广泛些, 即将模锻后的后续工步模具也包括在其中了。

2. 热模锻压力机锻模 应指在热模锻压力机上使坯料成形为锻件或其半成品的模具。

3. 凹模锥角 指正挤压凹模的底部工作角。

(2) 通用锻制模块尺寸及计重方法 (表 23.2-36)

续表 23.2.36

h/mm													
80	90	100	110	120	140	160	180	200	220	250	280	300	320
62.8	70.7	78.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
75.4	84.8	94.2	103.6	113.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
87.9	98.9	109.9	120.9	131.9	153.9	—	—	—	—	—	—	—	—
94.2	106.0	117.8	129.5	141.3	164.9	—	—	—	—	—	—	—	—
100.5	113.0	125.6	138.2	150.7	175.8	201.0	—	—	—	—	—	—	—
113.0	127.2	141.3	155.4	169.6	197.8	226.1	254.3	—	—	—	—	—	—
125.6	141.3	157.0	172.7	188.4	219.8	251.2	282.6	314.0	—	—	—	—	—
138.2	155.4	172.7	190.0	207.2	241.8	276.3	310.9	345.4	379.9	—	—	—	—
157.0	176.6	196.3	215.9	235.5	274.8	314.0	353.3	392.5	431.8	490.6	—	—	—
175.8	197.8	219.8	241.8	263.8	307.7	351.7	395.6	439.6	483.6	549.5	615.4	—	—
188.4	212.0	235.5	259.1	282.6	329.7	376.8	423.9	471.0	518.1	588.8	659.4	706.5	—
201.0	226.1	251.2	276.3	301.4	351.7	401.9	452.2	502.4	552.6	628.0	703.4	753.6	803.8
226.1	254.3	282.6	310.9	339.1	395.6	452.2	508.7	565.2	621.7	706.5	791.3	847.8	904.3
251.2	282.6	314.0	345.4	376.8	439.6	502.4	565.2	628.0	690.8	785.0	879.2	942.0	1 004.8
282.6	317.9	353.3	388.6	423.9	494.6	565.2	635.9	706.5	777.2	883.1	989.1	1 059.8	1 130.4
—	—	392.5	431.8	471.0	549.5	628.0	706.5	785.0	863.5	981.3	1 099.0	1 177.5	1 256.0
—	—	471.0	518.1	565.2	659.4	753.6	847.8	942.0	1 036.2	1 177.5	1 318.8	1 413.0	1 507.2
—	—	557.4	613.1	668.8	780.3	891.8	1 003.2	1 114.7	1 226.2	1 393.4	1 560.6	1 672.1	1 783.5
—	—	628.0	690.8	753.6	879.2	1 004.8	1 130.4	1 256.0	1 381.6	1 570.0	1 758.4	1 884.0	2 009.6

续表 23.2-36

L/mm	(2) 矩形模块尺寸系列、理论计算重量 ^① /kg																			
	B/mm								H/mm											
	340				360				380				380							
200	200	220	250	280	300	320	340	180	200	220	250	280	300	320	360	180	200	220	250	280
107	117	133	147	164	176	188	200	102	117	124	141	158	170	181	203	107	119	131	149	167
220	129	147	164	176	188	200	227	112	124	137	155	174	187	199	224	118	131	144	164	184
250	147	167	187	200	224	239	254	127	141	155	177	198	212	226	254	134	149	164	186	209
280	164	187	209	224	240	256	272	142	158	174	198	222	237	253	285	150	167	184	209	234
300	176	200	224	240	256	272	290	153	170	187	212	237	254	271	305	161	179	197	224	251
320	188	214	239	254	272	290	309	163	181	199	226	253	271	289	326	172	191	210	239	267
340	200	227	254	269	284	304	327	173	192	211	240	269	288	307	346	183	203	223	254	284
360	211	240	269	284	304	327	345	183	203	224	254	285	305	326	366	193	215	236	268	301
380	223	254	284	304	327	342	363	193	215	236	268	301	322	344	387	204	227	249	283	317
400	235	267	299	314	336	359	381	203	236	249	283	317	339	362	407	215	239	263	298	334
420	247	280	314	336	360	384	408	214	237	261	297	332	356	380	427	226	251	276	313	351
450	264	300	336	359	384	410	436	229	254	280	318	356	382	407	458	242	268	295	336	376
480	282	320	359	374	400	427	454	244	271	298	339	380	407	434	488	258	286	315	358	401
500	294	334	374	396	424	453	481	254	283	311	353	396	424	452	509	268	298	328	373	418
530	311	354	396	418	448	478	508	270	300	330	374	419	449	479	539	285	316	348	395	443
560	329	374	418	448	480	512	544	285	317	348	396	443	475	506	570	301	334	368	418	468
600	352	400	448	480	512	538	572	305	339	373	424	475	509	543	610	322	358	394	447	501
630	370	420	471	504	536	572	608	320	356	392	445	499	534	570	641	338	376	413	470	526
670	393	447	501	536	572	606	644	341	379	417	473	530	568	606	682	360	400	440	500	560
710	417	474	531	568	606	644	684	361	401	441	502	562	602	642	722	381	424	466	529	593

续表 23.2-36

(2) 矩形模块尺寸系列, 理论计算重量 G /kg

L /mm	B/mm																			
	340						360						380							
	200	220	250	280	300	320	340	382	424	466	530	593	280	300	320	360	180	200	220	250
750	400	440	500	560	601	641	681	382	424	466	530	593	763	403	447	492	559	626		
800	427	470	534	598	641	683	726	407	452	497	565	633	814	430	477	525	597	668		
850	454	499	567	635	681	726	771	432	480	528	601	673	865	456	507	558	634	710		
900	480	528	601	673	721	769	817	458	509	560	636	712	916	483	537	591	671	752		
950	507	558	634	710	761	811	862	483	537	591	671	752	966	510	567	623	708	793		
1 000	534	587	667	747	801	854	907	509	565	622	706	791	1 017	537	597	656	746	835		
1 060	566	622	707	792	849	905	962	539	599	659	749	839	1 078	569	632	696	790	885		
1 120	598	658	747	837	897	957	1 016	570	633	696	791	886	1 139	601	668	735	835	935		
1 180	630	693	787	882	945	1 008	1 071	600	667	734	834	934	1 200	634	704	774	880	986		

L /mm	B/mm																				
	380						400						420								
	300	320	360	380	400	420	380	400	420	440	460	480	420	440	460	480	500	520	540	560	580
220	197	210	236	249	283	317	124	138	152	173	193	221	249	276	304	332	360	388	416	444	472
250	224	239	268	283	317	351	141	157	173	196	220	251	283	314	342	370	398	426	454	482	510
280	251	267	301	317	351	385	158	176	193	220	246	281	317	352	384	410	436	462	488	514	540
300	268	286	322	340	374	408	170	188	207	236	264	301	339	377	402	427	452	477	502	527	552
320	286	305	344	363	397	431	181	201	221	251	281	322	362	402	427	452	477	502	527	552	577
340	304	325	365	385	419	453	192	214	235	267	299	342	384	427	452	477	502	527	552	577	602
360	322	344	387	408	442	476	203	226	249	283	317	362	407	452	477	502	527	552	577	602	627

续表 23.2-36

L /mm	B/mm																		
	380							420											
	300	320	360	380	180	200	220	250	280	300	320	360	380	400	420				
380	340	363	408	431	215	239	263	298	334	358	382	430	453	477	226	251	276	313	351
400	358	382	430	453	226	251	276	314	352	377	402	452	477	502	237	264	290	330	369
420	376	401	451	476	237	264	290	330	369	396	422	475	501	528	249	277	305	346	388
450	403	430	483	510	254	283	311	353	396	424	452	509	537	565	267	297	326	371	415
480	430	458	515	544	271	301	332	377	422	452	482	543	573	603	285	317	348	396	443
500	447	477	537	567	283	314	345	393	440	471	502	565	597	628	297	330	363	412	462
530	474	506	569	601	300	333	366	416	466	499	533	599	632	666	—	—	384	437	489
560	501	535	601	635	317	352	387	440	492	528	563	633	668	703	—	—	406	462	517
600	537	573	644	680	339	377	414	471	528	565	603	678	716	754	—	—	435	495	554
630	564	601	677	714	356	396	435	495	554	593	633	712	752	791	—	—	457	519	582
670	600	640	719	759	379	421	463	526	589	631	673	757	799	842	—	—	486	552	619
710	635	678	762	805	401	446	490	557	624	669	713	803	847	892	—	—	515	585	655
750	671	716	805	850	424	471	518	589	659	706	754	848	895	942	—	—	—	618	692
800	716	764	859	907	452	502	553	628	703	754	804	904	955	1 005	—	—	—	659	739
850	761	811	913	964	480	534	587	667	747	801	854	961	1 014	1 068	—	—	—	701	785
900	805	859	966	1 020	509	565	622	706	791	848	904	1 017	1 074	1 130	—	—	—	742	831
950	850	907	1 020	1 077	537	597	656	746	835	895	955	1 074	1 134	1 193	—	—	—	783	877
1 000	895	955	1 074	1 134	565	628	691	785	879	942	1 005	1 130	1 193	1 256	—	—	—	824	923
1 060	949	1 012	1 138	1 202	599	666	732	832	932	999	1 065	1 198	1 265	1 331	—	—	—	874	979
1 120	1 002	1 069	1 203	1 270	633	703	774	879	985	1 055	1 125	1 266	1 336	1 407	—	—	—	923	1 034
1 180	1 056	1 126	1 267	1 338	667	741	815	926	1 037	1 112	1 186	1 334	1 408	1 482	—	—	—	973	1 089
1 250	—	—	—	—	706	785	864	981	1 099	1 178	1 256	1 413	1 492	1 570	—	—	—	1 030	1 154
1 320	—	—	—	—	746	829	912	1 036	1 161	1 243	1 326	1 492	1 575	1 658	—	—	—	1 088	1 219

续表 23.2-36

L /mm	B/mm																		
	420								450								480		
	300	320	360	380	400	420	180	200	220	250	280	300	320	360	380	400	450	180	200
200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
220	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
280	277	295	332	351	369	388	178	198	247	277	297	317	356	376	396	445	—	—	
300	297	317	356	376	396	415	191	212	265	297	318	339	382	403	424	477	—	—	
320	317	338	380	401	422	443	203	226	283	317	339	362	407	430	452	509	217	241	
360	356	380	427	451	475	499	229	254	318	356	382	407	458	483	509	572	244	271	
380	376	401	451	476	501	526	242	268	336	376	403	430	483	510	537	604	258	286	
400	396	422	475	501	528	554	254	283	353	396	424	452	509	537	565	636	271	301	
420	415	443	499	526	554	592	267	297	371	415	445	475	534	564	593	668	285	317	
450	445	475	534	564	593	623	286	318	397	445	477	509	572	604	636	715	305	339	
480	475	506	570	601	633	665	305	339	424	475	509	543	610	644	678	763	326	362	
500	495	528	593	626	659	692	318	353	442	495	530	565	636	671	706	795	339	377	
530	524	559	629	664	699	734	337	374	468	524	562	599	674	711	749	843	—	—	
560	554	591	665	702	739	775	356	396	495	554	593	633	712	752	791	890	—	—	
600	593	633	712	752	791	831	382	424	530	593	636	678	763	805	848	954	—	—	
630	623	665	748	789	831	872	401	445	556	623	668	712	801	846	890	1 001	—	—	
670	663	707	795	839	884	928	426	473	592	663	710	757	852	899	947	1 065	—	—	
710	702	749	843	890	936	983	451	502	627	702	752	803	903	953	1 005	1 129	—	—	
750	742	791	890	940	989	1 039	477	530	662	742	795	848	954	1 007	1 060	1 192	—	—	
800	791	844	950	1 002	1 055	1 108	509	565	706	791	848	904	1 017	1 074	1 130	1 272	—	—	

续表 23.2-36

L /mm	B/mm																		
	420								450								480		
	300	320	360	380	400	420	180	200	220	250	280	300	320	360	380	400	450	180	200
850	841	897	1 009	1 065	1 121	1 177	540	601	661	751	841	901	961	1 081	1 141	1 201	1 351	—	—
900	890	950	1 068	1 128	1 187	1 246	572	636	699	795	890	954	1 017	1 145	1 208	1 272	1 431	—	—
950	940	1 002	1 128	1 190	1 253	1 316	604	671	738	839	940	1 007	1 074	1 208	1 275	1 342	1 510	—	—
1 000	989	1 055	1 187	1 253	1 319	1 385	636	706	777	883	989	1 060	1 130	1 272	1 342	1 413	1 590	—	—
1 060	1 048	1 118	1 258	1 328	1 398	1 468	674	749	824	936	1 048	1 123	1 198	1 348	1 423	1 498	1 685	—	—
1 120	1 108	1 182	1 329	1 403	1 477	1 551	712	791	870	989	1 108	1 187	1 266	1 424	1 503	1 583	1 780	—	—
1 180	1 167	1 245	1 401	1 478	1 556	1 634	750	834	917	1 042	1 167	1 251	1 334	1 501	1 584	1 667	1 876	—	—
1 250	1 236	1 319	1 484	1 566	1 649	1 731	795	883	971	1 104	1 236	1 325	1 413	1 590	1 678	1 766	1 987	—	—
1 320	1 306	1 393	1 567	1 654	1 741	1 828	839	933	1 026	1 166	1 306	1 399	1 492	1 679	1 772	1 865	2 098	—	—

L/ mm	B/mm																		
	480								500										
	220	250	280	300	320	360	380	400	420	450	480	200	220	250	280	300	320	360	380
220	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
280	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	236	259	294	330	353	377	424	447
320	265	301	338	362	386	434	458	482	506	543	579	251	276	314	352	377	402	452	477
360	298	339	380	407	434	488	515	543	570	610	651	283	311	353	396	424	452	509	537
380	315	358	401	430	458	515	544	573	601	644	687	298	328	373	418	447	477	537	567
400	332	377	422	452	482	543	573	603	633	678	723	314	345	393	440	471	502	565	597
420	348	396	443	475	506	570	601	633	665	712	760	330	363	412	462	495	528	593	626

续表 23.2-36

L/ mm	B/mm																		
	480								500										
	220	250	280	300	320	360	380	400	420	450	480	200	220	250	280	300	320	360	380
450	373	424	475	509	543	610	644	678	712	763	814	353	389	442	495	530	565	636	671
480	398	452	506	543	579	651	687	723	760	814	868	377	414	471	528	565	603	678	716
500	414	471	528	565	603	678	716	754	791	848	904	393	432	491	549	589	628	706	746
530	439	499	559	599	639	719	759	799	839	899	959	416	458	520	582	624	666	749	790
560	464	528	591	633	675	760	802	844	886	950	1 013	440	484	549	615	659	703	791	835
600	497	565	633	678	723	814	859	904	950	1 017	1 085	471	518	589	659	706	754	848	895
630	522	593	665	712	760	855	902	950	997	1 068	1 139	495	544	618	692	742	791	890	940
670	555	631	707	757	808	909	959	1 010	1 060	1 136	1 212	526	579	657	736	789	842	947	999
710	589	669	749	803	856	963	1 017	1 070	1 124	1 204	1 284	557	613	697	780	836	892	1 003	1 059
750	622	706	791	848	904	1 071	1 074	1 130	1 187	1 272	1 356	589	648	736	824	883	942	1 060	1 119
800	663	754	844	904	965	1 085	1 145	1 206	1 266	1 356	1 447	628	691	785	879	942	1 005	1 130	1 193
850	705	801	897	961	1 025	1 153	1 217	1 281	1 345	1 441	1 537	667	734	834	934	1 001	1 068	1 201	1 268
900	746	848	950	1 017	1 085	1 221	1 289	1 356	1 424	1 526	1 628	706	777	883	989	1 060	1 130	1 272	1 342
950	788	895	1 002	1 074	1 145	1 289	1 360	1 432	1 503	1 611	1 718	746	820	932	1 044	1 119	1 193	1 342	1 417
1 000	829	942	1 055	1 130	1 206	1 356	1 432	1 507	1 583	1 696	1 809	785	864	981	1 099	1 178	1 256	1 413	1 492
1 060	879	999	1 118	1 198	1 278	1 438	1 518	1 598	1 678	1 797	1 917	832	915	1 040	1 165	1 248	1 331	1 498	1 581
1 120	928	1 055	1 182	1 266	1 350	1 519	1 604	1 688	1 772	1 899	2 026	879	967	1 099	1 231	1 319	1 407	1 583	1 670
1 180	978	1 112	1 245	1 334	1 423	1 601	1 690	1 778	1 867	2 001	2 134	926	1 019	1 158	1 297	1 389	1 482	1 667	1 760
1 250	1 036	1 178	1 319	1 413	1 507	1 696	1 790	1 884	1 978	2 120	2 261	981	1 079	1 227	1 374	1 472	1 570	1 766	1 864
1 320	1 094	1 243	1 393	1 492	1 592	1 791	1 890	1 990	2 089	2 238	2 387	1 036	—	1 295	1 451	1 554	1 658	1 865	1 969
1 400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 099	—	1 374	1 539	1 649	1 758	1 978	2 088

续表 23.2-36

L/ mm	B/mm																			
	500					530					560									
	400	420	450	480	500	300	300	420	220	250	280	300	320	360	380	400	420	450	480	500
900	1 413	1 484	1 590	1 696	1 766	1 123	1 573	870	—	—	—	1 187	1 266	1 424	1 503	1 583	1 662	1 780	1 899	1 978
950	1 492	1 566	1 678	1 790	1 864	1 186	1 660	919	—	—	—	1 253	1 336	1 503	1 587	1 670	1 754	1 879	2 005	2 088
1 000	1 570	1 648	1 766	1 884	1 963	—	1 747	967	—	—	—	1 319	1 407	1 583	1 670	1 758	1 846	1 978	2 110	2 198
1 060	1 664	1 747	1 872	1 997	2 080	—	1 852	1 025	—	—	—	1 398	1 491	1 678	1 771	1 864	1 957	2 097	2 237	2 330
1 120	1 758	1 846	1 978	2 110	2 198	—	1 957	1 083	—	—	—	1 477	1 576	1 772	1 871	1 969	2 068	2 216	2 363	2 462
1 180	1 853	1 945	2 084	2 223	2 316	—	2 062	1 141	—	—	—	1 556	1 660	1 867	1 971	2 075	2 179	2 334	2 490	2 594
1 250	1 963	2 061	2 208	2 355	2 453	—	2 184	1 209	—	—	—	1 649	1 758	1 978	2 088	2 198	2 308	2 473	2 638	2 748
1 320	2 072	2 176	2 331	2 487	2 590	—	2 307	1 277	—	—	—	1 741	1 857	2 089	2 205	2 321	2 437	2 611	2 785	2 901
1 400	2 198	2 308	2 473	2 638	2 748	—	2 446	1 354	—	—	—	1 846	1 969	2 216	2 339	2 462	2 585	2 769	2 954	3 077

L/ mm	B/mm																			
	560					600														
	530	560	600	600	600	300	300	320	360	380	400	420	450	480	500	530	560	600		
200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
280	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
300	699	739	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
320	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
360	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
380	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
400	932	985	414	471	528	565	603	678	716	754	791	848	904	942	999	1 055	1 130	—	—	—

续表 23.2-36

L/ mm	B/mm																
	600																
	530	560	220	250	280	300	320	360	380	400	420	450	480	500	530	560	600
420	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
450	1 048	1 108	466	530	593	636	678	763	805	848	890	954	1 017	1 060	1 123	1 187	1 272
480	—	—	497	565	633	678	723	814	859	904	950	1 017	1 085	1 130	1 198	1 266	1 356
500	1 165	1 231	518	589	659	706	754	848	895	942	989	1 060	1 130	1 178	1 248	1 319	1 413
530	—	—	549	624	699	749	799	899	949	999	1 048	1 123	1 198	1 248	1 323	1 398	1 498
560	1 305	1 379	580	659	739	791	844	950	1 002	1 055	1 108	1 187	1 266	1 319	1 398	1 477	1 583
600	1 398	1 477	622	706	791	848	904	1 017	1 074	1 130	1 187	1 272	1 356	1 413	1 498	1 583	1 696
630	1 468	1 551	653	742	831	890	950	1 068	1 128	1 187	1 246	1 335	1 424	1 484	1 573	1 662	1 780
670	1 561	1 649	694	789	884	947	1 010	1 136	1 199	1 262	1 325	1 420	1 515	1 578	1 673	1 767	1 893
710	1 654	1 748	736	836	936	1 003	1 070	1 204	1 271	1 338	1 405	1 505	1 605	1 672	1 772	1 873	2 006
750	1 747	1 846	—	—	989	1 060	1 130	1 272	1 342	1 413	1 484	1 590	1 696	1 766	1 872	1 978	2 120
800	1 864	1 969	—	—	1 055	1 130	1 206	1 356	1 432	1 507	1 583	1 696	1 809	1 884	1 997	2 110	2 261
850	1 980	2 092	—	—	1 121	1 201	1 281	1 441	1 521	1 601	1 681	1 802	1 922	2 002	2 122	2 242	2 402
900	2 097	2 216	—	—	—	1 272	1 356	1 526	1 611	1 696	1 780	1 908	2 035	2 120	2 247	2 374	2 543
950	2 213	2 339	—	—	—	1 342	1 432	1 611	1 700	1 790	1 879	2 014	2 148	2 237	2 371	2 506	2 685
1 000	2 330	2 462	—	—	—	1 413	1 507	1 696	1 790	1 884	1 978	2 120	2 261	2 355	2 496	2 638	2 826
1 060	2 470	2 609	—	—	—	1 498	1 598	1 797	1 897	1 997	2 097	2 247	2 396	2 496	2 646	2 796	2 996
1 120	2 609	2 757	—	—	—	1 583	1 688	1 899	2 005	2 110	2 216	2 374	2 532	2 638	2 796	2 954	3 165
1 180	2 749	2 905	—	—	—	1 667	1 778	2 001	2 112	2 223	2 334	2 501	2 668	2 779	2 946	3 112	3 325
1 250	2 912	3 077	—	—	—	1 766	1 884	2 120	2 237	2 355	2 473	2 649	2 826	2 944	3 120	3 297	3 533
1 320	3 075	3 250	—	—	—	1 865	1 990	2 238	2 363	2 487	2 611	2 798	2 984	3 109	3 295	3 482	3 730

续表 23.2.36

L/ mm	R/mm																
	600																
	560		H/mm														
	530	560	220	250	280	300	320	360	380	400	420	450	480	500	530	560	600
1 400	3 262	3 446	—	—	—	1 978	2 110	2 374	2 506	2 638	2 769	2 967	3 165	3 297	3 495	3 693	3 956
1 500	—	—	—	—	—	2 120	2 261	2 543	2 685	2 826	2 967	3 179	3 391	3 533	3 744	3 956	4 239
1 600	—	—	—	—	—	2 261	2 412	2 713	2 864	3 014	3 165	3 391	3 617	3 768	3 994	4 220	4 522
1 700	—	—	—	—	—	2 402	2 562	2 883	3 043	3 203	3 363	3 603	3 843	4 004	4 244	4 484	4 804
1 800	—	—	—	—	—	2 543	2 713	3 052	3 222	3 391	3 561	3 815	4 069	4 239	4 493	4 748	5 087
2 000	—	—	—	—	—	2 826	3 014	3 391	3 580	3 768	3 956	4 239	4 522	4 710	4 993	5 275	5 652
2 240	—	—	—	—	—	3 165	3 376	3 798	4 009	4 220	4 431	4 748	5 064	5 275	5 592	5 908	6 330
2 500	—	—	—	—	—	3 533	3 768	4 239	4 475	4 710	4 946	5 299	5 652	5 888	6 241	6 594	7 065

L/ mm	B/mm																
	630																
	560		H/mm														
	250	280	300	320	360	380	400	420	450	480	500	530	600	630	670	710	
400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
420	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
450	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
480	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	803	963
500	—	—	—	791	890	—	989	—	1 113	1 187	1 236	—	842	947	1 052	—	—
560	—	—	—	886	997	—	1 108	—	1 246	1 329	1 385	—	943	1 060	1 178	936	1 124
600	—	—	—	950	1 068	—	1 187	—	1 335	1 424	1 484	—	1 010	1 136	1 262	1 003	1 204
630	—	—	—	997	1 122	—	1 246	—	1 402	1 496	1 558	—	1 060	1 193	1 325	1 053	1 264
670	—	—	—	1 060	1 193	—	1 325	—	1 491	1 590	1 657	—	1 128	1 269	1 410	—	—

续表 23.2-36

L/ mm	B/mm																		
	630																		
	H/mm																		
	250	280	300	320	360	380	400	420	450	480	500	530	600	630	670	710			
710	—	—	—	1 124	1 264	—	1 405	—	1 580	1 685	1 756	—	—	—	1 195	1 344	1 494	1 187	1 425
750	927	1 039	1 113	1 187	1 335	1 409	1 484	1 558	1 669	1 780	1 855	1 966	—	2 337	1 420	1 578	1 254	1 505	—
800	989	1 108	1 187	1 266	1 424	1 503	1 583	1 662	1 780	1 899	1 978	2 097	—	2 493	1 515	1 683	1 338	1 605	—
850	1 051	1 177	1 261	1 345	1 513	1 597	1 681	1 766	1 892	2 018	2 102	2 228	—	2 648	1 609	1 788	1 421	1 705	—
900	1 113	1 246	1 335	1 424	1 602	1 691	1 780	1 869	2 003	2 136	2 225	2 359	—	2 804	1 704	1 893	1 505	1 806	—
950	1 175	—	1 409	1 503	1 691	1 785	1 879	1 973	2 114	2 255	2 349	2 490	—	2 960	1 799	1 999	1 588	1 906	—
1 000	1 236	—	1 484	1 583	1 780	1 879	1 978	2 077	2 225	2 374	2 473	2 621	—	3 116	1 893	2 104	1 672	2 006	—
1 060	1 311	—	1 573	1 678	1 887	1 992	2 097	2 202	2 359	2 516	2 621	2 778	—	3 303	2 007	2 230	1 772	2 127	—
1 120	1 385	—	1 662	1 772	1 994	2 105	2 216	2 326	2 493	2 659	2 769	2 936	—	3 490	2 121	2 356	1 873	2 247	—
1 180	1 459	—	1 751	1 867	2 101	2 218	2 334	2 451	2 626	2 861	2 918	3 093	—	3 676	2 234	2 482	1 973	2 368	—
1 250	1 545	—	1 855	1 978	2 225	2 349	2 473	2 596	2 782	2 967	3 091	3 276	—	3 895	2 367	2 630	2 090	2 508	—
1 320	1 632	—	1 958	2 089	2 350	2 481	2 611	2 742	2 938	3 133	3 264	3 460	—	4 113	2 499	2 777	2 207	2 649	—
1 400	1 731	—	2 077	2 216	2 493	2 631	2 769	2 908	3 116	3 323	3 462	3 670	—	4 362	2 651	2 945	2 341	2 809	—
1 500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4 451	—	2 840	3 156	2 508	3 010	—
1 600	1 978	—	2 374	2 532	2 849	3 007	3 165	3 323	3 561	3 798	3 956	4 194	4 748	4 985	—	—	2 675	3 210	—
1 700	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5 044	—	—	—	2 842	3 411	—
1 800	2 225	—	2 671	2 849	3 205	3 383	3 561	3 739	4 006	4 273	4 451	4 718	5 341	5 608	—	—	3 010	3 612	—
2 000	2 473	—	2 967	3 165	3 561	3 759	3 956	4 154	4 451	4 748	4 946	5 242	5 935	6 231	—	—	3 344	4 013	—
2 240	2 769	—	3 323	3 545	3 988	4 210	4 431	4 653	4 985	5 317	5 539	5 871	6 647	6 979	—	—	3 745	4 494	—
2 500	3 091	—	3 709	3 956	4 451	4 698	4 946	5 193	5 564	5 935	6 182	6 553	7 418	7 789	—	—	4 180	5 016	—
2 800	3 462	—	4 154	4 431	4 985	5 262	5 539	5 816	6 231	6 647	6 924	7 339	8 308	8 724	—	—	4 682	5 618	—

续表 23.2-36

L/ mm	B/mm																			
	710								750								800			
	380	400	420	450	480	500	530	630	280	400	420	480	530	100	200	250	320	260	380	
400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
420	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
450	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
480	1 017	1 070	1 124	1 204	1 284	1 338	1 418	1 685	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
560	1 186	1 248	1 311	1 405	1 498	1 561	1 654	1 966	923	1 319	1 385	1 583	1 747	—	—	—	—	—	—	—
600	1 271	1 338	1 405	1 505	1 605	1 672	1 772	2 107	989	1 413	1 484	1 696	1 872	—	—	—	—	—	—	—
630	1 334	1 405	1 475	1 580	1 685	1 756	1 861	2 212	1 039	1 484	1 558	1 780	1 966	396	791	989	1 266	1 424	1 503	—
670	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	421	842	1 052	1 346	1 515	1 599	—
710	1 504	1 583	1 662	1 781	1 899	1 979	2 097	2 493	1 170	1 672	1 756	2 006	2 215	446	892	1 115	1 427	1 605	1 694	—
750	1 588	1 672	1 756	1 881	2 006	2 090	2 215	2 633	1 236	1 766	1 855	2 120	2 340	471	942	1 178	1 507	1 696	1 790	—
800	1 694	1 784	1 873	2 006	2 140	2 229	2 363	2 809	1 319	1 884	1 978	2 261	2 496	502	1 005	1 256	1 608	1 809	1 909	—
850	1 800	1 895	1 990	2 132	2 274	2 369	2 511	2 985	1 401	2 002	2 102	2 402	2 652	534	1 068	1 335	1 708	1 922	2 028	—
900	1 906	2 006	2 107	2 257	2 408	2 508	2 659	3 160	1 484	2 120	2 225	2 543	2 808	565	1 130	1 413	1 809	2 035	2 148	—
950	2 012	2 118	2 224	2 383	2 542	2 647	2 806	3 336	1 566	2 237	2 349	2 685	2 964	597	1 193	1 492	1 909	2 143	2 267	—
1 000	2 118	2 229	2 341	2 508	2 675	2 787	2 954	3 511	1 649	2 355	2 473	2 826	3 120	628	1 256	1 570	2 010	2 261	2 386	—
1 060	2 245	2 363	2 481	2 659	2 836	2 954	3 131	3 722	1 747	2 496	2 621	2 996	3 308	666	1 331	1 664	2 130	2 396	2 530	—
1 120	2 372	2 497	2 622	2 809	2 996	3 121	3 308	3 933	1 846	2 638	2 769	3 165	3 495	703	1 407	1 758	2 251	2 532	2 673	—
1 180	2 499	2 631	2 762	2 960	3 157	3 288	3 486	4 143	1 945	2 779	2 918	3 335	3 682	741	1 482	1 853	2 371	2 668	2 816	—
1 250	2 647	2 787	2 926	3 135	3 344	3 483	3 692	4 389	2 061	2 944	3 091	3 533	3 900	785	1 570	1 963	2 512	2 826	2 983	—
1 320	2 796	2 943	3 090	3 311	3 531	3 679	3 899	4 635	2 176	3 109	3 264	3 730	4 119	829	1 658	2 072	2 653	2 984	3 150	—

续表 23.2.36

L/ mm	B/mm																	
	1 000			1 060			1 120			1 180			1 250					
	380	420	500	600	420	500	600	500	600	500	600	200	250	320	360	420	500	900
400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
420	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
450	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
480	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
560	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
630	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
670	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
710	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
715	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
800	2 386	2 638	3 140	3 768	2 796	3 517	4 220	3 705	4 446	1 570	1 963	2 512	2 826	3 297	3 925	4 710		
850	2 536	2 802	3 336	4 004	2 971	3 737	4 484	3 937	4 724	1 668	2 085	2 669	3 003	3 503	4 170	5 004		
900	2 685	2 967	3 533	4 239	3 145	3 956	4 748	4 168	5 002	1 766	2 208	2 826	3 179	3 709	4 416	5 299		
950	2 834	3 132	3 729	4 475	3 320	4 176	5 011	4 400	5 280	1 864	2 330	2 983	3 356	3 915	4 661	5 593		
1 000	2 983	3 297	3 925	4 710	3 495	4 396	5 275	4 632	5 558	1 963	2 453	3 140	3 533	4 121	4 906	5 888		
1 060	3 162	3 495	4 161	4 993	3 705	4 660	5 592	4 909	5 891	2 080	2 600	3 328	3 744	4 369	5 201	6 241		
1 120	3 341	3 693	4 396	5 275	3 914	4 924	5 908	5 187	6 225	2 198	2 748	3 517	3 956	4 616	5 495	6 594		

续表 23.2-36

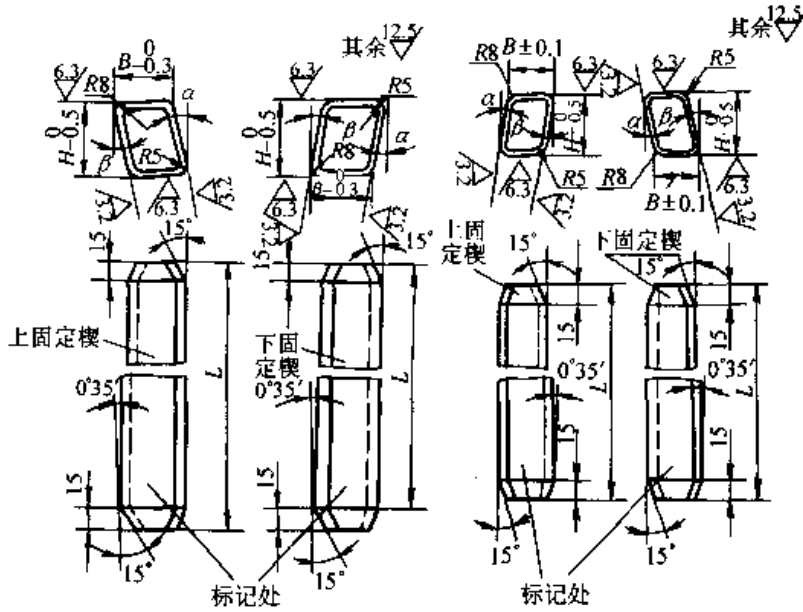
L/ mm	B/mm																
	1 000			1 060			1 120			1 180			1 250				
	380	420	500	600	420	500	600	500	600	600	200	250	320	360	420	500	900
1 180	3 520	3 890	4 632	5 558	4 124	5 187	6 225	5 465	6 558	2 316	2 895	3 705	4 168	4 863	5 789	6 947	
1 250	3 729	4 121	4 906	5 888	4 369	5 495	6 594	5 789	6 947	2 453	3 066	3 925	4 416	5 152	6 133	7 359	
1 320	3 938	4 352	5 181	6 217	4 613	5 803	6 963	6 114	7 336	2 591	3 238	4 145	4 663	5 440	6 476	7 772	
1 400	4 176	4 616	5 495	6 594	4 893	6 154	7 385	6 484	7 781	2 748	3 434	4 396	4 946	5 770	6 869	8 243	
1 500	4 475	4 946	5 888	7 065	5 242	6 594	7 913	6 947	8 337	2 944	3 680	4 710	5 299	6 182	7 359	8 831	
1 600	4 773	5 275	6 280	7 536	5 592	7 034	8 440	7 410	8 892	3 140	3 925	5 024	5 652	6 594	7 850	9 420	
1 700	5 071	5 605	6 672	8 007	5 941	7 473	8 968	7 874	9 448	3 336	4 170	5 338	6 005	7 006	8 341	10 009	
1 800	5 369	5 935	7 065	8 478	6 291	7 913	9 495	8 337	10 004	3 533	4 416	5 652	6 359	7 418	8 831	10 598	
2 000	5 966	6 594	7 850	9 420	6 990	8 792	10 550	9 263	11 116	3 925	4 906	6 280	7 065	8 243	9 813	11 775	
2 240	6 682	7 385	8 792	10 550	7 828	9 847	11 816	10 375	12 449	4 396	5 495	7 034	7 913	9 232	10 990	13 188	
2 500	7 458	8 243	9 813	11 775	8 737	10 990	13 188	11 579	13 895	4 906	6 133	7 850	8 831	10 303	12 266	14 719	
2 800	8 352	9 232	10 990	13 188	9 785	12 309	14 771	12 968	15 562	5 495	6 869	8 792	9 891	11 540	13 738	16 485	

① 模具钢密度按 7.85 g/cm³ 计算。

(3) 锤及压力机锻模零件

1) 热模锻压力机锻模菱形固定楔 (表 23.2-37)

表 23.2-37 固定楔 (摘自 JB/T 6060.1—1992)



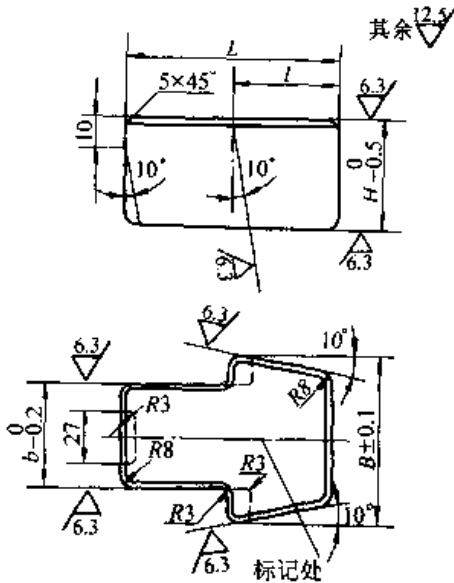
标记示例:
 固定楔, A 型, 厚度 $H = 50 \text{ mm}$,
 宽度 $B = 40 \text{ mm}$ 、长度 $L = 750 \text{ mm}$
 固定楔 A50×40×750JB/T 6060.1
 材料: 45 GB/T 699
 热处理: 端部 255~285HBS

H/mm	$\alpha / (^{\circ})$														
	7					10									
	$\beta / (^{\circ})$														
	10					12									
	B/mm														
	25	30	34	38	40	42	45	48	50	53	56	60	63	67	71
32	○														
40	○	○	○												
50		○	○	○	○	○	○								
63								○	○	○					
80											○	○	○	○	○
L/mm	220、240、260、280、300、320、340、360、380、400、420、450、480、500、530、560、600、630、670、710、750、800、850、900、950、1 000、1 060、1 120、1 180、1 250、1 320、1 400、1 500、1 600、1 700、1 800、1 900、2 000、2 120、2 240、2 360														

- 注: 1. “○” 为优先选用楔。
 2. 当 $B \leq 34$ 时, “○” 为切边模优先选用楔。
 3. 当 H 与燕尾高度不符时, H 取燕尾高度尺寸减 1 mm。
 4. β 角度可按设备燕尾角度来定。

- 2) 热模锻压力机锻模键块 (表 23.2-38)
- 3) 垫片 (表 23.2-39)
- 4) 热模锻压力机锻模导柱 (表 23.2-40)
- 5) 热模锻压力机锻模组合导套外壳 (表 23.2-41)
- 6) 热模锻压力机锻模组合导套衬套 (表 23.2-42)
- 7) 热模锻压力机锻模组合导套刮圈 (表 23.2-43)
- 8) 热模锻压力机锻模导套盖板 (表 23.2-44)

表 23.2-38 键块 (摘自 JB/T 6060.2—1992)

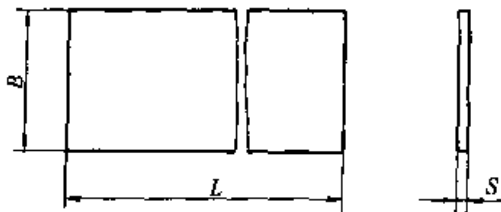


标记示例: 键块, 厚度 $H=50$ mm, 头部长度 $l=48$ mm
 键块 50×48 JB/T 6060.2—1992
 材料: 45 GB/T 699
 热处理: 241~285HBS

H	L	l	b	B
50	95	48	50	80
	118	67		
63	132	60	75	110
	150	67		
80	160	75	100	132
	160	80		

注: 当 H 与燕尾高度不符时, H 取燕尾高度尺寸减 1 mm。

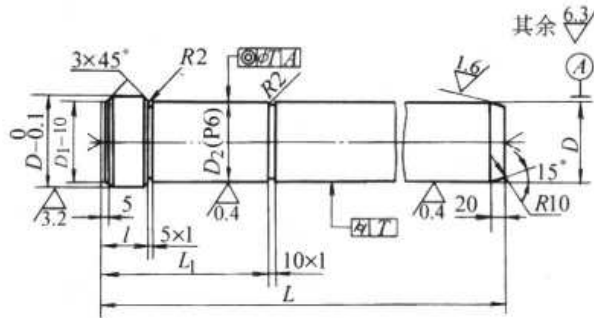
表 23.2-39 垫片 (摘自 JB/T 6060.3—1992) (mm)



标记示例: 垫片, 宽度 $B=50$ mm, 厚度 $S=0.5$ mm, 长度 $L=500$ mm, 材料 45Mn2
 垫片 50×0.5×500—45Mn2 JB/T 6060.3
 材料: 45GB/T 699, 45Mn2 GB/T 3077 或 65Mn GB/T 1222

B	L	
	配楔用	配键用
50	400~750	36
63	550~1 150	45
80	750~1 550	50
S	0.5、0.7、1、2、3、4	

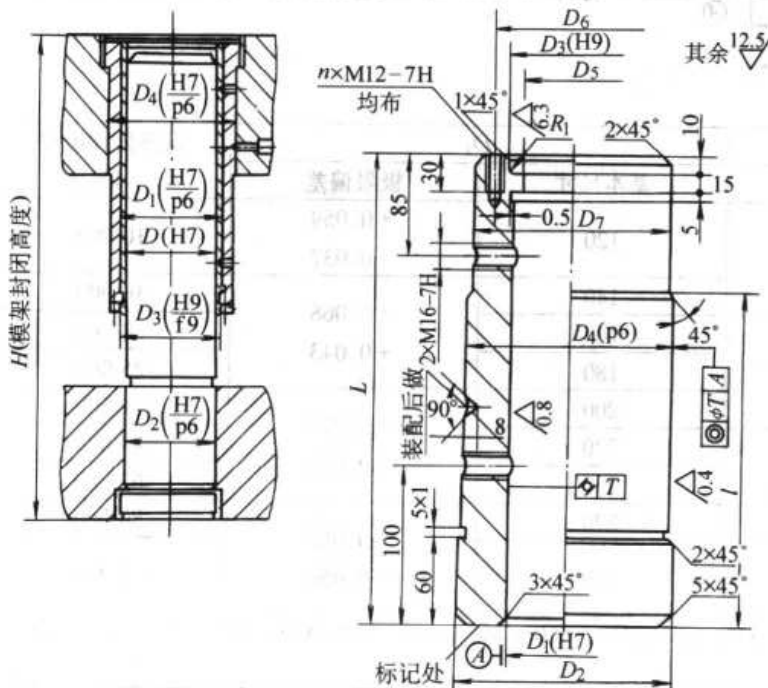
表 23.2-40 导柱 (摘自 JB/T 6059.1—1992) (mm)



标记示例: 导柱, 直径 $D=140$ mm, 长度 $L=900$ mm,
 材料 20Cr
 导柱 140×900—20Cr JB/T 6059.1
 材料 20 GB/T 699, 20Cr 或 20CrMnTi GB/T 3077
 热处理 渗碳深度 1.0~1.5 mm, 56~62HRC

D		D ₂		D ₁	d	l	设备公称压力 /kN
基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差				
100	-0.35	100.5	+0.059	120	M16	40	10 000
120	-0.40	120.5	+0.037	140			16 000
140	-0.40	140.5	+0.068	160			20 000
160	-0.45	160.5	+0.043	180			25 000
180	-0.45	180.5	+0.043	200			31 500
200	-0.45	201	+0.079	220	M20	60	40 000
220	-0.50	221	+0.050	240			63 000
240	-0.50	241	+0.050	260			80 000
260	-0.50 -0.55	261	+0.088 +0.056	280			125 000
L ₁		200、240、260、280、300、320、360、400、450					
L		530、560、600、630、670、710、750、800、850、900、950、1 000、1 060、1 120、1 180、1 250、1 320、1 400					

表 23.2-41 组合导套外壳 (摘自 JB/T 6059.2—1992) (mm)

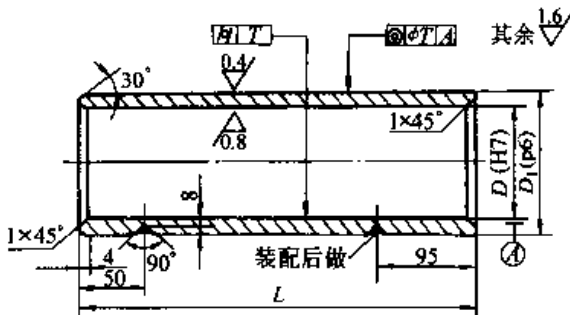


标记示例: 导套外壳, 公称直径 $D=160$ mm, 长度 $L=420$ mm
 导套外壳 160×420 JB/T 6059.2
 材料 45 GB/T 699
 热处理 35~40HRC

续表 23.2-41

公称直径 <i>D</i>	<i>D</i> ₁		<i>D</i> ₂	<i>D</i> ₃		<i>D</i> ₄		<i>D</i> ₅	<i>D</i> ₆	<i>D</i> ₇	<i>n</i>	设备公称 压力 /kN
	基本尺寸	极限偏差		基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差					
100	120	+0.035 0	200	120	+0.087 0	180	+0.068 +0.043	110	150	<i>D</i> ₄ -1	4	10 000
120	140	+0.040 0	220	140	+0.100 0	200	+0.079 +0.050	130	170		16 000	
140	160		240	160		220		150	190		20 000	
160	180	+0.046 0	260	180	+0.115 0	240	+0.088 +0.056	170	210		25 000	
180	200		280	200		260		190	230		31 500	
200	220		300	220		280		210	250		40 000	
220	250	+0.052 0	330	250	+0.130 0	310	+0.098 +0.062	240	280		63 000	
240	270		350	270		330		260	300		80 000	
260	290		370	290		350		280	320		125 000	
<i>l</i>	240、260、280、300、320、340、360、380、400、420、450、480、500											
<i>L</i>	320、340、360、380、400、420、450、480、500、530、560、600、630、670、710、750、800、850											

表 23.2-42 组合导套衬套 (摘自 JB/T 6059.3—1992) (mm)



标记示例: 衬套, 公称直径 *D* = 160 mm, 长度 *L* = 560 mm, 材料 ZQSn5-5-5

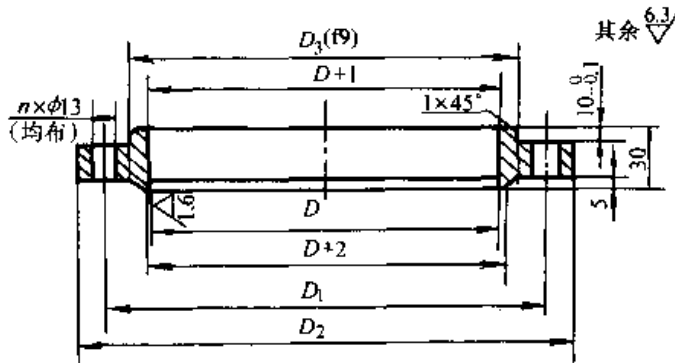
衬套 160×560 ZQSn5-5-5 JB/T 6059.3

材料 ZQSn5-5-5 或 ZHMn58-2-2 GB/T 1176

公称直径 <i>D</i>		<i>D</i> ₁		设备公称压力 /kN
基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	
100	+0.035	120	+0.059	10 000
120	0	140	+0.037	
140	+0.040	160	+0.068	16 000
160		180	+0.043	20 000
180	0	200	+0.079	25 000
200	+0.046	220		+0.050
220		250	+0.088	40 000
240	0	270		+0.056
260	+0.052	290	+0.056	80 000
	0			125 000
<i>L</i>	280、300、320、340、360、380、410、440、460、490、520、560、590、630、670、710、760、810			

注: 衬套允许分成两段。

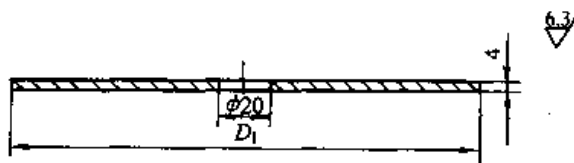
表 23.2-43 组合导套刮圈 (摘自 JB/T 6059.4—1992) (mm)



标记示例: 刮圈, 公称直径 $D=200$ mm
 刮圈 200 JB/T 6059.4
 材料 ZHMn58-2-2 GB/T 1176

公称直径 D	基本尺寸	100	120	140	160	180	200	220	240	260
	极限偏差	-0.05 -0.10			-0.10 -0.15		-0.15 -0.20		-0.20 -0.25	
D_1		150	170	190	210	230	250	280	300	320
D_2		179	199	219	239	259	279	309	329	349
D_3	基本尺寸	120	140	160	180	200	220	250	270	290
	极限偏差	-0.036 -0.123			-0.043 -0.143		-0.050 -0.165		-0.056 -0.186	
n		4						6		

表 23.2-44 导套盖板 (摘自 JB/T 6059.5—1992) (mm)

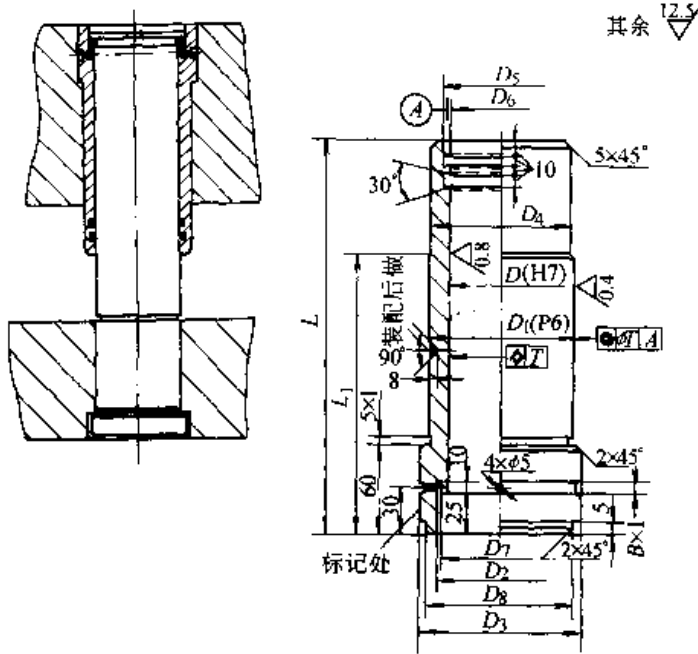


标记示例: 盖板, A型 $D=120$ mm
 盖板 A120 JB/T 6059.5
 材料 Q235 GB/T 700

公称直径 D		100	120	140	160	180	200	220	240	260
D_1	A型	198	218	238	258	278	298	328	348	368
	B型	118	138	158	178	198	218	238	258	278

注: A型用于组合导套; B型用于整体导套。

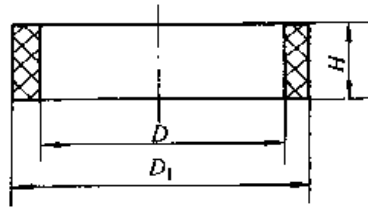
- 9) 热模锻压力机锻模整体导套 (表 23.2-45) 23.2-46)
 11) 切边模导柱 (表 23.2-47)
 10) 热模锻压力机锻模导套油封圈 (表 12) 切边模导套 (表 23.2-48)
表 23.2-45 整体导套 (摘自 JB/T 6059.6—1992) (mm)



标记示例: 整体导套, 公称直径 $D = 140$ mm, 长度 $L = 360$ mm, 材料 20 钢
 整体导套 140×360—20 JB/T 6059.6
 材料 20 GB/T 699 20Cr 或 20CrMnTi GB/T 3077
 热处理 渗碳深度 1.0 ~ 1.5 mm, 56 ~ 62HRC

基本尺寸	D		基本尺寸	极限偏差	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈	设备公称压力 /kN
	基本尺寸	极限偏差										
100	+0.035	140	+0.068	120	150							10 000
120	0	170	+0.043	140	180							16 000
140		200		160	210							20 000
160	+0.040	220	+0.079	180	230							25 000
180	0	240	+0.050	200	250	$D_1 - 0.5$	$D + 15$	$D + 1$	$D + 10$	$D_3 - 10$		31 500
200		260		220	280							40 000
220	+0.046	280	+0.088	240	300							63 000
240	0	300	+0.056	260	320							80 000
260	+0.052	320	+0.098	280	340							125 000
L ₁	240、260、280、300、320、340、360、380、400、420、450、480、500											
L	320、340、360、380、400、420、450、500、530、560、600、630、670、710、750											

表 23.2-46 导套油封圈 (摘自 JB/T 6059.7—1992) (mm)

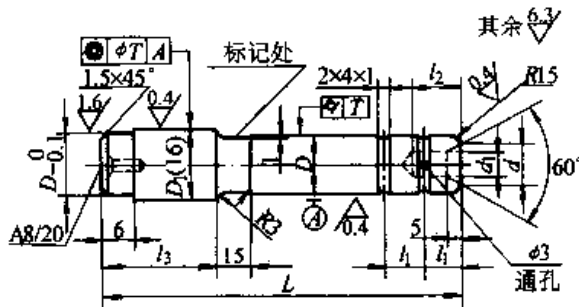


标记示例: 上油封圈, $D=120$ mm
 上油封圈 120 JB/T 6059.7
 材料 油毛毡

公称直径	D	100	120	140	160	180	200	220	240	260
上油封圈	D_1	120	140	160	180	200	220	240	260	280
	H	20								
下油封圈	D_1	115	135	155	175	195	215	235	255	275
	H	14								

注: 油封圈允许用数片叠成。

表 23.2-47 导柱 (摘自 JB/T 6499.1—1992) (mm)

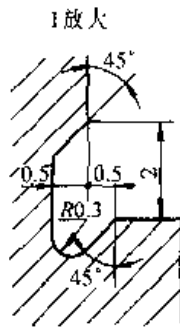
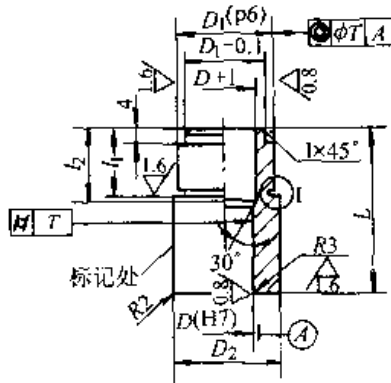


标记示例: 导柱, 直径 $D=40$ mm, 长度 $L=200$ mm,
 材料 20 钢
 导柱 40×200-20 JB/T 6499.1
 材料 20 GB/T 699 20Cr 或 20CrMnTi GB/T 3077
 热处理 渗碳深度 1.0-1.5 mm, 56~62HRC

D		D_1		d	d_1	l_1	l_2	l_3
基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差					
32	-0.25	32	+0.042	22	10	20	25	50
40	-0.30	40	+0.026	28	15	25	30	60
50	-0.30	50	+0.051	38	20	30	34	75
60	-0.35	75	+0.032	48	25	36	40	90
80	-0.35	95	+0.059	67	36	45	50	120
100	-0.40	120	+0.037	90	45	56	60	150
L	170、180、190、200、210、220、240、260、280、300、320、340、360、380、400、425、450、475、500、530、560、600、630、670、710							

表 23.2-48 导套 (摘自 JB/T 6499.2—1992)

(mm)



标记示例: 导套, 直径 \$D = 50\$ mm, 长度 \$L = 120\$ mm, 材料 20 钢

导套 \$50 \times 120 - 20\$ JB/T 6499.2

材料 20 GB/T 699 20Cr 或 20CrMnTi GB/T 3077

热处理 渗碳深度 \$1.0 \sim 1.5\$ mm, \$56 \sim 62\$HRC

D		D ₁		D ₂	l ₁	l ₂
基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差			
32		45	+0.042 +0.026	48	28	30
					32	36
40	+0.025 0	53		56	38	40
					42	45
50		63	+0.051 +0.032	67	48	50
					56	60
60	+0.030 0	75		80	75	67
					80	
80		95	+0.059 +0.037	110	95	75
					105	
100	+0.035 0	118		140	120	85
					130	
L	67、71、75、80、85、90、100、110、120、130、140、150、160、170、180、190、200、210、220、240、250、260、280、300、320、340、360、380、400					

13) 热模锻压力机锻模定位销 (表 23.2-49)

14) 热模锻压力机锻模定位键 (表 23.2-50)

15) 螺旋压力机锻模压圈 (表 23.2-51)

(4) 螺旋压力机锻模模座

1) 圆形模块用模座 (表 23.2-52)

2) 矩形模块用模座 (表 23.2-53)

(5) 螺旋压力机锻模结构尺寸

1) 螺旋压力机锻模圆形模块结构与尺寸 (表 23.2-54)

2) 螺旋压力机锻模矩形模块结构与尺寸 (表 23.2-55)

(6) 平锻模模块结构尺寸

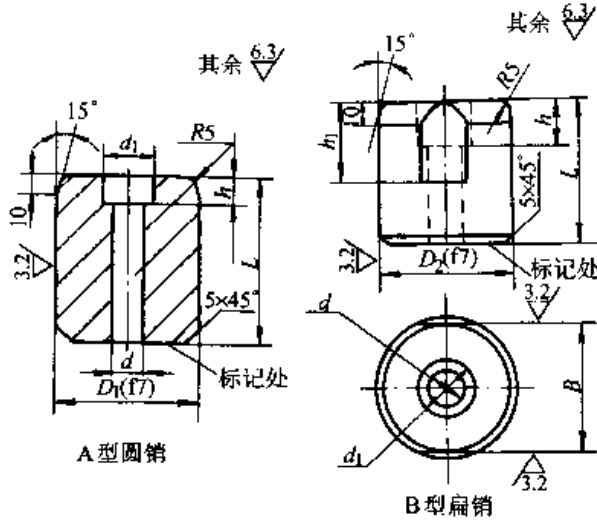
1) 垂直分模平锻机凹模体结构与尺寸 (表 23.2-56)

2) 水平分模平锻机凹模体结构与尺寸 (表 23.2-57)

3) 平锻机凹模镶块毛坯结构与尺寸 (表 23.2-58)

表 23.2-49 定位销 (摘自 JB/T 6059.2—1992)

(mm)



标记示例: 定位销, A型, 直径 $D = 60$ mm, 长度 $L = 70$ mm

定位销 A60×70 JB/T 6059.8

材料 45 GB/T 699

热处理 44~48HRC

D_1	基本尺寸	60	65	70	75	80	90	100	
	极限偏差	-0.030 -0.060					-0.036 -0.071		
D_2	基本尺寸	65	70	75	80	85	95	105	
	极限偏差	-0.030 -0.060					-0.036 -0.071		
B	基本尺寸	60	65	70	75	80	90	100	
	极限偏差	-0.030 -0.060					-0.036 -0.071		
h_1		45		50		56	60	65	
d_1		28					35		
d		17.5					22		
h		17					21		
L		70	75	80	85	90	100	112	

注: 模座与定位销 D_1 、 B 采用 D_1 ($\frac{H8}{f7}$) 及 B ($\frac{H8}{f7}$) 间隙配合。

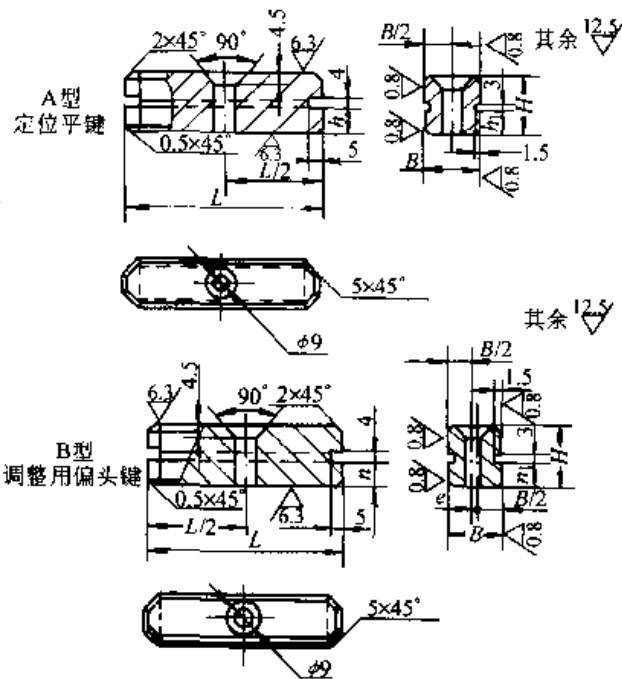
(7) 辊锻模结构型式及尺寸 (JB/T 9194—1999)

1) 辊锻模外形结构 辊锻模外形结构一般有扇形模和整体模两种。

依据辊锻模在锻轱上固紧方式的不同, 扇形模有两种外形结构:

楔式扇形模, 用楔形压块固紧在锻轱上, 其结构见图 23.2-1, 固紧示例见图 23.2-2。

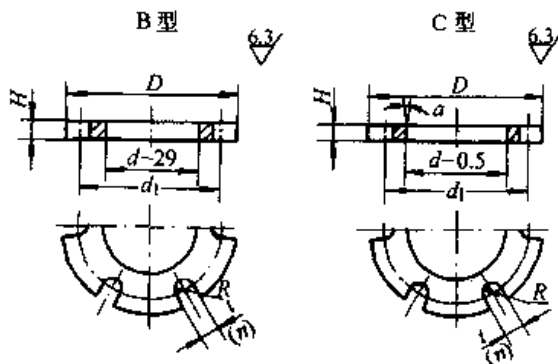
表 23.2-50 热模锻压力机锻模定位键 (摘自 JB/T 6059.9—1992) (mm)



标记示例: 定位键, B 型, 宽 $B = 25$ mm, 偏心量 $e = 0.8$ mm, 长 $L = 56$ mm
 定位键 B25×0.8×56 JB/T 6059.9
 材料 45 GB/T 699
 热处理 45~50HRC

键 型	定位平键 (A 型)			调整用偏头键 (B 型)		
	B	25 ⁰ / _{0.05}	30 ⁰ / _{0.05}	36 ⁰ / _{0.06}	25 ⁰ / _{0.05}	30 ⁰ / _{0.05}
H	25	28	34	25	28	34
h	12	15	18	12	15	18
h ₁	11	13	16	11	13	16
e	—			0.8、1.2、1.5、2.0		
L	56	75	85	56	75	85
	75	85	100	75	85	100
	85	100	132	85	100	132
	100	132	150	100	132	150

表 23.2-51 螺旋压力机锻模压圈 (摘自 JB/T 5110.7—1992) (mm)



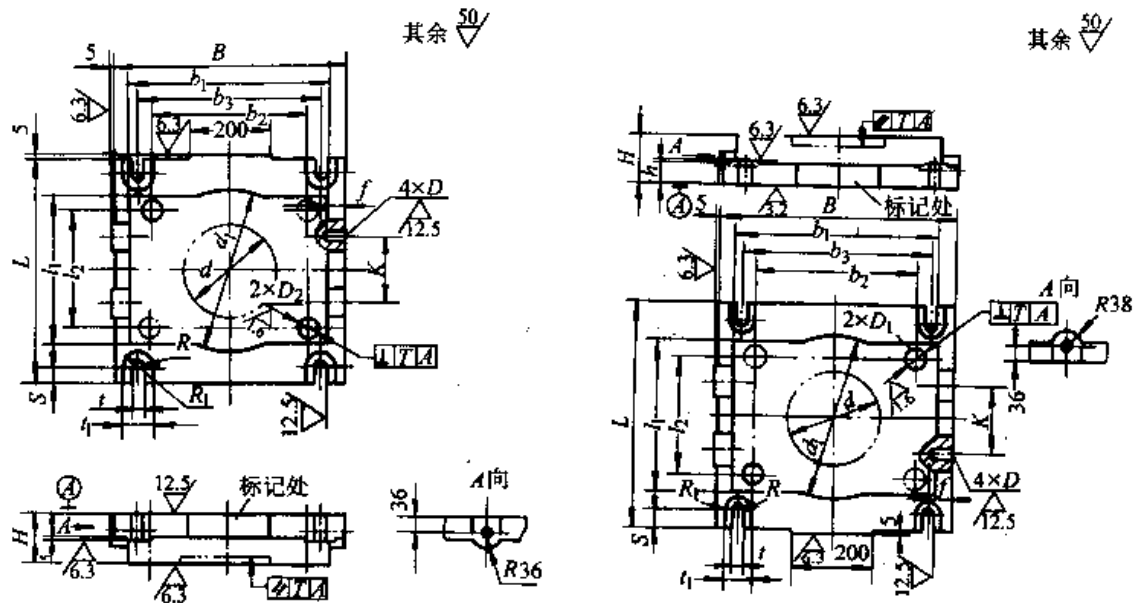
标记示例: 压圈, B 型, $d = 300$ mm
 压圈 B300 JB/T 5110.7
 材料 45 GB/T 699
 热处理 217~255HBS

续表 23.2-51

模块规格	压 圈 尺 寸					
d	D	D_1	H	$\alpha / (^\circ)$	n (螺钉槽数)	l
140	300	240	30		4	28
160	320	260				
180	340	280				
200	360	300	40			
220	380	320				
240	400	340				
260	420	360				
280	450	380	50	4		
300	480	400				
320	500	420				
340	530	450				
360	560	480				
380						
400	600	500	60			
420	630	530				
450	670	560				
480	710	600				
500						
530	750	630				
560	800	670				

表 23.2-52 圆形模块用模座 (摘自 JB/T 5110.4—1992)

(mm)



标记示例: 6 300 kN 螺旋压力机锻模, 直径 $d = 320$ mm 圆形模块楔紧用上 (或下) 模座: 上 (或下) 模座
6 300—320 JB/T 5110.4

材料与热处理: 5CrNiMo, 5CrMnMo GB/T 1299, 28~32HRC 45 GB/T 699 285~320HBS
ZG 310—570 GB/T 11352 255~285 HBS

续表 23.2-52

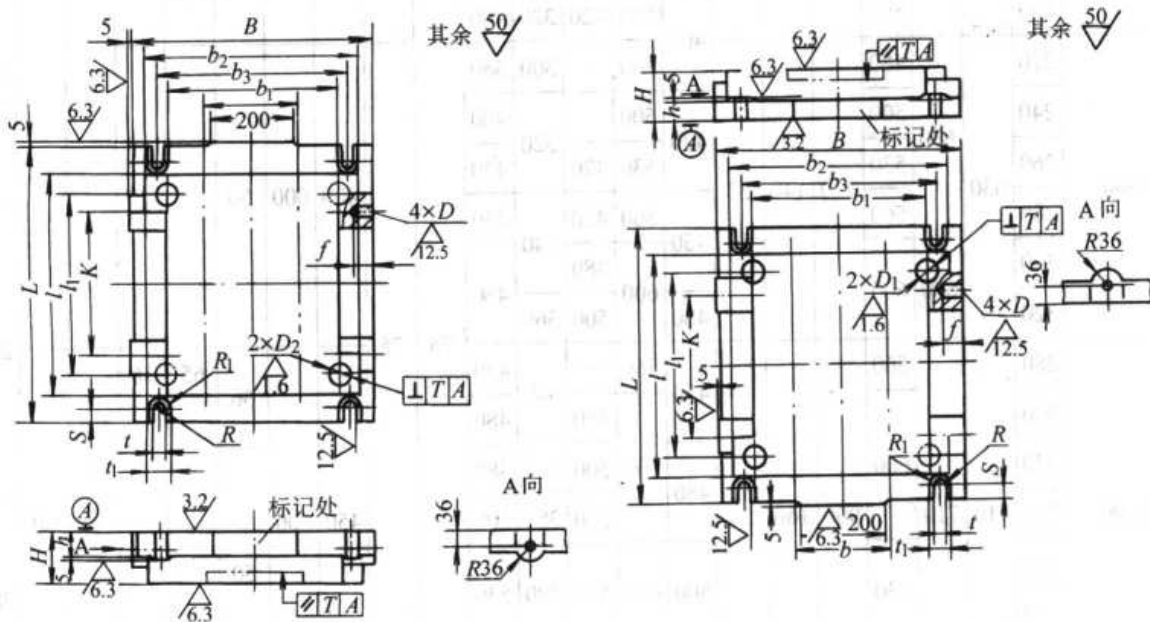
设备规格 /kN	模块 直径 d	底板尺寸						凸台尺寸			导柱孔、导套 孔尺寸				紧固尺寸				起重孔尺寸						
		L		B		H	h	l ₁	b ₁	d ₁	l ₂	b ₂	D ₁ (H7)	D ₂ (H7)	b ₃		S	t ₁	t	D	f	k			
		上	下	上	下										上	下									
25 000	420	1 060	1 060	800	1 060	200	63	560	710	t ₁	380	480	120	118	500	900	60	100	54	40	90	240			
	450			850				670			500	260													
	480			900				710			530	280													
	500			950				750			560	320													
	530							800			600														
	560																								
1 600	140	340	340	295	400	80	36	240	295	280	160	220	40	53	200	300	30					100			
	160																								
	180																								
3 000	160	480	480	420	420	100	42	320	420	320	240	340	290	290	36	52	28	26	60	210					
	180																								
	200			450	450			360	450	360	280										380				
	220			430	480			480	380	380															
4 000	180	530	530	420	560	120	48	340	420	340	260	340	50	63	320	450	36	26	60	250					
	200			450				360	280	360															
	220			480				380	300	400															
	240			500				420	320	400															
	260			400				480	300	400															
6 300	220	630	630	480	710	140	53	400	480	300	380	75	75	400	600	50	65	36	40	90	280				
	240			500				420	320	420															
	260			530				420	320	420															
	280			560				450	340	450															
	300			600				480	360	480															
	320			480				500	360	480															
10 000	280	710	710	560	900	160	56	450	560	—	450	75	75	450	800	50	65	36	40	90	280				
	300			450				480	480																
	320			600				600	500	360	480														
	340			480				530	380	500															
	360			500				630	560	400	530														
	380			530				670	600	420	560														
	400			560				600	420	560															

续表 23.2-52

设备规格 /kN	模块 直径 <i>d</i>	底板尺寸				凸台尺寸			导柱孔、导套 孔尺寸				紧固尺寸			起重孔尺寸						
		<i>L</i>		<i>B</i>		<i>H</i>	<i>h</i>	<i>l</i> ₁	<i>b</i> ₁	<i>d</i> ₁	<i>l</i> ₂	<i>b</i> ₂	<i>D</i> ₁ (H7)	<i>D</i> ₂ (H7)	<i>b</i> ₃		<i>S</i>	<i>t</i> ₁	<i>t</i>	<i>D</i>	<i>f</i>	<i>k</i>
		上	下	上	下										上	下						
16 000	340			670			530	670		400	530											280
	360			710				710														300
	380						560			420	560											
	400	800	800		900	180	60		600			95	95	420	800	50	65	36				
	420			750				600	750	630	450											340
	450							600		670	480	630										
	480							630	710		670									40	90	360
25 000	420			800			670	800		500												
	450						710			530												400
	480			850			750	850		560	670											420
	500	1 060	1 060		1 060	200	63		900		600	710	120	118	500	900	60	100	54			450
	530			900				800			630	750										480
	560			950				850	950		670	800										530

注：1. 表头中的“上”为上模座，“下”为下模座。
 2. 根据工艺布局，导柱位置允许选用另一对角。
 3. 使用 45 锻钢，外形要适于锻制模座的加工要求，为识别前后方向，需在模座前面作出明显的标记。

表 23.2-53 矩形模块用模座 (摘自 JB/T 5110.5—1992) (mm)



标记示例：4 000 kN 螺旋压力机锻模、长度 $l=420$ mm、宽度 $b=240$ mm 的矩形模块用上（或下）模座上
 （或下）模座 4 000-420×240 JB/T 5110.5
 材料与热处理：5CrNiMo、5CrMnMo 28~32HRC 45 285~320 HBS ZG 310-570 255~285 HBS

续表 23.2-53

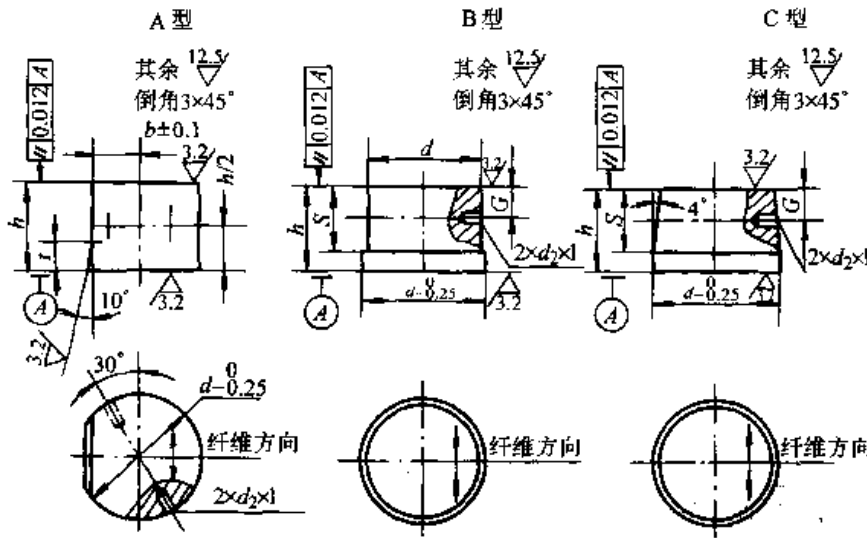
设备规格 /kN	模块周界		外形尺寸						导柱孔、导套孔尺寸				紧固尺寸				起重孔尺寸					
	l_{max}	b	B		b_2	L	H	h	l_1	b_1	D_1 (H7)	D_2 (H7)	b_3		S	t_1	t	D	f	k		
			上	下									上	下								
1 600	240	140	295	400	240	$l + 100$	80	36	$l - 67$	240	32	45	200	300	30						$l - 140$	
3 000	420	160	420	420	420		100	42		340												
		180	450	450	450					360												
		200	480	480	480					380												
		220	500	500	500					400												
		240								420												
		260	530	530	530					450												
4 000	500	180	450		450	$l + 120$	120	48	$l - 90$	360	50	63			36	52	28	26	60			$l - 180$
		200	480		480					380												
		220	500	560	500					400												
		240								420												
		260	530		530					450												
		280	560		560					480												
		300	600	600	600					500												
		6 300	600	200	500					500												
220	530			530	530	420																
240	560			560	560	450																
260						480																
280	600			600	600	500																
300	630			630	630	530																
320						560																
340	670			710	670																	
10 000	710	240	560	560	560	$l + 150$	160	56	$l - 112$	450	75	75			45	65	36	40	90		$l - 224$	
		260								480												
		280	600	600	600					500												
		300	630	630	630					530												
		320								560												
		340	670	670	670																	
		360								600												
		380	710	710	710																	
		400								630												
420	750	750	750																			

续表 23.2-53

设备规格 /kN	模块周界		外形尺寸					导柱孔、导套孔尺寸				紧固尺寸				起重孔尺寸				
	l_{max}	b	B		b_2	L	H	h	l_1	b_1	D_1 (H7)	D_2 (H7)	b_3		S	t_1	t	D	f	k
			上	下									上	下						
16 000	850	280	670		670	$l+150$	180	60	$l-125$	530	95	95	420	800	45	65	36	40	90	$l-250$
		300																		
		320	750	750	630															
		340								750			750	670						
		360	800	800	710															
		380								850			850	750						
		400	900	900	850															
		420								900			900	900						
		450	1000	1000	950															
		480								1060			1060	1000						
500	1060	1060	1060																	
530				1060	1060	1060														
560	1060	1060	1060																	
320				800	800	800	$l+200$	200	63	$l-170$	630	120	118	500	900	50	100	54	40	90
340	850	850	850																	
360				900	900	900					710									
380	950	950	950											750						
400				1000	1000	1000					800									
420	1060	1060	1060											850						
450				1060	1060	1060					850									
480	1060	1060	1060											850						
500				1060	1060	1060					850									
530	1060	1060	1060											850						
560				1060	1060	1060	850													

- 注：1. $b \leq l \leq l_{max}$ 。
2. 当使用梯形压铁压紧时， B 、 b_1 、 b_2 都应相应地增加 50 mm。
3. 表头中的“上”为上模座，“下”为下模座。
4. 根据工艺布局，导柱位置允许选用另一对角。
5. 使用 45 锻钢，外形要适于锻制模座的加工要求，为识别前后方向，需在模座前面作出明显的标记。

表 23.2-54 圆形模块 (摘自 JB/T 5110.1—1991) (mm)



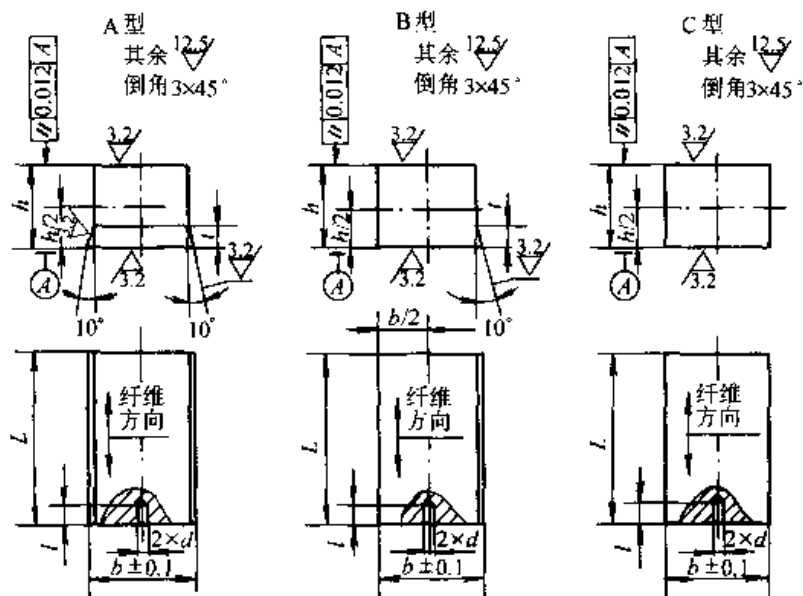
标记示例: 圆形模块, A型, 直径 $d = 140$ mm、厚度 $h = 63$ mm, 材料为 5CrNiMo 模块 A140 × 63 - 5CrNiMo JB/T 5110.1
材料: 5CrNiMo、5CrMnMo、3Cr2W8V、4Cr5MoSiV1、4Cr5-MoSiV 及其他性能相近或更优的热作模具钢或专用模具钢种

d	s													b	d ₁	d ₂	l
	36				50				71				100				
	G																
36				50				71									
t																	
40						63											
h																	
	50	56	63	71	80	90	100	110	125	140	160	180	200				
140	○	○	○	○	○	○								56			
160	○	○	○	○	○	○	○	○						63			
180	○	○	○	○	○	○	○	○	○					71			
200			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		80			
220			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		90			
240				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	95	20	32	
260				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	105			
280				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	112			
300					○	○	○	○	○	○	○	○	○	120			
320					○	○	○	○	○	○	○	○	○	130			
340					○	○	○	○	○	○	○	○	○	140	d-30		
360						○	○	○	○	○	○	○	○	150			
380							○	○	○	○	○	○	○	160			
400							○	○	○	○	○	○	○	170			
420							○	○	○	○	○	○	○	180			
450								○	○	○	○	○	○	190	25	40	
480								○	○	○	○	○	○	200			
500								○	○	○	○	○	○	210			
530								○	○	○	○	○	○	220			
560								○	○	○	○	○	○	240			

注: 1. ○为选用模块。
2. 重量小于 25 kg, 可不设起重孔 d₂。

表 23.2-55 矩形模块 (摘自 JB/T 5110.2—1991)

(mm)



标记示例: 矩形模块, B型, 长度 $L = 200$ mm、宽度, $b = 140$ mm, 高度, $h = 80$ mm, 材料为 5CrNiMo

模块 B200 × 140 × 80 - 5CrNiMo JB/T 5110.2

材料: 5CrNiMo 5CrMnMo 3Cr2W8V 4Cr5MoSiV1 4Cr5MoSiV 及其他性能相近或更优的热作模具钢或专用模具钢种

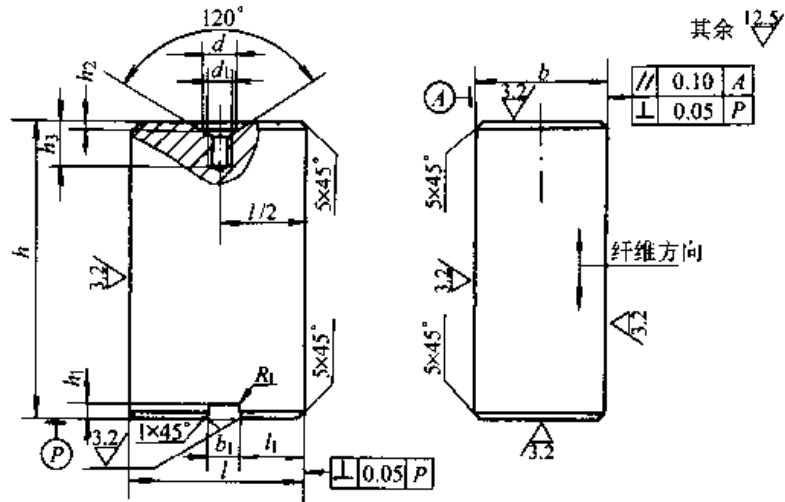
b	t											d	l
	40					63							
	h												
	63	71	80	90	100	110	125	140	160	180	200		
140	○	○	○	○	○							20	32
160	○	○	○	○	○	○							
180	○	○	○	○	○	○	○	○					
200	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
220	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
240	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
260	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
280			○	○	○	○	○	○	○	○	○	25	40
300			○	○	○	○	○	○	○	○	○		
320			○	○	○	○	○	○	○	○	○		
340			○	○	○	○	○	○	○	○	○		
360			○	○	○	○	○	○	○	○	○		
380					○	○	○	○	○	○	○		
400					○	○	○	○	○	○	○		
L 尺寸系列	140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420, 450, 500, 530, 560, 600, 630, 670, 710, 750, 800, 850, 900												

注: 1. ○为选用模块。

2. 重量小于 25 kg 者, 可不设起重孔 d。

表 23.2-56 垂直分模凹模体 (摘自 JB/T 5111.1—1991)

(mm)



标记示例: 凹模体长度 $l = 200$ mm、宽度 $b = 140$ mm、高度 $h = 380$ mm

凹模体 $200 \times 140 \times 380 - 8Cr3$ JB/T 5111.1

材料: 8Cr3, 允许用力学性能不低于 8Cr3 的其他钢种代替

公称锻造力 /kN	凹模体尺寸			键槽尺寸			起重孔尺寸																	
	b (h12)	l	h	b_1	l_1 (h9)	h_1	d	d_1	h_2	h_3														
1 000	100	100	250	21	70	7.5	22	M16	8	36														
		110																						
		125																						
		140																						
		160																						
1 600	120	140	315								21	70	7.5	22	M16	8	36							
		160																						
		180																						
		200																						
2 500	140	180	380															21	70	7.5	22	M16	8	36
		200																						
		220																						
		250																						
		280																						
320																								
4 000	160	220	480	21	70	7.5	22	M16	8	36														
		250																						
		280																						

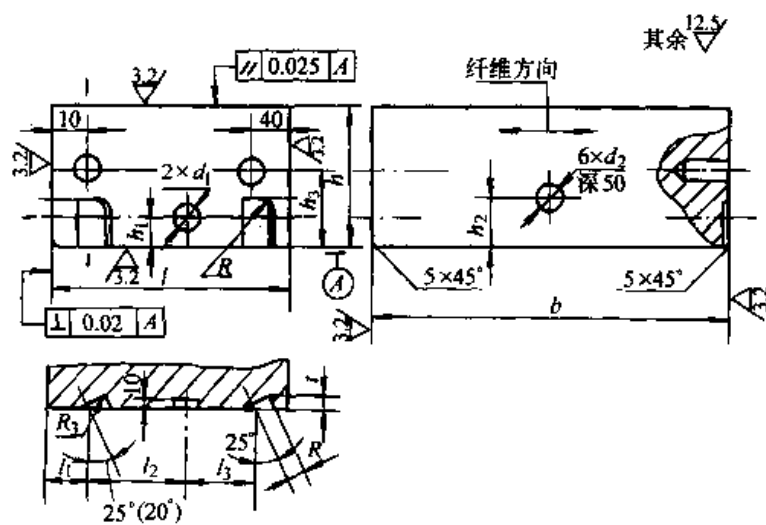
续表 23.2-56

公称锻压力 /kN	凹模体尺寸			键槽尺寸			起重孔尺寸			
	b (h12)	l	h	b_1	l_1 (h9)	h_1	d	d_1	h_2	h_3
4 000	160	320	480	21	70	7.5	32	M24	10	50
		360								
		400								
5 000	180	250	480	51	100	10.5	32	M24	10	50
		280								
		320								
		360								
		400								
		450								
6 300	200	250	600	51	100	10.5	32	M24	10	50
		280								
		320								
		360								
		400								
		450								
8 000	220	280	670	51	100	10.5	32	M24	10	50
		320								
		360								
		400								
		450								
		500								
10 000	240	280	750	51	100	10.5	45	M36	12	71
		320								
		360								
		400								
		450								
		500								
12 500	260	360	850	51	127	10.5	45	M36	12	71
		400								

续表 23.2-56

公称锻压力 /kN	凹模体尺寸			键槽尺寸			起重孔尺寸			
	b (h12)	l	h	b_1	l_1 (h9)	h_1	d	d_1	h_2	h_3
12 500	260	450	850	51	127	10.5	45	M36	12	71
		500								
		560								
		630								
		710								
16 000	280	400	950							
		450								
		500								
		560								
		630								
		710								
20 000	320	800	1 060							
		710								
		630								
		560								
		500								
		450								

表 23.2-57 水平分模凹模体 (摘自 JB/T 5111.2—1991) (mm)



标记示例: 凹模体长度 $l = 360$ mm、
 宽度 $b = 450$ mm, 高度 $h = 170$ mm
 凹模体 360×450×170-8Cr3
 JB/T 5111.2
 材料: 8Cr3, 允许用力学性能不低于
 8Cr3 的其他钢种代替

续表 23.2-57

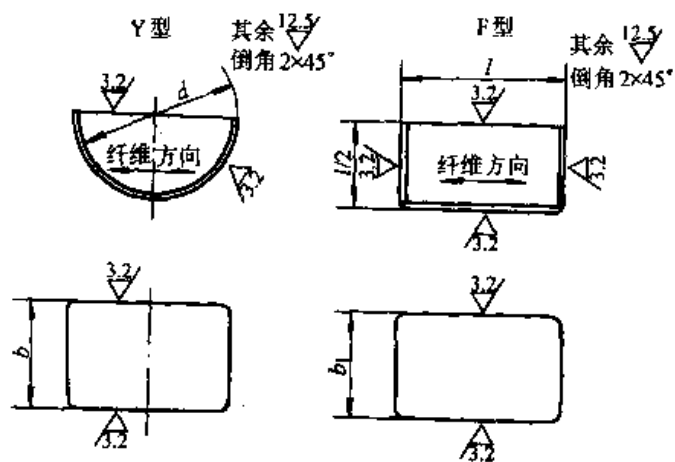
公称锻压力 /kN	凹模体尺寸			紧固尺寸						起重孔尺寸		
	<i>b</i>	<i>l</i>	<i>h</i> (<i>h</i> 12)	<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₂	<i>l</i> ₃	<i>h</i> ₁	<i>R</i> = <i>t</i>	<i>d</i> ₁	<i>h</i> ₂	<i>h</i> ₃	<i>d</i> ₂
3 150	380	220	145	70	105	120	30	20	36	70	80	26
		250										
		280										
		320										
		360										
4 500	450	280	170	165	135	140			42	80		
		320										
		360										
		400										
		450										
6 300	530	320	190	185	155	155	38	22	45	90	95	
		360										
		400										
		450										
		500										
		560										
9 000	600	360	220	195	165	205	48	28	55	95	130	
		400										
		450										
		500										
		560										
		630										
12 500	670	400	250	100	200	—	50	28	55	100	150	
		450										
		500										
		560										
		630										
		710										
16 000	750	500	280	100	200	—	60	30	60	120	160	
		560										
		630										

续表 23.2-57

公称锻力 /kN	凹模体尺寸			紧固尺寸						起重孔尺寸		
	<i>b</i>	<i>l</i>	<i>h</i> (h12)	<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₂	<i>l</i> ₃	<i>h</i> ₁	<i>R=t</i>	<i>d</i> ₁	<i>h</i> ₂	<i>h</i> ₃	<i>d</i> ₂
16 000	750	670	280	100	200	—	60	30	60	120	160	38
		710										
		750										
		800										
20 000	850	560	300	—	—	—	60	30	60	140	160	38
		630										
		670										
		710										
		750										
		800										
		850										

注：由于产品工艺需求，要增加凹模镶块镶嵌部位尺寸时，其长度宽度不得大于钳口外廓尺寸。

表 23.2-58 凹模镶块毛坯 (摘自 JB/T 5111.3—1991) (mm)



标记示例：半圆型凹模镶块直径 $d=80$ mm、厚度 $b=50$ mm 镶块 Y80×50-8Cr3 JB/T 5111.3
材料：选用 8Cr3 锻件，允许用力学性能与 8Cr3 相当的其他钢种代替

<i>b</i> \ <i>d=l</i>	25	32	40	50	63	80	100	110	125	140	160	180	200	220	240	260	280	300
56	○	○	○	○	○													
63	○	○	○	○	○	○	○											
71		○	○	○	○	○	○	○	○									
80		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○							
90		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○							
100			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					

续表 23.2-58

$d=l$ \ b	25	32	40	50	63	80	100	110	125	140	160	180	200	220	240	260	280	300
110			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
125			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
140				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
160				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
180					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
200					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
220						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
240							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
260							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

注：○为选用镶块。

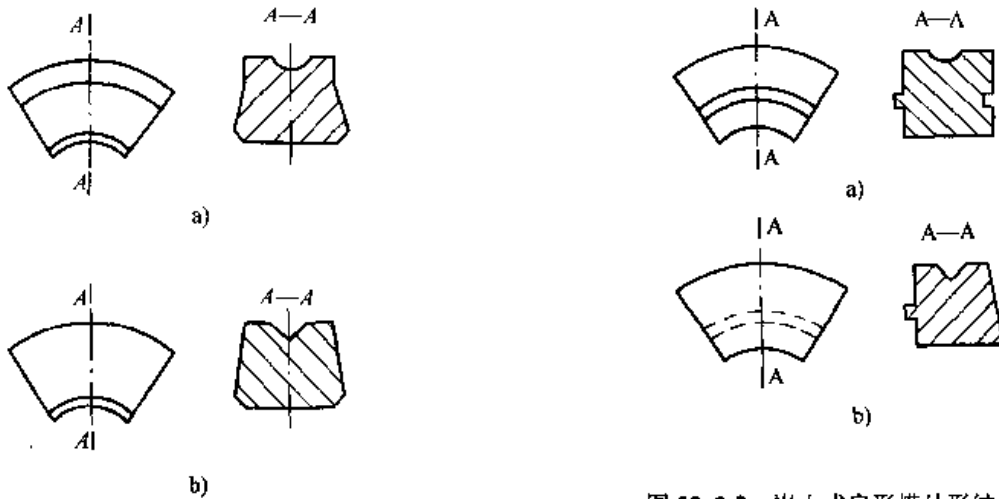


图 23.2-1 楔式扇形模外形结构

a) 侧壁的一部分为楔形 b) 侧壁全部为楔形 (梯形式)

图 23.2-3 嵌入式扇形模外形结构

a) 两端侧壁分别有圆弧形带或圆弧形槽
b) 一端侧壁具有圆弧形带，一端侧壁具有楔形
整体模一般用于悬臂式辊锻机。

整体模用键固定，其结构见图 23.2-5，固紧示例见图 23.2-6。

2) 辊锻模结构尺寸 扇形模的外形尺寸、型槽尺寸、表面粗糙度、侧壁与端部壁厚等，应根据辊锻机系列有关参数，热辊锻件图样及各部分壁厚强度要求确定，见图 23.2-7、图 23.2-8。

模具壁厚尺寸按式 (23.2-1) ~ 式 (23.2-3) 确定

模具侧壁厚度 S_1

$$S_1 \geq (1.1 \sim 1.5) h_{\max} \quad (23.2-1)$$

模具前端壁厚 S_2

$$S_2 \geq h_1 \quad (23.2-2)$$

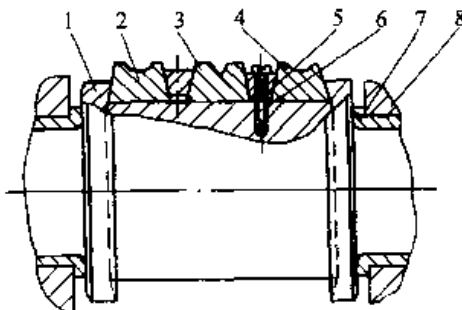


图 23.2-2 楔式扇形模固紧示例

1—锻辊 2、3、4—扇形模具 5—压块
6—螺钉 7—轴瓦 8—轴承座

嵌入式扇形模，用压环或楔形压块固紧在锻辊上，其侧壁具有凸、凹弧形带或槽。外形结构见图 23.2-3，固紧示例见图 23.2-4。

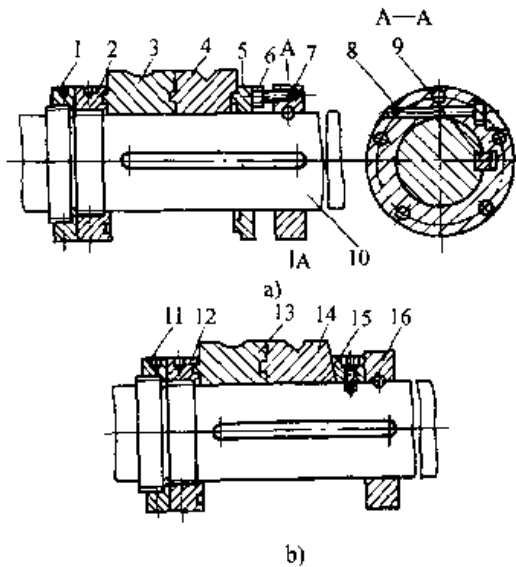


图 23.2-4 嵌入式扇形模固紧示例

a) 用压环固紧 b) 用压块固紧

- 1—锁紧螺母 2—定位环 3、4—扇形模具
- 5—压紧环 6—螺钉 7—挡环 8—定位销
- 9—平键 10—锻辊 11—锁紧螺母 12—定位环
- 13、14—扇形模具 15—压紧块 16—挡环

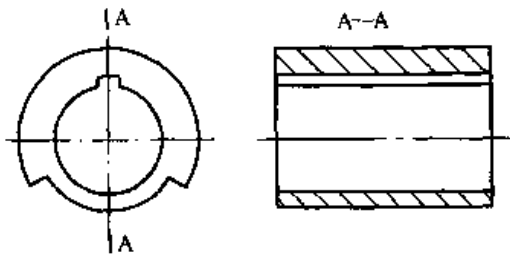


图 23.2-5 整体结构

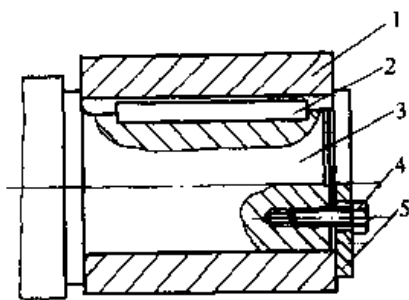


图 23.2-6 整体模固紧示例

- 1—整体模具 2—平键 3—锻辊
- 4—螺钉 5—压盖

模具后端壁厚 S_3

$$S_3 \geq (1.0 \sim 1.5) h_b \quad (23.2-3)$$

式中 h_{max} ——型槽单边最大深度；

h_f ——型槽前端深度；

h_b ——型槽后端深度。

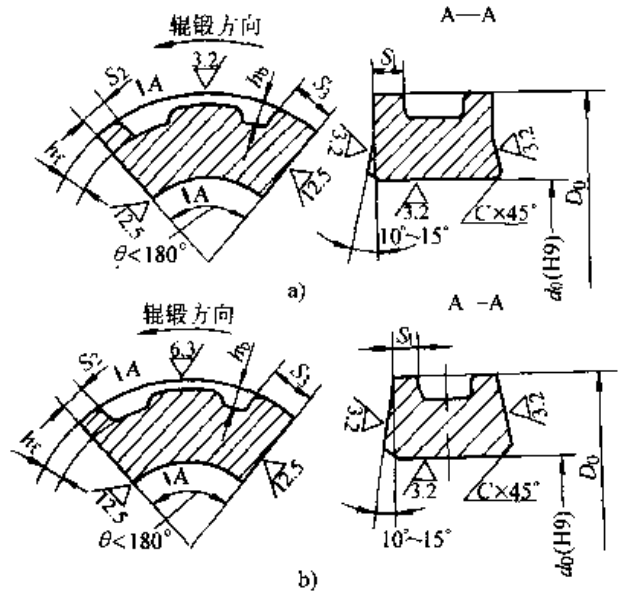


图 23.2-7 楔式扇形模尺寸

模具内外圆弧直径 d_0 、 D_0 及模具厚度 H 、 d_A 、 d'_A 、 d_B 、 d'_B 、 C 、 C' 、 E 、 F 等按式 (23.2-4)、式 (23.2-5) 及表 23.2-59 确定

模具外径 D_0

$$D_0 = D - \Delta S \quad (23.2-4)$$

式中 D ——锻模公称直径，指锻模分模面处的公称回转直径，其值等于两锻辊的公称中心距

ΔS ——飞边厚度

模具厚度 H

$$H = \frac{D_0 - d_0}{2} \geq (2 \sim 3) h_{max} \quad (23.2-5)$$

整体模尺寸见表 23.2-60。

为提高模具寿命，辊锻模成形型槽中磨损较快的部分可制成镶块。

在型槽深腔处，按工艺要求可加排气孔。

3) 辊锻模上的工艺槽

为保证辊锻件质量，提高模具寿命，在辊锻模上开设工艺槽。

为消除或减小某部分金属的不均匀变形，增设平衡型槽（图中的 A），避免出现毛坯的偏摆缺陷。

4) 辊锻模型槽纵向尺寸标注

辊锻模型槽纵向尺寸的标注见图 23.2-10。

型槽纵向 i 区段长度尺寸应换算为模具的中心角，换算公式为

$$\theta_i = \frac{L_{ki}}{R_{zi}}$$

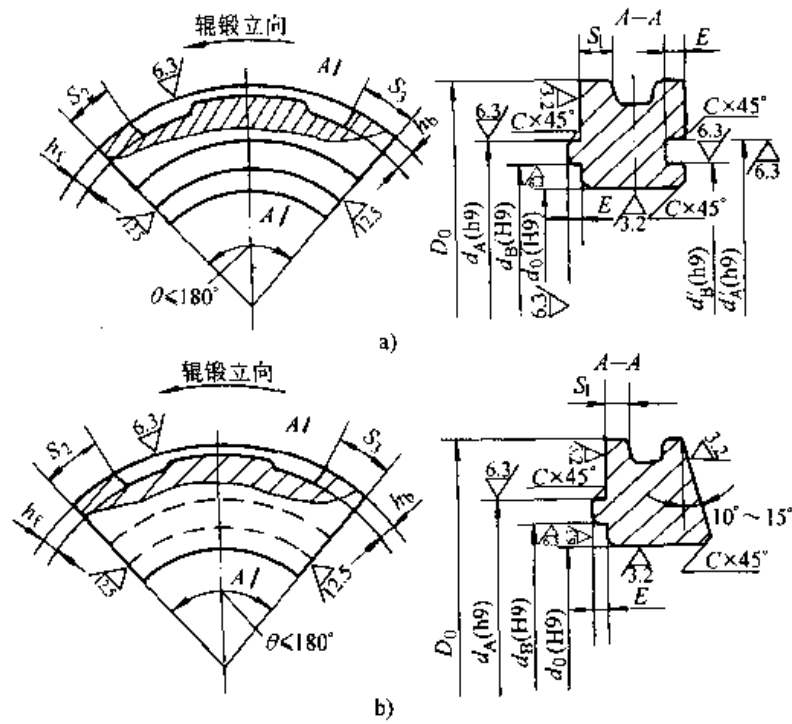


图 23.2-8 嵌入式扇形模尺寸

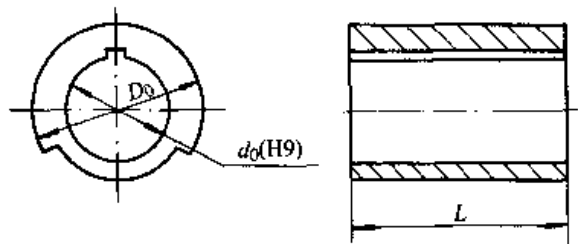
表 23.2-59 扇形模尺寸参数

(mm)

尺寸参数	锻模公称直径 D								
	160	250	400	460	500	630	800	930	1 000
d_0	105	170	260	300	330	430	540	660	680
d_A, d'_A	—	210	330	380	410	520	650	780	780
d_B, d'_B	—	186	300	350	370	480	600	730	730
C	3					5			
C'	2					2			
E	6					8			
F	8					10			

表 23.2-60 整体模尺寸

(mm)



续表 23.2-60

尺寸参数	锻模公称直径 D				
	200	250	315	400	500
d_0	100	140	180	220	280
L	200	250	315	400	500

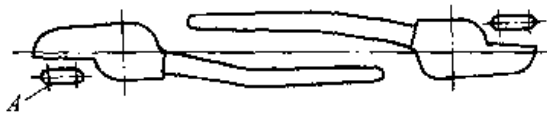


图 23.2-9 辊锻模上的平衡型槽

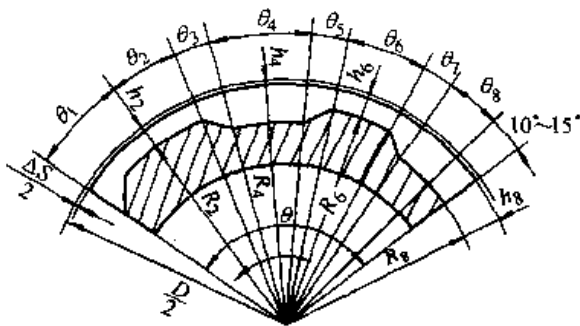


图 23.2-10 型槽纵向尺寸的标注

$$= \frac{L_{af}}{1/2 (D_0 - h'_i) (1 + S_1)} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (23.2-6)$$

式中 θ_i —— 模具中心角，度；

L_{ki} —— 由作用半径 R_i 决定的型槽区段长度；

L_{af} —— 相应区段的毛坯长度尺寸；

R_{zi} —— 型槽作用半径，在制坯辊锻时，可取 $R_z = 1/2 (D_0 - h'_i)$ ，如该区段型槽高度尺寸变化，则 R_z 可按平均值计算；

h'_i —— 辊锻后毛坯的相应矩形高度；

S_1 —— 前滑值，在等截面区段，按 4%~6% 计；在过渡的楔形区段，按辊锻时坯料送进方向确定，当坯料薄端在前时，取 2%~4%；厚端在前时，取 6%~12%。

型槽纵向长度 θ 为各区段长度之和

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \dots + \alpha \quad (23.2-7)$$

式中 $\alpha = 10^\circ \sim 15^\circ$

(8) 辊锻模通用技术条件 (JB/T 9195—1999)

1) 模具材料 按表 23.2-61 选用辊锻模材

料。

2) 内在缺陷 采用热轧钢或钢锭锻制的模块毛坯、铸造的辊锻模半成品，其内部均不允许有白点、裂纹、气孔、缩孔、疏松等缺陷。

3) 锻造比 用钢锭锻制的模块毛坯，锻造比应符合 GB/T 11880—1989 的有关规定。

4) 热处理状态 模块毛坯与铸造的辊锻模半成品的热处理硬度为 197~241HBS；形状复杂的成形辊锻模模块与铸造辊锻模的热处理硬度为 38~44HRC；形状简单的辊锻模模块与铸造辊锻模的热处理硬度为 44~48HRC。

5) 形状和尺寸 模块形状和尺寸应符合 JB/T 9194—1999《辊锻模结构型式及尺寸》的有关规定；模块与锻辊的配合公差为 H9/h9；型槽的形状按热辊锻件图样确定，其尺寸偏差按表 23.2-62 确定，特殊情况由供需双方商定。

6) 表面质量 模块表面粗糙度应符合 JB/T 9194—1999《辊锻模结构型式及尺寸》的有关规定；模块型槽加工表面如有裂纹、折叠、斑疤、夹渣、夹砂等缺陷，其深度不得超过单面加工余量的 2/3；型槽表面粗糙度参数 R_a 的最大允许值为 16 μm 。

(9) 模锻锤和大型热模锻压机用模块技术条件 (GB/T 11880—1989)

1) 锻件材料采用电炉钢、平炉钢或电渣重熔钢，并尽量采用炉外精炼（如真空处理或喷粉处理）钢。

2) 模块用的合金钢钢号化学成分（质量分数）应符合表 23.2-63 的规定。

3) 模块截面尺寸规格见表 23.2-64。

模块尺寸的极限偏差规定如下：

在高度方向为高度尺寸的 +5%；

在长度和宽度方向凡尺寸 < 600 mm 者，为该尺寸的 +4%，-1%。≥600 mm 者，为该尺寸的 +3%，-1%

4) 模块的角度公差 < 6°；圆角半径 < 15 mm。

5) 模块表面应光洁, 如有裂纹、折叠、斑疤、夹渣、夹砂等缺陷, 允许清除, 其清除深度不得超过尺寸偏差的2/3, 宽度不得小于深度的5倍, 并均匀过渡。

6) 用钢锭制造模块, 必须锻粗, 锻粗比 ≥ 2 , 锻造比 ≥ 3 , 但电渣重熔钢不受此限。

7) 模块内部不允许有白点、裂纹、缩孔等缺陷。

8) 模块应由生产厂进行超声波探伤检查, 超声波探伤检查判定如下:

①允许存在个别的、分散的、不大于当量直径 $\phi 2$ mm的冶金缺陷;

②在 100 cm^2 的面积内, 当量直径 $\phi 2 \sim \phi 4$

mm的冶金缺陷不得超过3个, 其中当量直径 $\phi 3 \sim \phi 4$ mm的冶金缺陷只允许有1个;

③允许有2~4个小于当量直径 $\phi 2$ mm的冶金缺陷的密集区, 但每区不得超过 10 cm^3 , 每区之间距不得小于150 mm;

④重量超过5 t的模块, 除倍尺(长条)外, 可允许有1个当量直径 $\phi 6$ mm的冶金缺陷存在。

9) 模块需锻后退火交货, 其硬度为197~241HBS。

10) 钢中的非金属夹杂物应符合下述规定:
脆性夹杂物 ≤ 2.5 级, 塑性夹杂物 ≤ 2.5 级;
脆性夹杂物+塑性夹杂物 ≤ 4.5 级。

表 23.2-61 辊锻模材料

材料牌号	标准代号	适用范围
3Cr2W8V (或 3Cr2W6) 5CrNiMo 5CrMnMo	GB/T 1299—1985	1) 生产节拍高、批量大的制坯辊锻模 2) 形状复杂的成形辊锻模
ZG4Cr3Mo2WV ZG5CrMnMoV	—	1) 衬陶瓷型精密铸造大型的制坯辊锻模 2) 衬陶瓷型精密铸造大型复杂的成形辊锻模
45	GB/T 699—1999	1) 形状较复杂, 批量不大的制坯辊锻模或成形辊锻模
ZG 310—570	GB/T 11352—1989	2) 新产品试制或模具型槽定型的研制

注: 允许采用性能相近的钢号代替。

表 23.2-62 型槽尺寸偏差 (mm)

公称尺寸	制坯			初成形			终成形		
	长度	宽 (直径)	深度	水平	深度	中心距	水平	深度	中心距
~18	± 1.10	+2.20 -1.10	± 0.43	+0.43 -0.27	+0.18 -0.11	± 0.11	+0.18 -0.11	+0.11 -0.07	± 0.11
>18~30	± 1.30	+2.60 -1.30	± 0.52	+0.52 -0.33	+0.21 -0.13	± 0.13	+0.21 -0.13	+0.13 -0.08	± 0.13
>30~50	± 1.60	+3.20 -1.60	+0.62	+0.62 -0.39	+0.25 -0.16	± 0.16	+0.25 -0.16	+0.16 -0.10	± 0.16
>50~80	± 1.90	+3.80 -1.90	± 0.74	+0.74 -0.46	+0.30 -0.19	± 0.19	+0.30 -0.19	+0.19 -0.12	± 0.19
>80~120	± 2.20	+4.40 -2.20	± 0.87	+0.87 -0.54	+0.35 -0.22	± 0.22	+0.35 -0.22	+0.22 -0.14	± 0.22
>120~180	± 2.50	—	± 1.00	+1.00 -0.63	+0.40 -0.25	± 0.25	+0.40 -0.25	+0.25 -0.16	± 0.25
>180~250	± 2.90	—	—	+1.15 -0.72	—	± 0.29	+0.46 -0.29	—	± 0.29
>250~315	± 3.20	—	—	+1.30 -0.81	—	± 0.32	+0.52 -0.32	—	± 0.32
>315~400	± 3.60	—	—	+1.40 -0.89	—	± 0.36	+0.57 -0.36	—	± 0.36
>400~500	± 4.00	—	—	+1.55 -0.97	—	± 0.40	+0.63 -0.40	—	± 0.40

续表 23.2-62

公称尺寸	制 坯			初 成 形			终 成 形		
	长度	宽 (直径)	深度	水平	深度	中心距	水平	深度	中心距
>500~ 630	±4.40	—	—	+1.75 -1.10	—	±0.44	+0.70 -0.44	—	±0.44
>630~ 800	±5.00	—	—	+2.00 -1.25	—	±0.50	+0.80 -0.50	—	+0.50
>800~ 1 000	±5.60	—	—	+2.30 -1.40	—	±0.56	+0.90 -0.56	—	±0.56

表 23.2-63 合金钢模块化学成分 (质量分数) (%)

化学成分	钢 号							
	5CrMnMo	5CrNiMo	4CrMnSiMoV	4SiMnMoV	4Cr2MoVNi	5CrNiMoV	5Cr2NiMoVSi	
C	0.50~0.60	0.50~0.60	0.35~0.45	0.40~0.50	0.35~0.45	0.50~0.60	0.46~0.54	
Mn	1.20~1.60	0.50~0.80	0.80~1.10	1.50~1.80	≤0.40	0.50~0.80	0.40~0.60	
Si	0.25~0.60	≤0.40	0.80~1.10	0.80~1.10	≤0.40	≤0.35	0.60~0.90	
Cr	0.60~0.90	0.50~0.80	1.30~1.50	—	1.80~2.20	0.80~1.10	1.54~2.00	
Ni	—	1.40~1.80	—	—	1.10~1.50	1.40~1.80	0.80~1.20	
Mo	0.15~0.30	0.15~0.30	0.40~0.60	0.40~0.60	0.45~0.60	0.35~0.50	0.80~1.20	
V	—	—	0.20~0.40	0.20~0.40	0.10~0.30	0.10~0.30	0.30~0.50	
S、P	≤0.030	≤0.030	≤0.030	≤0.030	≤0.030	≤0.030	≤0.030	

- 注：1. 5CrNiMoV、5Cr2NiMoVSi 为推荐钢号。
 2. Ni 不作为合金元素时，允许残留含 Ni 量 ≤0.25%。
 3. 允许残留含 Cu 量 ≤0.20%。
 4. 如选用其他性能相近的合金模具钢，参照本标准，在合同中注明。

表 23.2-64 合金钢模块截面尺寸规格 (mm)

高度 H	宽 度 B															
	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1 000
250																
275																
300																
325																
350																
375																
400																
425																
450																
475																

注：模块长度 (L) 尺寸，由需方向供方订货时在合同上规定。

参考文献

- 1 全国锻压模具标准化技术委员会编. 中国机械工业标准汇编: 锻压模具卷, 上. 北京: 中国标准出版社, 1999
- 2 中国机械工程学会锻压学会. 锻压手册: 第1卷, 锻造. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 3 中国机械工程学会锻压学会. 锻压手册: 第3卷, 锻压车间设备. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 4 锻模设计手册编写组. 锻模设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1991
- 5 李尚健. 锻造工艺及模设计资料. 北京: 机械工业出版社, 1991
- 6 (美) 美国金属学会. 金属手册: 第14卷, 成型和锻造. 第9版. 北京: 机械工业出版社, 1994

中国模具设计大典
CHINA DIE & MOULD DESIGN CANON

第
24
篇

普通锻模设计

主 编 夏巨谔 朱伟成
 赵一平 吴听松

编 写 张夔昌 夏巨谔
 朱伟成 吴听松
 蔡喜明 赵一平

审 稿 吴家贤



中国机械工程学会
CMDC 中国模具设计大典编委会



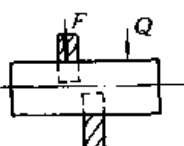
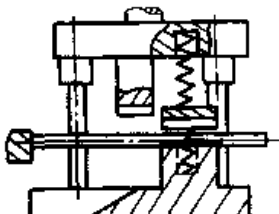
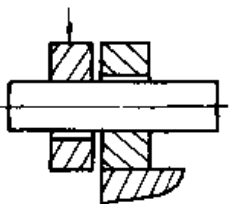
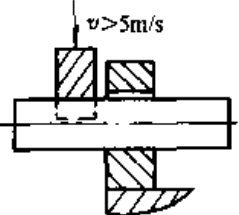
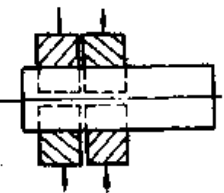
第 1 章 下料用剪切模设计

1 概述

1.1 剪切方法的选择

剪切方法的选择应根据具体的生产条件和对毛坯的精度要求合理地进行确定。表 24.1-1 所列为生产上经常采用的几种剪切方法及其特点。

表 24.1-1 常用的剪切方法及其特点

剪切方法	模具结构示意图	特点及其应用范围
棒料剪床剪切		切刀简单, 更换容易, 下料成本低, 但剪切的毛坯质量差。适用于大中批量生产, 是自由锻和一般模锻工艺的主要下料方法
普通剪切模剪切		剪切毛坯质量略高于棒料剪床剪切。适于直径 50 mm 以下的棒料剪切下料
套筒模剪切		用套筒切刀取代普通剪切模的动、定切刀, 可以提高剪切质量, 但卸料机构复杂。适用于质量要求较高的小直径冷拔料毛坯 (如活塞销、链条链子等冷挤用毛坯) 剪切下料
高速剪切		剪切速度大于 5 m/s, 剪切的毛坯质量好, 但噪声高, 模具寿命较低。适用于毛坯质量要求较高的工艺备料
径向夹紧剪切		将棒料端与坯料端同时夹紧后再进行剪切。可改善中碳钢和合金结构钢热轧棒料的剪切质量, 但模具复杂, 更换刀片不方便。适用于毛坯质量要求较高的工艺备料

1.2 剪切过程及毛坯端头畸变

剪切过程是动定刀片作用给坯料以一定的压力 F (图 24.1-1), 在坯料剪切区内产生剪断所

需的应力而实现的。

由于动定刀片的作用力不在同一条直线上, 因而产生使棒料翻转的力矩, 这个力矩被刀片的反力 T 和压料力 Q 所形成的力矩平衡。由于压

紧机构的弹性变形等因素，棒料不可能被绝对地压紧，必然会翻转一个角度 α_1 ，称为翻转角。在剪切过程中，毛坯又受到一个附加的弯曲作用，形成弯曲角 α_2 。由于翻转角 α_1 和弯曲角 α_2 及切刀间隙 Δ 等原因造成了切面斜度 φ_1 、 φ_2 等端头畸变。一般，毛坯后端的斜角 φ_1 大于前端的斜角 φ_2 。

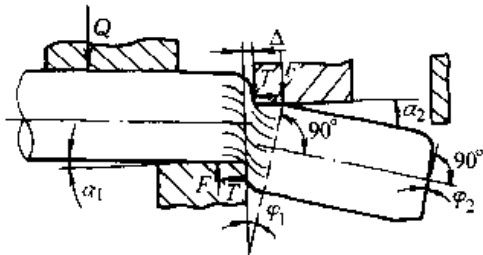


图 24.1-1 剪切末期示意图

剪切过程开始，动定刀片的刃口同时切入金属，达到一定深度后，自动、定刀片刃口处首先产生裂纹，并迅速扩展；当两条裂纹相接时，剪切过程结束，毛坯从棒料上分离。

刀片切入金属的深度，主要取决于被剪金属的力学性能和剪切条件。在其他条件相同的条件下，被剪切的金属越软，切入深度也就越大。相对切入深度 ϵ 可用下式表示

$$\epsilon = \frac{z}{a}$$

式中 z ——切入深度绝对值；

a ——棒料截面高度。

表 24.1-2 为冷剪某些牌号钢的 ϵ 值。

表 24.1-2 冷剪某些钢种的相对切入深度 ϵ

钢号	抗拉强度/ MPa	伸长率/ %	切入深度 ϵ
弹簧钢	1 008	10.8	0.16
Cr18Ni9	600	45.0	0.40
20	537	21.7	0.35
15	380	32.0	0.41

图 24.1-2 所示为剪床剪切时毛坯端头特征区示意图。

1.3 剪切工艺参数及剪切缺陷

(1) 剪切工艺参数

1) 剪切力 剪切力大小对模具设计和选用都具有重要意义。

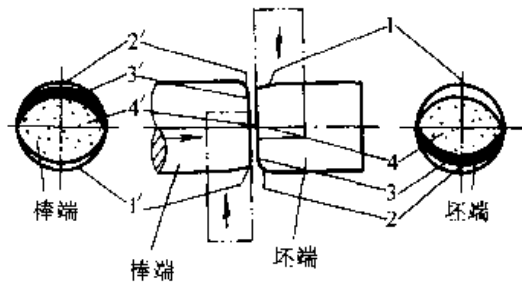


图 24.1-2 剪切位置特征区示意图

- 1、1'—压塌区 2、2'—拉塌区
3、3'—剪切区 4、4'—断裂区

剪床剪切和剪切模剪切的剪切力 F (N) 可按式计算

$$F = KA\tau$$

式中 A ——剪切面积 (mm^2)；

τ ——被剪材料的抗剪强度 (MPa)，见表 24.1-3；

K ——为考虑剪刀钝利情况及剪刀间隙大小变化的一个系数，可取 1.0~1.2。

对于某些材料缺乏实际数据时，可取 $\tau = (0.55 \sim 0.9) \sigma_b$ ，塑性高的材料取大值，塑性低的取小值。

表 24.1-3 部分材料 τ/σ_b 的比率

材 料	τ / MPa	σ_b / MPa	τ/σ_b	δ / %	备 注
Q195	290	336	0.86		退 火
	375				冷作硬化
Q235-A	341.7	423	0.82		退 火
	410				冷作硬化
Q255-A	356	454	0.79		退 火
	460				冷作硬化
15	280	380	0.74	32	
30	356	454	0.79		退 火
35	420	540	0.78		退 火
40, 45, 50	460				退 火
75	610	1 000	0.61	10.8	
30CrMnSiA	750	1 200	0.62	13.5	调 质
纯 铜	160	200	0.80		
H68	290	300	0.66		
HPb59-1	260	420	0.62		

续表 24.1-3

材 料	τ / MPa	σ_b / MPa	τ/σ_b	δ / %	备 注
锌	150	187	0.91		
2A12	130	230	0.56	15	退 火
	220~	380~			

式中 a ——可剪切的棒料最大直径或方形截面的边长 (mm);

a_{45} ——抗拉强度 σ_b 等于 450 MPa 时可剪切棒料的最大直径或方形截面的边长 (mm)。

2) 切刀间隙 动、定刀片端面间的轴向距

3) 剪切温度 剪切下料时, 加热的目的主要是防止坯料切面产生裂纹及崩碎等缺陷。棒料剪切前是否加热及加热温度的高低主要依据以下

三点:

① 被剪材料的硬度。硬度越高, 加热温度越高, 表 24.1-6 所列为某厂实际使用的数据。

表 24.1-5 r 值的确定

$\sigma_b /$ MPa	r		$\sigma_b /$ MPa	r	
	圆 钢	方 钢		圆 钢	方 钢
< 500	$\frac{d}{50}$	$\frac{a}{50}$	> 700	$\frac{d}{80}$	$\frac{a}{80}$
500~700	$\frac{d}{60}$	$\frac{a}{60}$			

表 24.1-6 被剪材料硬度、加热温度对照

材料硬度 d_H / mm	3.7	3.9	4.0	4.2
预热温度 / $^{\circ}\text{C}$	550	400	380	350

② 被剪材料截面大小。被截材料截面过大, 坯料截面尺寸确定是否加热的实际经验。需要加热剪切。表 24.1-7 为某厂根据所剪切的

表 24.1-7 按坯料截面尺寸确定剪切状态

材料牌号	毛坯直径或边长 /mm	硬 度 d_H / mm	剪切状态	材料牌号	毛坯直径或边长 /mm	硬 度 d_H / mm	剪切状态
35	≤ 75		冷 剪	40Cr	≤ 50		冷 剪
	80~85	≤ 4.4	热 剪		55~60	≤ 3.9	热 剪
		> 4.4	冷 剪			> 3.9	冷 剪
	> 85		热 剪		> 60		热 剪
45	≤ 60		冷 剪	45Cr 18CrMnTi 12Cr2NiA	≤ 35		冷 剪
	65~75	≤ 4.2	热 剪		40~48	≤ 3.8	热 剪
		> 4.2	冷 剪			> 3.8	冷 剪
	> 75		热 剪		> 48		热 剪


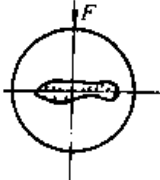
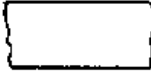
注: d_H 为测布氏硬度时的压痕直径。

③ 剪切前被剪材料所处的原始温度。当低于 10°C 时, 则应采取适当的预热措施, 如搬入室内存放一段时间, 使其温度高于 10°C 等。


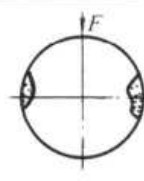
(2) 剪切缺陷

剪切下料所产生的缺陷类型、原因及防止方法见表 24.1-8。

表 24.1-8 剪切下料产生的缺陷及防止方法

缺陷示意图	特点及产生原因	防止方法	缺陷示意图	特点及产生原因	防止方法
	搭头及毛刺较大。因剪切间隙过大, 温度过高	调整间隙, 降低剪切温度		端面裂纹。多数于剪切之后过一段时间自然发生。其原因是剪切温度过低, 刀片刃口半径过大	提高剪切温度, 减小刃口半径
	端面毛刺。主要是剪切间隙过小, 上下裂纹不重合所致	调整间隙			

续表 24.1-8

缺陷示意图	特点及产生原因	防止方法	缺陷示意图	特点及产生原因	防止方法
	端面呈鸡心形凸起或凹进。原因是剪切温度过高	降低剪切温度		在端面两侧产生崩碎现象。原因是剪切温度过低，剪切间隙过小	提高剪切温度；适当调整间隙

1.4 剪切质量的评定和毛坯长度的修正

(1) 剪切质量的评定

1) 剪床冲床下料按长度验收的坯料，其长度公差应符合表 24.1-9 规定。

2) 剪床冲床下料按重量验收的坯料，其重量公差应符合表 24.1-10 的规定。

3) 对端部变形有要求的剪床冲床下料的坯料，其剪切端面变形许可值应符合表 24.1-11 的规定。

表 24.1-9 剪床冲床下料坯料长度公差 (mm)

坯料直径 或边长	坯料长度						
	≤100	>100~160	>160~250	>250~400	>400~630	>630~1 000	>1 000
≤30	±1	±1	+2 -1	+2 -1	±2	±2	+3 -2
31~50	±1	+2 -1	+2 -1	±2	±2	+3 -2	±3
52~80	+2 -1	+2 -1	±2	±2	+3 -2	±3	+4 -3
85~120		±2	±2	+3 -2	±3	+4 -3	+5 -3
>125		±2	+3 -2	±3	+4 -3	+5 -3	+5 -4

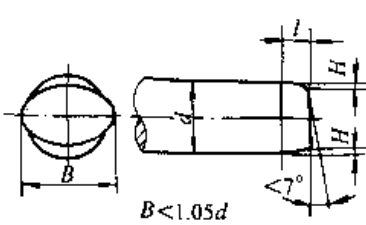
表 24.1-10 剪床冲床下料坯料重量公差

坯料重量/ kg	坯料直径 或边长/mm											
	≤0.68	>0.68 ~1.0	>1.0~ 1.6	>1.6~ 2.5	>2.5~ 4	>4~ 6.3	>6.3~ 10	>10~ 16	>16~ 25	>25~ 40	>40~ 63	>63
≤30	+0.010 -0.005											
31~40	+0.015 -0.005	+0.015 -0.010	+0.020 -0.010									
42~50	+0.015 -0.010	+0.02 -0.01	+0.030 -0.015	+0.030 -0.020								
52~63		+0.03 -0.02	+0.045 -0.025	+0.050 -0.025	+0.060 -0.030	+0.060 -0.040						
65~80				+0.060 -0.030	+0.080 -0.040	+0.090 -0.050	+0.100 -0.060					

续表 24.1-10

坯料重量/kg 坯料直径或边长/mm	≤0.68	>0.68~1.0	>1.0~1.6	>1.6~2.5	>2.5~4	>4~6.3	>6.3~10	>10~16	>16~25	>25~40	>40~63	>63
85~100					+0.12 -0.06	+0.150 -0.080	+0.160 -0.090	+0.180 -0.100	+0.200 -0.110			
105~125							+0.220 -0.110	+0.260 -0.130	+0.300 -0.150	+0.320 -0.170		
130~160								+0.280 -0.140	+0.460 -0.240	+0.560 -0.280	+0.650 -0.330	+0.740 -0.370
>160										+0.800 -0.400	+1.150 -0.580	+1.320 -0.660

表 24.1-11 剪切端变形公差 (mm)

	坯料名义直径 <i>d</i>	许可公差尺寸	
		<i>H</i>	<i>L</i>
	<36	0.07 <i>d</i>	<i>d</i>
	36~70	0.05 <i>d</i>	0.7 <i>d</i>
	>70	0.04 <i>d</i>	0.6 <i>d</i>

4) 锻件坯料不得有切断裂纹。

(2) 剪切下料毛坯长度的修正

剪切下料毛坯的重量公差，对闭式模锻和精密模锻具有特别重要的意义。热轧棒料的实际断面与名义断面有很大差异，为了使剪切毛坯的重量符合规定，必须对剪切下料的毛坯长度进行修正。根据体积不变规律，毛坯的修正长度 l_x 为

$$l_x = \frac{F_m}{F_s} l_m$$

式中 l_x ——毛坯的修正长度；

l_m ——毛坯的名义长度；

F_m ——毛坯名义断面面积；

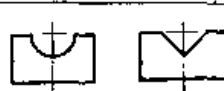

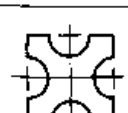
F_s ——毛坯的实际断面面积。

2 剪床刀片设计

2.1 刀片类型

剪床刀片由两片组成，一片固定在下模座上，另一片装在上模板上，由剪床滑块带动作直线往复运动而实现剪切。生产中刀片的类型是多种多样的，按刀片孔型特点分类见表 24.1-12。按刀片刃口分类见表 24.1-13。

表 24.1-12 单、多槽刀片的特点

刀片	类型	简图	特点
单槽刀片	整体式		剪切刀片的上下刀都是开式
			下刀为封闭形刀片，可防止棒料弯曲，用于剪切小棒料，其上刀（动刀）仍作成开式
			刀片的四面都有刀刃，提高了刀片利用率

续表 24.1-12

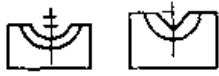
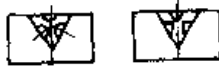

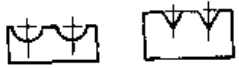
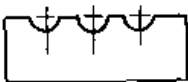
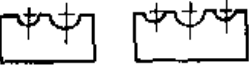

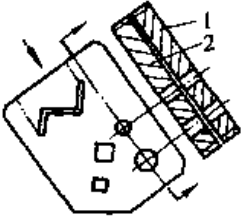
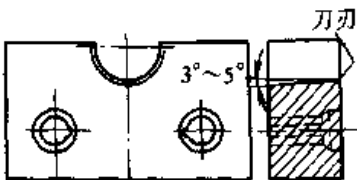
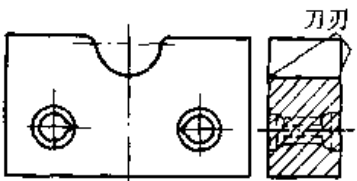
刀片	类型	简图	特点
单槽刀片	镶块式		可节省部分工具钢，但需增加一个刀片夹持器
			优缺点同上，此外还可二面使用
	组合式		可避免整体式刀片角部的应力集中，提高刀片寿命，但必须有一个刀片夹持器
多槽刀片	形状及尺寸相同		可一次剪切两根棒料，提高生产率，用于大设备剪小料
			同上，可一次剪切三根
	形状相同尺寸不同		可一次剪切尺寸不同的多根毛坯
	形状尺寸都不同		可一次剪切形状及尺寸不同的多根毛坯
	封闭式		不更换刀片，可剪切不同形状及尺寸的钢材，为联合剪切机上使用。图中2为动刀，1为不动刀

表 24.1-13 单双刃刀片的特点

刀刃型式	简图	特点
单刃刀片		可减小坯料翻转力臂的数值，但剪料时，刀片压入坯料较深，影响端面质量，只能单面使用
双刃刀片		可两面使用，端面质量较好

2.2 刀片设计

设计刀片时，主要考虑以下两个条件：剪床工艺规格；被剪材料的形状及尺寸。

(1) 剪切圆棒料的刀片设计

剪切圆棒料的刀片设计，主要是确定如下尺寸（见图 24.1-5）：

图中： R ——刃口半径； h_1 ——定刀片高度； h_2 ——动刀片高度； A ——定刀刃口底部到刀片底部距离； B ——动刀刃口顶部到刀片顶端距离。

1) 刃口半径 R 的确定 刃口半径 R 主要决定于被剪材料的直径， R 过大，会使棒料断面过分压扁（图 24.1-6），有时造成裂纹（图 24.1-7）。若 R 小于被剪材之半，则棒侧面将产生压痕，并影响刀片寿命（图 24.1-8）。

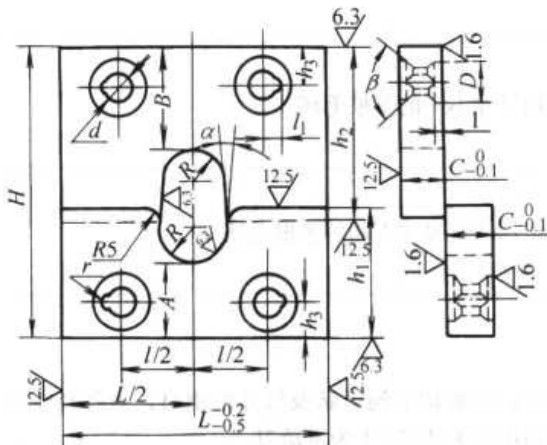


图 24.1-5 圆形刃口刀片结构

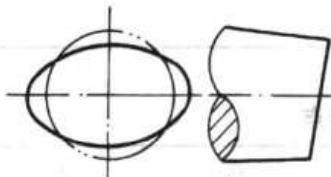


图 24.1-6 断面压扁



图 24.1-7 端部裂纹

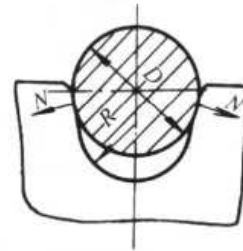


图 24.1-8 产生压痕

在实际生产中设计刀片时，在剪切质量允许的情况下，可将临近规格之棒料设计为同一半径之刀片，以减少刀片品种。

刀片刃口半径（mm）可按以下条件确定：

$$R = \frac{D_{\max}}{2} + (3 \sim 4)Q$$

$$\frac{R}{D_{\min}} \leq K$$

式中 D_{\max} ——刃口半径相同时，被剪棒料的最大直径（mm）；

D_{\min} ——刃口半径相同时，被剪棒料的最小直径（mm）；

Q ——被剪棒料的正偏差（mm）（见 GB/T702）；

K ——系数，与被剪棒料直径有关， K 在 0.55~0.6 之间选取，棒料直径大时取小值。

刀片刃口半径 R 亦可按所剪切的棒料直径 D ，由表 24.1-14 查出。

表 24.1-14 刀片刃口半径 (mm)

棒料直径 D	28~32	34~36	38~42	45~50	54~56	60~65	70~75	80~85	90~95	100	110	130
刃口半径 R	17	19	22.5	26.5	29.5	34.5	39.5	44.5	50	53	58	68

当毛坯端面质量要求不高时，在不产生裂纹的条件下，还可以将刀片的剪切范围扩大。

2) 定刀片尺寸 A 的确定 尺寸 A 主要是为了保证定刀片的强度，并有一定的磨修量。由剪床的工艺规格取经验数据。

5 000 kN 剪床： $A = 120 \sim 130$ mm

10 000 kN 剪床： $A = 130 \sim 140$ mm

3) 动刀片尺寸 B 的确定 基本要求：

- ① 保证刀片强度，并可进行多次修磨；
- ② 应使剪床在理想情况下工作；

③ 不刮伤棒料的端面。

在满足上述各点要求的前提下, B 值越小越好, 可参考下式确定

$$B = H - [S + A + (0.3 \sim 0.32)D_{\min}]$$

式中 H ——剪床的最大封闭高度 (mm);

S ——剪床行程 (mm)。

4) 动定刀片高度 h_1 及 h_2 的确定 当动刀在上死点时, 如图 24.1-9 所示, 动定刀片应有段重叠距离 Δh , 一般称这段距离 Δh 为导程, 以防动定刀片在剪切时相撞而损坏设备或刀片。导程一般取 15~20 mm。

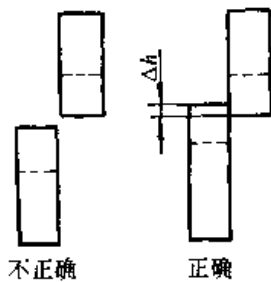


图 24.1-9 导程示意图

在具体设计时, 动定刀片刃口高度取相等值, 刀片高度 (mm) 可按下列下式确定

$$h_1 = \frac{H + A - B}{2} + 7 \sim 10 \text{ mm}$$

$$h_2 = H - h_1 + 15 \sim 20 \text{ mm}$$

5) 刀片外形尺寸的确定 刀片厚度:

主要考虑刀片的强度和刚度, 可取

$$C = (0.25 \sim 0.5)D_{\max}$$

刀片厚度 C 与宽度 L 也可按设备吨位由表 24.1-15 选取。

刀片半圆形刃口开口处的斜度 α (见图 24.1-5) 取 10° 。

表 24.1-15 圆形刀片各部尺寸 (mm)

设备吨位/kN	d	D	l	l_1	h_3	C	r	L
5 000	36	55	230	22	55	60	5	419
10 000	48	72	260	27	60	80	6	479

6) 螺栓孔的设计 固定刀片的螺栓孔一般为 4 孔, 即动刀片两孔, 定刀片两孔。少数为 6 孔, 剪切板料的刀片, 其螺孔更多, 具体数目及尺寸见有关的设备规格。

孔径 d 及 D , 中心距 l 、 l_1 、 h_3 和销钉槽半径 r , 均与设备有关, 见表 24.1-15。

7) 刀片表面粗糙度 刀片各表面粗糙度, 可参考图 24.1-5。

(2) 剪切方料的刀片设计

方料一般沿对角线方向剪切。刀片分整体式组合式两种。图 24.1-10 为整体式剪切方料刀片示意图。为了防止剪切时产生应力集中而损坏刀片, 型槽直角处须用圆弧过渡。同时, 希望剪切一开始时, 方料的圆角部分立即与刀刃接触。圆角半径 r 可按表 24.1-16 选取。

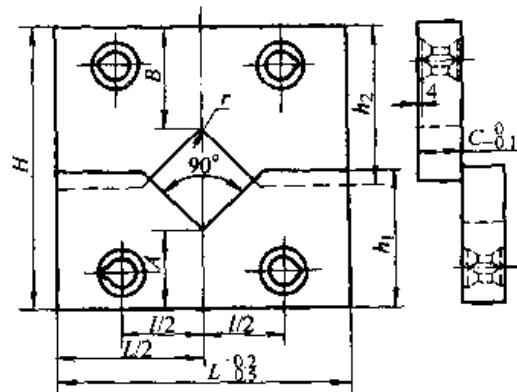


图 24.1-10 方口刀片

表 24.1-16 型槽圆弧半径 r (mm)

方料边长 a	<50	50~70	75~90	90~105	110~125	130~150
圆弧半径 r	7	9	12	15	15	21

剪切方料刀片其他尺寸的确定原则同剪切棒料的刀片。

1) 尺寸 A 根据设备取经验数据, 对 5 000 kN 和 10 000 kN 剪床, 取 110~120 mm。

2) 尺寸 B

$$B = H - (S + A + 0.7a_{\min})$$

式中 a_{\min} ——同一剪切刀所剪切的最小方料的边长 (mm); 允许剪切的最大方料的边长应在下式的范围内:

$$a_{\max} \leq 1.25a_{\min}$$

3) 高度 h_1 (mm)

$$h_1 = \frac{H + A - B}{2} + 7 \sim 8 \text{ mm}$$

4) 高度 h_2 (mm)

$$h_2 = H - h_1 + 15 \sim 20 \text{ mm}$$

5) 外形尺寸、螺钉孔的设计等 与剪切圆棒料的相同。

(3) 剪切扁料的刀片设计

剪切扁料的刀片可做成平刃口, 如图 24.1-

II 的 I 型和 II 型。I 型动定刀片均带槽，用于剪切厚料。II 型动刀片不带槽，即 $B = h_2$ ，多用于剪切较薄的料。这两种刀片均沿扁料的宽边剪切。

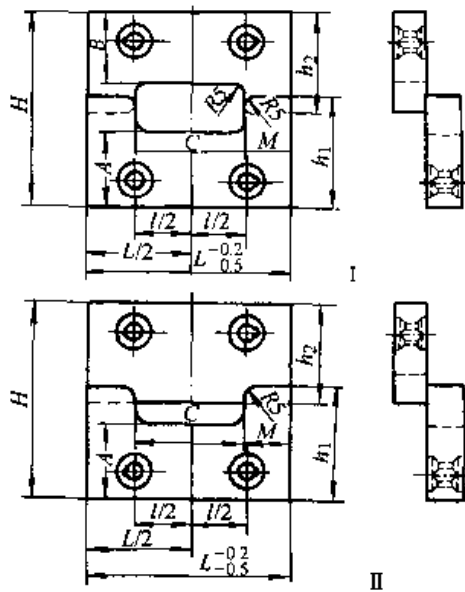


图 24.1-11 剪切扁钢刀片

1) I 型刀片设计

① 定刀尺寸 A 的确定

5 000 kN 剪床: $A = 175 \text{ mm}$

10 000 kN 剪床: $A = 190 \text{ mm}$

② 动刀尺寸 B (mm) 的确定

$$B = H - S - A + 5 \sim 10 \text{ mm}$$

③ 刃口长度 C (mm) 的确定

$$C = b + 20 \sim 30 \text{ mm}$$

④ 动定刀片高度 h_2 (mm)、 h_1 (mm) 的确定

$$h_1 = \frac{(H + A - B)}{2} + 10 \text{ mm}$$

$$h_2 = H - h + 20 \text{ mm}$$

⑤ 刀片外形尺寸、螺钉孔等其他有关尺寸与剪切圆棒料的刀片相同。

2) II 型刀片设计 与 I 型不同处仅在于动

刀片不带槽，即 B 等于 h_2 。各部分尺寸的确定方法与 I 型相同。

3) 沿对角线剪切厚扁料的刀片设计 当扁料边宽 b 与厚 a 之比小于 3 时，刀片设计成图 24.1-12 所示的形式。使扁料对角线 MN 垂直于剪床滑块运动方向，沿 MN 方向剪切。

尺寸 A 的确定。对于 5 000 kN 和 10 000 kN 剪床取：

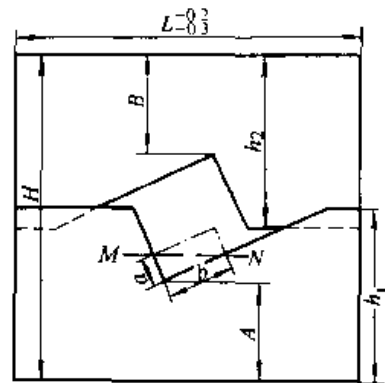


图 24.1-12 沿对角线剪切厚扁钢的刀片形式

$$A = 110 \sim 120 \text{ mm}$$

尺寸 B 可按下式确定：

$$B = H - (S + A + 0.3a)$$

其余尺寸与剪切方钢刀片的确定方法相同。

(4) 刀片材料

在剪切过程中，刀片遭受严重的磨损，因此，用于制造刀片的材料要具备一定的红硬性，即在剪切温度下刀片还能具备所需的硬度。具体选择时，须考虑刀片的大小，被剪材料的批量等因素。表 24.1-17 为冷剪刀片所用的材料。表 24.1-18 为热剪刀片所用的材料。

(5) 刀片紧固件

刀片紧固件主要是螺栓、定位销及螺母，其设计依据为设备吨位。表 24.1-19 及表 24.1-20 为 5 000 kN 和 10 000 kN 剪床上用紧固件设计参数，可供参考。

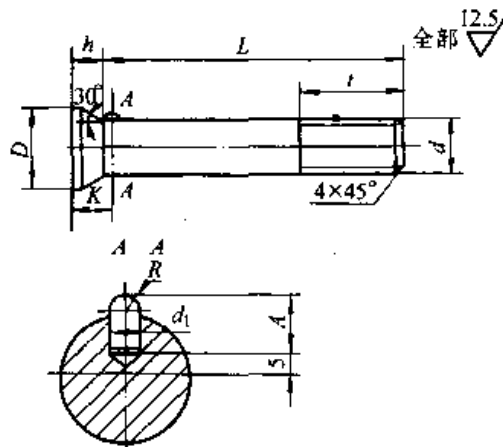
表 24.1-17 冷剪刀片材料的硬度及应用

	材料名称	热处理硬度 HRC	应用
碳素工具钢	T7 T8	58~62	用于小刀片，且生产批量不大
	T9 T10	58~62	
合金工具钢	Cr, 9SiCr	58~62	用于大刀片，成批大量生产
	CrWMn	60~62	
	7Cr3, 8Cr3	50~55	
	Cr12Mo, Cr12MoV	58~62	

表 24.1-18 热剪刀片材料的硬度及应用

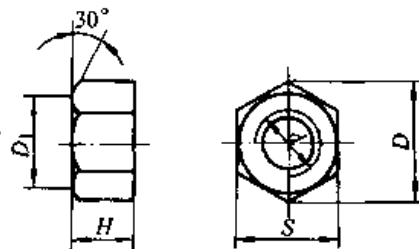
材料名称	热处理硬度 HRC	应 用	材料名称	热处理硬度 HRC	应 用
5CrMnMo	42~45	用于剪切温度大于 200℃的成批大量生产	T7 T8	55~60	用于剪切温度低于 150℃的小型刀片及小 批量生产
5CrNiMo	45~47		T9 T10		
3Cr2W8V	45~48				
5CrW2Si	45~50				
6CrW2Si	45~50				

表 24.1-19 螺栓及定位销尺寸



剪床吨位/kN	螺 栓	螺栓及定位销尺寸/mm								
		d	L	l	h	D	K	A	R	d ₁
5 000	上螺栓	1M33	200	70	20	52	25	17	4.5	9
	下螺栓	1M33	260	70	20	52	25	17	4.5	9
10 000	上螺栓	1M42	270	90	28	70	34	26	5.5	11
	下螺栓	1M42	360	90	28	70	34	26	5.5	11

表 24.1-20 螺母尺寸



剪床吨位/kN	螺母尺寸/mm				
	d	H	S	D	D ₁
5 000	M33	30	50	57.8	47
10 000	M42	35	70	80.8	66

3 剪切模设计

3.1 剪切下料模特点

剪切模绝大多数都安装在冲床上使用。个别情况下，也有安装在摩擦压力机或锤上使用的，但是，这种剪切模必须设有下死点限位和剩余能量吸收装置。

剪切模下料的直径范围，一般为 40 mm 以下，下料精度要比剪床高一些。但是，就剪切过程实质讲，剪切模下料和剪床下料没有什么本质区别。剪切模的刀片设计和剪床的刀片设计基本相同，只是剪切模本身设有良好的导向装置，动刀运动较稳定，因此，剪切模的刀片可不设导程。

在冲床上用剪切模下料，根据剪切力选用设备时，不仅应考虑冲床的公称吨位，而且应考虑所用冲床的负载曲线。当所需剪切力等于冲床公称吨位时，应使冲床在剪切时满足下述条件：

$$\alpha \leq \alpha_H$$

式中 α ——剪切开始时，冲床曲轴工作角；
 α_H ——相应于冲床公称吨位时的曲轴工作角。
 剪切模的闭合高度应与所选用的冲床相一致。

3.2 剪切模结构及主要零件设计

剪切模由以下几个基本组成部分：

- 1) 装夹动刀片的上模板和装夹定刀片的下模板；
- 2) 上模板的导向装置；
- 3) 控制剪切毛坯长度的定位块装置；
- 4) 防止被剪切的棒料翻转的压料装置；

除上述的基本组成部分外，有的剪切模还设有自动进料装置，专门的卸料装置等。

剪切模按刀片特点可分三类：开式、半开式和封闭式。

(1) 开式剪切模

动定刀片的刃口形式和剪床刀片一样，都是开口的，称这种剪切模为开式剪切模。

图 24.1-13 为 1 600 kN 冲床所用的开式单槽

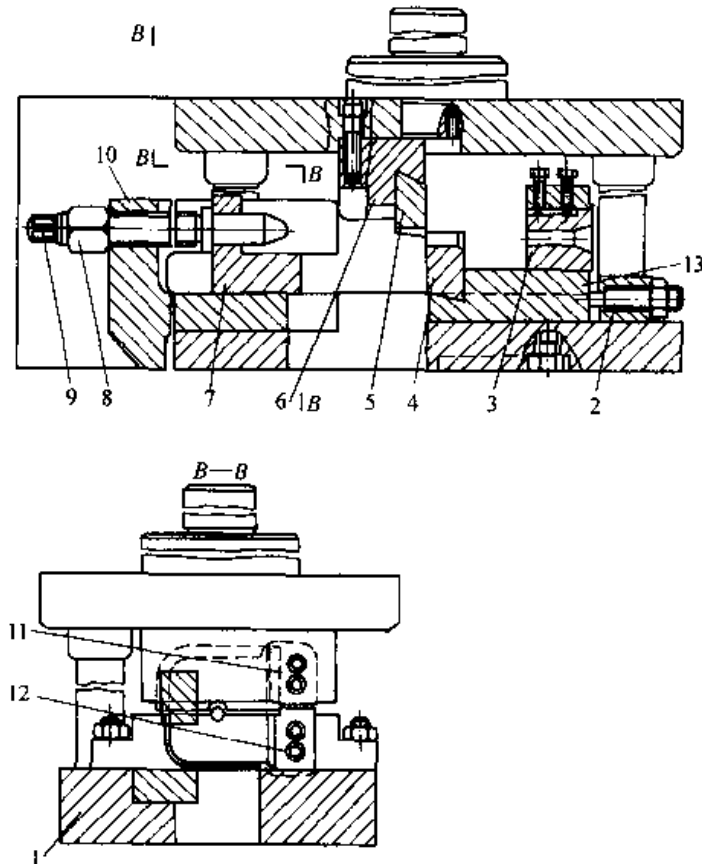


图 24.1-13 剪切模具结构

- 1—底板 2—挡销 3—导套 4、5—上、下刀片 6—上刀架 7—滑块
 8—螺母 9—螺钉 10—支架 11、12—上、下压板 13—下刀架

剪切模。动定刀片 5、4 利用压板 11、12 分别固定在上下刀架 6、13 上。剪切间隙通过下刀架上的挡销 2 进行调整。松开螺母 8，转动定料螺钉 9，即可控制下料长度。支架 10 固定在底板 1 上，滑块 7 可在支架 10 上沿水平方向移动，其作用是托住定料螺钉 9。导套 3 固定在下刀架 13 上，其作用有二：一是作为棒料的导向装置，二是起防止剪切时棒料翻转的压料装置的作用。

图 24.1-14 是该模具所用动定刀片结构图。定刀片为平刃，动刀片为斜刃，斜度小于 1° 。斜刃的作用是保证刃口最先与棒料接触。

用于热轧棒料的刀片刃口尺寸可参考表 24.1-21 选取。

导套结构如图 24.1-15 所示，有关尺寸按表 24.1-22 选取。导套材料可选用 40Cr 或 45 钢，热处理硬度 45~50HRC。

用于剪切热轧棒料时，刀片结构与图 24.1-14 所示的相同。刃口半径可按表 24.1-23 选取。导套结构如图 24.1-15 所示，其中尺寸 D 按表 24.1-24 选取。

图 24.1-16 为在 500 kN 冲床上所用的剪切模具图，其结构与图 24.1-13 所示的基本相同，只是支架 2 焊在底板 1 上。

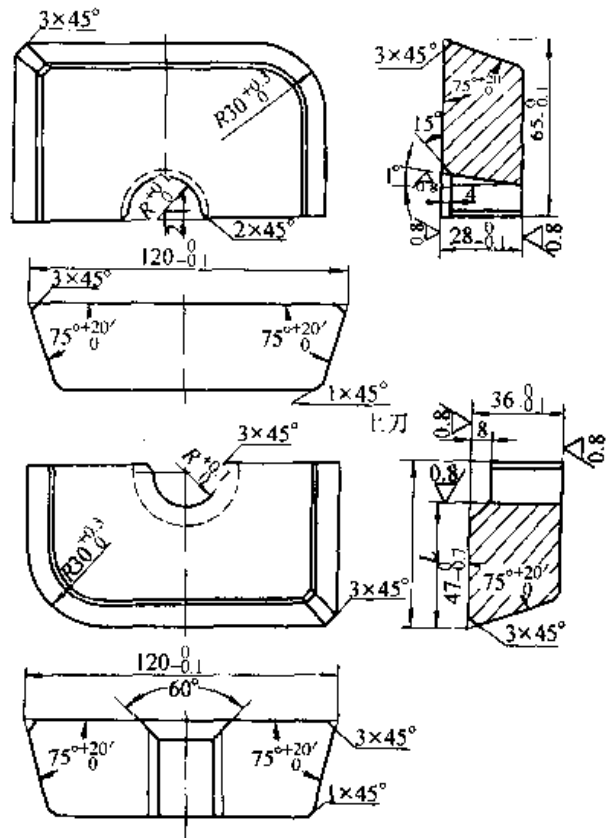


图 24.1-14 刀片结构

表 24.1-21 剪切热轧钢材的刀片尺寸 (mm)

棒料直径 d	R	棒料直径 d	R	棒料直径 d	R
11	5.85	19	10.0	27	14
12	6.35	20	10.5	28	14.5
13	6.85	21	11.0	29	15
14	7.35	22	11.5	30	15.5
15	8.0	23	12.0	31	16
16	8.5	24	12.5	32	16.5
17	9.0	25	13.0		
18	9.5	26	13.5		

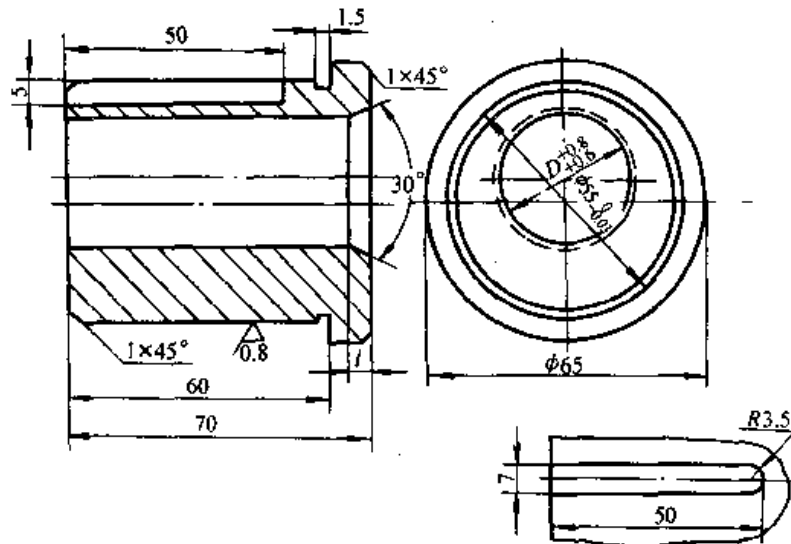


图 24.1-15 导套结构

表 24.1-22 导套尺寸 (mm)

棒料直径 d	D	l	棒料直径 d	D	l
11	11.7	12	22	23	23
12	12.7	13	23	24	24
13	13.7	14	24	25	25
14	14.7	15	25	26	26
15	16	16	26	27	10
16	17	17	27	28	10
17	18	18	28	29	5
18	19	19	29	30	5
19	20	20	30	31	4
20	21	21	31	32	4
21	22	22	32	33	4

表 24.1-23 刀片刃口半径尺寸 (mm)

棒料直径 d	R	棒料直径 d	R	棒料直径 d	R
8	4.3	12	6.4	16	8.4
9	4.8	13	6.9	17	8.9
10	5.4	14	7.4	18	9.4
11	5.9	15	7.9		

表 24.1-24 导套直径尺寸 (mm)

棒料直径 d	D	棒料直径 d	D	棒料直径 d	D
8	6.5	12	12.7	16	17
9	9.5	13	13.7	17	18
10	10.5	14	14.7	18	19
11	11.7	15	16		

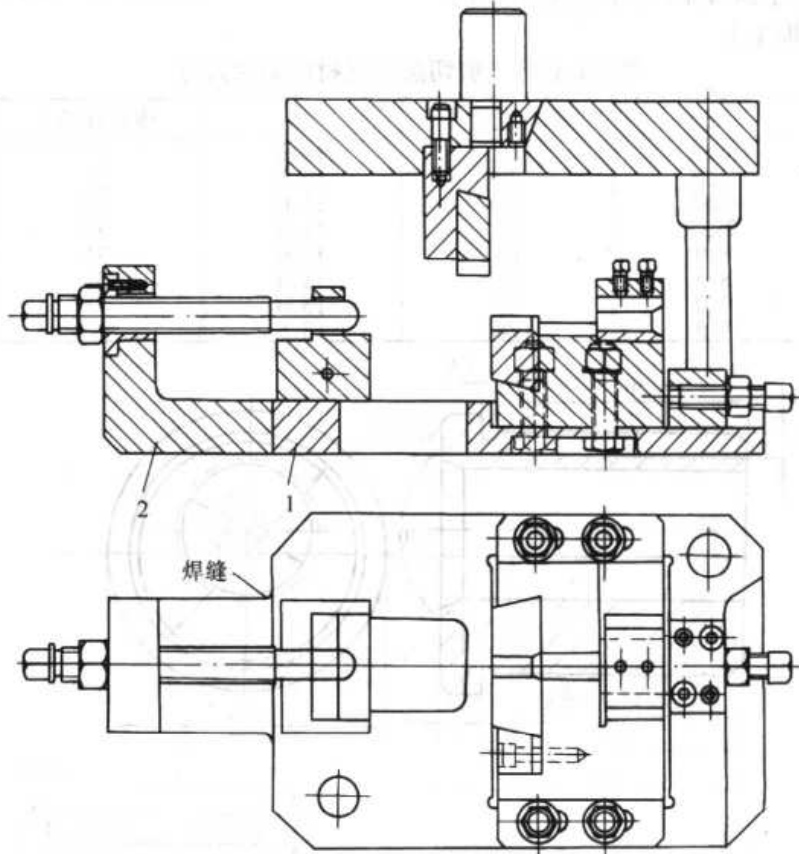


图 24.1-16 剪切模结构

1—底板 2—支架

图 24.1-17 所示剪切棒料直径小于 40 mm 的开式单槽剪切模结构图。压料装置的结构是该模

具的主要特点之一。

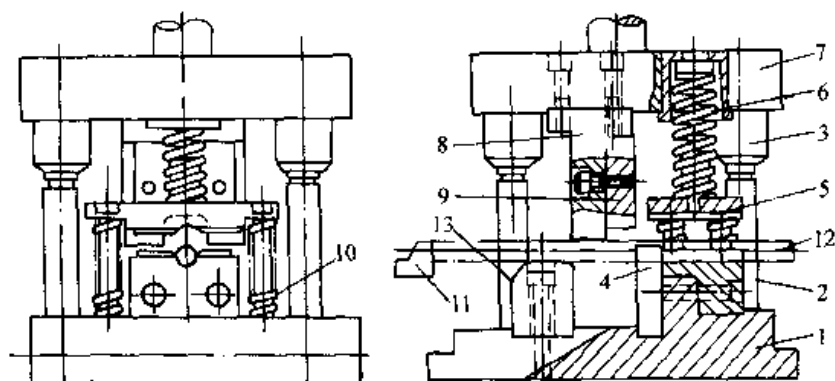


图 24.1-17 开式单槽剪切模

- 1—下模板 2—导柱 3—导套 4—定刀 5—压紧块 6—压紧弹簧 7—上模板 8—动力夹持器
9—动刀 10—压紧块回程弹簧 11—定位块 12—棒料 13—反压紧块

在剪切过程开始之前，上模板 7 首先将弹簧 6 压缩，压紧力通过压块 5，克服弹簧 10 的弹力而被传递到棒料上。弹簧压紧力应足以防止棒料翻转。剪切过程结束后，上模板回程、弹簧 6 恢复到自由状态，压块 5 在弹簧 10 的作用下而复位。

为确保上模板的导向效果，采用四个导向柱来导向。

图 24.1-18 所示为同时剪切两个毛坯的开式单槽剪切模结构图。棒料被剪断后，一个毛坯沿定刀夹持器 2 的斜坡滑出，另一个毛坯经下模板 1 的中间孔掉落。这种剪切模适用于剪切短毛坯。剪切时，由于棒料无法翻转，因而可以获得较高的毛坯质量。刀片双面开刃，可换面使用，因此，使用周期较长。

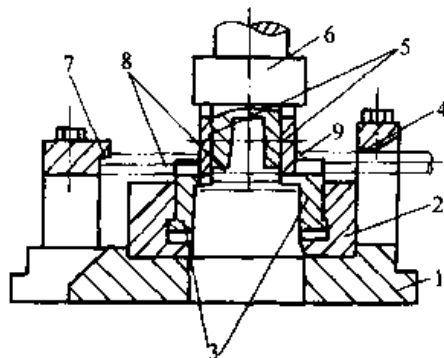


图 24.1-18 双件毛坯剪切模

- 1—模座 2—支承架 3—下刀 4—导向架
5—上刀 6—上模座 7—支承架 8—剪后的毛坯 9—棒料

多槽剪切模结构图。当被剪材料的抗拉强度低于 500 MPa，直径小于 28 mm 时，一次同时剪切 3 根；而直径小于 36 mm 时，一次同时剪切 2 根。

图 24.1-19 是在 1 000 kN 冲床上使用的开式

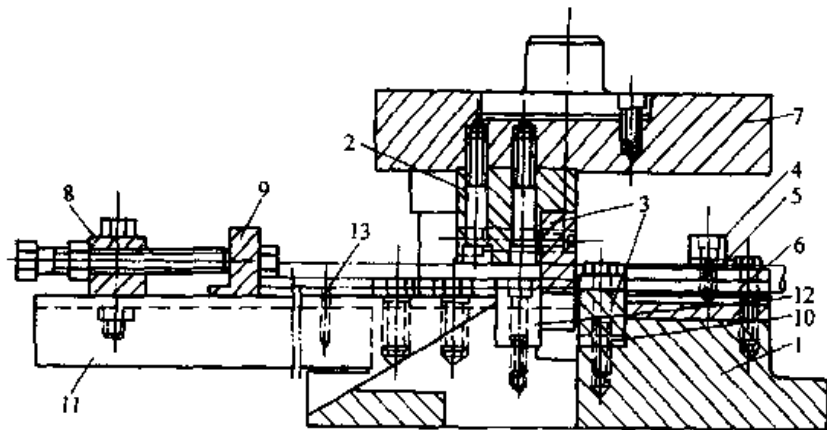


图 24.1-19 开式多槽剪切模具结构

- 1—底座 2—上刀架 3—上、下刀 4—压料板 5—垫圈 6—导板 7—上模板
8—支承板 9—挡料板 10—支垫板 11—支架 12—导向块 13—托料杆

棒料在导板 6 和压料板 4 之间送进；压料板与导板间的距离借助于垫圈 5 来调整；刀片间隙由动刀片加垫调整；下料长度用挡板 9 与支承板 8 上的螺杆来调节。

图 24.1.20 为一次剪切 3 根毛坯的刀片结构。刀片主要尺寸的确定：

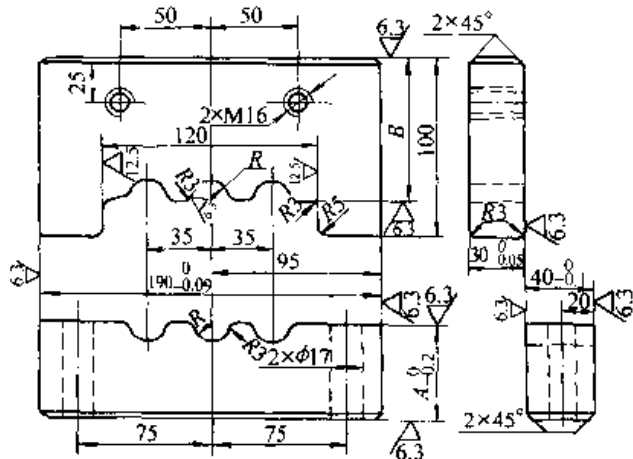


图 24.1.20 剪 3 根料的刀片结构
剪切热轧棒料时

$$R = \frac{d}{2} + (1-2)Q$$

$$A \approx 38.5 \text{ mm} + R$$

$$B \approx 70 \text{ mm} + R$$

式中 d ——被切棒料的最大直径 (mm)；

Q ——被切棒料的正偏差 (mm)。

或按表 24.1.25 选取。

表 24.1.25 剪 3 根料的刀片尺寸

棒料直径 d	14	16	18	20	22	25	28
R	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	13	14.5
A	45	46	48	48.5	50	52	54.5
B	78	78	79	80.5	81	82	82.5

图 24.1.21 为一次剪 2 根毛坯的刀片结构图。剪切热轧棒料时

$$R = \frac{d}{2} + (1-2)Q$$

$$A = 40 \sim 42 \text{ mm}$$

$$B = 150 \text{ mm} - A$$

式中 d ——被剪料的最大直径 (mm)；

Q ——被剪棒料的正偏差 (mm)。

或按表 24.1.26 选取。

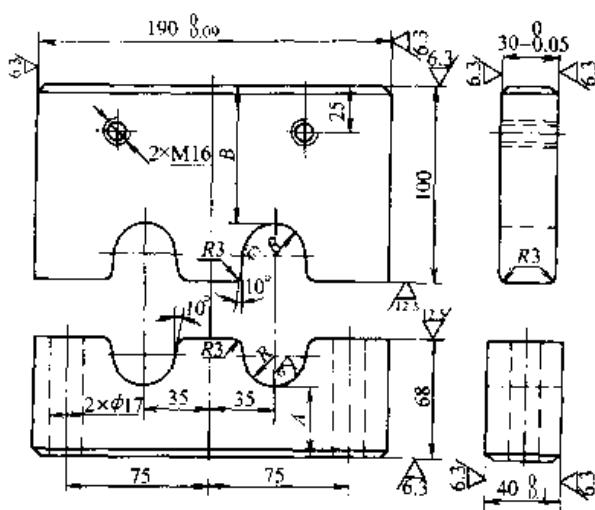


图 24.1.21 剪 2 根料的上下刀片结构

表 24.1.26 剪 2 根料的刀片尺寸

(mm)

棒料直径 d	28	30	32	34	36
R	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5
A	40	40	41	42	42
B	65	65	64	63	63

图 24.1.22 为该模具的底板图。

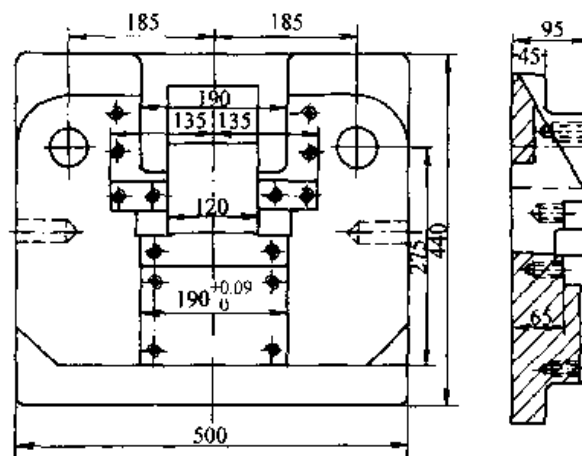


图 24.1.22 剪切模底板

(2) 半封闭式剪切模

动刀片刃口形线与开式剪切模的完全一样，定刀片的刃口形线为封闭的圆孔线，称这种剪切模为半封闭式剪切模。

图 24.1.16 所示的模具，剪切 $\phi 4.25 \sim \phi 10.25$ mm 的冷拔料时，可采用封闭的圆孔形定刀片，如图 24.1.23 所示。这样，该模具就变成了半封闭式单槽剪切模了。

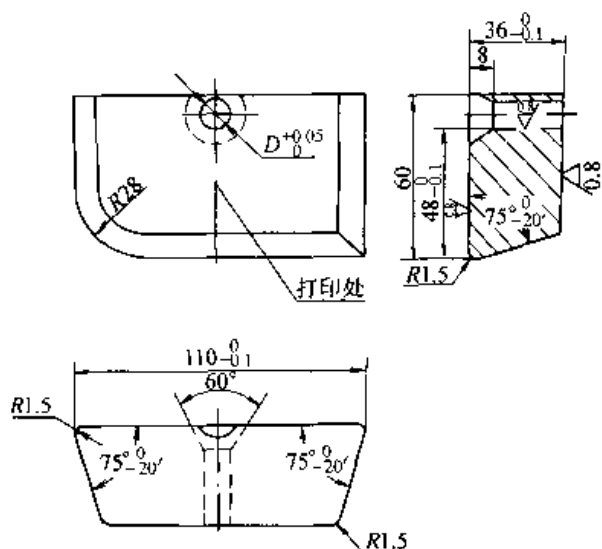


图 24.1-23 上刀片结构

图 24.1-24 为半封闭式多槽剪切模的结构图。用于 1 000 kN 冲床，剪切直径小于 14 mm 的冷拔料，一次可剪 3 根。

刀片间隙由动刀片加垫调整。挡料板 7 可在支承板 8 上移动，用螺栓螺母紧固。

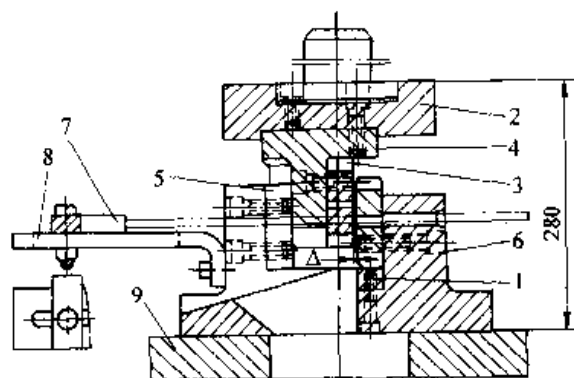


图 24.1-24 半封闭式剪切模结构图

1—支承板 2—上模板 3—上刀 4—上刀架
5—导向块 6—底座 7—挡料板
8—挡料板支架 9—工作台

图 24.1-25 为该模具底板结构图。剪下的毛坯滑出斜度不小于 15°。进料孔 d (mm) 按下式计算

$$d = d_{\max} + 1 \sim 2 \text{ mm}$$

式中 d_{\max} ——被剪棒料的最大直径。

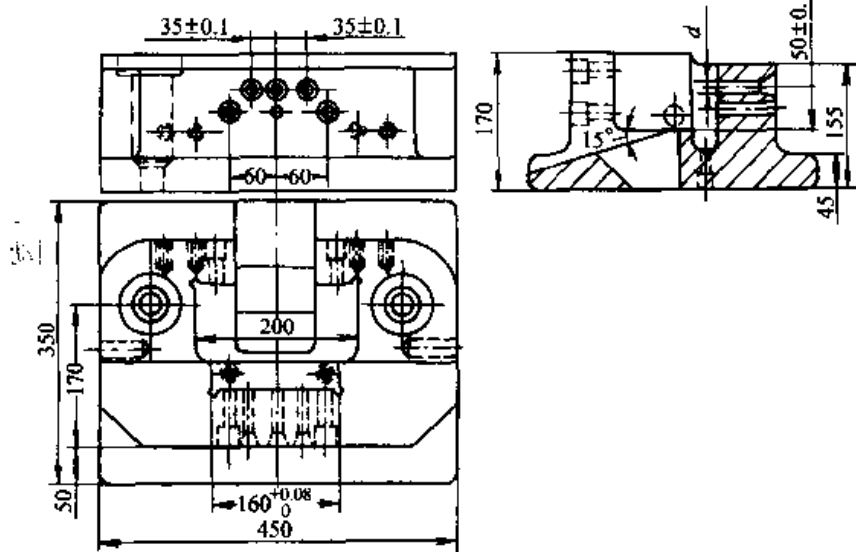


图 24.1-25 剪切模底座

棒料直径相差 3~4 mm 可用同一尺寸的进料孔，若相差太大时，可考虑加套。

图 24.1-26 为刀片结构图，动定刀片完全一样，可以互换使用。当作为动刀片使用时，用开式型槽；作为定刀片使用时，用中间的封闭型槽。这种封闭型槽可以阻止棒料翻转，起压料板的作用。刀片主要尺寸可按以下方法确定：

剪切冷拔钢时，若棒料直径为 d ，可取

$$R = \frac{d}{2}$$

$$D = (1.05 \sim 1.07) d$$

$$H = d + 3 \text{ mm}$$

或按表 24.1-27 选取。

剪切热轧料时，若棒料直径为 d ，可取

$$R = \frac{d}{2} + (1 \sim 2) Q$$

$$D = (1.1 \sim 1.2) d$$

式中 Q ——被切棒料的正偏差 (mm)。

上刀架的结构如图 24.1-27 所示，其主要尺寸可按式确定

$$R = \frac{d_{\max}}{2}$$

$$H = d_{\max} + 5 \text{ mm}$$

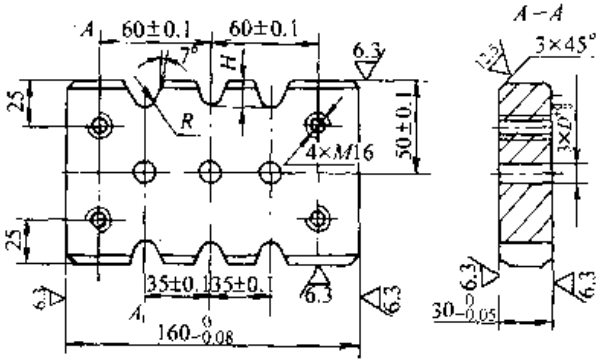


图 24.1-26 冲床用刀片结构

表 24.1-27 刀片尺寸 (mm)

棒料直径 d	8	9	10.4	12	14
R	4	4.5	5.2	6.1	7.1
D	8.4	9.5	11	12.8	15

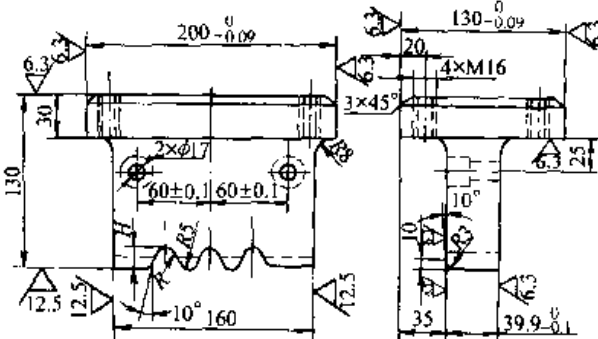


图 24.1-27 上刀架结构

(3) 封闭式剪切模

动定刀片的刃口形线都是圆孔形的剪切模称为封闭式剪切模。动定刀片一般都做成套筒形状，因此，又称这种剪切模为套筒剪切模。

图 24.1-28 所示为套筒剪切模的一种结构形式。其工作过程及结构原理如下：

向前推动位于定刀孔中的棒料，使其进入动刀孔，与位于动刀孔中的定位块 19 头部接触，并带动定位块 19 和弹簧 4 一起向后退，当定位块 19 的尾部与定位螺栓相撞时，棒料进给和定位过程结束。这时，弹簧 6 应处于略微的压缩状态。用旋进和旋出定位螺栓 6 的办法可以实现剪

切毛坯长度的调整。

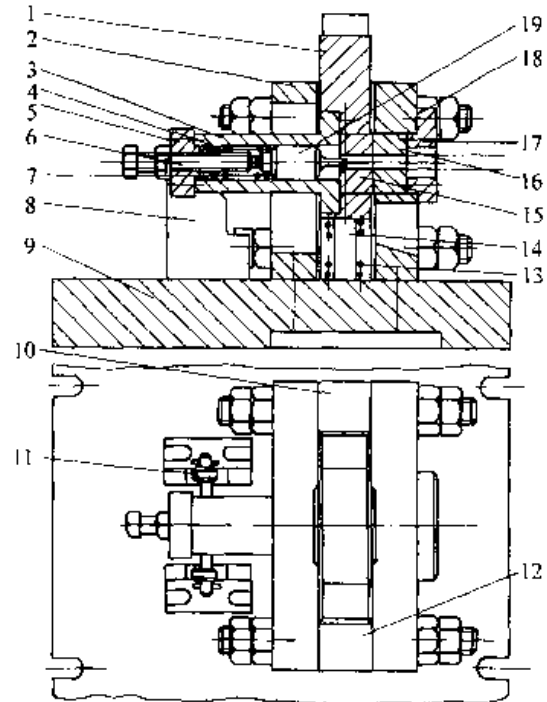


图 24.1-28 套筒剪切模结构

这种形式的套筒剪切模，当剪切过程完成后，冲床滑块不能象开式或半封闭式剪切模那样可以立即回程。为了卸料，必须增大剪切行程。也就是当棒料被剪断后，冲床滑块应继续向下运动。这样，滚轮 11 沿着固定在下模板 9 上的斜板 8 的斜面滚动，推动滑套 7，使弹簧 4 受压缩而聚集能量。当冲床滑块下行到动刀孔与定刀架上的出料孔相通时，弹簧 4 立即释放位能，推动挡块 19，而将位于动刀孔中的毛坯弹出。到此时，冲床滑块才可以回程。动刀架在回程弹簧 13 的作用下回程到初始位置，其死点限位靠固定在下模板 1 上的弹簧芯杆 14 的法兰头来实现（图中未表示出来）。

用垫片 18 来调整剪切间隙。

动刀和定刀刀孔内径 d_i (mm) 的确定方法，与半封闭式剪切模的定刀内径的确定方法相同。一般为

$$d_i = d + 0.3 \sim 0.5 \text{ mm}$$

式中 d_i ——动刀和定刀刀孔内径 (mm)；

d ——棒料名义外径 (mm)。

用增加冲床滑块工作行程的办法来实现剪切毛坯的定位和卸料，势必降低冲床吨位的充分发挥，也就是使大吨位的冲床只能发挥出小吨位的作用。为了解决这一矛盾，也可以用图 24.1-29

所示的机构原理来实现剪切毛坯的定位和卸料，其工作过程原理如下：

首先将定位块6的定位面与动刀刃口面之间的距离调整到等于两倍的毛坯长度。当动刀架3带着刚剪切下来的毛坯5回程到初始位置后，向前推动棒料1，将动刀孔中的毛坯5推到与定位块6相接触的位置（如图中所示的位置）。这时，进给和定位操作结束，接着可以进行剪切操作。冲床滑块在实现剪切过程的同时，用安装在其上的冲料杆4将前次剪下的毛坯5从翻板8上冲落。冲床滑块回程后，动刀架又带着刚剪下的毛坯回程到初始位置。接着就可以按上述过程循环下去。

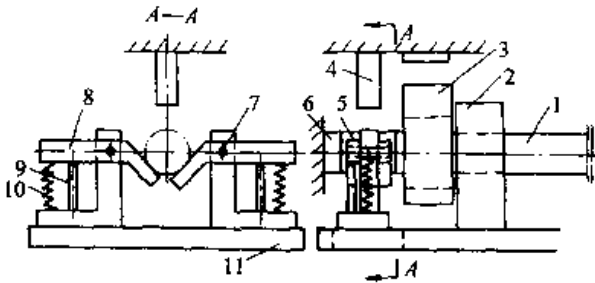


图 24.1-29 定位卸料机构示意图

- 1—棒料 2—定刀架 3—动刀架 4—打料杆
- 5—前次剪下的毛坯 6—定位块 7—销轴
- 8—翻板 9—限位柱 10—弹簧 11—底板

4 精密剪切模设计

4.1 精密剪切下料的质量评定

精锻用的毛坯，一般均以棒材为原材料，经过下料后要求重量公差小、断面塌角小、断面平整并与轴线垂直。但到目前为止，精锻工艺对毛坯质量的要求，还没有一个统一标准。生产中评定毛坯的剪切质量和精度，通常以 $\eta_0 = \frac{\Delta V}{V}$ ，

$f_0 = \frac{f}{d}$ ， $k_0 = \frac{k}{d}$ ， $b_0 = \frac{b}{d}$ ， $s_0 = \frac{d-d_1}{d}$ 和 φ 等技术参数，或以 ΔV 、 f 、 k 、 b 、 $d-d_1$ 等数值来表示。式中， η_0 、 f_0 、 k_0 、 b_0 、 s_0 和 φ 分别为毛坯的体积偏差（或重量偏差）、塌陷、压塌、断面平面度、断面圆度和断面倾角。 ΔV 为剪切后的毛坯实际体积与精锻工艺所要求的毛坯体积的差值， V 为精锻工艺要求的毛坯体积， f 、 k 、 b 、 φ 、 d 和 d_1 等符号的意义，见图 24.1-30。

精锻工艺对毛坯质量和精度的要求，如表 24.1-28 所列。钢的精密剪切下料质量检测项目

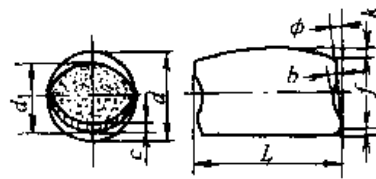


图 24.1-30 评价毛坯剪切质量的一些技术参数
 f 、 k —静、动剪刀形成的压塌深度 b —断面平面度
 φ —断面倾角 d 、 d_1 —棒料直径和毛坯最小直径
 c —断面光亮带宽度 L —毛坯长度

以及目前可能达到的水平列于表 24.1-29。

表 24.1-28 锻造工艺对剪切毛坯的质量要求

名称	冷 锻		热 锻	
	锻造、挤压	闭式模锻	开式模锻	
体积偏差 η_0	0.02	0.02	0.02	0.05
塌陷 f_0	0.02	0.03	0.04	0.06
压塌 k_0	0	0.01	0.04	0.06
断面平面度 b_0	0	0.01	0.05	0.12
断面圆度 s_0	0.02	0.03	0.08	0.15
断面倾角 $\varphi_0/(\circ)$	1	3	5	7

表 24.1-29 精密剪切下料质量水平

检测项目	目前达到的水平
平面度 $B = \frac{b}{d_0} \times 100\%$	$\leq 1\%$
圆度 $D = \frac{d_0 - d}{d_0} \times 100\%$	$\leq 5\%$
端面斜角 $\varphi/(\circ)$	≤ 1.5
长度公差/mm	± 1

4.2 几种精密剪切模的工作原理及结构

(1) 径向夹紧剪切模

径向夹紧剪切模与一般剪切模相比，有以下特点：

1) 需有径向夹紧力 夹紧力的大小与剪切质量有关，试验证明，对于 45、40Cr、20CrMnTi、42CrMo、20Mn 等碳素结构钢和合金结构钢的热轧棒料，合适的夹紧力 F_j 与剪切力 F 之间的关系为

$$F_j = (0.7 \sim 1) F$$

2) 有自发的轴向压缩力 图 24.1-31 为径向夹紧剪切模基本结构示意图。在剪切过程中，剪切区中的金属力图沿轴向伸长，并通过被夹紧的棒料 8 与刀孔内壁之间摩擦力的作用，带动、定刀架 4、10 沿棒料的轴线方向移动。可是，当这种移动受到前后墙板 3、6 的阻挡而不

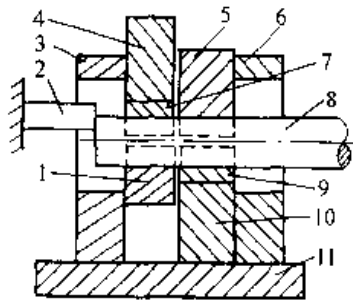


图 24.1-31 径向夹紧剪切模基本结构示意图

- 1—动刀压紧块 2—定位块 3—前墙板 4—动刀架
5—定刀压紧块 6—后墙板 7—动刀
8—棒料 9—定刀 10—定刀架 11—底板

能实现的时候，在剪切区的金属中，必然产生沿棒料轴向方向的压缩力。这就是我们所指的自发的轴向压缩力。这个力是计算前后墙及其连接件的强度与刚度的依据，其值与被剪材料有关，并随着夹紧力的增大而变大，如果夹紧力按上述范围取值，则自发的轴向压缩力 F_b 可按式估算

$$F_b = \frac{1}{4} F$$

3) 剪切力较大 剪切力不仅是选用压力机吨位的依据，也是计算径向夹紧剪切模构件强度

和刚度必不可少的重要依据。径向夹紧剪切，由于剪切区在剪切过程中受自发轴向压缩力的作用，使被剪材料抗剪强度随夹紧力的增加而变大，其值因不同材料而异，一般比普通剪切增大 10%~30%。

4) 夹紧条件不同 径向夹紧剪切的夹紧条件是，在实现剪切的过程中，位于定刀孔和动刀孔中的棒料需处于夹紧状态，而当棒料一旦被剪断时，应立即放松，使位于刀孔中的坯料和棒料都能得以自由的轴向移动，从而避免发生二次剪切和切面之间相互擦伤。

5) 剪切毛坯的长径比较小 当毛坯的长径比大于 0.7 时，剪切质量稳定；小于 0.7 时，剪切质量开始恶化。

下面介绍几种径向夹紧剪切模的结构形式。

1) 径向夹紧剪切模 图 24.1-32 所示为径向夹紧剪切模的总体结构图。安装在机械压力机上使用，可剪切直径为 80 mm 以下的热轧棒料。主要由动刀架、定刀架、箱形框架和定位装置等组成。

图 24.1-32 箱形框架是由前后板 7、12，左

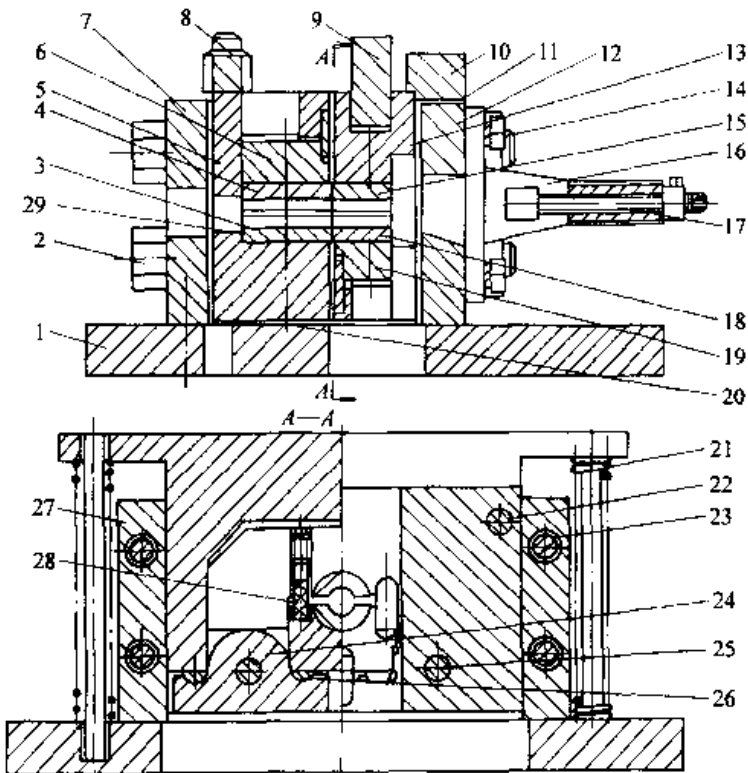


图 24.1-32 径向夹紧剪切模总体结构

- 1—底板 2—大螺栓 3—定刀 4—定刀压紧衬套 5—定刀架体 6—定刀压紧块 7—墙板 8—定刀架定位梁 9—门形压头 10—动刀架定位板 11—调节垫 12—墙板 13—动刀架体 14—螺栓 15—动刀 16—定位装置支架 17—定位螺杆 18—衬套 19—压紧块 20—弹簧 21—回程簧 22—销子 23—右边框 24—杠杆 25—销子 26—半圆压头 27—左边框 28—弹簧 29—间隙调整垫

右边框 27、23 组成，并用四个加热的大螺栓 2 拉紧，因而具有良好的轴向刚度。动刀架和定刀架可在箱形框架中的垂直方向自由滑动。动刀架本体 13 和门形压头 9 用两个销子 22 连接在一起，并挂在左右两个回程弹簧 21 上。动刀架的初始位置由定位板 10 确定。定刀架两个夹紧杠杆的固定端分别压靠在左右边框 27 和 23 的凸台上。由复位弹簧 20 将定刀架紧紧顶靠在定刀架定位梁上，以保持定刀架具有固定的初始位置。用螺栓 14 把控制剪切毛坯长度的定位装置连接在后墙板 12 上，并可上下调节，以便适应于不同直径的棒料剪切下料。

图 24.1-33 所示为定位和卸料原理示意图，设计时应尽量放大动刀压紧块的开口行程。这样，当动刀架带着剪下的毛坯回程到初始位置后，毛坯将靠自重的作用掉落在压紧块上面，而在棒料向前进给的同时被推出刀腔。

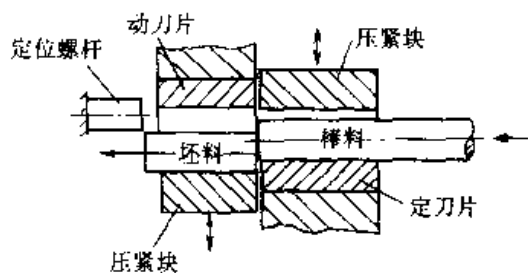


图 24.1-33 定位和卸料原理示意图

模具几何参数及剪切工艺参数的确定：

① 切刀及压紧块垫的内径 d_i ，动、定刀及其压紧块垫的内径 d_i 相同，取下列两式计算结果中的较大值：

$$d_i > d + Q + 0.1 \text{ mm}$$

或
$$d_i > d + Q + 0.02d$$

式中 d —— 棒料名义直径 (mm)；

Q —— 棒料公差的上限 (mm)。

② 切刀和压紧块垫壁厚 δ

$$\delta > \frac{1}{3}d$$

③ 切刀和压紧块垫的剖分高度 h 图 24.1-34 所示为切刀和压紧块垫的断面图，剖分高度 h 可按表 24.1-30 选取。

④ 动定切刀的轴向间隙 Δ 动定切刀的轴向间隙 Δ 用半圆形垫片 29 (见图 24.1-32) 的不同厚度来调节，其值随被剪材料的不同而不同。为便于表示，给出相对轴向间隙值 E ，这样， Δ

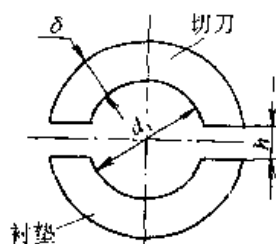


图 24.1-34 剖分高度 h

表 24.1-30 尺寸 h (mm)

棒料直径	<50	51~59	60~70	71~80
h	3	4	6	8

值可按下式计算

$$\Delta = Ed$$

棒料直径在 50~70 mm 范围内， E 大致可按表 24.1-31 取值。大直径取上限，小直径取下限。

表 24.1-31 相对间隙 E

材 料	45	40Cr	20Cr	20CrMnTi
$E/\%$	1.3~1.5	1.3~3.7	≈4.8	≈3.8

2) 采用棒料剪断机的径向夹紧剪切 图 24.1-35 所示为 250 吨差动式棒料剪断机的工作原理图。该机采用摆式滑块机构传动。在剪切滑块上装有钳形夹紧装置，在剪切过程中将棒料夹紧。由图可以看出，棒料开始剪切时，曲柄 C 转动，驱动连杆 10 和夹紧块 5 下移，带动滑块 1 绕轴 A 作微小转动。这时上剪刀 2 压在棒料 7 上，而轴 B 暂时固定不动。当连杆 10 继续下行时，推动夹紧块 5 绕轴 B 转动，直至夹紧模 4 和上剪刀 2 将棒料夹紧为止。此后，连杆 10 继续下行推动夹紧块 5 和滑块 1 作为一个整体绕轴 A 转动，将棒料切断。

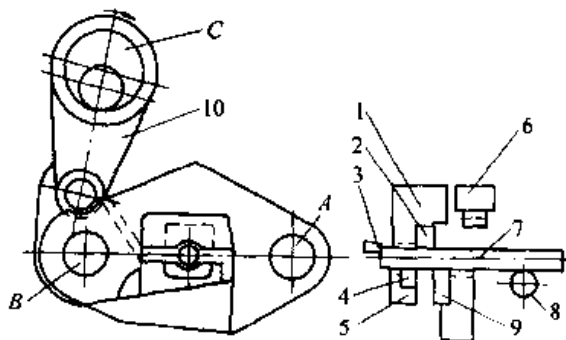


图 24.1-35 差动式棒料剪断机的工作原理图
1—滑块 2—上剪刀 3—挡料块 4—夹紧模
5—夹紧块 6—压料块 7—棒料 8—导轨
9—下剪刀 10—连杆

该机的压料装置系采用凸轮肘杆结构，通过压料块6将棒料夹紧。它装有液压保险装置，故压紧力大，且较安全。

采用这种剪断机下料时，由于棒料处于夹紧受压状态，故毛坯剪切面变形很小，剪切质量较高。以剪切直径为 $\phi 80$ mm的45号钢材为例，其重量公差约为毛坯重量的1%左右，断面平面度 $b \leq 2.5$ mm，塌陷 f 约为5.5~6 mm。

图24.1-36所示为采用液压—机械传动的棒料剪断机的工作原理图。它是根据径向夹紧剪切原理，由夹紧机构活塞2和5，分别将毛坯和棒料12夹紧。而夹紧力和剪切力应保持一定的比例关系，即

$$F_j = F_r K$$

式中 F_j ——剪切时的夹紧力；

F_r ——剪切力；

K ——比例系数，取0.8~1.5。

由图24.1-36可知，夹紧机构活塞2、5和剪切滑块活塞1，均由曲柄连杆带动的油泵8供油，而活塞2、5和1的三个活塞缸是由同一管道连接的，因此，缸内的压力是相同的。在剪切过程中，活塞1、2和5均向前移动。活塞2上的夹紧块7将棒料紧压在静剪刀4上，活塞1上的动剪刀11和活塞5上的夹紧块6将棒料另一端夹紧。由于活塞1的面积大于活塞5，故活塞1能带动动剪刀11继续前进，将棒料12切断。剪切后，活塞2、5和1的三个活塞缸先后排油，

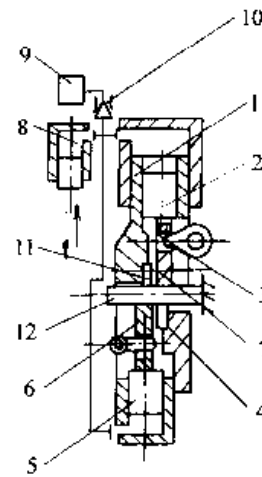


图24.1-36 液压—机械式棒料剪切机的工作原理图

- 1—剪切滑块活塞 2、5—夹紧机构活塞
3—杠杆 4—静剪刀 6、7—夹紧块 8—油泵
9—油箱 10—单向阀 11—动剪刀 12—棒料

在杠杆3、弹簧和气垫作用下，分别将夹紧机构和剪切滑块回复到原始位置，用以准备下一次的棒料送入和剪切。

这种液压—机械传动剪切机，传动平稳，能够保证夹紧块6和7的夹紧力大小相等，并与剪切力成一定比例，故毛坯的剪切面光滑整齐，断面倾角 φ 也较小。

这种剪切机的现有规格为225~1250 t。

3) 在普通压力机上使用左右移动的径向夹紧剪切模 图24.1-37所示为楔块式左右移动径

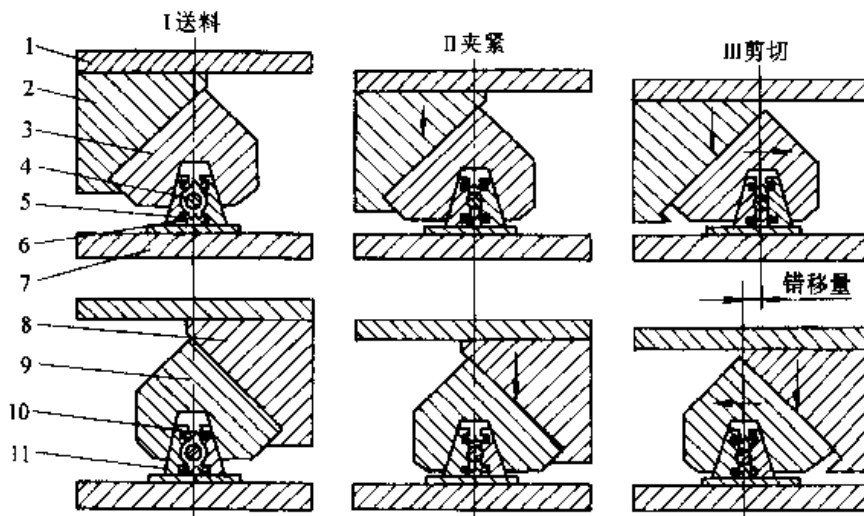


图24.1-37 楔块式左右移动径向夹紧剪切模

- 1—顶板 2—后斜铁 3—后楔铁 4—棒料 5、10—弹簧 6—后夹钳（内镶刀片） 7—底板
8—前斜铁 9—前楔铁 11—前夹钳（内镶刀片）

向夹紧剪切主要机构工作原理示意图。其动作过程如下：顶板1和前后斜铁8、2处于最上位置，前后夹钳11、6分别在弹簧10、5的作用下处于张开状态，此时送进棒料4；压力机滑块下降，加压力于顶板，通过前后斜铁和前后楔块9、3迫使前后夹钳克服弹簧的限力，将棒料夹紧；滑块再下降，后斜铁迫使后楔块带着后夹钳向右移动，而前斜铁迫使前楔块带着前夹钳向左移动，当相对移动达到一定的错移量时，就将棒料剪断。

该模具与JB21型1600 kN压力机配套使用。剪切高速钢时，最大剪切直径为28 mm。

图24.1-38所示为杠杆式左右移动径向夹紧剪切模的结构图。

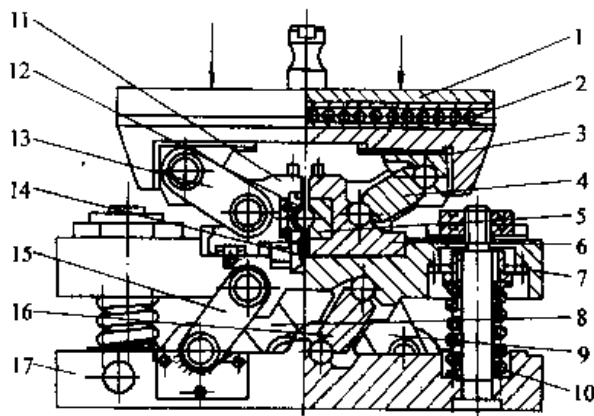


图 24.1-38 杠杆式左右移动径向夹紧剪切模

- 1—压板 2—滚柱 3—支承板 4、13—上联杆
- 5—右半模 6—右模座 7—前活动板 8、9—后联杆
- 10—弹簧 11—左半模座 12—左半模 14—弹簧
- 15、16—前联杆 17—底板

如图所示，当压力机的滑块作用在压板1时，通过支承板3迫使上联杆4和13绕其端部轴销转动，从而推动前面的左右模座11和6以及后面的左右模座（图中看不出）克服弹簧14的压力向中心移动，使其左右半模（前面的是12和5，后面的看不出）夹紧棒料。滑块继续加压时，前活动板7克服弹簧10的压力迫使联杆15和16绕其下端的轴销沿顺时针方向转动，因此前活动板7向右移动，板上的左右半模12和5带着夹紧的棒料也一起向右移动（因为压板1和支承板3之间有滚柱2，所以，支承板3和活动板7向右移动时，压板1不向右移动）。与此同时，后活动板（图中看不出）迫使联杆8和9

沿反时针方向转动，因此，后活动板和后左右半模带着夹紧的棒料向左移动。前后模具的这种相对运动，就可以达到棒料剪切的目的。

在这种模具上，夹紧力与剪切刀的比值可以通过改变连杆的位置在0.6~1.3的范围内调节。剪切间隙可以在0.05~0.6 mm范围内调节。该模具可以剪切直径5~25 mm的棒料，剪坯料的长度不超过直径的1.5倍。

(2) 轴向加压剪切模

图24.1-39所示为同时可以切断几个毛坯的剪切模。模具上有几组剪刀平行排列，同时截切棒料。由于剪刀间的相互约束，限制了材料的轴向移动，达到轴向加压的剪切效果。用这种方法剪切棒料时，在断面I、II、III、IV、V上的剪切质量是不同的。断面I剪切时，材料的轴向约束不完善，所以剪切质量最差。而其余断面，材料的轴向约束越好，剪切质量也越高。

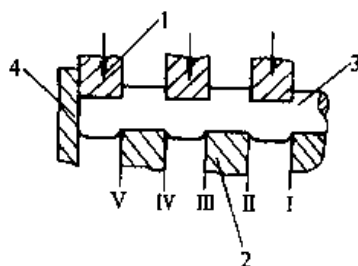


图 24.1-39 相互约束的多刃剪切模

- 1—动剪刀 2—静剪刀 3—棒料 4—挡板

图24.1-40所示为阶梯形的轴向加压剪切模。它是由刃口厚度*t*相同的两个动剪刀组成的阶梯形模具来实现轴向加压剪切的。剪切时，首先在A处发生滑移距离*i*，这样棒料在位置B剪切时，就会受到轴向约束，产生轴向压力，能获得较好的剪切效果。

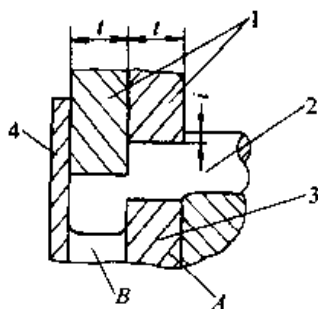


图 24.1-40 阶梯形剪切模

- 1—动剪刀 2—棒料 3—静剪刀 4—挡板

图24.1-41所示为每分钟生产20~30件、直径为25~30 mm、长度为50 mm的棒料轴向加压剪切装置。该装置采用液压传动。送料缸5、剪刀夹紧缸6、棒料夹紧缸9、剪切缸14以及轴向加压缸18,均由电磁阀控制它们的先后顺序。整个液压系统可以完成手动、单次循环或自动操作。

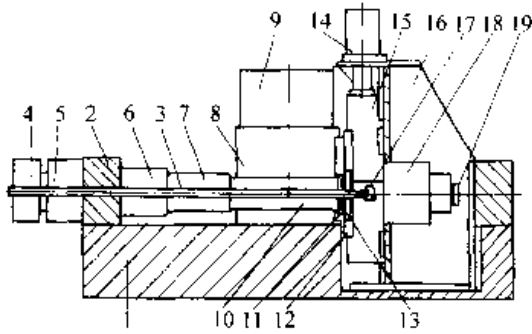


图24.1-41 轴向加压剪切装置

- 1—底座 2—机架 3—棒料 4—送料机构
5—送料缸 6—剪刀夹紧缸 7—夹紧装置
8—模座 9—棒料夹紧缸 10—可分式夹紧模
11—静剪刀 12—动剪刀 13—静压轴承 14—剪切缸
15—剪切滑块 16—滑块支架 17—轴向加压顶块
18—轴向加压缸 19—调节螺钉

为了便于送料,棒料直径应小于剪刀孔径。但在剪切过程中,由于轴向加压的结果,棒料会产生径向膨胀,将棒料与剪刀模孔间的空隙填满,使切下的坯料或棒料分别卡在动剪刀12和静剪刀11的模孔内。因此,为了从动剪刀中推出坯料以及棒料的再次送进,该装置中的轴向加压缸18与送料缸5的压力必须很大,才能完成毛坯的顶出和棒料的继续送进。

采用上述液压传动的轴向加压剪切装置,毛坯的剪切质量较好,它与机械传动的剪切装置相比,其剪切质量见表24.1-32。

表24.1-32 液压与机械传动的剪切装置对毛坯剪切质量的比较

毛坯剪切质量	机械传动 液压传动	
	长度公差/mm	±0.1
离开剪切面2 mm处的圆度/mm	0.5	0.2
断面倾角 $\varphi/ (^{\circ})$	3	1.5

以上介绍了几种轴向加压的剪切模和剪切装置。在这些模具和装置中,剪刀的轴向间隙是很小的。但由于轴向加压剪切时,剪刀和被剪材料发生剧烈磨损,经常产生刀片咬合和粘结等现象。因此,在生产中模具寿命是一个比较突出的问题。这种剪切方法,目前仅宜适于剪切铝、铜及其合金等有色金属以及直径在10 mm以下的软钢等材料。

5 自动卧式带锯锯切下料

自动卧式带锯床为近十多年来发展起来的一种精密下料设备,在日本等工业发达国家的锻造行业应用很广,我国近年来也在逐步推广。湖南机床厂制造的GZ4032型自动卧式带锯床,该机主要特点为:凸轮控制液压进给恒定;液压张紧锯条;锯切速度可无级调整,其范围为18~120 m/min;锯条断裂可自动停车;自动送料系统可用单程(0~380 mm)或多程(380 mm以上)。当锯切圆料时,最大直径为320 mm;锯切方料时,最大截面为320 mm×320 mm。当锯切直径较小的棒料时,可将数根棒料捆在一起下料,即一次可锯切数根棒料。使用表明:采用该机下直径为50 mm的棒料时,其锯口缝宽在1 mm以内,长度公差可控制在0.5 mm左右。因此,这种自动卧式带锯床已成为国内外较为主要的精密下料设备。

第2章 锤类设备用锻模设计

锤类设备主要包括模锻锤、自由锻锤、高速锤，虽然它们的结构和性能有一定的差别，但根据其工作载荷均为冲击载荷，模锻时金属流动充满过程及特性基本相同这一特点，将其锻模设计放在同一章内加以阐述和介绍。

1 概述

锤上模锻主要用于锻件的大批量生产，是锻造生产中最基本的锻造方法。由于模锻锤具有通用性较强，生产效率高等优点，因此锤上模锻也是锻造生产中应用最广的锻造方法之一。

1.1 锤上模锻的特点

模锻锤与锻压机等相比主要有下列工作特点：

- 1) 靠冲击力使金属变形，锤头在行程的最后速度约为7~9 m/s；
- 2) 受力系统不是封闭的，冲击力通过下砧传给基础；
- 3) 单位时间内的打击次数多（1~10 t模锻锤为100~40次/min）；
- 4) 锤头的行程不固定；
- 5) 承受偏载的能力和导向精度均较差；
- 6) 无顶出装置。

根据模锻锤的工作特点，其模锻工艺和模具设计具有下列特点：

- 1) 金属在各模膛中的变形是在锤头的多次打击下逐步完成的，锤头的打击速度虽然较快，但在打击中每一次的变形量较小；
- 2) 由于靠冲击力使金属变形，可以利用金属的流动惯性，有利于金属充填模膛。锻件上难充满的部分应尽量放在上模；
- 3) 在锤上可实现多种模锻工步，特别是对长轴类锻件进行滚压、拔长等制坯工步非常方便；
- 4) 由于模锻锤的导向精确度不太高，工作时的冲击性质和锤头行程不固定等，因此，模锻件的尺寸精度不太高；
- 5) 由于无顶出装置，锻件起模较困难，模

锻斜度应当大些；

6) 由于靠冲击力使金属变形，模具一般采用整体结构；

7) 由于靠冲击力使金属变形和锤头行程速度快，通常采用锁扣装置导向，较少采用导柱导套。

模锻锤工作时振动、噪声大，劳动条件差，对车间设备和厂房带来有害的影响；另外，模锻锤需要较重的砧座（约为落下部分重量的25倍），尤其对大吨位的模锻锤，制造、运输和安装都很困难。因此，近几十年来，16 t以上的模锻锤逐渐地被其他锻压设备所取代。

1.2 锤上模锻的工艺路线

为了得到合格的锻件所进行的全套工艺，一般情况下包括下列工序：

- 1) 下料 将原材料切割成所需尺寸的坯料；
- 2) 加热 为了提高金属的塑性、降低变形抗力，便于模锻成形；
- 3) 模锻 得到锻件的形状和尺寸；
- 4) 切边或冲孔 切去飞边或冲掉连皮；
- 5) 热校正或热精压 使锻件形状和尺寸准确；
- 6) 在砂轮上磨毛刺（切边所剩的毛刺）；
- 7) 热处理 保证合适的硬度和合格的机械性能，常用的方法是正火和调质；
- 8) 清除氧化皮 得到表面光洁的锻件。常用的方法有喷砂、喷丸、滚筒抛光、酸洗；
- 9) 冷校正或冷精压 进一步提高锻件的精度，减小表面粗糙度；
- 10) 检验锻件质量。

1.3 锤锻模的设计步骤

- 1) 根据零件图制定锻件图（冷锻件图）；
- 2) 计算锻件的主要参数 锻件在平面图上的投影面积、锻件的周边长度、体积和重量；
- 3) 决定设备吨位 为了能分析比较，一般需用二个以上的不同公式进行计算；
- 4) 作热锻件图，确定终锻模膛；

- 5) 决定飞边槽的型式和尺寸;
- 6) 作计算毛坯图 (用坐标纸);
- 7) 选择制坯工步;
- 8) 决定坯料尺寸 (应按标准规格选择), 计算下料长度;
- 9) 设计预锻模膛;
- 10) 设计制坯模膛;
- 11) 模具结构设计 考虑是否采用锁扣、模膛布置和模块尺寸、模具的安装与调整、模具的起重运输、模具材料、加工及热处理等;
- 12) 绘制锻模图、切边模图等。

1.4 锤上模锻件的分类

根据锻件主轴线与其他两个方向尺寸的关系可将锻件分为两大类: 即短轴类锻件和长轴类锻件。

(1) 短轴类锻件

常见的短轴类锻件有法兰盘、齿轮、十字轴、万向联轴器叉等, 其特点主要是:

- 1) 锻件主轴线方向的尺寸小于或接近于其他两个方向的尺寸;

- 2) 主要变形工步的锻击方向与主轴线平行;
- 3) 模锻时金属沿高度、宽度和长度三个方向同时有变形流动, 属于体积变形。

短轴类锻件的种类很多, 按其形状复杂的程度, 通常分为三组: 即简单形状、较复杂形状和复杂形状 (表 24.2-1)。


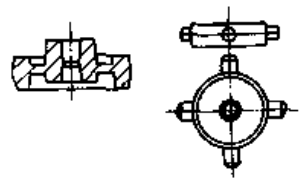
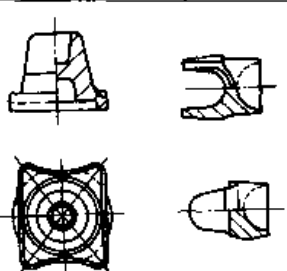
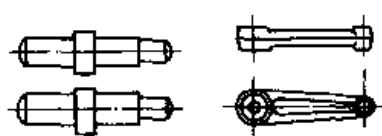
(2) 长轴类锻件

常见的长轴类锻件有各种轴 (例如: 主轴、传动轴、机车轴、偏心轴等), 杆 (例如: 截面为方形、矩形、圆形、工字形的连杆), 拉紧螺栓等。其特点主要是:

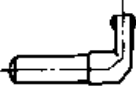
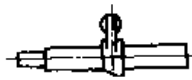
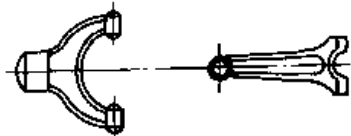
- 1) 锻件主轴线方向的尺寸大于其他两个方向的尺寸;
- 2) 主要变形工步的锻击方向与主轴线垂直;
- 3) 在模锻模膛中, 变形金属沿长度 (主轴线) 方向的变形流动很小, 可以近似地看成是平面变形。

长轴类锻件的种类也很多, 按其外形, 主轴线形状, 分模线特征等可分为四组: 即直长轴类锻件, 弯曲轴类锻件; 枝芽类锻件; 叉类锻件 (表 24.2-1)。

表 24.2-1 锻件分类表

类 别	组 别	锤 件 图 例
第一类——短轴类锻件	简单形状	
	较复杂形状	
	复杂形状	
第二类——长轴类锻件	直长轴线类	

续表 24.2-1

类别	组别	锤件图例
第二类——长轴类锻件	弯曲轴线类	
	枝芽类	
	叉类	

1.5 锻件图设计

锻件图是根据零件产品图制定的，它全面地反映锻件的情况。在锻件图中要规定：锻件的几何形状、尺寸；锻件公差和机械加工余量；锻件的材质及热处理要求；锻件的清理方式以及其他技术条件等内容。

锻件图是编制锻造工艺卡片、设计模具和量具以及最后检验锻件的依据，也是机械加工部门验收锻件，制订切削加工工艺、设计加工夹具（用毛坯面定位时）的依据，所以锻件图是最重要的基本工艺文件之一。

设计锻件图时必须综合考虑锻件的生产批量，设备工艺条件等各种因素。锻件图的设计还必须与机械加工工艺人员协商并认可。

设计锻件图时，通常要考虑如下内容：

(1) 确定分模面

对于开式模锻，确定分模面的主要原则是：

1) 保证锻件容易脱模，一般应以最大投影面作为分模面（见图 24.2-1a）；

2) 易于检查上下模膛的相对错移（图 24.2-1b）；

3) 分模线尽可能选用直线，使锻模加工简单（图 24.2-1c）；但对头部尺寸较大，且上下不对称的锻件，则宜取折线分模，以保证成形充满（图 24.2-1d）；

4) 对圆饼类锻件，当 $H \leq D$ 时，宜取径向分模，而不取轴向分模（图 24.2-1e）；

5) 应保证锻件有合理的金属流线分布（图 24.2-1f）。

(2) 确定机械加工余量

机械加工余量的确定与锻件形状的复杂程

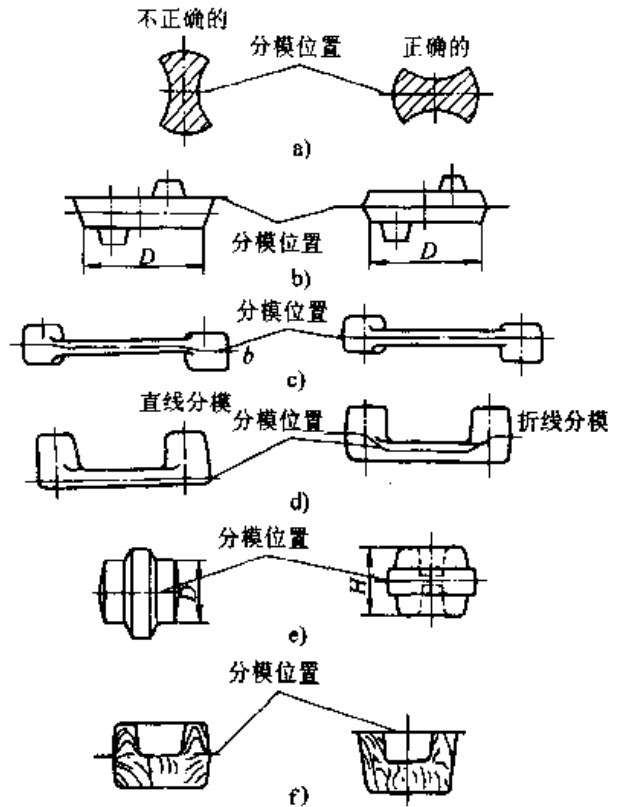


图 24.2-1 正确与不正确的分模面

度、成品零件的精度要求、锻件的材质、模锻设备、工艺条件、热处理的变形量、校正的难易程度、机械加工的工序设计等许多因素有关，不能笼统地说多大的余量最合适。机械加工余量也并不是越小越好，为了将锻件的脱碳层（约 0.5 mm）和表面的细小裂纹去掉，留有一定的加工余量是必要的。因此，在确定加工余量时通常要与加工部门协商。

GB/T 12362—1990 规定的机械加工余量，根据估算锻件重量、加工精度及锻件复杂系数由表 24.2-2 和表 24.2-3 查得。

表 24.2-2 锻件内外表面加工余量 (摘自 GB/T 12362—1990)

锻件重量 /kg		零件表面粗糙度 $Ra/\mu m$	形状复杂系数 S_1, S_2, S_3, S_4	单边余量 /mm							
				厚度方向		水 平		方 向			
大于	至	≥ 1.6		大于 0	315	400	630	800	1 250	1 600	2 500
0	0.4	≥ 1.6		1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	—	—	—	—	—
0.4	1.0	≥ 1.6		1.5~2.0	1.5~2.0	2.0~2.5	2.0~3.0	—	—	—	—
1.0	1.8	≥ 1.6		1.5~2.0	1.5~2.0	2.0~2.7	2.0~3.0	—	—	—	—
1.8	3.2	≥ 1.6		1.7~2.2	2.0~2.5	2.0~2.7	2.0~3.0	2.5~3.5	—	—	—
3.2	5.6	≥ 1.6		1.7~2.2	2.0~2.5	2.0~2.7	2.5~3.5	2.5~4.0	—	—	—
5.6	10.0	≥ 1.6		2.0~2.5	2.0~2.5	2.3~3.0	2.5~3.5	2.7~4.0	3.0~4.5	—	—
10.0	20.0	≥ 1.6		2.0~2.5	2.0~2.7	2.3~3.0	2.5~3.5	2.7~4.0	3.0~4.5	—	—
20.0	50.0	≥ 1.6		2.0~3.0	2.5~3.0	2.5~3.5	2.7~4.0	3.0~4.5	3.5~4.5	—	—
50.0	120.0	≥ 1.6		2.5~3.5	2.5~3.5	2.7~3.5	2.7~4.0	3.0~4.5	3.5~4.5	4.0~5.5	—
120.0	250.0	≥ 1.6		2.5~3.5	2.5~3.5	2.7~4.0	3.0~4.5	3.0~4.5	3.5~5.0	4.0~5.5	—
		≥ 1.6		2.7~3.5	2.7~3.5	3.0~4.0	3.0~4.5	3.5~5.0	4.0~5.0	4.5~6.0	—
		≥ 1.6		2.7~4.0	3.0~4.0	3.0~4.5	3.5~4.5	3.5~5.0	4.0~5.5	4.5~6.0	—

注：本表中的例：当锻件重量为 3 kg，零件表面粗糙度 $Ra = 3.2 \mu m$ ，形状复杂系数为 S_3 ，长度为 480 mm 时查出该锻件余量是：厚度方向为 1.7~2.2 mm，水平方向为 2.0~2.7 mm。

表 24.2-3 锻件内孔直径的单面机械加工余量 (摘自 GB/T 12362—1990) (mm)

孔 径		孔 深				
大于	到	大于 0	63	100	140	200
		至 63	100	140	200	280
—	25	2.0	—	—	—	—
25	40	2.0	2.6	—	—	—
40	63	2.0	2.6	3.0	—	—
63	100	2.5	3.0	3.0	4.0	—
100	160	2.6	3.0	3.4	4.0	4.6
160	250	3.0	3.0	3.4	4.0	4.6

(3) 确定模锻件公差

模锻件公差代表模锻件要求达到的精度。就尺寸公差而言，是锻件公称尺寸允许的偏差值。对公称尺寸所允许的增大值叫做正偏差；对公称尺寸所允许的减小值叫做负偏差。锻件公称尺寸，公差和余量之间的关系如图 24.2-2 所示。

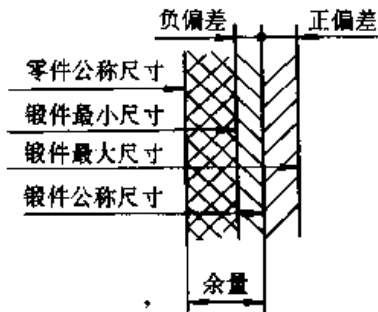


图 24.2-2 锻件的公称尺寸、公差和余量

钢制模锻件公差分为普通级和精密级。普通级公差适用于一般模锻工艺能够达到技术要求的锻件。精密级公差适用于有较高技术要求，但需要采用附加制造工艺才能达到的锻件。精密级公差可用于某一锻件的全部尺寸，也可用于局部尺寸。一般情况不宜采用精密级公差。平锻件只采用普通级公差。

1) 长度、宽度和高度尺寸公差 指在分模线一侧同一块模具上沿长度 l 、宽度 b 、高度 h 方向上的尺寸公差 (图 24.2-3)。此类公差根据

锻件基本尺寸、重量、形状复杂系数以及材质系数查表 24.2-4 或表 24.2-5 确定。

落差 (图 24.2-3 中 f) 尺寸公差是高度尺寸公差的一种形式，其数值比相应高度尺寸公差放宽一档，上下偏差按 $\pm \frac{1}{2}$ 比例分配。

2) 厚度尺寸公差 指跨越分模线的厚度尺寸的公差 (图 24.2-3 中 t)。锻件所有厚度尺寸取同一公差，其数值根据锻件最大厚度尺寸按表 24.2-6 或表 24.2-7 确定。

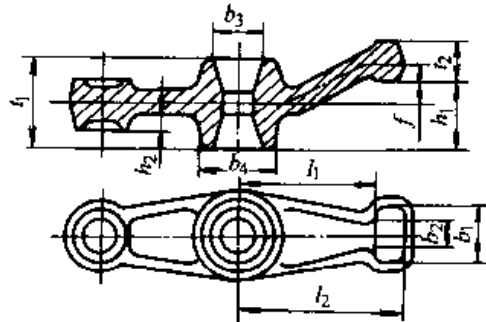


图 24.2-3 模锻件的长度、宽度、高度和厚度尺寸

3) 顶料杆压痕公差 按表 24.2-6 或表 24.2-7 选取，凸出为正，凹进为负。但凹进深度不得超过表面缺陷深度公差。

4) 错差公差 错差是锻件在分模线上、下两部分对应点所偏移的距离 (图 24.2-4)，数值为 $(l_1 - l_2) / 2$ 或 $(b_1 - b_2) / 2$ 。其中， l_1 、 l_2 为平行于分模线最大、最小投影长度， b_1 、 b_2 为平行于分模线最大、最小投影宽度。

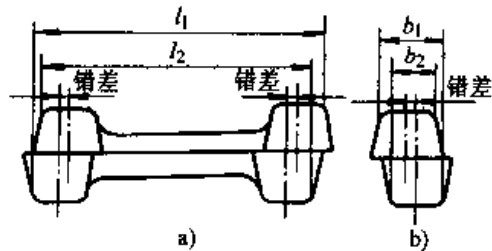


图 24.2-4 模锻件的错差

错差公差按表 24.2-4 或表 24.2-5 选取，其应用与其他公差无关。

5) 横向残留飞边及切入锻件深度公差 锻件在切边后，其横向残留飞边公差按表 24.2-4 或表 24.2-5 选取。切入锻件深度公差和横向残留飞边公差数值相等，二者与其他公差无关 (图 24.2-5)。

6) 平锻件杆部长度、宽度(直径)尺寸公差 杆部长度指锻件的内侧(含台阶部分)至锻件另一端端面之间的距离(图24.2-6中 l_1 或 l_2)。其公差根据杆部长度按表24.2-4选取。在确定此类公差时,材质系数取 M_1 ,形状复杂系数取 S_1 ,锻件重量按直径为 d_0 ,长度为 l_1 或 l_2 的棒料计算。

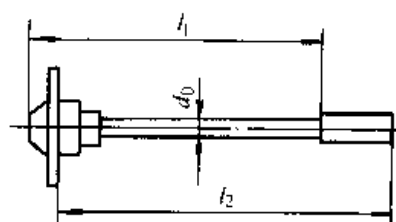


图24.2-6 平锻件杆部长度、宽度(直径)尺寸

宽度(直径)尺寸公差按表24.2-4选取。对凹模成形的锻件部分所有宽度(直径)尺寸取相同公差,其值由最大宽度(直径)尺寸确定。

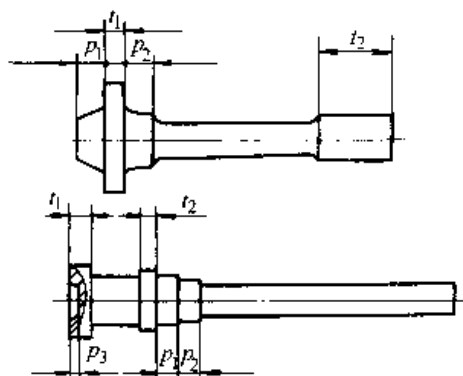


图24.2-7 平锻件台阶及厚度尺寸

7) 平锻件台阶及厚度尺寸公差 台阶尺寸指锻件成形部分沿轴线方向的尺寸 p (图24.2-7),其尺寸公差按表24.2-4选取。

厚度尺寸公差是指从凸模越过分模线到凹模间的尺寸 t (图24.2-7),其公差值根据最大厚度尺寸按表24.2-6选取。

8) 平锻件同轴度公差 指凸模成形部分的轴线对凹模成形外径的轴线所允许的偏移值。同轴度公差由表24.2-4确定,数值为错差公差的两倍。冲孔件同轴度公差(图24.2-8)如下:
 $h/d > 1.5 \sim 3.0$ 为 $0.5 \sim 0.8$ mm;
 $h/d > 3.0 \sim 5.0$ 为 $0.8 \sim 1.2$ mm;
 $h/d > 5.0$, 公差值 > 1.2 mm。
 孔深小于或等于孔径的1.5倍时($h/d \leq 1.5$),不采用同轴度公差。

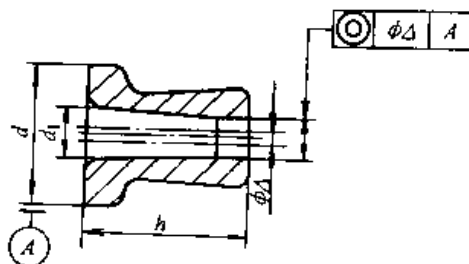


图24.2-8 冲孔件同轴度公差

9) 平锻件局部变形公差 锻件不形成杆部与锻件部分相连处,允许局部变形呈圆锥形(图24.2-9),其长度在 $l \leq 1.5d$ 且不大于100 mm。局部变形公差按锻件最大直径 D 确定。

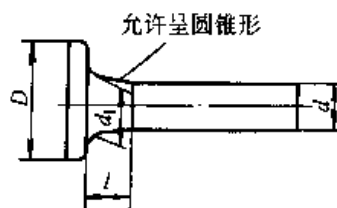


图24.2-9 平锻件局部变形公差

10) 壁厚差公差 壁厚差是带孔锻件在同一横剖面内量得的壁厚最大尺寸和最小尺寸的差值(图24.2-10),其公差为表24.2-4或表24.2-5中错差公差的两倍。

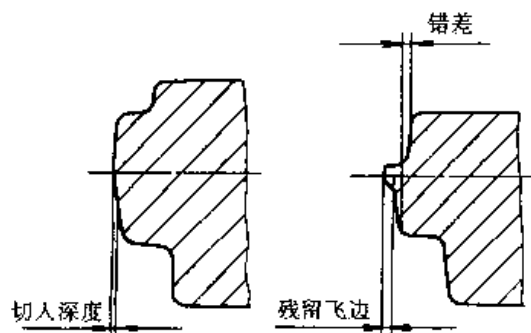


图24.2-5 模锻件的残留飞边和切入深度

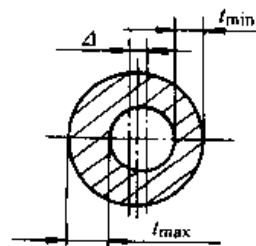


图24.2-10 锻件的壁厚差

表 24.2.4 锻件的长度、宽度、高度及错差、残留飞边公差 (普通级) (摘自 GB/T 12362—1990) (mm)

错差 残留 飞边 公差	分模线		锻件重量 /kg	材质系数 M_1 M_2	形状 复杂系数 S_1 S_2 S_3 S_4	基本尺寸																														
	非 对 称	或 对 称				公差						偏差																								
						大于 0	0.4	1.0	1.8	3.2	5.6	10	20	50	120	250																				
0.4	0.5		0			1.1 ^{+0.5} 1.2 ^{+0.4}	1.4 ^{+0.4} 1.6 ^{+0.3}	1.8 ^{+0.3} 2.0 ^{+0.2}	2.2 ^{+0.2} 2.5 ^{+0.1}	2.8 ^{+0.1} 3.2 ^{+0.1}	3.6 ^{+0.1} 4.0 ^{+0.1}	4.5 ^{+0.1} 5.0 ^{+0.1}	5.6 ^{+0.1} 6.3 ^{+0.1}	7.0 ^{+0.1} 8.0 ^{+0.1}	10 ^{+0.1} 11 ^{+0.1}	13 ^{+0.1} 15 ^{+0.1}	18 ^{+0.1} 20 ^{+0.1}	25 ^{+0.1} 30 ^{+0.1}	32 ^{+0.1} 36 ^{+0.1}	40 ^{+0.1} 45 ^{+0.1}	50 ^{+0.1} 56 ^{+0.1}	63 ^{+0.1} 70 ^{+0.1}	80 ^{+0.1} 90 ^{+0.1}	100 ^{+0.1} 110 ^{+0.1}	125 ^{+0.1} 140 ^{+0.1}	160 ^{+0.1} 180 ^{+0.1}	200 ^{+0.1} 225 ^{+0.1}	250 ^{+0.1} 280 ^{+0.1}								
0.5	0.6		0.4			1.2 ^{+0.5} 1.4 ^{+0.4}	1.6 ^{+0.4} 1.8 ^{+0.3}	2.0 ^{+0.3} 2.2 ^{+0.2}	2.5 ^{+0.2} 2.8 ^{+0.1}	3.2 ^{+0.2} 3.6 ^{+0.1}	4.0 ^{+0.2} 4.5 ^{+0.1}	5.0 ^{+0.2} 5.6 ^{+0.1}	6.3 ^{+0.2} 7.0 ^{+0.1}	8.0 ^{+0.2} 9.0 ^{+0.1}	11 ^{+0.2} 13 ^{+0.1}	15 ^{+0.2} 18 ^{+0.1}	20 ^{+0.2} 25 ^{+0.1}	30 ^{+0.2} 36 ^{+0.1}	40 ^{+0.2} 45 ^{+0.1}	50 ^{+0.2} 56 ^{+0.1}	63 ^{+0.2} 70 ^{+0.1}	80 ^{+0.2} 90 ^{+0.1}	100 ^{+0.2} 110 ^{+0.1}	125 ^{+0.2} 140 ^{+0.1}	160 ^{+0.2} 180 ^{+0.1}	200 ^{+0.2} 225 ^{+0.1}	250 ^{+0.2} 280 ^{+0.1}	300 ^{+0.2} 325 ^{+0.1}	360 ^{+0.2} 400 ^{+0.1}	450 ^{+0.2} 500 ^{+0.1}	600 ^{+0.2} 675 ^{+0.1}	800 ^{+0.2} 900 ^{+0.1}	1000 ^{+0.2} 1100 ^{+0.1}			
0.6	0.7		1.0			1.4 ^{+0.6} 1.6 ^{+0.5}	1.8 ^{+0.5} 2.0 ^{+0.4}	2.2 ^{+0.4} 2.5 ^{+0.3}	2.8 ^{+0.3} 3.2 ^{+0.2}	4.0 ^{+0.3} 4.5 ^{+0.2}	5.0 ^{+0.3} 5.6 ^{+0.2}	6.3 ^{+0.3} 7.0 ^{+0.2}	8.0 ^{+0.3} 9.0 ^{+0.2}	11 ^{+0.3} 13 ^{+0.2}	15 ^{+0.3} 18 ^{+0.2}	20 ^{+0.3} 25 ^{+0.2}	30 ^{+0.3} 36 ^{+0.2}	40 ^{+0.3} 45 ^{+0.2}	50 ^{+0.3} 56 ^{+0.2}	63 ^{+0.3} 70 ^{+0.2}	80 ^{+0.3} 90 ^{+0.2}	100 ^{+0.3} 110 ^{+0.2}	125 ^{+0.3} 140 ^{+0.2}	160 ^{+0.3} 180 ^{+0.2}	200 ^{+0.3} 225 ^{+0.2}	250 ^{+0.3} 280 ^{+0.2}	300 ^{+0.3} 325 ^{+0.2}	360 ^{+0.3} 400 ^{+0.2}	450 ^{+0.3} 500 ^{+0.2}	600 ^{+0.3} 675 ^{+0.2}	800 ^{+0.3} 900 ^{+0.2}	1000 ^{+0.3} 1100 ^{+0.2}	1250 ^{+0.3} 1400 ^{+0.2}	1600 ^{+0.3} 1800 ^{+0.2}	2000 ^{+0.3} 2250 ^{+0.2}	
0.8	0.8		1.8			1.6 ^{+0.8} 1.8 ^{+0.7}	2.0 ^{+0.7} 2.2 ^{+0.6}	2.5 ^{+0.6} 2.8 ^{+0.5}	3.2 ^{+0.5} 3.6 ^{+0.4}	4.0 ^{+0.5} 4.5 ^{+0.4}	5.0 ^{+0.5} 5.6 ^{+0.4}	6.3 ^{+0.5} 7.0 ^{+0.4}	8.0 ^{+0.5} 9.0 ^{+0.4}	11 ^{+0.5} 13 ^{+0.4}	15 ^{+0.5} 18 ^{+0.4}	20 ^{+0.5} 25 ^{+0.4}	30 ^{+0.5} 36 ^{+0.4}	40 ^{+0.5} 45 ^{+0.4}	50 ^{+0.5} 56 ^{+0.4}	63 ^{+0.5} 70 ^{+0.4}	80 ^{+0.5} 90 ^{+0.4}	100 ^{+0.5} 110 ^{+0.4}	125 ^{+0.5} 140 ^{+0.4}	160 ^{+0.5} 180 ^{+0.4}	200 ^{+0.5} 225 ^{+0.4}	250 ^{+0.5} 280 ^{+0.4}	300 ^{+0.5} 325 ^{+0.4}	360 ^{+0.5} 400 ^{+0.4}	450 ^{+0.5} 500 ^{+0.4}	600 ^{+0.5} 675 ^{+0.4}	800 ^{+0.5} 900 ^{+0.4}	1000 ^{+0.5} 1100 ^{+0.4}	1250 ^{+0.5} 1400 ^{+0.4}	1600 ^{+0.5} 1800 ^{+0.4}	2000 ^{+0.5} 2250 ^{+0.4}	
1.0	1.0		3.2			1.8 ^{+1.0} 2.0 ^{+0.9}	2.2 ^{+0.9} 2.5 ^{+0.8}	2.8 ^{+0.8} 3.2 ^{+0.7}	3.6 ^{+0.7} 4.0 ^{+0.6}	4.5 ^{+0.7} 5.0 ^{+0.6}	5.6 ^{+0.7} 6.3 ^{+0.6}	7.0 ^{+0.7} 8.0 ^{+0.6}	9.0 ^{+0.7} 10 ^{+0.6}	11 ^{+0.7} 13 ^{+0.6}	15 ^{+0.7} 18 ^{+0.6}	20 ^{+0.7} 25 ^{+0.6}	30 ^{+0.7} 36 ^{+0.6}	40 ^{+0.7} 45 ^{+0.6}	50 ^{+0.7} 56 ^{+0.6}	63 ^{+0.7} 70 ^{+0.6}	80 ^{+0.7} 90 ^{+0.6}	100 ^{+0.7} 110 ^{+0.6}	125 ^{+0.7} 140 ^{+0.6}	160 ^{+0.7} 180 ^{+0.6}	200 ^{+0.7} 225 ^{+0.6}	250 ^{+0.7} 280 ^{+0.6}	300 ^{+0.7} 325 ^{+0.6}	360 ^{+0.7} 400 ^{+0.6}	450 ^{+0.7} 500 ^{+0.6}	600 ^{+0.7} 675 ^{+0.6}	800 ^{+0.7} 900 ^{+0.6}	1000 ^{+0.7} 1100 ^{+0.6}	1250 ^{+0.7} 1400 ^{+0.6}	1600 ^{+0.7} 1800 ^{+0.6}	2000 ^{+0.7} 2250 ^{+0.6}	
1.2	1.2		5.6			2.0 ^{+1.2} 2.2 ^{+1.1}	2.5 ^{+1.1} 2.8 ^{+1.0}	3.2 ^{+1.0} 3.6 ^{+0.9}	4.0 ^{+0.9} 4.5 ^{+0.8}	5.0 ^{+0.9} 5.6 ^{+0.8}	6.3 ^{+0.9} 7.0 ^{+0.8}	8.0 ^{+0.9} 9.0 ^{+0.8}	10 ^{+0.9} 11 ^{+0.8}	13 ^{+0.9} 15 ^{+0.8}	18 ^{+0.9} 20 ^{+0.8}	25 ^{+0.9} 30 ^{+0.8}	36 ^{+0.9} 40 ^{+0.8}	45 ^{+0.9} 50 ^{+0.8}	56 ^{+0.9} 63 ^{+0.8}	70 ^{+0.9} 80 ^{+0.8}	90 ^{+0.9} 100 ^{+0.8}	110 ^{+0.9} 125 ^{+0.8}	140 ^{+0.9} 160 ^{+0.8}	180 ^{+0.9} 200 ^{+0.8}	225 ^{+0.9} 250 ^{+0.8}	280 ^{+0.9} 300 ^{+0.8}	325 ^{+0.9} 360 ^{+0.8}	400 ^{+0.9} 450 ^{+0.8}	500 ^{+0.9} 560 ^{+0.8}	600 ^{+0.9} 675 ^{+0.8}	800 ^{+0.9} 900 ^{+0.8}	1000 ^{+0.9} 1100 ^{+0.8}	1250 ^{+0.9} 1400 ^{+0.8}	1600 ^{+0.9} 1800 ^{+0.8}	2000 ^{+0.9} 2250 ^{+0.8}	
1.4	1.4		10			2.2 ^{+1.4} 2.5 ^{+1.3}	2.8 ^{+1.3} 3.2 ^{+1.2}	3.6 ^{+1.2} 4.0 ^{+1.1}	4.5 ^{+1.1} 5.0 ^{+1.0}	5.6 ^{+1.1} 6.3 ^{+1.0}	7.0 ^{+1.1} 8.0 ^{+1.0}	9.0 ^{+1.1} 10 ^{+1.0}	11 ^{+1.1} 13 ^{+1.0}	15 ^{+1.1} 18 ^{+1.0}	20 ^{+1.1} 25 ^{+1.0}	30 ^{+1.1} 36 ^{+1.0}	40 ^{+1.1} 45 ^{+1.0}	50 ^{+1.1} 56 ^{+1.0}	63 ^{+1.1} 70 ^{+1.0}	80 ^{+1.1} 90 ^{+1.0}	100 ^{+1.1} 110 ^{+1.0}	125 ^{+1.1} 140 ^{+1.0}	160 ^{+1.1} 180 ^{+1.0}	200 ^{+1.1} 225 ^{+1.0}	250 ^{+1.1} 280 ^{+1.0}	300 ^{+1.1} 325 ^{+1.0}	360 ^{+1.1} 400 ^{+1.0}	450 ^{+1.1} 500 ^{+1.0}	600 ^{+1.1} 675 ^{+1.0}	800 ^{+1.1} 900 ^{+1.0}	1000 ^{+1.1} 1100 ^{+1.0}	1250 ^{+1.1} 1400 ^{+1.0}	1600 ^{+1.1} 1800 ^{+1.0}	2000 ^{+1.1} 2250 ^{+1.0}	2500 ^{+1.1} 2800 ^{+1.0}	3000 ^{+1.1} 3250 ^{+1.0}
1.6	1.7		20			2.5 ^{+1.6} 2.8 ^{+1.5}	3.2 ^{+1.5} 3.6 ^{+1.4}	4.0 ^{+1.4} 4.5 ^{+1.3}	5.0 ^{+1.3} 5.6 ^{+1.2}	6.3 ^{+1.3} 7.0 ^{+1.2}	8.0 ^{+1.3} 9.0 ^{+1.2}	10 ^{+1.3} 11 ^{+1.2}	13 ^{+1.3} 15 ^{+1.2}	18 ^{+1.3} 20 ^{+1.2}	25 ^{+1.3} 30 ^{+1.2}	36 ^{+1.3} 40 ^{+1.2}	45 ^{+1.3} 50 ^{+1.2}	56 ^{+1.3} 63 ^{+1.2}	70 ^{+1.3} 80 ^{+1.2}	90 ^{+1.3} 100 ^{+1.2}	110 ^{+1.3} 125 ^{+1.2}	140 ^{+1.3} 160 ^{+1.2}	180 ^{+1.3} 200 ^{+1.2}	225 ^{+1.3} 250 ^{+1.2}	280 ^{+1.3} 300 ^{+1.2}	325 ^{+1.3} 360 ^{+1.2}	400 ^{+1.3} 450 ^{+1.2}	500 ^{+1.3} 560 ^{+1.2}	600 ^{+1.3} 675 ^{+1.2}	800 ^{+1.3} 900 ^{+1.2}	1000 ^{+1.3} 1100 ^{+1.2}	1250 ^{+1.3} 1400 ^{+1.2}	1600 ^{+1.3} 1800 ^{+1.2}	2000 ^{+1.3} 2250 ^{+1.2}	2500 ^{+1.3} 2800 ^{+1.2}	3000 ^{+1.3} 3250 ^{+1.2}
1.8	2.0		50			2.8 ^{+1.8} 3.2 ^{+1.7}	3.6 ^{+1.7} 4.0 ^{+1.6}	4.5 ^{+1.6} 5.0 ^{+1.5}	5.6 ^{+1.5} 6.3 ^{+1.4}	7.0 ^{+1.5} 8.0 ^{+1.4}	9.0 ^{+1.5} 10 ^{+1.4}	11 ^{+1.5} 13 ^{+1.4}	15 ^{+1.5} 18 ^{+1.4}	20 ^{+1.5} 25 ^{+1.4}	30 ^{+1.5} 36 ^{+1.4}	40 ^{+1.5} 45 ^{+1.4}	50 ^{+1.5} 56 ^{+1.4}	63 ^{+1.5} 70 ^{+1.4}	80 ^{+1.5} 90 ^{+1.4}	100 ^{+1.5} 110 ^{+1.4}	125 ^{+1.5} 140 ^{+1.4}	160 ^{+1.5} 180 ^{+1.4}	200 ^{+1.5} 225 ^{+1.4}	250 ^{+1.5} 280 ^{+1.4}	300 ^{+1.5} 325 ^{+1.4}	360 ^{+1.5} 400 ^{+1.4}	450 ^{+1.5} 500 ^{+1.4}	600 ^{+1.5} 675 ^{+1.4}	800 ^{+1.5} 900 ^{+1.4}	1000 ^{+1.5} 1100 ^{+1.4}	1250 ^{+1.5} 1400 ^{+1.4}	1600 ^{+1.5} 1800 ^{+1.4}	2000 ^{+1.5} 2250 ^{+1.4}	2500 ^{+1.5} 2800 ^{+1.4}	3000 ^{+1.5} 3250 ^{+1.4}	3500 ^{+1.5} 3750 ^{+1.4}
2.0	2.4		120			3.2 ^{+2.0} 3.6 ^{+1.9}	4.0 ^{+1.9} 4.5 ^{+1.8}	5.0 ^{+1.8} 5.6 ^{+1.7}	6.3 ^{+1.7} 7.0 ^{+1.6}	8.0 ^{+1.7} 9.0 ^{+1.6}	10 ^{+1.7} 11 ^{+1.6}	13 ^{+1.7} 15 ^{+1.6}	18 ^{+1.7} 20 ^{+1.6}	25 ^{+1.7} 30 ^{+1.6}	36 ^{+1.7} 40 ^{+1.6}	45 ^{+1.7} 50 ^{+1.6}	56 ^{+1.7} 63 ^{+1.6}	70 ^{+1.7} 80 ^{+1.6}	90 ^{+1.7} 100 ^{+1.6}	110 ^{+1.7} 125 ^{+1.6}	140 ^{+1.7} 160 ^{+1.6}	180 ^{+1.7} 200 ^{+1.6}	225 ^{+1.7} 250 ^{+1.6}	280 ^{+1.7} 300 ^{+1.6}	325 ^{+1.7} 360 ^{+1.6}	400 ^{+1.7} 450 ^{+1.6}	500 ^{+1.7} 560 ^{+1.6}	600 ^{+1.7} 675 ^{+1.6}	800 ^{+1.7} 900 ^{+1.6}	1000 ^{+1.7} 1100 ^{+1.6}	1250 ^{+1.7} 1400 ^{+1.6}	1600 ^{+1.7} 1800 ^{+1.6}	2000 ^{+1.7} 2250 ^{+1.6}	2500 ^{+1.7} 2800 ^{+1.6}	3000 ^{+1.7} 3250 ^{+1.6}	3500 ^{+1.7} 3750 ^{+1.6}
2.4	2.8		250			3.6 ^{+2.4} 4.0 ^{+2.3}	4.5 ^{+2.3} 5.0 ^{+2.2}	5.6 ^{+2.2} 6.3 ^{+2.1}	7.0 ^{+2.1} 8.0 ^{+2.0}	9.0 ^{+2.1} 10 ^{+2.0}	11 ^{+2.1} 13 ^{+2.0}	15 ^{+2.1} 18 ^{+2.0}	20 ^{+2.1} 25 ^{+2.0}	30 ^{+2.1} 36 ^{+2.0}	40 ^{+2.1} 45 ^{+2.0}	50 ^{+2.1} 56 ^{+2.0}	63 ^{+2.1} 70 ^{+2.0}	80 ^{+2.1} 90 ^{+2.0}	100 ^{+2.1} 110 ^{+2.0}	125 ^{+2.1} 140 ^{+2.0}	160 ^{+2.1} 180 ^{+2.0}	200 ^{+2.1} 225 ^{+2.0}	250 ^{+2.1} 280 ^{+2.0}	300 ^{+2.1} 325 ^{+2.0}	360 ^{+2.1} 400 ^{+2.0}	450 ^{+2.1} 500 ^{+2.0}	600 ^{+2.1} 675 ^{+2.0}	800 ^{+2.1} 900 ^{+2.0}	1000 ^{+2.1} 1100 ^{+2.0}	1250 ^{+2.1} 1400 ^{+2.0}	1600 ^{+2.1} 1800 ^{+2.0}	2000 ^{+2.1} 2250 ^{+2.0}	2500 ^{+2.1} 2800 ^{+2.0}	3000 ^{+2.1} 3250 ^{+2.0}	3500 ^{+2.1} 3750 ^{+2.0}	4000 ^{+2.1} 4250 ^{+2.0}

注: 1. 锻件的高度或台阶尺寸及中心到边缘尺寸公差, 按 $\pm 1/2$ 的比例分配。内表面尺寸极限偏差, 正负符号与表中相反。
 2. 本标准所指锻件加热条件为电、油或煤气 (天然气)。采用煤加热或二火加热时, 可考虑适当增大公差或余量, 其数值由供需双方协商确定。
 3. 本表中的例: 锻件重量为 6 kg, 材质系数为 M_1 , 形状复杂系数为 S_2 , 尺寸为 160 mm, 平直分模线时各类公差查法。

表 24.2-6 锻件的厚度及顶料杆压强公差 (普通级) (摘自 GB/T 12362--1990) (mm)

压 痕 极限偏差	锻件重量 /kg		材 质 系 数 M_1 M_2	形 状 复 杂 系 数 S_1 S_2 S_3 S_4	公 差 值 及 极 限 偏 差													
	大 于					至					80		120		180			
	+ (凸)				- (凹)			18		30		50		80		120		180
0.8	0.4	0	0.4		1.0 ^{+0.5}	1.1 ^{+0.5}	1.2 ^{+0.5}	1.4 ^{+0.4}	1.4 ^{+0.4}	1.4 ^{+0.4}	1.6 ^{+0.4}	1.6 ^{+0.4}	1.6 ^{+0.4}	1.8 ^{+0.4}	1.8 ^{+0.4}	2.0 ^{+0.5}		
1.0	0.5	0.4	1.0		1.1 ^{+0.5}	1.2 ^{+0.5}	1.4 ^{+0.4}	1.6 ^{+0.4}	1.6 ^{+0.4}	1.6 ^{+0.4}	1.8 ^{+0.4}	1.8 ^{+0.4}	2.0 ^{+0.5}	2.0 ^{+0.5}	2.2 ^{+0.5}	2.2 ^{+0.5}		
1.2	0.6	1.0	1.8		1.2 ^{+0.5}	1.4 ^{+0.4}	1.6 ^{+0.4}	1.8 ^{+0.4}	1.8 ^{+0.4}	2.0 ^{+0.5}	2.0 ^{+0.5}	2.2 ^{+0.5}	2.2 ^{+0.5}	2.5 ^{+0.5}	2.5 ^{+0.5}	2.8 ^{+0.7}		
1.5	0.8	1.8	3.2		1.4 ^{+0.4}	1.6 ^{+0.4}	1.8 ^{+0.4}	2.0 ^{+0.5}	2.0 ^{+0.5}	2.2 ^{+0.5}	2.2 ^{+0.5}	2.5 ^{+0.5}	2.5 ^{+0.5}	2.8 ^{+0.7}	3.2 ^{+0.8}	3.2 ^{+0.8}		
1.8	0.9	3.2	5.6		1.6 ^{+0.4}	1.8 ^{+0.4}	2.0 ^{+0.5}	2.2 ^{+0.5}	2.2 ^{+0.5}	2.5 ^{+0.5}	2.5 ^{+0.5}	2.8 ^{+0.7}	3.2 ^{+0.8}	3.2 ^{+0.8}	3.6 ^{+0.9}	4.0 ^{+1.0}		
2.2	1.2	5.6	10		1.8 ^{+0.4}	2.0 ^{+0.5}	2.2 ^{+0.5}	2.5 ^{+0.5}	2.5 ^{+0.5}	2.8 ^{+0.7}	3.2 ^{+0.8}	3.2 ^{+0.8}	3.6 ^{+0.9}	4.0 ^{+1.0}	4.5 ^{+1.1}	5.0 ^{+1.2}		
2.8	1.5	10	20		2.0 ^{+0.5}	2.2 ^{+0.5}	2.5 ^{+0.5}	2.8 ^{+0.7}	2.8 ^{+0.7}	3.2 ^{+0.8}	3.6 ^{+0.9}	3.6 ^{+0.9}	4.0 ^{+1.0}	4.5 ^{+1.1}	5.0 ^{+1.2}	5.6 ^{+1.4}		
3.5	2.0	20	50		2.2 ^{+0.5}	2.5 ^{+0.5}	2.8 ^{+0.7}	3.2 ^{+0.8}	3.2 ^{+0.8}	3.6 ^{+0.9}	4.0 ^{+1.0}	4.0 ^{+1.0}	4.5 ^{+1.1}	5.0 ^{+1.2}	5.6 ^{+1.4}	6.3 ^{+1.5}		
4.5	2.5	50	120		2.5 ^{+0.5}	2.8 ^{+0.7}	3.2 ^{+0.8}	3.6 ^{+0.9}	3.6 ^{+0.9}	4.0 ^{+1.0}	4.5 ^{+1.1}	4.5 ^{+1.1}	5.0 ^{+1.2}	5.6 ^{+1.4}	6.3 ^{+1.5}	7.0 ^{+1.7}		
6.0	3.0	120	250		2.8 ^{+0.7}	3.2 ^{+0.8}	3.6 ^{+0.9}	4.0 ^{+1.0}	4.0 ^{+1.0}	4.5 ^{+1.1}	5.0 ^{+1.2}	5.0 ^{+1.2}	5.6 ^{+1.4}	6.3 ^{+1.5}	7.0 ^{+1.7}	8.0 ^{+2.0}		
					3.2 ^{+0.8}	3.6 ^{+0.9}	4.0 ^{+1.0}	4.5 ^{+1.1}	4.5 ^{+1.1}	5.0 ^{+1.2}	5.6 ^{+1.4}	5.6 ^{+1.4}	6.3 ^{+1.5}	7.0 ^{+1.7}	8.0 ^{+2.0}	9.0 ^{+2.2}		
					3.6 ^{+0.9}	4.0 ^{+1.0}	4.5 ^{+1.1}	5.0 ^{+1.2}	5.0 ^{+1.2}	5.6 ^{+1.4}	6.3 ^{+1.5}	6.3 ^{+1.5}	7.0 ^{+1.7}	8.0 ^{+2.0}	9.0 ^{+2.2}	10.0 ^{+2.5}		
					4.0 ^{+1.0}	4.5 ^{+1.1}	5.0 ^{+1.2}	5.6 ^{+1.4}	5.6 ^{+1.4}	6.3 ^{+1.5}	7.0 ^{+1.7}	7.0 ^{+1.7}	8.0 ^{+2.0}	9.0 ^{+2.2}	10.0 ^{+2.5}			
					4.5 ^{+1.1}	5.0 ^{+1.2}	5.6 ^{+1.4}	6.3 ^{+1.5}	6.3 ^{+1.5}	7.0 ^{+1.7}	8.0 ^{+2.0}	8.0 ^{+2.0}	9.0 ^{+2.2}	10.0 ^{+2.5}				
					5.0 ^{+1.2}	5.6 ^{+1.4}	6.3 ^{+1.5}	7.0 ^{+1.7}	7.0 ^{+1.7}	8.0 ^{+2.0}	9.0 ^{+2.2}	9.0 ^{+2.2}	10.0 ^{+2.5}					

注: 1. 上、下偏差也可按 +2/3、-1/3 比例分配。

2. 同表 24.2-4 注 2。

3. 本表中的例: 锻件重量为 3 kg 材质系数为 M_1 , 形状复杂系数为 S_3 , 最大厚度尺寸为 45 mm 时各类公差查法。

表 24.2-7 锻件的厚度及顶料杆压痕公差 (摘自 GB/T 12362—1990)

压痕 极限偏差	锻件重量 /kg		材质系数 M_1 M_2	形 状 复 杂 系 数 S_1 S_2 S_3 S_4	锻 件 厚 度 尺 寸						(mm)
	+ (凸)	- (凹)			公 差 值 及 极 限 偏 差			公 差 值 及 极 限 偏 差			
					大于 18	30	50	80	120	180	
0.6	0.3	0	0.4		0.6 ^{+0.5} _{-0.1}	0.8 ^{+0.6} _{-0.2}	0.9 ^{+0.7} _{-0.2}	1.0 ^{+0.8} _{-0.3}	1.2 ^{+1.0} _{-0.4}	1.4 ^{+1.2} _{-0.5}	1.6 ^{+1.4} _{-0.6}
0.8	0.4	0.4	1.0		0.8 ^{+0.6} _{-0.2}	0.9 ^{+0.7} _{-0.2}	1.0 ^{+0.8} _{-0.3}	1.2 ^{+1.0} _{-0.4}	1.4 ^{+1.2} _{-0.5}	1.6 ^{+1.4} _{-0.6}	1.8 ^{+1.6} _{-0.7}
1.0	0.5	1.0	1.8		0.9 ^{+0.7} _{-0.2}	1.0 ^{+0.8} _{-0.3}	1.2 ^{+1.0} _{-0.4}	1.4 ^{+1.2} _{-0.5}	1.6 ^{+1.4} _{-0.6}	1.8 ^{+1.6} _{-0.7}	2.0 ^{+1.8} _{-0.8}
1.2	0.6	1.8	3.2		1.0 ^{+0.8} _{-0.3}	1.2 ^{+1.0} _{-0.4}	1.4 ^{+1.2} _{-0.5}	1.6 ^{+1.4} _{-0.6}	1.8 ^{+1.6} _{-0.7}	2.0 ^{+1.8} _{-0.8}	2.2 ^{+2.0} _{-0.9}
1.6	0.8	3.2	5.6		1.2 ^{+0.9} _{-0.4}	1.4 ^{+1.0} _{-0.5}	1.6 ^{+1.2} _{-0.5}	1.8 ^{+1.4} _{-0.6}	2.0 ^{+1.8} _{-0.8}	2.2 ^{+2.0} _{-0.9}	2.5 ^{+2.3} _{-1.0}
1.8	1.0	5.6	10		1.2 ^{+0.9} _{-0.4}	1.4 ^{+1.0} _{-0.5}	1.6 ^{+1.2} _{-0.5}	1.8 ^{+1.4} _{-0.6}	2.0 ^{+1.8} _{-0.8}	2.2 ^{+2.0} _{-0.9}	2.5 ^{+2.3} _{-1.0}
2.2	1.2	10	20		1.4 ^{+1.0} _{-0.4}	1.6 ^{+1.2} _{-0.5}	1.8 ^{+1.4} _{-0.6}	2.0 ^{+1.8} _{-0.8}	2.2 ^{+2.0} _{-0.9}	2.5 ^{+2.3} _{-1.0}	2.8 ^{+2.6} _{-1.1}
2.8	1.5	20	50		1.6 ^{+1.2} _{-0.5}	1.8 ^{+1.4} _{-0.6}	2.0 ^{+1.8} _{-0.8}	2.2 ^{+2.0} _{-0.9}	2.5 ^{+2.3} _{-1.0}	2.8 ^{+2.6} _{-1.1}	3.2 ^{+3.0} _{-1.2}
3.5	2.0	50	120		1.8 ^{+1.4} _{-0.6}	2.0 ^{+1.8} _{-0.8}	2.2 ^{+2.0} _{-0.9}	2.5 ^{+2.3} _{-1.0}	2.8 ^{+2.6} _{-1.1}	3.2 ^{+3.0} _{-1.2}	4.0 ^{+3.8} _{-1.5}
4.5	2.5	120	250		2.0 ^{+1.8} _{-0.8}	2.2 ^{+2.0} _{-0.9}	2.5 ^{+2.3} _{-1.0}	2.8 ^{+2.6} _{-1.1}	3.2 ^{+3.0} _{-1.2}	3.6 ^{+3.4} _{-1.3}	4.5 ^{+4.3} _{-1.7}

注: 1. 上、下偏差也可按 +2/3, -1/3 比例分配。

2. 同表 24.2-4 注 2。

3. 本表中的例: 锻件重量 3 kg, 材质系数为 M_1 , 形状复杂系数为 S_3 , 最大厚度尺寸为 45 mm 时各类公差查法。

11) 直线度和平面度公差 锻件非加工面的直线度公差如下： $l > 0 \sim 120$ mm时为0.7 mm； $l > 120 \sim 250$ mm时为1.1 mm； $l > 250 \sim 400$ mm时为1.4 mm； $l > 400 \sim 630$ mm时为1.8 mm； $l > 630 \sim 1\,000$ mm时为2.2 mm； $l > 1\,000$ mm时为0.22% l 。

锻件加工面的直线度和平面度公差按表

表 24.2-8 锻件加工表面直线度、平面度公差 (摘自 GB/T 12362—1990) (mm)

锻件外形尺寸	大于	0	30	80	120	180	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000
	至	30	80	120	180	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500
公差值	普通级	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.2	
	精密级	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	

注：本表中的例：当锻件长度为240 mm，热处理为调质时，直线度和平面度公差的普通级为1.2 mm，精密级为0.8 mm。

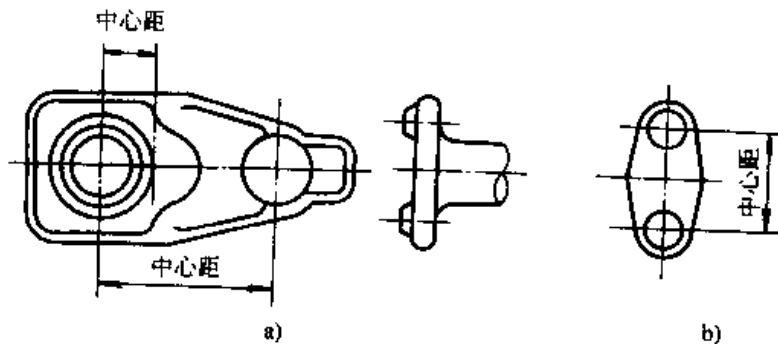


图 24.2-11 平面直线锻件的中心距

表 24.2-9 锻件的中心距公差 (摘自 GB/T 12362—1990) (mm)

中心距	大于	0	30	80	120	180	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000
	至	30	80	120	180	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500
极限偏差	普通级	± 0.3	± 0.4	± 0.5	± 0.6	± 0.8	± 1.0	± 1.2	± 1.6	± 2.0	± 2.5	± 3.2	± 4.0	± 5.0	± 6.0	
	精密级	± 0.25	± 0.3	± 0.4	± 0.5	± 0.6	± 0.8	± 1.0	± 1.2	± 1.6	± 2.0	± 2.5	± 3.2	± 4.0	± 5.0	

注：本表中的例：当锻件中心距尺寸为300 mm，有一道校正或压印工序，其中心距的极限偏差为普通级 ± 1.0 mm，精密级 ± 0.8 mm。

24.2-8 选取。但不得大于该表面机械加工余量的2/3。

12) 中心距公差 对于平面直线分模，且位于同一块模具内的中心距 (图 24.2-11) 公差按表 24.2-9。弯曲轴线 (图 24.2-12) 及其他类型锻件的中心距公差由供需双方商定。中心距公差与其他公差无关。

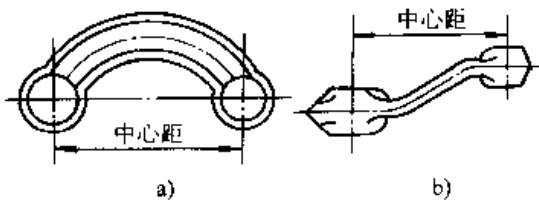


图 24.2-12 弯曲轴线锻件的中心距

13) 表面缺陷深度公差 表面缺陷深度是指锻件表面的凹陷、麻点、碰伤、折叠和裂纹的实际深度，其公差规定如下：

加工表面：若锻件实际尺寸等于基本尺寸时，其深度公差为单边加工余量之半；若实际尺寸大于或小于基本尺寸时，其深度公差为单边加工余量之半加或减单边实际偏差值。对内表面尺寸取相反值。

非加工表面：其深度公差为厚度尺寸公差的 1/3。

14) 其他公差

① 内外圆角半径公差、模锻斜度公差 一般情况下不作要求和检查，需要时分别按表 24.2-10 和表 24.2-11 选取。

表 24.2-10 锻件的内外圆角半径公差 (摘自 GB/T 12362—1990) (mm)

基本尺寸		圆角半径	上偏差 (+)	下偏差 (-)
大于	至			
—	10	R	0.60R	0.30R
		r	0.40r	0.20r
10	50	R	0.50R	0.25R
		r	0.30r	0.15r
50	120	R	0.40R	0.20R
		r	0.25r	0.12r
120	180	R	0.30R	0.15R
		r	0.20r	0.10r
180	—	R	0.25R	0.12R
		r	0.20r	0.10r

注：r——外圆角半径；R——内圆角半径。

② 角度公差 锻件各部分之间成一定角度时，其角度公差按夹角部分的短边长度 l_1 ，由表 24.2-12 选取。

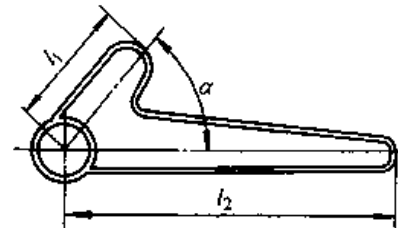
③ 纵向毛刺及冲孔变形公差 切边或冲孔后，需经加工的锻件边缘允许存在少量残留毛刺

和冲孔变形，其公差根据锻件重量由表 24.2-13 选取，位置在锻件图中标明，其应用与其他公差无关。

表 24.2-11 锻件的模锻斜度公差 (摘自 GB/T 12362—1990)

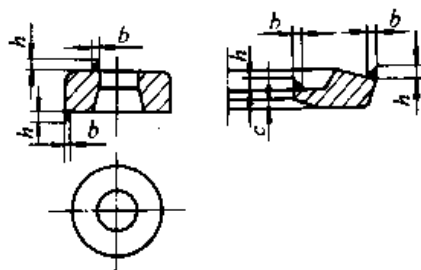
锻件高度尺寸/mm		公差值	
大于	至	普通级	精密级
0	6	5°00'	3°00'
6	10	4°00'	2°30'
10	18	3°00'	2°00'
18	30	2°30'	1°30'
30	50	2°00'	1°15'
50	80	1°30'	1°00'
80	120	1°15'	0°50'
120	180	1°00'	0°40'
180	260	0°50'	0°30'
260	—	0°40'	0°30'

表 24.2-12 锻件角度公差 (摘自 GB/T 12362—1990)



短边长度 l_1 /mm	0	30	50	80	120	> 180	
	~ 30	~ 50	~ 80	~ 120	~ 180		
极限偏差	普通级	±3°00'	±2°30'	±2°00'	±1°30'	±1°15'	±1°00'
	精密级	±2°00'	±1°30'	±1°15'	±1°00'	±0°45'	±0°30'

表 24.2-13 锻件切边冲孔纵向毛刺及局部变形公差 (摘自 GB/T 12362—1990) (mm)



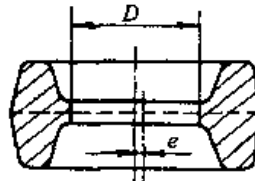
续表 24.2-13

锻件重量 /kg	纵向毛刺公差		变形 (c) 公差
	高度 (h)	宽度 (b)	
≤1	1.0	0.5	0.5
>1~5	1.6	0.8	0.8
>5~30	2.5	1.2	1.0
>30~55	3.0	2.0	1.5
>55	4.0	2.5	2.0

④ 冲孔偏移公差 冲孔偏移指在冲孔连皮处孔中心对理论中心的偏移。其公差按表 24.2-14 选取。

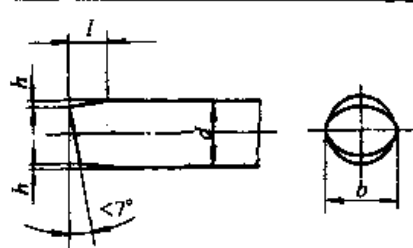
⑤ 剪切端变形公差 坯料剪切时杆部产生局部变形，其公差按表 24.2-15 选取。

表 24.2-14 锻件冲孔偏移公差
(摘自 GB/T 12362—1990) (mm)



冲孔直径 D	0	>30	>50	>80	>120	>180	
	~30	~50	~80	~120	~180	~180	
公差值	普通级	1.8	2.2	2.5	3.0	3.5	4.0
	精密级	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.8

表 24.2-15 锻件剪切端变形公差
(摘自 GB/T 12362—1990) (mm)



坯料尺寸 d	公差值	
	h	l
≤36	0.07d	1.0d
>36~70	0.05d	0.7d
>70	0.04d	0.6d
b < 1.05d		

锻件公差和机械加工余量可按如下方法确定：

1) 适用范围 前面给出的公差及机械加工余量适用于模锻锤、热模锻压力机、螺旋压力机和平锻机等锻压设备生产的重量小于或等于 250 kg，长度（最大尺寸）小于或等于 2 500 mm 的结构钢锻件。

2) 确定锻件公差和机械加工余量的主要因素

① 锻件重量 m_f 一般按下列程序估算：零件图基本尺寸—估计机械加工余量—绘制锻件图—估算锻件重量。

局部成形的平锻件，当一端锻锻时只计入锻锻部分重量。两端均锻锻时，分别计算锻锻部分重量。当不成形部分长度小于该部直径两倍时应视为完整锻件。

② 锻件形状复杂系数 S 是锻件重量 m_f 与相应的锻件外廓包容体重量 m_N 之比：

$$S = \frac{m_f}{m_N}$$

锻件外廓包容体重量 m_N 为以包容锻件最大轮廓的圆柱体或长方体作为实体的计算重量。对圆形锻件（图 24.2-13）：

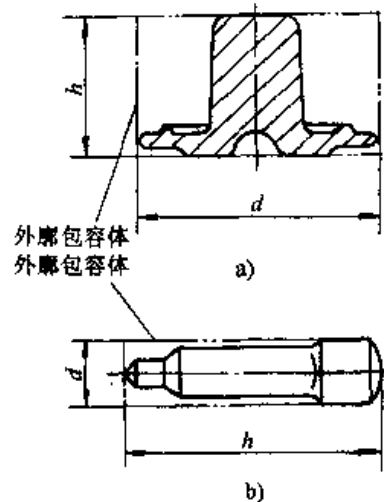


图 24.2-13 圆形锻件外廓包容体

$$m_N = \frac{\pi}{4} d^2 h \rho$$

对非圆形锻件（图 24.2-14）：

$$m_N = lbh\rho$$

式中 ρ ——钢材密度 (7.85 g/cm³)。

根据 S 值的大小，锻件形状复杂系数分为 4

级: S_1 级 (简单), $0.63 < S \leq 1$; S_2 级 (一般), $0.32 < S \leq 0.63$; S_3 级 (较复杂), $0.16 < S \leq 0.32$; S_4 级 (复杂), $0 < S \leq 0.16$ 。

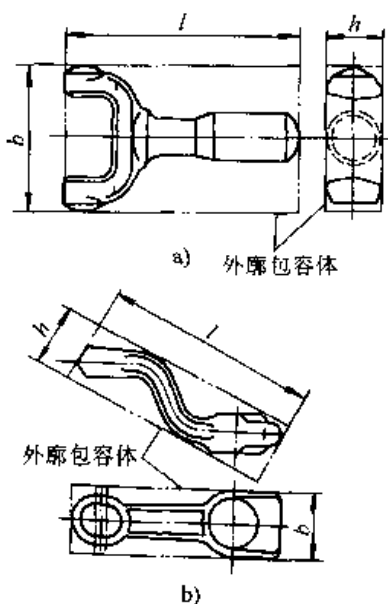


图 24.2-14 非圆形锻件外廓包容体

当锻件形状为薄形圆盘或法兰件 (图 24.2-15), 且圆盘厚度和直径之比 $t/d \leq 0.2$ 时, 采用 S_4 级; 当平锻件 $t_1/d_1 \leq 0.2$ 或 $t_2/d_2 \geq 4$ 时, 采用 S_4 级 (图 24.2-16); 平锻件冲孔深度大于直径 1.5 倍时, 形状复杂系数提高一级。

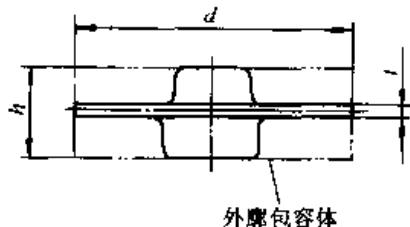


图 24.2-15 薄形圆盘或法兰件外廓包容体

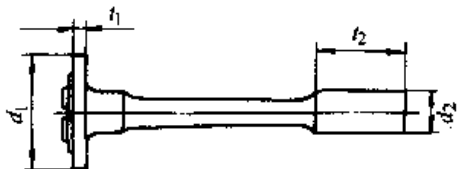


图 24.2-16 平锻件

③ 锻件材质系数 M 分为两级: M_1 和 M_2 。 M_1 级最大的碳的质量分数小于 0.65% 的碳素钢或合金元素总质量分数小于 3.0% 的合金钢。 M_2 级最大的碳的质量分数大于或等于 0.65% 的碳素钢或合金元素总质量分数大于或等于 3.0% 的合金钢。

④ 锻件分模线形状 分为两类: 平直分模

线或对称弯曲分模线 (图 24.2-17a、b); 不对称弯曲分模线 (图 24.2-17c)。

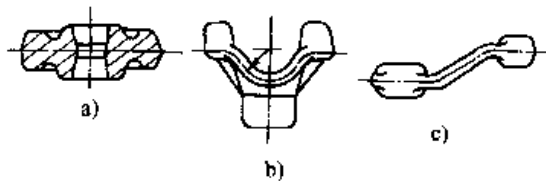


图 24.2-17 锻件分模线形状

⑤ 零件表面粗糙度 是确定锻件加工余量的重要参数。根据轮廓算术平均偏差 Ra 数值的大小, 零件表面粗糙度分为两类; $Ra \geq 1.6 \mu m$; $Ra \leq 1.6 \mu m$ 。

3) 公差和加工余量的选择 根据锻件重量 m_f 、形状复杂系数 S 、材质系数 M , 由表 24.2-4 或表 24.2-5 选取锻件长度、宽度或高度公差, 由表 24.2-6 或表 24.2-7 选取锻件的厚度及顶料杆压痕公差。根据锻件重量 m_f 、分模线形状由表 24.2-4 或表 24.2-5 选取错差、残留飞边公差。根据锻件重量、零件表面粗糙度 Ra 、形状复杂系数 S 由表 24.2-2 选取锻件内外表面加工余量, 锻件内孔直径的单面机械加工余量由表 24.2-3 选取。

由表 24.2-4 或表 24.2-5 选取锻件长度、宽度或高度尺寸公差时, 应根据锻件重量选定相应范围, 然后沿水平线向右移动。若材质系数为 M_1 , 则沿同一水平线继续向右移动, 若材质系数为 M_2 , 则沿倾斜线向右下移动到与 M_2 垂线的交点。对于形状复杂系数 S , 用同样方法, 沿水平或斜线移动到 S_1 或 S_2 、 S_3 、 S_4 格的位置, 并继续向右移动, 直到所需尺寸的垂直栏中, 即可查得所需的公差值。

确定错差和横向残留飞边公差时, 同样在锻件重量栏内选定范围, 然后向左移动, 根据分模线形状查得错差和残留飞边公差值。

例如: 某锻件 6 kg, 长度尺寸为 160 mm、材质系数 M_1 , 形状复杂系数 S_2 , 平直分模线, 采用普通级公差, 由表 24.2-4 查得极限偏差 $+2.1$, -1.1 , 横向残留飞边公差为 1.2, 错差公差为 1.2, 查表顺序按表 24.2-4 箭头所示。

其余公差表使用方法类推。

(4) 模锻斜度

为了使锻件容易从模膛中取出, 一般锻件均

有模锻斜度。

1) 内、外模锻斜度及其数值 锻件在冷缩时, 趋向离开模壁的部分为外模锻斜度, 用 α 表示; 反之为内模锻斜度, 用 β 表示; 见图 24.2-18。

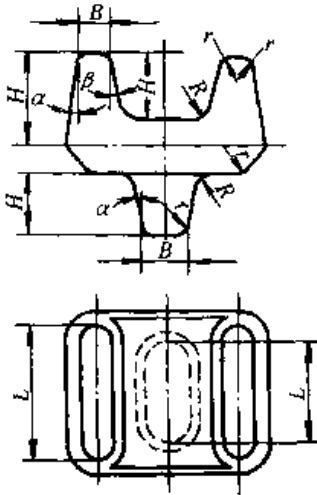


图 24.2-18 锻件的内外模斜度

对于深而窄的锻模型腔, 为了便于起模, 而

且不致过多的增加余块, 可以采用图 24.2-19 所示的双级斜度。

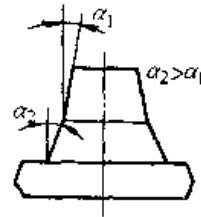


图 24.2-19 双级模锻斜度

为了便于制造模具时采用标准刀具, 拔模斜度应按以下数值选用: $0^{\circ}15'$ 、 $0^{\circ}30'$ 、 $1^{\circ}00'$ 、 $1^{\circ}30'$ 、 $3^{\circ}00'$ 、 $5^{\circ}00'$ 、 $7^{\circ}00'$ 、 $10^{\circ}00'$ 、 $12^{\circ}00'$ 、 $15^{\circ}00'$ 。

2) 模锻斜度的确定 表 24.2-16 所列数值为锤上锻件外模锻斜度的角度值, 按锻件各部分的高度与宽度之比值 H/B 以及长度与宽度之比值 L/B 确定 (见图 24.2-18)。

为了便于在锻件图上标注水平方向的尺寸, 节省计算时间, 可从表 24.2-17 查找由于模锻斜度 (α 或 β) 引起的截距值 b (见图 24.2-20)。

表 24.2-16 锤上锻件外模锻斜度 α 数值表

$\frac{L}{B}$		$\frac{H}{B}$				
		≤ 1	$>1\sim 3$	$>3\sim 4.5$	$>4.5\sim 6.5$	>6.5
≤ 1.5	$\alpha / (^{\circ})$	5	7	10	12	15
>1.5		5	5	7	10	12

注: 1. 内模锻斜度 β 的确定, 可按表中数值加大 $2'$ 或 $3'$ 。

2. 当上下模膛深度不相等时, 应按模膛较深一侧计算模锻斜度。

表 24.2-17 截距 b 值 (mm)

b	α 或 β	h							
		$30'$	1°	$1^{\circ}30'$	3°	5°	7°	10°	12°
1		0.01	0.02	0.03	0.05	0.09	0.12	0.18	0.21
2		0.02	0.04	0.05	0.10	0.18	0.25	0.35	0.43
3		0.03	0.05	0.08	0.16	0.26	0.37	0.53	0.64
4		0.04	0.07	0.10	0.21	0.35	0.49	0.71	0.85
5		0.05	0.09	0.13	0.26	0.44	0.61	0.88	1.06
6		0.06	0.10	0.16	0.31	0.53	0.74	1.06	1.28
7		0.07	0.12	0.18	0.37	0.61	0.86	1.23	1.49
8		0.08	0.14	0.21	0.42	0.70	0.98	1.41	1.70
9		0.09	0.16	0.24	0.47	0.79	1.11	1.59	1.91
10		0.10	0.18	0.26	0.52	0.88	1.23	1.76	2.13
20		0.17	0.35	0.52	1.05	1.75	2.46	3.53	4.25

续表 24.2-17

b	α 或 β							
	30°	1°	1°30'	3°	5°	7°	10°	12°
30	0.26	0.53	0.79	1.57	2.63	3.68	5.29	6.38
40	0.35	0.70	1.05	2.10	3.50	4.91	7.05	8.50
50	0.44	0.87	1.31	2.62	4.38	6.14	8.82	10.63
60	0.52	1.05	1.57	3.14	5.25	7.37	10.58	12.76
70	0.61	1.22	1.83	3.63	6.13	8.60	12.34	14.88
80	0.70	1.40	2.10	4.19	7.00	9.82	14.10	17.01
90	0.79	1.57	2.36	4.72	7.88	11.05	15.87	19.13
100	0.87	1.75	2.62	5.24	8.75	12.28	17.63	21.26

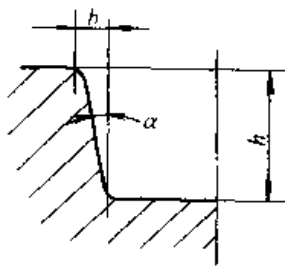


图 24.2-20 模锻斜度与截距

(5) 圆角半径

锻件上的圆角半径可使金属容易充满模膛，脱模方便和延长模具使用寿命。圆角半径太小会使锻模在热处理或使用中产生裂纹和压塌变形，在锻件上也容易产生折叠。

1) 内、外圆角半径 锻件上的凸角圆角半径为外圆角半径 r ，凹角圆角半径为内圆角半径 R ，见图 24.2-21。

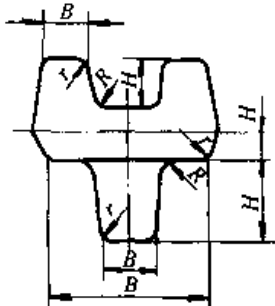


图 24.2-21 内、外圆角半径

为保证锻件凸角处的最小余量：

$$r_1 = \text{余量} + \text{零件的倒角值}$$

若无倒角：

$$r_2 = \text{余量}$$

为了便于制造模具所用刀具的标准化，可按下列圆角半径数值选用：1.0 1.5 2.0 2.5

3.0 4.0 5.0 6.0 8.0 10.0 12.0 15.0 mm…，圆角半径大于 15 mm 时，逢 5 递增。

2) 圆角半径数值的确定 圆角半径 r 和 R 的数值，也是按图 24.2-21 所示锻件各部分的高度与宽度之比值 H/B 来确定。根据表 24.2-18 所列公式，计算后按系列数值选取。

表 24.2-18 圆角半径计算表

(mm)

$\frac{H}{B}$	r	R
≤ 2	$0.05H + 0.5$	$2.5r + 0.5$
$> 2 \sim 4$	$0.06H + 0.5$	$3.0r + 0.5$
> 4	$0.07H + 0.5$	$3.5r + 0.5$

当选取的外圆角半径 $r \geq \frac{B}{2}$ 时，则采用选定 r 的方式与模壁两侧相切，见图 24.2-22。

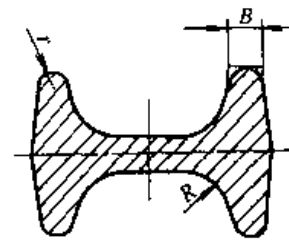


图 24.2-22 内、外圆角半径

(6) 冲孔连皮

模锻不可能锻出穿孔，只能锻出盲孔，在分模面处预先留有连皮，在随后的冲孔工序中再将其冲掉。

锻件内孔直径大于 25 mm 时要考虑冲孔，若内孔直径小于 25 mm 时一般不冲孔。冲孔连

皮有平底连皮、斜底连皮、带仓连皮、拱底连皮、压凹等型式 (见图 24.2-23), 其尺寸由表

24.2-19 确定。平底连皮厚度也可按图 24.2-24 确定。

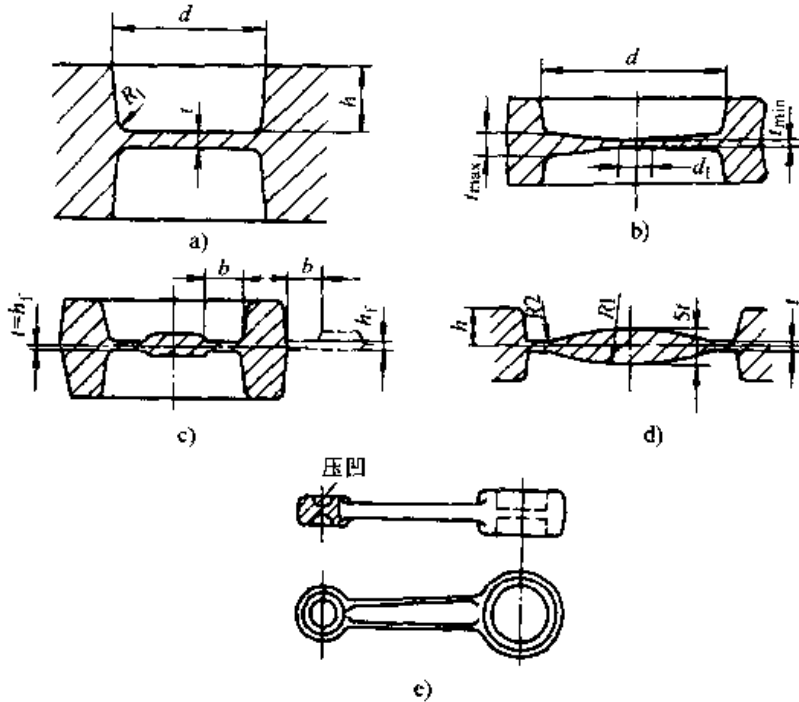


图 24.2-23 冲孔连皮的型式

a) 平底连皮 b) 斜底连皮 c) 带仓连皮 d) 拱底连皮 e) 锻件压凹

表 24.2-19 冲孔连皮及其尺寸

连皮型式	使用范围	连皮尺寸/mm	符号说明
平底连皮	最为常用	$t = 0.45 \sqrt{d - 0.25h} - 5 + 0.6 \sqrt{h}$ $R_1 = R + 0.1h + 2$	R —— 内圆角半径 其余见图 24.2-23a
斜底连皮	常用于预锻模膛 ($d > 2.5h$ 或 $d > 60 \text{ mm}$)	$t_{\max} = 1.35t$ $t_{\min} = 0.65t$ $d_1 = (0.25 \sim 0.3) d$	t —— 平底连皮的计算值 其余见图 24.2-23b
带仓连皮	用于预锻时采用斜底连皮的终锻模膛	厚度 t 和宽度 b 分别与飞边桥部高度 h_1 和桥部宽度 b 相同	见图 24.2-23c
拱底连皮	用于内孔很大、高度很小的锻件 ($d > 15h$)	$t = 0.4 \sqrt{d}$ R_1 —— 作图决定 $R_2 = 5h$	见图 24.2-23d
压凹	内孔小于 25 mm 的锻件		见图 24.2-23e

(7) 技术条件

有了上述参数, 便可绘制锻件图, 凡在图上无法表示的, 均列入技术条件加以说明, 技术条件一般包括以下内容:

- 1) 图上未标注的模锻斜度 (见表 24.2-16);
- 2) 图上未标注的圆角半径 (见表 24.2-18);
- 3) 允许的错差量 (见表 24.2-4、表 24.2-

5);

4) 允许的残余飞边量 (见表 24.2-4、表 24.2-5);

5) 允许的表面缺陷深度 对于加工表面, 其最大深度不超过余量之半; 对于非加工表面, 其最大深度不超过最大厚度公差的三分之一;

6) 锻件表面清理 清除表面氧化皮的方法

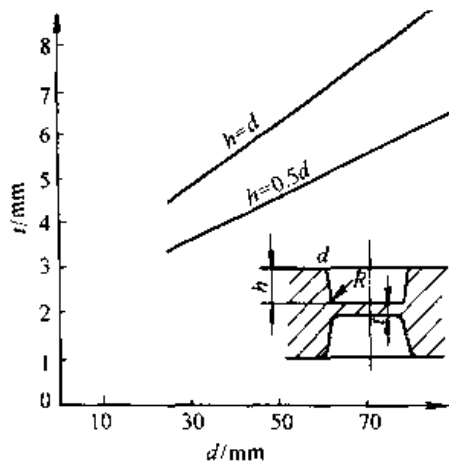


图 24.2-24 平底连皮厚度确定

有喷砂、抛丸、酸洗、滚筒清理等；

7) 锻件的热处理 模锻件常用的热处理方

法有两种：

正火 { 中间热处理 细化晶粒，获得合适硬度，便于切削加工。
最后热处理 对零件机械性能、硬度要求不高时采用。

调质——最后热处理：保证较高的机械性能。

正火的硬度范围见表 24.2-20，调质的硬度范围见表 24.2-21。

8) 其他要求 直线度和平面度公差 (图 24.2-25)：直线度公差是锻件的理论中心线与实际中心线之间的允许偏差值；平面度公差是锻件的理论平面与实际平面的允许偏差值。具体数值由表 24.2-8 查得。

表 24.2-20 常用钢质模锻件正火硬度范围

钢材牌号	HBS	d_B /mm	钢材牌号	HBS	d_B /mm
20	120~156	4.8~5.4	40	156~207	4.2~4.8
20Cr	130~170	4.6~5.2	40MnB	170~229	4.0~4.6 (4.2~4.8)
20CrMo	131~170	4.6~5.2	40MnVB	179~255	3.8~4.5
20CrMnTi、 20MnVB	156~207	4.2~4.8 (4.4~5.0)	40Cr	170~241	3.9~4.6 (4.2~4.8)
20CrMnMo、 20CrNi3A	170~241	3.9~4.6	45	156~217	4.1~4.8
25MnTiBR	156~207	4.2~4.8	45Cr	170~241	3.9~4.6
20CrMnMoB	156~207	4.2~4.8	45MnB、 40CrMo	170~241	3.9~4.6
12CrNi3A	170~241	3.9~4.6	50	170~241	3.9~4.6
15CrMo	170~241	3.9~4.6	50Mn2	179~255	3.8~4.5
35	149~197	4.3~4.9	60	179~255	3.8~4.5
35CrMo	170~241	3.9~4.6			

注：括号内的数值尽可能不采用。

表 24.2-21 常用钢质模锻件调质硬度范围

钢种	钢号示例	布氏硬度范围 d_B /mm
碳素结构钢	35、40、45	3.6~3.9 3.9~4.2 3.8~4.2
	50	3.6~4.0 3.7~4.2
合金结构钢	40Mn、40MnB、45Mn2	3.6~3.9 3.7~4.0
	40Cr、35CrMo、45Cr	3.8~4.1 3.9~4.2

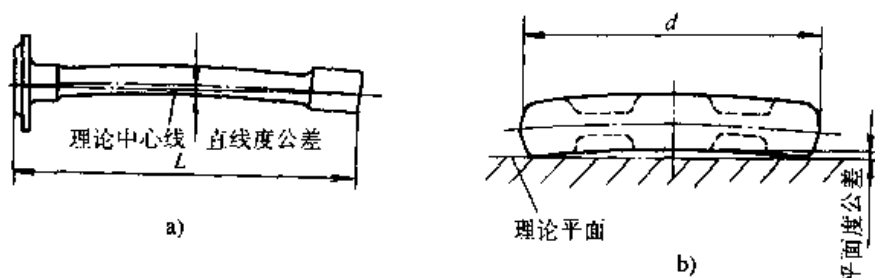


图 24.2-25 直线度和平面度公差

1.6 模锻工步的选择

模锻时，坯料按照锻件的复杂程度和具体生产条件，在锻模的一系列模膛中逐步变形，最后成为锻件。坯料在每一模膛中的变形过程叫做模锻工步，而工步的名称与所用模膛的名称是相应一致的。

合理的模锻工步，应能使坯料符合金属的变形规律，得到质量良好的锻件，同时操作安全，金属消耗少，生产效率。

每类锻件都需要终锻工步，而预锻工步则不一定都需要，应根据具体情况采用。例如模锻时容易产生折迭和不易充满的锻件常采用预锻工步。

每类锻件所需的制坯工步是不一样的，例如直长轴类锻件用第一类制坯工步（拔长，滚压，卡压）就足够了，而弯轴类和带枝叉的锻件则常常要同时用到第一类和第二类（弯曲成形等）制

坯工步。短轴类锻件一般都要用到锻粗台。

选择模锻工步时除要考虑锻件的形状特征外，还应考虑生产条件和生产批量等情况，下面通过对各种典型锻件的分析，来说明在一般情况下，选择模锻工步的方法和需要注意的问题。

(1) 短轴类锻件

1) 一般锻件 如齿轮和圆饼类、十字轴等锻件（图 24.2-26）。常用锻粗和终锻。坯料圆柱面上的氧化皮在锻粗时可以去掉，为了去掉坯料端面上的氧化皮，要将锻粗后的圆饼立起来轻压一下。对于齿轮和圆饼类锻件的锻粗制坯，可分为以下二种情况：

① 轮毂较矮的锻件（见图 24.2-26a），锻粗后毛坯直径 D_0 应满足 $D_1 > D_0 > D_2$ 。

② 轮毂较高的锻件（见图 24.2-26b），锻粗后毛坯直径 D_0 应满足 $\frac{D_1 + D_2}{2} > D_0 > D_2$ 。

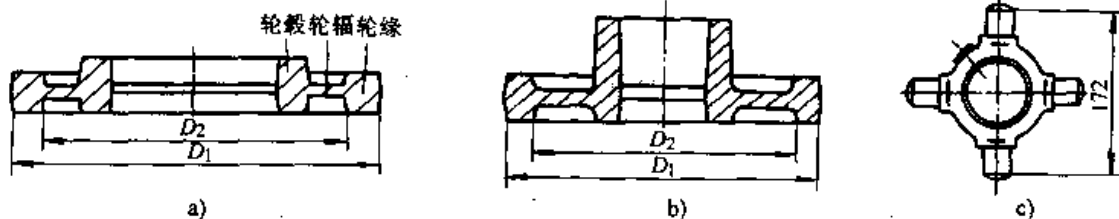


图 24.2-26 齿轮圆饼类和十字轴锻件

a) 轮毂较矮的锻件 b) 轮毂较高的锻件 c) 十字轴（短轴类锻件）

2) 轮毂高且有内孔和突缘的锻件，宜采用成形锻粗（见图 24.2-27），锻粗后的尺寸应满足：

$$H'_1 > H_1, D'_1 \leq D_1, d' \leq d$$

3) 高肋薄壁锻件 为了保证充满或不产生折纹，采用锻粗，预锻和终锻（图 24.2-28）。图示的锻件直径较大，在一套锻模中布排不下，需在两台设备上锻造。

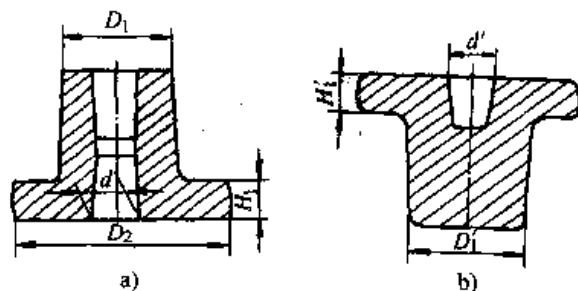


图 24.2-27 轮毂高突缘大的锻件

a) 锻件 b) 毛坯

(2) 长轴类锻件

1) 坯料的长度和截面与锻件相近时，采用

卡压(或压扁)、预锻、终锻(图 24.2-29)。

2) 坯料的长度和截面与锻件相差较大, 锻件较为细长时, 采用拔长、滚压(预锻)终锻(图 24.2-30)。

拔长后进行滚压, 使坯料表面光滑, 氧化皮去除干净, 金属分配准确, 防止锻件产生折叠。

这类锻件一般不用预锻。终锻模膛布置在锻模打击中心上以减少错移。如锻件上有形状剧烈变化的部份, 为了提高锻模寿命, 可加预锻。

3) 当锻件有枝芽时, 金属沿轴线的分布不对称。为了有利于锻件的充满, 一般均需预锻。图 24.2-31 所示锻件采用: 拔长, 滚压, 预锻, 终锻。

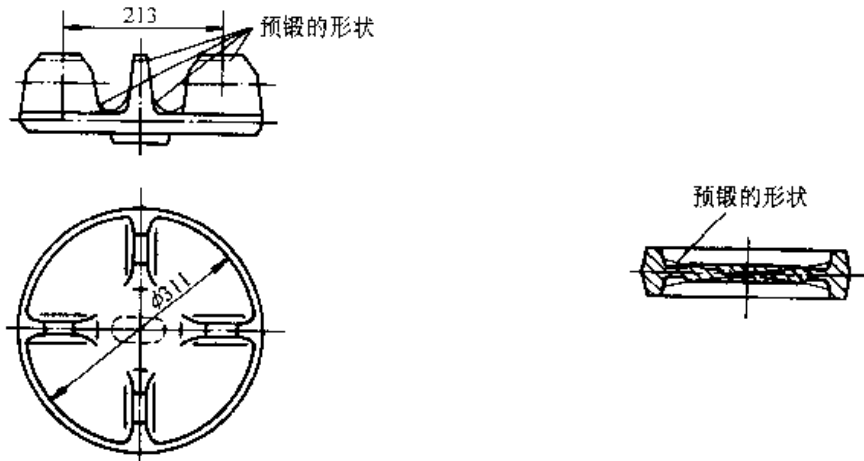


图 24.2-28 高肋薄壁锻件

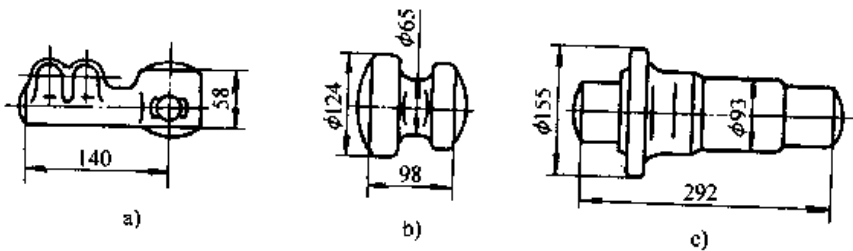


图 24.2-29 截面变化较小的长轴类锻件

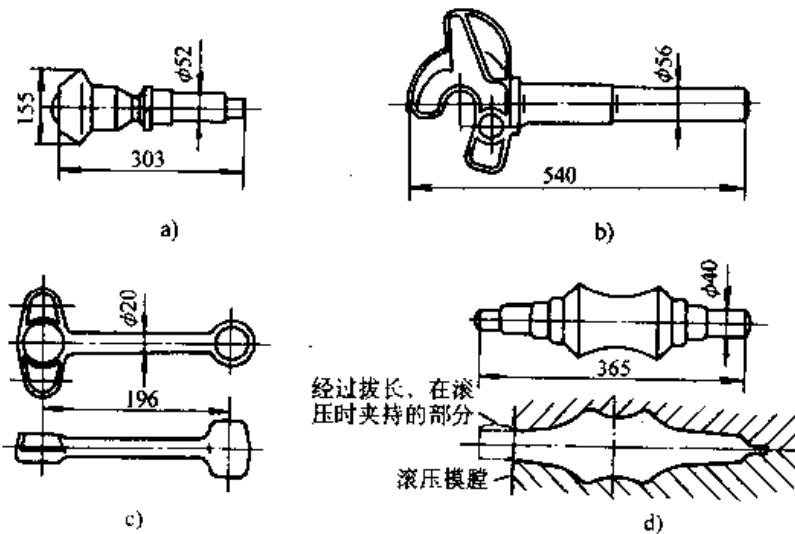


图 24.2-30 截面变化较大的长轴类锻件

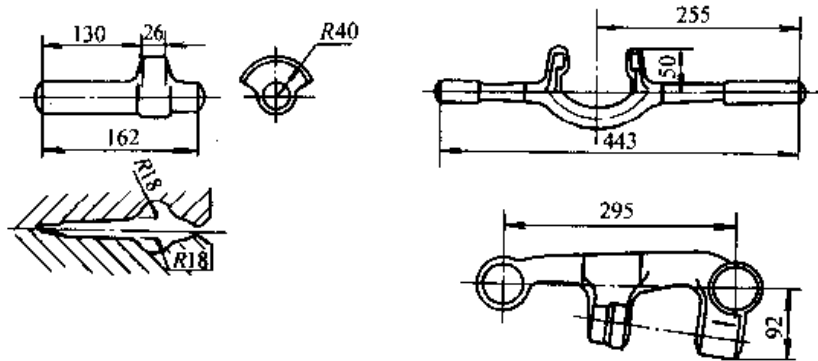


图 24.2-31 具有枝芽的锻件

锻件金属分布不对称的程度较大时,可采用不对称滚压。不对称滚压是滚压的一种特殊形式,它可以在有枝芽的一侧将料聚集得多一些。

4) 带叉口的锻件均采用预锻,其预锻模膛的特点是在叉口部分有劈料台,作用是分料,有利于锻件充满。

图 24.2-32a 锻件杆部粗短,采用压扁、预锻、终锻。

图 24.2-32b、c 锻件杆部细长,为了延长杆部的坯料,采用拔长、预锻、终锻。

图 24.2-32d、e、f 锻件的圆凸处截面最大需聚料,叉部用料不多,一般采用滚压,预锻和终锻。截面差大时可加拔长。

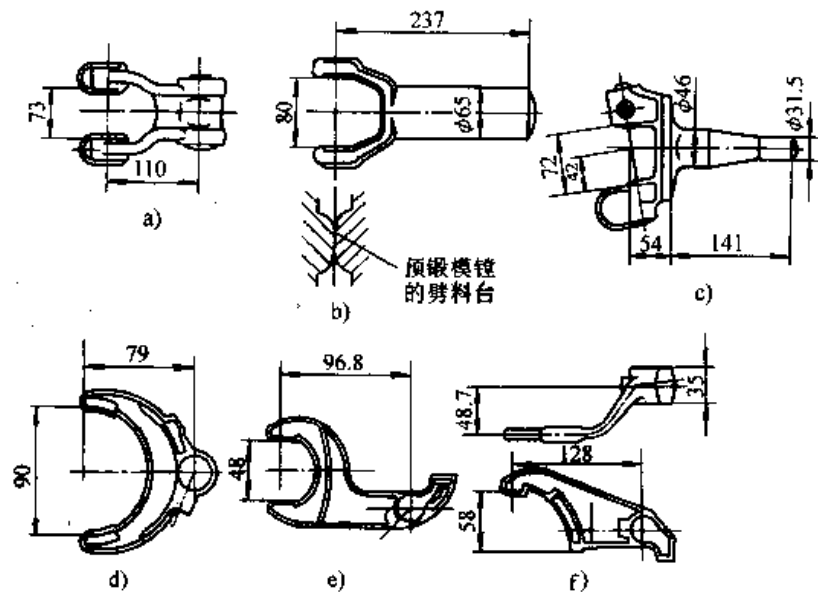


图 24.2-32 具有叉形部分的锻件

5) 带工字形截面的锻件以连杆为其代表。锻件大部分表面不经机械加工。质量要求严,不允许有折叠,成品连杆有重量要求,尺寸精度要求高。一般均采用预锻,可以防止杆部折叠,同时还可以提高终锻模膛寿命,使锻件的尺寸稳定。

图 24.2-33a、b 一般采用拔长、滚压、预锻、终锻。

图 24.2-33c 为歪头连杆,采用拔长、滚压、成形、预锻、终锻。

图 24.2-33d 的连杆尺寸和重量较大,杆部工字形比较浑厚。可以采用拔长、滚压、终锻,而不用预锻,以免模膛布排时发生困难。

6) 弯曲轴线锻件应采用弯曲和成形。

图 24.2-34a、e 的锻件沿轴线的截面比较均匀,采用弯曲、终锻。

图 24.2-34b 的锻件在转角处需要有较多的金属;图 24.2-34f 曲轴在法兰盘和平衡块处需要有较多的金属,因此采用滚压、弯曲、终锻。

图 24.2-34d 操纵杆沿轴线的截面差较大采

用拔长、滚压、成形、终锻。

图 24.2-34c 的锻件有叉口, 需要有带劈料台的模锻, 因此采用拔长、滚压、弯曲、预锻、终锻。

一些带平衡块的曲轴, 如平衡块和曲柄的间

距 B 很小, 不能进行弯曲, 则不按一般的曲轴来选择工步。图 24.2-34g 的曲轴采用滚压、预锻、终锻工步, 这里的预锻, 主要是在平衡块与曲柄之间起分料的作用。

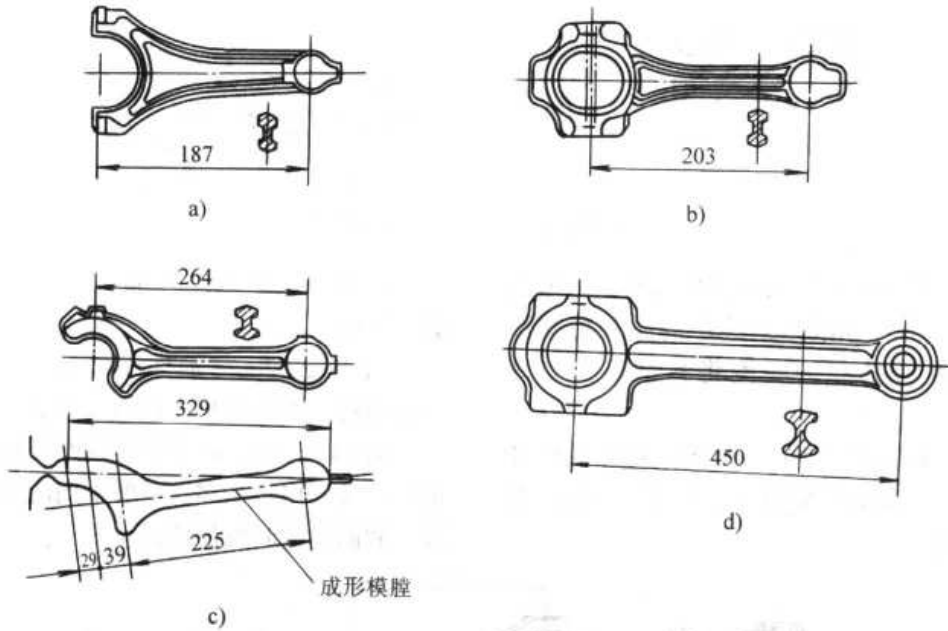


图 24.2-33 工字形截面锻件

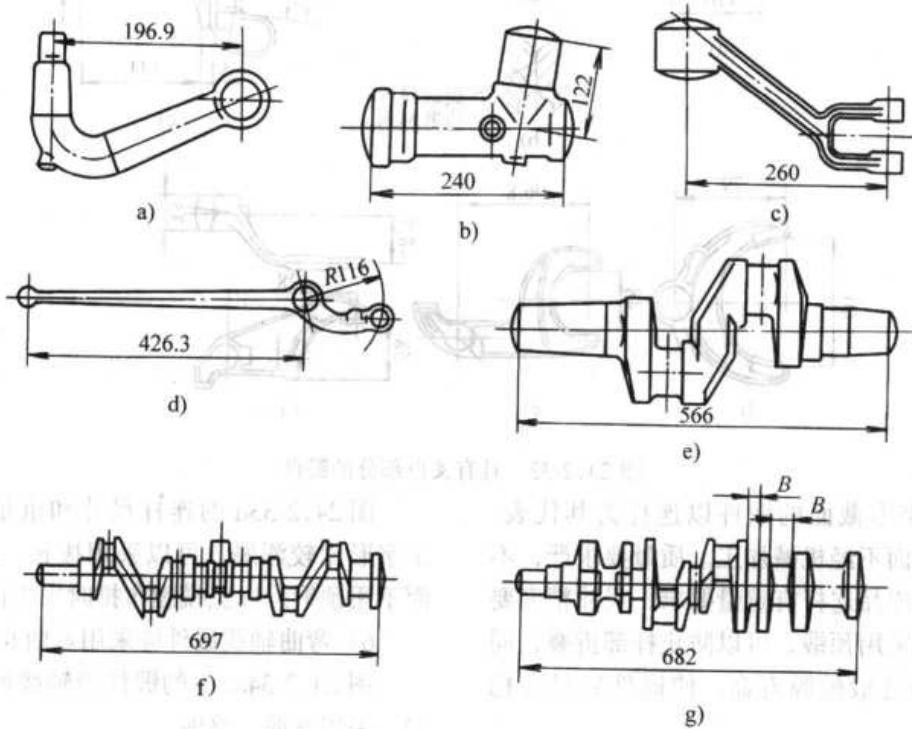


图 24.2-34 弯轴的锻件

由上述各种典型锻件的分析可见, 长轴类锻件的制坯工步是根据沿锻件轴向横断面积变化的情况和锻件的形状来确定的, 其中弯曲和成型制

坯工步, 是根据锻件在分模面上的投影形状选择的。而对拔长、滚压、卡压等制坯工步的选用则较为复杂些。下面具体介绍这类制坯工步的选择。

(3) 长轴类锻件制坯工步的选择

1) 制坯工步的作用

长轴类锻件制坯工步的作用是初步改变原毛坯的形状，合理地分配坯料，以适应锻件横截面面积的要求，使金属能较好地充满模锻模膛。以模锻连杆为例，如果直接用等断面毛坯在模锻模膛内锻造，根据长轴类变形时的流动特点可知，坯料变形时，金属沿轴向流动的少，沿横向流动的多，近似于平面变形。因此，杆部有大量金属流入飞边槽。不仅浪费了很多金属，而且使上、下模不能打靠。头部由于金属不足，不能充满。为了得到良好质量的锻件，节约金属和减少模膛磨损，应采用制坯工步，预先改变毛坯的形状，改变金属沿轴向分配的情况。

毛坯沿轴向的金属分配对不同锻件要求是不一样的，合适的形状应该是在保证模膛充满的条件下，在模锻之后，锻件各处飞边均匀，亦即应使毛坯上各截面的面积等于锻件上相应截面积加上飞边的面积。按这一要求计算的坯料，通常称为计算毛坯。

计算毛坯描述了沿锻件轴向横截面积的变化情况。拔长、滚压、卡压工步是以计算毛坯为基础，根据各工步的变形特点，参照经验图表资料及具体生产情况确定的。有一定生产实践经验的技术人员，也可用经验对比法进行选定。下面具体介绍前一种确定拔长、滚压和卡压工步的方法。

2) 计算毛坯 根据平面变形假设进行计算并经修正所得的具有圆形（或方形）截面的中间坯料叫计算毛坯或计算坯料（图 24.2-35），它的各个横截面积等于沿锻件长度上各相应截面积加上飞边的截面积。即：

$$A_j = A_d + A_f = A_d + 2\eta A'_f$$

- 式中 A_j ——任意一处计算毛坯的横截面积；
- A_d ——相应处锻件的横截面积；
- A_f ——相应处飞边的横截面积；
- A'_f ——相应处飞边槽的横截面积；
- η ——充满系数，形状简单的锻件取 0.3~0.5，形状复杂的取 0.5~0.8，两端面一般取 1。

上式中，锻件的外飞边槽假定有 70% 的面积充满，而对于冲孔连皮及叉形锻件的内飞边则应完全算在锻件内，即包括在 A_d 的数量内。

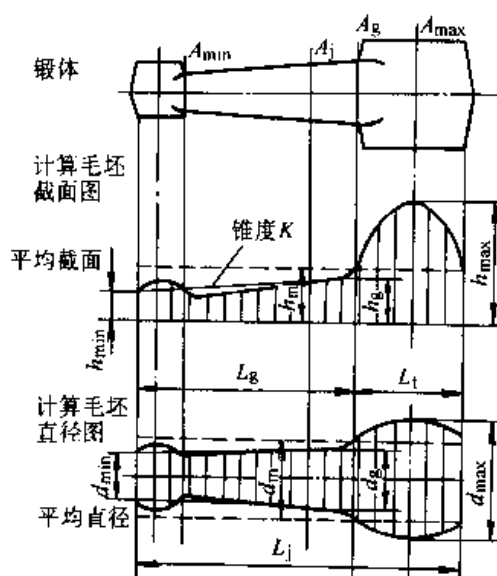


图 24.2-35 计算毛坯图

在作计算毛坯图及计算毛坯截面图时，应根据锻件的复杂程度，先沿轴线选取若干具有特征的断面（1, 2, …… N），计算出相应的 A_j ($A_{j1}, A_{j2}, A_{j3} \dots A_{jN}$)，对于直轴的锻件，计算毛坯的长度等于锻件的长度。对于弯曲的锻件，计算毛坯的长度等于锻件展开后的长度。然后，以计算毛坯的长度 L_j 为横坐标（可以缩小比例），以算得的 A_j 为纵坐标，绘在坐标格子纸上，并连接各点成光滑曲线，便可以得到锻件（或计算毛坯）的截面图（图 24.2-35），根据 A_j 可以计算出计算毛坯上任一处的直径 d_j （或边长 a_j ），即

$$d_j = 1.13 \sqrt{A_j} \text{ (或 } a_j = \sqrt{A_j} \text{)}$$

同样，以 L_j 为横坐标，以 d_j （或 a_j ）为纵坐标，可作出计算毛坯图（图 24.2-35）。

对上述计算毛坯图，还应根据模锻时金属的流动情况，以及工艺上的可能性等加以修整。为了保证金属顺利地流动，在大小两个截面过渡处还应加大连接的圆弧；为了保证金属能较好地充满模膛，对于叉形劈开的部位适当放大毛坯尺寸。另外对头部具有孔形或压凹的锻件，为便于聚料和简化滚压模膛也必须将计算毛坯形状简化，简化的原则是使减少部分的体积等于增加部分的体积。

经修正后的计算毛坯图（图 24.2-35 中虚线所示）才是所需要的计算毛坯图。

以计算毛坯截面图的面积代表计算毛坯的体

积 (V_j), 则

$$V_j = V_d + V_f$$

式中 V_d —— 锻件的体积;

V_f —— 飞边的体积。

将 V_j 除以 L_j 便可得到计算毛坯的平均截面积 A_m 。

$$A_m = \frac{V_j}{L_j} = \frac{V_d + V_f}{L_j}$$

由 A_m 便可算出计算毛坯的平均直径 d_m (或边长 a_m)。

$$d_m = 1.13 \sqrt{A_m} \text{ (或 } a_m = \sqrt{A_m} \text{)}$$

在计算毛坯图上, d_j 大于 d_m 之处叫做头部, d_j 小于 d_m 之处叫做杆部。

计算毛坯截面图或计算毛坯图都能较直观地看出中间坯料横截面积及外形的变化情况, 也说明了金属沿长度上的分配情况, 所以根据计算毛坯图可以估计出制坯时金属流动的难易程度。由此可见计算毛坯图的用途是: ①长轴类锻件选择制坯工步的依据; ②确定坯料尺寸的依据; ③设计制坯模膛的依据。

3) 工艺繁重系数计算 拔长、滚压和卡压工步都是从原毛坯获得近似计算毛坯的形状的。从它们改变毛坯的截面和使金属作轴向流动的能力来看, 拔长工步最大, 滚压工步次之, 卡压工步最小, 从所获得的毛坯形状与计算毛坯形状的接近程度来看, 滚压最好, 卡压次之, 拔长最差, 至于选用哪一种工步需根据具体锻件的计算毛坯来确定。

如果计算毛坯断面变化很大, 而且杆部又很长, 则制坯时由杆部排出的金属多, 而且流动的距离也较长, 亦即变形量大。变形量的大小, 一般可用下面几个指标来衡量:

$$\alpha = \frac{d_{max}}{d_m}$$

$$\beta = \frac{L_j}{d_m}$$

$$K = \frac{d_k - d_{min}}{L_k}$$

式中 α —— 金属流入头部的繁重系数;

β —— 金属沿轴向流动的繁重系数;

K —— 杆部斜率;

d_{max} —— 计算毛坯的最大直径;

d_{min} —— 计算毛坯的最小直径;

d_k —— 杆部与头部转接处的直径, 又称为拐点处直径。

拐点处直径按照杆部体积守恒转化成锥体的大头直径, 可根据下式计算

$$d_k = \sqrt{3.82 \frac{V_g}{L_g} - 0.75 d_{min}^2} \sim 0.5 d_{min}$$

式中 V_g —— 计算毛坯杆部体积;

L_g —— 计算毛坯杆部长度。

拐点处直径 d_k 也可直接由计算毛坯的直径图或截面图求出近似值。

$$d_g = 1.13 \sqrt{A_g}$$

4) 制坯工步选择 α 值愈大, 表明流到头部的金属体积愈多; β 值愈大, 则轴向流动的路程愈长; K 值愈大, 表明杆部锥度大, 小头或杆部一端的金属愈为过剩; 锻件重量 G 愈大, 表明金属量大, 制坯更为困难。以上说明选择效率高的制坯工步, 应以这些繁重系数为依据。图 24.2-36 是根据生产经验的总结而绘成的图表, 可将计算得到的繁重系数 (α, β, K, G) 代入图表中查对, 从而得出制坯工步的初步方案。

必须强调指出, 上述方法所得出的方案应当作为参考用, 对具体锻件和生产条件应充分考虑实际情况, 将工步方案作出必要的修改。

例如有一重量为 0.8 kg 的锤上模锻件, 作出计算毛坯图后, 经计算 $\alpha = 1.37, \beta = 3.2, K = 0.05$ 。

由图 24.2-36 中查对, 可采用闭式滚挤制坯, 然后终锻成形即可。图 24.2-36 的文字含义如下:

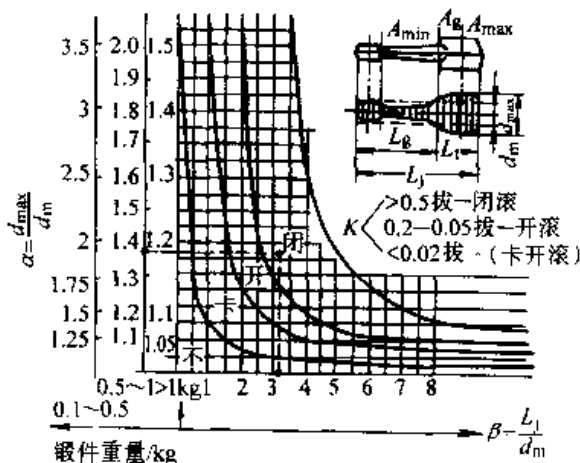


图 24.2-36 长轴类锻件制坯工步选用范围

- 不——不需制坯工步，可直接模锻成形；
- 卡——需卡压制坯；
- 开——需开式滚挤制坯；
- 闭——需闭式滚挤制坯；
- 拔——需拔长制坯；
- 拔—闭滚——当 K 值大于 0.05 时，宜用拔长加上闭式滚挤制坯；
- 拔—开滚——当 K 值在 0.02~0.05 之间，宜用拔长加上开式滚挤制坯。

拔—卡——当 K 值小于 0.02 时，可用拔长加上卡压制坯。

对于图 24.2-37 所示的双杆一头或双头一杆的复杂计算毛坯，则应按体积相等原理转换成二个简单计算毛坯，分别预选制坯工步，然后选择其中制坯效率高的工步作为锻件的制坯。

对于弯曲轴线的锻件，应将轴线展开为直线，作计算毛坯，选择制坯工步，再加一道弯曲工步。

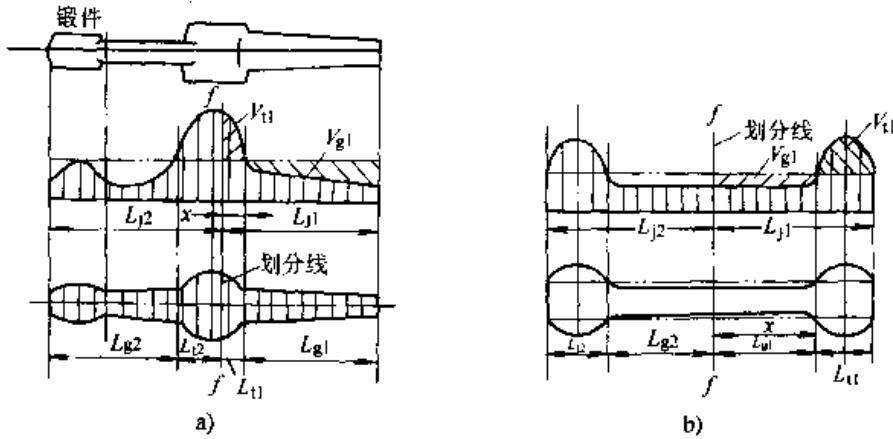


图 24.2-37 复杂计算毛坯
a) 双杆一头 b) 双头一杆

前面已经指出，对于有一定生产实践经验的技术人员，可以直接凭经验选择制坯工步，而不必采用图 24.2-36。例如有些工厂根据坯料长度与锻件长度的差值，直接确定是否采用拔长工步。当差值少于下列数值时，不需拔长，可直接进行滚压：1~2 t 锤——20~30 mm；3 t 锤——35~45 mm；5 t 锤——45~50 mm。

1.7 锻锤吨位的确定

(1) 经验公式

1) 经验公式之一

双作用锤 $G = (3.5 \sim 6.3) KA$

单作用锤 $G_1 = (1.5 \sim 1.8) G$

无砧座锤 $E = (20 \sim 25) G$

式中 G, G_1 ——锤落下部分重量 (kg)；

E ——无砧座锤的能量 (J)；

A ——锻件和飞边（按仓部的 50% 计算）在水平面上的投影面积 (cm^2)；

K ——材料系数，由表 24.2-22 查得。

表 24.2-22 终锻温度时各种材料的变形抗力 σ 和系数 K

材 料	K	σ/MPa			σ/MPa 热切边
		锤 上	锻压机	平锻机	
碳素结构钢 ($w_C < 0.25\%$)	0.9	55	60	70	100
碳素结构钢 ($w_C > 0.25\%$)	1.0	60	65	80	120
低合金结构钢 ($w_C < 0.25\%$)	1.0	60	65	80	120
低合金结构钢 ($w_C > 0.25\%$)	1.15	65	70	90	150
高合金结构钢 ($w_C > 0.25\%$)	1.25	75	80	90	200
合金工具钢	1.55	90~100	100~120	120~140	250

系数 3.5 用于生产率不高或锻件形状简单的条件；而系数 6.3 则用于要求高生产率或锻件形

状复杂的条件；一般可取中间值 4~5。

2) 经验公式之二

$$G = K \cdot A'$$

式中 G —— 锤落下部分重量 (kg);
 A' —— 包括飞边 (按仓宽 1/2 计算) 及连皮在内的锻件水平投影面积 (cm²);
 K —— 钢种系数, 按表 24.2-23 选用。

表 24.2-23 钢种系数

钢 种	K
低中碳结构钢、低碳合金钢, 如 20、30、45、20CrMnTi	4
中碳低合金钢, 如 45Cr	6
高合金钢, 耐热钢, 不锈钢, 如 GG15、12Cr2Ni4A、2Cr13、45CrNiMo	8

(2) 半经验公式 (双作用锤)
 圆饼类锻件:

$$G_0 = (1 - 0.005D) \left(1.1 + \frac{2}{D} \right)^2 (0.75 + 0.001D^2) D \sigma$$

式中 G_0 —— 锻锤落下部分重量 (kg);
 D —— 锻件外径 (cm);
 σ —— 终锻时材料的变形抗力 (MPa), 由表 24.2-12 查得。

长轴类锻件:

$$G = G_0 (1 + 0.1 \sqrt{L/B})$$

式中 L —— 锻件水平投影面上的最大长度 (cm);

B —— 锻件投影面积 A (cm²) 除以 L 所得的平均宽度。

在按上式计算 G_0 时, 式中的 D 要用相当直径 D_c 代替, D_c 值为

$$D_c = 1.13 \sqrt{A}$$

图 24.2-38 是按上两式所作的诺模图。

1.8 坯料尺寸的确定

确定模锻所需原坯料尺寸时, 应根据锻件的形状和尺寸以及所采用的模锻方法, 先计算出所需的金属体积, 然后再算出坯料的截面尺寸和下料长度。

(1) 长轴类锻件的坯料尺寸

这类锻件的坯料尺寸与计算毛坯截面图上的平均截面积和制坯工步有关, 坯料截面积计算见表 24.2-24。

确定坯料截面积 A'_p 后, 应按标准规格选择原材料 (圆料或方料), 便可计算出实际坯料的截面积 A_p , 然后确定下料长度:

$$L_p = \frac{V_p}{A_p} + l_q$$

式中 l_q —— 夹钳料头长度;
 V_p —— 坯料体积, 由下式确定:
 $V_p = (V_j + V_f)(1 + \delta)$

式中 V_j —— 锻件体积;
 V_f —— 飞边加冲孔连皮的体积;
 δ —— 火耗率, 由表 24.2-25 查得。

表 24.2-24 锤上制坯的坯料截面积计算

制坯工步	坯料截面积	符号说明
无制坯工步	$A'_p = (1.02 \sim 1.05) A_m$	A_m —— 计算毛坯截面图上的平均截面积 V_f —— 计算毛坯头部的体积 L_f —— 计算毛坯头部的长度 K —— 计算毛坯直径图杆部的锥度 A_g —— 滚压坯料截面积 A_b —— 拔长坯料截面积
压肩或成形	$A'_p = (1.03 \sim 1.3) A_m$	
滚 压	$A'_p = A_g = (1.05 \sim 1.2) A_m$	
拔 长	$A'_p = A_b = V_f / L_f$	
拔长 + 滚压	$A'_p = A_b - K (A_b - A_g)$	

表 24.2-25 火耗率 δ

加热方法	$\delta/\%$	加热方法	$\delta/\%$
室式油炉	3~3.5	电阻炉	1.5~1.0
连续式油炉	2.5~3.0	高频加热炉	1.0~0.5
室式煤气炉	2.5~3.0	接触电加热	1.0~0.5
连续式煤气炉	2.0~2.5	室式煤炉	3.5~4.0

注: 两火加热时 δ 应再乘以 1.5~2 的系数。

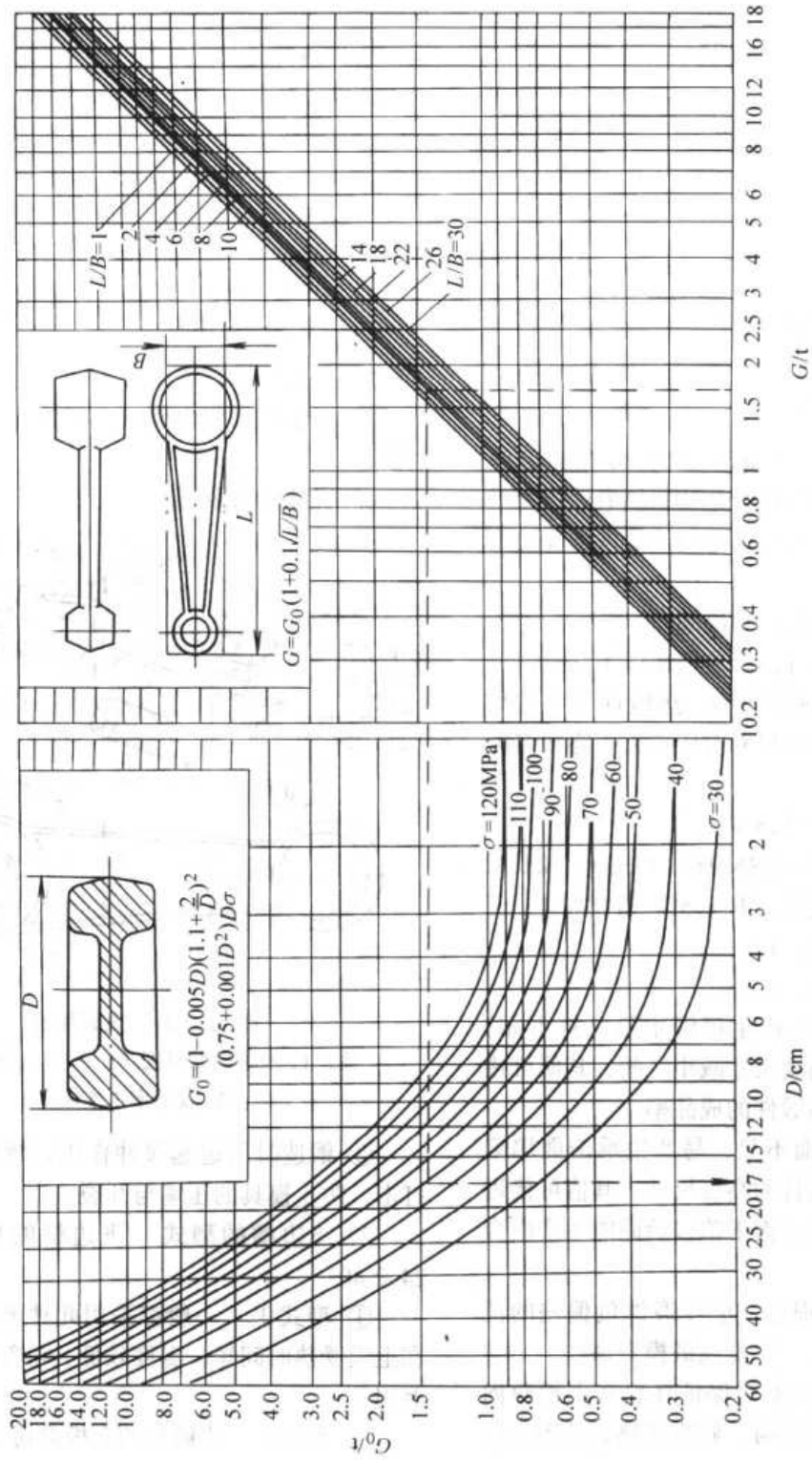


图 24.2-38 确定锻锤吨位的诺模图

本图适用条件: 1) 双作用模锻锤 2) $D \leq 60$ cm

(2) 圆饼类锻件的坯料尺寸

$$d'_p = 1.08 \sqrt[3]{\frac{V_p}{m}}$$

$$V_p = (V_j + V_f) (1 + \delta)$$

式中 m —— 坯料高度与直径之比, 一般取 $m = 1.8 \sim 2.2$ 。

求出 d'_p 后按标准规格选 d_p , 从而得到 A_p , 最后求出下料长度:

$$L_p = \frac{V_p}{A_p}$$

2 锤用锻模模膛设计

2.1 终锻模膛设计

终锻模膛是锻件最后成形的模膛, 通过它获得带飞边的锻件。终锻模膛是按照热锻件图制造的, 模膛设计的主要内容是绘制热锻件图和确定飞边槽尺寸。

(1) 热锻件图的制定和绘制

制定和绘制热锻件图时应考虑以下几点:

1) 考虑金属的热胀冷缩, 热锻件图上的尺寸应比冷锻件图的相应尺寸有所放大。终锻温度下的收缩率为

普通钢: 1.2% ~ 1.5%;

奥氏体钢: 如 1Cr18Ni9Ti、GH36、GH132 等, 因其膨胀系数较大, 取 1.5% ~ 1.8%;

铝合金、铜合金: 1%;

镁合金、钛合金: 0.8%。

2) 当吨位不足易产生模锻不足(打不靠)时, 应使热锻件的高度尺寸减小一些, 其值可接近于负偏差, 以提高锻件的成品率。

3) 当锻模承击面不足, 易产生承击面塌陷时, 可适当增加热锻件的高度尺寸。其值可接近于正偏差, 以便在承击面下陷以后尚能生产出合格的锻件。

4) 模膛容易磨损处, 应在锻件负偏差的范围内增加一层磨损量, 以提高锻模寿命。

5) 当锻件的形状不能保证坯料在下模膛内或切边凹模内准确定位时, 则应在热锻件图上增加必要的定位余块, 然后在切边或切削加工时去除。

6) 锻件的某些部位在切边或冲孔时易产生变形而影响加工余量时, 则应在热锻件的相应部

位适当考虑一定的弥补量, 以提高锻件合格率。

7) 锻件上形状复杂且较高的部份应尽量放在上模。如因特殊情况需放在下模时, 由于下模膛局部较深处易积聚氧化皮, 容易造成该处充不满, 在此种情况下, 热锻件图上该处尺寸应增大一些, 以提高锻件的成品率。

8) 在热锻件图上需将分模面和冲孔连皮的位置、尺寸全部注明(见图 24.2-39)。

9) 在热锻件图上应写明未注明的模锻斜度、圆角半径与收缩率, 但不需注出锻件公差, 技术条件和产品轮廓线。

(2) 飞边槽的确定

1) 飞边槽的作用

① 增加金属流出模膛的阻力, 迫使金属充满模膛。

② 容纳多余金属。

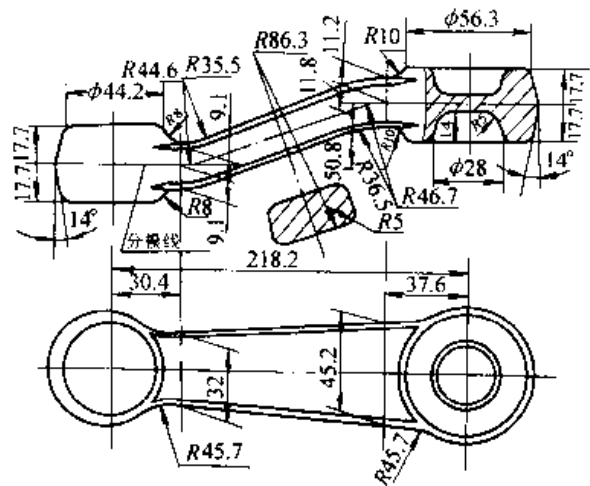


图 24.2-39 热锻件图

注: 1. 未注模锻斜度 7° 2. 未注圆角 R_2

3. 收缩率 1.5%

③ 锻造时飞边起缓冲作用, 减弱上下模的打击, 防止模具的压塌与开裂。

2) 飞边槽的型式 飞边槽的型式(见图 24.2-40)

① 型式 I 一般都采用此种形式, 因桥部在上模受热时间短, 温度较低, 桥部不易过热和磨损;

② 型式 II 当锻件的上模部份形状较复杂, 切边需翻转 180°时, 为简化切边凸模形状而采用; 当整个锻件位于下模, 为了简化锻模的制造亦采用此种型式;

③ 型式 III 此种型式的特点是全部较大能

容纳较多的金属，适用于大型和形状复杂的锻件。

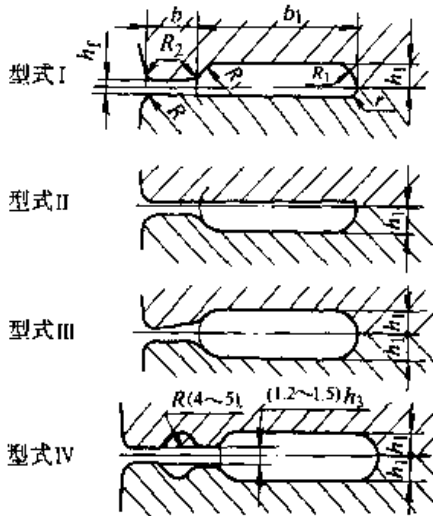


图 24.2-40 飞边槽型式

④ 型式IV 一般只用于锻件形状复杂难以充满的局部地方，如高肋，叉口与枝芽等处，它能较大地增加桥部阻力，迫使金属充满深而复杂的模膛。

3) 飞边槽尺寸的确定 飞边槽最主要的尺寸是桥部高度 h_f 及宽度 b 。 h_f 增大，阻力减小， h_f 减小阻力增大。桥部宽度 b 增加时阻力增加。

锻件的尺寸（准确地说是锻件在分模面上的投影面积）既是选定飞边槽尺寸，也是选定设备吨位的主要依据，故生产中通常按锻锤吨位来选定飞边槽尺寸，如表 24.2-26 所列。

除了用吨位法确定飞边槽尺寸以外，还有用计算的方法。桥部高度 h_f 可用下式确定：

$$h_f = 0.015 \sqrt{A}$$

表 24.2-26 飞边槽尺寸 (mm)

锤 吨 位	h_3	h_f	b	b_1	备 注
1 t 夹板锤	0.6	3	8	20	
1 t 模锻锤	1~1.6	4	8	25	齿轮锁口 $b_1 = 30$
1.5 t 模锻锤	1.6~2	4	8	25~30	
2 t 模锻锤	2	4	10	30~35	齿轮锁口 $b_1 = 40$
3 t 模锻锤	3	5	12	30~40	齿轮锁口 $b_1 = 45$
5 t 模锻锤	3	6×2	12	50	齿轮锁口 $b_1 = 55$
10 t 模锻锤	5	6×2	16	50	

式中 A ——锻件在分模面上的投影面积(mm^2)。

表 24.2-26 中的数值适用于一般情况，遇有下列特殊情况时，应作适当修正。

① 当所选用的锤吨位偏大时，为了防止金属向飞边槽流动过快，而影响锻件成形，应适当减小 h_f 值。

② 当所选用的锻锤吨位偏小时，为了减小飞边的变形阻力，防止模锻压不足，在保证模膛充满的条件下，应适当增大 h_f 值。

③ 当锻件形状比较复杂，为了增加飞边阻力，保证模膛的充满，应适当加大 b 值。

④ 当锻件形状较简单，在保证锻件成形情况下，为了减少锤击次数，可适当加大 h_f 值或适当减小 b 值。

⑤ 对于短轴类锻件，当锻模带有封闭形状的锁口时，为了防止操作时因毛坯放偏而把飞边挤到锁扣里去，应适当加大仓部尺寸与 b_1 值

(见表中备注栏中尺寸)。

2.2 预锻模膛设计

(1) 预锻模膛的用途

1) 改善金属在终锻模膛中的流动条件，避免在锻件上产生折叠；

2) 使金属易于充满终锻模膛，避免在锻件上产生充不满的缺陷；

3) 减少终锻模膛的磨损，提高整套锻模的寿命（一般能提高 30% 左右）。

采用预锻模膛后也产生一些缺点：

1) 使终锻时产生偏心打击，上下模膛容易错移。

2) 增大了模块尺寸。

3) 对于宽度尺寸较大的锻件，需要采用两套锻模，分别在两台锤上联合锻造，增加了设备数量。

4) 降低了生产率。

因此,是否采用预锻模膛,应根据具体情况决定。

(2) 模膛设计

预锻模膛以终锻模膛或热锻件图为基础进行设计,预锻模膛一般不设置飞边槽。

预锻模膛周围虽然不开设飞边槽,但预锻时也有飞边形成,预锻时的飞边也能用来限制金属流出而促使充满预锻模膛,锤上预锻时预锻模膛总是打不靠的,因此预锻模膛中坯料实际高度和截面积总是大于终锻模膛的高度和截面积。在终锻时尚有部分金属流出终锻模膛形成飞边,促使金属更好地充满终锻模膛。为了使金属能充满预锻模膛,在预锻模膛的个别部位也可以开设阻力沟,以增大预锻模膛上该部分金属向飞边流动的阻力。

根据预锻模膛的不同用途,有不同的设计方法

1) 预锻模膛仅用来减少终锻模膛的磨损,在此种情况下,预锻模膛基本上和终锻模膛设计得一样,只是在模膛的凸圆角处及分模面剖口的圆角处,将预锻模膛的圆角半径作得比终锻模膛的圆角半径略大一些(增大 1~2 mm)。

2) 为使预锻后的毛坯在终锻时以墩粗成形为主,预锻模膛宽度比终锻模膛小 1~2 mm,高度比终锻模膛大 2~5 mm(见图 24.2-41)。但对于预锻模膛中依靠压入的部位,其高度应略小于终锻模膛高度,即 $h' = (0.8 \sim 0.9)h$,顶部宽度相同,即 $a' = a$ (见图 24.2-42)。

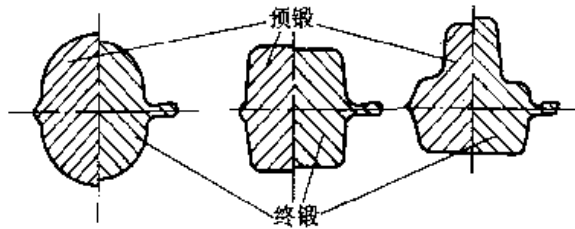


图 24.2-41 预锻形状与终锻形状的差别

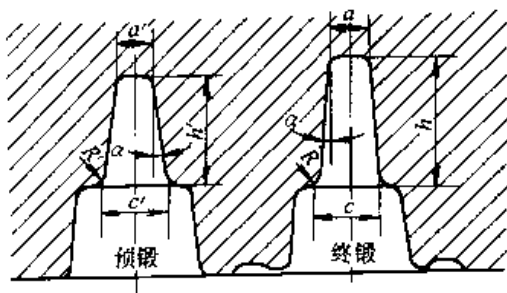


图 24.2-42 预锻与终锻的尺寸关系

3) 预锻模膛用来改善终锻模膛的充满情况,当模膛上具有较深较窄的部分,具有分枝的部分,断面尺寸有突然变化的部分和具有叉形的部分,应考虑采用预锻模膛。这时预锻模膛的设计应考虑以下各点:

① 在终锻模膛具有较深较窄的部分时,为了易于充满终锻模膛,设计预锻模膛时的主要出发点是减少终锻时金属充填模膛的阻力,一般措施是在难充满的部分增大模膛的斜度(图 24.2-42 和表 24.2-27),这样预锻后的毛坯终锻时,毛坯和模壁间有了间隙,消除了模壁对金属的摩擦阻力和由模壁引起的向下垂直分力,使金属容易充满模膛,但是,由于增大了斜度,预锻模膛本身便不易被充满。为了使预锻模膛也能充满,必需增大圆角半径。但圆角半径 R_1 也不宜增加过大,因为过大了,终锻时可能在此处产生折迭,圆角半径 R_1 一般按下式计算:

表 24.2-27 模锻斜度 (°)

终锻模膛	3	5	7	10	12
预锻模膛	5	7	10	12	15

$$R_1 = R + C$$

式中 R ——终锻模膛相应部位上的圆角半径;
 C ——系数,按表 24.2-28 选取。

表 24.2-28 C 值 (mm)

模膛深度	<10	10~25	25~50	>50
C	2	3	4	5

② 对于在平面投影图上具有分枝的锻件(图 24.2-43),以及截面尺寸突然变化的锻件(图 24.2-44),在预锻时为了使金属易于向分枝方向流动,应增大该处的圆角半径,简化其形状,以减少其阻力,必要时还可在分模面上增设阻力沟增大预锻时金属流向飞边的阻力,如图 24.2-43 所示。

③ 对具有叉形部位的锻件,为防止终锻时在内端角处充不满,预锻时需先将叉部的金属劈开,以利于终锻时金属充满模膛,为此,在预锻模膛中应设计劈料台,其形式如图 24.2-45 所示,一般情况下用图 24.2-45a 型式,当叉部较窄时,可使用图 24.2-45b 型式。有关尺寸按下式确定:

$$a = 0.25B, 5 \text{ mm} < a < 30 \text{ mm}$$

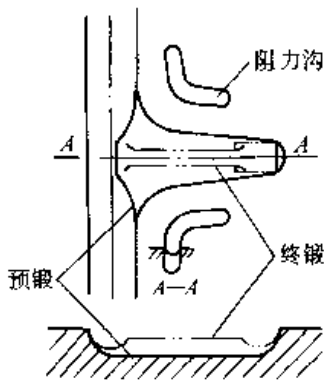
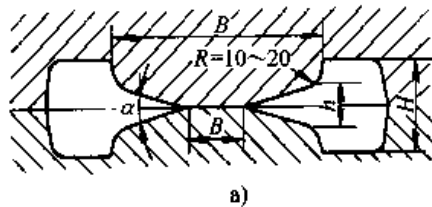


图 24.2-43 带枝芽锻件的预锻模膛

$$h = (0.4 \sim 0.7) H$$



a)

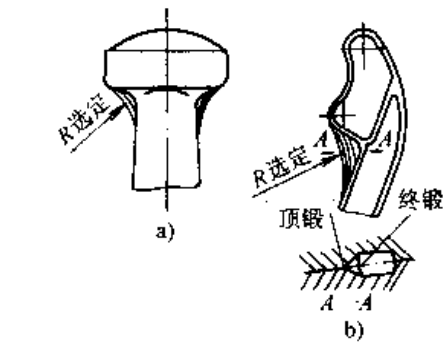
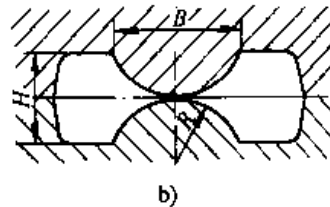


图 24.2-44 预锻模膛在分模面拐角处的圆角形式

$$\alpha = 10^\circ \sim 45^\circ$$

当 $\alpha > 45^\circ$ 时, 建议使用图 24.2-45b 型式。



b)

图 24.2-45 剪料台

α 可以是等宽的, 也可以是变宽的, 而变宽的效果较好。

4) 对于具有工字形截面的锻件和带孔的锻件, 为避免模锻时产生折叠, 应采用预锻模膛, 这时预锻模膛的设计应考虑以下几点:

锤上模锻时, 在预锻时上、下模总是打不靠的, 在不计算预锻时打不靠的情况下, 应使预锻模膛的截面积 A_y 小于或等于终锻模膛上相应的截面积 A_z , 即

$$A_y \leq A_z$$

根据工字形的相对高度 h/b 值的大小可分为三种预锻方法 (图 24.2-46):

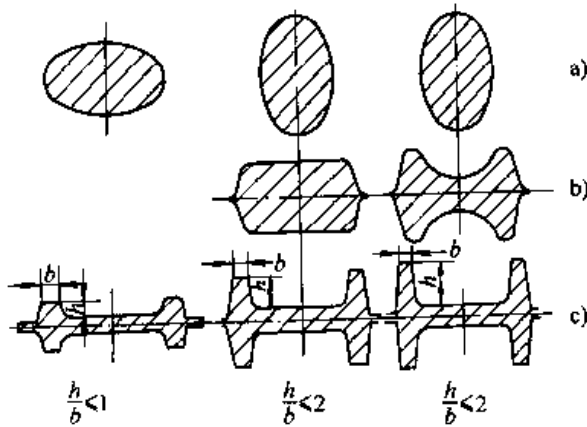


图 24.2-46 工字形断面的不同预锻方法

a) 制坯 b) 预锻 c) 终锻

① $h/b < 1$, 采用椭圆形截面预锻模膛 (图 24.2-47)

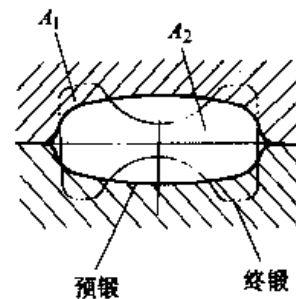


图 24.2-47 椭圆形截面预锻模膛

该种型式用于两端充满不太困难的情况, 模膛尺寸按 $A_y = A_z$ 求得。

② $h/b < 2$, 采用矩形截面预锻模膛 (图 24.2-48), 膜膛尺寸按下式确定

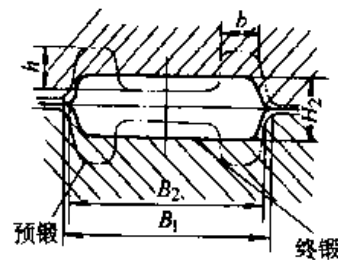


图 24.2-48 矩形截面预锻模膛

$$B_2 = B_1 - 2 \sim 6 \text{ mm}$$

$$H_2 = A_1 / B_2$$

式中 A_1 ——终锻模膛截面积 (mm^2);
 A_2 ——预锻模膛截面积 (mm^2);
 B_1 ——终锻模膛宽度 (mm);
 B_2 ——预锻模膛宽度 (mm);
 H_2 ——预锻模膛高度 (mm).

③ $h/b > 2$, 采用浑圆形工字截面预锻模膛 (图 24.2.49), 模膛尺寸按下式确定

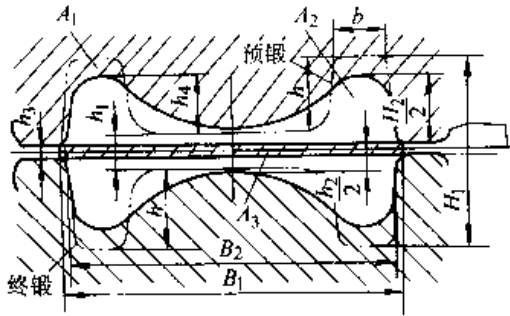


图 24.2.49 浑圆形工字截面预锻模膛

$$A_2 = A_1 - A_3$$

式中 A_2 ——预锻模膛截面积 (mm^2);
 A_1 ——终锻模膛截面积 (mm^2);
 A_3 ——预锻时锻压不足的截面积 (mm^2)

$$A_3 = h_3 B_2$$

式中 h_3 ——锻压不足的高度 (mm), 3 t 以下锻锤, $h_3 = 1.5 \sim 3.5 \text{ mm}$ 。

预锻模膛深度: $h_2 - h_1 - h_3$

预锻模膛宽度: $B_2 = B_1 - 1 \sim 3 \text{ mm}$

h_4 则根据面积相等原则, 以圆滑曲线用作图法求得。

当工字形间距 B 较大或有难充满的肋时, 预锻模膛的型式应接近工字形, 如图 24.2.50 所示, 这时肋的高度比终锻模膛低些, 肋顶作成圆弧形, 并应使 $A_1 = A_2$ 。

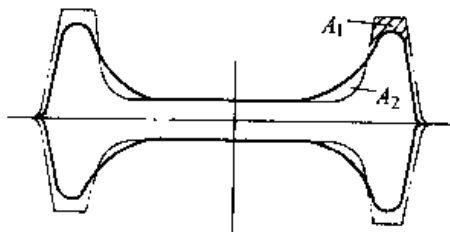


图 24.2.50 工字形截面的预锻模膛

工字形截面的铝合金锻件, 模锻时常易产生折叠, 近年来一些工厂采用图 24.2.51 所示型式的预锻模膛取得了良好的效果, 其尺寸确定的方法是根据面积相等的原则, 使预锻模膛的横截面积接近于终锻模膛的横截面积, 并使预锻模膛的宽度

B_1 比终锻模膛的相应宽度 B 大 $10 \sim 20 \text{ mm}$, 即

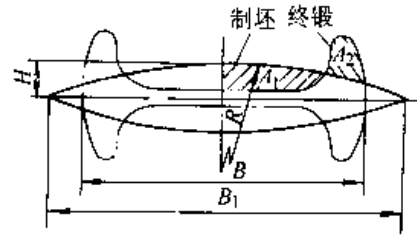


图 24.2.51 预锻模膛截面设计的新方法

$$B_1 = B + 10 \sim 20 \text{ mm}$$

由于预锻后的坯料复盖终锻模膛有余, 终锻时, 首先出现飞边, 在飞边桥口部分形成较大的阻力, 迫使中心部份的金属以挤入的形式充填肋部。因中心部份金属充填肋部后已基本无剩余, 故最后仅极少量金属流向飞边槽, 从而避免折叠产生。

带有较大孔径的锻件也常在腹板处产生折叠, 其原因与工字形截面的锻件相同, 为避免产生此种折叠, 预锻时采用斜底连皮, 此时应使终锻时连皮部份的体积大于或等于预锻时该部份的体积, 以便终锻时多余金属可以向中心流动, 具体尺寸参考冲孔连皮设计部份。

2.3 拔长模膛设计

(1) 拔长模膛的作用

拔长模膛是用来减小坯料某部份横截面积, 增大其长度, 具有分配金属的作用。

(2) 拔长模膛的型式

按模膛横截面形状分为开式和闭式两种型式。

1) 开式 横截面为矩形, 如图 24.2.52 示,

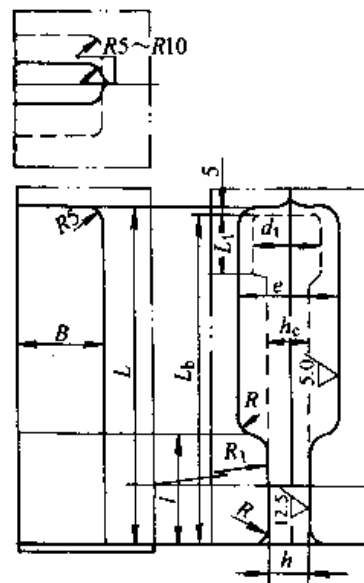


图 24.2.52 开式拔长模膛

这种型式结构简单，制造方便，应用较广。

2) 闭式 横截面为椭圆形，如图 24.2-53 示，这种型式拔长效果好，但操作较难，要求把坯料正确放置在模膛中，否则坯料易弯曲，一般用于 $L_k/a_g > 15$ 的细长的锻件。

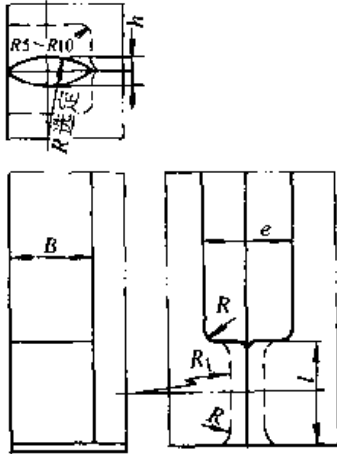


图 24.2-53 闭式拔长模膛

按模膛在模块上的排列分直排和斜排两种型式：

1) 直排式 (图 24.2-52、24.2-53) 模膛中

心线与燕尾中心线平行。其优点是可控制拔长尺寸和避免坯料弯曲，该排列型式应用较广。

2) 斜排式 (图 24.2-54) 模膛中心线与燕尾中心线呈一定夹角 α ，一般在模具前左侧。该排列型式应用于模膛数量较多，布排较紧的锻模上。其缺点是对拔长后的坯料长度不易控制。

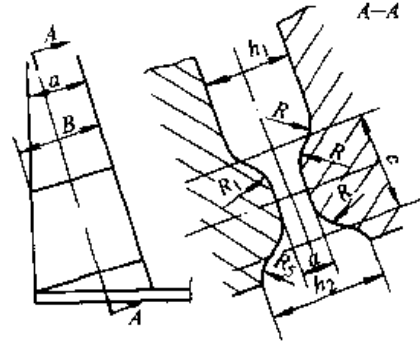


图 24.2-54 斜排式拔长模膛

(3) 模膛设计

模膛尺寸根据锻件杆部需要拔长部分的尺寸和坯料尺寸设计。其中主要是拔长坎的设计，拔长坎的高度 h 、长度 l 和拔长模膛宽度 B 的确定见表 24.2-29。

表 24.2-29 拔长模膛尺寸 (mm)

项 目	计 算 公 式				符 号 说 明
拔长坎高度 h	拔长后不滚压 $h = k_1 d_{min}$				d_{min} —计算毛坯的最小直径 V_g —计算毛坯杆部体积 L_g —计算毛坯杆部长度
	拔长后滚压 $h = k_2 \sqrt{\frac{V_g}{L_g}}$				
	L_g	< 200	200—500	> 500	
	k_1	0.85	0.8~0.75	0.7	
	k_2	0.9	0.85	0.8	
拔长坎长度 l	$l = k_3 d_p$				d_p —坯料直径 L_p —坯料长度
	L_p	< $1.5 d_p$	(1.5~3) d_p	(3~4) d_p	
	k_3	1.1	1.3	1.5	
模膛宽度 B	$B = k_4 d_p + (10 \sim 20)$				
	d_p	< 40	40~80	> 80	
	k_4	1.5	1.3~1.4	1.2~1.3	
模膛深度 e	拔长后为一光杆 $e = 2h$ 拔长后端头有一小头部 $e = 1.2 d_t, e \geq 2h$				d_t —头部直径
圆角圆弧半径	$R = 0.25l \quad R_1 = 10R$				
拔长模膛总长度	$L = L_b + 5 \sim 10$				L_b —坯料拔长长度

斜排式拔长模膛斜度 α 模膛斜度应根据模膛间相互位置，以毛坯拔长时不与锤柱相碰为原

则，常用数值为：10°、12°、15°、18°、20°。

(4) 拔长台设计

拔长台是拔长模膛的一种特殊型式，在下列情况下采用：

- 1) 当坯料被拔长部份的原始长度 L_0 小于拔长坎长度 l 时，如图 24.2-55a 所示；
- 2) 拔长台阶式毛坯时，如图 24.2-55b 所示。
- 3) 当坯料的拔长尺寸 L_0 小于 $1.2d_p$ 时，如图 24.2-55c 所示。

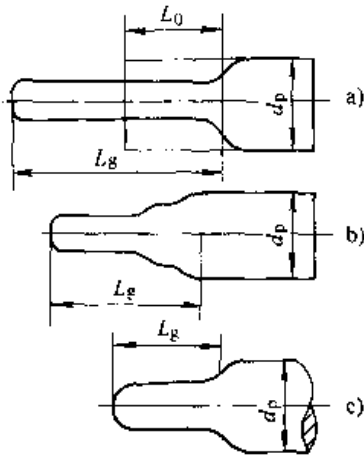


图 24.2-55 采用拔长台的三种情况

拔长台一般多位于模具的一角，如图 24.2-56 所示。

拔长台的尺寸，按下列各式确定：

- 1) 宽度 B $B = (1.4 \sim 1.6) d_p$
- 2) 长度 L $L = L_g + 10 \text{ mm}$
- 3) 圆角 R 当 $a_p < 30$, $30 \sim 60$, $> 60 \sim 100$, $> 100 \text{ mm}$ 时， R 相应地取 10, 15, 20, 25 mm。

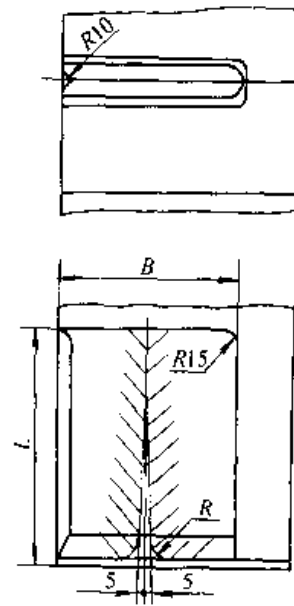


图 24.2-56 拔长台

2.4 滚压模膛设计

(1) 滚压模膛的作用

滚压模膛是用来减小坯料某部分横截面积，增大另一部分横截面积，以获得接近计算毛坯图的形状和尺寸。同时它还有滚光坯料表面和去除氧化皮的作用。

送到滚压模膛中变形的坯料可以是原毛坯，也可以是经拔长后的毛坯。

(2) 滚压模膛的型式

1) 开式 横截面为矩形，如图 24.2-57a 所示。此种模膛制造较方便，但滚压时，聚料作用

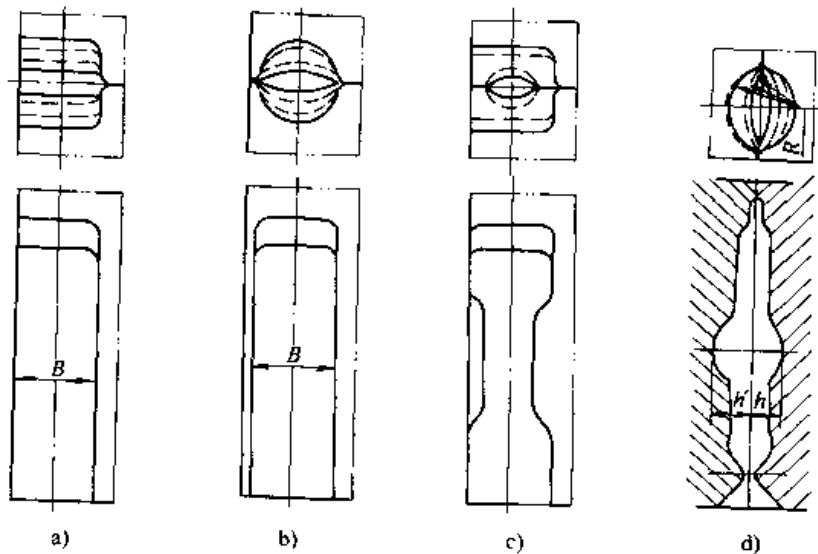


图 24.2-57 滚压模膛的型式

a) 开式 b) 闭式 c) 混合式 d) 不对称闭式

较小。锻件各段截面变化较小时采用。

2) 闭式 横截面为椭圆形，如图 24.2-57b 示，此种模膛滚压时，聚料效果较好，但模膛制造较复杂。锻件各段截面变化较大时采用。

在此种模膛中滚压后，坯料表面较圆滑，终锻时不易产生折叠，故应用较广。

3) 混合式 模膛的杆部是闭式，头部是开式，如图 24.2-57c 示，此种模膛通常用于头部具有深冲孔件或叉形的锻件，以便准确定位。

4) 不对称闭式 上、下模膛的深度不等，如图 24.2-57d 示，这种模膛具有滚压模膛与成形模膛的特点，适用于 $h'/h < 1.5$ 的非对称轴类模锻件。

(3) 模膛设计

1) 模膛尺寸的计算 模膛的尺寸和形状主

要根据计算毛坯图尺寸和坯料横截面尺寸来确定，模膛结构如图 24.2-58 示，各部分尺寸的确 定见表 24.2-30。

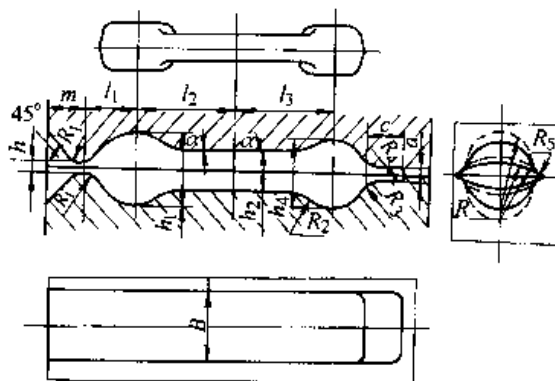


图 24.2-58 滚压模膛结构

表 24.2-30 滚压模膛的尺寸 (mm)

项 目	计 算 公 式 或 数 据				符 号 说 明	
模膛高度 h	$h = kd_j$ k 系数按下表选取					
	d_p	杆 部		头 部	拐 点	
		闭 式	开 式			
	<30	0.8	0.75	1.15	1.00	d_j —计算毛坯相应处的直径 d_p —坯料直径
	30~60	0.75	0.70	1.10	0.95	
>60	0.70	0.65	1.05	0.90		
模膛宽度 B	坯料形式	闭 式	开 式		A_p —坯料断面积 h_{min} —模膛最小深度 d_{max} —计算毛坯最大直径 a_p —方坯边长 A_{gm} —计算毛坯杆部平均断面积	
原坯料	$1.7d_p$ (或 $1.9a_p$) $> B$ $> 1.15 \frac{A_p}{h_{min}}$, $B > 1.1d_{max}$		$1.7a_p$ (或 $1.5d_p$) $+ 10 \geq B$ $\geq \frac{A_p}{h_{min}} + 10$, 但 $B > d_{max} + 10$			
	经过拔长的毛坯	$(1.4 \sim 1.6)d_p > B > 1.25 \frac{A_{gm}}{h_{min}}$ 但 $B > 1.1d_{max}$		$(1.4 \sim 1.6)d_p + 10 > B$ $> \frac{A_{gm}}{h_{min}} + 10$, 但 $B > d_{max} + 10$		
	不同宽度的滚压模膛	杆部 $B_g = 1.25 \frac{A_{gm}}{h_{min}}$ 头部 $B_t = 1.1d_{max}$				
模膛长度 L	$L = L_j (1 + \delta)$				δ —收缩率	
模膛钳口尺寸	$n = 0.2d_p + 6$ $m = (1 \sim 2)n$ $R = 0.1d_p + 6$					

续表 24.2-30

项 目	计 算 公 式 或 数 据							符 号 说 明
毛刺槽尺寸		d_p	a	c	R_3	R_4	b	
	无切刀	<30	4	20	5	4	20	
		30~60	6	25	5	6	30	
		60~100	8	30	10	8	40	
		>100	10	35	10	10	50	
	有切刀	<30	6	25	5	6	25	
>30		8	30	5	8	30		

注：表中毛刺槽尺寸 b 的尺寸仅适用于闭式滚压模膛。

表 24.2-30 中，模膛长度 L 的计算公式仅适用于直轴锻件，对于弯曲轴线锻件可分为如下四种情况计算其模膛长度：

① 弯曲时无拉伸现象，如图 24.2-59 示，模膛长度 L 按锻件内侧 $1/3$ 宽度处的连线的展开长度计算。



图 24.2-59 弯曲时无拉伸锻件

② 弯曲时拉伸现象严重，如图 24.2-60 所示曲轴，模膛长度 L 按锻件水平投影的长度确定。

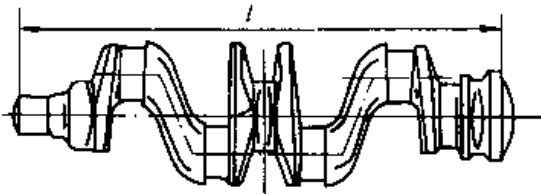


图 24.2-60 弯曲时拉伸现象严重的锻件

③ 介于以上二者之间的，可根据具体情况取二者中间值；

④ 如取锻件内侧 $1/3$ 宽度处的连线展开长度，则模膛应做成如图 24.2-61 所示的情况；如取水平投影的长度，则应作成如图 24.2-62 所示的情况。

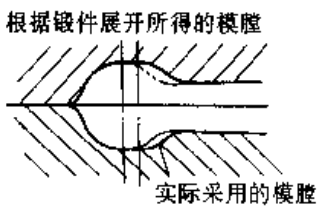


图 24.2-61 滚压模膛

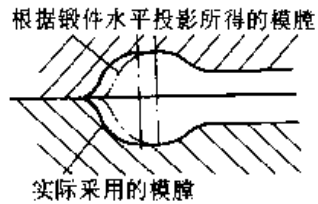


图 24.2-62 滚压模膛

2) 滚压模膛的绘制方法（见图 24.2-63）如下：

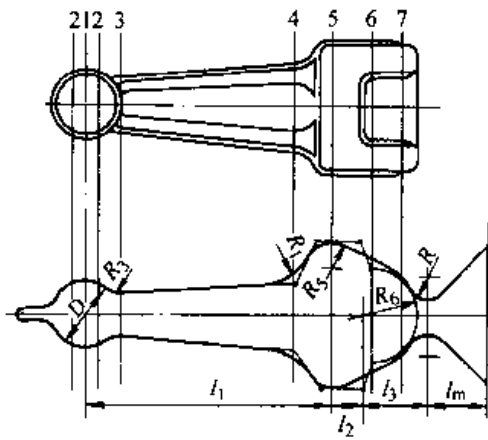


图 24.2-63 滚压模膛的绘制方法

① 按计算毛坯的典型截面，计算出各截面上的 h 和 B 值，将 h 从分模面对称标出。

② 绘制模膛轮廓线

a) 在热锻件长度上的相应截面处划出纵线，如图 24.2-63 所示，按表 24.2-30 截取 $h/2$ 高度。

b) 以适当圆弧或圆滑曲线连接各点绘成一半模膛的轮廓线。一般情况下滚压模膛都是对称的，因此另一半与此相同。

c) 模膛外形圆角 R_1 应尽可能作得大些，以利金属流动，可参考下式确定。

$$R_1 = (2 \sim 3)C + 5 \text{ mm}$$

式中 C ——小头与杆部的模膛高度差。

d) 模膛内圆角 $R_2 = 5 \sim 10 \text{ mm}$ 。

e) 模膛杆部较长时, 可做成 $2^\circ \sim 5^\circ$ 斜度, 以利金属流向头部, 如图 24.2-58 所示。

③ 根据计算数据确定夹钳口尺寸, 尾部小槽尺寸与模膛的宽度。

2.5 压肩模膛设计

(1) 压肩模膛的作用与型式

压肩模膛亦称卡压模膛, 如图 24.2-64, 它是用来略为减小毛坯高度而增大宽度, 并使头部稍有聚料的作用。坯料在压肩模膛中只锤击一次, 不进行翻转, 送入终(预)锻模膛的也不翻转, 一般需增宽的锻件多采用这种模膛。

压肩模膛也分开式、闭式两种, 通常采用开式。

(2) 模膛设计

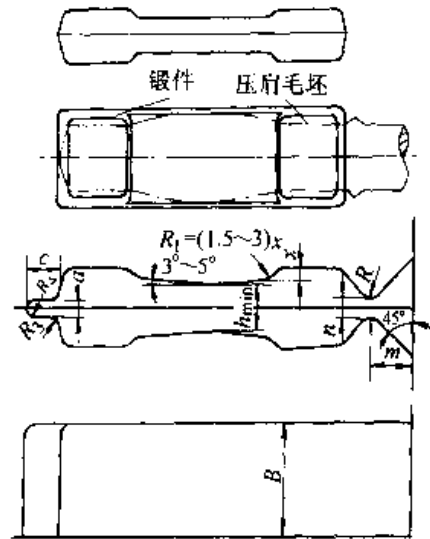


图 24.2-64 压肩模膛

压肩模膛的尺寸按表 24.2-31 计算确定。

卡压模膛的设计过程及绘制方法与滚压模膛

相同。

表 24.2-31 压肩模膛尺寸计算

(mm)

项 目	应 用 公 式	符 号 说 明	
模膛深度 h	$h = kd_j$ 系数 k 按下表选择		
	d_p	<30 30~60 >60	d_1 —计算毛坯直径 d_p —坯料直径
	杆部	0.75 0.65 0.60	
	头部	1.00 1.05 1.1	
模膛宽度 B	$B = \frac{A_p}{h_{min}} + (5 \sim 10)$	A_p —坯料断面积 h_{min} —压肩模膛的最小深度	
其他尺寸	$R = 0.2d_p + 5$ $n = (0.2 \sim 0.3) d_p$ $m = (1 \sim 2) n$ $a = 0.1d_p + 3$ $c = 0.3d_p + 15$ $R_3、R_4$ 同滚压模膛 (见图 24.2-30)	见图 24.2-64	

2.6 弯曲模膛设计

(1) 弯曲模膛的作用与型式

1) 模膛作用 弯曲模膛是用来弯曲毛坯, 使其符合终锻模膛在分模面上的形状。毛坯在弯曲模膛中不翻转, 而送入终(预)锻模膛时, 则需翻转 90° 。

2) 模膛型式

① 自由弯曲式 如图 24.2-66 所示, 在拉伸不大的条件下, 对毛坯进行弯曲成形。适用于

具有圆浑形弯曲的锻件, 一般只有一个弯。

② 夹紧弯曲式 如图 24.2-68 所示, 毛坯在模膛中除弯曲成形外, 并有显著的拉伸现象。适用于多弯的并具有急弯形状的锻件, 如曲轴件。

(2) 模膛设计

弯曲模膛的形状是根据终锻模膛在分模面上的外形(水平投影)、用作图法制出。

模膛尺寸按表 24.2-32 计算确定。对于模膛较深处因堆积氧化皮, h 应适当加大, 不受表中公式限制。

表 24.2-32 弯曲模膛主要尺寸 (mm)

项 目	计 算 公 式				符 号 说 明		
模膛高度 h	$h = b_d - 2 - 10$ 大锻件取大值, 小锻件取小值				b_d —锻件平面图上相应处尺寸		
模膛宽度 B	$B = \frac{A_p}{h_{\min}} + 10 \sim 20$				A_p —坯料断面积 h_{\min} —模膛的最小高度		
上下模间隙 Δ	锻锤吨位/t	1	2	3	5	10	16
	Δ	4	6	6	7	9	9
凹面深度 h_1	$h_1 = (0.1 \sim 0.2) h$				h —模膛高度		

夹钳口尺寸的确定:

钳口高度: $h = (0.2 \sim 0.3) d_p$

钳口圆角: $R = 0.2d_p + 5 \text{ mm}$

其他尺寸与滚压模膛相同。

(3) 弯曲模膛设计注意事项

1) 弯曲模膛在急转弯处应做成较大的圆角, 以防止锻件终锻时产生折叠, 如图 24.2-65 所示, 但需保证金属充满模膛, 且应有最小的飞边。

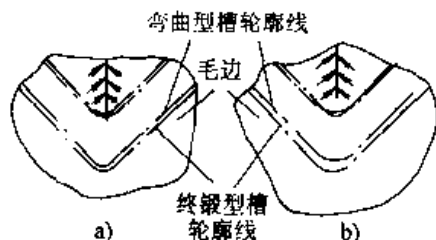


图 24.2-65 弯曲模膛转角形状

a) 折叠在锻件和飞边上 b) 折叠在飞边上

2) 弯曲模膛上下模突出于分模面部分的高度应大致相等。如图 24.2-66 中, 应使 $z_1 = z_2$, 以保证模膛突出部分有足够的强度。

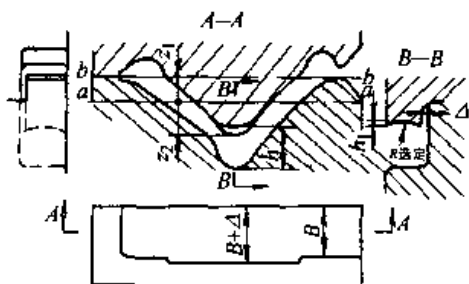


图 24.2-66 自由弯曲的弯曲模膛

3) 弯曲模膛的下模应具有两个支持点, 以

支持放入模膛的毛坯, 此两支点的高度应使放入的毛坯呈水平位置。如图 24.2-67 所示。

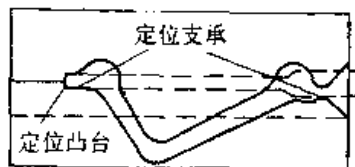


图 24.2-67 弯曲模膛定位支承

4) 模膛长度方向应有定位 当压弯的毛坯为原毛坯时, 应在弯曲模膛尾端作出挡料台以供定位用, 如图 24.2-68 所示。当毛坯是经过滚压的毛坯时, 则可利用夹钳口颈部作定位。

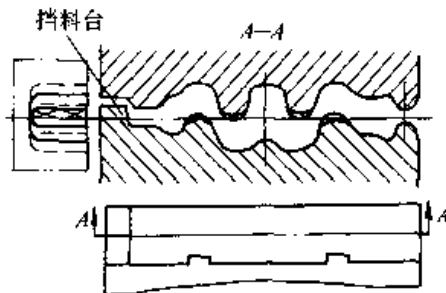


图 24.2-68 夹紧弯曲的弯曲模膛

5) 弯曲模膛上下模凸出部份在横向应作成弧形凹槽, 以便坯料定位, 防止坯料放偏或在压弯时向一边滚落。如图 24.2-66 中 B-B 剖面所示。

凹槽深度 $h_1 = (0.1 \sim 0.2) h$

式中 h ——弯曲模膛相应高度

6) 模膛设计时还应考虑有利于金属充满模膛和便于坯料的取放和操作。

2.7 成形模膛设计

(1) 成形模膛的作用与型式

1) 模膛作用 成形模膛的作用与弯曲模膛相近似,也是用来使毛坯获得符合终锻模膛在分模面上的形状。适用于截面变化不大,弯曲程度较小的锻件,毛坯在模膛中不翻转,而送入终(预)锻模膛时,需翻转90°。

2) 模膛型式 成形模膛一般为开式模膛,但它分为对称式和不对称式两种型式。

① 对称式 如图 24.2-69 所示,应用于在分模面上形状对称的锻件。

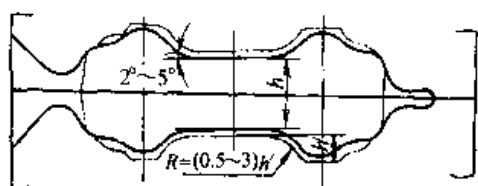


图 24.2-69 对称式成形模膛

② 不对称式 如图 24.2-70 所示,应用于在分模面上形状不对称的锻件。

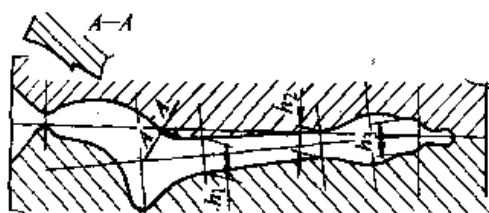


图 24.2-70 不对称式成形模膛

(2) 模膛设计

成形模膛的形状是根据终锻模膛在分模面上的外形(水平投影),用作图法制出。

1) 模膛高度 h 为了成形后的毛坯能自由地放入终(预)锻模膛,并以镦粗方式成型,成形模膛高度 h 应小于热锻件在分模面上的外形尺寸。可按下式确定:

- ① 在 $A_p < A_j$ 处(头部) $h = b_d - 1 \sim 2 \text{ mm}$
- ② 在 $A_p > A_j$ 处(杆部) $h = b_d - 3 \sim 5 \text{ mm}$
- ③ 模膛杆部处 为了便于金属的流动,作成 $2^\circ \sim 5^\circ$ 的斜度。

④ 模膛最小高度 $h_{\min} \geq \frac{\sqrt{A_p}}{2.8}$

2) 模膛宽度 B 模膛宽度 B 的确定方法与弯曲模膛相同。

成形模膛的主要尺寸也可按表 24.2-33 确定。

3) 钳口尺寸和尾部小槽尺寸的确定方法与滚压模膛相同。

4) 不对称式模膛分模面的确定 应处理好以下几点:

- ① 毛坯放置方便,取出容易;
- ② 有利于金属成形;
- ③ 模膛转弯处应取用较大圆角;
- ④ 断面变化较大处,可作成横向的弧形凹槽,如图 24.2-70 的 A-A 剖面所示。

表 24.2-33 成形模膛主要尺寸 (mm)

项 目	计 算 公 式	符 号 说 明
模膛高度 h	头部 $h = b_d - 1 \sim 2$ 杆部 $h = b_d - 3 \sim 5$	b_d —锻件平面图相应处的尺寸
模膛宽度 B	$B = \frac{A_p}{h_{\min}} + 10 \sim 20$	A_p —坯料断面积 h_{\min} —模膛最小高度

2.8 镦粗台与压扁台设计

(1) 镦粗台设计 (图 24.2-71)

1) 镦粗台作用 镦粗台是用来镦粗毛坯以减小其高度,增大直径,使镦粗后的毛坯在终锻模膛内能够复盖一定的凸部与凹槽,以防止锻件产生折叠和充不满,并起清除毛坯氧化皮,减少模膛磨损的作用。多用于短轴类与齿轮形锻件。

2) 设计依据 根据锻件的形状,尺寸和原毛坯尺寸确定镦粗后的毛坯直径 d ,再依据 d

值确定镦粗台尺寸。镦粗后毛坯直径 d 可按下式确定 (见图 24.2-71)。

$$d \geq (D_1 + D_2) / 2$$

3) 镦粗台尺寸

① 镦粗台高度 h

$$h = 4V_p / (\pi d^2)$$

② C 、 C' 与 C'' 尺寸

边缘距离 C $C = 10 \sim 15 \text{ mm}$

至锁口距离 C' $C' = 5 \sim 10 \text{ mm}$

右侧与后边距离 C'' $C'' = 15 \sim 20 \text{ mm}$

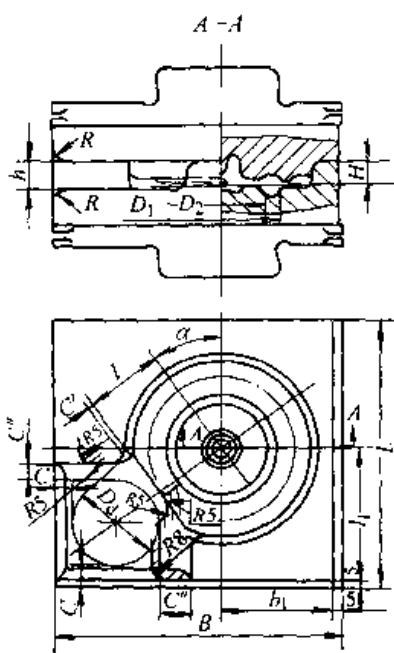


图 24.2-71 微粗台

③ 边缘圆角 R $R=8\sim 10\text{ mm}$

(2) 压扁台设计 (图 24.2-72)

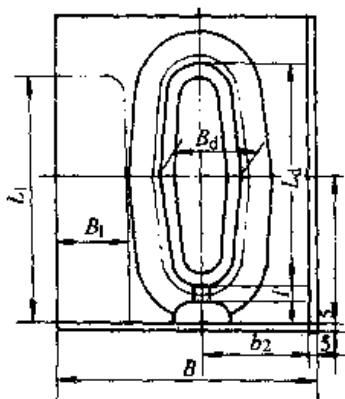


图 24.2-72 压扁台

1) 压扁台作用 压扁台是用来压扁毛坯以增大宽度,使压扁后的毛坯能够复盖住终锻模膛的一定凸部与凹槽,以防止锻件产生折叠和其他缺陷,并起到去除氧化皮,减少废品,提高模具寿命的作用。压扁时毛坯轴线与分模面平行放置。主要用于直长轴的扁宽锻件。

2) 设计依据 根据锻件形状、尺寸和原毛坯尺寸确定压扁后的毛坯尺寸,再根据压扁的尺寸确定压扁台尺寸。

3) 压扁台尺寸

① 压扁台长度 L_1

$$L_1 = l_y + 40\text{ mm}$$

② 压扁台宽度 B_1

$$B_1 = b_y + 20\text{ mm}$$

式中 l_y ——压扁后的毛坯长度 (mm);

b_y ——压扁后的毛坯宽度 (mm)。

2.9 切断模膛设计

(1) 切断模膛的作用与型式

1) 模膛作用 切断模膛用来切断棒料上锻成的锻件,以便实现一棒连续多次模锻,切断模膛通常用于小型模锻件。

2) 模膛型式

① 前切刀 前切刀可位于锻模的右前角或左前角,通常多位于右前角,如图 24.2-73 示。采用前切刀操作较方便,但切断的锻件易堆积在锤的导轨旁。

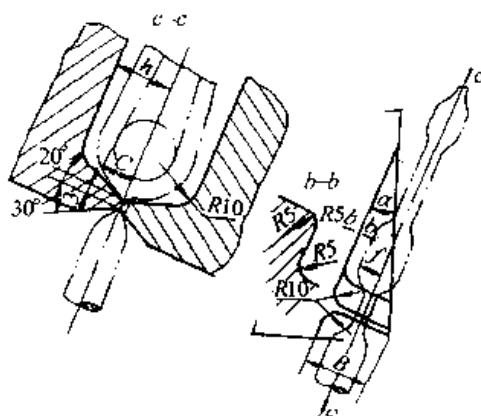


图 24.2-73 前切刀

② 后切刀 后切刀通常放在左后角,如图 24.2-74 示,由此切下的锻件直接落到锻锤后边的传送带上,送到下一工位。

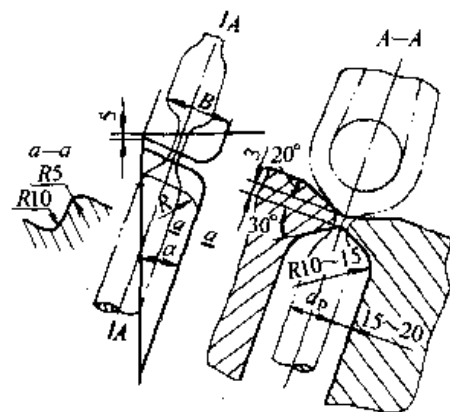


图 24.2-74 后切刀

(2) 模膛设计

1) 前切刀 模膛尺寸是根据带有飞边的锻

件来设计。模膛宽度 B 应保证锻件最大凸出部分在切断时不碰模壁，模膛高度 h 应保证锻件

飞边不与模膛底面相碰。前切刀的尺寸见图 24.2-73 和表 24.2-34。

表 24.2-34 切刀尺寸 (mm)

锻件尺寸	切刀尺寸		锻件尺寸	切刀尺寸	
C 或 f	h	B	C 或 f	h	B
<10	50	50	30~40	80	70
10~20	60	50	40~50	90	80
20~30	70	60			

2) 后切刀 模膛尺寸是根据毛坯直径 d_p 来确定，模膛宽度与高度应能保证毛坯能自由放入并在切断时不碰模膛，后切刀尺寸见图 24.2-74，宽度 B 可根据毛坯直径 ($d_p/2$ 相当于 c) 按表 24.2-34 选取。

3) 模膛斜度 α 是根据模膛布置确定的，一般采用 15° ， 20° ， 25° 为宜。

况下不宜超过表 24.2-35 所示数据。

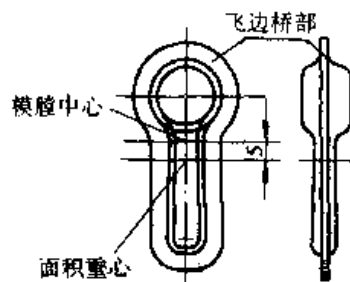


图 24.2-75 模膛中心的确定

3 锤用锻模结构设计

3.1 模膛布置

模膛的合理布置是多模膛锻模设计中一个十分重要的问题，模膛布置合理与否关系着锻件质量的好坏，锻模寿命的高低，生产效率与工人操作的难易。在模膛布排中，最重要的是终锻模膛和预锻模膛的布置。因此设计时要首先布置好终锻和预锻两模膛的位置，然后再根据它们的位置，模锻工艺程序与模膛数量布置其余模膛。

表 24.2-35 移动距离 s

锤吨位/t	1~2	3	5
s 值/mm	<15	<25	<35

(1) 终锻模膛与预锻模膛布置应考虑的原则。

1) 模膛中心与锻模中心

① 锻模中心 锻模中心即锻模燕尾中心线与键槽中心线的交点，它位于锤杆轴心线上，是锻锤打击力的作用中心。

2) 无预锻模膛时，模膛中心应尽可能与锻模中心重合，此时，模锻时的合力通过锤杆中心线，否则，将产生偏心力矩。

3) 有预锻模膛时，一般情况两个模膛中心都不能与锻模中心相重合，排列时要两者兼顾，为了减少错差量保证锻件质量，应力求终锻与预锻两模膛中心靠近锻模中心。模膛布置要点如下：

② 模膛中心的确定 模膛中心是锻造时模膛中金属变形阻力的合力作用点，可依据锻件在分模面上的面积重心确定，视模膛中金属变形力分布均匀与否有所不同。

① 终锻与预锻模膛中心至锻模燕尾中心线距离之比，应等于或略小于 $1/2$ ，即 $a/b \leq 1/2$ ，如图 24.2-76 所示。

② 两模膛中心，在锻模前后方向上，一般情况均应在键槽中心线上，如图 24.2-76 所示。

当变形阻力分布均匀时，模膛中心即为模膛(包括飞边桥部)在分模面的水平投影的面积重心。

③ 在锻模的左右方向上，终锻模膛与锻模燕尾中心线的偏移量 a ，应不超过表 24.2-36 所示数值。

当变形阻力分布不均匀时，模膛中心则由面积重心向变形阻力较大的一边移动距离 s ，如图 24.2-75 所示。 s 值大小应根据模膛各部分变形阻力相差程度大小，凭生产经验来确定。一般情

④ 预锻模膛中心线必须在燕尾宽度内，模膛超出燕尾部分的宽度不得大于模膛总宽度的 $1/3$ 。

⑤ 当锻件因终锻模膛偏移使错差量过大时，则允许采用 $L/5 < a < L/3$ ，即 $2L/3 < b < 4L/$

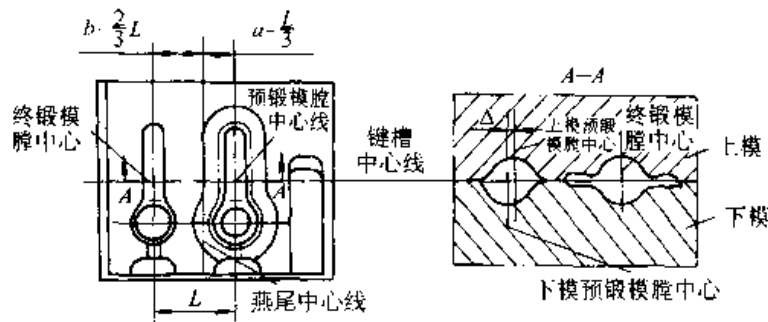


图 24.2-76 模膛布置

表 24.2-36 允许的偏移量 a

设备吨位/t	1	1.5	2	3	5	10
a/mm	25	30	40	50	60	70

5, 在这种条件下设计预锻模膛时, 应当预先考虑错差量 Δ 。 Δ 值由实际经验确定, 一般在 1~4 mm 的范围内, 如图 24.2-76 中 A—A 剖面所示, 锤吨位小者取小值, 大者取大值。

⑥ 当锻件带有宽大的头部, 如大型连杆, 使得两个模膛中心间距很大, 超出上述规定的范围时, 如终锻模膛因偏移, 使错差量超过允许值, 或者预锻模膛中心超出锻模燕尾宽度则应将终锻、预锻两个模膛分别放在两个模块上, 进行联合锻造。这样两个模膛中心即可以放在锻模中心位置上, 能更好地减少错差。保证锻件质量、

提高锻模寿命, 减少设备磨损。

⑦ 为了减小终锻与预锻模膛中心距 L , 即取用最小值, 在保证模膛间模壁有足够强度下, 选用下列排列方法。

a) 平行排列法, 如图 24.2-77a, 终锻和预锻模膛中心位于键槽中心线上, L 值减小的同时前后方向的错差量也较小, 锻件质量较好。

b) 前后错开排列法, 如图 24.2-77b 示, 预锻与终锻模膛在前后方向为不等排列, 这种排列能减小 L 值, 但增加前后方向的错移量, 适用于该图所示的特殊形状的锻件。

c) 反向排列法, 如图 24.2-77c 示, 预锻和终锻模膛反向布排, 这种布排能减小 L 值, 同时有利于去除毛坯的氧化皮与模膛的充满, 多用于上下模对称的大型锻件, 应用较广。

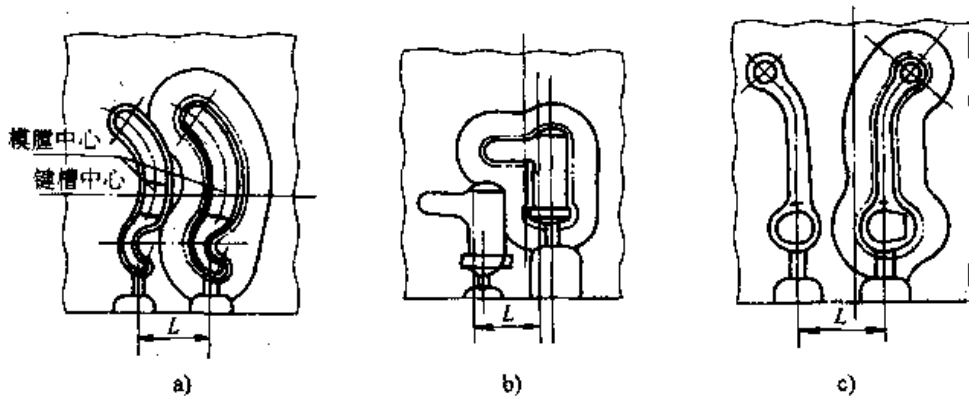


图 24.2-77 终锻与预锻模膛的布置型式

a) 正常排列 b) 前后错开排列 c) 反向排列

4) 带平衡锁扣的模膛中心位置的确定 具有落差的锻件, 其锻模模膛一般都采用平衡锁扣。为了减少错差量与锁扣的磨损, 模膛中心并不与键槽中心相重合, 而是沿着锁扣方向向前或向后偏离 s 值, 可采用下列两种情况。

① 平衡锁扣凸出部分在上模, 如图 24.2-78a 所示。模膛中心应向平衡锁扣相反方向离开锻模中心, 其距离 s_1 为

$$s_1 = (0.2 \sim 0.4)h$$

② 平衡锁扣凸出部分在下模, 如图 24.2-78b

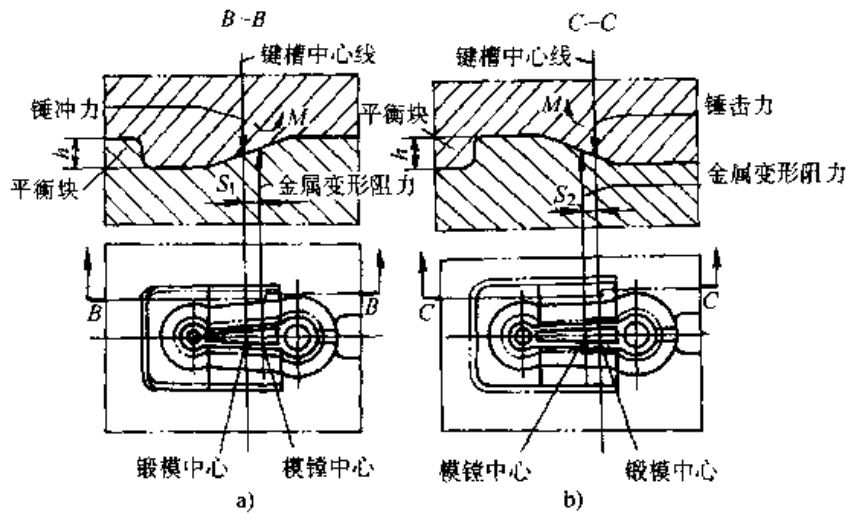


图 24.2-78 模膛布置
a) 型式 II b) 型式 III

所示。模膛中心应向平衡锁扣方向离开锻模中心，其距离 s_2 为

$$s_2 = (0.2 \sim 0.4)h$$

5) 终、预锻模膛前后方向的几种排列法

① 如图 24.2-79a 所示排列法：锻件大头靠近钳口，这样布排模膛，使锻件重量大的、难出模的一端接近操作者，使操作方便，省力。

② 如图 24.2-79b 所示排列法：大头难充满部分放在钳口的对面，这对金属充满模膛有利。

③ 当减小或取消夹钳头时，杆部应靠近钳口，如图 24.2-79b 所示。这种布排法可利用锻件杆部作为夹钳料，从而省去夹钳料头。

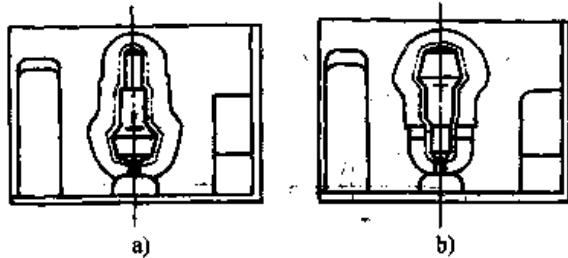


图 24.2-79 终锻模膛排列
a) 型式 I b) 型式 II

(2) 制坯模膛布排的要求

1) 制坯模膛尽可能按工艺顺序排列，操作时一般只允许改变一次方向，以缩短操作时间。

2) 模膛的排列应与加热炉，切边压力机的位置相适应。

3) 氧化皮最多的模膛是锻模中头道制坯模膛，如拔长模膛、滚压模膛，应位于吹风管的对

面，以防止氧化皮被吹落到终、预锻模膛内。

4) 弯曲模膛的位置应使锻件能以最简便的方式移动或翻转送入终锻或预锻模膛内，如图 24.2-80a 所示，不应采用图 24.2-80b 的型式。大型锻件更应考虑工人操作方便问题。

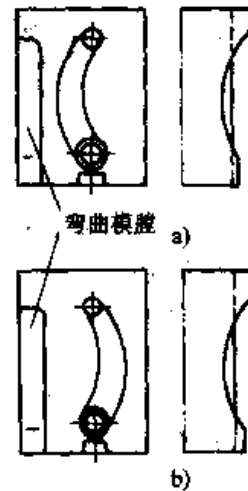


图 24.2-80 弯曲模膛的位置

5) 拔长模膛位置如在锻模右边，应取用直式，如在左边，应采取斜式为宜，以方便工人操作。

6) 切刀位置，前切刀一般位于锻模的右前角，后切刀一般位于锻模的左后角，便于操作。

(3) 模膛的布置

模膛布置的主要方案如图 24.2-81 所示，可作设计时参考。

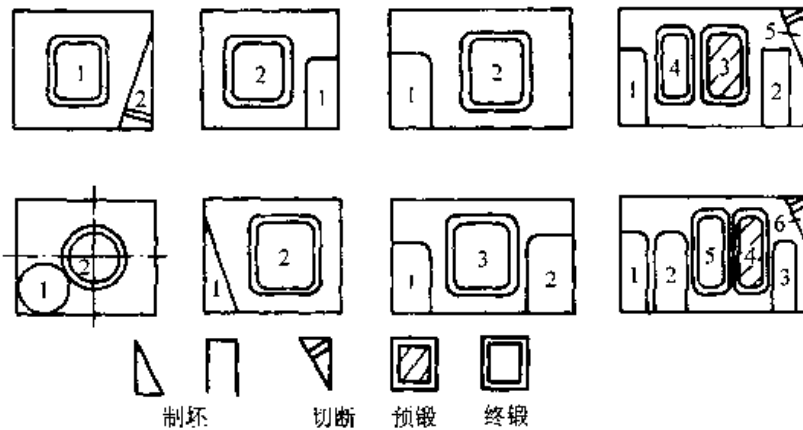


图 24.2-81 模膛布置方案
1~6 为操作顺序

3.2 钳口设计

(1) 钳口作用与型式

1) 钳口作用 终锻和预锻模膛都必须设有钳口，它位于模膛前方，钳口可分夹钳口与钳口颈两部分，它的用途为：

① 夹钳口在模锻时是作为放置棒料及夹钳用的（图 24.2-82）；

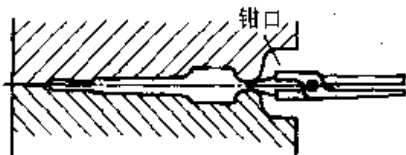


图 24.2-82 钳口

② 钳口颈是用于加强夹钳料头与锻件之间的连接，便于锻件起模；

③ 齿轮类锻件在模锻时无夹钳料头，则钳口作为锻件起模之用；

④ 在锻模制造时，钳口作为浇铸模膛检验件（金属盐或铅）的浇口之用。

2) 钳口型式 常用的钳口型式如图 24.2-83 所示，而图 24.2-84 所示的用于齿轮类锻件；图 24.2-85 所示用于重量较大的锻件；图 24.2-86 为终锻、预锻两模膛共用钳口。

(2) 钳口尺寸的确定

1) 夹钳口尺寸的确定（图 24.2-83） 夹钳口尺寸主要依据夹钳料头的直径而定。应保证夹钳料子能被自由地操作。在调头锻造时应能放下锻件相邻端部。

① 夹钳口宽度 B ，高度 h 与圆角 R_0 可按表

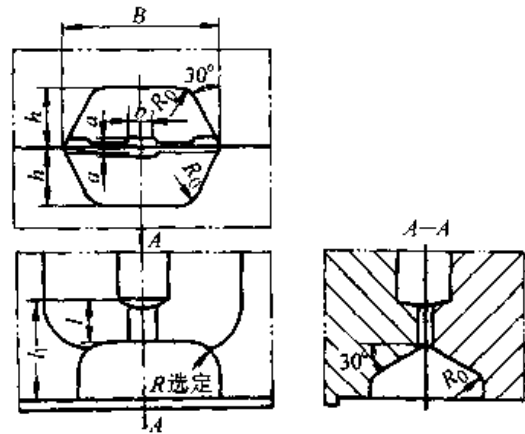


图 24.2-83 常用的钳口型式

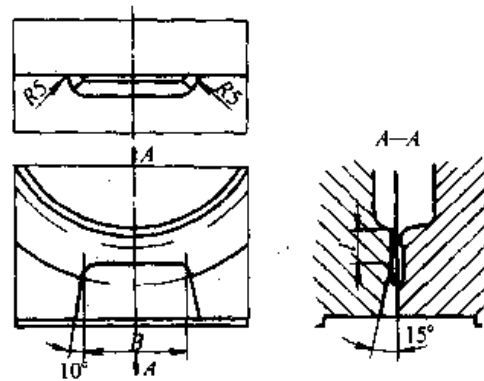


图 24.2-84 饼类件钳口

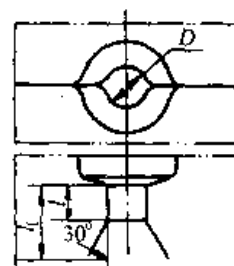


图 24.2-85 圆形钳口

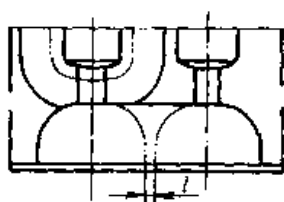


图 24.2-86 公用钳口

24.2-37 查用。

② 夹钳口长度 l_1 可按模膛布排而定。

表 24.2-37 钳口尺寸 (mm)

料头直径 d	B	h	R_0	料头直径 d	B	h	R_0
<18	50	20	10	65~70	120	55	15
18~28	60	25	10	70~80	130	60	15
28~35	70	30	10	80~90	140	65	20
35~40	80	35	15	90~95	150	70	20
40~50	90	40	15	95~105	160	75	20
50~55	100	45	15	105~115	170	80	20
55~65	110	50	15				

表 24.2-38 钳口颈尺寸

G/kg	<0.2	0.2~2	2~3.5	3.5~5	5~6.5	6.5~8	8~10
b/mm	6	8	8	10	10	12	14
a/mm	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4

② 钳口颈长度 l

$$l \geq 0.5s_0$$

式中 s_0 —— 模壁最小厚度 (mm)。

3) 当锻件重量 G 大于 10 kg 时, 钳口可作成圆形, 如图 24.2-85 所示, 其尺寸可按下式确定。

$$D = 0.2G + 10 \text{ mm}$$

4) 特殊钳口 这是专为锻件起模用的, 形状如图 24.2-84 所示, 尺寸按表 24.2-39 选用。

5) 公用钳口 当终锻、预锻两个模膛钳口之间的壁厚 $l < 15 \text{ mm}$ 时, 则应作成是一个整体钳口, 如图 24.2-86 所示。

表 24.2-39 钳口宽度 B

设备吨位/t	<2	2~3	3~5	5~10
钳口宽度 B/mm	60	80	100	120

3.3 锁扣设计

(1) 锁扣的作用

1) 平衡错移力 锁扣的主要作用是平衡错

③ 不用夹钳料头时, 则钳口仅作浇铸工件用, 夹钳口宽度 $B = G + 30 \text{ mm}$ 。

④ 表 24.2-37 中 d 为毛坯直径或经拔长后的料头直径, 如为调头模锻的锻件, 则为两锻件中间联接部分。

2) 钳口颈尺寸的确定 图 24.2-83 钳口颈尺寸根据锻件重量确定。

① 钳口颈高度 a , 宽度 b 当锻件重量 $G \leq 10 \text{ kg}$ 时, a 、 b 可按表 24.2-38 选取。

移力, 在锤击时上下模之间经常产生水平错移力, 如锻造带落差的锻件时, 由于分模面不在同一平面上, 将产生错移力; 由于模膛中心对锻模中心有偏移, 将产生偏移力矩; 由于锤头与下砧座水平面间不平行将产生错移力; 又如毛坯放入终锻模膛偏向一边较大时, 也会产生错移力。在锻造时由于这些错移力与错移力矩造成上下模之间相对错移, 从而使锻件产生错差。因此在锻模上采用锁扣, 可以平衡错移力, 消除锻模错移, 减少锻件错差。

2) 起导向作用 在设备精度低的情况下, 如锤头与导轨间隙过大或因设备陈旧无法达到工艺要求的间隙等, 锻模锁扣将起导向作用以补充设备精度不足。

3) 便于上下模块的调整, 提高生产率。

采用锁扣后也带来一些缺点, 主要是:

- ① 减少锻模承击面, 增大模块尺寸;
- ② 减少模具翻新次数, 降低模具钢的利用率;
- ③ 增加锻模制造费用。

锁扣有两种: 一种是平衡锁扣, 用于具有落

差的锻件上，以平衡模锻时产生的错移力；一种是一般锁扣，用于提高锻件质量，减小锻件错移量，便于上下模块的调整和提高生产率。

在下述情况下应设计一般锁扣：

- ① 要求锻件错差小于 0.5 mm；
- ② 锻件外形易产生错差的：如细长的轴类锻件和一模多件的锻件；
- ③ 锻件外形不易检查其误差者；

- ④ 冷切边的锻件；
- ⑤ 锻件形状较复杂不易调整的，如叉形锻件，工字形截面的锻件及齿轮类锻件；
- ⑥ 锤头导轨间隙过大者。

(2) 锁扣的型式 (见表 24.2-40)

(3) 锁扣的设计

1) 平衡块式锁扣的设计，见表 24.2-40 及表 24.2-41。

表 24.2-40 锁扣的分类

型式	特 点	与 图 例
对称式	此式用于具有对称性的锻件，锻件的错移力由锻件本身平衡，故不需设计平衡块。对于有落差的小型锻件，可将两个模腔相对布排以抵消错移力	
平衡锁扣	将锻件倾斜一个角度，并使两端点 A 与 B 位于同一水平面上。此时将使模锻斜度一部分增大而增大余量，另一部分减小而影响锻件出模。为了不使模锻斜度小于 3° 和不显著加大余量，此式锁扣都在倾斜角 γ 小于 7° 和锻件落差小于 15 mm 时应用	
平衡块式	采用平衡块以抵消错移力，当锻件的落差高度 h 在 15~60 mm 范围内采用	
混合式	此式为倾斜式和平衡块式二者的综合式。锻件的落差高度 H 大于 50 mm 时，将锻件倾斜以减小锁扣的平衡块的高度 h，其倾斜度 γ 应小于 7°	

续表 24.2-40

型式	特 点	与 图 例
圆形锁扣	饼类锻件多采用圆形锁扣，以便控制锻件的错移力	
纵向锁扣	杆类锻件普遍采用纵向锁扣，以保证此锻件在宽度方向有较小的错移，在一模多件的模锻中也常采用	
侧面锁扣	为防止上模与下模相对转动或向纵横任一方向错移时采用侧面锁扣，因其制造困难采用较少	
角锁扣	角锁扣的作用和侧面锁扣相似，但可在模块的空余位置设置二或四个角锁扣	

表 24.2-41 平衡锁扣设计尺寸 (mm)

项 目	公式与数据	项 目	公式与数据
锁扣高度 h	$h =$ 锻件分模面落差高度	锁扣非导向侧面间隙 Δ_1	$\Delta_1 = 3 \sim 5 \text{ mm}$
锁扣壁厚 b	$b \geq 1.5h$	锁扣沿分模面非打击面上间隙 δ_1	$\delta_1 = 1 \sim 2 \text{ mm}$ 但 $\delta_1 <$ 飞边桥部高度
锁扣斜度 α	当 $h = 15 \sim 30 \text{ mm}$ 时, $\alpha = 5^\circ$ 当 $h = 30 \sim 60 \text{ mm}$ 时, $\alpha = 3^\circ$	锁扣内圆角 R_1	$R_1 = 0.15h$
锁扣间隙 δ	$\delta = 0.2 \sim 0.4 \text{ mm}$ 但 $\delta <$ 锻件允许的错移值之半	锁扣外圆角 R_2	$R_2 = R_1 + 2 \text{ mm}$

2) 圆形锁扣设计 (见表 24.2-40 中圆形锁扣图例)

① 锁扣尺寸由表 24.2-42 中选取。

② 飞边仓部宽度 b , 应比普通的仓部宽度大 5~10 mm, 以避免飞边流入锁扣间隙。

③ 锁扣中间为凸出的部分常设计在上模, 这样容易起模, 并可避免因热膨胀而使上下模在模锻时卡住。有时为了便于将锻件自下模取出等原因而将锁扣中间的凸出部分设计在下模, 此时因下模温度高于上模, 而使锁扣间隙减小, 故须取较大的间隙量。

④ 为了便于从下模取出锻件和吹出下模内的氧化皮, 可在下模后部开通一条槽, 其宽度为

50~80 mm, 深度等于锁扣高度。

⑤ 当模块的宽度尺寸较小时, 可采用不完全的圆形锁扣。

3) 纵向锁扣尺寸设计参考表 24.2-40 图例及表 24.2-42。

4) 角锁扣的设计 (参考表 24.2-40 中图例, 其尺寸参考表 24.2-43 选定)。

5) 侧面锁扣设计

$$l_1 = \frac{L}{2}$$

式中 L —— 为锻模长度, 其他尺寸可参考表 24.2-43。

表 24.2-42 圆形锁口及纵向锁扣设计尺寸 (mm)

锁扣尺寸 锻锤吨位/t	n	b	δ	Δ	$\alpha / (^\circ)$	R_1	R_2
1	25	35	0.2~0.4	1~2	5	3	5
2	30	40	0.2~0.4	1~2	5	3	5
3	35	45	0.2~0.4	1~2	3	3	5
5	40	50	0.2~0.4	1~2	3	5	8
10	50	60	0.2~0.4	1~2	3	5	8
16	60	75	0.2~0.4	1~2	3	5	8

表 24.2-43 角锁扣及侧面锁扣设计尺寸 (mm)

锁扣尺寸 锻锤吨位/t	h	b	l	δ	Δ	$\alpha / (^\circ)$	R_1	R_2	R_3	R_4
1~1.5	30	50	75	0.2	1	5	3	5	8	10
2	35	60	90	0.2	1	3	3	5	9	12
3	40	70	100	0.3	1	3	3	5	10	15

续表 24.2-43

锻锤吨位/t	锁扣尺寸	h	b	l	δ	Δ	$\alpha / (^\circ)$	R_1	R_2	R_3	R_4
5		45	75	110	0.4	1	3	5	8	12	15
10		55	90	150	0.5	1.5	3	5	8	15	20
16		70	120	180	0.6	1.5	3	6	10	20	25

3.4 模膛壁厚的确定

(1) 终锻与预锻模膛的最小壁厚

1) 模膛的最小外壁厚度 S_0 (图 24.2-87), 按下式确定

$$S_0 = Kh$$

式中 K ——系数, 其值按表 24.2-44 确定, 该表中的数据适用于 $\alpha \geq 7^\circ, R \geq$

3 mm 的情况。如 α, R 值小于上述范围, 则 K 值应适当增大。

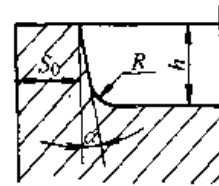
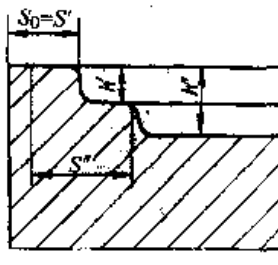


图 24.2-87 模膛壁厚

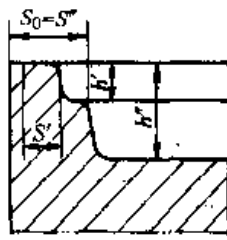
表 24.2-44 K 值

模膛深度 h /mm	<20	20~30	30~40	40~55	55~70	70~90	90~120
系数 K	2	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0

当模膛靠外壁处有不同深度 h', h'' 时, 则应分别计算出最小壁厚 S_0 , 如图 24.2-88 所示。



a)



b)

图 24.2-88 模膛最小壁厚

a) 模膛较浅 b) 模膛较深

2) 模膛间距 S_1 (如图 24.2-89) 按下式计算

$$S_1 = K_1 h$$

式中 K_1 ——系数, 其值按表 24.2-45 确定, 该表中的数据适用于 $\alpha \geq 7^\circ, R \geq$

3 mm 的情况, 如果图 24.2-89 中的 α, R 值小于上述范围, 则 K_1 值应适当增大。 S_1 值应根据相邻模膛中模膛深度 h 较浅的来确定。

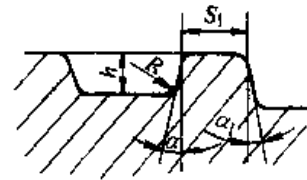


图 24.2-89 模膛间壁厚

表 24.2-45 K_1 值

模膛深度 h /mm	<30	30~40	40~70	70~100	100~150
系数 K_1	1.5	1.3	1.1	1.0	0.8

3) 一模多件锻造时, 相邻两终(预)锻模膛间最小壁厚 S_2 (图 24.2-90), 按下式确定:

$$S_2 = (0.5 \sim 1) h$$

(2) 制坯模膛的最小壁厚

制坯模膛之间的最小壁厚, 一般取 $S_3 = 10 \sim 15$ mm。滚压等模膛的最小外壁厚, 一般取 $S_4 = 5 \sim 10$ mm。如图 24.2-91 所示。

壁厚大小也可按图 24.2-92 选取:

1) t_1 线用于 $R < 0.5h, \alpha_1 < 20^\circ$ 时的外壁

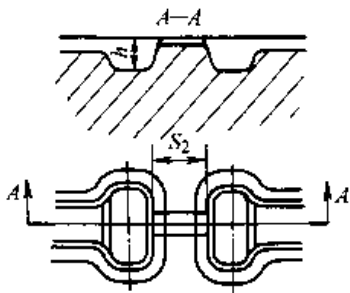


图 24.2-90 一模多件模膛间壁厚

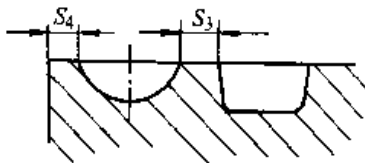


图 24.2-91 制坯模膛最小壁厚

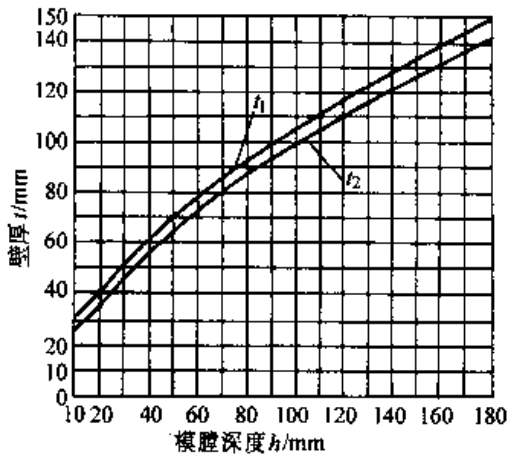


图 24.2-92 确定锤锻模壁厚曲线

厚。当 $R = (0.5 \sim 1.0) h$ 或 $\alpha_1 \geq 20^\circ$ 时，外壁

厚可适当减小。

多件模锻时模膛间壁厚 $t = 0.5t_2$ 。

模膛到钳口间的壁厚 $t = 0.7t_2$ 。

2) t_2 线用于：

① $R \geq h$ 时的外壁厚；

② $R < 0.5h$ ， $\alpha_1 < 20^\circ$ 时的模膛壁厚。

当 $R \geq h$ ，模膛间壁厚 $t = (0.8 \sim 0.9) t_2$ 。

3.5 模块尺寸的确定

模块尺寸确定的原则是根据锻模中模膛的数量与尺寸进行布排，考虑最小壁厚等因素，得出所必需的模块最小轮廓尺寸，然后选取模块标准中相近的较大值。

在计算确定模块最小轮廓尺寸时还应考虑下列问题：

1) 承击面积 承击面积是上下模接触部分的面积（见图 24.2-93），允许的最小承击面积与锻锤吨位有关，由表 24.2-46 确定。

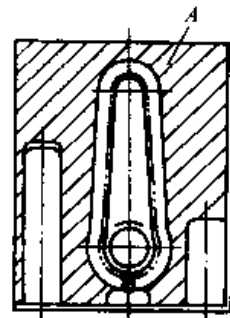


图 24.2-93 承击面

表 24.2-46 允许的最小承击面积

(mm²)

锻锤吨位/t	1	2	3	5	10	16
承击面积(≥)	25 000~30 000	45 000~50 000	65 000~70 000	90 000	160 000	250 000

2) 锻模中心与模块中心的偏移量 s 应在 $c/d \leq 1.4$ 的范围内（见图 24.2-94）。

3) 模块长度 模块长度超出锤头外时，其超出长度应限制为 $f < \frac{H}{3}$ （见图 24.2-95）。

4) 锻模宽度 锻模的最大宽度 B_{max} 一般应保证边缘至锻锤导轨的间隙不小于 20 mm，若模块面积较大不能满足时，则模块侧面应加工刨平，并保证间隙不小于 10 mm。锻模最小宽度 B_{min} 必须大于燕尾宽度 B_0 ， $B_{min} = b_3 + b_4$ （见图 24.2-96）。

$$b_3 = \frac{B_0}{2} + b + 20 \text{ mm}$$

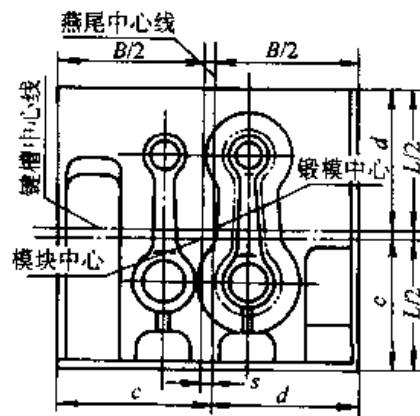


图 24.2-94 模块中心

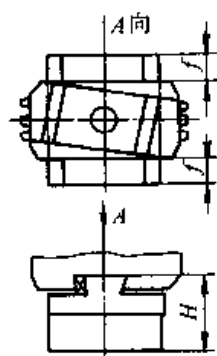


图 24.2-95 锻模长度

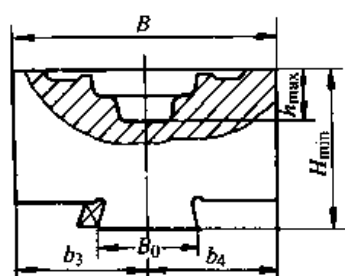


图 24.2-96 锻模宽度

$$b_4 = \frac{B_0}{2} + 20 \text{ mm}$$

5) 锻模高度 锻模高度按模膛最大深度确定(见图 24.2-96、图 24.2-97、表 24.2-47),且要保证上下模块的最小闭合高度大于锻锤允许的最小闭合高度 H_{\min} (见图 24.2-98)。模块高度过大,会使锻锤打击能量不足,故模块最大高度需限制。按锻锤吨位由表 24.2-48 可确定模块最小、最大高度。

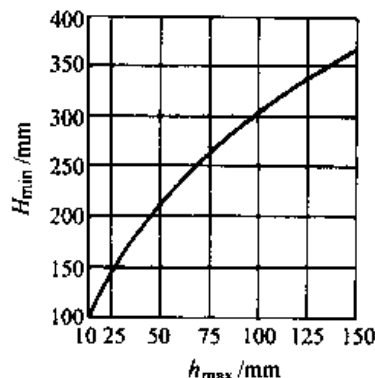


图 24.2-97 模膛最大深度与锻模最小高度的线图

表 24.2-47 模块最小高度 (mm)

终锻模膛最大深度 h_{\max}	< 32	32~40	40~50	50~60	60~80	80~100	100~120	120~160	160~200
模块最小高度 H_{\min}	170	190	210	230	260	290	320	390	450

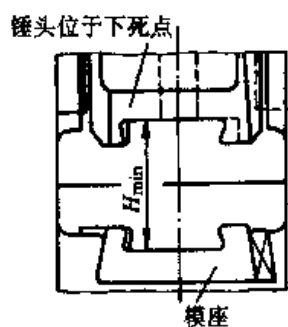


图 24.2-98 锻锤最小闭合高度

6) 上模最大重量 上模最大重量不得超过锻锤吨位的 35%, 具体数值可查表 24.2-48。

7) 模块纤维方向 纤维方向应与打击方向垂直。对于长轴类锻件, 纤维方向应与锻件轴线一致; 对于圆饼类锻件, 纤维方向应与键槽中心线一致(见图 24.2-99)。

8) 检验角

① 检验角的作用 检验角在锻模设计与制造时, 是各模膛和燕尾尺寸的基准面; 在生产中是模具调整的依据。检验角的二个平面互相垂直, 一般是做在模块前面与左面或右面, 应根据模膛布排的情况而定。以模块铣开部分较少的一面为宜。

表 24.2-48 模块高度、重量

锻锤吨位/t	1	2	3	5	10
最小高度 H_{\min} /mm	170	220	260	290	330
最大高度 H_{\max} /mm	240	300	330	370	420
上模最大重量 m_{\max} /kg	350	700	1 050	1 750	3 500

注: 数据可参见安模空间标准尺寸, H_{\max} 可根据具体情况适当增大。

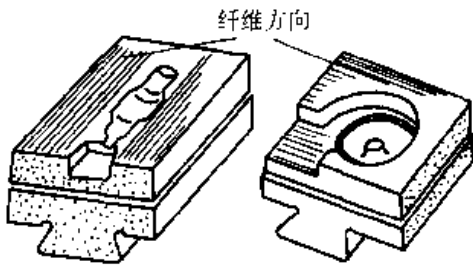


图 24.2-99 锻模纤维方向

② 检验角的尺寸 (见图 24.2-100)

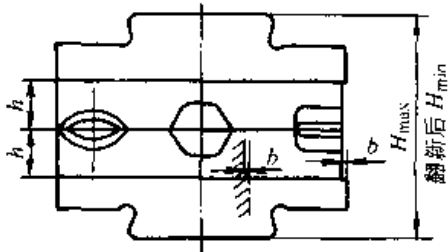


图 24.2-100 模块高度与检验角

- a) 宽度 b $b = 5 \text{ mm}$
- b) 高度 h h 可按设备吨位选取, 设备吨位 $t < 2 \text{ t}$, h 取 50 mm ; $t = 2 \sim 5 \text{ t}$, h 取 75 mm ; $t > 5 \text{ t}$ 时, h 取 100 mm 。

9) 模块规格 设计时可参考 GB/T 11880—1989 (见表 24.2-64、图 24.2-101)。模块长度尺寸 L 由用户自行规定。

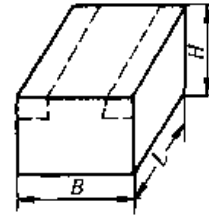


图 24.2-101 模块尺寸图

10) 锤锻模用钢及其热处理硬度见表 24.2-49。

表 24.2-49 锤锻模用钢及其硬度

锻模种类	锻模或零件名称及设备吨位	锻模钢牌号		锻模硬度			
		主要材料	代用材料	型槽表面		燕尾部分	
				HBS	HRC	HBS	HRC
锻钢锻模	小型锻模 (<1 t)	5CrNiMo	5W2CrSiV 3W4Cr2V	387~444 ^①	42~47 ^①	321~364	35~39
	364~415 ^②			39~44 ^②			
	中小型锻模 (1~2 t)	5CrMnSiMoV	5CrMnMo	364~415 ^①	39~44 ^①	302~340	32~37
	340~387 ^②			37~42 ^②			
	中型锻模 (3~5 t)			321~364	35~39		
大型锻模 (>5 t)	302~340	32~37	269~321	28~35			
校正模			390~460	42~47	302~340	32~37	
镶块锻模	模体	ZG50Cr	ZG40Cr	硬度要求与锻钢锻模相同			
	镶块	5CrNiMo 5CrMnSiMoV 3Cr2W8V	5CrMnMo 5CrMnSi				
铸钢堆焊锻模	模体	ZG45Mn2	—	硬度要求与锻钢锻模相同			
	堆焊材料	5CrNiMo 5Cr2MnMo	—				

- ① 用于型槽浅而形状简单的锻模。
- ② 用于型槽深形状复杂的锻模。

3.6 镶块锻模

生产批量不大时,可采用镶块锻模(见图 24.2-102),镶块有圆形(图 24.2-103)和矩形(见图

24.2-104)两种。镶块尺寸由表 24.2-50 确定。

镶块常用楔铁或热套方法紧固在模块上,但此两种紧固方法都不够可靠,因此在大批量生产的情况下,仍用整体模为宜。

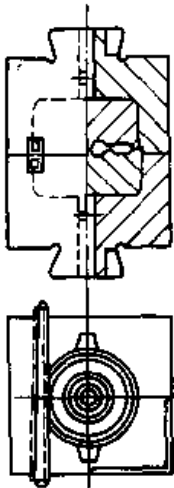


图 24.2-102 镶块锻模

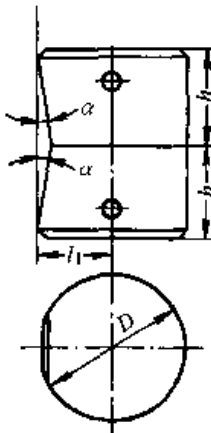


图 24.2-103 圆形镶块

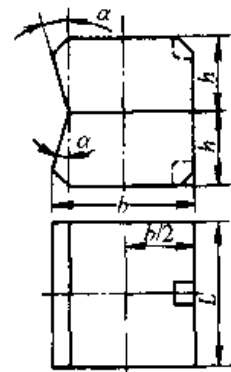


图 24.2-104 矩形镶块

表 24.2-50 镶块尺寸

项 目	公式和数据	说 明
镶块外径 D	$D \geq D_d + (1.5 \sim 2) t_0$	t_0 —模块最小外壁厚度
镶块宽度 b	$b \geq B_d + (1.5 \sim 2) t_0$	B_d —锻件最大宽度
镶块长度 L	$L \geq L_d + (1.5 \sim 2) t_0$	D_d —锻件外径
镶块高度 h	$h \geq H_m + (1.5 \sim 2) t_0$	L_d —锻件最大长度
镶块斜度 α	$\alpha = 5^\circ \sim 8^\circ$	H_m —模膛最大深度

3.7 装模空间和锻模紧固

(1) 安模空间、燕尾与键槽

锻锤的安模空间见图 24.2-105，安模空间尺寸见表 24.2-51。

锻模结构见图 24.2-106，燕尾与键槽的尺寸见表 24.2-52。

锻模两侧要刨去 5 mm，刨削高度上下模均为 50~100 mm (图 24.2-106 中的 h_1)，两个刨削面相互垂直构成检验角，检验角的两个侧面为模具加工画线时的基准面，因此也作为安装调整时上下模对模基准。检验角设在锻模的左前角或右前角，视模膛布置情况而定。

(2) 楔块、键块和垫片

紧固锻模用的上下锤楔尺寸 (图 24.2-107 与表 24.2-53)，键块尺寸 (图 24.2-108 与表 24.2-54) 和垫片尺寸 (图 24.2-109 与表 24.2-55)。当锻模经多次修理后，使上、下模总高度低于允许的最小高度 H_{\min} 时，可增设中间模座，以增高锻模的总高度。将中间模座紧固于锤头与上模之间的优点是上锤楔比下锤楔不易松动，但增加了上模的重量，故应在上模和中间模座的重量之和不超过锻锤公称吨位的 35% 时应用。中

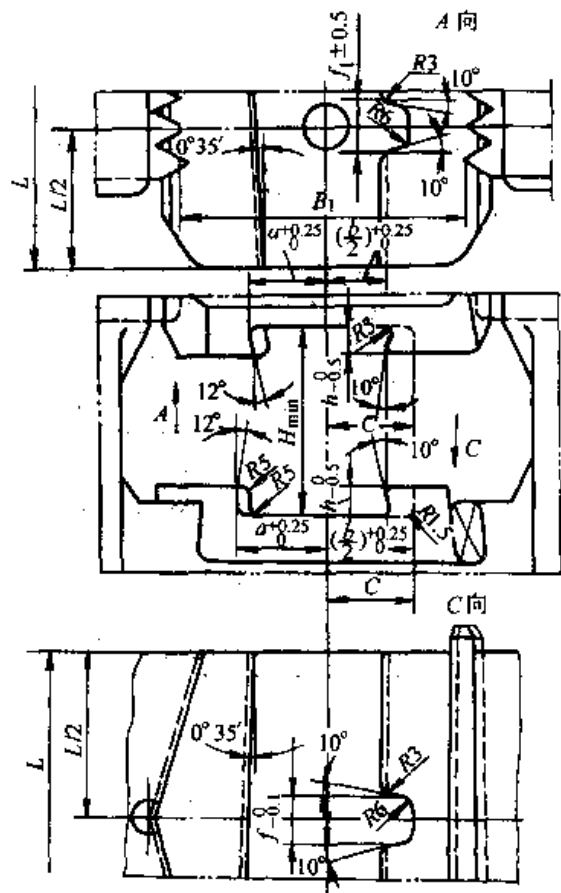


图 24.2-105 安模空间尺寸

表 24.2-51 蒸汽模锻锤安装空间尺寸 (mm)

锻锤吨位 /t	G_{max}	H_{min}	H_{max}	B_1	l	L	$(\frac{b}{2})^{+0.25}_0$	$a^{+0.25}_0$	$h_{-0.5}$	$f_1 \pm 0.5$	$f \frac{0}{0.1}$	C
0.5	175	270	1 000	400	350	600	80	115	45	76	72	121
1	350	320	1 200	500	450	700	100	140	50	84	80	143
1.5	525	360	1 200	550	600	800	100	140	50	84	80	143
2	700	400	1 250	600	700	900	100	140	50	84	80	143
3	1 050	480	1 250	700	800	1 000	150	200	65	116	110	204
5	1 750	530	1 250	700	1 000	1 200	150	200	65	116	110	204
10	3 500	610	1 300	1 000	1 200	1 400	200	260	80	140	132	264
16	5 250	660	1 400	1 200	1 500	1 600	200	260	80	140	132	264

注：1. G_{max} —上模最大重量，超过表列重量不推荐。
 2. H_{max} —在上下模总高度为 H_{min} 时的最大锤头行程。

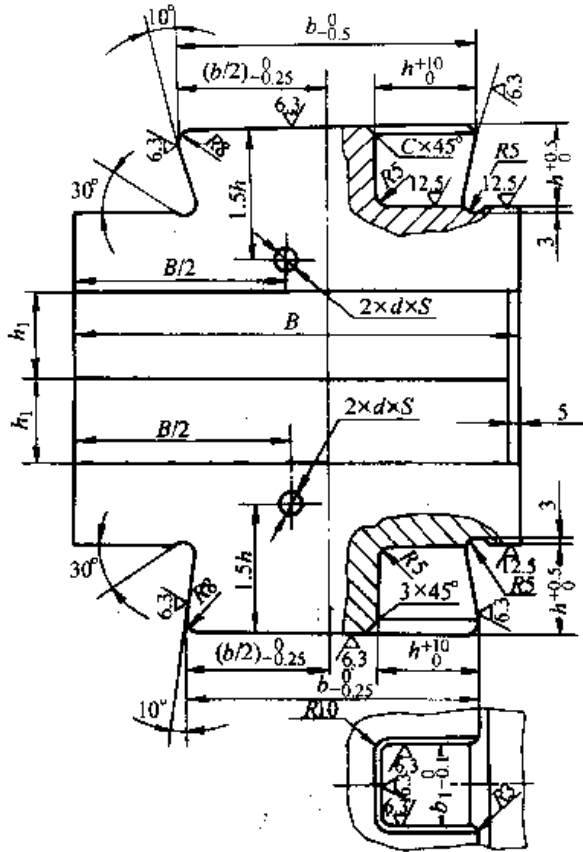


图 24.2-106 锻模结构

表 24.2-52 锤锻模燕尾尺寸 (mm)

锻锤吨位 /t	b	h	b_1		
			1 [Ⓢ]	2 [Ⓢ]	3 [Ⓢ]
0.5	160	45.5	45	48	51
1	200	50.5	50	53	56
2	200 ^②	50.5	50	53	56

续表 24.2-52

锻锤吨位 /t	b	h	b_1		
			1 [Ⓢ]	2 [Ⓢ]	3 [Ⓢ]
3~5	300	65.5	75	78	81
10~16	400	80.5	100	103	106

- ① 在初制槽或补焊后再加以铣制时，宽度 b_1 采取第一栏的数字；在用铣制法修复时，应视磨损情况而采用第二栏或第三栏的数字。
- ② 2t 锤燕尾宽度有些厂采用 260 mm，以增大锻模承受偏载的能力。

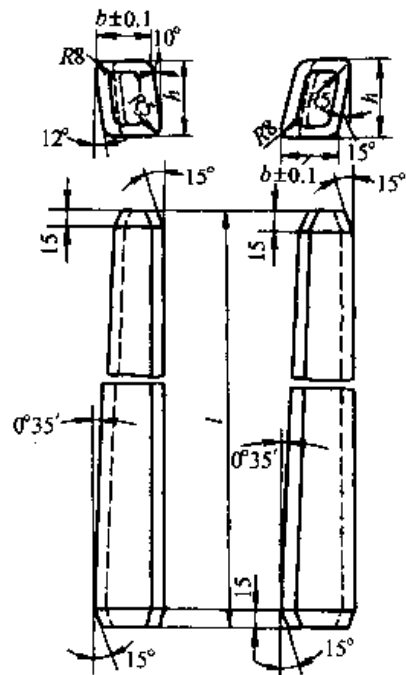


图 24.2-107 上模楔铁(左)和下模楔铁(右)

表 24.2-53 楔铁尺寸规格 (mm)

锻锤吨位/t	h	上楔铁		下楔铁	
		b	l	b	l
0.5	45	35.8	480	35.7	700
1	50	40.8	580	40.7	800
1.5	50	40.8	730	40.7	900
2	50	40.8	830	40.7	1 000
3	65	50.8	930	50.7	1 100
5	65	50.8	1 130	50.7	1 300
10	80	60.8	1 330	60.7	1 500
16	80	60.8	1 630	60.7	1 700

注：材料 45 号钢，中间部分硬度为 207~255 HBS；两端硬度为 241~285 HBS。

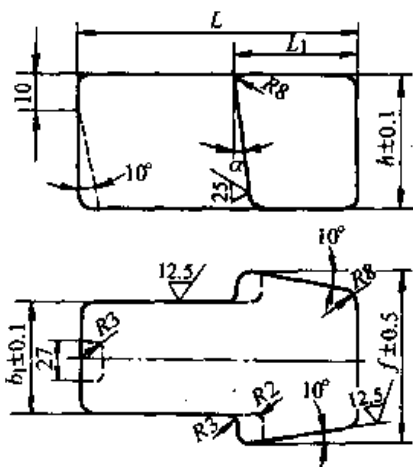


图 24.2-108 定位键

表 24.2-54 定位键尺寸 (mm)

锻锤吨位/t	f	h	L	L ₁	b ₁		
					1	2	3
0.5	72	45	90	46	44.9	47.9	50.9
1~2	80	50	97	48	49.9	52.9	55.9
3~5	110	65	123	62.5	74.9	77.9	80.9
10~16	132	80	148	75	99.9	102.9	105.9

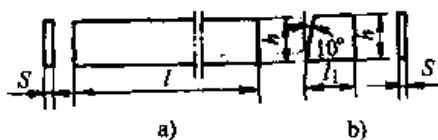


图 24.2-109 垫片

a) 配锤模用 b) 配键块用

表 24.2-55 垫片尺寸 (mm)

锻锤吨位/t	h	l	l ₁
0.5	45	300~400	41
1~2	50	400~750	43

续表 24.2-55

锻锤吨位/t	h	l	l ₁
3~5	65	550~1 150	54
10~16	80	750~1 550	64

注：1. 垫片厚度 S=0.5、0.75、1、2、3、5 mm。
2. 材料：35、40。

间模座也可紧固在下模座与下模之间。中间模座一般仅应用一个，不要上、下都用。中间模座的尺寸设计参考图 24.2-110，其模块尺寸参考表 24.2-56，其燕尾部分尺寸见表 24.2-52。

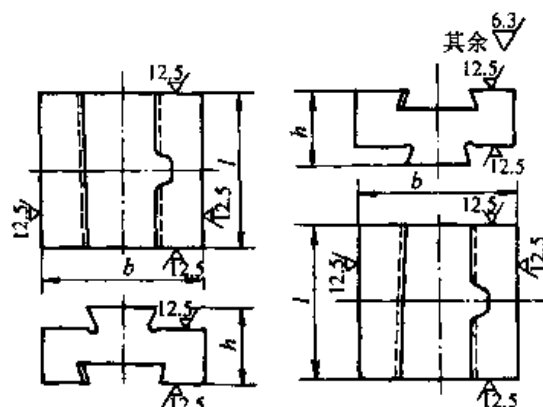


图 24.2-110 中间模座

表 24.2-56 中间模座尺寸 (mm)

锻锤吨位/t	b	l	h
0.5	370	290	210
1~2	430	480	225
3	590	690	270

注：材料 40Cr，硬度 321~363 HBS。

(3) 起重孔的设计 (图 24.2-106)

起重孔的直径 d 与深度 S 由表 24.2-57 选定。

表 24.2-57 锻模起重孔尺寸

锻锤吨位/t	(mm)	
	d	S
0.5~5	30	60
10~16	50	100

起重孔位置应按模块中心线制造，偏差不得大于 10 mm，锻模重量超过 800 kg 时，应在锻模两侧面上各增加两个起重孔。

(4) 锻模主要尺寸公差与表面粗糙度

1) 模膛尺寸公差 锻模模膛尺寸公差，可按工厂规定的技术条件执行。设计时一般在锻模

图样中都不注出。表 24.2-58 中模膛深度公差，是指上下模分别测量的公差。

表 24.2-58 锻模模膛尺寸极限偏差 (mm)

公差 尺寸	终 锻 模 膛			预 锻 模 膛			制 坯 模 膛		
	深 度	宽 度 (直径)	长 度	深 度	宽 度 (直径)	长 度	深 度	宽 度 (直径)	长 度
≤20	+0.2 0.1	+0.3 0.1	—	+0.3 -0.2	+0.5 -0.2	—	±0.5	+2.0 -1.0	—
21~50	+0.25 -0.15	+0.4 0.2	+0.4 0.2	+0.4 -0.2	+0.6 -0.3	+0.6 -0.3	±0.6	+3.0 -1.5	+1.0
51~80	+0.3 -0.2	+0.5 -0.3	+0.5 -0.2	+0.5 -0.3	+0.7 -0.4	+0.7 -0.4	±0.8	+3.0 -1.5	±1.2
81~160	+0.4 -0.3	+0.6 -0.3	+0.5 -0.3	+0.6 -0.3	+0.8 -0.4	+0.8 -0.4	±1.0	+4.0 -2.0	±1.5
181~260	—	+0.6 -0.4	+0.6 -0.3	—	+1.0 -0.5	+1.0 -0.5	—	+5.0 -2.0	±1.8
261~360	—	+0.7 -0.5	+0.7 -0.3	—	+1.0 -0.5	+1.0 -0.5	—	—	±2.0
361~500	—	—	+0.8 -0.4	—	—	+1.2 -0.5	—	—	±2.5
>500	—	—	+0.8 -0.5	—	—	+1.2 -0.5	—	—	±3.0

2) 模膛表面粗糙度 锤锻模模膛表面粗糙度，一般在锻模图样中不注出。图 24.2-111~24.2-114 所示整体模、镶块模、模锻模膛和制坯模膛均为生产中常用的粗糙度指标，可作为设计时参考。

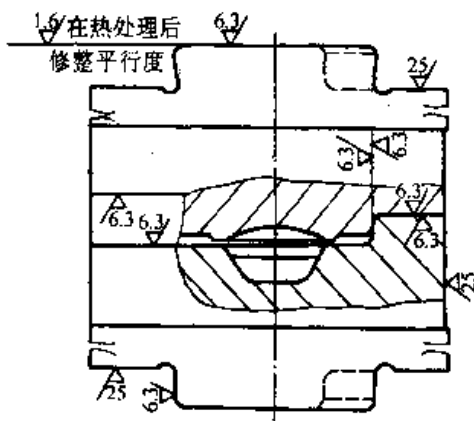


图 24.2-111 锻模

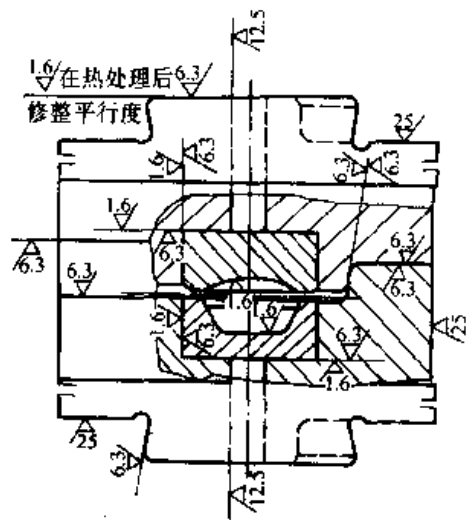


图 24.2-112 镶块模

(5) 锻模安装与紧固

依靠楔铁和键块将锻模燕尾紧固在锤头和下模座上 (见图 24.2-115)，楔铁和键块均用垫片塞紧。紧固后锻模左右前后方向均不会错动。调整模具时，改变键槽中垫片的前后位置可使锻模前后移动；移动锻锤机架可使锻模左右移动。

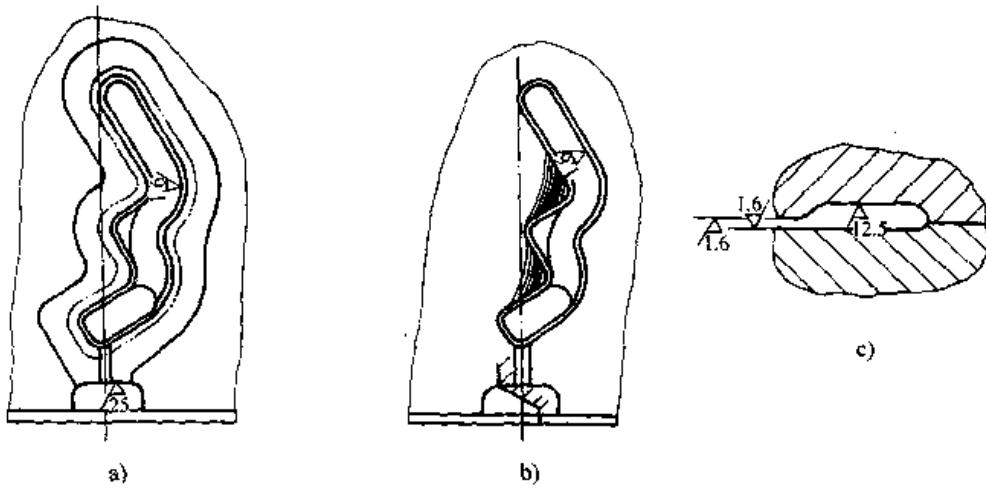


图 24.2-113 模锻模膛
a) 终锻模膛 b) 预锻模膛 c) 飞边槽

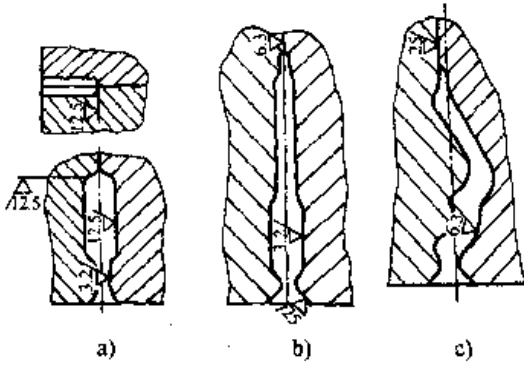


图 24.2-114 制坯模膛
a) 拔长模膛 b) 滚压模膛 c) 弯曲模膛

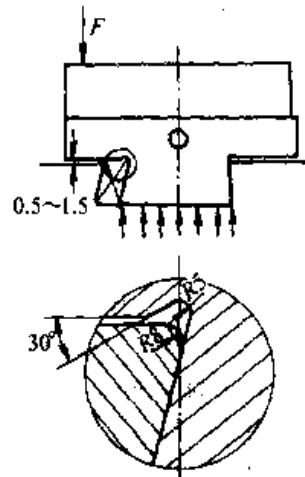


图 24.2-116 锻模燕尾配合要求

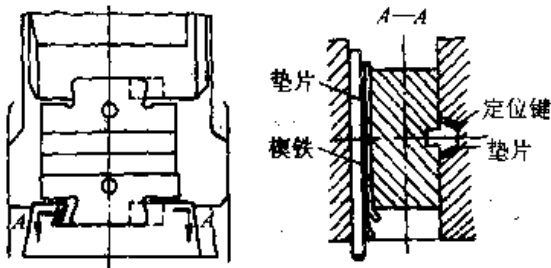


图 24.2-115 锤锻模紧固法

锻模安装时应保证燕尾顶面与锤头（或下模座）接触，并保证燕尾两边的平面与锤头（或下模座）有 0.5~1.5 mm 的间隙。燕尾过渡处应有凹进的圆角 R5，见图 24.2-116。图 24.2-117 所示情况不正确。

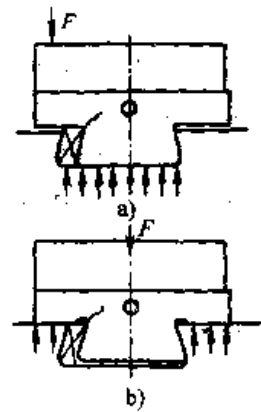


图 24.2-117 锻模燕尾紧固状况
a) 圆角太小 b) 高度不够

4 锤用闭式与半闭式锻模设计

4.1 锤用闭式锻模设计

(1) 适宜于锤上闭式模锻的条件

是否适宜于在锤类设备上进行闭式模锻取决于三个方面：即适宜的锻件类型；合理的坯料和合理地选择打击强度。

1) 适宜的锻件类型 齿轮、圆盘类和法兰突缘类锻件，其特点是锻件的外缘具有较小的高径比。模锻时以锻粗或锻粗带有冲孔的方式终锻成形。不属此种类型的圆盘类锻件是否适宜于采用闭式模锻，须具体分析确定。

2) 合理的坯料包括确定坯料的重量公差和合理地选择制坯工步。

3) 合理地选择打击强度 为了避免由于产生较大飞边而影响锻模寿命，可以有两种选择方案：一种是选择低打击强度，即选用 $Q \leq 60 \sim 80 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ ，相应的每 1 t 落下部分重量的锻件承击面积为 $\frac{1}{Q} \geq 300 \sim 400 \text{ cm}^2/\text{t}$ ，此时可采用多次锻击成形；另一种是选用高打击强度，即选用 $Q \geq 350 \sim 400 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ ，相应的 $\frac{1}{Q} \leq 60 \sim 70 \text{ cm}^2/\text{t}$ ，此时基本上靠轻击一次定位后，一次重击成形。由于重击时能量的大部分变为变形能量，剩余能量在最后阶段不足以形成飞边。闭式模锻一般要求一次打击成形，故应按第二种方法选择模锻设备。

(2) 锻件图设计的特点

锤上闭式模锻，其锻件图的设计除遵循前述基本规则外，还有如下特点：

1) 分模面的选择与出模方向 必须采取一切措施防止金属流入凸模与凹模间的间隙中，因此分模面不能选择在金属与凹模壁首先接触的部位，而应该设置在变形金属最后充满且出模不受阻碍的地方，如图 24.2-118 所示。

为了便于把锻件放正，出模方便，易于吹掉氧化皮，应把模膛封闭起来的凹模设计在上模，而凸出的部分放置在下模。

2) 模锻斜度和圆角半径 锤上闭式模锻锻件的斜度主要根据 $\frac{h}{D}$ 的比值来决定，设计时可按表 24.2-59 选用。

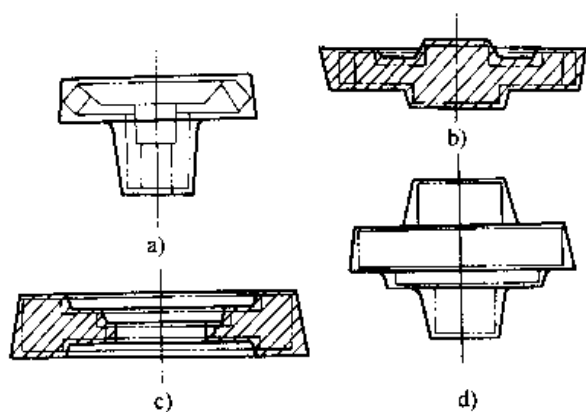


图 24.2-118 锤上闭式模锻分模面的选择

表 24.2-59 模锻锤上闭式模锻斜度

高径比 $\frac{h}{D}$	外斜度 $\alpha / (^\circ)$	内斜度 $\beta / (^\circ)$
< 1	3	5
1~2.5	5	7
$> 2.5 \sim 4.0$	7	10

当模锻件的上下部分都有凸台（图 24.2-118d）时，为了防止锻件从上模膛中落下来，可以将下模凸出部分的模锻斜度减少 $1^\circ \sim 2^\circ$ 。

锻件的圆角半径是根据该部分的深度来决定，图 24.2-119 所示锻件的各圆角半径可从表 24.2-60 中查出。

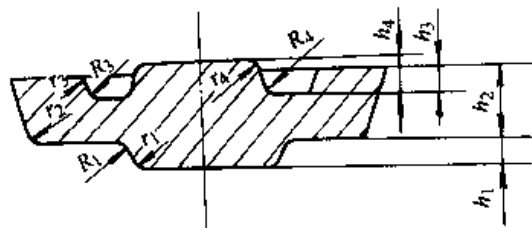


图 24.2-119 锻件的圆角半径

表 24.2-60 模锻件的圆角半径

高度或深度	圆角半径 (mm)	
	外圆角半径	内圆角半径
$h_1 \sim h_4$	$r_1 \sim r_4$	$R_1 \sim R_4$
~ 10	1.5	4
10~20	2	6
20~30	3	8
30~40	4	10
40~50	5	12
50~70	6	15
70~100	8	20
> 100	10	25

3) 冲孔连皮和凹模尺寸的确定 当孔深 h

$\leq 0.45D$ (图 24.2-120a) 时, 连皮厚度 $a \geq 0.1D$; $c = 0.78D$; $r = \frac{D^2}{8h} + \frac{h}{2}$ 。当 $0.45D < h < D$ (图 24.2-120b) 时, $a \geq 0.1D$; $r = \frac{D \cos \alpha - 2h \sin \alpha}{2(1 - \sin \alpha)}$ 。当 $D < h < 2.5D$ (图 24.2-

120c) 时, $c = L - 0.6D$; $a > 0.2D$; $R_1 = 0.2D$; $R_2 = 0.4D$ 。若需要在锻件上作出一通孔 (即锻后冲去连皮) 时, 有关连皮 (图 24.2-120d) 可以参考表 24.2-61 和表 24.2-62 选取。

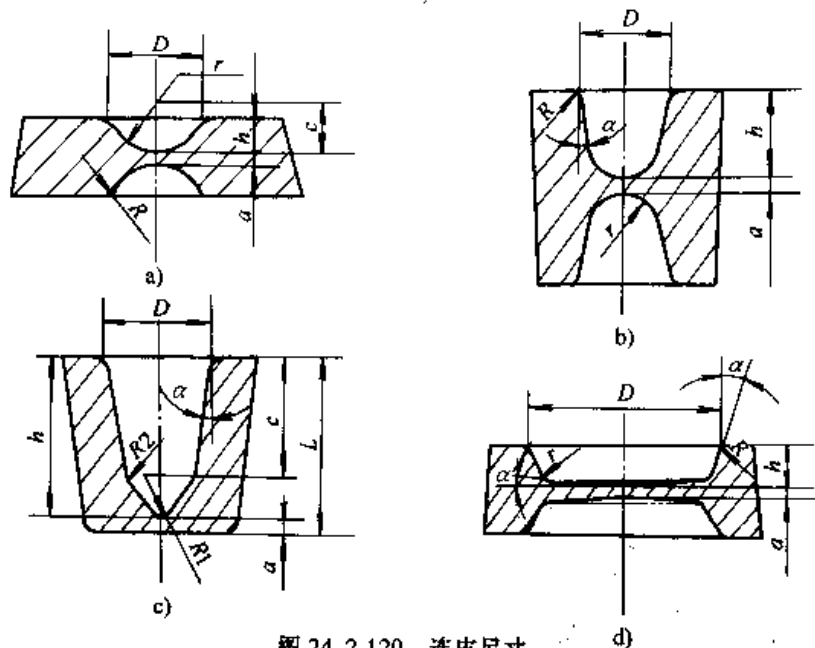


图 24.2-120 连皮尺寸

表 24.2-61 连皮尺寸 (mm)

D	<50	50~80	80~120	120~160	160~200
a	4	6	8	10	12

表 24.2-62 连皮尺寸 (mm)

D r, a	~50		50~80		80~120		120~160		160~200	
	r	$\alpha / (^{\circ})$	r	$\alpha / (^{\circ})$	r	$\alpha / (^{\circ})$	r	$\alpha / (^{\circ})$	r	$\alpha / (^{\circ})$
~15	6	—	8	1	10	1	12	1	15	1
15~30	8	—	10	—	12	2	15	1	20	1
30~50	10	—	12	2	15	2	20	2	25	2
50~80	—	—	15	—	20	3	25	2	30	2
80~120	—	—	—	—	25	3	30	3	35	3
120~160	—	—	—	—	—	—	36	3	40	3
160~200	—	—	—	—	—	—	—	—	50	3

4) 模锻件的技术条件 闭式模锻件的技术条件有很大一部分与普通开式模锻的技术条件是相同的, 例如: 冲孔对外形中心的偏心度、表面缺陷深度、长杆锻件杆部的弯曲度、下料时坯料端面的拉陷及斜面引起的缺陷、锻件的变形及热处理硬度等。此外, 还需补充两点: 模锻件表面的不平行度应在锻件厚度尺寸允许偏差范围内;

上下模接合处允许的毛刺 (小飞边) 凸出量由表 24.2-63 确定。

表 24.2-63 上、下模接合处允许的毛刺凸出量

模锻锤落下部分重量/t	锻件端面毛刺长/mm
~1	3~5
1~3	5~7
3~6	7~10
>6	10~15

(3) 模具设计

1) 模膛尺寸的确定 模膛尺寸同样按热锻件图尺寸决定, 但需作如下补充:

处于上下模之间的锻件尺寸 (图 24.2-121a) 按下式确定:

$$A_1 \text{ (或 } B_1) = (A \text{ 或 } B - \delta) \left(1 + \frac{a}{100}\right)$$

式中 A_1 (或 B_1) —— 处于上下模之间模膛的垂直尺寸;

A (或 B) —— 锻件冷态时的相应公称尺寸;

δ —— 锻件尺寸 A (或 B) 的下偏差;

a —— 收缩率。

锻模凸出部分的锻件高度尺寸 (图 24.2-

121b) 按下式计算:

$$E_1 = \left(E + \frac{\Delta}{2}\right) \left(1 + \frac{a}{100}\right)$$

式中 E_1 —— 模膛中凸出部分的高度尺寸;

E —— 锻件冷态时的相应公称尺寸;

Δ —— 尺寸 E 的上偏差。

模膛内水平尺寸 (图 24.2-121b), 可按下式计算:

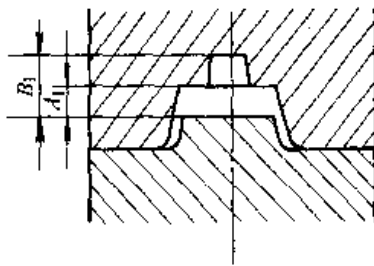
$$D_1 = \left(D + \frac{\delta}{2}\right) \left(1 + \frac{a}{100}\right)$$

式中 D_1 —— 模膛内的水平尺寸;

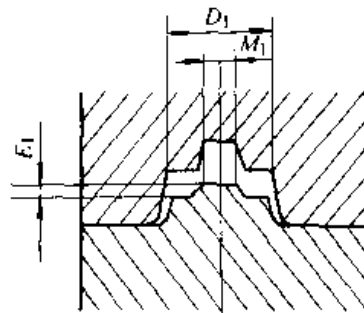
D —— 锻件冷态时的相应公称尺寸;

δ —— 尺寸 D 的下偏差。

模膛内凸出部分的水平尺寸 (图 24.2-121b) 按下式确定:



a)



b)

图 24.2-121 模膛尺寸

$$M_1 = \left(M + \frac{\Delta}{2}\right) \left(1 + \frac{a}{100}\right)$$

式中 M_1 —— 模膛内凸出部分的水平尺寸;

M —— 锻件冷态时的相应公称尺寸;

Δ —— 尺寸 M 的上偏差。

2) 上下模封闭部分尺寸的确定 如前所述, 为了使锻件易于从模膛中取出, 坯料放入时容易检查是否已经放正, 容易吹去氧化皮, 习惯上都将上下模封闭起来的凸出部分置于下模, 而凹入部分置于上模, 模膛封闭部分 (图 24.2-122) 的尺寸可查表 24.2-64。当下模壁厚太薄时, 就应改变锻件图的设计, 或采用双导锁结构, 如图 24.2-123 所示。经生产实践表明, 虚线结构比实线结构可以提高模具寿命 50 倍以上。 $S \geq 1.4B$ 的圆形导锁 (图 24.2-124) 的尺寸可按表 24.2-65 确定。

带导锁的闭式锻模比无导锁的锻模寿命长。

封闭部分之间同时也能起锁扣作用。封闭部

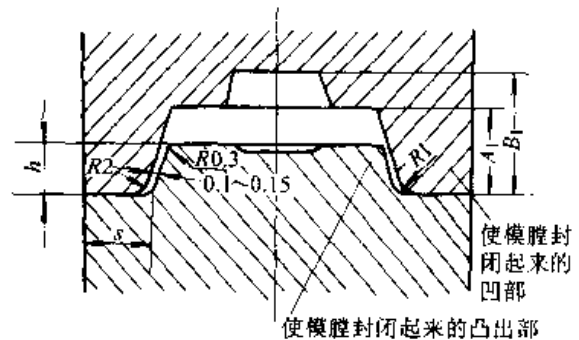


图 24.2-122 模膛的封闭部分

表 24.2-64 模膛封闭部分的尺寸

(mm)			
模锻锤落下部分重量/t	h	R_1	R_2
~1.5	25	5	4
1.5~3	30	6	5
3~6	35	8	6
>6	40	10	8

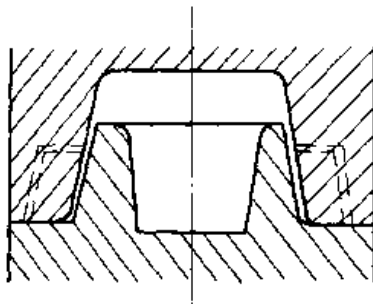


图 24.2-123 双导锁结构

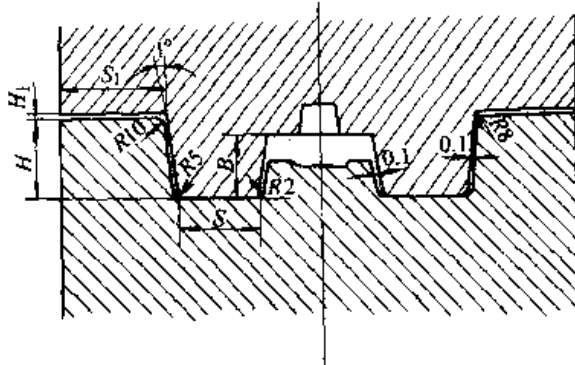


图 24.2-124 圆形导锁结构

表 24.2-65 圆形导锁的尺寸

模锻锤落下部分重量/t	H	H ₁	S ₁	R ₁	R ₂
~1.5	45	15	45	5	4
1.5~3	55	20	60	6	5
3~6	65	25	80	8	6
>6	80	30	110	10	8

分的表面粗糙度应为 $R_a 0.8 \mu\text{m}$ ，封闭部分的斜度与模膛的斜度一般做成一致，这样模具制造比较方便，锻件出模容易，封闭部分强度提高，减少上下模在封闭部分的冲击。

3) 上下模分模面处间隙的确定 确定这个间隙的最大尺寸时，必须使上下模在打靠的情况下没有间隙为止，保证所锻出的锻件尺寸不超过锻件图规定的下偏差尺寸。根据生产经验确定这个间隙（图 24.2-121）的大小可以模锻锤落下部分重量为依据（表 24.2-66）。这个间隙的重要作用是在当下料尺寸在规定的下偏差的情况下亦能充满模膛。

表 24.2-66 上、下模分模面处的间隙 (mm)

模锻锤落下部分重量/t	间隙 a
~1.5	2
1.5~3	3
3~6	4
>6	5

4) 尽量采用镶块结构 为了换模方便及节约贵重的模具材料，闭式锤锻模也可采用镶块结构，如图 24.2-125 所示，图 24.2-125a 为模座，24.2-125b 为镶块。

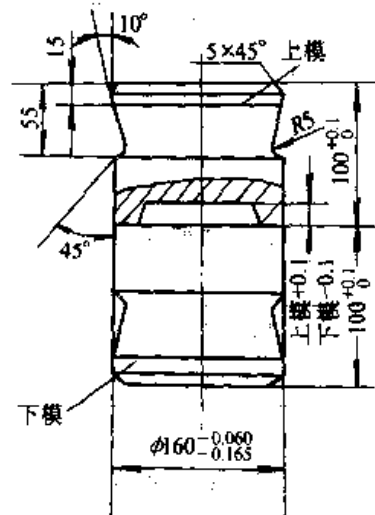
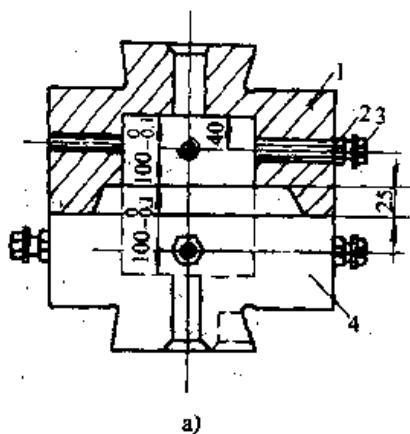


图 24.2-125 采用镶块结构的闭式锻模

1—上模套 2—螺母 3—螺钉 4—下模套

4.2 锤用半闭式锻模设计

半闭式模锻工艺是将只能开式模锻的模锻

件，通过适当的模具结构转化为闭式模锻，其关键是将开式模锻的桥部视为锻件的一部分，从而将锻件转化为轴对称变形，实现闭式锻造。

(1) 半闭式模锻工艺设计要点

半闭式模锻区别于闭式锻造的关键是存在桥部，桥部是锻件的一部分。而区别于开式模锻的关键是无飞边仓部，桥部以外是一种闭式结构。因此半闭式锻造工艺设计的关键在于桥部。

1) 桥部宽度 B 和高度 H 的选取 (图 24.2-126) B 和 H 两个尺寸相互影响，如果 H 增大， B 也要增大，否则会使上模过早撑裂失效。 H 与 B 之间应符合最小模具壁厚公式：

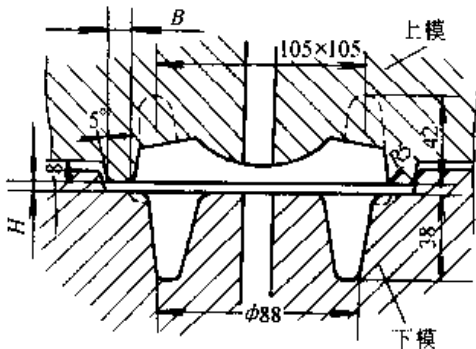


图 24.2-126 桥部尺寸

$$B \geq 1.2H$$

一般 B 在 8~20 mm 之间选取。

在具体设计中， H 是较关键的尺寸，确定也比较困难。 H 过大会降低桥部的强度，若 B

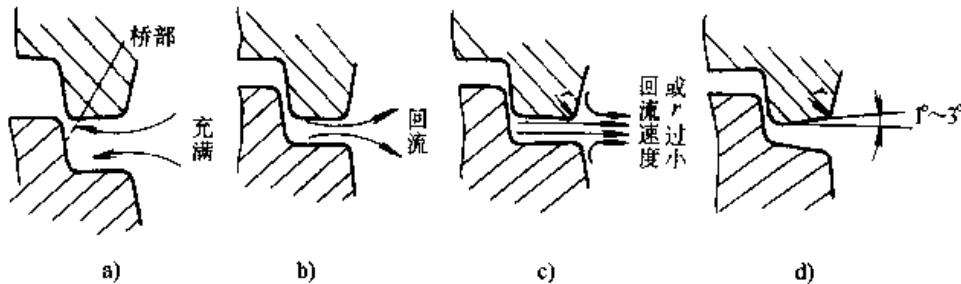


图 24.2-127 挤压回流示意图

表 24.2-67 桥部飞边厚度 h

	(mm)		
b	8~10	10~12	12~16
h	3~3.5	3.5~4	4~5

3) r 圆角的选取 (图 24.2-127c) r 圆角在开式模锻中通常取 1~1.5 mm。但在半闭式模锻中，因金属回流的存在， r 就不能像开式模锻那样小，否则易产生折叠、紊流等缺陷。一般预锻半闭式锻模 r 值不小于 5 mm；终锻半闭式锻模不小于 3 mm。事实上 r 在此处相当于内圆角，应参照内圆角设计，但在半闭式模锻中主要与 b 和 h 有关， b 越大， h 越小，则回流速度越

也随之增大，则不仅增大了锻压力，而且造成桥部多余材料的浪费。 H 过小会形成台阶形飞边，有可能锻不足或充不满。因此， H 的大小以不出现台阶形飞边为原则，最好是当上模下平面与下模上平面重合时，金属恰好挤满桥部。在实际应用中，因各种锻件充模能力不一样， H 值也不同，应在具体实践中确定并逐步合理化。根据使用经验，对于复杂件，需挤压成形的， H 为模腔最大深度的 1/4~1/5。简单件， H 为模腔最大深度的 1/5 以下。但对于特殊情况，如需强迫金属向某一方向流动，控制锻件横向错移误差等，也可应用半闭式锻造工艺，此时 H 可根据需要设计，只要满足桥部强度要求即可。

2) 桥部飞边厚度 h 的选取 桥部金属在半闭式锻模中有一个先充满后挤压回流的过程 (图 24.2-127)，这是一个聚拢回流的过程，流向锻件内部的金属速度很大。因此 h 尺寸不能按开式模锻设计，而应充分估计这一回流过程，防止金属回流速度过大造成锻件内部金属流线紊乱、折叠等缺陷。无论是预锻还是终锻的半闭式锻模， h 不小于 3 mm 为宜，具体设计可参照表 24.2-67。

大， r 相应就要大一些。另外，为防止金属回流速度过大产生缺陷，也可将桥部设计成如图 24.2-127d 所示形状。

4) 桥部斜度 β 的选取 (见图 24.2-126) 锤上闭式锻模因导向长度较大，故一般取 $1^\circ \sim 2^\circ$ ，半闭式锻模因 H 较小，模具自身导向能力差，故 β 角应取大一些，一般可取 $5^\circ \sim 7^\circ$ 。

(2) 半闭式锻模的主要结构形式

主要有两种结构。一种是完全半闭式 (如图 24.2-126)。这种结构主要用于复杂的难成形件，特别是需要挤压成形的锻件，或者用于半闭式预锻工步，半闭式预锻的目的仍是为了复杂件的成形。另一种是局部半闭式 (如图 24.2-128)，主

要用于难成形件，将难成形部分采用半闭式结构强迫成形，其余部分仍为开式。

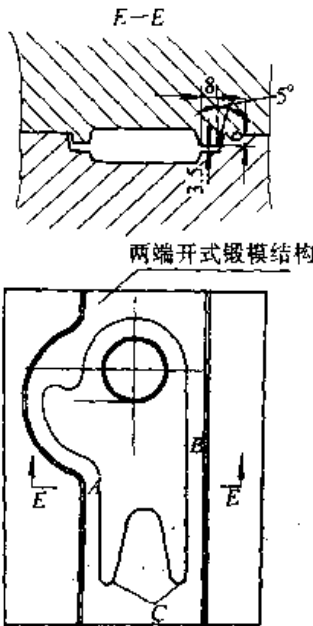


图 24.2-128 侧板局部半闭式锻模

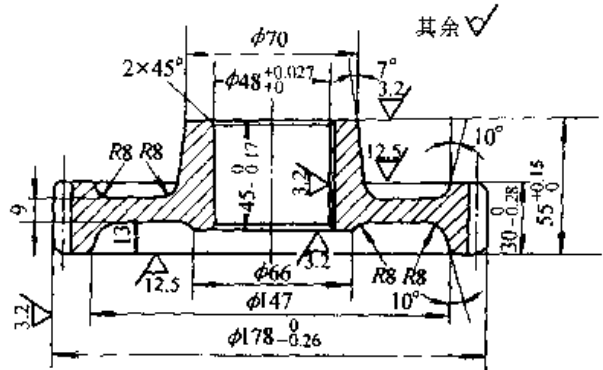


图 24.2-129 常啮合齿轮零件图

1) 确定分模位置 常啮合齿轮的高径比为 $H/D = 55/178 = 0.31 < 1$ ，因此取径向分模，为圆饼类锻件，根据零件形状，分模面取为最大直径处的 $\frac{1}{2}$ 高度位置。

2) 公差和加工余量 估算锻件重量约为 5.22 kg，外廓包容体重量为 12.05 kg；零件材料为 18CrMnTi，材质系数为 M_1 ；形状复杂系数为：

$$S = \frac{m_f}{m_N} = \frac{5.22}{12.05} = 0.433$$

5 锤用锻模设计实例

选择常啮合齿轮和连杆作为饼类件和长轴件的典型件，较为详细地介绍模锻工艺参数计算和模具设计。其他实例则简要介绍其模锻工艺和模具设计，其重点在于了解不同锻件相应的模具结构特点。

即为二级，复杂系数 S_2 ；零件加工精度为一般加工精度 F_1 ；锻件在煤气加热炉中加热。

由表 24.2-2 查得：水平及高度方向的单边加工余量为 2.0~2.5 mm，取 2 mm；由表 24.2-3 查得：内孔单边加工余量为 2 mm。

5.1 常啮合齿轮的锤模锻工艺和锻模

零件尺寸加上加工余量即为锻件名义尺寸，由锻件名义尺寸查表 24.2-4 可确定锻件各尺寸的公差，具体数值见表 24.2-68。

(1) 根据零件图 (图 24.2-129) 制定锻件图

表 24.2-68 常啮合齿轮锻件的尺寸允许偏差

锻件重量		包容体重量		复杂系数	材质系数	精度等级
5.22 kg		12.05 kg		S_2	18CrMnTi M_1	普通
零件尺寸		锻件尺寸		极限偏差/mm	根据	
直 径	φ178	φ182		+2.4 -1.2	表 24.2-4	
	φ48	φ44		+0.8 -1.7	表 24.2-4	
		φ39		+0.8 -1.7	表 24.2-4	
厚 度	55	59		+2.1 -0.7	表 24.2-6	
	45	49		+2.0 -0.5	表 24.2-6	
	30	34		+2.0 -0.5	表 24.2-6	

续表 24.2-68

锻件重量	包容体重量	复杂系数	材质系数	精度等级
允许错差量		≤1.2	表 24.2-4	
允许残留飞边量		≤1.2	表 24.2-4	
平面度		1.0	表 24.2-8	

3) 模锻斜度 外模锻斜度与零件图上一致, 取 $\alpha=7^\circ$ 、内模锻斜度取 $\beta=10^\circ$ 。

4) 圆角半径 零件内孔有倒角 $2 \times 45^\circ$, 故此处的外圆角半径为 $r = \text{余量} + \text{零件的倒角值} = 2.0 \text{ mm} + 2.0 \text{ mm} = 4 \text{ mm}$, 其余外圆角半径为 2 mm。零件图上规定的圆角半径不变。

5) 连皮厚度 $t = 0.45 \sqrt{d} - 0.25h - 5 + 0.6h$, 可按内孔高度的一半作为 h , 即 $h = 24.5 \text{ mm}$ 代入后, 确定连皮厚度为 $t = 5.4 \text{ mm}$, 连皮圆角半径应大于内圆角半径, 取为 $R_1 = 10 \text{ mm}$ 。

6) 技术条件

- ① 图上未注明模锻斜度 7° ;
- ② 图上未注明圆角半径 R_2 ;
- ③ 由表 24.2-4 查得允许的错差量 $\leq 1.2 \text{ mm}$;
- ④ 由表 24.2-4 查得允许的残留飞边量 $\leq 1.2 \text{ mm}$;
- ⑤ 允许的表面缺陷深度 $\leq 1.0 \text{ mm}$;
- ⑥ 锻件热处理: 正火;
- ⑦ 锻件表面清理: 抛丸。

上述各项参数确定后, 便可绘制锻件图, 见图 24.2-130。

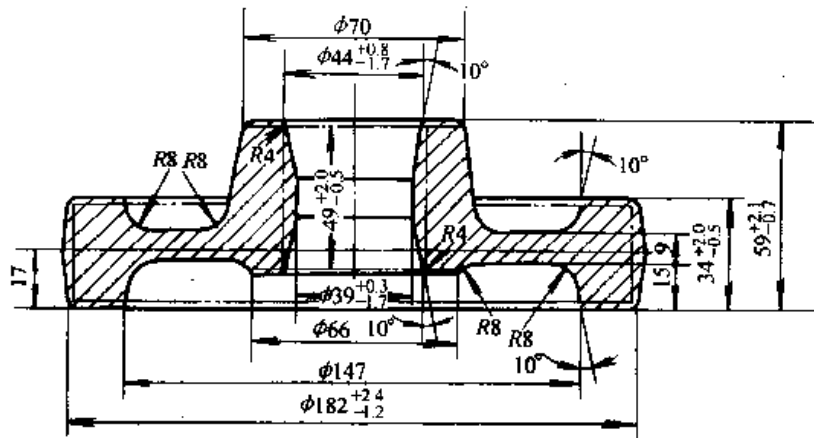


图 24.2-130 常啮合齿轮锻件图

(2) 确定锻件的基本数据

- 1) 锻件在平面图上的最大投影面积为 $26\ 015 \text{ mm}^2$;
- 2) 锻件周边长度为 572 mm ;
- 3) 锻件体积为 $664\ 970 \text{ mm}^3$;
- 4) 锻件重量为 5.22 kg 。

(3) 决定设备吨位

由表 24.2-22, $\sigma = 60 \text{ N/mm}^2$; $D = 18.2 \text{ cm}$, 代入半经验公式:

$$G_0 = (1 - 0.005D) \left(1.1 + \frac{2}{D} \right)^2 (0.75 + 0.001D^2) D\sigma$$

$$= (1 - 0.005 \times 18.2) \left(1.1 + \frac{2}{18.2} \right)^2$$

$$\times (0.75 + 0.001 \times 18.2^2) \times 18.2 \times 60 \text{ kg}$$

$$= 1\ 571 \text{ kg}$$

故选用 2 t 模锻锤。

(4) 确定飞边槽尺寸

按照锻件在水平面上的投影面积: $A_f = 26\ 015 \text{ mm}^2$, 由经验公式确定飞边槽桥部高度:

$$h = 0.015 \sqrt{A_f} = 0.015 \times \sqrt{26\ 015} \text{ mm} = 2.42 \text{ mm}$$

查表 24.2-26, 选定飞边槽尺寸: $h = 3.00 \text{ mm}$, $h_1 = 5 \text{ mm}$, $b = 12 \text{ mm}$, $b_1 = 32 \text{ mm}$,

$$A_K = 233 \text{ mm}^2。$$

(5) 终锻模膛设计

终锻模膛设计的主要内容是绘制热锻件图,

供制造模膛用，热锻件图按冷锻件图加收缩率制定。常啮合齿轮考虑收缩率1.5%，模锻斜度，

内、外圆角的尺寸按冷锻件图不变，绘制的热锻件图见图24.2-131。

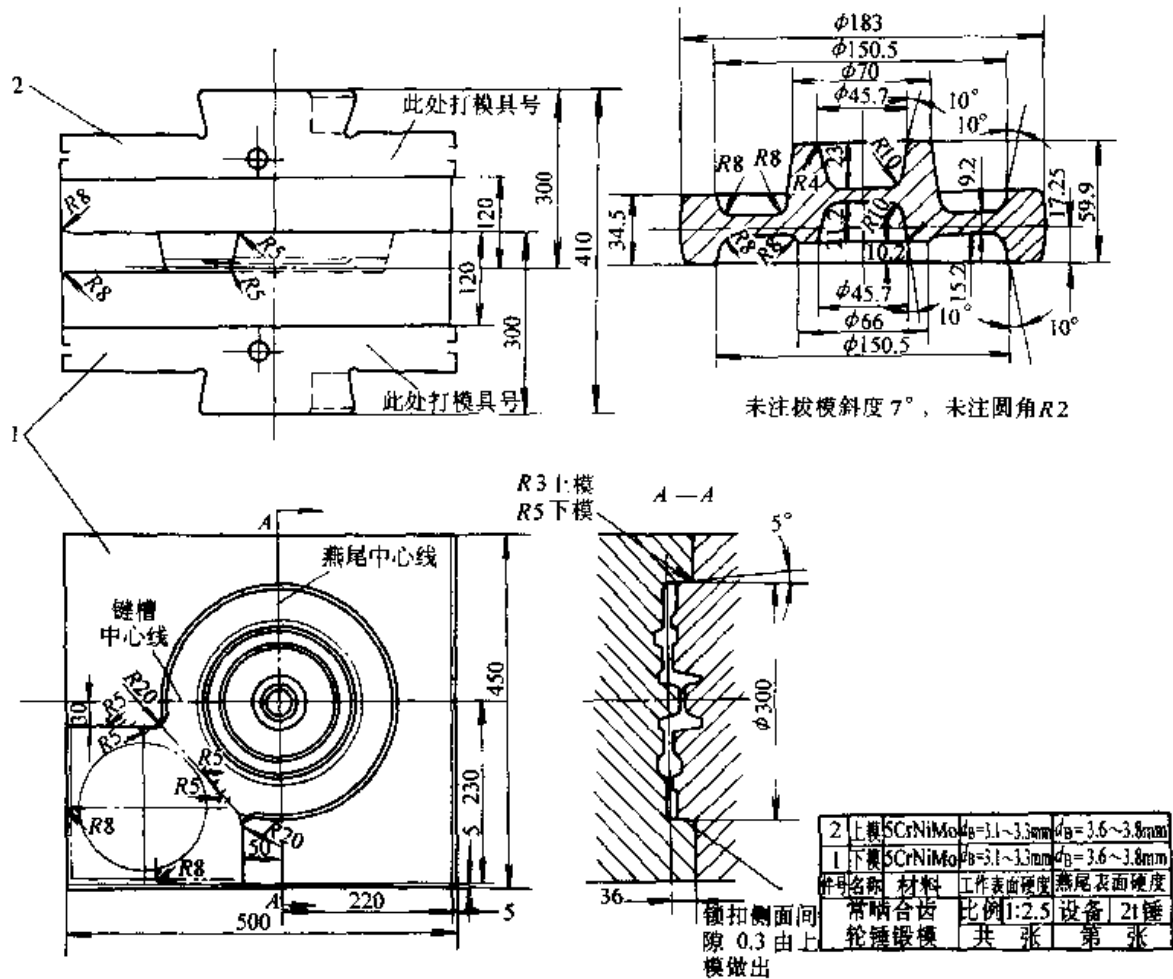


图 24.2-131 常啮合齿轮锤锻模

(6) 确定制坯工步

齿轮类锻件一般采用微粗制坯，微粗直径 D_d 的确定需考虑锻件形状，对常啮合齿轮锻件应满足 $\frac{D_1 + D_2}{2} > D_d > D_2$ ，即 $\frac{182 + 147}{2} = 164.5 > D_d > 147$ 。取 $D_d = 160 \text{ mm}$ 。

(7) 决定坯料尺寸

锻件体积为： $V_d = 664\,970 \text{ mm}^3$ ；
飞边体积按飞边槽容积的50%计算，即
 $V_f = 99\,700 \text{ mm}^3$

取氧化烧损率为 $\delta = 2.5\%$ ，则坯料体积为
 $V_p = (1 + 2.5\%)(664\,970 + 99\,700) \text{ mm}^3$
 $= 783\,800 \text{ mm}^3$

取坯料高径比 $m = 2$ ，则坯料直径为

$$d'_p = 1.08 \sqrt[3]{\frac{V_p}{m}} = 1.08 \sqrt[3]{\frac{783\,800}{2}} \text{ mm} = 79.3 \text{ mm}$$

按标准规格选择坯料直径 $d_p = 80 \text{ mm}$ 。

下料长度：

$$L_p = \frac{4V_p}{\pi d_p^2} = \frac{4}{\pi} \times \frac{783\,800}{80^2} \text{ mm} = 156 \text{ mm}$$

考虑到下料误差，取 $L_p = 159 \text{ mm}$ ，则坯料尺寸为： $\phi 80 \text{ mm} \times 159 \text{ mm}$ 。

(8) 锻模结构设计 (图 24.2-131)

1) 模膛布置 微粗台布置在锻模的左前角，其高度固定，操作方面，坯料微粗后距各边缘的距离不小于 10 mm 。由于是轴对称锻件，故终锻模膛中心就是形心，应与锻模中心重合。

2) 锁扣尺寸 采用圆形锁扣, 锁扣高度 $H=36$ mm, 最小宽度不得小于 40 mm, 锁扣侧面间隙为 0.3 mm, 由上模做出。采用 A 型锁扣, 故飞边仓部尺寸有所增大。锁扣其余尺寸见图 24.2-131。

3) 模块尺寸 按照模膛尺寸、锻粗台尺寸、锁扣宽度、模膛壁厚、承击面等初步算出模块平面尺寸; 按模膛最大深度、2 t 锤的最小闭合高度、锻模翻新量等因素决定模块高度尺寸, 由表 24.2-64 可确定模块宽度为 500 mm, 高度为 300 mm, 长度定为 450 mm, 承击面约为 970 cm^2 , 远大于 2 t 锤允许的最小承击面 ($450 \sim 500 \text{ cm}^2$)。

按上述设计计算结果, 绘制出锻模结构图如图 24.2-131 所示。

5.2 汽车连杆锤模锻工艺和锻模

(1) 根据零件图 (图 24.2-132) 制定锻件图

1) 分模位置 根据连杆形状, 很易确定上下对称的直线分模。

2) 公差和加工余量 估算锻件重量约 1.4 kg。连杆材料为 40 钢, 即材质系数为 M_1 。形状复杂系数:

$$S = \frac{m_f}{m_N} = \frac{1\ 400}{24 \times 10 \times 4 \times 7.85} = 0.19, \text{ 为 3 级}$$
复杂系数 S_3 。

由表 24.2-4 查得: 高度极限偏差为 $\begin{matrix} +1.4 \\ -0.6 \end{matrix}$;
长度极限偏差为 $\begin{matrix} +1.9 \\ -0.9 \end{matrix}$;
宽度极限偏差为 $\begin{matrix} +1.5 \\ -0.7 \end{matrix}$ 。

零件需磨削加工, 即加工精度为 F_2 , 由表 24.2-2 查得高度及水平尺寸的单边余量均为 1.7~2.2 mm, 取 2 mm。

在大量生产的条件下, 连杆锻件在机械加工时用大小头端面定位, 要求大小头端面在同一平面上的精度较高, 100 mm 内为 0.6 mm, 而模锻后的高度公差较大, 达不到上述要求, 故锻件在热处理、清理后增加一道压印 (平面冷精压) 工序。锻件经压印后, 机械加工余量可大大减小, 取 0.75 mm, 压印后的锻件高度公差取 0.2 mm。

连杆锻件压印后, 大小头高度尺寸为 $(38 + 2 \times 0.75) \text{ mm} = 39.5 \text{ mm}$, 单边压印余量取

0.4 mm, 同时模锻后大小头部的高度尺寸为 $(39.5 + 2 \times 0.4) \text{ mm} = 40.3 \text{ mm}$ 。

由于压印需要余量, 如锻件高度偏差为负值时 (-0.6), 则实际单边压印余量仅 0.1 mm, 为保证适当的压印余量, 锻件高度极限偏差调整为 $\begin{matrix} +1.4 \\ -0.3 \end{matrix}$ 。

由于压印后, 锻件水平方向的尺寸稍有增大, 故水平方向的余量可适当减小。

3) 模锻斜度 零件图上的技术条件中已给出模锻斜度为 7° 。

4) 圆角半径 锻件高度余量为 $(0.75 + 0.4) \text{ mm} = 1.15 \text{ mm}$, 则需倒角的叉内圆角半径为 $(1.15 + 2) \text{ mm} = 3.15 \text{ mm}$, 取 3 mm, 其余部位的圆角半径取 1.5 mm。

5) 技术条件

- ① 图上未标注的模锻斜度 7° ;
- ② 图上未标注的圆角半径 1.5 mm;
- ③ 由表 24.2-4 查得允许的错差量 0.6 mm;
- ④ 由表 24.2-4 查得允许的残留飞边量 0.7 mm;
- ⑤ 允许的表面缺陷深度 0.5 mm;
- ⑥ 锻件热处理: 调质;
- ⑦ 锻件表面清理: 为了便于检查淬火裂纹, 系用酸洗。

在零件图上加上余量, 即可绘制锻件图, 见图 24.2-133。

(2) 计算锻件的主要参数

- 1) 锻件在平面图上的投影面积为 $8\ 000 \text{ mm}^2$;
- 2) 锻件周边长度为 680 mm;
- 3) 锻件体积为 $184\ 000 \text{ mm}^3$;
- 4) 锻件重量为 1.44 kg。

(3) 决定设备吨位

总变形面积为锻件在平面图上的投影面积与飞边面积之和, 参考表 24.2-26, 按 1~2 t 锤飞边槽尺寸考虑, 假定飞边平均宽度为 23 mm。总变形面积 $A = (8\ 000 + 680 \times 23) \text{ mm}^2 = 23\ 600 \text{ mm}^2$ 。因生产中要求高生产率, 按确定吨位的经验公式

$G = 6.3KA = 6.3 \times 1 \times 23\ 600 \text{ kg} \approx 1\ 500 \text{ kg}$
选用 1.5 t 锤。

(4) 决定飞边槽的型式和尺寸

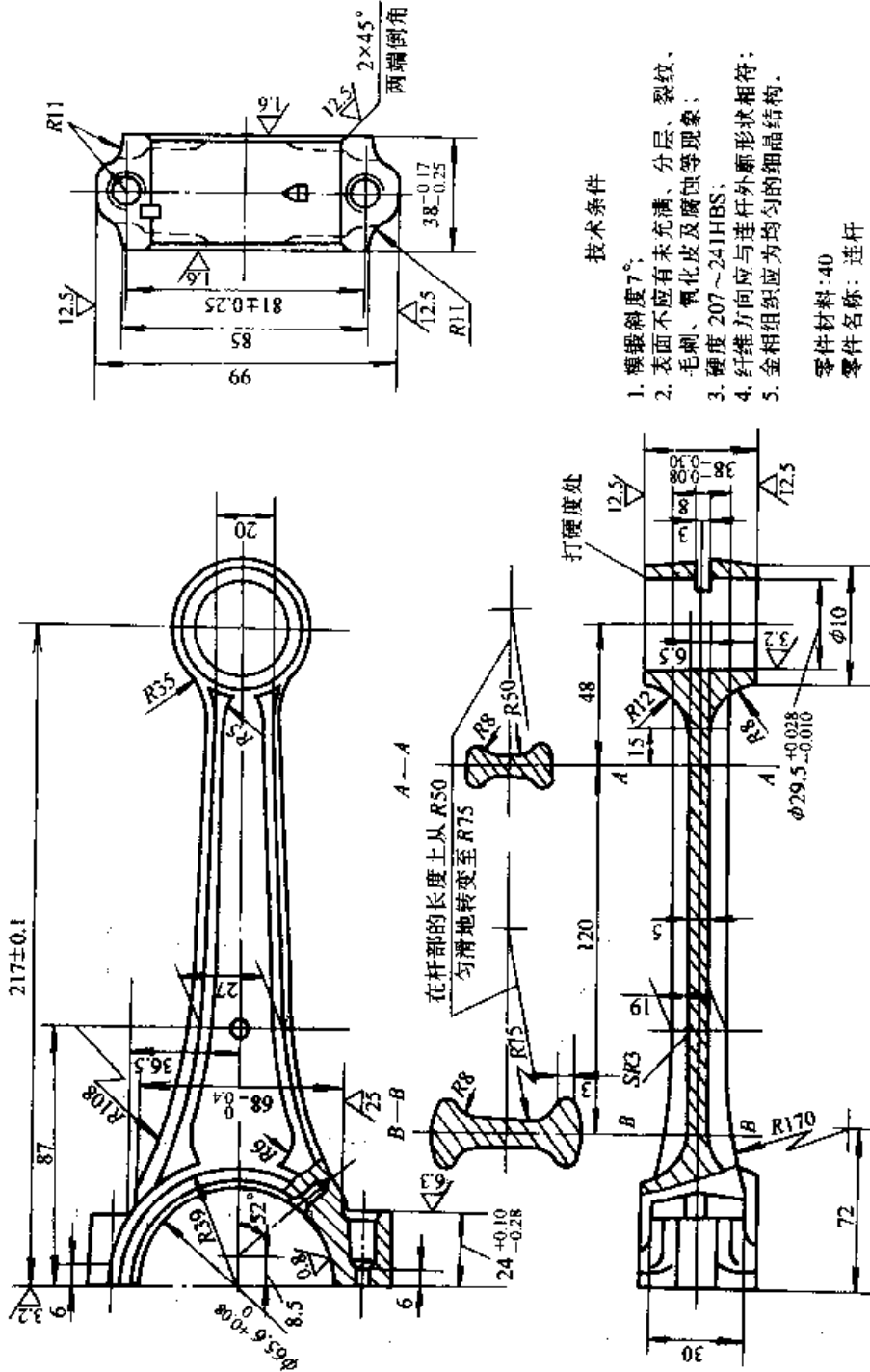


图 24.2-132 连杆零件图

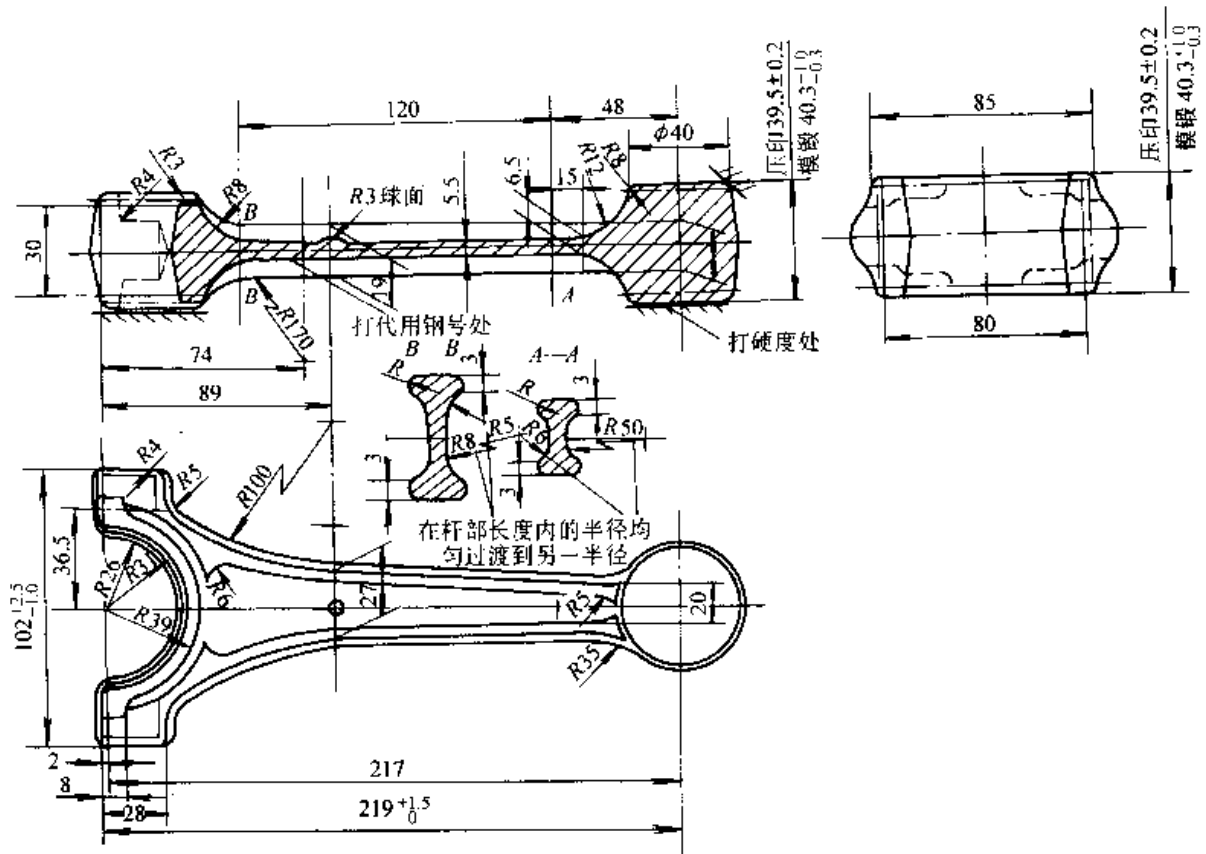


图 24.2-133 连杆锻件图

选用图 24.2-40 的型式 I，其尺寸按表 24.2-26 确定。参考 1--2 t 锤的数据，选定： $h = 1.6 \text{ mm}$ ； $h_1 = 4 \text{ mm}$ ； $b = 8 \text{ mm}$ ； $b_1 = 25 \text{ mm}$ ； $r = 2 \text{ mm}$ ； $A_K = 126 \text{ mm}^2$ 。

因杆部断面太小，考虑到拔长难以达到最小断面，需增大飞边槽仓部宽度 b_1 ；大头部分叉口较宽分料困难，流入飞边槽的金属较少，将该处 b_1 减小到 12 mm。使模膛安排紧凑，且增加承击面积。

锻件飞边平均断面积为 $A_f = 0.7A_K = 88 \text{ mm}^2$ ；

飞边体积 $V_f = 680 \times 88 \text{ mm}^3 = 60\,000 \text{ mm}^3$ 。

(5) 确定终锻模膛

连杆热锻件图考虑 1.5% 冷缩率。根据生产中的经验总结，考虑到锻模使用后承击面下陷，模膛深度减小及精压时变形不均、横向尺寸增大等因素，修改了几处尺寸：辐板处增厚 0.5 mm；连杆小头高度 40.3 mm 处，理论上应为 40.9 mm，实际取为 41.6 mm；大头上下平面做成斜面，将高度尺寸 41.6 mm 上下各增加

0.7 mm；小头 $\phi 40 \text{ mm}$ 应为 $\phi 40.6 \text{ mm}$ ，而实际仍为 $\phi 40 \text{ mm}$ 等。绘制的热锻件图见图 24.2-134。

(6) 设计预锻模膛

由于锻件形状复杂，需设置预锻模膛。

在叉部采用劈料台（见图 24.2-45）

$$B_1 = 0.25B = 0.25 \times 31.5 \times 2 \text{ mm} \approx 15 \text{ mm}$$

$$h = (0.4 \sim 0.7)H = 0.5 \times 42 \text{ mm} \approx 20 \text{ mm} \quad R \text{ 取 } 25 \text{ mm}。$$

劈料台的形状、尺寸详见图 24.2-139 中的 B-B，C-C，A-A 剖面。

在工字形断面杆部，辐板较薄而宽，为防止终锻时锻件产生折纹，应使预锻模膛面积稍小于或等于终锻模膛相应处的断面积（不计预锻打不靠的断面积）。如图 24.2-139 B-B 剖面所示，辐板和肋转角处外圆角半径由 R8 增大到 R10，模膛高度减小为 16，均由作图确定，使 $A_y \leq A_z$ 。

预锻模膛沿分模面处的圆角半径增大为 R5。此外预锻模膛与终锻模膛不同的地方均在热锻件图上注明（见图 24.2-134）。

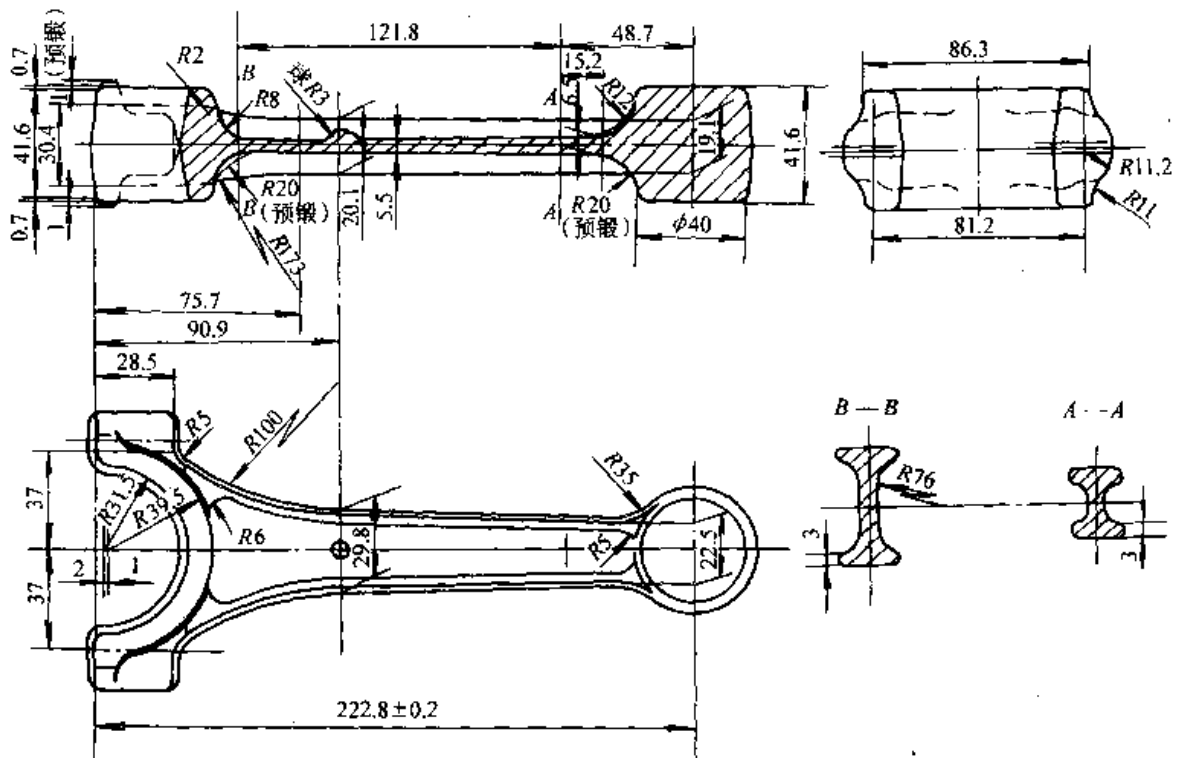


图 24.2-134 连杆热锻件图

(7) 作计算毛坯图

根据连杆形状的特点，共选取 13 个断面，分别计算 A_d 、 A_j 、 a_j 列于表 24.2-69，并在坐标纸上绘出连杆的截面图和计算毛坯图，见图 24.2-135。为了设计滚挤模膛方便，截面图和计

算毛坯图按锻件热尺寸计算。

由截面图所围面积，即为锻件体积，得 $V_d = 20 \times 12\,512 \text{ mm}^3 = 250\,240 \text{ mm}^3$ 。

$$\text{平均断面面积 } A_m = \frac{250\,240}{248} \text{ mm}^2 = 1\,009 \text{ mm}^2。$$

表 24.2-69 计算毛坯的计算数据

断面号	A_d / mm^2	$A_f = 2A'_f$ 或 $1.4A_f / \text{mm}^2$	$A_j = A_d + A_f / \text{mm}^2$	$a_j = \sqrt{A_j} / \text{mm}$	修正 A_j / mm^2	修正 a_j / mm	K	$h = K(\text{修正 } a_j) / \text{mm}$
1	246	252	498	22.3	—	—	1.1	24.5
2	1 658	176	1 834	42.8	2 000	44.7	1.1	49.2
3	1 612	176	1 788	42.3	2 440	49.4	1.2	59.3
4	1 888	176	2 064	45.4	1 480	38.5	1.1	42.4
5	2 392	176	2 568	50.7	1 300	36.1	1.1	39.7
6	308	176	484	22	—	—	0.8	17.6
7	300	176	476	21.8	—	—	0.8	17.4
8	268	176	444	21.1	—	—	0.8	16.9
9	776	176	952	30.9	—	—	0.9	27.8
10	1 600	176	1 776	42.1	—	—	1	42.1
11	1 764	176	1 940	44.1	—	—	1	44.1
12	1 600	176	1 776	42.1	—	—	1	42.1
13	0	252	252	15.9	—	—	0.9	14.3

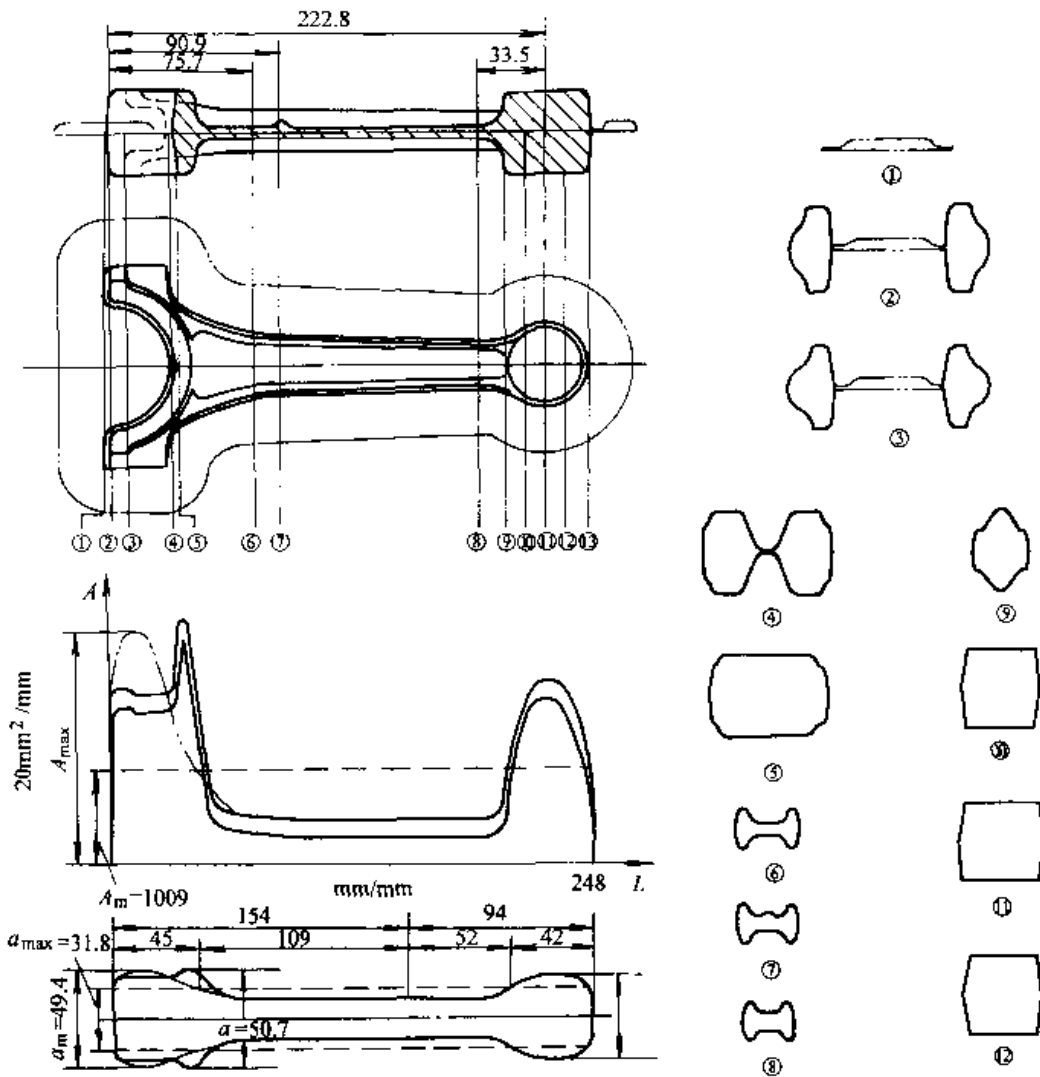


图 24.2-135 连杆的计算毛坯图

平均断面边长 $a_m = \sqrt{A_m} = 31.8 \text{ mm}$ 。

按体积相等修正截面图和计算毛坯图（见图 24.2-135 中双点划线部分）。修正后最大断面面积为 2440 mm^2 ，则最大断面边长为 $a_{\max} = 49.4 \text{ mm}$ 。

(8) 制坯工步选择

计算毛坯为二头一杆，应简化成二个简单计算毛坯来选择制坯工步。

$$\alpha_1 = \frac{a_{1\max}}{a_m} = \frac{49.4}{31.8} = 1.53$$

$$\beta_1 = \frac{L_g}{1.13a_m} = \frac{154}{1.13 \times 31.8} = 4.3$$

$$G_{pl} > 1 \text{ kg}$$

按图 24.2-36，此锻件采用拔长—滚压工步。为易于充满，应选用方坯料，先拔长，后开式滚压，整个工步为：拔长—开式滚压—预锻—终

锻。

(9) 确定坯料尺寸

由截面图， $a_{\min} = 21.5 \text{ mm}$ ， $V_g = 80305 \text{ mm}^3$ ， $L_g = 109 \text{ mm}$ ，故可决定拐点处尺寸：

$$a_g = \left(\sqrt{3.82 \times \frac{80305}{109} - 0.75 \times 21.5} - 0.5 \times 21.5 \right) \text{ mm} = 42.1 \text{ mm}$$

故杆部锥度为：

$$K = \frac{a_g - a_{\min}}{L_g} = \frac{42.1 - 21.5}{109} = 0.189$$

由表 24.2-24，按截面图有关尺寸：

$$A_b = V_t / L_t = (96000 / 45) \text{ mm}^2 = 2130 \text{ mm}^2$$

$$A_g = (1.05 \sim 1.2) A_m = 1.1 \times 1009 \text{ mm}^2 = 1110 \text{ mm}^2$$

$$A'_p = A_b - K(A_b - A_g) = [2\ 130 - 0.189 \times (2\ 130 - 1\ 110)] \text{mm}^2 = 1\ 940 \text{mm}^2$$

$$a'_p = \sqrt{1\ 940} \text{mm} = 44 \text{mm}$$

取 $a_p = 45 \text{mm}$ 。

坯料体积为：

$$V_p = (V_d + V_f)(1 + \delta) = \frac{250\ 240}{1.015^3} (1 + 3\%) \text{mm}^3 = 250\ 000 \text{mm}^3$$

式中 δ —— 烧损率。

坯料长度

$$L_p = \frac{V_p}{a_p} = \frac{250\ 000}{45^2} \text{mm} = 123 \text{mm}$$

根据坯料的重量和长度，适于采用调头模锻，一料两件，料长为 $123 \times 2 \text{mm} = 246 \text{mm}$ ，经试锻调整后，下料长度定为 274mm 。

(10) 制坯模膛设计

1) 滚压模膛设计：采用开式滚压，按表

24.2-30，则有：

① 模膛高度 $h = kd_j$ ，可按各断面的高度值绘出滚压纵剖面外形（见图 24.2-136），然后用圆弧或直线光滑连接并进行简化。

② 模膛宽度为

$$\text{杆部：} B_g > \frac{A_{g\max}}{h_{\min}} + 10 \text{mm} = \left(\frac{464}{16.9} + 10 \right) \text{mm} \approx 38 \text{mm}$$

头部： $B_t > d_{\text{max}} + 10 \text{mm}$

$$= 1.13 \sqrt{A_{\text{max}}} + 10 \text{mm} = 66 \text{mm}$$

经试生产，调整模膛宽度为 $B = 80 \text{mm}$ 。

③ 模膛长度 L 等于计算毛坯图的长度。

④ 试用调整后，修改个别尺寸：最大高度由 59.3mm 改为 $h = 81 \text{mm}$ ，以容纳氧化皮。小头部分作出了一定斜度，简化后滚压模膛如图 24.2-136 所示。

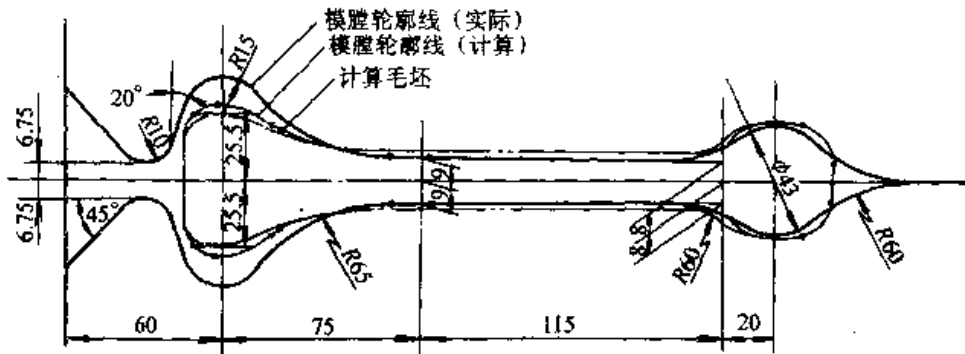


图 24.2-136 开式滚压模膛外形设计

2) 拔长模膛设计

由表 24.2-29，拔长模膛主要尺寸如下：

① 拔长坎高度

$$h = k_2 \sqrt{\frac{V_g}{L_g}} = 0.9 \times \sqrt{\frac{57\ 440}{161}} \text{mm} = 17 \text{mm}$$

② 拔长坎长度

$$l = k_3 d_p = k_3 \times 1.13 a_p = 1.13 \times 45 k_3 = 51 k_3$$

$$L'_p = 35 \text{mm}, k_3 = 1.1$$

$$l = 56 \text{mm}$$

③ 圆角圆弧半径

$$R = 0.25l = 0.25 \times 56 \text{mm} = 14 \text{mm}$$

$$R_1 = 10R = 140 \text{mm}$$

④ 模膛宽度

$$B = k_4 d_p + (10 \sim 20) \text{mm} = (1.35 \times 51 + 10) \text{mm} = 78.85 \text{mm}$$

取 $B = 75 \text{mm}$

⑤ 模膛深度

$$e = 1.2 d_t = 1.2 \times 43 \text{mm} = 53 \text{mm}$$

⑥ 拔长模膛长度

$$L_b = 195 \text{mm}$$

按上述设计可锻出合格锻件，但为提高生产率，将拔长模膛的 h 缩小， R 、 R_1 增大， l 增大，拔长过程只需打击三次。将计算数值与实际数值比较如表 24.2-70 所示。

表 24.2-70 连杆锻模拔长模膛尺寸

(mm)

模膛尺寸	h	l	R	R_1
数值				
计算数值	17	56	14	140
目前采用数值	14	77	30、32	150

采用图 24.2-137 实线所示的拔长模膛，拔长后毛坯见图 24.2-138，拔长部分某些截面小于计算毛坯最小截面。但拔长部分长度比计算毛坯相应部分长度小，结果在滚压时靠近大小头的部分金属，除流向头部外，还向杆部流动，滚压时整毛坯长度还有一定的增长。滚压后毛坯形状见图 24.2-138。由此可知，拔长后需滚压的，为减少拔长打击次数，可减小拔长坎高度，增大圆角、圆弧半径。拔长后毛坯表面是否粗糙不影响锻件质量。拔长后毛坯的长度可比相应的计算毛坯长度短一些，以减小滚压端部毛刺。

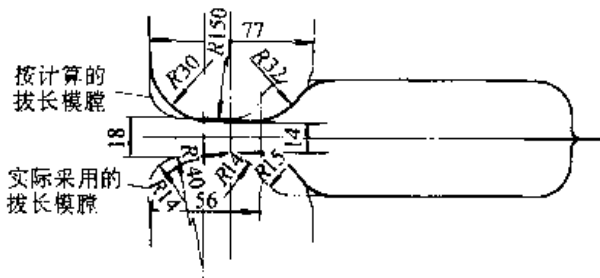


图 24.2-137 拔长模膛设计

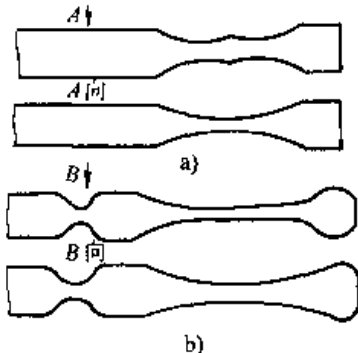


图 24.2-138 拔长、滚压后坯料形状
a) 拔长后的坯料 b) 滚压后的坯料

(11) 锻模结构设计 (图 24.2-139)

模锻此连杆的 1.5 t 模锻锤机组，加热炉在锤的右方，故拔长模膛布置在右边，滚压模膛在左边，预锻及终锻工步从左至右。

锻模采用纵向锁扣。为保证左右两边滚压和拔长模膛处上模锁扣强度，将两模膛中心线分别下移 5 mm 和 4.5 mm。

锻件宽度为 $(81.2 + 2 \times 11.2) \text{ mm} = 103.6 \text{ mm}$ 。模壁厚度为 $t_0 = 1 \times \frac{43}{2} \text{ mm} \approx 21.5 \text{ mm}$ 。预锻模膛与终锻模膛的中心距 = $(103.6 + 21.5) \text{ mm} = 125.1 \text{ mm}$ ，取为 125 mm。

考虑锻模应有足够的承击面，锁扣之间宽度取 305 mm，可使承击面达 $52\,000 \text{ mm}^2$ 。

燕尾中心线至检验边的距离为 $(155 + 125 \times \frac{2}{3}) \text{ mm} = 238 \text{ mm}$ ，取为 235 mm。

用实测方法找出终锻模膛中心离连杆大头前端 115 mm，结合模块长度及钳口长度定出键槽中心线的位置为 165 mm。

按表 24.2-37，可选择钳口尺寸： $B = 90 \text{ mm}$ ， $h = 40 \text{ mm}$ ， $R_0 = 15 \text{ mm}$ 。因为调头模锻，钳口尺寸应考虑第一件终锻后飞边不影响第二件模锻，故定为 $B = 80 \text{ mm}$ ， $h = 30 \text{ mm}$ 。钳口颈尺寸按表 24.2-38 选取： $a = 1.5 \text{ mm}$ ， $b = 8 \text{ mm}$ ， $l = 20 \text{ mm}$ 。预锻钳口颈尺寸需考虑两件连接处发生断裂等因素，将其加大到几乎与整个钳口宽度相等。此时金属消耗增加。

模块尺寸可选为： $475 \text{ mm} \times 350 \text{ mm} \times 275 \text{ mm}$ (宽×长×高)。

(12) 连杆模锻工艺流程

- 1) 切料：5 000 kN 型剪机冷切。
- 2) 加热：半连续式炉， $1\,220 \sim 1\,240^\circ\text{C}$ 。
- 3) 模锻：1.5 t 模锻锤，拔长、开滚、预锻、终锻，每班约生产 1 100 件。
- 4) 热切边：1 600 kN 切边压机。
- 5) 磨毛刺：砂轮机。
- 6) 热处理：连续热处理炉，调质，硬度为 $d_B = 3.9 \sim 4.2 \text{ mm}$ 。
- 7) 酸洗：酸洗槽。
- 8) 冷校正：1 t 夹板锤。
- 9) 冷精压：10 000 kN 精压机。
- 10) 检验。

5.3 突缘叉锻模

锻件图和锻模见图 24.2-140 和图 24.2-141。

模锻工步为：锻粗去氧化皮、卡压、终锻。

坯料在卡压模膛经一次卡压后，不翻转，平移置入终锻模膛，卡压可使坯料的截面积重新分配，使与叉尖对应的部分稍为增大，中间部分减小并展宽。此外，经过卡压的坯料形状能比较容易稳定准确地置入终锻下模，坯料端面上氧化皮也能在卡压时脱落。

终锻模膛的叉尖部分在上模，主要是对充满有利，同时清除模具型槽中的氧化皮也比较方便。

F 处为浇注检查件的浇口，模具前面 E 处

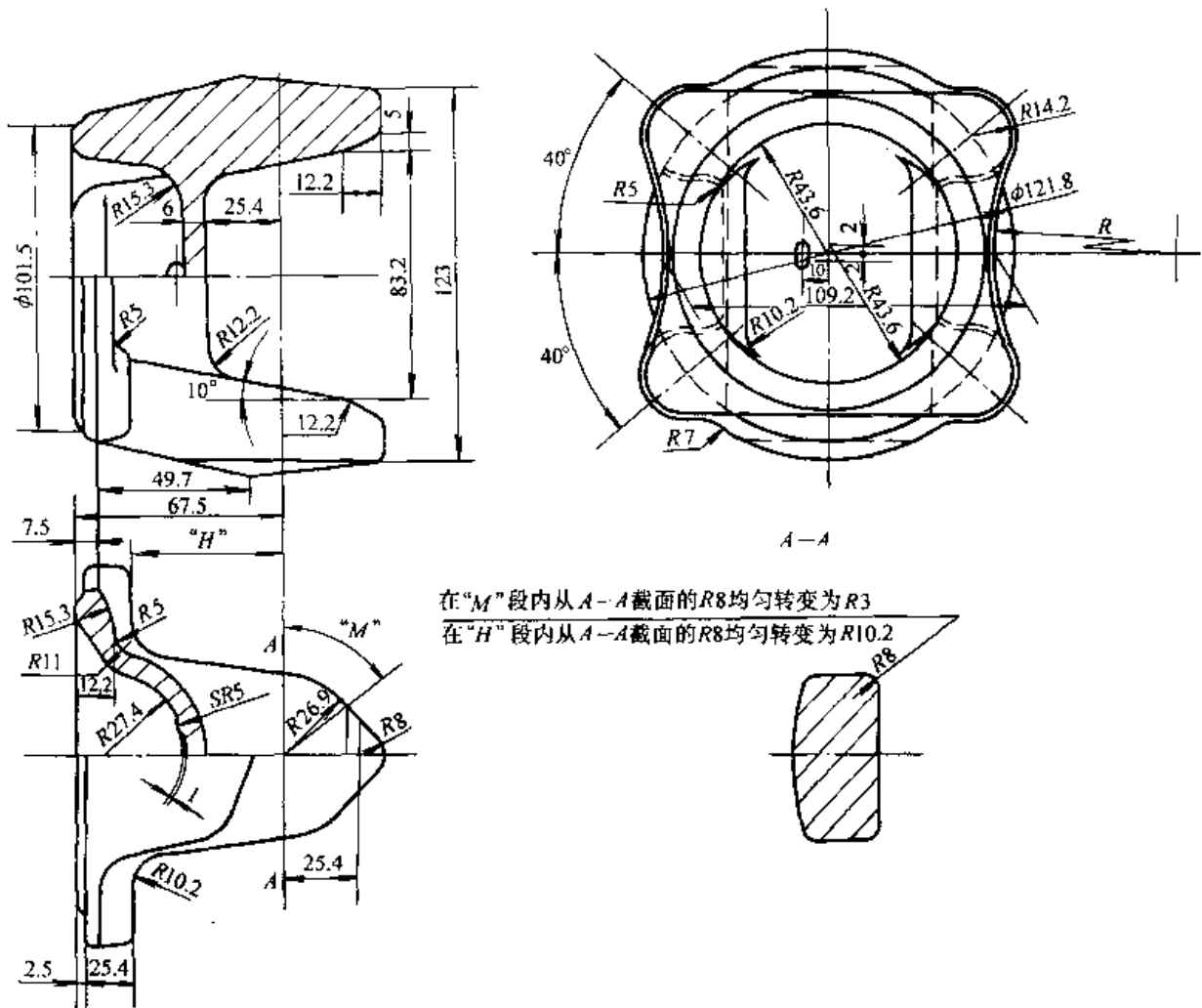


图 24.2-140 突缘叉热锻件图
1. 未注圆角 R3、拔模角 7° 2. 收缩率 1.5%

设计成封闭的，这是从安全角度考虑的，防止模锻时小片金属从这里飞出伤害操作者。

5.4 特型转向节模锻工艺与锻模

图 24.2-142 为特型转向节零件图，图 24.2-143 为相应的锻件图，图中点划线为立式终锻时的分模面，图 24.2-144 为预锻件图，图 24.2-146 为作计算毛坯在预锻件上所取的特征截面，图 24.2-147 为预锻件的计算毛坯图。

(1) 预锻件图与预锻工艺

根据该锻件的形状结构特点，设计其预锻件图和预锻工艺时应考虑如下几点：

1) 预锻件的几何形状要力求与终锻件接近，以降低终锻时的锻造负载。

2) 在立式模锻终成形时，基本以模粗变形来充满模膛，以减轻模膛表面的磨损，延长模具寿命。

3) 立式终锻前，预锻件放入终锻模膛时，其头部的板部与两枝均应与凹模模膛相应部分接触，以保证稳定变形，避免回流折叠等缺陷产生。

4) 应使金属流线合理分布，保持锻件纤维的完整性，以增强使用性能。

由此设计的预锻件如图 24.2-144 所示，相应的预锻成形工艺（工步）如图 24.2-145 所示：

原始棒料→拔长一端→调头拔长另一端→不对称闭滚→压弯→水平终锻。

(2) 计算毛坯与制坯工步

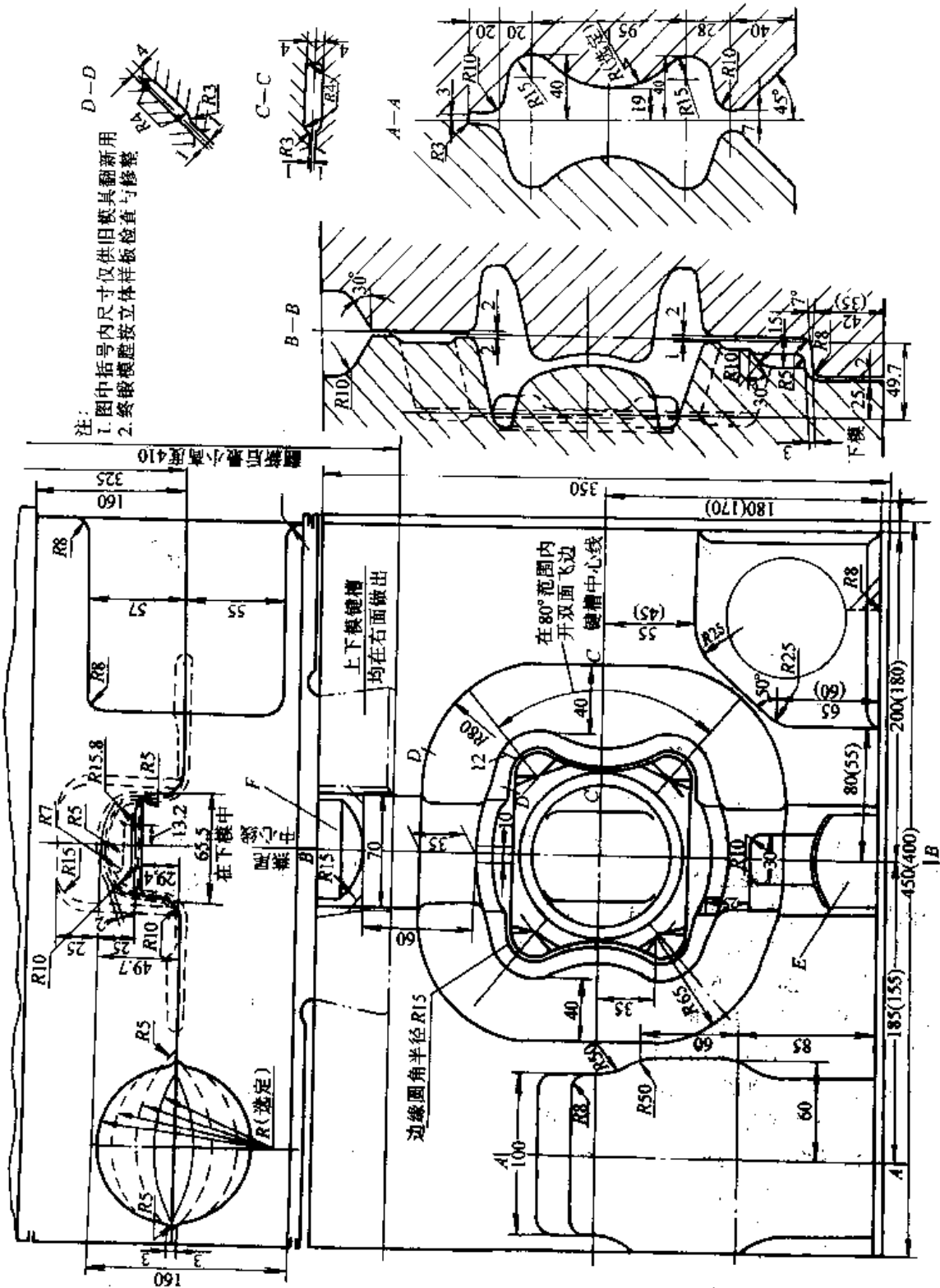


图 24.2-141 突缘叉锻模图

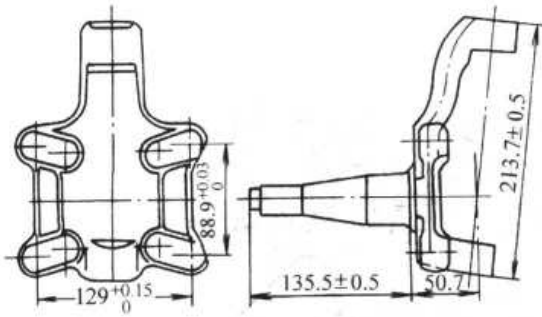


图 24.2-142 特型转向节零件图

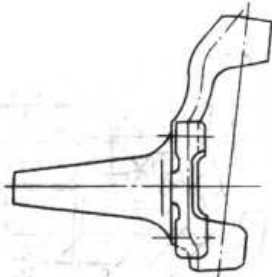


图 24.2-143 特型转向节锻件图



图 24.2-144 特型转向节预锻件图

图 24.2-144 所示预锻件，若忽略头部的四个短枝（实际计算时不能忽略），则它在平面图上的主轴线为一急突的弯曲拼线。沿该主轴线选择一些特征截面（见图 24.2-146）进行计算，图 24.2-147 即为按图 24.2-146 展开后求得的计算毛坯图。由计算毛坯计算出相关的工艺繁重系数，确定制坯工艺中必须采用拔长和闭滚工步。考虑到短枝位于弯曲主轴线外侧，需料较多，所以应选择不对称闭式滚压。而要使毛坯与预锻件外形基本吻合，就需选择弯曲工步来实现。

(3) 模膛结构及其布置

1) 拔长模膛和滚压模膛 由以上分析可知，要获得预锻件的变形工步是比较多的，要把制坯、预锻、终锻模膛安排在一副锻模上非常困难。经过充分试验将拔长和不对称闭式滚压设计成一个综合的拔长—不对称闭式滚压模膛来完成前三个制坯工步。该模膛如图 24.2-148 中 A—

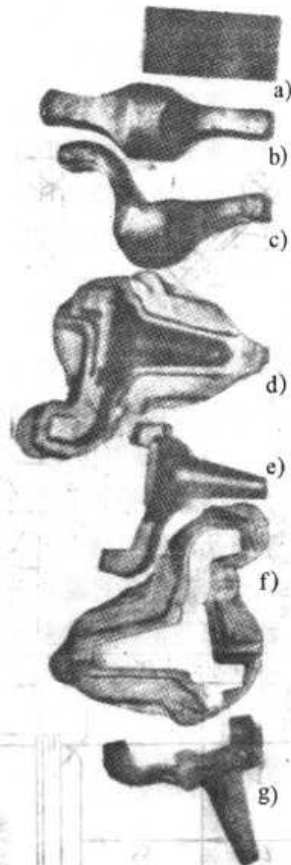


图 24.2-145 特型转向节模锻工艺流程

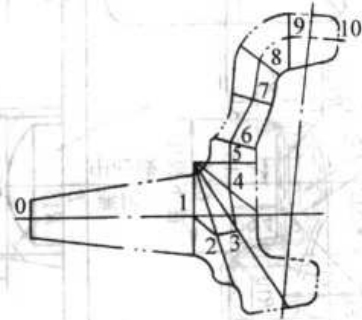


图 24.2-146 特征截面图

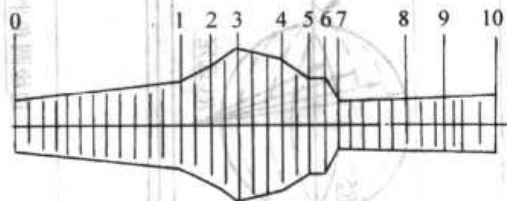


图 24.2-147 计算毛坯图

A 剖面图所示，靠近模具正面为拔长部分，中间为不对称闭式滚压部分。

2) 弯曲模膛 弯曲模膛如图 24.2-148 中 N 向视图，其作用不仅是使拔长滚压毛坯的轴线弯

曲,还要对毛坯上的聚积部分进行成形,其目的是使毛坯金属移向模膛底部尽可能多一些。相应地将P处口部和斜度尺寸设计得略大一些。

3) 预锻件的水平终锻模膛 为了使锻件头部短枝获得良好的充满成形,在短枝两侧转角处的飞边槽桥部设置了阻尼沟,如图24.2-148所示。

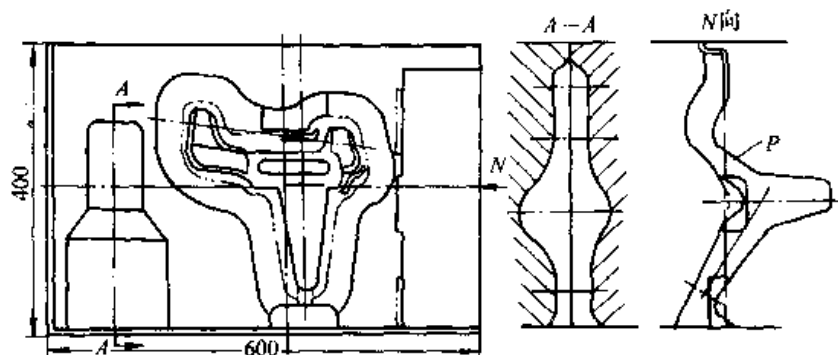


图 24.2-148 预锻件锻模图

4) 终锻 预锻件切除飞边后放入终锻模膛(另一副锻模未示出)立式锻粗终锻成形,因预锻件与终锻件十分接近,所以立锻非常容易,且锻件质量好(图24.2-145g),整个模锻工艺流程在一火内完成,生产效率较高。

5.5 转向主动杠杆锻模

这个锻件的轴线是弯曲的,考虑充满和出模的方便,采取了如图24.2-149及图24.2-150所示的分模方向。

模锻工步为拔长、滚压、预锻、终锻。

为了操作方便,拔长模膛斜置了 10° ,拔长时要将夹钳头一并拔出。坯料调头之后进行滚压,由于拔过的夹钳头截面较小,所以夹钳头占用的金属不多,经过滚压后,大头的截面积得到增加。

由于分模方向确定了需要采用形状锁扣,在 $R70.5$ 的弧面上做出间隙,使分模平面能够确保接触。

根据锻件分模平面所取的位置,使止推锁扣的高度为 27.9 mm ,这个高度基本上符合对锁扣高度的要求,因为锁扣高度过小起不到止推的作用,尺寸过大,就要加大模块以增加模块止推部分的厚度和强度,通常这个厚度不应小于锁扣高度的1.5倍。对于2t、3t锤,如果自然形成的锁扣高度小于 25 mm ,就要人为地加高。

5.6 前减振器支架锻模

材质为35钢,锻件重 1.98 kg 。这个锻件

除轴线是弯曲的以外还带有落差,是比较复杂的锻件,见图24.2-151。在2t模锻锤上模锻。

采用的模锻工步为:拔长、滚压、弯曲、终锻,见图24.2-152。由于沿着锻件轴线各处截面是比较均匀的,所以可不采用预锻,坯料为 $\phi 45\text{ mm} \times 210\text{ mm}$,模锻时不用留钳夹头,即在拔长、滚压及弯曲时的夹持部分,终锻时也全部置入模膛。应注意坯料在弯曲模膛中的定位问题。在弯曲模膛下模支持坯料处,做出深度为 7 mm 和 10 mm 的凹弧形浅槽,这对保证坯料定位的稳定是必要的,坯料前后方向的定位一般靠经验设计并在调整时加以验证。

终锻模膛的设计应使锻件的主轴线与燕尾中心线方向一致,从锻模的平面图看,这似乎比锻件斜放增大了模块的宽度,然而这样设计却是必要的,因为对于这种带有落差的锻件,在加工锻模导面时,可直接利用模块的检验面作为基准面,制造和检验都比较方便。此外,生产中观察锻件错移,判别其错移方向并对模具进行相应的调整也都比较方便。

对于此类带导面的锻模,应特别注意防止金属在导面部分挤入到分型面上,因为它不仅影响锻件的打靠,而且产生很大的侧向推力,使锻件产生错移。对于有止推锁扣的锻模,甚至有可能使锁扣损坏,因此对于该锻模,导面部分的飞边做成双向仓部。

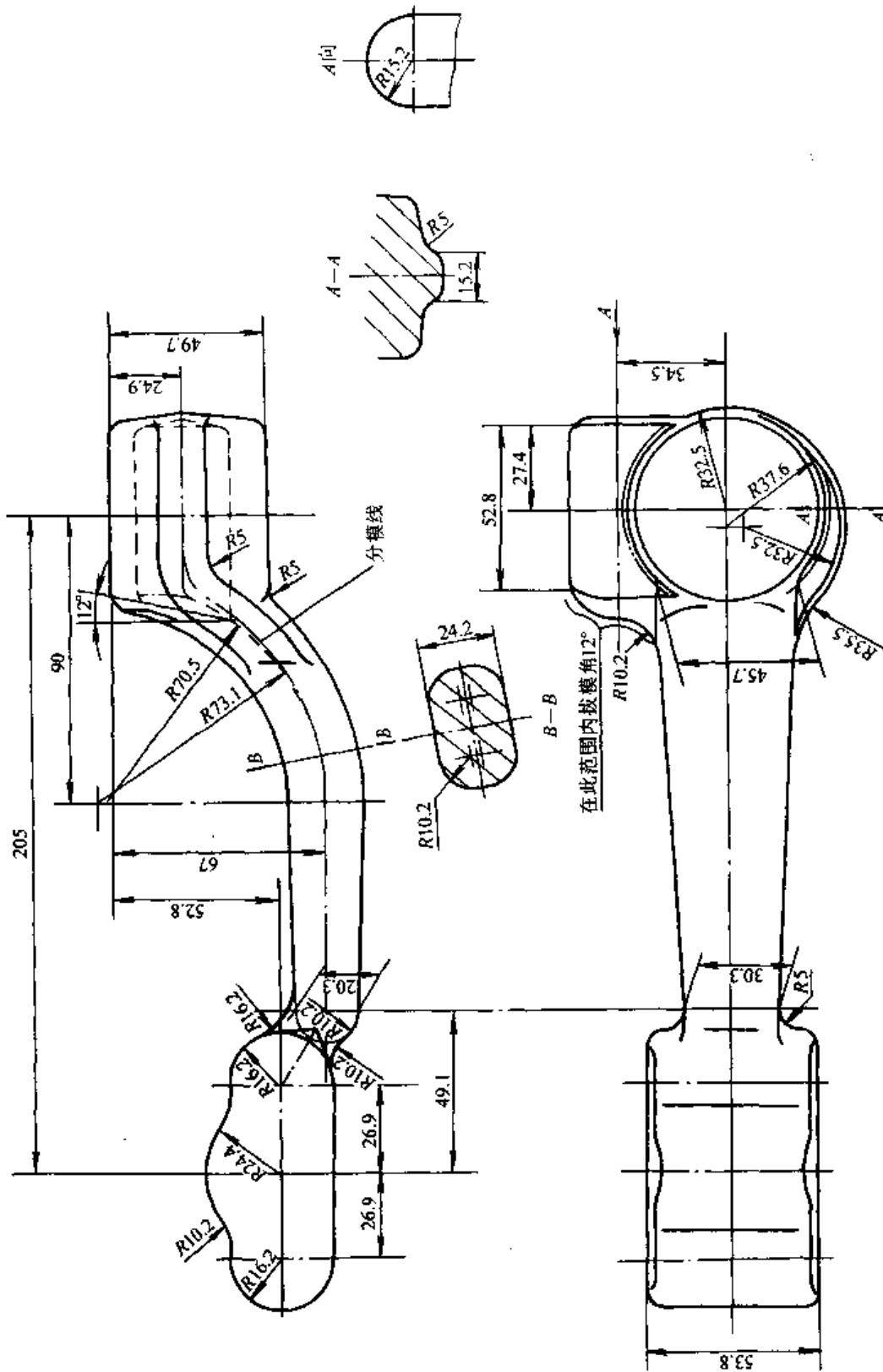


图 24.2-149 转向主动杠杆热锻件图

1. 未注圆角 R3, 拔模角 7° 2. 收缩率 1.5%

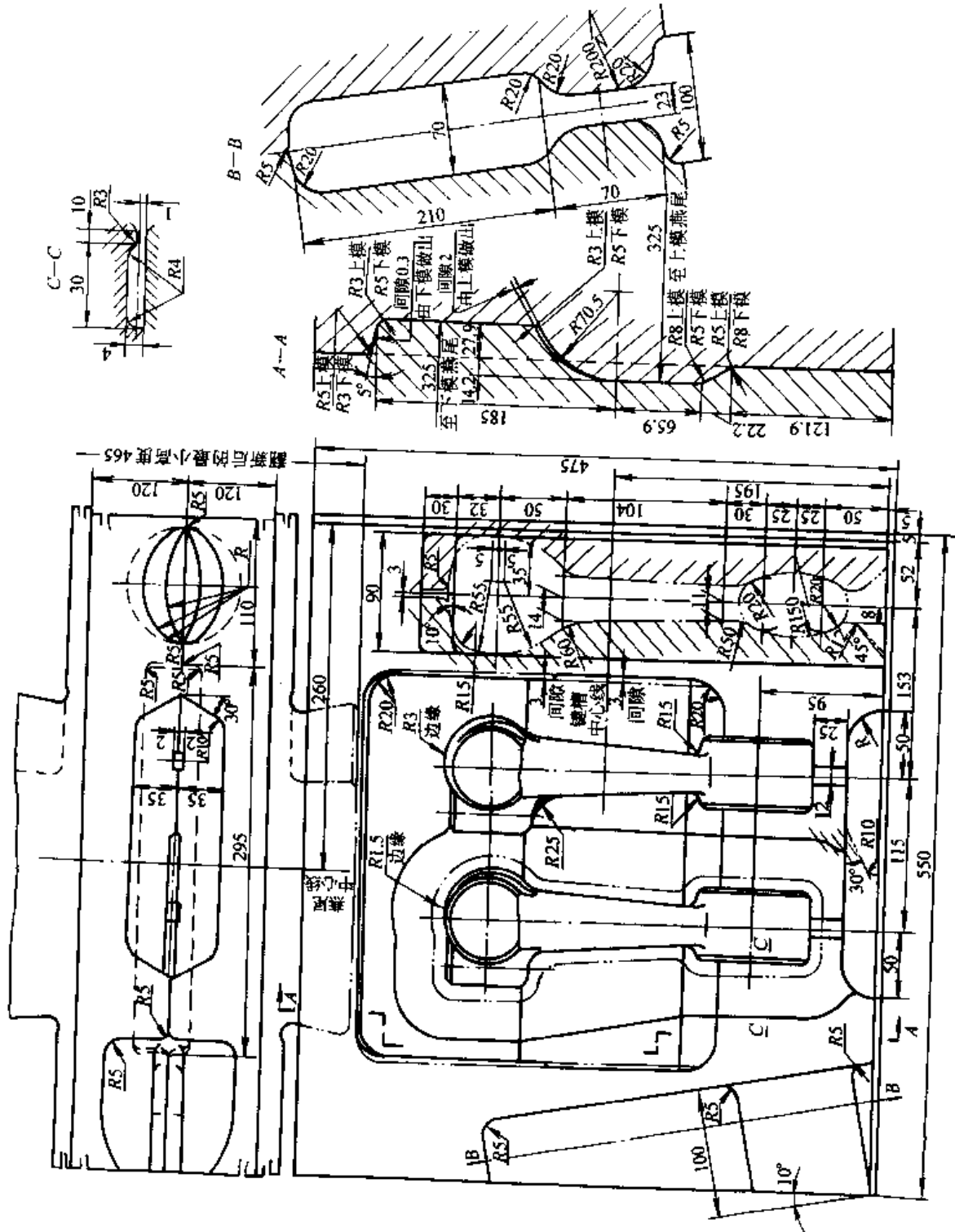


图 24.2-150 转向主动杠杆锻模

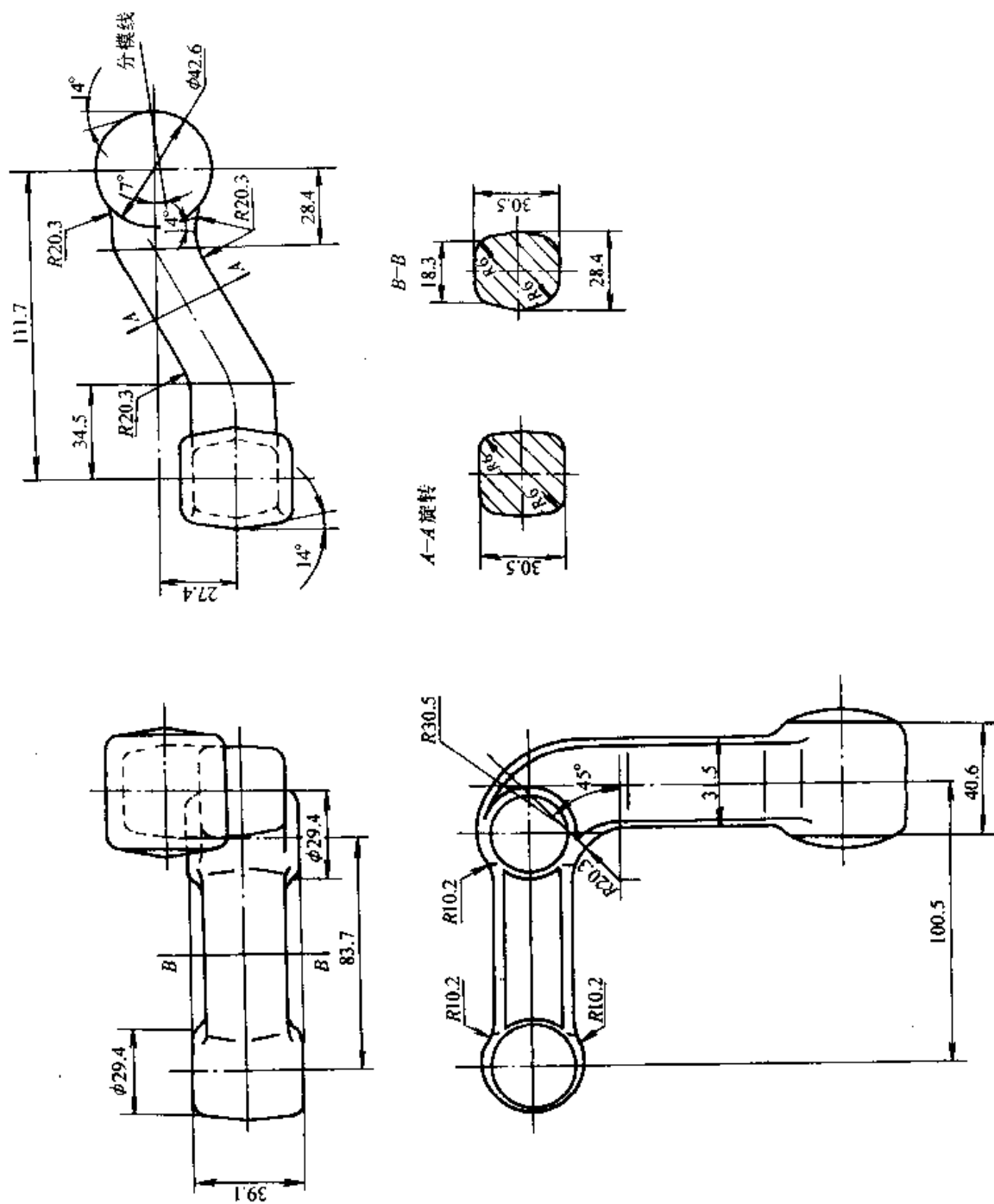
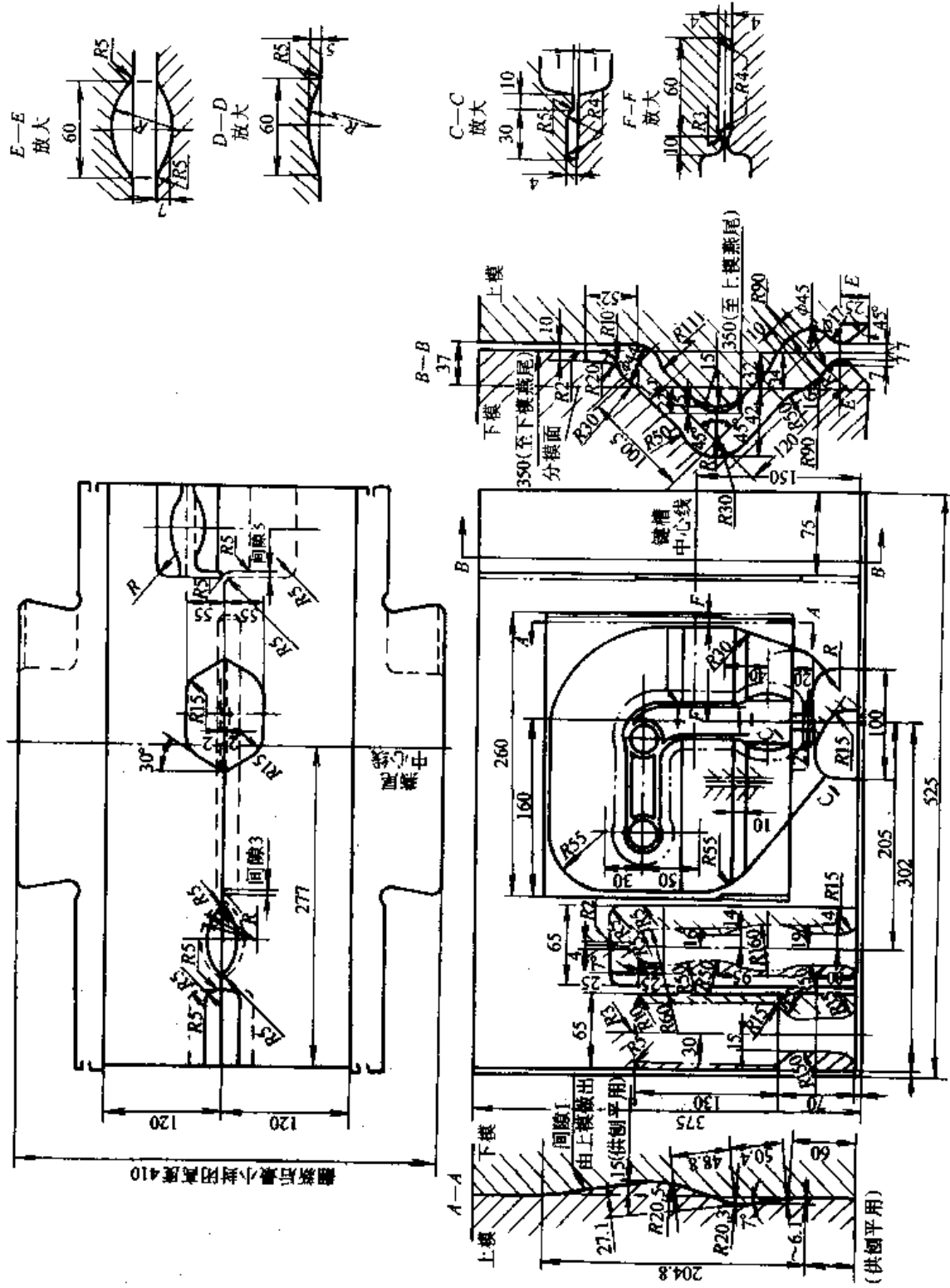


图 24.2-151 前减振器支架锻件图
1. 未注圆角 R3, 拔模角 7° 2. 收缩率 1.5%



5.7 离合器拨叉锻模

热锻件见图 24.2-153, 锻模见图 24.2-154。

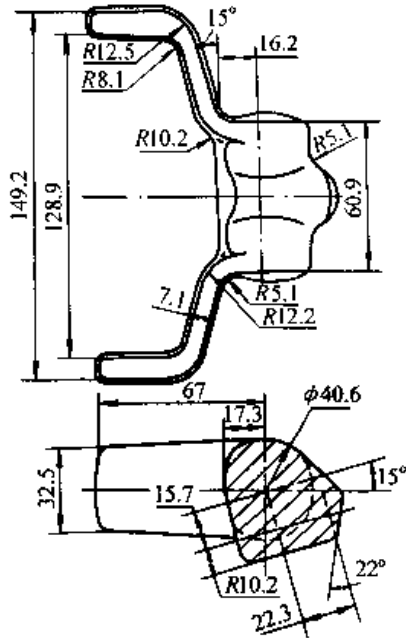


图 24.2-153 离合器拨叉热锻件图

模锻工步为拔长、滚压、弯曲、预锻及终锻。

拔长模膛斜置 10° , 为了避免拔长模膛与滚压模膛之间的楔形区在频繁的锤击下塌陷, 将上下模各铣低 2 mm。弯曲模膛比较特殊, 经过弯曲使坯料在叉腿部分的金属中心位置转移到一侧, 以便使压弯后的坯料与锻件的形状相吻合。从这一点看, 弯曲模膛的局部具有成形模膛的性质。

由于模具有 5 个模膛, 在 2 t 锤上布排已比较紧凑, 所以模具没有设置锁扣。

5.8 曲轴锻模

图 24.2-155 所示为一种轿车曲轴锻件, 重 22.5 kg, 六个连杆轴颈, 呈 120° 分布, 采用滚压、弯曲、终锻, 见锻模图 24.2-156。在 10 t 模锻锤上模锻。

该锻件沿纵向轴线截面最大处为法兰和中部平衡块, 经过滚压可使坯料在这两处的局部截面增大, 从而可以采用较细的棒料来生产, 达到节省金属的目的。此外采用滚压, 可用 $\phi 85$ 的坯料。不进行滚压时, 则要用 $\phi 90$ 的坯料, 会形

成很大的飞边。此外, 坯料的重量 34.8 kg, 从操作的角度看, 采用滚压并不困难。

对于像曲轴这样的大型锻件, 弯曲模膛布置在终锻模膛的那一侧操作方便省力, 要仔细斟酌。除了要考虑加热炉的位置和上料方便外, 更要考虑弯曲后的坯料移入终锻模膛的旋转方向是否省力并符合操作习惯。本例的弯曲模膛在右侧, 弯曲后, 坯料反时针方向旋转 90° 移入终锻模膛。

对于连杆轴颈呈 120° 分布的曲轴, 锻模的导面都较复杂, 模膛形状也很复杂, 所以只要是成形容易的锻件就不设置预锻, 以减少模具制造的困难。此外, 由于没有预锻, 终锻就安排在模具的中心, 这对防止错差是有利的。

终锻模膛应考虑锻件的上下模方向, 通常要使坯料在终锻模膛里容易定位, 放稳, 并将较难于充满的部分置于上模。

5.9 齿轮闭式模锻工艺及锻模

图 24.2-157 所示为采用成形锻粗闭式模锻齿轮锻件。选用直径为 $\phi 80$ mm 的棒料 (模膛中定位凹坑直径为 $\phi 82$ mm), 第一工步为成形锻粗, 成形锻粗即闭式锻粗, 这样较为有利于充满 (挤入) 模膛中 $\phi 70$ mm 的深孔部分, 且坯料的长径比也不会太大; 第二工步也是成形锻粗, 第一工步后将毛坯倒转 180° , 用 $\phi 70$ mm 的一端定位成形另一端, 并使该端锻至最终尺寸, 再将毛坯倒转 180° 进行闭式终锻成形。

由此可以看出, 每一道工步要保证下道工序准确定位, 上一工步已成形的部分, 在下一工步中不变形或少变形。

图 24.2-158 所示, 轮盘类齿轮闭式模锻工艺过程为锻粗、模锻和切除飞边三个工步组成。模锻成形时在锻件下端面周围变形金属首先形成厚为 2 mm、宽为 8 mm 的横向飞边, 然后再沿凸凹模间的间隙形成纵向飞边。这一圈薄的横向飞边相当于开式模锻件的飞边桥部, 模锻后可利用切边模将飞边切掉。

这种改进, 仅增加少量金属材料的消耗, 但可切除飞边, 保证锻件质量, 消除了纵向飞边对后续切削加工的影响, 不再靠手工清除飞边, 大大提高锻件清理的效率, 使得锤上闭式模锻工艺得以更好的应用。

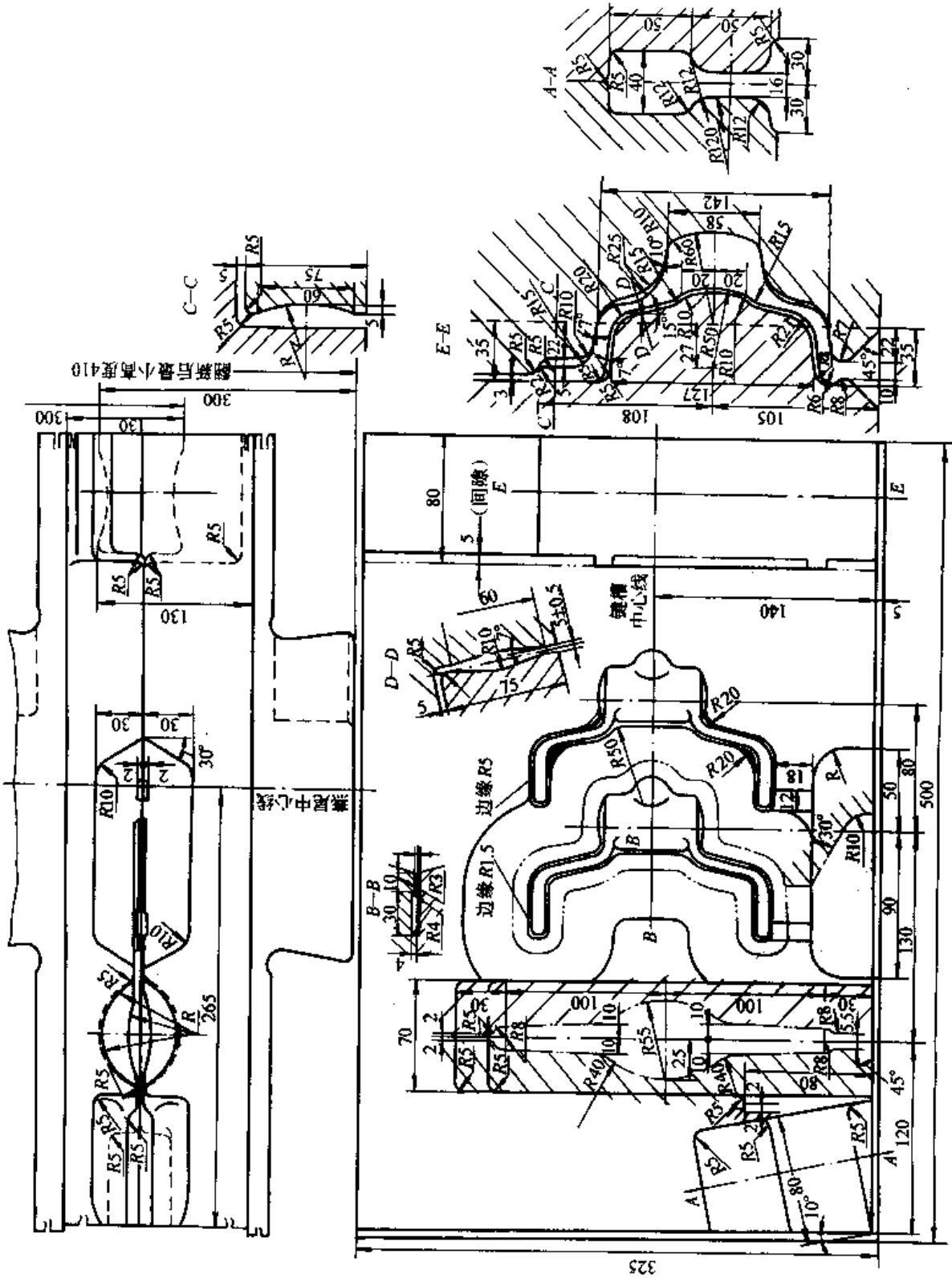


图 24.2-154 离合器拨叉锻模

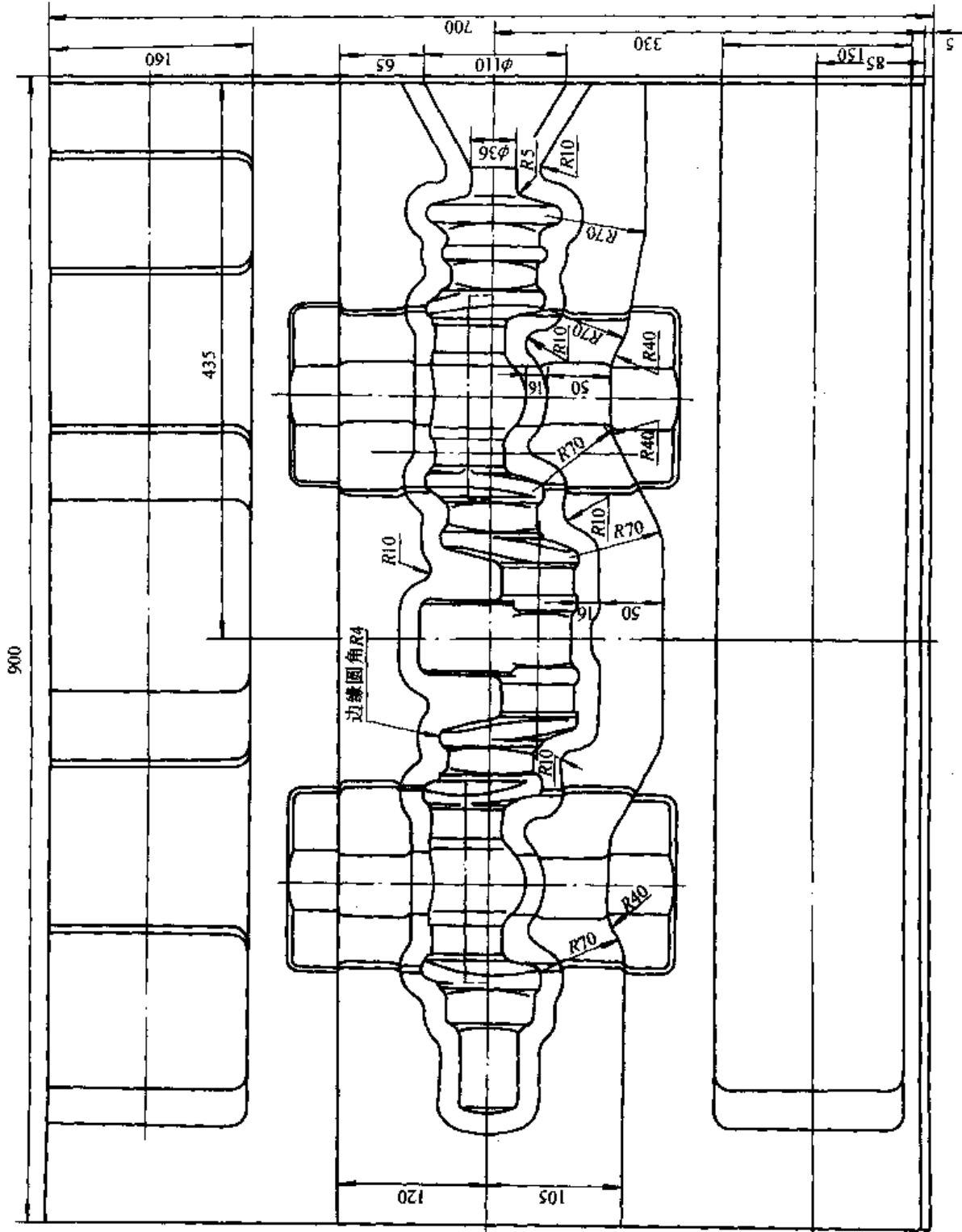


图 24.2-156 曲轴锻模

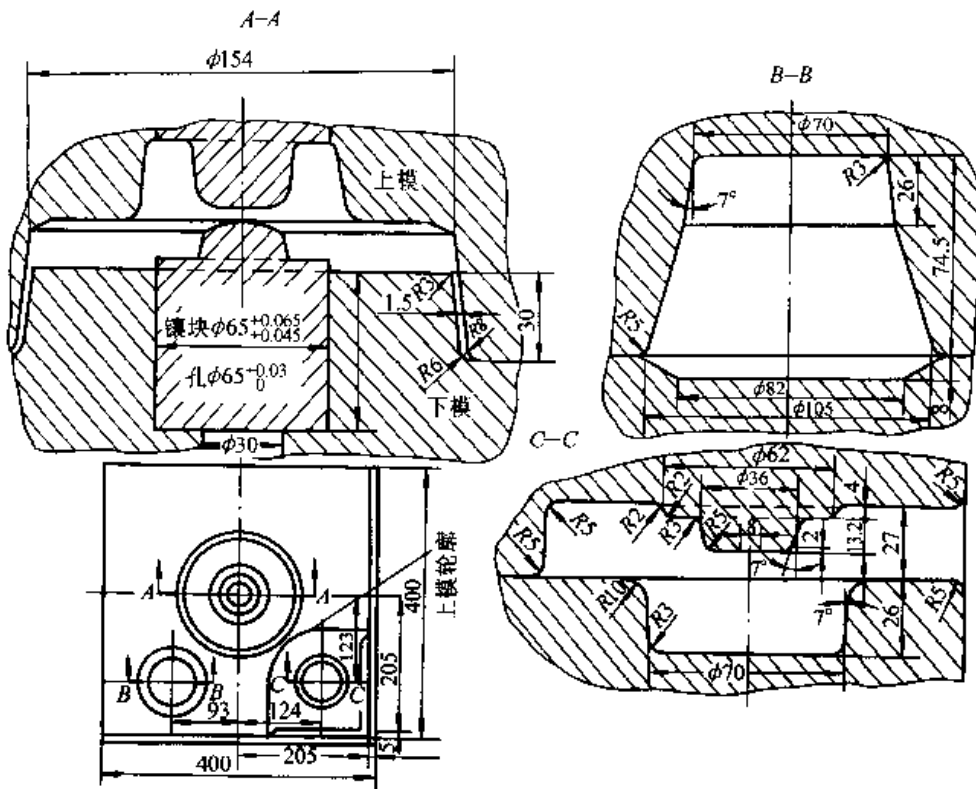


图 24.2-157 齿轮闭式锻粗与终锻模

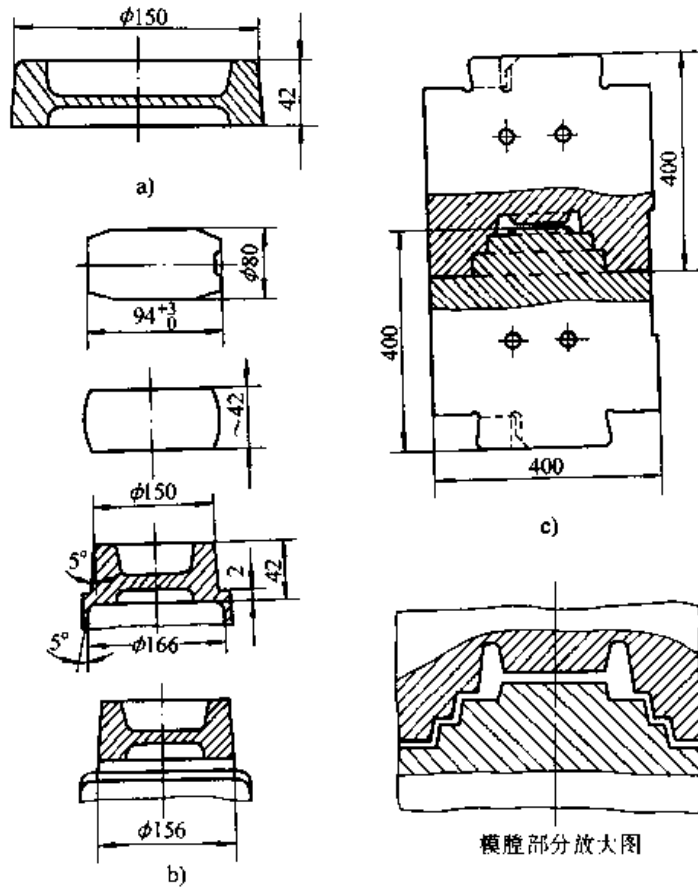


图 24.2-158 轮盘类齿轮的闭式模锻

a) 锻件图 b) 工艺过程 c) 锻模

6 锤用胎模设计

6.1 概述

胎模锻是我国中小型工厂广泛采用的一种锻造方法。某些大型工厂虽然有模锻设备，但是对一些生产批量不大的锻件也采用胎模锻。这是由胎模锻本身的工艺特点以及设备条件、生产批量所决定的。

胎模锻工艺主要应用于两个方面：

- 1) 胎模锻 即从制坯到终锻成形均采用胎模。它主要应用于小批量生产。
- 2) 胎模制坯 即采用胎模制坯，在摩擦压力机或模锻锤上模锻成形。它主要应用于中小工厂的中小批量生产。

首先，由于胎模锻采用的是自由锻设备，工具又是不固定于设备上的活动胎模，所以它具有自由锻造的许多特点，如工具（胎模）简单，工艺灵活多样，大量采用自由锻制坯、胎模焖形等。同时，它在提高锻件质量、节约金属材料、提高劳动生产率、降低成本等方面又优于自由锻造工艺；其次，由于锻件的形状和尺寸精度最终由模具（胎模）保证，因此，它又具有锤上模锻的某些特点。所以，在设计胎模时，要充分注意它和自由锻工具、锤上模锻模具的共同点及相互联系，以便借鉴与吸收自由锻工具和锤上模锻模具设计中的有益经验，但也不能完全搬用，因为胎模锻作为一种独立的锻造工艺，又有其本身的

特点。通常胎模设计中应注意以下几点：

- 1) 选择合理的胎模结构 在胎模锻生产中，同一锻件可采用不同的胎模锻工艺。胎模锻工艺的选择与胎模类型的选择密切相关。对胎模类型相同而胎模结构(如导销式、导锁式、导销导锁联合式、导套式合模)不同的应根据锻件形状、生产批量、精度要求、制模能力以及工人操作习惯等因素具体分析确定，这是胎模设计中的核心问题。
- 2) 在保证模具有足够强度的前提下，应尽量减轻模具的重量，以减轻工人的劳动强度和降低模具材料消耗。
- 3) 模具容易制造、成本低、生产准备周期短。为此要合理选择胎模材料，便于机械加工和热处理；胎模结构应便于翻修，机械加工余量应尽可能地减小。
- 4) 便于操作，提高劳动生产率。因此，胎模结构应保证放料取件容易，翻转移动次数少，模具轻便，尽量减少胎模套数和胎模附件。
- 5) 当锻件生产批量较大时，应考虑简单易行的胎模操作机械化装置，以便减小劳动强度和

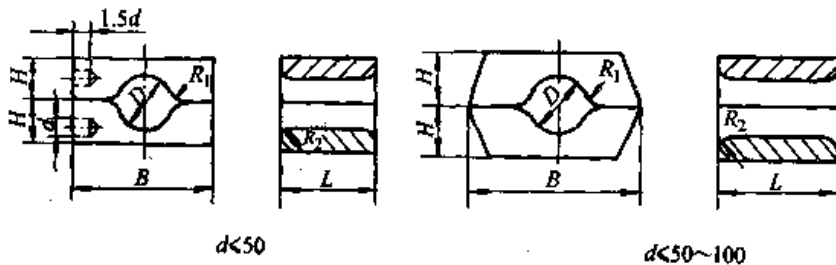
6.2 摔模设计

摔模锻造是一种径向锻造，对摔模使用的基本要求是不“夹肉”，不卡模，坯料旋转方便，摔制表面光洁。

(1) 圆摔

结构型式和尺寸见表 24.2-71。

表 24.2-71 圆摔尺寸 (mm)



D	H	B	L	R ₁	R ₂	d
≤20	35	70	70	10	5	10
20~30	40	80	80	10	6	13
30~40	45	90	90	15	6	13
40~50	50	100	100	15	8	16

D	H	B	L	R_1	R_2	d
50~60	55	110	105	20	8	16
60~70	60	120	110	20	8	16
70~80	65	130	115	25	10	19
80~90	70	140	120	25	10	19
90~100	75	150	125	25	10	19
100~110	80	160	130	25	10	19
110~120	85	170	130	30	12	22
120~130	90	180	150	30	12	22
130~140	95	190	150	30	12	22
140~150	100	200	150	30	12	22

1) 直径 D 当上下摔模闭合(打靠)来控制毛坯被摔部分直径时,圆摔直径等于被摔部分的热态直径。当坯料在摔模内变形量较大,不易打靠时,圆摔直径等于毛坯被摔部分直径减去2~3 mm的欠压量。

2) 模膛断面形状 如金属变形量大,为了提高延伸效率和防止夹料,模膛断面可制成菱形(见图 24.2-159a)。如金属变形量不大或仅用于摔光和校正(整形),模膛断面应近似于椭圆形(图 24.2-159b)。直径 D' 用心棒直接压出。

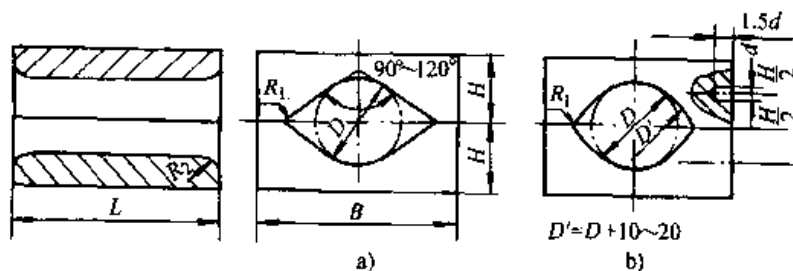


图 24.2-159 圆摔断面形状
a) 菱形 b) 椭圆形

3) 外形尺寸 在不影响胎模强度的前提下,通常应选用较小尺寸,以减轻模重。但在锻造直径相差较大的台阶轴时,需将胎模高度适当增大。

4) 外形尺寸见表 24.2-73。

(2) 型摔

1) 直径 D 确定方法同圆摔。

2) 模膛断面形状 根据锻造时金属变形量的大小,分别采用菱形断面或椭圆形断面,也可以两者组合。型摔各台阶过渡处,均有拔模斜度,并用圆弧光滑连接。

3) 口部尺寸和尾部尺寸(表 24.2-72) 当型摔用于卡料或聚料时,为了提高卡料效率和便于旋转,口部长度应尽量小,并带有斜度 α_2 ,或用圆弧代替直线 L 。其他尺寸参见表 24.2-72。

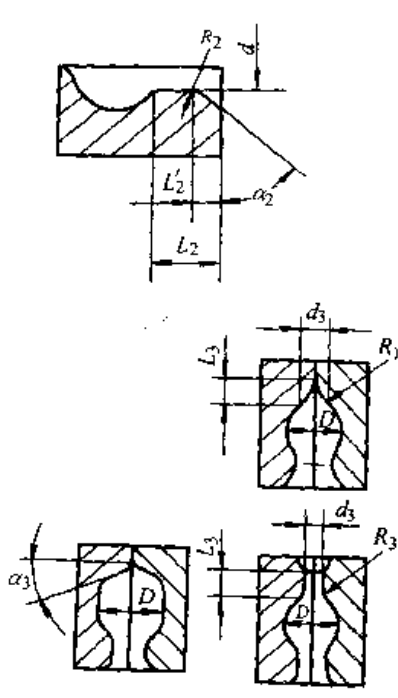
6.3 扣模设计

扣模是一种开式模,近似于锤上模锻的成形模膛,用于制坯或直接成形。

如图 24.2-160 所示是用扣模制坯时的扣模结构及尺寸。合模制坯时,扣模模膛总高度 $2h$ 应比相应的合模模膛宽度减小 2~3 mm,以便于将扣形后的毛坯放入合模内,并造成良好的微粗充满条件。扣模直接成形时,其模膛总高度等于锻件宽度。

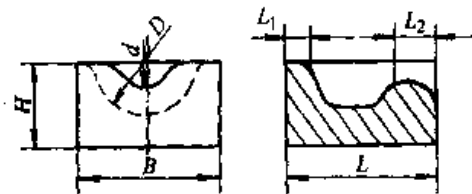
扣模宽度 B 等于锻件扣形部分最大宽度 b 加 20~50 mm。扣模长度 L 等于各个长度方向尺寸之和。扣模高度 H 一般为模膛最大深度 h

表 24.2-72 型棒口部及尾部尺寸 (mm)



d	R_2	α_2	L_2	L'_2
≤ 20	5	60°	16	6
20~50	8	45°	23	8
50~100	12	45°	30	10
100~140	15	30°	40	15
D	R_3	L_3	d_3	α_3
≤ 30	2	5	4	$1'30''$
30~50	5	10	5	$1'30''$
50~100	10	15	8	$3'$
100~150	15	20	10	$5'$

表 24.2-73 型棒外形尺寸 (mm)



D	H	B	L_1	L_2
≤ 30	40	80	35	20
30~40	45	90	35	20
40~50	50	100	40	25
50~60	55	110	40	25
60~70	60	120	45	25
70~80	65	130	45	30
80~90	70	140	50	30
90~100	75	150	50	30
100~125	95	175	60	40
125~150	110	200	60	40

注: $L = L_1 + L_2 +$ 棒形部分长度。

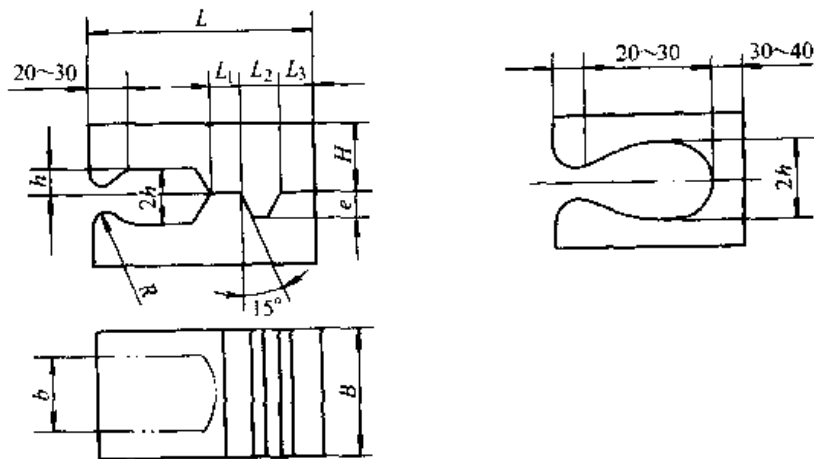


图 24.2-160 扣模结构及尺寸

的2~3倍。扣模口部尺寸一般为10~15mm。扣模导锁尺寸可参见表24.2-74。

表 24.2-74 扣模导锁尺寸 (mm)

h	≤ 10	11~20	21~30	31~40	41~50
L_1	10	15	15	20	20
L_2	15	15	20	20	30
L_3	10	15	15	20	20
e	12	12	16	16	20

注：表中 h 、 L_1 、 L_2 、 L_3 和 e 见图24.2-160。

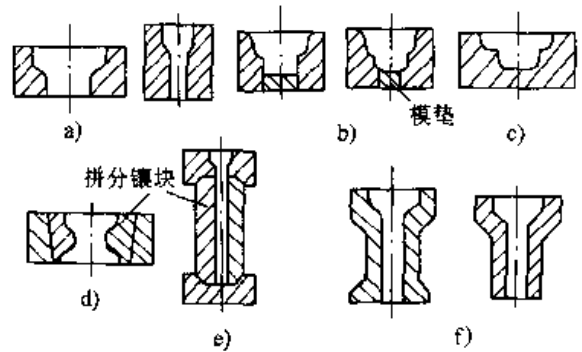


图 24.2-161 垫模

6.4 垫模设计

(1) 垫模结构

垫模是横向小飞边锻造胎模，结构形式较多。如图24.2-161a所示垫模是最简单、最常用的一种，可用于锻造法兰、齿轮、套环等旋转体锻件。图24.2-161b所示为带垫垫模，当锻件其他尺寸相同，只是凸台高度或杆部长度不同时，只须更换垫块即可。图24.2-161c所示是一种整体式不通孔垫模，也称跳模。这种垫模要求模锻斜度较大，模膛表面粗糙度较小，锻造设备能力足够和操作迅速准确。图24.2-161d所示为带有可分模垫模，主要用于双凸缘锻件成形。图24.2-161e所示为组合式垫模，适合于用局部锻粗法锻造长轴类锻件；为了减轻重量，局部锻粗垫模可制成不等外径（图24.2-161f）。

(2) 垫模尺寸

1) 模膛尺寸 垫模模膛尺寸等于锻件公称尺寸加冷缩率。锻件不同停锻温度时的冷缩率见表24.2-75。

表 24.2-75 不同停锻温度时钢锻件的冷缩率

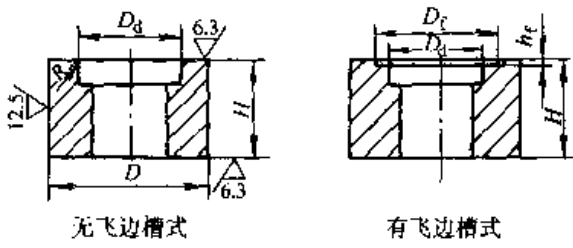
停锻温度 $t/^\circ\text{C}$	冷缩率/%	停锻温度 $t/^\circ\text{C}$	冷缩率/%
700	0.805	1 100	1.265
800	0.92	1 200	1.38
870	1.0	1 250	1.437
900	1.035	1 300	1.495
1 000	1.15	1 304	1.5

2) 垫模外形尺寸 垫模外形尺寸可参照表24.2-76选取。垫模锻造时虽有时产生横向小飞边，但一般不制出飞边槽，这对制模、修模比较简便。但制有飞边槽的垫模在保证锻件高度尺寸精度、保护模口、提高胎模寿命等方面均有一定好处。

(3) 跳模设计要点

跳模（图24.2-162）是整体式不通孔垫模，为了保证锻件顺利地由模膛跳出，设计时要注意如下事项：

表 24.2-76 垫模外形尺寸 (mm)



锻件最大直径 D_d	垫模外径 D	垫模高度		飞边槽尺寸	
		无飞边槽	有飞边槽	D_f	h_f
≤ 100	$D_d + 60$	等于锻件高度 H_d 减去 2~3	等于锻件高度 H_d	$D_d + 20$	1~2
100~150	$D_d + 70$			$D_d + 30$	1.5~2.5
150~200	$D_d + 80$			$D_d + 50$	2~3
200~250	$D_d + 100$			—	—
250~300	$D_d + 120$			—	—

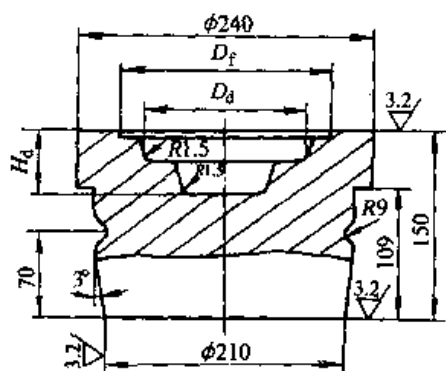


图 24.2-162 标准外径跳模

粗糙度应达 $Ra1.6 \mu m$, 否则影响锻件自动跳出。

2) 模锻斜度一般大于 3° 。

3) 为了使锻件顺利出模, 往往采用锤击能量较大的锻锤锻造, 在这种情况下应适当增大跳模外形尺寸, 以保证其强度。一般跳模外形 $D \geq D_d + 70 \sim 80 \text{ mm}$; 高度 $H \geq H_d + 30 \sim 40 \text{ mm}$ 。

1) 模膛精度可按 H11 级设计, 打磨后表面

6.5 套模设计

(1) 套模结构 (图 24.2-163)

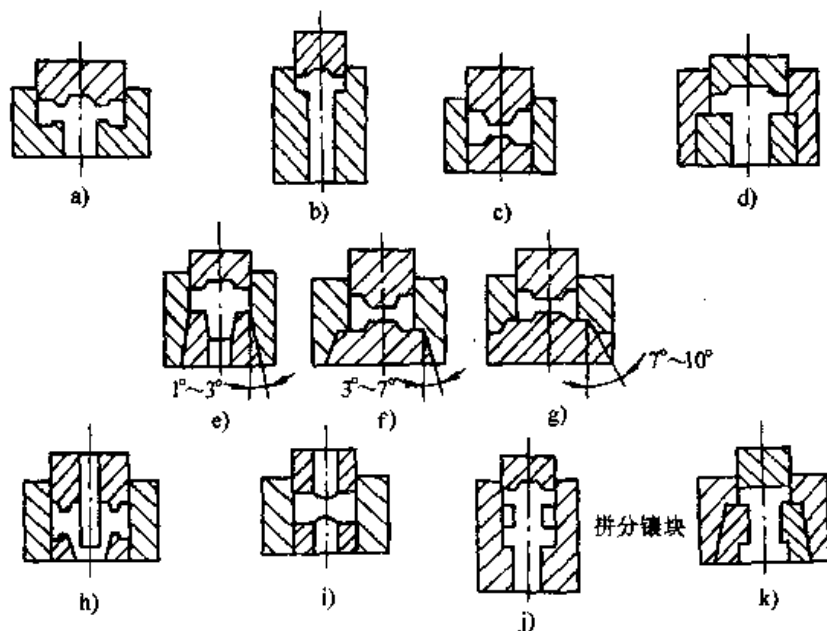


图 24.2-163 套模结构

套模是一种闭式胎模,锻造时不产生飞边,在胎模锻中广为应用。

最简单的套模形式是活动上模垫套模,由上模垫和模套组成(图24.2-163a和b)。这种套模只有两个零件,比较简单,但模套比较笨重,内腔形状不便于锻造、机械加工和热处理。

上、下活动模垫套模可分直壁模套(图24.2-163c、d)和斜壁模套(图24.2-163e、f、g)两种。直壁套模是最典型的形式,由模套与上、下模垫组成。由于模套为环形套,故锻造、机械加工和热处理比较方便。斜壁模套套模便于将模套迅速套在下模垫上,投取锻件时不需翻转,有利于胎模操作机械化。小型锻件可采用模套套在下模垫上的斜壁模套锻造,操作尤为简便。

活动冲头套模由模套、上、下模垫,活动冲头等零件组成(图24.2-163h、i),常用于环套、齿轮和凸缘类锻件的冲挤成形,也可以在模内冲去连皮和校孔。

多分模套模(图24.2-163j、k)即带有拼分镶块的套模,可用于锻造侧壁具有凹槽的锻件,如双联齿轮、双凸缘法兰等。

(2) 套模强度及尺寸

1) 套模强度计算 套模是闭式胎模,变形金属在封闭模膛内成形时,上下模垫承受压力;模套承受径向压应力及切向拉应力。由于影响模具强度的因素较多,模套尺寸一般按经验数值确定。但当所使用的锤吨位偏大时,可参见表24.2-77和表24.2-78进行核算。

表 24.2-77 套模强度核算(空气锤上用)

锻锤落下部分重量 G/kg	75	150	250	400	560	750	1 000
锻锤最大打击能量 J	1 000	2 500	5 300	9 500	13 700	19 000	27 000
锻锤最大行程 $/\text{mm}$	350	410	500	700	715	835	950
按计算最大冷击力 $/\text{N}$	415	1 100	2 300	4 200	6 000	8 300	12 000
模膛水平方向允许最小截面 $/\text{mm}^2$ 或最小直径 $/\text{mm}$ ^①	460 或 $\phi 25$	1 200 或 $\phi 40$	2 550 或 $\phi 57$	4 700 或 $\phi 80$	6 650 或 $\phi 90$	9 200 或 $\phi 110$	13 300 或 $\phi 125$
模壁允许最小垂直截面 $/\text{mm}^2$ ^②	290	760	1 600	2 900	4 200	5 800	8 300

① 此时许用压应力 $\sigma_{\text{pp}} = 900 \text{ N}/\text{mm}^2$, 如 5CrMnMo 等。

② 此时许用拉应力 $\sigma_{\text{bp}} = 720 \text{ N}/\text{mm}^2$, 如 5CrMnMo 等。

表 24.2-78 套模强度核算(蒸汽-空气锤上用)

锻锤落下部分重量 G/kg	1 000	1 500	2 000	3 000	4 000	5 000
锻锤最大打击能量 J	35 500	52 500	70 000	105 000	140 000	175 000
锻锤最大行程 $/\text{mm}$	1 000	1 150	1 260	1 450	1 600	1 700
按计算最大冷击力 $/\text{N}$	13 500	16 000	17 000	22 500	26 000	27 500
模膛水平方向允许最小截面 $/\text{mm}^2$ 或最小直径 $/\text{mm}$ ^①	15 000 或 $\phi 138$	18 000 或 $\phi 151$	19 500 或 $\phi 158$	25 000 或 $\phi 178$	29 000 或 $\phi 192$	30 500 或 $\phi 200$
模壁允许最小垂直截面 $/\text{mm}^2$ ^②	9 400	11 000	12 200	15 700	18 000	19 200

① 此时许用压应力 $\sigma_{\text{pp}} = 900 \text{ N}/\text{mm}^2$, 如 5CrMnMo 等。

② 此时许用拉应力 $\sigma_{\text{bp}} = 720 \text{ N}/\text{mm}^2$, 如 5CrMnMo 等。

2) 模套尺寸(图24.2-164) 模套总高度

H 按下式计算:

$$H = H_1 + H_2 + h_0 + h_4$$

式中 H_1 ——下模垫高度;

H_2 ——上模垫高度;

h_0 ——锻件轮缘部分高度;

h_4 ——上模垫较模套高出部分高度。

模套口部应制成圆角 $R5 \sim R10$ 或倒棱 $5 \times 45^\circ$ 。出口方向制有 $0.5^\circ \sim 0.3^\circ$ 的斜度(见表24.2-79)。

在胎模重量不是主要矛盾的情况下,模套外径可直接按表24.2-79选用,当模套重量大于

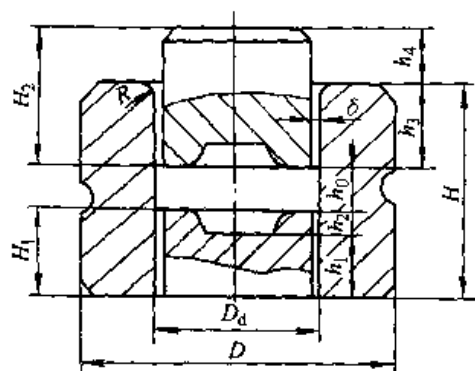


图 24.2-164 模套及模垫尺寸

30~50 kg 时, 应当采取适当措施减轻重量 (图 24.2-165)。

表 24.2-79 模套外径 (mm)

锻件最大直径 D_d	模套外径 D
< 40	$D_d + 70$
41~70	$D_d + 75$
71~100	$D_d + 80$
101~130	$D_d + 85$
131~160	$D_d + 95$
161~200	$D_d + 100$
201~240	$D_d + 110$
241~280	$D_d + 125$

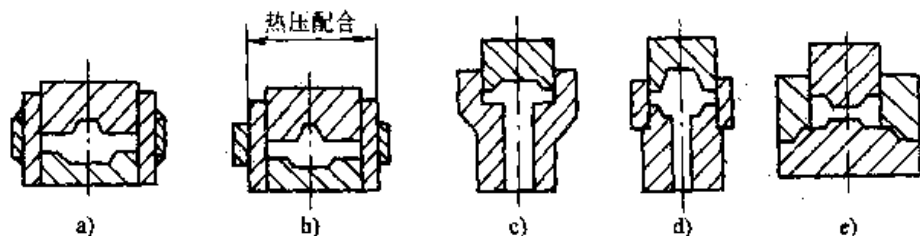


图 24.2-165 减轻模套重量的方法

- a) 薄壁模套焊接套 b) 薄壁模套热压套 c) 台阶模套
d) 配合 (压配、焊接或活动配合) 模套 e) 大模垫模套

3) 下模垫尺寸 下模垫高度 H_1 按下式计算:

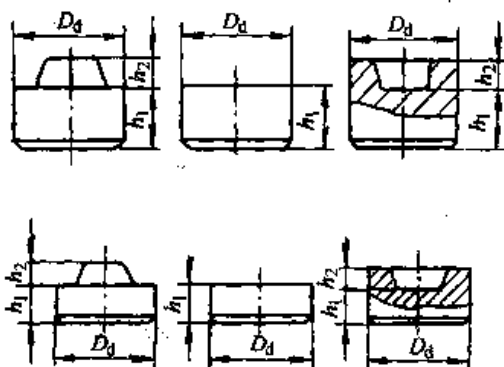
$$H_1 = h_1 + h_2$$

式中 h_1 —— 下模垫厚度, 其最小值按表 24.2-

80 选用;

h_2 —— 按锻件凸台或凹坑高度 (见图 24.2-164 及表 24.2-80)。

表 24.2-80 下模垫最小厚度 (mm)



加模垫部分直径 D_d	< 80	81~120	121~160	161~200	> 200
模垫最小高度 h_1	30	35	45	50	60

4) 上模垫尺寸 (图 24.2-164) 上模垫高度 H_2 按下式计算:

$$H_2 = h_3 + h_4$$

式中 h_3 —— 上模垫伸入模套高度, 按毛坯在套

模中的变形量而定, 但应保证初始导向段长度不小于 15~25 mm;

h_4 —— 上模垫较模套高出部分高度, 当上模垫需夹持时, $h_4 = 30 \sim 50$ mm, 当不需夹

持时, $h_4=0\sim 10\text{ mm}$ (便于修复)。

上模垫与锻锤上砧面接触部分的尺寸(图24.2-166), 取决于锻件直径 D_d 与上砧宽度 B 的比值。

常用空气锤砧宽度参见表24.2-81。

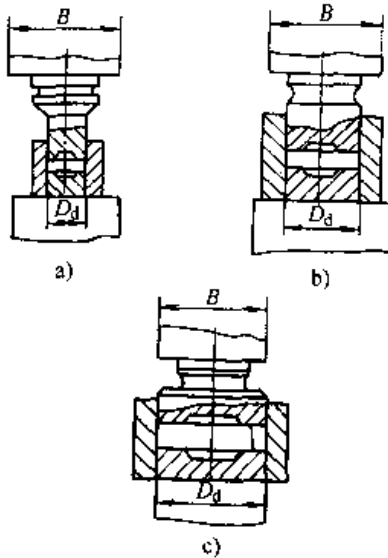


图24.2-166 上模垫头部尺寸

a) $\frac{D_d}{B} < 0.3$ b) $\frac{D_d}{B} \approx 0.5\sim 1.0$ c) $\frac{D_d}{B} > 1.0$

表24.2-81 模套与模垫的配合

公称直径 D_d	H11	C11	b11
<50	+0.17 0	-0.17 -0.34	-0.34 -0.50
>50~80	+0.20 0	-0.20 -0.40	-0.40 -0.60
>80~120	+0.23 0	-0.23 -0.46	-0.46 -0.70
>120~180	+0.26 0	-0.26 -0.53	-0.53 -0.83
>180~260	+0.30 0	-0.30 -0.60	-0.60 -0.90

(3) 导销导锁套模(图24.2-167)

导销导锁套模是常用套模的变态形式。模体为方形(边长为 A), 由上、下模组成, 并设有导销3及导锁4。

下模冲孔冲头2与下模孔座为动配合, 每边间隙为 $0.35\sim 0.5\text{ mm}$, 锻件出模时常将冲头带

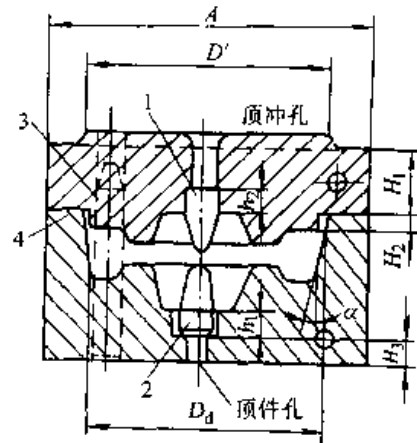


图24.2-167 导销导锁套模

1—上模冲孔冲头 2—下模冲孔冲头
3—导销 4—导锁

出。锻件锻成后必要时通过下模的顶出孔将锻件顶出。上模冲孔冲头1与上模孔座为静配合。上下模导销单边间隙为 $0.25\sim 0.70\text{ mm}$; 导锁单边间隙为 $0.2\sim 0.4\text{ mm}$ 。

导销导锁套模的主要尺寸如下:

$$H_1 = 60\sim 100\text{ mm}$$

$$H_2 = 15\sim 25\text{ mm}$$

$$H_3 = 40\sim 45\text{ mm}$$

$$h_1 = 25\text{ mm}$$

$$h_2 = 30\text{ mm}$$

$$A - D_d = 55\sim 80\text{ mm}$$

导销导锁套模用于齿轮类锻件的成形。

6.6 合模设计

(1) 合模结构

合模是有飞边锻造胎模, 与锤上模锻的终锻模膛相近, 一般由上、下模及导向装置组成。按其导向装置的特点可分为导销式、导锁式、导销导锁联合式和导框式四类(图24.2-168)。

导销合模是最常用的典型合模, 多用于水平分模面锻件的成形。优点是制造、调整和修理方便。缺点是导销所能承受的错移力较小。

导锁合模主要用于弯曲分模面及精度要求较高的水平分模面锻件的成形。其优缺点与导销式合模的刚好相反。

导销导锁联合导向合模与导销导锁导向套模类似, 弥补了前两种合模使用上的缺点。当坯料高度方向变形量较大或锻件分模面水平落差较大时, 采用这种合模较为合适。

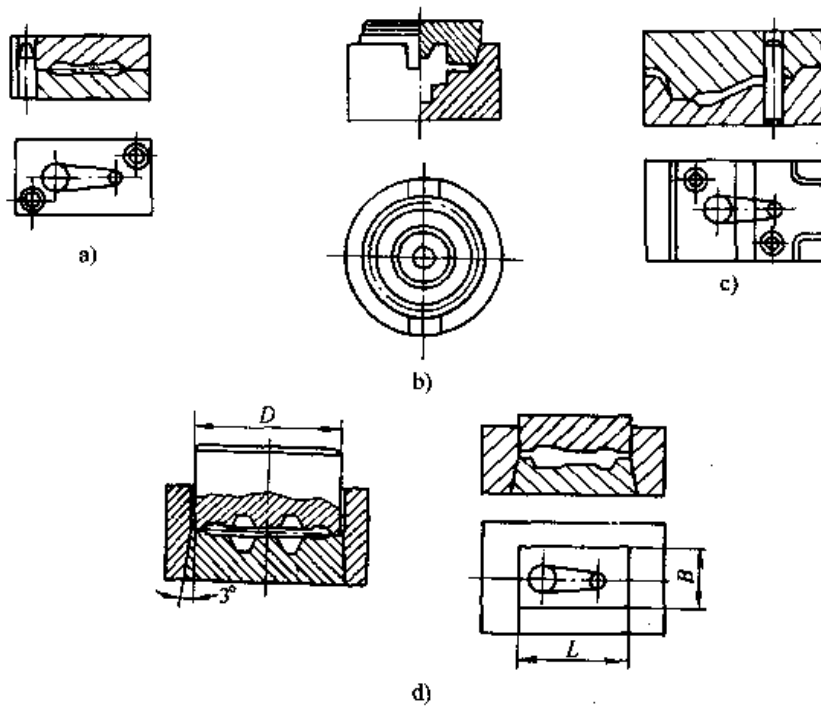


图 24.2-168 合模结构

a) 导销式 b) 导锁式 c) 导销导锁联合式 d) 导框式

导框合模包括圆形及矩形(或方形)两种形式。圆形导框合模与闭式套模近似,但导框合模分模面上制有飞边槽,模垫直径标准化,不等于锻件直径。矩形(或方形)导框合模主要用于锻造形状尺寸相近、长宽比不大于2、生产品种较多的矩(方)形锻件,这时可将模块尺寸标准化,共用同一导框导向。

(2) 合模尺寸

1) 模膛尺寸 模膛尺寸应等于热锻件尺寸,即锻件尺寸加冷缩率,其冷缩率的大小按终锻温度确定。合模炳形的终锻温度较低,冷缩率可取1.0%,也可参考垫模模膛尺寸确定。

模膛加工精度按 H11 级,表面粗糙度 $Ra3.2 \mu m$ 。

2) 飞边槽尺寸 合模飞边槽主要用于储存少量多余金属,与锤上模锻锻模相比,有如下特点:

① 桥部高度增大,宽度与锤锻模的相近;仓部宽度减小,高度与锤锻模的相似。

② 当制坯比较精确时,可制成平飞边槽,甚至不制飞边槽(此时适当减小模膛高度1~3 mm)。

③ 锻件尺寸较小(小于100 mm)时,允许只在下模制出飞边槽,而另一面为平面。

飞边槽尺寸见表 24.2-82。

表 24.2-82 胎模飞边槽形式及尺寸 (mm)

形式	飞边槽简图	锻锤落下部分重量 G/kg	飞边槽尺寸				应用范围	
			h_i	h_1	b	b_1		A' / mm^2
I		250	1.4	—	15	—	21	形状简单制坯良好的锻件
		400~500	1.6	—	18	—	29	
		750	2.0	—	20	—	40	
		1 000	3.0	—	25	—	75	
II		250	1.6	3	8	18	77	形状复杂制坯较差的锻件
		400~560	2.0	3.5	9	20	108	
		750	3.0	4	10	22	129	
		1 000	4.0	5	12	24	216	

3) 导销尺寸 常用导销形式如图 24.2-169 所示。I 型导销在导向部分与固定部分之间有退刀槽, 便于机械加工。II 型导销则改为圆角过渡, 有利于提高导销寿命。III 型导销的导向部分很短 (15~20 mm), 几乎全部长度上均有斜度, 便于分模。

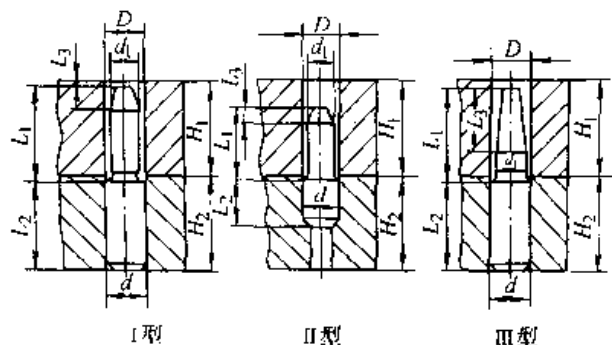


图 24.2-169 导销型式

① 导销公称直径 18、20、22、25、30、35、40、45、50 mm。直径大小取决于模块尺寸、设备吨位和锻件复杂程度, 可按表 24.2-83 或表 24.2-84 选取。

表 24.2-83 按模块高度选择导销直径

模块高度 (H_1, H_2)	公称直径/mm
<50	18, 20
50~70	20, 22, 25
70~100	25, 30, 35
100~120	35, 40, 45
120~140	40, 45, 50

表 24.2-84 按设备能力选择导销直径

锻锤落下部分质量 G/kg	公称直径 /mm
250	18, 20
500	22, 25, 30
1 000	35, 40, 45

② 导销长度 (图 24.2-169)

I 型导销: $L_1 = 0.9H_1$
 $L_2 = H_2 - 2 \sim 5 \text{ mm}$
 $L_3 = 10 \sim 15 \text{ mm}$

II 型导销: $L_1 = (0.8 \sim 0.9)H_1$
 $L_2 = (0.6 \sim 0.7)H_2$

$$L_3 = 10 \sim 15 \text{ mm}$$

III 型导销: $L_1 = 0.9H_1$

$$L_2 = H_2 - 2 \sim 5 \text{ mm}$$

$$L_3 = L_1 - 15 \sim 20 \text{ mm}$$

导销长度应保证毛坯放入下模后进入销孔的导向段不小于 10~15 mm。

③ 导销与销孔的配合 为了使销孔加工方便, 一般采用基孔制配合。上模销孔与导销为 H8/h7~H11/b11 级动配合, 单边间隙为 0.15~0.3 mm。下模销孔与导销为 H8/s7~H8/x7 级静配合。

④ 导销位置 导销中心与模块边缘的距离 c (图 24.2-171) 应大于导销直径 d 的 1~1.5 倍。两导销间距离应尽可能地大, 一般设计在模块对角线上, 此时导销与销孔间的间隙值对锻件错差影响最小。导销与模膛的距离应大于 20~30 mm, 必要时可占用一部分飞边槽仓部。导销位置的选择, 还应便于锻造操作 (便于放料取件)。

4) 导锁 (图 24.2-170) 导锁的形状、尺寸和位置, 取决于锻件的形状、分模面形状 (曲面或平面)、导锁作用 (单纯导向还是平衡错移力) 等因素。

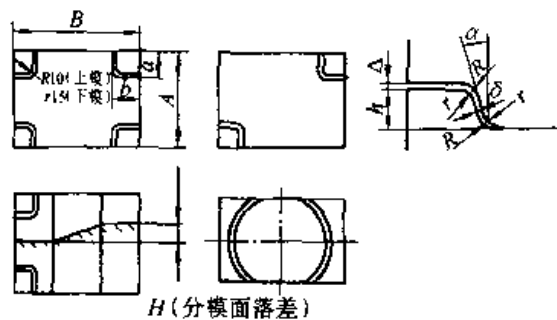


图 24.2-170 导锁结构尺寸

① 导锁高度 h 一般应保证毛坯放入模膛后初始导向高度不小于 10~15 mm。当无特殊需要时, 导锁高度 h 最好低于 35 mm, 以便于加工, 节约模具钢, 并且强度较高。

② 导锁长度 a 和宽度 b 一般 $b \leq a$, b 最小为 $(1.2 \sim 1.5)h$ 。 a 根据具体情况选取, 如为对角布置时, $a = \frac{1}{6} \sim \frac{1}{8} (A + B)$ 。

③ 导锁斜度 α 一般 α 为 $3^\circ \sim 5^\circ$ 。 α 过小, 不易分模; α 过大, 锻件错移增加。

④ 导锁间隙 δ 和 Δ 导锁导向面间间隙 δ 不大于 0.2~0.4 mm; 非导向面间间隙 $\Delta = 1.5$

~2 mm。

⑤ 导锁圆角 R 和 r 导锁的内圆角半径 $R \approx 0.15h$ ，一般为 3~5 mm；相应的外圆角半径 $r = R + (2 \sim 3) \text{mm}$ ，一般为 5~8 mm。

当采用底部不通的环状导锁合模炯形时，可在前后加开两个缺口，以便放料取件；对不易脱模的锻件或长杆类锻件，可以采取底部开通或底部加垫环状导锁合模。

5) 合模外形尺寸 (图 24.2-171)。

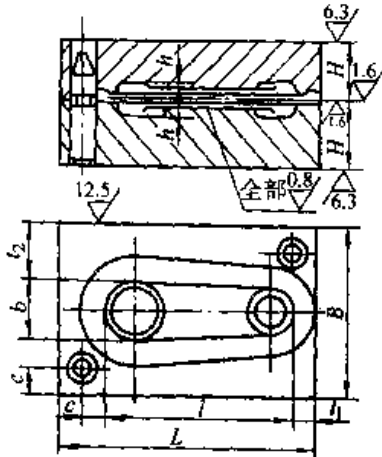


图 24.2-171 合模外形尺寸

① 模块长度 L 和宽度 B L 和 B 分别按下式确定：

$$L = l + 2t_1$$

$$B = b + 2t_2$$

式中 l —— 模膛最大长度；
 b —— 模膛最大宽度；

t_1 、 t_2 —— 模膛长度方向和宽度方向的最小壁厚。可根据模膛最大深度 h 按图 24.2-172 确定，一般应使 $t_2 > t_1$ 。最小壁厚还可按下式计算：

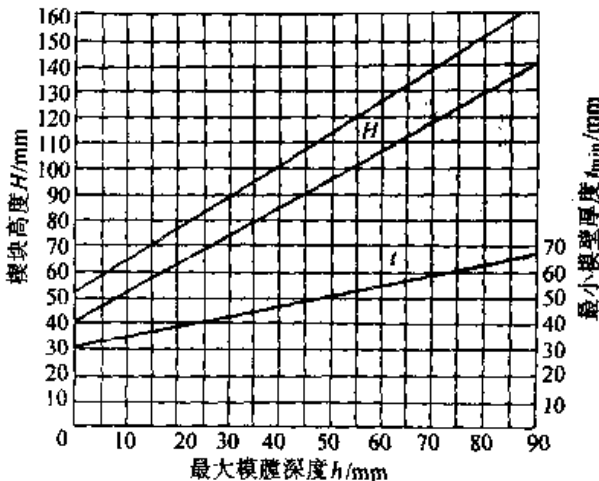


图 24.2-172 模膛壁厚图解

$$t_{\min} = 2.5h + 20 \sim 25 \text{ mm}$$

② 模块高度 H 模块高度 H 可由图 24.2-172 查出，图中上限用于碳素工具钢或中碳钢，下限用于合金工具钢，此外， $H \geq L/4$ 。

模块的最小厚度 ($H-h$) 也可根据所使用的锻锤吨位按表 24.2-85 计算。

表 24.2-85 按锻锤吨位计算合模模块高度

锻锤落下部分重量/kg	250	400	560	750	1 000	2 000
$(H-h)/\text{mm}$	30	35	40	50	60	70

(3) 导框模设计要点

导框合模外框 (图 24.2-173) 主要起导向作用，故壁厚 t 可适当减薄。导框长度 L 及宽度 B 按下式确定：

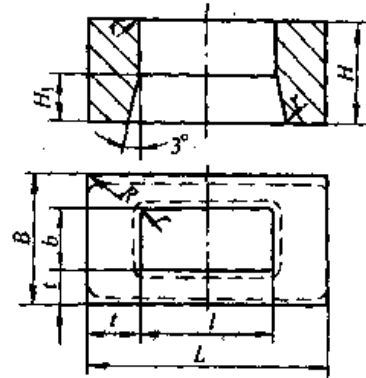


图 24.2-173 导框模外框

$$L = l + 2t$$

$$B = b + 2t$$

式中 L 、 B —— 导框长度、宽度；
 l 、 b —— 相应模膛长度、宽度；
 t —— 壁厚，其最小值见表 24.2-86。

导框高度 H 由下式确定：

$$H = H_1 + H_0 + 15 \sim 25 \text{ mm}$$

式中 H_1 —— 下模块高度；
 H_0 —— 坯料高度或炯形前上下模间距离。

导框下口应有 3° 的斜度，以便导框迅速套在下模上，并与下模配合紧密。锻件的错差仅取决于上模与导框之间隙 (单边间隙为 0.15~0.3 mm)， $r > 12 \text{ mm}$ ， $R > 15 \text{ mm}$ 。

表 24.2-86 导框合模外套最小壁厚

锻锤吨位 G/t	0.2	0.25	0.4	0.75	1.0	3.0
最小壁厚 t_{\min}/mm	30	35	35	40	45	55

6.7 漏模设计

锤上使用的漏模分为切边（冲孔）模及冲形模两大类。前者用以切除飞边（冲孔连皮），后者用以冲切孔和锻件外形。

(1) 漏模结构 (图 24.2-174)

1) 单体切边（冲孔）模 (图 24.2-174a)
这种漏模只有一个凹模或冲头。切边时锻件放在切边模上，直接用锤头打击锻件顶面而进行切边；冲孔时锻件放在下砧上，用锤头打击冲头。这种漏模主要用于外形简单，顶面为平面的锻件。

2) 简单切边（冲孔）模 (图 24.2-174b)
这种漏模由冲头和凹模组成。锻件放在凹模上，上砧打击冲头，进行切边（冲孔）。

3) 带定位板的漏模 (图 24.2-174c) 锤上漏模导向要求不严，一般不采用导柱而采用定位板导向，操作也很方便。

4) 复合模 (图 24.2-174d) 这种漏模虽能在一次锤击中同时切边和冲孔，但因操作不便，

故在锤上很少使用。

5) 局部切边模 (图 24.2-174e) 当局部飞边在一端时，可采用图 24.2-174e 中的左图型式；当局部飞边在中间，两端均需敞口时，可采用图 24.2-174e 中的右图厚底切边型式。

6) 冲形模 (图 24.2-174f) 相当于板料冲压中的厚板冲裁模。也可分为整体和局部两种形式，一般设有导向装置。

(2) 切边模尺寸

1) 凹模形状及尺寸

① 凹模刃口的分类 刃口是切边凹模的工作部分，其周边形状与锻件分模面形状完全一致。常用切边刃口的形式如图 24.2-175 所示。刃口高度 $h = 3 \sim 10 \text{ mm}$ ，薄件、小件取小值。刃口宽度 b 应小于飞边槽桥部宽度 $1 \sim 2 \text{ mm}$ 。斜壁 $\alpha = 3^\circ \sim 7^\circ$ ， $\alpha_1 = 0^\circ 30' \sim 1^\circ$ 。刃口凸台高度 h_1 等于飞边槽仓高或加 $2 \sim 3 \text{ mm}$ 。 $R = 2 \sim 3 \text{ mm}$ 。

② 凹模尺寸 (图 24.2-176) 凹模的长度 L 、宽度 B 和保护台高 h' 可根据锻件的长度 l 和宽度 b 按表 24.2-87 选择。

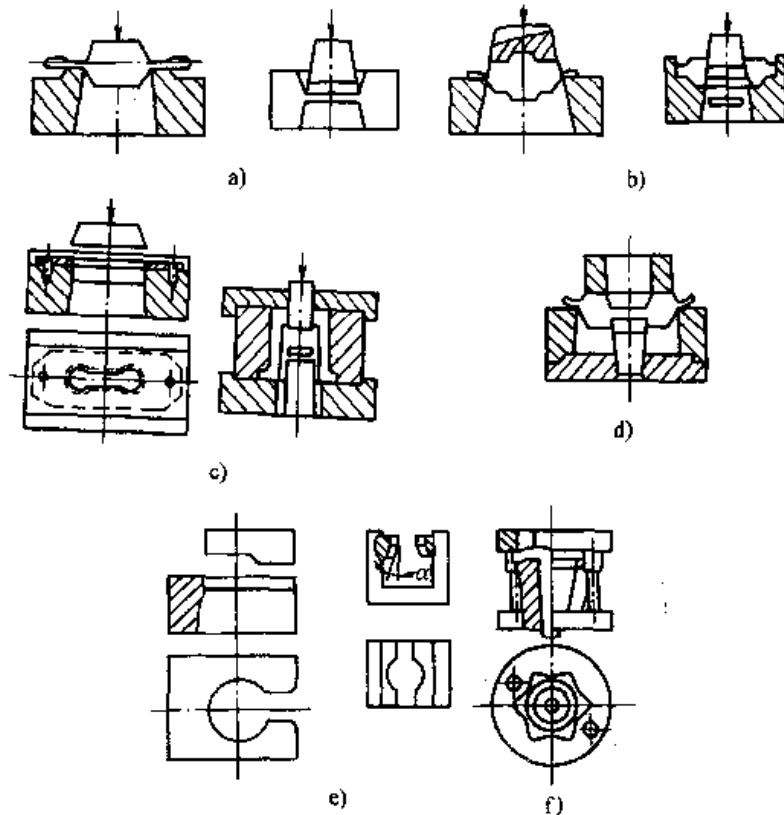


图 24.2-174 漏模结构

a) 单体切边（冲孔）模 b) 简单切边（冲孔）模 c) 带定位板的切边（冲孔）模
d) 复合模 e) 局部切边模 f) 冲形模

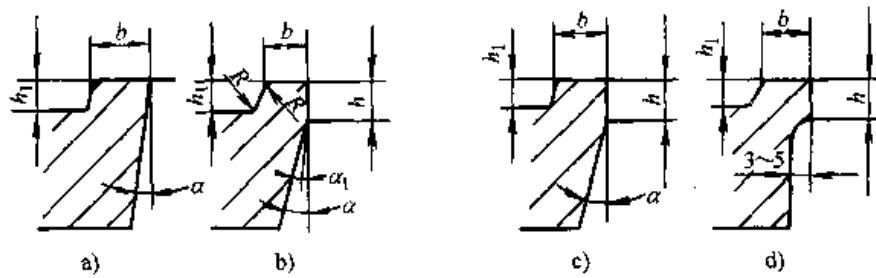


图 24.2-175 凹模刃口型式

a) 斜壁刃口 b) 双斜壁刃口 c) 直壁刃口 d) 双直壁刃口

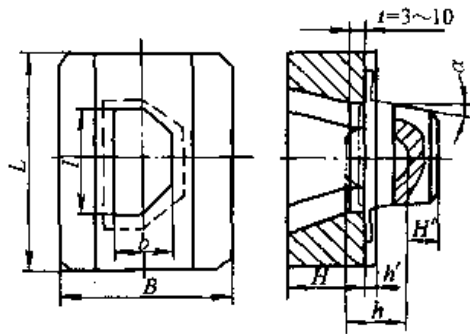


图 24.2-176 凹模尺寸

表 24.2-87 凹模尺寸 (mm)

锻件尺寸(b, l)	B	L	h'
≤60	b + 60 ~ 65	l + 60 ~ 70	6
60 ~ 90	b + 65 ~ 70	l + 70 ~ 75	9
91 ~ 120	b + 75 ~ 85	l + 80 ~ 85	11
121 ~ 150	b + 85 ~ 90	l + 90 ~ 95	13
151 ~ 200	b + 90 ~ 100	l + 95 ~ 100	15

凹模高度 H 可按下列式计算:

$$H = h + H' - h' + 10 \sim 15 \text{ mm}$$

式中 h —— 锻件高度;

H' —— 冲头有效高度。

2) 冲头形状及尺寸 冲头与凹模之间有均匀的间隙 δ , 可按表 24.2-88 选择。冲头与锻件各接触面尽可能一致, 但应在锻件纵向截面过渡处、小凸台的顶面有间隙, 可参考锤上模锻用切边冲孔模的相应数据。

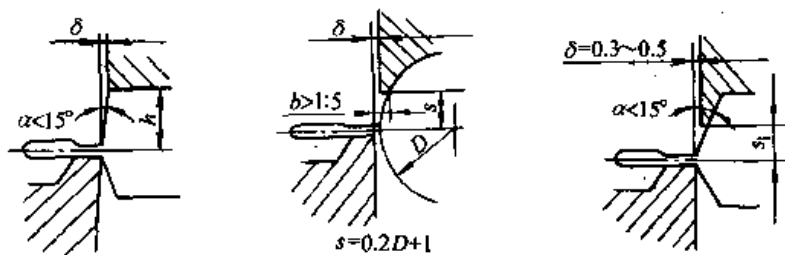
(3) 冲形模设计要点

冲形模的结构形式基本上与切边(冲孔)模相同, 但由于被冲切的毛坯或锻件厚度较大, 所以设计时应注意以下几点:

1) 冲头与凹模都有刃口, 间隙适当, 以防在冲切后锻件上留下残余毛刺。当坯料或锻件厚度 $t = 5 \sim 20 \text{ mm}$ 时, 单边间隙 δ 取 $0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$ 。

2) 冲头应有导向装置, 因为毛坯或锻件一般为平面, 没有定位基准。导向方式可以采用定位板(图 24.2-177)或导销。

表 24.2-88 冲头形状及冲头与凹模的间隙 (mm)



h	δ	D	δ	s_1
<10	0.5	<30	0.5	$s_1 = \frac{3.3 - 0.03\alpha}{\tan\alpha}$
10 ~ 19	0.8	30 ~ 48	0.8	
19 ~ 24	1.0	48 ~ 59	1.0	
24 ~ 30	1.2	59 ~ 70	1.2	
>30	1.5	>70	1.5	

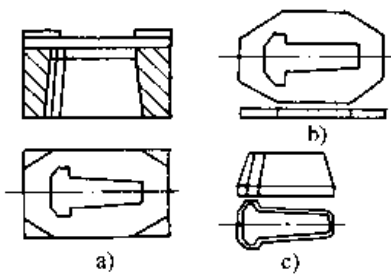


图 24.2-177 定位板导向冲形模
a) 凹模 b) 定位板 c) 冲头

3) 厚度较小的工件可采用冷冲, 但凹模外形尺寸应适当加大, 以提高其强度。

4) 如在炯形胎模内直接冲切孔径时, 冲切凹模可以是下模垫 (图 24.2-178) 或上模垫 (图 24.2-179)。炯形时将凹模出料孔用垫铁填堵, 冲切时去掉垫铁。

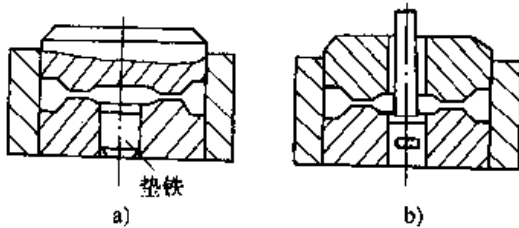


图 24.2-178 下模垫为冲切凹模的胎模
a) 胎模炯形 b) 冲切孔

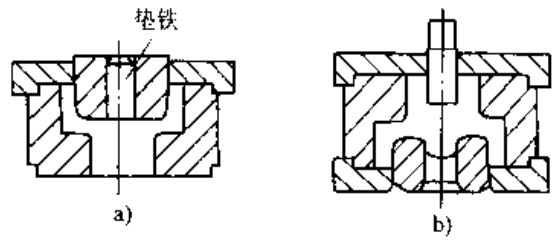


图 24.2-179 上模垫为冲切凹模的胎模
a) 胎模炯形 b) 翻转 180°冲切孔

6.8 胎模附件设计

胎模附件主要包括冲子、夹持工具、定位导向装置、垫环、压环和压垫等。

(1) 冲子 (冲头)

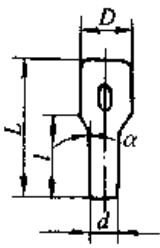
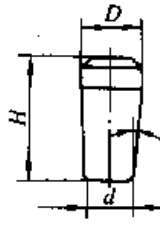
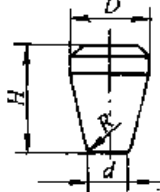
胎模制坯、炯形、切边等工序中常需冲子。由于工艺要求不同, 各种冲子的结构尺寸也有些区别。常用冲子的形状尺寸和使用范围见表 24.2-89。

(2) 夹持工具

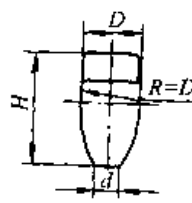

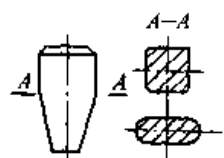
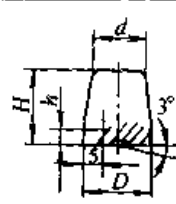
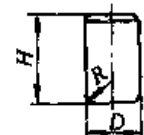
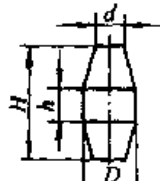
胎模是活动模具, 必须夹持才能操作。夹持工具一般并不绘图, 但在设计胎模时应予充分考虑。常用的夹持工具有三种形式 (图 24.2-180)。

1) 固定式抬棒 (或称模把) 如图 24.2-180a 所示, 将抬棒直接焊接或铆接在胎模上。

表 24.2-89 常用冲子 (冲头) 形状和用途

名称	形状尺寸 /mm	用途及特点
带柄冲孔冲子	 $d = 10 \sim 45$ $l = d + 60 \sim 80$ $L = 120 \sim 180$ $\alpha = 3^\circ \sim 5^\circ$	主要用于冲制较小的孔, 操作方便。为了减少扳手, 冲柄与冲子可采用活接
冲孔冲子	 $d = 45 \sim 180$ $D = d + 5 \sim 20$ $H \approx 1.5d$ $\alpha \approx 5^\circ$	主要用于自由锻制坯, 双面冲孔 (翻转冲孔)。端面齐平, 为了便于夹持, 上端应留有一段圆柱体部分
扩孔冲子	 $d = 45 \sim 100$ $D = d + 20 \sim 40$ $R = 10 \sim 20$ H : 按需要选用	主要用于冲孔后的扩孔。为了减少扩孔次数, 斜度应大一些, 但太大时则可能产生翻孔现象

续表 24.2-89

名称	形状尺寸 /mm	用途及特点
翻边冲子	 <p>$d = \text{翻边前孔径}$ $H = \text{按需要选用}$ $D = \text{翻边后孔径}$</p>	用于锻件内翻边
拔长冲子	 <p>$d = \text{锻件孔径}$ $H > \text{锻件长度}$ $\frac{H}{d} \geq 3 \sim 5$</p>	即拔长心轴。主要用于心轴拔长或棒模拔长。为了退件方便，制有较小斜度，并有四方尾柄，以便钳持
非圆形冲子		用于非圆形冲孔，沿轴向常有圆滑的形状过渡
冲切冲子	 <p>$D = 40 \sim 120$ $d = D - 5 \sim 20$ $h = 5 \sim 15$ $H \approx D$</p>	主要用于冲切及连皮冲孔
挤孔冲子	 <p>$d = 20 \sim 80$ $H = \text{按需要选用}$ $R = 5 \sim 20$</p>	主要用于开式胎模内冲挤、翻挤，直径上几乎无斜度
校孔冲子	 <p>$D = 50 \sim 250$ $d = D - 10 \sim 30$ $h = 20 \sim 45$ $H = 80 \sim 275$</p>	主要用于精度要求较高的孔。校孔段 ($D \times h$) 可以是鼓形。当 $D > 100$ 时，为了减轻冲孔重量，可做成空心的

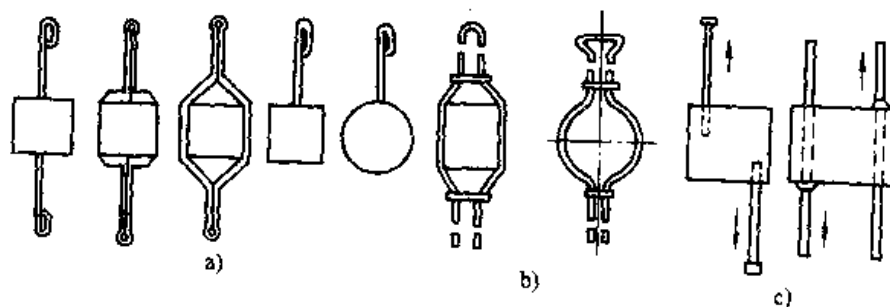


图 24.2-180 拾棒形式
 a) 固定式 b) 套紧式 c) 活动式

2) 套紧式抬棒 (或称抬钳、抱钳) 如图 24.2-180b 所示, 在胎模外壁加工出圆形或矩形凹槽, 抬棒弯曲成与胎模一致的形状, 然后套入凹模并用卡环锁紧。这种抬棒经常用在较大的胎模上, 以便于双人操作。

3) 活动式抬棒 (图 24.2-180c) 胎模上钻孔或焊接短柄, 使用时将抬棒插入孔内或将管子套在短柄上。这种抬棒大多用于中型或需经常取出抬棒的胎模。

(3) 定位导向装置

胎模锻件在切边冲孔时经常需要定位板或定

位圈, 以供冲头定位导向。定位板仅供定位导向用, 不参与金属变形。冷切边时定位板用厚度 2~3 mm 的铁板制成。大型锻件热切边时, 为了防止定位板变形, 可采用较厚的定位板, 厚度在 10 mm 以上。为了防止定位板受到锤击, 凹模上应设有高度大于定位板厚度的保护台。

定位板结构及定位方法如图 24.2-181a、b、c 所示。

参与金属变形, 厚度较大的定位导向装置称为定位圈, 图 24.2-181d 所示为冲挤孔用的定位圈。

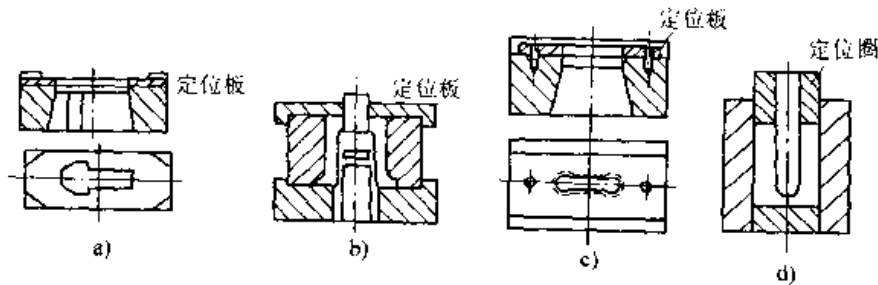


图 24.2-181 定位圈使用示例

(4) 垫环、压环及压垫

垫环可视为直通垫模, 用于圆饼锻件直接成形 (图 24.2-182a、b), 与自由锻锻粗一滚圆工艺相比, 大大提高了锻件质量和生产率。垫环也可用于锻粗制坯 (图 24.2-182c、d) 和锻挤制坯 (图 24.2-182e、f)。在锻挤制坯时, 为了迅速而准确地放置坯料和控制凸缘外径, 可在垫环上端面刻线。如图 24.2-182e 的刻线 1 用于制坯定位, 刻线 2 用于控制凸缘外径尺寸。垫环用于冲孔 (图 24.2-182g) 或投取锻件 (图 24.2-182h)

时, 则称为漏盘。

压环也是一种直通垫模, 一般高度较小, 通常有平压环, 弯焊压环和不通式压环等形式。分别用于金属变形量较大的压槽或挤压、预压圆饼类锻件的矮凸台和压环内径大于上砧宽度或金属变形量较大 (如压制齿轮锻件的轮辐) 的场合, 如图 24.2-183 所示。

压垫可视为无孔垫环或直径大而高度短的冲头, 大多用于压制较浅的凹坑。如图 24.2-184 所示。

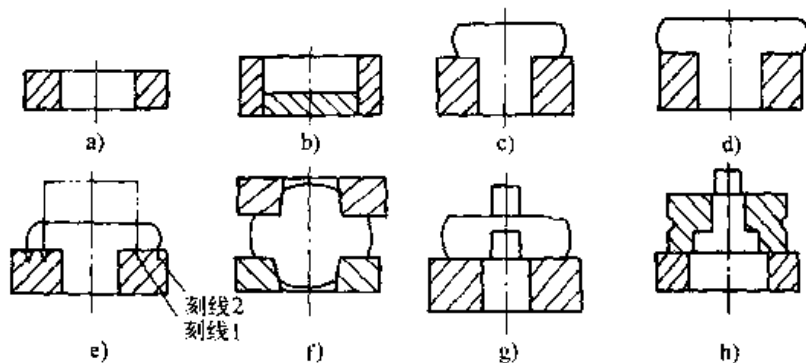


图 24.2-182 垫环结构及用途

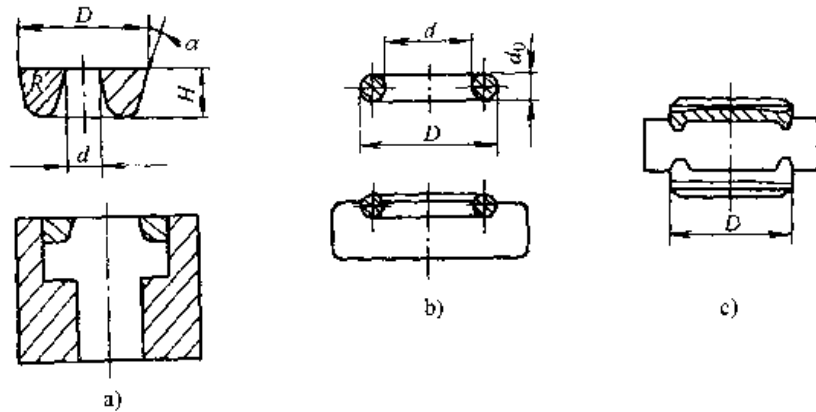


图 24.2-183 压环结构

a) 定型压环 b) 弯焊压环 c) 不通式压环

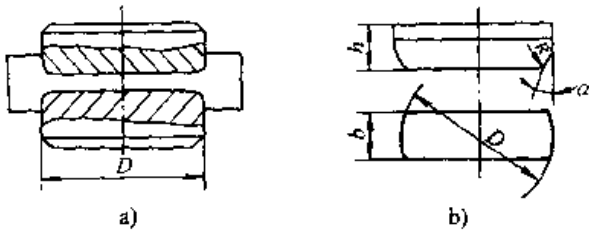


图 24.2-184 压垫结构

a) 圆压垫 b) 局部压垫

在自由锻锤上利用带有型槽的锤头进行锻造生产的方法称之为型砧锻造。此时工具固定在设备上，它相当于模锻锤上模锻的制坯工步，类似于胎模锻中的棒形、扣形、弯曲等工序。型砧既可用于制坯，也可以进行终锻，但主要用于制坯。

1) 型砧直接终锻成形 对于形状特别简单，尺寸变化不大的锻件（如直径相差不大的台阶轴），采用毛坯直接在型砧上终锻的方法可大大提高生产率。图 24.2-185 为型砧锻造的短套类锻件及所用型砧。

6.9 自由锻锤固定模设计

(1) 自由锻锤上型砧锻造工艺及模具设计

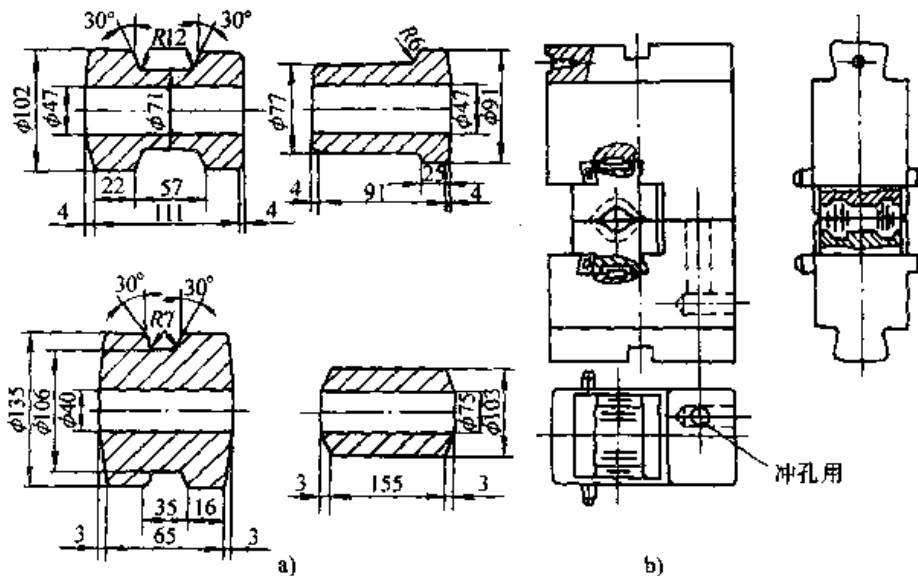


图 24.2-185 短套类锻件型砧锻造

a) 型砧锻短套锻件图 b) 锻造短套类锻件用镦体型砧

2) 型砧制坯 在不宜制坯的模锻设备上模锻（如在摩擦压力机上模锻）时，常采用自由锻锤型砧制坯。自由锻锤上固定模模锻时，也经常

配备另一台自由锻锤为其进行型砧制坯。型砧制坯的方式有：

- ① 局部型砧制坯。当设备吨位不足或模块

尺寸不够时采用。图 24.2-186 为连杆锻件局部型砧制坯工步及其型砧。主要是型砧滚压和型砧拔长，型砧滚压模腔的尺寸关系大致为

$$h/H = 0.4 \sim 0.6;$$

$$L_1 = (1.0 \sim 1.3)H;$$

$$B_0 = (1.1 \sim 1.2)H;$$

$$B_1 = (0.8 \sim 1.0)H$$

型砧拔长模腔的尺寸关系大致为

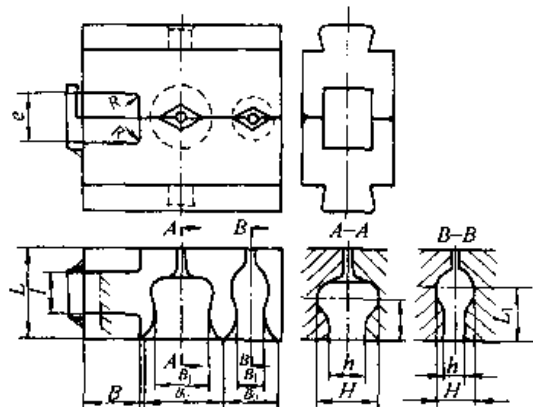


图 24.2-186 局部型砧制坯模

$$B = (1.0 \sim 1.3)D_0;$$

$$l = 1(1/4 \sim 1/3)L;$$

$$e = d_1 - d_2 + 10;$$

$$R = (0.2 \sim 0.4)D_0$$

其中， D_0 为原始坯料直径； d_1 、 d_2 分别为计算毛坯的最大直径和最小直径。

② 型砧整体制坯。用于批量较大的小型锻件的制坯。如图 24.2-187 所示。

3) 型砧结构

① 整体型砧 适用于种类不多、批量较大的锻件制坯，如图 24.2-188 所示。整体型砧结构简单，但模具消耗大。

② 镶块型砧 在锻件种类较多的情况下，为了简化型砧制造、节约模具钢（本体用普通结构钢制造，工作部分用模具钢制成镶块）和便于更换镶块而采用镶块型砧。

(2) 固定模结构、紧固与导向

1) 自由锻锤上固定模模锻应采取的措施 与模锻锤相比，自由锻锤的刚性差，锤头导向长度

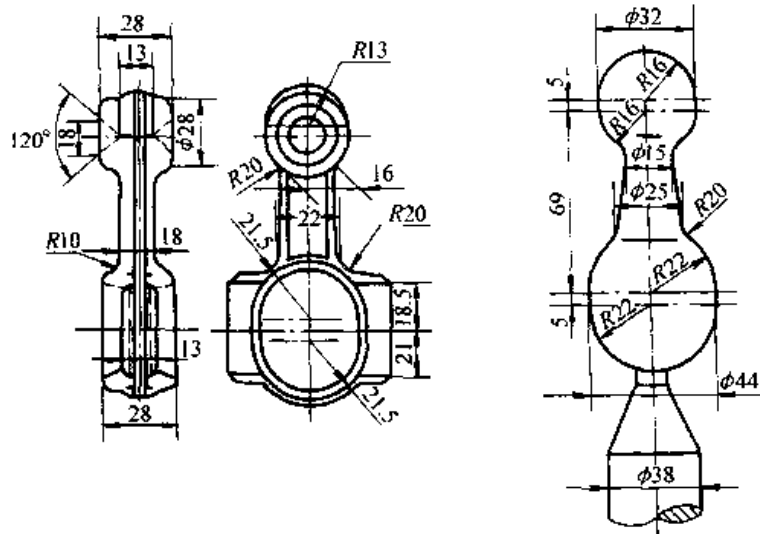


图 24.2-187 型砧整体制坯

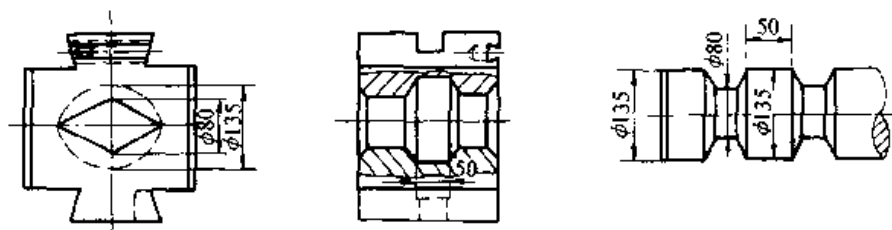


图 24.2-188 整体型砧

较短，导轨间隙大，砧座重量轻，打击时跳动幅度大，等等，因此在自由锻锤上进行固定模模锻时，锻件易产生错移、锻不足等缺陷。为了使自由锻锤适应固定模模锻，应采用一些如下措施：

- ① 必须在模具上设置导向定位装置（一般为导锁），以提高导向准确性，防止打击时错移，克服自由锻锤导轨短导向性差的缺点。
- ② 设计模具时应使模膛中心尽量与锤杆中心一致，以防止偏心打击。
- ③ 选用锻锤时，吨位应适当偏大一些，以减少砧座跳动过大而造成锻不足的现象。
- ④ 采用与模锻锤上相同的紧固方法，即采用定位键，以防止锻模沿燕尾槽方向移动，采用斜楔，工作时安全可靠。
- ⑤ 加强锤的维护管理，保证锤的使用精度，如发现砧座偏斜，导轨磨损等应及时维修。

2) 固定模结构

① 整体式固定模 整体式固定模常用于如下情况：

- a) 当锻件尺寸较大，采用镶块模砧面尺寸不够时；
- b) 利用原胎模锻造使用的合模经加工出燕尾后而做为固定模使用时；
- c) 当锻件分模面水平落差较大而无法采用

镶块模时(因为此时采用镶块模导向装置不可靠)；

d) 偶然生产一批模锻件而无现成模体供选用时。

整体固定模可用斜楔、定位键直接固定在锤头和下砧座上，也可以通过上下接模固定，如图 24.2-189 所示。

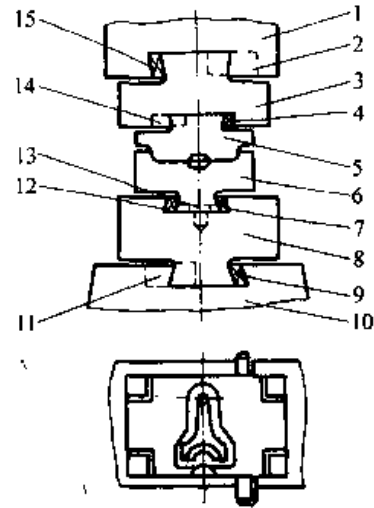


图 24.2-189 整体式固定模

- 1—锤头 2、11、14—定位键 3—上接模
- 4、9、15—斜楔 5—上模 6—下模 7、12—调整楔
- 8—下接模 10—砧座 13—下模定位销

② 镶块式固定模 (图 24.2-190)。镶块式固定模使用最为普遍，因为：

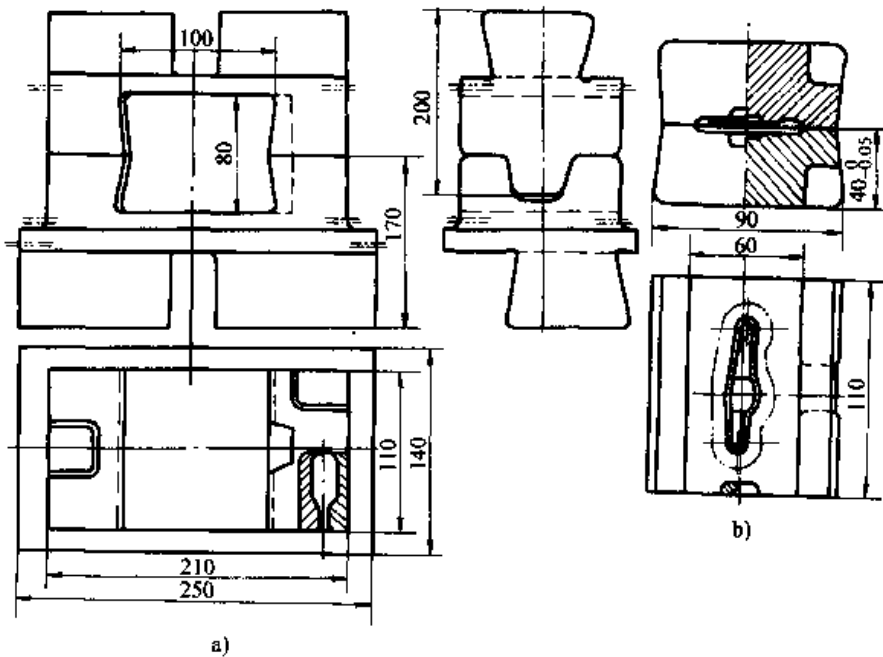


图 24.2-190 镶块式固定模

a) 模体 b) 镶块

a) 镶块尺寸小, 锻造、机械加工、热处理等都比较方便;

b) 镶块与模体采用不同的材料, 可节约贵重的模具钢;

c) 镶块体积小, 管理、搬运、安装都比较方便。

3) 镶块紧固方式 常用的镶块与模体紧固方式参见表 24.2-90。

4) 为防止活塞冲击工作缸的下法兰, 并使锻模能够翻修, 上、下模(包括接模)的高度总和应比原来上、下砧允许的最小高度之和大 10~20 mm。对空气锤, 为了保证上接模能缩进气缸, 接模沿对角线的尺寸 B 应比锤杆直径 D 小 10~20 mm (图 24.2-191)。

5) 固定模导向方式 固定模常采用导锁(角导锁、侧导锁、纵向导锁、圆形导锁)导向和导销导向(图 24.2-192), 应用最多的是导锁导向, 因为导锁导向可靠, 上下模容易分开, 但模具制造复杂。

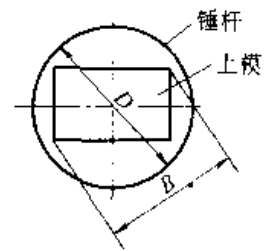


图 24.2-191

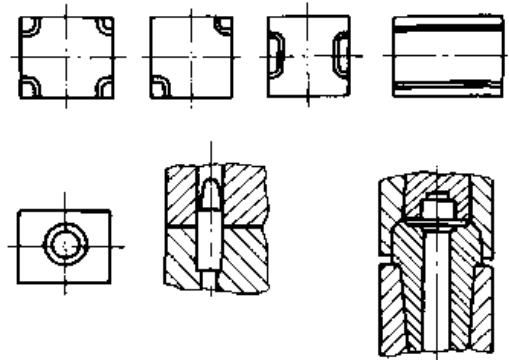


图 24.2-192 固定模导向方式

表 24.2-90 镶块与模体的紧固方式

紧固方式	结构简图	特点及应用
1. 楔紧固		<p>更换容易, 调整方便, 应用广泛。镶块既可以是矩形, 也可以是圆形</p>

续表 24.2-90

紧固方式	结构简图	特点及应用
2. 螺钉侧面紧固		<p>简单方便，多用于小型锻模的紧固，但不十分可靠</p>
3. 螺钉端面拉紧紧固		<p>固定可靠，多用于小型锻模的紧固。但更换不方便，需拆下模体方可更换</p>
4. 销子紧固		<p>结构简单，装拆方便，主要用于圆形镶块。但销子易变形，造成镶块错移，影响锻件质量</p>

紧固方式	结构简图	特点及应用
5. 缸套紧固		简单, 固定可靠。但拆卸困难, 仅适用于圆形镶块的紧固

6.10 胎模设计实例

胎模的结构比模锻设备所用锻模的结构简单, 但胎模工艺灵活, 种类繁多, 故本节举例, 略去锻件的工艺计算和胎模设计过程, 只列举一些典型锻件的胎模锻工艺过程和相应的胎模结构, 以此掌握各类胎模的选用和结构设计。

例1 单法兰锻件——阀体胎模锻 (图 24.2-193)

锻件材料: 45 钢; 锻件重量: 9.5 kg; 坯料尺寸: $\phi 100 \text{ mm} \times 162 \text{ mm}$; 设备: 1 t 锤; 火次: 三火; 工序: ①拔长一端并棒光; ②套模预锻; ③套模终锻。

例2 双法兰锻件——倒挡齿轮胎模锻 (图 24.2-194)

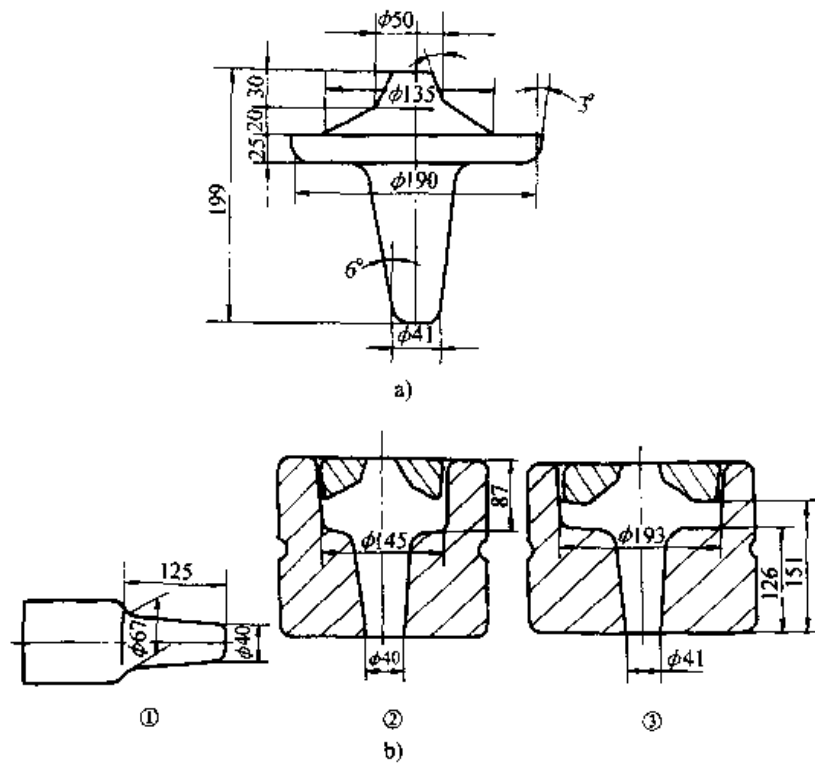


图 24.2-193 阀体锻件及其胎模
a) 锻件 b) 胎模锻工艺及胎模

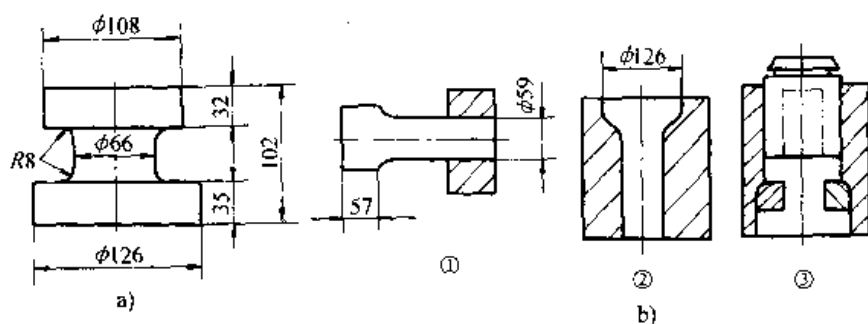


图 24.2-194 倒档齿轮锻件及其胎模

a) 锻件 b) 胎模锻工艺及胎模

锻件材料: 18CrMnTi; 锻件重量: 6.6 kg;
坯料尺寸: $\phi 100 \text{ mm} \times 116 \text{ mm}$; 设备: 560 kg
空气锤; 工序: ①拔长; ②墩粗小端凸缘; ③墩
粗大端凸缘。

例 3 有孔法兰锻件——齿轮胎模锻 (图
24.2-195)

锻件材料: 45 钢; 锻件重量: 8.86 kg; 坯
料尺寸: $\phi 100 \text{ mm} \times 154 \text{ mm}$; 设备: 1 t 蒸汽-空
气锤; 火次: 一火; 工序: ①墩粗; ②在套模中
用活动冲头挤压成形; ③冲切连皮。

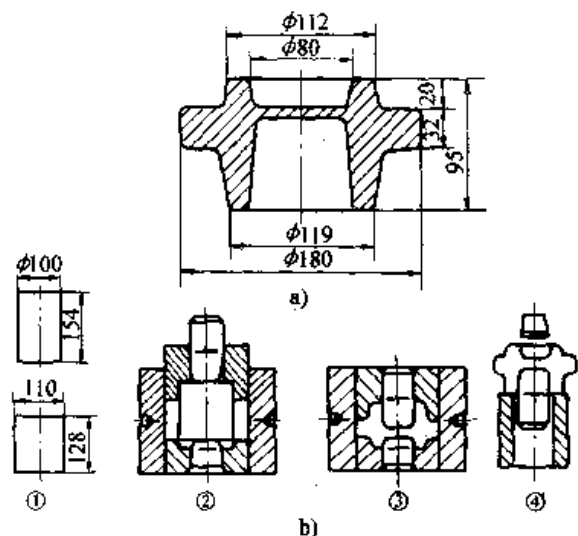


图 24.2-195 齿轮锻件及其胎模

a) 锻件 b) 胎模锻工艺及胎模

例 4 杆筒锻件——后半轴套管胎模锻 (图
24.2-196)

锻件材料: 45 钢; 锻件重量: 13.5 kg; 坯
料尺寸: $\phi 100 \text{ mm} \times 236 \text{ mm}$; 设备: 1 t 蒸汽
锤; 火次: 两火; 工序: ①拔长并棒光杆部; ②
预冲挤; ③终冲挤; ④切边。

例 5 轮盘锻件——常啮合齿轮胎模锻 (图
24.2-197)

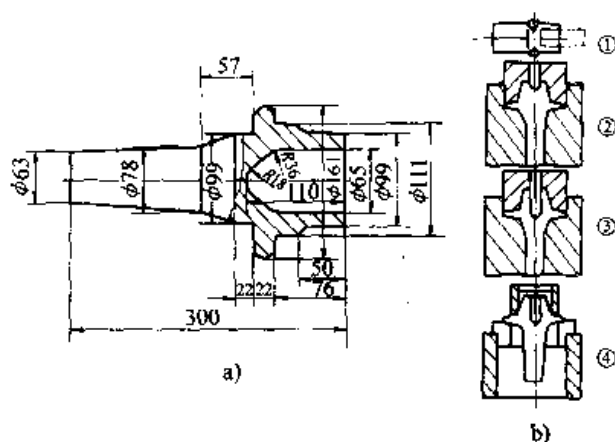


图 24.2-196 后半轴套管锻件及其胎模

a) 锻件 b) 胎模锻工艺及胎模

锻件材料: 18CrMnTi; 锻件重量: 6.2 kg;
坯料尺寸: $\phi 130 \text{ mm} \times 61 \text{ mm}$; 设备: 1 t 蒸汽
锤; 火次: 一火; 工序: ①在下模垫上墩挤; ②
套模炯形; ③冲切连皮。

例 6 直杆锻件——连杆胎模锻 (图 24.2-
198)

锻件材料: 45 钢; 锻件重量: 2.1 kg; 坯料
尺寸: $\phi 60 \text{ mm} \times 105 \text{ mm}$; 设备: 750 kg 空气
锤; 火次: 三火; 工序: ①球棒棒大头; ②初拔
杆部; ③球棒棒小头; ④拔杆并打扁小头; ⑤打
扁大头; ⑥劈开大头并校准叉口; ⑦合模炯形;
⑧切边 (图略)。

例 7 弯杆锻件——吊钩胎模锻 (图 24.2-
199)

锻件材料: 20 钢; 锻件重量: 15.5 kg; 坯
料尺寸: $\phi 90 \text{ mm} \times 360 \text{ mm}$; 火次: 三火; 工
序: 第一火 (250 kg 空气锤) ①拔中部; ②拔杆
部; ③拔尖、滚圆; ④中间毛坯尺寸; 第二火
(30 kN 摩擦压力机) ⑤第一次弯曲; ⑥第二
次弯曲; 第三火 (3 t 蒸汽锤) ⑦合模炯形; ⑧切

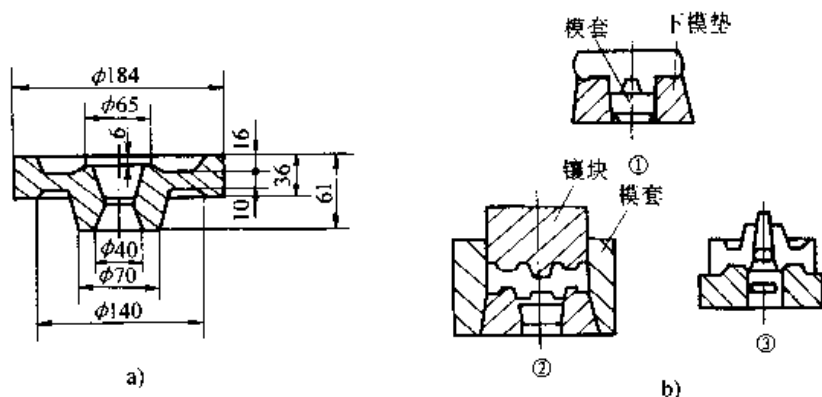


图 24.2-197 常啮合齿轮锻件及其胎模
a) 锻件 b) 胎模锻工艺及胎模

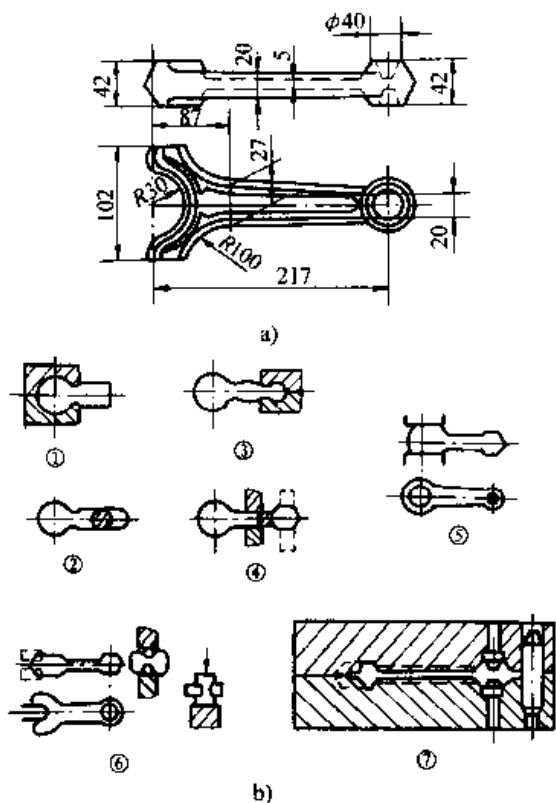


图 24.2-198 连杆锻件及其胎模
a) 锻件 b) 胎模锻工艺及胎模

边(图略)。

例8 枝杆锻件——阀体胎模锻(图 24.2-200)

锻件材料: 45 钢; 锻件重量: 11 kg; 坯料尺寸: $\phi 110 \text{ mm} \times 168 \text{ mm}$; 设备: 1 t 蒸汽锤; 火次: 两火; 工序: ①坯料; ②拔长一端并捧光; ③拍扁另一端; ④偏心镦头; ⑤合模炯形; ⑥切边(图略)。

例9 叉类锻件——万向联轴器叉胎模锻(图 24.2-201)

锻件材料: 45 钢; 坯料尺寸: $\phi 110 \text{ mm} \times 170 \text{ mm}$; 设备: 560 kg 空气锤; 火次: 一火; 工序: ①拔杆、拍扁; ②劈挤叉部; ③预冲挤; ④终成形。

例 10 多枝体锻件——阀座胎模锻(图 24.2-202)

锻件材料: 20 钢; 设备: 1 t 蒸汽锤; 火次: 三火; 工序: ①镦粗并滚圆; ②用预挤模挤压(爪高 34 mm); ③切边; ④用终挤模挤压(爪高 58 mm); ⑤切边; ⑥用终挤模再挤; ⑦切边。

7 高速锤闭式锻模设计

与其他模锻设备上的闭式模锻比较, 高速锤闭式模锻的优点是能模锻出薄肋、薄壁、薄腹板、小圆角半径和小模锻斜度的锻件, 并且由于提高了金属材料利用率降低了劳动量, 可取得良好的技术经济效果。由于国内有关资料不完善, 故主要借助相关文献来论述。

7.1 高速模锻工艺的制定

制定高速模锻工艺方案和制定其他变形工艺方案一样, 包括以下主要内容: 绘制锻件图 and 选择变形方式(开式模锻或是闭式模锻); 计算模锻时的动力参数和选择适当功率的锻锤; 计算单工步的原始毛坯尺寸和多工步模锻时每一工步的异形坯料尺寸; 根据材料牌号、原始毛坯尺寸和锻件的生产批量选定加热规范和加热设备; 选择润滑剂和从锻件上清除氧化皮、油垢及其它污物的方法。

1) 制定锻件图 根据高速锤模锻的特点和

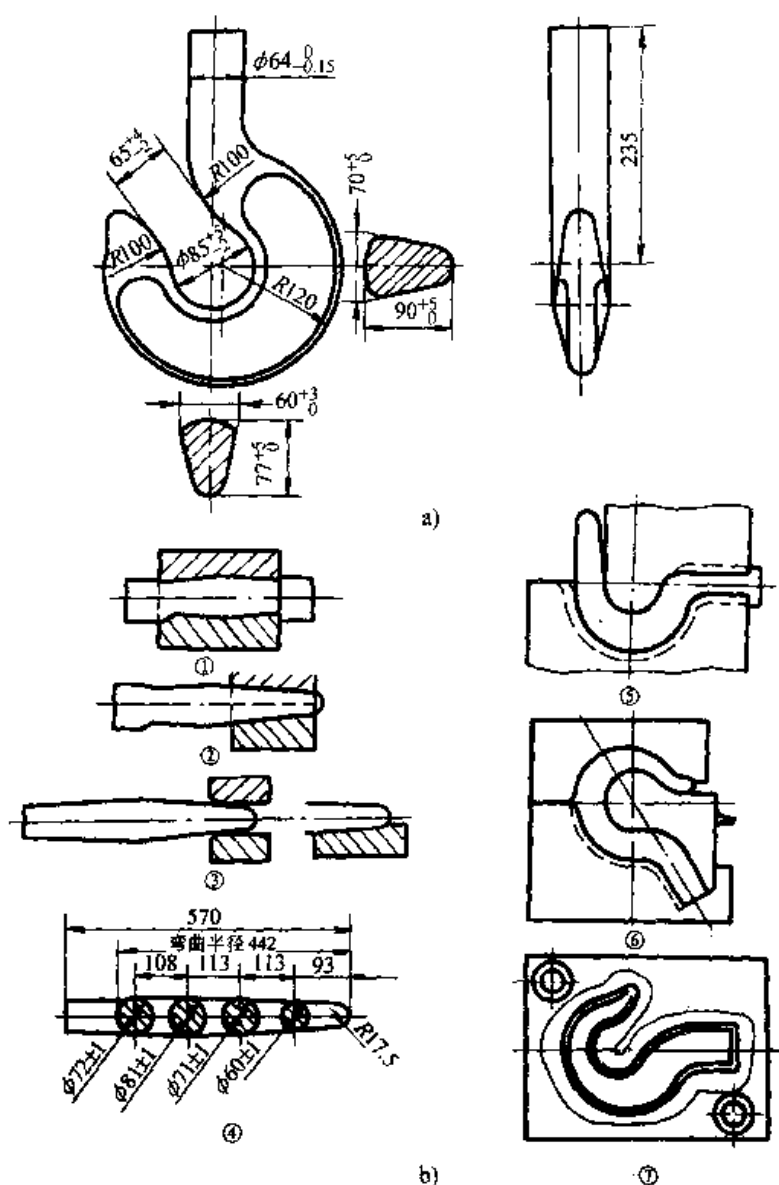


图 24.2-199 吊钩锻件及其胎模
a) 锻件 b) 胎模锻工艺及胎模

可能性制定的锻件图，可确定不需进行机械加工的表面，对其余表面则要规定机械加工余量。切削加工余量及锻后加工表面和不加工表面的公差均按表面粗糙度 $Ra = 20 \sim 10 \mu m$ 进行规定。制定钢、钛、热强合金和铝合金锻件图时，必须遵守表 24.2-91 和表 24.2-92 所列锻件结构部分的极限值。

高速变形可保证所得热强钢和不锈钢及钛合金锻件表面粗糙度 $Ra = 2.5 \sim 1.25 \mu m$ 和 $R_s = 20 \sim 10 \mu m$ ，而铝合金的 $Ra = 1.25 \sim 0.32 \mu m$ 。冲孔前对孔和连皮要做标记，标记的方法和普通锻造一样。有时模具上没有脱模器，就把锻件上

端的标痕深度减小，否则锻件会卡在冲头上。

2) 确定变形方案及工艺参数 根据锻件的类型、填充模腔时金属的流动方向、流线分布的要求、锻件重量和金属材料利用率来选定变形方案。用高速模锻方法模锻难变形材料时，模锻前的坯料准备要比普通模锻的仔细一些。高速锤模锻必须严格遵守模锻温度范围。选择温度的主要依据是零件的晶粒度和机械性能（强度、塑性和冲击韧性）。模锻铝合金时，为了避免高速模锻时的过热，模锻温度要比在普通模锻锤和压力机上模锻时的温度（460℃）低 100~130℃。

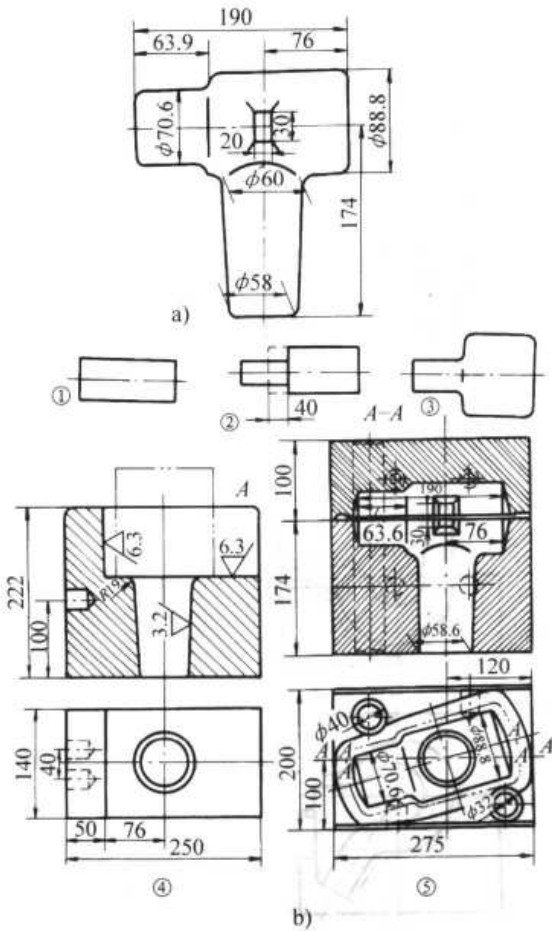


图 24.2-200 阀体锻件及其胎模
a) 锻件 b) 胎模锻工艺及胎模

高速锤锻件具有等轴细晶粒致密组织，与普通模锻锤锻件相比，其机械性能要高 10%~15%。高速锤模锻的一次打击可以使金属得到很高的变形程度（超过 30%），获得细晶粒组织，但因变形时间极短（约 0.005 s）以及锻件的薄截面在模具中迅速变冷，使再结晶过程来不及进行，因而保留了变形组织。

3) 变形能量计算 高速锻锤是根据放置模具的模锻空间和模锻锻件所需的能量选定的所需的打击能量 E 可按下式计算：

$$E = KeV$$

式中 e ——单位变形能量（可由与每种牌号材料的变形程度有关的曲线图中找到）（ $N \cdot m/cm^3$ ）；

V ——坯料体积（ cm^3 ）；

K ——锻锤打击有效系数决定的系数（ $K = 1.2 \sim 1.4$ ）。

如果模锻形状复杂的锻件所需要的能量超过计算值，则计算打击能量时必须考虑锻件复杂系

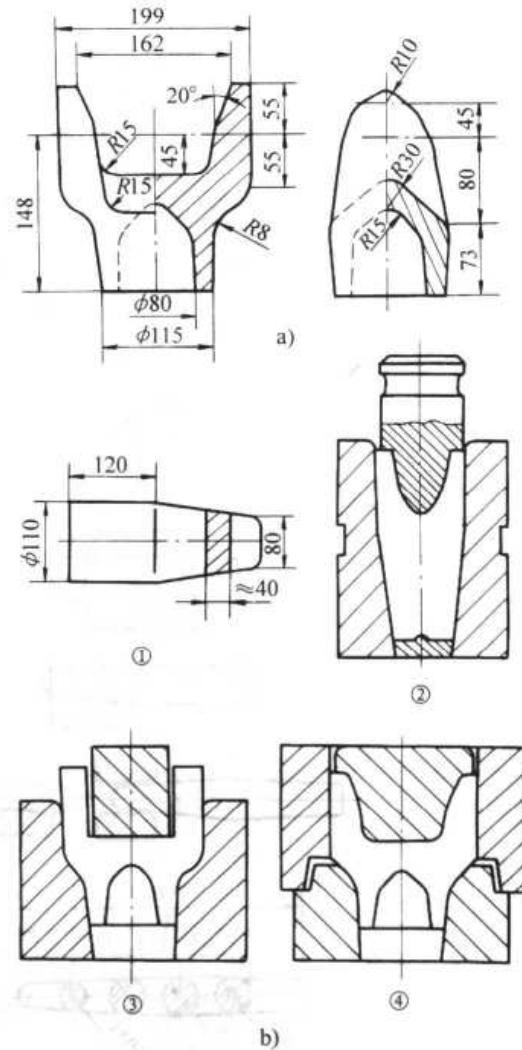


图 24.2-201 万向联轴器叉锻件及胎模
a) 锻件 b) 胎模锻工艺及胎模

数 K_1 （等于 1.5~2.5），即

$$E = K_1 KeV$$

按上述公式确定形状复杂锻件的打击能量时，应将锻件的墩粗和挤压部分分开计算，然后再相加。由于作用时间短，真实的模锻力很难测定。但已知变形锻件所需的能量和上模的工作行程，则平均模锻力 F 为

$$F = E/L$$

式中 L ——上模的工作行程。

根据平均模锻力就可确定冲头端部或镶块的单位平均模锻力。模壁上的单位模锻力与冲头上的单位模锻力大致相等，模套的尺寸由模具的计算强度来确定。

4) 高速锤模锻的典型锻件及其基本工艺参数 高速锤上模锻的一些典型难变形材料锻件如

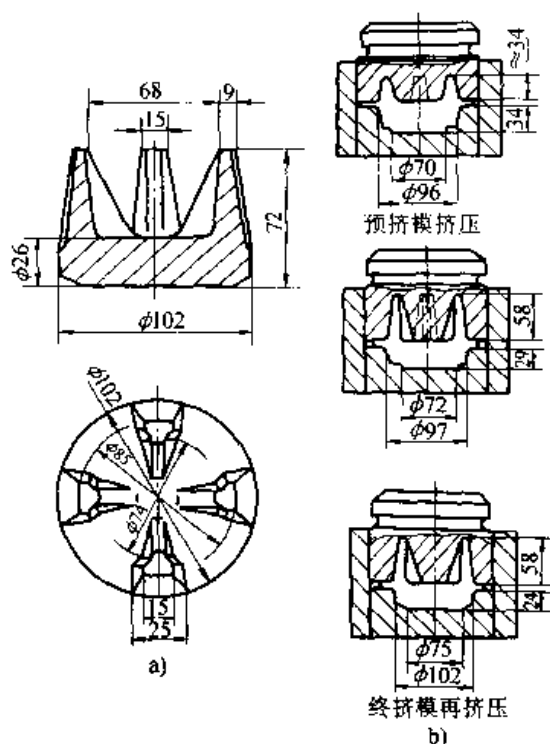


图 24.2-202 阀座锻件及胎模
a) 锻件 b) 胎模锻工艺及胎模

图 24.2-203 所示。所需的基本工艺参数列入表 24.2-93 中。从该表中所列工艺参数可以看出，高速锤模锻所需要的气体压力和打击能量是不同的并取决于下面的诸因素：坯料尺寸、材料性质、锻件形状和尺寸、模锻温度。

为了使高速锤安全工作，变形时的打击能量 E 应按模具的工作行程 L 来选定（图 24.2-204）。高速锤模锻的原始坯料尺寸应按填充模腔的方法来选定，如果用锻粗方式填充模腔则取原始坯料的高径比 $H/D=0.8\sim 2.0$ ；如果用挤压模锻的方式填充模腔，则取 $H/D=0.2\sim 1.0$ 。为预防形成折叠和穿流，锻粗时坯料的横截面尺寸覆盖住凹模和冲头端部轮廓。

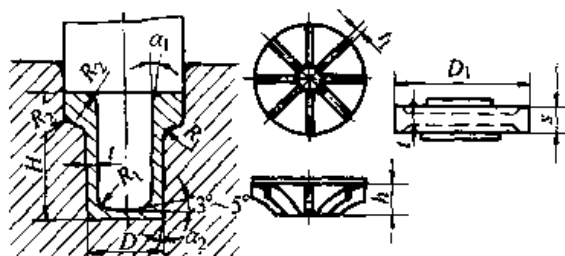
难变形材料，特别是热强合金和钛合金坯料，模锻前应将模具预热到 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 。

制定工艺过程时应注意按表 24.2-94 选定容许和临界的变形程度和极限流动速度。

7.2 模具设计和制造特点

根据模锻件的形状和规定的变形方式来确定

表 24.2-91 锻件的结构部分 (mm)



结构部分名称	结构部分的极限值 (\geq)	结构部分名称	结构部分的极限值 (\geq)
$h/t_1 \leq 40$ 时的肋厚度 t_1	1.2~2	外圆 R_2	2
$H/D \leq 2$ 时的壁厚度 t	2	模锻斜度:	
$D_1/t_1 > 30$ 时的腹板厚度 s	3	内 α_1	0.5~1
圆角半径:		外 α_2	0~0.5
内圆 R_1	3		

表 24.2-92 M7352B 型高速锤所制锻件各部分的极限值 (mm)

锻件部分	有色金属		不锈钢	
	有色金属	不锈钢	有色金属	不锈钢
最大直径	300	250	最小圆角半径	
最大高度	260	200	外圆	0.5 1.0
肋的最小厚度 t	1.2	1.5	内圆	2 3
肋的最大高度	45 t	20 t	机械加工余量	1.5~2.0 1.5~2.0
腹板的最小厚度	2	4		

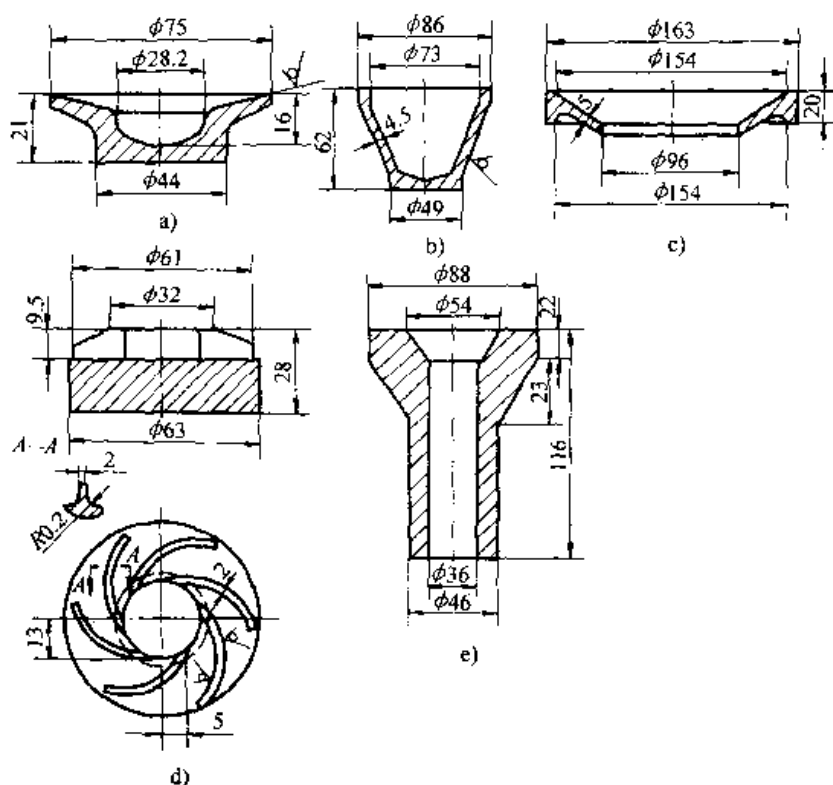


图 24.2-203 M7352B 型高速锤所制的典型锻件

a) 盖 b) 套筒 c) 环 d) 叶轮 e) 法兰

表 24.2-93 模锻典型锻件所需的基本工艺数据

锻件名称	材料牌号	坯料尺寸 $d/\text{mm} \times l/\text{mm}$	锻件的最大 外轮廓尺寸 $d/\text{mm} \times h/\text{mm}$	模锻温度/ ℃	气体 (氮气) 压力/ (N/cm^2)	打击能量/ $\text{N} \cdot \text{m}$	对击速度/ (m/s)
盖	AB	40 × 42	75 × 21	300	7	1 200	5.0
套筒	12X18H9T	48 × 44	86 × 62	1 150	47	8 500	14.0
环	12X17T9AH4	160 × 120 ^① × 20	163 × 27	1 160	50	8 800	14.5
浆叶式叶轮	AB	174 × 43	175 × 74	400	80	15 000	17.5
法兰	12X21H5T	87 × 40 ^① × 58	88 × 116	1 160	47	8 500	14.0

① 坯料内径。

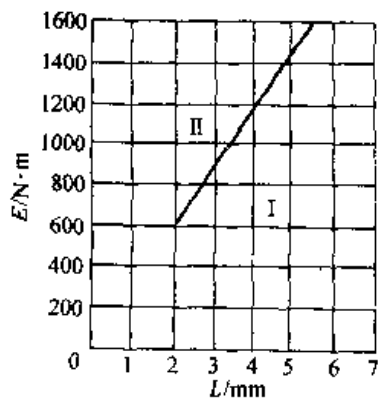


图 24.2-204 M7352B 型高速锤模锻时打击能量

E 的变化与变形工作行程 L 的关系

I—工作区 II—非工作区

模具的结构型式。因高速锤模锻时模具在瞬间内要承受很大的载荷，所以模具应为刚性结构，零件数量尽量减少并且没有应力集中。

高精度锻件最好采用预应力结构闭式模具制造。在 M7352B 型高速锤上模锻各种类型锻件用的闭式锻模结构，如图 24.2-205~24.2-208 所示。对模具装置提出的要求是：结构简单，安装和调整方便，固定可靠有足够的强度。在模锻形状复杂的锻件时，即需要小的打击能量，或者反之在很短的变形行程内释放出很大的能量时，模具和锻锤的零件中将产生相当大的内应力，使锤头可能发生跳动，锤头的跳动和锤的连击可能造成模锻件的报废。因此锻件的肋应在下半凹模内成形。

表 24.2-94 高速模锻难变形材料的变形程度和极限流动速度

材 料	临界变形范围/ %	推荐的变形 程度范围/ %	极限流动速度/ (m/s)
12XH3A、30XГCA、40XH2MA、10X13、30X13、 12X18H9T、12X17Г9AH4 等合金不锈钢	5~20	20~95	350~400
37X12H8Г8MΦБ、15X18H12C4TЮ 等耐热钢	1~12	15~90	300~350
XH70BMTЮ、XH78T、XH77TЮP、XH75BMЮ、 XH62MBKЮ 镍基高温合金	1~12	20~40	80~120
AB、AK6、AK8、B75、B76 等铝合金	5~10	25~90	300~350
AMT6、AMГ7 铝合金	5~10	25~40	100~150
BT3-1、BT5、BT5-1、BT6、BT8、BT9、BT15、 OT4、BT22 钛合金	1~15	20~95	300~350

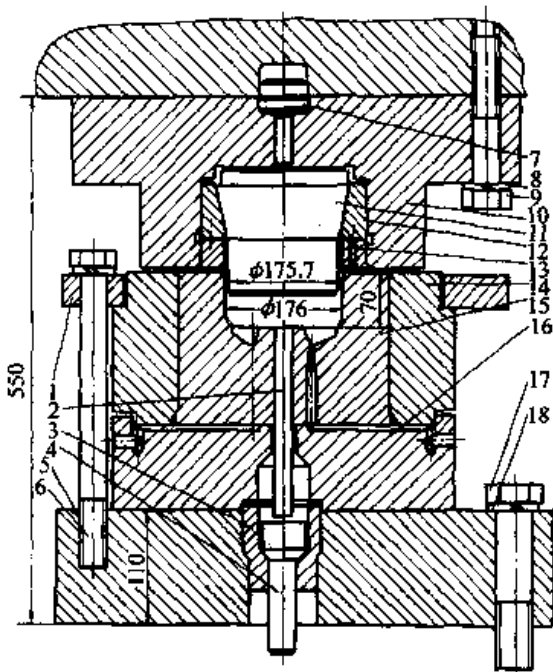


图 24.2-205 闭式模锻带肋锻件用的模具
1—紧固圈 2—顶杆 3—导筒 4—推杆 5—底板
6、9、17—紧固螺栓 7—定位器 8、18—垫圈
10—冲头模座 11—冲头 12—锥形圈
13—螺纹紧固圈 14—凹模模套
15—凹模 16—垫板

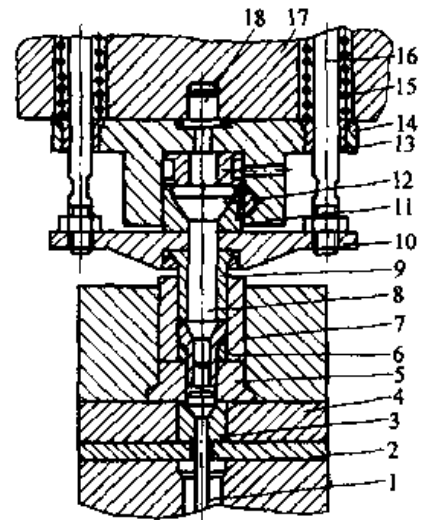


图 24.2-206 闭式模锻空心法兰盘锻件用的模具
1—顶杆 2—过渡垫板 3、5、13—导筒
4—垫板 6—凹模 7—挤料筒 8—冲孔针
9—冲头 10—横梁 11—压圈 12—楔铁
14—壳体 15—弹簧 16—螺栓 17—锻杆
18—定位器

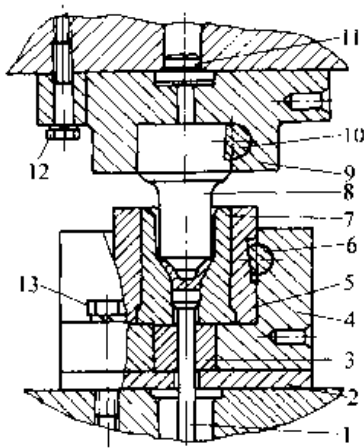


图 24.2-207 闭式模锻盖、圆盘和粗头的杆型锻件用的模具

- 1—顶杆 2—过渡板 3—导筒 4、9—下模壳、上模壳 5—凹模模套
6、10—模铁 7—凹模 8—冲头
11 夹头 12、13—紧固螺栓

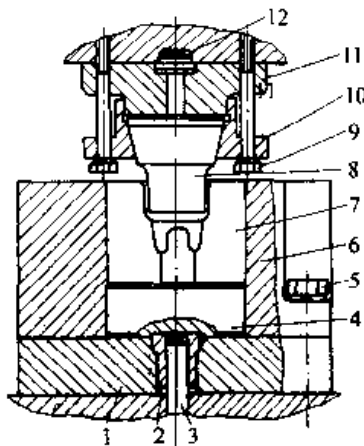


图 24.2-208 可分凹模闭式模锻管接头叶片、扩散器、转接头锻件用的模具

- 1、11—过渡垫板 2—导筒 3—顶杆
4—垫块 5、9—紧固螺栓 6—凹模模套
7—可分凹模的镶块 8—冲头
10—压紧圈 12—夹头

必须考虑到，用 70% 以上的变形程度在闭式模具中模锻形状复杂的锻件时，冲头和凹模之间所形成的飞边可能会焊死在冲头上，这会导致模具迅速磨损和每次打击后需要进行清理，如果锻件非加工表面的部分或机加工余量最小的表面需要用冲头成形的话，将模锻的温度降低，并将冲头和凹模之间的单边间隙由 0.1~0.2 mm 加大到 0.4~0.5 mm，就可消除焊合现象。增大间隙会使端部飞边加厚，易于脱离冲头而留在锻件

上。加厚的端部飞边可用砂轮打磨或用切削加工方法切除。把冲头头部倒成 $2 \times 45^\circ$ 的倒角也能消除焊合现象。填充冲头倒角区的金属温度低于基体金属，这样就减少了流入冲头与凹模之间所形成的间隙中的飞边。变形时在该处作用力施加方式也会对减少飞边的流出有影响。

用高速锤模锻时，最好把凹模和冲头做成整体，因为在模锻过程中金属的塑性很高，遇到任何小孔、间隙和分模面都会流入，这对锻件的脱模不利，并使模具迅速磨损。在模锻叶桨式叶轮、风扇和叶片类复杂的带肋锻件时，应在金属难于充满的最深模腔（肋、叶片及锻件其他较薄的部分）处钻直径为 1~2 mm 的几个小孔，以便将润滑剂燃烧所生成的气体和空气排出。

空气和气体也可以通过顶杆的间隙排出。在凹模（镶块）内表面的上部应做成入模带，如同普通模锻设备上闭式模锻或挤压模锻时用的那样，当冲头进入凹模带可以起到导向的作用。冲头的台阶上不允许陡然过渡。冲头的支承面应做得尽量大一些，转接半径不得小于 5 mm。如果半径较小，建议采用带镶块的组合冲头。变形开始前，冲头进入凹模挤压筒内的深度应为 5~7 mm。圆柱形冲头按其高径比 $H/D \leq 3 \sim 4$ 的比值来确定。凹模镶块是以 0.25（直径为 60~80 mm 时）到 0.4~0.45 mm（直径为 100~120 mm）时的过盈热配合压入模套中。如果单位变形力较大时（大于 $1\ 200\ \text{N/mm}^2$ ），过盈量还需加大 25%~30%。模具工作表面的粗糙度应为 $Ra = 0.32 \sim 0.080\ \mu\text{m}$ 。

取高冲击韧性和热稳定性的高强度钢作为模具材料，希望这些材料具有高的疲劳极限、抗磨性和低的线膨胀系数。高速模锻模具零件所常用的前苏联和其他国家的材料见表 24.2-95。

7.3 一些典型锻件的高速闭式模锻

1) 桨叶式叶轮（图 24.2-203d，表 24.2-93）。它是带肋锻件的代表之一，其工艺过程如下：

① 下料，材料为 AB 材料，坯料尺寸为 $\phi 62\ \text{mm} \times 30\ \text{mm}$ ，重量为 0.25 kg。

② 加热，坯料在电炉中加热到 300°C ，在此温度下保温 30~40 min，加热前先在炉底上面垫一块 12X18F9T 不锈钢板，以免在加热过程中镁

表 24.2-95 制造模具零件用的材料

零件名称	国外材料		苏联材料	
	材料牌号	硬度 HRC	材料牌号	硬度 HRC
冲头	6F ₂	37~40	5XHB	46~48
	H13+1.5Ni S1	56	4X4BMΦC 4X5B2ΦC	48~52
凹模	H13 H13+1.5Ni	56	4X4BMΦC 5X3B3MΦC	48~52
	H11	48	4X5B2ΦC	46~50
冲头镶块	H13、S1、S5	46~48	4X4BMΦC 4X5B2ΦC	46~52
冲头模座	6F ₂ 、4340	37~40	40X、5XHM	42~46
垫板	6F ₂ 、H11	37~40	5XHM、40X	40~46
主冲头	H11、H13	48~52	4X3BMΦ	46~50
凹模模座	4340、H11	48~52	5XHB、5XHM	42~48
顶杆	—	—	X12Φ1、P18、3X2B8Φ 4X5B2ΦC	52~55
模套	—	—	30XICA、40X	38~42

石耐火砖的碎屑粘在坯料上，模锻时被压入锻件内。装炉前坯料都要酸洗，去掉表面上的油脂或其他脏物。

③ 模锻，采用图 24.2-207 所示模具在 M7326B 型高速锤上闭式模锻，加热好的原始毛坯置于凹模中，一次打击成形。所需氮气压力为 150 N/cm²，相当于打击能量 28 000 N·m，模具打击速度为 7.5 m/s。锻件的基本工艺参数列表 24.2-93 中。

④ 锻后热处理，锻件经模锻后需要进行酸洗，除去小的飞边和其它缺陷，最后进行 100% 的检验。

下面以盖、套筒和法兰（图 24.2-203a、b、c）锻件为例，研究模锻盲孔或通腔锻件的典型工艺。

盖（AB 材料）、套筒（12X18H9T 材料）和法兰（12X21H5T 材料）锻件，在 M7352B 型高速锤上分别用图 24.2-207 的闭式锻模（模锻盖和套筒）和图 24.2-206 的闭式锻模（模锻法兰）一工步锻成。盖和套筒锻件分别用 $\phi 40$ mm × 42 mm 及 $\phi 48$ mm × 44 mm 的坯料制造，而法兰用外径 87 mm、内径 44 mm、高 58 mm 的空心

坯料制造。盖的坯料在电炉中加热到 300℃，套筒和法兰的坯料在高温炉内加热到 1 160℃。盖锻件是用打击能量为 12 000 N·m，氮气压力为 70 N/cm² 和对击速度为 5 m/s 锻成的；套筒锻件是用打击能量为 88 000 N·m，氮气压力为 500 N/cm² 和对击速度为 14.5 m/s 锻成的；法兰是用打击能量为 85 000 N·m，氮气压力为 470 N/cm² 和对击速度为 14 m/s 锻成的。盖、套筒和法兰的模锻工艺参数见表 24.2-93。

2) 环形锻件（图 24.2-203c）其工艺过程为：

① 下料，材料为 12X17T9AH4，外径 × 内径 × 高为 160 mm × 120 mm × 20 mm 的空心坯料。

② 加热，坯料加热温度为 1 160℃。

③ 成形过程，第一步在锤头重量为 1 000 kg 的锻锤上通过胎模锻粗和冲孔；第二步在 MP1 半自动扩孔机上进行扩孔；第三步，在 M7326B 型高速锤上采用图 24.2-206 所示的模具中闭式模锻成形。所用打击能量为 88 000 N·m，氮气压力为 500 N/cm² 和对击速度为 14.5 m/s。

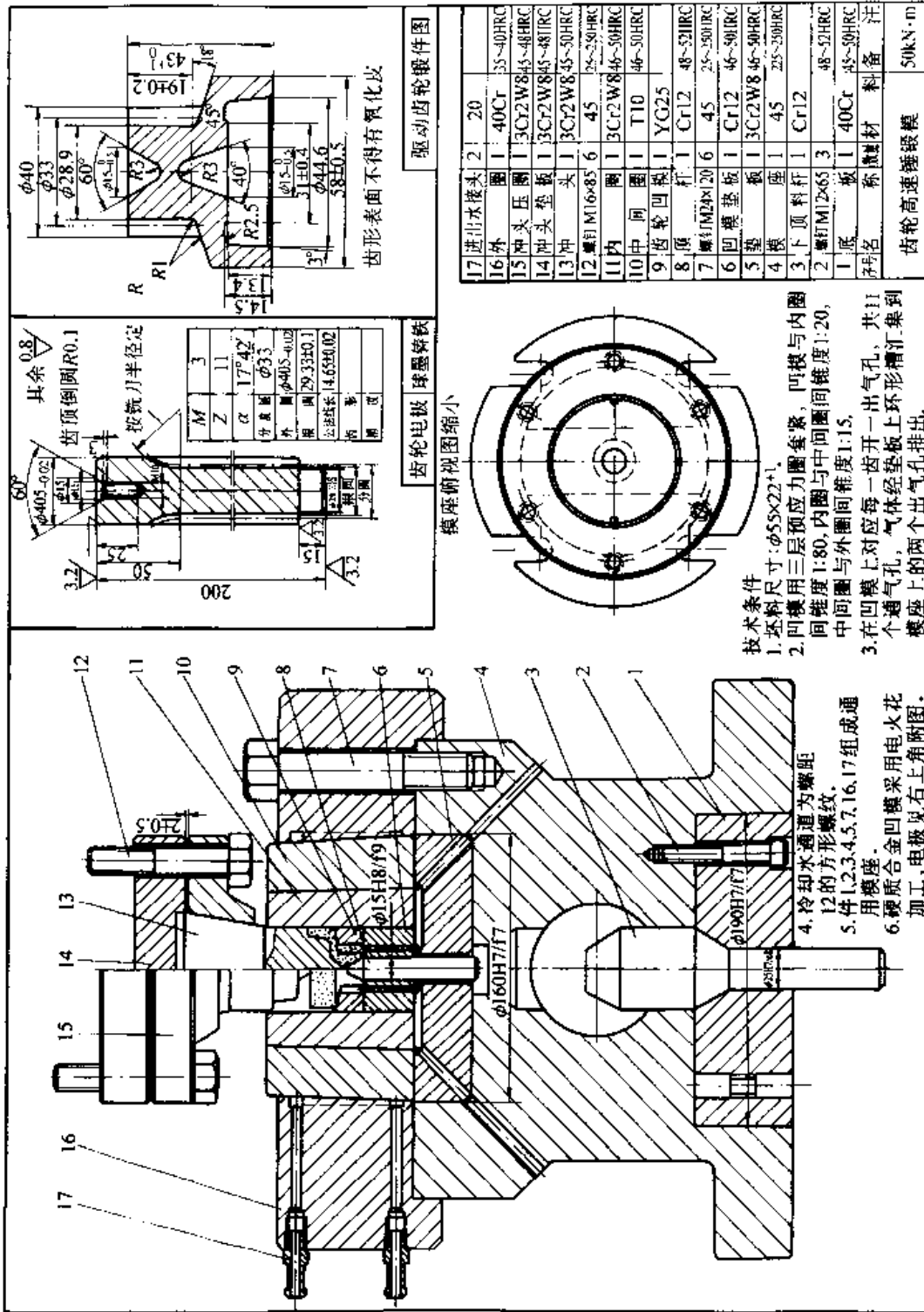


图 24.2-209 齿轮高速锤锻模

锻后通过顶杆将锻件从凹模中顶出。所模锻的锻件无模锻斜度并有相当薄的腹板和法兰盘(5 mm)。

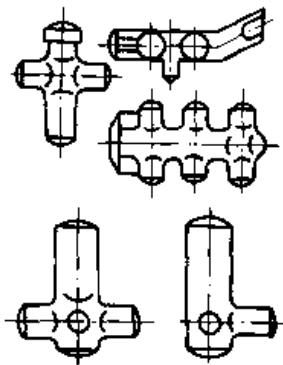


图 24.2-210 三通接头、扩散器和转接头

3) 管接头、转接头和扩散器类锻件(图 24.2-210)。以 BT8 钛合金叶片为例说明其工艺过程:

① 下料,用车削 $\phi 46$ mm 的坯料或 $\phi 50$ mm 的轧材先锻后铣成矩形截面的原始毛坯,其尺寸为 $46\text{ mm} \times 22\text{ mm} \times 35\text{ mm}$,重量为 0.27 kg ,侧面四条棱边倒角 $1 \times 45^\circ$ 和一端倒角 $4 \times 45^\circ$ 。

② 加热,加热前将坯料涂上 SBT-24 玻璃珐琅,然后在电炉中用 40 min 加热到 950°C 。

③ 挤压模锻,在 M7326B 型高速锤上采用图 24.2-208 所示可分凹模内挤锻成预成形锻件。挤锻时的打击能量为 $6\ 500\text{ N}\cdot\text{m}$,氮气压力 $360\text{ N}/\text{cm}^2$ 和打击速度为 $12.8\text{ m}/\text{s}$ 。

④ 终锻,在 $16\ 000\text{ kN}$ 水压机上采用开式模锻终锻成形。

4) 齿轮高速锤锻模(图 24.2-209)

第3章 螺旋压力机用锻模设计

1 概述

1.1 螺旋压力机上模锻的特点

螺旋压力机按传动方式的不同,可分为摩擦传动、液压传动和电直接传动三大类。目前使用最广泛的是摩擦压力机,液压螺旋压力机和离合器式(高能)螺旋压力机应用也逐渐增多。螺旋压力机作为一种模锻设备,在一些中小锻造厂或锻造车间得到了广泛的应用。

其优点是:

1) 工艺用途广。因螺旋压力机具有锤和压力机的双重工作特性,因而能满足各种主要锻压工序的力能要求。能在螺旋压力机上实现的锻压工序有:普通模锻、精密模锻、镦粗、挤压、精整、压印、弯曲、切边、冲孔和校正等。

2) 锻件精度高。因螺旋压力机的行程不固定,锻件精度不受自身弹性变形的影响;同时,螺旋压力机上一般装有以下顶出器,又可采用特殊结构的组合模,可减小或消除锻件上的模锻斜度和余块,尤其配上少无氧化加热设备,可得到精化毛坯甚至成品零件。

3) 可以采用整体式和组合式两种模具。特别是组合模具,可根据设备吨位和锻件种类设计和制造出系列化通用模架。不同大小的锻件,只需更换凸、凹模镶块,可简化设计和制造过程,缩短周期,节省模具钢,降低成本。

4) 设备结构比较简单,使用和维修比较方便。

其缺点是:

1) 螺旋压力机的螺杆和滑块间是非刚性联接,滑块承受偏心载荷的能力差,不适宜于多膛模锻。但近年来所研制的新型液压螺旋压力机,采用加长滑块或带附导轨的象鼻滑块,提高了导向精度,也增强了承受偏载的能力。尤其是离合器式螺旋压力机,其滑块上部为一直径较大长度较长的圆筒形导向部分,显著地提高了承受偏载的能力。

2) 螺旋压力机每分钟行程次数少、打击速度低,所以生产率不高,且不宜用于拔长类制坯工序。但近年来新研制的螺旋压力机,尤其是离合器式螺旋压力机,在这方面有较大的改进。

1.2 锻件分类和锻件图设计

(1) 锻件分类

螺旋压力机通用性强,所生产的模锻件品种多于其他任何模锻设备。为便于工艺及模具设计工作,根据所生产的锻件外形特点、成形特点和所用模具型式的不同,将其分为四类,见表24.3-1。

(2) 锻件图的制定

这里仅将其区别于模锻锤上锻件图制定的特点说明如下:

1) 确定分模面的位置 由于摩擦压力机带有顶杆装置,可顶出锻件或凹模,对于第Ⅰ类和第Ⅱ类锻件,可用组合凹模,所以,根据锻件形状的不同,分模面的数目有一个或多个。同时,第Ⅰ类和第Ⅲ类锻件多采用无飞边或小飞边模锻,上下模的分模位置基本固定,一般设在金属最后充满的地方。对于第Ⅱ类锻件,其分模面的选定原则和锤上基本相同,不再赘述。但是,由于摩擦压力机上开式模锻多为无钳口模锻,当不采用顶杆装置时,更应特别注意减少模膛深度方向的尺寸,以利于锻件出模。

2) 确定机械加工余量和公差 摩擦压力机上模锻件的余量和公差见表24.2-2~表24.2-7。在一些老的参考资料中,把摩擦压力机上模锻件的余量和公差定得比吨位相当的模锻锤上锻件的余量和公差要大一些,其原因有二:一是由于摩擦压力机上模锻多为无钳口单模膛模锻,坯料放入模膛前其表面氧化皮未除净,模锻过程中也不易从模膛中吹去氧化皮,所以锻件表面粗糙度比锤上模锻高;二是复杂锻件要两火以上才能锻成,所以氧化皮厚,脱碳层深。其实,现在一般工厂都可通过改善加热方法来减少坯料的氧化;将摩擦压力机和摩擦压力机或其他模锻设备组成

表 24.3-1 锻件分类

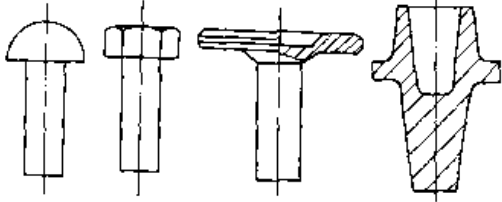
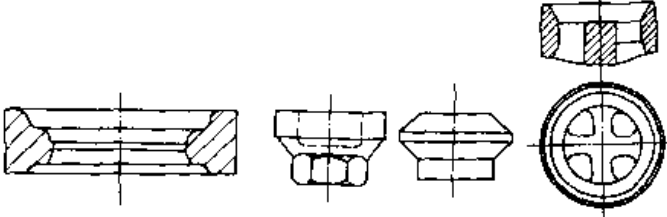
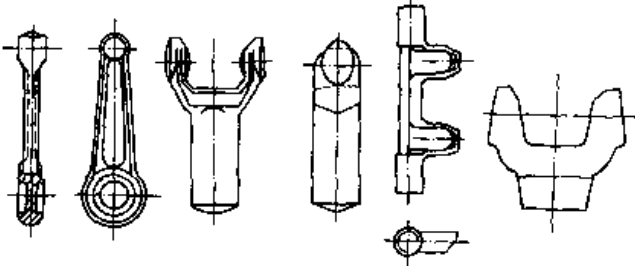
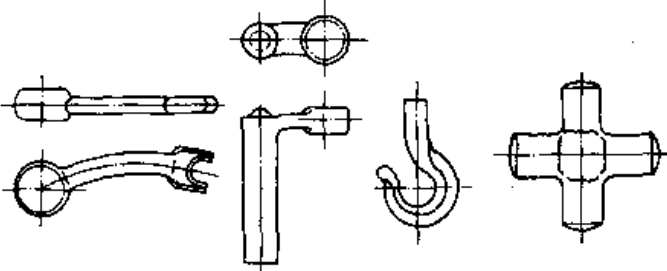
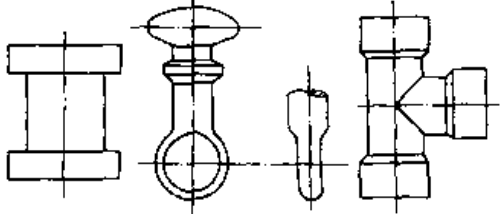
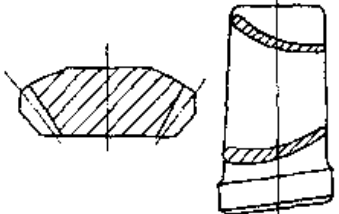
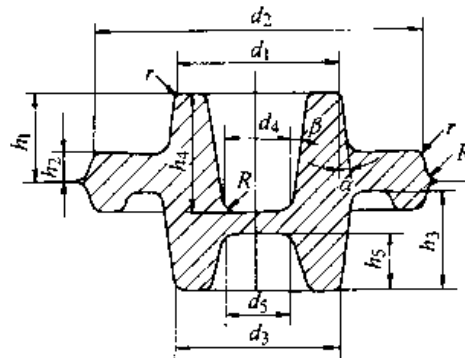
锻件类别	锻件简图	说 明
第 I 类 顶锻类锻件		<p>1. 头部局部锻粗成形，杆部不变形</p> <p>2. 多用开式模具进行小飞边模锻</p>
第 I 类 杯盘类锻件		<p>1. 整体锻粗，挤压成形</p> <p>2. 多采用闭式模具，进行无飞边模锻</p>
第 II 类 长轴枝叉类锻件		<p>1. 相当于锤上模锻的长轴类锻件，又可分为直线主轴、弯轴、叉杆及带枝芽、十字轴类锻件</p> <p>2. 采用开式模具，进行有飞边模锻</p>
第 II 类 长轴弯曲类锻件		<p>1. 相当于锤上模锻的长轴类锻件，又可分为直线主轴、弯轴、叉杆及带枝芽、十字轴类锻件</p> <p>2. 采用开式模具，进行有飞边模锻</p>
第 III 类 用组合凹模锻出的在两个方向有凹坑的锻件		<p>采用组合凹模，可得到在两个方向上有凹坑、凹挡的锻件，如法兰、三通阀体等</p>
第 IV 类 精密锻件		<p>是少无切削工艺在螺旋压力机上的应用</p>

表 24.3-2 锻件模锻斜度



斜度种类 材质 有无顶杆 高度与直径(宽度)之比	外模锻斜度 α				内模锻斜度 β			
	有色金属		钢		有色金属		钢	
	有	无	有	无	有	无	有	无
<1	0°30'	1°30'	1°	3°	1°	1°30'	1°30'	5°
1~2	1°	3°	1°30'	5°	1°30'	3°	3°	7°
2~4	1°30'	5°	3°	7°	2°	5°	5°	10°
>4	3°	7°	5°	10°	3°	7°	7°	12°

注：高度与直径(宽度)之比，即图中 h_1/d_1 、 h_2/d_2 、 h_3/d_3 、 h_4/d_4 、 h_5/d_5 等。

模锻生产线，以减少复杂锻件的加热火次。保证锻件达到部标要求。

对于局部锻粗件，因杆部不变形，可参考平锻机模锻余量公差表(见本篇第5章)。

3) 确定斜度和圆角半径 摩擦压力机模锻斜度的大小，主要取决于有无顶杆装置，同时也

受锻件尺寸之比(h/d 、 h/b ……)和材料种类的影响，见表24.3-2。对于钢和合金钢锻件也可按表24.2-16选择。

圆角半径(r 、 R)主要取决锻件材料和锻件尺寸，见表24.3-3。对于钢和合金钢锻件也可按表24.2-18选择。

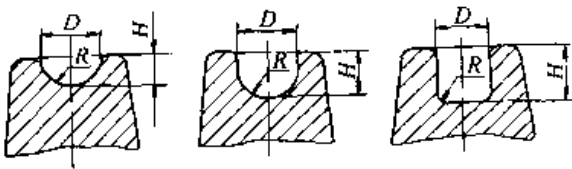
表 24.3-3 锻件圆角半径 (mm)

圆角种类 高度方向 尺寸 (h)	材质	凹模圆角 R		凸模圆角 r	
		有色金属	钢	有色金属	钢
<5		0.8~1.0	1.0	0.5	0.8
5~10		1.0	1.0~1.5	1.0	1.0~1.2
10~15		1.5	2.0	1.2	1.5
15~20		1.8~2.0	2.5	1.5	2.0
20~30		2.2	2.5~3.0	1.8	2.0~2.5
30~40		2.5	3.0~5.0	2.0	2.5~3.5
>40		>3.0	>5.0	>2.0	>3.5

4) 冲孔连皮及压凹 带有通孔的锻件，冲孔连皮可参照锤上模锻选用。不通孔的锻件，孔

的尺寸可按表24.3-4确定。

表 24.3-4 孔的尺寸 (mm)

	D		H	R
	钢	有色金属		
	<20	<10	1/2D	1/2D
	20~50	10~40	2/3D	1/2D
	>50	>40	<D	<1/5D

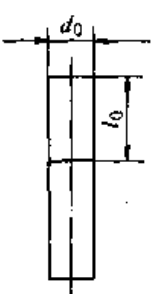
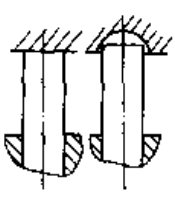
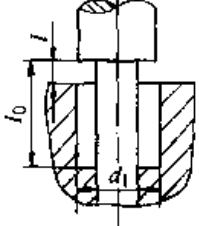
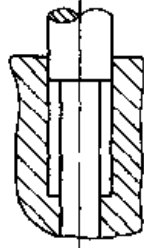
1.3 模锻工步的选择

(1) 第 I 类锻件

该类锻件有顶锻件和杯盘齿轮件两种，顶锻件的成形工序是顶锻。该类件杆部较长，但杆部不参与塑性变形。工艺上的主要问题是，限制坯料变形部分的长度和直径的比值（见表 24.3-5），以免坯料在顶锻过程中产生纵向弯曲而在锻件上

形成折叠缺陷。因为螺旋压力机上模锻具有适合于单模膛模锻和中小批量生产的特点，通常只用于可一次锻粗成形的小锻件，若头部过大，不符合一次锻粗成形条件（见表 24.3-5），则应选用两次以上的顶锻。对于中小批生产来说，为了减少模具套数，简化模具结构，可选用较粗的坯料，和其他制坯设备组成机组，采用先锻头后拔杆，或先拔杆后锻粗的工艺流程。

表 24.3-5 机器一次行程的顶锻条件

	局部顶锻方式			
机器一次行程中的顶锻条件		$l_0 \leq 2.3d_0$	若 $d_1 > 1.5d_0$ $l \geq d_0$ 时 $l_0 \leq 2.5d_0$	若 $d_1 < 1.5d_0$ $l \leq d_0$ 时 $l_0 \leq 4.0d_0$

杯盘齿轮类锻件多采用无飞边模锻。对于形状比较简单的实心锻件；具有小孔，厚壁的环形

锻件，可采用毛坯直接在终锻模膛中模锻成形的工艺（见图 24.3-1a）。对于形状较复杂，特别是

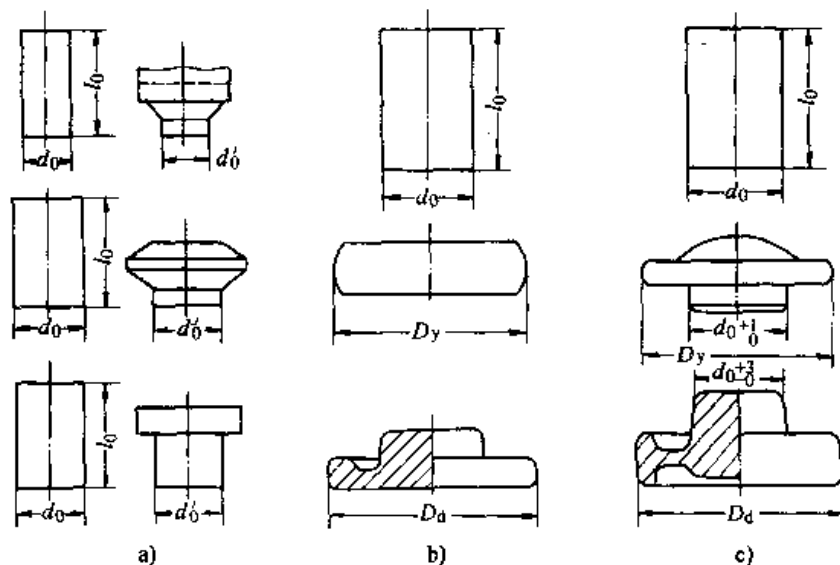


图 24.3-1 杯盘齿轮类锻件模锻工艺过程

带孔,小凸台的锻件,为便于成形并防止产生夹层缺陷,必须采用预锻工步(图24.3-1b),预锻坯料直径 $D_y = D_d - 3 \sim 5 \text{ mm}$ 。对于锻件形状特别复杂的锻件,还要采用定型预锻工步,如图24.3-1c。

应该指出,由于摩擦压力机打击速度较模锻锤低,毛坯易冷却,故其成形能力较差。为此,在选择充满模膛的方式上,应尽可能以锻粗充填为主。在选择坯料直径时,应尽可能按锻件凸起部分作为坯料直径。

(2) 第Ⅱ类锻件的模锻工艺特点

该类锻件是自由形状锻件,工艺设计的主要依据是计算毛坯直径图。工艺计算方法可参阅锤上模锻的相应内容。由于摩擦压力机单模膛模锻的特点,应力求选用原毛坯直接终锻成形。若锻件形状较复杂,必须预先制坯时,也可在摩擦压力机上进行多模膛模锻。但是,由于每分钟打击次数少,打击速度较慢,所以,模膛数目不宜超过两个,且在制坯模膛里的打击次数也应有所限制(不超过2~3次)。否则,终锻时金属温度偏低,影响成形能力和终锻模膛寿命。如果操作熟练,在制坯模膛中制坯时实现半行程打击(可采用能量预选装置控制),则可缩短打击时间,弥补其打击次数少,打击速度较低的不足。根据上述特点,摩擦压力机可进行弯曲、成形、卡压、压扁等单次打击的制坯工步,也可进行打击次数为2~3次的简单滚压制坯。若锻件截面面积相差较大,必须采用拔长—滚压,或需要打击次数较多的滚压制坯工步时,可根据生产批量的不同,建议采用自由锻制坯、胎模锻制坯、自由锻锤固定型钻制坯、专用设备上制坯(包括辊锻机上制坯、三辊仿形斜轧机上制坯、电锻机上制坯等)等方案,这时,摩擦压力机上仅进行终锻成形。

(3) 第Ⅲ类锻件的模锻工艺特点

该类锻件往往有两个凸缘(法兰),或有两个方向的凸起、凹档。为了保证锻件能从模膛中取出,凹模必须是组合的。该类锻件的锻造工艺差别很大,例如,双凸缘(法兰)锻件,实际上是两次局部锻粗成形;螺纹堵头锻件和一些两向有凸台的锻件,则相当于可分凹模模锻,见图24.3-2。

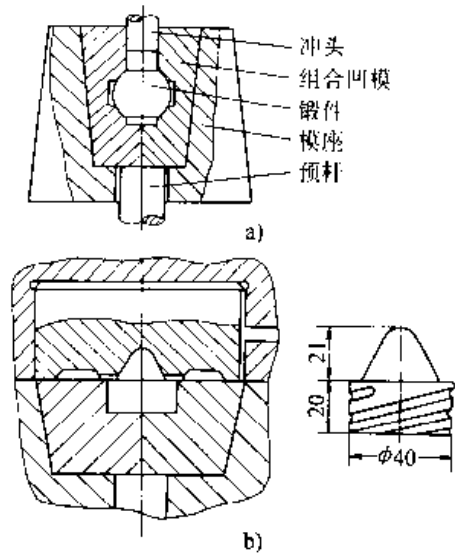


图24.3-2 第Ⅲ类锻件模锻工艺举例
a) 闭式模锻用模 b) 开式模锻用模

1.4 设备吨位的确定及其规格的选择

在选择螺旋压力机的规格时,应充分注意其具有锻锤和压力机双重工作特性这一特点。在螺旋压力机主要技术规格和性能参数中,除按滑块最大打击力的一半表示其公称压力(规格)外,还注明每次打击所具有的最大打击能量。

(1) 用于普通模锻时设备规格的选择

当用于普通模锻时,选择螺旋压力机公称压力可按下式计算:

$$F = \alpha \left(2 + 0.1 \frac{A_d \sqrt{A_d}}{V_d} \right) \sigma_s A_d$$

式中 F ——公称压力;

α ——与模锻型式有关的系数,对于开式模锻 $\alpha = 4$;对于闭式模锻 $\alpha = 5$;

A_d ——锻件在平面上的投影面积(开式模锻时包括飞边桥部面积);

V_d ——锻件体积;

σ_s ——终锻时坯料金属的屈服点。

(2) 用于精密模锻时设备规格的选择

选择精密模锻所需设备吨位时,首先计算出锻件精密成形所需的变形力,然后根据变形特点确定设备吨位的大小,即

$$F' = KS$$

$$F = F' / q = KS / q$$

式中 F ——公称压力;

S ——锻件平面投影面积;

K ——系数，在 1200°C 时对于轮廓清晰的锻件为 80 kN/cm^2 ；对于轮廓具有一定圆角的锻件为 50 kN/cm^2 ；对于具有高肋薄壁的锻件为 $120\sim 150\text{ kN/cm}^2$ ；

q ——变形系数，对于变形程度小的精压件取 1.6 ；对于变形程度稍大的锻件取 1.3 ；对于变形程度大的锻件取 $0.9\sim 1.1$ 。

应当注意的是，上述变形系数 q 的选择，仅适合于摩擦压力机和液压螺旋压力机。而对于离合器式螺旋压力机，其最大压力约为公称压力的 $1.25\sim 1.3$ 倍。

(3) 国产摩擦压力机的主要技术参数

国产摩擦压力机的主要技术参数见表 24.2-21；滑块底面、工作台面、T 型槽位置见表 24.3-6 滑块底面及工作台上用于安装模具的 T 型槽间距和 T 型槽的尺寸见表 24.3-7。

表 24.3-6 螺旋压力机滑块底面、工作台面、T 形槽位置 (mm)

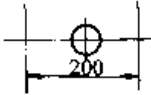
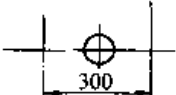
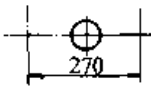
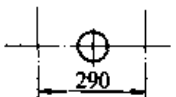
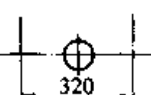
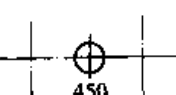
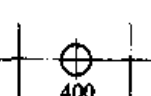
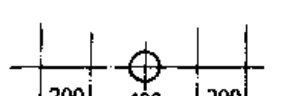
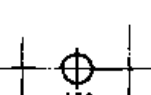
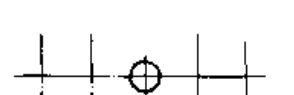
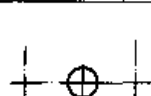
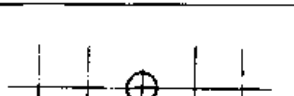
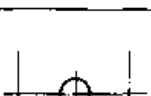
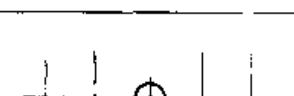
序号	型号	滑块底面	工作台面
1	J53-160B		
2	J53-300		
3	J53-400		
4	J53-630		
5	J53-1000		
6	J53-1600		
7	J53-2500		

表 24.3-7 螺旋压力机滑块底面及工作台上 T 形槽尺寸及间距

序号	公称压力 /kN	T 型槽									
		尺寸/mm									
		H	h	B	b	L ₁ ^①	H	h	B	b	L ₂ ^②
1	400										
2	630										
3	1 000										
4	1 600	42	18	40	24	200	48	20	46	28	300
5	3 000	48	20	48	28	270	48	20	48	28	290
6	4 000	50	20	48	28	320	50	20	48	28	450
7	6 300	54	27	62	36	400	54	27	57	36	200
8	10 000	65	25	65	36	450	65	25	65	36	600
9	16 000	60	25	60	36	420	55	25	65	36	400
10	25 000	108	38	90	54	500	108	38	90	54	800

① L₁ 为滑块底面两 T 型槽中心线间的距离；
② L₂ 为工作台上两（四）T 型槽间的距离。

2 开式锻模设计

螺旋压力机上的开式锻模的设计步骤是先根据热锻件图进行模膛设计，然后再进行结构方面的设计。螺旋压力机上开式锻模的模膛设计除飞边槽尺寸及型式的选用与锤上锻模有些差别外，其余基本相同，故可参考本篇第 2 章进行设计，这里侧重介绍锻模的结构设计。

2.1 飞边槽

用于钢锻件和有色金属锻件的飞边槽尺寸分别见表 24.3-8 和表 24.3-9。

表中飞边槽型式 I，适用于各种形状的锻件，应用最广；型式 II 主要适用于小飞边模锻和有预锻及预切边工步的终锻模膛；型式 III 适用于复杂形状的锻件或锻件的复杂部分。

表 24.3-8 钢锻件飞边槽尺寸 (mm)

		设备吨位/kN	h	h ₁	b	b ₁	r	R
I		≤1 600	1.5	4	8	16	1.5	4
II		1 600—4 000	2.0—2.5	4	10	18	2.0	4
		4 000—6 300	2.5—3.0	5	10	20	2.5	
III		6 300—10 000	3.0—3.5	6	12	25	3.0	6
		>10 000	4.0	7	14	30	3.5	7

表 24.3.9 有色金属飞边槽尺寸 (mm)

设备吨位/kN	h	h_1	b	b_1	r	R
$\leq 1\ 600$	1.2	4	6	25	1.5	4
1 600~4 000	1.5	4	8	30	2.0	4
4 000~6 300	2.0	5	8	35	2.0	5
6 300~10 000	2.5	6	10	35	2.5	6
$>10\ 000$	3.0	7	12	40	3.0	7

2.2 模膛布置

模膛在模块上的布置应尽量避免和减少偏心打击,同时要使操作方便,即使整个操作路线最短。具体设计时必须遵循以下原则:

1) 当只有终锻模膛时,模膛中心要与模块中心和螺杆中心重合。

2) 当同时有预锻模膛和终锻模膛时,两个模膛分置螺杆中心线两侧。两个模膛中心线至螺杆中心线的距离之和及两距离之比分别为:

$$a + b \leq \frac{D}{2}$$

$$a/b = 1/2$$

其中 D 为螺杆螺纹的中径,见图 24.3-3。

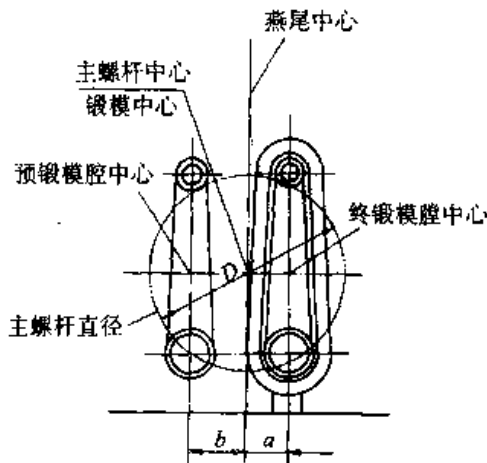


图 24.3-3 模膛中心布置

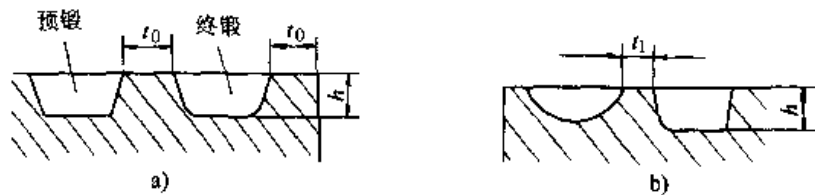


图 24.3-4 模壁厚度

3) 因摩擦压力机行程速度慢,模具受力条件较好,所以锻模模块的承击面一般可取为锤用锻模的 $1/3$ 。

4) 摩擦压力机一般都备有下顶出器,而无上顶料装置,所以,宜将锻件形状比较复杂的模膛置于下模。

5) 当同时有模锻模膛和制坯模膛时,必须考虑加热设备的位置,应保证操作方便。

6) 对于模膛比较深,形状比较复杂的部位应开排气孔,这样有利于金属充满模膛。

2.3 模壁厚度的确定

模壁厚度可根据模膛深度 h 、圆角半径 R 和模壁斜度 α 来确定。

模膛最小外壁厚度 (图 24.3-4a) 的确定:

$$t_0 = K_0 h$$

式中 K_0 为系数,按表 24.3-10 选取。

模膛间最小壁厚 (图 24.3-4b) 的确定:

$$t_1 = K_1 h$$

式中 K_1 为系数,按表 24.3-11 选取。

表 24.3-10 和表 24.3-11 的适用范围为 $\alpha \geq 7^\circ$ 、 $R \geq 3\text{ mm}$ 。当 $\alpha < 7^\circ$ 、 $R < 3\text{ mm}$ 时, K 值适当增大。

表 24.3-10 系数 K_0

模腔深度 h/mm	<20	20~30	30~40	40~55	55~70	70~90	90~120	>120
K_0	2	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	0.8

表 24.3-11 系数 K_1

模腔深度 h/mm	<30	30~40	40~70	70~100	100~150
K_1	1.5	1.3	1.1	1.0	0.8

3 闭式锻模设计

闭式模锻是实现无飞边模锻的主要方法之一, 比较适合于模锻圆形锻件。图 24.3-5 为摩擦压力机上使用的一种较为典型的闭式模锻模结构。设计闭式锻模时, 应着重注意凸、凹模间的间隙和凸模(冲头)的强度。

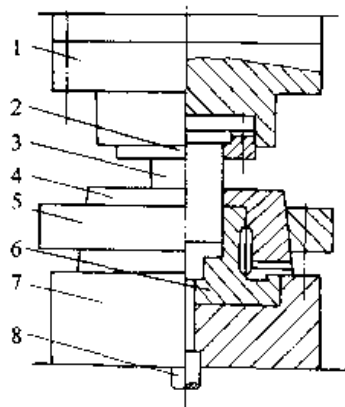


图 24.3-5 典型的闭式锻模结构

1—上底板 2—冲头固定器 3—冲头 4—凹模外圈
5—压圈 6—凹模芯 7—凹模座 8—顶杆

3.1 凸、凹模间隙的确定

该类锻模在冲头和凹模、顶杆和凹模间要能自由地滑动, 为此要有适当的间隙。间隙过大, 在金属流动时, 此处将生成纵向毛刺, 加速模具的磨损和造成顶杆顶件困难; 间隙过小, 因温度的影响和模具的变形, 将使冲头和凹模、顶杆和凹模间运动困难。通常顶杆和凹模间按 H8/18 配合形式选用。冲头和凹模间的间隙如表 24.3-12。

3.2 凸模尺寸的确定

现代螺旋压力机虽然配有能量控制装置, 但在金属产生塑性变形的过程中, 设备每次打击所释放出来的能量仍难于准确控制, 而影响锻件变形力和变形量的因素又很多, 所以, 设备每次行程实际提供的能量不可能恰好等于金属塑性变形的需要值。若设备每次打击提供的能量小于锻件塑性变形所需的能量时, 则出现欠压现象, 必需再锻击一次; 若设备每次行程提供的能量大于锻件塑性变形所需的能量时, 则锻模可以闭合, 即

表 24.3-12 冲头和凹模间的双边间隙值 (mm)

冲头直径	间隙值	冲头直径	间隙值
<20	0.10	40~60	0.15~0.20
20~40	0.10~0.15	>60	0.20~0.30

打靠, 锻件高度方向尺寸合格; 但尚有一部分多余的能量由模具和设备的弹性变形所吸收。后一种情况是正常的, 设备打击的多余能量不能过大, 否则, 它将引起动力消耗的增加, 机器噪声的增大和模具、设备弹性变形量的增大。严重时, 还将引起模具或设备部分零件产生过大的变

形而损坏。对闭式模锻来说, 冲头强度是薄弱环节。为避免冲头产生塑性变形而损坏模具的现象, 除操作者应注意调节打击能量外, 模具设计还应保证冲头具有必要的断面积, 其参考值详见表 24.3-13。若锻模上已有足够的承击面, 则允许冲头的断面积不受表中数值的限制。

表 24.3-13 闭式模锻时锻模（冲头）允许的最小断面面积

项 目		设备吨位/kN						
		400	2 500	5 000	1 600	2 500	4 000	6 300
运动部分最大动能/J		12 500	2 500	5 000	10 000	20 000	40 000	80 000
滑块最大行程/mm		240	270	310	360	420	500	600
冲头允许的最小截面积/mm ²		当 $\sigma_p^{①} = 600 \text{ N/mm}^2$ (18CrNiW)						
		670	1 050	1 700	2 700	4 100	6 700	10 500
		当 $\sigma_p^{①} = 720 \text{ N/mm}^2$ (5CrNiMo, 5CrMnMo)						
		550	870	1 400	2 200	3 500	5 500	880 000

① σ_p 为冲头许用应力。

4 精锻模设计

图 24.3-6 所示为圆锥伞齿轮精密模锻锻模结构，以此为例来介绍精锻模的设计要点。

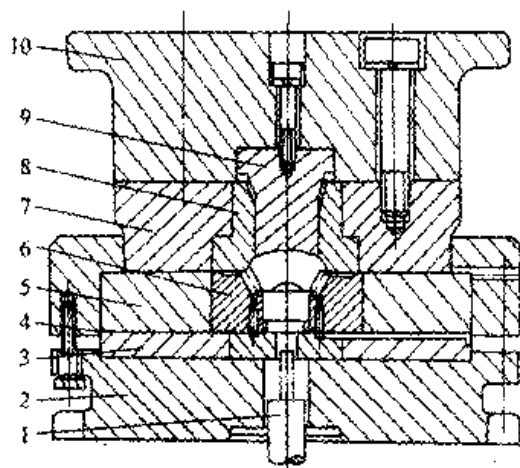


图 24.3-6 锥齿轮精锻模具图

- 1—顶杆 2—下底板 3—垫板 4—压圈
- 5—凹模圈 6—凹模芯 7—凸模圈
- 8—凸模内圈 9—凸模芯 10—上底板

4.1 锻件图的制定及模膛设计要点

精密模锻的关键是使锻件具有准确的几何形状和精确的尺寸（包括相应的表面粗糙度）。

(1) 锻件图制定

精密锻件图与普通锻件图的最大区别在于余量和公差的选择。精密锻件的余量通常取为相应零件在普通模锻时的一半或更小，对于一些难于进行机械加工的曲面，如齿轮的齿形面、叶片的叶身弧面等，通常只留 0.3 mm 以下的磨削量，精度等级不高的齿轮，其齿形部分甚至可不留加工余量，直接精锻成形到公称尺寸；一般等级的精密锻件的公差按表 24.2-5 和表 24.2-7 选用，级别更高的取普通级公差的一半，即按表 24.2-4 和表 24.2-6 查得公差值取半。

(2) 模膛尺寸的确定

普通模锻的模膛尺寸是按热锻件图尺寸确定的，而对于精锻模模膛尺寸就不能仅考虑一个冷收缩率因素，而必须考虑模膛的磨损、毛坯体积的变化、模具温度、锻件温度、模具弹性变形等因素的影响，合理地确定模膛尺寸。

1) 模膛的磨损 在模膛的不同位置，由于变形中的金属流动情况和模膛各个部位所受到的压力不同和润滑程度的差异，其磨损程度也不相同。

对于精锻，模具磨损公差如下：

外长度、外宽度和外径尺寸的模膛磨损公差是用外长度、外宽度和外径尺寸乘以表 24.3-14 中相应的锻件材料系数获得。这个公差加在锻件外长度、外宽度和外径尺寸的正偏差上。

表 24.3-14 计算模膛磨损公差的材料系数

锻件材料	系数	锻件材料	系数	锻件材料	系数
碳 钢	0.003 4	耐热合金	0.006 7	超硬铝合金	0.005 9
低合金钢	0.004 2	钛 合 金	0.007 6	黄 铜	0.001 7
高铬马氏体和低碳高铬铁素体不锈钢耐热钢	0.005 0	难熔合金	0.010 1	铜	0.001 7
镍铬奥氏体不锈钢	0.005 9	锻铝合金	0.003 4	镁合金	0.005 0

内长度、内宽度和内径尺寸的模膛磨损公差按同样方法计算,但这个公差加在内长度、内宽度和孔径尺寸的负偏差上。

内外尺寸上单面模膛磨损公差均为计算总值的一半。模具磨损公差不能应用于中心线到中心线间的尺寸。

2) 毛坯体积的变化 在开式模锻中,因为有飞边槽可以容纳多余金属,毛坯体积的变化不会影响精锻件的尺寸,而精密模锻则不然,在螺旋压力机精密模锻时,由于螺旋压力机具有行程不固定的特点,毛坯体积的变化则会引起模锻中高度的变化(模膛水平尺寸的变化忽略不计)。

毛坯体积允许偏差所引起精锻件高度尺寸的最大偏差值(mm)由下式确定

$$\Delta H_1 = \frac{\Delta V}{V} H$$

式中 V 、 ΔV —— 毛坯体积及其允许偏差 (mm^3) (不形成毛刺的情况下)。

对于圆轧材下料的圆柱形毛坯,应有

$$\Delta V \approx \frac{\pi}{2} d_{\text{pmin}}^2 [\Delta l + m (\Delta_1 + \Delta_2)]$$

$$l_p = l_{\text{pn}} + \Delta l$$

$$d_p = d_{\text{pn}} + \Delta_1$$

式中 l_{pn} 、 l_p —— 毛坯长度的公称尺寸和实际尺寸 (mm);

Δl —— 毛坯长度的对称偏差值 (mm);

d_{pn} 、 d_p —— 毛坯直径的公称尺寸和实际尺寸 (mm);

Δ_1 、 Δ_2 —— 毛坯直径的正、负偏差的绝对值 (mm);

d_{pmin} —— 毛坯最小直径 (mm);

m —— 毛坯长径比, $m = \frac{l_p}{d_p}$ 。

根据公式与计算出的锻件高度变化范围,预先估计螺旋压力机精锻模的最大闭合量,这个闭合量在模膛设计时要充分考虑,一般模膛总高度公差取 ΔH_1 的一半。

3) 模具温度 模具温度的波动会引起模膛容积变化,模具温度高模膛容积增大,获得的模锻尺寸相应也增大;反之模锻件尺寸减小。在精锻时模具实测温度与设计预定的模具温度总是有变化范围,模膛尺寸发生变化,其波动值可按下

式计算

$$\Delta A_m = A_m \alpha_m \Delta t_m$$

式中 ΔA_m —— 模膛 A 方向尺寸波动值 (mm);

A_m —— 在预定模具温度下 A 方向的公称模膛尺寸 (mm);

α_m —— 模具材料的线膨胀系数;

Δt_m —— 模锻结束时模具温度对预定模具温度的波动值 ($^{\circ}\text{C}$)。

4) 锻件温度 模锻过程中毛坯的温度是不断发生变化的,结果终锻时的温度也与预定终锻温度有一个偏差,其波动值可按下式计算

$$\Delta A_d = A_d \alpha_d \Delta t_d$$

式中 ΔA_d —— 锻件 A 方向尺寸波动值 (mm);

A_d —— 在预定终锻温度下 A 方向的锻件尺寸 (mm);

α_d —— 锻件材料的线膨胀系数;

Δt_d —— 模锻结束时锻件温度对预定终锻温度的波动值 ($^{\circ}\text{C}$)。

通常精锻模模膛尺寸(图 24.3-7)可按下式确定,然后通过试锻加以修整。

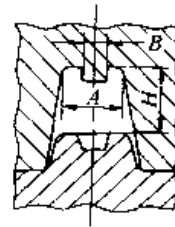


图 24.3-7 模膛尺寸

模膛外径

$$A = A_n + A_n \alpha t - A_n \alpha_m t_m - \Delta A_t$$

式中 A —— 模膛外径 (mm);

A_n —— 锻件相应外径的公称尺寸 (mm);

α —— 坯料的线膨胀系数 ($1/^{\circ}\text{C}$);

t —— 终锻时锻件的温度 ($^{\circ}\text{C}$);

α_m —— 模具材料的线膨胀系数 ($1/^{\circ}\text{C}$);

t_m —— 模具工作温度 ($^{\circ}\text{C}$);

ΔA_t —— 模锻时模膛外径 A 的弹性变形绝对值 (mm)。

冲头直径 B 按下式计算

$$B = B_n + B_n \alpha t - B_n \alpha_m t_m + \Delta B_t$$

式中 B —— 冲头(模膛冲孔凸台)直径 (mm);

B_n —— 锻件孔的公称直径 (mm);

ΔB_t ——模锻时冲头直径 B 的弹性变形值，当直径变大时， ΔB_t 为负值；当直径 B 减小时， ΔB_t 为正值 (mm)；

其余符号与上式相同。

高度 H 按下式计算

$$H = H_n + H_n \alpha t - H_n \alpha_m t_m + \Delta H_p / 2$$

式中 H ——模膛高度 (mm)；

H_n ——锻件公称高度 (mm)；

ΔH_p ——毛坯体积变化而引起锻件高度波动值 (按前面公式计算)，当 ΔH_{\pm} 为负值时，模膛高度应增大；

其余符号与前式相同。

4.2 模具结构设计及制造要点

1) 当锻件各部分有较明显的热胀冷缩不均的现象时，对相应的尺寸或工艺参数应作修改。如圆锥齿轮精锻模齿形的压力角必须小于锻件齿形的压力角 (其减小的程度与齿轮的模数大小有关)，才能锻出合格锻件，即保证所得锻件的压力角为规定的数值。

2) 尖角部位应开排气孔 齿轮凹模模膛齿形端部的尖角处均应开直径很小的排气孔 (见图 24.3-6)，以利轮齿的端部充满。

3) 为了保证上下模同心，模具上应设有导向装置。常用导向装置有两种形式：一种是环形

锁扣，其尺寸按一般锻模的通用规范选取。将锁扣的凸起部分设在下模 (图 24.3-6) 有利于吹掉氧化皮。另一种是采用导柱导套，当压力机精度较差时，采用导柱导套导向较为有利。

4) 为了取出锻件，应备有顶出器。精锻时，顶杆长时间与热锻件接触，为避免因受热膨胀过大或被锻粗而卡死在凹模中，在使用时，常需从模具中取出油冷，故顶杆应能在不拆卸模具的情况下从模具中取出。通常顶杆与凹模的间隙取 0.1~0.15 mm。

5) 为改善凹模工作时的受力状况，可采用组合凹模结构，其凹模与预应力圈间的径向过盈量取为凹模直径的 0.2%~0.28%。装配时应力圈加热至 400~450℃ 后套进凹模。凹模与应力圈端面应平齐，以保证足够的承击面。

6) 凹模模膛的尺寸精度和表面粗糙度应比锻件尺寸精度和表面粗糙度分别高和低 2 级或 2 级以上。

5 成组锻模的设计

(1) 锻件的分类与分组

按照锻件的形状和相对尺寸进行分类，在同一类中将形状、尺寸及工步相似的锻件再划分成若干组，如在平面图上为圆形的锻件类中可分为齿轮形组、环圈形组和套筒形组等。然后以组为基础制订锻件图。根据这一思路，锻件的分类与分组方案列于表 24.3-15。

表 24.3-15 锻件分类表

种		类组				
		1	2	3	4	5
第 一 类 杆 类	I 分 模 线 和 主 轴 线 件					
	II 分 模 线 稍 有 折					

续表 24.3-15

类组 \ 种		1	2	3	4	5
		I 齿锻 轮形 件				
第 二 类 饼 类	II 圈锻 环形 件					
	III 套锻 筒形 件					

(2) 成组锻模设计

成组锻模是为一组形状相似、尺寸相近的锻件设计的，以通用模体和可换或可调整元件组成的一种锻模。

其设计原则为：可更换或可调换元件应力求标准化、系列化、通用化；配合层次尽可能减少，并能在模锻设备上迅速装拆；结构紧凑，调整简单，操作方便；具有足够的刚性和精度，良好的耐磨性等。

1) 模体设计 模体结构要适合所用锻压设备的安模空间。模体尺寸的确定应根据锻模中模膛的数量与尺寸进行布排。考虑最小壁厚等因素，得出模块的最小轮廓尺寸。在模体上应尽量

设计有同类同组锻件能通用的制坯型槽。

2) 镶块设计 对仅需单模膛或双模膛和占位置不大的制坯模膛与终锻模膛适合采用镶块。宜作成组锻模的镶块有两种：①圆镶块。饼类锻件可采用圆形镶块锻模，也适用于表 24.3-15 的二类 I 组锻件；②方镶块。杆类锻件可采用方镶块锻模，也适用于表 24.3-15 的一类 I 组锻件。

图 24.3-8c 所示组合式锻模适合于作为摩擦压力机用成组锻模。它既能安装方形锻模也能安装圆形锻模，还可安装小型反挤压模。这样就可实现模座单一化，模具工作部分多样化，模具尺寸标准化。

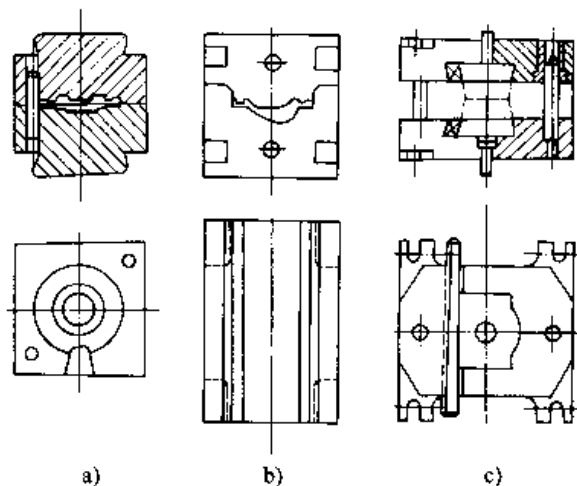


图 24.3-8 锻模结构型式

6 锻模结构设计

6.1 锻模的结构型式

由于螺旋压力机的双重工作特性，其模具结构型式可同时采用锤锻模和热模锻压力机锻模两种结构型式，如图 24.3-8 所示。

1) 整体式锻模 图 24.3-8 中 a、b 为整体结构式锻模。其优点是结构简单，制造、使用和维修方便。当车间既有模锻锤又有螺旋压力机时，要求同样能量设备的模具可以通用时，可采用锤锻模结构型式的整体模（图 24.3-8a），以便根据生产任务调节不同设备的负载；大吨位摩擦压力机多用这两种整体式锻模。

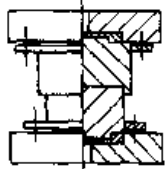
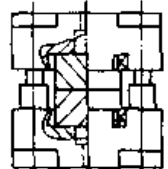
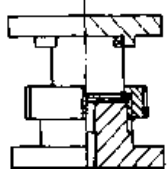

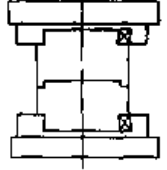
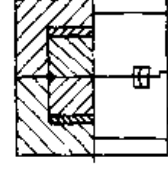
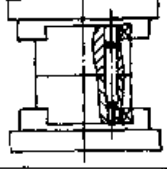
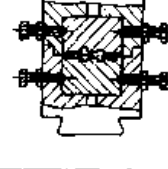
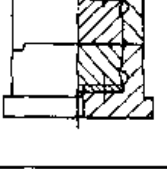
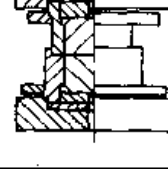
2) 组合式锻模 图 24.3-8c 和图 24.3-5 为组合式锻模。组合式（包括镶块式）锻模节省模具钢，便于模具零件标准化，缩短生产周期，降低模具成本。组合式锻模适合于多品种中小批量小型锻件的生产。

6.2 组合式锻模结构设计

整体式结构见锤用锻模设计。这里介绍组合式锻模的结构设计。

组合式锻模通常由上、下底板（模板），上、下模块，导柱、导套或导销及定位紧固件等零件组成。常用的组合式锻模及适用范围列于表 24.3-16。

表 24.3-16 常用的组合式锻模

编号	简图	说明	编号	简图	说明
1		上、下模块为圆形，通过圆形锁扣导向。适合于模锻圆形锻件或不太长的小型锻件	6		这是第二种镶块式组合模，模块为圆形，模块同模套过盈压配，依靠模套上的形锁扣导向。适合于小型件的压印或冷锻
2		上、下模块均为圆形，下模为镶块结构，螺母除对凹模镶块起固定作用外还兼作上模的导向。适合于作锤锻模	7		这是第三种镶块式组合模，矩形镶块通过螺钉固紧在模座内，依靠模座上的平行导锁导向。适合于模锻小型长锻件
3		上、下模块均为矩形，均通过燕尾和楔固定在上、下底板上，以平行锁扣导向。适合于模锻长形锻件	8		这是第四种镶块式组合模，矩形镶块通过斜楔固紧，上、下模通过四角导锁导向。适合于模锻小型杆类件
4		与3号模比较，其不同之处是采用导销导向适合于模锻细长形锻件	9		由上、下底板及导柱导套组成模架，采用矩形模块。适合于模锻中小型长形件
5		这是一种镶块式组合模，圆形镶块通过楔固紧在模座内，依靠模座上圆形锁扣导向。适合于模锻小的圆形锻件	10		同9号模相比，该模架既能安装矩形模块，又能安装圆形模块。适合于模锻各种中小型锻件

下面分别列出表 24.3-16 中十种常用组合模主要零件的结构图及尺寸规格,以便设计时选用。

1) 1号模 见图 24.3-9~图 24.3-11,

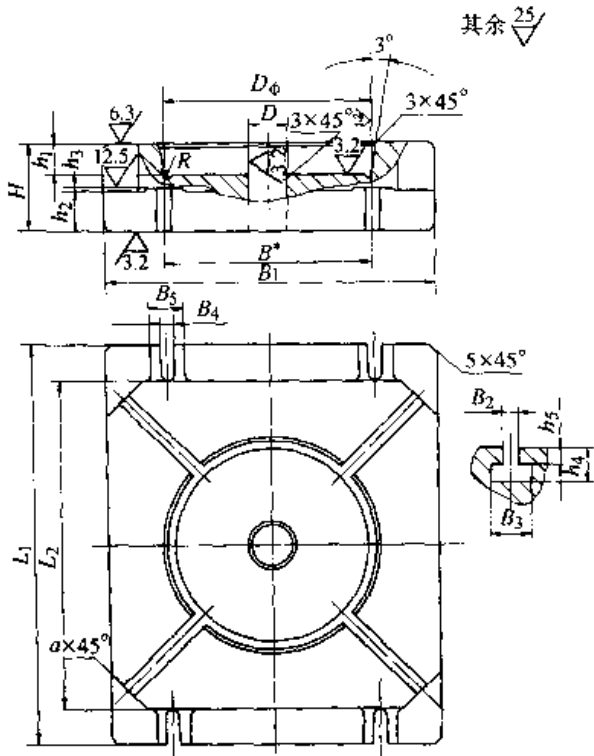


图 24.3-9 1号模上、下底板
(B^* 表示与设备安装相关的尺寸)

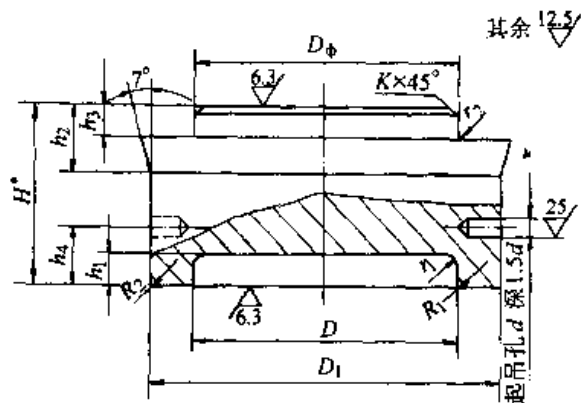


图 24.3-10 1号模上模块图
(H^* 表示与设备允许的闭合高度相关的尺寸)

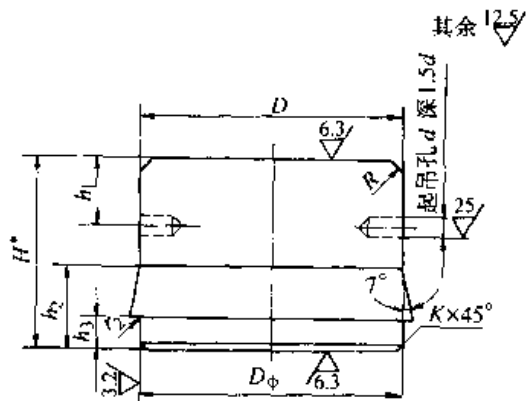


图 24.3-11 1号模下模块图
(H^* 表示与设备允许的闭合高度相关的尺寸)

表 24.3-17~表 24.3-19。

2) 2号模 见图 24.3-12~图 24.3-14, 表 24.3-20~表 24.3-22。

3) 3号模 见图 24.3-15~图 24.3-16, 表 24.3-23~表 24.3-24。

4) 4号模 4号模与3号模的区别仅在于以导销代替导锁来平衡错移力。模具零件结构尺寸均按3号模对应零件的表格选取,导销按表 24.3-44 选用。

5) 5号模 见图 24.3-17~图 24.3-18, 表 24.3-25~表 24.3-26。

6) 6号模 见图 24.3-19~图 24.3-22, 表 24.3-27~表 24.3-30。

7) 7号模 7号模是一种镶块式锤锻模,也可采用在相应吨位的摩擦压力机上。设计这种组合式模具时可基本按同类锤锻模的结构及尺寸规格选用。

8) 8号模 见图 24.3-23~图 24.3-24, 表 24.3-31~表 24.3-32。

9) 9号模 见图 24.3-25~图 24.3-28, 表 24.3-33~表 24.3-36。

10) 10号模 见图 24.3-29~图 24.3-33, 表 24.3-37~表 24.3-41。

表 24.3-17 1号模底板尺寸规格 (mm)

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
尺寸										
L_1	250	250	300	400	450	550	730	830	950	1 250
L_2	180	180	220	300	370	450	580	680	800	980

续表 24.3-17

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B_1	180	160	220	300	370	450	580	680	800	980
H	55	65	70	70	80	100	120	135	150	180
D_4	95	80	150	200	240	320	400	500	600	700
D	18	18	18	20	24	24	32	32	52	82
h_1	20	20	22	22	25	30	40	42	45	50
h_2	24	24	24	25	30	35	40	45	60	80
h_3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	5
h_4	25	25	25	30	48	48	54	54	54	100
h_5	13	13	13	18	28	28	28	28	28	52
B_2	14	14	14	18	28	28	36	36	36	54
B_3	28	28	28	34	48	48	58	62	62	90
B_4	18	18	18	22	28	28	36	36	36	54
B_5	30	30	30	40	50	50	50	70	70	100
a	20	20	20	24	35	35	42	42	42	65
R	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3	3	3	5

表 24.3-18 1号模上模块尺寸规格 (mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_1	100	95	140	190	240	310	400	480	590	700
D	70	65	110	160	200	270	350	420	500	600
D_4	70	65	110	160	200	270	350	420	500	600
h_1	15	15	15	15	25	25	30	35	45	50
h_2	28	28	32	40	48	48	58	62	72	95
h_3	8	8	10	10	12	12	12	12	12	15
h_4	30	35	40	40	50	65	75	90	110	130
R_1	5	5	6	6	8	8	8	10	12	15
R_2	3	3	4	4	5	5	6	8	10	12
r_1	3.5	3.5	4.5	4.5	5.5	5.5	6.5	6.5	8	12
r_2	-2	2.5	2.5	3	3	3	3.5	3.5	3.5	4
K	1.5	1.5	1.5	2.5	3	3.5	3.5	3.5	3.5	4
d	10	10	12	12	15	15	20	24	30	40

表 24.3-19 1号模下模块尺寸规格 (mm)

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
尺寸										
h_1	30	30	35	35	40	50	65	90	90	110
h_2	28	28	32	40	48	48	58	62	72	95
h_3	8	8	10	10	12	12	12	12	12	15
R	5	5	6	6	8	8	8	10	12	15

注：图 24.3-11 中 D 、 D_ϕ 、 r_2 、 K 和 d 与表 24.3-18 中对应的尺寸规格相同。

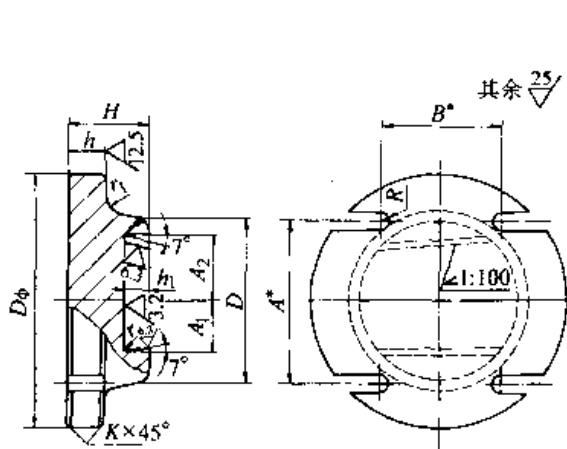


图 24.3-12 2号模上底板

(A^* 、 B^* 表示与设备安装相关的尺寸)

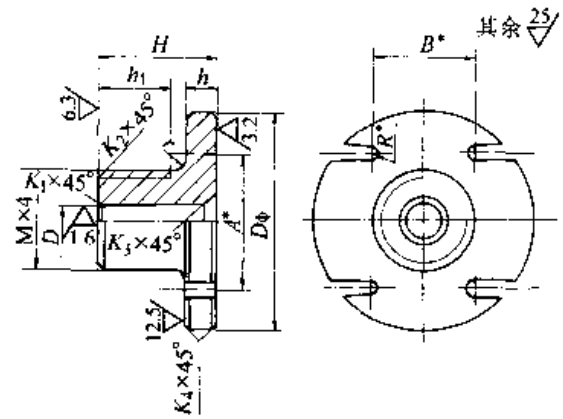


图 24.3-13 2号模下模座

(A^* 、 B^* 、 R^* 表示与设备安装相关的尺寸)

表 24.3-20 2号模上底板尺寸规格 (mm)

组别	1	2	3	4	5
尺寸					
D_ϕ	210	180	240	300	400
D	120	120	160	180	220
H	50	50	60	65	75
h	24	24	24	25	30
h_1	24	24	24	30	35
A_1	30	35	45	55	60
A_2	50	55	65	75	85
r	1.5	1.5	2	2	2
r_1	3	3	3	5	5
K	3	3	3	5	5

表 24.3-21 2号模下模座尺寸规格 (mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5
D_4	220	240	300	400	450
D	20	20	25	25	30
H	75	80	90	100	105
h	25	25	25	30	35
h_1	40	45	50	55	55
M	110	130	180	210	230
r	5	5	8	10	10
K_1	2	2	2.5	2.5	3
K_2	2.5	2.5	3	3	5
K_3	3	3	4	4	5
K_4	2.5	2.5	3	3	5

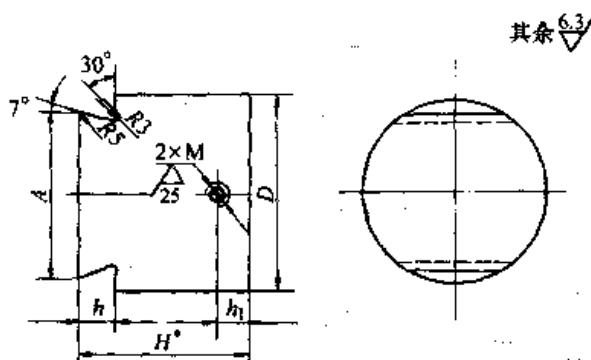

 图 24.3-14 2号模上模块
 (H^* 表示与设备允许闭合高度相关的尺寸)

表 24.3-22 2号模上模块尺寸规格 (mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5
A	60	70	90	110	120
h	$24^{+0.1}_0$	$24^{+0.1}_0$	$24^{+0.1}_0$	$30^{+0.1}_0$	$35^{+0.1}_0$
h_1	20	25	25	25	25
M	12	12	12	16	16
D	90	110	150	180	200

表 24.3-23 3号模上、下底板尺寸规格 (mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L_1	230	250	300	400	420	500	650	800	1 000	1 200
L_2	160	180	230	300	350	400	520	650	800	950
B_1	180	160	210	300	350	400	520	650	800	950
B_2	180	160	210	280	340	380	500	630	780	920

续表 24.3-23

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_1	40	35	55	65	75	90	130	180	240	300
A_2	60	55	75	85	100	120	160	215	280	350
H	60	60	65	70	85	105	135	145	175	185
h_1	25	25	25	30	35	35	40	45	60	80
h_2	3	3	3	3	4	4	5	5	6	6
h_3	24	24	24	24	35	35	45	45	60	60
R	5	5	6	8	8	8	8	10	10	10
r	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2.5	2.5	3	3

其余 $\sqrt[25]{}$

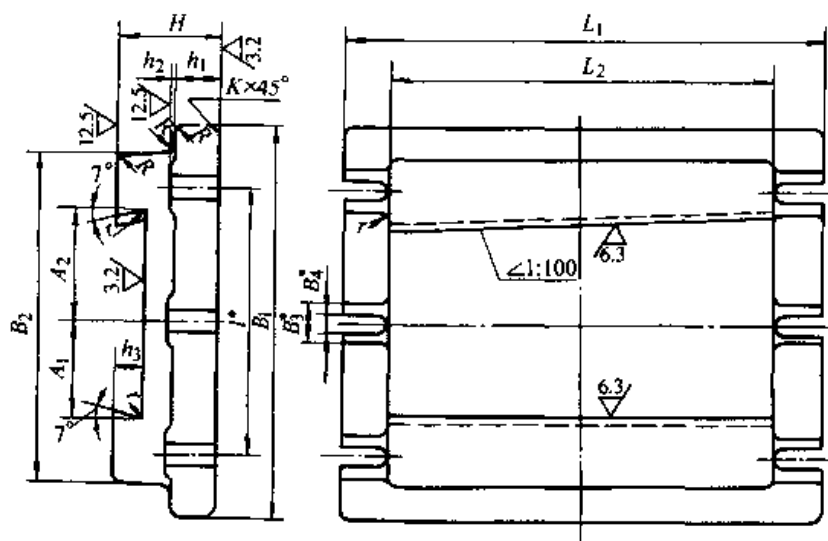


图 24.3-15 3号模上、下底板

(L^* 、 B_3^* 、 B_4^* 表示与设备安装相关的尺寸)

其余 $\sqrt[25]{}$

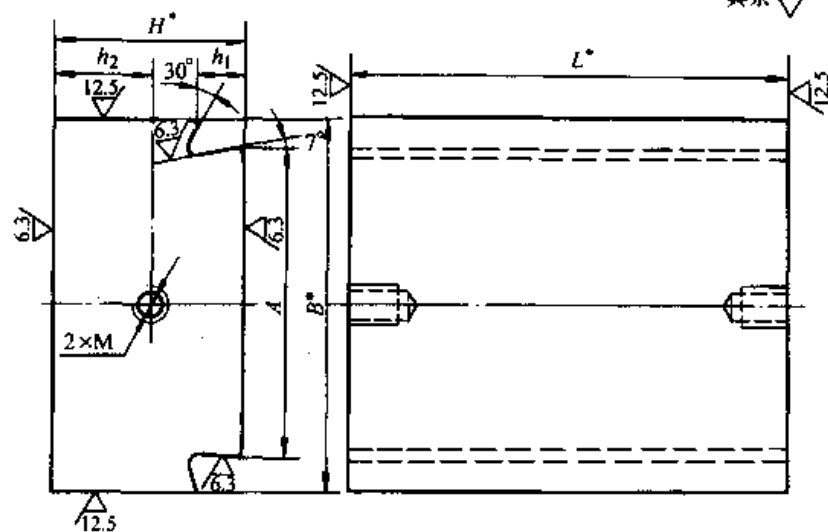


图 24.3-16 3号模上、下模块

(H^* 、 L^* 、 B^* 表示与设备安装相关的尺寸)

表 24.3-24 3号模模块尺寸规格 (mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	80	70	110	130	150	180	250	340	480	600
h_1	25	25	25	25	36	36	46	46	62	62
h_2	35	40	50	60	70	90	90	100	100	130
M	12	12	12	12	16	16	20	24	32	36

注：*表示与设备安装相关的尺寸。

表 24.3-25 5号模上、下模座尺寸规格 (mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L	250	270	320	420	480	600	700	820	950	1 250
B	180	170	250	350	380	500	540	670	800	950
B_1	170	170	240	330	360	480	520	650	780	920
l	180	200	230	310	380	500	550	670	800	950
H	110	135	150	150	170	225	255	280	305	375
h	75	90	100	100	115	155	175	185	200	245
h_1	50	65	75	70	75	110	115	125	125	165
h_2	24	24	24	25	30	35	40	45	60	80
h_3	12	16	18	18	20	25	30	30	35	40
h_4	11	11	11	13	17	17	17	17	17	17
D_4	70	90	110	150	200	270	350	420	500	600
a	100	110	140	220	270	360	350	430	500	660
b	110	110	170	230	270	320	380	470	510	570
c	25	25	25	25	35	35	40	40	50	55
l_1	45	55	65	85	110	145	195	225	275	340
R	6	6	8	8	10	10	12	15	18	25
R_1	4	4	4	4	5	6	8	10	12	15
R_2	3.5	3.5	3.5	3.5	4	5	6	8	10	12
D	25	25	25	30	35	35	45	45	60	60
r_1	4	4	4	4	5	6	8	10	12	15
r_2	3.5	3.5	3.5	3.5	4	5	6	8	10	12
r_3	5	5	5	10	10	15	15	15	15	15
r_4	3	3	3	4	4	5	5	5	5	5
r_5	2.5	2.5	3	3	3.5	3.5	4	4	4.5	4.5
d_1	18	18	18	20	24	24	32	32	52	82
d_2	12	12	12	15	19	19	19	19	19	19
d_3	18	18	18	22	28	28	28	28	28	28
K_1	2	3	3.5	3.5	4	4	5	5	6	6
K_2	2.5	2.5	3	3	3.5	3.5	3.5	3.5	4.5	4.5

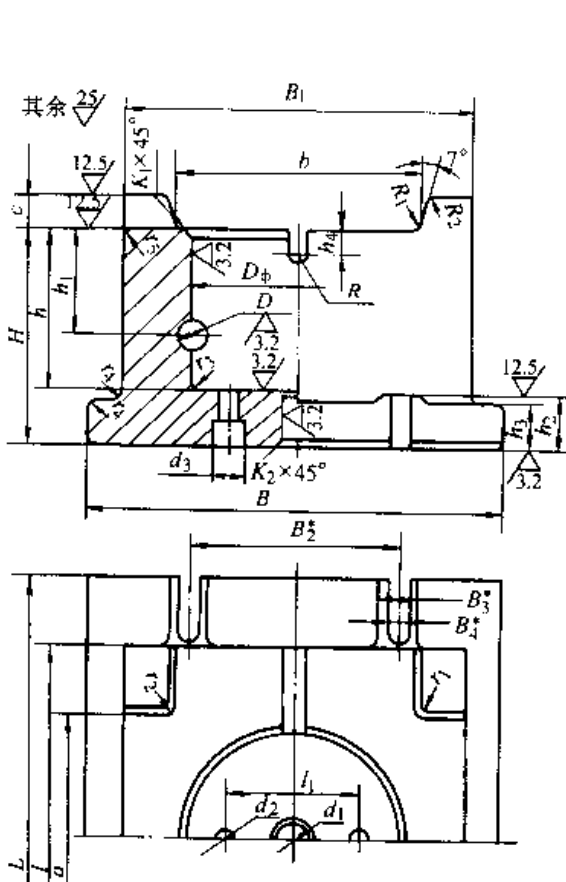


图 24.3-17 5号模上、下模座

(B_2^* 、 B_3^* 、 B_4^* 表示与设备安装相关的尺寸)

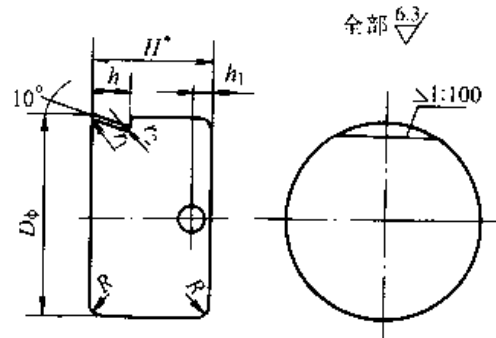


图 24.3-18 5号模上、下模块
(H^* 表示与设备允许闭合高度相关的尺寸)

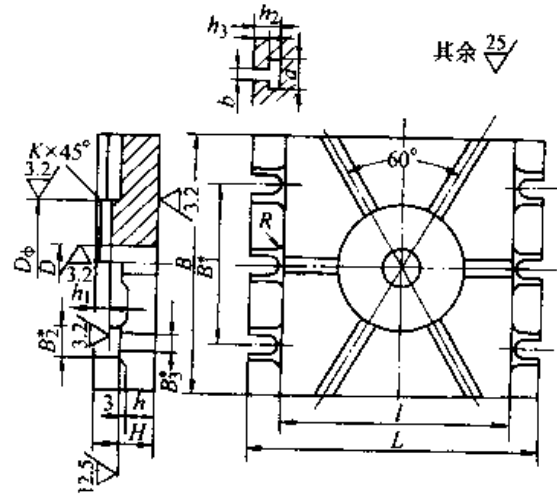


图 24.3-19 6号模上、下底板

(B_1^* 、 B_2^* 、 B_3^* 表示与设备安装相关的尺寸)

表 24.3-26 5号模模块尺寸规格

(mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_ϕ	70	90	110	150	200	270	350	420	500	600
h	25^{+1}_0	25^{+1}_0	25^{+1}_0	30^{+1}_0	35^{+1}_0	35^{+1}_0	45^{+1}_0	45^{+1}_0	$60^{+1.5}_0$	$60^{+1.5}_0$
h_1	12	16	18	18	20	25	30	30	35	40
R	2.5	2.5	2.5	3	3	4	4	5	5	5
r_1	1.5	1.5	1.5	2	2.5	2.5	3	3	3.5	3.5
r_2	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2.5	2.5

表 24.3-27 6号模上、下底板尺寸规格

(mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L	250	250	300	400	450	550	730	800	950	1 250
B	180	160	220	300	370	450	580	660	800	980
l	180	160	220	300	370	450	580	660	800	980

续表 24.3-27

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	55	65	70	70	80	100	120	135	150	180
h	24	24	24	25	30	35	40	45	60	80
h_1	20	20	20	20	25	30	42	46	46	50
h_2	25	25	25	30	48	48	54	54	54	100
h_3	13	13	13	18	28	28	28	28	28	52
D_4	90	70	115	167.4	207.4	278.8	361.3	432.3	514.7	619.6
D	18	18	18	20	24	24	32	32	52	82
a	28	28	28	34	48	48	62	62	62	90
b	14	14	14	18	28	28	36	36	36	54
R	5	5	5	6	6	6	8	8	10	10
r	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3	3	3	5
K	2.5	2.5	3	3	3.5	3.5	4	4	5	5

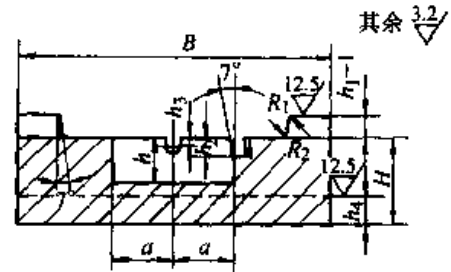
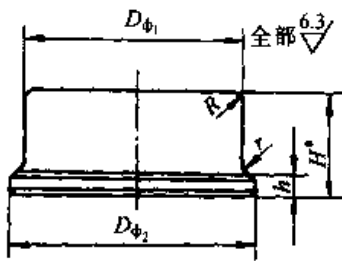


图 24.3-20 6号模上、下模块
(H^* 表示与设备允许闭合高度相关的尺寸)

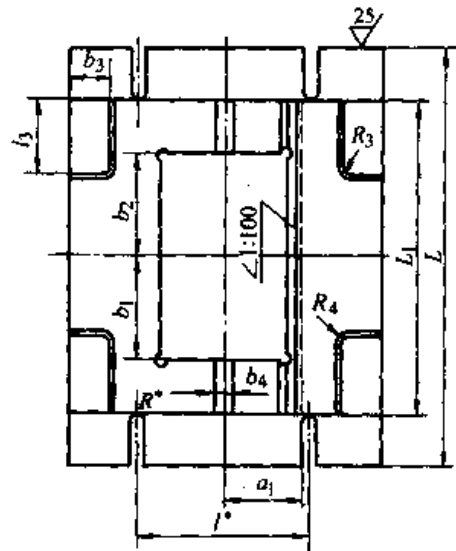
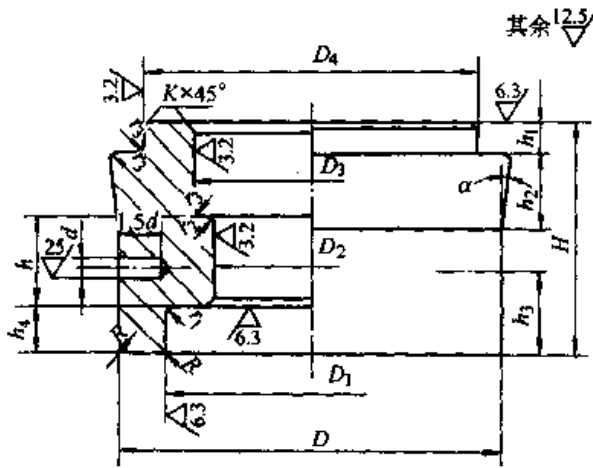


图 24.3-21 6号模上模套

图 24.3-23 8号模上、下底板
(l^* 、 R^* 表示与设备安装相关的尺寸)

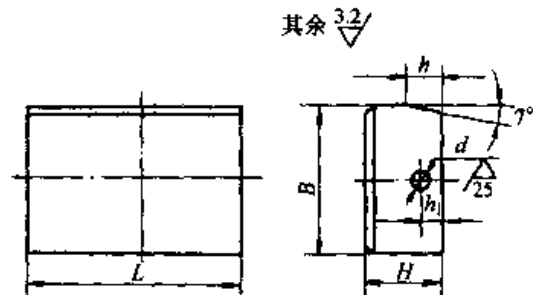
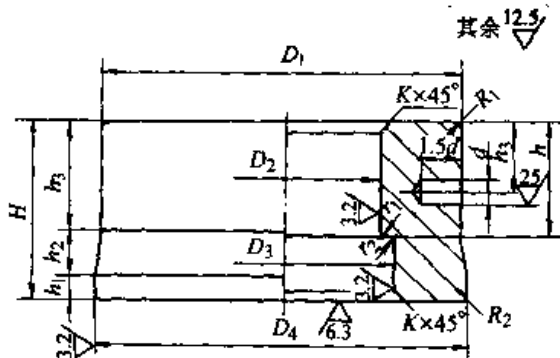


图 24.3-22 6号模下模套

图 24.3-24 8号模上、下模块

表 24.3-28 6号模上、下模块尺寸规格 (mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$D_{\#1}$	50	30	80	130	160	230	300	360	410	500
$D_{\#2}$	55	35	90	140	180	250	320	380	430	520
h	15	15	15	15	20	20	25	25	30	40
R	1	1	1.5	1.5	2.5	2.5	3	3	3	3
r	0.5	0.5	1	1	1.5	1.5	2	2	2	2

表 24.3-29 6号模上模套尺寸规格 (mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	115	95	140	190	240	310	400	480	590	700
D_1	85	65	110	160	200	270	350	420	500	600
D_2	50	30	80	130	160	230	300	360	410	500
D_3	55	25	90	140	180	250	320	380	430	520
D_4	90	70	115	167.4	207.4	278.8	361.8	432.3	514.7	619.6
H	85	100	110	110	135	165	190	195	215	270
h	35	50	60	60	60	85	85	85	90	120
h_1	10	10	10	10	13	13	13	13	13	13
h_2	20	20	22	30	36	36	46	50	60	80
h_3	30	40	45	45	50	70	80	80	90	100
h_4	15	15	15	15	25	25	30	35	45	50
R	2.5	2.5	3	3	4	4	4	5	6	8
r_1	3	3	5	5	6	6	6	8	10	12
r_2	0.5	0.5	1.5	1.5	2	2	2.5	2.5	2.5	2.5
r_3	1	1	2	2	2.5	2.5	3	3	3	3
d	10	10	12	12	15	15	20	24	30	40

表 24.3-30 6号模下模套尺寸规格 (mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_1	85	65	110	160	200	270	350	420	500	600
D_2	50	30	80	130	160	230	300	360	410	500
D_3	55	35	90	140	180	250	320	380	430	520
D_4	90	70	115	167.4	207.4	278.8	361.3	432.7	514.7	619.6
H	70	85	95	95	110	140	160	160	170	220

续表 24.3-30

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h	35	50	60	60	60	85	85	85	90	120
h_1	10	10	10	10	13	13	13	13	13	13
h_2	20	20	22	30	30	36	46	50	60	80
h_3	25	30	35	35	40	60	65	65	70	90
d	10	10	12	12	15	15	20	24	30	40
R_1	5	5	6	6	8	8	8	10	12	15
R_2	2	2.5	2.5	3	3	3.5	3.5	3.5	3.5	5
r_1	0.5	0.5	1.5	1.5	2	2	2.5	2.5	2.5	2.5
r_2	1	1	2	2	2.5	2.5	3	3	3	3
K	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2.5	2.5	3	3

表 24.3-31 8号模上、下底板尺寸规格

(mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L	250	270	300	400	480	600	700	820	950	1 250
L_1	180	200	230	310	380	500	550	670	800	950
B	180	170	250	350	380	500	550	670	800	950
H	100	125	140	140	160	205	245	260	280	355
h	65	80	90	90	105	135	165	165	175	225
h_1	20	20	25	25	35	35	40	40	50	55
h_2	25	25	25	25	36	36	46	46	62	62
h_3	12	16	18	18	20	25	30	30	35	40
a	40	30	70	80	125	150	175	200	225	275
a_1	60	50	90	100	150	180	210	235	265	325
b_1	62	52	87	105	145	180	210	260	310	360
b_2	60	50	85	100	140	175	200	250	300	350
b_3	30	30	35	35	40	65	70	90	120	150
b_4	12	12	16	16	20	20	24	30	36	50
l_1	40	40	60	75	95	125	135	160	200	230
R_1	4	4	4	4	5	6	8	10	12	15
R_2	3.5	3.5	3.5	3.5	4	5	6	8	10	15
R_3	3.5	3.5	3.5	3.5	4	5	6	8	10	12
R_4	4	4	4	4	5	6	8	10	12	15
h_4	24	24	24	25	30	35	40	45	60	80

表 24.3-32 8号模上、下模块尺寸规格 (mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L	120	100	160	200	280	350	400	500	600	700
B	80	60	140	160	250	300	350	400	450	550
h	25	25	25	25	36	36	46	46	62	62
h ₁	12	16	18	18	20	25	30	30	35	40
d	10	10	12	12	16	16	20	24	35	48

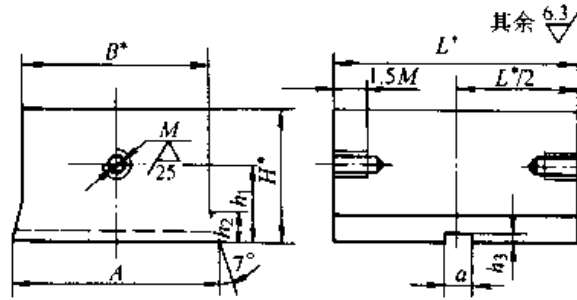


图 24.3-25 9号模上、下模块

(B*、L* 分别按表 24.3-33 中相应的尺寸 a、l 选用)

表 24.3-33 9号模上、下模块尺寸规格 (mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	70	50	100	120	150	180	240	320	400	500
h ₁	30	30	30	30	40	40	50	50	70	70
h ₂	25	25	25	25	36	36	46	46	62	62
h ₃	5	5	5	5	8	8	10	10	12	12
a	10	10	10	10	20	20	30	30	40	40
M	16	16	16	16	20	20	24	30	36	36

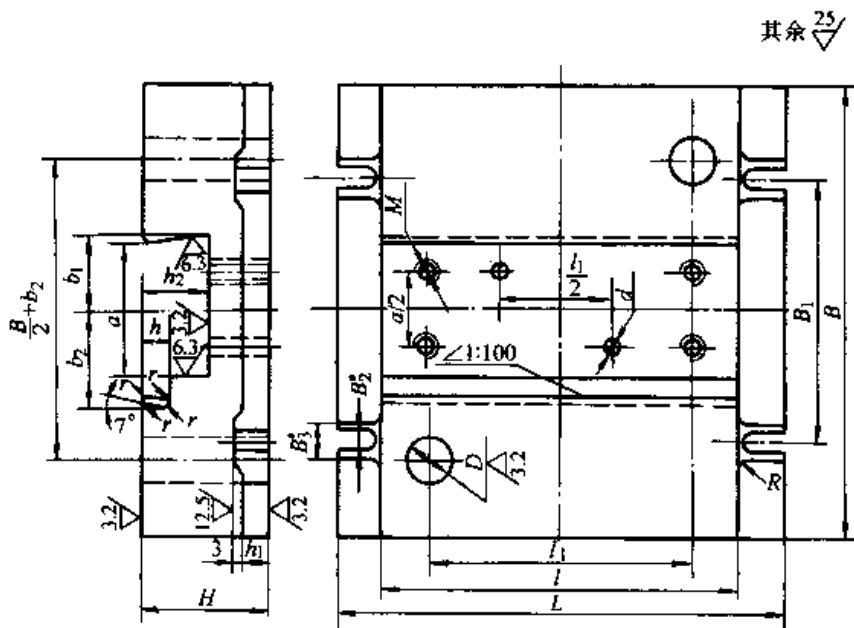


图 24.3-26 9号模上、下底板

(B₁、B₂、B₃ 表示与设备安装相关的尺寸)

表 24.3-34 9号模上、下底板尺寸规格 (mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L	250	250	330	420	500	600	720	840	980	1 250
B	190	170	280	390	430	600	720	840	880	980
l	190	180	270	340	410	510	600	720	860	1 100
l ₁	120	120	200	240	310	390	430	510	620	800
H	70	75	85	85	110	125	150	165	195	220
D(上)	35	35	45	50	60	70	85	120	150	180
D(下)	25	25	30	35	40	45	60	80	100	120
d	10	10	10	10	12	12	16	16	20	20
h	25	25	25	25	36	36	46	46	62	62
h ₁	24	24	24	25	30	35	40	45	60	80
h ₂	36	36	36	36	55	55	70	70	90	90
a	70	50	100	120	150	180	240	320	400	500
b ₁	35	25	50	60	75	90	120	160	200	250
b ₂	55	45	70	80	100	120	150	195	240	300
R	5	5	5	5	8	8	10	10	15	15
r	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2.5	2.5	3	3
M	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10

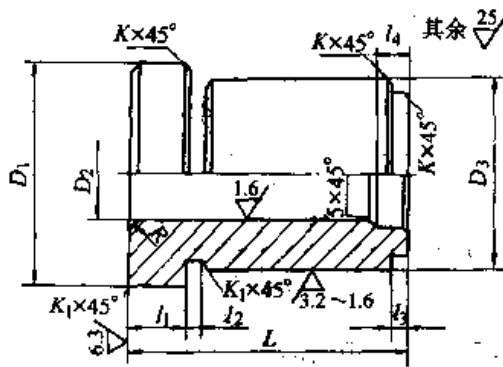


图 24.3-27 9号模导套

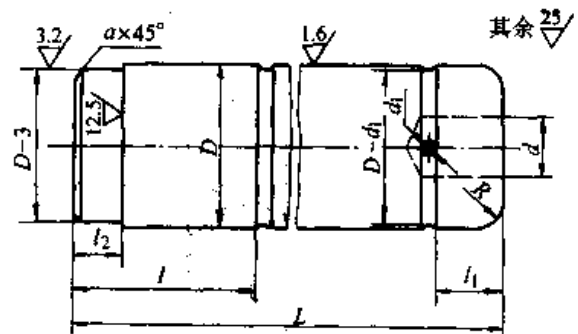


图 24.3-28 9号模导柱

表 24.3-35 9号模导套尺寸规格 (mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D ₁	40	40	60	65	75	85	105	140	170	200
D ₂	25	25	30	35	40	45	60	80	100	120
D ₃	35	35	45	50	60	70	85	120	150	180
L	110	140	150	150	165	215	255	265	295	365
l ₁	50	75	80	80	75	120	135	135	135	185

续表 24.3-35

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l_2	2.5	2.5	2.5	3.5	3.5	5	5	5	5	5
l_3	3	3	4	4.5	4.5	5	6	8	8	12
l_4	10	10	12	12	12	12	15	20	20	30
R	3	3	3	3.5	3.5	4	5	5	8	10
K	1	1	1	1.5	1.5	2	2	2	2	2
K_1	1.5	1.5	1.5	3	3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5

表 24.3-36 9号模导柱尺寸规格

(mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L	115	150	165	165	175	255	280	290	300	425
D	25	25	30	35	40	45	60	80	100	120
l	48	50	55	55	75	85	100	110	130	150
l_1	8	8	8	10	12	12	20	25	30	40
l_2	5	5	6	6	8	8	10	10	15	15
d	5	5	5	8	8	12	12	15	20	25
d_1	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6
R	3.5	3.5	3.5	5	6	8	10	15	20	25
a	2	2	2	3	3	4	4	5	5	6

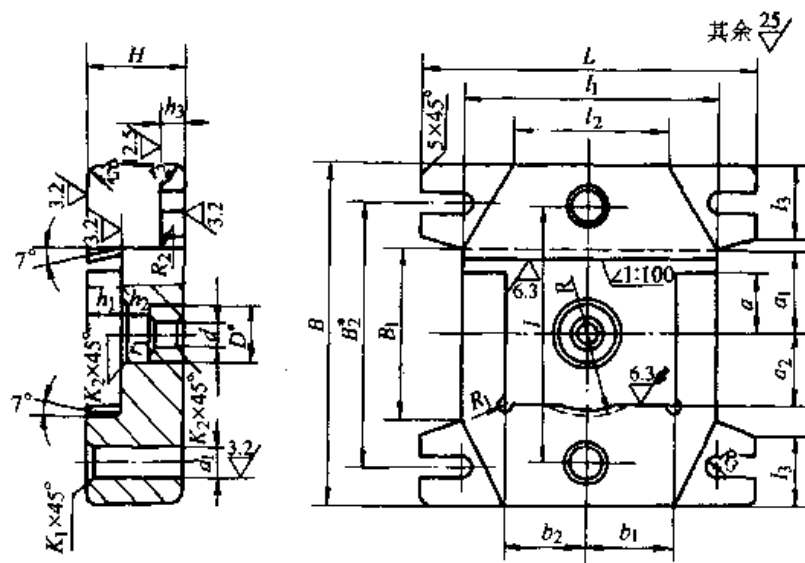


图 24.3-29 10号模上、下底板

(B_2 、 D^* 、 R_2 表示与设备安装相关的尺寸)

表 24.3-37 10号模上、下底板尺寸规格 (mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6
L	250	250	330	420	500	600
l	145	125	220	295	335	465
l ₁	170	170	240	300	380	450
l ₂	100	100	240	250	240	280
l ₃	45	45	65	90	100	130
B	190	170	280	390	430	600
B ₁	90	70	140	190	210	300
H	85	95	100	110	115	120
h ₁	24	24	24	35	35	35
h ₂	20	20	25	25	25	25
h ₃	30	35	40	40	45	45
a	29	19	59	68	88	133
a ₁	50	40	80	100	120	165
a ₂	40	30	70	85	105	150
b ₁	62	52	87	102	142	177
b ₂	60	50	85	100	140	175
d	20	20	20	22	22	22
d ₁ (上)	35	35	45	50	60	70
d ₁ (下)	25	25	30	35	40	45
R	50	40	80	100	120	165
R ₁	5	5	5	6	6	6
R ₂ , r ₂	3.5	3.5	3.5	4	4	4
r ₁	0.5	0.5	0.5	1	1	1
K ₁	3	3	3	3.5	3.5	3.5
K ₂	1.5	1.5	1.5	2	2	2

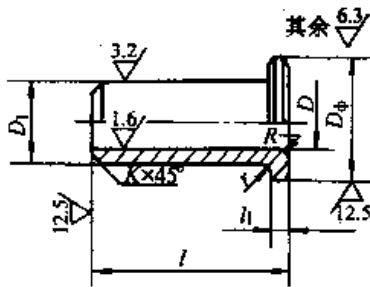


图 24.3-30 10号模导套

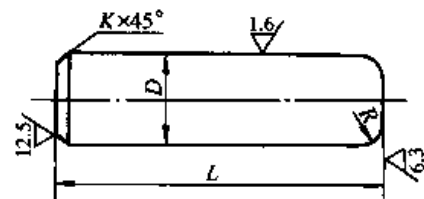


图 24.3-31 10号模导柱

表 24.3-38 10号模导套尺寸规格 (mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6
D	25	25	30	35	40	45
D_1	35	35	45	50	60	70
D_4	40	40	60	65	75	85
l	85	100	115	110	135	165
l_1	20	25	40	30	50	70
R	3	3	3.5	3.5	3.5	3.5
K	3	3	3.5	3.5	3.5	3.5
r	0.5	0.5	1	1	1	1

表 24.3-39 10号模导柱尺寸规格 (mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6
D	25	25	30	35	40	45
L	135	150	150	160	160	235
K	3	3	3.5	3.5	3.5	3.5
R	5	5	6	8	8	10

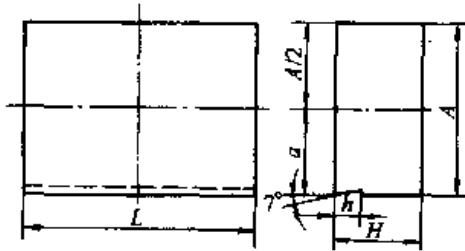


图 24.3-32 10号模矩形模块

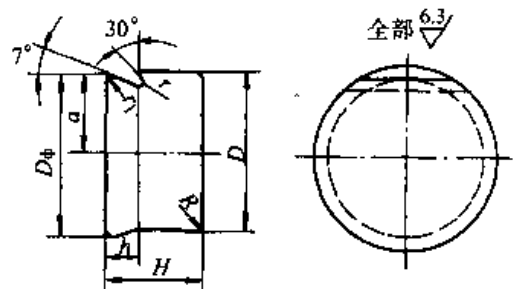


图 24.3-33 10号模圆形模块

表 24.3-40 10号模矩形模块尺寸规格 (mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6
A	80	60	140	170	210	300
a	30	20	60	70	90	135
h	25	25	25	36	36	36
L	120	100	170	200	280	350

表 24.3-41 10号模圆形模块尺寸规格 (mm)

组别 尺寸	1	2	3	4	5	6
$D_φ$	100	80	160	200	240	330
D	95	75	155	190	230	320
a	30	20	60	65	110	135
h	25	25	25	36	36	36
R	0.5	0.5	0.5	1	1	1
r	2	2	2	3	3	3
r_1	1.5	1.5	1.5	2	2	2

6.3 导锁设计

锻件的分模面为曲面或锻模中心与模膛中心不重合时，为了避免由于偏心打击而引起的锻模错移，除了采用导柱导套外，通常还采用更加简便的结构，即平衡导锁、一般导锁和导销等。

(1) 平衡导锁 (图 24.3-34)

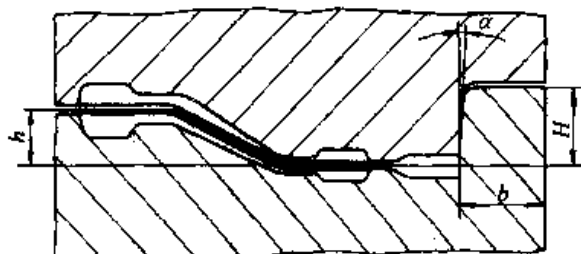


图 24.3-34 平衡导锁

$$H = h + 10 \sim 30 \text{ mm}$$

$$b = (1.5 \sim 2) H$$

$$\alpha = 3^\circ \sim 5^\circ$$

(2) 一般导锁

1) 圆形导锁 (图 24.3-35) 能防止各个方

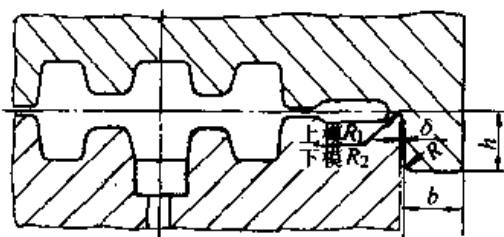


图 24.3-35 圆形导锁

向的错模，适合用在圆盘类和环形类锻件的锻模上。

导锁中凸出部分常设在上模，以便于锻件起模和清理下模模膛中的氧化皮。为了避免飞边金属流入导锁间隙，飞边槽仓部宽度 b_1 应比普通的仓部宽度大 5~10 mm。导锁的尺寸见表 24.3-42。

2) 纵向导锁 (图 24.3-36) 纵向导锁可保证锻模在宽度方向只有较小的错移。在杆类锻件或一模多件的锻模上普遍采用纵向导锁。导锁尺寸见表 24.3-42。

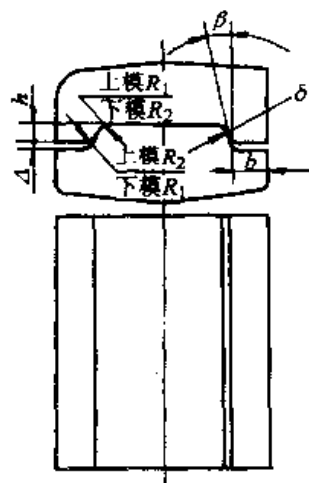


图 24.3-36 纵向导锁

3) 侧面导锁 (图 24.3-37) 用于防止上模与下模相对转动或纵横任一方向错移。因其制造困难，采用较少。导锁尺寸参考表 24.3-43。

表 24.3-42 圆形导锁尺寸规格

吨位/kN	400	630	1 000	1 600	3 000	4 000	6 300	10 000	16 000	25 000
尺寸/mm										
h	15	15	15	15	20	25	25	30	45	50
b	15	15	15	15	20	25	25	30	45	50
R	5	5	6	6	8	8	8	10	12	15
R_1	5	5	6	6	8	8	8	10	12	15
R_2	3.5	3.5	4.5	4.5	5.5	5.5	6.5	6.5	8	12

$\delta = 0.2 \sim 0.4 \text{ mm}$ $\Delta = 1 \sim 2 \text{ mm}$

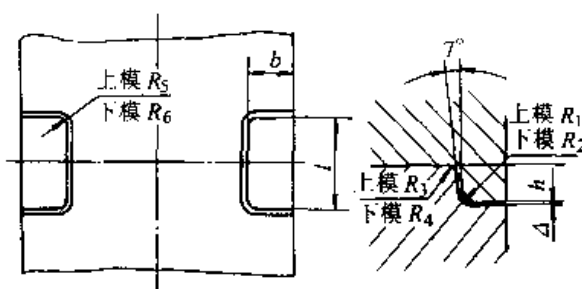


图 24.3-37 侧向导锁

表 24.3-43 侧面导锁尺寸规格

设备吨位/kN	400	630	1 000	1 600	3 000	4 000	6 300	10 000	16 000	25 000
尺寸/mm										
l	80	90	100	130	175	200	250	300	400	475
b	30	30	35	35	40	65	70	90	120	150
h	20	20	25	25	35	35	40	40	50	55
Δ	1	1	1	1	1.5	1.5	2	2	2.5	2.5
δ	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.12	0.15	0.15	0.20	0.25
R_1	4	4	4	4	5	6	8	10	12	15
R_2	3.5	3.5	3.5	3.5	4	5	6	8	10	12
R_3	3.5	3.5	3.5	3.5	4	5	6	8	10	12
R_4	4	4	4	4	5	6	8	10	12	15
R_5	4	4	4	4	5	6	8	10	12	15
R_6	3.5	3.5	3.5	3.5	4	5	6	8	10	12

4) 角导锁 (图 24.3-38) 其作用和侧面导锁相似, 可在模块四角空余的地方设置二个或四个角导锁, 其强度较弱。多用于小型锻件和没有制坯模膛的锻件。导锁的尺寸可参考表 24.3-42。

(3) 导销 (图 24.3-39)

导销所能承受的错移力较小, 在胎模锻中多用于中小型水平分模面的合模。因螺旋压力机的冲击性能较锤要小得多, 加上导销制造、调整和维修方便, 故在摩擦压力机用锻模上, 大吨位压力机用锻模也采用导销。导销直径见表 24.3-44。

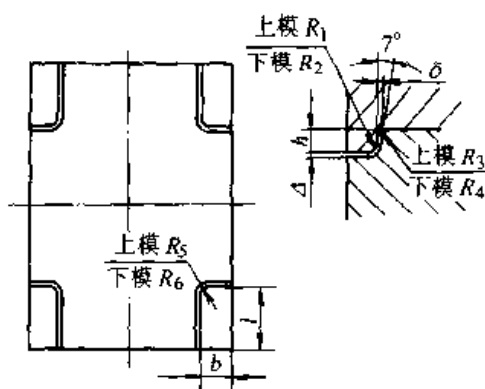


图 24.3-38 四角导锁

导销长度根据模锻合模高度来定

$$L_1 \leq 0.9H_1$$

$$L_2 = (0.5 \sim 0.7) H_2$$

$$L_3 = 10 \sim 15 \text{ mm}$$

$$\delta = 0.15 \sim 0.3 \text{ mm}$$

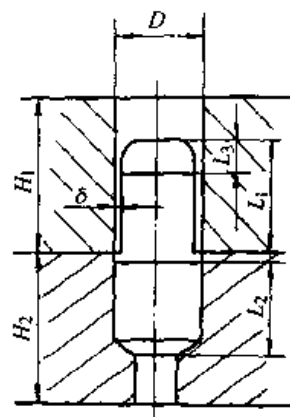


图 24.3-39 导销

表 24.3-44 根据设备吨位选择导销直径 D

设备吨位/kN	400	630	1 000	1 600	3 000	4 000	6 300	10 000	16 000	25 000
导销直径/mm	25	30	35	40	45	50	55	60	80	100

6.4 通用件系列

(1) 斜楔

半圆斜楔如图 24.3-40 所示, 其尺寸系列见表 24.3-45。矩形斜楔如图 24.3-41, 其尺寸系列见表 24.3-46。

(2) T形紧固螺钉 (图 24.3-42)

T形紧固螺钉尺寸系列见表 24.3-47

6.5 模具加工精度要求

模具加工精度主要包括模膛尺寸公差、模膛相对错移量公差、飞边槽尺寸公差、表面粗糙度和模块外形尺寸精度及形位公差等。

(1) 模膛尺寸公差 (表 24.3-48)

(2) 模膛的相对错移量公差 (以检验面为基准) (表 24.3-49)

(3) 飞边槽尺寸公差 (表 24.3-50)

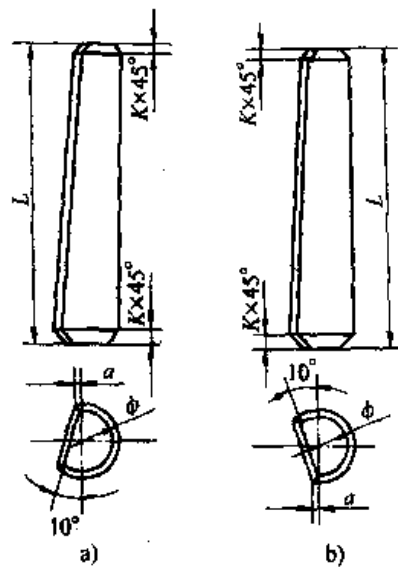


图 24.3-40 半圆斜楔

a) 上斜楔 b) 下斜楔

表 24.3-45 上、下斜楔尺寸

(mm)

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
尺寸										
ϕ	25	25	25	30	35	35	45	45	60	60
L	200	220	250	330	400	520	580	700	830	980
a	0.44	0.44	0.44	0	0.44	0.44	0.44	0.44	0.88	0.88
K	5	5	5	6	8	8	10	10	15	15

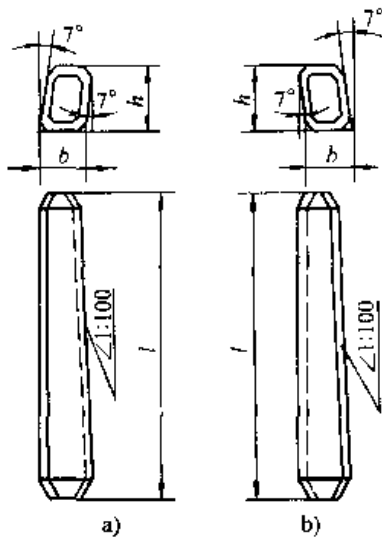


图 24.3-41 矩形斜楔
a) 上斜楔 b) 下斜楔

表 24.3-46 斜楔尺寸 (mm)

$B \times h$	L
20.5 × 25	200 250 350
20.5 × 30	350
25.5 × 35	400 450
30.5 × 35	400 450 550
30.5 × 45	550 650

续表 24.3-46

$B \times h$	L
35.5 × 45	600 700 750
40.5 × 60	850 900
50.5 × 60	1 000 1 200

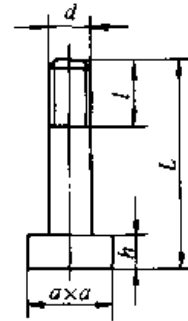


图 24.3-42 T形紧固螺钉

表 24.3-47 T形螺钉尺寸 (mm)

D	12	16	20	24	30	32	32	32	48
L	95	110	125	150	185	175	210	200	310
l	40	60	65	75	85	90	100	100	120
h	10	12	15	15	22	22	22	22	32
a	25	30	36	42	52	52	56	60	80

表 24.3-48 模膛尺寸公差

(mm)

模 腔 公称尺寸	高精度终锻模膛			终 锻 模 膛			预 锻 模 膛			校 正 模 膛		
	水平	深度	中心距	水平	深度	中心距	水平	深度	中心距	水平	深度	中心距
<18	+0.11 -0.07	+0.07 -0.04	±0.07	+0.18 -0.11	+0.11 -0.07	±0.11	+0.43 -0.27	+0.18 -0.11	±0.11	+0.70 +0.18	+0.11 -0.07	±0.11
18~30	+0.13 -0.18	+0.08 -0.05	±0.08	+0.21 -0.13	+0.13 -0.08	±0.13	+0.52 -0.33	+0.21 -0.13	±0.13	+0.84 +0.21	+0.13 +0.08	±0.13
30~50	+0.16 -0.10	+0.10 -0.06	±0.10	+0.25 -0.16	+0.16 -0.10	±0.16	+0.62 -0.39	+0.25 -0.16	±0.16	+1.00 +0.25	+0.16 -0.10	±0.16
50~80	+0.19 -0.12	+0.12 -0.07	±0.12	+0.30 -0.19	+0.19 -0.12	±0.19	+0.74 -0.46	+0.30 -0.19	±0.19	+1.20 +0.30	+0.19 -0.12	±0.19
80~120	+0.22 -0.14	+0.14 -0.08	±0.14	+0.35 -0.22	+0.22 -0.14	±0.22	+0.87 -0.54	+0.35 -0.22	±0.22	+1.40 +0.35	+0.22 -0.14	±0.22
120~180	+0.25 -0.16	+0.16 -0.10	±0.16	+0.40 -0.25	+0.25 -0.16	±0.25	+1.00 -0.63	+0.44 -0.25	±0.25	+1.60 +0.40	+0.25 -0.16	±0.25

续表 24.3-48

模腔 公称尺寸	高精度终锻模腔			终锻模腔			预锻模腔			校正模腔		
	水平	深度	中心距	水平	深度	中心距	水平	深度	中心距	水平	深度	中心距
180~250	+0.29 -0.18	—	±0.18	+0.46 -0.29	—	±0.29	+1.15 -0.72	—	±0.29	+1.85 +0.46	—	±0.29
250~315	+0.32 -0.21	—	±0.21	+0.52 -0.32	—	±0.32	+1.30 -0.81	—	±0.32	+2.10 +0.52	—	±0.32
315~400	+0.36 -0.23	—	±0.23	+0.57 -0.36	—	±0.36	+0.14 -0.89	—	±0.36	+2.30 +0.57	—	±0.36
400~500	+0.40 -0.25	—	±0.25	+0.63 -0.40	—	±0.40	+1.55 -0.97	—	±0.40	+2.50 +0.63	—	±0.40
500~630	+0.44 -0.28	—	±0.28	+0.70 -0.44	—	±0.44	+1.75 -1.10	—	±0.44	+2.80 +0.70	—	±0.44
630~800	+0.50 -0.32	—	±0.32	+0.80 -0.05	—	±0.50	+2.00 -1.25	—	±0.50	+3.20 +0.80	—	±0.50
800~1 000	+0.56 -0.36	—	±0.36	+0.90 -0.56	—	±0.56	+2.30 -1.40	—	±0.56	+3.60 +0.90	—	±0.56

- 注：1. 深度公差以分模面为准。
 2. 模腔内凸出部位的尺寸公差数值按表 24.3-48 上下偏差的符号应对调。
 3. 高精度终锻模腔系精密模锻用，即一级精度模锻件锻模用；终锻模腔为二级精度模锻件锻模用；对于三级精度模锻件终锻模腔用的公差为表中终锻模腔的 1.3 倍。

表 24.3-49 上下模模腔最大错量 (mm)

模腔最大 尺寸	终锻和校正模腔			预锻模腔
	1级精度	2级精度	3级精度	
≤100	0.12	0.16	0.20	0.40
100~250	0.16	0.25	0.32	0.60
250~500	0.20	0.30	0.40	0.80
500 以上	0.26	0.38	0.50	1.00

表 24.3-50 飞边槽尺寸公差 (mm)

飞边桥部高度	桥部高度	桥部宽度
1.2~1.5	±0.10	±0.20
1.5~2.5	±0.15	±0.25
2.5~3.5	±0.20	±0.30
3.5~4.5	±0.25	±0.35

(4) 锻模模块外形

- 1) 支承面与水平分模面的平行度。
- 2) 检验面间的垂直度。
- 3) 燕尾两侧斜面的平行度。

燕尾两侧面对纵向检验面的平行度。

- 4) 锻模合模后，上、下支承面的平行度。

以上精度对于一级锻件，按 GB/T 1184—1996 5级精度；二级锻件，按 GB/T 1184 7级精度；三级锻件，按 GB/T 1184 9级精度。

- 5) 锻模合模后，上、下模分模面的不吻合间隙；

水平分模：一级锻件，小于 0.08 mm；二级锻件，小于 0.10 mm；三级锻件，小于 0.12 mm。

折线分模：一级锻件，小于 0.15 mm；二级锻件，小于 0.18 mm、三级锻件。小于 0.20 mm。

曲线分模：一级锻件，小于 0.30 mm、二级锻件，小于 0.40 mm；三级锻件，小于 0.50 mm。

(5) 表面粗糙度

- 1) 终锻模膛，校正模膛、预锻模为 $R_a 0.8 \mu\text{m}$ 。

- 2) 锻模分模面、飞边槽桥部为 $R_a 1.6 \mu\text{m}$ 。

- 3) 锻模检验面、锁扣面、燕尾斜面，支承面为 $R_a 3.2 \mu\text{m}$ 。

锻模其余各面为 $R_a 12.5 \mu\text{m}$ 。

6.6 顶出机构

螺旋压力机的行程不是固定的，上行程结束所处的位置也是不固定的，所以在锻模模块上设计的顶出器结构在保证强度的条件下留有足够的空间，以防顶出器把整个模架顶出，见图 24.3-43。

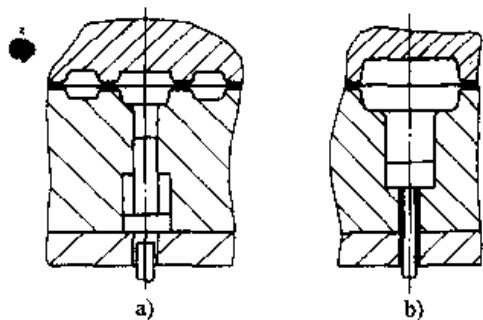


图 24.3-43 顶出器结构

推动顶出器向上移动的方式有两种：一种是机械式，即在顶出器的下方有一横梁，横梁的两端通过两根拉杆同螺旋压力机的滑块相连，当模锻行程结束向上回程时，带动横梁向上运动继而推动顶出器向上运动将凹模中的锻件顶出。另一种是液压（或气压）驱动式，即由专门的液压（或气压）动力系统驱动液压油缸活塞（或柱塞），活塞（或柱塞）杆推动顶出器顶出锻件。

7 锻模设计实例

螺旋压力机用锻模的设计过程与模锻锤和机械锻压机用锻模的设计过程相同，本节不再赘述从锻件图到模具结构的详细设计过程，只须列举几个锻件图及相应的锻模图便一目了然。

7.1 齿轮坯开式锻模

图 24.3-44 为 P-60B 耙斗装岩机齿轮坯锻件图，锻件重量 16.7 kg，材料 45 号钢。

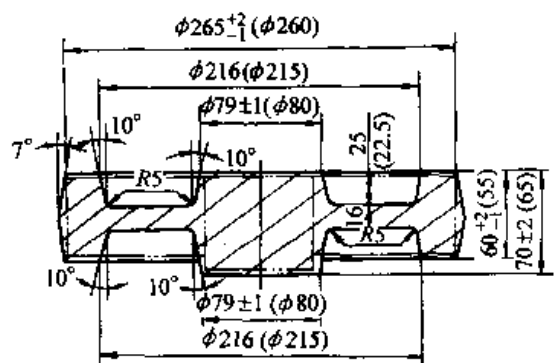


图 24.3-44 P-60B 耙斗装岩机齿轮坯锻件图

1. 锻件表面不得有裂纹、折叠缺陷等
2. 未注圆角 $R5$

根据工艺分析采用 750 kg 空气锤锻粗，10 000 kN 螺旋压力机成形的模锻工艺，采用表 24.3-16 编号 1 所示整体圆形模块模架、模具结构见图 24.3-45。

7.2 连杆开式锻模

图 24.3-46 为 692Q 发动机连杆锻件图，锻件重量 1.35 kg，材料 40Cr 钢。

根据工艺分析，采用 150 kg 空气锤制坯，4 000 kN 螺旋压力机成形的模锻工艺，采用表 24.3-16 编号 3 所示整体式矩形模块模架，模具结构见图 24.3-47。

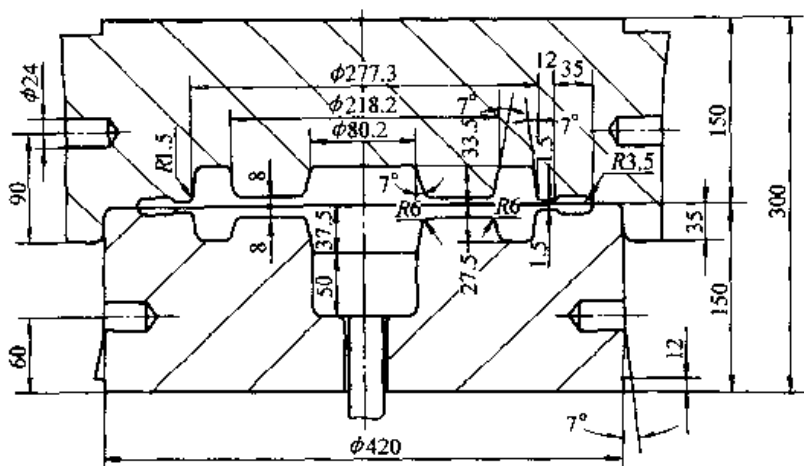
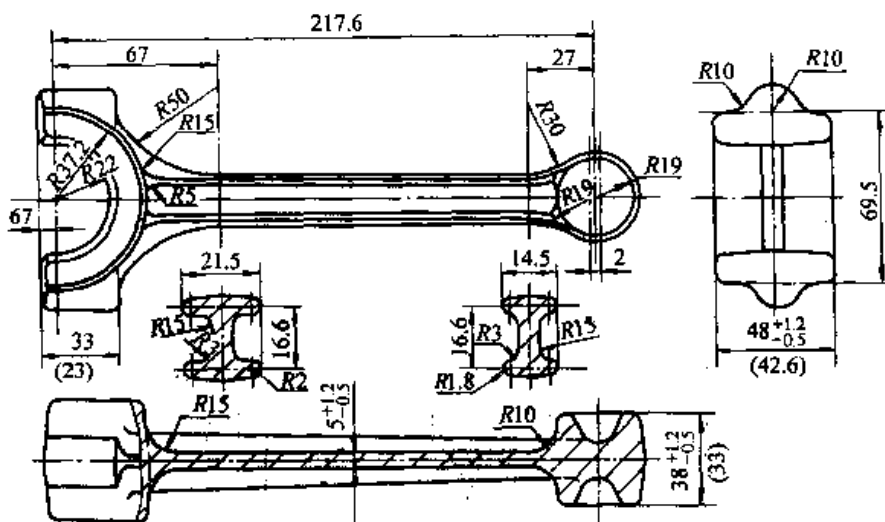


图 24.3-45 P-60B 耙斗装岩机齿轮环锻模图



技术要求: 1. 尺寸按交点注 2. 未注圆角 R3 3. 未注拔模斜度 7°

图 24.3-46 692Q 发动机连杆锻件图

7.3 突缘叉开式锻模

图 24.3-49 为突缘叉锻件, 锻件重量 3.4 kg, 材料 45 号钢。

根据工艺分析, 采用 560 kg 空气锤制坯, 10 000 kN 螺旋压力机成形的模锻工艺, 采用表 24.3-16 编号 3 所示整体式矩形模块模架, 模具结构见图 24.3-48。

7.4 前桥半轴突缘闭式锻模

图 24.3-50 为前桥半轴突缘锻件图, 锻件重量为 4.3 kg, 材料为 40Cr 钢, 坯料尺寸为 $\phi 60 \text{ mm} \times 193 \text{ mm}$ 。

该件采用三火锻成, 先在 150 kg 空气锤上拔杆部, 然后在 2 500 kN 螺旋压力机上镦头,

最后在 4 500 kN 螺旋压力机上终锻成形, 图 24.3-51 为闭式镦头模, 图 24.3-52 为闭式终锻模。

7.5 调整背母闭式锻模

调整背母为载重汽车零件, 它壁薄, 直径较大, 且内孔接近中部有一凸起环带。其零件图及相应的闭式模锻锻件图如图 24.3-53 所示。

利用 3 000 kN 摩擦压力机带有顶出装置的特点, 根据锻件的形状及工艺要求, 设计锻模的结构, 如图 24.3-54 所示。

下模 6 模膛在锻件成形部位 $\phi 147 \text{ mm}$ 处设计成垂直面, 其高度为 25 mm, 再往上设计为 $1^\circ 30'$ 的斜度。斜度部分是为了让上模顺利下冲及锻件顶出容易; 垂直面处比锻件相应处增加 8 mm,

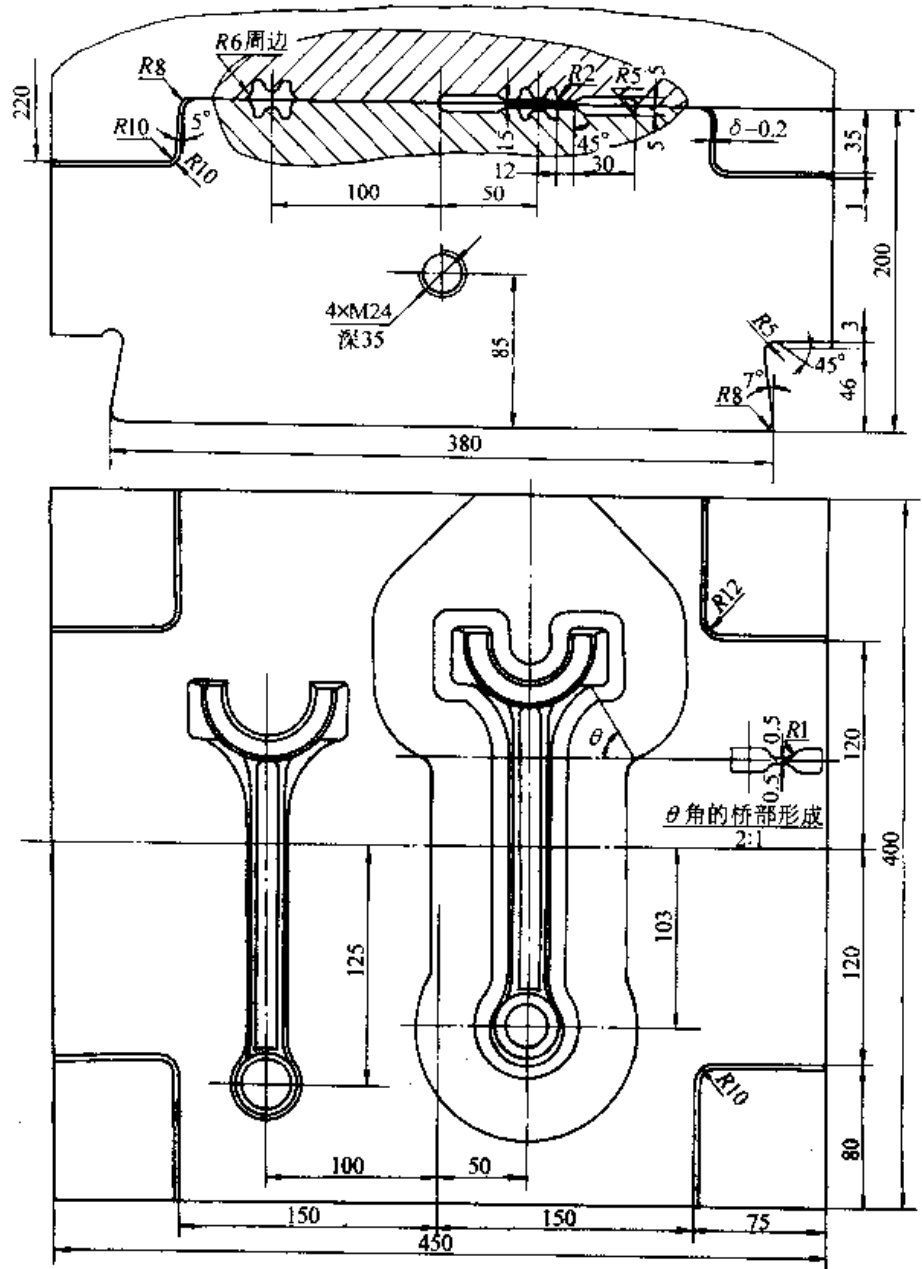
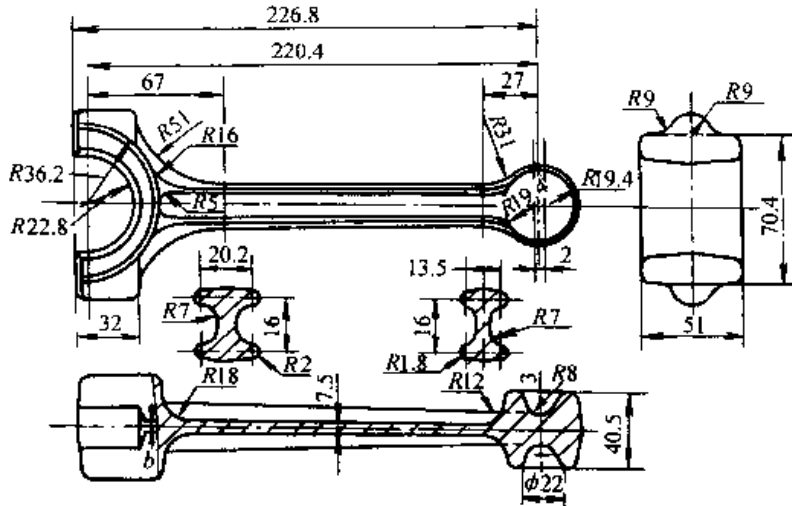
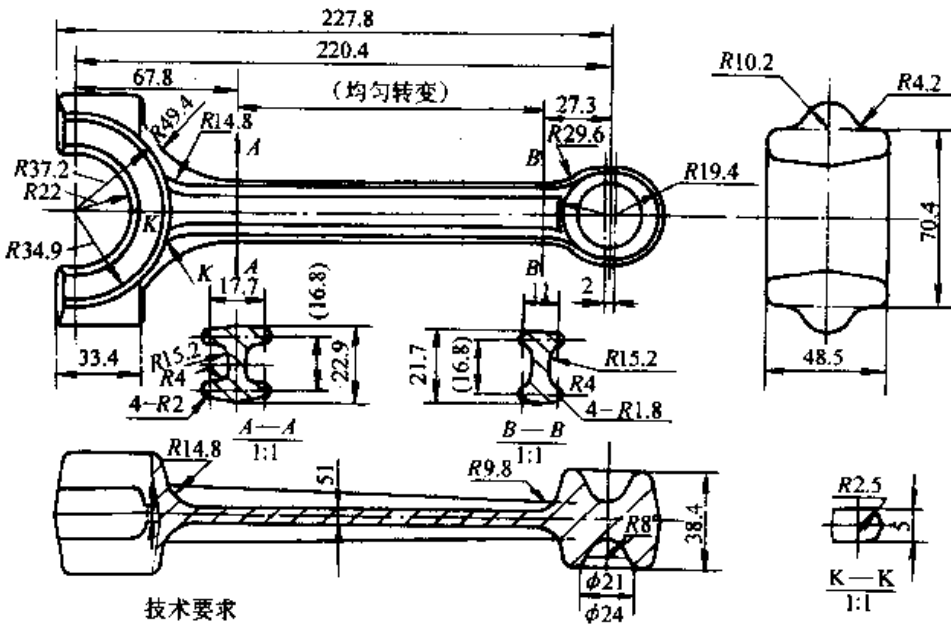


图 24.3-47 692Q 发动机



1. 尺寸按交点注
2. 未注圆角为R5
3. 未注脱模度为10°

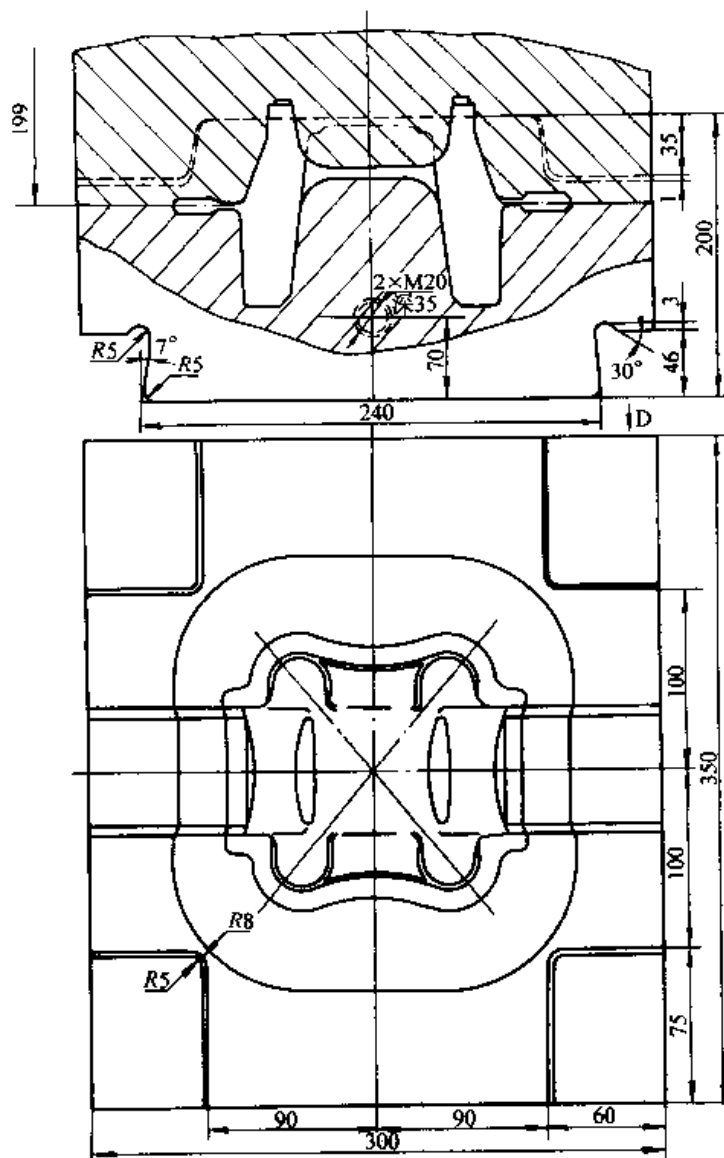
预锻型腔热锻件图



- 技术要求
1. 尺寸按交点注
 2. 未注圆角为R3
 3. 未注脱模度为7°

终锻型腔热锻件图

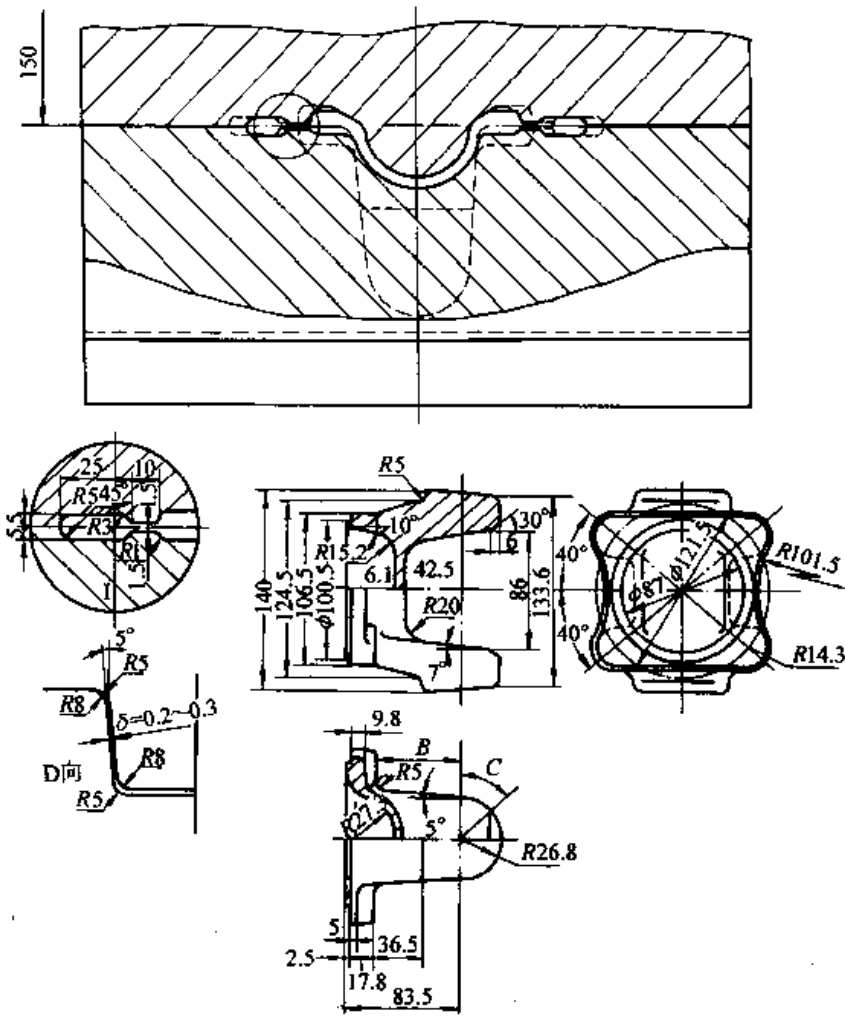
连杆锻模图



- 技术要求**
1. 本热锻模型腔按热锻件图制造, 其余按图制造, 制造精度为6级。
 2. 粗糙度要求: 型腔及桥部为 $Ra1.6\mu m$ 仓部导锁及燕尾两侧为 $Ra3.2\mu m$ 其余 $Ra6.3\mu m$ 。
 3. 热处理硬度要求: 工作表面硬度为44~48HRC 燕尾部分为38~42HRC。
 4. 在非基准面处应留有 $\phi 15mm$ 浇样孔。

图 24.3-48 突

1. 尺寸按交点标注, 拔模斜度
2. 未注圆角 R3.
3. 在 B 段内由 R8 逐渐过渡到



缘叉锻模图
为7.

R5, 在 C 段内逐渐由 R5 过渡到 R3.

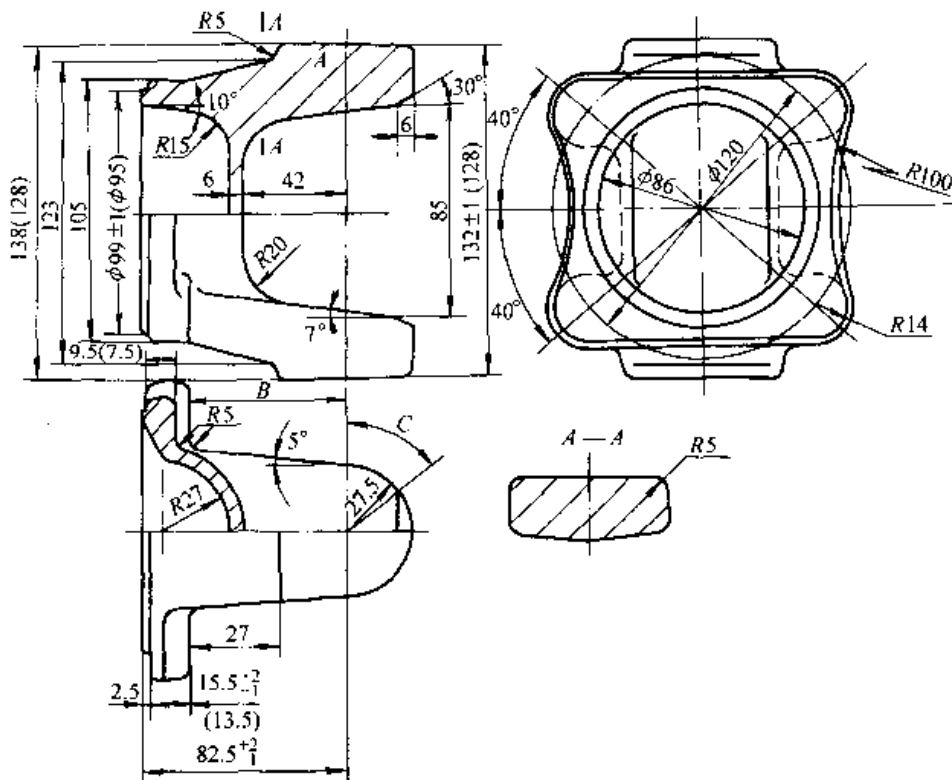


图 24.3-49 突缘叉锻件图

(在 B 段内 R8 逐渐过渡到 R5, 在 C 段内由 R5 逐渐过渡到 R3)

是为了保证上模与下模的导向精度。

活芯 5 伸入锻件内的斜度为 12° 。由于斜度大, 达到了两个目的, 一是能使活芯与锻件容易脱离, 二是正好利用斜度部分满足零件内孔凸出部位的加工余量。活芯当中设有 $\phi 55$ mm 深 40 mm 的凹坑是为储存氧化皮和活芯快速冷却之用。活芯凸出部位底部尺寸设计成 $\phi 106$ mm, 正好与管材内径 $\phi 106$ mm 相配, 使管料能准确放入, 起到定位作用。

将 $\phi 130$ mm 长 90 mm 的管料加热, 直接放入锻模内挤压成形。拉杆向上托起顶杆 7, 把活芯 5 和锻件 4 一起顶出取下, 随之放入另一个备用活芯 (备用活芯 3~4 个), 又开始干另一件。取下的锻件与活芯放在准备好的套管上手锤一敲, 活芯掉下, 把活芯放在稀释的石墨水中冷却备用。

实现闭式模锻, 即无飞边无连皮模锻, 锻件重量由 4.7 kg 减少至 2.7 kg, 锻件质量好, 模具寿命比一般开式模锻提高 1 倍以上, 降低生产成本近 50%。

7.6 圆锥齿轮精锻模

图 24.3-55 所示为柴油机用行星齿轮零件图

和锻件图, 锻件重量 0.3 kg, 材料 18CrMnTi。

其精密模锻生产流程为: 下料—加热—精密模锻—冷切边—清理 (酸洗或喷砂)—加热—精压—冷切边。精密锻模结构如图 24.3-56。所用设备为 3 000 kN 摩擦压力机。

图 24.3-57 为差速器行星齿轮锻件, 锻件重量 0.6 kg, 材料 18CrMnTi。

根据锻件的外形特点采用精密锻造, 精密锻模结构见图 24.3-58。工序为 3 000 kN 螺旋压力机制坯, 预制坯经过清理放置精锻模中成形。

图 24.3-56 和图 24.3-58 所示为行星齿轮精密模锻时两种常用的模具结构。前者为开式精锻模, 因毛坯下料比较准确, 所以模锻时所形成的飞边厚度一般仅 1 mm 左右, 且宽度也不大, 故模锻后要求冷切边。后者是在凸模与毛坯接触前, 导模通过弹簧将其与凹模压紧而形成封闭的模膛, 随后凸模压缩毛坯使之变形充满齿形模膛。该模具设计的关键是使弹簧的压紧力等于或大于毛坯金属充满模膛时所产生的张模力, 防止毛坯金属流入上、下凹模的接合面而形成飞边。

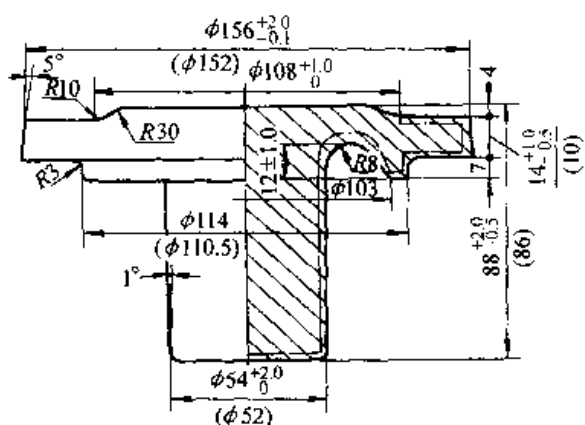


图 24.3-50 前桥半轴突缘锻件图

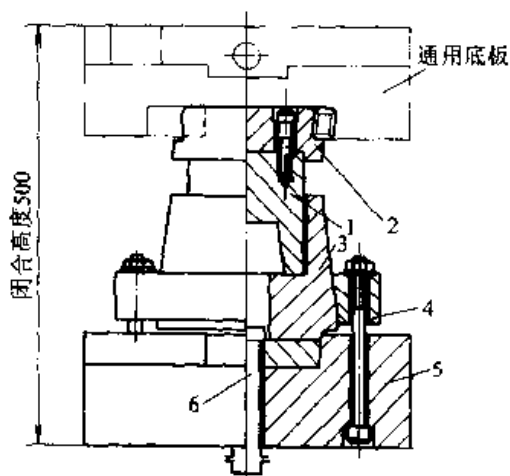


图 24.3-51 闭式锻头模

- 1—凸模 2—凸模固定座 3—凹模
4—压紧圈 5—底板 6—顶杆

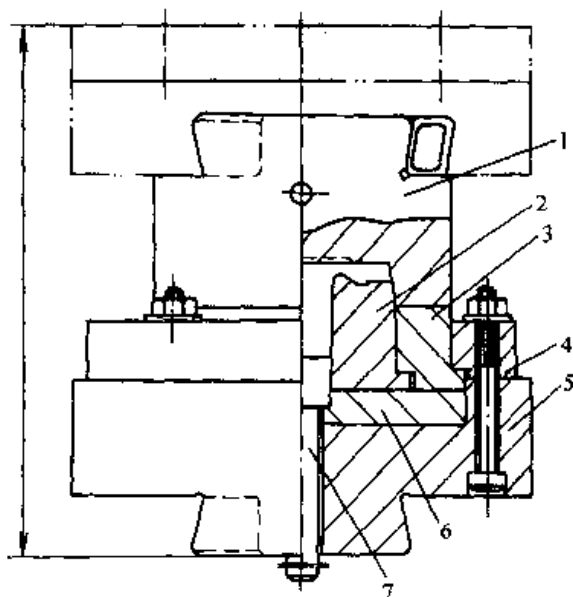


图 24.3-52 前桥半轴突缘闭式锻模

- 1—上模 2—下模 3—下模固定圈 4—压圈
5—下模座 6—垫板 7—顶杆

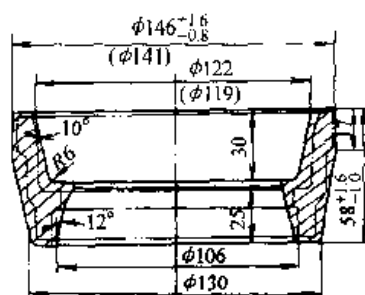


图 24.3-53 调整背母锻件图

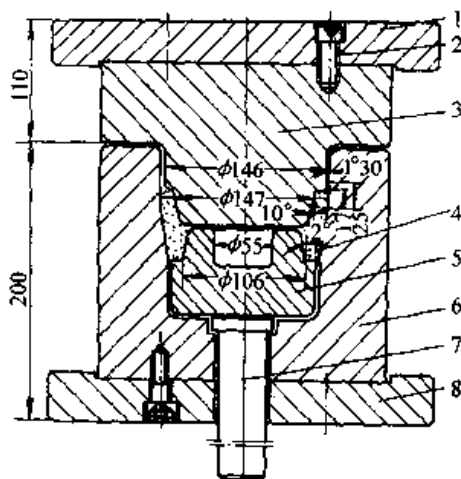


图 24.3-54 套筒锻模示意图

- 1—上模板 2—内六角螺栓 3—上模
4—锻件 5—活芯 6—下模 7—顶杆 8—下模板

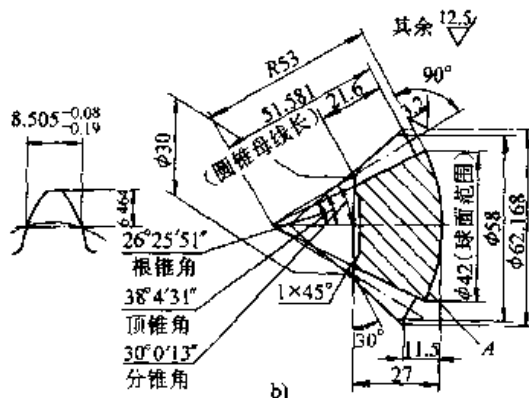
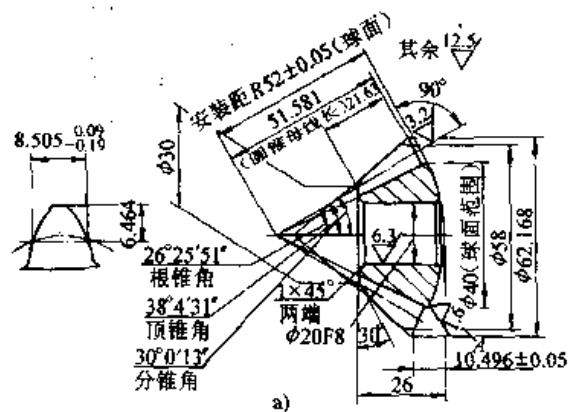


图 24.3-55 东—20 行星齿轮

- a) 零件图 b) 锻件图

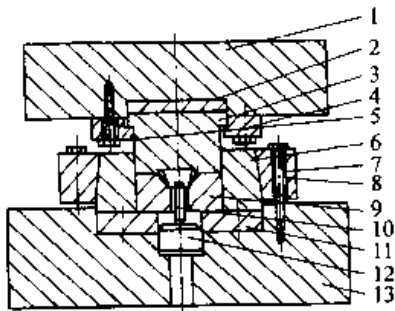


图 24.3-56 行星齿轮精锻模
 1—上模板 2—上模垫板 3—上模
 4—压板 5、8—螺栓 6—预应力圈
 7—凹模压圈 9—凹模 10—顶杆
 11—凹模垫板 12—垫板 13—下模板

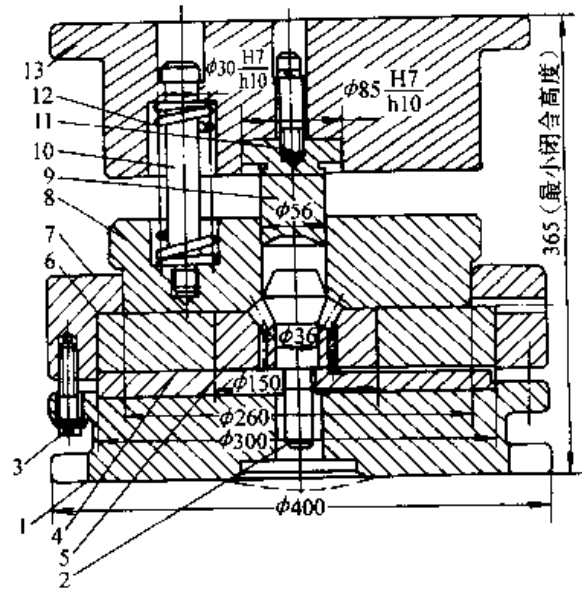


图 24.3-57 行星齿轮精锻模结构
 1—下模座 2—顶杆 3—螺栓 4—下模垫块
 5—凹模 6—应力圈 7—压紧套圈 8—导模 9—凸模
 10—拉杆 11—内六角螺栓 12—压缩弹簧 13—上模座

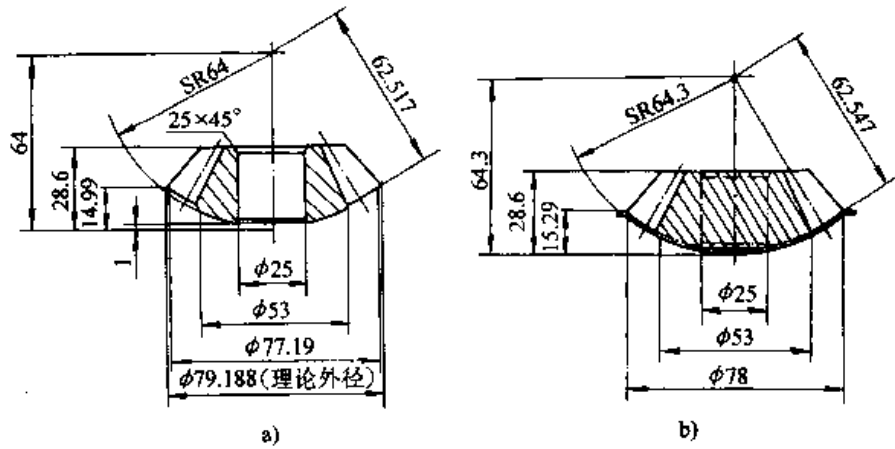


图 24.3-58 行星齿轮锻件

第4章 热模锻压力机用锻模设计

1 概述

热模锻压力机(简称锻压机)是适用于自动化高效率生产的锻压设备,也是仅次于锻锤而被广泛应用的模锻设备。一般来说,锻锤上能生产的任何锻件也能在锻压机上生产,即使对变形速度较为敏感不适于锤上模锻的某些材料,也可以在锻压机上模锻。在锻压机上除了进行一般模锻外,还可以进行热挤压和热精压等工艺。

1.1 热模锻压力机的模锻特点

热模锻压力机与模锻锤相比主要具有下列工作特点:

- 1) 载荷为静压力,而且变形力内机架本身承受;
- 2) 滑块行程固定;
- 3) 导向良好,承受偏载的能力强;
- 4) 有上、下顶出装置。

根据热模锻压力机的工作特点,其模锻工艺和模具设计具有下列特点:

1) 在锤上模锻时,坯料是经锤头多次打击逐步成形的。由于锤头打击速度快,而每次锤击时金属的变形量较小,有利于坯料的上、下端金属变形,并可以利用金属的流动惯性,使金属易于充满模膛。锻压机的情况则不同,其行程速度慢,但一次行程打击中金属变形量大,且坯料中部变形大,金属沿水平方向流动剧烈。向高度方向流动较缓慢,充填模膛较困难,通常需要采用预锻工步。因此,在锻压机上的模膛设计中有不少关键尺寸不能套用锤上模锻的设计参数。

2) 由于热模锻压力机的行程固定,不便于进行拔长、滚压等制坯工步。对于截面积变化较大的($>10\% \sim 15\%$)锻件,需配备其他设备(如辊锻机、平锻机、电锻机等)进行制坯。

3) 由于锻压机具有顶出装置,某些长轴类锻件可以竖立起来进行模锻或挤压,可以采用比锤上模锻更小的模锻斜度进行模锻,以提高锻件精度。

4) 由于锻压机的行程固定且变形力内机架本身承受,为防止设备闷车,上模与下模不能压靠(即不存在锤上模锻承击面的概念),其间必须留有间隙(一般为飞边桥部高度)。

5) 由于锻压机载荷是静压力,不便于制坯,坯料表面的氧化皮不易去除,因此,需配备氧化皮清除装置(如高压水装置或机械刷等)。在有条件时,最好采用电加热或少无氧化加热。

6) 由于锻压机模具内金属变形剧烈,因此,模具寿命一般较锤锻模低,所以需要采用较好的模具钢和模具润滑剂。为了提高终锻模膛的使用寿命,锻压机上模锻采用预锻是有必要的。

7) 由于是静压力,模具可以采用镶块组合结构,它可由上、下模板、各种垫板,上、下模块、导向装置、顶料装置等部件组成。它比整体结构的锤锻模要复杂和庞大,初次投资费用较大。因此,锻压机的模具设计不仅仅是设计模膛和镶块,更重要的是需要较为全面的考虑,设计结构合理的模架,做到适应性强,经济合理,可靠耐用。

由于上述特点,锻压机上模锻与锤上模锻相比,具有劳动条件好,便于实现机械化和自动化操作,锻件尺寸精度和生产率均较高等优点。其弱点是设备结构复杂,初次投资大和不便于进行拔长、滚压等制坯工步,对于截面变化较大的锻件,则需配备其他设备来进行制坯。

1.2 热模锻压力机上模锻件分类



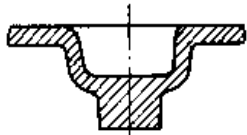
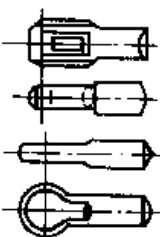
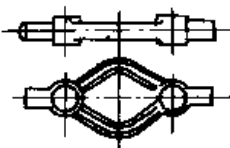
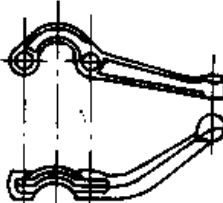

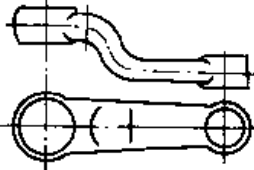
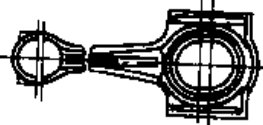
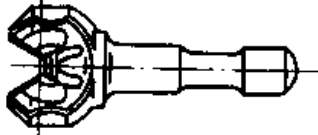

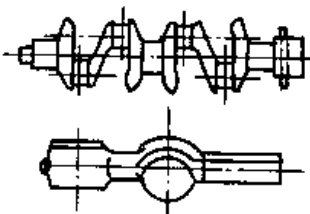
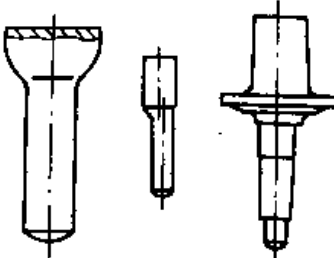

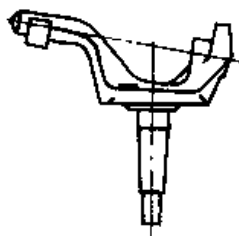
根据锻件形状和模锻工艺特点,锻压机上的模锻件可分为五类,如表 24.4-1 所示。

1) 第Ⅰ类为圆形、方形或在水平投影面上的形状接近圆形或方形的锻件。其工艺特点是单件进行锻粗成形。

2) 第Ⅱ类是长轴件。但在沿轴线的横截面变化不大,其工艺特点是可以在锻压机上进行制坯。

3) 第Ⅲ类也是长轴件。但沿轴线的横截面变化较大,其工艺特点是可以在锻压机上进行成对锻造,因而其制坯工序也可以在锻压机上进行。

表 24.4-1 锻件分类

类别	锻件示例		
	A	B	C
I			
II			
III			
IV			
V			

4) 第IV类仍然是长轴件。但沿轴线的横截面变化很大, 既不能成对锻造又不能锻压机上进行制坯, 其工艺特点是必须进行联合锻造。并在其他设备上制坯。

5) 第V类是挤压件, 其工艺特点是在闭式模内进行预挤和终挤成形, 或在闭式模内进行预挤而在闭式模内进行终挤或终锻成形。

1.3 锻件图设计

设计锻件图的原则和内容与锤上模锻相同。只是在确定某些参数的具体数值上有所差别。

(1) 分模面

确定锻件分模面的原则与锤上模锻相同。但由于锻压机具有顶出装置, 使锻件有可能从较深的模腔内取出比较方便, 因此, 可按成形要求灵活地选择分模面。

(2) 余量和公差

锻件的余量和公差值与锤上模锻相同, 可按我国国家标准 GB/T 12362—1990 “钢质模锻件公差及机械加工余量”中有关表格中规定的数值确定, 详见表 24.2-2~表 24.2-7。

(3) 模锻斜度

由于锻压机具有顶料机构, 因此, 其锻件的模锻斜度一般可比锤上模锻件小一级。外斜度为

3°~7°，一般常用5°。内斜度为7°~10°，可根据孔的相对深度而定。

当孔深大于0.75倍孔径 ($h > 0.75d$) 时，最好采用两级模锻斜度，见图24.4-1及表24.4-2。

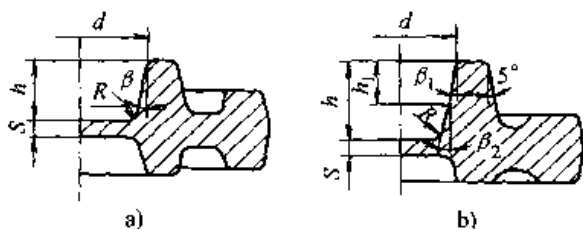


图 24.4-1 孔壁模锻斜度示意图

表 24.4-2 孔壁模锻斜度

相对孔深	$h \leq 0.5d$	$h \leq 0.75d$	$h > 0.75d$
$\beta / (^\circ)$	10	12	—
$\beta_1 / (^\circ)$	—	—	$\leq 7 \sim 10$
$\beta_2 / (^\circ)$	—	—	10~15
h_1 / mm	—	—	$(0.4 \sim 0.6)h$
R / mm	6~8	6~8	6~8

(4) 锻件圆角半径

按锤上模锻件确定，见图24.2-21、图24.2-22和表24.2-18。

(5) 冲孔连皮

冲孔连皮的形状和设计方法与锤上模锻相同，连皮厚度通常取6~8mm。直径小于26mm的孔一般不冲出。

1.4 模锻工步的选择

1) I—A类锻件的形状较简单，最常用的变形工步是镦粗—终锻。若采用少无氧化加热时，也可考虑采用单模膛模锻，即只用一个终锻模膛。

2) I—B类锻件对坯料放入终锻模膛的直径有要求，因此一般采用镦粗—终锻或预锻—终锻。

3) I—C类锻件的形状比较复杂，凡有深膛、轮辐和内孔的环形锻件都属于此类，常用的工步为：镦粗—预锻—终锻。该类锻件的每道工步都应考虑有良好的定位。

4) II—A类锻件是带杆的小件，一般采用一模多件的锻造工艺，即在锻模内设置2~5个模膛，一次成形锻出2~5件。但是，一模多件锻造对模具的制造精度要求很高，这种模具的终锻模和切边模的配合要求精确，终锻各模膛之间不应存在任何错差，因为这种模具是不能调整的。若制模条件或加工精度不是太高，则不宜超

过三件。常用的工序为：压扁—预锻—终锻。若原坯料直接放入预锻模膛没有定位的困难，或采用少无氧化加热时，也可只采用预锻—终锻。

5) II—B类锻件是较大截面不处于轴线两端的长轴件。坯料的长度可短于锻件的总长，对这类锻件采用压挤工步是必要的。根据锻件的形状和截面变化情况可以采用以下工步：压挤—预锻—终锻。或压挤—终锻。

6) II—C类锻件是较大截面处于轴线两端的锻件。当轴线为直线时，采用工步为：压挤—预锻—终锻。当轴线为曲线时，采用工步为：弯曲—预锻—终锻。

7) III—A类锻件是简单而典型的错开排列成对锻造的锻件。成对锻造能提高生产率，充分利用设备，这类锻件可采用：压扁—预锻—终锻。

8) III—B类锻件是带有落差且截面沿轴线有变化的锻件。由于该类锻件是曲线分模，因此在成对排列锻造时，首先应使锁扣对称，以平衡错移力。采用的工步一般为：压挤—预锻—终锻。

9) III—C类锻件是沿轴线的截面变化很大的锻件。该类锻件可以错开成对排列，它的制坯和预锻至关重要，因为即使成对排列，金属分布仍然不能很均匀，因此应将坯料压扁增宽，并进行适当的分料。采用的工步为：压挤—预锻—终锻。

10) IV—A类锻件是沿轴线截面变化很大的锻件。它需要先其它设备上制坯，然后在锻压机上成形。它们通常在辊锻机或平锻机上进行制坯。若平锻上制坯，大都是二次加热。为了去除氧化皮和便于定位，在锻压机上成形可采用：压扁—预锻—终锻。若在辊锻机上制坯，一般是一次加热，不存在去除氧化皮的问题，因此可采用预锻—终锻。但是为了便于定位，也可采用压扁—预锻—终锻。

11) IV—B类锻件沿轴线截面变化较大，需要在辊锻机上制坯，一般可在一次加热内成形。在锻压机上可采用的工步为：预锻—终锻。

12) IV—C类锻件主要是各类曲轴锻件。模锻曲轴是比较有难度的，大都是采用联合锻造工艺。按曲轴的形状可以分成两类：一类是带有平衡块的；另一类是不带平衡块的。

带平衡块的曲轴，一般需要在辊锻机上进行制坯，然后在锻压机上成形，采用的工步为：预锻—终锻。

不带平衡块的曲轴，大都直接在锻压机上成形而不需要其它制坯设备配合，采用的工步为：弯曲—预锻—终锻。

一般曲轴锻件在模锻成形后往往还需要在其他设备上缴粗法兰或进行扭转角度等。

13) V—A类锻件是一次挤压成形的锻件。采用的工序只有一个终挤。该类一次挤压成形的锻件需采用少元氧化加热，需要严格控制氧化皮。否则就要增加一个用于去除氧化皮的缴粗工步。

14) V—B类锻件是二次挤压成形的锻件。需要在制坯后进行预挤和终挤。制坯一般采用缴粗，它有多种作用：去除氧化皮，获得平整的端面，获得所需坯料的直径和高度，为预挤作准备；挤出定位部分，如凸台、杆部等。预挤在闭式模内进行，终挤既可以采用无飞边挤压，也可以采用带飞边的挤压，这类锻件采用的工步为：缴粗—预挤—终挤。

15) V—C类锻件是比较复杂的挤压件。这类锻件有些可以一次加热在锻压机上进行制坯、预挤和终挤成形，与V—B类锻件相似。但有些锻件只在锻压机上进行制坯、预挤，而在其他设备上终锻或精整工序，属于挤压的联合锻造工艺。因此，全部在锻压机上成形的，可采用的工步为：缴粗—预挤—终挤。联合锻造工艺采用的工步为：缴粗—预挤（在锻压机上），终锻或精整（在其它设备上）。

1.5 坯料计算

热模锻压力机模锻的坯料计算与锤模锻基本相似，但有以下几点在计算坯料时应予注意：

1) 缴粗类锻件（I类锻件）主要应确定坯料的长度和直径之比（ L/D ）， L/D 应小于2.5，最好是1.8~2.2。若 $L/D > 2.5 \sim 3$ ，则应采用闭式缴粗模，把坯料插入模内进行缴粗。如图

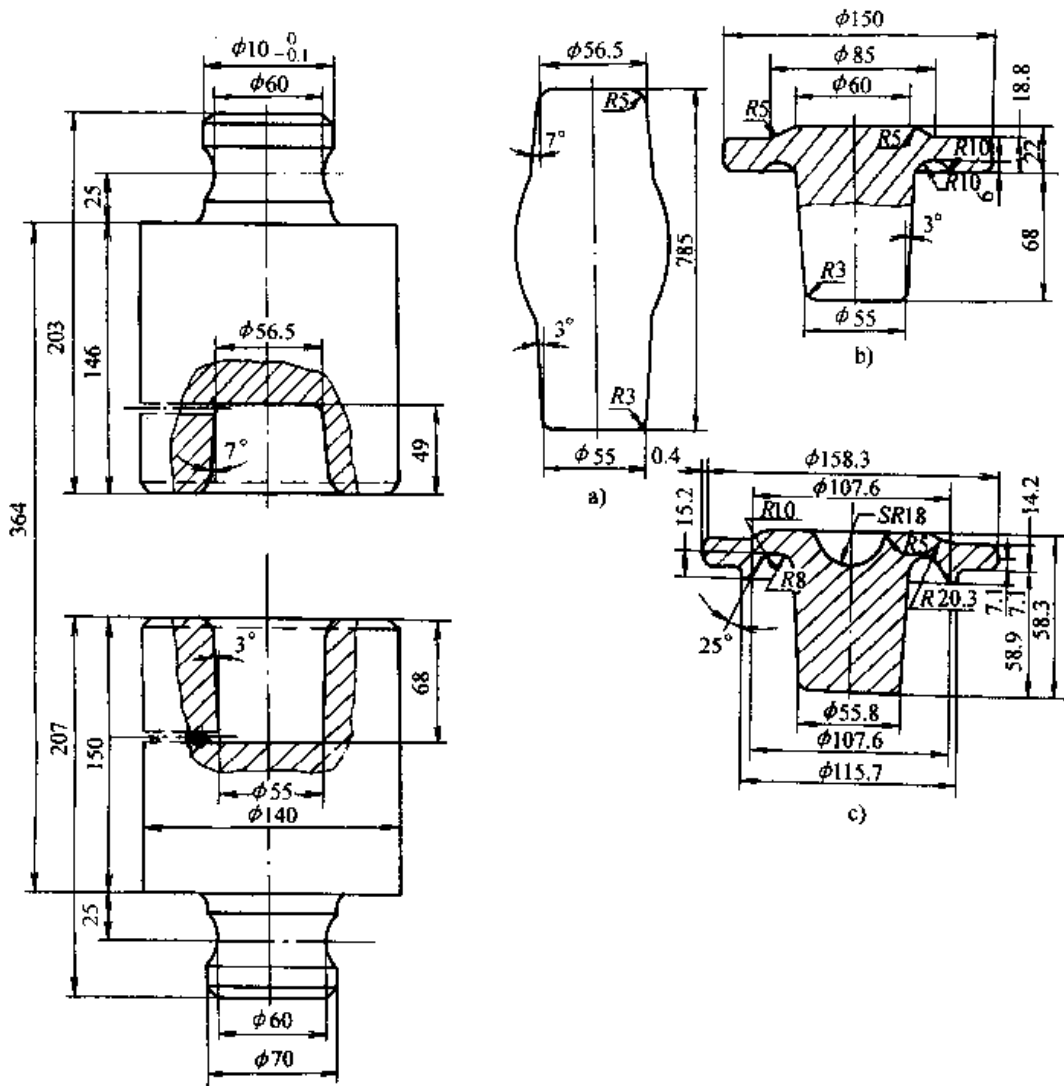


图 24.4-2 闭式模缴粗

24.4-2所示。这种结构可用于 $L/D \leq 4$ 的坯料锻粗。

2) 沿轴线截面变化不太大的长轴类锻件(II、III类锻件), 主要从确定坯料的长度入手计算坯料。

当较大截面处于中间或一端时, 坯料长度 L 可短于锻件长度 L_d 。

$$L = L_d - 20 - 40 \text{ mm}$$

$$D = V_p / L$$

式中 V_p —— 坯料体积。

计算出坯料直径 D 后, 可选择材料标准中最接近的规格, 再对 D 和 L 作小量修整, 即得到所需的坯料尺寸。

当较大截面位于两端时, 则可使坯料长度 L 等于锻件长度 L_d , 即 $L = L_d$ 。然后确定坯料直径 D 。

3) 沿轴线截面变化很大的长轴类锻件(IV类锻件) 主要从确定坯料的直径入手计算坯料。原则上坯料应按锻件的平均最大截面来选取直径。以图 24.4-3 为例:

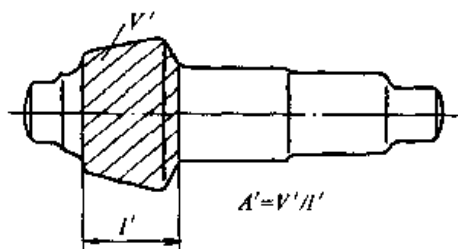
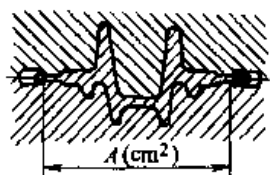


图 24.4-3 确定平均最大截面

$$A' = V' / l'$$

$$\pi/4 D_p^2 = A'$$



$$D_p = \sqrt{4V'/\pi l'}$$

式中 F' —— 锻件的平均最大截面;

V' —— 锻件大截面部位的总体积 (包括飞边体积在内);

l' —— 锻件大截面部位的长度。

根据计算出来的 D_p , 按材料标准选取接近的规格, 然后计算坯料长度 L_p 。

$$L_p = 4V_p / \pi D_p^2$$

式中 V_p —— 坯料体积。

对曲轴类锻件, 不论是否带有平衡块, 其坯料直径的确定都采用上述方法, 即按两曲拐之间的平均截面作为计算锻件平均最大截面 F' 的依据。然后再计算出坯料的直径与长度。

4) 挤压类锻件(V类锻件)的坯料计算, 基本上与锻粗类锻件相似。只是坯料长度与直径之比 L/D 的范围更大一些, 通常在 1.2~3 之间。

1.6 设备吨位的确定

热模锻压力机吨位的选择, 是根据锻造力 P 确定的。锻造力 F 一般可根据经验公式或图表来确定。

$$F = K \cdot A$$

式中 K —— 金属变形抗力系数, 决定于钢种和锻件形状的复杂程度 (10 kN/cm^2);

A —— 包括锻件飞边桥部宽度在内的投影面积 (cm^2)。

下面介绍两种常用的确定锻压机吨位的图表。

1) 图 24.4-4 是采用 $K = 4.0 \sim 7.1$ 。

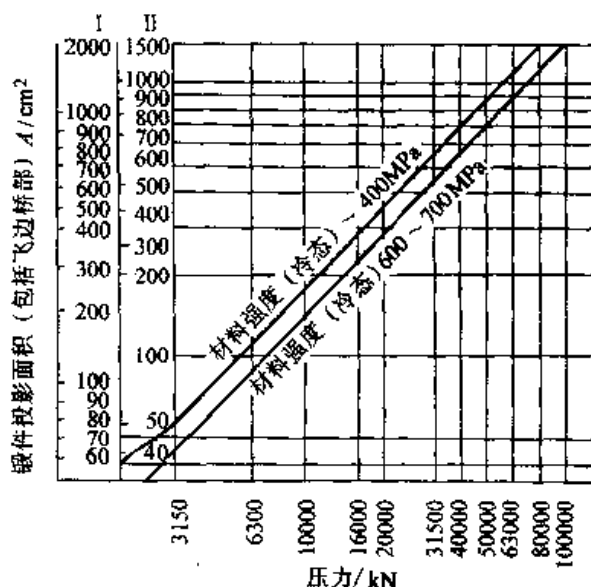


图 24.4-4 确定锻压机吨位图表

$K = 4.0 \sim 7.1$

在这个图表中, 锻件的形状复杂程度和钢种等因素都综合考虑了。

2) 图 24.4-5 是采用 $K=6.9\sim 7.3$ 。

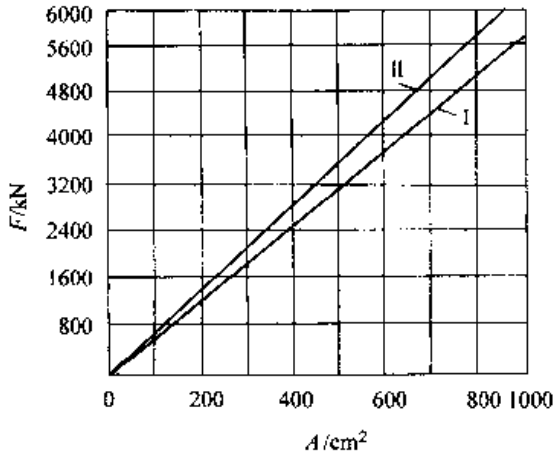


图 24.4-5 确定锻压机吨位图表

$K=6.4\sim 7.3$

- I—用于形状简单的锻件
- II—用于形状复杂的锻件

在这个图表中仅考虑了锻件的形状复杂程度而没有考虑钢种的因素。

从上述两个图表中可以看出, 对于形状不复杂的锻件采用系数 $K=6.4$ 显然偏大, 而以采用 $K=4\sim 6$ 较为合适。

经过查表初步确定吨位后, 再选择锻压机的吨位级(标准)中最接近的级别就是最后确定的吨位。

选择热模锻压力机吨位时应注意以下两点:

1) 锻压机的使用吨位最好不大于公称吨位的 80%, 这样有利于防止意外过载而引起的闷车, 同时能提高锻件质量并可减少设备的修理量。

2) 生产实践表明, 闷车往往在预锻过程中发生, 在选用设备吨位时应引起重视。

1.7 模具设计的基本参数

热模锻压力机模具设计时需要掌握有关的基本参数, 这些参数主要包括整个模具中各部件高度尺寸的比例和锻压机的工艺参数等。

(1) 模具的总体结构

热模锻压力机模具的总体结构如图 24.4-6 所示。

下模架 1 和上模架 2 以及中间垫板 3、4, 上、下模块 5、6, 紧固压板 7, 导向装置 8 等都是锻压机模具的主要部件。一般应符合下列的比例关系:

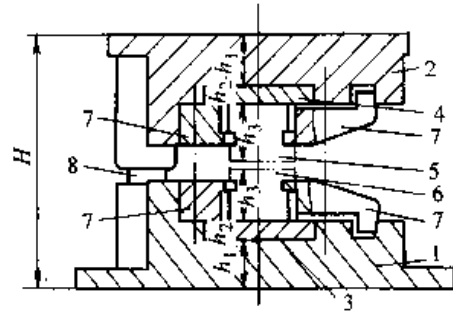


图 24.4-6 热模锻压力机模具总图

- 1—下模架 2—上模架 3、4—中间垫板
- 5—上模块 6—下模块 7—紧固压板 8—导向装置

$$1) \quad H = A + 0.75a$$

式中 H ——模具封闭高度;

A ——锻压机最小封闭高度;

a ——锻压机封闭高度调节量。

热模锻压力机的封闭高度调节量是较小的, 考虑到模架的修复需磨底平面, 为抵消(或补偿)锻压机因加载而造成机身、曲轴、连杆等部件的弹性变形量和某些游隙(一般占调节量的 35%左右), 所以调节量 a 应力求取高值, 推荐采用 75% 的调节量。不采用 100% 是因为考虑到锻压机和模架的制造都会有误差等原因。

$$2) \quad 2(h_1 + h_2) = (0.6\sim 0.65) H$$

$$\text{或} \quad h_1 + h_2 = (0.3\sim 0.325) H$$

式中 h_1 ——模架的底板厚度;

h_2 ——垫板厚度。

模架的上、下底板, 垫板和模块的厚度 h_1 、 h_2 、 h_3 是相互联系的。在一定的模具封闭高度 H 范围内根据强度条件而确定的。当 h_2 不变而增大 h_1 , 就会减薄模块高度 h_3 , 减少翻新量。反之, 增大 h_3 就会削弱整个模架的强度, 因此要使这些数据有一个合适的比例是必要的。

$$3) \quad h_4 = h_5$$

式中 h_4 ——上、下模块间的间隙;

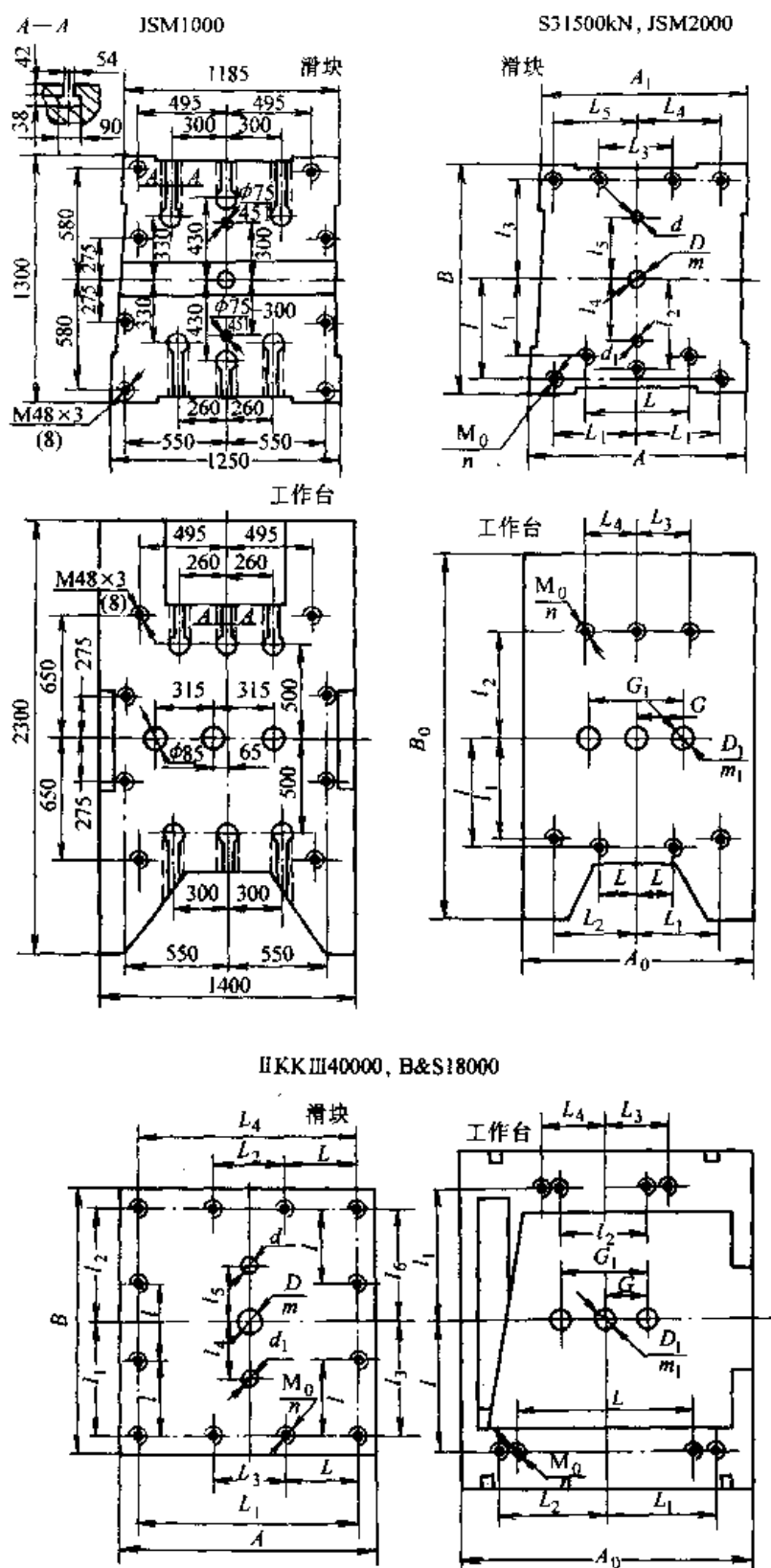
h_5 ——飞边槽的桥部厚度。

上、下模间保持间隙 h_4 是非常必要的, 它可以补偿模具制造中的微小误差, 防止设备闷车。

(2) 锻压机的主要工艺参数

表 24.4-3 是某些热模锻压力机的型号和主要工艺参数。表中所列大部分是目前我国现有的锻压机上的数据, 也有一些是国外生产的锻压机数据, 可供参考。

表 24.4-3 热模锻压力机的主要工艺参数



项 目		单 位	1	2	3	4	5
型 号			5211	Y/23-SM	B&S	SP200f	Y251JSM
公称压力		kN	10 000	16 000	18 000	20 000	20 000
滑块行程		mm	250	280	280	300	300
行程次数		min ⁻¹	80	85	70	84	82
最大封闭高度		mm	570	725	2'-5 $\frac{15}{16}$ "	765	765
工作台调节量		mm	10	10	1/2"	21.8	21.8
立柱间距 C		mm	1 050	1 250		1 080	1 080
主电动机	功率	kW		75		170 HP	115
	转数	r/min		1 460		1 500	1 460
工 作 台	A ₀	mm					1 035
	B ₀	mm					1 720
滑 块	A	mm					980
	A ₁	mm					930
	B	mm					1 000

续表 24.4-3

6	7	8	9	10	11	12	13
SP250f	Y253JSM	S5207	ΠKKIII	Y253JSM		S5214	KSP120MN
25 000	25 000	31 500	40 000	40 000	63 000	80 000	120 000
320	320	350	400	400	450	460	450
70	70	55	50	50	50	39	32
1 000	1 000	950	1 010	1 025	1 328	1 200	1 600
22.5	22.5	23	15	25	28	25	25
1 180	1 200	1 300	1 660	1 450	1 900	1 840	2 300
200hp	155	180	185	210	315	2×245	530
1 500	1 470	1 470	980	750	1 500	735	750
		1 240	1 660	1 400	1 850	1 700	2 240
		1 950			1 900	2 750	2 990
		1 180	1 420		1 800	1 640	2 190
		1 120	1 420			1 640	
		1 200	1 420		1 700	1 700	2 300

锻压机的主要工艺参数和安模空间尺寸是由设备型号确定的。相同吨位不同型号锻压机的上述参数也是各不相同的,因此在开始设计模具前,必须了解锻压机的型号,并查阅有关工艺参数。

2 模膛设计

2.1 终锻模膛

终锻模膛是用于模锻件最终成形的模膛。终锻模膛设计的主要内容是确定模膛本体的尺寸,选择飞边槽,设计钳口和排气孔,确定锁扣的型式和正确布置顶料杆等。

(1) 模膛尺寸的确定

终锻模膛按热锻件图制造。锻压机上热锻件图的设计方法与锤锻模相同,即是将图上的所有尺寸计入收缩率而绘制的。对于钢锻件,收缩率一般为 1%~1.5%。

对细长或扁薄的锻件,收缩率取为 1.2%。

对于一些杆类件,模锻后还要进行校正或压印等后续工序的,应考虑这些后续工序使长度方向尺寸有少量增加,收缩率可取为 1%~1.2%。

图 24.4-7 和图 24.4-8 分别为中间轴的冷热锻件图。

图 24.4-9 和图 24.4-10 分别为操纵杆的冷、热锻件图。该件细长而扁薄,且锻后还进行冷校正,故其轴向收缩率取 1%。

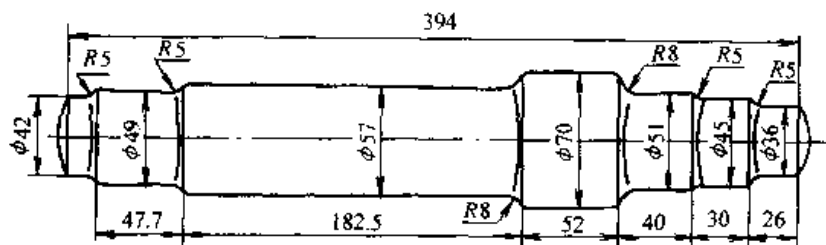


图 24.4-7 中间轴锻件图

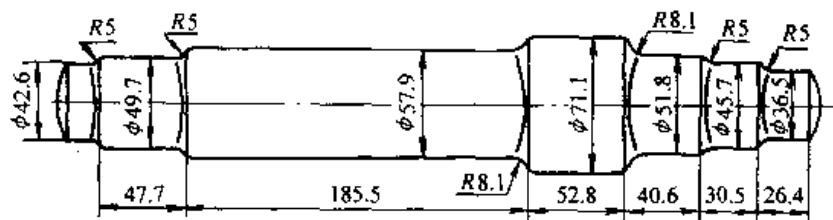


图 24.4-8 中间轴热锻件图

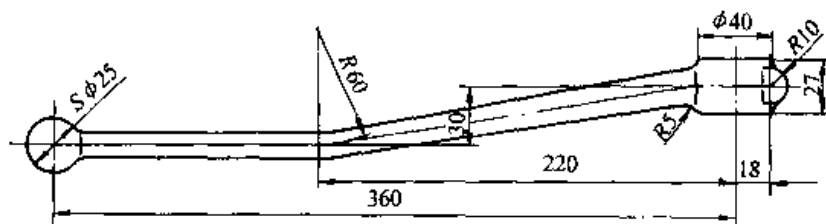


图 24.4-9 操纵杆锻件图

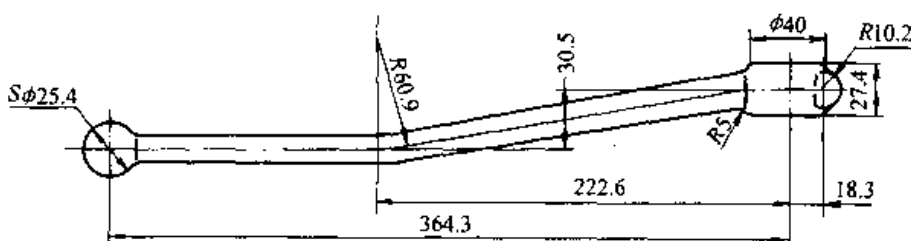


图 24.4-10 操纵杆热锻件图

设计热锻件图时除考虑收缩率外,还应考虑:

1) 在切飞边和冲连皮时锻件可能产生的拉伸变形;

2) 终锻模膛的局部磨损;

3) 下模腔较深处易积聚氧化皮引起锻件“缺肉”,以及锻压机和模具的弹性变形等因素。

图 24.4-11 和图 24.4-12 所示的突缘锻件切

边时,法兰部位产生翻边变形。因此,应在变形的反方向增加 1 mm 的弥补量,即在 $\phi 203$ mm 与 $\phi 159.4$ mm 处设计成锥形。切边时此部位被拉平。

图 24.4-13 和图 24.4-14 所示的叉形突缘锻件的四个凸台在切边时承受主要的切边压力,由

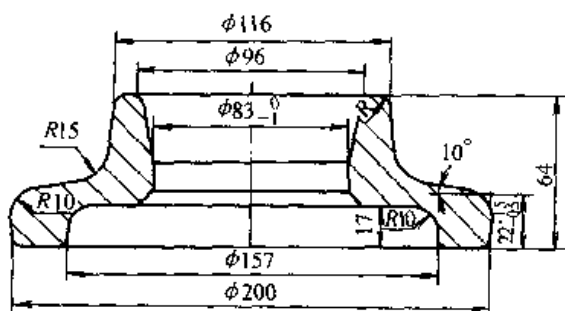


图 24.4-11 突缘锻件图

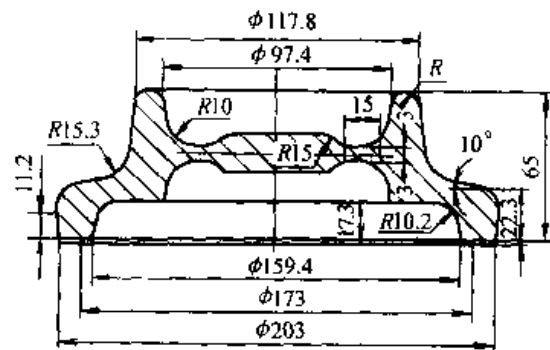


图 24.4-12 突缘热锻件(终锻)图

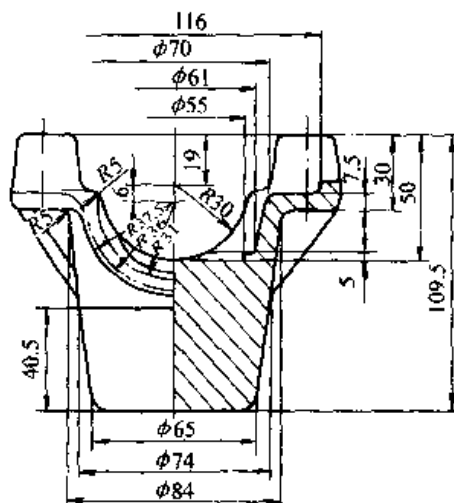
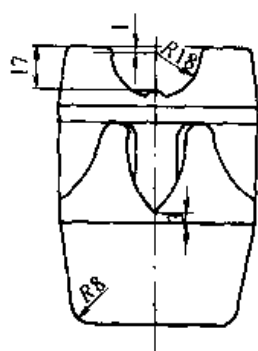


图 24.4-13 叉形突缘锻件图

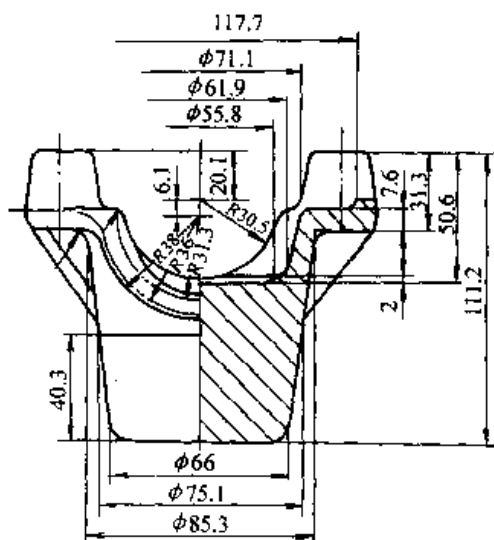
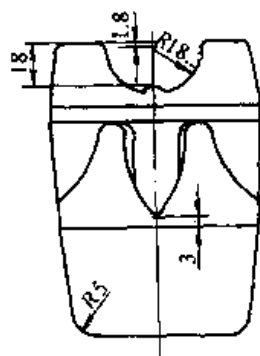


图 24.4-14 叉形突缘热锻件(终锻)图

于凸台承压面积小,所以切边时受凸模压力,高度变矮。为了保证锻件最终尺寸,设计终锻模膛的热锻件图时,四个凸台各加大0.8 mm作为弥补量。

在模膛易磨损处,可在锻件负偏差范围内增加一层磨缩量,以提高锻模的寿命。

在下模膛易积聚氧化皮的部位,锻件尺寸应适当增加,可在1至2 mm内选择,尽可能将较深的模膛放在上模。

当锻压机和模具的弹性变形量较大时,应将热锻件的高度尺寸适当减小,以抵销其影响。

另外,在锻件图上应注明未注明的模锻斜度和圆角半径,尺寸注法一般规定按交点注。对于按切点注尺寸的,最好有局部放大图。外形尺寸注在锻件最小部位(即模膛最深处),避免注在

分模面上。因为分模面受多种因素影响,不宜作为测量的基准。

(2) 飞边槽的选定

锻压机上飞边槽的型式和锤上模锻相近,但没有承击面,飞边槽的尺寸可按设备的公称压力确定。

在锻压机上模锻由于采用了较完备的制坯工步,金属在终锻模膛内的变形主要是以镦粗方式进行,飞边起阻力作用外,还较多地起着排泄和容纳多余金属的作用。因此飞边槽桥口及仓部比锤上的相应大一些,其结构型式及尺寸如图24.4-15及表24.4-4所示。型式I使用得比较普遍,型式II用于锻件形状简单的情况。表24.4-4所列飞边槽尺寸适用于钢质模锻件,对一些特殊的锻件应作相应的变动。

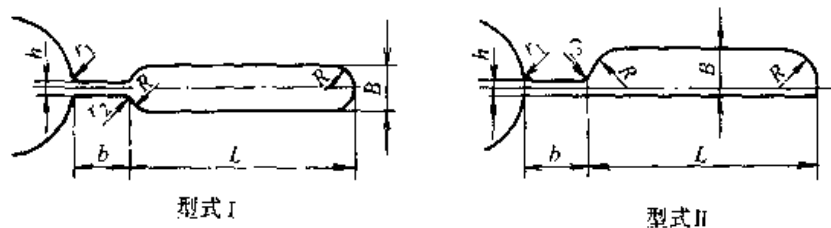


图 24.4-15 飞边槽结构型式

表 24.4-4 终锻飞边槽尺寸 (mm)

设备/kN	10 000	16 000	20 000	25 000	31 500	40 000	63 000	80 000	120 000
尺寸									
h	2	2	3	4	5	5	6	6	8
b	10	10	10	12	15	15	20	20	24
B	10	10	10	10	10	10	10	12	18
L	40	40	40	50	50	50	60	60	60
r_1	1	1	1.5	1.5	2	2	2.5	2.5	3
r_2	2	2	2	2	3	3	4	4	4

热模锻压力机上模锻时,锻件的高度尺寸由锻压机的行程来保证,不靠上下模面的靠合。因而滑块在下死点时,上下模面之间要有一定的间隙,用以调整模具的闭合高度,并可抵消锻压机的一部分弹性变形,保证锻件高度方向上的尺寸精度。上、下模面之间留有间隙还可防止锻压机发生“闷车”。间隙的大小根据飞边槽的高度尺寸确定。当飞边槽仓部到模块边缘的距离小于20~25 mm时,可将仓部直接开通至模块边缘。

(3) 钳口

锻压机上不一定都用钳口,因为大部分锻件

很少采用夹钳头。为了检验模膛进行浇盐的浇口可以利用顶杆孔。没有顶杆孔的则要有钳口,其形状如图24.4-16所示。其尺寸为: $L = 60 \sim 70$ mm, $b = 50 \sim 60$ mm。亦可参照锤锻模确定。

S_1 为模膛之间或模膛到模块边缘的距离,一般为模膛深度的1.5~2倍。

(4) 排气孔

终锻模膛如有较深的腔,金属在滑块的一次行程中成形时,聚积在深腔内的空气受到压缩,无法逸出而产生很大的压力,阻止金属充满型腔深处,故应在深腔中金属最后充满处开设排气

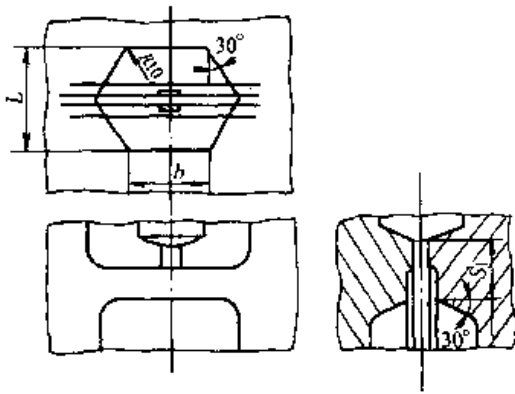


图 24.4-16 钳口

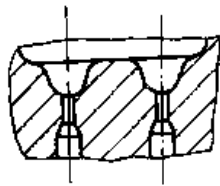


图 24.4-17 排气孔设置

孔，如图 24.4-17 示。

排气孔的直径为 $\phi 1.2 \sim \phi 2$ mm，孔深为 5~15 mm，后端可用 $\phi 4 \sim \phi 5$ mm 的通孔与通道连通。

对环形的模腔，排气孔一般对称地设置。对深窄的模腔，一般只在底部设置一个。如模腔底部有顶出器或其他排气缝隙时，则不需另开排气孔。

关于锁扣和顶料杆的设计见下节。

2.2 预锻模膛

(1) 预锻模膛设计要点

如前所述，热模锻压力机是靠静压力使金属变形的，而且是在一次行程中完成金属变形，因此，热模锻压力机上模锻的一般成形规律是：金属沿水平方向流动剧烈，向高度方向的流动相对缓慢些。这就使锻压机上模锻更容易产生充不满和折叠等缺陷。因此，设计预锻模膛时，除应参考锤上预锻模膛的设计原则外，还应考虑以下各点：

1) 预锻模膛的高度尺寸比终锻模膛相应大 2~5 mm，而宽度尺寸适当减小，并使预锻件的横截面积稍大于终锻件相应的横截面积。

2) 若终锻件的横截面呈圆形，则相应的预锻件横截面应为椭圆形，横截面的圆度约为终锻件相应截面直径的 4%~5%。

3) 应严格控制预锻件各部分的体积，使终锻时多余金属能合理流动，避免产生金属回流、折叠等缺陷。例如对于齿轮的轮毂部分，预锻工

步的金属体积可比终锻工步大 1%~6%。对于需要冲孔的锻件，当孔径不大时，预锻件内孔深度与终锻件相应内孔深度之差不大于 5 mm (图 24.4-18)，否则终锻时内孔将有较多的金属沿径向流动，形成折叠。当孔径较大时，还必须将终锻模膛设计成带凹仓的连皮结构，以容纳连皮处多余的金属 (图 24.4-18)。

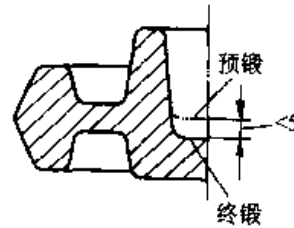


图 24.4-18 需要冲孔的锻件预锻

4) 应考虑预锻件在终锻模膛中的定位问题。为此预锻工步图中某些部位的形状和尺寸应与终锻件基本吻合。

5) 当终锻时金属不能以墩粗而主要靠压入方式充填模膛时，预锻件的形状与终锻件应有显著差别，使预锻后坯件的侧面在终锻模膛中变形一开始就与模壁接触，以限制金属径向剧烈流动，而迫使其流向模膛深处 (图 24.4-19)。

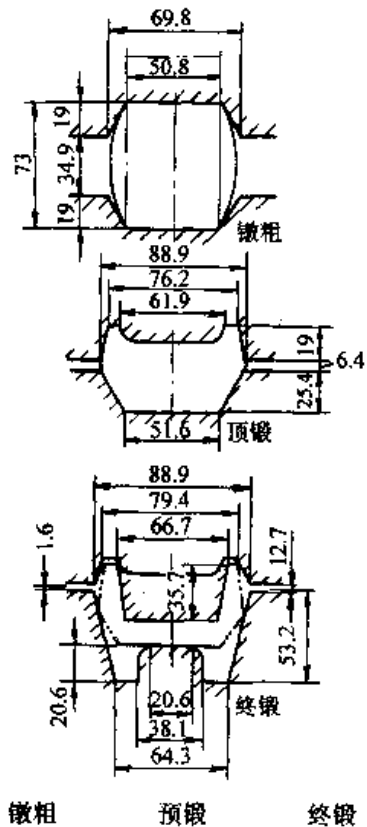


图 24.4-19 预锻件在终锻模膛压入成形

6) 预锻件的圆角半径及模锻斜度设计原则与锻上模锻相同。

(2) 预锻模膛设计举例

下面以一般直长轴件，圆形锻件，具有工字

形截面的锻件以及叉形锻件为例，介绍锻压机上模锻的预锻模膛的设计。

1) 直长轴件 图 24.4-20 和图 24.4-21 分别是第二轴锻件的终锻热锻件图与预锻热锻件图。

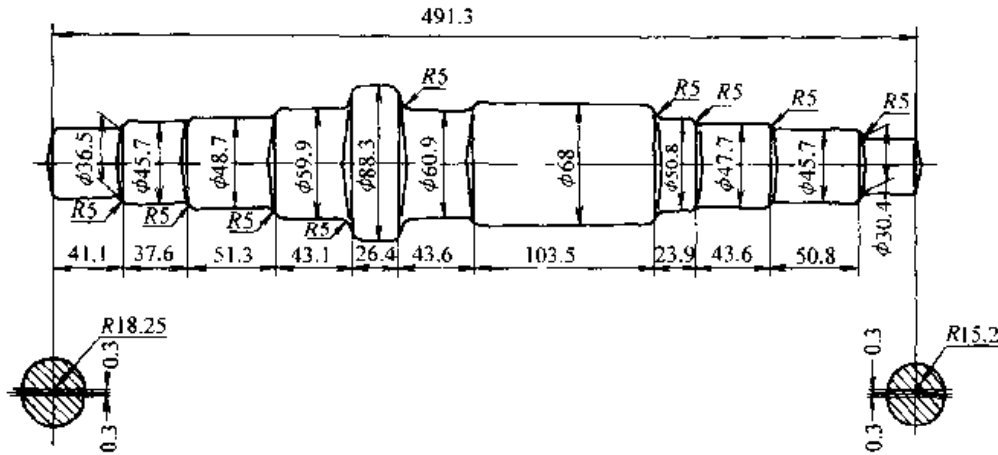


图 24.4-20 第二轴终锻热锻件图

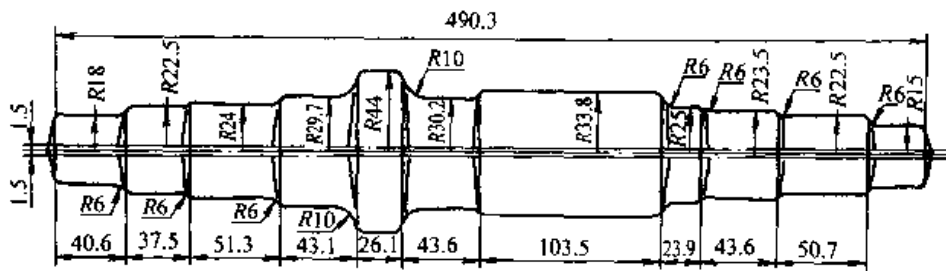


图 24.4-21 第二轴预锻热锻件图

预锻件的总长度尺寸比终锻件小 1~2 mm。其中直径最大的台阶比终锻小 0.2~0.3 mm，最外台阶各减小 0.5~1 mm，其余台阶可以与终锻件相同。

预锻件的高度（模膛深度）尺寸比终锻件大，在图 24.4-21 中，高度尺寸大 1.5 mm，宽度比终锻件小 0.2~0.5 mm。

预锻件各个台阶之间的过渡处的圆角半径 R 比终锻大 20%~100%，视台阶的高度差而定。对于模膛底部的 r ，预锻可以比终锻大 1~2 mm。

对于多台阶锻件，由于预锻总免不了有错差，在终锻时，高台阶部分容易被刮下一层而形成折叠，因此， R 应取大一些。

2) 圆形件 图 24.4-22 和图 24.4-23 为圆形件终、预锻热锻件图。其尺寸关系如下：

$$d_1 = D_1 + 1 \text{ mm}$$

$$d_2 = D_2 - 0.5 \sim 1 \text{ mm}$$

$$d_3 = D_3 - (0.01 \sim 0.02) D_3$$

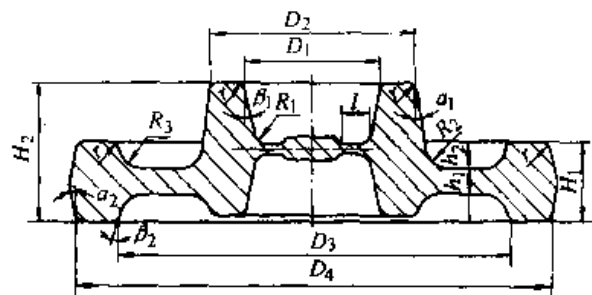


图 24.4-22 圆形件终锻锻件图

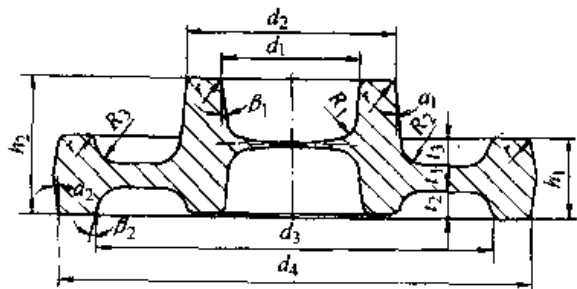


图 24.4-23 圆形件预锻锻件图

$$d_4 = D_4 - 1 \sim 2 \text{ mm}$$

$$h_1 = H_1 - 0.5 \sim 1 \text{ mm}$$

$$h_2 = H_2 + 1 \sim 2 \text{ mm}$$

α 、 β 、 R 、 r 可采用相同的数值。

取 $d_3 < D_3$ 主要是由于在热模锻压力机上预锻时，中部金属变形大，金属快速向飞边流出，在轮缘内侧的 r_1 处往往不易充满。当轮缘较深，而 D_3 较小时应取较大差值。

R_3 和 β_2 的大小，对于这个区域是否产生折叠有很大影响。当 $\beta_2 > 30^\circ$ 和 R_3 的数值接近于 t_3 时，产生折叠的可能性小。 β_2 的最佳值为 45° 。

3) 具有 H 字形截面的锻件 图 24.4-24 是 H 字形截面锻件预锻和终锻设计图，其尺寸关系如下

$$B = B_1 - 0 \sim 1 \text{ mm}$$

$$H = (1.05 \sim 1.1) H_1$$

$$h = (1.3 \sim 1.5) h_1$$

$$b = b_1 - 0.5 \text{ mm}$$

$$R = (1.2 \sim 2) R_1$$

$$r = r_1$$

$$\alpha = \alpha_1$$

$$\beta = (1.5 \sim 5) \beta_1$$

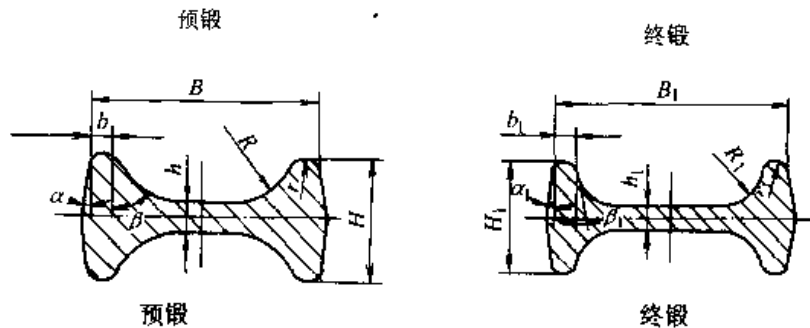


图 24.4-24 H 字形断面预锻终锻设计图

β 和 R 的增大主要用于预锻变形量大，金属外流快，容易在 R 处产生折叠时，增大 β 和 R 可以减慢金属变形开始时向飞边流动的速度防止终锻时产生返流折叠。

4) 具有叉形部分的锻件 图 24.4-25 是叉形锻件的预锻模膛设计，其关键是用劈料台先将叉部劈开，当叉形开口较大时用 A 型，叉形开口较小时用 B 型。具体尺寸关系如下

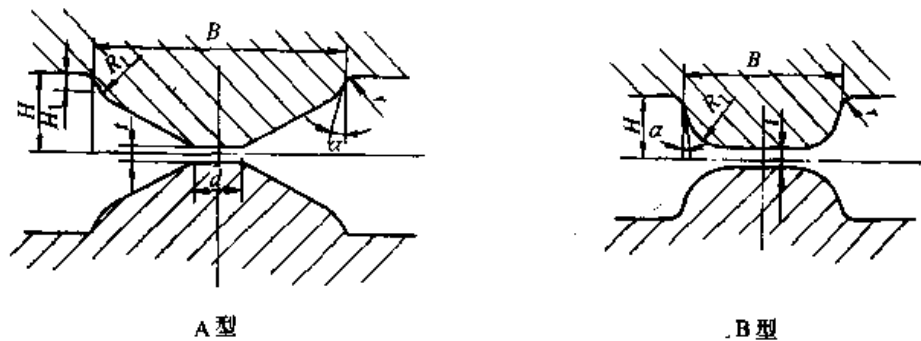


图 24.4-25 劈料模膛的两种典型设计

A 型

$$H_1 = \left(\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}\right) H$$

$$\alpha = 10^\circ \sim 15^\circ$$

$$d = 0.25B < 30 \text{ mm}$$

式中 B ——终锻模膛内侧宽度。

$$t = (1 \sim 1.5) h$$

式中 h ——飞边桥部厚度。

$$R_1 = 10 \sim 40 \text{ mm}$$

r 与终锻模膛相应部位 r 相同

B 型

$$\alpha = 10^\circ \sim 15^\circ$$

$$R_1 = 10 \sim 40 \text{ mm}$$

r 、 B 都等于终锻模膛对应部分的尺寸。

$$t = (1 \sim 1.5) h$$

式中 h ——飞边桥部厚度。

在设计上述两类劈开模膛时，应特别注意中间平直区如 A 型的尺寸 d 或 B 型的内侧宽 B 减去 $2R$ 后所余的宽度。如果这部分尺寸大，在分料时，金属向两侧开始时流动太快太多。容易在 r 处引起较大的充不满。到终锻时，由于外侧飞边桥部作用增大，将在 r 处引起严重的折

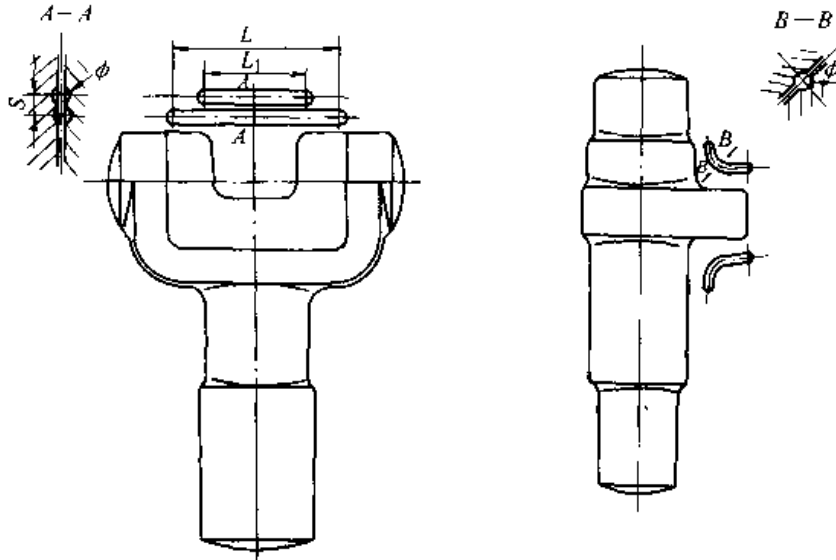


图 24.4-26 阻力沟

第一条阻力沟长度应比叉口的内侧宽度大。距离模膛壁 10 mm。

第二条阻力沟长度为第一条阻力沟的 60% 为宜，与第一条阻力沟相距约 20 mm。

阻力沟采用圆柱形。根据锻件及所选用坯料大小，采用 $\phi 6 \sim \phi 12$ mm。

对于尺寸小的叉形件，为了解决金属沿叉口外流过快而不采用阻力沟时，可以采用一模两件叉口相向排列的设计。因为这样金属不能沿叉口外流。两侧有模膛，正好利用劈料把金属分配到这些模膛中，这样还可减小劈开模膛所需增大的坯料截面，节约材料，也能延长模具的寿命，其排列如图 24.4-27 所示。

5) 其他形状的锻件 有些锻件为避免终锻时充不满和产生折叠，预锻模膛的局部形状需作较大改变，如图 24.4-28 所示。

图 24.4-28a 在杆部向头部交接部位。如图中 A-A 剖面，这是一条加强肋、预锻模膛应按 B-B 剖面形状设计，即： $h_2 < h_1$ ， $R_2 = (2 \sim 5) R_1$ 。但应使 B-B 剖面凸出部分的面积和 A-A 剖面相应凸出部分面积接近相等。

纹而造成废品。

预锻时，为了增大对某一方向（例如叉形锻件的开口方向）金属流动的阻力，迫使金属充满模膛，常常在该方向上设置阻力沟（制动槽），如图 24.4-26 所示。锻压机上模锻时，在叉形锻件的开口方向，有时设置两条阻力沟。

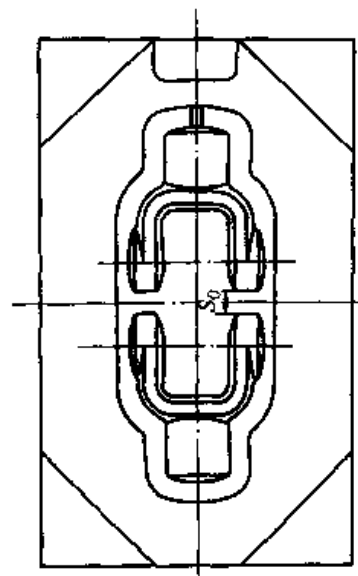


图 24.4-27 一模两件叉形件模膛设计

图 24.4-28b 截面变化大，预锻模膛应作成均匀过渡。加大圆角，避免产生金属的对流形成折叠。设计中使 $R_1 = (0.8 \sim 1) R_2$ ， $R_2 = (2 \sim 3) R$ ， $R_3 = (0.8 \sim 1) R_4$ ， $R_4 = (2 \sim 4) R_3$ 。

图 24.4-28c 中也与图 24.4-28b 同样理由，

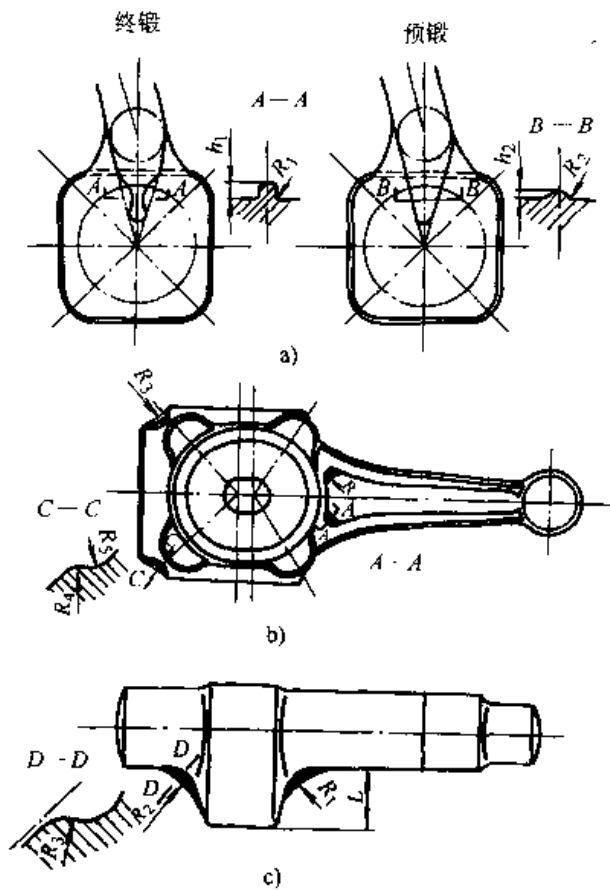


图 24.4-28 预锻模膛局部形状变化
并具有向突出的枝芽部位分料，贮料，保证有足
够金属充满终锻模膛和防止在所示部位产生对流

折叠的问题。 $R_1 = R_2$ 可以根据枝芽突出的大小 l 来决定。可选为 $(1 \sim 1.5) l$ 。

(3) 飞边槽和冲孔连皮的设计

1) 飞边槽的选定 预锻飞边槽的结构形状与终锻飞边槽相同 (见图 24.4-15)。具体尺寸可按表 24.4-5 选定，对形状比较复杂的锻件，为了较好地充满模膛而必须增大金属外流的阻力时，桥口的宽度 b 应比该表中的数据适当增大。例如本章 4 锻模设计实例 2 套管叉的预锻设计，叉形部分的桥部采用 $\phi 190$ mm 的加大设计 (见图 24.4-89)。

2) 冲孔连皮 预锻冲孔连皮按下述两种情况设计 (见图 24.4-29)。

1) 当 $D \leq 1.5H$ 时，采用 I 型连皮

$$S = h$$

式中 h —— 飞边桥部厚度。

$$S_1 = (1.5 \sim 2) S$$

R_1 根据 S 、 S_1 作图选定

$$R_1 = 5 \sim 20 \text{ mm}$$

2) 当 $D_1 > 1.5H$ 时，采用 II 型连皮

$$S = h$$

$$d = (1/4 \sim 1/3) D_1$$

$$\alpha = 5^\circ \sim 7^\circ$$

$$R = 10 \sim 30 \text{ mm}$$

表 24.4-5 预锻飞边槽尺寸

(mm)

设备/kN	10 000	16 000	20 000	25 000	31 500	40 000	63 000	80 000	120 000
尺寸									
h	8	3	4	5	6	6	7	7	9
b	10	10	10	12	15	15	20	20	24
B	10	10	10	10	10	10	10	12	18
L	40	40	40	50	50	50	60	60	60
Y_1	1.5	1.5	2	2	3	3	3.5	3.5	4
Y_2	2	2	2	2	3	3	4	4	4

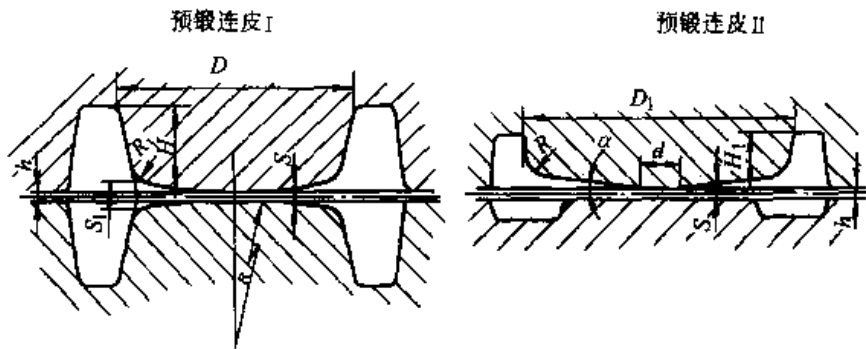


图 24.4-29 预锻冲孔连皮

2.3 制坯模膛

热模锻压力机上模锻常用的制坯模膛有镦粗模膛、压挤（成形）模膛和弯曲模膛等。

(1) 镦粗模膛

镦粗模膛有镦粗台和成形镦粗模膛两种，分别介绍如下：

1) 镦粗台 镦粗台的一般结构如图 24.4.30 所示。其上、下模的工作面是平面，用于对原坯料进行镦粗，通常用于镦粗成形的圆形件。设计要点为：

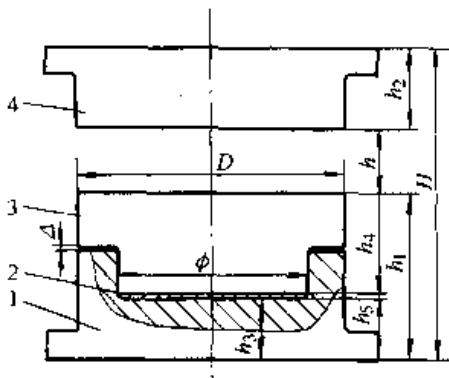


图 24.4.30 镦粗台

- 1—下模座 2—调整垫片
- 3—镦粗下模 4—镦粗上模

图中 H 为模具的封闭高度。在每一种模架中 H 的大小是一定的。

h_1 是下模的高度，设计时应使 h_1 的高度比预锻模膛下模块的高度高出 5~10 mm。以便将镦粗后的坯料推到预锻模下模块上。

件 1 是不常更换件，因此， h_3 是一定的。在设计中为满足上述要求，以调节 h_4 或 h_2 来解决。件 4 也可以是不常更换件。因此，主要调节件 2 来得到。

件 2 是调节垫片。当件 3 磨损后工作面需要进行翻新， h_4 变小。这时，可改变 h_5 来进行调整。

件 3 的底部工作面为圆形，底面直径 ϕ 应尽可能大一些，在台阶处应保持间隙 Δ ，其值为

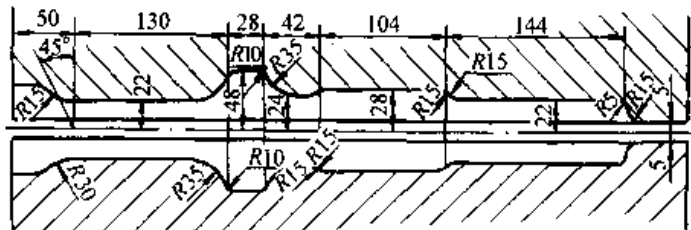


图 24.4.32 第二轴压挤模

1~2 mm。

镦粗后坯料的高度 h ，可以按其外径（指自由镦粗后最大外径）比预锻模膛在分模面上的直径小 1~3 mm，一般以能放进预锻模膛即可。

2) 成形镦粗模膛 成形镦粗模膛的结构如图 24.4.31 所示，其作用是使成形镦粗后的坯料易于在预锻模膛中定位或有利于成形。

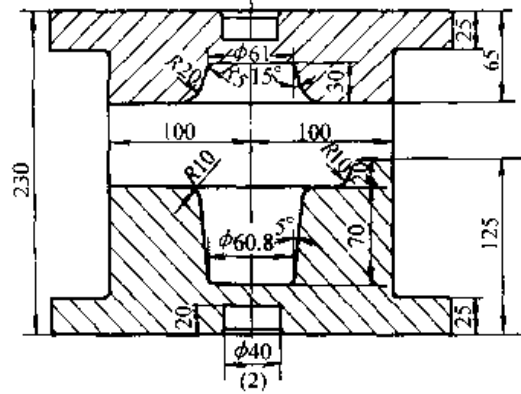


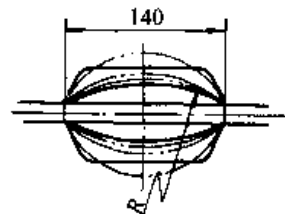
图 24.4.31 成形镦粗模膛

图中的下模上端有一段 20 mm 的凸起，是因为镦粗后的坯料易卡在下模，为了便于把坯料取出，该凸起可作为操作者夹钳的支点，既省力又方便。

(2) 压挤（成形）模膛

压挤模膛与锤上模锻的滚压模膛相似，其主要作用是沿坯料纵向重新分配金属，以接近锻件沿轴向的截面变化。压挤时，坯料主要是被延伸，截面积减小，而在某些部位，如靠近长度方向的某一部分有一定的聚料作用。在一定的情况下压挤可以代替辊锻，因此它在锻压机上模锻中用得较多。压挤还有去除坯料表面氧化皮的作用。

当聚料区段处于长轴件中间部位，且聚料区段的长度较短时，压挤模膛的聚料作用较明显，图 24.4.32 是一个较为典型的例子。与图 24.4.20 第二轴热锻件图相比，该件模锻采用的坯料为 $\phi 70$ mm。而最大截面为 $\phi 87$ mm，加上飞边约为 $\phi 90$ mm，而经压挤后坯料能较好地满足成形充满的要求。



压挤模膛设计要点:

1) 压挤模膛的设计依据是计算毛坯图。例如,图 24.4-33 为一个长轴件的计算毛坯(直径)图,图 24.4-34 为其压挤模膛图。在计算飞边体积时,一般按仓部充满 50% 计算。但对叉形劈开件其叉口内侧应按仓部全部充满计算。对某些特殊部位也可按成形难易程度适当考虑飞边的仓部充满百分数。

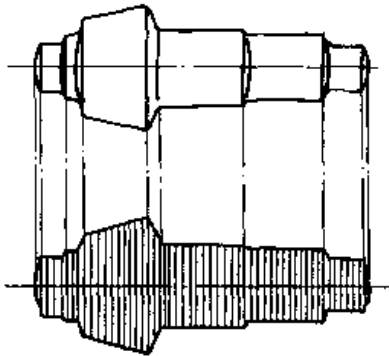


图 24.4-33 长轴件计算毛坯(直径)图

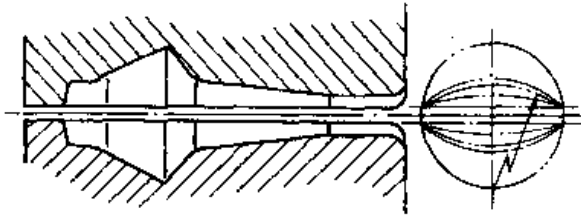


图 24.4-34 压挤模膛图

2) 模膛宽度 $B = (1.6 \sim 1.8) d$ (d 为坯料直径)。

3) 模膛深度 对受压缩产生延伸的区段: $h_1 = (0.5 \sim 0.9) d$ 。 h_1 不宜过小,因为一般压挤时,须要在同一模膛中进行 1~3 次,每次都要翻转 90° ,如一次压下量过大,翻转 90° 再压时易引起缺陷。

对于要求聚料的区段: $h = (1.1 \sim 1.3) d$

如前所述,当聚料区处于锻件中部附近,且聚料区段较短时,聚料作用较明显;当聚料区段长度与坯料直径的比值约为 0.6 时,坯料截面积只要达到锻件最大截面积的 0.65 时就能满足聚料要求。但如聚料区段靠近锻件的一端时,则此比值应增大至 0.85 左右。如图 24.4-20,最大直径为锻件中部 ($\phi 88.3 \text{ mm} \times 26.4 \text{ mm}$),但坯料

选用 $\phi 70 \text{ mm}$ 。压挤模膛深为 $48 \text{ mm} \times 2$ (见图 24.4-32)。

4) 压挤模膛长度 一般热模锻压力机压挤时,不另加夹钳料头。为了便于操作,可以在操作一侧把模膛开通加深,或者是,在操作者一侧把分模面间隙 t 增大,以不压夹钳为准。因此,压挤模膛总长度 $L \leq$ 热锻件长度。

压挤模膛沿长度方向深度并不完全与计算毛坯图一致,需作适当的修改。例如,图 24.4-32 与图 24.4-20 相比,图 24.4-20 热锻件图有 11 个不同直径排列,而图 24.4-32 只有 5 个不同的模膛深度。

5) 压挤模膛在模膛深度变化的过渡区,过渡圆角 R_n 应尽量设计得大一些,特别是由小截面向聚料区大截面过渡圆角要加大,如有可能时应设计成带斜度 α 的均匀变化的模膛深度。

过渡圆角加大,可以避免在预锻模膛中模锻时在过渡处产生折叠。

6) 上、下压挤模分模面上的间隙 t 不应太小。一般为坯料直径的 12% 左右为宜。

在模膛尾部应设计成斜度 $\beta = 7^\circ \sim 10^\circ$,分模面上 r 不小于 5 mm,端面 R_f 不小于 10 mm。

压挤模膛的横截面根据模膛深度 h ,宽度 B 和间隙 t 的交点作圆。当截面变化小时,可采用矩形截面。

压挤(成形)模膛具有压挤和预锻两个模膛的作用。设计要点参阅本章十字轴的压挤(成形)模部分。

(3) 弯曲模膛

弯曲模膛的作用是将坯料在弯曲模膛内压弯,使其符合于预锻模膛或终锻模膛在分模面上的形状。

弯曲模膛的设计原则与锤上模锻相似,其设计依据是预锻模膛或终锻模膛的热锻件图在分模面上的投影形状。其设计要点是:

1) 弯曲模膛在急剧弯曲处应设计成较大的圆角,特别是弯曲处转角接近或小于 90° 时,应加大转角半径 R_n ,以免在预、终锻时产生折叠。

2) 弯曲模膛在下模上应有两个支点,以支持压弯前的坯料,并使坯料放在两个支点上时处于水平位置,如图 24.4-35 所示。

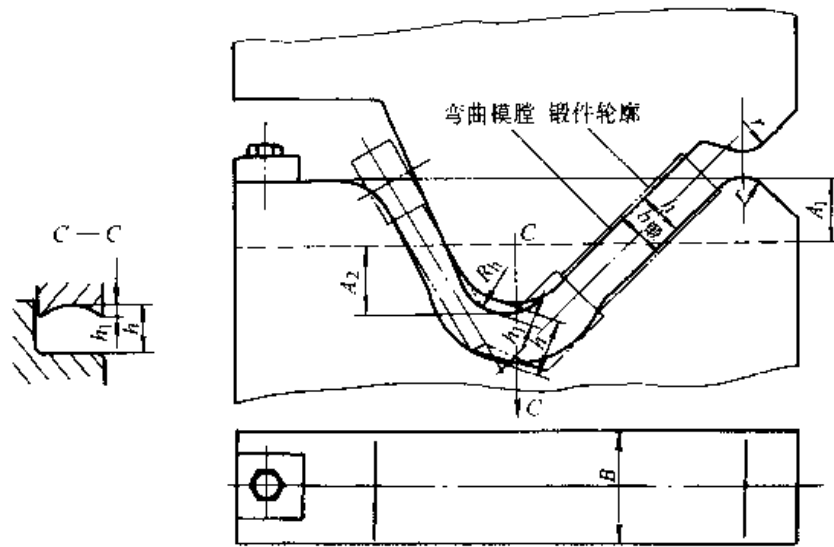


图 24.4.35 弯曲模膛

3) 弯曲模膛的下模后端应有坯料定位面，定位可以是固定式，也可以是可调整式，以后者较好。

4) 手工操作的弯曲模膛应有夹钳口。

5) 模膛尺寸

模膛深度 $h \leq (0.8 \sim 0.9) b_d$

式中 b_d ——锻件相应断面位置的宽度。

对于容易堆积氧化皮的模膛较深处， h 应加大。

模膛断面 采用矩形。

模膛宽度 用型钢时：

$$B = F_p / h_{\min} + 10 \sim 20 \text{ mm}$$

用预制坯时：

$$B = F_1 / h_{\min} + 10 \sim 20 \text{ mm}$$

式中 F_1 —— h_{\min} 处相应坯料横截面积 (mm^2)。

使 $B \geq F_{\max} / h_2 + 10 \sim 20 \text{ mm}$

式中 F_{\max} ——坯料最大截面积；

h_2 ——相应于最大截面积处的模膛深度。

为了更好地定位和防止压弯时坯料偏向一边，弯曲模膛的凸出部分（或仅是上模膛的突出部分）在宽度方向应作成弧形凹坑（见图 24.4-35）并使 $h_1 = (0.1 \sim 0.2) h$ 。该式中 h 为模膛相应部分的深度。

弯曲模膛凸出于分模线部分的高度应大致相等，即 $A_1 \approx A_2$ 。

3 模架设计

3.1 模架设计的主要内容

模架是用作紧固模块并传递锻压机顶料运动

的主要部件。它承受锻造过程中的全部负载。由于它重量大（一般整副模架的重量可达 $1 \sim 12 \text{ t}$ ， $120\,000 \text{ kN}$ 热模锻压力机的模架重达 50 多吨）制造困难，因此对模架的设计、制造和使用必须予以足够的重视。

模架设计主要包括以下部件的设计：上下模板、上下垫板、上下模块、顶料装置、导向装置以及某些紧固件等。

对模架的基本要求是：

1) 模架的结构形式力求具有较大的通用性、万能性的适应多品种生产。

2) 模架应具有足够的强度、刚度，使设备在锻造过程中所引起的弹性变形，不致影响锻件高度方向的尺寸，为此，模架内各种承受锻造负荷的部件，包括上下模板在内，均应采用合金钢制造并进行适当的热处理。

3) 模架上所有的零件形状应尽可能地简单，以便于加工制造。

4) 模架内设置的顶料装置应可靠、耐用，以便于修理和更换。

5) 模架的结构应保证在安装、调整和更换模具时，不需要把模架从热模锻压力机上卸下来，以节省时间，减少工作量。

6) 模架上所有的紧固件位置，都要布排得当，使紧固时操作方便。

7) 模架上应设有起重孔或起重棒，使吊装时安全可靠。

在开始设计模架前，必须详细了解锻件的工

艺要求和热模锻压力机的技术条件。包括：设备的安模空间尺寸、最大的封闭高度尺寸、封闭高度调节量、设备的顶料机构、顶料行程、顶料杆的数量和位置、在本模架上锻制锻件的品种数目、锻件的形状、生产纲领、生产方式，以及锻造的操作方式（手工操作或机械手操作）等。

这些要求和条件提供了模架设计的基本前提，这是因为：

1) 根据锻件的生产品种、生产纲领和生产方式，确定模架的结构形式以及定位、紧固的方式。

2) 根据设备安模空间尺寸及封闭高度调节量，确定模架的封闭高度尺寸，模架紧固在设备上的位置和尺寸，模架的长度、宽度的极限尺寸。

3) 根据设备的顶料机构的布置和顶料行程，确定模架的顶杆数量、顶杆布置方式及顶杆的长度。

4) 根据本模架上锻造的锻件品种及其轮廓尺寸，确定模架内安放预锻、终锻模块的轮廓极限尺寸。

5) 根据锻造的操作方式，确定模架内制坯、预锻、终锻等模块的布排顺序和距离。若采用机械手操作，则必须使各模膛排列在一条直线上，并保持相等的距离。若为手工操作，就没有严格的要求，只要按锻造顺序布置模膛即可。

6) 根据设备的吨位和锻件的大小，确定模架内导向装置各部件的尺寸。

3.2 模架的结构形式

模架的结构按它和模块紧固的方式划分，一般有两种形式：窝座式和十字键式。现分述于下：

窝座式模架

(1) 特征

在上下模板的中间都设有窝座，用以安放模具，如图 24.4-36 所示。

(2) 优点

1) 定位准确，紧固牢靠，是热模锻压力机模架使用最广泛的典型结构。

2) 模具的翻新次数较多。

3) 适用于锻件产量大，要求精度高，品种不太多的生产场合。

(3) 缺点

1) 需要有较强的模具制造能力和较高的制模精度。

2) 通用性、万能性较小。不适用于生产多品种、小批量以及需要经常进行迂迴生产的场合。

3) 模具的安装和调整比较困难，锻件的精度很大程度上取决于模具的制造精度。

(4) 结构

图 24.4-36 是典型的窝座式模架。上面布排着三个模膛，左面是制坯模，中间是预锻模，右面是终锻模。

下模板 1 和上模板 2 的窝座内，安装了由螺钉 4 紧固的垫板 3，垫板与模具直接接触可防止模板的磨损。窝座的后侧面装有带 7° 斜度的平板 5 作为模具的后定位面，窝座的前侧面上装有带 15° 斜度的垫板 7，前压板 6 的两侧面都带有斜度，与垫板 7 接触的一面为 15° ，与模具接触的一面和模具侧面的斜度相同，前压板 6 是通过螺栓 8 来紧固模具的。侧压板 9 与模板接触的一面带有 10° 斜度，与模具接触的一面为平面，通过螺栓 10 压紧模具。侧定位板 11 是一长条平板，除了用作模具的定位外，还能通过两个小螺钉作小量的侧向移动的补偿模具或压板制造中可能出现的某些偏差。

为使上下模板能准确定位并固定在设备上，防止模架的横向错移，下模板的两个侧面 A 做成带斜度的平面。在上模板上开了一个较宽的通槽与设备安模空间中的尺寸相适应。通过上下模板上的孔 B 用大螺栓把整个模架紧固在设备的滑块和工作台面上。该模架在 16 000 kN 热模锻压力机上经过长期使用并生产过多种锻件（包括形状复杂的锻件）。

图 24.4-37 是 20 000~25 000 kN 热模锻压力机上生产长轴类锻件所用的模架总图。它与图 24.4-36 模架不同之处主要有以下三点：

1) 预锻模和终锻模内分别设置三组顶杆，因此模架的上、下模板内都装有两个三臂顶料杠杆，同时相应增设了 4 个可分式的轴承座。

2) 上、下模板内都采用两个侧压板，这是为了取代一个整压板而减轻重量。

3) 上模板设有 4 个螺孔用作紧固，而下模板上却设了 8 个螺孔，而把模架紧固在设备工作台上只需 4 个螺孔，其余 4 个螺孔是为了能使该模架也可紧固在同吨位不同技术参数的锻压机上作迂迴生产使用而设置的。

图 24.4-38 是长轴类锻件使用的另一种模架。

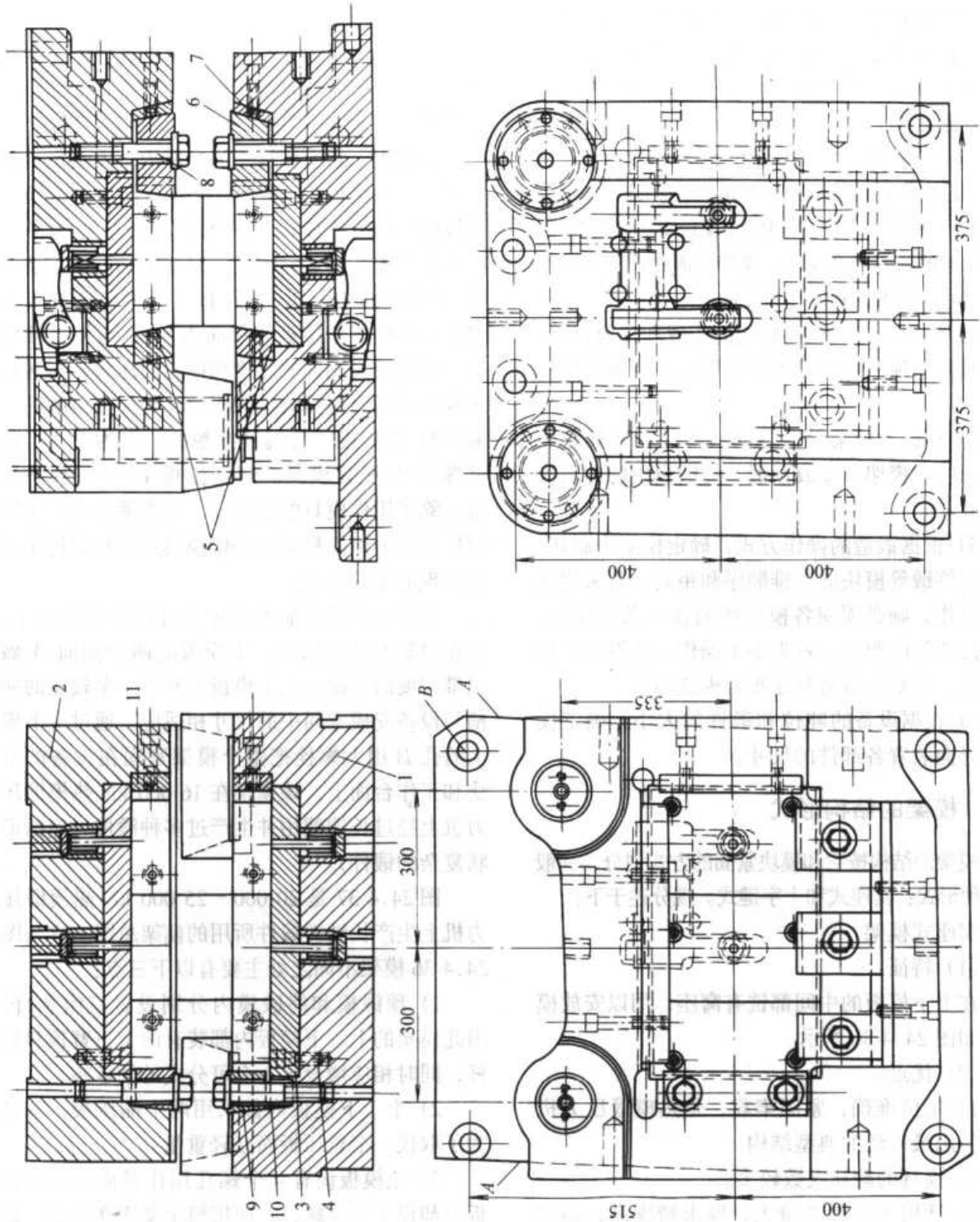


图 24.4-36 窝座式模架
 1—下模板 2—上模板 3—垫板 4—螺钉 5—平板 6—前压板 7—垫板 8、10—螺栓 9—侧压板 11—侧定位板

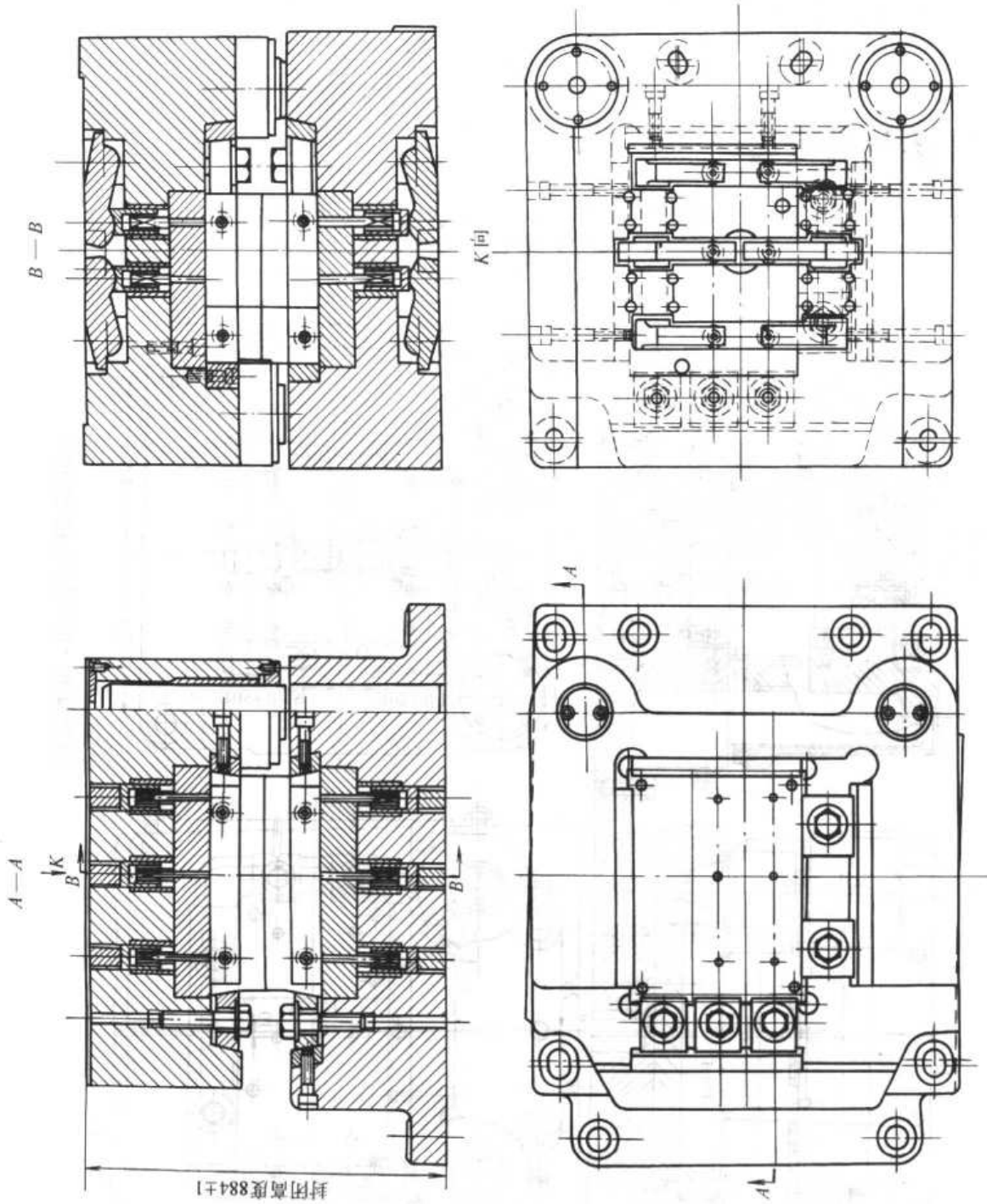


图 24.4.37 长轴类锻件使用的模架

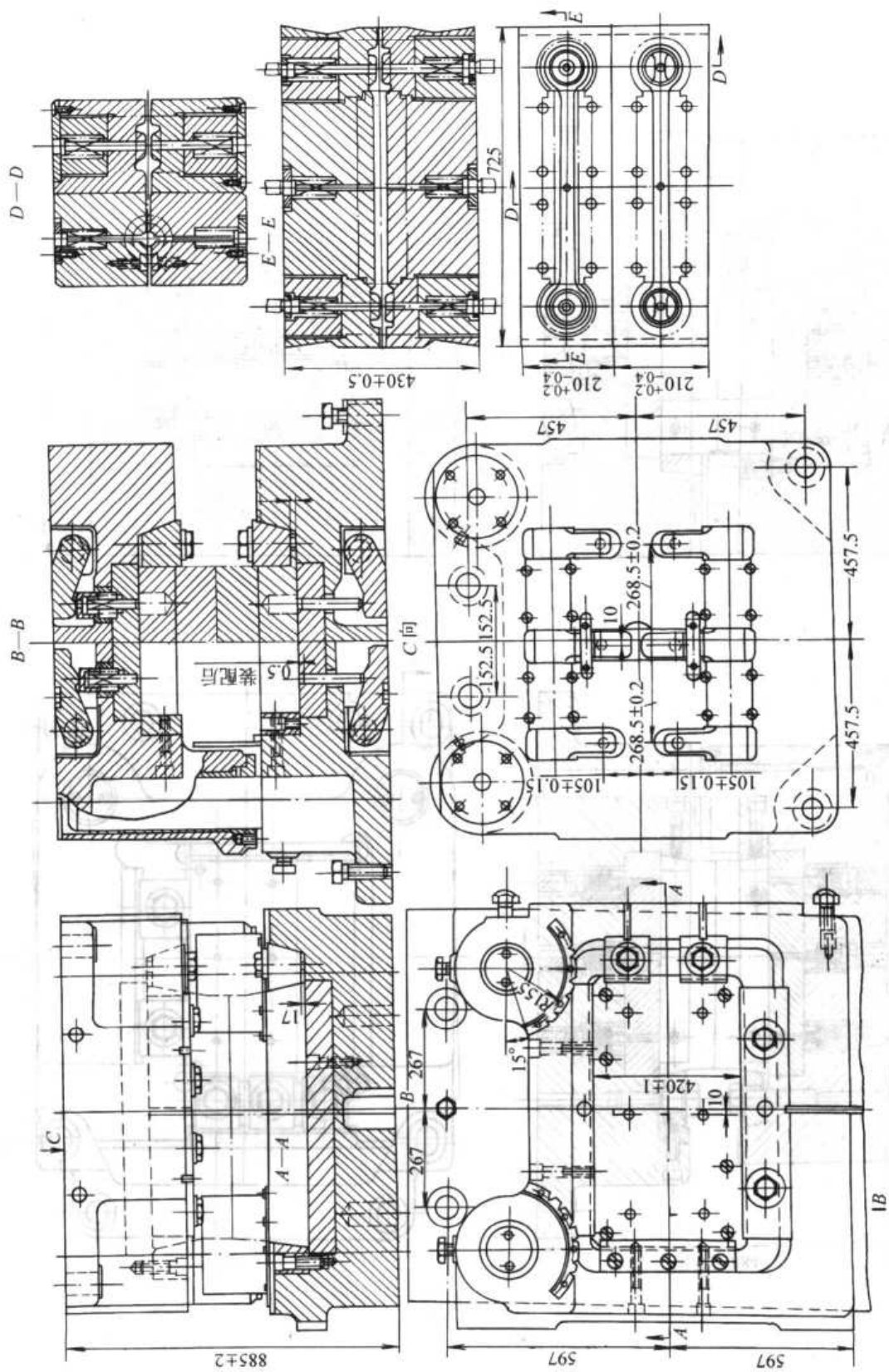


图 24.4-38 长轴类锻件使用的模架

它与前一种模架相比主要是模块的布置转了 90° ，也就是模膛中心线和模架中心线是互相垂直的，因而顶料装置的布置也应作相应的改变。

图 24.4-39 是圆柱形模块（回转体锻件）使用的模架。这种模架的结构是从窝座式结构中派生出来的，因为上、下模板的两侧虽然是穿通的，但带有圆弧的后定位板仍然象窝座那样使模块在其中定位，所以它仍属于窝座式结构的模架。

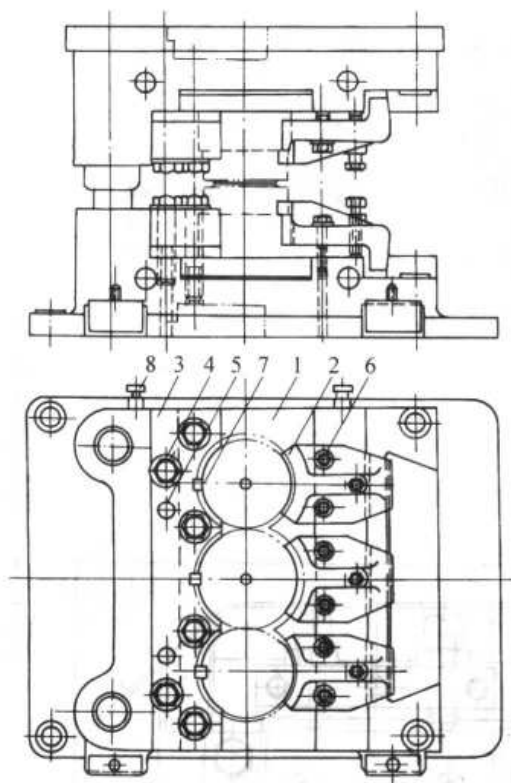


图 24.4-39 回转体锻件使用的模架
1—下模板 2—压板 3—后定位板
4、6、8—螺栓 5—定位销 7—键

后定位板 3 由螺栓 4 和定位销 5 紧固在上、下模板上，模块由压板 2 和螺钉 6 加压紧固，为防止模块转动而在模块和定位板间放入键 7，螺栓 8 具有调整和侧向压紧下模板 1 的作用。

圆柱形模块的模架现在使用并不普遍，这是因为模架上的定位板和紧固件都必须有较高的加工精度，而且调整困难，所以圆柱形的模块已逐渐被方形模块代替，这种模架也将被方形模块的模架所代替。

图 24.4-40 是一种组合的窝座式模架。模架的后定位板、侧定位板和前压板都是用螺栓固紧

在上、下模板上的。它的优点是制造方便，调整方便。缺点是两侧紧固较差，容易产生错移，增加调整次数，但因优点大于缺点，所以生产上也常使用。

十字键式模架

(1) 特征

上、下模板均为平面，模板上放置垫板，垫板上放置模具。在模具、垫板、模板之间都用互成直角、呈十字形的键来进行前后、左右方向的定位和调整，如图 24.4-41 所示。

(2) 优点

1) 模架的制造比较简单，不需要大型的龙门铣床。

2) 通用性、万能性较好，可以适应各种不同尺寸的锻件和不同形状（圆形或矩形）的模块。

3) 模具的安装和调整比较方便。

(3) 缺点

1) 模具的翻新次数较少，这是模具底面上开有定位键槽，难以加工的缘故。

2) 模具紧固的刚性较差，键槽磨损较快，容易影响锻件的精度，增加生产中模具调整的工作量。

(4) 结构

图 24.4-41 是典型的十字键式模架。上面可以布排四个模膛，从左到右它们是：制坯模，预锻模，终锻模，切边模（或冲孔模）。

十字键式模架的结构比较简单。上、下模板与垫板 4 之间、垫板 4 与模块 1 之间都采用平键定位，模板与垫板之间用螺钉 7 紧固，垫板和模块间是用压板 2 紧固的。为了考虑模块的翻新，当使用翻新过的模具时，在垫板和模块之间再安装一块中间垫板 3，它的厚度是上、下模块标准翻新量的总和，这种结构的模块一般最多翻新两次，所以中间垫板的厚度也有两种规格，一种是用一次翻新模具，另一种用于两次翻新模具。

图 24.4-42 是 20 000 kN 热模锻压力机用的键式模架的上、下模板图。

图 24.4-43 是 20 000 kN 热模锻压力机用的键式模架中的垫板图。

图 24.4-44 是 20 000 kN 热模锻压力机用的键式模架的中间垫板图。

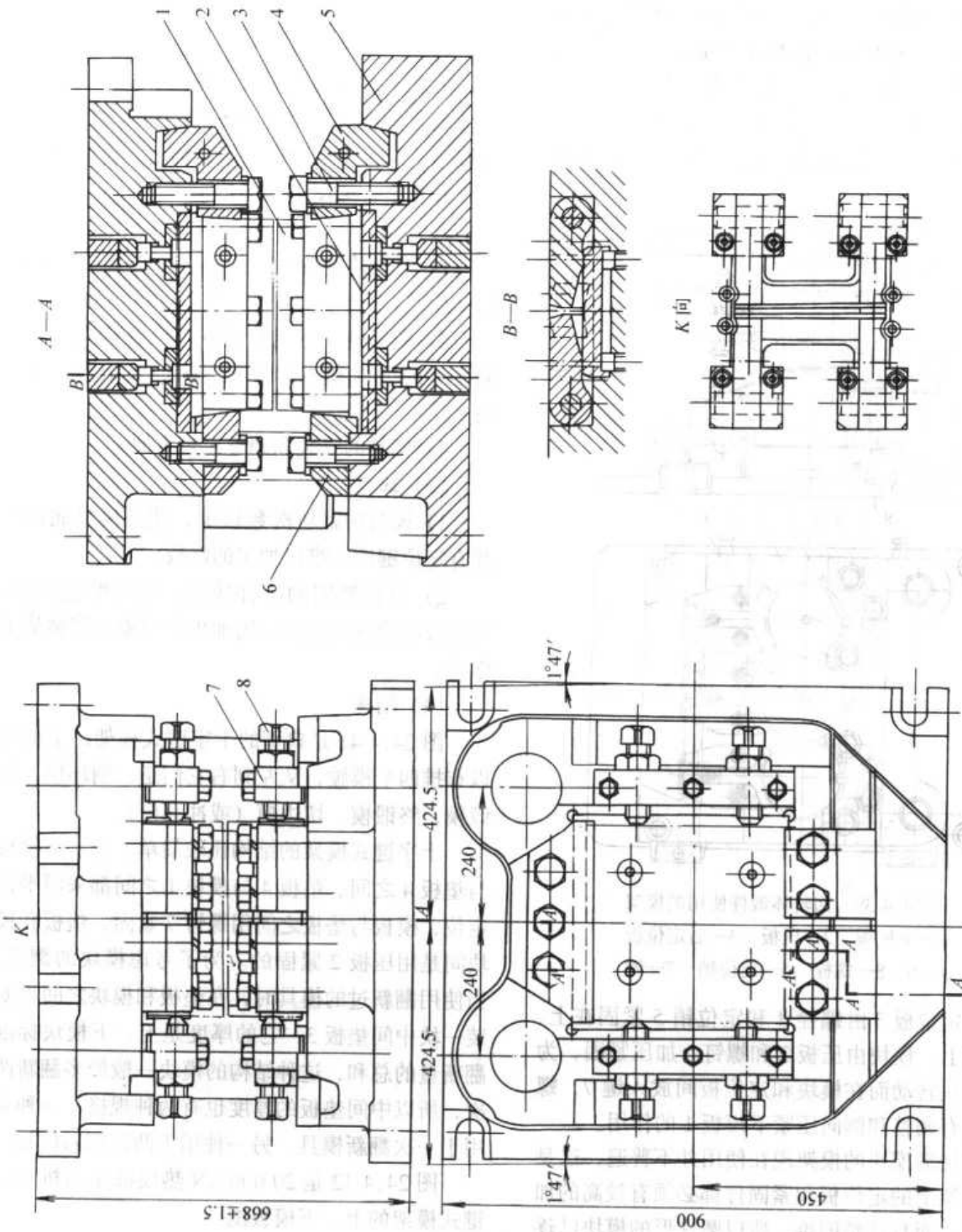


图 24.4-40 组合的窝座式模架
 1—镶块 2—垫板 3—螺钉 4—斜面压板 5—模板 6—后挡块 7—侧墙板

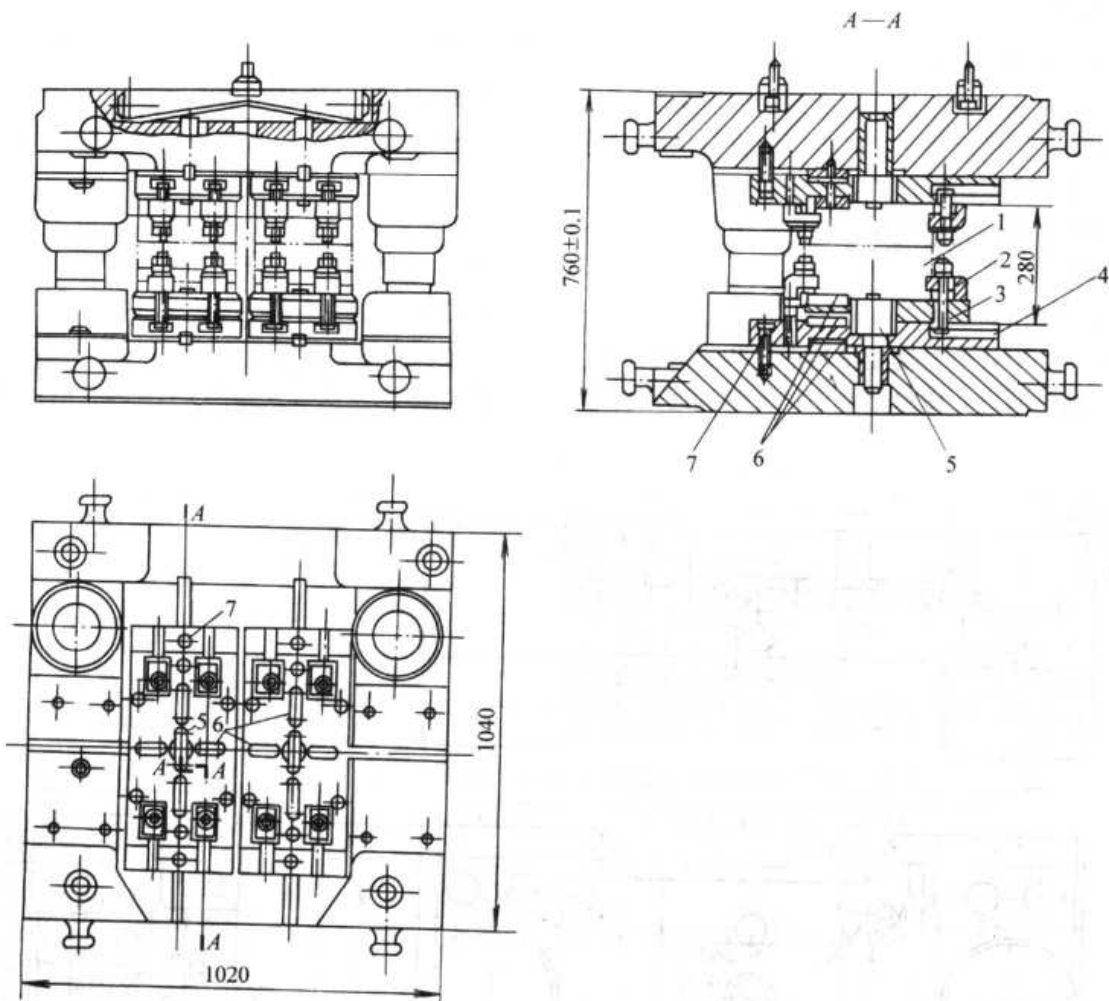


图 24.4-41 十字键式模架

1—模块 2—压板 3—中间垫板 4—垫板 5—键 6—定位平键 7—螺钉

图 24.4-45 是十字键式模架的又一种结构的图例。

这种模架的结构特点如下：

- 1) 模块定位也以平键为主。
- 2) 垫板是整体结构，它既用平键又用窝座进行定位。
- 3) 对不同长度的模块，可用不同的压板来进行紧固。如图中有三种压板，件号 16 的压板用作紧固较长尺寸的模块，件号 11 和件号 15 两种压板用作紧固尺寸较短的模块。

该模架上设有四个工位，适用的模块尺寸范围为：

模块长度 $L = 320 \sim 560 \text{ mm}$

模块宽度 $B = 200 \sim 300 \text{ mm}$ (预锻和终锻)

$B \leq 220 \text{ mm}$ (第一道制坯)

$B \leq 240 \text{ mm}$ (第四道切边或冲孔)

4) 有较大的迂迴生产可能性。由于垫板是整体的，因此如果在生产中需要把同吨位或小吨位锻压机上的模具迂迴到该模架上使用时，只要增加过渡垫板或重新设计不同厚度的垫板即可实现，模架结构上存在更换灵活的可能性，从工厂生产角度而论这是极为重要的。

该模架的主要零件其尺寸见图 24.4-46 ~ 图 24.4-49。

用作定位的平键，可以设计成互相通用的标准件，如图 24.4-50 所示。

为了锻模的调整方便，定位平键可以设计几种带有不同数值的偏心键，常用的偏心值有 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 等，可以根据生产需要而定，如图 24.4-51 所示。

3.3 模块

热模锻压力机上大都采用组合式模具，模块是模具中的主体，在其上开设各种成形模膛。通常一个模块上只设置一个模膛，但有时也可能把两个或多个模膛同时设置在一个模块上，或对较窄的模膛为充分利用模块，也可在上面开设两个终锻模膛。

(1) 模块的形式

模块的形式应与模架结构形式相适应并同时确定，模块的尺寸应尽量考虑扩大它的通用性和

标准化。主要形式有两种：长方形和圆柱形（见图 24.4-52）。

近年来长方形模块采用较多，这是因为它的调整比圆柱形模块容易，即使在锻制圆形锻件时也常用长方形模块，而圆柱形模块有被取代的趋势。

为了制造数量最少的模架和尽可能少的模块规格，应将锻件进行分类和分组，以便拟定最适用的模块标准尺寸。

下面有两组长方形模块的标准，可供参考。表 24.4-6 中模块（参阅图 24.4-52）适用于窝座

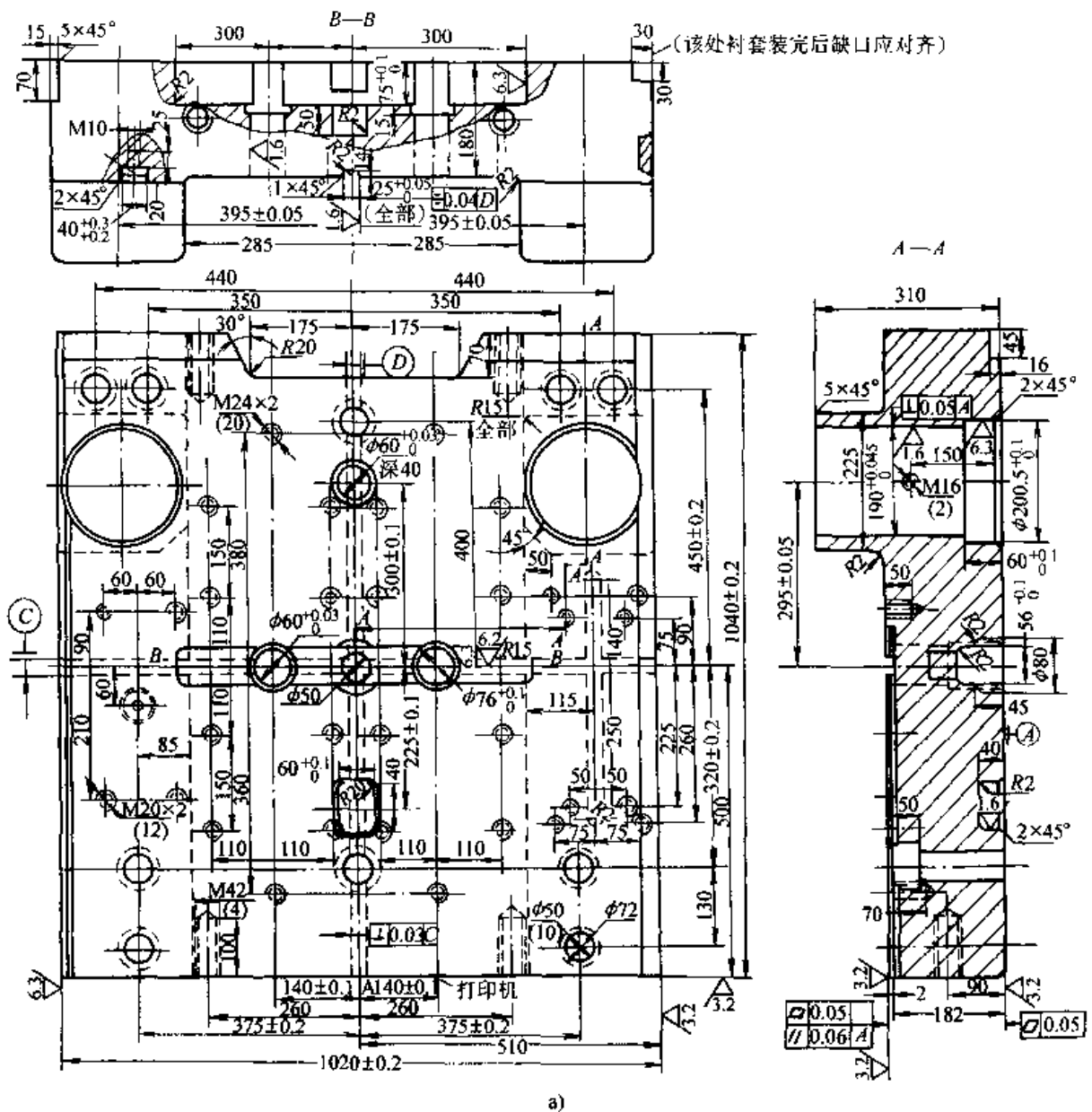


图 24.4-42 20 000 kN 热模锻压力机用的键式模架的上、下模板

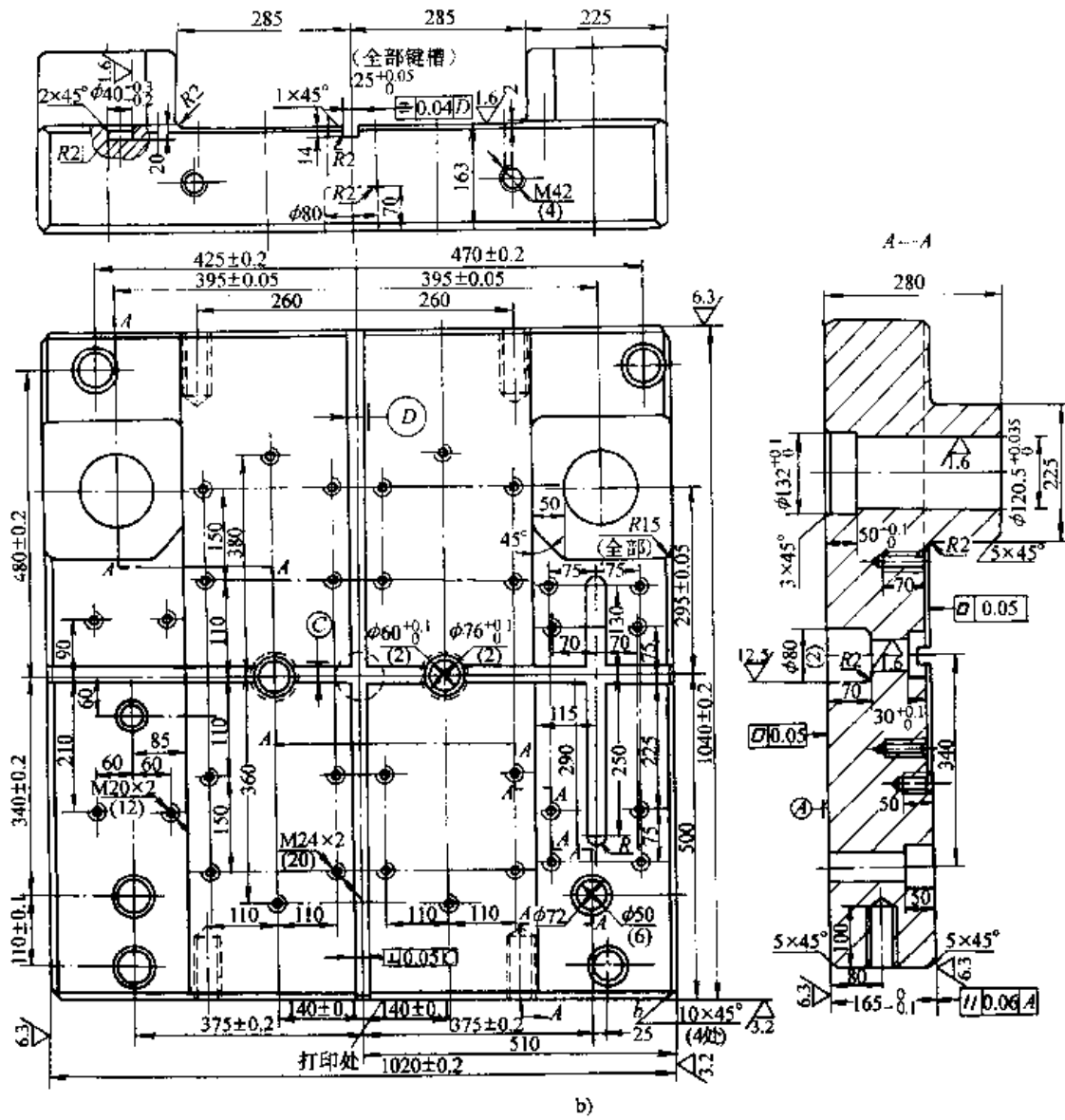


图 24.4-42 (续)

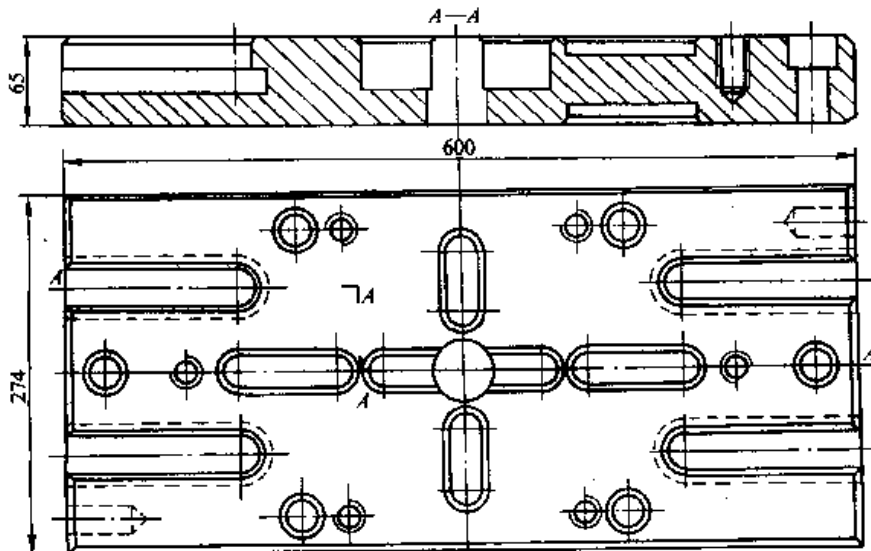


图 24.4-43 20 000 kN 热模锻压力机用的键式模架的垫板

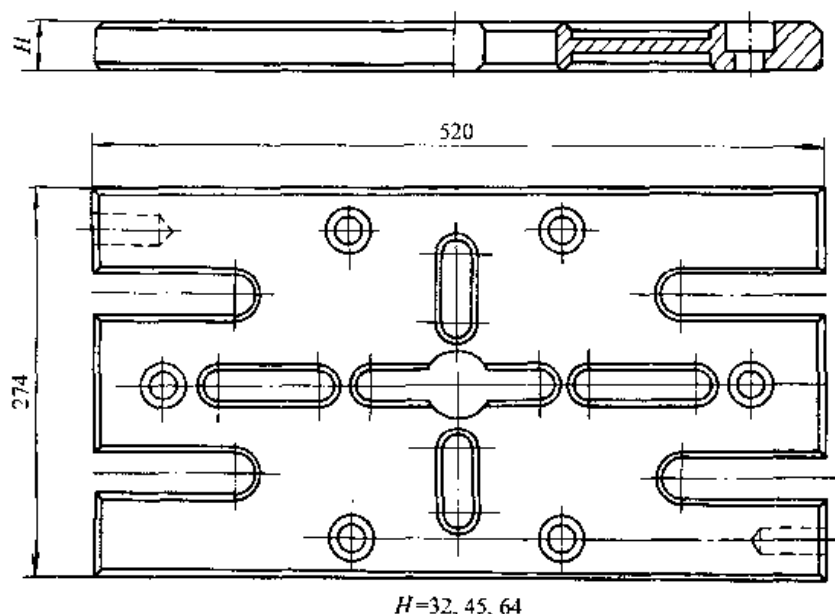


图 24.4-44 20 000 kN 热模锻压力机用的键式模架的中间垫板

式模架，表 24.4-7 中模块适用于十字键式模架。

实践表明用一定数量的标准尺寸模块来实现通用性是可能的。另外，窝座式模架和十字键式模架所用模块的外形是有较大差别的，应予以注意。

图 24.4-53 为窝座式模架所用的模块。模块的前后端面均带有 $7^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 的斜度。若用圆形模块则都带有每边 $5 \sim 10$ mm 的肩台，并在底部开有防止转动的键槽，用于墩粗、压扁等工序的简单制坯模模块，大都采用螺钉固紧在模架的左前角。

图 24.4-54 为十字键式模架所用的模块，它们的特征是在底部都开有十字形的键槽或定位孔。而在长方形模块的前后端、圆形模块的四周都开有供压板压紧用的直槽，制坯用的模块一般采用组合式结构，用螺钉把制坯模紧固在模板上，见图 24.4-54c。

(2) 模块尺寸的确定

1) 长度与宽度尺寸的确定 模块长度与宽度尺寸主要根据下列因素确定：锻件的最大长度、宽度、模壁厚度，锁扣尺寸、模块的承压面积，以及模膛四周的壁厚等。

模壁厚度 S 可按下列式确定

$$S = (1 \sim 1.5) h \geq 40 \text{ mm}$$

式中 h —— 模膛最宽处的深度 (mm)。

一个模块上同时设置两个模膛时，两模膛之间壁厚 S_1 按下式确定

$$S_1 \geq (0.5 \sim 1) h$$

式中 h —— 模膛深度 (mm)。

当模膛为圆形时， S_1 取小值，其他形状时取大值。

关于锁口尺寸的确定，请见下节。

在初步算出模块的长度和宽度尺寸后，必须核算模块的承压面积。此处的承压面积系指模块与模架垫板的接触面积。模块所承受的压应力应满足下列要求：

$$p = F/A < 300 \text{ MPa}$$

式中 F —— 设备的名义压力 (kN)；

A —— 模块底面的有效承压面积 (mm^2)。

2) 高度尺寸的确定 模块高度尺寸主要根据下列因素而确定：模块底厚 (T) —— 从模块底面到模膛最深部位的距离，模膛深度以及模架闭合高度 (H) 等。

模块高度尺寸 S 与底厚 T 和模架闭合高度 H 应尽可能符合如下条件 (见图 24.4-55)。

$$T \geq (0.6 \sim 0.65) S$$

$$2S \leq (0.35 \sim 0.4) H$$

若模具上、下模膛不对称，则上、下模块也应做成不对称的高度，以保持上述的比例关系。

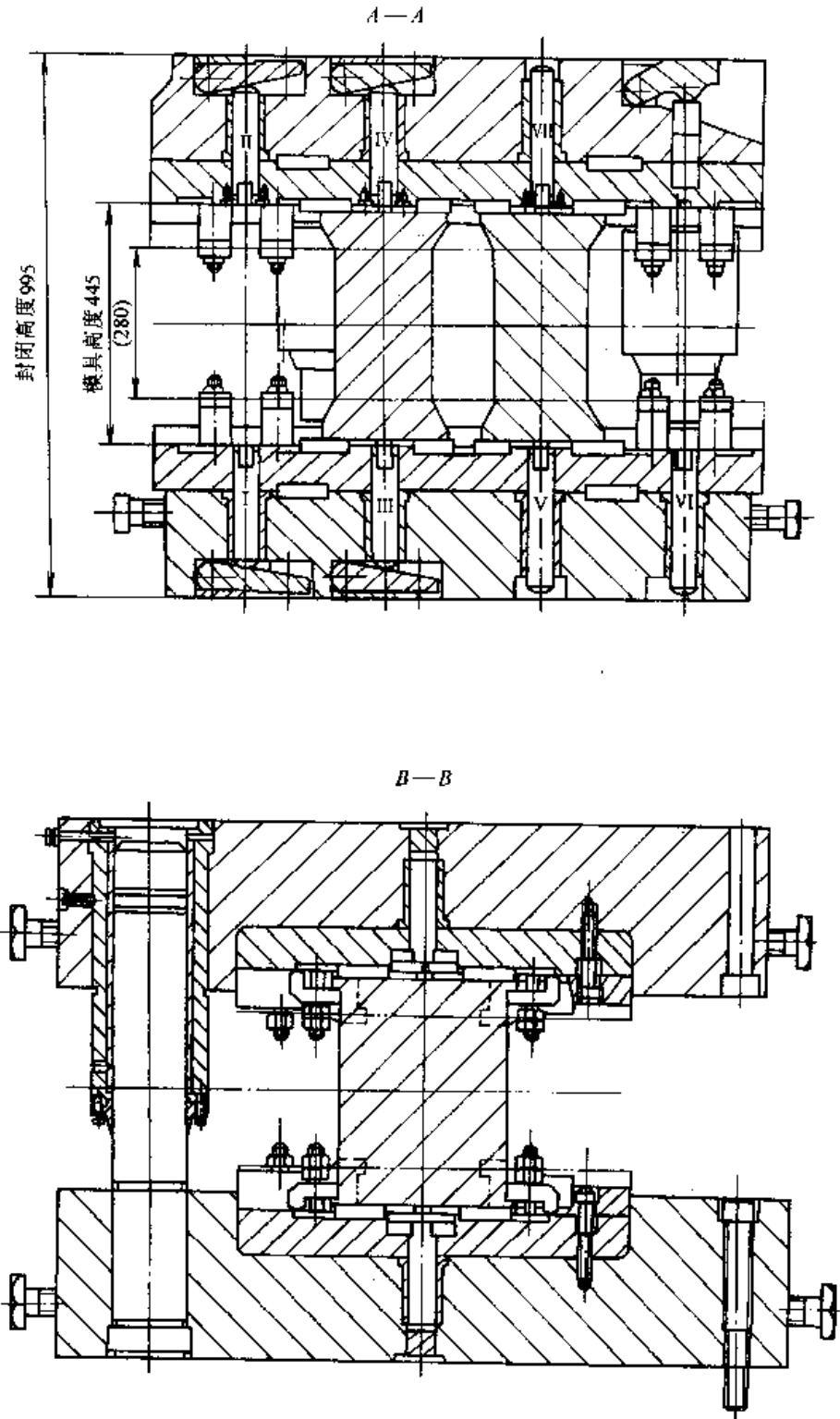


图 24.4-45 十字键式模架

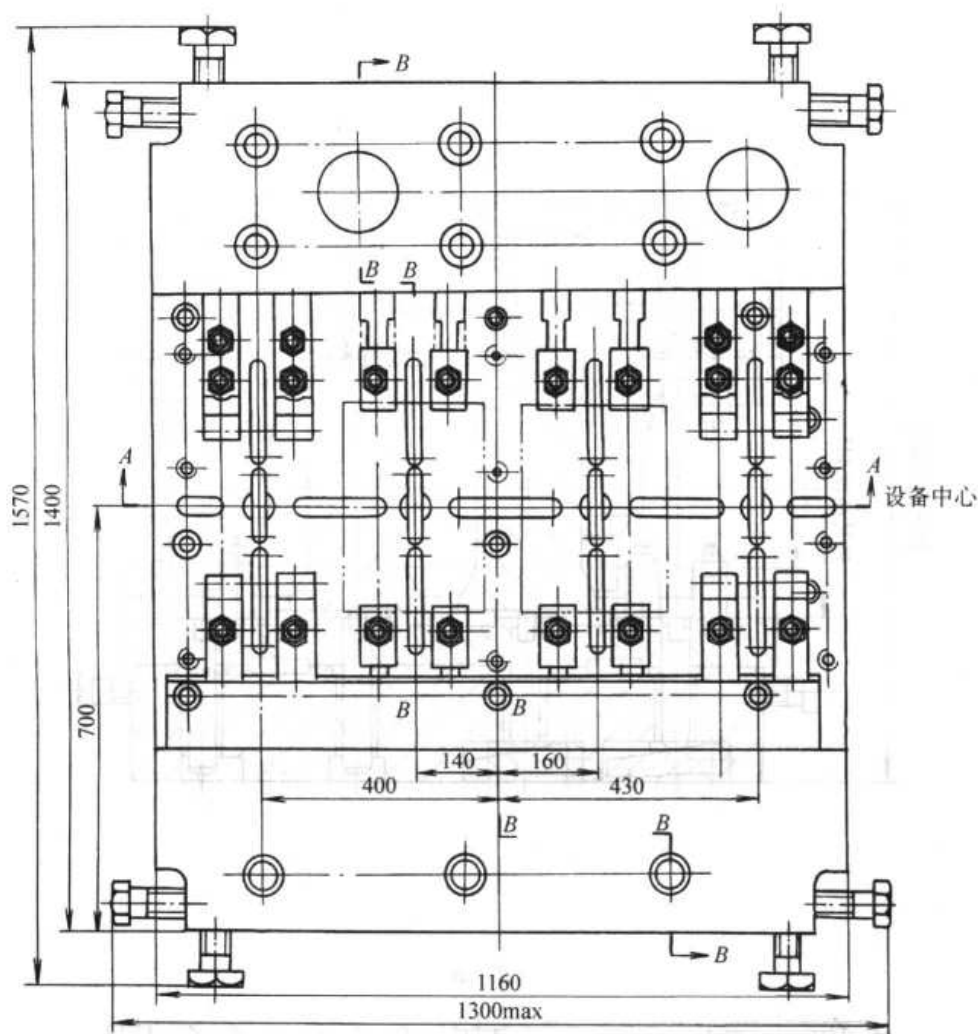


图 24.4-45 (续)

模块的高度应把翻新量考虑在内,即模块底厚(T)值应保证在最后一次翻新后仍能符合上面规定的条件,即 $T \geq (0.6 \sim 0.65) S$ 。模块每次翻新量都应是一个固定值,以便用增加标准尺寸的垫板来补偿其翻新量。

终锻模膛的模块一般应放置在模座中心,使金属变形抗力的合力作用点与连杆中心重合,避免偏心打击。当模锻力和错移力不大时,为了提高模锻生产率,也可将模膛按模锻的工步顺序排列。因为模具有导向装置,不会造成太大的错移。

设计模块时还应考虑到锻件的顶出问题,将在3.4节中阐述。

(3) 锁扣

热模锻压力机上模锻时虽然在模架上设有良好的导向装置,但当锻件的分模面为斜面、曲面或模锻中心与模膛中心的偏移量较大时,在模锻

过程中将产生水平分力,引起上、下模膛的错移,并加速热模锻压力机导轨和模架导柱、导套的磨损。因此,在这种情况下,模锻模膛的模块上常常采用锁扣来平衡错移力。热模锻压力机上用的锁扣,根据其用途可分为两大类。一类是形状锁扣,另一类是一般锁扣。

1) 形状锁扣(平衡锁扣) 形状锁扣用于具有落差的锻件,它有两种设计方案。一是将锻件平放,如图24.4-56所示,锁扣高度与分模面落差相等,但应不小于25 mm。另一种方案是将锻件斜放,并设置锁扣,如图24.4-57所示,同样,锁扣高度 $H \geq 25$ mm。锻件的倾斜度不应大于模锻斜度,以免影响锻件的出模。这种方案可减小锁扣高度和节省锻模材料。

形状锁扣的宽度 $B \geq 1.5H$, $\Delta = 3 \sim 5$ mm。圆角半径 $R_1 = R_4 = 2 \sim 3$ mm, $R_2 = R_3 = 3 \sim 5$ mm。锁扣导面之间不应有间隙,即 $\delta = 0$ 。

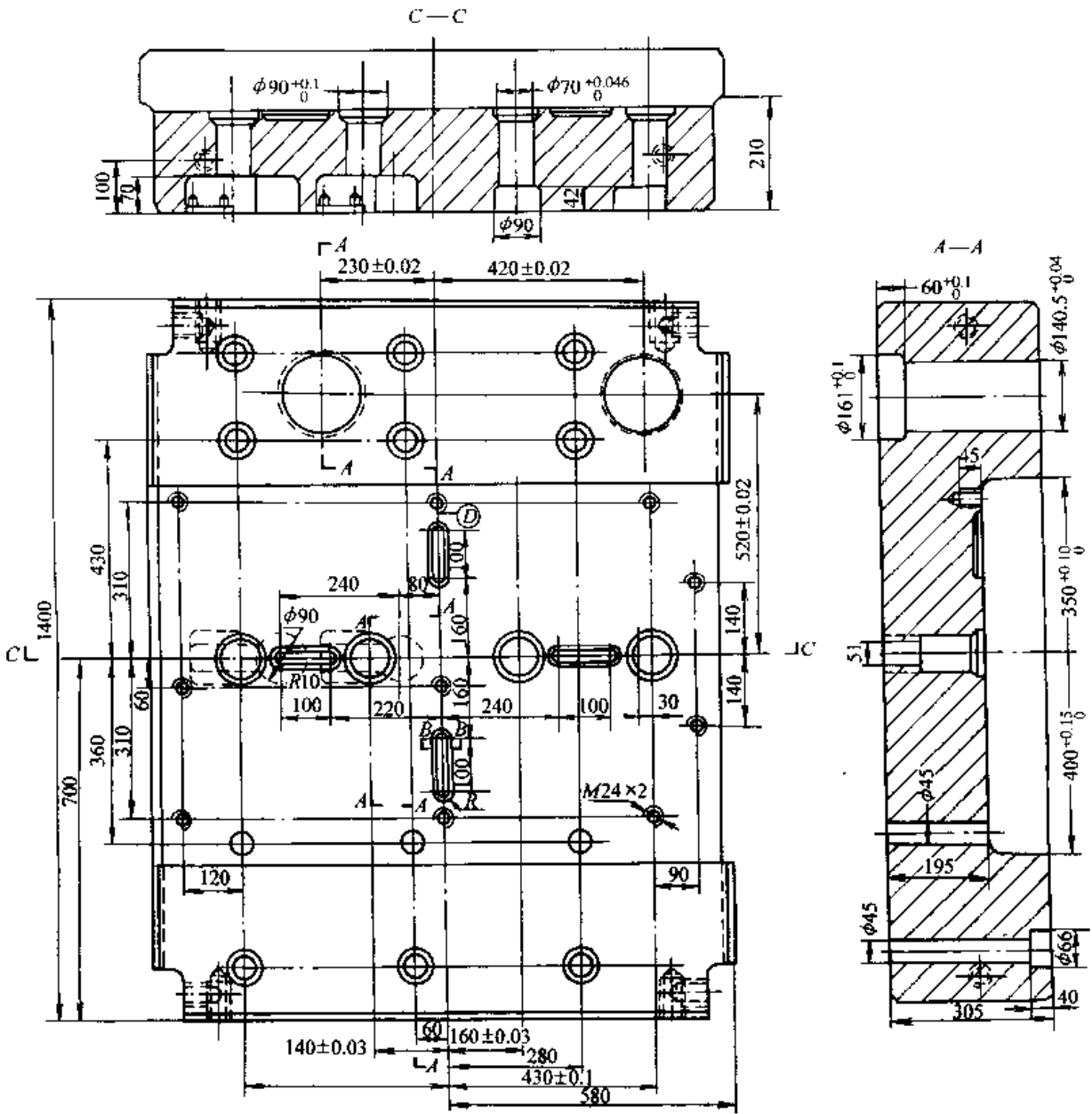


图 24.4-46 下模座主要尺寸图

对具有落差的小锻件，可以成对锻造，依靠相反方向的水平错移力，相互抵消，此时可不用锁扣，如图 24.4-58 所示。

2) 一般锁扣 一般锁扣用于分模面没有落差的锻件，其目的是为了保证锻件精度和便于模块的安装、调整等。热模锻压力机上一一般锁扣的型式与锤上锻模相同，即有圆形锁扣、纵向锁扣、侧面锁扣和四角锁扣四种，其设计原则如下：

① 圆形锁扣 (图 24.4-59) 一般用于齿轮件、环形件，这些锻件的特点是根据锻件的外形

很难确定错移的方向。

$$D = D'_{\max} + 2b + 2L$$

式中 D'_{\max} ——锻件最大外径 (包括模锻斜度)；

b ——飞边桥部长度；

L ——飞边仓部长度。 L 应取较大值，可以比正常值大 5 mm，以免坯料偏大时造成飞边流入锁扣间隙而引发事故。

锁扣凸凹部分间的间隙 $S = 0.3 \text{ mm}$ 。

锁扣高度 H 不小于 30 mm。

锁扣宽度 $B > H$ ，此处系指在长方形模块短

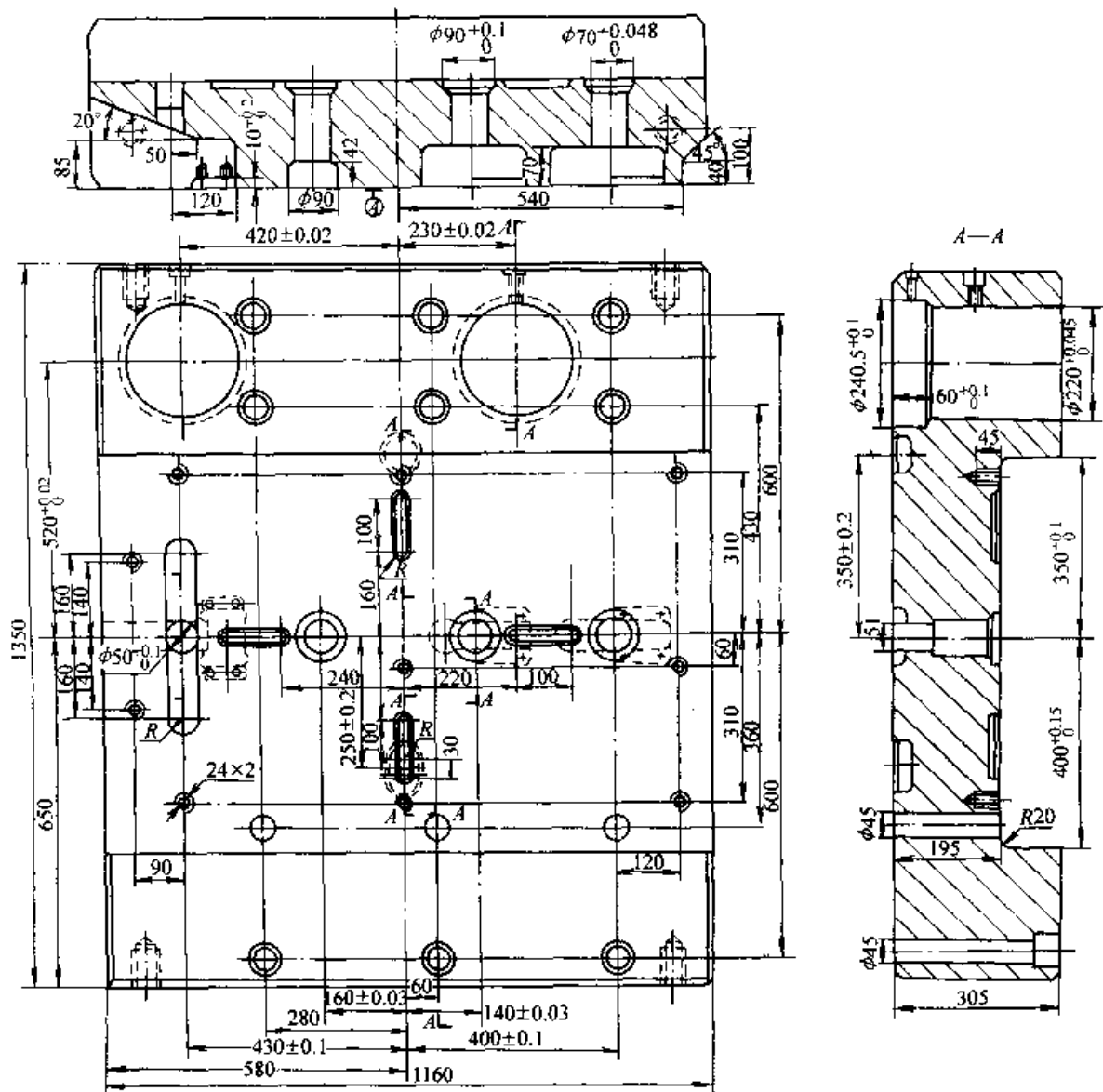


图 24.4-47 上模座主要尺寸图

边的截面。当 $B < H$ 时，为保证锁扣的强度，可以把最小的一段去掉，如图中双点划线所示。对于近似方形的模块，可以在互相垂直的两个方向作同样处理。

$$\Delta = 3 \sim 5 \text{ mm}$$

$$\alpha = 5^\circ$$

$$R_1 = R_4 = 3 \text{ mm}$$

$$R_2 = R_3 = 5 \text{ mm}$$

锁扣的突出部分应设计在下模，便于把锻造中的氧化皮吹净。

② 纵向锁扣 (图 24.4-60) 纵向锁扣一般用于长轴类锻件，用以防止上、下模的横向错移和相对转动。

锁扣高度 $H \geq 25 \text{ mm}$

锁扣宽度 $B \geq 1.5H$

$$\alpha = 5^\circ$$

$$\Delta = 3 \sim 5 \text{ mm}$$

$$R_1 = R_3 = 3 \text{ mm}$$

$$R_2 = R_4 = 3 \sim 5 \text{ mm}$$

锁扣突出部分也应与圆形锁扣那样，设在下模。

③ 侧面锁扣 (图 24.4-61) 这类锁扣用于防止上、下模块的相对转动和前后左右的错移。

锁扣高度 $H \geq 25 \text{ mm}$

锁扣宽度 $B \geq 2H$

锁扣长度 $L \geq 2B$

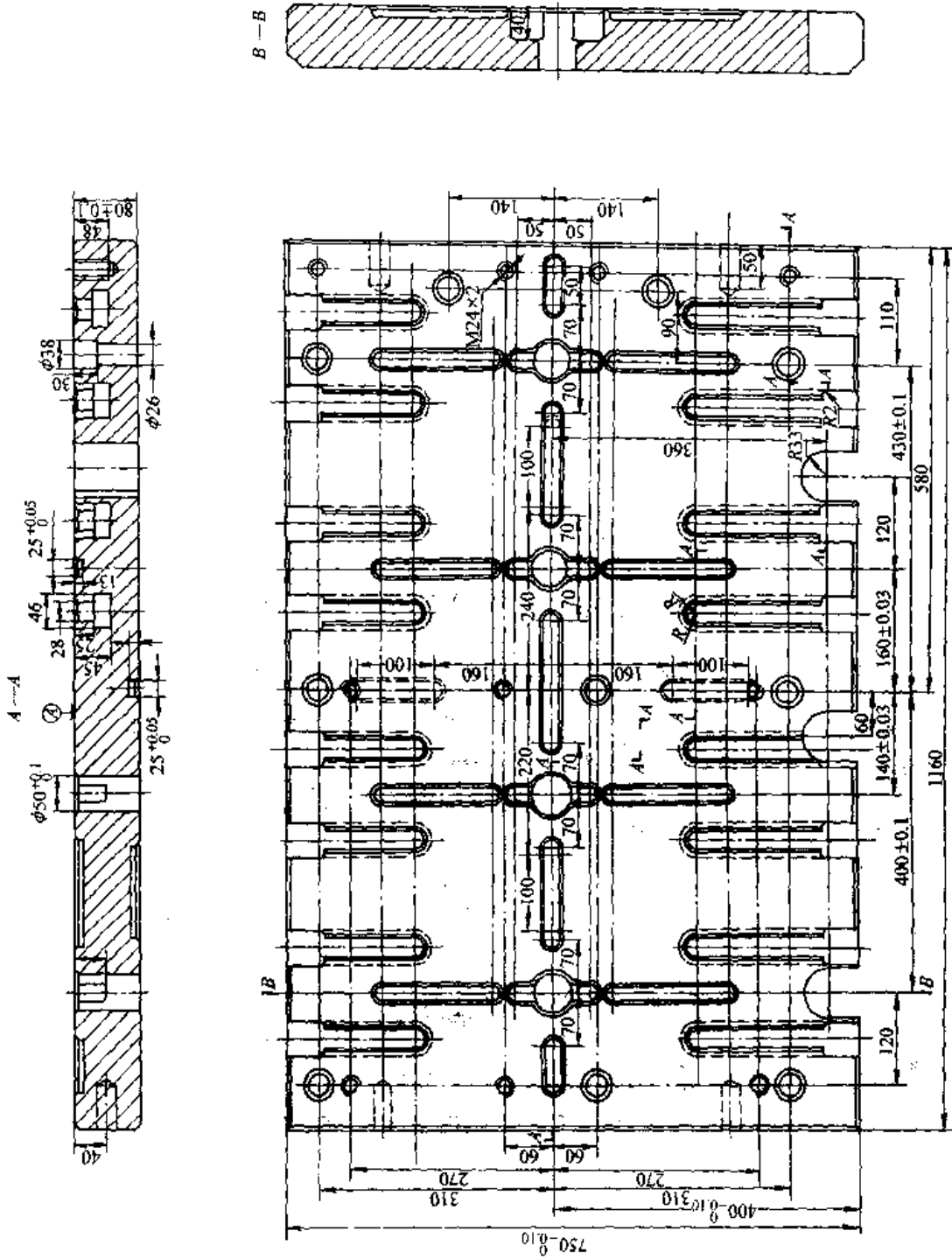


图 24.4-48 下垫板主要尺寸图

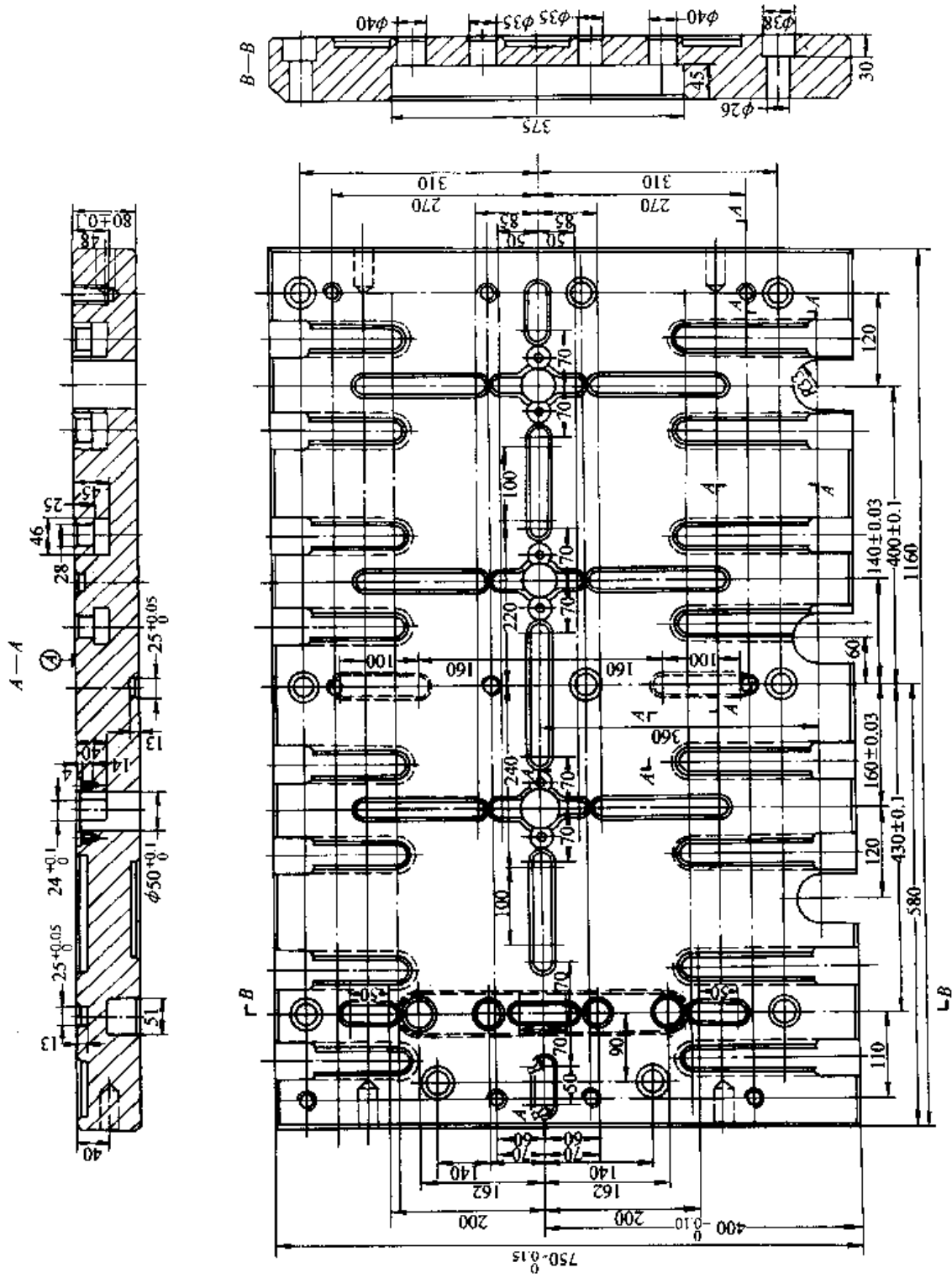


图 24.4-49 上垫板主要尺寸图

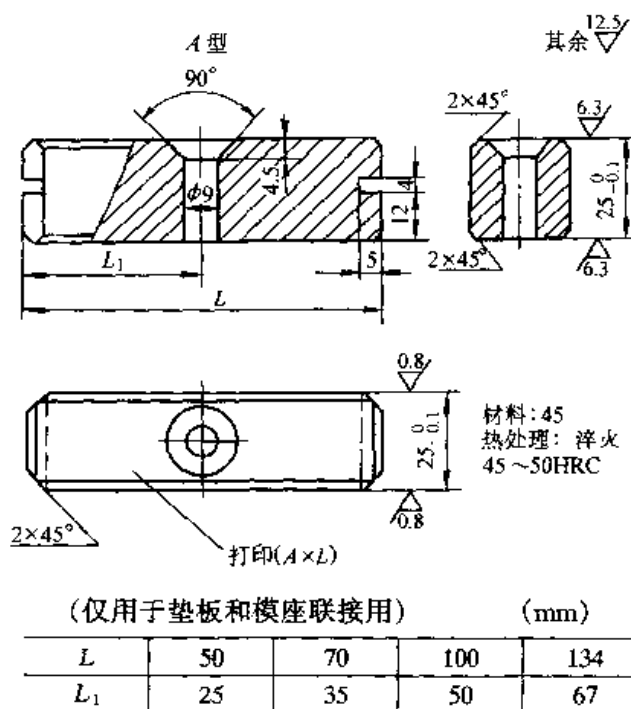


图 24.4-50 定位平键

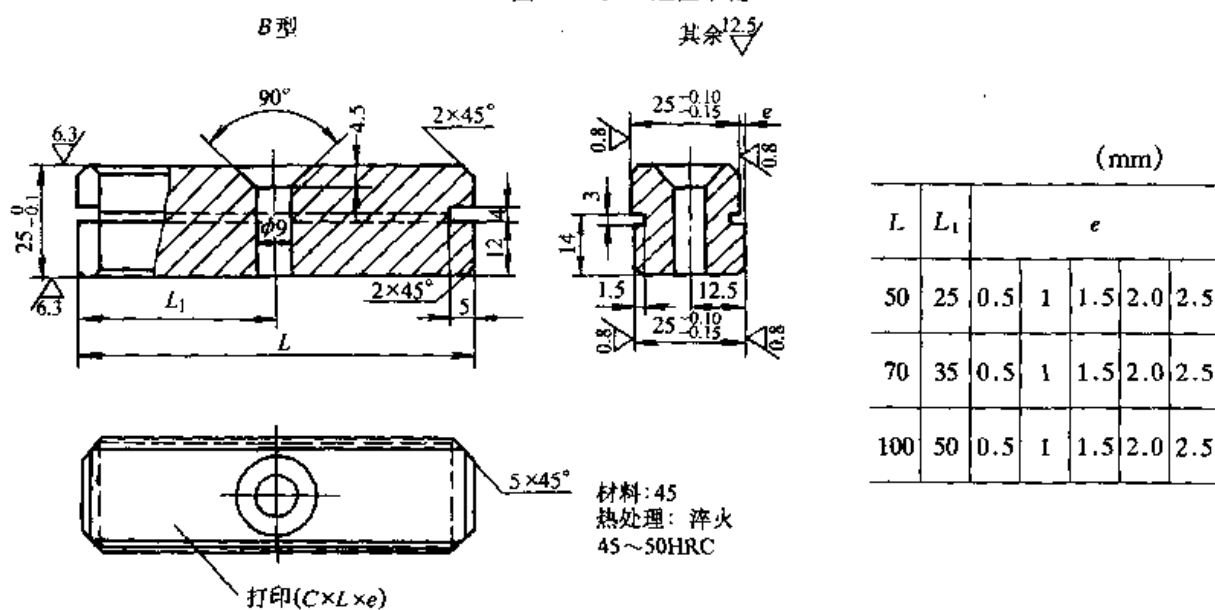


图 24.4-51 偏心定位平键

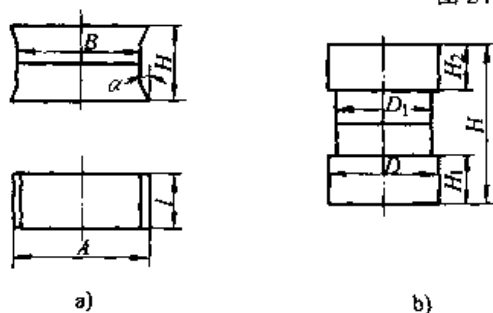


图 24.4-52 模块的形式

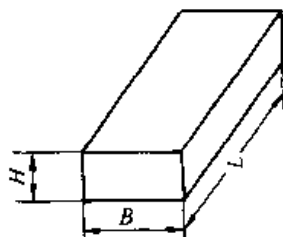
- $\alpha = 5^\circ$
- $\delta = 0.3 \text{ mm}$
- $R_1 = 5 \text{ mm}$
- $R_2 = R_1 + 2 \text{ mm}$
- $R_3 = R_6 = 3 \text{ mm}$
- $R_4 = R_5 = 3 \sim 5 \text{ mm}$
- $\Delta = 3 \sim 5 \text{ mm}$

锁扣的凸出部分应设在下模。

表 24.4-6 长方形模块标准尺寸

锻压机吨位/kN	A	B	H	l	$\alpha/ (^{\circ})$
	/mm				
6 300	310	292	240	140	7
10 000	220	200	230	110	7
	265	242	240	190	7
16 000	275	250	260	200	7
20 000~25 000	440	406	380	178	7
	395	370	304	310	7
	559	528	282	140	10
31 500~40 000	395	360	406	320	7
	740	700	370	250	10

表 24.4-7 长方形模块标准尺寸



序号	模块规格 $L/\text{mm} \times B/\text{mm} \times H/\text{mm}$	所用设备/kN
1	240×240×130	16 000
2	240×240×160	16 000
3	260×260×110	20 000
4	260×260×140	20 000
5	260×260×160	20 000
6	260×260×190	20 000
7	290×230×130	20 000
8	290×230×160	20 000
9	290×230×190	20 000
10	300×190×130	16 000
11	300×190×140	16 000
12	320×230×140	20 000
13	320×230×155	20 000
14	350×190×130	20 000
15	350×190×140	20 000
16	350×190×170	20 000

续表 24.4-7

序号	模块规格 $L/mm \times B/mm \times H/mm$	所用设备/kN
17	380×220×150	20 000/25 000
18	420×180×140	20 000
19	420×180×155	20 000
20	520×230×150	20 000
21	600×200×160	25 000/40 000
22	760×200×160	31 500
23	950×200×160	40 000
24	550×240×160	31 500
25	600×240×160	40 000
26	650×240×160	40 000
27	550×240×190	31 500/25 000
28	400×260×80	31 500
29	430×260×160	31 500
30	480×260×180	31 500
31	630×260×200	40 000
32	830×260×200	25 000
33	630×260×230	40 000
34	550×270×170	25 000
35	400×314×160	31 500/40 000
36	400×314×185	31 500/40 000
37	400×314×260	40 000
38	540×375×200	40 000
39	650×200×175	40 000
40	500×280×200	40 000
41	400×314×100	31 500/40 000
42	400×314×210	40 000

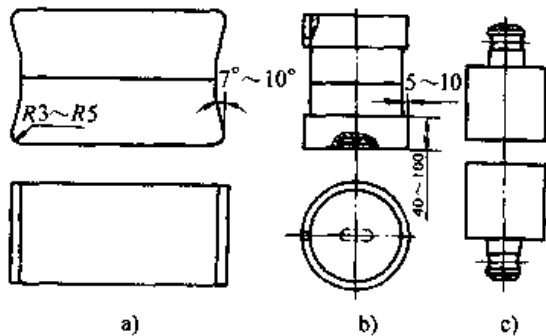


图 24.4-53 离座式模架所用模块形式
a) 矩形模块 b) 圆形模块 c) 制坯模块

④ 四角锁扣 (图 24.4-62) 四角锁扣的作用与侧面锁扣相似。用以防止上、下模各个方向的错移和转动。

锁扣高度 $H \geq 25 \text{ mm}$

锁扣宽度 $B \geq 1.5H$

锁扣长度 $L \geq 2B$

$\alpha = 5^\circ$

$R_1 = 5 \text{ mm}$

$R_2 = R_1 + 2 \text{ mm}$

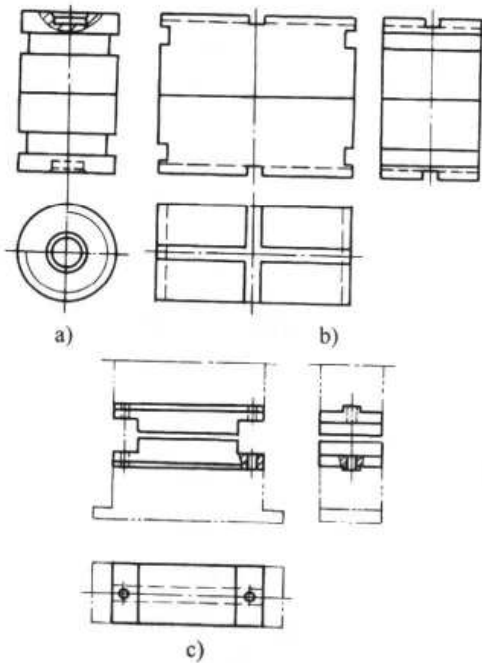


图 24.4-54 十字键式模架所用模块形式
a) 圆形模块 b) 矩形模块 c) 制坯模块

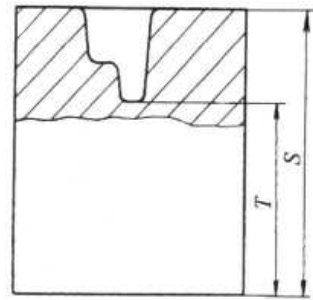


图 24.4-55 模块底厚示意图

$$R_3 = R_6 + 3 \text{ mm}$$

$$R_4 = R_5 = 3 \sim 5 \text{ mm}$$

$\delta = 0.3 \text{ mm}$ (当沿纵向有落差时, 则沿此方向的 $\delta = 0$)

$$\Delta = 3 \sim 5 \text{ mm}$$

3.4 顶料装置

模架内设有顶料装置, 用以传递锻压机顶杆的顶料力, 顶料装置的可靠与否直接影响模锻的

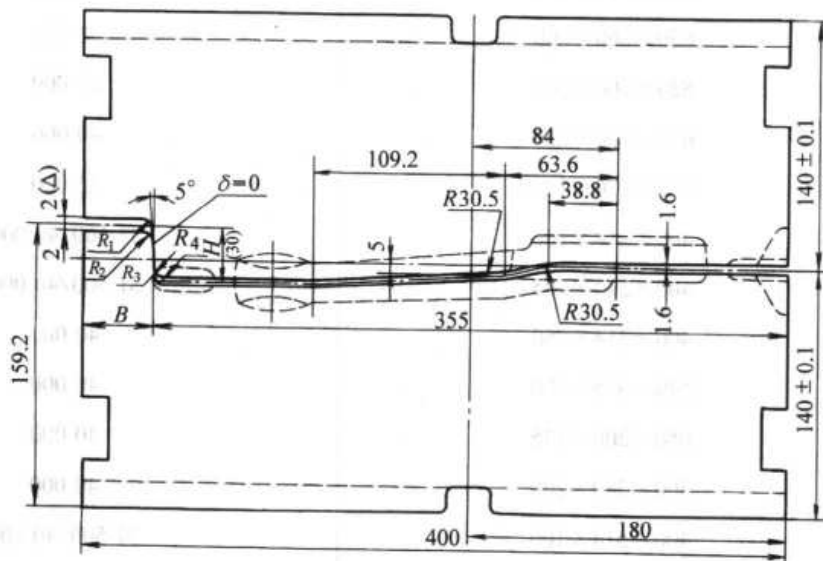


图 24.4-56 形状锁扣 (1)

效果。因此, 顶料装置在模架设计中极具重要性。

(1) 顶杆位置

顶杆的位置视锻件的形状和尺寸而定, 大致可分为两类:

1) 顶杆位置设在锻件本体上 图 24.4-63 为汽车变速箱第二轴的终锻模, 顶杆直接顶在锻件本体上。图 24.4-64 为越野车轮毂轴的锻模, 其件 3 顶杆也属于这一类。设计这类顶杆应注意

下列几点:

① 对于如图 24.4-63 所示的锻模, 设计单顶杆时必须使顶杆位置处于锻件的重心或重心附近。这是为了保证顶杆在顶料时锻件能被平稳顶出。如果某锻件重心的两侧不对称, 一侧出模比较容易, 而另一侧较困难, 则顶杆位置应适当地移向较难出模的一侧。

对于图 24.4-64 所示的顶杆, 应考虑顶杆底面的承压面积。

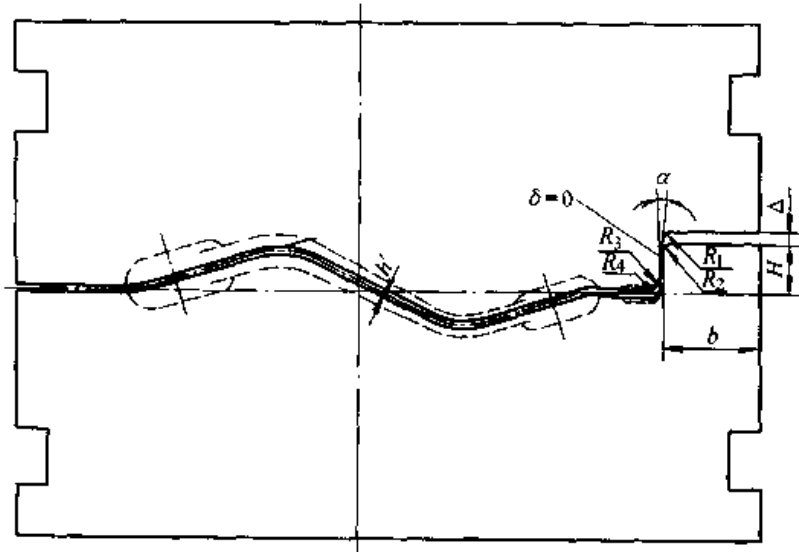


图 24.4-57 形状锁扣 (2)

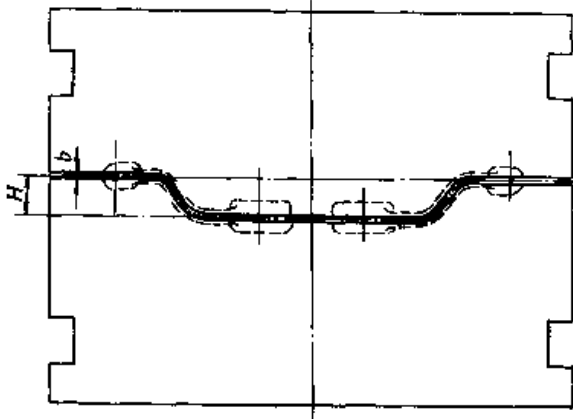


图 24.4-58 带落差小锻件的布置

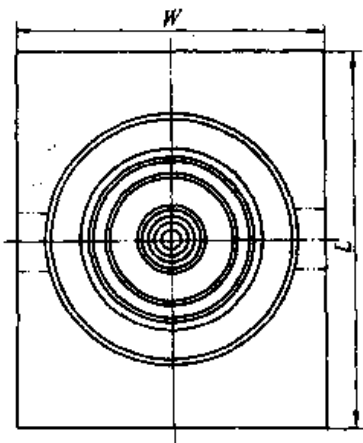
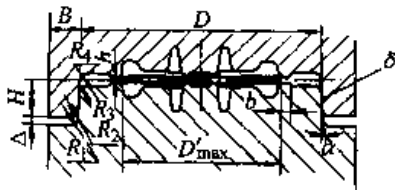


图 24.4-59 圆形锁扣

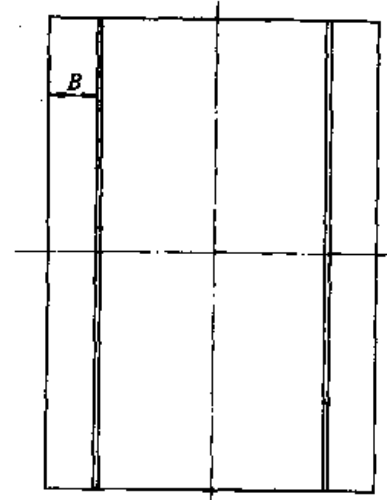
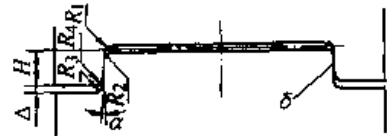


图 24.4-60 纵向锁扣

②对于形状复杂或较长的锻件，应考虑设置2个或2个以上的顶杆。如图24.4-65所示的凸轮轴锻模，全长达950 mm，为使锻件能够平稳地被顶出模膛，在三个主轴颈上布置了三个顶杆。

③顶杆应尽可能地布置在锻件的加工表面上，但是该部位不应是机械加工的初基准面或装卡面。

④顶杆的直径在保证其本身强度的前提下，应尽可能采用较小的直径，尤其当顶杆布置在圆

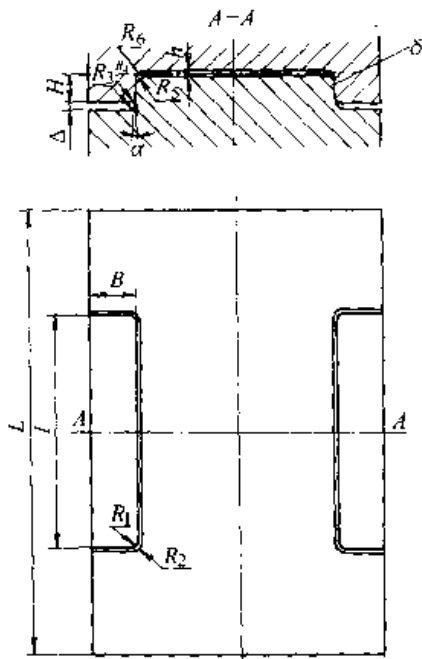


图 24.4-61 侧面锁扣

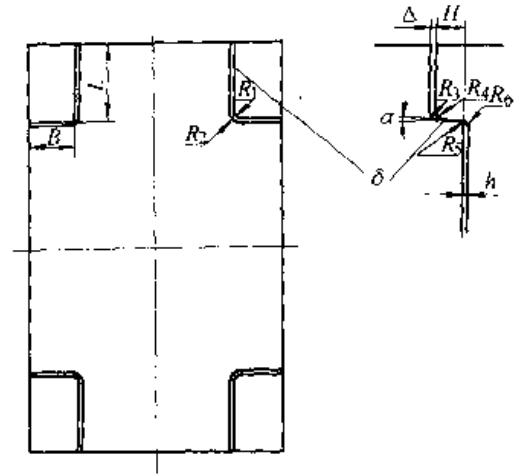


图 24.4-62 四角锁扣

柱面上（如图 24.4-63、图 24.4-64）时。因为这时顶杆的顶端面如果做成与圆柱面一样，将使顶杆加工和导向结构复杂化。同时顶杆在圆柱外侧处较为单薄，容易变形，所以一般都采用平端面。平端面顶杆在锻件的相应部位上将形成两个

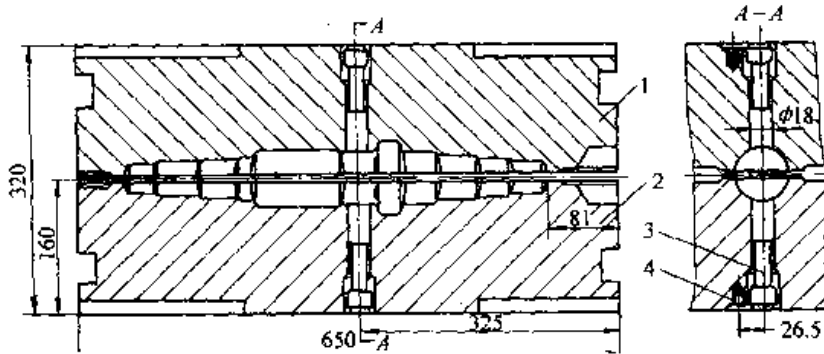


图 24.4-63 第二轴终锻模

1—上模 2—下模 3—顶杆 4—托板螺钉

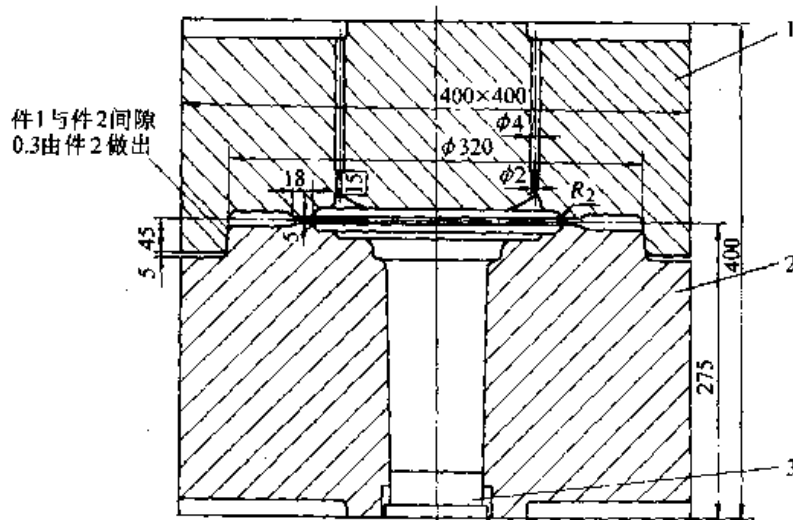


图 24.4-64 轮毂轴终锻模

1—上模 2—下模 3—下顶杆

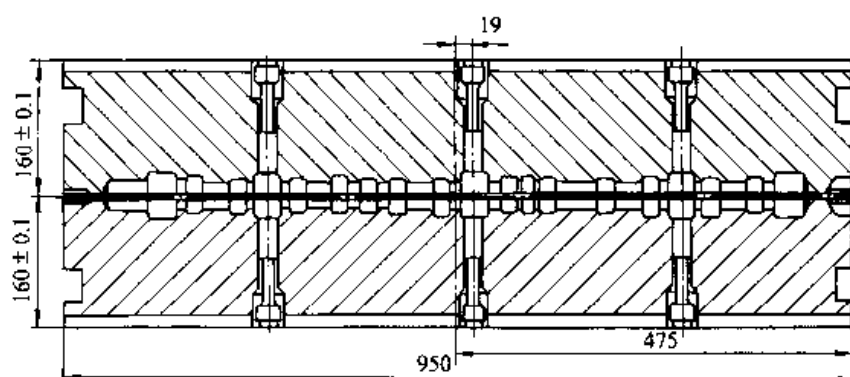


图 24.4-65 凸轮轴终锻模

凹穴或凸块，其凸出或压凹的尺寸应保持在锻件公差和余量允许的范围內。顶杆的直径小，形成凹穴或凸块也小，容易满足技术条件的要求。另外在切边时，切边凸模应在顶杆所处的部位留一凹入位置，以避免锻件的切边变形。

图 24.4-63 和图 24.4-65 中顶杆作为模膛的一部分，而且在成形过程中，最先接触热坯料，因此顶杆容易产生弯曲、磨损和变形，从而造成顶杆孔的不均匀变形。在成形终了时，飞边阻力增大，金属流向顶杆和孔之间的间隙，形成纵向毛刺，严重时顶杆动作会因此而不灵活或造成失效。也可能在下一个锻件成形时，该毛刺在锻件表面上形成压凹而造成锻件报废。因此，这类顶杆用于飞边比较小或成形时顶杆受力较小的场合。使用中应经常注意顶杆和顶杆孔的配合、磨损程度，以及顶杆运动的灵活性等，发现问题及时修复。

2) 顶杆位置设在飞边或冲孔连皮上 图 24.4-66 和图 24.4-67 中的顶杆均设在锻件本体之外。图 24.4-66 中件 4 顶杆分布在锻件外侧的飞边上，件 6 顶杆和图 24.4-67 中件 3 顶杆分布在锻件内孔的连皮上。设计这类顶杆应注意以下几点：

① 锻件外侧顶杆首先要考虑的是顶出的平稳性。如图 24.4-66 中的部件 4 是按左右对称分布的。

② 锻件外侧顶杆应布置在成形时形成飞边的部位。如果该部位飞边过小，会使顶杆顶不着飞边而失去作用，因此，必须选择飞边足够的部位布置顶杆。

③ 锻件外侧顶杆必须具有及时回复原始位置的功能，不允许在成形过程中顶杆露出飞边桥部。如果顶杆不能退回而露出，则开始成形时金

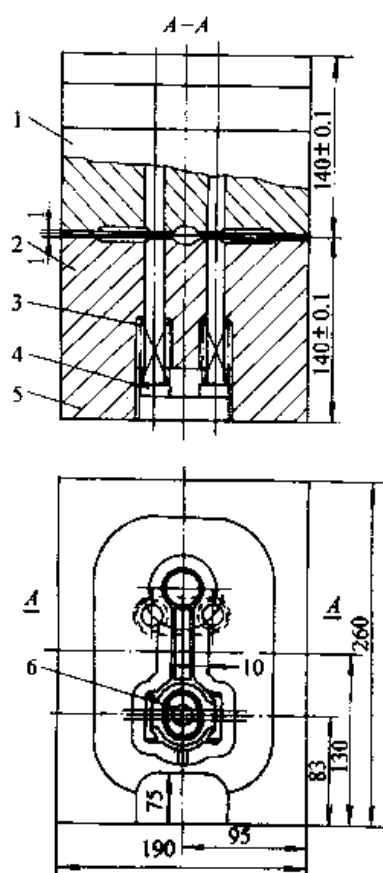


图 24.4-66 小连杆终锻模

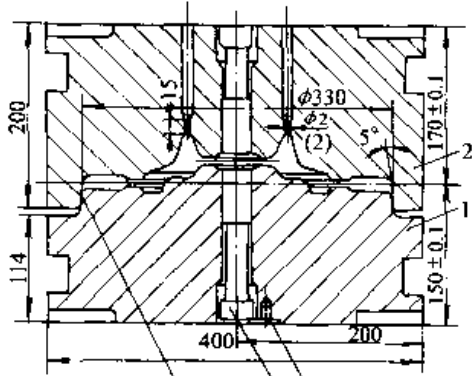
1—上模 2—下模 3—回位弹簧

4—顶杆 5—横板 6—顶杆

属迅速外向流动，将沿水平方向冲击顶杆，使顶杆变形或弯曲。同时也容易使金属流向顶杆和顶杆孔的间隙内，卡住顶杆而使其失效，为此，顶出装置中应设有复位弹簧（图 24.4-66 中的件 3），特别是上模中的顶出装置，需用弹簧将顶杆拉回原位。

④ 设置在孔内连皮上的顶杆如图 24.4-67 所示，模锻时受力较大，很容易产生弯曲变形而失效。因此，使用中应注意经常性的修复和更

换。对于冲孔连皮直径较小的锻件，为了保证冲孔的强度，在冲孔深度不大时，可采用图 24.4-68 所示的顶出器。冲子做在顶出器上，便于维修和更换，在必要的情况下，也可采用图 24.4-69 所示的环形顶出器。这种顶出器结构较复杂，但顶出效果较好。



间隙0.3由件1做出
图 24.4-67 突缘终锻模
1—下模 2—上模 3—顶杆 4—托板螺钉

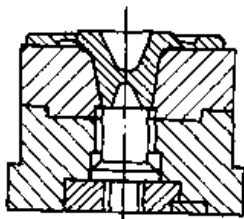


图 24.4-68 顶出器

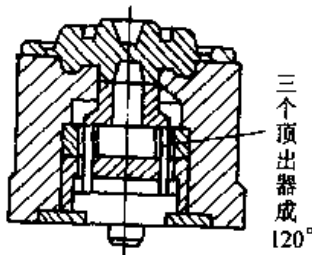


图 24.4-69 环形顶出器

⑤外侧顶杆为防止顶杆露出，顶杆孔可采用如图 24.4-70 的型式，即在顶出方向的端头设计一个 15° 的倒锥形。深度 h 采用 $12 \sim 15$ mm，也即相当于顶杆的有效行程。顶杆相应缩短 $12 \sim 15$ mm，在顶杆行程终了时，顶杆与桥部平面齐平。

(2) 顶杆结构

图 24.4-63、24.4-64、24.4-65 及图 24.4-67 中，模具内只有一个顶杆。而图 24.4-66 中件 3、

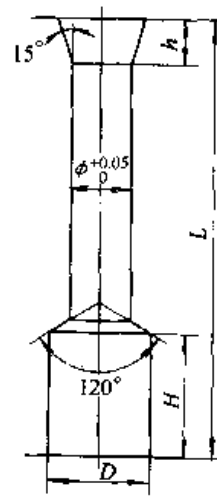


图 24.4-70 顶杆孔的型式

件 4 则分成两侧顶杆。

顶杆在工作时，必须有导向，它主要是用顶杆和顶杆孔的公差配合来解决。以图 24.4-71 为例：导向段 l 可选用 $30 \sim 50$ mm，但不宜大于 50 mm，考虑到热态下的膨胀问题，导向段顶杆直径比顶杆孔径小 $0.3 \sim 0.4$ mm。顶杆外径规定采用负偏差即 -0.05 mm，孔为正偏差 $+0.1$ mm。

顶杆非导向段直径可比导向段小 1 mm。它使导向更好并减少摩擦。顶杆一般可采用如图 24.4-71 的型式，除 l 段外，其下面的一段可做成三角形，如图中 A-A 截面所示，它可减少摩擦并防止弯曲。

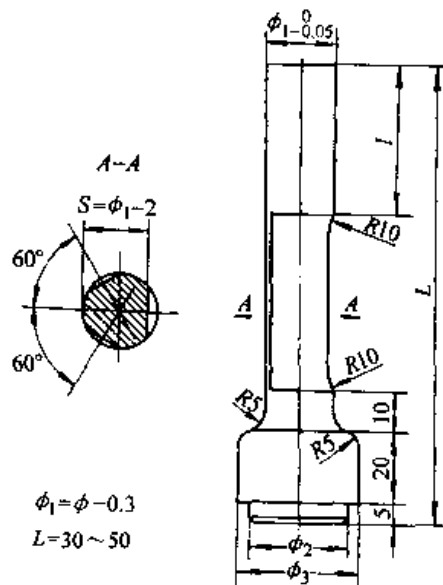


图 24.4-71 顶杆型式

为使模具安装和运输中顶杆不掉出,如图 24.4-64 和图 24.4-67 中均设计有托板螺钉。这是一种带有薄圆头的螺钉,圆头直径约 $\phi 24 \sim \phi 28$ mm。螺纹直径为 M8,板厚 4.5 mm,比图 24.4-71 中的 ϕ_2 高 (5 mm) 略小,这样可保证在工作时托板螺钉不受力,仅起安装和搬运中托住顶杆不致掉出的作用。

(3) 顶杆行程

顶杆行程过大会使顶料装置复杂化,同时

将降低模架的强度。因此,大行程的顶料一般仅用于模锻斜度为 $0^\circ 30'$ 或 1° 的深模膛模锻或热挤压。对于模锻斜度为 $2^\circ \sim 5^\circ$,模膛深度在 50 mm 左右的锻模,最大的顶料行程若有 20~30 mm 就足够了。顶料行程可根据锻压机吨位加以确定。

下面有两组顶杆行程的数据,可供参考。表 24.4-8 是国外某厂使用的顶杆行程,表 24.4-9 是国内某厂使用的顶杆行程。

表 24.4-8 顶杆行程

热模锻压力机吨位/kN	6 300	10 000	16 000
顶杆行程/mm	10~12	13~18	15~20
热模锻压力机吨位/kN	20 000~25 000	31 500~40 000	
顶杆行程/mm	18~25	20~30	

表 24.4-9 顶杆行程

热模锻压力机吨位/kN	16 000~25 000	31 500~40 000
顶杆行程/mm	10~12	12~14
热模锻压力机吨位/kN	80 000~120 000	
顶杆行程/mm	14~35	

(4) 顶料装置的形式

常用的顶料装置有如图 24.4-72 所示的以下五种形式:

1) 直接顶料装置(图 24.4-72a) 这是最简单可靠的一种结构,锻压机上的顶杆直接推顶模架内的顶杆,它适用于模架与设备的顶料杆位置完全一致的场合。一般锻压机设备上只在中心处设置顶杆,因此这种机构只能用于单模膛成形后的顶料,如终锻或最终挤压等。这种形式的顶料装置使用范围比较窄,但在大量生产时,根据工艺的需要,可以要求在设备上设置双顶杆,相应的模架上就可采用这种顶料装置。

2) 平板或顶料装置(图 24.4-72b) 这种结构也比较简单,锻压机上的顶杆推顶平板,由平板推顶模架内的顶杆,它适用于有预锻和终锻两个模膛的场合。它的缺点是由于锻造需顺序进行,预锻模膛和终锻模膛内不可能同时存在锻

件,因此平板在顶料时会产生偏斜,从而有卡塞的可能。设计平板时其两端应注意尽可能做成球状或具有较大的圆角,以防止卡塞。

3) 拉杆式顶料装置(图 24.4-72c) 这种结构仅适用于需要大行程的锻件,通常使用较少。

4) 杠杆平板式顶料装置(图 24.4-72d) 这种结构适用于需要推顶双模膛(预锻、终锻)而且在每个模膛中具有多顶杆的场合。设备顶杆推顶模架中的双臂杠杆,双臂杠杆再推顶平板,因此顶料动作是平稳的,但结构比较复杂。

5) 杠杆式顶料装置(图 24.4-72e) 这是一种可靠而且被广泛采用的一种结构,适用于多模膛单点顶料的锻件。它的结构比较复杂,由多臂杠杆、可分轴承、导套、杯形套、弹簧和顶杆等零件组成。杯形套用以保证顶料运动中无错移,弹簧保证顶杆复位,而杠杆可根据实际需要设计成双臂或三臂等形状。

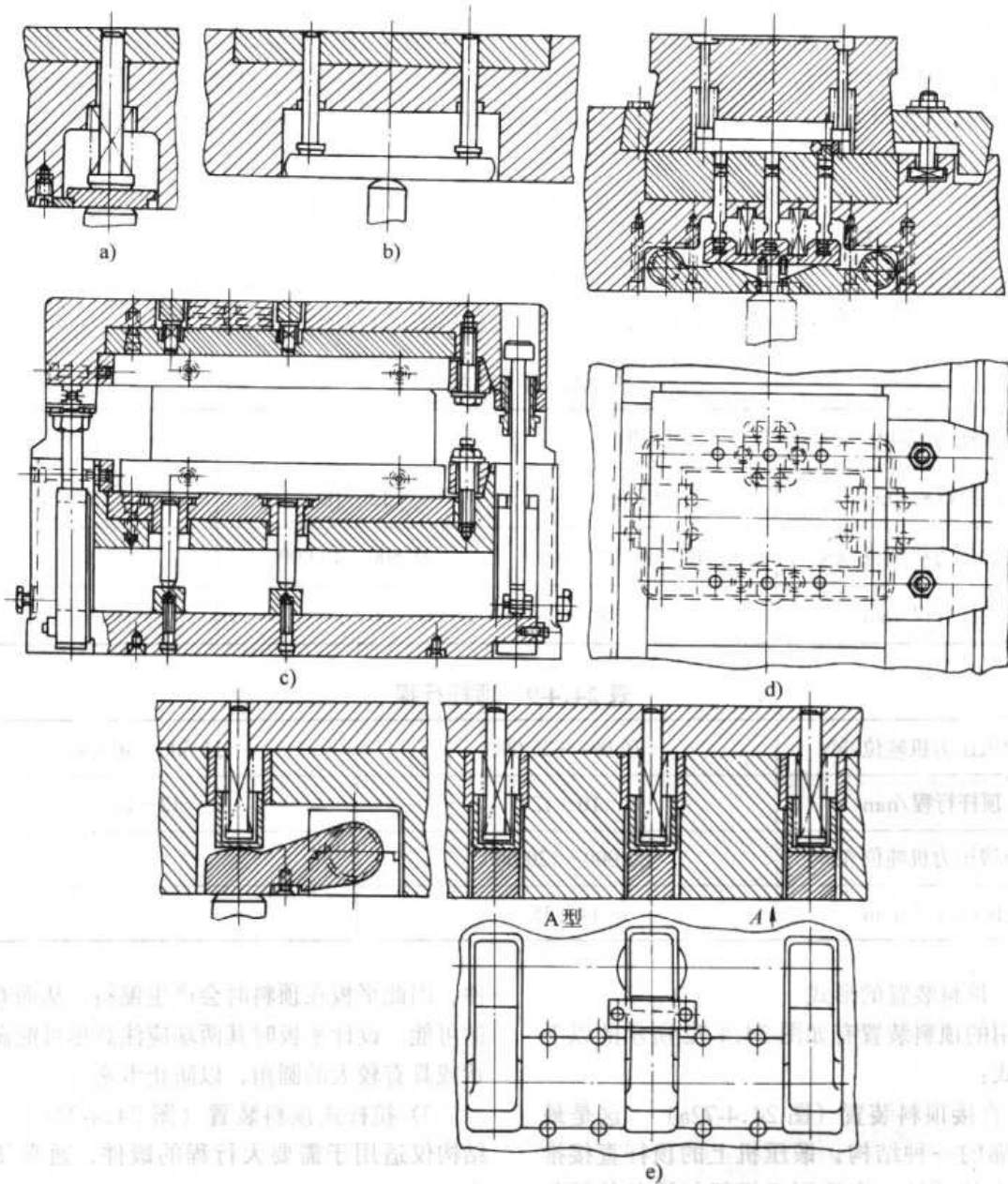


图 24.4-72 顶杆装置的形式

图 24.4-73 是双臂杠杆的典型结构，其主要数据可供参考。

双臂杠杆是比较常用的部件。它可根据锻压机的吨位和锻件的形状而设计。

十字键式模架的顶料装置原则上与上述的那些结构相同，但它使用的顶杆形状有所不同，如图 24.4-74 所示。它们是采用 T 字形顶杆和圆柱形顶杆。

T 字形顶杆的宽度略小于键槽的宽度，端部的长度决定于锻件需要布设顶杆的距离，端部的高度 H 应随垫板的块数而变化，需成组配套制

造，以备替换。T 字形顶杆的优点是适用于长轴类需要多点顶料的锻件。

T 字形顶杆由圆杆部作导程。杆部与端部连接处不能呈尖角，至少需有 $R = 2 \text{ mm}$ 的圆角，否则易断裂。

3.5 导向装置

模架的导向装置由导柱、导套等零件组成。一般采用双导柱，设在模架的后部，也有少数或个别采用三导柱或四导柱的。

热模锻压力机模具采用导向装置主要是为了

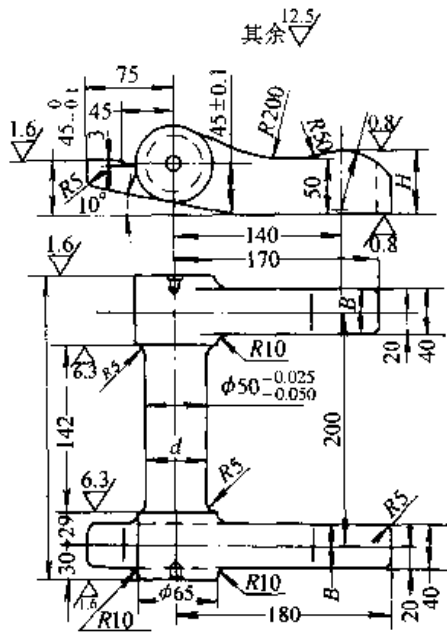


图 24.4-73 双臂杠杆

设备吨位/kN	尺寸/mm		
	d	H	B
6 300	30	30	25
10 000	40	40	32~35
16 000	50	50	40
20 000~25 000	65	55	50
31 500~40 000	90	80	65~75

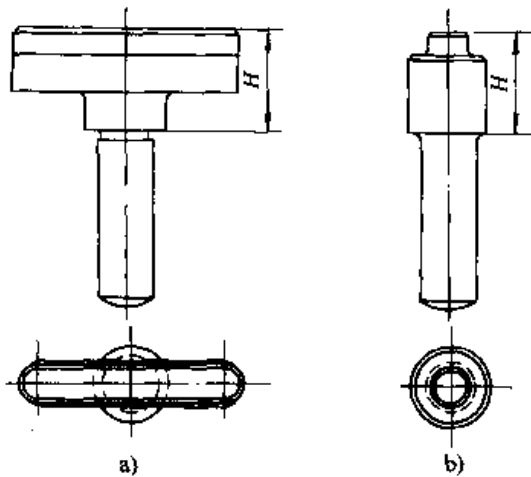


图 24.4-74 键式模架用的顶杆
a) T字形顶杆 b) 圆柱形顶杆

提高锻件精度，便于调整模具，减少模具错移。导柱需要有足够的强度和刚度以承受模锻过程中的错移力，导柱和导套之间应留有必要的间隙以补偿模架制造中的偏差、锻压机上滑块和工作台面的平行度，以及锻造过程中的受热等因素。

常用的导向装置如图 24.4-75 所示。

导柱和导套分别与下模板和上模板采用过盈配合紧固。导柱与导套之间留有 0.25~0.5 mm 的间隙。长度尺寸的设计原则是：当锻压机的滑块在上死点时，导柱应在导套内的长度不小于导柱本身直径的 1~1.5 倍。

导向装置中还包括润滑和清除氧化皮等的部件。所有这些装置的零件尺寸，大都是按工厂自行制定的标准设计的，目前尚无统一的通用标准。下面列举两套导向装置的尺寸，可供参考。

表 24.4-10 至表 24.4-14 是国外某厂使用的导向装置设计数据。

表 24.4-15 至表 24.4-21 是国内某厂使用的导向装置设计数据。

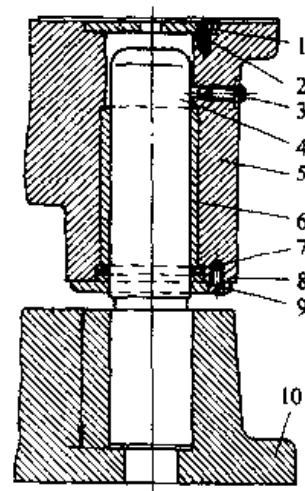
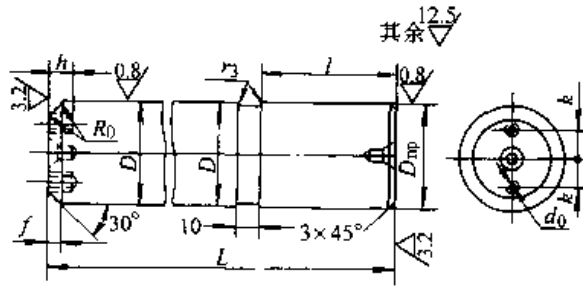


图 24.4-75 导向装置

- 1—盖板 2—螺钉 3—塞子 4—导柱
- 5—上模板 6—导套 7—油封
- 8—螺钉 9—油封端盖 10—下模板

表 24.4-10 导柱尺寸

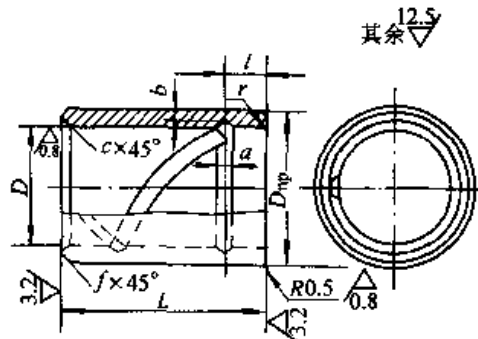


设备吨位/kN	D/mm		D _{mp} /mm		L ≥	f	R ₀	d ₀	h	k
	公称尺寸	偏差	公称尺寸	偏差						
6 300	65	0 -0.020	65	+0.065 +0.045	100	10	5	M10	15	17
10 000	90	0 -0.023	90	+0.085 +0.060	140	15	6	M12	18	22
16 000	110	0 -0.023	110	+0.095 +0.070	170	20	8	M14	25	28
20 000	140	0 -0.027	140	+0.110 0	220	20	10	M16	25	40
25 000				+0.080 +0.125						
31 500	180	0 -0.027	180		300	25	12	M20	30	45
40 000				+0.095 0						

注：1. 材料：20[#]钢。

2. 热处理：表面渗碳层深 0.8~1.2 mm，淬火硬度 57~60HRC。

表 24.4-11 导套尺寸



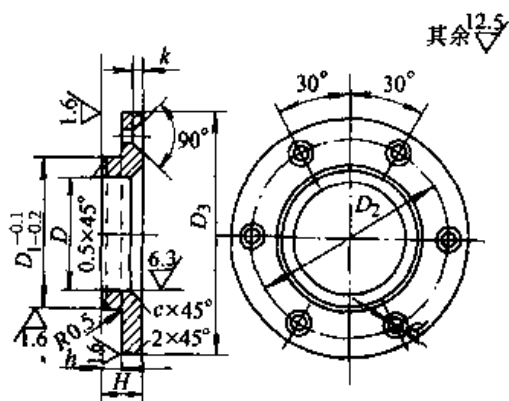
设备吨位/kN	D/mm		D _{mp} /mm		L	l	a	b	c	f	r
	公称尺寸	偏差	公称尺寸	偏差							
6 300	65.2	+0.030 0	80	+0.055 +0.035	125	12	4	2	2	1	3

续表 24.4-11

设备吨位/kN	D/mm		D ₁₀ /mm		L	l	a	b	c	f	r
	公称尺寸	偏差	公称尺寸	偏差	/mm						
10 000	90.25	+0.035 0	110	+0.070 +0.045	170	15	5	2.5	3	2	4
16 000	110.25	+0.035 0	130	+0.085 +0.058	200	20	5	2.5	3	2	5
20 000	140.3	+0.040 0	160	+0.085 0	230	25	6	3	3	2	5
25 000				+0.058 0							
31 500	180.35	+0.045 0	210	+0.105 0	300	30	6	3	4	3	8
40 000				+0.075 0							

注：材料：锡青铜 QSn4-3。

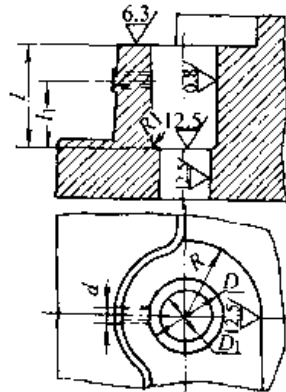
表 24.4-12 刮圈尺寸



设备吨位/kN	D	D ₁	D ₂	D ₃	H	h	d	k	c	设备吨位/kN	D	D ₁	D ₂	D ₃	H	h	d	k	c
	/mm										/mm								
6 300	67	90	110	130	11	5	8.5	4.5	3	20 000~25 000	143	170	200	230	28	14	10.5	5.5	6
10 000	92	120	145	170	16	8	10.5	5.5	5	31 500~40 000	185	220	250	290	34	17	13	7	8
16 000	112	140	165	195	22	11	10.5	5.5	6										

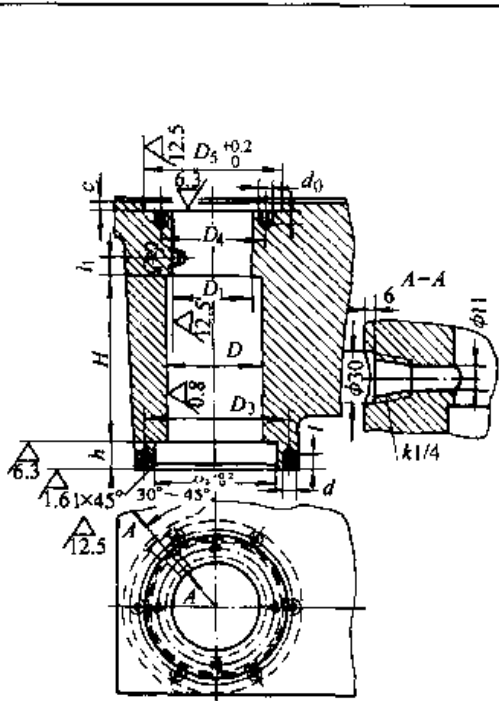
注：材料：35#钢。

表 24.4-13 下模板导柱装配孔尺寸



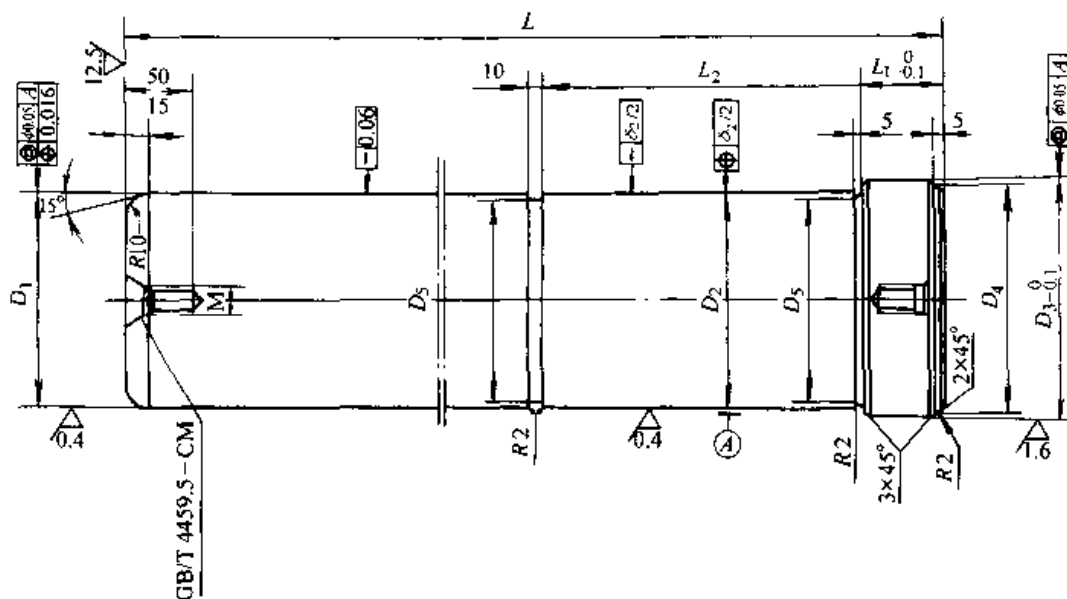
设备吨位/kN	D_B /mm		D_1	R	$l \geq$	l_1	d
	公称尺寸	偏差					
6 300	65	+0.030 0	50	70	100	70	M16
10 000	90	+0.035 0	70	90	140	90	M16
16 000	110	+0.035 0	90	105	170	110	M24
20 000~25 000	140	+0.040 0	120	120	220	150	M24
31 500~40 000	180	+0.040 0	150	150	300	200	M24

表 24.4-14 上模板导套装配孔尺寸



设备吨位/kN	D /mm		D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	h	H	d_0	d	l_0	l	l_1	c
	公称尺寸	偏差													
6 300	80	+0.030 0	70	90	110	90	115	13	125	M8	M8	18	18	20	7
10 000	110	+0.035 0	100	120	145	120	145	17	170	M10	M10	18	18	25	9
16 000	130	+0.040 0	120	140	165	140	170	20	200	M10	M10	25	25	25	9
20 000~25 000	160	+0.040 0	150	170	200	175	205	26	230	M10	M10	25	25	30	10
31 500~40 000	210	+0.045 0	190	220	250	210	240	31	300	M10	M12	25	30	30	10

表 24.4-15 导柱尺寸 (mm)



代号	序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	D_1	公称尺寸	$\phi 100$	$\phi 120$	$\phi 140$	$\phi 140$	$\phi 160$	$\phi 180$	$\phi 220$	$\phi 240$
公差 δ_1		-0.35 -0.40				-0.40 -0.45			-0.50 -0.55	
D_2	公称尺寸	$\phi 100.5$	$\phi 120.5$	$\phi 140.5$	$\phi 140.5$	$\phi 160.5$	$\phi 180.5$	$\phi 220.5$	$\phi 240.5$	$\phi 260$
	公差 δ_2	+0.026 +0.003				+0.030 +0.004			+0.035 +0.004	
D_3		$\phi 110$	$\phi 130$	$\phi 160$	$\phi 160$	$\phi 180$	$\phi 200$	$\phi 245$	$\phi 265$	$\phi 295$
D_4		$\phi 100$	$\phi 120$	$\phi 150$	$\phi 150$	$\phi 170$	$\phi 190$	$\phi 230$	$\phi 250$	
D_5		$\phi 98$	$\phi 118$	$\phi 138$	$\phi 138$	$\phi 158$	$\phi 178$	$\phi 218$	$\phi 238$	$\phi 258$
L_1		50	50	60	60	60	60	80	80	410
L_2		150	230	230	260	260	290	340	340	200
M		16	16	20	20	20	20	20	20	

可用于设备吨位/kN

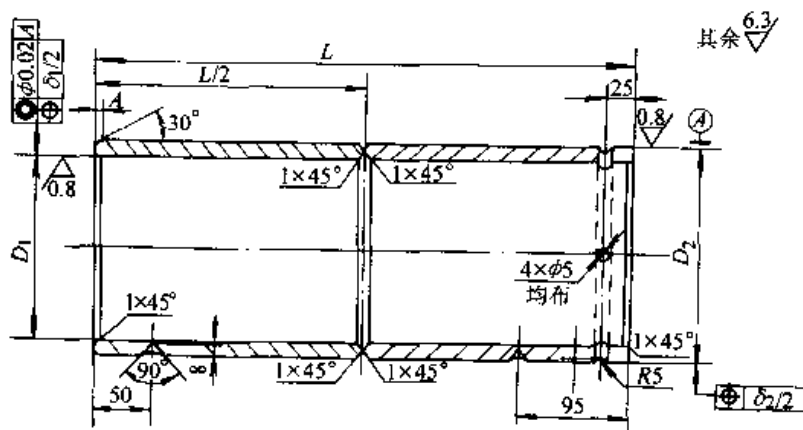
L	550	10 000								
	700		16 000							
	730		20 000	20 000						
	910		18 000			SPM	31 500			
	970					20 000				
	980					25 000				
	1 020						40 000			
	1 080						SPM			
	1 160						31 500			
	1 280							40 000		
								80 000		
									63 000	120 000

注：1. 材料 20Cr。

2. 热处理：渗碳深度 1~1.5 mm，淬火 58~62HRC。

表 24.4-16 导套尺寸

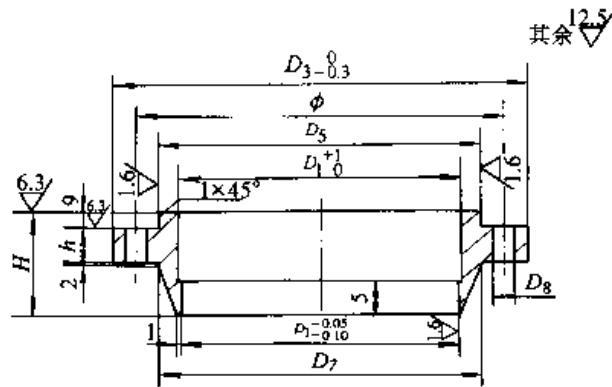
(mm)



代号 \ 序号		1	2	3	4	5	6	7	8	9
用于导柱直径		φ100	φ120	φ140	φ140	φ160	φ180	φ220	φ240	φ260
D ₁	公称尺寸	φ100	φ120	φ140	φ140	φ160	φ180	φ220	φ240	φ260
	公差 δ ₁	+0.035 0	+0.040 0				+0.045 0			
D ₂	公称尺寸	φ120	φ145	φ165	φ165	φ185	φ205	φ245	φ265	φ310
	公差 δ ₂	+0.026 +0.003	+0.030 +0.004		+0.035 +0.004			+0.040 +0.004		
可用于设备的吨位/kN										
L	290	10 000								
	340		16 000							
	360		18 000	20 000						
	490				SPM 20 000	31 500				
	510									120 000
	550				25 000	SPM 31 500	40 000			
	600						SPM 40 000		80 000	
	640							63 000		

注：材料：锡青铜 ZQSn5-5-5 (或黄铜 ZHMn58-2-2)。

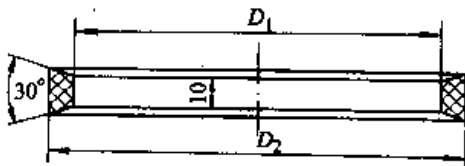
表 24.4-17 刮圈尺寸 (mm)



代号 \ 序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
D_1	$\phi 100$	$\phi 120$	$\phi 140$	$\phi 140$	$\phi 160$	$\phi 180$	$\phi 220$	$\phi 240$	$\phi 260$	
D_5	公称尺寸	$\phi 120$	$\phi 145$	$\phi 165$	$\phi 165$	$\phi 185$	$\phi 205$	$\phi 245$	$\phi 265$	$\phi 320$
	公差	-0.050 -0.140	-0.060 -0.165	-0.075 -0.195	-0.090 -0.225					
D_3	$\phi 159$	$\phi 189$	$\phi 209$	$\phi 219$	$\phi 239$	$\phi 259$	$\phi 299$	$\phi 319$	$\phi 320$	-0.090 -0.225
D_7	$\phi 120$	$\phi 145$	$\phi 165$	$\phi 165$	$\phi 185$	$\phi 205$	$\phi 245$	$\phi 265$	$\phi 274$	
D_8	$\phi 11$	$\phi 11$	$\phi 13$	$\phi 13$	$\phi 13$	$\phi 13$	$\phi 17$	$\phi 17$	$6 \times \phi 12$	
ϕ	140	166	185	192	212	232	272	292	290	
h	10	15	15	15	15	15	15	15	15	
H	25	30	30	30	30	30	30	30	30	

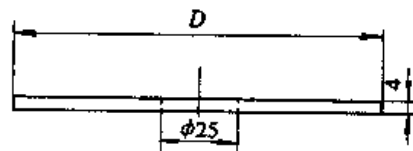
注：材料：黄铜 ZHMn58-2-2。

表 24.4-18 油封尺寸 (mm)



序号	1	2	3	4	5	6
D_1	100	120	140	160	180	220
D_2	115	135	155	175	195	235

表 24.4-19 盖板尺寸 (mm)

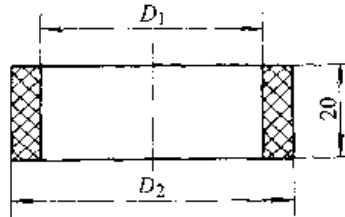


序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
用于导柱直径	$\phi 100$	$\phi 120$	$\phi 140$	$\phi 140$	$\phi 160$	$\phi 180$	$\phi 220$	$\phi 240$	$\phi 260$
D	$\phi 118$	$\phi 143$	$\phi 161$	$\phi 163$	$\phi 183$	$\phi 203$	$\phi 243$	$\phi 263$	

注：材料：35 (或 Q235-A)。

表 24.4-20 油封尺寸

(mm)



序号	1	2	3	4	5	6
D_1	100	120	140	160	180	220
D_2	120	140	160	180	200	240

注：材料：油毛毡。

表 24.4-21 衬套尺寸

(mm)

序号 代号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	用于导柱直径	$\phi 100$	$\phi 120$	$\phi 140$	$\phi 140$	$\phi 160$	$\phi 180$	$\phi 220$	$\phi 240$
D_2	公称尺寸	$\phi 120$	$\phi 145$	$\phi 165$	$\phi 165$	$\phi 185$	$\phi 205$	$\phi 245$	$\phi 265$
	公差 δ_2	+0.035 0	+0.040 0	+0.045 0		+0.045 0		+0.050 0	
D_3	公称尺寸	$\phi 160$	$\phi 190$	$\phi 210$	$\phi 220$	$\phi 240$	$\phi 260$	$\phi 300$	$\phi 320$
	公差 δ_3	+0.030 +0.004	+0.035 +0.004		+0.035 +0.004		+0.040 +0.004		+0.040 +0.004
D_4	$\phi 102$	$\phi 122$	$\phi 142$	$\phi 142$	$\phi 164$	$\phi 184$	$\phi 225$	$\phi 245$	
D_5	$\phi 120$	$\phi 145$	$\phi 165$	$\phi 165$	$\phi 185$	$\phi 205$	$\phi 245$	$\phi 265$	
D_6	$\phi 170$	$\phi 200$	$\phi 220$	$\phi 240$	$\phi 260$	$\phi 280$	$\phi 320$	$\phi 340$	
ϕ	140	166	$\phi 186$	192	212	232	272	292	
M	M10	M10	M12	M12	M12	M12	M16	M16	
L_1	240	280	290	310	320	350	420	420	
L_x	在设计上底时确定此尺寸								
L	可用于设备的吨位/kN								
	320	10 000							
	370		16 000						
	390		18 000	20 000					
	520				SPM 20 000	31 500			
	580				25 000	SPM 31 500	40 000		
	630						SPM 40 000		80 000
	670							63 000	

注：1. 材料：45。

2. 热处理：淬火 35~40HRC。

4 锻模设计实例

4.1 转向节锻模

转向节是一个复杂的叉形件，如图 24.4-76 所示。

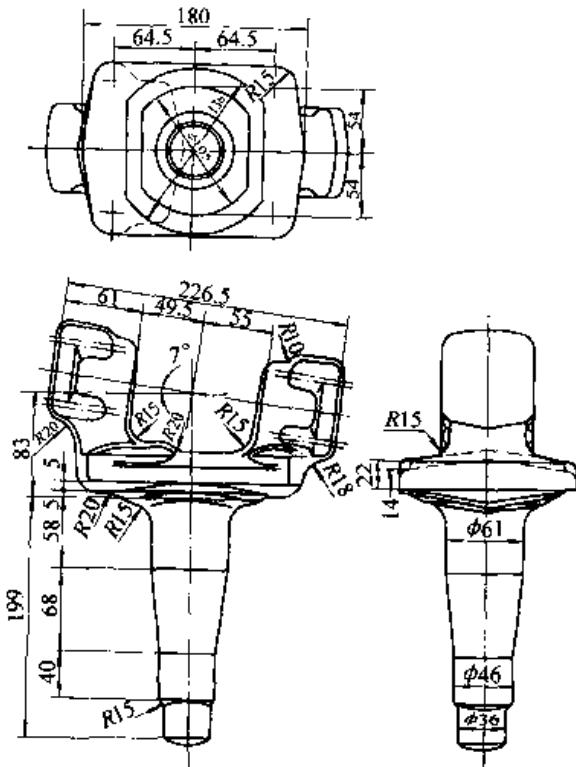


图 24.4-76 转向节锻件图

(1) 锻件的工艺特点

1) 该锻件是带细杆的叉形件，中间有一段高而窄、宽度大的梯形法兰。截面沿轴向的变化很剧烈，叉部内侧宽 102 mm，外侧宽 227 mm。叉形两侧沿轴线不对称。为保证终锻时金属能充满叉形部分模膛并在模膛内侧不产生折叠，预锻时应采用劈开，并且劈开分流距离较远。

2) 沿轴向，锻件最大截面在中间梯形法兰处，模膛深 $h = 70$ mm，宽 $b = 14$ mm， $h/b = 5$ ，属于难成形锻件。

从图 24.4-77 截面图上可以看出，最大截面和最小截面比约为 16.7:1。根据锻压机的一般工艺，当长形件最大截面与最小截面比在 1.6 以上时，为了合理分布材料和提高材料利用率，常采用辊锻制坯。而原材料的选定则按最大截面和相邻区段的截面变化考虑。当最大截面区域较短

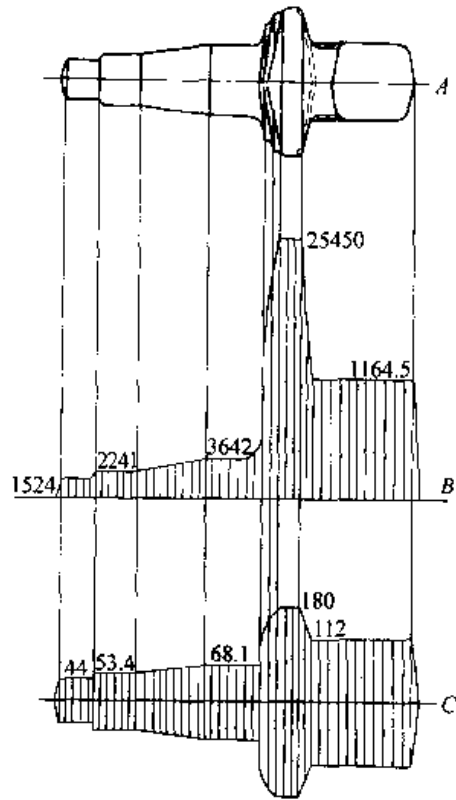


图 24.4-77 转向节截面图

A—锻件图 B—计算截面图
C—计算毛坯(直径)图

而相邻截面积小，则选料可按最大截面的 80% 选取。如最大截面靠近在一端时，则应按 92% ~ 95% 选取。

转向节最大截面在锻件中部法兰处 (180 mm × 138 mm)，杆部截面仅为为其 14.3%，叉部平均截面为其 45.9%。如按最大截面积的 80% 选用原材料，相当于 φ160 mm，则下料长度只有 118 mm，其中杆部下料长度只有 22.32 mm。这样，制坯就存在很大问题，如用 φ160 mm × 22.32 mm 的坯料辊锻杆部，就无法实现，而且在叉口部位坯料也覆盖不住模膛，无法保证叉口处的成形要求。因此，该锻件的坯料选用较为特殊。

3) 对该叉形件，在预锻时，叉口劈开分流，金属要沿叉口开口处分流，使得向叉口两侧分流的金属减少。因此，对这类锻件，应按叉口计算的截面积增大 13% ~ 15% 才能满足成形要求。

(2) 设计步骤

为了解决上述三个问题，即保证法兰充满、叉部劈料和充满，同时又不出现折叠，保证杆部的充满和尽可能节约材料。该件选用 φ110 mm

的坯料,制坯选用三个工步,即沿全长压扁、转90°后局部压扁(相当于杆部长度),再进行垂直锻粗。这样,可同时满足法兰和叉部成形所需的金属,然后再预锻和终锻,总共五个工步。具体设计步骤如下:

1) 计算截面图(见图24.4-77) 叉口内侧的飞边仓部按100%充满计算,而外侧按仓部60%充满计算。在法兰向杆部过渡处飞边仓部应按100%充满计算。

2) 计算变形力并选定设备

$$F = K_w A$$

式中 K_w ——锻件单位面积变形力 (kN/cm^2);

A ——锻件投影面积 (cm^2);

F ——变形力 (kN)。

对于叉形件,由于预锻时把叉口的金属劈开分流到两边,预锻投影面积 A_y 按叉口内侧全部受力考虑。而终锻时到变形终了仓部才充满,故 A_z 则按叉口内飞边仓部50%面积受力考虑。所以 $A_y > A_z$, 故 $F_y > F_z$ 。

本例中: $A_y = 526.15 \text{ cm}^2$, $K_w = 75 \text{ kN}/\text{cm}^2$

$A_z = 509.1 \text{ cm}^2$, $K_w = 75 \text{ kN}/\text{cm}^2$

$F_y = 75 \times 526.15 \text{ kN} = 39\,461.25 \text{ kN}$

$F_z = 75 \times 506.1 \text{ kN} = 38\,182.5 \text{ kN}$

如选用40 000 kN热模锻压力机,虽然也符合计算要求,但两者很接近,热模锻压力机在工作中容易出现超载荷。因此,应尽可能选用较大的设备,即50 000~63 000 kN级的设备。

锻件计算重量为15.5 kg。

3) 终锻模膛及其模块设计

① 热锻件图设计 按图24.4-76冷锻件尺寸增加1.5%的热收缩率,如图24.4-78为转向节热锻件(终锻)图。

② 飞边槽选定 按表24.4-4设备40 000 kN级选用: $h = 5 \text{ mm}$, $b = 20 \text{ mm}$, $r_1 = 2 \text{ mm}$, $L = 50 \text{ mm}$ 。

采用上、下模开仓部的型式,这是由于沿轴向截面差较大,又不能采用辊锻制坯,所以,将 L 加大以贮存多余金属,如图24.4-79所示。

③ 模膛中心 按热锻件投影面积,包括杆部、法兰、叉口外侧的飞边桥部和叉口内桥部和1/2仓部的投影面积,找出其面心即为模膛中心。模膛中心在距叉口中心66 mm处。

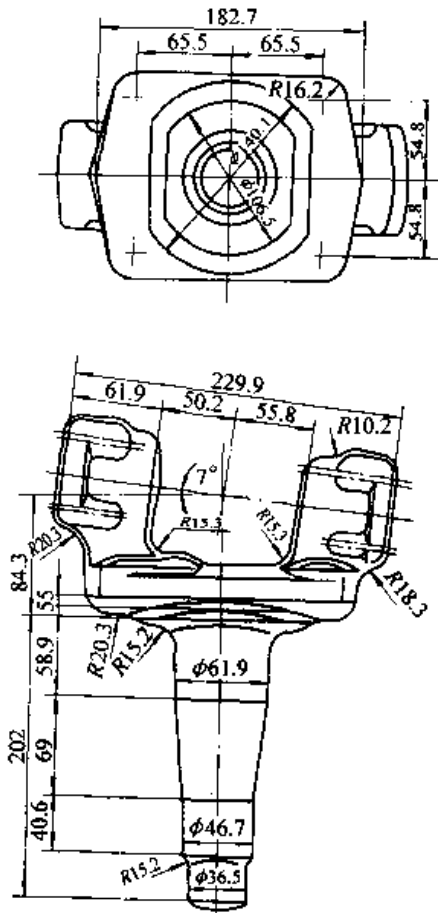


图24.4-78 转向节热锻件(终锻)图

④ 模块尺寸的确定 模块高度,根据模膛深度、模块底厚及模架封闭高度确定。40 000 kN压力机模架的封闭高度所采用模块高度有400 mm和320 mm两种。

模膛最深处为71 mm。其底部模块厚度应不小于71 mm,因此,模块单块高度应不小于142 mm,故可选用单块高160 mm,即封闭高度为320 mm。

模膛壁厚,由于叉口处宽度最大模膛为方形,所以,为保证壁厚强度,按此处模膛深度确定壁厚。选用壁厚 $S = 1.8h$ 。 h 为叉口模膛深度。最后,选定模块宽度为375 mm。模块长度,在前端,根据模膛长度加上模膛壁厚(取为模膛深度的2倍),再加钳口,得出前端长度(即横向键槽中心到前端面)为275 mm。后端根据模架垫板上的紧固方式要求,定出长度尺寸,并进行模块底面承压面的强度校核。选用标准模块为540 mm × 375 mm × 160 mm。

承压面强度校核:

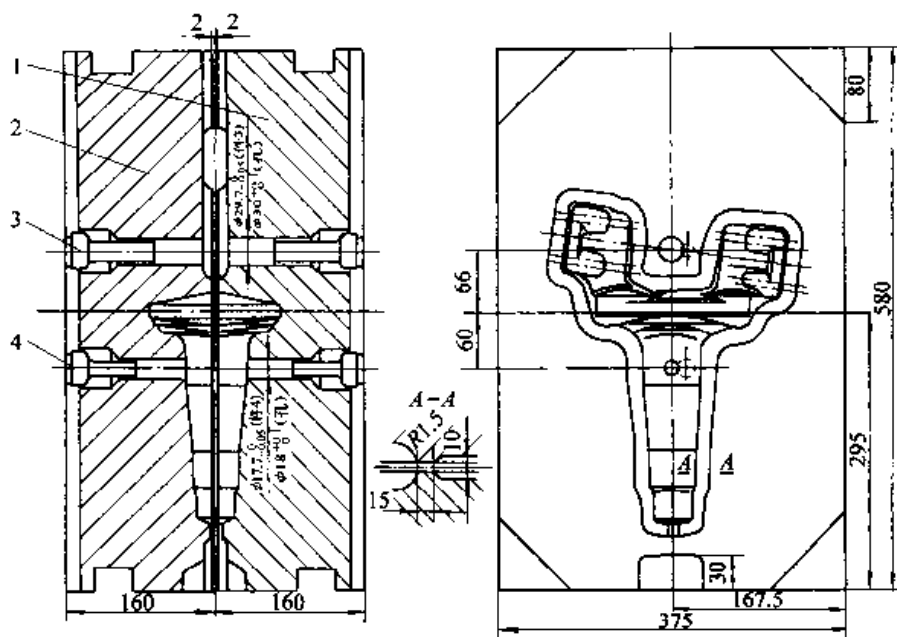


图 24.4-79 转向节终锻模

1—上模 2—下模 3—顶杆 4—托板螺钉

模块底部承压面积 $A_d = 180\ 654\ \text{mm}^2$

$$p = F/A_d$$

$$= (40\ 000 \times 10^3 / 180\ 654)\ \text{MPa} \approx 221.4\ \text{MPa}$$

$p < 300\ \text{MPa}$, 符合要求。

模架与模块的垫板采用十字键定位。为了增加模块的强度,十字键槽应尽可能不开通。本例纵向键槽由于垫板及顶杆结构是开通的,而横向键槽不开通。

紧固方式采用压板式。

⑤ 顶杆 根据锻件形状,在叉口部位,必须有顶杆才能使锻件退出模膛。为了顶杆作用力的平衡,在杆部设置另一顶杆。

叉部顶杆采用 $\phi 30\ \text{mm}$ (该部分顶出力大),杆部采用 $\phi 18\ \text{mm}$ 顶杆。

顶杆全部用托板螺钉托住。

4) 预锻模膛及其模块设计

① 热锻件图设计 叉口开档 $B = 103\ \text{mm}$, 模膛深 $H = 33\ \text{mm}$, 所以采用图 24.4-25A 型劈料模膛。

$$H_1 = \frac{1}{4}H = 8.25 \text{ 取为 } 8.5\ \text{mm};$$

$$d = 0.25B = 25.75 \text{ 取为 } 30\ \text{mm};$$

$$t = (1 \sim 1.5)h = 5 \sim 7.5 \text{ 取为 } 8\ \text{mm};$$

$$R_1 = 40\ \text{mm}$$

其他部分:

叉形部分外侧比终锻模膛小 $1\ \text{mm}$ 。

法兰部分宽度比终锻模膛小 $0.5\ \text{mm}$, 高度比终锻模膛高 $5\ \text{mm}$ 。

杆部直径比终锻小 $0.9 \sim 2.9\ \text{mm}$, 正常设计小 $0.5\ \text{mm}$ 即可。而本例,为保证 $\phi 36.5\ \text{mm}$ 处充满,因为经过制坯的坯料比较短而高,向杆部尾端流动太快,容易造成缺料和充不满。所以把直径减小而把模膛深度加深 $1.5 \sim 7.6\ \text{mm}$ 。

杆部总长也比终锻模膛小 $0.5\ \text{mm}$ 。

图 24.4-80 为转向节预锻热锻件图。

② 飞边槽按表 24.4-5 设备 $40\ 000\ \text{kN}$ 级选用

$$h = 6\ \text{mm} \quad b = 20\ \text{mm} \quad r_1 = 3\ \text{mm} \quad L = 50\ \text{mm}$$

由于制坯工步形状和锻件沿纵向截面变化较大,飞边槽有较大的变化(图 24.4-81 中阻力沟处变化较大)。

③ 模膛中心与终锻模膛相同。

④ 模块尺寸、定位、紧固方式均与终锻模相同。

⑤ 顶杆结构、分布位置与终锻模相同。

⑥ 阻力沟 由于预锻时,叉口金属变形流动量很大,要保证法兰部位在终锻时的充满,在叉口与法兰和杆部过渡处,设置 2 条和 3 条阻力沟,如图 24.4-81 所示。

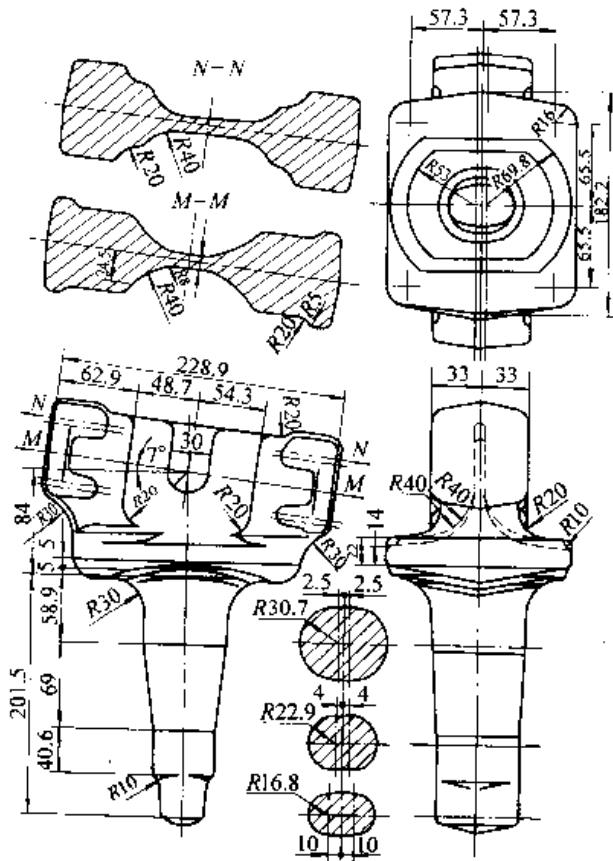


图 24.4-80 转向节预锻热锻件图

又口阻力沟必须配置 2 条。实践证明仅采用一条阻力沟时充满情况不好, 而采用 2 条阻力沟后, 情况大为好转。

杆部阻力沟, 由于经过二次压扁后的坯料放在杆部模膛中, 压缩高度大, 横向流出多, 为减少这种流动, 迫使金属沿纵向流动, 设计了 3 条阻力沟, 效果较好。阻力沟的形状和尺寸见图 24.4-81。

图 24.4-81 为转向节预锻模图。

5) 制坯模膛设计 图 24.4-82 为转向节制坯模装配图。图 24.4-83 为转向节制坯模模膛图。

如前所述, 本锻件采用三个制坯工步。

工步 1: $\phi 110 \text{ mm} \times 285 \text{ mm}$ 的坯料全长压扁, 形状如图 24.4-83 工步 1 所示。在图 24.4-83 位置 1 上整根棒料被压扁, 由 110 mm 压成高 72 mm。

工步 2: 局部压扁, 把经过工步 1 压扁的坯料翻转 90° , 在图 24.4-83 的位置 2 处进行局部压扁, 如图 24.4-84 工步 2 所示。

工步 3: 局部成形锻粗。把经过工步 2 的坯料垂直插入图 24.4-83 的位置 3 处的模膛内进行局部锻粗, 如图 24.4-84 工步 3 所示。

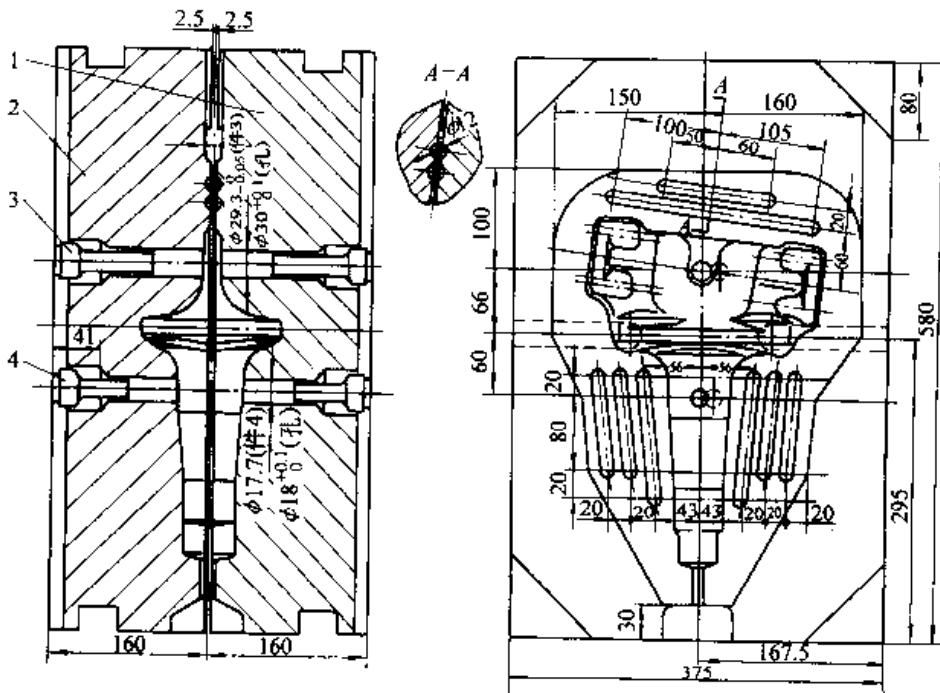


图 24.4-81 转向节预锻模

1—上模 2—下模 3—顶杆 4—托板螺钉

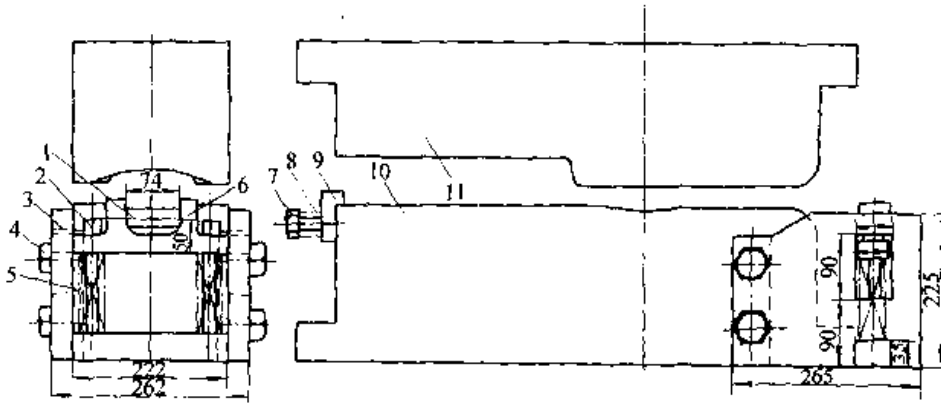


图 24.4-82 转向节制坯模装配图

1—转轴 2、4、7—螺钉 3—支持框架 5—压缩弹簧
6—托架 8—弹簧 9—定位块 10—制坯下模 11—制坯上模

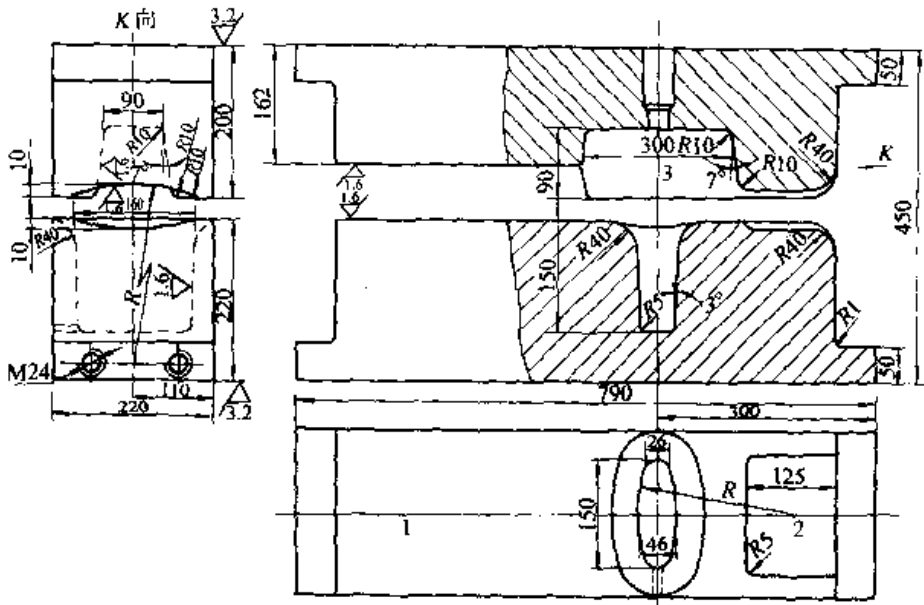


图 24.4-83 转向节制坯模模膛

模膛主要尺寸的确定原则如下:

第一次压扁后厚度比终锻模膛的叉口部位厚 2~4 mm, 使第三次局部成形微粗后的宽度能覆盖住预锻模膛叉口型腔的 1/2 以上。

第二次压扁时模具采用圆弧截面, 其目的是坯料翻转 90°放入预锻模膛时, 由于坯料侧面成鼓形, 可增加其稳定性。

第三次局部微粗只限制坯料的厚度, 而使宽度尽可能地增加。下模膛设计与第二次压扁模膛形状相似。过渡圆角取 R40, 略大于预锻件相应处尺寸。以避免模锻时产生折叠。R40 作为预锻时的定位基准。

图 24.4-82 中, 件 1~件 9 是模具的附属机

构。件 7、8、9 用于工步 1 整体压扁时坯料后定位。件 9 前面为斜面使压扁时不致压出台阶来。

件 6 由件 5 支持, 在变形时受力压下弹簧, 外力消失时, 弹簧回位。这样, 有利于操作和在第二次压扁时坯料处于上、下模中间位置。

工步 3 上模设计有顶料杆将坯料顶出模膛。

4.2 转向节闭式锻造预成形工艺及其模具

(1) 工艺分析

汽车转向节锻件由三部分组成: 杆部、法兰和两叉子。其特点是杆部细长, 法兰较大且有时为异型面, 两叉子与杆部中心线偏转一小角度 α 且形状复杂, 为典型的复杂叉形件。常规的开式

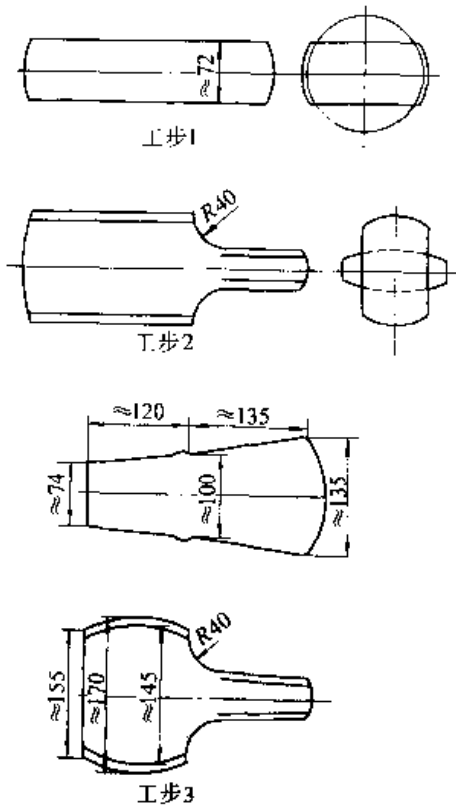


图 24.4-84 转向节制坯工步图

模锻工艺过程为制坯、预锻、终锻。因杆部与法兰、叉子部的截面面积相差太大，整体压扁后翻转90°局部压扁的常规叉形件制坯方法无法满足其要求，需在此基础上增加一次镦挤以加大法兰和叉部的坯料截面积，即便如此，在杆部与法兰交接处还存在着较大飞边，并沿杆部逐渐减小，直到尾部才达到正常宽度。预锻需将原位于叉口部的金属劈开，使之流向两侧叉子型腔，此时金属必然会沿叉口前方剧烈流动，形成较大的飞边。尽管在相应部位设计了阻力沟以增大金属的流失阻力，但总的工艺方案决定了其飞边消耗是很大的。

所介绍的转向节少飞边锻造技术可在现有的开式模锻的工艺基础上实现，主要原理是：改传统工艺以水平分模方式为与杆部垂直，以法兰中心平面为基础，兼顾两侧叉子型腔的垂直分模方式，以便在预锻采用封闭式锻造技术，正挤出杆部和反挤出两侧叉子，然后终锻成形锻件并排出多余金属。因预锻是利用封闭型腔对金属的限制作用，迫使金属在三向压应力状态下流向型腔深处，可大幅度减少飞边金属消耗。

(2) 工艺及工装设计

汽车转向节少飞边锻造工艺及工装设计的关键在于导面、制坯形状和闭式预成形模具的设计，下面将以1.5 t轻型车转向节(30QA-01017/18，如图24.4-85所示)的成形工艺为例来介绍这三方面的内容。

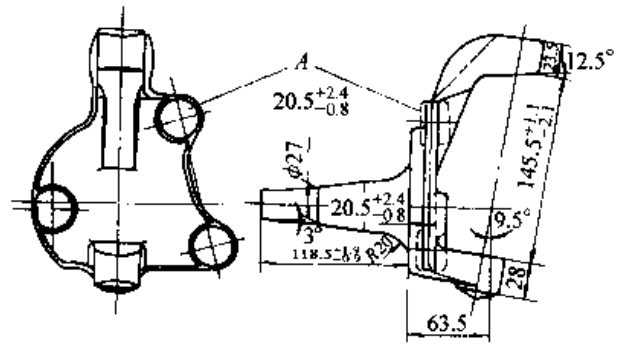


图 24.4-85 冷锻件图

1) 工艺过程

- ① 下料 在12.5MN剪床上，将圆棒料剪切成 $\Phi 85 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 的坯料。
- ② 加热 在中频感应加热机床上采用贯通式感应器将坯料加热至1220~1250℃。
- ③ 制坯 用压挤方式进行制坯。
- ④ 预成形 在40MN热模锻压力机上，采用闭式锻造预成形模进行预成形。
- ⑤ 终锻 用开式模锻方式最终锻出带毛边的转向节。
- ⑥ 切边 在3.15MN压床上进行切边。

在预成形时采用了闭式锻造技术，但不需完全充满，故没有必要采用精密下料工艺，普通剪切下料即可达到要求。其工艺过程和模具结构与开式模锻的相同，可利用已有的锻压机组和模架。

2) 导面设计

由工艺方案可知分模面必须垂直于杆部且通过法兰中心平面，但锻件形状决定了其分模面必须为曲面，我们称之为导面。除满足分模面常规设计的要求外，还应注意以下几个问题：①闭式锻造预成形时，凸模外形受挤压筒形状限制，其上的两叉子型腔强度问题突出，导面在两侧叉子部必须从法兰中心平面向上抬起一定高度，以减小凸模上叉子型腔深度。②导面中所有斜面与铅垂面的夹角不得小于15°，否则会导致切边拉毛刺问题。③导面各拐角处的圆角

半径为 10 mm 左右, 不宜过小, 以防止导面磨损及折纹产生。30QA-01017/18 的导面设计如图 24.4-86 所示。

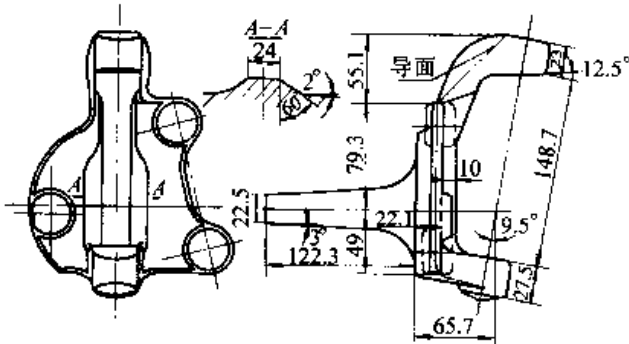


图 24.4-86 预锻件图

3) 预锻件形状设计 预成形时, 开始金属自由地向四周流动, 但当凸模下行到一定位置后, 形成叉口的突出块与凹模将金属分为三个变形区, 分别流向杆部和两侧叉子, 如图 24.4-87 所示。制坯形状设计的主要依据就是这三个变形区所需金属的体积和两分流面的位置, 两分流面的间距 L 主要与锻件的杆部直径 D 、叉口的开口尺寸 L_1 、正挤杆部变形区的进口角度 α 及大径 D_1 有关, 可用下列经验公式表达其关系:

$$L = kD < L_1 \quad k = 1.2 \sim 1.8$$

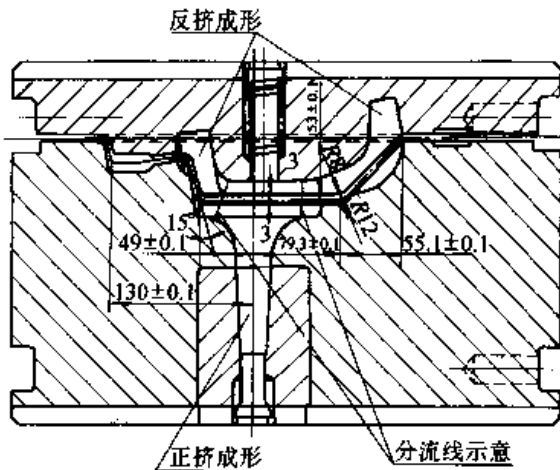
进口角 α 一般取 $90^\circ \sim 150^\circ$, α 取大值时 k 取小值, 反之 k 取大值。进口大径 D_1 一般略大于 L , D_1 加大时 L 增大, 同时正挤变形区变大, 变形抗力加大, 应适当选取。

设计时还得考虑凸模开始下压, 金属自由流动阶段由中心向两侧叉子部的流动量, 适当加大正挤杆部的金属体积; 考虑坯料在挤压凹模内的摆放问题。制坯方式一般用压挤或成形锻粗, 使坯料成纺锤形, 因而必须符合相应的限制条件。坯料的最大外径应小于法兰最大宽度, 防止金属大量流入挤压筒侧壁或回流到锻件本体形成折纹。

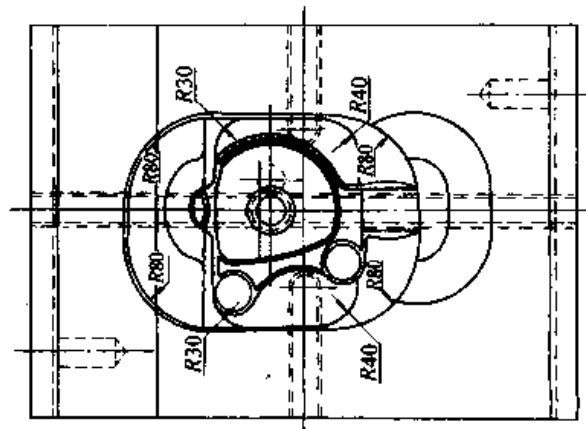
4) 闭式锻造预成形模设计 该技术的难点在于闭式锻造预成形模具的设计, 包括两方面的内容: 一是型腔设计, 二是挤压筒设计。

型腔设计的原则是对终锻型腔进行简化, 以减小金属的填充阻力。如取消杆部各台阶, 简化设计成一带锥度的光杆, 并尽量使杆的尾部终锻时以刚性平移的方式充满, 其模锻斜度为 $1^\circ \sim 3^\circ$, 过小时锻件难以出模, 过大会加大正挤杆部的流动阻力。杆部与法兰连接处设计成一正挤变形区, 即“漏斗”, 以便杆部的正挤成形, 其大径 D_1 略大于中间分流带宽度, 角度在 $90^\circ \sim 150^\circ$ 之间, 且尽量取小值, 但正挤变形区不宜太长。叉子和法兰的预锻设计可用普通的设计方法, 即侧向留 0.5 mm 间隙, 高度方向较终锻加大 2~5 mm。

30QA-01017/18 的预锻件图见图 24.4-86。为防止在预锻型腔深处产生高压气仓, 两叉子型腔顶部均开有排气孔, 杆部则在下模顶料杆上开出 4 道深 2.0 mm 的排气槽 (见图 24.4-87)。



(主视图)



(俯视图)

图 24.4-87 立式预锻模具图

为保证终锻有足够金属进一步填充型腔深处,除增加预锻件厚度外,该工艺还在预锻件的叉口部位预留有一定的金属,这部分金属位于锻件的中心位置,受压时易于向两叉子和杆部补充金属且不易流向飞边。其高度约10~20 mm,宽度20~30 mm,坡度为60°,各拐角处均以较大的圆角过渡,圆角半径一般不小于15 mm,防止产生折纹。为增大预成形时叉口金属向侧壁方向的流动阻力,将挤压凸模上的法兰面设计成带2°的坡度(见图24.4-86A所示)。

挤压筒设计包括三方面的内容:挤压筒平面形状设计,高度及凸凹模侧向间隙的确定。根据转向节锻件的一般形状,常用长方形挤压筒,四周以较大的圆弧连接,有时简化为扁圆形,其长宽设计在于挤压筒壁到型腔边缘最小距离的确定,一般不小于20 mm,主要考虑的是凸模上的型腔强度,即保证其最小壁厚与型槽深度比大于1.0;其次是使预成形时产生一定的飞边桥部阻力,避免金属过早流至凹模挤压筒壁,挤入凸凹模侧向间隙形成较大的垂直毛刺并将上下模抱死,再者可防止终锻时垂直毛刺压入锻件本体形成折纹。30QA-01017/18的挤压筒如图24.4-87所示。挤压筒内上下模分模面间隙和开式模锻的飞边桥部高度相同,本例取5 mm。

挤压筒高度以能适时封闭金属为宜,有人认为凸模要在金属开始变形时就进入凹模内,这样必然需较高的挤压筒,削弱了凸模强度,给工装设计、制造造成困难并浪费了模具材料。事实上可在上述基础上减小一半左右,达到40~60 mm即可,这样可大大缓和凸模强度问题,30QA-01017/18的挤压筒高度为53 mm。

凸凹模侧向单边间隙为0.5 mm左右。为便于凸模顺利进入凹模,应在凹模口部10~15 mm范围内设计出15°的导入角,且凹模口部取较大的圆弧连接。但为增大金属流入侧壁间隙的阻力,凸模边缘取较小的圆角。挤压筒壁一般为直壁,最大倾角不大于3°。

3) 优点及需进一步改进的问题 汽车转向节少飞边锻造技术已成功地应用于1.5 t汽车转向节的生产,该技术具有以下特点:

① 可大幅度减少飞边金属消耗,提高材料利用率,如30T6-01017/18采用该工艺后下料重量由

原来的26 kg降至23.5 kg,每件节材2.5 kg;

② 可锻出常规工艺无法锻出的法兰面凸台,见图24.4-86;

③ 挤压筒水平投影面积较原水平分模的锻件水平投影面积(包括飞边桥部)小得多,可选用较小的设备吨位;

④ 可在现有开式模锻的设备、工装结构、下料及加热方法的基础上实现;

⑤ 杆部与法兰交接处因金属流动激烈、易磨损,导致模具寿命低,需在该处设计成镶块结构,或其它局部强化措施。

该技术还不很成熟,存在一些技术问题需待完善,如模具寿命问题,表现为下模杆部型腔磨损过快;操作时锻件取出困难;下模杆部型腔的清理问题及工艺工装的最佳设计等,这些将有待进一步解决。

4.3 套管叉锻模

图24.4-88套管叉是典型的叉形锻件,杆部粗大,叉口开档为杆部直径的1.23倍。外侧为杆部直径的2倍,叉部向杆部过渡处截面小。

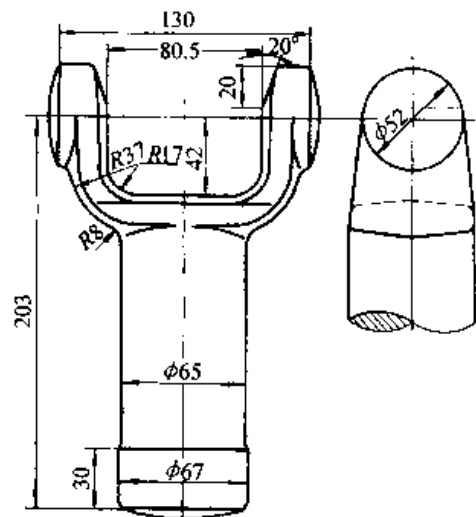


图24.4-88 套管叉锻件图

(1) 锻件的工艺特点

1) 叉部成形和充满比较困难。正确设计制坯模膛和劈料模膛是保证成形良好的关键。

2) 由于叉部周长比较长,但截面较小。加之叉口端为圆柱形,切边凸模与热锻件接触面积较小等原因,切边时变形大。切边后应进行热校正,于是,设计终锻模膛时要作相应变化,给出校正量。

3) 应按叉部平均截面积增大 13% 选择坯料。按叉部计算坯料应采用方 67 mm × 67 mm。实际采用为方 85 mm × 85 mm。

(2) 终锻模锻设计要点

为适应热校正的需要，终锻热锻件截面上有几项改变。如图 24.4-89 所示。

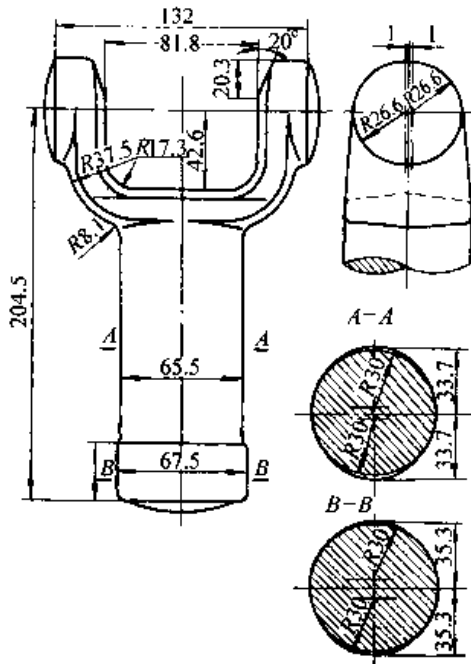


图 24.4-89 套管叉终锻热锻件图

叉形部位： $\phi 52$ mm 处给 2 mm 热校正量。向杆部过渡处 $R37.5$ mm 一段也有相同热校正量。

杆部：主要校正弯曲变形。高度方向分别有 1.4 mm 和 2.6 mm 的热校正量，宽度减小 0.5 mm。

飞边槽：按表 24.4.4 设备 31 500 kN 级选用。

顶杆采用两种不同直径。叉部用 $\phi 30$ mm，杆部选用 $\phi 18$ mm。

图 24.4-90 为套管叉终锻模图。

(3) 预锻模膛设计要点

1) 预锻热锻件图设计 见图 24.4-91。

叉形部位：按图 24.4-25B 型劈料模膛设计。

$\alpha = 10^\circ$

$R_1 = 35$ mm

$d = 40$ mm

$t = (1 \sim 1.5) h = (6 \sim 9)$ mm 取 6 mm

其他部位：叉形内侧比终锻大 1.5 mm。外侧比终锻小 1 mm，杆部宽度比终锻小 0.9 mm。

2) 预锻模膛其他部分 阻力沟：在叉形开口处设置二条阻力沟，第一条占叉口两侧模膛宽度 1/2。第二条为第一条长度的 60%。

为增大阻力，叉部的桥口宽度比表 24.4-5 的尺寸加大。如图 24.4-92 所示。

图 24.4-92 为套管叉预锻模图。

(4) 制坯模膛设计

根据所采用的坯料尺寸和锻件杆部及叉口成形对坯料的要求。制坯时采用两个工步，即：整体压扁、转 90°局部再压扁。

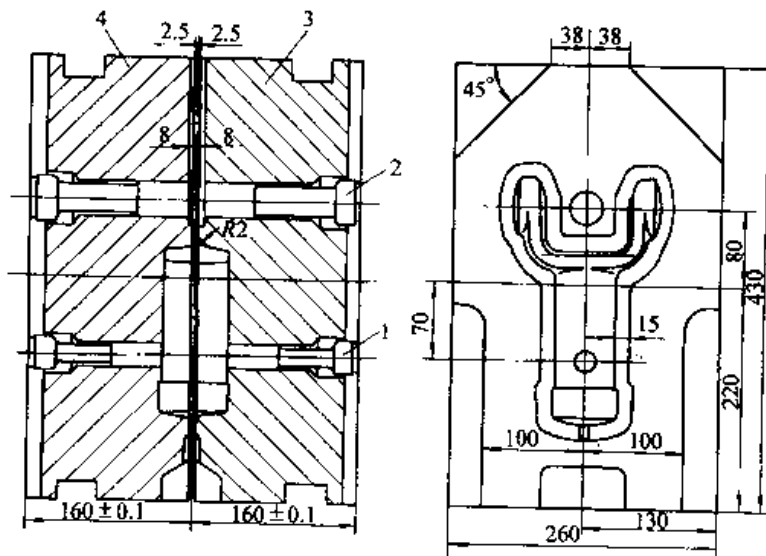


图 24.4-90 套管叉终锻模图

1—托板螺钉 2—顶杆 3—上模 4—下模

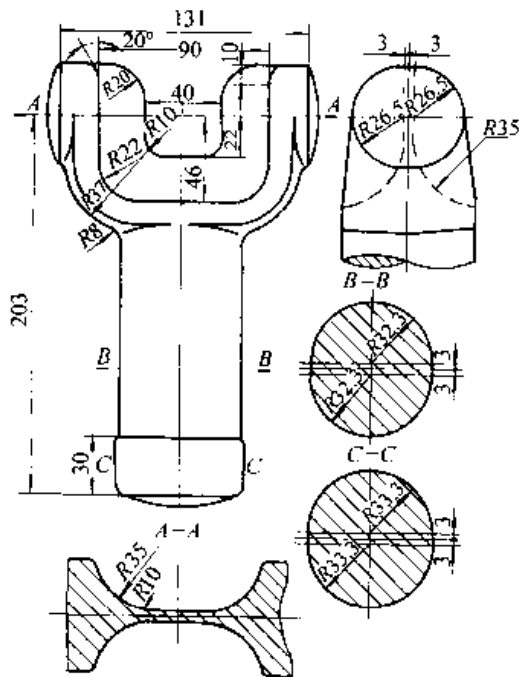


图 24.4-91 套管叉预锻热锻件图

图 24.4-93 为制坯模，将方 85 mm 的坯料放在 1 处平面压扁。压至 60 mm 高，坯料宽展到 100 mm 左右，然后拉出坯料，转 90° 在 2 处进行局部压扁，长度约为 130 mm。坯料压成 T 字形，转 90° 放到预锻模膛中，第一次压扁的平面覆盖住叉口模膛，第二次压扁部分放在杆部模膛内。由于杆部坯料较高，预锻时，金属沿纵向流动快，较易充满杆部末端。

第二次压扁模膛截面设计为圆弧形，使坯料转 90° 后两侧为鼓形，以便在预锻模膛中定位和稳定性好。

4.4 万向联轴器叉锻模

万向联轴器叉也是叉形件，但其下端有一个为 $\phi 70 \text{ mm} \times 53.5 \text{ mm}$ 的锥形须由模锻成形。所以该件不能沿叉形厚度的中间分模，分模线为曲线，图 24.4-94 为万向联轴器叉锻件图。

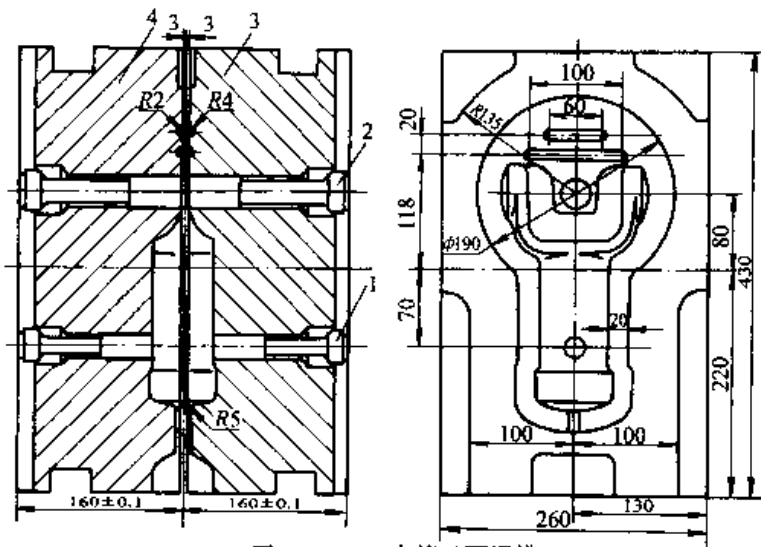


图 24.4-92 套管叉预锻模

1—托板螺钉 2—顶杆 3—上模 4—下模

模锻时，坯料横放在叉口上，先弯曲变形，后靠压入变形充填模膛。

该件设计的主要点是充满 $\phi 87.5 \text{ mm}$ 和 $\phi 52.8 \text{ mm}$ 两处最深的模膛。因为在坯料受弯曲和压入时，不容易充填到模膛深处。因此，设计预锻模膛必须保证此处能贮备足够金属，以便终锻时充满模膛。

(1) 终锻模膛设计

1) 热锻件图设计 全部尺寸加 1.5% 的收缩率。图 24.4-95 为万向联轴器叉终锻热锻件图。

2) 模膛设计 为了保证金属充满下模中 $\phi 88.3 \text{ mm}$ 与 $\phi 71.1 \text{ mm}$ 的环形区和上模中 $\phi 52.8 \text{ mm}$ 的两个叉端的模膛。在这些部位设计排气孔。本例中排气孔孔径为 $\phi 2 \text{ mm}$ ，深 15 mm。排气孔道采用孔径 $\phi 4 \text{ mm}$ ，并在模块底部设计有横向排气道（图 24.4-96）。

3) 飞边槽设计 本锻件在 20 000 kN 热模锻压力机上模锻。按表 24.4-4 设备 20 000 kN 级选用飞边槽，即应为：

$$h = 3 \text{ mm} \quad b = 12 \text{ mm} \quad r_1 = 1.5 \text{ mm}$$

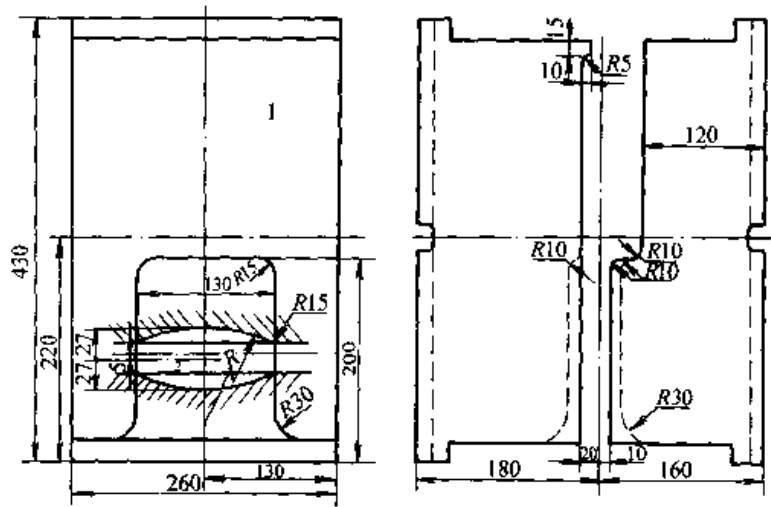


图 24.4-93 套管叉制坯模

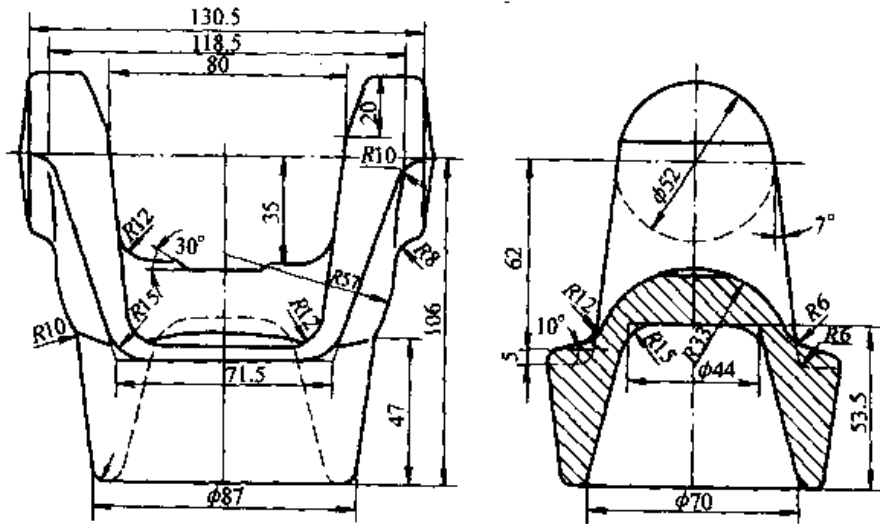


图 24.4-94 万向联轴器叉锻件图

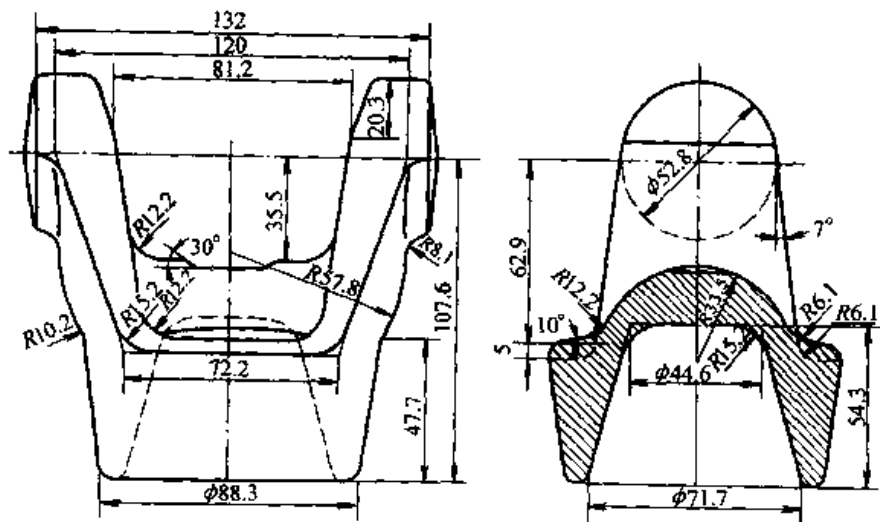
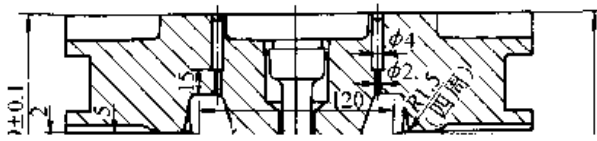


图 24.4-95 万向联轴器叉终锻热锻件图



终锻厚，终锻只排出多余金属，故加大飞边桥口厚度并不影响模膛充满。反而可改善导面受力情况，减少模具断裂。

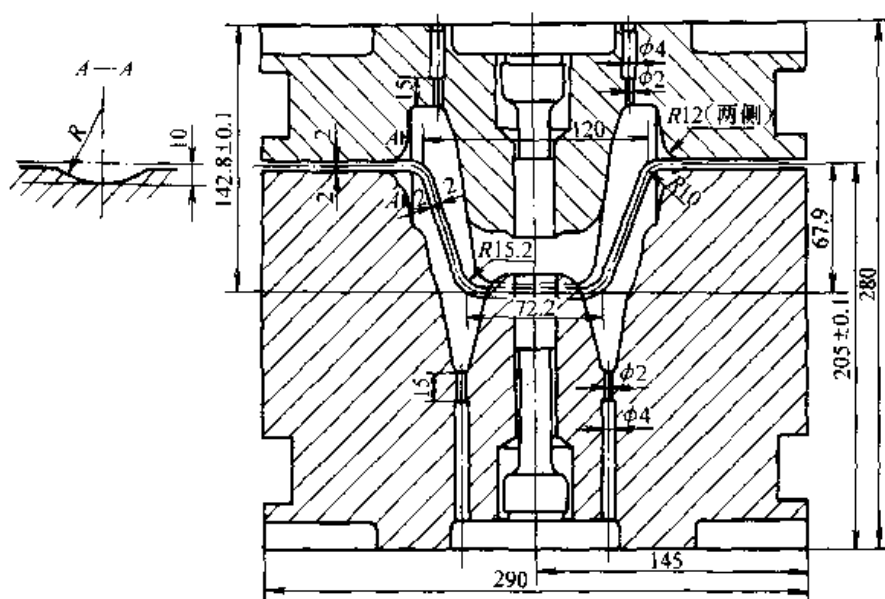


图 24.4-98 万向联轴器叉预锻模

膛的要求，即锻粗后坯料长度略小于预锻模膛叉形外侧最大尺寸 131 mm 加上模锻斜度的尺寸，如图 24.4-99。如果锻粗后尺寸等于或略大于这个尺寸 2~3 mm，模锻时将在两端形成折叠。

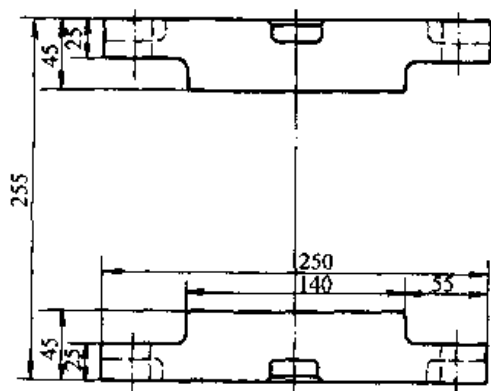


图 24.4-99 万向联轴器叉锻粗模

4.5 十字轴锻模

图 24.4-100 十字轴是具有四个长分枝的锻粗类锻件。四个分枝为 $\phi 32 \text{ mm} \times 52 \text{ mm}$ ，中间有一个外径 $\phi 86 \text{ mm}$ 、内孔 $\phi 64 \text{ mm}$ 的环形。因此，如果采用一般锻粗件的设计，即：锻粗、预锻、终锻的模锻工艺，不仅材料浪费很大，而且四个分枝端头不易充满。

本例采用锻粗、成形压挤和终锻三个工步。

(1) 终锻模膛及其模块设计

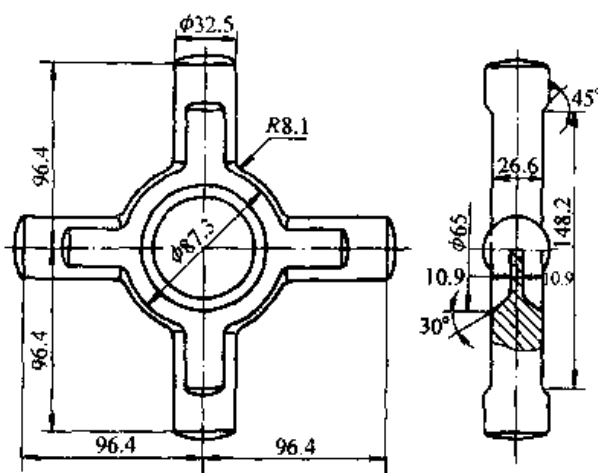


图 24.4-100 十字轴锻件图

1) 热锻件图设计 按冷锻件图全部尺寸加 1.5% 的热收缩率。内孔连皮采用平连皮。

连皮厚 S 取为 4.8 mm。

R 选用 10 mm。

2) 模块结构 由于模膛较浅，最深处只有 16.25 mm，所以采用镶块结构。采用方形镶块。虽然锻件属锻粗类，但四个分枝要保证定向。所以左右采用槽形定位，使镶块不产生转动。保持十字分枝的方向一定。前后方向用平键定位。图 24.4-101 为十字轴终锻模图。

镶块承压面强度校核：

该件在 20 000 kN 热模锻压力机上模锻，镶块底面承压面积 $F = 66\ 080 \text{ mm}^2$ ，故

$$p = P/F = (20\ 000/66\ 080) \text{ MPa} = 302 \text{ MPa}$$

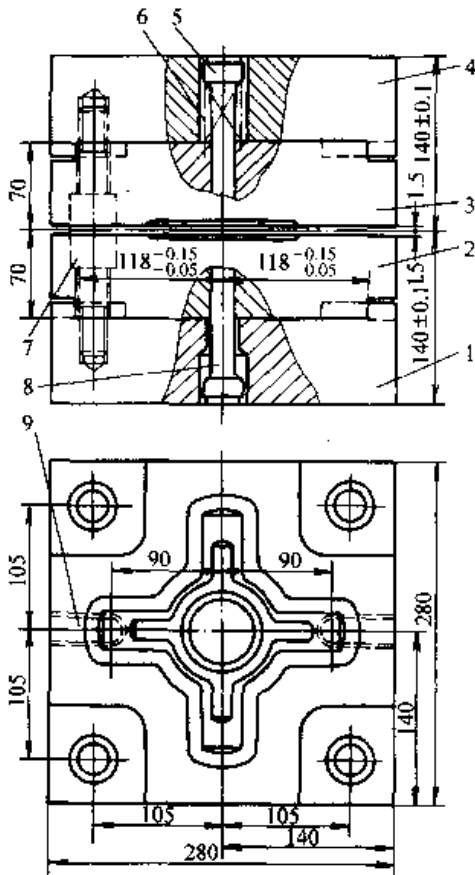


图 24.4-101 十字轴终锻模

- 1—下模 2—下模镶块 3—上模镶块
- 4—上模座 5—上顶杆 6—回位弹簧
- 7—紧固螺钉 8—下顶杆 9—定位键

接近允许值的极限值。由于模膛深度较浅，故可以采用。

3) 飞边槽选用 按表 24.4-4 设备 20 000 kN 级选用，即：

$h=3\text{ mm}$ $b=12\text{ mm}$ $B=10\text{ mm}$ $r_1=1.5\text{ mm}$ 。仓部全部开通。

4) 顶杆 由于模块封闭高度只有 280 mm。因此，模座高度小，不便于设计成两级顶杆。只采用单级顶杆。为了便于调整，件 1 和件 4 模座中顶杆孔可以放大间隙。

(2) 墩粗、成形压挤模膛设计

十字轴墩粗、成形压挤模如图 24.4-103 所示。

十字轴成形压挤锻件图如图 24.4-102 所示。

墩粗模膛在模块右前角 A 处，其作用是去除加热坯料的侧面氧化皮，并使墩粗后的坯料外径和高度适合于成形压挤模变形的要求。如图 24.4-102 示，应使墩粗后坯料的最大外径为 $\phi 85\text{ mm}$ ，斜度为 18° 的模膛中位于高度的一半以下，以获得较好的压挤效果。

成形压挤模膛的作用，在于代替预锻模膛和节约金属材料消耗。

将墩粗后的坯料，放在成形压挤模膛中。压挤时，在 18° 区段，上模进入下模，此处间隙为 2 mm。当金属被压挤流入这个间隙时，阻力迅

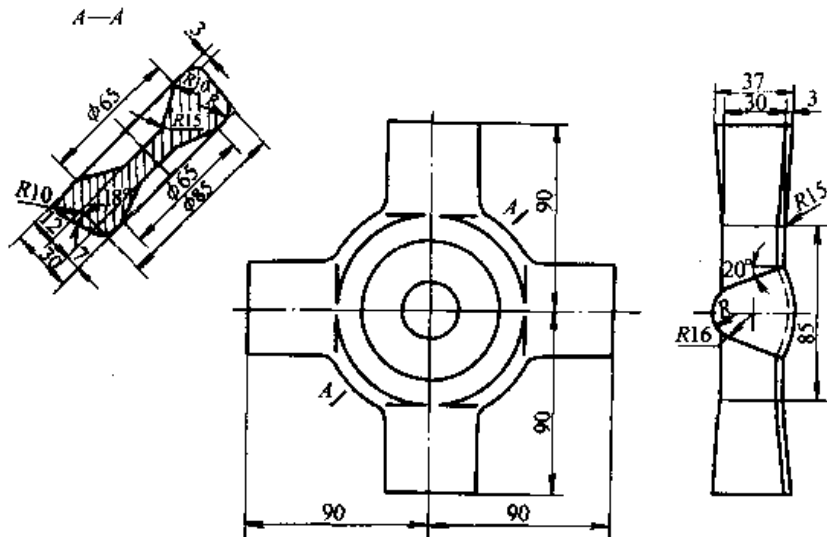


图 24.4-102 十字轴成形压挤锻件图

速增大，迫使金属按最小阻力定律向四个开口的分枝流出。四个分枝的上模也进入下模，此处为 20° ，间隙也为 2 mm。金属流入这个间隙，阻力

也迅速增大，同样迫使金属向四个分枝的开口处流出，这样形成一个四周在上模带有 $18^\circ \sim 20^\circ$ 斜度的十字形坯料，如图 24.4-102 所示。

把成形压挤后的坯料放到终锻模膛中，滑块下压时，由于四枝已挤出，金属很快可以充满各个部位的模膛。

成形压挤模膛设计原则：

1) 必须使产生飞边的坯料轮廓大于终锻件的最外轮廓线，这样，可避免飞边压入终锻模膛形成折叠。

2) 四个分枝的长度应小于终锻模膛四枝长度，见图 24.4-102。

3) 为了减小金属流动阻力，四分枝模膛向外设计成锥形，如图 24.4-102。在 85 mm 范围外，由 30 mm 加大到 37 mm。

4) 为便于成形压挤件从模膛中取出，必须设计顶料杆。

5) 为便于取出坯料，前端开 -30° 的斜面(图 24.4-103)，以便于夹钳夹料。

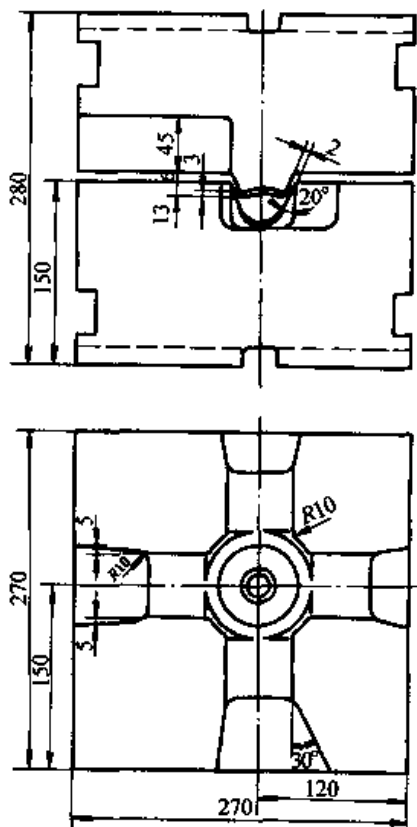


图 24.4-103 十字轴锻粗、成形压挤模

6) 由中间向四枝过渡处 R 应加大，防止终锻时产生对流折叠。

4.6 分离叉锻模

分离叉锻件如图 24.4-104 所示，中间有一个叉形部分，但叉形开口与锻件主轴线垂直，且两个枝芽相距较远，因此，本件的成形特点不同

于一般叉形件，而属于带枝芽的轴类件，并且在枝芽区段轴线是弯曲的，该处分模线也是弯曲的。因此，保证双枝芽最外端模膛充满和防止错差是锻模设计的关键。

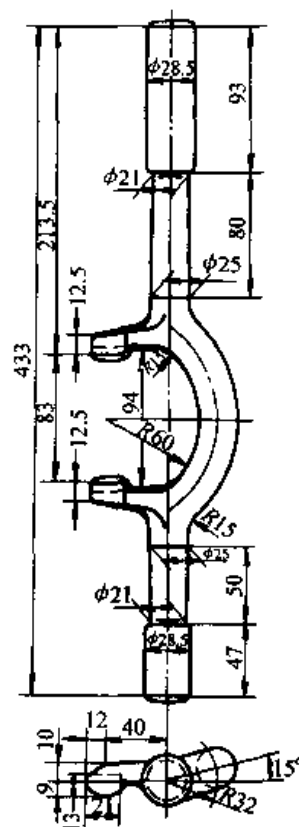


图 24.4-104 分离叉锻件图

(1) 计算截面图

作计算截面图时，飞边全部充满按 35% ~ 50% 考虑。在两端回转体部分，金属较易充满模膛，百分比可以取得小一些。

由于最大截面在叉形枝芽处，而其相邻区段的截面较小，仅为最大截面的 42.2%，而最大截面的区段较短，只有 15 mm。因此，选用坯料可按最大截面积的 80% ~ 90% 选取。本例采用的坯料为 $\phi 50$ mm 的棒料，其截面积为最大截面积的 88.6%。

该件最大截面积与最小截面积之比为 2.4:1，采用辊锻制坯。图 24.4-105 为计算截面图。

坯料尺寸为 $\phi 50$ mm \times 250 mm。

(2) 模锻设备选定

对叉形部位的受力面积按叉口内投影面积的 50% 计算。根据计算结果，采用 20 000 kN 热模锻压力机。

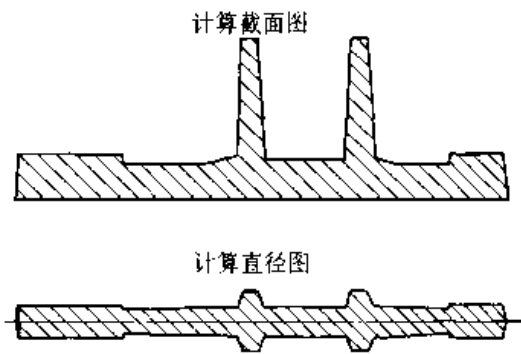


图 24.4-105 分离叉计算截面图

(3) 终锻模膛及其模块设计

1) 热锻件图设计: 按图 24.4-104 分离叉锻件图的尺寸加 1.5% 热收缩率, 见图 24.4-106。

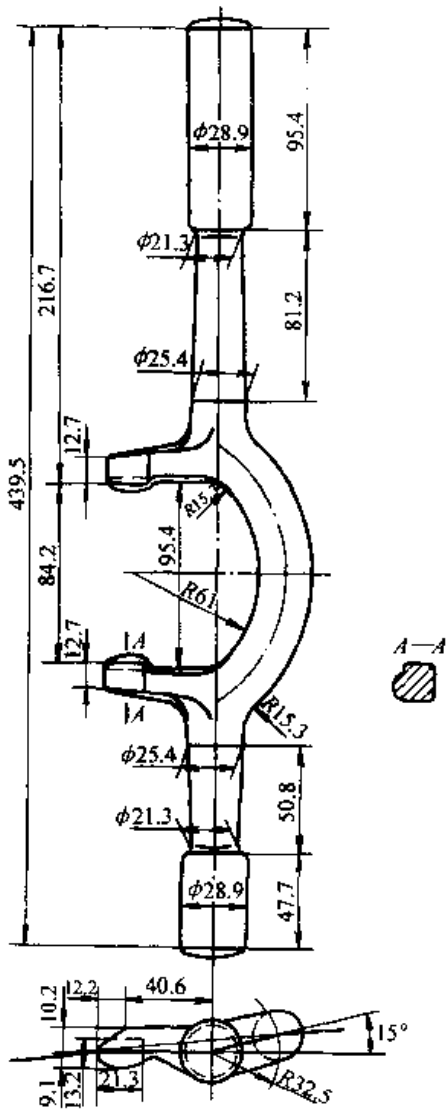


图 24.4-106 分离叉终锻热锻件图

2) 飞边槽选用: 按图 24.4-4 设备 20 000 kN 级选用, 即: $h = 3 \text{ mm}$, $b = 12 \text{ mm}$, $B = 10 \text{ mm}$, $r_1 = 1.5 \text{ mm}$, r_1 取小值是为了减少切边变形。

3) 分模线采用折线。

4) 为避免锻件产生错移, 模块采用四角锁扣。锁扣导向面间的间隙为 0.3 mm。

锁扣的凸出部分设计在上模, 这样, 下模膛处于模块的凸出部位, 在生产中, 容易把氧化皮吹出模块外。

5) 模块尺寸见图 24.4-107。

6) 由于模膛较浅, 而且大部分为半圆形, 所以不采用顶杆。

7) 承压面校核 经计算模块底部承压面积 $A_d = 116\ 325 \text{ mm}^2$ 。单位面积承受的压力为

$$p = F/A_d = (20\ 000 \times 10^3 / 116\ 325) \text{ MPa} = 171.9 \text{ MPa} < 300 \text{ MPa}, \text{ 符合要求。}$$

(4) 预锻模膛设计

1) 预锻热锻件图设计 为了简化模具制造, 预锻分模改为平直线。

为了使枝芽部位能较好充满, 该处模膛作了较大的改变。终锻模膛该部分是曲折的形状, 预锻模膛设计为扩大加深的形状, 减小了金属外流的阻力, 这样预锻时多贮存了金属, 保证最后终锻模膛的充满。两端相应于终锻 $\phi 28.9 \text{ mm}$ 处, 为了有利于金属流向两端, 预锻模膛加深 4 mm, 而圆柱形半径减小 1 mm。这样, 终锻时以锻粗方式成形, 充满模膛较容易。

图 24.4-108 为分离叉预锻热锻件图。

2) 模膛设计 由于枝芽部位变形较复杂, 有水平错移力, 且锻件又较长, 所以, 预锻也设计四角锁扣, 见图 24.4-109。

在枝芽向杆部急剧过渡处, 须要加大过渡转角 (见图 24.4-109)。终锻为 $R10$, 预锻设计为 $R30$ 。并且向模膛作 $R15$ 的大圆角过渡, 见图 24.4-109B - B 剖面所示。

在中间区段, 由于辊锻后坯料是直的, 为把金属分流向轴向弯曲的部位。采用 A - A 剖面形式。具有楔形面, 可以把坯料向 $\phi 25 \text{ mm}$ 的模膛分流。

在枝芽侧面, 也设计成 20° 的斜面, 起分料作用。如图 24.4-109C - C 剖面所示。

(5) 辊锻后的坯料图

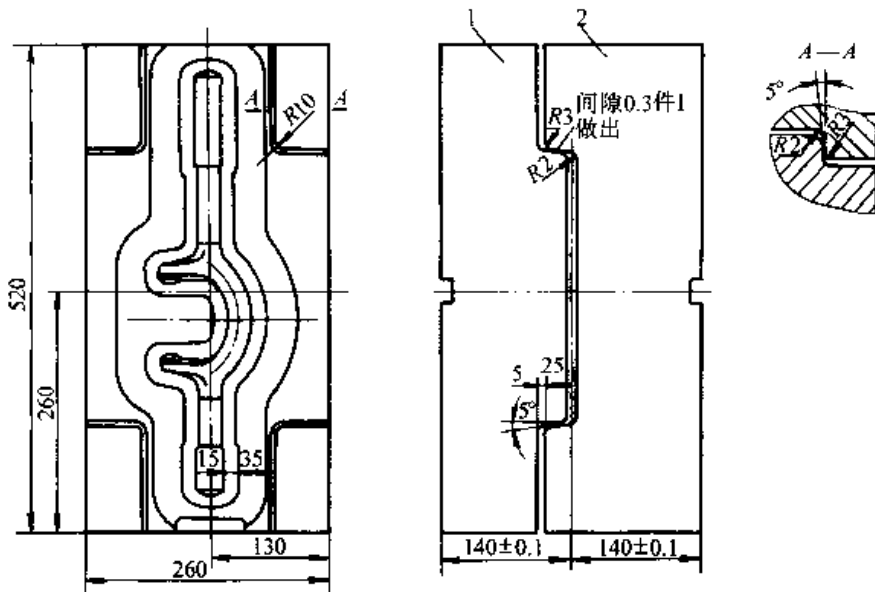


图 24.4-107 分离叉终锻模
1—下模 2—上模

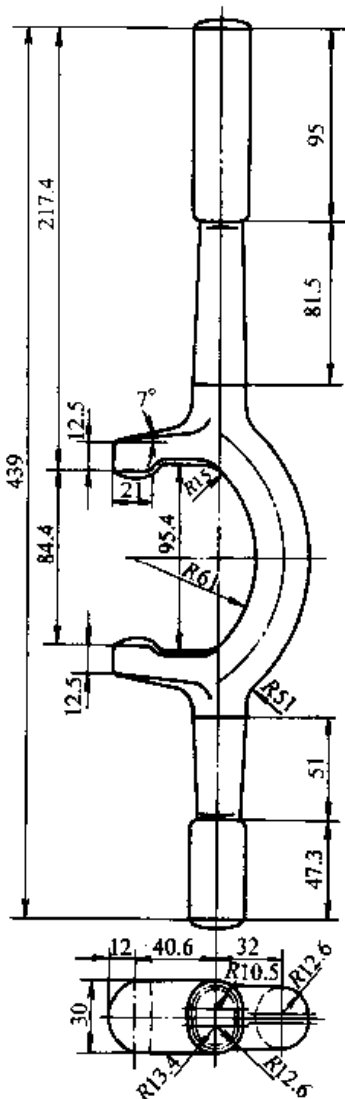


图 24.4-108 分离叉预锻热锻件图

图 24.4-110 是分离叉辊锻后的坯料图，中间两段 $\phi 50.8 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$ 为相应枝芽的区段。在各自两侧过渡段为 10 mm 和 13 mm，相当于预锻的分流区。头部 $\phi 50.8 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ 作为夹钳头。

4.7 倒档齿轮锻模

图 24.4-111 是典型的锻粗类圆形成件。由轮缘、轮辐和轮毂三部分组成，分模线与锻件轴线垂直，模膛打击中心就是锻件的轴线。

设计要点如下：

(1) 模锻设备选择

经计算，本锻件的变形力为 25 125 kN，因此，选用 31 500 kN 热模锻压力机。

(2) 终锻模膛及其模块的设计

1) 热锻件图设计 按图 24.4-111 上的所有尺寸加 1.5% 的收缩率，见图 24.4-112。

2) 飞边槽选用 按表 24.4-4 设备 31 500 kN 级选定，即： $h = 5 \text{ mm}$ ， $b = 15 \text{ mm}$ ， $L = 50 \text{ mm}$ ， $r_1 = 2 \text{ mm}$ ，采用上、下模都开仓的型式。

3) 连皮的设计 采用带仓连皮即： $\beta = 10^\circ$ ， $b_1 = 12 \text{ mm}$ ， $R = 5 \text{ mm}$ ， $S = 3 \text{ mm}$ 。

4) 模块尺寸的确定 模块尺寸按模架设计，模块封闭高度为 320 mm。

模膛壁厚：模膛最大外径 205 mm。其深度为 20.3 mm，取模膛壁厚为深度的 2 倍，则模块最小尺寸应不小于 286.2 mm。

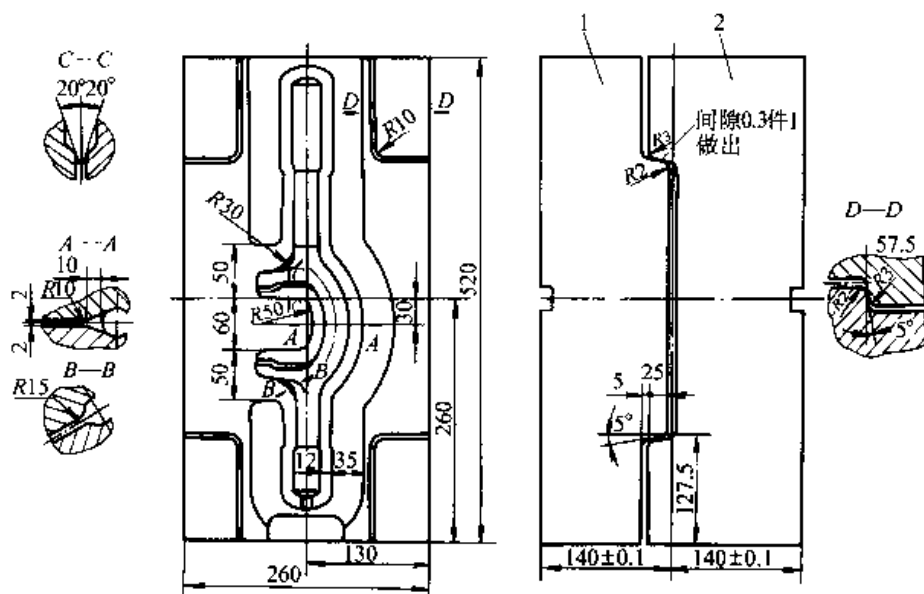


图 24.4-109 分离叉预锻模
1—下模 2—上模

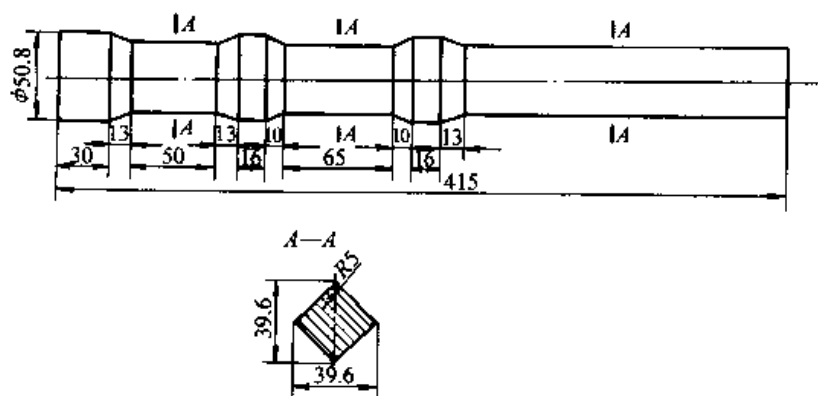


图 24.4-110 分离叉辊锻后坯料图

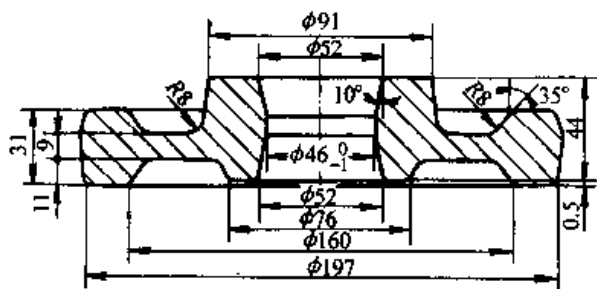


图 24.4-111 倒档齿轮锻件图

模块平面尺寸，根据模架的安装要求选用长度为 400 mm，宽度为 318 mm 的模块。

承压面校核：经计算模块底部承压面积 $A_d = 108\ 579\ \text{mm}^2$ 。单位面积上承受的压力为

$$p = F/A_d = (31\ 500 \times 10^3 / 108\ 579)\ \text{MPa} = 290\ \text{MPa} < 300\ \text{MPa}, \text{符合要求。}$$

模块底面与模架垫板之间的定位，采用十字键槽。对于圆形锻件，受力集中在中间。所以在可能的条件下，十字键槽不要开通，以增强模块强度。如图 24.4-112 所示。纵向键槽由于模架的顶杆结构所限是开通的，横向则不开通。

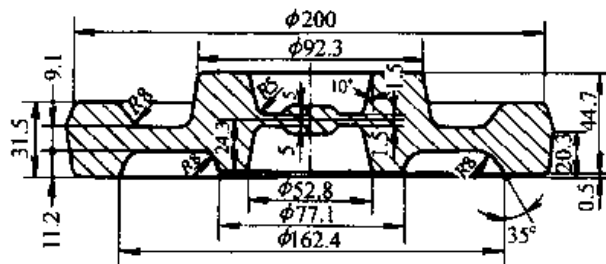


图 24.4-112 倒档齿轮终锻热锻件图
紧固方式采用压板式。

5) 顶杆 把孔作为顶杆的一部分,如图 24.4-

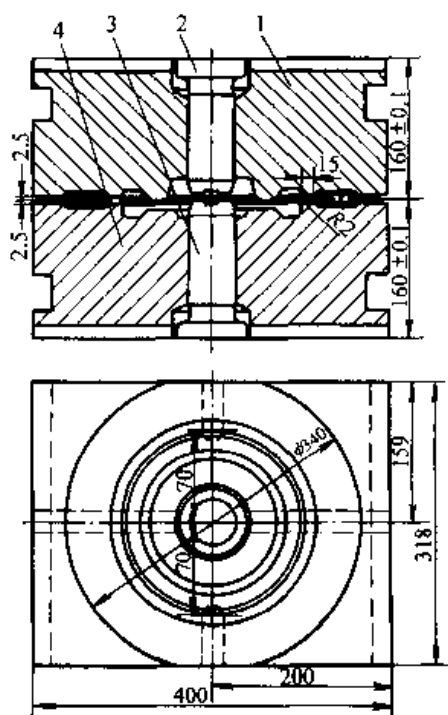


图 24.4-113 倒档齿轮终锻模

1—上模 2—上顶杆 3—下顶杆 4—下模
113 所示。

(3) 预锻模膛及其模块设计

1) 热锻件图设计 预锻热锻件图的尺寸见图 24.4-114。预锻件的轮辐厚度比终锻件小，主要是使终锻时，充满轮毂模膛后的多余金属能顺利经轮辐处流出，不致在内孔产生折叠。

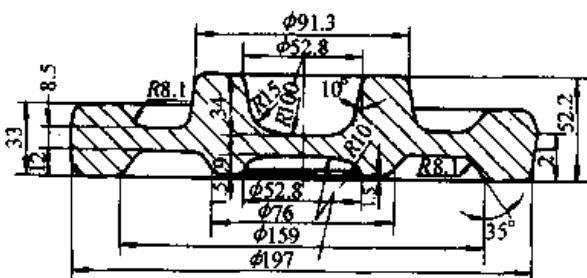


图 24.4-114 倒档齿轮预锻热锻件图

设计时，应使轮辐中间以内，预锻模膛截面积比终锻模膛相应部位截面积增大值不超过 4%。

2) 飞边槽选定 按表 24.4-5 设备 31 500 kN 级选用，即： $h=6\text{ mm}$ $b=18\text{ mm}$ $r_1=3\text{ mm}$ $L=50\text{ mm}$ 。

3) 连皮设计 为了减少终锻时外流金属量，不致在轮缘内径轮辐过渡处产生折叠，需加大连皮厚度。其厚度为外侧飞边厚度的 1.5 倍。

4) 模块尺寸与终锻模块相同。

5) 锁扣设计 采用圆形锁扣。由于模块宽度只有 318 mm，因此，可以设计为非整圆的锁

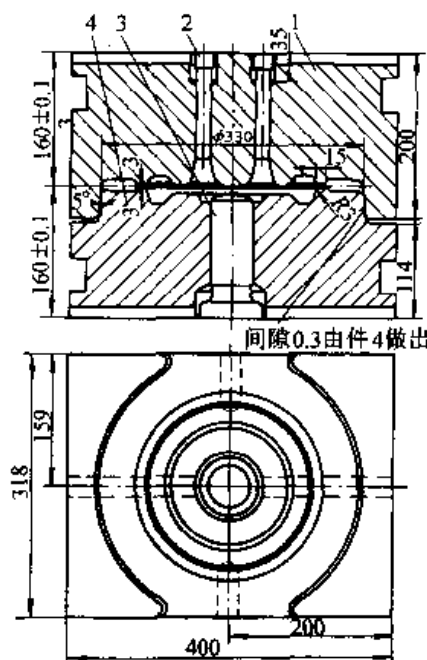


图 24.4-115 倒档齿轮预锻模

1—上模 2—上顶杆 3—下顶杆 4—下模扣，如图 24.4-115 所示。

6) 顶杆 下模采用以整个内孔凸出部分作为顶杆的一部分。上模采用顶轮毂的设计，见图 24.4-115。

顶杆和孔之间有 0.3~0.4 mm 的间隙，可作排气孔用。

图 24.4-116 为下顶杆图，下顶杆作为模膛部分的高度为 9 mm。在热锻件图中，在模膛深处有 1.5 mm 的圆柱形，是为了防止金属流入孔与顶杆的间隙。顶杆底部直径为 $\phi 84\text{ mm}$ ，可以承受工作状态下较大的载荷。

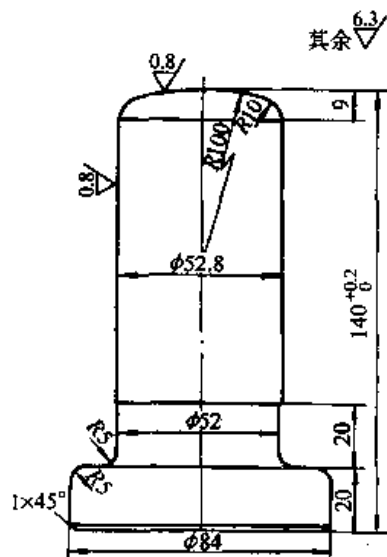


图 24.4-116 倒档齿轮预锻模下顶杆

图 24.4-117 为上模顶杆图, 由于顶杆直径小, 为使其不产生弯曲, 又要导向好, 顶杆有一段长度为 30 mm 圆柱体外, 其余部分采用 A-A 截面型式, 切去三段圆弧。这种结构是合理而有效的。

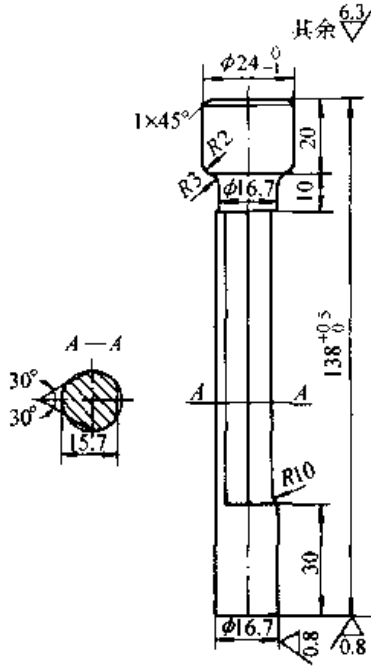


图 24.4-117 倒档齿轮预锻模上顶杆

(4) 锻粗模膛设计

锻粗模采用组合式结构 (图 24.4-118)。这种结构便于调整锻粗后坯料高度, 只须在下模镶块和下模座之间增减调整垫片即可。

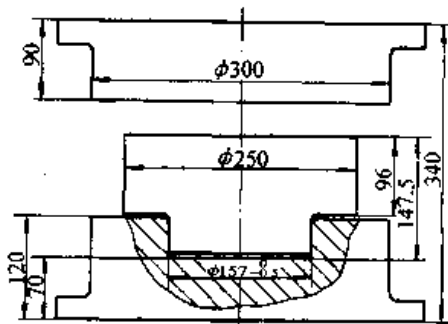


图 24.4-118 倒档齿轮锻粗模

设计锻粗模膛, 应使锻粗后的坯料最大外径比预锻模膛最大外径小 1~2 mm。本例采用 1 mm。这样有利于充满预锻模膛和减少错差。

4.8 磁极锻模

磁极是锻粗类锻件, 但不属于圆形件。从图 24.4-119 可以看到, 该锻件形状复杂、外周有六

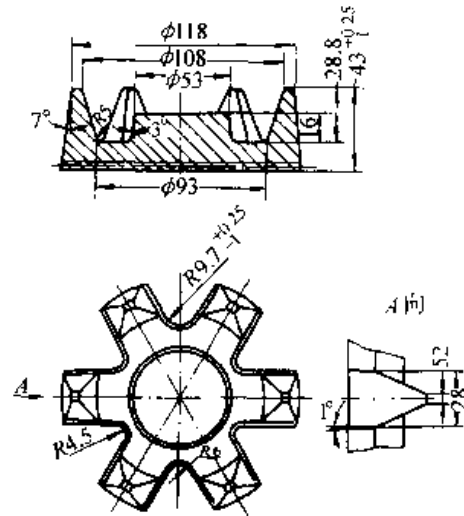


图 24.4-119 磁极锻件图

个极, 极尖很细小, 只有 5.2 mm 宽, 而高为 28.8 mm, 属于高肋类锻件。要充满六个极尖的模膛是相当困难的, 因为坯料要从中间沿径向流动, 由 $\phi 53$ mm 的凸台流过一个环形辐板区至 $\phi 93$ mm 处, 最后要充满到六个深而窄的模膛, 就必须在飞边桥部有适当的阻力。而在极的内侧 $\phi 93$ mm 处的过渡处很容易产生折叠, 防止产生折叠是设计的关键。

这类锻件, 从充满模膛和模具寿命上考虑, 应该采用锻粗、预锻、终锻等模膛。但实践证明, 预锻和终锻两个模膛很难配合得合适, 因为在预锻时, 金属充满模膛的情况与坯料大小、温度和模膛磨损等许多因素有关。因此, 放到终锻模膛中的预锻坯料很不一致, 于是常常造成终锻时充不满或形成折叠。所以, 对这样复杂形状的锻件, 采用预锻反而造成一连串的质量问题。因此, 这些问题, 只有通过正确设计锻粗和终锻模膛来解决。

(1) 终锻模膛设计

1) 热锻件图设计 分模线: 磁极的六个极要求很严格, 不许有错差。因此, 只有把六个极都设计在一个模膛内, 由模具制造来保证六个极的相对位置。所以, 按总高度减去分模面飞边桥部高度, 其余都设计在上模, 如图 24.4-120 所示。

在 $\phi 93$ mm~ $\phi 53$ mm 这一环形区。产品设计要求冷压印后不进行机械加工, 为此, 在压印后 $\phi 93$ mm 尺寸要增大。热锻件设计要预留这个增大量, 将尺寸缩小到 $\phi 92.4$ mm。

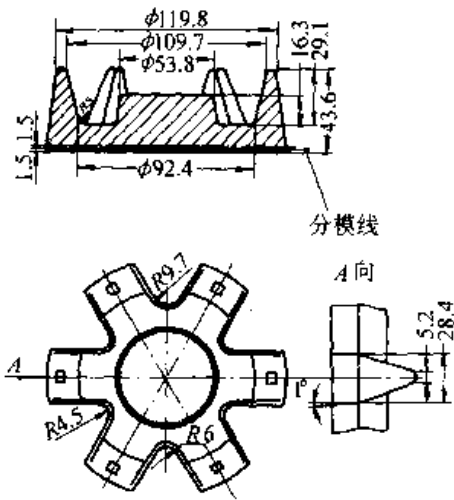


图 24.4-120 磁极终锻热锻件图

热锻件图的其他尺寸均按冷锻件图尺寸加 1.5% 的收缩率设计。

2) 飞边槽设计 本锻件计算变形力 10 120 kN, 选用 20 000 kN 热模锻压力机。由于本例不采用预锻, 又要保证终锻时磁极极尖模膛的充满, 需要在飞边桥部有足够的阻力。为此, 需将飞边桥部桥口增宽, 但又不宜过宽, 因为当桥口阻力过大时, 金属充满极尖模膛后, 会继续充入排气孔。当将锻件顶出模膛时, 往往使这一段金属被拉断而残留在排气孔内, 将排气孔堵塞, 结果造成极尖充不满。因此, 桥口尺寸应设计得恰当。本例中, 取: $h = 3 \text{ mm}$, $b = 15 \text{ mm}$, $r_1 = 1.5 \text{ mm}$, 比通常选用的桥口尺寸提高了一级。

3) 模块结构 由于下模工作面是一个平面, 所以下模采用整体式。

模具封闭高度为 280 mm。上模模膛比较深, 制造精度要求高, 且很容易磨损, 所以上模采用镶块结构。选用的镶块厚 82 mm, 上模底座厚 68 mm。

为保证磁极六个极尖充满, 六个极尖模膛均设有排气孔并连有环形排气道。排气孔设计见图 24.4-121 磁极终锻模所示。

下模不设置顶杆。

上模由于底座厚度小, 所以采用单级顶杆结构。

磁极终锻模见图 24.4-121。

(2) 锻粗模

采用组台式, 如图 24.4-122 所示。

锻粗模设计原则: 锻粗后的坯料外径应覆盖

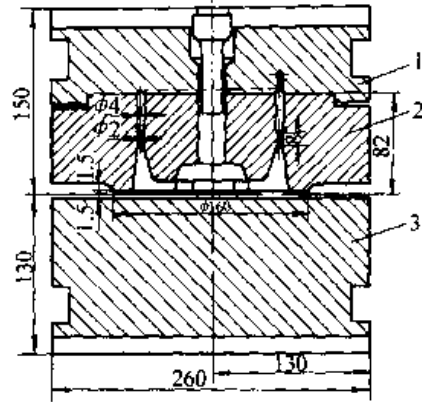


图 24.4-121 磁极终锻模

1—上模座 2—上模镶块 3—下模

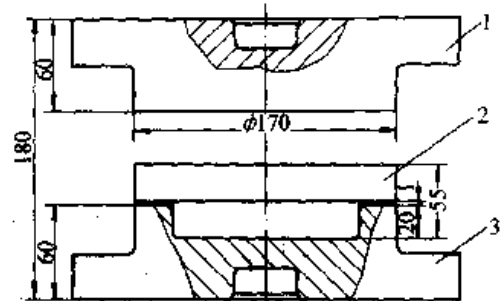


图 24.4-122 磁极锻粗模

1—锻粗上模 2—锻粗下模镶块 3—下模座

住 $\phi 92.4 \text{ mm}$ 处, 并使锻粗后高度约为锻件总高的 0.6 倍为宜。

4.9 连杆锻模

图 24.4-123 是连杆锻件图, 沿纵向轴线截面积变化较大, 在 H 字形截面区段, 腹板厚度只有 4 mm。H 字顶端宽度最小处为 4 mm, H 字形向两端过渡处, 截面变化较大。另外, 连杆产品设计有重量公差要求, 偏差值为公称重量的 8%。因此, 高度尺寸公差定为 $\pm 0.3 \text{ mm}$ 。本件的设计要点如下:

(1) 计算截面图

连杆计算截面图见 24.4-124。

头部平均截面积与杆部截面积之比为 6.68:1。因此, 应采用制坯辊锻。

最大截面在头部, 包括飞边和连皮的截面积在内, 为 $2 521 \text{ mm}^2$ 。故选用方 $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 的型钢。小头截面积相当于 $\phi 45 \text{ mm}$, 杆部截面积相当于方 $22 \text{ mm} \times 22 \text{ mm}$ 。据此提出辊锻毛坯图, 见图 24.4-125。

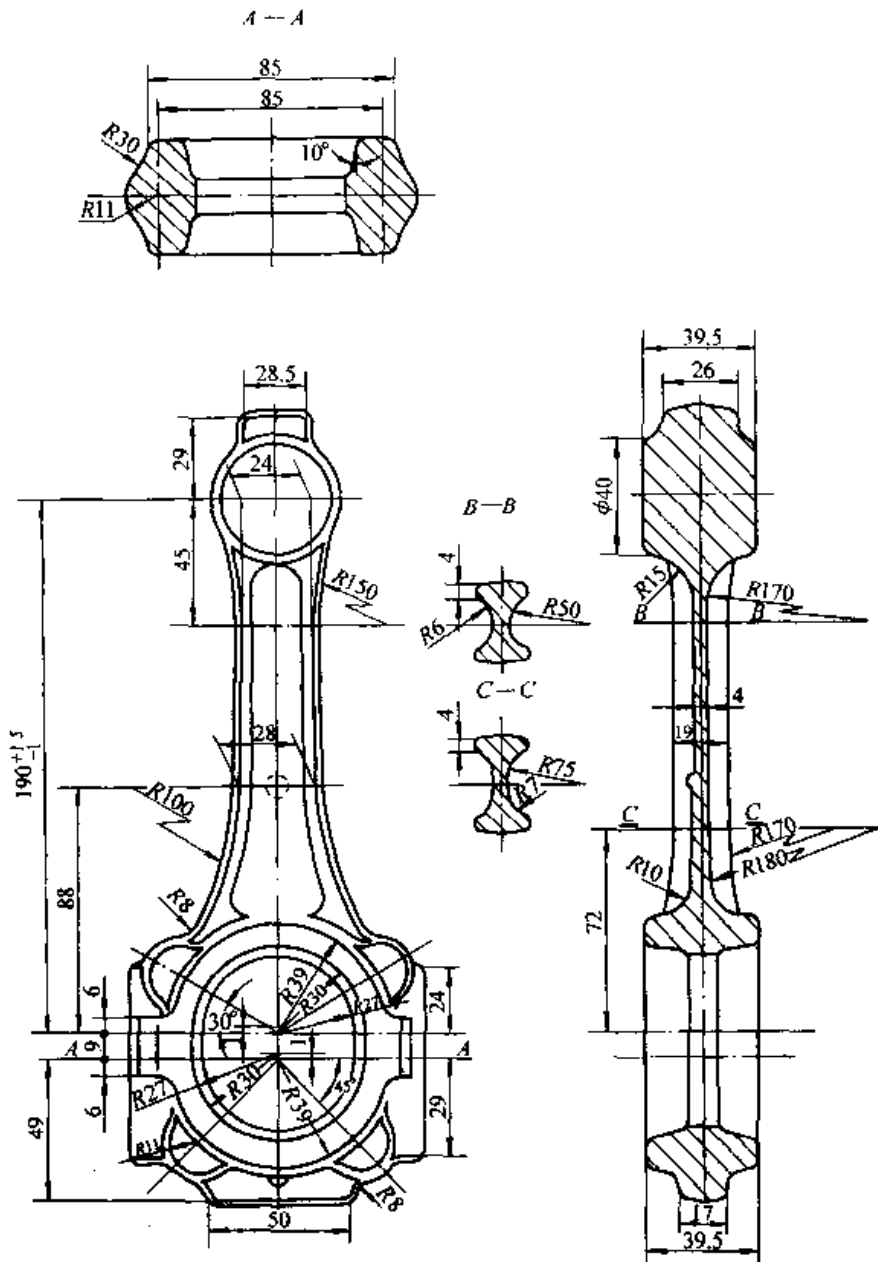


图 24.4-123 连杆锻件图

图 24.4-125 第四个工步图为根据计算截面图提出的辊锻最后的毛坯图。前面三个工步图为辊锻过程的三个工步图。

(2) 设备选定 经计算, 连杆模锻变形力为 19 536 kN, 为保证锻件的精度和重量公差, 选用 25 000 kN 热模锻压力机。

(3) 终锻模膛及其模块设计

1) 热锻件图设计

① 由于连杆有重量公差要求, 且要求大、小头端面压力加工后直接进行磨削加工, 所以模锻后需进行冷压印, 压印变形量为 1.4 mm。

② 由于连杆形状复杂, 模锻后进行切边, 冲孔和调质热处理时都可能产生弯曲变形。故后续工序有冷校正, 冷压印等。这都将使连杆杆部增长, 即大、小头中心距增大。为此, 中心距尺寸 190 mm 在热锻件图设计时只按 1% 收缩率计算。

③ 其余尺寸按冷锻件图上尺寸增加 1.5% 收缩率计算。

2) 飞边槽及连皮的设计

① 飞边槽按表 24.4-4 设备 25 000 kN 级选用, 即: $h = 4 \text{ mm}$ $b = 15 \text{ mm}$ $B = 10 \text{ mm}$ $r_1 = 1.5 \text{ mm}$ 。仓部开通到模块边缘。

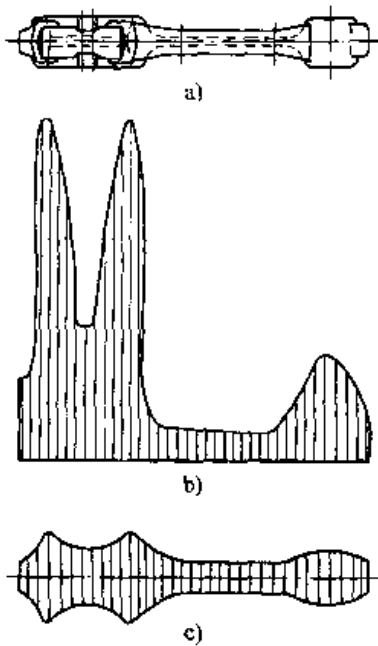


图 24.4-124 连杆计算截面图
a) 锻件 b) 计算截面图 c) 计算毛坯 (方形边长图)

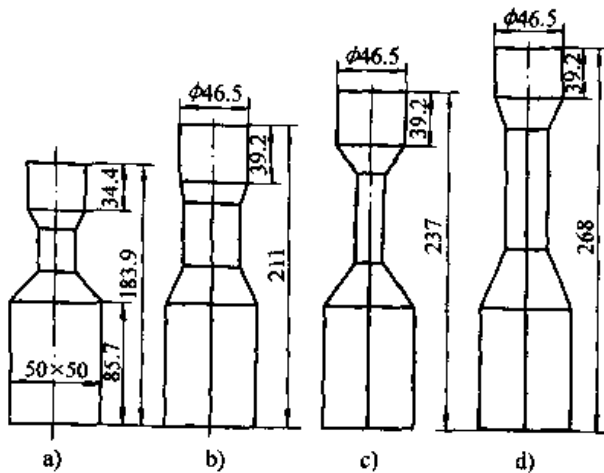


图 24.4-125 连杆辊锻工步图
a) 第一辊锻工步 b) 第二辊锻工步
c) 第三辊锻工步 d) 第四辊锻工步 (最终毛坯图)

② 连皮: 采用平连皮, 见图 24.4-126。

3) 模块结构 连杆模膛深度较浅, 最深处为 20.45 mm。而连杆模膛尺寸精度要求高, 磨损到一定程度就必须更换, 故采用镶块结构 (图 24.4-127)。

镶块高度定为 70 mm, 镶块纵向用槽形定位, 横向用定位键图 24.4-127 中件 5 定位。

4) 顶杆 由于模块封闭高度较大, 为 445 mm, 模座高度为 152.5 mm, 故顶杆分为两级。

件 4 为镶块模膛下顶杆, 件 3 为上顶杆, 承压面在模座 1 上 (上、下模座相同), 而件 6 模座顶杆承压面为模架的垫板。这种结构在使用中, 件 6 很少更换, 主要更换件 3 和件 4。既方便又节约顶杆的消耗。

(4) 预锻模膛设计

1) 热锻件图设计 见图 24.4-128。

① R31 mm 椭圆孔部分 需要把金属向两侧分流。因为连杆和连杆盖合成一体, 这部分的预锻设计介于叉形劈开和内孔成形之间。在 8.6 mm 这一段, 设计成带斜面的分流, 然后, 在 90° 范围内逐步过渡到平连皮相类似的设计。

连皮厚 $S = 1.2h = 6 \text{ mm}$ 。

内模锻斜度比终锻大, 选为 15°。

R, 选为 R20 mm 和 R15 mm, 均匀过渡。

② H 字形部分 由于辊锻后的坯料直接放入预锻模, 坯料高度较高。开始变形时, 飞边阻力小, 金属外流快, 容易产生返流折叠, 其部位多在 H 字形内侧, 所以应适当调节变形量。

模膛宽度 B 的设计与终锻模膛宽度相同, 以便在终锻变形一开始, 金属就受到模膛外壁的阻力, 有利于模膛充满和防止产生折叠。

在高度方向, 预锻模膛比终锻模膛高 2 mm。

H 字形向腹板过渡处的圆角 R 在图 24.4-128 的 B-B 剖面, 由于宽度小, 用作图法选定。内模锻斜度 $\beta = 5\beta_1$, 选用 35°。此设计主要为减缓金属外流, 防止 H 字内侧充不满引起返流折叠。

③ 其余部分 预锻后锻件的大小, 以能顺利放进终锻模膛为原则, 尺寸可以增减 0.5 mm。过渡处 R 均应加大, 如杆部向两头过渡处, 均应相应增大。在 D-D 截面处, 过渡形状应较圆滑。在 R8 范围内也应向两边均匀过渡。

2) 飞边槽选定 按表 24.4-5 设备 25 000 kN 级选用, 即: $h = 6 \text{ mm}$ $b = 18 \text{ mm}$ $r_1 = 2 \text{ mm}$ $B = 10 \text{ mm}$ 。全部开通到模块边缘。

3) 模块结构 与终锻模相同, 见图 24.4-129 为连杆预锻模图。

4) 顶杆结构也与终锻模相同, 见图 24.4-129。

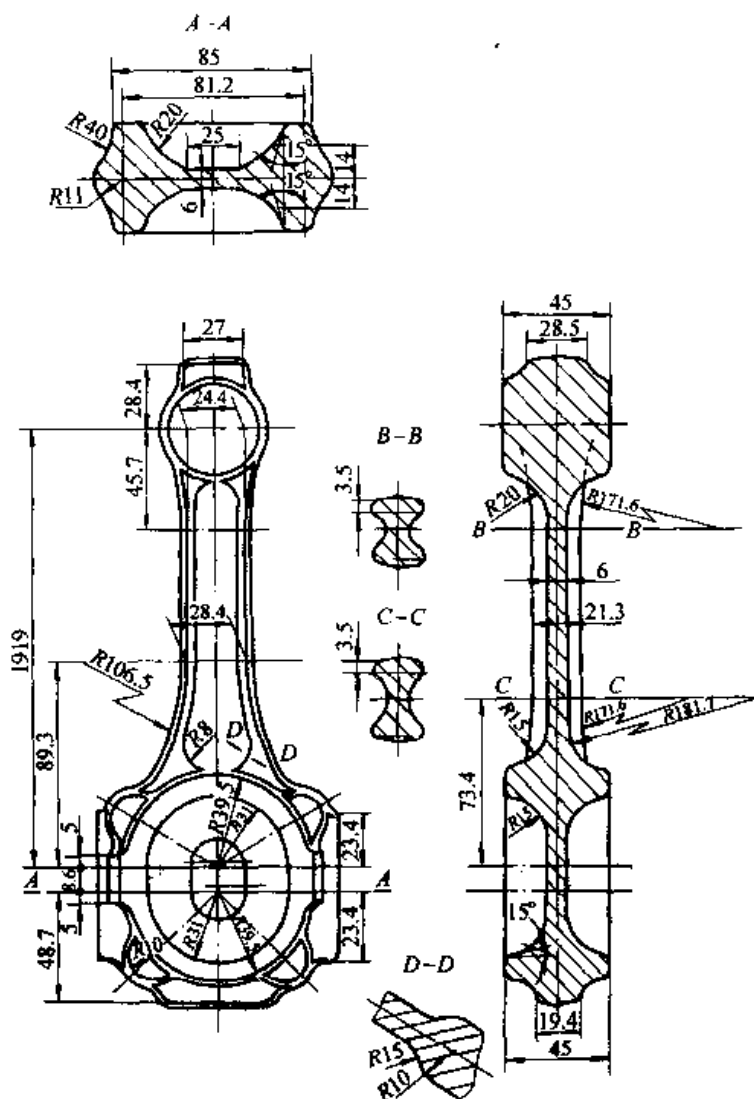


图 24.4-128 连杆预锻热锻件图

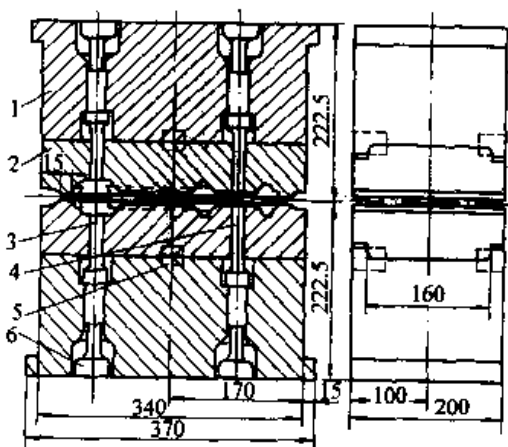


图 24.4-129 连杆预锻模

- 1—模座 2—上模镶块 3—镶块模膛顶杆(后顶杆)
4—镶块模膛顶杆(前顶杆) 5—定位键 6—模座顶杆

确定。根据计算，本件选用 85 mm × 85 mm × 1 150 mm 方钢。

3) 除两端各有一小段为圆柱形和矩形断面外，其余均为变化的 H 型断面，特别是相距 851 mm 的两处弹簧座，H 形不对称，模膛深度为 71 mm，宽度为 18.3 mm。是一个深而窄的模膛。模膛的充满是模具设计的关键。

产品设计要求锻件在弹簧座处进行压平，这样，在模锻成形后，锻件需翻转 90° 在其他设备上把弹簧座压平和校正。

(2) 设计步骤

前轴模锻有两种方法：一种是分段调头模锻。一种是整体模锻。本例为整体一次模锻成形。由机械手操作。设计要点如下：

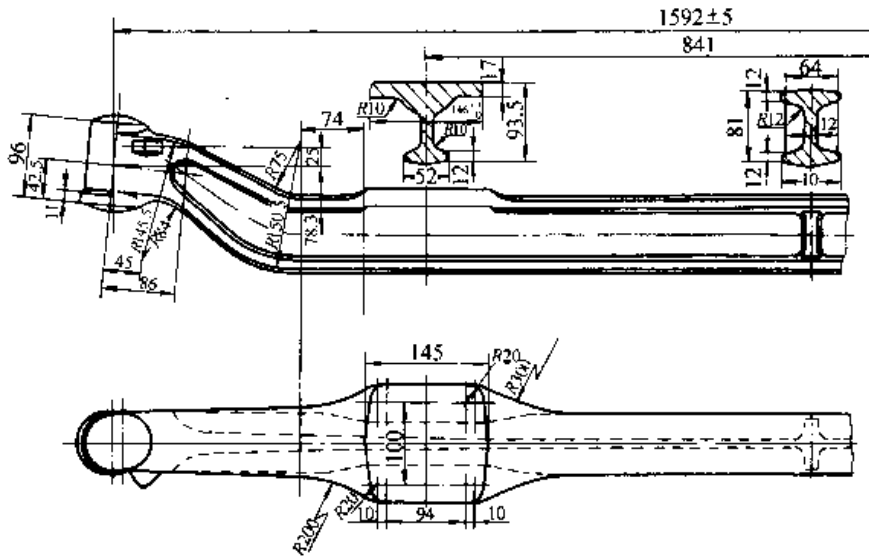


图 24.4-130 前轴锻件图

根据工艺分析和计算, 本件采用 85 mm×85 mm×1 150 mm 的型钢为坯料。坯料长度比锻件长度相差 510 mm, 因此, 其制坯方法必须采用辗锻制坯。

由于锻件的纵向轴线是弯曲的, 因此, 在锻压机上模锻时, 还必须采用弯曲制坯模。

锻件的 H 形断面的模膛特点深而窄, H 形的两枝距离大, 充满模膛比较困难, 必须有预锻才能保证成形。

因此, 本件模锻工艺采用辗锻制坯、锻压机上弯曲制坯、预锻、终锻的设计。压平和校正在其他设备上进行。

设备选定: 根据计算, 前轴模锻时变形力为 98 360 kN。选用 120 000 kN 热模锻压力机。

1) 终锻模膛及其模块设计

① 热锻件图设计 弹簧座部分, 在切边后进行压平并对前轴整体进行热校正。所以, 弹簧座形状与冷锻件图有较大的差别。弹簧座的宽度中间凹入 5 mm, 因为在压平时, 模锻斜度的余块被压平, 金属向两边流出后, 弹簧座沿轴向各处的宽度可基本相同。

弹簧座压平时, 沿锻件轴线方向上有伸长, 伸长量约为总长的 0.57%。因此, 两端主轴销的距离缩小 9 mm。

为使压平时弹簧 H 形内侧活动支持块能进入锻件, 弹簧座下弦提高 3.6 mm。

其余尺寸按冷锻件图加 1.5% 收缩率计算。

图 24.4-131 为前轴终锻热锻件图。

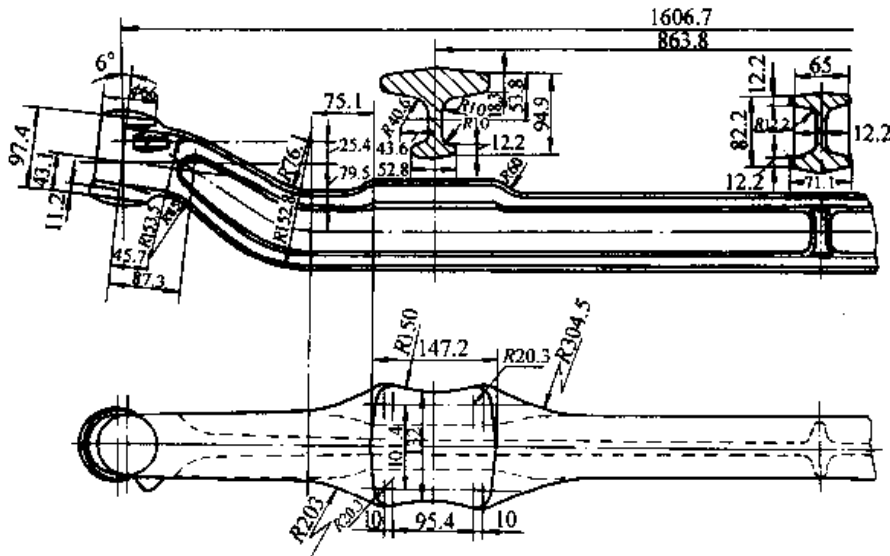


图 24.4-131 前轴终锻热锻件图

② 飞边槽设计 按表 24.4-4 选用, 见图 24.4-132: $h=8\text{ mm}$ $b=24\text{ mm}$ $B=18\text{ mm}$ $r_1=3\text{ mm}$ 仓部开通到模块边缘。

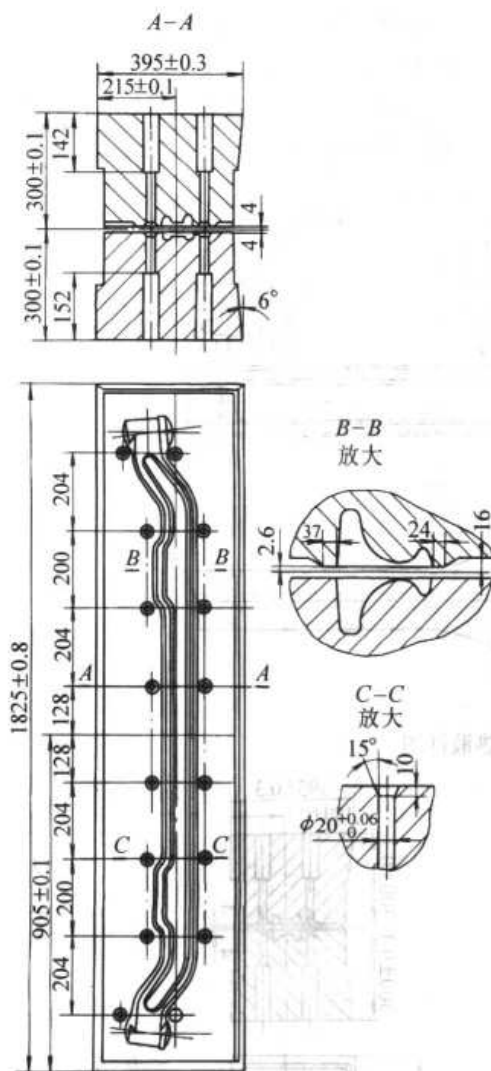


图 24.4-132 前轴终锻模

由于弹簧座处模膛特别深而窄, 为保证模膛充满, 在弹簧座一侧桥部宽度 b 选用为 37 mm , 弹簧座两侧的桥部高度为 2.6 mm 。

为便于机械手操作, 飞边仓部设在上模。

③ 模块尺寸的确定 模块封闭高度, 按模架设计为 600 mm 。

模膛最深处为 73 mm 。因此, 在高度方向可以翻新后继续使用。

根据锻件形状, 模块平面尺寸为 $1\ 825\text{ mm} \times 395\text{ mm}$ 。

底面承压强度校核: $p=179.7\text{ MPa} < 300\text{ MPa}$, 符合要求。

④ 顶杆 前轴锻件很长, H 形截面肋部既

深又窄, 而且轴线弯曲, 为均衡地顶出锻件, 顶杆全部设计在飞边桥部上。

顶杆采用组合式。因为模块比较高, 用整体顶杆就显得太细长, 而且每更换一次必须整根更换, 材料消耗多。组合顶杆则只需换件 1 (如图 24.4-133 所示), 而其余各件可多次使用。采用这种结构, 件 3 尺寸可以增大并配置回位弹簧。

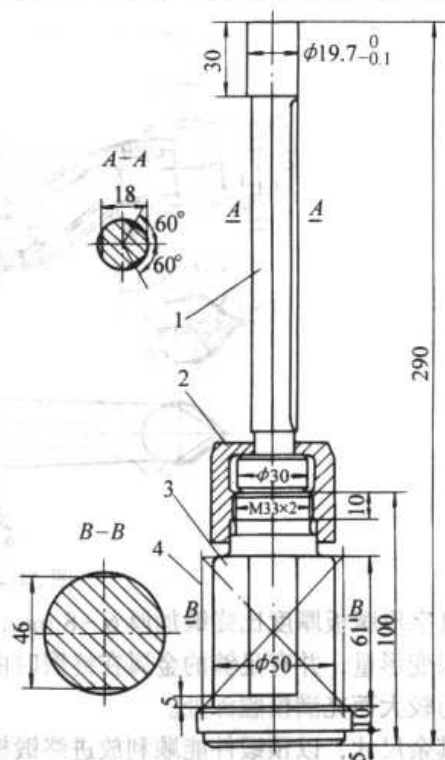


图 24.4-133 前轴锻模顶杆图

1—顶杆 2—压紧螺母 3—顶杆座 4—回位弹簧

为了保证导向的稳定和导向长度, 在件 1 的圆柱面上切出三个互成 120° 的平面, 如图 24.4-133A-A 截面所示。这样, 顶杆直径虽然较小, 但导向面在受热下不致因膨胀而影响导向。

顶杆孔的设计如图 24.4-132C-C 截面所示。顶杆回位后其顶面距离桥部平面 10 mm , 并成 15° 的截锥体。这样, 顶杆不露出分模面, 在模锻变形过程中不会受到外流金属的冲击而发生弯曲变形, 或金属流入顶杆和顶杆孔之间的间隙卡住顶杆而失效。而且截锥体 $10\text{ mm} \times 15^\circ$ 还起到加强作用, 有利用顶出锻件。

顶杆和顶杆孔的间隙为 $0.3\sim 0.4\text{ mm}$, 由顶杆做出。

顶杆全部采用托板螺钉托住, 以便于安装和运输保管。

2) 预锻模膛设计

① 热锻件图设计 两端主销孔部位, 由于前轴模锻用机械手操作, 坯料是辊锻后经过压弯, 除两端有一段方 85 mm×85 mm×60 mm 不变形外, 其余与模膛接触部位均为圆弧, 坯料有向弯曲方向倾倒的倾向, 为此, 坯料的摆放平衡定位只能依靠坯料两端方 85 mm×85 mm 不变

形部分。由于坯料长度变化, 总有一端坯料在模膛外边缘附近。当坯料在桥部的转角 r_1 附近 ± 3 mm 时, 很容易在端面产生折叠。为此, 本例在非定位一端的模膛形状作了较大的改变。

如图 24.4-134 所示, 以 40° 斜面和 $R33$ mm 相切, 分模面上 r_1 也改为 $R30$ mm 与 40° 斜面相切可以避免端面产生折叠。

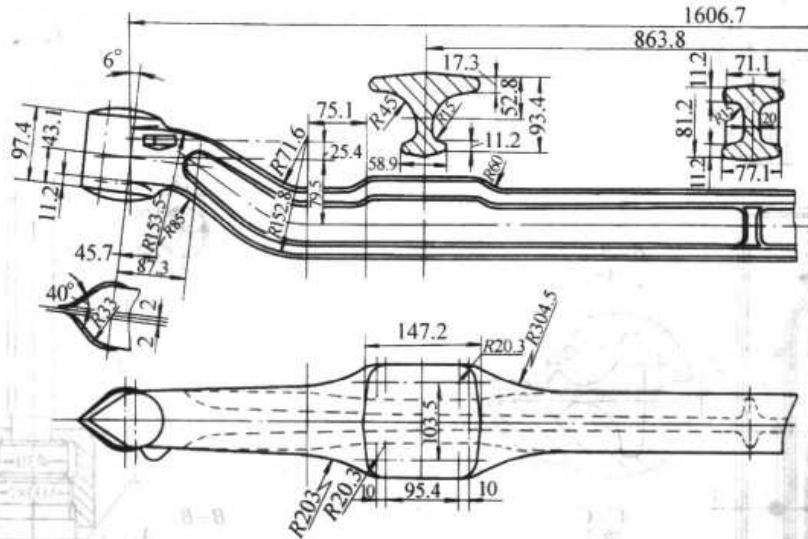


图 24.4-134 前轴预锻热锻件图

H 字形腹板厚度比终锻加厚 6~8 mm, 以减少预锻变形量, 并有足够的金属在终锻时由于飞边阻力较大而充满模膛深处。

其余尺寸, 以预锻件能顺利放进终锻模膛而适当增减 0.5 mm。

H 字形截面: 宽度比终锻两侧各减小 0.5 mm, 定为 81.2 mm。高度为终锻的 1.1 倍, 定为 71.1 mm 和 77.1 mm。

弹簧座处预锻充不满, 设计成平底。腹板向肋部过渡处圆角选为终锻的 1.2 倍, 即 $R15$ mm。腹板厚度比终锻大 8 mm 取为 20 mm。

图 24.4-134 为前轴预锻热锻件图。

② 飞边槽设计 按表 24.4-5 选用: $h = 9$ mm, $b = 24$ mm, 弹簧座处为 37 mm, $B = 18$ mm, 弹簧座处飞边槽设计与终锻模设计相同。

③ 模块结构和顶杆结构均和终锻模设计相同。只是根据模架设计其定位和压紧和终锻模相反。图 24.4-135 为前轴预锻模图。

3) 弯曲模膛设计 弯曲模膛形状按前轴锻件热锻件图在分模面上投影的外轮廓形状小 1~2 mm 设计。

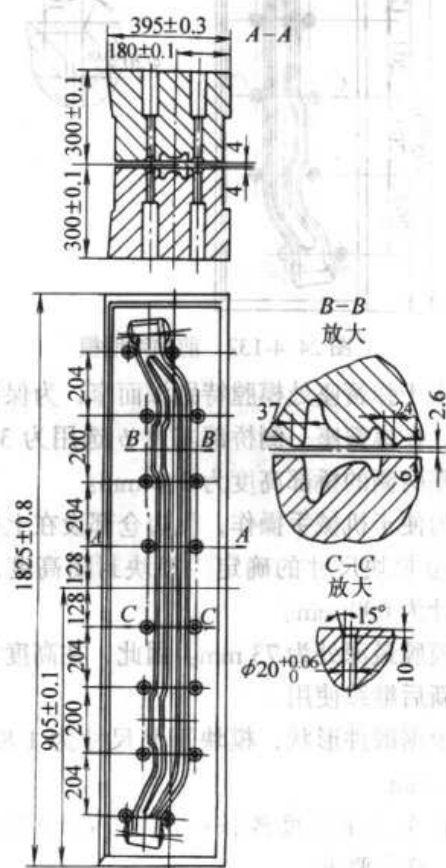


图 24.4-135 前轴预锻模

在中间 H 形由于增加了定位肋，所以辊锻坯料在该部位也增大，弯曲模也相应加大。

在弹簧座向两端弯曲过渡处的内侧超出了锻

件轮廓线，为预防对流折叠。在两头向杆部过渡处也作了类似的设计。

图 24.4-136 为前轴弯曲模。

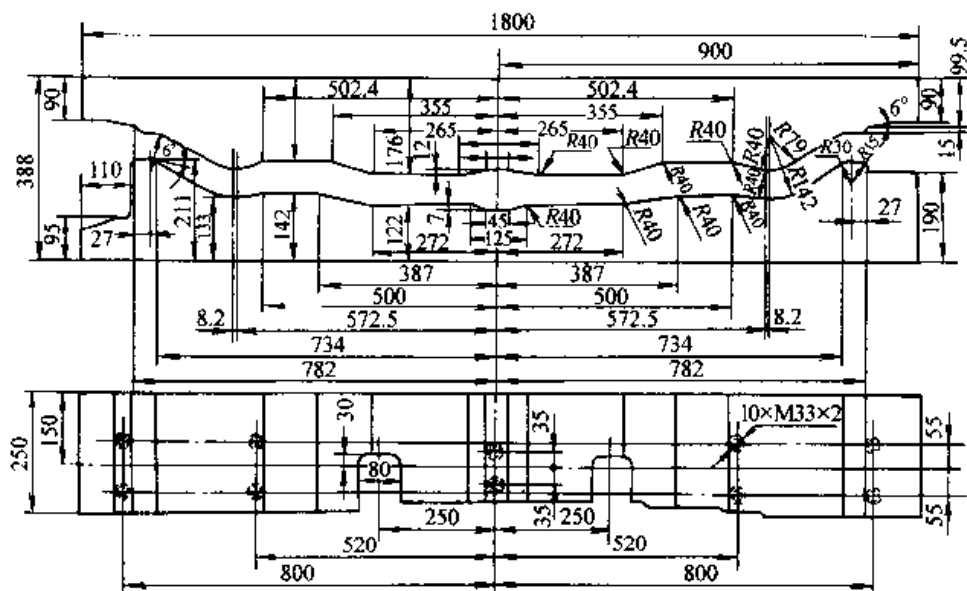


图 24.4-136 前轴弯曲模

4) 前轴辊锻模 前轴模锻工艺选定坯料为 85 mm×85 mm×1 150 mm 方钢，而模锻时要求坯料长约为 1 669 mm。最大截面在两端。最大截面与最小截面之比值为 1.91。

因此，前轴必须采用制坯辊锻才能达到模锻对坯料的要求。

图 24.4-137 为前轴辊锻毛坯图。

根据计算，前轴辊锻毛坯图最大截面积与最

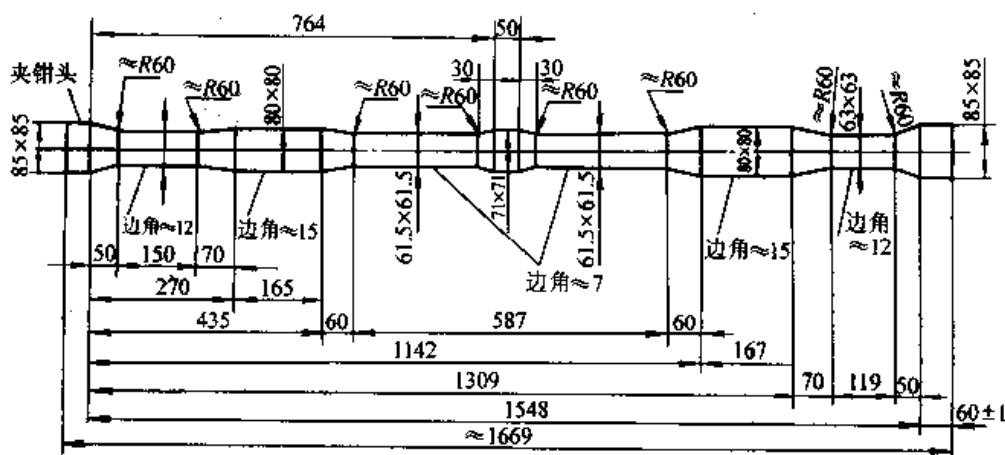


图 24.4-137 前轴辊锻毛坯图

小截面积之比为 1.91。根据制坯辊锻设计的原则：采用方形—椭圆形—方形系列制坯辊锻时，其延伸系数 $\lambda = 1.8 \sim 3.0$ ，采用两道辊锻。本例其延伸系数 $\lambda = \text{原毛坯截面积} / \text{辊锻毛坯最小截面积} = 85^2 / 61.5^2 = 1.91$ 。所以采用方形—椭圆形—方形制坯辊锻，两道成形。

图 24.4-138 为前轴两道辊锻的模膛展开图。

图 24.4-139 为辊锻模图。

4.11 变速杆下段锻模

变速杆下段锻件具有弯曲轴线，杆部截面小，头部平均截面积为杆部截面积的 2.24 倍。对这类锻件，最大截面在一端，轴线弯曲，其制坯工艺一般为辊锻、弯曲等。

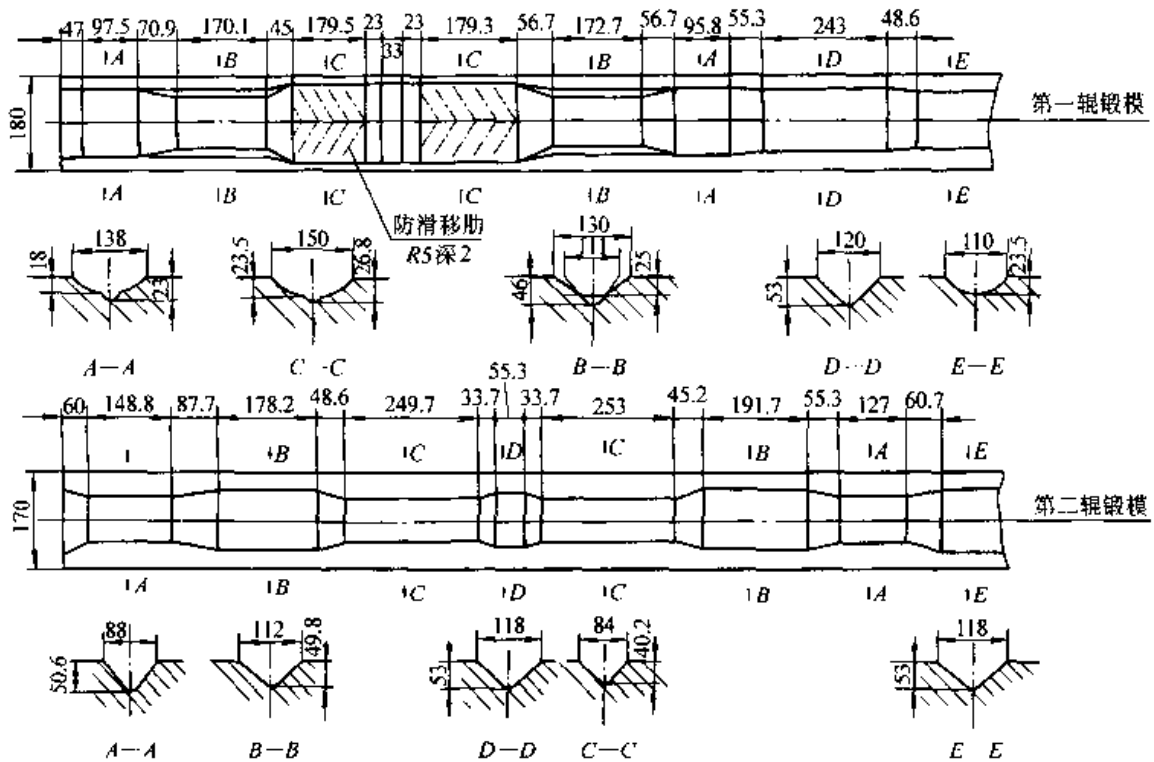


图 24.4-138 前轴辊锻模展开图

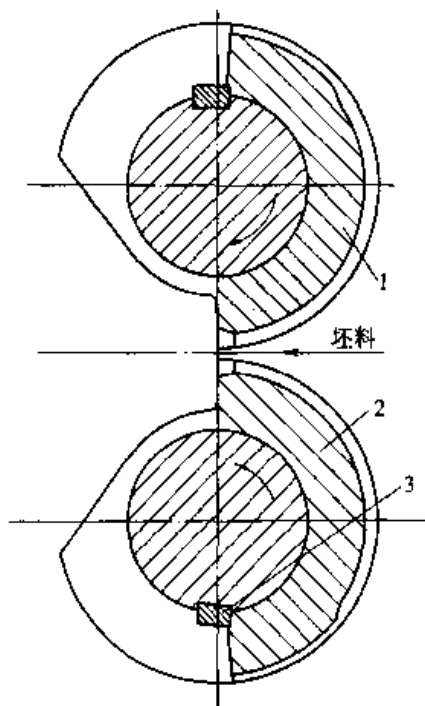


图 24.4-139 前轴辊锻模

1—上辊锻模 2—下辊锻模 3—定位键

由于本例锻件尺寸小而且形状并不复杂。杆部截面仅为 $\phi 18$ mm，如果采用辊锻和弯曲制坯再进行终锻，坯料温度下降太快，不利于模锻生

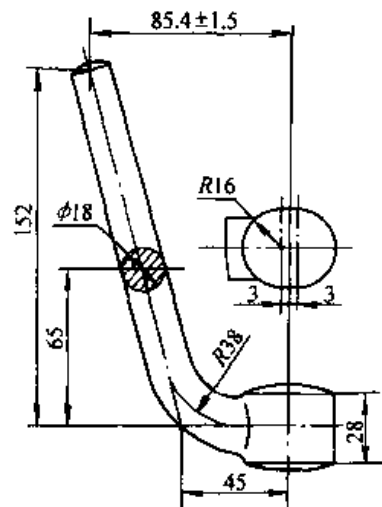


图 24.4-140 变速杆下段锻件图

产。本例采用一模两件并列模锻，见图 24.4-142。制坯采用压扁模，图 24.4-140 为锻件图。

按照头部平均截面与两个杆部并列的截面（均包括飞边）计算。头部相当于 $\phi 38$ mm，两个杆部相当于 $\phi 37$ mm，因此，采用 $\phi 40$ mm 型钢。

(1) 终锻模膛及其模块设计

1) 热锻件图设计 全部尺寸均按冷锻件图加 1.5% 的收缩率，见图 24.4-141。

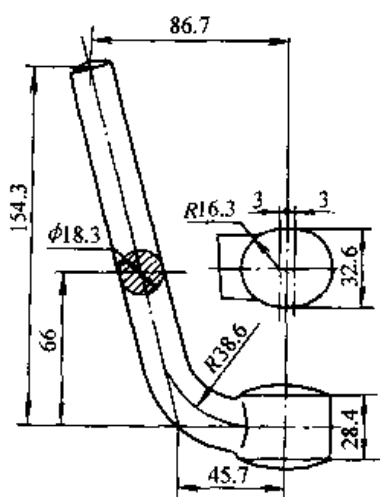


图 24.4-141 变速杆下段终锻热锻件图

2) 飞边槽选用 按表 24.4.4 设备 20 000 kN 级选用。 $h=3\text{ mm}$ ， $b=10\text{ mm}$ ， $B=10\text{ mm}$ ， $L=30\text{ mm}$ 。并列件中间按 $L=30\text{ mm}$ 选用。主要考虑两个并列模膛之间的壁厚强度和有一定的容纳多余金属的仓部。但 L 值不宜过大，太大时将造成分料困难，浪费材料，不易充满模膛。

3) 模块设计

① 由于锻件的轴线是弯曲的，并列以后，左右方向的作用力不一定能平衡。因此，采用纵向锁扣结构。

锁扣高度 $H=28\text{ mm}$

锁扣宽度 $b=45\text{ mm}>1.5H$

$\alpha=5^\circ$ ，锁扣间隙 $=0.3\text{ mm}$ ，锁口上下模之间间隙 $\Delta=4\text{ mm}$ 。

锁扣凸出部分设计在下模，见图 24.4-142 为变速杆下段终锻模。

② 由于模膛浅且大部分为圆柱形。所以不设顶料杆。

(2) 预锻模膛及其模块设计

1) 热锻件图设计 按轴类件预锻设计原则。模膛深度比终锻深 1 mm。宽度比终锻小 0.3 mm。其余尺寸和终锻热锻件图相同，见图 24.4-143。

2) 模块设计同终锻模。

3) 根据锻压机上模锻的特点，预锻时金属变形量大。对于这种并列模膛，要减少金属流动量，否则在内侧可能充不满或产生折叠。因此，在图 24.4-144 中的 A-A 截面，把并

列模膛中间部分设计成类似劈开模膛的形式。这样可以减少金属流动量。有利终锻时金属充满模膛。

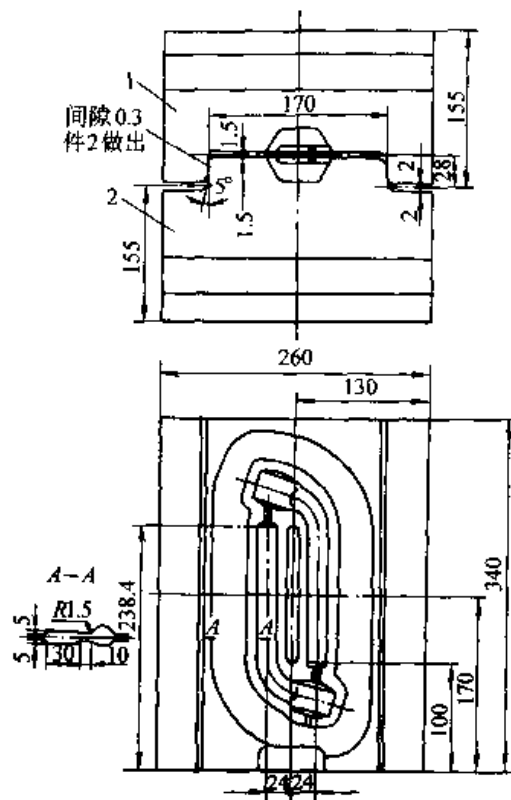


图 24.4-142 变速杆下段终锻模
1—上模 2—下模

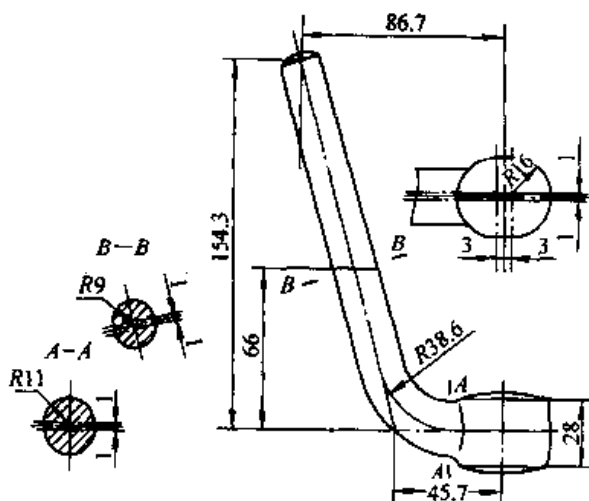


图 24.4-143 变速杆下段预锻热锻件图

4) 飞边槽选定 按表 24.4-5 设备 20 000 kN 级选用，即： $h=4\text{ mm}$ ， $b=10\text{ mm}$ ， $r_1=2\text{ mm}$ ， $B=10\text{ mm}$ ， $L=40\text{ mm}$ 。

(3) 制坯模膛设计

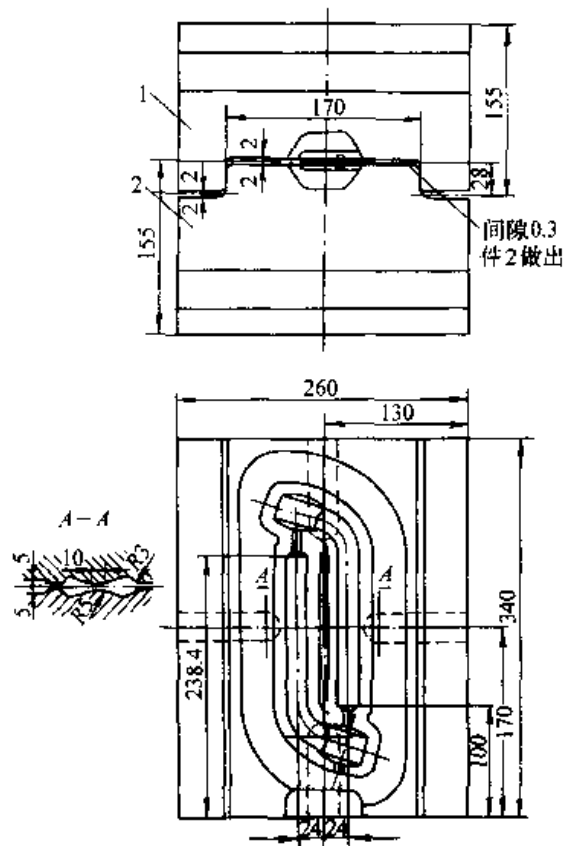


图 24.4-144 变速杆下段预锻模
1—上模 2—下模

本例，原坯料选用 $\phi 40$ mm 型钢。由于一模两件并列模锻，预锻时采用劈开式模膛，要求坯料尽可能覆盖住模膛内侧。

采用压扁制坯模膛，在杆部区段，把坯料压至厚度为 20 mm，两端压至 32 mm，见图 24.4-145。

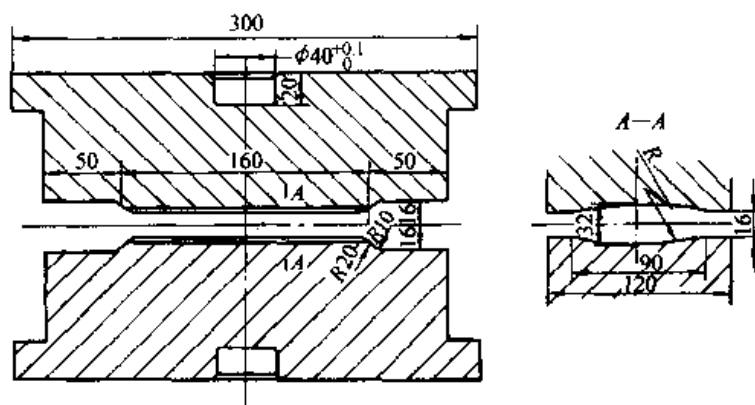


图 24.4-145 变速杆下段制坯模

第 5 章 平锻机用锻模设计

1 概述

平锻机是一种曲柄连杆传动设备，它有两个滑块，主滑块沿着水平方向运动，夹紧滑块则垂直于主滑块运动方向运动。平锻机按其夹紧滑块上凹模分模面是呈垂直，还是呈水平而分成两大类，即分为垂直分模平锻机和水平分模平锻机。在汽车、拖拉机、机械等制造行业，平锻机是一种应用较广的模锻设备。

1.1 平锻机的模锻特点

通常平锻机具有热模锻压力机的某些工作特点，即工作时是静压力，而且由机架本身承受；滑块行程一定；有良好的导向装置等。该类设备之所以能够得到应用和发展，是由于它还具有下列工作特点：

- 1) 有两个分模面；
- 2) 主滑块在水平方向运动；
- 3) 有坯料的定位装置。

由于平锻机的上述工作特点，其模锻工艺和模具设计将有下列特点：

- 1) 能锻出在两个不同方向上具有凹档锻件，

例如倒车齿轮（如图 24.5-110）等。

2) 便于进行长杆类锻件和长杆空心锻件的模锻，以及进行深冲孔、深穿孔工序。

3) 模锻斜度较小，或不需要模锻斜度，使锻件更接近于零件形状、节省金属和工时。

4) 可以进行切飞边、剪料、弯曲、热精压等联合工序，不需另外配备压力机。

5) 水平分模平锻机能进行热挤压工艺。

6) 可用长棒料进行多件模锻、节省棒料剪切劳动量。

7) 所需模具可用组合式及镶块式，以减少模具钢的消耗。

8) 平锻时振动及噪声较小，劳动条件较好，较易实现机械化操作。

9) 平锻机的冲击力小，设备基础也较小，厂房造价低。

平锻机的特征工序是局部锻粗，又称聚集，其他工序还有冲孔、穿孔、卡细、扩径、切断、弯曲、挤压、成形等。将上述工序按照一定顺序加以不同的组合，就能制造出各种形状的锻件（见图 24.5-1）。但是，平锻机上模锻还存在下列问题：

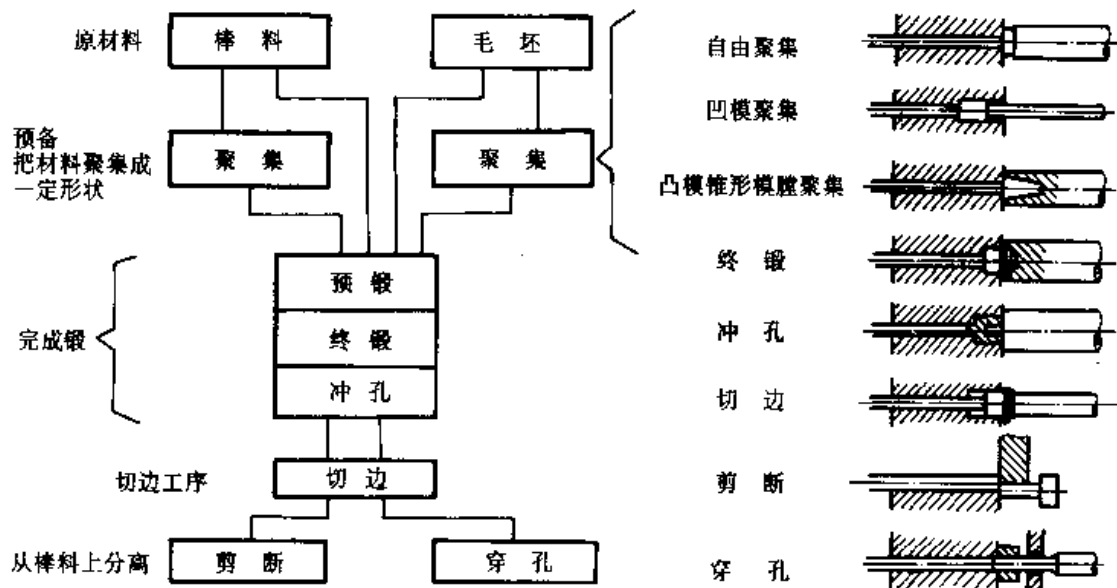


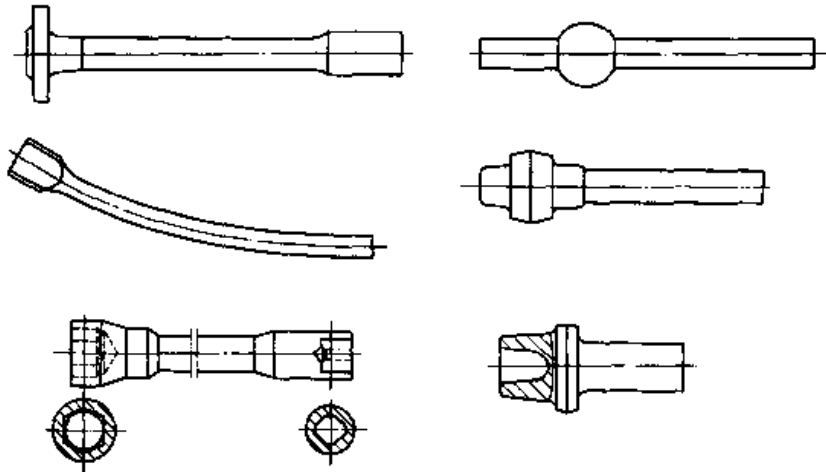
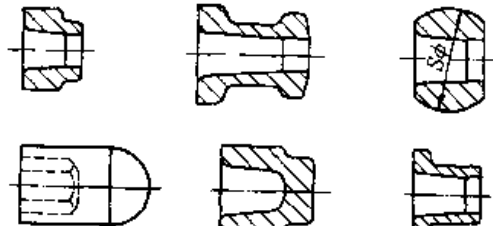
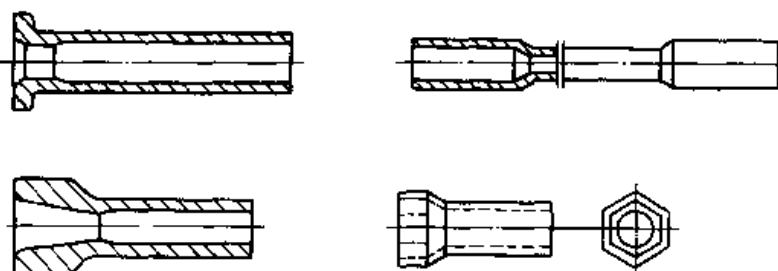
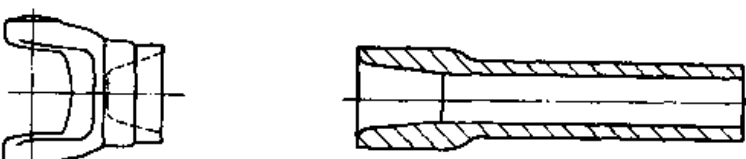
图 24.5-1 锻造工序

- 1) 平锻机造价较贵，设备投资高。
- 2) 平锻时坯料表面氧化皮不能自动脱落，平锻前需清除氧化皮。
- 3) 对非回转体、中心不对称的锻件，较难锻造，适应性较差。

1.2 平锻件分类

根据锻件形状和成形工艺特点，平锻件可分为4类，如表24.5-1所示。

表 24.5-1 平锻件分类

类别	锻件示例
<p>1 具有粗大部分的杆类锻件</p>	
<p>2 具有通孔和不通孔的锻件</p>	
<p>3 管类锻件</p>	
<p>4 挤压件</p>	

1.3 模锻工步的选择

(1) 具有粗大部分的杆类锻件

该类锻件通常采用的工步是：聚集、预锻、终锻、切边等，其基本变形工步是聚集（顶锻），聚集可以在凹模内进行，也可在凸模的锥形模膛内进行，聚集过程中的主要质量问题是坯料的弯曲和折叠。为避免坯料在聚集过程中产生这些缺陷，人们在长期的实践中总结了一些最佳的工艺参数，建立了一些聚集（顶锻）规则。关于聚集规则和在凸模内聚集的工步尺寸和工步数的计算公式见本章第2节（聚集模膛）。

该类锻件的毛坯直径按锻件杆部直径选定。大多数情况采用单件模锻（一坯一件），采用后挡板。

(2) 具有透孔和不透孔的锻件

该类锻件通常采用的工步是：聚集、冲孔（1~4次），如图24.5-2所示。其中基本变形工步是冲孔和聚集，对该类锻件制定工艺时，首先要确定终锻成形（冲孔成形），并在此基础上确定冲孔次数，冲孔尺寸及坯料尺寸等。

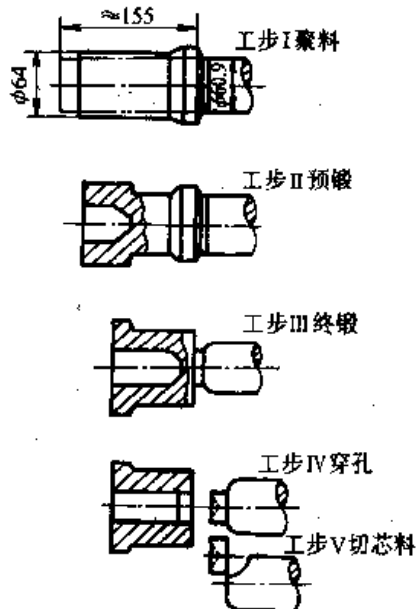


图 24.5-2 联轴器滑套平锻工步

设计终锻（冲孔）成形时，冲孔芯料（连皮）不能太厚，否则穿孔费力，冲头寿命短。当冲穿力大，且锻件支承面积较小时，可能引起锻件底面压皱变形。若芯料太薄，在终锻成形的冲头回程时，可能将芯料拉断而将锻件带走，并可能增加冲孔次数，为此，合适的冲孔芯料尺寸，

应使冲穿力大于终锻成形时的卸件力，而小于锻件支承面上的压皱变形力，具体确定办法见本章第2节的终锻模膛。

由于平锻机的压力—滑块行程允许载荷图是给定的，因此，在一次行程中的冲孔深度不能过大，而且一次行程的冲孔深度过大时，毛坯和冲头容易产生弯曲变形和冲孔偏心的现象，所以对于深冲孔锻件，必须多次冲孔，其具体确定办法见本章第2节的预锻模膛。

为了避免冲孔过程中毛坯形状畸变严重，确保冲孔成形质量，冲头直径和坯料直径应有适当的比值，该比值以等于或小于0.5~0.7为宜。由于锻件上的孔径（冲头直径）是给定的，因此根据锻件相对壁厚和相对孔深的不同，坯料应预形成适当的形状和尺寸，详见本章第2节的预锻模膛。

该类锻件的毛坯直径尽量按孔径选定或保证锻粗比在7以下，多数情况下采用长棒料连续模锻（一坯数件），采用前挡板定位。该类锻件的具体工步设计见第2节终锻和预锻模膛。

(3) 管类锻件

该类锻件通常采用的工步是聚集、终锻和切边等，其基本变形工步也是聚集。由于锻件形状不同，管坯的局部锻粗，既可以在凸模内进行，也可以在凹模内进行，但以在凹模内为主，在锻粗过程中，管坯难于夹紧，同时为保证冲头有良好的导性，常采用后定位装置。

管坯局部锻粗时，同样要满足局部锻粗规则，但其基本参数与实心棒料有所不同，见本章第2节的管料锻粗（聚集）模膛。

该类锻件的管坯直径按锻件杆部直径选定。锻前加热长度不能超过变形区长度太多。成形中应先增加管壁厚度，再锻粗成形。具体工步设计见本章第2节的管料锻粗（聚集）模膛。

1.4 锻件图的制定

制定锻件图的依据是产品零件图。锻件图既要满足零件图和机械加工的要求，又要符合平锻机生产所能允许的技术条件。锻件图必须和冷加工工厂（或车间）会签后方能生效。

锻件图的主要内容包括确定分模面形式和位置，加工余量和锻件公差，模锻斜度和圆角半径，锻件技术条件等。

1.4.1 确定分模面形式和位置

(1) 分模面的形式

平锻分为闭式模锻和开式模锻。

1) 闭式模锻(图 24.5-3) 对于使用前挡板的零件, 因为能控制变形金属的体积, 因此大多采用闭式模锻, 其优点是不需要切边工序, 但一般易产生纵向飞边, 纵向飞边必须用砂轮机磨掉。

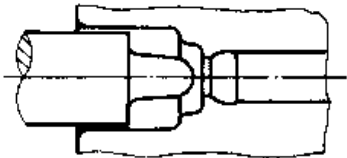


图 24.5-3 闭式模锻

2) 开式模锻(图 24.5-4) 对于使用后挡板或钳口挡板的零件, 大多采用开式模锻。开式模锻产生横向飞边, 这是因为棒料的直径和长度公差影响变形金属的体积, 另外, 对于形状复杂的锻件, 虽然使用前挡板, 但也采用开式模锻, 因为这时需要增加阻力以便使金属充满模膛。

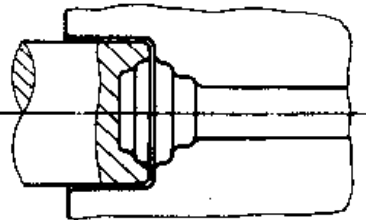


图 24.5-4 开式模锻

(2) 分模面的位置(图 24.5-5)

分模面应该设置在锻件的最大轮廓处, 它分为如下三种情况:

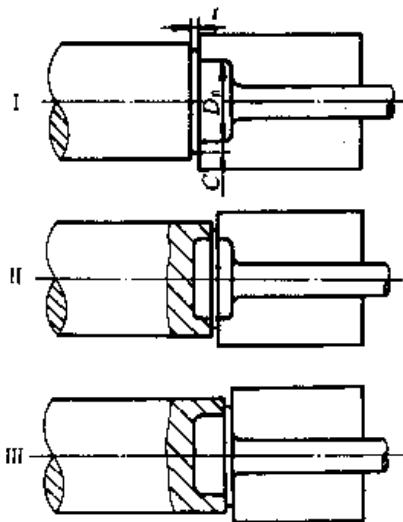


图 24.5-5 分模面的位置

1) 分模面设置在最大轮廓的最前端 优点: 凸模结构简单, 锻件的头部和杆部不偏心, 对于非回转体锻件, 可以简化模具制造和安装调整工作。缺点: 在切边时易拉出纵向毛刺。

2) 分模面设置在最大轮廓的中部 优点: 切边时锻件飞边切得干净, 一般说来, 飞边设置在离凸模方向 10~15 mm 为宜。缺点: 凸模和凹模调整不当时, 易产生错差, 并且要求终锻模膛和切边模膛有较好的同心度。

3) 分模面设置在最大轮廓的后端 优点: 由于锻件都在凸模内成形, 锻件内外径和前后台阶同心度好。缺点: 锻件在切边模膛内很难定位, 并且锻件和坯料之间易产生错差, 一般很少采用。但是在生产轴承环锻件时采用, 其飞边在切边压床上冷切。

(3) 横向飞边的尺寸

横向飞边尺寸的确定见图 24.5-5 和表 24.5-2。

表 24.5-2 横向飞边尺寸 (mm)

D_n	< 20	20~80	80~160	160~260
C	5	8	12	15
t	1.5~2	2~4	3~5	4~6

注: 平锻机精度差时, 飞边厚度 t 取大值。

1.4.2 锻件的机械加工余量和公差

(1) 机械加工余量

机械加工余量是零件加工表面的切削量, 余量值是单面的。

余量大小主要决定于零件的表面粗糙度, 锻件的形状和大小, 而锻件的形状和大小又与所采用平锻机的吨位有关, 因此, 锻件余量可根据平锻机的吨位来选择, 但是还应考虑到下列因素:

1) 当零件表面粗糙度在 $R_a 1.6 \mu m$ 以下时, 在表 24.5-3 的余量基础上增加 0.5 mm。

表 24.5-3 平锻机模锻件机械加工余量

平锻机吨位/kN	2 250~6 300	8 000~16 000
加工余量/mm	1.5~2	2~2.5

2) 应考虑各种公差值, 其中应特别考虑错差值, 直线度等。

3) 加热方式和加热次数: 例如火焰炉加热产生的氧化皮多, 应适当加大余量。

4) 对于具有粗大部分的杆类锻件, 杆部采用粗(精)磨加工时, 仅需留磨加工量 0.5~

0.75 mm, 这时可以选用冷拔钢。

(2) 锻件公差

1) 影响公差大小的因素

① 锻件尺寸;

② 锻锻部分重量和“不锻”棒料部分重量

对于具有粗大部分杆类锻件, 具有一组锻锻台阶, 而与冲头相反方向另一端棒料不进行锻锻的锻件 (图 24.5-6a), 只按锻锻部分计算重量。

当在两端进行锻锻时, 其锻锻要分二次在二个方向进行, 为了便于确定公差, 二次锻锻可按锻件较复杂的一端计算重量, 对其中不锻或不参与变形的棒料部分其长度小于棒料直径 1.5 倍时, 可看作一个部分来计算。

不锻棒料部分重量: 对于由前一道锻造工序形成的任何锻锻部分连同“不锻”的杆部重量都看作“不锻”棒料部分重量 (图 24.5-7a)。

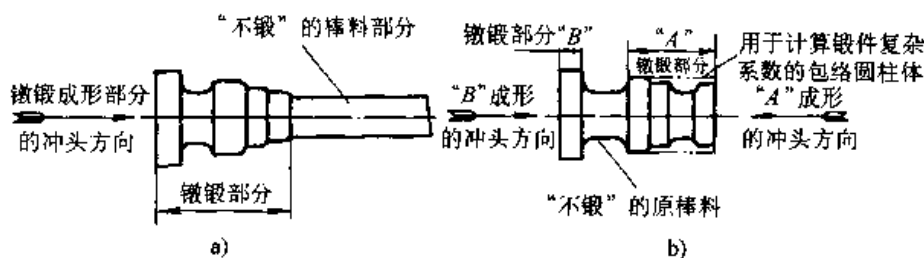


图 24.5-6 锻锻部分和“不锻”棒料部分

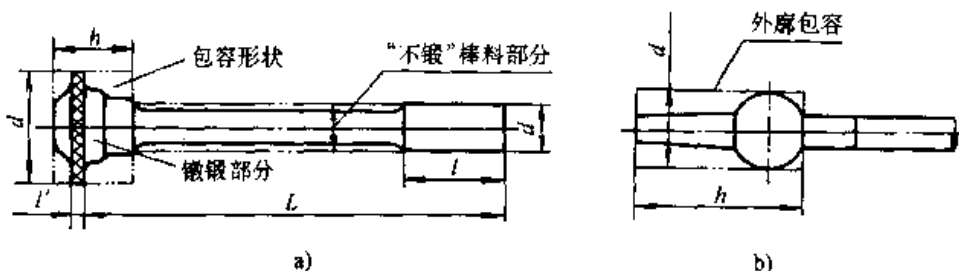


图 24.5-7 确定复杂系数的实例

③ 锻件的材质分为二级: M_1 和 M_2

M_1 —— 钢中碳的质量分数小于 0.6%, 合金成分总的质量分数小于 3%。

M_2 —— 钢中碳的质量分数大于 0.6%, 合金成分总的质量分数大于 3%。

④ 锻件锻锻部分的复杂系数 S 一般情况: 复杂系数是指锻锻部分的重量 m_f 与部分外廓包容体的重量 m_N 之比, 它表示锻件形状的复杂程度

$$S = \frac{m_f}{m_N}$$

按其比值范围, 将复杂系数分为四级

- $S_1: 0.63 < S_1 \leq 1$ 简单
- $S_2: 0.32 < S_2 \leq 0.63$ 一般
- $S_3: 0.16 < S_3 \leq 0.32$ 较复杂
- $S_4: S_4 \leq 0.16$ 复杂

特殊情况:

a) 当 $\frac{l}{d} \leq 0.2$ 或 $\frac{l}{d} \geq 4$ 时, 采用复杂系数 S_4 , 如图 24.5-7a 所示。

b) 当冲孔深度大于直径 1.5 倍时, 复杂系数提高一级。

2) 各类公差

① 直径、杆部长度公差查表 24.2-4。

对于“不锻”棒料部分的长度 L 的公差, 由“不锻”棒料部分的重量确定, 见图 24.5-7a, 但若加热长度难以严格控制时, 公差放宽 2~3 档。

② 锻锻的厚度公差查表 24.2-6。

当有下列情况之一者, 应加大厚度公差:

a) 采用管料锻锻法兰盘锻件时, 视管料大小要增加公差 1~2 mm。

b) 锻粗比 $\phi \geq 7$ 时, 要提高公差一档。

③ 错差公差查表 24.2-4。

④ 横向残留飞边及切入锻件深度公差见图

24.5-8, 查表 24.2-4。

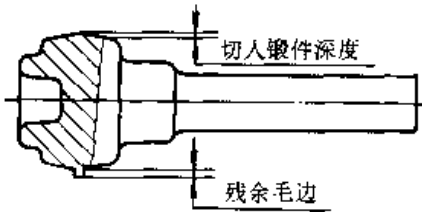


图 24.5-8 残留飞边和切入锻件深度

- ⑤ 直线度及平面度公差查表 24.2-8。
- ⑥ 中心距公差查表 24.2-9。
- ⑦ 局部变形公差见图 24.2-9, 由锻锻部分最大直径确定。

⑧ 纵向毛刺公差查表 24.2-13。

⑨ 同轴度公差查表 24.2-4, 数值为错差公差的两倍。冲孔件同轴度公差见图 24.2-8: $h/d > 1.5 \sim 3.0$ 为 $0.5 \sim 0.8$ mm; $h/d > 3.0 \sim 5.0$ 为 $0.8 \sim 1.2$ mm; $h/d > 5.0$ 时公差值大于 1.2 mm。

⑩ 壁厚差公差见图 24.2-10, 其值为表 24.2-4 或表 24.2-5 中错差公差的两倍。

1.4.3 模锻斜度

模锻斜度按表 24.5-4 选取, 由于平锻机具有“有效后退行程”, 所以模锻斜度可以很小, 而 α 和 β 则需取较大值, 因为一般平锻机没有上、下顶料装置。

表 24.5-4 平锻件的模锻斜度

凸模内成形模锻斜度 γ (图 a)	H/d	≤ 1	$> 1 \sim 3$	$> 3 \sim 5$
	γ	$0^\circ 15'$	$0^\circ 30'$	$1^\circ 00'$
锻件内孔模锻斜度 θ (图 b)	H/d_k	≤ 1	$> 1 \sim 3$	$> 3 \sim 5$
	θ	$0^\circ 30'$	$0^\circ 30' \sim 1^\circ 00'$	$1^\circ 30'$
锻件夹紧方向内模锻斜度 β (图 c)	C	≤ 10	$> 10 \sim 20$	$> 20 \sim 30$
	β	$5^\circ \sim 7^\circ$	$7^\circ \sim 10^\circ$	$10^\circ \sim 12^\circ$
	α	$3^\circ \sim 5^\circ$	$3^\circ \sim 5^\circ$	$3^\circ \sim 5^\circ$

1.4.4 圆角半径

圆角半径分为外圆角半径 R 和内圆角半径 r , 如图 24.5-9 所示。

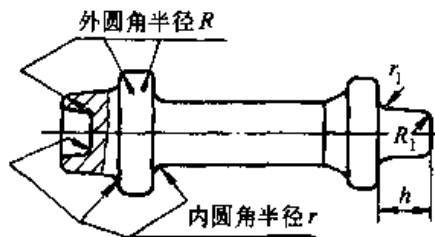


图 24.5-9 内圆角及外圆角半径

(1) 外圆角半径 R (mm)

$$R = \frac{a_1 + a_2}{2} + S$$

一般应使 $R \geq 3$ mm

式中 a_1 、 a_2 ——组成圆角相邻两边的余量值;
 S ——零件的倒角值或圆角半径。

按以上计算的圆角半径过小时, 可以加大相邻两边的余量以增大外圆角半径, 若不加大余量, 而过份地增加半径, 就会过多地减少圆角部位的加工余量, 容易引起由于黑皮而产生废品。

对于挤压成形部位的圆角半径 R_1 (mm)

$$R_1 = 0.1h + 1 \text{ mm}$$

式中 h ——挤压部位的深度 (mm)。

(2) 内圆角半径 r

1) 一般 $r \geq 3$ mm, 但 r 不可过大, 否则将加大加工余量, 也增加锻件重量。

2) 对于挤压成形部位的内圆角半径 r_1 (mm)

$$r_1 = 0.2h + 1 \text{ mm}$$

式中 h —— 挤压部位的深度 (mm)。

1.4.5 锻件技术条件

锻件技术条件包括下列内容:

- 1) 未注明模锻斜度。
- 2) 未注明圆角半径。
- 3) 未注明残留毛刺。
- 4) 未注明缺陷深度: 小于或等于锻件加工余量之半。
- 5) 锻件错差: 小于或等于锻件加工余量之半。
- 6) 热处理硬度: 调质硬度, 正火硬度。
- 7) 锻件重量。
- 8) 其他: 形位公差等。

1.5 棒料尺寸的选定

1.5.1 坯料的体积 V_p , 按下式计算

$$V_p = (V_d + V_{\text{芯}} + V_f + V_{\text{扩}})(1 + \delta)$$

式中 V_d —— 锻件体积, 按冷锻件图名义尺寸加正公差之半计算 (图 24.5-10);

$V_{\text{芯}}$ —— 芯料体积;

V_f —— 横向飞边体积, 见表 24.5-2;

$V_{\text{扩}}$ —— 对于扩径的穿孔类锻件, 扩径部分的体积;

δ —— 坯料加热时的烧损率, 也称火

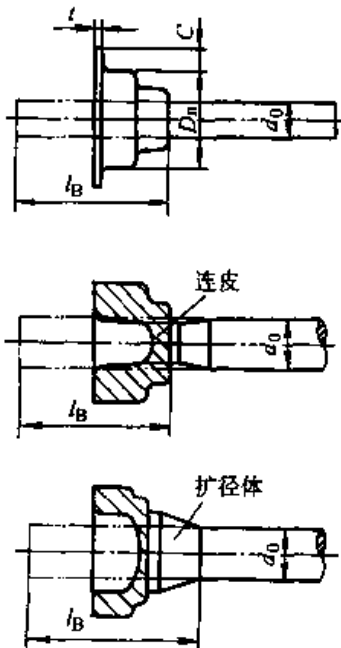


图 24.5-10 终锻工步形式

耗。火焰炉加热, $\delta = 3\%$; 电加热, $\delta = 1\% \sim 1.5\%$ 。

1.5.2 棒料的直径 d_0

(1) 具有粗大部分的杆类锻件

尽量选取棒料直径 d_0 等于锻件杆部直径, 以减小机械加工量。

(2) 穿孔类锻件

对穿孔类锻件, 确定棒料直径时应考虑:

1) 按聚集 (顶墩) 规则控制墩粗比

$\varphi \left(\varphi = \frac{l_B}{d_0} \right)$, 以减少聚集工步数和总的工步数。

2) 控制棒料直径和卡细直径 d_{min} 之比

$f \left(f = \frac{d_0}{d_{\text{min}}} \right)$, 即卡细率, 见图 24.5-11 尽量使 $f =$

1.25。当墩粗比 $\varphi \leq 2$ 时, 卡细率可达 1.4, 否则要增加切除穿孔废芯的工序 (坯料切除穿孔废芯后, 才能继续锻造), 这样不仅增加工序数, 降低生产率, 而且切断工作劳动条件差 (冲击大)。

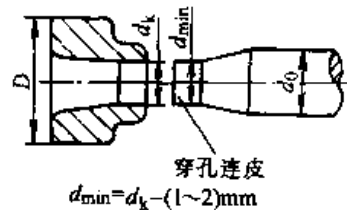


图 24.5-11 棒料卡细

3) 对于具有深孔而又较复杂的锻件 (图 24.5-12), 在锻造时, 应力求不产生金属倒流, 否则增大冲孔时的变形力, 缩短模具寿命, 同时在锻件内孔也易产生折纹, 即应使

$$d_0 = (1.05 \sim 1.1) \sqrt{D^2 - d_k^2}$$

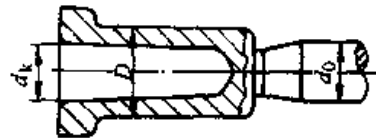


图 24.5-12 深孔锻件

4) 在不增加聚集工步或增加工步数不多的情况下, 采用较小直径的坯料, 以减少夹紧部分的材料消耗。

5) 对于薄壁浅孔环形锻件, 由于终锻体积较小, 应使所选坯料直径小一些, 采用扩径, 增长墩粗长度 l_B 。因为墩粗长度太短有两个缺点, 其一是墩粗比过小, 氧化皮不易清除干净; 其二

是前挡板可能无法使用，造成操作上困难。因为采用前挡板定位时，要求坯料伸出凹模的长度大于15 mm。

棒料直径 d_0 的选定方法如下：

1) 首先按截面积相等原则，求出计算直径 d_j

$$\frac{\pi}{4} d_j^2 = \frac{\pi}{4} D^2 - \frac{\pi}{4} d_k^2$$

$$d_j = \sqrt{D^2 - d_k^2}$$

式中 D ——锻件外径 (mm)；
 d_k ——锻件内孔直径 (mm)。

2) 按锻件相对壁厚试取坯料直径。对薄壁锻件 ($\frac{D-d_k}{d_k} \leq 0.6$)，若采用扩孔成形，试取坯料直径 $d_0 = (1.05 \sim 1.1) d_j$ 。若是薄壁高度小的环形锻件，采用扩径，试取 $d_0 < d_k$ 。对厚壁锻件 ($\frac{D-d_k}{d_k} > 1.25$)，试取 $d_0 > d_k$ ，采用卡细工步。

一般壁厚锻件 ($\frac{D-d_k}{d_k} = 0.6 \sim 1.25$)，试取 $d_0 = d_k - (1 \sim 2)$ 。

3) 根据试取的棒料直径 d_0 ，验算锻粗比 φ 和卡细率 f 。

1.6 设备吨位确定及其技术参数

1.6.1 锻锻力的计算公式

(1) 概略计算公式

$$F = 57.5KA$$

式中 F ——锻锻力 (kN)；

A ——锻件最大投影面积 (包括飞边) (cm^2)；

K ——钢种系数，见表 24.5-5。

表 24.5-5 钢种系数

钢 号	K
中碳钢及低碳合金钢，如 45、20Cr	1
高碳钢及中碳合金钢，如 60、45Cr、40CrNi	1.15
高合金钢，如 GCr15、45CrNiMo	1.30

(2) 奥穆科锻锻力图表

根据锻件的复杂程度，投影面积，抗拉强度，就可在图 24.5-13 中直接查出锻件的锻锻力。

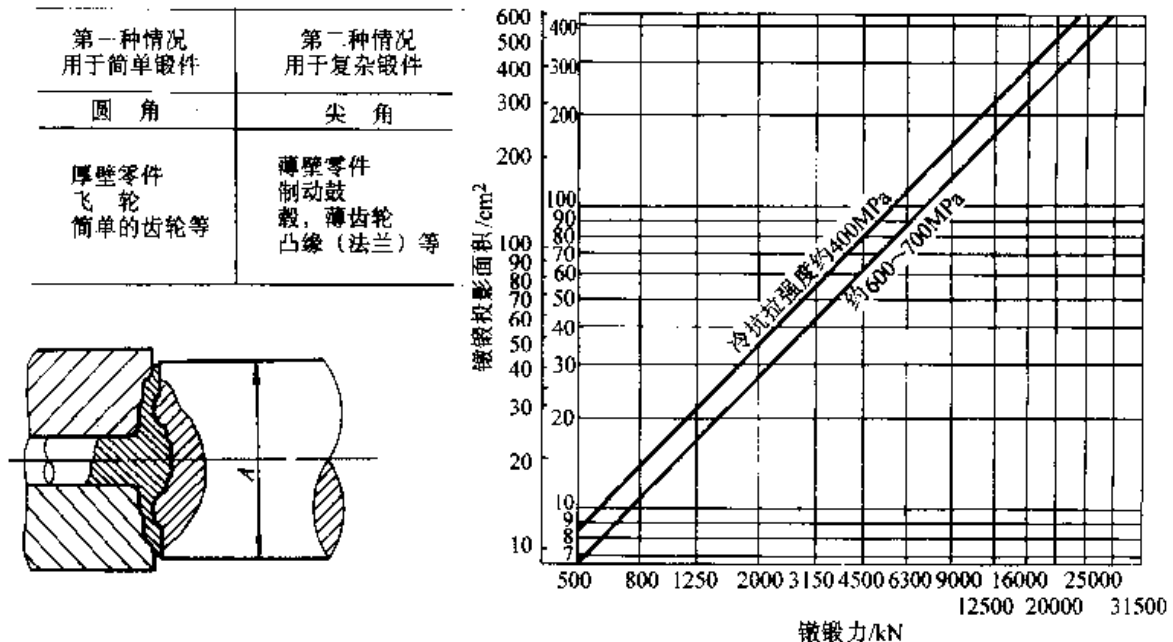


图 24.5-13 奥穆科平锻机锻锻力图表

例如：有一薄壁零件，其锻锻投影面积为 90 cm^2 ，材质为 40Cr，求其锻锻力。

查图 24.5-13 需要 6 300 kN 的锻锻力。

(3) 扎列斯基计算公式

由锻件材质，锻件形状，工步种类，锻锻投影面积 (包括飞边) 和锻造温度在图 24.5-14 中可以查到该锻造温度下的抗拉强度 σ_b 。在表 24.5-6 中可找到锻锻力的计算公式。

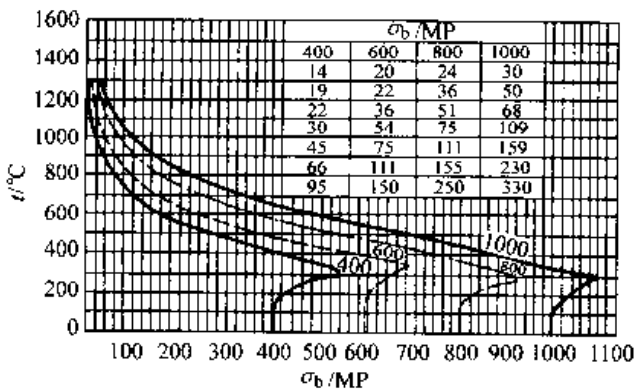


图 24.5-14 随着温度而变化的抗拉强度 σ_b

1.6.2 平锻机吨位选择

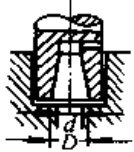

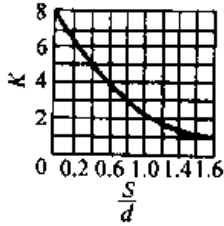
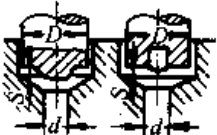
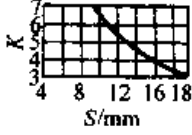
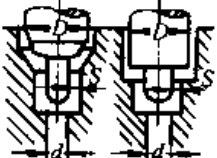
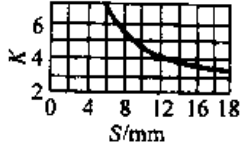
(1) 吨位选择步骤

1) 首先计算锻件终锻时的锻造压力，初步选定平锻机吨位。


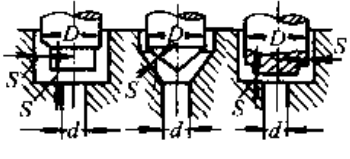
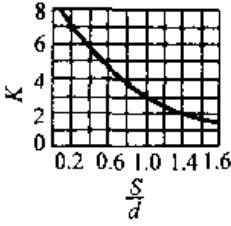
2) 根据锻件形状、尺寸和工步数计算凹模体的宽度或高度，核对所选平锻机的安模空间宽度或高度。若计算值大于初选平锻机安模空间宽度或高度，就要加大平锻机的吨位。

3) 根据坯料锻粗长度 l_B ，核对所选平锻机的全行程和有效行程。

表 24.5-6 平锻机锻锻力图表 (BN 扎列斯基)

工序类型	工序名称	确定吨位的公式 (F 单位为 N)	选择系数 K 的曲线
I	 在冲头的锥形模膛里聚集	$F = \pi D^2 \sigma_b$ D—大头直径 (mm)	
II	 用平冲头锻锻法兰	$F = \frac{\pi D^2}{4} K \sigma_b = AK \sigma_b$ D—锻锻的法兰直径 (mm) K—决定于 S/d 的系数 S—法兰厚度 (mm), d—棒料直径 (mm) A—锻锻投影面积 (mm ²)	
III	 同时兼有冲孔的锻锻，并且其冲孔冲头的直径等于原棒料直径	$F = \frac{\pi D^2}{4} K \sigma_b = AK \sigma_b$ K—决定于法兰厚度 S 的系数 D—锻锻直径 (mm)	
IV	 冲孔在前道工序的预锻法兰上用冲头驱散金属进行扩孔	$F = \frac{\pi D^2}{4} K \sigma_b = AK \sigma_b$ D—锻锻直径 (mm) K—决定于最小壁厚 S 的系数 A—锻锻投影面积 (mm ²)	

续表 24.5-6

工序类型	工序名称	确定吨位的公式 (F 单位为 N)	选择系数 K 的曲线
V	 穿孔 (冲连皮)	$F = 1.4 n b \sigma_b$ n —穿孔轮廓的周长 (mm) b —穿孔部分的高度 (mm)	
VI	 薄壁的轴承套或杯形件的锻锻	$F = \frac{\pi D^2}{4} K \sigma_b = AK \sigma_b$ D —锻锻直径 (mm) K —决定于 S/d 的系数 (S —最小壁厚 (mm), d —棒料直径 (mm))	

注: σ_b —在模锻温度下毛坯材料的抗拉强度 (MPa)。

对于用“前挡板”定位的锻件, 必须保证在凸模内聚集的锻粗长度 l_B (mm) 符合如下公式

$$l_B \leq S - 100 \sim 150 \text{ mm}$$

式中 S ——全行程 (mm)。

(2) 举例说明

图 24.5-15, 是汽车第一轴锻件图, 选择合适的平锻机。

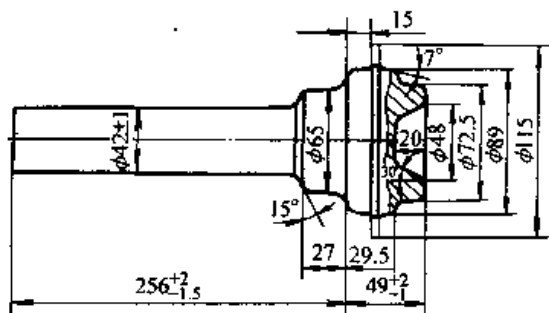


图 24.5-15 第一轴锻件图

1) 首先计算锻件终锻时的锻造压力

查图 24.5-13, 奥穆科平锻机锻锻力图表, 锻件投影面积 A :

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} \times 11.5^2 \text{ cm}^2 = 104 \text{ cm}^2$$

锻锻力 $F = 7\,800 \text{ kN}$

初选 $9\,000 \text{ kN}$ 水平分模平锻机。

2) 估算凹模体宽度 B

$$B = [D_{\max} + 2(0.1D_{\max} + 10)]n + 2 \times 40$$

$$= [115 + 2(0.1 \times 115 + 10)]5 \text{ mm} + 80 \text{ mm}$$

$= 870 \text{ mm}$

式中 D_{\max} ——锻件最大直径 (包括飞边),

$D_{\max} = 115 \text{ mm};$

n ——工步数, 经设计计算需要 5 个工步 (见图 24.5-16), $n = 5$ 。

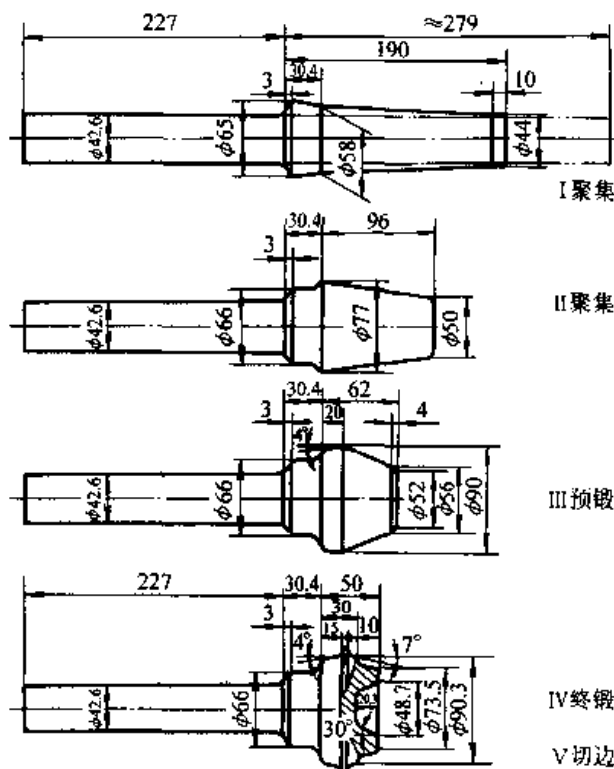


图 24.5-16 第一轴工步图

1. 热尺寸; 2. 未注明 $R5$

查图 24.5-17 和表 24.5-11, 9 000 kN 水平分模平锻机凹模安模空间, 允许的最大模宽约 800 mm, 故应选择 12 500 kN 水平分模平锻机, 其允许的最大模宽约 920 mm。

3) 根据坯料镦粗长度 l_B , 核对所选平锻机的全行程。

第一轴的镦粗长度 $l_B = 279$ mm, 见图 24.5-16。

12 500 kN 水平分模平锻机的全行程 $S =$

460 mm (查表 24.5-11) 必须符合

$$l_B \leq S - 100 \sim 150 \text{ mm}$$

$$S - 100 \sim 150 \text{ mm} = 460 \text{ mm} - 150 \text{ mm} = 310 \text{ mm}$$

所以 $l_B < S - 100 \sim 150 \text{ mm}$

所以选定的 12 500 kN 水平分模平锻机是合适的。

1.6.3 平锻机的技术规格和安模空间主要参数

平锻机的技术规格和安模空间的主要参数见图 24.5-17、图 24.5-18 和表 24.5-7、表 24.5-8。

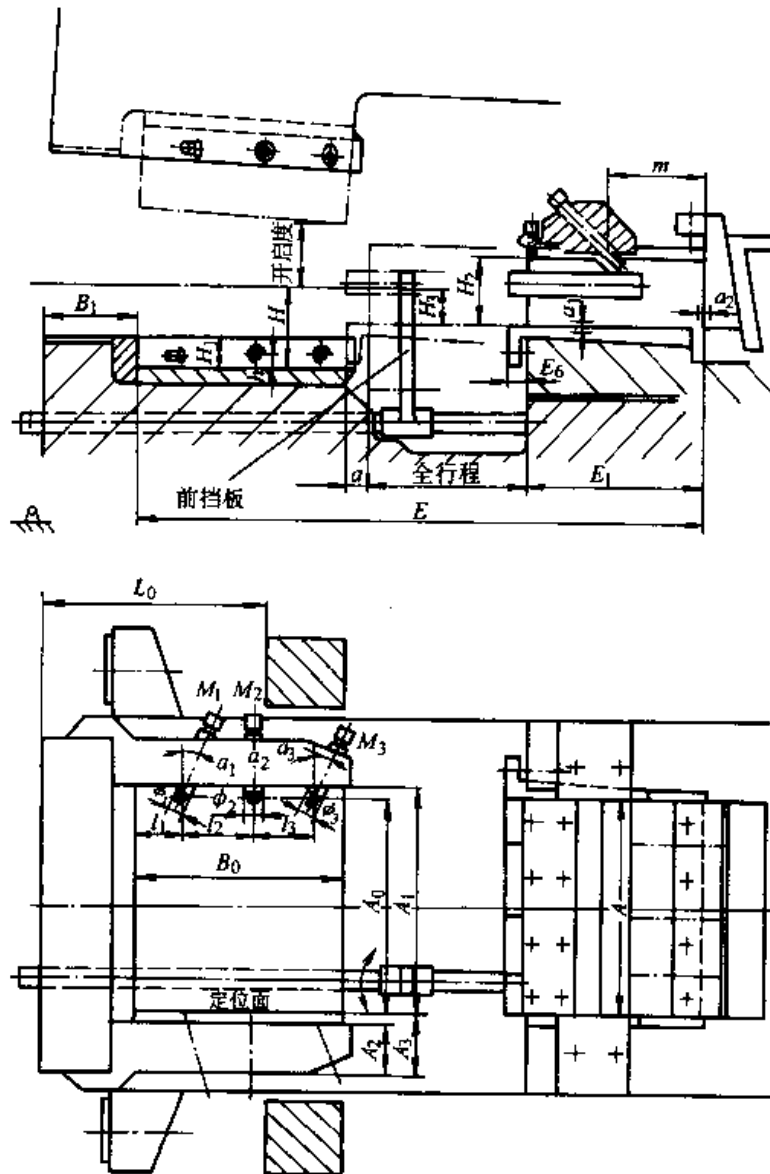


图 24.5-17 水平分模平锻机安模空间图

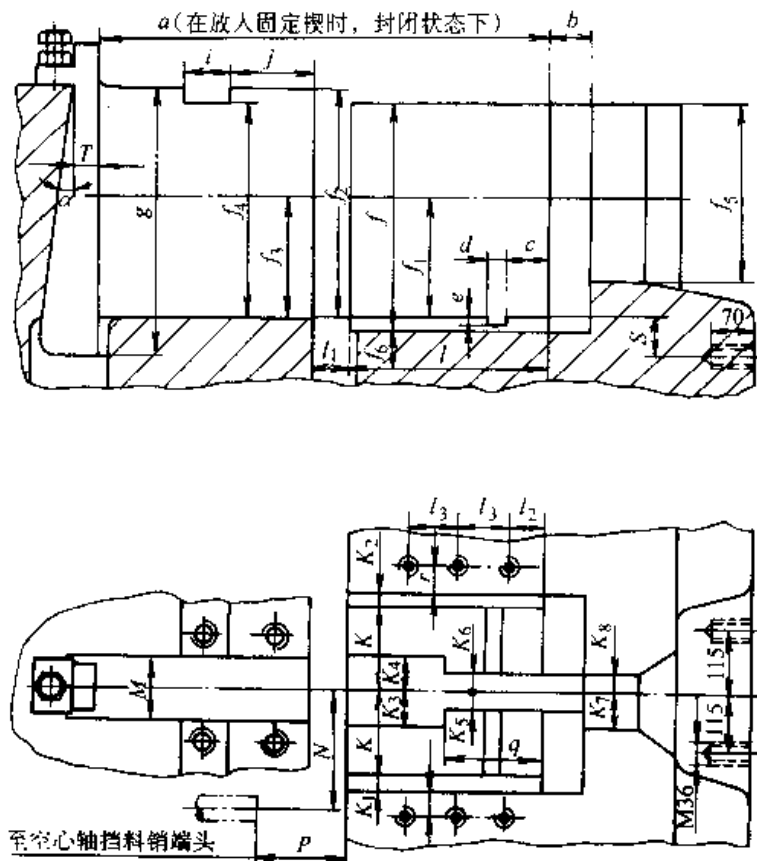


图 24.5-18 垂直分模平锻机安模空间图

表 24.5-7 水平分模平锻机技术规格和安模空间主要参数

代号	名称和单位	3 150 kN	德国 4 500 kN	6 300 kN	德国 9 000 kN	国产 9 000 kN	12 500 kN	德国 16 000 kN
	夹紧力/ kN	3 150	4 500	6 300		9 000	12 500	21 200
	行程次数/ min ⁻¹	55	45	35	32	32	28	20
	最大棒料 直径/mm	65	80	95	115	115	140	160
	上模开启度 /mm	120	135	155	180	180	205	230
	全行程 /mm	290	330	360	420	420	460	540
	有效行程 /mm	150	170	190	215	215	245	280
	后退行程 /mm	80	75	100		108	130	
	安模空间 长/mm× 宽/mm× 高/mm	330×380 ×145	400×450 ×170	450×530 ×190	530×600 ×220	530×600 ×220	600×720 ×250	680×760 ×280

续表 24.5-7

代号	名称和单位	3 150 kN	德国 4 500 kN	6 300 kN	德国 9 000 kN	国产 9 000 kN	12 500 kN	德国 16 000 kN
	马达功率/ kW	17	37	55	37	70	95	110
L_p	闭合长度 /mm	755	860	1 020	1 155	1 270	1 500	1 585
E	/mm	1 045	1 190	1 380	1 575	1 690	1 900	2 125
E_1	/mm	315	390	450	445	560	600	720
a	/mm	10	35	120	180	180	300	70
A_0	模宽/mm	380	450	530	600	600	720	760
A_1	/mm	400	470	550	620	630	750	775
A	/mm	85	100	110	130	150	190	235
A_3	/mm	110	125	130	150	160	220	250
B_0	模长/mm	330	400	450	530	530	600	680
B_1	/mm	200	196	230	300	250	305	210
H_0	模厚/mm	145	170	190	220	220	250	280
H_1	/mm	60	60	下模 75 上模 78.5	90	95	100	120
H_2	夹持器高 /mm	120	140	165	185	200	230	220
H_3	/mm	60	70	82	92.5	97.5	115	110
l_1	} 模子安装 孔位置 /mm	61	108	下模 138 上模 102	下模 98 上模 83	136	120	上模 120
l_2		114	142	上模 170	上模 177	194	156	上模 540
l_3		—	—	—	下模 364	—	214	下模 540
h		30	30	40	40	45	50	20
L_0	/mm	400	480	550	605	652.5	745	635
m	/mm	190	210	270	266	370	370	535
$a_1 \times \phi_1$	} 模子安装 孔尺寸 /mm	25° × $\phi 40$	25° × $\phi 45$	25° × $\phi 45$	20° × $\phi 60$	25° × $\phi 50$	0° × $\phi 50$	上模 × $\phi 55$
$a_2 \times \phi_2$		0° × $\phi 28$	0° × $\phi 30$ 上模 $\phi 30$ 下模 $\phi 35$	0° × $\phi 35$	0° × $\phi 50$	0° × $\phi 36$	25° × $\phi 50$	—
$a_3 \times \phi_3$		—	—	—	30° × $\phi 60$	—	0° × $\phi 50$	45° × $\phi 55$ 下模 $\phi 70$
a_1	上下调整量 /mm	±2	±2	±2.5	±5	±3	±2.5	
a_2	前后调整量 /mm	±5	±6	±4	+10 -5	±5	±7	+20 -5
	外形尺寸 (长/mm × 宽/mm × 高/mm)	2 440 × 2 160 × 2 420	3 900 × 2 450 × 2 440	4 320 × 2 700 × 3 100		6 540 × 3 370 × 3 630	7 650 × 3 830 × 4 150	
	地面以上 高度 /mm	2 170	2 220	2 360		2 680	2 600	
	机器总重量 /t	21.4	34.6	48.5		87.2	131.8	

表 24.5-8 垂直分模平锻机技术规格和安模空间参数

公称压力/kN		2 250	5 000	8 000	12 000	12 500	20 000								
主滑块全行程/mm		220	280	380	500	460	610								
夹紧滑块行程/mm		85	125	160	215	220	312								
夹紧模闭合后主滑块有效行程/mm		110	190	250	318	310	340								
夹紧模闭合后主滑块后退行程/mm		50	30	130	175	170	140								
主滑块行程次数/min ⁻¹		60	45	35	27	27	25								
凹模空间(长/mm×宽/mm×高/mm)		320×140 ×360	450×180 ×435	550×210 ×660	660×260 ×820	700×260 ×820	850×320 ×1 030								
进料窗口尺寸(宽/mm×高/mm)		90×300	150×410	190×610	235×735	265×780	330×980								
电动机	型号		JH-82-8	JR-92-8		JR-127-10	JR-128-8								
	功率/kW	14	28	55	80	115	155								
机器总重量/t		19	40.2	87	120	136.2	256.4								
外形尺寸(长/mm×宽/mm× 地面上高/mm/总高/mm)		3 250× 2 860× /2028	4 845× 3 015× 1 985/2 350	5 215× 3 930× 2 296/3 040	6 145× 4 380× /3 700	6 345× 3 930× 3 000/3 680	8 620× 5 185× 3 140/4 140								
尺寸/mm	吨位/kN	2 250	5 000	8 000	12 000	12 500	20 000	尺寸/mm	吨位/kN	2 250	5 000	8 000	12 000	12 500	20 000
	<i>l_p</i>	745	1 005	1 205	1 419	1 420	1 720		<i>K₃</i>	50	70	110	160		
<i>b</i>	70	100	90	110	60			<i>K₄</i>	55	85	110	160			
<i>c</i>	70	55	101	127	127			<i>K₅</i>	25	45	60	80	85		
<i>d</i>	20	24	50	50	50			<i>K₆</i>	30	60	60	80	85		
<i>l</i>	7	7	10	10	10			<i>K₇</i>	60	100	120	155	170		
<i>f</i>	360	435	660	820	820			<i>K₈</i>	30	50	70	80			
<i>f₁</i>	200	195	310	415	415			<i>l</i>	320	450	550	660	700		
<i>f₂</i>	385	460	695	845	845			<i>l₁</i>	65	110	175	219	180		
<i>f₃</i>	200	195	310	415	415			<i>l₂</i>			95	120			
<i>f₄</i>	360	440	685	834	820			<i>l₃</i>			170	215			
<i>f₅</i>	300	400	610	735	780			<i>M</i>	100D ₄	120D ₄	200D ₄	230D ₄	230D ₄	254D ₄	
<i>f₆</i>	20	25	25	25	20			<i>N</i>	195	230	310	370			
<i>g</i>	450	560	800	980	980			<i>p</i>	150	195	140	108			
<i>i</i>	75	90	80	100				<i>q</i>	160	210	220	290			
<i>j</i>	142	165	340	380	380			<i>r</i>			60	58			
<i>K</i>	140	180	210	260 (290)	260	320		<i>s</i>		60	70				
<i>K₁</i>	25	25	25	25				<i>T</i>	65	54	80	90	98		
<i>K₂</i>	20	35	25	25				<i>a</i>		7°	7°11'	7°			

2 模膛、凸模及凹模设计

2.1 终锻模膛

2.1.1 终锻工步设计

终锻工步按热锻件图设计，热锻件图的尺寸是在冷锻件图的尺寸上加 1.2%~1.5% 收缩率。按锻件形状不同，各类锻件又各有其本身的设计原则。

(1) 具有粗大部分的杆类锻件

1) 若是闭式模锻，则终锻工步形状就是热锻件图。

2) 若是开式模锻，则终锻工步形状就是热锻件图再加上横向飞边。

横向飞边的位置、形状和尺寸见图 24.5-5 和表 24.5-2。

下列情况，往往采用开式模锻：

① 锻件头部有一小直径台阶，需要在凸模内成形（图 24.5-19）。

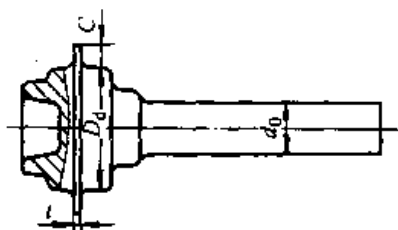


图 24.5-19 杆类锻件终锻工步

② 形状复杂，不易充满的锻件。

③ 采用后挡板或钳口挡板的锻件：由于坯料公差和加热温度差异等因素引起体积变化，一般均应采用横向飞边，否则易引起锻件厚度超差和充不满。

(2) 穿孔类锻件

该类锻件终锻工步的形状是热锻件图加连皮，其实质是设计连皮的形状和尺寸，即终锻工步获得带连皮的不通孔锻件，经过下一道穿孔工步后获得通孔锻件。连皮太厚则穿孔时使支承面变形而拉出毛刺，或使锻件穿孔部分变形；连皮太薄则在终锻凸模回程时易把锻件带走，连皮被拉断，特别是深孔锻件更易产生这种现象。

终锻工步连皮形状的设计一般有两种形式：

1) 尖冲头冲孔（见图 24.5-20） 冲孔连皮的尺寸按下列各式设计

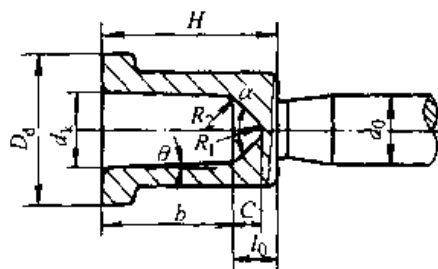


图 24.5-20 尖冲头冲孔

$$l_0 = K_1 d_k$$

最好使穿孔长度不超过孔径 $l_0 \leq d_k$ 式中系数 $K_1 = 0.2 \sim 0.5$ ，查表 24.5-9。

表 24.5-9 系数 K_1

H/d_k	≤ 0.4	$0.4 \sim 0.8$	≥ 0.8
K_1	0.2	0.4	0.5

$$C = 0.5 l_0$$

$$R_1 = 0.2 d_k$$

$$R_2 = 0.4 d_k < b$$

冲头的顶端角度 α 常用 $60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ ，对于多次冲孔的深孔锻件，前面工步采用小角度尖冲孔，便于驱散金属。

2) 平冲头冲孔（图 24.5-21） 冲孔连皮的尺寸按下列各式设计

$$l_0 = 2 \sim 10 \text{ mm}$$

$$R_1 = (0.8 \sim 1.8) d_k$$

$$R_2 = (0.1 \sim 0.15) d_k$$

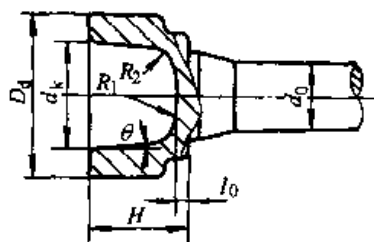


图 24.5-21 平冲头冲孔

对于 $\frac{H}{d_k} \leq 1$ 的浅孔锻件，常采用平冲头冲孔，平冲头成形时需要的力量较大，但连皮薄（ l_0 小），穿孔力量小，穿孔质量好，且穿孔冲头不易磨损，寿命长。

2.1.2 终锻模膛设计（见图 24.5-22）

(1) 凹模模膛设计

1) 成形模膛的形状和尺寸就是终锻工步的形状和尺寸。

2) 凹模的凸模导程尺寸确定

① 凹模的导程直径 D_{ao} 。分闭式模锻和开式模锻两种情况：

闭式模锻 (见图 24.5-22a)

$$D_{ao} = D_d$$

开式模锻

$D_{ao} = D_d + (2 \sim 2.5) C$ ，用于前挡板定位 (见图 24.5-22b)。

$D_{ao} = D_d + (2.5 \sim 3) C$ ，用于后挡板定位 (见图 24.5-22c)。

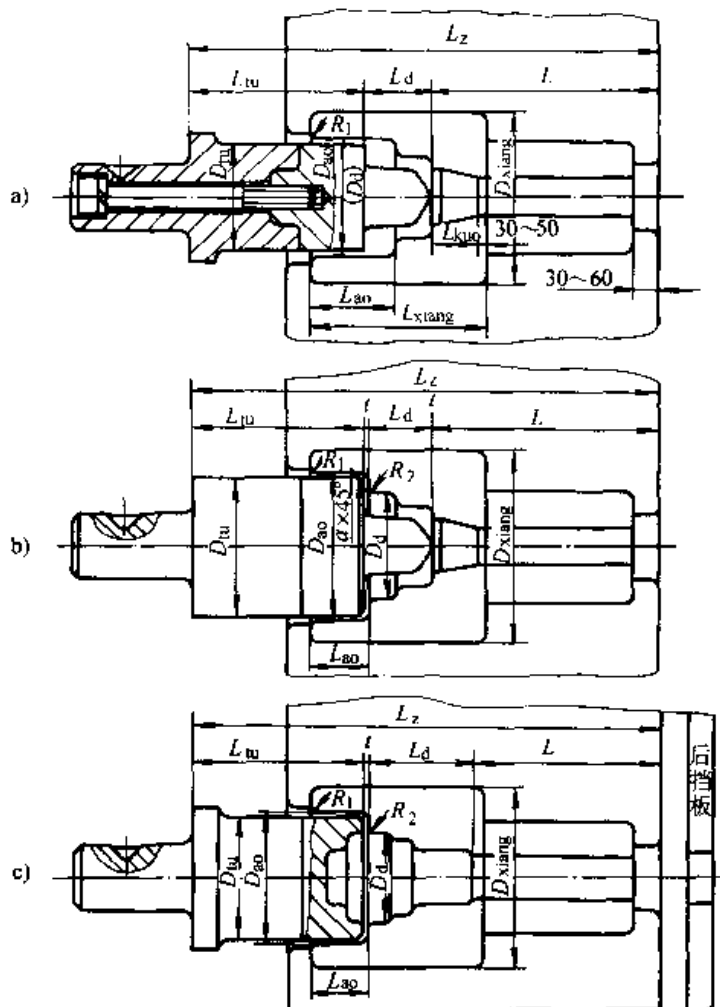


图 24.5-22 终锻模膛设计

a) 闭式模锻 b) 开式模锻 c) 具有后挡板的模锻

式中 C —— 飞边宽度 (见表 24.5-2)。

② 凹模导程长度 L_{ao} 。凹模导程长度确定的原则是，当凸模碰到坯料时应该进入凹模模膛 20~30 mm。

(2) 凸模设计

1) 凸模直径

$$D_{tu} = D_{ao} - 2\delta$$

式中 δ —— 凸凹模的径向间隙，见表 24.5-10。

2) 凸模长度 L_{tu}

$$L_{tu} = L_z - (L_d + t + L)$$

式中 L_z —— 凸凹模封闭尺寸 (mm)；

L_d —— 锻件在凹模模膛成形部分长度 (mm)；

t —— 飞边厚度 (mm)，见表 24.5-2；

L —— 模膛夹紧长度 (mm)。

表 24.5-10 凸凹模的径向间隙

平锻机吨位/kN	2 250~ 6 300	8 000~ 12 500	16 000~ 20 000
径向间隙/mm	0.4	0.5	0.6

(3) 圆角半径和凸模倒角值 (见表 24.5-11)

(4) 凹模镶块的外形尺寸

1) 镶块外径

表 24.5-11 圆角半径和凸模倒角值

锻件直径 D_d	<20	21~80	81~160	161~260	261~360
R_1	2	3	5	6	8
R_2	1	1.5	2	2.5	3
α	2	3	4	5	6

$$D_{\text{镶块}} = D_{\text{凹}} + 2m$$

式中 $D_{\text{凹}}$ ——凹模的导程直径 (mm);
 m ——镶块强度允许的壁厚 (mm), 由下列公式计算确定。
 $m \geq 0.1D_{\text{凹}} + 10 \sim 20 \text{ mm}$

2) 镶块长度 $L_{\text{镶块}}$

$$L_{\text{镶块}} = L_{\text{凹}} + t + L_{\text{扩}} + L_{\text{收}} + 30 \sim 50 \text{ mm}$$

式中 $L_{\text{收}}$ ——夹细或扩径的长度 (mm)。

(5) 凸模柄的设计

组合式凸模由凸模柄和凸模组成, 有螺钉紧固和斜楔紧固两种结构形式。

1) 内六角长螺钉紧固的凸模 (见图 24.5-23) 凸模柄和凸模的尺寸见表 24.5-12。

材料: 凸模柄为 40Cr, 凸模为 8Cr3, 销子为 T8A。

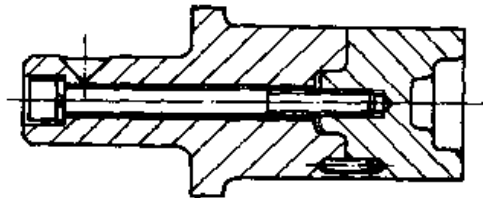
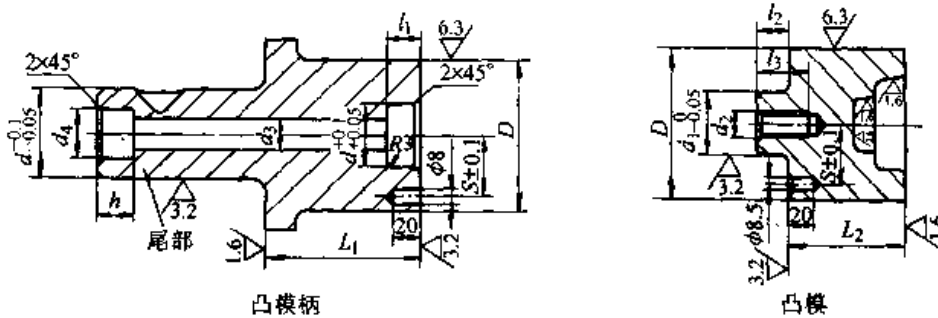


图 24.5-23 组合式凸模

圆柱销一般采用 $\phi 8$, 但对于 16 000 kN 平锻机或大于 16 000 kN 平锻机的组合式凸模, 其圆柱销采用 $\phi 10$ 。

表 24.5-12 凸模柄和凸模尺寸

(mm)



D	d_1	d_2	d_3	d_4	l_1	l_2	l_3	S	h
60~90	30	M16	17	25	22	20	30	25	24
91~120	35	M20	21	32	32	30	35	35	26
121~150	40	M24	25	38	42	40	42	50	32
151~190	50	M30	31	47	53	50	53	60	40

2) 斜楔紧固的凸模 (见图 24.5-24) 凸模

柄及其尺寸见表 24.5-13, 材料 40Cr, 凸模尺寸见表 24.5-14, 材料 8Cr3, 螺栓尺寸见表 24.5-15, 材料 40Cr, 斜楔尺寸见表 24.5-16, 材料 40Cr。

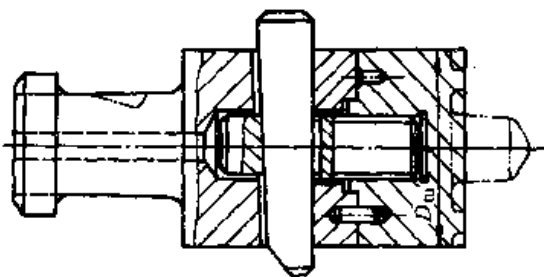


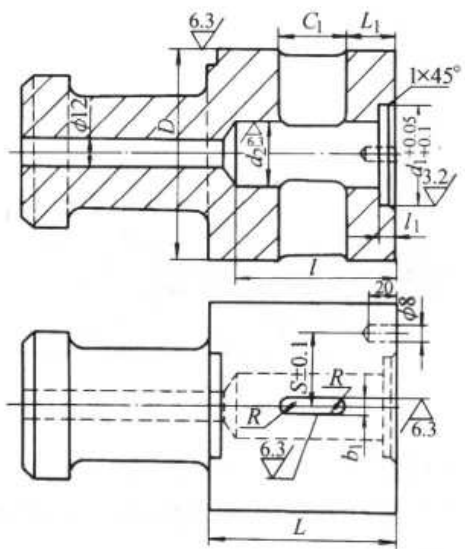
图 24.5-24 组合式成形凸模结构 (斜楔紧固)

2.2 预锻模膛

2.2.1 预锻工步设计

预锻工步的形状很重要, 它直接影响终锻的成形, 必须予以充分注意。

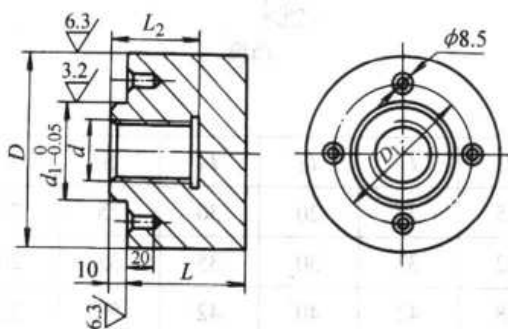
表 24.5-13 凸模尾柄尺寸 (mm)



D	d ₁	d ₂	L	L ₁	C ₁	b ₁	S
150~180	55	42.5	105	40	40	14.2	50
181~250	65	52.5	115	45	45	16.2	57.5
251~300	70	56.5	130	50	45	20.2	75

注: D 和 L 设计时决定 $R = b_1/2$

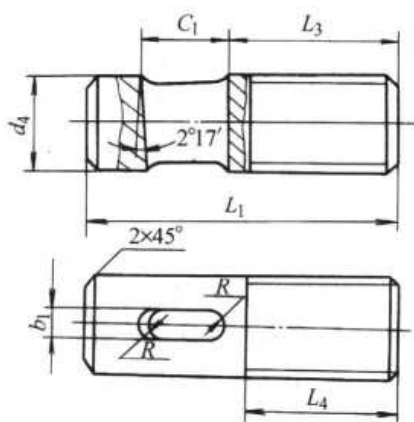
表 24.5-14 成形凸模尺寸 (mm)



D	d ₁	d	L ₂	D ₁
150~180	55	M42	50	100
181~250	65	M52	60	115
251~300	70	M56	75	150

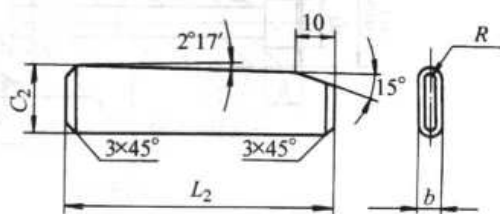
预锻工步是在终锻工步的基础上设计的, 为了保证终锻模膛充填良好, 应使设计的预锻工步图在终锻模膛内尽可能锻粗成形, 即预锻工步图的高度尺寸相应要比终锻大 6~8 mm, 而直径比终锻要小 0.5~2 mm。

表 24.5-15 螺栓尺寸 (mm)



D	d ₄	C ₁	L ₃	L ₄	b ₁	L ₁
150~180	42	40	73	55	14.2	138
181~250	52	45	87	65	16.2	157
251~300	56	45	102	80	20.2	183

表 24.5-16 斜楔尺寸 (mm)



D	b	L ₂	C ₂
150~180	14	220	37
181~250	16	270	42
251~300	20	320	42

(1) 具有粗大部分的杆类锻件

除了遵守以上的设计原则外, 还需根据终锻形状而定。对于不易充满的部位, 应在预锻作好成形准备。例如图 24.5-25, 后端 R 不易充满, 因此, 在预锻就先成形 R 圆角。

$$H_1 = H$$

$$h_1 = h + 6 \sim 8 \text{ mm}$$

$$m_1 = m - 4 \sim 6 \text{ mm}$$

$$d_1 = d$$

$$D_1 = D - 0.5 \sim 2 \text{ mm}$$

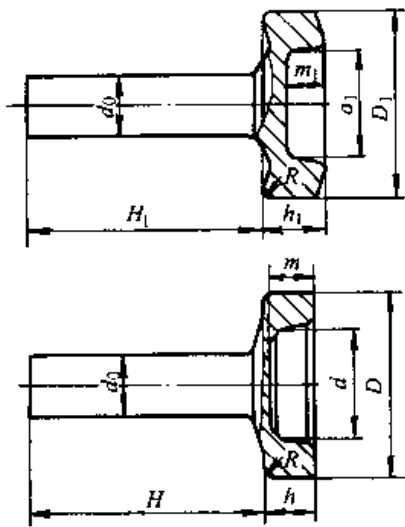


图 24.5-25 预锻工步和终锻工步比较

(2) 冲孔类锻件

1) 冲孔次数和冲孔深度分配

① 冲孔次数 冲孔次数决定于冲孔深度 h (其数值见图 24.5-26) 和冲孔直径 d_k 的比值, 见表 24.5-17。

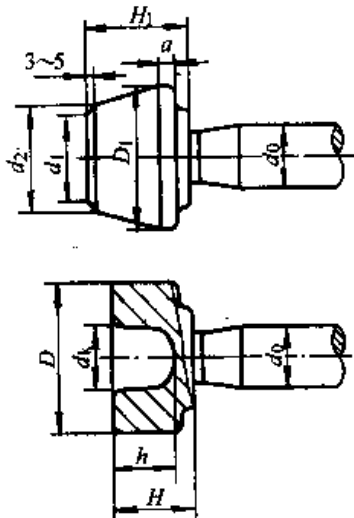


图 24.5-26 浅孔厚壁锻件

表 24.5-17 冲孔次数

h/d_k	≤ 1.5	1.5~3	3~5
冲孔次数	1	2	3

② 冲孔深度分配 多次冲孔时, 第一次冲孔深度较浅, 因为第一次冲孔坯料尚未稳定, 其他各次冲孔深度基本相等, 其计算公式如下:

第一冲孔深度

$$h = 0.5d_k$$

其余冲孔深度

$$h_k - (1 \sim 1.5)d_k$$

2) 预锻工步设计 根据锻件相对壁厚和相对孔深分为四种:

① 浅孔厚壁锻件 (图 24.5-26)

$$\text{即 } \frac{h}{d_k} \leq 1.5, \frac{D-d_k}{d_k} > 1.25$$

这类锻件不需要预冲孔, 只需在终锻时一次冲孔, 其预锻设计原则如下:

a) $D_1 = D$ 或 $D_1 = D - 1 \sim 2 \text{ mm}$

$$a = 5 \sim 20 \text{ mm}$$

后端有一段直径等于终锻直径或稍小一些。因为厚壁锻件后端不易充满, 这样就保证在终锻时, 锻件后端易充满, 且定位良好。

b) $H_1 = H + 8 \sim 15 \text{ mm}$

预锻高度 H_1 应比终锻高度 H 高 $8 \sim 15 \text{ mm}$, 保证冲孔时有一定压缩量, 避免金属倒流, 从而获得充满良好的锻件。

c) $d_1 = d_k + 8 \sim 10 \text{ mm}$

前端要设计成锥形, 其直径 d_1 要大于冲孔直径 d_k , 这样避免冲孔时金属拉缩产生折纹。

d) d_2 在满足上述条件后按体积不变原则计算确定, 模膛充不满系数 $K = 1.1 \sim 1.2$ 。

② 浅孔薄壁锻件 (图 24.5-27)

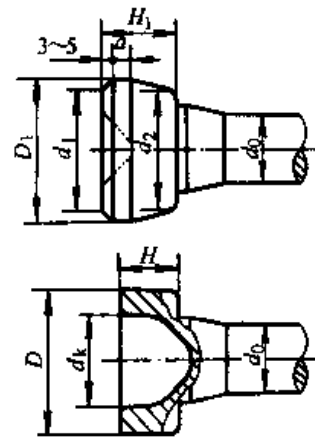


图 24.5-27 浅孔薄壁锻件

$$\text{即 } \frac{h}{d_k} \leq 1.5, \frac{D-d_k}{d_k} \leq 0.6$$

这类锻件的预锻形状和浅孔厚壁锻件不同, 因为孔大, 冲头粗, 故金属易被镦粗, 终锻时, 锻件前端不易充满, 为此把预锻前端直径设计成和终锻外径相同或稍小一些。

a) $D_1 = D$ 或 $D_1 = D - 1 \sim 2 \text{ mm}$

$a = 5 \sim 20 \text{ mm}$

b) $H_1 = H + 8 \sim 15 \text{ mm}$

c) $d_1 = d_k + 8 \sim 10 \text{ mm}$

d) d_2 在满足上述条件后, 按体积不变原则计算确定, 模膛充不满系数 $K = 1.1 \sim 1.2$, 为了保证预锻的几何形状, 有时甚至预冲孔(图 24.5-27 虚线部分), 以保证 $H_1 = H + 8 \sim 15 \text{ mm}$ 。

③ 深孔薄壁锻件 (图 24.5-28)

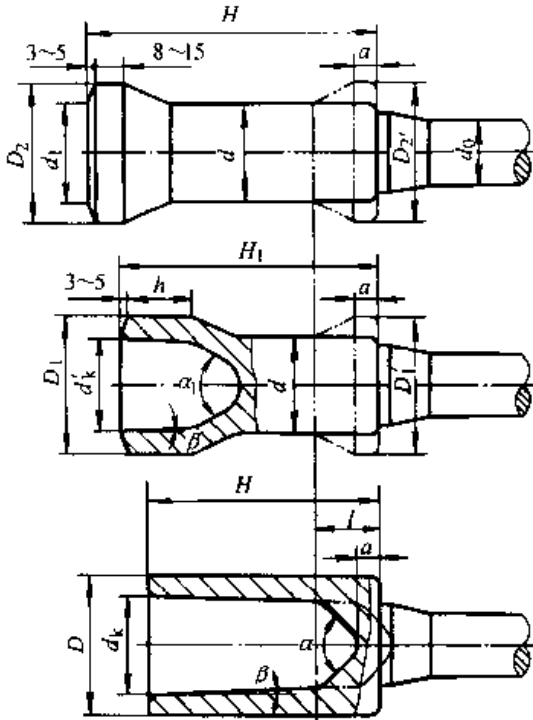


图 24.5-28 深孔薄壁锻件

即 $\frac{h}{d_k} > 1.5, \frac{D - d_k}{d_k} \leq 0.6$

这类锻件除需遵守浅孔薄壁锻件预锻工步设计原则, 即 $D_1 = D$ 或 $D_1 = D - 1 \sim 2 \text{ mm}$; $D_2 = D_1$ 或稍小; $H_1 = H + 5 \sim 10 \text{ mm}$; $H_2 = H_1 + 5 \sim 10 \text{ mm}$; $d_1 = d_k + 8 \sim 10 \text{ mm}$ 外, 要需满足如下要求:

a) $d^2 = (1.05 \sim 1.1)(D^2 - d_k^2)$

随着壁厚的增大, 系数取大值, 为避免金属变形时倒流, 减少模具磨损, 采用扩孔锻粗成形。

b) $d_1 < d$

冲孔冲头顶端的角度应使下一道的角度比上一道角度大些, 否则金属变形时易在内孔产生折纹。一般角度 α 为 $60^\circ, 75^\circ, 90^\circ, 110^\circ, 120^\circ$, 可按这些角度顺序采用, 每道工序的冲头斜度 β

应保持不变。

c) 对于薄壁锻件, 一般后端均能充满, 但当相对壁厚 $\frac{D - d_k}{d_k}$ 接近 0.6 时, 不易充满, 此时可采用两种措施(图 24.5-28, 虚线部分)。

在预锻工步的后端设计一段法兰, $D'_1 = D - (0 \sim 2) \text{ mm}$, $a = 5 \sim 20 \text{ mm}$, 或在终锻工步, 冲孔冲头深入坯料。

④ 深孔厚壁锻件 (图 24.5-29)

即 $\frac{h}{d_k} > 1.5, \frac{D - d_k}{d_k} > 1.25$

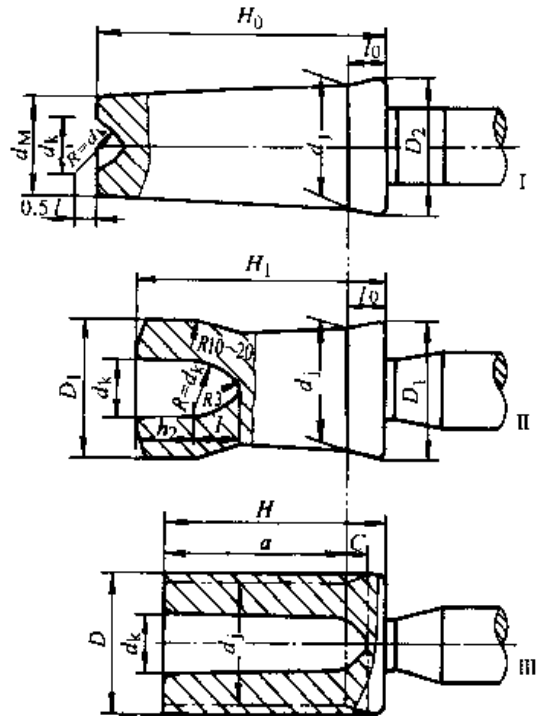


图 24.5-29 深孔厚壁锻件

这类锻件遵守浅孔厚壁和深孔薄壁锻件预锻设计原则。

$D_1 = D$ 或 $D_1 = D - (1 \sim 2)$

$d_1 = (1.1 \sim 1.3) \sqrt{D^2 - d_k^2}$

$H_1 = H + 5 \sim 10 \text{ mm}$

$h_2 = (1 \sim 1.5) d_k$

$D_2 = D_1$

$H_2 = H_1 + 8 \sim 15 \text{ mm}$

d_M 当图上尺寸确定后, 由体积不变原则计算确定。

2.2.2 预锻模膛设计

预锻模膛是根据预锻工步图设计的, 凹模的凸模导程尺寸和凹模镶块的外形尺寸的设计方法

和终锻模膛的设计相同。

2.3 聚集模膛

2.3.1 聚集(顶锻)规则

圆棒料聚集方式有三种:自由聚集,凹模内聚集,凸模的锥形模膛内聚集,各种聚集方式的规则如下:

(1) 自由聚集规则

当毛坯上需要顶锻部分长度 l_B 与其直径 d_0 的比值 $\varphi \left(\varphi = \frac{l_B}{d_0} \right)$ 小于允许顶锻比 φ_g 时,可以在一次行程里将毛坯顶锻到任意直径(图 24.5-30),而不致引起毛坯的弯曲和形成折叠。允许

顶锻比 φ_g 的数值由表 24.5-17 查得。如坯料加热不均匀时,允许顶锻比 φ_g 的数值适当取小些。

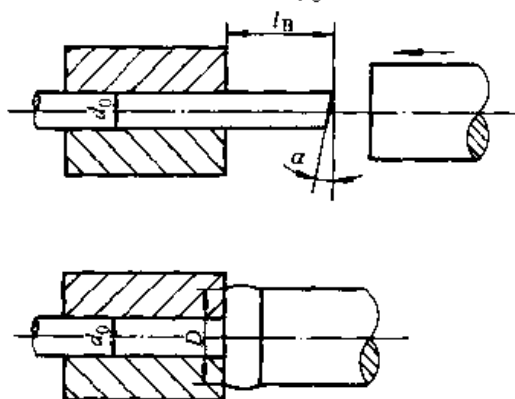


图 24.5-30 自由聚集

表 24.5-18 自由聚集的允许顶锻比 φ_g

冲头形式 棒料直径	平冲头		冲孔冲头	
	$d_0 \leq 50$	$d_0 > 50$	$d_0 \leq 50$	$d_0 > 50$
棒料下料斜度 $0^\circ \sim 3^\circ$ (锯)	$\varphi_g = 2.5 + 0.01d_0$	$\varphi_g = 3$	$\varphi_g = 1.5 + 0.01d_0$	$\varphi_g = 2$
棒料下料斜度 $3^\circ \sim 6^\circ$ (剪)	$\varphi_g = 2 + 0.01d_0$	$\varphi_g = 2.5$	$\varphi_g = 1 + 0.01d_0$	$\varphi_g = 1.5$

(2) 凹模内聚集规则

当顶锻比 $\varphi > \varphi_g$ 时,可以在凹模内聚集。在凹模内聚集时坯料先产生一些弯曲,但与模壁碰上之后便不再发展,然后靠毛坯本身的被加粗充满模膛。但是凹模直径(即坯料聚集后直径 d)过大时,仍可能产生折叠,因此对一定直径的坯料,要防止折叠产生。关键是控制凹模直径。

凹模内聚集的规则是:在一次顶锻行程聚集后的直径 d 与坯料直径 d_0 之比应小于或等于允许的直径增大比 m ,即

$$\frac{d}{d_0} \leq m$$

m 的数值由图 24.5-31 中的凹模聚集限制界线确定。

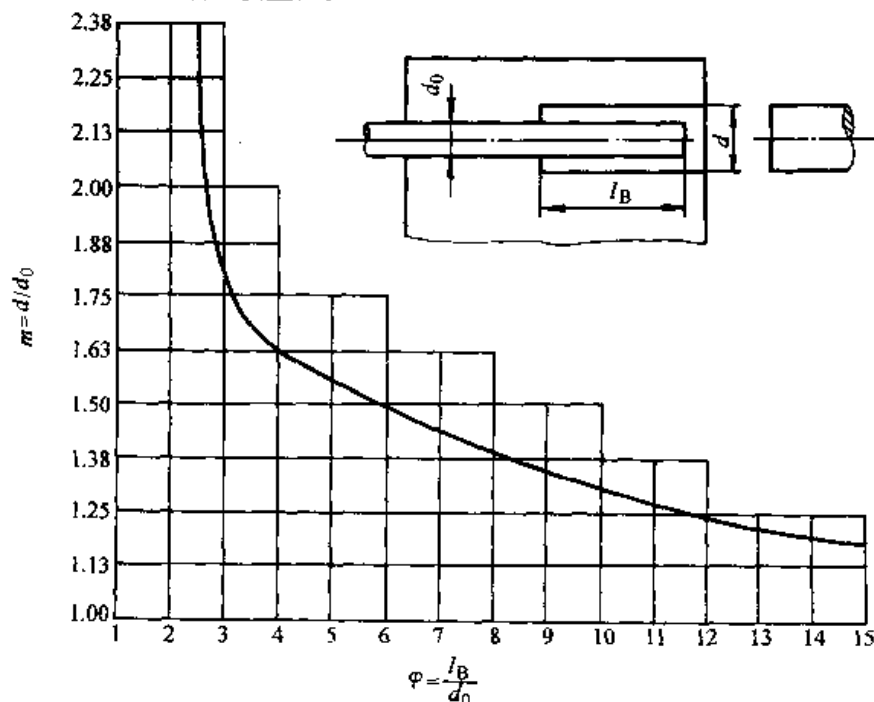


图 24.5-31 凹模内聚集限制界线

在凹模内聚集的优点是一次聚集的坯料较多，但是这种聚集方式易产生纵向毛刺，并在以后的工步里易形成折纹，故该种聚集方式在一般情况下较少采用。

(3) 锥形模膛聚集规则 (图 24.5-33)

在锥形模膛内聚集 (图 24.5-32) 的优点是：

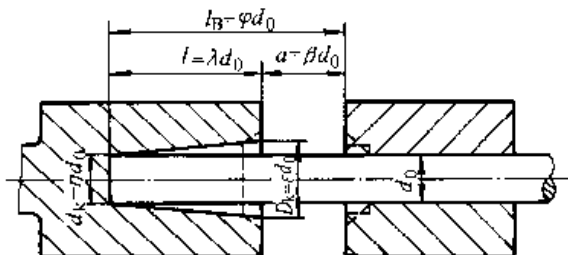


图 24.5-32 锥形模膛的相对尺寸

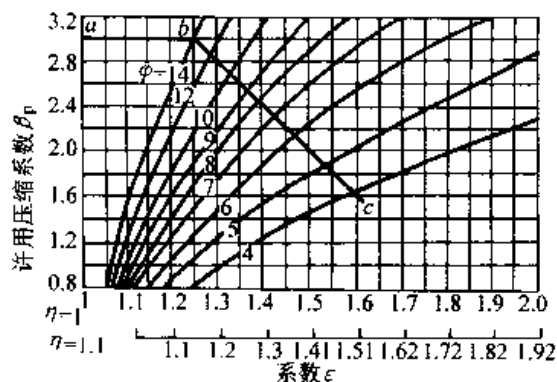


图 24.5-33 锥形模膛聚集限制线

1) 锥形模膛的形状有利于金属聚集；

2) 由于锥形模膛是带斜度的，因此压缩后而脱落的氧化皮可由锥形的斜面滑出，不至于压在锻件表面；

3) 锥形坯料端面平整而无毛刺，给下道工序创造有利条件，提高锻件质量，因此，在生产实践中较多采用锥形模膛聚集。

在锥形模膛内聚集时，毛坯也要产生弯曲也是靠模壁来限制，但模膛直径较大时，也可能产生折叠，为防止折叠的产生也是靠控制模膛的直径。

锥形模膛聚集的规则是：在一次顶锻后锥体 (或模膛) 的大端直径 D_k ($D_k = \epsilon d_0$) 和压缩量 a ($a = \beta d_0$) 均应小于允许的极限值。该极限值由图 24.5-33 中的聚集限制线 a 、 b 、 c 确定。

根据已知的锻粗比 ϕ 定出与 abc 线的交点，再由交点作与纵横坐标的垂线，便可求出 ϵ 和 β 的极限值。

由生产实践证明，若 ϵ 或 β 之一超过极限值，或者两者同时为极限值时，聚集过程中坯料易弯曲产生折纹。

2.3.2 聚集工步设计

根据不同的锻粗比 ϕ 值， η 值和图 24.5-33 的限制线 abc ，求出所需的 ϵ 、 β 值。再根据 η 、 ϵ 及 β 值就可以计算锥形模膛尺寸 (即坯料聚集后的尺寸)，即

$$d_k = \eta d_0$$

$$D_k = \epsilon d_0$$

$$l_k = \lambda d_0 = (\phi - \beta) d_0$$

在计算后续工步时，按同样的方法进行，只是将 d_0 换成 $d_{\phi} = \frac{D_k + d_k}{2}$ 。

知道了毛坯和锻件的尺寸后，按照上述规则便可求出所需的聚集次数。例如：第一次聚集后，如果 $\frac{l_B}{d_{\phi}} \leq \phi_g$ (查表 24.5-18)，下一次就可以压缩到任意的直径；如果 $\phi_1 > \phi_g$ ，则需要进行第二次聚集；如果锻粗比 ϕ_2 仍大于 ϕ_g 时，则需第三次聚集……；直到锻粗比 $\phi_n < \phi_g$ 为止。

在进行聚集工步设计时，还需注意以下几点：

1) 当锻粗比 $\phi > 4.5$ 时，在锥形小端部分需设计一段长度 5~30 mm 的圆柱，锻粗比 ϕ 越大，取大值，其目的是在凸模内装塞子，以便于调整聚集坯料的体积 (图 24.5-34a)。

2) 在聚集过程中，为防止由于坯料尺寸偏差而挤出毛刺，应考虑充不满系数 K ，其值如下：

第一工步： $K_1 = 1.04 \sim 1.1$ ，常用 1.06~1.08；

第二工步： $K_2 = 1.04 \sim 1.08$ ，常用 1.06；

第三工步： $K_3 = 1.03 \sim 1.04$ ；

第四工步： $K_4 = 1.03 \sim 1.04$ 。

3) 当锻粗比 $\phi > 7$ 时，在压缩系数 β 值允许的前提下，为了增加聚集压缩量，可以在锥形大端部分设计一个较大的锥体 (图 24.5-34b)。

4) 当锻件有台阶 D 时 (图 24.5-34c)，且直径 D 小于允许的大端直径 $D_k = \epsilon_k d_0$ (聚集规则)，即 $D \leq \epsilon_k d_0$ ，并又在压缩系数 β 的允许范围内，必须在第一次聚集时予以成形。否则在终

锻时将为挤压成形。同时也便于在下一道工序定位。 $D_1 = D - 0 \sim 1 \text{ mm}$, $l_1 = l$ 。

5) 对于具有后法兰的锻件, 例如汽车倒车齿轮 (图 24.5-34d), 在第一道聚集时就要把法兰锻出。若在第一工步没有锻出法兰, 则在其他工步就难以弥补。

设计时必须满足如下要求:

后法兰所需坯料锻粗比 φ' 不能超过自由聚集允许锻粗比 φ_g , 即

$$\varphi' \leq \varphi_g$$

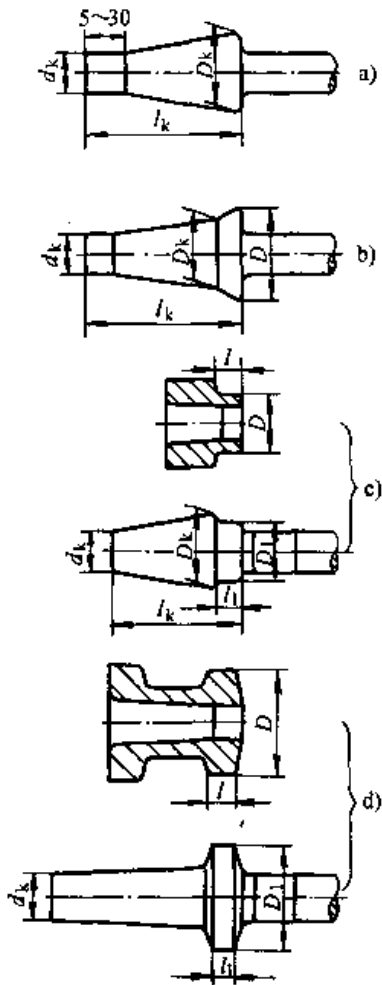


图 24.5-34 凸模锥形聚集形式

2.3.3 聚集模膛设计

模膛内部形状, 尺寸按聚集工步图, 即锥体尺寸 d_k , D_k , l_k 等。

凸模外形尺寸和凹模模膛尺寸考虑模具强度设计 (图 24.5-35)。

(1) 凸模设计

- 1) 凸模模膛尺寸 d_k , D_k , l_k 按工步图。
- 2) 凸模外形尺寸

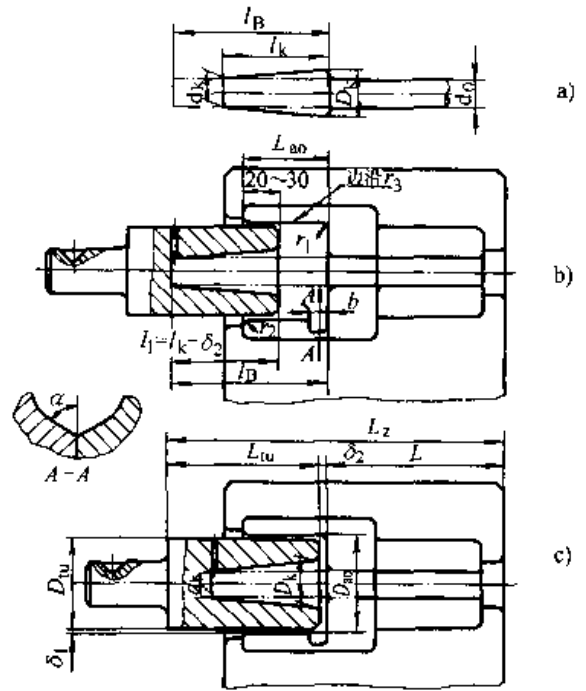


图 24.5-35 聚集模膛设计

- a) 聚集工步图
- b) 凸模工作前状态
- c) 凸模工作完毕状态

- ① 凸模直径: $D_w = D_k + 0.2(D_k + l_k) + 5 \text{ mm}$
- ② 凸模长度: $L_w = L_z - (L + \delta_2)$

式中 L_z ——平锻模设计的封闭长度, 等于设备的封闭长度减去夹持器长度;

L ——等于夹紧模膛长度与模体厚度之和;

δ_2 ——凸模和凹模的顶面间隙 (表 24.5-19)。

表 24.5-19 凸模和凹模的顶面间隙

平锻机吨位/kN		2 250~6 300	8 000~16 000
顶面间隙 δ_2/mm	第一次聚集	5	7
	第二次聚集	4	5
	第三次聚集	2	3

(2) 凹模设计

- 1) 凹模模膛直径 $D_w = D_w + 2\delta_1$

式中 δ_1 ——凸模和凹模的径向间隙 (表 24.5-20)。

表 24.5-20 凸模和凹模的径向间隙

平锻机吨位/kN		2 250~6 300	8 000~16 000
径向间隙 δ_1/mm	第一次聚集	0.6	0.7
	第二次聚集	0.5	0.6
	第三次聚集	0.4	0.5

2) 凹模模膛长度, 包括凸模导程长度

$$L_{\text{凹}} = (l_B - l_k) + 20 \sim 30 \text{ mm}$$

注意: 对于垂直分模平锻和前挡板往床身内摆动的水平分模平锻机, 若要前挡板定位时, 要保持坯料伸出凹模外长度大于 15 mm。

3) 氧化皮槽尺寸 (见图 24.5-35)

垂直分模平锻机 $b = 20 \sim 30 \text{ mm}$, $\alpha = 30^\circ \sim 60^\circ$ 。

水平分模平锻机 $b = 30 \sim 50 \text{ mm}$ (开在模膛靠模体的侧面)。

4) 凹模圆角半径, 见表 24.5-21 (参见图 24.5-35)。

表 24.5-21 凹模圆角半径 (mm)

$D_{\text{凹}}$	r_1	r_2	r_3
≤ 20	2	2	1
21~80	3	3	2
81~160	5	5	3
161~260	5	5	3
261~360	6	5	5

2.4 夹紧模膛

夹紧模膛常用的有两种型式, 平滑式和肋条式。

表 24.5-22 夹紧长度 L 、 r_1 和 r_2 (mm)

坯料直径 d_0	10~19	20~29	30~39	40~49	50~59	60~69	70~79	80~89	90~100
夹紧长度 L	120	140	170	200	230	250	280	310	340
r_1	1	1.5	1.5	2	2.5	3	3	3.5	3.5
r_2	3	3	3	4	5	6	6	8	8

2) 对于具有粗大部分的杆类锻件, 还应满足棒料在夹紧变形后的直径要大于锻件杆径负公差。

$$\text{即: } \frac{b}{2} > \Delta > \frac{a}{2}$$

式中 Δ —— 夹紧模膛偏心;

a —— 棒料负偏差, 查 GB/T 702—1986 热轧圆钢和方钢品种;

b —— 锻件杆径负偏差, 看锻件图。

为便于起模和存储由于棒料偏心夹紧和棒料公差引起的多余金属。夹紧模膛模锻斜度一般取 15° 。

2.4.2 带肋条式夹紧模膛 (图 24.5-37)

这种夹紧模膛的特点是夹紧效果好, 夹紧长

2.4.1 平滑式夹紧模膛 (图 24.5-36)

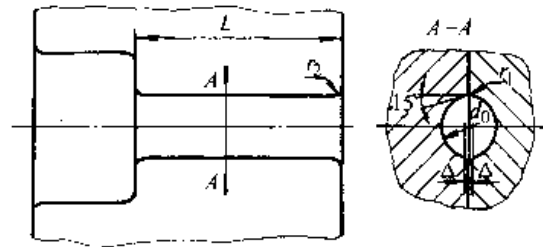


图 24.5-36 平滑式夹紧模膛

这种夹紧模膛的特点是锻件杆部没有压痕, 模具制造简单, 这种模膛常用于杆部要求较高, 不允许有压痕及用后挡板定位的锻件。

(1) 夹紧模膛长度 L

$$L = Kd_0$$

式中 d_0 —— 棒料直径 (mm), 考虑热收缩率;

K —— 夹紧系数, 在棒料直径 10 ~ 100 mm 之内时, $K = 10 \sim 3.5$ 。棒料越粗, 系数取小值。

夹紧模膛长度 L , 也可以由表 24.5-22 查得。

(2) 夹紧模膛偏心度 Δ

偏心度 Δ 必须满足两方面要求:

1) 棒料在负偏差时也能夹紧。

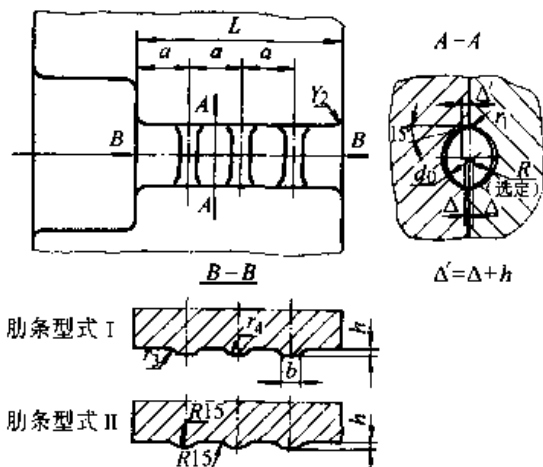


图 24.5-37 带肋条式夹紧模膛

度比平滑式夹紧模膛短,可以减少料头损失,但锻件杆部有压痕,这种模膛用于穿孔类锻件和锻

件杆部允许有压痕的杆类锻件。

1) 夹紧长度 夹紧长度见表 24.5-23

表 24.5-23 夹紧长度 L (mm)

坯料直径 d_0	10~19	20~29	30~39	40~49	50~59	60~69	70~79	80~89	90~100
夹紧长度 L	100	120	150	170	200	220	240	270	300

2) 夹紧模膛偏心率 Δ 夹紧模膛偏心率 Δ 同平滑式。

3) 肋条宽度 a 肋条宽度 a 见表 24.5-24。

表 24.5-24 肋条宽度 a (mm)

坯料直径 d_0	20~40	40~60	60~80	80~100	>100
a	25	35	40	45	50

肋条的排列:各道的肋条要互相错开才能保证夹紧。

4) 肋条高度 h 肋条高度 h 等尺寸见表 24.5-25。

表 24.5-25 肋条高度 h 、 r_3 、 r_4 (mm)

平锻机吨位 /kN	2 250~ 3 150	4 500~ 5 000	6 300~ 9 000	12 000~ 16 000
h	0.4	0.5	0.5	0.6~0.8
r_3	3	4	5	6~8
r_4	2	3	3	4

2.5 卡细模膛 (图 24.5-38)

卡细模膛的作用是将坯料(棒料)的直径变细,主要用于如下两种情况:

1) 当穿孔类锻件的棒料直径 d_0 比锻件穿孔直径 d_k 大时,需使用卡细模膛。

2) 需要剪断的具有粗大部分的杆类锻件,要采用卡细模膛。

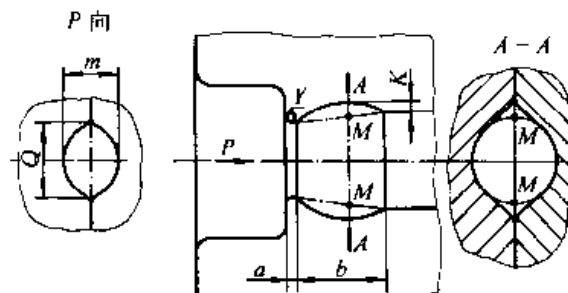


图 24.5-38 卡细模膛

2.5.1 卡细次数的确定

卡细次数决定于 $\frac{d_0}{d_{min}}$, 比值越大,卡细次数越多(见表 24.5-26)。

表 24.5-26 卡细次数 n

d_0/d_{min}	<1.45	1.45~2.5	>2.5
卡细次数 n	2	3	4

$$d_{min} = d_k - 0.5 \sim 2 \text{ mm}$$

式中 d_k ——锻件穿孔后孔径。

卡细直径 d_{min} 比穿孔直径 d_k 小 0.5~2mm 的优点是锻件穿孔后,不易产生纵向毛刺,又可提高穿孔冲头的寿命。

2.5.2 卡细模膛尺寸的确定

(1) 卡细模膛的短轴和长轴
每次卡细量

$$m = \frac{d_0 - d_{min}}{n - 1}$$

卡细模膛的短轴和长轴尺寸见表 24.5-27。

表 24.5-27 卡细模膛的短轴和长轴尺寸 (mm)

卡细数 n	2	3	4
第 K 次			
第一次	$M_1 = d_{min}$ $Q_1 = d_0 + (1 \sim 2)$	$M_1 = d_0 - \left(\frac{d_0 - d_{min}}{2}\right)$ $Q_1 = d_0 + (1 \sim 2)$	$M_1 = d_0 - \left(\frac{d_0 - d_{min}}{3}\right)$ $Q_1 = d_0 + (1 \sim 2)$

续表 24.5-27

卡细数 n 第 K 次	2	3	4
第二次	$M_2 = d_{\min}$ $Q_2 = M_2 = d_{\min}$	$M_2 = d_{\min}$ $Q_2 = M_1 + (1-2)$	$M_2 = d_0 - \left(\frac{d_0 - d_{\min}}{3}\right) \times 2$ $Q_2 = M_1 + (1-2)$
第三次		$M_3 = Q_3 = d_{\min}$	$M_3 = d_{\min}$ $Q_3 = M_2 + (1-2)$
第四次			$M_4 = Q_4 = d_{\min}$

注：Q—表示长轴；M—表示短轴。

(2) 卡细模膛刃口宽度 a 和贮料槽宽度 b

卡细模膛刃口宽度 a 和贮料槽宽度 b 见表 24.5-28。宽度 a 过大时，金属轴向流动减少，径向流动加大，易产生分模面飞边，在再次锻造生产时，在锻件上形成折叠。

(3) 贮料槽尺寸 K

贮料槽尺寸 K 见表 24.5-29，该处存放卡细时延伸和展宽的金属，若尺寸 K 过小，要产生分模面飞边。

表 24.5-28 卡细模膛宽度 (mm)

棒料直径	<40	40~60	60~100
a	5	6	8
b	20	25~30	35~45
r	1	1.5	2

表 24.5-29 卡细贮料槽尺寸 K

Q/M	1~1.13	1.13~1.15	>1.15
K	3.5	3.5~4.5	5~7

注：终锻时的卡细模膛可以使 $K=0$ 。

2.6 扩径模膛 (图 24.5-39)

当穿孔类锻件所采用的棒料直径 d_0 比锻件穿孔直径 d_k 小时，需采用扩径模膛。

模膛尺寸

(1) 颈部直径 d

$$d = d_k - 1 \sim 2 \text{ mm}$$

式中 d_k ——锻件穿孔直径 (mm)。

(2) 颈部宽度 a

颈部宽度 a 见表 24.5-30。

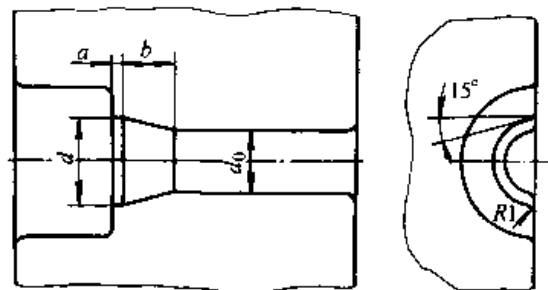


图 24.5-39 扩径模膛

(3) 扩颈模膛宽度 b

$$b = 0.5d_0$$

b 取整数，如 15、20、25、30……等。

表 24.5-30 颈部宽度 (mm)

坯料直径 d_0	30 以下	30~49	50~69	70~95
a	5	6	7	8

2.7 穿孔模膛

穿孔模膛一般有两种型式：

- 1) 棒料经过卡细的穿孔模膛 (图 24.5-40)。
- 2) 棒料经过扩径的穿孔模膛 (图 24.5-41)。

对于水平分模平锻机穿孔模膛应避开设备大摆杆，一般应大于 30 mm，便于锻件穿孔后顺利下滑到传送带上。另外穿孔模膛要设计下滑斜度。

2.7.1 穿孔凹模模膛设计

各部分的尺寸确定如下：包括导程、放锻件模膛，穿孔模膛尺寸。

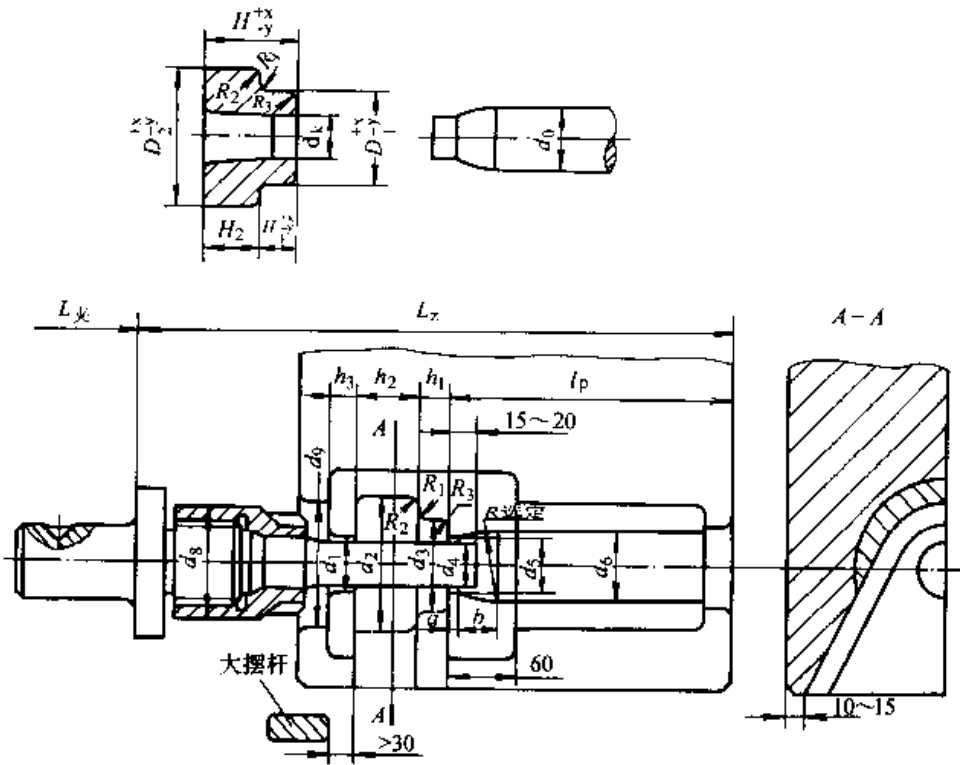


图 24.5-40 棒料经过卡细的穿孔模膛

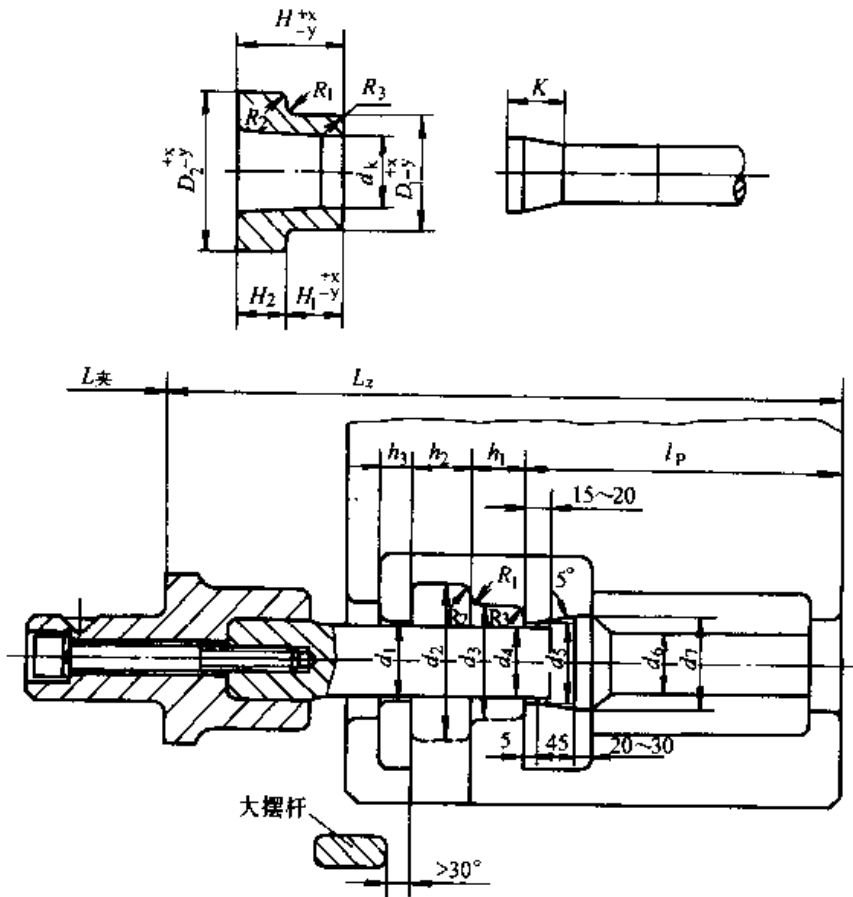


图 24.5-41 棒料经过扩径的穿孔模膛

$$d_1 = 1.01d_k + 0.5 \text{ mm}$$

凸模的导程直径,也可用下式确定。

$$d_1 = d_k + \Delta$$

式中 Δ 按表 24.5-31 查得。

表 24.5-31 Δ 值 (mm)

d_k	20~40	40~60	60~80	80~100
Δ	0.6	0.8	1.0	1.2

$$d_2 = D_2 + X$$

$$d_3 = D_1 + X$$

$$d_5 = 1.01d_k + 0.1 \text{ mm}$$

$$d_6 = d_0 + 1 \sim 2.5 \text{ mm}$$

式中 d_0 ——原棒料直径 (mm) (考虑热收缩率)。

$$d_7 = d_5 + 8 \text{ mm (图 24.5-41)}$$

$$d_9 = d_8 + 10 \sim 20 \text{ mm}$$

式中 d_8 ——大螺母外径 (mm), 查表 24.5-34

$$h_1 = H_1 - Y$$

式中 Y ——锻件在高度方向的负公差 (mm)。

$$h_2 = H_2 + 10 \sim 15 \text{ mm}$$

$$h_3 \geq 20 \text{ mm}$$

$$a = 5 \text{ mm}$$

$$b = 35 \sim 45 \text{ mm}$$

2.7.2 穿孔凸模设计

穿孔凸模一般都采用组合式结构, 常采用如下两种型式。

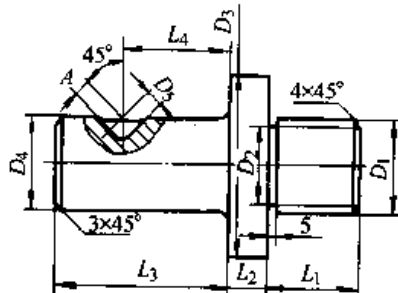
(1) 大螺母紧固的凸模 (图 24.5-40)

这种结构由凸模柄、凸模、大螺母三部分组成。其尺寸见表 24.5-32、表 24.5-33、表 24.5-34。这种结构装卸较方便。

(2) 内六角螺钉紧固的穿孔凸模 (图 24.5-41) 当内孔直径较大时, 常采用这种结构。

凸模柄和凸模的尺寸见表 24.5-35。

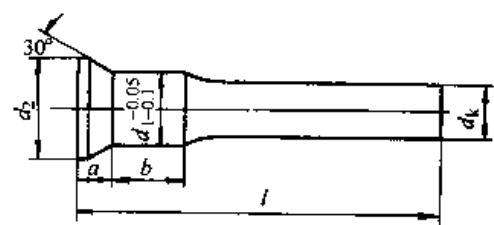
表 24.5-32 穿孔凸模柄 (mm)

	d_k	D_1	D_2	L_1	L_2
	<28	M48	40	40	15
	29~38	M60	50	50	20
	39~50	M78	66	65	25
	51~63	M95	85	75	30
	64~78	M115	105	90	35

注: 1. d_k ——锻件穿孔直径。

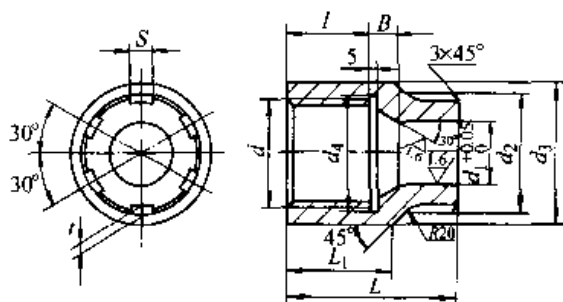
2. D_3 、 L_3 、 L_4 由凸模夹持器尺寸确定。 L_1 、 L_2 由穿孔模膛 (图 24.5-40) 设计规则确定。

表 24.5-33 穿孔凸模 (mm)

	d_k	d_1	d_2	a	b
	<28	30	40	10	30
	29~38	40	50	12	30
	39~50	52	66	14	35
	51~63	70	85	16	40
	64~78	80	100	18	45

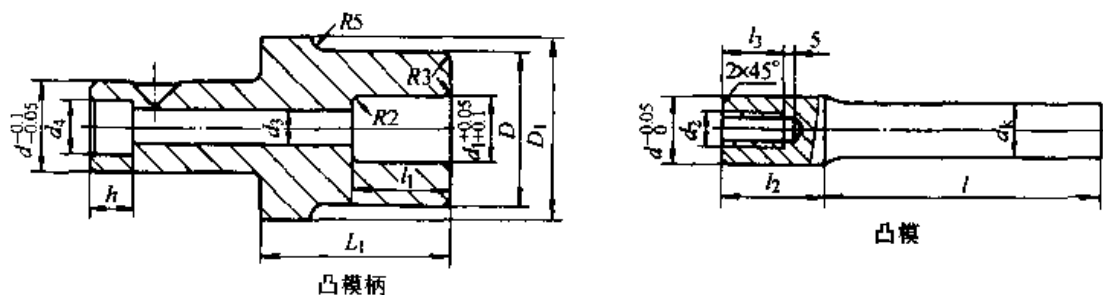
注: l 由穿孔模膛设计规则确定。

表 24.5-34 大螺母 (mm)



d_k	d_1	B	d	d_2	d_3	d_4	L_1	L	l	S	t
<28	30	14	M48	70	80	50	50	80	35	20	6
29~38	40	16	M60	80	90	62	60	90	45	20	6
39~50	52	18	M76	100	110	78	70	110	60	20	8
51~63	70	20	M95	115	130	98	85	130	70	25	10
64~78	80	22	M115	130	150	120	100	150	85	25	10

表 24.5-35 穿孔凸模柄和凸模 (mm)



d_k	d_1	d_2	d_3	d_4	l_1	l_2	l_3	h
<30	35	M16×2	17	25	40	40	30	24
31~40	45	M20×2.5	21	32	50	50	35	26
41~50	55	M24×3	25	38	60	60	42	32
51~60	65	M27×3	28	42	70	70	48	35
61~70	75	M30×3.5	31	47	80	80	53	40

注：1. L_1, l 由穿孔模膛安模空间尺寸 L_2 (图 24.5-41) 计算确定。

2. 一般 $D = (2 \sim 2.5)d_1$ 。

2.8 切边模膛

切边模膛的型式有两种：

- 1) 用于垂直分模平锻机的切边模膛(图 24.5-42)。
- 2) 用于水平分模平锻机的切边模膛(图 24.5-

43)。

2.8.1 切边模膛设计

1) 刃口直径

$$d_1 = D \text{ 或 } d_1 = D + \frac{X}{2}$$

式中 X —— 锻件径向正偏差 (mm)。

2) 凸模直径

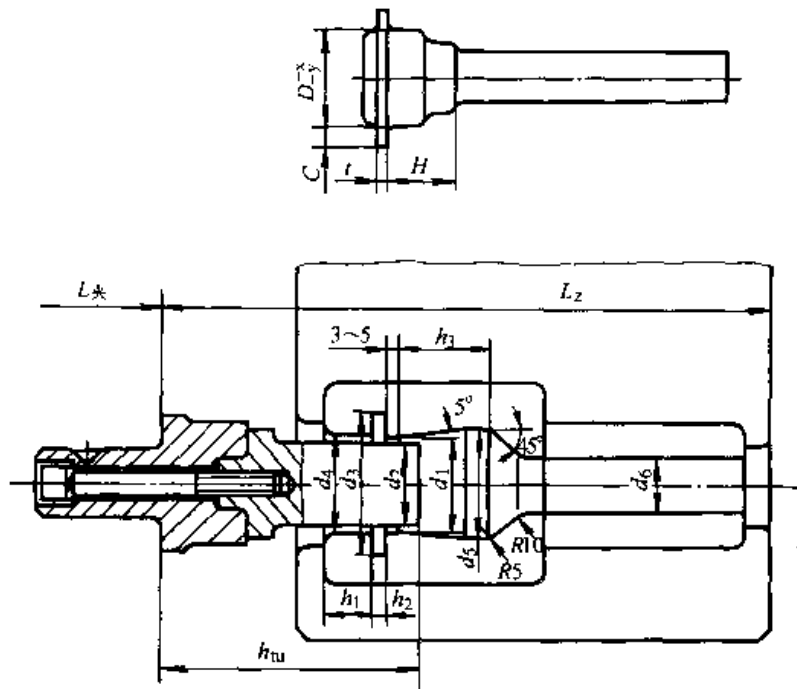


图 24.5-42 垂直分模平锻机切边模膛

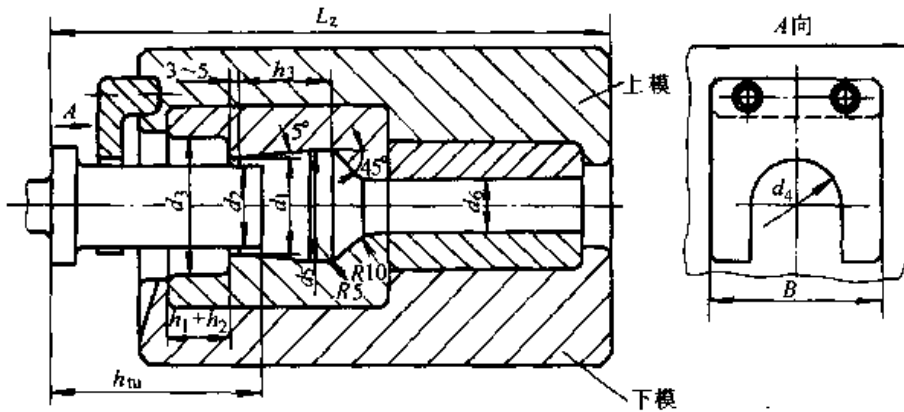


图 24.5-43 水平分模平锻机切边模膛

表 24.5-36 凸模和凹模间的间隙

(mm)			
D	<30	30~80	80~160
Δ	0.6	0.8	1.0

$$d_2 = D - \Delta \text{ 或 } d_2 = \left(D + \frac{X}{2} \right) - \Delta$$

式中 Δ ——凸模与凹模间的间隙 (mm)，见表 24.5-36。

3) 放置飞边的模膛直径

$$d_3 = D + 2C + 5 \sim 10 \text{ mm}$$

式中 C ——飞边宽度 (mm)。

4) 切边导程直径

$$d_4 = d_2 + 1 \sim 2 \text{ mm}$$

5) 其他尺寸 $d_5 = d_1 + 8 \sim 10 \text{ mm}$

$$d_6 = d_0 + 1.5 \sim 3 \text{ mm}$$

$$h_1 > 20 \text{ mm}$$

$$h_2 = (4 \sim 5) t$$

$$h_3 = H + 10 \sim 15 \text{ mm}$$

式中 t ——飞边厚度 (mm)；

H ——锻件在凹模模膛的成形高度 (mm)。

凸模长度 h_w 可由切边模膛图 24.5-42 和图 24.5-43 的安模空间长度 L_z 设计确定。

2.8.2 刮飞边板

水平分模平锻机一般多采用刮飞边板，将飞边刮下落入地坑。有时也采用图 24.5-42 的型式，但这时必须设置吹扫飞边的压缩空气通道。

$$d_4 = D + 2 \sim 3 \text{ mm}$$

$$B = D + 2C + 10 \sim 20 \text{ mm}$$

2.9 切断模膛

切断模膛的用途是：

- 1) 把锻件从棒料上切断，如图 24.5-44。

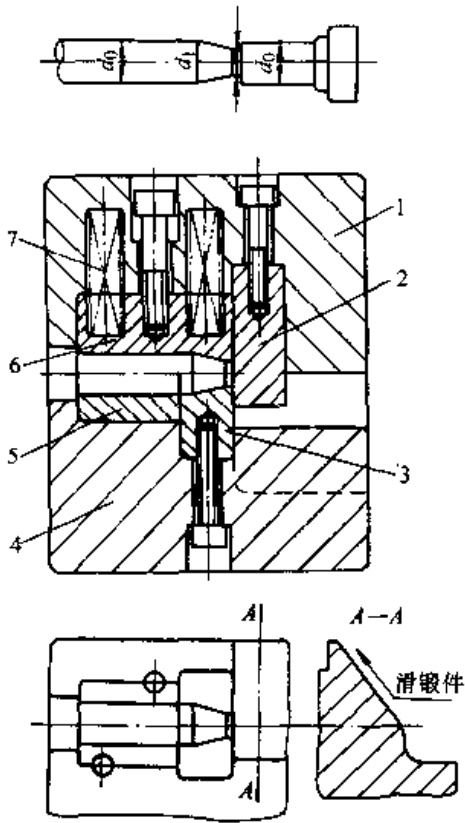


图 24.5-44 锻件分离的切断模膛
1—上模体 2—活动剪刀 3—固定剪刀
4—下模体 5—固定夹紧凹模
6—活动夹紧凹模 7—压缩弹簧

当具有粗大部分的杆类锻件的杆部长度和直径之比小于 2.5 时，采用切断工序。

- 2) 切去穿孔后棒料上的废芯，如图 24.5-45。

当棒料直径 d_0 和卡细直径 $d_{细}$ 之比 f 大于 1.25~1.40 时（锻粗比 $\varphi < 2$ 时，可取 $f = 1.40$ ）。需要切去废芯 d_1 ，否则聚集时易产生折纹。

2.9.1 固定剪刀尺寸（见表 24.5-37）

2.9.2 活动剪刀尺寸（见表 24.5-38）

高出凹模体分模面的高度 h (mm)，分两种情况：

- 1) 对于从棒料上切断锻件

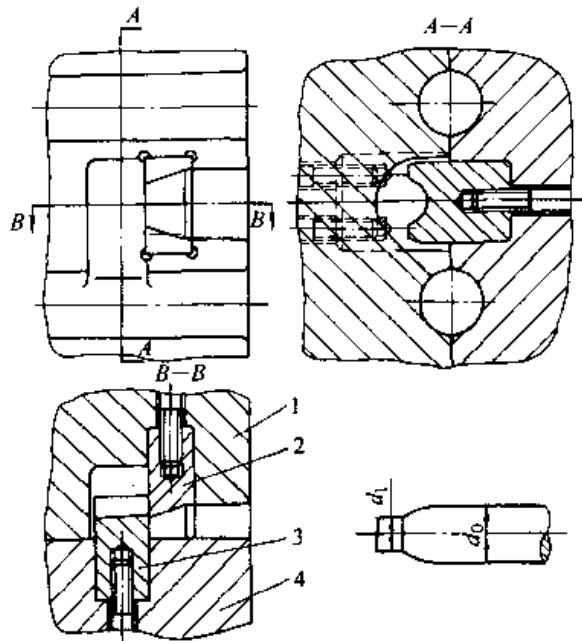
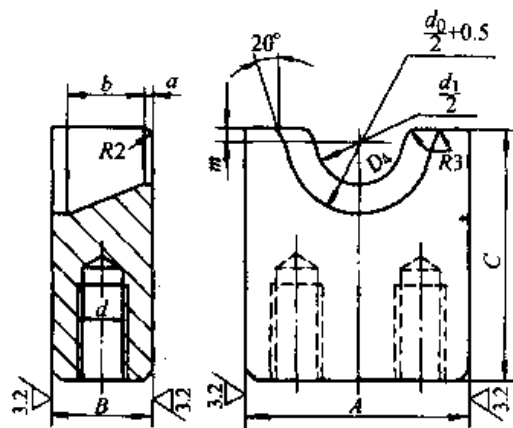


图 24.5-45 穿孔废芯切断模膛
1—活动凹模体 2—活动剪刀
3—固定剪刀 4—固定凹模体

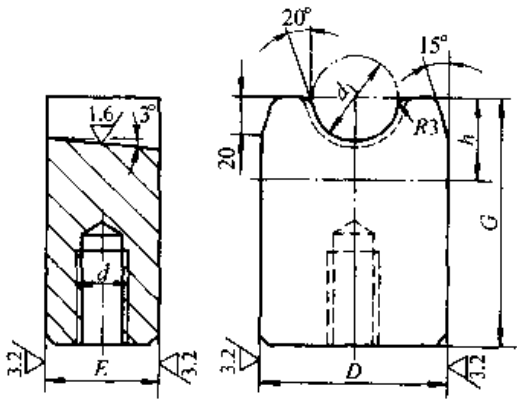
表 24.5-37 固定剪刀尺寸 (mm)



棒料直径 d_0	A	B	C	m	d
26~32	60	35	65	3	M14
32~38	75	40	80	4	M16
38~46	85	40	90	5	M16
46~56	95	45	100	6	M20
56~66	105	50	115	7	M20

注：1. a —卡细刃口宽度（表 24.5-28）。
2. b —卡细模膛长度（表 24.5-27）。
3. d_1 —卡细直径。

表 24.5-38 活动剪刀尺寸 (mm)



卡细直径 d_1	D	E	G	d
16-19	50	45	75	M16
19-24	55	45	80	M16
24-30	60	50	90	M20
30-37	75	50	95	M20
37-45	85	60	110	M24

$$h = \frac{d_0 + d_1}{2} + 10 \sim 20 \text{ mm}$$

2) 对于从棒料上切断废芯

$$h = d_1 + 10 \sim 20 \text{ mm}$$

2.9.3 活动夹紧镶块的结构 (图 24.5-46)

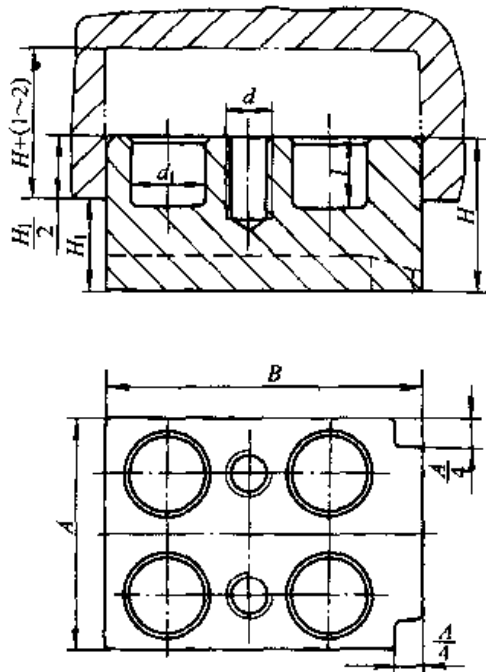


图 24.5-46 活动夹紧镶块

1) 宽度 A 由凹模体的允许模膛镶块宽度确定, 但又要能布置四个弹簧窝座。

2) 长度 B $B \leq a + b + L$

式中 L ——固定夹紧凹模镶块的夹紧长度 (图 24.5-44), 但要能布置四个弹簧窝座和螺孔。

3) 高度 H 要保证在活动剪刀碰到棒料卡细直径或废芯直径 d_1 时 (图 24.5-44 或图 24.5-45), 活动夹紧镶块已预先压上棒料, 所以夹紧镶块露出凹模体的高度 H_1 大于活动剪刀露出凹模体高度 h (见表 24.5-37), 即

$$H_1 = h + 20 \sim 40 \text{ mm}$$

一般取: $H = 1.5H_1$

2.10 管料墩粗 (聚集) 模膛

管料的墩粗 (聚集) 方式, 一般有五种:

1) 管料的内径 d_0 保持不变, 仅增大外径 D_0 (图 24.5-47a)。

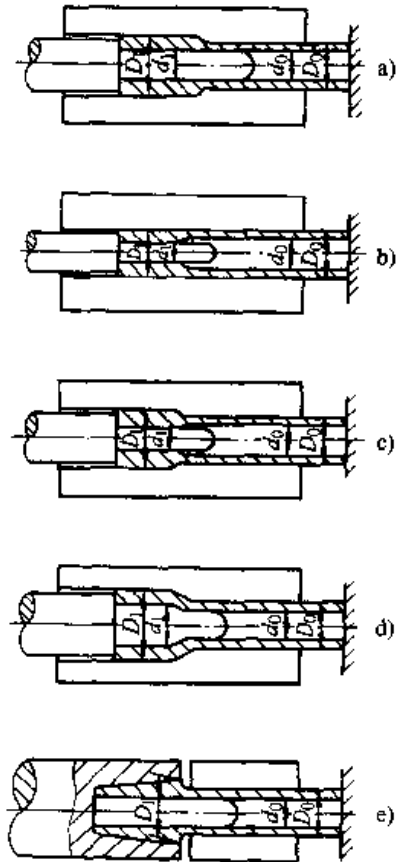


图 24.5-47 管料墩粗方式

2) 管料的外径 D_0 保持不变, 仅缩小内径 d_0 (图 24.5-47b)。这时管料的外径被模具紧紧

地夹持着，因此这种锻粗稳定性好。

3) 既增大外径 D_0 ，又缩小内径 d_0 (图 24.5-47c)，这种锻粗，由于内、外径都呈自由状态，因此稳定性差。

4) 同时增大外径和内径 (图 24.5-47d)，由管料内径和外径同时增大，内壁不易产生凹陷，因此也就不易产生折纹，锻粗稳定性较好。

5) 在凸模的锥形模膛里锻粗管料 (图 24.5-47e)，前 4 种锻粗方法都易产生纵向毛刺和在锻件端面产生折纹。而第 5 种锻粗方法不产生纵向毛刺和折纹。

2.10.1 管料锻粗 (聚集) 规则

(1) 管料的自由聚集规则

管料一次锻粗量不可太长，否则要产生内壁凹陷，使锻件产生折纹。

管料的自由聚集规则是：当管料锻粗比 m_0 小于自由聚集允许锻粗比 m_g (即 $m_0 < m_g$) 时，坯料在一个行程中可获得任意形状。

1) 计算管料锻粗比 m_0

$$m_0 = \frac{l_B}{d_{0j}}$$

式中 l_B ——锻粗长度 (mm) (见图 24.5-48)；
 d_{0j} ——管料的计算直径 (mm)，

$$d_{0j} = \sqrt{D_0^2 - d_0^2};$$

D_0 ——管料外径 (mm)；

d_0 ——管料内径 (mm)。

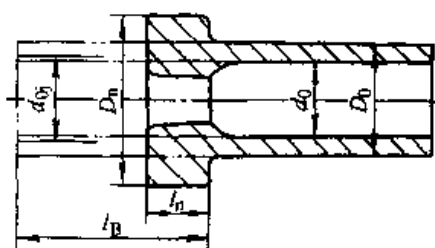


图 24.5-48 管料锻件

2) 确定管料自由聚集允许锻粗比 m_g 其决定于锻粗方式和管料尺寸，计算公式如下：

$$m_g = \frac{\mu(D_0 - d_0)}{2d_{0j}}$$

式中 μ ——管料锻粗方式系数，查表 24.5-39；

D_0 ——管料外径 (mm)；

d_0 ——管料内径 (mm)；

d_{0j} ——管料计算直径 (mm)；

表 24.5-39 管料锻粗方式系数

$\frac{D_0}{d_0}$	系数 μ	
	管料仅缩小内径	管料仅增大外径
2.0~2.2	5	2.5
1.8~2.0	4.6	2.3
1.6~1.8	4.2	2.1
1.4~1.6	3.8	1.9
1.2~1.4	3.4	1.7
1.1~1.2	3.0	1.5

$\frac{D_0 - d_0}{2d_{0j}}$ 是管料的相对壁厚。

(2) 管料锻粗 (聚集) 规则

当管料锻粗比 m_0 大于自由聚集允许锻粗比 m_g 时，需要在模膛内进行聚集。但是，在模膛内一次行程中的管料计算直径增大的数值也不能过大。否则也要产生管壁凹陷和折纹。

在模膛内管料锻粗 (聚集) 规则：在一次聚集后，管料计算直径的增大系数 ϵ_n 应小于或等于图 24.5-49 中管料锻粗 (聚集) 限制线的数值。该数值与管料锻粗比 m 及管料自由聚集允许锻粗比 m_g 有关。

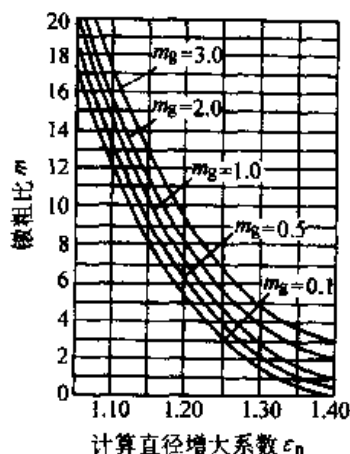


图 24.5-49 管料锻粗限制线

2.10.2 管料的聚集工步设计

(1) 设计原则

1) 对于薄壁管

① 开始宜采用外径保持不变，而仅缩小内径来加厚管壁，聚集坯料。然后同时扩大内外径来加厚管壁，在计算自由聚集允许锻粗比 m_g 时，假设扩大的内径不变、仅扩外径。

② 宜采用横向飞边, 这是因为管料的壁厚公差很大, 可以把多余金属挤入飞边, 确保锻件厚度公差。另外也把纵向毛刺挤入飞边。

2) 对于厚壁管 由于坯料的稳定性较好, 可以采用在凸模的锥形模膛里聚集坯料。

(2) 第一聚集工步设计

由锻件图和锻粗方式首先计算出锻粗比 m_1 和自由聚集允许锻粗比 m_g , 然后查图 24.5-49 管料锻粗(聚集)限制线, 获得允许的坯料计算直径增大系数 ϵ_1 , 这样就可以算出第一工步允许增大的最大计算直径 d_{1j}

$$d_{1j} = \epsilon_1 d_{0j}$$

由锻粗方式, 例如指定第一工步的外径 D_0 或内径 d_0 保持不变, 则由管料的计算直径公式就可以计算出另一允许的最大直径

$$d_{1j} = D_1^2 - d_0^2 \text{ 或 } d_{1j} = D_0^2 - d_1^2$$

第一聚集工步锻料后的长度 l_1 (mm), 由体积不变原则确定

$$l_1 = \frac{V_z(1+\delta)K}{\frac{\pi}{4}(D_1^2 - d_1^2)}$$

式中 V_z ——管料锻件锻粗部分体积 (mm^3);

δ ——加热时坯料火耗率, 火焰炉加热 3%, 电加热 1%~1.5%;

K ——模膛充不满系数, 一般 $K=1.07\sim 1.1$;

D_1 ——第一聚集工步外径 (mm);

d_1 ——第一聚集工步内径 (mm)。

(3) 第二聚集工步设计

在计算时, 就把第一聚集工步的外径 D_1 和内径 d_1 作为锻粗坯料, 当锻粗方式确定后, 即可求出自由聚集允许锻粗比 m_{1g} 第一工步锻粗比 m_1 , 并由此查图 24.5-49 得 ϵ_2 , 从而可以算出第二工步允许的最大计算直径 d_{2j} , 即

$$m_{1g} = \frac{\mu(D_1 - d_1)}{2d_{1j}}, \quad d_{2j} = \sqrt{D_1^2 - d_1^2}$$

$$m_1 = \frac{l_1}{d_{1j}}$$

$$d_{2j} = \epsilon_2 d_{1j}$$

由此, 就可以计算出第二工步的外径 D_2 , 或内径 d_2 及锻粗后的长度 l_2 , 以此类推, 若需第三次聚集坯料, 计算方法同上。可求出第三聚集工步的外径 D_3 , 或内径 d_3 及锻粗后的长度

l_3 。直至坯料锻粗比 m 小于自由聚集允许锻粗比 m_g 为止。

2.10.3 管料的聚集模膛设计 (图 24.5-50)

(1) 凹模模膛尺寸

1) 模膛直径 D_1 由锻粗方式根据聚集规则设计计算确定, 详见聚集工步设计。

2) 模膛长度 l (mm)

$$l = a_H + l_B$$

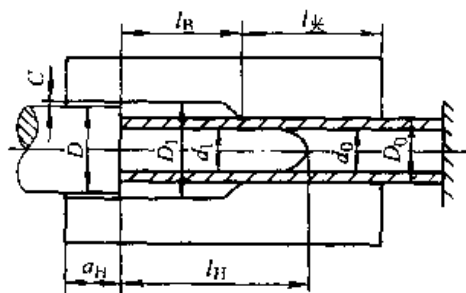


图 24.5-50 管料聚集模膛

式中 a_H ——凸模在凹模内的导向长度, 一般取 $a_H=20\sim 30$ mm;

l_B ——锻粗长度, 可由锻件终锻形状按体积不变原则计算获得。

(2) 凸模尺寸

1) 凸模直径 D (mm)

$$D = D_1 - C$$

式中 C ——凸模和凹模之间的径向间隙, 一般为 $0.3\sim 0.5$ mm, 间隙尺寸不可太大, 否则易产生较大的纵向毛刺。

凸模冲头直径 d_1 由锻粗方式根据管料聚集规则设计计算确定, 详见聚集工步设计。

2) 凸模冲头长度 l_H (mm)

$$l_H \geq l_B + d_0$$

式中 d_0 ——管料内径 (mm)。

(3) 管料夹紧部分长度 $l_{夹}$ (mm)

$$l_{夹} = (5\sim 7)D_0$$

式中 D_0 ——管料外径 (mm)。

管料锻粗时, 宜采用后挡板定位, 后挡板牢固可靠, 能防止管料沿轴向移动, 这是因为空心的管料在模膛的夹紧部分是很难牢固地夹紧。夹得太紧, 则管料易被压扁。

对于管料锻件杆部长度 $l < 4D_0$ 时, 宜采用把整个锻件杆部放置在夹紧模膛内。此时, 需用管腔夹钳 (见图 24.5-51)。

模膛和夹钳尺寸见图 24.5-51。

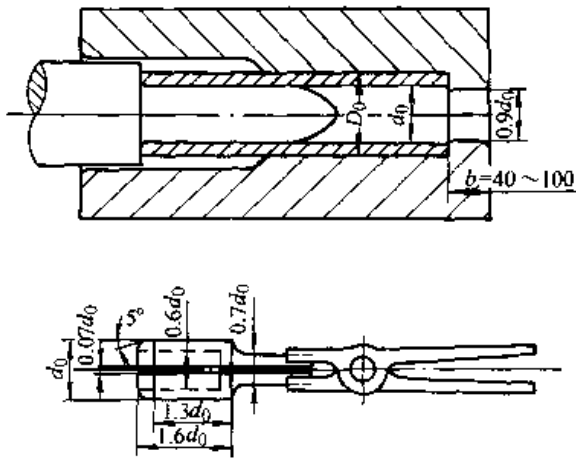


图 24.5-51 全夹紧模膛和管腔夹钳

3 平锻模总体设计

3.1 模具总体结构

水平分模平锻机的模具结构，见图 24.5-52，垂直分模平锻机的模具结构，见图 24.5-53。

3.1.1 平锻模具的组成

平锻模一般由凸模夹持器，凸模（或凸模柄和凸模）、凹模（或凹模体和凹模镶块）和后挡板四部分组成。在水平分模平锻机的凹模体上还需配置冷却模具和吹扫氧化皮的喷嘴。

凸模夹持器安装在主滑块的凹座中，在凸模夹持器上安装若十个工步的凸模。

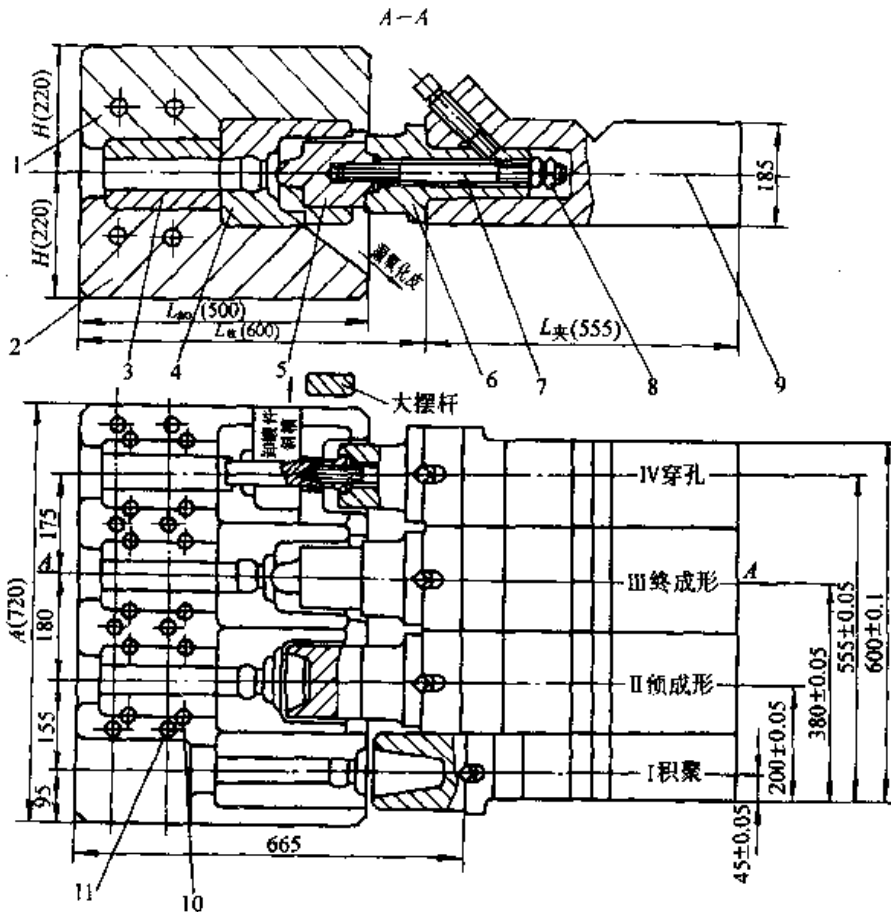


图 24.5-52 水平分模平锻机齿轮类锻件模具总图 (9 000 kN 平锻机)

- 1—活动凹模体 2—固定凹模体 3—夹紧镶块 4—终成形镶块
- 5—终成形凸模 6—凸模柄 7—双头螺柱 8—螺母 9—凸模夹持器
- 10—镶块螺钉 11—冷却喷嘴

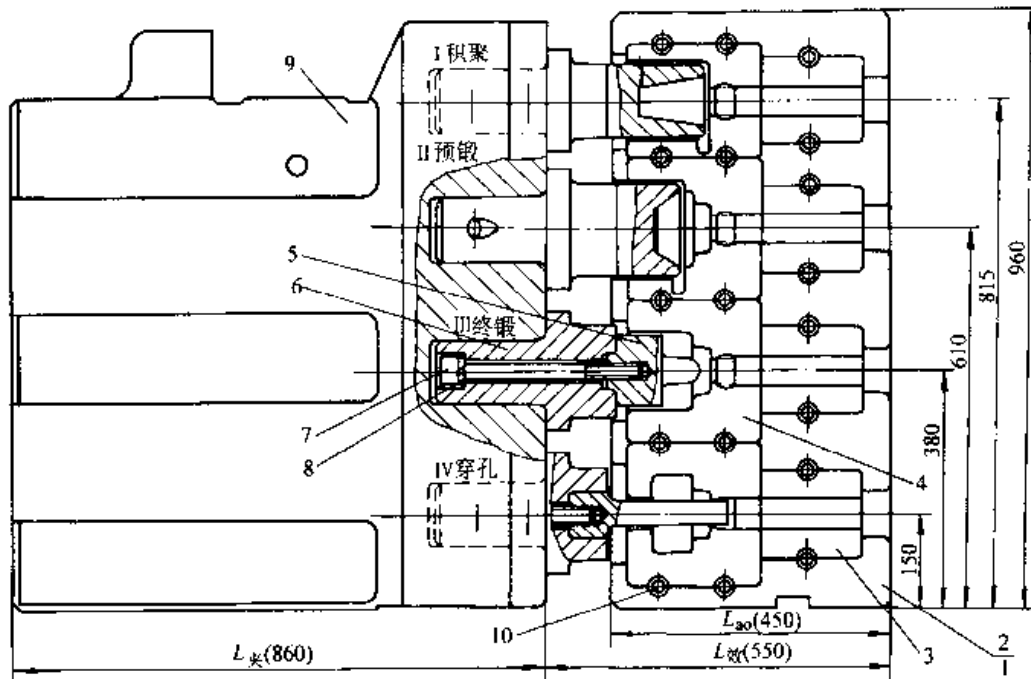


图 24.5-53 垂直分模平锻机齿轮类锻件模具总图 (12 500 kN 平锻机)

- 1—活动凹模体 2—固定凹模体 3—夹紧镶块 4—终锻镶块 5—终锻凸模
6—凸模柄 7—内六角螺钉 8—弹簧垫圈 9—凸模夹持器 10—镶块螺钉

凹模由上下(左右)两块组成, 下凹模(右凹模)安装在床身上, 工作时不运动, 故又称固定凹模, 上凹模(左凹模)安装在平锻机的夹紧滑块上, 随夹紧滑块上下(左右)运动, 故又称活动凹模。

挡板分为前挡板和后挡板, 前挡板设在平锻机上, 主要用来控制变形金属的长度。一般是一根棒料锻若干个锻件时使用; 后挡板设在模具上(或连接在平锻机上), 主要用来控制具有粗大部分的杆类锻件的杆部长度, 一般是一根棒料锻一个锻件。水平分模平锻机采用机械化操作时, 无需用前挡板或后挡板, 靠机械手定位。

3.1.2 水平分模平锻机模具设计特点

1) 对于手工操作的模具, 成形模膛尽可能布置在夹紧滑块中心, 即在平锻机左右两个大摆杆之间(见图 24.5-52)。

2) 对于需要使用前挡板的锻件, 设计时应注意水平分模平锻机前挡板有两种结构, 一种是当凸模往前(凹模方向)运动时, 前挡板往床身内摆动, 另一种是当凸模往前(凹模方向)运动时, 前挡板往床身外摆动, 因而凹模模膛位置不同。

① 对于往床身内摆动的前挡板, 凹模模膛位置以“前挡板”的调整中心位置为基础设计(图 24.5-54)。设计原则是:

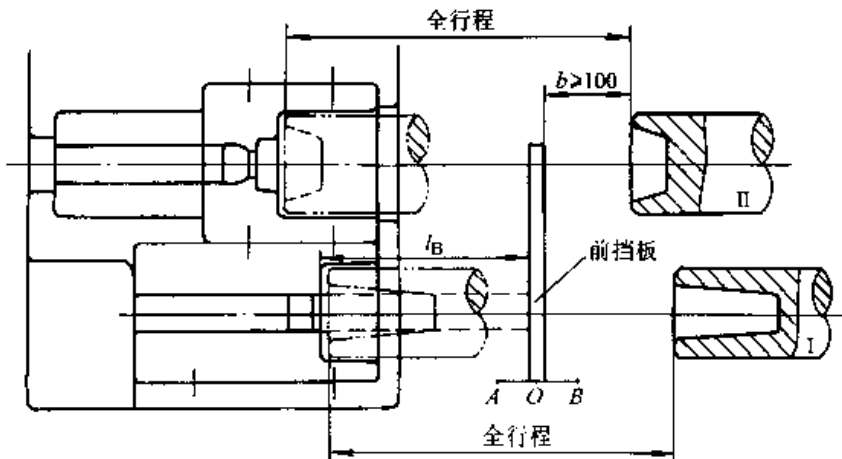


图 24.5-54 第一、第二工步模膛、凸模位置关系图

a) 第一工步凹模模膛位置由锻件锻粗长度 l_B 确定, 即距前挡板调整中心位置锻粗长度 l_B , 而第一工步凸模在后死点的位置要距前挡板的“调整后点 B”位置大于 100 mm, 防止凸模往前运动时碰击前挡板。

b) 第二工步凹模模膛位置由凸模在前死点位置来设计, 其凸模在后死点位置时, 要距前挡板的“调整后点 B”位置大于 100 mm, 否则当前挡板往床身内摆动时, 易与同时往前运动的第二工步凸模相碰。

② 对于往床身外摆的前挡板, 由于它不受床身限制, 甚至可以伸入模具内部, 所以第一、第二工步凹模模膛位置不受限制, 可以和其他工步凹模模膛位置一致。

但是, 无论那种形式前挡板 (包括垂直分模平锻机的前挡板), 对于一定规格平锻机, 在凸模内的锻粗长度是受到限制的, 其最大值为

$$l_B = \text{设备全行程} - 100 \sim 150 \text{ mm}$$

其中 100~150 mm 是主滑块使前挡板来回摆动的安全行程。例如: 9 000 kN 平锻机全行程为 420 mm, 那么在凸模内的最大锻粗长度为

$$l_B = 420 \text{ mm} - 150 \text{ mm} = 270 \text{ mm}$$

若锻件的锻粗长度大于 270 mm, 例如 320 mm, 那么设计时就要将 320 mm - 270 mm = 50 mm 设计在凹模内聚集或将锻件提到 12 500 kN 平锻机锻造。

3) 机械化模具设计要点 (使用摇杆式机械手) (图 24.5-55)

① 凹模模膛的前后位置以大摆杆为基准, 坯料端面离开大摆杆 20 mm, 因此第一工步模膛位置也就确定了, 它离大摆杆 $l_B + 20$ mm。

其他各模膛前后位置按顺序减 1 mm, 保证棒料在机械化传送时能顺利放入模膛。

② 凹模左右宽度根据机械手行程距离 m , 并考虑喂料和出料有足够位置, 所以四工步凹模宽度 B (mm) 为

$$B = 5m - \left(\frac{D}{2} + \frac{d_0}{2} + S \right)$$

式中 m —— 机械手行程 (mm);

D —— 锻件最大直径 (mm);

d_0 —— 原棒料直径 (mm);

S —— 安装托料架的宽度 (mm)。

③ 当具有粗大部分的杆类锻件的杆长和杆

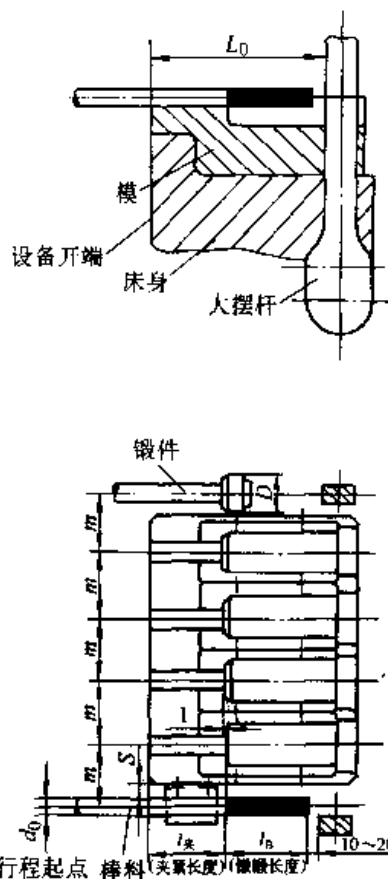


图 24.5-55 机械化模具空间尺寸

径之比小于 4 时, 由于伸出模具外的杆长太短, 机械手不易夹持, 故不能使用机械手。

④ 机械手操作生产时, 不使用前挡板, 靠机械手和电感应加热炉定位。

⑤ 凸模夹持器的宽度, 分别由机械手行程的起点位置, 机械手行程 m , 以及滑块安放凸模夹持器的空间宽度 A 确定。

机械化模具设计可参看图 24.5-117 16 000 kN 平锻机凸模夹持器 (机械手操作用)。

3.2 凸模夹持器

3.2.1 凸模夹持器在平锻机主滑块凹座内的紧固方式

垂直分模平锻机凸模夹持器紧固的情况见图 24.5-56, 水平分模平锻机凸模夹持器紧固情况见图 24.5-57。

垂直分模平锻机的凸模夹持器常用整体式的, 这种结构吊装方便, 制造简单, 坚固耐用。水平分模平锻机的凸模夹持器常用组合式的, 因

为水平分模平锻机的主滑块凹座上方有机身挡着，使凸模夹持器不能用天车直接吊入主滑块的凹座内，采用组合式便于装模，同时，模膛中心线间的距离可用垫片调整。

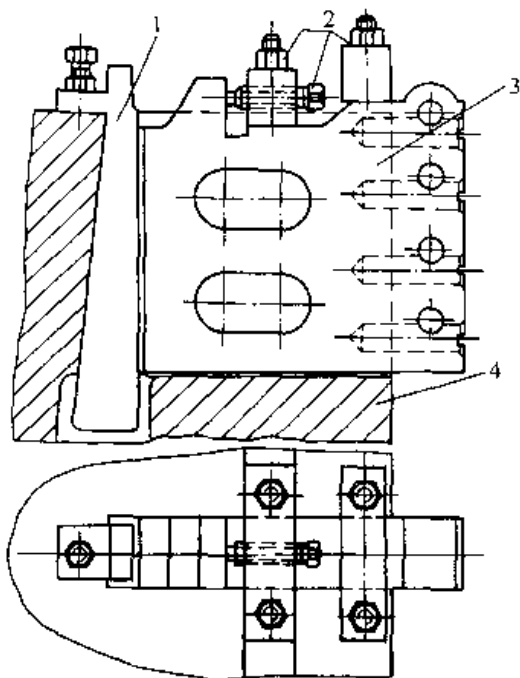


图 24.5-56 垂直分模平锻机凸模夹持器紧固
1—前后调整斜铁 2—紧固凸模夹持器螺栓
3—凸模夹持器 4—主滑块

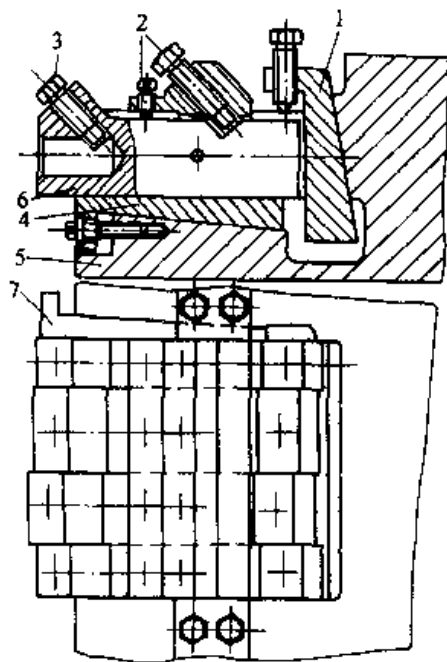


图 24.5-57 水平分模平锻机凸模夹持器的紧固
1—前后调整斜铁 2—紧固凸模夹持器螺栓
3—紧固凸模螺栓 4—上下调整斜铁

3.2.2 凸模夹持器的形式

一般常采用如下三种形式：压盖式、插销式、螺钉顶紧式。

(1) 压盖式凸模夹持器 (图 24.5-58)

由凸模夹持器本体、压盖、螺钉及螺母组成。这种结构紧固凸模比较牢靠，但机械加工比较复杂，使用中容易损坏，磨损后修复较困难，装卸比较麻烦。

(2) 插销式凸模夹持器 (图 24.5-59)

由凸模夹持器本体，紧固插销，螺母及垫圈组成。这种结构紧固凸模的牢固性较压盖式差些，但机械加工较为简单，装换凸模和调整均为方便。

(3) 螺钉顶紧式凸模夹持器 (图 24.5-60)

这种结构形式，紧固凸模的螺钉要有足够的强度，否则紧固凸模不牢靠，但制造简单，装卸凸模和调整均较为方便，所以常采用这种凸模夹持器，特别是水平分模平锻机多采用。例如，德国奥穆科平锻机都采用这种结构。

3.2.3 凸模夹持器设计

设计依据是：平锻机技术规格和安模空间主要参数 (图 24.5-17、表 24.5-7 和图 24.5-18、表 24.5-8)，主滑块的安模空间尺寸 (长、宽、高)，锻件的模锻工步数和设备所能生产的最大锻件直径 D_{max} 。

(1) 水平分模平锻机凸模夹持器

1) 夹持器的宽度 B_1 (mm) 和 B_2 (mm)

$$B_1 = D_{max} + 2(0.1D_{max} + 10 \text{ mm})$$

式中 B_1 —— 夹持器安装凸模部分的宽度 (mm)，决定于模锻工步数量和凹模模膛布置，应与凹模相对应；

D_{max} —— 设备所能生产的最大锻件直径，如果是专用夹持器，就取实际锻件的最大直径。

B_2 是凸模夹持器在主滑块内部分的宽度 (mm)。

2) 夹持器的长度 L (mm)

$$L = L_p - L_{ao} - a$$

式中 L_p —— 平锻机的封闭长度 (mm)，查图 24.5-17 和表 24.5-7；

L_{ao} —— 凹模体的长度 (mm)，由凹模体的设计原则确定；

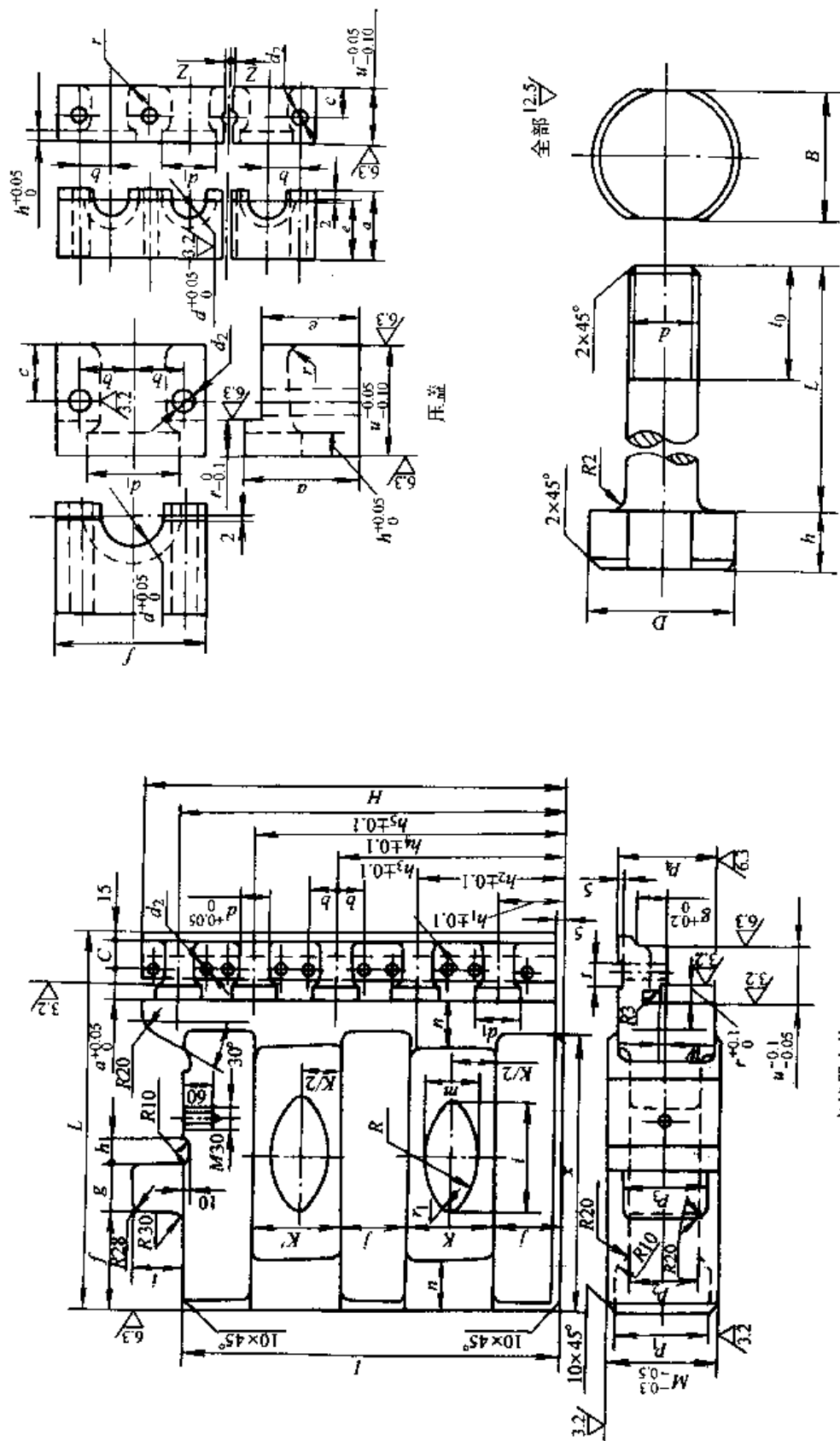


图 24.5-58 压盖式凸模夹持器

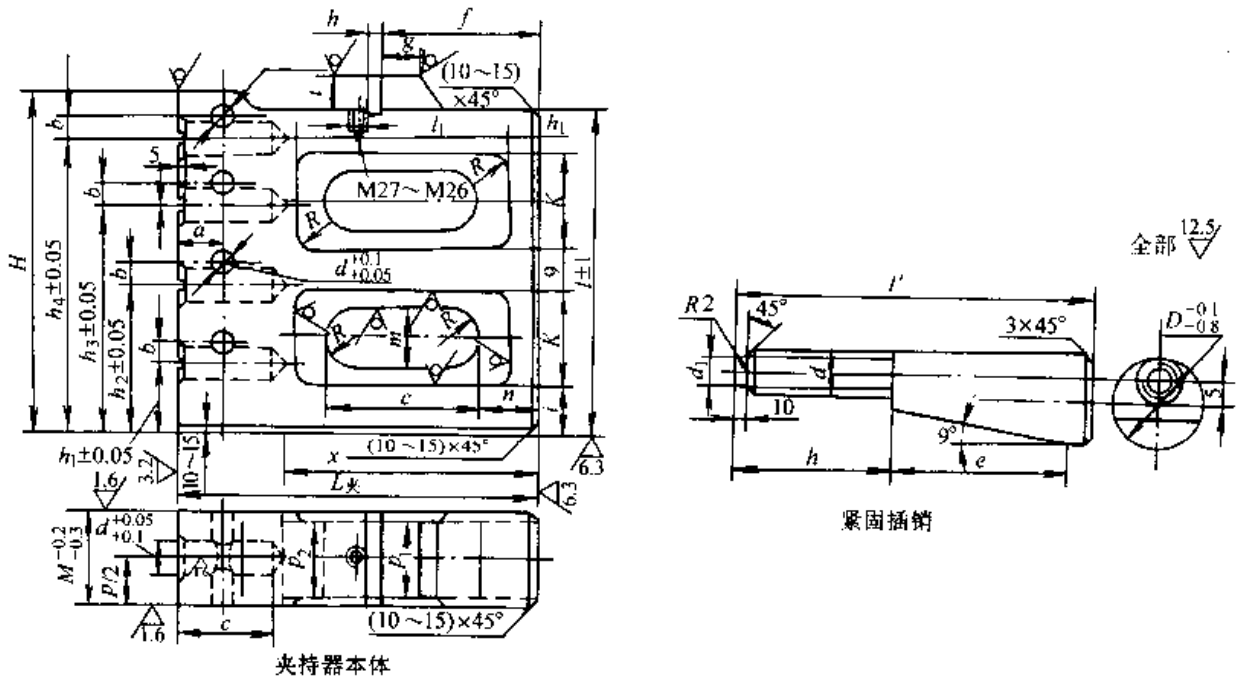


图 24.5-59 插销式凸模夹持器

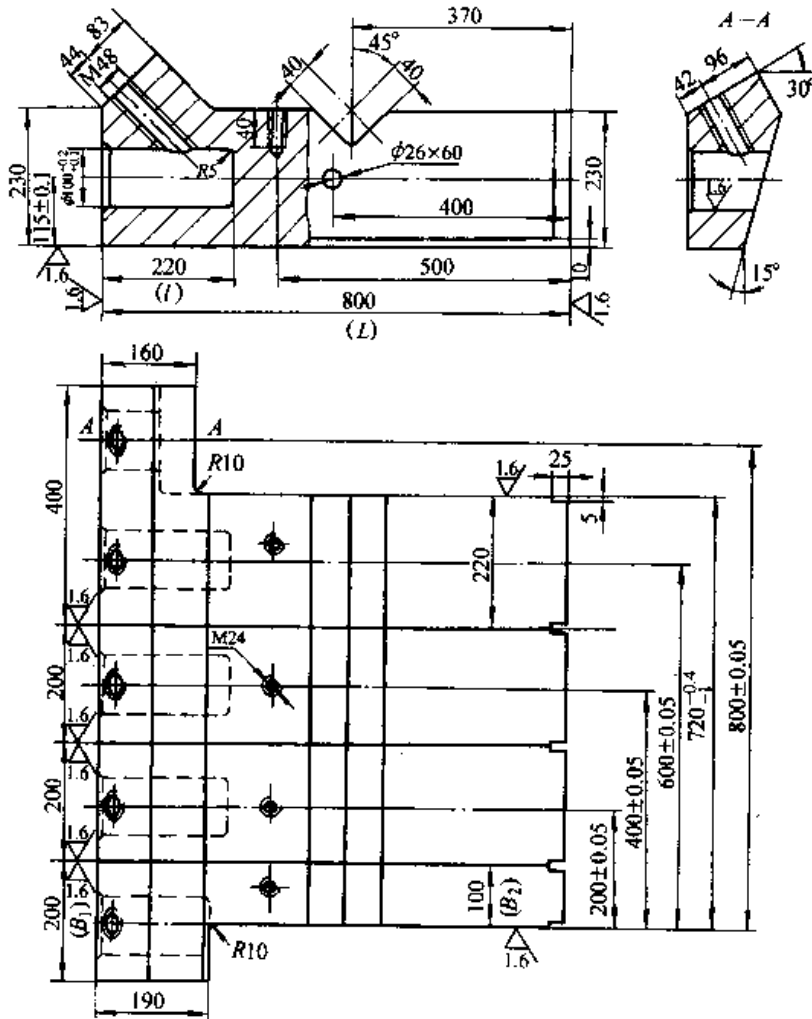


图 24.5-60 12 500 kN 水平分模平锻机凸模夹持器

a ——在模具封闭状态下，凸模夹持器与凹模之间应保持的间隔，通常采用的间隔见表 24.5-40。

3) 夹持器的高度 H 就是平锻机主滑块的安模空间高度，见图 24.5-17 和表 24.5-7。

4) 其他尺寸

表 24.5-40 间隔 a (mm)

平锻机/kN	间隔 a	平锻机/kN	间隔 a
2 250~3 150	>30	12 500	>60
4 500~6 300	>35	16 000	>70
8 000~9 000	>45	20 000	>80

① 安装凸模的孔径 d 和长度 l 孔径 d 主要考虑凸模和夹持器接触面上单位面积压力，其值要小于夹持器材料的屈服强度。

孔长 $l = (1.6 \sim 2.2)d$

式中 d ——安装凸模的孔径 (mm)。

② 顶紧螺钉要有足够的强度和刚性，防止使用中变形，确保凸模牢固，见表 24.5-41。

表 24.5-41 顶紧螺钉直径 (mm)

平锻机/kN	顶紧螺钉直径	平锻机/kN	顶紧螺钉直径
2 250~3 150	M30×2	12 500	M48
4 500~6 300	M36×3	16 000	M64×4
8 000~9 000	M42×3	20 000	M64×4

5) 举例：试设计 12 500 kN 水平分模平锻机凸模夹持器，见图 24.5-60，按五个模锻工步——聚集、聚集、预锻、终锻、穿孔（或切边）设计，又能满足四个工步。

$$\begin{aligned} \textcircled{1} B_1 &= D_{\max} + 2(0.1D_{\max} + 10 \text{ mm}) \\ &= 150 \text{ mm} + 2(0.1 \times 150 + 10) \text{ mm} \\ &= 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

② $B_2 = 100, 200, 200, 220$ mm 四块组成，由模膛中心线划分（考虑终锻时的锻造中心）。

$$\textcircled{3} \text{长度 } L = L_p - L_{\infty} - a = 1\,500 \text{ mm} - 560 \text{ mm} - 140 \text{ mm} = 800 \text{ mm}$$

式中 L_p ——平锻机的封闭长度，查图 24.5-17 和表 24.5-7，12 500 kN 平锻机 $L_p = 1\,500$ mm；

L_{∞} ——凹模体长度， $L_{\infty} = 560$ mm，由凹模体的设计原则确定；

a ——在模具封闭状态下，凸模夹持器与凹模之间应保持的间隔，取 $a = 140$ mm，考虑到要安装刮飞边板，所以取大一些。

④ 高度 $H_2 = 230$ mm（查图 24.5-17 和表 24.5-7）。

⑤ 安装凸模柄的孔为 $\phi 100$ mm × 220 mm。

⑥ 顶紧螺钉 M48。

(2) 垂直分模平锻机凸模夹持器

1) 夹持器的宽度 M 就是平锻机主滑块的安模空间宽度 M ，查图 24.5-18 和表 24.5-8。

2) 夹持器的 L

$$L = L_p - L_{\infty} - a$$

式中 L_p ——平锻机的封闭长度 (mm)，见图 24.5-18 和表 24.5-8；

L_{∞} ——凹模体的长度 (mm)，由凹模体的设计原则确定；

a ——在模具封闭状态下，凸模夹持器与凹模之间应保持的间隔，通常采用的间隔见表 24.5-40。

3) 夹持器的高度 H 决定于模锻工步数和凹模模膛布置，应和凹模相对应

$$H = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + h$$

式中 D_{1-5} ——凹模体上各模锻工步的工作镶块窝座直径 (mm)， $D = D_{\max} + 2(0.1D_{\max} + 10)$ ；

h ——夹持器高度方向两端的有效高度 (mm)。

3.3 凹模体

一般情况下，在平锻机安模空间尺寸和凹模体最大容许尺寸范围内，模膛各部分（聚集、成形、穿孔、切边等）应该做在各个镶块上，也即凹模采用全镶块形式（图 24.5-61 和图 24.5-62），其优点是：

1) 凹模体采用一般钢，而镶块采用优质锻模钢，并采用较完善的热处理和表面加工工艺，提高模具使用寿命，节省价贵的模具钢。

2) 对于同一种平锻机，可以把凹模体设计成通用标准件，不仅可以简化模具设计工作量，而且可以节省大量模具制造和翻新工时。

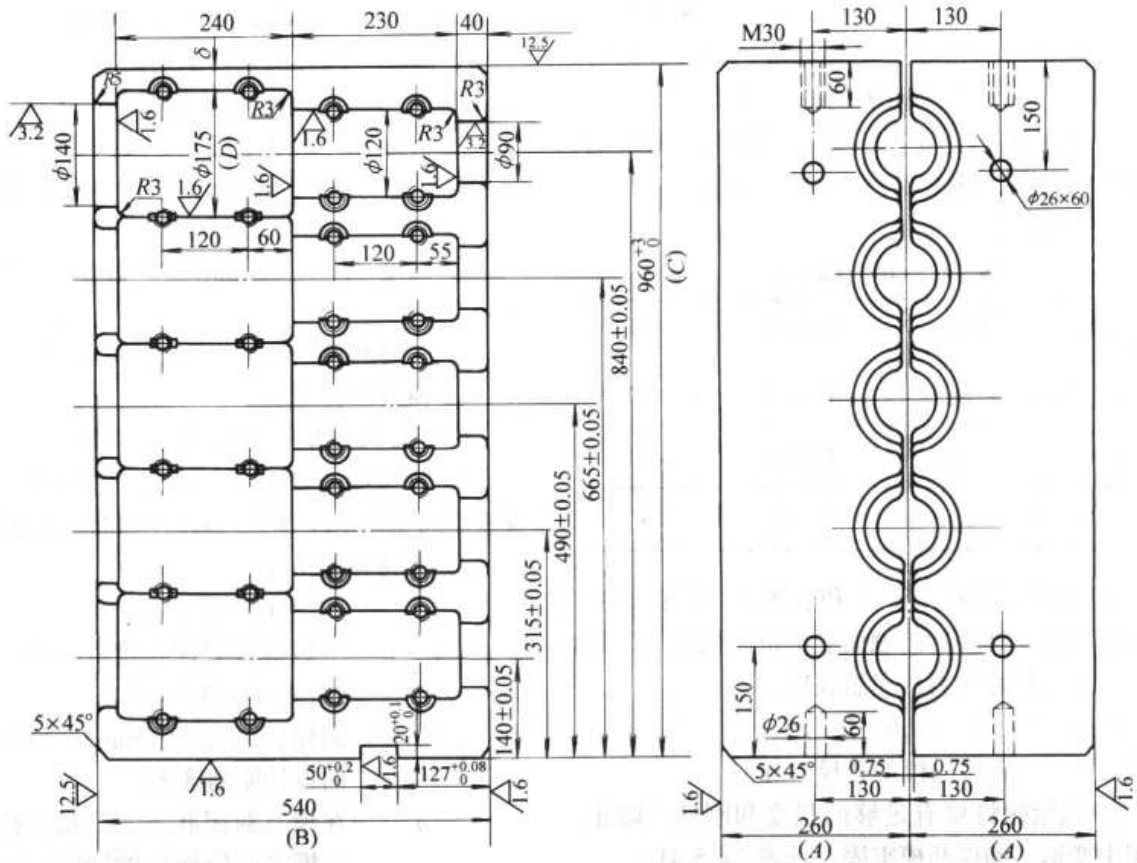


图 24.5-61 12 500 kN 垂直分模平锻机凹模体

凹模体主要尺寸设计:

(1) 凹模体宽度 C (也即垂直分模平锻机凹模体高度)

凹模体宽度 C 是凹模体上工作镶块窝座直径和宽度方向两端的容许壁厚之和, 它必须在平锻机安模空间规格之内。

1) 工作镶块直径 D (mm)

$$D = D_{\max} + 2(0.1D_{\max} + 10 \text{ mm})$$

式中 D_{\max} ——平锻机所能生产的最大直径或锻件本身的最大直径 (mm)。

2) 宽度 C

$$C = n \cdot d + 2\delta$$

式中 n ——锻件模锻工步数;
 δ ——凹模体在宽度两端镶块窝座的壁厚, $\delta = 30 \sim 40 \text{ mm}$ 。

(2) 凹模体的长度 B (mm) (即图 24.5-52 L_{ao})

$$B = l_{\text{夹}} + l_p + l_b + l_{\text{dao}} + l_q + l_h$$

式中 $l_{\text{夹}}$ ——棒料的夹紧长度, 一般 $l_{\text{夹}} = 3 \sim 5d_0$ (d_0 为棒料直径);

l_p ——凹模模膛内的坯料长度或锻件高度, 若坯料在凸模内成形, 则 $l_p = 0$;

l_b ——模锻时最大的压缩量, 由工步图可以计算获得, 若是第一工步, 则 $l_b = (l_B - l_1)$ (其中 l_B 为锻粗长度, l_1 为第一工步聚集锥体长度);

l_{dao} ——凸模在凹模内的导程, 一般取 $l_{\text{dao}} = 20 \sim 40 \text{ mm}$;

l_q ——凹模体长度方向的镶块窝座前部的壁厚, 一般取 $l_q = 20 \sim 40 \text{ mm}$;

l_h ——凹模体长度方向的镶块窝座后部的壁厚, 一般取 $l_h = 30 \sim 60 \text{ mm}$;

(3) 凹模体的厚度 A

按照锻件所采用平锻机的安模空间的规格确定, 查表 24.5-7 和表 24.5-8。

(4) 其他尺寸

1) 夹紧镶块窝座直径一般取坯料直径的 2~3 倍, 长度取 2~4 倍的坯料直径。

2) 安装“水平分模平锻机凹模体”的螺孔

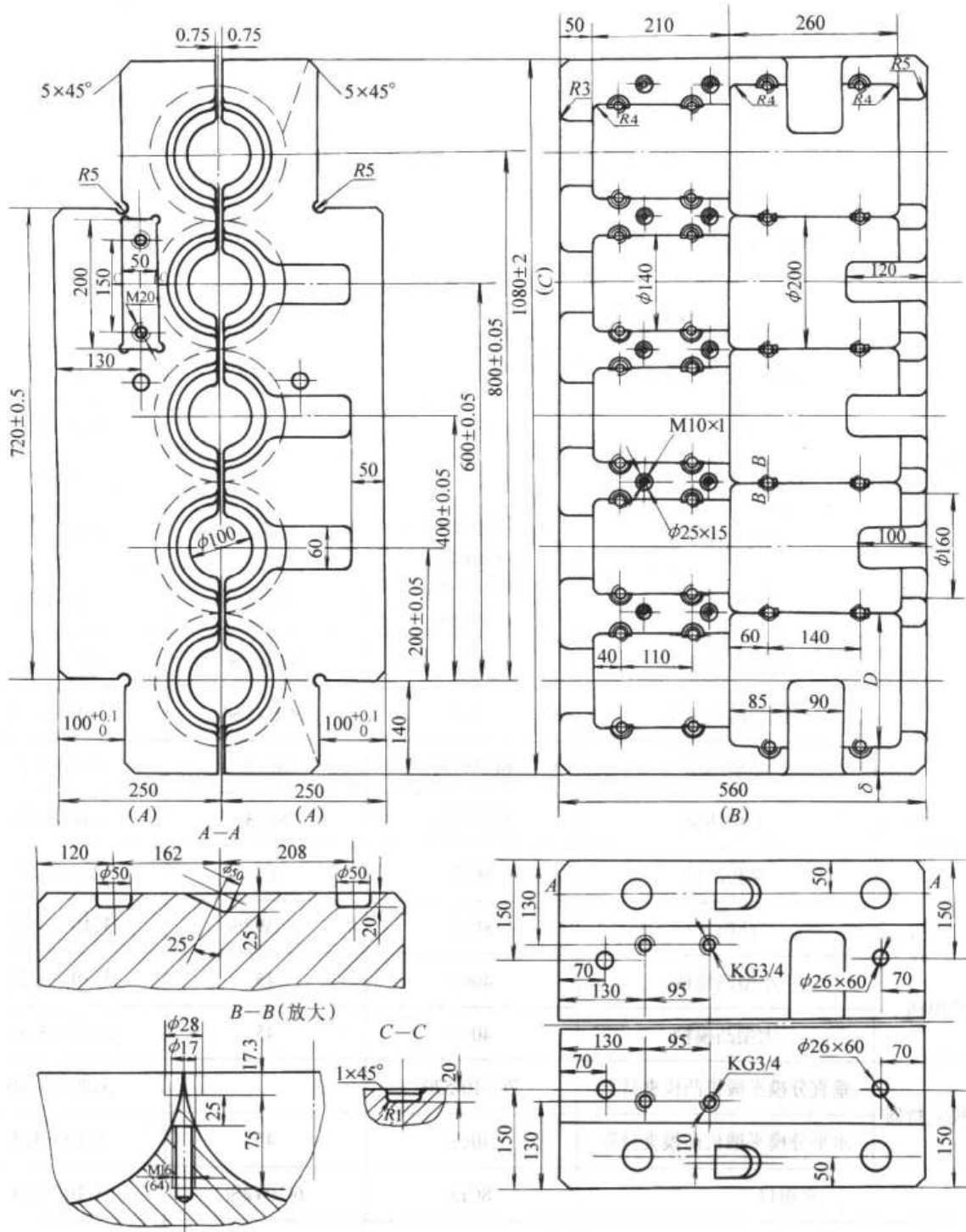


图 24.5-62 12 500 kN 水平分模平锻机凹模体

位置和尺寸，查图 24.5-17 和表 24.5-7。

3) 紧固凹模镶块的内六角螺钉，见表 24.5-42。

4) 水平分模平锻机凹模体上冷却水和压缩空气通道一般取 $\phi 20$ mm，但 16 000 kN 和大于 16 000 kN 平锻机采用两条通道，下模接通冷却水，上模接通压缩空气，吹扫下模模膛里的氧化

皮，喷嘴螺纹采用 M10×1。

表 24.5-42 压紧凹模镶块的内六角螺钉 (mm)

平锻机吨位 / kN	2 250~ 6 300	8 000~ 12 500	16 000~ 20 000
内六角螺钉	M12	M16	M20

3.4 平锻机模具的常用材料和热处理硬度

平锻机模具的常用材料和热处理硬度见表

24.5-43。其中模块的纤维方向应和平锻模模膛中心线垂直,否则将影响模具的使用寿命。

3.5 模具主要尺寸公差和表面粗糙度

表 24.5-43 平锻机模具材料和热处理硬度

模具或零件名称		钢 号		热处理硬度 d_{H}/mm
		主要材料	代用材料	
整体凹模	<8 000 kN 平锻机	8Cr3	5CrNiMo	2.95~3.1
	>8 000 kN 平锻机	8Cr3	5CrNiMo	3.0~3.20
凹模体	<8 000 kN 平锻机	40Cr	45	3.1~3.3
	>8 000 kN 平锻机	40Cr	45	3.2~3.4
凹模镶块	中小型镶块	4Cr5MoSiV 6CrW2Si	8Cr3	2.9~3.1
	大型镶块	4Cr5MoSiV 6CrW2Si	8Cr3	3.0~3.2
	切边凹模镶块	8Cr3	6CrW2Si	2.9~3.1
	穿孔凹模镶块	8Cr3	6CrW2Si	3.0~3.15
凸模	小型凸模	6CrW2Si	8Cr3	2.9~3.1
	大型凸模	6CrW2Si	8Cr3	3.0~3.20
	穿孔凸模	8Cr3	7Cr3	2.9~3.1
	凸模塞	8Cr3	6CrW2Si	3.10~3.25
凸模柄	小型凸模柄	40Cr	45	3.10~3.25
	大型凸模柄	40Cr	45	3.20~3.40
凸模夹持器	垂直分模平锻机凸模夹持器	ZG310-570		3.20~3.40
	水平分模平锻机凸模夹持器	40Cr	45	3.10~3.3
夹钳口		8Cr3	6CrW2Si	3.10~3.3
挡 板		45		3.4~3.6

该模具主要尺寸公差和表面粗糙度是按一般锻件精度制造的,对于精度要求高和形状复杂的锻件,可以提高模具的制造精度。

3.5.1 凹模体 (图 24.5-63 和图 24.5-64)

- 1) 凹模体的外轮廓尺寸公差见表 24.5-44。
- 2) 镶块窝座尺寸公差见表 24.5-44。

3) 起重孔的尺寸公差见图 24.5-65。

4) 凹模基准面放在水平位置时,其两工作面间的不密合度不应超过垂直分模平锻机凹模高度或水平分模平锻机凹模宽度 C 的 0.06%。

5) 垂直分模平锻机凹模体基准面的垂直度,工作面和 A 基准面的平行度与水平分模平锻机

其余 $\nabla 6.3$

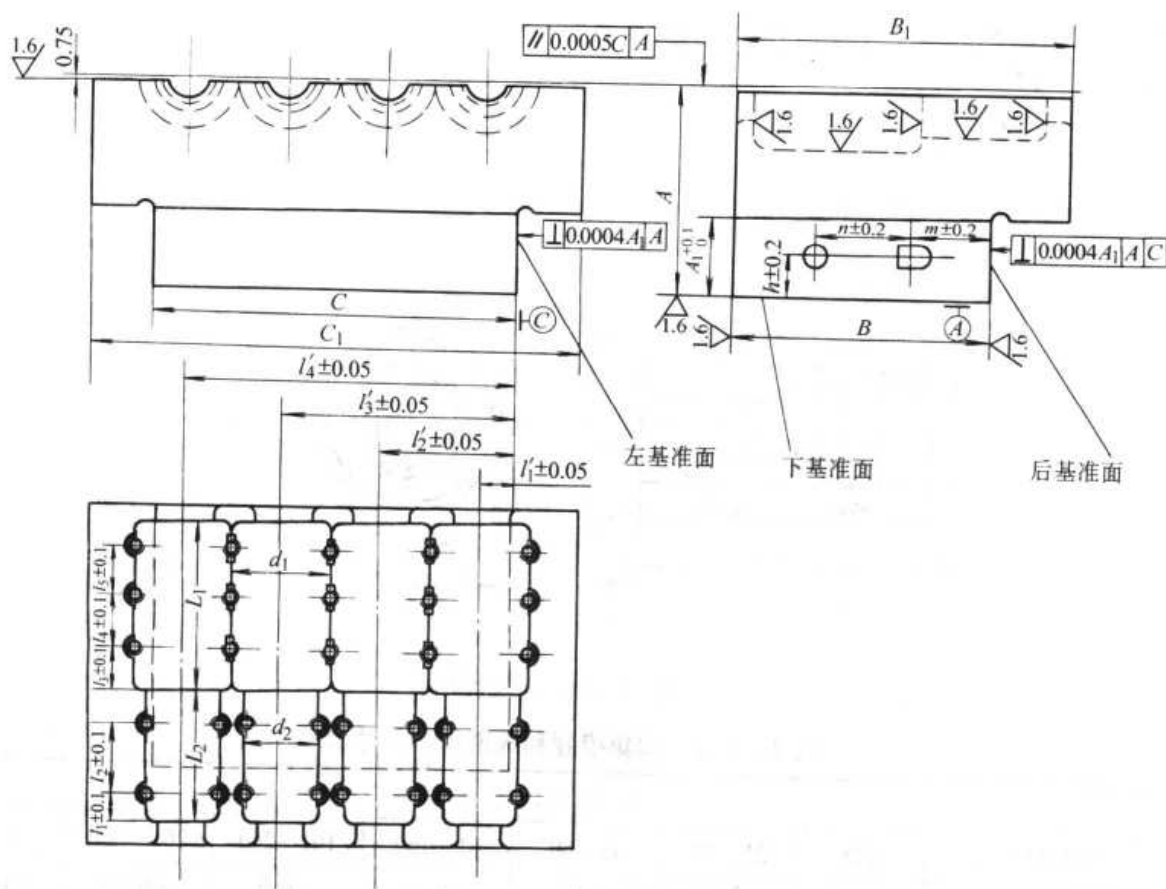


图 24.5-63 水平分模平锻机凹模体

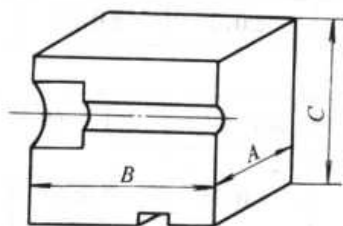


图 24.5-64 垂直分模平锻机凹模体 (示意图)

凹模体相同。

3.5.2 凹模镶块

(1) 聚集凹模镶块和成形凹模镶块

1) 凹模镶块外轮廓尺寸公差见图 24.5-66。

2) 聚集模膛和成形模膛的尺寸公差见表 24.5-45。

(2) 夹紧模膛和卡细模膛

表 24.5-44 凹模体轮廓尺寸公差和镶块窝座尺寸公差

(mm)

平锻机吨位/kN	A	B、B ₁	C、C ₁	d ₁	d ₂	L ₁	L ₂
2 250~5 000	±0.1	±1	±1	+0.05	+0.04	+0.06	+0.6
6 300~9 000	±0.2	+2 -1	+2 -1	+0.07	+0.05	+0.08	+0.7
12 500~16 000	±0.3	+3 -2	+3 -2	+0.08	+0.07	+0.09	+0.8

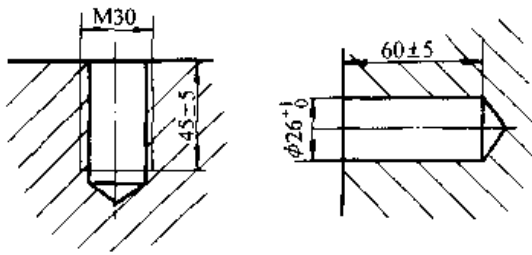


图 24.5-65 环首螺钉孔、轴销光孔

夹紧模膛和卡细模膛尺寸公差见图 24.5-67 和表 24.5-46。

(3) 夹钳挡板窝座

夹钳挡板窝座的尺寸公差见图 24.5-68 和表 24.5-47。

(4) 穿孔模膛

穿孔模膛的尺寸公差见图 24.5-69 和表 24.5-48。

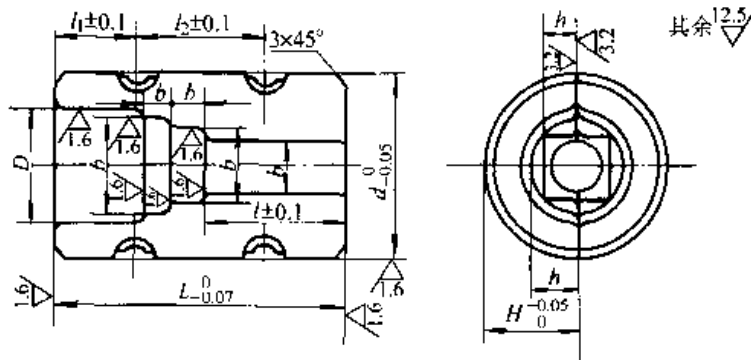


图 24.5-66 凹模镶块

表 24.5-45 聚集模膛和成形模膛尺寸公差

(mm)

(1) 模膛尺寸公差							
模膛尺寸	<20	21~40	41~80	81~160	161~260	261~360	>360
宽度 b	聚集	+0.2	+0.25	+0.3	+0.35	+0.4	+0.45
	成形	+0.1	+0.15	+0.2	+0.25	+0.3	+0.35
高度 h	±0.05	±0.1	±0.1	±0.15	±0.2	±0.25	±0.3
(2) 导程直径公差							
导程直径 D	<20	21~40	41~80	81~160	161~260	261~360	>360
聚集模膛	+0.15	+0.2	+0.25	+0.3	+0.35	+0.4	+0.45
预锻模膛							
终锻模膛	+0.1	+0.15	+0.15	+0.2	+0.25	+0.3	+0.35

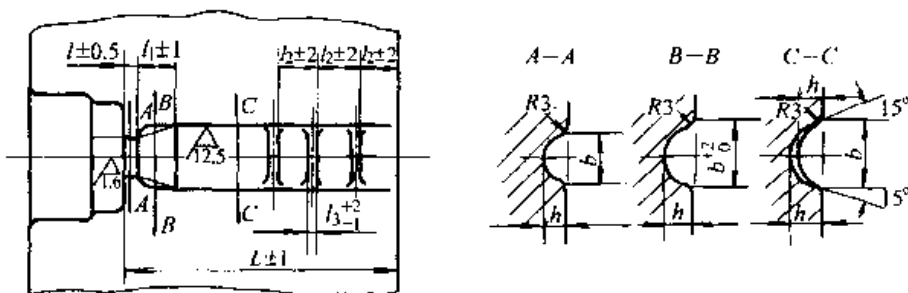


图 24.5-67 夹紧模膛和卡细模膛

表 24.5-46 夹紧模膛和卡细模膛尺寸公差 (mm)

模膛尺寸	<10	11~20	21~40	41~60	61~80	>80
宽度 b	+0.4	+0.6	+0.8	+1.0	+1.2	+1.4
高度 h	± 0.05	± 0.1	± 0.1	± 0.15	± 0.15	± 0.2

注：该表所表示的公差用于--料生产多件的卡细模膛和夹紧模膛，对于“具有粗大部分的杆类锻件”，其夹紧模膛尺寸公差按表 24.5-45。

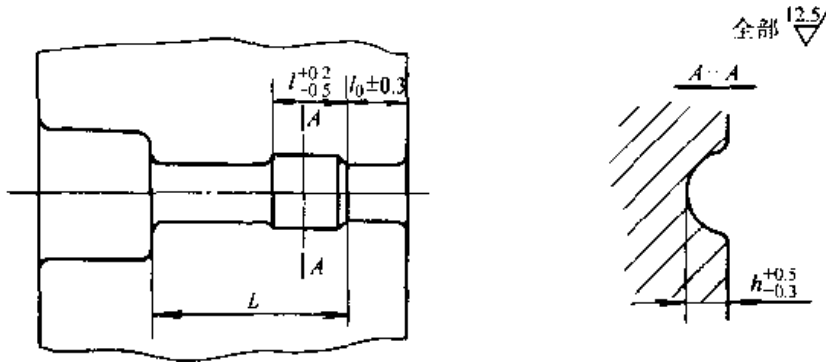


图 24.5-68 夹钳挡板窝座

表 24.5-47 夹钳挡板窝座尺寸 L 的公差 (mm)

长度 L	<50	51~80	81~120	121~160	161~260
公差	± 0.1	± 0.15	± 0.2	± 0.25	± 0.3

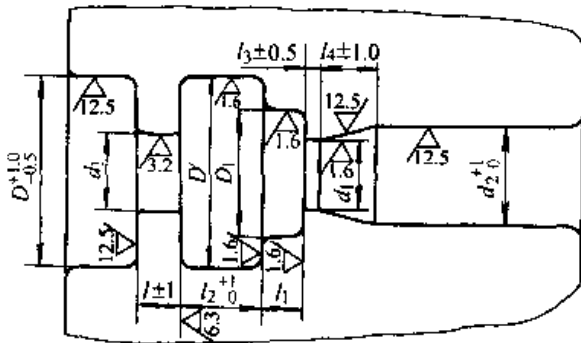


图 24.5-69 穿孔模膛

表 24.5-48 穿孔模膛尺寸公差 (mm)

模膛尺寸	<21	21~40	41~80	81~160	161~260	261~360	>360
模膛直径 D_1	+0.15	+0.2	+0.25	+0.3	+0.35	+0.4	+0.45
导程直径 d_1	± 0.05	± 0.1	± 0.15	± 0.2	± 0.25	± 0.3	± 0.35
模膛长度 l_1	± 0.05	+0.1 -0.05	+0.15 -0.1	+0.2 -0.1	+0.2 -0.15	+0.25 -0.15	+0.3 -0.2

(5) 切断模膛

切断模膛的尺寸公差见图 24.5-70 和表 24.5-49。

(6) 凹模模膛

活动凹模和固定凹模上每个模膛在长度与宽度方面的外形偏差不应超过各相应模膛尺寸公差数值的一半，且在闭合状态下模膛的轮廓尺寸应保持该模膛在公差表上所规定的范围内。

凹模模膛沿分模线的圆角半径 R 规定如下：

终锻模膛， $R=1\sim 2$ mm；

其他模膛， $R=3$ mm。

3.5.3 凸模夹持器

凸模夹持器的尺寸公差见图 24.5-71 和图 24.5-72。

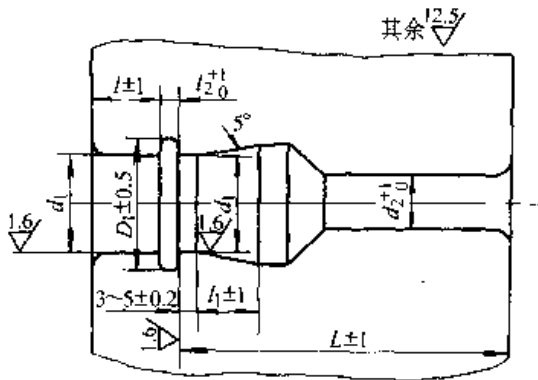


图 24.5-70 切断模腔

表 24.5-49 切边刃口尺寸公差

(mm)				
刃口直径 d_1	<20	21~40	41~80	81~160
公差	+0.1 0	+0.15 0	+0.2 0	+0.25 0
刃口直径 d_1	161~260	261~360	>360	
公差	+0.3 0	+0.35 0	+0.4 0	

3.5.4 凸模柄

凸模柄尺寸的公差见图 24.5-73, 其中销孔 $\phi 8^{+0.05}_0$ 用于 12 500 kN 平锻机和小于 12 500 kN

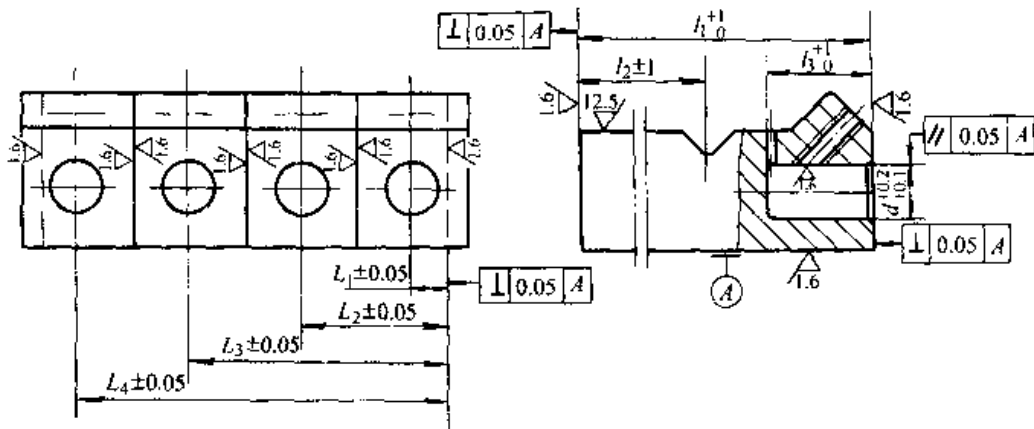


图 24.5-71 水平分模平锻机凸模夹持器
四件组合同时加工, 以保证尺寸公差 $L \pm 0.05$

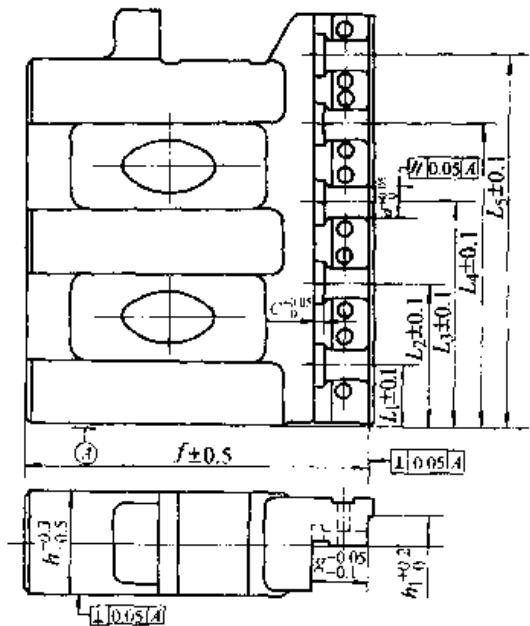


图 24.5-72 垂直分模平锻机凸模夹持器
表面粗糙度见图 24.5-58

平锻机, 大于 12 500 kN 平锻机凸模柄的销孔为 $\phi 10^{+0.1}_0$ mm。

3.5.5 凸模

1) 聚集凸模的尺寸公差见图 24.5-74 和表 24.5-50。

2) 成形凸模的尺寸公差见图 24.5-75 和表 24.5-51。凸模和凸模柄装配部分的尺寸公差与聚集凸模 (图 24.5-74) 完全相同。

3) 穿孔凸模的尺寸公差见图 24.5-76 和表 24.5-52。

4) 切边凸模的尺寸公差见图 24.5-77 和表 24.5-53。

4 挤压模设计

4.1 水平分模平锻机挤压工艺分析

在水平分模平锻机上可以进行挤压工艺是由

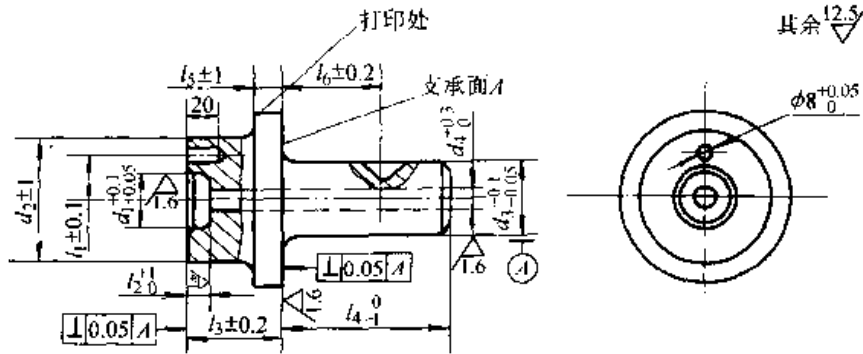


图 24.5-73 凸模柄

用圆柱销: Q522840 (GB/T 119.1~119.2—2000)

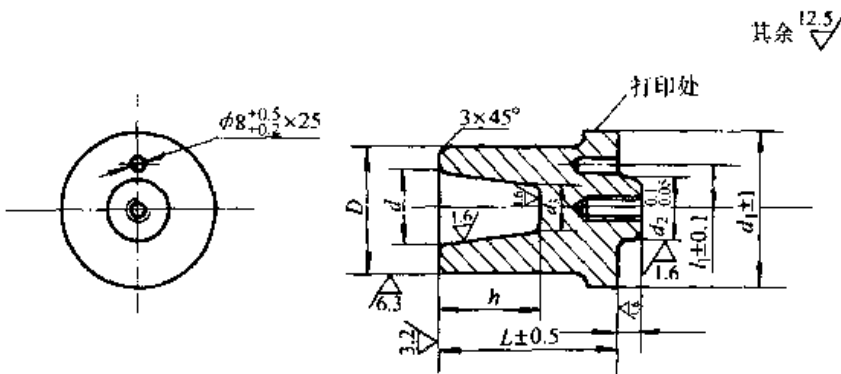


图 24.5-74 聚集凸模

表 24.5-50 聚集凸模锥形模膛和导程尺寸公差 (mm)

尺寸	<20	21~40	41~80	81~160	161~260	261~360	>360
锥形模膛直径 d	+0.2 -0.1	+0.3 -0.1	+0.3 -0.15	+0.4 -0.2	+0.5 -0.25	+0.6 -0.3	+0.7 -0.4
锥形模膛长度 h	+0.2 -0.1	+0.3 -0.1	+0.3 -0.15	+0.4 -0.2	+0.5 -0.25	+0.6 -0.3	+0.7 -0.4
凸模导程直径 D	0 -0.1	0 -0.15	0 -0.15	0 -0.2	0 -0.25	0 -0.3	0 -0.4

表 24.5-51 成形凸模尺寸公差

(mm)

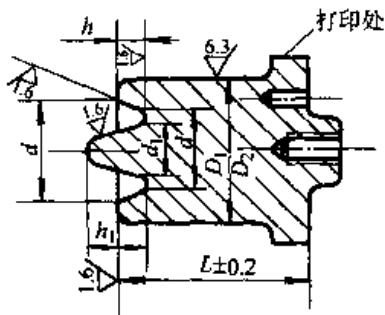


图 24.5-75 成形凸模

D_1 —预成形凸模直径

D_2 —终锻成形凸模直径

模膛尺寸	<20	21~40	41~80	81~160
模膛直径 d	± 0.05	± 0.1	± 0.1	± 0.15
模膛高度 h	± 0.05	± 0.1	± 0.1	± 0.15
预锻导程直径 D_1	0 -0.1	0 -0.15	0 -0.2	0 -0.25
终锻导程直径 D_2	0 -0.05	0 -0.1	0 -0.1	0 -0.15
模膛尺寸	161~260	261~360	>360	
模膛直径 d	± 0.2	± 0.25	± 0.3	
模膛高度 h	± 0.2	± 0.25	± 0.3	
预锻导程直径 D_1	0 -0.3	0 -0.35	0 -0.4	
终锻导程直径 D_2	0 -0.2	0 -0.25	0 -0.3	

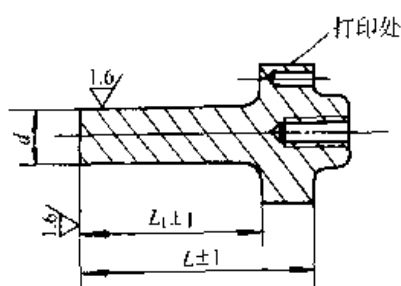


图 24.5-76 穿孔凸模

表 24.5-52 穿孔凸模直径公差

		(mm)			
穿孔凸模直径 d		<40	40~80	81~160	161~260
公差		± 0.05	± 0.1	± 0.15	± 0.2

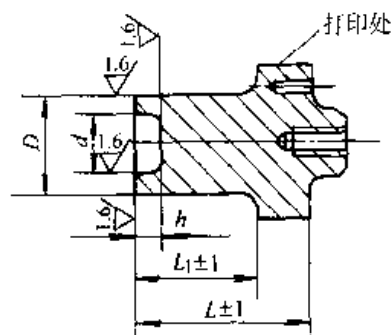


图 24.5-77 切边凸模

于其夹紧力很大，且分模面呈水平。其夹紧力是锻锻力的 1.33 倍或更大，而垂直分模平锻机夹紧力仅是锻锻力的 0.3 倍，大的夹紧力使两块分

表 24.5-53 切边凸模尺寸公差

		(mm)					
模膛尺寸		<40	41~80	81~160	161~260	261~360	>360
模膛直径 d		+0.1	+0.1	+0.15	+0.2	+0.25	+0.3
		+0.2	+0.2	+0.25	+0.3	+0.35	+0.4
模膛高度 h		+0.1	+0.1	+0.15	+0.2	+0.25	+0.3
		+0.2	+0.2	+0.25	+0.3	+0.35	+0.4
凸模外径 D		0	0	0	0	0	0
		-0.15	-0.2	-0.25	-0.3	-0.35	-0.4

开的凹模牢固地成为一体而不被挤开，分模面呈水平便于放置坯料。

国外已成功使用水平分模平锻机进行热挤压工艺，例如，英国某飞机发动机叶片就采用 4 500 kN 平锻机热挤压成形，德国福特汽车公司用 12 500 kN 平锻机热挤压轿车万向联轴器叉零件。

由于水平分模平锻机是双向分模，因此比普通锻压设备（例如热模锻压力机等）挤压有较多优点，例如：

1) 可以挤压形状复杂的零件，例如汽车万向联轴器叉（图 24.5-84），在普通压力机上挤压就比较困难，而在水平分模平锻机挤压则较方便。

2) 挤压模具结构简单，由于凹模是水平分开的，所以某些零件，例如空心套管挤压时，可省略顶料装置，把棒料插入“空心套管”内就可把挤压件取出（图 24.5-78）。

3) 由于设备有“有效后退行程”，故可省去其他设备反挤压时模具卸锻件装置，因此，模具结构简单、操作方便，提高劳动生产率。

但是，由于凹模是水平分开的，所以挤压时

在凹模分模面处要挤压出很薄的毛刺（约 0.5~2 mm），因而需要增加一道切边工序。

4.2 挤压模结构及工作部分主要尺寸

4.2.1 总体结构

平锻机热挤压模（图 24.5-78）一般由凸模夹持器、凸模（凸模和凸模柄）、凹模（凹模镶块和凹模体）组成，在凹模体上配置有冷却润滑模具和吹扫氧化皮的喷嘴。

凸模夹持器是通用标准件，结构和锻锻用凸模夹持器相同。

凸模夹持器、凸模柄、凸模、凹模镶块和凹模体的尺寸由挤压件的形状、尺寸及平锻机安模空间确定。

4.2.2 热正挤压模工作部分主要尺寸

正挤压凸模主要用来传递压力，但挤压空心件时，其中凸模心棒是用来控制金属流动，所以心棒长度 H_1 要保证在开始挤压前就已进入凹模金属挤压出口处。出口处的形状很重要，底部锥角 $\alpha = 90^\circ \sim 120^\circ$ 为佳，当 $\alpha > 120^\circ$ 时，挤压时金属流动有“死区”，致使挤压件易产生折纹，凹

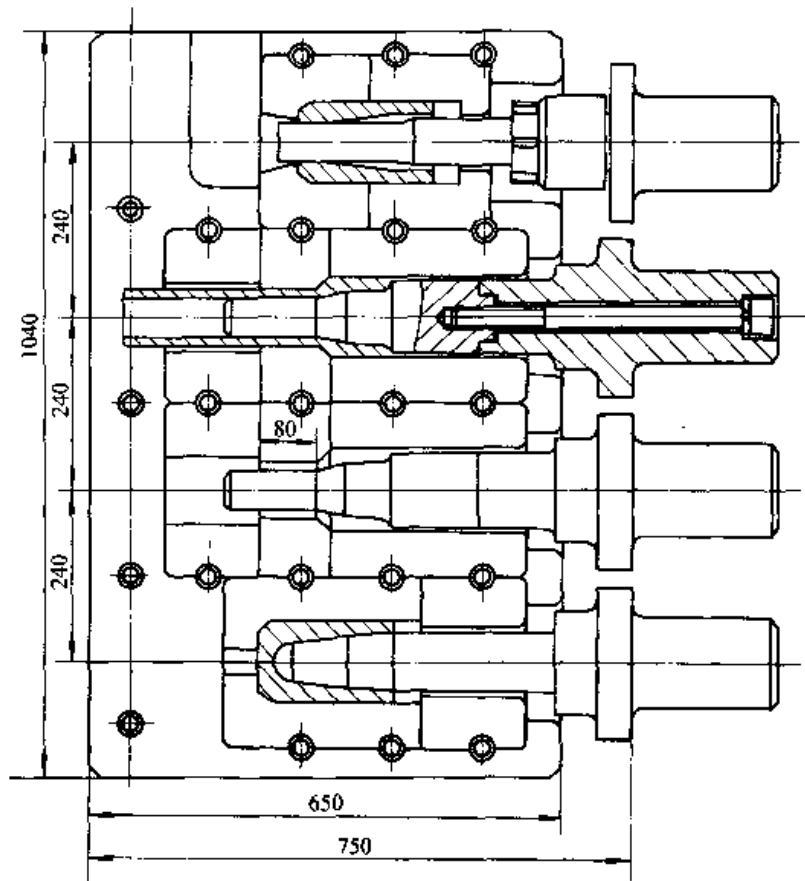


图 24.5-78 “轴套管”平锻机热挤压模

模上要设置减少摩擦阻力和调节金属流动的工作带，即图 24.5-79 中 $\phi d \times h$ 部分。各部分主要尺寸见表 24.5-54。

4.2.3 热反挤压模工作部分主要尺寸

反挤压凸模起传递压力和控制金属流动双重作用，所以反挤压凸模也要设计工作带 $\phi d \times h$ 。凹模要设计凸模导向段，所以使凸模和凹模的长度尺寸相应增加。各部分主要尺寸见图 24.5-80 和表 24.5-55。

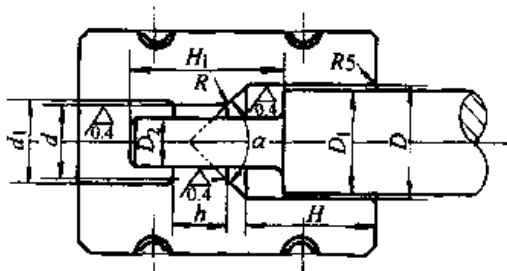


图 24.5-79 热正挤压模工作部分尺寸

表 24.5-54 热正挤压模工作部分主要尺寸 (mm)

尺寸	数值
D	热挤压件大端直径
D_1	$D_1 = D - 0.2 \sim 0.5$
D_2	热挤压件孔的直径
d	热挤压件小端直径
d_1	$d_1 = d + 0.5 \sim 1$
H	$H = H_0 + R5 + 20 \sim 30$
H_1	$H_1 = H_0 + h$
h	$h = (0.5 \sim 1)d$
α	$90^\circ \sim 120^\circ$ 最佳

注： H_0 —坯料或挤压前工作高度。

4.3 热挤压模设计实例

4.3.1 轴套管正挤压 (图 24.5-81)

(1) 确定坯料尺寸

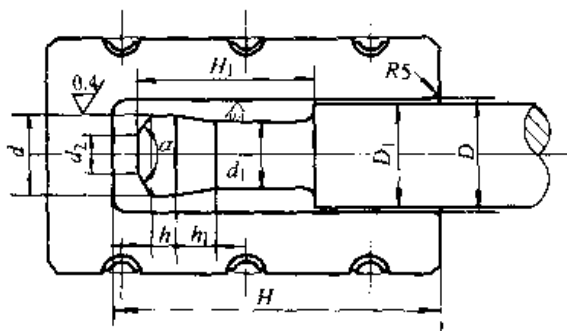


图 24.5-80 热反挤压模工作部分尺寸

表 24.5-55 热反挤压模工作部分主要尺寸 (mm)

尺寸	数值
D	挤压件的外径
D_1	$D_1 = D - 0.2 \sim 0.5$
d	热挤压件的內径
d_1	$d_1 = d - 1 \sim 2$
d_2	$d_2 = 0.5d$
H	$H = H_0 + H_1 + 20 \sim 30 + R5$
H_1	热挤压件內孔深度 + 20
h	30~40
h_1	$h_1 = 2h$
α	$\alpha = 120^\circ$

注： H_0 —坯料高度。

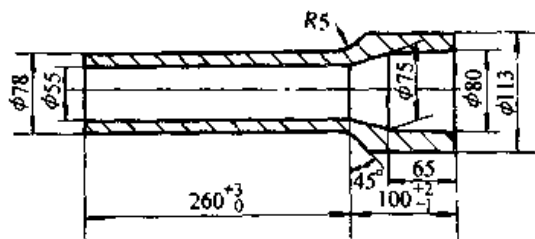


图 24.5-81 轴套管锻件图

1) 原始数据

锻件体积： $V = 1\ 160\ 000\ \text{mm}^3$

锻件重量： $G = 9.1\ \text{kg}$

材料：45 钢

2) 确定坯料尺寸 经工艺分析和计算

选取方料： $80\ \text{mm} \times 80\ \text{mm}$

坯料尺寸： $80\ \text{mm} \times 80\ \text{mm} \times 183\ \text{mm}$

选取方料的优点是：

① 放入模膛定位准确，减小锻件壁厚差。

② 第一工步是扩孔制坯，凸模受力小。

(2) 确定工步数和挤压力

1) 变形程度 (工步尺寸见图 24.5-82)

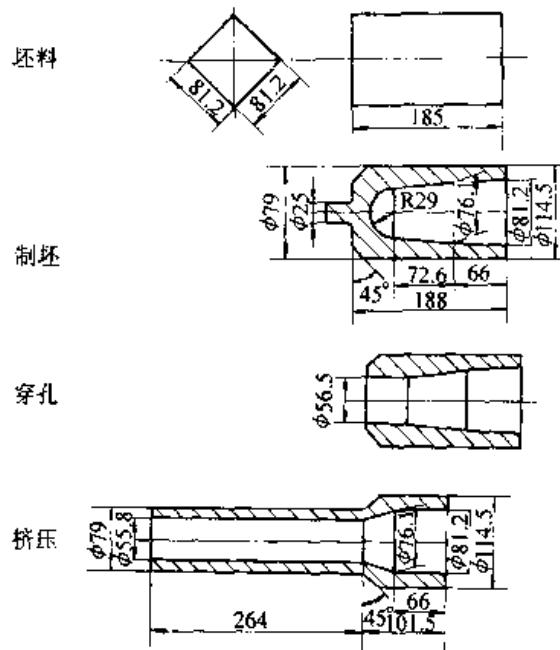


图 24.5-82 轴套管工步图

挤压变形前坯料的横截面积

$$A_0 = \frac{\pi}{4} (D^2 - D_2^2) = \frac{\pi}{4} (114.5^2 - 55.8^2) \text{mm}^2 = 7\ 847\ \text{mm}^2$$

挤压变形后坯料的横截面积

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) = \frac{\pi}{4} (79^2 - 55.8^2) \text{mm}^2 = 2\ 455\ \text{mm}^2$$

断面收缩率

$$\epsilon = \frac{A_0 - A_1}{F_0} = \frac{7\ 847 - 2\ 455}{7\ 847} = 69\%$$

挤压比

$$n = \frac{A_0}{A_1} = \frac{7\ 847}{2\ 455} = 3.2$$

2) 工步设计

坯料热体积 $V = 1\ 225\ 075\ \text{mm}^3$

第一工步 (扩孔制坯) 该工步为挤压工步 准备体积一定、形状合适的坯料，因此，内孔形状基本和终锻相符。后端 $\phi 25$ 的小尾部是多余金属，是由于坯料尺寸偏差引起。

由体积不变条件，计算出该坯料的长度 l_1

$$\frac{\pi}{4} D^2 l_1 - V_m = VK$$

式中 D —— 锻件外径, $D=114.5\text{ mm}$;
 V_{in} —— 坯料内孔体积, $V_{in}=630\ 143\text{ mm}^3$;
 V —— 坯料热体积, $V=1\ 225\ 075\text{ mm}^3$;
 K —— 充不满系数, $K=1.06$ 。

计算获得扩孔后的坯料长度 $l_1=188\text{ mm}$ 。

第二工步 为穿孔工步, 冲除多余金属。

第三工步 挤压成形

挤压行程为

$$H_0 - H_1 = 188\text{ mm} - 101.5\text{ mm} = 86.5\text{ mm}$$

毛坯相对高度

$$\frac{H_0}{D_0} = \frac{188}{114.5} = 1.64$$

3) 挤压力计算

$$F = mA\sigma_B$$

式中 F —— 挤压力 (kN);

m —— 不同挤压方式系数, $\alpha=90^\circ$

$$m = 2 \left(\ln \frac{D}{d} + 2\mu \frac{h}{d} + \frac{H_0}{D} \right)$$

式中 D —— 挤压凸模直径, $D = \sqrt{\frac{F_0}{\frac{\pi}{4}}}$

$$\sqrt{\frac{7\ 847}{0.785}}\text{ mm} = 100\text{ mm}$$

d —— 挤压凹模使坯料变形部分直径,

$$d = \sqrt{\frac{A_1}{\frac{\pi}{4}}} = \sqrt{\frac{2\ 455}{0.785}}\text{ mm} = 56\text{ mm}$$

h —— 挤压凹模使坯料变形部分长度,

$$h = 80\text{ mm};$$

H_0 —— 坯料长度, $H_0 = 188\text{ mm}$;

μ —— 摩擦系数, 坯料温度 t 约 $1\ 000^\circ\text{C}$ 时, 其值取 $\mu = 1.05 - 0.000\ 5t = 0.55$ 。

将以上数值代入上式:

$$m = 2 \left(\ln \frac{100}{56} + 2 \times 0.55 \frac{80}{56} + \frac{188}{100} \right) = 7.97$$

式中 A —— 挤压凸模受力的投影面积, $A = 7\ 847\text{ mm}^2$ (近似);

σ_b —— 终挤温度时, 金属材料的抗拉强度 $1\ 000^\circ\text{C}$ 时 $\sigma_b \approx 60\text{ MPa}$;

$$F = mA\sigma_b = 7.97 \times 7\ 847 \times 60\text{ kN} \approx 3\ 750\text{ kN}.$$

查水平分模平锻机锻力允许载荷图 (图 24.5-83), 需要 $16\ 000\text{ kN}$ 平锻机。

(3) 模具设计

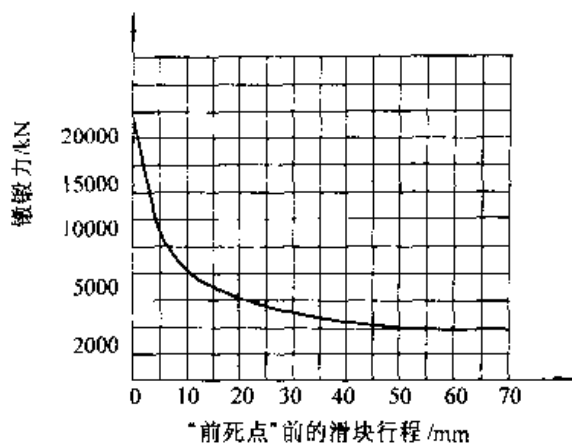


图 24.5-83 16 000 kN 平锻机锻力允许负荷图

1) 模膛设计 模膛腔的形状和尺寸按轴套管工步图 24.5-82 和热正挤压工作部分主要尺寸进行设计。

挤压工作带长度 h

$$h = (0.5 \sim 1)d = (0.5 \sim 1)79\text{ mm} = (39.5 \sim 79)\text{ mm}$$

取 $h = 80\text{ mm}$

2) 镶块外径和长度 主要考虑材料强度, 提高模具寿命。

3) 模具总图 按 $16\ 000\text{ kN}$ 水平分模平锻机安模空间尺寸和镶块大小进行合理布置, 详见图 24.5-78。

4.3.2 万向联轴器叉热挤压 (图 24.5-84)

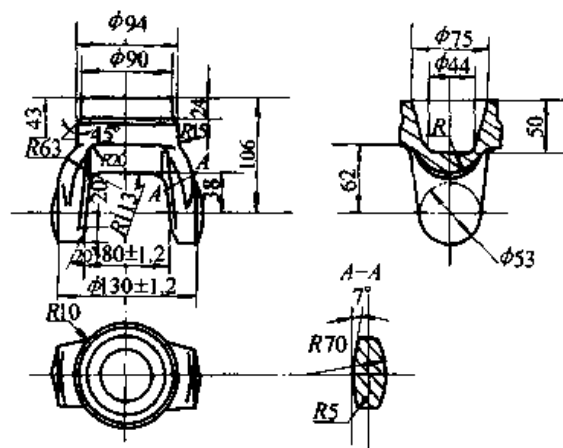


图 24.5-84 汽车万向联轴器叉锻件图

1. 未注明模锻斜度 7° 2. 未注明圆角 $R4$

(1) 确定坯料尺寸

1) 原始数据

材料: 40MnB

锻件体积: $V = 474\text{ cm}^3$

锻件重量: $G = 3.72\text{ kg}$

2) 确定坯料尺寸 因为锻件的最小外径为 $\phi 90 \text{ mm}$, 所以选用 $\phi 90 \text{ mm}$ 的坯料, 经计算, 坯料尺寸为: $\phi 90 \text{ mm} \times 78 \text{ mm}$ 。

(2) 确定工步数和计算挤压力

1) 反挤压锻件锥孔

① 挤压比

$$n = \frac{A_0}{A_0 - A_1} = \frac{6\,359}{6\,359 - 4\,416} = 3.3$$

式中 A_0 —— 变形前的坯料横截面积,

$$A_0 = \frac{\pi}{4} d_0^2 = \frac{\pi}{4} 90^2 \text{ mm}^2 = 6\,359 \text{ mm}^2$$

A_1 —— 变形后锻件内孔的面积,

$$A_1 = \frac{\pi}{4} d_k^2 - \frac{\pi}{4} 75^2 \text{ mm}^2 = 4\,416 \text{ mm}^2$$

② 反挤压力 由挤压比, $n = 3.3$ 查图 24.5-85 德国 EUMUCO45 号钢挤压的单位面积压力图线, 得单位挤压力

$$\sigma = 400 \text{ MPa (1 100}^\circ\text{C)}$$

则最后瞬间挤压力为

$$F = \sigma A_1 = 40 \times 4\,416 \text{ kN} \approx 1\,777 \text{ kN}$$

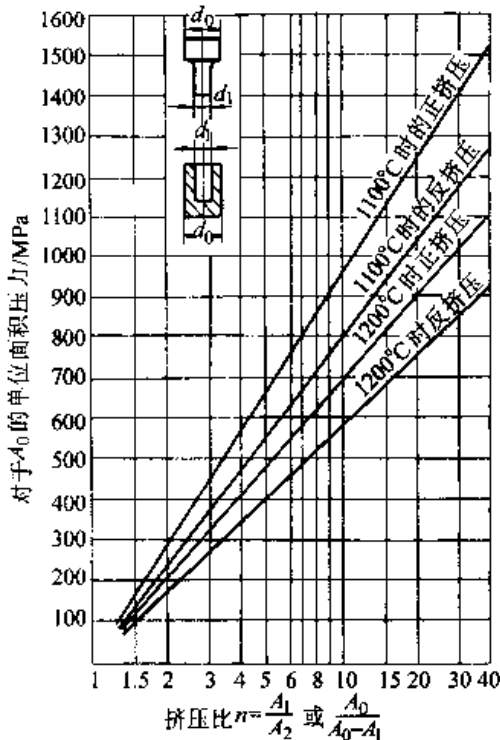


图 24.5-85 45 号钢挤压的单位面积压力曲线

2) 正挤压锻件两“叉口”

① 挤压比

$$n = \frac{A_0}{A_1} = \frac{6\,359}{2\,800} = 2.27$$

式中 A_0 —— 变形前的坯料横截面积;

A_1 —— 变形后的坯料横截面积, 即两个叉口最小截面积之和, 由作图则得 $2\,800 \text{ mm}^2$ 。

② 正挤压力 F (kN)

$$F = \sigma A_0$$

式中 σ —— 单位面积挤压力, 由挤压比 $n = 2.27$ 查图 24.5-85, 得 $\sigma = 340 \text{ MPa (1 100}^\circ\text{C)}$;

A_0 —— 凸模面积, $A_0 = 6\,359 \text{ mm}^2$;

$$F = \sigma A_0 = 34 \times 6\,359 \text{ kN} \approx 2\,160 \text{ kN}$$

按体积不变条件计算, 挤压行程约 33 mm 。

3) 挤压工步数 根据 $16\,000 \text{ kN}$ 平锻机锻力允许载荷图 (压力行程曲线), 在一个行程里可以同时挤压两件, 其工作载荷曲线没有超过锻力允许载荷图 (见图 24.5-86), 即一个工步就挤压完成。

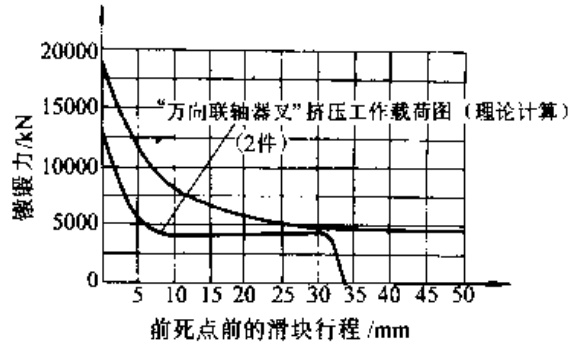


图 24.5-86 挤压工作载荷图和 $16\,000 \text{ kN}$ 平锻机锻力载荷图

(3) 挤压模设计

1) 凹模模膛设计 为了改善金属流动, 挤压模膛的金属出口外圆角要大一些, 原设计全部为 $R12$ 。经试验, 在两个叉子的四个底面有流线折纹, 后改为由 $R12$ 均匀过渡到 $R20$ 。流线折纹消除。

底面设计成 $R113$, 减少挤压“死区” (参看锻件图 24.5-84)。

挤压模膛导程直径设计 $\phi 92.3 \text{ mm}$, 这是考虑 $\phi 90 \text{ mm}$ 热轧钢材在正偏差时 ($\phi 90 \text{ mm} + 0.9 \text{ mm}$), 考虑热收缩率, 也能顺利地放入模膛。导程直径不可太大, 否则, 当坯料放入模膛、上模夹紧时, 坯料和模膛的径向间隙都在上模, 这样, 在坯料挤压时, 将引起较大的壁厚差和纵向毛刺。

2) 挤压模结构(图 24.5-87) 在一凹模上同时排布四个挤压模膛, 这样在生产时, 可以在模具上对称摆放两件坯料, 因而设备受力均匀,

设备安模空间也充分利用。

另外, 为了使锻件便于起模, 在模具上设计顶料装置。

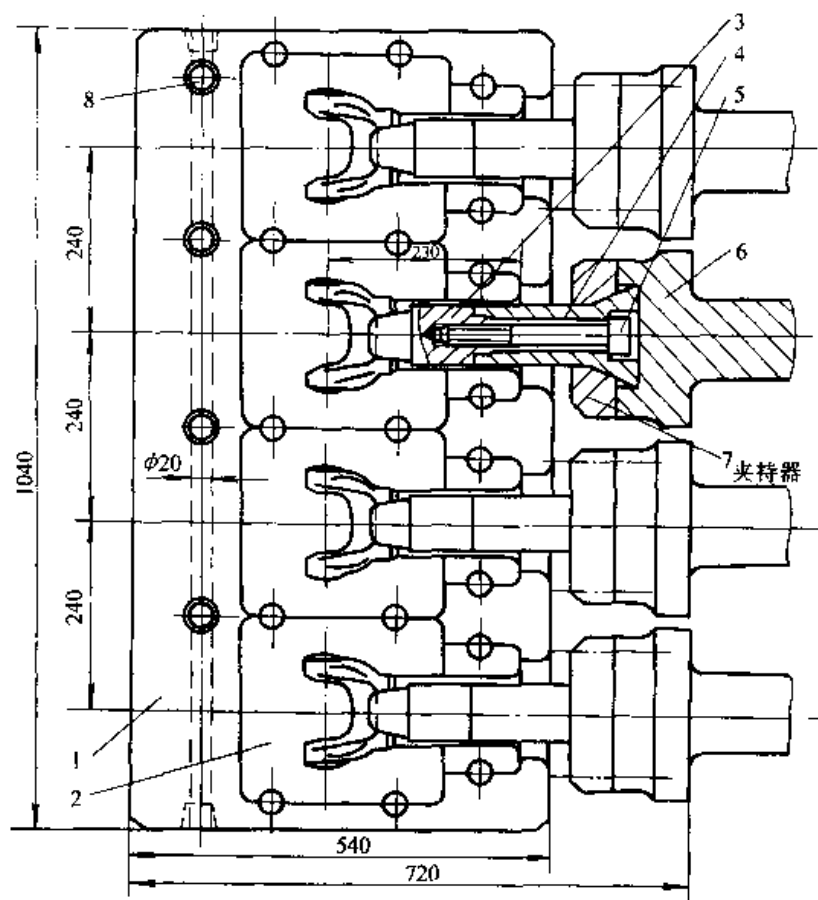


图 24.5-87 汽车万向联轴器叉热挤压模

1—凹模体 2—凹模镶块 3—凸模 4—凸模座
5—螺钉 6—凸模柄 7—压盖 8—喷嘴

5 平锻模具设计实例

平锻模具设计的一般程序是:

- 1) 根据产品零件图绘制冷锻件图。
- 2) 计算锻件体积(按锻件名义尺寸加正偏差之半)和重量。
- 3) 设计锻件终锻的形状并计算其体积。
例如对于穿孔类锻件要设计连皮的形状和尺寸。对于扩径的锻件要确定扩径部分的尺寸。对于需要产生横向飞边的锻件要设计飞边的宽度和厚度, 见图 24.5-10 和表 24.5-2。
- 4) 确定坯料直径、镦粗长度、镦粗比和坯料长度。
- 5) 设计和计算工步图 所有尺寸均是考虑

热收缩率的热尺寸。

6) 计算锻件的锻造压力和模具宽度, 并考虑镦粗长度, 从而最后确定设备吨位。

7) 模具设计

① 总体设计 由设备“安模空间”尺寸进行总体设计, 从而确定凸模夹持器、凹模体和凹模镶块、凸模柄及凸模各部分形状和尺寸。

② 模膛设计 模具设计时, 一般均需要有一些已设计好的模具设计实例或部分模具图样, 以便根据它的示范, 可以迅速而正确地对锻件进行模具设计。

5.1 变速箱操纵杆锻模

5.1.1 锻件图(图 24.5-88)

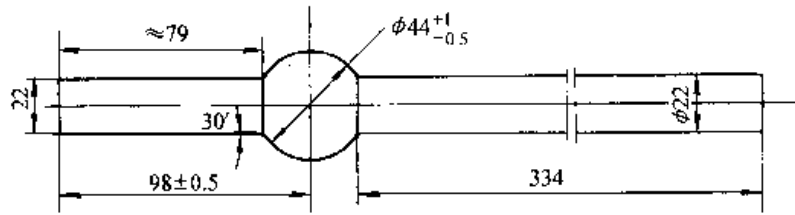


图 24.5 88 变速箱操纵杆锻件图

5.1.2 计算锻件体积和重量

锻件体积 $V_d = 203\ 820\ \text{mm}^3$ (计算过程省略)

锻件重量 $G = 1.6\ \text{kg}$

5.1.3 设计锻件终锻的形状并计算其体积

这是具有粗大部分的杆类锻件, 采用后挡板。在球 $\phi 44\ \text{mm}$ 的直径上产生横向飞边, 取横向飞边直径 $D = 65\ \text{mm}$, 飞边厚度 $t = 2.5\ \text{mm}$ 。

飞边体积 V_f

$$V_f = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) t = \frac{\pi}{4} (65^2 - 44.5^2) 2.5\ \text{mm}^3 = 4\ 406\ \text{mm}^3$$

式中 D —— 飞边外径, $D = 65\ \text{mm}$;

d —— 球直径 $\phi 44.5\ \text{mm}$, 取正公差之半;

t —— 飞边厚度, $t = 2.5\ \text{mm}$ 。

锻件球部体积, $V_s = 45\ 140\ \text{mm}^3$ (其等于球 $\phi 44 \pm 0.5\ \text{mm}$ 体积减去两个球缺体积), 锻件锥体的 $\phi 22\ \text{mm} \times 79\ \text{mm}$ 斜度 $30'$ 部分的体积 V_G

$$V_G = \frac{\pi}{12} (d_0^2 + d_0 d_1 + d_1^2) l - \frac{\pi}{4} d_0^2 l = \frac{\pi}{12} (22^2 + 22 \times 23.38 + 23.38^2) 79\ \text{mm}^3 - \frac{\pi}{4} 22^2 \times 79\ \text{mm}^3 = 1\ 963\ \text{mm}^3$$

式中 d_0 —— 锻件杆部直径 $\phi 22\ (\text{mm})$;

d_1 —— 锻件锥体的大端直径 $\phi 23.38\ (\text{mm})$;

l —— 锻件锥体的长度, $l = 79\ \text{mm}$ 。

因此, 锻件的终锻体积 V_z

$$V_z = V_s + V_G + V_f = 45\ 140\ \text{mm}^3 + 1\ 963\ \text{mm}^3 + 4\ 406\ \text{mm}^3 = 51\ 509\ \text{mm}^3$$

5.1.4 确定坯料直径 d_0 、锻粗长度 l_B 、锻粗比 ϕ 和下料长度 L

(1) 坯料直径 d_0

该件是具有粗大部分的杆类锻件, 取其杆部直径为坯料直径 $d_0 = 22\ \text{mm}$ 。

(2) 锻粗长度和锻粗比

$$l_B = \frac{V_z(1 + \delta)}{\frac{\pi}{4} d_0^2} = \frac{51\ 509(1 + 0.015)}{\frac{\pi}{4} \times 22^2}\ \text{mm} = 137\ \text{mm}$$

式中 δ —— 加热坯料的烧损率, 电感应加热 $\delta = 1\% \sim 1.5\%$, 取 $\delta = 1.5\%$,

$$\phi = \frac{l_B}{d_0} = \frac{137}{22} = 6.2$$

(3) 下料长度 L

$$L = l_G + l_B + l_g = (79 + 137 + 334)\ \text{mm} = 550\ \text{mm}$$

式中 l_G —— 锻件的锥体长度, $l_G = 79\ \text{mm}$;

l_g —— 锻件的杆部长度, $l_g = 334\ \text{mm}$ 。

5.1.5 设计和计算工步图 (图 24.5-90)

(1) 第一道聚集工步

锻粗长度热尺寸

$$l'_B = 1.015 l_B = 1.015 \times 137\ \text{mm} = 139\ \text{mm}$$

终锻体积热尺寸

$$V'_z = (1.015)^3 V_z = (1.015)^3 51\ 509\ \text{mm}^3 = 53\ 862\ \text{mm}^3$$

以球的直径为分模面, 一半在凸模内、一半在凹模内聚集。

因为球 $\phi 44.7\ \text{mm}$ 和锻件杆 $\phi 22.3\ \text{mm}$ 的相贯线至分模面的距离约 $19.4\ \text{mm}$ (图 24.5-89), 故第一工步在凹模内的聚集长度取 $19\ \text{mm}$ 。

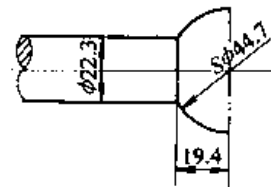


图 24.5-89 分模位置

取聚集锥体小端直径 $d_k = 23\ \text{mm}$

锥体大端直径

$$D_k = \epsilon_k d_0 = 1.35 \times 22.3\ \text{mm} = 30\ \text{mm}$$

式中 ϵ_k —— 大端直径允许增大系数, 由锻粗比 $\phi = 6.2$ 查图 24.5-33。

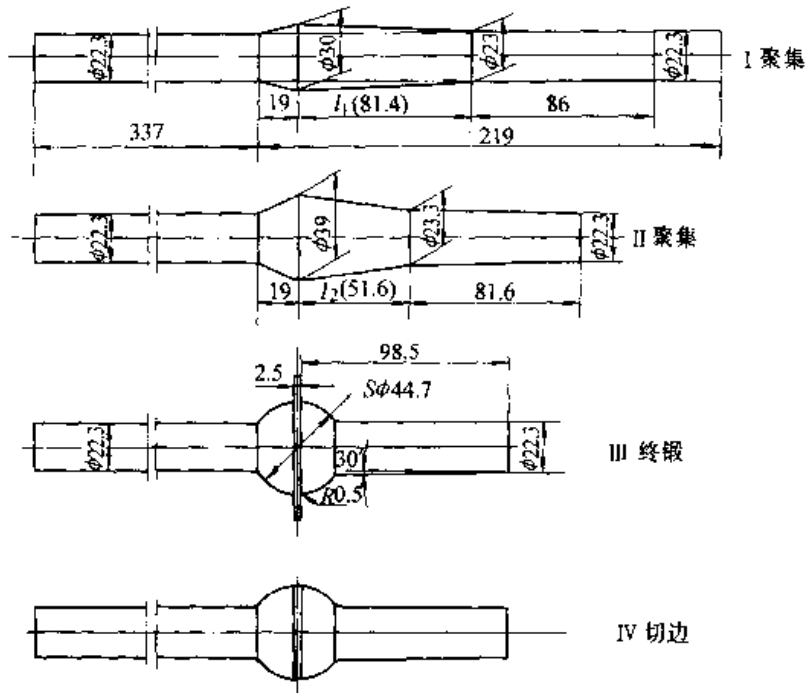


图 24.5-90 变速箱操纵杆工步图
1—热尺寸 2—未注明 R3

由体积不变条件计算锥体长度 l_1

$$l_1 = \frac{V_G K (1 + \delta)}{\frac{\pi}{12} (d_k^2 + d_k D_k + D_k^2)}$$

$$= \frac{42\,003 \times 1.06 \times 1.015}{\frac{\pi}{12} (23^2 + 23 \times 30 + 30^2)} \text{ mm}$$

$$= 81.4 \text{ mm}$$

式中 V_G ——锥体 ($\phi 23 \text{ mm}$ 、 $\phi 30 \text{ mm}$) 的体积, 其等于终锻体积减第一工步其余聚集部分的体积, $V_G = 42\,003 \text{ mm}^3$;

K ——充不满系数, 取 $K = 1.016$;

δ ——加热坯料烧损率, 电感应加热 $\delta = 1.5\%$

验算:

压缩量 $a = l'_B - l'_1 = 219 \text{ mm} - 186.4 \text{ mm} = 32.6 \text{ mm}$

式中 l'_B ——聚集坯料总长, 就是锻粗长度 139 mm 加上锻件不变形部分 79 mm , 其热尺寸为 80 mm , 故 $139 \text{ mm} + 80 \text{ mm} = 219 \text{ mm}$;

l'_1 ——第一工步聚集总长度, $19 \text{ mm} + 81.4 \text{ mm} + 86 \text{ mm} = 186.4 \text{ mm}$ 。

压缩系数

$$\beta = \frac{a}{d_0} = \frac{32.6}{22.3} = 1.46$$

查图 24.5-33、允许的最大压缩系数 $\beta_p = 2.6$, $\beta < \beta_p$ 。因此, 第一工步聚集设计合理。

(2) 第二道聚集工步

1) 第一工步聚集坯料的平均直径

$$d_\varphi = \frac{d_k + D_k}{2} = \frac{23 + 30}{2} \text{ mm} = 26.5 \text{ mm}$$

2) 第一工步坯料的锻粗比

$$\varphi_1 = \frac{l'_1}{d_\varphi} = \frac{19 + 81.4}{26.5} = 3.79$$

式中 l'_1 ——第一道聚集工步中需要第二次聚集坯料的长度, $l'_1 = 19 \text{ mm} + 81.4 \text{ mm} = 100.4 \text{ mm}$ 。

3) 聚集锥体小端直径

$$d_{k2} = 23.3 \text{ mm}$$

4) 聚集锥体大端直径

$$D_{k2} = \epsilon_k d_\varphi = 1.47 \times 26.5 \text{ mm} = 39 \text{ mm}$$

式中 ϵ_k ——锥体大端直径允许增大系数。

5) 计算锥体长度

由体积不变条件

$$l_2 = 51.6 \text{ mm}$$

6) 验算

① 验算压缩系数 β

压缩量 $a_2 = l'_1 - l'_2 = 186.4 \text{ mm} - 152.2 \text{ mm} = 34.2 \text{ mm}$

式中 l'_1 —— 第一工步坯料总长度, $l'_1 = 19 \text{ mm} + 81.4 \text{ mm} + 86 \text{ mm} = 186.4 \text{ mm}$;

l'_2 —— 第二工步坯料总长度, $l'_2 = 19 \text{ mm} + 51.6 \text{ mm} + 81.6 \text{ mm} = 152.2 \text{ mm}$ 。

压缩系数

$$\beta = \frac{a_2}{d_{\text{cp}}} = \frac{34.2}{26.5} = 1.29$$

查图 24.5-33, 允许的最大压缩系数 $\beta_p = 2.1$, $\beta < \beta_p$, 所以第二聚集工步设计合理。

② 验算锻粗比 φ

第二聚集工步坯料的平均直径

$$d_{\text{cp}} = \frac{d_{k2} + D_{k2}}{2} = \frac{23.3 + 39}{2} \text{ mm} = 31.15 \text{ mm}$$

第二工步坯料的锻粗比

$$\varphi_2 = \frac{l_2}{d_{\text{cp}}} = \frac{19 + 51.6}{31.15} = 2.27$$

查表 24.5-22 自由聚集的允许锻粗比 $\varphi_g = 2.5 + 0.01d_0$, $\varphi_g = 2.5 + 0.01 \times 31.15 = 2.81$, $\varphi_2 < \varphi_g$, 因此, 不需要再聚集坯料, 而可以直接成形。

(3) 第三工步

终锻成形, 产生横向飞边。

第四道切边工步 切去横向飞边, 获得需要的锻件形状。

5.1.6 锻造压力、模具宽度和设备吨位的计算与确定

(1) 锻造压力、锻件的锻锻投影面积

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} \times 6.5^2 \text{ cm}^2 = 33.2 \text{ cm}^2$$

查图 24.5-13 奥穆科平锻机锻锻力图表, 得锻锻力 $F = 2700 \text{ kN}$ 。初选 3150 kN 水平分模平锻机。

(2) 计算凹模体宽度 C

1) 计算工作镶块直径

$$D = D_{\text{max}} + 2(0.1D_{\text{max}} + 10 \text{ mm}) \\ = 65 \text{ mm} + 2(0.1 \times 65 + 10) \text{ mm} = 98 \text{ mm}$$

取工作镶块直径 $D = 104 \text{ mm}$

2) 凹模体宽度

$$C = nD + 2 \times 32 \text{ mm} = 4 \times 104 \text{ mm} + 64 \text{ mm}$$

$= 480 \text{ mm}$

式中 n —— 锻件锻锻工步数, $n = 4$;

2×32 —— 凹模体上工作镶块窝座在宽度两端的壁厚。

(3) 确定设备吨位

由于采用后挡板定位坯料, 因此不需要验算有效行程。

又查图 24.5-17 和表 24.5-7, 3150 kN 水平分模平锻机最小凹模体宽度 380 mm, 最大凹模体宽度 600 mm, 满足使用要求 (实际凹模体宽度 480 mm)。所以选择 3150 kN 水平分模平锻机。

5.1.7 模具设计 (图 24.5-91)

(1) 凹模体

1) 长度 $B = l_{\text{夹}} + l_p + l_b + l_{\text{dao}} + l_q + l_h = (132 + 19 + 34.2 + 30 + 20 + 30) \text{ mm} = 265.2 \text{ mm}$ 。为了适用多品种生产, 将凹模体设计成通用标准件, 故应取 $B = 300 \text{ mm}$;

式中 $l_{\text{夹}}$ —— 坯料夹紧长度, 取 $l_{\text{夹}} = 6d_0 = 6 \times 22 \text{ mm} = 132 \text{ mm}$ 。

l_p —— 凹模模膛内的坯料长度或锻件长度, $l_p = 19 \text{ mm}$;

l_b —— 模锻时最大压缩量, 经计算最大压缩量在第二工步, $l_b = 34.2 \text{ mm}$;

l_{dao} —— 凸模在凹模内的导程, 取 $l_{\text{dao}} = 30 \text{ mm}$;

l_q —— 凹模体在长度方向, 镶块窝座前端壁厚, 取 $l_q = 20 \text{ mm}$;

l_h —— 凹模体在长度方向, 镶块窝座后端壁厚, 取 $l_h = 30 \text{ mm}$ 。

2) 宽度 $C = 480 \text{ mm}$ 。

3) 厚度 $A = 145 \text{ mm}$, 查图 24.5-17 和表 24.5-7。

4) 取夹紧镶块窝座的直径和长度, $\phi 70 \text{ mm} \times 105 \text{ mm}$, 则工作镶块直径和长度为 $\phi 104 \text{ mm} \times 145 \text{ mm}$ 。

(2) 凸模夹持器 (见图 24.5-92)

1) 长度 $L = L_p - L_{\text{ao}} - a \\ = (755 - 300 - 80) \text{ mm} = 375 \text{ mm}$

式中 L_p —— 3150 kN 水平分模平锻机的封闭长度, $L_p = 755 \text{ mm}$, 见表 24.5-7;

L_{ao} —— 凹模体长度, $L_{\text{ao}} = 300 \text{ mm}$;

a —— 在闭合状态下, 凹模体和凸模夹

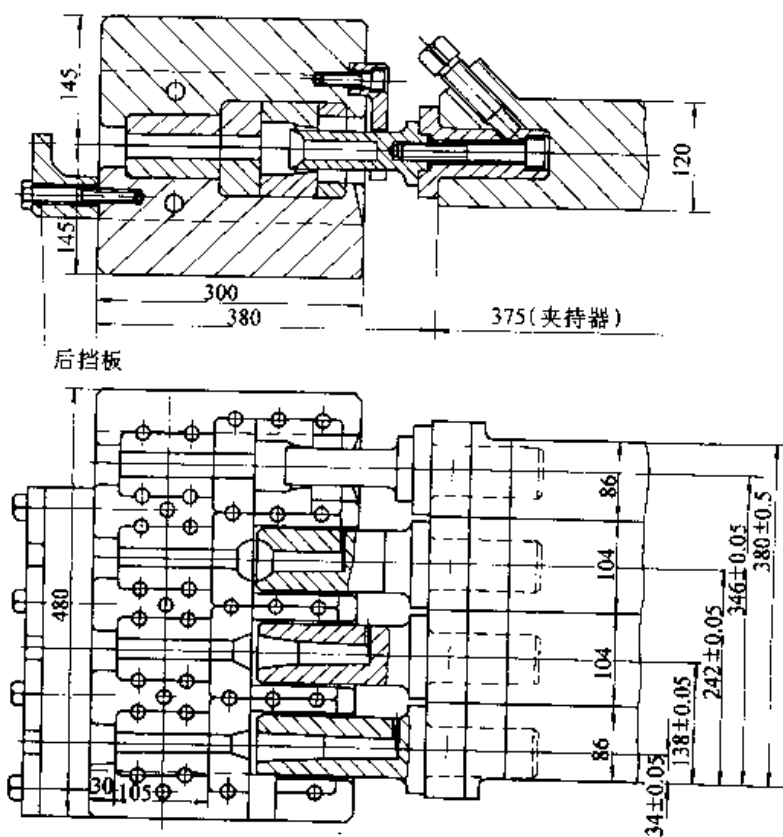


图 24.5-91 变速箱操纵杆模具图 (3 150 kN 平锻机)

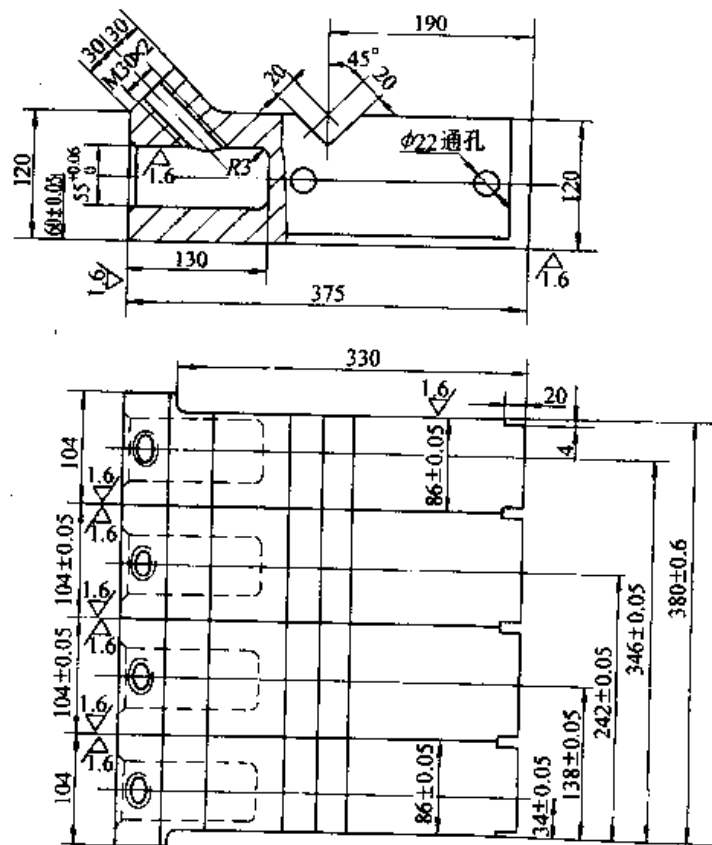


图 24.5-92 3 150 kN 平锻机凸模夹持器

持器之间的间隔(为布置刮飞边板),
取 $a = 80 \text{ mm}$ 。

2) 宽度 由平锻机滑块内安装的夹持器总宽度为 380 mm , 由宽度分别为 86 、 104 、 104 、 86 mm 的四块夹持器组成。

3) 高度 查图 24.5-17 和表 24.5-7, 高度为 120 mm 。

(3) 模膛设计

按工步图和各类模膛设计原则进行设计。

5.2 手制动凸轮锻模

5.2.1 锻件图(图 24.5-93)

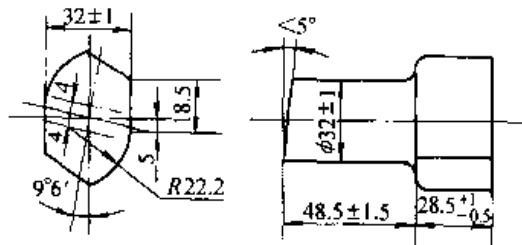


图 24.5-93 手制动凸轮

材料: 45 钢

5.2.2 计算锻件体积和重量

锻件体积 $V_d = 76\,430 \text{ mm}^3$

锻件重量 $G_d = 0.6 \text{ kg}$

5.2.3 设计锻件终锻形状、并计算其体积

由于锻件锻头部分不对称, 为了保证充满良好和避免产生纵向飞边, 故设置横向飞边。

飞边外径 $\phi 56 \text{ mm}$, 厚度 2.5 mm , 飞边体积 $V_f = 3\,822 \text{ mm}^3$, 终锻的体积 $V_z = V_d + V_f = (76\,430 + 3\,822) \text{ mm}^3 = 80\,252 \text{ mm}^3$ 。

5.2.4 确定坯料直径 d_0 、计算锻粗长度 l_B 、锻粗比 φ 和下料长度 L

1) 该件是具有粗大部分的杆类锻件, 坯料直径 d_0 取锻件的杆部直径 $\phi 32 \text{ mm}$ 。

2) 锻粗长度 $l_B = 52 \text{ mm}$ 。

3) 锻粗比 $\varphi = 1.66$ 。

4) 下料长度 $L = 1\,550 \text{ mm}$ (可以锻 14 件)。

5.2.5 设计和计算工步图(图 24.5-94)

该件是具有粗大部分的杆类锻件, 而杆部长度和直径之比很小, $\frac{48.5}{32} = 1.51$, 所以采用终成形后再剪断为宜。

锻锻部分的热体积

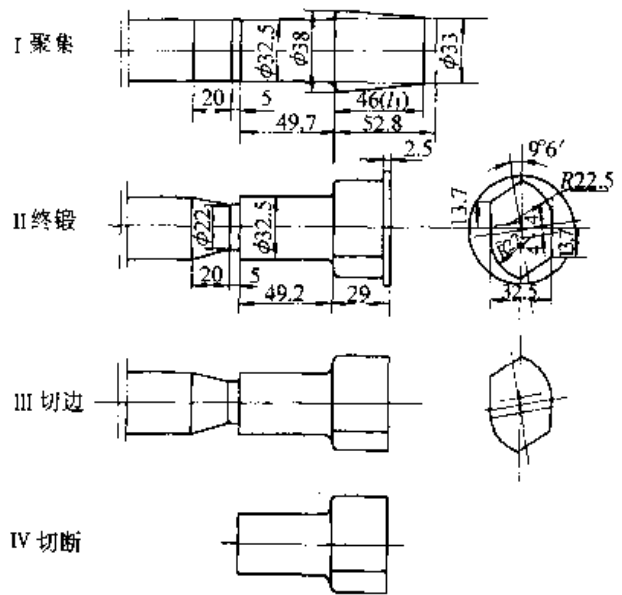


图 24.5-94 手制动凸轮锻件工步图

1—热尺寸 2—未注明圆角 R3

$$V' = \frac{\pi}{4} d_0 l_B (1.015)^3$$

$$= \frac{\pi}{4} 32 \times 52 (1.015)^3 \text{ mm}^3 = 43\,709 \text{ mm}^3$$

(1) 第一道聚集工步

1) 聚集锥体尺寸设计 由表 24.5-18, 自由聚集(锻粗)的允许锻粗比 $\varphi_R = 2 + 0.01 d_0 = 2 + 0.01 \times 32 = 2.32$, 而锻件的实际锻粗比 $\varphi = 1.66$, $\varphi < \varphi_R$, 所以坯料可以不需要聚集, 就可直接成形, 但为了除氧化皮和卡细工步的需要, 仍要采用聚集工步。

聚集锥体的小端直径 d_k , 取 $d_k = 33 \text{ mm}$

取聚集锥体大端直径 $D_k = 38 \text{ mm}$, 它是锻件锻头部分横截面 $1\,160 \text{ mm}^2$ 的计算直径, 即

$$\frac{\pi}{4} D_k^2 = 1\,160, D_k = 38.4 \text{ mm}, \text{取 } D_k = 38 \text{ mm}。$$

由体积不变条件计算锥体的长度 l_1

$$l_1 = \frac{V' K (1 + \delta)}{\frac{\pi}{12} (d_k^2 + d_k D_k + D_k^2)}$$

$$= \frac{43\,709 \times 1.05 \times 1}{\frac{\pi}{12} (33^2 + 33 \times 38 + 38^2)} \text{ mm} = 46 \text{ mm}$$

式中 V' ——锻锻坯料的体积, $V' = 43\,709 \text{ mm}^3$;

K ——充不满系数, $K = 1.05$;

δ ——加热坯料的烧损率, 电感应加热为 1.5% , 因在单件坯料计算时已考虑, 故在此不再计入。

2) 卡细尺寸设计 为了便于把锻件从棒料上剪断和提高剪切质量, 需采用卡细工步。该锻件需要四个工步: 聚集、终锻、切边、剪断。卡细只能在第一、第二工步进行, 因切边和剪断工序无法进行卡细工序, 为此, 卡细次数是2。由表 24.5-26:

$$\frac{d_0}{d_{\min}} \leq 1.45, d_{\min} \geq \frac{32.5}{1.45} \text{ mm} = 22.4 \text{ mm}$$

取最后的卡细直径 $d_{\min} = 22 \text{ mm}$

第一次卡细: 长轴 $Q_1 = 34 \text{ mm}$;

短轴 $m_1 = 21 \text{ mm}$ 。

第二次卡细: 长轴等于短轴, 即 $Q_2 = m_2 = 22 \text{ mm}$, 直径 $\phi 22 \text{ mm}$, 第二次卡细在第二工步进行。

(2) 第二道终锻工步

坯料产生横向飞边而成形, 并将剪断处卡细至 $\phi 22 \text{ mm}$ 。

(3) 第三道切边工步

切去横向飞边。

(4) 第四道切断工步

将锻件从棒料上切断。

5.2.6 计算锻件锻造压力、模具宽度、确定设备吨位

1) 锻造压力 $F = 1\,900 \text{ kN}$ 。

2) 凹模体宽度 $C = 428.8 \text{ mm}$ 。

查图 24.5-17 和表 24.5-7 初选 3 150 kN 水平分模平锻机。

但是, 为了减小剪断时冲击力, 改善劳动强度, 锻件剪切前必须先将棒料夹紧, 为此, 在模具上要设置弹性夹紧凹模镶块 (在上模体)。夹紧凹模镶块高于活动剪刀, 当上滑块往下运动时, 先夹紧棒料, 然后剪切, 见图 24.5-95。经设计, 夹紧凹模镶块、弹簧和螺钉的需要高度约 170 mm, 而 3 150 kN 水平分模平锻机凹模体高度 145 mm, 不能满足要求。

故采用 4 500 kN 水平分模平锻机。

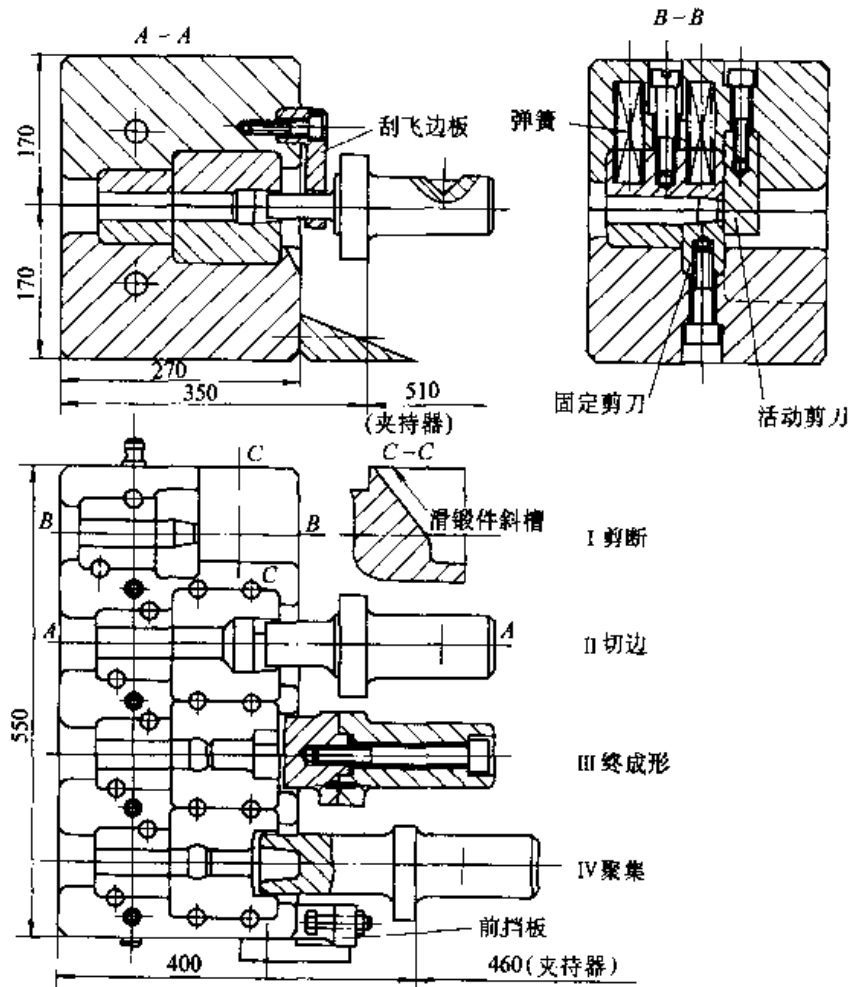


图 24.5-95 手制动凸轮模具图 (4 500 kN 平锻机)

5.2.7 模具设计

见图 24.5-95。

(1) 凹模体和凹模镶块

1) 宽度 C 为了把凸模夹持器设计成通用标准件, 取工作镶块直径 $D=124\text{ mm}$

$$C = nD + 2\delta = (4 \times 124 + 2 \times 27)\text{ mm} = 550\text{ mm}$$

式中 n ——工步数, $n=4$;

δ ——凹模工作镶块窝座在两端的壁厚, 取 $\delta=27\text{ mm}$ 。

2) 凹模体长度 B

$$B = l_{\text{夹}} + l_{\text{内}} + l_{\text{h}} = (140 + 90 + 40)\text{ mm} = 270\text{ mm}$$

式中 $l_{\text{夹}}$ ——棒料夹紧长度, 取 $l_{\text{夹}}=140\text{ mm}$;

$l_{\text{内}}$ ——为了使用前挡板 (设置在凹模上) 棒料需伸出凹模 12.5 mm ,

$$l_{\text{内}} = l_{\text{B}} - 12.5 = (102.5 - 12.5)\text{ mm} = 90\text{ mm}$$

l_{B} ——锻粗长度 (包括锻件杆部长度), 见图 24.5-94, $l_{\text{B}} = (49.7 + 52.8)\text{ mm} = 102.5\text{ mm}$;

l_{h} ——凹模体在长度方向, 镶块窝座后端壁厚, 取 $l_{\text{h}}=40\text{ mm}$ 。

3) 凹模体厚度 A 查图 24.5-17 和表 24.5-7, $A=170\text{ mm}$ 。

4) 镶块尺寸 取夹紧镶块尺寸 $\phi 80\text{ mm} \times 85\text{ mm}$, 工作镶块尺寸 $\phi 124\text{ mm} \times 120\text{ mm}$ 。

(2) 凸模夹持器

1) 长度 $L = L_{\text{p}} - l_{\text{凹}} - a$

$$= (860 - 270 - 80)\text{ mm} = 510\text{ mm}$$

式中 L_{p} ——4 500 kN 水平分模平锻机封闭长度, 查表 24.5-7, $L_{\text{p}}=860\text{ mm}$;

$l_{\text{凹}}$ ——凹模体长度, $l_{\text{凹}}=270\text{ mm}$;

a ——在设备闭合状态下, 凸模夹持器和凹模之间的间隔, 考虑安装刮飞边板的空间, 取 $a=80\text{ mm}$ 。

2) 夹持器的其他尺寸见图 24.5-96。

(3) 压缩弹簧 选择压缩弹簧 Y II 6 × 38 × 170。

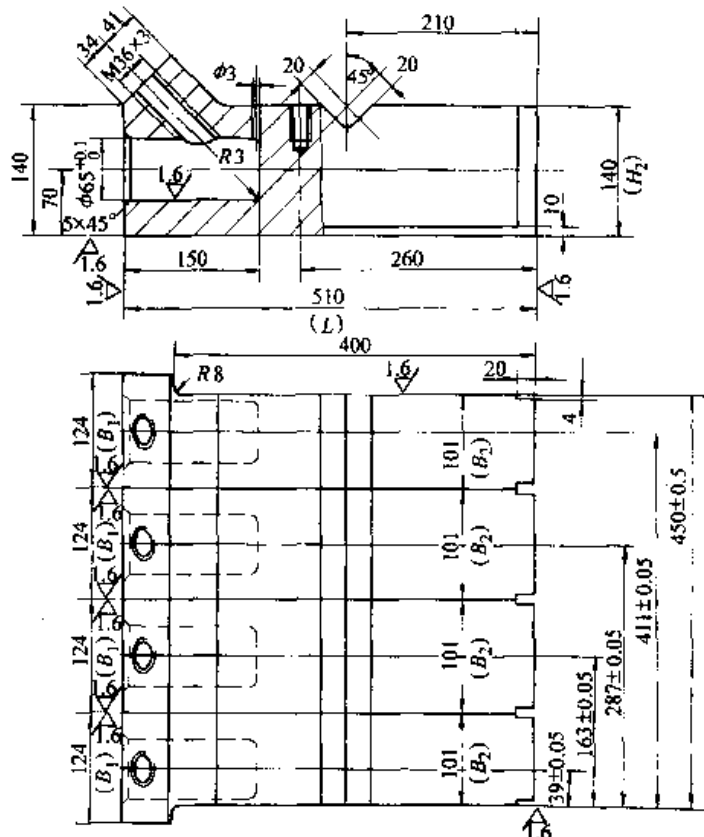


图 24.5-96 4 500 kN 水平分模平锻机凸模夹持器

5.3 抽油杆锻模

(1) 锻件图 (图 24.5-97)

(2) 计算锻件体积, 设计锻件终锻的形状并

计算其体积

经计算锻件锻粗部分的体积 $V_d = 101\,174\text{ mm}^3$ (高度方向取正公差)。

飞边体积 $V_f = 11\,636\text{ mm}^3$

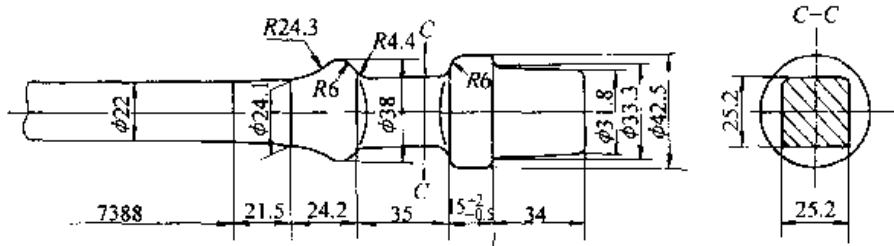


图 24.5-97 抽油杆锻件图

终锻体积 $V_z = V_d + V_f = 112\ 810\ \text{mm}^3$

(3) 确定坯料直径 d_0 ，计算墩粗长度 l_B ，墩粗比 φ 和坯料长度 L

- 1) 取坯料直径 d_0 等于锻件杆部直径 $\phi 22\ \text{mm}$ 。
- 2) 墩粗长度 $l_B = 306\ \text{mm}$ 。
- 3) 墩粗比 $\varphi = 13.9$ 。
- 4) 坯料长度 L 由锻件的杆部长度加上两倍墩粗长度（两端都墩头）， $L = 8\ 000\ \text{mm}$ 。

(4) 设计和计算工步图

该件是具有粗大部分的杆类锻件，且头部具有两个粗大部分，对于这种锻件一般均需要首先成形后端（靠近杆部）的粗大部分，然后再成形前端的粗大部分。经计算需六道工步，其中三道聚集工步，一道预锻工步，一道终锻工步，一道切边工步，各工步的具体尺寸见图 24.5-98。

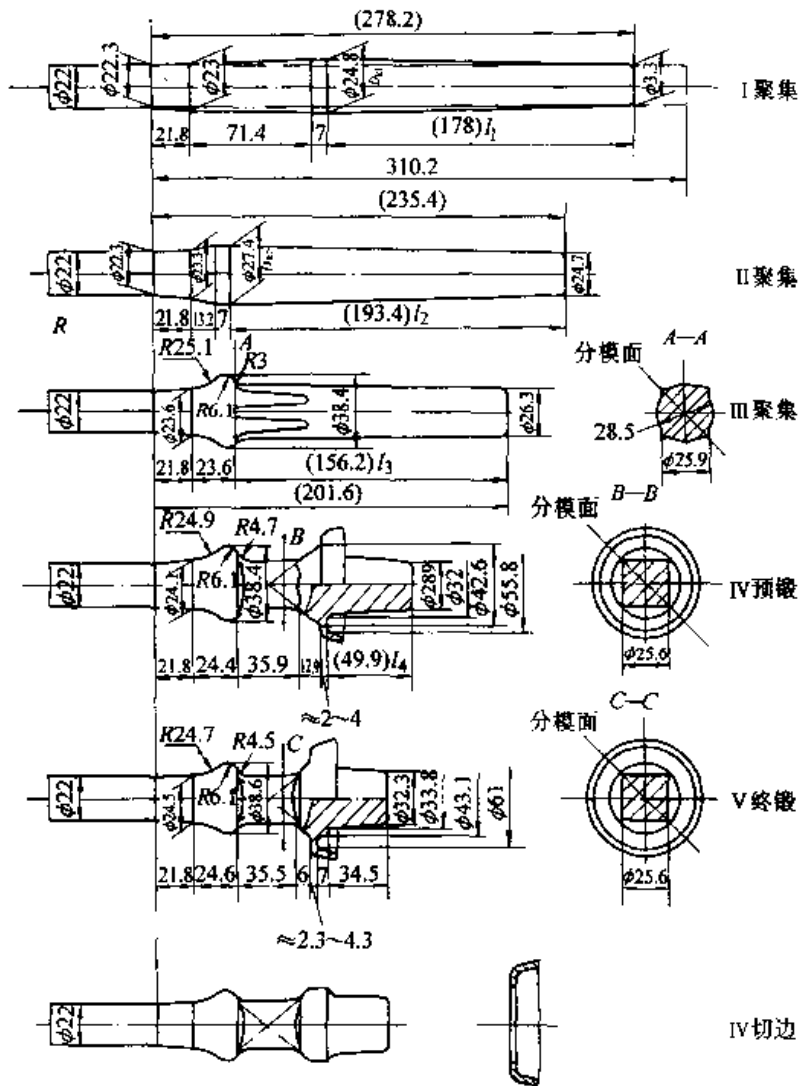


图 24.5-98 抽油杆头部锻造工步图

(5) 计算锻件锻造压力、模具宽度、确定设备吨位

1) 锻造压力 F $F=2\ 300\text{ kN}$

2) 计算凹模体宽度 $C=640\text{ mm}$

查图 24.5-17 和表 24.5-7 水平分模平锻机技术规格和安模空间主要参数, 选用 4 500 kN 水平分模平锻机。

3) 检查设备有效行程和全行程 由模具图 24.5-99 知, 第一道聚集工步设计符合前挡板要求。但是 4 500 kN 平锻机有效行程 170 mm 偏小, 其空行程 $330\text{ mm} - 170\text{ mm} = 160\text{ mm}$, 而

凸模离坯料端面距离 120 mm, 故当坯料进入凸模锥形模膛 40 mm 时, 凹模才开始夹紧, 而细长棒料放置时不易放平, 棒料就可能对不准锥形模膛, 而被凸模将其往后推移, 无法正常生产。

故最好选用 6 300 kN 水平分模平锻机。若仍采用 4 500 kN 平锻机, 则必须在模具第一、第二、第三工步夹紧模膛内采用一对“压紧弹簧”, 以使坯料在没有进入锥形模膛前就被压紧。

(6) 模具设计

见抽油杆模具图 24.5-99。

1) 凹模体

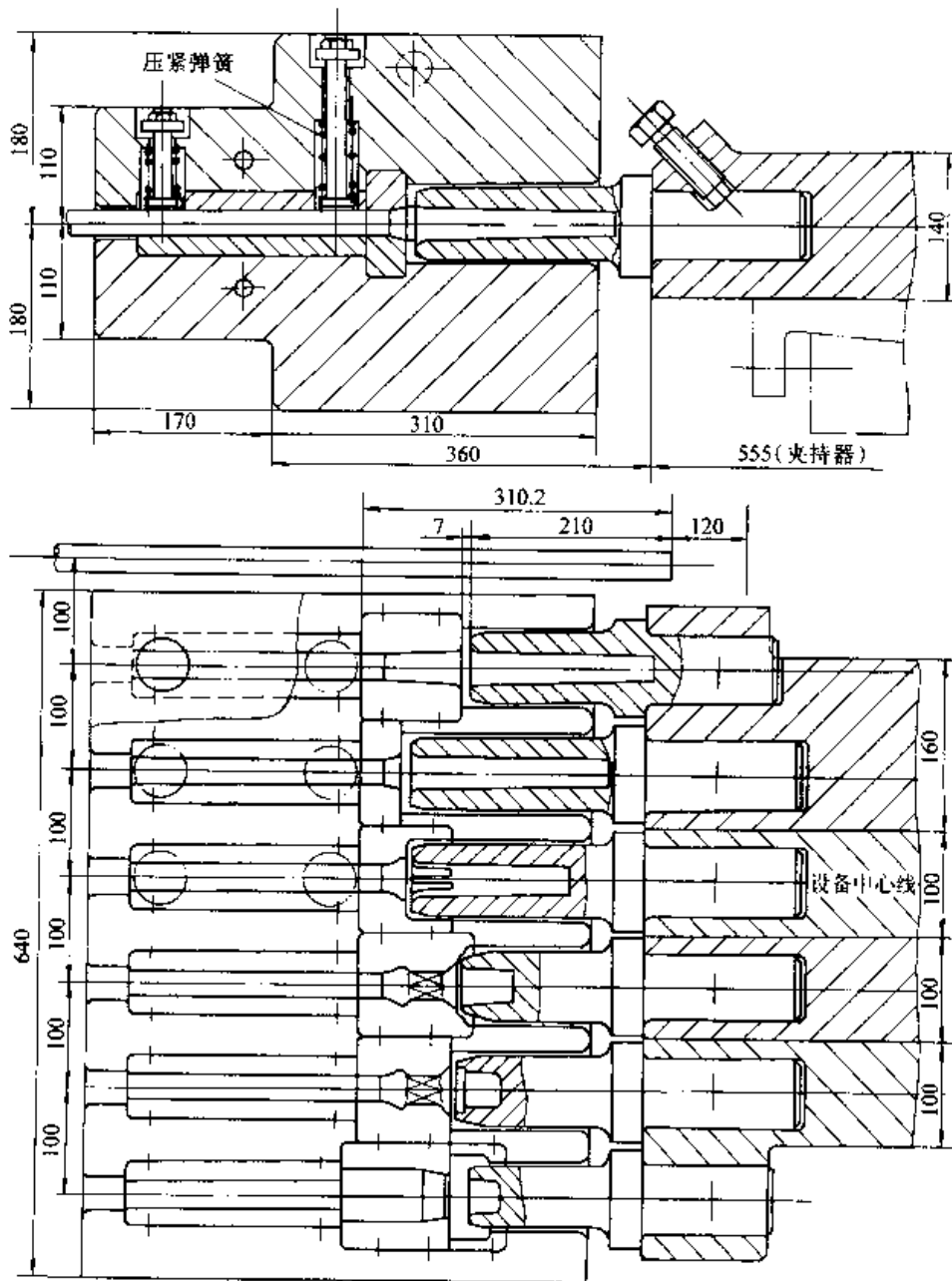


图 24.5-99 抽油杆 4 500 kN 水平分模平锻机模具

① 宽度 C 取工作镶块窝座直径 $D = 100 \text{ mm}$, 凹模体宽度 $C = (6 \times 100 + 2 \times 20) \text{ mm} = 640 \text{ mm}$ 。

② 长度 取夹紧镶块窝座长度 210 mm , 考虑导程长度, 经布置需要, $170 \text{ mm} + 310 \text{ mm} = 480 \text{ mm}$ 。

③ 厚度 查图 24.5-17 和表 24.5-7, 厚度 180 mm 。

2) 凹模镶块尺寸

① 工作镶块 外径 100 mm , 长度根据工步图即凹模内成形的长度。

② 夹紧镶块 $\phi 60 \text{ mm} \times 210 \text{ mm}$ 。

③ 模膛尺寸见工步图。

3) 凸模夹持器

① 宽度 根据凹模模膛中心线位置和滑块的安模宽度 460 mm , 划分各个夹持器宽度, 即 $100, 100, 100, 160 \text{ mm}$ 四块。

② 长度 L $L = L_p - l_{\infty} - a = (915 - 310 - 50) \text{ mm} = 555 \text{ mm}$

式中 L_p —— $4\ 500 \text{ kN}$ 水平分模平锻机封闭长度, $L_p = 915 \text{ mm}$;

l_{∞} —— 凹模体长度, $l_{\infty} = 310 \text{ mm}$;

a —— 设备在闭合状态下, 凸模夹持器和凹模体之间的间隔, 取 $a = 50 \text{ mm}$ 。

③ 高度 查图 24.5-17 和表 24.5-7 高度为 140 mm 。

5.4 小链轮轮毂锻模

5.4.1 锻件图 (见图 24.5-100)

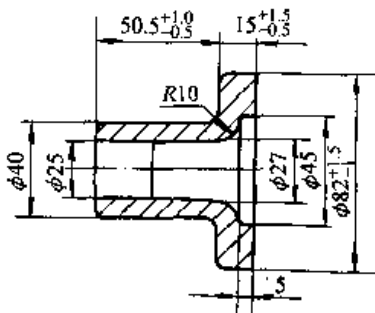


图 24.5-100 小链轮轮毂锻件图
材料: 45 钢

5.4.2 计算锻件体积和重量

锻件体积: $V_d = 105\ 732 \text{ mm}^3$ (计算过程省略)。

锻件重量: $G = 0.83 \text{ kg}$ 。

5.4.3 设计锻件终锻的形状并计算其体积

这是穿孔类锻件, 其连皮形状尺寸见工步图 24.5-101, 连皮体积 $V_1 = 8\ 658 \text{ mm}^3$

故终锻的体积

$$V_2 = V_d + V_1 = (105\ 732 + 8\ 658) \text{ mm}^3 = 114\ 390 \text{ mm}^3$$

5.4.4 确定坯料直径 d_0 , 计算锻粗长度 l_B , 锻粗比 ϕ 和下料长度 L

(1) 确定坯料直径 d_0

1) 根据穿孔类锻件棒料直径 d_0 的确定方法, 选取棒料直径。

① 锻件的相对壁厚

$$\frac{D - d_k}{d_k} = \frac{40 - 26}{26} = 0.54 < 0.6$$

② 锻件的相对孔深

$$\frac{h}{d_k} = \frac{61}{26} = 2.35 > 1.5$$

式中 D —— 锻件外径, $D = 40 \text{ mm}$;

d_k —— 锻件内孔平均直径, $d_k = \frac{27 + 25}{2} \text{ mm} = 26 \text{ mm}$;

h —— 锻件内孔深孔, $h = (51 + 10) \text{ mm} = 61 \text{ mm}$ 。

所以这是具有法兰 $\phi 82 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ 的薄壁深孔锻件。

③ 锻件的计算直径

$$d_j = \sqrt{D^2 - d_k^2} = \sqrt{40^2 - 26^2} \text{ mm} = 30.4 \text{ mm}$$

④ 工艺方案分析 该件的外径 $\phi 40 \text{ mm}$ 和内孔 $\phi 26 \text{ mm}$ 可由凸模将棒料直接扩孔而成, 所以棒料直径应比计算直径稍大, 其多余坯料随凸模向前运动时锻向锻件后端, 故取

$$d_0 = (1.05 \sim 1.1) d_j = (1.05 \sim 1.1) 30.4 \text{ mm} = 32 \sim 34 \text{ mm}$$

按国家型钢标准 GB/T 702—1986, 选择棒料直径 $d_0 = 34 \text{ mm}$ 。

2) 验算锻粗比和卡细率 由于锻件 $\phi 40 \text{ mm} \times 50.5 \text{ mm}$ 是由棒料 $\phi 34 \text{ mm}$ 直接扩孔而成, 因此仅法兰 $\phi 82 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ 需要锻粗, 其锻粗长度 l_B 为

$$l_B = l_z - l_0 = (130 - 51) \text{ mm} = 79 \text{ mm}$$

式中 l_z —— 锻件终锻时的坯料长度,

$$l_z = \frac{V_2 \delta}{\frac{\pi}{4} d_0} = \frac{114\ 390 \times 1.03}{\frac{\pi}{4} \times 34^2} \text{ mm} = 130 \text{ mm}$$

l_0 ——锻件 $\phi 40 \text{ mm} \times 50.5^{+1.5} \text{ mm}$ 部分的名义长度加正公差之半, 为 51 mm。

法兰锻粗比 $\varphi = \frac{l_B}{d_0} = \frac{79}{34} = 2.32。$

卡细率 $f = \frac{d_0}{d_{\min}} = \frac{34}{24.5} = 1.39。$

因为锻粗比 $\varphi = 2.32$ 较小 (小于 2.5), 所以允许卡细率达到 1.4。因此不需要切断“穿孔废芯”工步。

故所选的坯料直径 $d_0 = 34 \text{ mm}$ 是合适的。

(2) 确定下料长度 L

锻件需要的坯料长度

$$l_d = \frac{V_d \delta}{\frac{\pi}{4} d_0^2} = \frac{105\,732 \times 1.03}{\frac{\pi}{4} \times 34^2} \text{ mm} = 120 \text{ mm}$$

一般坯料长度取 1 500 mm 左右, 太长的坯料在加热和操作时都不方便, 而坯料长度过短时, 则材料利用率就低。

为此, 取坯料长度能生产 11 件, 其长度 $l = 120 \text{ mm} \times 11 = 1\,320 \text{ mm}$ 。再取坯料夹紧长度 $l_{\text{夹}} = 5d_0 = 5 \times 34 \text{ mm} = 170 \text{ mm}$, 坯料的夹钳口长度 $l_{\text{钳}} = 60 \text{ mm}$ 。

所以 $L = l + l_{\text{夹}} + l_{\text{钳}} = (1\,320 + 170 + 60) \text{ mm} = 1\,550 \text{ mm}$ 。

下料规格 $\phi 34 \text{ mm} \times 1\,550 \text{ mm}/11。$

5.4.5 设计和计算工步图

该件相对孔深 $\frac{h}{d_k} = 2.3 > 1.5$ 。查表 24.5-17, 冲孔次数需要二次。为此, 需要预冲孔。

锻锻长度热尺寸

$$l'_B = 1.015 l_B = 1.015 \times 79 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$$

锻件法兰的热体积

$$V_F = 74\,748 \text{ mm}^3$$

(1) 第一道聚集工步

经计算得卡细穿孔后的坯料 (图 24.5-101 穿孔工步) 的锻粗长度约 90 mm。其锻粗比 $\varphi =$

$$\frac{l'_B}{d_0} = \frac{90}{34} = 2.65。$$

取聚集锥体小端直径 $d_k = 36 \text{ mm}$

锥体大端直径 $D_k = \epsilon_k d_0 = 1.5 \times 34.5 \text{ mm} = 52 \text{ mm}$

式中 ϵ_k ——锥体大端直径允许增大系数, 查图 24.5-33,

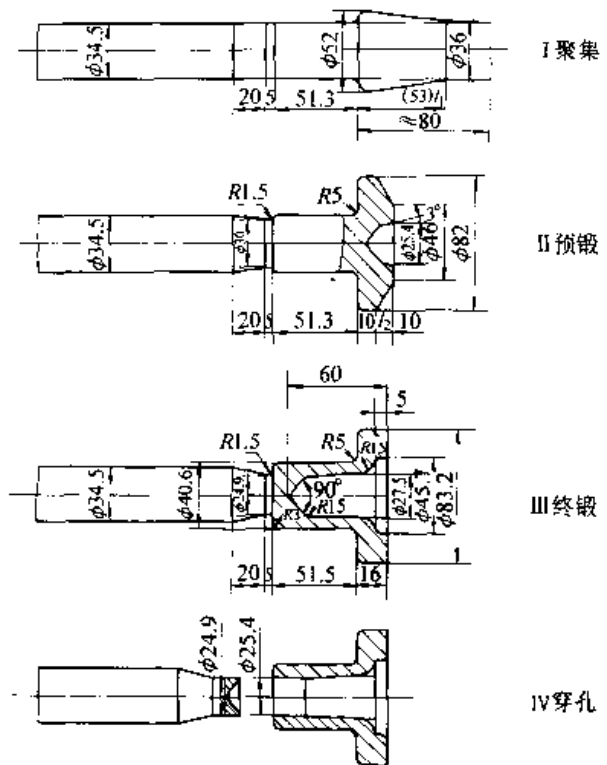


图 24.5-101 小链轮轮毂工步图
1—热尺寸 2—未注明 R3

锥体长度

$$l_1 = \frac{V_F \cdot K(1 + \delta)}{\frac{\pi}{12} (d_k^2 + d_k D_k + D_k^2)} = \frac{74\,748 \times 1.06 \times 1.03}{\frac{\pi}{12} (36^2 + 36 \times 52 + 52^2)} \text{ mm} = 53 \text{ mm}$$

式中 K ——充不满系数, 取 $K = 1.06$;

δ ——加热坯料的烧损率, 对煤气炉加热, 取 $\delta = 3\%$ 。

验算:

① 验算压缩系数 β

压缩量 $a = l'_B - l_1 = (90 - 53) \text{ mm} = 37 \text{ mm}$ 。

压缩系数 $\beta = \frac{a}{d_0} = \frac{37}{34.5} = 1.07$ 。查图 24.5-33, 允许的最大压缩系数 $\beta_p = 2$ 。 $\beta < \beta_p$ 。所以设计的聚集锥体是合适的。

② 验算自由聚集 (锻粗) 的允许锻粗比

第一工步坯料的锻粗比 $\varphi_1 = \frac{l_1}{d_{cp1}} = \frac{53}{44} = 1.2$

式中 d_{cp1} ——第一工步坯料的平均直径, $d_{cp1} = 44 \text{ mm}$ 。

查表 24.5-18, 自由聚集 (锻粗) 的允许锻粗比 φ_g 的计算公式如下:

因为需要预冲孔，故第二工步采用冲孔凸模，为此

$$\varphi_g = 1.5 + 0.01d_{\text{冲1}} = 1.5 + 0.01 \times 44 = 1.94$$

因为 $\varphi < \varphi_g$ ，所以不需要再聚集坯料，可以进行预成形。

(2) 第二道预锻工步

锻件法兰部分相对壁厚 $\frac{D_F - d_k}{d_k} = \frac{83.2 - 27.5}{27.5} = 2.03 > 1.25$ 。

锻件法兰部分相对孔深 $\frac{h}{d_k} = \frac{16}{27.5} = 0.58 < 1.5$ 。

式中 D_F ——锻件法兰外径， $D_F = 83.2 \text{ mm}$ ；

d_k ——锻件法兰孔径， $d_k = 27.5 \text{ mm}$ ；

h ——锻件法兰内孔深度， $h = 16 \text{ mm}$ 。

所以锻件法兰部分是厚壁浅孔。故预锻工步后端要有一段直径等于或稍小一些终锻工步的法兰直径，取 $\phi 82 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 。

其余尺寸见工步图 24.5-101。

由体积不变条件计算法兰在预锻的高度 $l_2 = 10 \text{ mm}$ 。

(3) 第三道终锻工步

为了便于驱散金属，以利扩孔，冲孔凸模设计成 90° 尖端，连皮厚度较薄，约 9 mm ，保证锻件 $\phi 40.6 \text{ mm}$ 的后端圆角 $R3$ 充满良好。另外，穿孔后的卡细部分长度也较短，以利提高下次聚集的稳定。

(4) 第四道穿孔工步

冲去“连皮”。

(5) 卡细工步

1) 确定卡细次数 因为坯料直径 $d_0 = 34.5 \text{ mm}$ 大于锻件内孔直径 $\phi 25.4 \text{ mm}$ ，故坯料卡细后才能穿孔，卡细直径 d_{min} 比内孔直径 d_k 稍小，取 $d_{\text{min}} = 24.9 \text{ mm}$ 。保证锻件穿孔的质量。

计算卡细率 f ，确定卡细次数。

$$\text{由 } f = \frac{d_0}{d_{\text{min}}} = \frac{34.5}{24.9} = 1.39 \text{ 查表 24.5-26 需要}$$

二次卡细。

由于该锻件的工步数允许 3 次卡细，即在聚集、预锻和终锻工步设置卡细，故采用三次卡细，增加卡细次数，可以减少卡细模膛磨损，并提高锻件质量。

2) 卡细工步尺寸

$$\text{每次卡细量 } m = \frac{d_0 - d_{\text{min}}}{n - 1} = \frac{34.5 - 24.9}{3 - 1} \text{ mm} = 4.8 \text{ mm}$$

式中 d_0 ——坯料直径， $d_0 = 34.5 \text{ mm}$ ；

d_{min} ——卡细直径， $d_{\text{min}} = 24.9 \text{ mm}$ ；

n ——卡细次数， $n = 3$ 。

① 第一次卡细在聚集工步

长轴 $Q_1 = d_0 + 1 \sim 2 \text{ mm} = 34.5 \text{ mm} + 1 \sim 2 \text{ mm}$ ，取 36 mm 。

短轴 $M_1 = 28 \text{ mm}$ （第一次卡细量取大一些， 6.5 mm ）。

② 第二次卡细在预锻工步

长轴 $Q_2 = M_1 + 1 \sim 2 \text{ mm} = 28 \text{ mm} + 1 \sim 2 \text{ mm}$ ，取 30 mm 。

短轴 $M_2 = 24 \text{ mm}$ 。

③ 第三次卡细在终锻工步

长轴 $Q_3 = M_3 = 24.9 \text{ mm}$ ，即直径 $\phi 24.9 \text{ mm}$ 。

5.4.6 计算锻件锻造压力，模具宽度，选择平锻机的吨位

1) 锻造压力 $F = 3\ 150 \text{ kN}$ 。

2) 凹模体宽度 为把凹模体设计成通用标准件，取工作镶块外径 $D = 145 \text{ mm}$ ，经计算凹模体宽度 640 mm 。

查图 24.5-17 和表 24.5-7 选择 $6\ 300 \text{ kN}$ 水平分模平锻机。

5.4.7 模具设计 (见图 24.5-102)

(1) 凹模体

1) 宽度 根据以上计算为 640 mm 。

2) 长度 L

$$L = l_{\text{夹}} + l_p + l_b + l_{\text{导}} + l_q + l_h = (170 + 51.3 + 33 + 30 + 30 + 40) \text{ mm} = 354.3 \text{ mm}$$

式中 $l_{\text{夹}}$ ——夹紧镶块长度， $l_{\text{夹}} = 5d_0 = 5 \times 34 \text{ mm} = 170 \text{ mm}$ ；

l_p ——凹模内成形的坯料长度，由工步图 24.5-101， $l_p = 51.3 \text{ mm}$ ；

l_b ——模锻时的最大压缩量，由工步图计算 $l_b = 33 \text{ mm}$ （在第二工步）；

$l_{\text{导}}$ ——凸模在凹模内的导程，取 $l_{\text{导}} = 30 \text{ mm}$ ；

l_q 、 l_h ——凹模体上镶块窝座前、后的壁厚 30 mm 和 40 mm 。

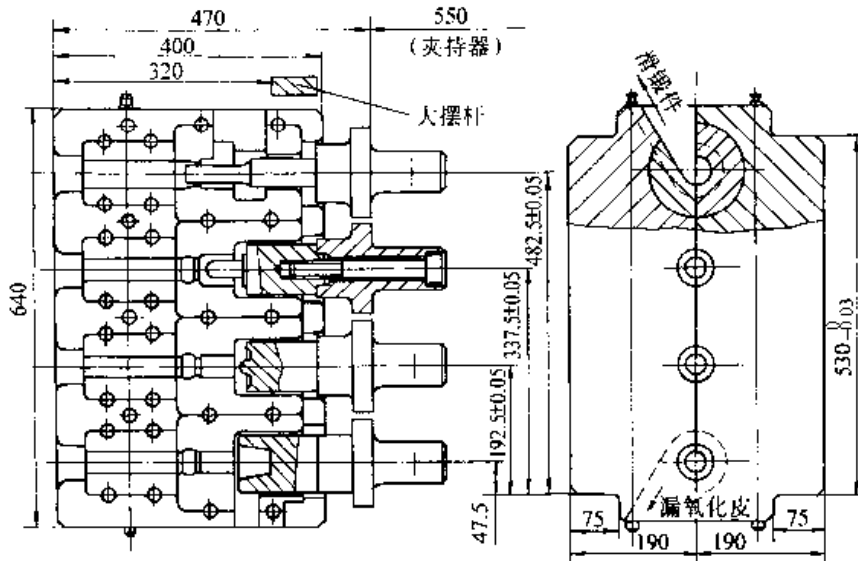


图 24.5-102 小链轮轮毂模具图

把凹模体设计成通用标准件，取 $L = 400$ mm。

3) 厚度 查表 24.5-7，凹模体高度为 190 mm。

(2) 凸模夹持器

1) 宽度 滑块安装夹持器的宽度 530 mm (查表 24.5-7)，又凹模工作镶块直径 $D = 145$ mm 模膛中心线为 145 mm，故夹持器在滑块内的宽度分别 120、145、145、120 mm。其由四个凸模夹持器组成 (见图 24.5-103)。

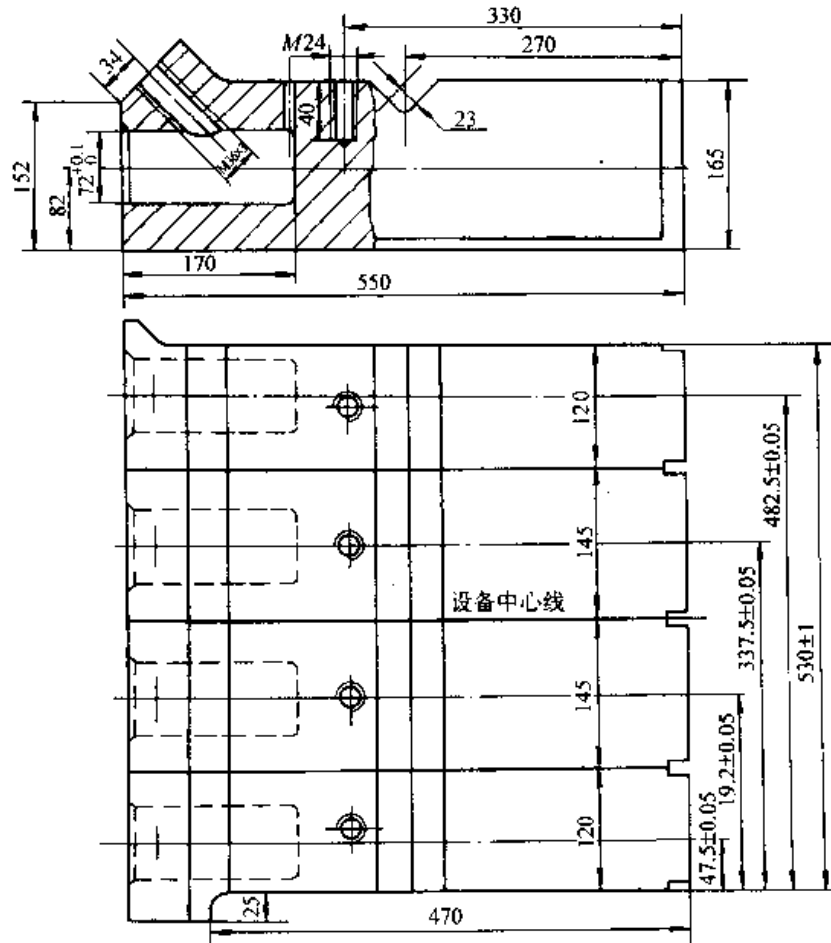


图 24.5-103 6 300 kN 水平分模平锻机凸模夹持器

2) 长度 $L = L_p - L_m - a = (1\ 020 - 400 - 70)\text{mm} = 550\text{mm}$

式中 L_p ——6 300 kN 平锻机的封闭长度, $L_p = 1\ 020\text{mm}$;

L_m ——凹模体长度, $L_m = 400\text{mm}$;

a ——在设备闭合状态下, 凹模体和凸模夹持器之间的间隙, 取 $a = 70\text{mm}$ 。

3) 高度 查图 24.5-17 和表 24.5-7, 高度为 190mm 。

4) 其他尺寸见图 24.5-103。

(3) 凹模镶块外形尺寸和模膛设计

1) 夹紧镶块外形尺寸 $\phi 100\text{mm} \times 140\text{mm}$, 夹紧尺寸: 偏心 0.5mm , 直径 $\phi 34.5\text{mm}$ 。

2) 工作镶块外形尺寸 $\phi 145\text{mm} \times 190\text{mm}$, 模膛按工步图和各类模膛设计原则设计, 见模具总图 24.5-102。

(4) 凸模柄和凸模

由闭合长度 470mm , 夹持器宽度 145mm 及工步图即可设计确定, 尽可能地设计成通用标准件。

5.5 转向摇臂轴锻模

5.5.1 锻件图 (见图 24.5-104)

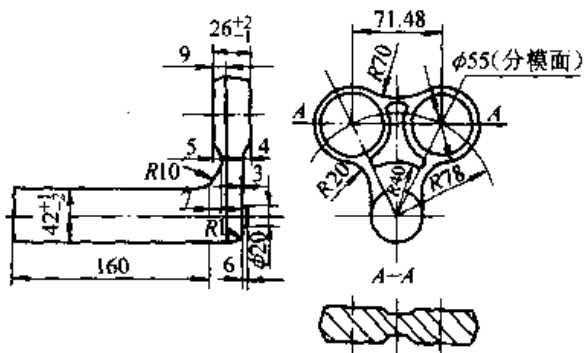


图 24.5-104 转向摇臂轴锻件图

5.5.2 锻件的体积和重量

1) 锻件体积 $V_d = 445\ 860\text{mm}^3$

2) 锻件重量 $G = 3.5\text{kg}$

5.5.3 设计锻件终锻的形状并计算其体积

该零件是具有粗大部分的杆类锻件, 采用钳子挡板, 为了确保锻件的两个法兰能充满, 又为了存放由于坯料的公差而多余的金属, 需产生横向飞边, 飞边设置在法兰 $\phi 55\text{mm}$ 的中部, 保证法兰充满良好。

飞边体积 $V_f = 22\ 489\text{mm}^3$

法兰体积 $V_F = 219\ 721\text{mm}^3$

锻件锻锻部分体积 $V_d = V_F + V_f = 242\ 210\text{mm}^3$

法兰的体积是指两个法兰 $\phi 55\text{mm}$ 之外公切线间的体积 (图 24.5-104)。根据计算分析锻件其余部分的体积, 坯料直径 $\phi 42\text{mm}$ 本身就足够, 不需要聚集坯料。

5.5.4 选择坯料直径 d_0 , 锻粗长度 l_B , 锻粗比 ϕ 和下料长度 L

1) 该件是具有粗大部分的杆类锻件, 取其杆部直径为坯料直径 $d_0 = 42\text{mm}$ 。

2) 锻粗长度 $l_B = 180\text{mm}$ 。

3) 锻粗比 $\phi = 4.3$ 。

4) 下料长度 $L = 340\text{mm}$ 。

5.5.5 设计和计算工步图 (见图 24.5-105)

锻粗长度的热尺寸 $l'_B = 1.015 \times 180\text{mm} = 182.7\text{mm}$

锻锻热体积 $V'_d = (1.015)^3 \times 242\ 210\text{mm}^3 = 253\ 274\text{mm}^3$

该锻件经计算和工艺试验, 需采用聚集, 墩头, 压扁, 弯曲, 终锻, 切边六道工序。

(1) 第一工步 (聚集)

凸模内的锥形, 聚集 $\phi 55\text{mm}^3$ 两法兰的外切面之间的体积 (见图 24.5-106), 而凹模内的锥形是为了把在弯曲工步时内层坯料压缩产生“接缝”挤入飞边。图 24.5-107 表示没有设置锥形 $\phi 63\text{mm} \times 40\text{mm}$ 时, 弯曲工序在杆部和锥体剧烈过渡处产生金属流动的会合接缝, 该接缝在终锻时形成折纹 (见图 24.5-108)。

经计算和工艺试验获得该锻件 90° 弯曲部分中性层展开长度 59mm (由两法兰 $\phi 55\text{mm}$ 的外切面开始至 $\phi 42\text{mm} \times 160\text{mm}$ 杆部止的中性层展开长度, 见图 24.5-105)。

设计计算

取锥体小端直径 $d_k = 44\text{mm}$

锥体大端直径 $D_k = \epsilon_k d_0 = 1.5 \times 42\text{mm} = 63\text{mm}$

式中 ϵ_k ——锥体大端直径允许增大系数, 查图 24.5-33;

d_0 ——坯料直径, 取 $d_0 = 42\text{mm}$ 。

由体积不变条件, 计算前锥体的长度 l_1 :

$$V_1 = \frac{\pi}{4} d_0^2 l_0 = \frac{\pi}{4} \times 42.6 \times (59 - 40)\text{mm}^3 = 27\ 067\text{mm}^3$$

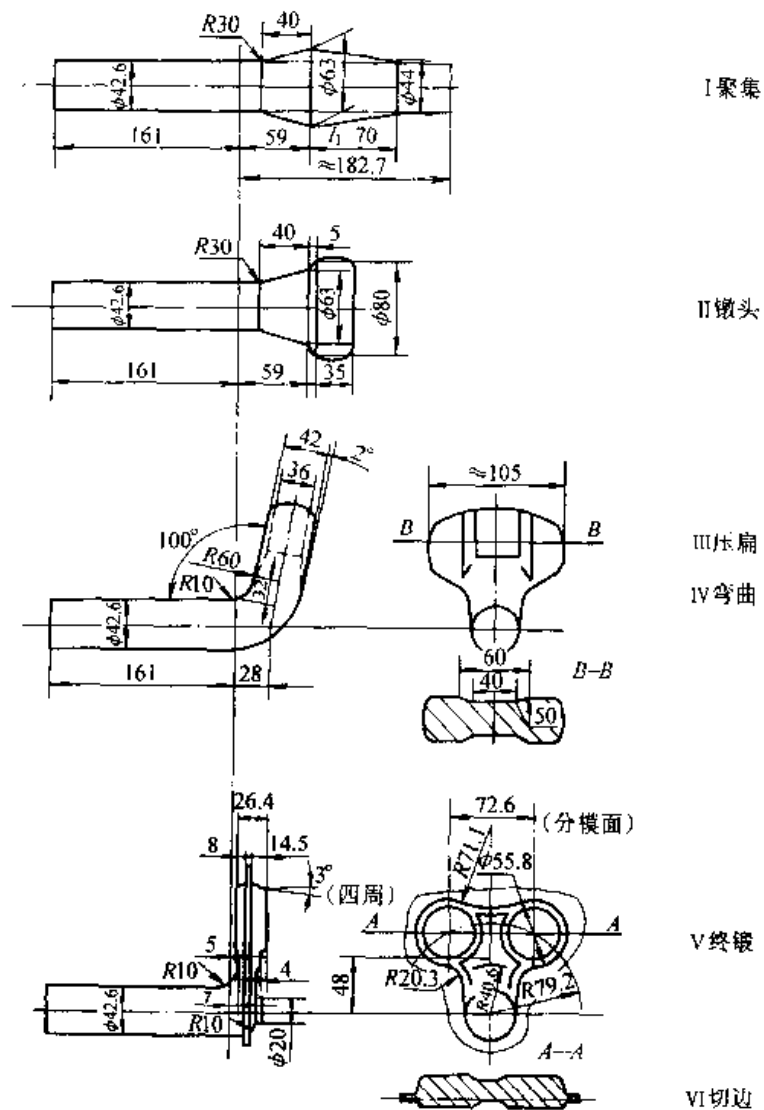


图 24.5-105 转向摇臂轴工步图
1—未注明 R4 2—未注明模锻斜度 7°

$$V_2 = \frac{\pi}{12} (d_0^2 + d_0 D_k + D_k^2) l$$

$$= \frac{\pi}{12} (42.6^2 + 42.6 \times 63 + 63^2) 40 \text{ mm}^3$$

$$= 88\,740 \text{ mm}^3$$

$$V_3 = \frac{\pi}{12} (d_k^2 + d_k D_k + D_k^2) l_1$$

$$= \frac{\pi}{12} (44^2 + 44 + 63 + 63^2) l_1 = 2\,273 l_1$$

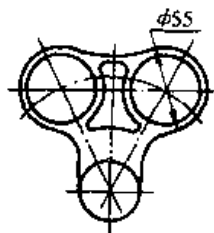


图 24.5-106 锻件端面图

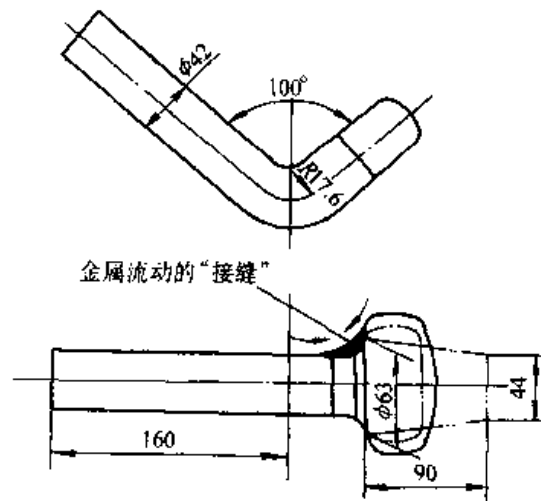


图 24.5-107 弯曲时坯料内层金属流动情况

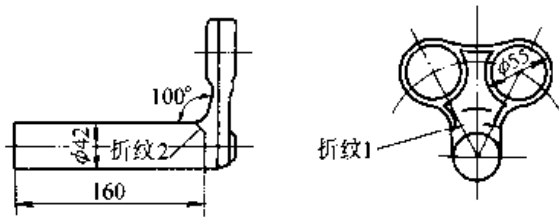


图 24.5-108 折纹产生的部位

$$\text{由 } V_1 + V_2 + V_3 = V'_d K$$

$$27\ 067 + 88\ 740 + 2\ 273 l_1 = 253\ 274 \times 1.08$$

式中 V'_d ——变形部分的锻热体积, $V'_d = 253\ 274\ \text{mm}^3$;

K ——模膛充不满系数, 取 $K = 1.08$ 。

经计算 $l_1 = 70\ \text{mm}$ 。

(2) 第二工步 (墩头)

其形状要保证两个 $\phi 55\ \text{mm}$ 法兰能充满, 又使产生的飞边体积为最小, 经工艺试验, 其尺寸以 $\phi 80\ \text{mm} \times 35\ \text{mm}$ 为宜。并且在头部和杆部之间有一个和第一工步相同的锥体 ($\phi 42.6\ \text{mm}$, $\phi 63\ \text{mm} \times 40\ \text{mm}$)。

(3) 第三工步 (压扁)

压扁是为弯曲和终锻成形作好制坯准备, 否则, 弯曲时不易定位和头部坯料分配不均, 影响金属流动。

压扁后, 法兰两侧厚度为 $42\ \text{mm}$, 中间为 $36\ \text{mm}$, 保证终锻时两个 $\phi 55\ \text{mm}$ 法兰有足够的坯料, 并且是墩粗成形。金属没有倒流, 因而保证两个法兰充满良好, 又使产生的飞边均匀且较小。

另外, 为了不要在压扁后的坯料上留下压痕, 压扁坯料呈 2° 的斜度, 即压扁模最小开口为 $36\ \text{mm}$, 最大开口为 $44\ \text{mm}$, 而坯料直径为 $\phi 42.6\ \text{mm}$, 所以压扁后的坯料上无压痕。如有压痕就要在锻件上产生折纹。

(4) 第四工步 (弯曲)

用安装在夹紧滑块上的活动凹模内的压弯凸模将坯料弯曲成 100° (因锻件根部拐弯角度为 100°)。

压弯点要确保锻件杆长 $161\ \text{mm}$, 若压扁点小于 $161\ \text{mm}$, 终锻后锻件杆长也小于 $161\ \text{mm}$, 锻件不合格。若压弯点大于 $161\ \text{mm}$, 终锻时, 坯料往锻件杆部墩挤。在锻件拐弯部位要产生折纹。

(5) 第五工步 (终锻)

飞边厚度约 $3.9 \sim 5.9\ \text{mm}$ 。

(6) 第六工步 (切边)

切去横向飞边, 获得所需要的锻件。

5.5.6 锻造压力、模具宽度、平锻机吨位的确定

1) 锻造压力 $F = 9\ 500\ \text{kN}$

2) 凹模体的宽度 $B = 1\ 060\ \text{mm}$ 。

查图 24.5-17 和表 24.5-7 选用 $12\ 500\ \text{kN}$ 水平分模平锻机。

5.5.7 模具设计

该锻件的锻压力中心偏离锻件轴杆中心线 $48\ \text{mm}$, 见工步图 24.5-105。因此, 凹模需有两个台阶的分模面, 其中一个台阶分模面高度 $250\ \text{mm}$ 。即正常分模面。另一个台阶分模为 $(250 + 48)\ \text{mm} = 298\ \text{mm}$ 。

模具总图, 见图 24.5-109。

终锻模膛中心线尽量靠近设备模锻中心, 各模膛中心距取 $180, 200, 200, 200\ \text{mm}$, 故凹模体宽度 $B = (180 + 200 \times 3 + 80 + 100 + 2 \times 30)\ \text{mm} = 1\ 020\ \text{mm}$ 。凹模体长度 $C = 550\ \text{mm}$ 。

夹持器长度 $L = L_p - l_{\infty} - a = (1\ 500 - 550 - 70)\ \text{mm} = 880\ \text{mm}$

式中 L_p —— $12\ 500\ \text{kN}$ 水平分模平锻机封闭长度, $L_p = 1\ 500\ \text{mm}$;

l_{∞} ——凹模体长度, $l_{\infty} = 550\ \text{mm}$;

a ——在设备封闭状态下, 凸模夹持器和凹模体之间的间隔, 取 $a = 70\ \text{mm}$ 。

5.6 倒车齿轮锻模

5.6.1 锻件图

见图 24.5-110。

5.6.2 计算锻件的体积和重量, 设计锻件终锻的形状并计算其体积

1) 锻件体积 $V_d = 630\ 573\ \text{mm}^3$ 。

2) 锻件重量 $G = 4.85\ \text{kg}$ 。

3) 终锻时“连皮”体积 (“连皮”的形状和尺寸见工步图 24.5-111)。

$$V_L = 29\ 230\ \text{mm}^3$$

4) 终锻时的体积 $V_z = 659\ 803\ \text{mm}^3$ 。

5.6.3 确定坯料直径 d_0 , 墩粗长度 l_B , 墩粗比 ϕ 和棒料下料长度 L

(1) 确定坯料直径 d_0

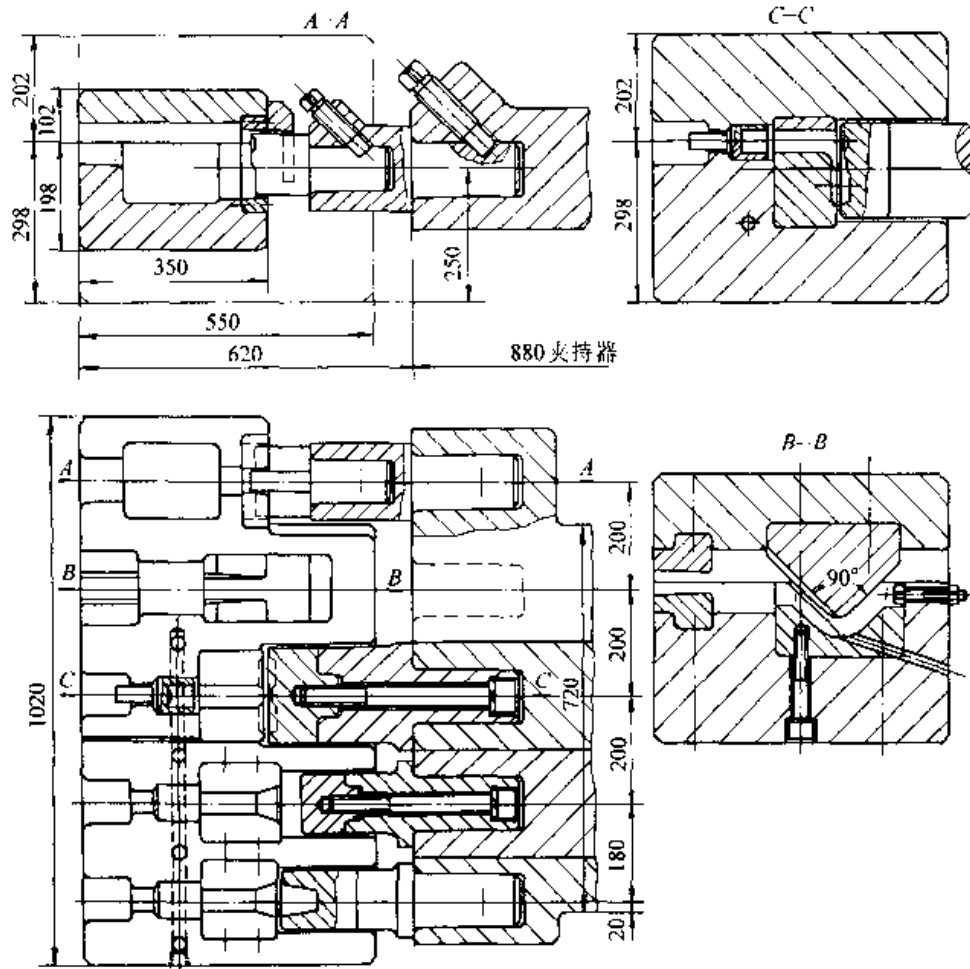


图 24.5-109 转向摇臂轴 12 500 kN 水平分模平锻机模具总图

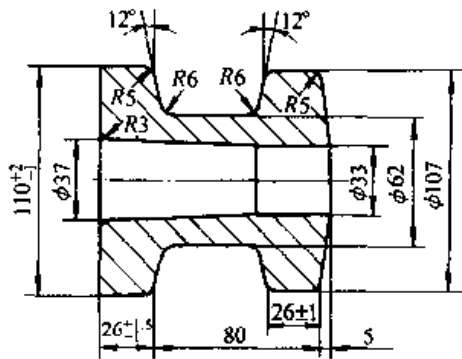


图 24.5-110 倒车齿轮锻件图

1) 试取坯料直径

① 计算锻件 φ62 mm 颈部的相对壁厚

$$\frac{D - d_k}{d_k} = \frac{62 - 35}{35} = 0.77$$

式中 D —— 锻件颈部外径, $D = 62$ mm;

d_k —— 锻件的平均孔径,

$$d_k = \frac{37 + 33}{2} \text{ mm} = 35 \text{ mm}$$

② 工艺方案分析: 采用扩锻成形。

③ 颈部的计算直径 $d_j = \sqrt{D^2 - d_k^2} = \sqrt{62^2 - 35^2} \text{ mm} = 51.2 \text{ mm}$ 。

按国家型钢标准采用棒料直径 $d_0 = 55$ mm (GB/T 702—1986)。

2) 验算锻粗比 φ 和卡细率 f

$$\begin{aligned} \text{锻粗长度 } l_B &= \frac{V_d(1 + \delta)}{\frac{\pi}{4} d_0^2} = \frac{659\,803 \times 1.03}{\frac{\pi}{4} \times 55^2} \text{ mm} \\ &= 286 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\varphi = \frac{l_B}{d_0} = \frac{286}{55} = 5.2$$

所以需要采用二次聚集、预锻、终锻和穿孔共五个工步。

$$f = \frac{d_0}{d_k} = \frac{55}{33} = 1.67$$

f 大于 1.25, 需要切断“穿孔废芯”才能继续锻造。但由于切断工序劳动条件较差, 又增加工步数,

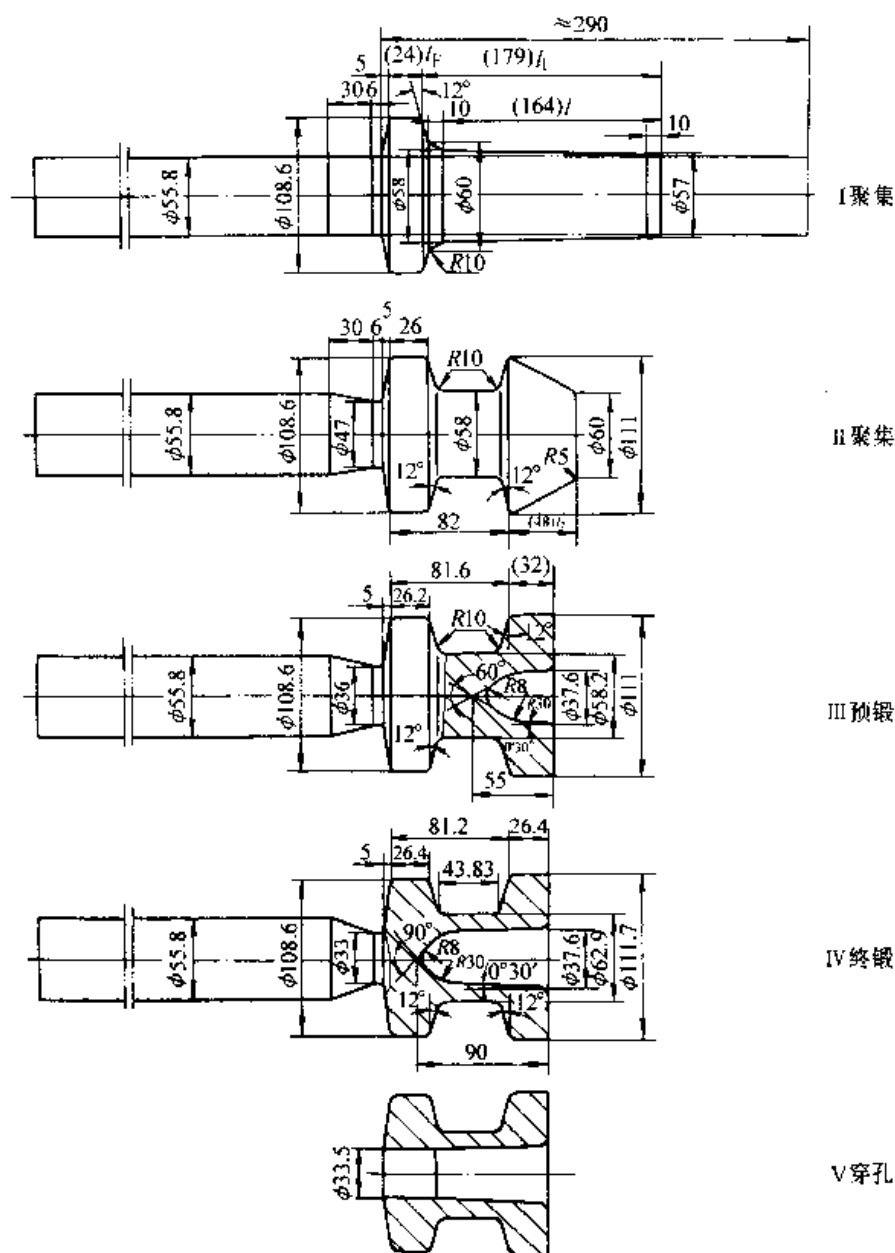


图 24.5-111 倒车齿轮工步图

故采用一根棒料锻两件(调头锻)。

所以采用 $\phi 55$ mm 棒料是合适的。

(2) 下料长度 L

因为采用“调头锻”，所以下料长度应是两倍锻粗长度加上模具夹紧长度和钳口长度。

$$L = (286 \times 2 + 55 \times 5 + 53) \text{mm} = 900 \text{mm}$$

生产两个锻件后剩余料头可以用于其他零件模锻。

5.6.4 设计和计算工步图

见图 24.5-111。

锻粗长度的热尺寸 $l'_B = 286 \times 1.015 \text{mm} = 290 \text{mm}$

终锻时的热体积 $V'_z = V_z \times 1.015^3 =$

$$659\,803 \text{mm}^3 \times 1.015^3 = 689\,942 \text{mm}^3$$

采用扩锻成形，即锻件终锻工步颈部 $\phi 62.9$ mm (见工步图 24.5-111) 由凸模将预锻工步 $\phi 58.2$ mm 坯料驱扩而成，而 $\phi 58.2$ mm 部分的多余金属则镦入后法兰

(1) 第一道聚集工步

1) 后法兰成形 锻件的后法兰 $\phi 108.6$ mm $\times 26.4$ mm 一定要在第一工步基本成形，该部分在第二、第三工步基本不变形，最后在终锻时，把预锻 $\phi 58.2$ mm 的多余金属镦入后法兰而成形。

第一工步“后法兰”外径和终锻时相同，为 $\phi 108.6$ mm，但其高度 l_F 由终锻的后法兰 $\phi 108.6$ mm \times 26.4 mm的体积减去预锻工步颈部 $\phi 58.2$ mm和终锻相应部位体积之差计算获得，即

$$V' = \frac{\pi}{4} 58.2^2 \times 43.83 \text{ mm}^3 - \frac{\pi}{4} (62.9^2 - 35.5^2) 43.83 \text{ mm}^3 = 23\,778 \text{ mm}^3$$

$$l_F = \frac{V_b - V'}{\frac{\pi}{4} D^2} = \frac{\frac{\pi}{4} 108.6^2 \times 26.4 - 23\,778}{\frac{\pi}{4} \times 108.6^2} \text{ mm}$$

$$= 23.83 \text{ mm}$$

取 $l_F = 24$ mm。

2) 验算后法兰的锻粗比 φ_b

① 后法兰体积 $V_b = 279\,287$ mm³

$$V_b = \frac{\pi}{12} (55.8^2 + 55.8 \times 108.6 + 108.6^2) 5 \text{ mm}^3 + \frac{\pi}{4} 108.6^2 \times 24 \text{ mm}^3 + \frac{\pi}{12} (108.6^2 + 108.6 \times 60 + 60^2) 5.16 \text{ mm}^3 = 279\,287 \text{ mm}^3$$

② 锻粗长度 l_b 和锻粗比 φ_b

$$l_b = \frac{V_b}{\frac{\pi}{4} d_0^2} = \frac{279\,287}{\frac{\pi}{4} \times 55.8^2} \text{ mm} = 114 \text{ mm}$$

$$\varphi_b = \frac{l_b}{d_0} = \frac{114}{55.8} = 2.04$$

而自由聚集允许锻粗比 $\varphi_R = 2.5$ (查表24.5-17)，所以仅需要一次聚集就可达到后法兰直径 $\phi 108.6$ mm。

从而也说明所选择的坯料直径 $\phi 55$ mm是合适的，否则就需要加大坯料直径，或由二次聚集才能达到 $\phi 108.6$ mm。

3) 锥形聚集 第一工步主要是使后法兰成形，而锥形聚集量很小 (见工步图24.5-111)。取锥形小端直径 $d_{k1} = 57$ mm，大端直径 $D_k = 58$ mm。

由体积不变条件计算锥形长度 $l_1 = 179$ mm

$$l = \frac{VK(1+\delta)}{\frac{\pi}{4} (d_{k1}^2 + d_{k1} D_k + D_k^2)}$$

$$= \frac{383\,292 \times 1.08 \times 1.03}{\frac{\pi}{4} (57^2 + 57 \times 58 + 58^2)} \text{ mm}$$

$$= 164 \text{ mm}$$

式中 V ——所求锥体长度 l 的体积，由体积不

变条件求得 $383\,292$ mm³；

K ——充不满系数，取 $K = 1.08$ ；

δ ——坯料加热烧损率， $\delta = 3\%$ 。

4) 验收压缩系数 β

压缩量 $a = l_B - l'_1 = (290 - 208)$ mm = 82 mm

式中 l_B ——坯料锻粗长度， $l_B = 290$ mm；

l'_1 ——第一工步聚集后的总长度， $l'_1 = (179 + 24 + 5)$ mm = 208 mm。

$$\beta = \frac{a}{d_0} = \frac{82}{55.8} = 1.47$$

查图24.5-33，压缩系数允许的极限值 $\beta_0 = 3$ ， $\beta < \beta_0$ ，设计合理。

(2) 第二道聚集工步

1) 后法兰尺寸基本和终锻工步相同，为了操作时便于坯料出入模膛，高度取26 mm，比第一工步后法兰高度大2 mm，比终锻工步后法兰高度小0.4 mm。

2) 颈部直径取58 mm

3) 设计和计算前法兰的聚集形状

① 计算前法兰的体积

$$V = V_z - V_{b1} - V_g - V$$

$$= (689\,942 - 279\,287 - 111\,466 - 32\,633) \text{ mm}^3$$

$$= 266\,556 \text{ mm}^3$$

式中 V_z ——终锻时体积， $V_z = 689\,942$ mm³；

V_{b1} ——第一工步后法兰体积，如前计算， $V_{b1} = 279\,287$ mm³；

V_g ——第二工步颈部体积， $V_g = \frac{\pi}{4} 58^2 \times 42.21$ mm³ = 111 466 mm³；

V ——前法兰模锻斜度 12° 锥体的体积，

$$V = \frac{\pi}{12} (58^2 + 58 \times 111 + 111^2)$$

$$5.63 \text{ mm}^3 = 32\,633 \text{ mm}^3$$
，其中

$$5.63 \text{ 由下式计算所得，} \frac{111 - 58}{2} \tan 12^\circ。$$

② 计算锻粗长度 l_q 和锻粗比 φ_q

$$l_q = (24 + 179) \text{ mm} - (82 - 5.63) \text{ mm}$$

$$= 126.63 \text{ mm}$$

$$\varphi_q = \frac{l_q}{d_{cp}} = \frac{126.63}{57.5} = 2.2$$

式中 d_{cp} ——第一工步坯料平均直径， $d_{cp} =$

$$\frac{57 + 58}{2} \text{ mm} = 57.5 \text{ mm}。$$

查表 24.5-17, 得自由聚集允许锻粗比 $\varphi_R = 2.5$, $\varphi_q < \varphi_R$, 可以锻成任意形状。

③ 设计前法兰聚集形状

由于锻件前法兰属厚壁, $\frac{D-d_k}{d_k} = \frac{111-37}{37} = 2 > 1.25$

所以第二工步前法兰锥体的大端直径 D_k 应设置在后端 (见工步图 24.5-111), 取 $D_k = 111 \text{ mm}$

取小端直径 $d_k = 60 \text{ mm}$

锥体长度 l_2 由体积不变条件计算得 48 mm 。

(3) 第三道预锻工步

1) 决定冲孔次数

$$\frac{h}{d_k} = \frac{90}{35.5} = 2.54$$

式中 h —— 锻件的冲孔深度, $h = 90 \text{ mm}$;

d_k —— 锻件内孔平均直径, $d_k = 35.5 \text{ mm}$ 。

查表 24.5-21, 冲孔次数需二次。

因此, 在预锻工步需预冲孔。

2) 预冲孔的形状和尺寸见工步图 24.5-111, 取冲头角度 $\alpha = 60^\circ$, 最大孔径 $d_k = 37.6 \text{ mm}$ 。

3) 前法兰预锻工步直径和高度

取外径 $D = 111 \text{ mm}$ (比终锻小 0.7 mm), 高度 l_3 由体积不变条件计算得

$$l_3 = \frac{V_q K}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d_k^2)} = \frac{266.556 \times 1.04}{\frac{\pi}{4}(111^2 - 37^2)} \text{ mm} = 32 \text{ mm}$$

(4) 第四道终锻工步

在热锻件图上加上“连皮”就是终锻工步的形状。

(5) 第五道穿孔工步

冲去“连皮”获得具有透孔的锻件。

(6) 卡细工步设计

1) 确定卡细次数

$$\frac{d_0}{d_{\min}} = \frac{55.8}{33} = 1.69$$

式中 d_0 —— 原棒料直径;

d_{\min} —— 棒料卡细后的直径, 比穿孔直径小 0.5 mm , 为 33 mm 。

查表 24.5-26, 需要三次卡细。

2) 卡细的每次最大允许压下量 m

$$m = \frac{d_0 - d_{\min}}{n - 1} = \frac{55.8 - 33}{3 - 1} \text{ mm} = 11.4 \text{ mm}$$

式中 n —— 卡细次数, $n = 3$ 。

该锻件需要五个工步, 除穿孔工步不能进行卡细外, 其他四个工步均可以卡细, 为此实际采用四次卡细, 卡细质量好。

3) 设计各道卡细工步的长轴 Q 和短轴 M 的尺寸

第一次卡细: $Q_1 = d_0 + 1 \sim 2 \text{ mm} = 55.8 \text{ mm} + 1 \sim 2 \text{ mm}$

取 $Q_1 = 57 \text{ mm}$

$M_1 = d_0 - m = 55.8 \text{ mm} - 11.4 \text{ mm} = 44.4 \text{ mm}$

取 $M_1 = 45 \text{ mm}$

第二次卡细: $Q_2 = M_1 + 1 \sim 2 \text{ mm} = 45 \text{ mm} + 1 \sim 2 \text{ mm}$

取 $Q_2 = 46 \text{ mm}$

$M_2 = M_1 - m = 46 \text{ mm} - 11.4 \text{ mm} = 34.6 \text{ mm}$

取 $M_2 = 35 \text{ mm}$

第三次卡细: $Q_3 = M_2 + 1 \sim 2 \text{ mm} = 35 \text{ mm} + 1 \sim 2 \text{ mm}$

取 $Q_3 = 36 \text{ mm}$

$M_3 = d_{\min} = 33 \text{ mm}$

第四次卡细: $Q_4 = M_4 = 33 \text{ mm}$ 。

5.6.5 计算锻件锻造压力, 模具宽度, 验算锻粗长度, 确定平锻机吨位

(1) 锻造压力

$$F = 7500 \text{ kN}$$

初选 8000 kN 垂直分模平锻机。

(2) 凹模体高度 C

经计算工作镶块外径 $D_1 = 154 \text{ mm}$, $C = 5D_1 + 2 \times 40 \text{ mm} = (5 \times 154 + 80) \text{ mm} = 850 \text{ mm}$ 。

查图 24.5-18 和表 24.5-8, 8000 kN 垂直分模平锻机安模空间偏小。

(3) 验算锻粗长度 l_B

1) 验算 8000 kN 垂直分模平锻机 8000 kN 垂直分模平锻机的全行程 380 mm , 前挡板行程约 100 mm , 所以 $l_p = 380 \text{ mm} - 100 \text{ mm} = 280 \text{ mm}$, 而倒车齿轮锻件的实际锻粗长度 $l_B = 290 \text{ mm}$ 。

因此, 初选的 8000 kN 垂直分模平锻机不合适, 需选用 12500 kN 垂直分模平锻机。

2) 验收 12500 kN 垂直分模平锻机 12500 kN 平锻机全行程为 460 mm 。

所以 $l_p = 460 \text{ mm} - 100 \text{ mm} = 360 \text{ mm}$, 符合使用要求

5.6.6 模具设计 (见图 24.5-112)

(1) 凹模体

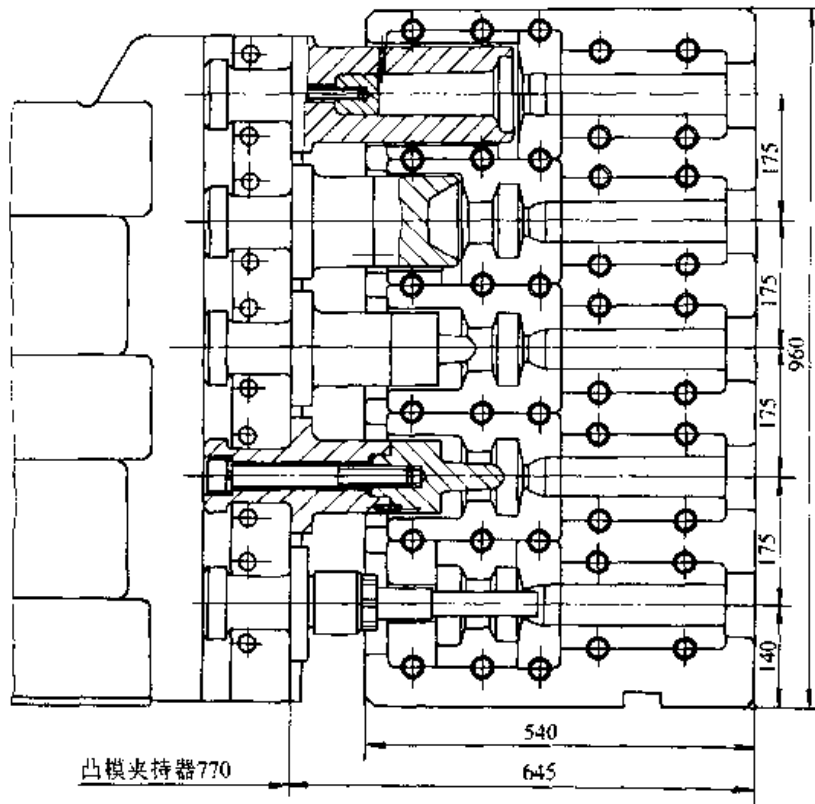


图 24.5-112 倒车齿轮 12 500 kN 垂直分模平锻机模具图

1) 高度 C 由锻件最大外径 $\phi 111.7 \text{ mm}$ 计算的模具工作镶块外径为 154 mm , 由于倒车齿轮锻件形状复杂, 为提高凹模工作镶块的强度, 增大模膛的壁厚, 取镶块窝座直径 $D_1 = 175 \text{ mm}$ 。
 $C = nD_1 + 2 \times 40 \text{ mm} = (5 \times 175 + 80) \text{ mm} = 955 \text{ mm}$
 取高度 960 mm 。

2) 长度 B 取棒料夹紧长度 $l_{夹} = 5d_0 = 5 \times 55 \text{ mm} = 275 \text{ mm}$, 锻件长度 $l_d = 114 \text{ mm}$ (取锻件正公差), 凸模导程 81 mm , 长度方向两端的镶块窝座壁厚分别为 40 mm 和 30 mm 。

故 $B = (275 + 114 + 81 + 40 + 30) \text{ mm} = 540 \text{ mm}$

3) 厚度 A 查图 24.5-18 和表 24.5-8, $A = 260 \text{ mm}$ 。

4) 夹紧镶块窝座直径和长度 取直径为 $\phi 120 \text{ mm}$, 长度 230 mm 。

5) 工作镶块窝座直径和长度 如前所述工作镶块窝座直径取 175 mm , 长度取 240 mm 。

(2) 模膛设计

由工步图和各类模膛设计方法确定各部分尺

寸, 见模具图 24.5-112。

(3) 凸模夹持器 (图 24.5-113)

长度 $L = L_p - L_{ao} - a = (1415 - 540 - 105) \text{ mm} = 770 \text{ mm}$

式中 L_p ——平锻机的封闭长度, $L_p = 1415 \text{ mm}$;

L_{ao} ——凹模体长度, $L_{ao} = 540 \text{ mm}$;

a ——在设备闭合状态下, 凸模夹持器和凹模体之间的间隔, 取 105 mm 。

高度 H 由模具图工作镶块窝座直径 $\phi 175 \text{ mm}$ 计算确定。

$H = nD + \delta = 5 \times 175 \text{ mm} + 45 \text{ mm} = 920 \text{ mm}$

5.7 半轴锻模

5.7.1 锻件图

锻件图见图 24.5-114。

5.7.2 计算锻件体积和重量

锻件法兰部分体积 $V_F = 698400 \text{ mm}^3$

锻件体积 $V_d = 2661610 \text{ mm}^3$

锻件重量 $W = 20.9 \text{ kg}$

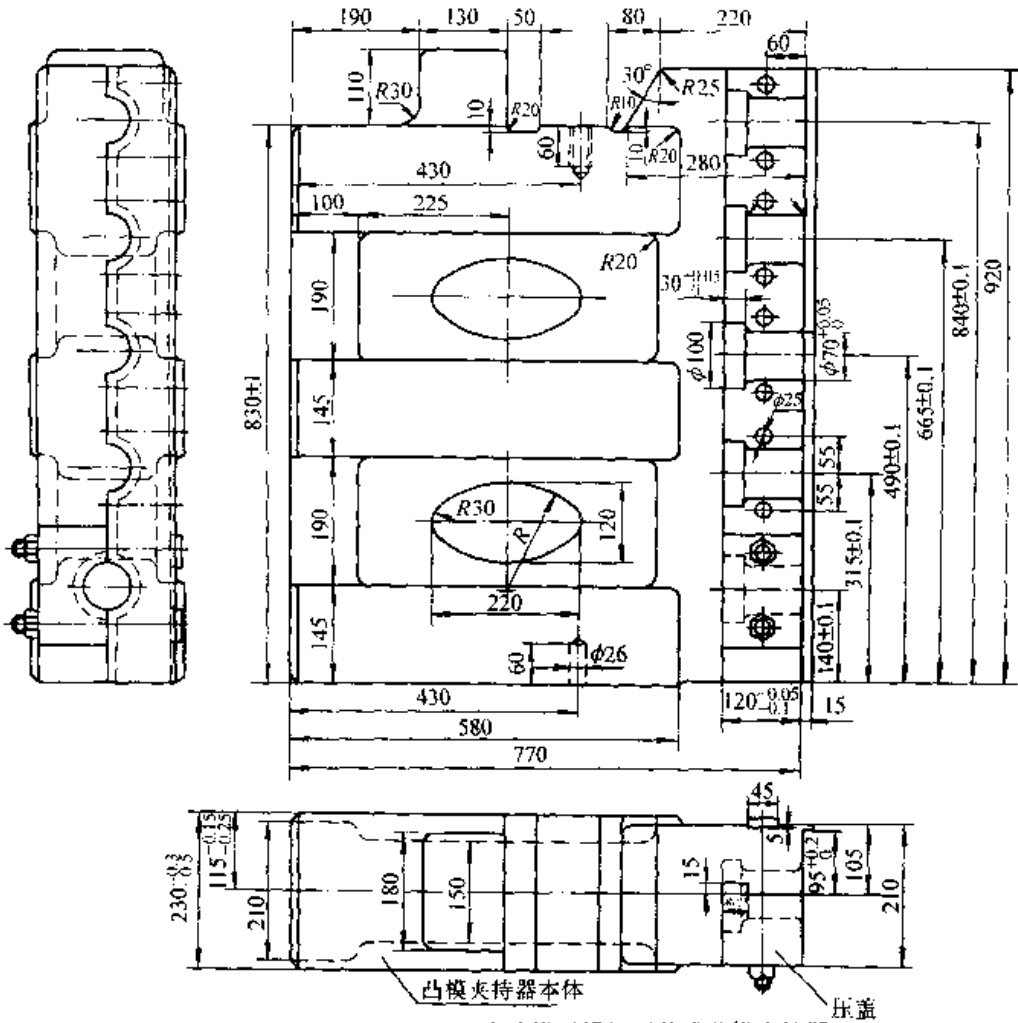
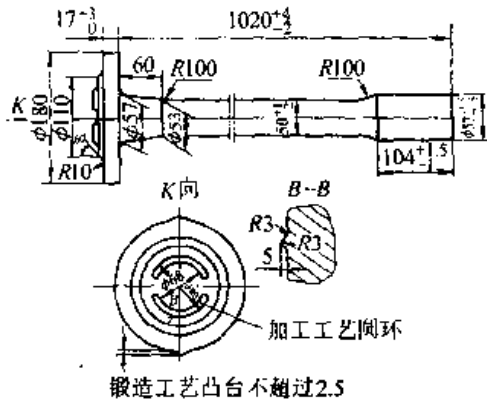


图 24.5-113 12 500 kN 垂直分模平锻机压盖式凸模夹持器



锻造工艺凸台不超过2.5
图 24.5-114 汽车后桥半轴锻件图

5.7.3 确定坯料直径 d_0 , 镦粗长度 l_B , 镦粗比 ϕ 和坯料长度 L

该件是具有粗大部分的杆类锻件, 取坯料直径 d_0 等于锻件杆部直径, 即 $d_0 = 50 \text{ mm}$ 。

锻件法兰部分和花键部分的镦粗长度及镦粗比, 分别为

法兰部分: 镦粗长度 $l_{B1} = 363 \text{ mm}$

镦粗比 $\phi = 7.26$

花键部分: 镦粗长度 $l_{B2} = 151 \text{ mm}$

镦粗比 $\phi = 2.94$

坯料长度 L 由法兰部分镦粗长度、花键部分镦粗长度和锻件中间部分的杆长组成。

$$L = (363 + 151 + 856) \text{ mm} = 1370 \text{ mm}$$

5.7.4 设计和计算工步图

法兰部分经计算需要四道工步, 其中两道聚集工步, 一道预锻工步和一道终锻工步, 各工步的具体尺寸见图 24.5-115。

花键部分可以在凹模内一次聚集成形, 并产生横向飞边。这是因为由镦粗比 $\phi = 2.94$, 查表 24.5-32 凹模内聚集限制界线, 是允许的。

5.7.5 计算锻件锻造压力, 模具宽度, 确定平锻机吨位

经计算、法兰部分成形的锻造压力 $F = 13670 \text{ kN}$, 所需模具宽度为 $W = 1038 \text{ mm}$, 初步选择 16 000 kN 水平分模平锻机。

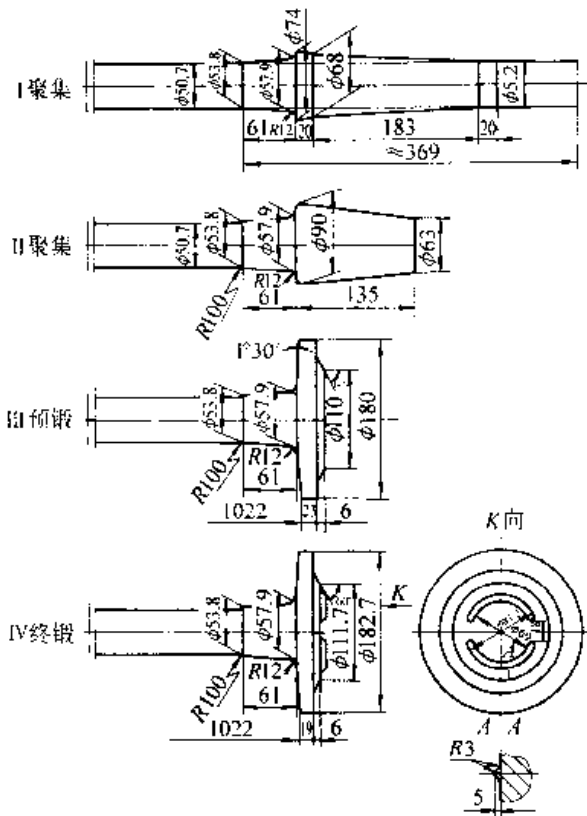


图 24.5-115 汽车半轴工步图

经计算,花键部分锻造压力 $F = 3\ 800\ \text{kN}$ 。可选 $4\ 500\ \text{kN}$ 水平分模平锻机,但是,由于半轴杆部很长 ($1\ 020\ \text{mm}$),为了增加夹紧长度,减少后挡料架的长度,选用 $6\ 300\ \text{kN}$ 平锻机。

5.7.6 模具设计 (机械化模具)

法兰部分的锻造采用机械手操作,机械手的行程 $240\ \text{mm}$ 。

(1) 凹模体

1) 宽度 由机械手行程起点,行程 $240\ \text{mm}$,再加上凹模体在左右两端工作镶块窝座的壁厚 $(40 + 40)\ \text{mm} = 80\ \text{mm}$ (见图 24.5-116)。

所以凹模体宽度 $W = (240 \times 4 + 80)\ \text{mm} = 1\ 040\ \text{mm}$ 。

2) 长度 紧固凹模体的螺钉距离 $l_1 = 120\ \text{mm}$, $l_3 = 420\ \text{mm}$ (查表 24.5-6),所以凹模体长度不能小于 $l_1 + l_3 = (120 + 420)\ \text{mm} = 540\ \text{mm}$ 。

又由锻粗长度 $l_{13} = (369 - 61)\ \text{mm} = 308\ \text{mm}$ 和机械化模具模膛设计方法,即棒料离开平锻机大摆杆端面 $20\ \text{mm}$ (见图 24.5-17)。

凹模体长度 $(215 + 540)\ \text{mm} = 755\ \text{mm}$ 。

3) 高度 查表 24.5-7,为 $280\ \text{mm}$ 。

(2) 凸模夹持器 (图 24.5-117)

1) 宽度 由滑块安放凸模夹持器的空间宽度 $760\ \text{mm}$,机械手行程起点及行程 $240\ \text{mm}$,就可确定四工步三个夹持器的宽度分别为 $280, 240, 230\ \text{mm}$ 。

2) 长度 由滑块安放凸模夹持器空间长度 $720\ \text{mm}$,设备封闭长度 $1\ 585\ \text{mm}$,凹模体长度 $540\ \text{mm}$,夹持器和凹模体之间空间距离取 $80\ \text{mm}$,故夹持器长度为

$$L = 1\ 585\ \text{mm} - (540 + 80)\ \text{mm} = 965\ \text{mm}$$

3) 高度 查表 24.5-7 得 $220\ \text{mm}$ 。

4) 其他尺寸见图 24.5-117。

(3) 凹模镶块

夹紧镶块 外形尺寸 $\phi 160\ \text{mm} \times 230\ \text{mm}$

夹紧偏心 $0.6\ \text{mm}$,直径 $\phi 50.7\ \text{mm}$ 。

工作镶块 外形尺寸 $\phi 240\ \text{mm} \times 320\ \text{mm}$ 。

模膛尺寸按工步图及如前所述各类模膛设计原则确定。

(4) 凸模柄和凸模

由封闭长度 $835\ \text{mm}$ (见图 24.5-116) 及工步图就可确定,凸模柄一般设计成标准件,在此不赘述。

(5) 花键部分模具省略。

5.8 轮毂轴管锻模

5.8.1 锻件图

锻件图见图 24.5-118。

5.8.2 计算锻件体积和重量

锻件法兰部分体积 $V_F = 671\ 975\ \text{mm}^3$

锻件体积 $V_d = 1\ 538\ 109\ \text{mm}^3$

锻件重量 $G = 12.1\ \text{kg}$

5.8.3 设计锻件终锻的形状,并计算其体积

由于管料壁厚公差很大,为 $22\ \text{mm} \pm 2.2\ \text{mm}$,为了工艺稳定,设计横向飞边。横向飞边外径取 $150\ \text{mm}$,厚度 $4\ \text{mm}$,见工步图 24.5-119。

飞边体积 $V_f = 23\ 914\ \text{mm}^3$

终锻时的体积

$$\begin{aligned} V_z &= V_F + V_f \\ &= 671\ 975\ \text{mm}^3 + 23\ 914\ \text{mm}^3 \\ &= 695\ 889\ \text{mm}^3 \end{aligned}$$

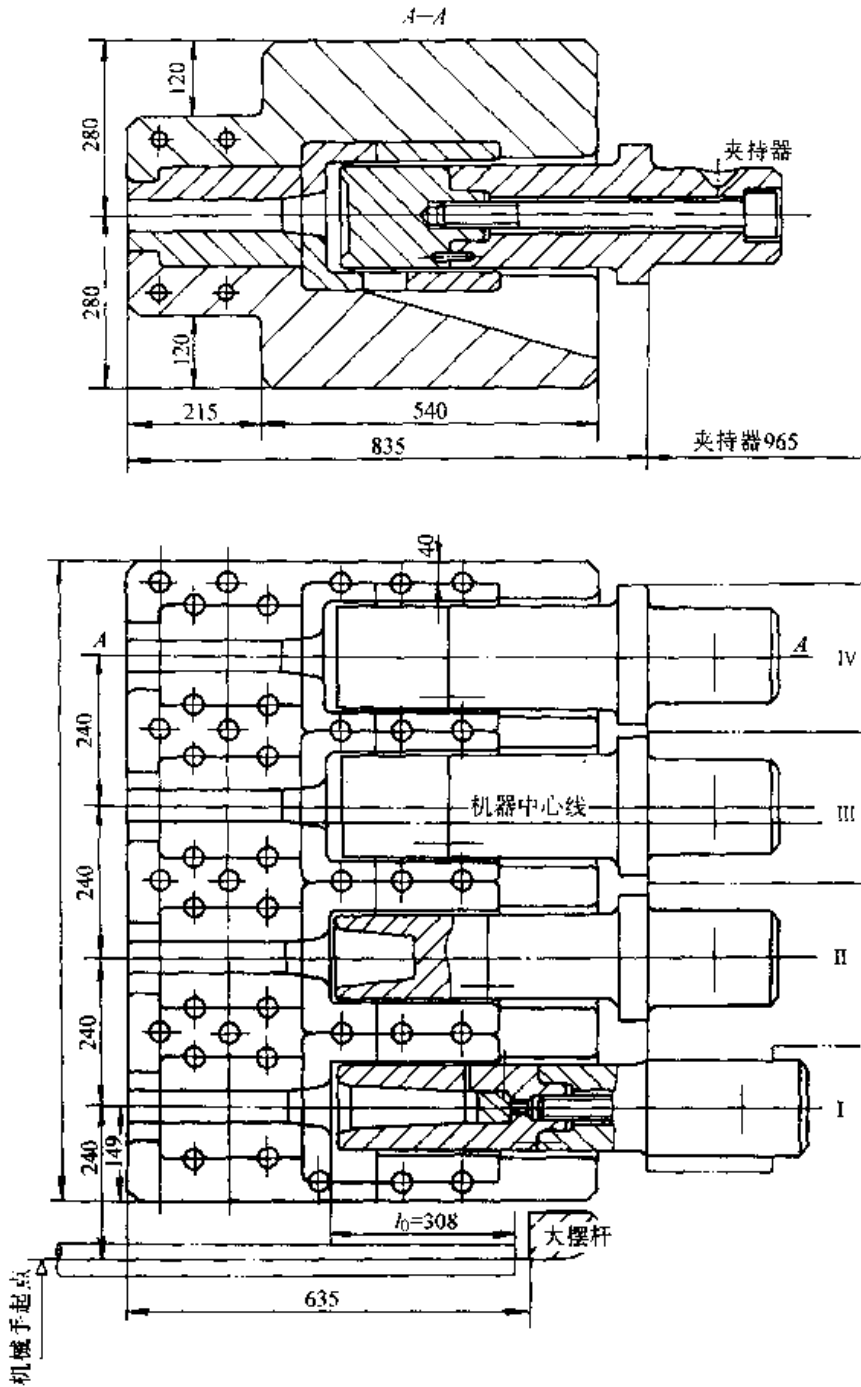


图 24.5-116 16 000 kN 平锻机半轴机械化模具图

5.8.4 计算锻粗长度 l_B , 锻粗比 m_0 , 管料的“计算直径” d_{0j} 和下料长度 L

(1) “计算直径” d_{0j}

$$d_{0j} = \sqrt{D_0^2 - d_0^2} = \sqrt{89^2 - 49^2} \text{ mm} = 74.3 \text{ mm}$$

式中 D_0 ——管料外径, $D_0 = 89 \text{ mm}$;

d_0 ——管料内径, 壁厚取其负偏差 (-2.0 mm), 故为 49 mm

(2) 管料的锻粗长度 l_B

$$l_B = \frac{V_z(1+\delta)}{\frac{\pi}{4} d_{0j}^2} = \frac{695\,889 \times 1.015}{\frac{\pi}{4} \times 74.3^2} \text{ mm} = 163 \text{ mm}$$

式中 δ ——坯料加热烧损率, 电感应加热 $\delta = 1.5\%$ 。

(3) 管料锻粗比 m_0

$$m_0 = \frac{l_B}{d_{0j}} = \frac{163}{74.3} = 2.2$$

(4) 下料长度 L

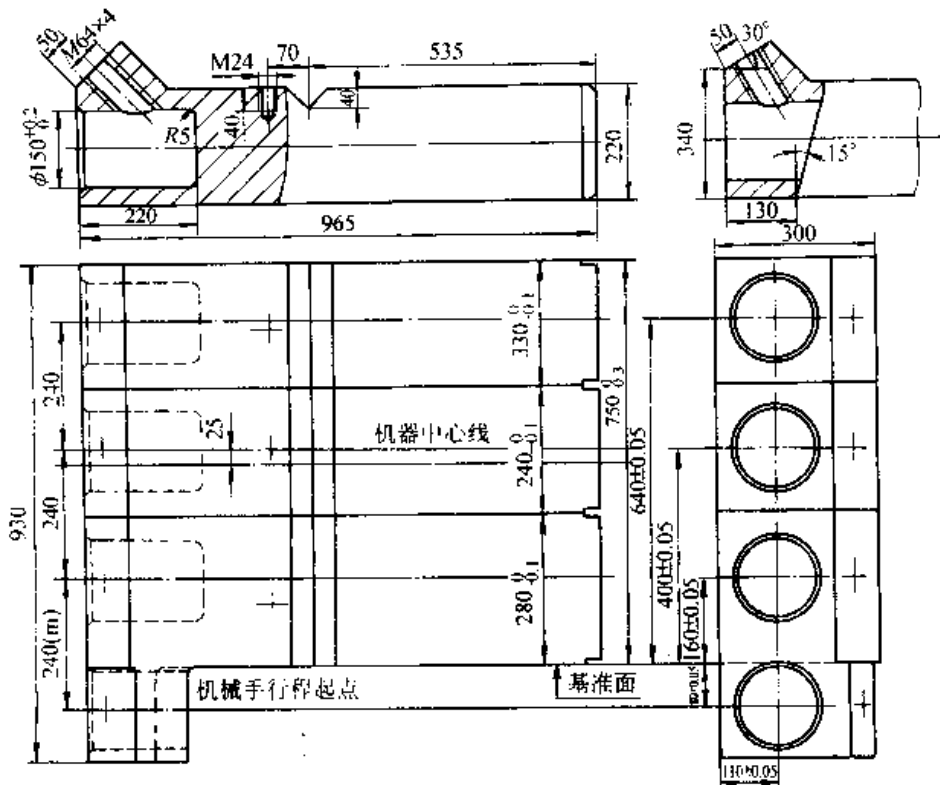


图 24.5-117 16 000 kN 平锻机凸模夹持器 (机械手操作)

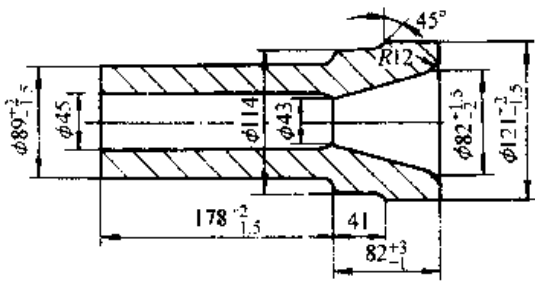


图 24.5-118 轮毂轴管锻件图

$$L = L_g + l_B = 179 \text{ mm} + 163 \text{ mm} = 342 \text{ mm}$$

5.8.5 设计和计算工步图 (见图 24.5-119)

由于该件的坯料是厚壁管坯, 锻造时工艺较稳定, 因此采用在凸模的锥形模膛内聚集。

法兰部分终锻时的热体积 V'_z

$$V'_z = (1.015)^3 \cdot V_z = (1.015)^3 695\,889 \text{ mm}^3 = 727\,676 \text{ mm}^3$$

考虑热收缩率的

管料外径 $D_0 = 90.3 \text{ mm}$

管料内径 $d_0 = 49.7 \text{ mm}$

计算直径 $d_0 = 75.4 \text{ mm}$

(1) 第一工步设计 (仅扩大外径)

1) 自由聚集 (锻粗) 的允许锻粗比 m_{0g}

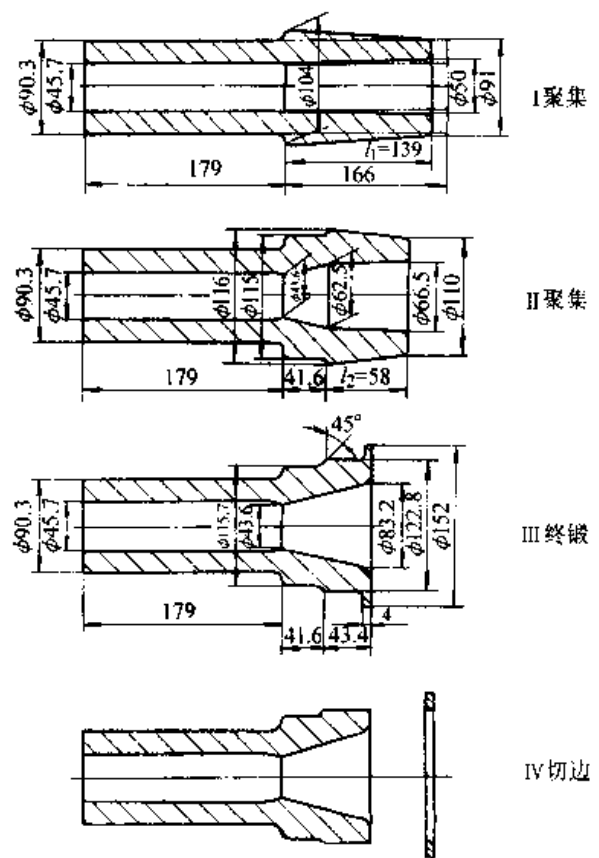


图 24.5-119 轮毂轴管工步图

$$\frac{D_0}{d_0} = \frac{90.3}{49.7} = 1.82$$

查表 24.5-39, 得锻粗方式系数 $\mu = 2.3$

$$m_{0g} = \frac{\mu(D_0 - d_0)}{2d_{0j}} = \frac{2.3(90.3 - 49.7)}{2 \times 75.4} = 0.62$$

2) 允许扩大的最大外径 D_{1max} 由 $m_0 = 2.2$, $m_{0g} = 0.62$, 查图 24.5-49, 管料锻粗限制线, 得第一工步计算直径的允许增大系数 $\epsilon_1 = 1.31$ 。计算允许的最大计算直径 d_{1j} :

$$d_{1j} = \epsilon_1 d_{0j} = 1.31 \times 75.4 \text{ mm} = 98.8 \text{ mm}$$

由计算直径公式 $d_{1j} = \sqrt{D_1^2 - d_1^2}$ 得允许扩大的最大外径 D_{1max}

$$D_{1max} = \sqrt{d_{1j}^2 + d_{1cp}^2} = \sqrt{98.8^2 + 49.85^2} = 110.7 \text{ mm}$$

式中 d_{1j} ——第一工步坯料允许的最大计算直径;

d_{1cp} ——第一工步坯料内孔的平均值。

$$d_{1cp} = \frac{50 + 49.7}{2} = 49.85 \text{ mm}$$

3) 选择聚集锥体直径 取大端直径 $D_1 = 104 \text{ mm}$, 小端直径 $D'_1 = 91 \text{ mm}$ 。其平均直径 D_{1cp}

$$D_{1cp} = \frac{D_1 + D'_1}{2} = \frac{104 + 91}{2} \text{ mm} = 97.5 \text{ mm}$$

所以, 第一工步锻粗后坯料的实际“计算直径” $d_{1j} = \sqrt{D_{1cp}^2 - d_{1cp}^2} = \sqrt{97.5^2 - 49.85^2} \text{ mm} = 83.8 \text{ mm}$

4) 计算锻粗后的管坯长度 l_1 , 由体积不变

$$\text{条件 } l_1 = \frac{V_z K (1 + \delta)}{\frac{\pi}{4} d_{0j}^2} = \frac{727\,676 \times 1.04 \times 1.015}{\frac{\pi}{4} \times 83.8^2} \text{ mm} = 139 \text{ mm}$$

式中 V_z ——锻粗坯料的体积, $V_z = 727\,676 \text{ mm}^3$;

K ——充不满系数, 取 $K = 1.04$;

δ ——坯料加热烧损率, 电加热是 1.5%。

5) 第一工步聚集后坯料锻粗比 m_1

$$m_1 = \frac{l_1}{d_{1j}} = \frac{139}{83.8} = 1.66$$

(2) 第二工步设计 (同时扩内外径)

1) 自由聚集 (锻粗) 的允许锻粗比 m_{1g}

首先确定管料的锻粗方式系数 μ , 由

$$\frac{D_1}{d_1} = \frac{D_{1cp}}{d_{1cp}} = \frac{97.5}{49.85} = 1.96$$

查表 24.5-39, 得锻粗方式系数 $\mu = 3$, 其取

仅缩小内径和仅扩大外径的锻粗方式系数的中间值。

$$m_{1g} = \frac{\mu(D_1 - d_1)}{2d_{1j}} = \frac{3(97.5 - 49.85)}{2 \times 83.8} = 0.85$$

2) 允许扩大的最大外径 D_{2max}

① 计算锻粗允许的最大计算直径 d_{2j} 由 $m_1 = 1.66$ 和 $m_{1g} = 0.85$, 查图 24.5-49 得第二工步坯料计算直径允许的增大系数 $\epsilon_2 = 1.34$, 其允许的最大计算直径 d_{2j} 为

$$d_{2j} = \epsilon_2 d_{1j} = 1.34 \times 83.8 \text{ mm} = 112.3 \text{ mm}$$

② 成形后法兰 (靠近锻件杆部), 前法兰聚集坯料 取后法兰外径 $D_2 = 115 \text{ mm}$, 内孔直径和终锻工步相应部位相同, 即 $d_{2min} = 43.6 \text{ mm}$, $d_{2max} = 62.5 \text{ mm}$ 。

取前法兰锥体内孔直径 66.5 mm 。

③ 计算允许扩大的最大外径 D_{2max}

$$D_{2max} = \sqrt{D_{2j}^2 + d_2^2} = \sqrt{112.3^2 + 57.5^2} \text{ mm} = 126 \text{ mm}$$

3) 确定第二工步前法兰坯料的聚集锥体尺寸 大端直径取 116 mm , 小端直径 110 mm 。

4) 计算锻粗后的坯料长度 l_2 由体积不变条件计算得 $l_2 = 58 \text{ mm}$ 。

5) 计算第二工步前法兰坯料的计算直径 d_{2j} 和锻粗比 m_2

$$d_{2j} = \sqrt{D_2^2 - d_2^2} = \sqrt{113^2 - 64.5^2} \text{ mm} = 92.8 \text{ mm}$$

式中 D_2 ——坯料外径的平均直径,

$$D_2 = \frac{116 + 110}{2} \text{ mm} = 113 \text{ mm}$$

d_2 ——坯料内孔的平均直径

$$d_2 = \frac{66.5 + 62.5}{2} \text{ mm} = 64.5 \text{ mm}$$

$$m_2 = \frac{l_2}{d_{2j}} = \frac{58}{92.8} = 0.63$$

(3) 第三道终锻工步 (同时扩内外径)

验算经二次聚集后是否可以直接进行终锻成形。

1) 自由聚集 (锻粗) 的允许锻粗比 m_{2g}

由 $\frac{D_2}{d_2} = \frac{113}{64.5} = 1.75$, 查表 24.5-39 得锻粗方式系数 $\mu = 2.8$ (取仅缩小内径和仅扩大外径的锻粗方式系数的中间值)。

$$m_{2g} = \frac{\mu(D_2 - d_2)}{2d_{2j}} = \frac{2.8(113 - 64.5)}{2 \times 92.8} = 0.73$$

2) 比较第二工步坯料的锻粗比 m_2 和自由

聚集(锻粗)的允许锻粗比 m_{2g} 。

由以上计算 $m_2 = 0.63$, $m_{2g} = 0.73$, 所以 $m_2 < m_{2g}$ 。

故可以直接进行终锻成形。

(4) 第四道切边工步

切去横向飞边。

5.8.6 计算锻件的锻造压力, 模具宽度, 确定设备吨位

1) 锻造压力 $F = 9\,000\text{ kN}$ 。

2) 凹模体宽度 $C = 1\,040\text{ mm}$ 。

3) 查图 24.5-17 和表 24.5-7, 选用 $16\,000\text{ kN}$ 水平分模平锻机。

5.8.7 模具设计

总体布置: 因为轮毂轴管锻件杆长仅两倍管料外径, $\frac{178}{89} = 2$ 。又是管料, 不易夹紧, 为此, 需要把整个锻件杆部夹紧(见模具图 24.5-120),

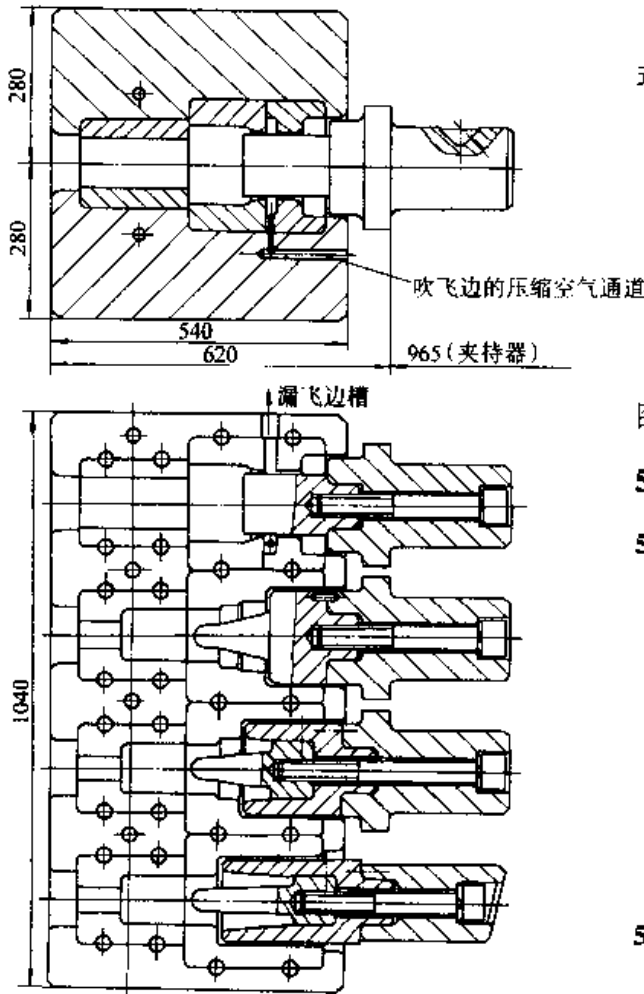


图 24.5-120 轮毂轴管模具图
($16\,000\text{ kN}$ 水平分模平锻机)

操作时, 采用“管腔夹钳”夹持管料锻件(见图 24.5-51)。

(1) 凹模体

1) 宽度 经计算, 并考虑凹模体的标准化, 取工作镶块外径 $D = 240\text{ mm}$ 。凹模体宽度 $C = 1\,040\text{ mm}$ 。

2) 长度 锻件杆长 179 mm (名义长度加正偏差之半), 锻粗长度 166 mm , 夹紧镶块上的后挡板厚度 80 mm , 凹模体夹紧镶块窝座的后壁厚 50 mm , 凸模导程 25 mm , 工作镶块窝座的前壁厚 40 mm 。

为此, 长度 $B = (50 + 80 + 179 + 166 + 25 + 40)\text{ mm} = 540\text{ mm}$

高度: 查图 24.5-17 和表 24.5-7, 高度为 280 mm 。

(2) 凸模夹持器

长度 $L = L_p - L_{so} - a = (1\,585 - 540 - 80)\text{ mm} = 965\text{ mm}$

式中 L_p —— $16\,000\text{ kN}$ 水平分模平锻机封闭长度 $L_p = 1\,585\text{ mm}$;

L_{so} —— 凹模体长度, $L_{so} = 540\text{ mm}$;

a —— 凸模夹持器和凹模体之间的间距, 取 $a = 80\text{ mm}$ 。

宽度分别为 $280, 240, 230\text{ mm}$ 三块。

高度为 220 mm 。

(3) 由工步图和模膛设计原则, 设计模具总图见图 24.5-120

5.9 轴套管锻模

5.9.1 锻件图

锻件图见图 24.5-121。

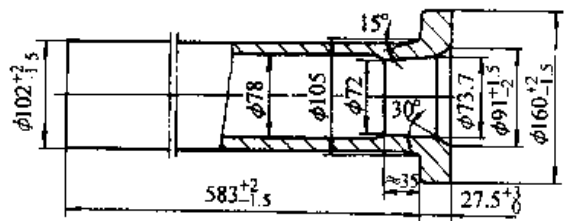


图 24.5-121 半轴套管锻件图

5.9.2 锻件体积和重量

1) 法兰部分体积 $V_F = 478\,532\text{ mm}^3$ 。

2) 坯料锻至杆部 35 mm 处的体积 $V_{35} = 13\,907\text{ mm}^3$ 。

3) 锻件体积 $V_d = 2\,762\,315\text{ mm}^3$ 。

4) 锻件重量 $G = 21.7\text{ kg}$ 。

5.9.3 计算锻粗长度 l_B ，锻粗比 m_0 和坯料长度

由于管料壁厚偏差很大 (12^{+3}_0 mm)，壁厚又薄，故对于一定下料长度的坯料，其锻粗的体积相差悬殊，法兰厚度极易超差，并易变形而在内孔产生折纹。鉴于上述原因，所以在第一工步坯料外径保持不变，仅缩小内径，允许聚集的坯料多而稳定。第二工步同时扩大内外径，并产生横向飞边，保证终锻时的体积一定。

经工步设计 (图 24.5-122)，飞边外径 $\phi 165\text{ mm}$ ，内径 $\phi 124\text{ mm}$ 。

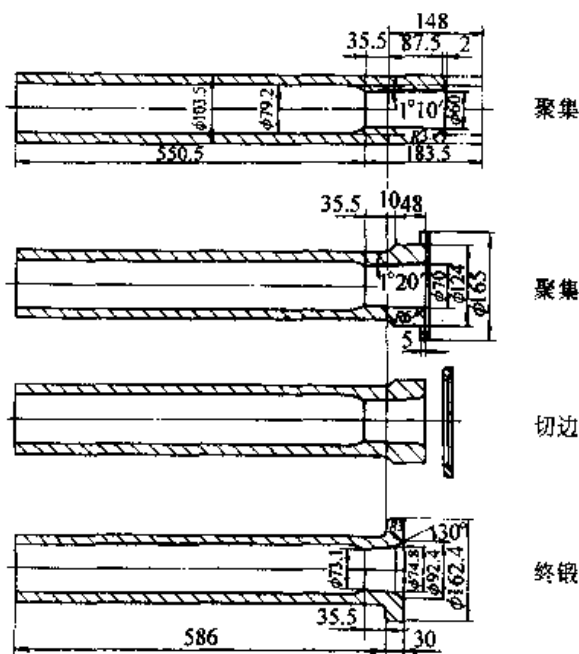


图 24.5-122 半轴套管工步图

飞边体积 $V_f = 46\,507\text{ mm}^3$

故锻粗变形的体积 V_d 为

$$V_d = V_F + V_{35} + V_f = 538\,946\text{ mm}^3$$

1) 锻粗长度 l_B $l_B = 146\text{ mm}$

2) 锻粗比 m_0 首先确定坯料计算直径 d_{0j}

$$d_{0j} = \sqrt{D_0^2 - d_0^2} = \sqrt{102^2 - 78^2}\text{ mm} = 65.73\text{ mm}$$

式中 D_0 ——管料外径，取 102 mm ；

d_0 ——管料内径，取管料壁厚偏差 (12^{+3}_0 mm) 的下偏差，故内径为 78 mm 。按最不利条件设计工步，锻粗时稳定可靠。

$$m_0 = \frac{l_B}{d_{0j}} = \frac{146}{65.73} = 2.2$$

(3) 坯料长度 L 锻件杆长加锻粗长

$$L = l_g + l_B = 584\text{ mm} + 146\text{ mm} = 730\text{ mm}$$

5.9.4 设计和计算工步图

见图 24.5-122。均为热尺寸

锻粗长度 $l_B = 148\text{ mm}$

锻粗变形部分体积 $V_d = 563\,564\text{ mm}^3$

管料计算直径 $d_{0j} = 66.7\text{ mm}$ 。

(1) 第一工步设计 (外径保持不变，仅缩小内径)

1) 锻粗长度 l'_B ，锻粗体积 V'_d 和锻粗比 m'_0 因为第一工步外径保持不变，仅缩小内径，所以锻粗长度和体积均应包括锻件图上长度为 35 mm (其热尺寸为 35.5 mm) 的一段。

$$l'_B = (148 + 35.5)\text{ mm} = 183.5\text{ mm}$$

$$V'_d = 700\,701\text{ mm}^3$$

$$m'_0 = \frac{l'_B}{d_{0j}} = \frac{183.5}{66.7} = 2.75$$

2) 自由聚集 (锻粗) 的允许锻粗比 m_{0g}

由 $\frac{D_0}{d_0} = \frac{103.5}{79.2} = 1.31$ ，查表 24.5-39，得锻粗方式系数 $\mu = 3.4$ 。

$$m_{0g} = \frac{\mu(D_0 - d_0)}{2d_{0j}} = \frac{3.4(103.5 - 79.2)}{2 \times 66.7} = 0.62$$

3) 允许缩小的最小内径 $d_{1\min}$ 由 $m'_0 = 2.75$ ， $m_{0g} = 0.62$ ，查图 24.5-49，管料锻粗限制线。得第一工步计算直径的允许缩小系数 $\epsilon_1 = 1.29$ ，允许的最小计算直径 d_{1j} 为

$$d_{1j} = \epsilon_1 d_{0j} = 1.29 \times 66.7\text{ mm} = 86\text{ mm}$$

由计算直径公式 $d_{1j}^2 = D_1^2 - d_1^2$ 得

$$d_{1\min} = \sqrt{D_1^2 - d_{1j}^2} = \sqrt{103.5^2 - 86^2}\text{ mm} = 57.6\text{ mm}$$

式中 D_1 ——第一工步坯料外径，因外径保持不变，故 $D_1 = 103.5\text{ mm}$ 。

4) 选择缩小的内径 d_1 为了聚集 (锻粗) 时稳妥可靠，取 $d_1 = 60\text{ mm}$ 所以第一工步的实际计算直径 d_{1j} 为

$$d_{1j} = \sqrt{D_1^2 - d_1^2} = \sqrt{103.5^2 - 60^2}\text{ mm} = 84.33\text{ mm}$$

5) 计算锻粗后的管坯长度 l_1

$$l_1 = \frac{V'_d K (1 + \delta)}{\frac{\pi}{4} (D_1^2 - d_1^2)} = \frac{700\,701 \times 1.02 \times 1.015}{\frac{\pi}{4} (103.5^2 - 60^2)}\text{ mm}$$

$$= 130\text{ mm}$$

式中 V'_d ——锻粗体积， $700\,701\text{ mm}^3$ ；

δ ——烧损率,电感应加热为1.5%;

K ——充不满系数,取 $K=102$ 。

考虑凸模有 $1^\circ 10'$ 的模锻斜度(图24.5-122,第一工步),计算得:

$l_1 = 123 \text{ mm}$ 。从法兰算起的管坯长度 l :

$$l = 123 \text{ mm} - 35.5 \text{ mm} = 87.5 \text{ mm}$$

(2) 第二工步设计(同时扩大内外径,并产生横向飞边)

为使终锻时,内径基本保持不变,取第二工步内径 $d_2 = 70 \text{ mm}$ 。

1) 自由锻粗的允许锻粗比 m_{1g} 由 $\frac{D_1}{d_1} = \frac{103.5}{60} = 1.73$,查表24.5-39,得锻粗方式系数 $\mu = 3$ 。

$$m_{1g} = \frac{\mu(D_1 - d_1)}{2 \times d_{1j}} = \frac{3(103.5 - 60)}{2 \times 84.33} = 0.77$$

2) 允许扩大的最大外径 $D_{2\max}$

$$\text{锻粗比 } m_1 = \frac{87.5}{84.33} = 1.04$$

因 $m_1 > m_{1g}$,需要再聚集坯料。

由 m_1 和 m_{1g} 查图24.5-49,得第二工步计算直径的允许增大系数 $\epsilon_2 = 1.37$,故允许的最大计算直径 d_{2j} 为

$$d_{2j} = \epsilon_2 d_{1j} = 1.37 \times 84.33 \text{ mm} = 115.5 \text{ mm}$$

由计算直径公式: $d_{2j} = \sqrt{D_2^2 - d_1^2}$ 得

$$D_{2\max} = \sqrt{d_{2j}^2 + d_2^2} = \sqrt{115.5^2 + 70^2} = 135 \text{ mm}$$

式中 d_2 ——第二工步坯料的内径 70 mm 。

3) 选择扩大的外径 D_2 为了锻粗时稳妥可靠及终锻时也允许,即逐步成形,取 $D_2 = 124 \text{ mm}$ 。

所以第二工步的实际计算直径 d_{2j} 为

$$d_{2j} = \sqrt{D_2^2 - d_2^2} = \sqrt{124^2 - 70^2} \text{ mm} = 102.4 \text{ mm}$$

4) 计算锻粗后管坯长度 l_2 由体积不变条件,经计算得 $l_2 = 48 \text{ mm}$ 。

飞边外径取 $\phi 165 \text{ mm}$,厚度 5 mm ,为了充放多余的金属坯料,设计飞边仓部。

(3) 第三工步(切边)

切去第二工步产生的横向飞边。

(4) 第四工步(终锻),内径基本保持不变,仅扩大外径。

1) 自由锻粗的允许锻粗比 m_{2g} 由 $\frac{D_2}{d_2} =$

$\frac{124}{70} = 1.77$,查表24.5-39,得锻粗方式系数 $\mu =$

2.1

$$m_{2g} = \frac{\mu(D_2 - d_2)}{2d_{2j}} = \frac{2.1(124 - 70)}{2 \times 102.4} = 0.55$$

2) 允许扩大的最大外径 $D_{4\max}$

$$\text{锻粗比 } m_2 = \frac{l_2}{d_{2j}} = \frac{58}{102.4} = 0.57$$

由 m_2 和 m_{2g} 查图24.5-49,得终锻工步计算直径的允许增大系数 $\epsilon_4 = 1.4$,计算得允许的最大计算直径 d_{4j}

$$d_{4j} = \epsilon_4 d_{2j} = 1.4 \times 102.4 \text{ mm} = 143.4 \text{ mm}$$

由计算直径公式得允许扩大的最大外径 $D_{4\max}$

$$D_{4\max} = \sqrt{d_{4j}^2 + d_4^2} = \sqrt{143.4^2 + 80^2} = 164.2 \text{ mm}$$

式中 d_4 ——终锻时内孔的平均直径,约 80 mm 。

因为终锻的外径要求达到 $\phi 162.4 \text{ mm}$,小于允许扩大的最大外径,故可以终锻成形。

5.9.5 计算锻件锻造压力,模具宽度,确定设备吨位

选取 $12\,500 \text{ kN}$ 垂直分模平锻机。

5.9.6 模具设计(见图24.5-123)

(1) 凹模镶块

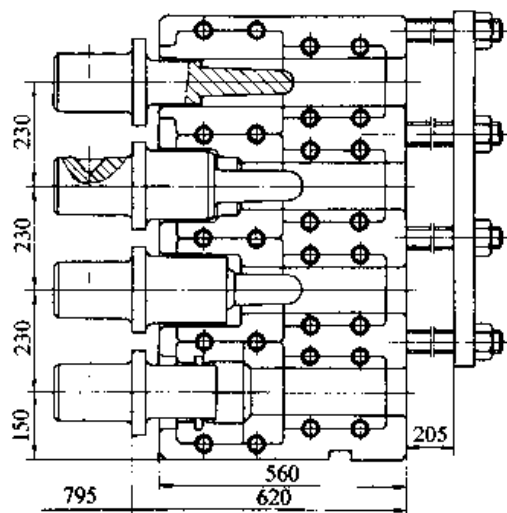


图24.5-123 半轴套管模具图
(垂直分模 $12\,500 \text{ kN}$ 平锻机)

1) 终锻镶块外径 $D = D_{\max} + 2m = 162.4 \text{ mm} + 2(26.24 \sim 36.24) \text{ mm} = 214.9 \sim 234.9 \text{ mm}$

取 $D = 230 \text{ mm}$

式中 D_{\max} ——锻件的最大外径 162.4 mm ;

m ——凹模模膛的壁厚, $m = 0.1D_{\max} + 10 \sim 20 \text{ mm} = 24.24 \sim 36.24 \text{ mm}$ 。

- 2) 其他工作镶块外径均取 $\phi 230 \text{ mm}$
- 3) 工作镶块长度取 240 mm
- 4) 夹紧镶块直径和长度 $\phi 160 \text{ mm} \times 240 \text{ mm}$

(2) 凹模体

长度: $B = l_{\text{夹}} + l_{\text{B}} + l_{\text{导}} = (380 + 148 + 32) \text{ mm} = 560 \text{ mm}$

式中 $l_{\text{夹}}$ ——管坯夹紧长度, 取 380 mm ;

l_{B} ——管坯的锻粗长度, $l_{\text{B}} = 148 \text{ mm}$;

$l_{\text{导}}$ ——凹模模膛的导程长度, 取 32 mm 。

高度 $C = nD + 2(30 \sim 40) \text{ mm} = (4 \times 230 + 70) \text{ mm} = 990 \text{ mm}$

式中 n ——锻件模锻工步数, $n = 4$;

D ——工作镶块外径, $\phi 230 \text{ mm}$;

$30 \sim 40$ ——凹模体上镶块窝座在高度方向两

端的壁厚, 取 35 mm 。

厚度查表 24.5-8, 厚度 $A = 260 \text{ mm}$ 。

(3) 凸模夹持器

长度 $L = L_{\text{p}} - L_{\text{凹}} - a$

$= (1415 - 560 - 60) \text{ mm} = 795 \text{ mm}$

式中 L_{p} —— 12500 kN 平锻机封闭长度, 1415 mm ;

$L_{\text{凹}}$ ——凹模体长度, 560 mm ;

a ——闭合状态下, 凸模夹持器和凹模体之间的间隔, 取 60 mm 。

高度 $H = nD + 30 \sim 40 \text{ mm} = (4 \times 230 + 35) \text{ mm} = 955 \text{ mm}$

式中 n ——锻件工步数, $n = 4$;

D ——工作镶块外径, $\phi 230 \text{ mm}$ 。

宽度 查表 24.5-8, 为 230 mm 。

第6章 水压机用锻模设计

1 概述

1.1 水压机上模锻的特点

水压机是用于大中型锻件锻压加工的重要设备之一,目前水压机上模锻主要用于生产航空和航天飞行器中的轻合金模锻件,如飞机的大梁、壁板、框架和支架等。随着航空、航天技术的发展,飞行器的结构对重量、强度、刚度以及安全性和寿命等提出了更高的要求,这些使得现代飞行器日益广泛地采用由锻造方法生产出来的大型复杂的整体构件,代替由许多小型模锻件所组成(用铆接、焊接或螺栓联接)的部件。例如,以整体模锻铝合金大梁(图 24.6-1a)代替由许多小型零件铆接而成的组合结构式铝合金大梁(图 24.6-1b),强度高,使用可靠。因此所需模锻件的尺寸愈来愈大,形状愈来愈复杂,它们有的长达 8 m,重达几吨,模锻所用的锻模重达 40 余吨。目前世界吨位最大的是俄罗斯的 750 000 kN 模锻水压机,美国最大的水压机为 450 000 kN,我国目前最大的模锻水压机为 300 000 kN。

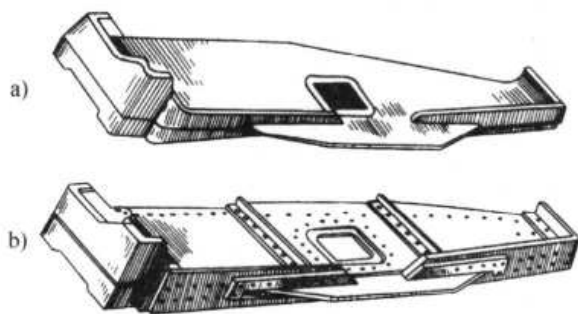


图 24.6-1 铝合金大梁

a) 整体模锻件 b) 铆接组合结构

水压机的主要工作特点是:

- 1) 工作时静压力,而且变形力由机架本身承受;
- 2) 单位时间内的行程次数少,最大工作速度为 0.01~0.1 m/s;
- 3) 活动横梁的行程不固定;

- 4) 导向性能和承受偏载的能力均较差。

由于水压机的上述工作特点,水压机上模锻工艺和模具设计具有如下特点:

- 1) 能够有效地锻造出大型复杂的整体结构锻件,尤其是较难锻造的薄壁并带有加强肋的整体壁板锻件;
- 2) 在模锻过程中,模具能够准确闭合,并容易安装模具保温装置,使模具维持较高温度,能锻出精度高、质量稳定的锻件;
- 3) 水压机的工作速度较低,而且可以控制,如模锻水压机通常为 30~50 mm/s,金属在慢速压力机作用下流动均匀,获得的锻件组织也比较均匀,特别是铝、镁合金最适合在慢速水压机上锻造;
- 4) 由于水压机的行程不固定,通过正确控制设备吨位,可以在其上进行闭式模锻,水压机亦可用于挤压成形;
- 5) 在水压机上通常采用单模膛模锻;
- 6) 由于是在静载下变形,锻模结构可采用整体式或组合式(大型模锻件通常采用整体式),模具材料甚至可以采用铸钢,而不像锻锤那样必须采用锻钢。

由于在水压机上能够模锻出高质量和较高精度的锻件,因而大大减少了机械加工,避免了许多连接装配工序。同时,采用精锻模锻、闭式模锻或等温闭式模锻,能够避免或减少像自由锻件和普通锻件因机械加工金属流线被切断的缺陷。这样可以大大提高零件的机械性能、疲劳强度和耐腐蚀性能等。因此,飞机上的大梁、带肋壁板、框架、支臂、起落架、压缩机叶轮、螺旋桨及桨毂等件均采用水压机模锻。

1.2 水压机上模锻件分类

水压机上模锻件按外形可分为等轴类和长轴类两大类,见表 24.6-1。等轴类锻件在分模面上的投影为圆形或长、宽尺寸相差不大的锻件,模锻时金属沿高度、宽度和长度方向均产生变形流动。

长轴类锻件的轴线较长，即锻件的长度与宽度或高度的尺寸比值较大，模锻时金属主要沿宽度与高度方向流动，沿长度方向流动很小（即接近于平面变形方式），因此，当锻件沿长度方向其截面面积变化较大时，必须考虑采用有效的制坯工步，使坯料形状接近锻件的形状，坯料的各截面面积等于锻件各相应截面面积加上飞边面积。

表 24.6-1 模锻件的分类

类别	简 图		
等轴			
长轴			

1.3 模锻工步的选择

1) 等轴类锻件一般采用锻粗—终锻，或锻粗—成型—终锻。确定锻粗坯料直径大小的原则和方法与锤上模锻相同。

2) 长轴类锻件模锻工步的确定比较复杂，要对具体锻件具体分析。

① 对于截面比较均匀的梁型锻件，可以用棒材或带板直接终锻。

② 对于截面不均匀、变化剧烈的扁平长形件，可以有这样几种模锻方案：

制坯（自由锻），终锻；

制坯（制坯模），终锻；

预锻，终锻；

制坯（自由锻），预锻，终锻。

③ 对于弯曲轴线的长轴类锻件，其模锻方案有：

制坯（自由锻），终锻；

制坯（弯曲制坯模），终锻。

④ 对于工字形截面和叉形工字形截面的锻件，其模锻方案有：

当肋较矮时：制坯（制坯模），终锻；或者制坯（自由锻），终锻；

当肋较高时：制坯（自由锻），预锻，终锻；

当肋很高时：制坯（制坯模），预锻，终锻。

⑤ 对于从一头向另一头逐渐减小的模锻件，其模锻方案为：

制坯（辊锻），终锻。

⑥ 对于宽度不大，两端或一端厚大的模锻件，其模锻方案为：

制坯（平锻机上局部墩头），终锻。

以大型铝合金锻件为例，其模锻生产工艺由下面的工序组成：

选取原坯料的尺寸并检验表面质量；

坯料在输送带式预热电炉或输送带式煤气炉散焰区外加热到 400~460℃；

视锻件外形难易程度在水压机上采用一次加热一次预锻或两次加热两次预锻；

用带锯切毛边；

先用 25% 的碱溶液浸蚀，后用 15% 的硝酸溶液进行光泽处理和清洗；

检验并清除外缺陷；

终锻前再次加热；

水压机上终锻；

切毛边；

对立放在淬火热电加热装置中的锻件进行退火或淬火（退火温度 200~250℃，淬火温度 470~530℃）；

在 100~400 t 矫正水压机上或模锻压力机的专用锻模里矫正锻件；

进行自然时效或者在活动拖车电炉里根据合金牌号不同进行人工时效（加热温度 150~200℃，保温 8~16 h）；

浸蚀；

质量检验包括力学性能、宏观组织、微观组

织、几何尺寸、表面状态和超声波内部缺陷检验等。

用1:2石墨和汽缸润滑油-T混合剂或终锻时用石墨和锭子油混合剂来润滑锻模和坯料。

计算水压机模锻用原坯料的体积和尺寸如同计算锤上和热模锻曲柄压力机上模锻用原坯料的体积和尺寸一样。

在水压机上模锻时,即使外形简单的锻件也得用不少于两次加热和两道工序来完成。通常,可用终锻模腔模锻多次。

1.4 设备吨位的确定

由于影响模锻压力因素很多(如变形温度、变形速度、锻件形状、润滑条件等),目前尚无十分准确的计算公式。下面列出的简易公式供验算时参考。

水压机的压力计算公式如下

$$F = zmA\rho$$

式中 F ——水压机的压力(N);

z ——考虑到变形条件之系数,其值如下:自由锻造1.1;模锻简单外形锻件1.5;模锻复杂外形锻件1.8;模锻各断面剧烈过渡外形很复杂锻件、模锻有大量余料流入飞边槽的锻件、模锻带压入成形的锻件等为2.0;

m ——考虑到变形体积影响之系数,其值如下:

模锻毛坯之体积 (cm ³)	
<25	1.0
>25~100	1.0~0.9
>100~1 000	0.9~0.8
>1 000~5 000	0.8~0.7
>5 000~1 000	0.7~0.6
>10 000~15 000	0.6~0.5
>15 000~25 000	0.5~0.4
>25 000	0.4

A ——模锻件(不计飞边)在垂直于作用力方向平面内的投影面积(cm²);

ρ ——单位压力(MPa)。根据合金种类及变形的最终条件来选取。例如对具有薄而宽的腹板的高强度铝合金模锻件可参考以下数据来选

取:

$$\rho = 500 \text{ MPa}$$

对于一般的铝、镁合金模锻件可参考以下数据来选取: $\rho = 300 \text{ MPa}$ 。

单位压力 ρ 的理论公式计算 在模锻时把腹板(连皮)可视为锻粗的坯料。锻粗时单位压力 ρ 取决于锻粗后的坯料直径(或截面宽度)与其高度之比。腹板厚度愈薄,制造就愈难。因此,变形力和变形功随着腹板厚度的减薄而增大,而锻模的寿命却缩短了。由实践可知,如果坯料宽度或直径与高度之比很大(在40~50左右),则用锻粗的方法是不可能制造腹板的。

能否得到最小厚度的腹板取决于金属的变形抗力,坯料在模锻过程中的冷却速度、变形温度及金属的抗腐蚀性能。开式锻粗扁平坯料时,单位变形力可按下面的公式求得:

对圆形坯料

$$\rho = \sigma_s(1 + 0.17d/h)$$

对长方形坯料

$$\rho = 1.15\sigma_s(1 + 0.25a/h)$$

式中 σ_s ——金属屈服点,即在线性应力状态和给定变形条件(温度、速度和变形程度)下的真实应力;

d ——锻粗后的坯料直径;

a ——坯料宽度;

h ——锻粗坯料厚度。

由上述公式可见,单位变形力的增加是由于坯料冷却引起屈服强度提高和形状改变(即 d/h 或 a/h 比加大)所致。当 d/h 或 a/h 比很大时,单位变形力可能要超过屈服应力许多倍,为了避免锻模的强烈磨损就限制了制造极薄腹板的可能性。应当注意,由于变形毛边的抗力和模腔壁压力作用的结果,模锻时的单位压力大于自由锻粗时的单位压力。如果所制腹板在任意方向有较小斜度时,则其宽度或直径就可大大地增加。类似的斜度可使金属易于流动,因此压力机或锻锤落下部分重量所需要的力就可减小。

由所列的公式可知,单位压力与锻件的长度无关,这说明,当圆形锻件和长方形锻件的投影面积和腹板厚度均相同时,圆形锻件的 d/h 和单位压力比长方形长锻件的 a/h 和单位压力要大。由此可见,腹板的厚度不能光靠锻件在分模面上的投影面积来确定。因此,热模锻工作中使

用的资料谈到,在设计热模锻件时,腹板的厚度必须根据锻件在分模面上投影面积来规定的说法是不正确的。投影面积对模锻力有影响。投影面积对腹板所选的尺寸只能在下述情况下有影响:当模锻设备的功率不足,需要减小单位压力,也即减小模锻力时,才需要增加腹板的厚度。

2 锻件图设计

2.1 分模面的选择

水压机上模锻时分模面的设置原则与锤上模锻基本相同。但是在水压机上生产的模锻件中有很大一部分是铝合金或镁合金模锻件,这些锻件对流线(金属纤维)分布有严格要求。因为锻件中流线形成方向性后将引起性能的异向性,由表 24.6-2 中可见,材料为 7A09 合金的飞机接头锻件,在不同方向上的力学性能指标是有一定差别的。因此,在确定分模面的位置时应认真考虑这个问题。

表 24.6-2 7A09 合金三个方向的性能 (T73 状态)

力学性能 方向	σ_b /MPa	δ /%
纵向	50.4	10.8
横向	49.6	10
高向	46.5	8.6

(1) 工字型截面锻件

对于工字型截面锻件,其分面应选择在肋的顶端,如图 24.6-2b 所示,若选择在锻件的中部(图 24.6-2a),则其金属纤维在肋与腹板的交接处形成紊流,乃至折叠和穿流。当飞边被切掉后,分模处便露出流线末端部位(图 24.1-11),在大气条件下很易产生应力腐蚀。

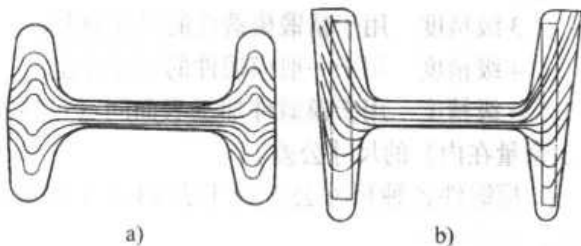


图 24.6-2 工字型截面锻件的分模面选择
a) 中间分模流线不顺 b) 肋顶分模流线顺畅

(2) 槽型或类似槽型截面锻件

对于这类锻件,当槽型口部向下时,其分模面应选择在肋底,如图 24.6-3 左图所示;当槽型口部向上时,其分模面应选择在肋的顶部,如图 24.6-3 右图所示。两种分模面均可使模膛全部设在下模,金属在模膛内的流动和充填情况与中间分模相似。

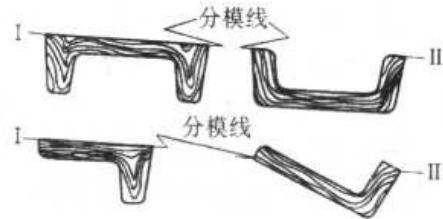


图 24.6-3 槽型和类似槽型截面锻件的分模面选择

(3) 弯曲轴线的长轴类锻件

这类锻件只能采用曲线分模面,对于空间曲线分模面,应使它的各部分与水平面的倾角不大于 60° ,如图 24.6-4 所示。这样布置分模面,可以改善模锻和切边的条件。

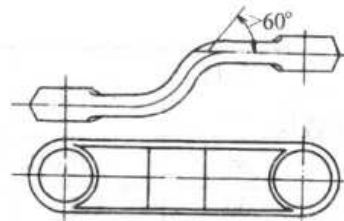


图 24.6-4 弯曲轴线的长轴类锻件的分模面选择

对有些锻件,还可根据其具体形状选择折线或曲线分模面。例如图 24.6-5 所示的机翼翼肋锻件,如果以腹板中心线为分模线(图 24.6-5b),结果在图 24.6-5b A-A 剖面 A 处产生流

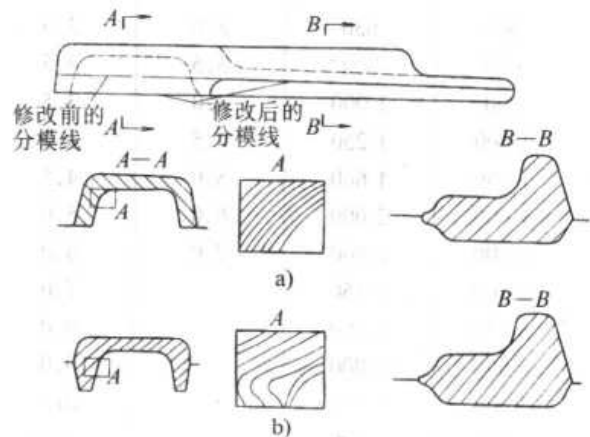


图 24.6-5 7A04 合金机翼翼肋
a) 设计修改后的分模线 b) 设计修改前的分模线

线不顺, 飞边处流线被切断, 使此处抗应力腐蚀性能显著降低。图 24.6-5a A-A 剖面是经过修改后的分模线, 它位于肋的最顶处, 避免了中间分模所带来的弊病。

2.2 余量和公差的确

(1) 余量

1) 工艺余量 工艺余量是由于模锻工艺的要求必需增加模锻件某部位的结构尺寸。由于腹板太薄, 肋与腹板连接半径又太小不可能用热模锻出。在该情况下必须增加腹板厚度和连接半径等; 而这部分在以后必须用机械加工的方法除掉。

2) 机械加工余量 机械加工余量大小与所提供毛坯精度(如: 尺寸公差, 翘曲, 错移等)、机械加工方法、加工精度和表面粗糙度有关。因此除表 24.6-3 所提供机械加工余量外, 设计者还应根据实际情况增加或减小。

表 24.6-3 模锻件单面加工余量

材料		(mm)	
		钢和钛	铝镁铜
模锻件最大边长		单面加工余量	
大于	至		
	50	1.5	1.0
50	80	1.5	1.5
80	120	2.0	1.5
120	180	2.0	2.0
180	250	2.5	2.0
250	315	2.5	2.5
315	400	3.0	2.5
400	500	3.0	3.0
500	630	3.0	3.0
630	800	3.5	3.5
800	1 000	4.0	3.5
1 000	1 250	4.5	4.0
1 250	1 600	5.0	4.5
1 600	2 000	6.0	5.0
2 000	2 500	7.0	6.0
2 500	3 150		7.0
3 150	4 000		8.0
4 000	5 000		9.0
5 000	6 300		10.0
6 300	8 000		11.0

注: 根据切削加工的需要, 表中余量值可以增大或减少。

(2) 公差

1) 尺寸分类

① 不通过分模面的尺寸分为:

双面尺寸: 两个面受相对磨损影响的尺寸(图 24.6-6, L, L_1, L_2)。

单面尺寸: 只受单面磨损影响的尺寸(图 24.6-6, d, d_1);

同侧长度尺寸: 两个表面受相同磨损影响的尺寸(图 24.6-6, 尺寸 T_L);

同侧高度尺寸: 两个表面受相同磨损影响的尺寸(图 24.6-6, 尺寸 T_h);

中心距离尺寸: 凸缘中心距离尺寸(图 24.6-6, 尺寸 A)。

② 通过分模面的尺寸分为:

垂直尺寸: 与成型模具打击方向相平行的尺寸(图 24.6-6, 尺寸 h);

倾斜尺寸: 与成型模具打击方向倾斜的尺寸(图 24.6-6, 尺寸 b)。

2) 精度等级及用途

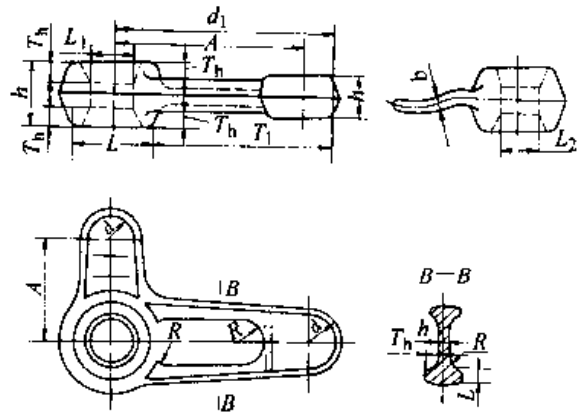


图 24.6-6 锻件尺寸分类示意图

1 级精度 用于模锻件冷精压表面间的尺寸公差;

2 级精度 用于模锻件热精压表面间的尺寸公差;

3 级精度 用于精锻模锻件的尺寸公差;

4 级精度 用于一般模锻件的尺寸公差;

5 级精度 用于模锻件加工表面间(包括加工余量在内)的尺寸公差。

模锻件各种尺寸公差列于表 24.6-4~24.6-13, 以供参考。

有关文献指出, 在设计水压机模锻用锻件图时, 根据锻件的材料、轮廓尺寸、精度和所要求

表 24.6-4 双面尺寸公差 (mm)

公称尺寸		精度等级		钢和钛				铝、镁和铜					
		3	4	5	3	4	5	3	4	5			
大于	至	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
	50	0.8	0.4	1.0	0.5	1.2	0.7	0.6	0.4	0.8	0.4	0.9	0.5
50	80	0.9	0.5	1.2	0.6	1.5	0.8	0.7	0.4	0.9	0.5	1.2	0.6
80	120	1.1	0.6	1.4	0.8	1.7	1.1	0.9	0.5	1.1	0.6	1.4	0.8
120	180	1.3	0.8	1.6	1.0	2.0	1.4	1.0	0.6	1.4	0.7	1.7	1.1
180	250	1.5	1.0	1.8	1.2	2.5	1.6	1.3	0.7	1.7	1.0	2.0	1.2
250	315			2.2	1.4	3.0	1.8	1.5	0.8	2.0	1.2	2.5	1.4
315	400			2.5	1.6	3.2	2.0	1.7	1.0	2.2	1.2	2.7	1.6
400	500			2.8	1.8	3.5	2.5	1.9	1.2	2.5	1.6	3.0	2.0
500	630			3.2	2.0	4.0	2.8			2.7	1.8	3.5	2.2
630	800			3.5	2.4	4.5	3.0			3.0	2.0	4.0	2.6
800	1 000			4.0	2.6	5.0	3.5			3.5	2.2	4.5	2.8
1 000	1 250					6.0	4.0			4.0	2.6	5.0	3.0
1 250	1 600					7.0	4.0			4.5	2.8	5.5	3.5
1 600	2 000					8.0	4.5			5.0	3.0	6.0	4.0
2 000	2 500					8.5	5.0					6.5	4.5
2 500	3 150											8.0	5.5
3 150	4 000											9.0	6.0
4 000	5 000											10.0	7.0
5 000	6 300											12.0	7.0
6 300	8 000											13.0	8.5

注：1. 按图 24.6-6，L 尺寸公差取表 24.6-4 值；L₁ 尺寸公差取表 24.6-4 值，但符号相反；L₂ 取表 24.6-4 值二倍，但符号相反。

2. 同侧长度尺寸公差仅在需要时注出，其公差为表 24.6-4 双面尺寸公差值之半，但符号相反。

表 24.6-5 单面尺寸公差 (mm)

材料	公称尺寸		25	40	60	90	125	157.5	200	250	315	400	
	大于	至	25	40	60	90	125	157.5	200	250	315	400	
钢和钛	3	+	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10	1.20	1.30			
		-	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.60	0.70			
	4	+	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10	1.30	1.40	1.50	1.60	1.80	2.00
		-	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.20	1.30
	5	+	0.80	1.00	1.10	1.20	1.40	1.50	1.60	1.80	2.00	2.30	2.50
		-	0.35	0.40	0.55	0.70	0.80	0.90	1.00	1.25	1.40	1.50	1.75
铝、镁和铜	3	+	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40
		-	0.20	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.50	0.60	0.60	0.70	0.80
	4	+	0.60	0.60	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.80
		-	0.20	0.25	0.30	0.35	0.50	0.60	0.60	0.80	0.90	1.00	1.10
	5	+	0.60	0.80	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.80	2.00	2.30
		-	0.25	0.30	0.40	0.55	0.60	0.70	0.80	1.00	1.10	1.30	1.40

表 24.6-6 中心距离尺寸公差 (mm)

材料	公称尺寸	大于	50	80	120	180	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	
		至	50	80	120	180	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500
钢和钛	+		0.20	0.25	0.35	0.40	0.60	0.80	0.90	1.10	1.30	1.60	1.90	2.30	2.60	3.20	4.00
	-		0.20	0.25	0.35	0.40	0.60	0.80	0.90	1.10	1.30	1.60	1.90	2.30	2.60	3.20	4.00
铝、镁和铜	+		0.15	0.20	0.30	0.35	0.50	0.60	0.80	0.90	1.10	1.30	1.60	1.90	2.10	2.50	3.30
	-		0.15	0.20	0.30	0.35	0.50	0.60	0.80	0.90	1.10	1.30	1.60	1.90	2.10	2.50	3.30

表 24.6-7 同侧高度尺寸公差 (mm)

材料	精度等级	投影面积/cm ²	大于	25	50	100	200	400	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	3 150	4 000
			至	25	50	100	200	400	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	3 150	4 000
钢和钛	3	+	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35									
	-	0.25	0.35	0.40	0.50	0.60										
铝、镁和铜	3	+	0.10	0.15	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35							
	-	0.15	0.20	0.30	0.35	0.45	0.55	0.60								
	4	+	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.50	0.50	0.50	0.50	0.60	0.60	0.70	0.70
	-	0.25	0.35	0.45	0.55	0.70	0.70	0.80	0.80	0.90	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	

注：同侧高度尺寸公差仅在需要时注出。

表 24.6-8 模锻件垂直尺寸公差 (mm)

材料		钢和钛						铝镁和铜					
投影面积/cm ²	精度等级	3		4		5		3		4		5	
	大于	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
	至												
	25	0.5	0.3	0.6	0.4	1.0	0.5	0.3	0.2	0.5	0.3	0.7	0.4
25	50	0.7	0.4	0.9	0.5	1.4	0.7	0.4	0.3	0.7	0.4	1.0	0.6
50	100	0.8	0.5	1.1	0.6	1.8	0.8	0.6	0.3	0.9	0.5	1.2	0.7
100	200	1.0	0.6	1.3	0.7	2.4	1.1	0.7	0.4	1.1	0.6	1.6	0.8
200	400	1.2	0.7	1.8	0.9	3.0	1.2	0.9	0.5	1.5	0.7	2.0	1.0
400	800			2.2	1.1	3.5	1.8	1.1	0.6	1.8	0.9	2.5	1.2
800	1 000			2.5	1.3	4.0	2.0	1.2	0.7	2.0	1.0	2.8	1.4
1 000	1 250			2.7	1.3	4.2	2.0			2.2	1.1	3.0	1.5
1 250	1 600			3.0	1.4	4.5	2.0			2.4	1.1	3.5	1.5
1 600	2 000			3.2	1.6	5.0	2.5			2.6	1.2	3.5	1.7
2 000	2 500			4.2	2.0	5.5	2.5			2.8	1.3	3.8	1.8
2 500	3 150					6.0	2.5			3.0	1.4	4.0	2.0
3 150	4 000					6.5	3.0			3.3	1.5	4.5	2.0
4 000	5 000					7.5	3.0			3.5	1.5	5.0	2.0
5 000										5.0	2.0	7.0	3.0

注：倾斜尺寸公差可按表 24.6-8 取垂直尺寸公差值，也可按表 24.6-8 垂直尺寸公差值以几何关系计算得出。

表 24.6-9 无坐标工艺半径 (过渡半径、连接半径) 公差 (mm)

公差	半径公称尺寸																				
	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	16	20	25	30	32	35	40	45	50
+	1	1	1.5	1.5	2	2.5	3	3	4	5	5	5	5	6	7	7	7	7	8	8	8
-	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1.5	1.5	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5

表 24.6-10 分模面上错移公差 (mm)

投影面积/cm ²			大于		25	50	100	200	400	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	3 150	4 000	5 000
			至	25	50	100	200	400	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	3 150	4 000	5 000	
材 料	钢和钛	精度等级	3、4	公 差	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.8	1.0	1.0	1.2	1.2				
			5		0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.4	1.6	1.6	1.8	2.0	2.5	2.5
	铝、镁、铜	3、4	0.3		0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	1.0	1.2	1.2	1.5	1.5	1.5	2.0
		5	0.5		0.6	0.6	0.8	0.8	1.0	1.2	1.2	1.4	1.4	1.6	1.8	2.0	2.0	2.5

注：冲孔时孔的偏移公差按表 24.6-10 取二倍错移公差值。

表 24.6-11 模锻斜度公差 (mm)

精度等级	模锻斜度/°	公差								
		1	2	3	5	7	10	12	15	
3、4	+	0°30'	0°45'	1°00'	1°00'	1°30'	1°30'	2°00'	3°00'	
	-	0°30'	0°45'	1°00'	1°00'	1°00'	1°00'	1°30'	2°00'	
5	+	1°00'	1°00'	1°30'	1°30'	1°30'	2°00'	3°00'	3°00'	
	-	1°00'	1°00'	1°30'	1°30'	1°30'	1°30'	2°00'	3°00'	
顶出器		有					无			

表 24.6-12 残余毛边公差 (mm)

精度等级	模锻件最大边长		50	80	120	180	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	2 000	
	大于	至	50	80	120	180	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	2 000	
3、4			0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	3.0	4	5
5			1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.3	2.7	3.0	3.0	3.5	4	4.5	5	6

注：在带锯上切边时的残余毛边值，模锻件最大边长在 1 000 mm 以下时，残余毛边应小于 4 mm，模锻件最大边长超过 1 000 mm 时，残余毛边应小于 8 mm，在转角部位上残余毛边应小于 20 mm。

表 24.6-13 翘曲公差 (mm)

模锻件最大边长	材料	钢 和 钛			铝、镁、铜		
		3	4	5	3	4	5
大于	至	公 差					
	50	0.30	0.30	0.40	0.20	0.30	0.40
50	80	0.30	0.40	0.50	0.30	0.40	0.50
80	120	0.40	0.50	0.70	0.30	0.50	0.60

续表 24.6-13

材料 精度等级		钢 和 钛			铝、镁、铜		
		3	4	5	3	4	5
模锻件最大边长		公 差					
大 于	至						
120	180	0.40	0.50	0.80	0.40	0.60	0.80
180	250	0.50	0.70	1.00	0.50	0.70	0.90
250	315		0.80	1.20	0.50	0.80	1.00
315	400		0.90	1.40	0.60	0.90	1.20
400	500		1.10	1.50	0.60	1.00	1.30
500	630		1.20	1.70		1.10	1.40
630	800		1.40	2.00		1.20	1.60
800	1 000		1.60	2.30		1.30	1.80
1 000	1 250		1.80	2.50		1.40	2.00
1 250	1 600		2.00	2.90		1.60	2.20
1 600	2 000		2.30	3.30		1.80	2.50
2 000	2 500		2.50	3.70		2.00	2.70
2 500	3 150					2.20	3.00
3 150	4 000					2.50	3.30
4 000	5 000					2.80	3.70
5 000	6 300					3.00	4.50
6 300	8 000					4.50	6.50
8 000							

的粗糙度而规定加工余量。为了评定模锻件的精度，确定了6个等级：按1~4精度等级模锻时，锻后需要冷热平面校准锻件，按5和6精度等级模锻时，不需要校准锻件。在水压机上，一般按4~5精度等级模锻铝合金和镁合金锻件。

对尺寸由500到8000mm的锻件规定了加工余量。铝合金和镁合金锻件的加工余量范围由2.5到12mm，而钛合金的由2.75~13mm。第一种加工余量值属于4级表面粗糙度，而第二种加工余量值属于8级表面粗糙度。公差是根据锻件平面面积而确定。当锻件面积为800到25000cm²时，铝合金和镁合金锻件垂直尺寸的极限偏差为-0.7~+1.4mm到-2.6~+5.3mm（4级精度）和-0.8~+2.1mm到-3.7~+7.8mm（5级精度）。取模锻斜度为3°~15°，而锻件截面的圆角半径为2.5~40mm。

2.3 结构要素及其最佳比值的确定

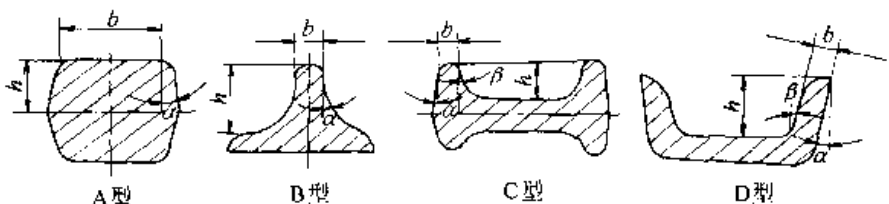
在设计模锻件时，应力求截面之间过渡平滑，相距不远的各截面面积差最小。必须避免设计带有长而薄的突出部分的零件，因这样会导致金属消耗增加、工具快速磨损以及毛坯精度降低。在绘制锻件图时，除了必须选定分模面、确定余量和公差外，还必须确定结构要素及其之最佳比。

(1) 模锻斜度

模锻斜度大小与模膛深度、锻件轮廓形状和材料、设备类型、模具特点（即是否有顶出器等）有关。

水压机上模锻件的模锻斜度，对于一般锻件可按表24.6-14选取，对有精度要求的模锻件，可按表24.6-15选用。对表24.6-15中带有顶出器的模锻件，所选取模锻斜度应使顶出时所产生的力不引起锻件的翘曲变形。从模膛中顶出锻件


表 24.6-14 各种合金锻件的模锻斜度值



$\frac{h}{b}$	钢及合金钢		钛合金		铝合金		镁合金	
	$\alpha/(\circ)$	$\beta/(\circ)$	$\alpha/(\circ)$	$\beta/(\circ)$	$\alpha/(\circ)$	$\beta/(\circ)$	$\alpha/(\circ)$	$\beta/(\circ)$
≤ 1.5	(5)7	7	7	7	(5)7	7	7	7
$> 1.5-3$	7	7	7	10	7	7	7	7
$> 3-5$	7	7	10	12	7	7	7	10
> 5	10	10	12	15	7	10	10	12

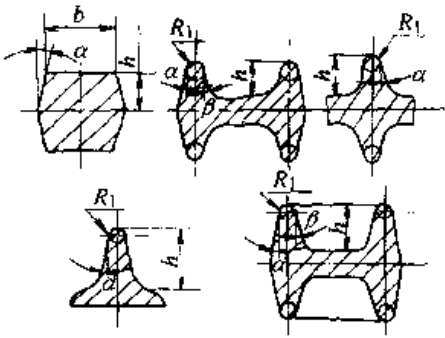
- 注：1. 对于闭式截面 D 型 α 、 β 取 5° 或 7° 。
 2. 括号内数值不经常采用。
 3. 各种合金在有顶出器模具内锻造时，模锻斜度为 1° 或 3° 。

表 24.6-15 小斜度模锻件斜度值



$\frac{h}{2R_1}$ 或 $\frac{h}{b}$	肋厚 $2R_1/\text{mm}$		$\frac{h}{2R_1}$	肋厚 $2R_1/\text{mm}$	
	< 5	> 5		< 5	> 5
	$\alpha = \beta/(\circ)$				
< 2.5	5	3	< 2.5	5	3
$2.5-4$	5	5	$2.5-4$	6	5
$4-5.5$	5	5	$4-5.5$	7	7
> 5.5	7	7	> 5.5	7	7

III型模锻斜度值, $\alpha = \beta = 3^\circ$



$\frac{h}{2R_1}$	$\alpha/(\circ)$	$\beta/(\circ)$	$\frac{h}{b}$ 或 $\frac{h}{2R_1}$	$\alpha/(\circ)$	$\beta/(\circ)$
< 2.5	5	5	< 2.5	1	1.5
$2.5-4$	5	7	$2.5-5$	2	3
$4-5.5$	7	7	> 5	3	5
> 5.5	7	10			

注：上述数值也适用于钛合金。

所需要的力 F 通常可按式计算：

$$F = \Sigma A \cdot \sigma (\mu - \tan\beta)$$

- 式中 A —— 模锻件内壁的表面积；
- σ —— 冷收缩时，锻件与模具凸缘之间接触表面的应力；
- β —— 内模锻斜度；
- μ —— 在顶出温度时，变形金属与模壁的摩擦系数（当 $F=0$ 时， $\mu = \tan\beta$ ）。

3°模锻斜度在铝合金中广泛应用，但钢件用得极少。

为减少由于模锻斜度引起的锻件机械加工余量可从如下几方面着手：对既定模锻工艺，将模锻件斜度减少到最小必须值；充分利用制件的固有斜度或自然斜度；倾斜模腔以达到利用固有斜度；采用顶出器时，设计无斜度模锻件。

例如，图 24.6-7 中 A-A 剖面所示，零件斜度向外倾斜 8°，可利用它做为肋顶分模的模锻斜度，下模仅用 3°模锻斜度，这样可使模锻件仅留下很少的加工余量。

又如图 24.6-8 所示，圆周肋条肋深 38，模锻斜度 1°~1.5°，工艺上采用顶料杆顶出锻件。模锻件设有顶出垫，用以防止顶坏锻件。

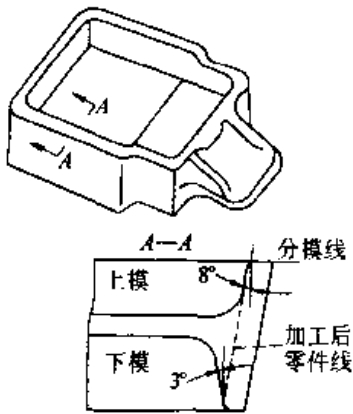


图 24.6-7 利用零件自身斜度作模锻斜度

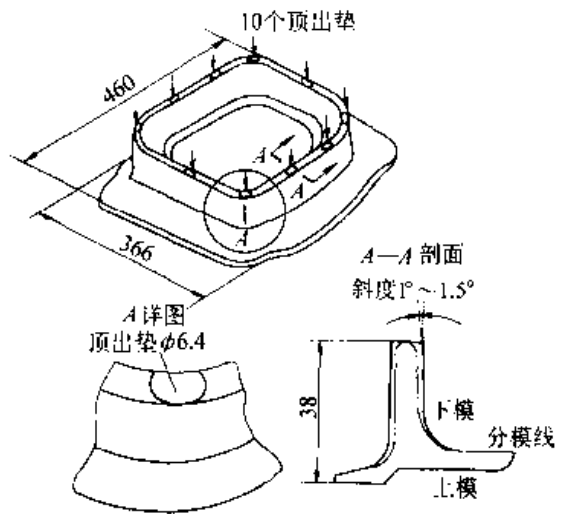


图 24.6-8 7079 合金飞机窗框顶杆分布情况

(2) 肋和圆角半径

锻件的肋高、肋宽、肋间距及圆角半径、过渡半径等，对锻件质量、模具寿命和模锻生产率有很大影响。因此，合理地选择上述参数，具有十分重要的意义。

1) 肋的高宽比 h/b 和肋间距离 a 肋的充填条件依肋所在的断面形状的不同而不同，图 24.6-9 为模锻各种形状的断面时肋的充填示意图。

在充填开式肋时，位于肋的两边的多余金属急剧地流入肋中（图 24.6-9a）。

在充填闭式的肋时，肋的充填条件取决于分模线的位置。如果分模线位于底板（图 24.6-9b），则充填条件与工字形断面一样。如果分模线位于肋的上端（图 24.6-9c），则肋的充填条件变得比开式断面更为有利。在这种情况下，多余金属不是垂直于肋流入飞边槽，所以在腹板向肋过渡的区域能保持很高的机械性能，并能预防在该区产生各种缺陷。

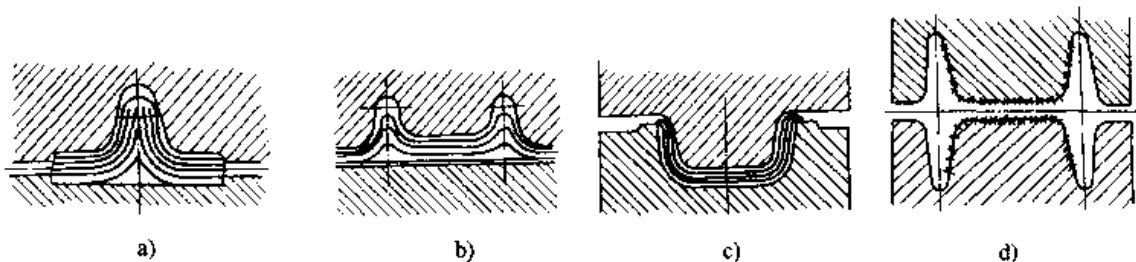


图 24.6-9 模锻时充填带肋模腔示意图
(图中带毛刺边缘处表示磨损严重之处)

肋的宽度依肋所在的断面而定。在开式断面中，肋的宽度只取决于肋高。在闭式断面中，肋的宽度取决于肋高和肋间距，因为肋间距决定了流向肋的金属量。

肋的工艺性主要取决于它的高度和宽度。图 24.6-10 所示为根据实际锻件的肋的最小宽度和最大高度之比绘制的高宽比关系曲线。图 24.6-10a 所示的斜实线为推荐采用的普通锻件的肋的最大高宽比 ($h:b=6:1$)，虚线表示肋的高宽比上限为 $h:b=8:1$ 和下限为 $h:b=4:1$ 。可锻性较好的材料如铝合金等，在 $h:b=6:1\sim 8:1$ 范围内可以锻造。图 24.6-10b 所示的数据适用于中小型铝合金精密锻件，建议采用最大高宽比为 15:1，常用范围是 8:1~15:1。

表 24.6-16 为生产的精密锻件的肋的尺寸数值。

两肋之间的距离是一个很重要的构造要素。最小肋间距 a_{min} ，主要取决于肋高 h 。肋越高，肋间距应越大。当两肋很高而肋间距又不足时(如图 24.6-9d)，由腹板而形成的模具凸缘部分将很快磨损。

两肋之间的最大距离 a_{max} ，主要取决于连接两肋的腹板厚度 S 。腹板愈厚，肋间距就可以越大。

a_{max} 和 a_{min} 的极限值如表 24.6-17 所列。

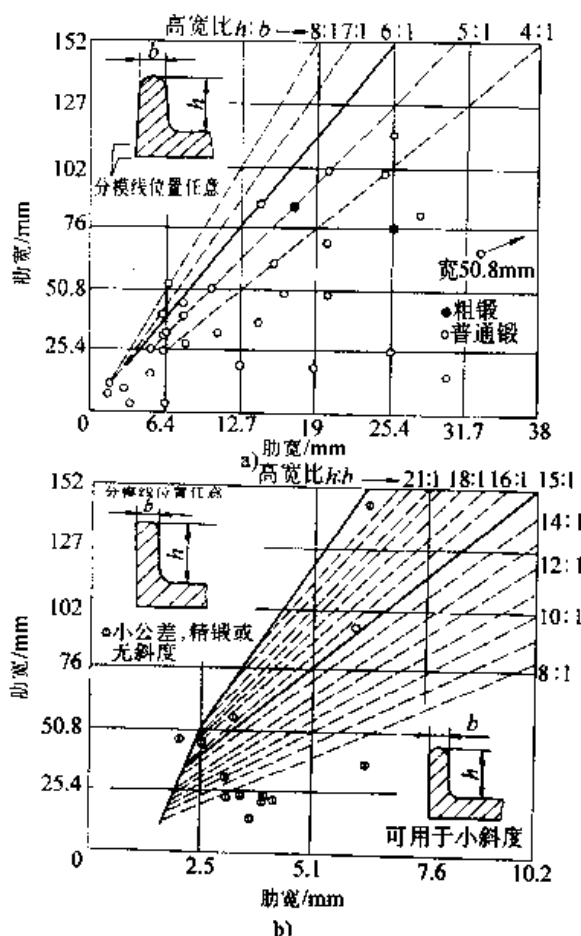


图 24.6-10 锻件的肋的高度、宽度和高宽比的线图
a) 适用于铝合金、钢、钛合金和耐热合金的普通锻件
b) 适用于投影面积小于 0.26 m² 的铝合金精密锻件

表 24.6-16 在锤上和压力机上生产的精密锻件的肋的设计参数

最小肋宽 b/mm	肋的最大高宽比 $h:b$	锻件投影面积/ m^2	锻件重量/ kg
铝 合 金 锻 件			
2.0	23:1	0.13	4.6
2.5	17:1	0.006 7	0.5
3.0	10:1	0.17	1.1
3.0	7:1	0.005 2	0.1
3.2	17:1		0.9
3.3	6.5:1	0.002 3	0.1
3.6	4:1	0.006 3	0.1
3.8	6:1	0.304	4.4
3.8	5.5:1	0.025 8	1.6
4.1	5.25:1	0.024	0.4
4.6	6:1	0.099	2.6
合 金 钢 锻 件			
25.4	3:1	0.090 3	15.9

表 24.6-17 肋间距 a (mm)

肋高 h	合金			
	铝合金		镁合金	
			MB2	MB15
	a_{min}	a_{max}	a_{min}	a_{max}
< 5			10	
$> 5 \sim 10$	10	35S	12	30S
$> 10 \sim 16$	15		20	
$> 16 \sim 25$	25	30S	30	25S
$> 25 \sim 35.5$	35		50	
$> 35.5 \sim 50$	50		70	
$> 50 \sim 71$	65	25S	100	20S
$> 71 \sim 100$	80		—	

当两肋之间的距离是变化的（即两肋不平行而成一定的角度），而其高度相等时（如图 24.6-11a），则表 24.6-17 中的 a_{max} 和 a_{min} 可以相应地减小和增大 20%。

在腹板上有孔且孔的面积为腹板面积的 50% 时，则两肋之间的距离将不受限制。

肋的长度一般超过其高度，并且大于其宽度的 3 倍。凸台的长度一般小于其宽度的 3 倍，它可能是圆形的、矩形的或其他不规则形状。

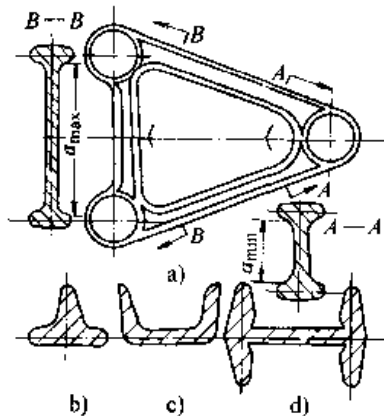


图 24.6-11 具有变化肋间距的断面

2) 圆角半径 连接半径是指肋与腹板之间的圆弧半径，它具有很大的工艺意义。对于开式断面，当肋根的连接半径偏小时，型槽容易压塌（图 24.6-11b）。压塌部分不仅削弱了肋的强度，而且使金属流入肋内的条件变坏。对于分模线位于肋顶的槽型断面，当连接半径偏小时，在肋根处也会使型槽产生类似的压塌（图 24.6-11c）。对于工字形一类的闭式断面，当连接半径偏小

时，除了使肋的充填困难之外，还能导致产生严重的折叠和穿流（如图 24.6-11d）。这是由于金属充满了肋的型腔之后，多余金属便通过肋与腹板的交角处而直接流入飞边槽的结果。

无论何种形状的断面，连接半径处都是模膛磨损最厉害的地方，因为金属在充填模膛时沿该处流动最强烈。因而连接半径不足，会加快模膛磨损。

连接半径的大小取决于所模锻的材料工艺性能和充填肋时流过连接半径处的金属量。当其他条件相同时，对于开式断面，连接半径之值取决于肋高；而对于闭式断面，则取决于肋高和肋间距。

圆角半径对于成形过程没有决定性的意义，然而在某种程度上对锻件质量和模具寿命也有一些影响。首先，过小的圆角半径容易使模膛内角产生热处理裂纹和疲劳裂纹。其次，肋顶的圆角半径过小，金属很难充满，这不仅需要增大模压力，甚至需要增加模锻次数。

内圆角半径即连接半径对产生折叠的影响，可借助图 24.6-12 所示开式模锻来说明。此锻件有三个肋，如图 24.6-12a~d 所示，采用较短的坯料时，它只盖住了中心肋的模腔，模锻时金属产生很大的横向流动。由图上右侧可见，若周边肋底部具有较大的内圆角半径 R_1 ，则金属能平滑地沿着模膛流动，不会形成折叠；而左侧所示的周边肋，因其底部内圆角半径较小，使横向流动的金属越过内圆角，在肋的内壁附近形成一个

空穴，当金属由顶部返流时即形成折叠。中心肋的底圆角虽然较小，但由于毛坯左边和右边部分金属同时流入模膛，能良好充满成形。图 24.6-12e~f 所示是采用带肋的预锻毛坯，此时金属主要是垂流流动充满模膛，所以内圆角半径 R_f 可以大大减小。

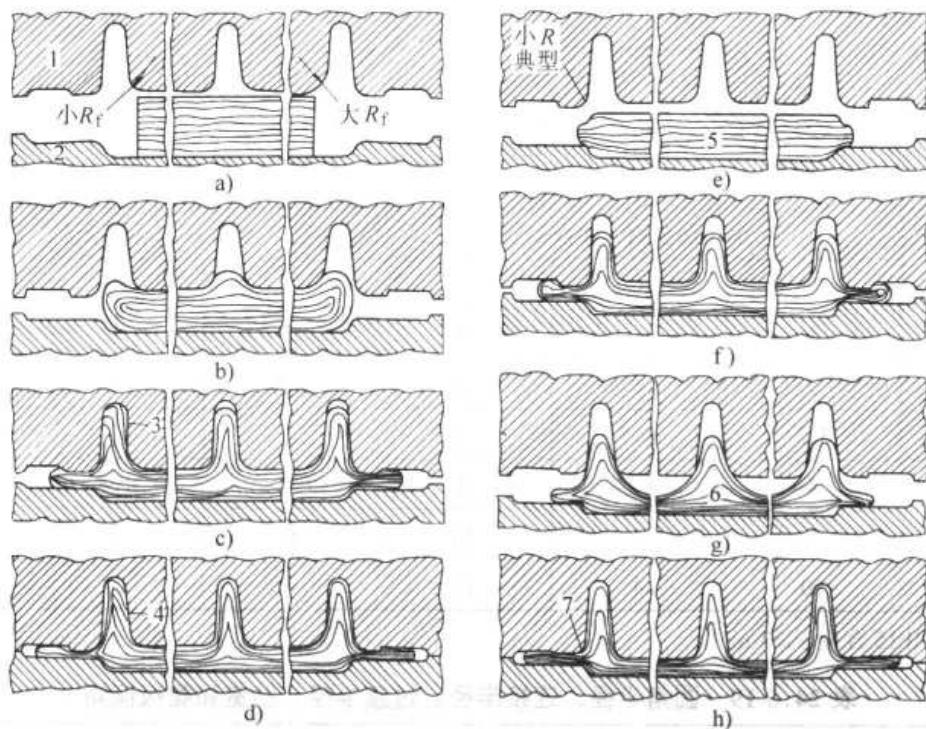


图 24.6-12 内圆角半径对产生折叠的影响的肋截面图

1—上模 2—下模 3—空穴 4—折叠 5—坯料 6—预锻毛坯 7—预锻毛坯轮廓线

外圆角半径对金属充满模膛的影响，可由图 24.6-13 所示金属充填圆顶和平顶肋时的流动情况来说明。如图 24.6-13a 所示，由于变形金属受模壁的摩擦和冷却的影响，使金属的上升面呈半圆形。当模膛顶部为圆形时，它与金属上升面的形状接近，因此模膛容易充满。图 24.6-13b 所示为具有较大圆角半径的平顶肋的情况，由于变形金属的上升面与模膛顶部的形状不相似，金属将首先接触模膛顶部中心，如要充满锻件的外圆角则需要增加模锻压力。从图 24.6-13d 所示的模锻受力情况看出，锻造时模膛的圆角处会产生应力集中，锻件具有较大的外圆角半径将减小模膛圆角处的应力集中，而较小的圆角半径将会使应力集中增大。因此，模锻如图 24.6-13c 所示小圆角的平顶肋，不仅要求较大的模锻力，而且模具也会较快地损坏。

圆角半径的大小取决于模膛深度。过渡半径之值取决于模锻件被连接部分的高度。

圆角半径 R_f 也可以使所有的肋很好充满而不产生折叠。图 24.6-12g~h 所示是采用带肋的预锻毛坯，此时金属主要是垂流流动充满模膛，所以内圆角半径 R_f 可以大大减小。

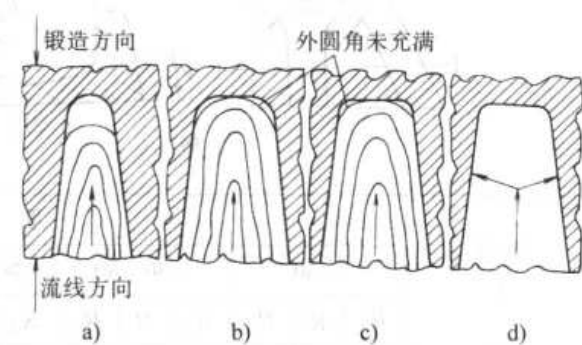


图 24.6-13 肋的外圆角半径对金属充满模膛的影响

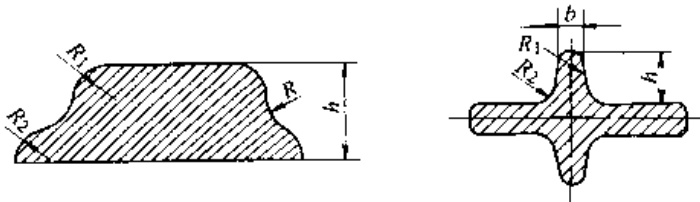
a) 圆顶肋 b) 具有较大圆角半径的平顶肋
c) 具有较小圆角半径的平顶肋 d) 模膛受力示意图

肋的宽度、圆角半径、连接半径、过渡半径及腹板倾角分别列于表 24.6-18、表 24.6-19、表 24.6-20、表 24.6-21 和表 24.6-22 中。前两表适用于普通模锻件，后三表适用于比较精确的模锻件。必须指出，如果在闭式断面上做有减轻孔，则其构造要素（肋宽、肋与腹板的连接半径）的

尺寸, 可以比无减轻孔的类似断面的构造要素的尺寸小些, 因为利用减轻孔来容纳多余金属, 减少了经过肋而排除到飞边去的金属量。

存在有减轻孔的腹板, 则腹板上的肋的宽度、肋与腹板的连接半径, 应按表 24.6-21 缩小一格肋间距来选取。

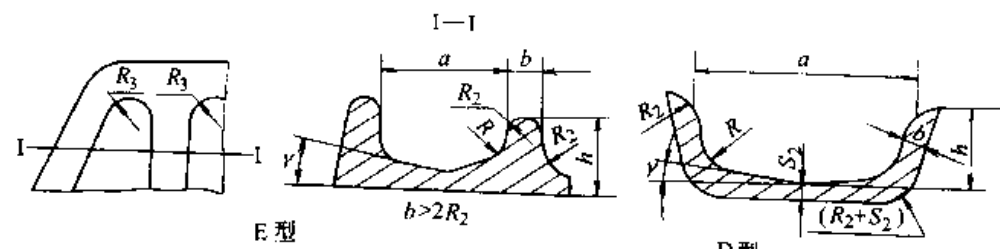
表 24.6-18 肋宽、圆角半径和连接半径 (mm)



肋高 h	钢及合金钢、钛合金			铝、镁合金		
	b	R_1	R	b	R_1	R
≤ 6	3	1	3	2	1	3
$>6 \sim 10$	3	1	4	2.5	1	4
$>10 \sim 18$	3.5	1.5	5	3	1	8
$>18 \sim 30$	4	1.5	8	4	1.5	10
$>30 \sim 50$	7	2	10	6	2	16
>50	10	4	16	8	3	20

注: 对于 MB15 合金 $b \geq 3$ mm。

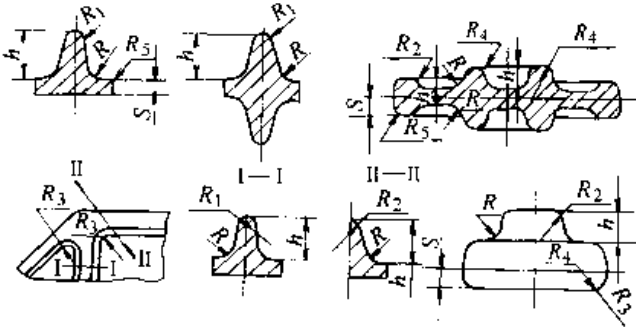
表 24.6-19 圆角半径、连接半径、过渡半径、肋宽和腹板倾角 (mm)



肋高 h	肋 间 距 离 a																	
	≤ 30			$>30 \sim 80$			$>80 \sim 120$			$>120 \sim 180$			$>180 \sim 250$			>250		
	R_2	R	R_3	R_2	R	R_3	R_2	R	R_3	R_2	R	R_3	R_2	R	R_3	R_2	R	R_3
≤ 6	1.5	4	5	2	8	10	2	12	16									
$>6 \sim 10$	2	5	8	2	8	16	2.5	16	20	2.5	16	20	3	20	25	5	25	32
$>10 \sim 18$	2.5	8	10	2.5	12	16	2.5	16	20	3	20	25	4	25	32	6	32	32
$>18 \sim 30$	2.5	12	16	3	16	20	3	20	25	3	20	25	4	25	32	6	32	40
$>30 \sim 50$				4	20	25	4	25	25	4	25	25	5	32	40	8	40	40
>50							5	25	32	5	32	32	6	40	40	8	40	50

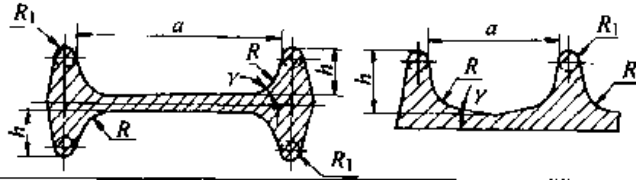
- 注: 1. D型肋宽度 $b = S_2$, E型肋宽度 $b \geq 2R_2$ 。
 2. 肋条间最小距离不应小于肋条高度数值, 即 $a \geq h$ 。
 3. 肋间距离大于 120 mm 时, 腹板倾斜角 $\gamma = 1^\circ$ 。

表 24.6-20 铝合金和镁合金模锻件的连接半径 R_1 、过渡半径 R_3 、圆角 R_1 、 R_2 、 R_4 和 R_5 以及肋宽 $2R_1$ (mm)



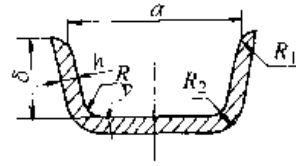
肋高或模腔深度 h	R	合金			R_2	R_3	R_4	腹板厚度或模腔深度 S	R_5
		铝合金 镁合金 MB2MB15	镁合金						
			MB5	MB7					
≤ 5	3	1.5	2.0	3.5	2.0	5.0	3	5	2.0
$>5 \sim 10$	4	1.5	2.0	3.5	2.0	5.0	3	5~10	2.0
$>10 \sim 16$	5	2.0	2.0	3.5	3	8	4	10~16	2.5
$>16 \sim 25$	8	2.5	2.5	3.5	4	10	5	16~25	3.0
$>25 \sim 35.5$	10	3.0	3.0	4.0	5	12.5	6	25~35.5	4.0
$>35.5 \sim 50$	12.5	4.0	4.0	5.0	6	15	8	35.5~50	5.0
$>50 \sim 71$	15	5.5	6.0	6.0	8	20	10	50~71	7.0
$>71 \sim 100$	20	7.0	—	—	10	25	12	71~100	10.0

表 24.6-21 连接半径 R 、圆角半径 R_1 、肋宽 $2R_1$ 和腹板倾斜角 γ (mm)



肋高 h	肋间距 a																	
	<40			40~80			80~125			125~180			180~250			>250		
	R	R_1	γ	R	R_1	γ	R	R_1	γ	R	R_1	γ	R	R_1	γ	R	R_1	γ
<5	4	1.5	—	8	1.5	2°	10	2	2°	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5~10	5	1.5	—	8	2	2°	12.5	2	2°	12.5	2.5	1°	—	—	—	—	—	—
10~18	6	2	—	10	2.5	2°	12.5	2.5	2°	15	3	1°	15	9	1°30'	—	—	—
18~25	8	2.5	—	12.5	3	2°	15	3	2°	15	3.5	1°30'	15	4	1°30'	—	—	—
25~35.5	10	3	—	15	3.5	2°	15	3.5	2°	15	4	1°30'	20	4.5	1°30'	20	5	1°30'
35.5~50	12	4	—	15	4	2°	15	4	2°	20	4	1°30'	20	5	1°30'	25	6	1°30'
50~71	—	—	—	20	4.5	2°	20	5	2°	20	5	1°30'	25	6	1°30'	30	7	1°30'
71~100	—	—	—	25	5	2°	25	6	2°	25	6	1°30'	30	7	1°30'	30	8	1°30'

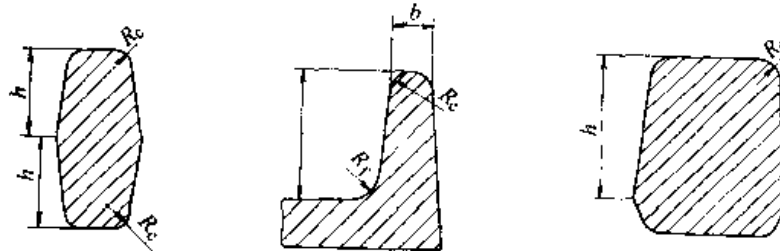
表 24.6-22 连接半径 R 、圆角半径 R_1 和 R_2 、壁厚 b 和腹板倾角 γ (mm)



肋高 h	肋 间 距 a												
	小于 40				40~80			80~125			>125		
	R_1	R	b	γ	R	b	γ	R	b	γ	R	b	γ
<10	2	5	2		5	3		5	4	2°	5	5	1°
10~16	2	6	2.5		6	3		6	4	2°	6	6	1°
16~25	2.5	8	3.5		8	4.5		8	5.5	2°	8	7	1°30'
25~35.5	3.5	10	4.0		10	6		10	7	2°	10	8	1°30'
35.5~50	5	12.5	6		12.5	7		12.5	8	2°	12.5	9	1°30'
50~71	6	—	—		15	8		15	9	2°	15	10	1°30'
71~100	7	—	—		—	—		20	10	2°	20	12	1°30'
100~140	8	—	—		—	—		—	—	—	25	14	1°30'

表 24.6-23 为一些实际生产的精密模锻件的 圆角半径值。

表 24.6-23 一些实际生产的精密模锻件的圆角半径 (mm)



肋					内圆角半径 R_i	比值 R_i/R_c	腹板厚度
肋高 h	外圆角半径 R_c	肋宽 b	高宽比 h/b	模锻斜度 / (°)			
铝合金锻件 (圆顶肋)							
14.2	1.8	3.6	4:1	5	3.0	1.7:1	3.0
21.3	3.0	3.0	7:1	0	6.4	2:1	3.1
21.3	2	4.1	5.25:1	0	3.0	1.5:1	4.1
23.6	1.5	3.3	7:1	0	2.2	1.5:1	5.1
28.4	1.3	2.5	11:1	0、1	6.4	5:1	2
29.2	2.3	4.8	6:1	3	3.3	1.4:1	4.8
31	2.3	2.5	12:1	0	3.3	1.4:1	无腹板
32.5	1.5	3.0	10:1	1	6.4	4:1	3.0
34.2	3.3	6.4	5.5:1	0、1.5	12.7	3.8:1	6.4
38.1	3.0	6.4	6:1	0	12.7	4.2:1	5.3
54	2.4	3.2	17:1	0	3.2	1.4:1	2.4
74.1	1.5	3.2	23:1	3	6.4	4:1	2

续表 24.6-23

肋					内圆角半径 R_f	比值 R_f/R_c	腹板厚度
肋高 h	外圆角半径 R_c	肋宽 b	高宽比 h/b	模锻斜度 / (°)			
铝合金锻件 (平顶肋)							
22.8	1.5	12.7	1.8:1	0	6.4	4.2:1	2.5
23.4	1.5	3.8	6:1	0	6.4	4.2:1	2
钢 锻 件							
76.2	6.4	25.4	3:1	4	12.7	2:1	12.7

图 24.6-14 所示曲线, 是根据铅和钢锻件的肋高与外圆角半径及内圆角半径的相互关系的统计数据平均值绘制的, 为建议采用的平均最小外圆角半径 (图 24.6-14a) 和有限制腹板平均最小

内圆角半径 (图 24.6-14b)。所谓有限制腹板, 是指锻造时腹板金属的横向流动受到周围的肋或凸台的限制, 如图 24.6-15 所示。无限制腹板的内圆角半径可以略小些。

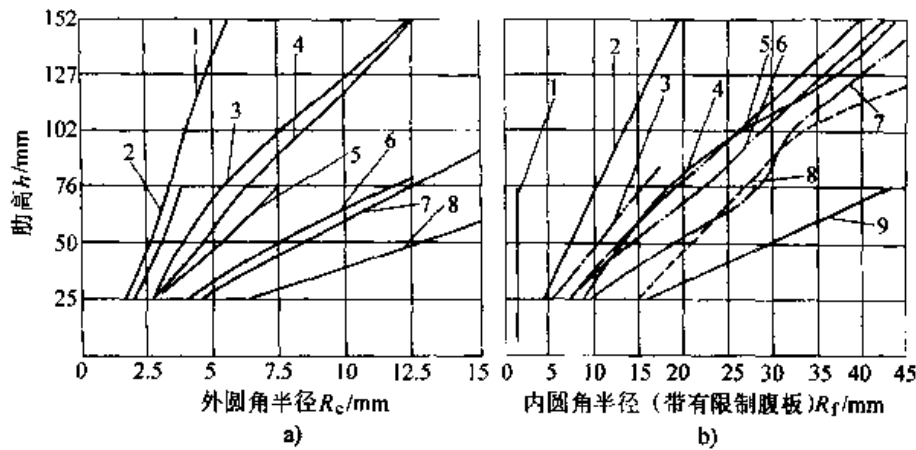


图 24.6-14 建议采用的最小圆角半径和有限腹板的最小内圆角半径

a) 最小外圆角半径

- 1—铝合金小公差锻件 2—镁合金小公差锻件 3—镁合金普通锻件 4—铝合金普通锻件
5—钢普通锻件 6—钛合金普通锻件 7—铝合金粗锻件 8—耐热合金普通锻件

b) 有限制腹板的最小内圆角半径

- 1—铝镁合金无斜度锻件 2—铝合金小公差锻件 3—镁合金小公差锻件 4—铝合金普通锻件
5—钢普通锻件 6—镁合金普通锻件 7—钛合金普通锻件 8—耐热合金普通锻件 9—铝合金粗锻件

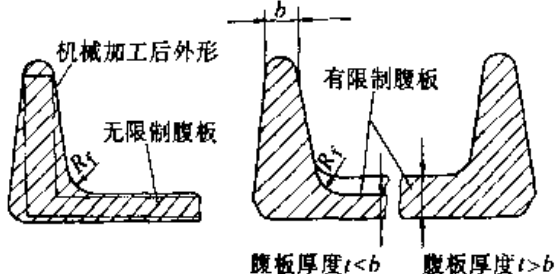


图 24.6-15 无限制腹板和有限制腹板

(3) 腹板厚度

在热模锻难变形材料锻件中最复杂和最重要的问题之一是薄腹板的问题。薄腹板指的不仅是厚度不大长方形截面的平面零件, 而且还指零件截面较薄的部位、盒形或工字形截面的连皮、杯

形件底部等, 其位置均垂直于变形作用力的方向。

一般, 腹板是锻件上的薄板部分, 位于肋、凸台或其他凸起部分之间。腹板通常是平的, 当采用开式模锻时与分模面一致, 也有非平板形的。对于带腹板盘类锻件, 采用闭式模锻时, 分模面选在与凸模相接触的端面上, 在凸凹模之间的间隙中形成较厚而不高的纵向飞边, 以此调节坯料体积的变化, 这种纵向飞边可在车床上加工零件的端面时去掉。

难度大的是与肋、凸台等其他部分相连的大型薄腹板类锻件。如图 24.6-16 所示, 带闭式工字形或槽形截面整板件模腔的充填和肋部成形产

生的单位压力要比开式的模腔内产生的单位压力大得多。为此在充满 b 、 b_1 和 h 尺寸的模腔后，由于金属流动特征的变化，单位压力急剧上升，而当单位压力不足时，则腹板的厚度就大于规定的厚度。在充满肋的情况下将腹板厚度调整到所需要的厚度尺寸时，金属将沿着水平面流出模腔的范围，于是就产生肋的穿流。此外，在模锻带肋的壁板时，沿着肋的轴线产生缩孔和折叠（见图 24.6-17a）。为了避免产生缩孔，可采用带鼓包的预锻模（见图 24.6-17b）进行预成形，这样在终锻模腔里模锻锻件时就能有效而准确地充满模腔（见图 24.6-17c）。

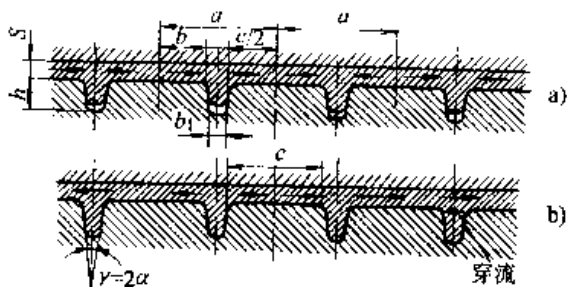


图 24.6-16 模锻时肋的成形特征

a) 肋的充填示意图 b) 模锻刚性肋薄平面锻件时金属流动的特征

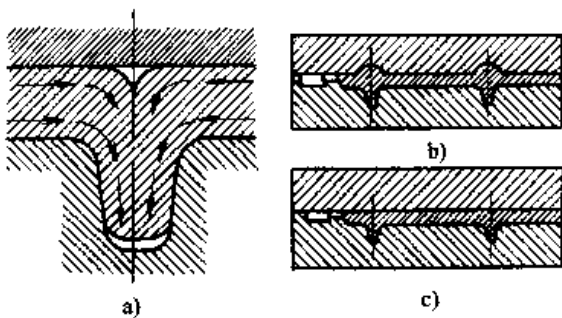


图 24.6-17 带肋壁板形成缩孔和折叠的情况

a) 带肋壁板形成缩孔和折叠的原因
b) 消除措施 c) 终锻模腔结构

腹板面积愈大，厚度尺寸愈小，模压时的变形抗力愈大，而且腹板中心部分的单位变形抗力比周边的大，因而常常因模具弹性变形，在中心部位形成凹陷。因此，锻件腹板的厚度是不能太薄的，其最小厚度（极限腹板厚度）应是模具钢许用压应力条件下的坯料中部变形厚度。

在某些情况下最薄的腹板厚度，与其说决定于工艺要求，不如说是由材料物理性能所确定的。如镁合金的最薄腹板厚度是由抗腐蚀性能确

定的。如薄腹板和模腔表面接触而变冷时，它的屈服强度就会提高。这对轻合金模锻来说不是主要的，因为锻模可以预热到接近于变形温度，并可以进行中间预热的多次模锻。对钢和钛合金来说，就完全不同了，它们的模锻温度很高。钛在此种情况下具有粘结的倾向和迅速冷却的特点，而加热钢的表面上易形成氧化皮。补充预热钛合金会增加 α 层的厚度。因此钛合金和钢锻件的腹板厚度应比铝合金厚 1~3 mm，也就是说轻合金锻件的腹板可以做得薄一些。

因此，腹板厚度的确定，主要取决于材料的物理性能、工艺性能、腹板的宽厚比和腹板的面积。在其他条件相同的情况下，腹板面积越大，则其厚度应越大。

腹板与肋相结合，可以形成开式断面（图 24.6-18a）或闭式断面（图 24.6-18b）。断面形状对腹板厚度有极大的影响，在开式断面中，腹板宽度（图 24.6-18c）因肋的存在而减小，实际宽度 $a_1 = a - a_2$ ，所以， $\frac{a_1}{S}$ 小于同样宽度的平板断面的 $\frac{a}{S}$ 。此外，开式断面上的肋有助于保持腹板的热量，因此改善了模锻件的成形条件。因此，在其他相同的条件下有肋的开式断面的腹板厚度可以比平板断面的腹板厚度小。

在闭式断面中，腹板宽度 a_1 （见图 24.6-18d）也因肋的存在而减小，但其腹板的成形条件要比开式断面复杂得多。因为位于腹板边缘的肋使腹板上的多余金属很难从腹板流到飞边中去（见图 24.6-18e）。因此，在一定程度上可以认为，平板断面与闭式断面的腹板的成形条件是相似的。

闭式断面腹板上的减轻孔，可用作多余金属的补充容纳区（见图 24.6-18f），从而实际上减小了腹板的宽度。在这种情况下，可以认为闭式断面与开式断面的腹板的成形条件是相同的。

为有效地利用减轻孔作为多余金属的容纳器，孔的面积应不小于腹板面积的 50%。

为使金属能在肋间距较大的闭式断面中容易流动，有时将腹板做成斜面，从腹板中心向肋的方向逐渐变厚（见图 24.6-18g）。此时，断面中间部分的腹板厚度分别按下列公式确定。

对于工字型断面：

$$S_1 = S - (L + R) \tan \gamma$$

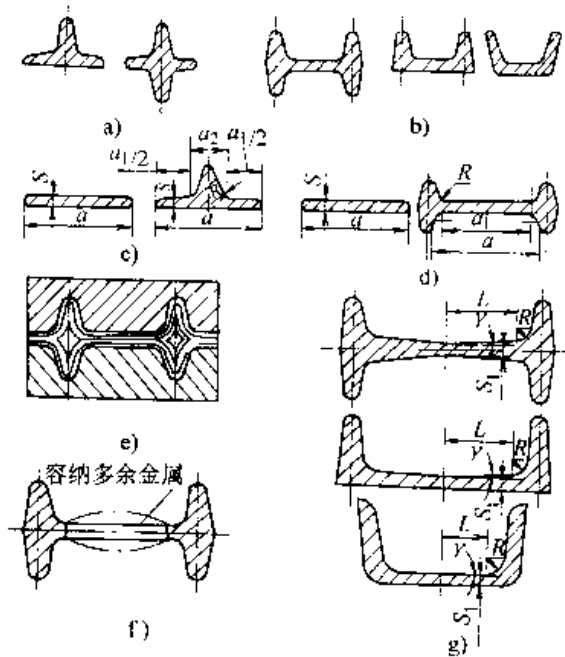


图 24.6-18 具有各种腹板的锻件的断面形状

对于槽型断面:

$$S_1 = S - \frac{1}{2}(L + R)\tan\gamma$$

式中 S —— 腹板厚度, 可按表 24.6-24 或表 24.6-25 确定;

γ —— 腹板倾角, 可按表 24.6-18 或表 24.6-20 和表 24.6-21 确定;

L 、 R —— 图样上已经指出的尺寸。

各种断面的腹板厚度值分别列于表 24.6-24 和表 24.6-25 中。前者适用于一般模锻件, 后者适用于比较精化的模锻件。

当肋宽度超过腹板厚度时, 腹板斜度要考虑肋“欠充满”情况。为了提供适量金属以充满肋, 可使腹板两侧肋和腹板结合处小范围内具有斜度, 如图 24.6-19 所示。

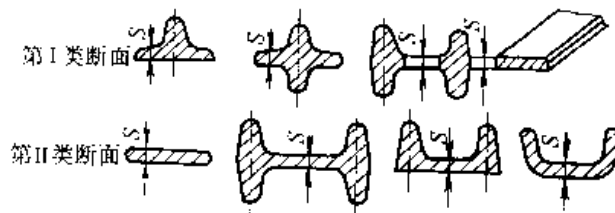
开式的、闭式的普通级及精密级模锻件其腹板厚度设计相同。图 24.6-20 为腹板最小厚度曲

表 24.6-24 各种断面的腹板厚度 S (mm)

模锻件在分模面上的投影面积/ cm ²	开式断面				闭式断面			
	钢及合金钢钛合金		铝 合 金		镁 合 金			
	S_1	S_2	S_1	S_2	MB2		MB5	
≤ 25	1.5	2	1.5	2	1.5	2	1.5	2
>25~50	2	3	2	2.5	2	2.5	2	3
>50~100	3	4	3	3	2.5	3	3	4
>100~200	4	5	4	4	3	4	4	5
>200~400	5	6	5	6	4	5	5	6
>400~800	6	8	6	8	6	6	6	8
>800~1 000	8	10	8	8	8	8	8	10
>1 000~1 250	10	12	8	10	8	10		
>1 250~1 600	12	14	9	11				
>1 600~2 000	14	16	10	12				
>2 000~2 500	16	18	11	14				
>2 500~3 150	18	20	12	15				
>3 150~4 000	20	22	13	18				
>4 000~5 000	22	24	14	18				
>5 000~6 300			15	20				
>6 300~8 000			16	21				
>8 000			18	22				

注: 对于热强钢腹板厚度按钢增加 30%。

表 24.6-25 各种断面的腹板厚度 S (mm)



模锻件在分模面上的投影面积/ cm ²	合 金									
	铝 合 金		镁 合 金							
			MB2		MB15		MB5		MB7	
	断 面 类 别									
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
S										
≤25	1.5	2.0	1.5	2.0	1.5	2.0	4.0	4.0	7.0	7.0
>25~80	2.0	2.5	2.0	2.5	2.5	3.0	4.5	4.5	7.5	7.5
>80~160	2.5	3.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	4.5	7.5	7.5
>160~250	3.0	3.5	3.0	3.5	4.0	5.0	4.5	5.0	7.5	7.5
>250~500	4.0	4.5	4.0	4.5	5.0	6.0	5.0	6.0	7.5	7.5
>500~850	5.0	5.5	5.0	5.5	6.0	8.0	6.0	8.0	7.5	8.0
>850~1 180	5.5	6.5	5.5	6.5	7.5	10.0	8.0	10.0	8.0	10.0
>1 180~2 000	7.0	8.0	7.0	8.0	9.0	12.0	10.0	12.0	10.0	12.0
>2 000~3 150	8.0	9.0	8.0	9.0						
>3 150~4 500	9.0	10.5	9.0	10.5						
>4 500~6 300	10.5	12.0	10.5	12.0						
>6 300~8 000	11.5	13.0	11.5	13.0						
>8 000~10 000	12.5	14.0	12.5	14.0						
>10 000~12 500	13.5	15.0	13.5	15.0						
>12 500~16 000	15.0	16.5	15.0	16.5						
>16 000~20 000	16.5	18.0	16.5	18.0						
>20 000~25 000	18.0	20.0	18.0	20.0						

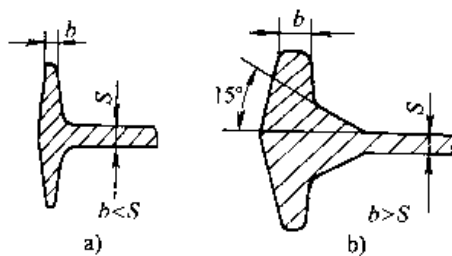


图 24.6-19 肋和腹板结合处局部斜度

a) 肋宽小于腹板厚度 b) 肋宽大于腹板厚度

线。腹板最小厚度 S 是根据其宽度 B、宽高比

B: h 和锻件投影面积来选择的。

例如, 图 24.6-21a 所示的闭式断面没有减轻孔, 当肋高 $h = 30$ mm, 肋间距 $a = 130$ mm 时, 按表 24.6-21 的肋间距 $a = 125 \sim 180$ mm, 查得 $R_1 = 4.5$ mm, $R = 20$ mm。若在该断面上做出减轻孔, 如图 24.6-21b 所示, 则按表 24.6-21 缩小一格肋间距 $a = 80 \sim 125$ mm, 查得 $R_1 = 4$ mm, $R = 15$ mm。

当肋间距 (图 24.6-21c) 或肋高 (图 24.6-21d, e) 是变化的时, 则断面的构造要素应根据

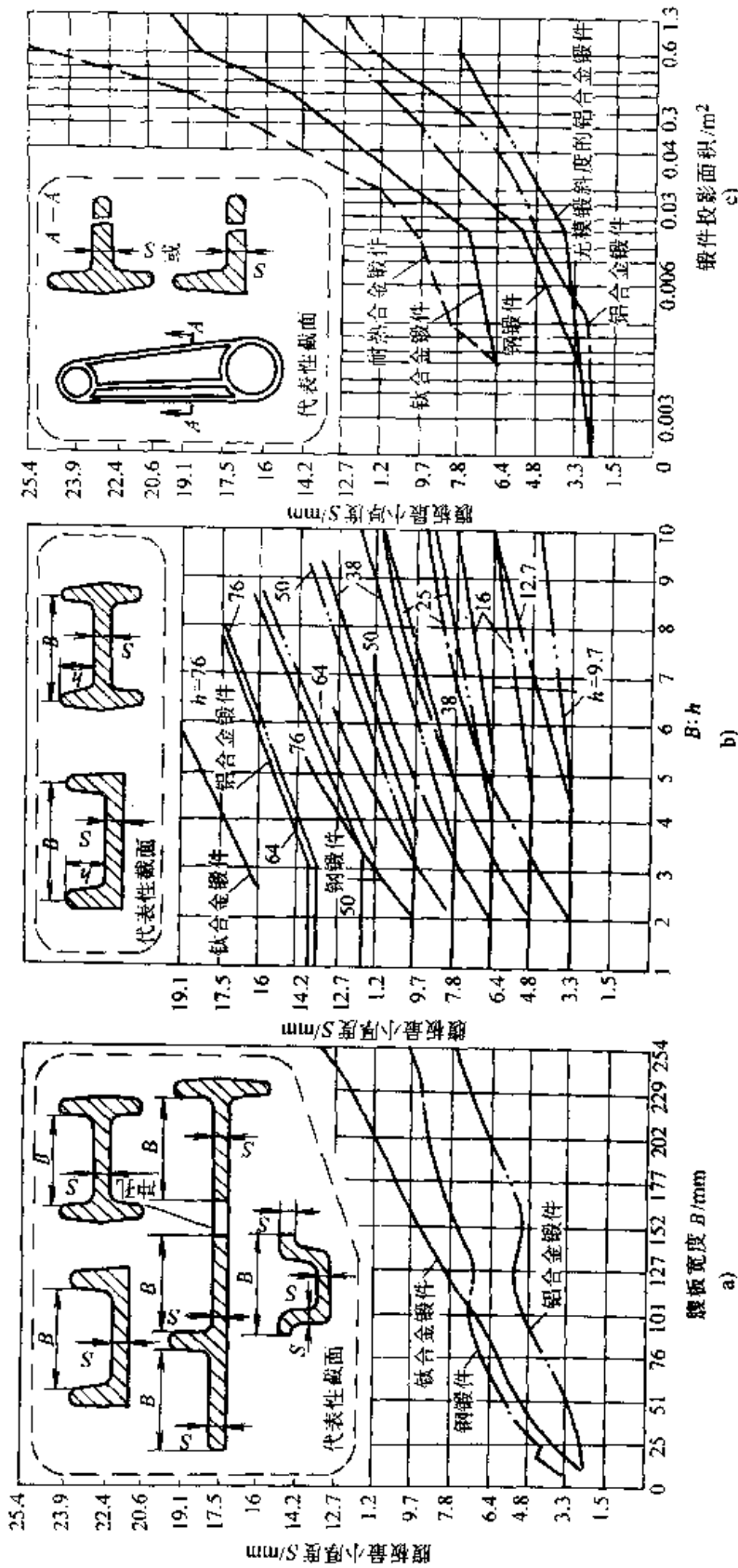


图 24.6-20 模板最小厚度 S 的选择

下列公式所求出的肋间距 a 和肋高 h 的数值来确定:

$$a = \frac{a_{\max} + a_{\min}}{2} (1 + \sin\alpha)$$

$$h = \frac{h_{\max} + h_{\min}}{2} (1 + \sin\alpha) \quad (\text{适用于图 24.6-21d})$$

$$h = 0.5h_{\max}(1 + \sin\alpha) \quad (\text{适用于图 24.6-21e})$$

具有闭式断面和不同肋高 (如图 24.6-21f) 的模锻件的构造要素, 可采用下列方法确定:

取最小肋间距作为最高肋和最矮肋的算术平均距离。根据最高肋来选取肋与腹板的连接半径和肋宽。

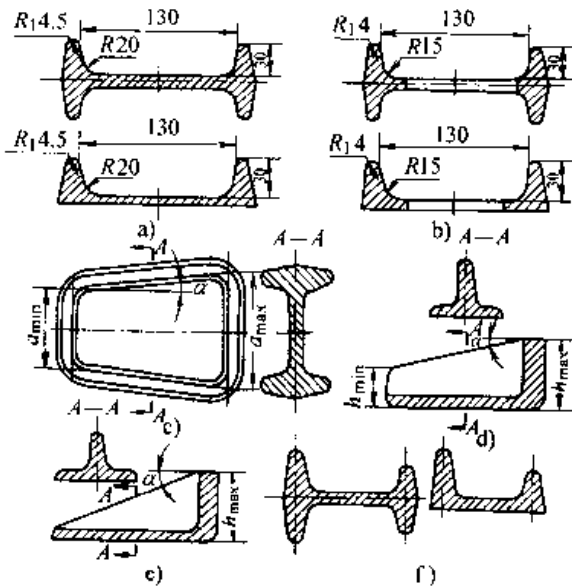


图 24.6-21 模锻件的各种闭式断面示意图

(4) 冲孔连皮

水压机上模锻件的冲孔连皮有平底连皮、斜底连皮和带凹仓的连皮等形式, 各种形式的冲孔连皮的尺寸确定与锤上模锻的相同 (见第 2 章)。

除上述确定连皮厚度方法之外, 也有推荐下列的形式和确定方法。

1) 对于不冲孔情况

① 当 $h \leq 0.45d$ 时 (图 24.6-22a)

$$S \geq 0.1d$$

$$C \geq 0.078D$$

$$R = \frac{a^2}{8h} + \frac{h}{2}$$

图中 R_1 值按表 24.6-20 确定。

② 当 $0.45d < h < d$ 时 (图 24.6-22b)

$$S \geq 0.1d$$

$$R = \frac{d \cdot \cos\alpha - 2h \sin\alpha}{2(1 - \sin\alpha)}$$

式中 α —— 模锻斜度。

图中 α 和 R_1 之值按表 24.6-15 和表 24.6-20 确定。

③ 当 $d < h < 2.5d$ 时 (图 24.6-22c)

$$c = L - 0.6d$$

$$S \geq 0.2d$$

$$R = 0.2d$$

$$R_2 = 0.4d$$

图中 α 和 R_1 之值按表 24.6-15 和表 24.6-20 确定。

2) 对于冲孔的情况 (图 24.6-22d), 连皮形式和厚度按表 24.6-26 和表 24.6-27 确定。

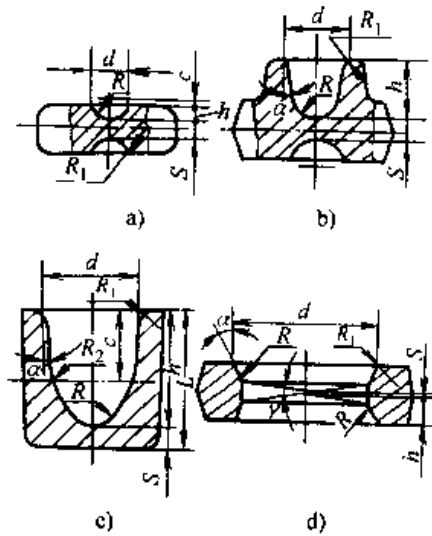


图 24.6-22 模锻件压凹和连皮

2.4 设计锻件图的其他问题

(1) 加工定位基准

表 24.6-26 连皮厚度

(mm)

d	< 50	50~80	80~120	120~160	160~200
S	4	6	8	10	12

表 24.6-27 压凹中连皮的连接半径 R 和斜角 γ (mm)

凹槽深度 h	d									
	< 50		50-80		80-120		120-160		160-200	
	R	$r/ (^{\circ})$	R	$r/ (^{\circ})$	R	$r/ (^{\circ})$	R	$r/ (^{\circ})$	R	$r/ (^{\circ})$
< 15	6		8	1	10	1	12	1	15	1
15-30	8		10	2	12	2	15	1	20	1
30-50	10		12	2	15	2	20	2	25	2
50-80	—	—	15	2	20	3	35	2	30	2
80-120	—	—	—	—	25	3	30	3	35	3
120-160	—	—	—	—	—	—	35	3	40	3
160-200	—	—	—	—	—	—	—	—	50	3

为减少模具制造过程中各工序的误差（画线、机械加工、检验等）协同模锻件机械加工定位基准，需提供几个公共的面，把各个特定尺寸和公共面连接起来。这几个公共面就是工艺基准。工艺基准面通常选在易接触的地方，模锻件图样一般规定三个基准面（如图 24.6-23）。选择工艺基准面应注意：

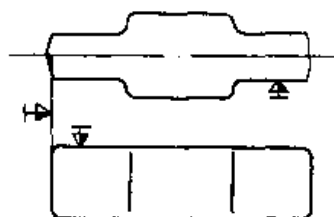


图 24.6-23 模锻件基准线

1) 基准面应选在模具的一半之内；

2) 小零件（投影面积小于 0.0645 m^2 ）通常放在锻件两端。对于窄长零件（投影面积大于 0.258 m^2 或长度大于 500 mm ）在靠近锻件中心部位上规定基准面，这样可以减少积累误差。

模锻件图样上基准线以 ∇ 符号表示。用工艺基准线标注尺寸，为所有工序一直到加工出成品零件提供了工程控制方法。

(2) 测量硬度位置

已经热处理锻件，均应在锻件图上标出测定硬度的位置，并以 HB 表示。选定测量硬度位置如下：

1) 硬度应打在平的表面上；

2) 打硬度位置厚度一般不小于钢球的直径（通常钢球直径为 10 mm ），最小不小于 6 mm 。压坑（铝，镁合金压坑直径为 $2.0 \sim 6.5 \text{ mm}$ 有

效）离制品边缘应大于或等于钢球直径；

3) 打在加工表面上；

4) 打在容易磨、测的位置。

(3) 确定性能试样位置

1) 纵向拉力试样 纵向拉力试样为顺着金属纤维方向切取的试样。如果取在肋上，其位置为 $1/2$ 肋高处，肋的宽度一般不小于 12 mm 。模锻件肋的交叉处，金属纤维方向不明显，只能取横向试样。

2) 横向拉力试样 横向拉力试样为沿着与金属的纤维方向相垂直的方向切取试样。有些长形件腹板很薄，宽展变形很厉害，则沿腹板长度切取的试样也只能算横向试样。

3) 宏观组织（也称低倍组织）宏观组织一般取在最能暴露内部组织缺陷的最大断面上，对于流线要求很高的受力结构件，也可取在最能反映金属流线的断面上。

(4) 印记位置

在锻件上一般要打有锻件编号（或零件图号）、合金牌号、熔次号、批号和热处理炉号等标记，这些记号的位置如下：

1) 锻件编号和合金牌号最好在模膛中刻出，并且位于锻件不加工表面和易看的表面上。

2) 如果锻件编号和合金号没有刻出，则应和其他所有标志号打在一处，其位置在易看着和易操作的加工表面上。

在考虑了以上各节的所有问题后就可以制定出冷模锻件图了。

2.5 模锻件设计实例

模锻件的设计实例如图 24.6-24 所示，材料

为 30CrMnSiA, 因分模面的选择无特殊要求, 故主要是单面加工余量和尺寸公差的确 定, 具体计算确定方法及内容如下:

按表 24.6-3, 单面加工余量为 3 mm (最大边长 388 mm)。

按表 24.6-6, 中心距离尺寸公差 312 ± 0.8 mm;

按表 24.6-4, 双面尺寸公差:

直径 $72^{+1.2}_{-0.6}$ mm, 4 级精度;

宽度 $202^{+2.5}_{-1.6}$ mm, 5 级精度; $25^{+1.2}_{-0.7}$ mm, 5 级精度。

按表 24.6-5, 单面尺寸公差:

半径 $40^{+0.7}_{-0.3}$ mm, 4 级精度; 长度 $62^{+0.9}_{-0.5}$ mm;

$16.5^{+0.8}_{-0.35}$ mm, 5 级精度。

按表 24.6-8 垂直尺寸公差为 ± 0.1 mm (按投影面积 $400 \sim 800 \text{ cm}^2$), 4 级精度。

按表 24.6-10 错移公差为 0.8 mm, 4 级精度。

按表 24.6-12 残余毛边为 1.6 mm, 4 级精度。

按表 24.6-13 翘曲公差为 0.9 mm, 4 级精度。

按表 24.6-12 冲孔错移公差为 1.6 mm, 4 级精度。

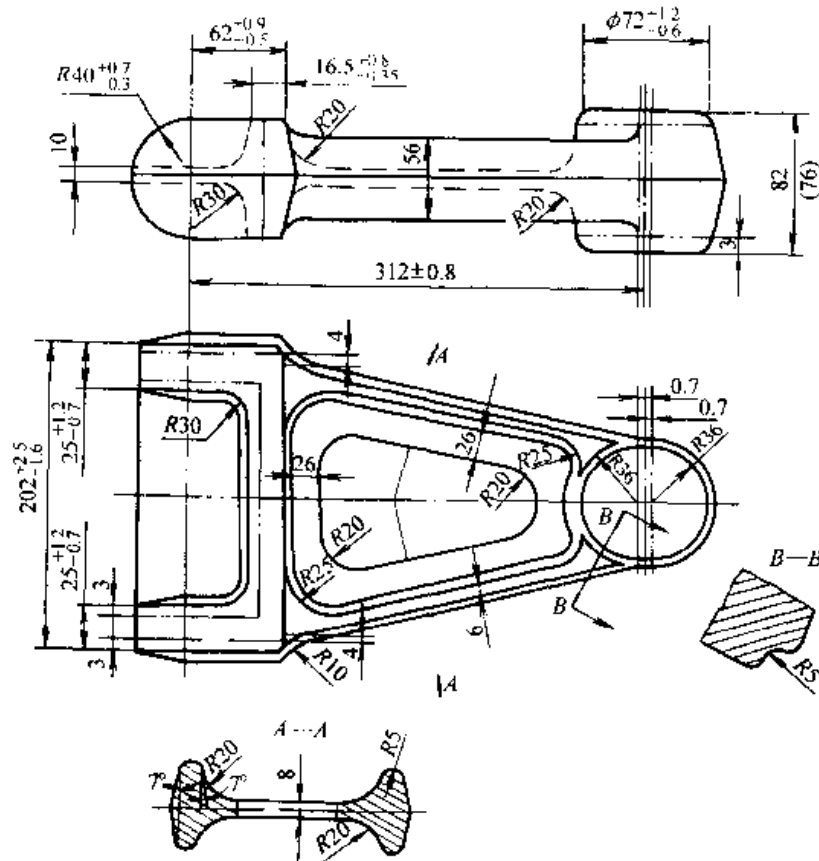


图 24.6-24 模锻件图

3 模膛设计

水压机上模锻常用的模膛是终锻模膛、预锻模膛和制坯模膛。

3.1 终锻模膛

终锻模膛是模锻时最后成形的模膛, 它按热锻件图制造, 其设计的主要内容是确定并绘制热

锻件图以及选择飞边槽。

(1) 热锻件图的制定和绘制

根据冷锻件图制定和绘制热锻件图, 并应考虑以下几点:

1) 铝、镁合金热锻件冷却时的线收缩率为 0.3%~0.1%, 一般中小型件取 0.6%~0.8%。要保证模锻件尺寸, 还需根据制件的断面形状、尺寸公差大小合理增大或减小收缩率。对精密锻

件还需做辅助试验。

2) 钛合金的收缩率取决于模具加热温度及模锻结束时的毛坯温度, 对于大多数钛合金来说, 收缩率介于 0.5% ~ 0.7% 范围内。对于小尺寸毛坯 (长达 250 mm), 收缩率可以定为 0.6%, 而不考虑模具加热温度与终锻温度。对于长度大于 250 mm 的毛坯, 在终锻温度超过 850℃ 以及模具加热温度大约 200℃ 时, 收缩率定为 0.7%; 在终锻温度大约 850℃ 和模具加热温度为 250℃ 时, 收缩率定为 0.6%; 在终锻温度低于 850℃, 模具加热温度高于 300℃ 时, 收缩率取 0.5%。

在设计精密模锻的模具时, 收缩率的确定应考虑成形的温度条件, 按下式进行:

$$\delta = (\alpha_1 T_1 - \alpha_2 T_2) 100\%$$

式中 α_1 ——由室温加热到终锻温度时, 模锻材料的平均线膨胀系数;

T_1 ——毛坯从模具取出时刻的毛坯温度;

α_2 ——模具加热时模具钢的线膨胀系数;

T_2 ——在工作过程中模具应保持的加热温度。

3) 肋条厚度的收缩率, 考虑到蚀洗的影响, 一般应放大 0.2 mm。

4) 当设备吨位不足, 上下模不能压靠时, 应使热锻件的高向尺为冷锻件尺寸的下限 (即冷锻件名义尺寸减去欠压的下偏差), 或者更小, 这样可以减少模锻次数, 并保证得到所需要的欠压量。

5) 应根据模压过程中可能产生的缺陷, 适当采取一些措施, 例如:

① 当模锻件肋顶不易充满时, 适当调整肋的高宽比, 或者增大肋顶圆角、过渡圆角和腹板厚度;

② 当模锻件腹板易出现凹陷时, 可在腹板背部适当增加机械加工余量, 或设计“凸起”, 如图 24.6-25 示。

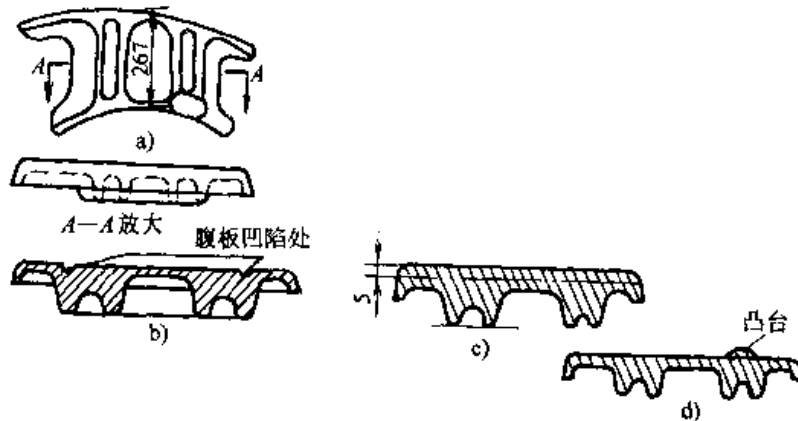


图 24.6-25 7A04 合金机身接头

a) 锻件 b) 腹板出现凹陷 c) 腹板增加余量 d) 腹板设计凸台

6) 为了简化锻件设计, 热锻件图可不必重新绘制, 可直接在冷锻件图中的锻件尺寸之旁的括号内注出热锻件的尺寸即可。

(2) 飞边槽的选定

1) 飞边槽的型式 (见表 24.6-28 附图)

① 型式 I 适用于只有下模膛的锻件, 或上模膛比较浅的锻件, 其优点是减少了上模的机械加工量。其缺点是飞边仓部的深度较其他类型的更深, 因而桥口容易被压塌。

② 型式 II 特点是仓部大, 能容纳的余料多, 适用于锻件尺寸大、形状复杂以及坯料比锻

件体积大得多的情况。

③ 型式 III 适用于具有上、下模膛的锻件。

其他类型如图 24.6-26 所示。图 24.6-26a 所示型式的飞边槽, 桥口阻力和刚度均较大, 图 24.6-26b 所示的飞边适用于深而复杂的模膛。

2) 飞边槽尺寸的选择 (表 24.6-26) 飞边槽的主要尺寸是桥部的高度 h 和宽度 b 。锻件的尺寸、形状复杂程度以及单位压力等是选定飞边槽尺寸的主要依据。目前尚无很好的计算方法, 主要凭经验选定。也有按设备吨位或下列公式来确定 h (mm):

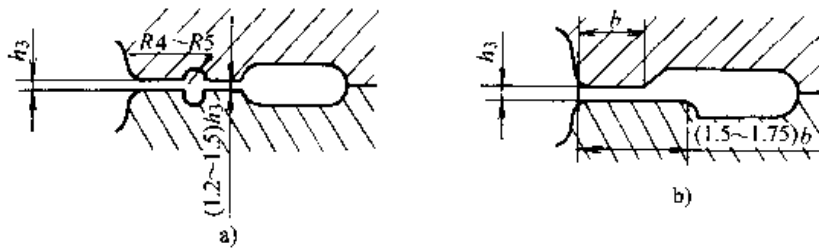


图 24.6-26 飞边槽

a) 增加模桥阻力和刚度 b) 增加金属流动阻力适用于深而复杂的模腔

$$h = 0.015 \sqrt{A_d}$$

式中 A_d ——锻件在平面图上的投影面积 (mm^2)。

模锻铝、镁合金用的锻模，其飞边槽的桥部高度 h 和桥部出口处的连接半径 R 应比模锻钢锻件的锻模大 30% 左右。如果 h 和 R 同模锻钢

锻件用的锻模的飞边槽一样，那么在模具上切边后就容易产生分模线裂纹（飞边裂纹）。因此，按上式计算出的 h 需要再加大 30% 左右。

表 24.6-29 是目前某些工厂经常选用的数据，可供参考。

表 24.6-28 毛边槽尺寸

毛边槽 编号	主要尺寸/mm					简图
	h	b	B	H	R	
1	3	12	60	12	3	
2	3	12	80	12	3	
3	3	12	80	15	3	
4	3	12	100	15	3	
5	3	15	60	15	3	
6	3	15	80	15	3	
7	3	15	100	15	3	
8	5	15	80	15	5	
9	5	15	100	15	5	
10	5	15	120	15	5	
11	5	20	150	15	5	
12	5	15	70	25	6	
13	7	15	80	15	8	
14	7	15	100	15	8	
15	8	25	150	25	10	
16	3	15	80	12	3	
17	3	15	100	12	3	
18	5	15	80	15	5	
19	5	15	100	15	5	
20	5	15	120	15	5	
21	7	15	80	15	8	
22	7	15	100	15	8	
23	7	15	120	15	8	
24	8	25	150	15	10	
25	3	12	60	12	3	
26	3	12	80	12	3	

续表 24.6-28

毛边槽 编号	主要尺寸/mm					简图
	h	b	B	H	R	
27	3	12	80	15	3	
28	3	12	100	15	3	
29	3	15	60	15	3	
30	3	15	80	15	3	
31	3	15	100	15	3	
32	5	15	80	15	5	
33	5	15	100	15	5	
34	5	15	120	15	5	
35	5	20	150	25	5	
36	5	15	70	15	6	
37	7	15	80	15	8	
38	7	15	100	15	8	
39	8	25	150	25	10	

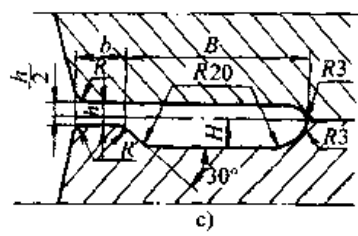


表 24.6-29 模桥常用 R 、 h 、 $h \times b$ 值

项目	范围	应用模锻件
R/mm	3	
h/mm	2, 2.5, 3	对于一般中小型件
	3, 3.5, 4	对于一般大中型件
$h/mm \times b/mm$	2×10	一般简单较小的件
	2.5×10 2.5×12	一般小件都采用。两种的区别主要看形状复杂程度
	3×12 3×15	中等件, 尤其是 3×12 用得特别多。形状特别复杂者用 3×15
	3×20	大的锻件形状又很复杂, 尤其肋高达 150 mm 以上者
	3.5×20 4×20	大锻件常用之, 3.5×20 指一般大锻件。 4×20 指锻件大而形状又很简单, 如气缸、活塞等
	8×20	对于某些件形状复杂, 废料又多, 需要做较大飞边槽, 使金属排除, 避免锻件产生折叠

当同一锻件的不同部分充满模膛的难易程度不一样时, 应在较难充满的部分增大桥口阻力, 增大桥口宽度 b 或减小桥口高度 h , 从便于模具制造出发通常是加大此处的桥口宽度, 如图 24.6-27 示。飞边槽的仓部尺寸根据排出金属量的多少进行选择。

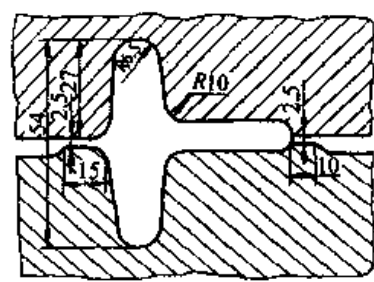


图 24.6-27 在分模面上不等宽飞边槽桥部

3.2 预锻模膛

预锻模是用来改善金属在终锻模膛内的流动情况, 使金属易于充满终锻模膛, 减少终锻模的磨损情况。

- 1) 当预锻模膛仅用来减少终锻模膛的磨损时, 预锻模膛基本上设计得和终锻模膛一样, 只

是在模膛的凸圆角处和分模面的出口处将预锻模膛的圆角半径做得比终锻模膛稍大一些。因为终锻模膛的凸圆角半径太小，金属流动急剧，模具磨损严重，有时甚至压塌。

2) 当预锻模膛用来改善终锻模膛的充满情况时，例如当模膛中有较深较窄的部分，具有分枝的部分和断面尺寸突然变化的部分，应考虑采用预锻模膛，这时预锻模膛的设计应考虑以下几点：

① 在终锻模膛中具有较深较窄的部分时

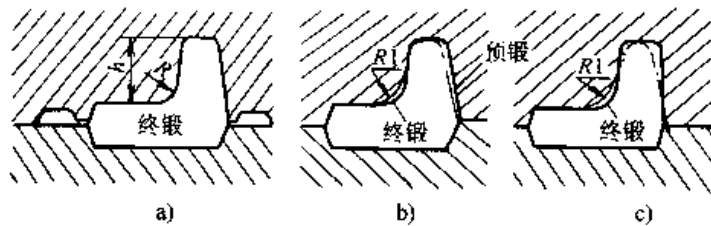


图 24.6-28 预锻模膛设计

表 24.6-30 预锻件和终锻件模锻斜度相应关系

锻件名称	模锻斜度 / (°)				
	终锻件	12	10	7	5
预锻件	15	12	10	7	5

表 24.6-31 预锻模膛 C 值的选取

模膛深度 / mm	<10	10~25	25~50	>50
C/mm	2	3	4	5

② 对于在平面投影上具有分枝的锻件和断面尺寸突然变化的锻件，在预锻时为了使金属易于向分枝方向流动，应增大该处的圆角半径，简化形状，以减少其阻力，如第 2 章图 24.2-23 所示。

③ 当锻件上高度较小的突出部分在终锻时充满并不困难时，预锻时可以简化或不锻。

④ 对于壁板类锻件，当肋的高度 h 大于其宽度 b 时，其预锻模膛上腹板与肋间的过渡处圆角半径及其他凸圆半径比终锻模膛相应的凸圆半径稍大 1~5 mm，或按如下公式计算

$$R_y = 1.2R_z + 3$$

式中 R_y ——预锻模膛的凸圆半径；

R_z ——终锻模膛的凸圆半径。

3) 当预锻模膛是用来改善金属流动情况，

(如图 24.6-28a)，为了易于充满终锻模膛，可将预锻模膛相应部分的宽度及长度减小一些，以减少金属流动的阻力，使金属易于充满模膛，如图 24.6-28b，也可采用增大该部分斜度的办法（如表 24.6-30 所示），并相应地减小其宽度，如图 24.6-28c。预锻模膛在该部分的高度不应加大。应增大预锻模膛凸圆角半径 R_1 。 R_1 按下式确定

$$R_1 = R + C$$

式中 R ——终锻模膛上相应处的圆角半径；

C ——常数，按表 24.6-31 确定。

以避免在锻件上产生折叠时，预锻模膛的设计与前两种不同。本节主要结合工字形截面锻件介绍预锻模膛的设计。关于工字形截面锻件折叠产生的过程在第 2 章中已有详细介绍。为避免产生折叠，关键要控制预锻后坯料的断面积和形状，使该坯料（预锻件）再放到终锻模膛中变形时，大体上充满两肋以后终锻的过程刚好结束，而不致有大量多余金属流向飞边槽。因此，设计预锻模膛时关键要控制两点：

① 预锻模膛截面面积等于终锻模膛相应处的截面面积和飞边截面面积之和，即

$$A' = A + A_f + A_p$$

式中 A' ——预锻模膛截面面积 (mm^2)；

A ——终锻模膛截面面积 (mm^2)；

A_f ——飞边的截面积（通常为模膛截面积的 15%）(mm^2)；

A_p ——由于终锻模膛欠压增加的截面积（欠压量为锻件高度方向尺寸的上偏差）(mm^2)。

② 预锻件预锻模膛的截面形状有利于充满终锻模膛。预锻模膛的最佳截面形状与肋的高宽比以及肋间距的大小有关，具体设计方法如下：

a) 若肋的高宽比大于 2，而肋间距不大时，预锻模膛的设计方法与第 2 章相应的预锻模膛的相同（图 24.2-38）。

b) 若肋的高宽比大于2且肋间距又较大时, 预锻模膛按图 24.6-29 中点画线所示的形状设计, 模膛尺寸按下列公式计算

$$x = (0.2 \sim 0.4)u$$

$$u = H - h_{op}$$

$$H_y = H - x = H - (0.2 \sim 0.4)u$$

H_y 确定后, 在保证 $f_T = f_B$ 的条件下, 用 作图法画出预锻模膛的截面形状。 R 、 R_1 为相 切圆的半径。

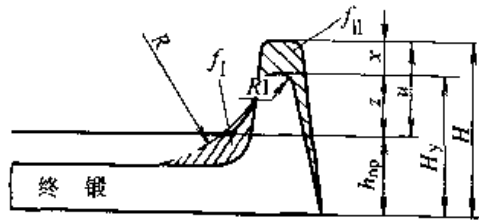


图 24.6-29 工字形断面的预锻模膛

为锻造腹板—肋类铝和钛合金零件, 国外各 公司推荐的预成形件尺寸范围列于表 24.6-32。

表 24.6-32 预成形件与终锻件尺寸关系

终锻件尺寸	预成形件尺寸	
	铝合金	钛合金
腹板厚度 t_F	$t_P \approx (1 \sim 1.5)t_F$	$t_P \approx (1.5 \sim 2.2)t_F$
平边圆角半径 R_{FF}	$R_{PF} \approx (1.2 \sim 2)R_{FF}$	$R_{PF} \approx (2 \sim 3)R_{FF}$
棱圆角半径 R_{FC}	$R_{PC} \approx (1.2 \sim 2)R_{FC}$	$R_{PC} \approx 2R_{FC}$
斜度 a_F	$a_{PC} \approx a_F(2.5^\circ)$	$a_P \approx a_F(3 \sim 5^\circ)$
肋宽 b_F	$b_{PF} \approx b_F - 0.8$	$b_P \approx b_F(1.6 \sim 3.2 \text{ mm})$

水压机上的预锻模膛都设有飞边槽, 其尺寸 选择基本上与终锻模一样, 只是有关尺寸稍大 些, 以利于排除多余金属。

3.3 制坯模膛

在水压机上模锻形状复杂、断面不均匀、变 化剧烈的长轴类锻件时, 常常要用到制坯模膛, 以获得接近于计算毛坯形状的坯料。

制坯模膛是根据热锻件图和计算毛坯图设计 的, 一般应注意如下几点:

1) 制坯模膛的水平轮廓基本上按照终压模, 但是要平缓过渡, 连接圆弧要大一些。

2) 高肋可以做出较矮的圆弧凸台, 矮肋一 律做成平的。

3) 大的凸台处、十字交叉凸台处要增大金 属量。

4) 考虑到制坯模膛模锻时的欠压量大, 制 坯模膛各截面的金属量, 一般等于终锻模膛相应 各截面的金属量, 但高肋的和难成形的截面应适 当增大金属量。

5) 水压机上的制坯模膛, 像其终锻模膛和 预锻模膛一样, 都设有飞边槽, 但要增大桥部出 口处的圆角, 并且应该采用第 II 型仓部大的飞边

槽。

4 模具结构设计

水压机上锻模均为单模膛, 其结构比锤锻模 要简单一些。水压机模具由模膛、飞边槽、导柱 和锁扣、钳口、顶出器、起重孔、燕尾和键槽等 要素构成。

模膛和飞边槽见模膛设计, 下面对其他部分 的结构特点和设计方法作简要介绍:

4.1 模膛的布置

(1) 模块中心、锻模中心和模膛中心

水压机用锻模的模块中心、锻模中心和模膛 中心的概念及求作方法与其他模锻设备用锻模的 相同, 其不同点如下:

1) 如果模锻件上有高肋时, 由于此处成形 时的变形抗力大, 模膛中心线应向该处移动, 如 图 24.6-30 所示。

2) 如果模锻件上有薄腹板部位, 模锻时此 处的变形抗力大, 模膛中心线应向该处移动。例 如螺旋桨尾端腹板薄, 中心线应向尾端移动, 如 图 24.6-31 所示。

3) 模膛中心应移向难成形的部位。如图 24.6-

32 所示, 在模膛的一端有较深的肋槽, 而另一端是腹板, 这时压力中心线应靠近有肋槽的一端。

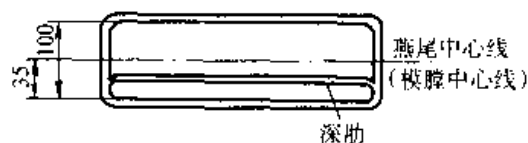


图 24.6-30 有高肋的模锻件

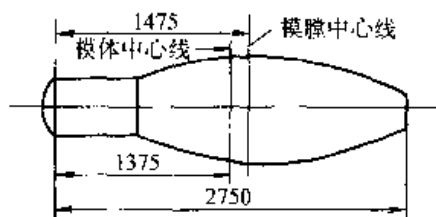


图 24.6-31 螺旋桨锻件压力中心线

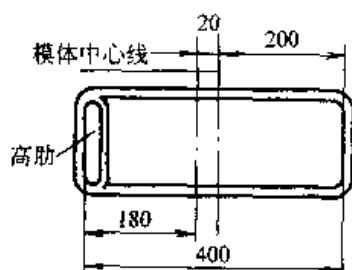


图 24.6-32 高肋在锻件的一端

(2) 模膛在模块上的布置原则

1) 尽可能地使模膛中心与锻模中心重合, 以减少压力机的偏心载荷, 提高锻件高度方向的尺寸精度。模膛中心偏离锻模中心的距离不能大

于压力机所允许的偏心距 (见表 24.6-33)。

表 24.6-33 各种水压机的允许偏心距

设备吨位/kN	30 000	50 000	100 000
允许偏心距/mm	150	200	250

2) 锻件的最大尺寸应布置在燕尾方向。

3) 左右对称件以及其他轴对称件要尽可能采用一模多件, 这样既能节约模具钢和提高生产率, 又利于模具保温 (因模块增大了), 便于成形。

4) 要根据设备、炉子的布置情况考虑生产过程中操作方便的问题。

4.2 模膛壁厚的确定

模膛壁厚在一般模具上可不考虑, 唯有较深的模膛, 或者一模双型模时才考虑。其决定方法见表 24.6-34。

4.3 模块尺寸的确定

(1) 长和宽

模块的长度和宽度主要根据模锻件外形尺寸、飞边槽、模壁厚度、导柱、锁口等尺寸大小和锻件压力中心在模块上的布置结果来确定。

(2) 高度

模块高度尺寸主要根据模膛深度 (如表 24.6-35 所示), 水压机两模座间的距离来决定。

表 24.6-34 模膛最小壁厚

名称	公式	图例	名称	公式	图例
模膛的最小壁厚	$S = (1-2)h$ 式中: h 为模膛深度, h 小时, 系数取大值		一模多件时, 两相邻模膛的最小壁厚 S	$S = (0.5 \sim 1)h$	

表 24.6-35 模膛深度与模块最小高度的相应数值

(mm)

模膛最大深度 h	< 32	32~40	40~50	50~60	60~80	80~100	100~120	120~160	160~200
模块最小高度 H	170	190	210	230	260	290	320	390	450

根据模锻的模膛布置，并考虑到最小壁厚、模块最小高度等因素，得出所必须的模块最小轮廓尺寸，选取工厂标准模块中相近的较大值，最后根据设备的要求进行检验。

4.4 钳口

水压机模具钳口专为锻件起模以及撬开模具等用。

钳口应根据模具大小、模膛形状和起料方法来确定其尺寸、位置和数量。

模锻件（或模块）愈大，钳口尺寸就愈大；起料越困难，钳口数量就越多。一般情况下为四个，布置在燕尾和键槽中心线上。但根据模锻件形状特点，其位置可以有所错动，数量可以有所增加。水压机上钳口按图 24.6-33 及表 24.6-36 选定。一般在下模上制出，但根据锻件粘模情况也可在上模制出。

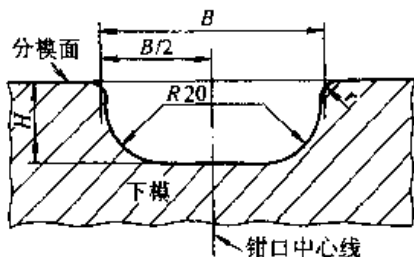


图 24.6-33 钳口形状

表 24.6-36 钳口结构参数 (mm)

钳口编号	B	H	r
1	40	18	3
2	40	22	3
3	60	22	3
4	80	22	3
5	100	32	3

4.5 导柱和锁扣

导柱和锁扣的作用是防止上下模错移，保证上下模膛的对中，对于错移力很大的水平分模的锻件，模具除了应设有导柱之外，还要设置锁扣。

水压机上的模具凡具有上下模膛的，都装有导柱，因此，没有必要设置检验角。

(1) 导柱

图 24.6-34 和图 24.6-35 为水压机模具的导柱和导柱孔型式，其尺寸配合关系列于表 24.6-

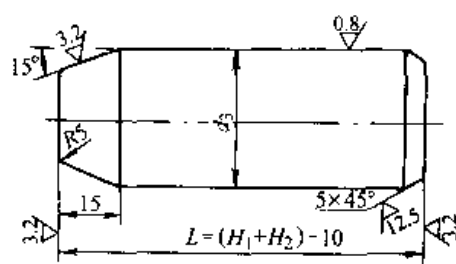


图 24.6-34 导柱

注：材料 5CrMnMo 或 5CrNiMo、7Cr3、热处理 38~41HRC

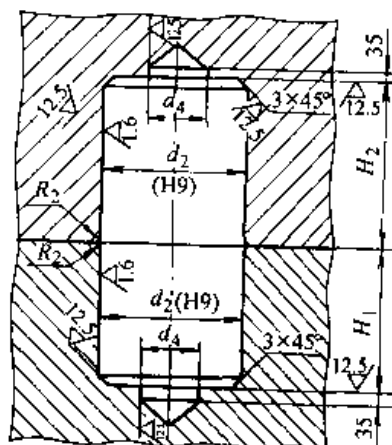


图 24.6-35 导柱孔

37 中。

模具的错移力不仅取决于锻件的大小（或锻件在分模面上的投影面积），而且在很大程度上取决于锻件的形状。因此，在选取导柱直径时既要考虑到锻件在分模面上的投影面积，还要考虑到锻件形状。在一般情况下可根据锻件在分模面上的投影面积（见表 24.6-38）来选取直径，对于错移力很大的锻件，可根据所选取的直径再加以修正。

导柱在模具上的布置如图 24.6-39 所示。

导柱孔以燕尾中心线和键槽中心线作为定位基准，孔间距尺寸公差可按表 24.6-39 选取，或者按下式计算。

导柱孔和导柱的最小间隙

$$S_m = d_0 - d$$

式中 d_0 ——孔的最小极限尺寸；

d ——轴的最大极限尺寸。

尺寸 L 的公差 $\Delta L = \pm 0.175 S_m$ 。对于 L 很长的大型模块，按表 24.6-39 查出的公差应根据该式计算值加以修正，否则会产生很大的装配误差。

表 24.6-37 导柱和导柱孔尺寸 (mm)

导柱直径 d_3	下模导柱孔直径 d_1	上模导柱孔直径 d_2	下模导柱孔深度 H_1	上模导柱孔深度 H_2
$60^{+0.135}_{+0.075}$	$60^{+0.06}_0$	$60.4^{+0.06}_0$	75	H_2 之值由模膛深度和原坯料高度而定, 即当上模模膛接触原坯料时, 最好导柱能深入导柱孔 25~35 mm
$80^{+0.135}_{+0.075}$	$80^{+0.06}_0$	$80.4^{+0.06}_0$	95	
$100^{+0.160}_{+0.090}$	$100^{+0.07}_0$	$100.6^{+0.07}_0$	120	
$120^{+0.165}_{+0.090}$	$120^{+0.07}_0$	$120.6^{+0.08}_0$	140	
$140^{+0.185}_{+0.105}$	$140^{+0.08}_0$	$140.8^{+0.08}_0$	165	
$160^{+0.200}_{+0.120}$	$160^{+0.08}_0$	$160.8^{+0.08}_0$	190	
$180^{+0.200}_{+0.120}$	$180^{+0.08}_0$	$181^{+0.09}_0$	215	
$200^{+0.230}_{+0.140}$	$200^{+0.09}_0$	$201^{+0.09}_0$	240	

表 24.6-38 导柱直径的选取

锻件在分模面上的投影面积/cm ²	推荐所选取导柱的直径/mm
<400	60
>400~1 000	80
>1 000~2 500	100
>2 500~4 000	120
>4 000~5 500	140
>5 500~8 000	160
>8 000~10 000	180
>10 000	200

续表 24.6-39

尺寸范围	偏差范围
>1 250~1 600	-0.00~-0.450
>1 600~2 000	-0.00~-0.500
>2 000~2 500	-0.00~-0.550
>2 500~3 150	-0.00~-0.600
>3 150~4 000	-0.00~-0.700
>4 000~5 000	-0.00~-0.800
>5 000~6 300	-0.00~-0.900
>6 300~8 000	-0.00~-1.000
>8 000~10 000	-0.00~-1.200

表 24.6-39 导柱孔的定位尺寸公差 (mm)

尺寸范围	偏差范围
>18~30	-0.00~-0.084
>30~50	-0.00~-0.100
>50~80	-0.00~-0.120
>80~120	-0.00~-0.140
>120~180	-0.00~-0.160
>180~260	-0.00~-0.185
>260~360	-0.00~-0.215
>360~500	-0.00~-0.250
>500~630	-0.00~-0.280
>630~800	-0.00~-0.300
>800~1 000	-0.00~-0.350
>1 000~1 250	-0.00~-0.400

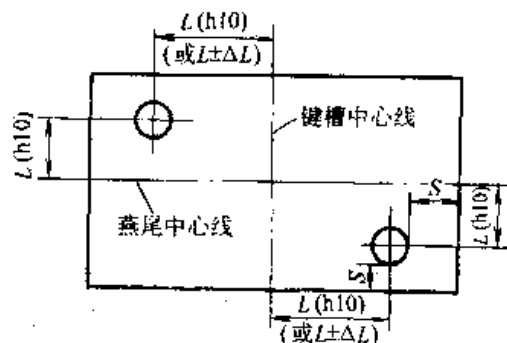


图 24.6-36 导柱的布置

(2) 锁扣

水压机上模具的锁扣通常有两种: 一种是平衡锁扣, 用于锻件具有落差的锻模, 这类锻件的分模面不在一个平面上, 模锻时使锻模产生错移, 设计锁扣以平衡其错移力。一种是一般锁

扣, 用于防止错移, 提高锻件精度。

锁扣的型式与锤锻模相同, 平衡锁扣亦有倾斜式、平衡块式和混合式。一般锁扣有圆形锁扣、纵向锁扣、侧面锁扣和角锁扣等型式。图 24.6-37 是水压机上锻模的圆形锁扣的设计标准。图 24.6-38 是纵向锁扣的设计标准。其他锁扣的尺寸除宽度 b 在不同情况下有差别外其余尺寸参数基本相同。

4.6 顶出器

图 24.6-39 是顶出器的装配工作图, 其有关参数列于表 24.6-40 中。

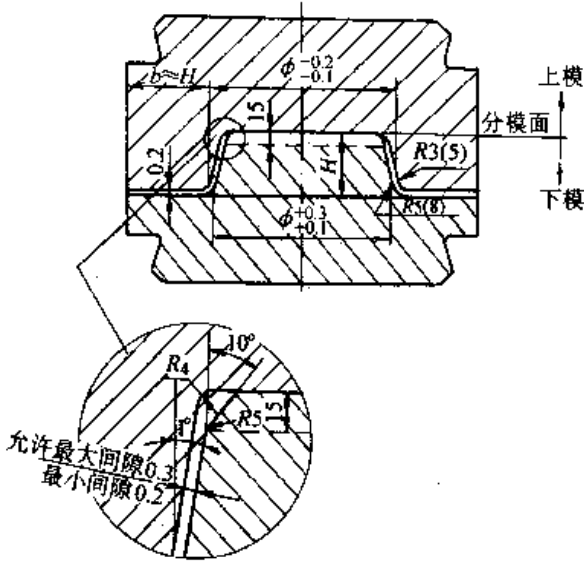


图 24.6-37 圆形锁扣的设计

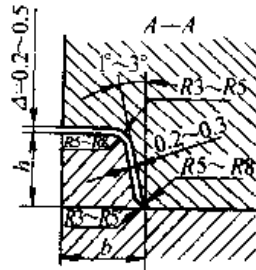


图 24.6-38 纵向锁扣尺寸

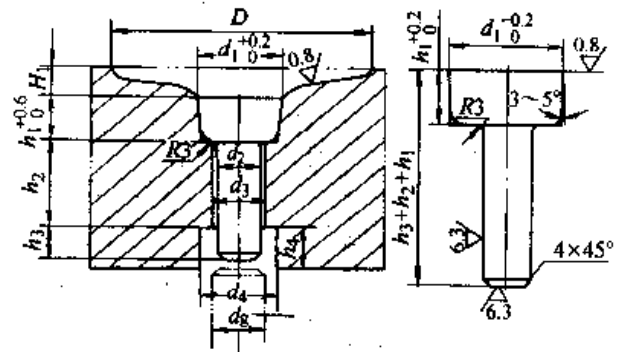


图 24.6-39 顶出器结构参数图

表 24.6-40 各种吨位水压机有关顶出器的一些参数 (mm)

设备吨位/kN	加长杆直径 d_g	顶出模座高度 H	顶杆行程	顶出力/kN
30 000	90	60	750	200
50 000	100	130	750	250
100 000	125	150	1 200	270

图 24.6-39 示出顶出器结构参数, 其确定方法如下:

材料: 5CrNiMo 等合金模具钢;

$d_1 \geq \frac{1}{3} D$ (用于直径小, 模膛深的圆盘件);

$d_1 \geq \frac{2}{5} D$ (用于中型圆盘件);

$d_1 \geq \frac{1}{2} D$ (用于模膛浅, 直径小于 500 mm

的较大型圆盘件);

$d_2 \geq 80$ mm (用于 50 000 kN 水压机);

$d_2 \geq 110$ mm (用于 100 000 kN 水压机);

$d_3 = d_2 + 2 \sim 3$ mm;

$d_4 = d_g + 25 \sim 35$ mm;

$h_1 \approx 100$ mm (用于 50 000 kN 水压机);

$h_1 \approx 120$ mm (用于 100 000 kN 水压机);

$h_2 \approx 2d_3$;

$$h_3 = h_4 - 5 - 10 \text{ mm};$$

$$h_4 = H + 5 \text{ mm.}$$

式中 D —— 锻件最大外径 (mm);

H —— 加长杆的顶出高度 (mm);

d —— 加长杆直径;

H_1 —— 模膛深度 (mm);

d_g —— 加长杆直径(如图 24.6-39、表 24.6-40)。

顶出力为水压机吨位的 3% ~ 6%，表 24.6-40 列出上式中有关参数。

顶出器有四类，如图 24.6-40 示。其中 a 种毛刺产生较少； b 种容易机械加工； c 种模孔 T 形肩部容易被压塌， d 种可避免这种缺陷。

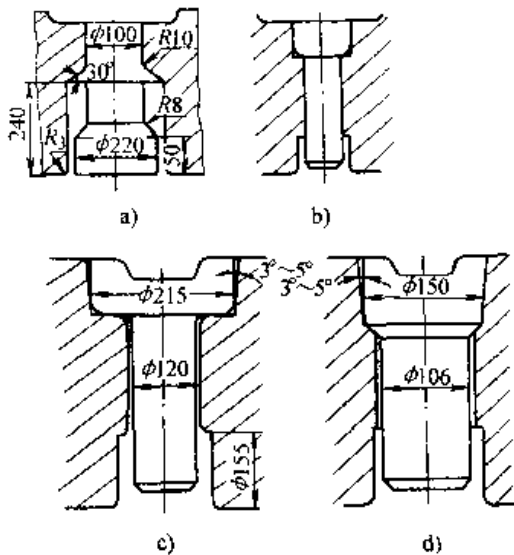


图 24.6-40 顶出器种类

4.7 模具的固定

水压机上模具有两种固定方法：第一种是用楔子和键紧固；第二种是用卡爪和键紧固。

(1) 楔子和键紧固法 (图 24.6-41)

这种紧固方法同锤锻模一样，结构比较简单，适用于小型设备上的模具固定。如果用于大中型水压机上则存在如下缺点：

- 1) 一台设备需要多套模座，这不仅浪费钢材，而且更换极不方便；
- 2) 装卸模具的劳动强度大，时间长，而且不安全；
- 3) 由于模具燕尾尺寸的标准化，所以要把模具加工到规定的燕尾标准，就必然要增加切削加工量。

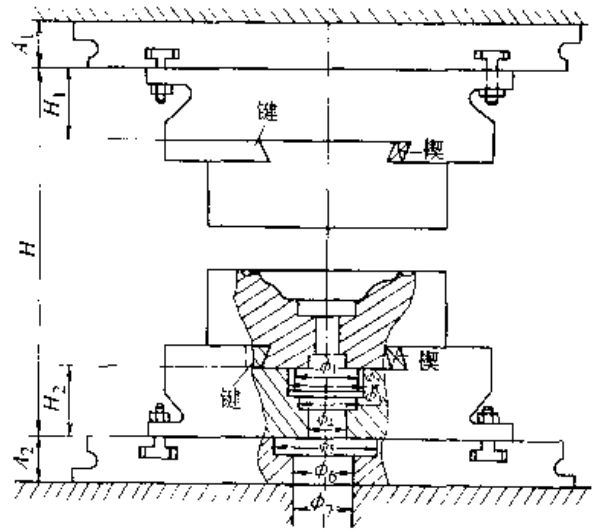


图 24.6-41 模具安装图

4) 燕尾加工精度要求高；

5) 这种装卡在多次重复载荷作用下，模具易松动，以致压坏导柱、导柱孔和锁扣。

这种装卡方法的模具高度空间和模座的一些参数列举在表 24.6-41 中。

(2) 卡爪紧固法

图 24.6-42 是丝杠双动式卡爪紧固法，该紧固法适用于中型水压机，其工作原理是：

- 1) 搬动偏心手柄 2，使弹簧压缩，卡爪缩回，处于松开状态；
- 2) 旋转丝杠 1 的方头，使两卡爪间距等于所要装配的模具的模尾实际宽度加上 2~3 mm (即 $B + 2 - 3 \text{ mm}$, B —模尾实际宽度)；
- 3) 将所要装的模具放到下模座上 (对正纵横方向键槽) 后，将偏心手柄 2 转动 180°，弹簧 7 将卡爪 10 弹回，便是卡紧状态。

图 24.6-43 是液压驱动式卡爪紧固法的结构原理示意图。这种紧固法是按按钮自动卡紧，它适合于大型水压机，其缺点是：易漏油，需要油压系统，且胶皮软管易断裂。

卡爪紧固法的主要优点是：

- 1) 模尾为无极变化，所以一套模座可以代替用楔子紧固时的多套模座，这不仅节省了大量钢材，而且不需更换模座；
- 2) 模具装卸快，安全可靠，大大降低了体力劳动强度；
- 3) 消除了模具与模座间的间隙，有效地防止了模具的松动；
- 4) 由于模尾无级，减少了对模具的加工，

表 24.6-41 用楔和键块紧固的模座装配空间的有关尺寸 (mm)

水压机吨位/kN	H	H ₁	H ₂	A ₁	A ₂	顶 出 孔 尺 寸						备 注	
						工作台		下垫板		下模座			
						φ7	φ6	φ5	φ4	φ3	φ2		φ1
30 000 模锻	1 850	400	400	400	350								
50 000 模锻	2 050	250	250	400	450			220	140	157	250	242	
100 000 模锻	2 400	335	335	500	500	220	220	320	165	180	310	302	
30 000 自由锻	3 850	500	500	260	—								

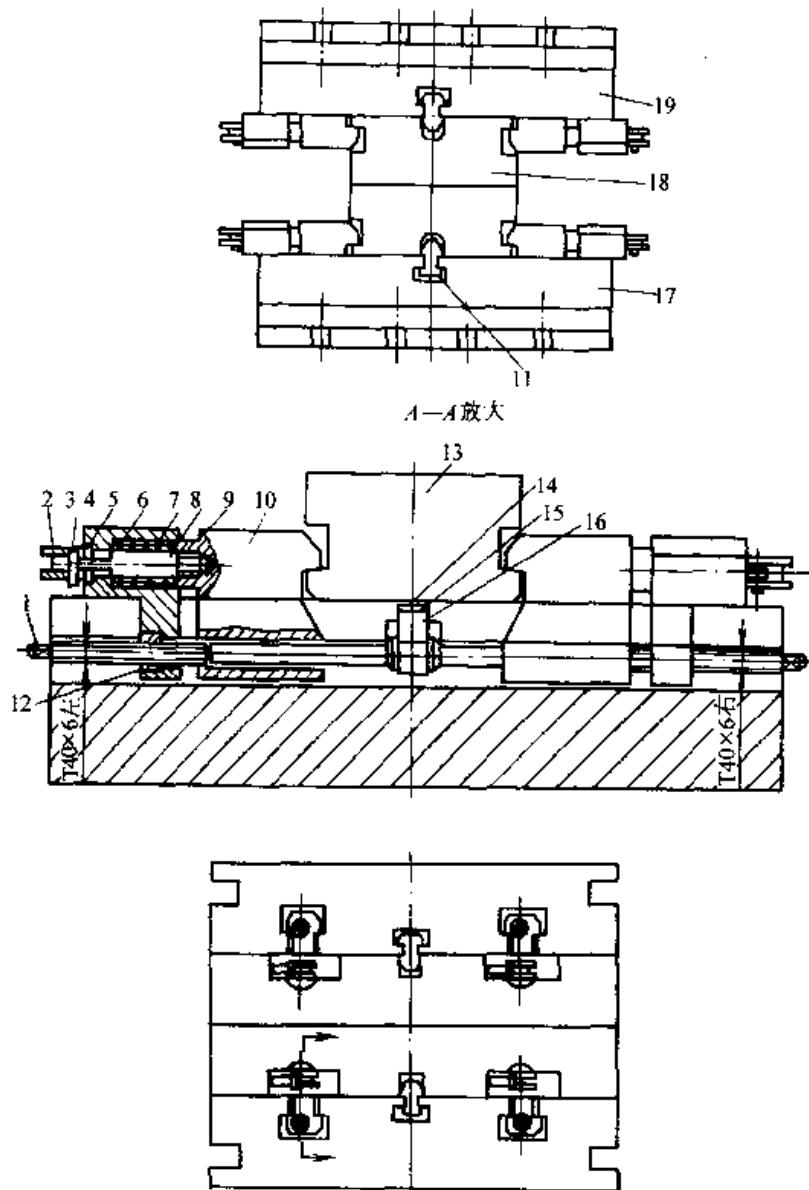


图 24.6-42 丝杠双动式卡爪紧固法

- 1—左右旋丝杆 2—偏心手柄 3—销轴 4—开口销 5—凸轮垫 6—尾座 7—弹簧
 8—拉杆 9—定位螺钉 10—卡爪 11—定位键 12—螺母 13—下模 14—盖板
 15—螺钉 16—轴支承 17—下座 18—上模 19—上座

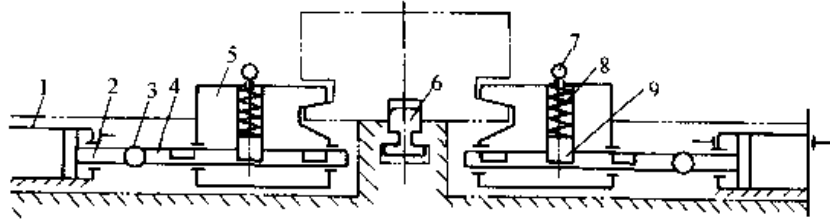


图 24.6-43 液压驱动式卡爪紧固法

1—液压缸 2—活塞杆 3—活结 4—爪杆 5—卡爪
6—键 7—拉杆 8—弹簧 9—圆柱销子

节省了工时和模具材料，并相对提高模具强度的尺寸。

4.8 模块标准

用楔子紧固的模块标准如图 24.6-44、24.6-45 和表 24.6-42 所示。

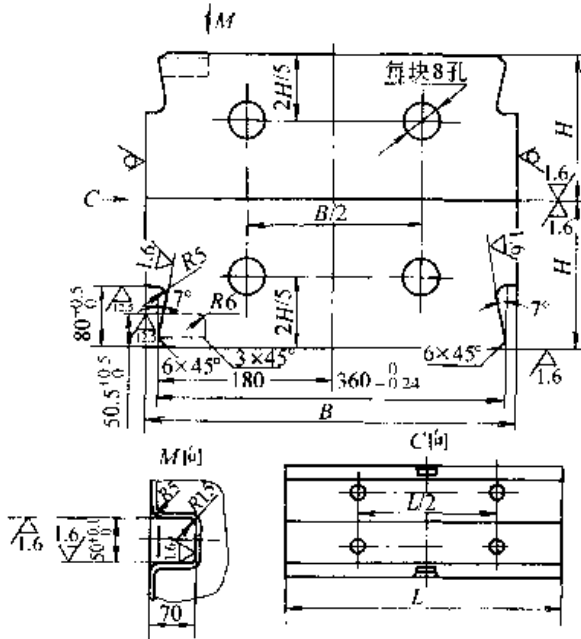


图 24.6-44 楔子紧固 360 燕尾标准

用卡爪紧固的模块标准如图 24.6-46 所示。

燕尾宽度有 360, 500, 700, 870, 1 100, 1 400 mm 等几种。常用的几种列入表 24.6-42 及图 24.6-44、图 24.6-45 中。

燕尾尺寸选择方法：

- 1) 根据模块宽度决定燕尾大小；
- 2) 根据本单位已有模座宽度确定合适的燕尾尺寸；
- 3) 要考虑几台水压机的通用性；
- 4) 燕尾宽度不应少于模块宽度之半。

在图 24.6-44 和图 24.6-45 中还示出了键槽

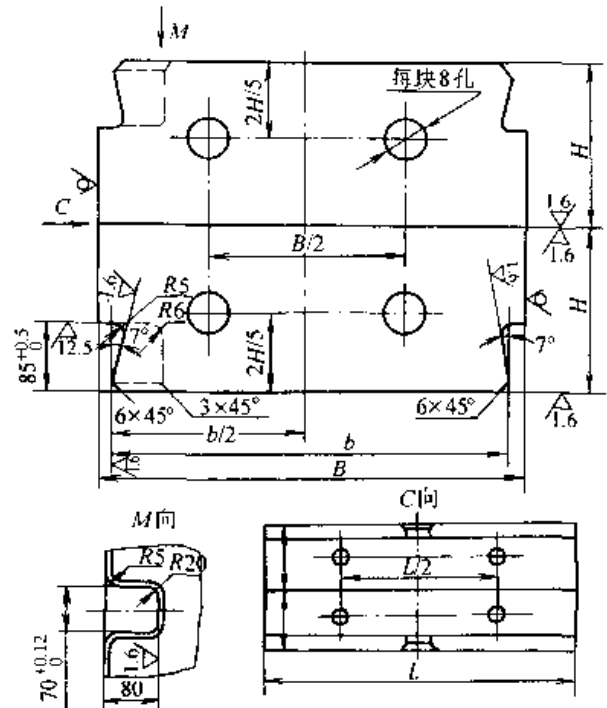


图 24.6-45 楔子紧固 500, 700, 900 燕尾标准

表 24.6-42 各种燕尾尺寸公差

(mm)

b	360 ^{+0.34}	500 ^{+0.38}	700 ^{+0.5}	900 ^{+0.6}
b/2	180 ^{+0.1}	250 ^{+0.12}	350 ^{+0.19}	450 ^{+0.23}

在图 24.6-44、24.6-45 和 24.6-46 中还示出了起重孔的位置、数量。起重孔的尺寸见表 24.6-43。

5 等温锻造模具设计

5.1 等温锻造的特点与应用

在常规锻造条件下，一些难成形金属材料，

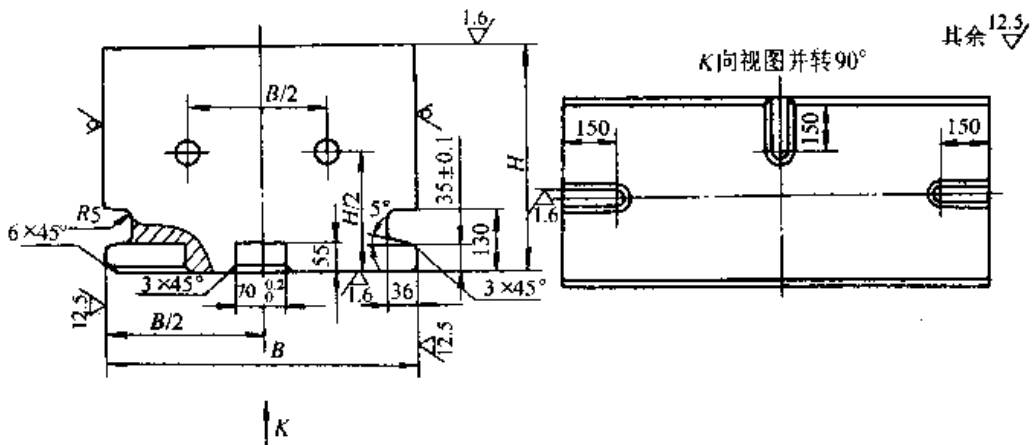


图 24.6-46 用爪子紧固的模块标准

表 24.6-43 起重孔尺寸 (mm)

简 图	模块重量/t	D	H
	<4	φ40	100
	4~6	φ50	120
	6~15	φ70	140
	>15	φ80	160

如钛合金、铝合金、镁合金、镍合金、合金钢等，锻造温度范围比较狭窄。尤其是在锻造具有薄的腹板、高肋和薄壁的零件时，毛坯的温度很快地向模具散失，变形抗力迅速增加，塑性急剧降低，这不仅需要大幅度提高设备吨位，也易造成锻件开裂。因此，不得不增加锻件厚度，增加机加工余量，降低了材料利用率，提高了制件成本。自70年代以来为解决上述问题提供了强有

力的手段，使等温锻造得到了较快发展。

(1) 等温锻造的基本特点

与常规锻造方法相比，等温锻造具有如下特点：

1) 为防止毛坯的温度散失，等温锻造时，模具和坯料要保持在相同的恒定温度下，这一温度是介于冷锻温度和热锻温度之间的一个中间温度，或对某些材料而言，等于热锻温度。

2) 考虑到材料在等温锻造时具有一定的粘性，即应变速率敏感性，等温锻造的变形速度很低。在上述两个条件下，叶片和翼板类零件可以容易地成形。尤其是航空航天工业中应用的钛合金、铝合金零件，很适合这种工艺。但是，在钛合金等温锻造温度下，所用模具材料镍基高温合金有蠕变特性强和高温抗拉强度陡降的特点，因而，又出现了模具温度稍低于毛坯温度的热模具锻造工艺。

(2) 等温锻造的分类与应用

表 24.6-44 列出了等温锻造和超塑性锻造的各种工艺的应用及其特点。

表 24.6-44 等温锻造与超塑性锻造的分类与应用

分 类		应 用	工 艺 特 点
等 温 锻 造	等 温 模 锻	开式模锻	形状复杂零件，薄壁件，难变形材料零件，如钛合金叶片等
		闭式模锻	机加工复杂、机械性能要求高的和无斜度的锻件
	等 温 挤 压	正挤压	难变形材料的各种型材成形，制坯，如叶片毛坯
		反挤压	成形衬筒、法兰、模具型腔等
			余量小，弹性恢复小，可一次成形
			无飞边、无斜度、需顶出、模具成本高。锻件性能、精度高、余量小
			光滑、无擦伤，组织性能好，可实现无残料挤压
			表面质量，内部组织均优，变形力小

5.2 等温锻造的常用材料及工艺规范

采用等温锻造的常用材料包括钛合金、铝合金、镁合金、合金钢等。等温锻造工艺规范的确定以材料流动应力低、塑性高、氧化少为原则，并要兼顾到模具材料的承受能力。材料在等温状态下的流动应力受温度、应变和应变速率的影响，既具有应变硬化特性，又具有应变速率强化特性，依材料品种、成形温度和应变速率不同，上述两种特性彼此消长。而材料的塑性也同样受上述因素的影响。

(1) 等温变形流动应力的影响因素

等温变形在低应变速率下进行，是为了使变形的发展得以与软化过程相适应。而软化过程进行的速度又直接与温度相关。在等温条件下，应变强化是不占主导地位的。如图 24.6-47 与图 24.6-48 所示，钢与钛合金仅在变形量为 0.2~0.3 时，才有相当大的应变强化。而在相同的温度下，应变速率强化效应却很显著（图 24.6-49、图 24.6-50、图 24.6-51）。

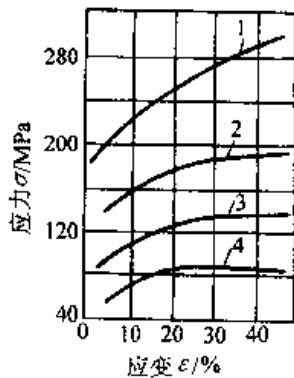


图 24.6-47 1Cr18Ni9Ti 钢的强化曲线

1—900℃ 2—1 000℃ 3—1 200℃ $\dot{\epsilon} = 5 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$

(2) 等温变形塑性指标的影响因素

除了降低流动应力之外，等温变形的又一主要优点是材料塑性的提高。这首先是因为，低速变形时，由于扩散的结果，软化较充分且显微裂纹得以消除。其次是因为等温变形的毛坯温度场较均匀，减小了温度应力，使变形较均匀。比起单向拉伸来，锻粗更能如实反映等温模锻条件下的材料塑性。通常以锻粗时第一条裂纹出现时的变形程度作为塑性指标。对钛合金和镍合金的实验表明，上述指标受到温度和应变速率的强烈影响（图 24.6-52、图 24.6-53、图 24.6-54）。

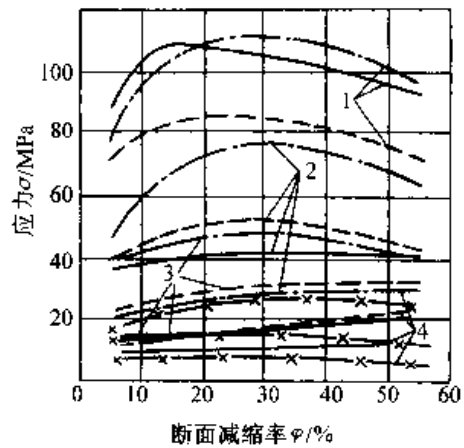


图 24.6-48 钛合金真实应力与变形量的关系
1—900℃ 2—1 000℃ 3—1 100℃ 4—1 200℃
×—× 99.2Ti Ti-4Al-3Mo-IV
—— TA6 TB1

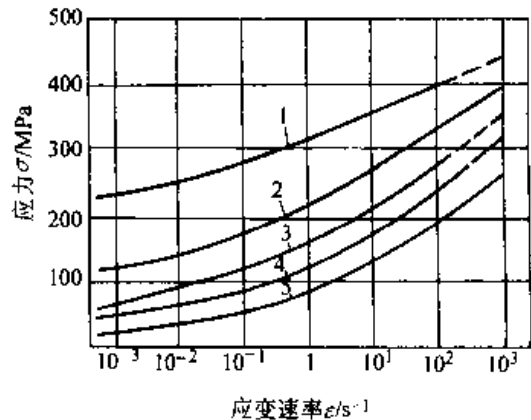


图 24.6-49 1Cr18Ni9Ti 钢变形抗力与应变速率的关系
1—800℃ 2—900℃ 3—1 000℃ 4—1 100℃
5—1 200℃ $\dot{\epsilon} = 30\%$

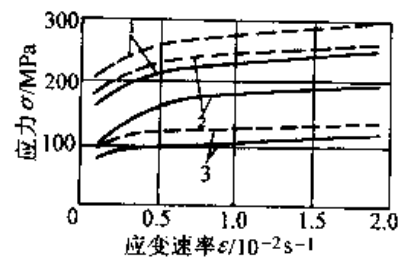


图 24.6-50 钛合金变形抗力与应变速率的关系
1—800℃ 2—850℃ 3—900℃ —— TC6 --- TC8

(3) 等温锻造工艺规范

表 24.6-45 列出了部分钛合金、镁合金、铝合金、合金钢的等温锻造温度，应变速率及在此

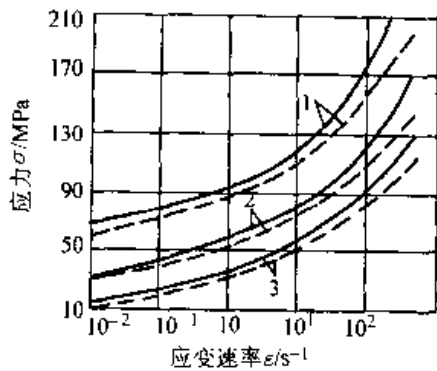


图 24.6-51 TA6 钛合金真实应力与应变速率的关系
1—950℃ 2—1 000℃ 3—1 200℃
—— φ=30% ... φ=5%

条件下的流动应力。表中所列是国内外经过等温锻造实践的合金品种及其规范。各种资料提供的规范并不完全一致，如 α 和 α + β 钛合金的等温锻造温度一般取在 β 转变点下 30~100℃ 范围之内。

5.3 等温锻造变形力的计算及设备吨位选择

(1) 等温锻造变形力的计算

等温锻造的变形力受坯料组织状态、锻造温度、速度、变形方式（开式模锻、闭式模锻、正挤压、反挤压、拉拔）、润滑状况、锻件形状的复杂程度等诸多因素影响。

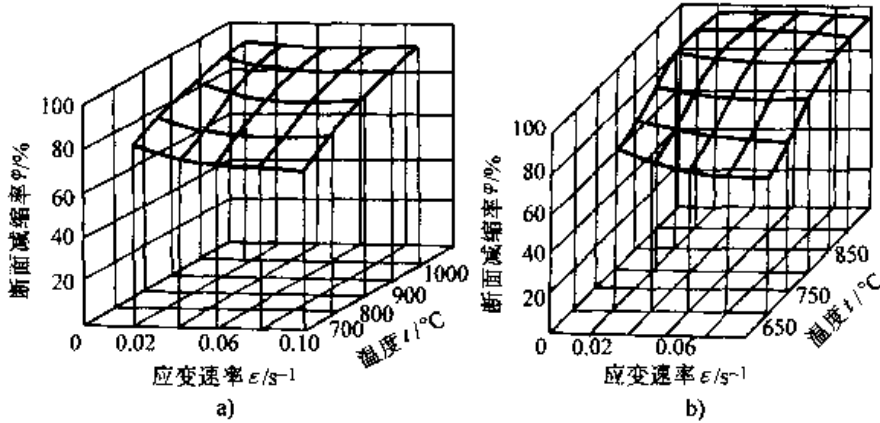


图 24.6-52 钛合金塑性图
a) TC6 b) TC8

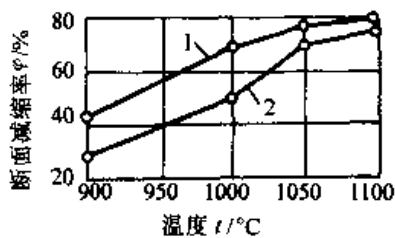


图 24.6-53 Nimonic105 合金最大变形量与变形温度的关系
1—v=0.1 mm/s 2—v=0.6~0.7 mm/s

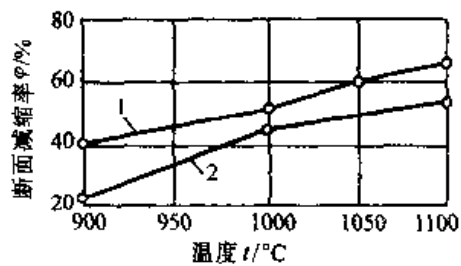


图 24.6-54 Nimonic115 合金最大变形量与变形温度的关系
1—v=0.2~0.4 mm/s 2—v=0.5~0.6 mm/s

表 24.6-45 部分合金的等温锻规范

合金牌号	温度/℃	应变速率/s ⁻¹	屈服点/MPa
TA1	950~1 000	1×10 ⁻³	20~30
TA6	950~1 000	5×10 ⁻²	80~100
TA7	960~1 000	1×10 ⁻³	—

续表 24.6-45

合金牌号	温度/℃	应变速率/s ⁻¹	屈服点/MPa
TC3	880~920	—	30~52
TC4	900~950	3×10^{-2}	50~100
TC6	900~960	5×10^{-3}	100~150
TC8	850~900	1×10^{-2}	130~170
TC9	900~950	5×10^{-3}	—
TC11	860~920	1×10^{-3}	—
TB1	950~1 000	5×10^{-2}	40~60
2A50	360	4×10^{-3}	—
7A09	420	8×10^{-4}	30
2A12	420	8×10^{-4}	20~25
5A06	450~510	1.5×10^{-3}	20
MB8	380~420	1×10^{-3}	20~30
MB3	400	6×10^{-3}	30
T8	700 800	5×10^{-4}	144 93
T10	700 800	5×10^{-4}	150 93
5CrMnMo	700 800	5×10^{-4}	145 90
3Cr2W8V	700 800	5×10^{-4}	248 163
CrWMn	700 800	5×10^{-4}	154 99
GCr15	700 800	5×10^{-4}	162 100
1Cr18Ni9Ti	1 000 1 100 1 200	5×10^{-2}	190 140 90

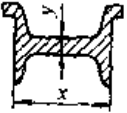
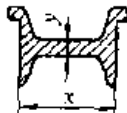
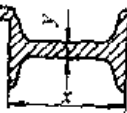

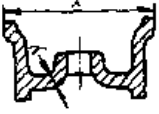
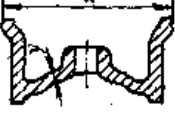
下面仅就锻件形状复杂程度对变形力的影响予以论述和介绍。

1) 复杂短轴类轴对称件 十分复杂的盘、轮等毛坯可用形状简单的毛坯在压力机上一个行程中等温模锻而成。水压机的滑块速度大约在 0.04 mm/s 时, 模锻的压力比一般成型用的小 $4/5 \sim 9/10$ 。变形速度的影响(速度系数 n 的值)随速度的减少而增加。例如 Ti-6Al-6V-2.5Sn 合金在 980°C 的变形速度由 0.4 s^{-1} 减至 0.005 s^{-1} 时(减少 79/80), 模锻压力减少大约

4/5。

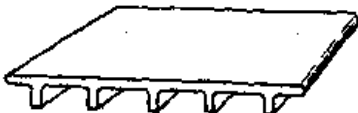
温度在 $800 \sim 900^\circ\text{C}$ 时, 在更高的速度范围内减少变形速度仅降低变形抗力的一半。在恒定压力下, 在模具闭合所需的时间内成型时, 模膛填充最好, 模锻压力最小。这种被称为《蠕变模锻》的模锻时间一般采用 $3 \sim 5 \text{ min}$ 。不同形状毛坯的等温模锻的试验结果如表 24.6-46 所列。由所列数据可以看出, 带有高的或狭窄的肋条的复杂叶片的等温锻所用的比压大约为 $76 \sim 130 \text{ MPa}$ 。

表 24.6-46 Ti-6Al-6V-2.5Sn 合金毛坯的等温模锻试验结果

模 锻 的 毛 坯				模 具		等 温 模 锻			
形状 (纵剖面)	尺寸/mm		投影面积 /mm ²	重量 /kg	合 金	半模的 重量 /kg	温 度 /℃	成形速度/ (mm/s)	比 压/ MPa
	x	y							
	95	7.9	6 800	0.9	Inconel100	90	980 870	1 1	260 600
	95	7.9	6 800	0.9	Mar-M200	90	980 760	0.04 1	83 860
	140	9.1	10 000	1.6	Inconel100	180	980 870	1 1	260 580
	380	10.3	36 000	7.0	Inconel100	640	980 900	0.04 0.04	76 124
	190	1.6	24 000	1.5	Mar-M200	180	980 870	0.04 0.04	83 130
	320	3.2	71 000	10	Inconel100	640	900	0.04	130

2) 壁板类零件 许多航空、航天用壁板类零件具有薄的腹板和相对高的肋。采用传统模锻方法生产时,需通过一系列的制坯与预成形工步。当采用等温锻造时,其工步数将大为减少。铝合金零件形状复杂程度对锻造成形力的影响见表 24.6-47。

表 24.6-47 零件形状复杂程度对锻造力的影响

铝合金锻件 肋距: 82.55 mm 肋宽: 8.13 mm 斜度: 5°		
锻造压力/MPa	肋高/mm	腹板厚度/mm
80.5	8.13	14
199.5	20.06	10.67
397.6	40.13	8.13

对壁板类零件,其锻造压力总是随零件平面面积的增加几乎成线性地增大。对于形状和尺寸因素,当肋的相对高度增加,腹板厚度减薄,锻造压力就增大,因为零件的单位体积具有更大的表面积,极大地影响摩擦阻力和温度的变化。因此,锻件表面积与体积之比和锻造成形的难度直接相关,此外,金属流动方向对锻造负载有时也产生较大影响。

因为一些主要影响因素的实验数据不很充足。通常,采用下式估算变形力:

$$F = pA$$

式中 F ——变形力 (N);

p ——单位变形力 (MPa);

A ——锻件的总变形面积 (mm^2)。

单位变形力 p 是流动应力的 2~4 倍,闭式模锻、薄腹件模锻、反挤压取较大值,开式模锻与正挤压、拉拔取较小值。

(2) 等温锻造设备

等温锻造在低速下进行,一般采用液压机。此种液压机应满足下述要求。

可调速:工作行程的速度调节范围在 0.1~0.001 mm/s。

可保压:工作滑块在额定压力下可保压 30 min 以上。

高的封闭高度与足够的工作台面:为安装模具、加热装置、冷却板、隔热板等工装和便于操作,需要较大的封闭高度与工作台面,最好带有活动工作台。

带顶出装置:应具有足够的顶出行程与顶出力。

有控温系统:工作部分的加热温度控制是必需的。

在没有专用设备时,可采用工作行程速度较低的液压机,如型腔冷挤压用液压机和塑料液压机。必要时,可在油路中安装调速装置,以降低滑块速度。

表 24.6-48 为几种等温模锻用液压机的技术参数。

图 24.6-55 为表 24.6-48 所列三种等温模锻用液压机型号之一的 6.3 MN 液压机图。图中固定的下横梁 21 是压机的基础,上横梁 18 与液压缸 16 做成一体,用 4 个立柱 19 连接在一起,滑块 20 沿立柱运动。垫板 5 上装有模具,并带有

表 24.6-48 等温模锻用液压机技术参数

公称压力/MN	2.5	6.3	16
横梁最大行程/mm	710	800	1 000
横梁空载行程速度/(mm/s)	63	40	25
横梁工作行程速度/(mm/s)	0.2~2.0	0.2~2.0	0.2~2.0
闭合高度/mm	600	975	975
下顶杆顶出力/MN	0.25	0.63	1.6
上顶杆顶出力/MN	0.25	0.63	1.6
下顶杆顶出距/mm	250	320	400
上顶杆顶出距/mm	100	100	100
立柱左右间距/mm	1 000	1 250	1 600
立柱前后间距/mm	800	1 000	1 250
压机左右总宽/mm	2 250	2 580	4 325
压机前后总长/mm	2 020	2 180	2 850
压机总高/mm	5 685	6 900	9 140
压机总重量/t	—	—	—

加热装置。为了滑块快速回程,设有回程缸 17。压力机具有锁紧装置,当液压系统关闭时,滑块停止在上方。锁紧装置由螺杆 11 和螺母 10 组成,滑块移动时,螺杆在螺母内旋转。螺杆不转动时,滑块即停止。当齿轮式半联轴器 14 与连接在螺杆 11 上的半联轴器 13 啮合时,螺杆就停止不动了。半联轴器 14 是不能旋转的,因为它处于外壳 12 的方形凹槽内。装置是这样工作的。工作液体进入定位液压缸心的活塞下部,将活塞杆和半联轴器 14 抬起,并压缩弹簧。同时,半联轴节 13 和 14 脱开,松开螺杆,并使滑块下移。当滑块开始加速空行程下行时(由于重力的作用)螺母 10 与滑块同时运动。因为螺纹的升角大于自锁角,因此,可使螺杆 11 转动。当缸体内进入工作液体时,滑块速度减慢,工作行程时,螺杆也旋转。当滑块快速提升时(工作液体进入液压缸 17 时),螺杆反转,在弹簧的作用下,半联轴器 14 向下移动,并与半联轴器 13 啮合时,滑块会在预先规定好的位置上停止,并牢固地锁紧。联锁装置同时锁紧螺杆和滑块,工作液体不可能再进入液压缸 16 和 17。压机的特点

是具有专门的可调限位器，可准确限制滑块的工作行程。限位器是由空心立柱6和固定其上的螺母7及支承螺杆8组成，横梁20在下行程終了时的位置，取决于支承在螺杆8上的轴承9，螺

杆的下部作成花键槽，其上装有传动齿轮4，由电机——减速器22通过一套齿轮2和齿轮23、24、25、3和4，可使安装在下顶料器1的壳体上的可调限位器同时移动。

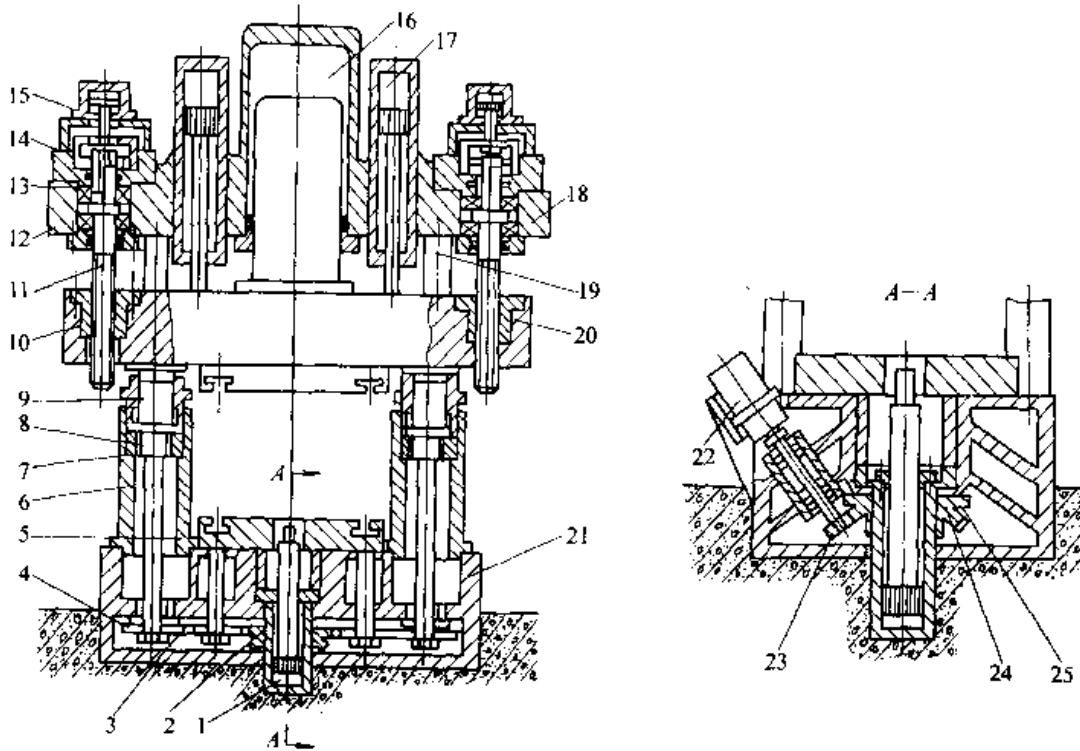


图 24.6-55 压力为 6.3 MN 的等温模锻液压机

5.4 等温锻造模具设计

(1) 锻模结构及材料

等温模锻在锻件设计上，与普通模锻有所区别，模具设计也应与此相适应，表 24.6-49 所列为投影面积小于 645 cm² 的钛合金锻件模锻时两种方法的比较。

表 24.6-49 模锻投影面积小于 645 cm² 的钛合金锻件时两种方法的比较

比较项目	普通模锻	等温模锻
拔模斜度/°	5	0~1
外圆角半径/mm	22	10
内圆角半径/mm	10	3.3
欠压/mm	0.76~3.3	0~1
翘曲/mm	1.52	0.38
长度与宽度公差/mm	±1.0	±0.38
错移/mm	1.27	0.51
腹板厚度/mm	12.7	2.5~3.2

等温模锻又分为开式模锻（有飞边模锻）和闭式模锻（无飞边模锻），开式与闭式模锻模设计方面，有同有异：

模膛结构 闭式锻造用模具多采用如图 24.6-56 所示镶块组合式结构，便于模具加工与锻件顶出。开式锻模多用整体式结构。

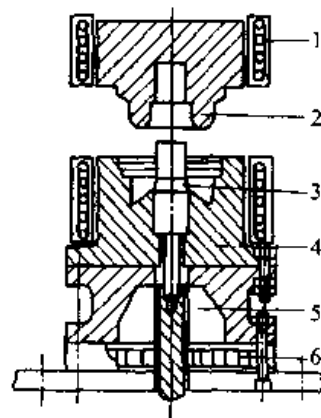


图 24.6-56 感应加热的等温锻模
1—感应圈 2—上模 3—顶杆
4—下模 5—间隙 6—水冷板

导向 闭式锻模多用模口导向, 间隙研配为 0.10~0.12 mm。开式锻模可用导柱导向, 导柱高径比不大于 1.5, 导柱与导向孔的双面间隙, 依导柱直径不同, 取 0.08~0.25 mm。

飞边槽 开式锻模带有飞边槽。在等温状态下, 不存在飞边冷却问题, 在飞边槽尺寸相同时, 桥部阻力小于常规模锻。表 24.6-50 与图 24.6-57 所示为外径 $\phi 190$ mm 的 7A09 材料导风轮不同模锻方法的飞边槽比较。由表中可见, 等温模锻飞边槽的桥部高度、宽度、仓部高度、宽度分别为普通模锻的 11%~12.5%、40%~60%、40%~42%、35%~40%, 尤其是桥部宽高比达 12, 是普通模锻所没有的。采用小飞边槽的目的是弥补等温条件带来的飞边阻力下降。

表 24.6-50 不同模锻方法的飞边槽尺寸

模锻方法	设备吨位 /kN	飞边槽尺寸/mm			
		a	b	l	L
锤上模锻	30	4.5	8	15	45
热模锻压力机上模锻	25 000	4	8	10	40
液压机上等温模锻	3 000	0.5	4	6	16

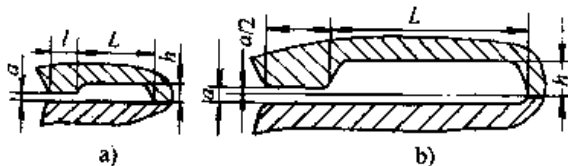


图 24.6-57 导风轮不同模锻方法的飞边槽

a) 普通模锻 b) 等温模锻

模锻斜度 闭式模锻无拔模斜度。开式模锻斜度同常规锻造。

顶出 闭式模锻必须设顶出装置。开式模锻根据锻件情况决定顶出机构的取舍。

收缩值 在等温状态下, 锻件收缩值取决于模具材料与锻件材料线膨胀系数的差异, 收缩值可用下式计算后加到模具线尺寸上:

$$\Delta = (t_2 - t_1)(\alpha_1 - \alpha_2)L$$

式中 t_1, t_2 ——室温与模锻温度 ($^{\circ}\text{C}$);

α_1, α_2 ——坯料与模具的线膨胀系数 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$);

L ——模具尺寸 (mm);

Δ ——收缩值 (mm)。

模具材料 铝合金与镁合金锻模可采用热模

具钢。钛合金和钢锻模用高温合金制造, 国内常用 GH 类材料与 K403、K405 合金。但是, 镍基高温合金在钛合金锻造范围内有抗蠕变性能差和强度陡降的特点, 因此, 国外又发展了热模具锻造工艺, 即模温为 750~850 $^{\circ}\text{C}$ 、钛合金坯温度仍为 900~950 $^{\circ}\text{C}$, 且适当提高锻造速度。图 24.6-58 表示出了常规锻造、热模具锻造、等温锻造的模温与锻造时间的区别。

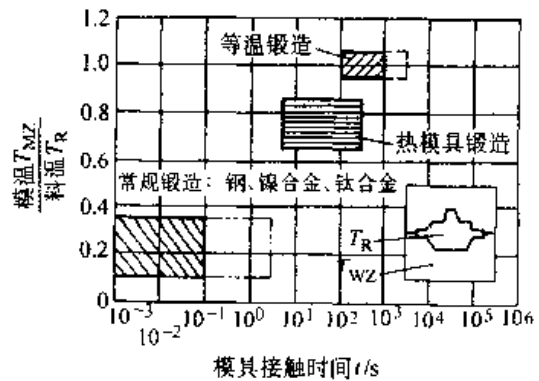


图 24.6-58 各种锻造方法的模温与锻造时间的比较

值得强调的是, 等温闭式模锻比常规闭式模锻应用更广泛。常规闭式模锻主要用于轴对称锻件, 而等温闭式模锻可用于长轴类锻件与异形锻件, 如叶片。

闭式模锻也可分为精模锻与粗模锻, 精模锻锻件一般不需后续机械加工或仅需少量机械加工; 但某些薄腹件, 考虑成形的需要和避免在顶出时发生翘曲, 宜增加机械加工余量, 采用粗模锻。

闭式模锻为无飞边模锻, 其高度方向 (即加载方向) 的尺寸取决于坯料大小, 故下料重量公差较严。

(2) 加热装置

等温模锻需要能在变形过程中保持恒温的加热装置。通常采用感应加热与电阻加热, 图 24.6-56 为采用感应加热的模具。

加热装置的功率可用下式计算:

$$P = (G(T_2 - T_1)c) / (0.21t\eta)$$

式中 P ——加热功率 (kW);

G ——被加热金属重量 (kg);

c ——被加热金属的比热容 ($\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$);

T_1 ——加热前温度 ($^{\circ}\text{C}$);

T_2 ——所需加热温度 ($^{\circ}\text{C}$);

t ——加热时间 (h)。

η ——效率, $\eta=0.35\sim 0.40$ 。

钢的比热容, $c=481.5\text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。

图 24.6-59 所示为封闭式等温模锻用模座示意图。下模 1 及上模 3 相应固定在模具架 13 及模具架 4 上, 模具架通过隔热装置 11 和 5 与支撑板 9 和 6 相连。模座有两个隔热保护套: 下套 10 是不动的, 上套 7 是活动的。在滑块向上移开时, 上套 7 不从下套 10 脱出, 从而使工作区的隔热不被破坏。模具借助感应器 12 加热, 毛坯 2 通过下套 10 中的专用孔 8 送入及取出。模座的结构能以很高的加热效率将模具加热至变形温度。

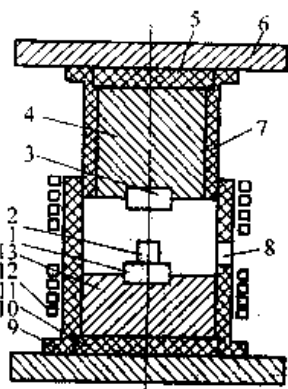


图 24.6-59 封闭式等温模锻用模座示意图

6 锻模设计实例

6.1 普通锻模设计实例

(1) 飞机翼肋锻模

图 24.6-60 是翼肋的零件图, 材料为镁合金, 该件腹板周围有立肋条, 横截面是“C”形。

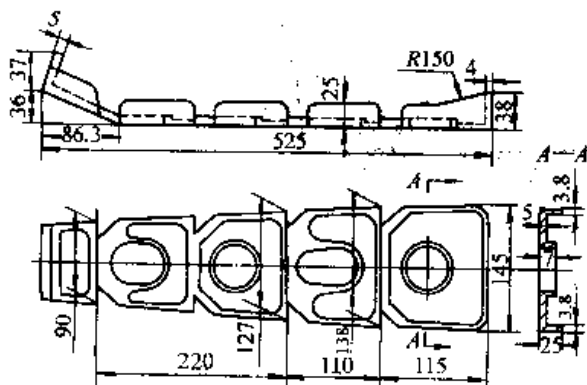


图 24.6-60 翼肋零件图

为避免肋根部出现折叠, 分模面位置选在肋

的顶部。加工余量按标准取 4~6 mm, 沿锻件轴向, 考虑到错移和冷收缩等因素, 加工余量取 5.5 mm。为改善模压时金属的流动情况, 加工部位圆角半径均适当加大。模锻斜度取 7° , 图 24.6-61 为翼肋的锻件图。该件最大横截面积处于大端, 其腹板宽度和厚度分别为 153 mm 和 14 mm, 肋的高度和宽度分别为 40 mm 和 15 mm。飞边金属量按 20% 计算。坯料选用断面尺寸为 15 mm×25 mm 的带板。计算坯料长度时, 应考虑到盖住模膛的小端, 而模膛大端应超过飞边桥口。

该件投影面积 (包括桥口部分) 为 0.1 m^2 , 选用 30 000 kN 水压机模锻。

为使模压后锻件留在下模, 以便操作人员用撬杠撬起锻件, 将凹模置于下模, 凸模布置在上模, 如图 24.6-62 所示。

模膛尺寸按照热锻件图来设计, 飞边槽尺寸按锻件投影面积选用, 如图 24.6-62 所示。钳口设置在下模, 其尺寸如图 24.6-62 B-B 剖面图所示。

由于该件轴向尺寸较大, 并采用了肋顶分模, 因此, 为保证锻件尺寸精度应采用纵向锁扣, 如图 24.6-62 所示。另外, 锻件大头和小头的分模面间有落差, 为平衡错移力, 需采用平衡锁扣, 如图 24.6-62 所示。

键槽中心线与模块中心偏移 50 mm。

模块平面尺寸为 500 mm×1 100 mm, 上、下模闭合高度为 700 mm。

模具材料选用 5CrNiMo, 热处理硬度: 35~38HRC。

(2) 三角支架锻模

图 24.6-63 是三角支架锻件图, 材料为 2A50 铝合金。该件在俯视图上呈三角形, 其横截面为工字形, 腹板较薄, 大端还有两个凸包。除几个配合面需加工 (图中用双点画线表示的部位) 外, 其余是非加工表面。因此, 该件对锻件表面质量和模具制造精度要求较高, 需要顺序地采用制坯、预锻和终锻数套锻模。

该件投影面积 (包括桥口) 为 0.12 m^2 , 采用 50 000 kN 水压机模锻。

下面只介绍制坯和预锻模设计要点。

坯料选择, 以凸包高度 84 mm 按 60% 充填系数计算, 坯料厚度约为 50 mm, 用 50 mm×310 mm

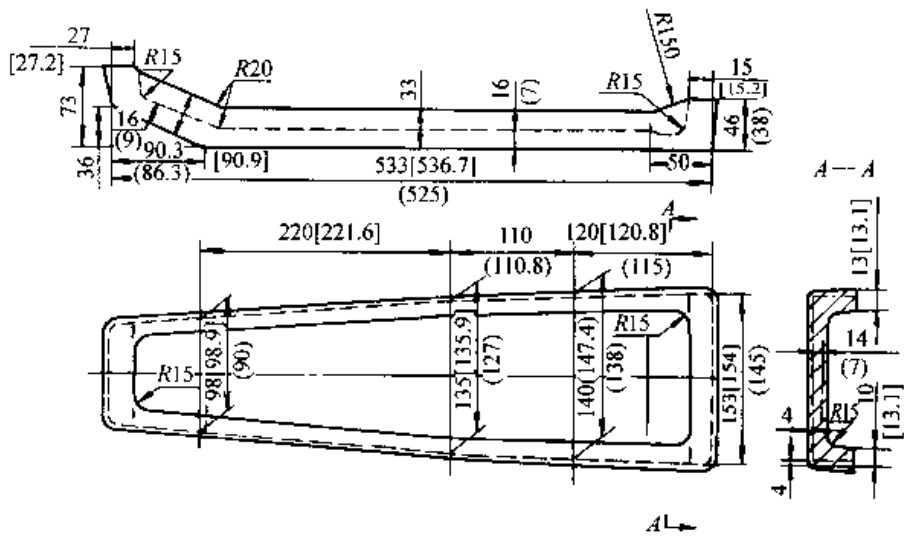


图 24.6-61 翼肋锻件图

1. 未注圆角 R5, 出模角 7° 2. 欠压量 $\pm 2\%$, 错移 1.5, 翘曲 1.5
为零件线, [] 为模具尺寸, () 为零件尺寸

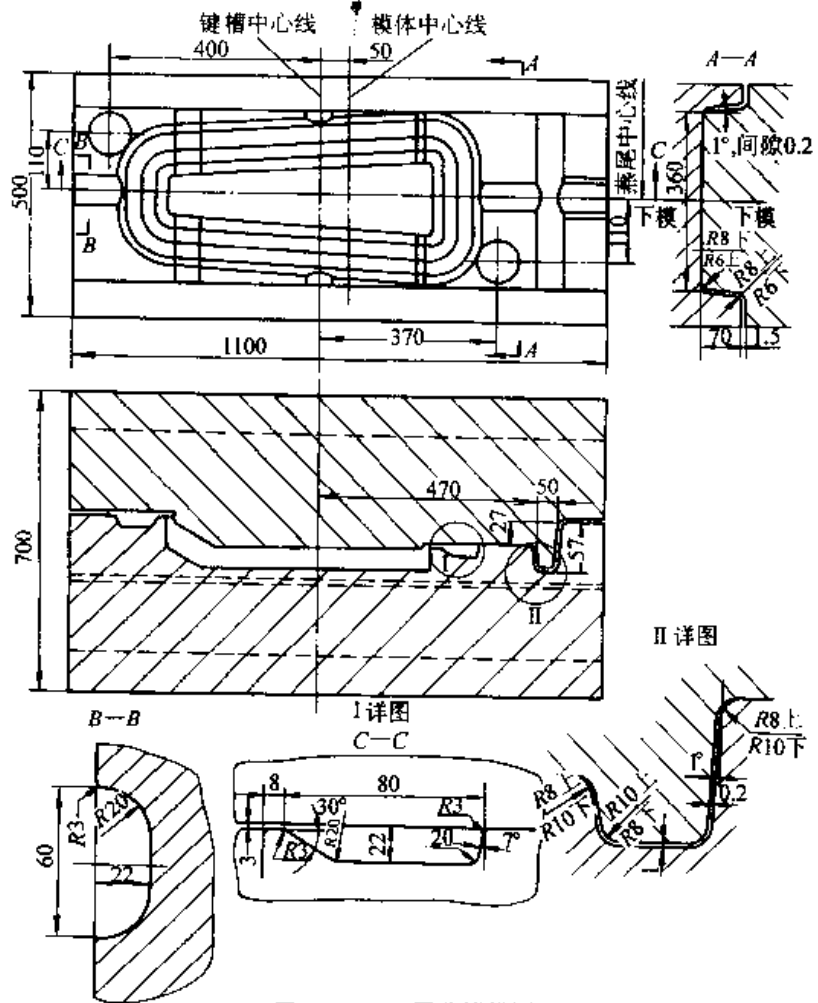


图 24.6-62 翼肋锻模图

1. 材料 5CrNiMo 2. 35~38HRC 3. 模腔按锻件图制造, 收缩率 0.7% 4. 导柱孔: 下模 $\phi 80^{+0.07} \times 110$
 上模 $\phi 80.4 \times 100$
 导柱尺寸: $\phi 80 \pm 0.005 \times 200$

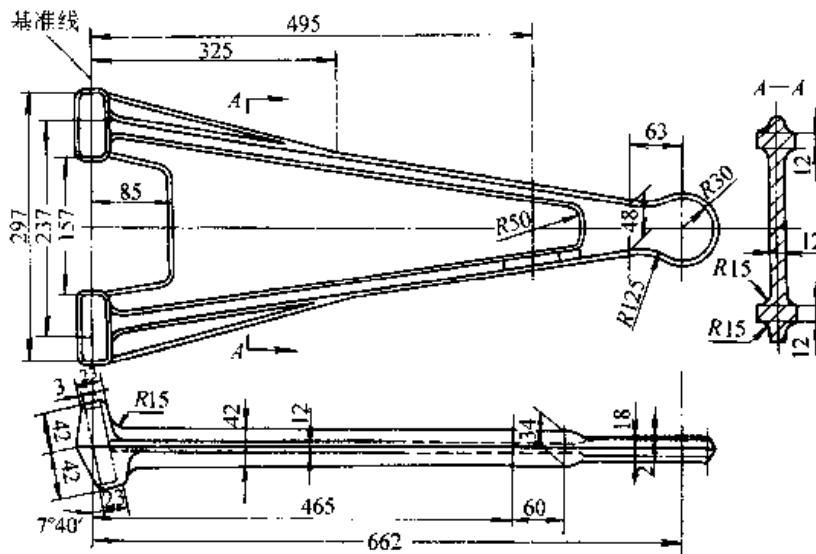


图 24.6-63 三角支架锻件图

1. 未注圆角 R3 2. 热收缩率 0.7% 3. - - - 零件加工线

带板料斜切成与锻件外形近似的三角形坯料。

该件工字形截面部分的最大宽度为 260 mm，厚度 12 mm，两侧肋的高度 42 mm，厚度 12 mm，肋的宽高比接近 1/3。但肋高和腹板宽度比为 1/4，说明腹板宽度的影响大，因此应采用适当的坯料厚度。从基准线开始取 5 个横截面，计算合理的坯料厚度，见表 24.6-51。

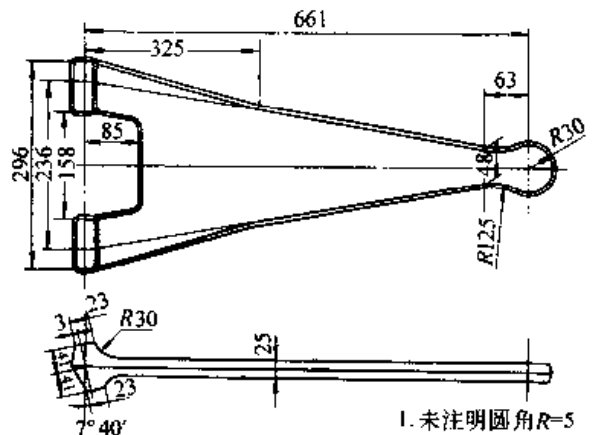
表 24.6-51 工字形横截面面积及坯料厚度

由基准线起断面位置/mm	80	200	325	430	500
横截面积/mm ²	3 840	3 120	2 340	1 920	1 680
所需坯料厚度/mm	18	18.8	20.8	23	25.2

由该表可见，所需坯料的最大厚度为 25.2 mm，而使用的带板料厚为 50 mm。因此需采用制坯模进行制坯。

坯件的尺寸如图 24.6-64 示。用制坯模只压出锻件的轮廓和两个凸包。工字截面部分只压出平板，板厚为 25 mm。两个凸包的高度较模锻件小 2 mm，即为 82 mm，宽度保持模锻件尺寸 (23 mm)，以便于将坯料放入模锻模膛。在凸包处坯件的过渡圆角半径取 R30，以保证在模锻模膛中模压时，此处有足够的金属量。

预锻模的作用是对工字形截面部分进行预压，在预锻模上两个凸包的型腔尺寸与制坯模相同，图 24.6-65 是预压件图。为避免终压时产生折叠，预压件的肋高比终压件小 4 mm，两者的腹板厚度相同。为保证终压时有足够的金属量充



1. 未注明圆角 R=5

图 24.6-64 三角支架锻坯图

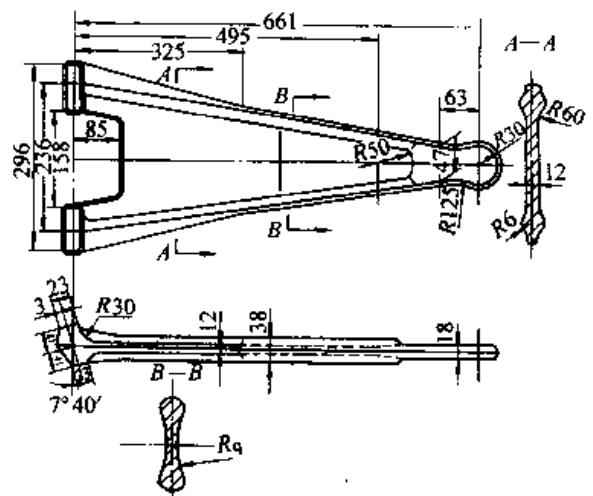


图 24.6-65 三角支架预锻件图
未注圆角半径 R6

填肋顶,在预压件上以大圆弧 $R60$ 和 R_4 与腹板和肋顶 $R6$ 相切。为便于放入终锻模膛和减小充填阻力,预压件轮廓与终锻模膛间应留有 0.5 mm 间隙。

(3) 叶轮锻模

叶轮是航空发动机的重要受力件,材料为 2B50 铝合金,重 165 kg 。叶轮锻件图如图 24.6-66 示。图中的双点画线为其零件的轮廓尺寸,该件由 29 个肋条呈辐射状分布于曲面形状的腹板上,且将腹板分割成扇形区域。分模面取在锻件高度中间的平面上。由于该件重量大,肋条较高且薄,形状又复杂,容易产生折叠、变形和碰伤等缺陷,因此加工余量应适当放大。例如锻件上直径为 $\phi 56\text{ mm}$ 处,余量取 8.5 mm 。另外,模压后顶出锻件时,顶杆可能压入锻件内部 $2\sim$

3 mm ,此处余量也应加大。

该件采用制坯、预锻和终锻三个变形工步。

原毛坯为 $\phi 310\text{ mm}\times 830\text{ mm}$ 的铸锭。由于该件工作时受力复杂,对机械性能要求较高,应对铸锭进行三向反复锻拔,再锻成 $\phi 533\text{ mm}\times 220\text{ mm}$ 的锻坯。

该件投影面积(包括桥口)为 0.5 m^2 ,采用 100 MN 水压机模锻。

为提高终锻模膛寿命和改善金属充填的条件,应采用预锻模。预锻件图如图 24.6-67 所示。预锻模膛与终锻模膛的相对尺寸关系如图 24.6-68 所示。由该图可见,终锻时,预锻件扇形腹板金属首先在靠近中心部位充满模膛,并逐步向外缘发展,这样可避免由于先充满外缘模膛可能产生的折叠缺陷。

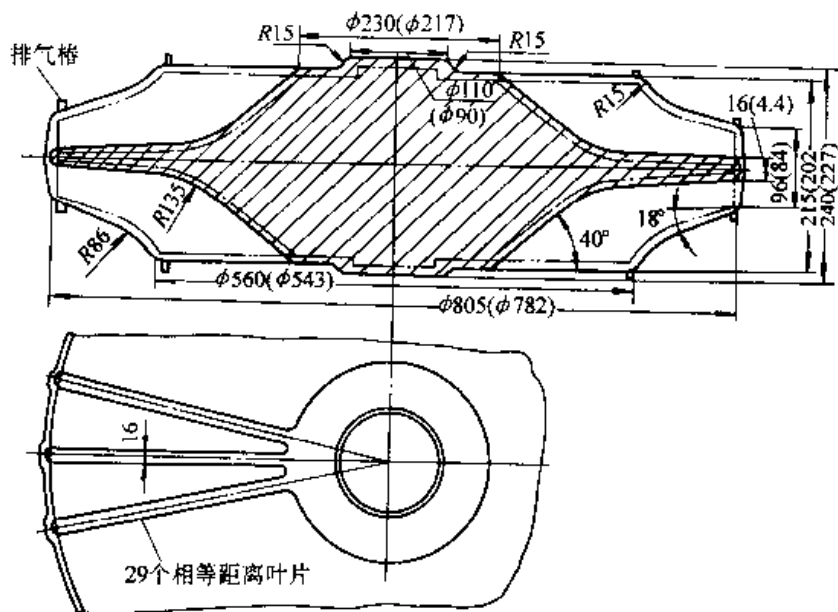


图 24.6-66 叶轮锻件图

1. 未注圆角 $R5$, 出模角 7° 2. 一·一·零件加工线, () 为零件尺寸

终锻模膛按热锻件图制造,在肋条最后充满的地方应设置排气孔。

(4) 飞机骨架零件精锻模

图 24.6-69 所示为肋—腹板型飞机骨架零件精密模锻用模具,安装 $25\ 000\text{ kN}$ 水压机上使用。

(5) 肋—辐板型结构件预锻和终锻模

图 24.6-70 所示为肋—辐板型结构的精密锻件,其平面积约为 762 mm^2 ,零件含有周边肋,其肋厚的变化范围为 $5.84\sim 6.60\text{ mm}$ 。横向肋厚为 5.08 mm ,肋的高度为 $9.4\sim 43.7\text{ mm}$ 。当肋

高为 43.7 mm 时,肋的高宽之比 $h/b=8.6$,如果是铝合金锻件,建议 $h/b=15$ 。

图 24.6-70 所示锻件辐板厚为 5.08 mm ,与 ASM 设计手册上的资料是相同的。模具装配图如图 24.6-71 所示,模锻时分为两步:① 预锻;② 终锻。预锻的作用是合理地分配金属体积,特别成形肋所需的金属体积,要求有相当合适的金属体积从预锻到终锻时其多余的金属形成飞边,然后切除。

图 24.6-71 所示孔径为 15.88 mm 的孔洞 1、2 是加热孔,通常将模具加热到 $400\sim 427^\circ\text{C}$ 即可。

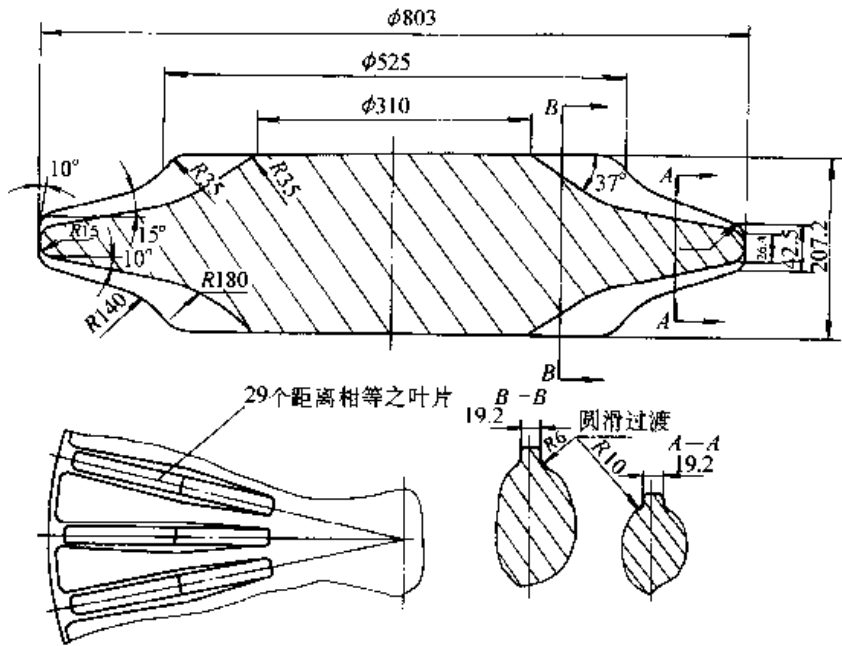


图 24.6-67 叶轮预锻件图
未注圆角 R6, 出模角 7°

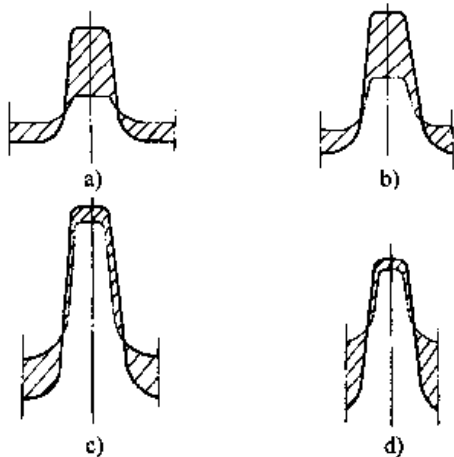


图 24.6-68 预锻模膛与终锻模膛相对关系图
a) $\phi 700$ 断面 b) $\phi 600$ 断面
c) $\phi 500$ 断面 d) $\phi 400$ 断面
——终锻模膛 ——预锻模膛

6.2 重型水压机用模具装置

模具装置是重型水压机上使用的主要工具，系由锻模和一些垫板所构成（图 24.6-72）。垫板的作用在于把压力从锻件分散传布到工作台和活动横梁的尽可能大的面积上去。这样可使工作台和活动横梁在这些部分所承受的载荷不致太集中。这是由于与工具相接触的工作台和活动横梁的那些零件的尺寸比锻模大得多，而且是普通碳

钢制造的，又往往是铸造而成。所以当压机加载时，这些零件宜承受较低的应力。这部分应力值通常为锻制高精度锻件所用锻模型腔上的单位压力的 1/5 到 1/10。

每块锻模（上模或下模）均为重 10~25 t（取决于所锻工件的尺寸）的锻造方块。对于锻制双面带肋工件的锻模（图 24.6-73），模膛一般是铣在上模或下模的工作面上，这时分模线应处在工件厚度的正中间。

为获得一面带肋的工件，复杂的模膛应做在下模中突出来的工作面上，这时上模的工作面深入到下模并做成平滑的表面（图 24.6-74）。

为易于从锻模中取出锻成的工件，在模壁上要做出 3°~7° 的拔模斜度。上模的拔模斜度比下模大，以防止在某些情况下可能发生锻件脱模时卡在上模的现象。

为使金属容易充满模膛，模膛中的拐角部位都要有圆弧过渡。圆角半径的大小受加工模膛所用铣刀的制约，而且与模锻件的尺寸及其加工余量有关。外圆角半径为 1.5~6 mm，内圆角半径为 3~15 mm。

在重型水压机上采用预锻和终锻两种锻模，前者不带飞边槽，但圆角半径和拔模斜度比终锻模大 1.5~2 倍。

为使上下模相互间能导向和定位，锻模上装

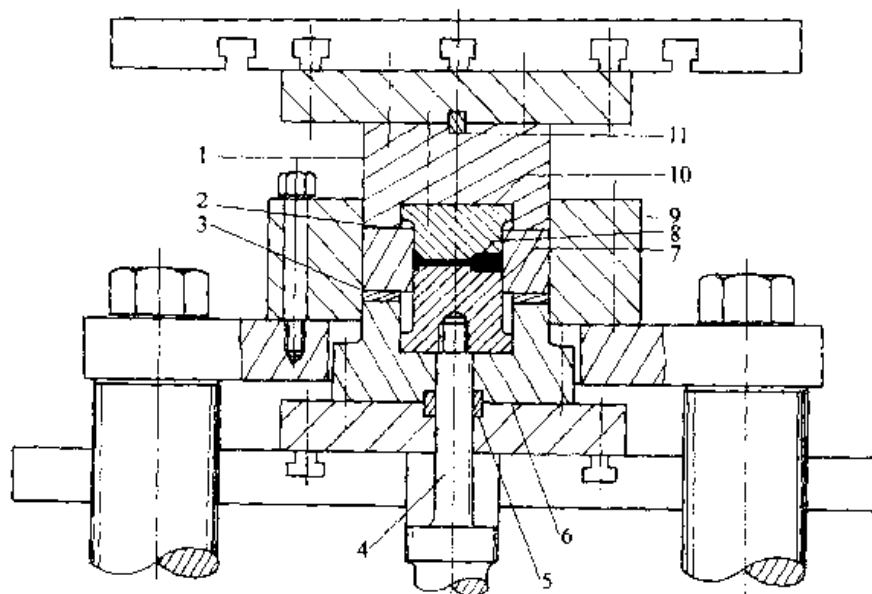


图 24.6-69 壁板零件精密锻模

- 1—上模座 2—模具镶块 3—垫片 4—顶出器 5—定位块 6—下模座
7—下模 8—锻件 9—预紧圈 10—上模 11—定位块

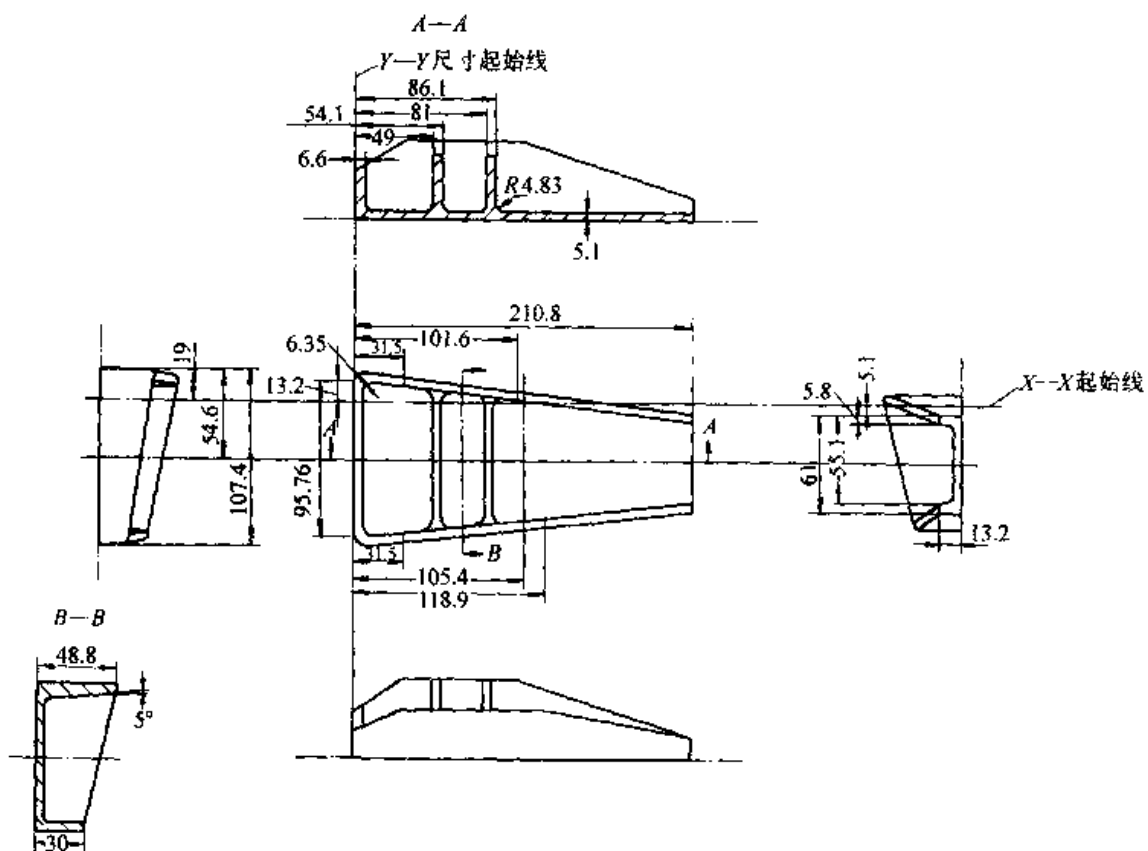


图 24.6-70 肋—板型结构锻件图

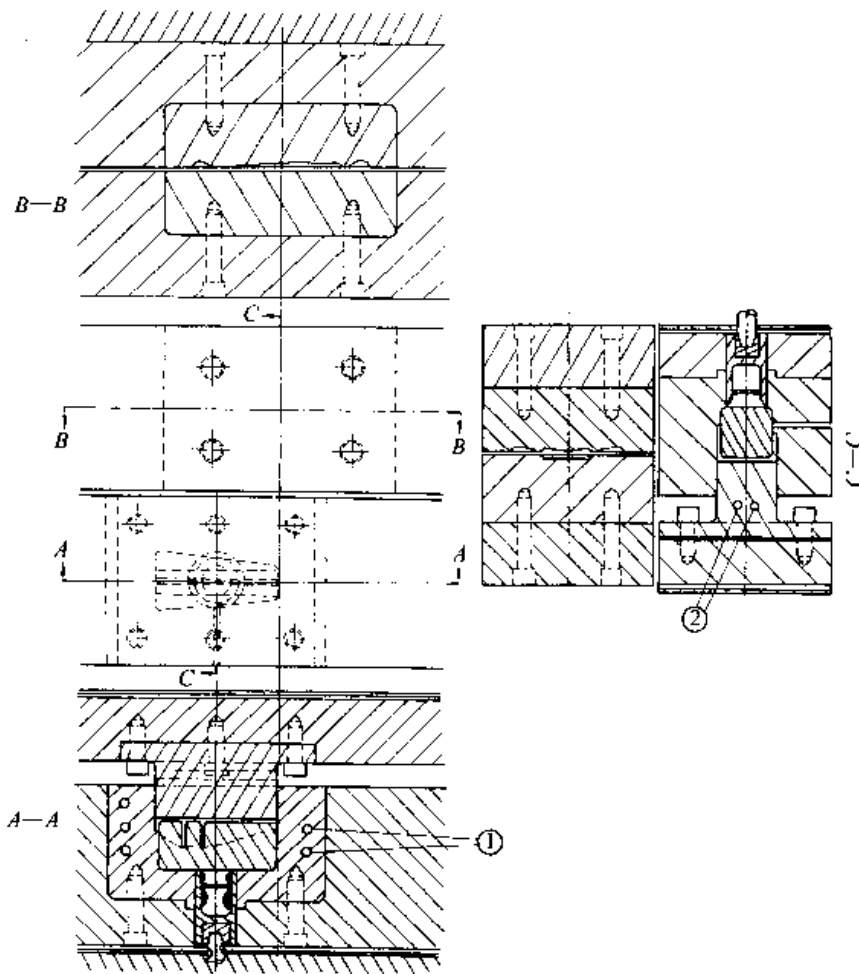


图 24.6-71 肋—辐板型锻件预锻和终锻模

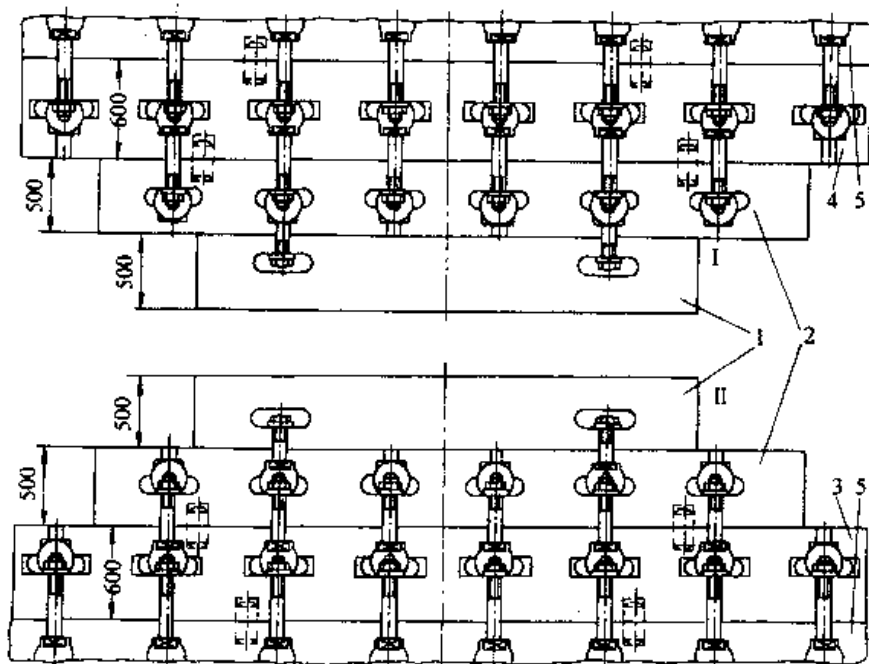


图 24.6-72 重型水压机用模具装置

I—上装置 II—下装置

1—锻模 2—模座 3、4—中间垫板 5—工作台和活动横梁支承板

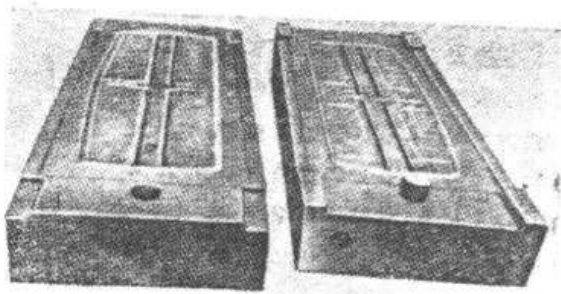


图 24.6-73 用于模锻双面带肋锻件的锻模

有用 5XHB 钢制成的导柱，这些导柱以压配合装在下模上（图 24.6-73）。导柱进入上模的相应孔中。采用锁扣也是为了同样的目的（图 24.6-74）。

导柱和锁扣可承受上下模倾斜时所产生的错移力。在下模支承面上备有特制的圆形或椭圆形孔（如像图 24.6-74 中的部位 9），模座上的柱销进入该孔，从而可使全套锻模得以在模座中定位。锻模的侧面（沿纵向）铣有 T 形槽，以便在把锻模安装或紧固在模具装置的其他垫板上时插放螺栓。对于比较小的锻模，在少数情况下，也采用上下模支承面上的燕尾型尾座来紧固。在锻模横向（有时是纵向）侧面制有插绳索起重销的孔 7，以便起吊和搬运锻模。

为了测量温度，将铝合金塞头（如图 24.6-74 中的部位 3）压入上下模所制的小孔里。

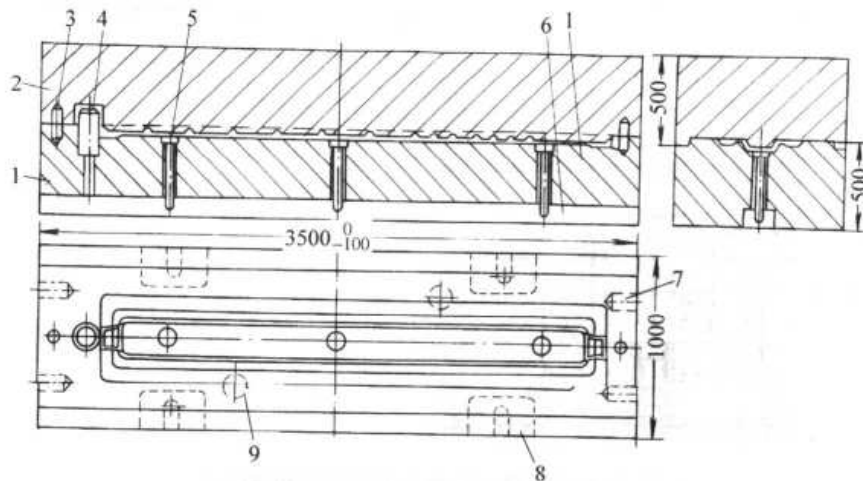


图 24.6-74 用于模锻单面带肋锻件的锻模

- 1—下模 2—上模 3—测温塞头 4—导柱 5—顶杆 6—拉杆
7—起重孔 8—紧固槽 9—把下模紧固在模座上用的孔

在下模中要制作出顶出器顶杆所需的孔。长方形锻件脱模时采用楔形顶杆（图 24.6-74）。为此，在下模支承面上要制作顶出器拉杆 6 所需的槽。

精密锻件的锻模，有时用高合金钢制成镶块，牢固地夹紧于模套中。在这种场合，采用一般的顶出器是不可能的。而是以上述镶块作为顶出器使用。但在配制镶块和模套的尺寸时要高度精确。

30~35 t 重的模座（图 24.6-75），用整块锻件制造。

较重的模具垫板（重达 85 t 的）是由几个锻件用电渣焊焊在一起的（图 24.6-76）。

在模座上制有圆形和椭圆形的定位孔，还有为顶出器零件而开的槽 2 和通孔 3（图 24.6-78）。由于模锻件的形状和尺寸多种多样，因而

顶出器及所设的孔的分布必然也是各式各样的。所以当锻制多品种的工件时，全部垫板上为顶出器而设的各孔要布置均匀（图 24.6-76），尽可能不过分削弱垫板。锻模附近的顶杆所传递的运动，是靠垫板上的专用拉杆（平板）实现的，这些拉杆设在垫板中的纵向（图 24.6-75）或横向（图 24.6-76）槽内。

为固定模具垫板，在垫板中要铣制一些槽，例如槽 4（图 24.6-75）。垫板工作面上的槽比支承面上的长，因为用这些槽装卡垫板时，靠近锻模部分的尺寸比较小，特别是在宽度方向。由于锻制多品种锻件所用的锻模种类繁多，所以模座上的固定槽有时几乎铣至垫板的中心部位。此外，由于锻模长度尺寸的多种多样，有时这些槽要开在垫板的全长上。后面这种情况加之顶出器零件下面有孔和槽的存在，就会使模座大为削

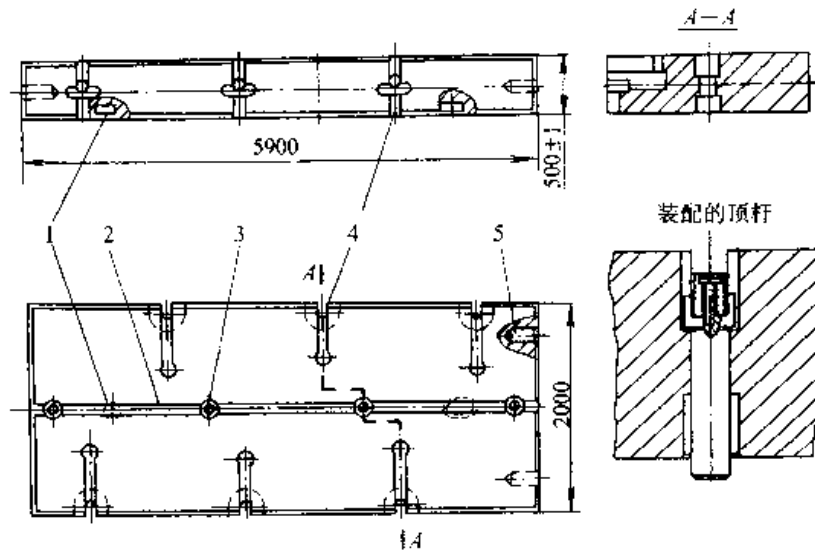


图 24.6-75 模座

1—定位孔 2—为顶出器机构所设的槽 3—为顶出器机构所设的孔
4—紧固槽 5—起重孔

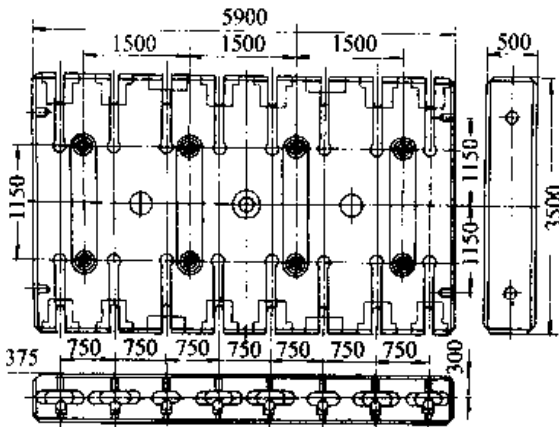


图 24.6-76 垫板

弱，这种垫板的工作条件将比其他垫板繁重得多。

所以针对不同组别的锻模，考虑几种不同尺寸的模座较为适宜，这样做可以改善水压机和模具装置的载荷条件，并可把顶出器和紧固用的槽、孔限制到最少数量。至于模具垫板的通用性，在槽孔数量最少的情况下是完全可以保证的。

如果所锻锻件的尺寸很小，则相应辅助模座的尺寸将比与它接触的中间垫板相差悬殊，这时，在垫板和辅助模座间可附加主模座，但这要求压机有足够的开启高度方可实现。

模锻过程中最好的变形条件是锻模和毛坯具有相同的温度。但炉中加热的锻模很快就会降温。欲使重型水压机上的大尺寸锻模保持恒温，

通常用的镍铬合金电阻加热器的能量是不够的，与此同时，对于工作面宽度大于 1 000 mm 的锻模也不能保证其温度的均衡。所以，对于重型水压机上的锻模最好采用感应加热，这时热能可直接产生于锻模中。根据锻模宽度的不同，当宽度小于 1 000 mm 的锻模，热能从模块的侧向引入。这样做可保证锻模均匀加热，其模膛表面的温度降不大于 60℃，而高度方向为 100~150℃（譬如在模锻铝合金中，当模膛温度达 400℃ 时，则锻模载波电流层的允许过热为 500℃）。

欲保持宽度大于 1 000 mm 锻模的恒温，仅从侧向供应热能是不够的。所以在锻模中或靠近锻模支承面一端的模座中应添置辅助感应加热器。从节约热量的观点来看，加热器装在锻模内是较为有效的，这与加热器装在模座中的相比，电能的消耗几乎减少了 2/3。加热器装在锻模中，其强度实际并无多大变化，因为只要在纵向上钻两个孔就满足要求（图 24.6-77）。此时加热锻模所用电源的功率为 200~250 kW，而当加热器在模座中均衡扩温的情况下则是 600~750 kW。应当指出，在后一种情况下欲使加热效果与加热器装在锻模中的相同，只有在模座中具有大量的孔时方能实现。而这必然要削弱模座，特别是要考虑到模座的承受载荷次数远远超过锻模这样一种情况。

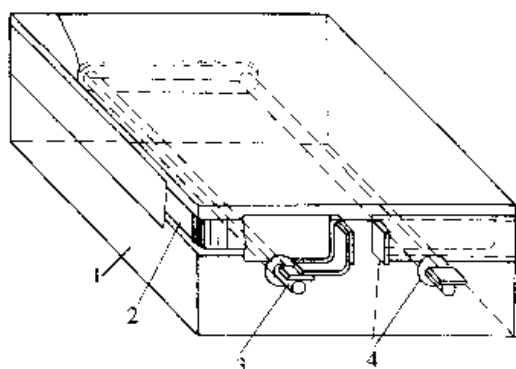


图 24.6-77 锻模尺寸为 3 000 mm×2 000 mm×500 mm 采用敷设线圈的加热示意图
1—锻模 2—侧向片式线圈(片的尺寸为 150 mm×20 mm) 3—柱式线圈(柱的直径为 60 mm)
4—供电输出端子

6.3 分步模锻工艺及模具

图 24.6-78a、b、c 所示分别为大型圆盘、轮盘和肋板分步模锻工艺和锻模结构。不难看出,其优点是模具结构比较简单,小设备干大活,当水压机吨位不足时,可采用这种方法。

6.4 深孔挤压与拉深模

图 24.6-80 所示为在 25 000 kN 水压机上挤压直径为 105 mm 的火箭发动机本体的热挤压模具结构。

图 24.6-79a 为钢瓶坯料,挤压工件和深孔挤压模,该模具安装在 8 000 kN 立式水压机上工作。

图 24.6-79b 为钢瓶锻件图,拉深模及其凸、凹模结构,该模具安装在 4 000 kN 卧式水压机上工作。

两套模具工作时,凸模均需通过冷却水循环冷却。

6.5 130 型汽车连杆等温模锻工艺及工装

(1) 工艺规范

130 汽车连杆终锻模材料为 5CrMnMo,尺寸为 $\phi 160$ mm×150 mm,这样大的模块晶粒细化处理较困难,故进行等温挤压成形。成形温度

为 800℃,在此温度下,5CrMnMo 的流动应力为 90 MPa (见表 24.6-45)。

(2) 连杆锻模等温挤压工装设计

连杆锻模型腔的等温挤压工装要在 800℃ 下工作,如采用闭式成形,则模套要用高温合金制造,成本较高,故选用开式成形。图 24.6-81 为等温挤压工装示意图。反印凸模用 K403 合金精铸后机加而成。

(3) 加热装置

连杆锻模模坯重 52 kg,采用电阻加热圈与上下加热板(材料为 K403)加热。功率由下式确定:

$$P = G \cdot \eta$$

式中 P ——功率 (W);

G ——模坯重 (kg);

η ——单位重量所需加热功率 (W/kg)。

η 与加热温度、时间有关,本工艺中 η 为 200 W/kg。总功率为 10 kW。

(4) 润滑

模坯的加热与成形共需 2 h 左右,采用玻璃润滑剂。还研制了加入稀土元素的硼硅酸盐润滑剂,在 800℃ 下测得钢的摩擦系数为 0.1 左右。

(5) 设备

采用 50 000 kN 冷挤压用液压机。该设备为下压式。带有活动的下工作台,装卸模方便。速度低,压力分为 3 个档次。

(6) 工艺过程

130 型汽车连杆锻模型腔等温挤压工艺流程如下:

涂复润滑剂 涂层厚 0.2~0.3 mm。

装模 用样板与反印凸模定位。

加热 55 min 后,模坯表面达 800℃,保温均热 30 min。

挤压 初始速度为 2 mm/min,随载荷增大速度降低,最大载荷为 4 200 kN。型腔投影面积 8 275 mm²,单位压力为 500 MPa。

卸料 成形后,在热态下凸模与模坯分离。

机加工 模坯高度留有 5 mm 加工余量,挤入深度也比实际需要深度大 5 mm,该余量由机工去除,整理外廓,热处理后使用。

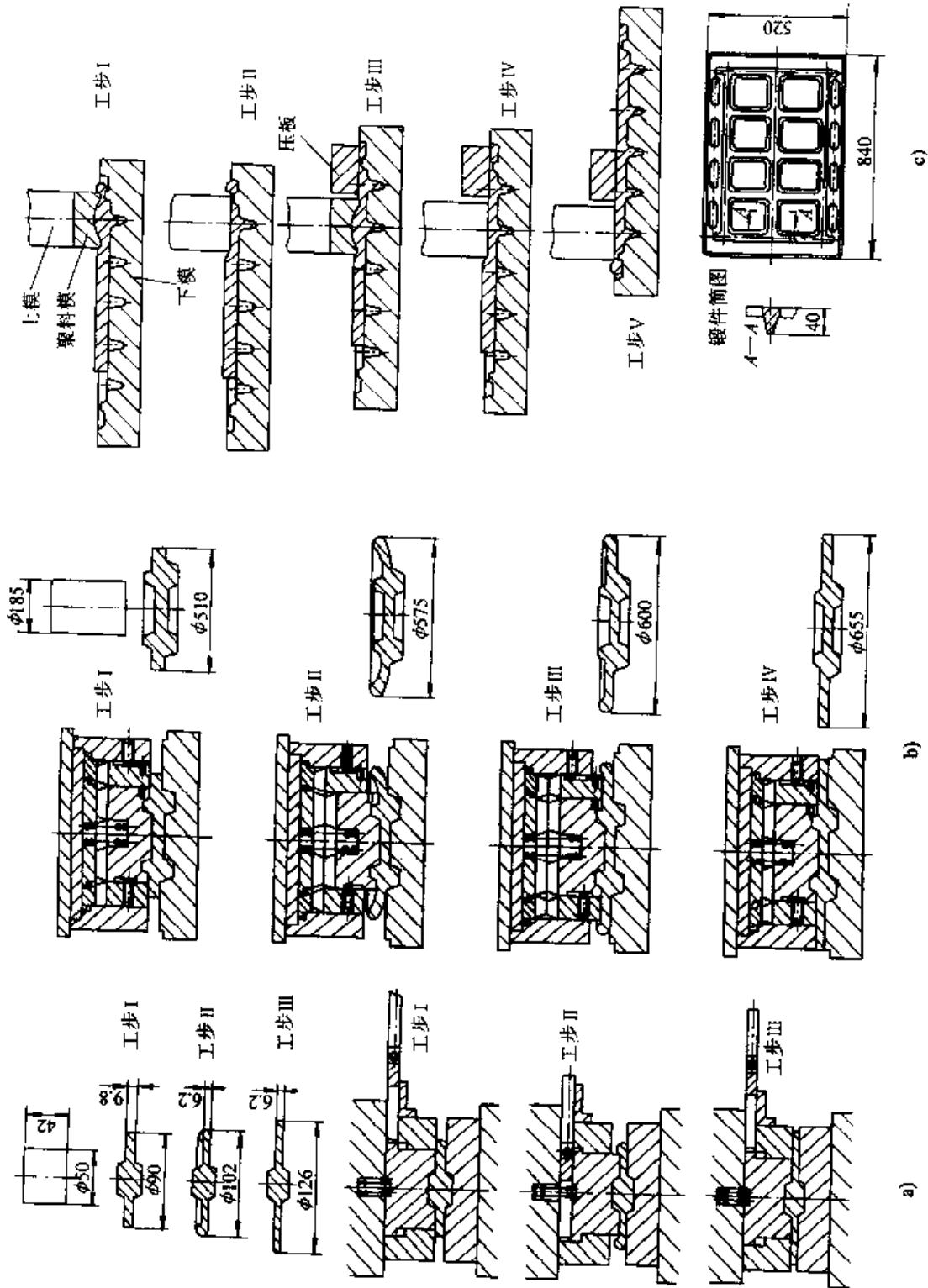


图 24.6-78 水压机上分步模锻工艺及模具
a) 圆盘 b) 轮盘 c) 肋板

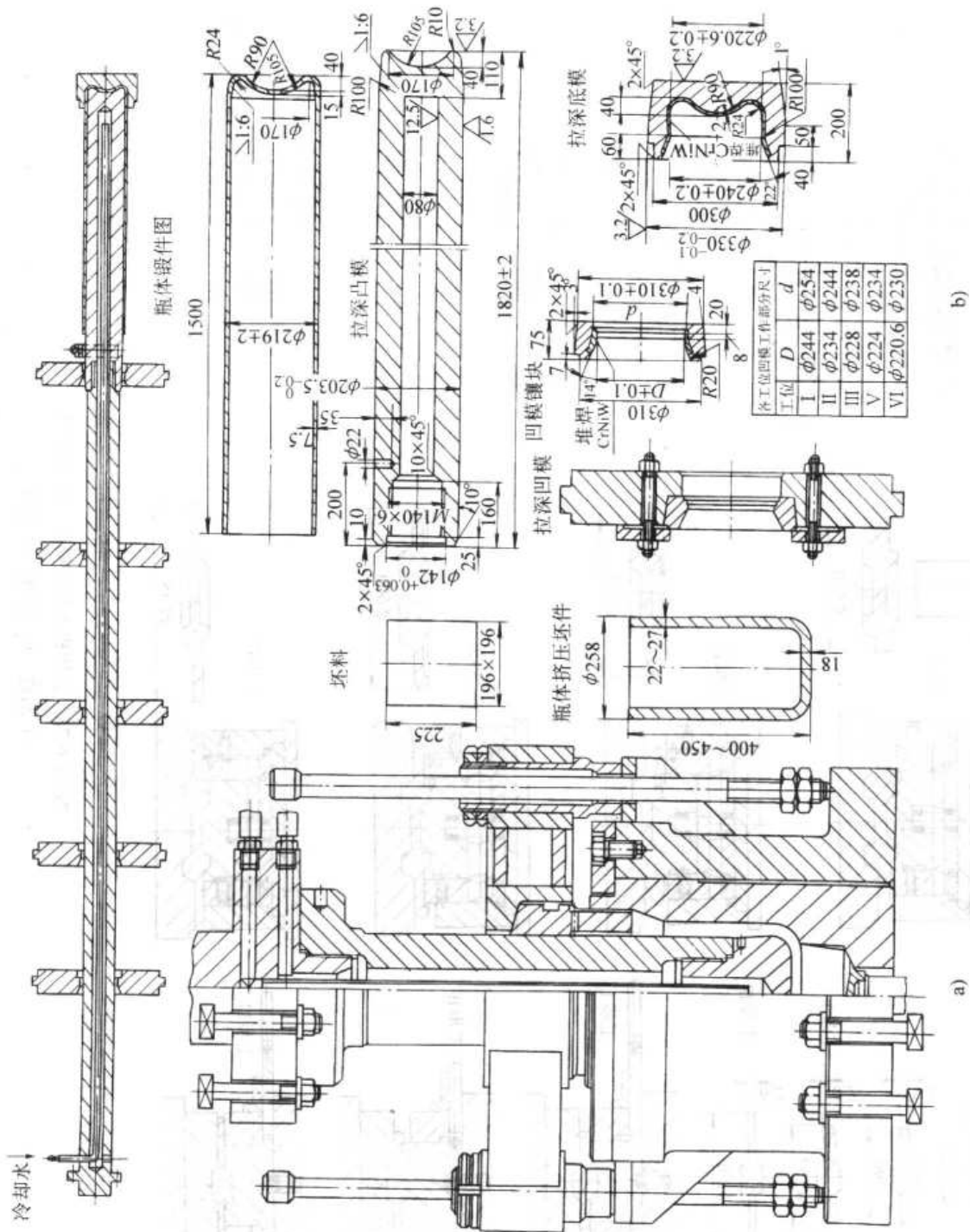


图 24.6-79 钢瓶挤压与拉深模
a) 挤压工艺及模具 b) 拉深工艺及模具

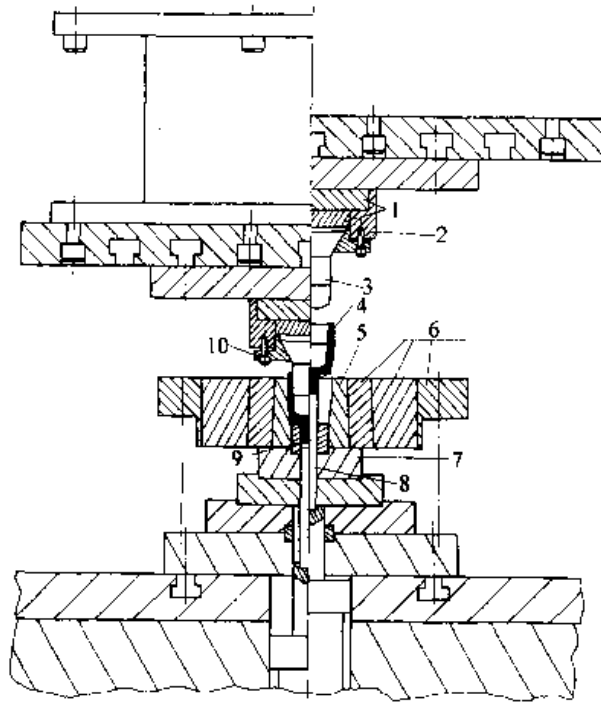


图 24.6-80 25 000 kN 水压机用深孔挤压模

- 1—垫板 2—冲头固定圈 3—冲头 4—锻件 5—凹模 6—预紧圈
7—垫板 8—顶出器 9—凹模镶块 10—冲头锁紧圈

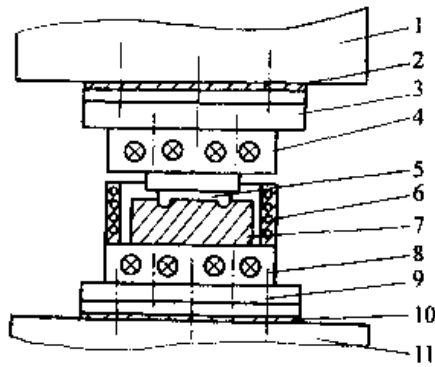


图 24.6-81 连杆锻模等温模锻工装示意图

- 1—上工作台 2—隔热板 3—上水冷板 4—上加热板
5—反印凸模 6—加热圈 7—模坯 8—下加热板
9—下水冷板 10—隔热板 11—压机下滑块

第7章 切边、冲孔、校正和精压模具设计

坯料经过模锻工序后，尚未成为符合锻件图要求的锻件，需经相应的后续工序，如切边、冲孔、校正、精压等。后续工序的选择按锻件图上的技术要求确定。所需后续工序确定后，就进行相应的模具设计。

1 切边、冲孔模的选择及其力的计算

对于开式模锻件，锻后需进行切除飞边和冲孔连皮。对于具有透孔的闭式模锻件，锻后也需冲孔连皮。模具设计前，必需对切边、冲孔模的类型进行选择，并对切边与冲孔力进行计算。

1.1 切边冲孔模的选择

切边和冲孔可在热态或冷态下进行。根据切边和冲孔时锻件温度通常可分为热切边、热冲孔和冷切边、冷冲孔。

热切边和热冲孔，是在模锻后利用锻件的余热立即进行。冷切边和冷冲孔，是在模锻后锻件完全冷却后再进行。

热切与冷切，其选择的基本原则是：

- 1) 合金钢和高碳钢（碳的质量分数 $w_C > 0.5\%$ ）锻件必须采用热切边；
- 2) 碳的质量分数 w_C 在 0.45% 以下的碳钢或低合金锻件，当重量小于 0.5 kg 时，一般用冷切边；
- 3) 对于大型锻件，即便是低碳钢也应采用热切边，以减小切边设备的吨位；
- 4) 切边后需采用热校正和弯曲工序时，宜采用热切边；
- 5) 有色金属（铝、铜、镁合金）锻件，均可采用冷切边，但钛合金锻件需采用热切边；
- 6) 对叉形锻件，由于叉口内表面的毛刺不易打磨，变形也不易校正，若设备吨位足够，最好用冷切边。

1.2 切边冲孔力的计算及压力机吨位的选择

切边冲孔压力机的选择常有两种方法：

1) 表格法 切边冲孔用的压力机所需要的公称压力，通常与模锻锤有一定的配合关系。其大致的配合关系可参照表 23.2-26。

2) 计算法 切边冲孔力可按式计算：

$$F = k\sigma_b L t_1$$

式中 F ——切边或冲孔力；

σ_b ——金属在切边或冲孔温度下的抗拉强度，即材料的变形抗力 σ （见表 24.2-22）；

L ——剪切周边长度；

t_1 ——实际剪切厚度；

$$t_1 = 2.5t + B$$

t ——飞边桥部高度或冲孔连皮厚度；

B ——锻件高度方向的正公差；

k ——系数，在理想情况下， $k = 0.8$ ；考虑到切边或冲孔过程中伴有弯曲、拉伸发生，以及一些如刃口变钝等实际因素，建议取为 $k = 1.6$ 。

2 切边模的设计

2.1 切边模的结构型式

- 1) 用螺钉固定的冷切边模，如图 24.7-1 示。
- 2) 用压块固定的冷切边模，如图 24.7-2 示。
- 3) 用螺钉固定的简单热切边模。切边凹模一般分为三块以上，均采用这种固定方法，如图 24.7-3 示。

2.2 切边凸凹模之间的间隙

切边时，刃口设置在凹模上，凹模按锻件轮廓线制造，靠减小凸模尺寸获得凸凹模的间隙。如图 24.7-4 所示，图 24.7-4a 和 b 中的间隙可从表 24.7-1 查得，图 24.7-4c 的间隙均取 $\delta = 0.5\text{ mm}$ 。对图 24.7-4b， $s = 0.2D + 1$ ；对图

24.7-4c, $s_1 = \frac{3.3 - 0.03\alpha}{\tan\alpha}$, 同时应保证凸模削平后 b 值有一定的宽度: 对小型锻件, $b = 1.5 \sim 2.5 \text{ mm}$; 对中型锻件, $b = 2 \sim 3 \text{ mm}$; 对大型锻件, $b = 3 \sim 5 \text{ mm}$ 。如果锻件各部分的间隙不同, 应按最小间隙作为整个凸凹模的间隙。

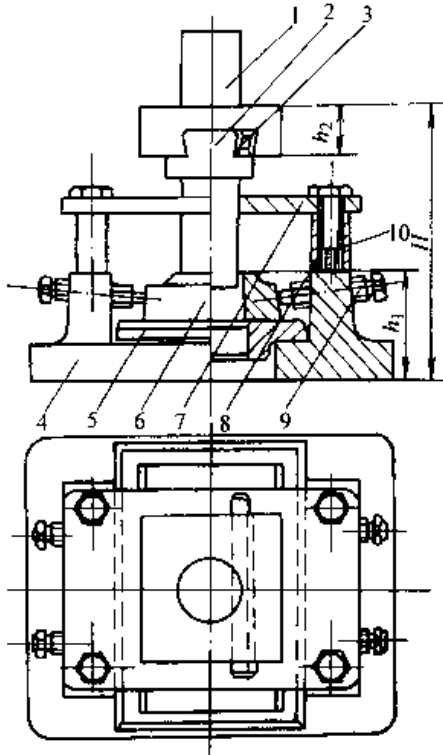


图 24.7-1 用螺钉固定的冷切边模
1—冲头夹持器 2—切边冲头 3—斜楔
4—底座 5—垫板 6—切边凹模
7—卸料板 8、9—螺栓
10—支承管

2.3 切边凹模设计

切边凹模有整体式 (见图 24.7-5) 和组合式 (见图 24.7-6) 两种, 前者用于中小型锻件, 特别是形状简单, 具有对称性的锻件; 后者则用于大型锻件或形状复杂的锻件。

(1) 切边凹模刃口设计

切边凹模刃口的轮廓形状, 按锻件在分模面上投影轮廓形状设计。热切边模应计算收缩率 (1.1%~1.5%)。对于易冷却的细长件, 应取小值, 反之取大值。

切边凹模刃口型式有直刃口 (图 24.7-7a)、斜刃口 (图 24.7-7b)、局部斜刃口 (图 24.7-7c)。

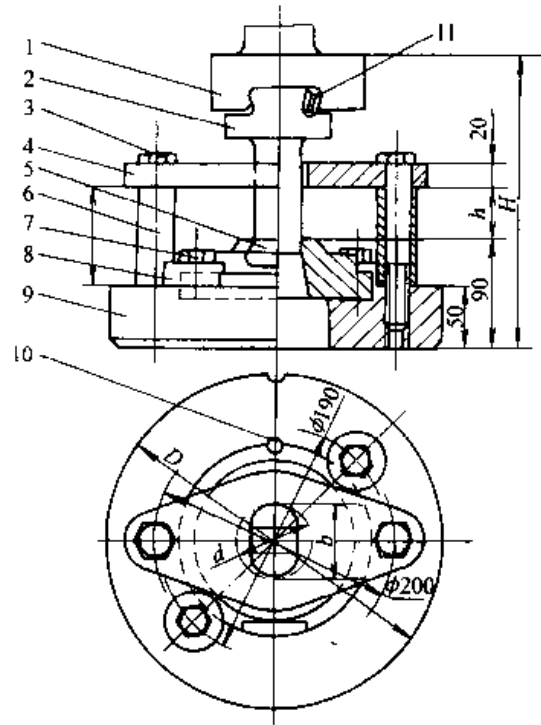


图 24.7-2 用压块固定的冷切边模
1—冲头夹持器 2—冲头 3—螺钉 4—脱料板
5—凹模 6—支承管 7—螺钉 8—压块
9—底座 10—定位销 11—斜楔

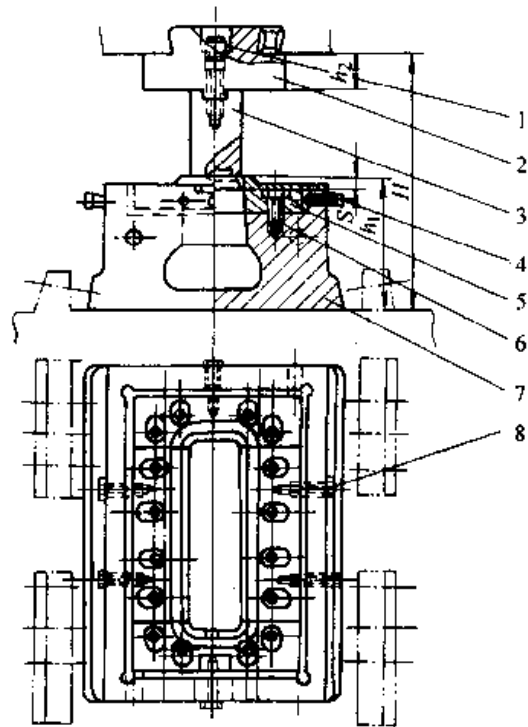


图 24.7-3 用螺钉固定的热切边模
1—螺钉 2—冲头夹持器 3—切边冲头镶块
4—螺钉 5—切边凹模 6—螺钉
7—底座 8—螺钉

直刃口用于加强刃口强度和便于修复，并能做到修复后尺寸基本不变。

斜刃口采用 45# 铸钢为凹模基体，刃口堆焊一层模具钢，一般用于大批量生产。

局部斜刃口与全部斜刃口相比，减少了刃口切削加工量，便于制造。同样也可采用铸钢凹模作基体，刃口堆焊模具钢，它也是一种比较经济的型式。

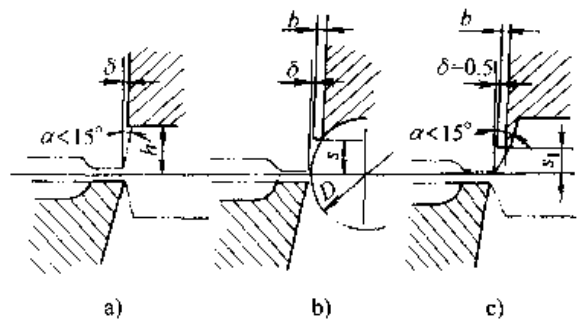


图 24.7-4 切边凸凹模之间的间隙

表 24.7-1 切边凸凹模的间隙 δ (mm)

型 式 a		型 式 b	
h	δ	D	δ
<10	0.5	<30	0.5
10~18	0.8	30~47	0.8
19~23	1.0	48~58	1.0
24~30	1.2	59~70	1.2
>30	1.5	>70	1.5

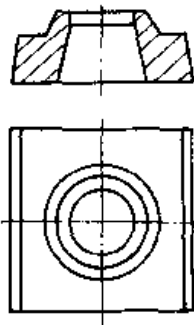


图 24.7-5 整体式凹模

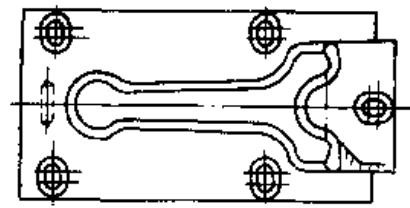


图 24.7-6 组合式凹模

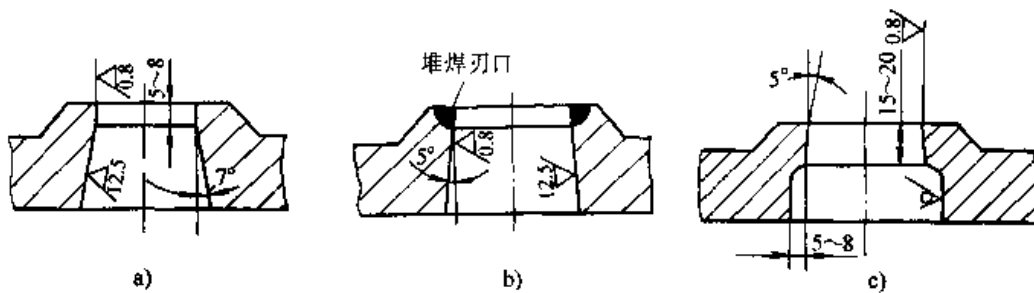


图 24.7-7 常用的三种凹模刃口

a) 直刃口 b) 堆焊式斜刃口 c) 局部斜刃口

(2) 切边凹模的分块

切边凹模的分块原则：

1) 分块处便于对位，又不易产生毛刺，且能保证切边锻件质量，如图 24.7-8a、b，两端分块应过 R 圆角处分块为好。

2) 便于调整，特别是对切边时容易磨损的

部位，宜单独分出，如图 24.7-8c、d。

3) 在满足上述要求的条件下，分块越少越好。对一些变化不大的台阶轴，可对分成两块，这样既便于制造，也有利于生产中的装卸和调整，如图 24.7-8e。

4) 为便于制造，并防止热处理变形，凹模

分块长度一般不宜大于 350 mm，最长应控制在 500 mm 以内。为满足本要求，可以适当增加分块数目，如图 24.7-8f 假想线所示分块情况。

5) 保证紧固的安全可靠，切边凹模每个分块至少应有两个以上的螺钉紧固。

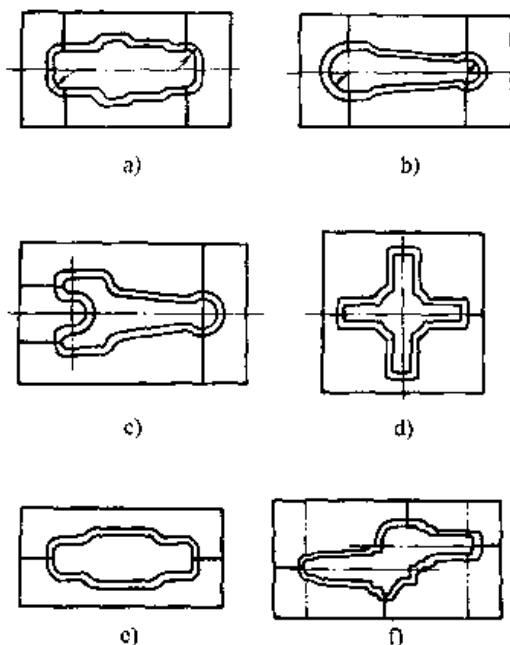


图 24.7-8 凹模分块方法

(3) 凹模的结构及尺寸

1) 按锻件飞边桥部高度确定切边模尺寸

表 24.7-2 切边凹模尺寸 (mm)

飞边桥部高度	H_{min}	h	t_1	t_{min}	备注
<1.6	50	10	35	30	1 000 kN 切边压力机
2~3	55	12	40	35	3 150 kN 切边压力机
>4	60	15	50	40	3 150 kN 切边压力机

2) 切边凹模其他部分尺寸的确定

① 凹模外形尺寸 对圆形或近似圆形类锻件，为便于设计、制造，并考虑到使用的互换性，可根据切边锻件外径 D 来确定凹模外形尺寸，并将紧固部分尺寸加以标准化，如表 24.7-3 所示。对于非回转体类锻件，可参考表 24.7-4 设计。

② 凹模钳口尺寸 凡锻造带有夹钳料头的锻件，为便于切边时放置定位，在锻件带有夹钳头处，凹模应设置钳口。在锻造生产中，不用夹钳料头的锻件，则不必设计钳口，如齿轮类锻粗

成形，或制坯工序仅有压扁或卡压的杆类锻件。

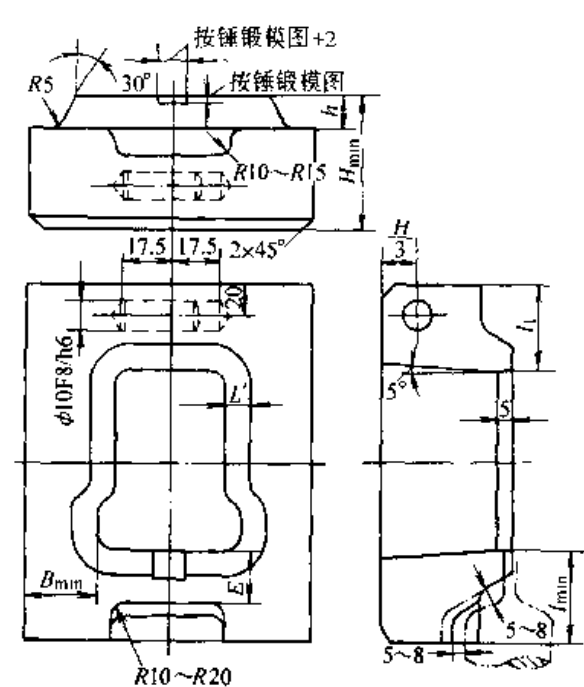


图 24.7-9 切边凹模的结构

表中 t_{min} 为最小壁厚； t_1 为有销钉孔的模壁厚度； h 为台阶高度； H_{min} 为凹模的最小高度； E 等于（或小于）终锻模膛至钳口的距离， L' 等于飞边槽桥部宽度 b 或 $b-1\sim 2$ mm。

成形，或制坯工序仅有压扁或卡压的杆类锻件。

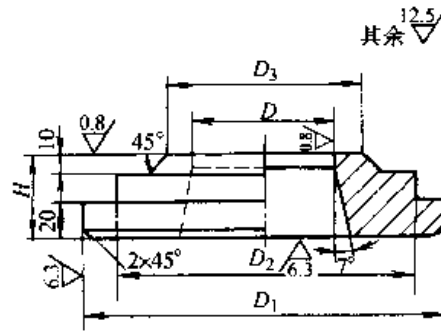
钳口尺寸可参看表 24.7-5，钳口最小宽度 B 和深度 H 应按锻造工艺设计所选用的棒料直径来确定。表中所列各值，一般只适用于手工操作的夹钳口尺寸。

(4) 切边凹模的固定

切边凹模常用楔铁（图 24.7-10a）和螺钉（图 24.7-10b）紧固在凹模座上。用螺钉紧固的有关尺寸由表 24.7-6、表 24.7-7 查得。

表 24.7-3 圆形锻件凹模外形尺寸

(mm)

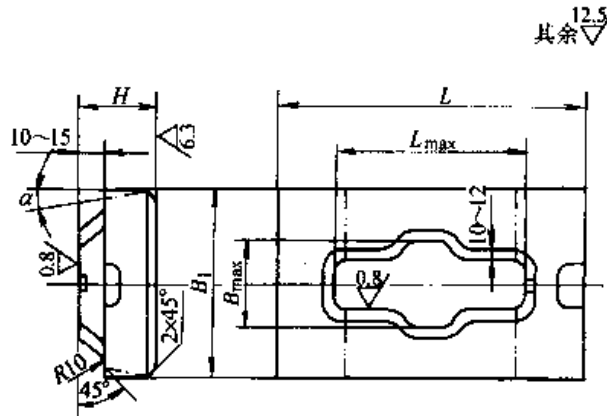


锻件直径 D	< 90	91~130	131~200	201~260	261~320	321~380	381~450	451~520	521~680	
凹模外形尺寸	\$D_1\$	160	210	280	340	400	460	540	770	
	\$D_2\$	135	185	255	315	375	430	510	740	
	\$D_3\$	\$D + (20 \sim 25)\$					\$D + (25 \sim 30)\$			
	\$H\$	50~60					60~70			

注：材料：5CrMnMo，或 8Cr3；冷切边凹模材料 Y8A，热处理硬度：\$d_H=2.8 \sim 3.0\$ mm。

表 24.7-4 非圆形锻件凹模外形尺寸

(mm)

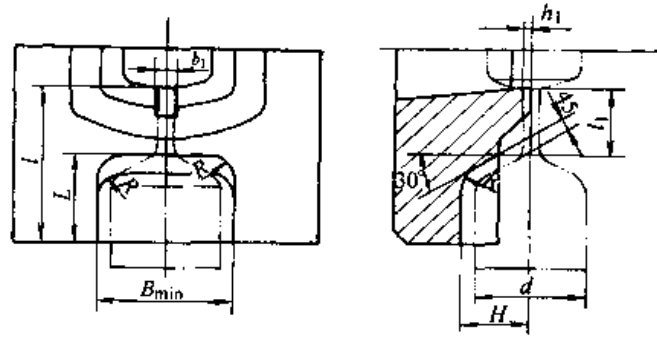


凹模固定型式	斜 模 固 定		螺 钉 固 定	
	整体或对称两块凹模		多块组合式凹模	
凹模外形尺寸	\$B_1\$	\$B_1 = B_{max} + 2\$ (40~50)	\$B_1 = B_{max} + 2\$ (50~60)	
	\$L_1\$	\$L_1 = L_{max} + 2\$ (40~50)	\$L_1 = L_{max} + 2\$ (50~60)	
	\$H\$	平分模面：\$H = 50\$ mm 非平分模面：\$H = 50 +\$ 分模面落差	平分模面：\$H = 50\$ mm 非平分模面：\$H = 50 +\$ 分模面落差	
	\$\alpha / (^\circ)\$	5	0 或 5	

注：材料：5CrMnMo，或 8Cr3；冷切边凹模材料 Y8A，热处理硬度：\$d_B=2.8 \sim 3.0\$ mm。

\$B_1\$：对于斜楔紧固的，计算后应按表 24.7-15，24.7-16 取标准值。

表 24.7-5 凹模钳口尺寸 (mm)



棒料直径 d	钳口尺寸				备注
	B_{min}	H	L	R	
<18	28	14	$L \geq l - l_1$	10	
18~28	28~40	14~20			
28~35	40~45	20~23			
35~40	45~50	23~25			
40~50	50~60	25~30			
50~60	60~75	30~38			
60~70	75~85	38~43		15	
70~80	85~95	43~48			
80~90	95~110	48~55			
90~100	110~120	55~60			
100~110	120~130	60~65		20	
110~120	130~140	65~70			
120~130	140~150	70~75			
130~140	150~160	75~80			
140~150	160~170	80~85			

注： l_1 按锻模此处尺寸确定。

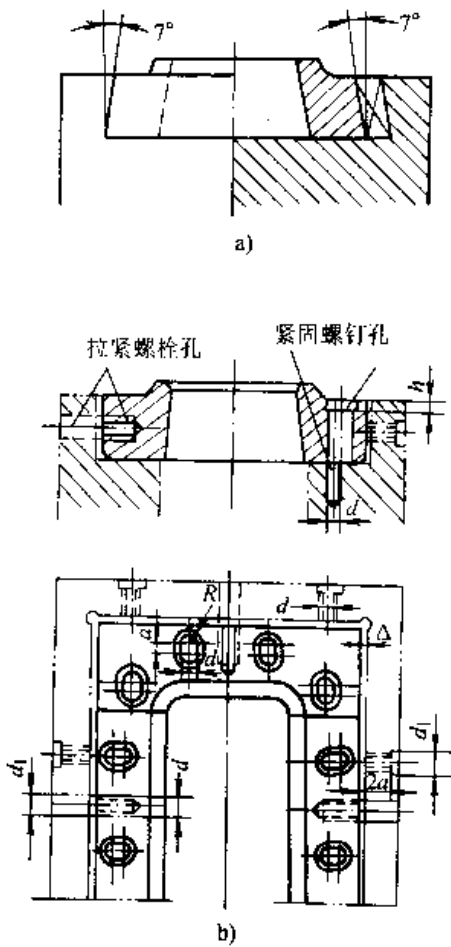


图 24.7-10 凹模紧固方法
a) 用楔铁紧固 b) 用螺钉紧固

2.4 切边凸模设计

(1) 切边凸模的设计

切边冲头按锻件图设计。切边冲头与锻件接触好坏，对切边后的锻件质量有着直接的关系。因此设计时，应考虑以下因素：

1) 凸模与锻件需有一定的接触面积，以防切边时锻件表面被压伤或变形。

例如在图 24.7-11 所示的情况下，要求 $D > d_1 > d$ ， $\frac{1}{2}(D - d_1)$ 即为切边凹模与冲头的间隙。

2) 切边凸模的端面应能与锻件较好地吻合，同时在锻件过渡断面处留出间隙 Δ (见图 24.7-12)， Δ 值等于锻件相应处水平尺寸正偏差之半加 0.3 ~ 0.5 mm，也可按表 24.7-8 确定。

3) 凸模与锻件的接触面形状可以简化 (见图 24.7-13)，且应选锻件形状简单的一面与凸模接触 (见图 24.7-14)，对于图 24.7-14 所示情况，除简化凸模接触面形状外，还增加了凸模与锻件的承压面积，防止或减小锻件的变形。

(2) 切边凸模的分块

在大批量或多品种生产中，为降低模具材料

表 24.7-6 切边凹模紧固螺钉孔尺寸 (mm)

d	d_1	h	R	a
M12	13	14	10	3
M16	17	18	13	4
M20	21	22	16	5

表 24.7-7 凹模座与凹模之间的间隙 Δ (mm)

压力机公称压力 F/kN	500 ~ 1 600	1 600 ~ 3 500	5 000 ~ 10 000
Δ	2 ~ 3	3 ~ 5	5 ~ 7

表 24.7-8 切边凸模与锻件的间隙 Δ

压力机公称压力 F/kN	500 ~ 600	2 000 ~ 3 500	5 000 ~ 10 000
Δ/mm	1 ~ 1.5	1.5 ~ 2	2 ~ 2.5

消耗，提高经济效益，往往将起刃口作用、易磨损的部分与凸模紧固部分分开，即分为凸模夹持

器和凸模镶块两部分。凸模镶块紧固方式有用斜楔紧固和螺钉紧固两种，如图 24.7-15 和 24.7-16 所示。用螺钉紧固时，连接尺寸见表 24.7-9，当 B 小于 50 时，应设计成假想线所示形状，以增加冲头镶块承压支承面。

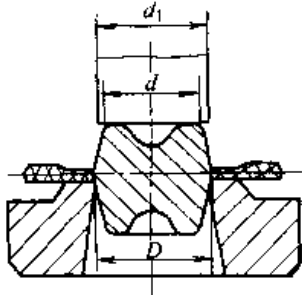


图 24.7-11 切飞边

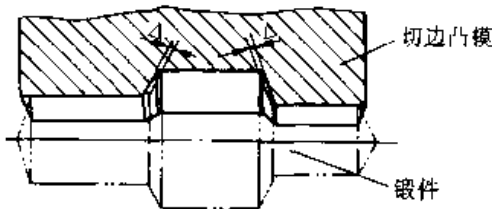


图 24.7-12 切边凸模与锻件间的间隙

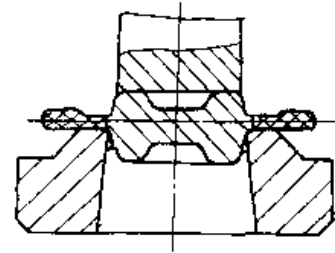


图 24.7-13 简化凸模形状

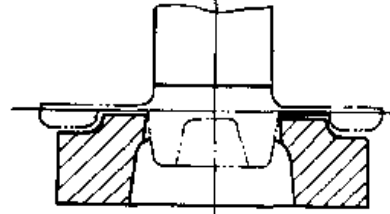


图 24.7-14 锻件承压面的选择

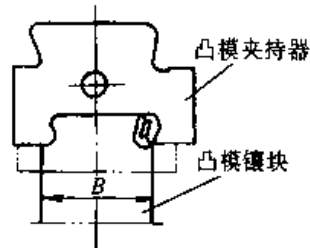


图 24.7-15 凸模镶块用斜楔紧固

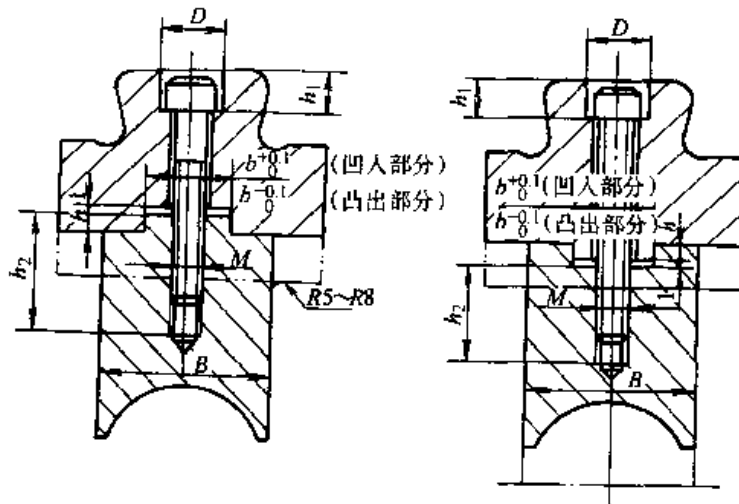


图 24.7-16 凸模镶块用螺钉紧固

表 24.7-9 冲头镶块用螺钉紧固时的连接尺寸

(mm)

切边压床吨位/ kN	镶 块 紧 固 部 分 尺 寸					
	M	D	h ₁	h ₂	b	
					回转体	其他
< 2 500	M16	26	18	25	φ35~40	20
2 500~3 150	M16~20	26~32	18~22	25~30	φ40~50	20~24

续表 24.7-9

切边压床吨位/ kN	镶块紧固部分尺寸					
	M	D	h_1	h_2	b	
					回转体	其他
3 150~5 000	M20~24	32~38	22~26	30~36	φ50~60	24~28
5 000~8 000	M24~27	38	26~30	36~40	φ60~70	28~30
8 000~12 500	M27~30	38~48	30~32	40~45	φ70~80	

(3) 切边凸模高度尺寸的确定

切边凸模高度“ h ” (图 24.7-17), 根据选用切边压床型号、规格和所采用的模具封闭高度尺寸来确定。

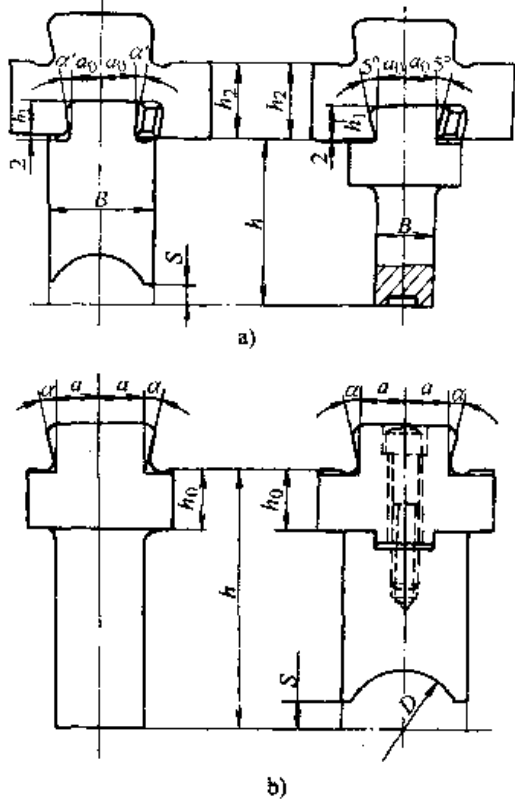


图 24.7-17 切边凸模的高度尺寸

$$h = H - h_1 - h_2 + S_1$$

式中 h_1 ——切边凹模底座下支承面到切边凹模刃口上平面高度;

h_2 ——当采用标准凸模夹持器时, 为夹持器高度;

S_1 ——凸模进入切边凹模深度, 一般取:
 $S_1 = 10 \sim 15 \text{ mm}$

H ——模具设计采用封闭高度, 按选用的切边压床型号、规格和使用合理性来确定。

(4) 切边凸模的固定

凸模紧固的方式有两大类:

1) 凸模直接紧固在压力机滑块上 (见图 24.7-18) 图 24.7-18a 用楔固定, 用键定位, 用于紧固大型锻件的切边凸模; 图 24.7-18b 用螺栓压板, 用于紧固特大锻件的切边凸模; 图 24.7-18c 是将凸模模柄紧固在滑块上, 用于紧固中小锻件的切边凸模。

2) 凸模固定在模座上, 模座固定在压力机滑块上 其常用方法有二种;

- ① 用键及螺钉固定在模座上 (图 24.7-19);
- ② 用楔固定在模座上 (图 24.7-20)。

凸模与模座连接的有关尺寸见表 24.7-10。

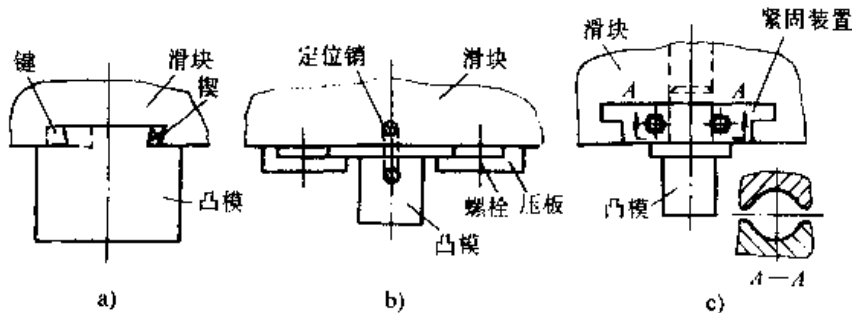


图 24.7-18 凸模直接固定在滑块上

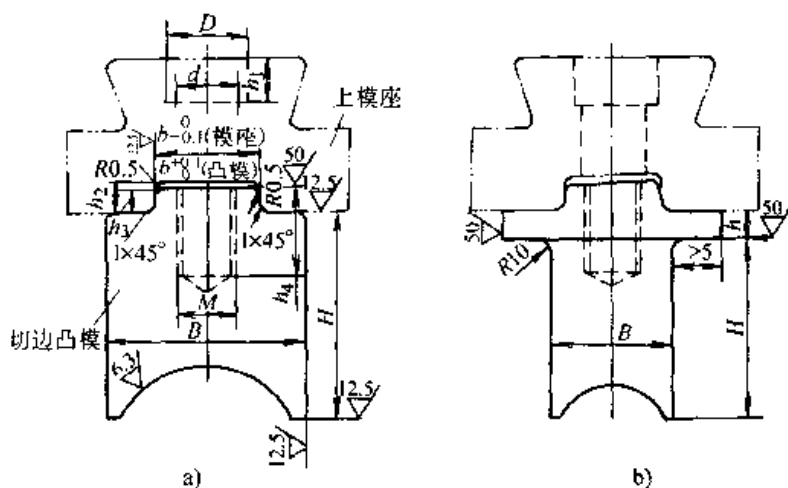


图 24.7-19 用键及螺钉将凸模固定在模座上

a) $B > 50 \text{ mm}$ b) $B < 50 \text{ mm}$

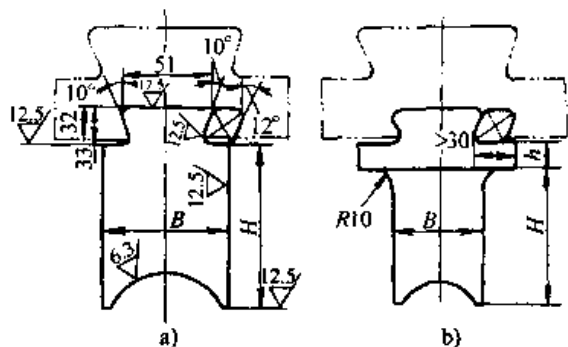


图 24.7-20 用楔将凸模固定在模座上

a) $B > 50 \text{ mm}$ b) $B < 50 \text{ mm}$

2.5 凸、凹模座设计

(1) 凸模座设计

凸模座即凸模夹持器，有 4 种基本型式：

- 1) 燕尾轴头式 如表 24.7-11 附图所示。
- 2) 燕尾燕尾式 如表 24.7-12 附图所示。
- 3) 燕尾键块式 如表 24.7-13 附图所示。
- 4) 燕尾短销式 如表 24.7-14 附图所示。

各部分尺寸的确定，燕尾轴头式凸模夹持器的轴头尺寸应按选用的压床滑块固定孔来确定。

表 24.7-10 凸模与模座连接部分的有关尺寸

(mm)

压力机公称压力 F/kN	M	D	d	h_1	h_2	h_3	h_4	b	h
$< 3 \ 150$	16	26	17	> 18	7	6	35	25	15
$> 3 \ 150 \sim 6 \ 300$	20	32	21	> 22	10	8	45	32	20
$> 6 \ 300 \sim 12 \ 500$	24	38	25	> 26	12	10	55	40	25

表 24.7-11 中所列尺寸是根据 K-117A 型压床确定的，供设计时参考。燕尾式凸模夹持器的紧固用燕尾尺寸，应根据选用压床滑块上垫板固定凸模的燕尾尺寸确定。表 24.7-12、24.7-13、24.7-14 中所列燕尾尺寸，是根据某厂现生产用压床型号、规格确定的。供设计时参考。

夹持器长度“ L_m ”和圆形夹持器直径“ D_m ”，应根据锻件长度“ L_d ”和圆形锻件直径“ D_d ”确定，即要求：

$$L_m \geq L_d, D_m \geq D_d$$

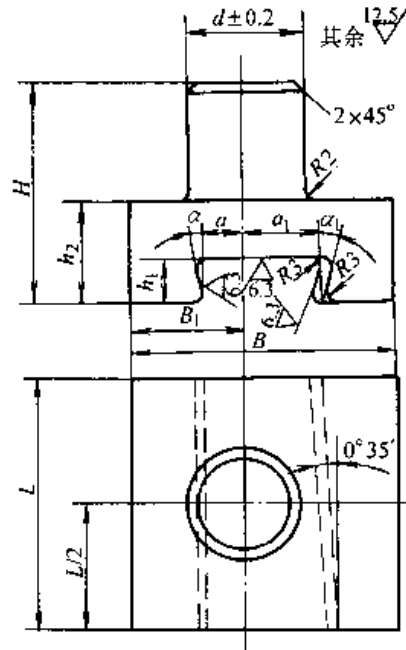
(2) 凹模座设计

凹模座用于固定切边凹模，根据一些锻造生产

厂家使用的情况，可以归纳为如下四种基本型式：

- 1) 低模座 如图 24.7-21 所示，这种模座一般用于较小的锻件 ($G_d < 1 \text{ kg}$) 的冷切边。
- 2) 高模座 如图 24.7-22 所示，这种模座一般用于中小型锻件 ($G_d < 1.5 \text{ kg}$) 的热切边。
- 3) 通用模座 如图 24.7-23 所示，这种模座多用于安装整体式切边凹模，适用于回转体类锻件切边。将该模座同图 24.7-24 所示模板组合，可作为切边冲孔复合模模座。
- 4) 专用模座 如图 24.7-25 所示，这种模座根据锻件形状和切边凹模的型式进行设计，适用于大批量生产。

表 24.7-11 用斜楔紧固凸模镶块的轴头式夹持器及其尺寸 (mm)

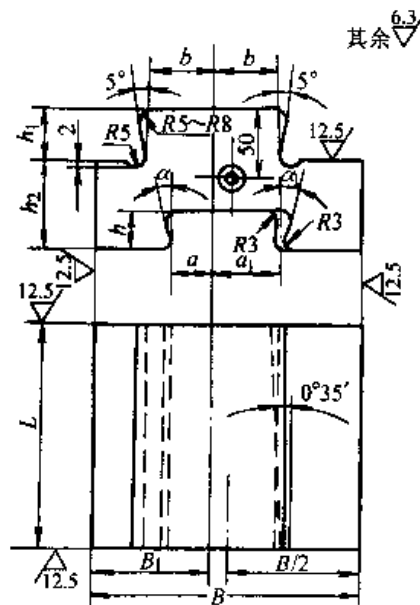


d	H	L	B	B_1	h_2	a	a_1	h_1	$\alpha_1 / (^\circ)$	$\alpha / (^\circ)$	备 注
50	120	130	150	70	50	22.5	42.5	24.5	5	5	用于 50 t
60	130	140	165	75	60	22.5	42.5	24.5	5	5	用于 100 t
70	140	150	170	80	70	25.5	50.5	32	12	10	用于 125 t

注: 1. 材料 45。

2. 热处理硬度 $d_H = 3.0 \sim 3.2$ mm。

表 24.7-12 用斜楔紧固凸模镶块的燕尾式夹持器及其尺寸 (mm)

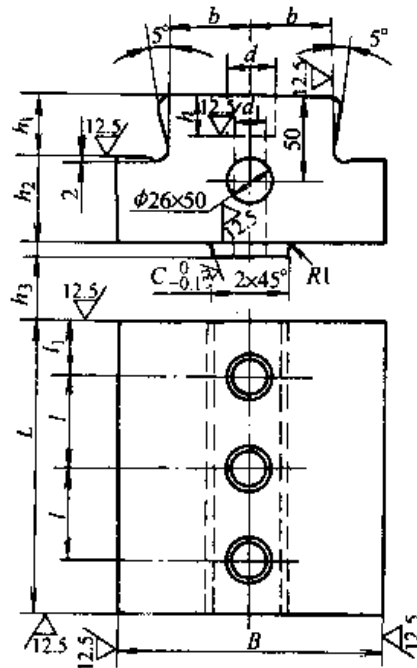


续表 24.7-12

代号 序号	a	a_1	h	$\alpha/ (^{\circ})$	$\alpha_1/ (^{\circ})$	h_2	h_1	b	B	B_1	L	备注
1	22.5	42.5	24.5	5	5	50	38.5	51 (60)	130	70	150	多用于小件冷切边
2	25.5	50.5	32	5	10	60	(42.5) 45	(70) 76	170	75	按尺寸设计 按尺寸设计 按尺寸设计	多用于热切边
3	51	76	38	5	10	70		180	80			
4	76	108	45	5	10	80		200	90			

注：1. 材料 45。
 2. 热处理硬度 $d_B=3.0\sim 3.2$ mm。
 3. 括号内尺寸为第一和第二汽车制造厂现生产用压床燕尾标准。

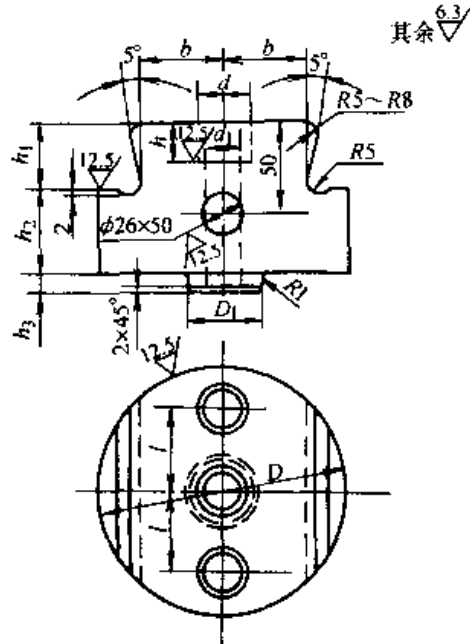
表 24.7-13 用螺钉紧固凸模镶块的燕尾式夹持器及其尺寸 (mm)



代号 序号	h_1	b	h_2	h_3	C	d_1	d	h	B	l_1, l
1	38.5	51 (60)	50	10	20	21	32	22	160	1. 设计时根据锻件长度和紧固采用螺钉数量来确定。 2. 括号内尺寸为第一和第二汽车制造厂现生产用压床燕尾标准
2			60						200	
3	(42.5) 45	(70) 76	70		25	26	38	26	240	
4			80						260	

注：1. 材料：45。
 2. 热处理硬度 $d_B=3.0\sim 3.2$ mm。

表 24.7-14 用螺钉紧固凸模镶块的燕尾式夹持器及其尺寸 (mm)



代号 序号	D	h ₁	b	h ₂	h ₃	D ₁	d ₁	d	h	l	备注	
1	150	38.5	51 (60)	50	10	40	21	32	22	0	括号内尺寸第一和第二汽车制造厂用	
2	200			60								
3	250			70		50	26	38	26	75	括号内尺寸为第一和第二汽车制造厂	
4	300	(42.5) 45	(70) 76							100	现生产用压床燕尾	
5	350			80						60	125	标准
6	400											

注: 1. 材料 45。
2. 热处理硬度 $d_B = 3.0 - 3.2 \text{ mm}$ 。

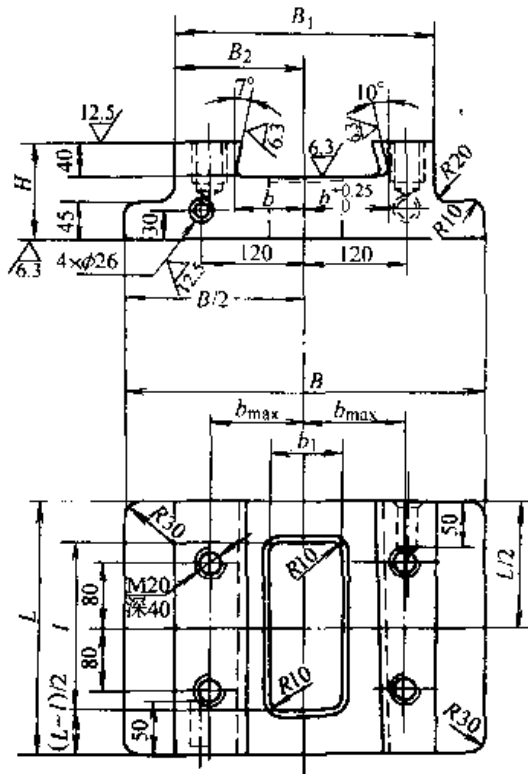


图 24.7-21 低模座
材料: ZG310-570
热处理: 退火 $d_H=3.8\sim 4.2\text{ mm}$

各部分尺寸的确定 底座外形尺寸中下底板的尺寸根据压床台面垫板紧固底座方法和设备规格大小来确定。表 24.7-15、24.7-16、24.7-17 和 24.7-18 为某厂上列各种底座的规格, 可供参考。图 24.7-21 是采用压板螺钉紧固, 要求周边留有容纳压板位置, 底板厚取 45 mm, 便于紧固压板的标准化。图 24.7-22、图 24.7-23、图 24.7-25 有采用侧面螺钉紧固和压板紧固两种结构, 侧面螺钉紧固底板厚度应不小于 70 (50) mm 并有斜度 5°。用压板紧固时, 底板厚度取 40 mm。

其余尺寸要根据设计时所确定的切边凹模紧固方法、外形尺寸、模具设计采用封闭高度确定。对于斜楔紧固凹模, 底座安模空间宽度等于切边凹模宽度加紧固斜楔厚度略小于 0.5 mm。底座安模空间长度 $L \geq L_n$ 。为设计方便和标准化、通用化, 已在表 24.7-15 和表 24.7-16 中列出了这类底座的参考数据。

对于螺钉紧固切边凹模, 则宽度 $b = \text{切边凹}$

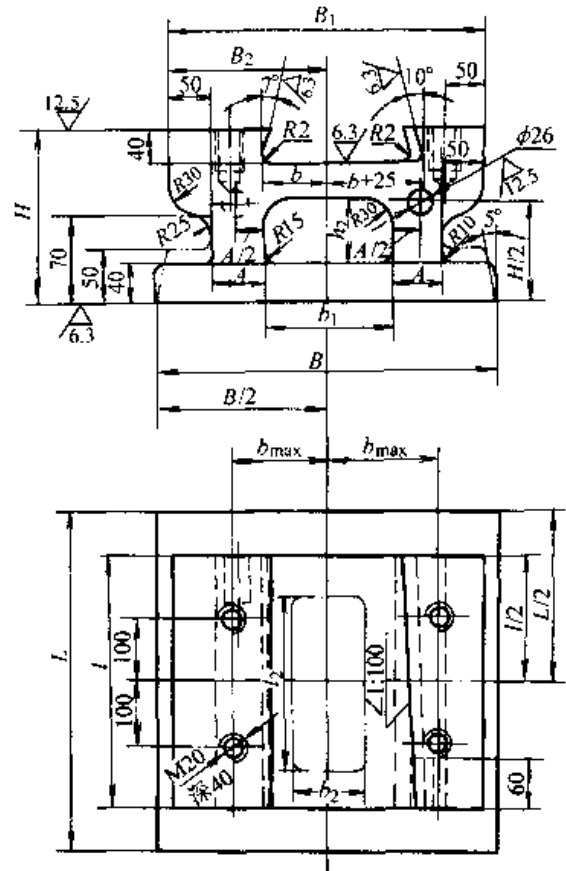


图 24.7-22 高模座
材料: ZG310-570
热处理: 退火 $d_B=3.8\sim 4.2\text{ mm}$
采用螺钉侧面紧固时按点划线形状、尺寸设计

模宽度 + 20 mm。长度 $l_1 = \text{凹模长度} + 20\text{ mm}$, 参看表 24.7-19。凹模钳口尺寸“C”和 h_4 , 可根据切边凹模钳口尺寸确定。参看表 24.7-5 中所列各数据。

落料孔: 为了保证切边凹模有足够的承压面, 应根据锻件在分模面投影外形轮廓来设计。考虑制造方便, 在满足上述要求的前提下, 应适当加以简化。

2.6 卸飞边装置

当切边凸模与凹模的间隙在以下情况时, 应当采用卸飞边装置。

冷切边凸模与凹模间隙 $\Delta \leq 0.5\text{ mm}$ 。

热切边凸模与凹模间隙 $\Delta \leq 0.8\text{ mm}$ 。

(1) 常用的卸飞边装置有以下几种结构型式:

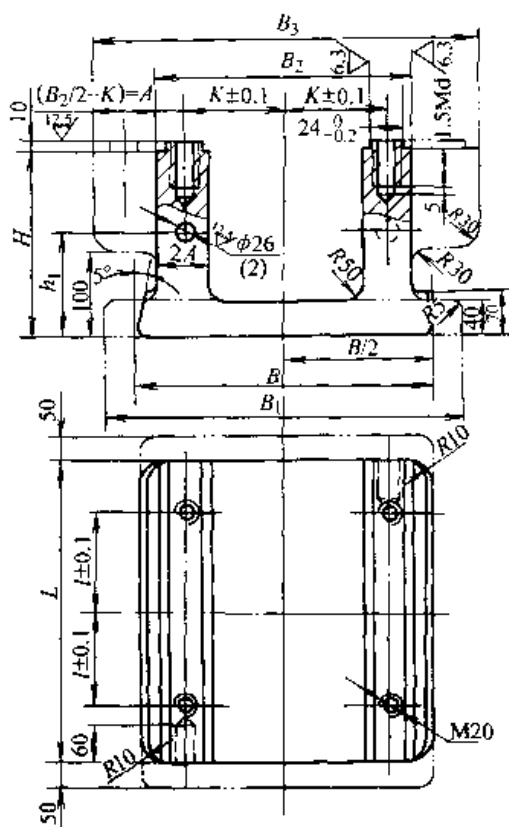


图 24.7-23 通用模座

1. 材料: ZG310-570
2. 热处理退火: $d_B = 3.8 \sim 4.2 \text{ mm}$
3. 假想线形状和尺寸(底面)是采用压板紧固凹模底座型式
4. 当 $B_2 > B$ 时, B_2 按假想线形状设计

1) 刚性结构 分为两种:

① 板形装置 (图 24.7-26a): 是常用的一种结构, 适用于中小型锻件的冷、热切边。

② 爪形装置 (图 24.7-26b): 适用于中型锻件的热切边。

2) 弹性结构 (图 24.7-26c、d) 用于高度尺寸较大锻件的切边, 由于设有弹簧, 可保证锻件放入时有足够的空间。

弹性脱边器 弹簧及卸料板的设置有两种, 一种是弹簧及卸料板安装在凹模下边, 如图 24.7-26c 示, 一种是弹簧及卸料板安装在冲头上边, 如图 24.7-26d 示。这种结构适用于各种类型的锻件, 而且操作方便, 但安装模具时, 调整切边冲头与凹模间隙不方便。因此最好设置导柱导套配合使用。

3) 偏心凹槽脱飞边器 (图 24.7-26e)。这种脱边器直接在切边冲头一侧做一偏心沟槽, 便于人工将飞边从冲头脱下。这是一种最简单的脱飞边器, 这种结构多用于模锻后飞边在锻件端部或接近于端面的回转体类锻件, 且为热切边的情况, 有关尺寸按下列各式确定

$$a = 0.02D + 4 \text{ mm}$$

$$a_1 = a + 6 \text{ mm}$$

$$h_2 = a + 10 \text{ mm}$$

$$r = a$$

$$R = a + 2 \text{ mm}$$

其余 $\sqrt{12.5}$

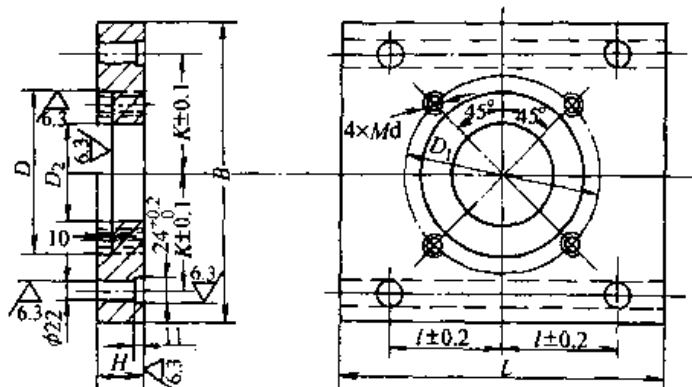


图 24.7-24 模板
材料: ZG310-570

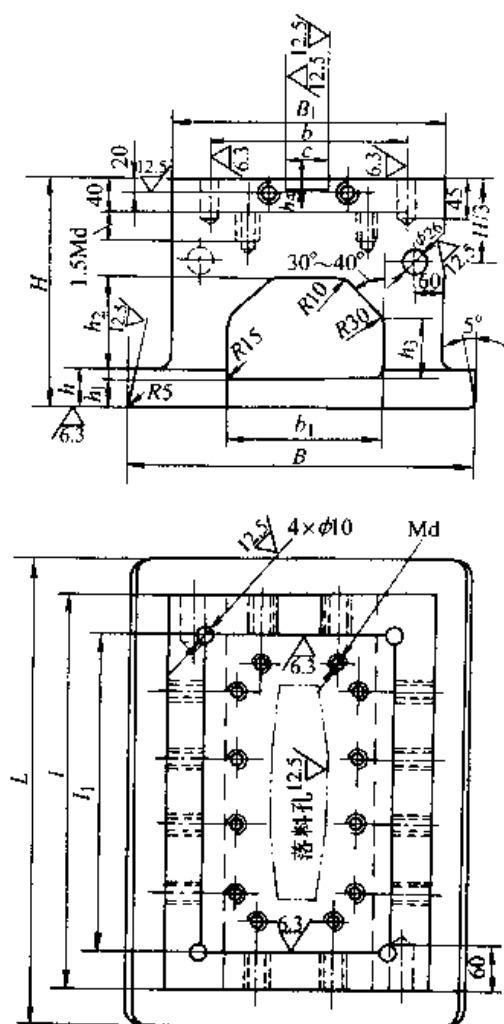


图 24.7-25 专用模座

1. 材料: ZG310-570 热处理退火 $d_R = 3.8 \sim 4.2 \text{ mm}$, 铸造斜度 $\leq 0^\circ 30'$
2. 落料孔设计时按锻件形状确定
3. 底板 B 当采用压板紧固于台面时 5° 不需要

(2) 卸飞边装置主要零件设计

1) 卸料板 根据锻件形状和切边凹模座(或模板)结构型式来选择菱形卸料(图 24.7-27)或矩形卸料板(图 24.7-28)。

2) 尺寸决定(见图 24.7-26a) 卸板与凹模之间的距离 H 以及支架之间的间距应保证能顺利放入锻件, 卸板孔型尺寸应比凸模每边加大 $1 \sim 2 \text{ mm}$, 卸板厚度取 $15 \sim 25 \text{ mm}$ 。

2.7 模具闭合高度

切边结束, 凸模处于最低位置时模具总的高度称为模具闭合高度 H_B (mm), 如图 24.7-29 所示, 模具闭合高度与压力机的封闭高度应满足:

$$H_{\min} - H_t + 15 \sim 20 \text{ mm} \leq H_B \leq H_{\max} - H_t - 15 \sim 20 \text{ mm}$$

式中 H_{\min} ——压力机最小封闭高度 (mm);

H_t ——压力机垫板厚度 (mm);

H_{\max} ——压力机最大封闭高度 (mm)。

当切边模设有卸飞边装置时, H_B 应取较大值。

H_B 确定后, 便可计算出凸模高度 H_w , 分两种情况:

1) 当滑块到下死点时, 凸模进入凹模才能将飞边切净(图 24.7-30a), 凸模高度为

$$H_w = H_B - (H_U + H_{\infty} + H_D) + e$$

2) 当滑块到下死点时, 凸模不进入凹模也能将飞边切净(图 24.7-30b), 凸模高度为

$$H_w = H_B - (H_U + H_{\infty} + H_D + h_n) + e$$

表 24.7-15 矮底座尺寸 (mm)

锻件外形尺寸 (长×宽)	底座外形尺寸					安模空间		落料孔尺寸	
	B	B ₁	B ₂	L	H	b _{min}	b _{max}	b ₁	l
45×30~70×40	365	265	130	300	100	60	70	60	90
	400	300	140	350	110	60	80		
71×41~100×50	425	325	160	400	120	70	90	70	120
	450	325	160	450	130	70	90		
101×51~150×70	500	400	190	500	140	80	100	80	160
	550	400	190	550	140	80	100		

表 24.7-16 高底座尺寸 (mm)

序号	底座外形尺寸						安模空间尺寸		落料孔出料孔尺寸			
	B	B_1	B_2	L	l	H	b_{\min}	b_{\max}	l_2	b_2	b_1	h_2
1	325	285	130	400	300	200	60	70	200	70	80	70
2	365	325	150	400	300	200	70	80	200	90	100	70
3	385	345	160	450	350	200	80	90	250	100	110	70
4	425	385	180	450	350	200	90	100	250	110	120	70
5	445	405	190	500	400	230	100	110	300	120	130	80
6	465	425	200	550	450	230	110	120	350	130	140	80
7	465	425	200	600	500	230	110	130	400	130	140	80
8	465	425	200	650	550	240	110	130	450	130	140	90
9	465	425	200	700	600	240	110	130	500	130	140	90

表 24.7-17 模板尺寸 (mm)

参数 切边直径	D	D_1	D_2	H	B	l	K	l	Md
<90	160	190	110	45	300	300	120	115	M16
91~130	210	240	110~150	45	330	330	120	115	M16
131~200	280	310	150~220	50	420	420	175	150	M16
201~260	340	370	220~280	60	460	460	190	180	M16
261~320	400	430	280~340	60	520	520	220	200	M16
321~380	460	500	340~400	70	600	600	260	230	M20
381~450	540	580	400~470	70	650	650	260	275	M20
451~520	610	650	470~540	80	700	700	300	275	M20
521~680	770	810	540~700	80	880	880	400	375	M20

式中 H_B ——模具闭合高度 (mm);
 $H_{\text{凹}}$ ——凹模高度 (mm);

H_U ——上模座高度 (mm);
 H_D ——下模座高度 (mm);

表 24.7-18 专用底座 (mm)

序号	底座外形尺寸					安模空间尺寸			出料孔尺寸				钳口尺寸														
	B	B ₁	H	h	L	l	b		l ₁	Md	b ₁	h ₁	h ₂	h ₃	C	h ₄											
							min	max																			
1	330~350	230~310	250~230				120	200																			
2		250~330					140	220									80	100	100	60							
3		270~350					160	240																			
4	350~400	300~370	250~300				180	260	M16	140	30																
5		320~390					200	280									160	100~150	60~100								
6		340~410					220	300																			
7		360~430					240	320	凹模长度+20	200						按切边模钳口宽度确定	按凹模钳口深度确定										
8	450~600	380~450	350~400				260	340										M20	40								
9		400~470					280	360																			
10		420~490					300	380																			
11		450~510					320	400	240																		
12		470~530					340	420																			
13		500~550					360	440	260	300	320																

h_n ——凸模下端面至锻件分模面的距离 (mm), 一般 $h_n > (6\sim 8)h$ 时, 凸模不进入凹模也能将飞边切净 (h 为飞边桥部高度);

e ——切移量 (mm), 即凸模推锻件下行的距离, 一般 $e = (3\sim 5)h$, 就可将飞边切净。

2.8 切边模压力中心

切边时合力的作用点称为切边模的压力中心, 此中心应保证与压力机滑块中心线重合。切边的压力中心不同于终锻的模膛中心, 它是按剪切周边长度来决定的。

对于平面图为对称的锻件 (如圆、方、三角形等), 按几何中心即可求得压力中心。对于非对称锻件的压力中心, 按下列方法求得:

(1) 垂线法

将锻件水平面上的投影外形划在硬纸板上, 剪下后按假定的中心穿线, 反复试穿几次, 直至吊线时纸板为水平状态为止。这种方法虽不够准确, 但比较简便。

(2) 解析法 (图 24.7-31)

计算过程如下:

1) 任选坐标轴 x 、 y 。

2) 将轮廓线分为若干基本线段 (直线和弧线, 图 24.7-31 分为八个线段), 求出各线段的重心位置 $A(x_1, y_1)$ 、 $B(x_2, y_2)$ 、 $C(x_3, y_3)$ 等。

3) 过各重心作平行于 x 轴的线段 P_1 、 P_2 、 P_3 等, 作平行于 y 的线段 P'_1 、 P'_2 、 P'_3 等, 并使 $P_1 = P'_1$ 、 $P_2 = P'_2$ 、 $P_3 = P'_3$, 注意 P_1 、 P_2 、 P_3 的长度要与各基本线段为同一比例 (也

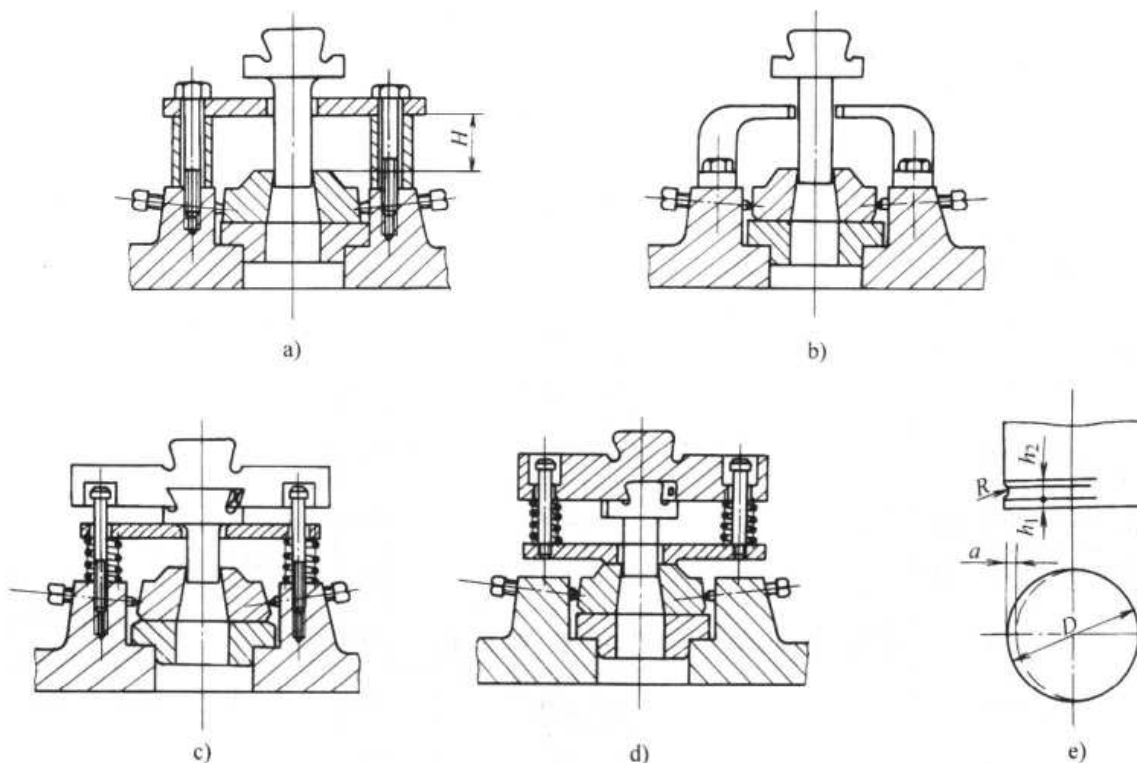


图 24.7-26 卸飞边装置的结构型式

- a) 板型结构 b) 爪型结构
c) 弹簧支承 d) 弹簧卸飞件 e) 偏心槽式

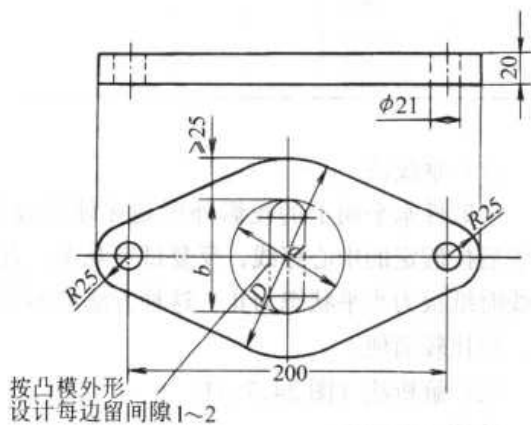


图 24.7-27 菱形卸料板
材料: 45

可等于各线段的实际长度)。

4) 根据“合力对某轴之力矩等于各分力对同轴力矩之和”的原理, 得到下列公式:

$$x = \frac{P'_1 x_1 + P'_2 x_2 + P'_3 x_3 + \dots + P'_n x_n}{P'_1 + P'_2 + P'_3 + \dots + P'_n}$$

$$y = \frac{P_1 y_1 + P_2 y_2 + P_3 y_3 + \dots + P_n y_n}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}$$

$s(x, y)$ 即为切边的压力中心, 图 24.7-31 为八个线段, 故 $n=8$ 。

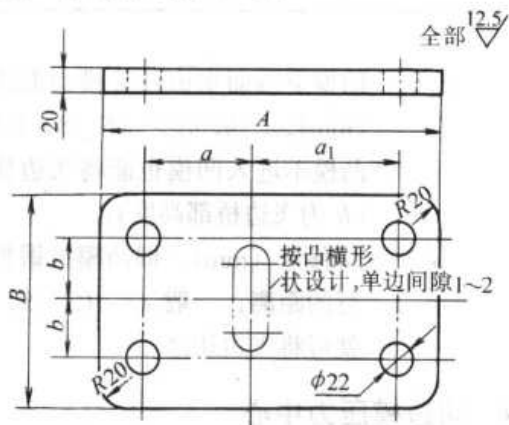


图 24.7-28 矩形卸料板

1. a, a_1, b 根据底座固定脱边器螺孔位置来确定
2. 当采用侧面螺钉紧固切边凹模时, $a = a_1$
3. A, B 外形尺寸, 随 a, a_1, b 确定后而定

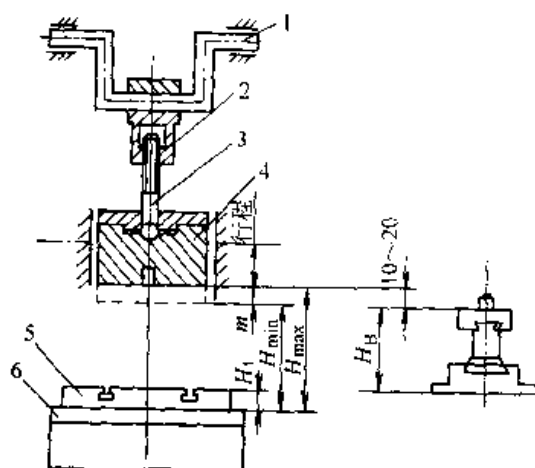


图 24.7-29 模具闭合高度与压力机封闭高度的关系
1—曲轴 2—连杆 3—螺杆 4—滑块
5—垫板 6—工作台

3 冲孔模的设计

3.1 冲孔模的结构型式

目前生产中常用的冲孔模主要有以下几种结构:

(1) 带导柱冲孔模 (图 24.7-32)

这种冲孔模,一般用于较小锻件的冷冲孔,凸模与凹模间隙小于 1.5 mm。

(2) 简单冲孔模 (图 24.7-33)

这种冲孔模通常用于冷冲孔,其结构简单,安装使用方便,但只适用于锻件孔的直径或长形孔的最大长度小于或等于 95 mm。

(3) 非回转体锻件冷冲孔模 (图 24.7-34)

这种结构一般用于非回转体类锻件冷冲孔,冲孔凸模与凹模间隙大于 1.5 mm,凹模一般只起支承作用。

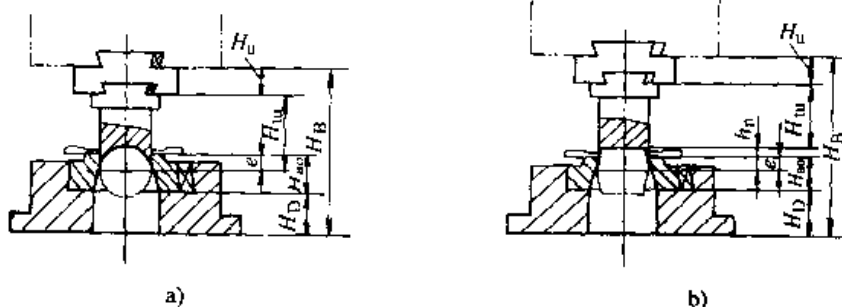


图 24.7-30 凸模高度的计算
a) 凸模进入凹模 b) 凸模不进入凹模

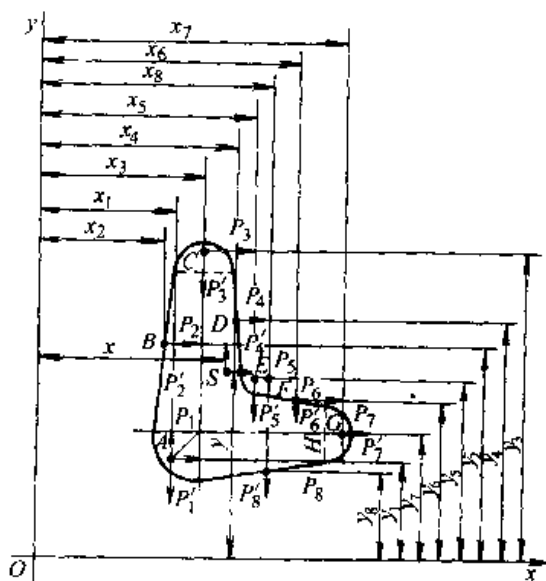


图 24.7-31 用解析法求切边压力中心

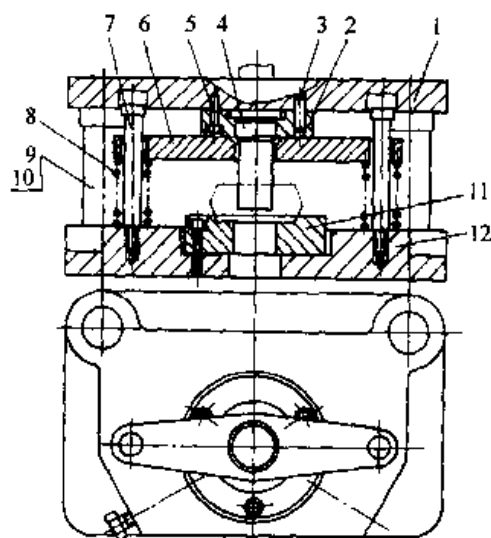


图 24.7-32 带导柱冲孔模
1—上底板 2—凸模凸定板 3—定位销 4—凸模
5—螺钉 6—卸料板 7—螺杆菌 8—弹簧
9—导柱 10—导套 11—冲孔凹模 12—底座

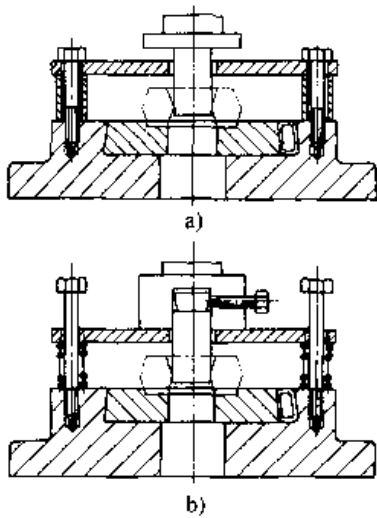


图 24.7-33 简单冲孔模
a) 带刚性退料板 b) 带半刚性退料板

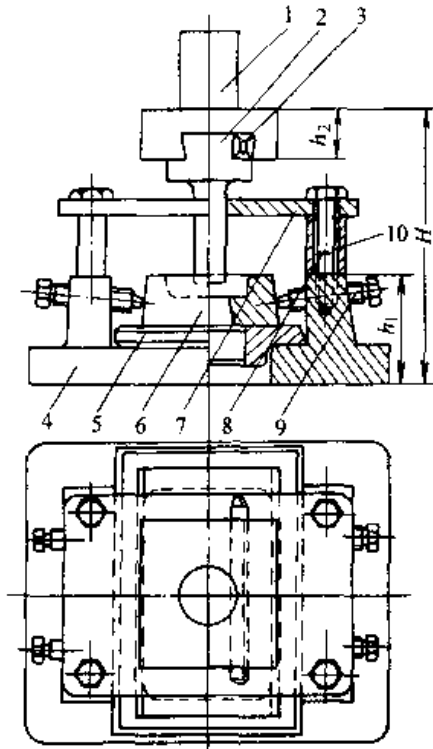


图 24.7-34 非回转体锻件冷冲孔模
1—冲头夹持器 2—冲头 3—斜楔
4—底座 5—垫板 6—冲孔凹模
7—卸料板 8、9—螺钉 10—支承管

(4) 非回转体锻件热冲孔模 (图 24.7-35)

这种结构同样适用于非回转体类锻件的热冲孔或冷冲孔。

3.2 冲孔凸凹模间的间隙

冲孔时，刃口设置在凸模上，凹模只起支承

锻件的作用，凸模按锻件图制造，依靠放大凹模孔的尺寸获得间隙 (图 24.7-36)，其间隙 $\delta = h_1 \tan \alpha - 0.5 \text{ mm}$ ，且保证 $0.5 \text{ mm} < \delta < 3 \text{ mm}$ 。

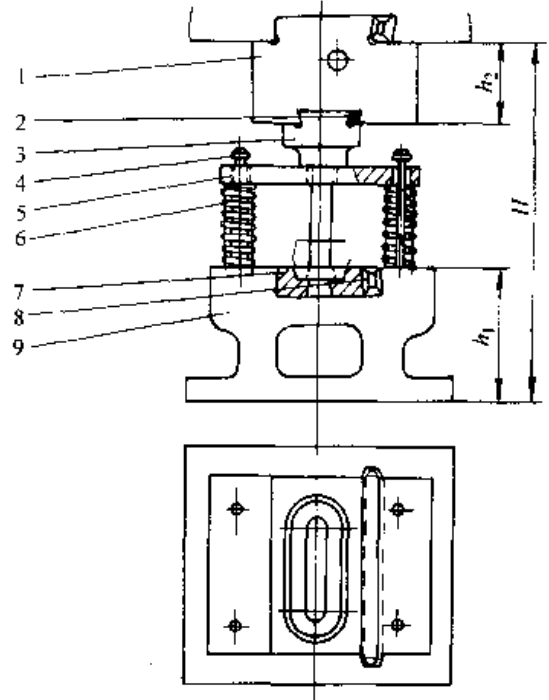


图 24.7-35 非回转体锻件热冲孔模
1—冲头夹持器 2—余楔 3—冲孔冲头 4—螺栓
5—卸料板 6—弹簧 7—冲孔凹模 8—斜楔 9—底座

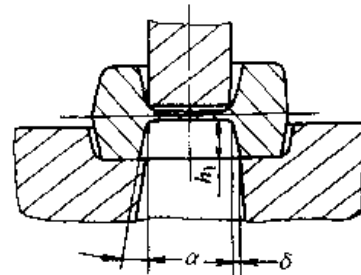


图 24.7-36 冲孔时的凸凹模间隙

为了保证冲孔质量，这种情况的冲孔要求凸模与凹模有合适间隙，可按表 24.7-19 中所列数值选用。

当凸模与凹模间隙 $\delta \geq 1.5 \text{ mm}$ 时，冲孔模可不设置导柱和导套；当 $\delta < 0.5 \text{ mm}$ 时应设置导柱导套。

3.3 冲孔凹模设计

(1) 设计注意事项 (图 24.7-37)

1) 孔径 d 按锻件名义孔径再加 2δ 。

2) 凹模起支承锻件的作用，型腔按锻件图设

计, 定位部分的侧面间隙 Δ 为锻件在该处的正偏差之半加 0.3~0.5 mm (参见图 24.7-37); 非定位部分的侧面间隙 Δ_1 可大一些, $\Delta_1 = \Delta + 0.5$ mm。

3) 支承面积应足够, 故凹模孔径应稍小于锻件底面孔径, 凹模孔的最小高度 $H_{\min} \geq t +$

15 mm, t 为连皮厚度。

4) 在锻件靠近凹模的一面无压凹的情况下 (图 24.7-38), 凸凹模均起剪切作用, 相当于板料冲孔。此时凸凹模的间隙应小一些, 具体数值见表 24.7-19。

表 24.7-19 凸凹模之间的间隙 δ (mm)

连皮厚度 t /mm	每边间隙为连皮厚度的百分数			
	热冲孔	冷冲孔		
		10、20 钢	20、25、35 钢	45 钢以上
<2.5	1.8~2	3.5~4	4~4.5	4.5~5
2.5~5	2~2.5	4~4.5	4~5.5	5~6
6~10	2.5~3	4.5~5.5	5.5~6.5	6~7
>10	3~4	5.5~7	6.5~8	7~9

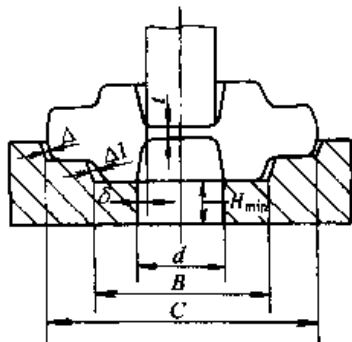


图 24.7-37 冲孔凹模尺寸

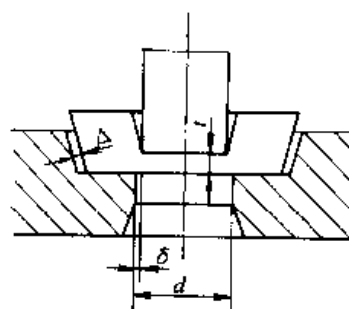


图 24.7-38 锻件一面无压凹时冲孔模结构简图

(2) 冲孔凹模结构

1) 圆形凹模 (图 24.7-39) 凹模外形为圆形的结构用于小型锻件冲孔, 适用于 500 kN、

1 000 kN 压床。

2) 长方形凹模 (图 24.7-40) 非回转类锻件热冲孔或冷冲孔均可采用这种结构。

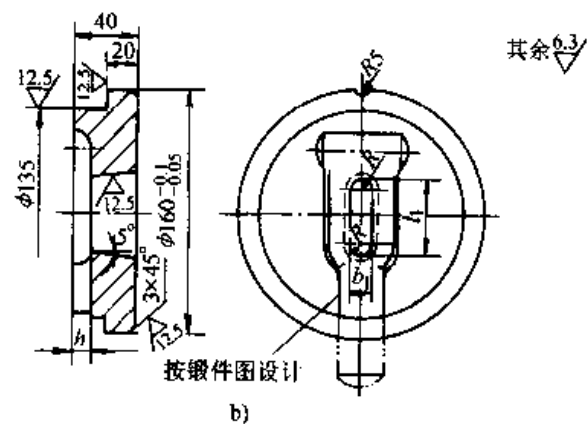
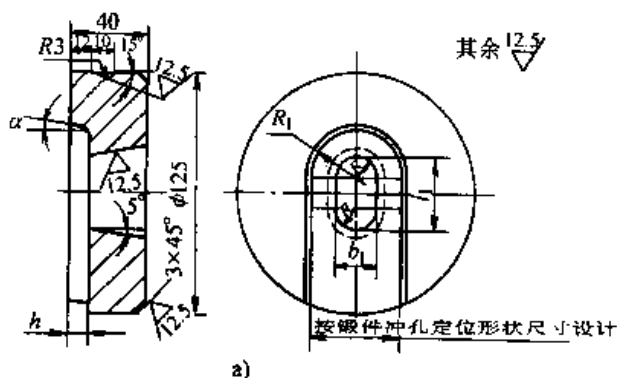


图 24.7-39 圆形凹模

材料: 45

热处理硬度: $d_B = 2.8 \sim 3.0$ mm

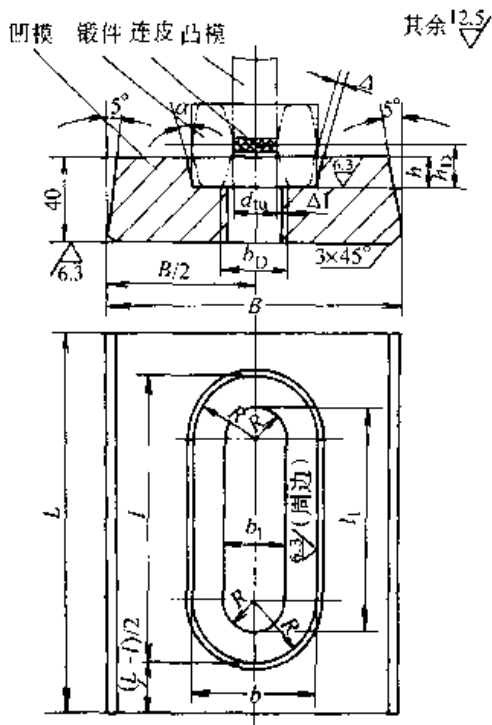


图 24.7-40 长方形凸模

材料: 45

热处理硬度: $d_B - 2.8 - 3.0 \text{ mm}$

b 、 l 、 d 、 R 按锻件图设计每边加放间隙 Δ

b_1 、 l_1 、 R 按凸外形设计每边加放间隙 Δ_1

b_D 、 h_D 为锻件尺寸

(3) 凹模外形尺寸

1) 高度 冲孔凹模大多只起支承作用, 而模膛只要能起到定位作用即可, 因此高度确定为 40 mm 完全能满足生产要求。

2) 平面尺寸 对圆形较小的锻件冷冲孔, 推荐两种规格: $\phi 125 \text{ mm}$ 、 $\phi 160 \text{ mm}$ 。其他超出这种范围的可根据实际情况和底座的配套性, 按切边凹模设计外径 (参考表 24.7-3)。

长方形凹模 (图 24.7-40)

长度: $L = l + 40 - 50 \text{ mm}$

宽度 B : 对于侧面螺钉紧固凹模:

$$B = b + 40 - 50 \text{ mm}$$

对于斜楔紧固凹模:

B 可按表 24.7-15 和 24.7-16 中的 b_{\min} 选用。

3.4 冲孔凸模设计

(1) 冲孔凸模结构

冲孔凸模设置刃口、外形按锻件孔径名义尺寸制造, 凸模高度必须保证冲孔时能使连皮与锻件完全分离。凸模的紧固方式与切边模相同。

1) 圆柱整体式凸模 (图 24.7-41) 这种结构适用于较小锻件冷冲孔, 冲孔直径 d 或长形孔长度 b 小于 35 mm。这种凸模紧固方便, 通过螺母直接固定在冲头夹持器上, 位置准确, 冲孔精度高。为了能适用冲非圆形孔, 设计有 6 mm × 6 mm 槽和夹持器中带有凸键垫配合使用起定位作用。

2) 燕尾式整体凸模 (图 24.7-42) 这种凸模适合于中小类锻件冷冲孔。凸模通过斜楔紧固在凸模夹持器中 (见表 24.7-11 附图)。

3) 组合式凸模 (图 24.7-43) 为了减少模具材料的消耗, 这种结构采用将凸模紧固部分同起剪切作用的刃口部分分开来, 紧固部分 (即冲头夹持器) 可按表 24.7-13 选用。

(2) 凸模尺寸的确定

1) 刃口形状和尺寸 冲孔凸模端面起剪切作用, 刃口形状和尺寸根据锻件孔的形状和尺寸来确定。用于冷冲孔的刃口尺寸按锻件公称尺寸确定, 用于热冲孔的则应考虑收缩率。

2) 冲头高度 “ h ” 根据模具结构和模具设计封闭高度以及所选用标准件尺寸计算求得:

$$h = H - h_1 - h_2 + S$$

式中 H —— 模具设计封闭高度;

h_1 —— 底座下支承面到冲孔凹模上平面高度;

h_2 —— 凸模夹持器高度;

S —— 凸模进入凹模深度, 根据冲孔连皮位置情况来确定。

3) 紧固部分尺寸的确定 紧固部分的形状和尺寸, 根据设计时所确定的模具结构型式来确定, 如图 24.7-32 中凸模紧固形状尺寸按图 24.7-41 设计。图 24.7-33、24.7-34 和 24.7-35 中凸模紧固形状和尺寸可按表 24.7-11、24.7-12 和 24.7-13 确定。

3.5 模座设计

(1) 结构型式

1) 圆形模座 (图 24.7-44) 这种模座用

于较小锻件冷冲孔，它直接用压板固定在压床台面孔中。

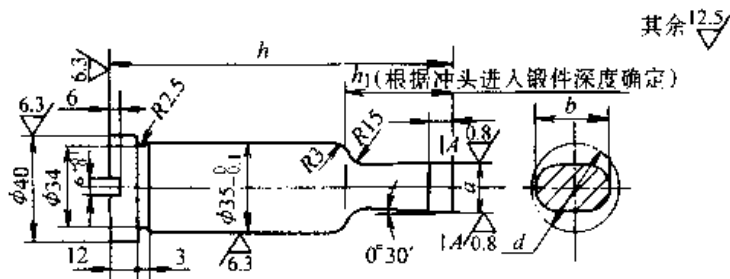


图 24.7-41 圆柱整体式凸模

材料：Y8A

热处理硬度： $d_B = 2.7 \sim 2.9 \text{ mm}$

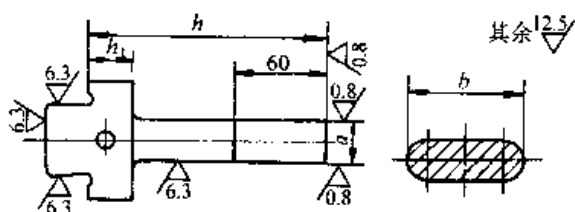


图 24.7-42 燕尾式整体凸模

材料：Y8A

热处理硬度： $d_B = 2.7 \sim 2.9 \text{ mm}$

要，模座各部分尺寸列于表 24.7-15~表 24.7-18 中，供设计选用参考。

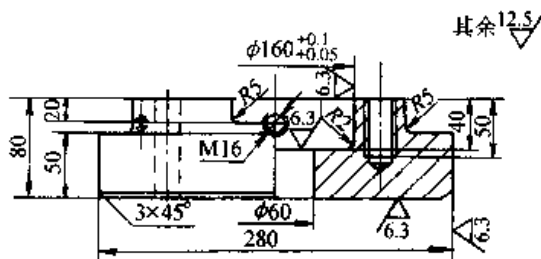


图 24.7-44 圆形模座

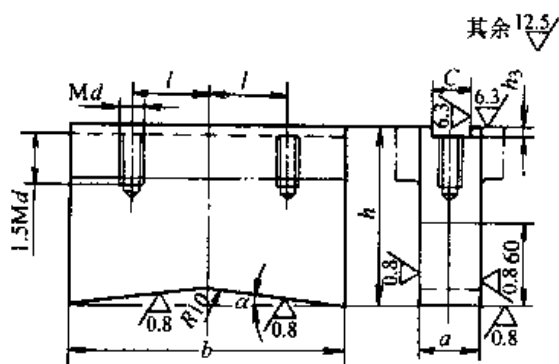


图 24.7-43 组合凸模

材料：Y8A（冷冲孔）；（热冲孔）

热处理硬度： $d_B = 2.7 \sim 2.9 \text{ mm}$ （冷冲孔）

热处理硬度： $d_B = 2.8 \sim 3.0 \text{ mm}$ （热冲孔）

2) 圆形板式模座（图 24.7-45） 这种模座用于较小锻件不带导柱的冷冲孔模。

3) 长方形模座 这种模座与切边模底座通用，适用于非回转体类锻件的热冲孔或冷冲孔，如图 24.7-21、24.7-22 示。

(2) 各部分尺寸的确定

为适应标准化、通用化和生产互换性的需

3.6 卸锻件装置

冲孔时锻件易卡在凸模上，一般均需设置卸料装置，设计原则与切边模相同。当凸凹模间隙小于 0.5 mm 时，冲孔模上应设置导柱、导套。

卸料器结构型式与切边用卸飞边器相同，如图 24.7-33、图 24.7-34 为刚性卸料器，图 24.7-32、图 24.7-35 为弹性卸料器。

卸料板可参照图 24.7-46 和图 24.7-27、图 24.7-28 选用。

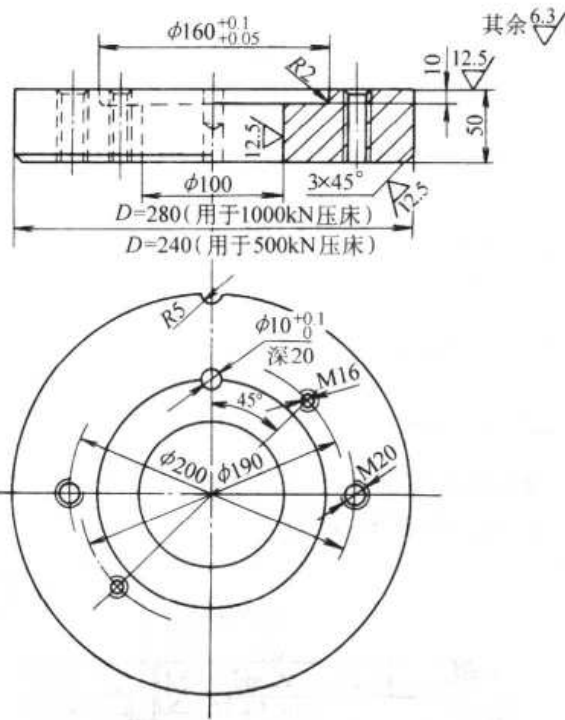


图 24.7-45 圆盘式模座

材料: 45

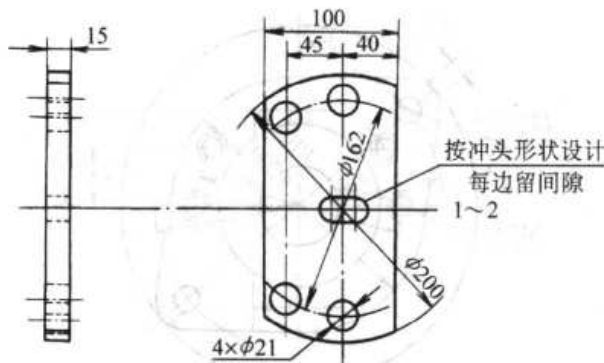


图 24.7-46 卸料板

材料: 45

4 切边冲孔连续模设计

切边冲孔连续模是在压力机的一次行程内, 同时进行一个锻件的切边和另一个锻件的冲孔(图 24.7-47)。

连续模可看成是一种简单的组合模具, 因此, 其尺寸设计与前述的切边、冲孔模相同, 只是上下模座较为复杂。为保证模具工作的可靠性, 一般多采用导柱、导套。

各工序的有关零件(切边凹模与凸模、冲孔凹模与凸模等)应设计成能单独调整的, 一般固定在上模座的零件不调整, 而固定在下模座的零件为可调整的。

设计模具闭合高度时, 应考虑各工序间的相互关系。

当锻件较高时, 凸模不必进入凹模, 可采用图 24.7-48 所示的简易切边冲孔模。

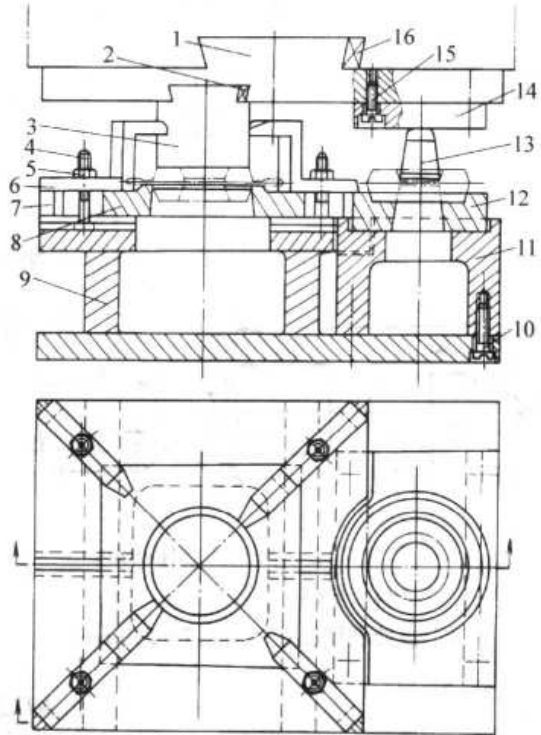


图 24.7-47 切边冲孔连续模

- 1—上模座 2、16—楔子 3—阳模
- 4、10、15—螺栓 5—螺母 6—压板
- 7—垫块 8—阴模 9—焊接模座 11—模垫
- 12—冲孔阴模 13—冲孔阳模 14—冲垫

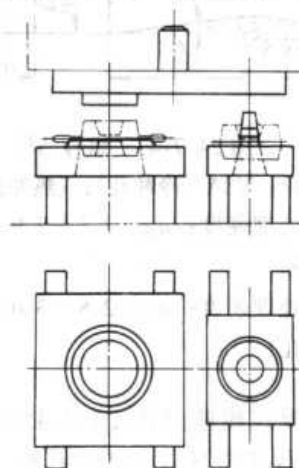


图 24.7-48 简易切边冲孔连续模

5 切边冲孔复合模设计

切边冲孔复合模是在压力机的一次行程中先后完成同一锻件的切边和冲孔(图 24.7-49)。

为了保证模具的可靠性，并便于安装调整，复合模均采用导柱、导套。

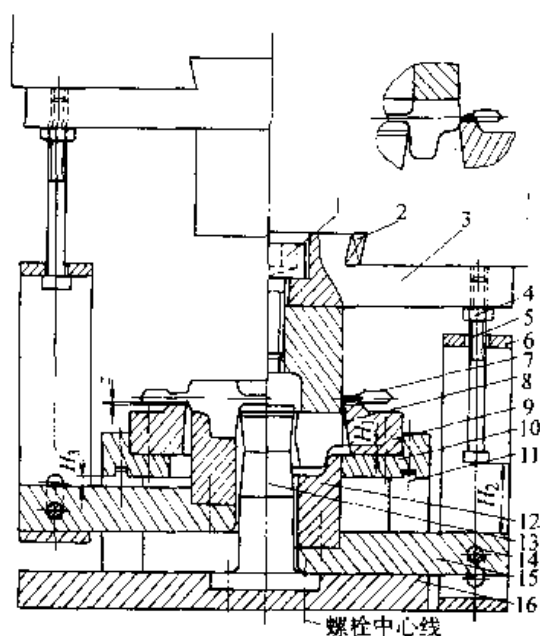


图 24.7-49 切边冲孔复合模 (通用)

- 螺栓 2—楔子 3—上模板 4—螺母 5—螺栓
- 6—托架 7—凸凹模 8—锻件 9—凹模
- 10—垫板 11—支承板 12—顶件器 13—凸模
- 14—螺栓 15—横梁 16—下模板

如图 24.7-49 所示，冲孔凸模 13 固定在下模板 16 上，顶件器 12 固定在横梁 15 上。横梁 15 通过托架 6、螺栓 5、螺母 4 与上模板 3 相连。凹模 9 固定在垫板 10 的定位孔中，而垫板 10 通过支承板 11 固定在下模板 16 上。凸凹模 7 通过螺栓 1 固定在上模板 3 上。上模板 3 通过燕尾和楔子 2 固定在压力机的滑块上，下模板 16 固定在压力机的工作台上。

压力机滑块处于最上限位置时，螺栓 5 通过托架 6 和横梁 15 使顶件器 12 也处于上限位置，将锻件置于顶件器 12 上。滑块下行时，锻件随顶件器 12 和横梁 15 一起向下移动，当锻件与凹模 9 的刃口接触时，顶件器 12 与它脱离并继续下移，直到横梁 15 与下模板接触，此后螺栓 5 与托架 6 发生相对移动而继续下移，在下移到最下位置前，凸凹模 7 与锻件接触并迫使锻件在凹模 9 的刃口上进行切边，然后凸模 13 与锻件的连皮接触进行冲孔，锻件落在顶件器 12 上。

滑块上行时，凸凹模 7 与螺栓 5 同时上移；由螺栓 5、托架 6 带动横梁 15 与顶件器 12 一起上移，并将锻件从凹模 9 中顶出。

(1) 切边冲孔复合模设计要点

切边冲孔复合模的设计要点为 (参见图 24.7-49、图 24.7-50)：

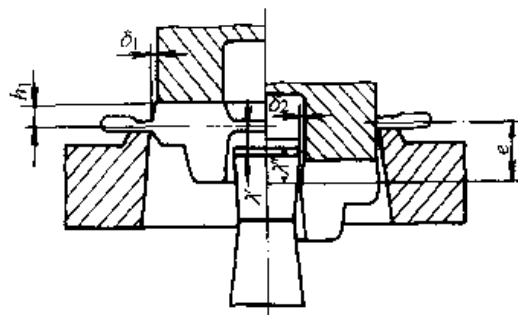


图 24.7-50 切边冲孔复合模的间隙

1) 锻件上下不对称时选择形状简单的一面朝上，从而使凸模形状简单。

2) 计算所得的凸凹模之间的间隙应尽量满足：切边时 δ_1 不小于 1 mm，冲孔时 δ_2 不小于 0.6 mm，否则，就要设置卸料装置，使模具结构复杂化。

3) 为减小压力机载荷，应将切边冲孔错开进行，切边在前，冲孔在后。连皮与凸模之间应有间隙，一般 $\lambda' = 5 \sim 15 \text{ mm}$ 。

4) 切移量 e 值应保证切净飞边，冲净连皮，并保证 λ'' 不小于 10~15 mm。

5) 凹模刃口端面和凸模端面的磨损会导致模具闭合高度减小，为避免锻件在凸模和顶件器之间受压，其间应留间隙， $H_1 \geq 5 \sim 15 \text{ mm}$ 。同时横梁与螺栓之间也应留有间隙 H_2 。

6) 滑块回到最上位置时，为保证锻件易于取出，飞边与凹模之间应留间隙， $z = 2 \sim 5 \text{ mm}$ ，横梁与凹模垫板之间也应留有间隙， $H_3 = 5 \sim 15 \text{ mm}$ 。

在生产批量不大的情况下，可采用如图 24.7-51 所示的简易切边冲孔复合模，在切边模上加一活动冲子，凸模下压时，首先推动冲子，冲除连皮，继而推压锻件，切除飞边。

设计复合模时，除凸模、顶出器与冲头外，其他零件均应系列化，以简化设计及制造工作。表 24.7-20 为某厂上、下模座尺寸系列，供设计参考。

(2) 用于冲孔直径较小的复合模

图 24.7-52 是某厂用于冲孔直径小于 60 mm 的回转体锻件的一种切边、冲孔复合模典型结构。其特点是先冲孔，后切边，锻件靠凸模定位。图 24.7-53 为该模具工作示意图。

由于冲孔直径较小，冲头较细，为了避免冲头长期受扭而损坏，将它固定在上模座上，凸模

固定于下模座，凹模固定在上模座。顶出器自上

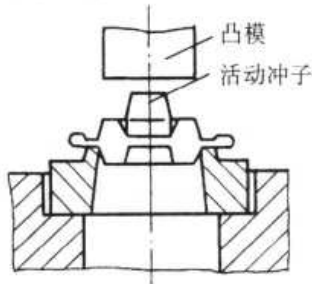


图 24.7-51 简易切边冲孔复合模

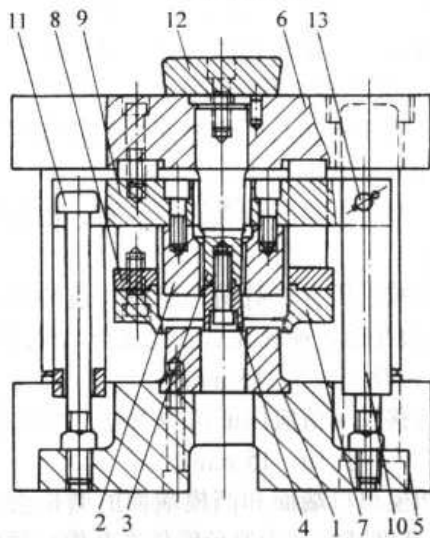


图 24.7-52 切边冲孔复合模

- 1—切边凸模 2—顶出器 3—冲孔凸模 4—凸模镶块
- 5—下模座 6—上模座 7—凹模 8—凹模固定器
- 9—模板 10—U形板 11—拉杆 12—燕尾榫
- 13—销轴

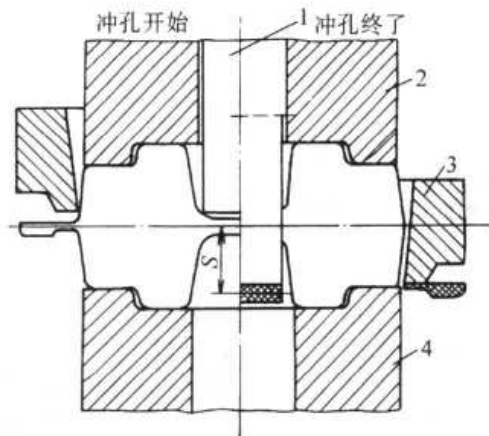


图 24.7-53 切边冲孔复合示意图

- 1—凸模 2—顶出器 3—凹模 4—切边凸模
- (用于孔径小于 60 mm)

往下顶出锻件，整个顶出系统的安放位置与图 24.7-49 结构相反。

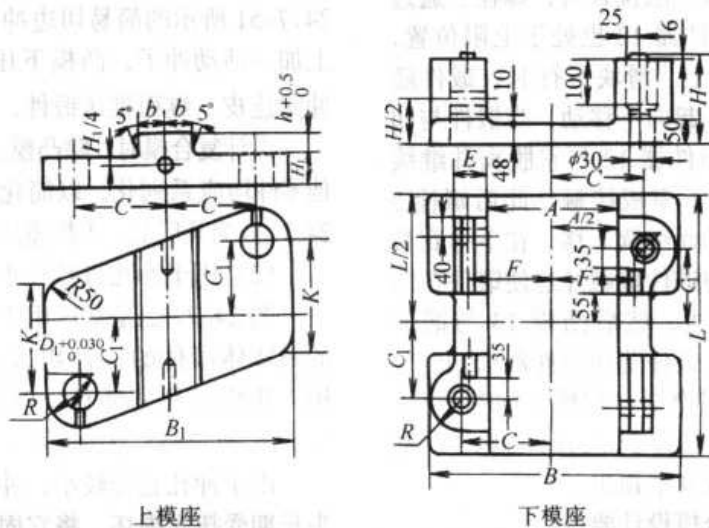
模具工作过程的工艺参数的选择及模具高度的计算均与前面相同，只是在具体计算时应考虑到有关零件安放位置的不同，适当变更运算参数的符号。

锻件安放在凸模上，并在凸模上定位，因而顶出器可进一步简化。

某厂用于 1 250 kN、2 000 kN 及 3 150 kN 切边压力机上的切边、冲孔复合模已系列化，具体设计时根据不同锻件只计算与设计凸模，顶出器与冲孔凸模（连同座）。其他零件根据锻件外径由系列中选取。

复合模具的有关零件尺寸系列见表 24.7-21 ~ 表 24.7-27。

表 24.7-20 上下模座尺寸



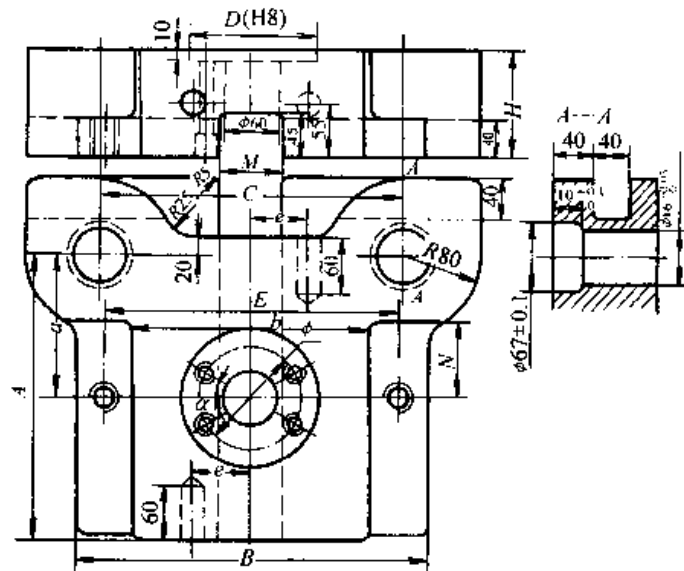
续表 24.7-20

B_1	K	H_1	B	L	H	A	F	E	D	D_1	R	C	C_1
420	200	50	420	560	160	180	120	60	$50^{+0.027}_0$	65	65	145	160
520	220	80	520	620	190	250	160	75	$60^{+0.03}_0$	75	75	185	180
580	245	80	580	670	190	310	195	80	$60^{+0.03}_0$	75	75	215	205

注：燕尾尺寸有 $b=57\text{ mm}$, $h=38\text{ mm}$ 和 $b=70\text{ mm}$, $h=44.5\text{ mm}$ 两种。

表 24.7-21 下模座尺寸

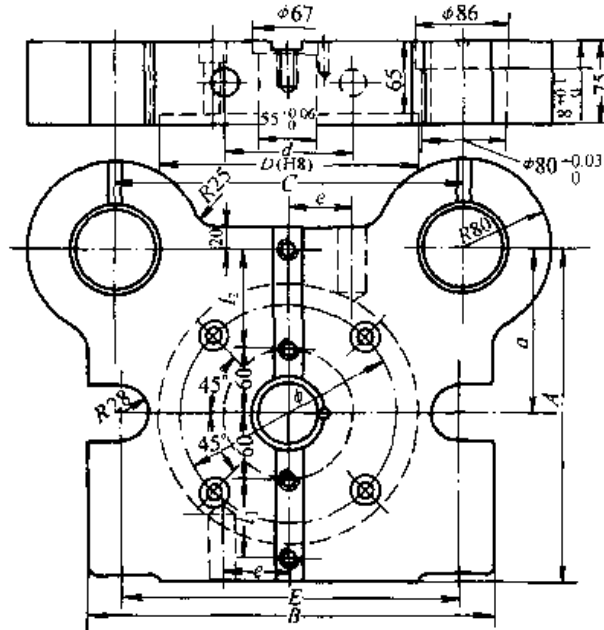
(mm)



锻件外径 D_0	$D(H8)$	ϕ	$a/ (^{\circ})$	A	a	B	b	C	E	e	H	M	N
100~120	130	100	30	280	145	350	230	300	290	50	110	60	80
120~140	140	110	30	300	155	370	250	320	310	60	110	65	85
140~160	160	130	40	320	165	390	270	340	330	70	110	70	90
160~180	180	140	40	340	175	410	290	360	350	80	110	70	100
180~200	200	160	40	360	185	430	310	380	370	90	140	70	100
200~220	220	180	40	380	195	450	330	400	390	100	140	70	100

表 24.7-22 上模座尺寸

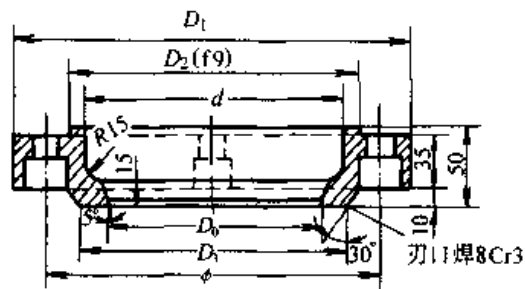
(mm)



锻件外径 D_0	D (H8)	d	ϕ	A	a	B	E	C	e	l_1	l_2
100~120	220	120	180	280	145	350	290	300	50	60	80
120~140	240	140	200	300	155	370	310	320	60	70	90
140~160	260	160	220	320	165	390	330	340	70	80	100
160~180	280	180	240	340	175	410	350	360	80	90	110
180~200	300	200	260	360	185	430	370	380	90	100	120
200~220	320	220	280	380	195	450	390	400	100	110	130

表 24.7-23 凹模尺寸

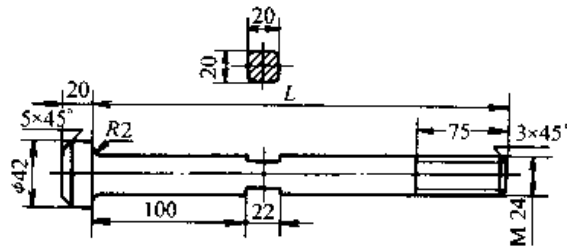
(mm)



锻件外径 D_0	D_1	D_2 (f9)	D_3	d	ϕ
100~120	220	$150 \begin{smallmatrix} -0.05 \\ -0.14 \end{smallmatrix}$	135	130	180
120~140	240	$170 \begin{smallmatrix} -0.06 \\ -0.165 \end{smallmatrix}$	155	150	200
140~160	260	$190 \begin{smallmatrix} -0.06 \\ -0.165 \end{smallmatrix}$	175	170	220
160~180	280	$210 \begin{smallmatrix} -0.06 \\ -0.165 \end{smallmatrix}$	195	190	240
180~200	300	$230 \begin{smallmatrix} -0.075 \\ -0.195 \end{smallmatrix}$	215	210	260
200~220	320	$250 \begin{smallmatrix} -0.075 \\ -0.195 \end{smallmatrix}$	235	230	280

注：材料 45、8Cr3；热处理硬度为 40~45 HRC。

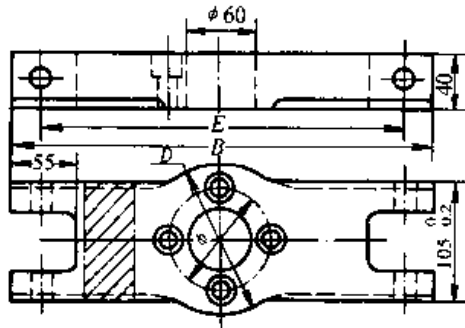
表 24.7-24 拉杆尺寸 (mm)



L	240	280	330
---	-----	-----	-----

注：材料 45；热处理硬度为 30~35 HRC。

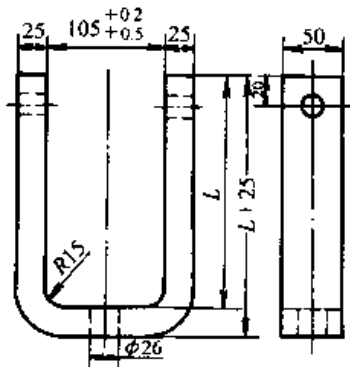
表 24.7-25 模板尺寸 (mm)



锻件外径 D_0	D	ϕ	E	B
100~120	120	90	290	340
120~140	130	95	310	360
140~160	150	100	330	380
160~180	170	120	350	400
180~200	190	140	370	420
200~220	210	160	390	440

注：材料 45；热处理硬度为 35~40 HRC。

表 24.7-26 U形板尺寸 (mm)

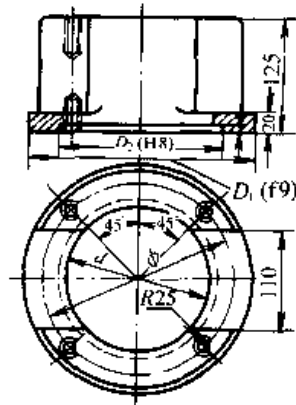


L	150	190	220
---	-----	-----	-----

注：材料 45；热处理硬度为 35~40 HRC。

表 24.7-27 凹模座尺寸

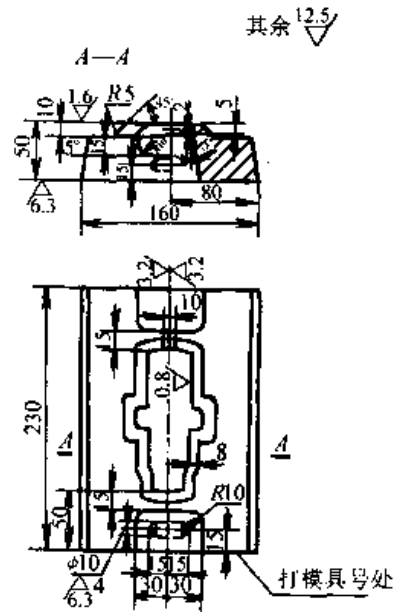
(mm)



锻件外径 D_0	D_1 (f9)	D_2 (H8)	d	ϕ
100~120	200	150	130	180
120~140	240	170	150	200
140~160	260	190	170	220
160~180	280	210	190	240
180~200	300	230	210	260
200~220	320	250	230	280

6 切边冲孔模实例

- 1) 惰轮轴热锻件图和切边模见图 24.7-54~58。
- 2) 连杆热锻件图和热切边模见图 24.7-59~74。
- 3) 连杆冲孔模见图 24.7-75~82。
- 4) 切边冲孔复合模见图 24.7-83~86。



7 校正模设计

7.1 校正模的作用及分类

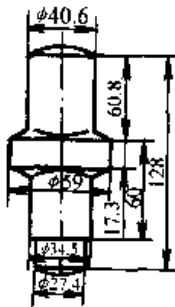


图 24.7-54 惰轮轴热锻件图
1. 未注斜度 7°, 未注圆角 R2
2. 尺寸按交点注。

图 24.7-55 惰轮轴切刀模凹模

1. 材料: 8Cr3
2. 硬度 $d_H = 2.8 - 3.0$ mm;
3. 模槽制造公差 ± 0.1 mm, 其余按切边模制造技术条件制造;
4. 销子选标准件 $\phi 10$ mm \times 26 mm。
5. 切边压力机 1 600 kN。

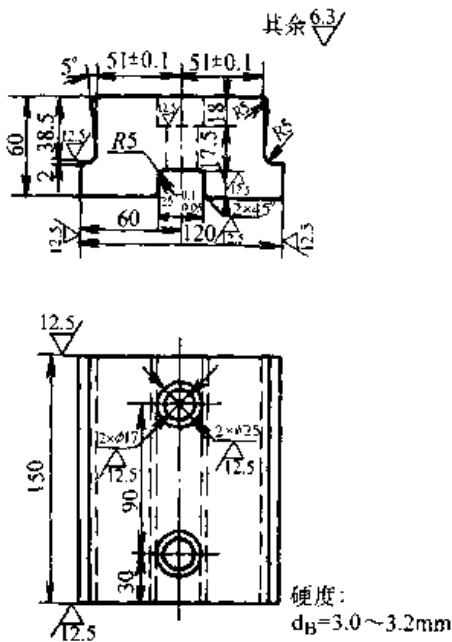


图 24.7-56 惰轮轴切边模凸模夹
材料: 40 钢

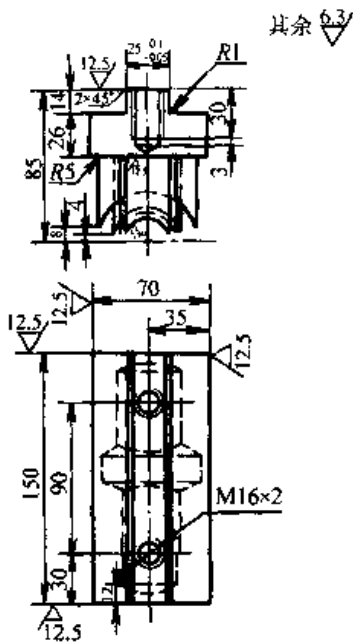


图 24.7-57 惰轮轴切边模凸模
1. 材料: 45 钢, 硬度 $d_B = 3.0 \sim 3.2 \text{ mm}$;
2. 凸模与凹模间隙每边 0.5 mm, 由凸模做出
3. 模槽公差 $\pm 0.1 \text{ mm}$, 其余按切边模技术条件制造。

锻造生产中, 锻件在各生产工序及其传递过程, 由于各种原因常常产生弯曲、扭转等变形,

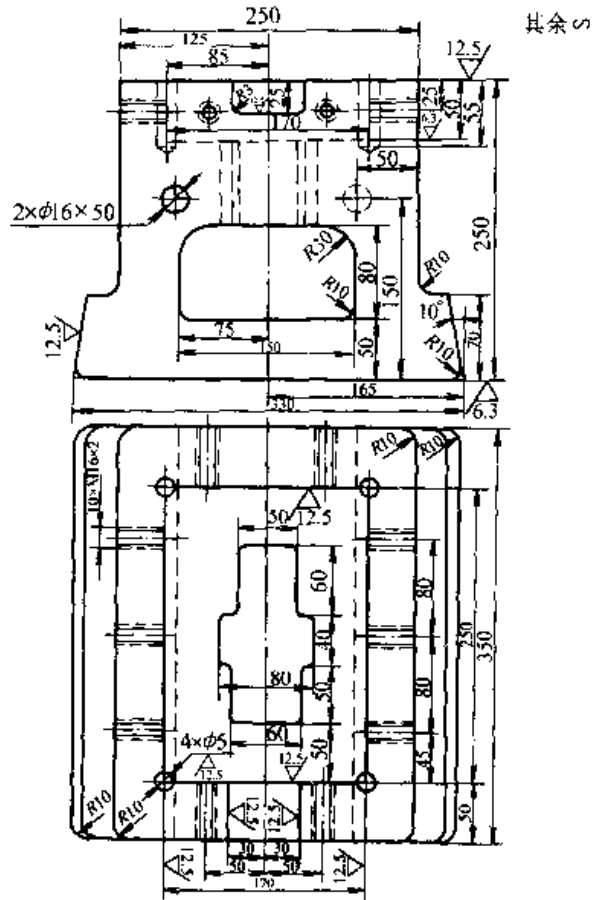


图 24.7-58 惰轮轴切边模底座

1. 材料: HT200 2. 未注圆角 R5。

如锻件由于冷收缩不均而引起的变形, 以及冲连皮、切飞边时产生的变形, 尤其是长轴类与弯轴类锻件最容易产生这类变形。为了消除这类变形, 使锻件符合锻件图的技术要求, 因此需要对变形锻件进行校正。

校正一般在校正模内进行, 也可以不用模具, 如对某些长轴类锻件的校正, 有时是直接将锻件放在油压机工作台的二块 V 形铁上, 利用装在油压机压头上的 V 形铁对弯曲部位进行校直。当锻件的校正是在校正模内进行时, 对于锻件在高度方向上因欠压而增大的尺寸, 可以通过校正使其减小。

校正通常可分为热校正与冷校正两种。

1) 热校正 在热态下校正通常是与模锻同一火次, 在切飞边与冲连皮之后进行。它可以在模锻锤的终锻模膛内校正, 也可以在校正设备(如摩擦压力机等)上的校正模中进行, 此时与模锻设备、切边压力机组成一条流水线。另外也可以在切边压力机上采用连续式或复合式的切飞

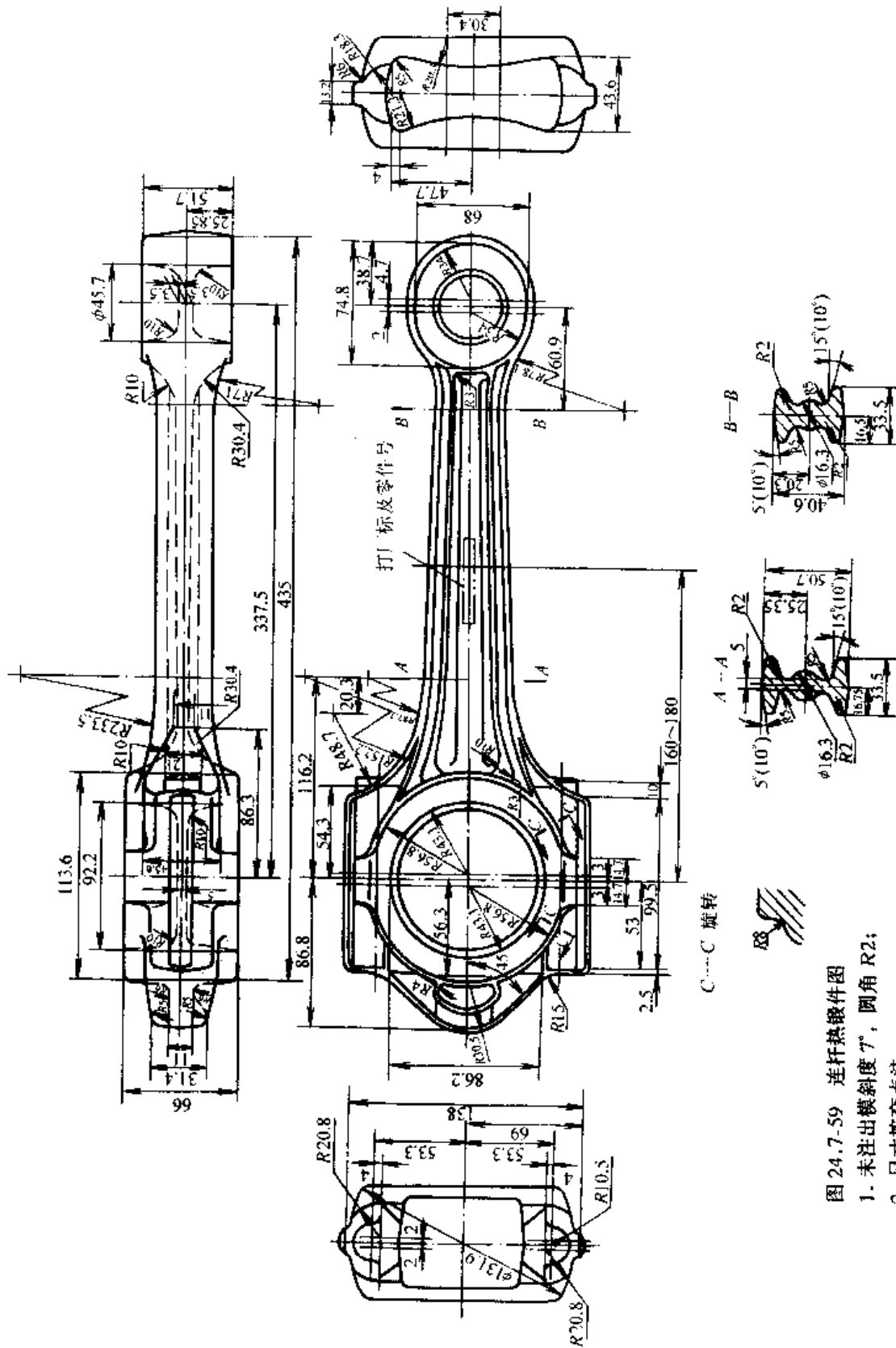


图 24.7-59 连杆热锻件图

1. 未注出模斜度 7°, 圆角 R2;

2. 尺寸按交点注;

3. 工字形部分括号内斜度用于顶出器;

4. 因杆部工字断面切边时将产生变形, 因此切边凸模上工字形部分的斜度作了改变 (见 A-A 剖面与 B-B 剖面), 使切边时预先产生一种相反方向的变形以抵消切边时的变形。

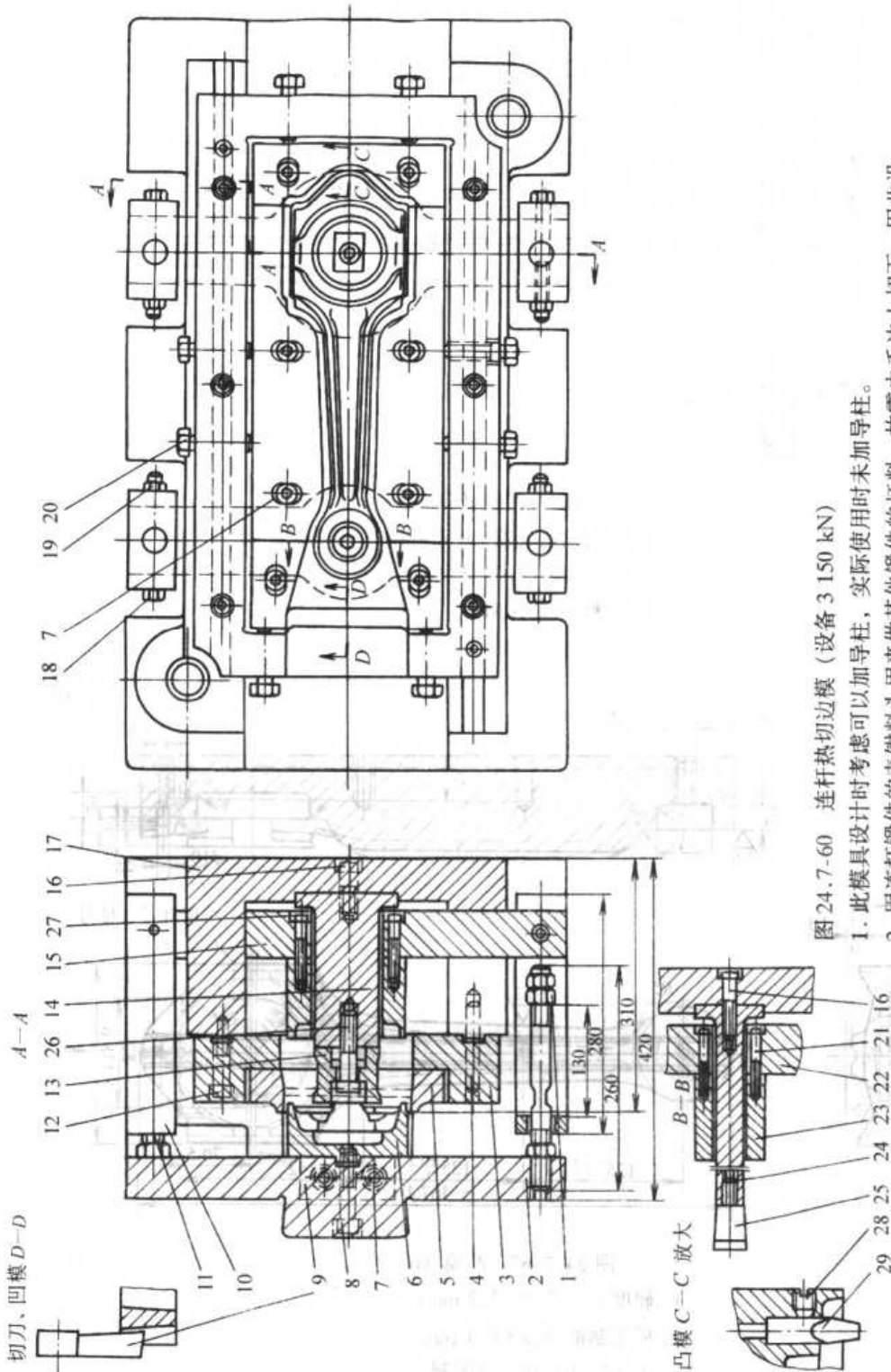


图 24.7-60 连杆热切边模 (设备 3 150 kN)

1. 此模具设计时考虑可以加导柱, 实际使用时未加导柱。
2. 因连杆锻件的夹钳料头用来做其他锻件的坯料, 故需由毛边上切下, 因此设置了切刀 (见件 9)。
3. 压床行程 210 mm。

- 1、19—螺母 2—上固定板 3—下垫板 4—圆柱销 5—凹模 6—凸模
- 7、8、12、16、20、21、26、27、28—螺钉 9—切刀 10—U形板 11—拉杆
- 13—大冲子 14—大冲子座 15—大头横板 17—底座 18—螺栓
- 22—大头横板 23—顶出器 24—小冲子座 25—小冲子 29—字头

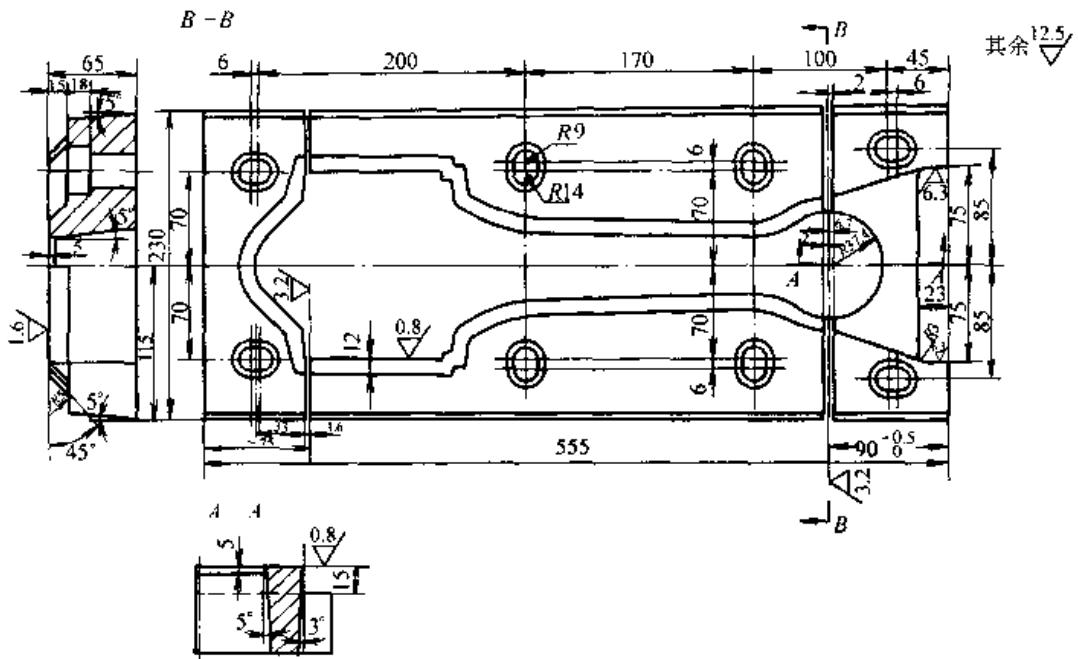


图 24.7-61 凹模 (5)

1. 模槽制造公差 ± 0.1 mm;
2. 硬度 $d_B = 2.8 \sim 3.0$ mm
3. 材料: 5CrNiMo

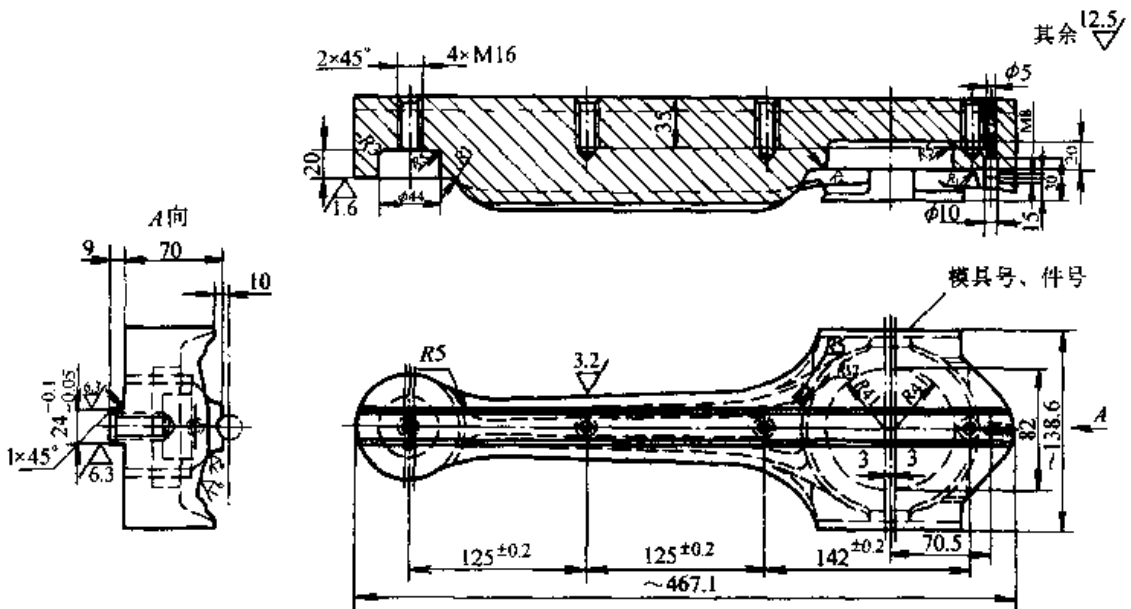


图 24.7-62 凸模 (6)

1. 硬度 $d_B = 3.0 \sim 3.2$ mm;
2. 模槽制造公差 ± 0.1 mm;
3. 未注尺寸按热锻件图制造;
4. 冲头与凹模间隙每边 0.5 mm, 由冲头做出;
5. 其余按切边模制造技术条件制造;
6. 材料: 8Cr3.

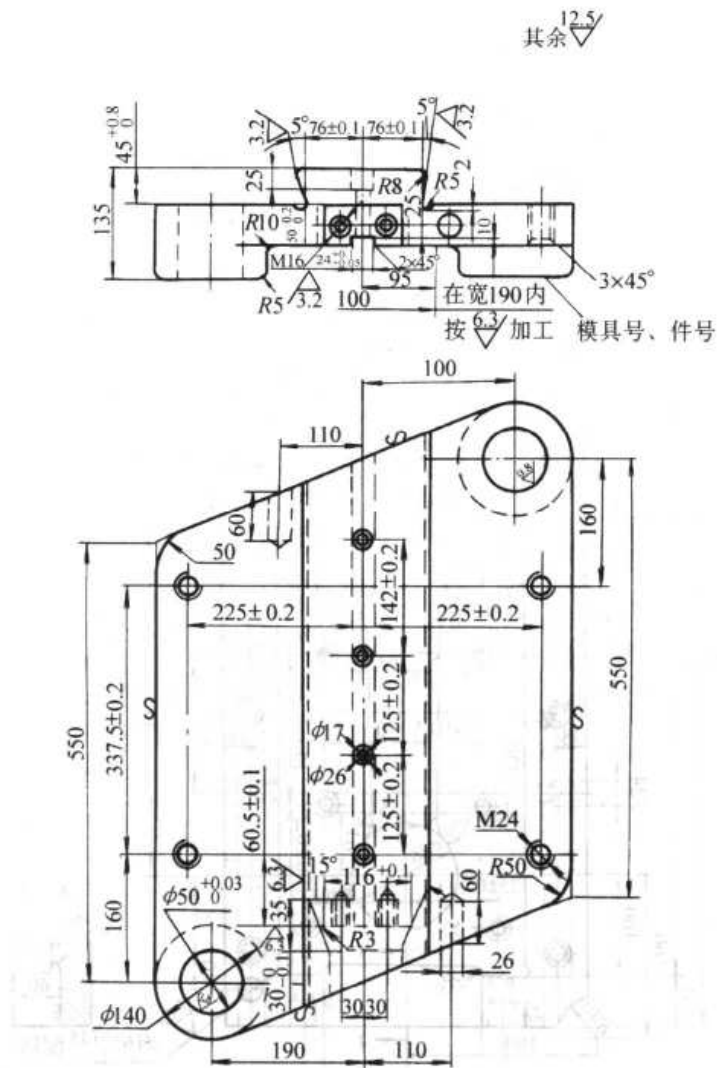


图 24.7-63 上固定板 (2)

材料: ZG310-570

边一校正或冲连皮一校正模具内进行, 这种校正方法一般用于大型锻件和在模锻和紧接的其他热加工工序(如切飞边和冲连皮)中易产生变形的复杂形状的锻件。

2) 冷校正 冷校正是在锻件清理后进行, 一般作为最后工序。一般用于中小型锻件和在冷切飞边、冷冲连皮、热处理及表面清理过程中易产生变形的锻件。冷校正可在夹板锤、摩擦压力机和曲柄压力机等设备上的校正模中进行。为了提高塑性, 防止产生裂纹, 锻件应先进行退火或正火处理。

锻件的校正可以是整体校正, 也可以是局部校正。

7.2 需采用校正模校正的锻件

一般需要采用校正模校正的锻件, 有如下几种:

- 1) 易产生弯曲的细长轴类锻件;
- 2) 具有大小头、易在分模面垂直方向产生弯曲或两端扭曲的长杆类锻件;
- 3) 易产生变形的叉形和枝芽形锻件;
- 4) 分模面弯曲的细长锻件;
- 5) 具有落差的锻件;
- 6) 具有薄法兰盘的锻件;
- 7) 冲孔的锻件;

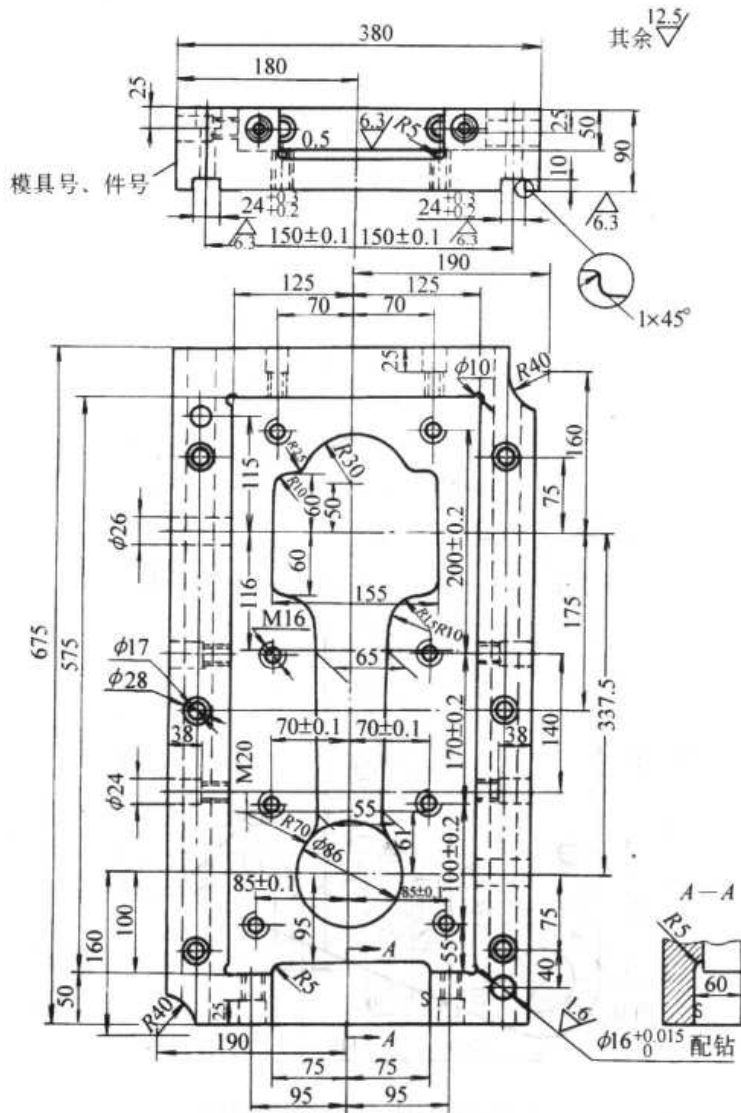


图 24.7-64 下垫板 (3)

1. 材料: ZG310-570;
2. 未注圆角半径 R5。

8) 形状复杂的锻件, 如变速叉、曲轴和凸轮轴等。

7.3 校正模设计

1) 校正模膛的设计 校正模膛是根据锻件图 (热的或冷的) 来设计的。热校正时, 其冷收缩率比终锻模膛的略小 0.2%~0.3%。例如钢件一般取 1%~1.2%; 铝合金件一般取 0.7%~1%。在保证校正要求的情况下, 应力求模膛形状简化、定位可靠、操作方便和制造简单。如图 24.7-87 所示。

为了使锻件放入或取出模膛时方便, 并考虑到锻件在高度方向上有欠压现象时在校正过程中锻件横向尺寸会增大, 所以在水平方向模膛与锻件之间应留有一定空隙 Δ_1 , 其值与锻件的断面形状和大小有关, 可按表 24.7-28 选用。对于凸起部分较高的锻件 ($H/D > 1$), 其空隙可取大一些 (表图 24.7-28c), 或根据具体情况取不同的空隙值。对于易变形的叉形锻件, 为了校正得好, 在叉形的顶部某一高度范围内应不留空隙 (表图 24.7-28b)。

校正模膛的高度, 对于小锻件, 因锻件欠压

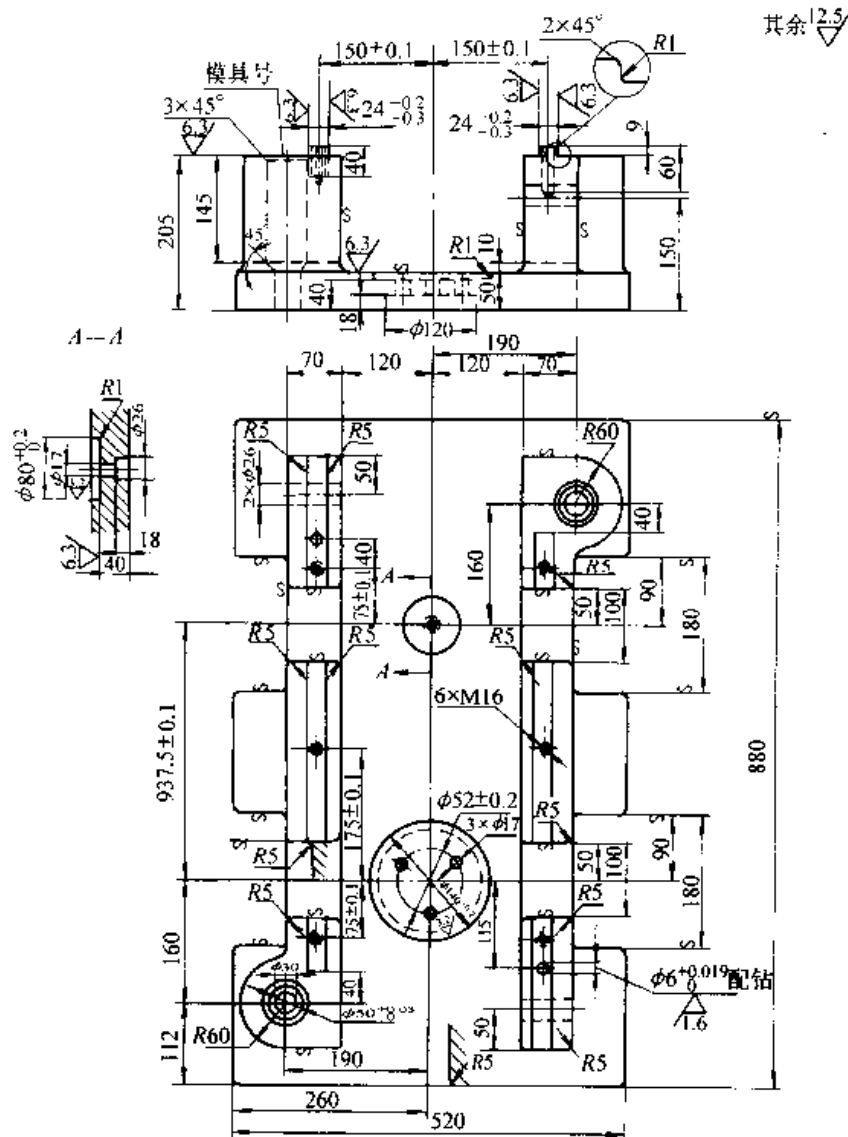


图 24.7-65 底座 (17)

1. 材料: ZG310-570;
2. 未注圆角 R10。

现象不严重, 模膛的高度可取等于锻件的高度。对于大中型锻件, 校正模膛高度比锻件高度要小些, 其差值为锻件的负偏差。

目前, 航空部门在校正模膛与锻件间留的间隙较小, 模膛水平方向尺寸只加大至上偏差的一半左右, 垂直方向的厚度尺寸不变, 或减小至下偏差的一半左右。

冷校正的锻件有少量回弹, 对要求尺寸精确的锻件, 在设计模膛时应予以考虑。

校正模膛一般不设计飞边槽, 只是在锤和螺旋压力机上用的校正模, 个别情况下, 在模膛四周上下模面间留出少量间隙, 以容纳因终锻模膛严重磨损或锻件欠压而产生的多余材料, 在其他

设备上(如锻压机、切边机等)用的校正模, 只在上下模面间留出开通的间隙 h , 见图 24.7-88, 图中尺寸 h 、 b 按表 24.7-29 确定。

为便于放置锻件和避免上模压下时因摆动而刮伤锻件, 校正模膛沿分模面的周边应倒成较大圆角 R , 见图 24.7-88 和表 24.7-29。

经冲孔切边后的锻件由于没有飞边和夹钳料头, 校正后从模膛取出很困难, 这时应在模膛内设计伸入撬棍或夹钳起拔锻件的缺口, 如图 24.7-89 示。

在校正模的模膛边缘应作出圆角 $R = 3 \sim 5$ mm, 模膛的表面粗糙度 R_a 为 $0.8 \sim 1.6 \mu\text{m}$, 其制造公差可按表 24.7-30 选取。

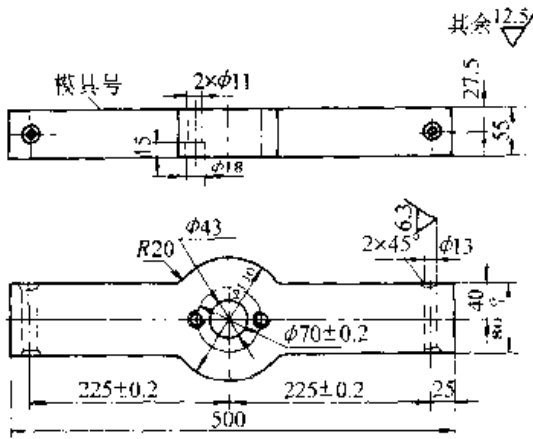


图 24.7-66 小头横板 (22)
材料: 45 钢

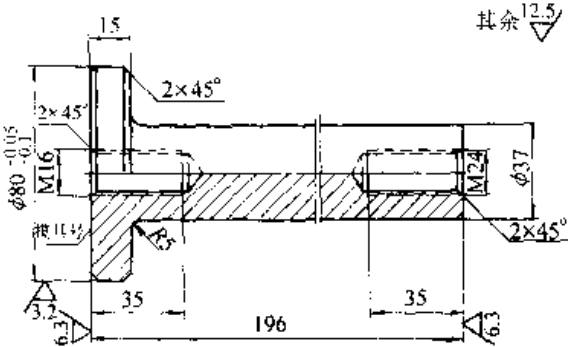


图 24.7-67 小冲子座 (24)
1. 材料: 45 钢;
2. 硬度 $d_B = 3.2 \sim 3.4$ mm。

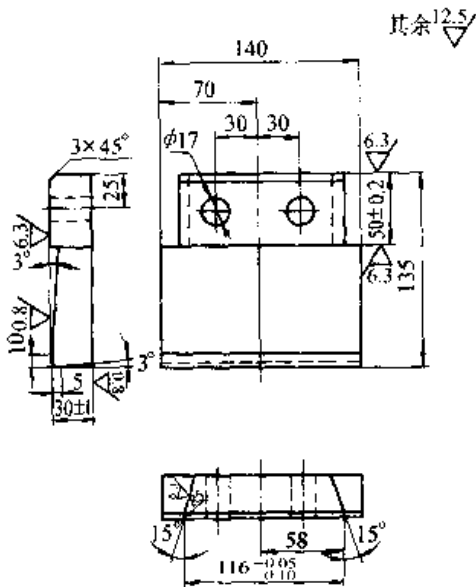


图 24.7-68 切刀 (9)
1. 材料: 8Cr3;
2. 硬度: $d_B = 3.0 \sim 3.2$ mm。

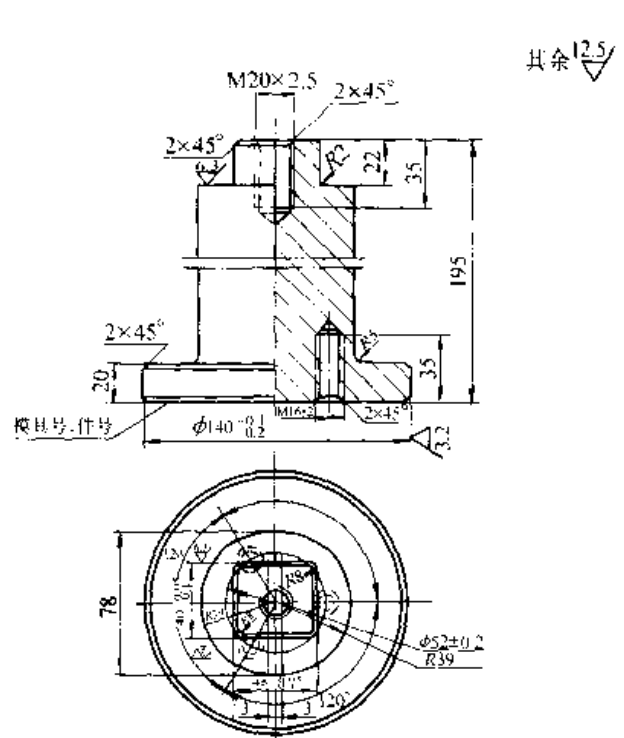


图 24.7-69 大冲子座 (14)
材料: 45

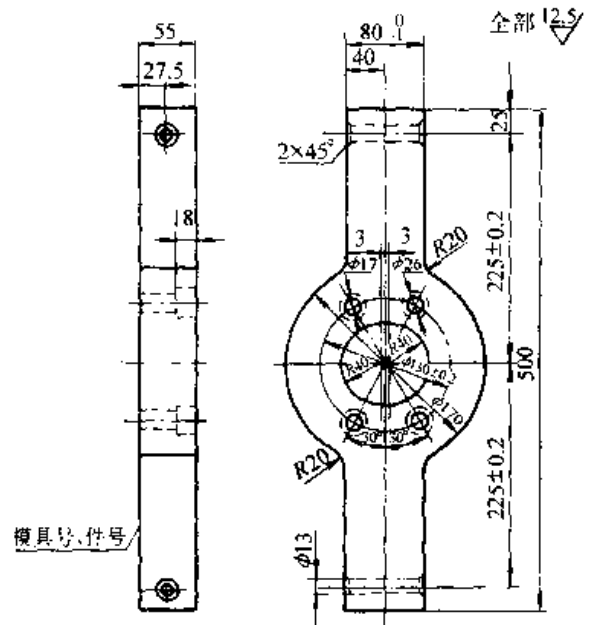


图 24.7-70 大头横板 (15)
材料: 70

对于小型锻件, 可在一个模块上做两个相同的模膛, 轮换使用。对于复杂形状的锻件, 如曲轴、凸轮轴等, 必须在两个方向 (一般相差 90°) 用两个模膛来校正。

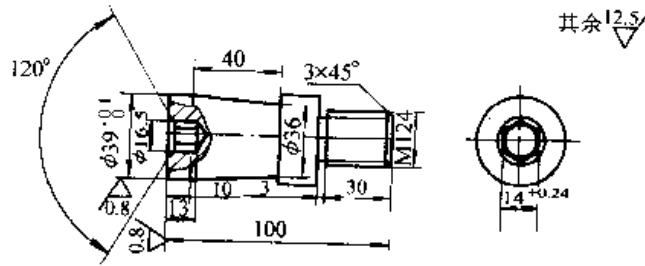


图 24.7-71 小冲子 (25)

1. 材料: 3Cr2W8
2. 硬度: $d_B=2.9\sim 3.1$ mm

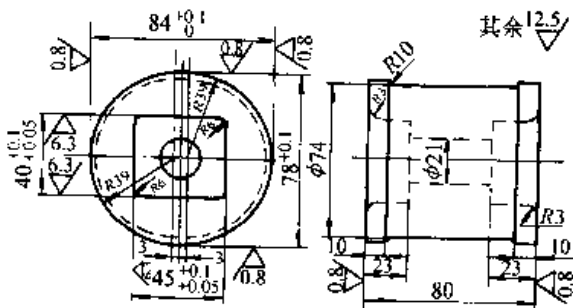


图 24.7-72 大冲子 (13)

1. 材料: 3Cr2W8
2. 硬度: $d_B=2.9\sim 3.1$ mm

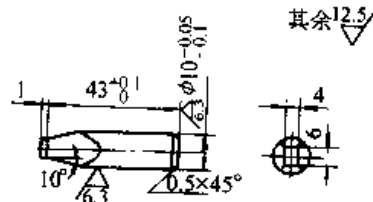


图 24.7-73 字头 (29)

1. 材料: W18Cr4V
2. 硬度: 字头 56~58 HRC;
尾部 30~35 HRC;

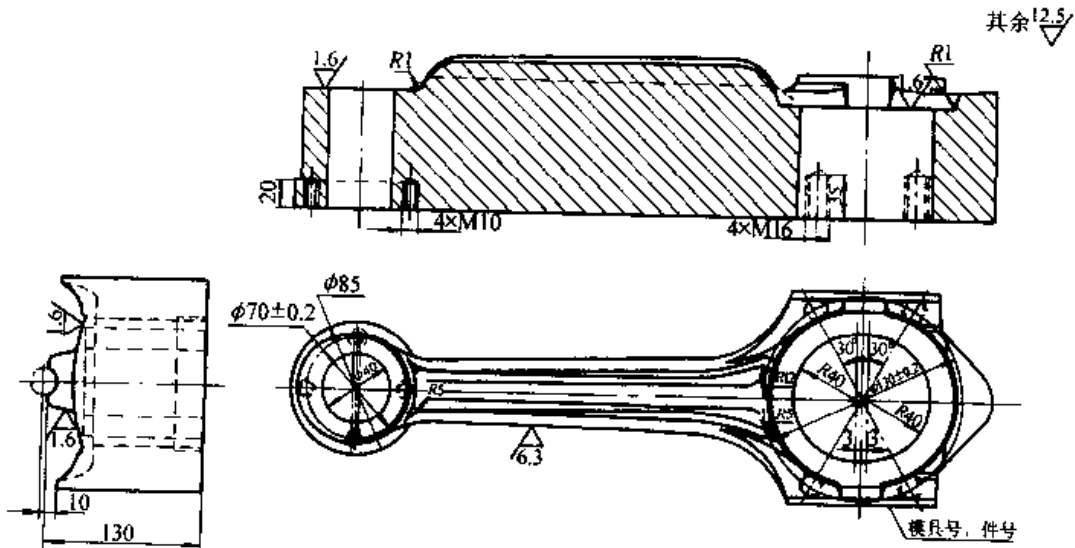


图 24.7-74 顶出器 (23)

1. 材料: 45 钢, 硬度: $d_B=3.0\sim 3.2$ mm;
2. 模槽制造公差 ± 0.1 mm;
3. 未注尺寸按热锻件图制造;
4. 顶出器与凹模间隙每边 1 mm, 由顶出器做出;
5. 其余按切边模制造翻新技术条件制造。

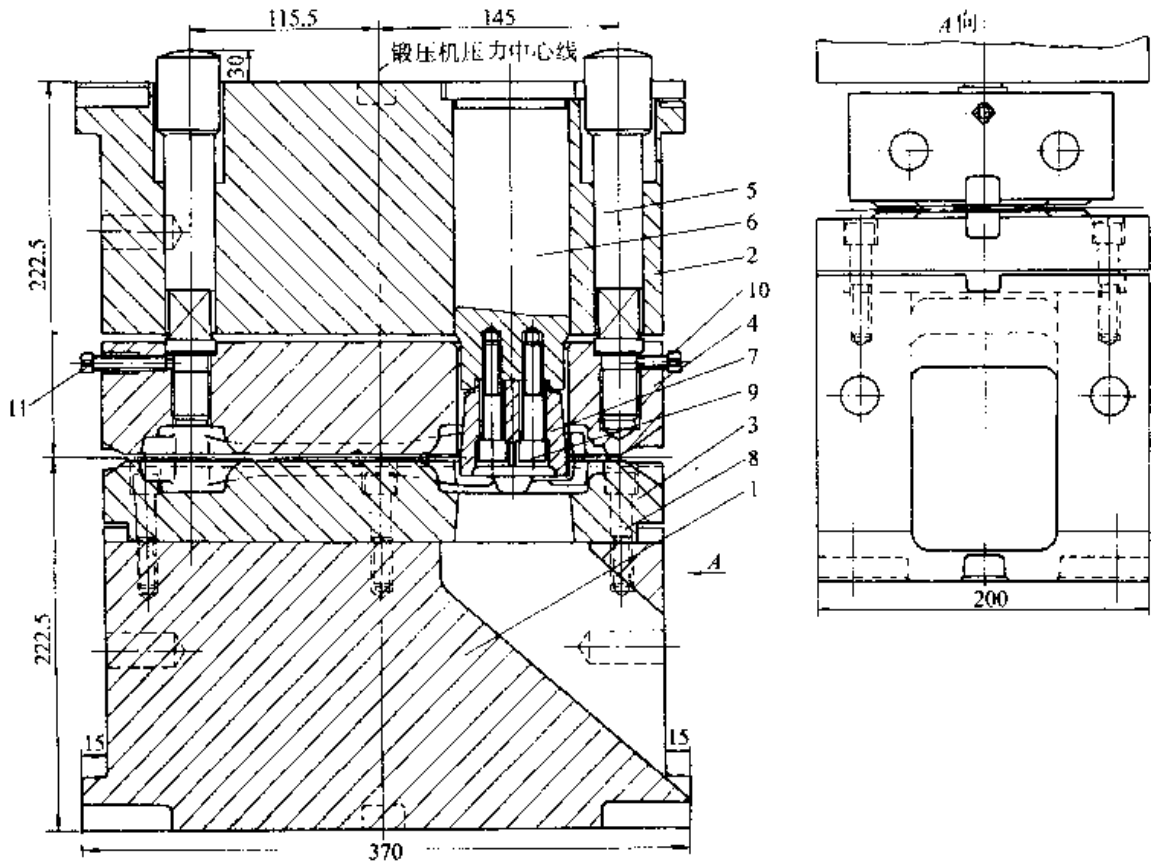


图 24.7-75 连杆冲孔模 (设备 2 500 kN)

1—下模座 2—上模座 3—凹模 4—退料板 5—推杆 6—凸模座 7—凸模镶块 8、9、10、11—螺钉

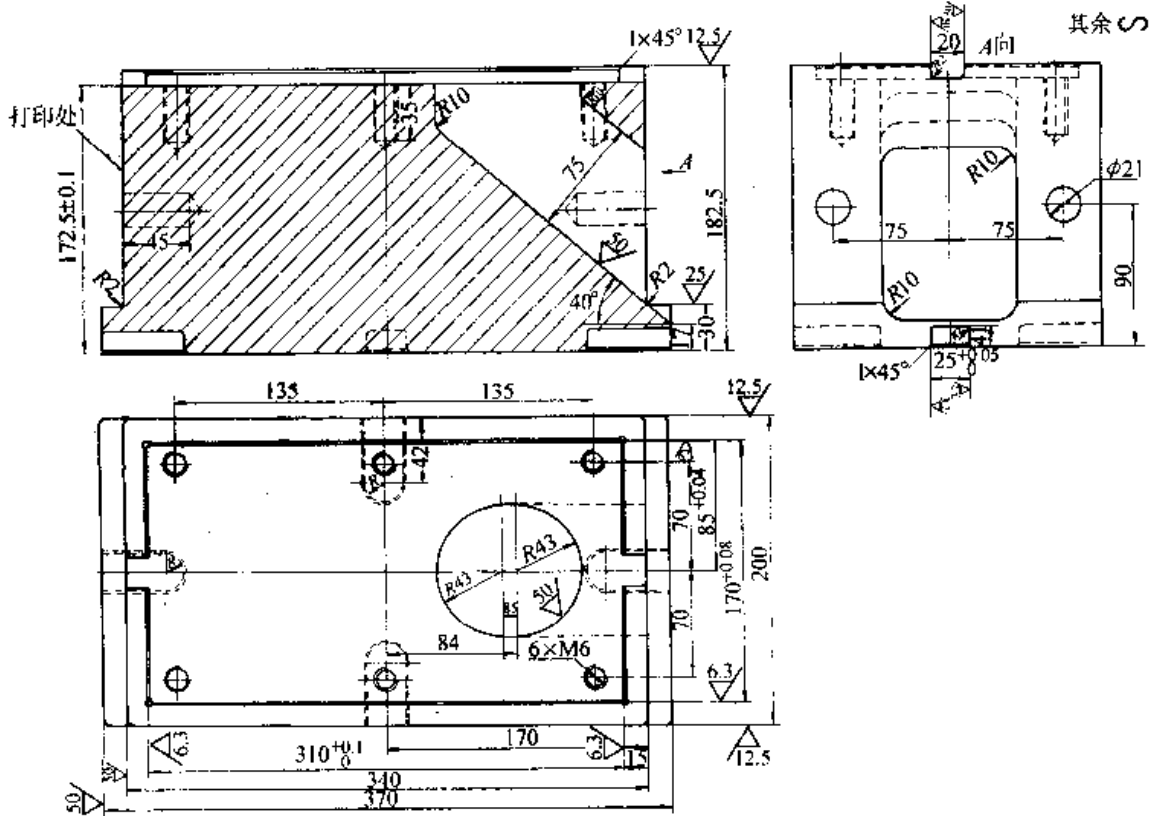


图 24.7-76 下模座 (1)

材料: 2G310-570

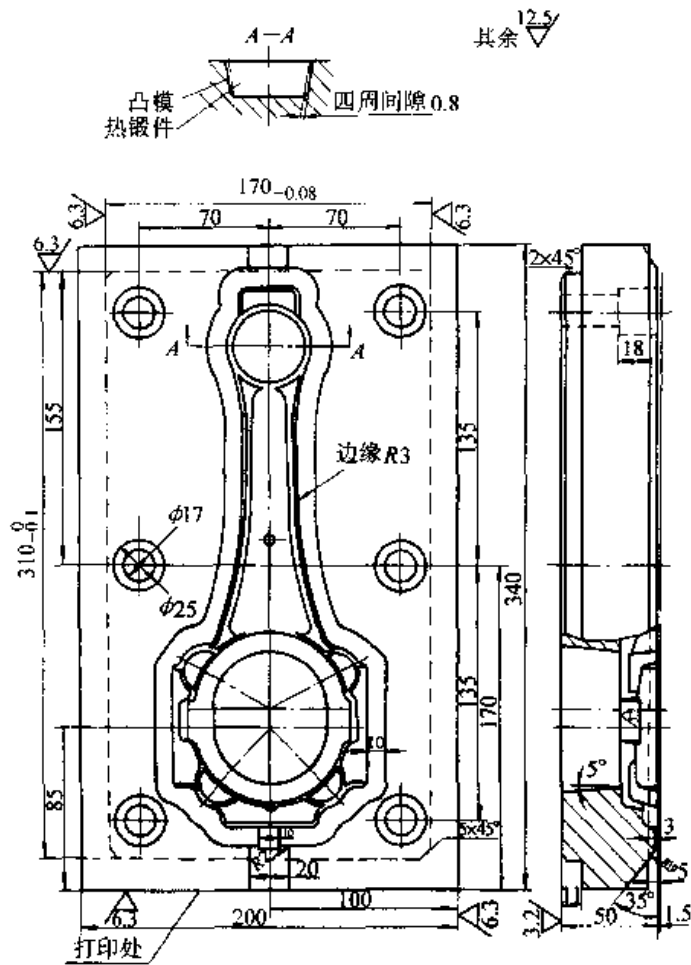


图 24.7-77 冲孔凹模 (3)

1. 材料: 5CrNiMo, 调质 $d_B=2.9\sim 3.1$ mm;
2. 模槽按热锻件图划线;
3. 凹模与锻件的纵向间隙 0.5 mm。

2) 校正模模膛的间距和壁厚 模膛的间距和壁厚是按校正部分的形状来确定。对于平面校正的情况, 其壁厚和模膛间距可按图 24.7-90 选取。如校正部分为斜面时, 模膛侧面与锻件接触, 其壁厚与模膛间距可按图 24.7-91 选取。锁扣部分与模膛的间距 s 见图 24.7-92, 根据相邻模膛深度决定, 一般 s 为 25~35 mm。

3) 校正模结构 锻锤或摩擦压力机用校正模结构与锻模类似, 也要考虑适当的承压面。

图 24.7-93 为一种机械压力机用校正模结构。在校正模的上下模之间 (即在分模面上) 留

有 1~2 mm 间隙。设计模膛尺寸时应考虑此间隙。

7.4 校正模设计实例

(1) 整体校正模

图 24.7-94 是凸轮轴锻件的整体校正模, 有两个模膛, 在相差 90° 的两个方向对锻件进行校正。

图 24.7-95 是曲轴锻件的整体热校正模, 使用校正设备为 30 kN 模锻锤。

(2) 杆部校正模

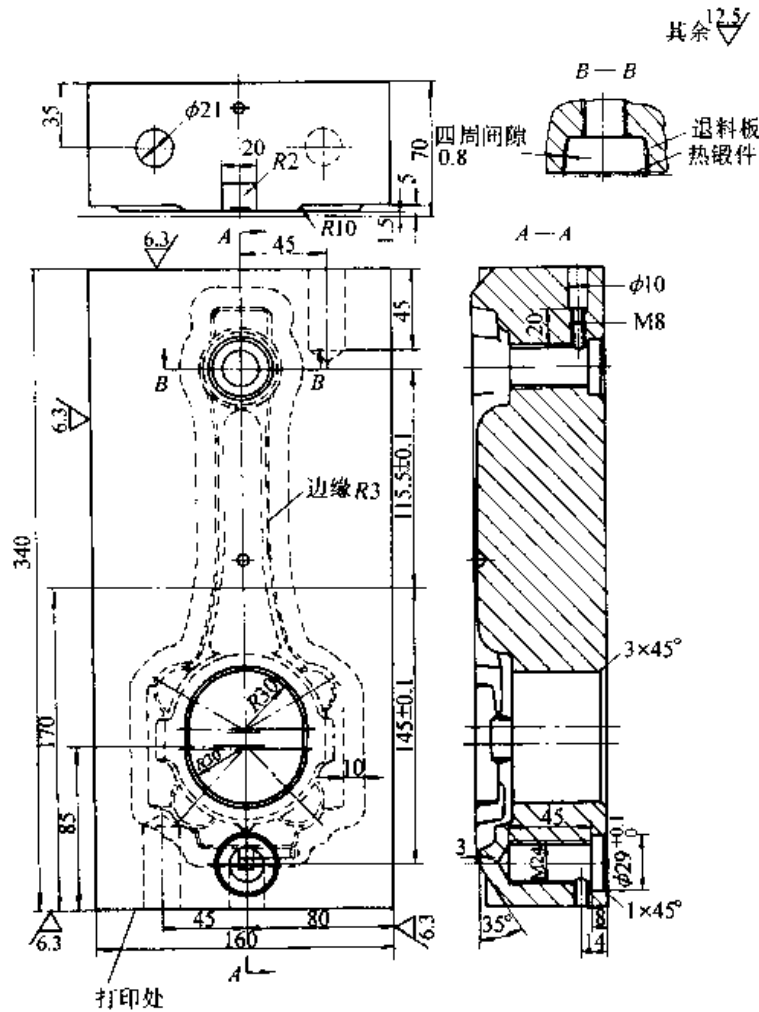


图 24.7-78 退料板 (4)

1. 材料: 5CrNiMo, 调质 $d_B=2.9\sim 3.1$ mm;
2. 模槽按热锻件图划线;
3. 退料板模槽与锻件间隙 0.5 mm。

图 24.7-96 为连杆冷校正模, 由图可知, 依靠连杆的小头定位, 大头处于自由状态, 主要校正连杆的杆部, 使用 10 kN 模锻锤。

(3) 板部局部校正模

图 24.7-97 为带薄板的锻件板部校正模, 锻件头部厚度方向不校正, 但要依靠头部定位。模具在冲床上使用, 为了便于制造模面可制成敞开的。

(4) 带小凸台锻件校正模

图 24.7-98 是锻件上有小凸台的校正模, 小凸台放在下模可避免因错模而受到伤损。

(5) 带有字或花纹锻件的校正模

凡锻件上有字或花纹等, 应在模具的相应部位留出一定空腔以避免压坏字或花纹, 如图 24.7-99 所示。

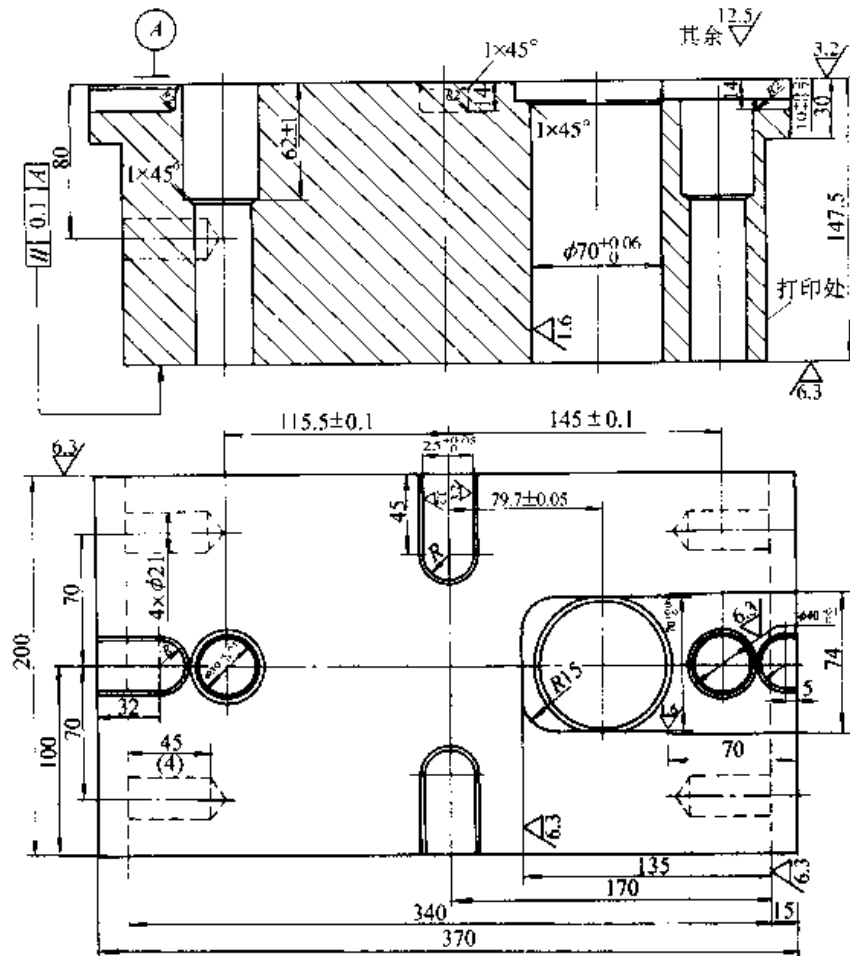


图 24.7-79 上模座 (2)

材料: 45 Mn2, 调质 $d_H=3.0\sim 3.2$ mm

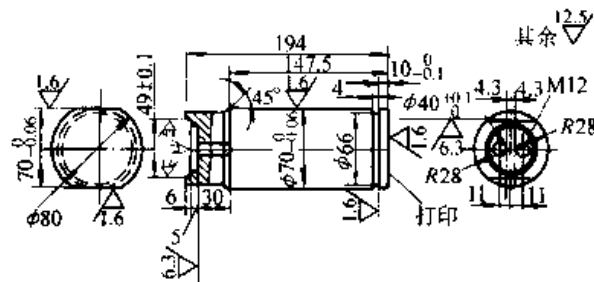


图 24.7-80 凸模座 (6)

材料: 5CrNiMo, 调质 $d_H=2.9\sim 3.1$ mm

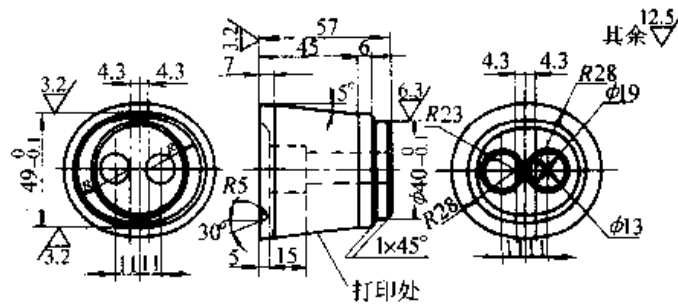


图 24.7-81 凸模镶块

材料: 3Cr2W8V, 调质 $d_H=2.7\sim 2.9$ mm

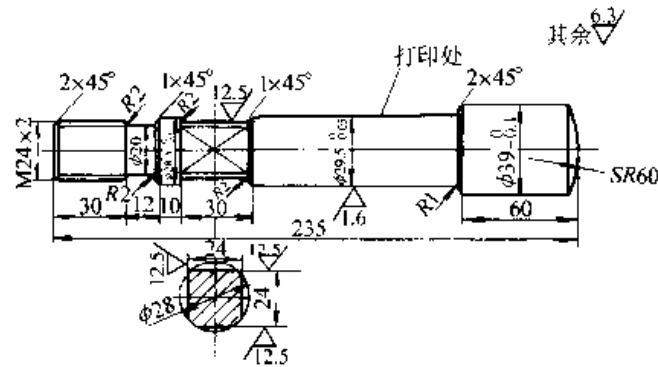


图 24.7-82 推杆 (5)

材料: 40Cr, 调质 $d_H = 2.9 \sim 3.1$ mm

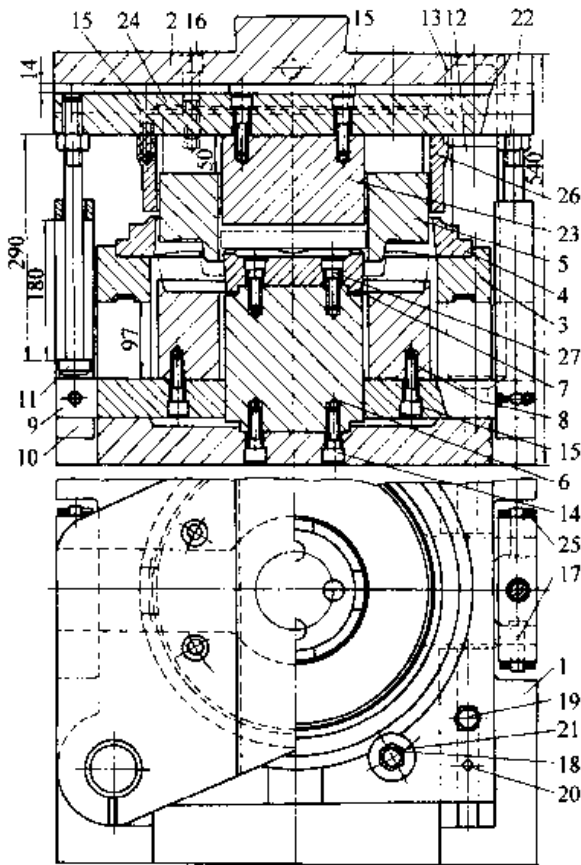


图 24.7-83 切边冲孔复合模 (设备 3 150 kN)
压床行程 315 mm, 回程过程中可自动退出锻件、
毛边和冲孔芯料

- 1—底座 2—固定板 3—底板 4—凹模
- 5—切边凸模 6—凸模座 7—凸模 8、23—顶出器
- 9—横板 10—U型板 11—拉杆 12—导柱
- 13—衬套 14、15、16、27—螺钉 17—销轴
- 18—螺栓 19—螺栓 20—固定锁 21—压圈
- 22—螺母 24—上模板 25—开口销
- 26—退毛边器

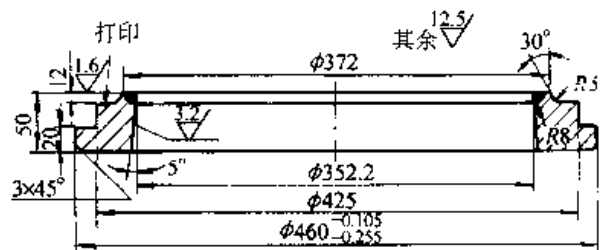


图 24.7-84 凹模 (4)

材料: 45, 刃口堆焊 8Cr3; 淬火 $d_H =$
3.0~3.2 mm

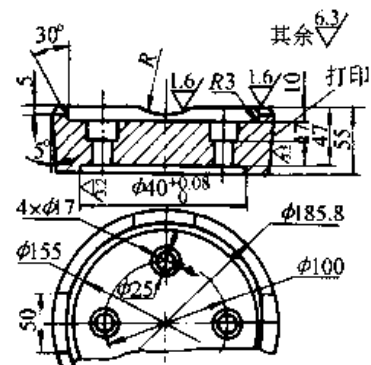


图 24.7-85 凸模 (7)

材料: 3Cr2W8, 硬度 $d_H =$
3.1~3.3 mm

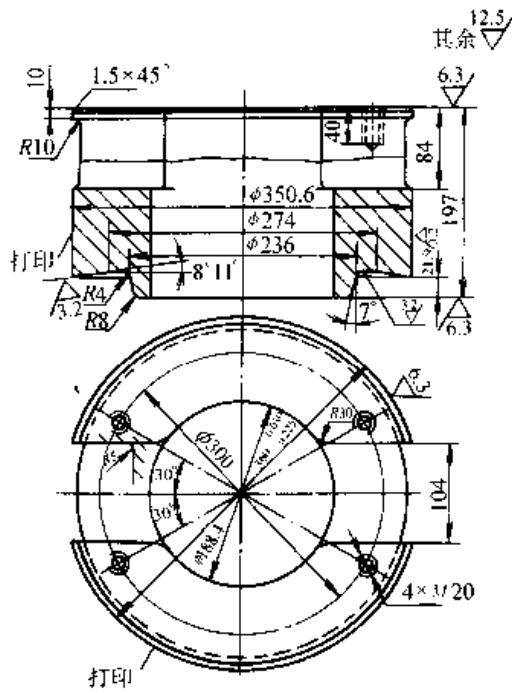


图 24.7-86 切边凸模 (5)
材料: 8Cr3, 硬度 $d_B=3.2\sim3.4$ mm

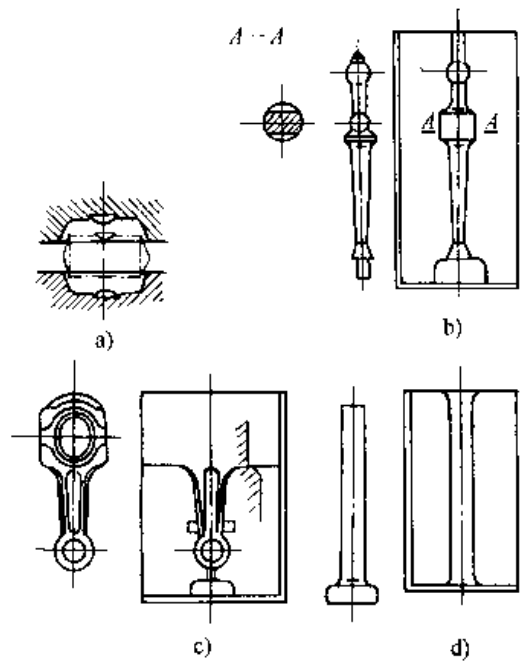


图 24.7-87 校正模膛的简化
a) 非对称锻件设计成对称模膛
b) 半圆形锻件设计成圆形模膛
c) 连杆锻件大头设计成直通模膛
d) 长轴类锻件只设计出杆部校正模膛

表 24.7-28 校正模膛与锻件之间的空隙 (mm)

断面形状	空隙					
<p>a) 圆形与椭圆形断面</p>	D 或 B	≤ 10	11~20	21~40	41~60	> 60
	Δ_1	0.8	1.0	1.5	2.0	2.0~2.5
<p>b) 工字形与肋筋断面</p>	H	≤ 10	11~20	21~30	31~40	
	Δ_1	1.2	1.5	2.0	2.0~2.5	
	Δ_2	0.8	1.0	1.0	1.0	
$R = R_0 + (2 \sim 5)$						
<p>c) 一般形状</p>	H	≤ 30	31~45	46~60	> 60	
	Δ_1	1.5	2.0	2.5	2.5~3.0	
	Δ_2	0.8	1.0	1.0	1.0	
$H/D \leq 1$ 时适用; $h_0 = 1 \sim 4$ mm 时, $R = R_0 + (2 \sim 5)$						

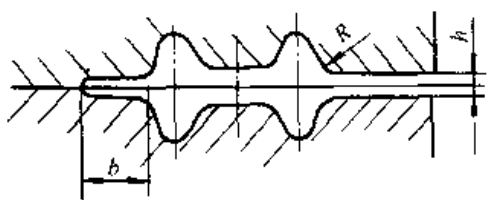


图 24.7-88 分模面间隙
 左边：用于锤及螺旋压力机
 右边：用于切边机及热模锻压力机

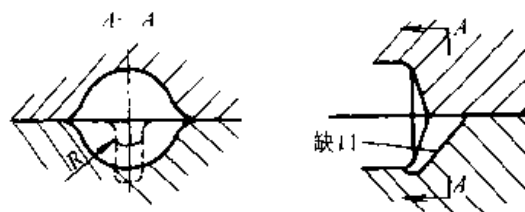


图 24.7-89 取件用缺口

表 24.7-29 h 、 b 、 R 值 (mm)

设备	10~20 kN	30~50 kN	50 kN 以上
尺寸 h	1~3	3~5	5~10
b	10~20	20~30	30~50
R	3~5	5~8	8~12

表 24.7-30 校正模膛公差 (mm)

模膛尺寸	深度尺寸公差	长或宽尺寸公差
≤ 15	+0.1	+0.6
	-0.2	-0.2
16~30	+0.1	+0.8
	-0.3	-0.3
31~60	+0.2	+1.1
	-0.4	-0.4
61~120	—	+1.4
	—	-0.5
> 120	—	+1.5
	—	-0.6

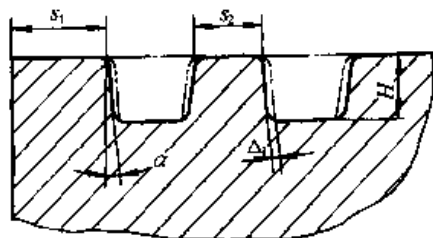


图 24.7-90 平面校正模膛间距与壁厚
 $(s_1 \geq H, s_1$ 不小于 30 mm;
 $s_2 \geq H, s_2$ 不小于 20 mm)

8 精压模设计

8.1 精压的作用及分类

(1) 精压的作用

精压是提高锻件精度和降低表面粗糙度的一种锻造方法。其优点如下：

1) 一般模锻件所能达到的合理尺寸精度，其公差大约是 ± 0.5 mm，表面粗糙度不超过 $R_a 25 \mu\text{m}$ 。通过精压，可提高锻件的尺寸精度和降低表面粗糙度，使其尺寸公差达到 ± 0.25 mm，经过多次精压甚至达到 ± 0.1 mm，表面粗糙度可降低到 $R_a 1.6 \sim R_a 0.8 \mu\text{m}$ 。

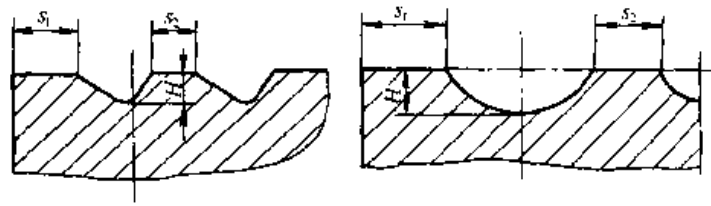


图 24.7-91 具有斜面的锻件校正时，模腔间距与壁厚
 ($s_1 \geq 1.5H$, $s_1 \geq 40$ mm; $s_2 \geq H$, $s_2 \geq 30$ mm)

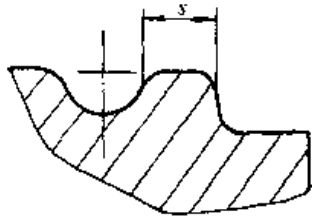


图 24.7-92 锁扣与模腔的间距

2) 精压可全部或部分代替零件的机械加工，因而可以节省机械加工工时，提高劳动生产率，降低成本。例如某厂有个零件，原用铣床加工，每个零件需 2~3 min，改用精压后，只需 5~10 s。精压比铣床加工提高生产率 12~36 倍。

3) 由于精压缩小了锻件尺寸，减少了机械加工余量，因而降低了原材料的消耗。

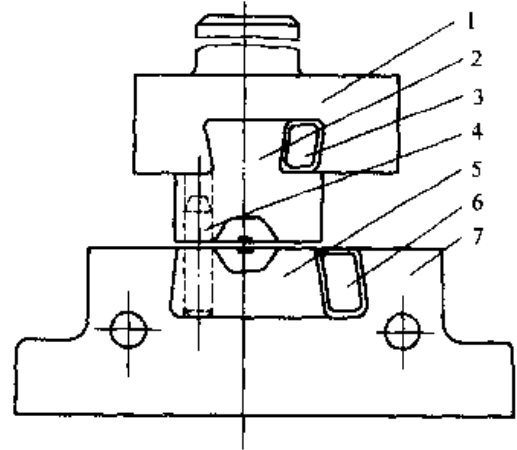
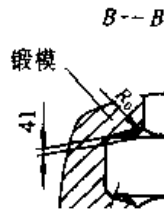
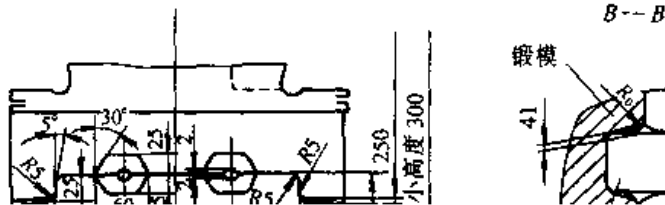


图 24.7-93 机械压力机用校正模
 1—上模座 2—上模 3、6—楔 4—导柱
 5—下模 7—下模座



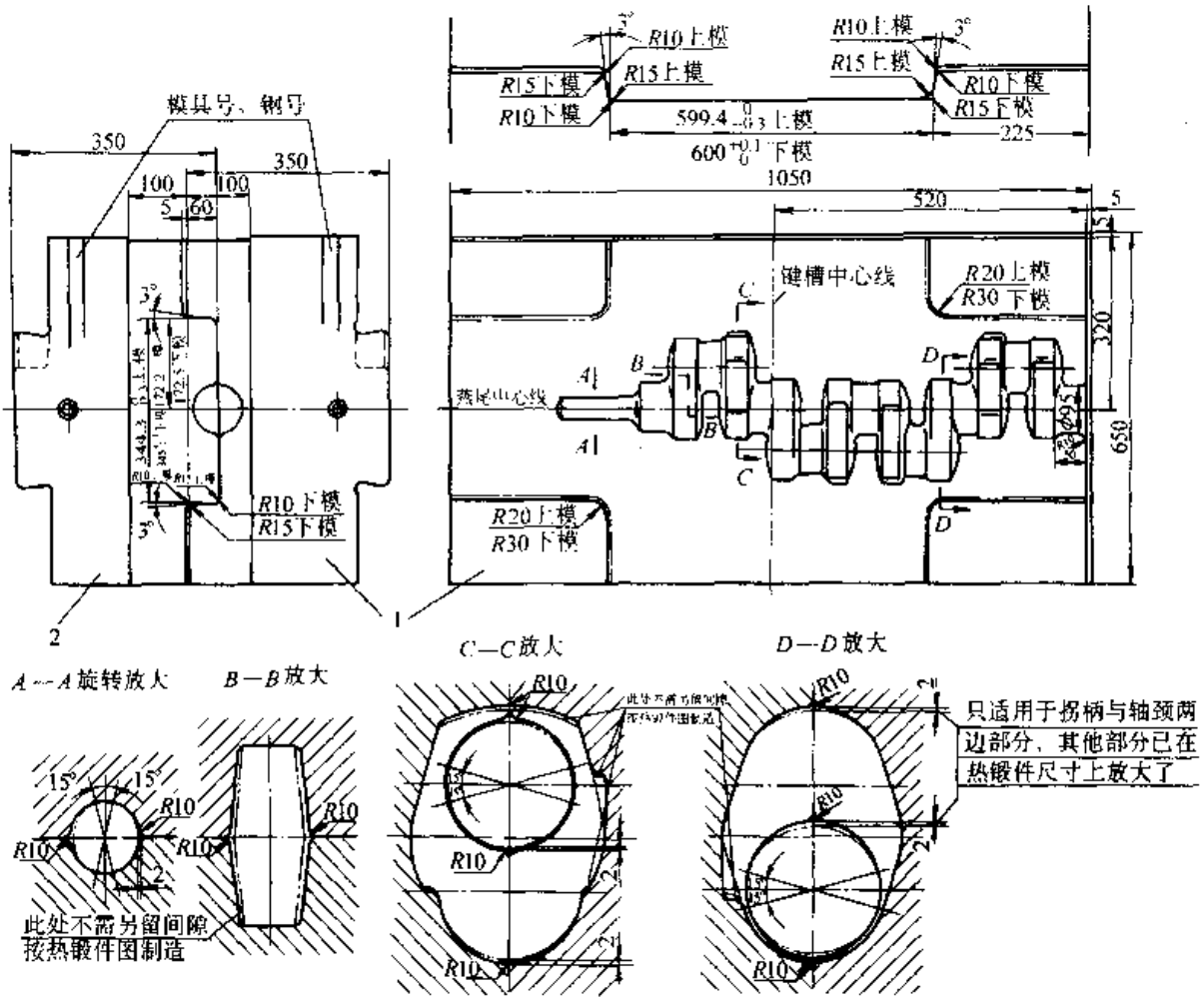


图 24.7-95 曲轴热校正模

4) 由于精压使锻件表层变形而产生硬化, 从而提高了零件的耐磨性。

(2) 精压的分类

根据金属的流动情况, 可将精压分为平面精压和体积精压两类:

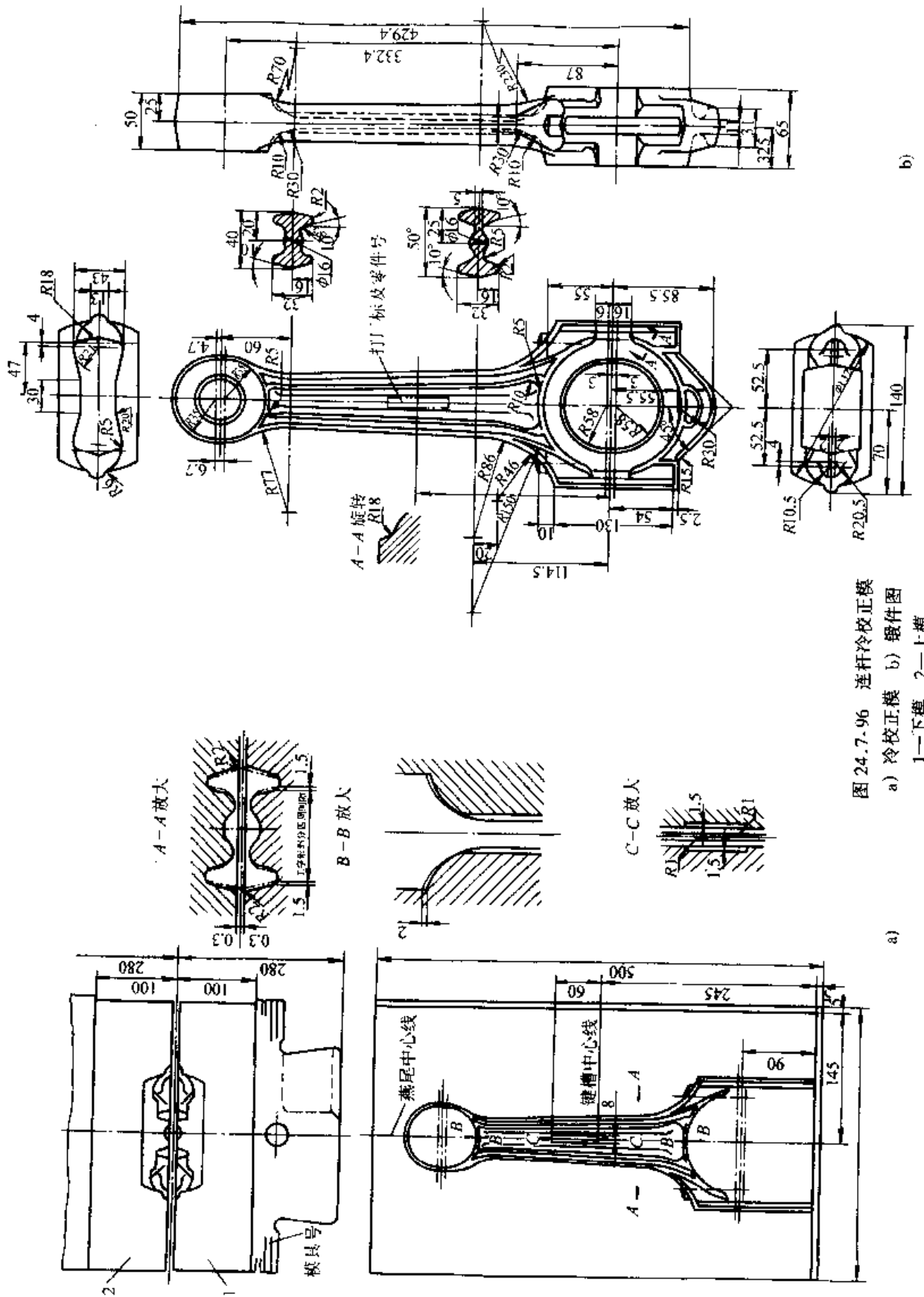
1) 平面精压 如图 24.7-100 所示, 在两精压平板之间, 对锻件上一对或数对平行平面加压, 使变形部分获得较高尺寸精度和较低表面粗糙度的工序, 称为平面精压。平面精压时, 金属在水平方向可以自由流动。所以, 平面精压实质上是在两平板间的自由锻粗。

平面精压一般是在冷态下在精压机上进行。但也可以在压力机上进行; 如果设计一套限位夹具, 也可以在摩擦压力机上进行。

2) 体积精压 将模锻件放入尺寸精度和表面粗糙度比普通锻模好的模槽内 (尺寸公差在 $\pm 0.1 \text{ mm}$ 以下、表面粗糙度在 $R_a 0.2 \mu\text{m}$ 以上)

进行锻压, 使其整个表面都受压挤而发生少量变形, 多余金属被压挤出模槽, 在分模面上形成毛刺的过程, 称为体积精压 (图 24.7-101)。所以, 体积精压与普通模锻很相似。经体积精压后, 锻件的全部尺寸精度都得到提高, 从而也就提高了锻件的重量精度。由于体积精压的变形抗力较大, 模具寿命成为突出问题, 并需采用吨位较大的设备, 因而一般只适用于小型零件, 特别是有色金属的小型零件。

体积精压多是热态下在精压机上进行。因为精压机的滑块可以将上模调整到任意高度, 从而使精压后的高度方向的尺寸控制在精确的公差范围 (不超过 $\pm 0.1 \text{ mm}$)。体积精压也可以在摩擦压力机上进行。摩擦压力机的滑块没有固定的下死点, 床身和螺杆的弹性变形量, 可通过滑块进一步向下移动来补偿, 只要有足够的打击能量, 每次锻击都能够保证上下模打靠, 因而压力机床



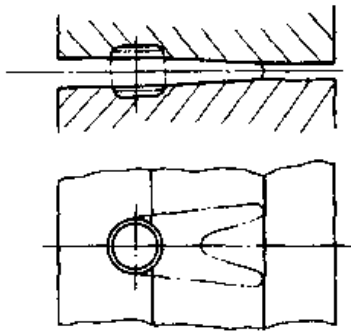


图 24.7-97 板部局部校正模

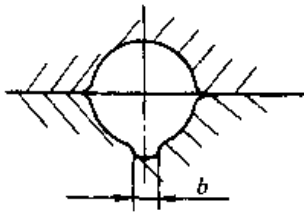


图 24.7-98 带凸台锻件校正模

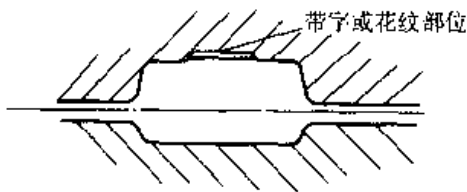


图 24.7-99 带字或花纹锻件校正模

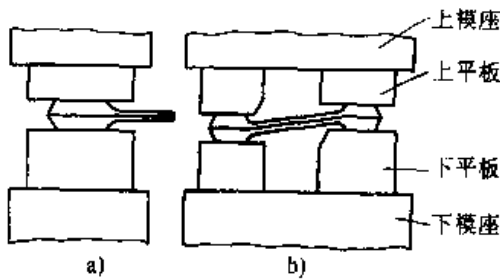


图 24.7-100 平面精压

a) 精压一对平面 b) 精压两对平面

身和螺杆的弹性变形反应不到锻件上来，不会影响锻件的厚度公差。锻件的精度完全靠模具的精度来保证。精压时可以通过在模座上加垫板的方法来调整锻件的精确高度。如图 24.7-102 所示。模座两边有精密垫板与模座垫板配合使用，以精确控制锻件高度。横向错移的控制，靠在侧基准面加垫片来调整；纵向错移的控制，则在下模后端面加垫片来调整。

体积精压可以在冷态下进行，也可以在热态下进行。冷精压粗糙度较小。冷精压前，锻件应进行退火（或正火）并清除表面氧化皮。

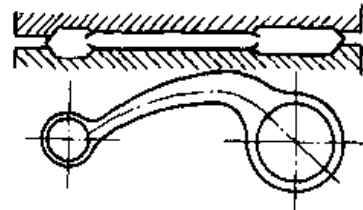


图 24.7-101 体积精压

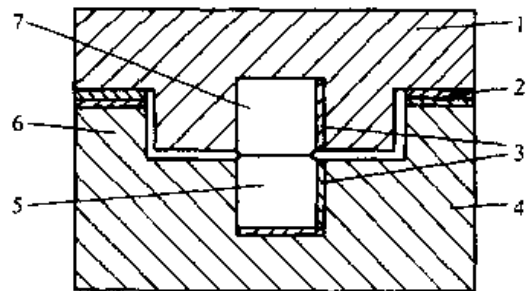


图 24.7-102 精压模调整垫板

1—上模座 2—精密垫板 3—侧垫板
4—模座垫板 5—下模 6—模座 7—上模

表 24.7-31 为平面精压件的高度（厚度）尺寸公差，表 24.7-32 为体积精压件的高度（厚度）尺寸公差。如果进行多次精压，尺寸精度还可进一步提高。

表 24.7-31 平面精压时高度方向精压公差

(mm)

材料 厚度 最大尺寸	铝 镁 合 金				钢		
	<5	5~10	11~20	>20	<10	10~20	>20
≤20	±0.1	±0.1	±0.08	±0.06	±0.12	±0.12	±0.1
21~40	±0.15	±0.15	±0.12	±0.1	±0.18	±0.16	±0.14
41~60	±0.25	±0.2	±0.16	±0.15	±0.25	±0.22	±0.18
61~80	±0.3	±0.25	±0.2	±0.2	±0.3	±0.25	±0.22
81~100	±0.4	±0.3	±0.25	±0.25	±0.4	±0.30	±0.25
101~120	±0.45	±0.35	±0.3	±0.3	±0.45	±0.40	±0.3

表 24.7-32 体积精压时高度方向公差

精压面积/cm ²	高度方向公差/mm	
	摩擦压力机	精压机
20 以下	±0.2	+0.1
		-0.05
21~40	+0.4 -0.2	+0.2
		-0.1
41~60	+0.5 -0.3	+0.3
		-0.15
61~80	+0.5 -0.3	+0.4
		-0.2

8.2 精压工序安排和精压力的计算

(1) 精压工序的安排

钢件的精压应在锻件热处理（正火或退火）之后进行；铝件的精压，当变形程度较小（小于15%）时，由于冷作硬化程度不甚严重，可在淬火时效后进行；若变形程度较大，最好在热处理前精压，或热处理前预先精压一次（冷态或热态下），热处理后进行最后冷精压，以减少最后冷

精压的变形量。

(2) 精压压力的计算

精压时所需压力主要与材料种类、精压温度和受力状态等有关，其值可按式计算：

$$F = pA$$

式中 F —— 精压力 (N)；

p —— 平均单位压力 (N/mm²)，按表 24.7-33 决定；

A —— 锻件精压时的投影面积 (mm²)。

表 24.7-33 不同材料精压时的平均单位压力

材 料	单位压力 / (N/mm ²)	
	平面精压	体积精压
2A11、2A50 及类似铝合金	1 000~1 200	1 400~1 700
10、15CrA、13Ni2A 及类似钢	1 300~1 600	1 800~2 200
25、12CrNi3A、12Cr2Ni4A、21Ni5A、13CrNiWA、18CrNiWA、38CrA、40CrVA	1 800~2 200	2 500~3 000
35、45、30CrMnSiA、20CrNi3A、37CrNi3A、38CrMoAlA、40CrNiMoA	2 500~3 000	3 000~4 000
铜、金和银		1 400~2 000

注：热精压时，可取上表数值的 50%~80%，曲面精压时，可取平面精压与体积精压的平均值。

8.3 精压工艺和模具设计应注意的几个问题

(1) 精压面中心凸起现象

由于精压时精压面中心正压力大，使精压件、精压模产生不均匀的弹性变形，造成中心部分凸起，凸起值 ($f = \frac{H_{max} - H_{min}}{2}$) 可达 0.3~0.5 mm，如图 24.7-103 所示。

凸起值的大小，随锻件材料的硬度、精压面积、变形程度的增加而增大；随锻模硬度的增大、表面粗糙度的减小和锻件厚度的增加而减小。表 24.7-34 是某厂在 10 000 kN 精压机上的

实践数据，可供制订平面精压公差时参考。

减小凸起值的措施：

1) 减小精压面积，对于加工后有孔的锻件在模锻时压出凹坑，但孔底最好是平面，以免钻孔时产生偏心。精压面积为圆形的锻件，必要时可在精压前模锻件上制出凹弧型，如图 24.7-104 所示。其凹下值 h 可参考表 24.7-34。

2) 采用淬硬性较高的材料作模具，提高硬度和减小表面粗糙度。可采用 Cr12MoV 或 GCr15 钢制作精压模板。淬火后模板硬度一般在 58~62 HRC。

3) 对薄且面积大的锻件 可预先进行热精压，在冷精压前进行一次热精压，或通过多次的

精压变形（每次精压前需退火，以减少冷作硬化）来达到。如果需要热精压，其钢件的加热温度不超过 950~1 000℃，最好在电炉中加热，若在油炉中加热，应采用快速加热，以免产生过多的氧化皮及脱碳。

(2) 非精压部分的杆部或板发生弯曲变形
几个平面同时精压时 非精压部分的杆部或板，可能会发生弯曲变形，如图 24.7-105 所示。为消除这一现象，可采用如下措施：

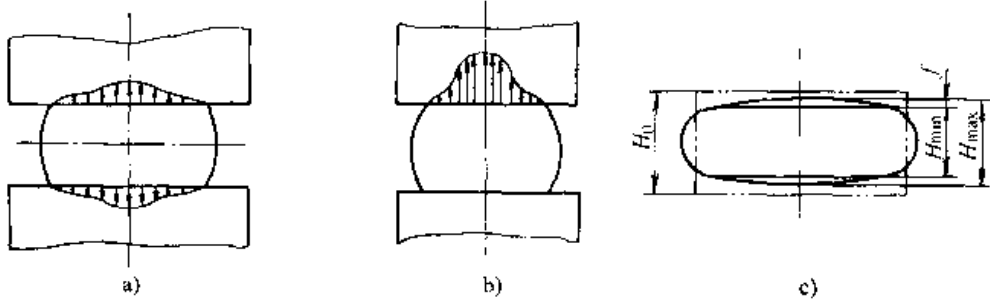


图 24.7-103 精压面上的凸起现象

a) 精压面中心凸起现象 b) 精压面上的压力分布 c) 精压工件的变形

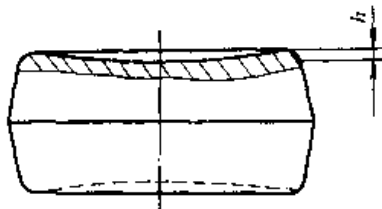


图 24.7-104 精压前锻件预压凹弧型

1) 严格控制精压余量，在保证能达到所要求的表面粗糙度的基础上尽可能减少余量，一般单边为 0.3~0.4 mm，严格控制精压前的锻件公差。

2) 将非精压的杆部或板适当加压，必要时留有少量余量 (0.1~0.15 mm)。这时如果设备

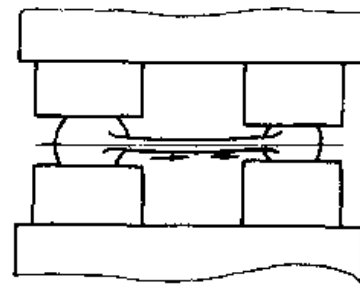


图 24.7-105 未精压的杆部变形

压力不足可采取热精压。

(3) 精压厚度不均匀

精压面积的中心应与模具和精压机的压力中心相重合，否则精压件的厚度不均匀。

表 24.7-34 不同材料平面精压后凸起量 (mm)

材料 厚度 精压平面上 最大水平尺寸	铝合金 (2A50)					钢 (30CrMnSiA)				
	2.5~5	5.1~10	10.1~20	20.1~30	>30	4~6	6.1~10	10.1~20	>20	
≤10	0.04	0.03	0.02	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	
11~20	0.04	0.03	0.05	0.05	0.06	0.10	0.08	0.08	0.08	
21~30	0.06	0.05	0.05	0.06	0.06	0.14	0.08	0.12	0.10	
31~40	0.12	0.08	0.08	0.06	0.08	0.18	0.12	0.15	0.16	
41~50	0.15	0.08	0.08	0.08	0.10	0.21	0.14	0.18	0.20	
51~60	0.18	0.10	0.10	0.08	0.12	0.26	0.21	0.20	0.22	
61~70	0.2	0.12	0.11	0.15	0.18	0.38	0.36	0.30	0.25	

针对精压中出现的三个问题，除上述措施外，还可采取如下两条措施：

1) 精压模模板表面粗糙度。模板表面粗糙度数值越小，精压件表面质量也将提高，一般模板表面粗糙度必须保持小于 $R_a 0.2 \mu\text{m}$ 。

2) 精压前锻件进行磷化处理和润滑处理。经过磷化处理后的钢锻件，在其表面上形成具有可塑性的磷酸盐结晶覆盖层，存在有许多微小的孔隙，当进行润滑处理后，可使大量的润滑剂贮藏在微小孔隙中，从而在精压时减小了变形金属与模板间的摩擦力，提高了精压件表面质量。

8.4 精压模具设计及实例

(1) 精压件图与精压毛坯图（模锻件图）的设计

精压件图是根据产品零件图绘制的，它是锻

压车间的产品图和制造精压模具的依据。设计精压件图时需要考虑用户对精压件的技术要求和达到该要求的可能性，具体作法如下：

1) 单平面精压件图 图 24.7-106 为单平面精压件图，这类锻件在航空模锻件中较为常见，航空工业常用单平面精压代替铣削加工。该类件除了要求受压面比较平直，表面粗糙度能达到 $R_a 6.3 \mu\text{m}$ 左右，高（厚）度尺寸的精度能达到一般模锻件不加工面的公差，其他方面通常没有更高要求。设计该类精压件时，主要考虑下面二点：

① 精压件的平直度能否满足装配要求；

② 受压面的粗糙度要求。在普通模锻的表面粗糙度已能达到使用要求时，锻件在高度方向不必加放精压余量，否则，应加放 $0.8 \sim 1 \text{ mm}$ 的精压余量。

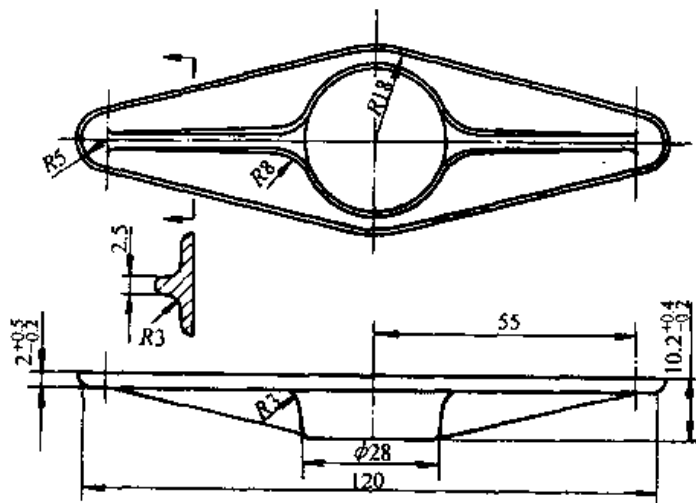


图 24.7-106 单面精压件图

单平面精压件图的绘制与普通模锻件图基本一致，不同之处只是当精压面加放精压余量时，应在粗锻件尺寸下面或旁边，用带 [] 或 □ 标记的尺寸来表示精压后尺寸，或直接在精压的尺寸前写“精压”二字。图 24.7-106 是未加放余量的单面精压图，它和普通模锻件图没有任何区别。

2) 双平面精压件图 图 24.7-107b 是双平面精压件图。设计双平面精压件时，主要考虑如下几点：

① 受压两平面的尺寸精度和表面粗糙度能否满足零件装配要求。

② 精压后零件在水平方向的尺寸增大和形

状变化，是否影响后续工序的进行或零件的装配使用。

③ 考虑到精压时工件水平尺寸增大和形状变化，对精压前的坯料尺寸和形状，应提出相应的要求。

双平面精压件图的绘制可以和粗压件图合成一图或各自分别绘制。

图 24.7-107a 是零件图，厚度尺寸为 18 mm 的两相对尺寸是由精压而成的，图 24.7-107b 是精压件图，图 24.7-107c 是粗压件图，该件系全平面精压，故水平方向的尺寸增大与形状变化较大，须对精压前的坯尺寸和形状提出具体要求。由于粗精两图尺寸变化之处较多，合并在一

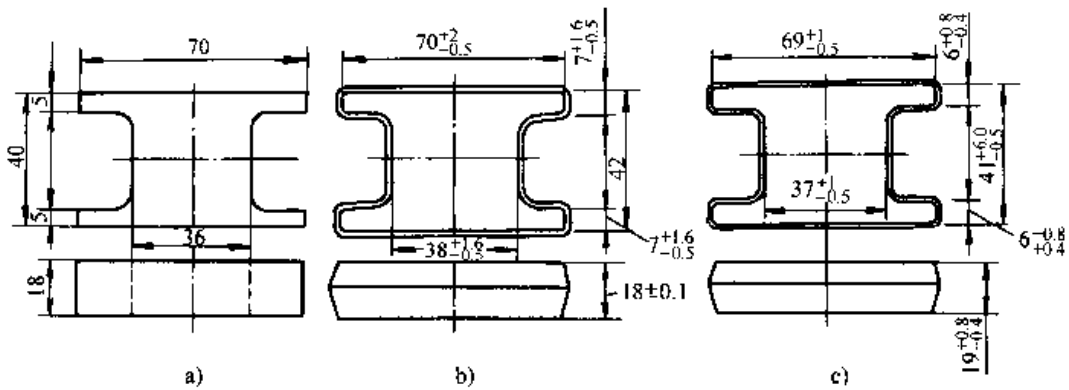


图 24.7-107 双平面精压件图

个图上势必造成图面混乱不清，所以应分开绘制。

大部分仍保持着模锻件的外形尺寸和公差，则可在模锻件图上注明精压尺寸和要求，不必另绘精压件图，如图 24.7-108 所示。

如果平面精压只在模锻件的局部地方进行，

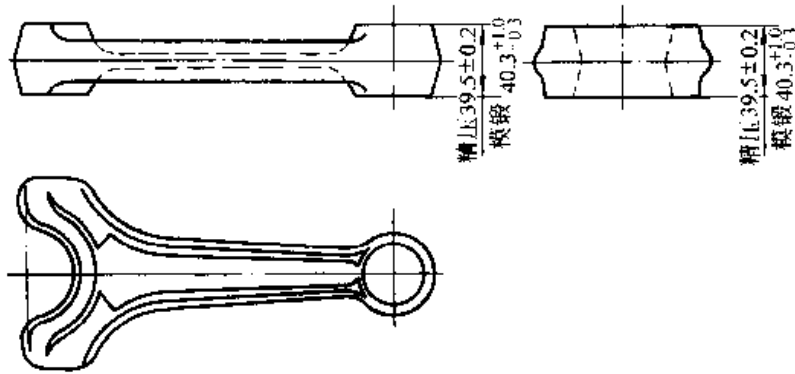


图 24.7-108 连杆精压件图

① 精压余量和模锻件公差 精压余量根据锻件材料、尺寸、精度和表面粗糙度确定。精压前的锻件尺寸应有一定公差。对于要求具有 R_a

$= 6.3 \sim 1.6 \mu m$ 的表面粗糙度和前述公差的精压件，其精压余量和精压前锻件尺寸公差可按表 24.7-35 和表 24.7-36 选取。

表 24.7-35 精压余量和模锻件公差 (mm)

厚度	< 10		11~20		21~30		31~40		41~50	
	单面余量	公差	单面余量	公差	单面余量	公差	单面余量	公差	单面余量	公差
锻件材料										
铝, 铜	0.25	+0.3	0.3	+0.4	0.5~0.6	+0.4	0.7~0.8	+0.5	0.9~1.0	+0.5
钢	0.4	-0.1	0.5	-0.1	0.7~0.8	-0.2	1.0~1.2	-0.2	1.2	-0.3

② 精压前模锻件水平尺寸的确定 精压后锻件高度尺寸减小，水平尺寸增大，其增大值可按体积不变条件计算，如图 24.7-109 所示。

$$\text{单边增大值 } \Delta d = \frac{2A_0 \Delta h}{Lh}$$

式中 Δd —— 精压后水平尺寸单边增大值；

A_0 —— 被精压的面积；

L —— 精压面积的周长；

h —— 精压后高度；

Δh —— 单面压下量（等于精压单面余量）。

表 24.7-36 平面精压余量 (双面)

精 压 面 积 /cm ²	d/h								
	2 以 下			从 2~4			从 4~8		
	精 度 组 别			精 度 组 别			精 度 组 别		
	高精度	普通精度	热平面精度	高精度	普通精度	热平面精度	高精度	普通精度	热平面精度
<10	0.25	0.35	0.35	0.20	0.30	0.30	0.15	0.25	0.25
>10~16	0.30	0.45	0.45	0.25	0.35	0.35	0.20	0.30	0.30
>16~25	0.35	0.50	0.50	0.30	0.45	0.45	0.25	0.35	0.45
>25~40	0.40	0.60	0.60	0.35	0.50	0.50	0.30	0.45	0.50
>40~80	—	0.70	0.70	—	0.60	0.60	—	0.50	0.60
>80~160	—	—	0.80	—	—	0.70	—	—	0.70
>160~320	—	—	0.90	—	—	0.80	—	—	0.80

注：表中 d —精压平面直径。

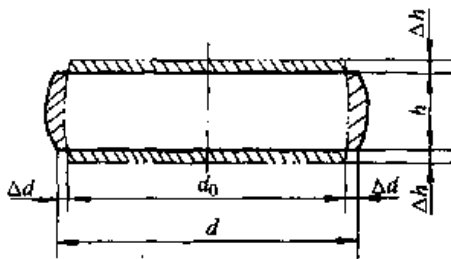


图 24.7-109 精压前后的尺寸计算示意图

a) 精压面积为圆形

$$\text{单边增大值 } \Delta d = 0.5d_0 \frac{\Delta h}{h}$$

$$\text{精压前圆的直径 } d_0 \approx d \frac{h}{h + \Delta h}$$

式中 d —精压后直径, $d = (d_0 + 2\Delta d)$ 。

b) 精压面积为正方形

$$\text{单边增大值 } \Delta a = 0.5a_0 \frac{\Delta h}{h}$$

$$\text{精压前的边长 } a_0 \approx a \frac{h}{h + \Delta h}$$

式中 a —精压后边长, $a = (a_0 + 2\Delta a)$ 。

c) 精压面积为长方形 这是矩形零件精压时的情况, 由最小阻力定律可知, 宽度方向尺寸的增大大于长度方向的增大, 两者的关系与长宽比 L/B 及压缩率有关, 见图 24.7-110。图 24.7-111 是根据某厂实践经验绘成的线图。从图中由已知的长宽比 L/B 及压缩率可查出其宽展率和伸长率, 这样可根据精压后锻件长度 L 、宽度 B 、高度 h 和两面的精压余量 $2\Delta h$ 等已知条件, 求出精压前模锻件的尺寸。

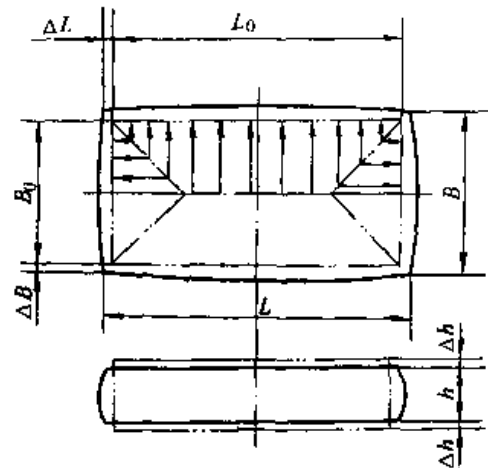


图 24.7-110 精压后在长、宽方向的尺寸增大

参照图 24.7-110 中的符号, 压缩率、宽展率和伸长率的表达式分别为

$$\text{压缩率} = \frac{2\Delta h}{h + 2\Delta h} \times 100\%$$

$$\text{宽展率} = \frac{2\Delta B}{B} \times 100\%$$

$$\text{伸长率} = \frac{2\Delta L}{L} \times 100\%$$

例如: 已知精压长方形面积长 60 mm, 宽 30 mm, 高度为 15 mm (精压后的尺寸), 单面精压余量为 0.6 mm, 求精压前模锻件尺寸。

计算: 精压前高度 $h_0 = h + 2\Delta h = (15 + 2 \times 0.6) \text{ mm} = 16.2 \text{ mm}$

$$\text{长宽比 } \frac{L}{B} = \frac{60}{30} = 2$$

$$\text{压缩率} = \frac{2\Delta h}{h + 2\Delta h} \times 100\% = \frac{1.2}{16.2} \times 100\% = 7.4\%$$

查图 24.7-111 得知长宽比为 2 和压缩率为 7.4% 的列线的交点，其横坐标为 2.15% 就是伸长率，纵坐标为 5.8% 就是宽展率。

$$\begin{aligned} \text{精压后增长 } 2\Delta L &= L \times \text{伸长率} = 60 \times 2.15\% \text{ mm} \\ &= 1.3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{增宽 } 2\Delta B &= B \times \text{宽展率} = 30 \times 5.8\% \text{ mm} \\ &= 1.75 \text{ mm} \end{aligned}$$

精压前模锻件水平方向尺寸：

$$\text{长度 } L_0 = L - 2\Delta L = (60 - 1.3) \text{ mm} = 58.7 \text{ mm}$$

$$\text{宽度 } B_0 = B - 2\Delta B = (30 - 1.75) \text{ mm} = 28.25 \text{ mm}$$

3) 体积精压件图 精压件图的设计与普通模锻件图的设计相似，但应注意下述几点：

① 应尽可能把零件各部分形状和尺寸锻出来，特别是不易加工的弧面、曲面，精压后就不再进行机械加工。

② 尺寸公差 可参考平面精压的尺寸公差。表 24.7-37 是某厂在精压机上体积精压有色金属锻件的公差表，亦可参考。

③ 加工余量 一般不留加工余量，只有在表面粗糙度和精度要求特别高时，如叶片，才留有抛光余量，单面为 0.3~0.4 mm。

(2) 毛坯预锻模

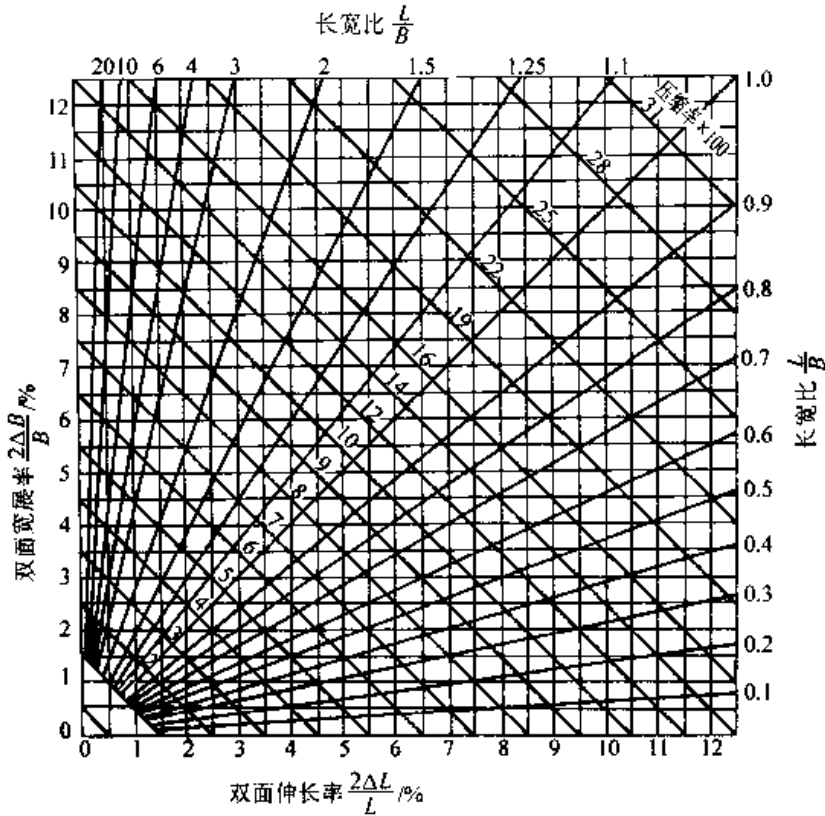


图 24.7-111 矩形零件精压时宽展率与伸长率图表

表 24.7-37 有色金属锻件体积精压公差 (mm)

精压面积/cm ²	高度方向		水平方向	
	正偏差 Δ_1	负偏差 Δ_2	基本尺寸 B	公差 Δ_3
≤20	0.1	0.05	≤20	0.2
21~40	0.2	0.1	21~40	0.3
41~60	0.3	0.15	41~70	0.4
61~80	0.35	0.2	71~100	0.5

通常是用精密模锻模作为精压用毛坯的预锻模，并要求：

1) 冷精压，预锻模锻件在高度方向留有0.3~0.5 mm的精压余量，水平尺寸按体积不变原则适当缩小。

2) 热精压，预锻模锻件不留精压余量，是利用在预锻时欠压0.4~0.6 mm来作为精压余量的。

(3) 精压模具设计

1) 单平面精压模 单平面热精压，可利用粗锻模下模做精压下模，用经过精磨平面的上平板模作上模即可。通常上平板模的外形尺寸以盖住粗锻模膛但又小于飞边槽周界为宜（见图24.7-112）。其紧固部位按设备或夹具的要求确定。

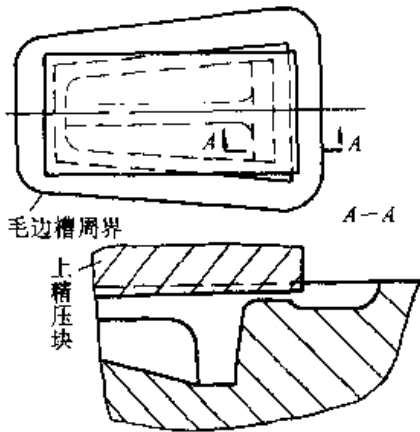


图 24.7-112 单平面热精压模

当在曲轴类设备上精压时，在模具（或夹座）上应有保险装置，以确保机床、模具和人的安全。

单平面冷精压的精压余量与单平面热精压相同，取0.3~0.8 mm。精压时的多余金属由下模模膛周边的飞边槽来容纳。飞边槽形状和尺寸见图24.7-113。

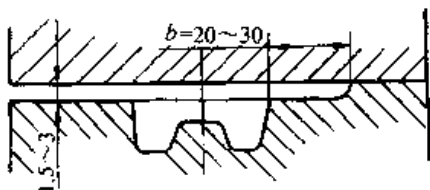


图 24.7-113 单平面冷精压模

左边：用于精压机
右边：用于锤及螺旋压力机

为了便于精压后的锻件易于起拔，在模具上应设计起拔缺口（或钳口），可参考图24.7-89校正模进行设计。但考虑到校正与精压金属的受压程度不同，精压模的钳口可设计得小一些和浅一些。

2) 双平面精压模 双平面精压模实质上是安装在通用底板上的一组压块。该组压块可选用通用的标准压块，然后借助机床的微调使之达到需要的工作空间。所以双平面精压模的设计和制造比较简单。

为了清除精压件表面的拱起现象，可在压块上预先制出相应的凸形。

压块应选用淬硬性较好的优质材料，并适当提高淬火硬度，以减少弹性变形。

精压薄件时，模具或设备应有超载保护装置。

设计双平面精压模时应考虑坯料的定位和支撑问题，因为坯料摆放不平时影响正常操作，故应采取相应的定位和支撑措施。图24.7-114a为橡胶支撑锻件非精压部分的示意图，图24.7-85b为弹簧支撑示意图。支撑物应选用可伸缩的弹性物体，以便锻件受压下移时跟随压缩。图24.7-115是锻件定位方法示意图，当受压平面有严格要求，当不固定摆放位置难于保证精压质量时，应设计定位结构。图24.7-115a为销钉定位，图24.7-115b是定位板定位，图24.7-115c是在压块上开设型腔，利用锻件本身凸台定位的示意图。此外，还有其他定位方法。总之，不管采用什么方法定位，都应尽可能不影响受压件在锻粗成形中金属向四周的自由流动，以避免受压件形状发生较大畸变。

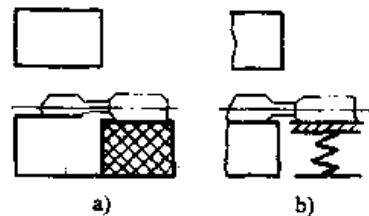


图 24.7-114 弹性支撑装置

3) 多平面精压模具的设计 多平面精压与双平面精压的区别在于受压的平面是多组而不是一组，所以多平面精压安装在底板上的精压块也是多对。通常多对精压块除了要保证自身的相对尺寸要求外，尚须保证各对压块之间的相对位置

和尺寸。所以多平面精压除了其中一对平面可选用标准压块外，其他都要专门制造，图 24.7-116a 是有两组平面的精压模组合示意图。为了

便于使用和保管，可将上下压块如图 24.7-116b 那样制成一体。

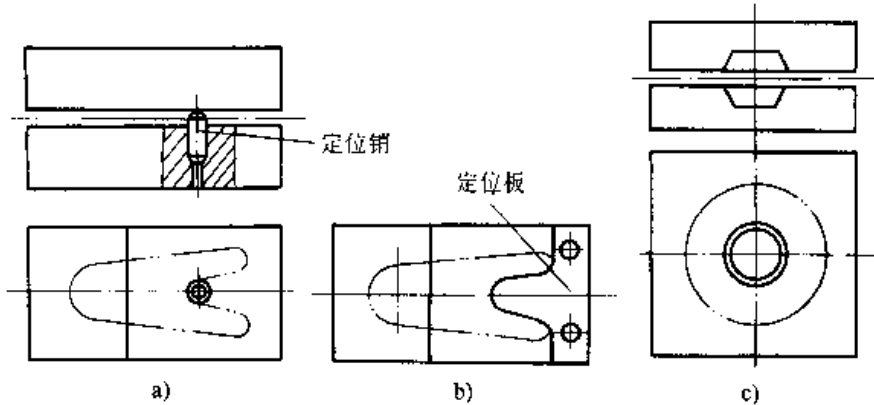


图 24.7-115 定位装置

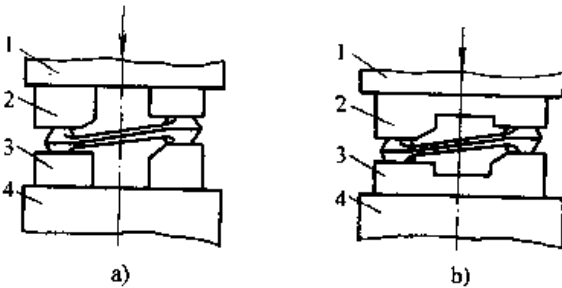


图 24.7-116 多平面精压模

a) 分组精压模 b) 整体精压模

1—上底板 2—上压块 3—下压块 4—下底板

多平面精压容易在两精压面的连接部位产生变形（图 24.7-95），当变形影响零件的使用时，应在连接部位设计辅助模膛来限制这种变形。辅助模膛可以是包容连接部位的型槽，如图 24.7-117a 型截面，也可以是限制变形的模壁，图 24.7-117b 型截面，型槽或模壁，都是按粗锻件和相应部位尺寸加正偏差制造的。原则上，型槽或模壁的大小应保证连接部分保持原形状和位置为准，而不改变原截面形状和尺寸。

设计多平面精压压块时应注意的其他事项与双平面精压相同。

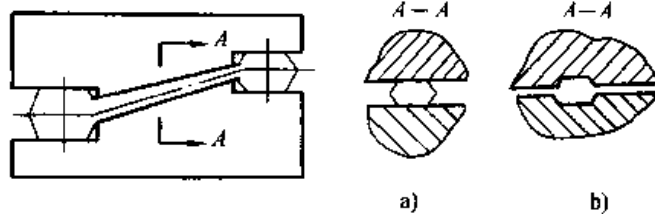


图 24.7-117 校正精压

图 24.7-118 为平面精压模的典型结构。

4) 体积精压模模膛设计 精压时，单位压力大，要求模具有足够的强度和刚度；为了获得高精度的精压件，要求模具有高的精度和小的表面粗糙度。

① 模膛尺寸、公差、表面粗糙度 冷精压模膛尺寸与精压件相同。热精压时，应根据精压温度加放冷缩量。钢零件在 650~750℃ 温度内精压时，按 0.4%~0.5% 加放冷缩量。

模膛水平尺寸公差取精压件公差的 1/3，高度方向取精压件的 1/2。但一般不小于 $\pm 0.05^{+0.10}$ mm。

模膛表面粗糙度 R_a 为 $0.2 \mu\text{m}$ 。

② 飞边槽 一种飞边槽形状和尺寸见图 24.7-119 和表 24.7-38。

③ 采用导柱导套进行套向，保证体积精压模在工作中的错移量最小。

④ 体积精压最好是在精压机或锻压机上进行，当用其他设备进行体积精压时，飞边槽应予

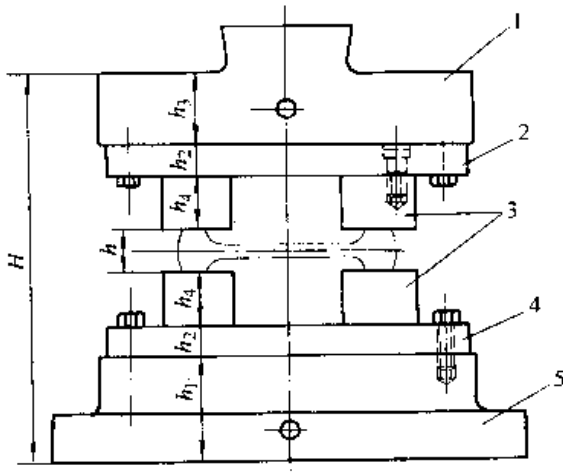


图 24.7-118 平面精压模的典型结构

1—上模座 2—垫板 3—精压模板
4—垫板 5—下模座

封闭以保证模具有足够承击面，而且在锤上精压时，只允许用锁扣导向，以保证操作安全。在精压机和锻压机上体积精压，模具（或机床）也应有可靠的超载保险机构。

体积精压模可制成整体的或镶块式的，镶块式体积精压模制造容易，成本低，应用较广。镶块式体积精压模的导向依靠模座上的导柱导套。图 24.7-120 为体积精压模简图。

5) 精压压块标准，标准镶块和模座

①压块和压块标准 压块的设计应满足下列要求：

- a) 平面尺寸要大于制件的受压面并留有一定余地；
- b) 固定牢靠方便；
- c) 有足够的强度和刚性；

表 24.7-38 飞边槽尺寸 (mm)

精压面积/cm ²	a	b	h	R
≤30	2	5	6	1.5
31~50	2.5	6	7	2
51~80	3	7	8	2

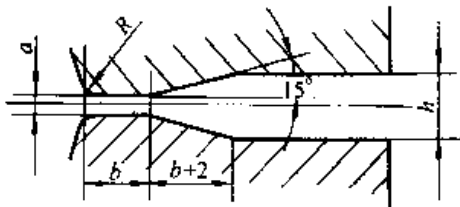


图 24.7-119 体积精压模的飞边槽

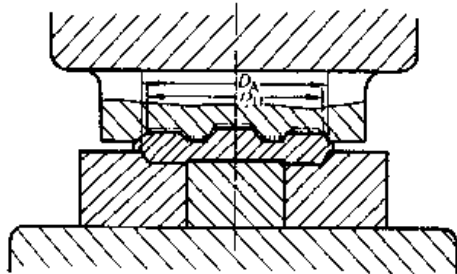


图 24.7-120 体积精压模简图

是 10 000 kN 精压机使用的压块标准，它与后面将要介绍的底板和模座配套作用。

压块材料：冷精压用 T10A（主要用于铝、铜、锌等较软材料）Cr12Mo、Cr12V 等，热处理硬度：52~60 HRC；热精压用 5CrMnMo、5CrNiMo 等热作模具钢，热处理硬度：44~52 HRC。

② 标准镶块 体积精压模与普通锻模一样，常采用标准尺寸的镶块模。图 24.7-121 是某厂使用的标准尺寸中的一种，它与图 24.7-122 所示模架配套使用。当标准尺寸有改变时，模架的容框尺寸也应相应变动。

③ 精压模座 模座除了要求强度足够、装夹牢靠、操作方便、制造简单外，最重要的是其应具有较好的通用性能。实践证明，生产中经常调换模座是有害无益的，因此模座的应用范围应尽可能大一些。精压模座与螺旋压力机上锻模模座在结构形式上大同小异。图 24.7-123 是 10 000 kN 精压机模座的一种型式。

d) 和模座、底板等叠加起来，能满足工作空间的要求；

e) 工作面粗糙度不大于 $R_a 0.2 \mu\text{m}$ 。

压块可以按需要制成标准系列供工艺设计人员选用。表 24.7-39、表 24.7-40、表 24.7-41

表 24.7-39 压块标准尺寸 (mm)

代号编号	尺 寸				
	A	B	L ₁	L ₂	H
×××/01	200	200	150	150	45
02					50
03					55
04					60
05					65
06					300
07	50				
08	55				
09	60				
10	65				

注：1. 材料：T10A 或 Cr12Mo。
 2. 锐边倒角 R2。
 3. 标记内容：编号，材料牌号，H 尺寸。

表 24.7-40 压块标准尺寸 (mm)

代号编号	尺 寸				代号编号	尺 寸			
	A	B	H	a		A	B	H	a
×××/01	100	50	50	8	×××/11	40	50	50	
02			55		6			12	55
03			60		13			60	
04			65		14			65	
05			70		15			70	
06			50		60			50	8
07	55	6		17		55			
08	60	18		60					
09	65	19		65					
10	70	20		70					

注：1. 材料：T10A 或 Cr12Mo。
 2. 锐边倒角 R2。
 3. 标记内容：编号，材料牌号，H 尺寸。

(4) 精压模设计实例

图 24.7-124 为换挡 2 杆精压件图、精压模

总装图和精压模上模与精压模下模零件图，该模具为整体精压模。

图 24.7-125 为连臂精压件图及精压模具图，该模具为分组结构。

表 24.7-41 压块标准尺寸 (mm)

代号编号	尺寸				代号编号	尺寸			
	A	B	L	H		A	B	L	H
×××/01				45	×××/11				45
02				50	12				50
03	100	60	50	55	13	150	100	100	55
04				60	14				60
05				65	15				65
06				45	16				45
07				50	17				50
08	100	100	50	55	18	200	150	150	55
09				60	19				60
10				65	20				65

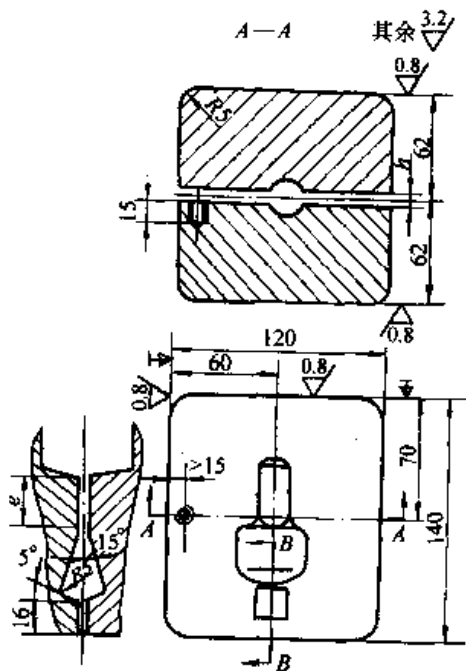
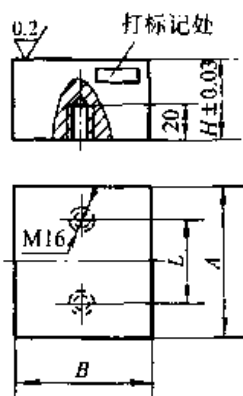


图 24.7-121 体积精压模

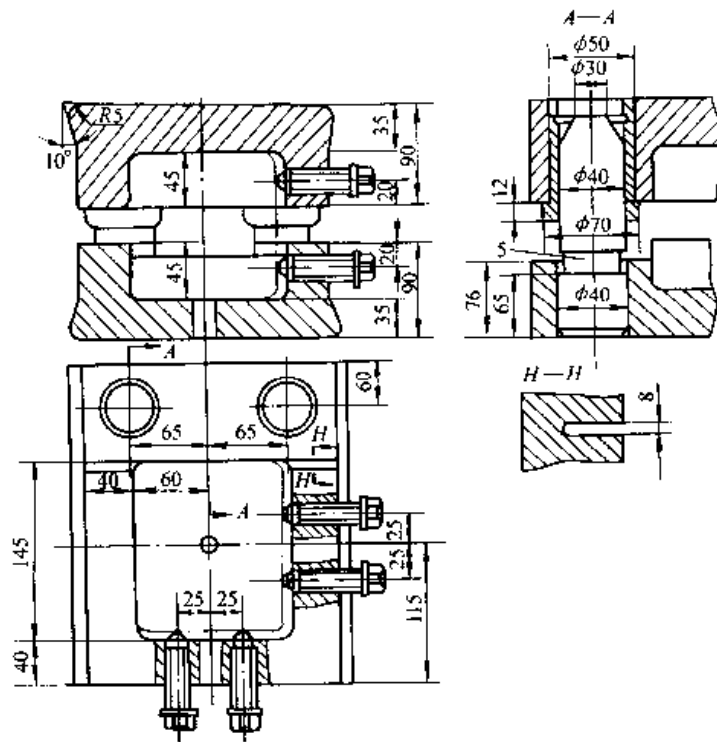


图 24.7-122 镶块式体积精压模架

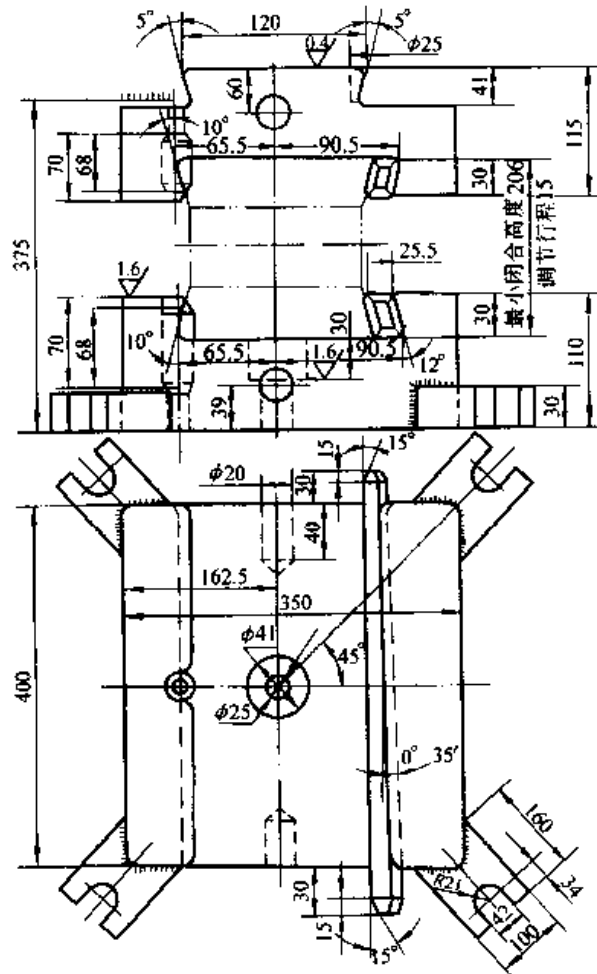


图 24.7-123 模座

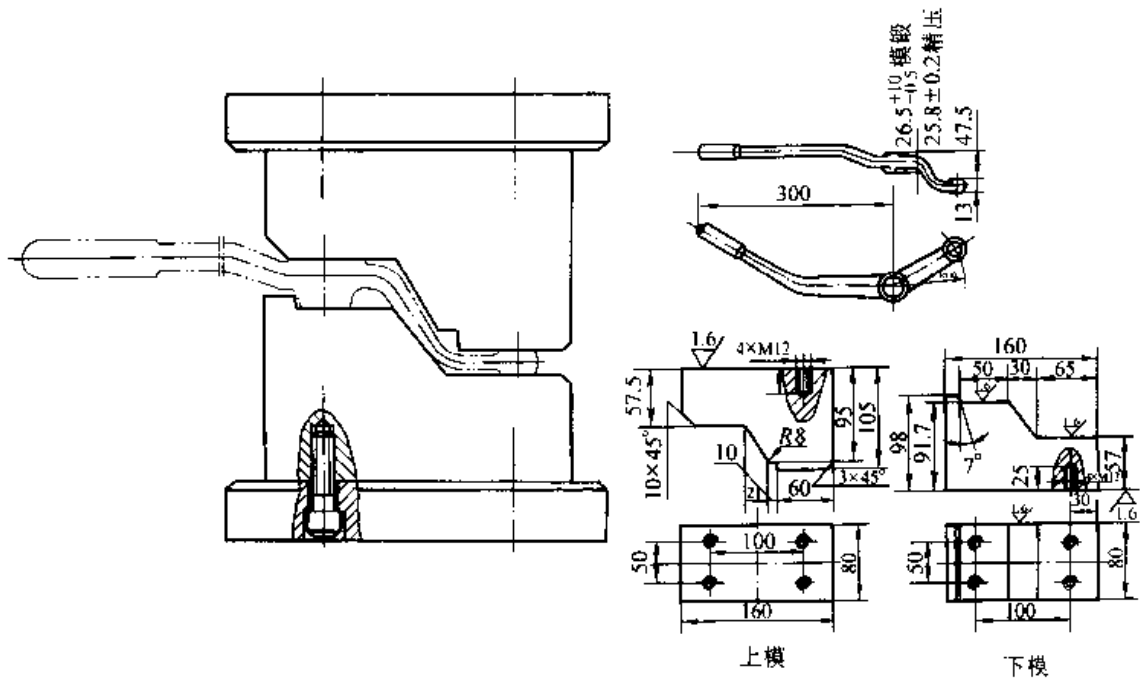


图 24.7-124 换挡杆精压模

1. 上模、下模材料: T10; 硬度: 58~60 HRC, 未注粗糙度 $R_a 1.25 \mu m$ 。
2. 用于 8 000 kN 精压机。

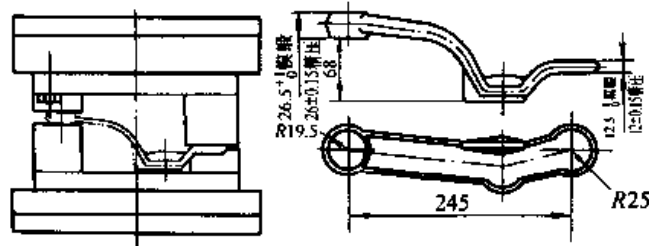


图 24.7-125 连臂精压模

参考文献

- 1 中国机械工程学会锻压学会. 锻压手册: 第 1 卷, 锻造. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 2 中国机械工程学会锻压学会. 锻压手册: 第 3 卷, 锻压车间设备. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 3 张志文. 锻造工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1988
- 4 张振纯. 锻模图册. 北京: 机械工业出版社, 1980
- 5 李尚健. 锻造工艺及模具设计资料. 北京: 机械工业出版社, 1991
- 6 锻模设计手册编写组. 锻模设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1991
- 7 王尚义. 成组锻模的设计与应用. 锻压技术, 1987 (5): 38~41
- 8 彭选煌. 特型转向节锤上模锻工艺. 中国机械工程学会锻压学会第五届学术年会论文集, 1991
- 9 (俄) A. П. 阿特罗申柯, В. И. 费多罗夫. 难变形材料热模锻. 薛永春, 王惠泉译. 北京: 国防工业出版社, 1986
- 10 Altan etc. T. Forging Equipment, Materials and Practices, 1973
- 11 Thomas G., Byrer etc. Forging Handbook. Printed

in the United States of America, 1985

- 12 上海交通大学锻压教研组. 胎模锻技术. 北京: 国防工业出版社, 1979
- 13 (俄) A·Φ. 别洛夫等著. 水压机模锻. 靳辅安等译, 薛永春校. 北京: 国防工业出版社, 1981

中国模具设计大典
CHINA DIE & MOULD DESIGN CANON

第
25
篇

特种锻模设计

主 编 夏巨谔 胡正寰
傅沛福

编 写 傅沛福 陈昌银
张金刚 金永洪
胡正寰 刘晋平
朱春东 夏巨谔
吴家贤 陆云祥

审 稿 朱伟成



中国机械工程学会
CMDC 中国模具设计大典编委会



第 1 章 辊锻模设计

1 概述

1.1 辊锻变形特点

辊锻是使金属坯料在一对旋转的辊锻模中通过，借助模槽对坯料施加的压力使其产生塑性变形，从而获得所需要的锻件或锻坯。

辊锻是坯料的延伸变形过程。坯料在高度方向经辊锻模压缩后，除一小部分金属横向流动而使坯料宽度略有增加外，大部分被压缩的金属沿着坯料的长度方向流动（图 25.1-1）。被辊锻的毛坯横截面积减小，长度增加。由辊锻变形特点可见，它适于减小坯料截面，如杆件的拔长，板

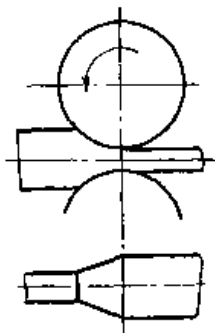


图 25.1-1 辊锻变形过程

坯的辊片以及沿杆件轴向分配金属体积等变形过程。

其次，辊锻是一个逐步连续的变形过程。变形时，模具只与毛坯的一部分接触，所需变形力较小。以生产 195 W 型柴油机连杆为例，如采用模锻需 20 000~40 000 kN 热模锻压力机，而采用辊锻只需 2 500 kN 的辊锻机，再配以较小吨位的整形设备即可。

再次，辊锻是静压的变形过程，冲击、振动、噪声公害小，劳动条件好。

1.2 辊锻工艺的分类和应用

辊锻工艺的分类和应用见表 25.1-1。

1.3 辊锻机的类型、用途和结构特点

辊锻工艺采用的锻压设备称辊锻机，其结构与两辊式轧机相似，具有一对转速相同、转向相反的锻辊，其工作原理见图 25.1-2。辊锻模 2 固定在锻辊 1 上，电动机 7 经带 5、齿轮副 8 和 4 减速后，再通过齿轮副 3 带动上下锻辊作等速反向的旋转。通常，在辊锻机上还有摩擦离合器 6 和制动器 9，以获得点动、单动、连动等多种操作规范。

表 25.1-1 辊锻工艺的分类和应用

分 类	应 用	变形过程特点	
制坯辊锻	单型槽辊锻	用于拔细毛坯端部或为模锻前的制坯工序。例如梅花扳手杆部延伸（模锻前制坯）	采用开式型槽一次或多次辊锻，或用闭式型槽一次辊锻
	多型槽辊锻	主要用于模锻前的制坯工序（代替锤上模锻的拔长及滚挤工序），亦可用于拔细毛坯端部。例如汽车连杆的制坯辊锻	在开式型槽中辊锻或在闭式与开式的组合型槽中辊锻
成型辊锻	完全成形辊锻	适于小型锻件及叶片类锻件的直接辊锻成形。例如医用镊冷辊锻，以及各类叶片的冷热精辊工艺	在辊锻机上完成锻件的成形过程。可采用开式、闭式或开式与闭式的组合型槽中辊锻

续表 25.1-1

分 类	应 用	变形过程特点
成型辊锻	初成形辊锻	适于辊制截面差较大, 形状较为复杂的锻件, 如柴油机汽油机连杆、拖拉机履带节的辊锻
	部分成形辊锻	适于辊制具有长杆形或板片形形状的锻件, 如锄头、犁刀、汽车变速操纵杆、剪刀股等锻件

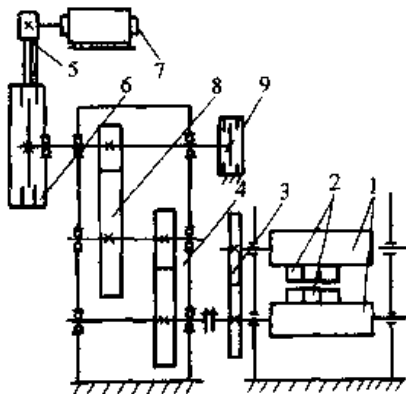


图 25.1-2 辊锻机工作原理

1—锻辊 2—辊锻模 3、4、8—齿轮副
5—带 6—摩擦离合器 7—电动机 9—制动器

随着辊锻工艺迅速发展与广泛应用, 辊锻机的设计, 制造和系列等都有很大进展, 今后的发展趋向是自动化、高效率与高精度。

根据送料方向, 锻辊结构形式、传动部分与工作部分相对位置及用途的不同, 辊锻机可分成以下几种形式。

(1) 卧式、立式与斜式的辊锻机

一般的辊锻机都是在水平方向送料, 这种形式的辊锻机称为卧式辊锻机。在其前后两面均可操作, 进出料都方便, 适于辊制中小型毛坯或锻件, 是现有辊锻机的一种主要结构形式。在卧式辊锻机上辊锻特长的锻件时, 炽热的毛坯受自重作用很容易弯曲并使送料夹钳承受很大的弯矩。为克服上述缺点, 将两锻辊布置在同一水平面内, 坯料在两辊上方沿铅垂方向往下送入, 辊锻时将坯料咬入而向上运动, 这种辊锻机称为立式辊锻机 (图 25.1-3)。当对辊锻件有特殊要求时, 可将两锻辊中心线所在的平面与水平面成 45° 角布置。辊锻时, 可在斜下方送入坯料, 辊出的锻件靠自重由接料台中滑回, 再转送下一工

序, 这种辊锻机称为斜式辊锻机 (图 25.1-4)。

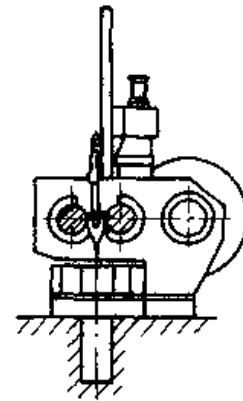


图 25.1-3 立式辊锻机

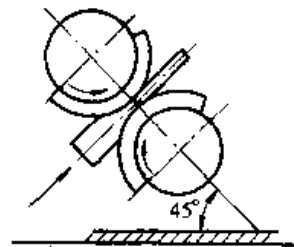


图 25.1-4 斜式辊锻机

(2) 悬臂式、双支承式及复合式辊锻机

悬臂式辊锻机 (见图 25.1-5), 锻辊的工作部分悬伸在机身之外, 环形辊锻模可从锻辊端部套入, 固定与更换模具都较方便, 可在其前面和侧面进行操作, 最适于完成毛坯的横向展宽工作。其缺点是刚性较差, 多用于制坯, 并与模锻设备配套组成流水线, 进行大批量生产。

双支承式辊锻机的锻辊工作部分是用轴承支持在两个直立的机架中, 刚性好, 可用于制坯辊锻、成形辊锻或冷辊锻。锻辊上可装多副模具进行多型槽辊锻, 应用范围广, 既适于大批量生产, 又可用于中小批量生产, 图 25.1-6 所示为其结构简图。

复合式辊锻机兼有悬臂式和双支承式两者的特点，通用性较强，其锻辊由两部分组成，支承在两机架之间的部分称为内辊，悬伸在机架外的为外辊（图 25.1-7）。外辊除了能完成辊锻工序外，还可以进行切断、压弯及校直等辅助工序，

也可用于驱动辊锻操作机，但其结构较复杂。

(3) 整体式、分置式辊锻机

辊锻机的工作部分与传动部分都安装在同一机身或底座上时，称为整体式辊锻机，见图 25.1-5、25.1-6、25.1-7。整体式辊锻机的结构

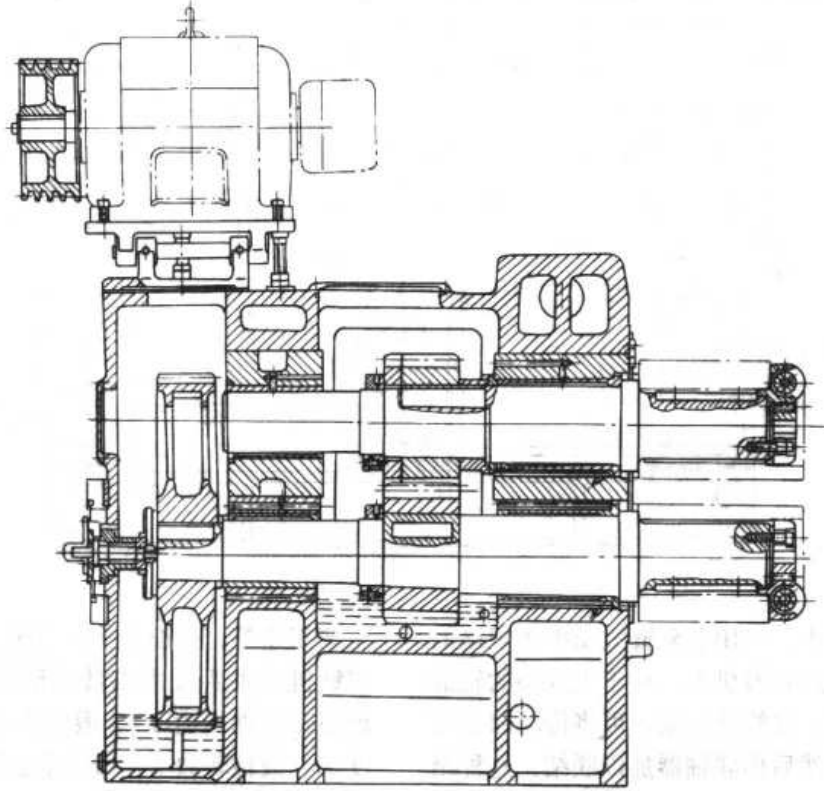


图 25.1-5 悬臂式辊锻机

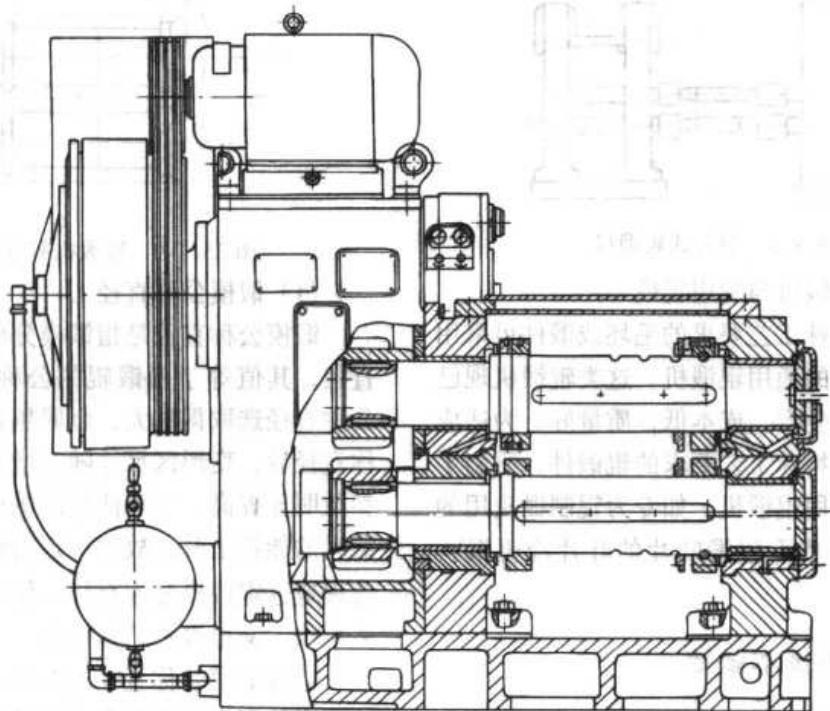


图 25.1-6 双支承式辊锻机

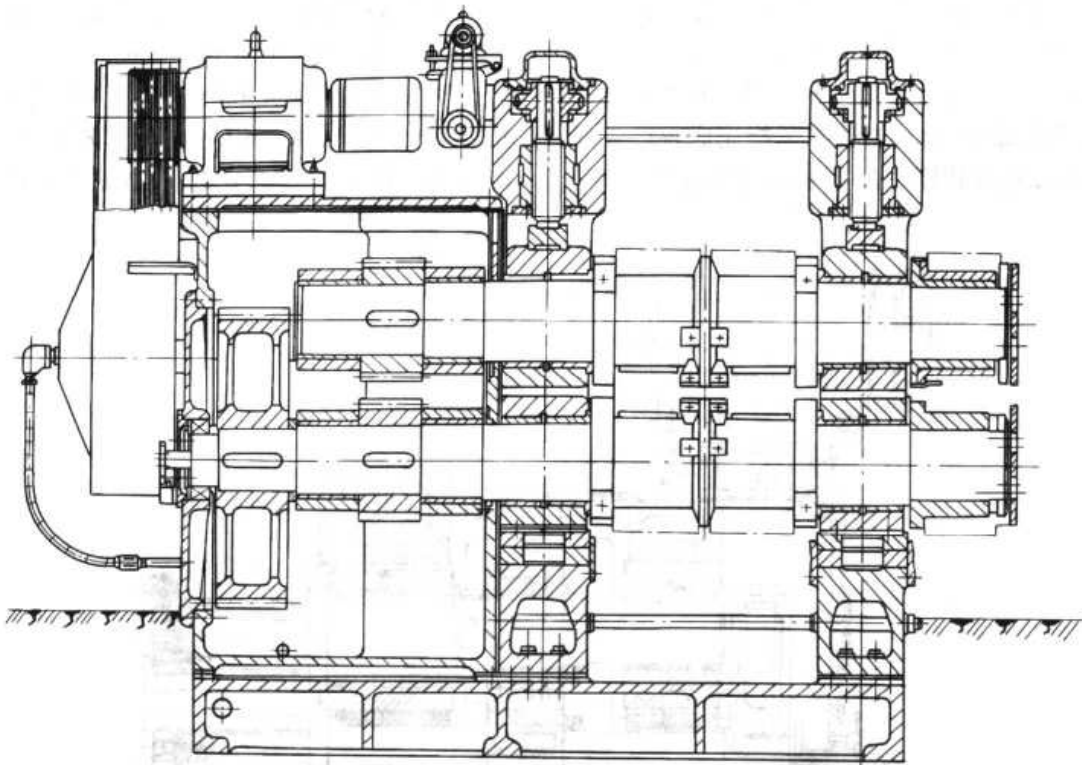


图 25.1-7 复合式辊锻机

紧凑，占地面积小，多用于悬臂式及中小规格的双支承式或复合式辊锻机上。对于大规格的辊锻机，为便于制造、维修及运输，可将传动部分与工作部分分开，然后用联轴器加以联结，这种结构的辊锻机称为分置式辊锻机（图 25.1-8）。

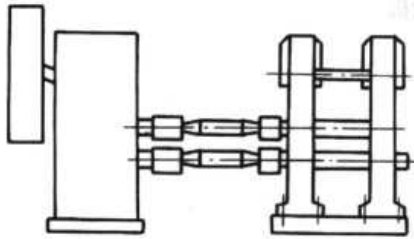


图 25.1-8 分置式辊锻机

(4) 通用辊锻机与专用辊锻

一般没有特殊工艺要求的毛坯或锻件可采用适于一般热辊锻的通用辊锻机。这类辊锻机现已系列化，且成批生产，成本低，质量好。为适应一些批量大并有特殊工艺要求的辊锻件，研制了一些高效率的专用辊锻机，如专为辊制锄头用的锄头专用机和冷成形辊锻叶片的叶片冷辊锻机等。

1.4 辊锻机的技术参数

辊锻机的技术参数标志着它的规格，性能和

主要用途等，是设计和选用辊锻机的重要依据。辊锻机的主要技术参数是锻模公称直径 D ，其他还有公称压力 F_g 、锻辊直径 d 、锻辊可用长度 B 、锻辊转数 n 、锻辊中心距调节量 ΔA 及可锻方坯边长 H 等技术参数。见图 25.1-9。

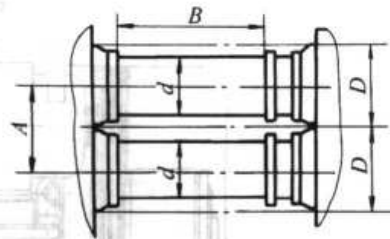


图 25.1-9 辊锻机部分技术参数

(1) 锻模公称直径 D

锻模公称直径是指锻模分模面处的公称回转直径，其值等于两锻辊的公称中心距 A 。锻模公称直径选取得越大，金属越易咬入。但增大公称直径后，变形区尺寸随之增大，导致辊锻能力参数明显提高，不仅使辊锻机尺寸增大，还使辊锻时的能耗上升。故对一定的辊锻件来说，必须合理地选定锻模公称直径，使之既能满足辊锻工艺要求，又要设备结构合理。

选择锻模公称直径的方法可按辊制锻件的尺寸、形状用类比法确定，也可根据选用的坯料直

径 d_0 作概略的计算。

制坯辊锻时

$$D = (6 \sim 8)d_0$$

成形辊锻时

$$D = (8 \sim 15)d_0$$

式中 d_0 ——坯料直径 (mm)。

(2) 公称压力 F_k (kN)

公称压力是指机器所能承受的最大锻辊径向载荷值。它是设计和选用机器的主要依据, 并与锻模公称直径相适应。

(3) 锻辊直径 d (mm)

锻辊直径是指安装辊锻模处的锻辊直径。锻辊直径的大小决定了辊锻模的厚度尺寸与锻辊的刚性。

(4) 锻辊可用长度 B (mm)

锻辊可用长度是指锻辊上不包括两端夹紧固定装置在内的可供安装模具部分的轴向长度, 其数值大时, 虽能安装的模具数量多, 提高了通用性, 但却减小了锻辊的刚性。故锻辊的可用长度不宜过大, 通常取 $B = D$ 。

(5) 锻辊每分钟转数 n (r/min)

制坯辊锻和成形辊锻对转速有不同的要求。前者的转速应与其配套模锻设备的行程次数相协调, 并应尽可能地适应手工操作时的连续运转要求。成形辊锻时, 锻辊转速要与其送料装置相适应, 保证送料准确可靠, 其锻辊转速以较制坯辊锻低些为宜。

(6) 锻辊的中心距调节量 ΔA (mm)

锻辊中心距调节量是指两锻辊中心距的调节范围, 其数值视机器调节机构的形式而异。 ΔA 一般为 10~20 mm。

(7) 可锻方坯边长 H (mm)

这一参数在一定程度上反映了辊锻机力能的大小。通常可取

$$H = \frac{D}{6 \sim 8}$$

为适应辊锻工艺不断发展并便于设计、制造、选用与维修等的需要, 我国已制定出部分标准辊锻机的系列参数。表 25.1-2 列入双支承辊锻机技术参数。

表 25.1-3 列入悬臂式辊锻机技术参数。复合式辊锻机目前只生产 D43-630 一种, 其技术参数见表 25.1-4。

表 25.1-2 双支承辊锻机技术参数

参 数	型 号						
	D42-160 ①	D42-250	D42-400	D42-500	D42-630	D42-800	D42-1000
锻模公称直径/mm	160	250	400	500	630	800	1 000
公称压力/kN	125	320	800	1 250	2 000	3 200	4 000
锻辊直径/mm	105	170	260	330	430	540	680
锻辊可用长度/mm	160	250	400	500	630	800	1 000
锻辊转速 I 档 (r/min)	100	80	60	50	40	30	25
II 档	—	—	40	32	25	20	—
锻辊中心距调节量/mm	≥8	≥10	≥12	≥14	≥16	≥18	≥20
可锻方坯边长/mm	20	35	60	80	100	125	150

① D42-160 为辊锻机型号与规格, 按照我国锻压设备的分类方法, 每一种锻压设备都用汉语拼音字母与数字表示, 如:

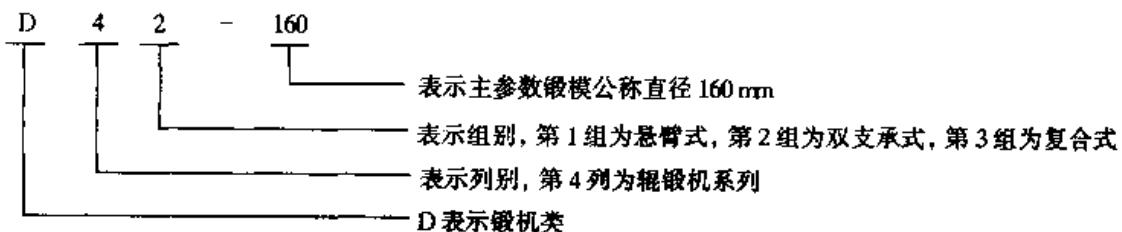


表 25.1-3 悬臂式辊锻机技术参数

参 数	型 号				
	D41-200	D41-250	D41-315	D41-400	D41-500
锻模公称直径/mm	200	250	315	400	500
公称压力/kN	160	250	400	630	1 000
锻辊直径/mm	110	140	180	220	280
锻辊转速/(r/min)	125	100	80	63	50
锻辊中心距调节量/mm	10	12	14	16	18
锻辊可用长度/mm	200	250	315	400	500
可锻方坯边长/mm	32	45	63	90	125

表 25.1-4 D43-630 复合式辊锻机技术参数

参数名称	内辊或外辊	数 值
辊模公称直径/mm	内、外辊	630
公称压力/kN	内辊	1 600
	外辊	1 000
锻辊转速/(r/min)	内、外辊	40/30
锻辊直径/mm	内辊	400
	外辊	320
锻辊可用宽度/mm	内辊	800
	外辊	320
锻辊中心距调节量/mm	内、外辊	30
	外辊补偿量	± 2
可锻方坯边长/mm	内、外辊	80
电 动 机	型号	JR82-4
	功率/kW	55
	转速/(r/min)	1 440
外形尺寸 (长/mm×宽/mm×高/mm)	4 400×2 370×3 200	
重 量/t	≈40	

1.5 辊锻力及力矩

(1) 辊锻力的计算

辊锻时，变形金属作用到锻辊上的总压力称为辊锻力，如图 25.1-10 所示。可近似地认为金属作用于锻辊上的总压力等于其垂直分量。在辊锻机压下螺杆下面安装一测压仪即可直接测得辊

锻力，辊锻力是设计和选用辊锻机的重要依据，根据它便可确定辊锻力矩和电动机功率。

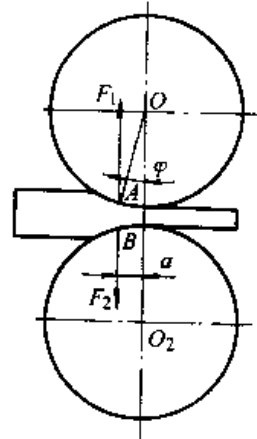


图 25.1-10 简单变形下辊锻力的指向

计算辊锻力时，可依据平均单位压力和变形区的投影面积来确定：

$$F = pA \quad (25.1-1)$$

式中 F —— 辊锻力，即变形区的总压力；

p —— 变形区的平均单位压力，计算方法见 1.6；

A —— 变形区的水平投影面积。

辊锻时，变形过程各瞬间的变形区面积往往是变化的。计算辊锻力时，要选择压下量最大且接触面积也最大的变形区，即最大辊锻力所处的变形区。

(2) 变形区水平投影面积的确定

要确定金属作用在锻辊上的总压力，需要计算接触面积 A ，即实际接触面积在水平面上的投影。

接触面积 A 和坯料变形前后的几何尺寸有关。在辊制板料和矩形截面坯料时，接触面积可

按下式确定 (见图 25.1-11)

$$A = \frac{b_0 + b_1}{2} l \approx \frac{b_0 + b_1}{2} \sqrt{R\Delta h} \quad (25.1-2)$$

式中 l —— 变形区的长度;

b_0 、 b_1 —— 辊锻前后坯料宽度。

当在型槽中辊制毛坯时, 如在菱形型槽辊制方形截面坯料, 在圆形型槽中辊制圆坯等情况下, 可用作图法来确定接触面积。方法是画出型槽和处于其中的毛坯的投影图, 求型槽和毛坯的相贯线。为了精确起见, 可以放大比例求出 (25.1-12)。

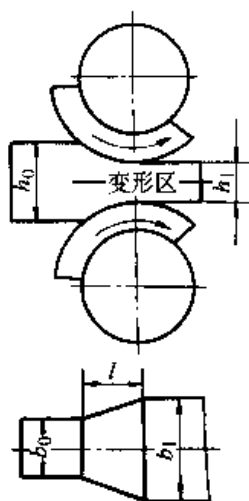


图 25.1-11 接触面积

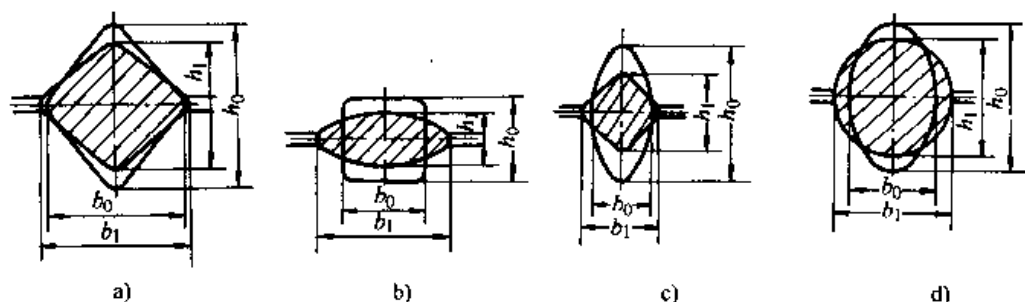


图 25.1-13 在非矩形截面型槽中辊锻时, 型槽和坯料的几何尺寸

a) 由菱形辊成菱形 b) 由方形辊成椭圆 c) 由椭圆辊成方形 d) 由椭圆辊成圆形

(3) 辊锻力矩

辊锻力矩是克服锻件变形阻力所需的力矩, 它是组成辊锻机所需传动力矩的主要部分, 可以根据辊锻力求得。

在变形区中, 单位压力分布在整个接触面上, 其合力 (即辊锻力) 的作用点到锻辊中心线的距离 a (图 25.1-14), 则上下两锻辊的总力矩为

$$M = 2Fa \quad (25.1-3)$$

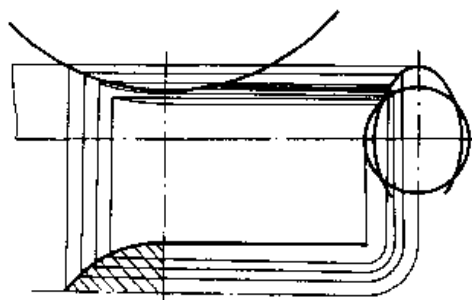


图 25.1-12 确定接触面积的图解法

在复杂的情况下, 接触面积可按式 (25.1-2) 近似计算, 此时应取锻辊半径的平均值 \bar{R} 和压下量的平均值 Δh 代入该式。

对于辊制菱形、方形、椭圆形及圆形截面坯料其 Δh 值可按如下公式计算。

1) 对于由菱形辊成菱形 (图 25.1-13a)

$$\Delta h = (0.55 \sim 0.6)(h_0 - h_1)$$

2) 由方形辊成椭圆形 (图 25.1-13b)

$$\Delta h = h_0 - 0.7h_1 \quad (\text{扁椭圆})$$

$$\Delta h = h_0 - 0.85h_1 \quad (\text{圆椭圆})$$

3) 由椭圆辊成方形 (图 25.1-13c)

$$\Delta h = (0.65 \sim 0.7)h_0 - (0.55 \sim 0.6)h_1$$

4) 由椭圆辊成圆形 (25.1-13d)

$$\Delta h = 0.85h_0 - 0.79h_1$$

式中 M —— 辊锻力矩;

F —— 辊锻力;

a —— 力臂, 即力 F 作用点到锻辊中心线的距离。

力臂 a 可用下式表示

$$a = \psi l$$

式中 l —— 变形区长度;

ψ —— 力臂系数。

力臂系数与变形区平均长度和平均高度之比

l_r/h_r , 摩擦系数 μ 及相对压下量 $\Delta h/h_0$ 等因素有关, 一般可按下列数值选取:

对成形辊锻取

$$\psi = 0.25 \sim 0.3$$

对制坯辊锻取

$$\psi = 0.4 \sim 0.6$$

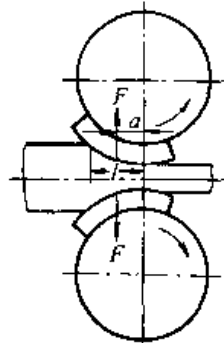


图 25.1-14 确定辊锻力矩图

辊锻力 F 及辊锻力矩 M 是随模具半径 R 及压下量 Δh 的增加而增加。在辊锻模公称直径一定时, 减少每道次的压下量 Δh 可使辊锻力及辊锻力矩降低。

1.6 辊锻变形的单位压力

计算辊锻力和力矩, 要先确定平均单位压力。在辊锻变形的情况下, 由于辊锻件形状和截面的不同, 使单位压力不仅沿接触弧分布不均匀, 而且在整个变形区接触面积上单位压力的分布也不均匀。因此, 要研究辊锻时单位压力分布和精确计算就更为困难。下面介绍几种单位压力的计算公式。

(1) 柴力柯夫 (А.И.Целиков) 公式

柴力柯夫公式是按工程计算方法近似求解得出的, 适于薄件辊锻, 公式如下。

$$p = K \frac{2(1-\epsilon)}{\epsilon(\delta-1)} \left(\frac{h_r}{h_1} \right) \left[\left(\frac{h_r}{h_1} \right)^\delta - 1 \right] \quad (25.1-4)$$

$$n_\sigma = K \frac{2(1-\epsilon)}{\epsilon(\delta-1)} \left(\frac{h_r}{h_1} \right) \left[\left(\frac{h_r}{h_1} \right)^\delta - 1 \right] \quad (25.1-5)$$

$$p = n_\sigma K = 1.155 n_\sigma \sigma_s \quad (25.1-6)$$

式中 K ——平面变形状态时材料的变形抗力,

$$K = 1.155 \sigma_s$$

$$\epsilon = \frac{\Delta h}{h_0}$$

$$\delta = \mu \frac{2l}{\Delta h} = \mu \sqrt{\frac{2D}{\Delta h}}$$

$$\frac{h_r}{h_1} = \left\{ \frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1) \left(\frac{1}{1-\epsilon} \right)^\delta}}{\delta + 1} \right\}^{1/\delta}$$

Δh ——压下量;

h_0 ——原始坯料高度;

h_1 ——锻后坯料高度;

h_r ——变形区中性面处坯料高度;

l ——变形区长度, $l = \sqrt{R\Delta h}$;

D ——锻辊直径;

μ ——摩擦因数。

为了简便起见, 在计算平均单位压力时, 可用图 25.1-15 所示的曲线。这些曲线是根据方程式 (25.1-4) 绘制的, 是关于不同压下量的系数 n_σ 与 δ 之间的关系曲线。

(2) 斯米尔诺夫 (В.К.Смирнов) 公式

$$p = 1.08 n_\mu \sigma_s \quad (25.1-7)$$

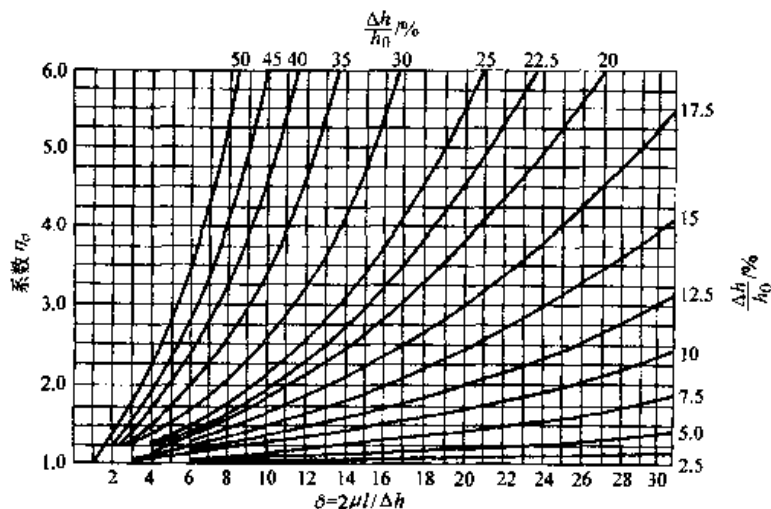


图 25.1-15 平均单位压力与摩擦尺寸因素影响的关系曲线

式中 n_μ ——与外摩擦及尺寸有关的系数;
 σ_s ——金属屈服点。

系数 n_μ 与变形区尺寸有关, $n_\mu = \psi \left(\frac{l}{\sqrt{h_0 h_1}} \right)$ 。

若辊锻时无飞边产生, 则可根据变形区长度、辊锻前后坯料高度 h_0 、 h_1 计算出 $l/\sqrt{h_0 h_1}$ 值, 然后从图 25.1-16 中查得 n_μ 值。

若辊锻后带有飞边, 可取 $n_\mu = 2.5 \sim 3.0$ 。

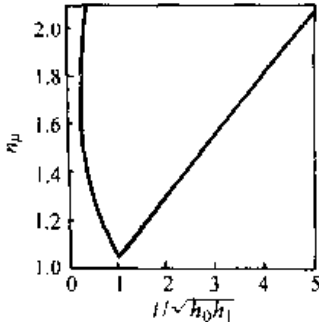


图 25.1-16 n_μ 参数曲线

金属屈服点 σ_s 根据辊锻变形温度和应变速度 $\dot{\epsilon}$ 而定, 从图 25.1-17、25.1-18 中查出。

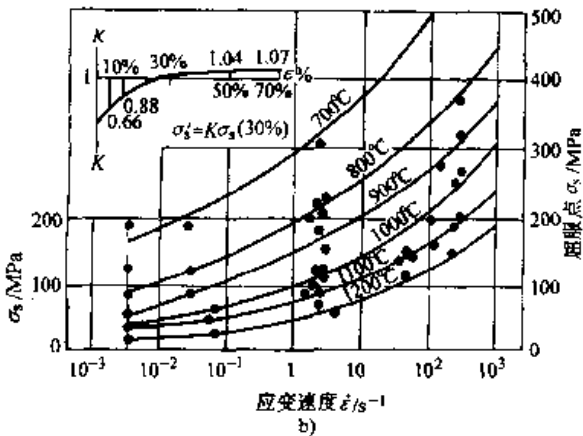
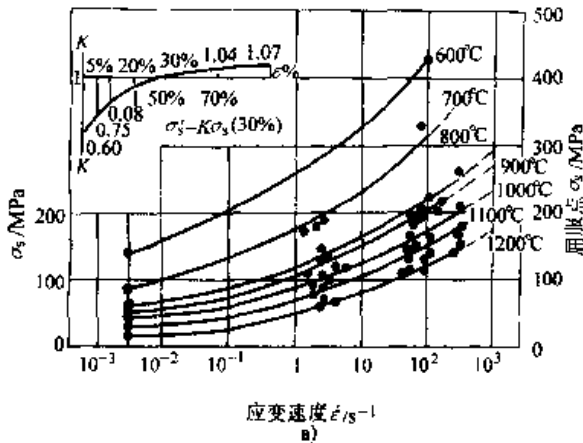


图 25.1-17 不同温度和应变速度下 08F 钢和 40 钢的 σ_s
 a) 08F 钢 b) 40 钢

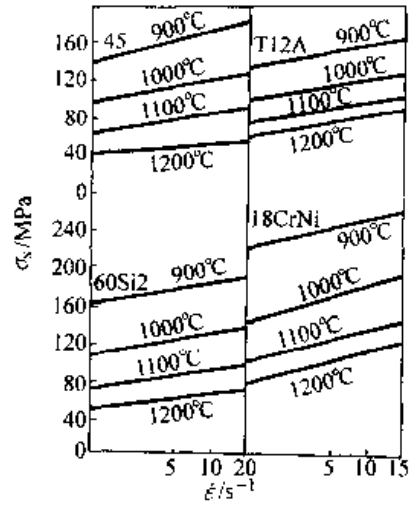


图 25.1-18 不同温度和应变速度下几种钢的 σ_s
 应变速度 $\dot{\epsilon}$ 按下式确定

$$\dot{\epsilon} = \frac{v \Delta h}{l h_0} = 0.15 n \frac{R \Delta h}{l h_0}$$

式中 v ——模具表面圆周速度;
 n ——锻辊速度 (r/min);
 R ——辊锻模具半径。

此公式比较简单, 适用于制坯辊锻与成形辊锻。

(3) 利用经验数值确定辊锻的平均单位压力。

1) 成形辊锻碳钢件 (其成分 (质量分数) 为 $w(C) < 0.35\%$, $w(Si) < 0.3\%$, $w(Mn) < 0.7\%$) 的平均单位压力, 根据锻件复杂程度的不同, 按表 25.1-5 确定。

表 25.1-5 成形辊锻的平均单位压力

锻件复杂程度	辊锻温度 / °C	平均单位压力 / MPa
简单形状	900	250
	1 000	200
复杂形状	900	300
	1 000	250
最复杂形状	900	350
	1 000	300

注: 辊锻条件: 辊锻模公称直径为 $\phi 550$ mm, 无润滑。材料: 30 号钢。

2) 成形辊锻合金钢件, 其平均单位压力按表 25.1-5 选取后, 再按下式修正

$$p' = p\psi$$

式中 p' ——成形辊锻合金钢的平均单位压力；
 p ——成形辊锻碳素钢的平均单位压力，按表 25.1-5 选取；
 ψ ——修正系数，根据不同材料，按表 25.1-6 选取。

当采用润滑剂时，压力会比表中所列实验数值低些。例如用石墨润滑剂比无润滑时的平均单位压力要低 30%~35%。

3) 制坯辊锻的平均单位压力，可根据其相对压下量按表 25.1-7 选取。

表 25.1-6 修正系数

钢的牌号	辊锻温度/℃	
	900	1 000
30CrMnSiA	0.7	0.8
18Cr2Ni4WA	1.0	1.0
2Cr13	1.5	1.3

表 25.1-7 制坯辊锻单位压力

相对压下量 $\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0} / \%$	辊锻温度 /℃	平均单位压力/MPa	
		无润滑剂	石墨润滑剂
30	1 150	80	60
40	1 150	100	80
50	1 150	120	100
60	1 150	170	130

注：辊锻条件：材料为 50 钢；锻模公称直径 $\phi 500$ mm。

2 辊锻工艺基本参数计算

2.1 辊锻变形区及其几何参数

辊锻变形区：在辊锻时，坯料上承受压缩的部位在变化着。直接承受辊锻模压缩作用而产生变形的这部分金属体积所占有的空间称为变形区（图 25.1-19）。

主要几何参数：在变形过程中，坯料高度方向受到压缩，随之其宽度和长度尺寸也发生了变化。常用绝对变形和相对变形表示辊锻时的变形程度。绝对变形量为压下量 Δh ，宽展量 Δb 和延伸量 Δl ，它们分别表示如下

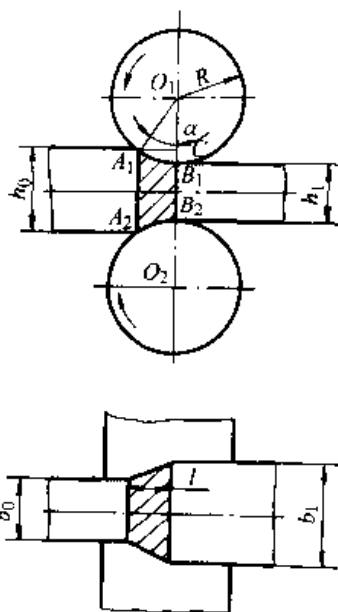


图 25.1-19 辊锻变形区

$$\left. \begin{aligned} \Delta h &= h_0 - h_1 \\ \Delta b &= b_1 - b_0 \\ \Delta l &= l_1 - l_0 \end{aligned} \right\}$$

式中 h_0 、 b_0 、 l_0 ——变形前坯料的高度、宽度和长度；

h_1 、 b_1 、 l_1 ——变形后毛坯的高度、宽度和长度。

绝对变形量与相应坯料原始尺寸的比值称为相对变形量，通常用百分数表示，有

$$\left. \begin{aligned} \text{相对压下量} \frac{\Delta h}{h_0} \times 100\% &= \frac{h_0 - h_1}{h_0} \times 100\% \\ \text{相对宽展量} \frac{\Delta b}{b_0} \times 100\% &= \frac{b_1 - b_0}{b_0} \times 100\% \\ \text{相对延伸量} \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% &= \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \end{aligned} \right\}$$

变形后的坯料尺寸与变形前相应的坯料尺寸之比称为变形系数，有

$$\left. \begin{aligned} \text{压下系数} \eta &= h_1/h_0 \\ \text{宽展系数} \beta &= b_1/b_0 \\ \text{延伸系数} \lambda &= l_1/l_0 \end{aligned} \right\}$$

咬入角：变形区所对应的锻辊圆心角 α 称为咬入角（见图 25.1-19）。

咬入弧：坯料与锻辊接触的弧 A_1B_1 称为咬入弧（见图 25.1-19）。

咬入弧的弦长：咬入弧所对应的弦长 A_1B_1 为咬入弧的弦长（见图 25.1-19）。

变形区长度：咬入弧的水平投影 l 为变形区长度（图 25.1-19）。根据图 25.1-19 中的几何关系可得

$$l = \overline{A_1C} = \sqrt{R^2 - \left(R - \frac{\Delta h}{2}\right)^2} = \sqrt{R\Delta h - \frac{1}{4}\Delta h^2}$$

式中 R —— 锻辊半径；
 Δh —— 绝对压下量。

当咬入角 $\alpha < 20^\circ$ 时， $\frac{\Delta h^2}{4}$ 与 Δh 相比，其值很小，可忽略不计，则

$$l = \sqrt{R\Delta h} \quad (25.1-8)$$

咬入角 α 可由下式表示

$$\cos\alpha = 1 - \frac{\Delta h}{D} \quad (25.1-9)$$

式中 D —— 锻辊直径。

当咬入角不大时，可近似地认为咬入弧与变形区长度相等，于是 α (rad) 可由下式近似确定：

$$\alpha \approx \frac{\sqrt{R\Delta h}}{R} = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}} \quad (25.1-10)$$

2.2 咬入条件

在辊锻过程中，坯料被锻辊咬入，分为两种典型形式：在坯料的端部实现自然咬入；在坯料中间实现中间咬入。

(1) 端部自然咬入

当坯料紧靠旋转的锻辊因受摩擦力而被咬入时称为端部自然咬入。

1) 实现开始咬入的条件 图 25.1-20a 所示为自然咬入时的开始咬入阶段。在坯料紧靠锻辊时，受到锻辊径向力 F 和摩擦力 T 的作用。 F 和 T 在水平方向的分力 F_x 和 T_x 分别为

$$F_x = F \sin\alpha$$

$$T_x = T \cos\alpha$$

显然， T_x 是力图将坯料拽入锻辊，而 F_x 则力图将坯料推出锻辊，要能实现咬入，必须

$$T_x > F_x$$

由于

$$T = \mu F$$

因而可以得出自然咬入的条件为

$$\mu > \tan\alpha$$

或

$$\tan\beta > \tan\alpha$$

即

$$\beta > \alpha$$

式中 μ —— 咬入时坯料与锻辊间的摩擦因数；

α —— 咬入角；

β —— 咬入时的摩擦角，又称为极限咬入角。

于是得知自然咬入的条件是咬入角必须小于锻辊与坯料间的摩擦角。

2) 稳定咬入过程的条件 坯料被锻辊咬入后，随着辊锻过程的进行，坯料向锻辊中心线方向移动，合力作用点发生变化，它所对应的中心角即咬入角也随之变化，即对咬入变得有利，当坯料到达锻辊中心线时，则咬入角降为 $\alpha/2$ （图 25.1-20b）。由此可见，在端部自然咬入的情况下，开始咬入坯料是较为困难的，必须符合咬入条件。但一经咬入后，便能维持辊锻过程的继续进行，即维持辊锻过程的条件已大为降低。

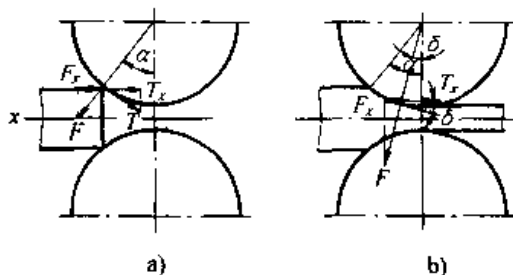


图 25.1-20 坯料咬入受力分析

a) 开始咬入 b) 已经咬入

当为强化轧制过程而增大压下量时，其咬入角有可能大于摩擦角，如采用中间咬入或强制送进的办法均可使咬入角增大，但不能无限增大，它要受到咬入后维持辊锻过程继续进行条件的限制，即辊锻过程中打滑条件的限制，即极限咬入角

$$\alpha_{\max} \leq 2\beta$$

但生产实践表明，由于轧入后摩擦因数有所降低，故当采用强制咬入或中间咬入而增大咬入角时，其稳定辊锻过程的极限咬入角也有所降低，约等于 (1.3~1.5) 倍轧入阶段的咬入角，即

$$\alpha_{\max} = (1.3 \sim 1.5)\beta \quad (25.1-11)$$

此处的 β 角为开始瞬时的摩擦角。

表 25.1-8 给出了生产实践中得到的各种不同情况下在端部自然咬入允许的最大咬入角。

(2) 中间咬入

前面所述的咬入形式为在坯料的端部实现的自然咬入，如图 25.1-21a 所示，这是轧制过程中的典型咬入方式。其送料方向为顺向送料，即

表 25.1-8 端部自然咬入时, 允许的最大咬入角

轧制条件	极限咬入角 $\alpha/ (^{\circ})$	轧制条件	极限咬入角 $\alpha/ (^{\circ})$
冷轧钢和其他金属时: 在有润滑剂的光滑辊上	3~4	镍 (1 100℃时) 和白铜 (在 950℃时)	22
无润滑剂的粗糙辊上	5~8	黄铜 H68 (在 800℃时)	21~24
热轧时:		型钢	22~24
钢板	18~22	铜 (在 900℃时)	27
铝 (在 350℃时)	20~22	型钢在表面有刻痕 (或焊纹) 的辊子上	27~34

坯料从轧机的一侧轧入, 另一侧轧出。此种咬入及送料方式在辊锻中应用不多, 辊锻中多采用中间咬入, 逆向送料的方式进行, 如图 25.1-21b 所示。所谓逆向送料, 是指坯料在辊锻机的一侧送进并在同一侧轧出。

辊锻时, 在坯料的中部实现咬入的方式称为中间咬入。

在中间咬入时, 是由辊锻模的突出部位直接压入坯料中间而实现咬入, 相当于机械式钳入。因此在咬入瞬间, 并不受摩擦条件的影响, 其咬入角可以很大。但咬入后要继续进行辊锻, 必须防止打滑现象发生。这就要受到稳定咬入条件, 即摩擦条件的限制, 即有

$$\alpha_z = (1.3 \sim 1.5) \alpha_d \quad (25.1-12)$$

式中 α_z ——中间咬入时的咬入角;

α_d ——端部自然咬入时的咬入角。

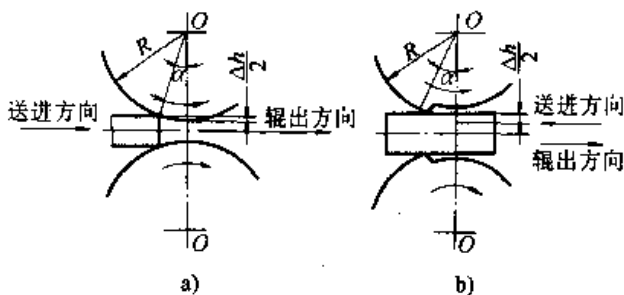


图 25.1-21 辊锻的两种送料方式

a) 顺向送进 b) 逆向送进

在坯料端部自然咬入时, 通常其最大咬入角 α_d 不超过 25° , 而中间咬入时, 根据实践资料, 其最大咬入角 α_z 可以增加至 $32^{\circ} \sim 37^{\circ}$ 。因此, 在中间咬入时, 其咬入条件大为改善。

2.3 延伸系数计算

辊锻变形的实质是坯料的延伸变形过程。坯

料在高度方向经锻辊压缩后, 横截面积减小, 长度增加。

辊锻延伸变形的程度通常以延伸系数 λ 表示, 即

$$\lambda = \frac{l_1}{l_0} = \frac{A_0}{A_1} \quad (25.1-13)$$

式中 l_0, l_1 ——变形前后的坯料的长度;

A_0, A_1 ——变形前后的坯料横截面积。

辊锻件如需进行多次辊锻时, 其逐次变形后的横截面积与相应的延伸系数之间存在着如下关系

$$A_0 = A_1 \lambda_1$$

$$A_1 = A_2 \lambda_2$$

.....

$$A_{(n-1)} = A_n \lambda_n$$

由上式可得

$$A_0 = A_n \lambda_n \lambda_{(n-1)} \cdots \lambda_1 \quad (25.1-14)$$

$$\lambda_1 \lambda_2 \cdots \lambda_{(n-1)} \lambda_n = \lambda_z = \frac{A_0}{A_n} \quad (25.1-15)$$

式中 λ_z ——总延伸系数, 等于各道变形延伸系数之积。各道次平均延伸系数为

$$\lambda_p^n = \lambda_z = \frac{A_0}{A_n}$$

$$\lambda_p = \sqrt[n]{\frac{A_0}{A_n}} = \sqrt[n]{\lambda_z} \quad (25.1-16)$$

延伸变形的影响因素:

辊锻过程中金属的延伸变形受到多种工艺因素如坯料的加热温度、相对位移面积、锻辊直径等的影响。

(1) 相对位移面积的影响

在辊锻变形计算时, 常以相对位移面积 $\frac{A_0}{A_n}$

表示其变形程度的大小。位移面积 A_0 是指在原始坯料横截面 A_0 上，在辊锻时被压缩下来的金属面积 (图 25.1-22)。随着相对位移面积的增加，延伸系数迅速增大。这是因为随着相对位移面积的增加，即被压下的金属量增加，因此使得

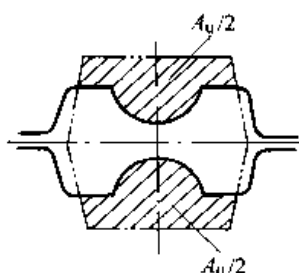


图 25.1-22 相对位移面积

坯料的延伸增加。相对位移面积是影响延伸变形的最重要因素。

(2) 锻辊直径的影响

在辊锻过程中，随着锻辊直径的改变，延伸系数是变化的。通常以 $q = \frac{D_0}{\sqrt{A_0}}$ 之值的变化来表征锻辊直径对延伸系数的影响。实践表明 (图 25.1-23)，随着 q 值的增加，延伸系数是降低的。这可作如下解释：如坯料尺寸不变，则随着锻辊直径的增加，将使变形区长度增加 ($l = \sqrt{R\Delta h}$)，使金属流动的纵向阻力增加，致使延伸变形减少。

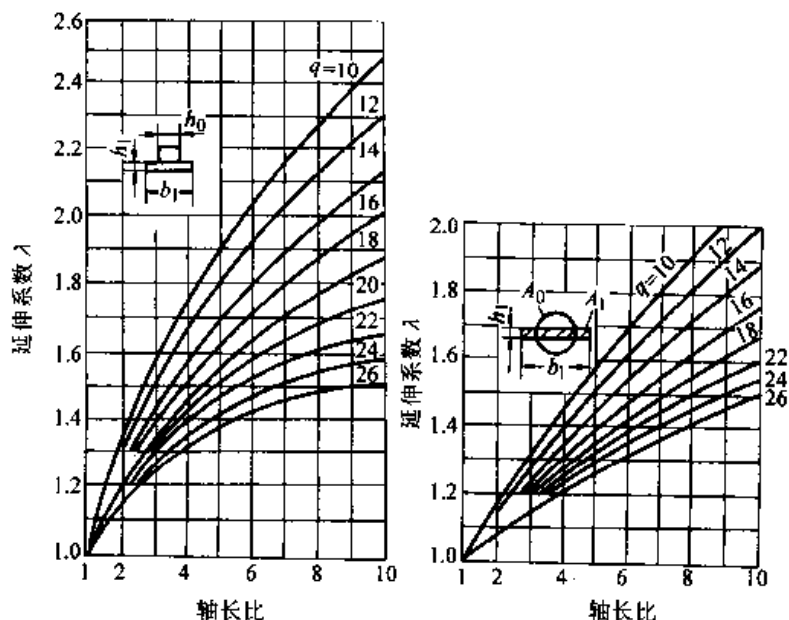


图 25.1-23 q 值对延伸系数的影响

(3) 工具及坯料截面形状的影响

在辊锻或轧制过程中，坯料的截面形状对延伸是有影响的，这是由于变形时产生的力学条件不同。在平辊轧制时，仅仅是接触摩擦阻碍宽展，由于原始坯料的截面形状不同，其影响程度也不同 (图 25.1-24)。在方形坯料辊锻时，其变形开始瞬间，摩擦力就阻碍展宽，而圆截面坯料辊锻时，在变形开始瞬间，模具对坯料仅施加压力，这时的宽展较大，而金属的延伸减小。在平辊上辊制方形和圆形截面坯料的延伸系数比较，见图 25.1-24。

工具形状不同时，其延伸系数是不同的。如采用的型槽系不同，辊锻时许用的延伸系数就不同。

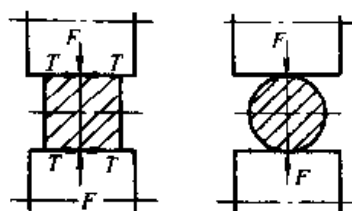


图 25.1-24 坯料形状对延伸的影响

(4) 接触摩擦条件的影响

实践证明，随着接触摩擦系数的增加，延伸系数是降低的。当模具的表面粗糙度不同时，其延伸系数有明显的差别 (图 25.1-25)。如辊锻时采用润滑剂，将使得摩擦系数降低，从而有利于延伸变形。

(5) 变形温度的影响

实践证明，随着变形温度的升高，延伸系数

是增加的。

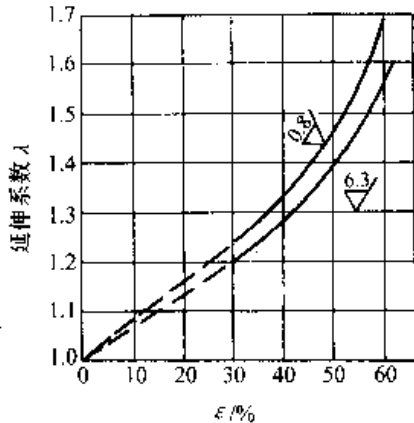


图 25.1-25 延伸系数与型槽粗糙度及相对压下量的关系

2.4 前滑的计算

(1) 前滑和后滑

坯料在轧制或辊锻时，在高度上受到压缩，在纵向获得延伸，而在横向产生宽展（图 25.1-26）。在纵向延伸时，实际上金属是向着变形区的入口和出口两个方向流动的，它与通常的锻造相似，也存在一个流动分界面。该分界面在轧制或辊锻时通常称为中性面或临界面，它和两辊中心联线的夹角 γ 称为中性角，它不是位于变形区中间，而是向出口端一侧偏移（图 25.1-26）。在中性面前边的区域——前滑区，金属质点相对

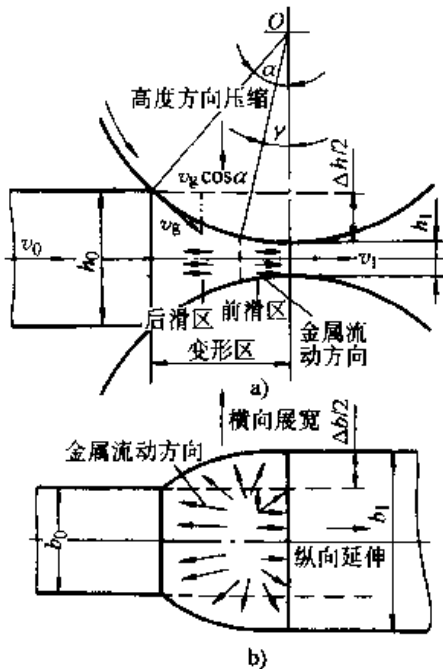


图 25.1-26 辊锻变形区中金属的流动方向

于辊辊向前滑动，因此金属的出口速度将大于辊线速度，此现象称为前滑；在中性面后边的区域——后滑区，金属质点相对辊辊向后滑动，因此坯料入口速度将小于辊辊水平运动速度，此现象称为后滑。

前滑值通常以下式表示

$$S = \frac{v_1 - v_R}{v_R} \times 100\%$$

式中 S ——金属的前滑值 (%)；
 v_R ——辊辊圆周的线速度；
 v_1 ——坯料在前滑区的速度。

(2) 前滑的计算

前滑的大小与轧制或辊锻过程中的多种因素有关。直至目前为止，尚很难说哪一个前滑公式能够反映所有工艺因素的影响，并取得准确的计算结果。因此，用公式计算出的前滑值，往往需经试验进行修正。下面介绍简单变形时的前滑公式。

芬克前滑公式（理论公式）

$$S = \left(\frac{R}{h} - \frac{1}{2} \right) \gamma^2 \quad (25.1-17)$$

如忽略 $\frac{1}{2} \gamma^2$ ，则得芬克公式的简化形式

$$S = \frac{R}{h_1} \gamma^2 \quad (25.1-18)$$

式中 R ——辊辊半径；
 h_1 ——坯料在变形区出口端的高度；
 γ ——中性角。按下式计算：

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2\beta} \right) \quad (25.1-19)$$

式中 α ——咬入角；
 β ——摩擦角。

芬克公式是没有考虑宽展因素影响的近似公式。

(3) 影响前滑的因素

在辊锻过程中，金属的前滑与多种工艺因素有关。如辊辊直径、变形温度、速度、接触摩擦条件、润滑、相对变形程度等，这些因素的变化均将引起金属前滑的变化。

1) 变形程度的影响 变形程度越大，即辊锻时坯料高度方向压下的金属越多，则纵向及横向流动的金属量也增加，即延伸和宽展增加。而延伸量越大，其前后滑的金属也越多。因此，随着变形程度的增加，金属的前滑值是增加的。

2) 摩擦因数的影响 实验表明, 随着摩擦因数的减少, 前滑是降低的。因此, 凡是影响摩擦因数变化的因素, 均将影响到前滑值的波动。以型槽表面粗糙度为例, 随着型槽表面粗糙度的提高, 由于接触摩擦因数的降低, 前滑值是降低的。

3) 工具及坯料形状对前滑的影响 一般说来, 凡是有利于限制宽展的工具和坯料形状, 均将有利于延伸和前滑。如在椭圆型槽内辊锻方形坯料, 较之辊锻圆形坯料的宽展变形为小, 故其延伸及前滑均较大。

4) 坯料温度对前滑的影响 坯料温度在700℃以下, 前滑随着温度的增加而增加, 而在700~1200℃范围内, 前滑则随着温度的升高而减少。加热温度对前滑影响的原因, 一般认为是加热温度的变化, 引起了坯料表面氧化层的变化, 从而引起了摩擦因数的改变, 进而导致金属前滑发生变化。

因此, 减少辊锻过程中温度的波动, 对稳定辊锻件的长度尺寸具有很大意义。

5) 锻辊直径对前滑影响 由芬克公式

(25.1-18) 可以明显看出, 随着锻辊直径的增大, 金属的前滑是增加的。

2.5 宽展的计算

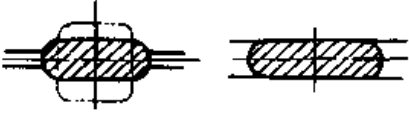
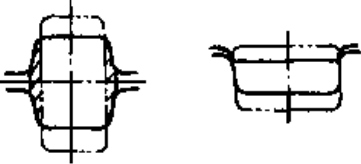
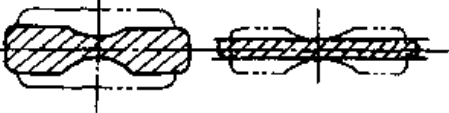
在辊锻过程中, 坯料在高度方向被压缩而移动下来的金属体积, 移向两个可能的方向, 即长度和宽度。移向纵向的体积增加工件的长度, 移向横向的体积增加工件的宽度——宽展。宽展的概念通常以绝对宽展 $\Delta b = b_1 - b_0$ 及相对宽展 $\Delta b/b_0$ 以及宽展变形系数 $\beta = b_1/b_0$ 表示坯料宽展尺寸的变化。

正确计算宽展对保证锻件宽度方向轮廓形状的几何精度具有重要意义。若计算宽展大于实际宽展, 则型槽充填不满; 若计算宽展小于实际宽展, 则型槽充填过满, 形成飞边。这两种情况均可能造成废品。

(1) 宽展变形的分类

辊锻时的宽展, 按其变形特点可分为三种类型: 自由宽展、限制宽展和强迫宽展 (见表 25.1-9)。

表 25.1-9 宽展变形的分类

宽展类型	简图	变形特点
自由宽展		金属质点横向移动时, 具有向垂直轧制方向自由移动的可能性, 除受接触摩擦影响外, 不受外界其他阻碍。这种变形方式所得到的坯料宽度尺寸的增加, 称为自由宽展。自由宽展发生于变形比较均匀的条件下, 如平辊轧制矩形断面坯料以及在宽度有很大富裕的扁平型槽内辊锻等
限制宽展		在凹形型槽内辊锻时, 金属质点横向流动受到型槽侧壁的阻碍, 使宽展受到限制, 金属横向移动体积减少, 所得宽展量较小
强迫宽展		在具有凸形部分的型槽中及在有强烈地局部压缩的条件下辊锻时, 金属质点横向移动受到强烈地推动, 使金属横向尺寸增加较多, 这种变形方式下所得到的宽展称为强迫宽展。在强迫宽展条件下计算宽展值是十分困难的, 一般多采用经验办法确定

在实际生产中, 各种宽展形式往往不是单独存在。由于受到型槽形状和变形条件的限制, 常

常在同一型槽的变形过程中, 两种宽展形式同时发生。例如在辊锻连杆锻件时, 连杆大头部分的

辊锻 (图 25.1-27), 在坯料的中间部分受到强烈的局部压缩, 推动金属横向展宽, 这部分变形特点属于强迫宽展, 而由于型槽侧壁的存在又限制了金属的宽展。

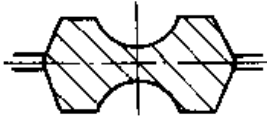


图 25.1-27 连杆大头部分辊锻

(2) 宽展计算法

坯料在辊锻型槽中的变形是很复杂的, 为了简化其变形计算, 现多采用在平辊上轧制矩形坯料的方法来计算其在型槽中的变形。下面介绍用相应矩形法计算宽展。

将具有截面积为 A , 轴长比为 $\frac{b}{h}$ 的简单截面转换成矩形截面来计算, 此矩形截面积和该坯料截面积相等, 其轴长比也和该坯料截面的轴长比相等, 此矩形称为该坯料的相应矩形。

$$\text{即有 } \left. \begin{aligned} A' &= A \\ \frac{b'}{h'} &= \frac{b}{h} \end{aligned} \right\} \quad (25.1-20)$$

式中 A' 、 b'/h' ——相应矩形的截面积和轴长比。

图 25.1-28 所示为坯料截面与相应矩形。

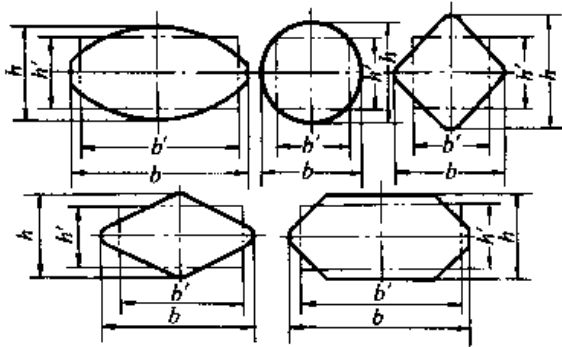


图 25.1-28 坯料截面及其相应矩形

由上式可以导出计算相应矩形高、宽尺寸的公式

$$\text{由 } A' = b'h' = h'h' \left(\frac{b}{h} \right) = h'^2 \left(\frac{b}{h} \right)$$

所以

$$\left. \begin{aligned} h' &= \sqrt{\frac{A}{b/h}} \\ b' &= h' \left(\frac{b}{h} \right) \end{aligned} \right\} \quad (25.1-21)$$

按这个方法将型槽中的变形计算, 转换成在平辊上轧制矩形坯料时的计算, 然后根据所选型

槽系换算回去 (参看 4 “制坯辊锻模具设计”一节)。

用在平辊上轧制矩形坯料时所计算出的宽展值与实际型槽中的宽展值是有差别的。在椭圆、方形、菱形以及六角形等型槽中辊锻时, 其延伸系数远较在平辊上轧制相应矩形坯料时为大, 因为型槽侧壁的作用, 使金属横向流动受到限制。故在采用相应矩形计算宽展时, 必须加以修正。宽展修正系数为

$$K_b = \frac{\left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'} \right)}{\left(\frac{\Delta b}{\Delta h} \right)_p} \quad (25.1-22)$$

式中 $\left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'} \right)$ ——在型槽中辊锻时, 换算成相应矩形后的宽展系数;

$\left(\frac{\Delta b}{\Delta h} \right)_p$ ——与相应矩形尺寸相同的矩形坯料在平辊上轧制时的宽展系数。

因此, 为了计算相应矩形的宽展值, 必须求出相同的矩形坯料在平辊轧制时的宽展值并乘以宽展修正系数, 即

$$\left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'} \right) = K_b \left(\frac{\Delta b}{\Delta h} \right)_p \quad (25.1-23)$$

宽展修正系数取决于被采用的型槽系、型槽的轴长比及金属在宽度方向的型槽充满程度。常用型槽系宽展修正系数的经验公式见表 25.1-10。在型槽充满程度 $1 > \delta > 0.7$ 及轴长比 a_0 及 a_1 等于 1.5~4.0 范围内, 这些经验公式能取得较准确的结果。

在平辊上轧制矩形坯料的宽展计算公式是很多的, 下面介绍塔尔诺夫斯基 (И. Я. Тарновский) 宽展计算图表 (图 25.1-29) 的使用方法。

宽展系数 $\left(\frac{\Delta b}{\Delta h} \right)_p$ 是下列因素的函数, 即

$$\left(\frac{\Delta b}{\Delta h} \right)_p = \phi \left(\frac{h_p}{l}, \frac{b_p}{l}, \mu \right)$$

式中 $h_p = \frac{h_0 + h_1}{2}$ ——坯料在变形区的平均高度;

$b_p = \frac{b_0 + b_1}{2} = b_0 + \frac{\Delta b}{2}$ ——变形区平均宽度;

$l = \sqrt{R_g \Delta h}$ ——变形区长度;

R_g ——锻辊工作半径。

表 25.1-10 宽展修正系数

型槽和坯料的形状	K_b 经验公式	公式中符号的意义
在椭圆型槽中辊锻方形坯料	$K_b = 1 - 0.8\delta(\delta - 0.1a_1)$	$\delta = \frac{b_d}{b_k}$ ——型槽在宽度方向的充满程度 b_k ——型槽理论宽度 b_d ——在该道型槽中轧出后的坯料宽度
在六角型槽中辊锻方坯	$K_b = 1 - 0.7\delta(\delta - 0.1a_1)$	
在菱形型槽中辊锻方坯	$K_b = 1 - 0.5\delta(\delta - 0.1a_1)$	$a_0 = \frac{b_0}{h_0}$ ——辊锻前坯料的轴长比 $a_1 = \frac{b_1}{h_1}$ ——辊锻后坯料的轴长比
在椭圆型槽中辊锻圆坯	$K_b = 1 - 0.6\delta(\delta - 0.1a_1)$	
在方形型槽中辊锻菱形坯料	$K_b = 1 - 0.3(1 - 0.1a_0)$	φ ——箱形型槽侧壁斜角
在方形槽中辊锻六角形坯料	$K_b = 1 - 0.5(1 - 0.1a_0)$	
在箱形型槽中辊锻矩形坯料 $\tan\varphi = 0.05 \sim 0.15$ 时 $\tan\varphi = 0.15 \sim 0.30$ 时	$K_b = 0.6 \sim 0.7$ $K_b = 0.7 \sim 0.8$	
在圆形型槽中辊锻椭圆坯料	$K_b = 1.0$	
在平椭圆槽中辊锻圆形坯料	$K_b = 1.0$	
在菱形型槽中辊锻菱形坯料	$K_b = 1.0$	

塔尔诺夫斯基在确定了上式函数关系的基础上，建立了在平辊上轧制（辊锻）矩形件时的宽展系数 $\left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)_p$ 计算图表(图 25.1-29)。

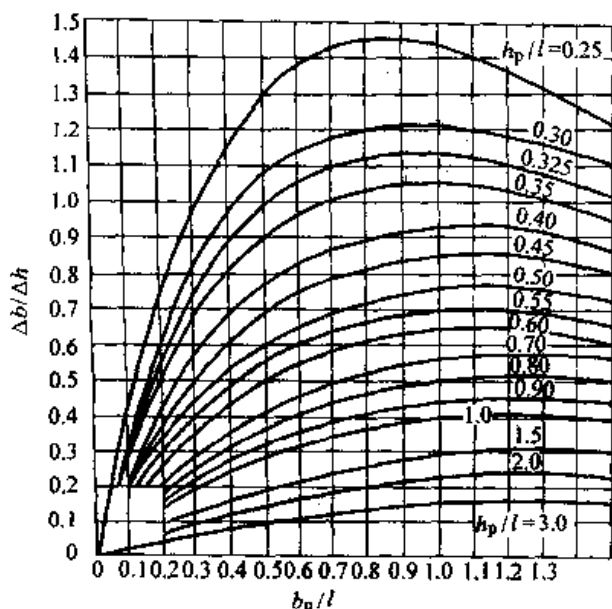


图 25.1-29 在平辊上轧制或辊锻矩形件时的宽展计算图表

使用这一图表时，由于变形区平均宽度 b_p 中包含有未知量 Δb 所以应先假设一个 $\frac{\Delta b}{\Delta h}$ 值，一般设其在 0.4~0.7，然后初步求得一个 Δb 值。在按图 25.1-29 查取 $\left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)_p$ 以后，必须进

行 1~2 次重算，以求得 $\left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)_p$ 宽展系数 $\left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)_p$ 的准确值。

例：在平辊模上辊锻 $h_0 = b_0 = 50 \text{ mm}$ 的方形坯料，辊锻后的坯料高度 $h_1 = 20 \text{ mm}$ ，锻辊中心距 $D_0 = 325 \text{ mm}$ ，试计算坯料辊后宽度。

坯料的压下量为 $\Delta h = h_0 - h_1 = 50 \text{ mm} - 20 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$ 预取宽展系数 $\left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)_p = 0.5$ ，得

$$\Delta b = \left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)_p \Delta h = 0.5 \times 30 \text{ mm} = 15 \text{ mm}$$

h_p 、 b_p 和 l 的决定

$$h_p = \frac{1}{2}(h_0 + h_1) = \frac{1}{2}(50 + 20) \text{ mm} = 35 \text{ mm}$$

$$b_p = b_0 + \frac{1}{2}\Delta b = 50 \text{ mm} + \frac{1}{2} \times 15 \text{ mm} = 57.5 \text{ mm}$$

$$R_g = \frac{1}{2}(D_0 - h_1) = \frac{1}{2}(325 - 20) \text{ mm} = 152.5 \text{ mm}$$

$$l = \sqrt{\Delta h R_g} = \sqrt{30 \times 152.5} \text{ mm} = 67.7 \text{ mm}$$

$$\frac{h_p}{l} = \frac{35}{67.7} = 0.517$$

$$\frac{b_p}{l} = \frac{57.5}{67.7} = 0.85$$

按图 25.1-29 查得 $\left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)_p = 0.72$

$$\Delta b = 0.72 \times 30 = 21.6 \text{ mm}$$

下面再按 $\Delta b = 21.6 \text{ mm}$ ，进行重新计算。

$$b_p = b_0 + \frac{\Delta b}{2} = 50 \text{ mm} + \frac{21.6}{2} \text{ mm} = 60.8 \text{ mm}$$

$$\frac{b_p}{l} = \frac{60.8}{67.7} = 0.90$$

$\frac{h_p}{l}$ 值无变化。

按图 25.1-29 查得 $\left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)_p = 0.73$

故 $\Delta b = 0.73 \times 30 \text{ mm} = 21.9 \text{ mm}$ ，即轧制后的坯料宽度为

$$b_0 + \Delta b_0 = 50 \text{ mm} + 21.9 \text{ mm} = 71.9 \text{ mm}$$

(3) 影响宽展变形的因素

轧制或辊锻时的横变形，受到各种工艺因素的影响，如压下量、锻辊直径、摩擦系数、坯料原始宽度等等。

1) 压下量对宽展的影响 压下量越大，移向纵向和横向的金属体积越多，相应的宽展也越大。

2) 坯料宽度对宽展的影响 实验表明，随着坯料宽度的增加，相对宽展减少，见图 25.1-30。

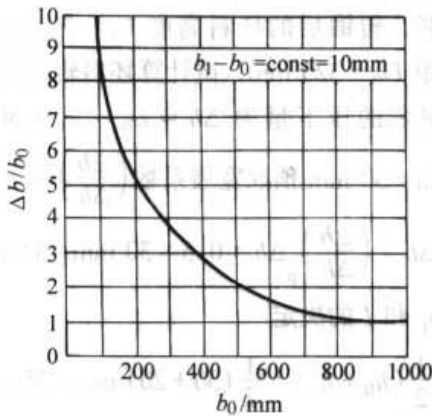


图 25.1-30 坯料宽度对宽展的影响

3) 摩擦因数的影响 随着摩擦因数的增加，延伸减小，宽展增加。

4) 辊锻道次对宽展的影响 同一坯料辊锻道次越少，宽展越大，辊锻道次越多，宽展越小。其原因在于变形区水平投影宽度和长度之比 $b/\sqrt{R\Delta h}$ 的变化所致。在道次少时，每道次的压下量 Δh 较大，则 $\sqrt{R\Delta h}$ 较大， $b/\sqrt{R\Delta h}$ 较小，有利于横向变形，宽展较大。当道次多时，每道的压下量 Δh 较小，则 $b/\sqrt{R\Delta h}$ 较大，有利于纵向变形，宽展较小。

3 辊锻模具结构与固定方式

3.1 辊锻模具结构与固定方式

辊锻模通常是做成扇形模块，安装固定于锻辊上，辊锻模的外形结构与安装固定方法有关。在辊锻过程中，模具直接和锻件接触，承受辊锻力并传递给锻辊，此外模具磨损后需要经常修复和更换，故要求模具固定应牢固可靠，易于拆装，结构要简单紧凑，以便充分利用锻辊辊身宽度。模具固定好坏对其使用寿命以及辊锻机的使用维护、安全生产和生产率都有一定影响。模具结构可按其在锻辊上的固定方式分为三种类型。

(1) 采用压环固定的扇形模块

此种模具侧面制成带有凸环和凹槽（图 25.1-31），和固定模具用的压环相配合。如图 25.1-32 所示为用压环固定扇形模具并作轴向调整的结构。扇形模块 3 装在锻辊 9 上，圆周方向由平键 8 定位，模具左侧靠在定位环 2 上，右侧靠在压环 4 上，拧紧螺钉 5，压环 4 即把模具固紧。定位环 2 用锁紧螺母 1 锁紧，故模具固定可靠。



图 25.1-31 用压环固定的扇形模块

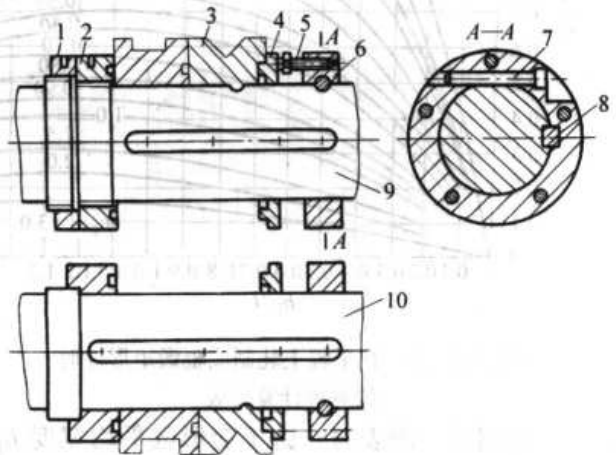


图 25.1-32 扇形模用压环固定

- 1—锁紧螺母 2—定位环螺母 3—扇形模块
- 4—压环 5—螺钉 6—挡环 7—定位销
- 8—平键 9—上锻辊 10—下锻辊

压环固定的结构尤其适用于固定多副模具。根据要装模具的数量，将挡环 6 移至锻辊 9 上的适当位置即可。移动挡环前应先取出定位销子。这种固定模具的方式具有结构简单、固定可靠及拆装方便等优点，故在实际中使用较多。但当辊锻的轴向力太大时不宜采用。

(2) 用压块固定的扇形模具

此种模具其侧面制成 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 的斜度 (图 25.1-33)，结构简单易于制造。



图 25.1-33 用压块固定的扇形模具

锄头专用辊锻机上现采用此种结构。

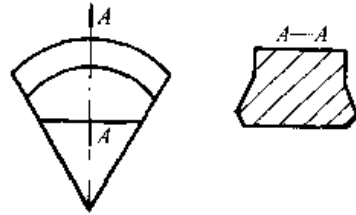


图 25.1-35 平底扇形模块

3.2 型槽类型

按型槽结构特点可分为三种类型：开式型槽，闭式型槽，半开式型槽。

(1) 开式型槽

型槽刻在两个辊锻模上，其上下辊锻造的分

在其闭式一侧，有利于限制由于不均匀变形而引起的水平方向弯曲，和在该侧取得精确的截面几何形状。在型槽的开式一侧有利于容纳多余金属，减少能量消耗。

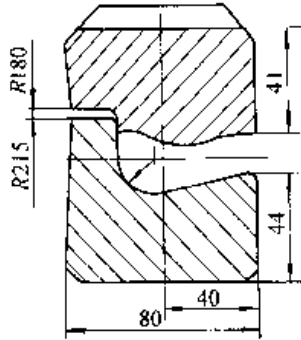


图 25.1-37 半开式型槽

在制坯辊锻工艺中，多采用开式型槽，在单道次辊锻时，也有采用闭式型槽的。成形辊锻时，部分锻件如叶片辊锻多采用闭式型槽，在其制坯工步也采用半开式型槽。

3.3 型槽的中性线

在辊锻过程中，上下辊锻模作用于坯料截面上的力，使作用于某一水平线的力矩相等，此直线称为型槽的中性线。

简单截面的型槽如圆、椭圆、方形和菱形等的中性线，与这些截面的对称轴相重合（图 25.1-38）。

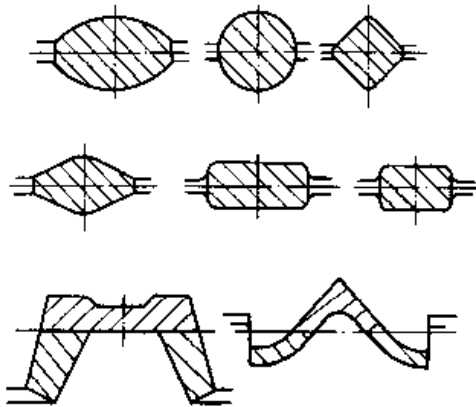


图 25.1-38 型槽的中性线

对于非对称的，截面形状比较复杂的型槽，其中性线常用重心法确定。通过型槽截面的重心划水平线，即为型槽的中性线。可用计算法确定重心，也可用吊线法确定重心。所谓吊线法是用硬纸板剪出型槽样板，用线拴起使其平衡，找出截面的重心位置。

3.4 轧制压力的概念及型槽在锻辊上的配置原则

(1) 轧制压力的概念

一个锻辊辊径大于另外一个锻辊辊径的毫米数称为“轧制压力”。转数相同而工作直径不同的--对锻辊，会造成轧出的工件向锻辊工作直径小的一侧弯曲（图 25.1-39）。这是因为两辊转数相同时，大辊的圆周速度比小辊大，这就使得与大辊接触的金属层走得快，与小辊接触的金属层走得慢。而工件又是一个整体所以导致工件向小锻辊方向弯曲。当上辊直径大于下辊直径时，工件向下弯，好象有上压力的作用似的，所以称此为“上压力轧制”。反之，下辊直径大于上辊直径时，称为“下压力轧制”。其表示方法常用两辊直径之差的毫米数表示。即

$$\text{上压力} \quad m_s = D_s - D_x$$

$$\text{下压力} \quad m_x = D_x - D_s$$

式中 D_s —— 上辊直径；

D_x —— 下辊直径。

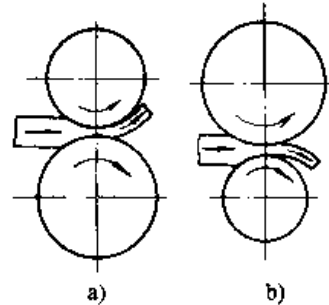


图 25.1-39 具有“轧制压力”的轧制情况

a) 下压力 b) 上压力

在轧制生产中，采用上下压力的理由为：工件从孔型中轧制时，理想的情况是平直的，但是，偶然的原因如工件加热不均匀，轧机调整不好等，工件轧出时会发生某种弯曲，并且弯曲方向不定，难于控制。为此，通过有意地增加某一锻辊的辊径，便实现了对工件出口弯曲方向的控制。例如在型钢轧机和小型轧机上都采用上压力，使工件轧出时经常贴着下卫板，以保持工件直线轧出。在辊锻过程中，有时也必须采用“轧制压力”。

(2) 型槽在锻辊上的配置原则

两个锻辊轴心线间距离的等分线叫锻辊中线。与型槽中性线相重合的直线，亦即是布置型

槽的直线称为轧制线。为了使两锻辊对金属能保证同样的作用，型槽位置的布置应使锻辊中线与轧制线相重合。当用上压力或下压力时，即两辊锻模的直径不相等时，则轧制线应该相应地在锻辊中线的上方或下方（图 25.1-40）。

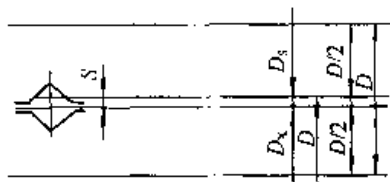


图 25.1-40 采用上压力时轧制线的位置
D—锻辊原有直径 D₁、D₂—具有上压力后的上下锻辊直径

当采用上压力 m_s 轧制时，即 $m_s = D_1 - D_2$ ，轧制线和锻辊中线间的距离 S 为

$$S = \frac{D}{2} - \frac{D_2}{2}$$

因为 $D_2 = D - \frac{m_s}{2}$

故 $S = \frac{m_s}{4}$

式中 D ——锻辊原有直径。

型槽沿锻辊轴向的布置，一般可按工艺顺序进行排布，第一道型槽应靠近加热炉（图 25.1-41），这样，毛坯从一个型槽移至另一个型槽的距离最短，便于操作，节约辅助时间，提高生产率。

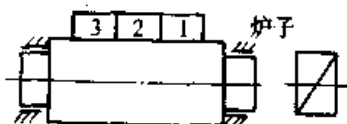


图 25.1-41 型槽沿锻辊轴向的布置

但当所辊毛坯某道工序的辊锻力很大时（达到或接近辊锻机许用的最大辊锻力），则应把需要最大辊锻力的型槽布置在锻辊中间，其余型槽布置在它的两边。这样，当进行这道次辊锻时，辊锻机两机架受力较均衡，而不致于使其中一个受力过大，另一机架受力较小。

4 制坯辊锻模具设计

制坯辊锻的任务是采用辊锻工艺的方法锻制供模锻用的毛坯。在生产中辊锻机常与热模锻压力机、电液锤、气动螺旋锤、模锻锤、或摩擦压力机等各种锻压设备组成模锻机组，辊锻机承担模锻前的制坯任务。采用辊锻工艺为模锻制坯具

有效率高，质量好，劳动条件好等优点。

4.1 辊锻毛坯图设计

制坯辊锻工艺设计的第一项任务是设计辊锻毛坯图。设计时，首先是根据锻件图绘出截面图和计算毛坯图。所谓计算毛坯是指假想的具有圆形（或方形）横截面的坯料，其上各横截面积应等于相应长度上锻件截面积和飞边截面积之和。计算毛坯的形状反映了沿锻件长度上金属分布的情况。模锻前合理的毛坯形状，应该是接近计算毛坯的形状，因此辊锻毛坯的设计也同样是应该以计算毛坯的尺寸和形状为基础。

计算毛坯的横截面积 A

$$A = A_d + 2KA_f \quad (25.1-24)$$

式中 A_d ——锻件横截面积；

A_f ——飞边横截面积；

K ——飞边槽充满系数（ K 值根据所采用的模锻设备选取。由于辊锻时所得的毛坯尺寸比较稳定， K 值可取得低些）。

绘出锻件的截面图后，便可在锻件截面图的基础上设计辊锻毛坯图。在设计时要注意以下几个问题：

1) 按锻件长度上截面积大小的不同，划分出几个特征段（见图 25.1-42），如连杆锻件的杆部区段、头部区段。

2) 为了简化模具结构和易于计算，将截面图上的曲线用相应的直线代替（见图 25.1-42）。

3) 辊锻毛坯的端部区段长度（图 25.1-42 中毛坯的大头和小头部分长度），在一般情况下，应比锻件相应区段长度取得稍短一些，以利于在模锻时易于将毛坯放于锻模中，同时可以避免端部出现折叠的缺陷。辊锻毛坯中间部分长度应取得和锻件相同。

各特征段之间相联接的区域，应圆滑过渡，否则将易于在辊锻及其后的模锻工步中产生折叠。此过渡区域一般划入截面较大的特征段内，过渡区段的斜度一般取 $45^\circ \sim 60^\circ$ 。其区段长度为

$$l'_x = (0.5 \sim 0.86)(\sqrt{A_0} - \sqrt{A'}) \quad (25.1-25)$$

式中 A_0 、 A' ——过渡区段的两个特征截面积。

4) 原始毛坯尺寸是按锻件的最大截面选取的，这有两种可能的情况：

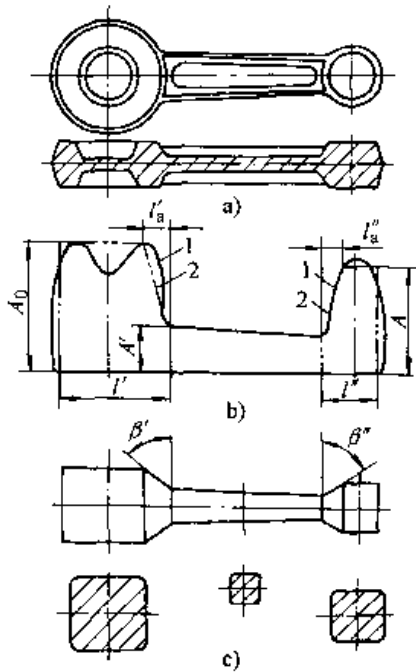


图 25.1-42 辊锻毛坯设计

a) 锻件图 b) 截面图 c) 辊锻毛坯图

① 最大截面的区段 A 位于坯料的端部，是毛坯的头部，如图 25.1-43a、25.1-43c、25.1-43d 所示。这个区段在辊锻时不变形，毛坯尺寸就按此头部选择。圆形原始毛坯的直径按 $d_0 = 1.13 \sqrt{A_0}$ 确定，而方形原始的边长按 $C_0 = \sqrt{A_0}$ 确定。计算出 d_0 、 C_0 后，按相近的标准钢材选定原始毛坯尺寸。在重新计算已选定的原始毛坯截面积后，按体积不变定律对头部长度重新计算确定。

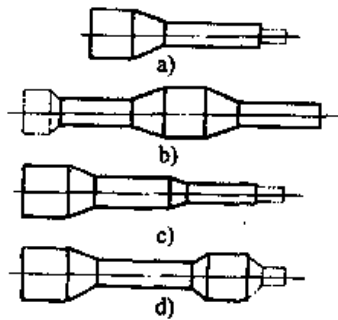


图 25.1-43 辊锻毛坯的几种典型形式

(图中双点画线表示夹钳料头)

根据辊锻时夹钳夹持坯料的条件，位于端部供夹持用的坯料长度不得小于该部分边长或直径的 1/2。在坯料端部不变形的情况下，可利用它作为辊锻时的夹持部位，但其长度也必须满足上述夹持条件。

② 不变形区段 A 位于毛坯的中间，如图

25.1-43b 所示，此时可能有两种辊锻方案：第一种方案是掉头辊，辊完这一端，再辊另一端。第二种方案是在坯料的一端专门留有钳口位置，顺序进行辊锻而无需掉头。在比较这两种方案时可以看出：第一种方案节省金属，但需掉头，劳动强度大；第二种方案不需掉头，劳动强度小，但浪费金属。

原始毛坯体积 V_0 按锻件截面图计算。原始坯料长度按下式计算

$$l_0 = \frac{V_0}{A_0} K_y \quad (25.1-26)$$

式中 K_y —— 烧损系数。

5) 锤上模锻时，辊锻毛坯通常必须留有夹钳位置。在这种情况下，毛坯钳口有两种形式。第一种形式的夹钳料头是利用坯料不变形的端部，同时它也作为辊锻时的夹持部位。第二种形式的夹钳料头是在辊锻的最后阶段辊制。夹钳料头的形状可以是圆形、方形、矩形或椭圆形的，这取决于型槽系，并且在夹钳料头区段允许有侧飞边。

4.2 辊锻型槽系选择

(1) 各辊锻型槽系变形特点分析

制坯辊锻常用的型槽系有：椭圆—方，椭圆—圆，菱—方，六角—方，箱—矩形等 (图 25.1-44)。它们的变形特点及优缺点见表 25.1-11。

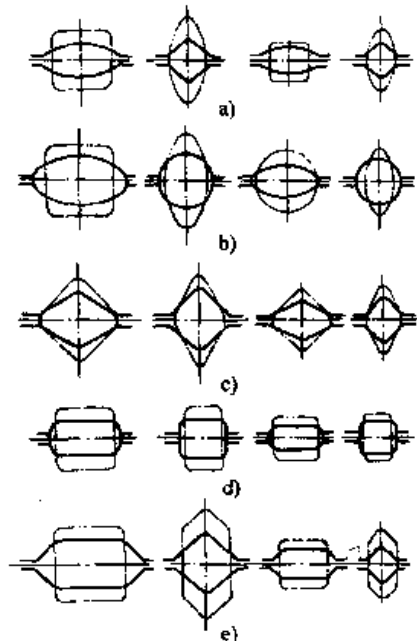


图 25.1-44 常用型槽系

a) 椭圆—方型槽系 b) 椭圆—圆型槽系
c) 菱—方型槽系 d) 矩形 (箱形) 型槽系
e) 六角—方型槽系

表 25.1-11 制坯辊锻常用型槽系变形特点

型槽系	优点	缺点
椭圆—方型槽系	1) 坯料在椭圆—方型槽系中变形时, 金属的四面均受到压缩, 坯料角部经常变换位置, 变形金属的组织性能均匀 2) 延伸系数大。在椭圆型槽内的延伸系数可以达到 2, 在方形型槽内延伸系数可达 1.8 3) 椭圆截面坯料在方形型槽中与方形截面在椭圆型槽中辊锻的稳定性较好	该型槽系的主要缺点是沿型槽宽度变形分布不均匀, 引起了型槽磨损的不均匀。如椭圆型槽中对应坯料棱角的部分变形最大, 磨损也最快
椭圆—圆型槽系	1) 型槽周边皆由弧线构成, 因此能使坯料周边和截面形状平稳地转变, 所以能有效的防止在局部区域呈现局部应力 2) 型槽没有尖角, 坯料截面能均匀地冷却, 在辊锻时不易产生裂纹, 能得到良好的表面 3) 适于辊制塑性较低的金属坯料	1) 允许的延伸系数小, 一般为 1.4~1.5 2) 沿型槽宽度上变形分布很不均匀 3) 椭圆坯料在圆形型槽中的稳定性不好, 往往需要导板
菱—方型槽系	1) 能使坯料得到准确的方形截面 2) 沿型槽宽度变形分布较为均匀 3) 允许的延伸系数较大, 一般可在 1.4~1.8 范围内选取 4) 在辊锻时稳定性较好	此型槽系的缺点为: 金属只能在彼此垂直的两个方向受压缩, 因此截面的角隅, 在整个辊锻过程中, 都由同一部分金属形成, 易于在此处产生缺陷
矩形(箱形)型槽系	1) 坯料在整个截面宽度上变形均匀 2) 与在平辊模辊锻时比较, 较高的矩形坯料在箱形型槽内辊锻时, 不易发生歪扭 3) 模具的切槽较浅	1) 不能从箱形(矩形)系型槽内得出方形和矩形的精确几何图形 2) 金属只能在两个方向受到压缩
六角—方型槽系	1) 坯料多向受压, 有利于提高金属的组织与性能 2) 在坯料宽度上变形均匀, 此是优于椭圆—方型槽系变形之处 3) 辊锻过程中稳定性较好	

(2) 坯料在型槽中的稳定性

坯料在型槽中的稳定性问题, 是关系到辊锻过程能否正常进行的重要问题。影响辊锻过程中坯料在型槽中的稳定性的因素有: 型槽的截面形状, 被辊制坯料的截面形状, 轴长比的大小以及辊锻模的制造安装精度等。

型槽形状和坯料截面形状的相互配合关系不同, 其稳定性也不同, 例如椭圆截面坯料进入方形型槽就较之进入圆形型槽的稳定性为好(图 25.1-45)。椭圆—方, 六角—方型槽系具有较好的稳定性, 而椭圆—椭圆, 菱—菱型槽系稳定性则较差。

坯料截面的轴长比 $\frac{b}{h}$ (图 25.1-46) 对稳定

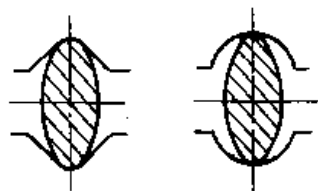


图 25.1-45 椭圆截面坯料在方形和圆形型槽中的稳定性

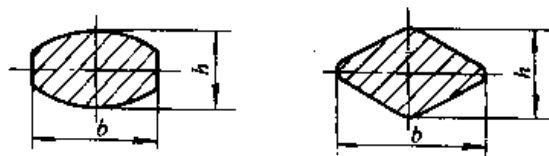


图 25.1-46 坯料截面的轴长比

性影响很大。送入型槽中的坯料的轴长比越大，变形量就越大，但稳定性也越差，因此，欲增大

变形量，往往要受到稳定性条件，即极限轴长比的限制。常用型槽系极限轴长比见表 25.1-12。

表 25.1-12 常用型槽系许用的坯料极限轴长比

坯料形状与型槽形状	许用的极限轴长比	备注	坯料形状与型槽形状	许用的极限轴长比	备注
椭圆坯料进方形型槽	5.0		菱形坯料进菱形型槽	2.5	
椭圆坯料进圆形型槽	3.5		矩形坯料进箱形型槽	2.0	无夹持
椭圆坯料进椭圆型槽	2.5		矩形坯料进箱形型槽	2.5	有夹持

(3) 辊锻型槽系的选择

可供制坯辊锻选用的型槽系方案见图 25.1-47。

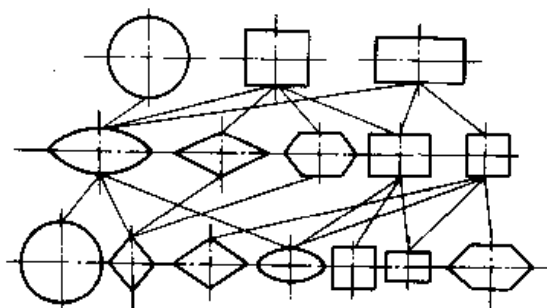


图 25.1-47 辊锻型槽系方案图

在选择辊锻型槽系时要考虑以下原则：

1) 锻件模锻对辊锻毛坯几何形状的要求。在锻件模锻时，从有利于模锻成形出发，往往对毛坯截面几何形状有一定要求。在选择辊锻型槽系时，这一因素必须加以考虑。如模锻要求毛坯具有椭圆形截面，则在辊锻时必须考虑选用“椭圆一方”或“椭圆一圆”型槽系。有时为了使坯料形状合于模锻的要求，在最后一道型槽中，可以考虑采用具有限制展览或带有飞边槽的型槽。

2) 辊锻道次。根据延伸系数值来确定是选用单型槽辊锻还是多型槽辊锻。在多型槽辊锻时，在每辊完一道移向下型槽时，往往需翻转 90°或 45°。

3) 要考虑原始毛坯的几何形状（方形、圆形或矩形等）。

4.3 辊锻道次的确定

根据辊锻件图先计算出总延伸系数 λ_2 ，即

$$\lambda_2 = \frac{A_0}{A_n}$$

式中 A_0 ——原始坯料截面积；

A_n ——辊锻后坯料截面积。

辊锻道次按下式计算

$$n = \frac{\lg \lambda_2}{\lg \lambda_p} \quad (25.1-27)$$

式中 λ_p ——平均延伸系数，通常在 $\lambda_p = 1.4 \sim 1.6$ 范围内选取。

4.4 辊锻毛坯各道截面尺寸计算

在逐道进行型槽计算时，都是按相应矩形法计算相应矩形的变形和求出各道次辊锻后的相应矩形尺寸，最后再换算为各型槽截面的尺寸。变形计算的任务是计算每一道次中的压下和宽度变形，从而求出每一道次后的坯料截面尺寸。按型槽计算的顺序又可以分为两种方法：正算法和逆算法。所谓正算法是根据原始毛坯尺寸，依辊锻顺序从前往后逐道进行计算；而逆算法，是根据要求最后辊锻出的毛坯截面尺寸，逆辊锻顺序由后往前逐道进行计算。

(1) 单道次辊锻

在单道次辊锻时，一般已知原始毛坯尺寸和辊锻后毛坯的截面积。按下列顺序计算：

1) 按图 25.1-47 和表 25.1-11 选择型槽系。
2) 按式 (25.1-20) 将原始坯料换算成相应矩形尺寸。

3) 按式 (25.1-28) 计算压下量。

$$\Delta h' = \frac{\sqrt{\left[b_0' - h_0' \left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'} \right) \right]^2 + 4 \left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'} \right) (F_0 - F_1) - \left[b_0' - h_0' \left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'} \right) \right]}{2 \left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'} \right)} \quad (25.1-28)$$

4) 在计算出 $\Delta h'$ 及相应矩形 h_1' 、 b_1' 后，按在模锻中的稳定性条件检查辊后坯料的轴长比。

在模锻时,当坯料立放时,其轴长比 a_1 应小于 2.5。

例1 由 $d_0 = 50.8 \text{ mm}$ (热尺寸) 的圆形坯料,经在椭圆型槽中进行一道辗锻,辗后坯料横截面积为 $A_1 = 1\,270 \text{ mm}^2$,并已知椭圆型槽的充满程度为 $\delta = 0.8$,锻辊中心距 $a = 270 \text{ mm}$,试计算辗锻后毛坯的相应矩形尺寸。

1) 将圆形坯料尺寸换算为相应矩形尺寸 (式 25.1-20)

$$A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} = 0.785 \times 50.8^2 \text{ mm}^2 = 2\,025 \text{ mm}^2$$

$$h_0' = b_0' = \sqrt{A_0} = \sqrt{2\,025} \text{ mm} = 45 \text{ mm}$$

2) 预取 $\left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'}\right) = 0.5$ 按式 (25.1-28) 计算压下量

$$\Delta h' = \frac{\sqrt{(45 - 45 \times 0.5)^2 + 4 \times 0.5(2\,025 - 1\,270)} - (45 - 45 \times 0.5)}{2 \times 0.5} \text{ mm} = 22.4 \text{ mm}$$

3) 计算辗锻后的相应矩形尺寸

$$h_1' = h_0' - \Delta h' = 45 \text{ mm} - 22.4 \text{ mm} = 22.6 \text{ mm}$$

$$\Delta b' = \Delta h' \left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'}\right) = 22.4 \text{ mm} \times 0.5 = 11.2 \text{ mm}$$

$$b_1' = b_0' + \Delta b' = 45 \text{ mm} + 11.2 \text{ mm} = 56.2 \text{ mm}$$

$$a_1 = \frac{b_1'}{h_1'} = \frac{56.2}{22.6} = 2.48$$

4) 检验所取得的 $\left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'}\right)$

$$h_p' = \frac{h_0' + h_1'}{2} = \frac{45 + 22.6}{2} \text{ mm} = 33.8 \text{ mm}$$

$$b_p' = \frac{b_0' + b_1'}{2} = \frac{45 + 56.2}{2} \text{ mm} = 50.6 \text{ mm}$$

$$R_g = \frac{1}{2}(D_0 - h_1') = \frac{1}{2}(270 - 22.6) \text{ mm} = 123.7 \text{ mm}$$

$$l = \sqrt{\Delta h R_g} = \sqrt{22.4 \times 123.7} \text{ mm} = 52.6 \text{ mm}$$

$$\frac{h_p'}{l} = \frac{33.8}{52.6} = 0.64$$

$$\frac{b_p'}{l} = \frac{50.6}{52.6} = 0.96$$

按图 25.1-29 查得 $\left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)_p = 0.61$

按表 25.1-10 计算宽展修正系数。

$$K_b = 1 - 0.6\delta(\delta - 0.1a_1) = 1 - 0.6 \times 0.8(0.8 - 0.1 \times 2.48) = 0.735$$

$$\left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'}\right) = K_b \left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)_p = 0.735 \times 0.61 = 0.45$$

5) 按式 (25.1-28) 重新计算压下量

$$\Delta h' = \frac{\sqrt{(45 - 45 \times 0.45)^2 + 4 \times 0.45(2\,025 - 1\,270)} - (45 - 45 \times 0.45)}{2 \times 0.45} \text{ mm} = 21.9 \text{ mm}$$

6) 计算辗锻后的相应坯料尺寸

$$h_1' = h_0' - \Delta h' = 45 \text{ mm} - 21.9 \text{ mm} = 23.1 \text{ mm}$$

$$\Delta b' = \Delta h' \left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'}\right) = 21.9 \text{ mm} \times 0.45 = 9.8 \text{ mm}$$

$$b_1' = b_0' + \Delta b' = 45 \text{ mm} + 9.8 \text{ mm} = 54.8 \text{ mm}$$

$$a_1 = \frac{b_1'}{h_1'} = \frac{54.8}{23.1} = 2.37$$

即坯料轴长比小于模锻时的极限轴长比 2.5,符合模锻时的稳定性条件。

7) 按许用咬入角检查所取压下量

$$R_g = \frac{1}{2}(D - h_1') = \frac{1}{2}(270 - 23.1) \text{ mm} = 123.4 \text{ mm}$$

$$\text{由 } \sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{\Delta h}{4 \times R_g}} = \sqrt{\frac{21.9}{4 \times 123.4}} = 0.21$$

$$\frac{\alpha}{2} \approx 0.21 \text{ rad}, \alpha = 0.42 \text{ rad}$$

当摩擦因数 $\mu = 0.3$ 时,由于是中间咬入,故 $\alpha \leq (1.3 \sim 1.5)\mu$ 即所取压下量能够满足辗锻过程的咬入条件。

(2) 两道次辗锻

两道次辗锻时,一般是已知原始毛坯尺寸和第二道辗锻后的毛坯尺寸。在这种情况下,计算问题的关键在于如何确定第一道型槽的尺寸。如图 25.1-48 所示,如在“方—圆—方”、“圆—圆—圆”、“方—菱—方”等型槽系中,即如何确定在两个方形之间的椭圆尺寸,或两个圆形之间的椭圆尺寸,或两个方形之间的菱形尺寸等等。由于两头坯料截面尺寸都是给定的,因而中间截面尺寸就要受到两端尺寸的制约。下面介绍一种计算方法。

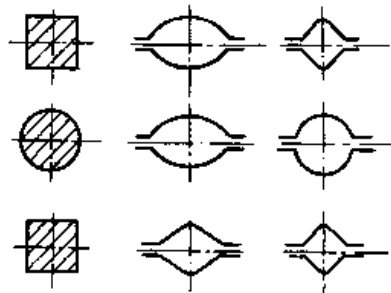


图 25.1-48 两道次辗锻的型槽系

其计算顺序为:

1) 将原始毛坯截面尺寸和辊锻后毛坯截面尺寸换算成相应的矩形尺寸 [式 (25.1-20)]。

2) 计算中间截面尺寸, 即计算第一道辊锻后坯料截面的轴长比。计算时须注意, 在第一道辊出后进入第二道时要翻转 90° (图 25.1-49)。

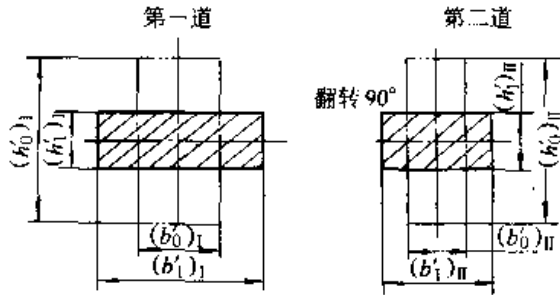


图 25.1-49 坯料需翻转 90°后再进入下一道型槽

第一道辊出后坯料截面的轴长比按式 (25.1-29) 计算

$$(a_1)_I = \frac{\frac{(h_0')_I}{(h_1')_I} - e_I \cdot \frac{(a_1)_{II} + e_{II}'}{(a_0)_I + e_I'}}{\frac{(a_1)_{II} + e_{II}'}{(a_0)_I + e_{II}'} - e_{II} \cdot \frac{(h_0')_I}{(h_1')_I}} \quad (25.1-29)$$

式中 $(a_0)_I = \left(\frac{h_0'}{b_0'}\right)_I$; $(a_1)_I = \left(\frac{b_1'}{h_1'}\right)_I$

$(a_1)_{II} = \left(\frac{b_1'}{h_1'}\right)_{II}$

$e_I' = \left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'}\right)_I = K_{bI} \left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)_{pI}$

$e_{II}' = \left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'}\right)_{II} = K_{bII} \left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)_{pII}$

$(h_0')_n$ ——第 n 道辊锻前的坯料相应矩形高度;

$(b_0')_n$ ——第 n 道辊锻前的坯料相应矩形宽度;

$(h_1')_n$ ——第 n 道辊锻后坯料相应矩形高度;

$(b_1')_n$ ——第 n 道辊锻后坯料相应矩形宽度;

$(a_0)_n$ ——第 n 道辊锻前坯料轴长比;

$(a_1)_n$ ——第 n 道辊锻后坯料轴长比;

e_n' ——第 n 道宽展系数;

K_{bn} ——第 n 道考虑型槽形状影响的宽展修正系数;

$\left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)_p$ ——在平辊上辊锻矩形坯料的宽展系数。

式中下角注的意义: 括号外的脚注表示辊锻道次或型槽的序号, 如下角注 n 就表示第 n 道或第 n 个型槽; 括号内的下角注 “0” 表示在该道次辊锻之前; 下角注 “1” 表示在该道次辊锻之后。

从式 (25.1-29) 可以看出, 宽展系数 e_I' 及 e_{II}' 是求知量, 其余均为已知。因此在计算第一道辊锻后坯料的轴长比 $(a_1)_I$ 时, 应预先假设出 e_I' 及 e_{II}' 之值。通常可预取 $e_I' = 0.5$, $e_{II}' = 0.3$, 进行计算。

3) 按下式计算 Δh_1 之值 (此式为正算法时计算压下量的公式)

$$\Delta h_n' = \frac{(a_1)_n (h_0')_n - (b_0')_n}{(a_1)_n + \left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'}\right)_n} \quad (25.1-30)$$

式中 $\Delta h_n'$ ——第 n 道辊锻时相应矩形的压下量;

$(a_0)_n = \frac{h'_{n-1}}{b'_{n-1}}$ ——进入 n 道前坯料的轴长比;

$(a_1)_n = \frac{b'_n}{h'_n}$ ——第 n 道辊锻后坯料的轴长比。

4) 根据所取得的 $\Delta h_1'$ 值, 计算第 1 道辊锻后的相应矩形尺寸, 即

$$(h_1')_I = (h_0')_I - \Delta h_1'$$

$$(b_1')_I = (b_0')_I + \Delta b_1' = (b_0')_I + \Delta h_1' e_I'$$

5) 检验所取得的 e_I' , e_{II}' 之值。为此需分别求出第一道及第二道辊锻时的 $\frac{h'_I}{l}$ 和 $\frac{b'_I}{l}$ 再按图 25.1-29 查出 e_{I0} 和 e_{II0} 。然后再分别乘以宽展修正系数, 便得出 e_I' , e_{II}' 的确定值。

6) 根据所取得的 e_I' 及 e_{II}' 的确定值对 $(a_1)_I$, $\Delta h_1'$ 等进行重算, 并最后求出第一道辊锻后相应矩形尺寸 $(h_1')_I$ 及 $(b_1')_I$ 。

例 2 试设计图 25.1-50 所示的毛坯的辊锻型槽, 所用辊锻机辊中心距 $D_0 = 325 \text{ mm}$ 。

1) 求出杆部的总延伸系数

$$\lambda_z = \frac{60 \cdot 8^2}{36 \cdot 5^2} = 2.78$$

根据这一延伸情况, 可以取两道次辊锻。并

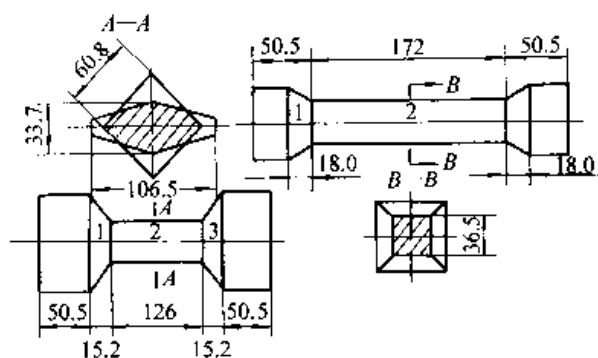


图 25.1-50 例 2 图

选用菱一方型槽系。

2) 计算由第一道菱形型槽辗出后坯料的轴长比

由于原始坯料及经两道辗锻后的坯料截面均为方形, 因此无需再做相应矩形换算。

已知 $(h_0')_I = 60.8$, $(h_0')_{II} = 36.5$, $(a_0)_I = 1$, $(a_0)_{II} = 1$ 预取 $e_I' = 0.5$, $e_{II}' = 0.3$ 按式 (25.1-29) 求 $(a_1)_I$, 即

$$(a_1)_I = \frac{\frac{60.8}{36.5} - 0.5 \frac{1+0.3}{1+0.5}}{\frac{1+0.3}{1+0.5} - 0.3 \frac{60.8}{36.5}} = 3.365$$

3) 按式 (25.1-30) 计算第一道型槽的压下量为

$$\begin{aligned} \Delta h_1' &= \frac{(a_1)_I (h_0')_I - (b_0')_I}{(a_1)_I + e_I'} \\ &= \frac{3.365 \times 60.8 - 60.8}{3.365 + 0.5} \text{ mm} \\ &= 37.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

4) 计算第一道辗出后的相应矩形尺寸

$$\begin{aligned} \Delta b_1' &= \Delta h_1' \cdot e_I' \\ &= 37.2 \text{ mm} \times 0.5 = 18.6 \text{ mm} \\ (h_1')_I &= (h_0')_I - \Delta h_1' \\ &= 60.8 \text{ mm} - 37.2 \text{ mm} = 23.6 \text{ mm} \\ (b_1')_I &= (b_0')_I + \Delta b_1' \\ &= 60.8 \text{ mm} + 18.6 \text{ mm} = 79.4 \text{ mm} \end{aligned}$$

5) 检验所设的宽展系数 e_I' 和 e_{II}'

第一道型槽:

$$\begin{aligned} h_p' &= \frac{1}{2} (h_0' + h_1') = \frac{1}{2} (60.8 + 23.6) \text{ mm} \\ &= 42.2 \text{ mm} \\ b_p' &= \frac{1}{2} (b_0' + b_1') = \frac{1}{2} (60.8 + 79.4) \text{ mm} \\ &= 70.1 \text{ mm} \\ R_g &= \frac{1}{2} (D - h_1') = \frac{1}{2} (325 - 23.6) \text{ mm} \end{aligned}$$

$$= 150.7 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} l &= \sqrt{\Delta h R_g} = \sqrt{37.2 \times 150.7} \text{ mm} \\ &= 75.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\frac{h_p'}{l} = \frac{42.2}{75} = 0.56$$

$$\frac{b_p'}{l} = \frac{70.1}{75} = 0.94$$

按图 25.1-29 查到 $\left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)_{pI} = 0.695$

按表 25.1-10 计算在菱形型槽中的宽展修正系数: 取 $\delta = 0.9$

$$\begin{aligned} K_{bI} &= 1 - 0.5\delta (\delta - 0.1a_1) \\ &= 1 - 0.5 \times 0.9 (0.9 - 0.1 \times 3.365) = 0.746 \end{aligned}$$

在第一道辗锻时的宽展系数

$$e_I' = K_{bI} \left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)_{pI} = 0.746 \times 0.695 = 0.516$$

第二道型槽: 按以上相同的方法可以确定

$$\begin{aligned} h_p' &= 57.95 \text{ mm}; b_p' = 30.04 \text{ mm} \\ R_g &= 114.25 \text{ mm}; l = 78.6 \text{ mm} \\ \frac{h_p'}{l} &= 0.737; \frac{b_p'}{l} = 0.382 \end{aligned}$$

查图 25.1-29 取得 $\left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)_{pII} = 0.355$, 按表 25.1-10 计算出 $K_{bII} = 0.801$, 最后得到 $e_{II}' = 0.268$ 。

6) 重新计算 $(a_1)_I$, $(b_1')_I$ 和 $(h_1')_I$

由于假设的 e_I' , e_{II}' 和经计算取得的 e_I' , e_{II}' 之值不同, 故需按所得的 e_I' 及 e_{II}' 之值对 $(a_1)_I$, $(b_1')_I$ 及 $(h_1')_I$ 进行重算。

按式 (25.1-29) 计算 $(a_1)_I$, 得

$$(a_1)_I = \frac{\frac{60.8}{36.5} - 0.516 \frac{1+0.268}{1+0.516}}{\frac{1+0.268}{1+0.516} - 0.268 \frac{60.8}{36.5}} = 3.17$$

$$\Delta h_1' = \frac{3.17 \times 60.8 - 60.8}{3.17 + 0.516} \text{ mm} = 35.8 \text{ mm}$$

$$\Delta b_1' = 0.516 \times 35.8 \text{ mm} = 18.5 \text{ mm}$$

$$(h_1')_I = 60.8 \text{ mm} - 35.8 \text{ mm} = 25 \text{ mm}$$

$$(b_1')_I = 60.8 \text{ mm} + 18.5 \text{ mm} = 79.3 \text{ mm}$$

由于第一型槽辗出坯料的横截面积

$$(F_1)_I = 25 \times 79.3 \text{ mm}^2 = 1976 \text{ mm}^2$$

在第一道型槽中的延伸系数

$$\lambda_I = \frac{(A_0)_I}{(A_1)_I} = \frac{60.8 \times 60.8}{1976} = 1.873$$

在第二道型槽中的延伸系数

$$\lambda_{\text{II}} = \frac{1.976}{36.5 \times 36.5} = 1.483$$

关于型槽尺寸的具体计算将在后面介绍。

(3) 三道次辊锻

在三道次辊锻时，一般是采用逆算法先计算进入第三道型槽的坯料截面尺寸，这也就是由第二道型槽中辊锻出来的坯料截面尺寸（一般中间要翻转90°）。在解决了上述计算以后，剩下的第一道和第二道型槽，即按前述两道次辊锻的方法计算。

在采用逆算法计算进入第三道型槽前的毛坯尺寸时，除应已知第三道毛坯截面积 $(A_1)_{\text{III}}$ 及其轴长比 $(a_1)_{\text{III}} = \left(\frac{b_1'}{h_1'}\right)_{\text{III}}$ 外，还应预先给出进入第三道型槽前坯料截面的轴长比 $(a_0)_{\text{III}} = \left(\frac{h_0'}{b_0'}\right)_{\text{III}}$ 。

1) 将第三道辊锻后坯料截面尺寸换算为相应矩形尺寸（式(25.1-21)）。

2) 计算第三道型槽中的压下量 $\Delta h'_{\text{III}}$ 。先预取 $\left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'}\right)_{\text{III}}$ 值，然后按式(25.1-31)（用于逆算法计算压下量的公式）计算。

$$\Delta h_n' = \frac{(a_0)_n(b_1')_n - (h_1')_n}{1 + (a_0)_n \left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'}\right)_n} \quad (25.1-31)$$

3) 计算出进入第三道型槽前坯料的相应矩形尺寸。

4) 校验 $\left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'}\right)_{\text{III}}$ 之值。

5) 根据校验后取得的 $\left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'}\right)_{\text{III}}$ 的确定值重算 $\Delta h'_{\text{III}}$ ，并最后求出进入第三道型槽前坯料的相应矩形尺寸。

例3 试逐道计算图25.1-51所示辊锻毛坯的型槽及截面尺寸，所用辊锻机辊的中心距为270 mm。

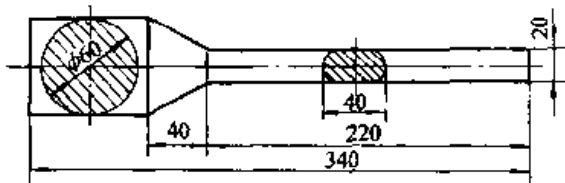


图 25.1-51 例3图

原始坯料截面积

$$A_{\text{max}} = \frac{\pi \times 60^2}{4} \times 1.015^2 \text{ mm}^2 = 2910 \text{ mm}^2$$

杆部区段的最终截面积

$$A_{\text{min}} = \left(20 \times 20 + \frac{\pi \times 20^2}{4}\right) \times 1.015^2 \text{ mm}^2 = 735 \text{ mm}^2$$

总延伸系数

$$\lambda_z = \frac{A_{\text{max}}}{A_{\text{min}}} = \frac{2910}{735} = 3.96$$

取平均延伸系数 $\lambda_p = 1.6$ 按式(25.1-27)计算辊锻道次

$$n = \frac{\lg \lambda_z}{\lg \lambda_p} = \frac{0.598}{0.202} \approx 3$$

按三道次进行辊锻并选取椭圆—方—平椭圆形槽系。

经第三道辊锻后坯料的相应矩形尺寸

$$(a_1)_{\text{III}} = \frac{40}{20} = 2$$

按式(25.1-22)

$$(h_1')_{\text{III}} = \sqrt{\frac{(A_1)_{\text{III}}}{(a_1)_{\text{III}}}} = \sqrt{\frac{735}{2}} \text{ mm} = 19.2 \text{ mm}$$

$$(b_1')_{\text{III}} = (a_1)_{\text{III}}(h_1')_{\text{III}} = 2 \times 19.2 \text{ mm} = 38.4 \text{ mm}$$

由于第二个型槽是方形，故由第二个型槽中辊锻出的坯料截面的轴长比为

$$(a_1)_{\text{II}} = (a_0)_{\text{III}} = 1$$

按式(25.1-31)计算在第三道型槽中的压下量 $\Delta h'_{\text{III}}$

预取 $e'_{\text{III}} = \left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'}\right)_{\text{III}} = 0.5$

$$\begin{aligned} \Delta h'_{\text{III}} &= \frac{(a_0)_{\text{III}}(b_1')_{\text{III}} - (h_1')_{\text{III}}}{1 + (a_0)_{\text{III}} \left(\frac{\Delta b'}{\Delta h'}\right)_{\text{III}}} \\ &= \frac{1 \times 38.4 - 19.2}{1 + 1 \times 0.5} \text{ mm} = 12.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

校验所设 e'_{III} 之值

$$\begin{aligned} (h_0')_{\text{III}} &= (h_1')_{\text{III}} + \Delta h'_{\text{III}} \\ &= 19.2 \text{ mm} + 12.8 \text{ mm} = 32 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$(b_0')_{\text{III}} = (h_0')_{\text{III}} = 32 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{III}} &= \frac{D - (h_1')_{\text{III}}}{2} = \frac{270 - 19.2}{2} \text{ mm} \\ &= 125.4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_{\text{III}} &= \sqrt{\Delta h'_{\text{III}} R_{\text{III}}} = \sqrt{12.8 \times 125.4} \text{ mm} \\ &= 40 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$(h_p')_{\text{III}} = \frac{32 + 19.2}{2} \text{ mm} = 25.6 \text{ mm}$$

$$(b_p')_{\text{III}} = \frac{32 + 38.4}{2} \text{ mm} = 35.2 \text{ mm}$$

$$\frac{(h_p')_{III}}{l_{III}} = \frac{25.6}{40} = 0.64$$

$$\frac{(b_p')_{III}}{l_{III}} = \frac{35.2}{40} = 0.88$$

按图 (25.1-29) 查得 $\left(\frac{\Delta b}{\Delta h}\right)_p = 0.6$

对于平椭圆宽展修正系数为 $K_b = 1$, (表 25.1-10), 则 $e_{III}' = 0.6$ 。

下面根据 $e_{III}' = 0.6$ 重新计算并最后求出在第二道型槽中辊出来的毛坯的相应矩形尺寸。

$$\Delta h_{III}' = \frac{38.4 - 19.2}{1 + 0.6} \text{ mm} = 12 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{故 } (h_0')_{III} &= (h_1')_{III} = (b_0')_{III} = (b_1')_{III} \\ &= 19.2 \text{ mm} + 12 \text{ mm} = 31.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

第二道辊锻后的坯料截面积

$$(A_1)_{II} = 31.2^2 \text{ mm}^2 = 975 \text{ mm}^2$$

在第三道型槽中的延伸系数

$$\lambda_{III} = \frac{(A_1)_{II}}{(A_1)_{III}} = \frac{975}{735} = 1.33$$

在求出第二道型槽中辊锻出的坯料截面尺寸以后, 问题便归结于计算第一道辊出毛坯截面的尺寸的问题, 这就是前述的两道次辊锻时要解决的问题, 故其运算过程不再重复, 可直接写出结果

$$(h_1')_I = 22 \text{ mm} \quad (b_1')_I = 68.4 \text{ mm}$$

$$(A_1)_I = 68.4 \times 22 \text{ mm}^2 = 1\,505 \text{ mm}^2$$

在第一、二道型槽中的延伸系数

$$\lambda_I = \frac{(A_0)_I}{(A_1)_I} = \frac{2\,910}{1\,505} = 1.93$$

$$\lambda_I = \frac{(A_1)_I}{(A_1)_{II}} = \frac{1\,505}{975} = 1.54$$

(4) 四道次辊锻

在四道次辊锻时, 必须先决定由第二道辊出的坯料的尺寸, 而第一道和第三道辊出后的坯料截面尺寸, 按前述的两道次的辊锻方法决定。

由第二道型槽出来的坯料尺寸按如下关系决定。

四道次辊锻时的总延伸系数可以写成

$$\lambda_{I-IV} = \lambda_{I-II} \lambda_{III-IV}$$

并使 $\lambda_{I-II} = (1.2 \sim 1.3) \lambda_{III-IV}$

式中 λ_{I-II} —— 在第一、二道的总延伸系数;

λ_{III-IV} —— 在第三、四道的总延伸系数。

由第二道出来的坯料截面积

$$(A_1)_{II} = \frac{A_0}{\lambda_{I-II}}$$

如果给定了轴长比 $(a_1)_{II}$, 则可计算出第二道辊后坯料的相应矩形尺寸。其余道次, 按两道次辊锻的方法计算。

4.5 型槽几何尺寸、相应矩形和型槽尺寸的变换方法

(1) 椭圆型槽

椭圆型槽由两段以 R_k 为半径的圆弧相交而成 (图 25.1-52)。辊锻模间隙一般为 2~4 mm, 圆角半径 $r = (0.1 \sim 0.2) b_k$ (b_k 为型槽理论宽度)。 R_k 、 b_k 、 h_k (型槽高度) 之间有如下关系

$$\left. \begin{aligned} R_k &= h_k \frac{1 + \left(\frac{b_k}{h_k}\right)^2}{4} \\ b_k &= h_k \sqrt{\frac{4R_k}{h_k} - 1} \end{aligned} \right\} \quad (25.1-32)$$

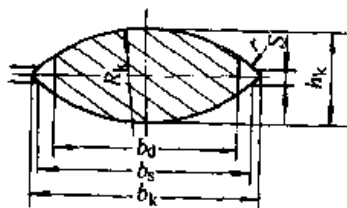


图 25.1-52 椭圆型槽

如果在椭圆型槽之后进入方形型槽, 对椭圆型槽的充满程度应取

$$\delta = \frac{b_d}{b_k} = 0.85 \sim 0.9$$

在型槽轴长比相同的情况下, 充满程度越大, 金属延伸变形也越大, 但不利于椭圆坯料进入下一型槽时的稳定性。应使辊出的坯料宽度小于型槽的实际宽度 b_s , 即 $\delta \leq \frac{b_s}{b_k}$

由几何关系可得

$$b_s = (h_k - S) \sqrt{\frac{4R_k}{h_k - S} - 1} \quad (25.1-33)$$

式中 S —— 模具间隙。

椭圆坯料横截面积的近似计算公式见表 25.1-13。

在前述按相应矩形法进行变形计算后, 根据所得相应矩形尺寸及给定的充满程度 δ , 便可换算出型槽尺寸。该道次型槽的轴长比为

表 25.1-13 椭圆型槽横截面积近似计算公式

椭圆型槽 充满程度	椭圆横截面积计算公式	椭圆型槽 充满程度	椭圆横截面积计算公式
$\delta = 1.0$	$\frac{A}{h_k^2} = 0.785 + 0.625 \left(\frac{b_k}{h_k} - 1 \right)$	$\delta = 0.8$	$\frac{A}{h_k^2} = 0.703 + 0.608 \left(\frac{b_k}{h_k} - 1 \right)$
$\delta = 0.9$	$\frac{A}{h_k^2} = 0.756 + 0.623 \left(\frac{b_k}{h_k} - 1 \right)$	$\delta = 0.7$	$\frac{A}{h_k^2} = 0.637 + 0.572 \left(\frac{b_k}{h_k} - 1 \right)$

$$\frac{b_k}{h_k} = \frac{\left(\frac{b'}{h'} \right)}{\delta} \quad (25.1-34)$$

由于相应矩形面积就等于辊锻毛坯截面积，且相应矩形面积是已知的，故由表 25.1-13 可求出型槽高度 h_k 。由式 (25.1-34) 可求出型槽理论宽度 b_k ，辊锻后坯料宽度 $b_d = \delta b_k$ ，椭圆半径 R_k 可由式 (25.1-32) 决定。

(2) 平椭圆型槽

在进入圆形型槽中辊锻时，平椭圆（图 25.1-53）较之一般椭圆具有较好的稳定性。如果压力机上模锻椭圆截面毛坯需立着放置时，多希望采用平椭圆。但平椭圆延伸系数较小，并对宽度的波动很敏感，在宽度少量增加的情况下，就易于产生飞边。

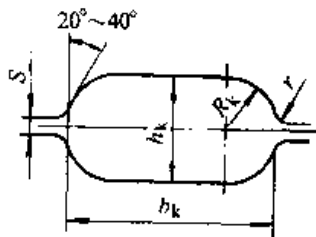


图 25.1-53 平椭圆型槽

平椭圆的充满程度一般取

$$\delta = 1$$

平椭圆坯料和型槽截面积按下式计算

$$\frac{A}{h_k^2} = \frac{b_k}{h_k} - 0.215 \quad (25.1-35)$$

在已知该道次坯料的相应矩形尺寸和截面积的情况下，平椭圆型槽尺寸按如下的公式确定

$$h_k = \sqrt{\frac{A}{\frac{b'}{h'} - 0.215}} \quad (25.1-36)$$

$$b_k = h_k \left(\frac{b'}{h'} \right) \quad (25.1-37)$$

平椭圆半径 $R = \frac{h_k}{2}$

圆角半径 $r = 0.1R$

(3) 圆形型槽 (图 25.1-54)

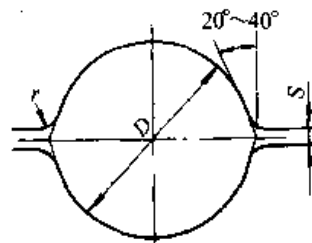


图 25.1-54 圆形型槽

圆形型槽即为一般的正圆，在过渡圆角部位有一段与圆周相切的直线，此段直线的斜度为 $20^\circ \sim 40^\circ$ 。型槽圆角半径一般取 $r = 0.05D$ 。如果以直径 D 作为圆形型槽的理论宽度，则可取型槽充满程度 $\delta = 1$ 。

其相应矩形边长 C ，则

$$D = 1.13C \quad (25.1-38)$$

(4) 六角形型槽 (图 25.1-55)

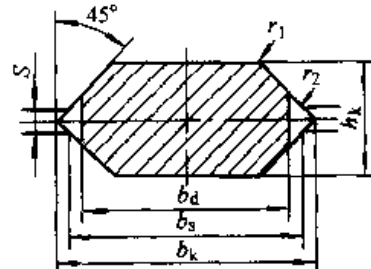


图 25.1-55 六角形型槽

六角形型槽充满程度取 $\delta = 0.85 \sim 0.95$

六角形坯料截面积

$$A = h_k b_k - \frac{1}{2} h_k^2 - \frac{b_k^2}{2} (1 - \delta)^2 \quad (25.1-39)$$

相应矩形换算成六角形坯料时

$$\left. \begin{aligned} \frac{b_k}{h_k} &= \frac{b'}{h'\delta} \\ h_k &= \sqrt{\frac{2A}{2\left(\frac{b_k}{h_k}\right) - 1 - \left(\frac{b_k}{h_k}\right)^2(1-\delta)^2}} \end{aligned} \right\} \quad (25.1-40)$$

圆角半径: $r = 0.1b_k$

(5) 方形和菱形型槽

考虑到圆角半径后, 型槽的垂直对角线长度为:

方形型槽 (图 25.1-56)

$$h_d = 1.414C - 0.83r_1 \quad (25.1-41)$$

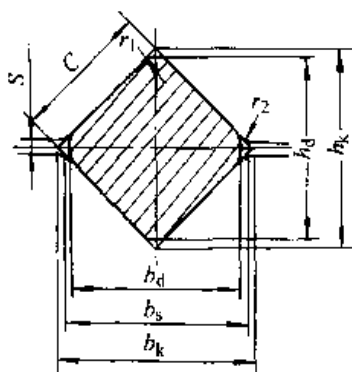


图 25.1-56 方形型槽

菱形型槽 (图 25.1-57)

$$h_d = h_k - 2r_1 \sqrt{1 - \left(\frac{h_k}{b_k}\right)^2} - 1 \quad (25.1-42)$$

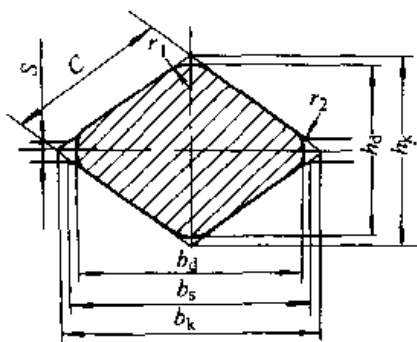


图 25.1-57 菱形型槽

方形坯料截面积

$$A = C^2 - 0.86r_1^2 \quad (25.1-43)$$

菱形坯料截面积

$$A = \frac{1}{2} b_k h_k \delta (2 - \delta) \quad (25.1-44)$$

由相应矩形换算成方形型槽边长

$$C = \sqrt{A + 0.86r_1^2} \quad (25.1-45)$$

由相应矩形换算为菱形型槽尺寸

$$\left. \begin{aligned} \frac{b_k}{h_k} &= \frac{b'}{h'\delta} \\ h_k &= \sqrt{\frac{2A}{\delta(2-\delta)\left(\frac{b_k}{h_k}\right)}} \end{aligned} \right\} \quad (25.1-46)$$

菱形型槽的充满程度一般取 $\delta = 0.85 \sim 0.90$

型槽圆角 $r_1 = 0.15C$, $r_2 = 0.10C$

(6) 箱形型槽 (图 25.1-58)

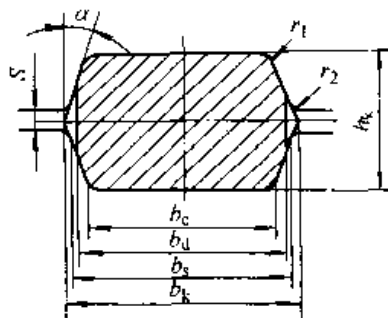


图 25.1-58 箱形型槽

为了保证辊锻过程的稳定性, 箱形型槽槽底宽度应略小于辊锻前的坯料宽度

$$b_c = (0.98 \sim 1.0)b_0$$

型槽侧壁斜度 $\tan\varphi$ 的大小与所取宽展量有关, 一般 $\tan\varphi$ 不大于 0.3。

在箱形型槽中辊锻时的坯料截面积

$$A = b_d h_k - \frac{(b_d - b_c)^2}{2 \tan\varphi} - 0.86r_1^2 \quad (25.1-47)$$

箱形型槽圆角

$$r_1 = (0.12 \sim 0.20)b_0$$

$$r_2 = (0.08 \sim 0.12)b_0$$

型槽间隙

$$S = (0.01 \sim 0.015)D$$

式中 D —— 锻辊直径;

b_0 —— 辊锻前毛坯宽度。

箱形型槽中的宽展计算和平辊轧制时的宽展计算方法相同, 但必须考虑型槽侧壁的影响

$$\Delta b_x = K \Delta b_p$$

当 $\tan\varphi = 0.05 \sim 0.15$ 时, $K = 0.6 \sim 0.7$

当 $\tan\varphi = 0.15 \sim 0.30$ 时, $K = 0.7 \sim 0.8$

式中 Δb_x —— 在箱形型槽中辊锻时的宽展值;

Δb_p —— 在平辊轧制时的宽展值;

K ——修正系数。

例4 根据例2中(图25.1-50)求得的第一道辊锻后的相应矩形尺寸,求该道的菱形型槽尺寸。

已求得的相应矩形尺寸为 $(h_1')_I = 25 \text{ mm}$,
 $(b_1')_I = 79.3 \text{ mm}$, $\left(\frac{b_1'}{h_1'}\right)_I = 3.17$, $(A_1)_I = 1\ 976 \text{ mm}^2$, 并取 $\delta = 0.9$ 。

菱形型槽的轴长比(25.1-46)

$$a_k = \frac{b_k}{h_k} = \frac{\left(\frac{b_1'}{h_1'}\right)}{\delta} = \frac{3.17}{0.9} = 3.52$$

菱形型槽高度,由式(25.1-46)得

$$h_k = \sqrt{\frac{2A}{\delta(2-\delta)\left(\frac{b_k}{h_k}\right)}} \\ = \sqrt{\frac{2 \times 1\ 976}{0.9(2-0.9)3.52}} \text{ mm} = 33.7 \text{ mm}$$

菱形型槽宽度

$$b_k = h_k \left(\frac{b_k}{h_k}\right) = 33.7 \text{ mm} \times 3.52 = 118.5 \text{ mm}$$

菱形型槽圆角半径

$$r_1 = 0.15C_1 = 0.15 \times 61.6 \text{ mm} \approx 10 \text{ mm}$$

$$r_2 = 0.10C_1 = 0.10 \times 61.6 \text{ mm} \approx 6 \text{ mm}$$

型槽间隙

$$S = 0.08D = 0.08 \times 325 \text{ mm} = 2.6 \text{ mm}$$

菱形横截面尺寸示于图25.1-50。

例5 按例1所计算出的数据,决定椭圆型槽和坯料尺寸。例1所提出的数据为:椭圆坯料的横截面积 $A_1 = 1\ 270 \text{ mm}^2$, 坯料轴长比 $a_1 = 2.37$, 型槽充满程度 $\delta = 0.8$, 相应矩形尺寸 $h_1' = 23.1 \text{ mm}$, $b_1' = 54.8 \text{ mm}$ 。

决定型槽的轴长比(25.1-34)

$$\frac{b_k}{h_k} = \frac{\left(\frac{b_1'}{h_1'}\right)}{\delta} = \frac{2.37}{0.8} = 2.96$$

按表25.1-13计算 h_k

$$\frac{A}{h_k^2} = 0.703 + 0.608 \left(\frac{b_k}{h_k} - 1\right) \\ = 0.703 + 0.608(2.96 - 1) = 1.894$$

$$h_k = \sqrt{\frac{1\ 270}{1.894}} \text{ mm} = 26 \text{ mm}$$

$$b_k = h_k \left(\frac{b_k}{h_k}\right) = 26 \text{ mm} \times 2.96 = 76.8 \text{ mm}$$

按式(25.1-32)计算出型槽半径

$$R_k = \frac{1 + \left(\frac{b_k}{h_k}\right)^2}{4} h_k = \frac{1 + 2.96^2}{4} \times 26 \text{ mm} \\ = 63.4 \text{ mm}$$

型槽间隙

$$S = 0.09D = 0.09 \times 270 \text{ mm} \approx 2.5 \text{ mm}$$

椭圆型槽实际宽度由式(25.1-33)确定,即

$$b_s = (h_k - S) \sqrt{\frac{4R}{h_k - S} - 1} \\ = (26 - 2.5) \sqrt{\frac{4 \times 63.4}{26 - 2.5} - 1} \text{ mm} \\ = 73.5 \text{ mm}$$

型槽圆角半径

$$r_1 = 0.1R_k = 0.1 \times 63.4 \text{ mm} \approx 6.5 \text{ mm}$$

椭圆坯料宽度

$$b_d = b_k \delta = 76.8 \times 0.8 \text{ mm} = 61 \text{ mm}$$

4.6 型槽设计的图解方法

前面介绍了制坯辊锻型槽设计的计算方法,采用计算方法设计时,其计算过程仍是较为麻烦的。为简化型槽设计过程的变形计算,本节将介绍几种型槽系的图解设计方法。

(1) 圆—椭圆—圆、圆—椭圆—方型槽系

1) 圆—椭圆型槽系的单道次辊锻 在单道次辊锻时,如已知锻辊中心距 D_0 , 原始毛坯横截面积 A_0 和辊锻后毛坯截面积 A_1 及型槽充满程度为 $\delta = 0.8$, 椭圆型槽设计可按如下步骤进行。

① 求出延伸系数 λ_1

$$\lambda_1 = \frac{A_0}{A_1}$$

② 求出 $\frac{D_0}{d_0}$ 之值 (d_0 为原始毛坯直径)。

③ 根据求得之 λ_1 及 $\frac{D_0}{d_0}$ 之值,查图25.1-59上之图表(按图上箭头所示方法查取),即可求出椭圆毛坯轴长比 a_1 及压缩系数 $\frac{d_0}{h_1}$ 之值。式中 h_1 为椭圆毛坯(型槽)高度。因 d_0 是已知的,故

$$h_1 = \frac{d_0}{\left(\frac{d_0}{h_1}\right)} \quad (25.1-48)$$

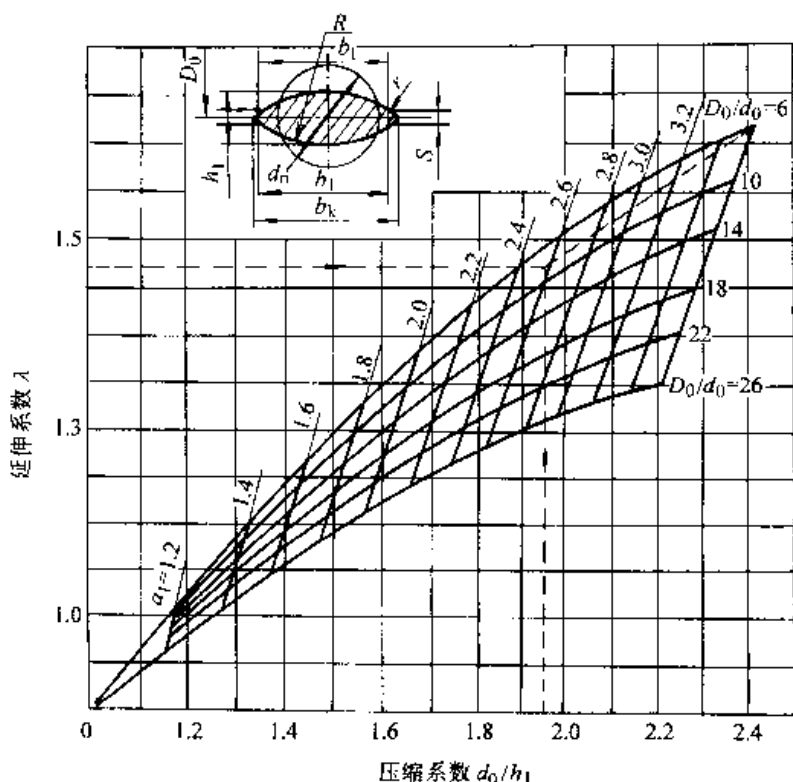


图 25.1-59 在椭圆型槽中辊锻圆形坯料计算椭圆轴长比 a_1 和压缩系数 $\frac{d_0}{h_1}$ 的

图表 (型槽充满程度 $\delta=0.8$)

① 椭圆毛坯及型槽的其他几何尺寸

- 椭圆毛坯宽度 $b_1 = a_1 h_1$
- 椭圆型槽轴长比 $a_k = \frac{a_1}{\delta}$
- 椭圆型槽理论宽度 $b_k = a_k h_1$
- 椭圆型槽实际宽度 $b_s = (h_1 - s) \sqrt{\frac{4R_k}{h_1 - s} - 1}$
- 椭圆型槽半径 $R_k = h_1 \frac{1 + a_k^2}{4}$
- 椭圆型槽圆角半径 $r = (0.1 \sim 0.2) b_k$
- 椭圆型槽间隙 S 可在 2~4 mm 内选取

(25.1-49)

当已知 D_0 、 d_0 和 a_1 时, 其延伸系数 λ_1 及压缩系数亦可由图 25.1-59 的图表查取, 然后设计出椭圆型槽尺寸。

2) 圆—椭圆—圆型槽系的两道次辊锻 在选用圆—椭圆—圆型槽系的两道次辊锻时, 如已知锻辊中心距 D_0 , 原始坯料直径 d_0 和辊锻后最终直径 d_1 , 椭圆型槽充满程度取 $\delta=0.8$, 圆形型槽充满程度取 1.0, 则其型槽设计步骤如下:

- ① 计算出 D_0/d_1 和 d_0/d_1 之值。
- ② 查图 25.1-60 之图表的上部, 可以求出椭

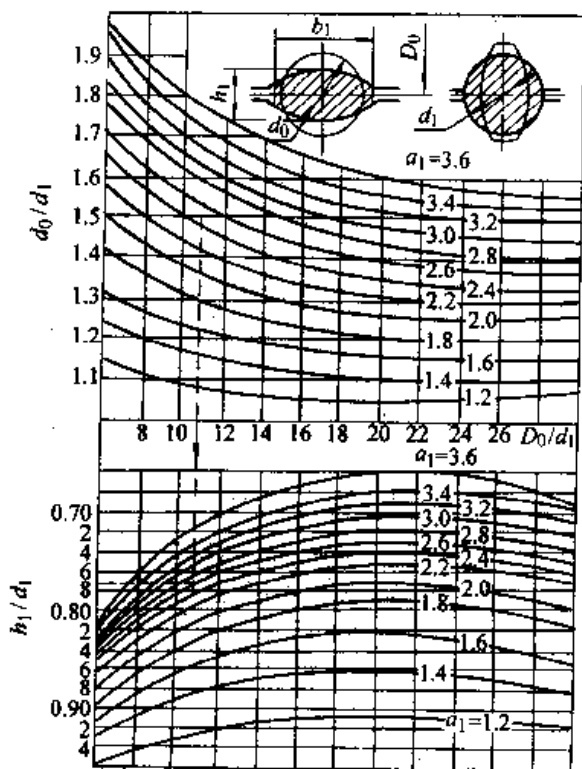


图 25.1-60 在圆—椭圆—圆型槽系两道次辊锻时, 计算椭圆毛坯尺寸的图表 (椭圆型槽的充满程度为 0.8, 圆形型槽为 1)

圆毛坯的轴长比 a_1 ，在图表的下部，用已知的 D_0/d_1 和已求得的 a_1 确定 h_1/d_1 之值，然后用式 (25.1-50) 计算椭圆毛坯高度为

$$h_1 = \left(\frac{h_1}{d_1}\right) d_1 \quad (25.1-50)$$

③ 根据以上求得的结果，利用式 (25.1-49) 计算出椭圆型槽尺寸。

④ 圆形坯料在椭圆型槽中辊锻时的延伸系数 λ_1 可由图 25.1-59 确定，椭圆毛坯在圆形型槽中辊锻时的延伸系数 λ_2 ，用式 (25.1-5) 求出

$$\lambda_2 = \frac{d_0^2}{d_1^2 \lambda_1} \quad (25.1-51)$$

3) 圆—椭圆—方型槽系的两道次辊锻 如已知锻辊中心距 D_0 ，原始坯料直径 d_0 ，辊锻后方形毛坯边长 C_1 ，椭圆和方形型槽的充满程度为 $\delta=0.9$ ，其型槽设计的步骤如下：

① 计算出 D_0/h_{k2} ， d_0/h_{k2} 之值 (h_{k2} 为方形型槽的理论高度及宽度)。

② 查图 (25.1-61) 之上半图，求出椭圆毛坯的轴长比 a_1 ，在图 25.1-61 之下半图，用已知的 D_0/h_{k2} 和已知求得的 a_1 确定 h_1/h_{k2} 之值，则椭圆型槽高度

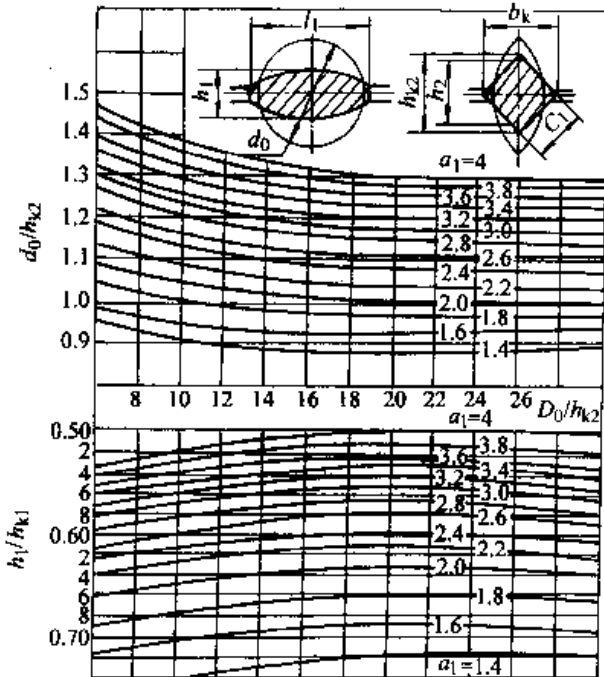


图 25.1-61 圆—椭圆—方型槽系两道次辊锻时，椭圆坯料尺寸计算图表 (椭圆和方形型槽的充满程度为 0.9)

$$h_1 = \left(\frac{h_1}{h_{k2}}\right) h_{k2} \quad (25.1-52)$$

③ 根据查取结果计算型槽尺寸
方形型槽

$$\left. \begin{aligned} h_{k2} &= \sqrt{2} C_1 \\ h_2 &= \sqrt{2} C_1 - 0.83 r_1 \\ r_1 &= 0.15 C_1, r_2 = 0.1 C_1 \end{aligned} \right\} \quad (25.1-53)$$

式中 h_2 ——型槽 (毛坯) 实际高度。

椭圆型槽几何尺寸，按式 (25.1-49) 求出。

④ 计算各道次延伸系数 在方形型槽中辊锻椭圆毛坯时的延伸系数为

$$\lambda_2 = \left(\frac{h_1}{h_{k2}}\right)^2 [1.41(a_1 + 0.19)] \quad (25.1-54)$$

(2) 方—椭圆—圆、方—椭圆—方型槽系

1) 方—椭圆型槽系的单道次辊锻 (图 25.1-62a) 如已知锻模公称直径 D_0 ，辊锻前和辊锻后的坯料截面积 A_0 和 A_1 ，方形坯料边长 C_0 ，并给定椭圆型槽的充满程度 $\delta=0.8$ ，椭圆型槽的计算步骤如下：

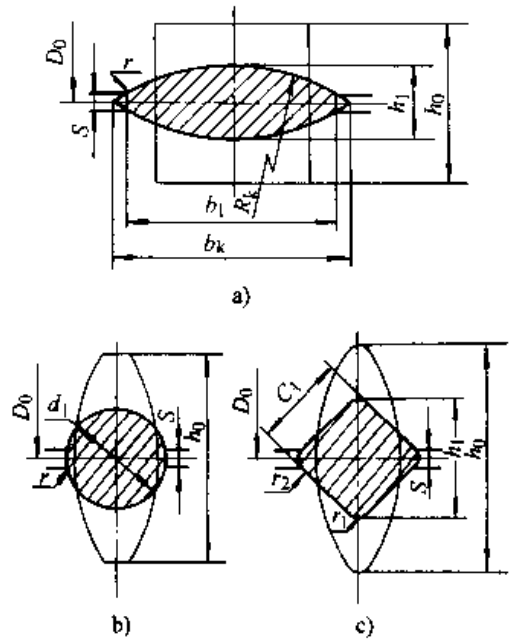


图 25.1-62 方—椭圆—方及方—椭圆—圆型槽系

① 计算在椭圆型槽中的延伸系数

$$\lambda = \frac{A_0}{A_1}, \text{ 参数 } \frac{D_0}{C_0}$$

② 查图 25.1-63，求出椭圆毛坯的轴长比 a_1 和压缩系数 $\frac{C_0}{h_1}$ 。

$$\frac{C_0}{h_1} = \sqrt{0.76\lambda(a_1 + 0.098)}$$

③ 进一步计算出椭圆毛坯（型槽）的高度尺寸

$$h_1 = \frac{C_0}{\left(\frac{C_0}{h_1}\right)} \quad (25.1-55)$$

及根据式 (25.1-49) 确定其他尺寸。

2) 方—椭圆—圆型槽系两道次辊锻 (见图 25.1-62a、b) 若已知锻辊中心距 D_0 ，方形原始坯料边长 C_0 ，两次辊锻后的毛坯直径 d_1 、椭圆型槽充满程度 $\delta = 0.8$ ，圆形型槽充满程度 $\delta = 1.0$ ，椭圆毛坯的轴长比不超过 3.6，各道毛坯截面型槽尺寸按如下步骤计算：

① 计算 D_0/d_1 及 C_0/d_1 之值。

② 查图 25.1-64 图表之上半部，求出椭圆毛坯轴长比 a_1 ，然后在图的下半部，根据已知的 D_0/d_1 和求得的 a_1 数值确定 h_1/d_0 。

③ 计算型槽的几何尺寸 用式 (25.1-49) 计算椭圆毛坯及型槽尺寸。

圆形型槽是直径为 d_1 的正常圆，圆角半径 $r = 0.2d_1$ ，型槽间隙 $S = (0.007 \sim 0.01)D_0$ 。

④ 计算各道延伸系数。第一道辊锻的延伸系数 λ_1 按图 25.1-63 查取，第二道延伸系数 $\lambda_2 =$

$\frac{\lambda_2}{\lambda_1}$ (λ_2 为总延伸系数)。

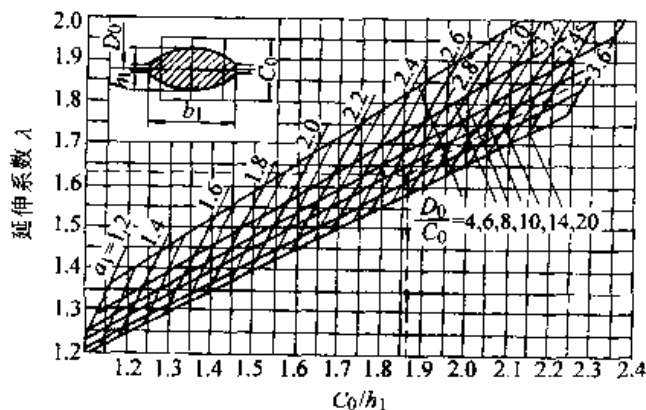


图 25.1-63 方—椭圆—方型槽系决定椭圆毛坯尺寸的图表 (椭圆型槽 $\delta = 0.8$)

3) 方—椭圆—方型槽系的两道次辊锻 若已知锻辊中心距 D_0 、方形原始坯料和最终方形毛坯截面边长 C_0 及 C_1 ，椭圆型槽充满程度为 $\delta = 0.9$ ，中间椭圆截面按图 25.1-65 上的曲线确定，步骤如下：

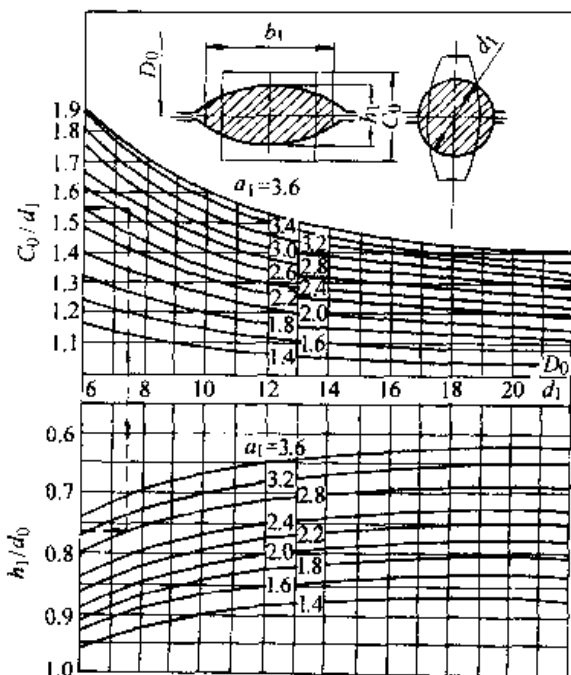


图 25.1-64 方—椭圆—圆型槽系决定椭圆毛坯尺寸的图表 (椭圆型槽 $\delta = 0.8$)

① 计算出 D_0/h_{k2} 、 C_0/h_{k2} 之值。

② 查图 25.1-65 上部求出椭圆毛坯轴长比 a_1 ，然后在图的下部，根据已知的 D_0/h_{k2} 和 a_1 值，求出 h_1/h_{k2} 之值。

③ 设计型槽及毛坯尺寸。

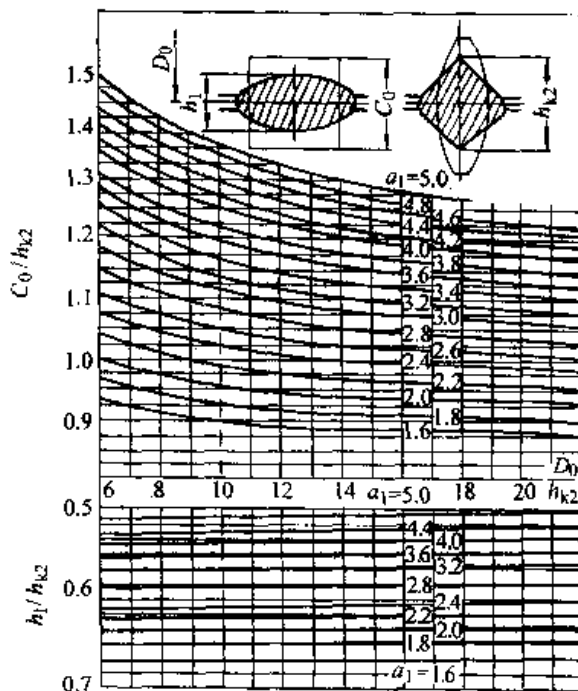


图 25.1-65 方—椭圆—方型槽系决定椭圆尺寸的图表 (椭圆型槽 $\delta = 0.9$)

椭圆毛坯高度 $h_1 = \left(\frac{h_1}{h_{k2}}\right) h_{k2}$

椭圆毛坯宽度及椭圆型槽尺寸按式 (25.1-49) 确定。

方形型槽实际高度 $h_2 = \sqrt{2}C - 0.83r$

(3) 圆—椭圆—立椭圆型槽系

在多道次制坯辊锻时, 采用圆—椭圆—立椭圆型槽系 (图 25.1-66), 较之通常采用的圆—椭圆—圆型槽系具有较大的优点。在圆型槽内辊锻椭圆毛坯时, 当椭圆毛坯的轴长比大于 3 时, 在生产中就易于失去稳定性而产生废品。采用立椭圆型槽代替圆型槽, 在椭圆毛坯轴长比达到 4 时仍能保证可靠的稳定性。

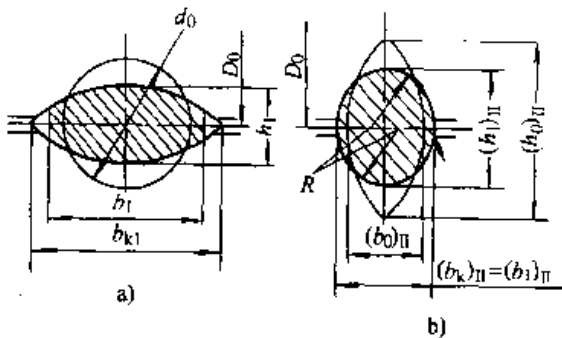


图 25.1-66 圆—椭圆—立椭圆型槽系
a) 第一道 b) 第二道

当按圆—椭圆—立椭圆两道次辊锻时, 已知原始毛坯直径 d_0 , 截面积 A_0 , 以及最终辊出的立椭圆横截面积 $(A_1)_{II}$, 并给定椭圆型槽的充满程度 $(\delta_1)_I = 0.9$, 立椭圆型槽充满程度 $(\delta_1)_{II} = 1$, 立椭圆轴长比 $(a_{kII}) \frac{(b_1)_{II}}{(h_1)_{II}} = 0.8$, 其毛坯及型槽设计步骤如下:

1) 按下式计算出立椭圆高度

$$(h_1)_{II} = \sqrt{\frac{(A_1)_{II}}{0.62(a_{kII})^2 \left[0.23 + \frac{1}{(a_{kII})}\right]}} \quad (25.1-56)$$

2) 计算 $\lambda_2 = \frac{A_0}{(A_1)_{II}}$ 及 $\frac{D_0}{(h_1)_{II}}$ 之值。

3) 查图 25.1-67 上之图表确定椭圆型槽轴长比 a_1 及椭圆型槽压缩系数 $\frac{d_0}{h_1}$, 图表使用方法

如箭头所示: 先在横坐标上找到计算出的 $\frac{D_0}{(h_1)_{II}}$ 值, 向上作垂线并与相应的 λ_2 数值的水平线相交, 求出在实线上的 a_1 的数值。然后继续向上

在虚线上找到相应的 a_1 数值做水平线交于图表右侧纵坐标, 即得 $\frac{d_0}{h_1}$ 之值。

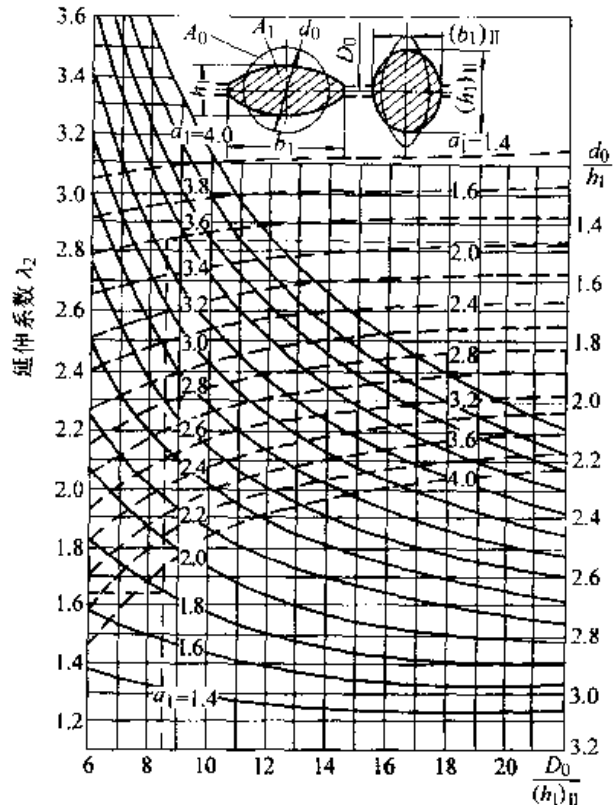


图 25.1-67 圆—椭圆—立椭圆型槽系确定 a_1 及 $\frac{d_0}{h_1}$ 的图表

椭圆毛坯高度: $h_1 = \frac{d_0}{\left(\frac{d_0}{h_1}\right)} \quad (25.1-57)$

4) 根据式 (25.1-49) 计算出椭圆型槽尺寸。

5) 按下列公式计算出立椭圆型槽尺寸。

立椭圆半径:

$$\left. \begin{aligned} R_k &= \frac{(h_1)_I (a_k)_I [1 + (a_k)_I^2]}{4} \\ \text{立椭圆宽度: } (b_1)_{II} &= (a_k)_{II} (h_1)_{II} \\ \text{立椭圆圆角半径} \\ r_1 &= 0.25(b_1)_{II} \\ r_2 &= 0.2(b_1)_{II} \end{aligned} \right\} \quad (25.1-58)$$

6) 计算各道延伸系数。

$$\lambda_1 = \frac{1.12}{0.16 + a_1} \left(\frac{d_0}{h_1}\right)^2 \quad (25.1-59)$$

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (25.1-60)$$

圆—椭圆—立椭圆道次同样可以利用本图解

法进行计算。

在四道次辗锻时总延伸系数为

$$\lambda_{I-IV} = \lambda_{I-II} \times \lambda_{III-IV}$$

$$\lambda_{I-II} = (1.2 \sim 1.3) \lambda_{III-IV}$$

则由第二道辗锻出来的毛坯截面积及其直径即可求出

$$(A_I)_{II} = \frac{A_0}{\lambda_{I-II}} \quad (d_1)_{II} = \frac{d_0}{\sqrt{\lambda_{I-II}}} \quad (25.1-61)$$

根据要求辗锻的最后截面积 $(A_I)_{IV}$ ，便可按上述计算步骤进行型槽的设计计算。

计算举例 在辗锻汽轮机叶片模锻前毛坯时，采用圆—椭圆—圆—椭圆—立椭圆型槽系的四道次辗锻。在第一二道次辗锻型槽已设计完成的基础上，利用本图解法进行第三道次椭圆和立椭圆毛坯及型槽截面的设计。已知第二道辗锻后的毛坯直径 $(d_1)_{II} = 71 \text{ mm}$ ，第四道辗锻后的毛坯截面积 $(A_I)_{IV} = 2020 \text{ mm}^2$ （以上均为热尺寸），锻辊中心距 $D_0 = 908 \text{ mm}$ （双支承辗锻机）。

1) 按式 (25.1-56) 计算第四道辗锻后立椭圆高度 $(h_1)_{IV}$

$$(h_1)_{IV} = \sqrt{\frac{(A_I)_{IV}}{[0.62(a_k)_{IV}^2] \left[0.23 + \frac{1}{(a_k)_{IV}}\right]}}$$

$$= \sqrt{\frac{2020}{0.62 \times 0.8^2 \left[0.23 + \frac{1}{0.8}\right]}} \text{ mm}$$

$$= 58.7 \text{ mm}$$

2) 计算 $\frac{D_0}{(h_1)_{IV}}$ 及 λ_{III-IV} 之值

$$\frac{D_0}{(h_1)_{IV}} = \frac{908}{58.7} = 15.5$$

第三道和第四道的总延伸系数为

$$\lambda_{III-IV} = \frac{\pi (d_1)_{II}^2}{(F_I)_{IV}} = \frac{0.785 \times 71.0^2}{2020} = 1.96$$

3) 根据求得的 λ_{III-IV} 及 $\frac{D_0}{(h_1)_{IV}}$ 值查图 25.1-

67 确定第三道椭圆毛坯的轴长比 $(a_1)_{III}$ 和 $\frac{D_0}{(h_1)_{IV}}$

的数值，在图表上求出 $\frac{(d_1)_{II}}{(h_1)_{III}} = 1.98$ 。

4) 根据式 (25.1-57) 及 (25.1-49) 计算出第三道椭圆毛坯及型槽尺寸。

椭圆毛坯及型槽高度

$$(h_1)_{III} = \frac{(d_1)_{II}}{\frac{(d_1)_{II}}{(h_1)_{III}}} = \frac{71.0}{1.98} \text{ mm} = 35.8 \text{ mm}$$

椭圆毛坯宽度

$$(b_1)_{III} = (h_1)_{III} (a_1)_{III} = 35.8 \text{ mm} \times 2.84$$

$$= 101.7 \text{ mm}$$

椭圆型槽理论宽度

$$(b_k)_{III} = \frac{(b_1)_{III}}{(\delta_1)_{III}} = \frac{101.7}{0.9} \text{ mm} = 113 \text{ mm}$$

椭圆型槽轴长比

$$(a_k)_{III} = \frac{(b_k)_{III}}{(h_1)_{III}} = \frac{113}{35.8} = 3.15$$

5) 按式 (25.1-58) 计算立椭圆尺寸

立椭圆宽度

$$(b_1)_{IV} = (a_k)_{IV} (h_1)_{IV} = 0.8 \times 58.7 \text{ mm} = 47 \text{ mm}$$

立椭圆半径

$$R_k = \frac{(h_1)_{III} [1 + (a_k)_{III}^2]}{4}$$

$$= \frac{35.8(1 + 3.15^2)}{4} \text{ mm} = 97.7 \text{ mm}$$

6) 计算第三道次的延伸系数，按式 (25.1-59)

$$\lambda_{III} = \frac{1.12}{(a_1)_{III} + 0.16} \left[\frac{(d_1)_{III}}{(h_1)_{III}} \right]^2$$

$$= \frac{1.12 \times 1.98^2}{2.84 + 0.16} = 1.46$$

第四道次的延伸系数，按式 (25.1-60)

$$\lambda_{IV} = \frac{\lambda_{III-IV}}{\lambda_{III}} = \frac{1.96}{1.46} = 1.34$$

此叶片毛坯四道辗锻的各工步图见图 25.1-68。

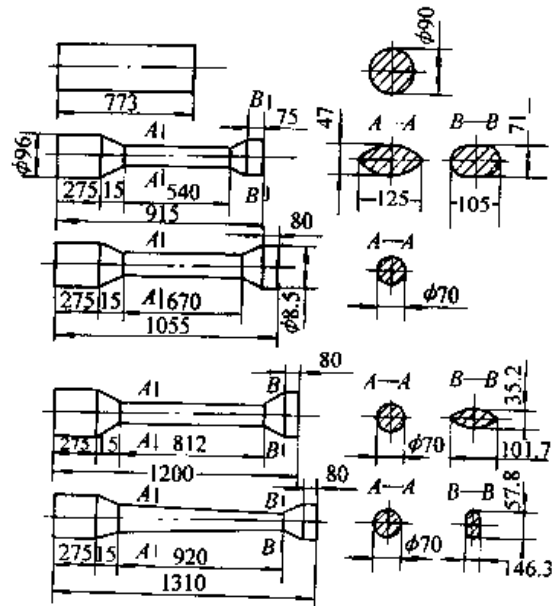


图 25.1-68 某汽轮机叶片辗锻毛坯各工步图

4.7 型槽的纵向尺寸设计

(1) 辗锻毛坯过渡区段长度尺寸的确定

辗锻毛坯过渡区段长度决定于毛坯的结构, 在各道次辗锻时, 过渡区段的金属体积保持不变, 由此得到 (图 25.1-69)

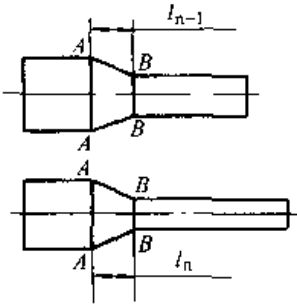


图 25.1-69 毛坯过渡区长度

$$l_{n-1} = \frac{l_n}{\lambda_n}$$

式中 λ_n ——第 n 道辗锻时在过渡区域的延伸系数;

l_n ——第 n 道辗锻时在过渡区域的长度;

l_{n-1} ——在前一道辗锻时的该过渡区段长度。

由此可逐道计算出在各道辗锻时在该过渡区段的长度, 此楔形过渡段的体积可按下列近似公式计算:

$$V = \frac{l}{3} (A_a + \sqrt{A_a \cdot A_b}) \quad (25.1-62)$$

式中 A_a 、 A_b ——楔形区段边界上的两横截面积;

l ——楔形区段长度。

毛坯上楔形区段长度按如下公式确定:

$$l_{n-1} = l_n \frac{(A_a + \sqrt{A_a \cdot A_b} + A_b)_n}{(A_a + \sqrt{A_a \cdot A_b} + A_b)_{n-1}} \quad (25.1-63)$$

(2) 型槽纵向长度尺寸的确定

由于有前滑, 型槽的长度应较毛坯的相应区段的长度短。

$$l_k = \frac{l_d}{1+S} \quad (25.1-64)$$

式中 S ——前滑;

l_k ——由作用半径 R_z 决定的型槽区段长度尺寸;

l_d ——相应区段的毛坯长度尺寸;

R_z ——型槽作用半径, 在制坯辗锻时可取

$$R_z = \frac{1}{2} (D_0 - h_1');$$

h_1' ——辗锻后毛坯的相应矩形高度。

型槽区段所对应的中心角:

$$\theta = \frac{l_k}{R_z} = \frac{l_d}{R_z(1+S)}$$

如果在被研究的区段型槽高度尺寸连续变化, 则作用半径之值可按平均值计算。

前滑值在等截面的长度区段可按 4%~6% 的经验数据选取, 或采用有关前滑公式计算。在过渡的楔形区段计算前滑时要看其在辗锻时送进方向, 当坯料的薄端在前的时候, 其前滑较小, 可以取 2%~4%, 当坯料厚端在前时, 前滑较大, 可以取 6%~12%。

(3) 纵向型槽图的绘制

在辗锻模具设计时, 为了尺寸标记方便, 通常将型槽的纵向长度尺寸换算为模具的中心角 θ (rad), 即

$$\theta = \frac{l_k}{R_z} = \frac{l_d}{\frac{1}{2} (D_0 - h_1') (1+S)} \quad (25.1-65)$$

辗锻模具的纵向长度决定于型槽各区段长度之和 (图 25.1-70), 即

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \dots + 0.175 \sim 0.262$$

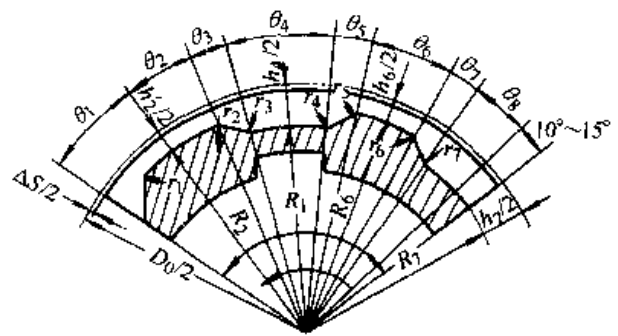


图 25.1-70 纵向型槽图的绘制

模具中心角增加 $10^\circ \sim 15^\circ$ 的目的在于容纳辗锻过程中可能出现的多余金属, 此部分多余金属一般是由于坯料计算或模具加工误差所引起的。

对于悬臂式辗锻机模具包角一般不大于 270° , 对于双支承辗锻机模具包角一般不大于 180° 。

为了绘制纵向型槽图, 必须确定各个区段中心角及该区段的槽底半径。如图 25.1-70 中第二区段, 需要确定该区段型槽所对应的中心角 θ_2 及槽底半径 R_2 。

对于槽深相等的区段其槽底半径为

$$R = \frac{1}{2}(D_0 - h_k) \quad (25.1-66)$$

式中 h_k ——型槽高度。

对于较长的楔形区段的纵向轮廓通常亦按圆弧绘制，但其回转中心和辊子旋转中心不相吻合。此区段圆弧的圆心可用近似的方法确定。如图 25.1-71 所示。给定了 R_{max} 、 R_{min} 之后，在全弧长上选择 1~3 个点，通常选择在 $\theta/2$ 及 $\theta/4$ 处

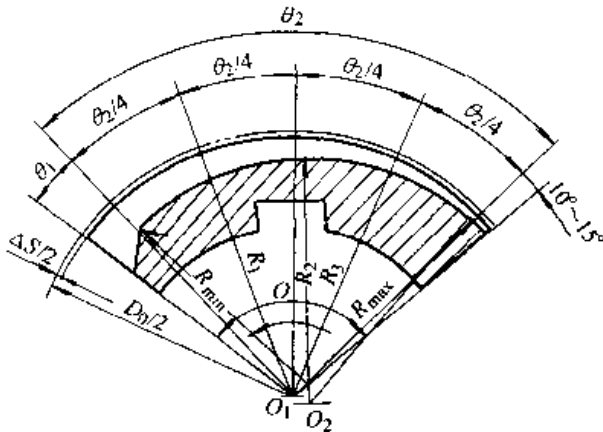


图 25.1-71 具有较长的楔形区段的纵向型槽图绘制

为宜。如该图所示的共选择 R_1 、 R_2 、 R_3 三点，这样便可在前 $\theta/2$ 处定一个圆心 O_1 ，在后 $\theta/2$ 处另定一个圆心 O_2 ，利用这两个圆心便可将这整段圆弧作出。

在过渡的楔形区段一般可用直线联接。纵向型槽各区段间应圆滑过渡，所取圆角大小可视具体情况而定。

纵向型槽前部的形状和尺寸应与原始毛坯的形状、尺寸相适应（如圆坯、方坯和矩形坯）。从纵向型槽头部到第一段型槽之间应圆滑过渡（图 25.1-70）。

5 成形辊锻模具设计

5.1 成形辊锻件的分类

成形辊锻适于生产需要延伸工序的长轴类锻件和截面变化不显著的扁宽类锻件，如连杆、前轴、扳手、叶片等长轴类锻件及履带节、链环、锄头等扁宽类锻件。成形辊锻件分为四类（表 25.1-14）。

表 25.1-14 辊锻件工艺性基本分类

类别	组别	辊锻件图例	工艺方法
板片类	扭曲变截面 (I)		成形辊锻
	平直变截面 (II)		成形辊锻
长轴类变截面锻件	形状简单 (I)		成形辊锻
	形状复杂 (II)		初成形辊锻
扁宽类	形状简单 (I)		成形辊锻
	形状复杂 (II)		初成形辊锻
单纯拔长类			杆部，叉齿部分 成形辊锻

(1) 板片类辊锻件

这类辊锻件为一薄片或具有薄片部分,可用辊锻进行展宽辗片获得。辊锻生产中,还可将这类辊锻件按如下分为I、II两组。

1) 扭曲变截面的板片类 各类叶片、犁铧等都属于此组(I组)。

2) 平直变截面的板片类 锄头、铁锹板、餐刀、甘蔗刀、炮弹尾翼、医用镊子等都属于此组(II组)。

(2) 长轴突变截面类辊锻件

辊锻件主轴线尺寸大于其他两个方向尺寸,截面沿轴线是变化的。辊锻时,金属主要沿轴线方向流动,变形复杂,成形较为困难。按形状复杂程度,可分为如下两组。

1) 形状复杂的I组 如连杆、前轴等。

2) 形状简单的II组 如活扳手、锉刀等。

(3) 长轴扁宽类辊锻件

辊锻件主轴线尺寸大于其他两个方向的尺寸,但宽度尺寸与轴线尺寸相近,高度尺寸较小。在辊锻变形中需要具有一定的展宽量,如链轨节、刮板运输机侧环、链环等。

(4) 单纯拔长类辊锻件

这类辊锻件具有各种截面形状的细长杆部,辊锻时,要求具有很高的延伸率,如剪刀的杆部,钢叉的叉齿部分,变速操纵杆和十字镐两头的尖扁部分等。

5.2 成形辊锻工艺方案选取

根据零件形状及辊锻时金属成形和流动的特点,拟订成形辊锻的各种工艺方案,是采用单件成形辊锻,或多件成形辊锻,还是组合成形辊锻。

如零件的形状沿轴线方向对称或基本对称,其尺寸与辊锻机承载能力又比较接近,则应采用单件成形辊锻的方法,即在一个坯料上成形一个锻件,此时,金属在辊锻中的变形沿轴线两侧基本上是均匀的。在图25.1-72a中所示的锻件即为单件成形辊锻。

对于形状对称的零件,但零件尺寸较小(长度 $l < 150 \text{ mm}$),又不需要复杂的制坯变形工序时,可采用多件成形辊锻,在一根长条料上一次连续辊锻出多个锻件,如图25.1-72b中的锉刀辊锻。多件成形辊锻大多数在型槽中一次辊锻成

形。在多件成形辊锻的模具上可以做出几个型槽,或在整个圆周范围内都开有型槽,并均匀分布。这样在工作时可用条料在锻辊连续旋转中辊制出多个锻件。

将两个零件组合在一起,用一个坯料成对地同时辊锻出来,叫做组合成形辊锻(图25.1-72c)。这有利于消除或减少辊锻时沿宽度方向的不均匀变形,并使难成形处得到良好成形。

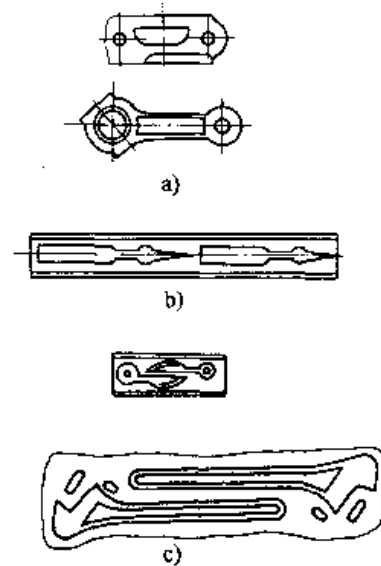


图 25.1-72 成形辊锻的工艺方案

a) 单件辊锻 b) 多件辊锻 c) 组合辊锻

对于形状不对称的锻件和具有弯曲轴线的锻件,采用按外形成对排列的组合成形辊锻是合理的。这种工艺方案可以保证沿宽度方向坯料的变形基本均匀一致,避免在单件辊锻时由于不均匀变形引起锻件在水平方向的弯曲或坯料偏扭。

此外,在成对组合排列时,由于零件截面大小的合理搭接,使沿长度方向上的截面积变化比单件辊锻时要小得多,因此,提高了材料利用率,大大减少了延伸量,使辊锻道次减少。

采用组合成形辊锻时,若尚不能保证毛坯的横断面产生对称变形,这时为了储存多余金属使其变形均匀对称,并改善金属充满型槽的条件,可在该处设置特殊的平衡储料槽(图25.1-72c)。

由于锻件形状是多种多样的。往往不是辊锻一种工艺就能制造出要求的锻件。这就需要将辊锻工艺和其他后续工艺结合起来,采用辊锻—弯曲,辊锻—扭转,辊锻—模锻的方式进行生产。如锄头的锄板部分(图25.1-73),犁刀的薄片

形部分，十字镐两端的镐尖部分，汽车变速操纵杆的长杆形部分等就是在辊锻机上成形的。这类锻件采用辊锻、模锻（或其他锻造工艺）联合成形工艺。

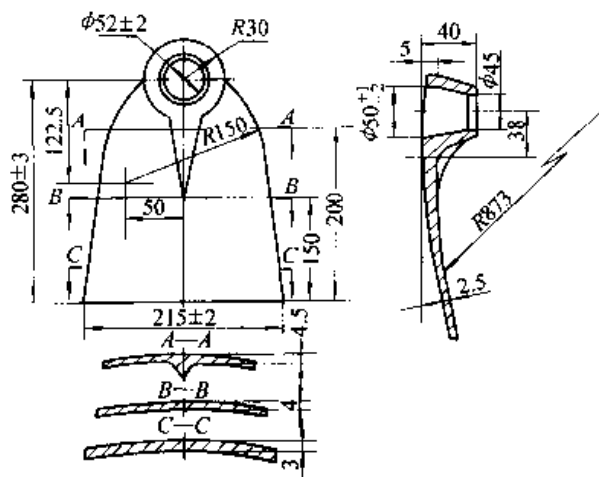


图 25.1-73 某种锄头的锻件图

对于大型复杂零件，还应考虑采用分块辊锻然后焊接组合的可能性，即成形辊锻工艺与其他设备（或工艺）的联合成形法。

5.3 长轴类锻件成形辊锻模具设计

连杆是典型的纵向具有突变截面的长轴类成形辊锻件。本节以连杆为典型件分析长轴类锻件辊锻成形特点与辊锻模具设计方法。

连杆成形辊锻工艺的技术特点：

(1) 实现了多道次成形辊锻

在通常锻件的成形辊锻中，纵向变截面几何轮廓的成形基本上是采用单道次，当采用多道次时，由于辊锻毛坯是逐道变长的（图 25.1-74），因而便出现了各道次之间的周期对中问题。以连杆辊锻时的预成形和终成形道次为例，预成形毛坯较终成形锻件长度为短，即在终成形道次中，毛坯是逐渐伸长的，这就出现了毛坯和型槽在长度上能否周期对应的问题。在连杆终成形道次辊锻时，采用的是大头方向送进，在辊锻过程中，锻件杆部逐渐伸长，如其伸长合适，毛坯小头部分正好被扣入模具小头型槽，如图 25.1-75a 所示；如其伸得过长，则毛坯小头部分将落到锻模小头型槽之后，而不能被扣入模槽，如图 25.1-75b 所示；如坯料杆部延伸不足，长度不够，毛坯小头部分落在模具小头型槽之前，亦不能被扣入型槽，如图 25.1-75c 所示。后面所述的两种

情况均将影响锻件成形以致造成废品。因此，在周期轧制或成形辊锻工艺中，工件纵向截面的几何形状采用多道次成形是具有很大的技术困难的。连杆成形辊锻工艺，采用实验研究的方法确定了周期对中的极限条件，从而保证了多道次成形辊锻工艺的对中问题，使连杆辊锻工艺稳定地投入了生产。

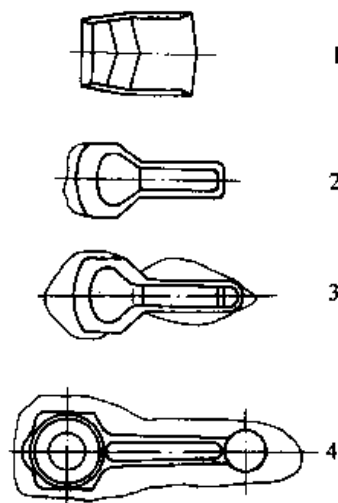


图 25.1-74 连杆辊锻各道次毛坯简图

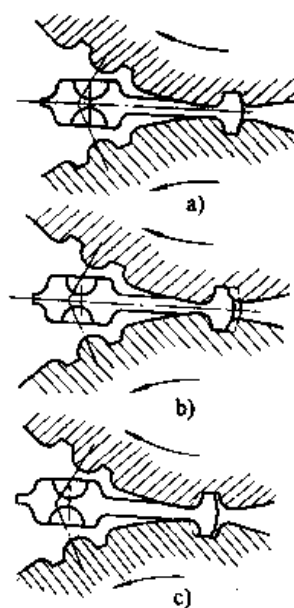


图 25.1-75 辊锻过程的对中性

a) 正好对中 b) 毛坯延伸过长

c) 毛坯延伸不足

(2) 采用了改变坯料送进方向的工艺方案

由辊锻理论得知，从逆辊锻方向看，锻件由薄的部分到厚的部分纵向过渡轮廓——前壁轮廓的成形较为困难，是难成形区；而锻件由厚的部分到薄的部分的过渡轮廓——后壁轮廓的成形较

为容易，是易成形区。

连杆辊锻预成形采用的是小头送进；而终成形则采用大头送进。这样改变送进方向的目的是：在小头送进辊锻时，锻件大头前端和小头前端都处于后壁成形区，即易成形区；在终成形道次改为大头送进，连杆的大头后端和小头后端也处于易成形区，这两部分也能得到良好的成形，这样就保证了整个锻件纵向几何形状的辊锻成形。

(3) 采用了整形工序

在辊锻过程中，由于坯料加热的均匀性、模具表面状态及润滑情况等因素的波动，将会引起锻件长度尺寸的波动；其次，辊锻件的拔模角度远比模锻时为大，因此不符合通常锻件图的要求。采用热整形工序后，便可弥补成形辊锻工艺的上述不足之处，同时由于整形量很小，故所需整形设备之吨位也很小。

下面简要介绍一个连杆辊锻模的设计计算方法。

(1) 制订锻件图

1) 前壁斜度 β_1 是保证锻件能顺利地由圆弧形模槽前壁脱出所必须具有的斜度（图 25.1-76）。前壁斜度的大小可根据型槽单边深度 h 和辊锻温度 t 按表 25.1-15 选择。

表 25.1-15 辊锻前壁斜度的选择 (°)

型槽单边深度 h/mm	<5	6~10	11~15	16~25
辊锻温度 $t/^\circ\text{C}$				
1 100	10	12	15	20
1 000	12	15	18	24
900	15	18	20	28
800	18	20	24	—

2) 后壁斜度 β_2 (图 25.1-76) 按锤上模锻

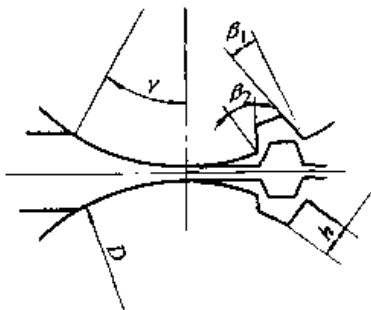


图 25.1-76 成形辊锻的前壁斜度及后壁斜度

选取。侧壁斜度取法同 β_2 。

3) 圆角半径 (图 25.1-77) 辊锻件的外圆角半径 $r = 0.06h + 0.5$ ，内圆角半径 R 通常取为 1.5~3 mm。

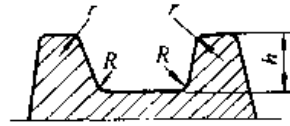


图 25.1-77 锻件圆角半径

4) 锻件公差与余量 辊锻时锻件高度方向尺寸精度较锤上模锻为高，它与所用辊锻设备的刚度有关。通常辊锻件高度及宽度公差一般可按锤上模锻近似选取。

5) 锻件长度公差 辊锻时的温度波动，模具工作表面磨损情况，润滑条件及模具形状等都对锻件长度变化有较大影响。其数据按经验确定，以连杆终成形辊锻为例，其长度公差为 $\pm 1.0 \text{ mm}$ 。

按上述原则设计的 X195 型柴油机连杆锻件图如图 25.1-78。

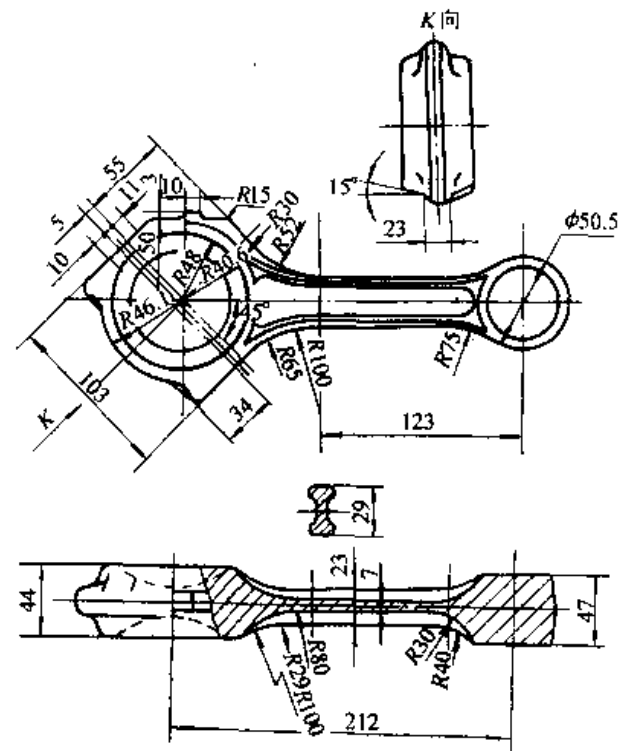


图 25.1-78 X195 连杆锻件图

(2) 终成形辊锻模的设计[⊖]

⊖ 当终成形辊锻后锻件需在压床上整形时，上述终锻型槽设计中的某些尺寸如槽深、槽底宽度、分模面圆角等需进行一定修改，可参照模锻工艺的预锻模设计。其整形模参照模锻工艺终锻模设计。连杆成形辊锻现行工艺具有整形工序。

1) 型槽尺寸的确定 型槽的横向尺寸、圆角半径、后壁斜度、侧壁斜度与热辊锻件图相同。前壁斜度应略小于或等于辊锻件前壁角。

型槽深度(图 25.1-79)按下式计算

$$t = \frac{h_1 - h_f}{2}$$

式中 t —— 型槽深度;
 h_f —— 飞边厚度;
 h_1 —— 锻件高度。

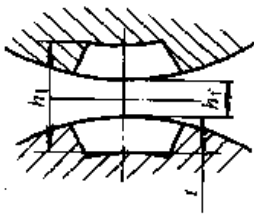


图 25.1-79 型槽深度

型槽长度按下式计算

$$l_k = \frac{l_d}{1+S}$$

式中 l_d —— 锻件长度;
 S —— 终成形辊锻时的前滑值(可在 3%~4% 范围内选取)。

2) 绘制计算毛坯图 目的是设计预成型型

槽及选择合理的毛坯尺寸。其绘制方法同锤上模锻。绘制后,将锻件按截面相似部分划分成三个区段:大头(Ⅰ)杆部(Ⅱ)和小头(Ⅲ),并分别计算出各段体积。找出锻件最大截面 A_{max} 与最小截面 A_{min} (图 25.1-80)。

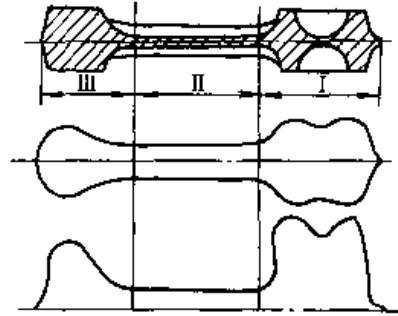


图 25.1-80 柴油机连杆计算毛坯图

3) 原始毛坯截面尺寸的确定 按锻件最大截面选取,即

$$A_0 = K_z A_{max}$$

式中 K_z —— 截面增大系数, $K_z = 1.05 \sim 2.0$ 。
 K_z 值与辊锻道次及最大截面区段截面变化的复杂程度有关。辊锻道次越多形状变化越复杂, K_z 值应取得越大。几种柴油机连杆辊锻实际选用 K_z 值见表 25.1-16。

表 25.1-16 各种连杆锻件所用 K_z 值

连杆种类	原始毛坯截面积 /mm ²	辊锻件最大截面积 /mm ²	截面增大 系数 K_z	辊锻 道次	连杆大头截面变化复杂程度
195W	6 400	4 518	1.4	4	截面对称形状变化较复杂
X195	6 400	3 350	1.91	4	截面不对称形状变化复杂
X105	6 359	3 860	1.65	3	截面不对称形状变化复杂
165	1 964	1 540	1.275	3	截面对称、形状变化较简单

4) 原始毛坯截面形状的确定 A_0 初步确定后,按标准方钢、圆钢或扁钢选取。选取时主要考虑锻件最大截面的形状和哪一种标准钢材接近,便于进行辊锻,如锻件截面很宽时,还要考虑变形后能否达到锻件宽度的要求。宽展系数 $\frac{\Delta b}{\Delta h}$ 可按 0.3~0.5 之间粗选。

原始毛坯长度 l_0 可按下式计算

$$l_0 = \frac{(1+\delta)(1+K_f)V}{A_0}$$

式中 δ —— 烧损系数;
 V —— 锻件金属体积;

K_f —— 飞边体积系数(可在 0.1~0.25 之间选取,无飞边辊锻时, $K_f = 0$),

$$K_f = \frac{V_f}{V} \text{ (其中 } V_f \text{ 为飞边体积)}。$$

K_f 值与锻件纵向截面变化的激烈程度有关,变化越复杂, K_f 值越大;还与各道毛坯尺寸和形状设计的合理程度有关,设计得越合理其值越小。195W 型连杆辊锻时,其实际 $K_f = 0.17$ 。

X195 型连杆终成形辊锻模见图 25.1-81。

(3) 预成型辊锻模设计

预成型辊锻件在锻件长度方向上截面形状的变化应与终锻件相适应,以保证在终成形型槽内

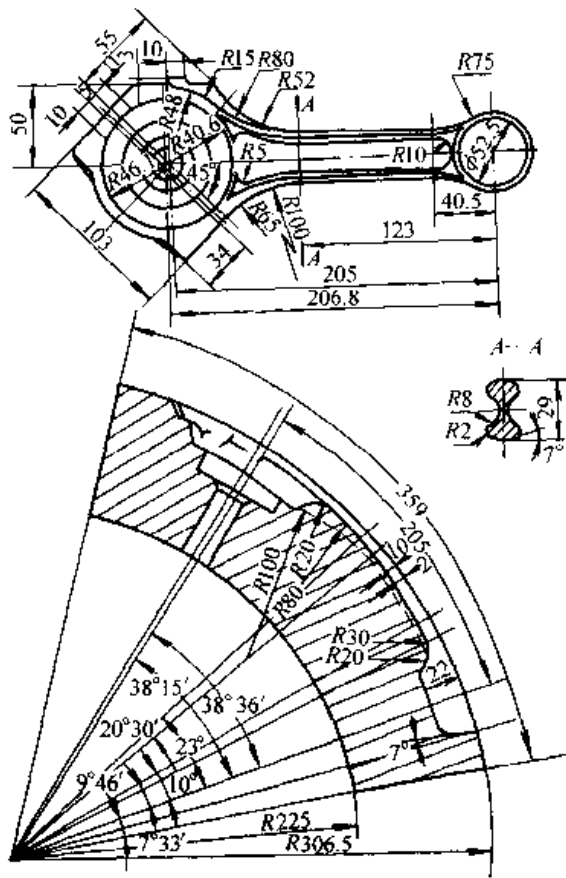


图 25.1-81 连杆终成形辊锻模锻件得到良好的成形。

1) 金属体积分配 预成形毛坯和终成形锻件的各对应区段金体积 V_I' 与 V_I , V_{II}' 与 V_{II} , V_{III}' 与 V_{III} (图 25.1-82) 应该大体上相等。但先送进的区段, 如图 25.1-82 的 I 区预成形部分的金属量应略大于终成形部分的金属量, 即 $V_I' > V_I$ 。这是因为辊锻变形过程主要是延伸

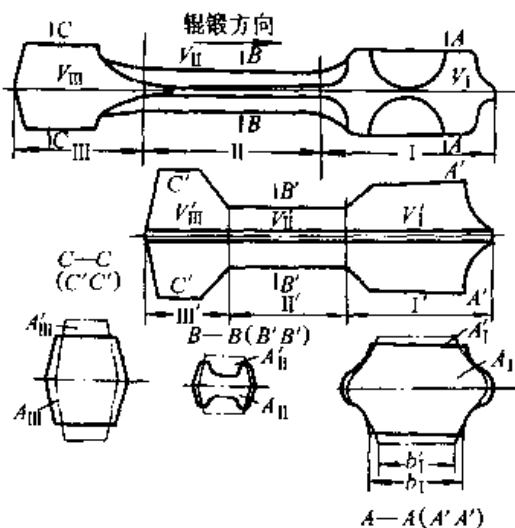


图 25.1-82 连杆预成形辊锻件高度

过程。例如 I 区送入后变形时, 除使锻件成形外, 必定有一部分金属向后 (逆辊锻方向) 延伸; 而转入 II 区, 这一点在设计时应予以注意。

2) 预成形毛坯与终成形锻件的各对应截面积之比大于 1, 个别部位至少是等于 1 (图 25.1-82) 即

$$\frac{A_I'}{A_I} > 1 \quad \frac{A_{II}'}{A_{II}} > 1 \quad \frac{A_{III}'}{A_{III}} > 1$$

195W 型柴油机连杆辊锻时, 其预成形与终成形型槽截面积之比见表 25.1-17。

表 25.1-17 预成形与终成形型槽截面积比

区 段	I	II	III
各区段截面积比	1.14~1.7	2.4	1.0~1.2

注: 表中 II 段截面比很大, 这是由于该段为连杆锻件的主要延伸区。

3) 预成形辊锻毛坯顶部宽度应略小于终成形锻件的相对应宽度 (图 25.1-82), 即

$$b_1' < b_1 \quad b_2' < b_2 \quad \dots$$

以便保证前一道毛坯进入下一型槽后, 能顺利地扣入型槽两侧壁以内。如果顶部宽度过大, 毛坯进入型槽时就在分模面形成卡压, 使大量金属外流形成飞边。

4) 预成形辊锻件高度必须大于终成形辊锻件的对应高度 (图 25.1-82)。

5) 预成形辊锻件分模面处宽度应接近于终成形辊锻型槽分模面的宽度, 以保证金属在宽度方向充填良好。

6) 对应于工字形终辊型槽的预成形辊锻件的杆部, 根据实际经验, 当工字型肋 $h < 36$ 时 (图 25.1-83), 常将预成形辊锻件的杆部设计成箱形断面。

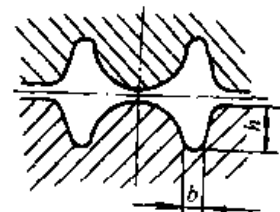


图 25.1-83 工字形辊锻件杆部形状

连杆成形辊锻的预成形前道次的模具设计可参看本章制坯辊锻模具设计。

X195 连杆预成形及制坯辊锻模见图 25.1-84 及图 25.1-85。

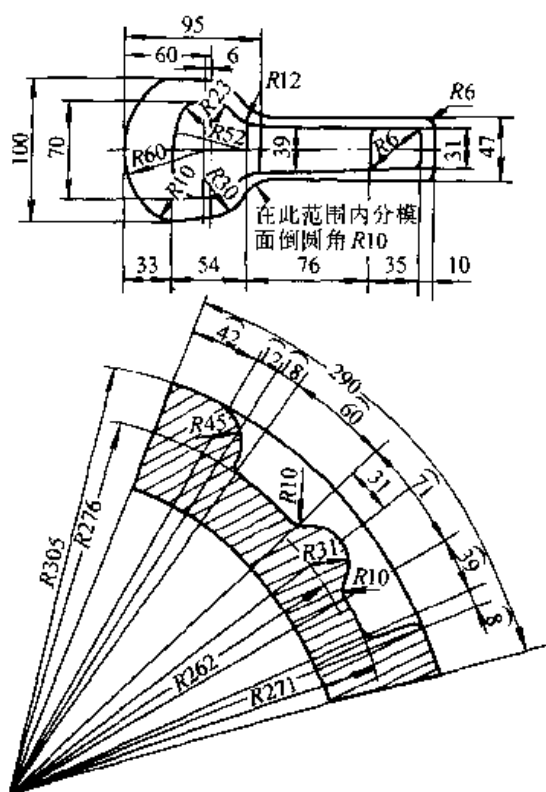


图 25.1-84 X195 连杆预成形辊锻模

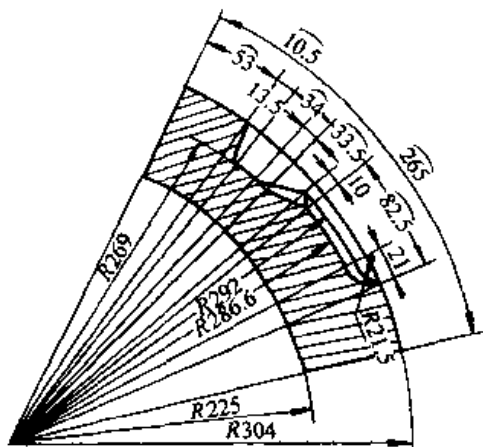
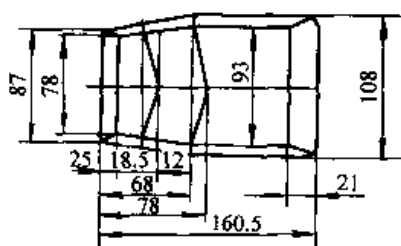


图 25.1-85 X195 连杆制坯辊锻模

5.4 板片类锻件成形辊锻模具设计

锻件的几何形状为板片形，或主要部分为板片形，如锄头、犁铧、犁刀、铁锹、餐刀、医

用锤、直叶片和扭曲叶片等。现以叶片为例介绍一下此类辊锻模具的设计计算方法。

(1) 叶片锻件的几何形状特点

叶片是属于板片类锻件，但与锄头等板片类锻件相比，则又有很大的特点。叶片一般是由榫头及叶身两部分组成（图 25.1-86）。毛坯的榫头部分截面形状比较简单，多为矩形或平行四边形，用一般锻造方法易于制造。叶片锻造备坯主要困难在于叶身部分。叶身是薄片形，沿轴向各截面的几何形状和尺寸都是变化的，有如下几个特点：

- 1) 变截面 沿锻件轴向各截面面积不等。
- 2) 变弦宽 沿锻件轴向各截面弦宽不等。
- 3) 有扭角 多数动叶片从叶根到叶顶具有扭角（图 25.1-87）。
- 4) 同一截面厚度是变化的，其厚度差可达 5~10 倍（图 25.1-88）。

从辊锻工艺最适于拔长和辗片的工艺特点看，叶片基本上适合用辊锻加工，但由于上述叶片几何形状的特点，采用辊锻工艺在技术上也有困难。

1) 辊锻过程的侧向弯曲 在辊锻过程中如沿坯料横截面压下量不均匀时，压下量大的区域延伸大；压下量小的区域延伸小。在锻件辊出后将产生水平方向弯曲或称侧向弯曲（图 25.1-89）锻件的上下弯易于矫正，而水平方向弯曲不易矫正。

2) 由于叶片截面上各点厚薄相差很大，较厚部分（进气边）的金属流动阻力小，型槽易于充满，较薄部分（排气边）的金属流动阻力大，型槽不易充满。

3) 榫头截面面积较叶身截面面积大得多，这势必增加辊锻道次。有些叶片叶身的排气边高出榫头截面，高出越多，金属充满越困难。因此，必须有合理的制坯型槽和预成型型槽。当根部排气边高于榫头较多时，只靠合理的型槽还不能完全保证金属的充填，往往需加大榫头毛坯尺寸，其结果也使辊锻的变形量增加。

4) 叶片的榫头和叶根部分的过渡处，是榫头的直壁用圆弧和叶身相联接，用辊锻工艺很难保证此部分的良好成形。因此，此过渡区域要借助模锻方法达到其几何形状的精度要求。辊锻后整形工序的主要任务之一是解决叶根几何形状的

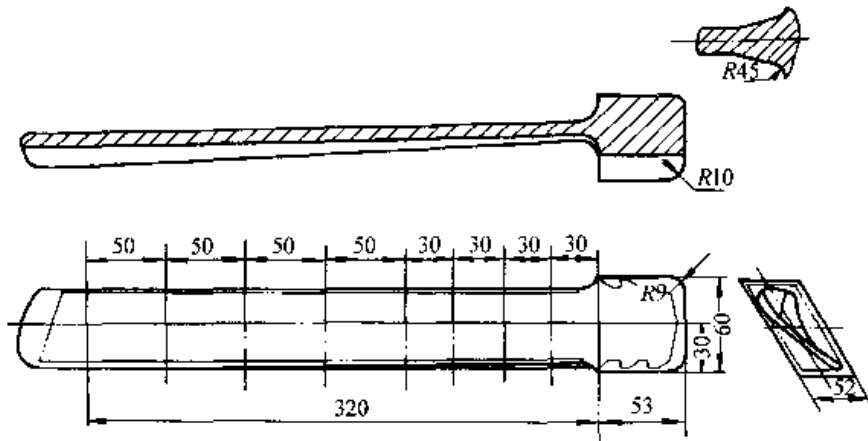


图 25.1-86 叶片零件图

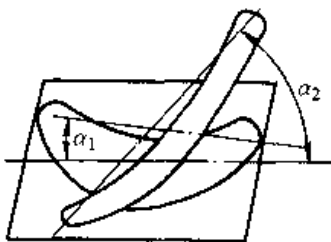


图 25.1-87 叶片扭角

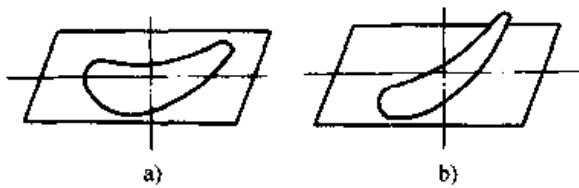


图 25.1-88 叶片同一截面的厚度变化

a) 根部 b) 顶部

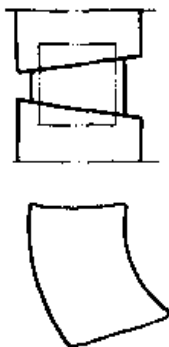


图 25.1-89 辗锻件的水平方向弯曲

锻造问题。

(2) 叶片辗锻型槽设计的基本原则

1) 选择型槽系 从叶片终成形和预成形辗锻的成形要求出发, 以选用闭式型槽为宜。现分析一下闭式型槽的工艺特点。其优点为:

① 因为闭式型槽四周都是封闭的, 因而使

锻件能够得到几何形状和尺寸精确的截面形状。

② 对锻件的侧向弯曲有限制作用。在辗锻变形区中, 如果存在引起锻件侧向摆动的不均匀变形, 则处于变形区后面的未变形金属将随着辗锻过程的进行, 在水平方向产生向左或向右方向的摆动, 或者向左右摆动。在闭式型槽中辗锻时, 由于凹槽侧壁在入口端长度为 l_1 的区段内, 对锻坯的横向移动起限制作用, 即起到限制锻件横向弯曲的作用。同样, 在出口端凹模侧壁在长度为 l_2 的区段内对出口锻件的横向弯曲也起限制作用 (图 25.1-90)。故闭式型槽有利于限制辗锻过程中锻件的横向弯曲。

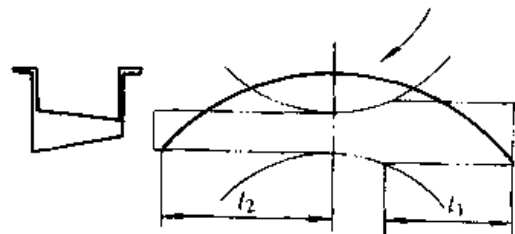


图 25.1-90 闭式型槽在入口端和出口端限制锻件横向移动的区域长度

③ 有利于强化辗锻过程。闭式型槽在一道辗锻时的延伸系数可达 2~3, 较开式型槽允许的延伸系数大得多。

但闭式型槽也有切槽深度大、削弱锻辊强度和型槽侧壁磨损快等缺点。

叶片的制坯辗锻工序, 通常采用开式型槽, 在接近预成形道次也可以采用闭式或半开式型槽 (图 25.1-37)。

所谓半开式型槽, 即型槽一侧为开式, 一侧为闭式。一般取叶片毛坯进气边一侧为闭式, 排气边一侧为开式, 这样设计的作用是: 由于叶片

的排气边部分较薄又较宽，进气边部分较厚又较窄，为使叶片毛坯截面获得这一形状，在制坯辊锻时，叶片排气边部分的相对压下量就要大于进气边部分的相对压下量，因之排气边部分的延伸量也将大于进气边部分的延伸量。这样，在辊锻时就会引起叶片毛坯向进气边一侧弯曲。型槽的进气边一侧采用闭式的便可以限制叶片毛坯向该侧弯曲。由于叶片排气边部分相对压下量大，变形激烈，如也采用闭式，将会引起型槽侧壁的迅速磨损，因此，这一侧采用开式可以提高制坯辊锻模的寿命，并可避免叶片毛坯的排气边一侧出飞边。

2) 均匀压下原则 叶片辊锻的变形分配原则是：不均匀变形应分配在制坯道次，以及预成形道次，而终成形道次要求变形均匀，即终成形道次应遵循均匀压下的原则，这对保证叶片几何形状及尺寸精度以及防止变形过程中锻件的弯曲具有重要作用。

所谓均匀压下原则系指沿锻件横截面宽度上各点相对压下量相等 (图 25.1-91)，即

$$\frac{h_{01}}{h_{11}} = \frac{h_{02}}{h_{12}} = \dots = \frac{h_{0n}}{h_{1n}} = c$$

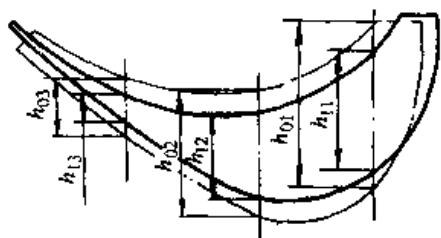


图 25.1-91 垂线方向的均匀压下

用均匀压下原则计算时，也可按叶片内弧法线方向计算 (图 25.1-92)，即取

$$\frac{a_{01}}{a_{11}} = \frac{a_{02}}{a_{12}} = \dots = \frac{a_{0n}}{a_{1n}} = c$$

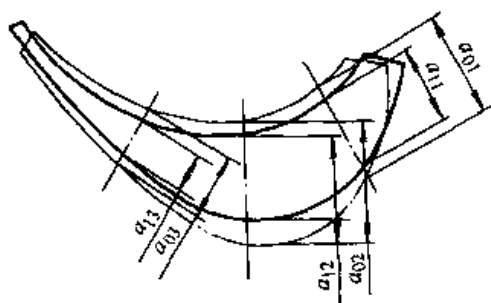


图 25.1-92 法线方向的均匀压下

按此法计算所依据的原理是：辊锻时截面上

任意一点变形力的合力作用在截面的法线方向上。

但由于辊锻的基本变形方向是垂直压下，因此，按前一方法计算是正确的，而按法线方向计算只能得到近似的均匀变形。

如不遵循均匀压下原则，而按沿叶片截面宽度上绝对压下量相等的方法，则在叶片辊锻生产中就不可避免的要出现很多工艺问题，如侧弯，波浪弯以及扭角畸变等。

前面已经分析，叶片辊锻中侧向弯曲产生的主要原因就是叶片截面上的不均匀压下。由于排气边较进气边薄得多，当绝对压下量相等时，排气边部分的相对压下量必然比进气边部分的相对压下量大很多，结果必然是引起排气边向进气边一侧弯曲。

在绝对压下量相等其实质是不均匀压下的情况下，辊锻叶片还易于产生纵向弯曲图 25.1-93 可以看出较薄的进排气边位于较厚的中心部分的上方，辊锻后 *ab* 的伸长，即形成了叶片的纵向弯曲。

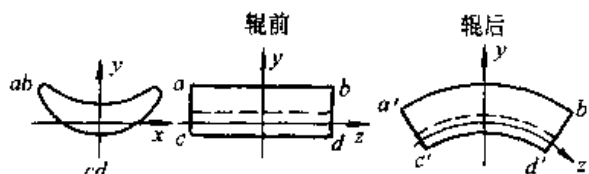


图 25.1-93 不均匀压下时引起叶片的纵向弯曲

3) 正确决定宽展值 正确地决定宽展值，对叶片成形辊锻十分重要。如果宽展值选大了，将造成进排气边充填不满，得不到成形良好的锻件；如宽展值选小了，又会使锻件产生飞边，造成型槽侧壁的剧烈磨损。影响宽展的因素很多，在叶片辊锻中，目前尚无准确计算宽展的理论公式。因此，多采用经验公式计算，然后再通过实践予以修正。现推荐以下的经验数据：

采用闭式型槽进行叶片终成形辊锻时

$$\Delta b = (0.2 \sim 0.3) \Delta h$$

采用闭式型槽进行叶片预成形辊锻时

$$\Delta b = (0.3 \sim 0.5) \Delta h$$

4) 型槽在辊锻模上的配置及分模面的选择 叶片锻件一般具有扭角，因而型槽在辊锻模具上的相对位置必须配置合理，否则就不利于辊锻成形。

由于具有扭角，因此辊锻时便有轴向力产生

(图 25.1-94); 同时, 由于排气边较进气边位置高, 会造成辊锻时的速度差, 影响金属流动的均匀性, 还会影响到锻件的顺利脱模。

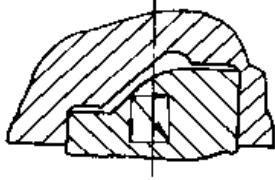


图 25.1-94 叶片辊锻时的轴向力

为了合理解决与正确处理上述问题, 在模具上配置型槽时, 应将型槽绕其截面型心使进气边部分向上回转一个角度, 此角度可取从叶根到叶顶之间的扭角之半。对于叶型曲率比较大的叶片, 由于排气边较宽且较薄, 金属流动抗力大, 因此取扭角之半还可能产生较大的水平分力, 所以仍须再适当提高进气边, 以减少水平分力。

为了避免锻件产生纵向弯曲(上下弯现象), 在辊锻模上配置型槽时, 应使叶型截面重心与锻辊中线(轧制线)重合, 并使锻辊中线上下的型槽截面积相等(图 25.1-95)即 $A_1 = A_2$ 。

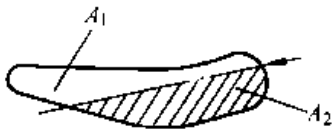


图 25.1-95 叶片辊锻中线上下的型槽截面积相等

沿型槽长度方向各截面重心的连线不一定是直线, 这时应予适当修正, 仍按直线选取。

5) 模槽长度尺寸的确定 计算各道次辊锻模长度时, 以终成形锻件的长度为准, 根据体积不变定律逆辊锻顺序进行计算, 求出各道次毛坯长度, 然后考虑前滑的影响, 再求出各道次型槽长度, 即

$$l_k = \frac{l_d}{1+S}$$

式中 l_k ——型槽长度;

l_d ——锻件长度。

叶片辊锻时的前滑值可按如下经验数据选取:

终成形道次: $S = 2\% \sim 3\%$

预成形道次: $S = 3\% \sim 5\%$

6) 棒头与叶根过渡部分 R 值的选取 叶片的棒头与根部截面形状不同, 且有一定的高度差,

所以在多道次辊锻中, 在根部与棒头的过渡处易于产生刮伤、折叠、接不齐等缺陷(图 25.1-96)。为保证在此部位的良好成形, 正确的选择模具上棒头与叶身过渡处的 R 值是十分重要的。生产经验表明, 在变形允许的条件下可以适当增大 R 值, 并且从终成形辊锻模到前几道辊锻模之间 R 值应逐渐加大, 还要彼此接近(图 25.1-97), 这样可以减少甚至避免上述缺陷。

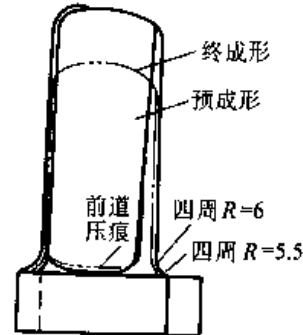


图 25.1-96 叶根处产生缺陷的部位

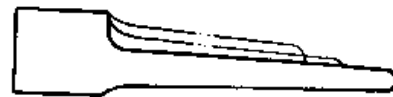


图 25.1-97 棒头与叶身过渡处圆角半径的变化

棒头与叶身之间的过渡区是由直壁和圆弧相连接, 为了使此直壁部分能得到良好成形, 可以在模具的相应部位设计超前角(图 25.1-98)。

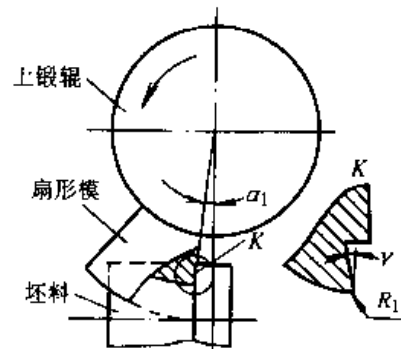


图 25.1-98 在棒头部分辊锻模上的超前角

(3) 叶片辊锻模具的设计步骤和要点

设计叶片辊锻模具可按如下顺序进行: 制订锻件图, 设计整形模, 设计终成形辊锻模, 选择原始坯料尺寸, 确定辊锻道次, 设计预成形及制坯辊锻模等。下面就设计中的有关内容扼要加以介绍。

1) 制订锻件图 根据对叶片辊锻件的精度要求(如无余量、小余量或大余量), 对叶身部分

均匀加放余量，以及加放榫头部分的加工余量。

2) 设计整形模 叶片经终成形辊锻后，叶身的扭度与平直度，特别是榫头与根部过渡处的几何形状还达不到锻件图的要求，因此需要整形。整形模的主要作用是：校正叶身扭角，修正榫头与叶身过渡处的几何形状偏差。

整形时除榫头与叶身过渡处给一定变形量外，其他部分一般不给变形量；对其他部分只起校正作用。校正程度视整形设备吨位而定（一般只需较小吨位的设备）。整形模在榫头部位及叶身部位应开有飞边槽，以便容纳可能出现的多余金属。叶身部分的飞边槽应取在进排气边水平方向的最大值处，这样取有利于叶片的定位及保证整形时叶片不跑出模膛（图 25.1-99）。

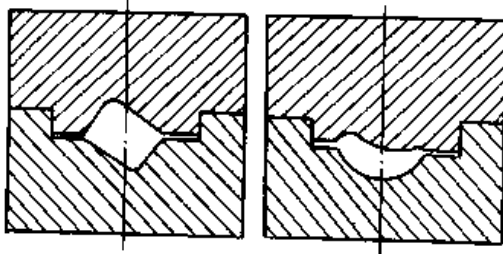


图 25.1-99 叶片整形模飞边槽开设部位

叶片各截面是变化的，故叶身部分飞边槽在高度方向将是一条曲线，不好加工。因此必须修正，使进排气边飞边槽在高度方向为与基面成一定角度的斜线（图 25.1-100）。

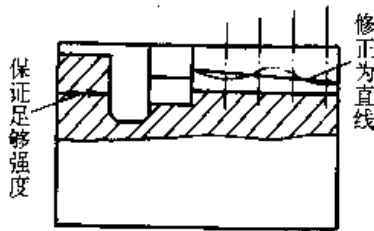


图 25.1-100 叶片整形模飞边槽的修正及宽度的要求

为了平衡轴向力，整形模应设计成带止推面的结构（图 25.1-99）。

飞边槽的宽度的确定原则是必须保证上模榫头部分强度，及分模面有一定宽度（图 25.1-100）。

在辊制较大叶片时，整形模的设计除应考虑

件图为依据，并根据前述原则进行。在模具结构上还要注意以下几点：

① 由于叶片的叶型是变化的，模槽各截面的宽度不一定相等，且不一定均匀过渡，因此模槽止推面不易加工，必须进行修正，使模槽止推面为与模具两侧成一定角度的斜面（图 25.1-101）。

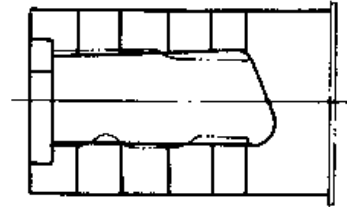


图 25.1-101 模槽宽度的修正

② 闭式型槽在模具上的最小深度位置，以终成型型槽为准，应使型槽最高位置与分模面的距离为：该道最大压下量为 $\Delta h_{\max} + 3 \sim 5 \text{ mm}$ ，以保证预成形毛坯在终成型型槽中辊锻时不会跑出型槽之外。分模面间的间隙可取 $1 \sim 3 \text{ mm}$ ，以便于模具调整。上下模横向间隙可在单边 $0.2 \sim 1.0 \text{ mm}$ 范围内选取（图 25.1-102）。分模面取成锻辊的同心圆，进排气边可取得相同，也可以取得不同。

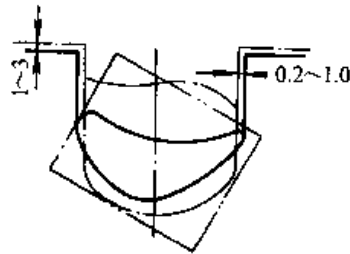


图 25.1-102 模槽深度及模具间隙

4) 选择原毛坯尺寸与确定辊锻道次

① 原毛坯尺寸按锻件最大截面选择，亦即按榫头的截面选择即可。当叶片排气边高于榫头较多时，可适当放大原毛坯尺寸。

② 确定辊锻道次 按式（25.1-27）计算，平均延伸系数可在 $1.3 \sim 1.6$ 范围内选取。

③ 分配变形系数 终成型道次延伸系数可以取得低一些， λ 值可在 $1.1 \sim 1.4$ 范围内选取。终成型辊锻是保证锻件最后成形的道次，锻件比较薄，辊锻温度也比其他道次低。选取较小的变形系数可以减小型槽磨损，但终成型道次及道次

内选取。在制坯和预成形道次选取较大的延伸系数，可以减少辊锻道次，提高生产率。

采用开式型槽制坯时，其延伸系数可根据所选型槽系的允许值选定。

5) 设计预成形及制坯辊锻模 在终成形辊锻模已设计好的基础上设计预成形辊锻模。按如下步骤进行设计：

① 将终成形辊锻件沿长度方向划分若干区段，并画出各区段典型截面（图 25.1-103）。

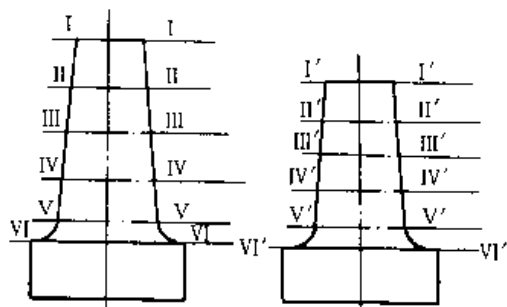


图 25.1-103 叶片预成形辊锻件的分段

② 按体积不变条件求出预成形辊锻件各相应

区段长度（图 25.1-103），即

$$l'_{(I II)} = \frac{A_{(I I)} + A_{(II II)}}{A'_{(I I)} + A'_{(II II)}} l_{(I II)}$$

式中 $l_{(I II)}$ ——终成形锻件 I—II 区段长度；

$l'_{(I II)}$ ——预成形毛坯 I—II 区段长度；

$A_{(I I)}$ ——终成形锻件 I—I 截面积；

$A'_{(I I)}$ ——预成形毛坯 I—I 截面积；

$A_{(II II)}$ ——终成形锻件 II—II 截面积；

$A'_{(II II)}$ ——预成形毛坯 II—II 截面积。

按上式分别求出预成形毛坯各对应区段长度。再考虑前滑后便可计算出预成形型槽长度。

在设计完预成形辊锻模后，便可设计制坯辊锻模。制坯辊锻模可按前述原则参照本章中制坯辊锻模具设计一节中所介绍的方法设计。

6 辊锻模设计实例

例 1 转向直拉杆臂的制坯辊锻

汽车转向直拉杆臂锻件（图 25.1-104）的锻造是采用辊锻制坯，模锻成形工艺。

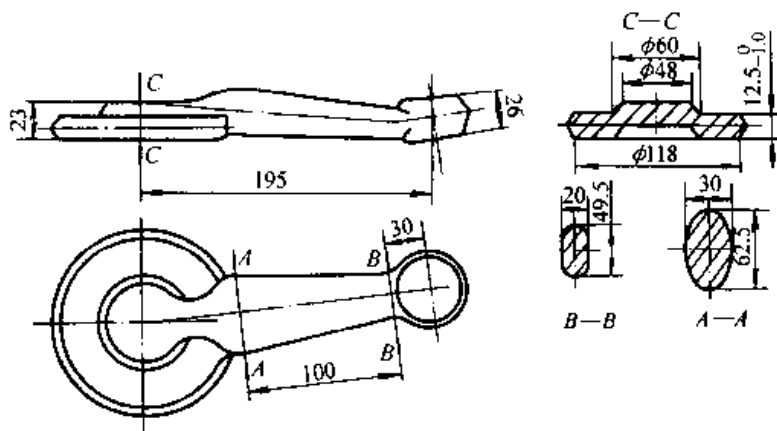


图 25.1-104 转向拉杆臂锻件图

其生产工艺为：直径 $\phi 55$ mm 的圆钢，在锻模公称直径为 $\phi 315$ mm 的辊锻机上进行两道次辊锻（其辊锻工步图见图 25.1-105）。然后经 20 000 kN 热模锻压力机上预锻，终锻；再经 2 500 kN 压力机上热切边与压弯工步，即完成锻造过程。

辊锻时，采用椭圆—圆型槽系。其辊锻模具图，见图 25.1-106。

例 2 取力箱操纵杆的制坯辊锻

载重汽车取力箱操纵杆锻件（图 25.1-107），采用辊锻制坯、模锻成形工艺。

其生产工艺为：直径 $\phi 40$ mm 的圆坯在锻模

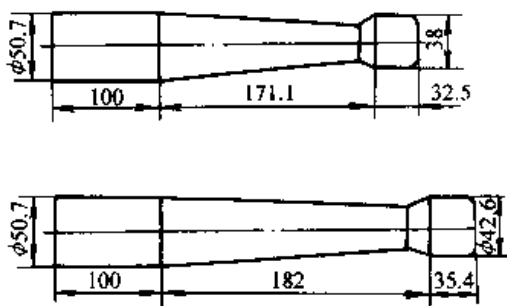


图 25.1-105 转向拉杆臂辊锻工步图

公称直径为 $\phi 400$ mm 的辊锻机上进行三道次辊锻，辊后毛坯在 20 000 kN 热模锻压力机上进行终锻，然后在 2 500 kN 压力机上进行热切边与压

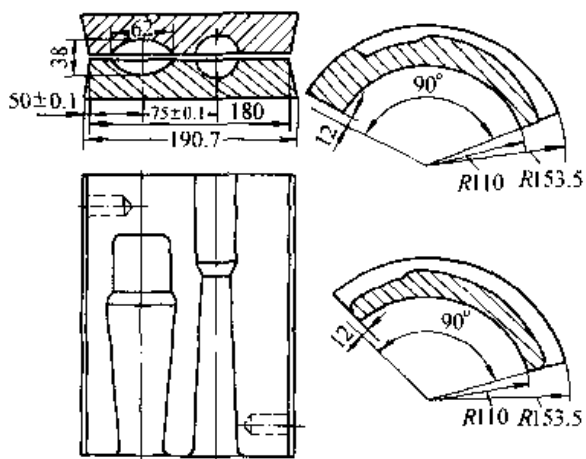


图 25.1-106 转向拉杆臂辊锻模具图

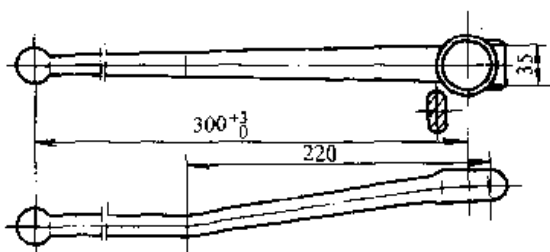


图 25.1-107 取力箱操纵杆锻件图

弯工步，即完成该锻件的锻造过程。

其辊锻工步图见图 25.1-108。

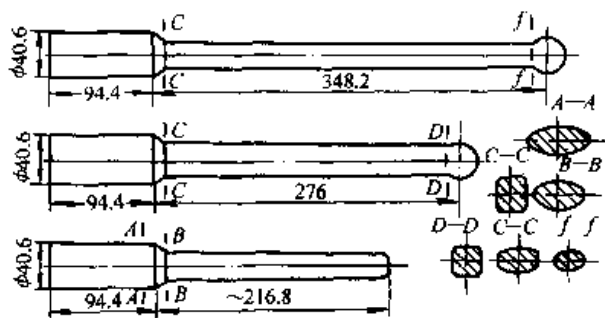


图 25.1-108 取力箱操纵杆辊锻工步图

其辊锻模具图见图 25.1-109。

例 3 汽车推力杆的制坯辊锻

2.5 t 载重汽车推力杆锻件重 8.33 kg，采用辊锻制坯锻压机模锻成形工艺（图 25.1-110），其工艺过程如下：

1) 下料 $\phi 80$ mm 圆坯用工频炉加热到 200~300℃，然后在 12 500 kN 剪床上剪断成长 310 mm、重 12.4 kg 的坯料。

2) 加热 坯料在中频加热炉内加热到 1 230~1 250℃。

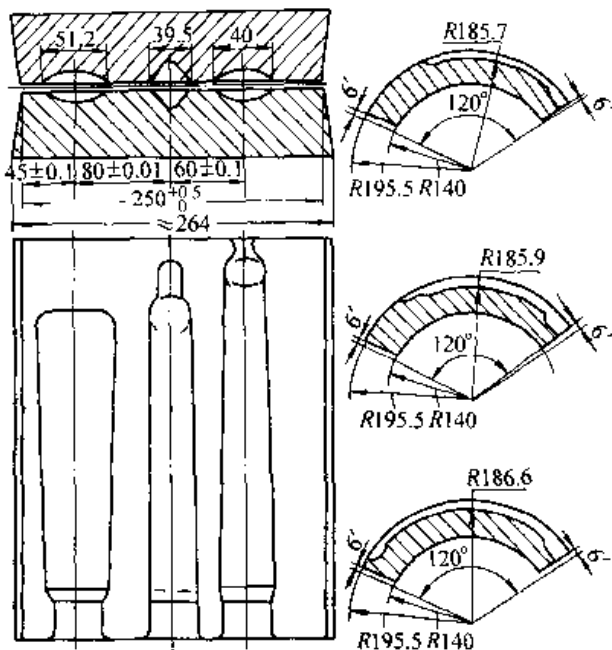


图 25.1-109 取力箱操纵杆辊锻模具图

3) 制坯辊锻 在直径 400 mm 的辊锻机上进行四道辊锻。

4) 模锻 在 31 500 kN 热模锻压力机上进行压校、预锻及终锻三个工步。

5) 切边 在 2 500 kN 压床上切边。

6) 冷校 锻件经正火处理及酸洗后，在 4 000 kN 摩擦压力机上进行冷校正。

辊锻模模具材料为 5CrNiMo，模具平均使用寿命为 15 000 件。

例 4 汽车变截面板簧簧片成形辊锻

汽车少片变截面板簧簧片与传统的多片等截面板簧相比，具有重量轻、节约材料、制造成本低，车辆运行的平顺性与舒适性好等优点。但该板簧簧片的尺寸精度要求较高，成形工艺也较为复杂。采用成形辊锻工艺制造变截面板簧簧片，具有不扭曲、无飞边、两侧光滑、圆角过渡均匀、几何形状准确、尺寸精度高等特点。因此成形辊锻工艺已广泛用于汽车变截面板簧簧片的生产中。

(1) 变形特点分析

汽车变截面钢板弹簧簧片（图 25.1-111），沿其长度方向上，宽度不变，而厚度是变化的，属于等宽单楔形工件。在该簧片的辊锻过程中（图 25.1-112），压下量是变化的，而且是不断增加的，即金属的被压缩量是不断增加的，因此板片的宽度势必随之而增加。故对于等宽形变截

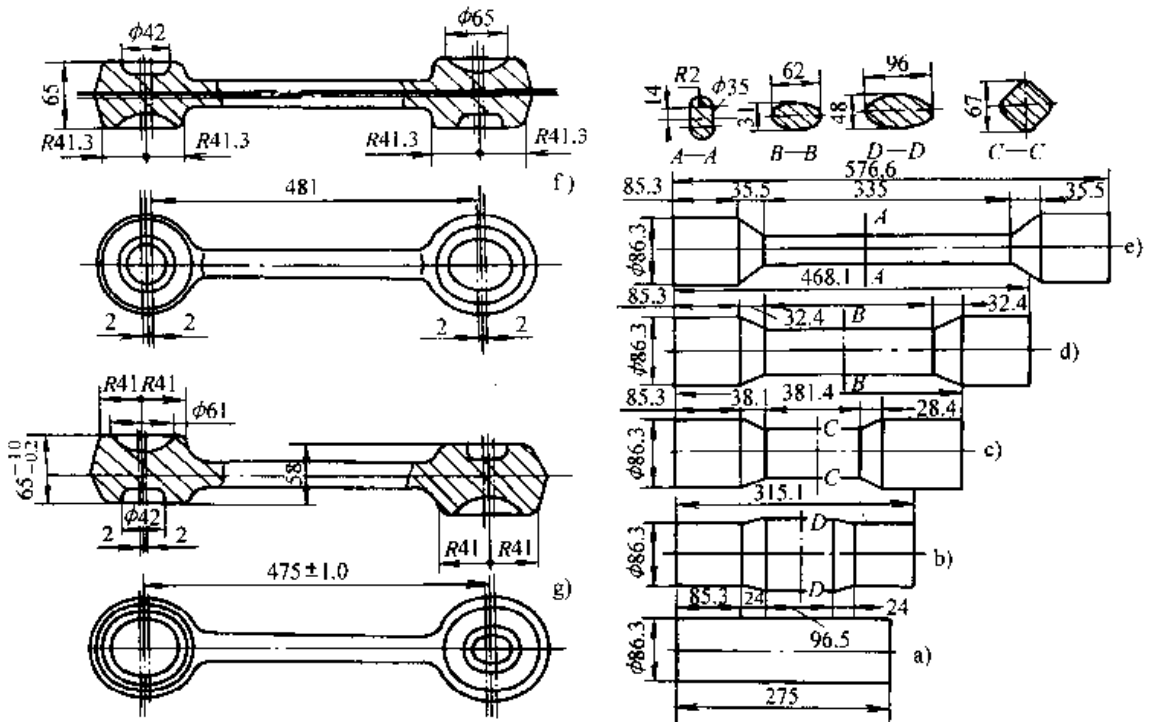


图 25.1-110 汽车推力杆辊锻和模锻工步图

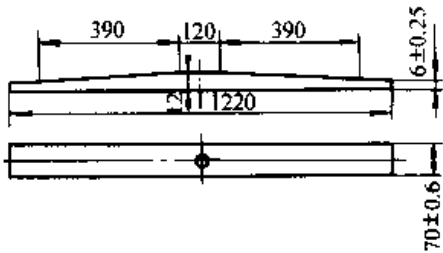


图 25.1-111 NQ1040 农用汽车变截面前簧簧片

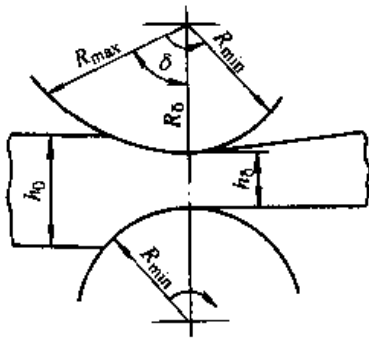


图 25.1-112 变截面簧片的辊锻过程

面簧片而言，必须考虑在纵向变截面轧制前或轧制后增加必要的工序，以获得宽度尺寸相同的变截面簧片，即在纵向变截面轧制前对原始板料进行宽度预压成形，使板料预先具有锥形形状（图 25.1-113a），然后在锥形段内再进行纵向变截面轧制，便可获得等宽变截面簧片（图 25.1-113b）。

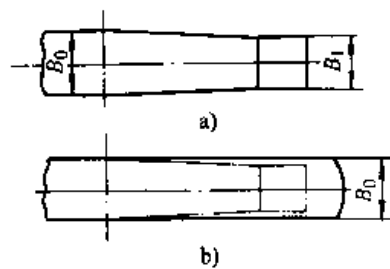


图 25.1-113 变截面簧片的变形方案

a) 宽度预压后的形状 b) 变截面辊锻后的形状

根据变截面板簧簧片的变形特点分析，可确定其工艺方案为：宽度预压→平预辊→精辊。

(2) 辊锻模设计方案

以 NQ1040 型农用汽车变截面板簧前簧簧片为例（图 25.1-111），介绍其辊锻模具设计方案：

该簧片原毛坯为 70 mm × 12 mm 弹簧扁钢，在中频炉内加热到 1 050 ℃，然后在 D42-400 型双支承辊锻机上辊锻 3 道，即完成锻造过程。

其辊锻模槽如下：

立辊型槽：进行板坯的宽度预压见图 25.1-114a。

平辊制坯型槽：进行变截面簧片的纵向延伸，型槽型式为闭式型槽，见图 25.1-114b。

平辊终成型型槽：进行变截面簧片的终成形辊锻，型槽型式为闭式型槽，见图 25.1-114c。

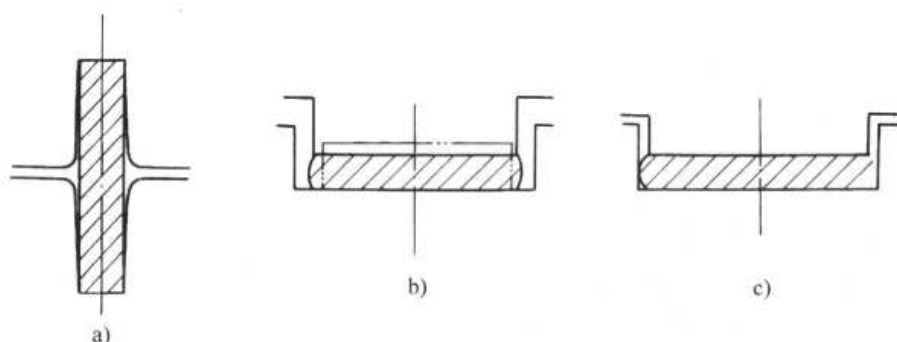


图 25.1-114 辊锻型槽方案

例 5 医用镊子冷辊锻

采用冷辊锻工艺生产医用镊子具有明显的技术经济效果。与原使用的锤上模锻工艺比较，锻造生产率提高 2.3 倍，仅就辊锻这一工步来说提高效率 20 倍。由于采用了冷锻，提高了镊子锻件的尺寸精度和减小了表面粗糙度，所以可取消粗砂轮磨削工序，减少了铣、锉、磨等机械加工工序，比用热模锻时简化了 13 道工序。同时，材料消耗减少了 45.7%，产品成本降低了 30.02%。

医用镊子采用冷辊锻工艺生产后，提高了产品的质量和性能：金属的纤维流向沿轴线方向分布较以前更为合理；晶粒得到细化，晶粒度由六级上升为七级，组织更加致密，经冷辊锻后，金属受到强化，提高了机械强度和使用性能。

(1) 医用镊冷辊锻生产的工艺流程

现以医用敷料镊子（图 25.1-115）为例，介绍一下生产工艺主要流程：

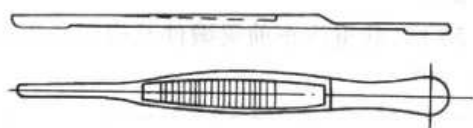


图 25.1-115 医用敷料镊子锻件

1) 下料 在辊锻机上将退火冷轧钢板剪成条料。对退火冷轧钢板的要求是：没有过大的毛

刺和扭曲，没有锈迹和油污。剪料前，要将坯料准备平整。

2) 冷成形辊锻 在辊锻机上进行一道辊锻成形，一次辊锻多件。一次辊锻件数的多少，要根据镊子的长度规格尺寸来确定。如辊锻 12.5 cm 敷料镊子时，是一次辊锻六件。辊锻模槽在上模，下模是平的。

- 3) 切边 在冲床上进行冷切边。
- 4) 冷精压 在冲床上进行冷精压。
- 5) 点焊。
- 6) 抛光。

医用镊子冷辊锻各工步见图 25.1-116。

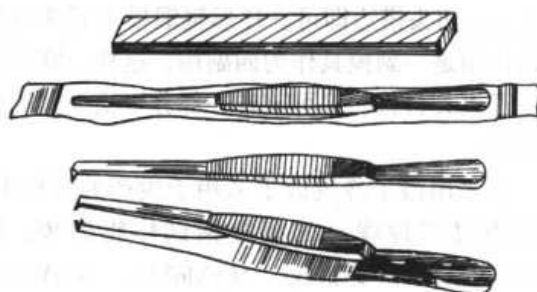


图 25.1-116 医用镊子冷辊锻工步图

医用镊子冷辊锻所用设备为滚动轴承双支承式辊锻机，其技术参数见表 25.1-18。

表 25.1-18 医用镊子冷辊锻机技术参数

序号	参数名称	量值	序号	参数名称	量值
1	锻模公称直径/mm	250	4	锻辊可用长度/mm	130
2	公称压力/kN	400	5	锻辊转速/(r/min)	24
3	锻辊直径/mm	160	6	锻辊中心距调节量/mm	50

(2) 医用镊子冷辊锻工艺中的几个技术问题

1) 医用镊子冷辊锻时相对压下量的选择 辊锻时，相对压下量的大小不仅影响着金属对模膛的充填，而且影响到辊锻件的表面粗糙度、辊

锻变形力以及模具的使用寿命。通常相对压下量大则锻件成形好，表面粗糙度高，但超过一定范围，在冷锻时，锻件边缘就易产生裂口，表面粗糙度反而变大。随着相对压下量的增加，辊锻时

的单位压力也随之上升, 模具寿命迅速下降。故相对压下量应选择适当。

在冷辊医用镊子时, 当相对压下量取在 15% 以下时, 金属对模膛的充填性就差, 部分辊锻件就有缺肉现象; 但相对压下量取在 60% 以上时, 辊锻件边缘就出现裂口现象。生产实践表明, 当相对压下量取在 15% ~ 50% 范围时, 医用镊子冷辊锻效果最好: 锻件成形良好, 边缘无裂口, 表面粗糙度小。医用镊子冷辊锻时, 锻件各部位所取相对压下量见表 25.1-19。

表 25.1-19 医用镊子冷辊锻时锻件各部位相对压下量分配表

锻件上部位名称	后根	柄部	头部
相对压下量/%	40	24	16

2) 辊锻模具 医用镊子采用的是单道次连续冷辊锻工艺, 故其所用模具的形式为环形辊锻模。环形辊锻模的外径为 225~250 mm, 模块宽度为 130 mm。型槽深度也就随之定下来。环形模上开四列型槽, 每列六个模槽, 即是采用单排串连式排样。这样可以连续辊锻, 节约料头损失。根据辊锻模圆周展长, 每两头之间距离只要留 2 mm 切头搭边即可。环形辊锻模上开四列型槽的作用是一副模具作为四副用, 这样, 既充分利用了模具材料, 又可节省一部分更换模具的辅助时间。

在医用镊子冷辊锻工艺用于生产的过程中, 曾选用过多种牌号的模具钢试作辊锻模, 如 40CrMnMo, 5CrNiMo, 5CrMnMo, 9CrWMn, GCr15 等, 试验结果是 GCr15 较好。它的耐磨性、热处理变形、淬透性、表面强度、硬度等都较好。

辊锻模具的热处理硬度为 60~63HRC。

一套辊锻模(六个型槽)的最高使用寿命为 10 万把即 20 万片。

3) 辊锻生产过程中锻件的长度尺寸控制 为保证辊锻件的长度方向的尺寸精度, 必须从以下几个方面严加注意。

① 在设计辊锻模槽时, 对锻件的各个部位都要考虑前滑的影响。以 12.5 cm 敷料镊子为例, 其平均前滑值为 4.3%, 但其各个部位前滑值的大小也是不同的, 如头部的前滑为 5.1%, 而柄部刻花部的前滑值为 4.2% (上述前滑数值均为实测)。因此, 在模具设计时, 要对各个部

位的长度进行精确计算。

② 在模具制造时, 要保证足够的精度。长度划线使用分度头, 样板要经投影检验。模具的热处理变形要控制在 $\phi 250$ mm 外径范围内不大于 0.1 mm。在磨削内外圆时, 要保证上下辊锻模直径一致, 如果加工得不一致, 由于线速度不同也能出现锻件长度尺寸的差异。此外, 要保证内外圆同心度不大于 0.03 mm。

③ 在操作上, 要控制辊锻模内径和辊轴的配合, 及辊锻模键槽与键的配合, 如配合过松也能引起锻件长短不一致的情况发生。随着辊锻过程的进行, 模具温度上升, 摩擦系数也随之变化, 锻件长度也要有所变化。在这种情况下就要及时调节, 如将压下量适当减少等。只有这样, 才能控制在全长 125~250 mm 范围内 ± 0.5 mm 的精度。整圈镊片才能基本相等, 使二镊片的配合保证精度要求。

例 6 汽车前梁辊锻模设计

(1) 前梁的制坯辊锻

在以 120 000 kN 热模锻压力机为主机的模锻自动线上, 载重汽车前梁的锻造工艺如下:

经加热的毛坯在 $\phi 930$ mm 双支承辊锻机进行两道次辊锻, 辊锻后的毛坯在 120 000 kN 热模锻压力机上进行弯曲、预锻、终锻, 然后在 12 500 kN 压床上切边, 再经 16 000 kN 液压机上校正并压平前梁弹座, 全部生产过程都是自动进行的。

50 kN 载重汽车前梁锻件及辊锻各工步见图 25.1-117。

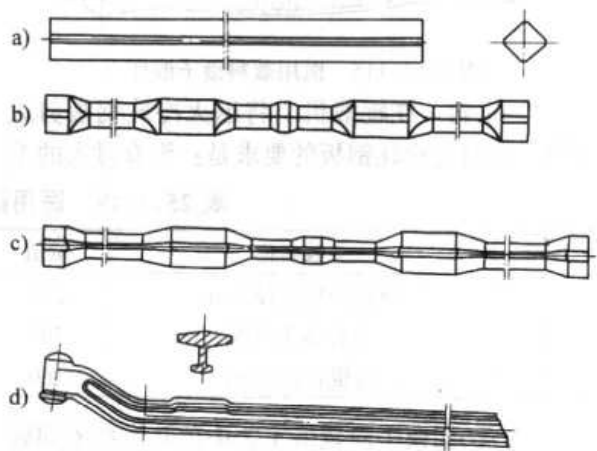


图 25.1-117 50 kN 载重汽车前梁锻件及辊锻各工步简图

a) 原毛坯 b) 第一道辊锻后 c) 第二道辊锻后
d) 经弯曲、预锻、终锻、切边、校正后的前梁锻件

(2) 前梁成形辊锻

汽车前梁成形辊锻工艺已日趋成熟，特别是近几年，前梁生产逐步采用整体辊锻模锻复合工艺，它是在成形辊锻工艺基础上，引入模锻工艺，原理上汲取各自优点，但组成优于两者的新工艺，该工艺适用于各类轻、中、重型汽车前梁锻件的生产。为少投入、高质量、大批量生产复杂类汽车零部件探索了一条新途径。

1) 汽车前梁成形辊锻工艺

汽车前梁（图 25.1-118）成形辊锻工艺流程如下：

- ① 下料 采用 G4032 带锯条下料。
- ② 加热 采用 KGPS250-1 型中频感应炉加热。
- ③ 成形辊锻 采用 D42-800 辊锻机，进行制坯、预成形、终成形三道次辊锻。
- ④ 局部整形 采用 J53-630 摩擦压力机局部掉头整形。
- ⑤ 切边 采用 J53-400 摩擦压力机掉头切边。
- ⑥ 弯形 采用 YAT1-1000 液压机定长弯形。
- ⑦ 热校正 采用 16 000 kN 摩擦压力机整体热校正。
- ⑧ 热处理 采用连续炉进行调质处理。

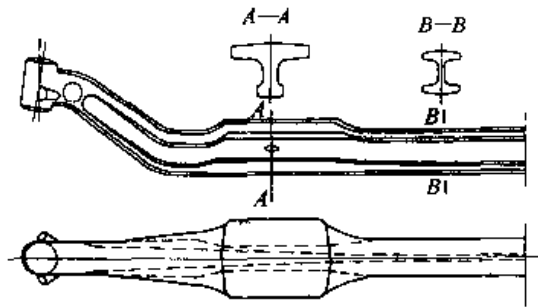


图 25.1-118 汽车前梁锻件图

该工艺将圆钢通过制坯、预成形、终成形三道次辊锻制成带飞边直坯锻件，然后通过局部整形、切边、弯形、热校正完成锻件生产，从而达到工艺要求的几何尺寸。

由于汽车前梁锻件虽左右形状对称，但其截面起伏较大，特别是钢板位于限位块部位具有深而窄的截面（图 25.1-118 A—A 截面），这些都

型槽，以解决 A—A 截面在辊锻中产生的不均匀变形和所要求的宽展。

② 为解决辊锻各道次周期啮合，选取合适的前滑值。

③ 为解决锻件两个拳头（即两端）的良好成形，需分别在后壁易成形区各成型一个拳头。

④ 为解决辊锻件长度的波动，需控制始锻温度，并在后续工序中定长变形。

⑤ 为保证制坯辊锻件平直出模，采用了“上压力”轧制方式。

3) 成形辊锻的模具设计

① 根据零件图绘制锻件图及辊锻件图 设计锻件时，分模面、加工余量及公差、模锻斜度的选取原则与模锻相同。由锻件图展开成辊锻件图主要在于中性层系数的选取，绘制的辊锻件图如图 25.1-119。

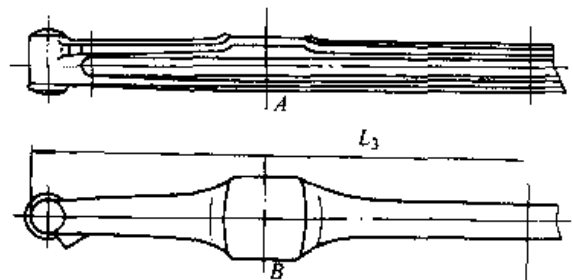


图 25.1-119 汽车前梁辊锻件图

② 选择毛坯及辊锻道次

a) 绘制锻件截面图 从截面图上可以确定锻件最大及最小截面积，各区段体积、总体积及锻件纵向变化情况。

b) 原材料确定： $A_0 = K \times A_{max}$

式中 A_0 —— 毛坯截面积；

K —— 截面增大系数；

A_{max} —— 辊锻件最大截面积。

毛坯直径 $d_0 = \sqrt{4A_0/\pi}$

计算出来的毛坯直径圆整到国家标准系列。

c) 辊锻道次的确定

$$Z = \lg \lambda_s / \lg \lambda_p$$

式中 Z —— 辊锻道次；

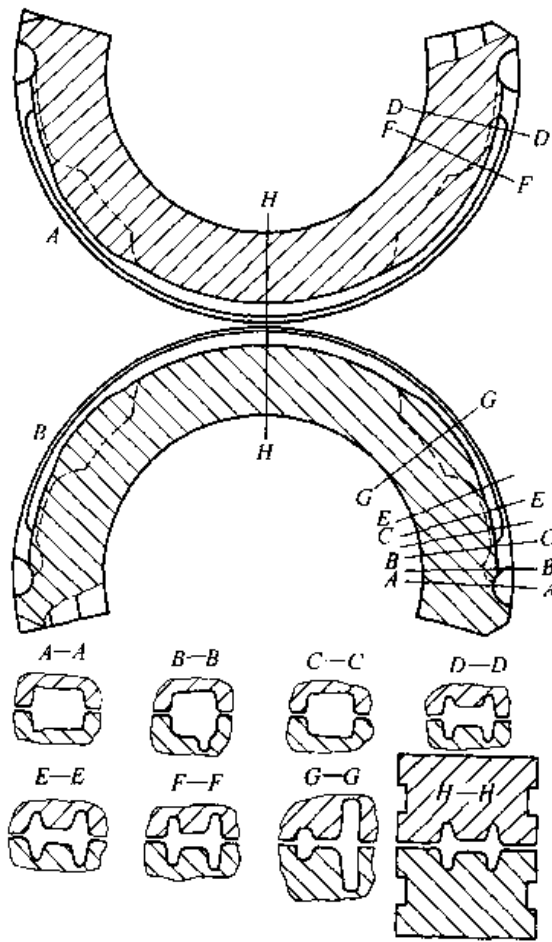


图 25.1-120 汽车前梁预成形辊锻模

④ 预成形辊锻模的设计

a) 绘制预成形辊锻件 为保证终成形辊锻件的良好成形, 在预成形时预先形成一个拳头, 另外需按相应部位体积相等的原则, 设计预成形辊锻件如图 25.1-121 所示。

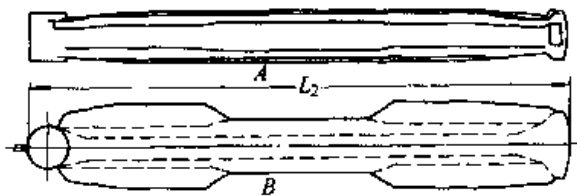


图 25.1-121 汽车前梁预成形辊锻件图

b) 预成形辊锻模的设计 选择前滑值, 计算出模具弧长并换算成模具中心角, 设计的预成形辊锻模见图 25.1-122, 为保证“拳头”部位的良好成形, 将其放在后壁易成形区, 为适应毛坯长度尺寸的变化, 去掉模具前壁。

⑤ 制坯辊锻模具的设计

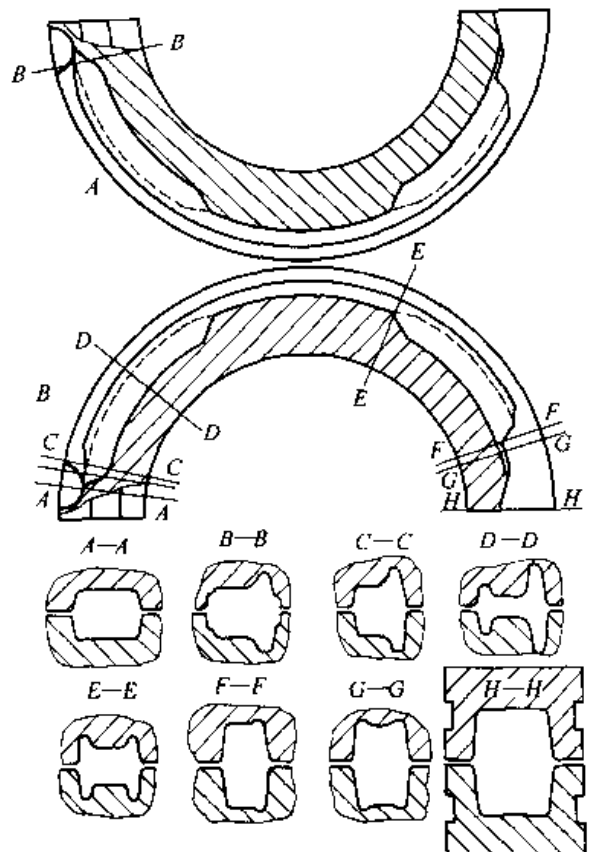


图 25.1-122 汽车前梁预成形辊锻模

a) 毛坯辊锻件的设计, 根据辊锻件设计制坯辊锻模。设计的毛坯辊锻件见图 25.1-123。

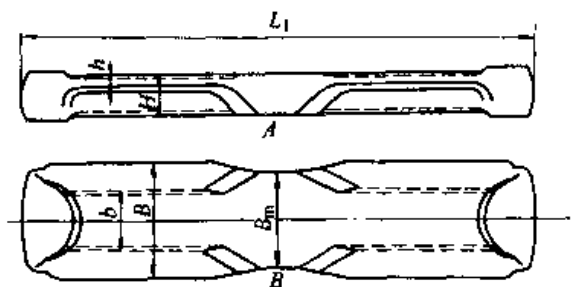


图 25.1-123 汽车前梁毛坯辊锻件图

关键在于选择一个典型的异型截面: 礼帽型, 其优点是既能保证在相同的压下量时, 对于其他截面有最大的宽展, 又能解决下一道辊锻时的不均匀变形, 避免毛坯的左右偏摆。

b) 特征 采用 B-B、C-C 截面为礼帽形, 见图 25.1-124 制坯模具图。

⑥ 模具安装固定, 模具材料、热处理及打弯模具寿命的措施 模具在辊锻机上下轧辊上采用衬圈紧固, 模具材料有 5CrNiMo、5Cr2NiMoVSi、QT600-3 等, 其热处理硬度要求 38~42HRC。

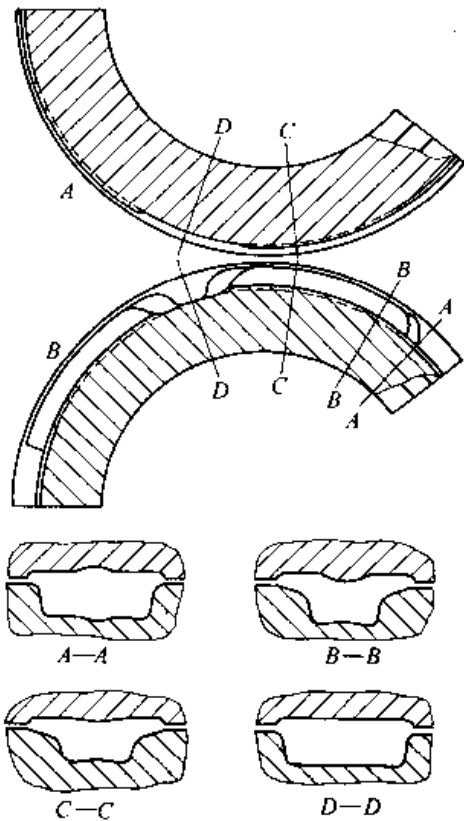


图 25.1-124 汽车前梁制坯模具图
提高模具寿命的措施是：
a) 减小模具表面粗糙度；
b) 选择并使用合适润滑剂；

- c) 合适的热处理方法；
- d) 模具的日常修复与维护；
- e) 模具结构的优化设计。

4) 成形辊锻工艺的优缺点分析 目前国内汽车前梁生产工艺有代表性的主要有以下几种：

① 125MN 热模锻压力机生产工艺 先采用辊锻制坯，然后在热模锻压力机上成形，其生产率高、锻件质量好，但其投资大，设备结构复杂，工艺装备制造周期长。

② 16 t 蒸-空模锻锤生产工艺 该工艺锻件质量较好，但其投资较大，其劳动条件差、能耗、噪声大，工人劳动强度大，对厂房及地基要求高。

③ 成形辊锻工艺 该工艺的前梁生产从制坯、预成形到终成形均采用辊锻工艺。其投资少、生产率高，适应多品种生产。其缺点是：锻件长度波动大，拳头角度不易控制，局部缺肉，外观质量较差。

④ 汽车前梁整体辊锻模锻复合工艺 通过三道次辊锻，对锻件工字型部分终成形，然后通过模锻对两端模锻成形。该工艺产品质量好、工艺流程短、材料利用率高、能耗低、生产效率高，彻底解决了单纯成形辊锻工艺时锻件长度尺寸难以控制的问题，更适合多品种大批量生产。

第2章 楔横轧与孔型斜轧模具设计

1 概述

1.1 工作原理

楔横轧的工作原理如图 25.2-1 所示,两个带楔形模具的轧辊,以相同的方向旋转并带动圆形轧件旋转,轧件在楔形孔型的作用下,轧制成各种形状的台阶轴。楔横轧的变形主要是径向压

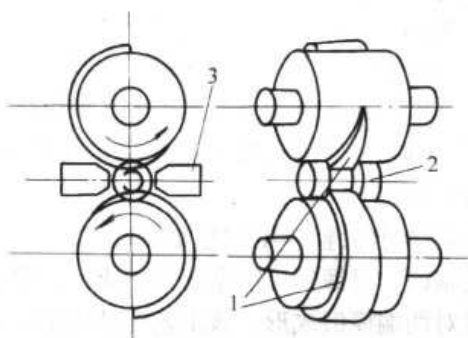


图 25.2-1 楔横轧原理图

1—带楔形模具的轧辊 2—轧件 3—导板

缩轴向延伸。

楔横轧广泛应用于汽车、拖拉机、摩托车、内燃机等轴类零件毛坯的生产。还可以用它为模锻件提供比其他锻造方法更精确的预制毛坯,例如发动机连杆,五金工具等,我国楔横轧的部分零件如图 25.2-2 所示。

螺旋孔型斜轧(简称孔型斜轧)的工作原理如图 25.2-3 所示,两个带螺旋孔型的轧辊,其轴心线相互交错,轧辊以相同方向旋转并带动圆形轧件既旋转又前进,轧件在螺旋孔型的作用下,成形回转体零件毛坯。螺旋孔型斜轧的变形主要是直径压缩轴向延伸。

螺旋孔型斜轧应用于球磨钢球、轴承钢球及滚子等零件或毛坯的生产。还可以用穿孔斜轧轧出空心毛管后,在带心棒的螺旋孔型斜轧机上轧出空心的回转体零件毛坯,如自行车闸皮、轴的内座圈等。我国孔型斜轧的部分零件如图 25.2-4 所示。

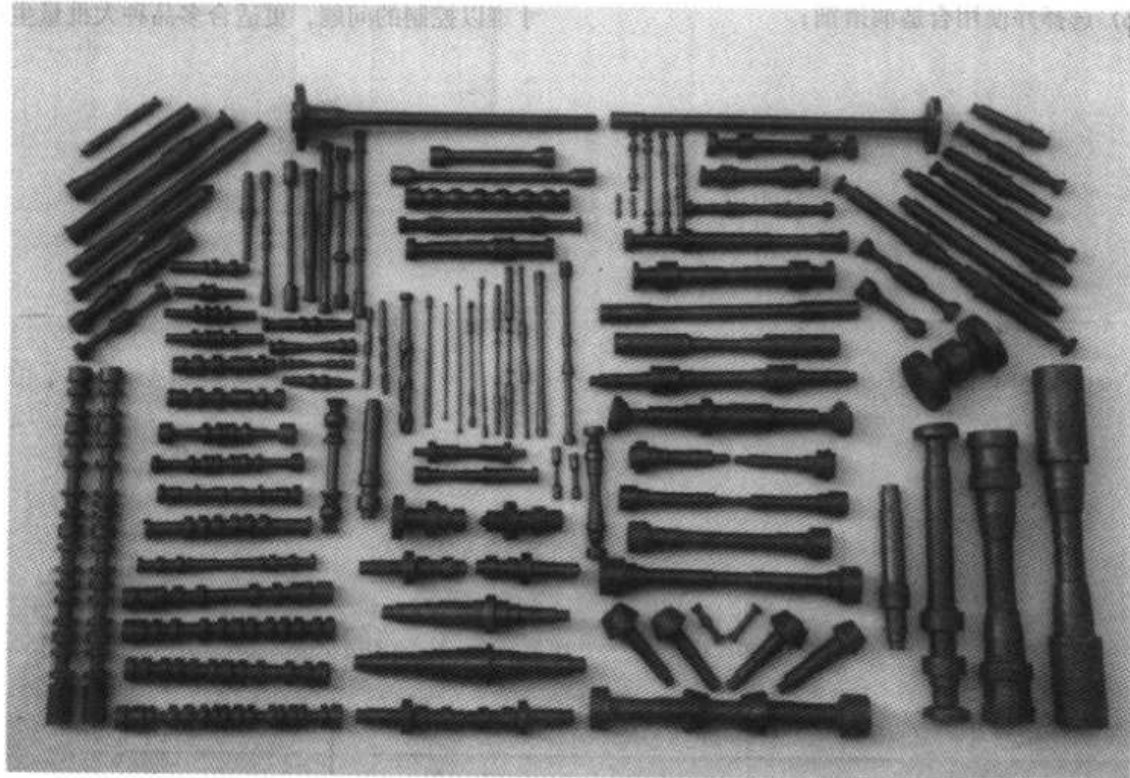


图 25.2-2 我国楔横轧汽车、拖拉机、摩托车、发动机、五金工具等轴类零件

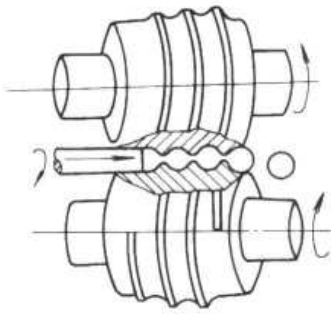


图 25.2-3 螺旋孔型斜轧原理图

1.2 工艺特点

楔横轧与孔型斜轧是一种高效金属成形工艺。它是冶金轧制技术的发展，因为它将轧制等截面的型材，发展到轧制变截面的轴类零件；它又是机械锻压技术的发展，因为它将整体继续塑性成形，发展到局部连续塑性成形，楔横轧与孔型斜轧都是工件在回转运动中成形的，所以又称它为回转成形，也有称它为特殊锻造的。由于成

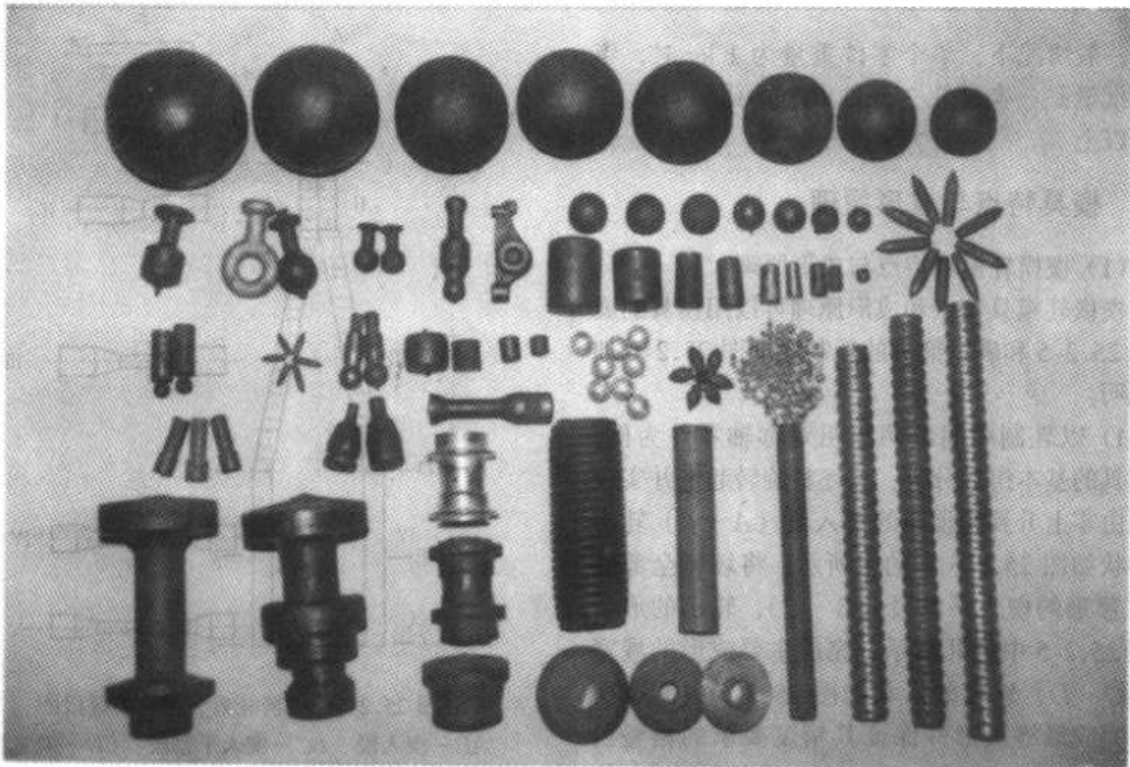


图 25.2-4 我国螺旋孔型斜轧球磨和轴承钢球、汽车、电力、建筑等零件

形的零件都是回转体轴类零件，故又统称它们为轴类零件轧制。

轧制零件与锻造零件在成形方式上不同，前者与后者比较，具有如下突出优点：

1) 工作载荷小 由于是连续局部成形，工作载荷很小。工作载荷只有一般模锻的几分之一到几十分之一；

2) 设备重量轻 由于工作载荷小，所以设备重量轻、体积小及投资省；

3) 生产率高 一般高几倍到几十倍；

4) 产品精度高 产品尺寸精度高、表面粗糙度小，具有显著的节材效果；

5) 工作环境好 冲击与噪声都很小，工作环境显著改善；

6) 易于实现机械化自动化生产等。

将零件轧制中的楔横轧与零件锻造中模锻，生产东风 EQ140 变速箱中的中间轴为例进行比较，如表 25.2-1 所示。

表 25.2-1 楔横轧与模锻生产汽车中间轴的比较

生产工艺	公称压力/kN	设备重量/t	生产率/(件/min)	材料利用率/%	工作噪声/dB
楔 横 轧	600	58	6~8	85	<60
模 锻	40 000	285	2~3	70	>100

与模锻工艺比较，楔横轧与孔型斜轧的缺点是：一是只能生产回转体零件；二是模具尺寸大，设计与制造比较复杂；三是工艺调整难度大

等。综上优缺点，当零件批量小时不宜采用零件轧制工艺。

楔横轧与孔型斜轧的比较，见表 25.2-2。

表 25.2-2 楔横轧、孔型斜轧的比较

生产工艺	生产率/ (件/min)	工件直径 50 mm 公差 /mm	表面粗糙度 / μm	材料利用率 /%	模具复 杂程度	轧辊直 径大小
楔横轧	6~30	0.8	6.3~100	90	较复杂	大
螺旋孔型斜轧	40~3 000	0.6	3.2~50	94	复杂	小

一般情况下，单个零件重量为 1 kg 时，年经济批量是：楔横轧 3 万件以上；孔型斜轧 20 万件以上。

1.3 模具特点与成形原理

(1) 楔横轧模具特点与成形原理

楔横轧模具特点和成形原理可以用模具的展开图 25.2-5 和展宽部分的轧制原理图 25.2-6 加以说明。

1) 以轧制中间细两头粗对称轴零件为例，其模具的基本组成分为：将坯料旋转起来并实现楔顶由零上升到楔顶高的楔入段 (A-B) 轧出的形状如图 25.2-5 中的 I 所示；将坯料全部轧成 V 字形的楔入平整段 (B-C)，轧出的形状如图 25.2-5 中的 II 所示；完成主要成形的展宽段 (C-D) 轧出的形状如图 25.2-5 中的 III 所示；完成最终成形并保证其精度要求的精整段 (D-E) 轧出的形状如图 25.2-5 中的 IV 所示；切除多余金属并保证头部要求以及成对轧制使其断开的剪切段 (E-F) 轧出的形状如图 25.2-5 中的 V 所示；对于复杂形状的轴类件，其模具的组成要比上述的复杂得多，但基本组成基本不变。

2) 楔横轧主要成形在展宽段 (图 25.2-5 中的 C-D 段，图 25.2-6) 进行。展宽段一般由两条左右对称的斜楔组成，斜面与底面 (基圆面) 所成的角称为成形角，用 α 表示；斜面的展开线与中心线 OO 的夹角称展宽角，用 β 表示。成形角 α 与展宽角 β 是楔横轧模具设计中最基本、最重要的两个工艺设计参数。圆形坯料在旋转的轧辊孔型作用下，即在两条对称楔的斜面作用下，实现径向压缩轴向延伸变形 (在个别情况下为轴向压缩径向扩大变形，称堆料轧制)，达到轴类件的成形目的。

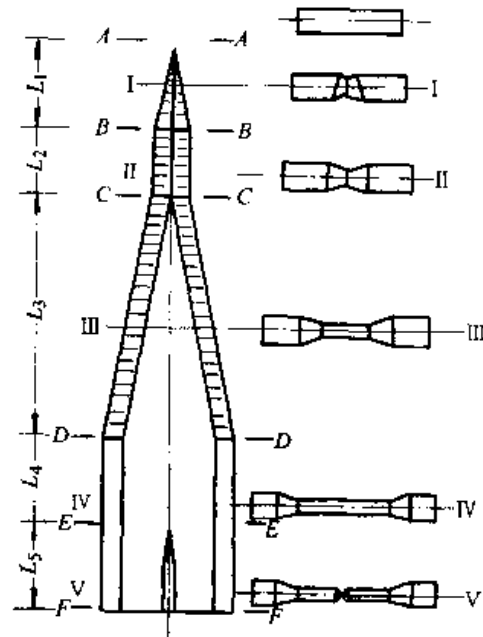


图 25.2-5 楔横轧典型模具的区段图
AB—楔入段 BC—楔入平整段 CD—展宽段
DE—精整段 EF—剪切段

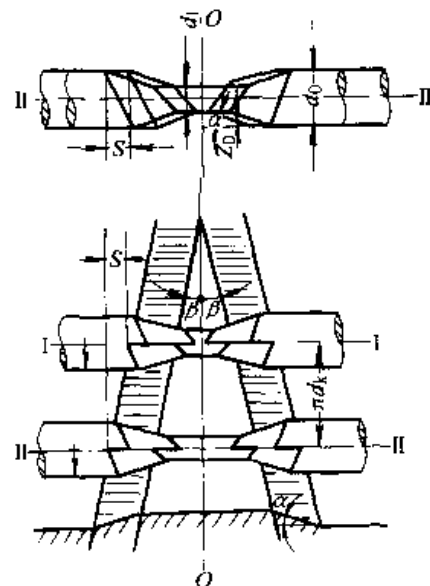


图 25.2-6 典型楔横轧模具的展宽图

3) 这种楔形模具一般是在车床上变螺距方法加工的, 也有靠仿形铣加工的, 先进的方法是在数控车床上加工。为了加工与拆装的方便, 楔横轧的模具做成分块组装的。从何处分块 (一般为非等分的), 主要从加工制造方便与安装方便可靠等方面考虑。

4) 由于楔横轧机的类型不同, 其模具型式也不同。楔横轧机的基本类型有三种: 单辊弧形式、辊式和板式 (图 25.2-7)。单辊弧形式轧机的固定楔形模具为内弧形, 存在制造困难与工艺不易稳定等缺点, 国内外均较少采用; 辊式轧机的楔形模具由于制造比较容易且工艺稳定, 并具有生产率高等优点, 故在国内外应用最为广泛; 板式轧机的楔形模具为平板式的, 可在一般刨床与铣床上加工, 加工容易实现, 但生产率较低, 工艺稳定性不如辊式的, 国内外虽有应用, 但不如辊式广泛。

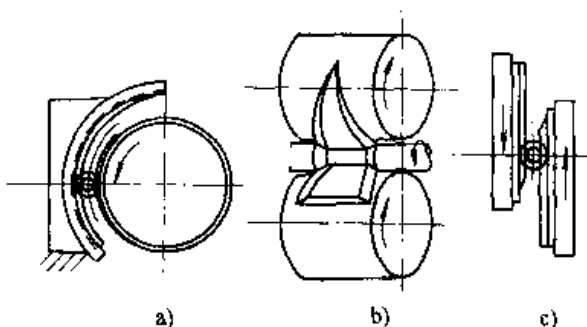


图 25.2-7 三种楔横轧工作原理简图
a) 单辊弧形式 b) 辊式 c) 板式

(2) 孔型斜轧模具特点与成形原理

孔型斜轧模具的特点和成形原理可以用轧制钢球模具的展开图 (图 25.2-8) 和钢球成形过程图 (图 25.2-9) 加以说明。

1) 模具上的孔型为螺旋形, 用度数 α 表示螺旋的长度, 如图 25.2-8 所示。该模具为 $\alpha = 1260^\circ$ 的, 称作 1260° 的孔型。计算绘制模具时一般按 90° 进行等分, 特殊要求的按照 60° 、 45° 、 30° 进行等分。角度按进料向出料方递减进行标注, 这是因为加工模具孔型时, 一般由出料端向进料端进行的缘故。

2) 模具孔型底部到轧辊轴心线的距离 (即轧辊孔型底部的半径) 一般是相等的, 这样便于加工制造。从孔型底部到凸棱顶部的距离称凸棱高度。凸棱高度 h_0 随螺旋长度变化, 为了加工

制造的方便一般呈直线关系。特殊情况也有呈折线或曲线变化的。

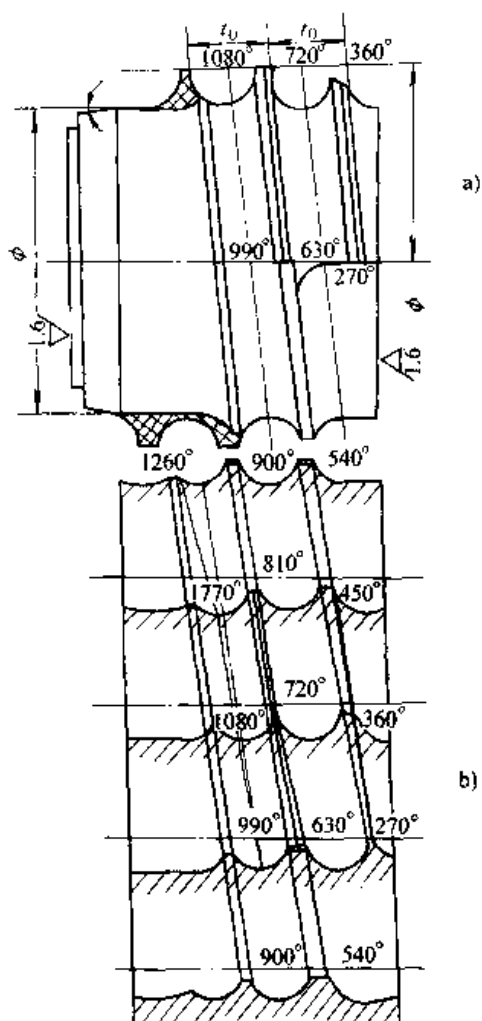


图 25.2-8 孔型斜轧钢球模具图
a) 模具投影图 b) 模具展开图

3) 模具孔型一般分为成形与精整两个区段。在成形区里通过孔型凸棱的高度与宽度等的变化, 将旋转的圆棒料轧制成形; 在精整区里模具孔型基本形状不再变化, 仅切断凸棱上升, 使已成形的毛坯在旋转中进行形状与尺寸的精整和切断。

4) 这种凸棱高度与宽度变化的模具孔型, 一般是靠在车床上变螺距方法加工的, 也有靠仿形或数控机床 (车床或铣床) 加工的。

按体积不可压缩和最小阻力定律, 圆棒料在旋转的轧辊模具作用下, 在旋转中实现径向压缩轴向延伸变形 (在个别情况下为轴向压缩径向扩大变形, 称堆料轧制), 达到轴类件的成形目的。

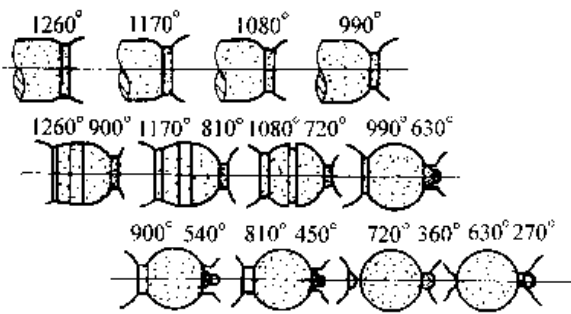


图 25.2-9 孔型斜轧钢球成形过程图

2 楔横轧模具设计

2.1 模具设计一般原则

在设计楔横轧模具时，一般应遵循下述四个原则或者条件。

(1) 对称原则

楔横轧模具上的左右两条斜楔，在工艺上希望完全对称。这样，在轧制过程中模具两边作用于轧件两边的空间力是对称的，因而轧件不会由于轴向力不等而串动，也不会由于轧件两边转速不一致而扭曲。

如果轴件本身在长度上就是对称的（图 25.2-10a），那么只要在制造上与工艺调整上加以注意，就自然地满足这一对称轧制原则。

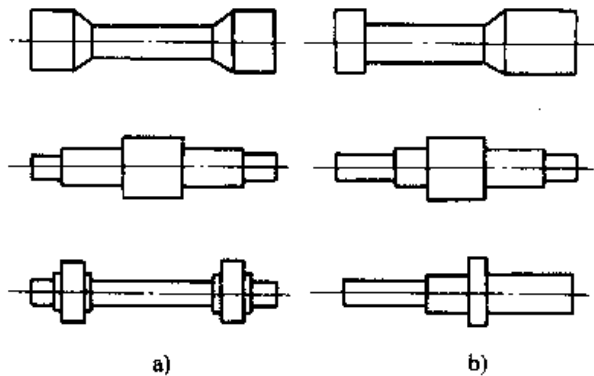


图 25.2-10 楔横轧轴类件
a) 对称件 b) 非对称件

但是，多数轴类件在长度上是不对称的（图 25.2-10b），为了使作用于轧件两边的力符合对称原则，有四种解决办法：

1) 成对轧制 将不对称的两个轴类件相对组合在一起轧制。这种办法不仅将非对称轴类件变为完全对称的轧制，并且使轧机的生产率提高一倍，但对某些长轴类件，往往受到模具尺寸的限制而无法采用。

2) 分段对称轧制 将非对称轴分段用对称楔轧制。

3) 长棒料预轧楔轧制 用预轧楔的方法将非对称轴类件变为对称轧制。

4) 对称力轧制 可将左右两条斜楔的工艺参数（成形角 α 与展宽角 β ）采取不等数值，使其作用于轧件的力，尤其是轴向力尽可能相等的办法。

(2) 旋转条件

设计楔横轧模具时，轧件在模具孔型的带动下能正常稳定的旋转，是楔横轧必须具备的先决条件。

楔横轧轧件的整体旋转条件，由于问题比较复杂，还写不出判别式来。建议用最不利截面的旋转条件判别式进行判断，其判别式为

$$\tan\alpha \tan\beta \leq \frac{d_1 \mu^2}{\pi d_k \left(1 + \frac{d_1}{D_1}\right)} \quad (25.2-1)$$

式中 d_1 —— 轧件轧后的直径；

D_1 —— 轧辊上模具的楔顶直径；

d_k —— 轧件的滚动直径。

从旋转条件判别式（25.2-1）可以看出：

1) 模具与轧件间的摩擦因数 μ 越大，旋转条件越好，而且是平方关系的影响。所以增加摩擦因数 μ 是保证旋转条件最重要最有效的因素。为此，在楔横轧模具的入口处和斜楔面上均刻有平行于轴线的刻痕（图 25.2-6），这样做可以把热楔横轧件的摩擦因数 μ 从 0.2~0.3 提高到 0.35~0.60。

2) 模具的成形角 α 、展宽角 β 、轧件的轧后直径与楔顶直径之比 d_1/D_1 越小，旋转条件越好。但这些参数还受其他重要条件的限制，调整余地不很大。

(3) 缩颈条件

在设计楔横轧模具时，应满足轧件不因轴向力过大将轧件拉细这个条件。轧件不被轴向力 F_z 拉细的判别条件为

$$2F_z < \frac{1}{4} \pi d_1^2 \sigma$$

或

$$F < \frac{\pi d_1^2 \sigma}{8 \sin\alpha} \quad (25.2-2)$$

式中 F —— 轧制压力；

σ —— 轧件材料的屈服应力。

从式 (25.2-2) 可以看出: 当轧件的材料、轧制温度及轧后直径 d_1 等确定后, 轧件是否会拉细, 主要决定于成形角 α 的大小, α 角越大越易拉细。

当断面压缩率比较大时, 容易产生拉细现象, 故成形角 α 应取小的数值。

需要指出的是, 楔横轧的轧件往往不出现中间拉细整体缩颈的现象, 而是常常出现螺旋状凹痕, 如图 25.2-11 所示。这是因为最大轴向拉应力发生在轧件与轧辊斜楔尖部接触的 C 点位置 (此处的应力集中最大), 故首先在 C 处 (见图 25.2-11) 的局部产生轴向拉细缩颈, 轧件在旋转中形成螺旋状凹痕。

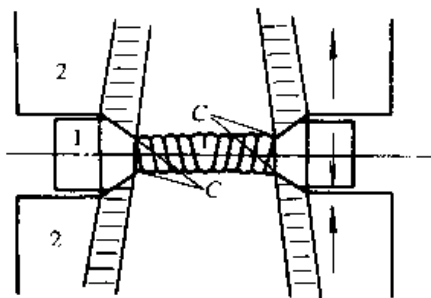


图 25.2-11 轧件产生螺旋缩颈凹痕缺陷
1—轧件 2—轧辊

实验证明, 展宽角越大, 螺旋状凹痕越易产生, 而中间拉细整体缩颈越不易产生。

为了消除螺旋状凹痕, 除了正确选择模具工艺参数外, 将模具楔顶尖 C 处, 做成 $R=1\sim 5\text{ mm}$ 的圆角, 既增加了该处的截面尺寸, 又能减少该处的应力集中, 效果明显。

(4) 疏松条件

楔横轧的轧件, 由于金属纤维沿零件的外形连续分布, 晶粒细化等, 使轧后零件的质量得到提高。

实际与理论都表明: 横轧时, 圆形坯料在连续转动中径向小变形量压缩时, 轧件除轴向延伸外, 径向也产生扩展, 因而在轧件的心部发生拉应力。当坯料旋转时, 若轴向阻力过大时, 轧件横向扩展积累, 心部的拉应力增加, 当达到材料抗拉强度时, 心部就会出现疏松甚至空腔, 这是不允许的。

所以, 在设计楔横轧模具时, 为避免这种现象的出现, 应作如下考虑:

1) 断面收缩率 ψ 小时, 容易产生疏松。因为 ψ 小时, 变形不易渗透中心, 多为表面变形, 故轴向变形小, 而横向变形大, 形成较大的心部拉应力。

2) 成形角 α 小时, 容易产生疏松。因为 α 小时, 斜楔给轧件的轴向拉力小, 轴向变形小, 易造成较大的横向变形, 形成较大的心部拉应力。

3) 展宽角 β 过小时, 相当于径向压下量过小与同一位置拉压次数增加, 容易产生横向变形及心部的较大拉应力。当展宽角 β 过大 (特别是在 ψ 较小时) 时轧件表面金属不容易挤出去, 这部分多余金属在孔型顶面反复揉搓下, 使心部产生较大的拉力。以上两种情况都容易产生疏松。

2.2 工艺参数确定

(1) 断面收缩率 ψ

断面收缩率 (又称断面压缩率) ψ , 是楔横轧中一个基本工艺参数。

断面收缩率 ψ 为轧件前面积 A_0 减去轧后面积 A_1 与轧前面积之比, 即:

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} = \frac{d_0^2 - d_1^2}{d_0^2} = 1 - \left(\frac{d_1}{d_0}\right)^2 \quad (25.2-3)$$

式中 d_0 —— 轧件轧前直径;

d_1 —— 轧件轧后直径。

楔横轧一次的断面收缩率 ψ 一般小于 75%, 否则容易产生轧件的不旋转, 螺旋缩颈甚至拉断等问题。如果轴类件产品直径相差很大, 断面收缩率 ψ 大于 75%, 一般采用在同一轧辊模具上两次楔入轧制, 即每次楔入轧制的压缩率 ψ 小于 75%, 两次总压缩率 ψ 大于 75% 的方法; 在个别情况下, 可采用局部堆积 (毛坯直径增大) 轧制的方法使断面压缩率 ψ 大于 75%。

需要指出的是, 断面收缩率 ψ 小于 35% 时, 若工艺参数选择不当, 不但轧制尺寸精度不易保证, 而且容易出现轧件中心疏松等缺陷。因此 ψ 过小时, 金属只产生表面变形, 轴向没有或基本没有变形, 多余的金属在模具间反复揉搓, 中心产生拉应力与反复切应力使中心破坏所致。对于小的断面收缩率 ψ , 为避免中心疏松应该选择小的展宽角与大的成形角。

所以，楔横轧最有利的断面收缩率为 $\psi = 50\% \sim 65\%$ 。在这个范围的断面收缩率，可以选择较大的展宽角轧制。

(2) 成形角 α

成形角 α 是楔横轧模具设计两个最重要、最基本的工艺设计参数之一。

成形角 α 对轧件的旋转条件、疏松条件、缩颈条件以及轧制压力与力矩都有显著的影响。一般情况下， α 角越大，旋转条件越差，容易产生缩颈，但中心疏松条件改善。

根据理论与实践，成形角 α 大多在以下范围内选择：

$$18^\circ \leq \alpha \leq 32^\circ$$

断面收缩率 ψ 不同时，成形角 α 应选择不同的数值。理论与实践告诉我们，一般情况下， ψ 越大，越容易产生缩颈和不旋转问题，而不易发生中心疏松，故 α 应选择较小值。

断面收缩率 ψ 与成形角 α 的关系，建议按表 25.2-3 所列范围内选择。

在模具孔型的其他部分，例如轧齐部分，切头部分等的成形角 α ，不受 $18^\circ \sim 32^\circ$ 的限制，它可以大于 32° ，甚至接近 90° 。

表 25.2-3 断面收缩率与成形角的关系

断面收缩率 $\psi/\%$	成形角 $\alpha/(^\circ)$	断面收缩率 $\psi/\%$	成形角 $\alpha/(^\circ)$
80~70	18~24	60~50	26~32
70~60	22~30	<50	>28

如图 25.2-12 所示，在模具成形面上还可以作如下考虑：

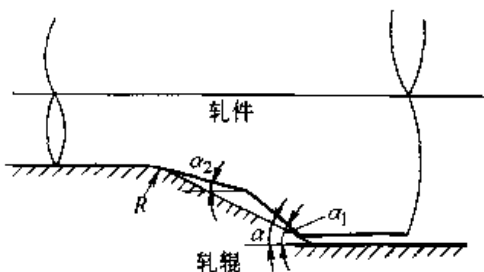


图 25.2-12 模具成形面形状

1) 在楔顶尖角处设计一个圆弧 R 。此处 R 越大，应力集中减轻，越不易产生螺旋缩颈。但 R 不宜过大，否则容易产生金属沿轴向不易变形而出现疏松。此外模具在生产中楔顶尖角处容

易磨损，磨损后的夹角实际就相当于加大 R 。

2) 在楔斜面上设计成双斜面，其中 $\alpha_1 > \alpha$ ， $\alpha_2 < \alpha$ 。由于 $\alpha_2 < \alpha$ 不容易产生缩颈，又由于 $\alpha_1 > \alpha$ 金属容易实现轴向流动双重好处，但在加工制造上增加了难度。

对于二次楔入轧制，由于疏松倾向增加，在选择成形角时，应取大的数值。

(3) 展宽角 β

展宽角 β 与成形角 α 一样是楔横轧工艺设计中两个最重要、最基本工艺设计参数。

展宽角 β 对轧件的旋转条件、疏松条件、缩颈条件以及轧制压力与力矩也都有显著的影响。一般情况下， β 角越大，旋转条件越差，容易产生螺旋缩颈，轧制压力与力矩增加。

根据理论与实践，展宽角 β 大多在以下范围内选择：

$$4^\circ \leq \beta \leq 12^\circ$$

为了减少模具的周长度，模具设计时在允许的条件下应尽可能选取较大的 β 角。

断面收缩率 ψ 对展宽角 β 的影响比较复杂，一般情况是：当 $\psi > 70\%$ 时，应该选择较小的 β 值，否则容易产生缩颈；当 $\psi < 35\%$ 时，也应该选择较小的 β 值，否则容易产生疏松。

断面收缩率 ψ 与展宽角 β 的关系，建议按表 25.2-4 选择。

表 25.2-4 断面收缩率与展宽角的关系

断面收缩率 $\psi/\%$	展宽角 $\beta/(^\circ)$	断面收缩率 $\psi/\%$	展宽角 $\beta/(^\circ)$
80~70	4~8	50~40	5~9
70~60	5~9	<40	>8
60~50	7~12		

需要指出，对于塑性较差的材料，工艺上需要较低温度轧制的碳钢或低合金钢，以及轧制较小直径的轧件，由于温降快，塑性较差时，在选择展宽角时，应选择较小的数值。

2.3 对称轴类件模具设计

将楔横轧模具的设计分为两类：对称轴类件（图 25.2-10a）的模具设计和非对称轴类件（图 25.2-10b）的模具设计。所谓对称轴类件，是指在轴线上存在一根对称垂直轴线的各种轴，否则

为非对称轴类件。

显然, 对称轴类件的模具上孔型的主要特点是: 相对于轧辊轴线的某根垂线的两边的斜楔线, 是完全对称的。

这种对称轴类件的典型模具设计图如图 25.2-5 所示, 分为五个区段: 楔入段、楔入平整段、展宽段、精整段以及剪切段。每一段的作用与设计计算说明如下:

(1) 楔入段 (A-B)

楔入段模具孔型的楔尖高度, 按阿基米德螺线由零 (模具基圆) 增至楔顶高 h 处。

楔入段的作用是使轧件的咬入与旋转, 并将轧件压成由浅入深的 V 型槽, 其最深处在 $\Delta r = r_0 - r_1$ 。如图 25.2-5 中的 I-I 截面所示。

楔顶高 h 与 Δr 的关系为:

$$h = \Delta r + \delta \quad (25.2-4)$$

式中 δ 为轧件外径至轧辊基圆的距离, 其数值一般为: $\delta = 0.3 \sim 2 \text{ mm}$ 。

楔入段的长度 L_1 用下式进行计算:

$$L_1 = h \cot \alpha \cot \beta \quad (25.2-5)$$

楔入段成形角 α 与展宽角 β 的选择, 主要考虑轧件的旋转条件。为了简化模具的设计与加工, 常常让楔入段的成形角 α 与展宽角 β 等于展宽段的数值。

为了防止楔入段轧件不旋转, 除在斜楔面上刻痕外, 还需要在楔入段开始处的前后的基圆面上刻平行于轧辊轴线的刻痕, 如图 25.2-5 所示的。

(2) 楔入平整段 (B-C)

楔入平整段模具孔型形状保持不变, 即此段的楔尖高 h 不变, 展宽角 $\beta = 0$ 。

楔入平整段的作用是将轧件在整周上全部轧成深度为 Δr 的 V 形环槽, 如图 25.2-5 所示的 II-II 截面。其目的为改善展宽段开始时的塑性变形。

楔入平整段的长度 L_2 用下式进行计算:

$$L_2 > \frac{\pi}{2} d_k \quad (25.2-6)$$

一般取 $L_2 = 0.6\pi d_k$, 即保证在二辊楔横轧机上的轧件转动半圈以上。

实践证明, 在模具设计中取消这一楔入平整段, 对轧制过程的稳定与产品的质量均无多大影响。取消楔入平整段, 不仅可以减少模具的长

度, 而且简化了机械加工。

(3) 展宽段 (C-D)

展宽段模具孔型的楔顶高度不变, 但楔顶面与楔底的宽度由窄变宽。

展宽段是楔横轧模具完成变形的主要区段, 轧件直径压缩, 长度延伸这一主要变形是在这里完成的, 轧件在这段的形状如图 25.2-5 III-III 截面所示。

楔横轧的主要工艺设计参数成形角 α 与 β , 主要依据这一段的断面收缩率 ψ 等因素确定, 模具的长度与轧辊的直径大小也主要受它的影响。

展宽段的长度 L_3 用下式进行计算:

$$L_3 = \frac{1}{2} l_1 \cot \beta \quad (25.2-7)$$

式中 l_1 ——坯料轧后以 d_1 为直径的长度 (图 25.2-5)。

楔横轧的轧制压力与力矩, 在五个区段上是不相同的。在一般情况下, 展宽段的压力与力矩在这些区段中是最大的。

(4) 精整段 (D-E)

精整段模具孔型的楔顶高、楔的顶面与楔底的宽度都不变化, 即展宽角 $\beta = 0$ 。

精整段的作用有两个: 一是将轧件在整周上全部轧成所需的尺寸; 二是将轧件的全部尺寸精度与表面粗糙度精整后, 达到产品的最终要求。轧件在这段的形状如图 25.2-5 的 IV-IV 截面所示。

精整段的长度 L_4 用下式进行计算:

$$L_4 > \frac{1}{2} \pi d_k \quad (25.2-8)$$

一般取 $L_4 = 0.6\pi d_k$, 保证在二辊楔横轧机上的轧件转动半圈以上。

由于轧机机座是一个弹性体, 轧制时轧制压力大小是变化的, 所以两个轧辊的轴心间距离、两个模具间的距离是变化的。轧件在精整段中有一定的压力, 当轧件完成精整并离开模具的一瞬间, 由于压力突然消失, 两个轧辊的中心距离突然靠拢, 将给轧件表面留下轴向压痕。为此, 需在精整段的最后部分, 设计一个卸载段。

卸载段的形状如图 25.2-13 所示, 从楔顶面开始按阿基米德螺线 (ab) 其半径由 R_1 变为 R_2 , $R_1 - R_2 = \delta$, 此 δ 量为半径减小值, 它应

大于机座精整结束时的弹跳值。

(5) 剪切段 (E-F)

剪切段的作用是将轧好的轧件切断, 剪切段既可以把切刀放在中间把轧件切成两件或更多件, 也可以放在两头, 切去多余的料头。因切刀的寿命较低, 切刀多单独做好再固定在模具上。剪切段都放在孔型的最后, 并与卸载段重合。

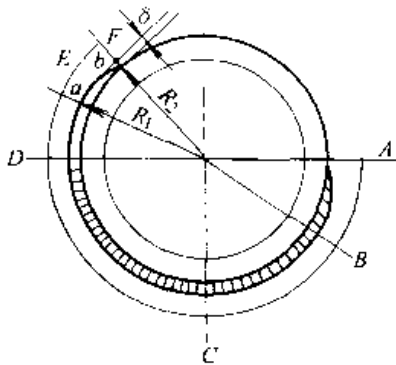


图 25.2-13 楔横轧模具的卸载段
AB—楔入段 BC—楔入平整段 CD—展宽段
DF—精整段 EF—卸载段

2.4 非对称轴类件模具设计

对称轧制是楔横轧模具设计的基本原则之一, 对于非对称轴类件的轧制, 在模具设计上应该使其实现对称轧制这一原则, 或者使其满足对称力轧制的原则。

下面将分别介绍四种非对称轴类件使其实现对称轧制的思路及其方法。

(1) 成对轧制

非对称轴类件采用两个件成对进行轧制, 这是楔横轧模具设计中经常采用、非常有效的方法。这样做还可使轧机的生产由每转一件提高到每转二件, 并节约料头金属。

图 25.2-14 所示的为拖拉机齿轮轴, 是非对称轴 (实线部分), 采用成对轧制后, 就成为完全对称的轧制。

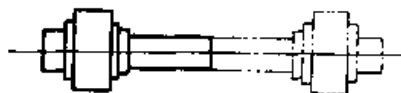


图 25.2-14 拖拉机齿轮轴毛坯

非对称轴采用成对轧制, 需增加模具的长度 (几乎为一倍), 这对某些较长的非对称轴件, 由于受轧辊直径的限制不能实现对称轧制, 换句话说, 一般情况下成对轧制适合于较短的非对称轴

类件。

非对称轴类件成对轧制, 存在如何对轧的问题。例如设计楔横轧喷油嘴模具时, 存在大头放在两边 (图 25.2-15a) 还是大头放在中间 (图 25.2-15b) 的问题。

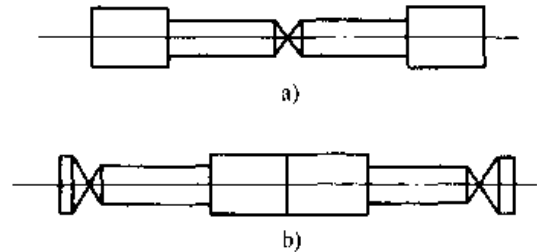


图 25.2-15 成对轧制喷油嘴的两个方案
a) 大头在两边 b) 大头在中间

显然, 大头在中间进行对轧的方案存在两个缺点: 一是存在两个多余金属料头, 二是当料头切除后, 细直径部已无导板支撑, 轴件容易弯曲。大头在两端进行对轧的方案就不存在上述缺点, 但属于内直角台阶轧制, 需要设计特殊的轧齐曲线模具。

对于中间粗、两头细的非对称轴类件, 也存在如何对轧的问题。从节约料头金属的观点出发, 应该是更细直径的在内 (图 25.2-16a), 这样对轧时, 轧件两头的凹陷小, 切除的料头小。相反, 若是更细的直径在外 (图 25.2-16b), 对轧时, 轧件两头凹陷大, 切除的料头多。但是, 当更细直径处的断面收缩率大于 75% 时, 即需要两次楔入轧制时, 若更细直径在内, 由于两次轧齐容易出现问題, 故大多将更细直径放在外轧制。当然, 这样轧制切除的料头要多一些。

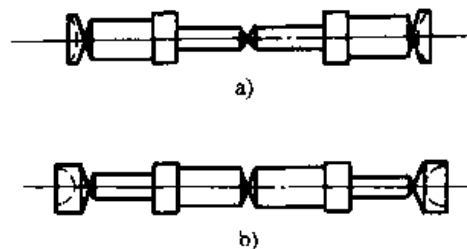


图 25.2-16 中间粗两头细非对称轴类件成对轧制方案
a) 更细直径的在内 b) 更细直径的在外

同样, 对于中间粗两头细的非对称轴类件, 若两头的细直径一样大时, 应该将短头放在两头, 这样进行对轧的轧件头部凹陷小, 切除的料头少。

(2) 分段对称楔轧制

非对称轴类件, 可采用分段以对称楔的方法

进行轧制。对称楔轧，由于两边的作用力完全对称，轧制稳定可靠。

图 25.2-17 为非对称轴用对称楔轧制的例子。首先在模具的 A - B 段，用对称楔将轧件的右边把 d_0 一次压到 d_1 和所需的长度 l_1 ；然后在模具的 B - C 段，用另一对称楔将轧件的左边把 d_0 一次压到 d_2 和所需的长度 l_2 ；最后在模具的 C - D 段，用一对称剪切楔完成非对称轴的全部对称楔轧制。

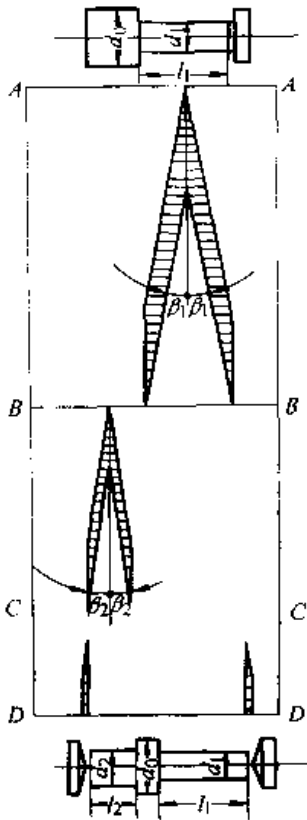


图 25.2-17 非对称轴的对称楔轧制模具图
分段对称楔轧制需要注意解决的问题是分段轧制之间的轴向定位以及增加轧齐部位等。

(3) 对称力轧制

某些非对称轴类件，既不能采用成对轧制，又不能采用对称楔轧制时，只可采用非对称楔轧制，但模具设计上应尽量使其为对称力轧制。

图 25.2-18 为楔横轧麻花钻头锥柄部分。为节约高速钢，柄部用中碳钢与刃部高速钢先焊接，后轧扭麻花刃部，最后楔横轧锥柄部，所以只能进行非对称楔轧制。

图 25.2-18 为楔横轧麻花钻头锥柄的模具孔型图。在模具上，由于左边的斜楔越向左移动断面收缩率 ψ 越大，而右边斜楔越向右移动断面

收缩率 ψ 越小，为实现对称力轧制，故采用 $\beta_1 < \beta_2$ 的非对称楔轧制。

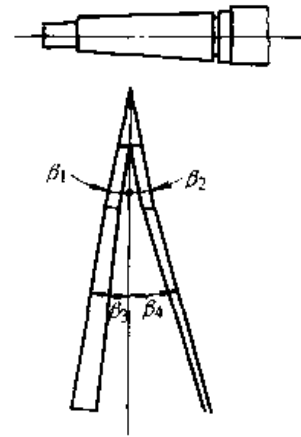


图 25.2-18 非对称楔轧制麻花钻头锥柄

当然，对这种锥形轴，即 ψ 连续变化的轴，展宽角 β 也应该设计成连续变化的，这需要数控或仿形机床进行加工。但这里仍用一般车床加工，展宽角 β 用了四个。在设计上采用 $\beta_3 < \beta_1$ 和 $\beta_4 > \beta_3$ 的非对称楔轧制。

除采用 β 角不等外，还可以采用两边成形角 α 不等的办法，使两边的力对称。

(4) 预轧楔轧制

预轧楔轧制是一种有效地将非对称轴的轧制变为对称楔轧制或者接近对称楔轧制的办法。

这种预轧楔轧制是以长棒料轧制为基础的。图 25.2-19 所示，为长棒料轧制中间粗两头细的非对称轴模具图。

在模具的 A - B 段，设计一个特殊的预轧楔，将圆棒料轧成一个 V 形槽（图 25.2-19b），槽底直径为 d_1 。

在模具的 B - C 段，设计一个对称楔，把非对称轴的全部形状轧成（图 25.2-19c）。

在模具的 C - D 段，设计两个切刀，一个切刀将料头切除，另一个切刀将轧成的轴从长棒料上切下来，而长棒料的头部为预轧过的形状（图 25.2-19d）。

预轧楔的尺寸设计，应满足以下两个体积相等的关系式：

$$V_1 + \Delta V = (V_3 + V_4) + V_5 \quad (25.2-9)$$

$$V_2 + V_5 = (V_3 + V_4) + V_6 \quad (25.2-10)$$

式中 V_1 ——非对称轴右边 d_1 直径部位的体积；

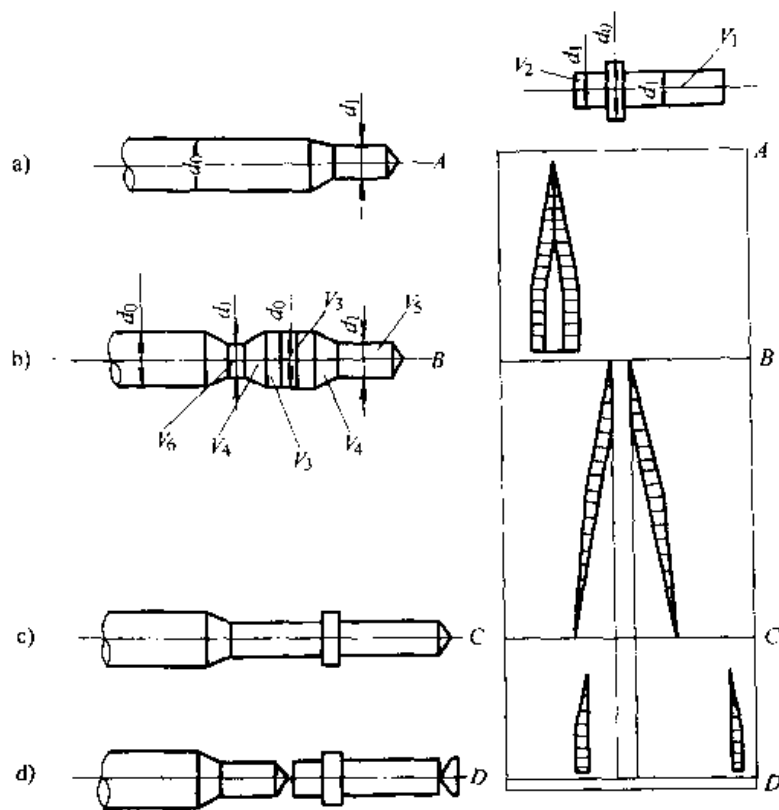


图 25.2-19 预轧楔轧制的模具图

a) 预轧前棒料头部形状 b) 预轧后形状 c) 轧后形状 d) 切断后形状

V_2 ——非对称轴左边 d_1 直径部位的体积；

V_3 —— d_0 直径部位的体积；

V_4 —— d_0 直径过渡到 d_1 直径的锥体体积；

V_5 ——切断后留在料端的 d_1 直径部位的体积；

V_6 ——预轧后 d_1 直径部位的体积；

ΔV ——料头体积。

式 (25.2-9) 与式 (25.2-10) 消去 V_5 后求得 V_6 的体积为

$$V_6 = (V_1 + V_2 + \Delta V) - 2(V_3 + V_4) \quad (25.2-11)$$

V_5 的体积为

$$V_5 = (V_1 + \Delta V) - (V_3 + V_4) \quad (25.2-12)$$

在模具设计中，按式 (25.2-11) 既可预先设定 V_3 求 V_6 ，也可以预先设定 V_6 求 V_3 ，然后按式 (25.2-12) 求 V_5 。

如果非对称轴的两边直径不等时，或者其他尺寸变化时，虽然计算要复杂一些，并且会出现

模具两边的斜楔不完全对称的情况，但基本设计思路是一致的。

最后要说明的是：长棒料轧制的优点不只是解决了将非对称轴变为对称轴轧制这一点，与短棒料轧制相比还有如下一些优点：

- 1) 无需下料这个工序；
- 2) 料头只有一个，而且是小直径（预轧后的）的；
- 3) 采用连续感应快速加热与其配套，机械化自动化水平高，产品质量高等。

所以，长棒料轧制也适用于对称轴类件的轧制。

2.5 带内直角阶梯轴模具设计

在楔横轧产品中，常遇到带内直角的阶梯轴，如图 25.2-20 所示。对这类零件，在设计模具时，存在一个轧齐曲线（又称截止曲线）的问题，即模具的孔型按轧齐曲线设计与加工才能轧出内直角的台阶轴。

如果模具孔型不按轧齐曲线进行设计加工，而按图 25.2-21 所示的 AB 斜线一直宽展到内直

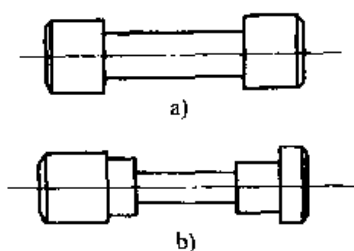


图 25.2-20 带内直角的阶梯轴
a) 对称的 b) 非对称的

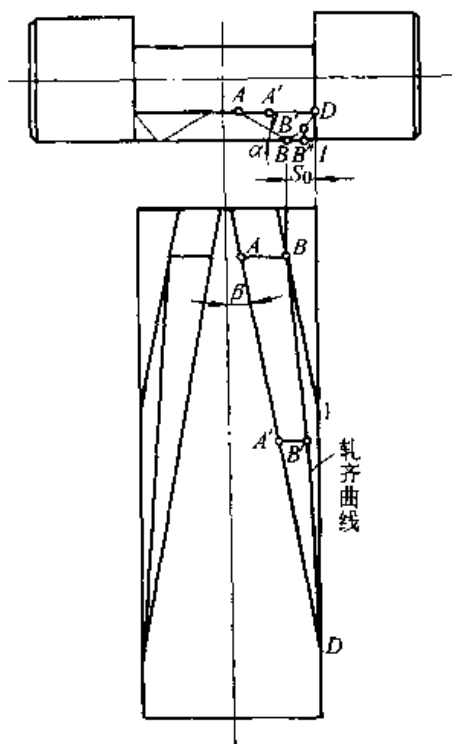


图 25.2-21 楔横轧带内直角阶梯轴
模具孔型的展宽图

角 I 点，然后从 I 点过渡到 D 点，这样的设计与加工虽然简单，但轧不出带内直角的阶梯轴，而是带螺旋纹的锥体。

所以，在设计模具孔型时，不能以 BID 这条折线，而应以斜面 A'B' 与垂直面 B'B'' 的交点形成的曲线，即 BB'D 这条曲线——轧齐曲线才能轧内直角阶梯轴。

(1) 提前量 S₀ 的确定

如图 25.2-21 所示，若要轧制 ADI 这样的内直角阶梯轴，成形斜线 AB 宽展到 B 点，此点 B 距 I 的距离 S₀。成形斜线越往右越短 (A'B')，一直到零；相反，轧齐垂线越往右越长 (B'B'')，一直到这个 DI 台阶全部成形。

斜线 AB 宽展的终点处，即斜线 A'B' 与垂

线 B'B'' 的交点形成的轧齐曲线开始处，此时的 BI 距离 S₀ 称之为提前量。

计算提前量的理论依据是 ABC 面绕轴旋转一周形成的空心锥体体积 V_{ABC} 应该等于 CDEF 面绕轴心旋转一周形成的圆柱体体积 V_{CDEF} (图 25.2-22)，即

$$V_{ABC} = V_{CDEF} \quad (25.2-13)$$

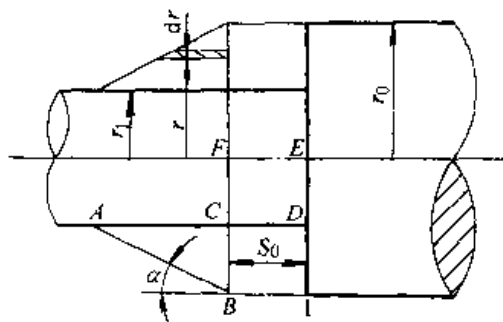


图 25.2-22 计算提前量 S₀ 的图形
空心圆锥体体积 V_{ABC}，用积分方法求出：

$$\begin{aligned} V_{ABC} &= \int_{r_1}^{r_0} 2\pi r dr (r_0 - r) \cot \alpha \\ &= \frac{\pi}{3 \tan \alpha} (r_0^3 - 3r_0 r_1^2 + 2r_1^3) \end{aligned} \quad (25.2-14)$$

圆柱体体积 V_{CDEF} 为

$$V_{CDEF} = \pi r_0^2 S_0 \quad (25.2-15)$$

将式 (25.2-14)、(25.2-15) 代入式 (25.2-13) 整理后，得到计算提前量 S₀ 的公式为：

$$S_0 = \frac{1}{\tan \alpha} \left(\frac{r_0^3}{3r_1^2} - r_0 + \frac{2r_1}{3} \right) \quad (25.2-16)$$

需要指出的是，计算提前量 S₀ 的式 (25.2-16) 是按空心圆锥体考虑的，它只适用于斜线 AB 宽展到距 I 点 S₀ 距离时，宽展不再继续 (β=0) 在原处精整成圆锥体的情况。但实际上很少这样做，因为这样做不仅需要增加模具长度，而且给模具的加工带来困难。

所以，在精确计算提前量 S₀ 时，除考虑空心圆锥体体积外，如图 25.2-23 所示，还应考虑 ABKJHG 这块螺旋体体积 V_{ABKJHG}。

螺旋体体积 V_{ABKJHG} 用积分方法求出：

$$V_{ABKJHG} = \int_{r_1}^{r_0} \frac{1}{2} \pi r S dr \quad (25.2-17)$$

式中 S —— 瞬时宽展量。

$$S = \frac{1}{2} \pi d_k \tan \beta \quad (25.2-18)$$

式中 d_k ——轧件的滚动直径, $d_k \approx r_0 + r_1$ 。

将式 (25.2-18) 代入 (25.2-17) 得:

$$V_{ABKJHG} = \frac{\pi^2 (r_0 + r_1) \tan \beta}{4} \int_{r_1}^{r_0} r dr$$

$$= \frac{\pi^2 \tan \beta}{8} (r_0 + r_1)^2 (r_0 - r_1)$$

(25.2-19)

精确计算提前量的方法是 ABC 面绕轴心旋转一周形成的空心锥体体积 V_{ABC} 加上 ABKJHG 这块螺旋体体积 V_{ABKJHG} 的两倍, 应该等于 CDEF 面绕轴心旋转一周形成的圆柱体体积 V_{CDEF} (图 25.2-23), 即

$$V_{ABC} + 2V_{ABKJHG} = V_{CDEF} \quad (25.2-20)$$

将式 (25.2-17)、(25.2-18) 及 (25.2-19) 代入上式整理后, 得计算提前量的精确值 S_0' 的公式为

$$S_0' = \frac{1}{\tan \alpha} \left(\frac{r_0^3}{3r_1^2} - r_0 + \frac{2r}{3} \right)$$

$$+ \frac{\pi \tan \beta}{4} \left(\frac{r_0^3}{r_1^2} + \frac{r_0^2}{r_1} - r_0 - r_1 \right)$$

$$= S_0 + \frac{\pi \tan \beta}{4} \left(\frac{r_0^3}{r_1^2} + \frac{r_0^2}{r_1} - r_0 - r_1 \right)$$

(25.2-21)

(2) 求轧齐曲线方程

不考虑非圆螺旋体积, 求轧齐曲线方程比较容易, 考虑非圆螺旋体积, 精确确定轧齐曲线方程相当困难。所以, 一般都用不考虑非圆螺旋体积求出的轧齐曲线方程计算, 然后进行某些修正, 这样做也能轧出相当理想的内直角台阶。

求不考虑非圆螺旋体积的轧齐曲线方程的理论根据是轧齐曲线上任意一点 B' , 由它决定的 $A'B'C'$ 面绕轴心旋转一周形成的空心锥体体积 $V_{A'B'C'}$, 应该等于 $C'DEF'$ 面绕轴心旋转一周形成的圆柱体体积 $V_{C'DEF'}$ (见图 25.2-24), 即

$$V_{A'B'C'} = V_{C'DEF'} \quad (25.2-22)$$

而

$$V_{A'B'C'} = \frac{\pi}{\tan \alpha} \left(\frac{r^3}{3} - r r_1^2 + \frac{2r_1^3}{3} \right) \quad (25.2-23)$$

式中 r ——轧齐曲线上任意一点 B' 的半径,
 $r = r_1 + X_1 \tan \alpha$ (X_1 为 $A'B'$ 在 x 轴上的投影长度)。

将 X_1 与 r 的关系代入式 (25.2-23) 整理后, 得:

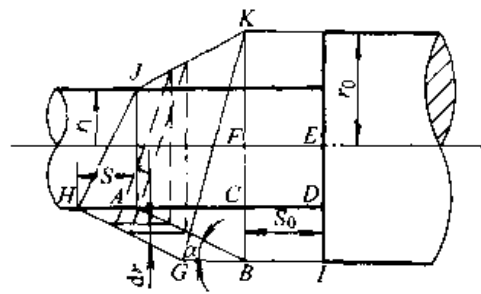


图 25.2-23 精确计算提前量 S_0' 的图形

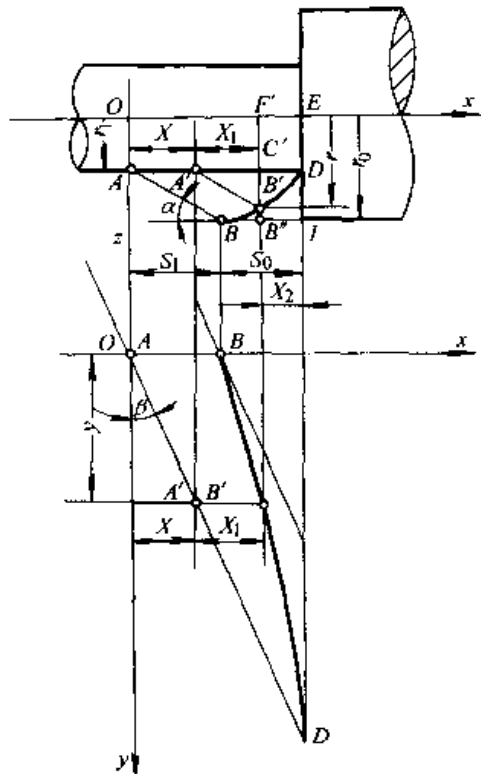


图 25.2-24 确定轧齐曲线方程的图形

$$V_{A'B'C'} = \pi \left(\frac{\tan^2 \alpha}{3} X_1^3 + r_1 \tan \alpha X_1^2 \right) \quad (25.2-24)$$

而

$$V_{C'DEF'} = \pi r_1^2 X_2 \quad (25.2-25)$$

式中 X_2 ——轧齐曲线上任意一点 B' 至内直角边 DI 的距离。

$$X_2 = S_1 + S_0 - (X + X_1) \quad (25.2-26)$$

式中 S_1 —— AB 在 x 轴的投影长度;

S_0 ——不考虑非圆体积的提前量;

X —— A' 在 x 轴上的坐标值。

$$S_1 = \frac{r_0 - r_1}{\tan \alpha} \quad (25.2-27)$$

将式 (25.2-26) 代入式 (25.2-25) 得:

$$V_{C'DEF'} = \pi r_1^2 (S_1 + S_0 - X - X_1) \quad (25.2-28)$$

将式 (25.2-24)、(25.2-28) 代入式 (25.2-22) 整理后, 得:

$$X = S_1 + S_0 - X_1 - \frac{\tan\alpha}{r_1} X_1^2 - \frac{\tan^2\alpha}{3r_1^2} X_1^3 \quad (25.2-29)$$

再将式 (25.2-27)、(25.2-16) 代入 (25.2-29) 得到轧齐曲线方程为

$$X = \frac{1}{\tan\alpha} \left(\frac{r_0^3}{3r_1^2} - \frac{r_1}{3} \right) - X_1 - \frac{\tan\alpha}{r_1} X_1^2 - \frac{\tan^2\alpha}{3r_1^2} X_1^3 \quad (25.2-30)$$

式中 X_1 ——斜线 AB 在 x 轴上的投影长度。
因为:

$$Y = \frac{X}{\tan\beta} \quad (25.2-31)$$

式中 Y —— A' 和 B' 在 y 轴上的投影长度。

将式 (25.2-30) 代入式 (25.2-31) 后, 轧齐曲线公式还可以写成:

$$Y = \frac{1}{\tan\beta} \left[\frac{1}{\tan\alpha} \left(\frac{r_0^3}{3r_1^2} - \frac{r_1}{3} \right) - X_1 - \frac{\tan\alpha}{r_1} X_1^2 - \frac{\tan^2\alpha}{3r_1^2} X_1^3 \right] \quad (25.2-32)$$

轧齐曲线方程 (25.2-30)、(25.2-31) 都是在 xy 面上的 (图 25.2-24 下图), 而轧齐曲线在 xoz 面上的方程 (图 25.2-24 上图), 只要对式 (25.2-30)、(25.2-31) 稍加改造即可得到。

令 $X' = X + X_1$ 并将 $X_1 = (r - r_1)/\tan\alpha$ 代入式 (25.2-30) 整理后, 便得到 xoz 面上的轧齐曲线方程为

$$X' = X + X_1 = \frac{1}{\tan\alpha} \left[\left(\frac{r_0^3}{2r_1^2} - r_1 \right) + r - \frac{r^3}{3r_1^2} \right] \quad (25.2-33)$$

将式 (25.2-33) 的 r 改换成 Z 整理后, 轧齐曲面的空间方程为

$$X_1 + Y \tan\beta - \frac{1}{\tan\alpha} \left[\left(\frac{r_0^3}{3r_1^2} - r_1 \right) + Z - \frac{Z^3}{3r_1^2} \right] = 0 \quad (25.2-34)$$

显然, Z 与 X_1 还存在下列关系:

$$Z = r_1 + X_1 \tan\alpha \quad (25.2-35)$$

轧齐曲线的加工比较困难, 在实际加工中, 常用一段或两段直线去连接 BD 两点, 也可轧出较为理想的内直角台阶。

3 孔型斜轧模具设计

3.1 模具设计一般原则

螺旋孔型模具设计与楔横轧相同, 除应满足旋转条件与疏松条件外, 还应遵循两个基本原则。

(1) 体积相等原则

体积相等原则是孔型斜轧模具设计最重要、最基本的原则。体积相等原则为: 在封闭孔型区段内, 任何位置孔型内所包含的金属体积应保持为一个常数, 此常数为需轧出产品的体积加上一个不大的连接颈体积。

为了说明这一原则, 我们以钢球孔型为例, 如图 25.2-25 所示, 表示两轧辊在任意位置所形成的孔型。

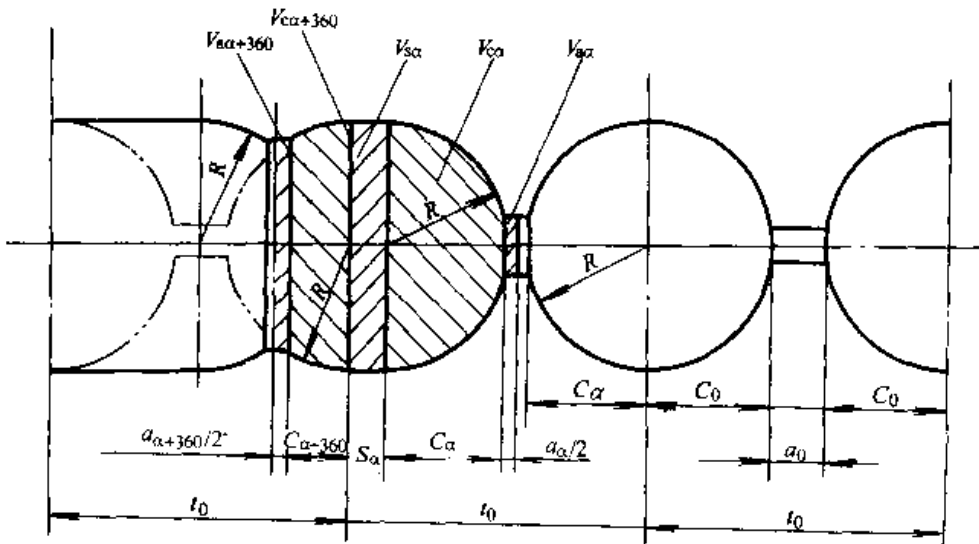


图 25.2-25 任意位置钢球孔型法向剖面图

棒料从左边咬入，轧成钢球后从右边出来。

封闭孔型内包含五部分体积，应等于轧出钢球的体积加上最终连接颈体积，用 V_0 表示，其表达式为

$$V_{a\alpha} + V_{c\alpha} + V_{s\alpha} + V_{c\alpha+360} + V_{a\alpha+360} = V_0 \quad (25.2-36)$$

式中 $V_{a\alpha}$ 、 $V_{a\alpha+360}$ ——前、后连接颈的体积(相差 360°)；

$V_{c\alpha}$ 、 $V_{c\alpha+360}$ ——前、后球台的体积(相差 360°)；

$V_{s\alpha}$ ——为平直部分的圆柱体积。

如果式(25.2-36)中左边的体积之和大于右边的体积，在孔型中出现多余金属，这将可能出现疏松及不旋转等问题。

如果式(25.2-36)中左边的体积之和小于右边的体积，在孔型中出现金属不够，这将可能出现提前拉断、缩颈以及产品体积不够等问题。

(2) 连接颈相适应原则

连接颈相适应原则为：在任意位置，凸棱宽度与连接颈长度相适应，即 $a_\alpha = b_\alpha$ 。

为了说明这一原则，我们仍用钢球孔型任意位置两个轧辊所形成的凸棱来说明。

斜轧孔型特点，自咬入直至成形终了，凸棱逐渐升高，型腔逐渐稍有增大。当凸棱升高时，连接颈直径被轧细、展宽，稍稍扩大的型腔亦需从连接颈补充必要的金属，如图 25.2-26 所示。该图表示相差 90° 轧辊凸棱的关系，即 $\alpha + 90^\circ$ 位置连接颈体积变化为 α 位置时，其连接颈宽度 b_α 应与 α 角的凸棱宽度 a_α 相适应，则当凸棱高度由 $h_{\alpha+90}$ 升至 h_α ，凸棱两侧型腔增大 $2(V_{c\alpha} - V_{c\alpha+90})$ 。连接颈体积 $2V_{a\alpha+90}$ 一部分补充扩大到型腔里，剩下的部分构成 $2V_{a\alpha}$ ，由此可建立以下平衡式：

$$2V_{a\alpha+90} = 2V_{a\alpha} + 2(V_{c\alpha} - V_{c\alpha+90}) \quad (25.2-37)$$

式中 $V_{a\alpha}$ 、 $V_{a\alpha+90}$ ——前、后连接颈的体积(相差 90°)；

$V_{c\alpha}$ 、 $V_{c\alpha+90}$ ——前、后球台的体积(相差 90°)。

$$a_\alpha = \frac{8[V_{a\alpha+90} - (V_{c\alpha} - V_{c\alpha+90})]}{\pi d_\alpha^2}$$

根据连接颈相适应原则

$$b_\alpha = a_\alpha = \frac{8[V_{a\alpha+90} - (V_{c\alpha} - V_{c\alpha+90})]}{\pi d_\alpha^2} \quad (25.2-38)$$

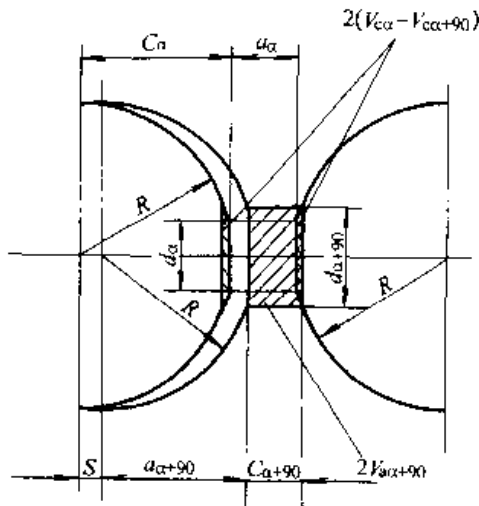


图 25.2-26 连接颈体积适应图

孔型设计体积相等原则，是从总体上要求任意型腔内金属平衡；连接颈相适应原则是从局部提出进一步要求，保证任意位置 $a_\alpha = b_\alpha$ ，也是建立在金属体积平衡基础之上的。

如果凸棱宽度 a_α 大于连接颈长度 b_α ，则连接颈受拉，严重时被拉断，使轧件在孔型中处于不稳定状态。

如果凸棱宽度 a_α 小于连接颈长度 b_α ，则出现连接颈金属多余，这种情况发生在未封闭孔型处时，由于连接颈的后伸，将后一个球推离凸棱，造成钢球前半部短金属的缺陷；这种情况发生在封闭孔型处时，多余金属使连接颈变扁，既可能出现不旋转，又可能出现强迫将其扭断现象，还可能出现疏松等缺陷。连接颈的疏松与中空会迅速向钢球扩展，造成钢球心部的疏松乃至中空。

孔型设计体积相等原则和连接颈相适应原则，二者相辅相成，对一般斜轧螺旋孔型设计是普遍适用的。然而不同的产品制件，由于其几何形状的不同，应导出相应的计算公式，并根据不同的情况，综合运用。

3.2 工艺参数确定

(1) 极限压缩量 Z'

螺旋孔型斜轧的必要条件之一是：轧制中要建立稳定的旋转条件。否则既不能正常轧制，也

出不了合格产品，并且容易损坏模具与设备。

由于螺旋孔型斜轧的旋转条件比较复杂，一般用简单横轧的旋转条件进行近似的分析。

简单横轧的旋转条件（图 25.2-27）为摩擦力 T 组成的力矩 M_T 应大于或等于正压力 F 组成的力矩 M_F ，即

$$M_T \geq M_F$$

或

$$\frac{Z}{d} \geq \frac{\mu^2}{1 + d/D}$$

式中 Z —— 轧件每半圈的压缩量；

D —— 轧辊直径；

d —— 轧件直径；

μ —— 摩擦因数。

将上式写成等式，此时，轧件每半圈的压缩量 Z 就成为满足旋转条件下的极限压缩量，用 Z' 表示，写成：

$$\frac{Z'}{d} = \frac{\mu^2}{1 + d/D} \quad (25.2-39)$$

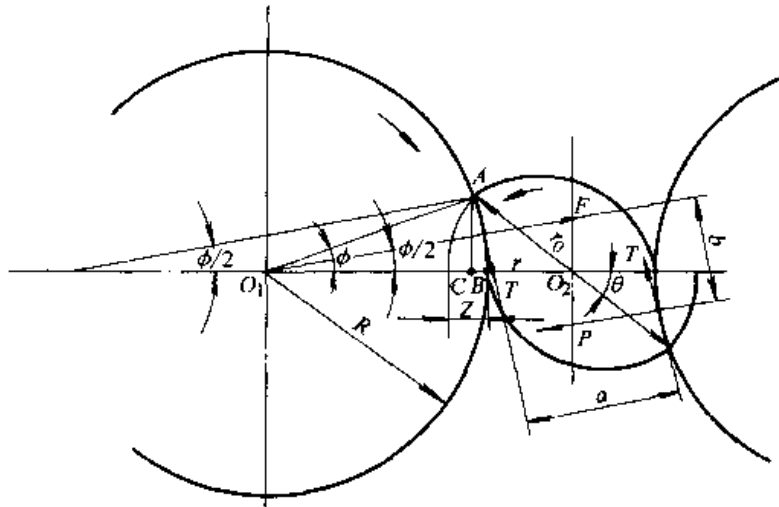


图 25.2-27 简单横轧的受力图

Z'/d 称为极限相对压缩量。它与 μ 及 d/D 的关系，如图 25.2-28 所示。

从图 25.2-28 可以看出摩擦因数 μ 对极限相对压缩量 Z'/d 影响较大。对于楔横轧可以在斜面刻痕增加摩擦因数 μ 而不影响轧件的表面质量，但对于螺旋孔型斜轧，一般不能在孔型表面刻痕，否则影响轧件的表面质量，故摩擦因数 μ 只能达到 0.15~0.25。

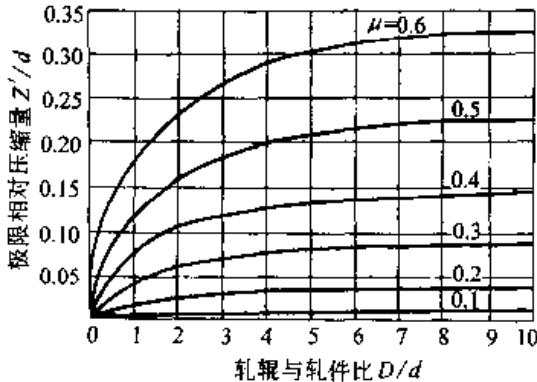


图 25.2-28 摩擦因数、轧辊与轧件直径比与极限相对压缩量的关系曲线图

轧辊直径与轧件直径之比 D/d ，理论上越大越可增加极限压缩量 Z' 。但当 $D/d > 5$ 以后，继续增加 D/d 值， Z' 的增加很有限。

极限压缩量 Z' 是设计或者校核孔型凸棱高度变化曲线的重要依据。

(2) 轧辊倾角 α

螺旋孔型斜轧轧件的轴向前进运动有两方面的因素起作用。

一是轧辊孔型圆周速度在轴向的分速度带动轧件的前进速度（无整体打滑），用 v_c 表示为

$$v_c = \frac{\pi D n_1}{60} \quad (25.2-40)$$

二是轧辊孔型的螺旋带动轧件的前进速度，用 u_c 表示为

$$u_c = \frac{n_1 S}{60} \cos \alpha \quad (25.2-41)$$

实现理想平稳的轧制，应该是以上两个速度相等。这样就不会出现孔型前后挤压或者切割轧件前后端面的不良现象。

以上两式相等便得到轧辊倾角 α 的关系式为

$$\alpha = \arctan \frac{T}{\pi D} = \beta \quad (25.2-42)$$

式中 T ——螺旋孔型的导程;
 β ——螺旋孔型的螺旋升角。

结论为: 实现平稳而无前后孔型凸棱挤压轧件的轧制, 在工艺调整上应该使轧辊倾角 α 等于轧辊孔型的螺旋升角 β 。

由于轧辊孔型的导程与凸棱高度都是变化的, 所以轧辊孔型螺旋升角 β 也是变化的, 轧辊倾角 α 一般按孔型精整部分的 β 确定后, 然后根据不同轧制特点再做少许修正。

孔型螺旋升角 β 与轧辊孔型的直径 D 、导程 T 的关系表示在图 25.2-29 上。

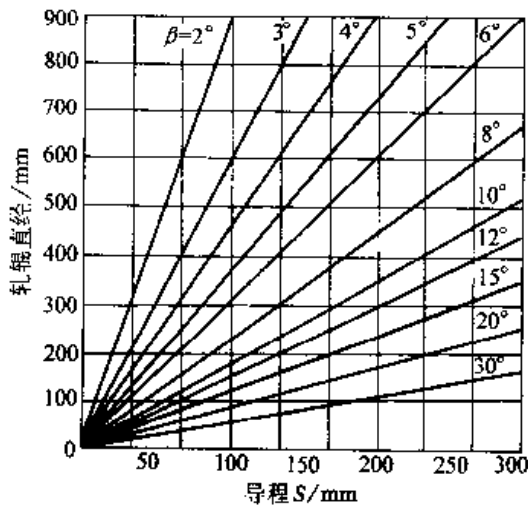


图 25.2-29 轧辊直径、导程与螺旋升角的关系曲线图

同一导程, 不同的 β , 可以得到不同的辊径。当 β 取得越大时, 轧辊直径可以越小。所以, 在实际应用中, 轧制较长的产品一般多用 $\beta = 4^\circ \sim 6^\circ$ 。当 $\beta > 6^\circ$ 时, 辊径虽可以减小, 但轧辊原始辊面就应该做成高次曲面辊形, 否则轧辊不能实现对轧件的包络。

(3) 辊形曲面半径 R

轧辊相对于轧件倾斜 α 角后, 轧辊孔型底部应该是一个曲线, 才能保证与轧件原始棒料直径全部接触, 或者说呈空间曲线包络。

这个辊形曲面, 也是单孔型斜轧光辊的辊形, 同时也是钢管、钢棒料辊矫直机的辊形。

这种空间全包络的辊形见图 25.2-30, 其辊形曲面半径 R , 是用参数方程求得的, 表示如下:

$$\begin{cases} \tan \varphi = \cos \alpha_0 \tan \theta \\ Z = (R_0 + r_0) \tan \theta \cot \alpha_0 \cos \alpha_0 + r_0 \sin \theta \sin \alpha_0 \\ R = \frac{R_0 + r_0 (1 - \cos \theta)}{\cos \varphi} \end{cases} \quad (25.2-43)$$

- 式中 φ —— OM' 线段与横坐标的夹角;
- α_0 —— 轧辊轴线与轧件轴线的交错角;
- θ —— 椭圆的离心角, 也是轧件上接触线对应的包角;
- R_0 —— 轧辊的喉径;
- r_0 —— 轧件的半径;
- Z —— 垂直于轧辊轴线截面距喉径平面的距离。

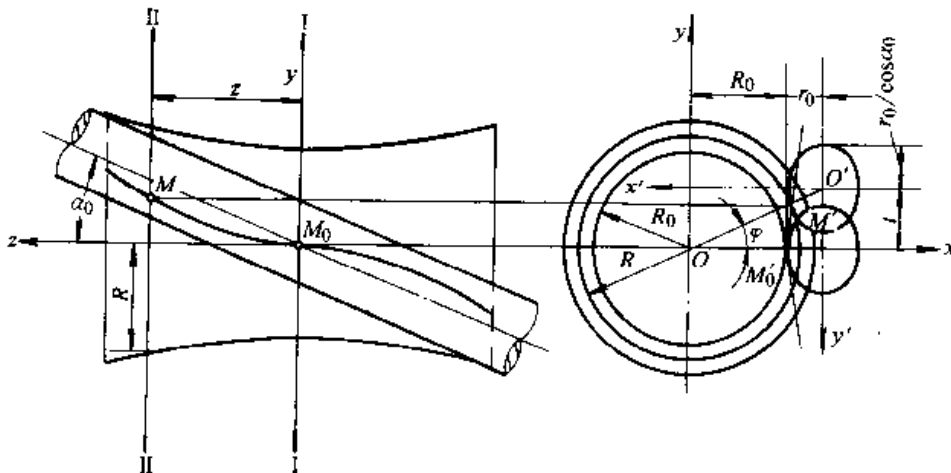


图 25.2-30 斜轧包络辊形图

令 $\eta = r_0/R$, 则式 (25.2-43) 可以改写为

$$\begin{cases} \tan\varphi = \cos\alpha_0 \tan\theta \\ \frac{Z}{R_0} = (1 + \eta) \tan\theta \cot\alpha_0 \cos\alpha_0 + \eta \sin\theta \sin\alpha_0 \\ \frac{R}{R_0} = \frac{1 + \eta(1 - \cos\theta)}{\cos\varphi} \end{cases} \quad (25.2-44)$$

当 $\eta = 0.2$ 时, Z/R_0 、 α_0 与 $(\frac{R}{R_0} - 1) \times 1000$ 的关系曲线表示在图 25.2-31 上。

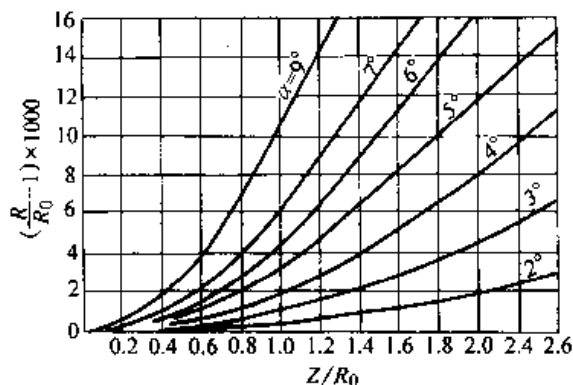


图 25.2-31 $\frac{Z}{R_0}$ 、 α_0 与 $(\frac{R}{R_0} - 1) \times 1000$ 的关系图

(4) 轧辊基本参数的确定

1) 轧辊直径 D 在保证轧件旋转条件及轧辊孔型允许的螺旋升角条件下, 轧辊直径 D 应尽可能取小值。一般 D 与 ϕ (坯料直径) 的关系为

$$D \geq (5 \sim 7)\phi$$

对于长度与直径比不大的异形件, 依上式确定轧辊直径 D 即可。

对于那些长度与直径比较大的零件, 或采用多头螺旋轧制, 为获得良好的成形条件, 要求螺旋升角 β (相应的轧辊倾角 α) 小些为佳, 通常限定 $\beta \leq 5^\circ$, 最大不得超过 7° 。因此有如下公式确定轧辊直径:

$$D = \frac{T_0}{\pi \tan\beta} = \frac{z t_0}{\pi \tan\beta} = \frac{z(l_0 + a_0)}{\pi \tan\beta} \quad (25.2-45)$$

- 式中 T_0 ——螺旋孔型的基本导程;
- β ——螺旋孔型升角;
- t_0 ——孔型螺距, $t_0 = l_0 + a_0$;
- z ——螺旋头数, 为正整数;
- l_0 ——孔型法向长度, 近似轧件长度;
- a_0 ——精整区孔型凸棱宽度。

2) 孔型螺旋圈数 n 在保证不超过极限压下量 Z' 及凸棱磨损寿命的条件下, 应尽可能取小值。一般 n 取:

$$n \geq 2 \frac{3}{4} \sim 3 \frac{3}{4}$$

即 $990^\circ \sim 1350^\circ$ 。

3) 轧辊长度 L

$$L = nT_0 + \Delta l \quad (25.2-46)$$

式中 Δl ——轧辊咬入长度, 视轧件长度而定, 一般 $\Delta l = 20 \sim 30$ mm。

(5) 热轧件、孔型精整区型腔结构以及数据选择

斜轧轧制件可分为三类: 精轧件、半精轧件和粗制毛坯。精轧件轧后不再加工, 直接使用; 半精轧件轧后需磨削或精车; 毛坯件需经切削加工, 或为模锻提供精制毛坯, 其中用途广, 具有代表性的为半精轧件。下面介绍半精轧件孔型法向结构参数选择。

1) 热轧件的结构尺寸

① 轧件各部分直径 d_n

$$d_{nQ} = K_d(d_n + \Delta d_n) \quad (25.2-47)$$

式中 d_n ——轧件各部分的成品长度;

Δd_n ——长度方向的加工余量;

K_d ——热膨胀系数。

② 轧件各部分长度 l_n

$$l_{nQ} = K_l(l_n + \Delta l_n) \quad (25.2-48)$$

式中 l_n ——轧件各部分的成品直径;

Δl_n ——直径方向的加工余量;

K_l ——热膨胀系数。

2) 孔型的法向断面尺寸 精整区孔型法向断面结构同热轧件是相互吻合的, 其形状尺寸确定与热轧件基本相同。

(6) 经验数据的选择

1) 精整部分连接颈直径 d_0 精整部分连接颈直径 d_0 取得越小, 最终连接颈损失的金属越小, 但连接颈相适应的第二原则越难满足, 并且造成导板工作面窄的问题及成形区接近封闭的凸棱太薄, 严重地影响轧辊的寿命。一般 d_0 可按经验公式确定 (d_{max} 为轧件最大直径):

$$d_0 = (0.18 \sim 0.22) d_{max}$$

钢球孔型设计时, 连接颈直径 d_0 可参考经验数据表 25.2-5 选取。

2) 成形终了凸棱高度 h_0 成形终了凸棱高

度 h_0 可由几何关系求得:

$$h_0 = \frac{1}{2}(d_{\max} - d_0)$$

3) 凸棱起始高度 h_b 确定凸棱起始高度 h_b 应考虑以下两个因素: 确定良好的轧制旋转条件和有利于第二原则的要求。 h_b 取小值, 对旋转条件有利; h_b 取大值, 对第二原则的要求容易满足。因此, 在满足旋转条件的前提下, h_b 应

尽量取较大的值。 h_b 的经验数据列于表 25.2-5 中。

4) 精整部分凸棱宽度 a_0 精整区凸棱宽度应满足强度要求, 同时应有利于第二原则。按表 25.2-5 中选取。

5) 孔型开始咬入第一圈凸棱宽度 a 第一圈凸棱宽度 a , 按表 25.2-5 中选取。

表 25.2-5 斜轧钢球孔型经验数据表

(mm)

坯料直径 ϕ	20~30	30~40	40~50	50~60	60~80	80~100	100~125
精整部分连接颈直径 d_0	2.2~2.8	2.8~3.4	3.4~4.0	4.0~5.5	5.5~7.5	7.5~10	10.0~12.0
精整部分凸棱宽度 a_0	2.8~4.0	3.5~5.5	4.5~6.5	5.0~7.0	6.0~7.5	6.5~8.0	7.0~9.0
孔型开始咬入第一圈凸棱宽度 a	1.2~1.8	1.6~2.2	2.0~2.4	2.2~2.6	2.4~2.8	2.6~3.0	2.8~3.2
孔型凸棱起始高度 h_b	1.0~1.8	1.4~2.4	2.0~3.2	2.8~3.6	3.0~3.8	3.4~4.0	3.5~4.2

6) 坯料直径 ϕ 坯料直径的选择取决于轧件结构和成形方案。一般坯料直径为

$$\phi = (1 - K_d)d_{\max} \quad (25.2-49)$$

式中 K_d ——轧制扩颈率;
 d_{\max} ——为轧件最大直径。

3.3 斜轧孔型设计方法

在螺旋孔型斜轧球类件中, 以钢球的孔型设计比较简单并具有典型性, 所以以钢球孔型设计为例, 阐述其孔型设计的方法与思路。

斜轧钢球孔型设计方法较多, 常用以下几种方法。

(1) 孔型凸棱单侧变导程法

孔型凸棱单侧变导程法又称柱面辊孔型设计法, 是建立在圆柱形轧辊坯上设计加工的方法, 是前苏联设计的热轧钢球的方法。由于轧辊孔型可以在普通车床上加工, 因而是目前广泛采用的基本方法。它不仅适用于形状简单的钢球、滚子等, 而且适用于形状复杂的导形零件, 如 Q-7 球形、H-1 阶梯轴等。

1) 其孔型特点 ①单侧变导程, 另一侧为基本导程。如图 25.2-32 所示, 凸棱左侧导程 T_α 是随孔型展角变化的, 而右侧导程为不变的基本导程 T_0 ; ②凸棱宽度由窄变宽。凸棱宽度从入料口到出料口是由窄变宽的, 在孔型未封闭的第一圈及精整区, 孔型的凸棱宽度可以是不变的; ③轧辊制造较容易, 可以在普通车床上用变

换挂轮的方法加工, 因而对制造设备的要求不高, 成球的几何精度也不够高。

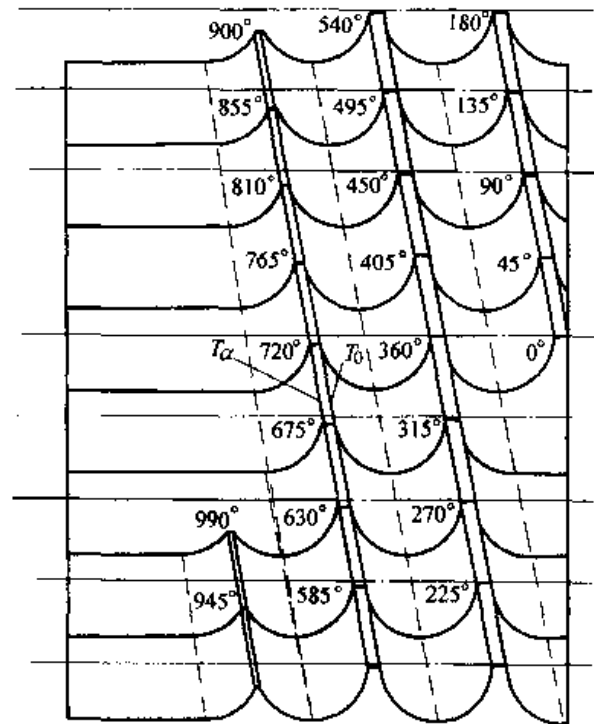


图 25.2-32 $\phi 50$ mm 球磨球孔型展开图示意图

2) 设计思路 凭经验选取好孔型基本参数、孔型半径和凸棱升高规律 (要满足旋转条件), 凸棱宽度, 由基本导程求孔型各处平直圆柱长度, 然后计算出多余金属系数和棱宽与连接颈的差值, 若检查不满足第一、二原则时, 再修正凸棱宽度, 再计算验证, 直到满足为止。

3) 单侧变导程法孔型设计的主要原理与步

骤

① 根据产品规格选取孔型基本参数 成品球半径、成形区长度、精整区长度、连接颈终了直径、精整区凸棱宽度、起始凸棱高度、计算等分间隔角度 φ 。

② 确定基本导程 T_0

$$T_0 = 2C_0 + a_0$$

对于单头孔型，基本导程即为基本螺距应选择机床上的螺距，若有微小差异，可调整 a_0 数控车床可随意。

③ 确定凸棱高度 h 与 α 角的关系 已知起始凸棱高度 h_0 与精整部分连接颈直径 d_0 ，就可确定每个 α 角位置的凸棱高 h_α (图 25.2-33)。

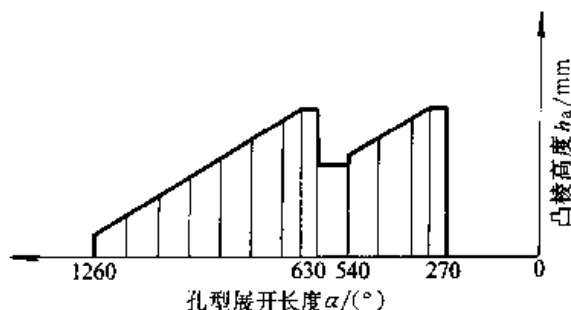


图 25.2-33 凸棱高度变化图

h_α 也有采用两段式的，甚至做成曲线变化的，这样做的好处是连接颈相适应的原则容易满足，但加工麻烦。

h_α 与 α 的直线变化关系是靠机床自动横进刀完成，也可以用专门的靠模板完成。如果是曲线变化，则需要数控机床或液压仿形完成。

④ 确定凸棱宽度 a 与 α 角的关系 成形区凸棱宽度可根据经验初选，经计算后确定，一般只作微量修正。

⑤ 确定平直段 S_α 的值 从图 25.2-25 中可知，存在下列关系：

$$S_\alpha = T_0 - 2C_\alpha - a_\alpha \quad (25.2-50)$$

其中 C_α 为任意位置球台高度，亦即圆弧水平投影长度。

$$C_\alpha = \sqrt{R^2 - (R - h_\alpha)^2} \quad (25.2-51)$$

⑥ 校核多余金属系数 $K_{V\alpha}$ 值 因头一圈孔型尚未封闭，故不需要校核。只校核孔型封闭之后的部分。由于按经验选取的 a_α ，第一原则不能完全保证，这样就会出现多余金属，用多余金属系数 $K_{V\alpha}$ 表示之：

$$K_{V\alpha} = \frac{V_{\alpha\alpha} + V_{\alpha\alpha} + V_{\alpha\alpha} + V_{\alpha\alpha+360} + V_{\alpha\alpha+360}}{V_0} \quad (25.2-52)$$

式中 $V_{\alpha\alpha} = \frac{\pi d_\alpha^2}{4} \cdot \frac{a_\alpha}{2} \quad (25.2-53)$

$$V_{\alpha\alpha} = \pi C_\alpha \left(R^2 - \frac{C_\alpha^2}{3} \right) \quad (25.2-54)$$

$$V_{\alpha\alpha} = \pi R^2 S_\alpha \quad (25.2-55)$$

$$V_{\alpha\alpha+360} = \pi C_{\alpha+360} \left(R^2 - \frac{C_{\alpha+360}^2}{3} \right) \quad (25.2-56)$$

$$V_{\alpha\alpha+360} = \frac{\pi d_{\alpha+360}^2}{4} \cdot \frac{a_{\alpha+360}}{2} \quad (25.2-57)$$

$$V_0 = \frac{4}{3} \pi R^3 + \frac{\pi d_0^2}{4} \cdot a_0 \quad (25.2-58)$$

根据经验，在孔型刚封闭处的 $K_{V\alpha}$ 值为

$$K_{V\alpha} = 0.98 \sim 1.03$$

⑦ 按连接颈相适应的第二原则计算 b_α ，校核孔型设计第二基本原则满足程度计算 $|b_\alpha - a_\alpha|$ 的值

$$2V_{\alpha\alpha+\varphi} = 2V_{\alpha\alpha} + 2(V_{\alpha\alpha} - V_{\alpha\alpha+\varphi}) \quad (25.2-59)$$

式中 $V_{\alpha\alpha} = \frac{\pi d_\alpha^2}{4} \cdot \frac{b_\alpha}{2} \quad (25.2-60)$

$$V_{\alpha\alpha+\varphi} = \frac{\pi d_{\alpha+\varphi}^2}{4} \cdot \frac{a_{\alpha+\varphi}}{2} \quad (25.2-61)$$

$$V_{\alpha\alpha+\varphi} = \pi C_{\alpha+\varphi} \left(R^2 - \frac{C_{\alpha+\varphi}^2}{3} \right) \quad (25.2-62)$$

上式中，除 b_α 外都是已知数，计算 b_α 的公式为

$$b_\alpha = \frac{8[V_{\alpha\alpha+\varphi} - (V_{\alpha\alpha} - V_{\alpha\alpha+\varphi})]}{\pi d_\alpha^2} \quad (25.2-63)$$

式 (25.2-63) 计算得到的 b_α 与 a_α 进行比较，校核第二原则。

⑧ 修改 a_α 确定一个既保证第一原则又适应第二原则的 a_α' 值。重复⑤、⑥、⑦、⑧步直到满意为止。

⑨ 求解导程
精整区

$$T_\alpha = T_0$$

成形区

$$T_\alpha = T_0 - \frac{360}{\varphi} \cdot (S_{\alpha+\varphi} - S_\alpha) \quad (25.2-64)$$

⑩ 绘制孔型导图，孔型展开图。

(2) 孔型双侧同步变导程法

孔型双侧变导程法又称为锥面辊孔型设计法，凸棱高度是在锥形辊面上自然形成的，孔型设计与加工建立在锥面辊坯上，并且凸棱两侧导程均为变化的。该法是美国设计用于轧制较小直径的自行车钢珠。目前常用以设计冷轧直径3~6.5 mm钢珠。采用双侧变导程设计方法的出发点是为了简化孔型加工。然而，凸棱顶为斜面，按体积平衡条件建立方程求得之凸棱宽度、螺旋导程等，变化规律并非简单的线性关系，不仅计算复杂，而且加工精度难以保证。鉴于轧辊 θ 角及凸棱宽度 a_a 值均不大，可将凸棱顶视为平直的，计算误差甚小，这样设计和制造就简单得多。

1) 其孔型特点 ①无基本导程，球形型腔中无平直段存在，对球形底部来说只有一条变导程，对凸棱两侧来说是双侧变导程，且无基本导程，如图25.2-34所示；②凸棱宽度由宽一窄一宽，凸棱宽度的最窄处靠近切断区，之后凸棱宽度又增加了；③轧辊制造必须用专用机床，采用凸轮或液压等仿形法加工。辊坯的制造精度取决于加工工艺过程。

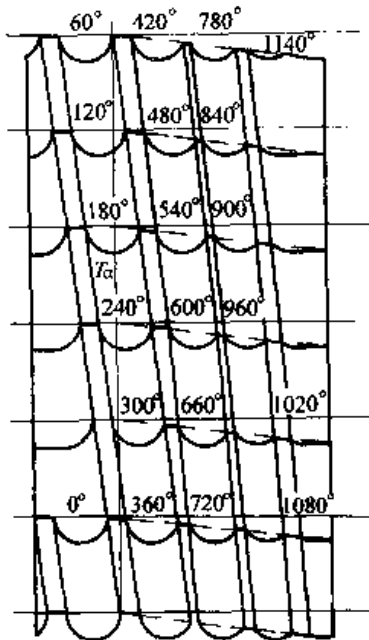


图 25.2-34 钢珠孔型展开示意图

2) 设计思路 先凭经验选取孔型设计基本参数，确定凸棱升高规律，满足轧件咬入条件，然后由 $K_{V_a}=1$ 公式求出凸棱宽度，最后求出孔型螺旋型槽变化导程。

3) 孔型设计主要原理与步骤

① 根据产品规格选取设计基本参数 成品球半径、成形区长度、精整区长度、连接颈终了直径、连接颈终了长度、起始凸棱高度、计算等分间隔。

② 确定凸棱升高规律 升高规律可根据设计经验来确定。对于冷轧自行车钢珠孔型凸棱高度，可以预先确定变化规律。实践证明， h_a 采用抛物线变化规律，即开始变化缓慢，接近成形终了时 h_a 急剧升高，对进一步提高轧件质量效果很好。其公式如下：

$$h_a = \left(\frac{\alpha_a - \alpha_b}{\alpha_0 - \alpha_b} \right)^2 (h_0 - h_b) + h_b$$

式中 α_0, α_b —— 对应孔型成形终了角度和起始角度；

h_0, h_b —— 最大及最小凸棱的高度。

③ 按第一原则确定凸棱宽度 a_a 按体积相等的第一原则，可建立以下等式(见图25.2-35)：

$$V_{a_a} + 2V_{c_a} = V_0 \quad (25.2-65)$$

式中各符合意义同前，其中 $d_a = 2(R - h_a)$ 。

将上式整理得：

$$a_a = \frac{3V_0 - 2\pi[2R^2 + (R - h_a)^2]\sqrt{2Rh_a - h_a^2}}{3\pi(R - h_a)^2} \quad (25.2-66)$$

上式表明凸棱宽度是高度的函数： $a_a = f(h_a)$ 。

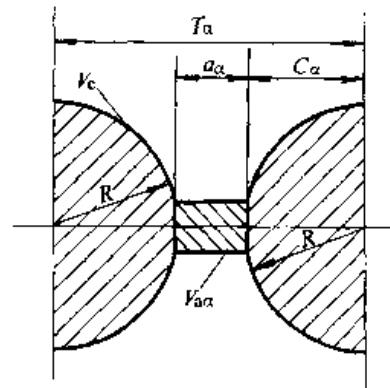


图 25.2-35 任意位置型腔内金属体积图

④ 求解导程 由图25.2-35可知，若将凸棱视为近似平直的，那么导程可用近似式求得：

$$T_a = a_a + 2C_a \quad (25.2-67)$$

将式(25.2-66)代入式(25.2-67)整理得到：

$$T_a = \frac{3V_0 - 4\pi[R^2 - (R - h_a)^2]^{3/2}}{3\pi(R - h_a)^2} \quad (25.2-68)$$

上式表明, T_0 亦为 h_0 的函数: $T_0 = f(h_0)$ 。可见, 当 h_0 确定之后, a_0 、 T_0 便可求得。

⑤ 绘制孔型导程图, 孔型展开图。

(3) 孔型凸棱双侧不同步变导程法

孔型双侧不同步变导程法是由北京科技大学提出的, 该设计方法兼收了孔型凸棱单侧变导程法和孔型双侧变导程法的优点, 是这两种设计方法的发展。该方法能很好地满足第一原则, 较好地满足第二原则, 适用于各种形状的零件设计, 但加工工艺性差, 必须在专用数控机床上进行加工。

1) 其孔型特点 ① 双侧不同步变导程, 凸棱两侧螺旋导程是变化的, 变化规律及变化量不等, 如图 25.2-36; ② 凸棱宽度由窄变宽。凸棱宽度从入料口到出料口是由窄变宽的; ③ 轧辊制造难, 必须在专用数控机床上进行加工。

2) 设计思路 先凭经验选取孔型设计基本参数, 由轧件咬入条件确定凸棱升高规律, 预选凸棱宽度, 然后由公式 $K_{V_0} = 1$ 求出成形段各处圆柱平直段长度, 然后计算出多余金属系数和棱宽与连接颈的差值, 验算第二原则, 再反复修正凸棱宽度, 使参数尽量满足第二原则。

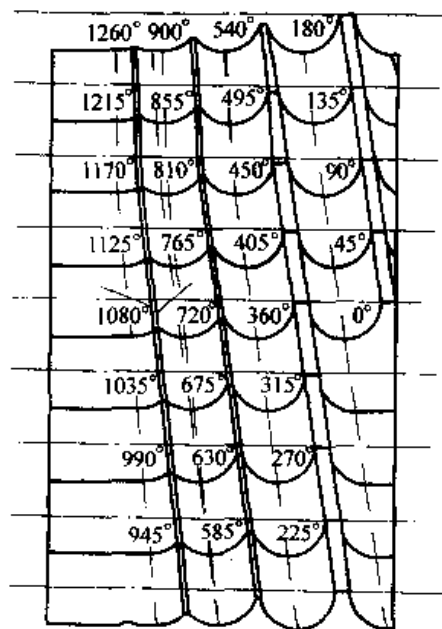


图 25.2-36 铝球双侧不同步变导程孔型展开示意图

3) 孔型设计主要原理与步骤

① 根据产品规格选取设计基本参数 成品球半径、成形区长度、精整区长度、连接颈终止直径、连接颈终止长度、起始凸棱高度、计算等

分间隔。

② 确定基本导程 T_0

$$T_0 = 2C_0 + a_0$$

③ 确定凸棱升高规律 由于采用数控机床加工, 因而升高规律的确定不受加工限制, 能最大程度地满足工艺要求。升高规律可根据设计经验来确定。

④ 确定凸棱宽度的变化规律 凸棱宽度的变化规律可根据经验确定, 采取由小到大的变化规律, 或直线变化规律, 或抛物线变化规律, 这个变化规律不受加工限制。可最大限度地满足工艺要求。

⑤ 其他孔型参数的确定 由 $K_{V_0} = 1$ 可确定平直段长度为:

$$S_a = \frac{V_0 - (V_{a_0} + V_{a_1} + V_{a_2+360} + V_{a_3+360})}{\pi R^2} \quad (25.2-69)$$

式中各符号意义同前。

⑥ 校核孔型设计第二基本原则满足程度, 计算 $|b_a - a_a|$ 的值。

⑦ 修改 a_a 与 b_a 重复②、③、④、⑤、⑥、⑦步直到满意为止。

⑧ 求解导程

精整区

$$T_{1a} = T_0$$

$$T_{2a} = T_0$$

成形区

$$T_{1a} = T_{2a} - \frac{360}{\varphi} [2(C_a - C_{a+\varphi}) + a_a - a_{a+\varphi}] \quad (25.2-70)$$

$$T_{2a} = T_{1a-360} + \frac{360}{\varphi} (S_{a-360+\varphi} - S_{a-360}) \quad (25.2-71)$$

⑨ 绘制孔型导程图, 孔型展开图。

(4) 多头螺旋孔型设计方法

多头螺旋孔型是指轧辊有两条或两条以上的螺旋孔型。目前生产中采用的有两头、三头和四头螺旋孔型, 轧辊每转一转可以轧制两件至四件产品, 效率成倍增长。

多头螺旋孔型设计原理、原则和方法, 同单头孔型基本相同, 但也还有其自身的特点。图 25.2-37 为 $\phi 25$ mm 钢球的四头孔型展开图。下面就结合这一实例, 分析多头孔型的特点:

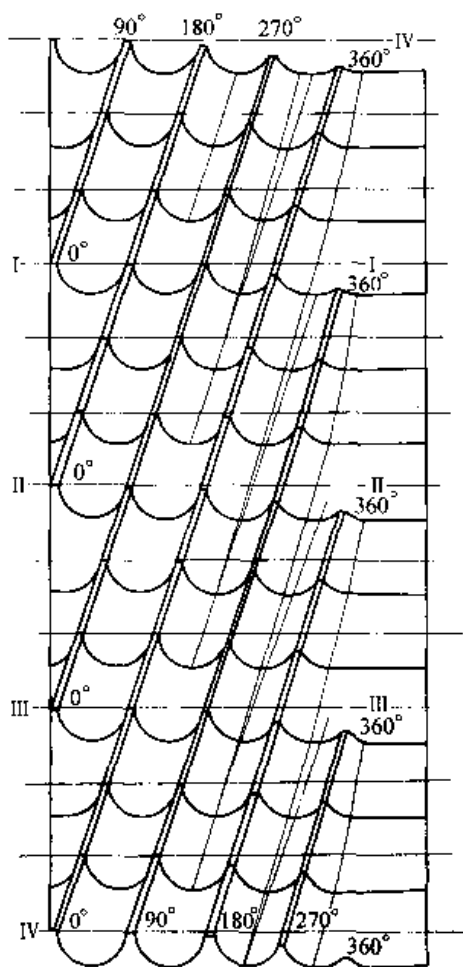


图 25.2-37 $\phi 25$ mm 钢球四头孔型展开示意图

1) 多头螺旋孔型每相邻两条线间的角度 φ_z 由下式确定:

$$\varphi_z = \frac{360^\circ}{z}$$

式中 z —— 螺旋头数, 当 $z = 4$ 时, 则 $\varphi_4 = 90^\circ$ 。

2) 孔型型腔由相邻两螺旋凸棱构成。由此可知, 孔型于 φ_z 度便开始封闭;

3) 孔型总长度大为缩短。例如, 四头孔型螺旋总长为 360° ;

4) 孔型基本导程 T_0 加大为单头孔型导程的 z 倍。即

$$T_0 = z(2C_0 + a_0)$$

5) 轧辊直径 D 加大。由式 (25.2-45) 可知, 当螺旋升角 β 确定之后, D 和 T_0 成正比。同单头相比, 多头孔型导程成倍加大, 因此轧辊直径必须相应地加大。此外, 多头孔型螺旋总长度大为缩短, 而增大辊径可增加螺旋展开长度, 保持适当的单位压缩量;

6) 计算等分间隔角度 φ 变小, 增加了计算点。通常单头孔型按 90° 等分, 两头按 60° 等分, 四头孔型按 30° 等分进行计算。

多头螺旋孔型由于存在上述特点, 在设计计算时应注意孔型于 φ_z 度便开始封闭, 孔型基本导程变大, 计算等分间隔角度 φ 变小。采用上述三种设计方法时, 对其公式需作必要的修正。

式 (25.2-52) 应改写为

$$K_{V_\alpha} = \frac{V_{\alpha_0} + V_{\alpha_1} + V_{\alpha_2} + V_{\alpha_3} + \frac{360}{z} + V_{\alpha_4} + \frac{360}{z}}{V_0}$$

式 (25.2-64) 应改写为

$$\begin{aligned} T_\alpha &= T_0 - \frac{360}{\varphi} (S_{\alpha+\varphi} - S_\alpha) \\ &= Z(2C_0 + a_0) - \frac{360}{\varphi} (S_{\alpha+\varphi} - S_\alpha) \end{aligned}$$

式 (25.2-67) 应改写为

$$T_\alpha = z(2C_\alpha + a_\alpha)$$

式 (25.2-69) 应改写为

$$S_\alpha = \frac{V_0 - (V_{\alpha_0} + V_{\alpha_1} + V_{\alpha_2} + \frac{360}{z} + V_{\alpha_3} + \frac{360}{z})}{\pi R^2}$$

式 (25.2-71) 应改写为

$$T_{2\alpha} = T_{1\alpha} - \frac{360}{z} + \frac{360}{\varphi} (S_{\alpha - \frac{360}{z} + \varphi} - S_{\alpha - \frac{360}{z}})$$

最后, 因为多头孔型各条螺旋的变化规律相同, 所以只需计算其中任意一条即可。这里, 具体计算就不一一列举了。

4 模具设计实例

4.1 楔横轧模具设计实例

(1) 对称轴模具设计

以汽车起动机轴为例, 进行设计。起动机轴零件如图 25.2-38 所示。

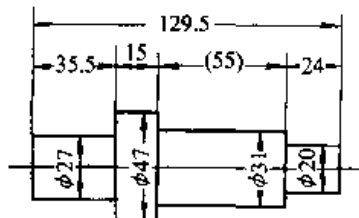


图 25.2-38 汽车起动机轴零件图

该轴为非对称轴轧制。由于直径 20 mm 处的断面收缩率大于 75%, 需要二次楔入轧制。因此将直径 20 mm 部位放在两端对轧, 这样做可以避免二次轧制内直角台阶, 有利于台阶轧齐

并简化模具加工，降低调整的难度，但缺点是料头损失大一些。

1) 毛坯与坯料尺寸的确定

① 毛坯尺寸 根据零件外形尺寸制定毛坯尺寸。毛坯径向尺寸均在零件径向尺寸基础上增加 3 mm；毛坯轴向尺寸为零件轴向最大直径处单侧增加 2 mm。两端需要切除料头，每端增加切刀余量 4 mm。成对轧制的轧件中间预留出切口余量 5 mm。汽车起动轴毛坯尺寸如图 25.2-39 所示。

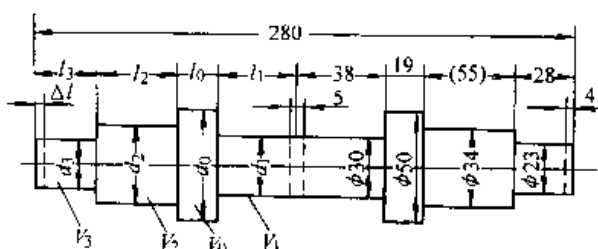


图 25.2-39 成对轧制汽车起动轴毛坯图

② 坯料直径与长度的确定

a) 坯料直径 ϕ_0 该轴坯料直径 ϕ_0 等于毛坯最大直径 d_0 。即

$$\phi_0 = d_0 = 50 \text{ mm}$$

b) 坯料长度 L_0 坯料长度 L_0 的计算公式如下：

$$L_0 = \frac{V}{A_0} + 2\Delta l = \frac{2(V_0 + V_1 + V_2 + V_3)}{A_0} + 2\Delta l$$

$$= \frac{2(d_0^2 l_0 + d_1^2 l_1 + d_2^2 l_2 + d_3^2 l_3)}{\phi_0^2} + 2\Delta l \quad (25.2-72)$$

- 式中 V —— 毛坯总体积；
- A_0 —— 坯料截面积；
- Δl —— 单侧料头长度， $\Delta l = 15 \text{ mm}$ ；
- $V_0、V_1、V_2、V_3$ —— 如图 25.2-39 所示部位体积；
- $d_0、d_1、d_2、d_3$ —— 如图 25.2-39 所示部位直径；
- $l_0、l_1、l_2、l_3$ —— 如图 25.2-39 所示部位长度。

将数值代入式 (25.2-72) 得：

$$L_0 = \frac{2(d_0^2 l_0 + d_1^2 l_1 + d_2^2 l_2 + d_3^2 l_3)}{\phi_0^2} + 2\Delta l$$

$$= \frac{2 \times (50^2 \times 19 + 30^2 \times 38 + 34^2 \times 55 + 23^2 \times 28)}{50^2} \text{ mm}$$

$$+ 2 \times 15 \text{ mm} = 158.07 \text{ mm}$$

2) 模具型腔设计

① 热态毛坯尺寸 热态毛坯尺寸等于冷态毛坯尺寸乘以热膨胀系数，即

$$d_{0n} = d_n K_D$$

$$l_{0n} = l_n K_L$$

- 式中 d_{0n} —— 热态毛坯部位的直径；
- d_n —— 冷态毛坯部位的直径；
- K_D —— 径向热膨胀系数， $K_D = 1.009 \sim 1.013$ ；
- l_{0n} —— 热态毛坯 n 部位的长度；
- l_n —— 冷态毛坯 n 部位的长度；
- K_L —— 轴向热膨胀系数， $K_L = 1.012 \sim 1.018$ 。

例：

$$d_{01} = d_1 K_D = 30 \text{ mm} \times 1.01 = 30.3 \text{ mm}$$

$$l_{01} = l_1 K_L = 38 \times 1.017 = 38.7 \text{ mm}$$

其余计算结果列于表 25.2-6。

表 25.2-6 汽车起动轴毛坯各部分热态尺寸表 (mm)

直径	冷态尺寸	热态尺寸	长度	冷态尺寸	热态尺寸
d_0	50	50.5	l_0	19	19.3
d_1	30	30.3	l_1	38	38.7
d_2	34	34.3	l_2	55	55.9
d_3	23	23.2	l_3	28	28.5

② 模具精整区型腔尺寸 图 25.2-40 为成对轧制的汽车起动轴热轧毛坯图，模具精整区型腔尺寸是由热态毛坯尺寸确定。轴向尺寸与热态毛坯尺寸一致。径向尺寸为热态毛坯最大直径处增加 1 mm 深度为基圆间隙，参见图 25.2-41。

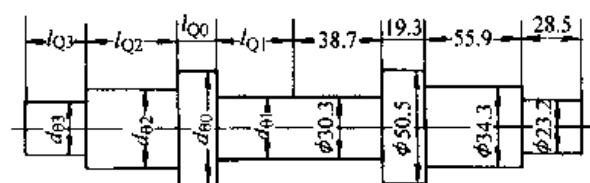


图 25.2-40 成对轧制汽车起动轴热态毛坯图

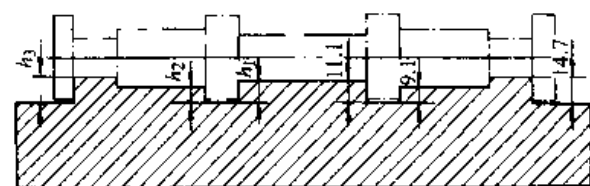


图 25.2-41 汽车起动轴精整区型腔示意图

3) 模具孔型设计

① 成形方案 图 25.2-42 为孔型展开及工件成形过程简图。

由于孔型轴向完全对称，故只计算一侧。方案如下：

- a) 楔Ⅰ段 将坯料由 d_0 轧至 d_1 ，长度轧至 l_1 。
- b) 楔Ⅱ段 将坯料由 d_0 轧至 d_2 ，长度轧至 l_2 。

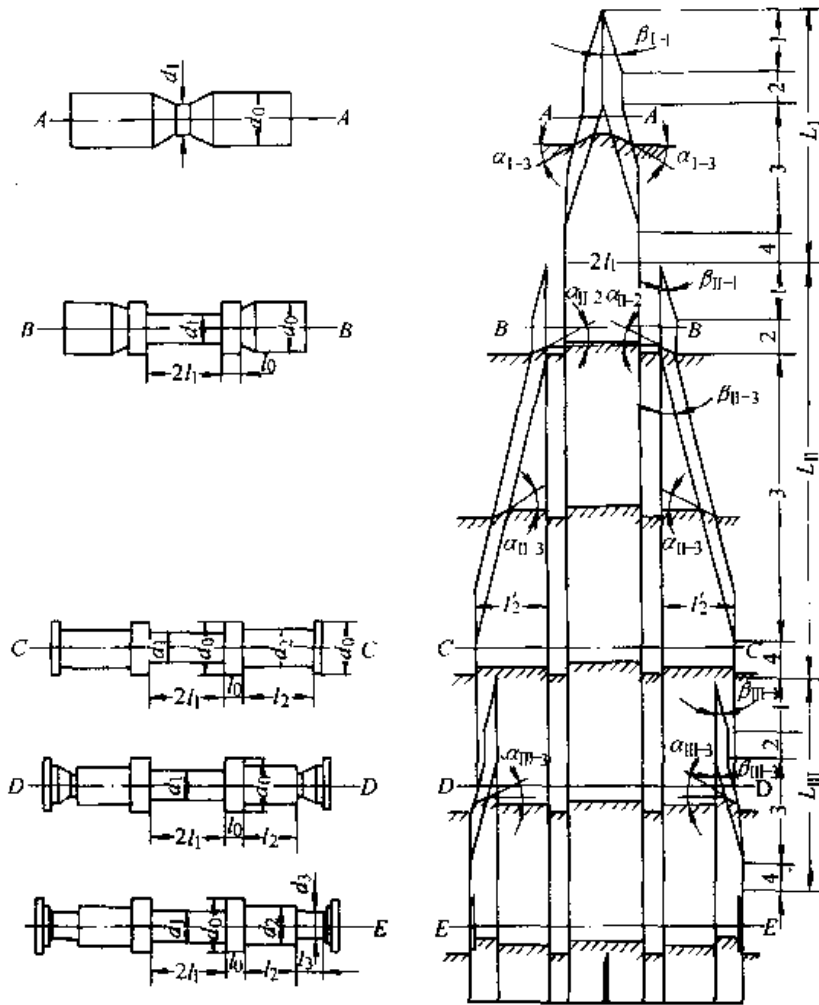


图 25.2-42 起动轴孔型展开及工件成形过程简图

② 计算断面收缩率 ψ 与初选 α 、 β

$$\psi_1 = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_0^2}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{30^2}{50^2}\right) \times 100\% = 64\%$$

$$\psi_2 = \left(1 - \frac{d_2^2}{d_0^2}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{34^2}{50^2}\right) \times 100\% = 53.7\%$$

$$\psi_3 = \left(1 - \frac{d_3^2}{d_2^2}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{23^2}{34^2}\right) \times 100\% = 54.2\%$$

由计算结果最大断面收缩率为 64%，故成形角 α 、展宽角 β 均可取较大数值。初选 $\alpha = 28^\circ$

至当量长度 l_2' 。

$$l_2' = l_2 + \frac{d_3^2}{d_2^2} \times l_3$$

$$= 55.9 \text{ mm} \times \frac{23^2}{34^2} \times 28.5 \text{ mm} = 68.9 \text{ mm}$$

取 $l_2' = 69 \text{ mm}$ 。

c) 楔Ⅲ段 将轴颈 d_3 轧制成形，精整后切断料头。

$\sim 30^\circ$ ， $\beta = 6.5^\circ \sim 7.5^\circ$ 。

③ 孔型几何尺寸计算 以楔Ⅰ段为例进行下列计算。已知轧辊最大直径 $D_{\max} = 800 \text{ mm}$ ，楔Ⅰ段轧制时所对应的轧辊半径 $R_I = 396.5 \text{ mm}$ ，取 $\alpha_1 = 28^\circ$ ， $\beta_1 = 7.5^\circ$ 。

a) 楔入段长度及圆心角

$$L_{1-1} = h_1 \cot \alpha_1 \cot \beta_1$$

$$= \left(\frac{d_0 - d_1}{2} K_D + \delta\right) \cot \alpha_1 \cot \beta_1$$

$$= \left(\frac{50-30}{2} \times 1.01 + 1 \right) \cot 28^\circ \cot 7.5^\circ \text{ mm}$$

$$= 158.57 \text{ mm}$$

式中 δ ——为基圆间隙, 取 δ 为 1 mm。

$$\varphi_{1-1} = \frac{360L_{1-1}}{2\pi R_1} = 57.296^\circ \times \frac{158.57}{396.5} = 22.91^\circ$$

b) 楔入精整段长度及圆心角

$$L_{1-2} = 0.5\pi d_k = 0.5\pi \times 40 \text{ mm} = 62.8 \text{ mm}$$

$$\varphi_{1-2} = 57.296^\circ \times \frac{L_{1-2}}{R_1} = 57.296^\circ \times \frac{62.8}{396.5} = 9.08^\circ$$

c) 展宽段长度及圆心角

$$L_{1-3} = l_{\text{展}} \cot \beta_1 = 38.7 \text{ mm} \times \cot 7.5^\circ = 293.96 \text{ mm}$$

$$\varphi_{1-2} = 57.296^\circ \times \frac{L_{1-3}}{R_1} = 57.296^\circ \times \frac{293.96}{396.5} = 42.48^\circ$$

d) 展宽精整段长度及圆心角

$$L_{1-4} = 0.5\pi d_k = 0.5\pi \times 40 \text{ mm} = 62.8 \text{ mm}$$

$$\varphi_{1-4} = 57.296^\circ \times \frac{L_{1-4}}{R_1} = 57.296^\circ \times \frac{62.8}{396.5} = 9.08^\circ$$

由上述关系式可求出楔Ⅱ段楔Ⅲ段的长度和圆心角度。计算结果列于表 25.2-8。

④ 轧齐曲线计算

$$S_0 = \left(\frac{r_0^3}{3r_1^2} - r_0 + \frac{2r_1}{3} \right) \cot \alpha_1$$

$$= \left(\frac{25^3}{3 \times 15^2} - 25 + \frac{2 \times 15}{3} \right) \cot 28^\circ \text{ mm}$$

$$= 15.32 \text{ mm}$$

$$S_1 = (r_0 - r_1) \cot \alpha_1$$

$$= (25 - 15) \cot 28^\circ = 18.81 \text{ mm}$$

将 S_0 、 S_1 数值代入下列轧齐曲线方程:

$$X - (S_1 + S_0) - X_1 - \frac{\tan \alpha}{r_1} X_1^2 - \frac{\tan^2 \alpha}{3r_1^2} X_1^3$$

$$(25.2-73)$$

$$Y = X \cot \beta \quad (25.2-74)$$

$$Z = r_1 + X_1 \tan \alpha \quad (25.2-75)$$

令 $X_1 = 0, 4, 8, 12, 16, 18.86$ 分别代入式 (25.2-73)、式 (25.2-74)、式 (25.2-75), 求出 X 、 Y 、 Z 值, 其计算结果列于表 25.2-7。

⑤ 成形楔加工导程 T 计算 以楔Ⅰ段成形展宽段为例:

$$T_{1-2} = 2\pi R_1 \tan \beta_{1-2}$$

$$= 2\pi \times 396.5 \text{ mm} \times \tan 7.5^\circ = 327.98 \text{ mm}$$

其他计算结果列于表 25.2-8。

表 25.2-7 汽车起动轴轧齐曲线数据

X_1	0.00	4.00	8.00	12.00	16.00	18.86
X	34.13	29.61	23.66	16.34	7.43	0.00
Y	259.24	224.90	179.71	124.11	56.44	0.00
Z	15.00	17.13	19.25	21.38	23.51	25.00

表 25.2-8 汽车起动轴孔型计算表

序号		成形角 $\alpha/^\circ$	展宽角 $\beta/^\circ$	长度 L/mm	圆心角 $\varphi/^\circ$	导程 T/mm
楔Ⅰ段	1	28	7.5	158.57	22.91	327.98
	2	28	0	62.8	9.08	0
	3	28	7.5	293.57	42.45	327.98
	4	0	0	62.80	9.08	0
楔Ⅱ段	1	30	7	128.37	18.64	304.35
	2	30	0	65.97	9.58	0
	3	30	7	561.96	81.60	304.35
	4	0	0	65.7	9.58	0
楔Ⅲ段	1	30	6	85.13	12.19	286.35
	2	30	0	57.33	8.21	0
	3	30	6.5	250.14	35.83	286.35
	4	0	0	57.33	8.21	0
切分段	左	82	0	120	17.19	0
	右	82	0	120	17.19	0

(2) 非对称轴模具设计

非对称轴毛坯尺寸确定以及精整区型腔尺寸的计算，与对称轴毛坯设计相同，这里不再详述。

图 25.2-43 为汽车吊耳轴毛坯图。汽车吊耳

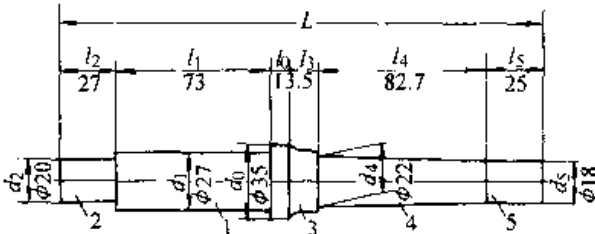


图 25.2-43 汽车吊耳轴毛坯图

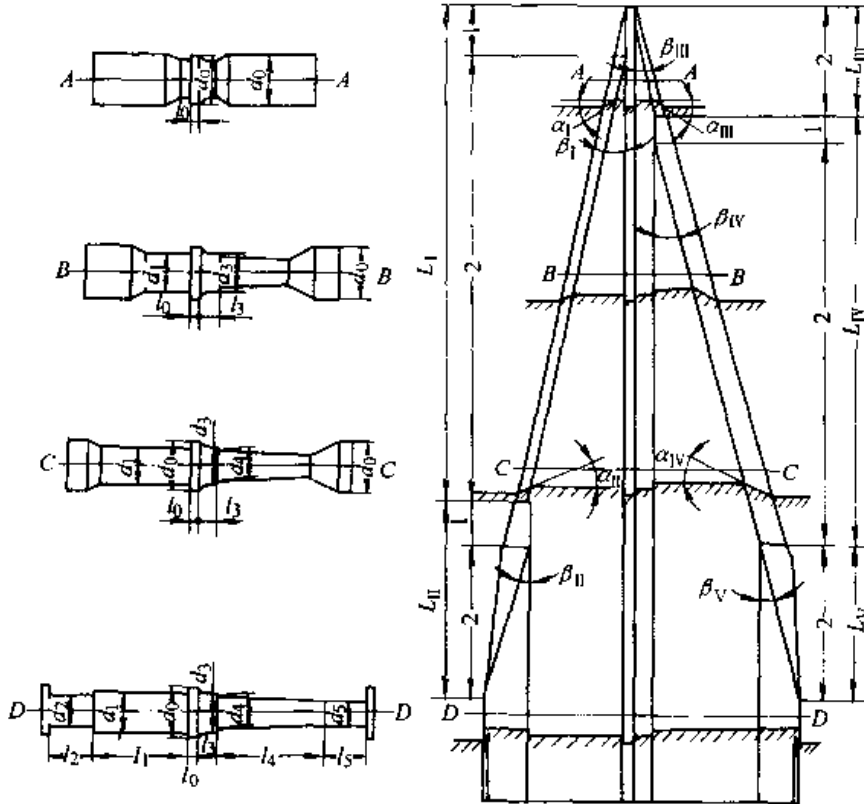


图 25.2-44 吊耳轴孔型展开及工件成形过程简图

④ 精整后，切断料头。

2) 工艺参数确定

$$\psi_1 = (1 - \frac{d_1^2}{d_0^2}) \times 100\% = (1 - \frac{28^2}{35^2}) \times 100\% = 36\%$$

其余计算结果列于表 25.2-9。根据各断面收缩率数值确定成形角 α 与展宽角 β 。其值列于表 25.2-9。

3) 结构参数确定 左楔、右楔同时楔入，连续轧制。由于是非对称楔轧制，左楔与右楔所对应的轧辊圆心角相等。已知轧辊最大外径 $D =$

轴毛坯由圆锥体、圆柱体及旋转圆弧体多个型体组成，为非对称轴件，采用非对称楔轧制。

1) 成形方案 图 25.2-44 为汽车吊耳轴孔型展开与工件成形过程简图，其成形方案如下：

① 参见图 25.2-44，直径 d_0 的左边为左半楔， d_0 的右边为右半楔；

② 左半楔由楔 I、II 组成。楔 I、II 分别将坯料 d_0 连续轧制成 d_1 、 d_2 ，轧制长度分别为 l_1 、 l_2 ；

③ 右半楔由楔 III、IV、V 组成。楔 III、IV、V 分别将坯料 d_0 连续轧制成 d_3 、 d_4 、 d_5 ，轧制长度分别为 l_3 、 l_4 、 l_5 ；

620 mm。

表 25.2-9 汽车吊耳轴工艺参数数据表

直径 /mm	断面收缩率 $\psi/\%$	成形角 $\alpha/(^\circ)$	展宽角 $\beta/(^\circ)$
d_1	40.0	32	5.5
d_2	67.0	24	7.0
d_3	36.0	32	5.5
d_4	60.0	26	7.2
d_5	73.5	23	6.5

① 成形楔几何尺寸计算 以左楔为例。

楔 I 段高度

$$h_1 = \frac{1}{2}(d_0 - d_1)K_D + \delta$$

$$= \frac{1}{2}(35 - 27) \times 1.01 \text{ mm} + 1 \text{ mm}$$

$$= 5.04 \text{ mm}$$

楔 I 段起楔段长度及圆心角度

$$L_{1-1} = h_1 \cot \alpha_1 \cot \beta_1 = 5.04 \text{ mm} \cot 32^\circ \cot 5.5^\circ$$

$$= 83.77 \text{ mm}$$

$$\varphi_{1-1} = 57.296 \frac{L_{1-1}}{R_1} = 57.296^\circ \times \frac{83.77}{305.5} = 15.71^\circ$$

楔 I 段展宽段长度及圆心角度

$$L_{1-2} = l_1 K_L \cot \beta_1 = 73 \text{ mm} \times 1.017 \cot 5.5^\circ$$

$$= 771.02 \text{ mm}$$

$$\varphi_{1-2} = 57.296 \frac{L_{1-2}}{R_1} = 57.296^\circ \times \frac{771.02}{305.5}$$

$$= 144.60^\circ$$

楔 I 段与楔 II 段高度差

$$\Delta h_2 = \frac{(d_1 - d_2)}{2} K_D = \frac{(27 - 20)}{2} \times 1.01 \text{ mm}$$

$$= 3.54 \text{ mm}$$

楔 II 段起楔段长度及圆心角度

$$L_{II-1} = \Delta h_2 \cot \alpha_{II} \cot \beta_{II}$$

$$= 3.54 \text{ mm} \times \cot 24^\circ \times \cot 7^\circ$$

$$= 64.76 \text{ mm}$$

$$\varphi_{II-1} = 57.296 \frac{L_{II-1}}{R_{II}} = 57.296^\circ \times \frac{64.76}{308}$$

$$= 12.04^\circ$$

楔 II 段展宽段长度及圆心角度

$$L_{II-2} = (l_2 + \delta) K_L \cot \beta_{II}$$

$$= (27 + 4) \text{ mm} \times 1.017 \cot 7^\circ$$

$$= 256.77 \text{ mm}$$

$$\varphi_{II-2} = 57.296 \frac{L_{II-2}}{R_{II}} = 57.296^\circ \times \frac{256.77}{308}$$

$$= 47.77^\circ$$

其余部位计算结果列于表 25.2-10。

② 精整段长度及圆心角度

$$L = 0.5\pi d_0 = 0.5\pi \times 35 \text{ mm} \approx 55 \text{ mm}$$

$$\varphi = 57.296 \frac{L}{R} = 57.296^\circ \times \frac{55}{310} = 10.17^\circ$$

③ 成形楔加工导程 T

以楔 I 段为例:

$$T_1 = 2\pi R_1 \tan \beta_1 = 2\pi \times 305.5 \text{ mm} \times \tan 5.5^\circ$$

$$= 184.83 \text{ mm}$$

其他部位计算结果列于表 25.2-10。

表 25.2-10 汽车吊耳轴孔型计算表

序号		成形角 $\alpha/^\circ$	展宽角 $\beta/^\circ$	长度 L/mm	圆心角 $\varphi/^\circ$	导程 T/mm
楔 I 段	1	32	5.5	83.77	15.71	184.83
	2			771.02	144.60	184.83
楔 II 段	1	24	7	64.76	12.04	237.62
	2			256.77	47.77	237.62
楔 III 段	1	32	5.5	0	0	0
	2			201.34	37.82	184.50
楔 IV 段	1	26	7.4	47.83	8.84	252.97
	2			679.47	125.58	252.97
楔 V 段	1	23	6.5	0	0	0
	2			258.86	47.83	221.92
精整段		0	0	55	10.17	0
切分段	左	82	0	120	22.25	0
	右	82	0	120	22.18	

(3) 带预轧楔模具设计

图 25.2-45 为喷油嘴毛坯图。采用长棒料成对轧制。

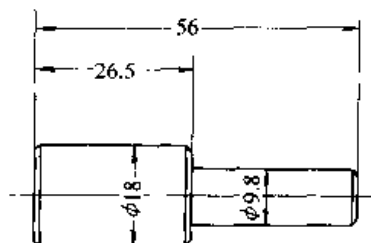


图 25.2-45 喷油嘴毛坯图

1) 成形方案

① 预轧楔轧制段 参看图 25.2-46 预轧楔，将坯料 d_0 轧至 d_1 ，轧制颈长为 l_1 ；

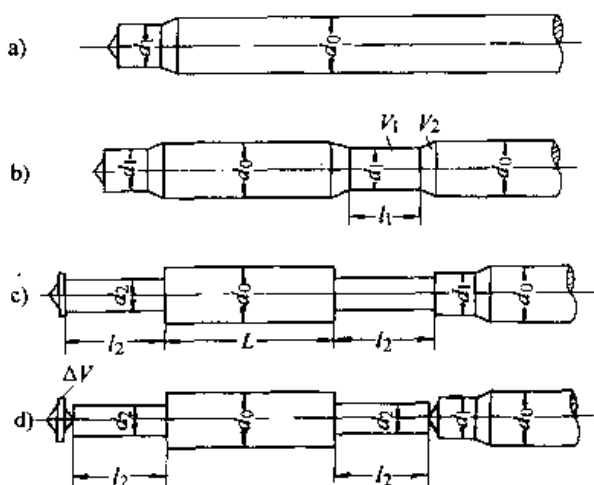


图 25.2-46 喷油嘴毛坯成形过程示意图

② 轧制成形段 如图 25.2-47 所示对称半楔分别将两端颈部由 d_1 轧至 d_2 ，完成毛坯的成形；

③ 切分段 精整后，模具一侧将料头切除，另一侧将轧制成的喷油嘴毛坯与长棒料切分。

2) 工艺参数确定

① 断面收缩率分配 轧件最大直径 $d_0 = 18 \text{ mm}$ ， $d_1 = 13.2 \text{ mm}$ ， $d_2 = 9.8 \text{ mm}$ ，断面收缩率为

$$\psi_1 = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_0^2}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{13.2^2}{18^2}\right) \times 100\% = 46.2\%$$

$$\psi_2 = \left(1 - \frac{d_2^2}{d_1^2}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{9.8^2}{13.2^2}\right) \times 100\% = 44.9\%$$

② 成形角与展宽角的确定 取 $\alpha_1 = \alpha_2 = 28^\circ$ ，

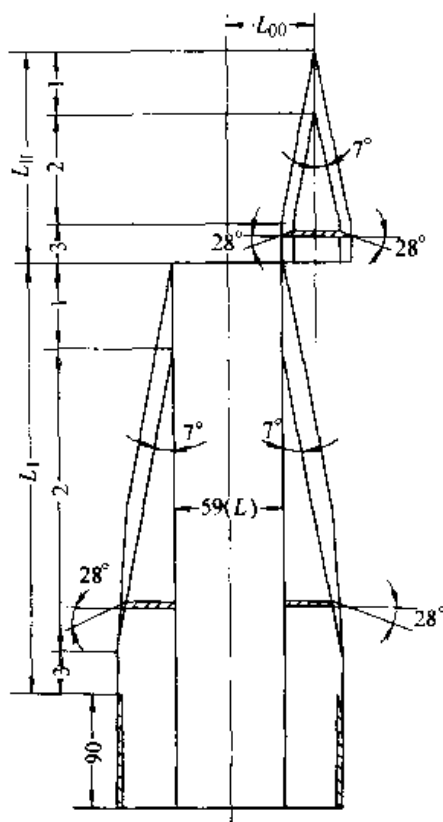


图 25.2-47 喷油嘴孔型展开图

$$\beta_1 = \beta_2 = 7^\circ$$

3) 结构参数确定

① 预轧楔轧制段宽度 预轧楔轧制颈长为 l_1 ，其尺寸应满足下列体积关系式：

$$V_1 + V_3 = 2V_2 + \Delta V \quad (25.2-76)$$

式中 V_1 —— 预轧后直径 d_1 部位体积；
 V_2 —— 喷油嘴毛坯轴径 d_2 部位体积；
 V_3 —— 直径 d_1 过渡到直径 d_0 锥台体积；
 ΔV —— 轧后切除料头体积。

$$V_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} l_1 \quad (25.2-77)$$

$$V_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} l_2 \quad (25.2-78)$$

$$\begin{aligned} V_3 &= \frac{\pi}{3} h (r_0^2 + r_1^2 + r_0 r_1) \\ &= \frac{\pi (d_0 - d_1) (d_0^2 + d_1^2 + d_0 d_1)}{3 \cdot 2 \tan \alpha_1 \cdot 4} \\ &= \frac{\pi (d_0^3 - d_1^3)}{24 \tan \alpha_1} \end{aligned} \quad (25.2-79)$$

$$\Delta V = \frac{\pi d_1^2}{4} \Delta l + \frac{\pi d_1^3}{12} \cot \alpha_0 \quad (25.2-80)$$

将式 (25.2-77)、式 (25.2-78)、式 (25.2-79)、式 (25.2-80) 代入式 (25.2-76)

得:

$$\frac{\pi d_1^2}{4} l_1 + 2 \times \frac{\pi(d_0^3 - d_1^3)}{24 \tan \alpha_1} = 2 \times \frac{\pi d_2^2}{4} l_2 + \frac{\pi d_1^2}{4} \Delta l + \frac{\pi d_1^3}{12} \cot \alpha_0$$

整理后得到预轧楔轧制颈长 l_1 方程为

$$l_1 = \frac{d_2^2}{d_1^2} l_2 - \frac{d_0^3 - d_1^3}{3 d_1^2 \tan \alpha_1} + \Delta l + \frac{d_1}{3} \cot \alpha \quad (25.2-81)$$

式中 d_2 、 l_2 —— 喷油嘴毛坯颈部直径和长度;

α_1 —— 预轧楔成形角;

α_0 —— 料头锥角, $\alpha_0 = 60^\circ$;

Δl —— 料头柱体长度, $\Delta l = 2 \sim 5 \text{ mm}$ 。

参看图 25.2-47, 预轧楔 I 为对称中楔, 其顶宽应等于热态预轧颈部长 l_1 。

已知喷油嘴毛坯颈部轴长 $l_2 = 29.5 \text{ mm}$, 代入式 (25.2-81) 得:

$$l_1 = \frac{2 \times 9.8^2}{13.2^2} 29.5 \text{ mm} - \frac{18^3 - 13.2^3}{3 \times 13.2^2 \tan 28^\circ} \text{ mm} + 2 \text{ mm} + \frac{13.2}{3 \tan 60^\circ} \text{ mm} = 24.35 \text{ mm}$$

$$l_1' = l_1 K_L = 24.35 \text{ mm} \times 1.017 = 24.76 \text{ mm}$$

② 成形楔轧制段宽度 参看图 25.2-47, 成形楔 II 为两个对称半楔。楔宽等于毛坯轴颈 l_2 与料头单侧锥体当量长度 Δl_2 的和乘以热膨胀系数。

$$\Delta l_2 = \frac{\pi d_1^3}{24 d_2^2} \cot \alpha_0 = \frac{\pi \times 13.2^3}{24 \times 9.8^2} \cot 60^\circ \text{ mm} = 1.81 \text{ mm}$$

$$l_2' = (l_2 + \Delta l_2) K_L = (29.5 + 1.8) \text{ mm} \times 1.017 = 31.83 \text{ mm}$$

③ 对称成形楔之间距离 L , 见图 25.2-47。

$$L = (2l_0 + \Delta l) K_L = (2 \times 26.5 + 5) \text{ mm} \times 1.017 = 58.99 \text{ mm}$$

取 $L = 59 \text{ mm}$

④ 预轧楔对中线与成形楔对称线距离 L_{00}

$$L_{00} = \frac{L}{2} + \frac{1}{2} \left[l_1' + \frac{(d_0 - d_1)}{\tan \alpha_1} K_L \right] = \frac{59 \text{ mm}}{2} + \frac{1}{2} \left[24.76 + \frac{(18 - 13.2)}{\tan 28^\circ} \times 1.017 \right] \text{ mm} = 46.47 \text{ mm}$$

4) 楔几何尺寸计算

预轧楔高度

$$\Delta h_1 = \frac{1}{2} (d_0 - d_1) K_D + \delta$$

$$= \frac{1}{2} \times (18 - 13.2) \times 1.01 \text{ mm} + 0.5 \text{ mm} = 2.92 \text{ mm}$$

预轧楔起楔段长度

$$L_{1-1} = \Delta h_1 \cot \alpha_1 \cot \beta_1 = 2.92 \text{ mm} \times \cot 28^\circ \times \cot 7^\circ = 44.73 \text{ mm}$$

预轧楔展宽段长度

$$L_{1-2} = \frac{1}{2} l_1' \cot \beta_1 = \frac{1}{2} \times 24.76 \text{ mm} \times \cot 7^\circ = 100.83 \text{ mm}$$

预轧楔精整段长度

$$L_{1-3} = \frac{\pi}{2} d_0 = \frac{\pi}{2} \times 18 \text{ mm} = 28.27 \text{ mm} \quad (\text{取 } 30 \text{ mm})$$

成形楔高度

$$\Delta h_2 = \frac{1}{2} (d_0 - d_1) K_D + \delta = \frac{1}{2} \times (18 - 9.8) \times 1.01 \text{ mm} + 0.5 \text{ mm} = 4.6 \text{ mm}$$

成形楔起楔段长度

$$L_{II-1} = \Delta h_2 \cot \alpha_2 \cot \beta_2 = 4.6 \text{ mm} \times \cot 28^\circ \times \cot 7^\circ = 70.46 \text{ mm}$$

成形楔展宽段长度

$$L_{II-2} = l_2' \cot \beta_2 = 31.8 \text{ mm} \times \cot 7^\circ = 258.99 \text{ mm}$$

成形楔精整段长度

$$L_{II-3} = \frac{\pi}{2} d_0 = \frac{\pi}{2} \times 18 \text{ mm} = 28.27 \text{ mm} \quad (\text{取 } 30 \text{ mm})$$

参看图 25.2-47 可计算出辊面有效长度 (略)

4.2 斜轧钢球模具设计实例

以 $\phi 60 \text{ mm}$ 球磨钢球螺旋孔型设计为例, 采用单侧变导程方法, 介绍斜轧钢球孔型设计。

(1) 基本参数

1) 钢球直径 ϕ $\phi = 62.5 \text{ mm}$

2) 孔型半径 R $R = \frac{1}{2} \phi K_Q = 31.56 \text{ mm}$

3) 棒料直径 ϕ_0 $\phi_0 = 60 \text{ mm}$

4) 螺旋孔型长度 α 取 $\alpha = 1080^\circ$

5) 轧辊直径 D $D = (5 \sim 6) \phi \approx 300 \sim 360 \text{ mm}$ 取 $D = 350 \text{ mm}$

6) 基本导程 T_0 $T_0 = 2C_0 + a_0 = 68.99 \text{ mm}$

- 7) 轧辊长度 L $L = \frac{\alpha}{360} T_0 + \Delta l = 240 \text{ mm}$
- 8) 精整区凸棱宽度 a $a = 6 \text{ mm}$
- 9) 成形终了连接颈直径 d_0 $d_0 = 4.12 \text{ mm}$
- 10) 起始凸棱高度 h_b $h_b = h_{1080} = 3.1 \text{ mm}$
- 11) 任意位置凸棱高度 h_a 列于表 25.2-11。

(2) 任意位置凸棱高度及连接颈直径

1) 成形终了凸棱高度 h_0 $h_0 = R - \frac{1}{2} \cdot d_0 = 29.5 \text{ mm}$

2) 根据 h_b 、 h_0 作凸棱高度图 25.2-48 并计算横进刀量 (每圈高度变化量)

$$T_x = \frac{h_0 - h_b}{\alpha_b - \alpha_0} \times 360^\circ = \frac{29.5 - 3.1}{1080^\circ - 540^\circ} \times 360^\circ \text{ mm/r} = 17.6 \text{ mm/r}$$

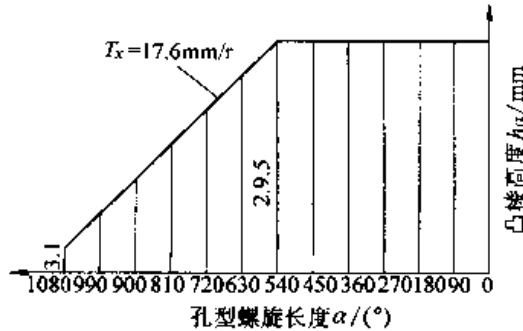


图 25.2-48 钢球孔型凸棱高度图

3) 任意位置凸棱高度 h_a , 例如 h_{900}

$$h_{900} = h_b + \frac{T_x}{360^\circ} (1080^\circ - 900^\circ) = 3.1 \text{ mm} + \frac{17.6 \text{ mm}}{360^\circ} \times 180^\circ = 11.9 \text{ mm}$$

其余计算省略, h_a 值列于表 25.2-11。

4) 任意位置连接颈直径 d_a , 例如 d_{900}

$$d_{900} = 2(R - h_{900}) = 2 \times (31.56 - 11.9) \text{ mm} = 39.32 \text{ mm}$$

其余 d_a 值列于表 25.2-11。

(3) 校核孔型金属体积系数 K_{V_a}

1) 计算钢球总体积 V_0

$$V_0 = \frac{4}{3} \pi R^3 + \frac{\pi}{4} d_0^2 a_0 = 131\,753.86 \text{ mm}^3$$

2) 计算任意位置孔型内体积 V_a , 例 V_{720}

$$V_{a720} = \frac{\pi}{4} d_{720}^2 \cdot \frac{a_{720}}{2} = \frac{\pi}{4} \times 21.72^2 \times \frac{4.030}{2} \text{ mm}^3 = 746.59 \text{ mm}^3$$

$$V_{c720} = \pi C_{720} (R^2 - \frac{1}{3} C_{720}^2)$$

$$C_{720}^2 = R^2 - (R - h_{720})^2 = 878.09 \text{ mm}^2$$

$$C_{720} = 29.63 \text{ mm}$$

$$V_{c720} = 29.633\pi(31.56^2 - \frac{878.094}{3}) \text{ mm}^3$$

$$= 65\,476.90 \text{ mm}^3$$

$$V_{S720} = \pi R^2 S_{720} = \pi R^2 (T_0 - 2C_{720} - a_{720})$$

$$= 31.56^2 \pi (68.9854 - 2 \times 29.633$$

$$- 4.030) \text{ mm}^3 = 17\,802.88 \text{ mm}^3$$

$$V_{a1080} = \frac{\pi}{4} d_{1080}^2 \cdot \frac{a_{1080}}{2} = \pi (R - h_{1080})^2 \cdot \frac{d_{1080}}{2}$$

$$= \pi (31.56 - 3.1)^2 \times \frac{3.144}{2} \text{ mm}^3$$

$$= 4\,000.11 \text{ mm}^3$$

$$V_{c1080} = \pi C_{1080} (R^2 - \frac{1}{3} C_{1080}^2)$$

$$C_{1080}^2 = R^2 - (R - h_{1080})^2 = 186.06 \text{ mm}^2$$

$$C_{1080} = 13.64 \text{ mm}$$

$$V_{c1080} = 13.640\pi(31.56^2 - \frac{186.062}{3}) \text{ mm}^3$$

$$= 40\,023.69 \text{ mm}^3$$

$$V_{720} = V_{a720} + V_{c720} + V_{S720} + V_{c1080} + V_{a1080}$$

$$= 128\,050.18 \text{ mm}^3$$

$$3) K_{V720} = \frac{V_{720}}{V_0} = \frac{128\,050.177}{131\,753.858} = 0.97$$

校核结果, K_{V_a} 值满足设计要求。其余验算省略, 校核结果见表 25.2-11。

(4) 校核连接颈长度 b_a 同凸棱宽度 a_a 的适应性

1) 计算 b_{720}

$$b_{720} = 8[V_{a810} - (V_{c720} - V_{a810})] / \pi d_{720}^2$$

$$V_{a810} = \frac{\pi}{4} d_{810}^2 \cdot \frac{a_{810}}{2} = 1\,208.56 \text{ mm}^3$$

$$V_{a810} = \pi C_{810} (R^2 - \frac{C_{810}^2}{3}) = 64\,365.84 \text{ mm}^3$$

$$V_{c720} = 65\,476.90 \text{ mm}^3$$

$$b_{720} = 8[1\,208.562 - (65\,476.897 - 64\,365.836)]$$

$$/ \pi 482.073 \text{ mm} = 0.53 \text{ mm}$$

2) 校核 $a_a - b_a$

$$a_{720} - b_{720} = 4.030 \text{ mm} - 0.53 \text{ mm} = 3.50 \text{ mm}$$

即 $a_{720} > b_{720}$, 连接颈受拉。但尚不致拉断, 基本上是适应的。

其余校核结果列于表 25.2-11。

表 25.2-11 $\phi 60$ mm 钢球孔型计算表 (mm)

$\alpha/(\circ)$	h_a	d_a	a_a	C_a	S_a	V_a	K_{V_a}	b_a	$a_a - b_a$
1080	3.1	56.92	3.14	13.64	38.56				
990	7.5	48.12	3.09	20.42	25.05				
900	11.9	39.32	3.04	24.69	16.57				
810	16.3	30.52	3.30	27.63	10.43				
720	20.7	21.72	4.03	29.63	5.69	128 050.18	0.97	0.53	3.50
630	25.1	12.92	5.21	30.89	1.99	130 159.64	0.99	6.56	-1.35
540	29.5	4.12	6.00	31.44	0.00	129 211.01	0.99	44.73	-38.73

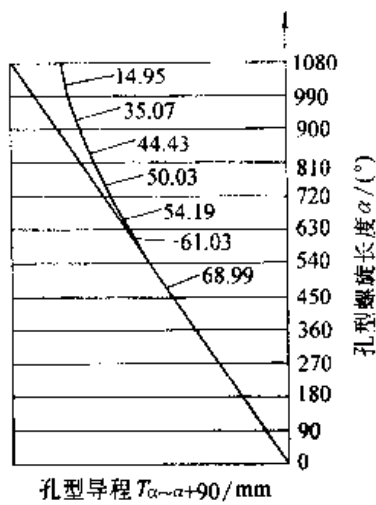


图 25.2-49 $\phi 60$ mm 钢球孔型导程示意图

(5) 计算孔型加工导程 $T_{\alpha \sim \alpha + 90}$

1) 由 0° 至 540° 因凸棱宽度不变, 故导程亦不变, 即 $T_{0 \sim 540} = T_0 = 68.99$ mm

2) 由 540° 至 630° , $S_{540} = 0$ 。故

$$\begin{aligned} T_{540 \sim 630} &= T_0 - 4(S_{630} - S_{540}) \\ &= 68.99 \text{ mm} - 4 \times 1.99 \text{ mm} \\ &= 61.03 \text{ mm} \end{aligned}$$

3) 由 630° 至 720°

$$\begin{aligned} T_{630 \sim 720} &= T_0 - 4(S_{720} - S_{630}) \\ &= 68.99 \text{ mm} - 4 \times (5.69 - 1.99) \text{ mm} \\ &= 54.19 \text{ mm} \end{aligned}$$

其余计算见图 25.2-49。

第 3 章 摆辗模具设计

1 概述

1.1 摆辗的工作原理、特点及应用

(1) 摆辗的工作原理及特点

摆辗模具分为两部分，主动加压部分为锥体模，其加工过程中与工件局部接触，在工件上滚动或滚动+滑动。锥体模轴线与机床中心轴线斜交，交点为锥顶，交角为 γ ，该角又称摆头倾角。另一部分模具（凹模）与机床同轴，工件装在这部分模具上，加工过程中它与工件之间无相对运动（金属流动之运动除外）。目前，世界上所制造的摆动辗压机，其锥体模的运动形式有：自转、公转、章动、摆动、公转+自转和章动+自转。装卡工件的模具固定在工作台上，其运动形式有：①轴向平移；②自轴旋转；③自轴旋转+轴向平移。锥体模的运动形式更多一些，即①自轴旋转，如图 25.3-1a 所示也叫自转；②模具轴线上的一点绕机床轴线作圆周运动，如图 25.3-1b 所示，简称公转；③模具轴线上的一点作往复弧线运动，弧线与机床轴线相交，交点为弧线中点，弧线在机床工作台面上的投影为直线，如图 25.3-1c 所示，此运动简称摆动；④模具轴线上的一点以机床轴线上的一点为原点作复杂运动，其运动轨迹在机床工作台面上的投影可是多叶玫瑰线、螺旋线等等，如图 25.3-1d 所示，此运动简称为章动。

摆辗时，装在摆头上的锥体形状模具与工件局部接触（图 25.3-2），仅为工件变形面积的 $1/n$ ，接触面积轴向压缩而切向和径向伸长，由于模具摆动而该接触面不断地移动，覆盖工件整个变形面积时即完成一个进给（ s/r ）周期，多个进给周期叠加完成工件所需要的整体变形。实际上相当于锥体沿母线在工件上滚动+滑动，接触面偏向一旁，即机床承受周期变化偏心载荷。

摆辗具有以下优点：

1) 省力 摆辗是连续局部变形，接触面积是常规锻造接触面积的 $1/n$ ($n=5\sim 20$)；模具

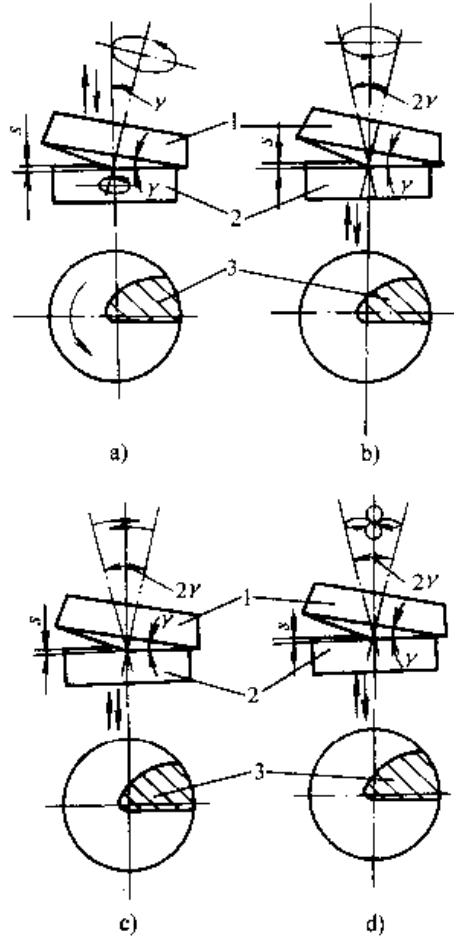


图 25.3-1 摆辗的锥体模运动形式示意图

a) 自转 b) 公转 c) 摆动 d) 章动

1—锥体模 2—工件 3—锥体模与工件的接触面积

与工件之间相对运动有滚动，摩擦因数小，降低了塑性流动阻力；接触面积小，则塑性区相对厚度大，应力状态系数小，变形抗力小。因此，轧制变形抗力仅为常规锻造变形力的 $1/5\sim 1/20$ （图 25.3-3）。

2) 锻件尺寸精度高，可以实现少无切削加工

由于轧制力小，并且平均单位压力低，所以摆辗可以用于冷锻，例如汽车差速器行星锥齿轮，各种锥齿轮，齿形冷辗成形后不需切削加工而达到 7 级精度；汽车同步器齿环冷辗成形等，表面粗糙度可达 $R_a 0.4\sim 0.8\ \mu\text{m}$ ，齿形不需再切削加工。

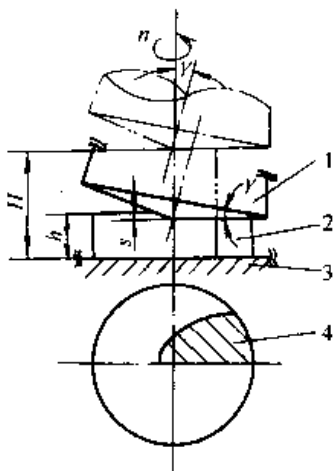


图 25.3-2 摆辗

1—摆头(上模) 2—工件 3—下模 4—工件俯视图

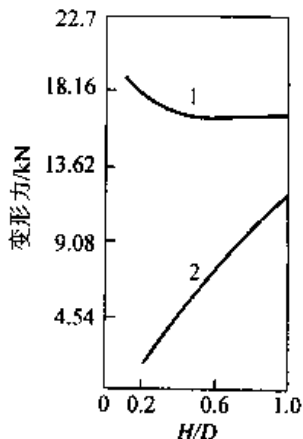


图 25.3-3 传统锻造力与摆辗力的比较

(英 R. A. C. Stater, et al, 材料: 铅)

1—传统锻造力 2—摆辗力

3) 摆辗模具寿命高 摆动辗压与传统锻造相比, 其轧制单位压力小得多, 锥体模与工件局部接触, 模具负载低, 且为间歇性载荷, 所以耐磨损, 失效慢, 模具寿命高。

4) 劳动环境好, 易于机械化、自动化生产

摆辗是准静压力加工, 振动小, 噪声低 (≤ 80 dB), 劳动环境优于传统的锻造生产。过程简单, 易于实现连线自动化生产。

摆辗除具有上述优点以外, 还有一些不足之处:

1) 加工范围的局限性 摆辗工艺比较适合加工需要轴向变形的轴对称零件, 特别是薄盘件、环件。不适合加工需要径向变形的长杆类工件。

2) 单工步, 单模腔 摆辗上模只有一个运

动中心, 而工件轴线必须通过这一运动中心才能保证获得正确的工件外形轮廓。因而模具上只能放一个模腔, 也就只能完成一个加工工步。

(2) 摆辗的应用

摆辗工艺主要用来成形轴对称零件。目前已用冷摆辗成形一些非轴对称零件。

如各种薄盘, 法兰、锥齿轮、同步器齿环、轴承衬套、万向轴节及非轴对称件齿条、拨叉等。由于摆辗是一种递增锻造过程, 能够迫使金属充满各个角落, 制件形状精度高, 表面粗糙度小, 能够成形其他冷塑性加工难于成形的制件, 是一种十分有效的少无切削加工方法, 经济效益十分显著。

温摆辗能避免热锻中的收缩和氧化皮问题, 又能减少模具磨损, 工艺力比冷摆辗力小得多。在 $500 \sim 850^\circ\text{C}$ 温度范围内辗压生产钢质摩擦盘、半轴法兰、汽车变速齿轮盘和齿轮, 在 $800 \sim 1000^\circ\text{C}$ 温摆辗生产汽车后桥从动锥齿轮(弧齿锥齿轮)、汽车离合器轮盘等等。温摆辗成形件精度接近冷轧制成形件, 大大高于热摆辗成形件, 可以生产较大尺寸的制件。

较小的摆动辗压机就可以代替大型锻压机生产锻件, 能收到投资少, 见效快的效果。例如 2000 kN 的摆动辗压机代替 16000 kN 的平锻机生产载重汽车半轴; 4000 kN 摆动辗压机能生产 80000 kN 热模锻压力机锻造的对称形零件。目前已用热摆辗生产的锻件有各种可焊法兰、火车轮及轮箍、起重机轮盘、离合器轮盘、各种齿轮预制坯、轮毂、轴向较薄的盘和环、异形端面的盘和环等等(图 25.3-4)。

由于摆辗是在工件上渐次辗压, 使受压局部的空腔处于破坏过程, 所以用于粉末冶金件的锻造压实, 具有明显的效果。例如摆辗可以把密度为 $6.4 \sim 6.6 \text{ g/cm}^3$ 的铁粉烧结体辗压为密度 $7.74 \sim 7.8 \text{ g/cm}^3$ 的密实体(图 25.3-5) 粉末制品, 即对密度可达到 99% 以上, 这是其他锻造方法难以达到的。

摆辗还可用于冲裁、圆孔的扩口与缩口和铆接。尤其, 用辗压机进行铆接加工得到迅速发展, 终将成为主要铆接方式。

1.2 摆辗工艺的分类

按照加工对象的状态, 轴向辗压工艺可以分

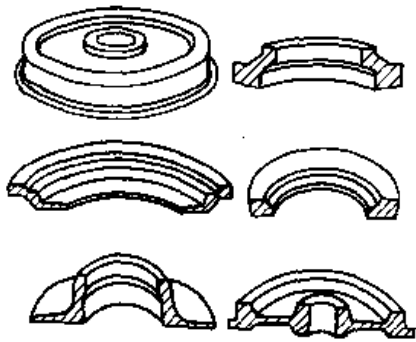
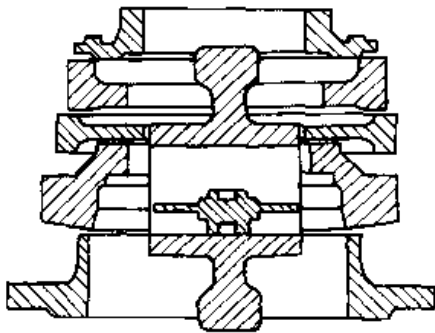


图 25.3-4 热摆辗成形件

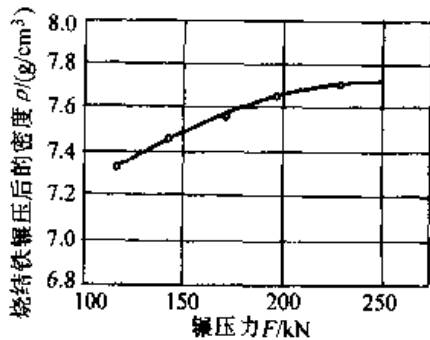


图 25.3-5 摆辗压力与密度的关系 (烧结铁) 为以下几种:

(1) 热摆辗

热态下的金属变形抗力小, 塑性好, 不产生加工硬化和残余内应力。但是加工温度范围有限, 所以要求变形时间短、速度快。因此, 为适应这一特征而设计制造的摆辗机, 摆头 (锥体模) 倾角 γ 较大 ($\gamma \geq 3^\circ$, 如德国轴向模轧机 $\gamma = 7^\circ$), 摆头自转 + 平移, 工件旋转, 工装空间大, 进给速度高, 能承受较高的温度。

(2) 冷、温摆辗

温度较低时, 金属的变形抗力大, 但氧化、热胀冷缩的影响小, 可进行少无切削加工, 目前用于冷、温摆辗成形的机器, 摆头倾角小 ($\gamma \leq 2^\circ$), 摆头运动轨迹多种 (图 25.3-6), 进给速度

较低, 设备刚度大, 加工精度高。

(3) 摆辗铆接

目前用于冷、温摆辗成形的锥体模运动轨迹有四种: 直线、圆、螺旋线、叶形不交叉的多叶玫瑰线 (又叫菊花线) (图 25.3-6a、b、c、d), 即锥体模轴线在摆辗过程作摇摆运动。用于铆接的摆辗机, 锥体模运动轨迹为叶形交叉的 11 叶玫瑰线, 摆头倾角 $0^\circ \sim \gamma$ 可调, 锥模自转, 即在工件上滚动, 是适合铆接变形的最佳运动方式。摆头既摆动又辗压, 故叫摆辗铆接。

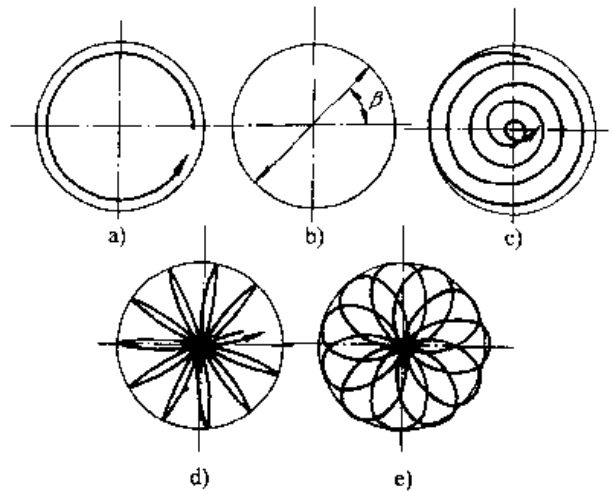


图 25.3-6 摆辗机锥体模运动轨迹

a) 圆 b) 直线 c) 螺旋线 d)、e) 多叶玫瑰线

1.3 摆辗锻件图设计

热摆辗时, 影响工件尺寸精度的因素甚多, 如辗压温度、模具材料、润滑条件、坯料的氧化、脱碳等。过分地追求热摆辗件的尺寸精度是不合理的。

具体设计摆辗成形件图时, 要注意首先确定将分模面选择在那里, 给出余量和公差, 规定如模锻斜度, 作出分模线, 规定圆角半径等。

(1) 分模面

摆辗模具的分模面, 可以是水平面或圆柱面。上、下模之间的分模面的形状取决于摆辗成形件的外形。选择分模面的基本要求是要保证摆辗成形结束后摆辗件能从模腔中方便取出。在摆辗件上, 凹穴可设计在下部, 由凹模成形, 亦可设计在上部, 由摆头成形, 但其深度宜浅, 一般高径比不应大于 1。

对于锥齿轮坯, 分模面设计在外缘的上、下斜面交界处。但这是在开式摆辗成形, 产生横向

飞边时的情况，如果设计成闭式摆辗模具或半闭式摆辗模具，则分模面的形状由闭式摆辗或半闭式摆辗出的锥齿轮坯形状决定。

对于圆柱齿轮坯，分模面不宜选择在如图 25.3-7 中的 A—A 位置。如选择在 A—A 位置，虽然摆辗成形时容易辗出下侧外角，但外圆表面可能发生刮伤。这主要由于摆头在摆辗成形过程中外缘模膛表面 A—A 在抬起时和已成形的锻件外圆表面相切。又由于模具表面与锻件强烈摩擦的结果，在摆头模膛向内的一侧表面对摆辗件有刮伤和沾粘。所以一般不宜把模膛布置在摆头上。

分模面选择在 C—C 较好，这时的缺点是，所需要的摆辗力大，摆辗力小不能使凹模型腔中的轮缘外角充满。

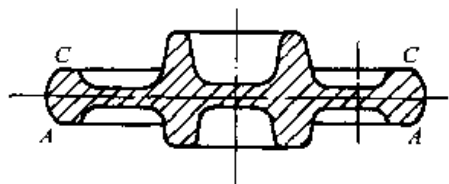


图 25.3-7 圆柱齿轮坯摆辗分模面的选择

(2) 余量和公差

摆辗件的精度可用摆辗成形后摆辗件的尺寸与其公称尺寸的偏差程度来确定。摆辗件图上所指出的公称尺寸所允许的偏差称为尺寸公差。

尺寸的总公差 $\Delta = 2(x/2 + y/2) = x + y$
 式中 x —— 下偏差；
 y —— 上偏差。

凡是通过摆辗不能达到成品零件的尺寸精度和表面粗糙度的表面，都应加上机械加工余量。余量的大小与公差的大小密切关联，摆辗件上不相应地缩小公差，也就不可减少余量。

提高摆辗成形件精度的基本措施如下：

- 1) 采用具有足够吨位的摆辗机，并精确备料以减少摆辗件摆辗压下不足的现象。
- 2) 尽可能采用中频感应炉加热坯料，减少金属的烧损和脱碳层。
- 3) 采用气体或水力清理，减少或消除热摆辗件上的氧化皮。
- 4) 严格控制热摆辗成形时的终辗温度，终辗温度过高，不但使摆辗件尺寸在冷却时的收缩量增大，而且容易使摆辗件晶粒粗大，产生过热的缺陷；终辗温度过低，则使摆辗成形力急剧增

加，影响摆辗模具的使用寿命。

除了尺寸公差以外，还有重量公差。根据体积不变原则，摆辗件的重量和影响其尺寸变化的各项因素之间存在着直接关系，通过称摆辗件重量，可以在已规定好的尺寸公差范围内，精确地定出摆辗件可以达到的最大重量和最小重量。这样，摆辗件按尺寸的检验可以简化成按重量检验，能满足一定的精度。

目前，摆辗件的公差、余量还没有标准，一般可结合具体情况自己确定，或参考热模锻压力机模锻的标准选用。

(3) 模锻斜度

模锻斜度值随摆辗件的外形和尺寸而定，摆辗件的宽度 b 越大，高度 h 越小，即 h/b 值越小，材料越易压入型槽，摆辗件也容易从型槽内取出。因此模锻斜度可选较小值。

一般摆辗机的滑块中都设计有顶料杆，所以模锻斜度值为 $2^\circ \sim 6^\circ$ ，冷摆辗时模锻斜度可取 $1^\circ \sim 3^\circ$ ，也可取为 0° 。

(4) 圆角半径

摆辗时的模具圆角，不管是摆头上的，还是凹模上的，都应在保证摆辗件加工余量的前提下，尽可能大。这样不但使摆辗成形容易而且能使模具寿命延长。但这并不是说摆辗成形模具的圆角半径一定要很大。在特殊的情况下，产品要求模具圆角半径很小，例如 $R0.2 \sim 0.4$ mm 几乎就是尖角，同样可以摆辗成形，并能投入大批量生产。

摆辗件的凸圆角半径越小，那么金属要充填型槽内相应于该半径的凹角就很困难。除此以外，在型槽上相应于小凸圆角半径的地方，摆辗时由于受力条件恶劣或应力集中等原因，会产生裂纹，从而导致失效破裂。

在与摆辗件凹圆角半径 R 相应的型槽的凸圆角半径上，被摆辗的金属在其周围往往发生剧烈的流动，凹圆角半径 R 较小时，会使模具上的相对应处的锐棱很快地被压塌，并会使具有模锻斜度的侧壁向内凹进，从而导致摆辗件卡在模具上，这样的型槽就必须修整或更换了。

此外，小的凹圆角半径还会使型槽的锐棱咬住被摆辗的金属，使摆辗成形件的纤维割断，在表面上形成裂纹，或在本体内形成很深的折缝。

(5) 飞边

飞边的形成和作用，与锤上模锻的相似。

通常应该将飞边槽的尺寸选择到既能保证金属较好地充满型槽，又能只有较少的金属消耗在飞边上，此时所需坯料的体积就是摆辗成形件的体积和飞边的体积及金属烧损之和。在这种情况下，摆辗过程的最后阶段即如图 25.3-8 所示的那样。在最后一转摆辗时，使摆辗件的轮廓最后成形，将 $F_n \cdot \Delta h$ 的体积辗压出。 Δh 为摆辗一转的压下量， F_n 为摆辗成形件在分模面上的横截面积。

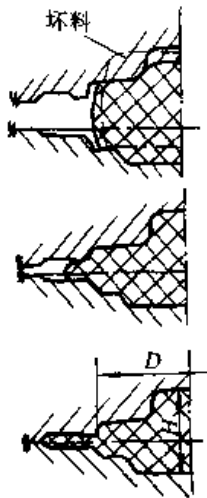


图 25.3-8 摆辗件飞边的形成

此时飞边正好对变形具有最大的阻力。因此，在正常的情况下，金属流入飞边内的体积 $F_n \cdot \Delta h$

应极小。

一般情况下，在摆辗成形钢质零件时，飞边厚度取为 0.5~1.5 mm，摆辗成形有色金属零件时，飞边厚度还可小些，取为 0.3~1.0 mm。

在摆辗成形带有中心孔的零件时，中间连皮的厚度不应小于 3 mm，而且连皮的上、下表面，应该设计成球形，这样有利于在摆辗成形时的金属流动，减少变形力，提高模具寿命；而且有利于摆辗成形。因为摆辗成形的初期，摆头的球形部分先与工件中心接触，起到定心的作用，不致造成坯料偏移、歪曲，从而使摆辗成形件成为废品。

1.4 摆辗机

(1) 摆辗机的类型

目前，国内外的摆辗机，按照摆辗工艺过程中锥体模的运动形式分三类（图 25.3-9）：

1) 锥体模自转并直线运动进给，工件作旋转运动（图 25.3-9a）为 I 型。由于摆头只倾斜自转而不摆动，锥体模在工件端面上滚动，所以叫轴向模轧机。

2) 锥体模摆动 + 自转、章动 + 自转或公转 + 自转，工件直线运动进给为 II 型摆辗机（图 25.3-9b）。

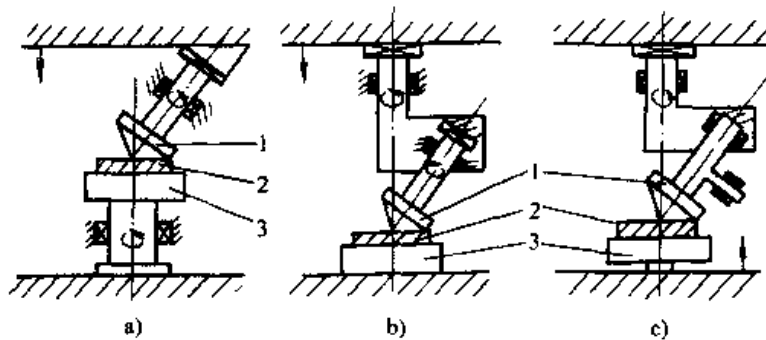


图 25.3-9 摆辗机

a) I 型（轴向模轧机） b) II 型（摆辗铆接机） c) III 型（摆动模轧机或摆辗机）

1—摆头 2—工件 3—模具

3) 锥体模摆动、章动、公转无自转，固定工件的模具沿机床轴线方向平移实现进给运动（图 25.3-9c），这是 III 型摆辗机。

I 型摆辗机摆头自轴转动，不摆动。属于这类机器的有德国的轴向模轧机（AGW 型）美国的 Orbital Mill、俄罗斯的端面锥齿轮热辗压机

等。I 型辗压机结构比较简单，采用普通轴承，广泛应用于热辗压成形。

II 型摆辗机摆头自轴转动，又绕机床轴线摆动，其轨迹多为单一轨迹。如摆辗铆接机，摆头运动轨迹为花瓣交叉的多叶（11 或 12）玫瑰线。又如单偏心筒无限转装置的摆辗机，其摆头运动

轨迹为圆。这种摆辗机是Ⅰ型到Ⅱ型的过渡型，作为摆辗铆接机是成功的。但用于热辗压成形，则需要频繁的维修。主要原因是结构复杂、轴承寿命低。因而，Ⅱ型摆辗机主要是用作铆接机，在冷、热成形中不再使用。

Ⅲ型摆辗机摆头没有自轴转动，只有摆动，其轨迹为多种（图 25.3-6），采用双偏心筒，球头轴承，有限转装置，结构复杂。属于这类机器的有波兰 PXW 型、瑞士 T 型，用于冷、温成形。

下面以波兰 PXW 型摆辗机（Rocking Die Press）为例介绍其工作原理。

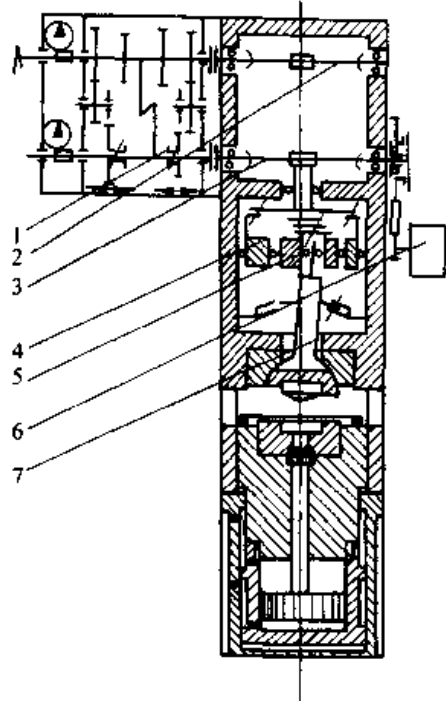


图 25.3-10 PXW 型摆辗机工件原理图

1—变速箱 2—蜗杆副二 3—蜗杆副一 4—外偏心套
5—内偏心套 6—电动机 7—摆头

该机的工件原理如图 25.3-10，球头尾柄装在内偏心孔内，其运动靠内、外偏心套的转动合成而得。若内、外偏心套同速同向旋转，则球头尾柄端面中心的运动轨迹为圆，同速反向旋转，运动轨迹为直线；不同速同向旋转，运动轨迹为螺旋线，不同速反向旋转，运动轨迹为多叶玫瑰线。

电动机 6 通过 V 带将运动传递到第一级蜗轮 3 和外偏心套 4，同时蜗杆通过变速箱 1 又将运动传递给第二级蜗轮 2，使内偏心套 5 转动。内偏心套和外偏心套的旋转通过变速箱可以是同

向，也可以是反向，其角速度可以相同，也可以不同。从而使摆动模实现四种运动轨迹。如果再加上内偏心套旋转、外偏心套不旋转所产生的圆形摆头运动轨迹，那么具有四种摆头运动轨迹的摆辗机的摆头其实有五种运动。

PXW 型摆辗机主要技术参数见表 25.3-1。该机在结构上又经过多次改进，改进后的 PXW 型摆辗机，性能更优越。瑞士 Schmid 公司先购得了该摆辗机的专卖权，后来仿制发展。

下面再以图 25.3-11 为例，介绍多叶玫瑰线轨迹摆辗铆接机的工作原理。该机主要由活塞、花键套、花键轴、活塞杆、偏心套、齿轮轴、内齿轮、调节螺母、机架、球形座、关节轴承、球形摆杆和铆接模所组成。

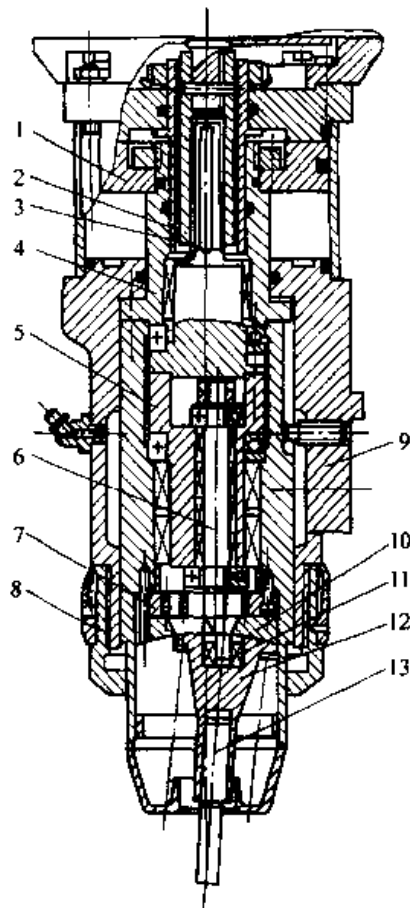


图 25.3-11 11 叶玫瑰线轨迹摆辗铆接机结构图

1—活塞 2—花键套 3—花键轴 4—活塞杆 5—偏心套
6—齿轮轴 7—内齿轮 8—螺母 9—机体 10—球座
11—关节轴承 12—球形摆杆 13—铆接模

固定在活塞杆末端上的内齿轮为固定轮，圆心为 O ，齿数 $z = 33$ 。安装在偏心套内的齿轮轴上的外齿轮为动轮，圆心为 O_1 ，齿数 $z = 27$ 。

外齿轮偏心位置上的圆中心 B 为动点, 且 $OO_1 = O_1B$ 则 B 的运动轨迹就是 11 叶玫瑰线。外齿轮偏心位置上圆柱通过关节轴承同球形摆杆联结在一起。为防止从关节轴承上脱落下来, 在球形摆杆上装有一弹簧。铆接模通过橡胶圈固定在球形摆杆上。

当电动机通过花键套带动花键轴旋转时, 与花键轴固定在一起的偏心套同时旋转, 并带动齿轮轴绕 O 点公转。由于外齿轮同内齿轮相互啮

合, 因此带动齿轮轴绕自心 O_1 自转, 由此圆柱中心便形成 11 叶玫瑰线轨迹。活塞和活塞杆在液压或气压驱动下向下运动, 带动联结在活塞杆上的所有零件随之往下运动, 直至铆接模接触铆钉并完成铆接为止。铆接高度由微调螺母来调节, 精度可达 0.01 mm 。

(2) 摆辗机的主要技术参数

常用摆辗机的主要技术参数列于表 25.3-1~表 25.3-6。

表 25.3-1 PXW 型摆动模压力机 (华沙第一自动压机厂) 的技术参数

型 号	PXW100	PXW200	PXW2-250	PXW2-100
公称压力/kN	1 600	2 000	2 500	6 300
摆动频率/ min^{-1}	200	400	400	400
滑块行程/mm	140	120~140	190~220	300
内滑块行程/mm	—	—	0~100	—
顶料杆行程/mm	80	20~100	30~100	160
最大工作压力/MPa	31.5	28	31.5	31.5
最大控制油压力/MPa	3	3	3	3
装机功率/kW	38	78.5	107	270
摆头运动轨迹	圆、直线、螺旋线, 多叶玫瑰线			
滑块空行程速度/(mm/s)	148	100	140	140
滑块工作行程速度/(mm/s)	9.5	12	16	20~30
锤头最大直径/mm	100	150	200	320
设备重量/kg	5 500	10 000	14 000	37 000
设备尺寸(长/mm×宽/mm)	2 700×2 000	2 800×2 500	3 850×2 450	6 000×3 000
最大高度 ± 0 /mm	+2 500	+3 300	+2 800 -700	+5 000 -850
摆动倾角 $\gamma/ (^{\circ})$	2	2	2	2

表 25.3-2 MCOF 型摆辗机 (日本森铁工株式会社) 的技术参数

型 号	MCOF-250	MCOF-400	MCOF-650
摆辗力/kN	2 500	4 300	6 500
顶料力/kN	800	1 300	1 300
生产率/ min^{-1}	4~15	3~12	3~12
加载速度/(mm/s)	0.5~30	0.5~50	0.5~25
最大摆动次数/ min^{-1}	320	500	300
摆动角度/ $(^{\circ})$	2	2	2
滑块行程/mm	200	420	300

续表 25.3-2

型 号	MCOF-250	MCOF-400	MCOF-650
滑块行程调节量/mm	75	40	550
顶杆行程/mm	60	120	100
最大摆辗件直径/mm	φ160	φ210	φ240
电机总功率/kW	85	220	265
冷却油箱体积/L	700	1 100	1 500
轨迹种类	圆 玫瑰线 直线	圆 玫瑰线 直线 螺旋线	圆 玫瑰线 直线 螺旋线

表 25.3-3 T型摆辗机(瑞士 Schmid 公司)的技术参数

冷摆辗机型号	T-200	T-400	T-630	
最大摆辗力/kN	2 000	4 000	6 300	
最大内滑块力/kN		1 300	2 000	
顶料力/kN	400	700	700	
上顶料力/kN		200	200	
滑块工作次数/min ⁻¹	4~15	4~12	4~12	
滑块闭合速度/(mm/s)	125	180	150	
滑块张开速度/(mm/s)	150	200	200	
滑块成形速度/(mm/s)	26	28	22	
摆头转动频率/min ⁻¹	0~340	0~280	0~280	
工作时的滑块行程/mm	195	280	295	
滑块行程调节量/mm	75	75	100	
滑块总行程/mm	200	285	300	
下顶杆最大移动速度/(mm/s)	60	98	115	
上顶杆最大移动速度/(mm/s)		30	30	
模座前后尺寸/mm	320	525	600	
模座左右尺寸/mm	290	440	550	
滑块与摆头之间最大距离/mm	202	320	340	
自动送料装置	传递毛坯的最大重量/kg	2	5	5
	传递毛坯的最大直径/mm	φ90	φ250	φ250
	传递毛坯的最小高度/mm	5	6	6
	传递毛坯的最大高度/mm	100	220	220
	摆辗件最大尺寸/mm	120	250	250

续表 25.3-3

冷摆辗机型号		T-200	T-400	T-630
利用标准化模具	摆辗坯料最大直径/mm	φ90	φ130	φ190
	摆辗坯料最大高度/mm	180	220	220
消耗总功率/kW		67	170	280
摆辗机总重量/t		10.2	25.8	39.0
机身重量/t		6.0	18.0	11.0
摆辗机地基载荷/(N/cm ²)		60.0	90.0	110.0

表 25.3-4 轴向轧机的技术参数

型 号	AGW63- 200	AGW125- 280	AGW160- 355	AGW250- 450	AGW400- 560	AGW630- 710	AGW1 000- 1 250
辗压件最大外径/mm	200	280	355	450	560	710	1 250
辗压件最大宽度/mm	60	80	125	160	200	250	315
辗压件最大高度/mm	63	68	—	90	200	400	800
公称摆辗力/kN	630	1 250	1 600	2 500	4 000	6 300	10 000
主电动机功率/kW	75	150	—	330	500	750	150
主液压系统功率/kW	75	150	—	315	400	400	100

注：轴向轧机的规格型号表示的意义是，AGW表示是轴向轧机或端面轧机。后面紧随着两组数字，中间用短横线或波浪线分开。第一组数字表示公称轧制力的吨位，现在用kN表示，则等于此数字的10倍，第二组数字表示辗压件的最大外径，单位为mm。

表 25.3-5 国产部分摆辗机的主要技术参数

厂家 技术参数	哈尔滨汽车 齿轮厂	天津中营 锻造厂	北京 工具厂	天津 锻造厂	武汉汽车 齿轮厂	上海电机 锻造厂
摆辗变形力/kN	4 000	1 600	2 000	1 000	1 000	2 000
辗压最大直径/mm	400	210	200	200	185	195
摆头转速/(r/min)	96	69/92/138	240	200	200	300
送进量/(mm/r)	1.5	0.22~8.7	6	3~6	0.5~1.5	2.0~2.4
送进方式	液压缸 下进给	液压缸 下进给	液压缸 下进给	液压缸 下进给	液压缸 进给	液压缸 进给
摆角/(°)	3	3	0~6	3	3	0~6
最大行程/mm	200	230	150		250	300
工作油压/Pa	210×10 ⁵	250×10 ⁵	250×10 ⁵	200×10 ⁵	200×10 ⁵	210×10 ⁵
顶出力/kN	300	400				30
工作台尺寸 (长/mm×宽/mm)	1 250×940	650×610	700×650			

续表 25.3-5

厂家	哈尔滨汽车 齿轮厂	天津中营 锻造厂	北京 工具厂	天津 锻造厂	武汉汽车 齿轮厂	上海电机 锻造厂
电动机功率/kW	130	20/25/28	37/13		40/20	115
摆头轴承型式	滚动轴承	静压轴承	滚动轴承	静压轴承	滚动轴承	滚动轴承
机身结构特征	焊接框架	铸造	焊接框架	焊接框架	焊接框架	焊接框架

表 25.3-6 国内各厂家制造的摆铆机主要技术参数

厂家 型号	徐州锻压设备制 造厂		昆仑 机械厂	三门峡仪器 机床厂		长空 机械厂	上海动 力机厂	湖南 工具厂	南京 大桥厂
	TA92-10	TA92-6	FM-2	JM-6	T92Q-3	YM-2T		BM300- 5A	MZXM- 30
最大压力/Pa	17 000	35 000	20 000	20 000	4 000	20 000	14 000	3 000	1 800
铆钉直径/mm	<10	<16	<15	6	3	14	10	5	3
铆头行程/mm	5~30	5~30	30	30	30	27	30	30	40
封闭高度调节量/mm	200	200	87	170	200	200		200	200
喉口深度/mm	235	270	140		174	185			
铆杆端面至工作台距离/mm	225	225	128		207		200	250	
摆头电动机功率/kW	0.8	1.5	1.1	0.75	0.37	0.8	0.55	0.12	0.09
液压泵电动机功率/kW			0.8	0.75		0.8			
电动机主轴转数/(r/min)			1 410	1 440	1 400	1 070	1 400		
液(气)工作压力/Pa	2~6× 10 ⁵	2~6× 10 ⁵	30× 10 ⁵	12× 10 ⁵	2~5× 10 ⁵	46× 10 ⁵	6× 10 ⁵	3~6× 10 ⁵	
铆接时间调节范围/s	0~12	0~12	0.4~6			1.2~13		0~10	10
摆角/(°)	5°	5°	6°					5°	
铆杆轨迹	圆	圆	11叶 玫瑰线	11叶 玫瑰线	11叶 玫瑰线		11叶 玫瑰线	圆	圆
机器重量/kg	550	650	250 (不 包括油 箱)	450	85	1 200	160 (单 机)	60	54

续表 25.3-6

厂家 型号	徐州锻压设备制造厂		昆仑机械厂	三门峡仪器机床厂		长空机械厂	上海动力机厂	湖南工具厂	南京大桥厂
	TA92-10	TA92-6	FM-2	JM-6	T92Q-3	YM-2T		BM300-5A	MZXM-30
技术参数									
外形尺寸 (长/mm×宽/mm×高/mm)			760× 540× 800	660× 820× 1 640	385× 260× 860	600× 800× 1 750	627× 320× 760	250× 340× 600	

1.5 摆辗的力能参数计算

采用 I 型摆辗机和 II 型摆辗机进行辗压时，其锥体模在工件端面上滚动。采用 III 型摆辗机进行辗压时，其锥体模在工件端面上滚动 + 滑动。它们的锥体模都是与工件局部接触。所以接触面积、接触面上单位压力、摆头力矩等力能参数的计算方法，都不同于传统锻造。而这三类摆辗中，除了第 III 型摆辗，即锥体模无自转的摆辗之锥体模与工件之间有滑动摩擦，因而摆头力矩较大需单独有增大系数以外，其余接触面积、接触面上单位压力等参数的计算方法都是一样的。

(1) 接触面积

接触面积的形状和大小，既影响变形，又影响压力和力矩，是力能参数的重要组成部分。

1) 接触面轮廓曲线的方程 摆辗过程中工件与锥体模接触的端面为螺旋面，其螺距为每转进给量 s (mm/r)。一般来说， s 的大小与工件半径相比是很小的，所以可以把工件的这个端面近似作为平面，在以图 25.3-12 所示的三维坐标系中，该平面的方程为

$$z \cos \gamma - x \sin \gamma = s \quad (25.3-1)$$

摆辗的摆动模锥面方程为

$$x^2 + y^2 - \frac{z^2}{\tan^2 \gamma} = 0 \quad (25.3-2)$$

忽略辗压中的前滑和工件畸变，忽略工件和模具的弹性变形，则接触面投影面积 (图 25.3-12) 为工件上表面与模具锥面的交线所围面积的一半。因此，式 (25.3-1) 和式 (25.3-2) 联立求解并简化 ($\cos \gamma \approx 1$) 得：

$$y = \frac{s}{\tan \gamma} \sqrt{\frac{2x \tan \gamma}{s} + 1} \quad (25.3-3)$$

式 (25.3-3) 表明此交线为抛物线。

2) 摆辗圆盘件的接触面投影面积 摆动辗压最适宜于加工回转体，因此，我们辗压回转体为例，导出接触面投影面积的计算公式，如图 25.3-12 所示。

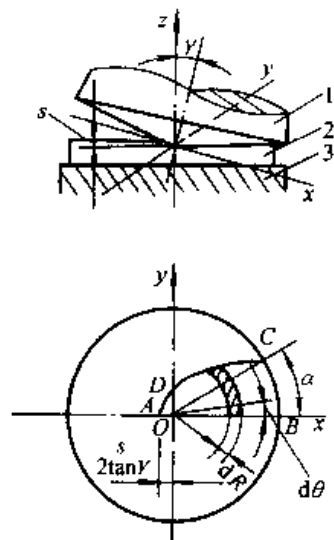


图 25.3-12 摆辗的接触面积
1—锥体模 2—工件 3—下模

上模在工件上滚压，因为忽略工件和模具的弹性变形，则 BOA 是通过圆心的直线，接触面投影面积由 $ADCBOA$ 轮廓围成，如果忽略辗压变形所引起的工件外轮廓的改变，认为工件轮廓近似为圆，其方程为

$$x^2 + y^2 = R^2 \quad (25.3-4)$$

接触面积率 $\lambda = \text{接触面积} / \text{工件辗压的表面积}$

令 $Q = s / (D \tan \gamma) = s / (2R \tan \gamma)$

推荐接触面积率 λ 的简化式为

$$\lambda = (0.48Q)^{0.63} \quad (25.3-5)$$

各公式的计算列于表 25.3-7。由表中数值可知，当 $Q \leq 0.2$ 时，各简化式的计算误差都不大。但在 $Q > 0.2$ 时，马尔辛尼克简化式的计算

值偏小，这在实用中是不希望的，而久保胜司简化式计算值偏大，而且误差较大。

3) 摆辗环形件的接触面投影面积 环形工件及带有中心凸台的工件(图 25.3-13)的数量在实际生产中占有很大的比重。这类工件摆辗成形时接触面投影面积与无中心孔的圆盘件有所不同。

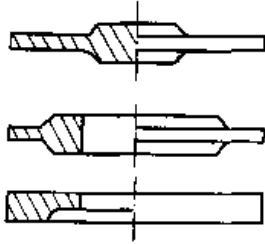


图 25.3-13 环形类工件

参照图 25.3-14, 由式 (25.3.3) 可知 AB 曲线为

$$y = \frac{s}{\tan \gamma} \sqrt{\frac{2x \tan \gamma}{s} + 1}$$

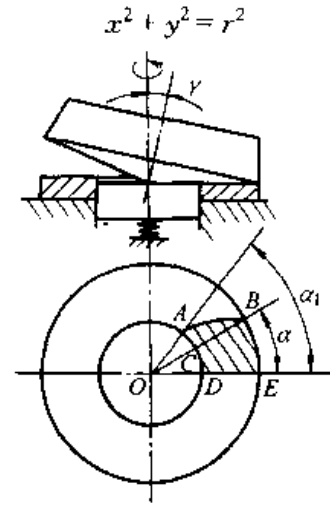


图 25.3-14 环形件摆辗的接触面积

表 25.3-7 各公式计算接触面积率 λ 的值

Q	公式	精确值	Marcinik	张猛	Marcinik	久保胜司 (0.48Q) ^{0.63}
0.1		0.1 406	0.141	0.141	0.142	0.148
0.15		0.1 758	0.176	0.176	0.174	0.191
0.2		0.2 070	0.207	0.207	0.201	0.228
0.3		0.2 623	0.262	0.261	0.246	0.295
0.4		0.3 115	0.312	0.309	0.285	0.354
0.5		0.3 561	0.356	0.353	0.318	0.407
0.6		0.3 964	0.396	0.394	0.348	0.456
0.7		0.4 322	0.432	0.433	0.376	0.503
0.8		0.4 628	0.463	0.469	0.402	0.547
0.9		0.4 867	0.487	0.505	0.427	0.589
1.0		0.5 000	0.500	0.540	0.450	0.630

将以上两式联立求解并简化式为

$$\lambda = (0.4 \sqrt{Q} + 0.14Q) \left(1.01 - 0.31 \frac{r}{R} \right) \quad (25.3-6)$$

(2) 摆辗力计算

摆辗力 F 的计算公式为

$$F = n_v n_\theta n_a \beta \sigma_s A \quad (25.3-7)$$

- 式中 n_v —— 变形速度影响系数, $n_v \geq 1$;
 n_θ —— 应力状态系数, 与工件尺寸形状、接触摩擦因数等因素有关;
 n_a —— 模具限制系数, 自由锻粗时 $n_a =$

在摆辗过程中, 假定某一瞬时的内孔为圆, 其方程为

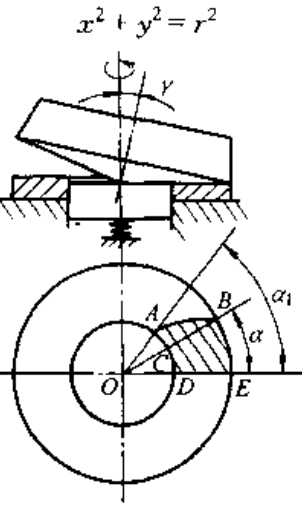


图 25.3-14 环形件摆辗的接触面积

1. 闭式模锻压时 $n_a = 1.5 \sim 2$;

β —— 罗德系数, $\beta = 1 \sim 1.155$;

A —— 接触面投影面积;

σ_s —— 变形热力学条件下材料的屈服点,

$\sigma_s = 2k$, k 为纯剪切塑性变形抗力。

冷辗时, σ_s 应为强化后的屈服点,

可由硬化曲线查得(图 25.3-15),

或者查锻压手册, 也可以用下式计算:

$$\sigma_s = c \psi^n$$

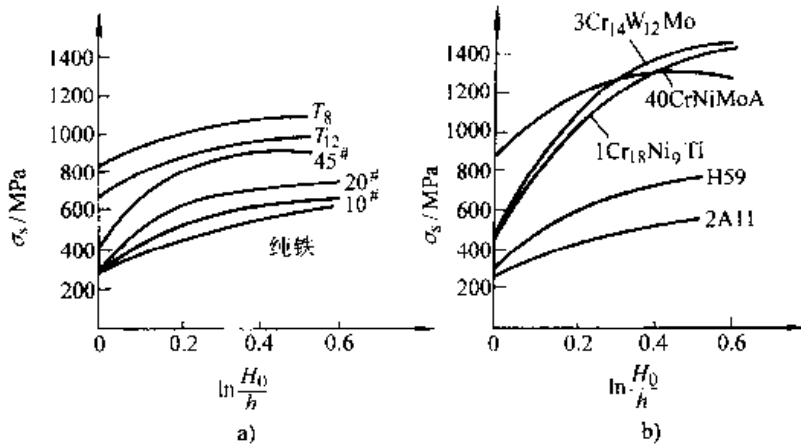


图 25.3-15 部分材料的硬化曲线

式中 n ——材料常数；

ψ ——对数应变, $\psi = \ln \frac{H_0}{h}$, H_0 为工件初始高度, h 为辗压变形高度。

(3) 摆头力矩计算

在摆辗时, 使工件产生塑性变形所需要的力矩称作摆辗力矩。

在确定摆辗力矩时作如下假设:

1) 上模和工件之间只产生滚动, 而下模与

工件之间无相对运动;

2) 模具和设备为刚体, 这样就不考虑工件的弹性变形;

3) 变形体为匀质连续体;

4) 变形均匀, 不发生畸变。

理论计算摆辗力的方法有二种:

1) 根据压力计算摆辗力矩 (参照图 25.3-16)

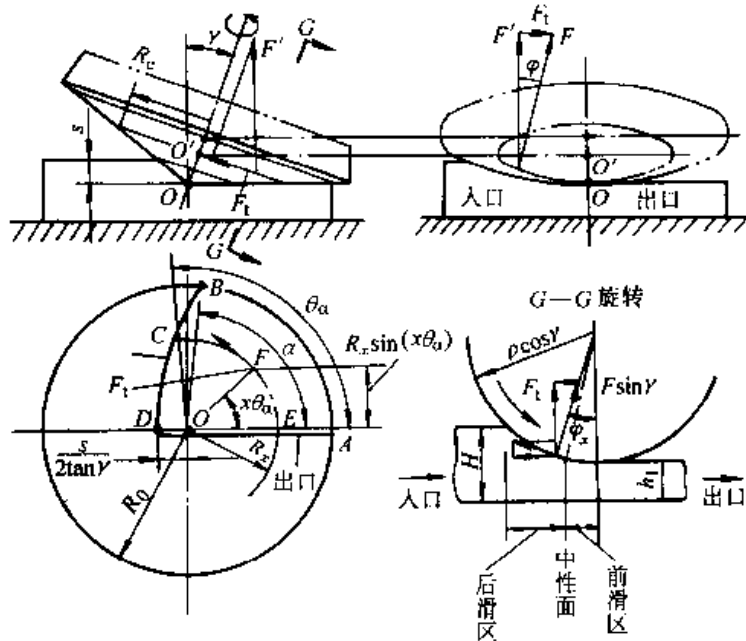


图 25.3-16 计算摆辗力矩的示意图

$$M_R = \int_A \cos \gamma \sin \theta F_t dA \quad (25.3-8)$$

摆辗力矩通常可以用式 (25.3-8) 计算。在

简单摆辗的情况下, 也可以用下式计算:

$$M_R = \cos \gamma R_x \sin(x\theta_\alpha) \cos(\varphi/2) F_t B$$

式中 $R_x \cos \gamma$ ——摆动模合力作用点的回转半径;

$x\theta_a$ ——合力作用点的切向坐标;

F_t ——辗压作用反力在摆动模回转切向的分量, 由图 25.3-16 的几何关系可知, $F_t = F \sin \gamma \cos (\varphi/2) \approx F \sin \gamma$, F 为总的辗压作用反力;

x ——系数, 大小与工件厚度有关, 厚件的单位压力峰值靠入口处, $x > 0.5$, 薄件时 $x <$

0.5, 可参考图 25.3-17 选用;

θ_a —— R_x 所对应的接触面积的转角, $\theta_a = \arccos (1 - 2RQ/R_x)$;

B ——与摆头倾角 γ 和限转装置有关的系数。没有限转装置时, $B = 1$, 有限转装置时, $B = 1 + 7 \tan \gamma + \rho f / \sigma_s$;

φ ——合力作用点径向坐标处的轧制咬入角, $\varphi = x\theta_a / \cos \gamma$ 。

表 25.3-8 是有限转和没有限转装置的摆辗力矩的部分测量值。

表 25.3-8 有限转装置摆辗力矩部分测量值

试件号	$\gamma / (^{\circ})$	P / N	$M_m / \text{N}\cdot\text{m}$	$M_n / \text{N}\cdot\text{m}$	M_m / M_n
1	6	5 200		2.82	1.78
2	6	5 200	5.03		
3	6	3 450		2.28	1.86
4	6	3 450	4.24		
5	3	4 000		2.85	1.55
6	3	4 000	3.41		
7	3	5 200	3.41		1.50
8	3	5 200		2.28	

注: M_m ——有限转装置的摆辗力矩;

M_n ——没有限转装置的摆辗力矩。

由此可得:

$$M_R = \frac{1}{2} R_x F B \sin^2 \gamma \sin (x\theta_a) \cos \left(\frac{x\theta_a}{2 \cos \gamma} \right) \quad (25.3-9)$$

2) 能量消耗确定摆辗力矩

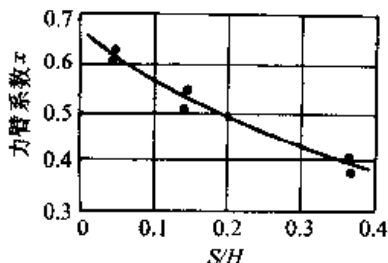


图 25.3-17 力臂系数

在许多情况下按能量消耗来确定摆辗力矩。因为能耗易于测定, 可以积累更多的资料, 计算简便, 计算结果也较可靠。

摆动辗压所消耗的功 W ($\text{kW}\cdot\text{s}$) 与摆辗力矩 M_n ($\text{N}\cdot\text{m}$) 之间的关系

$$M_n = W / \theta = W / (\omega t) \quad (25.3-10)$$

式中 θ ——摆动模转过的角度, $\theta = \alpha / \cos \gamma$;

W ——摆动模转过 θ 角所消耗的功;

ω ——摆动模的角速度;

t ——转过 θ 所用的时间。

当用功率计算力矩 M_R ($\text{N}\cdot\text{m}$) 时, 其计算公式为

$$M_R = \frac{W}{\omega t} = \frac{P}{\omega} = \frac{60P}{n} \quad (25.3-11)$$

式中 P ——摆动模消耗功率 (kW);

n ——摆动模转速 (r/min)。

2 摆辗模具设计

2.1 摆辗模结构设计

摆辗模按结构可分为垂直摆辗模与水平摆辗模两种。垂直摆辗模适用于立式摆辗机, 水平摆辗模适用于卧式摆辗机。

摆辗成形模具结构的设计与一般的热模锻压

力机用模的设计基本相同，特别是固定凹模，其设计过程与参数选择基本一样。例如型槽形状与尺寸可按热模锻压力机锻件图上相应的形状与尺寸设计，并考虑其余量和公差，只是摆头设计略有不同。

(1) 模具设计的决定因素

摆辗模具结构在具体设计时要考虑如下因素：

1) 加工压力的承受能力 由于摆辗成形时加工压力比较大，从而产生较大的接触压力，要考虑不致引起摆辗机的滑块和工作台结构以及摆动模垫板结构的塑性变形。

2) 摆辗机的刚性 摆辗机如果刚性小，就不能用来进行冷摆辗成形。目前，国内一些厂家生产的摆辗机，只宜于进行热摆辗成形制坯，不宜于冷精密成形。

3) 加压中心 摆动辗压成形是偏心受载，其压力中心大体为从圆周上沿直径方向向内的 $R/3$ 处。因此，在设计模具时，注意顶料杆的孔径宜小不宜大，在满足顶料畅通的情况下，孔径越小越好。

4) 顶出机构 设计时注意同一机器或同一企业通用。

5) 互换性 由于摆动模、凹模、顶出机构随摆辗成形件的不同其形状、尺寸不同，其安装部分以及与其他通用件相配合的部分尽可能满足互换性。

(2) 摆动模的设计要点：

1) 长度应尽可能短，减少摆动辗压时的弹性变形。

2) 截面变化部分呈大圆角过渡，没有大的截面积变化和台阶。

3) 摆动模的安装平面应完全与摆动模本身的轴线垂直。

4) 直径差别大的两部分应尽可能分割，用简单形状的零件来代替。

摆动模（摆头）是一个具有锥顶角为 $180^\circ - 2\gamma$ 的圆锥体（圆锥或圆锥台），锥体母线的长度即为摆辗件相对应部位的半径，垂直母线的高度就是摆辗成形件凸起的高度。平行于摆辗件底面的各个面（直线），在摆头上就是平行于锥体母线的面（直线）。若母线是一条直线，则辗压变形时摆头与工件接触部位为一曲面，可近似看作为平面。若母线是一条曲线，则与工件接触部位是一

空间回转曲面。

摆头的顶点位于旋转轴线上最佳，即摆头中心线与摆辗机主轴中心线的交点应该与摆头顶点重合。保证工作偏差不大于 5 mm，否则在摆辗件上“划圆”，使端部不平整，尺寸与锻件图不符。

摆头中心线与摆辗机主轴中心线的交点一般称作摆动中心。摆头工作部分的倾角应该与摆头摆辗成形时的摆角一致。

摆辗机一般都具有顶出装置，故模锻斜度和圆角半径均按热模锻压力机模具的模锻斜度与圆角半径选择。

摆辗件上若有非圆部分，即使呈轴对称布置，一般也不宜将型槽设计在摆头上，应该将其设计在固定模的型槽内。这是因为摆头在成形时进行轨道运动，得不到较为复杂的摆辗件。

摆辗模的分模面应尽可能选择在固定模的上表面，但固定模中必须设置顶出装置，否则辗压件不易脱模。

摆辗件上有大圆角的一面应设计在固定模上，摆辗成形件图上凡与轴线相垂直的各圆台台阶平面在摆头中都必须设计成台阶式的圆锥面，其圆锥角均为 $180^\circ - 2\gamma$ ， γ 为摆头倾角。

如图 25.3-18 所示，摆辗成形件图中直径最小回转平面 A 的中心 O，在摆头中的相应部位必须将其设计为圆锥面 A 的中心 O'。

摆头圆锥面的顶点 O 到摆头安装底面的距离 H 等于摆动中心到摆头安装底面的距离 H_1 ，即 $H = H_1$ ，如图 25.3-19，倘使 $H < H_1$ ，所得出的相对应的直径部位就大。

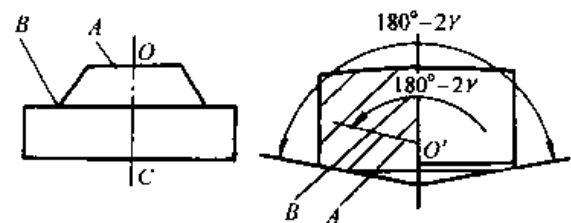


图 25.3-18 摆动模设计之一

摆辗件图上的高度尺寸，即摆头型槽相应尺寸，应从所对应的圆锥母线的垂线方向上量度，而不是从与摆动模轴线相平行的高度方向上量度。

摆辗成形件图中，有半径为 R_0 的圆角处，其摆动模上与此相对应的圆角半径，基本上等于摆辗成形件图中的圆角半径，只是增加了一个偏移量 e ， e 值是由该圆角的圆心到摆辗成形件直径

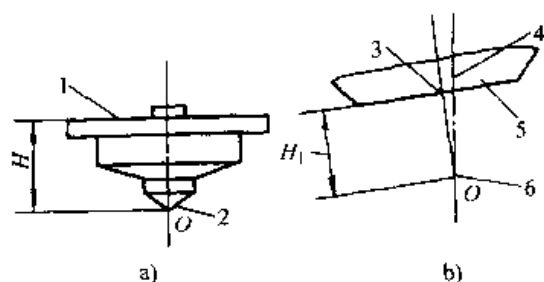


图 25.3-19 摆动模设计之二

a) 摆动模 b) 摆头轴线

1—安装面 2—圆锥顶点 3—摆头轴线

4—摆动中心线 5—模座中心 6—摆动中心

最小回转平面的高 H_d 及摆头倾角 γ 来决定的, 参见图 25.3-20。其计算式为

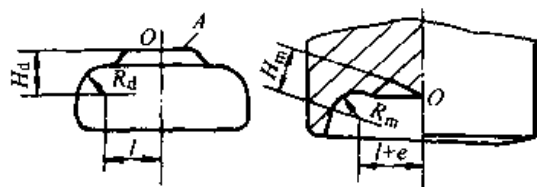


图 25.3-20 摆动模设计之三

$$e = H_d \cdot \sin \gamma$$

摆动模和固定模的间隙, 原则上应保证所得到的飞边或飞刺越小为好。但是为了避免摆动模与固定模在摆辗成形的最后阶段相接触, 需要考虑机床的制造精度、滑块与导轨的间隙量、摆辗头轴承的跳动量等, 然后正确确定模具间隙。当摆辗成形件直径为 $\phi 80 \sim \phi 350$ mm 时, 单边间隙可取为 0.2~1.0 mm。摆辗成形件直径越大, 间隙越大。另外, 当摆动模外形为 $180^\circ - 2\gamma$ 倒截锥形时, 固定模与摆动模相配合部位的模锻斜度可取为摆头倾角 γ 的一半。

几种典型摆辗成形件的摆动模设计计算公式见表 25.3-9。

2.2 摆辗镶块组合模

在摆辗工作一段时间后, 模具发生磨损。对摆辗模具进行修复时, 必须刨削支承平面, 修整型槽。一般热摆辗成形用模具磨损、塌陷的部位, 可进行焊补, 从而延长模具的使用寿命。

焊补前应将模具退火, 焊补后将型槽修磨打光再重新进行热处理, 也可不对模具退火, 直接向塌陷处点焊。但是焊前应该把施焊处用手砂轮清理, 并预热至 100°C 左右。这样效果较好, 不易发生裂纹。焊后的摆辗模具寿命能达到

原来的 40%~50%。

但如果在磨损处是预先镶嵌的凸台镶块, 那么只需更换镶块, 在制作模具时, 要制出与镶块配合的嵌槽或孔。

摆辗型槽凸台镶块可以有各种型式。如图 25.3-21 所示尺寸较大的镶块固紧部分的直径 D 建议不要小于 50~60 mm, 嵌槽底的圆角半径取为 5 mm 左右。为此, 相适应的镶块头部上的倾角为 $6 \times 45^\circ$ 。在固紧尺寸较小的镶块时, 固紧部分的直径等于型槽孔的外径, 固紧部分最好作成环形, 否则底部要留有足够厚度, 以防止在局部连续成形时其底部因强度不够而损坏。国内某厂曾多次发生过嵌槽底部掉落的故事。

采用镶块式的组合模结构, 在易磨损处采用优质高强度、高硬度的材料, 例如 W6Mo5Cr4V2、Cr12Mo、3Cr2W8V、高温陶瓷、高温合金等, 其他部分可采用一般热模具钢和普通碳钢, 如 5CrMnMo、40Cr、30CrMnSi、5CrNiMo 等。

镶块模的典型结构如图 25.3-22, 镶块材料为 3Cr2W8V 钢。镶块中还可以嵌二重镶心, 镶心为耐热高温合金。

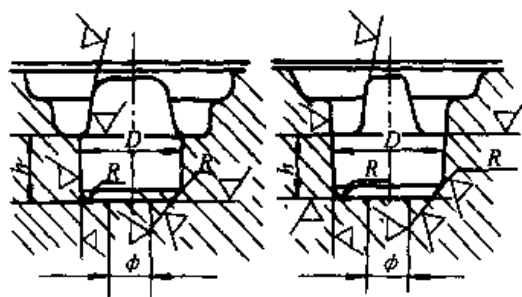


图 25.3-21 终辗型槽的凸台镶块

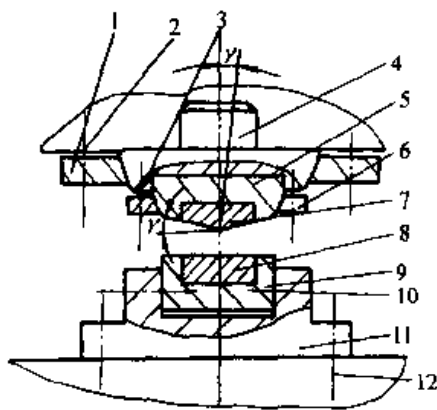


图 25.3-22 镶块模

1—上模压板 2、3、10、12—螺钉 4—模柄
5、9—外套 6—压板 7、8—镶块 11—模板

表 25.3-9 几种典型锻件的摆动模设计计算公式

序号	摆锻件图	摆动凸模模腔尺寸	计算公式
1			$D_{m1} = D_{d1} \cos \alpha$ $D_{m2} = D_{d2} \cos \alpha - 2H_{d1} \sin \alpha$ $H_{m2} = H_{d1}$ $D_{m3} = D_{d3} \cos \alpha + 2H_{d2} \sin \alpha$ $H_{m3} = H_{d1}$ $D_{m4} = D_{d4} \cos \alpha + 2H_{d3} \sin \alpha$ $\beta_{m2} = \beta_{d1} - \alpha$ $D_{m5} = D_{d5} \cos \alpha + 2H_{d3} \sin \alpha$ $\beta_{m2} = \beta_{d2} - \alpha$ $\beta_{m3} = \beta_{d3} + \alpha$
2			$D_{m1} = D_{d1} \cos \alpha$ $D_{m2} = D_{d2} \cos \alpha - 2H_{d1} \sin \alpha$ $H_m = H_d$ $\beta_m = \beta_d - \alpha$
3			$D_{m1} = D_{d1} \cos \alpha$ $e = H_{d2} \sin \alpha$ $D_{m2} = D_{d2} \cos \alpha + H_{d2} \sin \alpha$ $H_{m1} = H_{d1}$ $H_{m2} = H_{d2}$ $R_m = R_d$
4			$D_{m1} = D_{d1} \cos \alpha$ $e = H_{d2} \sin \alpha$ $D_{m2} = D_{d2} \cos \alpha + 2H_{d1} \sin \alpha$ $H_{m1} = H_{d1}$ $H_{m2} = H_{d2}$ $R_m = R_d$
5			$D_{m1} = D_{d1} \cos \alpha$ $D_{m2} = D_{d2} \cos \alpha + 2H_{d1} \sin \alpha$ $H_m = H_{d1}$ $\beta_m = \beta_d + \alpha$

图 25.3-23 也是一种典型的镶块模结构, 该模具是用来热摆辗成形锯片铣刀坯的, 锯片铣刀坯摆辗模的技术要求为:

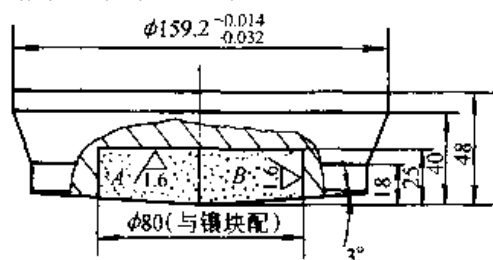


图 25.3-23 摆辗锯片铣刀坯的镶块模

- 1) 镶块孔之内圆 $\phi 80 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ 与镶块座外圈尺寸 $\phi 159.2_{-0.032}^{+0.014} \text{ mm}$ 同心度允差 0.08 mm ;
- 2) 镶块孔内径与底面垂直度 0.05 mm ;
- 3) 镶块孔底面平面度 0.06 mm ;
- 4) 镶块座底面平面度 0.10 mm 。

3 提高摆辗模具寿命的措施

摆辗相对于锤或压力机模锻来说, 毛坯停留在模具中的时间较长, 例如热摆辗汽车半轴, 开始工作时, 热工件随夹紧模作水平进给, 从开始送进摆动模接触工件时约为 8 s , 在摆辗过程中, 摆动模辗压工件为 $6 \sim 8 \text{ s}$, 工件与夹紧模退回到取出时为 8 s , 摆辗一个周期之内固定模与锻件接触时间共为 $22 \sim 24 \text{ s}$ 。由此可见, 摆辗成形时, 固定模与摆辗件接触的时间远比其他锻造设备锻造接触的时间长, 夹紧模的升温可达 $700 \sim 800^\circ\text{C}$ 。因此, 在热摆辗时, 热应力较大。因为在每转成形过程中, 由工件到模具的直接接触热传导比在间隙期仅以辐射和对流的方式热传导要强得多, 所以模具表面的每一点都连续地承受着热冲击。模具受交变应力的作用, 热疲劳严重, 模具工作条件恶劣。摆动模锥尖部位从辗压过程开始一直到结束均与高温锻件接触, 模具急剧升温, 引起模具在工作中回火, 从边缘向中心越来越显著, 造成硬度逐步下降, 硬度下降最大值达 $25 \sim 30 \text{ HRC}$ 。因而摆动模锥尖容易在压力作用下沿金属受力方向产生塑性变形一坍塌, 并容易粘附氧化皮, 大大降低了冷却效果, 从而使锻件表面产生严重拉痕。此外由于频繁的热交变作用, 摆动模中心承受很大的热应力, 其中心易产生裂纹并逐步破碎, 故热摆辗模具寿命一般较低。

为了减少型槽凸出部分的受热时间和受力情况, 提高模具的寿命, 设计合理的制坯工序是有效的办法之一。如 212 离合器盘古, 热摆辗前在 1600 kN 双点压力机上制坯, 压出毛坯如图 25.3-24 所示。毛坯的轮毂与摆辗件相近。于是, 热摆辗只是辗压轮缘的突出部位, 从而充分发挥热摆辗薄片件的特长。由于热摆辗模中相应的突出部位的工作条件有明显的改善, 模具寿命显著提高。至于冷摆辗模具寿命, 因为在室温条件下工作, 不受高温影响, 寿命则稍长。有的可达 $10\,000$ 件以上, 摆辗各种齿轮、非回转体法兰零件等时, 模具寿命可达 $10\,000$ 至 $50\,000$ 件。当然, 评价一副模具寿命是与希望获得的摆辗件形状大小和精度分不开的。

要提高模具寿命, 就必须合理选用模具材料, 在工作时注意摆辗前对模具预热, 摆辗过程中对模具冷却、润滑。

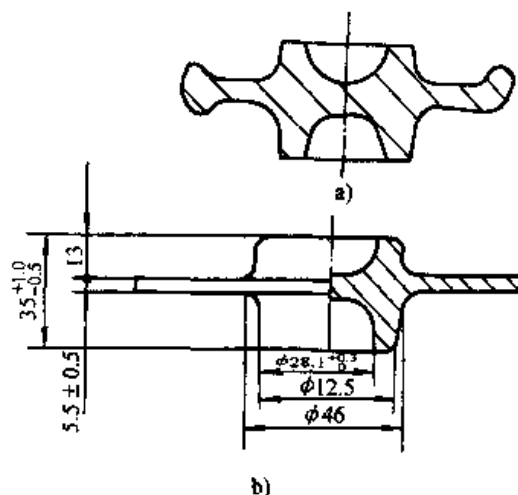


图 25.3-24 离合器盘古
a) 预制坯件 b) 摆辗件

3.1 合理选择模具材料

(1) 热摆辗模具材料

目前用于摆辗工艺的热锻模具材料有 5CrMnMo 、 5CrNiMo 、 3Cr2W8V 和国内研制的 MA 金属陶瓷材料及 GH2135 高温合金等。前三种材料制作的摆辗模具寿命大致为 500 至 $2\,000$ 件, 而 MA 制的摆辗模具寿命则有较大的提高。

(2) 冷摆辗模具材料

冷摆辗模具材料可以采用下列各类钢材: $\text{Cr}12$ 型高碳高铬高耐磨钢; 低碳高速钢; 高合金改型基体钢; 高强韧低合金冷模具钢等。

3.2 模具的预热和冷却

在热摆辗开始前,要注意对模具的预热。一般预热模具使其温度保持在 150°C 左右。模具预热的作用主要是消除或降低模具与锻件的温度差,从而减小温度应力。

在冷摆辗的过程中,模具的温度也会升高,对于某些特定零件的摆辗成形,为了保证其形状和几何尺寸的高精度,也应该考虑对模具的预热。

热摆辗时,对已加热的毛坯进行辗压成形,工件的热量通过模具向工作台及摆头各部件传递。随着辗压机结构的不同,各部件受热影响也就不同。通常会使机构的配合间隙减小,运动件卡死。对液压系统来说,热量过高还会使元件密封破坏,液压油粘度发生变化,造成系统泄露。同时,液压油随温度升高会形成胶状物,并在摆辗机零件局部高热的表面上形成沉积,堵塞过滤器,堵塞通道,致使液压系统不能正常工作。

因此,在辗压过程中要注意对模具的冷却,在热摆辗时,可以提高摆辗机摆头的转速和每转进给量快速成形,减少坯料在模具中的滞留时间,减小温升,但仅仅这样还不够。不少摆辗机都是以冷却水的流动带走模具中的热量。国内外的某些摆辗机在设计时就考虑有摆动模与固定模的冷却系统。

也有不少厂家采用喷水冷却对模具表面直接水冷,使用时要注意喷洒均匀,切忌总是冷却局部。采用这种方法往往因为冷却速度过激使模具表面产生裂纹。比较合理的冷却形式是封闭水冷,温度可以调节。因为过冷的模具温度也会促使裂纹的形成。如果摆辗模只作摆动而不作垂直方向的运动,则可在摆头内部设计一套冷却系统,用水或油将工件传给摆动模和固定模的热量带走,把摆动模和固定模控制在一定温度范围内。这样,无疑会降低摆动模和固定模的热应力,提高模具使用寿命。

国内摆辗 212 离合器盘上的封闭水冷形式如图 25.3-25。采用这种冷却措施以后,模具寿命可提高近 $1/3$ 。

3.3 摆辗成形过程中的润滑

摆动辗压过程和其他压力加工过程一样,希望在成形过程中的摩擦力越小越好。磷化-皂化

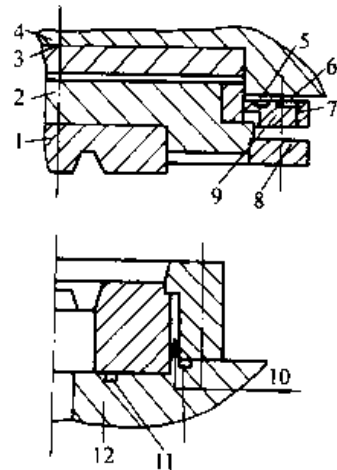


图 25.3-25 离合器盘摆辗模的冷却形式
1—上模芯 2—上模套 3—上模座 4—摆头
5、11—O形密封圈 6—密封垫 7、10—水通道
8—压环 9—封水圈 12—下模座

处理是冷摆动辗压成形时减少坯料金属与模具壁之间摩擦力的一种有效方法。在具体冷摆辗成形过程中,有时还需要涂抹动植物油或二硫化钼和石墨的四铅化碳、酒精溶液润滑。

温摆辗时,润滑剂的选择和使用条件也是一个很重要的因素。如果温度范围在 $100\sim 250^{\circ}\text{C}$ 左右,可以使用冷摆辗成形时所适用的动植物油或二硫化钼和石墨的四铅化碳、酒精溶液润滑。

选择温摆辗、热摆辗时的润滑必须考虑的条件是:

- 1) 在摆辗成形过程中能够形成足够的润滑层,不致因在摆辗成形压力下和高温下被破坏。
- 2) 摩擦因数要小,使摆辗时对模具产生的平均单位辗压力、总辗压力、辗压功率变小。
- 3) 防止热胶合,保持工件表面状态良好。
- 4) 好的热绝缘性能,防止模具过热和毛坯激冷。

5) 要求化学性能稳定,无害,不会改变所锻金属的性质以及易涂抹和易去除且价廉。还要求容易去除粘附在模具上的氧化物而保持模具表面光洁。

对于钢件的温摆辗,市场上供应的石墨系(石墨质量分数为 $2\%\sim 3\%$ 的油剂及 $1/15\sim 1/30$ 的水剂)及钼系水溶性润滑剂较为适用。有的单位在热摆辗中使用胶体石墨水溶剂,润滑效果很好,还有的单位应用盐水、重油、玻璃粉及二硫化钼、铝粉、石墨和泡油的混合润滑剂。

石墨在 540℃ 时, 在空气中会发生氧化, 到 750℃ 左右仍有润滑作用。

在工件表面刷上一层薄薄的铜膜, 也能起润滑作用。

二硫化钼的润滑剂效果比皂化好, 它的摩擦因数低, 稳定性好。

总的来讲, 二硫化钼润滑适用于冷摆辗成形 10。

表 25.3-10 玻璃润滑剂的成分 (质量分数)

成分	配比	特征
石英砂 (SiO_2)	23	化学稳定性及热稳定性强
硼酸 (H_3BO_3)	41	膨胀系数小, 能提高玻璃的力学性能, 有较大的软化温度范围
红丹 (Pb_3O_4)	30	能使石英熔化, 加速玻璃软化
氧化铝 (Al_2O_3)	1.3	化学稳定性与热稳定性较好
硝酸钠 (NaNO_3)	4.2	能增加玻璃流动性, 使之粘附均匀, 降低熔点

表 25.3-10 中的原料均为粉状, 将其搅拌均匀后焙烧成熔融状态, 然后置于水中激冷成为玻璃珠, 将玻璃珠烘干, 再磨成极细的粉末。用水将其调湿即能涂抹在模具上使用。使用时的涂层厚度不超过 0.25 mm。涂抹前必须对毛坯去油, 同时要预热到 120℃。湿粉涂抹在 120℃ 的毛坯上即干涸, 能很好地粘附在毛坯表面上。在摆辗成形时, 能收到良好的减少摩擦的效果。

在工件中要注意利用压缩空气将残留在模具型槽里的润滑层吹尽, 防止发生热胶着。采用喷枪喷涂润滑剂效果更好。

4 摆辗模设计实例

4.1 汽车后半轴热摆辗模

汽车、拖拉机、电瓶车后半轴 (图 25.3-26), 材质为 40 Cr, 属于两端局部墩粗的长杆类典型件, 以往要采用 16 000 kN 平锻机才能锻造。国内只有很少工厂具有这种平锻机, 绝大多数工厂采用胎模锻造和自由锻造生产。这类半轴国内用第Ⅲ类摆辗机即卧式摆辗机摆辗终成形, 其工艺流程有以下几种类型:

I. 电热墩机局部墩粗→摆辗机终锻成形。

II. 整体加热→三辊仿形轧预制坯→摆辗终成形 (图 25.3-27)。

III. 整体加热→径向锻造机拔长预制坯→摆辗终成形 (图 25.3-27)。

及温、热摆辗成形。

国内四川地区首先研制成功玻璃系润滑剂, 可以作为温、热摆辗的润滑剂。无论是对碳素钢、合金结构钢还是不锈钢, 在 650~800℃ 的范围内进行温、热摆辗的润滑效果都很好。

玻璃润滑剂的成分 (质量分数) 见表 25.3-

IV. 局部加热→压力机胎模锻局部墩粗预制坯→摆辗终成形 (图 25.3-28)。

摆辗和胎模锻半轴比较, 生产率高 2 倍以上, 且尺寸精度较高, 每支半轴比胎模锻件节约材料 1.5 kg, 班组人员减少一半, 消除了笨重的体力劳动, 操作时振动小, 无噪声。

摆辗和平锻工艺相比, 两者生产率和产品精度基本相同, 但摆辗工艺单件模具费用仅为平锻工艺的 21%, 设备总投资为平锻工艺的 1/3, 且占地面积小, 厂房建筑费用低, 劳动环境好, 劳动强度低。

半轴摆辗锻造工艺与平锻机锻造工艺的经济对比见表 25.3-11。

摆辗半轴法兰, 由于毛坯的高径比大于 2, 不能直接辗压成形, 需要预制坯。摆辗半轴的坯料一般都是制成前端小, 后端大的锥形坯料。

(1) 制坯

1) 在 750 kg 空气锤上制坯 这种方法是在锤砧上加工一个长孔, 制坯时把长杆插入锤砧上的长孔之中, 然后用套筒模将加热到锻造温度的露出部分锻打成倒锥形, 这种制坯工艺显然与摆辗工艺不协调, 但它设备简单, 易于实现。

2) 液压机制坯 液压机制坯与锤上制坯的方法相似, 但是与锤上制坯相比, 它无噪声, 无振动, 劳动条件好。液压机的公称压力要大于 1 000 kN。

3) 电热墩制坯 电热墩是一种先进制坯工

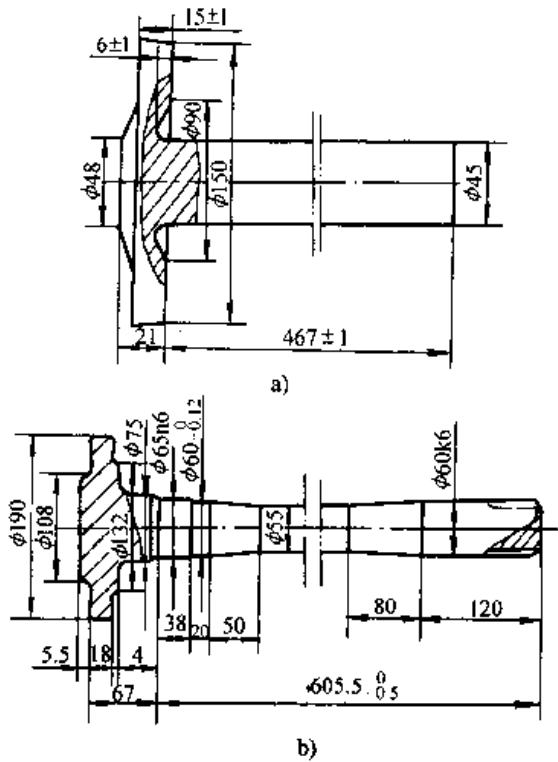


图 25.3-26 半轴简图

a) 25.7kW (35 马力) 拖拉机后半轴 b) 电瓶车半轴

艺。因为加热和锻粗均是局部连续进行的，毛坯锻粗长度不受限制，变形的长径比远远大于 3。这一点是别的锻造设备无法比拟的。它的优点还在于无振动，无噪声，氧化少，容易实现机械化与自动化。但其不足之处是工艺参数比较难控制，稍有不慎易出现弯曲等缺陷。

4) 轧机制坯 利用 80 型三辊仿形轧机将 $\phi 70\text{ mm} \sim \phi 90\text{ mm}$ 的圆棒料轧成 $\phi 50\text{ mm}$ 的杆部和 $\phi 60\text{ mm}$ 的花键部分，然后摆辗成形。

5) 精锻机 (径向锻造机) 制坯 这种制坯方法对原材料的直径要求不高。某厂采用精锻机制坯，毛坯直径为 $\phi 75\text{ mm}$ ，整体加热后精锻拔长杆部。然后对大端进行摆辗成形。

由于摆动辗压时锻件毛坯与上模接触的一面容易充满型槽，而与下模接触的一面不易充满型槽，所以在模具设计时将半轴法兰盘的上平面定为分模面，如图 25.3-29。

(2) 摆辗模具设计

固定模型槽及尺寸可按热锻件图上相应的形状和尺寸设计。对于摆动模：

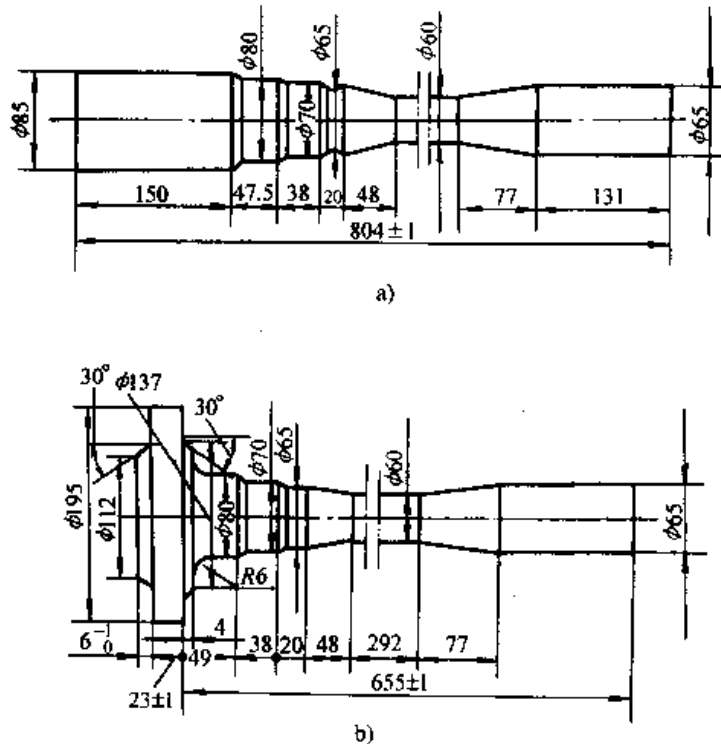


图 25.3-27 摆辗终成形拖拉机后半轴的预制坯与锻件图

a) 三辊仿形轧机轧制预制坯或径向锻造机拔长预制坯

b) 摆辗终成形锻件

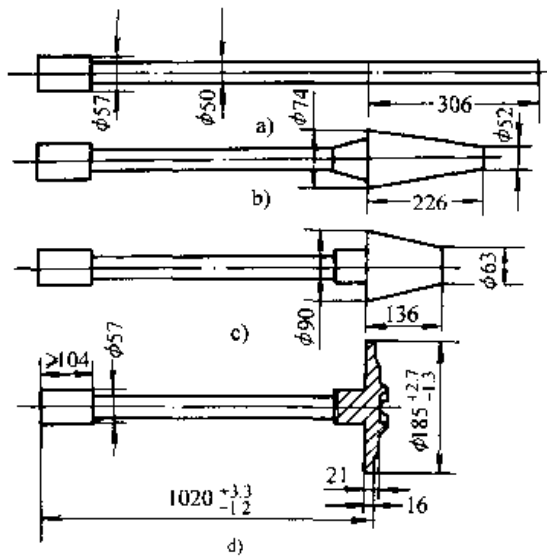


图 25.3-28 摆辗成形汽车后半轴的预制坯与锻件图
a) 锻粗成形花键轴 b) 法兰端一次锻粗
c) 法兰端二次锻粗 d) 摆辗成形法兰

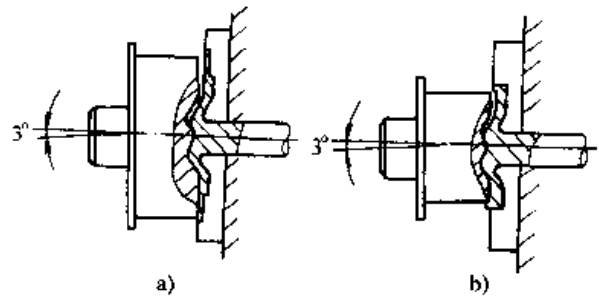


图 25.3-29 半轴摆辗模的分模面
a) 开式模辗压 b) 闭式模辗压

- 1) 锻件图轴线通过的外球 SR 或平面顶端之中心点为 O 点，在辗压模中，将其设计为辗压模的顶点，锥面倾角为 3°，与摆头之摆角相同。
- 2) 锻件图中，锻件的轴线就是摆辗机的轴线。锻件图中几个与轴线相垂直的圆平面在摆动模上设计成圆锥面或圆锥平台侧表面。

表 25.3-11 两种半轴生产工艺的经济比较

项 目	卧式摆辗机	平 锻 机
公称压力/kN	2 000	12 000
整机重量/t	25	129
电动机功率/kW	55	115
价格/万元	50	330
安装费用/万元	0.5	6.6
厂房配吊车吨位/kN	不需	100
厂房造价/(元/m ²)	450	1 000
模具重量/kg	100	1 500
模具寿命	返修两次，共 1 800 件	8 000 件
模具价格/(元/套)	200	4 810
锻件模具费/元	0.11	0.60
机组生产能力/h ⁻¹	50	650
劳动环境	安静	振动大、噪声大

3) 摆辗模圆锥顶点到模具安装面的距离等于摆辗中心点 O 到摆头模底座面的距离。

4) 锻件图上法兰盘上平面以上的高度就是摆动模型槽的深度尺寸，要测量其大小，必须在与对应的圆锥母线的垂线方向度量。

5) 锻件图上圆角半径为 R_1 ，其模具上与之相对应的圆角半径为 R_m ，二者必须相等。因为在锻件图中圆心位于中心轴的垂线上。但在制造辗压模时，圆心位置应以辗压模轴心线的垂线为

基准，然后偏移一个与摆角相同的角度，其圆心所处的圆角半径大小不变。

选择原材料的直径，视制坯工艺而定，如果用轧机或精锻机制坯，原材料直径就选大一些，一般在 $\phi 70 \sim \phi 90$ mm。用其他方法制坯，一般均选用和半轴杆部直径相等的原材料。根据体积不变原则计算长度，然后利用锯床下料。为了去除氧化皮和表面锈蚀、突起，再放进滚筒里打光。最后还要利用校直机校直。

(3) 摆辗工艺力计算

法兰部分是半轴中变形量最大的部分，解放牌汽车半轴法兰直径为 $\phi 180$ mm，厚度 $h = 21$ mm。

选择摆动辗压机可按下式计算：

$$F = \lambda \pi R^2 n_o \sigma_s$$

$$\lambda = 0.4 \sqrt{Q} + 0.14Q$$

式中

$$n_o = 1 + 0.414e^{-3.5Q} + \frac{mR}{h} (0.24Q + 0.141)$$

$Q = \frac{s}{2R \tan \gamma}$ ， s 为进给量，国产半轴摆辗机， $s = 3$ mm/r； $\gamma = 3^\circ$ ； σ_s ——被辗材料终辗温度时的屈服点，40Cr 在 1000°C 时取 $\sigma_s = 120$ MPa；

m ——摩擦因子，它是接触摩擦因数 f 和相对接触弧长 $L/\bar{h} = R \arccos(1 - 2Q)$ 的函数，热辗 40Cr 时， $f \approx 0.4 \sim 0.45$ 。

将有关数据代入上式计算：

$$Q = \frac{s}{2R \tan \gamma} = \frac{3}{2 \times 90 \tan 3^\circ} = 0.318$$

$$\lambda = 0.4 \sqrt{0.318} + 0.14 \times 0.318 = 0.2701$$

$$L/\bar{h} = 90 \arccos(1 - 2 \times 0.318)$$

$$\div \left(21 + \frac{3}{2} \right) = 4.79$$

根据 $f = 0.49$ ， $L/\bar{h} = 4.79$ ，求得 $m = 0.84$ 。

$$n_o = 1 + 0.414e^{-3.5 \times 0.318} + \frac{0.84 \times 90}{25.5} (0.24 \times 0.318 + 0.141) = 2.06$$

$$F = 0.2701 \times \pi 90^2 \times 2.06 \times 120 \times 10^{-3} \text{ kN} = 1699 \text{ kN}$$

图 25.3-30 为摆辗模具，包括摆动模与夹紧模（剖分式）。

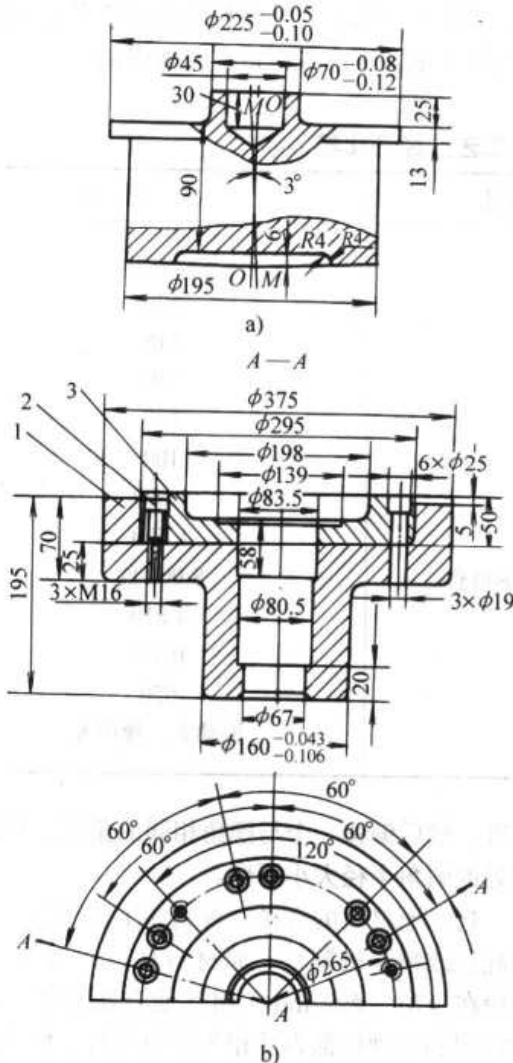


图 25.3-30 摆辗拖拉机后半轴的模具
a) 摆动模（锥体模） b) 剖分式固定模
1—模座 2—螺钉 3—模具

4.2 炮弹药筒底板冷摆辗模

炮弹药筒压底前后底部的几何尺寸与压底后底部的力学性能如表 25.3-12，其材料为 S20A 钢，压底前后底部的形状如图 25.3-31。

药筒底部零件图如图 25.3-32。我们按 1/2 比例进行摆辗模拟试验，取得良好效果。

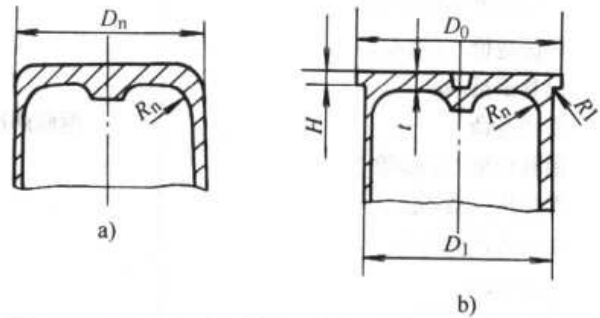


图 25.3-31 炮弹药筒压底前后底部形状
a) 压底前形状 b) 压底后形状

摆辗药筒底板模拟件所使用的模具结构简图如图 25.3-33 所示，滑动芯块 3 置于凹模 5 内，凹模 5 与凹模座 7 为静配合。坯料 2 在摆头 1 与凹模 5、芯块 3 组成的模膛内摆辗成形，成形结束后杯形垫 13 被摆辗机上的顶料杆（图中未绘出）向上顶起，使顶料杆 11 与顶块 6 一起将芯块 3 连同成形件 2 一起顶出。摆辗机上的顶料杆退回时，由于弹簧 8 的作用，顶料杆 11 和杯形垫退回原位。

表 25.3-12 炮弹药筒压底前后底部的几何尺寸与压底后底部的力学性能

药筒材料	压底前几何尺寸/mm			压底后几何尺寸/mm				压底后底部力学性能		
	筒件 外径 D_0	筒件 底厚 t_n	圆角 半径 R_a	底厚 D_n	底缘		接际部		抗拉强度 σ_b / (N/mm ²)	伸长率 δ / %
					直径 D_0	边厚 H	直径 D_1	圆弧 R_1		
S20A	173.5	24	10	15.5	210	10	174	2	≥ 600	2

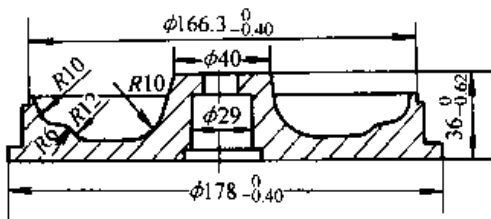


图 25.3-32 药筒底板零件简图

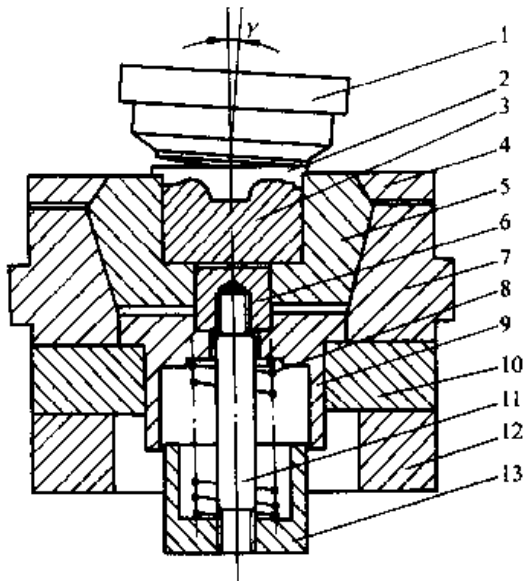


图 25.3-33 摆辗药筒底板模拟件模具结构简图

- 1—摆头 2—工件 3—芯块 4—盖板 5—凹模
- 6—顶料杆 7—凹模座 8—弹簧 9—环形垫 10—垫板
- 11—顶料螺杆 12—垫环 13—活动环形垫

通过调节摆辗机滑块上死点的位置可控制坯料的进给量。摆辗成形时摆头在连续不停地作轨道运动，工件与摆头接触后开始加压，加载时间越长，外缘筒壁挤压高度越大。摆辗时加载时间大致为 6s 以上。

原始毛坯的形状对摆辗成形件质量的影响很大。恰当形状和尺寸的毛坯不但能获得满意的药筒底板成形件，而且能改善金属摆辗变形时模具恶劣的受力条件，提高模具寿命。

一般可采用圆柱形毛坯，毛坯外径尽量接近凹模芯块的最大外径，这样有利于药筒底板的外缘筒壁成形。如果中心部位底火台不易成形，高度不足，则可先行预制坯成图 25.3-34b 所示的形状。坯料高度以略大于底火台部位的高度为佳。

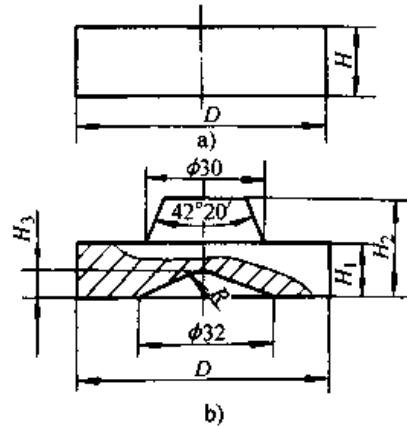


图 25.3-34 预制坯

- a) 圆柱体 b) 带凸台圆柱体

药筒底板压底的原工艺是采用三柱三工位 40 MN 液压机，考虑到设备吨位、药筒底板力学性能及模具寿命，需进行两次压底。这样才能确保有足够的压缩加工率。它对最后一道拉深所形成的半成品内外底部形状和尺寸有一定要求，对中部凸台要求有足够的金属量，无疵病。采用冷摆动辗压成形工艺，能够大大简化生产工艺，降低生产成本，而且产品的质量好，生产率高。

4.3 锥齿轮冷摆辗模

采用冷摆辗成形工艺可以避免加热所带来的种种缺点。NT130 型汽车行星锥齿轮如图 25.3-35，分模面选择在其最大直径处，这样摆辗成形件易于从模具型腔中取出，且摆辗时金属容易充满型腔，也可避免模具“错位”。其摆辗件图如图 25.3-36。

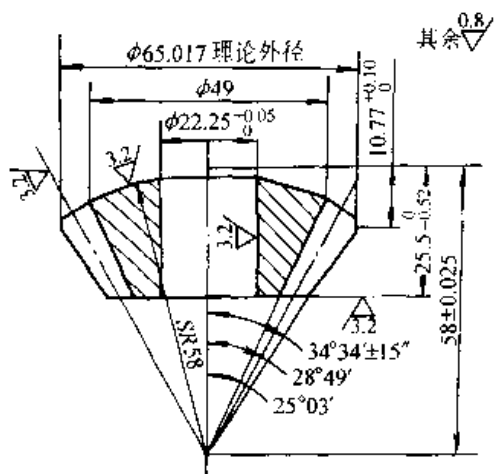


图 25.3-35 NJ130 型汽车行星锥齿轮

摆辗模具固定模的设计与一般压力机上用模的设计相同，其型腔形状及尺寸按摆辗件图设计。锥齿轮的齿形放在固定模上成形，如图 25.3-37。这是因为摆头在摆辗过程中一直处于连续不断的摆动，如果在摆头上布置型槽，摆辗第一圈后得到的齿形，在下一圈摆辗时很难吻合。

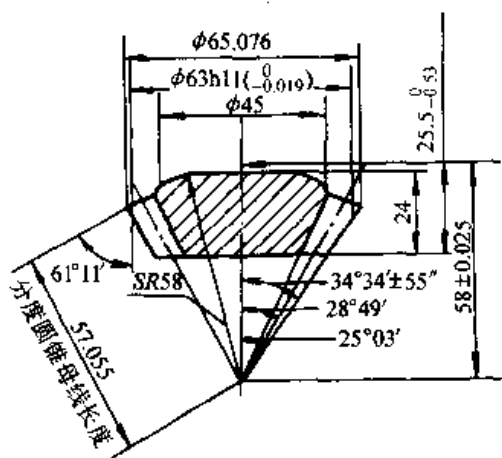


图 25.3-36 NJ130 型汽车行星锥齿轮摆辗件图

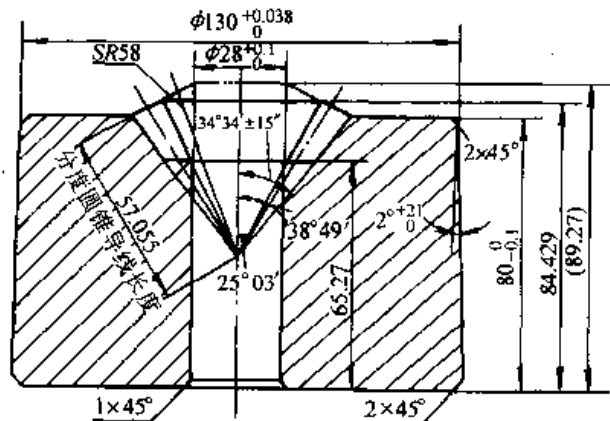


图 25.3-37 NJ130 型汽车行星锥齿轮摆辗模凹模

摆头如图 25.3-38，摆辗件上凡与轴线相垂直的各圆形台阶平面，在摆头中必须设计成对应的台阶式圆锥面，其圆锥角均为 $180^\circ - 2\gamma$ (γ 为摆角，取为 2°) 摆头的成形腔的形状主要是满足成形行星锥齿轮的背面的成形。

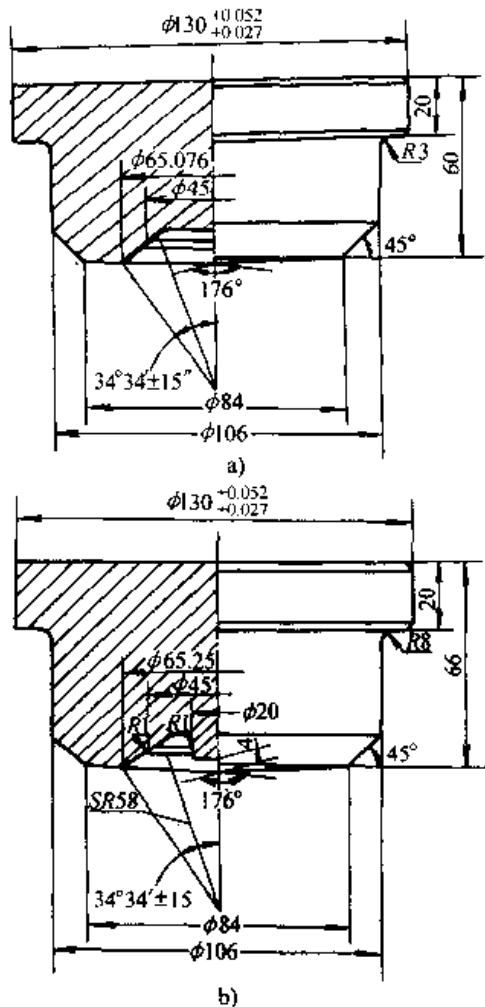


图 25.3-38 摆头(锥体模)结构

a) 中凹形 b) 带凸台形

摆辗模具材料应具有良好的耐热疲劳性能，高的淬透性，确保有较高的使用寿命。以 Cr12MoV 钢制作模具较适宜。

摆辗用毛坯可根据齿轮的体积估算，考虑开式摆辗成形后所形成的飞边，适当放大，通过试验逐步修正。坯料尺寸最后确定为 $\phi 40 \text{ mm} \times 44 \text{ mm}$ 。

摆辗成形过程中影响齿形成形质量的主要因素有：

(1) 摆头形状

采用如图 25.3-38b 所示的摆头，在摆辗过

程中，摆头在毛坯微粗的同时，其中心的凸起对毛坯挤压，使金属易向凹模型腔内流动，有利于齿形成形，而采用如图 25.3-38a 所示的摆头，金属径向流动困难，齿形充填不满。

(2) 摆头运动轨迹

在其他工艺条件相同的情况下，螺旋线运动轨迹最佳，从宏观上看，锥齿轮各部分变形匀称，飞边呈圆形。多叶玫瑰线时飞边有可能呈椭圆形，出现个别齿形充填不满，而圆形运动轨迹的成形情况最差。

(3) 坯料的高径比

当坯料的高径比太大时，在摆辗过程中，摆头与坯料刚接触时，接触面积小，摆头对坯料上端面的作用力不能很快使下端面变形，产生“蘑菇效应”，合适的蘑菇效应有利于锥齿轮的齿形部分成形。但 H_0/d_0 太大，不利于金属充填齿形，齿尖充填不满，齿的侧面齿高度方向也发生缺肉现象，摆辗力急剧增加。

当坯料的高径比太小时，在摆辗过程中，摆头与坯料刚接触时，接触面积大，摆头对坯料上

端面的作用力使下端面发生变形，有利于锥齿轮不带齿端的充填，然而，它却不利于锥齿轮带齿端顶部的成形，严重缺肉。

取高径比 H_0/D_0 为 1 时，摆辗后得到的锥齿轮较好，此时金属的流动性能好。坯料的直径比锥齿轮的小端齿根圆直径略大些。

在设计模具时，还要注意在金属充填的过程中，模具型槽里的空气能顺利排出，倘排出不畅，则会影响锥齿轮齿顶部位的充填成形。

4.4 烧结体金属阀座环冷摆辗模

应用骤冷雾化粉末的粉末金属材料，用摆辗代替传统的锻造压实粉末冶金烧结体阀座环（图 25.3-39）可使制件高度致密化，制件组织均匀，冲击韧性、机械强度等性能优于一般烧结体。

阀座的生产流程如下：

配粉（表 25.3-13）→（双层）压制→预烧结（1 100℃，30 min）→退火（800℃，60 min）→冷摆辗压实→再烧结（1 130℃，30 min）→热处理→机械加工

表 25.3-13 阀座金属粉末的化学成分（质量分数） (%)

	C	Dr	Mo	W	Co	V	S	其他	Fe
A	1.2	6.5	0.3	2.7	1.0	0.2	0.15	<2.0	其余
B	1.2	3.0	0.1	2.5	1.0	0.2	0.15	<2.0	其余

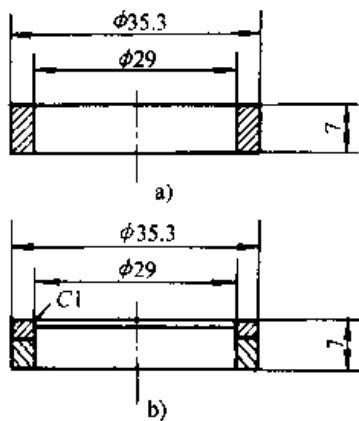


图 25.3-39 致密化烧结体阀座

模具压制预制坯的压力为 500~700 MPa，所得预制坯的密度需达到 $\rho = 6 \sim 7 \text{ g/cm}^3$ 。在球化碳化物处理后，涂上固体润滑剂，再进行冷摆辗压实。经摆辗压实的工件用 1 100~1 150℃ 的分解氨气或吸热型（PX）气体连续焙烧得到扩散化合，再根据材料的性质和应用的需要决定淬火或者是回火处理，随后机械加工为成品。

冷摆辗工艺中采取了以下措施：

- 1) 预制坯形状接近模腔形状，其尺寸如图 25.3-40 所示，密度 $\rho = 6.8 \text{ g/cm}^3$ ，硬度 70HRB，模腔尺寸，外径 $\phi 35.5 \text{ mm}$ ，内径 $\phi 28.5 \text{ mm}$ 。
- 2) 使用模具和心轴都浮动的复式压制。模具系统给出了固体润滑模具的模具磨损量并缩短滑动距离。
- 3) 控制模具和心轴的浮动。
- 4) 防止下模产生摇摆运动。

模具中使用氨基甲酸酯橡胶垫实现凹模与心轴都浮动的动作。整个模具结构如图 25.3-41。

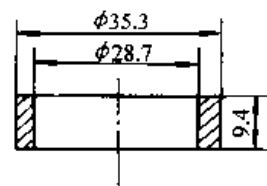


图 25.3-40 阀座预制坯

摆辗进给速度 0.06 mm/r，摆头转速 300 r/min，

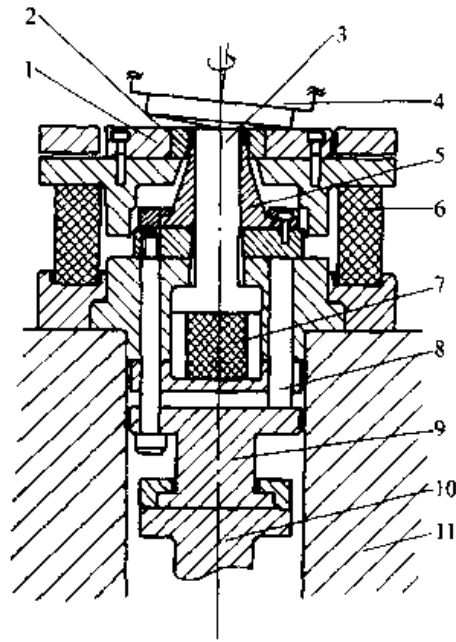


图 25.3-41 摆辗烧结体阀座模具

1—凹模套 2—凹模 3—心轴 4—上模（锥体模）

5—冲头 6、7—氨基甲酸乙酯（尿烷）弹性垫块

8—顶出杆 9—顶出杆托盘

10—顶出液压缸活塞杆 11—滑块（砧座）

摆头倾角 $\gamma = 3^\circ$ 。摆辗力为 200 kN 时即可得到 7.65 g/cm^3 的致密度结构。

第4章 可分凹模模具设计

1 概述

1.1 可分凹模模锻的特点

可分凹模模锻是闭式模锻与开式模锻的综合,它既具有闭式模锻能减少甚至完全消除飞边金属损耗等主要优点,又具有开式模锻能模锻形状比较复杂的锻件的优点。其缺点是模具结构比较复杂,制造比较困难且制造费用较高。但因其优越性突出,故越来越被广泛采用。

(1) 可分凹模模锻工艺及其分模的基本形式

这种工艺方法就是一种将挤压筒(料仓)内的坯料金属挤入与挤压筒相连且轴线与挤压筒轴线垂直的模膛内成形为所需锻件。为了将模锻后的锻件从凹模中取出,凹模设计成可分的,由两块或多块组成。在大多数情况下由两半组成。在模锻变形过程中,两半凹模应紧密闭合,防止变形金属沿分模面挤出。

可分凹模的基本形式如图 25.4-1 所示,有三种,即横向分模、纵向分模、混合分模。根据所生产的锻件和模锻设备不同,实现其可分凹模模锻工艺的模具装置有多种形式。

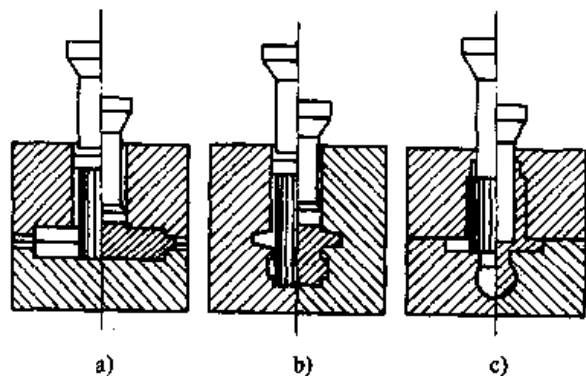


图 25.4-1 可分凹模的基本形式

a) 水平分模 b) 垂直分模 c) 混合分模

这种模锻工艺可在金属冷、温与热加工时采用。热锻采用最为广泛,但实现冷锻和温锻已有例子。

可分凹模模锻可采用碳素钢和合金钢,有色金属及其合金。

据有关文献及分析指出,现有普通模锻件的 15%~20% 可改变为可分凹模模锻。我国近年来每年模锻件约为 150 万 t,其中有 22.5~30 万 t 中小型锻件可采用可分凹模模锻,这表明,这种工艺方法的应用前景良好。

(2) 可分凹模模锻的优缺点分析

可分凹模模锻具有如下优缺点:

1) 材料利用率高 可分凹模模锻大多采用闭式模锻,没有飞边金属损耗,锻件可以设计成空心的,可以取消或设置很小的拔模斜度,精度高,因而可以节约大量的金属材料。与普通模锻相比,可节约金属 30%~50%,材料利用率可达 40%~90%,一些中小型锻件的材料利用率可稳定在 70% 以上。

2) 锻件性能好 可分凹模锻件金属流线大都沿零件的内外轮廓分布,机械加工时被切断的纤维流线少,其强度指标一般可提高 30% 以上。此外,可分凹模模锻件消除了开式模锻件因切边而造成的金属流线末端外露的现象,提高了锻件抗应力腐蚀的能力。这对某些对应力腐蚀敏感的合金钢和使用在氯化物、硫化物工作环境中的零件有特殊意义。

3) 能提高金属的塑性 可分凹模模锻时,毛坯处于三向压应力状态,有利于提高金属的塑性,这一点对于塑性差、锻造温度范围窄的高合金钢、镍基合金、钛合金等是极为有利的。可见,可分凹模模锻既适合于一般有色金属、黑色金属,也适合于高合金钢和一些特殊合金。从锻件的形状来看,有关中空的架体、活塞、轴类、筒形件、各种阀体和管接头以及其他承受高温高压的多孔类零件都可采用可分凹模模锻。

4) 生产率高 据统计,以可分凹模模锻代替普通开式模锻,工步数可以从 2~4 个减少到 1~2 个,生产率平均可提高 25%~50%。

5) 改善劳动条件 可分凹模模锻主要是采用机械压力机和液压机作为模锻设备,一般均配备感应加热,有利于实现机械化和自动化生产,同时,污染甚微,没有大量的热辐射,改善了锻

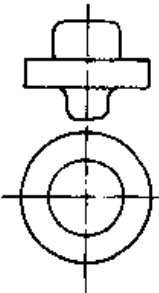
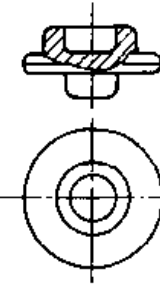
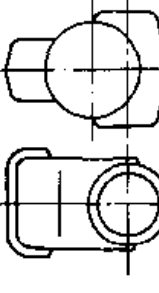
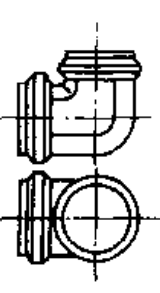
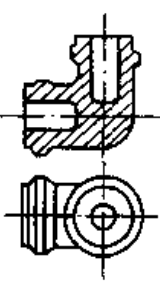
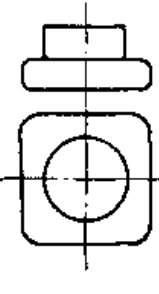
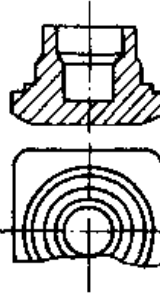

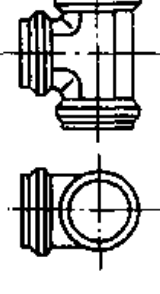
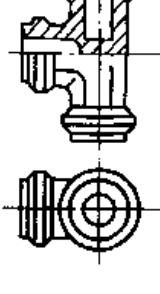
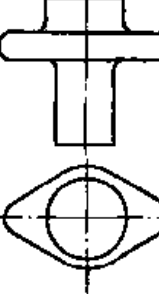
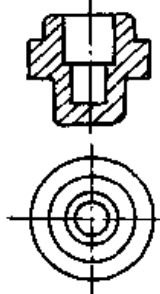
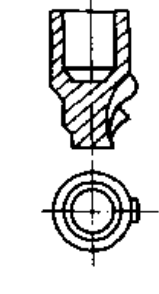
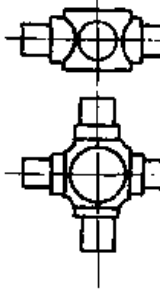
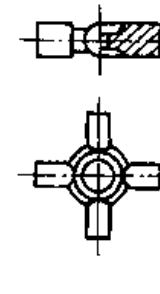
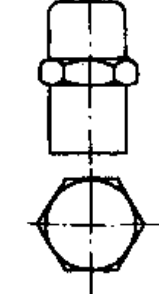
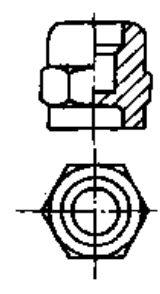
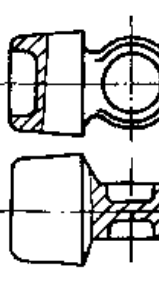
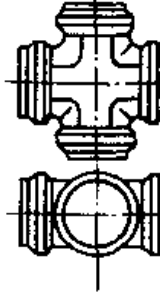
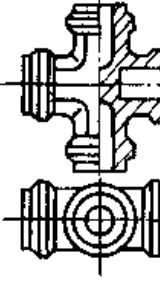

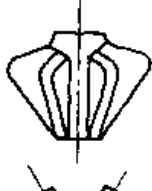
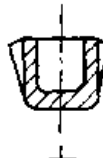
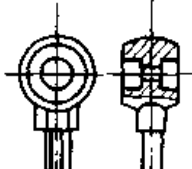
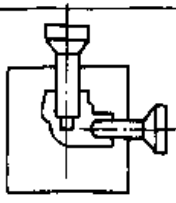
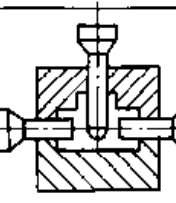
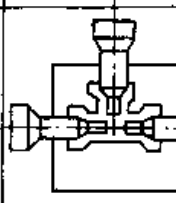
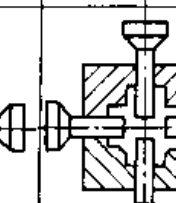
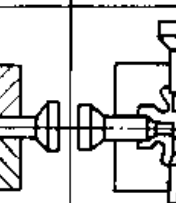
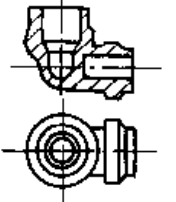
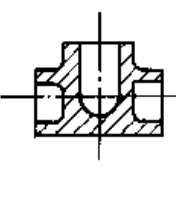
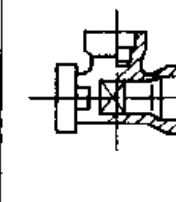
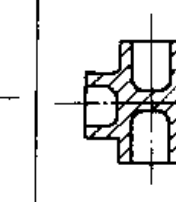
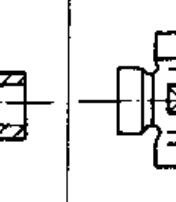
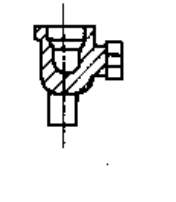
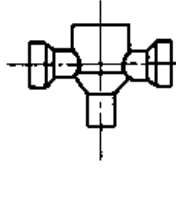
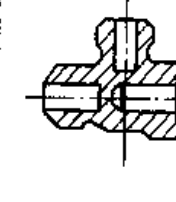
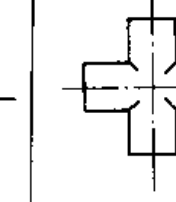
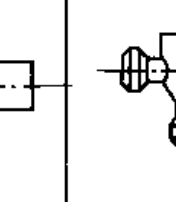
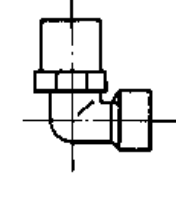
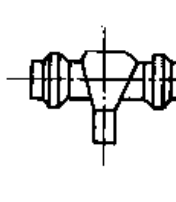
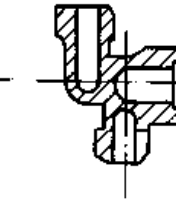
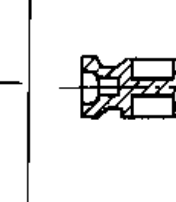
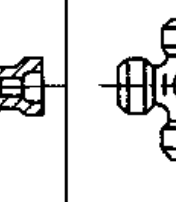
I 法 兰 类		II 支 座 类	III 枝 芽 类	
实 心	空 心		实 心	空 心
				
				
				
				

图 25.4-2 一些典型的

IV 叉形类	V 肋片类		VI 长杆类
	实心	空心	
			

模 锻 方 案	单 冲 头		双 冲 头		
	横 向 分 模	纵 向 分 模	对 击		垂
			横 向 分 模	纵 向 分 模	横 向 分 模
典 型					
锻 件					

图 25.4-3 常见的可分

直	三 冲 头		四 冲 头	
	纵向分模	横向分模	纵向分模	纵向分模
				
				
				
				

凹模模锻工艺方案

工车间的工作环境和劳动条件。

可分凹模模锻也存在一些缺点：要求坯料尺寸与重量精确、加热质量较高；可分凹模模具或专用装置结构比较复杂，制造较困难且费用较高。

1.2 可分凹模模锻锻件的类型及常见的工艺方案

(1) 锻件的类型

图 25.4-2 所示为一些较典型的中小型模锻件，根据在可分凹模模锻的特点，将其划分为六组：

- I 组为实心 and 空心法兰类锻件；
- II 组为支座壳体类锻件；
- III 组为实心 and 空心的枝芽类锻件；
- IV 组为叉形类锻件；
- V 组为实心 and 空心的肋片类锻件；
- VI 组为杠杆、拉杆和连杆类锻件。

由图可以看出，能够在可分凹模内模锻的锻件，其形状是一些结构单元即简单几何体的组合。

(2) 常见的可分凹模模锻工艺方案

锻件的结构特点和锻件各部分的相对尺寸对可分凹模模锻工艺方案的选择有着决定性的影响。锻件形状的多样性决定了工艺方案的多样性。工艺方案可根据凹模的分模面相对于冲头轴线的方向和分模面的数量、冲头的工作顺序和相互配置以及模锻工步数来确定。

图 25.4-3 所示常见工艺方案的分类，是按冲头数量和凹模分模面相对于冲头轴线方向来分类的。

按冲头工作顺序可分为同步模锻和顺序模锻。同步模锻时，所有冲头同步动作，坯料在各个方向的变形同时结束。顺序模锻时，各个冲头按顺序工作，也可以一个冲头工作结束后，另一个冲头开始工作，坯料在各个方向的变形按顺序进行。

2 可分凹模模具设计

2.1 可分凹模模具设计要点及设计方法与步骤

(1) 设计要点

与整体凹模相比，除有利于变形金属的流动、便于取出锻件等共同点外，可分凹模的设计还须注意如下要点。

1) 在凹模上必须设置分流腔或工艺补偿空间。在机械压力机上进行闭式模锻时，因压力机滑块工作行程固定，仅靠机身和模具的弹性变形即弹性退让，不可能满足坯料体积波动的要求，必须在模具上主要是在凹模上设置分流腔或工艺补偿空间。即使在行程不固定的螺旋压力机或液压机上进行闭式模锻，为了保证锻件高度尺寸的精确，必须对滑块工作行程严格地限位，因此，也应在凹模上设置分流空间，以便起到调节作用。

2) 可分凹模的夹紧力必须大于或等于模锻时变形金属在分模面上产生的张模力，防止变形金属流入分模面而形成飞边。

3) 模锻时，模具的动作顺序应是先使可分凹模闭合并夹紧，然后冲头挤压坯料而模锻成形；模锻结束后，冲头首先退出复位，然后，可分凹模张开。

4) 对于需要两个或两个以上冲头的多向闭式模锻，当要求坯料由冲头自动对中定位时，首先使接触坯料的两个冲头同步动作；当不能使坯料自动对中定位时，应在凹模中设有定位基准，避免在模锻时因坯料没有对中定位而发生一端充不满另一端有多余金属而产生飞边。

5) 在满足工艺要求的前提下，模具结构力求简单可靠，便于操作，易于清除模膛中的氧化皮和润滑剂残渣。

6) 模架上的运动副及凸、凹模工作部分尽量采用镶块结构，以便磨损或损坏后更换。

(2) 设计方法与步骤

1) 按精密锻件计算其体积的大小 V_f ，根据锻件的几何形状及尺寸与变形方式确定坯料的直径 D_0 ，然后根据 $\pi D_0^2 H_0 / 4 = V_f$ ，计算出坯料的长度 $H_0 = 4V_f / \pi D_0^2$ 。

2) 根据锻件的高度尺寸 h_0 确定变形行程 S ($S = H_0 - h_0$)， S 值即为闭合的整体凹模相对固定凸模压缩坯料的行程，同时也是确定凸模长度的依据。

3) 计算径向挤压成形力 F ，一般可采用理论计算公式、实验测试，也可按如下经验公式计算：

$$F = \frac{\pi D^2}{4} p$$

式中 p 为单位挤压力, D 为冲头(凸模)直径。

挤压力 F 是校核凸模强度和选择挤压设备的依据。

4) 计算张模力 Q

$$Q = (A_f - \pi D^2/4)q + 4d_k l_k \sigma_s$$

式中 A_f —锻件的水平投影面积;

q —单位张模力, $q = (0.8 \sim 1) 4F / \pi D^2$ 。

凹模夹紧力即合模力应当大于或等于张模力。进而可对合模机构进行设计和计算。

对于圆柱形弹簧合模机构, 根据合模力、压力机允许的模具轮廓尺寸和变形行程, 可以选择或计算出弹簧的数量、刚度及全部结构参数。

对于碟形弹簧合模机构, 根据合模力及变形行程, 可以设计或选择碟簧的刚度、对数和全部结构参数。

对于液压(或气压)合模机构, 根据合模力、变形行程及压力机工作台下(或上面)允许的空间尺寸, 计算和选择液(气)压和液压缸的全部结构尺寸。

对于图 25.4-29 所示刚性合模机构, 根据合模

力计算括弧楔的强度和刚度, 确定截面形状及尺寸; 根据变形行程和凹模的尺寸及重量计算和选择凹模的支承弹簧的数量、刚度及全部结构参数。

5) 模腔的设计, 凹模模腔按精密锻件图确定其形状和尺寸, 为了排出多余金属和降低模腔内部压力, 应根据模腔(锻件)形状特点及变形方式, 在合适的位置开设分流腔。

导向装置及模具封闭高度的设计计算方法与一般锻模相同。

此外, 对于连杆括弧楔合模机构(图 25.4-53), 曲柄肘杆式合模机构及多组楔块式合模机构等机械式合模机构, 须对可分凹模的闭合、张开与合模机构的夹紧、松开两种运动进行运动关系及轨迹分析, 以确保两种运动协调的准确性。

2.2 可分凹模夹紧机构的基本型式

对于复杂零件精密成形, 尤其是异形枝叉类零件精密模锻, 国外自 70 年代初起研究适合于各种通用模锻设备使用的可分凹模模具, 国内自“六五”以来大力开展了这方面的研究。

一些典型的可分凹模结构及工作原理如图 25.4-4 所示。可分凹模结构设计的关键在于凹模

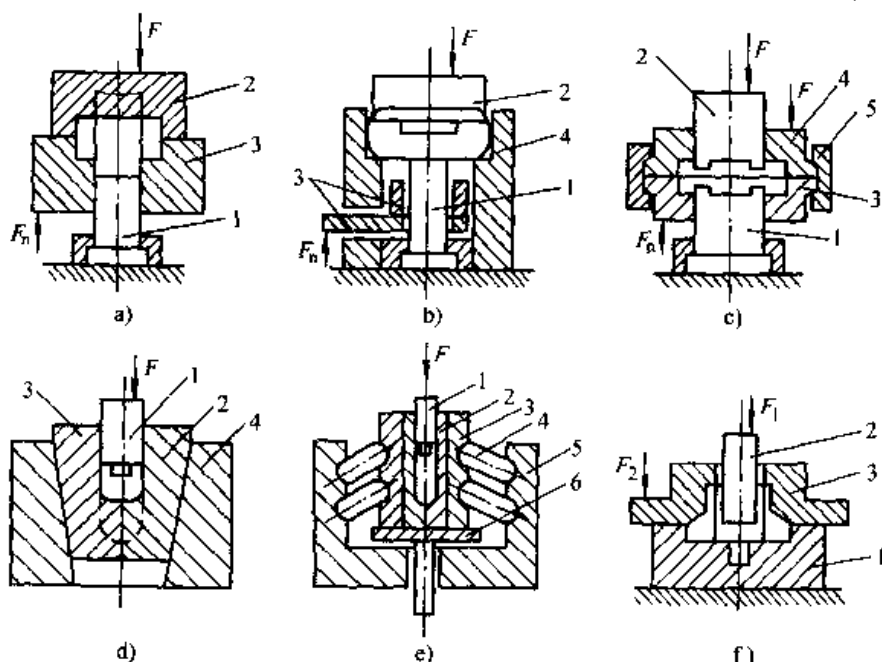


图 25.4-4 可分凹模夹紧机构的基本型式

- a) 1—下冲头 2—上凹模 3—下凹模
- b) 1—下冲头 2—上冲头 3—浮动模底 4—固定凹模
- c) 1—下冲头 2—上冲头 3—下半凹模 4—上半凹模 5—刚性夹
- d) 1—上冲头 2—右半凹模 3—左半凹模 4—凹模圈
- e) 1—上冲头 2—凹模镶块 3—模底 4—连杆 5—模座 6—托板
- f) 1—下凹模 2—冲头 3—上凹模

的闭合与张开机构。对于水平可分凹模，其闭合与张开机构有三种不同的型式：一是利用设备工作台下面已有的气垫或液压缸；二是在模具上设置弹簧或玻璃纤维酚醛塑料等弹性元件产生压紧力与张开力；三是利用楔块机构，偏心轴或括弧楔等刚性夹紧机构。对于垂直可分凹模主要有圆锥或楔块或四连杆等通过模座或连杆产生的水平反力使其闭合夹紧。

2.3 分流降压腔的设计

如前所述，由于各种因素的影响，很难使坯料体积与闭式模膛的容积刚好相等。为解决这一问题，可采取两条有效措施：一是提高下料精度，保证坯料体积的波动小；二是在模具上设置工艺补偿空间，即多余金属分流腔，像开式模锻一样，当模膛充满后多余金属被挤入分流腔。带有分流腔的闭式模锻实际上就是半闭式模锻，可降低模膛内部压力，有利于提高模具寿命。这虽然使模锻时仍有一定的飞边金属损耗，但比开式模锻时飞边金属损耗要小得多，重要的是设置了分流腔之后，使闭式模锻的适用范围大为扩展，因此，可以说这是闭式模锻工艺的一大进步。

(1) 分流腔的设置原则

分流腔的设置原则，即分流腔应设置在什么位置最合理。应遵循的原则就是前面所说的多余金属分流腔应满足的要求：即：

1) 当模膛中所有难于充满的部位在未充满之前，变形金属不应当被挤入到分流腔，这就是说分流腔的位置应选择选择在模膛最后充满的部位；

2) 多余金属挤入分流腔时不应当伴随变形阻力的提高，即多余金属分流时在模膛内所产生的压力比模膛刚充满时所产生的压力没有增加或增加很小，以免增加总的模锻力和加快模膛的磨损。

此外，从便于切掉所产生的小飞边的角度考虑，侧向分流器应设置与锻件最大横向投影面积对应的模膛（沿分模面）周围。

具体设计时，一般依靠合适的尺寸关系来满足第一个要求；以合理的金属流动方向来满足第二个要求。

(2) 分流腔的结构型式及设计计算

分流腔有不同的结构型式，如侧向缝隙式、纵向缝隙式、中心孔式和窗框式等。到底采用哪种型式取决于锻件的结构性能和所采用的工艺方案等。如果是轴对称锻件，当为盘类锻件时，一般采用环形侧向缝隙式分流器，且设置在锻件高度的中部；当为直齿圆柱齿轮精密模锻时，则应采用中心孔或分流柱的方式分流，如此等等。

1) 孔式分流腔 如图 25.4-5 所示，孔式分流腔适用于带有中心孔的圆盘类锻件的闭式模锻。这种分流腔结构简单，其位置设在终锻模冲孔凸台的中心部位。当锻件的孔径 $d \geq 50$ mm 时，分流孔分设在上模和下模，图 25.4-5c 即为这种情况；当锻件的孔径 $d = 40 \sim 50$ mm 时，分流孔完全设在下模。

可以看出，孔式分流腔的结构与开式模锻中带仓连皮的内飞边槽相似。因此，设计时，分流腔桥部的宽度、高度和过渡处圆角半径均可按带仓连皮桥部对应的尺寸选择，而对应于仓部的分

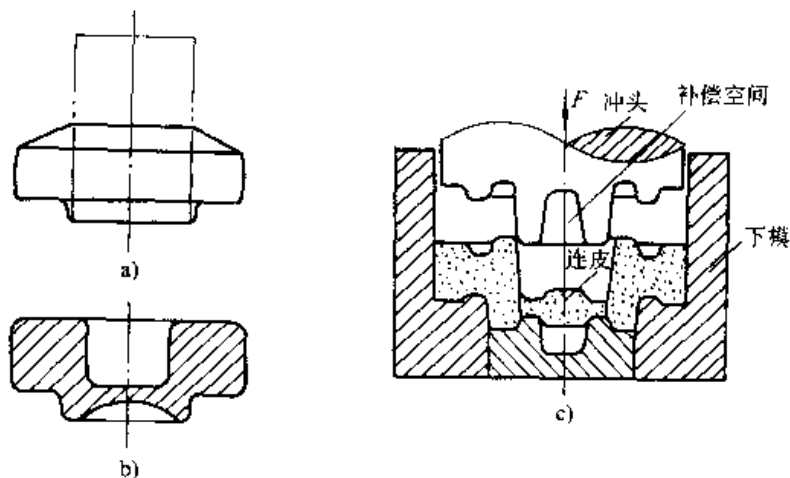


图 25.4-5 孔式分流腔
a) 锻粗 b) 冲孔 c) 终锻

流空间则按如下原则确定:

$$V_d \geq V_b - V_f$$

式中 V_d ——分流腔空间容积, 为仓部与桥部空间容积之和;

V_b ——坯料体积, 按坯料长度和截面尺寸的上偏差计算;

V_f ——锻件体积, 按各公称尺寸的下偏差计算。

当锻件中心带有凸起或不长的杆部时, 则在凹模上对应的孔形型腔可适当加深, 以此作为自然的多余金属分流腔, 还可降低模膛内的压力值。当锻件直径与中心孔径之比较大时, 将变形金属挤入中心孔所需的力会增大, 这会引起模具产生较大的弹性变形, 进而导致锻件出现端部飞边。如果所采用的中心孔分流腔使得模膛直径与中心孔径之比具有最小值, 那么变形阻力将减小, 当变形金属清晰地充满模膛时, 锻件端部可能不会产生飞边。这样, 由多余金属在中心分流孔由形成的枝芽长度不长, 脱模时容易从孔中退出。设计时还应预留容纳附加金属体积的空间, 保证多余金属全部流入中心孔分流腔时也不至引起模膛内压力的增高。

实践表明, 对于阶梯齿轮或具有小台阶的法兰的闭式模锻, 当 $\frac{D}{D_p}$ (D 为锻件直径; D_p 为中心孔直径) = 1.2~4.5 时, 可得到很好的效果。在这种情况下, 可在凹模的中心孔中装设弹性推出机构, 当多余金属流入孔中时将弹簧压缩, 其阻力增大, 模锻结束后, 靠弹簧的伸张力将锻件推出。

中心孔式分流腔的直径等于锻件中心凸台或杆部直径, 而深度必须大于凸台或杆的长度, 具体按下式确定:

$$\Delta L = \frac{4\Delta V}{\pi d_p^2} + 10 \sim 15 \text{ mm}$$

式中 ΔL ——由于锻件体积同坯料体积不一致而致凸台或杆长的变化值 (mm);

ΔV ——多余金属体积 (mm^3)。

10~15 mm 为顶出装置顶部至最大长度的凸台或杆长端面间的附加距离。

例 已知一齿轮锻件直径 $D = 140 \text{ mm}$, 圆角半径为 3 mm, 轮缘高 25 mm, 凸台直径 65 mm, 在新的模具中模锻时多余金属体积为

216 mm^3 , 试确定中心孔式分流腔的尺寸。

首先确定中心分流孔直径, 因锻件带有中心凸台, 故分流孔直径应与凸台直径相等, 取 65 mm 的孔径。然后确定分流孔的深度, 由上式得

$$\begin{aligned} \Delta L &= \frac{4 \times 216 \times 100}{\pi \times 65^2} \text{ mm} + 10 \sim 15 \text{ mm} \\ &= 17.9 \sim 22.9 \text{ mm} \end{aligned}$$

取孔深为 20 mm。

2) 轴向减压分流孔

① 减小模膛工作压力的设想和依据。通常, 模锻时的工作压力包括材料的理想变形抗力、摩擦阻力和多余功阻力三部分。理想变形抗力可用下式表示:

$$p_i = y_m \ln\left(\frac{R}{1-R}\right)$$

式中 y_m ——锻件材料的名义流动应力;

R ——变形强度, 即相对面积缩减率。

由图 25.4-6 所示曲线可以看出, 工作压力 p_m 随面积缩减率 R 的增加而增加, 当 $R = 1$ 时, p_m 增至无限大。 R 由图 25.4-7 确定, 挤压时 R 值为常数。开式模锻时, 由于工件自由表面的减小而 R 值增大, 因此, 如果能控制 R 值的增加就可减少工作压力。

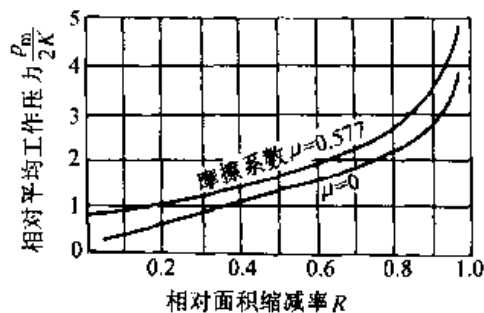


图 25.4-6 相对面积缩减率 R 对挤压力 p_m 的影响

② 在毛坯上预留分流孔。如图 25.4-8 所示, 在工件受压面的中心部分有一根轴, 工作后移开, 此轴给变形金属一流动的减压口。此外, 运用分流抑制了断面缩减率和图 25.4-9 中摩擦值的上升。这同样能对成形过程起较大的压入作用, 对改善外轮廓的充填性具有同样的效果。

图 25.4-10 是基于这个道理而提出的减压孔原理, 即在毛坯中心加工一减压孔, 当冲头压下时, 通过减压孔的收缩 (图 25.4-10a) 或形成减压轴 (图 25.4-10b) 产生向心流动以实现分流。

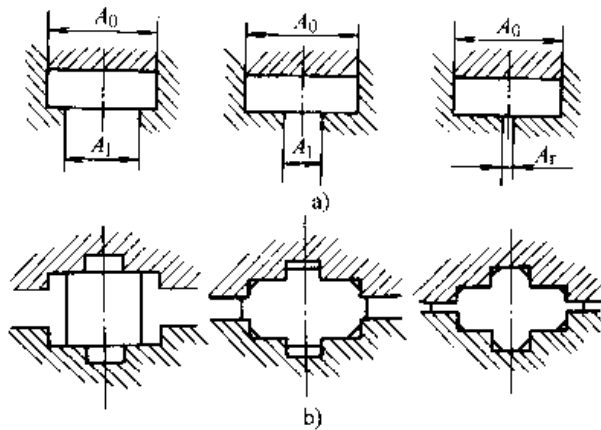


图 25.4-7 相对面积缩减率 R 的概念

- a) 挤压 (相对面积缩减率: $R = (A_0 - A_1) / A_0$, A_0 为试样截面积; A_1 为产品截面积)
 b) 模锻 (相对面积缩减率: $R' = (A - F) / A$, F 为自由表面积;
 $(A - F)$ 为与模具接触的面积; A 为总的表面积)

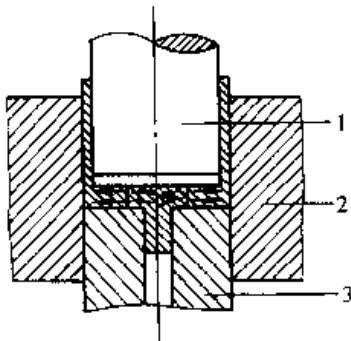


图 25.4-8 轴向减压原理

1—凸模 2—挤压筒 3—顶出器

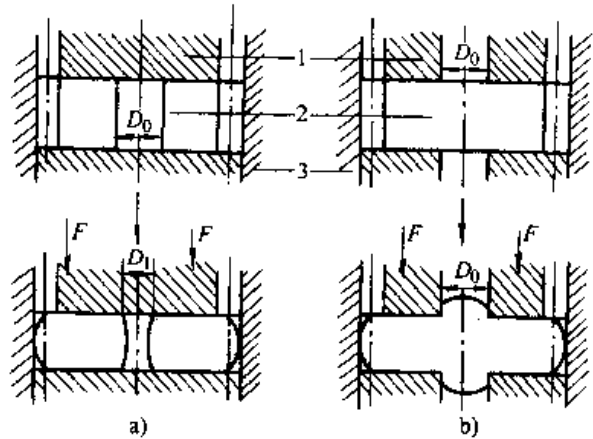


图 25.4-10 利用分流原理的锻造过程

- a) 减压孔流动原理 b) 减压轴向流动原理

1—冲头 2—毛坯 3—挤压筒

根据两条必须遵循的原则、坯料尺寸精度和闭式模锻的特点, 分流腔的两个主要尺寸 r_H 和 D_2 分别计算如下:

$$r_H \leq \frac{\left(\frac{D_n}{6} - \frac{0.05d_2^3}{D_1^2}\right)r_1}{\frac{D_n}{6} - \frac{0.05d_2^3}{D_1^2} + 4\mu A \frac{D_n}{D_1^2}(H - 2r_1)r_1} \quad (25.4-1)$$

- 式中 r_H ——分流腔圆角半径 (mm);
 H ——锻件高度 (mm);
 r_1 ——模膛 (对应于锻件最大外圆) 圆角半径 (mm);
 D_1 ——毛坯金属与模底接触的圆周直径,
 $D_1 = D_n - \sqrt{2}r_A$;
 D_n ——模膛或锻件直径 (mm);

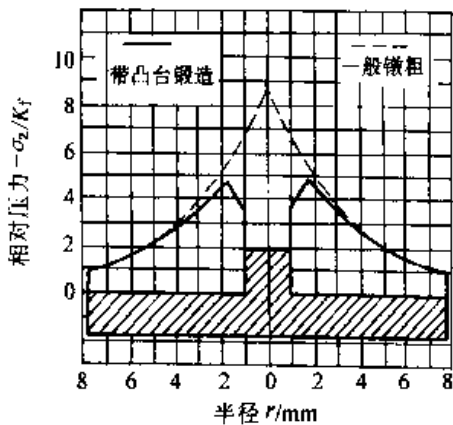


图 25.4-9 带凸台锻造和一般锻造的应力分布比较

3) 环形侧向分流腔 如图 25.4-11 所示, 有两种结构型式: 一种由桥部和仓部所组成; 另一种仅为宽度尺寸较大的桥部而无仓部。可见, 与开式模锻对应结构型式的飞边槽相似, 只不过是相应的尺寸都小一些而已。其主要尺寸是分流腔的外圆半径 D_2 和同模膛连接处的圆角半径 r_H 。

d_2 ——金属水平流动面积对应的圆周直径，当 $H < D_H$ 时，通常取 $d_2 = D_n - H'$ ；
 H' ——锻件在高度方向上的最大尺寸 (mm)；
 r ——由于拉应力所形成的圆角半径 (mm)；
 A ——金属流动表面形成的系数， $A = \sqrt{2} \sim 0.83$ 。

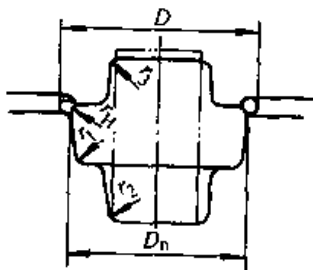
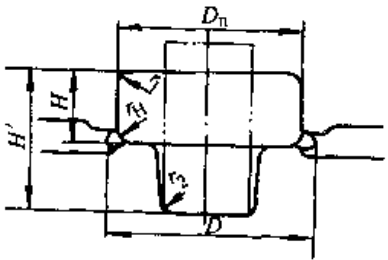
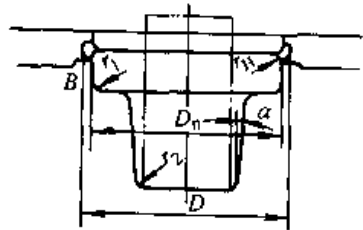
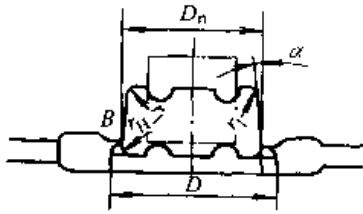


图 25.4-11 环形侧向分流腔的结构型式

$$D_2 = \sqrt{\frac{d_H}{r_H} \{2L(\Delta_1 + \Delta_2) + d_H(\Delta L_1 + \Delta L_2)\}} + D_n^2 + 10 \sim 20 \text{ mm} \quad (25.4-2)$$

式中 D_2 ——分流腔外径 (mm)；

d_H ——坯料的公称直径 (mm)；

L ——坯料的公称长度 (mm)；

Δ_1 、 Δ_2 ——坯料直径的负和正偏差 (mm)；

ΔL_1 、 ΔL_2 ——坯料长度的负和正偏差 (mm)。

根据对轴对称锻件闭式模锻成形过程的实验研究和理论分析，得到模膛内各圆角被金属充满时和多余金属被挤入侧向环形分流腔形成小飞边时变形抗力的计算公式。

对于模膛内各圆角被金属充满即整个模膛被充满时，其所需变形力的计算又分两种情况考虑，即

当 $H \geq D_n$ (高锻件) 时

$$F_1 = \frac{\pi D_n^2}{4} \sigma_s \left[\frac{D_n}{6Ar} + \frac{\sqrt{2}}{3} + \left(1 - \frac{0.83}{2A}\right) \cos \alpha \right] \quad (25.4-3)$$

当 $H < D_n$ (低锻件) 时

$$F_1 = \frac{\pi D_n^2}{4} \sigma_s \left[\frac{D_n}{6Ar} + \frac{\sqrt{2}}{3} + \left(1 - \frac{0.83}{2A}\right) \cos \alpha \right] - \frac{\pi d_2^2}{4} \sigma_s \frac{0.415 d_2}{6Ar \sqrt{2}} \quad (25.4-4)$$

式中 F_1 ——变形力 (N)；

D_1 ——毛坯金属同模底接触的圆周直径 (mm)，与锻件直径的关系为 $D_1 = D_n - rA\sqrt{2}$ ；

D_n ——模膛或锻件直径 (mm)；

r ——由于拉应力所形成的圆角半径 (mm)；

α ——靠近模底停滞区侧表面形成的斜度，通常取 $\alpha = 45^\circ$ ；

σ_s ——锻造温度下坯料金属的屈服点 (N/mm^2)。

式 (25.4-3) 和式 (25.4-4) 中有关尺寸符号如图 25.4-12 所示。

对于模膛充满后多余金属被挤入环形分流腔形成小飞边时，其变形力可按式 (25.4-5) 计算：

$$F_2 = \frac{\pi D_n^2}{4} \sigma_s \left[\frac{D_n}{6Ar_H} + \frac{2}{3A} + \left(1 - \frac{0.83}{2A}\right) \cos \alpha + \gamma \ln \frac{D}{D_n} \right] - 0.05 \sigma_s \frac{\pi d_2^3}{4Ar_H} \quad (25.4-5)$$

式中尺寸符号见图 25.4-12， D 为小飞边外径， $\gamma = 1.1$ 。

分析式 (25.4-5) 可知，随着小飞边外径 D 的增大，会导至变形阻力 F_2 的增大。然而对于

较为精确的坯料尺寸即允许的尺寸偏差范围, 增量 $\gamma \ln \frac{D}{D_n}$ 的值不大。因此, 作为侧向缝隙式的环形分流腔在接收被挤入的多余金属时, 可使总的变形阻力 F_2 没有明显的增加, 可相当好地满足第二条原则。

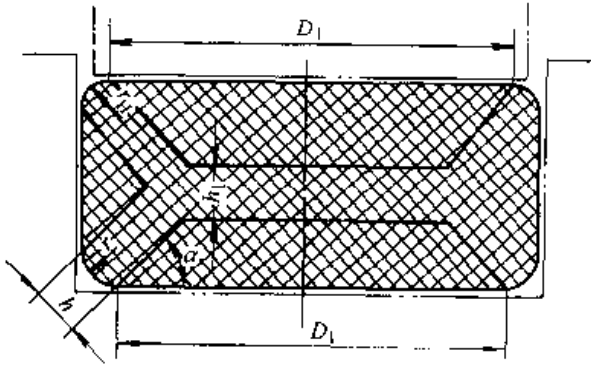


图 25.4-12 轴对称锻件闭式模锻角部充满时金属流动特性
下面以图 25.4-13 所示闭式模锻为例, 计算其所需环形分流器的尺寸, 并检验是否满足第二条原则。

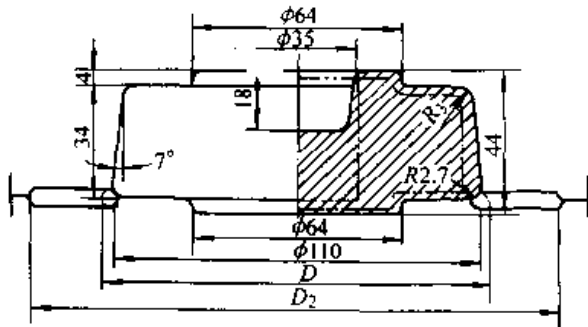


图 25.4-13 闭式模锻件

图示锻件的原毛坯尺寸为 $d_H = 60^{+0.5}_{-1.1}$ mm, $L = (114 \pm 1.0)$ mm; 由图示尺寸可看出: $r_1 = 3$ mm; $d_2 = D_n - H' = 110 - 44 = 66$ mm; $H = 34$ mm; $D_1 = D_n - 2r_1 = 110 - 6 = 104$ mm (假设 $A = \sqrt{2}$)。假设 $\mu = 0.5$, 将已知数据代入式 (25.4-1), 得

$$r_H = \left(\frac{110}{6} - \frac{0.05 \times 66^3}{104^2} \right) \times 3 \sqrt{\left[\frac{110}{6} - \frac{0.05 \times 66^3}{104^2} \right.}$$

$$\left. + 4 \times 0.5 \sqrt{2} \frac{110}{104^2} \times (34 - 6) \times 3 \right] \text{mm}$$

$$= 2.7 \text{ mm}$$

对应的侧向小飞边由式 (25.4-2), 得

$$D = \sqrt{\frac{60}{2.7} (228 \times 1.6 + 60 \times 2) + 110^2} \text{mm}$$

$$= 152 \text{ mm}$$

则分流腔外径为

$$D_2 = D + 10 \text{ mm} = 152 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 162 \text{ mm}$$

下面核算变形阻力。A 取平均值, 即 $A = \frac{\sqrt{2} + 0.83}{2} = 1.12$; 假定终锻温度 $t = 800^\circ\text{C}$, 对应的金属屈服点为 $\sigma_s = 60 \text{ N/mm}^2$ 。当形成半径 $r = r_H - 2.7 \text{ mm}$ 时, $D_1 = D_n - \sqrt{2} A r = 106 \text{ mm}$, 按式 (25.4-4) 计算变形阻力, 即

$$F_1 = \frac{\pi \times 106^2}{4} \times 60 \times \left[\frac{110}{6 \times 2.7 \times 1.12} + \frac{\sqrt{2}}{3} \right. \\ \left. + \left(1 - \frac{0.83}{2 \times 1.12} \right) \frac{\sqrt{2}}{2} \right] \text{kN} - \frac{\pi \times 66^2}{4} \\ \times 60 \times \frac{0.415 \times 66}{6 \times 1.12 \times 2.7 \sqrt{2}} \text{kN}$$

$$= 3469 \text{ kN}$$

当最大的多余金属形成最大的小飞边时, 按式 (25.4-5) 计算其变形阻力, 得

$$F_2 = \frac{\pi \times 110^2}{4} \times 60 \times \left[\frac{110}{6 \times 2.7 \times 1.12} + \frac{2}{3 \times 1.12} \right. \\ \left. + \left(1 - \frac{0.83}{2 \times 1.12} \right) \frac{\sqrt{2}}{2} + 1.1 \ln \frac{152}{162} \right] \text{kN}$$

$$- 0.05 \times 60 \times \frac{\pi \times 66^3}{4 \times 1.12 \times 2.7} \text{kN}$$

$$= 3767 \text{ kN}$$

两者之差等于 298 kN, 这个差值仅为模膛充满时变形力的 8%。可见, 形成小飞边时变形力没有明显的增加, 这说明所设计的环形分流腔的尺寸是合理的。

对于圆盘类锻件的锻模, 其缝隙式环形分流腔设在锻件高度的中部, 则分流腔的宽度也可按容纳最大体积的多余金属来确定, 即

$$b_w = \frac{D_H - D_n}{2} + 5 \sim 10 \text{ mm}$$

$$= \sqrt{\frac{D_n^2}{4} + \frac{\Delta V}{\pi t}} - \frac{D_n}{2} + 5 \sim 10 \text{ mm}$$

式中 D_H ——飞边外径 (mm);

D_n ——锻件外径 (mm);

ΔV ——多余金属体积 (mm^3);

t ——飞边厚度 (mm)。

4) 热挤压带法兰实心锻件端部环形分流腔

这种分流腔的结构如图 25.4-14 所示, 可以看出它与上述侧向环形分流腔的结构相似, 其区别在于前者适用于闭式锻粗工艺, 而本分流腔适合于齿轮、联轴器和法兰类实心零件热态闭式挤压

成形工艺，其原理也是在变形结束时毛坯上多余金属被挤入环形分流腔。实际经验表明，分流腔的尺寸应保证既要使模膛易于充满又要使模具具有经济合理的寿命，而经济合理的寿命又决定于多余金属挤入分流腔时所产生的流动阻力。经试验确定，当多余金属在具有高度的分流腔中流动时其流动阻力不超过充满模膛所需压力的7%。由此可见，高度 h 值是高度固定缝隙式分流腔的关键结构参数。

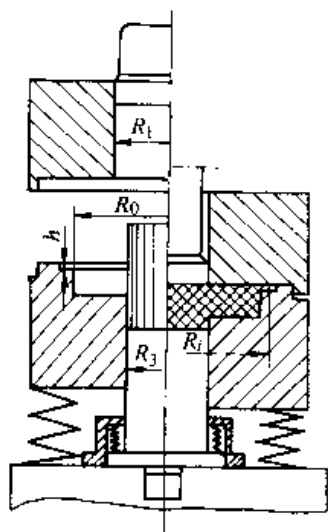


图 25.4-14 带分流腔的横向可分凹模

图 25.4-15 所示挤压变形力 p 同分流腔缝高与实际飞边半径之比的关系曲线。表 25.4-1 所列为与曲线对应的实验数据。图 25.4-16 为锻件法兰半径相对值 R_0/R_1 与 h/R_1 间的关系曲线。由实验得到过横坐标上 $\frac{h}{R_1} = 0.110, 0.121, 0.140, 0.168$ 的点作垂线与曲线相交，这些交点对应的纵坐标点 $\frac{R_0}{R_1} = 1.25, 1.5, 1.75, 2.0$ 。按这些点确定的参数，模具寿命可达到最高。

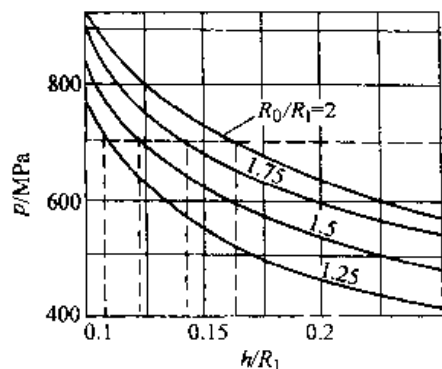


图 25.4-15 $p - \frac{h}{R_1}$ 关系曲线

表 25.4-1 图 25.4-15 曲线的实验数据

法兰半径 R_0 工作筒半径 R_1	压力 /MPa							
	压力 p 当 h/R_1				张模力 q 当 h/R_1			
	0.1	0.15	0.2	0.25	0.1	0.15	0.2	0.25
1.25	760	555	450	410	350	120	10	0
1.5	820	620	535	490	480	260	155	90
1.75	870	685	620	540	590	375	270	220
2.0	925	730	650	595	625	420	335	290

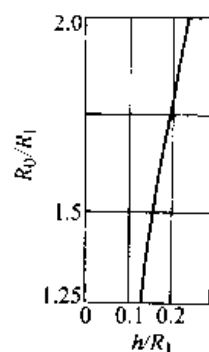


图 25.4-16 $\frac{R_0}{R_1} - \frac{h}{R_1}$ 曲线

由图 25.4-16 可看出，随着 $\frac{R_0}{R_1}$ 增加，缝高 h 与工作筒半径 R_1 之比也增大。根据单位变形力的波动不超过 7% 的范围，可得到缝高与工作筒半径 R_0 的近似关系为

$$h = 0.082R_0 \quad (25.4-6)$$

设转移到分流腔中的多余金属体积为 V_k ，由实验确定 V_k 的计算公式如下：

$$V_k = 2\pi R_0^2 h \ln \frac{R_i}{R_0} \quad (25.4-7)$$

因分流腔外半径 R_i 很少影响到多余金属在分流腔中的流动阻力，它的大小可取 $(1.1 \sim 1.15)R_0$ ，代入式 (25.4-7) 后得 $\ln \frac{R_i}{R_0} \approx 0.12$ ，得

$$V_k = 0.75R_0^2 h \quad (25.4-8)$$

将式 (25.4-6) 代入式 (25.4-8)，得

$$V_k = 0.06R_0^3 \quad (25.4-9)$$

按式 (25.4-9) 得到的体积大约小于原毛坯上多余金属体积的 2 倍。

按上述各式确定的分流腔尺寸为最佳尺寸。

5) 纵向分流腔 如图 25.4-17 所示，分流腔与锻件轴线平行，也是由桥部和仓部所组成。这种分流腔结构参数主要有余料仓数量 n ；桥部

长度 a 、宽度 b 和仓部直径 d 。

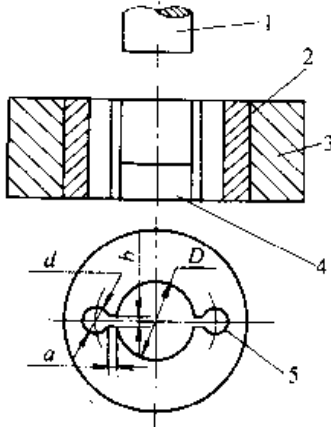


图 25.4-17 轴对称锻件纵向分流腔的设置

1—凸模 2—凹模 3—模套
4—模垫 5—余料仓

根据锻件结构特点， n 可取 1、2、4，采取对称分布，便于锻后切去飞边。桥部的长与宽同锻件直径或横截面积的大小相关，一般取 $a = (0.15 \sim 0.20) D$ ， $b = (0.05 \sim 0.10) D$ ，但 a 尽量取小值， b 尽量取大值。考虑到单仓时至少能容纳坯料总体积 5% 的余料（对热轧棒料），按中等剪切精度下料时，当坯料长径比为 0.5 ~ 2 时，坯料体积相对偏差 $\frac{\Delta V}{V} = \pm (2\% \sim 5\%)$ ，

故按 $b(d+a) > \frac{0.05\pi D^2}{4}$ 选取料仓直径 d 。

分流腔结构参数对单位成形力的影响如图 25.4-18 所示。图示曲线为在 a 与 b 不变的条件下，单位变形力 p 、桥部相对高度 c （即锻件高径比）和余料仓的数量 n 之间的关系。由图可见，当 c 值由 0.25 增加到 0.75 时， p 值降低约 10%；当 n 由 1 增加到 4 时， p 值约降低 15%。

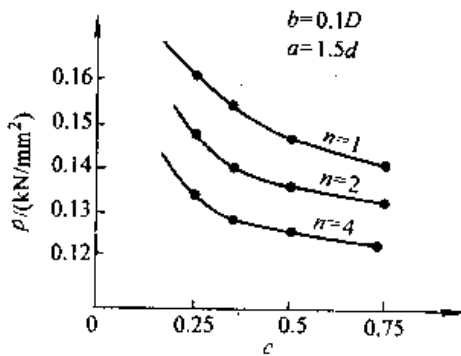


图 25.4-18 p 、 c 、 n 关系曲线

6) 带背压装置的浮动模膛 对于图 25.4-19 所示旋转体零件的闭式模锻，利用背压装置

作半封闭端，让锻件的高度尺寸 H_1 可以变化，以调节坯料体积的变化，这样可以防止由于坯料体积过大而造成模膛压力过高和设备过载。背压装置还可以作为顶出锻件的装置。在这种情况下，在锻件上所能获得的最小外圆角半径 R_c 与平均单位压力 p 的关系如图 25.4-20 所示，其数学表达式为

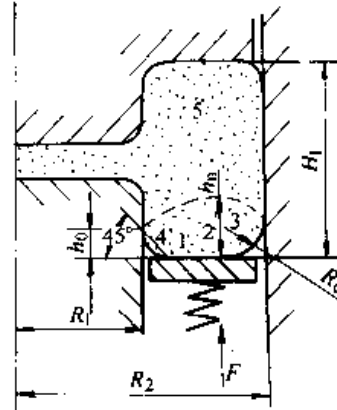


图 25.4-19 带背压装置的可分凹模闭式模锻示意图

1、2、3、4—塑性变形区 5—刚性区
 h_n —塑性变形区的高度

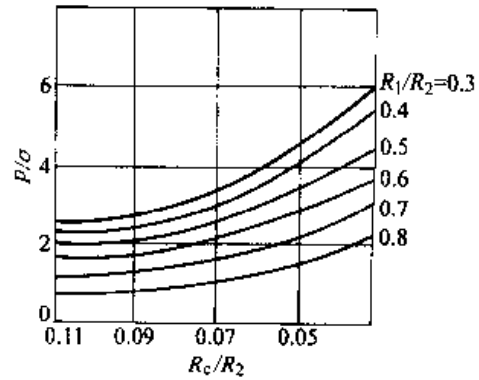


图 25.4-20 图 25.4-19 所示闭式模锻时的平均单位

压力 $\frac{p}{\sigma}$ 与 $\frac{R_1}{R_2}$ 、 $\frac{R_c}{R_2}$ 的关系曲线

$$p = \sigma_s \left(8.44 - 3.5 \frac{R_1^2}{R_2^2} - 1.25 \frac{R_1}{R_2} + 440.48 \frac{R_c^2}{R_2^2} - 91.55 \frac{R_c}{R_2} \right)$$

为了获得某一圆角半径 R_c 所需背压装置的总背压力为

$$F = pA_n = \sigma_s A_n \left(8.44 - 3.5 \frac{R_1^2}{R_2^2} - 1.25 \frac{R_1}{R_2} + 440.48 \frac{R_c^2}{R_2^2} - 91.55 \frac{R_c}{R_2} \right)$$

式中 p ——平均单位背压压力 (N/mm^2);
 F ——总背压压力 (N);
 σ_s ——在锻造变形温度和变形速度条件下
 金属材料的屈服点 (N/mm^2);
 R_1 ——锻件环形孔的半径 (mm);
 R_2 ——锻件外圆角半径 (mm);
 R_c ——锻件环形部分的外圆角半径 (mm)。

7) 端部轴向分流孔 对于带枝芽类的锻件, 可在枝芽模膛的端部开一轴向分流孔, 图 25.4-24b 所示为十字轴和 T 形接头闭式侧向分流挤压成形工艺, 当模膛充满之后, 坯料上多余金属从 4 个 (T 形接头只需 2 个) 端部的分流孔中挤出形成小的圆柱形枝芽, 模锻结束后, 将小枝芽去掉。因十字轴和 T 形接头端部模膛是最后充满的部位, 故分流孔设置在枝芽模膛的端部是符合第一条原则的。

经实验研究表明, 当十字轴或 T 形接头锻件本体上无难于充满的凸台时, 合适的分流孔尺寸 (即满足第二条原则) 取决于枝芽模膛的结构特征, 通常取

$$\frac{d_k}{d} = 0.35 \sim 0.4$$

式中 d_k ——分流孔直径;
 d ——锻件枝芽部分或枝芽模膛直径。

当枝芽锻件本体上有圆形或方形凸台时, 尤其是凸台截面尺寸越小, d_k 相对于 d 的尺寸应越小, 对于不同的锻件结构可通过实验确定。

8) 端部侧向分流孔 图 25.4-60 所示传动轴万向联轴器叉内侧的凸起 (虚线) 表示叉形模膛相应部位内侧上的凹坑, 即为分流孔 (或工艺调节空间)。叉形件采用闭式分流挤压成形工艺时, 叉形耳朵内侧是最后充满的部位, 分流空间的大小取决于坯料的精度, 其原则是分流空间必须略大于坯料体积的最大偏差值, 而具体尺寸则按多余金属分流时不至导致模膛内部压力有明显增大来确定。

9) 端部角隙 对于某些锻件的闭式模锻, 可在锻件需要加放切削加工余量的端部模膛上预留工艺补偿间隙即分流空间。如图 25.4-21 所示, 三通管接头闭式模锻时, 将工艺补偿空间留在旁通的端部, 这种形式的分流空间称作端部角隙。在设计模具时, 使冲头 III 与旁通型腔构成的封闭腔长度比锻件旁通的长度尺寸略长。模锻

时, 坯料体积的波动反映在锻件旁通端部周边圆角半径大小的变化上。其设计依据是保证锻件旁通端部形成的最大圆角半径在预留的切削加工余量所允许的范围内。

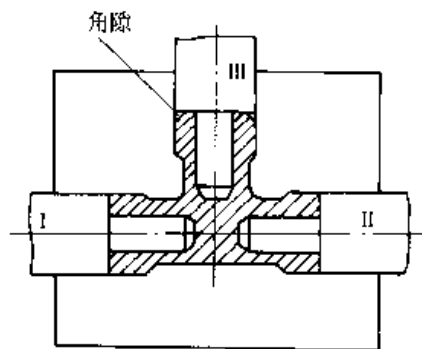


图 25.4-21 三通管接头可分凹模闭式模锻

10) 轴向环形储料槽 图 25.4-22 所示为小外筒垂直可分凹模闭式冲孔 (反挤压) 工艺。储料槽设计在靠近模膛上端, 因闭式冲孔时模膛上端是最后充满的部位, 其结构仍是由桥部和仓部组成。设置储料槽后, 多余金属通过桥部挤入料仓, 不至沿冲头与凹模间的端部间隙形成薄而长的纵向飞边, 这样可防止张模力的过大增长, 也可减少模具的磨损。

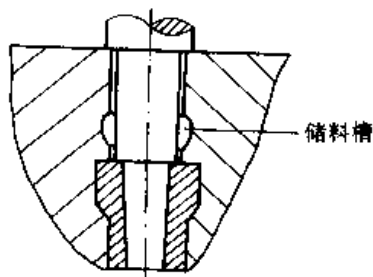


图 25.4-22 储料槽示意图

3 普通模锻设备用可分凹模模具设计及实例

3.1 热模锻压力机用可分凹模模具设计及实例

图 25.4-23 所示热模压力机上模锻用典型的闭式锻模结构原理图。其中 I 为整体凹模, II 为可分凹模。图中①为可动凸模 (冲头), ②为凹模, ③为固定凸模。采用这些模具实现环形件、法兰类锻件、齿轮、轴及传动轴上的滑动叉、万向联轴器叉和十字轴等锻件的闭式模锻。

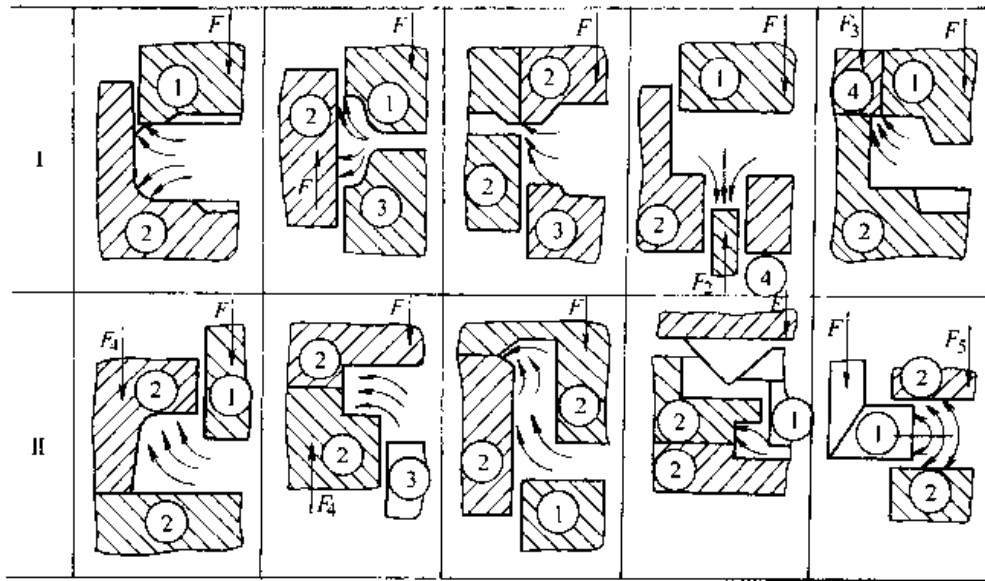


图 25.4-23 热模锻压力机用典型的闭式锻模结构原理图

I—整体凹模 II—可分凹模

凹模夹（压）紧机构是可分凹模结构设计的关键，下面着重根据凹模压紧机构的不同，来说明几种不同的可分凹模的结构设计、工作原理及所能生产的典型锻件与适用范围。

(1) 弹簧压紧式水平可分凹模模具

图 25.4-24c 所示是弹簧浮动下凹模的可分凹模模具。上半凹模 11 用楔铁 13 固定在上垫板 14 上。模套 6 用楔铁 4 固定在下垫板 2 上。下半凹模 8 和碟形弹簧 7 通过环形圈 10 闭锁在模套 6 的内腔。在挤压模锻过程中由碟形弹簧 7 压紧凹模。位于模套中的冲头 5，其上端进入下半凹模的模孔，而下端进入模套的中心孔。如果锻件卡在下模的模腔内，冲头同时还起顶杆的作用。为了从上模中取出锻件，设置了上顶杆 12。

将加热好的坯料置于下半凹模模腔中，置于冲头的上端上。当曲柄压力机的滑块向下运动时，上半凹模与下半凹模接触并向下移动，压缩碟形弹簧。两半凹模以闭合状态向下移动，并由冲头 5 来挤压坯料。这样，从两半凹模闭合直到挤压模锻終了，凹模的压紧力逐渐上升，至挤压结束时达到最大值，即当两半凹模的张模力达到最大为止。当滑块回程时，顶杆 3 推动冲头 5，后者将锻件顶到下模腔之上，以便从挤压区中将它取出。然后上顶杆 12、推杆 16 和推杆 3 在弹簧 17 和 19 的作用下返回到原位。垫板 2 和 14 用楔铁 18 和 20 分别固定在下底板 1 和上底板 15

上，两底板用导柱导套导向。

这种模具结构能保证两半凹模自动闭合和脱开，并在坯料的整个变形过程中可靠地压紧两半凹模。为了排出多余金属以及准确充满难以充满的型腔，在凹模中设有锥形余料腔，以保证流入余料腔的变形金属具有较高的阻力。

坯料通过感应加热。采用这种结构的可分凹模模具，在 25 000 kN 热模锻压力机上一部锻成。直径为 238 mm 的一组叠碟形弹簧随着滑块行程的变化而产生对凹模的压紧力为 1 100 ~ 1 450 kN。

这种结构比较简单，产生的合模力较大。因碟形弹簧的压缩行程不大，需要多层碟簧才能获得较大的压缩行程，故只适宜于挤压模锻本例所示中间肥大四枝较短小的中小型十字轴（图 25.4-24b）。

(2) 带液压紧装置的水平可分凹模模具

图 25.4-25 为安装在 16 000 kN 热模锻压力机上模锻齿轮的可分凹模模具。如图 25.4-25 所示，工作时由四个液压缸 4 将两半凹模 1 和 2 压紧，然后由凸模 3 施加作用力使毛坯变形。凸模行程 $s = 40 \text{ mm}$ 。油缸压紧凹模与凸模工作行程相匹配，保证给定的工艺特性 $F = f(s)$ ，在模锻结束阶段，油缸的压紧力达到最大值 1 600 kN。油缸压紧力与凸模工作行程间的关系曲线如图 25.4-26 所示。

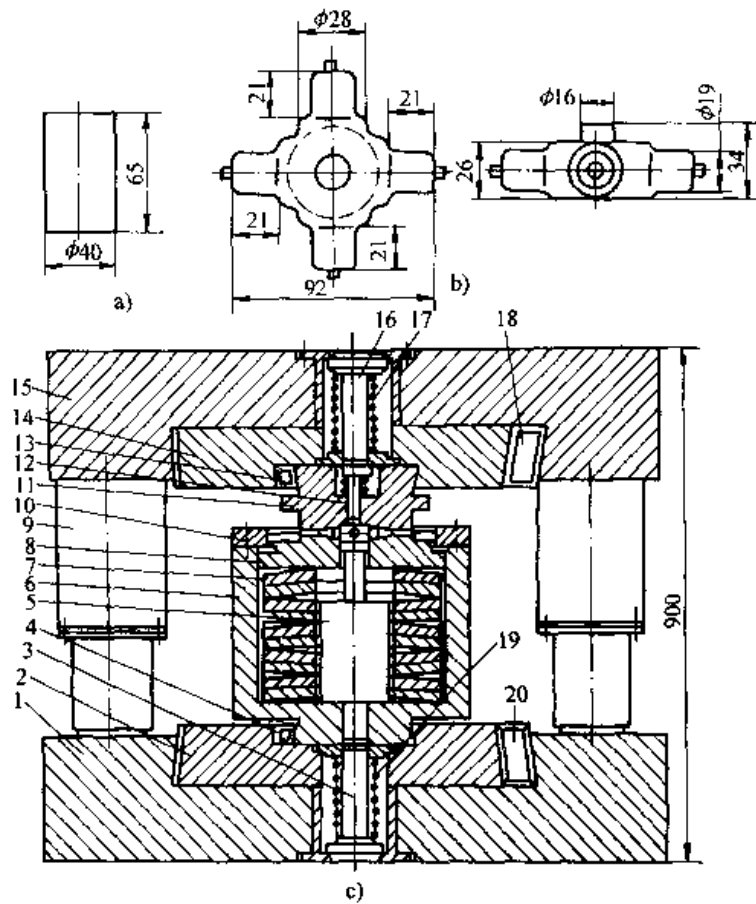


图 25.4-24 十字轴坯料、锻件及模具

a) 坯料 b) 锻件 c) 模具

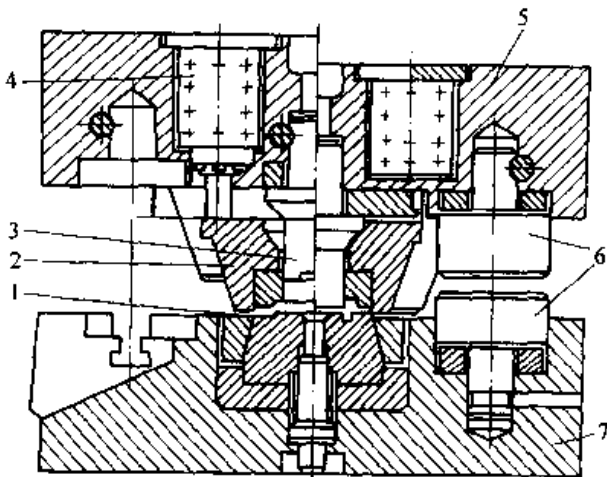


图 25.4-25 带液压实装置的分开凹模模具

1—下半凹模 2—上半凹模 3—冲头

4—液压缸 5—上模板 6—磨粗台 7—下模板

辐板厚度为 7 mm，轮毂高 $H=25$ mm 的导轮的模锻工艺为：毛坯感应加热后在磨粗台上磨粗至其直径比下半凹模直径小 1~3 mm；在有高 2 mm、宽 2.5 mm 的分流腔的终锻模膛中成形；

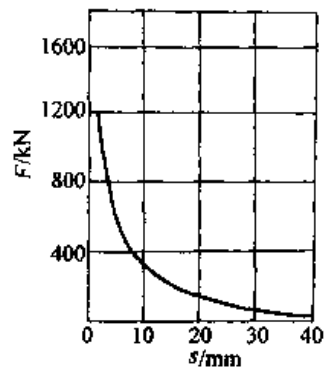


图 25.4-26 压紧力—工作行程曲线

在切边压力机上切去飞边 (图 25.4-27)。

原毛坯是用一般精度的轧制棒料在剪床上下料，原毛坯直径 $\phi 53 \pm 0.4$ mm、重量为 1.18 ± 0.036 kg (开式模锻时毛坯重量 1.35 kg)。下料时，有意使坯料重量比公称重量大 10%，以便彻底研究分流腔容纳更多的多余金属的可能性。

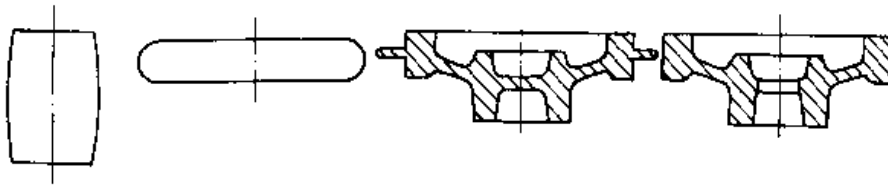


图 25.4-27 齿轮可分凹模闭式模锻工艺过程

当选择分模面在轮缘外径上 ($R = 57 \text{ mm}$), 且坯料重量比公称重量大 10% 时, 尽管模膛周围设有缝式分流腔, 锻件上仍有高为 0.5~5 mm 的端部飞边, 且锻件高度也增加了 1~1.2 mm。当分流腔高度从 2 mm 增加到 2.5 mm 时, 可得到更精确的锻件, 且没有产生端部飞边。

当分模面从轮缘外径移到内径时 (锻件轮缘内半径 $R_1 = 50 \text{ mm}$, 凸缘高 $H_2 = 4 \text{ mm}$), 虽然在凸模与上半凹模间存在 0.5~0.6 mm 的径向间隙, 但在整个锻件上无端部飞边, 甚至当用体积最大的坯料 (1.3 kg)、毛坯温度在 800~1150°C 的范围内变化, 也没有出现端部飞边。其模锻工艺过程如图 25.4-27 所示。

批量生产的实践表明: 对于具有薄而高的轮缘的齿轮锻件, 采用可分凹模闭式模锻, 将凸模与可分凹模的分模面选择在轮缘的内侧, 模锻时, 变形金属内所产生的应力—应变状态能促使模膛完全充满, 且多余金属流入分流腔而不至流入凸凹模间隙。

(3) 带楔块式压紧装置的水平可分凹模模具

图 25.4-28 所示是 25 000 kN 热模锻压力机上闭式模锻齿轮用的带有楔块式压紧装置的水平分模。

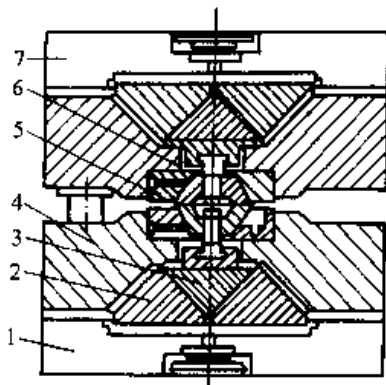


图 25.4-28 带楔块式压紧装置的水平分模
1、7—下、上模座 2—菱形块 3—中心菱形块
4—可移动板 5—模具镶块 6—凸模
当滑块向下移动时, 上、下模具镶块 5 闭合

并形成闭式模膛, 但装有镶块 5 的可移动板 4 相对于上、下模座 1、7 还继续移动, 并压向可移动的菱形块 2, 使它们相互靠近。可移动的菱形块 2 沿着可移动板 4 的斜面移动, 促使与凸模联结的中心菱形块 3 产生移动。伸入毛坯的凸模 6 将在毛坯上成形冲孔用的连皮, 而使挤出的金属充填模具。由模具结构的传力图分析可知, 随着模锻力的增加, 上下模具镶块的压紧力也随之增大。

(4) 带刚性夹紧装置的水平可分凹模模具

图 25.4-29 所示为模锻 EQ-140 型载重车十字轴的专用模具装置。它被安装在 25 000 kN 热模锻压力机上使用。

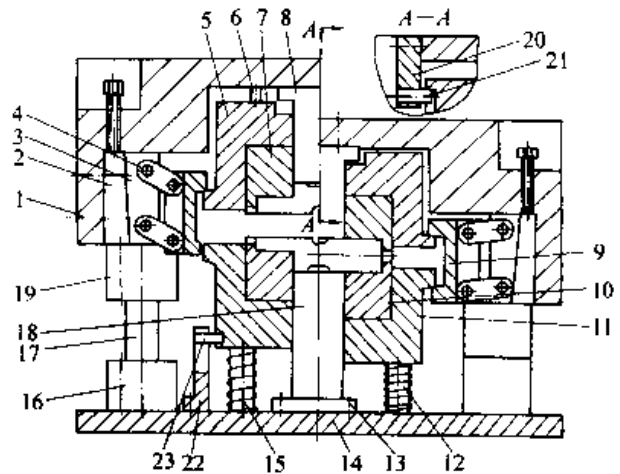


图 25.4-29 带刚性夹紧装置的可分凹模结构
1、14—上、下模板 2—调节板 3—连接板
4—杠杆 5、11—上、下夹持器 6—副导柱
7、10—上、下半凹模 8、18—上、下冲头
9—括弧楔 12—弹簧导柱 13—螺钉 15—弹簧
16—导柱座 17—导柱 19—导套 20—销座
21—销 22—支座 23—限位销

上半凹模 7 固定在夹持器 5 内, 当上模板与压力机滑块一起处于上限位置时, 上夹持器 5 悬挂固定于上模板 1 上的销子 21 上, 冲头 8 固定在上模板 1 上, 当上半凹模 7 与冲头 8 发生相对运动时, 依靠副导柱 6 导向。下半凹模 10 固定在下夹持器 11 中, 下夹持器通过弹簧 15 支承在

下模板 14 上, 冲头 18 固定在下模板 14 上, 下半凹模 10 同冲头 18 发生相对运动时, 也是依靠副导柱导向, 而下半凹模的上限位置由固定于下模板 14 上的限位器决定。括弧楔 9 通过杠杆 4 与连接板 3 相连, 调节板 2 通过螺钉固定在上模板上, 通过螺栓调节调节板 2 的上下位置, 可以调节括弧楔在水平方向上的前后位置。当上模随滑块处于上限位置时, 括弧楔的上端支承在上夹持器 5 的法兰边缘上。此时, 上、下凹模间有足够大的空间位置。

工作时, 将加热好的坯料垂直插入下半凹模的工作筒而落在冲头 18 的顶端上。当压力机滑块向下运动时, 上半凹模 7 与下半凹模 10 相碰而暂时停止下移, 括弧楔 9 上端挂在上夹持器 5 的法兰边缘上而暂时停止下移。但滑块仍在向下运动, 在滑块下移的过程中, 括弧楔沿水平方向向前移动而夹紧两半凹模。此后, 已闭合的两半凹模与上模板一起下行而压缩弹簧 15, 与此同时, 上、下冲头挤压坯料, 使坯料金属向四个侧腔流动。由于变形金属产生的张模力而使两半凹模被括弧楔夹持得更紧。当滑块下行到下限位置时, 变形金属充满模腔, 多余金属从四端余料孔中排出。模锻结束后, 滑块回程, 在回程过程中, 首先两半凹模一起上行, 然后, 括弧楔与下半凹模脱开, 继而上半凹模离开下半凹模并通过销子 21 悬挂在上模板上而一起上升, 回到初始位置。

设计要点: 这种模具装置结构复杂, 设计时必须使夹紧机构的水平运动与上、下凹模的垂直合拢与张开运动协调一致。为此, 须作两个方向的运动分析, 以求出其相互关系。

夹紧机构同凹模的相互运动关系如图 25.4-30 所示。 α 为水平方向, 当括弧楔完全夹紧两半凹模时连杆 oa 与水平方向即 αx 的夹角为 α ; 连杆长度为 L ; H 为上半凹模处于初始位置至与下半凹模夹紧时所移动的垂直距离; s 为与 H 对应的水平距离, 即从两半凹模开始接触至完全被夹紧时括弧楔在水平方向移动的距离, 则两个方向的运动关系为

$$H + h = L \sin \beta = L \sqrt{1 - \left(\frac{L-s}{L}\right)^2}$$

经变化后, 得

$$H = L \left(\sqrt{1 - \left(1 - \frac{s}{L}\right)^2} - \tan \alpha \right)$$

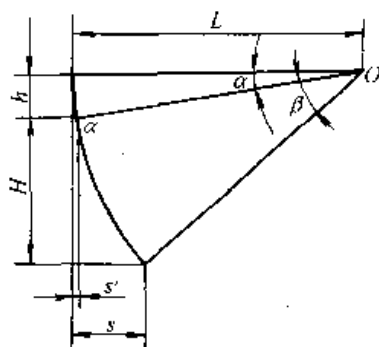


图 25.4-30 运动分析示意图

这种可分凹模还可以模锻其他类型的十字轴、十字轴-差速器、齿轮等锻件。

(5) 利用斜面自锁夹紧的垂直可分凹模模具

1) 具有侧面顶出机构的垂直可分凹模

① 模具结构 在 15 000 kN 热模锻压力机上使用带有左、右两个侧面顶出机构的垂直可分凹模模具, 其结构如图 25.4-31 所示。冲头 1 用压圈 3 和螺钉 20 固定模板 2 上。工作镶块 5 和 13 装在由两半凹模 10 和 12 构成的可分凹模上并用螺钉 4 固定。将安装凹模用的斜角为 7° 的支柱 8 和 11 安装在模板 9 上并用螺钉 7 固定, 然后用螺栓 21 拉紧, 并通过间隔衬套 22、螺母 24 的锁紧螺母 25 固紧。两半凹模的升降是通过装在模体内的气动装置来实现的, 气动装置由进气管接头 6、带连杆 14 的活塞、直接制于支柱中的动作筒和密封盖 15 组成。用以螺栓固定在两半凹模上的支臂 16 和螺母 18 紧固在活塞连杆上的杆臂 17 把两半凹模与气动装置的活塞连杆连接起来。两半凹模的闭合与张开依靠导向板 23 导向。

工作前把冲头和凹模加热到 200°C 左右, 每一挤锻工序前都要给凹模模腔涂上一层用 70% 机油和 30% 石墨制成的润滑剂。所有模具零件除镶块和冲头外都是通用的, 即可用来挤压模锻各种尺寸的弯曲锻件。镶块材料使用 3X2B8Φ 和 4X5B2ΦC 模具钢, 其热处理硬度为 48~52HRC, 在挤锻时具有足够高的耐磨性。冲头用 X12Φ 或 X12MΦ 钢制造, 其热处理硬度为 55~60HRC。冲头和凹模的工作表面加工到粗糙度 $R_a = 1.25 \sim 0.16 \mu\text{m}$ 。两半凹模的分模面需要磨光。

② 弯曲杆件侧挤模锻工艺 对于图 25.4-32 所示粗头弯轴的杆类锻件, 其侧向挤压模锻的实质在于从变形区流出的金属不是流向自由空间,

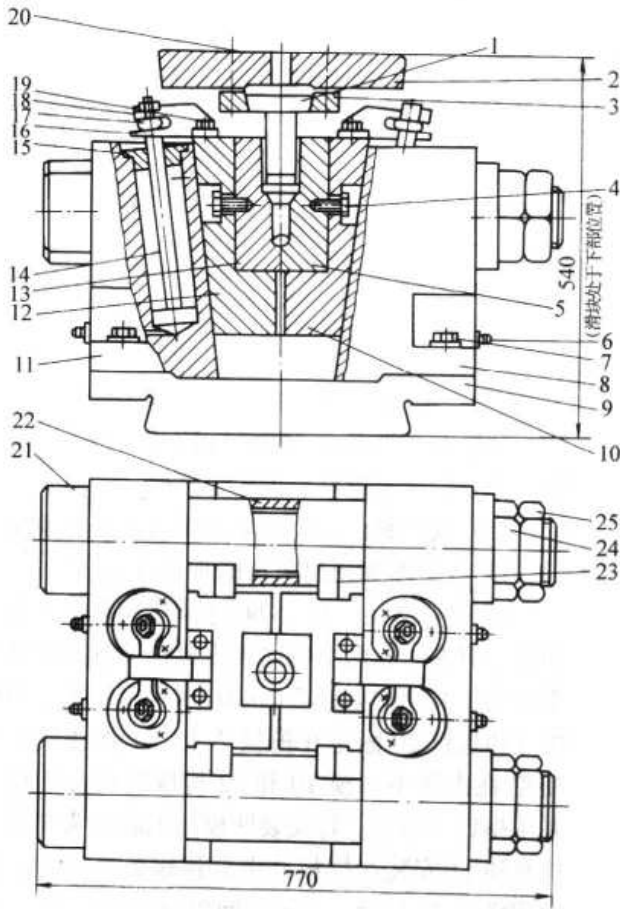


图 25.4-31 带侧面顶出装置的垂直可分凹模

而是流向末端开口的侧向模腔内，侧向模腔与垂直模腔的夹角为 α 。 α 角根据锻件的形状，可由 0° 变到 90° 。侧向挤压模锻的特点是从挤料筒内挤出来的金属在整个挤压过程中始终与模腔的表面接触。

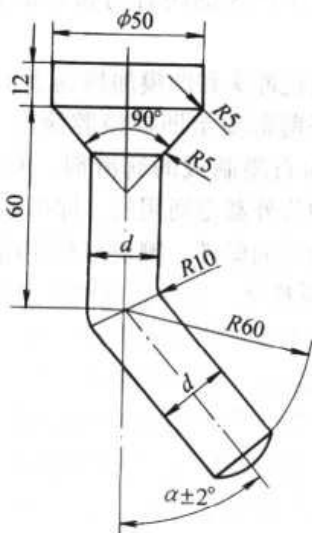


图 25.4-32 弯杆形喷嘴锻件

用 12X18H10T、12X25H16I7AP 钢和 15X28 热强合金挤压模锻成夹角 $\alpha = 0^\circ$ ； 20° ； 40° 和 60° 的弯曲锻件，所用的变形程度 ϵ 为 59.77% 和 90%，相应的挤压比为 2.44、4.35 和 9.76。在挤压模锻的试验中采用 $\alpha = 0^\circ$ （正挤压），是为了找到同样变形条件下的正向挤压模锻和侧向挤压模锻间的差别，并对这两种挤压模锻方法所得的数据进行比较。实验中挤锻了 12 种杆径 $d = 32$ 、24 和 16 mm 的典型锻件，并对它们进行了研究。

将圆形轧材经车削至直径为 50~55 mm 的原始毛坯。侧挤锻的试验程序如下：将喷砂处理过的并涂有玻璃润滑剂悬浮液的坯料放在硅碳棒加热的箱式炉内加热到以下温度：12X18H10T 和 12X25H16I7AP 号钢为 $1150 \pm 10^\circ\text{C}$ ；15X28 合金为 $1120 \pm 10^\circ\text{C}$ ；12X18H10T 和 12X25H16I7AP 钢坯料的挤压模锻温度为 $1150 \sim 900^\circ\text{C}$ ，而 15X28 合金则为 $1120 \sim 980^\circ\text{C}$ 。

图 25.4-33 所示为变形程度 $\epsilon = 90\%$ ，侧挤斜角 $\alpha = 20^\circ$ 、 40° 和 60° 的锻件。

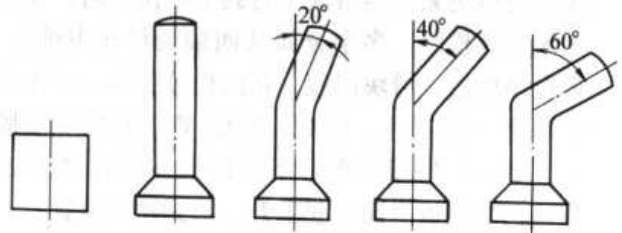


图 25.4-33 可分凹模侧向挤压锻件

③与开式模锻工艺对比 采用垂直可分凹模挤锻弯曲锻件，可以减少加热和模锻工步数，并能降低金属的损耗和获得机械性能高的精密锻件。原来采用开式模锻生产弯杆型喷嘴锻件需要 11 道工序，其中包括三道加热工序和 5 道在不同设备上的变形工序（预锻、弯曲、模锻、切边和精整）以及几何尺寸和表面缺陷的检验、表面清理和热处理。为此需要预锻、弯曲、锻造和切边用的四套模具。采用可分凹模模锻后，只需一套模具和一次加热即可完成，提高材料利用率 15%~20%。

2) 具有下顶出机构的垂直可分凹模 在 15 000 kN 热模锻压力机上挤压模锻具有双侧枝耐热钢扩散器锻件及所用的垂直可分凹模模具结构，如图 25.4-34 所示。

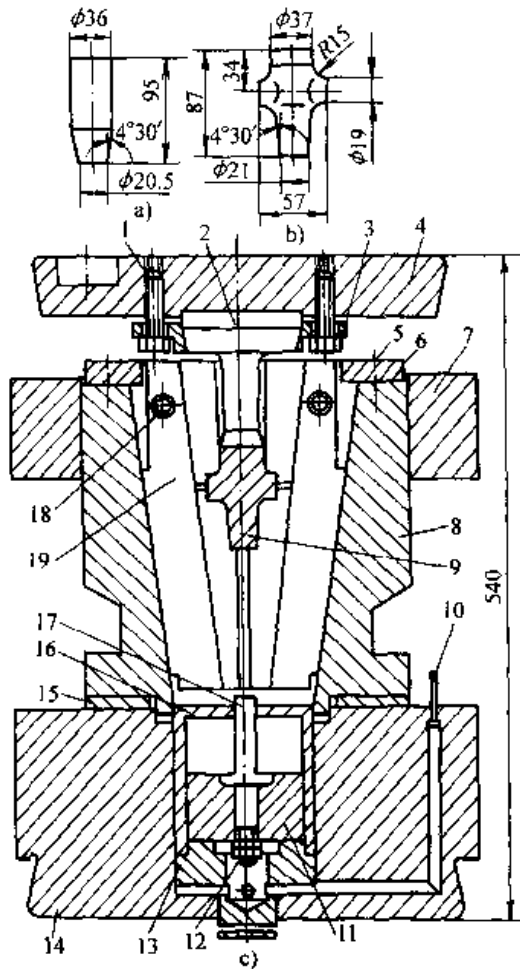


图 25.4-34 坯料、扩散器锻件及挤锻用的模具
a) 坯料 b) 锻件 c) 模具

冲头 2 用压圈 3 和螺栓 1 固定在上模板 4 上。模套 8 装在下模板 14 上的钢垫 15 上。模套上的卡环 7 用于产生预压压力以增强其刚性。在斜面为 5° 的模套内锥面上装有两半凹模 19，其升降靠装在轴承板上通过压缩空气筒 16 来实现。连杆 17 的往复直线运动就保证了两半凹模的上升和下降。上升时两半凹模被螺钉 5 固定。模套上的滑板 6 分开，这些滑板还可限制两半凹模的上升。当两半凹模下降和合拢时，装在一个半凹模上的专用定位销 18 就进入另一个半凹模的定位孔中，以防止两半凹模沿分模面产生错移。压缩空气筒的活塞 11 用螺母 12 固定在连杆上，通过气嘴 10 将 50 N/cm² 的压缩空气送入带有盖板 13 的筒 16 内使活塞运动。当两半凹模分开时，就可把锻件 9 从模腔内自由取出。

利用这种垂直可分凹模可将图 25.4-34a 所示棒料毛坯，一次挤压模锻成图 25.4-34b 所示的具有双侧枝的接头或阀体锻件。

图 25.4-31 和 25.4-34c 两套可分凹模，对于适合于垂直挤压模锻成形的锻件具有一定的通用性。

3) 圆锥自锁式垂直可分凹模

① 模具结构 图 25.4-35c 所示模具由冲头 10 和两半凹模 11 构成，冲头用楔铁 22 固定在上冲头座 9 上，两半凹模装在模套 12 内。模套内装有垫板 13 和两个双脚塞（图中未表示出来），垫板中的沟槽供顶起两个半凹模 11 用的顶杆 14 使用。当两个半凹模 11 上升时，依靠双脚塞使它们分开。冲头座 9 和模套 12 用楔铁 7 和 15 及键销分别固定在上模板 2 和下模板 23 上，上模板 2、下模板 23 用楔铁 8 和 19 分别固定在滑块 1 和工作台 16 上。顶杆 4 和处在导筒 3、6 和 17、21 中移动，顶出锻件后在弹簧 5 和 18 的作用下它们又返回到原位。上顶杆零件 4、导筒 3 和 6 以及弹簧 5 在模锻时使用。

② 带法兰筒形件垂直挤压模锻工艺 图 25.4-35a、b 分别为不锈钢壳体毛坯和锻件。模锻时所使用的设备为 25 000 kN 热模锻压力机。将原毛坯置于感应加热炉中加热到 $1\ 160 \pm 10^\circ\text{C}$ ；模锻前将冲头和凹模预热到 $100 \sim 200^\circ\text{C}$ ；在模锻过程中用由 70% 石墨和 30% 机油配制成的润滑剂进行润滑。模锻时只需压力机一次行程便可将原始毛坯挤压成所需锻件，坯料上多余金属由冲头与凹模壁间的间隙（轴向开式分流器）中挤出。

使用新的垂直可分凹模模具可以获得极限偏差为 $\pm 0.03\ \text{mm}$ 、机械加工余量很小的高质量精密模锻件，锻件的宏观组织致密，流线分布与锻件形状一致。模具的修理是沿分模面磨掉一层金属并用铣削或电化学方法修复模腔。凹模经修理后为保持模具的闭合高度，在往压力机上安装凹模时，必须在冲头底下垫上定尺寸的垫片。凹模经过两次修改后所用垫片厚度应不大于 10 mm。

图 25.4-36 所示为具有空腔、凸边、局部加粗和外形凹陷等复杂形状的轴对称锻件。根据其形状特点，采用图 25.4-35 所示垂直可分凹模模锻工艺比较合适。

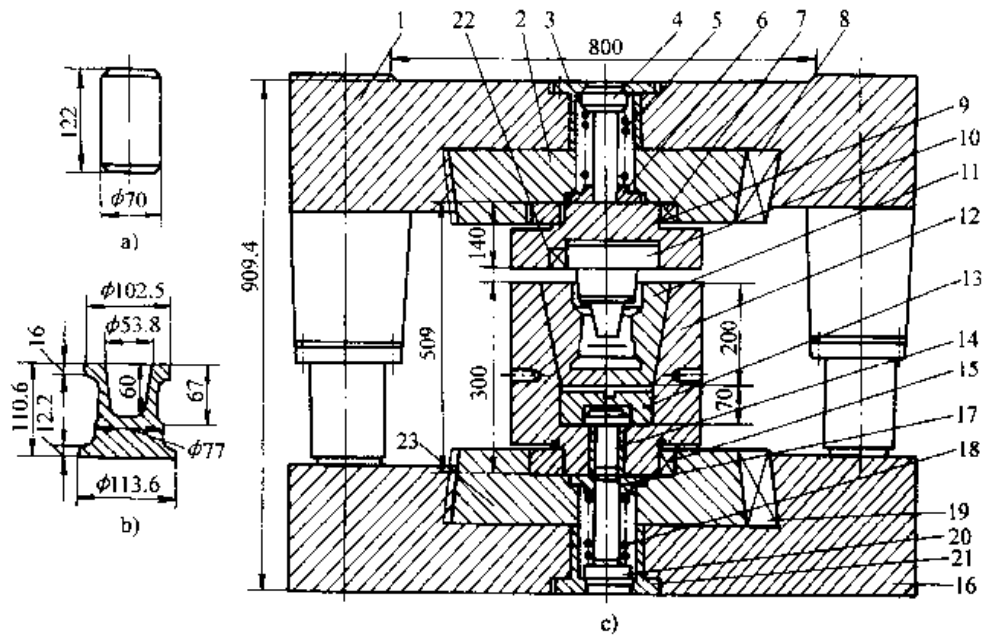


图 25.4-35 圆锥自锁式垂直可分凹模

a) 毛坯 b) 锻件 c) 模具

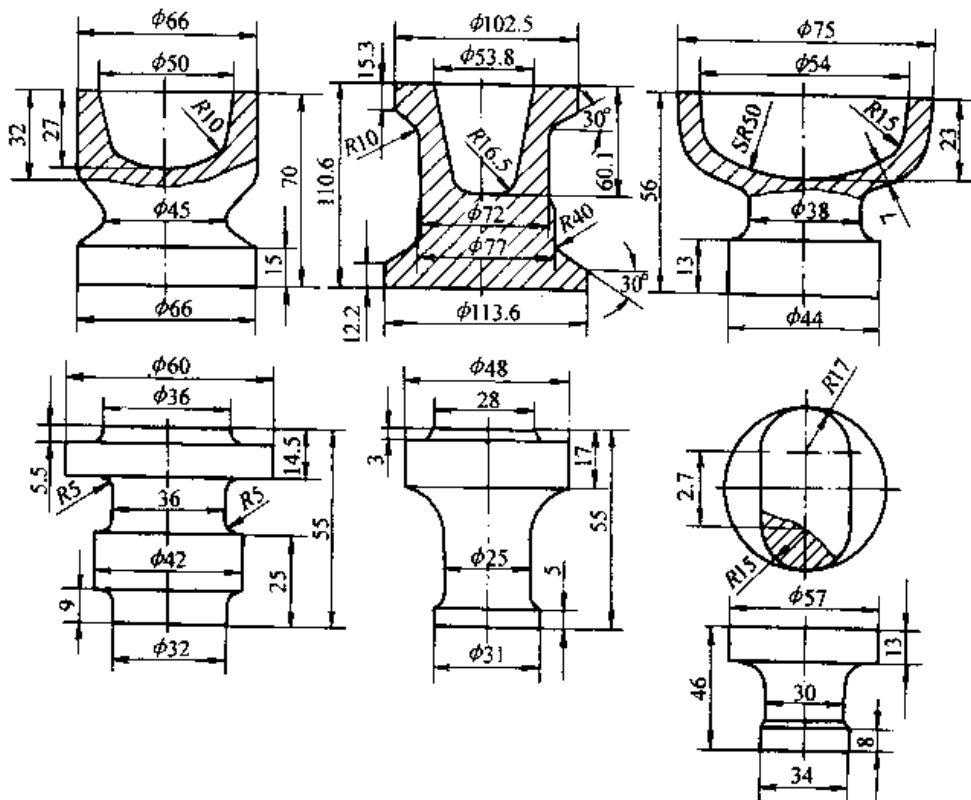


图 25.4-36 形状复杂的轴对称锻件

3.2 曲柄压力机用可分凹模模具设计及实例

重量在 0.5 kg 以下，尤其是在 0.2~0.4 kg

的三通、四通、十字轴、弯头、粗头弯杆件、阀体和多通接头等枝芽类锻件，如图 25.4-37 所示，比较适合于在中小吨位机械压力机（曲柄压力机）上采用可分凹模模锻生产。

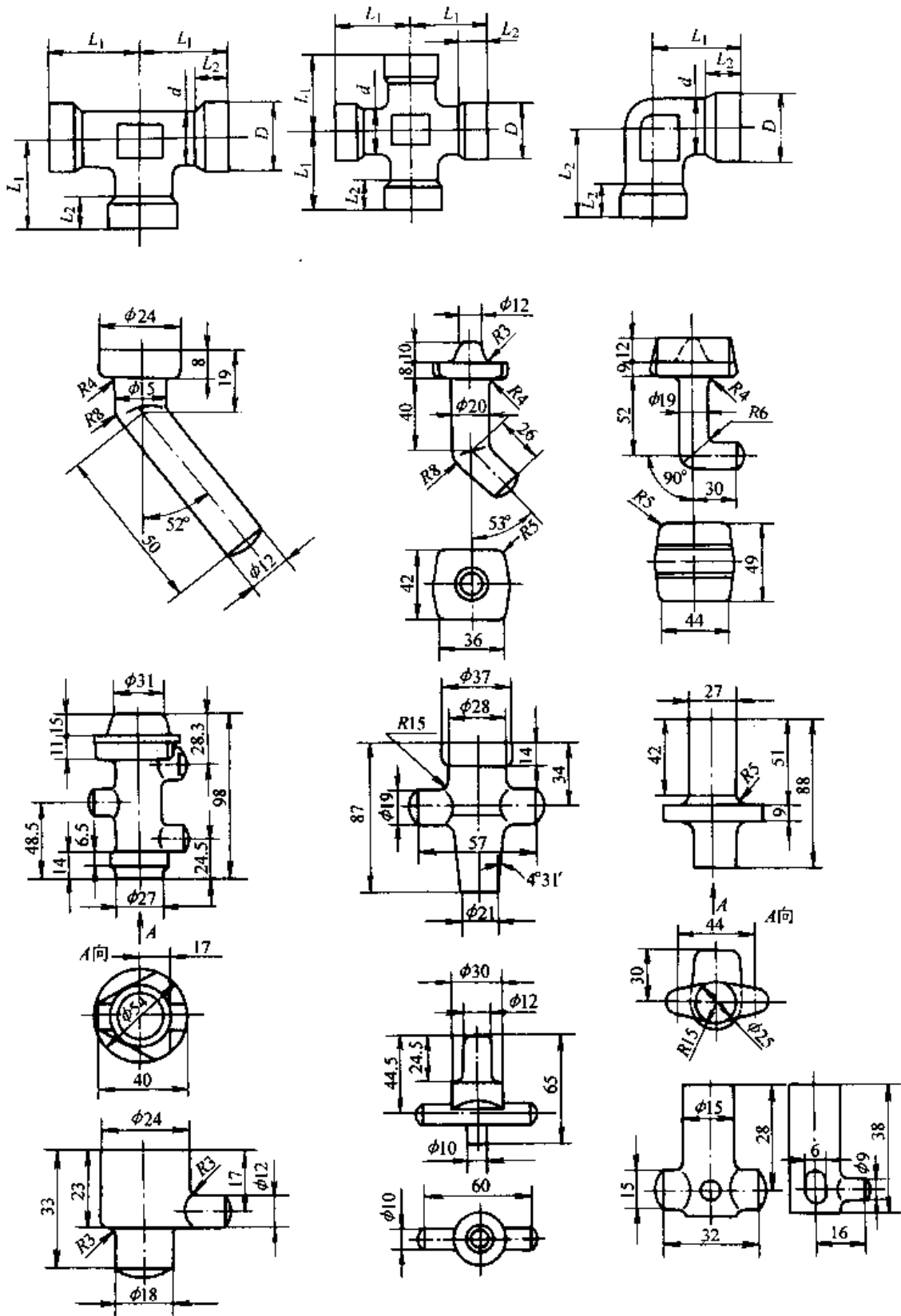


图 25.4-37 一些典型的枝芽类锻件

(1) 弹簧合模的水平可分凹模模具

由上、中、下三部分组成。中间板 1 上固定有上半凹模 3，下半凹模 4 固定在下模板 2 上，冲头

图 25.4-38 所示的弹簧合模的水平可分凹模

由上、中、下三部分组成。中间板 1 上固定有上半凹模 3，下半凹模 4 固定在下模板 2 上，冲头

7 固定在上模板 6 上。中间板 1 经拉杆 18 与上模板 6 相连。螺钉 16 穿过弹簧 15 与托板 12 相连，托板 12 通过四根小圆柱支承在压缩气（油）缸活塞上。下模板 2 安装在曲柄压力机的工作台上，而上模板固定在压力机的滑块上。中间板与上模板通过导柱 17 导向。弹簧 15 起缓冲作用。

模锻时，加热好的棒料毛坯从中间板的中心孔中垂直立于下半凹模的模膛中。当压力机滑块下行时，上模板首先通过弹簧 8、9 将中间板压紧在下模板 2 上，使两半凹模闭合。随着滑块继续下行，冲头挤压毛坯，随着变形阻力的增大，合模力也愈来愈大，直至变形结束。当滑块回程

时，随之通过拉杆带动中间板使上半凹模与下半凹模脱开，同时由于弹簧 8、9 的伸张作用使冲头与上半凹模脱开。由顶出杆从下半凹模中顶出锻件。

十字轴模腔四个端部开有余料分流孔，当坯料为正偏差时，变形金属充满模膛后，多余金属从分流孔中挤出。

这种结构的模具，其合模力来自圆柱形弹簧和碟形弹簧的压缩作用，由于受结构空间的限制，所能安置弹簧的数量及大小有限，一般只限于 500~600 kN 的合模力。故只适宜于模锻小型十字轴。

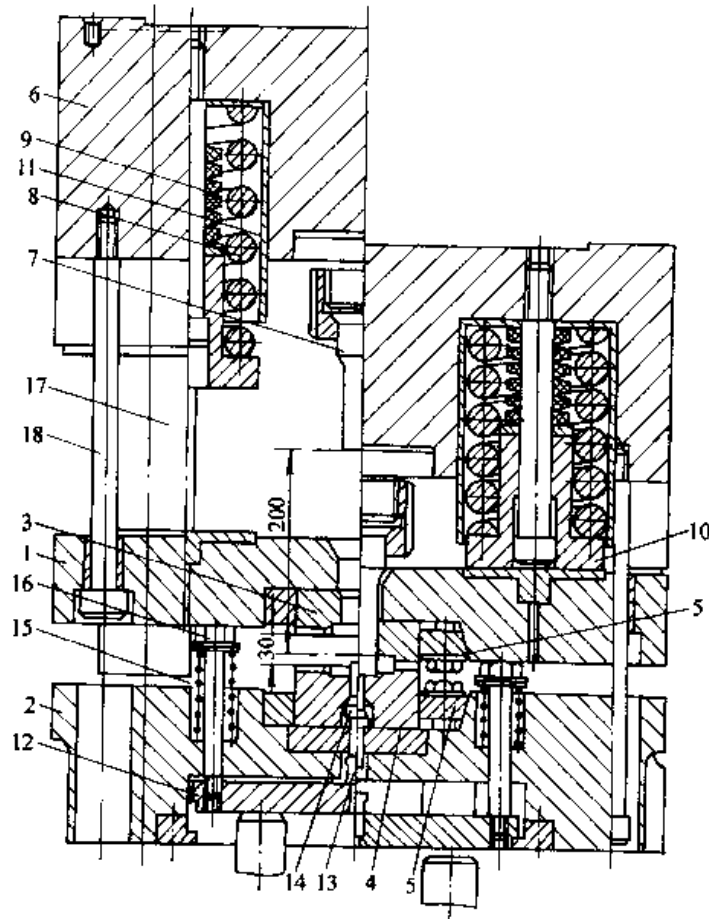


图 25.4-38 弹簧合模结构

- 1—中间板 2、6—上、下模板 3、4—上、下半凹模 5—凹模固定圈
 7—冲头 8、15—弹簧 9—碟形弹簧 10—弹簧垫 11—套筒 12—托板
 13—支座 14—顶杆 16—螺栓 17—导柱 18—拉杆

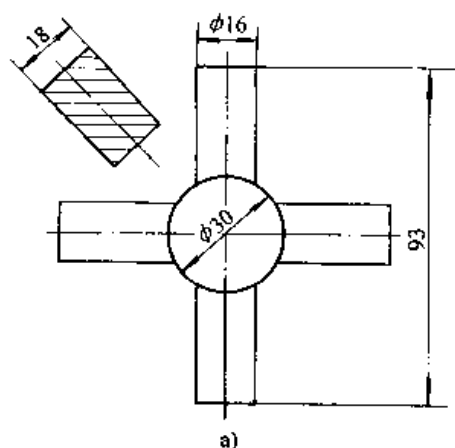
(2) 液压浮动式水平可分凹模模具

图 25.4-39b 所示为在曲柄压力机上挤压模锻十字轴的分开凹模模具。上凹模 2 有四个半圆形模膛 3 的侧孔，其直径和长度与热锻件的枝芽

直径和长度相同。上凹模 2 固定在上模板 1 上，上模板 1 固定在压力机滑块上。下凹模 4 上具有与上凹模相同的枝芽模膛，但侧孔长度比上凹模的侧孔长 17 mm。下凹模 4 固定在活动模板 5

上，活动模板 5 由压力机的气垫或油缸支承。冲头 7 固定在下模板 8 上，下模板 8 固定在压力机工作台上。

当压力机滑块处在上死点时，上、下凹模分开，而活动板和下凹模处于上升最高位置。此时，把加热好的坯料直立于下凹模的孔中而支承在固定冲头端面上。当压力机滑块向下运动时，上下凹模闭合形成完整的模膛。随着闭合凹模的下行，冲头 7 挤压坯料而获得十字轴锻件。



对于图 25.4-39a 所示十字轴锻件（材料为 20Cr 钢），采用挤压模锻工艺，坯料尺寸为 $\phi 28 \text{ mm} \times 65 \text{ mm}$ ，在清理滚筒中清除氧化皮后，经感应加热至始锻温度，然后经压力机一次行程便可得到十字轴锻件。

这种可分凹模模具结构简单，但要求设备上具有气垫或液压缸。但由设备所带的气垫力量小，不能产生较大的合模力。要产生大的合模力，必须附设吨位较大的液压缸。

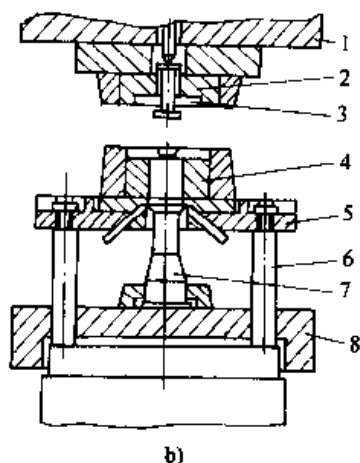


图 25.4-39 液（气）压浮动式水平可分凹模

a) 锻件 b) 模具

1—上模板 2—上凹模 3—半圆形模膛 4—下凹模 5—活动模板 6—托杆 7—冲头 8—下模板

(3) 楔块式水平可分凹模模具

1) 模具的结构及工作原理 图 25.4-40 所示为这种模具结构及工作原理图。下半凹模 15 通过固定垫铁 12 固定在下模板 1 上。冲头 14 通过燕尾槽或 T 型槽固定在侧滑块 13 上，而侧滑块 13 可在下模板的导向槽中作水平滑动。上半凹模 9 通过固定垫板 8 固定在塔形块 7 的底面上。塔形块 7 通过拉杆 5 与上模板 2 相连且能相对于拉杆 5 滑动。楔形块 10 安装在圆筒形动圈 3 上，动圈 3 通过拉杆 6 和小圆柱 4 与上模板 2 相连。动圈 3 与上模板 2 间的相对运动通过套在拉杆 6 上的弹簧的伸缩来实现，且由小圆柱 4 导向。中间楔形块 11 通过燕尾与上模板 2 相连。

模锻时，上模板 2 与压力机滑块一起下行，首先，上半凹模 9 与下半凹模 15 闭合，且与模板 2 推动中间楔形块 11 沿模板 2 的导向槽在向外滑动的同时还与模板 2 一起向下移动，两个中间楔形块 11 推动对应的楔形块 10 与动圈 3 一起下行，随着压力机滑块继续下行，动圈 3 下部的

斜面与侧滑块 13 的相应斜面接触，由其水平分力推动侧滑块 13 作向心运动，两个冲头 14 同时挤压坯料，成形锻件。压力机滑块回程时，上模板 2 与中间楔形块 11 同时上升，通过拉杆 5 和 6 使上半凹模 9 和动圈 3 随之上升，冲头随侧滑块 13 复位，顶杆从下半凹模中顶出锻件。

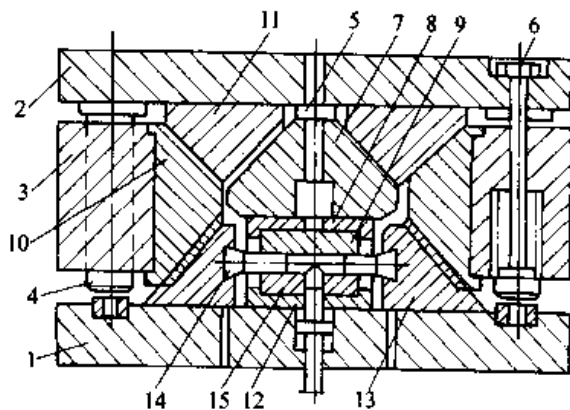


图 25.4-40 楔块式水平可分凹模

这种模具安装在机械压力机上使用，适合于模锻 T 形接头。

2) 楔形块工作机构的运动学分析 图 25.4-41 为工作机构的运动学分析。设压力机滑块下行速度为 v_0 ，因上模板与滑块固定在一起，故其下行速度也为 v_0 。又因楔形块与上模板是用燕尾导轨连接的，故楔形块下行速度为 $v'_1 = v_0$ ，由图 25.4-41 可得出，楔形块由中心向外移动的速度为 $v'_1 = v'_1 / \tan\beta = v_0 / \tan\beta$ 。

由图 25.4-41 可看出，从上、下两半凹模闭合至模锻结束的过程中，动圈除了与上模板一起下行高度 H 之外，还由楔形块自上模板向下推动了高度为 H 的距离，所以，动圈实际下行了 $2H$ 的距离，则动圈的速度为 $v_2 = v_0 + v'_1 = 2v_0$ 。

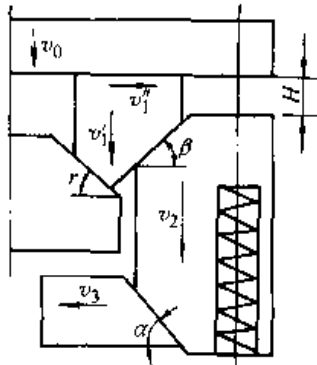


图 25.4-41 工作机构运动学分析

于是，侧滑块和冲头的水平移动速度为

$$v_3 = v_2 / \tan\alpha = 2v_0 / \tan\alpha$$

若取 $\alpha = 45^\circ$ ，则 $v_3 = 2v_0$ 。

由上述分析可知，这种楔形工作机构在转换运动方向的同时还能增速，其增速的大小取决于角度 β 和 α 的大小。对于模锻 T 型接头，其变形是双冲头对向挤压，坯料中部的金属变形速度是冲头移动速度 v_3 的 2 倍，是压力机滑块速度的 4 倍（当 $\alpha = \beta = \gamma = 45^\circ$ ）。这种增速作用对管接头这类体积小、重量轻的小型锻件的模锻成形是十分有利的。

3) 凹模夹紧力与冲头成形力的关系及各接触面上的压力计算 可分凹模模锻时，模具的受力分析如图 25.4-42 所示。设冲头挤压毛坯时，毛坯金属的变形抗力为 F_e ， F_e 可由工程塑性法或经验公式计算出来；两半凹模的压紧力为 F_k ；下模板 O 同侧滑块 I、侧滑块 I 同动圈 II、动圈 II 同中间楔形块 III、中间楔形块 III 同塔形块 IV 和上模板 V 接触面上所对应的摩擦因数分别为

ϕ_{01} 、 ϕ_{12} 、 ϕ_{23} 、 ϕ_{34} 和 ϕ_{35} ，由力的平衡条件可导出：

$$F_k = F_e \frac{2 \cos\phi_{01} \cos(\alpha - \phi_{01} - \phi_{12}) \sin(\beta + \phi_{23} + \phi_{35}) \cos(\gamma - \phi_{34})}{\sin(\alpha - \phi_{01} - \phi_{12}) \cos(\beta + \phi_{23}) \sin(\gamma - \phi_{34} - \phi_{35})} \quad (25.4-10)$$

$$F_{12} = F_e \frac{\cos\phi_{01}}{\sin(\alpha - \phi_{01} - \phi_{12})} \quad (25.4-11)$$

$$F_{23} = F_e \frac{\cos\phi_{01} \cos(\alpha - \phi_{01} - \phi_{12})}{\cos(\beta + \phi_{23}) \sin(\alpha - \phi_{01} - \phi_{12})} \quad (25.4-12)$$

$$F_{34} = F_e \frac{\cos\phi_{01} \cos(\alpha - \phi_{01} - \phi_{12}) \sin(\beta + \phi_{23} + \phi_{35})}{\sin(\gamma - \phi_{34} - \phi_{35}) \cos(\beta + \phi_{23}) \sin(\alpha - \phi_{01} - \phi_{12})} \quad (25.4-13)$$

$$F_{35} = F_k / 2 \quad (25.4-14)$$

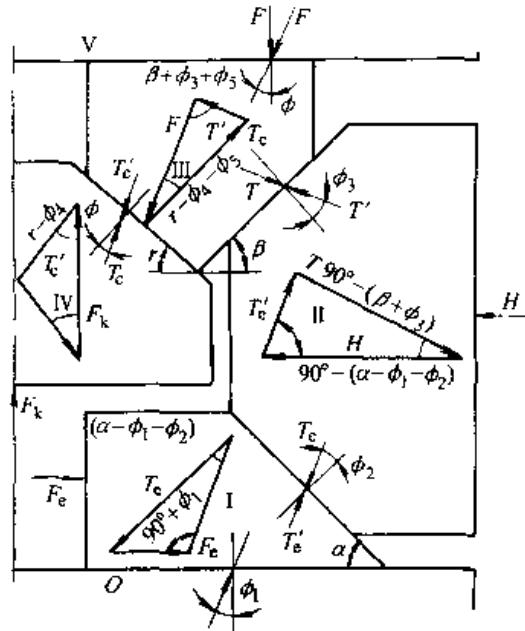


图 25.4-42 模具受力分析

式 (25.4-10) ~ (25.4-14) 为各相应接触面上所承受的压力，根据此压力及相应零件材料的许用应力可计算各接触面积的大小，以此作为设计依据。

设式 (25.4-10) 右边分式 = m ，则式 (25.4-10) 变为

$$F_k = mF_e \quad (25.4-15)$$

式 (25.4-15) 即为凹模夹紧力同冲头挤压成形力间的关系式。当取 $\alpha = \beta = \gamma = 45^\circ$ 时，若 $\phi_{01} = \phi_{12} = \phi_{23} = \phi_{34} = \phi_{35} = 0$ ，即假设所有接触面上的摩擦因数为零，可得 $m = 2$ ， $F_k = 2F_e$ ；若接触面上的摩擦因数均取 0.05，则可得 $m = 2.7$ ， F_k

$=2.7F_0$ 。考虑到摩擦因数的影响,当改变 α 、 β 、 γ 时,可使 m 值在 0.9~5.7 间变化。

所推导的关系式表明,楔块式工作机构可以使坯料金属的变形抗力自动反馈到上半凹模上,使上半凹模对下半凹模的闭合力即两半凹模对坯料金属的夹紧力扩大 m 倍,也就是说,在整个模锻过程中,凹模夹紧力一直比冲头挤压力大 m 倍而随之变化。

如何确定最佳比值 m ,实际上是如何选择斜角 α 、 β 和 γ 。多向模锻的一个显著特点就是不让坯料金属流入分模面形成飞边,这只要保证凹模夹紧力大于或等于由于侧向挤压造成的张模力即可实现。

对于闭式模锻,可假设坯料金属对上、下凹模模膛和冲头头部的单位作用力相等,故凹模夹紧力与张模力间的关系可以转化为锻件分模面的水平投影面积 A_L 同各端部垂直侧面与冲头接触

面积 A_H 的比例关系,即

$$m \geq A_L/A_H \quad (25.4-16)$$

对于任何一种管接头锻件,其水平投影面积同各端垂直侧面面积之和的比值总是可以确定的,即 m 值可以求出。

忽略各相对滑动面上的摩擦影响,取 $\beta = 45^\circ$, 得

$$m = 2\cot\alpha\cot\gamma$$

该式与式 (25.4-16) 联立,解得

$$\cot\alpha\cot\gamma = A_L/A_H \quad (25.4-17)$$

由式 (25.4-17),并考虑冲头工作行程的大小,可选择出合理的 α 、 γ 角。

(4) 多用途楔块式水平可分凹模模具

1) 结构与性能特点 图 25.4-43 所示多用途楔块式水平可分凹模模具,与图 25.4-40 楔块式水平可分凹模模具的结构与工作原理基本相同,但与其相比,具有如下特点:

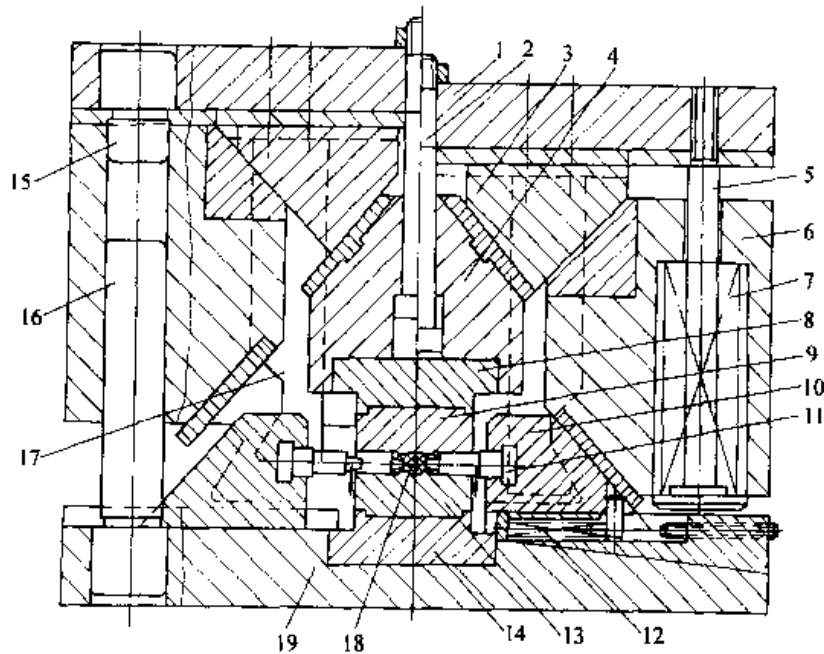


图 25.4-43 多用途楔块式水平可分凹模模具装置

- 1—上底板 2—螺杆 3—楔块 4—塔形块 5—螺栓 6—动圈 7—弹簧
8—上凹模座 9—上半凹模 10—侧滑块 11—冲头 12—弹簧 13—下半凹模
14—下凹模座 15—导柱 16—导柱 17—刚性退出器 18—工件 19—下底板

① 具有四组楔块式工作机构,当对称的两组工作时可以模锻变径三通,当任意三组工作时(图 25.4-44)可以模锻三通,当四组全工作时可以模锻四通或小型十字轴锻件。工艺用途比较多。而图 25.4-40 模具仅有对称的两组楔块式工

作机构,只能模锻变径三通和等径 T 形接头。

② 对于四个水平侧滑块 10,设置有四对刚性退出机构 17,当水平侧滑块与冲头挤压模锻完成后,刚性退出机构 17 随上底板 1 回程时,利用下部斜面(虚线)的水平分力将侧滑块反向

推移, 带动冲头 11 从锻件的孔中退出。由此说明, 该模具可以模锻带有较深不通孔的管接头锻件, 而图 25.4.40 模具不能挤孔。

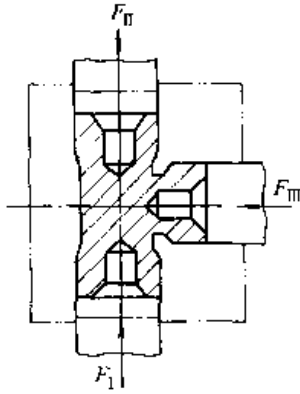


图 25.4.44 三通管接头多向挤压模锻示意图

③ 该模具具有四组导柱导套, 每根导柱分为上段 15 和下段 16, 两段同时对动圈 6 上的导套孔导向, 因此, 该模具上、中、下三部分的导向准确, 可分凹模的合模精度高。而图 25.4.40 模具, 仅上底板上的导柱对动圈导向, 因此, 可分凹模的合模精度完全靠人工调整, 且受设备导向精度的影响。

④ 该模具装置的四组楔块工作机构在多向挤压模锻时, 由厚壁圆筒形动圈 6 构成一封闭的受力系统 (图 25.4.42), 加上四组导向机构, 因此, 在水平方向可承受非对称平衡力, 因而, 就可以在水平分模状态下实现三通管接头的多向挤压模锻。图 25.4.40 模具装置就不可能。

2) 三通管接头多向挤压模锻工艺 对于三通管接头锻件, 当采用开式模锻时, 需要多道制坯工序, 迫使坯料金属流向枝通。当采用多向挤压模锻时 (图 25.4.44), 棒料毛坯首先在冲头 I、II 作用下产生径向挤压, 然后在冲头 III 的作用下实现墩粗和冲孔。三通管接头属于典型的枝芽类锻件, 无论以哪种变形方式来模锻, 其工艺难度都大, 因此, 选择其作为代表, 进一步介绍相应的工艺和模具设计的细节。

① 多向挤压模锻时成形力与合模力的实验数据 将图 25.4.43 可分凹模模具装置安装 4 000 kN 闭式单点压力机上使用, 在试验与生产 Z14 型三通管接头 (图 25.4.45) 时, 采用电测法对成形力和合模力进行了测试, 所记录的力—行程曲线如图 25.4.46 所示。记录的部分数据列于表 25.4-2。

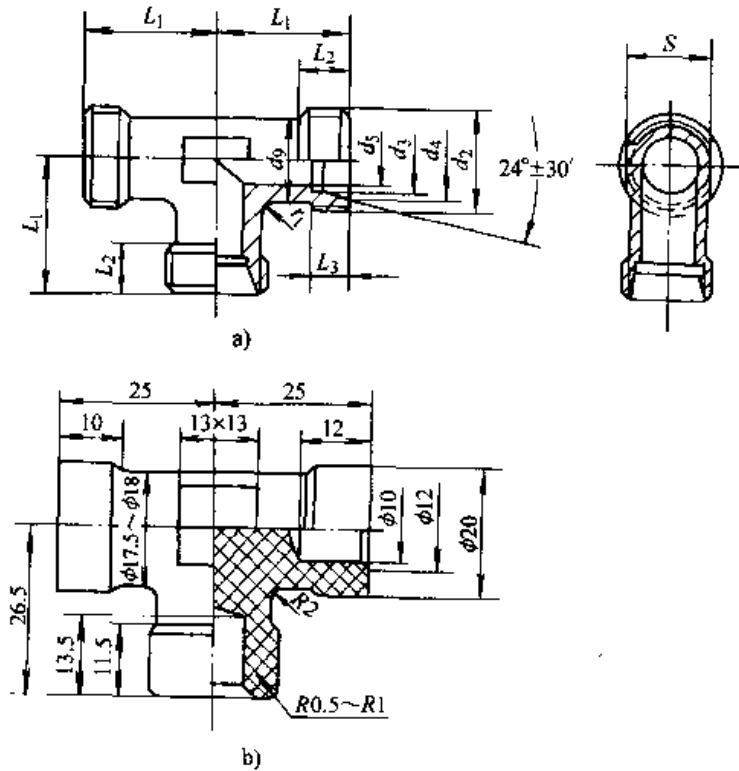


图 25.4.45 三通管接头
a) 零件图 b) 锻件图

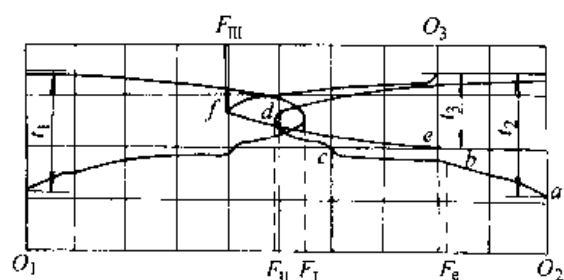


图 25.4-46 Z14 型三通管接头多向挤压模锻力-行程曲线
试样：材料 35[#]，

尺寸 $\phi 17.6 \text{ mm} \times 65 \text{ mm}$ ，加热温度：1 120^oC

表 25.4-2 模锻 Z14 型三通管接头的实验数据

序号	F_{II}/kN	F_{III}/kN	F_I/kN	F_e/kN	$F_e/(F_I + F_{II} + F_{III})$
1	280.3	490	540	2 420	1.84
2	261.3	465.8	486.9	2 220	1.83
3	242.3	390	408.1	2 000	1.92
4	204.3	380	408	1 960	1.98
5	199.5	379.5	379.5	1 840	1.92
6	225	372.6	372.6	1 840	1.90
7	210	362.3	362.3	934.6	2.01
8	210	356	365	930	2.02

注：试验时坯料尺寸为 $\phi 17.6 \text{ mm} \times 65 \text{ mm}$ ；模锻温度（表中自上至下）在 850~1 150^oC。

更可靠的是经实际生产考核，锻件无飞边，工艺稳定，说明装置设计合理，工作可靠。

② 冲头形状和尺寸对金属流动性能的影响

通过试验发现，在三通管接头多向挤压模锻中，冲头工作部分的形状及尺寸对金属流动性能即锻件充满程度有很大影响。如图 25.4-47 所示，当冲头头部作成锥形且尺寸较大时（图 25.4-47a），四方凸台（管钳夹紧面）容易充满，即使毛坯体积不足，也只是旁通长度不够，而锻件轮廓清晰，主通端部不易产生轴向飞边。当冲头头部作成直径较小的圆柱时，只有旁通端部同主通端部墩挤成同样平整时，四方凸台才能充满，这种情况下导致挤压力及凹模夹紧力急剧增加；对于体积为负偏差的毛坯，常常出现方形凸台轮廓不清晰或旁通的内孔、外圆呈椭圆形（图 25.4-47c），甚至孔的内壁产生拉缩现象。当在小圆柱根部同大圆柱之间加上过渡圆锥时（图 25.4-47b），其工艺稳定性又能恢复到第一种情况。很明显，这是因为管端壁部逐渐变薄，模锻

时冷却快，阻力大，有利于中间部分的金属向旁通型腔中流动和充满四方凸台型腔。

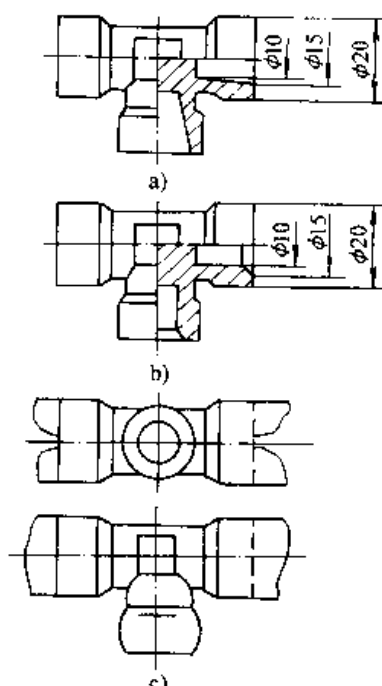


图 25.4-47 冲头形状和尺寸对金属流动的影响

③ 三通管接头多向挤压模锻技术经济效益比较 图 25.4-45 所示三通管接头采用多向闭式模锻与采用普通开式模锻相比的情况。该锻件的开式模锻工艺流程为：坯料加热→立式墩头→切边→清理→加热→终锻成形→切边。其多向挤压模锻工艺流程为：坯料加热→终锻成形。采用多向模锻工艺后：节省材料 30% 以上；减少热加工工序 4~5 道、冷加工工序 1~2 道，相应节省设备 6~7 台（次）、减少操作工 7~8 人（班）；尺寸精度由 10~9 级提高到 7~8 级，表面粗糙度由自由表面降低到 $R_a 25 \sim 12.5 \mu\text{m}$ ；降低产品成本 30% 以上；此外，还改善了生产条件，降低了劳动强度。

(5) 汽车调节杠杆蜗轮的多工位可分凹模模锻工艺及模具

汽车调节杠杆蜗轮，如图 25.4-48 所示，在外圈沿高度对称部位具有螺旋槽、内部为通孔的厚壁环形零件。老的制造工艺是 $\phi 65 \text{ mm} \times 42 \text{ mm}$ 的棒料毛坯在半自动齿轮切削加工机床上完全靠切削加工而成。切断棒料时的切口废料及零件加工时的切屑废料一起共 0.8 kg，零件用料 1.292 kg，材料利用率仅 38%。

改为多工位水平可分凹模模锻后，材料利用率提高到 64%。

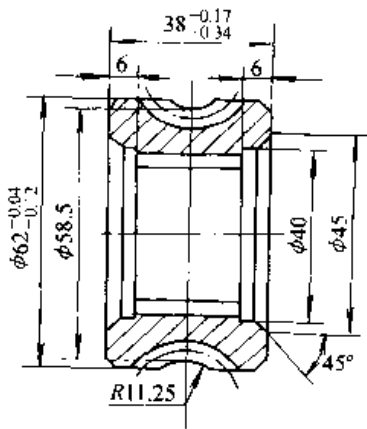


图 25.4-48 汽车调节杠杆蜗轮

1) 多工位水平可分凹模模锻工艺过程

① 下料 将 $\phi 40$ mm 的热轧棒料在曲柄压力机上的套筒模中剪切下料, 坯料尺寸及公差为 $\phi 40$ mm \times 78 ± 1 mm。

② 加热 在感应加热器中加热到 1200°C 左右。

③ 模锻 模锻成形过程如图 25.4-49 所示。第一工步预成形, 由棒料毛坯 (图 25.4-49a) 闭式锻粗成形变为实心蜗轮坯 (图 25.4-49b); 第二

工步闭式终锻成形, 得到带有冲孔连皮的蜗轮锻件 (图 25.4-49c); 第三工步冲去孔连皮, 得到穿孔的蜗轮锻件 (图 25.4-49d)。

将锻件图 (图 25.4-49e) 与零件图 25.4-48 加以比较, 就可看出, 锻件被设计成具有最小的加工余量, 在一些部分 (如 $\phi 48$ mm 和 $\phi 40$ mm 的倒角) 零件外轮廓可直接成形到成品尺寸而不需切削加工。于是大大地减少了金属材料的损耗。

2) 多工位水平可分凹模模具结构及工作过程 其结构如图 25.4-50 所示。模具由通过导柱 17 联为一体的上模板 1 和下模板 9 组成。外框 2 用专用螺栓 6 与上模板 1 相连。在外框 2 内安装楔形块机构, 而楔形机构由支座棱柱 4、中间棱柱 3 和中心棱柱 5 组成。中心棱柱 5 用螺栓 15 与上模板相连, 它能够在垂直方向运动。在中心棱柱 5 的下面安装有上半凹模 10。板 16 固定于上模板, 它强制地推动楔形滑块 8, 滑块 8 置于下模板上的导向条板 18 内。楔形块 8 上安装有冲头 11 和专用销 13, 弹簧 14 套在销子 13 上。在下模板 9 上安装着下半凹模 12。

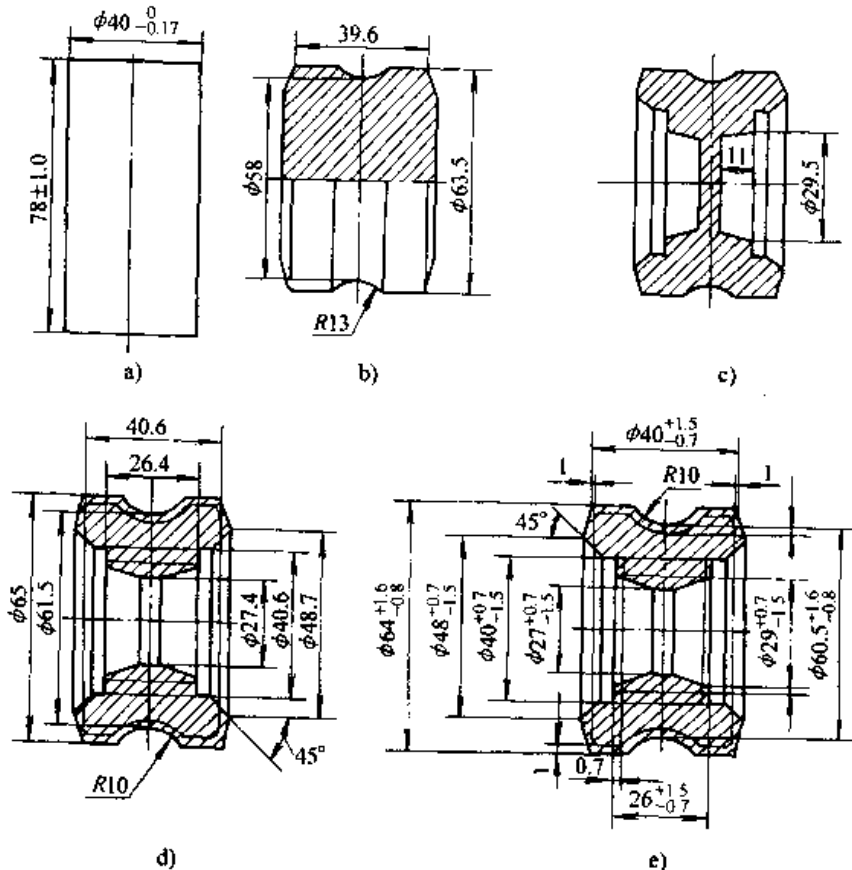


图 25.4-49 蜗轮模锻成形过程及锻件图

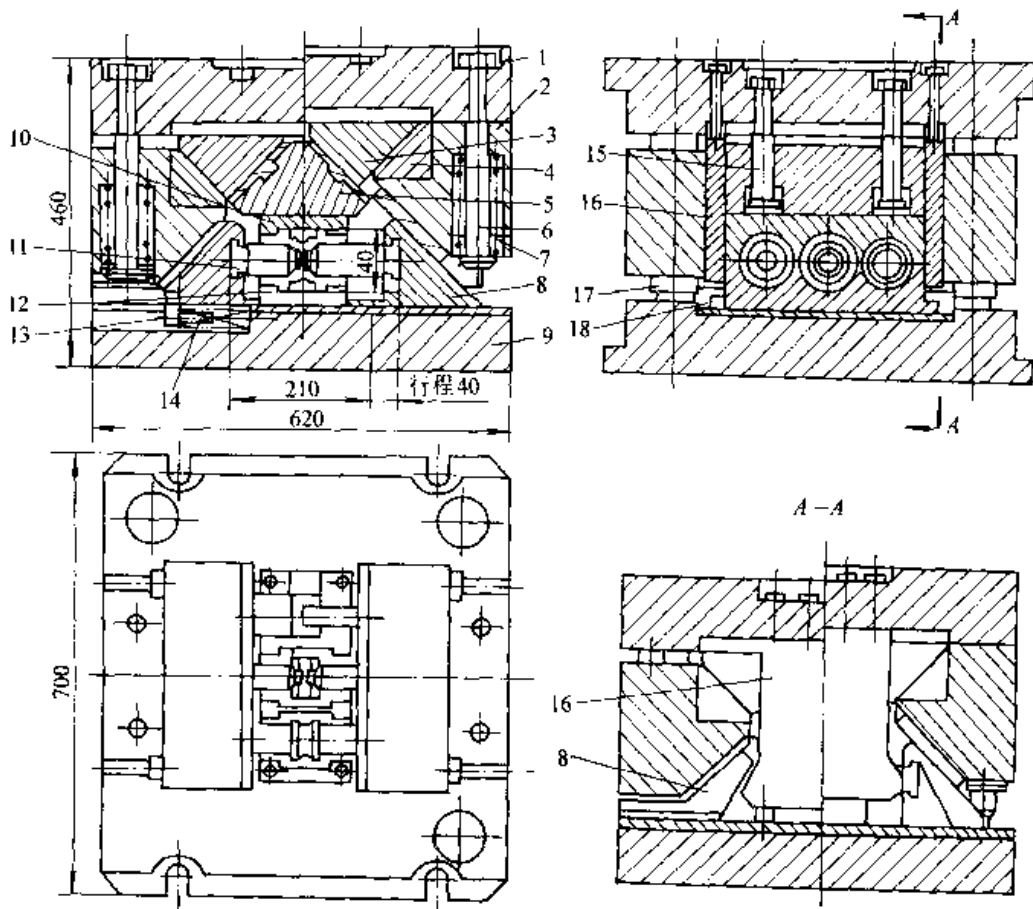


图 25.4-50 多工位水平可分凹模结构

在初始位置时，压力机滑块处于上死点，可动的外框 2 被弹簧 7 压紧在上模板 1 上，而装有上半凹模的中心棱柱 5 处于拉杆 15 下端的法兰支承上。此时，可将加热好的坯料放在下半凹模的预锻模膛中。

在工作行程时，首先上半凹模和下半凹模闭合，形成封闭的模腔。然后，中间楔形棱柱 3 随上模板一起继续下行的同时被中心棱柱向外推移，中间楔形棱柱 3 始终支承在中心棱柱 5 和斜块 4 上。两个中间棱柱通过作用在两个斜块 4 上的垂直分力将外框 2 向下推移。外框 2 压缩弹簧 7，弹簧置于螺栓 6 下端法兰上，外框向下运动时通过下面的斜面推动带有成形冲头 11 的楔形块 8 向前移动，此时，两水平冲头同时对坯料施加作用力而使其变形。

当滑块回程时，板 16 的斜面同侧滑块 8 的斜面相互作用，通过水平分力推动侧滑块 8 后退，当冲头从锻件的孔中退出后，由被压缩的弹簧 14 的回复而使侧滑块迅速回复到初始位置。

模具工作部分如图 25.4-51 所示。图中 1 为下模板，2 为冲切连皮的冲头，3 为冲孔凹模，4 为终成形冲头，5 为凹模定位销，6 为预成形冲头。

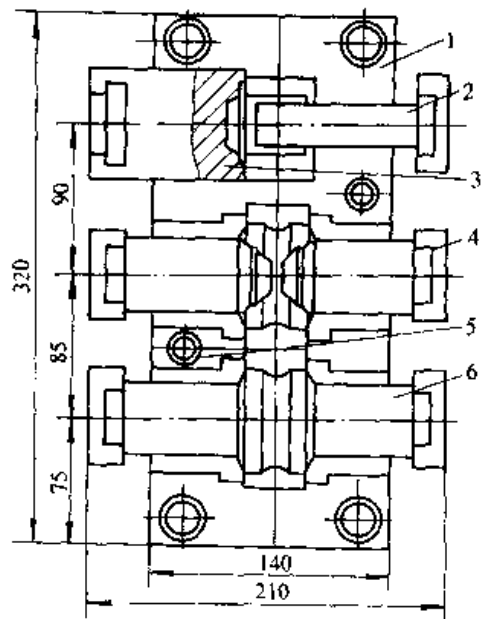


图 25.4-51 多工位水平可分凹的工作部分

冲头与凹模镶块均用热作模具钢制造，且都经渗氮处理。冲头与凹模镶块的固定块用45号钢制造。

这种模具结构中侧滑块8的速度为压力机滑块速度的2倍。中心棱柱5对两半凹模的压紧力与冲头的成形力成比例关系。其比例关系取决于楔块的摩擦因数和斜角。当沿轴线一旁的三个斜面斜角均为45°，而所有接触面的摩擦因数为零时，合模力同变形力的比例系数为2。

(6) 中轴锻锻水平可分凹模模具

图25.4-52为模锻带凸缘的中轴的可分凹模模具，凹模为纵向水平分模。上半凹模5通过凹模座7、上模座8固定在上模板上，并且与压力机滑块相连。下半凹模固定在动模座11中。动模座11通过四根顶杆15支承在压力机气垫上。

当压力机滑块处于上死点位置时，气垫把动模座11顶起，以便放入坯料和顶出锻件。为了调节动模座11的原始位置，在斜块17上装有顶在挡块12上的顶销16和调节螺钉18。模锻时，把坯料放入下半凹模中，然后开动压力机，在滑块向下运动到一定位置时，上半凹模5与下半凹模闭合，夹紧坯料。随后，在上半凹模的推动下，活动模座11也向下运动，动模楔块13在大斜块14的斜面上滑动，推动动模10在滑套2内向模具中心运动，凹模芯6和模芯1将坯料锻成形。为了使中轴凸台充填良好，在凹模芯6中开有出气孔。当滑块回程时，气垫将动模座11顶起，卸件柱9回程，将左右动模10复位，使锻件脱出凹模芯6。为了防止工件卡在凹模5上，在动模10上装有弹簧3，卸件销4，将锻件卸下。

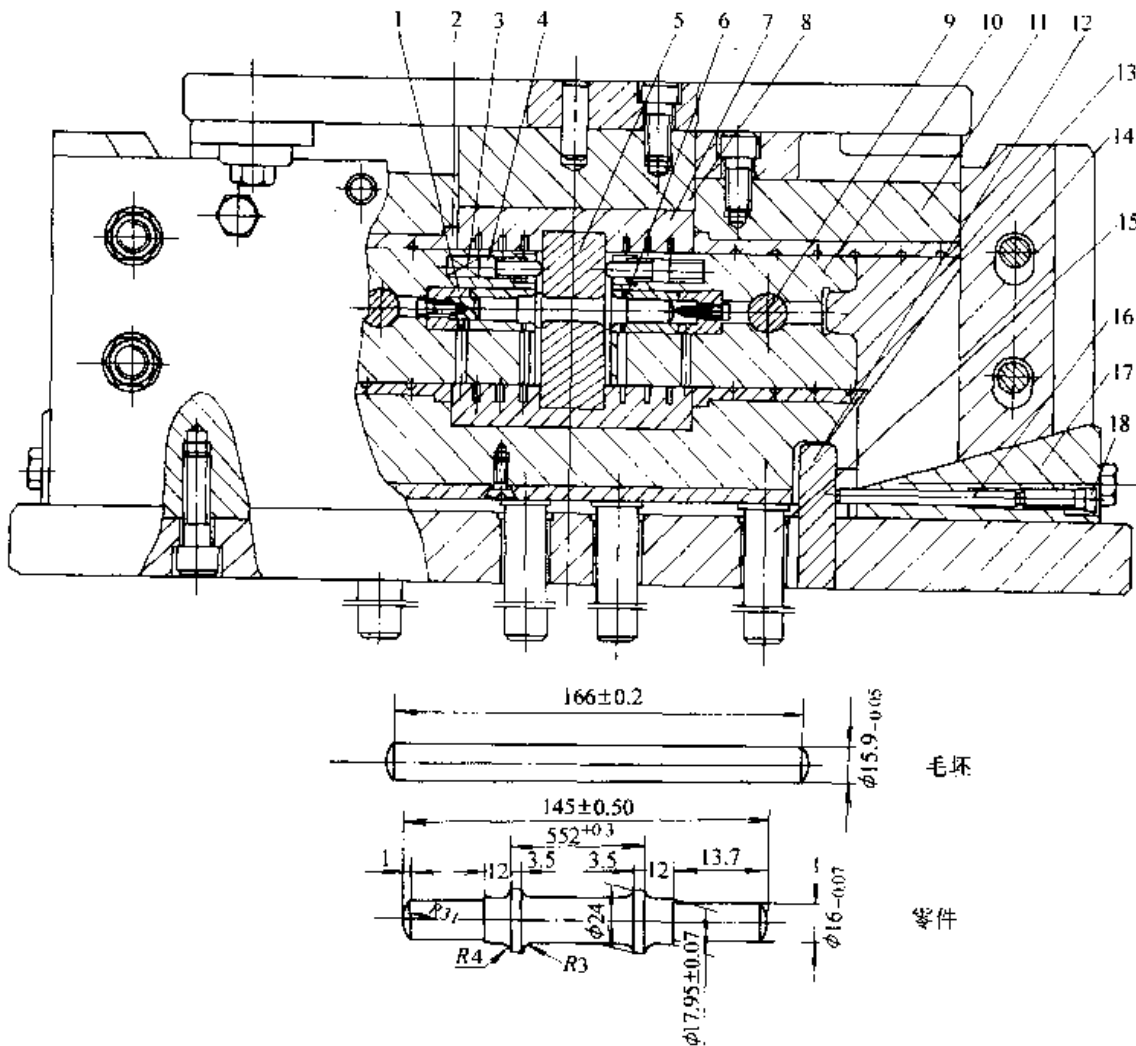


图 25.4-52 中轴锻锻可分凹模模具

(7) 杠杆式垂直可分凹模模具

1) 模具结构和工作原理 如图 25.4-53 所示, 冲头 8 固定在上模板 2 上, 上模板 2 固定在压力机滑块上。模座 3 为一矩形框并固定在下模板 1 上构成下模座, 杠杆 4 同分别固定于下模座

和凹模衬垫 10 上的铰座 5 和 9 铰接。凹模镶块 7 固定衬垫 10 中, 可分凹模的组合结构 (两半) 支承在托板 6 上, 托板 6 通过顶杆 13 与气垫或油缸活塞相连。

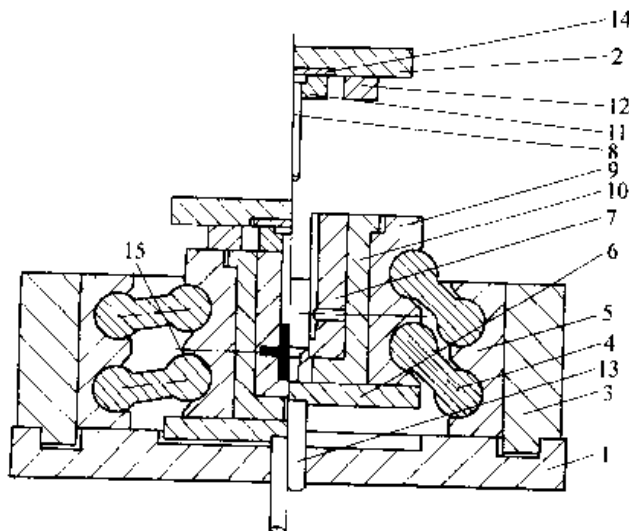


图 25.4-53 杠杆式垂直可分凹模模具

1、2—下、上模板 3—模座 4—杠杆 5、9—铰座 6、14—托板、垫板

7—凹模 8—冲头 10—衬垫 11—冲头固定器 12—限位块 13—顶杆 15—侧向顶杆

当托板与顶杆处于下限位置时, 两半凹模合拢形成整体凹模模腔。模锻时, 将加热好的棒料毛坯直立插入凹模模腔中, 压力机滑块下行, 冲头挤压毛坯, 变形金属充满模腔, 模锻结束后, 冲头随压力机滑块上升, 通过气垫或油缸油塞使顶杆上升, 两半凹模张开, 侧向顶杆顶出锻件, 此时便可取出锻件。

A_1 ——凹模模腔在垂直方向的投影面积。

这种模具适宜于安装在热模锻压力机或液压机上使用, 可以用于闭式模锻小型十字轴等锻件。其优点是能保证锻件具有稳定的尺寸, 因在模锻过程两半凹模随模锻力的增大而贴合得更紧, 故不会在分模面上形成飞边。

这种垂直可分凹模模具专门用于生产异形三道及弯头管接头精密锻件, 如图 25.4-54 所示。

2) 模具受力及变形分析 图 25.4-55 为杠杆式垂直可分凹模模锻时的受力情况。由图示关系可得出张模力为

$$F_1 = F_0 A_1 / A_0$$

式中 F_1 ——作用于凹模模腔表面的张模力;
 F_0 ——作用在冲头端面上的变形抗力, 可通过工程塑性法或经验公式计算;
 A_0 ——冲头端面面积;

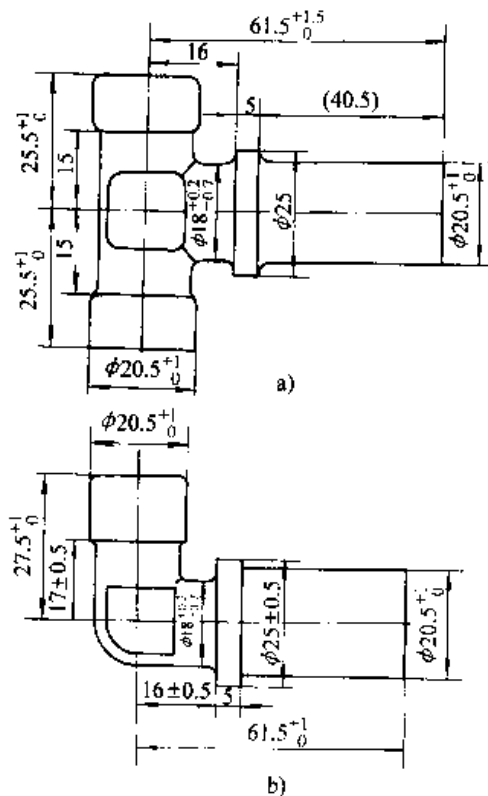


图 25.4-54 异形三通及弯头

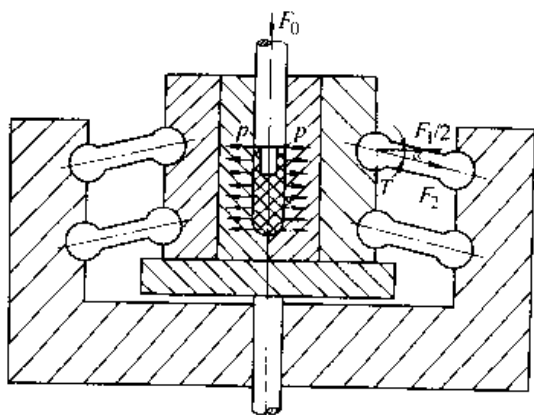


图 25.4-55 杠杆式可分凹模受力分析

张模力 F_1 通过杠杆传递到模座上，杠杆所受的压缩力 F_2 为

$$F_2 = \frac{F_1}{2\cos\alpha} = \frac{F_0 A_1}{2A_0 \cos\alpha}$$

式中 α —— 杠杆相对于水平线的倾斜角。

根据虎克定律，杠杆在压力 F_2 的作用产生的压缩变形为

$$\Delta l = \frac{F_2 L}{EA}$$

式中 Δl —— 杠杆的压缩变形量 (mm)；

L —— 杠杆未受力时的长度 (mm)；

A —— 杠杆横截面积 (mm²)；

E —— 杠杆材料的弹性模量 (N/mm²)。

由图 25.4-56 可得出，杠杆受压缩后其长度缩短了 Δl 后，已闭合的凹模由开始合模时的位置 B 下移至 B' ，其下移距离 Δh 可由图示几何关系得出：

$$\Delta h = L \sin\alpha_0 - (L - \Delta l) \sqrt{1 - \frac{b^2}{4(L - \Delta l)^2}}$$

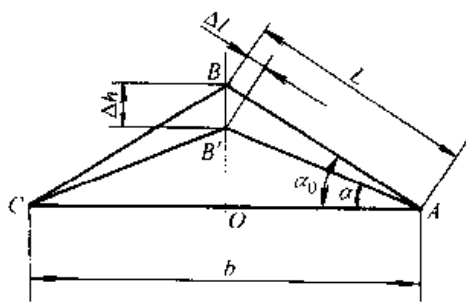


图 25.4-56 杠杆机构变形情况

虽然由于杠杆的弹性压缩而使凹模的水平位置发生变化，但两半凹模始终被紧密地贴合在一起，变形金属不可能被挤入分模面。

3.3 螺旋压力机用可分凹模模具设计及实例

由于螺旋压力机滑块行程不固定，且载荷具有冲击性，因此，设计水平可分凹模模具时必须充分注意避免分模面在合模时的刚性撞击。

(1) 圆锥自锁式垂直可分凹模模具

1) 模具结构设计 图 25.4-57 为所研制的垂直可分凹模模具。冲头 4 通过压紧圈 3、垫板 2 用螺钉固定在上底板 1 上。可分凹模由凹模镶块 8、锥形块 9 和模座 10 组成。锥形块 9 通过铰座 11、销 12、铰支顶杆 13 与油缸相连。模具闭合高度依靠限位块 5 和 15 限定，上下模通过导柱、导套导向。由图可见，这种结构是一种通用模架，不同锻件只需更换冲头和凹模镶块即可。

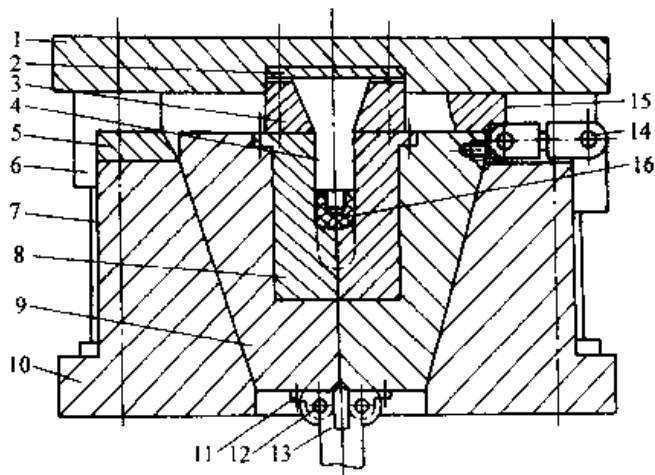


图 25.4-57 圆锥自锁式垂直可分凹模模具

1—上底板 2—垫板 3—压紧圈 4—冲头 5、15—限位块 6—导套 7—导柱 8—凹模镶块
9—锥形块 10—模座 11—铰座 12—销 13—铰支顶杆 14—张开器 16—锻件

当可分凹模处于图示位置时，两半凹模构成封闭模腔，加热好的棒料毛坯置于模腔中，只需压力机一次行程便可得到预成形件或终锻件。当压力机滑块回程时，顶出器油缸柱塞上行，通过铰支顶杆13将可分凹模的锥形块向上顶起，在两个锥形块被向上顶起的过程中同时被两个张模器14将其拉开，从而可取出锻件。

这种可分凹模模具结构简单，使用方便可靠。模锻时由于模座的弹性变形，变形金属流入分模面形成一圈很薄的小飞边，但这可采用小间隙切边模切除。

锥形垂直可分凹模在模锻时的受力情况如图25.4-58所示。坯料在冲头力 F_0 的作用下产生墩粗反挤和分流劈叉式挤压变形，变形金属力图使两半凹模张开，作用于两半凹模模膛表面上的张模力 F_1 通过锥形块传递到锥形模座上。根据闭式模锻的特点，可假设变形金属作用于凹模模膛表面和冲头端部上的单位压力相等，于是有如下关系：

$$F_1 = F_0 \frac{A_1}{A_0}$$

$$F_2 = F_0 \frac{A_2}{A_0}$$

- 式中 F_0 ——作用于冲头端面上的变形抗力；
 F_1 ——作用于凹模模膛在垂直方向的力，即张模力；
 F_2 ——作用于凹模模膛在水平方向的力；
 A_0 ——冲头横截面积；
 A_1 ——凹模模膛在垂直方向的投影面积；
 A_2 ——凹模模膛在水平方向的投影面积。

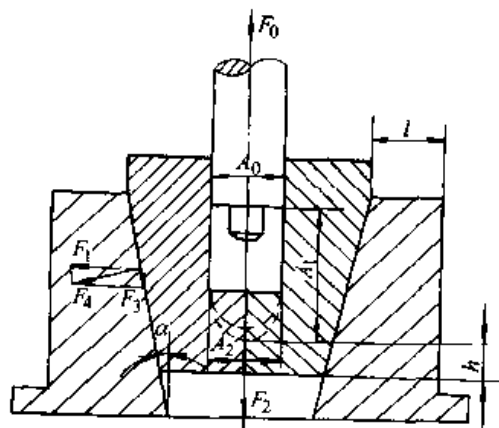


图 25.4-58 模具受力分析

对于给定的锻件，模锻力 F_0 可用工程塑性法或经验公式计算。一般情况下，由于 $A_1 > A_0$ ； $A_2 \geq A_0$ ，所以有 $F_1 > F_0$ ； $F_2 \geq F_0$ 。

由此可见，这种模具结构，在闭式模锻时会产生很大的张模力。因此，设计时必须保证锥形模座有足够的强度和刚度，即在保证不破裂的同时，还应使其在模锻时的弹性变形小，以减小或消除飞边的形成。模膛底至镶块底面间也应有足够的厚度。设计时，模座壁厚可按厚壁筒理论计算，同时考虑由于内锥面造成的壁厚不均的影响。

图25.4-59为这种可分凹模在模锻时，冲头的作用力 F_0 、模座所受水平分力 F_1 及垂直分力 F_3 和锥角 α 间的关系曲线。由曲线的变化可以看出：随着锥角 α 由 15° 增大至 25° ，当变形力 F_0 增大时，水平分力 F_1 和垂直分力 F_3 也增大；当 α 进一步增大时，三个力都下降；当 $\alpha = 45^\circ$ 时，三个力大约相等。当 $\alpha = 15^\circ$ 时，可分凹模沿模座内锥孔自动贴合情况最佳。但若取 $\alpha = 15^\circ$ ，则两半凹模分模时张开角度小，取出锻件困难，此时只有加大顶出行程，才能增大张开角，但顶出装置的顶出行程往往受到限制，或顶出行程过大影响生产率。因此，设计时， α 可在 $15^\circ \sim 30^\circ$ 的范围内选取。

2) 万向联轴器叉垂直挤压模锻工艺 图

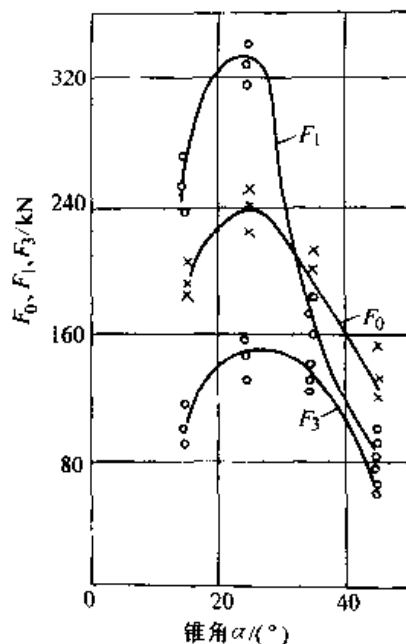


图 25.4-59 模锻力 F_0 、水平分力(张模力) F_1 和垂直分力 F_3 同锥角 α 的关系曲线

25.4-60 为吉普车传动轴万向联轴器叉采用图 25.4-57 所示可分凹模闭式模锻工艺的锻件。原来采用开式模锻生产，坯料加热后，一般经制坯、预锻和终锻成形，然后切除飞边，清理和校正等工序。传动轴万向联轴器叉采用闭式正向分流挤压模锻工艺，可使加热好的坯料一次模锻成形为图示锻件。材料消耗由开式模锻的 1.812 kg 降到 1.30 kg，材料利用率提高了 30%，比在可分凹模中挤压制坯然后精整成形的材料利用率提高 10%~15%，且锻件质量高、尺寸精确。

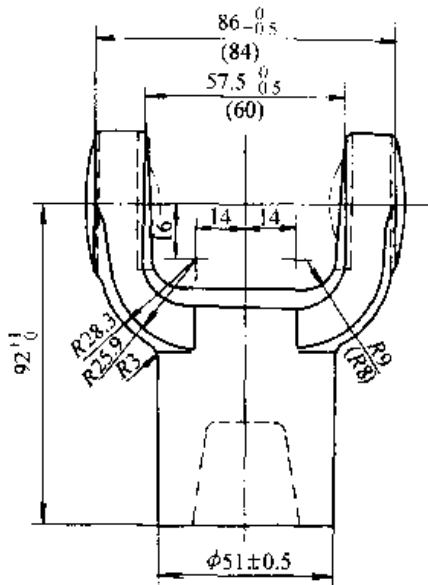


图 25.4-60 传动轴万向联轴器叉锻件图
模锻工艺过程：

① 下料 尺寸规格及精度为 $\phi 50 \text{ mm} \times 80_{-1}^0 \text{ mm}$ ；

② 加热 采用感应加热或少无氧化加热，温度范围为 $1200 \pm 30^\circ\text{C}$ ；

③ 模锻 在 10 000 kN 摩擦压力机上采用图 25.4-57 所示可分凹模模具。模锻前模具预热到 200°C 以上，采用水剂石墨作润滑剂；

④ 清理飞边 采用小间隙切边模切除沿可分凹模的分模面所形成的小飞边。

利用图 25.4-57 所示垂直可分凹模模具，模锻具有长杆的杯杆类锻件，如 EQ140-1、EQ140-2 花键轴（图 25.4-61a、b），可以克服整体凹模模锻时，摩擦压力机没有大行程顶出器和因接触摩擦阻力过大顶出困难的问题，且模具寿命长，效果极好。

(2) 模锻钛合金台阶轴的垂直可分凹模模具
图 25.4-62 是在液压机或螺旋压力机上模锻

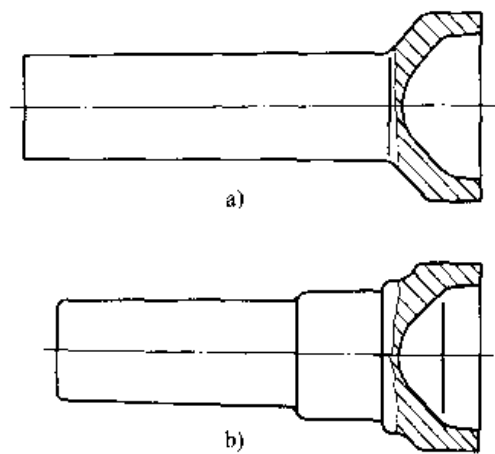


图 25.4-61 带有长杆的杯杆类锻件

a) EQ140-1 前花键轴 b) EQ140-2 后花键轴

钛合金台阶轴的可分凹模模具。冲头 6 模锻在凹模中的坯料而形成锻件。两个三棱柱形半凹模 7 和 8 通过销轴 9 与连接推杆 2 铰接，连接推杆 2 固定在压力机的顶出器上。半凹模装在凹模座 1 中，支承表面间的角度为 30° 。利用过渡圈 5 把冲头固定在冲头固定器 4 中，利用支承环 3 作凹模顶起时的支承或作为冲头工作行程时的限位。采用这种可分凹模模锻时，由于模具弹性变形，在凹模分模面上会出现厚 0.1~0.25 mm、宽 3~5 mm 的毛刺。

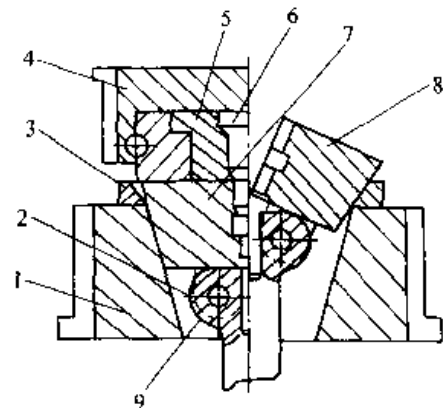


图 25.4-62 模锻钛合金台阶轴的可分凹模模具

(3) 阀瓣的温锻工艺及水平可分凹模模具

图 25.4-63 所示为阀瓣零件图。它是由 3Cr13 马氏体不锈钢材料制成，具有“T”形槽和不对称复杂形状，生产批量大。

此零件原采用车、铣和磨削加工生产，材料消耗大，生产率低。3Cr13 不锈钢有相当高的强度，在 $875 \sim 900^\circ\text{C}$ 完全退火后，抗拉强度 $\sigma_b = 550 \sim 600 \text{ MPa}$ ，硬度为 170~200 HB。从材料性

能和零件形状来看，这类异形零件的精锻成形是比较困难的。由于材料强度高，且冷变形时有强烈的硬化倾向，若采用冷锻，很难一次成形，而零件形状又不允许多次挤压。如果采用热锻，材料塑性高，变形抗力较小，成形比较容易，但锻件精度和表面粗糙度较差，且若在高温下加热时间较长则材料有晶粒长大和表面脱碳倾向。采用温锻方法生产，既能良好成形，又能获得较好的精度和表面粗糙度。

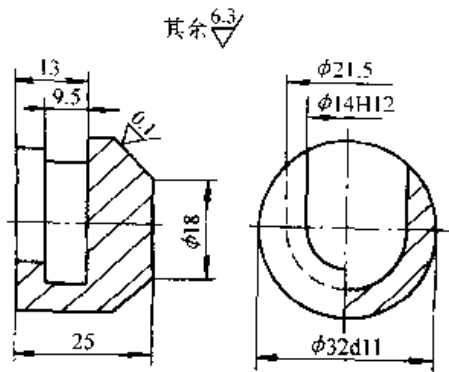


图 25.4-63 阀瓣零件图

锻件图与零件图尺寸相同。仅是在零件的“T”形槽部分给以7°模锻斜度，转角处以圆角过渡；粗糙度为 $R_a 0.1 \mu\text{m}$ 的锥面处留有磨削加工余量。其余部分的尺寸精度和表面粗糙度与零件图相同。温锻件仅需磨削加工。切削加工生产一个零件消耗的材料可以温锻三个零件，并且提高了生产率，生产成本降低。

温锻生产的工艺过程如下：下料，预锻坯料，在电阻炉内加热毛坯，温锻，去毛刺，热处理，磨削锥面。

1) 温锻时金属流动的分析和毛坯形状的确定 毛坯形状和尺寸对锻造时的金属流动和冲头寿命有很大影响，如图 25.4-64 所示。如果采用单锥面的毛坯 I，虽然制坯简单，但毛坯 I 中的 II_a 部分的金属体积多于锻件对应部分 I_a 的体积，锻造时金属流动十分激烈，除了有高度方向的金属流动外，还有横向流动。由于毛坯 I 中 II_a 部分金属的横向流动，使冲头 b 处受到很大的横向错移力，引起冲头纵向破裂。如果冲头韧性好，则首先发生张开现象，然后纵向破裂；当冲头硬度高而韧性低时，则不发生张开就破裂。冲头的磨损也很严重。采用毛坯 II 时，毛坯 II 中的 III_a 部分的体积约等于锻件对应部分 I_a 的体

积。锻造时，III_a 部分的金属只有高度方向的流动，没有向 III_b 部分的横向流动。所以冲头 b 处没有受到因金属 III_a 部分横向流动而产生的错移力。从而避免冲头的纵向破裂，也减少了冲头的磨损。图 25.4-65 所示为采用毛坯 I 时常发生的冲头破坏形式。图 25.4-66 所示为毛坯 II 尺寸。

2) 温锻温度和变形力 温度的选择，要保

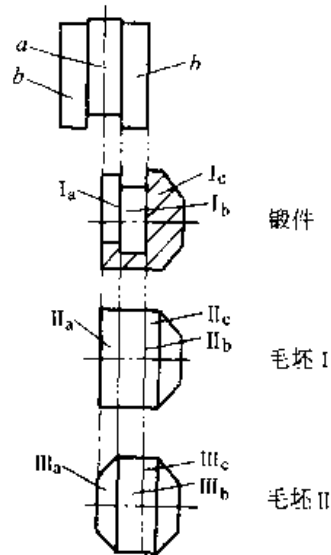


图 25.4-64 毛坯形状对金属流动影响的示意图

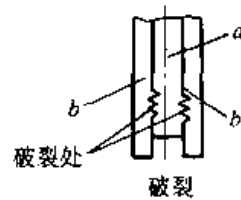
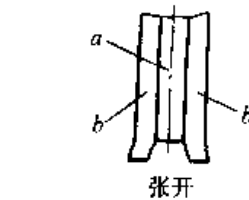


图 25.4-65 冲头纵向破裂示意图

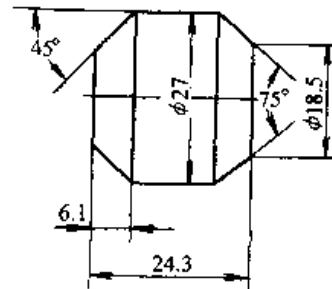


图 25.4-66 毛坯 II 尺寸

证零件成形良好，不产生裂纹，有合格的内部组织，达到尺寸和表面粗糙度要求；此外还要有较高的模具寿命。

由圆环锻粗试验获得屈服点 σ_s 与温度 t 的关系曲线（图 25.4-67）可知，3Cr13 钢的屈服点 σ_s 随温度 t 的升高而降低，温度从 600°C 提高到 800°C 时屈服点 σ_s 有较大的降低，温度从 800°C 提高到 900°C 时屈服点 σ_s 降低很少。从锻件成形情况来看，随着温度的升高，锻件成形愈好。在温度 800°C 下温锻时，锻件成形良好，尺寸符合要求。温锻后锻件放在石棉粉中冷却，没有产生裂纹。金相检验表明，温锻件经热处理后的金相组织与切削加工零件的金相组织相同，所以选择 800°C 左右作为温锻温度。

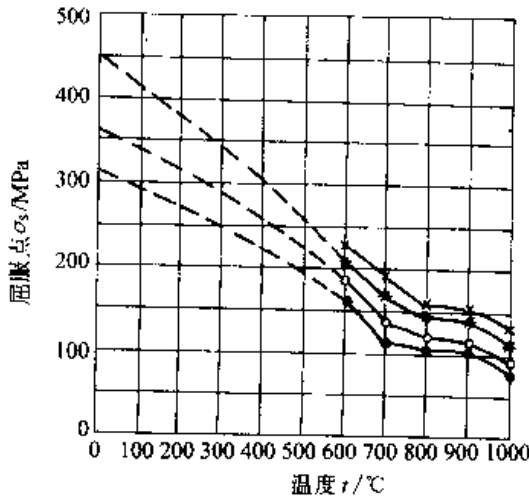


图 25.4-67 3Cr13 钢的 $\sigma-t$ 关系曲线

●— $\epsilon_h = 20\%$ ○— $\epsilon_h = 30\%$
 ▲— $\epsilon_h = 40\%$ □— $\epsilon_h = 50\%$

按无飞边模锻时变形力的经验公式计算变形力：

$$F = 5(1 - 0.001D)D^2\sigma_b$$

式中 D ——锻件直径 (mm)；

σ_b ——锻件材料在变形温度下的抗拉强度 (N/mm²)。

计算结果得 $F \approx 1\,200$ kN。

在 3 000 kN 摩擦压力机上锻造时，锻造温度为 800°C，利用图 25.4-68 所示模具进行双件模锻，用应变仪测量的模锻变形力为 960 kN。

3) 模具设计 对于这种不对称的零件，采用一次模锻两件的模锻方法，可大大改善锻模的受力情况。温锻模具结构如图 25.4-68 所示，可分凹模沿水平分模。上凹模随上模板一起运动，

上模板固定在压力机滑块上。滑块下行时，上、下凹模合拢后钩子把上、下凹模关闭。锻造结束后，上模上升的开始阶段，钩子尚未打开，锻件从冲头卸下；而上模继续上行使钩子打开，上凹模和冲头随上模板一起上升至死点。上、下凹模均固定在预应力圈中。这种水平分模的可分凹模的缺点，是其间隙和钩子的弹性变形而使锻件产生少量横向毛刺，增加了后续工序的困难。拟在今后生产中改进模具结构，使锻件不产生横向毛刺，从而取消去毛刺工序。

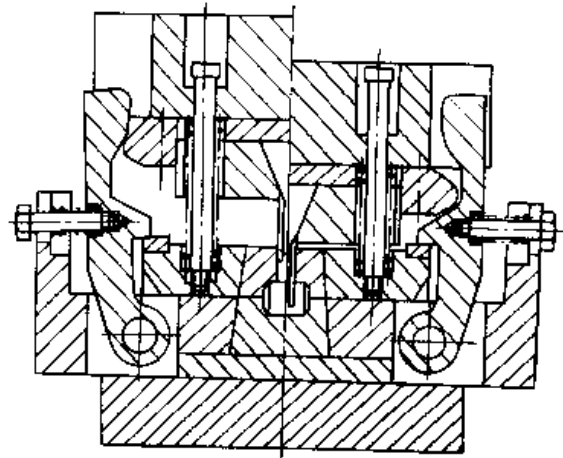


图 25.4-68 阀瓣水平分模温锻模具

图 25.4-69 所示为冲头工作部分形状。这种形状有利于金属的流动，而转角处以圆角 R 过渡能大大减小应力集中，提高冲头寿命。冲头材料为 65Nb 钢，热处理硬度为 61~63 HRC，并经表面软渗氮处理。使用证明，这种模具钢适用于 3Cr13 不锈钢的温锻。

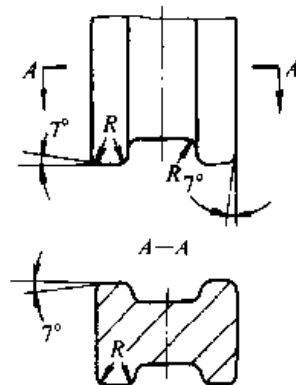


图 25.4-69 阀瓣温锻冲头工作部分形状

温锻时，模具预热到 200~300°C。使用油酸 57% + MoS₂ 17% + 石墨 26% 润滑剂，润滑效果良好，但有少量润滑剂残存在凹模分模面上，

妨碍凹模闭合：此外，这种润滑剂在锻造时放出刺激性气体，是其一大缺点，但提高油酸的纯度可改善这一情况。

3.4 高速锤上可分凹模模锻

有关文献介绍，某厂采用 55 kN·m 端面密封式高速锤，十多年来，用于批量生产圆弧齿轮壳体、空心法兰、多通壳体和叶轮等十多种复杂锻件。实践表明，使用多种形式的可分凹模模具，可以使高速锤模锻工艺特点得以充分发挥。根据锻件形状特点设计并采用了三种可分式模具，其中叶轮挤压模是一种专用胎模。下面介绍较为通用的两种。

1) 垂直可分式模具 用于模锻圆弧齿轮壳体，其结构如图 25.4-70 所示。两半凹模 18 由销子 17 闭合构成凹模型腔，销子定位可保证变形过程中不发生错移。一个整体的圆弧齿圈 16 镶嵌在两半凹模之中，构成下模模腔的齿形部分。下模组件 (16、17、18) 放入凹模 10 内，其底缘被钩子 4 挂住，弹簧 6 保证钩子的有效性。外套 9 保护模套 10，以增加对击时的安全性。锻击结束后，冲头上升。如果锻件保住冲头，

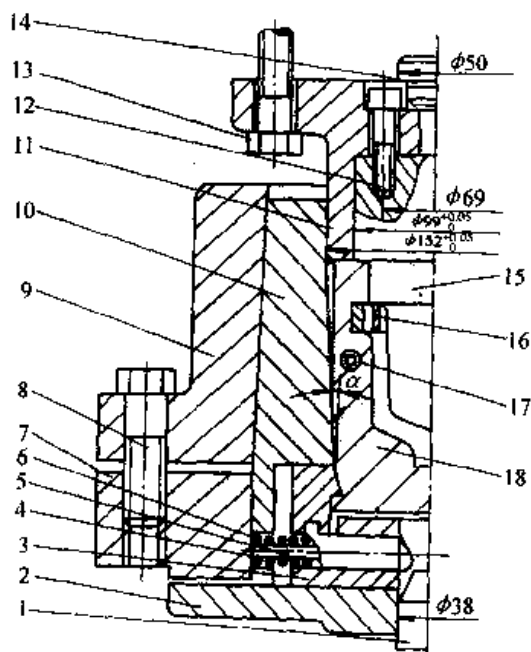


图 25.4-70 垂直可分式模具简图

- 1—顶杆 2—垫板 3—内垫板 4—钩子 5—堵盖
- 6—弹簧 7—底座 8、12、13—螺钉 9—外套
- 10—下模套 11—上模套 14、17—定位销
- 15—冲头 16—齿圈 18—下模块

钩子 4 便钩住半凹模底缘使锻件脱模。冲头升起后，顶杆 1 上升，通过斜面机构压缩弹簧 6，带动钩子外移使两半凹模松开。顶杆继续上升，将两半凹模完全顶出套外，再分开两半凹模取出锻件。

这种结构，更换凹模镶块和冲头等工作零件，还可模锻空心法兰轴、多通壳体等复杂锻件。

2) 水平可分式模具 其结构如图 25.4-71 所示。下模 5 做成整体的，两个销子 4 把压盖 2、圆弧齿圈 3 和下模组合在一起，构成下模模腔。锻击结束后，冲头上升，压盖 2 保证了锻件脱模。销子 4 退出后，顶杆 9 将锻件、压盖和齿圈一起顶出，取出锻件。

这种模具结构简单，连接可靠，模具寿命高，但劳动强度较大。由于锻件出模时的某些限制，这种结构不适宜于模锻有凸凹及交叉的锻件。

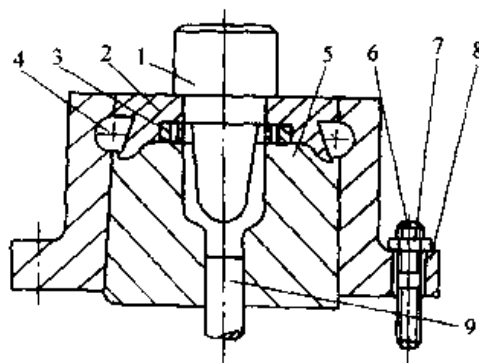


图 25.4-71 水平可分式模具简图

- 1—冲头 2—压盖 3—齿圈 4—销子 5—下模
- 6—螺栓 7—螺母 8—压套 9—顶杆

4 双动压力机用可分凹模模具设计及实例

由上节内容可知，可分凹模模具结构比较复杂，主要因为增加了可分凹模的合模机构。在双动压力上进行可分凹模模锻时，由外滑块实现可分凹模的合模压紧，内滑块通过冲头（凸模）迫使毛坯变形充满模膛而获得锻件。不难看出，采用双动压力机进行可分凹模模锻，其优点是模具结构大为简化，设计制造费用较低，使用寿命长。适合于大批量规模生产。其缺点是设备费用较高，且目前可供选择的用于模锻的双动压力机的规格种类不多。由于其在工艺应用上独特的优

越性，国内外，尤其是日本、俄罗斯等国非常注重不同类型的双动压力机的研制与应用，国内也开始这类压力机的研制与应用。

4.1 双动压力机用可分凹模的典型结构

双动曲柄压力机用可分凹模的工作原理及典型结构如图 25.4-72 所示。图 25.4-72a、b 为水平可分凹模结构，模锻时，将已加热好的坯料置于下模，随着压力机滑块下行，首先外滑块使上半凹模与下半凹模闭合形成封闭模腔，接着内滑块带着冲头下行挤压工件，模锻结束后，压力机回程，内滑块首先上升带动冲头从锻件中退出，然后外滑块带动上半凹模离开下半凹模，即可取出锻件。图 25.4-72c 为垂直可分凹模结构，模锻时，随着压力机滑块下行，首先由外滑块带动模套走完工作行程，模套的内锥面将两半凹模模芯夹紧而形成封闭模腔，然后内滑块通过冲头使坯料变形而得到锻件。

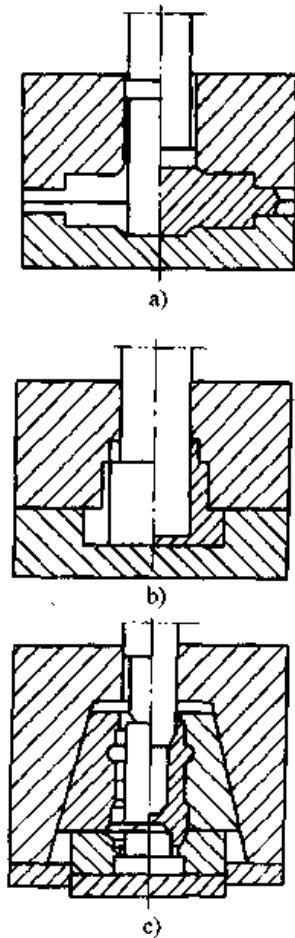


图 25.4-72 双动压力机用可分凹模的典型结构
a) 实心锻件 b)、c) 空心锻件

图 25.4-72a 所示结构适合于模锻带枝芽类的实心锻件，如十字轴、三星轴等。图 25.4-72b 所示结构适合于模锻带法兰的杯形和端盖类锻件。图 25.4-72c 所示结构适合于模锻带双法兰的筒类锻件。

4.2 垂直可分凹模模具

1) 可分凹模结构及工作原理 图 25.4-73 所示为在内、外滑块作用力均为 5 MN 的双动压力机上使用的垂直可分凹模模具。由图可见，凹模分为下凹模和上凹模，下凹模由凹模圈 4 和冲头 3 构成，凹模圈 4 通过连接杆 2 支承在顶出杆 1 的法兰上，冲头 3 固定在工作台上。上凹模由镶块模芯 5 (两半)、上模圈 6、底板 7 和挡圈 10 组成。镶块模芯 5 可沿上模圈 6 内滑动，当压力机滑块处于上限位置时，两半模芯 5 落在挡圈 10 上，处于最大张开状态。凹模圈 4 也处于上限位置，此时，它的中心孔与冲头 3 的端面形成放置毛坯的工作筒。

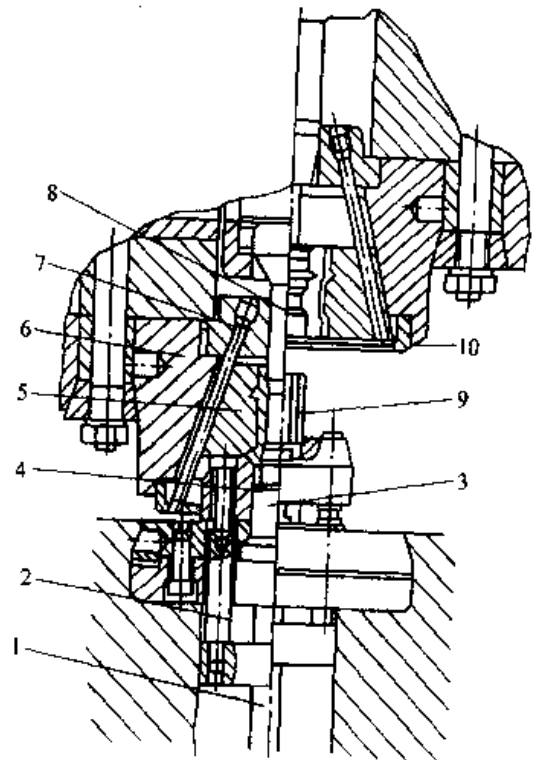


图 25.4-73 垂直可分凹模模具

模锻时，首先将加热好的棒料毛坯 9 直立于下凹模内，压力机外滑块首先下行，当镶块模芯与凹模圈相碰就停止运动，而上模圈 6 随外滑块继续下行至其圆锥面将两半模芯彼此压紧并同时使两半模芯与凹模圈紧密贴合在一起，构成封闭

的模腔；与此同时，内滑块向下移动，冲头8对封闭在模腔中的坯料施加作用力而使其变形。在冲头8作用于坯料的过程中，外滑块迫使支承在顶出杆1上的整个凹模向下移动，则冲头3相对于凹模向上移动，使坯料的下端也产生变形。双冲头对向镦挤，坯料变形均匀，易于得到具有双法兰的筒形锻件。

上、下冲头工作端分别与上、下凹模圈模壁间的径向间隙成为坯料变形时的轴向分流腔。

2) 在双动压力机上利用可分凹模生产筒类

锻件 图 25.4-74 各中心线右边所示均为在双动压力机上利用图 25.4-73 所示可分凹模一次模锻成形的筒类或带孔锻件。其中第 2 个零件需两工步完成，第一工步预锻实心法兰，第二工步对向反挤成形；第 3 个零件也需两个工步，第一工步反挤成形带一短实心杆的杯筒形，第二工步反挤成空心杆部。图中左半边所示是在 10 MN 机械压力机上通过专用装置模锻相同锻件所需坯料及所得到的锻件形状。对于这六个锻件，采用新老两种工艺的对比情况见表 25.4-3。

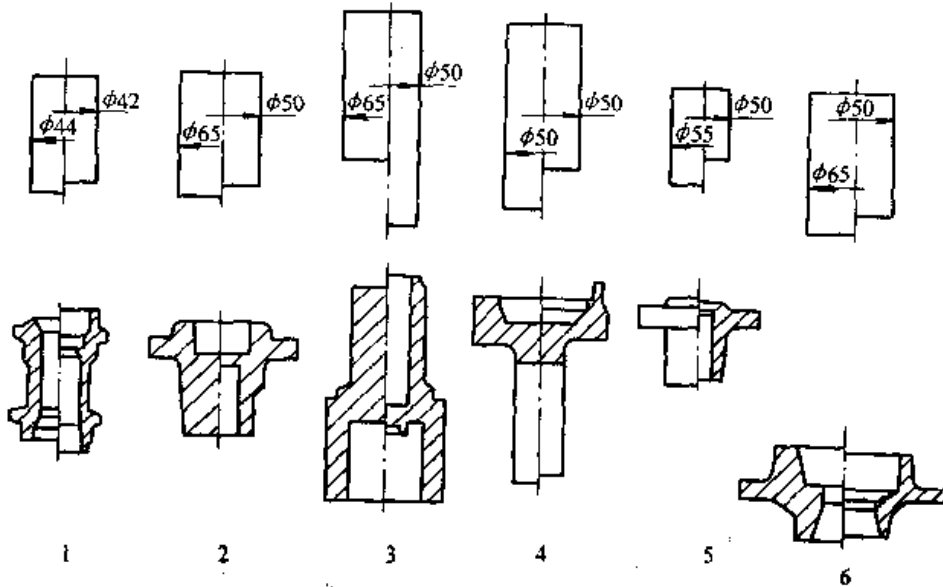


图 25.4-74 筒类锻件

表 25.4-3 对比情况表

锻件名称及编号	1) 套筒	2) 法兰叉	3) 旋转支耳	4) 法兰轴	5) 法兰筒	6) 法兰阶台
节省材料/%	11.6	46.4	44.3	11.8	33.3	30.6

4.3 水平可分凹模模具

在双动压力机上利用如图 25.4-76 所示水平

可分凹模实现图 25.4-75 所示带法兰零件的无飞边模锻，同普通模锻工艺相比节省材料达 30%，提高生产率 1.5~2 倍。

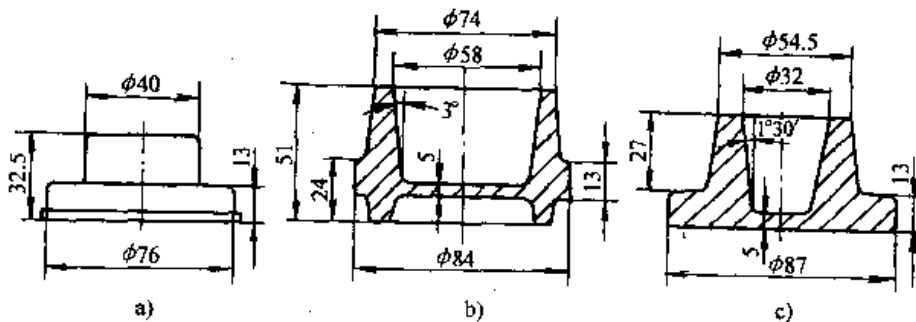


图 25.4-75 法兰类锻件

1) 工艺分析 对于带法兰的实心件(图25.4-75a),在闭式模锻中主要是以径向挤压的方式使变形金属充填法兰型腔;对于带法兰空心件(图25.4-75b、c),在闭式模锻中主要是径向挤压和反挤两种方式使变形金属充填法兰和筒部型腔。根据分流腔必须设在模膛中最后充满的位置的原则,对于前者,分流腔只有设在法兰端部的周围,如图25.4-76b所示。对于后者,可在两个位置:一个位置与实心法兰件的位置相同,设在法兰模腔的周围;另一个位置设在筒部的顶端,如图25.4-76a。若也在法兰端部周围设置分流腔,必然导致模膛内压力的显著增大,同时增加切除飞边的附加工序。所以,将分流腔设在筒的顶端更合理。由此,可以确定,对于实心且带法兰零件的闭式模锻,仅需一个工步成形;对于空心带法兰零件分两个工步成形;第一个工步初步成形法兰,第二工步反挤成形。

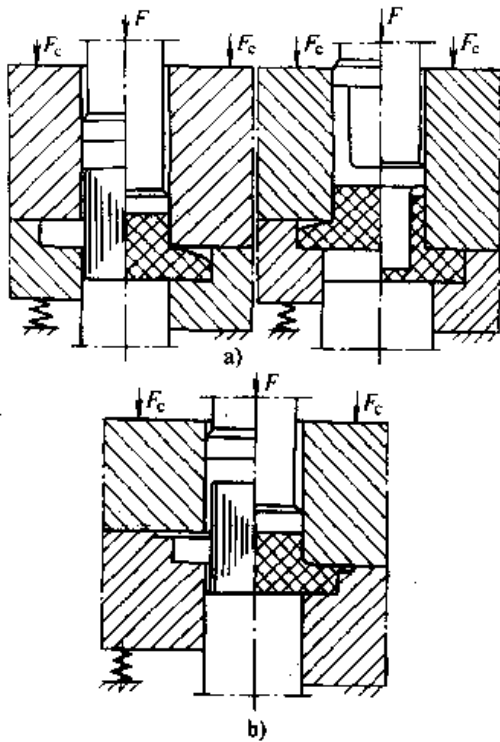


图25.4-76 水平可分凹模工作原理

2) 模具结构 如图25.4-77所示,可更换的工作部分由上半凹模3、下半凹模5、冲头11和顶出器6组成。冲头11通过冲头垫及夹持器1固定在内滑块14上。上半凹模3通过夹持器2固定在外滑块13上。下半凹模5通过固定圈10固定在压力机的工作台8上。在固定圈10上装

有四根导柱,实现同支承垫板9的导向,后面两根导柱4实现上、下凹模的导向。在冲头夹持器1上用四根导柱12同上半凹模夹持器2导向。下半凹模固定圈10支承在四个压缩气缸7的活塞杆上。模锻前,下半凹模被压缩气缸活塞杆抬起在初始位置,形成工作筒以安放坯料。

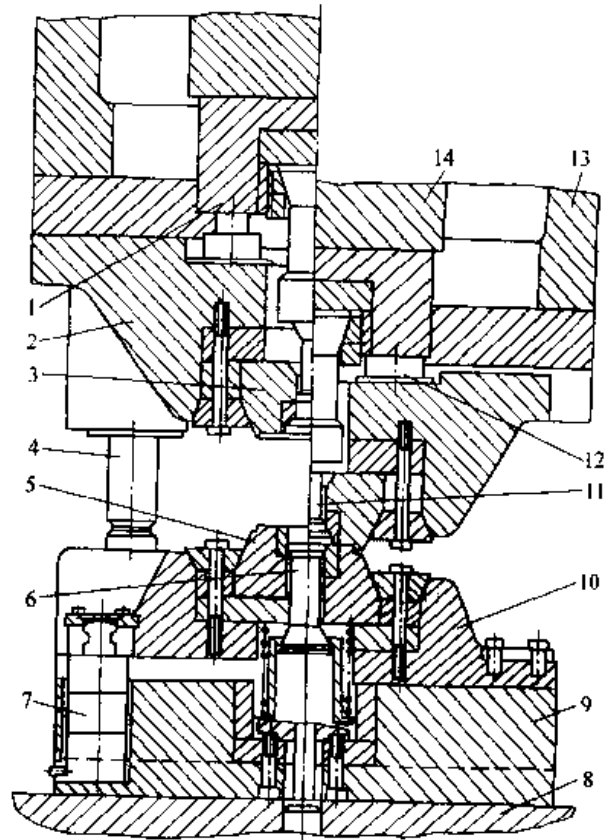


图25.4-77 水平可分凹模模具结构

工作过程:加热好的坯料垂直放入工作筒,压力机滑块下行,首先两半凹模闭合,形成闭式模膛,然后两半凹模一起下行到接触支承板9而被压紧。此时,内滑块下行,冲头11对坯料施加作用力使变形金属径向流动形成法兰(得到带法兰的实心件或作为带法兰空心件的第一工步),或对带法兰的实心预成形件进行反挤成形(作为带法兰空心件的第二工步)。变形金属充满模膛后,多余金属流入分流腔。模锻结束后,滑块回程,冲头回到原始位置,顶出器由凹模中顶出锻件。

在双动压力机上采用闭式模锻工艺生产带法兰锻件,单工步的生产率为8~9件/min;双工步的生产率为4~5件/min。模具寿命6~9千

件, 平均每件节省金属材料 0.265 kg, 由此工艺组成的生产线每年节省钢材 257 t。

4.4 双动压力机

双动压力机分机械传动和液压传动两种型式。目前制造的双动曲柄压力机主要用于薄板拉伸工序, 而制造的双动热模锻压力机并形成系列化生产的仅有俄罗斯的沃龙涅什重机公司。研制并应用双动液压锻造压力机有日本和中国。

(1) 双动热模锻压力机

图 25.4-78 为沃龙涅什重机公司制造的双动曲柄热模锻压力机的传动系统。安装在轴承 2 上的偏心轴 1 通过连杆 6 带动内滑块 5, 而两个连杆 3 (上端与偏心轴 1 相连) 通过杠杆系统 7、8、9 和拉杆 10 带动外滑块 4 运动。

该压力机与模具的装配关系如图 25.4-79a 所示, 图中 8 为与图 25.4-78 中 4 所示的外滑块, 9 为内滑块 (图 25.4-78 中的 5)。10 为冲头, 11、14 分别为上、下模座, 12、13 分别为上、下两半凹模。上半凹模 12 固定在上模座 11 上, 下半凹模 13 固定在下模座 14 上。上模座固定在外滑块 8 上, 冲头固定在内滑块上, 下模座固定在工作台上。

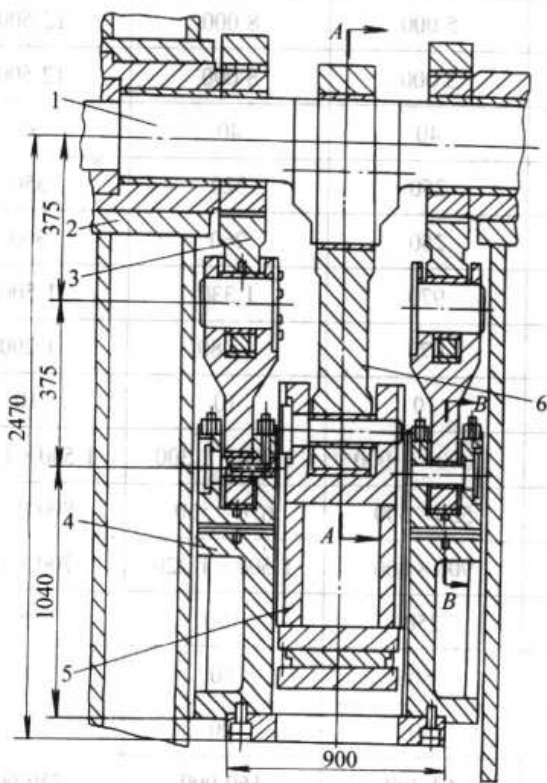


图 25.4-78 双动曲柄热模锻压力机传动系统

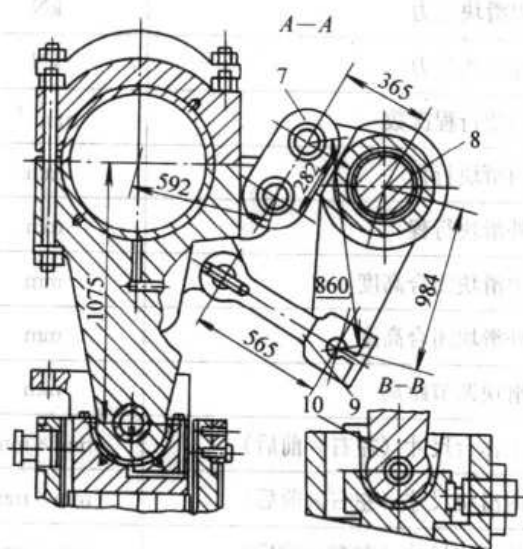
模锻时, 首先将加热好的棒料毛坯置于下半凹模 13 的模膛中, 开动压力机内、外滑块下行, 外滑块将两半凹模闭合压紧, 然后内滑块通过冲头施压使毛坯变形充满模膛, 模锻结束时, 内滑块首先回程带动冲头从锻件中退出, 然后外滑块回程并带动上半凹模张开, 顶出器将锻件从下半凹模中顶出, 取走锻件, 即完成一个工作循环。

图 25.4-79b 为 5 000/5 000 kN 双动热模锻压力机组, 其模锻生产过程的顺序为: 在感应加热器 3 中加热好的毛坯沿滑道 2 供给接收器 4 以便定位, 自动夹钳 5 将接收器 4 中的毛坯放入下半凹中, 模锻结束后, 当锻件被顶出时, 夹钳 4 将其抛入滑道 6 中。

双动曲柄热模锻压力机系列及参数列于表 25.4.4。

(2) 双动液压模锻压力机

图 25.4-80 为华中理工大学和湖北省汉阳锻压机床总厂共同研制成的 HYD-Y61-400/600 型双动液压模锻压力机 (双动挤压机) 原理图。主机由一个主液压缸、两个侧液压缸、两个快速液压缸、下顶出液压缸和下凹模浮动液压缸与内、外滑块和框架式钢板焊接机身组成。液压传动与控制系统包括 27 MPa 高压主系统、5 MPa



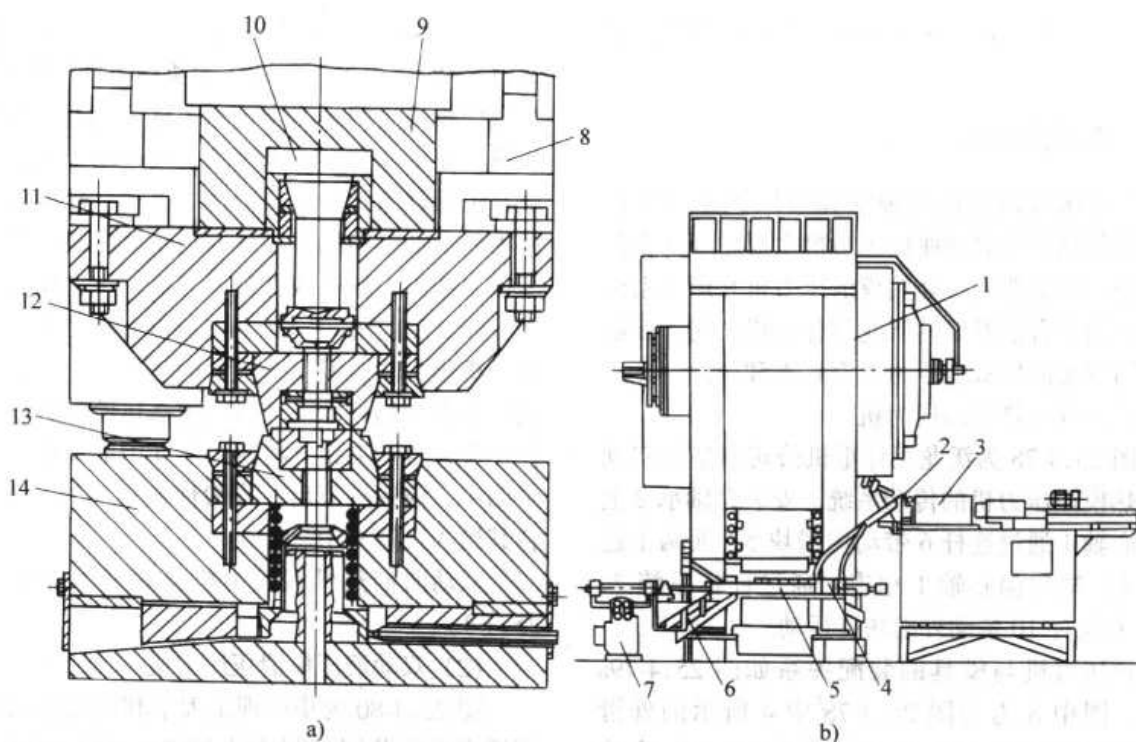


图 25.4-79 双动曲柄热模锻压力机及其机组

a) 压力机 b) 机组

表 25.4-4 双动曲柄热/模锻压力机技术参数

参 数	单 位	5 000/5 000	8 000/8 000	12 500/12 500
总压力	kN	10 000	160 000	
内滑块压力	kN	5 000	8 000	12 500
外滑块压力	kN	5 000	8 000	12 500
滑块行程次数	min ⁻¹	40	40	32
内滑块行程	mm	250	320	350
外滑块行程	mm	250	260	300
内滑块闭合高度	mm	970	1 330	1 500
外滑块闭合高度	mm	970	1 080	1 200
滑块调节距离	mm	10	10	10
工作台尺寸 (左右×前后)	mm×mm	1 000×1 000	1 400×1 300	1 500×1 400
内滑块尺寸 (左右×前后)	mm×mm	520×500	670×560	800×630
外滑块尺寸 (左右×前后)	mm×mm	900×800	1 500×1 220	1 700×1 400
下顶出器顶出力	kN	250	150	250
下顶出器顶出行程	mm	80	80	100
电机功率	kW	90	90	110
机器总重量	kg	64 400	160 000	250 000

中压辅助系统和循环过滤、冷却系统三部分。电气控制系统是采用 PLC 机进行程序控制，可实现手动、半自动和全自动循环工作。

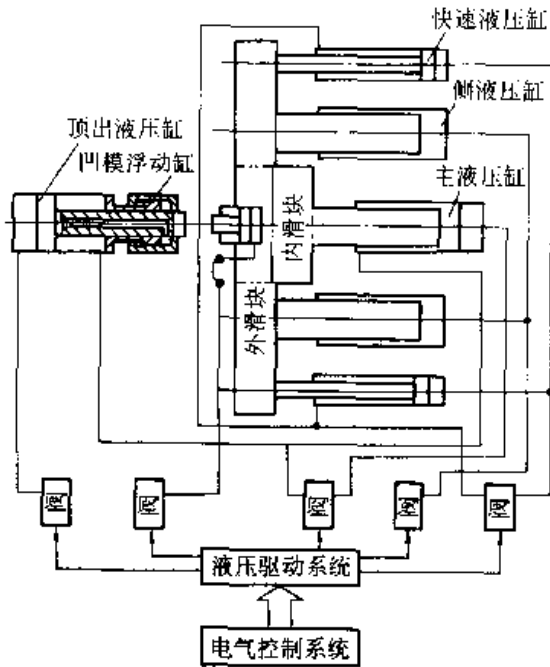


图 25.4-80 HYD-Y61-400/600 双动挤压机原理图

闭式锻造时，外滑块在两个柱塞液压缸的作用下使上半凹模与安装在工作台上的下半凹模闭合并压紧，然后内滑块在活塞液压缸的作用通过冲头迫使毛坯变形充满凹模模腔，模锻结束时，首先活塞液压缸下腔进油带动内滑块快速回程，使上半凹模与下半凹模脱开，顶出器将锻件从有意留在下半凹模中的锻件迅速顶出。该机的结构、技术性能和工艺适用范围有如下特点：

1) 采用全液压传动，压力机内、外滑块的公称压力随锻件的几何形状和尺寸的变化可进行调节；滑块行程速度快，尤其是内滑块在公称压力下的行程速度快，且能在较大范围内进行调节，因此，工艺应用范围宽，特别适合于变形形成大的闭式锻粗和挤压工艺。

2) 对于压力机框架式机身采用有限元法进行优化设计，并采用钢板整体焊接结构，机身刚度好；内外滑块分别以立柱的 X 形导轨导向，各导轨间隙均可以调整，导向精度高。这些都有利于提高锻件的尺寸精度和模具使用寿命。

3) 在高压主系统的三台斜轴式柱塞泵上配备有电动机和飞轮，压力机非工作状态时，飞轮加速储蓄能量，当热挤压模锻时，飞轮减速释放

能量，明显减少电动机功率，起到了节能效果；此外，采用离心泵对主泵供油，在主、侧缸充液阀芯内设有卸压阀，可使液压缸实现二次卸压过程，这些措施有效地减小了噪声和压力冲击。

4) 主机结构比较简单，使用维修比较方便。

HYD-Y61-400/600 双动挤压机主要技术参数列于表 25.4-5。

表 25.4-5 HYD-Y61-400/600 双动挤压机主要技术参数

项 目	单 位	数 值
总压力	kN	10 000
外滑块压力	kN	6 000
内滑块压力	kN	4 000
内滑块行程	mm	400
外滑块行程	mm	400
内滑块最大开启高度	mm	1 220
外滑块最大开启高度	mm	1 100
工作台尺寸 (左右×前后)	mm×mm	1 260×1 050
内滑块尺寸 (左右×前后)	mm×mm	500×500
外滑块尺寸 (左右×前后)	mm×mm	1 100×880
内滑块速度	空程向下	mm/s 400
	工作行程	mm/s 70
	回程	mm/s 400
外滑块速度	空程向下	mm/s 400
	工作行程	mm/s 49
	回程	mm/s 400
下顶出器压力	kN	250
下顶出器行程	mm	88
下凹模浮动缸总力	kN	50
下凹模浮动缸行程	mm	80
上打料缸压力	kN	35
上打料缸行程	mm	50
主电机功率	kW	3×55
机器重量	kg	≈70 000

日本三菱重工制造的 MCF 型双动液压模锻压力机技术参数列于表 25.4-6。

表 25.4-6 日本三菱重工制造的双动液压模锻压力机技术参数

参 数	单 位	型 号		
		MCF450	MCF1100	
最大压力	kN	4 500	11 200	
行 程	mm	400	425	
模块面积 (上)	mm×mm	550×600	1 000×850	
模块面积 (下)	mm×mm	600×700	1 020×860	
封闭高度	mm	1 160	1 500	
主 滑 块 速 度	高速前进	mm/s	230	200
	加压前进	mm/s	20	20
	高速回程	mm/s	147	140
	低速回程	mm/s	24	20
上 下 副 滑 块	最大压力	kN	2 000	5 000
	行程	mm	150	100
	加压速度	mm/s	20	24
一 般	液压泵功率	kW	120	347
	动作油压	MPa	2 100	2 100
	油容量	L	2 300	5 500
	机器重量	kg	54 000	148 000

1999年, 华中科技大学与黄石锻压机床公司共同设计制造第三台液压双动模锻压力机, 该机内、外滑块压力均为 4 000 kN, 还设计有 2 000 kN 的下油缸, 内滑块工作速度为 20 mm/s。采用计算机控制。

主要用于轿车等速万向联轴器星形套, 三销轴和齿轮等小型关键零件的冷态或温态闭式精密模锻。

(3) 设备吨位的选择

对于双动压力机吨位的选择必须同时根据锻件的模锻成形力和可分凹模的合模力来选择内、外滑块的压力。其原则是使成形力小于或等于内滑块的公称压力, 合模力 (即张模力) 小于或等于外滑块的公称压力。

1) 一般计算公式 成形力的计算可分下面两种情况:

① 在分模面上的投影为圆形的锻件

$$F = 8(1 - 0.001D) \left(1.1 + \frac{20}{D} \right)^2 \sigma_b A$$

② 在分模面上的投影为非圆的锻件

$$F = 8(1 - 0.001D) \left(1.1 + \frac{20}{D'} \right)^2 \left(1 + 0.1 \sqrt{\frac{L}{B_m}} \right) \sigma_b A$$

式中 D ——锻件直径;

D' ——折算直径, $D' = 1.13 \sqrt{A}$;

L ——锻件在投影面积上的最大外廓尺寸;

B_m ——锻件在投影面积上的平均宽度,

$$B_m = F/L;$$

σ_b ——终锻温度下金属材料的抗拉强度;

A ——锻件在分模面上的投影面积。

而合模力可按式计算:

$$Q = pA$$

式中 p ——闭式模锻时的单位压力, 可取变形金属作用于凸模上单位流动压力的 0.9~1.1 倍;

A ——锻件在凹模分模面上的投影面积。

2) 对于枝芽类锻件, 采用图 25.4-72a 所示可分凹模结构的模具进行模锻时, 其挤压力 p 即作用在内滑块上的力可利用如下计算公式计算:

$$p = \sigma_s \left[1 + 2 \left(\ln \frac{d}{d_k} + 2\mu \frac{l_k}{d_k} + \frac{l}{d} \right) + \frac{1}{6} \frac{D}{h} \right]$$

也可采用下面的公式计算:

$$p = \sigma_s \left(\frac{D^2}{2\sqrt{3}d^2} + \frac{4d^2}{\sqrt{3}D^2} + 2\ln \frac{d}{d_k} + 4\mu \frac{l_k}{d_k} + \frac{2l}{d} \right)$$

其张模力的计算公式为

$$Q = (A_f - A_0) p_0 + 4dl_k \sigma_s$$

式中 A_f ——锻件的水平投影面积;

A_0 ——挤压筒的横截面积;

p_0 ——单位张模力, 可取 $p_0 = (0.8 \sim 1) p$ 。

公式中的尺寸符号见图 25.4-81。

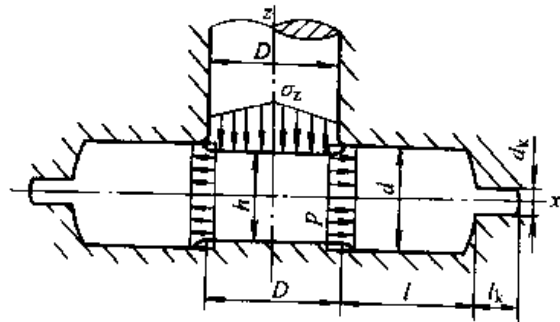


图 25.4-81 枝芽类锻件径向挤压结束状态
由于侧向通道端部有小的排料孔, 故计算

p_0 时, 其系数可取小值, 即取 0.8。

3) 对于杯形件和筒形件, 其挤压成形力即作用于内滑块上的力可按下面两种情况计算 (图 25.4-72b):

当 $2a < \delta \leq 4a$ 时

$$F = \frac{\pi}{2} \sigma_s (D + D_b) (\delta - 2a) (1 + a)$$

当 $\delta > 4a$ 时, 利用模膛角隙充满程度的解, 得到:

$$F = 2\pi\varphi_n \left(\frac{D^2 - D_b^2}{\delta} - \frac{aD + aD_b}{2} + 2\pi c_1 \left[\frac{D^2 - D_b^2}{\delta} \left(\ln \frac{D - D_b}{\delta a} - 1 \right) + a(D + D_b) \right] \right)$$

式中 δ ——杯形件壁厚, $\delta = \frac{D - D_b}{2}$;

$a \approx \pi/4$;

φ_n ——非均匀应力, $\varphi_n = 2.07$;

a ——角隙处变形金属形成的圆角半径或自然斜面。

公式中的尺寸符号见图 25.4-82。

对于闭式反挤或冲孔, 也可采用在端部产生纵向飞边的闭式模锻时单位变形力的计算公式进行计算。

4) 对于图 25.4-72c 所示圆锥或斜面自锁式垂直可分凹模模锻, 其成形力可根据锻件形状特点及变形方式选择合适的经验公式或理论公式进行计算。

模锻时凹模压紧圈受力状况如图 25.4-83 所示。 F_1 为挤压模锻时产生的水平分力即垂直可分凹模的张模力, 则作用于凹模压紧圈斜面上的垂直 (法向) 和平行 (切向) 分力分别为

$$F' = F_1 \cos \alpha$$

$$F'' = F_1 \sin \alpha$$

对于凹模压紧圈所产生的垂直方向的作用力为

$$F''' = F'' \cos \alpha \\ = F_1 \sin \alpha \cos \alpha$$

使两半可分凹模严密地贴为一体的条件:

$$F \geq F_1 \sin \alpha \cos \alpha$$

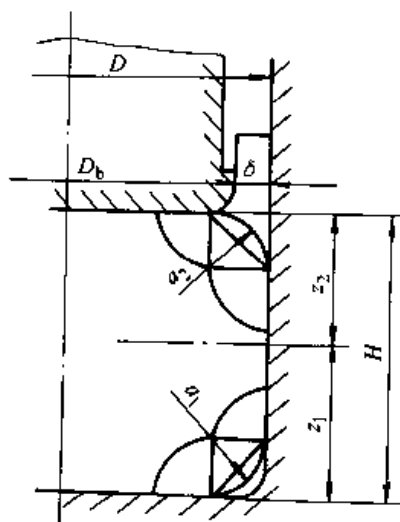


图 25.4-82 闭式反挤 (冲孔) 示意图

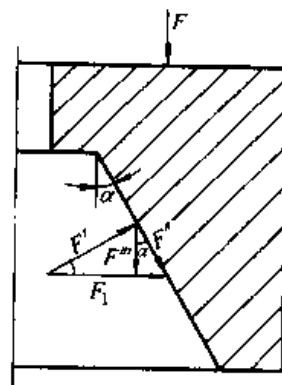


图 25.4-83 凹模压紧圈受力状况

第5章 多向模锻模具设计

1 概述

1.1 多向模锻的特点

多向模锻综合了模锻和挤压的优点,突破了模锻锤、水压机和曲柄压力机的局限性;改变了—般锻件敷料大、余量和公差大、肥头大耳的落后状况;更重要的是,可锻出其他各类锻压方式无法或较难生产的形状复杂的锻件。多向模锻为实现毛坯精化、少或无切屑加工,以及优质、高产、多品种、低消耗开辟了一条新途径。

(1) 多向模锻工艺原理

多向模锻是在多向模锻水压机或机械压力机上,利用可分模具,毛坯经一次加热和压机一次行程作用,获得无飞边、无模锻斜度(或小斜度)、多分支或有内腔、形状复杂的锻件的一种新工艺。

多向模锻零件成形是在具有多个分模面的封闭腔内进行的,因此,也可以称之为可分凹模模锻。可分凹模与冲头作水平或垂直方向的运动而形成多向模锻工艺过程。若按分模面的特征可分为水平分模、垂直分模和混合式分模三种基本形式。当凹模闭合后,单个冲头或多个冲头自不同方向同时或先后对毛坯进行挤压,如图 25.5-1 所示。

第一种情况(图 25.5-1a)是把两半凹模固定在水压机的水平柱塞上,将主变形冲头固定在垂直的主柱塞上,以水平柱塞压紧两半凹模,把坯料装入模腔中,用主冲头对其进行变形,然后再用辅助冲头完成锻件的最后成形。打开两半凹模,用水平柱塞从模腔中顶出锻件。

第二种情况(图 25.5-1b)是把两半凹模分别固定在水压机工作台和垂直的主柱塞上,主变形冲头则固定在水平柱塞上,接着把坯料装入下半凹模,使上、下两半凹模合拢并压紧,主冲头对坯料进行变形,然后再用辅助冲头完成锻件的最后成形。打开两半凹模,用垂直冲头从模腔内顶出锻件。

第三种情况(图 25.5-1c)是把坯料放在下模上,使两半凹模合拢、压紧并用上冲头进行变形,然后再把两个水平冲头挤入坯料中,从垂直方向对锻件进行冲孔。此后,打开锻模,将锻件从模腔中取出。

多向模锻水压机挤压模锻的锻件尺寸精度可达 4 级,表面粗糙度 R_a 为 $40 \sim 10 \mu\text{m}$ 。锻件组织致密,流线分布与锻件形状一致,机械性能符合技术要求。

(2) 毛坯的形状和尺寸

毛坯的形状和尺寸对锻件成形有着重要的影响。如对水平分模的导弹喷管进行了 5 种不同形状和尺寸的毛坯试验,如图 25.5-2 所示。其中, a 和 b 是预制坯,这两种毛坯两端的体积与锻件两端的体积相等。变形时,由于小端变形阻力大,而且定位不牢,因而有一部分金属流向大端。由于这两种毛坯的变形过程为纯挤压变形(见图 25.5-3a),结果大端料多而压不靠,小端料少而充不满。c 也是预制坯,在成形方面比 a、b 好,但因制坯时卡腰的尺寸不准确,而且在型腔中放置的位置不易调整,因此,影响毛坯体积分配和锻件成形。d、e 两种毛坯均采用 $\phi 70 \text{ mm}$ 的圆棒料,由于 d 种毛坯是沿整个长度方向压扁,结果在锻件的大端产生壁厚不均匀的现象。e 种毛坯在相应锻件大端留 30 mm 的长度不压扁,结果锻件成形良好。其原因是毛坯的形状细长,变形方式为墩挤综合变形(图 25.5-3b)。此外, e 种毛坯在型腔中放置的位置可以调整,使毛坯体积得到合理分配。由此可见,正确选择毛坯形状和尺寸及其体积分配,对锻件成形有直接影响。要求毛坯尺寸精确,下料时应按严格的公差,且采用锯切下料为好。

(3) 多向模锻中的金属流动分析

多向模锻过程中的金属流动与锻件的形状、毛坯形状和尺寸、变形方式、变形温度和润滑等因素有关。而金属流动情况,对锻件成形质量、模具寿命、力能消耗等均有较大影响。图 25.5-4 所示为缸体(图 25.5-7c)锻件在多向模锻成形过

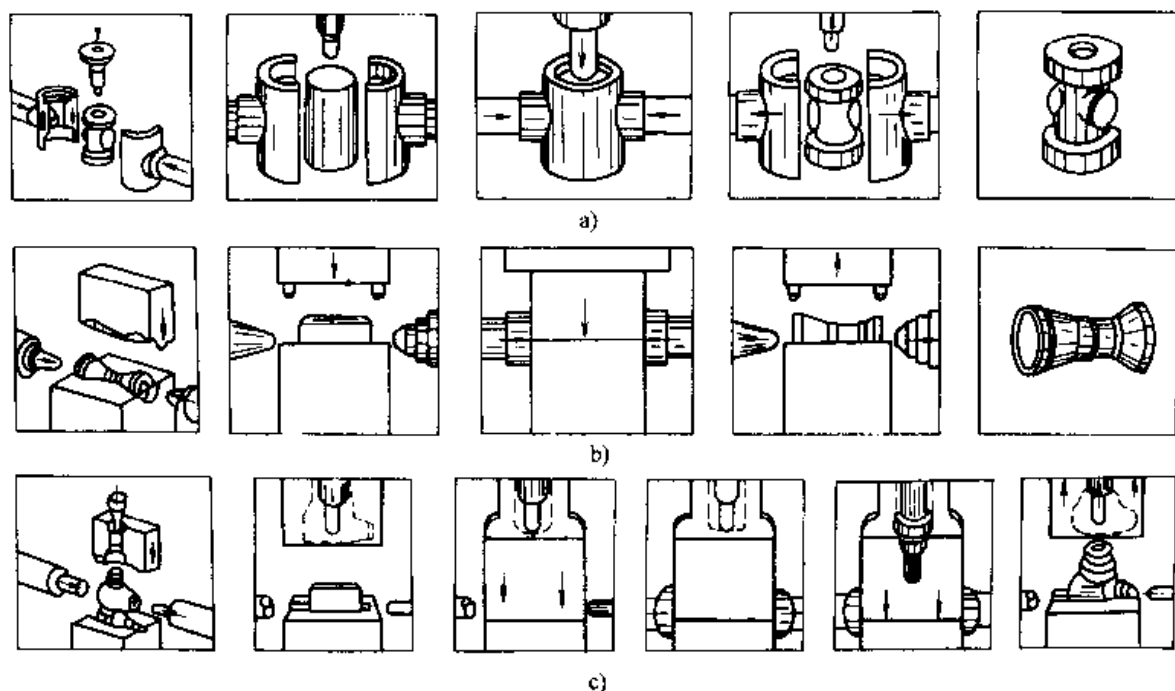


图 25.5-1 多向模锻水压机上可分凹模模锻的基本型式
a) 垂直可分凹模 b) 水平可分凹模 c) 混合式可分凹模

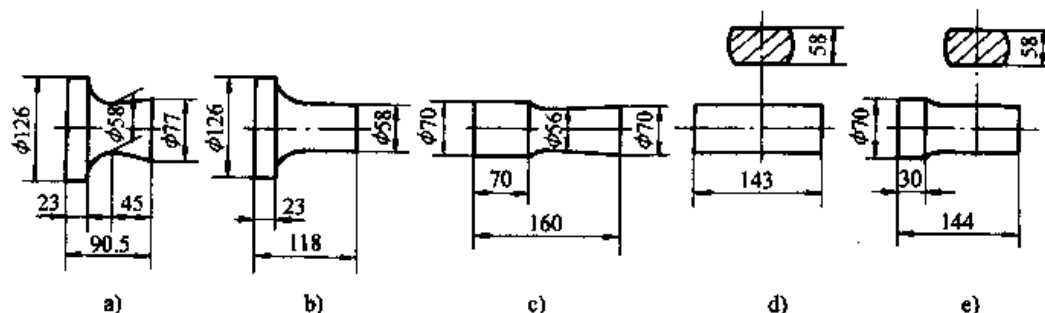


图 25.5-2 喷管毛坯的形状和尺寸

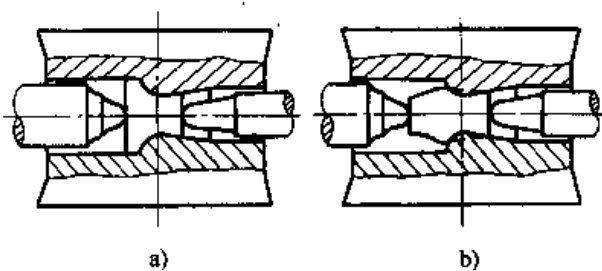


图 25.5-3 双向挤压成形

a) a型毛坯挤压成形 b) e型毛坯挤压成形

程中的金属流动情况。缸体多向模锻采用水平分模，两个冲头对向进行挤压成形。由于锻件形状在连皮两侧不对称，两端的变形程度、变形阻力等也就不同。因此，两端的变形过程与金属流动也有差别。第一阶段的变形如图 25.5-4a 所示，当两个冲头接触毛坯端面开始加压时，由于毛坯

与凹模之间存在空隙，金属沿径向流动，此时以墩粗为主，同时也有少量的挤压变形。当毛坯与模壁间空隙充满后，冲头继续对向运动，如图 25.5-4b 所示，一旦小孔端充满后，冲头继续压入，主要是闭式冲孔变形，而在大孔端，金属沿冲头运动反向流动，主要为反挤压变形。由于侧向阻力很小，金属容易流向平台和凸耳，这就产生侧向挤压，如图 25.5-4c 所示。在冲头行程的最后阶段，金属主要向凸耳深处流动，而在小孔端还向冲头运动方向流动，可以认为是侧正挤压变形，在大孔端的金属除了流向凸耳深处外，也向大孔端流动，可认为是侧反挤压变形。

(4) 多向模锻预锻件的设计及预锻工序的选用

对于多向模锻，当金属变形量超过塑性变形

规则、毛坯金属中有明显的温度不均匀现象以及锻件过于复杂等情况下，必须设计预锻工序。前一种情况下应设计预锻工序的原因已作了分析说明。对于第二种情况即当毛坯金属中有明显的温度不均匀现象时，将导致低温部分难于变形，变形抗力急剧增高；高温部分在冲头退出时，特别

是当冲头冲完深孔后脱模时，如果脱模力超过该部分的热极限强度时，可能会在高温部分将锻件拉断而报废。另外，温度不均匀现象与锻件图的设计也有一定的关系。锻件过于复杂时也往往会导至多冲头冲孔时的不同步和温度变化严重不均匀，从而导至不能一次模锻成形。

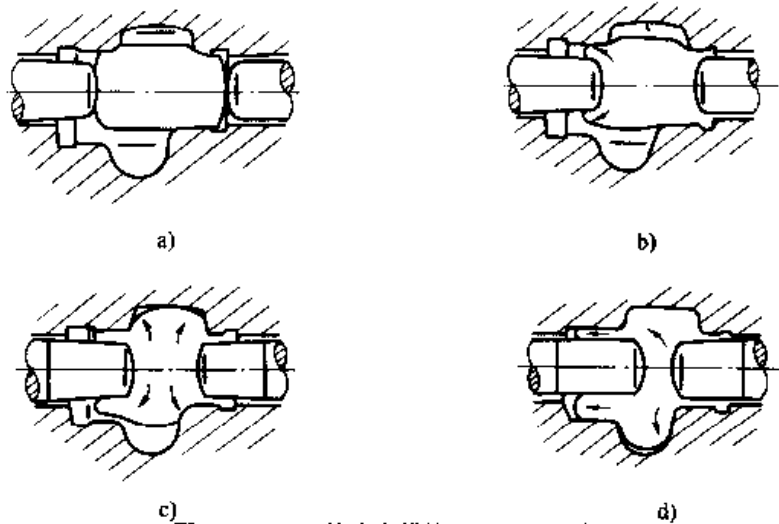


图 25.5-4 缸体多向模锻金属流动示意图

现以图 25.5-5a 所示套筒锻件为例，讨论预锻工序的设计问题。该锻件在成形过程中出现中部温度高，两端温度低的现象，故需设计预锻工序。其预锻件如图 25.5-5b 所示。由图可见，预锻工序使套筒锻件外形和两端的孔成形。第二道工序即终锻时工件毛坯纯属反挤压成形，如图 25.5-15 所示。终锻时两端的凸圆台及凸耳只是在水平方向与挤压冲头运动相反的方向平移，不再参加变形，中间部分的两个凸耳也不参加变形。

毛坯金属在反挤压时不产生横向变形。

图 25.5-6 所示为轴耳的预锻和终锻工序。轴耳因形状结构的复杂性难于一次成形，该锻件是在 20 000 kN 多向模锻液压机上进行锻造的。在预锻工序（上图）中冲头冲出头部的两个不通孔，同时依靠冲孔时的挤压作用使头部的凸耳预成形。终锻（下图）时的主要变形是对预锻件的实心杆部进行反挤而形成空心杆部。此外，锻件头部左右两孔被做成平底，与此同时，借助三个冲头的挤压作用使凸耳达到所要求的形状和尺寸。

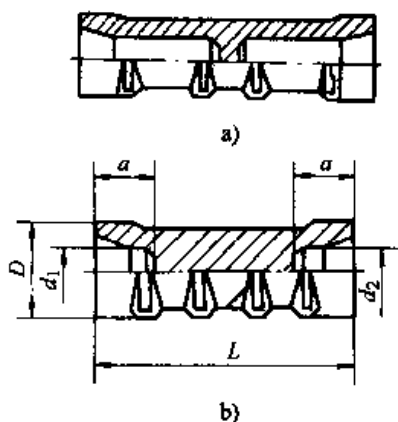


图 25.5-5 套筒锻件预锻工序的毛坯
a) 锻件 b) 预锻件

预锻件的长度尺寸 L 根据毛坯变形前后体积相等的原则计算，而确定尺寸 a 和 b 时应保证

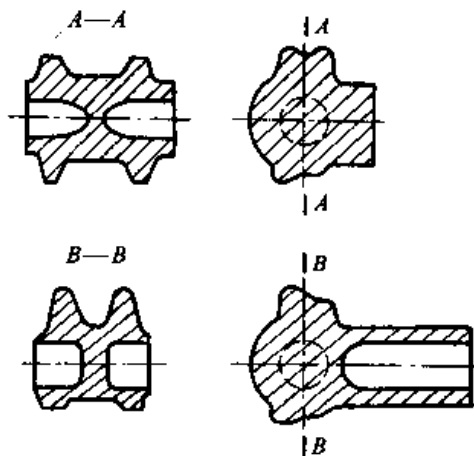


图 25.5-6 轴耳的预锻和终锻

(5) 典型多向模锻件的工艺参数

数列于表 25.5-1。多向模锻件与普通锻件的经济

我国近年来生产的典型多向模锻件的工艺参

对比见表 25.5-2。

表 25.5-1 典型多向模锻件的工艺参数表

锻件名称	分模方式	材料牌号及规格	加热温度/°C、时间/min 和设备	模具预热温度/°C	使用设备压力/kN	模锻次数	模锻温度范围/°C	润滑及脱模剂	冷却方式
下套筒	水平分模	30CrMnSiA φ80 mm×125±1 mm	1 200±10 20~30 油炉	150~200	压模 9 600 变形 4 600	1	1 200~850	石墨+机油	堆冷
助力器 小外筒	垂直分模	30CrMnSiA φ68 mm×110 _g mm	1 200±10 20 油炉	150~200	压模 4 600 变形 3 200	1	1 200~850	石墨+机油 毛坯端面放 脱模剂	堆冷
球形接头	联合分模	GCr9 φ70 mm×68 ⁺¹ ₀ mm	1 200±10 15~20 油炉	150~200	压模 4 600 加套圈 变形 6 400	1	1 150~800	石墨+机油	堆冷
缸体	水平分模	20Cr φ100 mm×141 mm	油炉	—	压模 9 600 变形 3 210	1	1 200~880	石墨乳制	堆冷

表 25.5-2 多向模锻件与普通模锻件的经济对比

锻件名称	项 目	完成锻件工序(道)	零件重量/kg	锻件重量/kg	毛坯重量/kg	材料利用率/%	机械加工工时/h
下套筒	普通模锻	19	0.76	8.80	10.0	7.60	3.08'
	多向模锻	8	0.76	5.05	5.12	14.9	2.38'
喷管	普通模锻	13	2.0	6.10	8.89	22.5	3.52'
	多向模锻	7	2.0	4.22	4.32	46.3	3.12'
大外筒	普通模锻		1.75	10.30	10.80	16.3	34
	多向模锻		1.75	5.02	5.20	33.7	32.30'
小外筒	普通模锻		0.83	5.10	5.35	15.5	34
	多向模锻		0.83	3.13	3.20	25.9	32.30'
球形接头	普通模锻	22	0.97	3.47	5.13	18.9	45
	多向模锻	9	0.97	2.0	2.05	47.3	19
缸体	普通模锻			13.7	15.2	29.6	
	多向模锻		4.5	8.1	8.7	51.7	

(6) 多向模锻的优点

多向模锻工艺的主要优点有:

1) 与普通模锻相比,多向模锻可以锻出形状更为复杂,尺寸更加精确的无毛边、无模锻斜度的中空锻件,使锻件最大限度地接近成品零件形状尺寸。从而显著提高材料的利用率,减少机械加工工时,降低成本。

2) 多向模锻只需毛坯一次加热和压机一次行程便可使锻件成形,因而可以减少模锻工序,

提高生产效率,并能节省加热设备和能源,减少贵重金属的烧损、锻件表面的脱碳及合金元素的贫化。

一次加热和一次成形,还意味着金属在一火之内得到大变形量的变形,也为获得晶粒细小均匀和组织致密的锻件创造了有利条件,这对于无相变的高温合金具有重要意义。

3) 由于多向模锻不产生飞边,从而可避免锻件流线末端外露,提高锻件的力学性能,尤其

是抗应力腐蚀性能。

4) 多向模锻时, 毛坯是处于强烈的压应力状态下变形的, 因此, 可使金属塑性大为提高, 这一点对于锻造温度范围窄的难变形合金来说尤为重要。

(7) 多向模锻工艺的适用范围

多向模锻可锻出其他各类锻压方式无法或较

难生产的形状复杂的锻件, 如中空架体、大型阀体、管接头、套筒体、飞机起落架、导弹喷管、发动机机匣、燃油泵壳体、盘轴组合件、高压阀体、高压容器、球形接头等。因此, 在航空、石油、化工、汽车、火箭及核动力等工业部门中得到广泛的应用。一些典型大型锻件如图 25.5-7 所示, 中小型复杂锻件如图 25.5-8 所示。

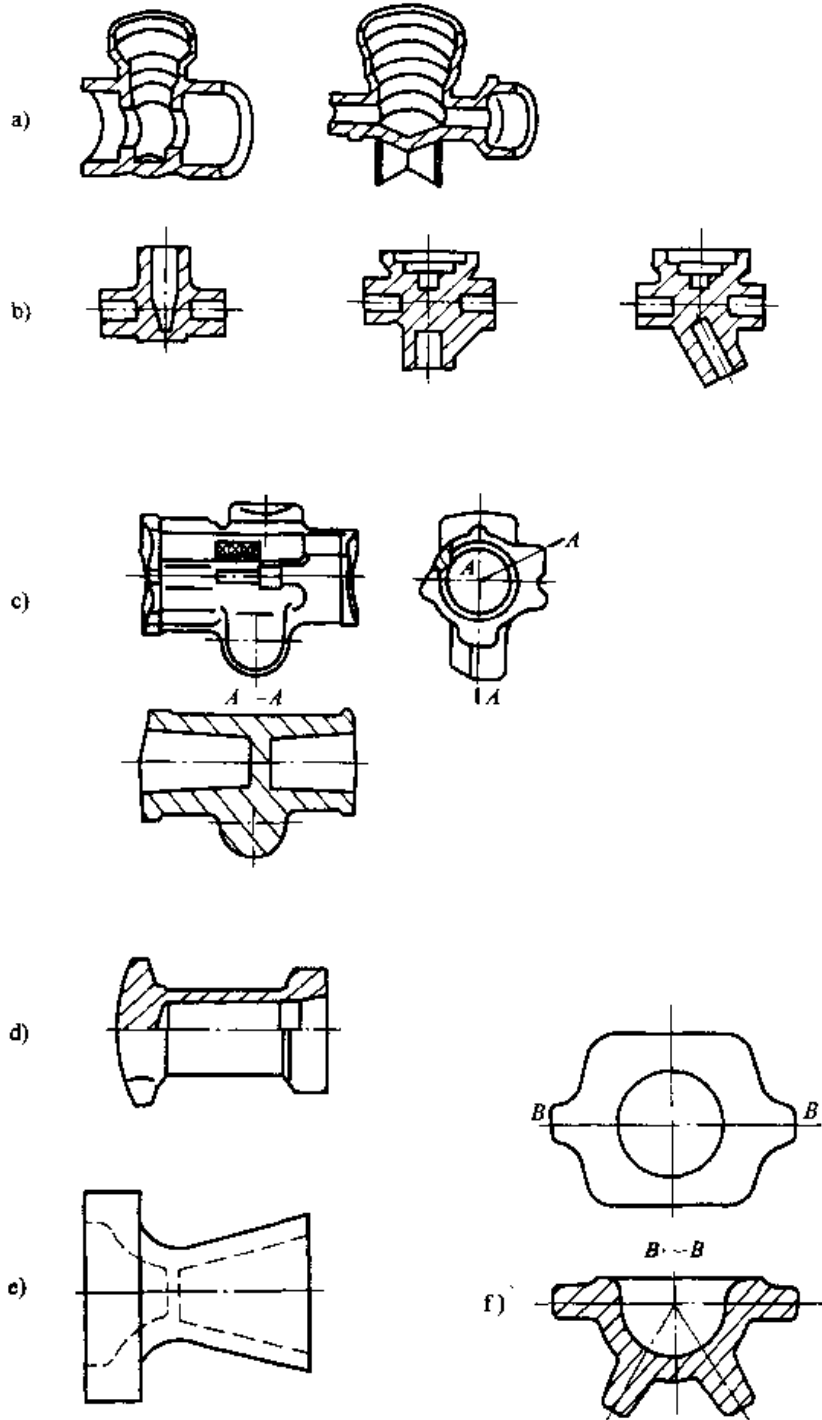


图 25.5-7 典型大型的多向模锻件

- a) 大型阀体 b) 大型管接头 c) 大型缸体 d) 大型套筒
e) 导弹喷管 f) 大型球形接头

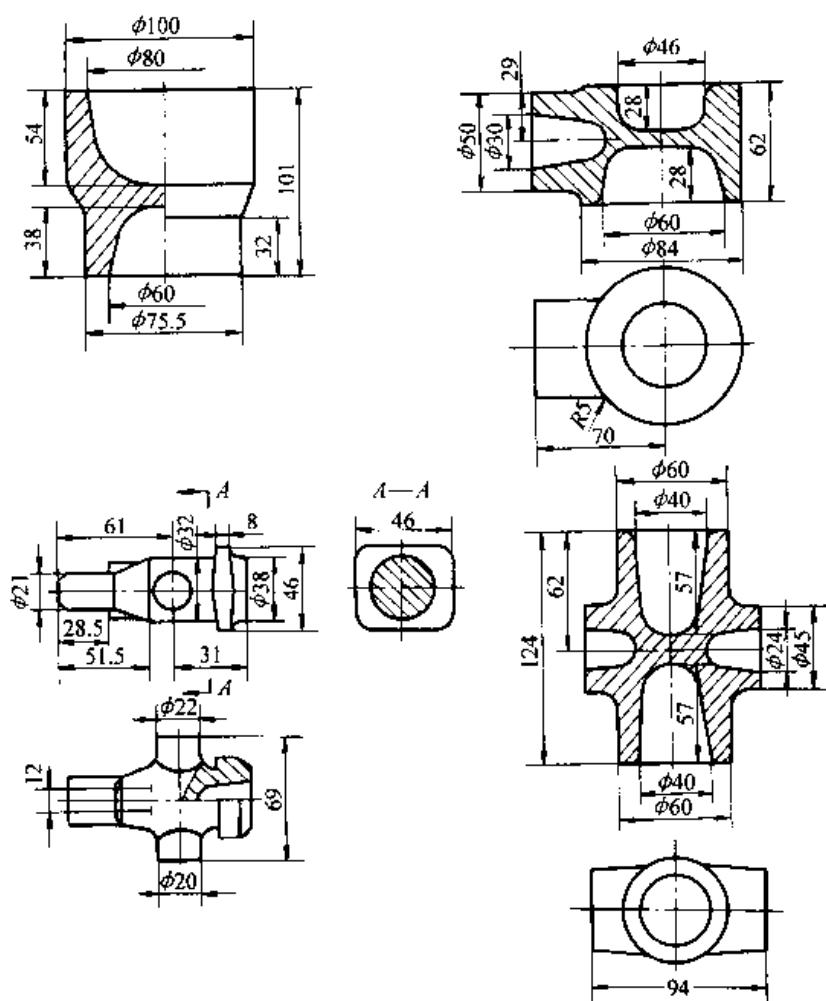


图 25.5-8 中小型复杂多向模锻件

1.2 多向模锻件图设计

多向模锻件设计的基本原则与普通模锻件的基本相同，但根据锻件外形及成形的特点仍有所不同，现分述如下：

(1) 分模面的选择

选择分模面的原则主要是锻件要容易脱模，金属要易于充满型腔。分模面有垂直、水平之分，它们分别如图 25.5-9 和图 25.5-10 所示。当锻件形状复杂，采用水平或垂直分模不能使锻件出模时，则必须采用垂直与水平联合分模或特殊分模方式，如图 25.5-11 所示的球形接头锻件即采用垂直与水平联合分模。垂直分模面选在 B-B 剖面，在两水平接头的中心线以下（见图中 C 向视图的 O-L 线）。水平分模面选在两个水平接头的水平中心线并逐渐过渡到方形法兰的下边缘（见图中 C 向视图的 ABCDEF 线）。燃油泵壳体锻件更为复杂，采用三向垂直分模的特殊方式，

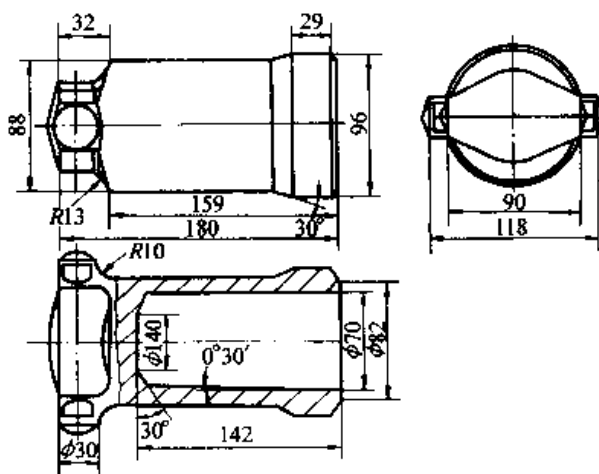


图 25.5-9 大外筒锻件图

如图 25.5-12 所示。

1) 模具的组合 多向模锻的模具有多个分模面，模具分为多块。单块制造比较简单，但是要将多块模具组合起来，形成封闭模膛并保证其尺寸精度，必须在分模面的选择上使模具易于组合。

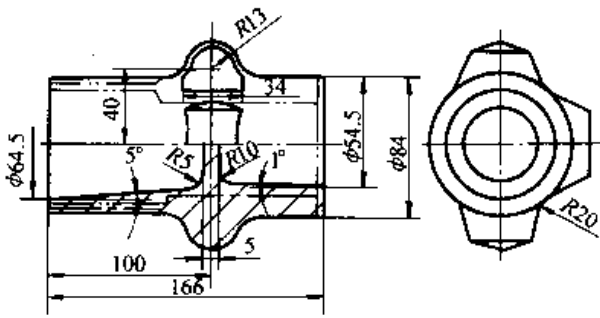


图 25.5-10 下套筒零件图

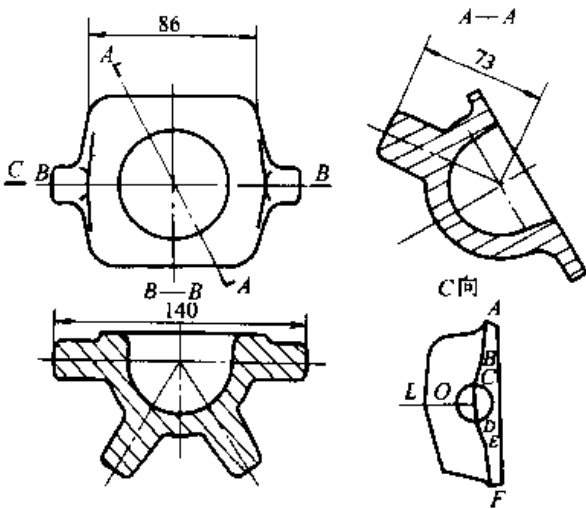


图 25.5-11 球形接头锻件图

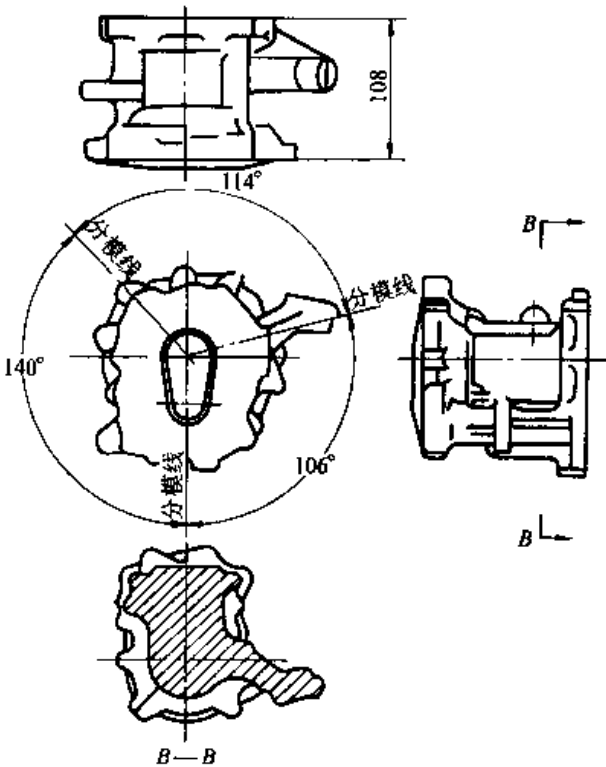


图 25.5-12 壳体锻件图

2) 凹模夹紧力的选择 通常由于凹模对坯

料的夹紧力大于冲头对坯料的成形力，因此，在一般情况下应将锻件的最大投影面置于压紧力的作用下，即把压紧力设计在热模锻压力机的滑块或液压机的主液压缸的作用下。

3) 分模面的布置 应尽量使锻件相对于分模面对称分布，对于凸台、凸肩及枝芽部分尤为重要。应避免曲面分模。

4) 孔中心线的布置 多向模锻锻件多为单孔、双孔或多孔型，应尽量使孔的中心线在水平方向，设计为挤压或墩挤变形状态。

(2) 余量和公差

多向模锻锻件，尤其是一些中小型件，一般采用闭式精密模锻成形，锻件的余量和公差可以达到很精密的程度，所以，余量和公差的确定可以尽量减小机械加工的切削加工量。在感应加热或少无氧化加热的情况下，多向模锻件的公差可达 0.075 mm 的精度。通常，大型多向模锻锻件的余量和公差可分别按表 25.2-2 和表 25.2-4、表 25.2-6 选择，即按普通级精度选择。中小型锻件的余量和公差可按表 25.2-3、表 25.2-5 和表 25.2-7 选择，即可按精密级选择。对于中小型锻件的余量和公差也可按普通级相应值的一半选取。

(3) 圆角半径

圆角半径的大小对多向模锻有很大的影响。圆角半径太小，则金属流动时的变形阻力大，不利于成形。但外圆角半径太大时，这些部位上的加工余量将减小。内圆角半径太大，则增加加工余量。因此，必须合理选用圆角半径。多向模锻件圆角半径可按锤上模锻圆角半径的 1/2~1/4 选用，或按表 25.5-3 确定。

表 25.5-3 多向模锻锻件圆角半径

(mm)		
孔深 L	外半径 R_1	内半径 R_2
~5	0.5~0.8	0.4~0.6
5~10	1.0~1.5	0.8~1.0
10~15	1.5~2.5	1.0~1.5
15~25	2.5~3.0	2.0~2.5
25~40	3.0~4.0	2.5~3.0
40~80	4.0~4.5	3.0~3.5
80~120	4.5~5.5	3.5~4.0

(4) 模锻斜度

多向模锻可以实现无模锻斜度或小斜度模

锻。如喷管锻件（图 25.5-13）就是利用其径向半圆弧作外斜度，内孔则利用其自然斜度，两端端面则是无斜度。因此整个锻件设计没有外加的模锻斜度。对于筒形锻件（见图 25.5-9），当孔深小于 1.5 倍孔径时，可采用无斜度，当孔深等于 1.5~2.5 倍孔径时，可采用 $0^{\circ}30'$ 的斜度。深孔模锻斜度要视成形的方式而定。开式反挤压成形（图 25.5-14）仅有反挤压变形，不须设计模锻斜度；闭式反挤压成形（图 25.5-15）除了反挤压变形外，两端的圆台及凸台进行墩粗变形，形成闭式反挤压，根据经验，模锻斜度可取 $0^{\circ}30' \sim 1^{\circ}$ ，此外还要有良好的润滑并采用效果良好的脱模剂。

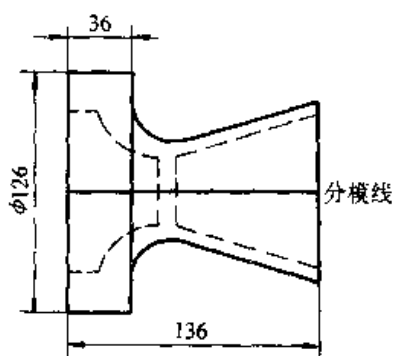


图 25.5-13 喷管锻件图



图 25.5-14 开式反挤压成形

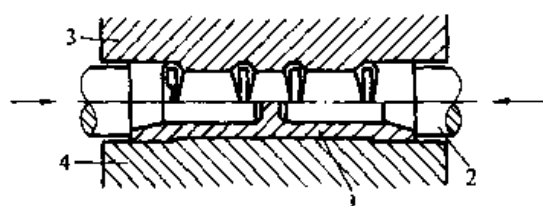


图 25.5-15 闭式反挤压成形

1—锻件 2—冲头 3—上半凹模 4—下半凹模

(5) 连皮设计

对通孔筒形锻件一般采用水平分模两向挤压方法，将通孔挤成两个不通孔，两孔之间有一层适当的连皮，如图 25.5-16 所示。连皮的厚度太薄，不仅使水平工作缸压力增大，而且还可能造成水平工作缸自相撞击。若连皮太厚，则增加材料和加工工时的浪费。合理的连皮厚度一般可按下式计算：

$$t = (0.1 \sim 0.2)d$$

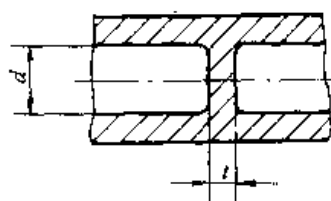


图 25.5-16 连皮厚度的计算

连皮的位置根据零件形状而定，如图 25.5-10 所示的下套筒锻件，筒体外有三个凸耳，为了有利于三个凸耳的成形，连皮设计在三个凸耳的垂直中心线上。又如喷管锻件（图 25.5-13），其连皮设计在内孔直径最小处。此外，设计连皮时，为避免连皮切除后流线末端外露，可加大其厚度，同时连皮的位置要避免选在零件受力的危险断面上。

(6) 空心锻件的内腔设计

图 25.5-17 所示为一空心锻件的一部分，孔腔尺寸可参照下列关系式确定：

$$\begin{aligned} L &< 5d \\ D &\geq 1.2d \\ h &= 0.12d \\ \beta &= 10^{\circ} \sim 30^{\circ} \end{aligned}$$

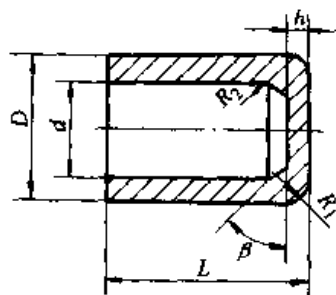


图 25.5-17 内腔尺寸的设计

R_1 、 R_2 按表 25.5-3 选取。

1.3 多向模锻力的计算

多向模锻件成形要克服金属自身的变形抗力、金属流动时与型腔间的摩擦力、锻件成形金属充填型腔的抗力及多模块的张模力。变形力与合模力须进行计算。

(1) 变形力的计算

影响变形力的因素很多，如锻件形状和材质、变形温度、变形程度、变形速度、变形方式（墩粗或挤压成形）和金属流动时与型腔的摩擦力等，故要计算准确是很困难的。尤其是闭式模锻时，坯料的体积对变形力影响很大。因此，目

前在生产中常采用以下经验公式计算：

$$F = KA\sigma_b$$

式中 F ——变形力；

K ——锻件形状系数，取6~8。形状简单取小值，形状复杂取大值；

A ——锻件在变形方向的投影面积；

σ_b ——锻造温度下的金属抗拉强度。

(2) 合模力的计算

多向模锻的凹模是采用可分的组合模，毛坯在封闭型腔中变形时，对模壁产生一种使可分凹模分开的张模力。因此，必须在可分凹模上施加一个能克服张模力的合模力，才能避免产生开模现象。当合模力不足时，张模力可使凹模张开，导致锻件形成飞刺，影响锻件质量，并能加速模具的磨损。因此，正确计算合模力，对选择设备吨位和保证锻件质量是极为重要的。

为了确定合理的合模力，应先求张模力 F_{zh} ，可按式确定：

$$F_{zh} = p_{ce}A_{he}$$

式中 p_{ce} ——变形金属作用于凹模壁上的侧向平均单位压力；

A_{he} ——锻件在合模方向上的投影面积。

实践表明，在终锻时，无论是实心圆柱体还是空心筒形件，侧向平均单位压力均小于变形的平均单位压力。因为变形金属并非流体，而是具有一定塑性的固体，加之变形金属与模具上下端面间的摩擦作用，均会阻碍金属侧向流动，从而造成侧向单位压力的减少。因此，在终锻时侧向平均单位压力可写成：

$$p_{ce} = (0.8 \sim 1)p$$

式中 p ——锻件变形的平均单位压力。

合模力与分模方式有关。垂直分模多向模锻过程如图 25.5-18 所示，图中 F_{he} 为液压机侧向柱塞 4 和 7 通过推杆 3 和 6 给予凹模的合模力； F_{zh} 为变形终了时，锻件对可分凹模 2 和 5 所产生的张模力； F 为变形终了时的变形力。

图中 25.5-18a 为原始位置，两半凹模合在一起，但尚未施加合模力；图 25.5-18b 为模锻前模具在合模力 F_{he} 的作用下，两半凹模被紧紧地压在一起。由于推杆和两半凹模均系弹性元件，在合模力 F_{he} 作用下，推杆产生了弹性压缩变形 λ_1 ($\lambda_1 = L_1 - L_2$)，凹模产生了弹性压缩变

形 λ_a ；图 25.5-18c 为模锻时，模具在张模力 F_{zh} 的作用下，使推杆又被压缩了 $\Delta\lambda$ ，而凹模却减少了（松弛） $\Delta\lambda$ 的变形量。

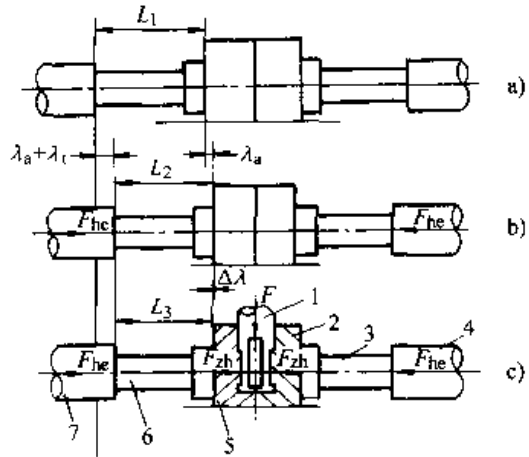


图 25.5-18 垂直分模多向模锻过程简图

a) 原始位置 b) 合模位置 c) 终锻位置

1—凸模 2—右凹模 3—右推杆 4—右柱塞
5—左凹模 6—左推杆 7—左柱塞

力-弹性变形关系图如图 25.5-19 所示。在此图中，纵向表示力，横向表示弹性变形，每种力都对应着它在压紧机构中的弹性变形量。由图 25.5-19 可知，推杆总压缩量为 $\lambda_1 + \Delta\lambda$ ，凹模余下的压缩量为 $\lambda_a - \Delta\lambda$ 。此时，作用于凹模接触面上的合模力由 F_{he} 减小到 F'_{he} ， F'_{he} 称为作用在凹模接触面上的残余合模压力。由此可见，当 $F'_{he} < F_{zh}$ 时，就易产生开模现象。

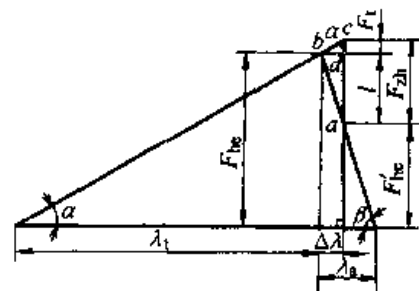


图 25.5-19 推杆、半凹模的力-弹性变形图解

由图 25.5-19 可得出：

$$F_{he} = F_{zh} + F'_{he} - F_t \quad (25.5-1)$$

$$F_{zh} = F_t + l \quad (25.5-2)$$

在 $\triangle bcd$ 中

$$bd = \frac{F_{zh}}{\tan\alpha} \quad (25.5-3)$$

在 $\triangle abd$ 中

$$l = bd \tan\beta \quad (25.5-4)$$

将式 (25.5-3) 代入式 (25.5-4) 得：

$$l = \frac{F_t \tan \beta}{\tan \alpha} \quad (25.5-5)$$

将式 (25.5-5) 代入式 (25.5-2) 得:

$$F_{zh} = F_t + \frac{F_t \tan \beta}{\tan \alpha} = F_t \left(\frac{\tan \alpha + \tan \beta}{\tan \alpha} \right)$$

或

$$F_t = \frac{F_{zh} \tan \alpha}{\tan \alpha + \tan \beta} \quad (22.5-6)$$

$$\tan \alpha = \frac{F_{he}}{\lambda_t} = C_t$$

$$\tan \beta = \frac{F_{he}}{\lambda_a} = C_a$$

式中 C_t 、 C_a ——推杆和半凹模的刚度系数。

所以式 (25.5-6) 可写成:

$$F_t = \frac{Z_{zh} C_t}{C_a + C_t} \quad (25.5-7)$$

将式 (25.5-7) 代入式 (25.5-1) 得:

$$F_{he} = F'_{he} + \frac{F_{zh} C_a}{C_a + C_t} \quad (25.5-8)$$

在张模力 F_{zh} 的作用下, 为防止开模, 在半凹模的接触面上必须有足够的残余合模压力 F'_{he} 。当 $F'_{he} \geq F_{zh}$ 时, 就能保证不开模。因此, 当取 $F'_{he} = F_{zh}$ 时, 则由式 (25.5-8) 可得出所需合模力:

$$F_{he} = F_{zh} \left(1 + \frac{C_a}{C_a + C_t} \right) \quad (25.5-9)$$

当 C_a 比 C_t 小很多时, 即推杆的刚度很大时, 由式 (25.5-9) 可得: $F_{he} = F_{zh}$, 即所需合模力等于张模力。反之, 当 C_t 比 C_a 小很多时, 即推杆的刚度很差, 则由式 (25.5-9) 可得: $F_{he} = 2F_{zh}$, 即所需合模力等于两倍的张模力。由此可见, 垂直分模时, 合模力一般为张模力的 1~2 倍, 这取决于推杆的刚度。

水平分模时, 由液压机的活动横梁压紧模具, 它相当于垂直分模时水平推杆的作用, 因其刚度远远大于推杆的刚度, 此时合模力等于张模力 ($F_{he} = F_{zh}$)。此外, 多向模锻液压机垂直方向的作用力一般均大于水平方向的作用力, 这样更易压紧凹模。

2 多向模锻压力机

多向模锻压力机分液压传动和机械传动两种形式, 大中型多向模锻压力机一般采用水压传

动, 小型多向模锻压力机既有采用油压传动, 也有采用机械传动的。小型多向模锻压力机放在本章最后结合工艺和模具一起介绍, 本节以四工位多向模锻液压机为例着重介绍大中型多向模锻水压机。

(1) 基本结构

图 25.5-20 为四工位多向模锻液压机示意图。这台多向模锻液压机本体结构为三梁 (上梁、下梁及活动横梁) 四柱式, 三个垂直工作缸均以台肩支承固定于上梁 2 上, 其柱塞下端与活动横梁 3 连接。两个回程缸分别装在上梁 2 的两侧, 通过四根拉杆 1 的提升活动横梁。上工作台 4 借燕尾配合用螺栓固定在活动横梁 3 下面, 台面另设有燕尾槽和 T 形槽用以固定垫板或模具。两个水平缸 5 和四个回程缸 (两个水平缸各配两个回程缸) 均以台肩支承, 分别固定于下梁 8 的两悬臂上, 模具可直接通过螺栓固定在水平柱塞上, 其回程是由缸底方向通过拉杆向后拖动柱塞。下工作台 7 安装在下梁 8 上平面凸出的 V 字形挡块和条形挡块之间, 并用斜楔和螺栓等紧固。

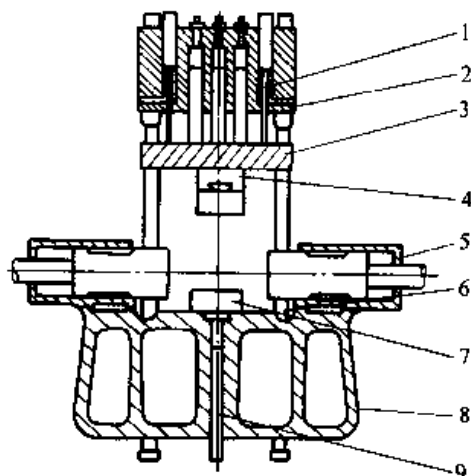


图 25.5-20 四工位多向模锻液压机示意图

- 1—拉杆 (四根) 2—上梁 3—活动横梁
4—上工作台 5—两侧水平工作缸 6—立柱 (四根)
7—下工作台 8—下梁 9—顶出装置

(2) 传动原理

图 25.5-21 是四工位多向模锻液压机的传动原理图。水平缸柱塞空程相对运动时, 低压水由充水箱 4, 经充水阀 3, 进入水平工作缸 1 和 2 内, 这时水平回程缸 5 及 6 的水, 经分配器 7 排入水箱 8 中。

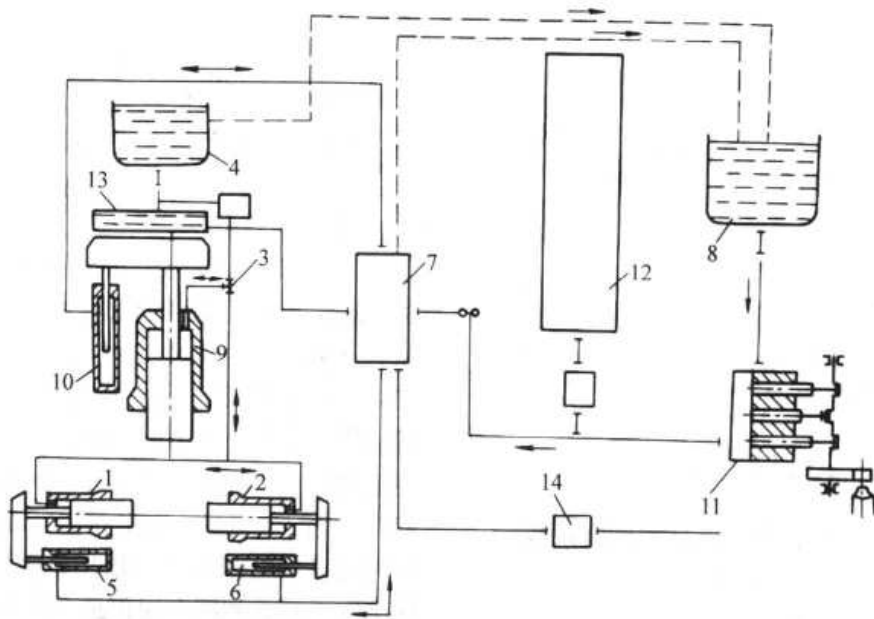


图 25.5-21 四工位多向模锻液压机的传动原理

1、2—水平工作缸 3—充水阀 4—充水箱 5、6—水平回程缸 7—分配器 8—水箱

9—垂直工作缸 10—垂直回程缸 11—高压泵 12—蓄能器 13—低压补偿器 14—高压缓冲器

垂直工作缸空程向下时，情况相同。低压水由充水箱4，经充水阀3，进入垂直工作缸9内，这时回程缸10的水经分配器7排入水箱8中。由于充水箱4与多向模锻液压机有一段较长距离，液压机空程向下速度较快，低压水须及时供应，此时，低压补偿器13的低压水，将自动流入工作缸。

当垂直缸和水平缸的模具与加热好的毛坯接触后，高压泵11及蓄能器12供给的高压水经分配器7进入工作缸内，工作行程开始。压力机停止工作时，高压泵11打出的高压水则储存于蓄能器中。管道中水力冲击较大，用高压缓冲器14予以消除，保证液压机稳定工作。两个水平缸可以相对运动，也可以单独一个运动，可以在垂直工作缸上的上模与下模闭合后再动作，从而满足多向模锻工艺的要求。

(3) 水平工作缸

多向模锻液压机各水平工作缸压力一般设计为垂直主缸压力的 $1/4 \sim 1/2$ 。水平工作缸压力以多级式最为节省。水平工作缸的同步性对锻件质量有很大影响。

1) 同步性 水平工作缸的工作行程异步，对于加工对称形零件，则先接触坯料的冲头将坯料推向慢的一边，造成金属分布超差。料多的一端在变形金属充满模膛后还会产生非设计需要的

飞边；而另一端会因料少而使锻件相应部分未充满。回程异步会造成拔模速度不一致，未充满的一端比充满的一端的卸件力小得多，冲头能顺利的先退回；而充满的一端，卸件力较大，加上飞边和温差等因素的影响，甚至会发生拉断锻件或损坏冲头等现象。

2) 同心度 两个水平工作缸的同心度是保证多向模锻件壁厚均匀的重要因素。为了达到设计要求，同心度除了在设计 and 制造多向模锻液压机时给予保证外，正确安装水平冲头与水平工作缸的柱塞也是重要环节。

3) 水平工作缸同步操作原理 水平工作缸同步操作原理如图25.5-22所示。为了保证水平工作缸8和9同步，在液压管道系统上安装了充液阀、节流阀、电磁分配阀及行程限位开关等元器件进行调节控制。高压水进入充液阀1后，流向水平工作缸之前，先经过管道上的节流阀2和3起到初调同步的作用。节流阀2和3分别由电磁分配阀6和7控制。当多向模锻液压机某一水平工作缸柱塞超前时，就首先碰上预先调整好的（水平冲头刚好与工件相接触）限位开关4或5，当反映到电磁分配阀6或7后，便使节流阀2或3关闭。当两个柱塞上的模具或冲头都达到同一进度要求时，可按动操作手柄上的按钮，两阀均开，再把手柄推到加压位置即可。另外，当工艺

要求某一水平缸单独工作时，可在操纵台上通过转换开关任意选择。

表 25.5-4 为国内、外多向模锻水压机主要技术规格。

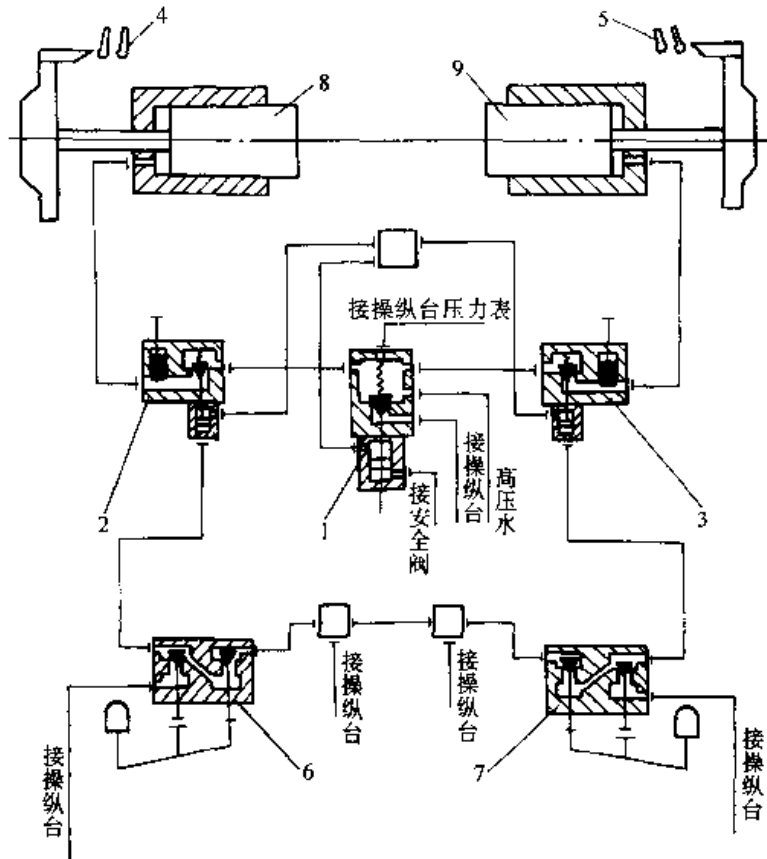


图 25.5-22 水平工作缸同步操作原理

1—充液阀 2、3—节流阀 4、5—限位开关 6、7—电磁分配阀 8、9—水平工作缸

表 25.5-4 国内外多向模锻水压机主要技术规格

公称压力/kN	8 000	20 000	36 000	45 000	72 000	100 000	100 000	180 000	300 000
工作液体压力/MPa	32	31.5	31.5			32	38.5~56		42.2
各缸的公称压力/kN	垂直缸	一级 2 700							
	二级	5 400							
	三级	8 000							
水平缸	2×5 000		2×18 000	2×18 000	2×9 000	2×35 500/ 50 000	2×55 000	2×45 000/ 680 000	2×60 000
穿孔缸						2 400	27 000	38 000	60 000
最大行程/mm	垂直缸	800	1 500	1 140		1 600		2 380	3 048
	水平缸	500	850	610		900	610		1 067
	穿孔缸					210	610		1 067
顶出器压力/kN	500	750			4 500	5 000	6 800	5 900	12 000
顶出器行程/mm	200					500			2 133
闭合高度/mm	垂直		2 100	2 300			3 660	4 580	
	水平						4 730		
工作台面尺寸 (长/mm×宽/mm)	1 000× 1 300	1 500× 1 500	2 300× 1 300		2 430× 1 830	3 000× 3 500	3 050× 3 050	3 660× 3 360	
地面上高度/mm	6 760	10 925	11 700			12 800	总高 18 600	总高 15 200	总高 14 600

3 多向模锻模具设计

3.1 模具设计要点

1) 要考虑压力机的结构和特性,如压力机的刚性、下横梁的弹性变形量、有无上穿孔柱塞等以便确定模具的结构和具体设计。

2) 对于模座和模具的固定形式,要考虑两个水平柱塞不同步时所产生的剪力使模座错移和模具损坏的可能性。

3) 模具要便于安装和调整,特别是水平夹座和水平分模时冲头和上下凹模的安装和调整。

4) 当锻件需要垂直分模而水平柱塞的压模力不足时,可以在凹模外侧加套圈,以便箍紧凹模。套圈内壁与凹模外圆的配合要有斜度,斜度的大小要设计适宜。

5) 多向模锻以挤压成形为主,模具型面的磨损比较严重,因此设计冲头和凹模时要选用红硬性好、耐磨损的模具材料。并且要求硬度高和表面粗糙度小。

6) 凹模设计 要充分利用多向分模面的特点,对形状复杂的锻件 尽量采用镶块及活动块,既便于制造,又便于安装。

① 对于外形比较简单的筒形件,设计凹模时,在拔出冲头方向的凹模型槽端部要设计承剪面,以防止拔出冲头时锻件也被拔出模体之外。图 25.5-23a 的设计是错误的,其结果是在拔出冲头时将锻件的两个凸耳拉弯变形(见图 25.5-23b)。正确的设计应如图 25.5-23c 所示那样,将导向部分的孔径减小,在型槽上端设计了承剪面。

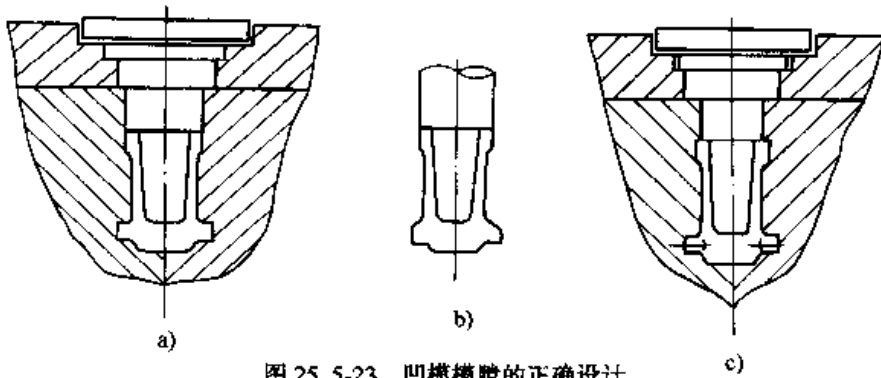


图 25.5-23 凹模模膛的正确设计

a) 设计不正确 b) 被拉坏的锻件 c) 正确的设计

② 对于模膛位置的安排要考虑张模力和压模力中心尽可能重合或相互接近,否则,将会使凹模张开而产生飞边。

③ 根据变形金属充满模膛的情况,在靠近最后充满的地方设置多余金属分流腔,同时也起到降低模膛内部压力的作用。

作柱塞的两向挤压,两块凹模分别用楔形压板螺钉固定在上,下模座上,两个水平冲头分别装在液压机的两个水平柱塞的夹座上,其对中由冲头导向部分和上、下模闭合的导柱、导套来保证。

3.2 模具结构设计

(1) 结构形式

多向模锻模具结构的基本形式和分模方式一样,有水平分模、垂直分模和联合分模三种结构。此外,根据锻件形状和设备条件,可设计特殊结构形式的模具。

1) 水平分模模具结构 水平分模模具的分模面与水平面平行,如图 25.5-24、图 25.5-25 所示。水平分模模具中的锻件成形主要靠水平工

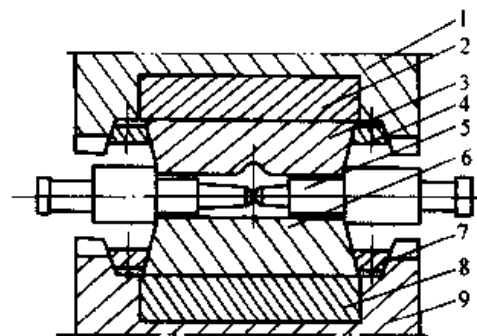


图 25.5-24 下套筒模具结构

1—上模座 2—上垫板 3—上凹模
4—上压板 5—冲头 6—下凹模
7—下压板 8—下垫板 9—下模座

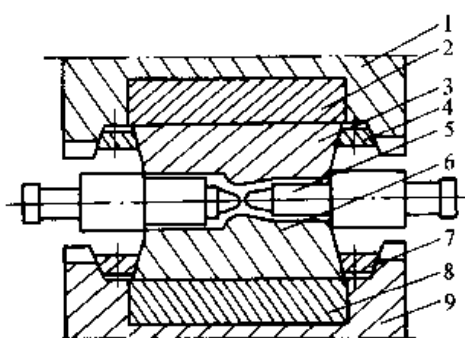


图 25.5-25 喷管模具结构

- 1—上模座 2—上热板 3—上凹模
- 4—上压板 5—冲头 6—下凹模
- 7—下压板 8—下垫板 9—下模座

2) 垂直分模模具结构 垂直分模模具的分模面与水平面垂直，锻件的成形主要靠液压机的垂直柱塞向下挤压，如图 25.5-26 所示。两个水平推杆的一端装在水平工作缸的柱塞夹座上，另一端用销钉与凹模连接，推动两半凹模在底板上运行，使模具开合，并依靠底板中心的定位块定位，使冲头与凹模型腔中心一致。两半凹模应有导销，以防止错模。

3) 联合分模模具结构 模具有垂直分模面

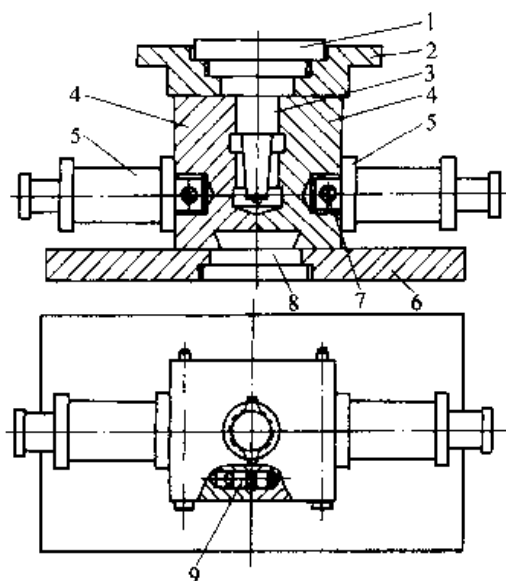


图 25.5-26 垂直分模模具结构

- 1—上垫板 2—夹座 3—冲头 4—半凹模 5—推杆
- 6—底板 7—销钉 8—定位块 9—导销

和水平分模面时称为联合分模，其结构形式如图 25.5-27 所示，它由左右两块下凹模组成垂直分模，并与上凹模组成水平分模，构成垂直与水平联合分模结构。在上凹模的中心开有一个为冲头进行挤压的导向孔。

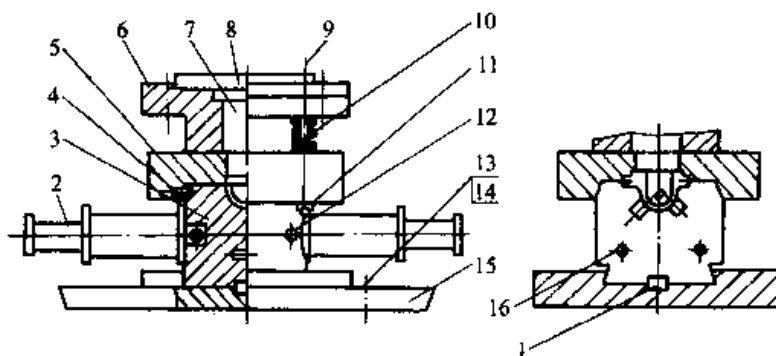


图 25.5-27 联合分模模具结构

- 1—定位块 2—推杆 3—左右半模 4—定位销 5—上模 6—冲头压板
- 7—冲头 8—垫板 9—弹簧拉杆 10—弹簧 11—拉杆螺母
- 12—销杆 13—螺钉 14—螺母 15—底板 16—导销

联合分模的模具结构如图 25.5-27 所示。其工作原理是：压力机的两个水平柱塞连接推杆 2，推动左右半模 3 沿底板 15 上的燕尾槽向中心滑移，推杆是用销杆 12 和半模连接的。半模滑移的终点由埋装在底板中心的圆柱形定位块 1 控制。定位块除了起定位作用外，还帮助导销 16 防止两个半模错移。上模 5 的中心部位设置有部分型槽，它与左右半模用 3° 斜度配合的圆形凸台也起着防止左右半模错移的作用。不过，凸台

的主要作用还是帮助水平推杆 2 压紧左右半模，以防止两个半模张开而产生飞刺。上模 5 借助于安装在冲头压板 6 上的四个强力弹簧 10 压紧左右半模，上模和左右半模内的型槽相对位置依赖于压装在左右半模的定位销 4 来保证。冲头压板 6、弹簧 10 及上模 5 都由起弹簧心轴作用的拉杆 9 和螺母 11 连接。冲头压板 6 除装配冲头 7 和垫板 8 之外，还起止程作用，当它的下平面压紧上模的上平面时，压力机的活动横梁便停止向下

运动，工作行程即告终止。整套模具的上下部分用螺钉、螺母分别固定在压力机活动横梁和底座上。

4) 特殊结构模具 特殊结构模具是指采用水平分模、垂直分模和联合分模结构都不能满足锻件成形需要或用于弥补设备功能不足而设计的模具。如燃油泵壳体模具（见图 25.5-28）就是如此。根据锻件图的要求，模具型腔需有三块凹模和一个冲头组成。三块垂直凹模间的分模面角度为 114° 、 106° 、 140° 。这就要求在水平方向上具有三个可调整角度的工作柱塞的液压机开合这三块凹模。而目前液压机只有两个水平柱塞。为此，设计一个叉形推杆，使一个水平柱塞通过叉形推杆推动两块凹模开合。同时，另一个水平柱塞也推动另一块凹模向底板中心运动，使三块垂

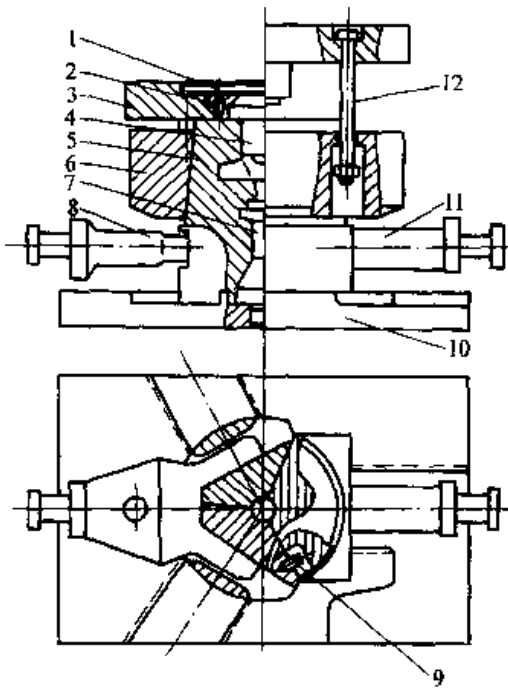


图 25.5-28 燃油泵壳体模具结构图

- 1—垫板 2—定位销 3—上模板 4—冲头
- 5—半凹模 6—套圈 7—定位块 8—叉形推杆
- 9—导销 10—底板 11—水平推杆 12—拉杆

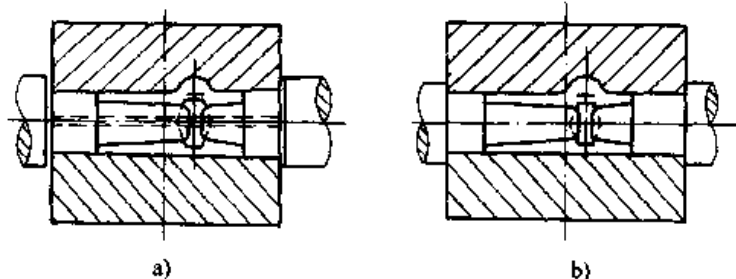


图 25.5-30 下套筒模膛位置安排示意图

直凹模在两个水平柱塞推动下同时向中心运动，直至三块凹模相互压合为止。此外，由于两个水平柱塞的合模力不足，在凹模外缘增设了一个套圈，使套圈承受一定的张模力，以弥补水平合模力不足。

上述四种多向模具结构中，水平分模结构是应用最多的一种，锻件两端具有深孔时多采用水平分模结构。锻件一端有深孔时可采用水平分模，也可以采用垂直分模。假如锻件尺寸较大，需要较大的合模力时，宜采用水平分模。这是由于多向模锻液压机垂直工作缸压力一般大于水平工作缸的压力，可获得较大的合模力。当锻件需要有三块或四块凹模在一个平面上开合时，一般采用垂直分模，也可采用叉形特殊结构。

(2) 模膛位置

1) 在安排模膛位置时，要注意张模力的中心往往不等于模具几何形状的中心，要注意使模膛的张模力中心接近合模力中心，以免造成局部张模而产生飞刺。如图 25.5-29a 所示为垂直分模模膛安排不当的情况，这时模具下半部张模，出现飞刺。若将模膛向上移动一定距离，如图 25.5-29b 所示，就可避免张模。如图 25.5-30a 所示为水平分模模膛位置安排不当的情况，这时模具右半边先张模，产生飞刺。若把模膛向左边移动一些，就不会张模，从而可解决产生飞刺的问题，如图 25.5-30b 所示。

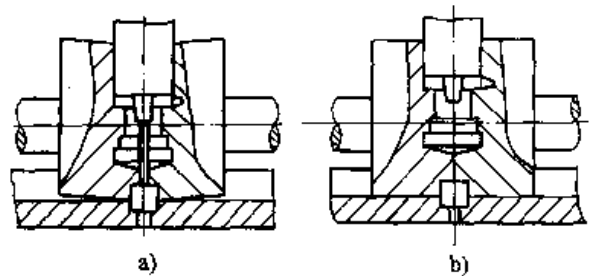


图 25.5-29 垂直分模模膛安排示意图

2) 模膛的布置要有利于锻件的成形, 尤其对非对称的、形状复杂的凸台或枝芽状的多向模锻件更为重要。如小外筒锻件按图 25.5-31a 的布置形式, 将二个圆形凸耳放在外端, 则凸耳是

在挤压变形接近终了时, 靠水平冲头进行反墩挤成形的, 这样难以充满模膛。如果按图 25.5-31b 的布置形式, 二个凸耳布置在挤压冲头行程终止位置, 则较易于充满模膛。

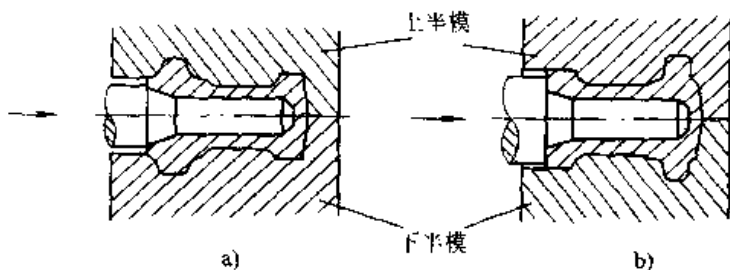


图 25.5-31 小外筒锻件模膛布置

(3) 模具导向装置

定位与定中心对于保证多向模锻件尺寸精度特别重要。为了使凹模运动具有良好的导向性, 确保组合后互相对准中心, 一方面模具配合面的设计要能使其起定位作用, 同时还必须在模具上设置导向部分, 以防止错模。一般采用圆柱形导销, 将导销以热压配合压入一块模具, 另一块模具上加工出导向孔 (或用导套压入导向孔), 它们之间的间隙为 0.5 mm。一般模具设置二个导销, 如图 25.5-32 所示。当模具是由三块凹模组合时, 可采用如图 25.5-33 所示的导向形式, 导销可以为圆柱形, 与它配合的是一个导槽。

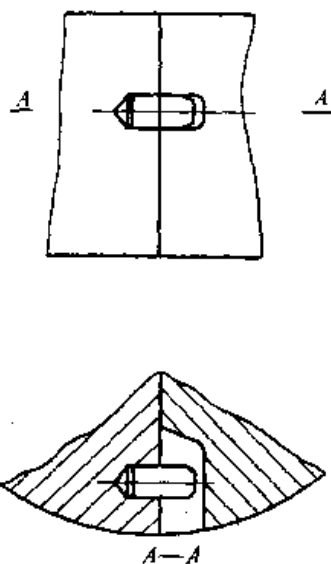


图 25.5-33 三块模具导向装置

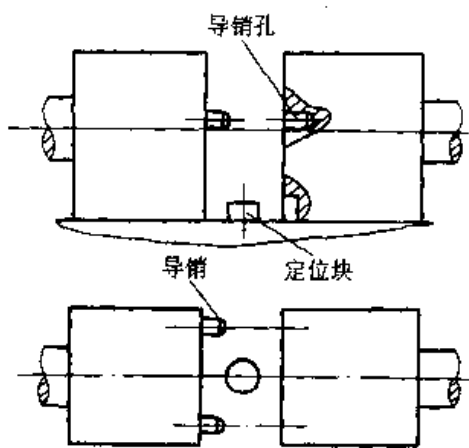


图 25.5-32 二块模具导向装置

(4) 凹模导向

凹模导向的设计要有足够长的导孔, 以保证水平冲头在模锻过程中具有一定的同心度。

1) 导向的基本形式 图 25.5-34 为凹模导向部分的一种形式。锻件变形终了时, 多余金属将沿直径方向产生横向毛刺, 这种毛刺清理比较困难, 应尽量避免采用这种形式。

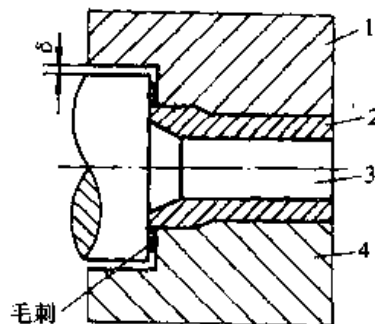


图 25.5-34 产生纵向毛刺的凹模导向

1—上凹模 2—锻件 3—冲头 4—下凹模

凹模导向部分的另一种形式如图 25.5-35 所示。当有多余金属时, 将流向直径外圆周, 产生纵向毛刺, 较易于清理。

2) 冲头与凹模间的间隙 冲头进入凹模部分要有一定的间隙, 如图 25.5-36 所示。

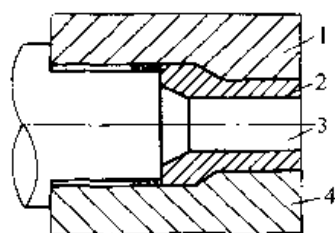


图 25.5-35 产生纵向毛刺的凹模导向
1—上凹模 2—锻件 3—冲头 4—下凹模

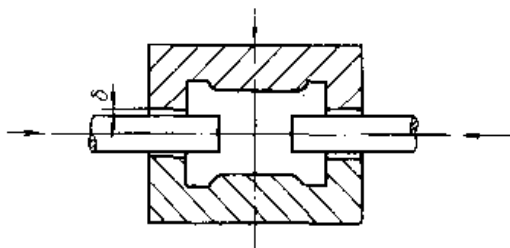


图 25.5-36 冲头进入凹模处的间隙

影响间隙 δ 的主要因素有：水平工作缸的同心度、凹模高度及工作台高度上的精确程度、活动横梁的变形量及模具弹性变形量、冲头安装中的错移量等。

(5) 深孔锻件凹模的设计

对于深孔锻件，冲头从深孔中拔出时需要有一定的拔模力，这时要考虑拔出冲头时锻件可能会变形。如图 25.5-37a 所示，当冲头拔出时会使锻件下部的二个凸耳变形。因此，锻件与型腔之间一定要有足够的承剪面，如图 25.5-37b 所示，这样冲头拔出时，锻件就不会拉断或变形。

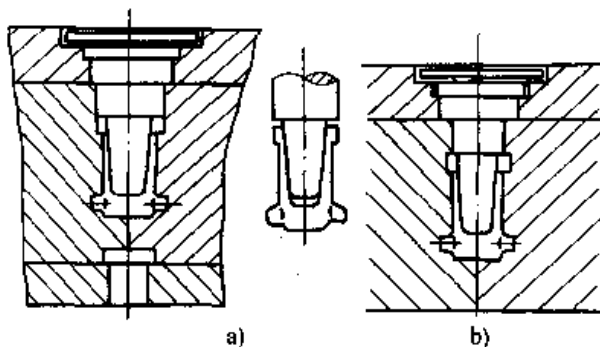


图 25.5-37 深孔锻件的承剪面

(6) 冲头设计

冲头的形状应根据锻件的内孔形状而定，但冲头工作部分的形状对压力有很大影响。多向模锻常用的冲头形式如图 25.5-38 所示。图 25.5-38a 为带斜角的平冲头，能降低工作压力，且工作稳定可靠。图 25.5-38b 为球形面冲头，产生横向分力，变形力较大，应尽量少用。图 25.5-

38c 为平头冲头，变形量小时可采用。图 25.5-38d 为锥形冲头，稳定性较差。

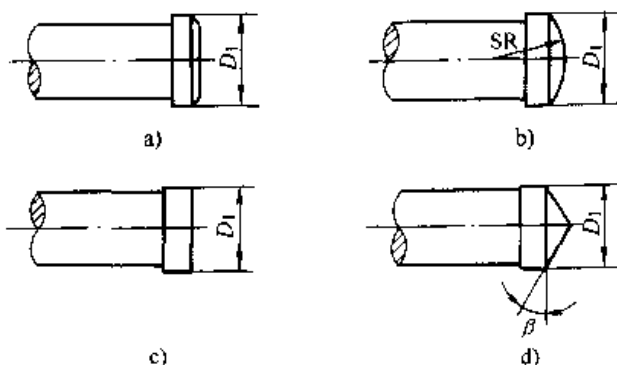


图 25.5-38 多向模锻的冲头形式

在封闭式多向模锻中，冲头最好使用如图 25.5-38a 所示的形式。这种冲头稳定性好，变形力较小，也有利于金属流动。冲头工作部分的尺寸参数可按下列各式计算选定（图 25.5-39）：

$$D_1 = d + ad + \frac{\Delta}{3}$$

式中 d ——锻件内径；
 a ——线性冷缩系数；
 Δ ——锻件内径上的公差。

$$D_0 = (0.5 \sim 0.7) D_1$$

$$h = 4 \sim 14 \text{ mm}$$

$$r = \frac{h}{4}$$

$$D_2 = D_1 - 0.4 \sim 0.8 \text{ mm}$$

$$R = 1 \sim 4 \text{ mm}$$

$$\beta = 10^\circ \sim 30^\circ$$

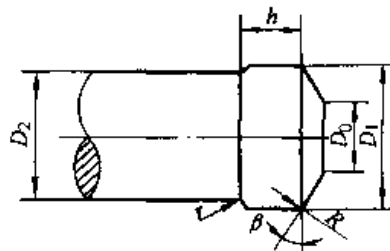


图 25.5-39 冲头工作部分尺寸设计

(7) 推杆设计

在垂直分模结构中，推动凹模的水平推杆要有足够的刚度，压模效果好，锻件就不产生飞刺。当推杆刚度不足时，推杆容易变形，对合模不利，有可能产生飞刺。

(8) 通气孔设计

对外形复杂的锻件，如有局部封闭型腔（图 25.5-11 中 A-A 剖面上的接头），应在型腔底

部设计通气孔,如图 25.5-40a 所示,但这时锻件充满和脱模都较困难。若设计成如图 25.5-40b 所示的顶出结构,则通气效果好,锻件易于充满,脱模也方便。

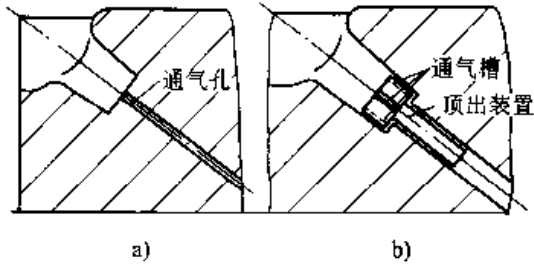


图 25.5-40 球形接头模具的通气孔和顶出装置

柱结构。在上横梁有三个垂直工作柱塞,垂直压力可分 3 200 kN、6 400 kN 和 9 600 kN 三级。但是没有单独动作的垂直上穿孔柱塞。在下横梁的两侧装有两个水平工作柱塞,其压力各为 4 600 kN。工作台面尺寸为 1 000 mm × 1 300 mm。水平柱塞的中心线距离工作台面的高度为 150 mm。

4.1 下套筒模具设计

下套筒是飞机上的一个零件,材料为 40CrNiMoA,锻件图如图 25.5-43 所示。该锻件为一通孔型构件,但两端孔径不一,因此采用水

(见图 25.5-46)。采用 5° 的斜度是因零件内孔有阶梯，在锻件设计时用斜度连接成一个斜孔。右冲头的斜度为 0°45′，端部也是弧形的，如图 25.5-47 所示。

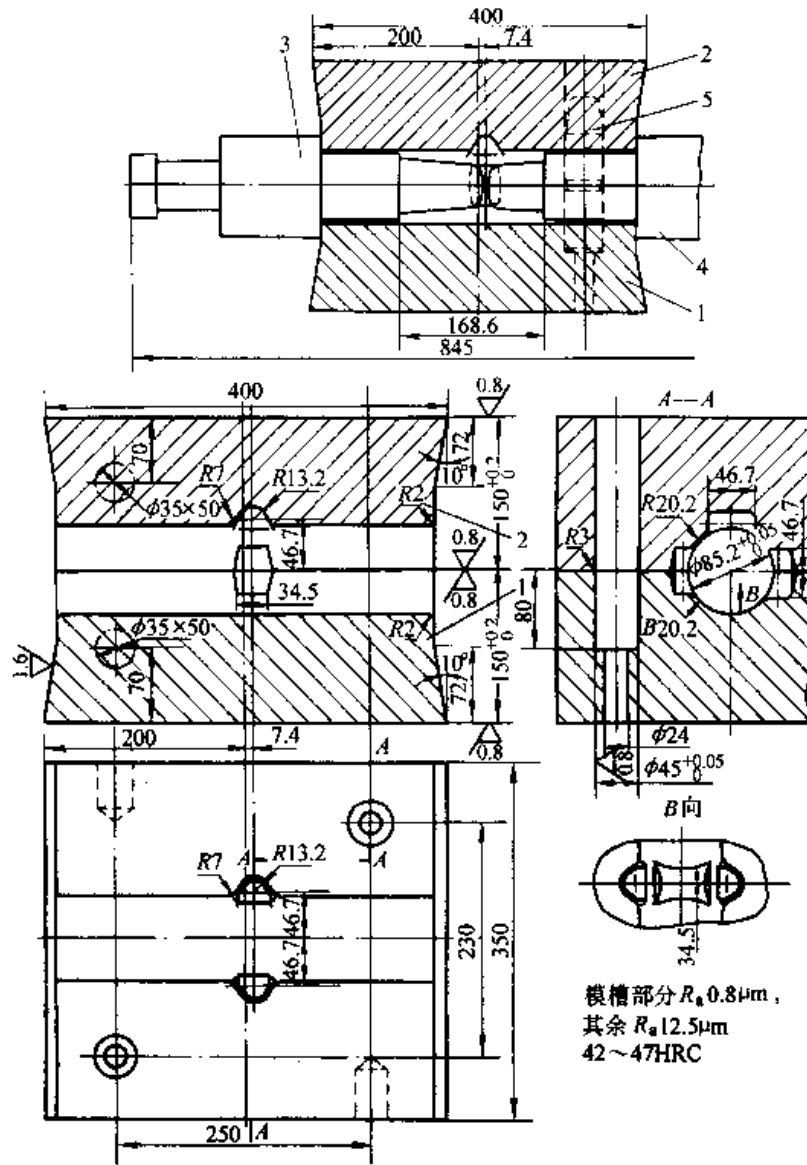


图 25.5-44 下套筒凹模

1—下模 2—上模 3—左冲头 4—右冲头 5—导销

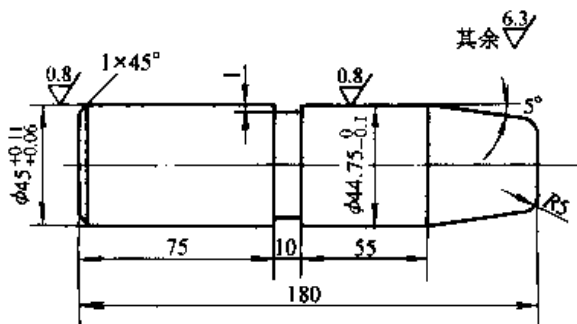


图 25.5-45 导销

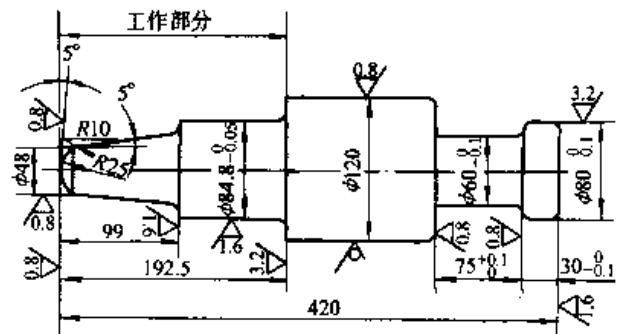


图 25.5-46 左冲头

($\phi 60_{-0.1} \text{ mm}$ 与工作部分同轴度小于 0.1 mm)

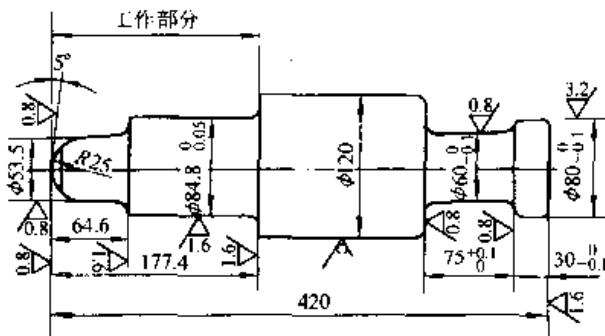


图 25.5-47 右冲头
($\phi 60_{-0.1}^0$ mm 与工作部分同轴度小于 0.1 mm)

4.2 助力器外筒模具设计

助力器外筒是一个带封闭端的空心锻件（见图 25.5-48）。材料是 12CrNi3A。对于这种锻件，既可以采用水平分模，也可以采用垂直分模。水平分模的模具结构见图 25.5-49。现将垂直分模的模具设计如下：

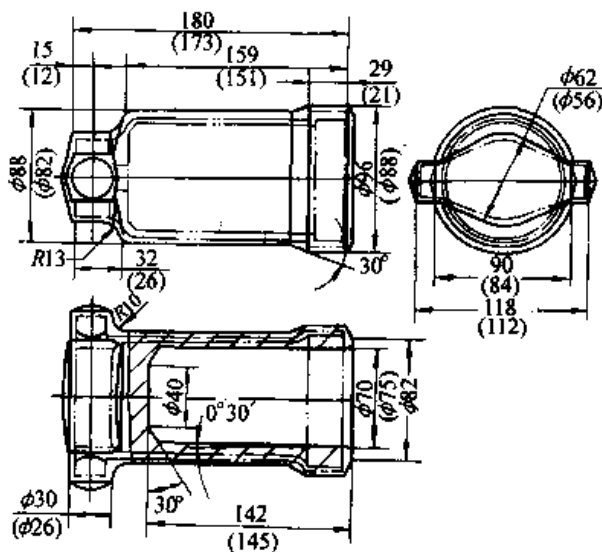


图 25.5-48 助力器外筒锻件图

(1) 模具结构

垂直分模的凹模是由水压机两个水平工作柱塞带动的。由于所用压机的两个水平工作柱塞的压力远远小于实际所需的压模力，因此，必须在两半凹模的外侧加一个套圈，以箍紧两半凹模使之不至张模。因而模具的结构就变得复杂了，如图 25.5-49 所示。

(2) 凹模

1) 为了防止两半凹模下部张开，型槽的位置本应向上移动，使两个凸耳型槽的中心与水平推杆的中心相重合。但考虑到模具高度有限以及导轨不能太短，因此设计成如图 25.5-50 所示的位置。

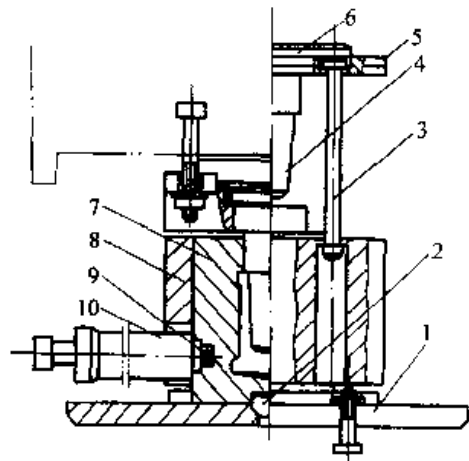


图 25.5-49 助力器的模具结构

- 1—底板 2—定位块 3—拉杆 4—冲头
5—上压板 6—垫板 7—凹模
8—套圈 9—销杆 10—推杆

2) 在型槽的端部设计了承剪面，以防止拔出冲头时锻件被拉弯变形。

3) 在两半凹模的下端设有燕尾和直径为 50 mm 的定位孔。

4) 凹模的外侧设有 3° 的斜度，以便与套圈配合。

(3) 推杆

推杆是用于垂直分模在水平方向推拉凹模开合的构件。推杆的柄端装在水平夹座之中，另一端用销杆穿过 $\phi 22$ mm 的销孔与凹模相连接（见图 25.5-51）。它主要是将水平柱塞的压力传递给两半凹模，起压紧凹模作用。

(4) 销杆

销杆是插入凹模和推杆的销孔之中，起连接凹模和推杆作用的一个零件（见图 25.5-52）。

(5) 底板

垂直分模时，底板相当于下模座。为了防止拔出冲头时凹模随之上升，因此在底板上设计了燕尾槽（见图 25.5-53）。燕尾槽除了防止凹模上升之外，还起着水平导轨的作用。

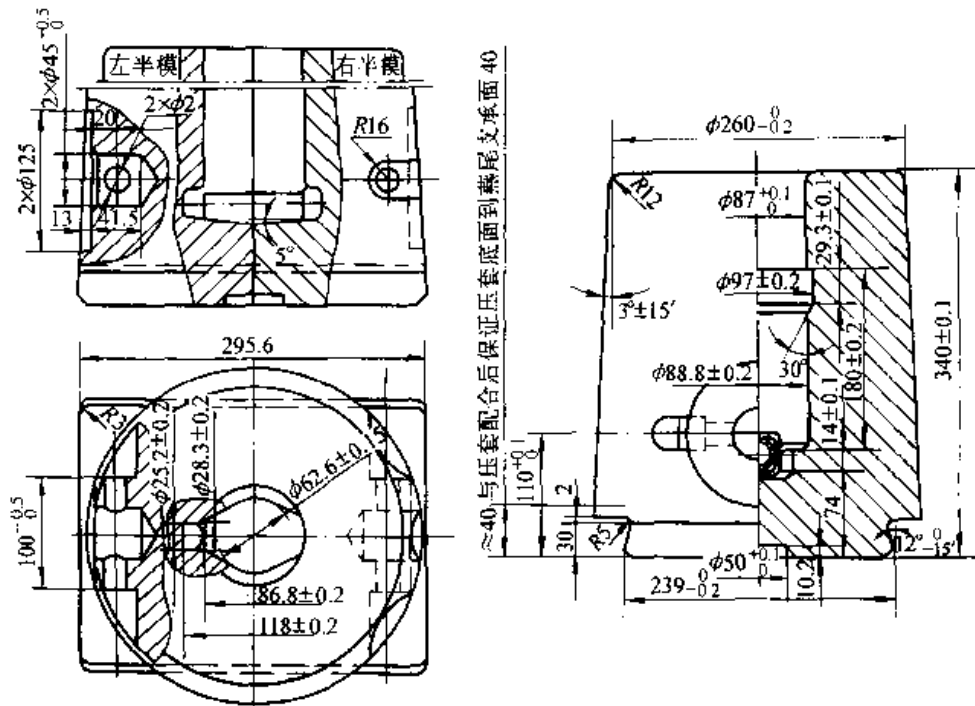


图 25.5-50 助力器外筒凹模
($\phi 260_{-0.2}^0$ mm, $\phi 87_{+0.1}^0$ mm, $\phi 50_{+0.1}^0$ mm 要保持同心)

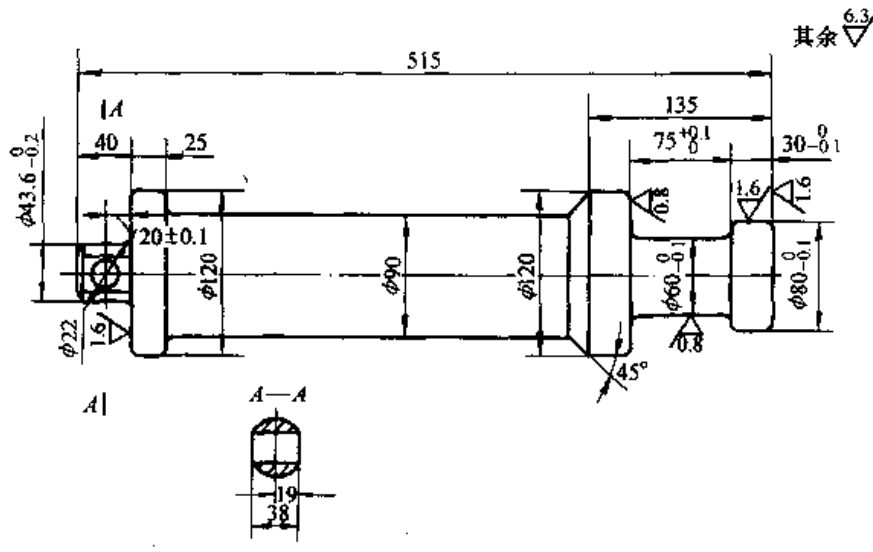


图 25.5-51 推杆

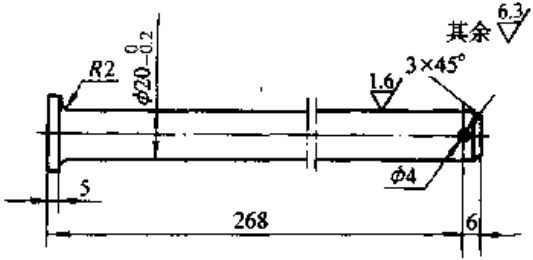


图 25.5-52 销杆

(6) 定位块

定位块安装在底板中心 $\phi 21$ mm 和 $\phi 50$ mm 孔中起凹模中心定位作用，以保证凹模中心和冲头中心的重合。其形状尺寸如图 25.5-54 所示。

(7) 冲头

垂直分模的冲头是通过上压板固定在活动横梁上，随活动横梁作垂直上下运动。因此，它的装夹部分与水平冲头是不一样的。其工作部分则取决于锻件的形状尺寸（见图 25.5-55）。

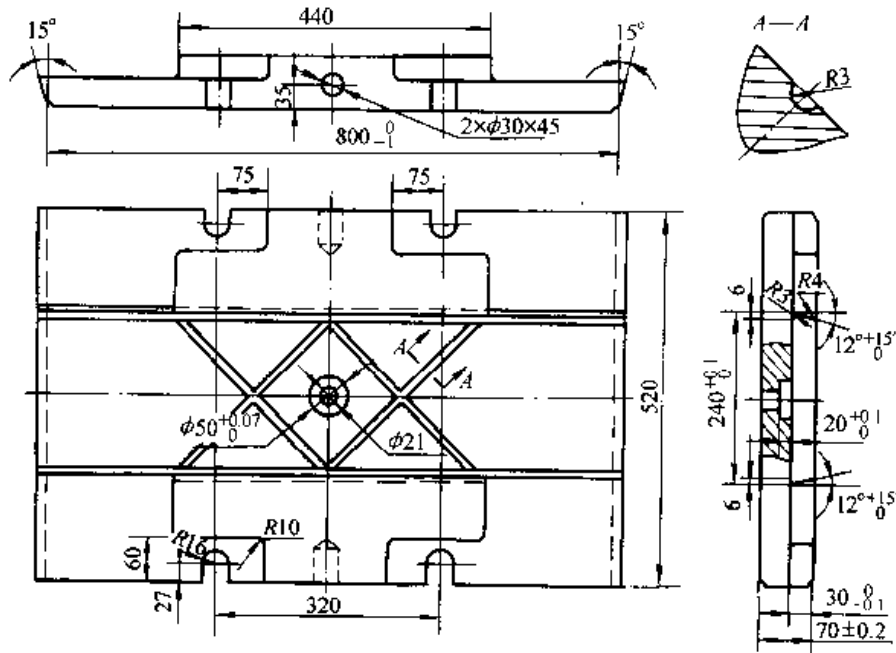


图 25.5-53 底板

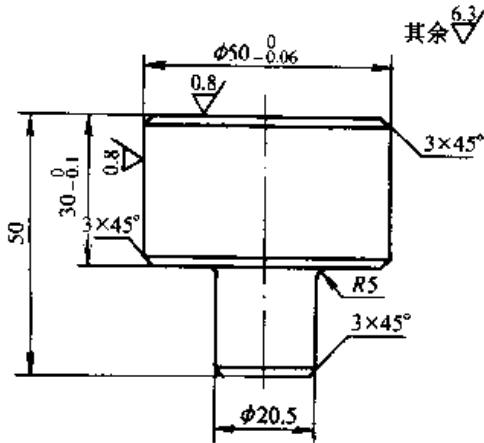


图 25.5-54 定位块

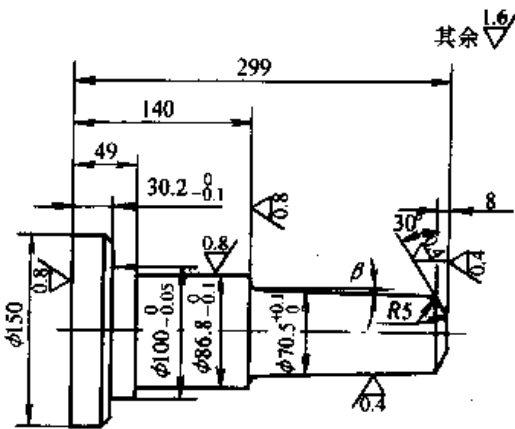


图 25.5-55 冲头

1. $\beta = 3 \sim 5^\circ$ 2. $\phi 100 - 0.05 \text{ mm}$,
 $\phi 86 - 0.1 \text{ mm}$, $\phi 70.5 \pm 0.1 \text{ mm}$ 要同心

(8) 上压板

上压板是垂直分模时安装冲头和垫板的上模座。因为它有通用性，因此设计的比较大些。此外，还设有四个 $\phi 53 \text{ mm}$ 的孔，用于安装拉杆以连接套圈（见图 25.5-56）。

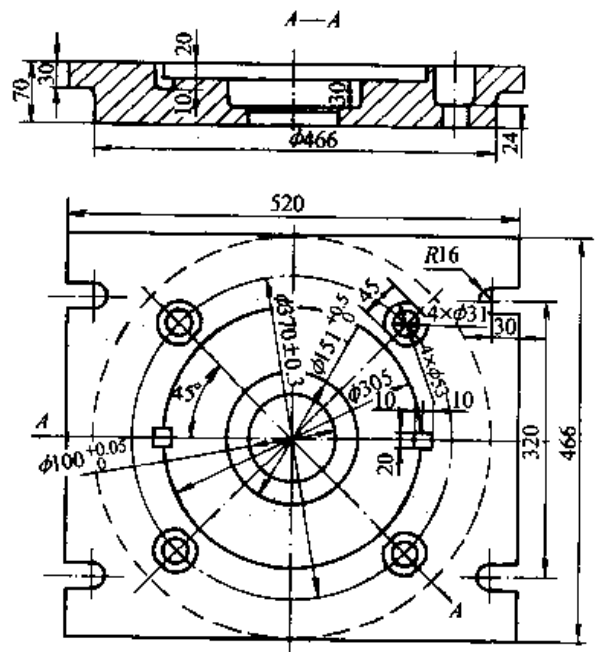


图 25.5-56 上压板

(9) 垫板

垫板是压紧冲头上端面的一个构件，它的厚度高于上压板直径为 305 mm 孔的深度，这样才能压紧冲头。如图 25.5-57 所示。

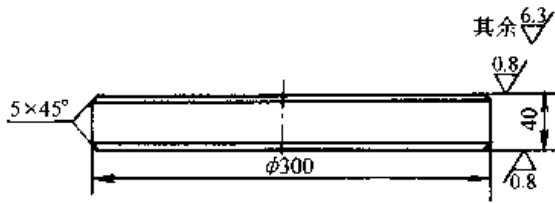


图 25.5-57 垫板

(10) 拉杆

拉杆是用以连接上压板和套圈的构件。见图 25.5-58。

(11) 套圈

套圈是用于弥补水平压模力不足，箍紧两个半凹模的一个构件。它由四根拉杆吊挂在上压板上。套圈内壁与凹模配合的斜度为 3°，见图 25.5-59。

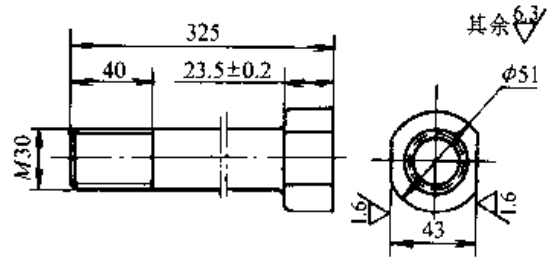


图 25.5-58 拉杆

弯曲度 ≤ 0.5

生产实践证明，上述二套模具的结构和总体设计是正确的、切实可行的。但在局部尚有一些不足之处，例如，水平分模时上下凹模采用压板一螺钉固定方法，对模具的安装和调整还不够方便和简单易行；垂直分模时，推杆设计的比较细长、刚性不足等等，设计制造新模具或类似模具时，应当改进。

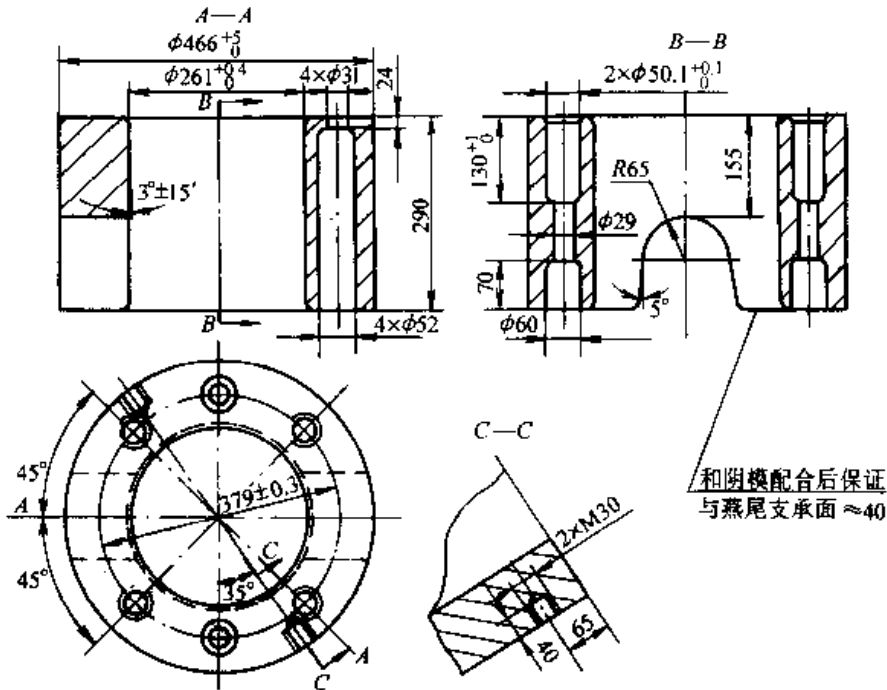


图 25.5-59 套圈

4.3 缸体多向模锻工艺及模具

(1) 缸体多向模锻工艺

缸体多向模锻锻件图如图 25.5-60a 所示，锻件左端大，右端小，外端凸台多、大小不均且沿锻件轴线分布不对称，为了有利于凸台充满成形，故两端冲孔孔径大小和深度不等。

1) 原毛坯重量 采用 φ100 mm 的棒料，下料长度为 141 mm，其重量为 8.7 kg，因火耗和少量的毛刺，比理论重量约大 3%。

2) 毛坯形状和尺寸 由于水压机两水平侧缸空程时不同步，若直接采用棒料毛坯则很容易使毛坯串动。将棒料毛坯压扁，翻转 90°放入模膛，当上凹模与下凹模闭合时可使毛坯产生较大的局部变形，这样毛坯不会发生左右串动。

3) 毛坯放入模膛中的合理位置 经压扁的毛坯不能随意放入模膛中，必须将坯料一端紧靠模膛的小端。这样，在两个水平冲头作用下大端的金属不能流向小端而迫使凸台模膛首先充满成形，然后使大端成形。

(2) 模具结构

模具结构如图 25.5-60b 所示。上、下凹模固定在通用模架上，采用两块梯形压板通过螺钉紧固。为了防止锻件错移和便于调整模具，上、

下模设置有导向装置。模具的前后方向可以自由调整，左右和高度方向可以通过垫片调整。冲头采用压板尾柄固定方向（图 25.5-42）。通过模具上的机械限位来限制冲头的挤压行程。

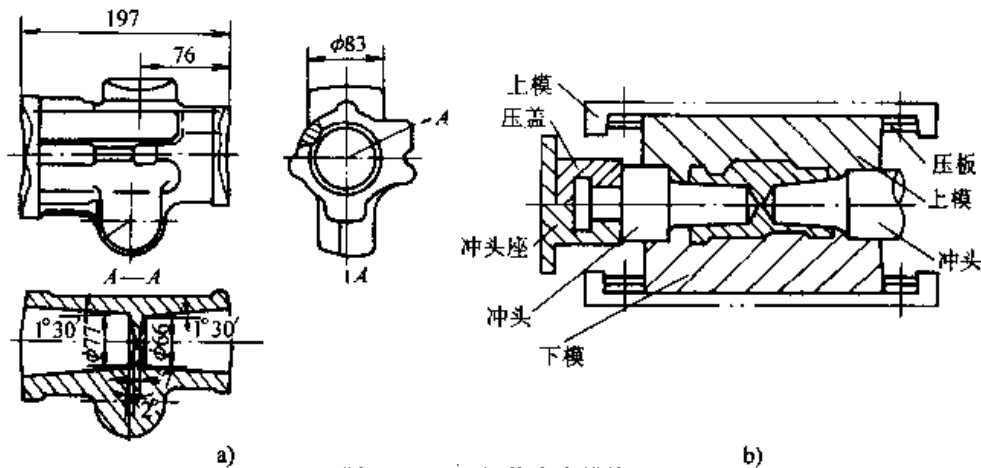


图 25.5-60 缸体多向模锻

a) 锻件 b) 模具

5 中小件专用多向模锻压力机模锻

(1) 水平分模的多向模锻机械压力机

有关文献介绍了一台用于压制黄铜管接头、气旋塞体和龙头阀体等的多向模锻专用压力机，其结构如图 25.5-61 所示。这台专用压力机包括三个主要部分：上部、下部和中部。上部固定在压力机滑块上，它由上底板 1、上半凹模 17 和折线形仿形板 2 组成，后两者固定在前者上。下部由底板 6 和工作台 7 组成。可动底板 4 通过支承杆 9 支承在托板 8 上，而托板 8 支承在气垫或油缸活塞上，下半凹模、冲头夹持器 3、14 和钟锤杠杆 13 均与可动底板 4 相连，钟锤杠杆与支座 10 铰接，支座 10 固定在底板 6 上，这些零件相互连接构成中间部分。

图 25.5-61a 所示为压力机滑块处于上死点时的情况。当滑块下行时，首先使两半凹模闭合，且折线形仿形板在下行时将右边冲头夹持器推向左边滑动而使右冲头 16 移动到预定位置，随着滑块继续下行，可动底板 4 使其铰接的钟锤杠杆 13 绕着支座 12 向右旋转，从而迫使左夹持器 14 向右滑动，左冲头 15 将坯料挤压成形，图 25.5-61b 为模锻结束时的状态。

下夹持器 5 固定于底板 6 上，其上既可安装下冲头也可安装顶出器 11，具体视需要而定。

(2) 垂直分模的多向模锻机械压力机

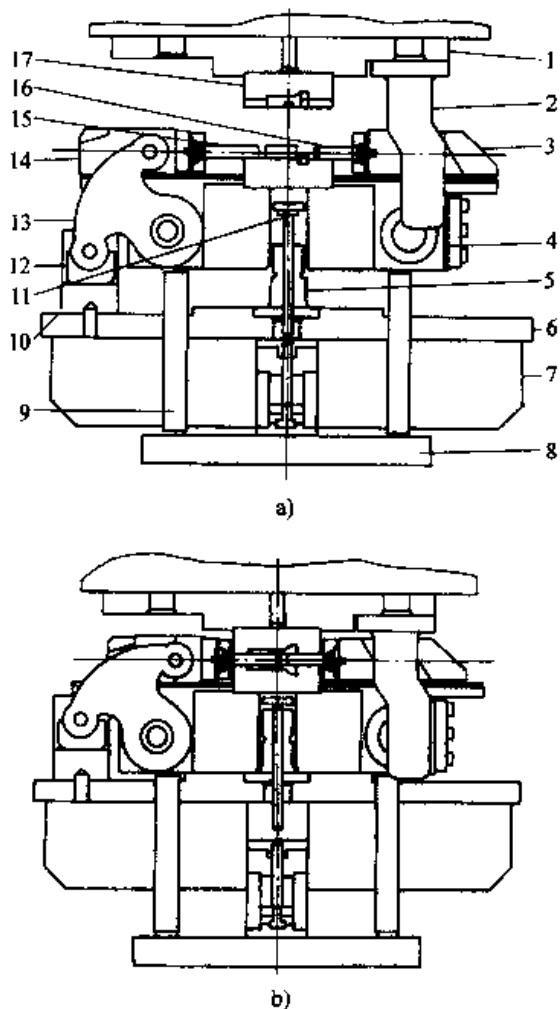


图 25.5-61 水平分模多向模锻专用压力机

a) 张开状态 b) 闭合状态

这种压力机常用于生产比较复杂的中空锻件，例如闸阀壳、水量计壳及三通管等，在一个方向上需要极大的成形力。

垂直分模的多向模锻压力机，其结构如图 25.5-62 所示。基本结构包括三个主要部分：固定于压力机滑块上的上部，固定于工作台上的下部和可动的中间部分。

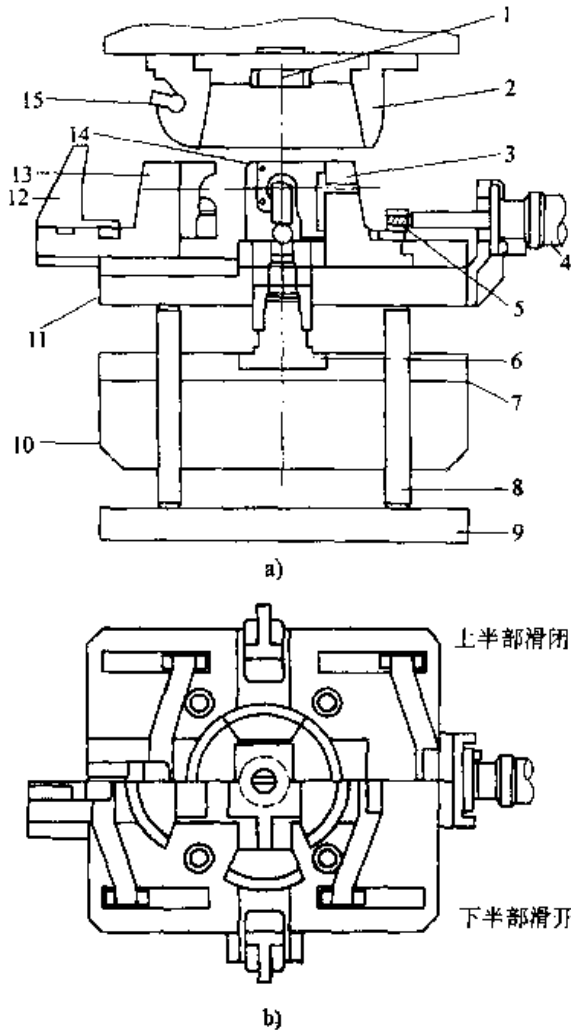


图 25.5-62 垂直分模多向模锻专用压力机
a) 张开状态 b) 平面图

上部的主要零件有钟形锥 2、脱模块（或上冲头）1。下部由工作台 10、底板 7 和下冲头夹持器 6 组成，下冲头通过螺母固定在夹持器 6 上。底板 11 通过推杆 8 支承在托板 9 上，托板 9 与气垫或油缸活塞相连，后（或固定）锥 3、主锥 13 与底板 11 相连并可在底板上滑动，杠杆装置 5 与气缸 4 的活塞杆连接，气缸 4 通过支架固定在底板 11 上，滑动仿形板 12 与主锥 13 固定为一体，两半垂直可分凹模中的一半固定在后

（或固定）锥 3 上，另一半固定在主锥 13 上，在底板 11 上还有前、后两个边锥，主锥 13 及两个边锥均通过杠杆装置 5 与气缸 4 相连，这些相关的零件一起构成可动的中间部分。

当压力机滑块处在上死点时，模具及其附属机构的状态如图 25.5-62a 和 b 的下半部所示。此时可使气缸通过杠杆装置使四个锥形块合拢从而使两半凹模闭合，将加热好的坯料置于凹模模膛中支承在下冲头的顶端。当滑块下行时，钟形锥将四个已合拢的锥形块紧紧地压在一起，整个中间部分随着滑块与钟形锥一起下行，下冲头迫使坯料变形而得到所需锻件。图 25.5-63 为模锻结束时的状态。当压力机滑块回程时，中间部分在气垫的作用下随之上升，将锻件从固定的下冲头上退出。当中间部分上升至上限位置后就停止不动，而滑块继续上升时，钟形锥上的弹键 15 就打击滑动仿形板 12，以利于闭合的凹模张开，当滑块回至上死点，就起动气缸工作，将四个锥形块及两半凹模分开。

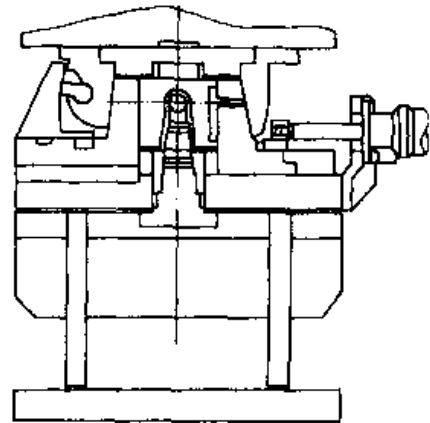


图 25.5-63 垂直分模多向模锻压力机闭合状态

如果钟形锥内装有上冲头，那么在钟形锥离开四个（滑动）锥形块上移时，冲头会从锻件中退出，但一般不这么使用。

(3) 自动化综合体

俄罗斯于 1985 年研制出型号为 AKK0830 和 KB2132 型自动化综合体。自动化综合体由坯料接收器、定位机构、感应加热、毛坯供给和专用曲柄压力机组成。专用曲柄压力机可实现双冲头（上、下冲头）对向模锻。

其中 AKK0830 自动化综合体的主要技术性能参数如下：

生产率 / (件/h) 600~900

坯料尺寸 (15~30) × (48~80)
 (直径/mm × 长度/mm)
 加热功率/kW 100
 公称压力/kN
 每个变形滑块 1 000
 凹模压紧力 1 000
 凹模开启高度/mm 150
 凹模闭合时冲头变形行程/mm
 顶出力/kN 50
 顶出行程/mm
 上面的 50
 下面的 70
 四个侧滑块(调节用) 10~50
 中每个滑块的力量/kN
 主传动电机功率/kW 32
 压力机轮廓尺寸 1 800 × 1 900 × 4 300
 (长/mm × 宽/mm × 高/mm):
 压力机重量/t 23.4

该自动化综合体用于模锻气焊装置上的黄铜锻件。

在纵向可分凹模中由2和3个冲头(图25.5-64)模锻弯头和三通及阀体类锻件。成形过程分为两个阶段:第一阶段,由主冲头将坯料金属挤入侧枝腔;第二阶段,由侧冲头进行终锻成形。凹模和冲头寿命为4 000~10 000件。

专门用于模锻三通的自动化综合体 KB2132 的主要技术性能参数如下:

三个滑块中每一滑块的公称力/kN 350

最大行程/mm:
 每个主滑块的 100
 侧滑块的 20
 公称压紧力/kN 1 200
 半凹模开启高度/mm 150
 最大生产率/(件/min) 10
 最大轮廓尺寸 3 800 × 4 800 × 6 100
 (长/mm × 宽/mm × 高/mm):

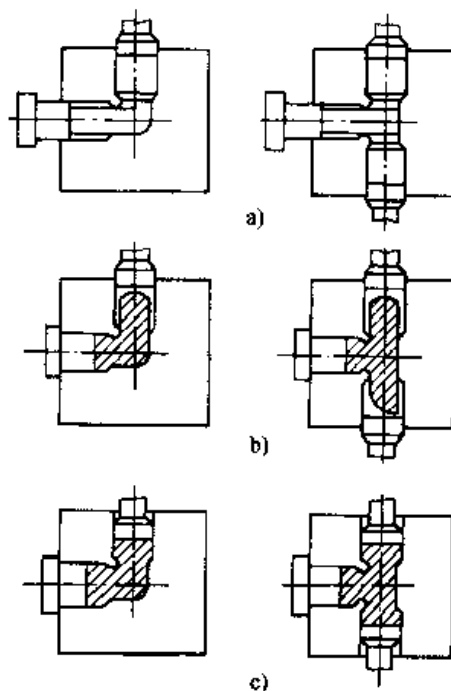


图 25.5-64 自动化综合体上二和三冲头纵向分模系统

a) 开始变形 b) 主冲头挤压结束
 c) 侧冲头挤压结束

第 6 章 挤压模具设计

1 概述

挤压是将金属毛坯放入模具型腔内，在一定的压力和速度作用下，迫使金属从型腔中挤出，从而获得所需形状、尺寸以及具有一定机械性能的挤压件。

根据毛坯的温度不同，挤压可以分为三种：

- 1) 冷挤压 在室温中对毛坯进行挤压。
- 2) 温挤压 将毛坯加热到金属再结晶温度以下某个适当的温度范围内进行挤压。
- 3) 热挤压 将毛坯加热至热锻温度范围内

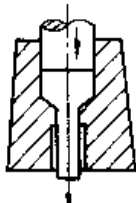
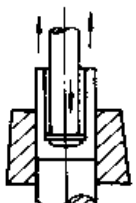
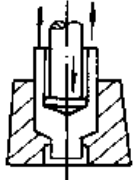
进行挤压。

挤压的成形速度范围很广，它既可以在专用挤压机上进行，也可以在一般的机械压力机、热模锻压力机、液压机、摩擦压力机以及高速锤上进行。

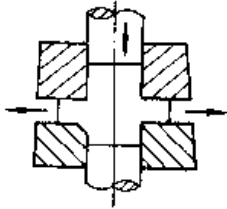
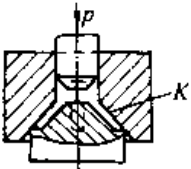
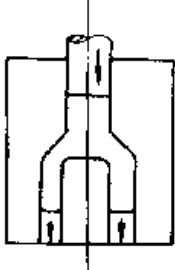
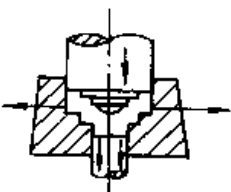
1.1 挤压方法分类

根据挤压时金属流动方向与凸模运动方向的相互关系，挤压可分为正挤压，反挤压，复合挤压（正、反挤复合），径向挤压，斜向挤压及墩挤等。见表 25.6-1 所示。

表 25.6-1 挤压方法分类

挤压方法	解 释	成 形 示 意 图	应 用 范 围
正挤压	挤压时，金属流动方向与凸模运动方向相同		各种形状的实心件（用实心毛坯） 各种形状的管件、杯形件（用空心毛坯）
反挤压	挤压时，金属流动方向与凸模运动方向相反		各种断面形状的杯形件
复合挤压	挤压时，一部分金属的流动方向与凸模运动方向相同，另一部分金属的流动方向则相反		各种复杂形状的零件（以杯杆型零件为典型件）

续表 25.6-1

挤压方法	解 释	成形示意图	应用范围
径向挤压	挤压时, 金属的流动方向与凸模运动方向相垂直		具有法兰及凸台的轴对称零件、T型件
斜向挤压	挤压时, 金属的流动方向倾斜或弯曲于凸模的运动方向		具有倾斜或弯曲枝芽的各种复杂形状零件
正向分流挤压	挤压时, 金属的流动方向与凸模运动方向相同, 但在凹模模膛内分成两部分		采用可分凹模生产万向联轴器等叉形零件
墩 挤	金属的流动具有挤和墩的特点, 即一部分金属沿凸模轴向流动, 另一部分金属则沿径向流动		大头类零件及阶梯轴类零件

1.2 挤压的特点及应用范围

(1) 冷挤压的特点及应用范围

其优点为:

1) 节约原材料 以图 25.6-1a 所示的汽车轮胎螺母零件为例, 老工艺是用棒料采用切削加工(车、钻、铣)获得图 25.6-1b 所示毛坯, 然后加工内、外螺纹获得最终零件。改冷挤压工艺生产同样的毛坯, 单个零件的用料由 0.455 kg 降低到 0.184 kg, 对应的材料利用率由 37% 提高到 92.4%。该零件的需要量大, 因而节约原

材料的效益显著。

2) 提高零件的机械性能 切削加工把金属内部的纤维割断, 从而降低了零件的机械性能。挤压过程中, 金属是处于三向压应力状态, 变形后零件内部的纤维组织是连续的, 基本上沿外形分布, 提高了零件的机械性能。另外, 在冷挤压生产中, 利用金属材料冷变形的冷作硬化特性, 制件的强度大为提高, 可用低强度钢代替高强度钢材。例如, 采用冷挤压工艺生产汽车轮胎螺母, 用 20 钢代替了原来的 45 钢。

3) 提高零件的尺寸精度及降低表面粗糙度

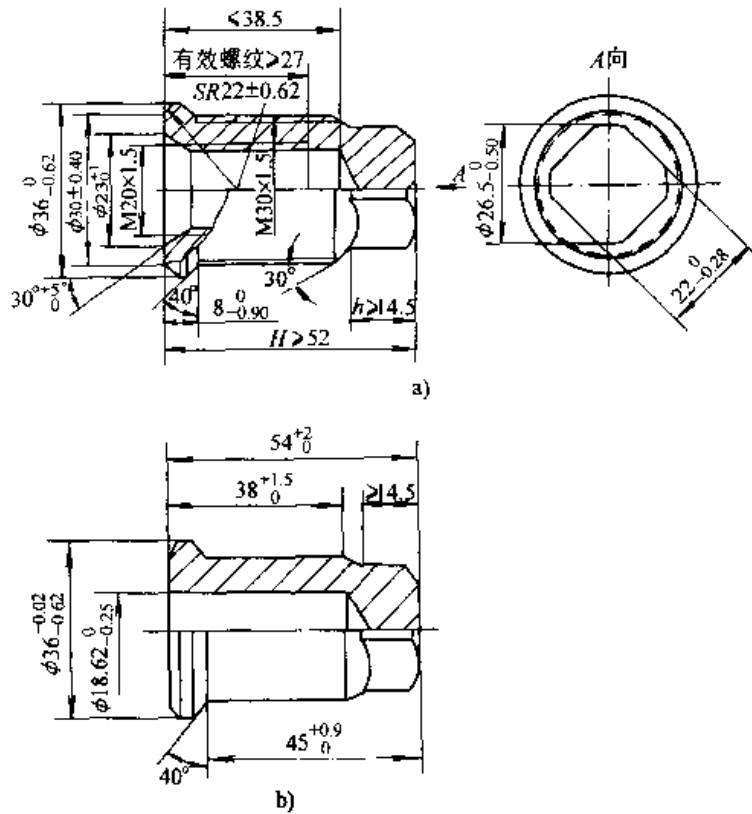


图 25.6-1 汽车轮胎螺母

a) 零件图 b) 冷挤件图

在挤压过程中，变形金属受到模具表面的高压作用，因此零件的表面粗糙度很小，可达 $R_a 1.6 \sim 0.2 \mu\text{m}$ ，尺寸精度的公差范围最高可控制到 $\pm 0.015 \text{ mm}$ 。挤压工艺可以获得较理想的制件表面粗糙度与尺寸精度，有些零件经挤压之后可以不再进行切削加工。

4) 减少工序，缩短生产周期，提高生产率

挤压工艺是在闭式模具中进行塑性变形，所得的挤压件是没有飞边的，所以不再需要切边后续工序，省去了切边模及切边压力机；减少了后续切削加工工作量，从而缩短了生产周期，提高了生产效率。汽车轮胎螺母采用冷挤压工艺生产，其生产率提高 2 倍。

其缺点为：

1) 冷挤压的变形力相当大，特别是对较硬的金属材料进行冷挤压时，所需的变形力更大，即需的设备吨位更大，这就限制了被挤零件的尺寸，同时也限制了难变形材料对于冷挤压工艺的应用。

2) 冷挤压前，需对毛坯进行退火和表面处理，对于需多道冷挤压工序生产的零件，不能实

现连续生产。

应用范围：

- 1) 材料种类 含碳、含合金量低和较低的黑色金属，铜、铝及其合金等有色金属。
- 2) 工业部门 汽车、机械、轻工、仪表、电器、军工、船舶和宇航等。

(2) 温挤压的特点及应用范围

其优点为：

1) 温挤压是针对冷挤压的缺点，充分体现冷挤压的优点而发展起来的一种挤压新工艺。它与冷挤压相比，由于毛坯的变形抗力小，成形成容易，压力机吨位可以大为减小。如果使用恰当，模具的寿命也比冷挤压要长一些。与热挤压相比，由于温挤压件的加热温度较低，加热时的氧化、脱碳都比较少，因此，产品的尺寸精度和表面粗糙度皆较热挤压优越。产品的机械性能比热挤压件高，基本上接近于冷挤压件的性能。

2) 由于温挤压兼有冷、热挤压的优点，克服了冷、热挤压的不足之处，因此对于一些在室温下难以加工的材料，例如，析出硬化相的不锈

钢和中、高碳素钢、含铬量高的合金钢、耐热合金、镁及镁合金、钛及钛合金等均可采用温挤压工艺。甚至对合金工具钢和高速工具钢也可以进行一定变形程度的温挤压变形。在国内，对于黑色金属，如纯铁、20、45、20Cr、40Cr、GCr15、12CrNi3、30CrMnSiA、2Cr13、4Cr13、1Cr18Ni9Ti、18Cr2Ni4WA、38CrA、T10V、T10A、Cr12MoV、W6Mo5Cr4V2Al 以及 GH1140 等均可成功地进行温挤压。对于冷挤压难于成形的铅黄铜 HPb59-1，用温挤压成形的效果也较好。

3) 温挤压还便于组织连续生产，因为在温挤压温度范围内，毛坯可以不进行预先软化退火和各工序之间的退火，也可以不进行表面磷化处理，这就有利于实现机械化、自动化生产。

4) 温挤压的变形量比冷挤压大，这样就可以减少工序。模具费用也可以大为减少，而且不一定需要昂贵的专用挤压机，一般可以采用通用的锻压设备进行温挤压。

其缺点为：

温挤压件的尺寸精度和表面质量比冷挤压件低；温挤压至今并非十分完备，如目前采用的润滑剂，还不能令人满意；模具材料也有待于进一步研究解决。

应用范围：汽车、拖拉机、轴承、电器、仪表、军工、航空等工业部门。总之，虽然温挤压技术在国内的应用时间还不长，但已有的国内外使用及研究情况表明，温挤压是一种有效的毛坯精化加工工艺。

(3) 热挤压的特点及应用范围

热挤压时，由于毛坯加热至热锻温度，这就可使材料的变形抗力大为降低。但是由于加热时产生氧化、脱碳及热膨胀等问题，降低了产品的尺寸精度和表面质量，因此热挤压一般都用于毛坯预成形。

热挤压法不仅可以成形有色金属及其合金，而且对于高碳钢、结构用特殊钢、不锈钢、高速工具钢、耐热钢等也可进行热挤压成形。

冶金部门已开始采用热挤压法加工型钢、钢管和双金属管等，它与轧制法比较，具有如下优点：生产小批量或非标准件时比轧制法经济得多；从生产一种型钢改为生产另一种型钢十分简便，只需简单地更换模具；能够生产一些不能轧制的低塑性合金，适用范围比轧制更广；在同一台挤压机上只要更换模具就能生产棒、条、管以及多边形断面等异形型材。总之，热挤压法与轧制法相比，具有更大的灵活性和适用性，用它生产的型材可以广泛用于汽车、造船、农机、运输、轻纺、动力、仪表、化工以及建筑等工业部门。

热挤压法在机械工业部门中已得到初步应用，例如发动机气阀、汽轮机叶片、机床花键等皆已成功采用热挤压成形。

(4) 三种工艺的综合比较

表 25.6-2 反映了热锻、温锻、冷锻三种模锻工艺所能达到的技术指标和适用范围。实际上它也包含了热挤、温挤、冷挤三种挤压工艺，因此，完全可以通过该表大概地了解黑色金属三种挤压工艺可能达到的技术指标及适用范围。

表 25.6-2 热锻、温锻、冷锻工艺达到的技术指标及适用范围比较

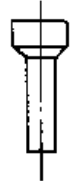
























模锻	尺寸精度 (定性的)	表面粗糙度 / μm	锻件重量 /kg	可利用的钢	成形加工的可能性	毛坯的预先处理	中间处理	经济批量	模具寿命
热锻	12~16	>100	0.005~1 500	任意	没有限制	不要求	不要求	>500	$2 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$
温锻	9~12	<30	0.1~50	碳素钢；合金钢	根据物体转动的可能性	不要求	不要求	> 10^4	$10^4 \sim 2 \times 10^4$
冷锻	7~11	~10	0.001~30	碳素钢；低合金钢	主要加工旋转体	主要加工旋转体	退火、磷化	> 3×10^3	$2 \times 10^4 \sim 6 \times 10^4$

1.3 冷挤压零件的分类

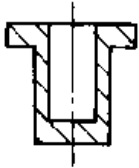
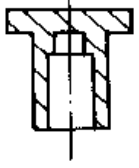
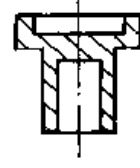
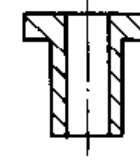
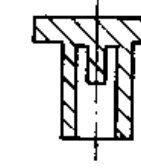
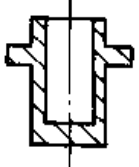
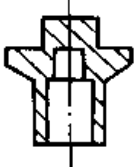
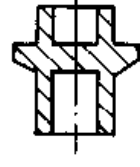
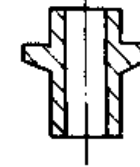

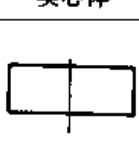
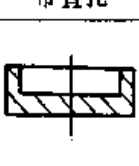
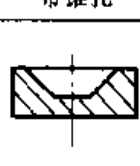
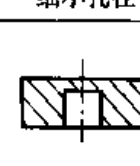
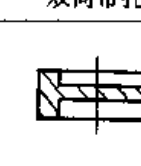

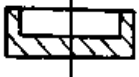
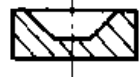







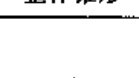
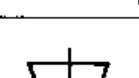
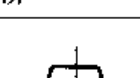

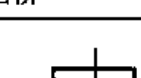















冷挤压件，按照其轮廓形状以及与其直接有

关的工艺特点，可以分为五个类别。根据在挤压件主体形状上存在的从属部分的形态，还可以把这五种基本类型进一步分成若干小类。表 25.6-3

表 25.6-3 冷挤压零件类别

类别	挤压件名称	挤压件特征	挤 压 件 分 组				
			单阶	多阶	端面带凹窝	端面带浅孔	锥形过渡
I	阶梯轴	1 单向台阶					
		2 双向台阶					
II	套筒类	1 不通孔	直孔	阶梯孔	带凹窝	双向带孔	锥孔
							
							
		3 通孔					

续表 25.6-3

类别	挤压件名称	挤压件特征	挤压件分组				
			单阶	多阶	端面带凹窝	端面带浅孔	锥形过渡
III	凸缘类	1 一端带凸缘	直孔	阶梯孔	双向带孔	通孔	锥形过渡 附凸出部分
							
		2 中间带凸缘					
							
IV	盘形类	1 板状	实心体	带直孔	带锥孔	细小孔径	双向带孔
							
		2 附有凸体					
							
V	锥形类	1 外部带锥形	整体锥形	单向台阶		双向台阶	
							
		2 附有锥孔					
							

列有挤压件的主要类别与组别，以及每组中的典型形状和变体形状。直观的图像说明了这种分类方法，并对五个主要类别的挤压件提供了补充的

例子。

按照这种分类方法，各类挤压件的特征如下：

I类挤压件,即带有粗大部分的杆形阶梯轴挤压件。属于这一类的挤压件,是由一个粗大部分和杆子所组成。它的形状细长而狭窄,以具有杆形部分为主要特征,其长度显著地大于其余尺寸。根据粗大部分所处位置,又可将杆类件分为两组。第1组中,在零件的单方向上具有阶梯,即挤压件杆的一端具有粗大部分。对于具有粗大部分的第2组挤压件,粗大部分距杆部两端的距离很大,位于中间部位,即在双方向上具有阶梯形状。

II类挤压件,具有各种孔或穿透的孔,它是具有一定壁厚的浅杯形、深筒形或空心管类零件。第一组的主体轮廓清晰,无任何从属部分。第二组是具有从属部分的挤压件,即在局部附有凸体形状。第三组为穿透孔的空心零件。

III类挤压件的主要特征是在其局部位置上存在着一个独特的形体,它突出零件的本体部分,呈粗大扁平形状,称为零件的凸缘部分。

IV类挤压件呈扁平形状,其高度尺寸明显小

于其他轮廓尺寸。V类挤压件上的某一部分形状为锥形,称为锥形件。

由上可见,所给零件从属于上述分类中的哪一类别明确之后,它的挤压工艺也就基本定型了。因为同一类的零件都具有一些共同特性,所以有可能据以选择挤压工序和确定成形方法。

1.4 挤压件图设计

挤压件图就是适合于冷挤压的零件的图形。它是根据成品零件图,考虑到挤压工艺性和机械加工的工艺要求,进行设计的。

将一般的成品零件图设计成适合于冷挤压零件的图形,是一项涉及广泛、十分复杂的工作。就是说,在挤压件图的设计过程中,不仅要考虑怎样把零件挤得质量好,耗材少和成本低,也要基本上确定在哪一种设备上进行,采用什么样的工艺路线和冷挤压模具等一系列原则性问题。

挤压件设计的主要项目和内容,列于表 25.6-4。

表 25.6-4 挤压件设计的项目内容

序号	项目	内 容
1	工艺分析	零件类型,零件材料,变形程度,形状,尺寸,公差,设计基准,加工部位,加工余量,技术条件
2	形状设计	主体形状,过渡形状,断面形状,工艺补充部分,直接成形形状,切削加工部位形状
3	尺寸设计	外径,孔径,长度,深度,底厚,隔厚,壁厚,余料厚度,圆角半径,过渡锥角,尺寸公差,形位偏差
4	基准,余量	分模位置,工艺基准,余量分布,余量大小,成形部位,加工部位
5	材料选择	规格,成分,性能,工艺性能,加工性能,使用性能,表面质量,试验项目,检查方法
6	技术条件	工艺要求,质量要求,性能要求,表面处理,特殊要求,使用要求

(1) 材料的选择

一般情况下,冷挤压用材料是按照产品零件图的规定进行选择。但是,当零件图规定的材料不适合于冷挤压加工时,就要考虑重新选择一种可以替代的材料。选择冷挤压材料时,应当考虑到材料所能达到的最大变形程度和工模具的使用寿命,以及是否需要多次挤压和特殊的设备等等。

(2) 挤压件形状设计

冷挤压零件的形状,是根据产品零件图样,技术要求和冷挤压工艺性能及切削加工性能综合

考虑之后确定的。选择和设计冷挤压件的形状时,主要考虑:

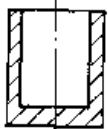
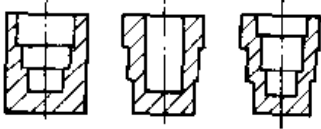
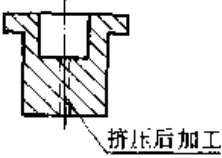
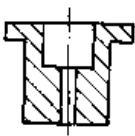
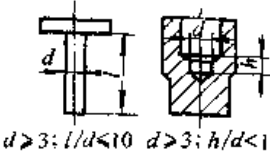
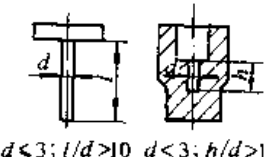
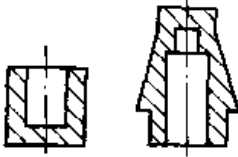
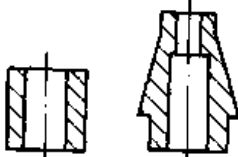
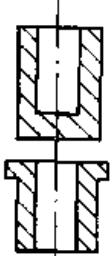
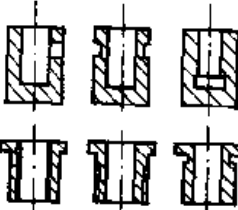
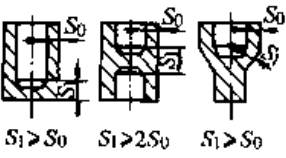
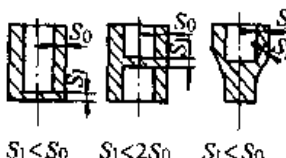
- 1) 冷挤压的工艺性能好,成形成容易,挤压力小;
- 2) 加工余量小,耗材少;
- 3) 所需的成形工序和中间退火次数最少;
- 4) 模具结构简单,加工制造容易;
- 5) 质量容易控制和保证,成本低。

满足上述要求的挤压件形状设计和选择要点,列于表 25.6-5。

表 25.6-5 挤压件形状设计要点

项目	设计要点	适宜形状	不适宜形状	设计说明
对称性	1. 零件应尽量设计成对称形状 2. 与加压方向垂直的断面尽量取圆形		 a) 偏心孔 b) 局部形状偏心	非对称形状对模具作用有不平衡的侧向力, 易使下模的中心移动而降低产品精度或易使较长凸模的根部折断
	3. 只有一个凹穴时, 必须布置在制件的对称中心			
	4. 非对称形状挤压件, 设计时按对称形状考虑, 挤压后将多余部分切除		 a) 局部形状不对称 b) 整体形状不对称	
	5. 不允许有加固肋和材料局部聚集。必要的肋和凸出部分, 挤压后进行焊接			
断面形状	6. 挤压件上应避免带有锥形			1. 锥面加大了金属与模具的接触和摩擦面积, 不利于金属流动 2. 锥形挤压时, 对模具产生较大的水平分力 3. 挤压时不必考虑拔模斜度
	7. 应避免带有较长的过渡锥形			

续表 25.6-5

项目	设计要点	适宜形状	不适宜形状	设计说明
断面形状	8. 尽量简化挤压件形状, 台阶尺寸相差不大时, 应将阶梯形状改为直壁筒形			简化工艺和工装设计, 提高模具寿命
	9. 极小孔在挤压后切削加工			细小深孔和细长杆挤压时, 金属的流动呈现出严重的不均匀性, 会引起挤压件形状畸变, 使挤压力增大, 对模具也极为不利
	10. 尽量避免细小深孔和细长杆			
	11. 尽量采用不通孔			挤压通孔是不经济, 甚至是不可能的。所需通孔, 应在挤压后用冲裁或机械加工方法最终完成
	12. 与挤压方向垂直的孔, 径向凹槽, 内螺纹及外螺纹, 拐角处退刀槽等结构不能挤压成形, 当需要时, 可在挤压后切削加工完成			
	13. 壁厚应尽可能均匀一致			底厚, 中间隔厚和过渡部分的金属厚度不应小于筒壁部分的厚度。壁厚变化过大, 会引起金属流动的不均匀, 使挤压件形状畸变而发生缺陷

续表 25.6-5

项目	设计要点	适宜形状	不适宜形状	设计说明
断面过渡	14. 避免直角平台转折 15. 避免断面急剧变化 16. 零件内外表面相连及转角处应为圆角 17. 断面过渡处附加微小的锥度			断面变化剧烈部位，是变形和应力分布最不均匀的区域，该处材料易产生裂纹。相对应的模腔部位，是热处理和挤压时应力集中的区域，会造成模具在淬火或使用中开裂

(3) 挤压件尺寸设计

表 25.6-6 和表 25.6-7 所列是有色金属及其合金用挤压方法制造的反挤压筒形件和正挤压管形件的尺寸加工界限和它的制造精度。冷挤压工艺尺寸的极限数值，列于表 25.6-8。

挤压件的尺寸偏差，是由模具、挤压设备和其他有关工艺因素决定的。它在很大程度上受模具尺寸变化的影响，而影响模具尺寸变化的原因有：模具的弹性变形、模具的温升、模具的材料以及模具的制造精度和模具磨损等等。

经验表明，径向尺寸偏差常常是根据模具的弹性膨胀量和磨损余量来决定的。挤压时，与作用力方向相垂直的凹模构件平面略有膨胀，其膨胀量对于硬质合金为 0.005~0.01 mm，对于工具钢为 0.02~0.04 mm。而且由于变形的不均匀

性，使杆径有 0.01~0.02 mm 的锥度，杯形件有 0.01~0.04 mm 的开口状锥度，以及外径的圆度。厚度尺寸偏差，除与本身尺寸大小直接有关外，其变化数值还取决于设备的吨位。孔的深度尺寸偏差，常与凸模的纵向弹性压缩直接有关。至于长度方向上的尺寸偏差，一般数值较大，它直接受材料公差和坯料体积重量误差的影响，一般可按自由公差的标准决定，或取 3~5 mm。此外，在决定挤压件的尺寸偏差时，还须考虑由于挤压件的形状畸变所引起的尺寸偏差，如正挤压杆形件的头部端面凹下和反挤压杯形件的底部凸起等等。

目前，挤压件尺寸偏差标准没有统一的规定。表 25.6-9~表 25.6-11 所列尺寸偏差可供参考。

表 25.6-6 反挤压制品的标准尺寸 (mm)

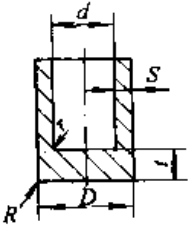
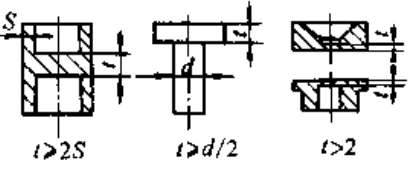
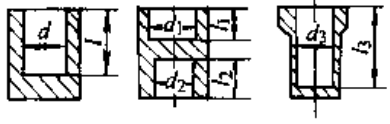
名称	铅, 锡, 锌, 铝		铜, 黄铜, 硬铝		制造精度
	最小	最大	最小	最大	
圆管直径	φ8	φ80~φ100	φ10	φ30~φ40	± (0.03~0.05)
矩形管的断面尺寸	5×7	70×80	6×9	20×40	± (0.03~0.05)
壁厚	0.08	≥0.23	0.5 (铜) 1.0 (黄铜)	≥1.0	± (0.03~0.075)
底厚	0.25~0.3	≥0.5	0.5 (铜) 1.0 (黄铜)	>壁厚	± (0.1~0.2)
长度/直径	3:1	10:1 (铅) 8:1 (铝)	3:1	5:1	± (1~3)

表 25.6-7 正挤压制品的标准尺寸

(mm)

材 料 名称	铅, 锡, 铟, 铝		铜, 黄铜, 硬铝		制造精度
	最小	最大	最小	最大	
圆管直径	$\phi 3$	$\phi 100$	$\phi 5$	$\phi 100$	$\pm (0.03 \sim 0.05)$
矩形管的断面尺寸	2×4	70×80	3×5	70×80	$\pm (0.03 \sim 0.05)$
壁厚	0.05	≥ 0.1	0.3 (黄铜) 0.5 (铜)	≥ 1.0	$\pm (0.03 \sim 0.075)$
边厚	0.2~0.3	≥ 0.5	0.3 (黄铜) 0.5 (铜)	\geq 壁厚	$\pm (0.05 \sim 1.0)$
零件长度	5	60	3	40	$\pm (1 \sim 5)$

表 25.6-8 冷挤压工艺尺寸的极限数值

序号	名称	图例与尺寸	说 明
1	最小壁厚 S	 <p>纯铝 $S \geq D/200$, 但不小于 0.08 mm 铜 $S \geq D/200$, 但不小于 0.5 mm 硬铝、黄铜 $S \geq D/25$, 但不小于 0.8 mm 低碳钢 $S \geq d/5$, 但不小于 1 mm</p>	<p>壁厚愈小, 意味着变形通道愈窄, 金属流动愈加困难</p> <p>壁厚愈小, 对模具精度和凸凹模的同轴度要求愈高</p>
2	最小压余厚度 t		<p>正挤压杆形件的残余部分厚度, 不应小于 2 mm</p> <p>原则上, 杯形件 (见序号 1 图) 的底厚大于或等于壁厚 ($t \geq s$)。但对于:</p> <p>铝, 不小于 0.3 mm 铜, 不小于 0.5 mm 黄铜, 不小于 1.0 mm 钢, 不小于 2.0 mm</p> <p>成形厚度小于 2 mm 时, 由于挤压力的增大和模具、压力机的弹性变形, 要想得到准确和稳定的尺寸较为困难, 有时甚至不可能</p>
3	最大挤压深度 l	 <p>铝, $l = (7 \sim 10) d$ 低碳钢 $l, l_1, l_2 \leq (2.5 \sim 3.0) d$ $l_3 \leq 7d_3$ 硬质材料 $l \leq (1 \sim 2) d$</p>	<p>过长的凸模, 工作时容易弯曲, 稳定性差</p> <p>当表面积扩大到 16 倍以后, 润滑层膜将被切断</p>

续表 25.6-8

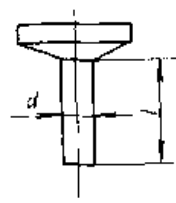
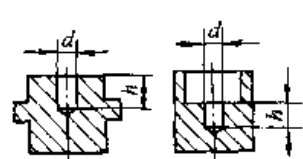
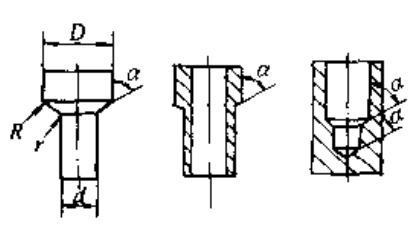
序号	名称	图例与尺寸	说明															
4	最大挤出长度 l	 <p style="text-align: center;">$l \leq 10d$</p>	挤出部分过长, 润滑和退料将发生困难															
5	孔径、外径 (见本表序号 1、4 的图)	孔径: $d \leq 0.86D$; 对于低碳钢, 建议大于 8 mm 杆径: 正挤压: $d \geq 0.45D$ 复合挤, $d \geq 0.4D$ 自由减轻: $d \geq 0.85D$	过小的孔径, 挤压时金属的流动呈现出严重的不均匀性, 易使凸模偏移, 甚至折断 正挤压的杆径应大于 3 mm。杆径过小时, 退料将发生困难															
6	最小凹穴尺寸 h	 <p style="text-align: center;">$d > 3 \quad h > d$</p>	细小深孔挤压时, 变形不均匀, 得不到均一、稳定的尺寸, 且凸模容易折断															
7	过渡锥角 α	 <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th>挤压比</th> <th>1.25</th> <th>2.0</th> <th>4.0</th> <th>5.0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>棒、管正挤压</td> <td>10~20</td> <td>30~45</td> <td>45~60</td> <td>75~90</td> </tr> <tr> <td>反挤杯形件</td> <td>60~90</td> <td>60~90</td> <td>75~90</td> <td>75~90</td> </tr> </tbody> </table>	挤压比	1.25	2.0	4.0	5.0	棒、管正挤压	10~20	30~45	45~60	75~90	反挤杯形件	60~90	60~90	75~90	75~90	对应于最佳角度的挤压力最小 合适的锥角, 挤压时材料变形均匀, 不贴模不拉伤
挤压比	1.25	2.0	4.0	5.0														
棒、管正挤压	10~20	30~45	45~60	75~90														
反挤杯形件	60~90	60~90	75~90	75~90														
8	最小圆角半径 R, r 见序号 1、7 图	通式: $R (r) = (1/20 \sim 1/5) D (d)$ 正挤压 <table border="1" style="margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th></th> <th>r</th> <th>R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>低碳钢</td> <td>0.5~1.0</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>铝合金</td> <td>0.2~0.5</td> <td>3.0~5.0</td> </tr> </tbody> </table> 反挤压 <table border="1" style="margin-top: 5px;"> <tbody> <tr> <td>低碳钢</td> <td>0.2~0.5</td> <td>0.5~1.0</td> </tr> <tr> <td>铝合金</td> <td>0.2~0.5</td> <td>0.5~1.0</td> </tr> </tbody> </table>		r	R	低碳钢	0.5~1.0	3.0	铝合金	0.2~0.5	3.0~5.0	低碳钢	0.2~0.5	0.5~1.0	铝合金	0.2~0.5	0.5~1.0	凹模最小圆角半径不小于 0.5 mm 凸模最小圆角半径不小于 0.2 mm 挤压件上绝对不允许有锐角存在, 应该全部具有不小于 0.2 mm 的圆角 模具上存在锐角, 会造成模具淬火和使用开裂 圆角又不易过大, 过大的圆角, 意味着金属与模具的粘合面积加大, 会咬住金属, 割切金属流线和挤压件纤维, 使挤压件产生拉伤、微裂、折叠等缺陷
	r	R																
低碳钢	0.5~1.0	3.0																
铝合金	0.2~0.5	3.0~5.0																
低碳钢	0.2~0.5	0.5~1.0																
铝合金	0.2~0.5	0.5~1.0																

表 25.6-9 低碳钢正挤压实心件的尺寸偏差 (mm)


 杆径 d	直径偏差值		挤出长度的 尺寸范围	弯曲许用数值 F
	普通精度 (挤压)	精密级 (挤压后校整)		
10~18	± 0.05	± 0.008	< 100	0.02~0.15
18~30	0.07	0.03	100~200	0.05~0.25
30~50	0.08	0.04	200~500	0.10~0.50
50~80	0.10	0.08	500~700	0.20~1.50
80~100	0.12	0.09	700~1 200	0.50~2.00

表 25.6-10 低碳钢反挤压厚壁杯形件的尺寸偏差 (mm)

外径 D	外径偏差值		内径偏差值	
	普通精度 (挤压后)	精密级 (挤压后校整)	普通精度 (挤压后)	精密级 (挤压后校整)
0~10	± 0.08	± 0.05	± 0.10	± 0.05
10~30	0.10	0.06	0.10~0.20	0.05~0.10
30~40	0.12	0.07	0.15~0.25	0.10~0.15
40~50	0.15	0.10	0.20~0.25	0.10~0.25
50~60	0.20	0.12	0.20~0.30	0.12~0.25
60~70	0.22	0.15	0.20~0.30	0.15~0.25
70~80	0.25	0.17	0.20~0.35	0.15~0.25
80~90	0.30	0.20	0.25~0.40	0.20~0.30
90~100	0.35	0.22	0.30~0.45	0.25~0.35
100~120	0.40	0.25	0.35~0.50	0.30~0.40

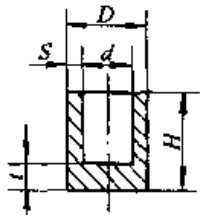
 底厚 t	底厚偏差值		壁厚 S	壁厚偏差值	
	普通精度 (挤压后)	精密级 (挤压后校整)		普通精度 (挤压后)	精密级 (挤压后校整)
0~2	$\pm 0.15 \sim 0.20$	± 0.10	0~2	± 0.10	± 0.05
2~10	0.20~0.30	0.15	2~10	0.15	0.10
10~15	0.25~0.30	0.20			
15~25	0.30~0.40	0.25	10~15	0.20	0.15
25~40	0.40~0.50	0.35			

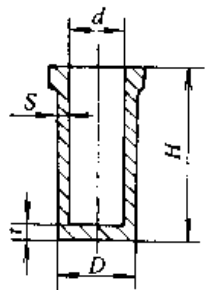
表 25.6-11 低碳钢正向挤压薄壁空心件的尺寸偏差 (mm)

外径 D	外径偏差值		内径偏差值	
	普通精度 (挤压后)	精密级 (挤压后校整)	普通精度 (挤压后)	精密级 (挤压后校整)
0~10	± 0.1	± 0.020	± 0.05	± 0.020
10~30	0.1	0.020	0.05~0.07	0.020~0.040

续表 25.6-11

外径 D	外径偏差值		内径偏差值	
	普通精度 (挤压后)	精密级 (挤压后校整)	普通精度 (挤压后)	精密级 (挤压后校整)
30~40	0.1	0.020	0.08~0.10	0.020~0.040
40~50	0.1	0.025	0.10~0.12	0.025~0.040
50~60	0.1	0.030	0.12~0.14	0.030~0.050
60~70	0.1	0.035	0.15~0.18	0.035~0.050
70~80	0.2~0.3	0.040	0.18~0.20	0.040~0.050
80~90	0.2~0.3	0.050	0.20~0.24	0.050~0.080
90~100	0.2~0.3	0.060	0.25~0.30	0.060~0.090
100~120	0.3	0.080	0.30~0.40	0.080~0.100
120~140	0.4	0.120	0.40~0.50	0.100~0.120

壁厚 S	壁厚偏差值		底厚 t	底厚偏差值	
	普通精度 (挤压后)	精密级 (挤压后校整)		普通精度 (挤压后)	精密级 (挤压后校整)
0~0.6	± 0.05 ~0.10	± 0.020	0~2	± 0.15	± 0.10
0.6~1.2	0.07~0.10	0.020	2~10	0.20~0.30	0.12
1.2~2.0	0.10~0.15	0.025	10~15	0.25~0.35	0.15
2.0~3.5	0.12~0.15	0.030	15~25	0.30~0.40	0.20
3.5~6.0	0.15~0.20	0.040	25~40	0.35~0.50	0.25
			40~50	0.40~0.50	0.30
			50~70	0.45~0.60	0.35



(4) 加工余量与基准

加工余量是指从挤压件的内部和外形上必须除去的那一层金属。设计时，在挤压件上每一个需要加工的面都要放置加工余量。加工余量是保证挤压件在机械加工后，以获得准确的形状和尺寸以及所需的表面粗糙度。普通挤压件的典型余量是由以下部分组成的，参见图 25.6-2。

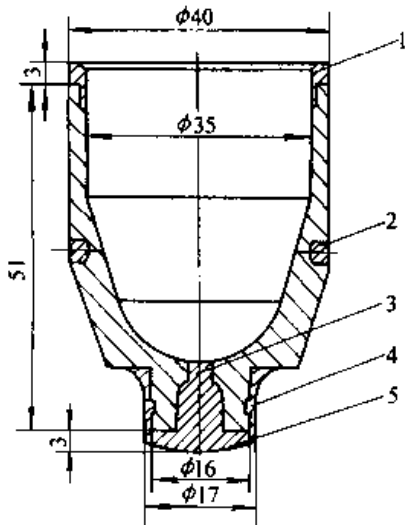


图 25.6-2 典型挤压件的余量分布
1—坡口 2—侧孔 3—工艺余块
4—凹槽 5—凸起

- 1) 侧孔 2、沟槽 4、螺纹；
- 2) 工艺余块 3；
- 3) 飞边；
- 4) 反挤压变形的孔口坡形部分 1；
- 5) 正挤压杆端的自由凸起部分 5；
- 6) 由于材料尺寸公差，下料精度造成的材料体积偏差；

7) 热处理后，由于残余应力的重新分布引起的形状变化，如铝合金挤压件淬火后的变形引起的尺寸超差；

8) 挤压件上达不到尺寸要求的部位，如孔底、法兰和凸缘部分的厚度；

9) 挤压件上表面粗糙度达不到要求的表面。

关于挤压件加工余量的编定方法，目前还没有统一的标准。在实际生产中，常常根据经验方法进行估算：

- 1) 一般挤压件圆周方向的单面加工余量，以 0.5 mm 为标准；
- 2) 挤压件形状复杂或加工工序过多时，加工余量应当予以放大；
- 3) 挤压件精度要求较高时，加工余量应当加大，并分为多次加工；

4) 挤压件形状简单, 加工工序少, 精度和表面粗糙度要求又不高时, 可适当减小加工余量;

5) 挤压件的敞开端是多余材料排放的主要方向, 考虑到坯料体积误差及其制取的精度、挤压力和轴向变形量的大小, 这个方向的加工余量要比单纯的切削余量大得多, 最小取 1 mm, 一般取 2 mm, 最大为 5 mm 左右。

为了便于切削加工, 一般利用冷挤压的成形表面做为继续加工的工艺基准。如果这个基准与成品零件图上的设计基准一致, 就可以不必进行尺寸换算, 因而可避免基准改变带来的误差。所以, 冷挤压的工艺基准应尽量与产品的设计基准和机械加工的定位基准取得一致。

(5) 挤压件技术条件

凡有关挤压件质量、性能、表面处理等方面的技术要求, 在图形中无法表示时, 均应列入技术条件中用文字加以说明。冷挤压件的技术条件

包括以下方面内容:

- 1) 材料缺陷;
- 2) 工艺质量;
- 3) 性能检查;
- 4) 特殊要求;
- 5) 制定说明。

1.5 挤压变形程度

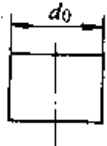
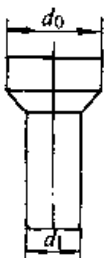
(1) 变形程度及其表示方法

挤压件的变形程度一般用断面收缩率 ϵ_A 来表示, 即挤压前后横截面积之差与挤压前毛坯横截面积之比的百分数。此外, 变形程度也可用挤压比表示, 即坯料与挤压件横截面积之比。当挤压比用对数表示时, 又称为对数塑性变形, 在计算中使用的场合也较多。三种表示方法的计算公式及其相互换算关系列于表 25.6-12, 一些典型挤压件的变形程度的计算公式列于表 25.6-13。

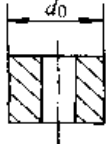
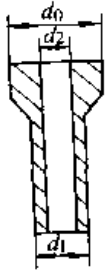
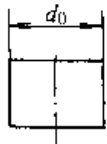
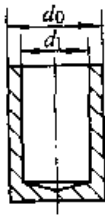

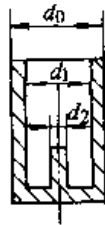
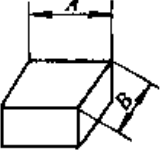
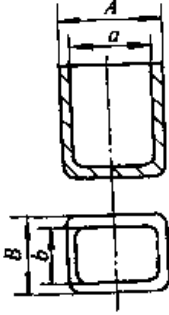
表 25.6-12 变形程度的表示方法

术语名称	计算公式	换算关系	符号意义
断面缩减率	$\epsilon_A = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$	$\epsilon_A = \left(1 - \frac{1}{G}\right) \times 100\%$ $G = \frac{1}{1 - \epsilon_A}$	A_0 —冷挤前毛坯的横截面积 (mm^2); A_1 —冷挤后工件的横截面积 (mm^2).
挤压比	$G = \frac{A_0}{A_1}$		
对数塑性变形	$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1}$		

表 25.6-13 变形程度计算公式

变形方式	毛坯尺寸	工件尺寸	计算公式		
			断面缩减率 ϵ_A	挤压比 G	对数变形程度 φ
正挤实心件			$\epsilon_A = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_0^2}\right) \times 100\%$	$G = \frac{d_0^2}{d_1^2}$	$\varphi = \ln \frac{d_0^2}{d_1^2}$

续表 25.6-13

变形方式	毛坯尺寸	工件尺寸	计算公式		
			断面缩减率 ϵ_A	挤压比 G	对数变形程度 φ
正挤空心件			$\epsilon_A = \frac{d_0^2 - d_1^2}{d_0^2 - d_2^2} \times 100\%$	$G = \frac{d_0^2 - d_2^2}{d_1^2 - d_2^2}$	$\varphi = \ln \frac{d_0^2 - d_2^2}{d_1^2 - d_2^2}$
反挤杯形件			$\epsilon_A = \frac{d_1^2}{d_0^2} \times 100\%$	$G = \frac{d_0^2}{d_0^2 - d_1^2}$	$\varphi = \ln \frac{d_0^2}{d_0^2 - d_1^2}$
反挤带芯件			$\epsilon_A = \frac{d_1^2 - d_2^2}{d_0^2} \times 100\%$	$G = \frac{d_0^2}{d_0^2 - d_1^2 + d_2^2}$	$\varphi = \ln \frac{d_0^2}{d_0^2 - d_1^2 + d_2^2}$
反挤盒形件			$\epsilon_A = \frac{a \cdot b}{A \cdot B} \times 100\%$ 当 $A = B, a = b$ 时 $\epsilon_A = \frac{a^2}{A^2} \times 100\%$	$G = \frac{AB}{AB - ab}$ 当 $A = B, a = b$ 时 $G = \frac{A^2}{A^2 - a^2}$	$\varphi = \ln \frac{A \cdot B}{A \cdot B - a \cdot b}$ 当 $A = B, a = b$ 时 $\varphi = \ln \frac{A^2}{A^2 - a^2}$

(2) 许用变形程度

金属挤压时，一次挤压加工所容许的变形程度，称为许用变形程度。冷挤压的变形程度越大，则变形抗力也越大，当冷挤压的单位压力超过模具所能承受的单位压力时，就会降低模具的使用寿命或导致模具的损坏。所以冷挤压的许用变形程度值实际是受到模具许用单位挤压力的限制。因此，对于不同的冷挤压材料在不同的工艺参数条件下，应按同一许用单位挤压力来决定其冷挤压变形程度，这就是等压原则。

根据国内生产实践和模具寿命情况，对于中小型零件的正常批量生产可采用 2 000~2 500 MPa 作为许用单位挤压力（一般条件时采用小值，条件较好时采用大值）。

1) 正挤压许用变形程度 图 25.6-3 为碳钢正挤压的许用变形程度。图 25.6-3 中 1、2 两条线是根据等压原则，在毛坯相对高度 $h_0/d_0 = 1.0$ ，凹模入模角 $\alpha = 120^\circ$ 条件下得出的等压线。考虑到实际条件可能的变动，在等压线 1、2 下面留有 5% ϵ_A 的范围作为该等压线的等压带。

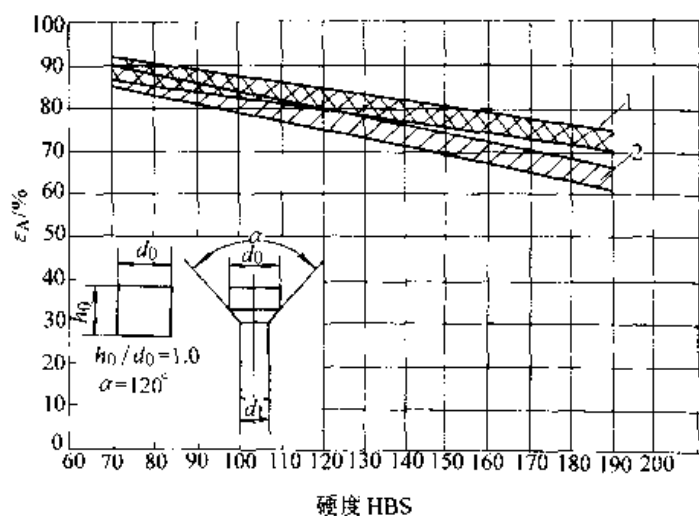


图 25.6-3 黑色金属正挤压许用变形程度 ($h_0/d_0=1.0, \alpha=120^\circ$)

1—许用单位挤压力 2 500 MPa 2—许用单位挤压力 2 000 MPa (剖面线与交叉线部分为等压带)

退火后的钢材硬度	
钢号	硬度 HBS
纯铁	70
10	90
20	110
20Cr	140
45	150
40Cr	160
40MnB	170
GCr15	190

退火后的钢材硬度	
钢号	硬度 HBS
纯铁	70
10	90
20	110
20Cr	140
45	150
40Cr	160
40MnB	170
GCr15	190

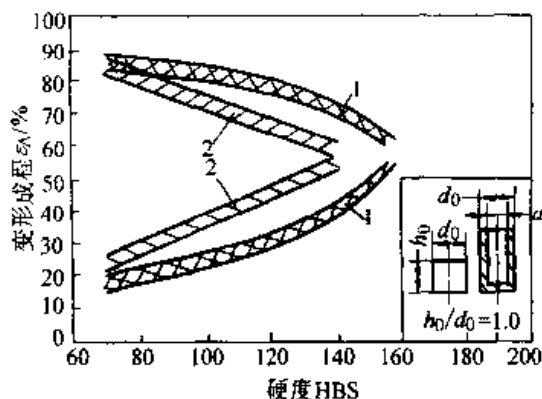


图 25.6-4 黑色金属反挤压的许用变形程度 ($h_0/d_0=1.0$)

1—许用单位挤压力 2 500 MPa 2—许用单位挤压力 2 000 MPa (剖面线与交叉线部分为等压带)

2) 反挤压许用变形程度 图 25.6-4 为碳钢反挤压的许用变形程度。

3) 碳素钢及某些低合金钢的许用变形程度也可参考表 25.6-14。

表 25.6-14 碳素钢及某些低合金钢的许用变形程度 (%)

钢号	反挤压 ϵ_A	正挤压 ϵ_A	自由锻粗 $\epsilon_h^{\text{①}}$
10	75~80	82~87	75~81
15	70~73	80~82	70~73
35	50	55~62	63
45	40	45~48	40~45
15Cr	42~50	53~63	50~60
34CrMo	40~45	50~60	50~60

① ϵ_h 为锻粗许用变形程度 $\epsilon_h = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \times 100\%$

其中 H_0 ——毛坯高度;
 H_1 ——锻粗后高度。

4) 有色金属的许用变形程度见表 25.6-15。

表 25.6-15 有色金属冷挤压的许用变形程度

材料名称	断面缩减率 ϵ_A / %		附注
	正挤压	反挤压	
铝、防锈铝等	95~99	90~99	低强度的金属取上限 高强度的金属取下限
	90~95	75~90	

1.6 挤压力的计算

挤压力是模具设计、模具材料和挤压设备吨位选择的依据。

确定挤压力包括两项内容：决定在凸模上所承受的单位挤压力（凸模单位面积上承受的压力），目前冷挤压模具钢所能承受的许用单位挤

压力为 2 500 MPa (条件良好时可达 3 000 MPa) 决定此一工序变形所需的总吨位。将凸模上承受的单位挤压力乘凸模的水平投影面积, 即可算出变形所需要的总挤压力。

挤压力的确定方法很多, 有图算法、公式计算法等。用图算法求解变形力, 在实际生产中甚为方便, 既避免了繁杂的计算, 又具有足够的准确性。

1.6.1 冷挤压力的确定

(1) 图算法确定挤压力

1) 黑色金属挤压力的图算法 图 25.6-5、图 25.6-6 和图 25.6-7 为正挤实心件、正挤空心件及反挤压的挤压力的计算图表。此图表以影响挤压力的主要因素——变形程度及挤压材料性能为计算基础, 并考虑了其他因素的影响。在正挤压时, 考虑了毛坯的长径比 h_0/d_0 及凹模锥角 α 的影响, 在反挤压时考虑了毛坯长径比 h_0/d_0 的影响。

用这组图表计算挤压力时, 毛坯应经软化退火, 并在挤压前进行磷化、润滑处理。它的计算方法见图上虚线所示, 现分别举例说明如下:

① 正挤实心件的图算法 (图 25.6-5)

已知:

毛坯直径 (或凸模直径)	$d_0 = 75 \text{ mm}$
挤压后直径	$d_1 = 45 \text{ mm}$
毛坯长度	$h_0 = 110 \text{ mm}$
凹模锥角	$\alpha = 90^\circ$
毛坯材料	纯铁

求解步骤:

a) 根据相应的 d_0 及 d_1 , 查图①得断面缩减率: $\epsilon_A = 64\%$ 。

b) 根据 $\epsilon_A = 64\%$ 及毛坯材料查图②, 求得未经修正的单位挤压力: $p = 850 \text{ MPa}$ 。

这个 p 相当于毛坯长径比 $h_0/d_0 = 1$, 凹模锥角 $\alpha = 60^\circ$ 时单位挤压力。

c) 考虑到 $h_0/d_0 = 1.5$, $\alpha = 90^\circ$, 上述单位挤压力需要修正, 因此可根据图③中相应的曲线, 查得修正的单位挤压力: $p = 1 050 \text{ MPa}$

d) 根据毛坯直径 d_0 和修正的单位挤压力 p , 从图④中查得总挤压力: $F = 4 600 \text{ kN}$

② 正挤空心件的图算法 (图 25.6-6)

已知:

毛坯外径 (凸模直径)	$d_0 = 95 \text{ mm}$
-------------	-----------------------

挤压后零件外径	$d_1 = 85 \text{ mm}$
挤压后零件内径	$d_2 = 80 \text{ mm}$
毛坯长度	$h_0 = 50 \text{ mm}$
凹模锥角	$\alpha = 120^\circ$
毛坯材料	纯铁

求解步骤:

a) 计算变形前毛坯横断面积 A_0 和变形后横断面积 A_1 :

$$A_0 = \frac{\pi}{4}(d_0^2 - d_2^2) = \frac{\pi}{4}(95^2 - 80^2) \text{ mm}^2 = 2 060 \text{ mm}^2$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4}(d_1^2 - d_2^2) = \frac{\pi}{4}(85^2 - 80^2) \text{ mm}^2 = 650 \text{ mm}^2$$

b) 根据上述 A_0 和 A_1 数值, 查图①得 $\epsilon_A = 69\%$ 。

c) 根据 $\epsilon_A = 69\%$ 和毛坯材料, 查图②得未经修正的单位挤压力: $\bar{p} = 890 \text{ MPa}$ 。

d) 根据 $h_0/d_0 = 0.53$ 及 $\alpha = 120^\circ$ 从图③查得经过修正的单位挤压力: $p = 1 100 \text{ MPa}$ 。

e) 根据毛坯变形前横断面积 A_0 和单位挤压力 p , 查图④得总挤压力: $F = 2 250 \text{ kN}$

③ 反挤压的图算法 (图 25.6-7)

已知:

毛坯直径 (或凹模直径)	$d_0 = 70 \text{ mm}$
凸模直径	$d_1 = 58 \text{ mm}$
毛坯长度	$h_0 = 35 \text{ mm}$
毛坯材料	纯铁

求解步骤:

a) 根据毛坯直径 d_0 和凸模直径 d_1 , 查图①求得断面缩减率: $\epsilon_A = 69\%$ 。

b) 根据 $\epsilon_A = 69\%$ 和毛坯材料, 查图② (上部曲线) 得未经修正的单位挤压力: $\bar{p} = 1 860 \text{ MPa}$ 。同时根据 $\epsilon_A = 69\%$ 和 $h_0/d_0 = 0.5$ 从图② (下部曲线) 查得毛坯高度修正系数 $k = 0.94$ 。

c) 未经修正的单位挤压力 \bar{p} 经过图③的毛坯高度修正 (上部曲线) 和毛坯外径修正 (下部曲线) 查得修正的单位挤压力: $p = 1 660 \text{ MPa}$ 。

d) 根据修正的单位挤压力 p 和凸模直径 d_1 , 查图④得总的挤压力: $F = 4 400 \text{ kN}$ 。

2) 有色金属挤压力的图算法

图 25.6-8、图 25.6-9 和图 25.6-10 分别为正挤实心件、正挤空心件和反挤压的单位挤压力 p 的计算图表。

冷挤压的总挤压力 F 可按下式计算

$$F = pA$$

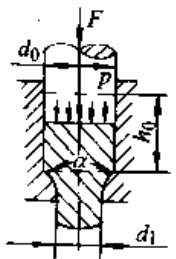
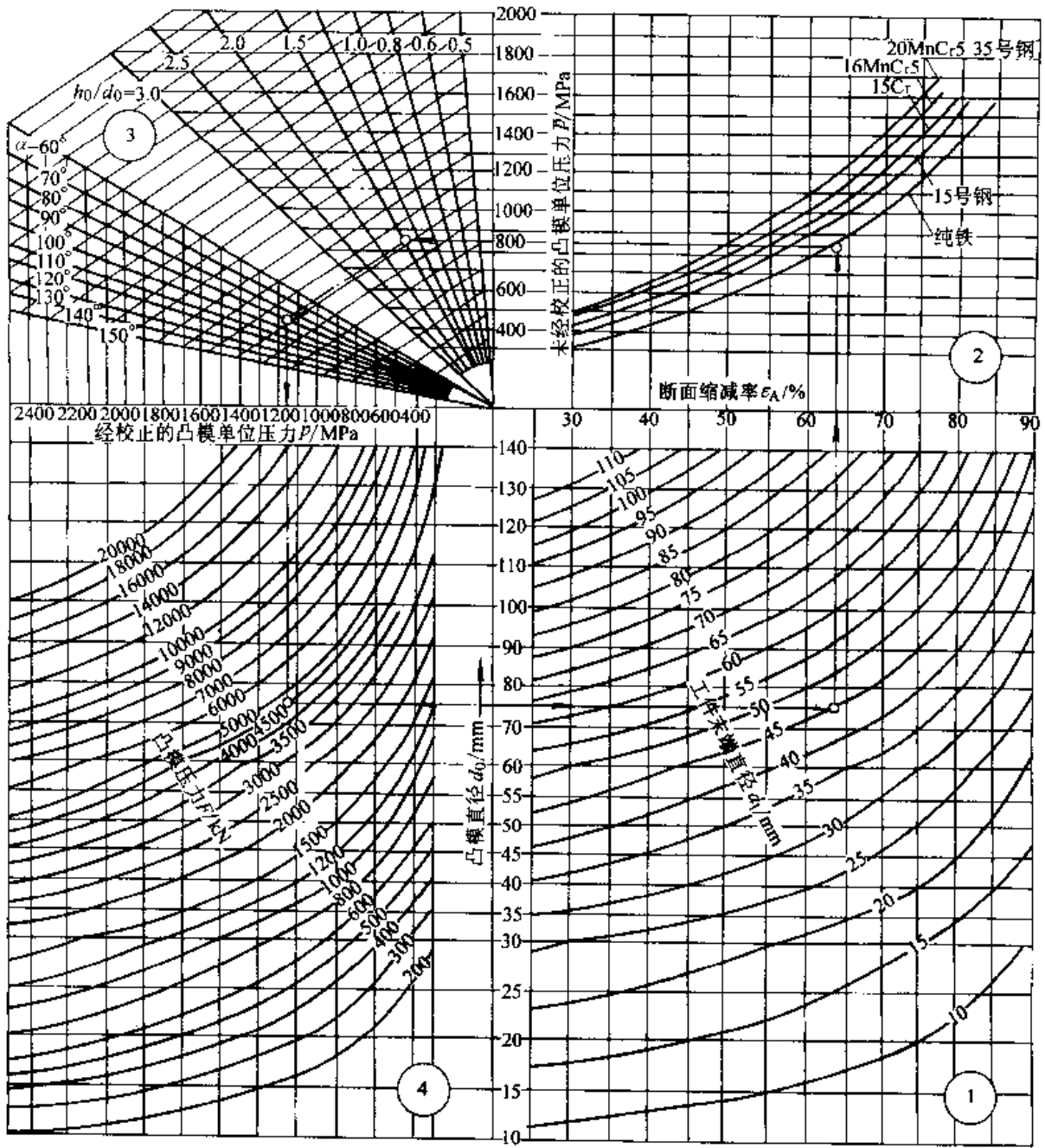


图 25.6-5 黑色金属正挤压实心件挤压力计算图

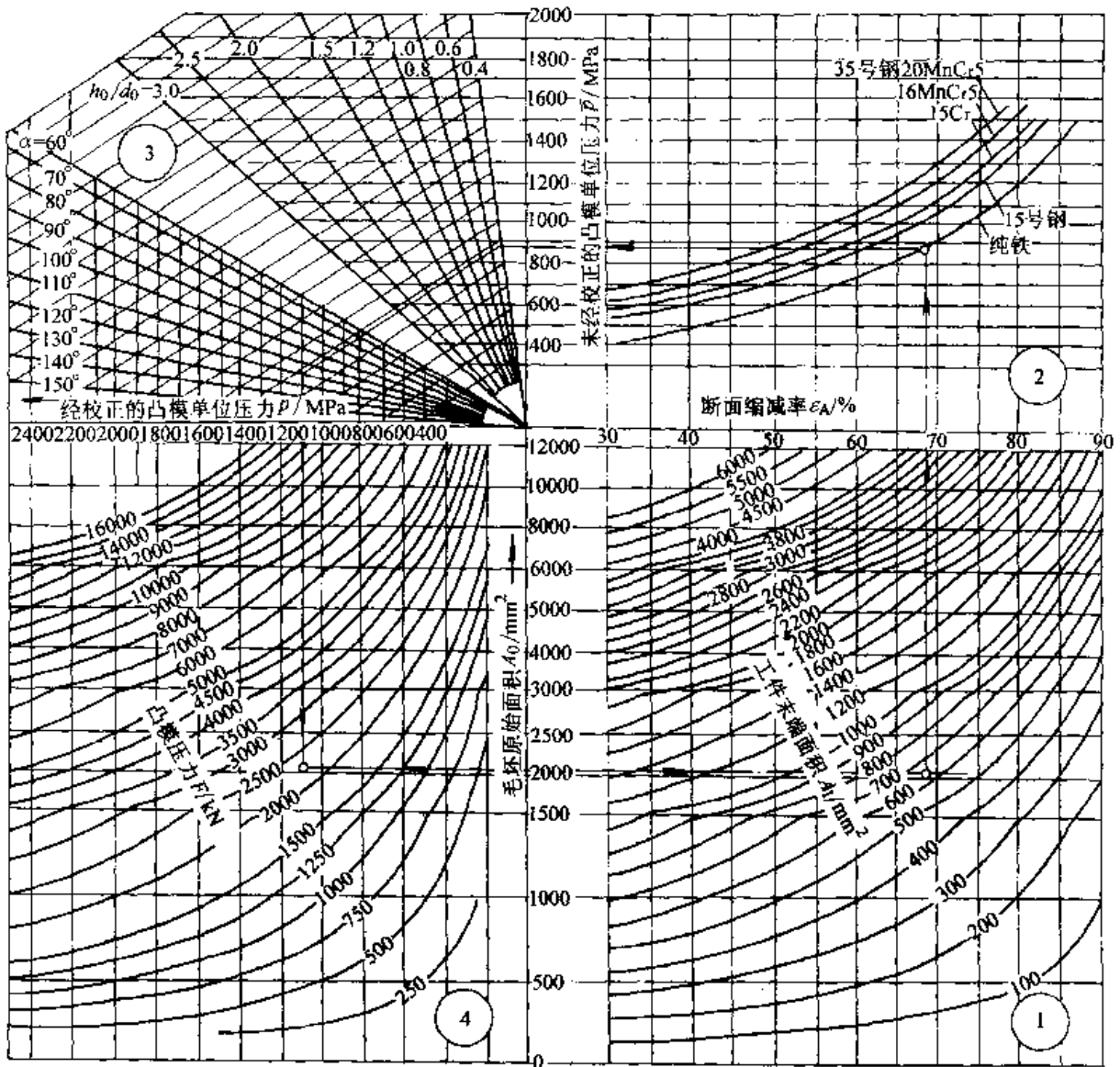


图 25.6-6 黑色金属正挤压空心件挤压力计算图

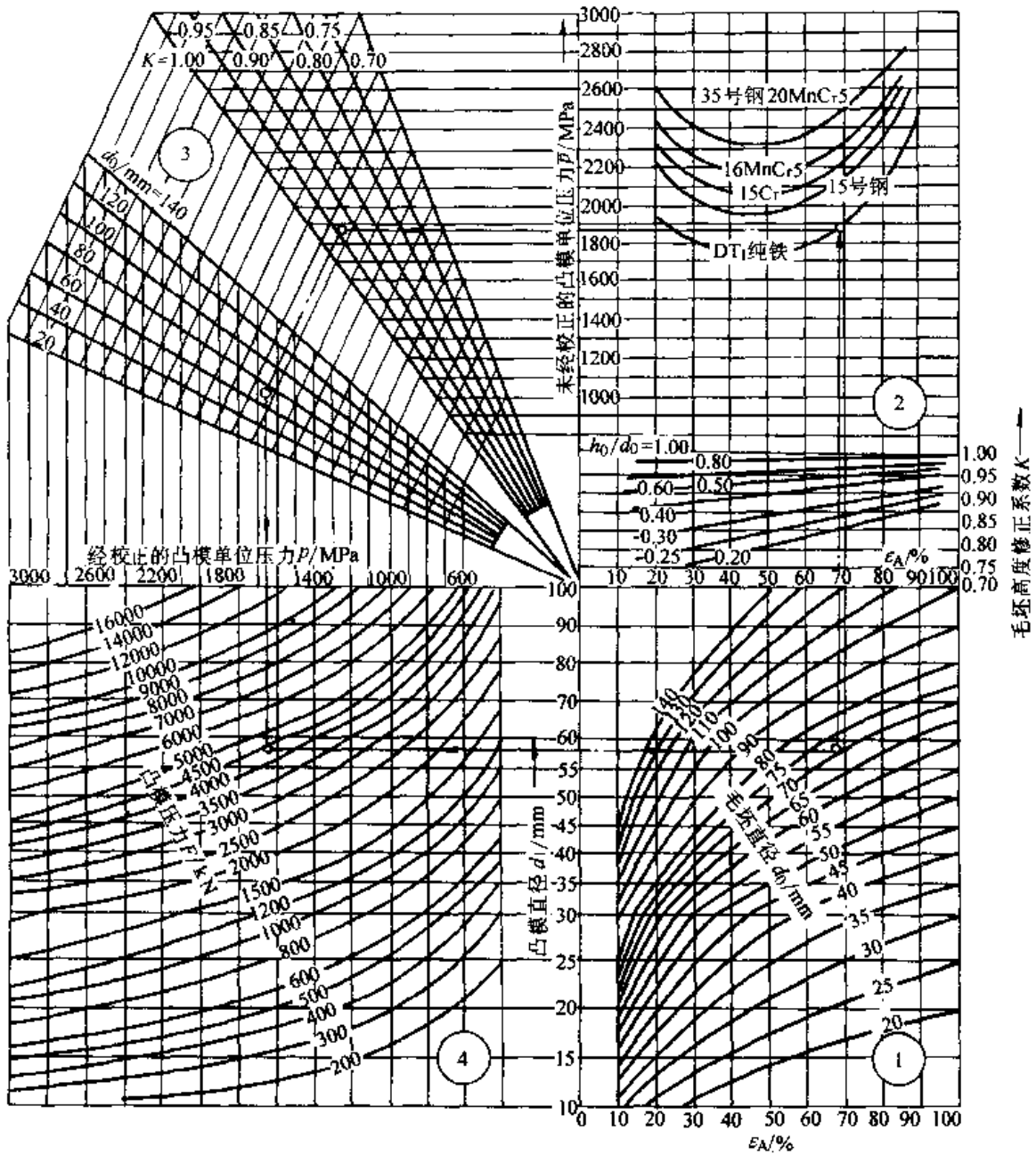


图 25.6-7 黑色金属反挤压挤压力计算图

式中 F ——总挤压力 (N);
 p ——单位挤压力 (MPa);
 A ——凸模横断面积 (mm^2).

计算公式很多, 用下列公式求冷挤压的单位压力, 计算结果比较接近实际。

1) 正挤压实心件的单位挤压力 p (MPa)

$$p = 2\sigma \left(\ln \frac{d_0}{d_1} + 2\mu \frac{h_1}{d_1} \right) e^{\frac{2\mu h_0}{d_0}}$$

(2) 计算法确定挤压力

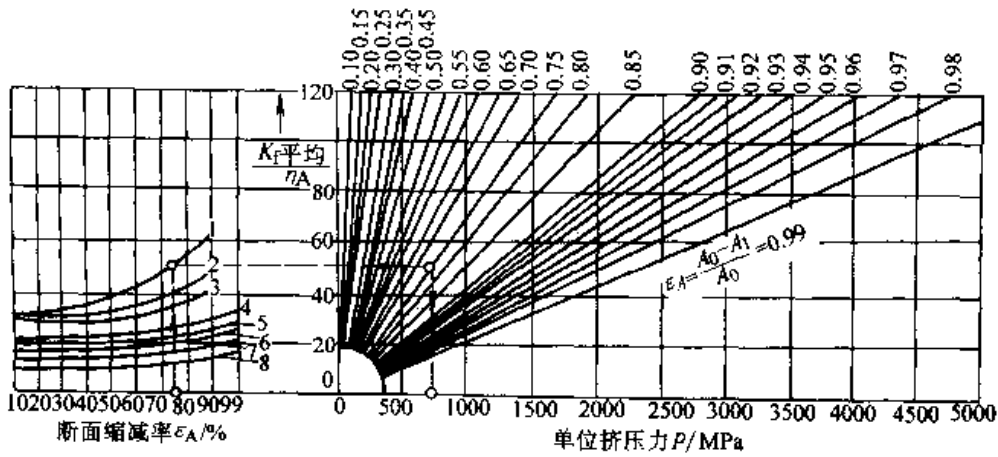


图 25.6-8 有色金属实心件正挤压单位挤压力计算图

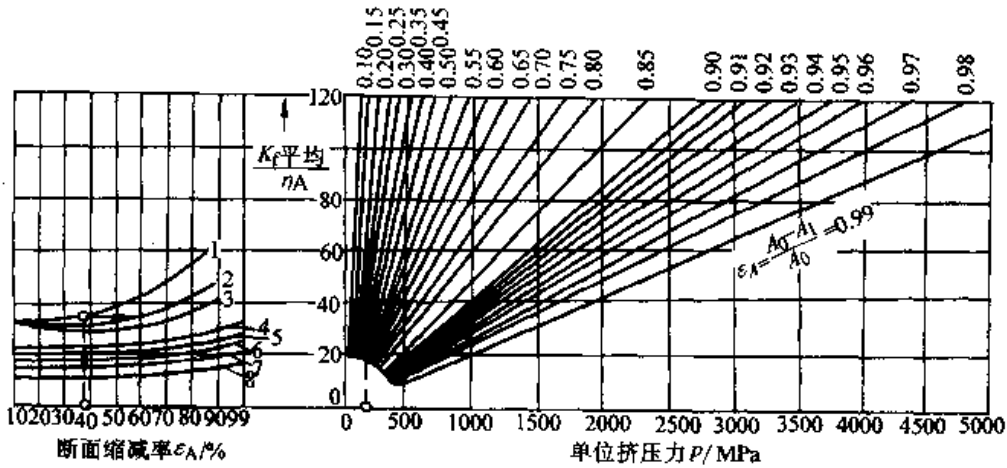


图 25.6-9 有色金属空心件正挤压单位挤压力计算图

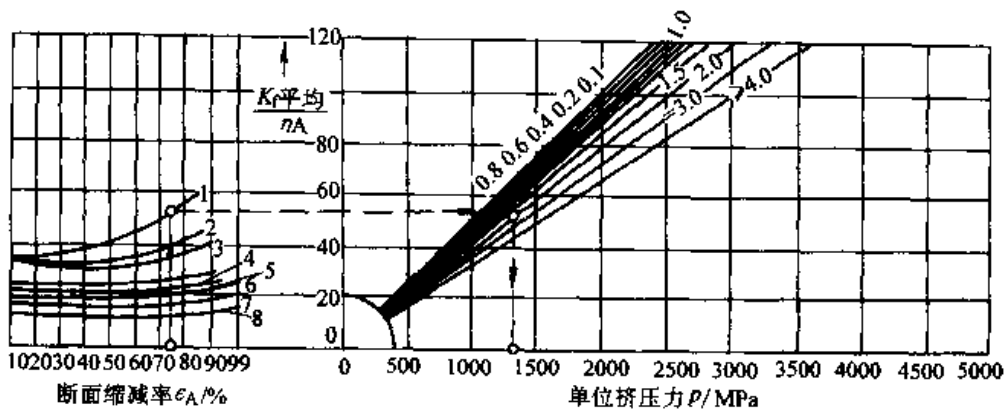


图 25.6-10 有色金属反挤压单位挤压力计算图

式中 σ —— 挤压材料变形抗力 (MPa), 在图 25.6-11 中按对数变形程度 φ 查得;

d_0 —— 毛坯直径 (mm);

h_0 —— 毛坯高度 (mm);

d_1 —— 挤压后直径 (mm);

h_1 —— 凹模工作带高度 (mm);

μ —— 摩擦因数 (有润滑剂时可取 $\mu = 0.1$)。

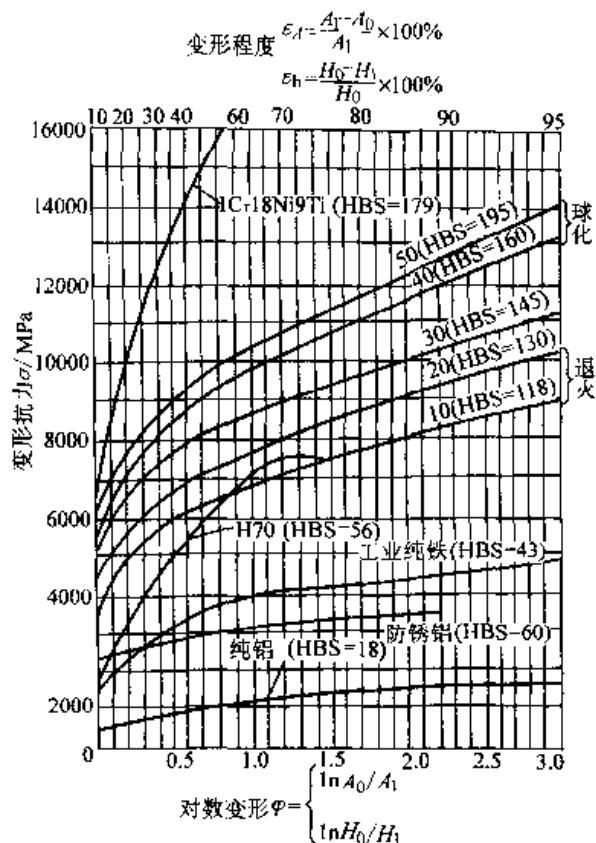


图 25.6-11 不同材料的变形抗力

2) 反挤压的单位挤压力 p (MPa)

$$p = \sigma \left[\frac{d_0^2}{d_1^2} \ln \frac{d_0^2}{d_0^2 - d_1^2} + (1 + 3\mu) \times \left(1 + \ln \frac{d_0^2}{d_0^2 - d_1^2} \right) \right]$$

式中 σ —— 挤压材料变形抗力 (MPa), 在图 25.6-11 中查得;

d_0 —— 毛坯直径 (mm);

d_1 —— 工件内径 (mm);

μ —— 摩擦因数 (有润滑剂时可取 $\mu = 0.1$)。

3) 复合挤压的单位挤压力根据试验结果可知, 复合挤压的压力低于单向正挤压和单向反挤压的压力。

当复合挤压不限定某一方向尺寸时:

$$p_{复} = p_{正} \quad (p_{正} < p_{反})$$

$$p_{复} = p_{反} \quad (p_{反} < p_{正})$$

当复合挤压限定某方向尺寸时:

$$p_{复} = p_{反} \text{ (正挤压限定尺寸)}$$

$$p_{复} = p_{正} \text{ (反挤压限定尺寸)}$$

(3) 锻粗变形力的计算

1) 自由锻粗时变形力

$$F = A_0 \cdot p = A_0 \cdot \sigma \left(1 + \frac{1}{3} \mu \frac{d}{H_1} \right)$$

式中 F —— 总锻粗力 (N);

A_0 —— 工件锻粗后横断面积 (mm^2);

p —— 自由锻粗的单位压力 (MPa);

σ —— 变形终了时变形抗力 (MPa), 由

$$\ln \frac{H_0}{H_1} \text{ 值查图 25.6-11;}$$

μ —— 摩擦因数, 见表 25.6-16;

d —— 变形后的直径 (mm);

H_1 —— 变形后的高度 (mm)。

表 25.6-16 锻粗时不同润滑剂的摩擦因数 (钢对钢)

润滑剂	摩擦因数	润滑剂	摩擦因数
磷化处理 + 皂化	0.06 ~ 0.08	MoS ₂ + 机油	0.07 ~ 0.08
石墨 + 机油	0.08 ~ 0.10	矿物油	0.12 ~ 0.14

2) 其他形式锻粗时变形力

$$F = A \cdot C \cdot \sigma_m$$

式中 F —— 最大锻粗力 (kN);

A —— 锻粗终了时的受压面积 (mm^2);

C —— 不同锻粗形式的系数, 见图 25.6-12 及图 25.6-13;

σ_m —— 平均变形抗力 (MPa); 由 $\varphi_1 = 0$

和 $\varphi_2 = \ln \frac{H_0}{H_1}$ (H_0 为变形前锻粗部分的高度) 查图 25.6-11, 求得 σ_1 和 σ_2 。

$$\text{则 } \sigma_m = \frac{1}{2} (\sigma_1 + \sigma_2)$$

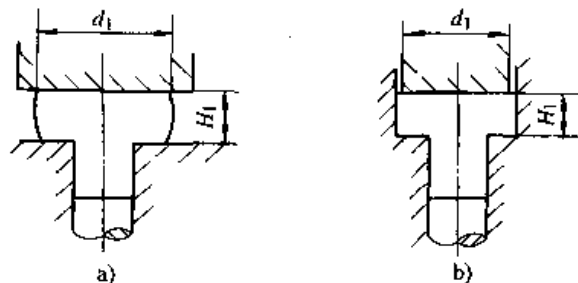


图 25.6-12 锻粗系数 C 值

a) 自由锻粗 b) 闭式锻粗

$$H_1 > d_1 \quad C \approx 1.2 \quad H_1 > d_1 \quad C \approx 2.4 \quad H_1 \leq 0.8d_1 \quad C = 1.5 \sim 1.7 \quad H_1 \leq 0.8d_1 \quad C \approx 3 \sim 5$$

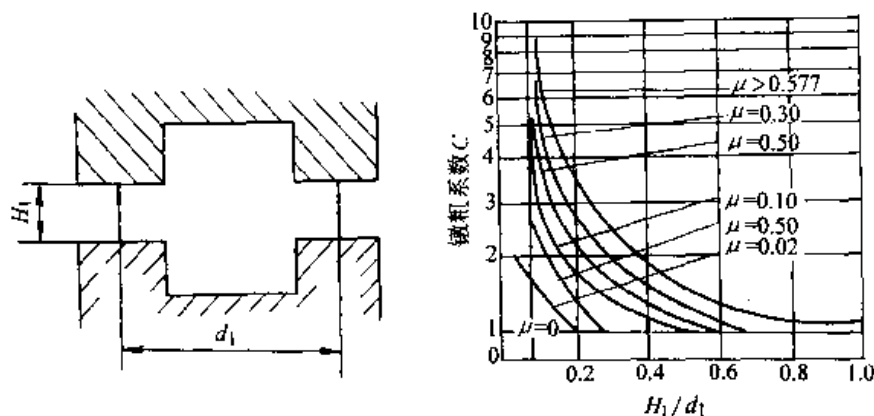


图 25.6-13 墩粗系数 C 值 (μ 为摩擦系数)

3) 其他变形方式的单位压力 表 25.6-17 作计算时参考。
列出了不同钢种、各种变形方式的单位压力, 可

表 25.6-17 不同钢种、各种变形方式的单位压力

变形方式	$w(C) \leq 0.1\%$ 低碳钢		$w(C)$ 为 0.1%~0.3% 碳钢 渗碳钢		$w(C)$ 为 0.3%~0.5% 碳钢 低合金钢	
	$\epsilon_A, \epsilon_h/\%$	p/MPa	$\epsilon_A, \epsilon_h/\%$	p/MPa	$\epsilon_A, \epsilon_h/\%$	p/MPa
正挤压	50~80	1 400~2 000	50~70	1 600~2 500	40~60	2 000~2 500
反挤压	40~75	1 600~2 200	40~70	1 800~2 500	30~60	2 000~2 500
缩颈	25~30	900~1 100	24~28	1 000~1 300	23~28	1 150~1 500
自由墩粗	50~60	500~700	50~60	800~1 000	50~60	1 000~1 500
冷模锻	30~50	1 000~1 600	30~50	1 600~2 000	30~50	1 800~2 500
型腔挤压		2 000~2 500		2 000~2 500		2 200~2 500

注: 1. $\epsilon_A = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$ $\epsilon_h = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \times 100\%$

2. 变形程度大时单位压力取上限, 反之取下限。

1.6.2 温挤压力的确定

温挤压与冷挤压一样, 其挤压力和毛坯的钢种性能、变形程度、零件形状、模具形状以及润滑剂有关, 此外, 还与毛坯加热温度有很大关系。

(1) 图算法确定挤压力

图 25.6-14 是钢的温挤压单位压力计算图。图上的曲线是在图中所示模具参数的条件下获得的, 挤压前模具预热到 60~100°C, 用油与石墨的混合剂作润滑, 加工温度在 600°C 以下者, 毛坯作磷化处理, 600°C 以上者, 毛坯不预先处理。

图中虚线上的箭头表明了查图的方法。例如: 当加工温度 550°C 挤压 35 钢时, 可沿图中 550°C 向上虚线交到 35 钢的曲线上, 然后箭头向左标到正挤断面缩减率 80% 曲线上的一点,

这一点在水平轴上的投影数据 1 900 MPa 就是 35 钢在 550°C 作 80% 正挤压变形时的单位挤压力。如果反挤压, 则箭头向右标去, 同样可查到某一断面缩减率下的单位挤压力数据。决定了单位挤压力便可计算挤压力:

$$\text{正挤压时 } F = p_a A = \frac{\pi}{4} (d_0^2 - d_1^2) p_a$$

$$\text{反挤压时 } F = p A = \frac{\pi}{4} d_0^2 p$$

式中符号均按图 25.6-14 中所示。

表 25.6-18 是几种材料在 650~850°C 时的单位挤压力。

(2) 计算法确定挤压力

1) 理论公式计算

温挤时单位挤压力的计算公式, 可据金属塑性变形区内的平衡微分方程式与屈服准则的方程联立求解获得。

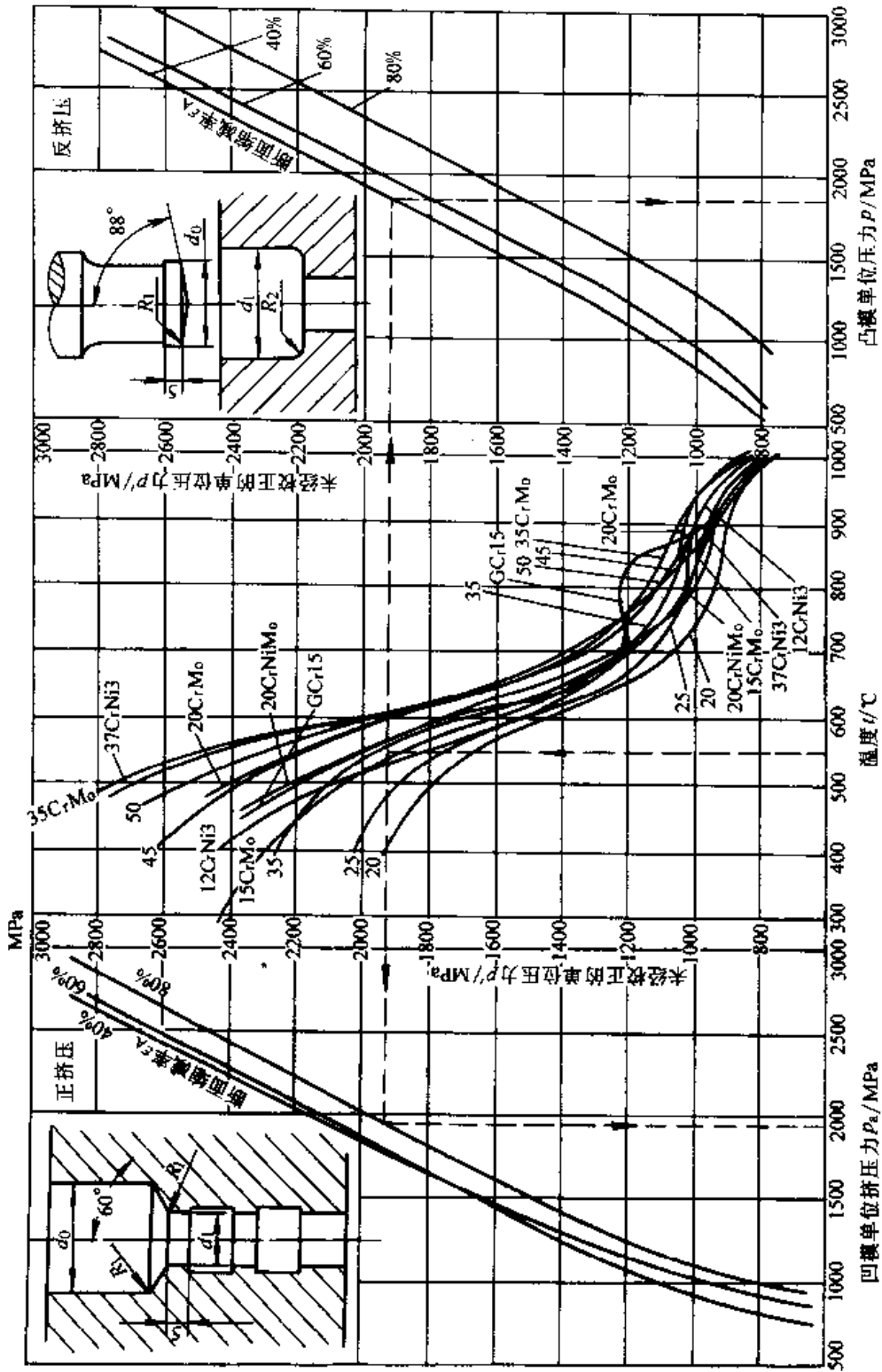


图 25.6-14 钢的温挤压单位压力计算图

表 25.6-18 几种材料的温挤压单位挤压力

反挤压凸模单位压力/MPa				正挤压凸模单位压力/MPa			
材料: 10号钢							
温度/°C	变形程度 $\epsilon_A/\%$			温度/°C	变形程度 $\epsilon_A/\%$		
	40	60	80		40	60	80
850	—	—	—	850	250	—	—
800	512	521	—	800	308	398	462
750	562	—	—	750	336	503	562
700	650	694	—	700	404	512	592
650	—	910	—	650	—	—	—
材料: 20号钢							
温度/°C	变形程度 $\epsilon_A/\%$			温度/°C	变形程度 $\epsilon_A/\%$		
	40	60	80		40	60	80
850	—	—	880	850	320	420	536
800	576	635	890	800	342	425	514
750	600	696	1 000	750	392	536	630
700	679	855	1 150	700	440	570	756
650	890	1 060	—	650	—	—	—
材料: 35号钢							
温度/°C	变形程度 $\epsilon_A/\%$			温度/°C	变形程度 $\epsilon_A/\%$		
	40	60	80		40	60	80
850	—	—	840	850	385	500	581
800	640	685	870	800	373	495	667
750	745	786	1 070	750	421	533	740
700	821	955	1 220	700	535	685	862
650	1 050	1 260	—	650	—	—	—
材料: 45号钢							
温度/°C	变形程度 $\epsilon_A/\%$			温度/°C	变形程度 $\epsilon_A/\%$		
	40	60	80		40	60	80
850	—	—	850	850	368	500	615
800	740	810	844	800	408	550	710
750	760	844	1 060	750	444	565	825
700	903	1 013	1 120	700	535	686	580
650	1 150	1 320	—	650	—	—	—
材料: 40Cr 钢							
温度/°C	变形程度 $\epsilon_A/\%$			温度/°C	变形程度 $\epsilon_A/\%$		
	40	60	80		40	60	80
850	—	—	910	850	378	592	690

续表 25.6-18

反挤压凸模单位压力/MPa				正挤压凸模单位压力/MPa			
材料: 40Cr 钢							
温度/°C	变形程度 $\epsilon_A/\%$			温度/°C	变形程度 $\epsilon_A/\%$		
	40	60	80		40	60	80
800	710	751	960	800	394	640	750
750	780	821	1 000	750	445	760	850
700	986	1 050	1 240	700	570	800	1 110
650	1 180	1 290	—	650	—	—	—
材料: T10 钢							
温度/°C	变形程度 $\epsilon_A/\%$			温度/°C	变形程度 $\epsilon_A/\%$		
	40	60	80		40	60	80
850	686	740	1 152	850	458	505	695
800	790	825	1 200	800	480	600	726
750	882	976	1 220	750	530	705	836
700	935	1 090	—	700	695	806	1 060
650	—	—	—	650	—	—	—
材料: GCr15							
温度/°C	变形程度 $\epsilon_A/\%$			温度/°C	变形程度 $\epsilon_A/\%$		
	40	60	80		40	60	80
850	746	750	1 290	850	441	615	740
800	860	970	1 330	800	655	702	875
750	932	1 410	—	750	—	926	936
700	—	—	—	700	875	1 035	1 170
650	—	—	—	650	—	—	—
材料: 40CrNi							
温度/°C	变形程度 $\epsilon_A/\%$			温度/°C	变形程度 $\epsilon_A/\%$		
	40	60	80		40	60	80
850	730	785	936	850	—	—	—
800	811	839	1 030	800	—	545	675
750	890	985	1 092	750	425	687	785
700	918	1 010	1 110	700	564	720	800
650	—	—	—	650	—	—	—

正挤实心件

$$p = 2K_f \left(\ln \frac{d_0}{d_1} + 2\mu \frac{h_1}{d_1} \right) e^{\frac{2\mu h_0}{d_0}}$$

反挤杯形件

$$p = K_f \left[\frac{d_0^2}{d_1^2} \ln \frac{d_0^2}{d_0^2 - d_1^2} + (1 + 3\mu) \times \left(1 + \ln \frac{d_0^2}{d_0^2 - d_1^2} \right) \right]$$

式中 p ——单位挤压力 (MPa);
 K_f ——挤压材料的变形抗力 (MPa);
 d_0 ——毛坯原始直径 (mm);

d_1 ——正挤时为挤压后产品直径 (mm),
 反挤时为工件内孔直径 (mm);

h_1 ——挤压凹模工作带高度 (mm);

h_0 ——毛坯原始高度 (mm);

μ ——摩擦系数 (一般 $\mu = 0.06 \sim 0.15$)。

2) 经验公式计算

前面两种单位挤压力的获得方法一是实验所得, 二是理论推导所得, 有时不能适应所有的生产实际情况。因此, 可采用经验估算的公式法进行近似计算。

① 用元素含量的估算公式

对于在 200~600°C 反挤压时的凸模单位压力可按下列经验公式计算：

$$p = 15.75(76C + 1.3Ni - 0.08Cr - 0.1t + 0.36\epsilon_A + 143)$$

- 式中 p ——凸模最大单位挤压力 (MPa);
 C ——碳的质量分数 (%);
 Ni ——镍的质量分数 (%);
 Cr ——铬的质量分数 (%);
 t ——毛坯加热温度 (°C);
 ϵ_A ——变形程度, 以断面缩减率表示 (%).

由公式可知, 材料的品种以元素的影响程度而列出。本公式适用于一般碳钢和低合金钢以及常用的奥氏体、铁素体和马氏体不锈钢, 其计算与实际的误差在 10% 以内, 对其他钢种使用该公式时, 误差会增大。

②拘束系数估算公式

正挤压时 $p_t = Cn\sigma_b$

- 式中 p_t ——凸模最大单位挤压力;
 C ——拘束系数;
 n ——考虑温挤变形时材料冷作硬化的硬化系数;
 σ_b ——在温挤温度时的材料抗拉强度。

反挤压时 $p_m = Cn\sigma_b$

- 式中 p_m ——相对毛坯断面积的单位挤压力。
 由于此时毛坯断面积与凸模断面积不同, 所以凸模上的单位挤压力

$$p_t = \frac{A_m}{A_1} p_m = Cn\sigma_b \frac{A_m}{A_1}$$

- 式中 A_m ——毛坯断面积;
 A_1 ——凸模工作带断面积。

式中 σ_b 值, 可查找有关资料在不同温度下的抗拉强度。

图 25.6-15 可用于查找钢在不同温度下的抗拉强度, 但需已知其室温抗拉强度。图中曲线上所标数据为材料在室温时的抗拉强度。根据温挤的温度及室温抗拉强度, 很容易在图中找到相应于该温挤温度时的抗拉强度。例如, 室温时 σ_b 为 600 MPa 的材料, 在 600°C 时的 σ_b 为 240 MPa; 在 700°C 时为 150 MPa; 在 800°C 时为 110 MPa。

式中的拘束系数和硬化系数列于表 25.6-19。当温挤温度较低时, 表中 n 取较大值; 相反, n 取较小值。

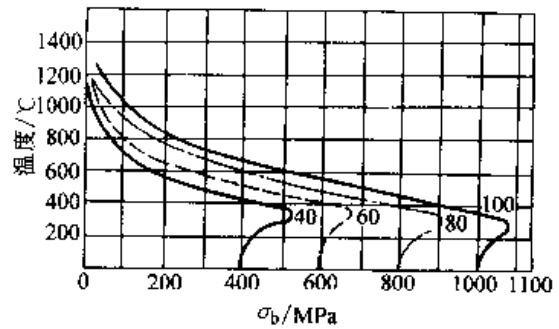


图 25.6-15 钢随温度变化的抗拉强度 σ_b 图

表 25.6-19 拘束系数 C 和硬化系数 n

变形程度 ϵ_A /%	拘束系数 C		硬化系数 n	
	正挤	反挤	正挤	反挤
40	1.3	1.6	1.5~2	1.5~2
60	2.6	2.6	1.7~2.2	1.7~2.2
80	3.6	4.0	1.8~2.2	1.8~2.2

上述各种计算方法, 显然并未能包含影响温挤单位挤压力的因素, 并且各在其一定的试验条件下得到的。因此, 在实际使用时, 针对当时的条件进行适当的修正。

1.6.3 热挤压力的确定

(1) 图算法确定挤压力

图 25.6-16 为热(反)挤压力的计算图, 使用方法是: 根据挤压件的尺寸, 求得挤压件的变形程度 ϵ_A 及系数 d/h ; 由第①坐标可求得压力系数 n ; 向左, 可在第②坐标中根据不同钢材的高温抗拉强度求得未经修正的单位挤压力; 由变形程度 ϵ_A 与挤压行程 h_x 可在第⑤⑥坐标中求得变形速度; 在第⑦坐标中求得速度系数 K ; 在第③坐标中由未经修正的单位挤压力 p' 与速度系数 K 可以求得单位挤压力 p ; 另在第④坐标中由单位挤压力 p 与冲头直径可求得挤压力 F 。

图 25.6-17 为热(正)挤压力的计算图, 使用方法是: 根据挤压件的尺寸, 求得变形程度 ϵ_A ; 在第①②坐标中, 由变形程度 ϵ_A 与凹模锥角 2α 、毛坯相对高度 H_0/D_0 可求得压力系数 n ; 在第③坐标中可由压力系数 n 与不同钢材的高温强度极限求得未经修正的单位挤压力 p' ; 在第④坐标中由未经修正的单位挤压力 p' 与速度系数 K 求得单位挤压力 p , 在此, 速度系数 K 也按图 25.6-16 求得; 在第⑤坐标中由单位挤压力 p 与冲头直径可求得挤压力 F 。

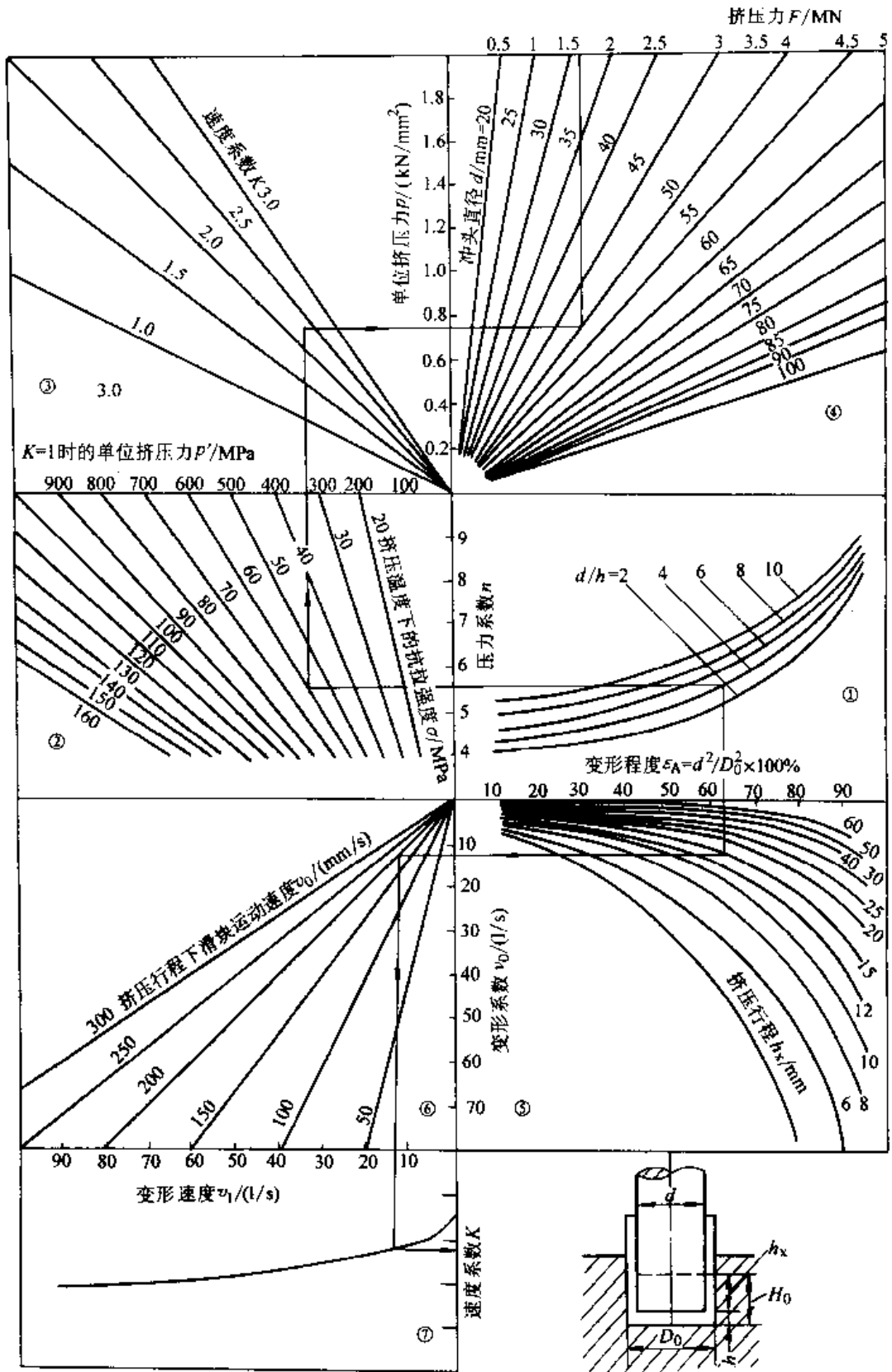


图 25.6-16 热（反）挤压力计算图

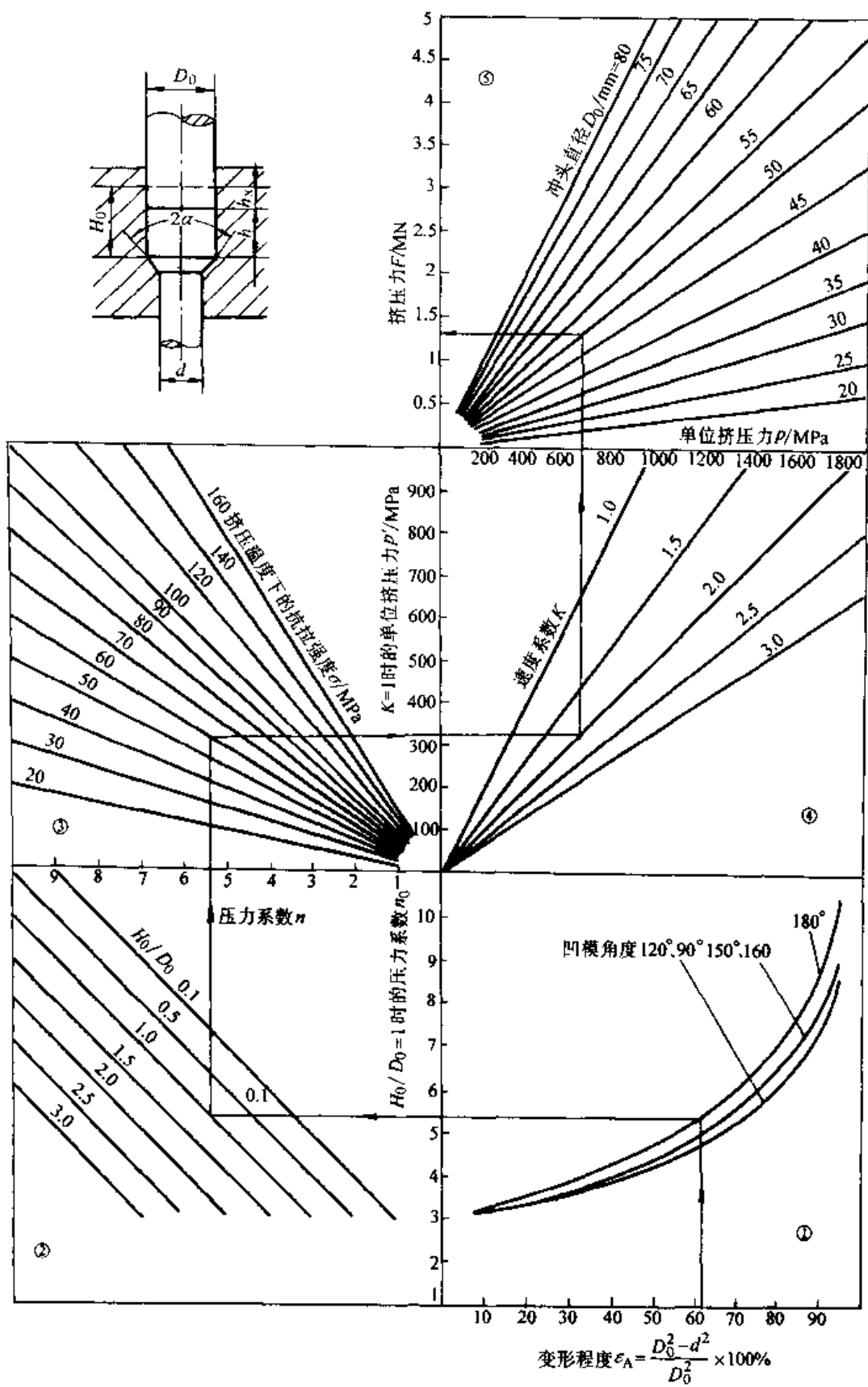


图 25.6-17 热(正)挤压力计算图

(2) 计算法确定挤压力

1) 挤压模锻时总压力

$$F = F_j + F_m$$

挤压力 (适用于 $D/d > 1.1$)

$$F_j = K \left(\sqrt{\frac{D}{d}} - 0.8 \right) \sigma_b A$$

式中 F_j ——挤压部分的挤压力 (N);

K ——与选用设备有关的系数;

油压机取 $K = 10$;

曲柄压力机的行程次数小于 30~40 次/min, 取 $K = 12.5$;

曲柄压力机的行程次数大于 30~40 次/min, 取 $K = 15$;

A ——与挤压力互相垂直的锻件投影面积 (mm^2), $D = 1.13 \sqrt{A}$;

A_f ——挤出部分的横截面面积 (mm^2) $d = 1.13 \sqrt{A_f}$;

σ_b ——金属在挤压模锻温度时的抗拉强度 (MPa)。

模锻力 (适用于 $D_f \leq 300 \text{ mm}$)

$$F_m = 5(1 - 0.001D_f) D_f^2 \cdot \sigma_b$$

式中 F_m ——模锻终了时的模锻力 (N);

D_f ——锻件的最大直径, 或等于换算直径 ($D_f = D$) (mm);

σ_b ——金属在终锻温度时的抗拉强度 (MPa)。

2) 正挤压挤压力

$$F = \sigma_b \cdot m \frac{\pi}{4} D^2$$

① 平面凹模或带较大的凹模锥角 $\alpha \geq 120^\circ$ (图 25.6-18a)

$$m = 2 \left(\ln \frac{D}{d} + 2\mu \frac{l}{d} + \frac{L}{D} \right)$$

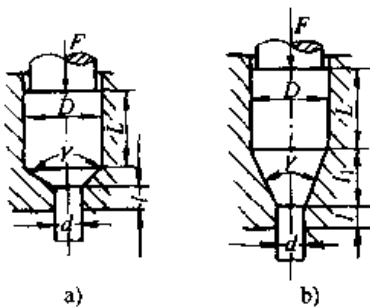


图 25.6-18 不同的挤压图

② 带较小的凹模锥角 $\alpha \leq 60^\circ$ (25.6-18b)

$$m = 2 \left(\frac{L_1}{D-d} \ln \frac{D}{d} + 2\mu \frac{l}{d} + \frac{L}{D} - \frac{1}{3} \right)$$

式中符号均按图 25.6-18 中所示:

D ——凹模直径 (mm);

d ——凹模工作孔直径 (mm);

L ——凹模模腔高度 (mm);

l ——凹模工作带高度 (mm);

l_1 ——凹模圆锥部分高度 (mm);

μ ——摩擦系数;

σ_b ——金属在高温时的强度极限 (MPa)。

3) 反挤压挤压力

$$F = 0.785d^2 K \sigma_b$$

式中 d ——凸模直径 (挤压件内径) (mm);

K ——系数 (与凸模直径 d 有关) 见图 25.6-19。

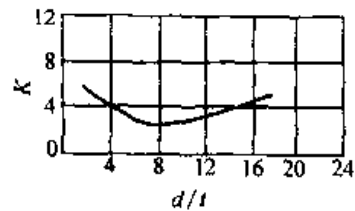


图 25.6-19 系数 K 值曲线

锻挤力的计算

锻挤工作状态如图 25.6-20 所示。

$$F = 4.985 \times (1 - 0.001D) D^2 \sigma_b$$

式中 D ——凹模工作孔直径 (mm);

σ_b ——挤压终了温度时金属材料的抗拉强度 (MPa)。

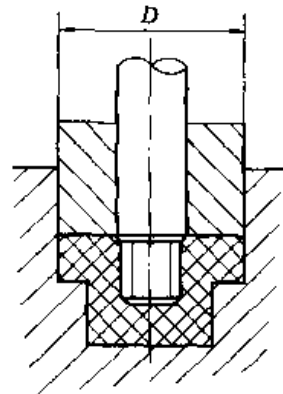


图 25.6-20 锻挤工作状态图

2 冷挤压模具设计

2.1 模具的设计要求及主要内容

(1) 模具的设计要求

冷挤压模与一般的冲压模和锻模不同，它所承受的单位压力特别高，通常在 1 500 MPa 以上，甚至高达 2 500 MPa。其次，金属的强烈流动以及摩擦产生热效应而使模具工作部分的温度可能达到 200~350°C。冷挤压常采用冷挤压机或普通机械压力机，所以模具还受到冲击力的作用，凹模型腔实际上受到的是重复的周期性载荷。由此可知，冷挤压模具是处于相当恶劣的工作状态。模具设计正确、合理与否，常常成为冷挤压技术成败的关键。冷挤压模具的制造精度要求，一般比冲压模和锻造模都高。

为此，冷挤压模具的设计应注意下列要素：

- 1) 模具应有足够的动态强度和刚度；
- 2) 合理地设计模具工作部分的几何形状及其参数，恰当选择材料，以便延长模具寿命；
- 3) 模具的易损部分拆换方便；
- 4) 模架应具有一定的通用性。
- 5) 模具结构要便于实现机械化—自动化生产。

有时，上述要求相互矛盾，因而必须根据具体零件的实际生产条件，在满足零件质量要求的

前提下，综合其经济效益考虑。

(2) 模具设计的主要内容

冷挤压模具设计的主要内容如下：

- 1) 模具类型的确定 简易敞开模、封闭成形模、导柱模、专用模、标准模、通用模、整体模、镶块模、分割型模具、大批生产精密模、小批生产简单模。
- 2) 工作部件结构型式 结构型式有整体式、分割式、组合式。
- 3) 联接部件结构型式 有模板、模柄、模座、多层垫板结构。
- 4) 退料型式 有顶杆、环形顶出器、打杆、卸料环、卸料板。
- 5) 导向方式 有导柱导向、凸模导向、模口导向、导向套导向。
- 6) 紧固方式 有螺栓、压板、特形螺母、侧向螺钉。
- 7) 安全装置 有护圈、挡板、光电保护。
- 8) 操作方式 有手工、机械、自动化。

2.2 模具的结构型式及基本组成

(1) 模具的结构型式

确定冷挤模总体结构型式时，主要考虑挤压件特点（形状、尺寸、精度）、生产批量和设备类型三个基本要素及设计、制造和使用三大技术环节，见表 25.6-20。

表 25.6-20 模具结构型式的选择

基本因素		模具结构型式
挤压件	有色纯金属 简单形状	实心底封闭式模腔 不设顶出装置 带有卸料板
	铝合金、低碳钢 变形程度大 形状复杂	预应力组合凹模 各种镶块的分割形式 上下双重卸、退料装置
	精度	普通级 精密级
生产批量	小批量	简易模具 整体结构
	大批量	标准、通用模架 分割形式 组合结构 具有导向装置 具有机械、自动上料装置

续表 25.6-20

基本因素		模具结构型式
设备类型	小型设备	整体结构型式 模柄固紧
	大中型设备	分体结构型式 压板或T型螺栓固紧

一般来说,根据挤压件的形状复杂程度,挤压材料的变形性能和精度要求及生产批量的大小,考虑现有设备状况,便可大致确定模具的结构型式。当模具工作部件的结构和相关位置以及各零件之间的配合关系确定之后,模具的轮廓形状和尺寸便大致确定下来。

(2) 模具的基本组成

图 25.6-21 是反挤压用的典型模具结构,它

主要由下列部分组成:

- 1) 工作部分,如凸模、凹模、顶出杆等。
- 2) 传力部分,如压力板、上底板等。
- 3) 顶件部分,如顶杆、反拉杆、顶板等。
- 4) 卸件部分,如卸件板、拉杆、弹簧等。
- 5) 导向部分,如导柱、导套等。
- 6) 紧固部分,如上、下底板、固定板、模柄、螺钉等。

柄、螺钉等。

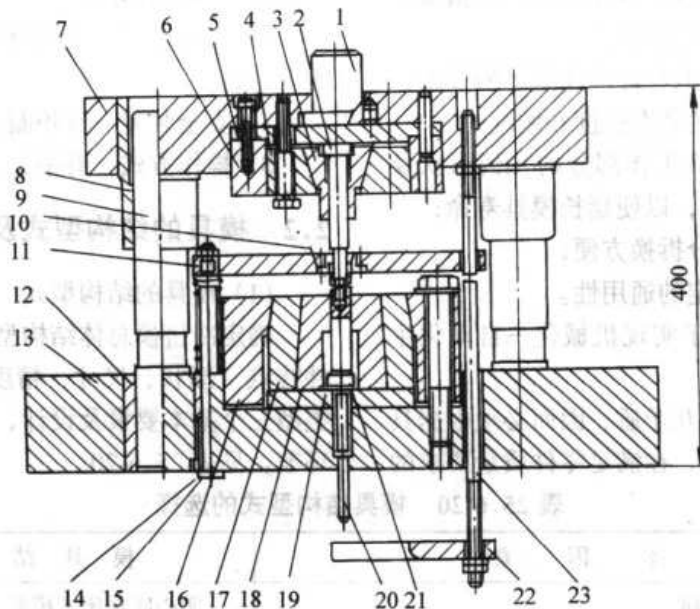


图 25.6-21 反挤压模结构

- 1—模柄 2—凸模 3—凸模固定圈 4—压环 5—上压力板 6—固定环 7—上底板 8—导套
 9—导柱 10—卸件环 11—卸件板 12—衬套 13—下底板 14—拉杆衬套 15—拉杆 16—外加强圈
 17—中加强圈 18—内层凹模 19—下压力板 20—顶杆 21—顶出杆 22—顶板 23—反拉杆

2.3 模架结构

(1) 正挤压模架

1) 杆件正挤压模架 图 25.6-22 所示是小型正挤压模架的典型结构。它利用带模柄的上模板与压力机滑块联结在一起,凸凹模均利用特制的圆形螺母固紧在模座上。

2) 带凸缘筒形件正挤压模架 图 25.6-23 所示是正挤压带凸缘筒形件的正挤压模架。它采

用环形顶出器 1 和圆柱销 2,将滞留在凹模中的工件顶出模外。

3) 深孔筒形件正挤压模架 图 25.6-24 是正挤压深孔筒形件的模架。它的上凸模设计成带有中心芯杆 2 的镶套 1 结构。凹模 3 下面的支撑垫板 4,除对工件精整校形外,还与顶料杆 5 相互配合。

正挤压时,凸模首先进入凹模口并开始导向,然后进行挤压。所以,在正挤压模架上,一

般不设有专门的导向装置。由于挤压后工件滞留于凹模中，因此在模具的下部分均设计有顶出机构。

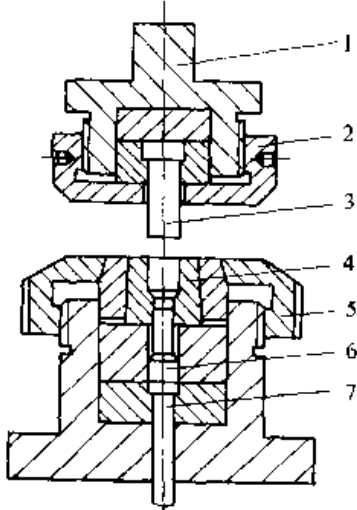


图 25.6-22 杆形件正挤压模架
1—模柄 2、5—特形螺母 3—凸模
4—凹模 6—顶料杆 7—顶杆

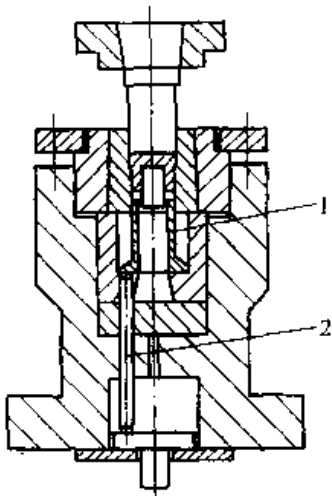


图 25.6-23 带凸缘筒形件正挤压模架
1—环形顶出器 2—圆柱销

4) 小型冷挤压通用模架 图 25.6-25 所示是安装在 800 kN 普通压力机上，用于正挤压带凸缘实心件的小型通用模架。它的可动部分，通过带孔的整体圆柱形模柄 2 与压力机的滑块联结在一起。固定凹模 7 和下凸模 8 等工作部件的模座 15，其下部伸出呈十字形，且两端均带有圆孔。其中上端装入凹模等工作零件，下端安装退料的顶杆 17。顶杆借助于三根均布的圆柱销 14 带动环形顶出器 9，将滞留在凹模中的工件顶出模外。顶杆是由一对机械拉杆 16，通过滑块带动的。凸模 6 和凹模均采用特制的圆形螺母母紧固。

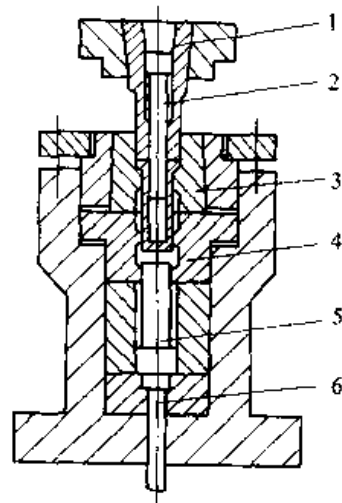


图 25.6-24 深孔筒形件正挤压模架
1—凸模外套 2—芯杆 3—凹模
4—支撑垫板 5—顶料杆 6—顶杆

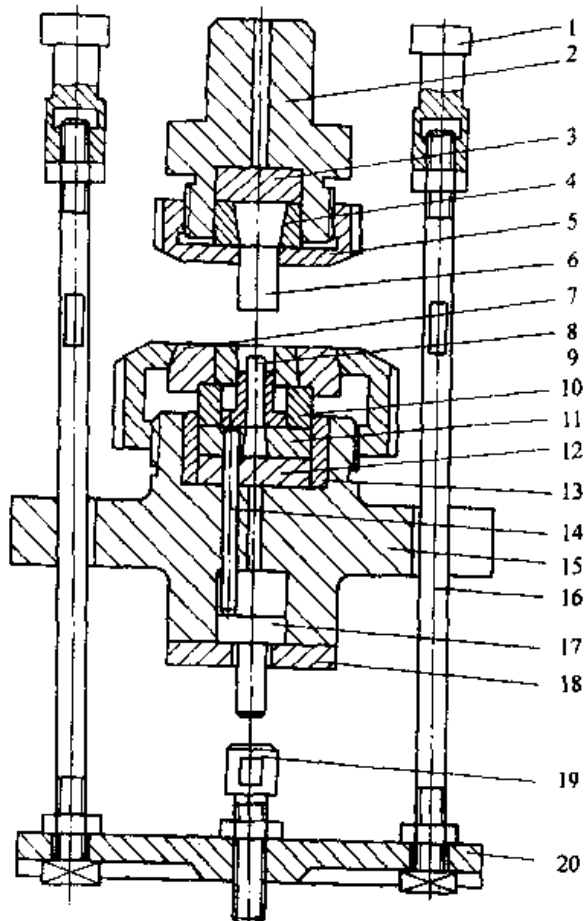


图 25.6-25 小型冷挤压通用模架
1—调节套 2—圆柱形模柄 3—垫块 4—压套
5—圆形螺帽 6—凸模 7—凹模 8—下凸模
9—环形顶出器 10—支撑 11—垫圈 12—垫
13—衬套 14—圆柱销 15—模座 16—拉杆
17—顶杆 18—压盖 19—顶块 20—退料板

该模架没有导向装置,依靠凸、凹模自身实行导向。在这种模架上,只要更换几个主要工作部件,便可进行各种类型零件的正向挤压和复合挤压。

(2) 反挤压模架

1) 有色金属反挤压导柱模架 图 25.6-26 所示是有色金属反挤压带导柱的模架。在这种模架上,模板和模座靠导柱导套连接在一起,即凸、凹模的相对位置是不可调节的,它们的同轴度要求,完全靠安装在模架上的导柱导套予以保证。

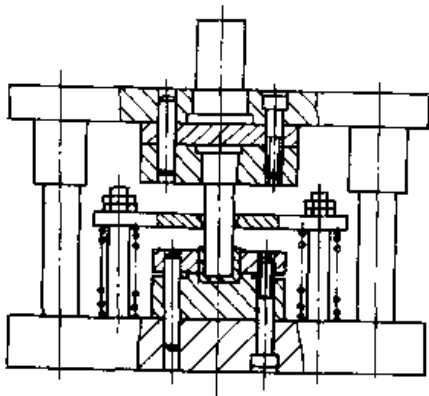


图 25.6-26 有色金属反挤压模架

为了提高模具寿命,凹模分割为两体,以销钉找正中心,确保上下两部分孔径的衔接一致,利用四个螺钉将其直接紧固在模座上。

2) 黑色金属反挤压可调式通用模架 图 25.6-27 所示是凹模 2 可在模座 4 中作水平移动的可调式通用模架,这种模架常用于闭合高度小的压力机。由于模具高度的限制,凸模 1 不带导向部分而设计得较短,凸模与凹模的同心是通过四个螺钉 3 来调节。

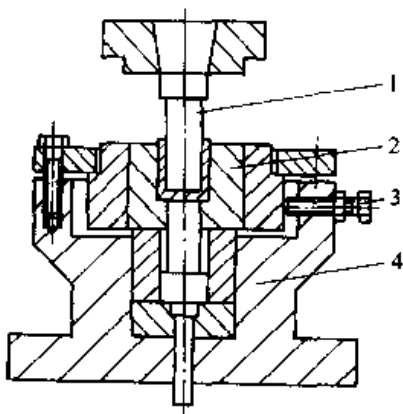


图 25.6-27 黑色金属反挤压可调式通用模架
1—凸模 2—凹模 3—调整螺钉 4—模座

黑色金属反挤压时,工件常常卡在凹模中,因此模具的下方须设计顶出机构,一般采用双级顶杆的间接顶出方式。当反挤压件的孔较深时,工件有被凸模带上去的可能,这时应考虑增设上卸料板,将抱在凸模上的工件卸下来。

3) 黑色金属反挤压通用模架 图 25.6-28 所示是黑色金属反挤压的通用模架。这种模架的特点是模具的导向依靠凸模的非工作部分与凹模孔口进行。在挤压开始之前,凸模的非工作部分便进入凹模实行导向,并在整个挤压过程中保持凸凹模的同轴,所以,其定心简单,导向精度高。然而,由于导向部分增加了凸模长度和凹模厚度,加大了退料行程,这样势必使模体变大,造成模具材料的浪费,也给加工带来一些困难。因此,它仅适于精度要求较高的反向挤压。

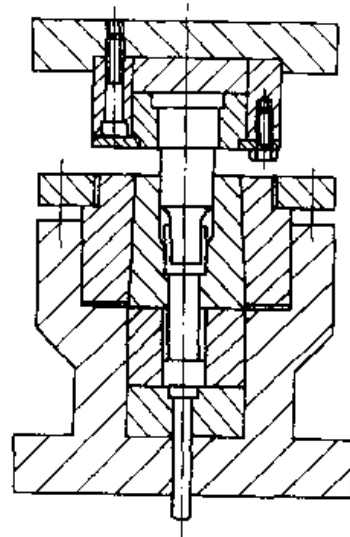


图 25.6-28 黑色金属反挤压通用模架

4) 具有弹性卸料环的反挤压模架 图 25.6-29 所示是在模具的上部分安装有弹性卸料环的反挤压模架。这种结构可以使凸模 4 形状简化,将凸模的导向功能转移到卸料圈 3 上,而且这种卸料圈,还可保持凸模在整个工作过程中的稳定性。通过改变卸料圈的结构,该种模架即可挤压浅杯形件,还可以挤压深孔的筒形零件。

但是,由于凸模埋入卸料圈内,给调整模具带来一些困难。这时应依靠卸料圈与凹模 6 的精密配合来保证凸凹模的同轴,因此,提高凸模与卸料圈、卸料圈与凹模的配合精度,尤其重要。设计这类模具时,应使弹簧和卸料螺钉尽可能靠近凸模位置,这样卸料圈工作平稳,导向精度高。

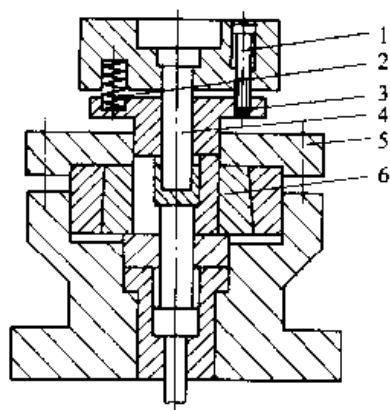


图 25.6-29 具有弹性卸料圈的反挤压模架
1—卸料螺钉 2—弹簧 3—弹性卸料环
4—凸模 5—压套 6—凹模

(3) 中型万能式模架

图 25.6-30 所示是安装在 2 500 kN 压力机上的中型万能式通用模架。在这种模架上，只要更换几个主要工作零件，便可进行正挤、反挤和复合挤压，几乎可以成形任意形状的复杂零件。

该模具具有双级硬性卸料装置。上部卸料是利用安装在滑块上的活动横梁，通过打杆 1 和三个圆柱销 3 带动退料套 9。此退料套是用来从凸模 7 上卸下挤压件。同时，当凸模进入较深的位置时，导引凸模并与凹模 12 起导向作用，还可根据变形需要，对金属实行封闭挤压，起到相当于凸模的作用。凸模利用压套 8、固定套 10 和特形螺母 11 固紧。下部卸料是借助于一对由滑块带动的拉杆 20，通过双级顶杆作用，将滞留在凹模中的挤压件顶出模外。一般，下部顶杆直接参与挤压变形工作，是一个直接受力的零件。

该模具的另一特点是，模座为双层结构，其接触面积相当大，又具有足够的厚度。这种结构设计，完全可以弥补普通压力机的工作台面孔大，垫板过薄的缺点，非常适用于形状复杂，挤压力大的工作场合。

这种模架，还可以实行工作部件的快速调整与更换。在模座中，凹模的水平位置可以通过螺栓 14 进行调节，以使凸凹模对正中心。而且，也不必卸下模座，即可更换主要工作部件。这样，各种不同挤压需要的工具便可大大减少，也大大降低了工具的成本，同时也将调整时间减少到最小限度。

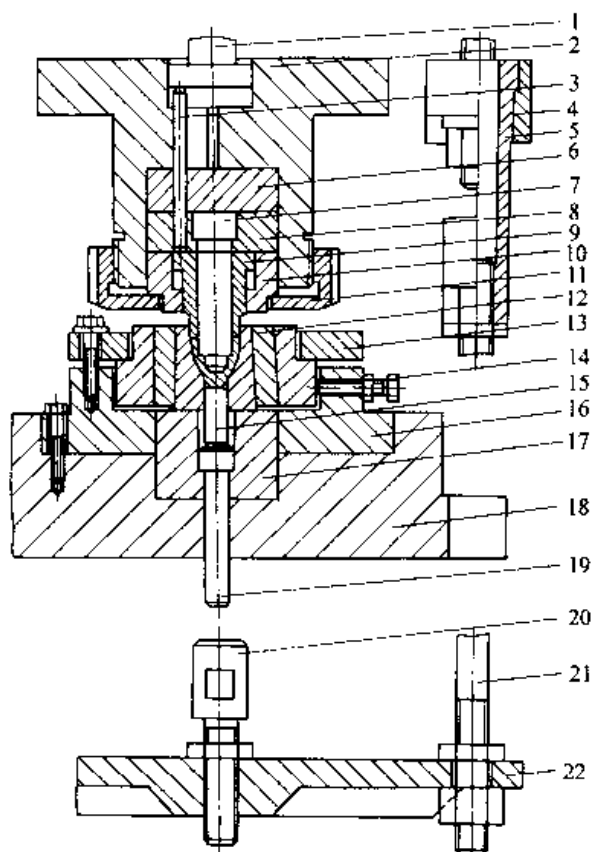


图 25.6-30 中型万能式挤压模架
1—打杆 2—上模板 3—圆柱销 4—拉杆套
5—调节杆 6—垫块 7—凸模 8—压套
9—退料套 10—固定套 11—圆形螺母
12—凹模 13—压板 14—螺栓 15—顶料杆
16—模座 17—垫套 18—底座 19—顶杆
20—顶料杆 21—拉杆 22—拉板

2.4 模具工作部分的设计

(1) 正挤压凸模

正挤压凸模有不同的类型，如图 25.6-31 所示。其中图 25.6-31a 用于正挤实心件，结构简单，制造方便。其余四种都用于空心件，图 25.6-31b 为整体结构，但挤压时由于金属流动而受较大的拉力作用，容易断裂。回程时，由于金属的抱紧作用，挤压件不易脱落。因此，这种凸模结构仅适用于相对孔径较大的杯形件。图 25.6-31c、d 都是组合式，但图 25.6-31d 的心棒可向下运动一定距离，比较有利于克服挤压过程产生拉断的现象。图 25.6-31e 与前面几种形式的区别是，在心棒上部装有弹簧，因此可克服更大的拉力。

凸模各部分尺寸的设计，以图 25.6-31e 为例说明如下，其他类型可参照进行。

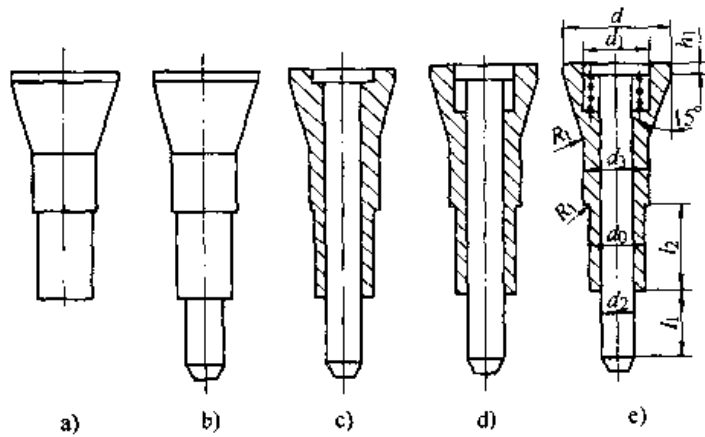


图 25.6-31 正挤压凸模的类型

- $d_0 =$ 挤压件外圆直径
 - $d_2 =$ 挤压件内孔直径
 - $h_1 = 0.7d_2$
 - $d = (1.8 \sim 2.0) d_0$
 - $d_3 = (1.2 \sim 1.3) d_0$
 - $l_1 =$ 毛坯高度 + 凹模工作带高度
 - $l_2 =$ 挤压工作行程 + 卸件板厚度 + 10 mm
 - $R_1 = (0.1 \sim 0.2) d_0$, 其他处 $R \geq 0.2$ mm
- (2) 正挤压凹模

正挤压凹模的结构形式如图 25.6-32 所示。图 25.6-32a 为整体凹模，外加二层预应力圈。图 25.6-32b、c 为纵向分割凹模，内层采用过盈配合，过盈量大于 0.02 mm。图 25.6-32c 凹模末端 10 mm 处带 5° 锥度，以利于凹模压配。图 25.6-32d 和 e 为横向分割式，拼合面的宽度为 1~3 mm。

正挤压凹模尺寸按表 25.6-21 计算，参看图 25.6-33。

表 25.6-21 正挤压凹模尺寸计算表 (mm)

各部分尺寸名称	黑色金属	有色金属	各部分尺寸名称	黑色金属	有色金属
型腔内径 D_0	$d_0 + 0.1 \sim 0.2$	$d_0 + 0.1 \sim 0.2$	锥面与工作带交接处的 r	0.5~2.0	0.3~1.0
工作带直径 D	等于挤压件外径	等于挤压件外径	锥面与型腔直径交接处的 R	3~5	2~3
退让槽直径 D_2	$D + 0.5 \sim 1.0$	$D + 0.1$	高度 H_1	$h_0 + 10$	$h_0 + (3 \sim 5)$
导向套内径 D_3	$D + 0.02$	—	成形部分高度 H_2	$(1.1 \sim 1.2) D$	$(1.1 \sim 1.2) D$
工作带高度 h	3~4	1~2.5	斜度	—	1~3°
凹模锥角 α	90°~120°	130°~140°			

注： d_0 —坯料直径； H_2 —退让槽高度； h_0 —坯料高度。

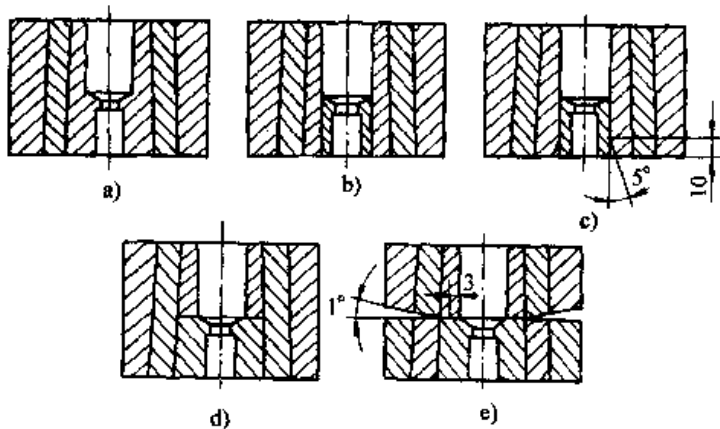


图 25.6-32 正挤压凹模的结构型式

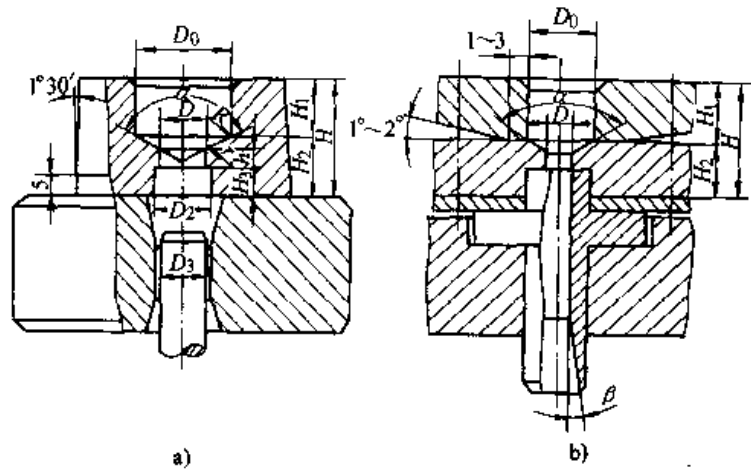


图 25.6-33 正挤压凹模尺寸

a) 用于黑色金属 b) 用于有色金属

(3) 反挤压凸模

图 25.6-34 是应用于黑色金属的几种反挤压凸模，其中图 25.6-34a、b 应用较普遍。图 25.6-34c 在实际中也有使用的，但这种凸模的单位挤压力要比图 25.6-34a 凸模大。

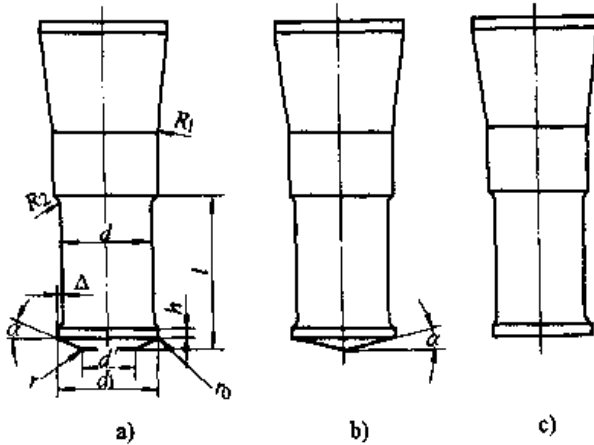


图 25.6-34 黑色金属反挤压凸模

a) 带锥度平顶凸模 b) 带锥度的凸模
c) 平顶凸模

图 25.6-35 是适用于有色金属的反挤压凸模。

凸模的有效长度 L 与直径 d 之比 (L/d)，一般可参考下列数据：

- 反挤压纯铝时： $L/d \leq 7 \sim 10$
- 反挤压纯铜时： $L/d \leq 5 \sim 6$
- 反挤压黄铜时： $L/d \leq 4 \sim 5$
- 反挤压低碳钢时： $L/d \leq 2.5 \sim 3$

当单位压力较大时，应选用较小的 L/d 值；单位挤压力不大时，可选用大的 L/d 值。其长径比 L/d 与所用的单位挤压力间关系见图 25.6-36。

对于纯铝、纯铜反挤压用的细长凸模，为了增加其稳定性，可以在凸模端面作工艺槽。工艺槽必须对称、同轴心，否则反而起不良作用。工艺槽宽一般取 $0.3 \sim 0.8 \text{ mm}$ ，深 $0.3 \sim 0.6 \text{ mm}$ 。槽底部不应有尖角。工艺槽的形状如图 25.6-37 所示。

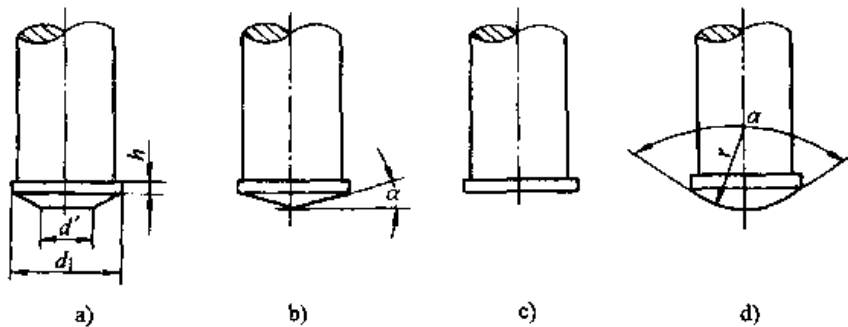


图 25.6-35 有色金属反挤压凸模

a) 带锥度平顶凸模 b) 带锥度的凸模 c) 平顶凸模 d) 球形凸模

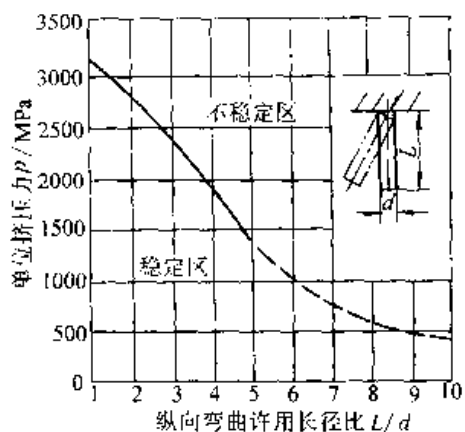


图 25.6-36 高速钢凸模纵向弯曲许用应力反挤压凸模工作部分尺寸可参考表 25.6-22 中所列数据。

凸模结构是影响凸模寿命的主要因素之一，凸模结构上断面变化处的应力集中，是引起凸模碎断的根本原因，而减少或消除应力集中，则是

模具结构设计的重要任务。

在凸模断面变化大的台阶处采用锥面过渡，大圆弧光滑连接。

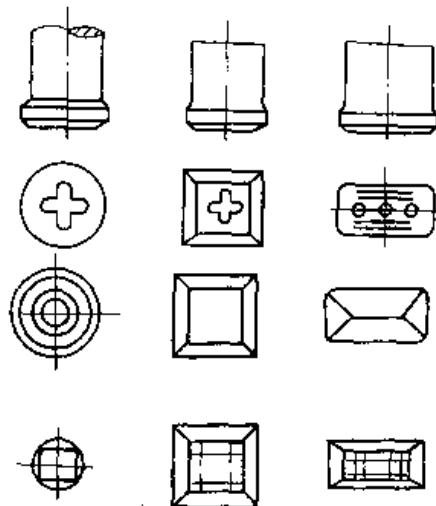


图 25.6-37 工艺槽的各种形状

表 25.6-22 反挤压凸模工作部分尺寸参数 (mm)

挤压材料	r_0	$\alpha_0/ (^{\circ})$	d_0	Δd	h
低碳钢	0.2~0.5	0~2	$(0.1\sim0.7)d$	$0.008d$	2~4
中碳钢 低合金结构钢	0.5~1.5	2~5	$(0.7\sim0.5)d$	$0.012d$	
轴承钢 合金结构钢	1.5~3.0	5~7	$(0.5\sim0.3)d$	$0.016d$	

(4) 反挤压凹模

图 25.6-38 是几种反挤压的凹模结构形式，图 25.6-38a、b、c、d 四种凹模用于挤压后不需顶出杆取出挤压件的情况，有色金属反挤压件常用这些凹模结构形式。图 25.6-38a 为整体凹模，制造方便，但底部 R 处容易开裂。因此，当生产批量不大可采用这一形式。图 25.6-38b 中的凹模底部有 25° ，有利于金属流动，可反挤压壁厚到 0.07 mm 的铝质反挤压件。图 25.6-38c 是分体凹模，有利于提高寿命。图 25.6-38d 为横向分割凹模，为避免金属流入拼合面处，应将该

面研磨，其宽度小于 3 mm。图 25.6-38e 和图 25.6-38f 中的凹模用于黑色金属，带有顶出装置。

为了减少挤压时的流动阻力，可将凹模内壁作出 $10^{\circ}\sim20^{\circ}$ 的斜度。在反挤压加压时，随着毛坯直径的增大，凹模底部的形状应由平底改为锥形或球形的底锥度为 1° 即可，见图 25.6-39。凹模内腔的表面粗糙度 $R_a = 0.1 \mu m$ 。

凹模各部分尺寸设计，见表 25.6-23。

挤压凸、凹模工作部分尺寸计算也可按拉深模的有关原则来考虑，其计算公式见表 25.6-24。

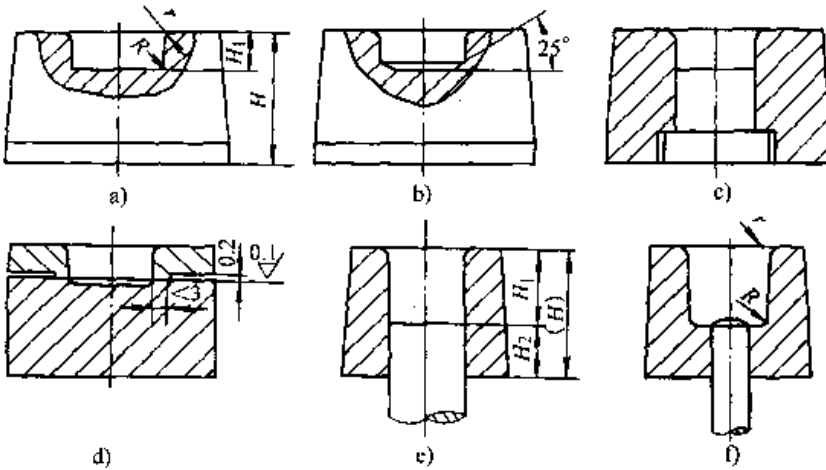


图 25.6-38 反挤压凹模的结构型式

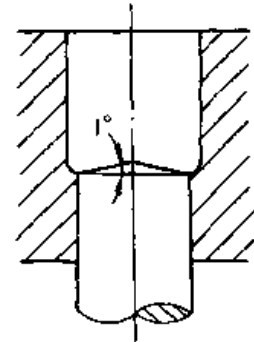


图 25.6-39 带锥度的凹模底面

表 25.6-23 凹模型腔参数

尺寸参数	尺寸参数	
	D	按挤压件外径确定
R	$\geq 2 \text{ mm}$	
h_1	$(0.7 \sim 1.0) D$	
h_2	$H_0 + R + 5 \sim 10 \text{ mm}$	
H	$h_2 + h_1$	

H_0 为毛坯高度

表 25.6-24 挤压凸、凹模工作部分尺寸计算公式

尺寸基准	挤压件图	计算公式
要求外形尺寸的		$D_a = (D - \frac{3}{4} \Delta)^{+\delta_a}$ $d_t = (D - \frac{3}{4} \Delta - 2t)^{-\delta_t}$ $\delta_a = \delta_t = (\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}) \Delta$

续表 25.6-24

尺寸基准	挤压件图	计算公式
要求内形尺寸的		$d_t = (d + \frac{1}{2} \Delta)^0_{\delta_t}$ $D_a = (d + \frac{1}{2} \Delta + 2t)^{+\delta_a}_0$ $\delta_a = \delta_t = (\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}) \Delta$

注： D (或 d) —— 挤压件基本尺寸 (mm)；
 D_a —— 凹模尺寸 (mm)；
 d_t —— 凸模尺寸 (mm)；
 Δ —— 挤压件公差 (mm)；
 t —— 挤压件壁部厚度 (mm)；
 δ_a —— 凹模制造公差 (mm)；
 δ_t —— 凸模制造公差 (mm)。

2.5 组合凹模的优化设计

冷挤压凹模内壁承受的单位压力高达 2 000 MPa 以上, 采用增大壁厚的办法不能解决强度问题。若采用组合式凹模, 在克服凹模纵向破裂方面是行之有效的好办法。

组合凹模用于下述两种情况:

1) 当凹模承受大的单位压力时, 整体凹模强度往往不够而容易破裂。此时, 采用预应力圈对凹模施加压应力, 以提高凹模的承载能力。根据凹模内壁、侧向压力 (p_a) 的数值确定组合凹模型式, 见表 25.6-25。

表 25.6-25 组合凹模的型式

单位挤压力 p_a /MPa	凹模型式	简图
$\leq 1\ 000 \sim 1\ 200$	整体凹模	
$1\ 200 < p_a \leq 1\ 400 \sim 1\ 600$	二层组合凹模	
$1\ 400 < p_a \leq 2\ 200 \sim 2\ 500$	三层组合凹模	

注: 一般在挤压时提到的单位压力是指垂直于凸模底面的单位压力 $p_t = \frac{F}{A}$, 而 $p_t \neq p_a$ 。当变形程度较大 ($\epsilon_A > 30\%$) 时, 可以认为正挤压 $p_t \approx p_a$, 反挤压 $p_t \approx \epsilon_A p_a$ 。

2) 节省模具钢。模膛工作压力虽没有达到 1 000 MPa 以上, 但为了节省模具钢, 仍可采用双层或三层组合凹模。

(1) 组合凹模的简捷设计

1) 二层组合凹模设计 (图 25.6-40)

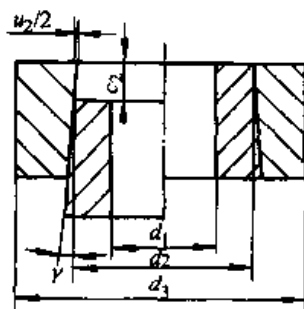


图 25.6-40 二层组合凹模压合

d_1 —— 凹模内径 (按挤压件最大外径) (mm)

$$d_3 = (4 \sim 6) d_1$$

$$\gamma = 1^\circ 30'$$

$$c_2 = \delta_2 d_2$$

$$u_2 = \beta_2 d_2$$

式中 d_2 、 δ_2 、 β_2 按表 25.6-26。

表 25.6-26 二层组合凹模设计参数

序号	d_3	d_2	δ_2	β_2
1	$4d_1$	$1.8d_1$	0.16	0.008 3
2	$5d_1$	$2.0d_1$	0.163	0.008 5
3	$6d_1$	$2.2d_1$	0.166	0.008 8

2) 三层组合凹模设计 (图 25.6-41)

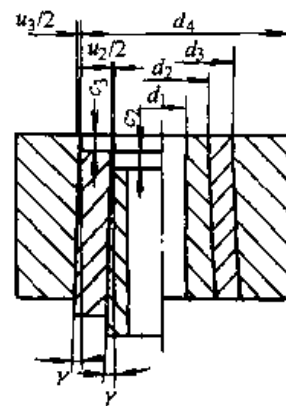


图 25.6-41 三层组合凹模压合

d_1 —— 凹模内径 (按挤压件最大外径) (mm)

$$d_4 = (4 \sim 6) d_1$$

$$\gamma = 1^\circ 30' \text{ (锥度可以向上, 亦可向下)}$$

$$c_2 = \delta_2 d_2$$

$$u_2 = \beta_2 d_2$$

$$c_3 = \delta_3 d_3$$

$$u_3 = \beta_3 d_3$$

式中 d_2 、 d_3 、 δ_2 、 δ_3 、 β_2 、 β_3 按表 25.6-27。

径向过盈系数与凹模材料有关, 按表 25.6-28 选用。

3) 组合凹模的压合方法

① 加热压合 (热装) 将外圈加热到适当的温度, 套装到内圈上, 利用热胀冷缩的原理使外圈在冷却后将内圈压紧。热装时各圈可不必加工出斜度。此法用于过盈量较小的情况。

加热温度 T 按下式求得:

$$T - T_1 = \frac{\delta + z}{\alpha}$$

表 25.6-27 三层组合凹模设计参数

序号	d_4	d_2	d_3	δ_2	β_2	δ_3	β_3
1	$4d_1$	$1.55d_1$	$2.45d_1$	0.204	0.010 6	0.12	0.006
2	$5d_1$	$1.7d_1$	$2.9d_1$	0.20	0.010 5	0.09	0.004 5
3	$6d_1$	$1.8d_1$	$3.25d_1$	0.195	0.010 2	0.072	0.003 8

表 25.6-28 组合凹模径向过盈系数经验值

凹模材料	径向过盈系数	
	β_3	β_3
硬质合金	0.004 5~0.006 5	0.004~0.006
合金模具钢	0.003~0.006	0.004~0.008

式中 T ——预应力圈加热温度 ($^{\circ}\text{C}$);
 T_1 ——内圈 (凹模) 的温度 ($^{\circ}\text{C}$);
 d ——配合处直径 (mm);
 z ——插入时在 d 处的间隙 (0.05~0.10 mm);
 α ——预应力圈线膨胀系数 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$);
 δ ——压合处的径向过盈量 (mm)。

热压配合时, 预应力圈加热温度不宜超过 450°C , 否则易产生氧化皮而影响压配质量。

② 冷套 根据半径过盈量, 把凹模进行低温处理, 使凹模外径基本上冷缩到预应力圈内径的加工值, 然后把凹模压进预应力圈中。压装时的轴向压合力是很小的。

③ 在室温下压配 在液压机上把凹模压进预应力圈中。如果配合面是圆柱面 (或 $\gamma=1^{\circ}30'$ 的圆锥面), 可按下式近似计算轴向压合力:

$$F = \mu p_2 A$$

式中 μ ——预应力圈与凹模接触面间的摩擦因数, 对于钢质预应力圈, 若压配合时表面不产生刮伤, 可取 $\mu = 0.15$; 如果表面刮伤, μ 值增大, 往往超过 0.3;

p_2 ——过盈配合时接触面上的接触压力 (MPa);

A ——预应力圈与凹模配合面面积 (mm^2)。

为了保证良好的压配合和对凹模施加预应力, 除了保证过盈量外, 凹模与预应力圈的配合面的粗糙度 R_a 应为 $0.4 \mu\text{m}$, 并保证接触面积不应小于总面积的 75%。

4) 组合凹模的强度核算 按拉美公式即按厚壁圆筒理论进行计算。当以半径过盈量 Δr_2 进行压合时, 在压合面 (r_2 处) 上的接触压力 p_2 (图 25.6-42) 为对双层凹模而言:

$$p_2 = \frac{\Delta r_2 E}{2r_3^2} \cdot \frac{(r_3^2 - r_2^2)(r_2^2 - r_1^2)}{(r_3^2 - r_1^2)}$$

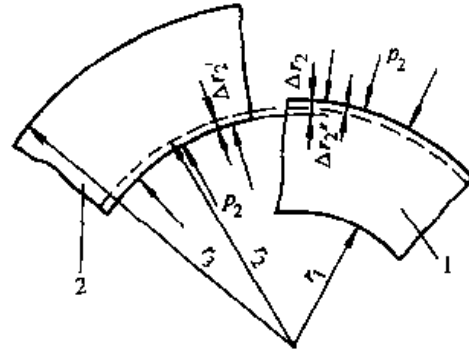


图 25.6-42 双层组合凹模压合示意图

1—凹模 2—预应力圈

在凹模半径为 r ($r_2 \geq r \geq r_1$) 处, 由接触压力 p_2 所引起的切向预应力 σ_{t1} 和径向预应力 σ_{r1} 分别为

$$\sigma_{t1} = -\frac{p_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \left(1 + \frac{r_1^2}{r^2} \right)$$

$$\sigma_{r1} = -\frac{p_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \left(1 - \frac{r_1^2}{r^2} \right)$$

在预应力圈中半径为 r ($r_3 \geq r \geq r_2$) 处, 由接触压力 p_2 所引起的切向预应力 σ_{t2} 和径向预应力 σ_{r2} 分别为

$$\sigma_{t2} = \frac{p_2 r_2^2}{r_3^2 - r_2^2} \left(1 + \frac{r_3^2}{r^2} \right)$$

$$\sigma_{r2} = \frac{p_2 r_2^2}{r_3^2 - r_2^2} \left(1 - \frac{r_3^2}{r^2} \right)$$

当组合凹模模膛工作压力为 p_1 时 (图 25.6-43), 其中半径为 r ($r_3 \geq r \geq r_1$) 处由工作压力 p_1 引起的切向应力 σ_{t3} 和径向应力 σ_{r3} 分别为

$$\sigma_{t3} = \frac{p_1 r_1^2}{r_3^2 - r_1^2} \left(1 + \frac{r_3^2}{r^2} \right)$$

$$\sigma_{r3} = \frac{p_1 r_1^2}{r_3^2 - r_1^2} \left(1 - \frac{r_3^2}{r^2} \right)$$

式中 E ——模具材料的弹性模量；
 p_1 ——工作压力 (MPa)；
 其余符号见图 25.6-42 和图 25.6-43。

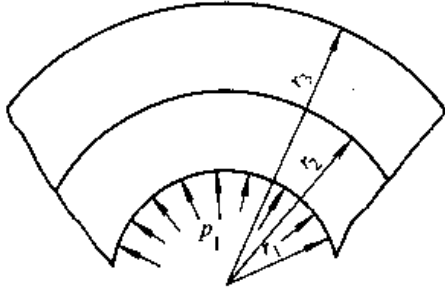


图 25.6-43 双层组合凹模受工作压力时的示意图

然后利用叠加原理计算组合凹模承受的总应力。对于凹模：

$$\sigma_t = \sigma_{d1} + \sigma_{d2}$$

$$\sigma_r = \sigma_{d1} + \sigma_{d2}$$

对于预应力圈：

$$\sigma_t = \sigma_{d2} + \sigma_{d3}$$

$$\sigma_r = \sigma_{d2} + \sigma_{d3}$$

凹模和预应力圈中产生的等效应力 σ_v 应小于或等于其许用应力 σ_p ，即

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_r^2 - \sigma_t \sigma_r} \leq \sigma_p$$

满足该关系式即满足强度要求。

对于三层组合凹模，预应力的计算需要分两次进行，第一次计算外圈同中圈过盈配合所产生的预应力，第二次计算中、外圈组合体同凹模过盈配合所产生的预应力，然后进行叠加即得总的预应力。

分别将凹模内壁各节点上对应的预应力分量及工作应力分量相加，即可得最终的应力分布。进而计算出各节点的等效应力，然后根据强度理论进行校核。

(2) 组合凹模的优化设计

组合凹模的优化设计，就是在一定挤压力条件下，确定出各圈的直径和过盈量，充分发挥模具材料的强度潜力，以保证凹模的最佳工作性能。

1) 凹模内壁不允许出现拉应力的优化设计
 凹模常用高强度工具钢，甚至可用硬质合金制

造。为了防止凹模开裂，则要求在内壁不出现拉应力。在这一前提下，优化设计的目标函数是，当承受最大的单位压力时，凹模内壁不出现拉应力，而预应力圈仍处于许用应力状态下。需要优选的设计变量为内层外径 d_2 、过盈量 Δd_2 ，以及预应力圈外径 d_3 ，并满足 $d_3/d_1 = 4 \sim 6$ 。

① 内层外径和预应力圈外径的确定 组合凹模工作时，内层受压力 p_1 、外压力 p_2 的作用，如图 25.6-44 所示。加预应力只受内压力 p_2 的作用，无外压力作用，如图 25.6-45 所示。 p_2 是组合凹模工作时的实际外压力，不等于接触预应力。

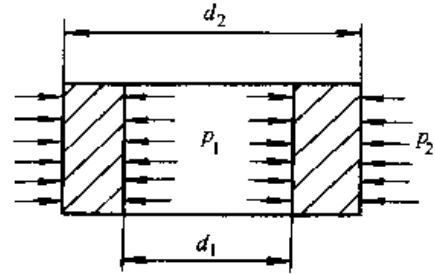


图 25.6-44 内层凹模的受力情况

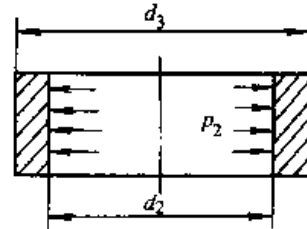


图 25.6-45 预应力圈的受力情况

按主应力法可求出内层，即 r_1 处的切向应力和径向应力，即

$$\sigma_{t(r_1)} = \frac{r_1^2 p_1 - r_2^2 p_2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{(p_1 - p_2) r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}$$

$$\sigma_{r(r_1)} = \frac{r_1^2 p_1 - r_2^2 p_2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{(p_1 - p_2) r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}$$

为了在内壁上不出现拉应力，应使 $\sigma_{t(r_1)} = 0$ ，根据第三强度理论可得到 m_1 、 m_2 的最优值：

$$m_1 = \sqrt{\frac{1}{2} \left| \frac{\sigma_{1p}}{p_1} - 1 \right|}$$

$$m_2 = \sqrt{\frac{1}{2} \left| 1 - \frac{p_2}{\sigma_{2p}} \right|}$$

式中 $m_1 = r_1/r_2 = d_1/d_2$ ；

$m_2 = r_2/r_3 = d_2/d_3$ ；

σ_{1p} ——内层凹模的许用应力；

σ_{2p} ——预应力圈的许用应力。

求出 m_1 、 m_2 的最优值后，便可求得 d_2 、 d_3 。

② 过盈量 Δd_2 的计算 过盈量可直接按下式计算：

$$\Delta d_2 = \frac{d_2}{E} \frac{1+m^2}{1-m^2} p_2$$

式中 E ——材料的弹性模量；

$$m = m_1 \cdot m_2$$

③ 组合凹模内壁强度的验算 组合凹模的最大过盈量不能使切向应力大于许用应力，其验算内层强度的公式：

$$p_1 \leq \frac{1-m^2}{1+m^2} \sigma_{1p}$$

2) 凹模内壁允许出现拉应力的优化设计

① 内层外径和加强圈外径的确定 这一条件凹模优化设计和计算的变量仍为 d_2 、 d_3 和过盈量 Δd_2 ，并需满足 $d_3/d_1 = 4 \sim 6$ 。

m_1 、 m_2 的最优值分别按下式计算：

$$m_1 = \sqrt{\frac{1}{2} \left[1 + \frac{\sigma_{2p}}{\sigma_{1p}} - \frac{2p_1}{\sigma_{1p}} \right]}$$

$$m_2 = m_1 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{1p}}{\sigma_{2p}}}$$

由 m_1 、 m_2 可计算出 d_2 、 d_3 。

② 过盈量 Δd_2 的计算

$$\Delta d_2 = \frac{d_2}{E} \frac{2p_1 - \sigma_{1p}(1-m^2)}{1-m^2}$$

③ 组合凹模内壁强度验算 组合凹模预压时的最大过盈量不能使切向压应力大于许用应力，其验算公式如下：

$$p_1 \leq (1-m^2) \sigma_{1p}$$

(3) 组合凹模的有限元法计算

采用拉美公式计算是假设凹模为无限长受均匀内压的厚壁圆筒，而实际生产中，凹模内壁是局部受压，载荷常为非均匀分布，凹模长度有限且常常是高度与其直径之比小于1，这与假设相差甚远，因而计算结果误差大。有限元法计算是直接以组合凹模的实际结构及受力情况来建立计算模型，因而，不仅计算结果比较精确，而且还为组合凹模的优化设计提供了理论依据。

1) 工作应力的计算 组合凹模工作应力的

有限元计算模型如图 25.6-46 所示。

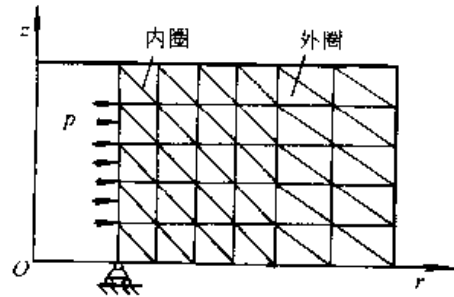


图 25.6-46 有限元法网格图

组合凹模属于典型的轴对称构件，其有限元平衡方程为

$$[K] \{\delta\} = \{Q\}$$

式中 $[K]$ ——组合凹模的总体刚度矩阵；

$\{\delta\}$ ——节点位移列阵；

$\{Q\}$ ——由挤压力 p 计算出来的等效节点力列阵。

工作应力的有限元计算程序框图如图 25.6-47 所示。

计算工作应力时，将组合凹模当整体凹模处理，即不考虑各圈材料性能的差别，假设模具为完全弹性体，其弹性模量为 E ；泊松比为 μ 。

下面按框图顺序写出每一步的计算公式。

单元截面积：

$$A = \frac{1}{2} [r_i(z_j - z_m) + r_j(z_m - r_i) + r_m(z_i - z_j)]$$

单元的平均坐标 (图 25.6-48)：

$$r^e = \frac{1}{3} (r_i + r_j + r_m)$$

$$z^e = \frac{1}{3} (z_i + z_j + z_m)$$

位移函数中的各项系数，即坐标差：

$$a_i = Y_j z_m - r_m z_j$$

$$b_i = z_j - z_m$$

$$c_i = -(r_j - r_m)$$

$$f_i = \frac{a_i}{r^e} + b_i + \frac{c_i z^e}{r^e}$$

单元刚度矩阵为

$$\begin{Bmatrix} K_{ii} & K_{ij} & K_{im} \\ K_{ji} & K_{jj} & K_{jm} \\ K_{mi} & K_{mj} & K_{mm} \end{Bmatrix}$$

其中每一个子矩阵的表达式为

$$[K^e] = \frac{2\pi r A_3}{A} \begin{bmatrix} b_s(b_t + A_1 f_t) + f_s(f_t + A_1 b_t) + A_2 C_s C_t & A_1 C_t(b_s + f_s) + A_2 C_s C_t \\ A_1 C_t(b_s + f_s) + A_2 b_s b_t & C_s C_t + A_2 b_s b_t \end{bmatrix}$$

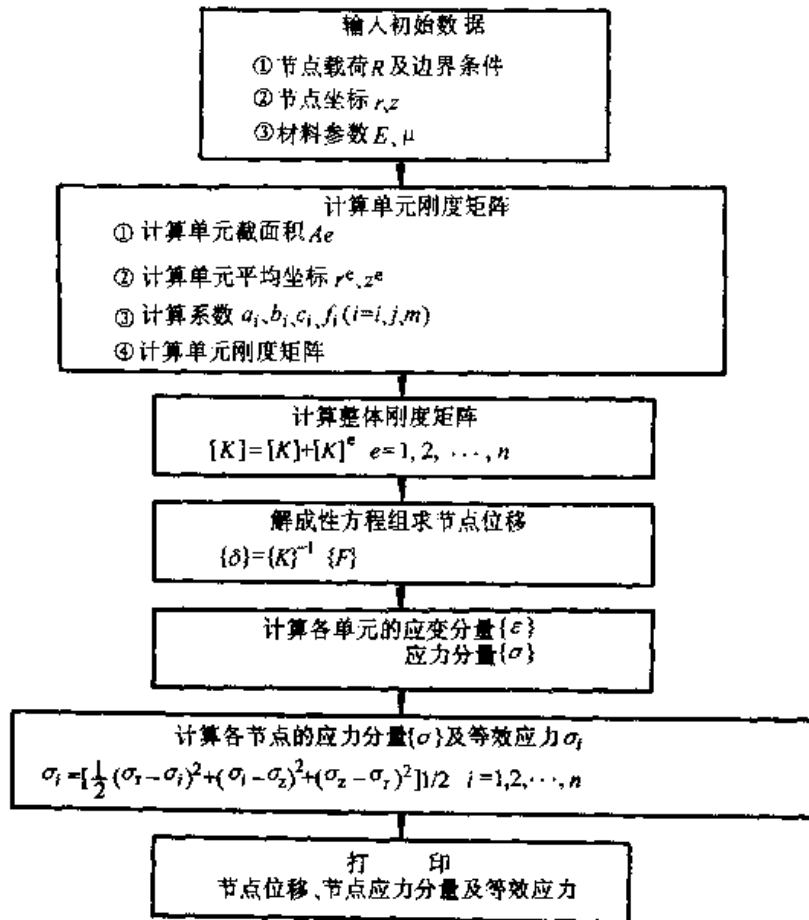


图 25.6-47 程序框图

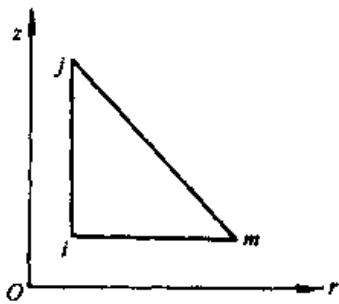


图 25.6-48 单元坐标图

式中 z ——内壁上节点 $i-1$ 与 i 的中点和 i 与 $i+1$ 的中点间的距离。

解线性方程组求节点位移:

$$\{\delta\} = [K]^{-1} \{F\}$$

各单元的应变、应力分量为

$$\{\epsilon\} = \begin{Bmatrix} \epsilon_r \\ \epsilon_t \\ \epsilon_z \\ \epsilon_{rz} \end{Bmatrix}$$

式中 $A_1 = \frac{\mu}{1-\mu}$; $A_2 = \frac{(1-2\mu)}{2(1-\mu)}$;
 $A_3 = \frac{(1-\mu)E}{4(1+\mu)(1-2\mu)}$
 $(S=i, j, m; t=i, j, m)$

$$= \frac{1}{2A} \cdot \begin{bmatrix} b_i & 0 & b_j & 0 & b_m & 0 \\ f_i & 0 & f_j & 0 & f_m & 0 \\ 0 & c_i & 0 & c_j & 0 & c_m \\ c_i & b_i & c_j & b_j & c_m & b_m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_i \\ W_i \\ U_j \\ W_j \\ U_m \\ W_m \end{Bmatrix}$$

整体刚度矩阵为

$$[K] = \sum_{e=1}^n [K]^e$$

等效节点力为

$$[F]^e = 2\pi r z p_i$$

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_r \\ \sigma_t \\ \sigma_z \\ \tau_{rz} \end{Bmatrix} = [s_i, s_j, s_m] \begin{Bmatrix} U_i \\ W_i \\ U_j \\ W_j \\ U_m \\ W_m \end{Bmatrix}$$

式中

$$\{s_i\} = \frac{2A_3}{A} \begin{bmatrix} b_i + A_1 f_i & A_1 c_i \\ A_1 b_i + f_i & A_1 c_i \\ A_1(b_i + f_i) & c_i \\ A_2 c_i & A_2 b_i \end{bmatrix} \quad (i = i, j, m)$$

计算应力分量 σ_{ri} 、 σ_{ti} 时，对于中心区域各节点用平均法计算，即将某节点周围单元的应力值相加，然后除以单元个数。对边界上的节点则采用抛物插值法计算。

2) 预应力的计算 预应力的有限元计算模型如图 25.6-49 所示。设内、外圈的刚度矩阵分别为 $[K^{(1)}]$ 、 $[K^{(2)}]$ ；节点位移列阵分别为 $\{\delta^{(1)}\}$ 、 $\{\delta^{(2)}\}$ ；等效节点力列阵分别为 $\{Q^{(1)}\}$ 、 $\{Q^{(2)}\}$ ，则两者的有限元平衡方程分别为

$$\begin{aligned} [K^{(1)}] \cdot \{\delta^{(1)}\} &= \{Q^{(1)}\} \\ [K^{(2)}] \cdot \{\delta^{(2)}\} &= \{Q^{(2)}\} \end{aligned}$$

由第一个方程并假设在装配时只有内圈被均匀压缩，可求出内圈中各节点位移 $\{\delta^{(1)}\}$ ，单元应变 $\{\epsilon_{ij}^{(10)}\}$ 和压合接触面上平均径向应力为 $\sigma_r^{(1)}$ ，同理可求出 $\{\delta_r^{(2)}\}$ 、 $\{\epsilon_{ij}^{(20)}\}$ 和 $\sigma_r^{(2)}$ 。

根据线性单元的特性，内、外圈的压缩量 $\Delta^{(1)}$ 、 $\Delta^{(2)}$ 与压合面上平均径向应力的关系如图 25.6-50 所示，由图示关系得

$$\Delta^{(1)} = \frac{\sigma_r^{(2)}}{\sigma_r^{(1)} + \sigma_r^{(2)}}, \Delta^{(2)} = \frac{\sigma_r^{(1)}}{\sigma_r^{(1)} + \sigma_r^{(2)}}$$

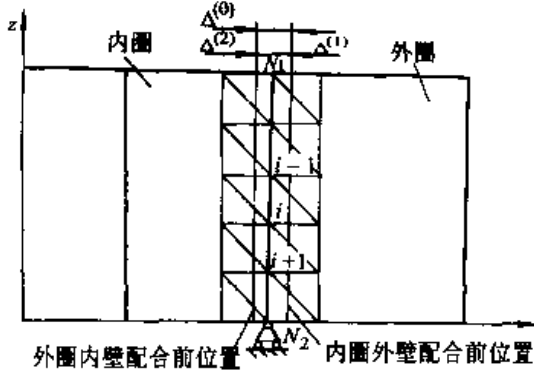


图 25.6-49 预应力有限元计算模型

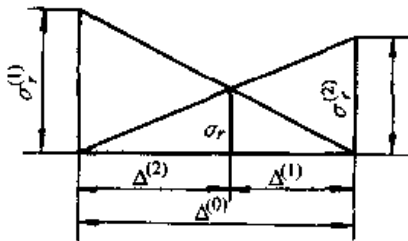


图 25.6-50 内外圈的压缩量与压合面上平均径向应力的关系

仍然根据线性单元的特性，同时忽略接触面上的摩擦力的影响，即认为内、外圈在接触线上同一节点的轴向位移相等，则可得内、外圈上各节点的位移和单元的应变与应力的计算公式：

$$\{\delta^{(1)}\} = \frac{\Delta^{(1)}}{\Delta^{(0)}} \{\delta_i^{(1)}\}$$

$$\{\epsilon_{ij}^{(1)}\} = \frac{\Delta^{(1)}}{\Delta^{(0)}} \{\epsilon_{ij}^{(10)}\}$$

$$\{\sigma_{ij}^{(1)}\} = \frac{\Delta^{(1)}}{\Delta^{(0)}} \{\sigma_{ij}^{(10)}\}$$

$$\{\delta^{(2)}\} = \frac{\Delta^{(2)}}{\Delta^{(0)}} \{\delta_r^{(2)}\}$$

$$\{\epsilon_{ij}^{(2)}\} = \frac{\Delta^{(2)}}{\Delta^{(0)}} \{\epsilon_{ij}^{(20)}\}$$

$$\{\sigma_{ij}^{(2)}\} = \frac{\Delta^{(2)}}{\Delta^{(0)}} \{\sigma_{ij}^{(20)}\}$$

如果凹模承受很大的工作应力，采用组合凹模的主要目的是提高凹模承载能力，加强凹模强度，则建议采用图 25.6-51 所示阶梯式结构，凹模压装于预应力圈的中部，凹模高度约等于模膛高度的 3 倍 ($H_1 \approx 3H$)，预应力圈高度约等于凹模高度的 2 倍 ($H_2 \approx 2H_1$)。与预应力圈高度等于凹模高度、模膛靠近凹模上端面的结构相比，这种结构的凹模工作应力可降低 30% ~ 50%。挤压时组合凹模所产生的变形如图中虚线所示，可以看出，组合凹模中部径向涨大，而两端向内缩小，这可有效地防止凹模的径向与横向破裂，因而可有效提高冷挤压模具寿命。这已为生产实践所证明。

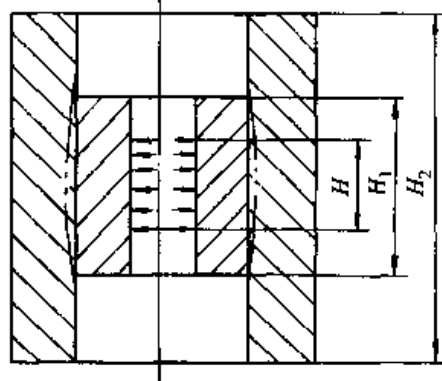


图 25.6-51 阶梯式组合凹模及挤压时的变形情况

(4) 按最大挤压力及疲劳综合考虑选择半径比及过盈量

模具能承受的最大单位挤压力及寿命，不仅受到设计方法的影响，而且还取决于模具的强度

(σ_b, σ_s) 及其韧性。这主要与模具材料的化学成分及其锻造、热处理工艺等有关。根据冷挤压受力的特点, 对凹模要求其强度高、耐磨性好, 但同时要求有相当的韧性。对预应力圈来说, 要求其强度与韧性的综合性能好。前章已谈到, 目前国内凹模材料用得最普遍的是各种高速钢及 Cr12 型钢, 其热处理的硬度为 60~64HRC。预应力圈的材料为 5CrNiMo, 40Cr, 钢 45 等, 其热处理的硬度为 40~52HRC。均经严格的锻造。

中、外层预应力圈的热处理硬度不同, 其

表 25.6-29 外层预应力圈热处理硬度对最大挤压力、合理半径比及压合过盈系数的影响

设计方法		凹模内表面允许有切向拉应力				凹模内表面不允许有切向拉应力			
热处理硬度 HRC		52~50 ($\sigma_{s1} \approx$ 1 440 MPa)	49~47 ($\sigma_{s1} \approx$ 1 280 MPa)	46~44 ($\sigma_{s1} \approx$ 1 160 MPa)	43~40 ($\sigma_{s1} \approx$ 1 080 MPa)	52~50	49~47	46~44	43~40
最大单位挤压力比值 p_{max}/σ_{s1}		0.665	0.648	0.636	0.629	p_{max}/σ_{s2} =0.866	p_{max}/σ_{s2} =0.818	p_{max}/σ_{s2} =0.785	p_{max}/σ_{s2} =0.762
合径 半比	$a_{21} = r_2/r_1$	1.908	1.946	1.978	2.002	1.513	1.514	1.518	1.521
	$a_{32} = r_3/r_2$	1.448	1.477	1.501	1.519	1.626	1.675	1.713	1.743
径过 向盈 压系 合数	β_{2d}	0.003 76	0.003 90	0.004 00	0.004 08	0.004 48	0.004 63	0.004 75	0.004 83
	β_{3d}	0.003 76	0.003 10	0.002 60	0.002 28	0.004 48	0.003 83	0.003 35	0.003 03

注: 凹模硬度 60~64HRC ($\sigma_{s1} \approx 2\ 500$ MPa), 中层预应力圈硬度 52~50HRC ($\sigma_{s2} \approx 1\ 440$ MPa), 半径比 $a_{41} = r_4/r_1 = 4$ 。

表 25.6-30 中层预应力圈热处理硬度对最大挤压力合理半径比及压合过盈系数的影响

设计方法		凹模内表面允许有切向拉应力				凹模内表面不允许有切向拉应力			
热处理硬度 HRC		52~50 ($\sigma_{s2} \approx$ 1 440 MPa)	49~47 ($\sigma_{s2} \approx$ 1 280 MPa)	46~44 ($\sigma_{s2} \approx$ 1 160 MPa)	43~40 ($\sigma_{s2} \approx$ 1 080 MPa)	52~50	49~47	46~44	43~40
最大单位挤压力比值 p_{max}/σ_{s1}		0.629	0.612	0.600	0.593	p_{max}/σ_{s2} =0.762	p_{max}/σ_{s2} =0.799	p_{max}/σ_{s2} =0.836	p_{max}/σ_{s2} =0.866
合径 半比	$a_{21} = r_2/r_1$	2.002	2.041	2.075	2.100	1.521	1.515	1.513	1.513
	$a_{32} = r_3/r_2$	1.519	1.460	1.414	1.380	1.743	1.695	1.655	1.626
径过 向盈 压系 合数	β_{2d}	0.004 08	0.003 40	0.002 90	0.002 56	0.004 83	0.004 17	0.003 68	0.003 36
	β_{3d}	0.002 28	0.002 40	0.002 50	0.002 56	0.003 03	0.003 17	0.003 28	0.003 36

注: 凹模硬度 60~64HRC, 外层预应力圈硬度 40~43HRC ($\sigma_{s1} \approx 1\ 080$ MPa), 半径比 $a_{41} = r_4/r_1 = 4$ 。

由表 25.6-29 可以看出, 在凹模硬度及中层预应力圈硬度保持不变的情况下, 随着外层预应力圈硬度的增加, 最大单位挤压增加 ($p_{max}, p_{max}/\sigma_{s1}, p_{max}/\sigma_{s2}$ 均增加), 合理半径比 a_{21} 及

σ_b, σ_s 与韧性就不同, 因而使凹模能承受的最大单位挤压力及寿命 (也就决定了合理半径比及压合过盈量的选择) 也不同。当中层、外层预应力圈硬度 HRC 提高时, 使凹模能承受的最大挤压力 p_{max} 也提高。表 25.6-29 及表 25.6-30 为三层组合凹模的中、外层预应力圈热处理硬度对最大单位挤压力、合理半径比及压合过盈量的影响 (采用钢制凹模)。但凹模预应力圈的硬度也不能过高, 否则使其韧性迅速下降而使寿命急剧降低。

a_{32} 减小, 凹模和中层预应力圈的径向过盈系数 β_{2d} 减小, 中、外层预应力圈的径向过盈系数 β_{3d} 增加。

由表 25.6-30 看出, 当凹模及外层预应力圈

的硬度保持不变时，随着中层预应力圈硬度的增加，最大单位挤压力 (p_{max} 、 p_{max}/σ_{s1}) 增加 (虽然此时 p_{max}/σ_{s2} 下降，但由于 σ_{s2} 值增加，故 p_{max} 值仍然增加)。此时，径向过盈系数 β_{2d} 增加， β_{3d} 减小。对凹模内表面允许有切向拉应力设计方法来说，合理半径比 a_{21} 减小， a_{32} 增加。对凹模内表面不允许有切向拉应力设计来说， a_{32} 、 a_{21} 均增加。

前已说到，硬度升高，虽然 σ_b 、 σ_s 升高，但会使韧性下降，反而不利于模具寿命。所以，在冷挤件批量不大时，预应力圈的硬度取高值，以便使模具能承受较大的单位挤压力，减少冷挤工序。而在冷挤件批量很大时，预应力圈的硬度可取较低值，以使模具寿命增加。合理的半径比及压合过盈量应根据相应的硬度来选择。

综上所述，要充分发挥组合凹模的优越性，在设计中，必须根据冷挤件的批量，凹模的材料及是否采用镶块，决定按凹模内表面允许或不允许有切向拉应力设计和预应力圈的硬度，从而选定合理的半径比及压合过盈量。同时，还应考虑预应力圈压合后，组合凹模最终组合后内径的收缩量，才能使组合凹模的强度得到显著增加，寿命大大提高，冷挤压的精度获得进一步改善。

2.6 导向、顶出及紧固件设计

(1) 导向装置

1) 导柱导套导向 它是安装在模板上的导套和安装在模座上的导柱间的滑动配合实现导向的，如图 25.6-52 所示。一般，挤压件精度较高，设备精度又差，或模具定心对正有困难时，应尽可能安装导柱导套导向装置。利用导柱导套导向，虽然会使模具轮廓尺寸加大，制造工艺复杂，模具成本增加，但是导向精度较高，模具寿命高，使用、安装、调整方便。所以，这种方法在有色金属挤压生产中应用得很广泛。但是对于壁厚精度要求很高的深孔筒形零件的反挤压，以及单位压力较大，或具有偏心载荷时，其导向性能显得不够理想。

设计时，主要考虑滑块位于上死点 (最高位置) 时，导柱最好不与导套脱离，而在下死点 (最低位置) 时，导柱不应触及压力机滑块的底平面。设计的一般原则是：①在上死点或当凸模与工件接触时，导柱进入导套的深度不得小于

15~18 mm，见图 25.6-52b；②在下死点，导柱的上端与模板之间的距离不得小于 10~12 mm，见图 25.6-52a。需要特别注意的是，挤压时的单位压力要比冲压加工时大得多，无论毛坯制作得多么精确，出现偏心载荷的可能性还是存在的，所以必须将导柱适当加粗。一般取 $\phi 40 \sim 60$ mm，有时为了提高导向精度和工作稳定性，选用的导柱直径达 $\phi 80 \sim 120$ mm，并且要求导柱对称布置。

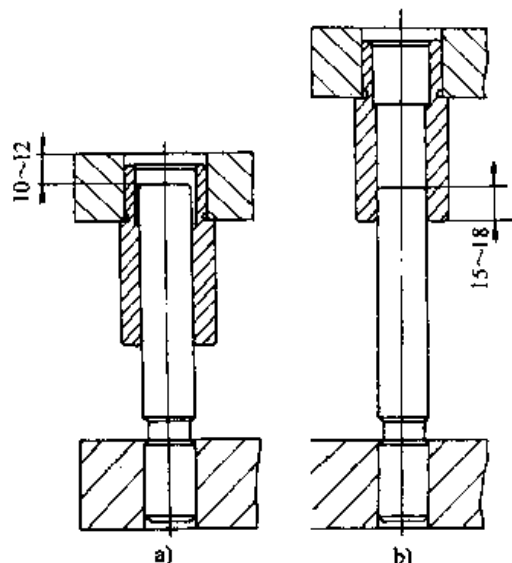


图 25.6-52 导柱导套导向结构

a) 位于下死点位置 b) 位于上死点位置

2) 凸模导向

用凸模 (或凸模套) 的工作部分或非工作部分与凹模实行导向，是一种简单、实用、有效的导向方法。它能有效控制和减小由于偏心载荷时产生的弯曲力矩而损坏凸模的危险。设计时，应注意以下几点：

1) 凸模导向 当挤压件的壁厚精度要求较高时，应考虑采取凸模导向的方式。

2) 凸模导向适用范围 凸模导向适于浅孔零件的反向挤压。因为孔径过深时，凹模型腔也要加深，势必增加凸模的长度，这将使模具加工困难，模具寿命也会成问题的。

3) 凸模与导向的关系 在整个挤压过程中，凸模应始终保持在导向部分之中。

4) 凸模导向部分用于卸料 在许多情况下，凸模的导向部分也用于零件的卸料。

5) 凸模与导向部分的间隙 凸模与导向部分之间的间隙，通常在 0.005~0.018 mm 范围内。这个数字必须按凸模在挤压中的膨胀量来校

正, 配合太紧将会使凸模和导向衬套过早磨损。

6) 配合间隙对导向精度的影响 使用凸模套导向时, 应该考虑凸模与凸模套的配合间隙对导向精度的影响。

常用的凸模导向方式, 有以下三种, 即: ①凸模工作部分 (A) 同凹模型腔工作部分实行导向, 见图 25.6-53a; ②凸模非工作部分 (A) 同凹模型腔工作部分实行导向, 见图 25.6-53b; ③凸模上非工作部分 (A) 同凹模型腔的非工作部分实行导向, 见图 25.6-53c。第一种导向方式, 适于正向挤压和复合挤压。这种导向方式, 由于滑动部分的配合面积较大, 所以凹模型腔和凸模工作面容易磨损。为了减小配合面积以降低摩擦, 为了使凸模的弹性变形 (直径增大) 不影响凹模, 有时将正挤压冲头的前端也制出一段工作刃带, 刃带之外的直径取得小些。第二种导向方式, 适于壁厚精度要求较高的反向挤压和复合挤压。缺点是模腔的深度须加大, 且模腔的有效尺寸容易磨损。第三种导向方式, 虽然也是利用凸模上的工作部分, 但是这一部分不是与凹模的工作部分, 而是与凹模的非工作部分实行导向, 因而不影响凹模型腔的有效部位和工作尺寸, 是较为理想并广泛采用的一种导向方式。但是这种导向方式, 模腔亦要加深, 凹模的轮廓尺寸将加大, 凸模也要适当加粗。当采用整体结构凸模时, 见图 25.6-54a, 为了减小应力集中, 提高凸模强度, 凸模加粗部分与工作部分之间, 应采取较大的圆角半径 (R15), 且平滑过渡。但是在许多情况下, 通常将凸模设计成带凸模套的组合结构见图 25.6-54b、c、d, 并且利用装在凸模外面的圆筒结构的凸模套与模口的非工作部分实行导向。其中图 25.6-54b 和图 25.6-54c, 凸模套与凹模全型接触, 而图 25.6-54d 的凸模套只给出一定高度 (10 mm) 的圆环面, 并靠此圆环面与

凹模配合并实行导向。这种设计可减小导向接触面积, 提高导向精度。

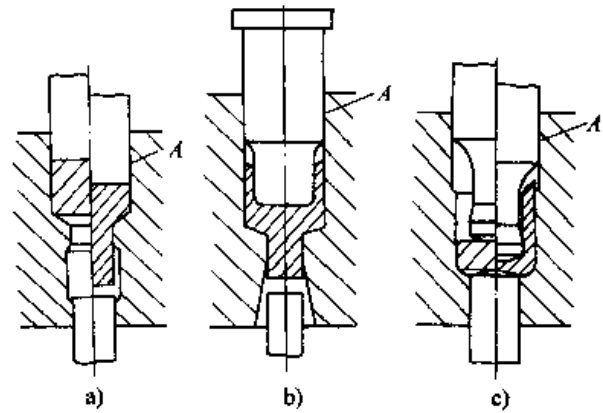


图 25.6-53 凸模导向的三种型式

- a) 凸模与凹模的工作部分导向
- b) 凸模的非工作部分
- c) 凸模与凹模的非工作部分导向

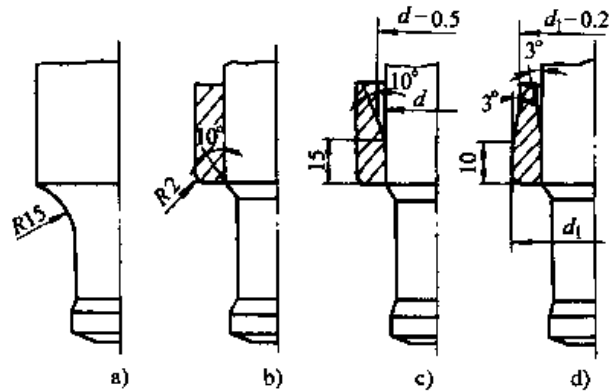


图 25.6-54 凸模导向部分的结构型式

- a) 整体结构 b)、c)、d) 组合结构

3) 模口导向 模口导向, 见图 25.6-55, 这是利用凹模本身 (图 25.6-55a) 或衬套 (图 25.6-55b 件 3)、导环 (图 25.6-55c 件 4)、导套 (图 25.6-55d 件 5) 进行导向的方法。这种方法简便、实用、可靠, 导向效果优于导柱导向, 是冷锻挤模具中广泛采用的一种导向方法。

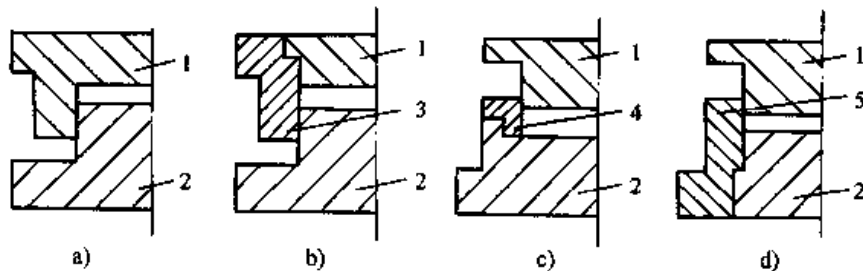


图 25.6-55 模口导向的基本型式

- a) 凹模自身导向 b) 凹模衬套导向 c) 导环导向 d) 导套导向

1—上模 2—下模 3—衬套 4—导环 5—导套

4) 卸料板导向 图 25.6-56 所示是利用装在弹性卸料板 2 上的导向衬套 (5、8) 与凹模实行导向的结构略图。这种导向方式是靠弹簧 3 驱动使导向衬套与凹模配合进行导向。这种导向又具有两种结构型式, 其中图 25.6-56a 结构中的导向衬套 8, 靠弹簧 3 作用进入凹模口 6 导向后, 在挤过程中将保持原位不动, 而图 25.6-56b 中的导向衬套 5, 则属于跟踪挤压形式的可动导向衬套。在挤压过程中, 它将随反挤时金属的向上流动而一起向上滑动 (B 向)。所以, 这种导向衬套在凹模中是滑动的, 其导向面积大, 导向精度高, 是广泛采用的一种导向方式。

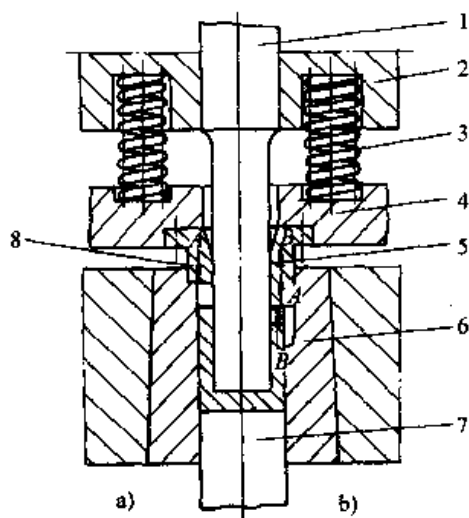


图 25.6-56 弹性卸料板导向

1—凸模 2—模板 3—弹簧 4—治动卸料板
5、8—导向衬套 6—凹模 7—顶料杆

图 25.6-57 所示是利用与模座 5 相连接的导板 2, 保证凸模 1 和凹模 4 的同心对正。这种结构中的导板固定不动, 兼有从凸模上卸下零件的作用。该种导向方法的精度和可靠性, 远不及利用弹性卸料板进行导向的方法。但是其结构简单,

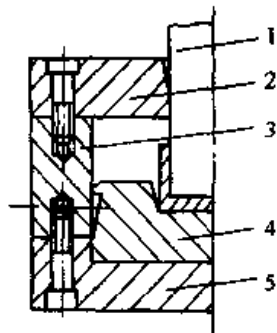


图 25.6-57 固定卸料板导向

1—凸模 2—导板 3—连接板 4—凹模 5—模座

制造容易, 适于挤压力不大, 导向精度要求不高的挤压加工。

(2) 顶出与卸料装置

1) 顶出装置

① 顶出装置的结构类型 将挤压件从凹模中顶出的方式很多, 其结构型式主要取决于工件形状和成形方式及模具的结构类型。例如杯形件, 一般采取反挤压成形, 见图 25.6-58a, 通常利用顶料杆 3 将滞留在凹模 2 中的挤压件推顶出来。这种推顶方式中的顶料杆直接参与坯料变形, 起一定的封闭挤压作用, 所以它是直接受力零件。若采用正挤压变形方式, 见图 25.6-58b, 即将杯形件倒过来成形的话, 下部的顶出装置就是一种套筒推顶的方式。它利用一种圆环形的顶出器 5, 将挤压件从凹模 2 中顶出。此时, 环形顶出器与挤压件隔开一定距离, 即不对挤压件的挤出端进行封闭, 只起顶件作用, 显然其载荷较前者小得多。这种套管式推顶方式, 常用于中心有孔的成形件及圆形轴套类成形件。

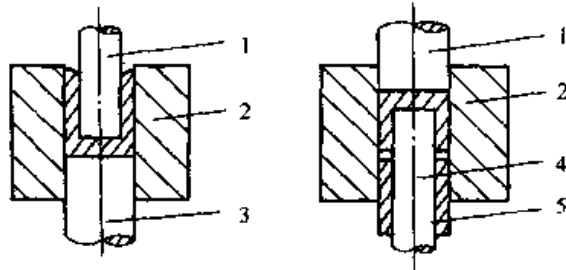


图 25.6-58 顶出的基本型式

a) 顶杆推顶 b) 套管推顶
1—凸模 2—凹模 3—顶料杆
4—下凸模 5—环形顶出器

在挤压生产中, 常见的顶出装置主要有以下三种基本类型:

a) 垫块推顶 垫块推顶, 见图 25.6-59, 利

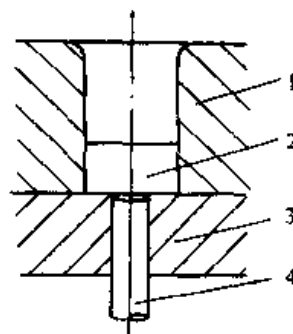


图 25.6-59 垫块顶出结构

1—凹模 2—垫块 3—垫 4—顶料杆

用装在凹模 1 型腔中的扁形垫块 2 和顶杆 4，将挤压件从凹模内顶出。这种顶料型式的缺点是挤压件有可能将垫块带出模外，优点是结构简单，便于加工，节省材料。主要用于单位压力较小、反挤压成形的直通式凹模。

b) 顶杆推顶 顶杆推顶见图 25.6-60，由于挤压件的形状差异，其结构型式也截然不同。其中，图 25.6-60a 是将下凸模 3 设计成环形，这

时顶出器是镶入的顶料杆 2。这种型式用于大型正挤压的空心或筒形件。对于杆径较小的长杆形件的正挤压，为了便于加工和更换方便，将顶料杆作成圆柱形 2，镶在另一顶杆 5 的凹窝中，见图 25.6-60b。这种组合式的顶杆结构，使用可靠，调整方便，经济合理耐用。图 25.6-60c 是目前普遍采用的一种退料方法，不仅用于正挤和反挤，也用于复合挤压模具中。

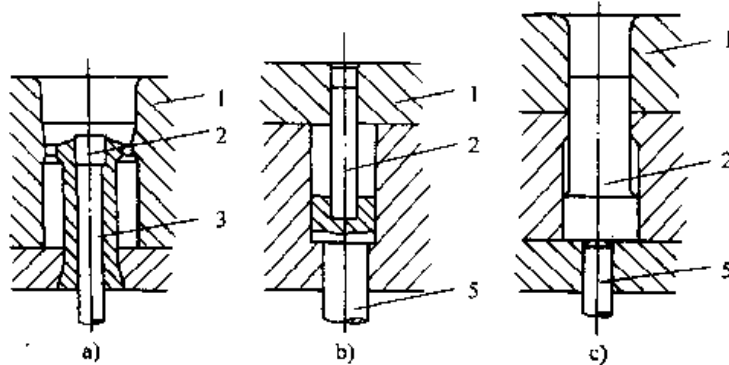


图 25.6-60 顶杆推顶的结构型式

1—凹模 2—顶料杆 3—下凸模 4—垫 5—顶杆

c) 套筒推顶 图 25.6-61 所示为具有代表性的套筒推顶方式。套在下凸模 3 上的具有粗大端部的筒状环形退料器 2 兼有从凸模上卸料与从凹模中顶出的双重作用，主要用下部带孔零件的卸料和顶出。这种装置借助于三个 120° 等分均布的圆柱销 4 带动环形顶出器，将零件从凹模中顶出。

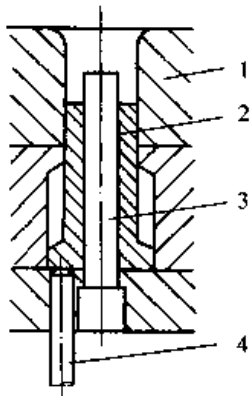


图 25.6-61 套筒推顶结构

1—凹模 2—环形顶出器 3—下凸模 4—圆柱销

② 顶出部件设计 通常，在正挤压杆形件时，顶料杆与挤压件的挤出端部保持一定距离而不接触，只是在回程时起顶出的作用。反挤压杯形件时，下部顶料杆同坯料直接接触，并承受变形金属的挤压作用。在复杂的挤压模具里，顶杆

除顶出零件外还协助完成某些局部成形工作。

将挤压件从凹模中顶出的实心顶杆，如图 25.6-62 所示。根据零件的底部形状及不同的功用，它们的工作端部分别是平顶（图 25.6-62a）、倒角（图 25.6-62b）、锥形（图 25.6-62c）、圆弧形（图 25.6-62d）、带有凹窝（图 25.6-62e）和凸起形状（图 25.6-62f）的。端部平顶的顶杆加工容易。为了利于金属流动，减小挤压件的底部毛刺，即使挤压件的底部是平顶的，也要在顶杆前端附加倒角、微小锥度或圆弧形。零件的底部带有凸起形状时，在顶杆的端部则相应做出一个凹窝，但是凹窝过深，在径向力的作用下将发生开裂。若顶杆端头带有凸起形状时，通常做成锥柱形状。上述实心顶杆的尾部，一般设计成台阶形状，加粗部分跨在凹模型孔后的放大部分或垫块孔中，以控制退料行程，并防止顶杆脱出模外。

为了将空心及筒形零件从凹模中顶出，或将抱在凸模上的零件卸下，一般采用圆环形顶出器，见图 25.6-63 所示。它是采用在凸模上套一个圆筒的结构，从凸模周围将零件卸下来。它可以作成圆筒形（图 25.6-63a）、一端具有法兰（图 25.6-63b），或者将法兰部分作成三等分的爪形形状（图 25.6-63c）。三种不同的结构型式各有

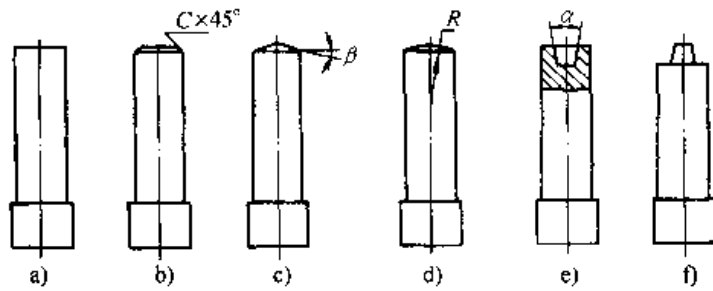


图 25.6-62 实心顶杆

利弊。图 25.6-63a 结构简单，便于加工，不易损坏，还可以两面使用，因而寿命长。但是，它有可能被挤压件带出模外。所以，通常将下部作出一个不大的台阶，呈法兰状，见图 25.6-63b，与凹模支承的下部扩大部分配合，上部有效圆柱

体则与凹模孔成 H7/h6 间隙配合。这种结构最常见的损坏是法兰部分开裂，因此在满足退料需要的前提下，应该尽量使法兰直径减小，厚度适当增大。图 25.6-63c 中法兰部分设计成 120° 等分的三个爪形，主要是为了增大凹模的支承面积。

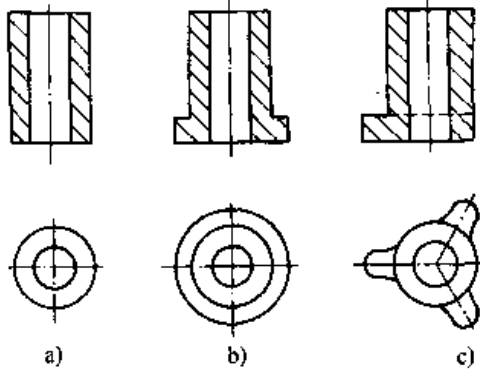


图 25.6-63 环形顶出器

a) 筒形 b) 带法兰 c) 爪形

设计顶出零部件时，还要注意以下几点：

a) 为了防止顶杆因应力集中而折断，在杆形与法兰部分的联接处，宜采取较大的圆角或弧形过渡。

b) 在退料行程较大，挤压件杆径较小的实心件正挤压时，为了便于加工和更换，结构型式如图 25.6-64 所示，顶杆宜作成圆柱形，镶入圆环，见图 25.6-64a、b，拧进圆形螺母，见图 25.6-64c，压入凹窝，见图 25.6-64d、e、f 之中。这种组合式的顶杆结构更换简便，使用寿命高。

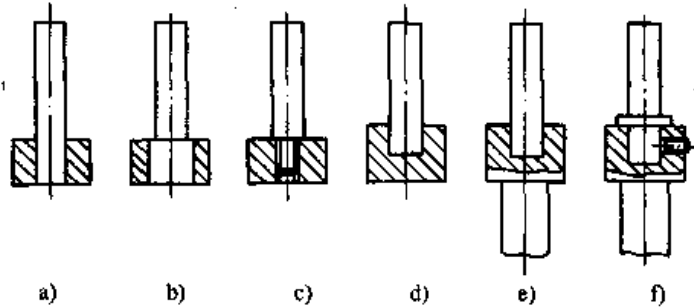


图 25.6-64 组合顶杆

c) 若顶杆直径较大，形状复杂或加工困难时，可将其设计为直通式顶杆与凸缘两部分，然后用螺钉连接成一体，如图 25.6-65 所示。

d) 为了不影响凹模 1 的成形工作刃带尺寸 (d)，顶杆 2 配合处直径 (d_2) 可取得小些 ($d_2 < d$)，这样可避免顶杆与成形工作带相撞和引起工作带的过早磨损，见图 25.6-66 所示。

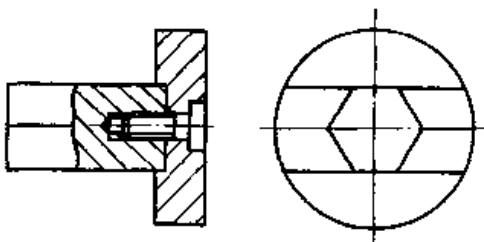


图 25.6-65 顶杆的分体结构

e) 挤压时，由于顶杆 2 与凹模 1、芯杆 3 与凸模 4，各自弹性变形的不同，在决定顶杆或芯杆尺寸时，应使其顶端略微高出凹模型腔或凸模工作面，其突出量 Y 一般在 0.2 mm 左右，如图 25.6-67 所示。

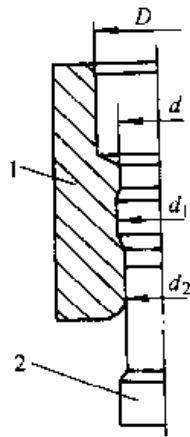


图 25.6-66 顶杆与凹模的配合
1—凹模 2—顶杆

f) 采用圆锥形凸模 4 挤压带凸缘筒形件, 见图 25.6-68, 如果要求环形顶出器 3 与下凸模的圆柱部位对齐 (图 25.6-68a), 则模具加工就非常困难, 而且由于各自弹性变形的不同, 其相接位置 (A) 也很难保证。若使环形顶出器的工作端面低于下凸模圆柱部位以下 1~1.5 mm (图 25.6-68b), 则对模具加工非常有利, 不但挤压件尺寸容易保证, 环形顶出器与下凸模锥形部位的衔接问题也不存在了。

g) 若挤压件尺寸 (B) 是由顶出器 3 与凹模 2 的相对位置所决定, 设计时, 顶出器与凹模的相对位置尺寸, 应比挤压件的对应尺寸略小, 这个数值一般在 0.5~1 mm 范围内, 见图 25.6-69 所示。

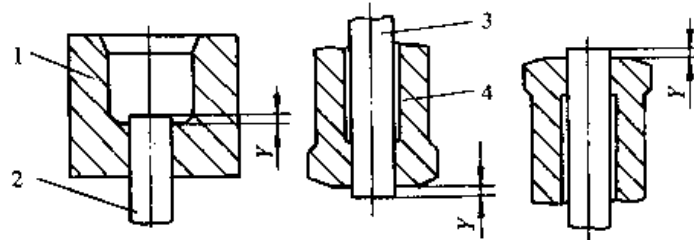


图 25.6-67 顶杆结构尺寸

1—凹模 2—顶杆 3—芯杆 4—凸模

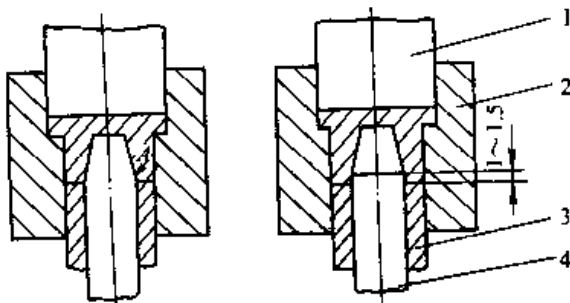


图 25.6-68 顶出器的合理位置

1—凸模 2—凹模 3—顶出器 4—下凸模

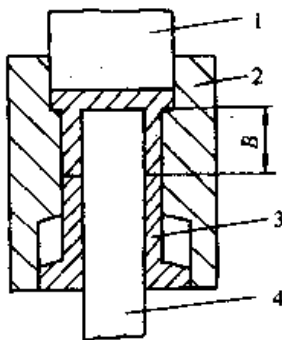


图 25.6-69 顶出器的相关位置尺寸

1—凸模 2—凹模 3—环形顶出器 4—下凸模

2) 卸料装置

① 卸料装置的结构类型 卸料装置分弹性卸料装置和刚性卸料装置两大类, 如图 25.6-56 和图 25.6-57 所示。

下面进一步介绍一种用于深孔挤压件的刚性退料装置。

这是一种双级卸料环型式, 如图 25.6-70 所示, 它有两个卸料环 (件 5 和 6), 每一个卸料环都有一定的退料行程, 总的退料行程便是两个退料行程的总和 ($S_1 + S_2$)。这种结构常用于深孔零件的挤压加工, 在封闭高度受到限制的情况下使用。图 25.6-70a 是挤压时模具的工作状态。内卸料环 6 与凹模 7 平面封闭挤压零件的端头, 而外卸料环则处于浮动状态。回程时, 在横梁的冲击作用下, 三个圆柱销 2 将力传给内卸料环 6, 使其向下移动开始卸料。内卸料环移动距离 S_1 后, 其凸缘接触并带动外卸料环 5 向下移动, 移动 S_2 距离后完成第二级卸料, 将挤压件从凸模 3 上卸下来。

② 卸料装置设计 一般, 整体卸料板用的不多, 多数情况下, 都在整体卸料板上镶件或安

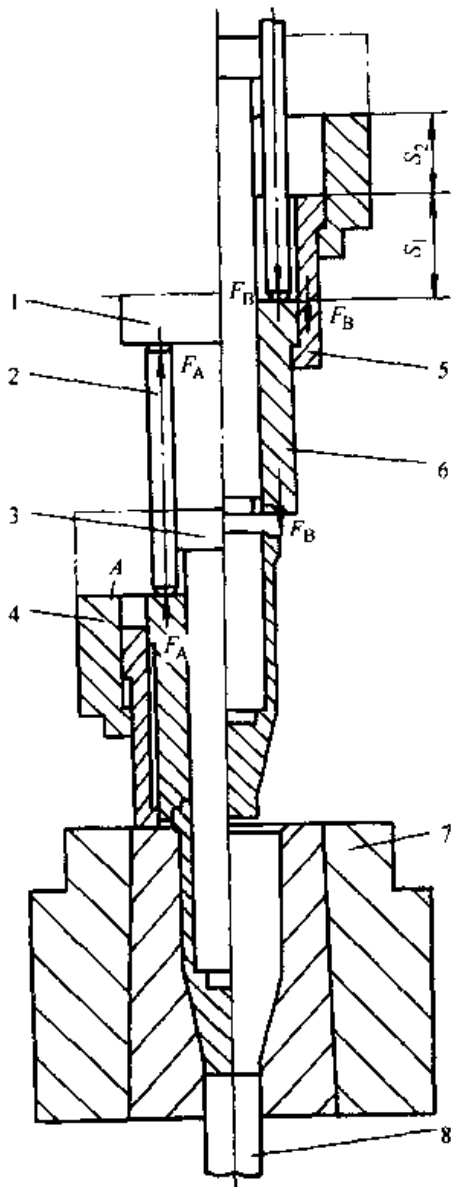


图 25.6-70 双环卸料装置

a) 工作状态 b) 回程时卸件状态

- 1—垫板 2—圆柱销 3—凸模 4—导套
5—外卸料环 6—内卸料环
7—凹模 8—顶料杆

装特殊的卸料器等。常见的卸料板镶体结构，如图 25.6-71 所示。镶件采用优质材料并经热处理，然后用螺钉紧固在卸料板本体上。这样，制作简便，更换容易，使用寿命高。

若卸料板兼起导向作用，可将镶件伸出本体之外，变为一种特殊型式的镶体结构，见图 25.6-72。此时，镶件已变成凸凹模对正的中间导向衬套 2。为了满足导向要求，其内外径尺寸和配合间隙是相当严格的。决定这一尺寸时，除考虑正常的间隙数值外，还必须按凸模在挤压行

程中的膨胀量来校正，配合太紧将会使凸模和导向衬套过早磨损。

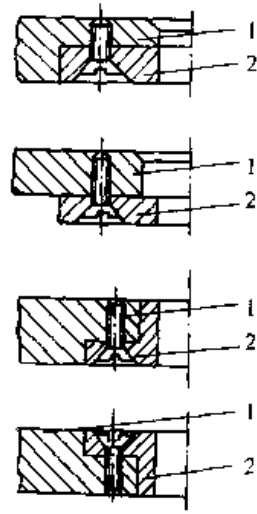


图 25.6-71 卸料板镶块结构

- 1—本体 2—镶块

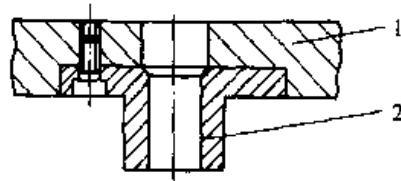


图 25.6-72 特殊的镶块结构

- 1—本体 2—导向衬套

挤压有色金属薄壁深孔筒形件，采用刚性卸料时，由于硬性卡压易使零件变形，且卸料不可靠。一般采用弹性卸料器装置，见图 25.6-73。卸料器是分割成三半对称的环圈 3，并在其外周的环形沟槽中装入弹性元件 2。这种卸料器始终紧贴凸模，且退料平稳。

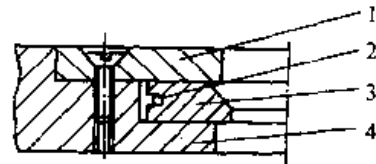


图 25.6-73 弹性卸料器

- 1—压盖 2—弹性元件 3—环圈 4—本体

3) 卸料和推顶联动装置 图 25.6-74 所示是中小型压力机的卸料打杆联动机构。这种结构主要由横梁 3 和固定在压力机上的打杆螺栓 2 组成。横梁安放在压力机滑块 1 的横孔中，与模柄 5 中的打杆 4 相接触。当滑块上行接近上死点时，横梁两端与打杆螺栓相碰，使横梁受到向下的压力，并带动模柄内的打杆，通过打料杆将挤

压件从模口中顶出，或者通过三个圆柱销，将力量传给环形卸料器，卸料器将挤压件从凸模上卸下并顶出模腔。打杆螺栓可以调节上下位置，并用锁紧螺母固紧。

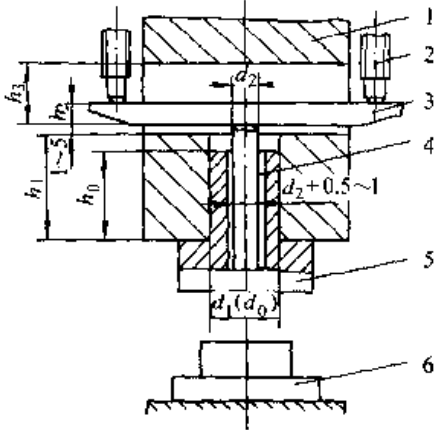


图 25.6-74 卸料打杆联动装置
1—滑块 2—打杆螺栓 3—横梁
4—打杆 5—模柄 6—凹模

设计时，推件行程应小于横梁在滑块中的浮动量 ($h_3 - h_2$)。模柄直径 (d_0)，取成与滑块孔直径 (d_1) 一致，模柄的长度 (h_0)，应小于滑块孔的深度 (h_1)。一般横梁不顶到横孔底部，留有一定间隙 ($1 \sim 5 \text{ mm}$)。打杆与模柄孔间也应保留一定的配合间隙 ($0.5 \sim 1 \text{ mm}$)。

图 25.6-75 所示是机械拉杆式联动顶出装置。这种结构主要由拉板、拉杆和顶料螺栓组成。拉板安放在压力机工作台下面，通过拉杆与压力机滑块连接。拉板通过顶料螺栓与顶料托连

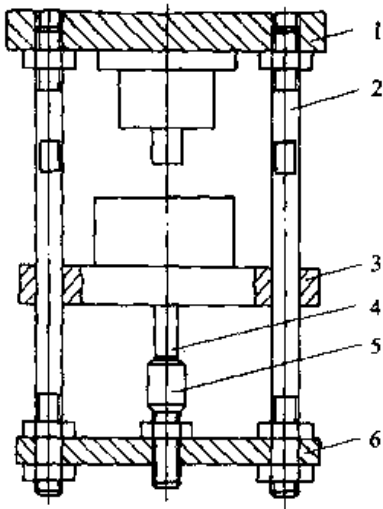


图 25.6-75 机械拉杆式联动装置
1—压力机滑块 2—拉杆 3—模座
4—顶杆 5—顶料螺栓 6—拉板

接。滑块回程时，在拉杆的带动下，通过拉板、顶料螺栓推动顶料托，并通过圆柱销由环形顶出器将挤压件从凹模中顶出，或者顶料托直接推动顶杆将挤压件从凹模中顶出。这种顶出机构广泛用在中小型的压力机上，是较为简单、可靠的一种退料装置。

不同的退料行程可以通过调节拉杆的长度来实现，因此拉杆应设计成可调的，见图 25.6-76。对于用在 800 kN 以下的压力机的小型模具，可以通过调节拉板的位置，也可以通过安装在拉杆中间的带螺纹的套环 (图 25.6-76a) 调节。调节退料行程时，只需松开螺母，旋动套环便可调节拉杆的长度。导套调节结构 (图 25.6-76b) 适用于大型压力机。这一结构的拉杆与上模板之间有一可以在模板中转动的套筒，套筒与上模板之间为间隙配合，与拉杆用内螺纹联接。松开螺母，转动套筒，就可使拉杆上下移动，调至要求的位置时，将螺母拧紧即可。

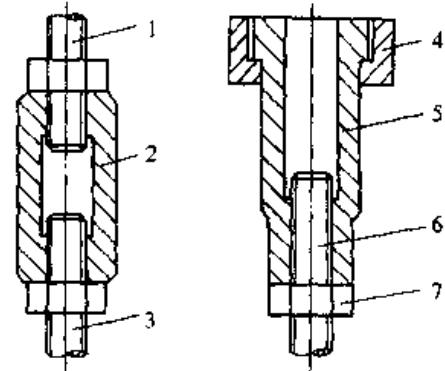


图 25.6-76 拉杆长度的调节

1—上部螺栓 2—中间套环 3—下部螺栓
4—上模板 5—套筒 6—拉杆 7—螺母

拉板与拉杆的联接，主要有固定与活动两种结构型式，如图 25.6-77 所示。图 25.6-77a 是拉板与拉杆固紧在一起的结构型式，图 25.6-77b 中拉板与拉杆为间隙配合。退料时，拉杆空行程一段之后，带动拉板和顶料托 (杆) 将挤压件从凹模中顶出。这种顶出装置的退料行程，不受拉杆长度的影响，主要由固定在模座下面的限位螺栓控制。它用在退料行程较小的中小型模具上。

拉杆与压力机滑块的连接主要有三种型式，如图 25.6-78 所示。图 25.6-78a 中，拉杆的螺纹部分直接拧入滑块底面的螺纹孔中，这种连接固紧方式最为简便。图 25.6-78b 则是利用一块中

间垫板，将拉杆与滑块间接连在一起。图 25.6-78c 则借助于滑块两侧平面上的 T 形槽，用 T 形螺栓首先将中间连接垫板固紧在滑块底面上，然后再将拉杆拧入垫板的螺纹孔中。

(3) 模具紧固

1) 凸模的紧固方法 常用的凸模紧固方法如图 25.6-79 所示。

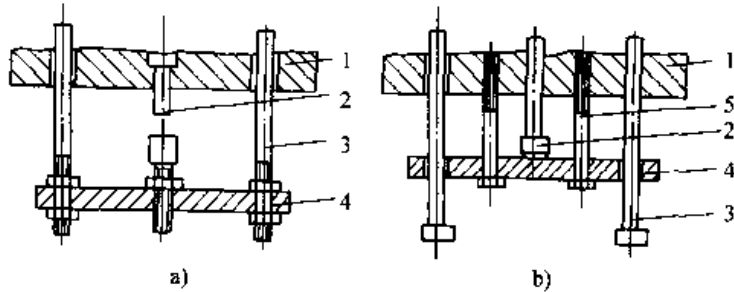


图 25.6-77 拉板与拉杆的联接型式

a) 固定连接 b) 间隙配合

1—模座 2—顶料托 3—拉杆 4—拉板 5—螺栓

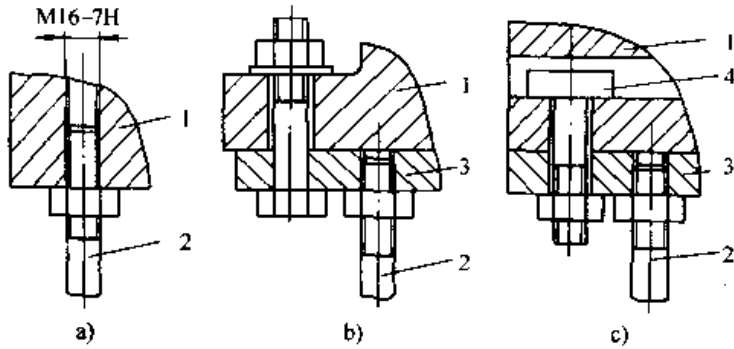


图 25.6-78 拉杆与压力机滑块的连接型式

a) 直接固紧 b) 间接固紧 c) T型螺栓固紧

1—滑块 2—拉杆 3—垫板 4—T型螺栓

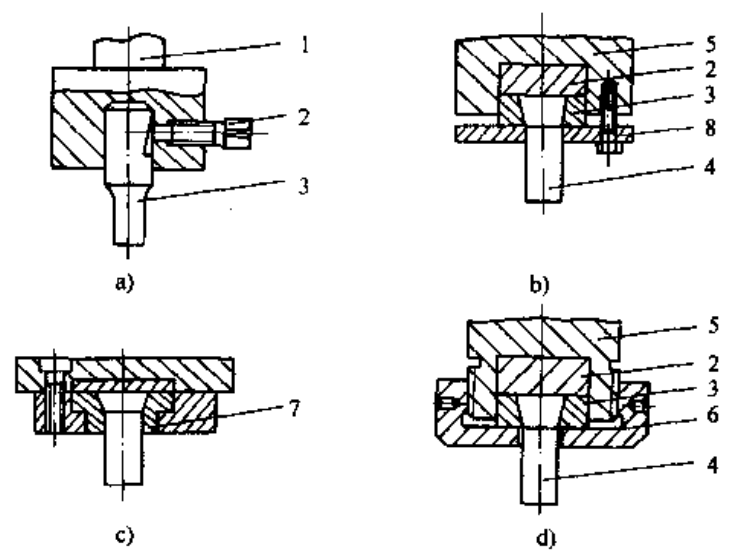


图 25.6-79 凸模的紧固方法

a) 螺栓紧固 b) 压板紧固 c) 螺栓多级固紧 d) 特型螺母紧固

1—模板 2—垫块 3、4—凸模 5—模柄 6—圆形外螺母 7—衬套 8—压板

图 25.6-79a 是用紧定螺钉 2 将凸模 3 紧固在模柄 1 中。这种方法，只适用在单位压力较小的有色金属的挤压模具上。图 25.6-79b 是利用压板 8 将凸模紧固。图 25.6-79c 则是利用中间衬套 6 间接紧固凸模的方法，即为二级紧固。而图 25.6-79d 是利用特殊的圆形外螺母 6，从模柄 5 的外部 and 内部，将凸模紧固于模柄孔中。利用螺栓紧固的方法，虽然牢固可靠，但是在更换凸

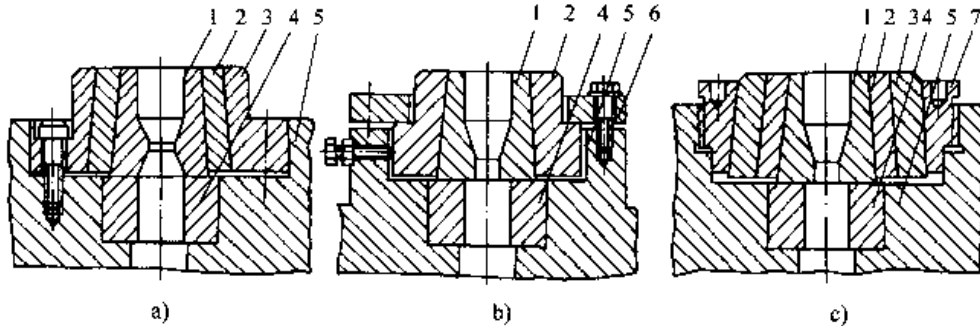


图 25.6-80 凹模的紧固方法

1—凹模 2—中圈 3—外圈 4—垫圈 5—底座 6—压板 7—压圈

3 温挤压模具设计

3.1 温挤模具的特点

温挤时由于需要将毛坯加热，因此，在连续生产时模具的温度比冷挤时升得更高，可达 300~500°C。这就要求温挤模具不但象冷挤那样经得住高压的作用，而且具有抗室温及中温破坏的足够的硬度、强度和韧性；还要在反复变形应力和热应力的作用下，具有高的抗磨性，耐疲劳性能。

温挤压模具在结构设计时基本上沿用冷挤压模具的设计原则。例如，为了利于金属流动，减少摩擦阻力，反挤凸模和正挤凹模都必须设计有工作带，凹模采用预应力圈以确保强度等。但是，基于温挤压本身的特点，需要注意以下几点：

1) 在挤压过程中，模具工作零件的某些部分被加热到很高的温度而使硬度降低，加速磨损。这样，在设计模具时，一定要考虑使容易磨损部分的镶块便于更换修补。

2) 设计组合凹模要考虑由于温度关系而发生的尺寸变化对预应力效果的影响。

3) 为确保挤压件的尺寸精度，必须使模具温度稳定在规定的范围内进行工作，为此，必须在模具结构上考虑预热和冷却装置，如图 25.6-

模时，需卸下模板，很不方便。利用压板和特制圆形螺母紧固凸模，是广泛采用的紧固方法，适用于各类中小型挤压模具。

2) 组合凹模的紧固方法 常用的组合凹模紧固方法如图 25.6-80 所示。图 25.6-80a 在外加强圈上用螺钉与底座固定。图 25.6-80b 用压板、螺钉紧固，侧面用螺钉调节对中。图 25.6-80c 用大螺母直接与底座固定。

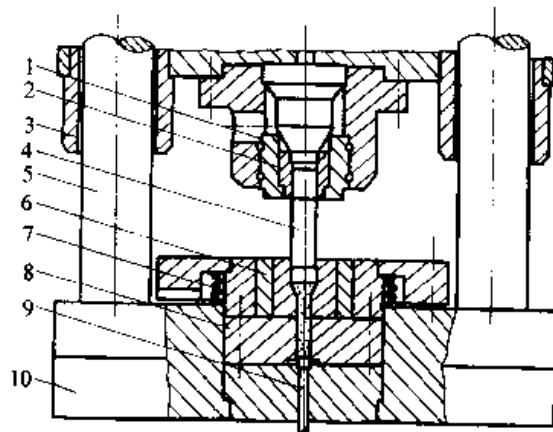


图 25.6-81 带有加热器的正向温挤压模具

1—凸模紧固圈 2—定位压紧圈 3—导套
4—凸模 5—导柱 6—凹模 7—加热器
8—垫板 9—顶杆 10—下模板

81 和图 25.6-82 所示。

4) 为了提高挤压件质量和模具寿命，应经常清除沉积在模腔内的润滑剂残渣。如图 25.6-83 凸、凹模中的残渣分别由卸件板和凹模顶块刷掉。

图 25.6-81 和图 25.6-83 分别所示是一种正向温挤和反向温挤模的结构，配有单独的可控电加热器，从而保证了凹模的温度稳定在所规定的温度范围内，有利于温挤成形及获得高质量的零件。

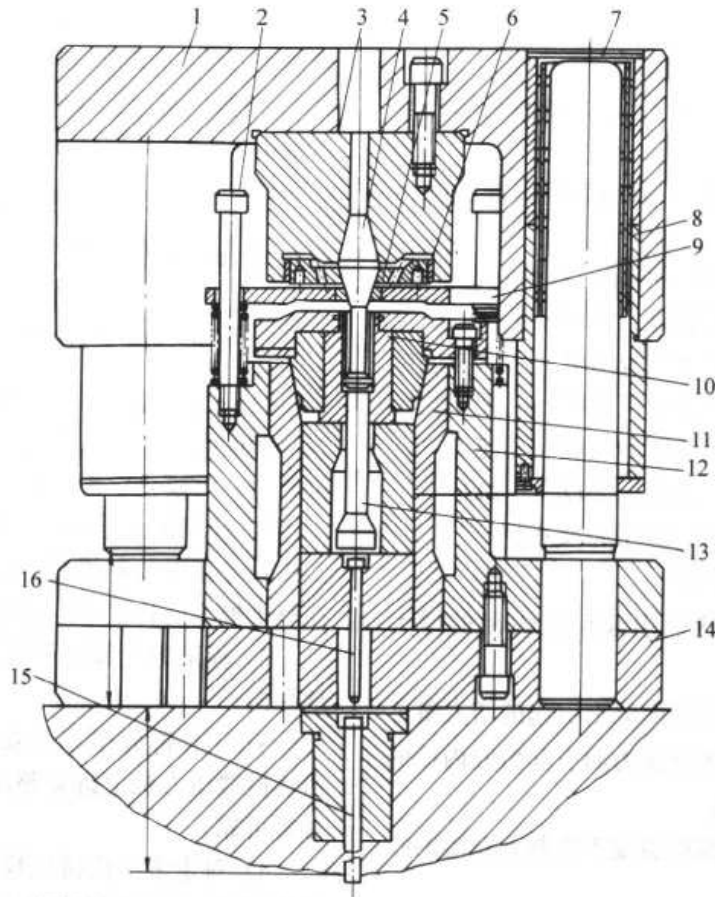


图 25.6-82 配有冷却系统的温挤压模具

1—上模板 2—螺钉 3—垫块 4—凸模 5—镶块 6—压紧螺母 7—导柱 8—导套
9—卸料板 10—凹模 11—支撑圈 12—固定外套 13—顶料器 14—下模板 15、16—顶杆

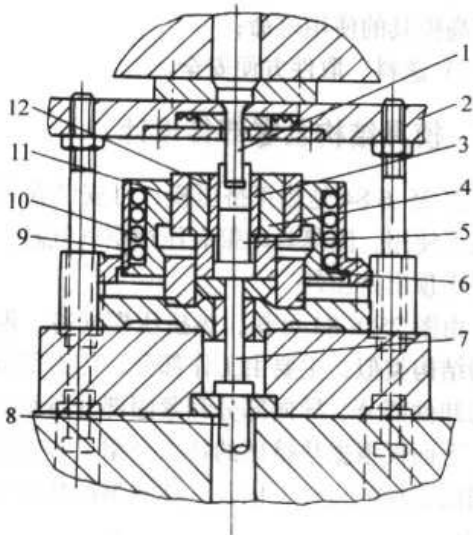


图 25.6-83 带有加热器的反向温挤压模具

1—凸模 2—卸料板 3—工件 4—预应力圈
5—凹模顶块 6—夹持圈 7—顶出销 8—顶出器
9—金属套 10—加热器 11—预应力圈 12—凹模

图 25.6-82 所示为配有冷却系统的温挤压

模，上模板 1 与下模板 14 通过导柱 7 和导套 8 导向连接，为了保证凸模 4 和凹模 10 具有较高的同心度，配置了凸模固定块 3，和凹模支撑圈 11。挤压后的零件从凹模中顶出是由下顶出装置中的顶杆 15、16 和 13 来实现的。通过卸料板 9 和镶块 5，可将卡在凸模上的零件卸下。温挤时，热坯料的热量将使凹模温度升高，利用冷却水从支撑圈 11 和固定外套 12 之间的空隙流过来冷却。而压缩空气从压紧螺母 6 中的通道流过，则可使凸模冷却。这样一来，使温挤模的温度稳定在较低的情况下顺利工作。

3.2 模具型腔尺寸的设计和模具材料

(1) 模具型腔尺寸的设计

温挤的零件，除了要求其有规定的机械性能和表面粗糙度外，还要求有精确的尺寸。因此必须对模具的型腔进行合理的设计。

模具型腔尺寸的设计，除了零件图的要求

外, 还需考虑以下几点:

- 1) 模具受热而引起的膨胀;
- 2) 模具由于挤压力所引起的弹性变形产生的尺寸变化量;
- 3) 零件从模具型腔中取出后所引起的弹性膨胀量;
- 4) 零件从温挤温度下冷却到室温的收缩量。

这些因素在低温温挤时, 影响还不大, 但在较高温度的温挤时, 影响就较明显, 所以应该在设计时考虑。现以圆形件为例说明, 模具型腔尺寸根据前述原则, 在室温下的型腔尺寸应为

$$D_f = D_N - \Delta D_{ff} - \Delta D_{fk} - \Delta D_{fk}' + \Delta D_{ff}'$$

式中 D_f ——室温下的模具型腔尺寸;

D_N ——零件的外径;

ΔD_{ff} ——模具受热而引起型腔内径的增大量;

$\Delta D_{fk}'$ ——零件从型腔中取出引起的增大量;

ΔD_{fk} ——模具由于挤压力而引起型腔内径的增大量;

$\Delta D_{ff}'$ ——零件从温挤温度下冷却到室温的收缩量。

将该式右边各项分别求出后, 化简并略去高阶微量就变为

$$D_f = D_N \left[1 + \alpha_D (\Delta T)_D - (1 + \epsilon_D + \epsilon_p) \alpha_p (\Delta T)_p + \epsilon_n + \epsilon_D \right]$$

式中 α_D ——模具材料的热膨胀系数;

α_p ——零件材料的热膨胀系数;

$(\Delta T)_D$ ——凹模的温度变化;

$(\Delta T)_p$ ——零件从温挤模中取出后冷却至室温的温度变化;

ϵ_D ——温挤力所引起的切向应变;

ϵ_p ——零件从模具中取出后的切向应变。

(2) 温挤模具的材料

温挤模具, 主要是凸凹模, 它们将在相当高的温度下工作, 所以应具有如前述的耐高温方面的性能。目前尚无令人满意的温挤模具材料, 常根据温挤温度的不同, 选取一般的冷挤压模具材料及热锻模材料。

若温挤温度在 400°C 以下, 可采用冷挤压模具材料, 如 Cr12MoV 和高速钢等。若温挤温度高于 400°C , 则常用高速钢作为温挤模具材料, 而不采用 Cr12MoV, 这是由于其在此温度范围

内 Cr12MoV 的机械性能急剧下降的缘故。采用硬质合金钢也可获得良好的效果。在 $650 \sim 850^\circ\text{C}$ 范围内温挤, 单位压力又不太高的情况下可采用热作模具钢作为温挤模具材料, 特别是 6Cr4Mo3Ni2WV 效果相当好。

4 热挤压模具设计

4.1 热挤压模具设计的要求

热挤压模具基本上与热模锻压力机上使用的其他锻模相似, 但考虑到挤压比模锻有较大的单位压力, 对模具应该提出下列要求:

1) 模具的上下两部分应该有足够的同心度。工作部分在安装到模具上经调整后能很好重合, 在整个模具的行程中运动平稳, 无阻滞现象;

2) 模架的上部对下部通过导柱导套能很好地导向;

3) 工作部分很容易安装、拆除 (即不需要由热模锻压力机上拆除整副模具), 紧固和定位必需可靠;

4) 对于多工位挤压模, 要能分别调整 (沿高度方向) 冲头并保持刚性支撑;

5) 顶出机构工作可靠, 保证其位于顶出位置时能取出零件;

6) 挤压过程中能使模具循环冷却, 以有利于提高模具的使用寿命;

7) 送料、取件方便安全。

4.2 模具结构及零部件设计

图 25.6-84 是热正挤压模, 可安装在切边压力机上使用, 因模具附带有压缩空气气缸, 因此可用于顶出挤压件。

由图 25.6-84 可知, 热挤压模同冷、温挤压模的结构类似, 主要由工作部分、传力部分、顶出与卸件部分、导向部分和紧固部分所组成。因此, 下面仅根据热挤压的特点介绍工作部分和主要辅助部件的设计, 以及一些典型的热挤压模具结构。

(1) 模具工作部分设计

1) 正挤压模工作部分设计

① 正挤压凸模 主要用来传递压力, 而控制金属流动的作用是次要的 (用芯棒来控制)。图 25.6-85a 是正挤压实心件用凸模, 它以下端面

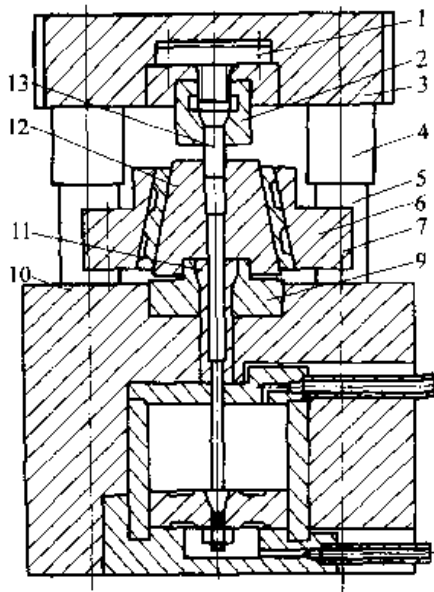


图 25.6-84 热正挤压模

1—冲头支承器 2—固定螺母 3—上模座 4—导套
5—导柱 6—压紧环 7—螺栓 8—螺母 9—垫板
10—下模座 11—顶杆导套 12—凹模 13—凸模
与毛坯接触，对毛坯施加压力。圆柱部分，长度不宜过大，以保证一定的稳定性，具体尺寸与挤压时的工作行程、卸料板厚度以及凹模引导部分长度有关。凸模的上平面较下平面部分要大，主要是减少模座的单位压力，并增加凸模的稳定性，上下两部分以一定锥角过渡，通常取斜度 $\gamma = 10^\circ \sim 15^\circ$ ，锥面与柱面以大圆角过渡。

图 25.6-85b、c 是正挤压空心件时用的凸模。主要是在一般正挤凸模的基础上加一芯棒，而使凸模与芯棒分成两件，这样避免发生整体芯棒易断裂的情况。在条件许可的情况下，芯棒顶端下部最好放置一根压簧，可以提高芯棒使用寿命。当挤压时金属向下流动，芯棒也可随之向下移动一段距离，以减少芯棒拉断的现象。为了防止芯棒拉断，在允许的情况下，热挤压时经常采用将芯棒做成一定斜度，如图 25.6-85c 所示，其数值可取 $10' \sim 3''$ ，甚至增大到 5° ，这样便于芯棒从挤压件中脱出。

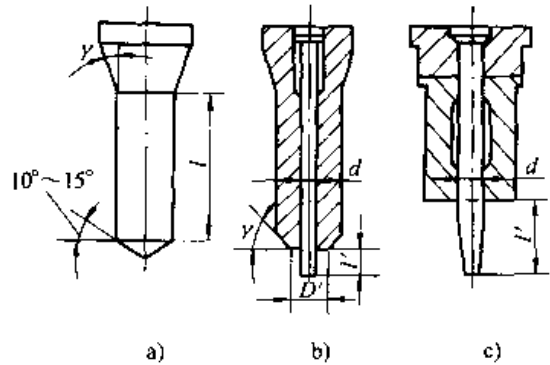


图 25.6-85 正挤压凸模

芯棒与凸模的配合，比起冷挤压、温挤压来，热挤压应该更松动一些。芯棒的直径 d 大于毛坯内孔直径 $0.01 \sim 0.05 \text{ mm}$ ，以便在挤压开始前将毛坯内孔挤光。芯棒长度露出凸模部分的长度 l' 应大于空心毛坯的深度。

② 正挤压凹模 凹模兼有容纳变形金属与控制金属流动双重作用。图 25.6-86a 为正挤压凹模的基本形式。由于转角处产生的应力集中现象十分严重，往往在转角处发生破裂，如图 25.6-86a 所示。因此，在实践中总结了一条规律，即“见裂就分”的原则。在设计制造模具时，把可能产生强烈应力集中的地方分割开来，使整体凹模变成组合凹模，大大提高了凹模的寿命。常见的正挤压组合凹模如图 25.6-86b、c 所示。

钢的热正挤压模工作部分尺寸参数见表 25.6-31。

2) 反挤压模工作部分设计

① 反挤压凸模 反挤压凸模同时起着传递压力，控制金属流动双重作用。图 25.6-87 是反挤压时用的各种凸模形状。

a) 带有斜度的凸模 (图 25.6-87a) 当需要挤出带斜度的内孔，凸模可不用工作带。

b) 带较宽工作带的凸模 (图 25.6-87b) 如果需要挤出不带锥度的内孔，凸模需采用工作带，但为了减少凸模的磨损，凸模的工作带要加宽些 (4~14 mm)。

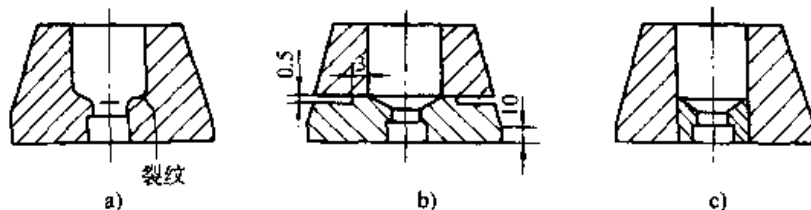
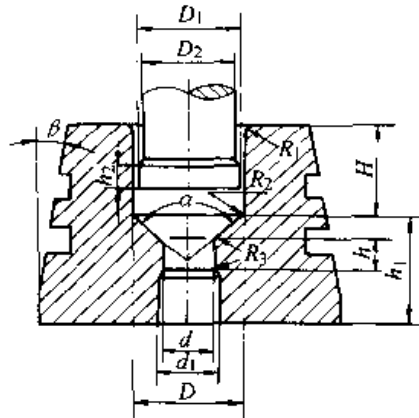


图 25.6-86 正挤压凹模

表 25.6-31 钢热正挤压模工作部分尺寸参数

(mm)



尺寸	关系或数据	尺寸	关系或数据
D	$D = D_e (1 + \lambda)$ D_e —挤压件头部直径 λ —热挤压件冷却时收缩率	h_1	$h_1 = (1 \sim 1.5) D \geq (25 \sim 30)$
		h_2	$h_2 = 10 \sim 15$
		R_1	$R_1 = 2 \sim 5$
D_1	$D_1 = D - 0.1$	R_2	$R_2 = 1 \sim 2$
D_2	$D_2 = D_1 - 1.0 \sim 2.0$	R_3	$R_3 = 1.5 \sim 2$
d	$d = d_e (1 + \lambda)$ d_e —挤压件杆部直径	α	$\alpha = 90^\circ \sim 120^\circ$
		β	$\beta = 5^\circ \sim 10^\circ$
d_1	$d_1 = d + 0.4 \sim 0.8$	H	$H = H_0 + R_1 + 10$
h	$h = (0.5 \sim 1.0) d$		H_0 —坯料高度

c) 带有锥顶的凸模 (图 25.6-87c) 当挤压深孔或挤压件需要冲孔时, 为使反挤凸模稳定, 有利于中心定位, 不使凸模折断, 应设计带有锥顶的凸模。其斜角为 $7^\circ \sim 13^\circ$, 采用此角度, 亦能减小冲孔连皮的厚度。

d) 带平底的凸模 (图 25.6-87d) 当反挤压零件内孔底有时由于结构要求, 需要挤成直角 (平底), 平底凸模较斜度凸模挤压力增加 $10\% \sim 20\%$ 。

② 反挤压凹模 凹模的作用是容纳变形的金属。图 25.6-88a 为反挤压凹模的基本形式, 模膛大都是一定形状的柱体。整体反挤压凹模常用在一般的有色金属热挤压的情况下, 这时的单位挤压力小。对于单位挤压力较高的黑色金属, 大都采用组合凹模为宜。反挤压的组合凹模如图 25.6-88b、c 所示。

钢的热反挤压模工作部分尺寸参数见表 25.6-32。

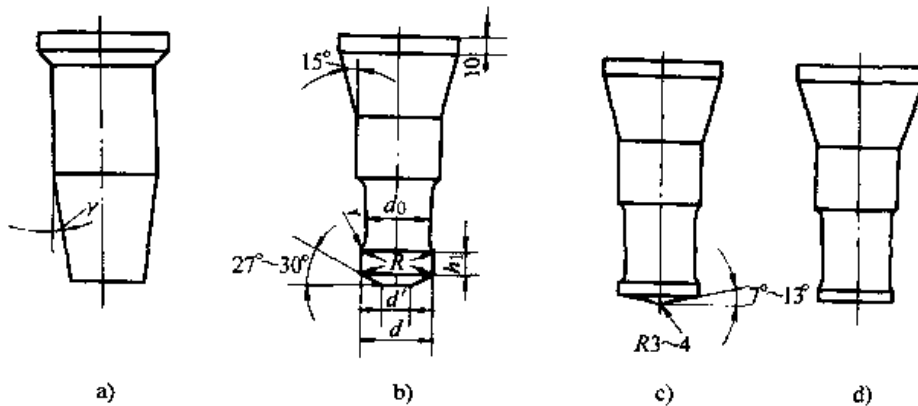


图 25.6-87 反挤压凸模

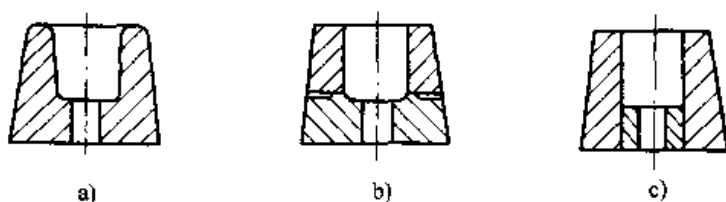
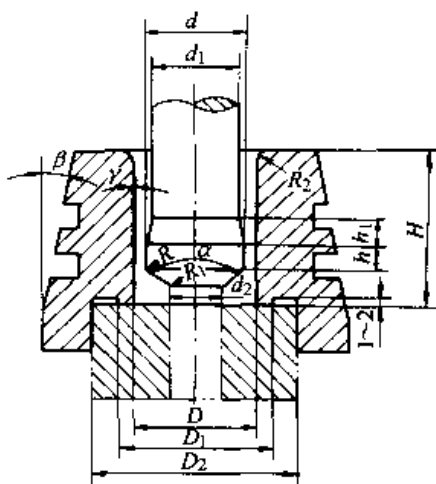


图 25.6-88 反挤压凹模

表 25.6-32 钢热反挤压模工作部分尺寸参数 (mm)



尺寸	关系或数据	尺寸	关系或数据
d	$d = d_c (1 + \lambda)$	H	$H = H_0 + R_2 + 5 \sim 10$
	d_c —挤压件内径	h	$h = 5 \sim 10$
d ₁	λ —热挤压件冷却时收缩率	h ₁	$h_1 = (1.5 \sim 2) h$
	$d_1 = d - 1.0 \sim 2.0$	R ₁ , R	$R_1 = R = 1 \sim 2$
d ₂	$d_2 = 0.5d$	R ₂	$R_2 = 2 \sim 5$
D	$D = D_c (1 + \lambda)$	α	$\alpha = 120^\circ$
	D_c —挤压件外径	β	$\beta = 5^\circ \sim 10^\circ$
D ₁	$D_1 = 1.2D$	γ	$\gamma = 0^\circ \sim 30^\circ$
D ₂	$D_2 = (2 \sim 2.5) D$		

③ 组合凹模形式

a) 按高度组合 按高度组合 (图 25.6-89a) 的反挤压凹模, 其上部是由凸模的标准导向件 2 组成的, 而其下部是由凹模的工作模膛组成的。图 25.6-89b 所示的正挤压组合凹模, 在其上部 2 上有工作模膛, 槽底有顶杆 4 位于凹模的底座 3 中。

b) 按圆周组合 将凹模做成带预应力的多层组合凹模 (图 25.6-90)。由于预应力圈施加的压力于内层凹模上, 这一附加的压力可以阻止挤压时凹模胀裂。

c) 套装镶块组合 为了挤出零件的凸出 (或凹进) 部分, 并形成复杂的内腔, 常采用套装

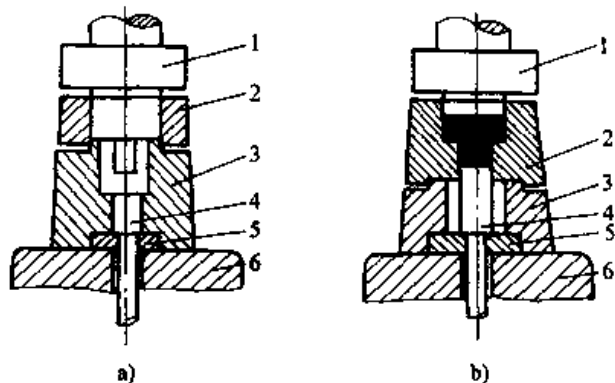


图 25.6-89 按高度组合的挤压凹模

a) 反挤压凹模 b) 正挤压凹模

1—凸模 2—凹模上导向部分 3—凹模下工作部分
4—锻模顶杆 5—调整垫块 6—底座

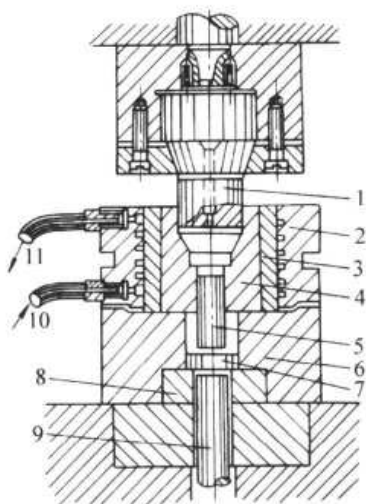


图 25.6-90 按圆周组合的凹模

- 1—凸模 2—组合凹模外圈 3—组合凹模中圈
4—凹模 5—顶杆 6—底座 7—调整垫块
8—垫板 9—压力机顶杆 10、11—管接头

镶块的组合凹模 (图 25.6-91)。这会大大地简化模具的机械加工和热处理工艺,并能提高模具的精度。

反挤压模工作部分的尺寸参数见表 25.6-31。

(2) 导向、顶出、卸件、冷却及紧固部件设计

1) 模具的导向装置 导柱导套式的导向装置 (如图 25.6-92 所示), 是小型件热挤压生产所用模具中应用最广泛的一种导向方法。这种导向装置一般是将导套用压配合压入上模板内, 将导柱用压配合压入下底板内, 导柱导套之间采用动配合。通常都是采用二级精度公差。

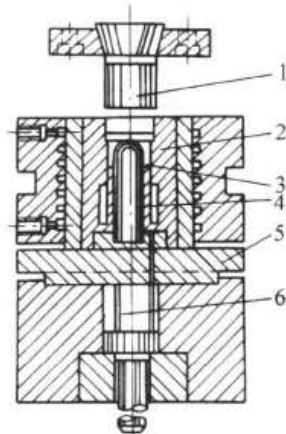


图 25.6-91 套装镶块凹模

- 1—凸模 2—凹模 3、4—镶块 5—顶杆 6—顶杆

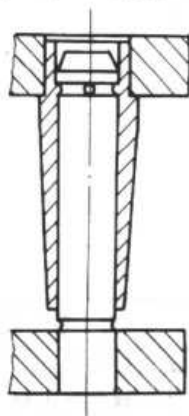


图 25.6-92 热挤压的导向装置

对于较大零件的热挤压模其导柱和导套的紧固方法如图 25.6-93 所示, 与上下底座作基孔制过渡配合, 并用压板螺钉将导柱导套紧固。若仍采用过盈压配, 则工作一段时间后因温度升高容易松动。

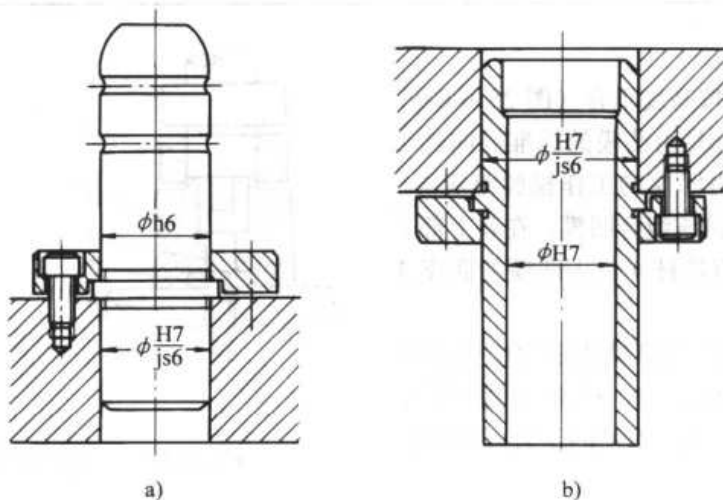


图 25.6-93 导柱导套及其紧固方法

- a) 导柱 b) 导套

为了保持良好的润滑状态，在导柱或导套上(图 25.6-94)要开油槽。导套压入底板时，内孔稍有缩小，因此 d_1 应比导柱 d 大 0.5 mm 以上。压入端长度 l 和外径 D_0 应比 $1.5d$ 大，导向长度 $(L-l)$ 应等于 $(2\sim3)d$ 。导柱直径 d 一般不小于 25 mm。导套长度 L 按需要设计，但

必须保证当凸模伸入凹模之前，导柱已进入导套 10 mm 以上。

导柱导套可用 20、15Cr、20Cr 钢制造，但需作渗碳淬火处理，配合部分的表面粗糙度值 $R_a = 0.2 \mu\text{m}$ 。也可用碳素工具钢 T8、T8A、T10、T10A 制造，并淬硬到 58~62HRC。

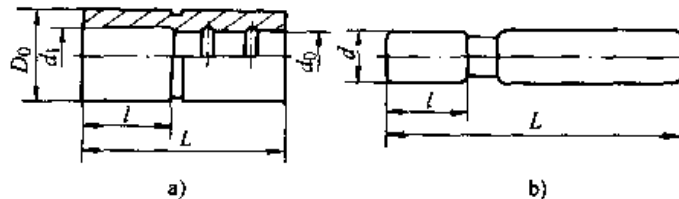


图 25.6-94 导柱导套的尺寸
a) 导套 b) 导柱

2) 顶出装置

① 顶杆设计 兼作凸模的顶杆，设计时必须与凸模同样考虑。典型顶杆结构形式见图 25.6-95 所示。其尺寸是：

$$d_1^2 = \frac{d^2}{2} \quad d_2 = (2\sim3)d$$

不作挤压用的顶杆设计，则应根据顶杆载荷的具体情况设计，要保证顶杆的纵向稳定性。

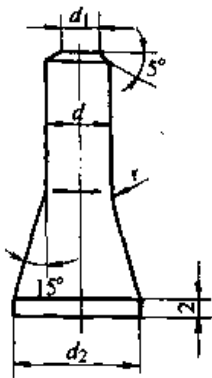


图 25.6-95 典型顶杆结构

② 顶杆结构

a) 一般顶杆 如果工件卡在凹模内，就需要顶出机构将工件从凹模内顶出。如果在压床上备有专用顶出机构，模具的结构就比较简单，只需在模具上设计如图 25.6-59 (直接顶出方案) 或图 25.6-96 (间接顶出方案) 的顶出器即可。间接顶出方式虽然使模架高度有所增加，但是在单位挤压力较大的工作条件下，可以使顶出器及垫板的受压面积增加。

b) 拉杆式顶杆 有时模具上用一般的拉杆式推出器，当压床回程到上死点时，会妨碍第二

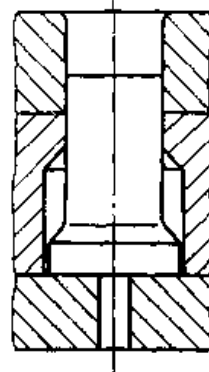


图 25.6-96 间接顶出机构

次挤压毛坯的放置。为了使拉杆的动作不影响放置毛坯，可以在底座上安装如图 25.6-97 那样的活动板。当零件顶出一定距离后，通过斜面的作用，将活动板撑开，使顶出杆的底面悬空，这样顶杆即依靠本身重量又回复到原来的位置。

c) 气动式顶杆 拉杆式顶出装置在使用上有一定局限性。由于拉杆要穿过下模，对于尺寸较大的挤压件模具，将受到压力机台孔尺寸的限制。为了使顶出装置通用化，可采用气动通用顶出装置(图 25.6-98)，并可根据不同的挤压零件，更换装于活塞轴上的顶杆(用螺钉紧固联接)。这种气动通用顶出装置可用于正挤、反挤与复合挤压模具。顶出力可按挤压力的 10%~15% 计算。为了使顶出装置可靠地工作，气动机构各联接处应有良好的密封性，不允许漏气。管接头采用锥形螺纹 $1'42'24''$ ，管嘴用球面，接压缩空气处应用夹箍将橡胶管紧固，气缸活塞由换向开关控制。

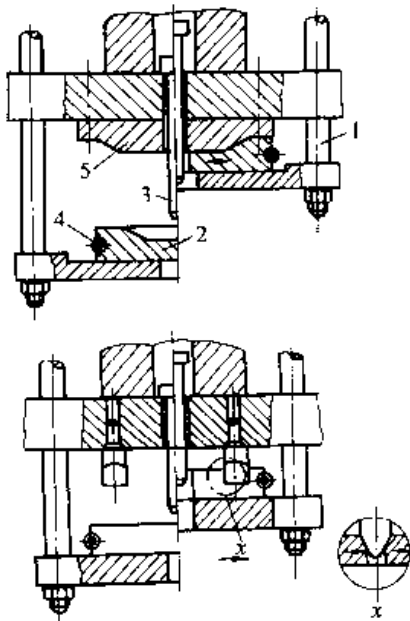


图 25.6-97 活动板拉杆顶出装置
1—拉杆 2—活动板 3—顶杆
4—弹簧 5—斜块

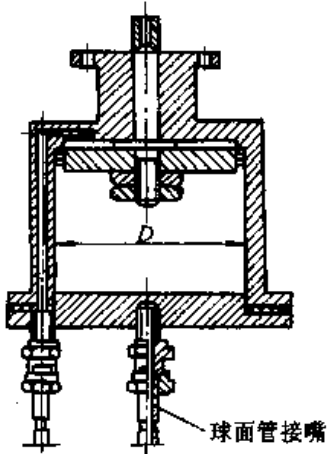


图 25.6-98 气动顶出装置

3) 卸件装置 典型的模具卸件装置可见图 25.6-114 模具中的卸料板。卸件器的孔型应与零件的外形相适应。对于黑色金属反挤压，工件壁厚一般不会太薄，可以使用图 25.6-114 那样的整体式卸件器。对于壁厚小于 0.5 mm 的薄壁有色金属反挤压件，应当使用图 25.6-99 所示的组合式卸件板。卸件板外面围一圈弹簧使与反挤压凸模贴紧。

4) 冷却装置 在热挤压生产中，热挤压模的工作部分（凸模和凹模等）一直是在高温下进行的，为了提高模具的使用寿命，必须在热挤压模上设置冷却装置，对凸模和凹模施行强制冷却。

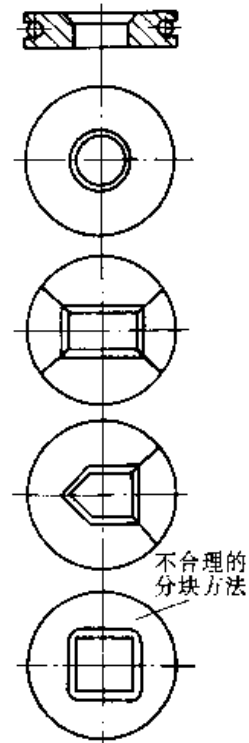


图 25.6-99 卸件板拼块的结构型式

图 25.6-100 是热挤压模凸模的冷却装置。图示位置是滑块回到上死点后，凸模 1 和脱料板 2 在非工作状态的位置。在脱料板 2 上均匀分布地钻了四个孔，并焊上四只管接头 3，其间用四段弧形铜管 4 与接头连成环形通道，其中一只管接头用橡胶管与压缩空气管道相连，压缩空气通入后，凸模 1 工作带四周便受到冷却。

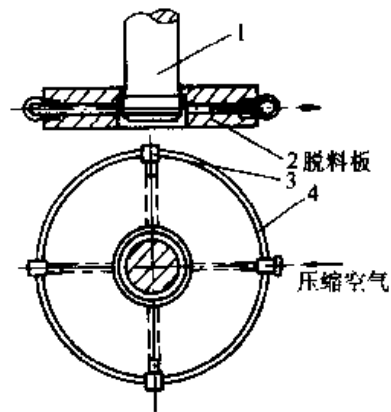


图 25.6-100 凸模的冷却装置

图 25.6-101 所示是热挤压模凹模的冷却装置。从图中可以看出，压缩空气或自来水通过接头 1 和凹模压紧圈 2 进入凹模 3 的冷却槽，自来水或压缩空气通过凹模的冷却槽自上而下地循环冷却凹模。

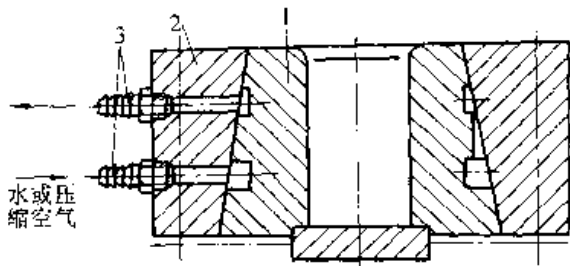


图 25.6-101 凹模的冷却装置

1—凹模 2—凹模压板 3—管接头

5) 凸模和凹模的紧固装置 在热挤压过程中, 高温金属坯料是处于极不均匀的变形状态中, 其变形力是相当大的。因此, 在热挤压过程

中, 必须确保热挤压模的凸模和凹模在整个挤压过程中固紧牢靠和良好对中。

图 25.6-102 示出了热挤压模凸模紧固的几种常用方法。图 25.6-102a 定位精确, 但对模具加工要求较高。图 25.6-102b 和 c 要求凹模和凹模压紧圈的配合接触面应有足够的长度, 否则在旋紧螺钉时, 容易产生歪斜而影响定位。图 25.6-102a 和 b, 凸模与凸模压紧圈是采用锥面配合, 螺钉紧固。这种紧固形式, 配合紧密无间隙, 不仅牢靠, 而且精度高。图 25.6-102c 是采用阶梯面配合, 螺钉紧固。这种紧固形式, 加工比较简易, 一般用于锻造模凸模的紧固。

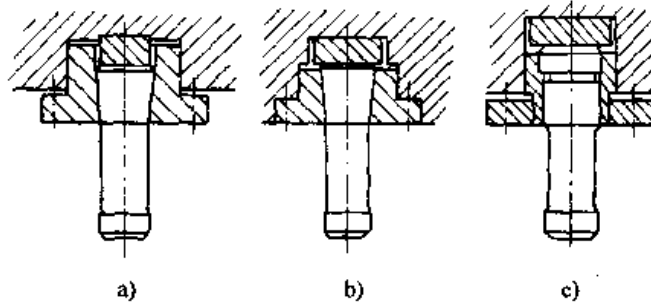


图 25.6-102 热挤压凸模的紧固型式

图 25.6-103 所示是热挤压模凹模紧固的几种常用方法。

出机构的情况下, 可以省去一个结构较复杂的气垫。

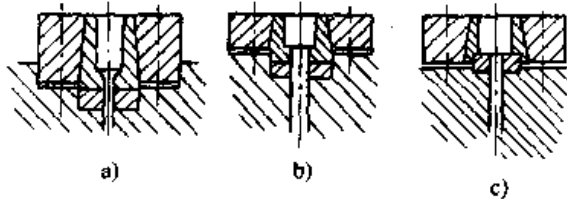


图 25.6-103 热挤压凹模的紧固型式

(3) 典型的模具结构

1) 正挤压模的典型结构和工作原理 图 25.6-104 是正挤压模的典型结构图。从图中可以看出, 凹模托板 8 与下模板 11 是靠凹模托板的凸肩和下模板凹挡定位的, 用内六角螺钉 17 紧固在下模板上, 而凹模 B 和凹模压紧圈 7 采用锥面配合, 用内六角螺钉 21 紧固在凹模托板上, 其定位是靠凹模凸肩和凹模托板凹挡保证的。拉杆托板 13、拉杆螺钉 5、顶杆托板 16、顶杆托板固定螺钉 15、顶杆 14 和导向套 18 等组成机械式顶出机构, 就是顶出机构的动作是依靠压力机 (或其它形式的冲床) 滑块的运动而实现的。采用这种顶出装置, 在所用挤压设备本身没有顶

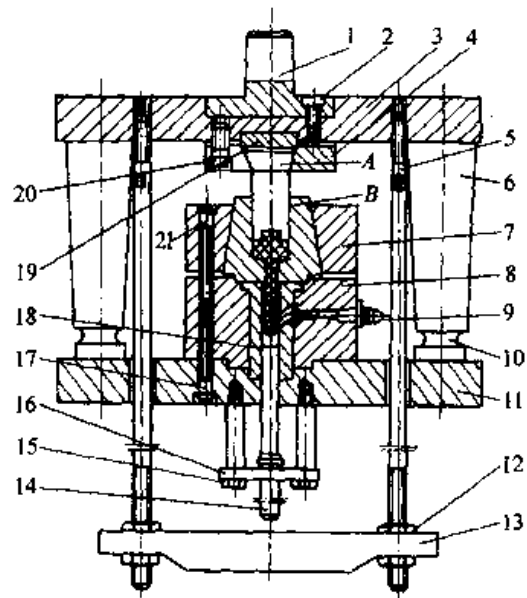


图 25.6-104 正挤压模的典型结构

凸模 A 和凸模压紧圈 4 与上模板 3 是靠凸模垫板 19 进行定位, 用内六角螺钉 20 紧固在上模板上。

导套6和导柱10分别固定于上模板和下模板,而组成导向系统,使模具精度高和工作可靠。另外,在凹模托板8上开有冷却孔,外接管子接头9以便通入压缩空气对挤压件的杆部下端进行冷却。冷却挤压件杆部下端的目的是为了防止挤压件在顶出过程中被墩粗和弯曲。同时,由于挤压件杆部下端的迅速冷却,使挤压件的头部能更好地充满。

整套正挤压模,安装在压力机上,是用压板和螺钉固定的,而用模柄1与压力机定位。

在热挤压生产中,当要更换另一种产品时,只需更换正挤压模的凸模和凹模就可以了。如果挤压件杆部直径变化较大时,那还需更换导向套18和顶杆14。

关于凸模和凹模的冷却,可以另外装置两根管子外接压缩空气,分别对凸模和凹模进行冷却。

正挤压模各种零件所用的材料及其热处理见表25.6-33。

表 25.6-33 钢件正挤压模所用材料及其硬度

件号	零件名称	件数	材料牌号	热处理及硬度
1	模柄	1	40Cr	HRC=40~45
2	内六角螺钉	4	45	HRC=25~30(发蓝)
3	上模板	1	45	HRC=25~30
4	凸模压紧圈	1	40Cr	HRC=40~45
5	拉杆螺钉	2	45	HRC=25~30
6	导套	2	20	HRC=55~60(渗碳)
7	凹模压紧圈	1	40Cr	HRC=40~45
8	凹模托板	1	40Cr	HRC=40~45
9	皮管接头	1	20	
10	导柱	2	20	HRC=55~60(渗碳)
11	下模板	1	45	HRC=25~30
12	六角螺母	4	标准件	
13	拉杆接板	1	45	HRC=30~35
14	顶杆	1	GCr15	HRC=50~55
15	六角螺钉	2	标准件	
16	顶杆托板	1	45	HRC=30~35
17	内六角螺钉	4	45	HRC=25~30(发蓝)
18	顶杆导向套	1	40Cr	HRC=40~45
19	凸模垫板	1	40Cr	HRC=40~45
20	内六角螺钉	4	45	HRC=25~30(发蓝)

续表 25.6-33

件号	零件名称	件数	材料牌号	热处理及硬度
21	内六角螺钉	4	45	HRC=25~30(发蓝)
A	凸模	1	W18Cr4V	HRC=55~60
B	凹模	1	3Cr2W8V	HRC=50~55

注:内六角螺钉如规格合适也可采用标准件。

2) 反挤压模的典型结构和工作原理 图25.6-105所示,是反挤压模的典型结构图。从图中可以看出,凹模C以凹模垫板15与下模板12定位。凹模与凹模压紧圈18采用锥面配合,用内六角螺钉19与下模板紧紧连接。由顶杆导向套16和顶杆17组成顶出机构,在气垫的作用下将挤压件从凹模内顶出。顶杆导向套的一部分伸出下模板,主要是为了解决压力机闭合高度不够而采取的措施,将热挤压模安装到压力机上时,它将伸进压力机工作台孔内。

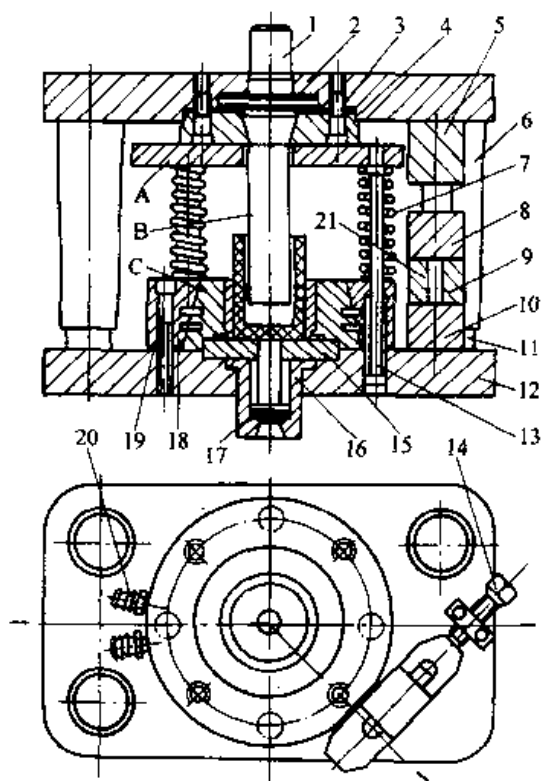


图 25.6-105 反挤压模的典型结构

脱料板A和带凸肩螺钉13以及弹簧7组成卸料机构,用于将箍在凸模B上的挤压件脱下。弹簧的作用是支承脱料板,并能保证脱料板和带凸肩螺钉上下移动,从而减少凸模的长度,弥补压力机行程不够大的不足。

凸模B与凸模压紧圈4也采用锥面配合，以凸模压紧圈的凸肩和上模板2的凹槽定位，用内六角螺钉3与上模板紧紧连接。

导套6和导柱11用压配合分别压入上模板和下模板，而组成导向系统，使热挤压模有较高的精度和工作可靠。由于导向系统的连接，从而构成了一套完整的反挤压模。

凹模的冷却，是将自来水（或压缩空气）由管接头20通入凹模压紧圈和凹模之间的两道凹槽，自上而下地对凹模进行冷却。

凹模垫板15与凹模C不做成一体，主要是为了加工和修理的方便。反挤压凹模可做成整体式的，也可做成镶套式的。

与正挤压模一样，反挤压模的导套和导柱在工作过程中，最好也不要脱开，所以导套和导柱的配合部分显得特别长。

在反挤压模的侧面，由上砧块5、下砧块8、高度调节块9、柱销21和调节螺钉14等组成镗粗台。设置镗粗台的目的，主要是为了清除氧化铁皮和改变坯料直径。

整副反挤压模在压力机上安装时，是靠模柄1与压力机定位的。

从图25.6-105中可以看出，只要更换凸模、凹模和脱料板，便可生产不同规格的反挤压杯形挤压件。

反挤压模各种零件所用的材料及其热处理，见表25.6-34。

表 25.6-34 钢件反挤压模所用材料及其硬度

件号	零件名称	件数	材料牌号	热处理及硬度
1	模柄	1	40Cr	HRC=40~45
2	上模板	1	45	HRC=25~30
3	内六角螺钉	4	45	HRC=25~30 (发蓝)
4	凸模压紧圈	1	40Cr	HRC=40~45
5	镗粗台上砧块	1	45	HRC=40~45
6	导套	2	20	HRC=55~60 (渗碳)
7	弹簧	4	65Mn	HRC=45~50
8	镗粗台下砧块	1	45	HRC=40~45
9	镗粗台调节块	1	45	HRC=40~45

续表 25.6-34

件号	零件名称	件数	材料牌号	热处理及硬度
10	镗粗台垫块	1	45	HRC=40~45
11	导柱	2	20	HRC=55~60 (渗碳)
12	下模板	1	45	HRC=25~30
13	带凸肩螺钉	4	45	HRC=40~45
14	镗粗台调节螺钉	1	45	HRC=40~45
15	凹模垫板	1	3Cr2W8V	HRC=50~55
16	顶杆导向套	1	40Cr	HRC=40~45
17	顶杆	1	GCr15	HRC=50~55
18	凹模压紧圈	1	40Cr	HRC=40~45
19	内六角螺钉	4	45	HRC=25~30 (发蓝)
20	管接头	2	20	
21	镗粗台定位销	2	45	HRC=40~45
A	脱料板	1	45	HRC=40~45
B	凸模	1	W18Cr4V	HRC=55~60
C	凹模	1	3Cr2W8V	HRC=50~55

注：件号3、7、19、20和21等零件，如规格合适也可选用标准件。

3) 镗挤模的典型结构和工作原理 图25.6-106是镗挤模的典型结构。镗挤模也可作正挤压模使用，其工作原理与正挤压模是很相似的，不同之处主要是凸模上面增设了一个卸件机构，而凹模下面少了一个冷却机构。

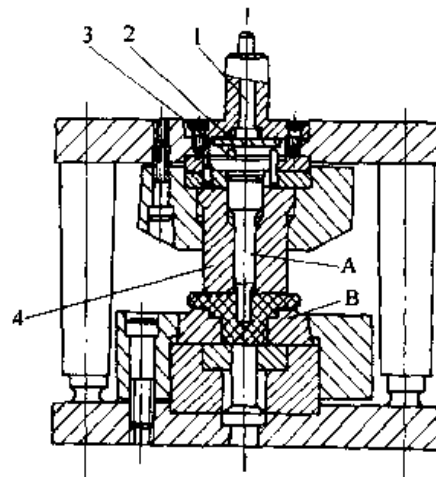


图 25.6-106 镗挤模的典型结构

挤压件若箍在凸模A上时，当压力机滑块回复到上死点的过程中，滑块中的横打杆会与固定在压力机上的螺钉相碰，则横打杆打击上顶杆

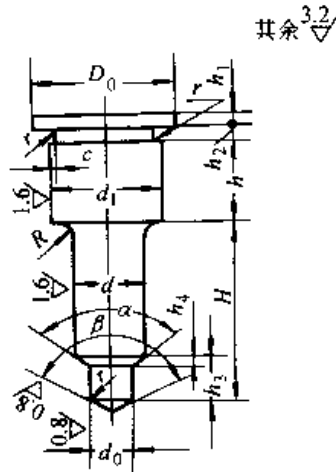
1, 通过过渡板 2 和顶销 3 推动凸模外套 4, 从而迫使挤压件从凸模上卸下。在钢质机械零件的锻挤过程中, 挤压件撞在凸模上的情况是很多的。因此, 在锻挤扁平挤压件的时候, 从凸模上

把挤压件卸下的机构是必不可少的。

锻挤凸模的典型结构及其尺寸计算列于表 25.6-35。

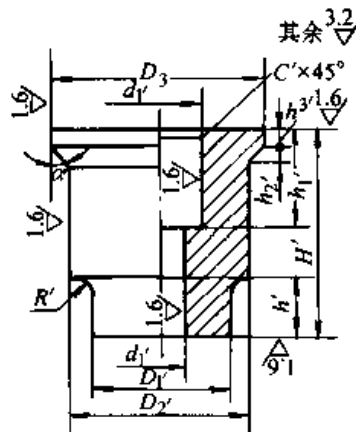
凸模外套的结构及其尺寸计算列于表 25.6-36。

表 25.6-35 锻挤凸模的典型结构及其尺寸计算 (mm)



尺寸	关系或数据	尺寸	关系或数据
d_0	$d_0 = d'_0 + \delta' d'_0$ d'_0 —挤压件的内径 δ' —钢的收缩率, $\delta' = 1.2\% \sim 1.5\%$	h_3	$h_3 = h'_0 + \delta' h'_0$ h'_0 —挤压件孔深; δ' —钢的收缩率, $\delta' = 1.2\% \sim 1.5\%$
d	$d = (1.1 \sim 1.3) d_0$	h_4	$h_4 = 0.5 \sim 1.0$
d_1	$d_1 = (1.1 \sim 1.5) d$	c	$c = 0.25 \sim 0.75$
D_0	$D_0 = (1.1 \sim 1.5) d_1$	β	$\beta = 120^\circ \sim 180^\circ$
h_1	$h_1 = (0.1 \sim 0.3) D_0$	α	$\alpha = 90^\circ$
h_2	$h_2 = 2 \sim 3$	R	$R = (0.1 \sim 0.2) d$
h	$h = (1 \sim 2) d_1$	r	$r = 0.2 \sim 0.7$
H	$H = (2 \sim 3) d$	r_1	$r_1 = 0.3 \sim 0.8$

表 25.6-36 凸模外套的结构及其尺寸计算 (mm)



续表 25.6-36

尺寸	关系或数据	尺寸	关系或数据
D_1	$D_1 = (2 \sim 3) d'$	h'_3	$h'_3 = (0.1 \sim 0.2) D_3$
D_2	$D_2 = (1 \sim 1.2) D_1$	H'	$H' = (1.1 \sim 1.5) D_3$
D_3	$D_3 = (1.1 \sim 1.2) D_2$	C'	$C' = 0.5 \sim 1.5$
h'	$h' = (0.9 \sim 1.2) d'$	α'	$\alpha' = 30^\circ \sim 60^\circ$
h'_1	$h'_1 = (0.9 \sim 1.2) d'_1$	R'	$R' = (0.1 \sim 0.2) D_1$
h'_2	$h'_2 = (0.1 \sim 0.2) d'_1$		

热挤压模各种零件所选用的材料及热处理要求与热正挤压模的基本相同。凸模外套一般采用40Cr，热处理及硬度为40~45HRC。

4) 多工位通用热挤压模 在热挤压生产中，如采用多工位通用热挤压模，则只要更换几个专用工作零件（如凸模、凹模和脱料板等），就可以生产出各种不同类型（正挤压或反挤压）和不同规格的挤压件。这样可以使热挤压模的设计与制造达到通用化、系列化和标准化，从而节省了

大量的设计、制造、安装和调整的时间，为热挤压工艺的广泛应用，开辟了更加广阔的前景。

图25.6-107示出了多工位通用热挤压模的典型结构。整个模具按其工作过程，主要由镦粗、挤压、切边或冲底三个主要部分和辅助部分组成。

在图25.6-107中，右边设有镦粗台。在模具中设置镦粗台，主要有两个作用：

① 镦粗金属坯料，适当增大其直径，使坯料

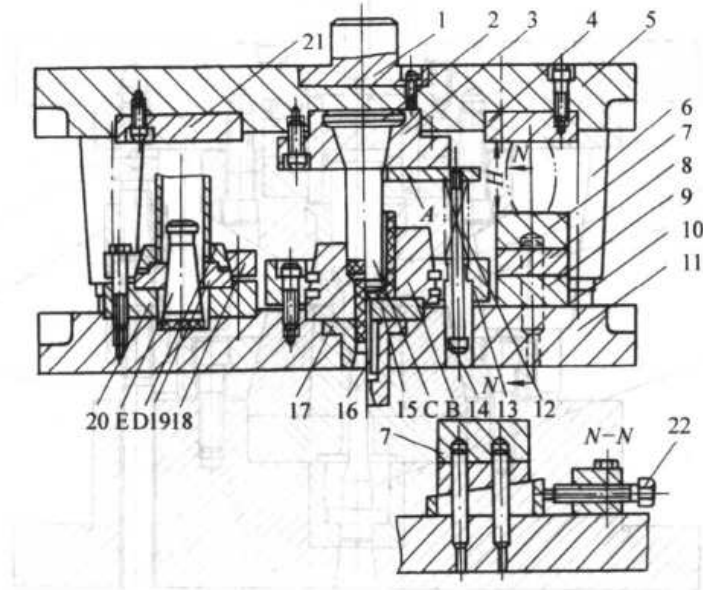


图 25.6-107 多工位通用热挤压模的典型结构

经镦粗后的最大直径接近于凹模的直径，以满足热挤压工艺对金属坯料直径尺寸规格的要求；

② 热坯料稍经镦粗后，由于坯料圆柱面镦成鼓形，可以促使坯料圆柱面上的氧化铁皮脱落，从而减少了氧化铁皮对模具的磨损，使模具使用寿命和挤压件表面质量显著提高。

镦粗台由上砧块4、下砧块7、垫块8和调节垫块9组成。调节下砧块（用以粗调）或以螺钉22来调整调节垫块（用以细调），便可获得不同的镦粗高度H。

热挤压部分由凸模C、凸模压紧圈3、凸模

垫板2、凹模B、凹模垫板15、凹模压紧圈13、顶杆16和顶杆导向套17组成。生产不同挤压件时，只要调换凸模和凹模等零件即可。

对于反挤杯形挤压件的凸模、圆形凹模、外六角凹模等，均可采用标准模具，将其形成系列，用不着再专门进行设计。凡是反挤杯形挤压件，都需脱料板A、弹簧12和支承螺钉14等组成卸料机构。如果挤压件滞留在凹模内，则由模具下面的气垫通过顶杆将挤压件从凹模内顶出。

如果生产的挤压件需要将底部冲除或将横向毛边切除时，这部分工作是由切边或冲孔凹模

D、凹模压紧圈 18、凹模接座 19、凹模底座 20、凸模打板 21 和活动凸模 E 等组成的冲孔或切边部分来完成的。如果要将凸模固定在上模板时,那就必须增设卸料装置,这样模具的空间尺寸势必必要相应增大。

多工位通用热挤压模的所有零件,都必须分别用螺钉或销钉紧固于上模板 5 和下模板 11 上。整个模架以导套 6 和导柱 10 导向,导套和导柱在整个挤压过程中,应保证不脱离。

整个模具在压力机上安装时,以模柄 1 与压力机对中,并以压板和压板螺钉分别将上模板和下模板紧固于压力机的滑块和工作台板上。

左图冲孔模和切边模中,冲孔凹模 D 和凹模接座 19 是做成镶拼式的,其目的是为了事先将这两个零件设计、制造成系列化,使用时根据

需要组装起来,可以获得各种不同的桶形挤压件内外圆尺寸。被冲去的冲孔连皮落在矩形截面的槽内,此槽沿整个下模板前后贯穿,活动凸模取走后,将冲孔连皮用钳子推出或用压缩空气吹走。

多工位通用热挤压模各种零件所用材料及其热处理可参照表 25.6-33 和表 25.6-34 中相应的零件进行选择。

5 挤压模具实例

5.1 冷挤压模具

(1) 正挤压模

1) 杆件正挤压模 图 25.6-108 所示为推杆上接头正挤压毛坯 (20Cr)、零件及模具结构。

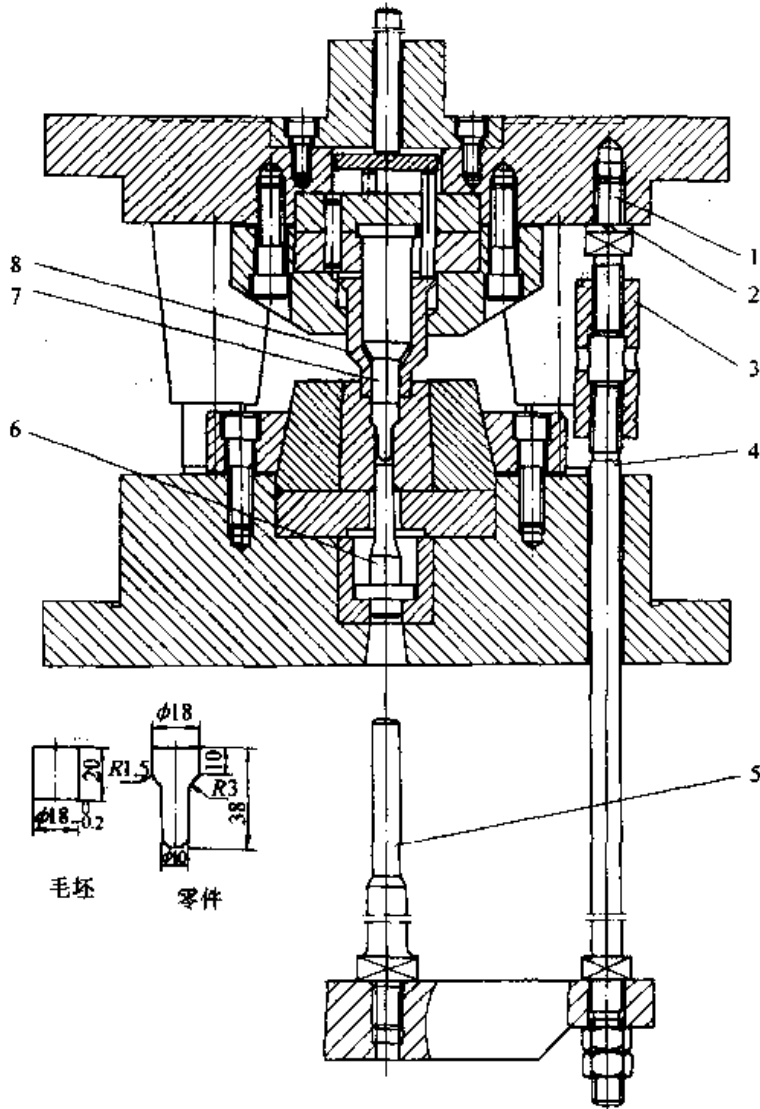


图 25.6-108 推杆上接头冷挤压模

模具要点如下：

① 本模具为带有导柱导向的通用模架，适用于正挤压、反挤压与复合挤压（图上表示的是正挤压）。

② 采用可调式拉杆（由件 1、2、3、4 组成），通过顶杆 5、顶出杆 6 将工件顶出。

③ 凸模 7 加有活动式护套 8。在反挤压或复合挤压时，更换护套 8 可作推出件用。

2) 复杂零件正挤压模 图 25.6-109 所示为多层电容器冷挤毛坯（纯铝 1050A）、零件及模具结构。

模具要点如下：

① 本模具用于实心毛坯正挤压成形多层电容器零件。

② 工件成形后由顶杆 8 连同凹模的件 2 及固定圈 1 一起顶出，然后再用顶出器（图上未表示）将工件压出。

③ 凹模由件 2、3、4、5、6、7 组合而成，各圈采用一级精度压配合。

④ 件 2 及固定圈 1 由小导柱 9 来保证与凹模（件 3、4、5、6、7）的同轴度。

⑤ 在凹模（件 3、4、5、6、7）的下部必须磨出一条出气槽（槽深 0.3~0.5 mm），以免影响金属流动而造成废品。

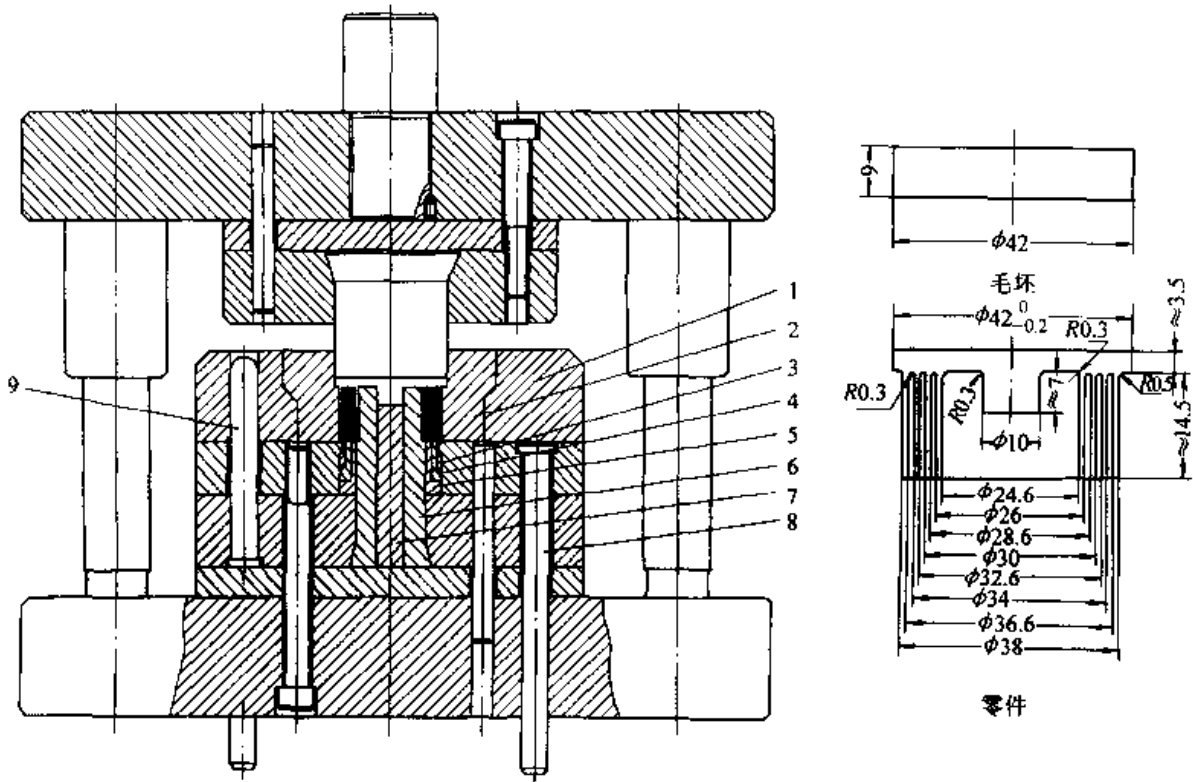


图 25.6-109 多层电容器冷挤压模

3) 锥体正挤压模 图 25.6-110 所示是采取正挤压方法成形的深孔变壁厚锥形件的挤压工序略图。图 25.6-110d 所示挤压件的锥形角度为 25° ，锥体长度与直径比为 2，孔的深度与其直径之比为 3。由于孔的深度进入锥形部位，使挤压件的壁厚由筒体向锥形部位逐渐减薄，筒体部分的壁厚为 5.7 mm，锥形部位的最窄处 (AB) 只有 2 mm。无论从形体特征，尺寸参数，还是从变壁厚工艺设计及金属稳定流动的角度来看，都需要两道工序才能挤压成形。在反挤压的第一道成形工序，主要成形出筒体部分，并将锥形部分

所需的材料体积分配好。二次挤压时，变形金属以分流面 (AB) 为界，在各自的区域中流动。为了减小挤压力，使锥体易于成形，保证锥面的衔接一致和表面质量要求，将两道成形工序的模腔形状设计得不一致（一次挤压模腔的锥形角度 α 为 40° ，成形锥体的模腔角度 β 为 25° ），有意造成中间工序半成品形状与成品挤压模腔存在一定的工艺悬空，见图 25.6-111 左侧。但是，这个悬空不能过大，否则会使挤压件的底部断裂。成形锥体时，见图 25.6-111 右侧，模具的下部进行封闭，分模面选在模口平面。此时，成品挤

压件露出模外一部分，多余部分材料在封压环的挤压作用下，沿封压环与模口平面之间的空隙向

外排出（B 向），形成很厚的余料边，同时挤出基准平面（A），为挤压后的机械加工创造条件。

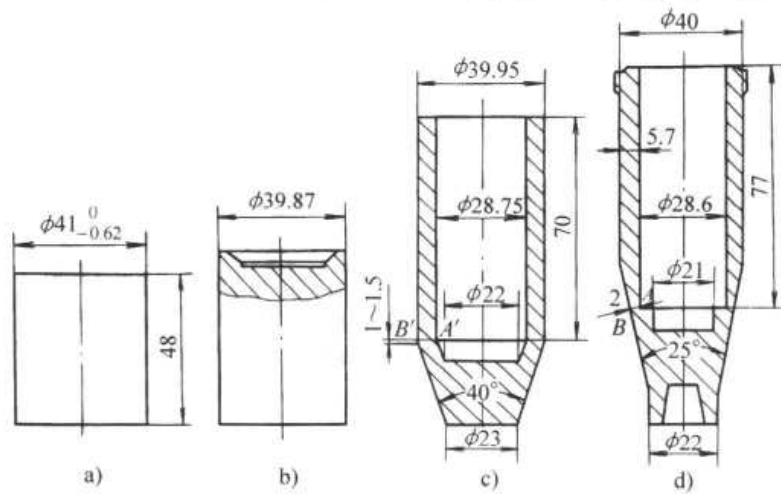


图 25.6-110 深孔变壁厚锥形件冷挤压工艺

a) 下料 b) 预成形 c) 一次挤压 d) 二次挤压

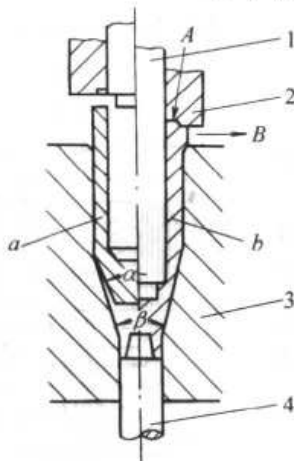


图 25.6-111 一次挤压工件形状与
锥体挤压模腔的配合关系

a—半成品 b—成品挤压件

1—凸模 2—封压环 3—凹模 4—顶料杆

锥体正挤压模具结构，如图 25.6-112 所示。考虑到深孔挤压时工件有被凸模带上去的可能，这种模具设有双重退料装置。上部的退料作用是通过压力机的横梁作用逐渐传递的。顶块 1 和三个圆柱销 2 推动内卸料环 8，带动外卸料环 9 在导套 7 内移动，完成双级退料，其退料行程为 $(S_1 + S_2)$ 。这种结构可以在不增加模具闭合高度的情况下，完成较大行程的退料。下部退料，是借助于压力机下面的气垫装置推动顶杆 18 进行的。工作时，为了使顶料杆 15 先行落下，使坯料放入模腔中和确保挤压过程的顺利进行，特

安置了两个直径为 $\phi 30$ mm 的浮动圆杆，它的作用是在凸模接触坯料之前，首先推动气垫下行使顶料杆下落。凸模为圆柱形直杆结构，不设有工作刃带。图 25.6-113 所示凹模采用较大的公差和较厚的压套（内外径之比为 2），以克服作用

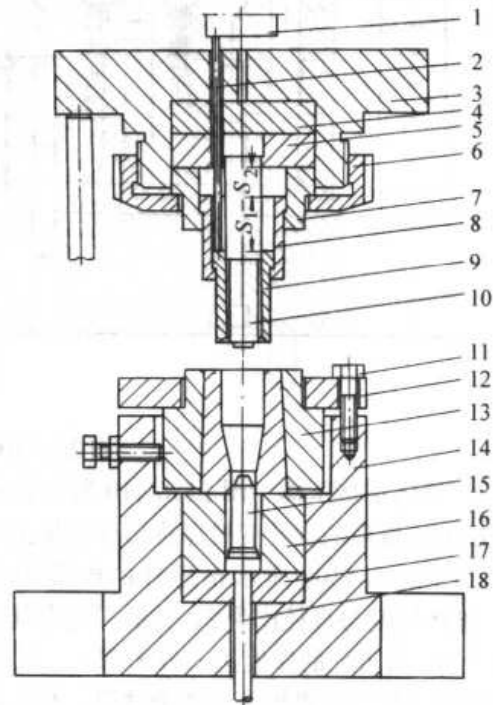


图 25.6-112 锥体冷挤压成形模具

1—顶块 2—圆柱销 3—模板 4—垫 5—固定套
6—特型螺帽 7—导套 8—内卸料环 9—外卸料环
10—凸模 11—螺栓 12—压板 13—凹模 14—模座
15—顶料杆 16—支撑 17—垫套 18—顶杆

在锥形模壁上的横向力。凹模位置为可调的，即凹模与模座之间留有间隙，由四个螺钉进行水平位置的调节。

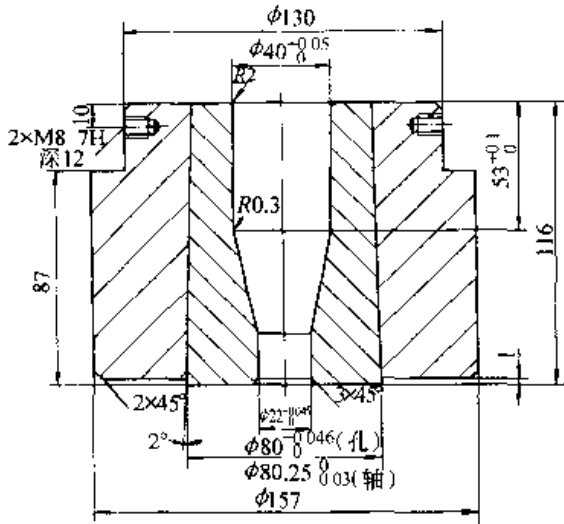


图 25.6-113 锥形挤压凹模

(2) 反挤压模

1) 一般筒形件反挤压模 图 25.6-114 所示为气门顶杆反挤压毛坯 (20 钢)、零件和模具结构。

模具要点如下：

① 本模具为在 3 000 kN 摩擦压力机上用的反挤模。为提高定位精度，采用双导柱导套 (件 1、2)，并加粗其直径。

② 限位片 4 用于限位，以控制挤压件的连

皮厚度。

③ 模具装有顶出杆 7(兼下凸模)及卸件板 5。

④ 凸模 3 上端采用锥形定位固定。

⑤ 凹模 6 采用多层组合结构。

2) 复杂筒形件反挤压模 图 25.6-115 所示为核心套反挤压毛坯 (钢 Q215)、零件和模具结构。

模具要点如下：

① 本模具为带有导柱导向的模架。

② 采用橡皮卸件机构。

③ 用压缩空气推出工件，操作方便。

(3) 复合挤压模

1) 杯形件复合挤压模 图 25.6-116 为汽车轮胎螺母的冷挤压工艺图，其冷挤压变形过程可分为正挤压、正反复合挤压、正挤压结束、反挤压结束四个阶段。图 25.6-117 为轮胎螺母冷挤压模具图，为了保证产品的精度，采用了刚性好的模架和导向装置，凹模为三层预应力组合凹模，采用可更换的定位环作为冲头 8 和凹模 7 的定位装置，在定位面间隙磨损过大时，可更换定位环。导套 5 中有注油孔与注油器 9 相通，使导柱 4 和导套 5 始终在良好的润滑条件下工作。在大批量生产中，冲头难免断裂，为了安全生产，防护罩已将冲头罩住，即使冲头断裂时也不致飞出伤人。

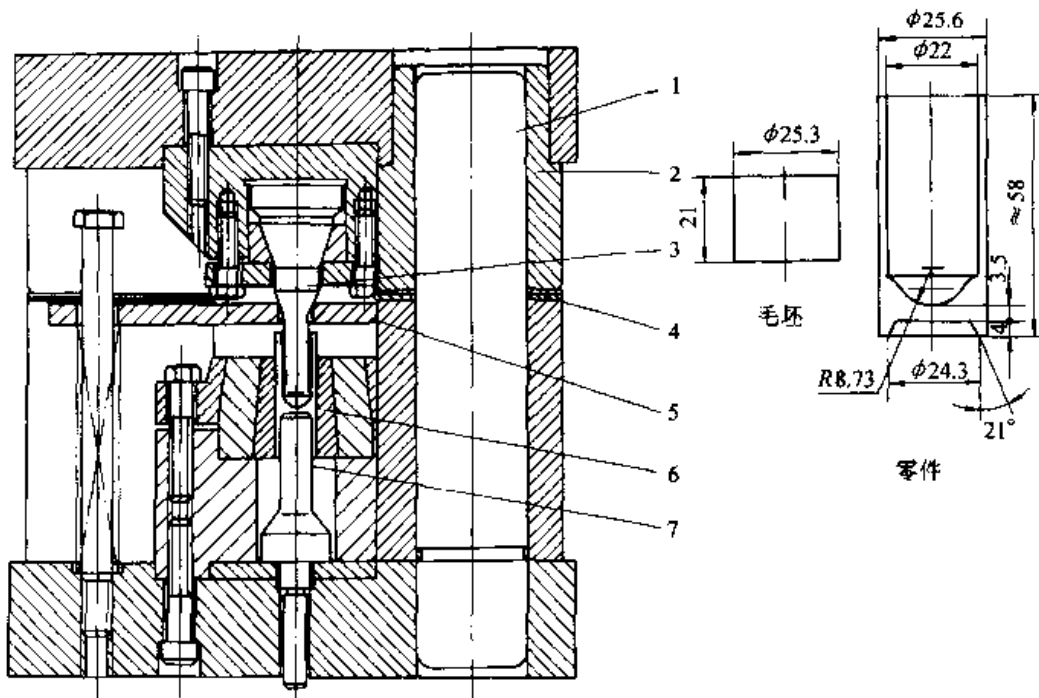


图 25.6-114 气门顶杆冷挤压模

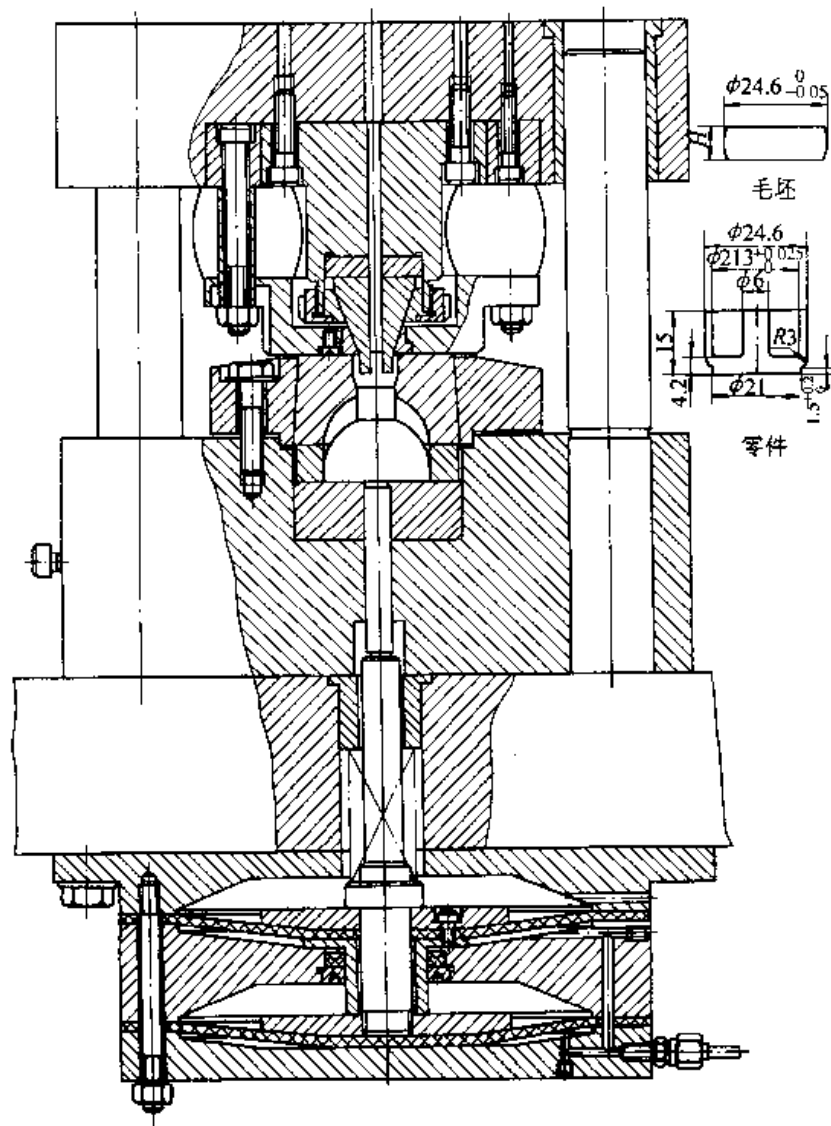


图 25.6-115 梭心套冷挤压模

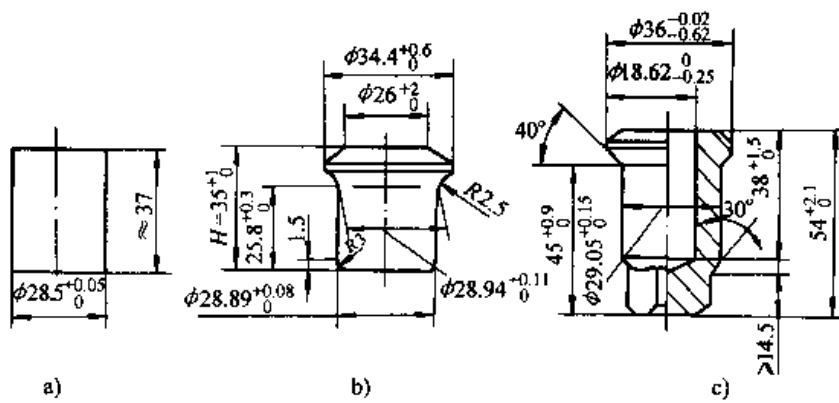


图 25.6-116 汽车轮胎螺母冷挤压工艺

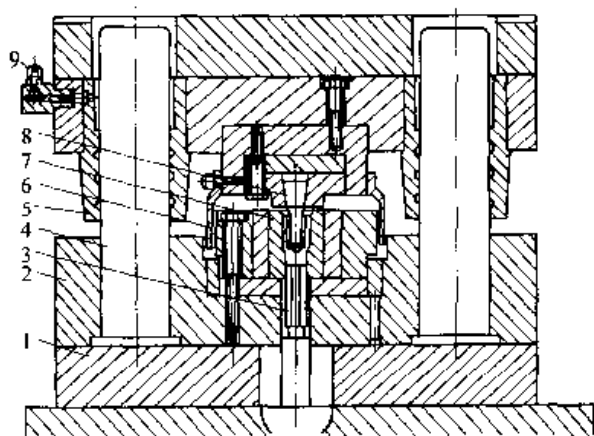


图 25.6-117 汽车轮胎螺母冷挤压模具

- 1—下底板 2—下模板 3—顶杆
- 4—导柱 5—导套 6—防护罩
- 7—凹模 8—冲头 9—注油器

2) 长筒件(活塞销)复合挤压模 图 25.6-118 为活塞销复合冷挤压毛坯、零件和模具结构。

模具要点如下:

- ① 本模具为带有导柱导向的复合挤压模。
- ② 由于金属向上流动较向下流动容易(在同

样变形程度之下), 因此将上凸模中心锥度做得比下凸模中心锥度稍小, 同时在上凸模有一套筒用于限制金属向上流动。

③ 采用三根顶杆 4 推动环形顶出器将工件顶出。

④ 凹模 2 外有预应力圈。

⑤ 滑套 3 上开有出气槽。

若采用上传动冷挤压机或普通曲柄压力机, 应在凹模上设置卸料板卸件。

3) 空心件复合挤压模 图 25.6-119 为双水内冷发电机接头冷挤压复合成形的空心毛坯(纯铜 T1)、零件和模具结构。

模具要点如下:

① 本模具属于空心件复合挤压模, 头部用反挤成形、杆部用正挤成形。

② 凹模用横向分体结构, 由 2、3 两件组成。件 3 的分割面在工件的斜面与直线接点相交处上移 3~5 mm 的位置, 这样可以防止金属流入接缝。件 2 与件 3 的直线接合面宽度为 2~3 mm, 接合面外作 1° 斜度。

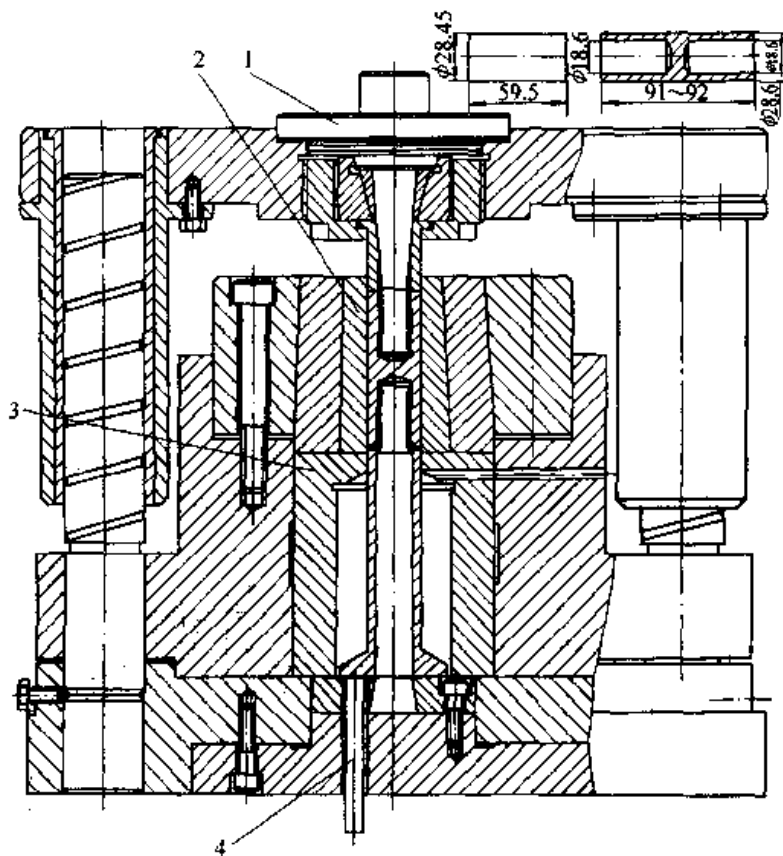


图 25.6-118 活塞销冷挤模

- 1—上模柄 2—凹模 3—滑套 4—顶杆

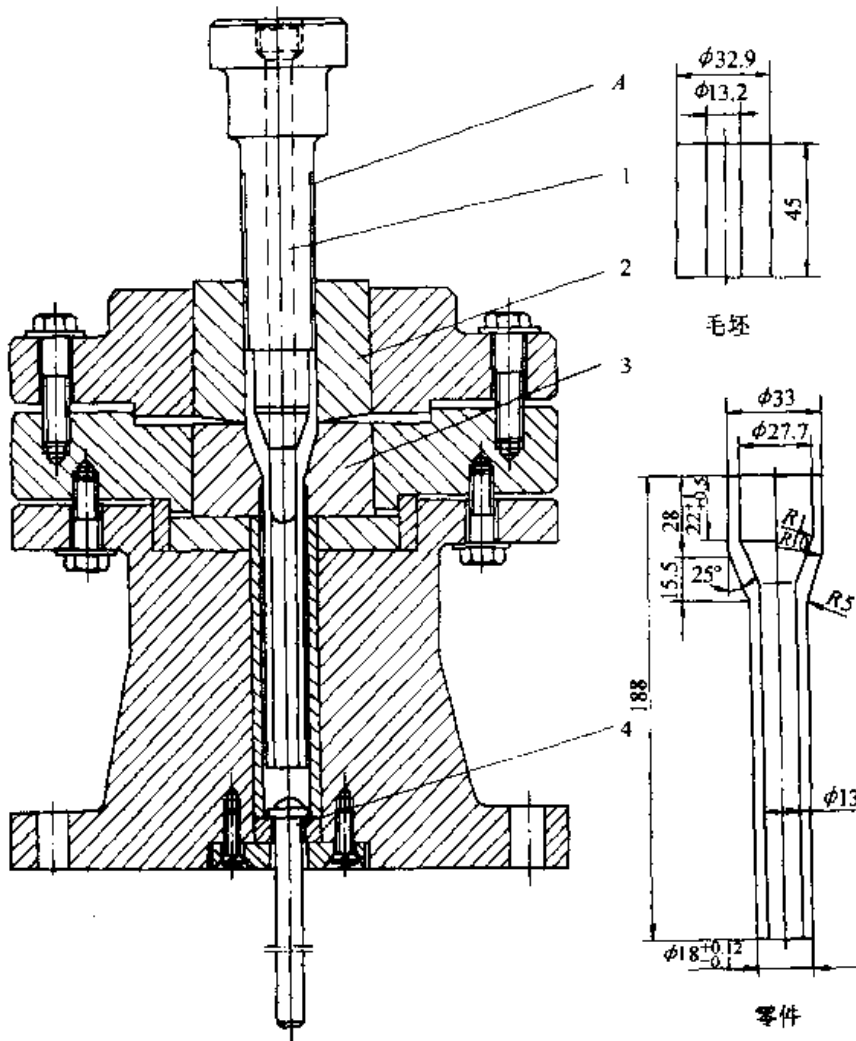


图 25.6-119 双水内冷发电机水冷接头冷挤复合模

③ 为防止挤压时工件跟随凸模带上无法卸件，采用适当增加凹模工作带的长度，以使工件留在凹模内，再用顶杆 4 顶出。

④ A 为出气孔。

⑤ 凸模 1 的固紧及垫块在图上未表示。

4) 锥形件复合挤压成形模具 图 25.6-120

所示是双向有孔、中间带隔挤压件的加工工艺略图。它采取复合挤压和冷墩联合成形的办法，在 3 150 kN 压力机上两次挤压成形。第一道成形工序是典型的复合挤压，它将筒体部分挤至接近成品的形状，并将锥形部分所需的材料预先准备好，使上部形状体积 V_1 ，等于或略大于成品件

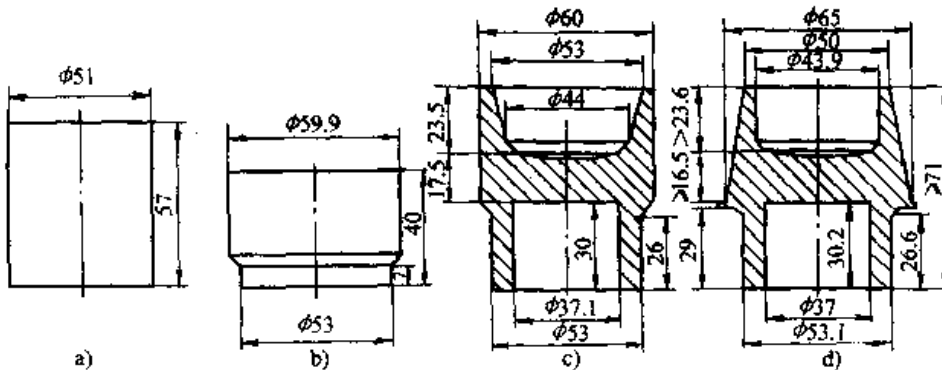


图 25.6-120 双向有孔锥形件挤压工序图

a) 下料 b) 预成形 c) 复合挤压 d) 冷墩成形

对应部分的体积 V_2 。第二道成形工序，主要成形锥体部分，同时将其余部分挤压至要求形状和尺寸。可见，在锥体冷锻中，材料的移动量很小，主要是改变其轮廓形状。

复合挤压模具如图 25.6-121 所示。它的上凸模与凹模靠模口导向，上下凸模都没有工作刃带。由于成形时下部进行封闭，故凹模也没有工作刃带。挤压时环形顶出器，兼有封闭挤压作用。多余的材料沿着锥形凸模向上流动，形成很窄的环带。

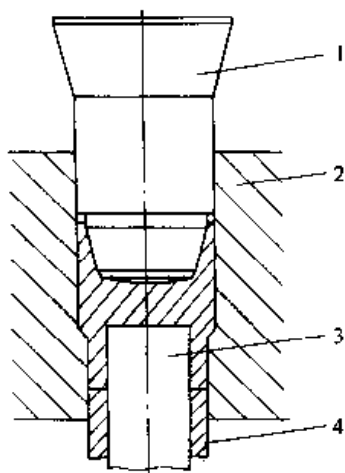


图 25.6-121 复合挤压模具图

1—上凸模 2—凹模 3—下凸模 4—环形顶出器

锥体成形模具如图 25.6-122 所示。其上模和下模靠导套和导环导向，这是一种间接靠凹模实行的导向方法。导套和导环兼有固定上下模的作用。同样，上下凸模也没有工作刃带。模具沿挤压件锥形与筒形部分相连接的部位进行分模。成形时下部封闭，多余的材料主要沿分模面溢出形成飞边，锥形部位的微量余料，沿凸模流向上部形成圆环。

(4) 齿形件冷挤压模具

这里着重说明内棘齿形零件的冷挤压工艺要点及模具设计。棘齿形零件，由于棘齿高度小，齿形平稳过渡，易于挤压成形。但是棘齿挤压时，变形只限于表层金属，波及不到整个金属体积，这是区别于其他零件成形的最为突出的特点。因此，如何避免和防止敞口、凸起、拉伤，切齿和材料堆积现象，显得尤其重要。

工艺设计时，为了防止切齿和材料堆积现象，坯料的内孔尺寸应小于齿形的内径，以便借助于一定的预紧作用，造成最有利的纯挤压的变

形条件，这样挤出的齿形饱满，齿的根部清晰。

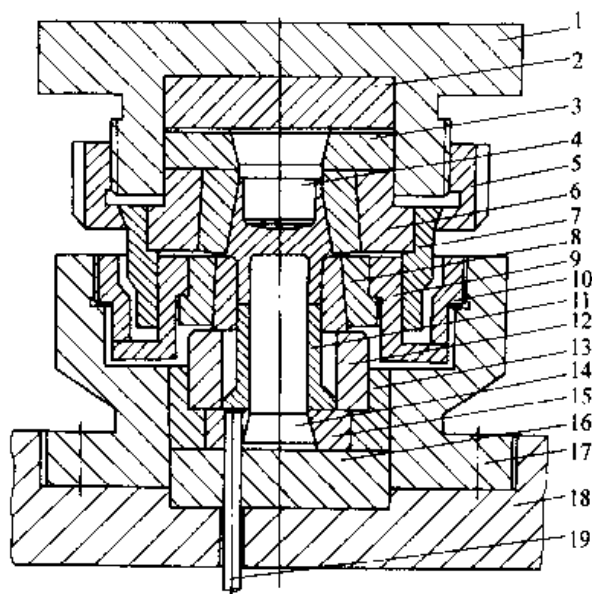


图 25.6-122 锻挤复合成形模具

1—模板 2、16—垫块 3—固定套 4—上凸模
5—特型螺母 6—上模 7—导向套 8—下模
9—导环 10—内圆形螺母 11—环形顶出器
12—支撑 13—套筒 14—下凸模 15—固定套
17—模座 18—垫板 19—圆柱销

1) 齿形套筒的冷挤压模具 齿形套筒挤压件如图 25.6-123 所示。它用低合金钢 20Cr 的空心坯料（外径 $\phi 62.8$ mm、内径 $\phi 31.2$ mm、厚度 47 mm），在 2 500 kN 压力机上一次反挤压成形。然后，按要求的尺寸将其切成数片，并加工至成品。主要加工工序是：车床下料—除油—退火—磷化—挤压成形—机械加工。

反挤压模具如图 25.6-124 所示。凸模由凸模柄、凸模镶块和螺栓三件组成，镶块与凸模柄之间采取一级精度第一种过渡配合。这种结构的凸模制造和更换都较方便，但是加工和配合精度要求较高。这种模具在设计上还有以下特点：

① 为了造成反挤压的变形条件，防止向下推挤金属，图 25.6-125 所示凸模镶块导引部分的尺寸要与齿根尺寸一致（直径为 $\phi 32.05$ mm），它比毛坯的孔径尺寸大 0.85 mm。

② 为了防止导引部分将坯料表面擦伤，凸模镶块的前端带有 15° 的锥角，棱角倒圆至 $R1.5$ 。凸模镶块工作刃带的前端带 45° 的锥角，以利于金属流动。锥面与工作刃带、导引部分的衔接处的圆角半径为 $R1.5$ 。这个圆角半径不能过大，过大的圆角对表层金属具有推挤作用，容

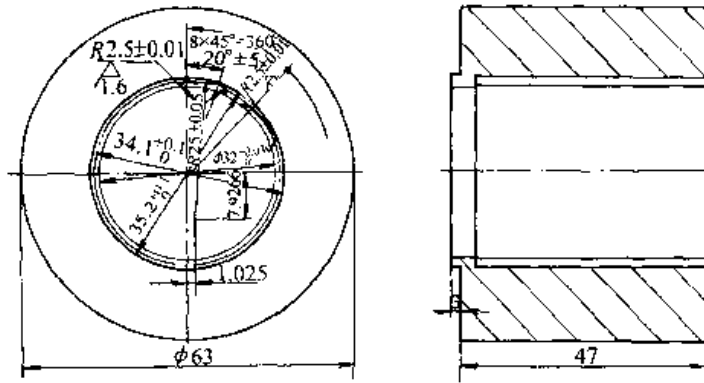


图 25.6-123 齿形套筒挤压件

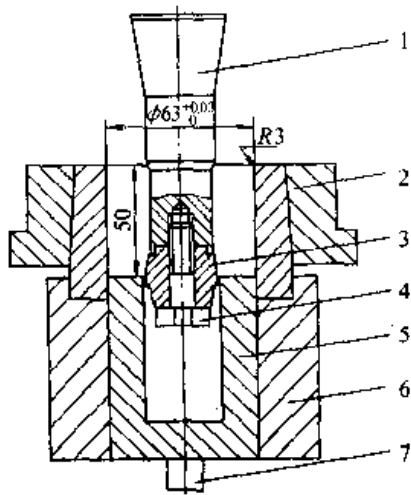


图 25.6-124 齿形件反挤压模

- 1—凸模柄 2—凹模 3—凸模镶块 4—螺栓
5—顶料坯 6—支撑 7—顶杆

易破坏磷化层。

③ 齿形面工作刃带的宽度为 4 mm，不宜再小，否则将使磨损加快。齿形工作面（包括过渡锥面）要镀铬抛光，镀层厚 0.005~0.01 mm，表面粗糙度 $R_a 0.2 \mu\text{m}$ 。

④ 为了防止凸模回程时，将已经成形的齿面刮伤，工作刃带的后部采用锥角为 15° 的锥面过渡，这种过渡对凸模的强度和寿命也很有利。

2) 齿形复合件的冷挤压模具 图 25.6-126c 所示是一种带有内棘齿形状的复合挤压件。它的反挤压变形程度为 60%，正挤压变形程度为 72%，均在许用变形程度范围内，故一次复合挤压成形。其主要加工工序为：下料—冷锻—退火—磷化—复合挤压，如图 25.6-126 所示。挤压后，零件的 $\phi 27 \text{ mm}$ 孔、中间隔厚 (4.3 mm) 和齿形孔边，尚待切削加工。

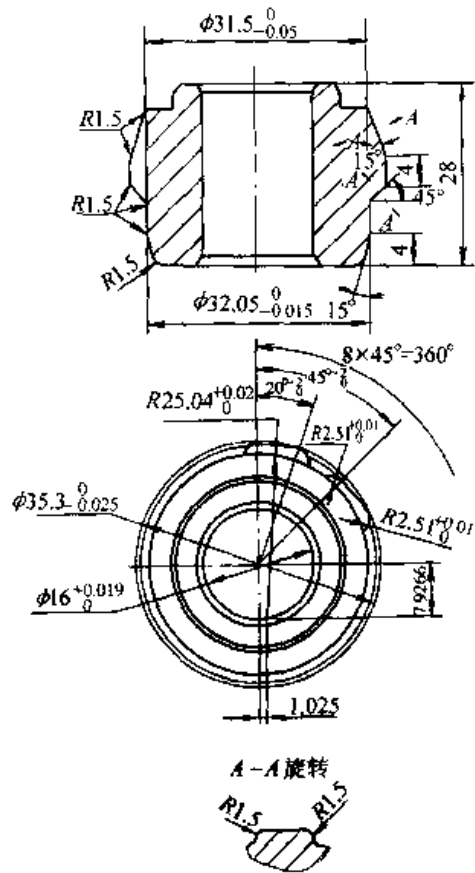


图 25.6-125 凸模镶块

复合挤压模具如图 25.6-127 所示。这种模具的结构特点是，采用双重退料装置：上部弹性卸料板和下部爪形退料器。在弹性卸料板上安装有退料环圈，环圈内为 120° 三等分的型孔，型孔与凸模非工作部位上的沟槽相互配合。环圈不但能够将凸模带上去的零件从凸模上刮下来，还起一定的导向作用，使凸模工作平稳。为了增加凹模的支承面积，下部退料采用爪形退料器。模具的导向则依靠工作部件间的严密配合予以保

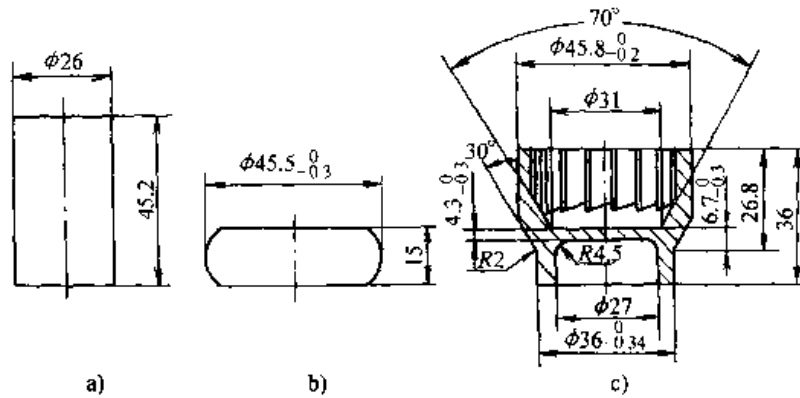


图 25.6-126 复合形状齿形件挤压工艺过程

a) 下料 b) 冷镦 c) 复合挤压成形

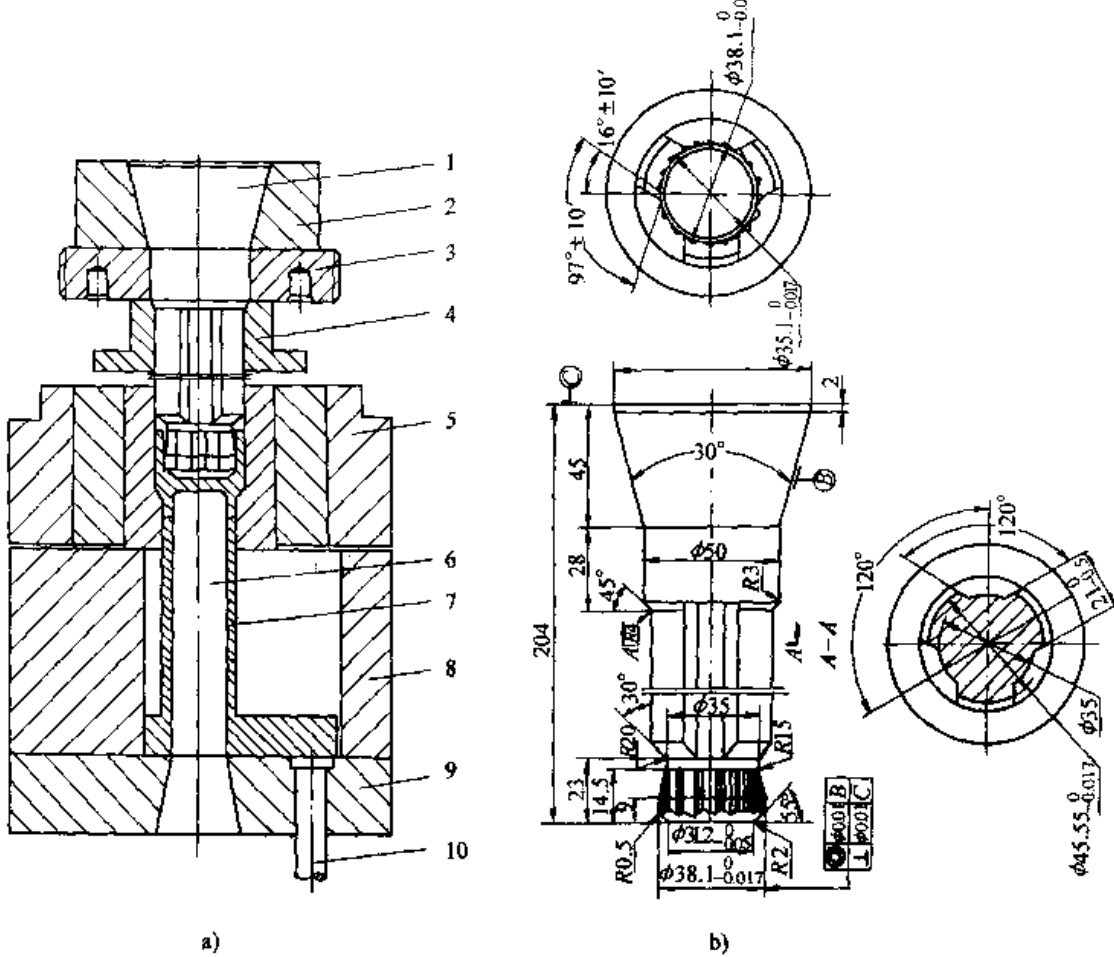


图 25.6-127 复合挤压模

a) 模具结构 b) 上凸模结构

- 1—上凸模 2—固定套 3—特型螺母 4—退料环 5—凹模
- 6—下凸模 7—环形顶出器 8—支撑 9—固定套 10—顶杆

证。在结构设计上，考虑到复合挤压的工艺特点和挤压后的加工问题，挤压终了对孔底（ $\phi 27 \text{ mm}$ ）平面实行封闭挤压，将其作为冷挤压工艺基准。而模具的上方则是敞开的，多余材料反映在齿形

的孔口上方，作为加工余量。它的上凸模如图 25.6-128 所示。在凸模的最前端有 55° 锥半角，齿形部分的高度为 14.5 mm ，在 9 mm 宽工作刃带的后面是后隙部分，考虑到齿形的加工问题，

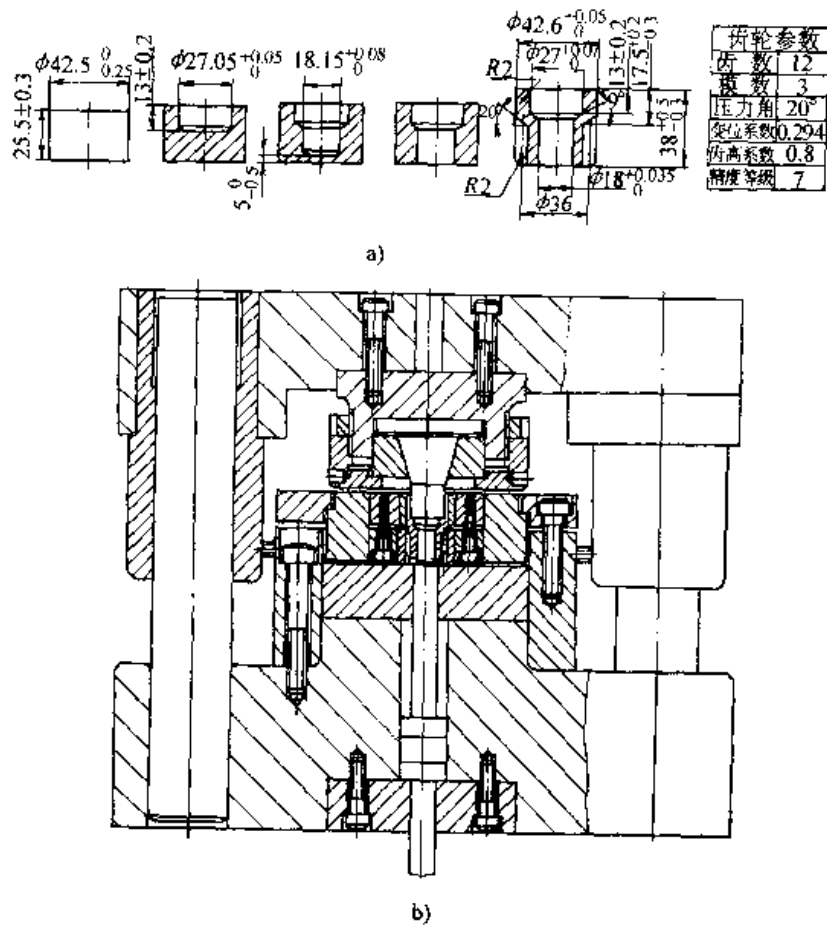


图 25.6-128 齿轮冷挤压工艺及模具

a) 冷挤压工艺 b) 模具结构

在齿形消失的后面，设置了宽约 8.5 mm 的光滑细径部分，这一部分的外径，比棘齿齿底尺寸小 0.1 mm，并采用较大的圆角 (R15, R20) 过渡，以增加凸模工作部分的强度和刚性。为了便于退料，在凸模的非工作部分开有 120° 等分的三个沟槽，这一部分与退料环圈内的型孔相互配合。该凸模为整体结构，采用高速工具钢制造，坯料经锻造后碳化物偏析控制在 3 级以下，淬火后硬度保持在 59~61HRC 范围内。硬度过高时，齿形部分易碎裂损坏。凹模采取双重压套，压套材料为炮管钢 PCrNi3M。凹模镶块采用合金工具钢 Cr12MoV 制作。凹模的型孔尺寸，考虑到模具材料的弹性膨胀 (0.05~0.1) 和足够的磨损余量，按零件的尺寸 ($\phi 45.8_{-0.2}^0$ mm, $\phi 36_{-0.34}^0$ mm) 下限选取 ($\phi 45.62$ mm、 $\phi 35.7$ mm)。

3) 齿轮冷挤压模 图 25.6-128a、b 分别为齿轮冷挤压工艺、模具结构。

5.2 温挤压模具

(1) 轴承套圈温挤压模

图 25.6-129 所示为轴承套圈毛坯 (GCr15 轴承钢)、零件和模具结构。

模具要点如下：

- ① 本模具为翻边挤压复合模。毛坯先进行翻边，随着凸模的下降即同时挤压成形，成形是在温热挤压温度范围内进行的。
- ② 套环 2 在成形最后阶段作为成形凸模施加压力用。在回程时作卸件环用 (采用弹簧卸件)。
- ③ 成形凹模 3 外有冷却槽。
- ④ 下顶出靠滑板 1 的斜面推动杠杆 5、下顶杆 4 来实现。

(2) 杯杆件温 (正) 挤压模

图 25.6-130 所示为凿岩机零件温 (正) 挤压毛坯 (T10V 钢)，挤压工件及成品零件和模具结构。

模具要点如下：

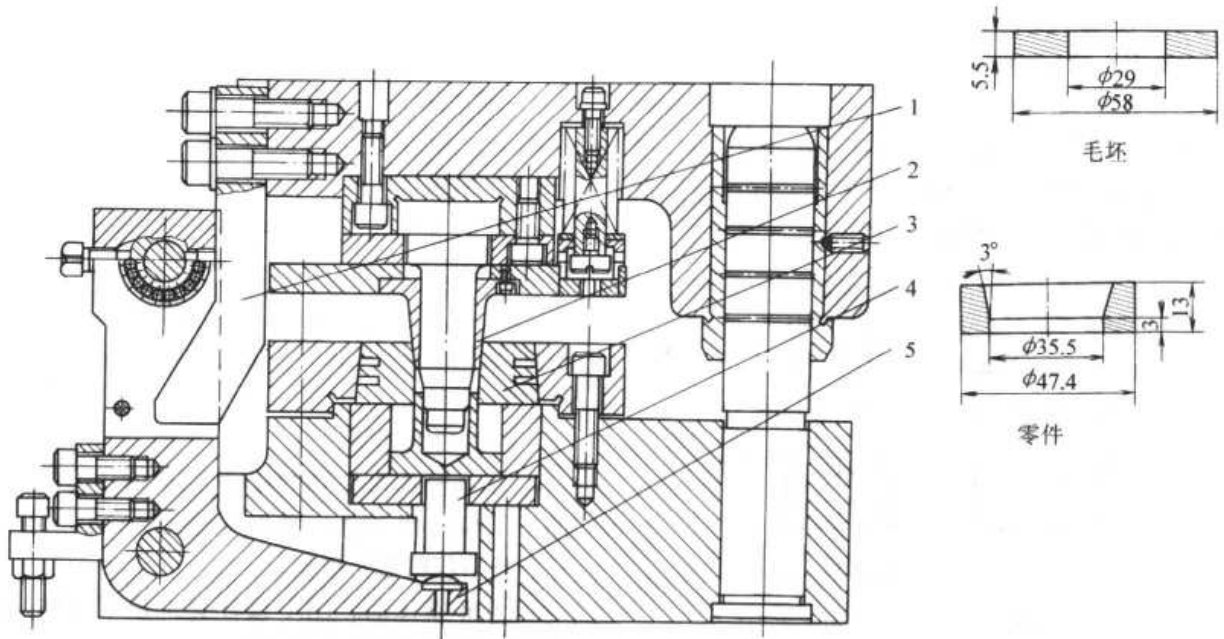


图 25.6-129 轴承套圈温挤翻边复合模

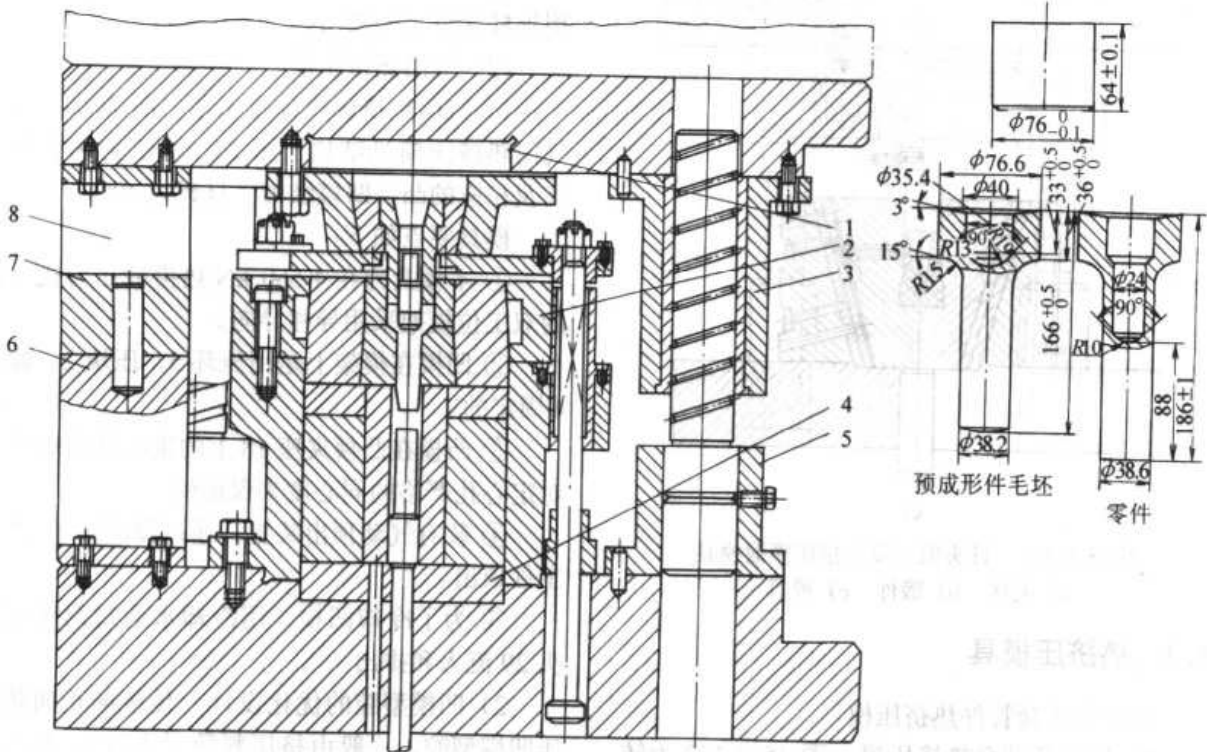


图 25.6-130 铸铁零件温(正)挤压模

1) 本模具为在 10 000 kN 液压机上用的挤压模, 采用导柱导向。

2) 为了适用于冷挤压和温热挤压, 凹模固定圈 2 设有冷却槽, 使温热挤压时模具保持在一个比较稳定的温度范围内。

3) 模具装有限程块 6 和 8, 以及调整垫块

7, 以保证较精确的闭合高度。

4) 由尾柱 1 和垫块 4 作为基准, 以保证对准中心。

5) 模具的四根导柱, 借助于件 3 和件 5 的可调性(制造时), 简化了模架的加工。

(3) 钎头温(反)挤压模

图 25.6-131 为钎头温（反）挤压模锻毛坯（40Cr 钢）、锻件和模具结构。

该模具为垂直可分凹模，其工作原理与结构和图 25.4-57 所示的模具基本相同，仅在凹模块和凹模座之间加上了衬套，当磨损到超过允许范围后，将新衬套代替旧衬套即可。

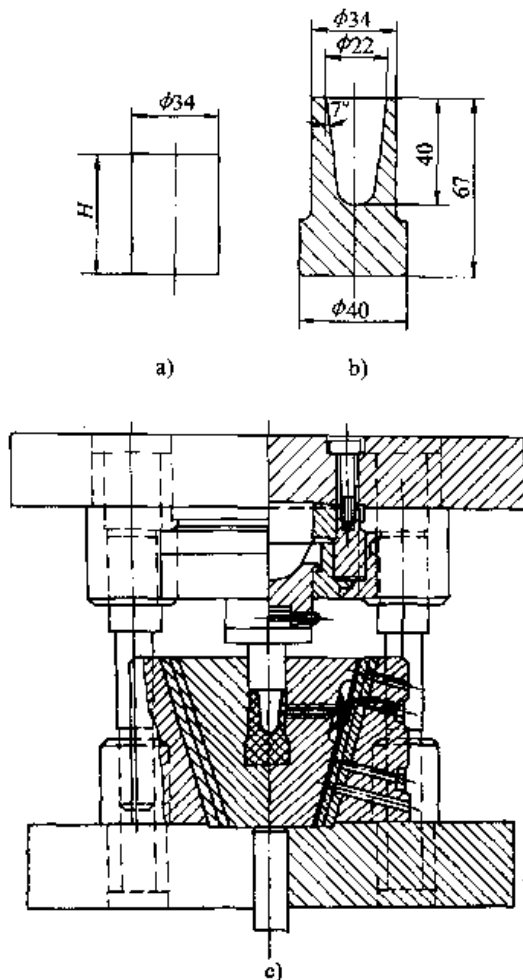


图 25.6-131 钎头温（反）挤压模锻模具
a) 毛坯 b) 锻件 c) 模具

5.3 热挤压模具

(1) 法兰套管件热挤压模

1) 转向节轴套热挤压模 图 25.6-132 为转向节轴套热挤压（模锻）工艺过程和模具结构。锻件材料为 40Cr。

模具要点如下：

① 本模具为在 25 000 kN 热模锻压力机上用的三工位（四工步：墩粗、冲孔、穿孔及挤压、终锻）模架。

② 凹模 2、3、4 在模架上是用圆形套 1。压板、螺栓固定的。

③ 冲头 5、芯棒 6、7 固定在上底板上。

④ 活动凸模 8、9、10 紧固在模架上。

⑤ 装有气动顶出装置，通过顶板 13、筒形顶杆 11、12 将工件顶出。

⑥ 凹模 3 用冷却水循环冷却。

⑦ 冲穿连皮通过筒形顶杆 11 落在模架内，再用压缩空气吹掉。

2) 后桥轴套颈热挤压模 图 25.6-133 为后桥轴套热挤压（模锻）工艺过程和模具结构。锻件材料为 40Cr。

模具要点如下：

① 本模具为左 10 000 kN 热模锻压力机上用的三工位（四工步：墩粗、冲孔、穿孔及正挤压、反挤压终锻）模架。

② 正挤压后，用上顶杆套 1 顶下工件，再用筒形下顶杆 2 将工件顶出。

③ 反挤压后，用上顶杆套 4 顶下工件，再用顶杆 3 将工件顶出。

(2) 气门热挤压模

1) 气门热挤压模具及工艺 图 25.6-134 为气门热挤压模具结构，图 25.6-135 为热挤压工步及相应的凸、凹模结构。材料为 40Cr。

模具要点如下：

① 本模具为在 4 550 kN 热模锻压力机上用的双工位模架采用导柱导向。

② 凹模在模架上是用压环 5、压块 2、螺栓 4 固定的。

③ 凸模在凸模夹座 18 上的定心是靠螺母 19 对定心孔严格的同心度来保证的。

④ 装有气动顶出装置，通过顶出销子 25 将工件顶出。

⑤ 为了冷却凹模，用冷却水通过两个接管头 29 流入和排出。

2) 凹模型腔的优化设计 传统的正向热挤压凹模型腔，一般由挤压料筒（入口）、截头圆锥和挤压工作带（出口）三部分组成。这种形状的凹模用于正向热挤压时，往往因工作带和截头圆锥同工作带相连的过渡区磨损过快而导致失效。大量的生产实践表明，在模具材料及润滑方式确定之后，并在保证模具的强度条件下，磨损是影响模具寿命最重要的因素。其一，由于坯料在加热时表面产生氧化皮，在挤压过程中，因其变形特点使得坯料带氧化皮的自由表面不断扩大

同凹模的接触面积；其二，模具在挤压时与高温坯料接触，而在挤压后受冷却润滑剂的作用，循环往复，受到周期性的热疲劳应力作用；其三，这种截头圆锥形的优点是挤压时可避免凹模型腔内出现变形金属的死区，且易于加工制造，但是，这样的凹模缩径部分其表面所受的单位压力自型腔入口至出口迅速增大，可达8倍以上，其平均变形程度和变形速度也显著增大。这样，凹模型腔上形成了磨料磨损、粘着磨损和疲劳磨损，且至出口处磨损最严重。因此，减少磨损的关键在于改善型腔表面的压力分布。

最佳的挤压模腔轮廓应满足两个主要要求，第一是由挤压模腔所得到的中间毛坯，即挤压工件的头部与杆部间的过渡部分的形状及尺寸，应当尽量与气门锻件相应部分的形状及尺寸接近；第二是有利于延长挤压模具的使用寿命，即应当有利于减轻挤压工作带入口处（喉部）的工作压力。

综合有关文献及我们所进行的分析与研究，有如下几种挤压模腔轮廓是合理或比较合理的，

可供生产使用，如图 25.6-136 所示。

第一种模腔轮廓（图 25.6-136 曲线 1）为在工作镶块内把凹模的缩径部分设计成截头圆锥形状，其斜面与对称中心线成 45°角，这种形状为最常见的挤压模腔形状，其优点是挤压时可避免凹模型腔内出现变形金属的死区，且易于加工制造。但在这样的凹模缩径部分中，其表面所受的单位压力自模腔入口至出口（杆部小孔入口）迅速增大，可能增大到 5~8 倍以上。同样地，其平均变形程度 $\bar{\epsilon}$ 和变形速度 v 也显著增大，如图 25.6-136b、c 曲线 1 所示。

第二种模腔轮廓（图 25.6-136a 曲线 2）为指数曲线形状，这种模腔形状能保证缩径部分变形金属单位长度上的相对压缩量相等。

指数曲线模腔形状的表达式为

$$\frac{dy}{y} = cdx$$

通过积分得到 $y = Ae^{cx}$ ， c 为给定值， A 为通过边界条件确定的积分常数。由图 25.6-136 也可以

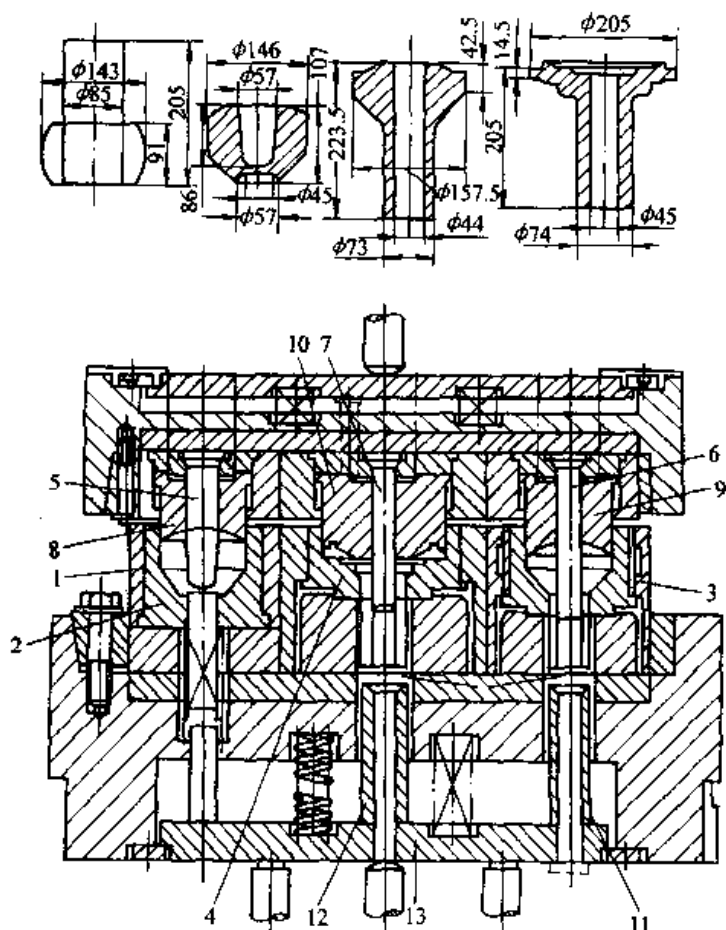


图 25.6-132 转向节轴套热挤压模

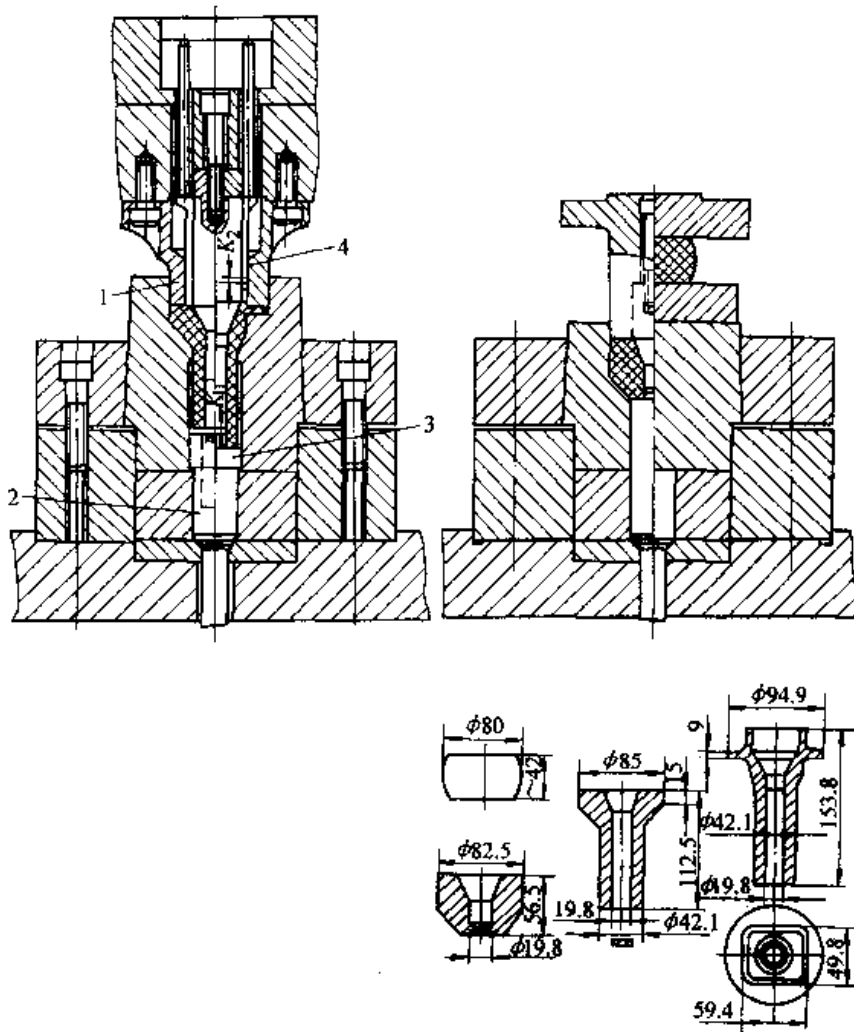


图 25.6-133 后桥轴套颈热挤压模

看出，变形金属在指数曲线凹模中的变形速度比半角 $\alpha = 45^\circ$ 圆锥形凹模中的变形速度的变化要缓慢且变化比较均匀。

第三种模腔轮廓（图 25.6-136a 中曲线 3）为计算轮廓，这种形状的凹模缩径部分全长上变形速度均等，如图 25.6-136c 曲线 3 所示。为了保证变形速度均等即分布均匀（不考虑内外摩擦），缩径部分的形状应符合下列关系式

$$\epsilon = v \frac{D^2 - D_x^2}{D_x^2 x}$$

式中 D_x ——沿挤压方向离缩径部分边缘 X 距离上的凹模缩径部分的直径；

D ——凹模挤压筒直径；

ϵ 和 v ——变形程度和变形速度。

绘制凹模轮廓时，先根据 $\frac{D}{D_x}$ 之比和已知的

凹模缩径部分长度 X_k ，利用上式求得 $\frac{\epsilon}{v}$ ，可确定不同 X 时的 D_x 。

为了进行比较，按上式所表示的形状制造的凹模，其中 X_k 等于倾斜角为 45° 的锥形凹模缩径部分的高度。在其它条件相同的情况下，该凹模的磨损区位于凹模缩径部分长度的 $0.5 \sim 0.7$ 处，而在锥形凹模内，磨损区在杆部小孔的入口处。生产表明，这种形状的凹模寿命比锥形凹模的寿命可延长 $50\% \sim 80\%$ 。

第四种模腔轮廓为反推法设计轮廓。

所谓反推法设计轮廓，即首先从终锻件（气门锻件）到原毛坯进行反向分析得出气门锻件、挤压工艺与原毛坯之间的尺寸关系，然后依据尺寸关系设计模腔轮廓。

试验研究表明，挤压所得中间毛坯同气门锻件及原毛坯的尺寸关系（图 25.6-137）如下

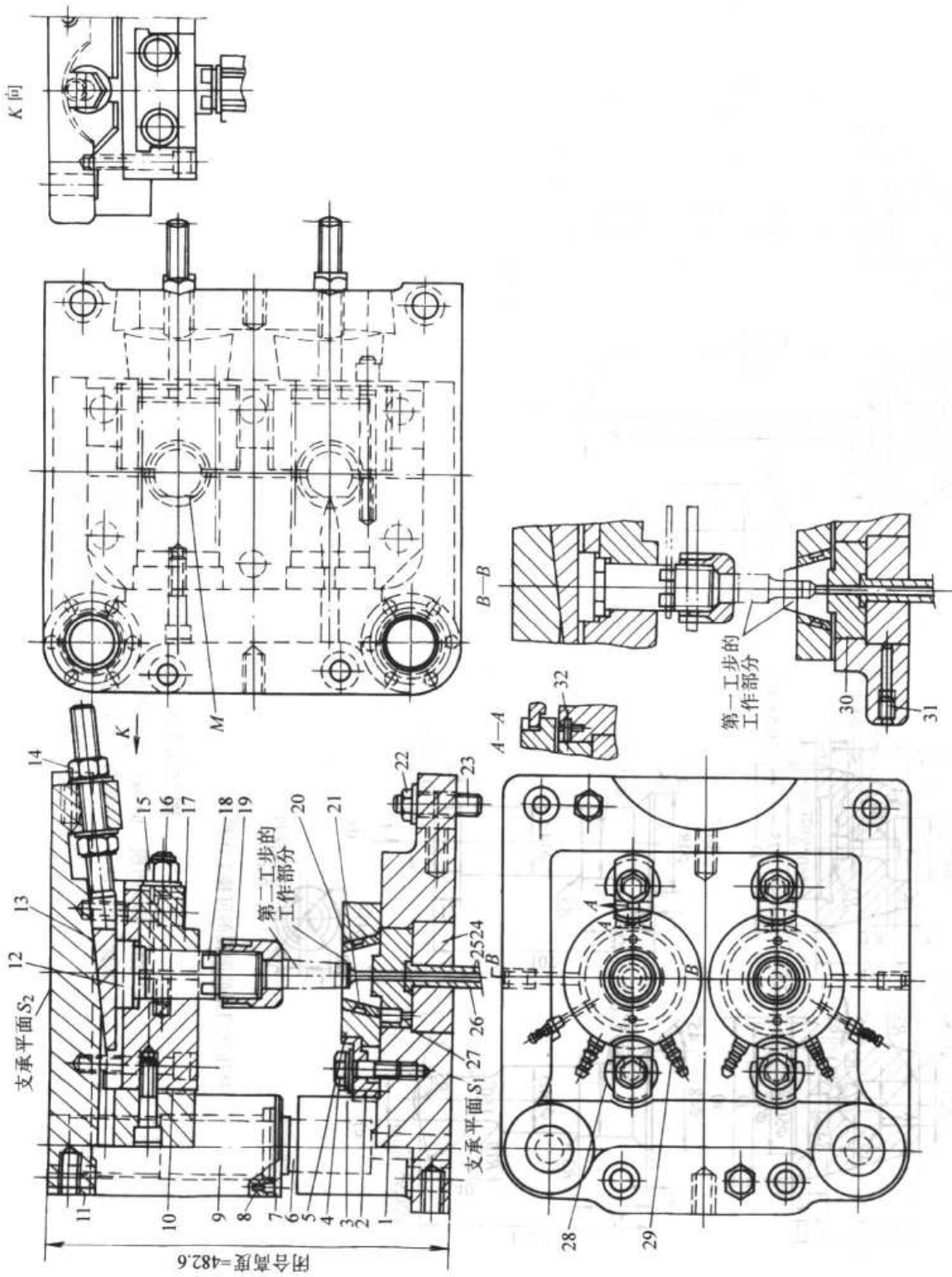
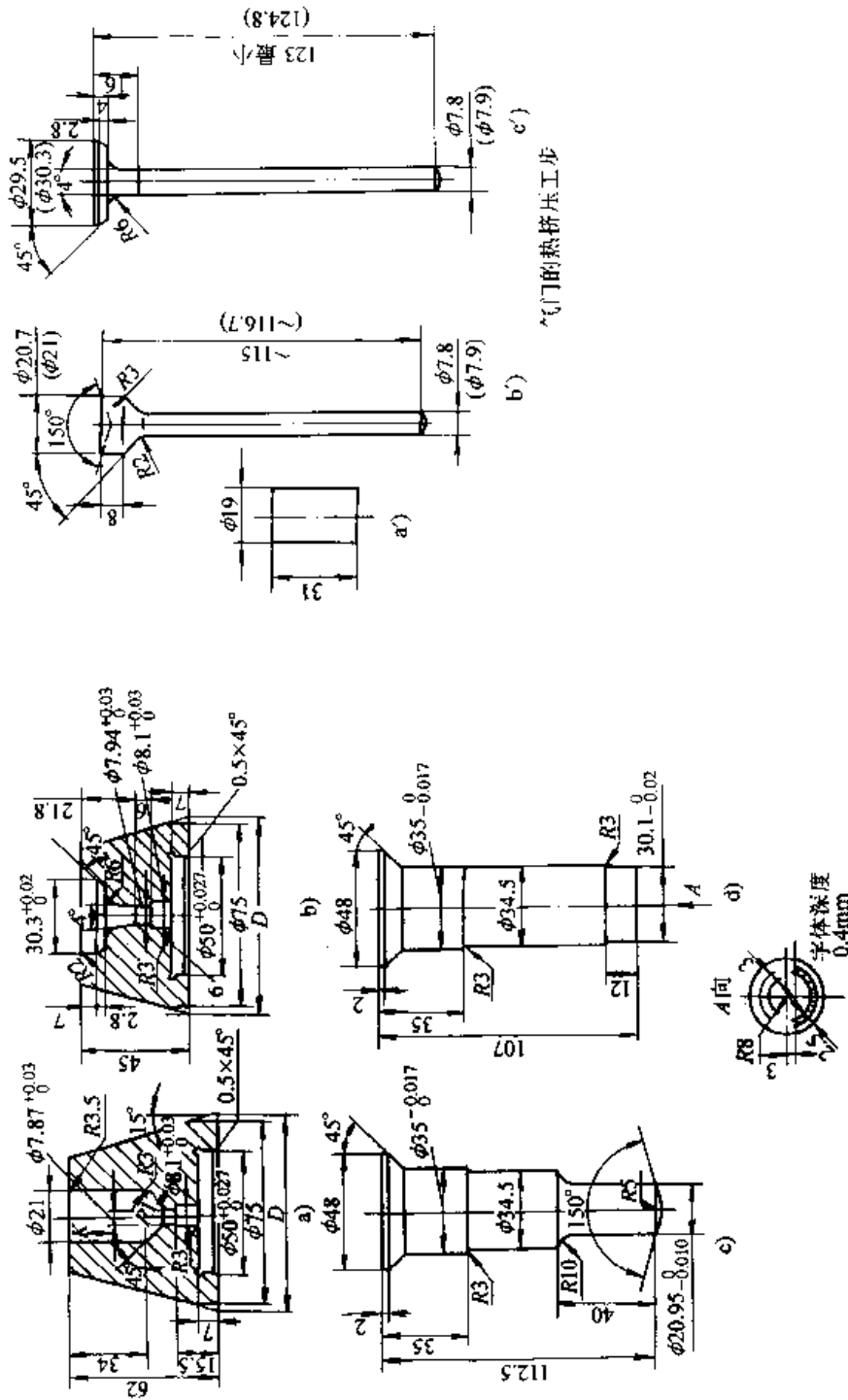


图 25.6-134 气门热(正)挤压模

- 1—下模座 2—压块 3—垫圈 4—螺栓 5—压环 6—导柱 7—盖 8—密封件 9—套筒 10—模座 11—上模座 12—支承滑块
 13—楔铁 14、15—螺母 16—双头螺柱 17—压紧垫块 18—凸模夹座螺母 19—凸模夹座 20—内锥环 21—连接片 22—螺母
 23—销钉 24—垫枕 25—顶出销子 26—顶销套管 27、30—接管头 28—可卸垫片 29—压紧螺栓 31—压紧螺栓 32—板垫



挤压气门用的锻模的可换工作模具

图 25.6-135 凸、凹模及挤压工步

- a) 第一工步凹模 b) 第二工步凹模 c) 第一工步凸模 d) 第二工步凸模
 a') 毛坯 b') 第一工步锻件 c') 第二工步锻件 (所示尺寸为变冷后锻件尺寸, 括号内尺寸考虑到了加热时锻件的体积增大)

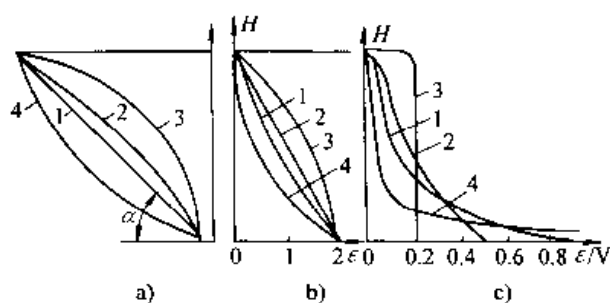


图 25.6-136 不同凹模型腔的形状及尺寸比较

a) 模腔轮廓形状 b) 变形程度曲线 c) 变形速度曲线

1—锥体 ($\alpha=45^\circ$) 2—指数

3—按计算轮廓制造 4—摆线

(模腔直径 $D=24$ mm, 杆部直径 $d=8.8$ mm,

缩口部分高度 $H=7.6$ mm)

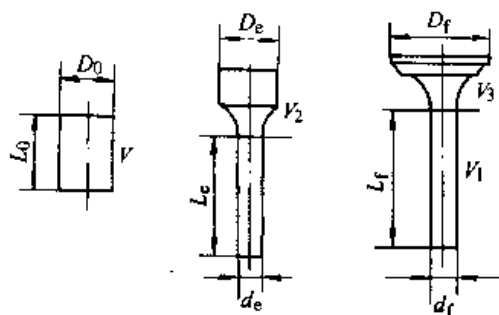


图 25.6-137 气门的挤压模锻过程

$$d_e = d_f$$

$$D_e = D_f - K_1 \quad V_2 = V_3$$

$$D_0 = D_e - K_2 = d_e + K_3$$

$$L_0 = \frac{V}{\pi/4 D_0^2} = \frac{V_1 + V_3}{\pi/4 D_0^2}$$

式中, K_1, K_2, K_3 为由实验和经验确定的修正值。

由该式可以确定挤压模腔的基本尺寸, 由此所作的挤压凹模见图 25.6-138。图中 D_e 为挤压工件头部直径, d_e 为杆部直径。

$$D_0 = D_b + 2H$$

$$D_b = d + 2BD$$

$$= d + 2\sqrt{2(R\sin\alpha_3/2)^2 - R^2/2}$$

$$= d + 0.585 8R$$

式中, R 为气门锻件盘部与杆部间的圆弧半径; H 由经验确定, 一般取 3~5 mm。

由反推法设计的挤压凹模见图 25.6-138。

图 25.6-139 为一种纵向与横向分层的气门热挤压模具结构, 该结构同传统的挤压模具结构相比, 有如下特点:

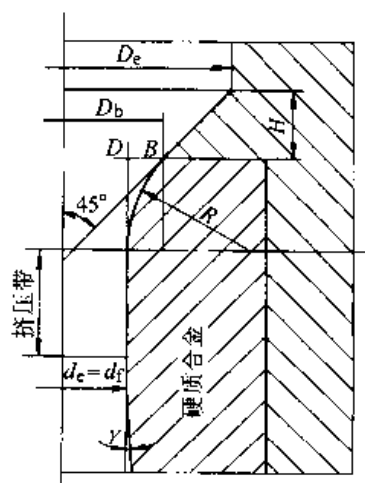


图 25.6-138 反推法设计的凹模形状

① 除挤压筒部采用径向预应力分层结构外, 轴向也采用分层结构。挤压筒镶块 4 壁厚 6~8 mm, 以单边 1.5° 锥度和 0.1~0.15 mm 的径向过盈量压入到预应力圈中, 硬质合金镶块 3 外径为 30 mm 以同样的锥度和过盈量压入到预应力圈 5 中;

② 硬质合金镶块 3 具有专门的入口轮廓, 其入口直径 d_1 略大于挤压筒出口处直径 d 挤压时, 由于出口处的强烈摩擦而有利于塑性变形区的扩展;

③ 在凹模座 1 中开有环形槽, 冷却水从接头 2 进入环形槽, 通过循环流动降低模具的温度, 有利于提高模具的使用寿命。

设计时, 取 $d_1 = d + 0.05$ mm, $Z_k = 2 \sim 3$ mm。文献指出, 经生产实用表明, 硬质合金的平均消耗为 2.1×10^{-3} g/件, 模具在锻件生产成本中所占的百分比比传统结构降低 45%。

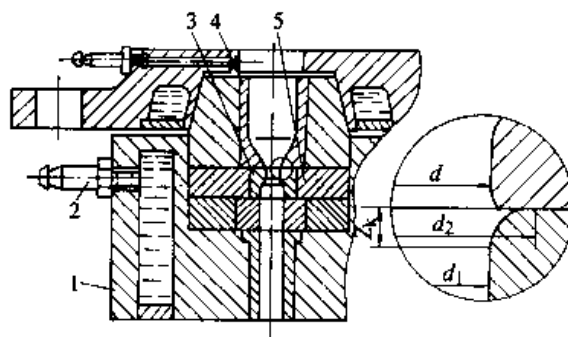


图 25.6-139 气门热挤压模具结构

6 变径管缩径挤压成形工艺及模具设计

如图 25.6-140 所示的变径管, 在汽车, 尤

其是轿车和航空、航天器中的应用逐渐广泛，其主要优点是可大幅度减轻零件重量，提高这些交通与运载工具的载重与自重之比。

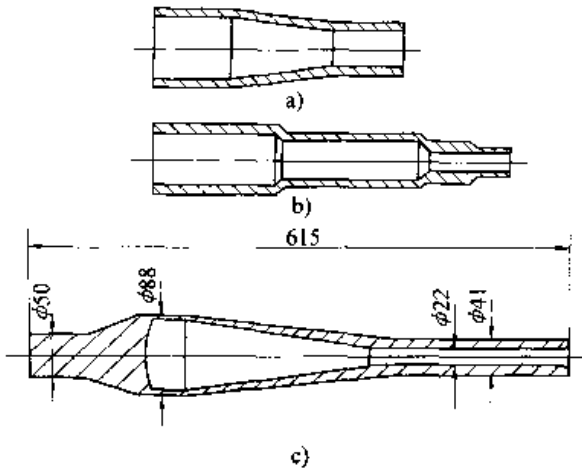


图 25.6-140 几种变径管件

6.1 缩径挤压过程分析及工艺参数的确定

(1) 缩径挤压过程分析

缩径如图 25.6-141a 所示，是将管件或预先拉深好的圆筒件，通过缩径模具将其口部直径缩小的一种成形工序。对于圆筒件，有时用它来代替拉伸工序，可以减少冲压工序，提高生产率。

缩径挤压如图 25.6-141b 所示，首先由锥形凹模从端部对管坯进行缩径，然后由芯棒从内部对已缩径部分的内壁进行挤压。

经观察分析，缩径挤压过程大致可分为四个阶段。

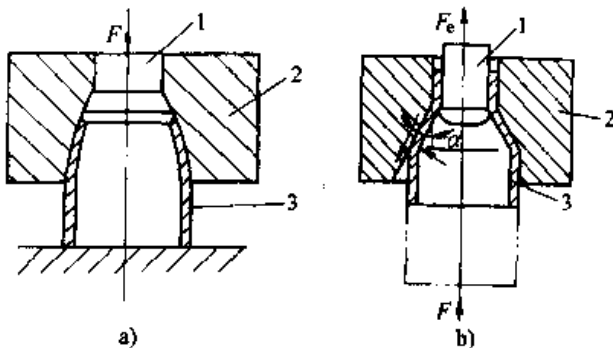


图 25.6-141 缩径与缩径挤压示意图

1—芯棒 2—凹模 3—工件

1) 刚性滑入阶段 管坯在凹模作用下，其端部首先与凹模锥孔接触，只有当管坯能够向锥

孔内滑入时，缩径过程才能进行，管坯与锥孔表面接触的瞬間能够作刚性滑入的动力学条件为

$$\tan(90^\circ - \alpha) \leq \tan\varphi$$

式中 α —凹模锥孔半角；

φ —摩擦角。

由上式可知，必然存在一临界锥角 α' 。由于轴向压力的作用，管坯开始进入锥孔，要产生少量弯曲和周向压缩变形，增加了刚性滑入的难度，故由实验所得的 α' 要比上式的理论计算值小。如果锥孔半角 $\alpha > \alpha'$ ，管坯将无法向凹模锥孔内滑动而发生轴向失稳。因此，凹模锥孔半角 α 一定要小于 α' 。从理论上可以证明必定存在一个最佳凹模锥孔半角 α_j ，且不同的管材有不同的 α_j 与 α' ，但二者间的定量描述有待进一步实验研究。

2) 缩径变形阶段 当管坯沿锥孔小端即凹模出口方向运动时，管坯直径不断减小，故圆周必为压缩变形，而厚度方向与轴向均为拉伸变形。随着缩径量的增加，应变硬化现象越来越严重，导致成形力急剧上升。当未变形区的变形抗力达到其屈服点时，就会发生轴向塑性失稳而使零件报废。降低凹模孔表面粗糙度并采用合适的润滑剂，可以明显地减小未变形区的变形抗力。若将管坯在凹模出口处与入口处的直径之比称为缩径比 n ，则 n 值越小，发生轴向塑性失稳的可能性越大。将未变形区的变形抗力达到其屈服点时的缩径比称为极限缩径比 n_{lim} ，当总缩径变形比 n 大于其极限缩径比 n_{lim} ，即 $n > n_{lim}$ 时，表明一次缩径不能达到所需尺寸，必须分多道缩径工序进行，且要求每个道次的缩径比 n_i 小于其极限缩径比 n_{lim} 。

3) 反弯曲阶段 当管坯端部自凹模锥孔小端挤出后，并不是紧贴凹模定径区的模壁向前移动，而是仍沿锥孔斜壁方向向前移动一小段距离后再向外翻转而贴向定径区模壁。这种反弯曲现象不仅是由弹性回弹造成的，更主要是管子外壁金属因受凹模锥孔表面摩擦作用，使其流动方向与轴向送进方向相反，而内壁金属处于自由状态，导致管坯变形区内外金属流动不均匀的结果。实验表明，管壁越薄，反弯曲现象越严重。

4) 挤压变形阶段 为了消除管端的反弯曲现象，在缩径变形结束后，通过芯棒沿轴线自内向外的挤压变形，将处于定径区的管壁挤直并使

内直径的尺寸精度和表面粗糙度达到零件的要求。

(2) 缩径工艺参数的确定

缩径的变形特点由图 25.6-141a 可知，材料主要受切向压应力，使直径减小，壁厚和长度增加。因而，在变形过程中，材料由于切向应力的作用易于失稳起皱。同时，在非变形区的管壁，由于承受全部缩径压力 F ，也易于失稳而产生变形。所以，防止失稳起皱是缩径工艺的主要问题。缩径的极限变形程度，主要是受失稳条件的限制。缩径变形程度可用缩径系数 m 表示：

$$m = \frac{d}{D}$$

式中 d ——缩径后的直径；
 D ——缩径前的直径。

缩径系数主要取决于材料的种类、厚度、模具形式及表面粗糙度。表 25.6-37 为平均缩径系数 m_m 。表 25.6-38 为材料在不同支承方式下的缩径系数。由表 25.6-37 和表 25.6-38 可以看出，材料塑性越好、厚度越大，或者模具结构中对管壁有支持作用的，缩径系数 m 值便较小。

缩径模的支承方式如图 25.6-142 所示。

表 25.6-37 平均缩径系数 m_m

材料	材料厚度/mm		
	~0.5	0.5~1	>1
纯铜	0.75	0.7~0.65	0.65~0.60
黄铜	0.85	0.8~0.7	0.7~0.65
钢	0.85	0.75	0.7~0.65

表 25.6-38 缩径系数 m

材料	支承方式		
	无支承	外支承	内外支承
软钢	0.70~0.75	0.55~0.60	0.30~0.35
黄铜 H62、H68	0.65~0.70	0.50~0.55	0.27~0.32
铝	0.68~0.72	0.53~0.57	0.27~0.32
硬铝 (退火)	0.73~0.80	0.60~0.63	0.35~0.40
硬铝 (淬火)	0.75~0.80	0.68~0.72	0.40~0.43

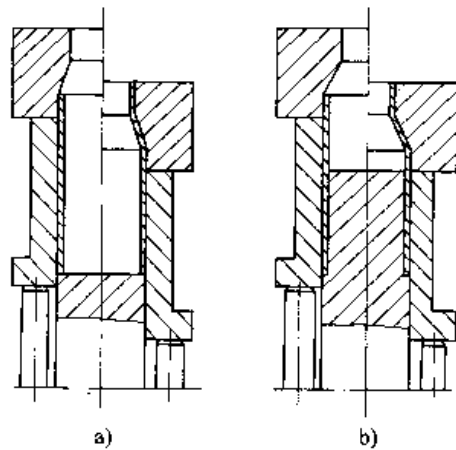


图 25.6-142 缩径模的支承方式

a) 外支承 b) 内外支承

当制件的缩径系数 m_m 小于表 25.6-37 中所列的数值时，就需要多次缩径，其中缩径系数可参考下式确定：

首次参考系数 $m_1 = 0.9m_m$

再次缩口系数 $m_2 = (1.05 \sim 1.1) m_m$

缩径次数 n 可按下列下式确定：

$$n = \frac{\lg d - \lg D}{\lg m_m}$$

缩径后端部壁厚由原来厚度 t_0 增加到 t' ，其值为

$$t' = t_0 \sqrt{\frac{D}{d}}$$

对于多次缩径

$$t_n = t_{n-1} \sqrt{\frac{D}{d}}$$

缩径后工作高度的计算 (参见图 25.6-143) 如下：

对于图 25.6-143a：

$$H = 1.05h_1 + \frac{D^2 - d^2}{8D \sin \alpha} \left[1 + \sqrt{\frac{D}{d}} \right]$$

对于图 25.6-143b：

$$H = 1.05 \left\{ h_1 + h \sqrt{\frac{d}{D}} + \frac{D^2 - d^2}{8D \sin \alpha} \left[1 + \sqrt{\frac{D}{d}} \right] \right\}$$

对于图 25.6-143c：

$$H = h_1 + \frac{1}{4} \left[1 + \sqrt{\frac{D}{d}} \right] (\sqrt{D^2 - d^2})$$

缩径凹模的锥角 $\alpha < 45^\circ$ ，最好在 30° 以下。

在合理的锥角 α 时，允许的极限缩径系数 m 可比 m_m 小 10%~15%。缩径后，由于回弹的原因，工件要比模具尺寸增大 0.5%~0.8%。

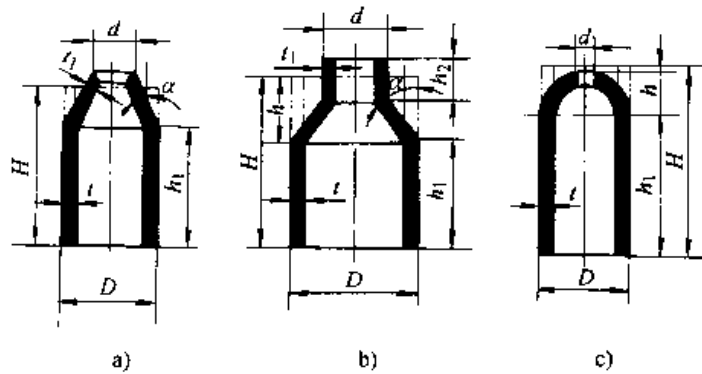


图 25.6-143 缩径后工件高度的计算

6.2 缩径成形力和壁厚变化的计算

(1) 缩径成形力的计算

薄壁管缩径挤压成形中挤压变形量甚微，变形力较缩径成形力要小，从选择设备吨位和凹模强度设计考虑，只需分析计算缩径成形力即可。

在薄壁管缩径成形过程中，因任意截面的壁厚与直径之比很小，故沿壁厚的应力变化可以忽略不计，忽略管坯的弹性变形对计算误差也不会造成多大影响。因此，可以认为当管端到达凹模出口处时其缩径变形已由非稳态过程转变为稳态过程，如图 25.6-144a 所示。在变形区内微元体上的应力状态如图 25.6-144b 所示，其中平行于锥孔表面的 q 为轴向应力， σ_0 为周向应力， p 为模具与工件接触表面上的法向应力，对应的摩擦应力为 $\tau = \mu p$ ， μ 为摩擦因数。应用主应力法分析可得缩径（缩口）力 F (N) 也可按下式计算：

$$F = K \left[1.1\pi D t \sigma_s \left(1 - \frac{d}{D} \right) (1 + \mu \cot \alpha) / \cos \alpha \right]$$

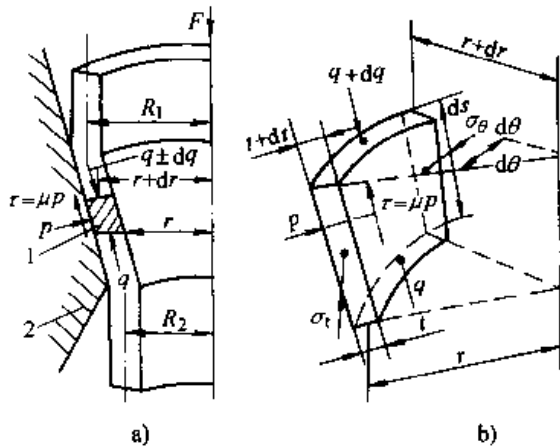


图 25.6-144 缩径变形过程及应力状态
1—管坯 2—凹模

式中 t ——材料厚度（按厚度不变计算）(mm)；

D ——毛坯直径（中径）(mm)；

d ——缩径部分直径（中径）(mm)；

μ ——凹模与毛坯接触面的摩擦因数；

σ_s ——材料屈服点，取 $\sigma_s = \sigma_b$ ；

α ——凹模圆锥半角；

K ——速度系数，在曲柄压力机上工作时，

$K = 1.15$ 。

(2) 壁厚变化的计算

壁厚 t 与半径 r 的关系：

$$t = \frac{r t_1 \left[\frac{(1-B)R_1 + (1+B)R_2}{[(1-B)r + (1+B)R_2]} \right]^{3/(1-R)}}{R_1}$$

出口处的壁厚：

$$t_2 = \frac{R_2 t_1 \left[\frac{(1-B)R_1 + (1+B)R_2}{2R_2} \right]^{3/(1-R)}}{R_1}$$

令出口处与入口处管径之比为 $n = R_2/R_1$ ，则管壁厚度之比为

$$n_t = \frac{t_2}{t_1} = n \left[\frac{(1-B) + (1+B)n}{2n} \right]^{3/(1-R)}$$

由于缩径变形阶段轴向应力 q 为压应力，图 25.6-144b 所示微元体处于三向受压状态，在实际缩径范围 ($0.7 < n < 1.0$) 内，壁厚不断增加。当直径比 n 一定时，锥孔半角 α 越小，壁厚比 n_t 越大。

6.3 缩径挤压模具设计及应用实例

(1) 缩径挤压模具设计

图 25.6-142 所示实际为缩径（缩口）模的工作部分。图 25.6-145 为一简单缩径模具的整体结构。不难看出，它与一般冲压模具的结构相似。但在设计时，需特别注意的是，当工件长径比较大在缩径过程中可能产生失稳时，应当设计芯棒，芯棒还起定位作用。

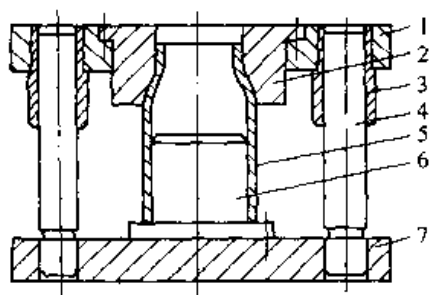


图 25.6-145 缩径模具结构
1—上模板 2—凹模 3—导套 4—导柱
5—工件 6—芯棒 7—下模板

(2) 应用实例

图 25.6-146 所示变径管为用于自卸车和一些改装车的传动轴套管，因为内径 d_1 有较为严格的精度要求，故需采用外缩径内挤压的成形工艺才能达到图样要求。

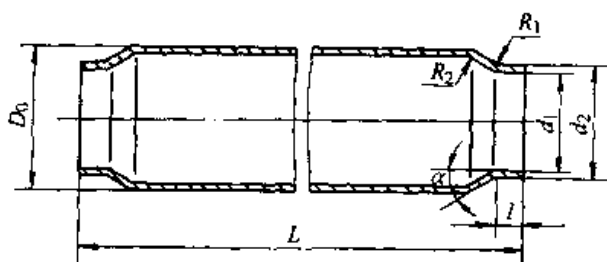


图 25.6-146 变径管零件图

图 25.6-147 为实现变径管缩径挤压工艺的模具装置。1 为管坯夹紧凹模，3 为缩径凹模，4 为芯棒，5 为凹模座，9 为油缸柱塞。凹模 3 通过螺栓 6 与凹模座 5 相连，芯棒 4 通过螺钉 7 与凹模座 5 紧固为一体，凹模座 5 通过螺钉 8 与油缸柱塞 9 固定。油缸与夹紧凹模 1 的下凹模固定在油压机的工作台面上，夹紧凹模 1 的上凹模固定

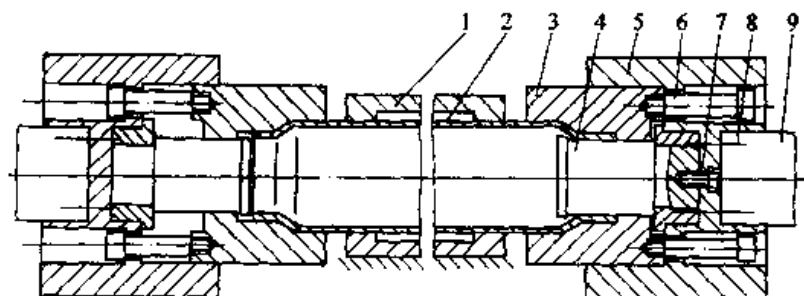


图 25.6-147 变径管缩径挤压模具装置

1—夹紧凹模 2—管坯 3—缩径凹模 4—芯棒
5—凹模座 6—螺栓 7、8—螺钉 9—油缸柱塞

在油压机滑块上。工作时，首先油压机滑块下行，凹模 1 的上下两半凹模将管坯 2 夹紧，接着左右两油缸柱塞 9 向前移动，芯棒 4 伸入管坯内，左右两凹模 3 同时对管坯两端进行缩径，当缩径长度达到预定长度后，左右两油缸柱塞同时后退，凹模 3 静止不动，芯棒 4 随柱塞 9 后退而对工件两端已缩径的部分进行挤压，当柱塞继续后退时，通过螺栓 6 将凹模 3 从工件上退出，油压机滑块回程，完成一个工作循环，即生产出一根变径管。

以 EQ3141G 套管为例，传统的生产工艺是将两段直径为 d_2 的短管通过两段截锥管同直径为 D_0 的长管焊接后经车削两端内孔 d_1 至规定精度而成，而两段截圆锥则是采用厚壁筒经车削加工而成。或采用厚壁管坯将小端与截锥管作为一整体加工（两件），然后同直径为 D_0 的长管焊接为一体，再将两端孔径 d_1 加工到规定尺寸精度。采用整体管坯缩径挤压成形，只需油压机一次工作循环，便能生产一根优质变径套管。

缩径挤压成形同传统工艺比较：

- 1) 显著降低生产成本，例如生产一根 EQ3141G 套管，其加工费用由约 62 元减少到 29 元，即减少了 50% 以上；
- 2) 采用整体管坯，材质均匀，且经冷态缩径挤压变形，使套管两端材料得到了强化，提高了力学性能指标，增强了扭转疲劳寿命。且因整体成形明显提高了动平衡性能，采用老工艺生产时，多数套管需附加 2~3 块配重块，采用新工艺生产时，多数套管只需附加 1 个配重块；
- 3) 显著提高生产率，且改善劳动条件；
- 4) 易于实现生产自动化。

第7章 冷镦模设计

1 概述

冷镦是指常温下金属线材在自动冷镦机上进行镦挤成形的一种加工方法：冷镦工艺多用于铆钉、螺钉、螺栓、螺母、小轴和空心套等零件的头部成形或整体成形。

冷镦模具设计的合理与否，是决定模具的使用寿命和制件质量好坏的主要条件之一。

冷镦模具的工作特点和要求：

1) 作用在模具上的单位压力较大，有时可达到 2 500~3 000 MPa，因此，要求模具必须具有足够的强度。

2) 模具工作表面温度高。当模具连续工作时，模具工作表面温度就要上升，有时瞬时温度上升到 300℃ 以上。

3) 模具工作表面所承受的摩擦载荷大。由于变形时金属与模具的接触面产生很大的摩擦，所以模具的工作表面承受很大的摩擦载荷，故要求模具的工作表面要有良好的耐磨性和耐粘附件。

4) 模具工作部分应避免出现尖角或退刀槽，尽量采用光滑的圆角过渡。对承受内压力较大的凹模，在结构上往往采用预应力圈，以防凹模过量的变形与开裂。为了防止因模具工作部分形状突变而引起的应力集中，往往将凸凹模作成组合结构。

5) 冷镦模具材料要求具有足够的强度和硬度，较好的韧性，较大的疲劳强度，较好的热处理淬透性和抗回火稳定性，热处理变形小，以及良好的机械加工性能等。

冷镦模具的设计程序一般为：

1) 确定成形方式和变形工序，主要考虑冷镦材料的性质，坯料的变形和尺寸要求，变形程度大小，生产批量的大小等。

2) 计算单位压力和总载荷，考虑模具许用的单位压力和冷镦设备的选择。

3) 确定模具工作部分的型式，采用整体式还是组合式。

4) 确定模具工作部分基本尺寸。

5) 对模具进行强度核算。

6) 确定模具各部分尺寸。

7) 绘制模具图。

1.1 冷镦工艺过程和力的计算

通常冷镦件按其形状可分为实心零件和空心零件两大类。其制造零件的直径最大可达 38 mm，长度可达 200 mm，在特殊的自动冷镦机上可达 400 mm，但最广泛冷镦加工的零件直径是 3~16 mm。

自动冷镦机的生产率非常高，可以达到每分钟生产 400 件左右，小零件甚至可以达到 800 件/min，一般不产生飞边。用于冷镦的原材料一般是经过冷拔的圆截面线材，其公差见表 25.7-1。

表 25.7-1 冷镦用冷拔线材的尺寸公差 (mm)

线材外径	公差	圆度
<9.00	+0 -0.03	<0.015
≥9.00~18.00	+0 -0.04	<0.02
≥18.00	+0 -0.05	<0.025

冷镦工艺过程的确定要按照零件材料的塑性(许用镦粗率)、零件结构形状、尺寸精度和避免产生缺陷等因素考虑。

(1) 镦粗率的计算

镦粗时轴向变形程度的计算公式如下

$$E = \frac{H'_0 - H'_N}{H'_0} \times 100\%$$

式中 E —— 镦粗率 (%)；

H'_0 —— 毛坯镦粗变形高度 (mm)；

H'_N —— 工件镦粗部分的最后高度 (mm)。

毛坯锻粗变形高度 H'_0 不应包括在模膛内不发生锻粗变形的高度, 如图 25.7-1 所示。

从图 25.7-1 可知, 锻粗变形高度 H'_0 应等于毛坯总高度减去毛坯在上、下模膛内断面不发生扩张部分的高度。

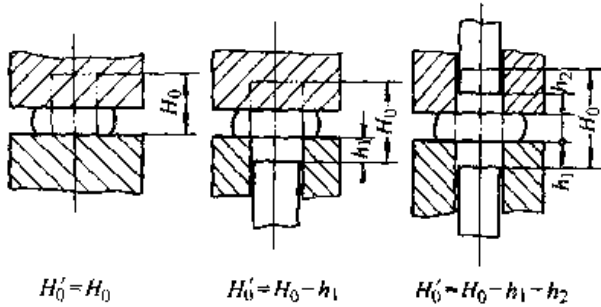


图 25.7-1 锻粗变形高度的确定

H_0 —— 毛坯的总高度

h_1 、 h_2 —— 毛坯在上下模膛内不发生锻粗变形的高度

为了使变形不致发生轴向弯曲, 一次变形时, 一般控制毛坯最大变形高度 $H'_{0\max}$ 小于或等于毛坯直径 d_0 的 2.3 倍, 即 $H'_{0\max} \leq 2.3d_0$ 。

如果毛坯在模膛中安装时自由伸出量较小, 或采用防止轴向弯曲的定位套时, 则最大变形高度可以适当加大。

冷锻的许用变形程度取决于材料的塑性、硬度、模具条件和润滑状态等。冷锻许用变形程度就是在冷锻成形时, 允许取用锻粗率的最大界限值。许用变形程度与极限变形程度有所不同。冷锻时的极限变形程度, 就是在锻粗变形过程中, 材料表面开始出现裂纹时的极限锻粗率。为了保证成形的可靠性, 许用变形程度必须小于极限变形程度。极限锻粗率是将一定直径和一定高度的材料, 经过软化处理后通过自由锻粗的实验获得。表 25.7-2 列出部分钢材的极限锻粗率 E_{lim} 和许用锻粗率 E_p 。

当变形程度超过表中所列出的许用值时, 就应采用多次成形。并在两道变形工序之间进行中间退火, 以消除冷作硬化现象。

(2) 冲击次数的确定

根据许用变形程度和极限变形程度, 考虑顶锻成形时不至产生开裂、弯曲、折叠、夹灰等缺陷, 顶锻成形所必须的冲击次数, 一般按线材未夹持部分的自由高度 l 与其直径 d_m 之比确定, 如图 25.7-2 所示。

表 25.7-2 钢材的极限锻粗率和许用锻粗率

材 料	$E_{\text{lim}}/\%$	$E_p/\%$
10	80	68
08F 10F	90	72
20	76	65
35	73	60
15Cr	78	60
40Cr	74	55
30CrMnSiA	87	65
65Mn	50	40
GCr15	60	45
1Cr18Ni9Ti	90	76

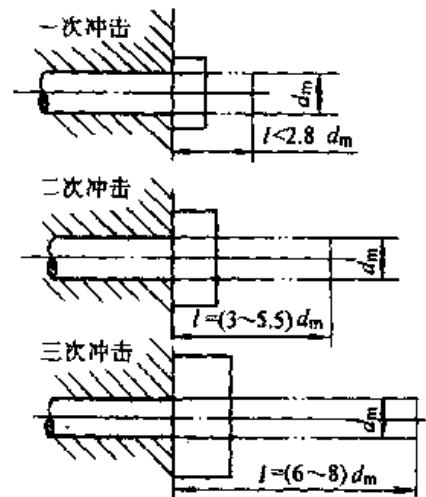


图 25.7-2 冲击次数的确定

当 $l/d_m \leq 2.8$ 时, 需要进行一次冲击;
 当 $l/d_m = 3 \sim 5.5$ 时, 需要进行二次冲击;
 当 $l/d_m = 5.6 \sim 8$ 时, 需要进行三次冲击。

每次冲击后缩短的尺寸情况如下:

- 第一次冲击后缩短到 (75% ~ 80%) l ;
- 第二次冲击后缩短到 (40% ~ 55%) l ;
- 第三次冲击后缩短到工件的最后高度 h_k 。

此外, 冲击次数还取决于头部尺寸 D 与 h_k 的比值, 如果径向尺寸 D 较大, 而厚度 h_k 又较小, 这时必须考虑增加一次冲击次数, 以锻粗直径缩短高度。

冷锻螺钉头部及六角螺母所需毛坯长度的计算见表 25.7-3 及表 25.7-4。

表 25.7.3 冷锻螺钉头部所需毛坯长度的计算

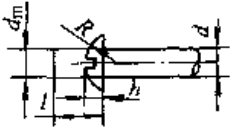
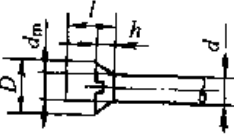
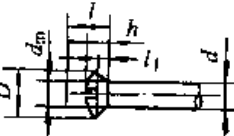
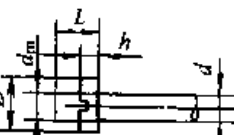
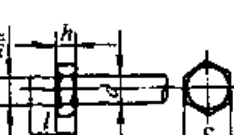
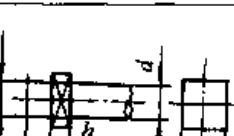
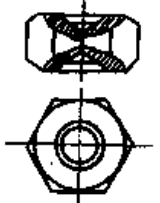
名称	头部形状	毛坯长度的计算公式
半圆头		$L = \frac{4h^2}{d_m^2} \left(R - \frac{h}{3} \right)$
沉头		$L = \frac{h}{3d_m^2} (D^2 + Dd + d^2)$
半沉头		$L = \frac{4h}{d_m^2} \left(\frac{D^2}{8} + \frac{h^2}{6} \right) + \frac{6}{3d_m^2} (D^2 + Dd + d^2)$
平顶圆柱头		$L = \frac{D^2}{d_m^2} \cdot h$
六角头		$L = 1.33 \cdot \frac{S^2}{d_m^2} \cdot h$
四方头		$L = 1.27 \cdot \frac{S^2}{d_m^2} \cdot h$

表 25.7.4 冷锻六角螺母毛坯尺寸的计算

名称	未冲孔形状	毛坯直径 d		毛坯长度 L
六角螺母		<M6	$d = (1.1 \sim 1.2)d_n$	$L = \frac{4V}{\pi d^2}$
		M8 ~ M24	$d = (1.0 \sim 1.1)d_n$	

注: d_n —螺母的公称直径;

V —未冲孔螺母毛坯的体积。

(3) 冷锻变形力的计算

正确地确定冷锻变形力的大小, 对合理地选

用设备吨位, 正确的进行模具结构设计等都是十分重要的。

影响冷墩力的主要因素有变形材料的机械性能、零件的尺寸、形状和变形程度、冷墩变形方式、模具结构及润滑条件等因素。

$$F = \beta \sigma_s D^2$$

式中 F ——总的顶墩力 (N);
 σ_s ——冷墩前材料的屈服点 (MPa);
 D ——冷墩头部的最大直径 (mm);
 β ——系数, 对一般低碳钢, 当变形程度在 50%~60% 时, 其值在 5~6 范围内。

即上式可简化为:

$$F = (5 \sim 6) \sigma_s D^2$$

若变形条件不属于上述情况时, β 值可通过计算求得, 计算公式如下:

$$\beta = CZ \left(1 + \frac{\mu D}{3h_k} \right) \frac{\pi}{4} = 0.785 CZ \left(1 + \frac{\mu D}{3h_k} \right)$$

代入上式, 即可计算出冷墩力

$$P = 0.785 CZ \sigma_s \left(1 + \frac{\mu D}{3h_k} \right) D^2$$

式中 C ——冷作硬化系数;
 Z ——形状充满系数, 其数值的大小, 可由图 25.7-3 查出;
 μ ——外摩擦因数, 根据润滑条件不同而不同, 一般在 0.08~0.15 范围内变动;
 D ——冷墩及零件头部最大直径 (mm);
 h_k ——冷墩及零件头部最大高度 (mm)。

冷作硬化系数 C 值可由下式求得, 即冷墩前后的屈服点比

$$C = \frac{\sigma'_s}{\sigma_s}$$

式中 σ'_s ——加工硬化后的屈服点 (MPa), 按金属压缩时的硬化曲线 (图 25.7-4) 查得;
 σ_s ——冷墩前钢材的屈服点 (MPa)。

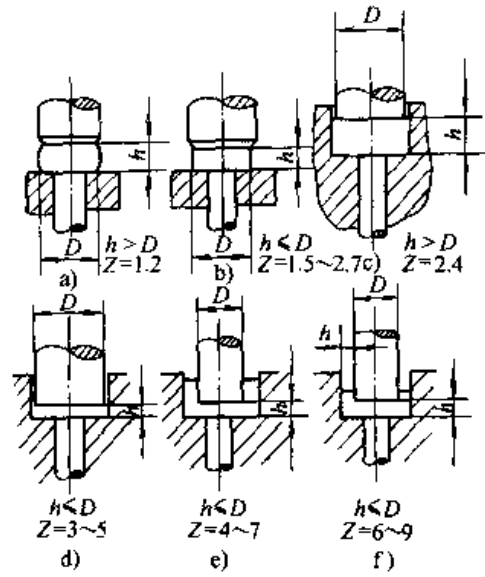


图 25.7-3 形状充满系数 Z

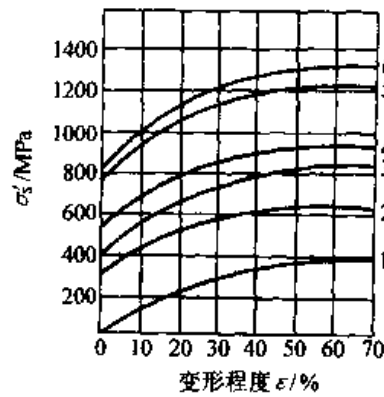


图 25.7-4 金属压缩时的硬化曲线

1—铜 2—10钢 3—35钢

4—45钢 5—40Cr 6—40CrNiMoA

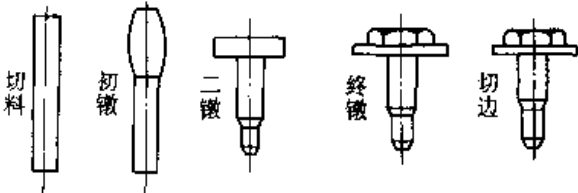
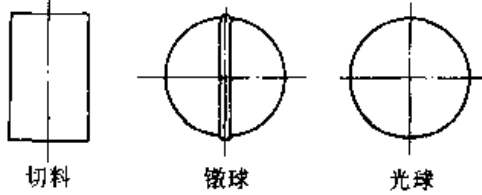
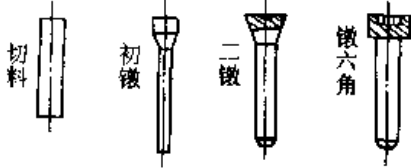
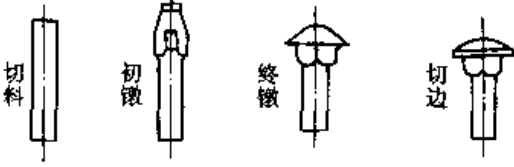
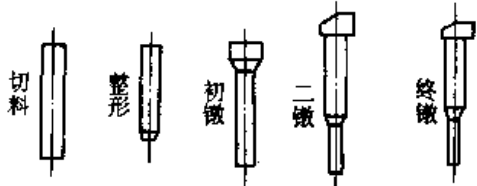
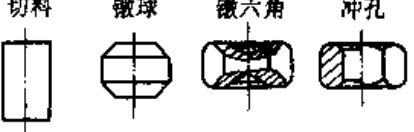
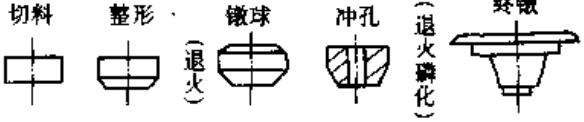
1.2 典型零件冷墩工艺

冷墩工艺由下列主要工序组成: 切料、初墩、二墩、终墩、墩球、切边、冲孔等, 几种主要冷墩零件的工艺简单地列于表 25.7-5。

表 25.7-5 典型零件冷墩工艺

序号	名称	成形工序
1	六角头螺栓	

续表 25.7-5

序号	名称	成形工序
2	凸缘螺栓	
3	钢 球	
4	内六角螺钉	
5	半圆头方颈螺栓	
6	连杆螺栓	
7	六角螺母	
8	阀门弹簧座圈	

2 自动冷锻机模具

2.1 冷锻模具的分类

冷锻模具分为冷锻杆状零件和冷锻螺母零件两大类，另外还有通用的坯料和制造螺纹用工具。

冷锻杆状零件的模具主要用来生产铆钉、螺钉、螺栓、小轴等零件，其模具的主要品种有初锻冲头组合（有时还可以有二锻冲头组合）、终锻冲头组合、锻粗凹模组合、切边冲头组合、切边凹模组合等。

冷锻螺母类零件的模具主要用来生产螺母、火花塞、弹簧座圈等空心零件。一般常用的模具部件品种有：整形冲头组合、整形凹模组合、锻球冲头组合、锻球凹模组合、锻六角冲头组合、锻六角凹模组合、冲孔冲头组合、冲孔凹模组合。

为了便于加工，节约模具材料，提高模具寿命等因素，冲头及凹模都做成组合形式。

冷锻模具主要品种及其零件名称材料。热处理硬度要求见表25.7-6，各组合的零件数随结构不同可以简化。

表 25.7-6 冷锻模具分类及名称

零件类别	名称	组成	材料	硬度	用途
杆类	初锻冲头组合	初锻冲头 冲头套 冲头垫块 冲头后垫	T10 5CrNiMo T10 T10	58~60HRC 44~48HRC 50~55HRC 58~62HRC	起过渡作用，形成所需金属流线
	终锻冲头组合	终锻冲头 冲头套 冲头垫块 冲头后垫	7Cr7Mo3V2Si 5CrNiMo	见冲头设计 44~48HRC	锻出杆状零件头部几何形状和尺寸
	凹模组合	凹模 凹模垫块 顶料杆 凹模套 凹模后垫 顶料杆套	YG20C, 5CrNiMo Cr12MoV 65Mn, 9SiCr 5CrNiMo 或 40Cr T10	44~48HRC 60~62HRC 58~60HRC 44~48HRC 50~55HRC	锻出杆状零件的杆部颈部、头部或部分头部
	切边冲头组合	切边冲头（切边模） 切边冲头垫块 切边冲头套 切边冲头后垫	Cr12MoV 或 7Cr7Mo3V2Si T10 65Mn T10	58~60HRC 50~55HRC 40~45HRC 50~55HRC	切制零件所需形状和尺寸
	切边凹模组合	切边凹模 切边凹模模套 切边凹模垫块 顶料杆 切边凹模后垫 顶料杆套	T10 T10	58~60HRC 45~50HRC	

续表 25.7-6

零件类别	名称	组成	材料	硬度	用途
螺 母 类	整形冲头组合	整形冲头	68Si2MnA	56~60HRC	将切下的料 两端锻平并倒 角
		整形冲头模套	T10	50~55HRC	
	整形凹模组合	整形冲头垫块	T10	58~62HRC	
		整形冲头后垫	T10	58~62HRC	
		整形凹模	T10	56~60HRC	
		整形推料杆	9SiCr	54~58HRC	
		整形凹模模套	T10	50~55HRC	
		整形凹模垫块	T10	58~62HRC	
		整形凹模弹簧座	T10	45~50HRC	
	锻球冲模组合	整形推料杆座	T10	58~62HRC	
整形凹模后垫		T10	58~62HRC		
锻球冲模		GCr15 或 T10	58~62HRC	将制件锻成 端面凹心的桶 形	
锻球冲模推杆(锻球推杆)		9SiCr	54~58HRC		
锻球冲模推杆座	T10	58~62HRC			
锻球冲模垫块	T10	58~62HRC			
锻球凹模组合	锻球凹模	T10	58~62HRC		
	锻球凹模推杆	T10	58~62HRC		
	锻球凹模模套	T10	50~58HRC		
	锻球凹模垫块	T10	58~62HRC		
	锻球凹模弹簧座	45	40~45HRC		
	锻球凹模推杆座	T10	58~62HRC		
	锻球凹模推杆后垫	T10	58~62HRC		
	锻球凹模后垫	T10	58~62HRC		
锻六角冲头组合	锻六角冲头	Cr12MoV 或 7Cr7Mo3V2Si	58~62HRC	六角成形	
	锻六角冲头模套	T10	50~55HRC		
锻六角凹模组合	锻六角冲头垫块	T10	58~62HRC		
	锻六角冲头模后垫	T10	58~62HRC		
	锻六角凹模	YG20C	58~62HRC		
	锻六角下冲头	Cr12MoV 或 7Cr7Mo3V2Si	58~62HRC		
	锻六角凹模套	T10	50~55HRC		
	锻六角下冲头紧固螺母	45	28~32HRC		
冲孔冲头组合	锻六角下冲头套	T10	55~60HRC		
	锻六角凹模弹簧座	45	40~45HRC		
冲孔冲头组合	冲孔冲头	W18Cr4 或 7Cr7Mo3V2Si	58~62HRC	冲掉废料	
	冲孔冲头模套	T10	50~55HRC		
	冲孔冲头垫块	T10	58~62HRC		
	冲孔冲头模后垫	T10	58~62HRC		
冲孔凹模组合	冲孔凹模	60Si2MnA	58~62HRC		
	冲孔凹模套	T10	50~55HRC		
	冲孔凹模垫块	T10	58~62HRC		
	冲孔凹模后垫	T10	58~62HRC		

续表 25.7-6

零件类别	名称	组成	材料	硬度	用途
通用类	切料刀组合	切料刀	YG20, GCr15, T10	58~62HRC	切断线材
		切料刀压板	65Mn	40~45HRC 50~55HRC	
	切料模组合	切料模	W18Cr4V, 7Cr7Mo3V2Si	58~62HRC	切断线材
		切料模垫块	YG20C	50~55HRC	
		切料模模套	T10	50~55HRC	
切料模后垫	T10	50~55HRC			
滚丝轮		Cr12MoV 或 9SiCr	59~62HRC	滚压螺纹	
搓丝板		Cr12MoV 或 9SiCr	59~62HRC		

注：1. 根据冲击次数，除初锻冲头外还可有二锻冲头等。
2. 根据凹模形状，结构，用途，凹模还可分为多种，见凹模设计。

2.2 自动冷锻机模具结构

用于双击或多工位自动冷锻机的模具，其凹模、冲头座尺寸按冷锻机型号已标准化，冷锻螺钉、六角和内六角螺栓、螺母等标准紧固件的模具结构示于图 25.7-5, 25.7-6, 25.7-7, 25.7-8, 25.7-9, 25.7-10, 上述模具的冲头与凹模虽然在轴线方向是组合的，但在圆周方向是整体的，所以仍然称为整体模，用开合模自动冷锻机时凹模本身是横向可以开合的，开合凹模用于加工长

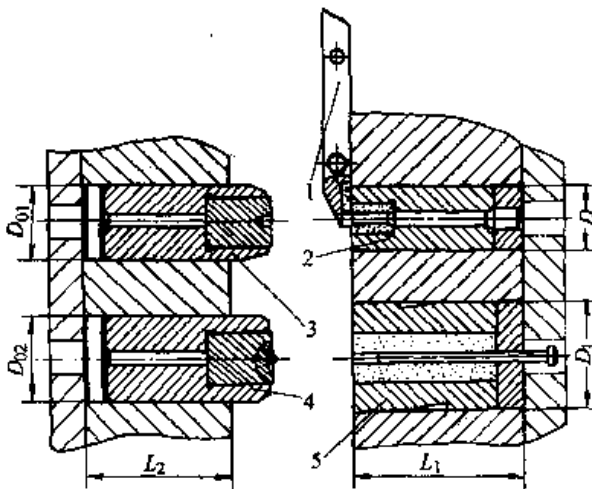


图 25.7-5 双击整模自动冷锻机冷锻螺钉模具
1—切料刀组合 2—切料模组合 3—初锻冲头组合 4—终锻冲头组合 5—锻凹模组合

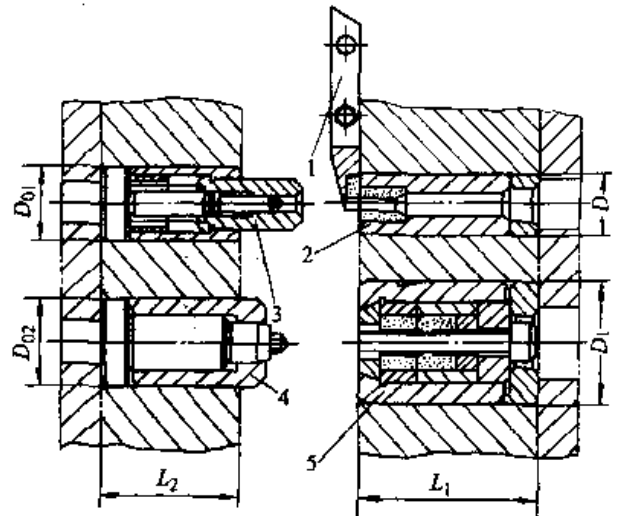


图 25.7-6 双击整模自动冷锻机冷锻内六角螺钉模具
1—切料刀组合 2—切料模组合 3—初锻冲头组合 4—锻六角冲头组合 5—锻六角凹模组合

杆的零件和特殊零件，其加工方式为：材料的供给与锻锻的动作同步，通过安装在切料刀滑块上的切料刀将材料切断，并沿与锻锻方向垂直的方向送到凹模前方，由初锻或终锻冲头压入开合凹模内，此时坯料被可分凹模夹紧固定，终锻完毕时，可分凹模重新张开，成品被顶杆顶出。其加工过程示于图 25.7-11。

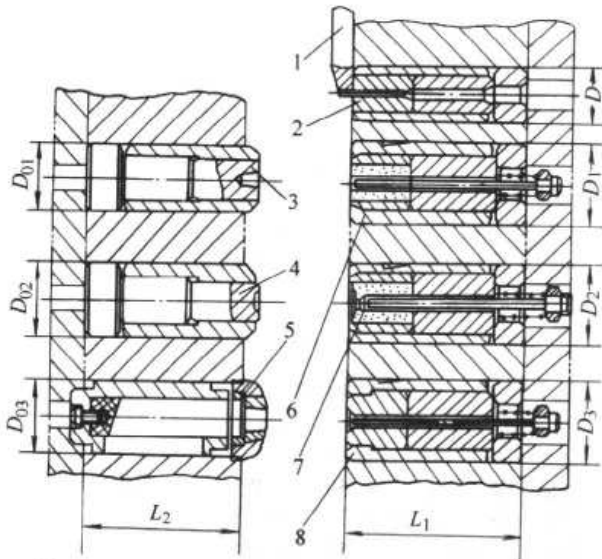


图 25.7-7 多工位自动冷锻机冷锻六角螺栓模具
1—切料刀 2—切料模组合 3—初锻冲头组合
4—终锻冲头组合 5—切边冲头组合 6—初锻凹模组合 7—终锻凹模组合 8—切边凹模组合

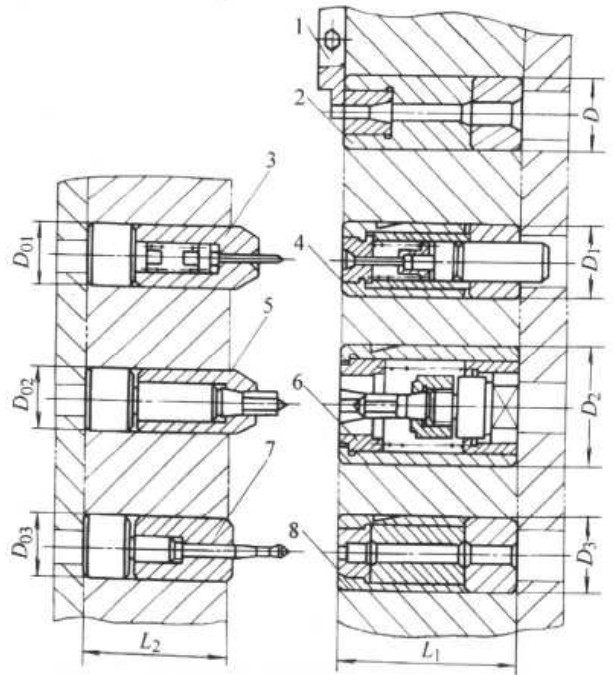


图 25.7-9 三工位螺母冷锻机模具
1—切料刀组合 2—切料模组合 3—锻球冲头组合
4—锻球凹模组合 5—锻六角冲头组合 6—锻六角凹模组合 7—冲孔冲头组合 8—冲孔凹模组合

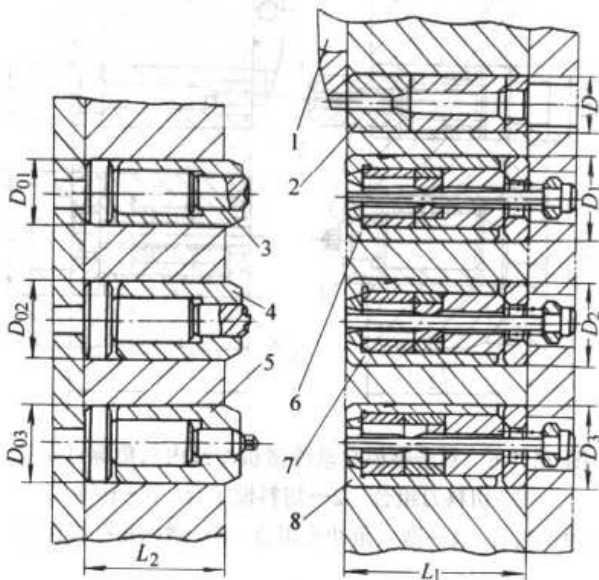


图 25.7-8 多工位自动冷锻机冷锻内六角螺钉模具
1—切料刀 2—切料模组合 3—初锻冲头组合
4—成型冲头组合 5—内六角冲头组合 6—初锻凹模组合 7—成型凹模组合 8—锻六角凹模组合

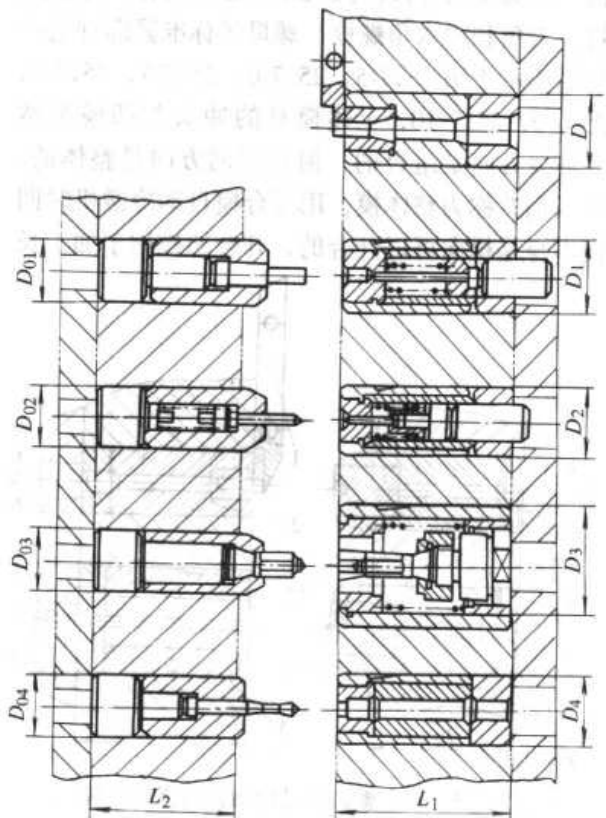


图 25.7-10 四工位螺母冷锻机模具

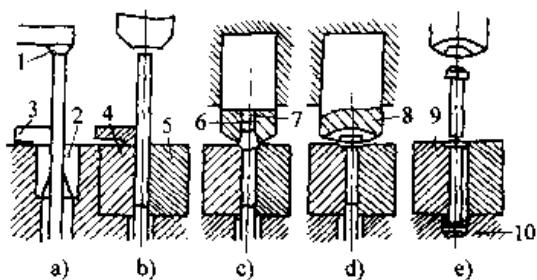


图 25.7-11 采用可分凹模的冷锻工艺

- a) 送料及切断 b) 材料(切断后)送至可分凹模前
 c) 材料插入凹模内可分凹模夹紧第1次锻
 d) 第2次锻 e) 凹模开放, 顶出产品
 1—长度定位挡料器 2—切料模 3—切料刀
 4—固定可分凹模 5—可动可分凹模 6—切锻冲头
 7—销 8—终锻冲头 9—顶出销 10—顶出杆

2.3 自动冷锻机模膛尺寸

- (1) 双击整模自动冷锻机
 双击整模自动冷锻机模膛尺寸见表 25.7-7。
 (2) 多工位自动冷锻机
 多工位自动冷锻机模膛尺寸见表 25.7-8。
 (3) 三工位螺母冷锻机
 三工位螺母冷锻机模膛尺寸见表 25.7-9。
 (4) 四工位螺母冷锻机
 四工位螺母冷锻机模膛尺寸见表 25.7-10。

表 25.7-7 双击整模自动冷锻机模膛尺寸 (mm)

制件最大螺纹规格		M2.5	M4	M6	M8	M12	M16	
切料模	直径 D	14	18	22	35	45	60	
	长度 L_1	35	50	80	110	150	200	
锻凹模	直径 D	25	35	50	60	80	100	
	长度 L_1	35	50	80	110	150	200	
冲头	直径	初锻 D_{01}	16	22	30	35	55	70
		终锻 D_{02}	22	25	35	50	65	80
	长度 L_2	30	40	50	60	85	110	

表 25.7-8 多工位自动冷锻机模膛尺寸 (mm)

制件最大螺纹规格		M6	M8	M12	M16	M20	
切料模	直径 D	22	35	45	60	70	
	长度 L_1	80	110	150	200	250	
锻凹模	直径 $D_1 \sim D_3$	50	60	80	100	120	
	长度 L_1	80	110	150	200	250	
冲头	直径	初锻工位 D_{01}	30	35	55	70	80
		其余工位 $D_{01} \sim D_{03}$	35	50	65	80	100
	长度 L_2	70	100	140	170	200	

表 25.7-9 三工位螺母冷锻机模膛尺寸 (mm)

制件最大螺纹规格		M4	M6	M8	M12	M16	M20
切料模	直径 D	25	30	45	60	70	90
	长度 L_1	60	80	100	150	180	200

续表 25.7-9

制件最大螺纹规格		M4	M6	M8	M12	M16	M20	
锻凹模	直径	锻球工位 D_1	25	30	45	60	70	90
		锻六角工位 D_2	45	60	75	100	130	160
		冲孔工位 D_3	25	30	45	60	70	90
长度 L_1		60	80	100	150	180	200	
冲头	直径 $D_{01} \sim D_{03}$		25	30	40	50	60	70
	长度 L_2		60	80	100	120	140	160

表 25.7-10 四工位螺母冷锻机模膛尺寸

(mm)

制件最大螺纹规格		M4	M6	M8	M12	M16	M20	
切料模	直径 D	25	30	45	60	70	90	
	长度 L_1	60	80	100	150	180	200	
锻凹模	直径	锻平工位 D_1	25	30	45	60	70	90
		锻球工位 D_2	25	30	45	60	70	90
		锻六角工位 D_3	45	60	75	100	130	160
		冲孔工位 D_4	25	30	45	60	70	90
长度 L_1		60	80	100	150	180	200	
冲头	直径 $D_{01} \sim D_{04}$		25	30	40	50	60	70
	长度 L_2		60	80	100	120	140	160

3 杆状零件冷锻模具设计

在杆状零件冷锻凹模和冲头的设计中,对其正确计算,规定必要的加工精度和表面粗糙度,是保证制件质量和模具寿命的重要条件。

制件的形状和尺寸是由凹模工作腔,终锻冲头工作腔以及在锻制结束时冲头和凹模之间的间隙 n 决定。

进行工具设计时,如果制件图样上的技术条件未做特殊规定,间隙不应规定得过小。一般可按制件杆颈 d 的大小,取下列数值:

$$d = 3 \sim 7 \text{ mm} \quad n = 0.5 \text{ mm}$$

$$d = 7 \sim 12 \text{ mm} \quad n = 1.0 \text{ mm}$$

$$d \geq 12 \text{ mm} \quad n = 1.5 \text{ mm}$$

因为减小间隙量会使冷锻力增加。如果制件的头部需切边成形,间隙 n 应当等于头部高度

的 $1/3$ 。

由于在凹模型腔内成形要比在冲头工作腔内成形差,设计模具时应合理确定分模面。

在凹模型腔内冷锻的制件没有拔模斜度。但是当冲头或凹模没有顶料机构时,就必须设有拔模斜度,以避免制件嵌留在模具中,造成模具的损坏及冷锻机不必要的停车。

3.1 冲头设计

冲头是与冷锻凹模有密切关系的模具,冲头可分初锻冲头(包括多次冲击成形时,起预成形作用的各种冲头)和终锻冲头两种。

(1) 初锻冲头

当冷锻高精度制件,经一次冲击,头部和杆部达不到要求的同心度,不能得到所需尺寸精确的头部,或冷锻复杂零件头部时,均需使用初锻

冲头，它主要应用于双击、三击和多工位冷锻机。

1) 初锻冲头组合

① 固定式初锻冲头 (图 25.7-12)

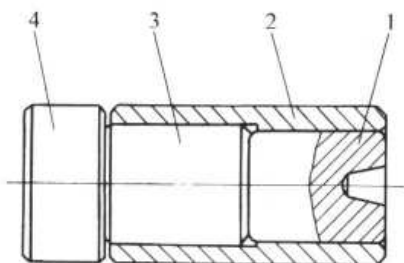


图 25.7-12 固定式初锻冲头

1—初锻冲头 2—冲头套
3—冲头垫块 4—冲头后垫

② 弹性顶杆初锻冲头 (图 25.7-13) 顶杆 1 由弹簧 5 推出，弹簧 5 由冲头后垫 4 支撑，冷锻时，顶杆 1 由中间杆 2 和冲头后垫 4 支撑。在确定弹簧长度时，要保证弹簧 5 处于压缩状态而不失去弹性。适用于锻制短毛坯制件。

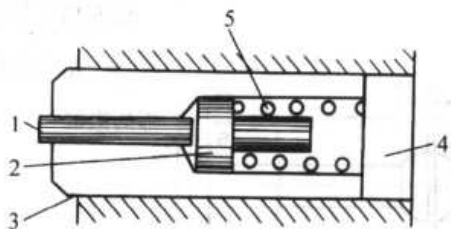


图 25.7-13 带弹性顶杆初锻冲头

1—冲头顶杆 2—中间杆 3—初锻冲头
4—冲头后垫 5—弹簧

③ 滑动式初锻冲头 (图 25.7-14) 冲头在弹簧作用下，处在前方，由切向销限制其位置，第二个弹簧使中间杆亦处于最前位置。毛坯进入

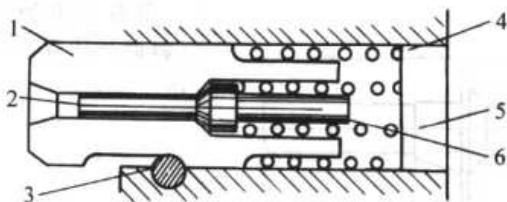


图 25.7-14 滑动式初锻冲头

1—初锻冲头 2—冲头顶杆 3—切向销
4—弹簧 5—冲头后垫 6—中间杆

锻制工位后，在凹模外的其余部分被冲头包围，机床滑块继续前进时，毛坯在初锻冲头内锻出锥形。这种结构可以锻制较大体积的头部和更好地控制金属流动。

2) 初锻冲头尺寸 (见图 25.7-15) 设计锥角 α 时必须考虑下列两方面的因素：

① 要使金属的变形起到逐步过渡的作用；

② 锻出的工件要能顺利地从型腔中脱出。

一般取锥角 $\alpha = 7^\circ \sim 8^\circ 30'$ 。

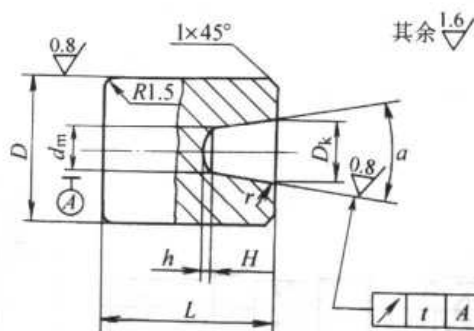


图 25.7-15 初锻冲头尺寸

锥形腔各部位的尺寸，列于表 25.7-11。

表 25.7-11 锥形腔的尺寸

锥形腔部位	尺寸
锥形腔大端口直径 D_k	$D_k = d_m + 2 \cdot (H - h) \tan \frac{\alpha}{2}$
锥形腔底部直径 d_m	$d_m = d_0$
锥形腔深度 H	$H = 0.6L_t$
锥形腔锥角 α	$\alpha = 7^\circ \sim 8^\circ 30'$
锥形腔底部 h 的尺寸	$h = 0.3 \sim 1 \text{ mm}$

注： d_0 —所用毛坯材料的直径 (mm)； L_t —锻粗工件头部所需要的线材长度 (mm)。

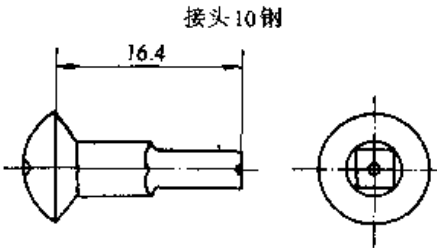
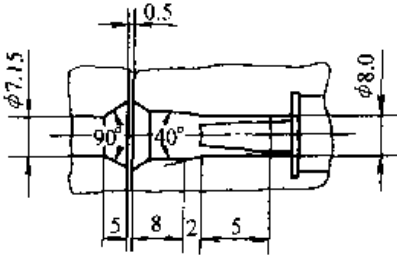
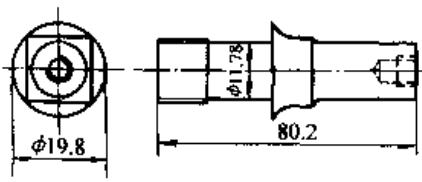
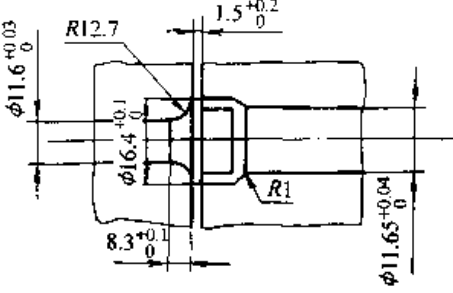
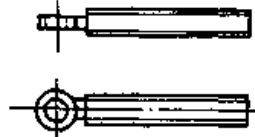
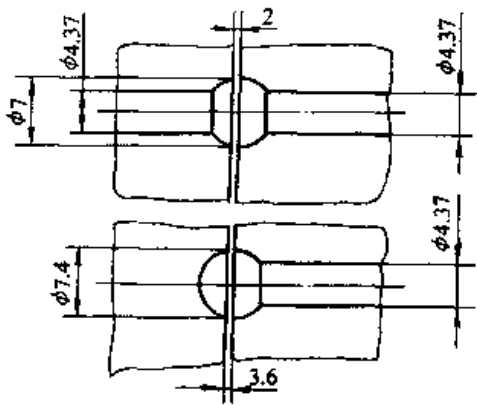
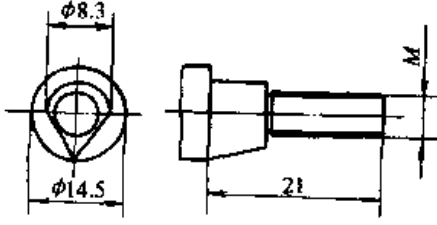
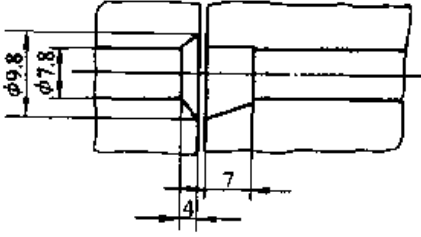
用此冲头冷锻时，冲头与凹模之间的许可间隙取模腔深度的 6%~10%。

3) 冷锻复杂零件的初锻冲头模腔 冷锻复杂零件的初锻冲头模腔见表 25.7-12。

(2) 终锻冲头

终锻冲头用于使制件头部达到所要求的形状和尺寸。

表 25.7-12 复杂零件的初锻冲头横腔

制件名称材料和草图	预锻冲模工作部分草图	冷锻特点
<p>接头10钢</p> 		<p>锻头和杆部缩径同时进行（杆的断面为方形）</p>
<p>螺栓15钢</p> 		<p>零件的中间部分锻厚在整模自动冷锻机上进行</p>
<p>拉力调节螺钉15钢</p> 		<p>杆的相对长度 $\psi = \frac{h}{d} = 4$ 的球形头部的冷锻</p>
<p>钢钉10钢</p> 		<p>带有单面斜口（斜面）的颈部冷锻</p>

1) 终锻冲头组合 (图 25.7-16) 终锻冲头形状, 根据产品形状设计, 如图 25.7-17~图 25.7-22 所示。

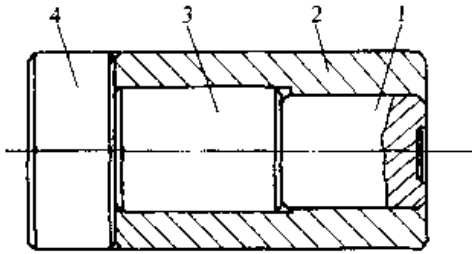


图 25.7-16 终锻冲头组合

1—终锻冲头 2—冲头套 3—冲头垫块 4—冲头后垫

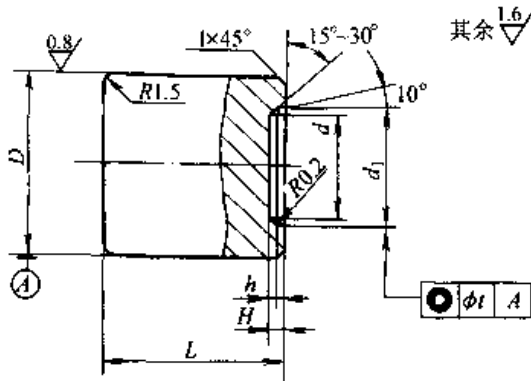


图 25.7-17 六角头螺栓冲头

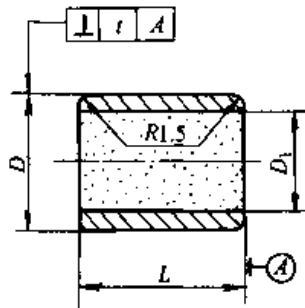


图 25.7-18 沉头、平头制件冲头

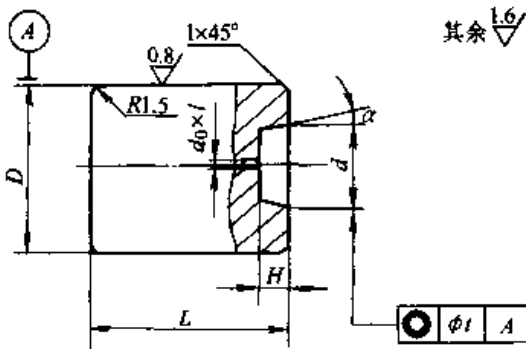


图 25.7-19 锻圆柱头圆锥头冲头

小气孔直径: $d=1\sim 2\text{ mm}$
小气孔深度: $h=2\sim 3\text{ mm}$

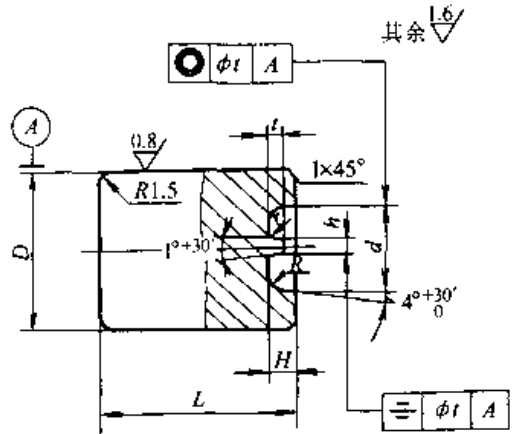


图 25.7-20 锻一字槽冲头

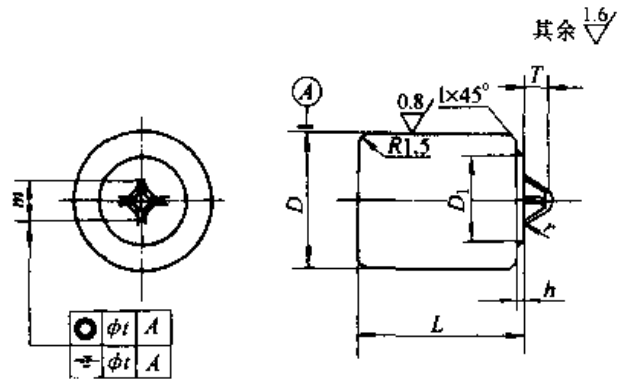


图 25.7-21 锻十字槽冲头

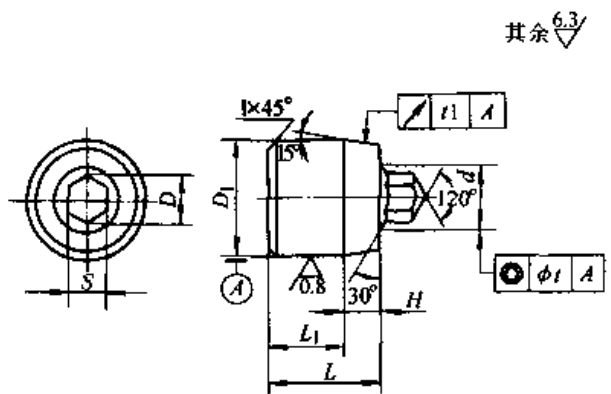


图 25.7-22 锻内六角冲头

2) 终锻冲头尺寸 终锻冲头 (图 25.7-17~图 25.7-22) 直径和长度的标准值见表 25.7-13。

冲头工作部分尺寸按制件头部要求的形状和尺寸制造。

表 25.7-13 终锻冲头尺寸 (mm)

编号	D	L	适用范围
1	12	14	≤5
2	16	18	≤8
3	20	24	≤12
4	28	34	≤16
5	32	38	≤18
6	38	45	≤23
7	48	58	≤32

3.2 凹模设计

根据不同的零件和冷锻工艺，零件的杆部、颈部、头部或部分头部均可在凹模内成形。

(1) 冷锻凹模的主要型式及结构

1) 冷锻凹模的主要型式 列于表 25.7-14。可分凹模是以每两个为一组。凹模的型孔处于接合面上。因此要求接合面良好，否则锻出的工件中间有印痕。目前很少使用这种型式的凹模。

圆柱形凹模主要有四种结构型式，使用极为广泛。所以下面只对圆柱型凹模的结构设计作一介绍。

表 25.7-14 冷锻机凹模的型式

凹模型式	主要说明	参考图号	
开合式	由两个四角形或八角形模块构成	图 25.7-23	
圆柱形	整体式	凹模用钢制成一个整体结构	图 25.7-24a
	纵向组合式	凹模由镶块与预应力圈组合而成，有钢制模块和硬质合金镶块	图 25.7-24b
	横向剖分式	凹模从型腔的过渡处横向剖分	图 25.7-24c
	联合组装式	凹模采取纵向组合和横向剖分联合组装而成	图 25.7-24d

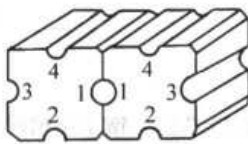


图 25.7-23 可分凹模

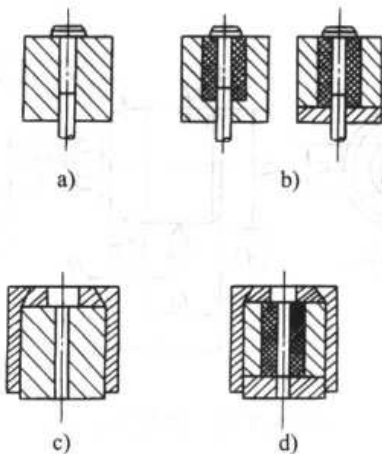


图 25.7-24 圆柱形凹模的几种结构型式
a) 整体式凹模 b) 纵向组合式凹模
c) 横向剖分式凹模 d) 联合组装式凹模

整体结构的凹模强度较差，使用寿命较短。一般在生产批量不大，单位压力较小的情况下

采用。

组合结构的凹模，可以根据凹模的受力状态采取不同的组合方式，并便于采用硬质合金镶块。纵向组合式可以对凹模镶块施加预压应力，以抵消变形抗力对凹模所产生拉应力的影响。横向剖分的组合结构可以减少或消除应力集中的现象。联合组装式结构综合了上述两种组合结构的优点。所以组合结构的凹模受力情况良好，强度较高，使用寿命较长。适用于生产批量大的情况。但组合结构的凹模加工面较多，并且要求较高，因此制造上比整体结构的麻烦，成本较高。

2) 冷锻凹模的型腔结构 冷锻凹模的型腔结构，按加工零件的形状和部位的不同而有所不同，现将通常采用的几种型腔结构列入表 25.7-15。

图 25.7-25 所示为几种锻头凹模的常用型腔结构形式。现将图中各主要部位的设计要点说明如下：

图 25.7-25a 为圆角形。圆角 R 在工件容许的条件下越大越好，最小不能小于 0.3 mm；

表 25.7-15 冷锻凹模常用型腔的结构形式

结构型式		主要应用场合	参考图号
锻头型腔	圆角形	头部自由锻粗或半圆头螺钉锻头	图 25.7-25a
	带座面形	带座外六角螺栓的锻头	图 25.7-25b
	碟形	沉头与半沉头螺钉的锻头	图 25.7-25c
锻头型腔	方台孔形	四角头与六角头螺钉的锻头	图 25.7-25d
	圆台孔型	圆柱平头与圆柱内六角头螺钉的锻头	图 25.7-25e
	圆台锥底形	多用于在中间工序冷锻鼓形球	图 25.7-25f
缩梗型腔	缩径形	用于缩小滚压螺纹部分的直径	图 25.7-26a
	正挤压形	将较粗棒料挤出较细的轴径	图 25.7-26b、c
锥形形倒角腔		用于轴端倒角	图 25.7-27

图 25.7-25b 为带座面形。座面各过渡部位应采用 R 圆弧连接。 θ 角一般取 5° 左右；

图 25.7-25c 为碟形。 R 在工件允许的条件下取值越大越好；

图 25.7-25d 为方台孔形。一般作成横向剖分的结构形式。方孔应有 $\alpha = 0^\circ 36' \sim 1^\circ$ 的斜角，角部应作成圆角。必要时在角底打一横向小排气孔。

图 25.7-25e 为圆台孔形。一般作成横向剖分的结构形式。若允许过渡圆角 R 较大，当变形程度较小时也可作成整体。台角处应有排气孔隙；

图 25.7-25f 为圆台锥底形。尺寸按所锻鼓形球头的尺寸而定。

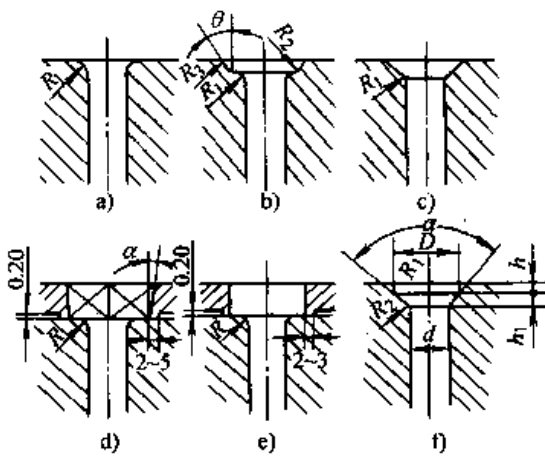


图 25.7-25 锻头凹模的常用型腔结构

图 25.7-26 所示为缩径凹模的型腔结构。缩径型腔的主要设计要求如下：

图 25.7-26a 为缩径形，它适用于变形程度较小，即变形时断面缩减率 $\epsilon \leq 28\%$ 的情况。缩径角 α 一般在 $22^\circ \sim 23^\circ$ 的范围内选取。定径带的宽度不能超过 2 mm ，否则易产生热胶着。

图 25.7-26b 和 25.7-26c 为正挤压形，其锥形及挤压带的过渡角都必须采用圆弧连接。一般断面缩减率为 $\epsilon \leq 60\%$ ，图 25.7-26c 形状的断面缩减率可略大一点。挤压带宽度不能超过 2 mm 。

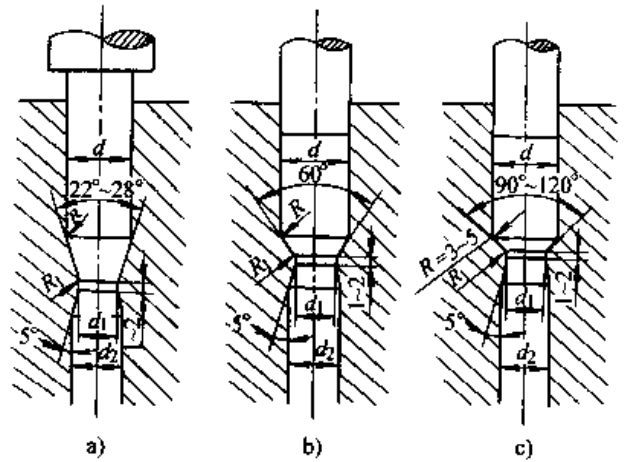


图 25.7-26 缩径凹模的型腔结构

- a) 开式缩径形 (小锥角)
- b) 正挤压形 (60°锥形)
- c) 正挤压形 (大 R 形)

图 25.7-27 所示为用于轴端倒角凹模的型腔结构。锥角 α 一般在 $45^\circ \sim 90^\circ$ 范围内选取，锥形拐角处应作成圆弧形。

(2) 预应力组合凹模

冷锻预应力组合凹模的优缺点、选用范围及设计方法与冷挤压预应力组合凹模基本相同。此处，仅对选用范围和设计方法简述如下：

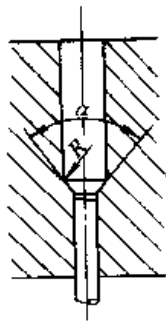


图 25.7-27 倒角凹模的型腔结构

1) 预应力组合凹模的选择 预应力组合凹模的层数根据单位冷墩力 p 的大小来选择, 选用方法见图 25.7-28 (考虑了足够的安全系数)。图中分为 I、II、III 三个区域: I 为整体式凹模的适用范围; II 为两层组合凹模的适用范围; III 为三层组合凹模的适用范围。

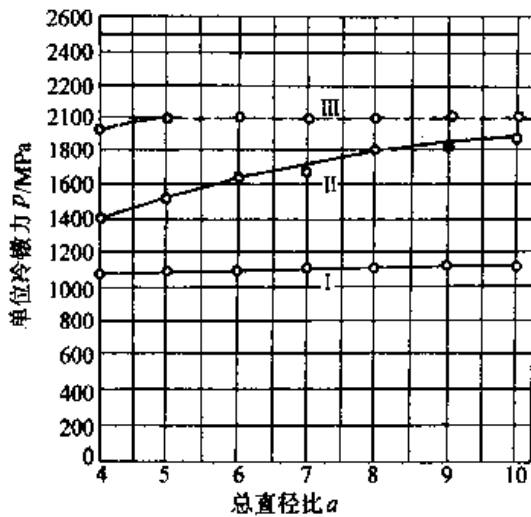


图 25.7-28 确定组合凹模层数的参考图

总直径比 a $\begin{cases} a_4 = d_4/d_1 & (\text{对三层组合凹模}) \\ a_3 = d_3/d_1 & (\text{对两层组合凹模}) \end{cases}$

2) 预应力组合凹模的设计 凹模的组合形式见图 25.7-29。

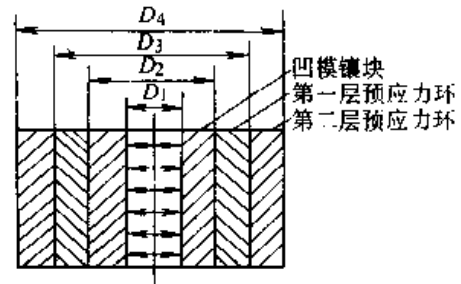
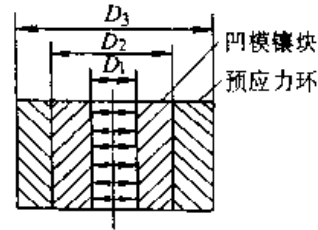


图 25.7-29 预应力组合凹模的结构型式

硬质合金凹模镶块预应力结构的设计标准见表 25.7-16。

采用自动冷墩机冷墩制件时, 组合凹模的外径由冷墩机的模腔尺寸确定。

凹模镶块、预应力环都为钢制件时, 其尺寸取法如下:

$$D_2 = 2.5D_1 + 8 \sim 10 \text{ mm} \approx 3D_1$$

$$D_3 = (6 \sim 8)D_1$$

$D_3 = (6 \sim 8)D - 2h$ (有螺栓紧固面, 见图 25.7-30)

3) 凹模设计

① 沉头制件的凹模 沉头制件凹模尺寸见图 25.7-31 和表 25.7-17。

表 25.7-16 两层和三层压配的标准设计

预应力环	凹模镶块的壁厚	预应力环的壁厚		过盈量	
		第一预应力环	第二预应力环	镶块与第一预应力环	第一预应力环与第二预应力环
两层	$D_2 = 2.5D_1 + 8$	$D_3 \geq 2.5D_2$	—	$\frac{4D_2}{1000}$ 以下	—
三层	$D_2 = (2.2 \sim 3)D_1 + 1$	$D_3 \approx \sqrt{3}D_2$	$D_4 = \sqrt{3}D_3$	$\frac{4 \sim 6}{1000}D_2$	$\frac{2}{1000}D_3$

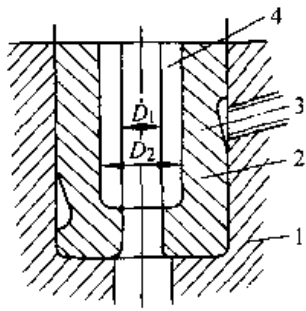


图 25.7-30 带有螺栓紧固面的组合凹模
1—模套 2—预应力圈 3—紧固螺栓 4—凹模镶块

- ② 直孔凹模组合 (图 25.7-32)
- ③ 全螺纹缩径凹模组合 (图 25.7-33)
- ④ 直孔凹模 直孔凹模尺寸见图 25.7-34 和表 25.7-18。
- 5) 全螺纹缩径凹模 全螺纹缩径凹模尺寸见图 25.7-35 和表 25.7-19。

(3) 凹模片

1) 镦内六角凹模片 (图 25.7-36) 凹模片尺寸按下式确定:

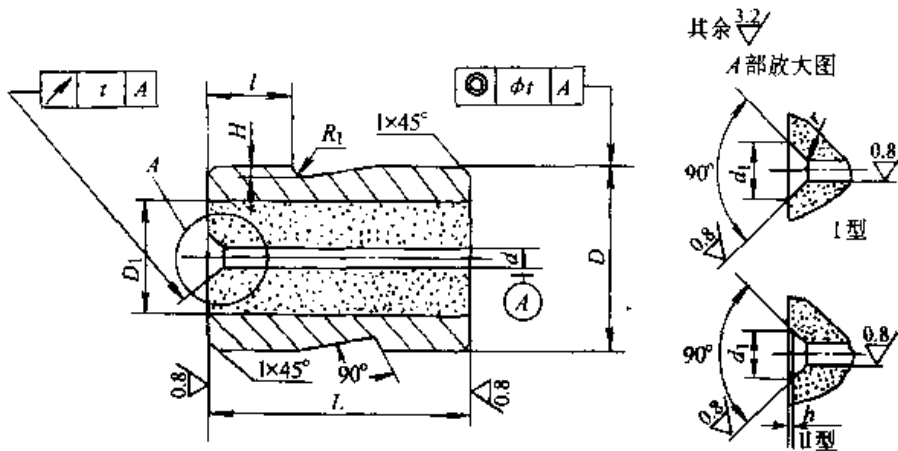


图 25.7-31 沉头制件凹模尺寸图
1. 材料 模套: 5CrNiMo 模芯: YG20C
2. 硬度 模套: 44~48HRC

表 25.7-17 沉头制件凹模尺寸 (mm)

螺纹规格	M2	M2.5	M2.5	M3	M4	M4	M5	M6
d	基本尺寸	1.67	2.14	2.14	2.60	3.46	4.39	5.25
	极限偏差	+0.014 0				+0.018 0		
d ₁	基本尺寸	3.71	4.61	4.61	5.41	8.28	9.18	11.18
	极限偏差	+0.075 0				+0.090 0		
D	基本尺寸	25		30			35	
	极限偏差	-0.065 -0.117				-0.082 -0.142		
L	基本尺寸	30		40			50	
	极限偏差	0 -0.1						
h	0.15				0.20			0.30

续表 25.7-17

螺 纹 规 格	M2	M2.5	M2.5	M3	M4	M4	M5	M6
r	0.10						0.15	
D_t	10	13				22		
l	10		13			16		
H	2.5		3.0			3.5		
同轴度 ϕ_t	0.05					0.06		
圆跳动 t	0.05					0.06		
适用机床	2.5		4			6		

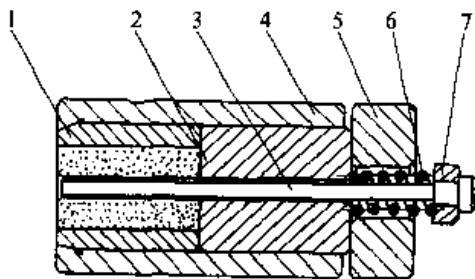


图 25.7-32 直孔凹模组合

- 1—初锻凹模 2—凹模垫块 3—顶料杆
4—凹模套 5—凹模后垫 6—弹簧 7—顶料杆套

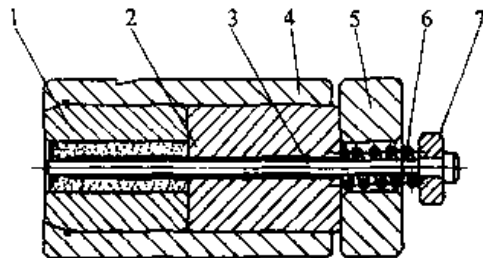


图 25.7-33 全螺纹缩径凹模组合

- 1—全螺纹缩径凹模 2—凹模垫块 3—顶料杆
4—凹模套 5—凹模后垫 6—弹簧 7—顶料杆套

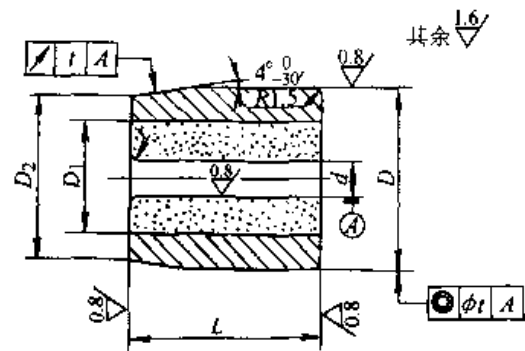


图 25.7-34 直孔凹模尺寸图

1. 材料 模套: 5CrNiMo; 模芯: YG20C
2. 硬度 模套: 44~48HRC

$$d = D' - 0.24 \sim 0.30$$

$$H = H' - 0.2$$

式中 D' ——螺钉头部最大直径;
 H' ——螺钉头部最大高度。

材料: 60Si2

硬度: 54~58HRC

表 25.7-18 直孔凹模尺寸

(mm)

螺 纹 规 格	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	
基本尺寸	GB/T 5782~ 5783—2000	3.78	4.78	5.78	7.71	9.71	11.67	13.67	15.67	17.60	19.60
	GB/T 5784 —2000	3.43	4.36	5.21	7.04	8.85	10.67	12.49	14.49	—	18.16
极限偏差		+0.018			+0.022		+0.027			+0.033	
		0			0		0			0	

续表 25.7-18

螺纹规格	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
D	基本尺寸	30			38	48		62		78
	极限偏差	+0.069 +0.048			+0.085 +0.060	+0.095 +0.070		+0.117 +0.087		+0.132 +0.102
L	基本尺寸	29	34		42	52		66		80
	极限偏差	0 -0.084	0 -0.100					0 -0.120		
D ₂	基本尺寸	28.9			36.6	46.0		59.5		75.0
	极限偏差	+0.085 +0.064			+0.105 +0.080	+0.122 +0.097		+0.152 +0.122		+0.176 +0.146
D ₁	16			22	30		40		45	
r	0.3		0.4	0.6		0.8		1.1		
圆跳动 z	0.05			0.06			0.08			
同轴度 φ	0.05			0.06			0.08			

注：d 的基本尺寸中 GB/T 5782~5783—2000 也适用于 GB/T 5780~5781—2000 及 GB/T 5785~5786—2000。

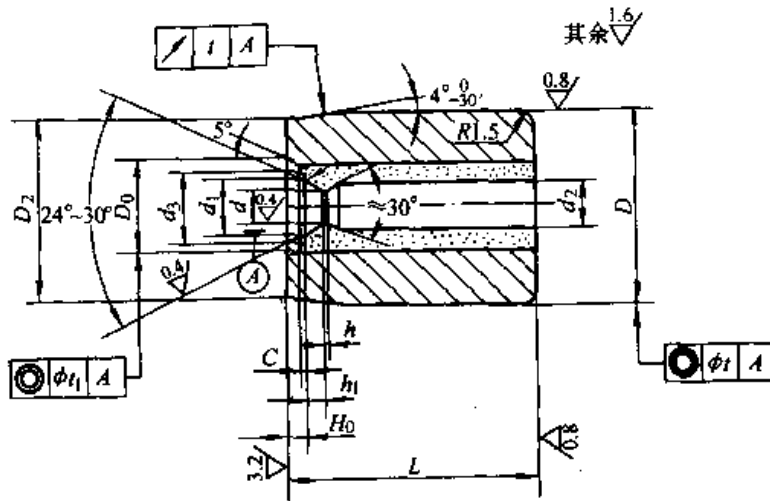


图 25.7-35 全螺纹缩径凹模尺寸图

表 25.7-19 全螺纹缩径凹模尺寸 (mm)

螺纹规格	M3	M4	M5	M6	M8	
d	基本尺寸	2.60	3.46	4.39	5.25	7.07
	极限偏差	+0.014 0	+0.018 0			+0.022 0
d ₁	基本尺寸	3	4	5	6	8
	极限偏差	+0.060 0	+0.075 0			+0.090 0

续表 25.7-19

螺 纹 规 格		M3	M4	M5	M6	M8
d_3	基本尺寸	4.7	6.0	7.0	9.0	11.7
	极限偏差	+0.075 0		+0.090 0		+0.110 0
c	基本尺寸	0.2		0.3		0.35
	极限偏差	+0.10 0				
D_0	基本尺寸	6.3	7.9	9.0	11.3	14.6
	极限偏差	+0.09 0			+0.11 0	
H_0	基本尺寸	0.8	1.1	1.4	1.6	2.1
	极限偏差	+0.10 0				
D	基本尺寸	30				38
	极限偏差	+0.069 +0.048				+0.085 +0.064
D_2	基本尺寸	28.9				36.6
	极限偏差	+0.085 +0.064				+0.105 +0.080

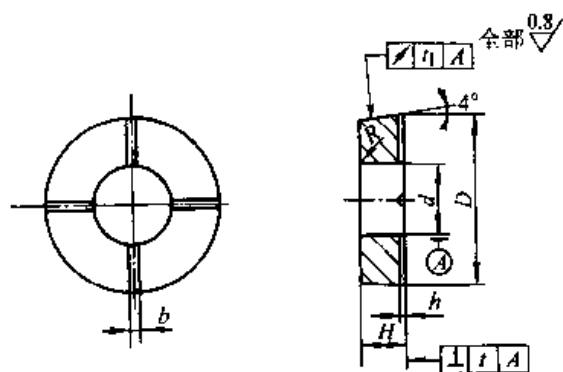


图 25.7-36 镦内六角凹模片

2) 镦六角模片 (图 25.7-37) 设计六角模片, 必须考虑到镦锻后螺栓坯料能顺利排出模腔, 因此六角模片应有出模斜度, 一般选取模口比模底大 0.05~0.07 mm。六角模片有了斜度, 能减少顶料销的轴向受力。另外一个要考虑的问题是, 六角模片的六条棱线不能做成尖角, 而应略带一些圆角、对冷镦模具的设计来说, 除了刀

口模外, 棱角尖的模具总是弊多利少。模具经热处理后, 尖处易产生应力集中, 受镦锻力后, 尖角处易发生裂纹。为了避免这种情况, 六角模片的六角棱线应给予适当的圆角 R 。

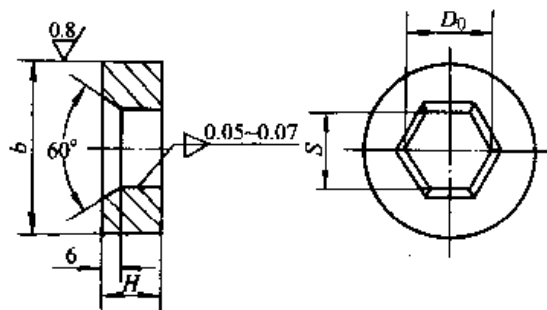


图 25.7-37 镦六角模片

圆角 R 的选择见表 25.7-20。
六角模片主要几何尺寸为:

表 25.7-20 圆角 R (mm)

规格	M3~M4	M4~M5	M6~M8	M10~M12
R	0.3	0.4	0.5~0.6	0.8~1.0

$$S = S_{m \min} + \left| \frac{\delta}{2} \right|$$

$$D = \frac{2}{3} \sqrt{3} S - R$$

$$H = h_m + 3 \sim 4 \text{ mm}$$

$$b = 2 \sim 2.5 \text{ mm}$$

$$D_0 \geq 2S$$

- 式中 S——六角模对边尺寸；
 $S_{m \min}$ ——螺栓头部对边尺寸；
 D_0 ——六角模对角尺寸；
 R——六角模棱角的圆角；
 h_m ——螺栓头部厚度；
 δ ——产品的公差。

六角模片材料采用：Cr12MoV

热处理硬度：60~62HRC

六角模片和凹模套也必须采用过盈配合，其过盈量为0.04~0.06 mm。规格大的螺栓，过盈量还要增加，否则模片容易碎裂。

3.3 切边模具设计

切边模具主要用于加工六角头、方头螺栓的头部和其他特殊形状制件的头部。

(1) 切边冲头

切边冲头组合如图 25.7-38 所示。图 25.7-39 为冲头图，冲模的外形尺寸 D 和 L 取决于冷锻设备的相关尺寸。切制孔尺寸 S_0 (或孔形) 与制件要求的形状和尺寸一致。

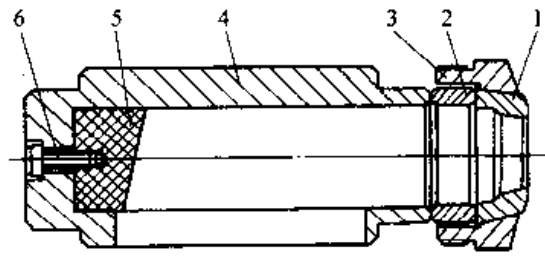


图 25.7-38 切边冲头组合

- 1—切边冲头（切边模） 2—切边冲头垫块
 3—切边冲头套 4—切边冲头后垫
 5—挡块 6—螺钉

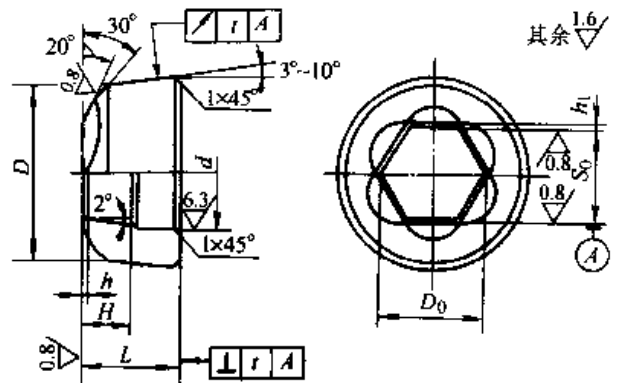


图 25.7-39 切边冲头

冲头的材料通常是 7Cr7Mo3V2Si 或 Cr12MoV；

热处理硬度为：58~60HRC。

表 25.7-21 是切制 GB/T 5782~5786—2000 及 GB/T 5780~5781—2000 六角螺栓冲头的设计举例。

(2) 切边凹模

切边凹模组合如图 25.7-40 示，图 25.7-41 为切边凹模。

凹模孔径 d 应按能保证毛坯进入的最大允许尺寸确定。

表 25.7-21 切边冲头尺寸 (mm)

螺 纹 规 格		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
标准对边宽度 S		5.5	7	8	10	13	16	18	21	24	27	30
S_0	基本尺寸											
	GB/T 5782~5786—2000	5.34	6.80	7.80	9.80	12.76	15.76	17.76	20.70	23.70	26.70	29.70
	GB/T 5780~5781—2000	—	—	7.66	9.66	12.60	15.60	17.60	20.20	23.20	—	29.20
极限偏差		+0.048 0	+0.058 0			+0.070 0			+0.084 0			

续表 25.7-21

螺 纹 规 格	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	
D	基本尺寸	25				36			48		64	
	极限偏差	0 -0.084				0 -0.100			0 -0.120		0 -0.120	
L	基本尺寸	12				15			20		25	
	极限偏差	0 -0.11				0 -0.13			0 0.16		0 0.16	
$D_0 \min$	6.03	7.68	8.81	11.07	14.42	17.81	20.07	23.39	26.78	30.17	33.56	
d	15				24			30		42		
H	4				8			12				
h	1.0				1.2			1.5				
圆跳动 t	0.10				0.12					0.15		
垂直度 t	0.08				0.10			0.12		0.15		

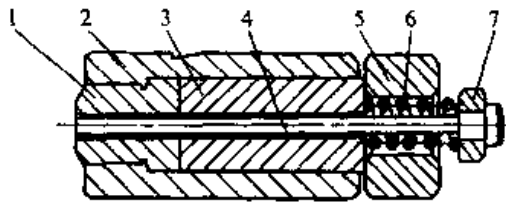


图 25.7-40 切边凹模组合

1—切边凹模 2—切边凹模模套 3—切边凹模垫块
4—顶料杆 5—切边凹模后垫 6—弹簧 7—顶料杆套

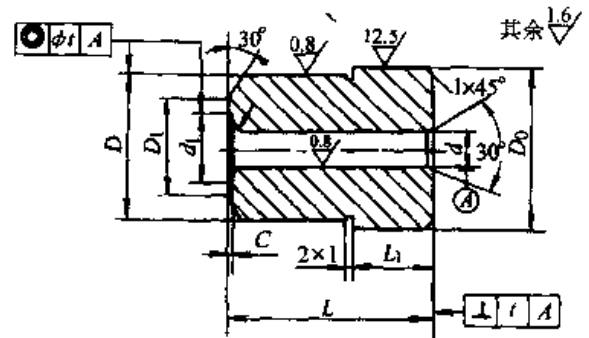


图 25.7-41 切边凹模

D_1 按制件最大切制尺寸确定。

30°角的斜面是为了排除飞边而设计。

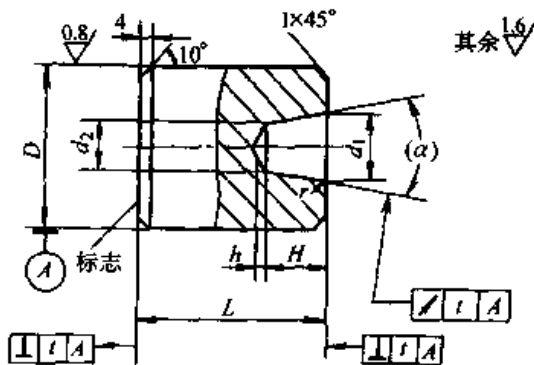
凹模材料通常是 T10，热处理硬度为 58~60HRC。

3.4 六角头螺栓冷锻模具标准件

(1) 初锻冲头 (表 25.7-22)

表 25.7-22 初锻冲头 (摘自 JB/T 4209.1—1996)

(mm)



标记示例: M16 GB/T 5782 六角头螺栓初锻冲头的
标记为:

初锻冲头 GB/T 5782 M16 JB/T 420.91—1996

材料: T10A GB/T 1298—1986

热处理硬度: 58~62HRC

续表 25.7-22

螺 纹 规 格		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20		
适用于 GB/T 5780~ 5783— 2000、 GB/T 5785— 5786— 2000	d_1	基本尺寸	3.8	4.9	5.8	6.9	9.2	11.6	14.1	16.3	18.7	21.0	23.4	
		极限偏差	+0.12 0			+0.15 0		+0.18 0			+0.21 0			
	d_2	基本尺寸	2.8	3.7	4.7	5.7	7.6	9.6	11.6	13.6	15.6	17.5	19.5	
		极限偏差	+0.10 0	+0.12 0			+0.15 0		+0.18 0				+0.21 0	
	H	基本尺寸	7.8	9.0	8.3	9.2	12.3	15.5	14.9	16.2	18.7	22.2	24.8	
		极限偏差	+0.15 0				+0.18 0				+0.21 0			
	D	基本尺寸	16		20		28	32		38		48		
		极限偏差	+0.066 +0.039		+0.080 +0.047		+0.088 0.055	+0.107 +0.068				+0.120 +0.081		
	L	基本尺寸	18		24		34	38		45		58		
		极限偏差	0 -0.070		0 -0.084		0 -0.100				0 -0.120			
	α		7°						9°					
	h		0.5~1.0											
	r		0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0	
	垂直度 t		0.04			0.05			0.06					
	圆跳动 t		0.025			0.030			0.040					0.050
螺 纹 规 格		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20			
适用于 GB/T 5784— 2000	d_1	基本尺寸	3.4	4.5	5.5	6.5	8.8	11.1	13.2	15.1	17.4	21.7		
		极限偏差	+0.12 0			+0.15 0		+0.18 0				+0.21 0		
	d_2	基本尺寸	2.5	3.4	4.3	5.2	7.0	8.8	10.6	12.4	14.4	18.0		
		极限偏差	+0.10 0	+0.12 0			+0.15 0		+0.18 0					
	H	基本尺寸	7.8	10.2	10.9	12.3	16.8	18.4	20.8	21.4	23.9	29.4		
		极限偏差	+0.15 0	+0.18 0				+0.21 0						
	D	基本尺寸	16		20		28	32		38		48		
		极限偏差	+0.066 +0.039		+0.080 +0.047		+0.088 +0.055	+0.107 +0.068				+0.120 +0.081		

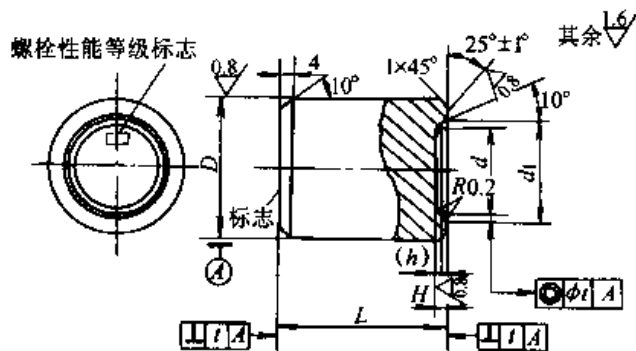
续表 25.7-22

螺 纹 规 格		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20			
适用于 GB/T 5784— 2000	基本尺寸	18			24		34		38		45		58	
	极限偏差	0 -0.070			0 -0.084				0 -0.100				0 -0.120	
	α	6°						7°						
	h	0.5~1.0												
	r	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	4.0			
	垂直度 t	0.04			0.05			0.06						
	圆跳动 t	0.025				0.030		0.040				0.050		

(2) 终锻冲头

表 25.7-23 终锻冲头 (摘自 JB/T 4209.2—1996)

(mm)



标记示例: M12 GB/T 5782 六角头螺栓终锻冲头的标记为:

终锻冲头 GB/T 5782 M12 JB/T 4209.2—1996

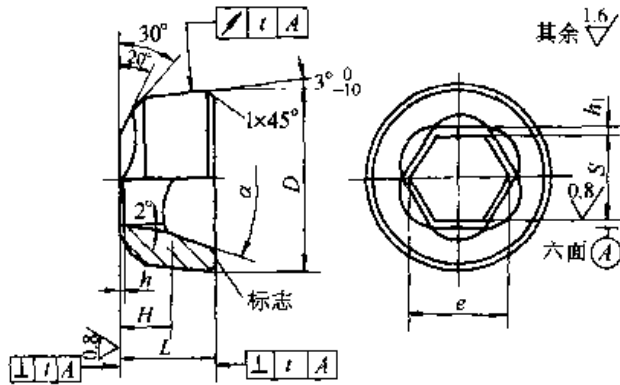
材料: 7Cr7Mo3V2Si 或 T10A GB/T 1298

热处理硬度: 58~62HRC

螺 纹 规 格		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
d	基本尺寸	5.23	6.65	7.60	9.50	12.35	15.20	17.10	19.95	22.80	25.65	28.50
	极限偏差	+0.12 0	+0.15 0		+0.18 0			+0.21 0				
d_1	基本尺寸	6.33	8.05	9.20	11.50	14.95	18.40	20.70	24.15	27.60	31.05	34.50
	极限偏差	+0.15 0			+0.18 0			+0.21 0				+0.25 0
H	基本尺寸	0.7	0.9	1.1	1.3	1.8	2.1	2.5	3.0	3.3	3.8	4.2
	极限偏差	0 -0.10									0 -0.12	
D	基本尺寸	16		20		28	32		38		48	
	极限偏差	+0.066 +0.039		+0.080 +0.047		+0.088 +0.055	+0.107 +0.068			+0.120 +0.081		
L	基本尺寸	18		24		34	38		45		58	
	极限偏差	0 -0.070		0 -0.084		0 -0.100			0 -0.120			
h		0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
同轴度 ϕt		0.025	0.030			0.040			0.050			
垂直度 t		0.04		0.05			0.06					

(3) 切边冲头 (表 25.7-24)

表 25.7-24 切边冲头 (摘自 JB/T 4209.3—1996) (mm)

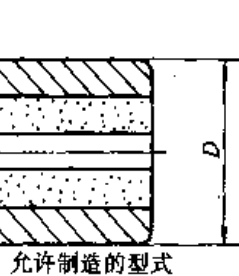
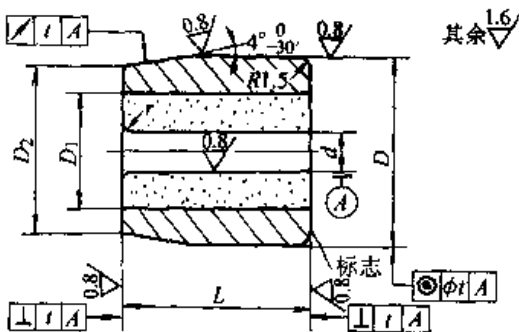


标记示例: M10 六角头螺栓切边冲头的标记为:
切边冲头 M10 JB/T 4209.3—1996
材料: 7Cr7Mo3V2Si 或 Cr12MoV GB/T 1299
热处理硬度: 58~60HRC

螺纹规格		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
S	基本尺寸	5.35	6.82	7.82	9.82	12.78	15.78	17.78	20.74	23.74	26.74	29.74
	极限偏差	+0.048 0	+0.058 0		+0.070 0			+0.084 0				
D	基本尺寸	25			36			48		64		
	极限偏差	0 -0.084			0 -0.100			0 -0.100		0 -0.120		
L	基本尺寸	12			15			18		24		
	极限偏差	0 -0.11			0 -0.11			0 -0.11		0 -0.13		
e_{min}		6.18	7.87	9.03	11.34	14.76	18.22	20.53	23.95	27.41	30.88	34.34
α		35°~45°										
H		4						8				
h		1.0			1.2			1.5				
圆跳动 t		0.10			0.12			0.12		0.15		
垂直度 t		0.08			0.10			0.12		0.15		

(4) 初锻凹模 (表 25.7-25)

表 25.7-25 初锻凹模 (摘自 JB/T 4209.4—1996) (mm)



标记示例: M16 GB/T 5782--5783
六角头螺栓初锻凹模的标记为:
初锻凹模 GB/T 5782 M16 JB/T
4209.6—1996
材料: 模芯 YG20C; 模套 5CrNiMo
GB/T 1299 或 60Si2Mn GB/T 1222
热处理硬度: 模套 44~48HRC
模芯与模套的过盈量为 0.4%~
0.6%

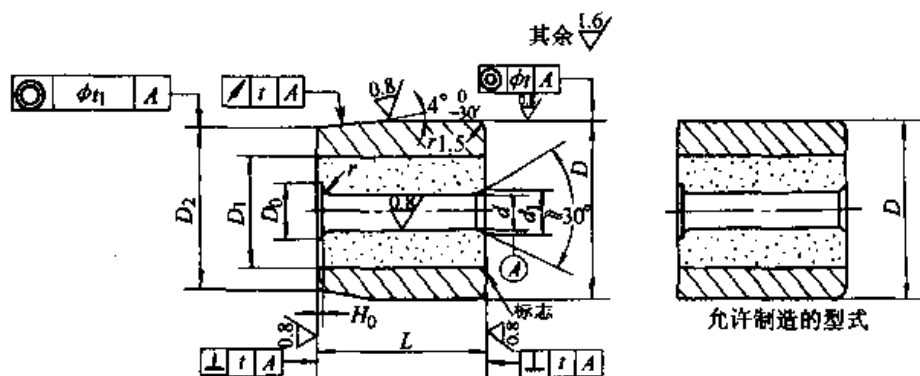
续表 25.7-25

螺 纹 规 格		M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
d	基本尺寸										
	GB/T 5782~5783 GB/T 5785~5786	3.78	4.78	5.78	7.70	9.70	11.67	13.67	15.67	17.60	19.58
	GB/T 5784	3.42	4.35	5.20	7.03	8.84	10.66	12.48	14.48	—	18.12
	极限偏差	+0.018 0			+0.022 0		+0.027 0			+0.033 0	
D	基本尺寸	30			38	48	62			78	
	极限偏差	+0.069 +0.048			+0.085 +0.060	+0.095 +0.070	+0.117 +0.087			+0.132 +0.102	
L	基本尺寸	29	34		42	52	66			80	
	极限偏差	0 -0.084	0 -0.100				0 -0.120				
D ₂	基本尺寸	28.9			36.6	46.0	59.5			75.0	
	极限偏差	+0.085 +0.064			+0.105 +0.080	+0.122 +0.097	+0.152 +0.122			+0.176 +0.146	
D ₁		16			22	30	40			45	
r		0.3		0.4	0.6		0.8			1.1	
圆跳动 t		0.05			0.06		0.08				
同轴度 φt		0.05			0.06		0.08				
垂直度 t		0.04					0.05			0.06	

(5) A 型细杆凹模 (表 25.7-26)

表 25.7-26 A 型细杆凹模 (摘自 JB/T 4209.5—1996)

(mm)



标记示例: M3 GB/T 5784 六角头螺栓 A 型细杆凹模的标记为:

细杆凹模 GB/T 5784 M3 JB/T 4209.5—1996

材料: 模芯 YG20C; 模套 5CrNiMo GB/T 1299 或 60Si2Mn GB/T 1222。

热处理硬度: 模套 44~48HRC。

模芯与模套的过盈量为 0.4%~0.6%。

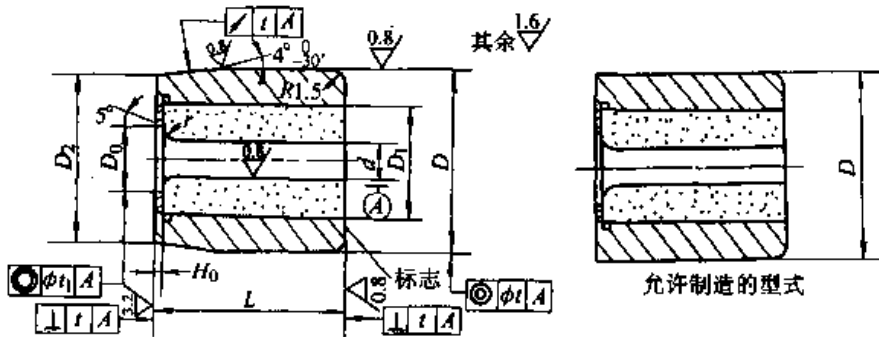
续表 25.7-26

螺纹规格		M3	M4	M5	M6	M8
d	基本尺寸	2.60	3.46	4.39	5.25	7.08
	极限偏差	+0.014 0	+0.018 0			+0.022 0
D ₀	基本尺寸	6.3	7.9	9.0	11.3	14.6
	极限偏差	+0.09 0			+0.11 0	
H ₀	基本尺寸	0.8	1.1	1.4	1.6	2.1
	极限偏差	+0.10 0				
D	基本尺寸	30				38
	极限偏差	+0.069 +0.048				+0.085 +0.060
L	基本尺寸	29		34		42
	极限偏差	0 -0.084		0 -0.100		
D ₂	基本尺寸	28.9				36.6
	极限偏差	+0.085 +0.064				+0.105 +0.080
D ₁		16				22
r		0.4		0.5		0.7
圆跳动 t		0.05				0.06
同轴度 φt		0.05				0.06
同轴度 φ ₁		0.03			0.04	
垂直度 t		0.04				

(6) B型细杆凹模 (表 25.7-27)

表 25.7-27 B型细杆凹模 (摘自 JB/T 4209.6-1996)

(mm)



标记示例: M10 GB/T 5784 六角头螺栓 B型细杆凹模的标记为:

细杆凹模 GB/T 5784 M10 JB/T 4209.6-1996

材料: 模芯 YG20C; 模套 5CrNiMo GB/T 1299 或 60Si2Mn GB/T 1222

热处理硬度: 模套 44~48HRC

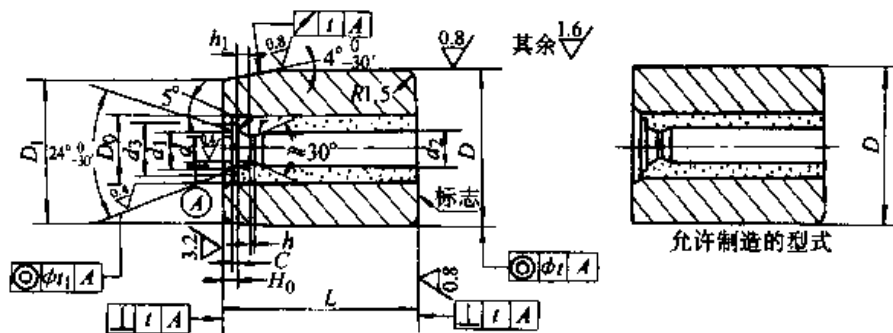
模芯与模套的过盈量为 0.4%~0.6%

续表 25.7-27

螺 纹 规 格		M8	M10	M12	M14	M16	M20	
d	基本尺寸	7.08	8.90	10.73	12.56	14.56	18.22	
	极限偏差	+0.022 0		+0.027 0			+0.033 0	
D ₀	基本尺寸	14.6	18.0	20.3	23.6	27.0	33.8	
	极限偏差	+0.11 0		+0.13 0			+0.16 0	
H ₀	基本尺寸	2.1	2.6	3.0	3.5	4.0	5.0	
	极限偏差	+0.10 0			+0.12 0			
D	基本尺寸	38	48		62		78	
	极限偏差	+0.085 +0.060	+0.095 +0.070		+0.117 +0.087		+0.132 +0.102	
L	基本尺寸	42	52		66		80	
	极限偏差	0 -0.100	0 -0.120					
D ₂	基本尺寸	36.6	46.0		59.0		75.0	
	极限偏差	+0.105 +0.080	+0.122 +0.097		+0.152 +0.122		+0.176 +0.146	
D ₁		22	30		40		45	
r		0.7	0.8	1.0	1.1	1.1	1.5	
圆跳动 t		0.06			0.08			
同轴度 ϕ		0.06			0.08			
同轴度 ϕ_1		0.04			0.05			0.06
垂直度 t		0.04	0.05				0.06	

(7) A 型全螺纹缩径凹模 (表 25.7-28)

表 25.7-28 A 型全螺纹缩径凹模 (摘自 JB/T 4209.7—1996) (mm)



标记示例: M3 GB/T 5781 六角头螺栓 A 型全螺纹缩径凹模的标记为:

全螺纹缩径凹模 GB/T 5781 M3 JB/T 4209.7—1996

材料: 模芯 YG20C; 模套 5CrNiMo GB/T 1299 或 60Si2Mn GB/T 1222

热处理硬度: 模套 44~48HRC

模芯与模套的过盈量为 0.4%~0.6%

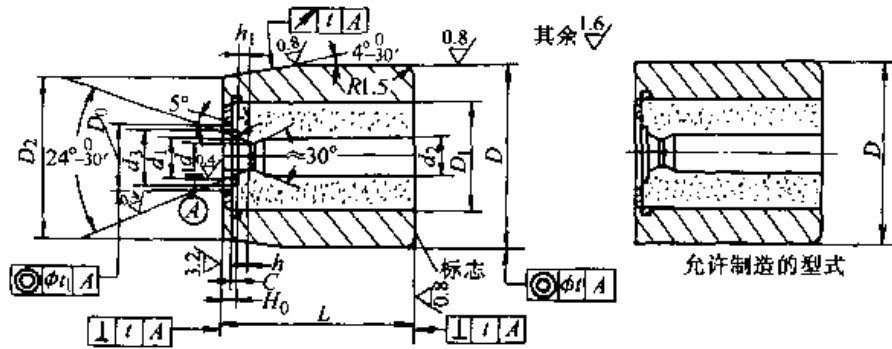
续表 25.7-28

螺 纹 规 格		M3	M4	M5	M6	M8
d	基本尺寸	2.60	3.46	4.39	5.25	7.07
	极限偏差	+0.014 0	+0.018 0			+0.022 0
d_1	基本尺寸	3	4	5	6	8
	极限偏差	+0.060 0	+0.075 0			+0.090 0
d_2	基本尺寸	4.7	6.0	7.0	9.0	11.7
	极限偏差	+0.075 0		+0.090 0		+0.110 0
C	基本尺寸	0.2		0.3		0.35
	极限偏差	+0.10 0				
D_0	基本尺寸	6.3	7.9	9.0	11.3	14.6
	极限偏差	+0.09 0			+0.11 0	
H_0	基本尺寸	0.8	1.1	1.4	1.6	2.1
	极限偏差	+0.10 0				
D	基本尺寸	30				38
	极限偏差	+0.069 +0.048				+0.085 +0.060
D_1	基本尺寸	28.9				36.6
	极限偏差	+0.085 +0.064				+0.105 +0.080
L	基本尺寸	29		34		42
	极限偏差	0 -0.084		0 -0.100		
d_2 比 d 实际尺寸增加值		0.01~0.03		0.02~0.04		0.03~0.05
h		0.4		0.6		0.8
h_1		0.94	1.27	1.44	1.76	2.19
r		0.10	0.20		0.25	0.40
圆跳动 t		0.05				0.06
同轴度 ϕ_t		0.05				0.06
同轴度 ϕ_{t_1}		0.03			0.04	
垂直度 t		0.04				

(8) B型全螺纹缩径凹模 (表 25.7-29)

表 25.7-29 B型全螺纹缩径凹模 (摘自 JB/T 4209.8—1996)

(mm)



标记示例: M12 GB/T 5783 六角头螺栓 B型全螺纹缩径凹模的标记为:

全螺纹缩径凹模 GB/T 5783 M12 JB/T 4209.8—1996

材料: 模芯 YG20C; 模套 5CrNiMo GB/T 1299 或 60Si2Mn GB/T 1222

热处理硬度: 模套 44~48HRC

模芯与模套的过盈量为 0.4%~0.6%

螺 纹 规 格		M8	M10	M12	M14	M16	(M18)	M20	
适用于 GB/T 5781— 2000、 GB/T 5783— 2000	d	基本尺寸	7.07	8.89	10.71	12.53	14.53	16.19	18.19
		极限偏差	+0.022 0				+0.027 0		+0.033 0
	d ₁	基本尺寸	8	10	12	14	16	18	20
		极限偏差	+0.09 0				+0.11 0		+0.13 0
	d ₃	基本尺寸	11.7	14.7	16.7	19.7	22.6	25.4	28.3
		极限偏差		+0.11 0			+0.13 0		
	C	基本尺寸	0.35				0.50		
		极限偏差					+0.10 0		
	D ₀	基本尺寸	14.6	18.0	20.3	23.6	27.0	30.4	33.8
		极限偏差	+0.11 0			+0.13 0		+0.16 0	
	H ₀	基本尺寸	2.1	2.6	3.0	3.5	4.0	4.6	5.0
		极限偏差	+0.10 0				+0.12 0		
	D	基本尺寸	38	48	62		78		
		极限偏差	+0.085 +0.060	+0.095 +0.070	+0.117 +0.087		+0.132 +0.102		

续表 25.7-29

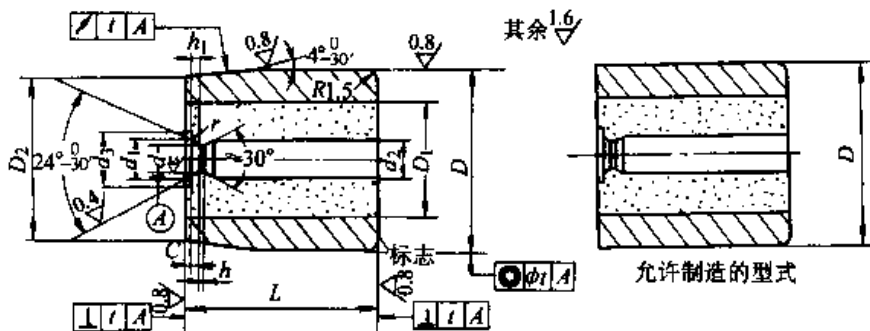
螺 纹 规 格		M8	M10	M12	M14	M16	(M18)	M20	
适用于 GB/T 5781— 2000、 GB/T 5783— 2000	D ₂	基本尺寸	36.6	46.0		59.5		75.0	
		极限偏差	+0.105 +0.080	+0.122 +0.097		+0.152 +0.122		+0.176 +0.146	
	L	基本尺寸	42	52		66		80	
		极限偏差	0 -0.10			0 -0.12			
	d ₂ 比 d 实际尺寸增加值		0.03~0.05			0.04~0.06		0.05~0.07	
	D ₁		22	30		40		45	
	k		0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
	h ₁		2.19	2.61	3.03	3.46		4.26	
	r		0.4		0.6		0.8		
	圆跳动 t		0.06			0.08			
	同轴度 φ _t		0.06			0.08			
	同轴度 φ ₁		0.04		0.05			0.06	
	垂直度 t		0.04	0.05			0.06		
	螺 纹 规 格		M8×1	M10×1	M12×1.5	M14×1.5	M16×1.5	M18×1.5	M20×2
适用于 GB/T 5786— 2000	d	基本尺寸	7.24	9.24	10.89	12.89	14.89	16.89	18.53
		极限偏差	+0.022 0		+0.027 0				+0.033 0
	d ₁	基本尺寸	8	10	12	14	16	18	20
		极限偏差	+0.09 0		+0.11 0				+0.13 0
	d ₃	基本尺寸	11.7	14.7	16.7	19.7	22.6	25.4	28.3
		极限偏差	+0.11 0			+0.13 0			
	C	基本尺寸	0.35				0.50		
		极限偏差	+0.10 0						
	D ₀	基本尺寸	14.6	18.0	20.3	23.6	27.0	30.4	33.8
		极限偏差	+0.11 0		+0.13 0			+0.16 0	
	H ₀	基本尺寸	2.1	2.6	3.0	3.5	4.0	4.6	5.0
		极限偏差	+0.10 0			+0.12 0			

续表 25.7-29

螺 纹 规 格		M8×1	M10×1	M12×1.5	M14×1.5	M16×1.5	M18×1.5	M20×2	
适用于 GB/T 5786— 2000	D	基本尺寸	38	48	62	78			
		极限偏差	+0.085 +0.060	+0.095 +0.070	+0.117 +0.087	+0.132 +0.102			
	D ₂	基本尺寸	36.6	46.0	59.9	75.0			
		极限偏差	+0.105 +0.080	+0.122 +0.097	+0.152 +0.122	+0.176 +0.146			
	L	基本尺寸	42	52	66	80			
		极限偏差	0 -0.10		0 -0.12				
	d ₂ 比 d 实际尺寸增加值		0.03~0.05			0.04~0.06		0.05~0.07	
	D ₁		22	30	40	45			
	h		0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
	h ₁		1.79		2.61			3.46	
	r		0.4		0.6			0.8	
	圆跳动 t		0.06			0.08			
	同轴度 φ _t		0.06			0.08			
	同轴度 φ _{t1}		0.04		0.05			0.06	
垂直度 t		0.04	0.05			0.06			

(9) C型全螺纹缩径凹模 (表 25.7-30)

表 25.7-30 C型全螺纹缩径凹模 (摘自 JB/T 4209.9—1996) (mm)



标记示例: M20 GB/T 5783 六角头螺栓 C型全螺纹缩径凹模的标记为:

全螺纹缩径凹模 GB/T 5783 M20 JB/T 4209.9—1996

材料: 模套 5CrNiMo GB/T 1299 或 60Si2Mn GB/T 1222

模芯 YG20C

热处理硬度: 模套 44~48HRC

模芯与模套的过盈量为 0.4%~0.6%

续表 25.7-30

螺 纹 规 格		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20
d	基本尺寸	2.60	3.46	4.39	5.25	7.07	8.89	10.71	12.53	14.53	18.19
	极限偏差	+0.014 0	+0.018 0		+0.022 0		+0.027 0		+0.033 0		
d_1	基本尺寸	3	4	5	6	8	10	12	14	16	20
	极限偏差	+0.060 0	+0.075 0		+0.090 0		+0.110 0		+0.130 0		
d_3	基本尺寸	4.7	6.0	7.0	9.0	11.7	14.7	16.7	19.7	22.6	28.3
	极限偏差	+0.075 0		+0.090 0		+0.110 0		+0.130 0			
C	基本尺寸	0.2		0.3		0.35			0.50		
	极限偏差	+0.10 0									
D	基本尺寸	30				38	48	62	78		
	极限偏差	+0.069 +0.048				+0.085 +0.060	+0.095 +0.070	+0.117 +0.087	+0.132 +0.102		
D_2	基本尺寸	28.9				36.6	46.0	59.5	75.0		
	极限偏差	+0.085 +0.064				+0.105 +0.080	+0.122 +0.097	+0.152 +0.122	+0.176 +0.146		
L	基本尺寸	29		34		42	52	66	80		
	极限偏差	0 -0.084		0 -0.100		0 -0.120					
d_2 比 d 实际尺寸 增加值		0.01~0.03		0.02~0.04		0.03~0.05		0.04~0.06		0.05~ 0.07	
D_1		16				22	30	40	45		
h		0.4		0.6		0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0
h_1		0.94	1.27	1.44	1.76	2.19	2.61	3.03	3.46		4.26
r		0.1	0.2		0.25	0.4		0.6		0.8	
圆跳动 t		0.05				0.06		0.08			
同轴度 ϕ_z		0.05				0.06		0.08			
垂直度 t		0.04				0.05		0.06			

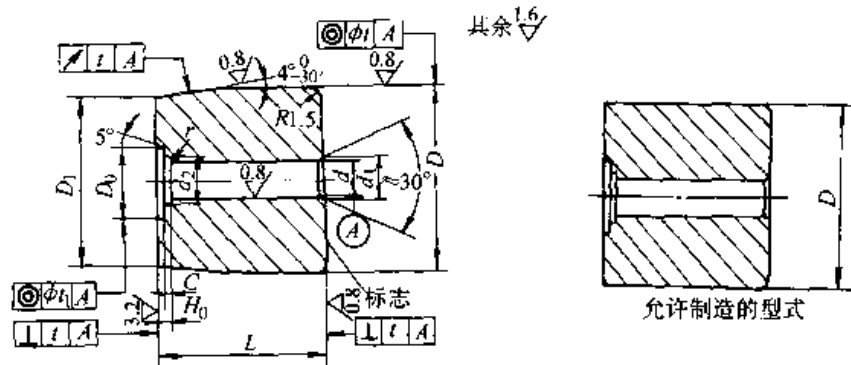
适用于
GB/T
5781、
GB/T
5783—
2000

续表 25.7-30

螺 纹 规 格		M8×1	M10×1	M12×1.5	M14×1.5	M16×1.5	M18×1.5	M20×2		
适用于 GB/T 5786— 2000	d	基本尺寸	7.24	9.24	10.89	12.89	14.89	16.89	18.53	
	d	极限偏差	+0.022 0		+0.027 0			+0.033 0		
	d_1	基本尺寸	8	10	12	14	16	18	20	
	d_1	极限偏差	+0.09 0		+0.11 0			+0.13 0		
	d_3	基本尺寸	11.7	14.7	16.7	19.7	22.6	25.4	28.3	
	d_3	极限偏差	+0.11 0			+0.13 0				
	C	基本尺寸	0.35				0.5			
	C	极限偏差	+0.10 0							
	D	基本尺寸	38	48	62		78			
	D	极限偏差	+0.085 +0.060	+0.095 +0.070	+0.117 +0.087		+0.132 +0.102			
	D_2	基本尺寸	36.6	46.0	59.5		75.0			
	D_2	极限偏差	+0.105 +0.080	+0.122 +0.097	+0.152 +0.122		+0.176 +0.146			
	L	基本尺寸	42	52	66		80			
	L	极限偏差	0 -0.10	0			-0.12			
		d_2 比 d 实际尺寸增加值	0.03~0.05			0.04~0.06		0.05~0.07		
		D_1	22	30	40		45			
		h	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	
		h_1	1.79		2.61			3.46		
		r	0.4		0.6		0.8			
		圆跳动 t	0.06			0.08				
	同轴度 ϕt	0.06			0.08					
	垂直度 t	0.04	0.05			0.06				

(10) A型标准杆凹模 (表 25.7-31)

表 25.7-31 A型标准杆凹模 (摘自 JB/T 4209.10—1996) (mm)



标记示例: M10×65 GB/T 5782 六角头螺栓 A型标准杆凹模的标记为:

标准杆凹模 GB/T 5782 M10×65 JB/T 4209.10—1996

材料: 6Cr4W3Mo2VNB 或 T10 GB/T 1298、Cr12MoV GB/T 1299

热处理硬度: 59—62HRC

螺 纹 规 格		M3	M4	M5	M6
d	基本尺寸	2.88	3.84	4.84	5.86
	极限偏差	+0.025 0	+0.030 0		
D ₀	基本尺寸	6.3	7.9	9.0	11.3
	极限偏差	+0.09 0			+0.11 0
H ₀	基本尺寸	0.8	1.1	1.4	1.6
	极限偏差	+0.10 0			
d ₁	基本尺寸	3	4	5	6
	极限偏差	+0.10 0	+0.12 0		
d ₂	基本尺寸	4.7	6.0	7.0	9.0
	极限偏差	+0.075 0		+0.090 0	
C	基本尺寸	0.2		0.3	
	极限偏差	+0.10 0			
D	基本尺寸	30			
	极限偏差	+0.069 +0.048			
D ₁	基本尺寸	28.9			
	极限偏差	+0.085 +0.064			

适用于
M3~
M6

续表 25.7-31

螺 纹 规 格		M3		M4		M5		M6	
适用于 M3~ M6	r	0.2		0.3		0.4		0.4	
	圆跳动 t			0.05					
	同轴度 ϕ_t			0.05					
	同轴度 ϕ_{t_1}			0.03				0.04	
	垂直度 t			0.04					
	螺栓长度	模 具 长 度 L							
		基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
	20	7.3	0 -0.058	—	—	—	—	—	—
	25	12.3	0 -0.070	10	0 -0.058	8	0 -0.058	—	—
	30	17.3		15	0 -0.070	13	0 -0.070	10.6	0 -0.070
	35	—	—	20	0	18	—	15.6	—
	40	—	—	25	-0.084	23	0	20.6	0
45	—	—	—	—	28	-0.034	25.6	-0.084	
50	—	—	—	—	33	0 -0.100	30.6	0	
55	—	—	—	—	—	—	35.6	-0.100	
60	—	—	—	—	—	—	40.6	—	
螺 纹 规 格		M8		M10		M12			
适用于 M8~ M12	d	基本尺寸	7.80		9.80		11.77		
		极限偏差	+0.036 0				+0.043 0		
	D_0	基本尺寸	14.6		18.0		20.3		
		极限偏差	+0.11 0				+0.13 0		
	H_0	基本尺寸	2.1		2.6		3.0		
		极限偏差			+0.10 0				
d_1	基本尺寸	7.95		9.95		11.90			
	极限偏差	+0.15 0				+0.18 0			

续表 25.7-31

螺 纹 规 格		M8	M10	M12		
d_2	基本尺寸	11.7	14.7	16.7		
	极限偏差	+0.110 0				
C	基本尺寸	0.35				
	极限偏差	+0.10 0				
D	基本尺寸	38	48			
	极限偏差	+0.085 +0.060	+0.095 +0.070			
D_1	基本尺寸	36.6	46.0			
	极限偏差	+0.105 +0.080	+0.122 +0.097			
r		0.6		0.8		
圆跳动 t		0.06				
同轴度 ϕ		0.06				
同轴度 ϕ_1		0.04		0.05		
垂直度 t		0.04	0.05			
螺 栓 长 度	模 具 长 度 L					
	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
35	11.4	0	—	—	—	—
40	16.4	-0.070	12.1	0	—	—
45	21.4	0	17.1	-0.070	12.8	0
50	26.4	-0.084	22.1	0	17.8	-0.070
55	31.4	0	27.1	-0.084	22.8	0
60	36.4		32.1	0	27.8	-0.084
65	41.4	-0.100	37.1	-0.100	32.8	0
70	46.4	0	42.1	-0.120	37.8	
80	56.4		52.1		47.8	-0.100
90	—	—	62.1	—	57.8	0
100	—	—	72.1	—	67.8	
110	—	—	—	—	77.8	-0.120
120	—	—	—	—	87.8	0 -0.140

适用于
M8~
M12

续表 25.7-31

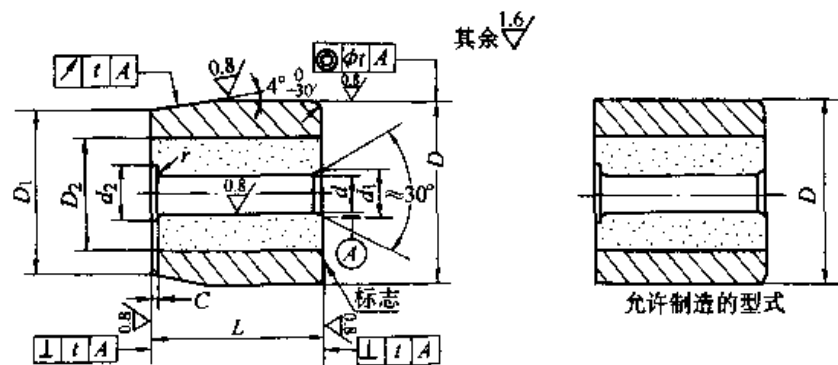
螺 纹 规 格		M14	M16	M18	M20				
适用于 M14~ M20	d	基本尺寸	13.77	15.77	17.72	19.72			
		极限偏差	+0.043 0			+0.052 0			
	D_0	基本尺寸	23.6	27.0	30.4	33.8			
		极限偏差	+0.13 0		+0.16 0				
	H_0	基本尺寸	3.5	4.0	4.6	5.0			
		极限偏差	+0.12 0						
	d_1	基本尺寸	13.9	15.9	17.9	19.9			
		极限偏差	+0.18 0			+0.21 0			
	d_2	基本尺寸	19.7	22.6	25.4	28.3			
		极限偏差	+0.13 0						
	C	基本尺寸	0.35	0.50					
		极限偏差	+0.10 0						
	D	基本尺寸	62		78				
		极限偏差	+0.117 +0.087		+0.132 +0.102				
	D_1	基本尺寸	59.5		75.0				
		极限偏差	+0.152 +0.122		+0.176 +0.146				
	r		0.8		1.1				
	圆跳动 t		0.08						
	同轴度 ϕ_t		0.08						
	同轴度 ϕ_{t1}		0.05		0.06				
垂直度 t		0.05		0.06					
螺 纹 规 格		M14	M16	M18	M20				
螺 栓 长 度		模 具 长 度 L							
		基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
适用于 M14~ M20	50	13.5	0 -0.070	—	—	—	—	—	—

续表 25.7-31

螺纹规格		M14		M16		M18		M20	
螺栓长度		模具长度 L							
		基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
适用于 M14~ M20	55	18.5	0 -0.84	15	0 -0.070	—	—	—	—
	60	23.5		20	0 -0.084	15.1	0 -0.070	—	—
	65	28.5	25	20.1		0 -0.084	16.5	0 -0.070	
	70	33.5	0 -0.100	30	25.1	0 -0.100	21.5	0 -0.084	
	80	43.5	0 -0.100	40	35.1	0 -0.100	31.5	0 -0.100	
	90	53.5	0 -0.120	50	0 -0.120	45.1	0 -0.120	41.5	0 -0.120
	100	63.5		60		55.1		51.5	
	110	73.5	0 -0.140	70	0 -0.140	65.1	0 -0.140	61.5	0 -0.120
	120	83.5		80		75.1		71.5	
	130	87.5	0 -0.140	84	0 -0.140	79.1	0 -0.140	75.5	0 -0.140
	140	97.5		94		89.1		85.5	
	150	—	—	104	99.1	95.5	0 -0.140	0 -0.140	
160	—	—	114	109.1	105.5				

(11) B型标准杆凹模 (表 25.7-32)

表 25.7-32 B型标准杆凹模 (摘自 JB/T 4209.11—1996) (mm)



标记示例: M10×65 GB/T 5782 六角头螺栓 B型标准杆凹模的标记为:

标准杆凹模 GB/T 5782 M10×65 JB/T 4209.11—1996

材料: 模套 5CrNiMo GB/T 1299 或 60Si2Mn GB/T 1222

模芯 YG20C

热处理硬度: 模套 44~48HRC

模芯与模套的过盈量为 0.4%~0.6%

续表 25.7-32

螺 纹 规 格		M3	M4	M5	M6				
d	基本尺寸	2.88	3.84	4.84	5.86				
	极限偏差	+0.025 0	+0.030 0						
d_1	基本尺寸	3	4	5	6				
	极限偏差	+0.10 0	+0.12 0						
d_2	基本尺寸	4.7	6.0	7.0	9.0				
	极限偏差	+0.075 0		+0.090 0					
C	基本尺寸	0.2		0.3					
	极限偏差	+0.10 0							
D	基本尺寸	30							
	极限偏差	+0.069 +0.048							
D_1	基本尺寸	28.9							
	极限偏差	+0.085 +0.064							
D_2		13	22						
r		0.2	0.3	0.4					
圆跳动 t		0.05							
同轴度 ϕ		0.05							
垂直度 t		0.04							
螺栓长度		模 具 长 度 L							
		基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
20	6.7	0 -0.058	—	—	—	—	—	—	
25	11.7	0 -0.070	9.1	0 -0.058	6.9	0 -0.058	—	—	
30	16.7	—	14.1	0 -0.070	11.9	0 -0.070	9.3	0 -0.058	
35	—	—	19.1	0 -0.084	16.9	—	14.3	0 -0.070	
40	—	—	24.1	—	21.9	0 -0.084	19.3	0 -0.084	
45	—	—	—	—	26.9	—	24.3		
50	—	—	—	—	31.9	0 -0.100	29.3	0 -0.100	
55	—	—	—	—	—	—	34.3		
60	—	—	—	—	—	—	39.3	0 -0.100	

适用于
M3~
M6

续表 25.7-32

螺 纹 规 格		M8	M10	M12		
d	基本尺寸	7.80	9.80	11.77		
	极限偏差	+0.036 0		+0.043 0		
d ₁	基本尺寸	7.95	9.95	11.90		
	极限偏差	+0.15 0		+0.18 0		
d ₂	基本尺寸	11.7	14.7	16.7		
	极限偏差	+0.110 0				
C	基本尺寸	0.35				
	极限偏差	+0.10 0				
D	基本尺寸	38	48			
	极限偏差	+0.085 +0.060	+0.095 +0.070			
D ₁	基本尺寸	36.6	46.0			
	极限偏差	+0.105 +0.080	+0.122 +0.097			
D ₂		22	30			
r		0.6		0.8		
圆跳动 t		0.06				
同轴度 φ _t		0.06				
垂直度 t		0.04	0.05			
螺 栓 长 度	模 具 长 度 L					
	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
35	9.6	0 -0.058	—	—	—	—
40	14.6	0 -0.070	9.8	0 -0.058	—	—
45	19.6	0 -0.084	14.8	0 -0.070	10.1	0 -0.070
50	24.6		19.8	0 -0.084	15.1	0 -0.084
55	29.6	24.8	20.1			
60	34.6	0 -0.100	29.8	0 -0.100	25.1	0 -0.100
65	39.6		34.8		30.1	
70	44.6	0 -0.120	39.8	0 -0.120	35.1	0 -0.120
80	54.6		49.8		45.1	
90	—	—	59.8	0	55.1	0 -0.120
100	—	—	69.8	-0.120	65.1	
110	—	—	—	—	75.1	0 -0.140
120	—	—	—	—	85.1	

适用于
M8~
M12

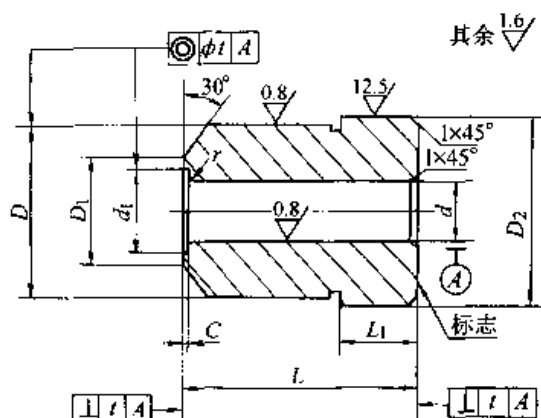
续表 25.7-32

螺 纹 规 格		M14	M16	M18	M20			
d	基本尺寸	13.77	15.77	17.72	19.72			
	极限偏差	+0.043 0			+0.052 0			
d_1	基本尺寸	13.9	15.9	17.9	19.9			
	极限偏差	+0.18 0			+0.21 0			
d_2	基本尺寸	19.7	22.6	25.4	28.3			
	极限偏差	+0.130 0						
C	基本尺寸	0.35	0.50					
	极限偏差	+0.10 0						
D	基本尺寸	62		78				
	极限偏差	+0.117 +0.087		+0.132 +0.102				
D_1	基本尺寸	59.5		75.0				
	极限偏差	+0.152 +0.122		+0.176 +0.146				
D_2		40		45				
r		0.8		1.1				
圆跳动 t		0.08						
同轴度 ϕ		0.08						
垂直度 i		0.05		0.06				
螺 栓 长 度		模 具 长 度 L						
		基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸
50	10.3	0	—	—	—	—	—	—
55	15.3	-0.070	11.5	0	—	—	—	—
60	20.3	0	16.5	-0.070	11	0	—	—
65	25.3	-0.084	21.5	0	16	-0.070	12	0
70	30.3	0	26.5	-0.084	21	-0.084	17	-0.070
80	40.3	-0.100	36.5	0	31	0	27	0
90	50.3	0	46.5	-0.100	41	-0.100	37	-0.084
100	60.3	-0.120	56.5	0	51	0	47	0
110	70.3	0	66.5	-0.120	61	-0.120	57	-0.100
120	80.3	0	76.5	0	71	0	67	0
130	84.3	-0.140	80.5	-0.120	75	-0.120	71	-0.120
140	94.3	0	90.5	0	85	0	81	0
150	—	—	100.5	-0.140	95	-0.140	91	-0.140
160	—	—	110.5	0	105	0	101	0

适用于
M14—
M20

(12) A型切边凹模 (表 25.7-33)

表 25.7-33 A型切边凹模 (摘自 JB/T 4209.6—1996) (mm)



标记示例: M6 GB/T 5782 六角头螺栓 A型切边凹模的
标记为:

切边凹模 GB/T 5782 M6 JB/T 4209.12—1996

材料: T10A GB/T 1298

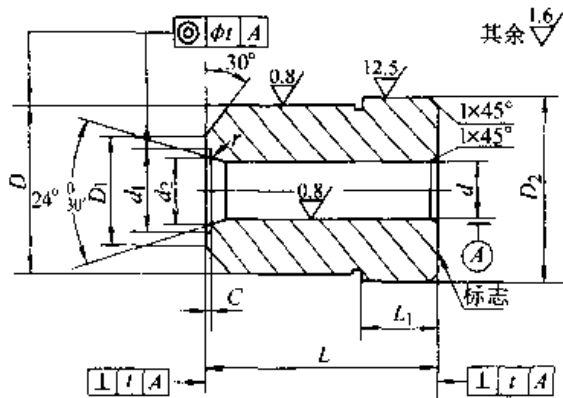
热处理硬度: 58~60HRC

螺纹规格		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
d	基本尺寸	GB/T 5782 3.02	4.03	5.03	6.03	8.04	10.05	12.05	14.06	16.06	18.07	20.07
		GB/T 5785	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		GB/T 5780	—	—	5.48	6.48	8.58	10.58	12.70	14.70	16.70	—
极限偏差		+0.030 0			+0.036 0			+0.043 0			+0.052 0	
d ₁	基本尺寸	4.8	6.1	7.1	9.1	11.8	14.8	16.8	19.8	25.7	25.5	28.4
	极限偏差	+0.18 0	+0.22 0			+0.27 0			+0.33 0			
C	基本尺寸	0.3		0.4	0.5				0.6			
	极限偏差	+0.10 0										
D	基本尺寸	24				28			44		48	
	极限偏差	0 -0.084							0 -0.100			
L	基本尺寸	30				40			60			
	极限偏差	0 -0.13				0 -0.16			0 -0.19			
D ₁	基本尺寸	6.5	8.2	9.4	11.7	15.1	18.6	20.9	24.5	28.0	31.5	35.0
	极限偏差	+0.15 0			+0.18 0		+0.21 0			+0.25 0		
D ₂	基本尺寸	28				32			48		52	
	极限偏差	0 -0.084				0 -0.100			0 -0.100		0 -0.120	
L ₁	基本尺寸	10				15			20			
	极限偏差	0 -0.15				0 -0.18			0 -0.21			
r		0.2	0.3	0.4	0.6			0.8		1.1		
垂直度 z		0.04							0.05			
同轴度 φ _z		0.10										

(13) B型切边凹模 (表 25.7-34)

表 25.7-34 B型切边凹模 (摘自 JB/T 4209.13—1996)

(mm)



标记示例: M6 GB/T 5783 六角头螺栓 B型切边凹模的标记为:

切边凹模 GB/T 5783 M6 JB/T 4209.13—1996

材料: T10A GB/T 1298

硬度: 58~60HRC

螺 纹 规 格		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
d	基本尺寸	2.67	3.55	4.48	5.34	7.18	9.01	10.85	12.68	14.68	—	18.36
	GB/T 5783~5784 GB/T 5781	2.67	3.55	4.48	5.34	7.18	9.01	10.85	12.68	14.68	—	18.36
	GB/T 5786	—	—	—	—	7.35	9.36	11.04	13.04	15.04	17.04	18.70
	极限偏差	+0.025 0	+0.030 0			+0.036 0		+0.043 0			+0.052 0	
d ₂	基本尺寸	3.2	4.2	5.2	6.2	8.3	10.3	12.5	14.5	16.5	18.6	20.6
	极限偏差	+0.18 0			+0.22 0		+0.27 0			+0.33 0		
d ₁	基本尺寸	4.9	6.2	7.2	9.2	11.9	14.9	16.9	19.9	22.8	25.6	28.5
	极限偏差	+0.075 0	+0.090 0			+0.110 0			+0.130 0			
C	基本尺寸	0.3		0.4		0.5			0.6			
	极限偏差	+0.10 0										
D	基本尺寸	24				28			44		48	
	极限偏差	0 -0.084						0			-0.100	
L	基本尺寸	30				40			60			
	极限偏差	0 -0.13				0 -0.16			0 -0.19			
D ₁	基本尺寸	6.5	8.2	9.4	11.7	15.1	18.6	20.9	24.5	28.0	31.5	35.0
	极限偏差	+0.15 0			+0.18 0		+0.21 0			+0.25 0		
D ₂	基本尺寸	28				32			48		52	
	极限偏差	0 -0.084				0			-0.100		0 -0.120	

续表 25.7-34

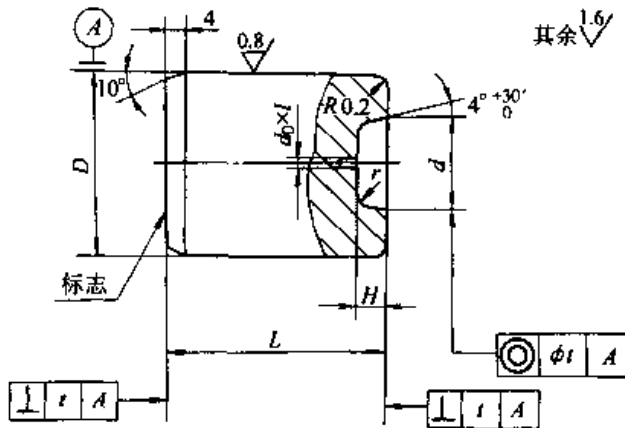
螺纹规格		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
H	基本尺寸	10				15			20			
	极限偏差	0 -0.15				0 -0.18			0 -0.21			
r		0.4		0.5		0.7	0.8	1.0	1.1		1.5	
垂直度 t		0.04						0.05				
同轴度 ϕ		0.10										

3.5 冷锻螺钉模具标准件

(1) A型终锻冲头 (表 25.7-35)

表 25.7-35 A型终锻冲头 (摘自 JB/T 4211.1—1996)

(mm)



标记示例: M10 GB/T 65 开槽圆柱头螺钉 A型终锻冲头的标记为:

终锻冲头 GB/T 65 M10 JB/T 4211.1—1996

材料: 7Cr7Mo3V2Si 或 60Si2Mn GB/T 1222

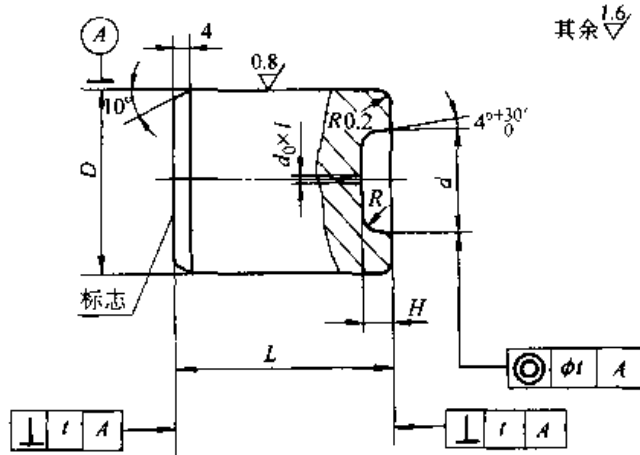
热处理硬度: 57~59HRC

螺纹规格		M4	M5	M6	M8	M10
d	基本尺寸	6.82	8.32	9.82	12.78	15.78
	极限偏差	+0.090 0			+0.110 0	
H	基本尺寸	2.33	2.95	3.42	4.48	5.45
	极限偏差	0 -0.060		0 -0.075		
D	基本尺寸	16	20		28	32
	极限偏差	+0.057 +0.055	+0.076 +0.055		+0.093 +0.068	
L	基本尺寸	18	24		34	38
	极限偏差	0 -0.070	0 -0.084		0 -0.100	
r		0.2			0.3	
$d_0 \times l$		0.6 × 2	0.8 × 2.5	0.9 × 3	1.2 × 3.5	1.3 × 4
同轴度 ϕ		0.04	0.05		0.06	
垂直度 t		0.04	0.05			0.06

(2) B型终锻冲头 (表 25.7-36)

表 25.7-36 B型终锻冲头 (摘自 JB/T 4211.2—1996)

(mm)



标记示例: M10 GB/T 67 开槽盘头螺钉 B 型终锻冲头的标记为:

终锻冲头 GB/T 67 M10 JB/T 4211.2—1996

材料: 7Cr2Mo3V2Si 或 60Si2Mn GB/T 1222

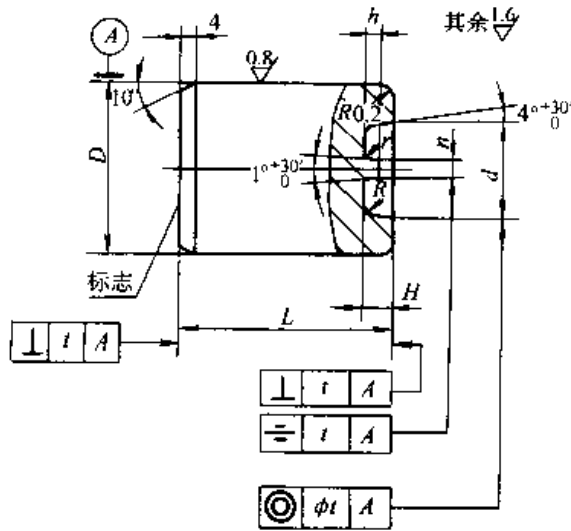
热处理硬度: 58~60HRC

螺纹规格	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	
d	基本尺寸	3.79	4.79	5.39	7.75	9.25	11.7	15.7	19.64
	极限偏差	+0.075 0			+0.090 0		+0.110 0		+0.130 0
H	基本尺寸	1.02	1.22	1.50	2.08	2.65	3.20	4.28	5.45
	极限偏差	0 -0.060					0 -0.075		
D	基本尺寸	12		16		20		28	32
	极限偏差	+0.057 +0.039				+0.076 +0.055			+0.093 +0.068
L	基本尺寸	14		18		24		34	38
	极限偏差	0 -0.070				0 -0.084		0 -0.100	
R	0.6	0.8	0.9	1.2	1.5	1.8	2.4	3.0	
$d_0 \times l$	0.3×1	0.4×1.2	0.5×1.5	0.6×2	0.8×2.5	0.9×3	1.2×3.5	1.3×4	
同轴度 ϕ_I	0.04				0.05		0.06		
垂直度 t	0.04				0.05			0.06	

(3) C型终锻冲头 (表 25.7-37)

表 25.7-37 C型终锻冲头 (摘自 JB/T 4211.3—1996)

(mm)



标记示例: M10 GB/T 67 开槽盘头螺钉 C型终锻冲头的标记为:

终锻冲头 GB/T 67 M10 JB/T 4211.3—1996

材料: 7Cr7Mo3V2Si 或 60Si2Mn GB/T 1222

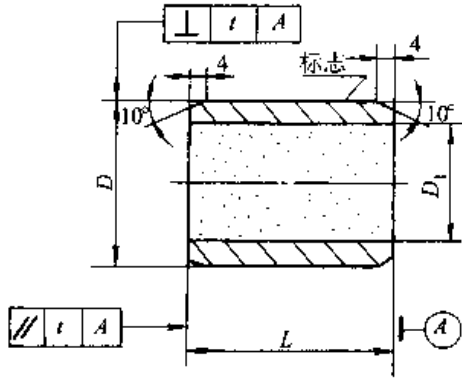
热处理硬度: 56~58HRC

螺纹规格		M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	
d	基本尺寸	3.82	4.82	5.42	7.78	9.28	11.74	15.74	16.69	
	极限偏差	+0.075 0			+0.090 0		+0.110 0		+0.130 0	
H	基本尺寸	1.02	1.22	1.50	2.08	2.65	3.20	4.28	5.45	
	极限偏差	0 -0.060					0 -0.075			
n	基本尺寸	0.66	0.76	0.96	1.46		1.84	2.23	2.72	
	极限偏差	0 -0.06								
h	基本尺寸	0.74	0.84	0.94	1.24	1.56	1.88	2.5	3.12	
	极限偏差	0 -0.06								
D	基本尺寸	12		16		20		28	32	
	极限偏差	+0.057 +0.039				+0.076 +0.055			+0.093 +0.068	
L	基本尺寸	14		18		24		34	38	
	极限偏差	0 -0.070				0 -0.084		0 -0.100		
R		0.6	0.8	0.9	1.2	1.5	1.8	2.4	3.0	
r		0.1				0.2				
同轴度 ϕ_t		0.04				0.05		0.06		
对称度 t		0.04				0.05		0.06		
垂直度 t		0.04				0.05			0.06	

(4) D 型终锻冲头 (表 25.7-38)

表 25.7-38 D 型终锻冲头 (摘自 JB/T 4211.4—1996)

(mm)



标记示例: M10 GB/T 68 开槽沉头螺钉 D 型终锻冲头的标记为:

终锻冲头 GB/T 68 M10 JB/T 4211.4—1996

材料: 模套 5CrNiMo GB/T 1299

模芯 YG20C

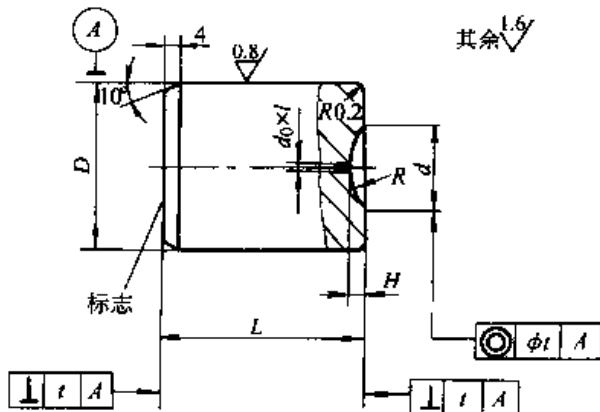
热处理硬度: 模套 44~48HRC

螺纹规格	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	
D	基本尺寸	12		16		20		28	32
	极限偏差	+0.057 +0.039				+0.076 +0.055		+0.093 +0.068	
L	基本尺寸	14		18		24		34	38
	极限偏差	0 -0.070				0 -0.084		0 -0.100	
D_1	8		12		16		24	28	
垂直度 t				0.05			0.06		
平行度 t				0.05			0.06		

(5) E 型终锻冲头 (表 25.7-39)

表 25.7-39 E 型终锻冲头 (摘自 JB/T 4211.5—1996)

(mm)



标记示例: M10 GB/T 69 开槽半沉头螺钉 E 型终锻冲头的标记为:

终锻冲头 GB/T 69 M10 JB/T 4211.5—1996

材料: 7Cr7Mo3V2Si 或 60Si2Mn GB/T 1222

热处理硬度: 59~61HRC

螺纹规格	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	
d	基本尺寸	3.74	4.64	5.44	8.32	9.22	11.22	15.72	18.20
	极限偏差	+0.18 0		+0.22 0		+0.27 0		+0.33 0	

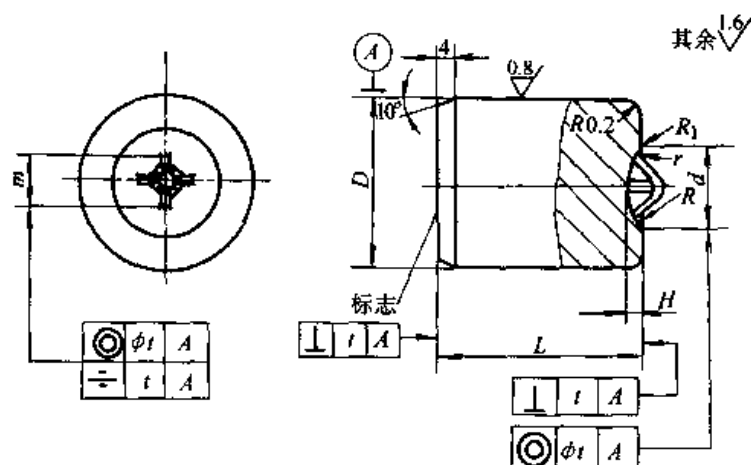
续表 25.7-39

螺纹规格	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	
H	基本尺寸	0.5	0.6	0.7	1.0	1.2	1.4	2.0	2.3
	极限偏差	0 -0.06							
D	基本尺寸	12		16		20		28	32
	极限偏差	+0.057 +0.039				+0.076 +0.055			+0.093 +0.068
L	基本尺寸	14		18		24		34	38
	极限偏差	0 -0.070				0 -0.084			0 -0.100
R≈	4	5	6	9.5		12	16.5	19.5	
$d_0 \times l$	0.3×1	0.4×1.2	0.5×1.5	0.6×2	0.8×2.5	0.9×3	1.2×3.5	1.3×4	
同轴度 ϕ	0.04				0.05			0.06	
垂直度 t	0.04				0.05			0.06	

(6) F型终锻冲头 (表 25.7-40)

表 25.7-40 F型终锻冲头 (摘自 JB/T 4211.6—1996)

(mm)



标记示例: M10 GB/T 818 十字槽盘头螺钉 F型终锻冲头的标记为:

终锻冲头 GB/T 818 M10 JB/T 4211.6—1996

材料: 7Cr7Mo3V2Si 或 60Si2Mn GB/T 1222

热处理硬度: 58~60HRC

螺纹规格	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	
d	基本尺寸	3.82	4.82	5.42	7.78	9.28	11.74	15.74	16.69
	极限偏差	+0.075 0			+0.090 0		+0.110 0		+0.130 0
H	基本尺寸	1.46	1.96	2.26	2.92	3.52	4.30	5.70	7.14
	极限偏差	0 -0.060				0 -0.075			

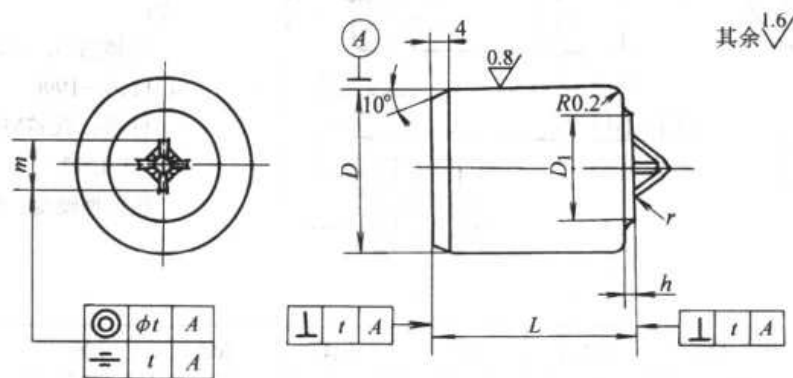
续表 25.7-40

螺 纹 规 格		M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	
H 型 十 字 槽	槽 号	0	1		2		3	4		
	插 入 深 度	基本尺寸	1.11	1.43	1.68	2.25	2.75	3.45	4.42	5.62
		极限偏差	0 -0.10				0 -0.12			
	<i>m</i> 最大	1.86	2.61	2.86	4.43	4.93	7.15	9.37	10.56	
D	基本尺寸	12		16		20		28	32	
	极限偏差	+0.057 +0.039				+0.076 +0.055		+0.093 +0.068		
L	基本尺寸	14		18		24		34	38	
	极限偏差	0 -0.070				0 -0.084		0 -0.100		
R		3.2	4	5	6.5	8	10	13	16	
R ₁		0.1				0.2				
<i>r</i>		0.1				0.2				
同轴度 ϕ_t		0.04				0.05		0.06		
对称度 <i>t</i>		0.04				0.05		0.06		
垂直度 <i>t</i>		0.04				0.05			0.06	

(7) G 型终锻冲头 (表 25.7-41)

表 25.7-41 G 型终锻冲头 (摘自 JB/T 4211.7—1996)

(mm)



标记示例: M10 GB/T 819 十字槽沉头螺钉 G 型终锻冲头的标记为:

终锻冲头 GB/T 819 M10 JB/T 4211.7—1996

材料: 7Cr7Mo3V2Si 或 60Si2Mn GB/T 1222

热处理硬度: 59~61HRC

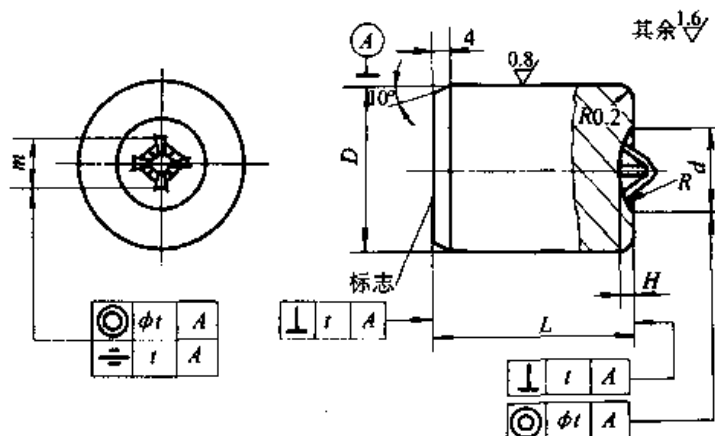
续表 25.7-41

螺纹规格		M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	
H 型 十字 槽	槽号	0	1		2		3	4		
	插入深度	基本尺寸	1.11	1.68	1.98	2.45	3.05	3.35	4.42	5.52
		极限偏差	0 -0.10				0 -0.12			
	m_{max}	1.92	2.94	3.24	4.73	5.33	7.15	9.49	10.58	
D	基本尺寸	12		16		20		28	32	
	极限偏差	+0.057 +0.039				+0.076 +0.055		+0.093 +0.068		
L	基本尺寸	14		18		24		34	38	
	极限偏差	0 -0.070				0 -0.084		0 -0.100		
$D_1 \approx$		9		12		16		22	26	
$h \approx$		0.8		1.0		1.5				
r		0.10				0.15				
同轴度 ϕ_t		0.04				0.05		0.06		
对称度 t		0.04				0.05		0.06		
垂直度 t		0.04				0.05			0.06	

(8) H型终锻冲头 (表 25.7-42)

表 25.7-42 H型终锻冲头 (摘自 JB/T 4211.8—1996)

(mm)



标记示例: M10 GB/T 820 十字槽半沉头螺钉 H型终锻冲头的标记为:

终锻冲头 GB/T 820 M10 JB/T 4211.8—1996

材料: 7Cr7Mo3V2Si 或 60Si2Mn GB/T 1222

热处理硬度: 58~60HRC

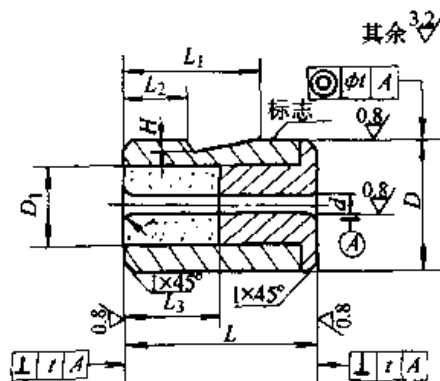
续表 25.7-42

螺 纹 规 格		M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	
d	基本尺寸	3.74	4.64	5.44	8.32	9.22	11.22	15.72	18.20	
	极限偏差	+0.18 0			+0.22 0		+0.27 0		+0.33 0	
H	基本尺寸	0.5	0.6	0.7	1.0	1.2	1.4	2.0	2.3	
	极限偏差	0 -0.060								
H 型 十字 槽	槽 号	0	1		2		3	4		
	插入深度	基本尺寸	1.41	1.74	2.08	3.05	3.25	3.85	5.10	5.85
		极限偏差	0 -0.10			0 -0.12				
	m 最大	2.22	3.00	3.34	5.33	5.53	7.65	10.16	10.91	
D	基本尺寸	12		15		20		28	32	
	极限偏差	+0.057 +0.039				+0.076 +0.055			+0.093 +0.068	
L	基本尺寸	14		18		24		34	38	
	极限偏差	0 -0.070				0 -0.084		0 -0.100		
R		4.0	5.0	6.0	9.5		12.0	16.5	19.5	
同轴度 ϕ		0.04				0.05		0.06		
对称度 t		0.04				0.05		0.06		
垂直度 t		0.04				0.05			0.06	

(9) A 型凹模 (表 25.7-43)

表 25.7-43 A 型凹模 (摘自 JB/T 4211.9—1996)

(mm)



标记示例: M6 GB/T 65 开槽圆柱头螺钉, Z12—6 机床用 A 型凹模的标记为:

凹模 GB/T 65 M6 Z12—6 JB/T 4211.9—1996

材料: 模套 5CrNiMo GB/T 1299 或 T10A GB/T 1298

模芯 YG20C

模芯垫 Cr12MoV GB/T 1299

热处理硬度: 模套 44~48HRC

模芯垫 58~62HRC

续表 25.7-43

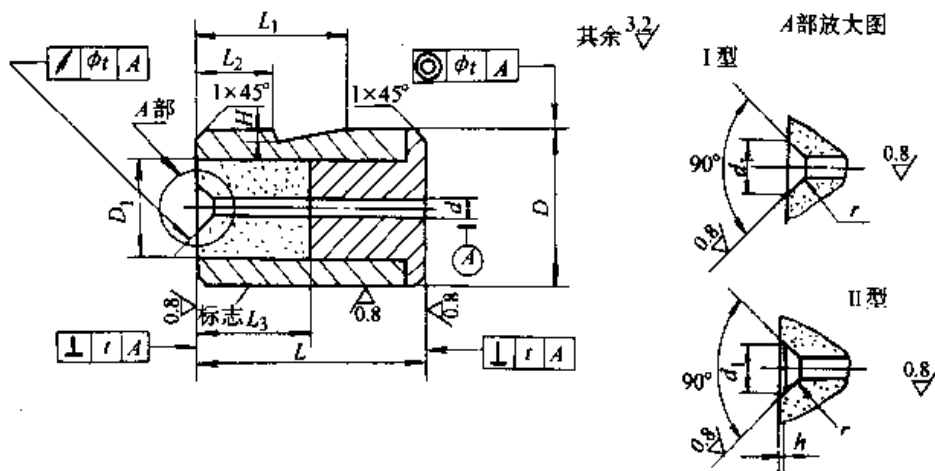
螺 纹 规 格	M2	M2.5	M2.5	M3	M4	M4	M5	M6	
d	基本尺寸	1.67	2.14	2.14	2.60	3.46	3.46	4.39	5.25
	极限偏差	+0.014 0				+0.018 0			
D	基本尺寸	25		35 (30)		50 (35)			
	极限偏差	-0.065 -0.117				-0.082 -0.148			
L	基本尺寸	30		40		50			
	极限偏差	0 -0.1							
D ₁	10	13				16			
r	0.25	0.30			0.40		0.50		
L ₁	25		30			35			
L ₂	10		13			16			
L ₃	12		15		20				
	20		20		30				
	—		30		50				
H	2.5		3.0		3.5				
同轴度 φ _t	0.05				0.06				
适用机床	Z12—2.5		Z12—4		Z12—6				
垂直度 t	0.04								

注：括号内尺寸系根据自动冷镦机现行模腔尺寸确定。

(10) B型凹模 (表 25.7-44)

表 25.7-44 B型凹模 (摘自 JB/T 4211.10—1996)

(mm)



标记示例：M6 GB/T 68 开槽沉头螺钉，Z12—6 机床用的 B型凹模的标记为：

凹模 GB/T 68 M6 Z12—6 JB/T 4211.10—1996

材料：模套 5CrNiMo GB/T 1299 或 T10A GB/T 1298

模芯 YG20C

模芯垫 Cr12MoV GB/T 1299

热处理硬度：模套 44~48HRC

模芯垫 58~62HRC

续表 25.7-44

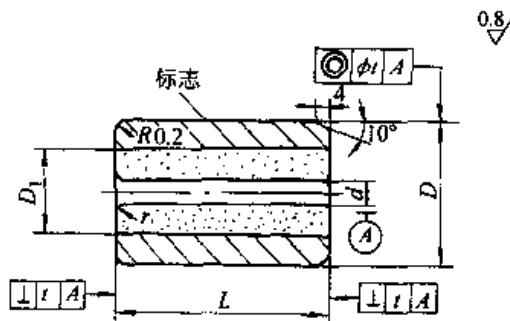
螺 纹 规 格	M2	M2.5	M2.5	M3	M4	M4	M5	M6	
d	基本尺寸	1.67	2.14	2.14	2.60	3.46	3.46	4.39	5.25
	极限偏差	+0.014 0				+0.018 0			
d ₁	基本尺寸	3.71	4.61	4.61	5.41	8.28	8.28	9.18	11.18
	极限偏差	+0.075 0				+0.090 0			
D	基本尺寸	25		35 (30)		50 (35)			
	极限偏差	-0.065 -0.117				-0.082 -0.142			
L	基本尺寸	30		40		50			
	极限偏差	0 -0.1							
D ₁	10	13				22			
r	0.10				0.15				
h	0.15				0.2				
L ₁	25		30		35				
L ₂	10		13		16				
L ₃	12		15		20				
	20		20		30				
	—		30		50				
H	2.5		3.0		3.5				
同轴度 φ _r	0.05				0.06				
圆跳动 φ _r	0.05				0.06				
适用机床	Z12—2.5		Z12—4		Z12—6				
垂直度 t	0.04								

注：括号内尺寸系根据自动冷锻机现行模腔尺寸确定。

(11) C型凹模 (表 25.7-45)

表 25.7-45 C型凹模 (摘自 JB/T 4211.11—1996)

(mm)



标记示例：M10 GB/T 65 开槽圆柱头螺钉，Z12—12 机床用 C 型凹模的标记为：

凹模 GB/T 65 M10 Z12—12 JB/T 4211.11—1996

材料：模套 5CrNiMo GB/T 1299 或 60Si2Mn GB/T 1222 模芯 YG20C

热处理硬度：模套 44~48HRC

螺 纹 规 格	M4	M5	M6	M8	M10	
d	基本尺寸	3.46	4.39	5.25	7.07	8.89
	极限偏差	+0.018 0			+0.022 0	

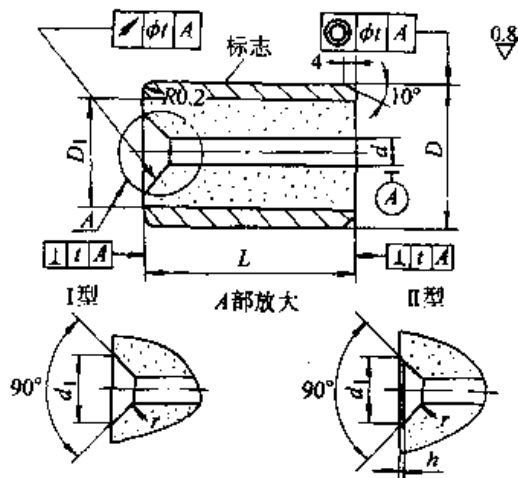
续表 25.7-45

螺纹规格	M4	M5	M6	M8	M10	
D	基本尺寸	30			38	48
	极限偏差	+0.085 +0.064			+0.105 +0.080	+0.122 +0.097
L	基本尺寸	35			40	50
	极限偏差	0 -0.084			0 -0.100	
$D_1 \approx$	13	16		22	30	
r	0.4		0.5	0.6	0.7	
同轴度 f_t	0.05			0.06		
垂直度 t	0.04				0.05	

(12) D型凹模 (表 25.7-46)

表 25.7-46 D型凹模 (摘自 JB/T 4211.12—1996)

(mm)



标记示例: M10 GB/T 68 开槽沉头螺钉, Z12—12 机床用 D 型凹模的标记为:

凹模 GB/T 68 M10 Z12—12 JB/T 4211.12—1996

材料: 模套 5CrNiMo GB/T 1299 或 60Si2Mn GB/T 1222

模芯 YG20C

热处理硬度: 模套 44~48HRC

螺纹规格	M4	M5	M6	M8	M10	
d	基本尺寸	3.46	4.39	5.25	7.07	8.89
	极限偏差	+0.018 0			+0.022 0	
d_1	基本尺寸	8.28	9.18	11.18	15.68	18.15
	极限偏差	+0.09 0		+0.11 0		
D	基本尺寸	30			38	48
	极限偏差	+0.085 +0.064			+0.105 +0.080	+0.122 +0.097

续表 25.7-46

螺纹规格	M4	M5	M6	M8	M10		
L	基本尺寸				35	40	50
L	极限偏差				0 -0.084	0 -0.100	
	h				0.20	0.25	
r				0.10	0.15		
D ₁ ≈		13	22		30	36	
同轴度 φ _t		0.05			0.06		
圆跳动 φ _t		0.05			0.06		
垂直度 t		0.04				0.05	

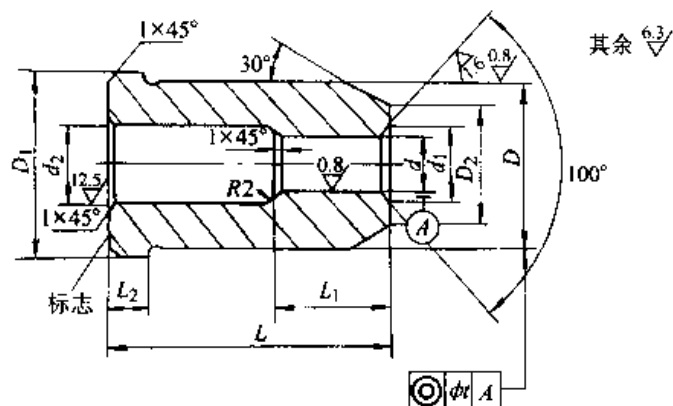
注: M4~M6 凹模应按 JB/T 4024—1999 《自动冷锻机 模腔尺寸》配制凹模外套。

3.6 冷锻内六角圆柱头螺钉模具标准件

(1) A型初锻冲头 (表 25.7-47)

表 25.7-47 A型初锻冲头 (摘自 JB/T 4212.1—1996)

(mm)



标记示例: M10 GB/T 70.1~70.3 内六角圆柱头螺钉, A型初锻冲头的标记为:

初锻冲头 GB/T 70.1~70.3 M10 JB/T 4212.1—1996

材料: 60Si2Mn GB/T 1222

热处理硬度: 54~58HRC

螺纹规格	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16								
d	基本尺寸								3.84	4.84	5.84	7.80	9.80	11.75	13.75	15.75
	极限偏差								+0.030 0		+0.036 0			+0.043 0		
D	基本尺寸								22				40			
	极限偏差								-0.020 -0.053				-0.025 -0.064			
d ₁	基本尺寸								5.6	6.8	8.0	10.4	12.8	14.4	16.8	19.2
	极限偏差								+0.12 0	+0.15 0		+0.18 0				+0.21 0

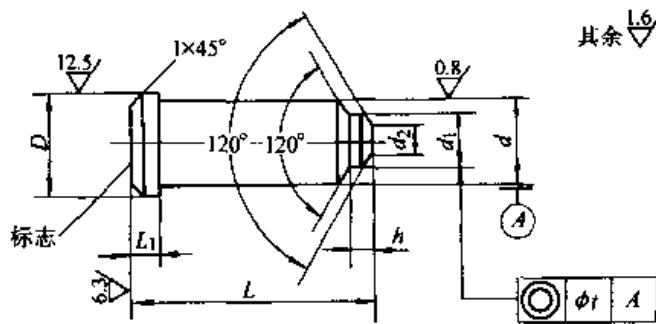
续表 25.7-47

螺 纹 规 格	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16
d_2	基本尺寸	12			22			
	极限偏差	+0.43 0			+0.52 0			
L	基本尺寸	50			75			
	极限偏差	0 -0.10			0 -0.12			
L_1	基本尺寸	15	20		30			
	极限偏差	0 -0.43	0 -0.52		0 -0.52			
D_1	基本尺寸	24			45			
	极限偏差	0 -0.52			0 -0.62			
L_2	10							
D_2	10	12	16	20	24	28	32	
同轴度 ϕ	0.05				0.06			

(2) 初锻冲头顶杆 (表 25.7-48)

表 25.7-48 初锻冲头顶杆 (摘自 JB/T 4212.2—1996)

(mm)



标记示例: M10 GB/T 70.1~70.3 内六角圆柱头螺钉, 初锻冲头顶杆的标记为:

初锻冲头顶杆 GB/T 70.1~70.3 M10 JB/T 4212.2—1996

材料: 9CrSi GB/T 1299 或 60Si2Mn GB/T 1222

热处理硬度: 54~58HRC

螺 纹 规 格	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	
d	基本尺寸	3.84	4.84	5.84	7.80	9.80	11.75	13.75	15.75
	极限偏差	-0.010 -0.028			-0.013 -0.035		-0.016 -0.043		
d_1	基本尺寸	2.4	3.2	4	4.2	5.6	7.0	8.4	9.8
	极限偏差	+0.120 0					+0.150 0		

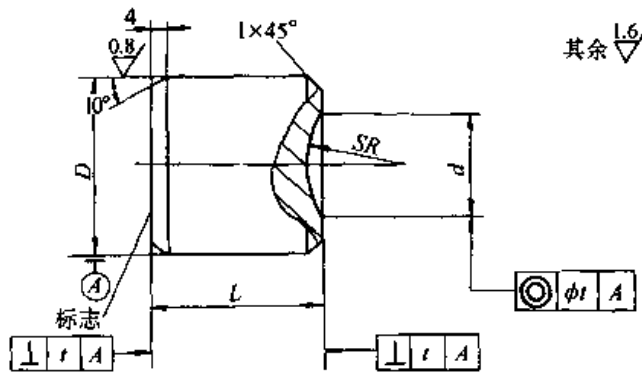
续表 25.7-48

螺纹规格	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	
d_2	基本尺寸	—	1.6	2.0	2.5	3.2	4.0	4.8	5.6
	极限偏差	+0.10 0				+0.12 0			
h	基本尺寸	—	1.25	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
	极限偏差	+0.10 0				+0.12 0			
L	基本尺寸	21.0	22.0	28.0	28.5	39.5	40.0	41.5	42.0
	极限偏差	0 -0.084				0 -0.100			
D	6.0	7.5	8.0	10.5	13.0	14.5	17.0	19.0	
L_1	4								
同轴度 ϕ	0.025					0.030			

(3) B型初锻冲头 (表 25.7-49)

表 25.7-49 B型初锻冲头 (摘自 JB/T 4212.3—1996)

(mm)



标记示例: 螺纹规格 M10 GB/T 70.1~70.3 内六角圆柱头螺钉, B型初锻冲头的标记为:

初锻冲头 GB/T 70.1~70.3 M10 JB/T 4212.3—1996

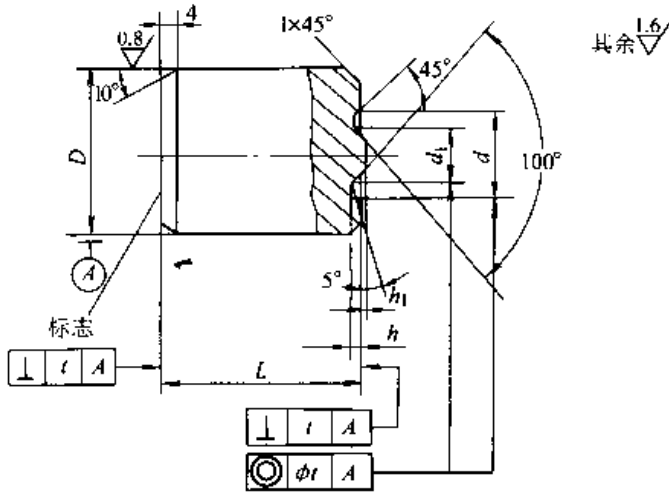
材料: T10A GB/T 1298

热处理硬度: 58~62HRC

螺纹规格	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20
d	基本尺寸	6.7	8.1	9.6	12.4	15.2	17.1	20.2	28.5
	极限偏差	+0.150 0			+0.180 0		+0.210 0		
D	基本尺寸	16	20	28	32	38	48		
	极限偏差	+0.066 +0.039	+0.080 +0.047	+0.088 +0.055	+0.107 +0.068		+0.120 +0.081		
L	基本尺寸	18	24	34	38	45	58		
	极限偏差	0 -0.084			0 -0.100		0 -0.120		
$SR \approx$	8	10	12	16	20	24	28	32	40
同轴度 ϕ	0.03			0.04		0.05			
垂直度 t	0.04	0.05		0.06					

(4) 成形冲头 (表 25.7-50)

表 25.7-50 成形冲头 (摘自 JB/T 4212.4—1996) (mm)



标记示例: M12 GB/T 70.1~70.3 内六角圆柱头螺钉, 成形冲头的标记为:

成形冲头 GB/T 70.1~70.3 M12 JB/T 4212.4—1996

材料: T10A GB/T 1298

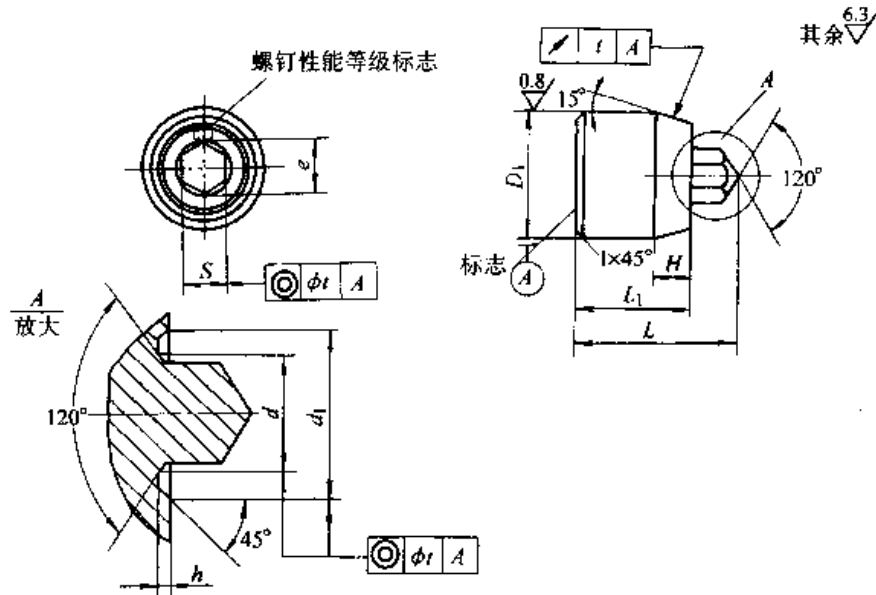
热处理硬度: 58~62HRC

螺纹规格	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20	
d	基本尺寸	6.78	8.28	9.78	12.73	15.73	17.73	20.67	23.67	29.67
	极限偏差	+0.150 0			+0.180 0			+0.210 0		
d ₁	基本尺寸	3.8	5.0	6.3	7.5	9.9	12.3	14.8	17.3	21.0
	极限偏差	+0.120 0		+0.150 0			+0.180 0		+0.210 0	
h	基本尺寸	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0
	极限偏差	+0.10 0								
D	基本尺寸	16	20		28	32		48		
	极限偏差	+0.066 +0.039	+0.080 +0.047		+0.088 +0.055	+0.107 +0.068		+0.120 +0.081		
L	基本尺寸	18	24		34	38		58		
	极限偏差	0 -0.070	0 -0.084		0 -0.100			0 -0.120		
h ₁	0.25							0.50		
同轴度 φ _t	0.03				0.04			0.04		
垂直度 t	0.04	0.05			0.06					

(5) A型内六角冲头 (表 25.7-51)

表 25.7-51 A型内六角冲头 (摘自 JB/T 4212.5—1996)

(mm)



标记示例: M12 GB/T 70.1~70.3 内六角圆柱头螺钉, A型内六角冲头的标记为:

内六角冲头 GB/T 70.1~70.3 M12 JB/T 4212.5—1996

材料: 7Cr7Mo3V2Si 或 60Si2Mn GB/T 1222

热处理硬度: 58~62HRC

螺 纹 规 格		M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16
S	基本尺寸	3.032	4.035	5.044	6.044	8.043	10.043	12.054	14.054
	12.9级								
	8.8级					8.055	10.055	12.068	14.068
	极限偏差	+0.024 0	+0.030 0	+0.036 0		+0.045 0		+0.054 0	
D	基本尺寸	3.46	4.60	5.75	6.89	9.18	11.46	13.75	16.04
	极限偏差	+0.05 0	+0.07 0	+0.09 0	+0.10 0	+0.13 0	+0.15 0	+0.19 0	+0.20 0
d ₁	基本尺寸	7.0	8.5	10.0	13.0	16.0	18.0	21.0	24.0
	极限偏差		+0.15 0			+0.18 0		+0.21 0	
d	基本尺寸	3.8	5.0	6.3	7.5	9.9	12.3	14.8	17.3
	极限偏差		+0.12 0		+0.15 0			+0.18 0	
h	基本尺寸	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
	极限偏差				+0.10 0				
D ₁	基本尺寸	10.5	12.8	15.0	19.5	24.0	27.0	31.5	36.0
	极限偏差		0 -0.043			0 -0.052		0 -0.062	

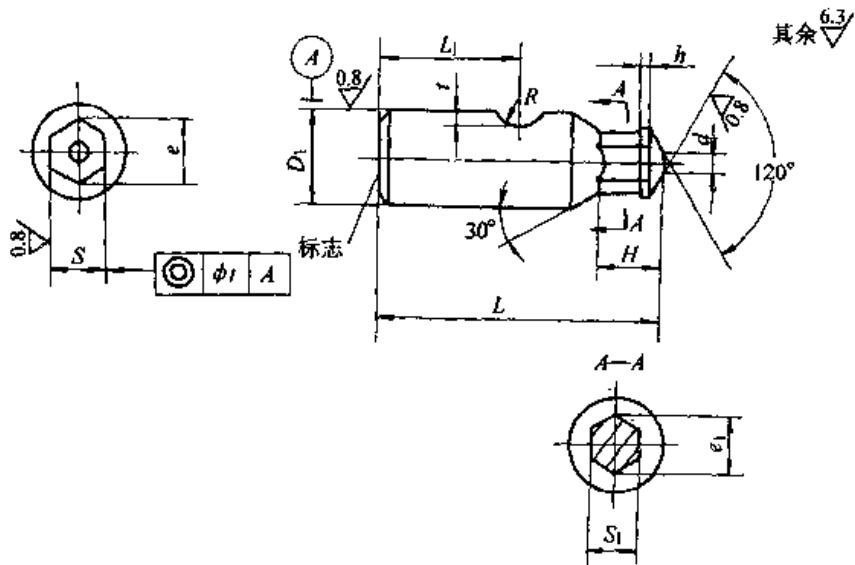
续表 25.7-51

螺纹规格	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	
L	基本尺寸	18.02	19.72	19.46	25.53	27.29	33.88	35.34	36.80
	极限偏差	0 -0.070	0 -0.084			0 -0.100			
L ₁	基本尺寸	15			20		25		
	极限偏差	0 -0.11			0 -0.13				
H	基本尺寸	4			5		8		
	极限偏差	+0.30 0			+0.36 0				
同轴度 φ _t	0.03			0.04		0.05			
圆跳动 t	0.04			0.05		0.06			

(6) B型内六角冲头 (表 25.7-52)

表 25.7-52 B型内六角冲头 (摘自 JB/T 4212.6—1996)

(mm)



标记示例: M12 GB/T 70.1—70.3 内六角圆柱头螺钉, B型内六角冲头的标记为:

内六角冲头 GB/T 70.1—70.3 M12 JB/T 4212.6—1996

材料: 7Cr7Mo3V2Si 或 W18Cr4V

热处理硬度: 58~62HRC

螺纹规格	M4	M5	M6	M8	M10	M12		
S	基本尺寸	12.9级	3.032	4.035	5.044	6.044	8.043	10.043
		8.8级						8.055
极限偏差		+0.024 0	+0.030 0	+0.036 0		+0.045 0		

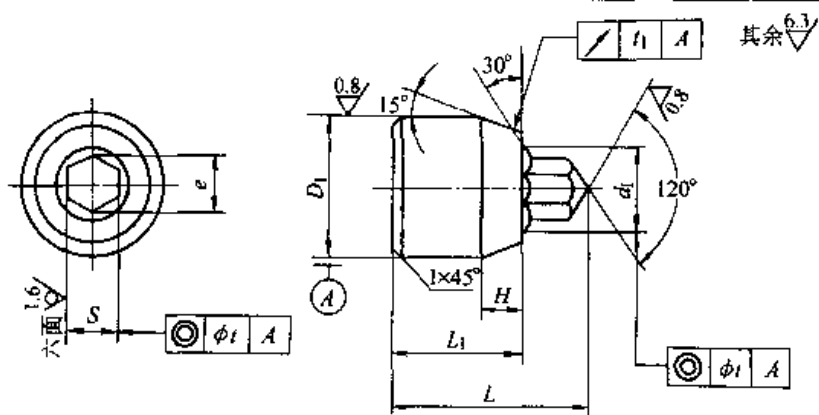
续表 25.7-52

螺 纹 规 格		M4	M5	M6	M8	M10	M12
e	基本尺寸	3.46	4.60	5.75	6.89	9.18	11.46
	极限偏差	+0.05 0	+0.07 0	+0.09 0	+0.10 0	+0.13 0	+0.15 0
D_1	基本尺寸	8			12		
	极限偏差	-0.040 -0.076			-0.050 -0.093		
H	基本尺寸	6.0	7.5	9.0	10.0		12.0
	极限偏差	+0.360 0					+0.430 0
h	基本尺寸	0.60	0.75	0.90	1.20	1.50	1.80
	极限偏差	0 -0.25					
L	基本尺寸	35			50		
	极限偏差	0 -0.160					
S_1		2.98	3.98	4.97	5.97	7.97	9.97
e_1		3.40	4.54	5.67	6.81	9.09	11.37
d		0.9	1.2	1.5	1.8	2.0	2.5
R		4			6		
t		2			3		
L_1		17.5			25.0		
同轴度 ϕ		0.025			0.03		0.04

(7) C型内六角冲头 (表 25.7-53)

表 25.7-53 C型内六角冲头 (摘自 JB/T 4212.7—1996)

(mm)



标记示例: M12 GB/T 70.1~70.3 内六角圆柱头螺钉, C型内六角冲头的标记为:

内六角冲头 GB/T 70.1~70.3 M12 JB/T 4212.7—1996

材料: 7Cr7Mo3V2Si 或 60Si2Mn GB/T 1222

热处理硬度: 58~62HRC

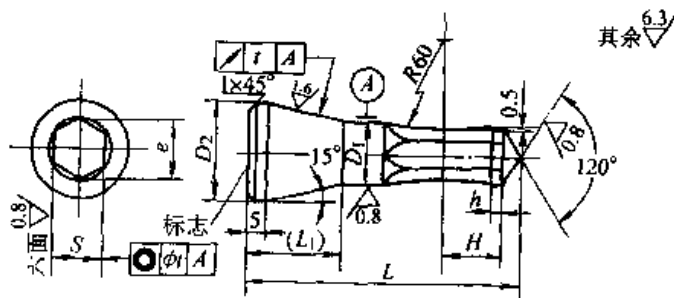
续表 25.7-53

螺 纹 规 格		M4	M5	M6	M8	M10	M12	
S	基本尺寸	12.9级	3.032	4.035	5.044	6.044	8.043	10.043
		8.8级	3.032	4.035	5.044	6.044	8.055	10.055
	极限偏差	+0.024 0	+0.030 0	+0.036 0		+0.045 0		
e	基本尺寸	3.46	4.60	5.75	6.89	9.18	11.46	
	极限偏差	+0.05 0	+0.07 0	+0.09 0	+0.10 0	+0.13 0	+0.15 0	
d	基本尺寸	3.8	5.0	6.3	7.5	9.9	12.3	
	极限偏差	+0.12 0		+0.15 0			+0.18 0	
D ₁	基本尺寸	10.5	12.8	15.0	19.5	24.0	27.0	
	极限偏差	0 -0.043			0 -0.052			
L	基本尺寸	18.6	19.5	20.4	26.7	28.7	35.5	
	极限偏差	0 -0.13					0 -0.16	
L ₁	基本尺寸	15			20		25	
	极限偏差	0 -0.11			0 -0.13		0 -0.16	
H	基本尺寸	4			5		8	
	极限偏差	+0.30 0					+0.36 0	
同轴度 ϕ		0.025			0.030		0.040	
圆跳动 t_1		0.04			0.05			

(8) D型内六角冲头 (表 25.7-54)

表 25.7-54 D型内六角冲头 (摘自 JB/T 4212.8—1996)

(mm)



标记示例: M16 GB/T 70.1~70.3 内六角圆柱头螺钉, D型内六角冲头的标记为:

内六角冲头 GB/T 70.1~70.3 M16 JB/T 4212.8—1996

材料: 7Cr7Mo3V2Si 或 W18Cr4V

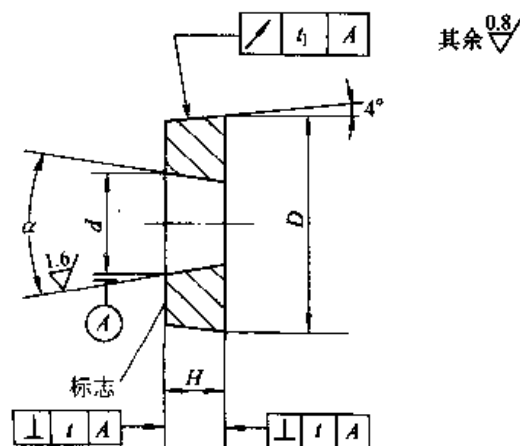
热处理硬度: 58~62HRC

续表 25.7-54

螺 纹 规 格		M14	M16	M20
S	基本尺寸	12.9级 12.054	14.054	17.086
		8.8级 12.068	14.068	
	极限偏差	+0.054 0		
e	基本尺寸	13.75	16.04	19.48
	极限偏差	+0.19 0	+0.20 0	+0.23 0
D ₁	基本尺寸	13.90	16.30	19.70
	极限偏差	+0.043 0		
H	基本尺寸	14	16	20
	极限偏差	+1.10 0		
h	基本尺寸	2.1	2.4	3.0
	极限偏差	0 -0.25		
L	基本尺寸	67	72	80
	极限偏差	0 -0.19		
(L ₁)		25		
D ₂		24.6	26.7	34.0
同轴度 ϕt		0.04		
圆跳动 t_1		0.05		0.06

(9) 初锻成型凹模片 (表 25.7-55)

表 25.7-55 初锻成型凹模片 (摘自 JB/T 4212.9—1996) (mm)



标记示例: M10 GB/T 70.1~70.3 内六角圆柱头螺钉初锻成形凹模片的标记为:

凹模片 GB/T 70.1~70.3 M10 JB/T 4212.9—1996

材料: 60Si2Mn GB/T 1222

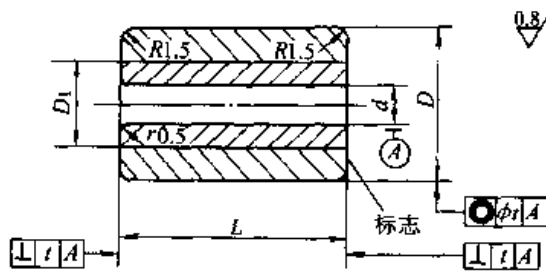
热处理硬度: 54~58HRC

续表 25.7-55

螺纹规格	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20	
d	基本尺寸	6.80	8.30	9.80	12.76	15.76	17.76	20.70	23.70	29.70
	极限偏差	+0.090 0			+0.110 0			+0.130 0		
H	基本尺寸	3.2	4.0	4.8	6.4	8.6	10.3	12.0	13.8	17.2
	极限偏差	0 -0.048			0 -0.058			0 -0.070		
D	基本尺寸	29.3	29.5	29.6	37.5	47.2	47.4	61.2	61.4	77.4
	极限偏差	+0.084 0			+0.100 0			+0.120 0		
$\alpha/ (^{\circ})$	18			16			12			
圆跳动 t_1	0.05			0.06			0.08			
垂直度 t	0.06				0.08				0.10	

(10) 初墩凹模 (表 25.7-56)

表 25.7-56 初墩凹模 (摘自 JB/T 4212.10—1996) (mm)



标记示例: M10×50 GB/T 70.1~70.3 内六角圆柱头螺钉初墩凹模的标记为:

初墩凹模 GB/T 70.1~70.3 M10×50 JB/T 4212.10—1996

材料: 模套 5CrNiMo GB/T 1299 或 60Si2Mn GB/T 1222
模芯 9SiCr GB/T 1299 或 YG20C

热处理硬度: 模套 44~48HRC

模芯 59~61HRC

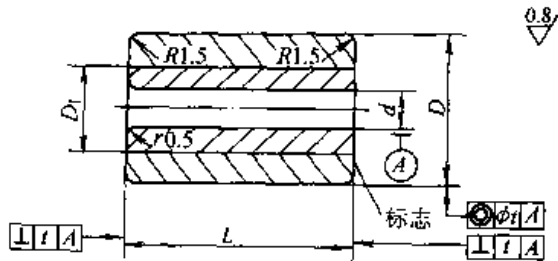
模套与模芯的过盈量为 0.4%~0.6%

螺纹规格	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20	
d	基本尺寸	3.78	4.78	5.78	7.71	9.71	11.67	13.67	15.67	19.60
	极限偏差	+0.03 0			+0.036 0			+0.043 0		
D	基本尺寸	30			38	48		62		78
	极限偏差	+0.069 +0.048			+0.085 +0.060	+0.095 +0.070		+0.117 +0.087		+0.132 +0.102
L	基本尺寸	34			42	52		66		80
	极限偏差	0 -0.10			0			-0.12		0 -0.14
D_1	16			22	30		40		45	
r	0.20		0.25	0.40			0.60		0.80	
同轴度 ϕ_t	0.05			0.06			0.08			
垂直度 t	0.04				0.05				0.06	

(11) 成形凹模 (表 25.7-57)

表 25.7-57 成形凹模 (摘自 JB/T 4212.11—1996)

(mm)



标记示例: M16×60 GB/T 70.1~70.3 内六角圆柱头螺钉成型凹模的标记为:

成形凹模 GB/T 70.1~70.3 M16×60 JB/T 4212.11—1996

材料: 模套 5CrNiMo GB/T 1299 或 60Si2Mn GB/T 1222

模芯 Cr12MoV GB/T 1299 或 YG20C

热处理硬度: 模套 44~48HRC

模芯 59~61HRC

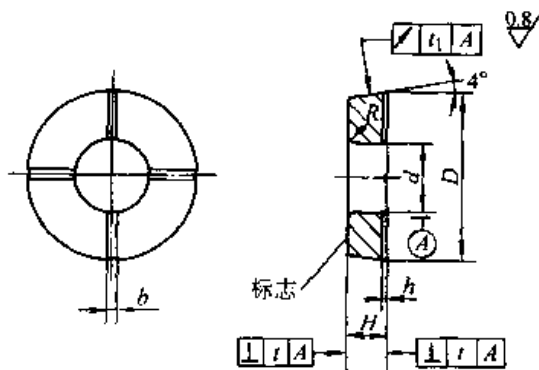
模套与芯的过盈量为 0.4%~0.6%

螺纹规格	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20	
d	基本尺寸	3.82	4.82	5.82	7.78	9.78	11.75	13.75	15.75	19.70
	极限偏差	+0.03 0			+0.036 0		+0.043 0		+0.052 0	
D	基本尺寸	30			38	48	62		78	
	极限偏差	+0.069 +0.048			+0.085 +0.060	+0.095 +0.070	+0.117 +0.087		+0.132 +0.102	
L	基本尺寸	34			42	52	66		80	
	极限偏差	0 -0.10			0 -0.12		0 -0.12		0 -0.14	
D ₁	16			22	30		40	45		
r	0.20		0.25	0.40		0.60		0.80		
同轴度 φ _t	0.05			0.06		0.88				
垂直度 t ₁	0.04			0.05		0.06				

(12) 六角凹模片 (表 25.7-58)

表 25.7-58 六角凹模片 (摘自 JB/T 4212.12—1996)

(mm)



标记示例: M10 GB/T 70.1~70.3 内六角圆柱头螺钉, 适合双击整模自动冷镦机用六角凹模片的标记为:

六角凹模片 GB/T 70.1~70.3 M10—双 JB/T 4212.12—1996

材料: 60Si2Mn GB/T 1222

热处理硬度: 54~58HRC

续表 25.7-58

螺 纹 规 格		M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16		
适用于 双击整模自动冷敏机	<i>d</i>	基本尺寸	6.82	8.32	9.82	12.78	15.78	17.78	20.74	23.74	
		极限偏差	+0.022 0			+0.027 0		+0.033 0			
	<i>H</i>	基本尺寸	3.40	4.30	5.10	6.80	8.60	10.40	12.20	14.00	
		极限偏差	0 -0.048			0 -0.058		0 -0.07			
	<i>D</i>	基本尺寸	29.38	29.50	29.62	37.55	47.20	47.45	61.20	61.46	
		极限偏差	+0.084 0			+0.10 0		+0.120 0			
		<i>h</i>	0.3								
		<i>b</i>	2								
		<i>R</i>	0.4			0.5			0.6		
		圆跳动 <i>t₁</i>	0.05			0.06			0.08		
	垂直度 <i>t</i>	0.06				0.08					
螺 纹 规 格		M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20	
适用于 多工位自动冷敏机	<i>d</i>	基本尺寸	6.82	8.32	9.82	12.78	15.78	17.78	20.74	23.74	29.74
		极限偏差	+0.022 0			+0.027 0		+0.033 0			
	<i>H</i>	基本尺寸	3.90	4.90	5.85	7.80	9.80	11.80	13.80	15.80	19.75
		极限偏差	0 -0.048			0 -0.058		0 -0.070		0 -0.084	
	<i>D</i>	基本尺寸	29.45	29.58	29.72	37.70	47.37	47.65	61.43	61.70	77.76
		极限偏差	+0.084 0			+0.100 0		+0.120 0			
		<i>h</i>	0.3								
		<i>b</i>	2								
		<i>R</i>	0.4			0.5			0.6		
		圆跳动 <i>t₁</i>	0.05			0.06			0.08		
	垂直度 <i>t</i>	0.06				0.08				0.10	

(13) 敏六角凹模 (表 25.7-59)

续表 25.7-59

螺纹规格	M4		M5		M6		M8		M10		M12		M14		M16		M20	
	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
螺钉长度	L																	
35	13	0 -0.070	10.6	0 -0.070	8	0 -0.058												
40	18		15.6		13	0 -0.058	8.3	0 -0.058										
45			20.6	0 -0.084	18	0 -0.070	13.3	0 -0.070	8.5	0 -0.058								
50			25.6		23	0 -0.084	18.3	0 -0.070	13.5	0 -0.070	8.8	0 -0.058						
55					28	0 -0.084	23.3	0 -0.084	18.5		13.8	0 -0.070						
60					33	0 -0.100	28.3	0 -0.100	23.5	0 -0.084	18.8		14	0 -0.070	10	0 -0.058		
65							33.3		28.5		23.8	0 -0.084	19	0 -0.070	15	0 -0.070		
70							38.3	0 -0.100	33.5	0 -0.100	28.8		24	0 -0.084	20	0 -0.084	10.5	0 -0.070
80							48.3		43.5	0 -0.100	38.8	0 -0.100	34	0 -0.100	30	0 -0.084	20.5	0 -0.084
90									53.5	0 -0.120	48.8	0 -0.100	44	0 -0.100	40	0 -0.100	30.5	0 -0.100
100									63.5		58.8	0 -0.120	54	0 -0.120	50	0 -0.100	40.5	0 -0.100
110													64	0 -0.120	60	0 -0.120	50.5	0 -0.120
120													74		70	0 -0.120	60.5	0 -0.120
130													84	0 -0.140	80	0 -0.120	70.5	0 -0.120
140													94	0 -0.140	90	0 -0.140	80.5	0 -0.140

4 螺母类零件冷锻模具设计

螺母类冷锻模具设计程序，一般根据制件技术标准和技术条件来进行，其步骤是：

1) 设计制件两端凹穴形状和尺寸，普通六角螺母的凹穴形状和尺寸如图 25.7-42 示；

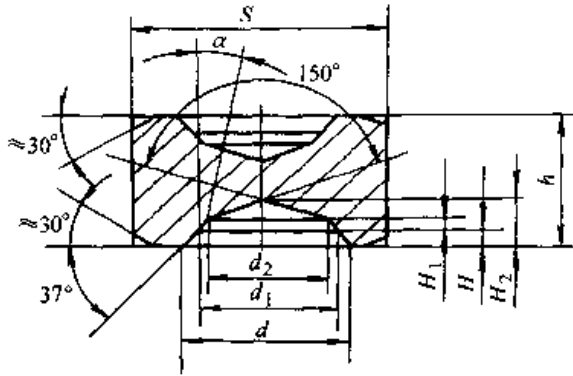


图 25.7-42 螺母两端凹穴图

2) 计算出每只制件坯料体积、重量，决定选用线材尺寸和计算切料长度；

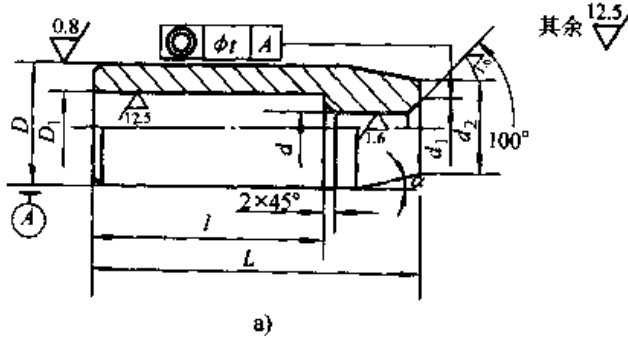


图 25.7-44 锻球冲模尺寸图

$$D = (2 \sim 2.2)d_1$$

L—按设计需要，不小于 2.5D

$$\alpha = 5^\circ \sim 10^\circ$$

$$D_1 = (2 \sim 2.2)d$$

$$l = (0.6 \sim 0.7)L$$

$$d_2 = 0.8D$$

材料：GCr15 或 T10

硬度：58—62HRC

(2) 锻球凹模

1) 锻球凹模组合 (图 25.7-45)

2) 锻球凹模尺寸 (图 25.7-46)

$$M8 \sim M16: d = S - 0.4 \sim 0.5 \text{ mm}$$

$$M18 \sim M24: d = S - 0.6 \sim 0.8 \text{ mm}$$

$$h = h_S - 0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$$

3) 设计鼓形球尺寸；

4) 按标准确定冲孔工艺；

5) 根据所得数据，再设计各道工序模具。

4.1 锻球模具设计

(1) 锻球冲模

1) 锻球冲模组合 (图 25.7-43)

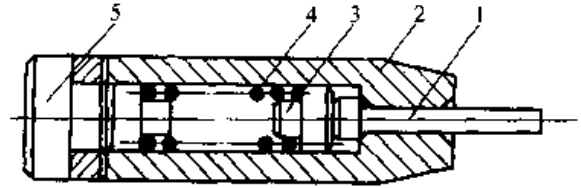


图 25.7-43 锻球冲模组合

1—锻球推杆 2—锻球冲模 3—锻球冲模推杆座
4—弹簧 5—锻球冲模垫块

2) 锻球冲模尺寸 (图 25.7-44)

$$d = \text{鼓形球 } D_M \text{ 尺寸}$$

$$d_1 = \text{鼓形球外径 } D \text{ 的最大尺寸}$$

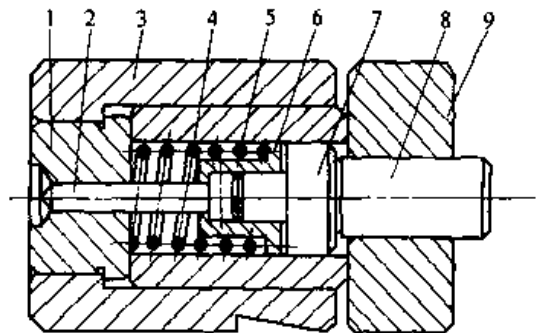
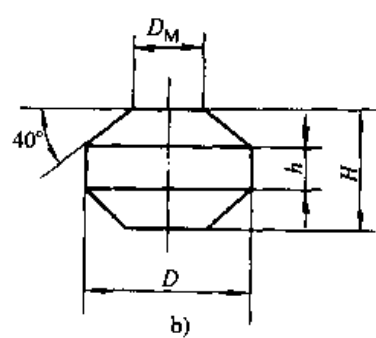


图 25.7-45 锻球凹模组合

1—锻球凹模 2—锻球凹模推杆 3—锻球凹模模套
4—锻球凹模垫块 5—弹簧 6—锻球凹模弹簧座
7—锻球凹模推杆座 8—锻球凹模推杆后垫
9—锻球凹模后垫

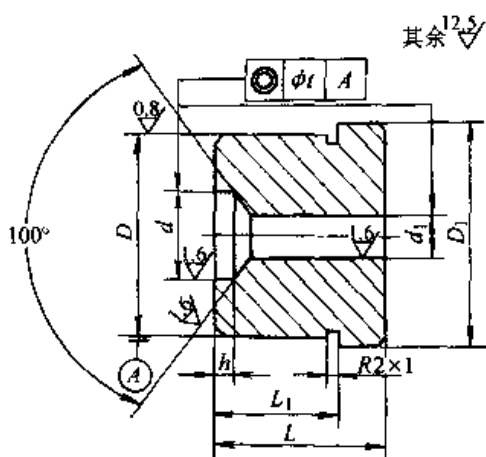


图 25.7.46 锻球凹模尺寸图

d_1 ——同锻球冲模 d 孔尺寸

$$D = (2.1 \sim 2.3)D$$

材料: T10

硬度: 58~62HRC

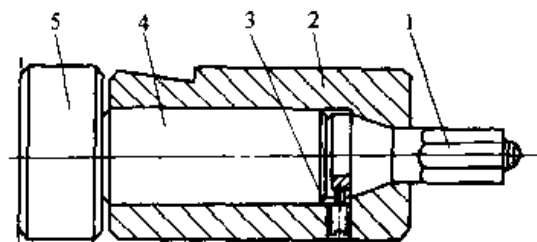


图 25.7.47 锻六角冲头组合

1—锻六角冲头 2—锻六角冲头模套 3—定位螺钉
4—锻六角冲头垫块 5—锻六角冲头模后垫

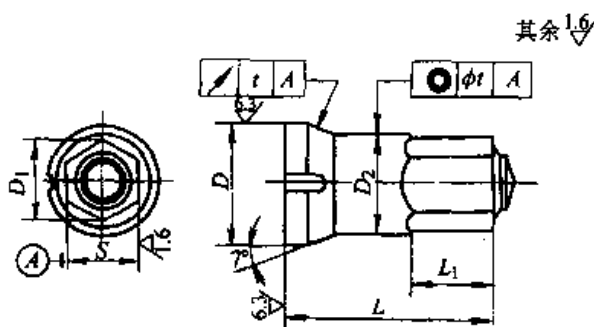


图 25.7.48 锻六角冲头尺寸图

4.2 锻六角模具设计

冷锻过程中的最大力量作用在锻六角模具上, 因此在全套模具中, 这套模具不仅对制件质量有很大影响, 而且自身寿命也很重要。

(1) 锻六角冲头

1) 锻六角冲头组合 (图 25.7.47)。

2) 锻六角冲头尺寸 (图 25.7.48) 这种冲头结构形状和尺寸的合理与否, 对产品质量和冲头寿命有很大的影响, 设计时必须考虑以下几个方面:

- ① 有利于下道工序的冲孔;
- ② 有利于金属的变形, 使六角容易成形;
- ③ 考虑螺母内外倒角的大小;
- ④ 冲头能方便顺利的脱出;
- ⑤ 有利于延长冲头的使用寿命。

主要设计尺寸可按表 25.7-60 中所列的公式计算。在生产实际中, 根据对产品质量的分析, 可对尺寸 d_1 和 H_1 适当的修正, 以提高成形质量。其他尺寸按下述方法确定:

表 25.7-60 锻六角冲头尖顶的主要尺寸计算表 (尺寸见图 25.7.42) (mm)

尺寸代号	计 算 公 式			
d_1	< M8	M8~M14	M16~M24	
	$d_{i \max} - 0.02 \sim 0.04$	$d_{i \max} - 0.05 \sim 0.10$	$d_{i \max} - 0.2 \sim 0.4$	
d	$d = (1.05 \sim 1.10)d_n$			
α	$\alpha = 10^\circ \sim 15^\circ$			
H_1	$\leq M6$	M8~M10	M12~M16	M18~M24
	$H_1 < 0.3$	0.4~0.5	0.6~1.0	1.4~1.6
d_2	$d_2 = d_1 - 2H_1 \tan(10^\circ \sim 15^\circ)$			

注: $d_{i \max}$ —螺母内径的最大尺寸 (mm);

d_n —螺母的公称直径 (mm)。

材料: Cr12MoV 或 7Cr7Mo3V2Si。

硬度: 58~62HRC。

- L ——按机床行程及模箱的条件选取，其夹紧部分在冲头夹持器中的长度最少应为 $0.4L$ ；
- L_1 ——应为冲头进入六角凹模的深度 + 夹钳厚度 + $3\sim 5$ mm；
- S ——冲头六角部分的对边尺寸 = 六角螺母对边公称尺寸 - $0.3\sim 0.5$ mm；
- D ——冲头柄部外径 $D = (1.2\sim 1.3) D_2$ ；
- D_1 ——冲头六角部分的对角尺寸

$$D_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} S - 0.5\sim 1.2 \text{ mm}$$

(2) 镦六角凹模

1) 镦六角凹模组合 (图 25.7-49) 弹簧 3 的作用，在于当制件冷镦时起缓冲作用，使制件两端倒角均匀。镦六角凹模压紧在弹簧上，在自由状态下，镦六角凹模弹簧座突出模套 6 约 $5\sim 10$ mm。当凹模组合紧固于凹模箱中时，下冲头座与模套压齐，因此凹模与弹簧间有一定的预应力。在冷镦时，镦六角凹模 1 有微量轴向移动，使制件两端倒角均匀。

2) 钢制镦六角凹模 (图 25.7-50) 六角凹模如图 25.7-50 所示。六角凹模的设计，关键在于 α 、S、 S_1 的选择及六角凹模高度 L_1 的决定。 L_1 高度一般取：

$$L_1 = 2.8H_n$$

式中 H_n ——螺母公称厚度。

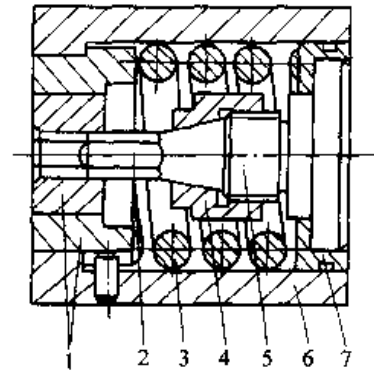


图 25.7-49 镦六角凹模组合
1—镦六角凹模 2—镦六角下冲头 3—弹簧
4—镦六角下冲头紧固螺母 5—镦六角下冲头座
6—镦六角凹模套 7—镦六角凹模弹簧座

α 一般取 $0^\circ 30' \sim 1^\circ$ (M10~M24)，按螺母规格不同选用，以冲孔后螺母 S 上下端尺寸符合国家标准为原则。螺母规格越大，冲孔后越易膨胀而使 S 超公差。所以 α 应与螺母规格成正比。另外一个因素也会影响冲孔后螺母的膨胀情况，就是螺母 S 和 H 之比。根据经验， $\frac{S}{H} \geq 2$ 的螺母冲孔后，膨胀情况就会好一些。GB/T 6172~6173 的薄型螺母冲孔后膨胀得很少。GB/T 6170~6171 普通螺母中 M8、M10、M14、比 M12、M16 情况就好。这和 S 与 H 之比有关。GB/T 6175~6176 型的厚螺母，冲孔时如不采取特殊措施，加大 α 也没效果。

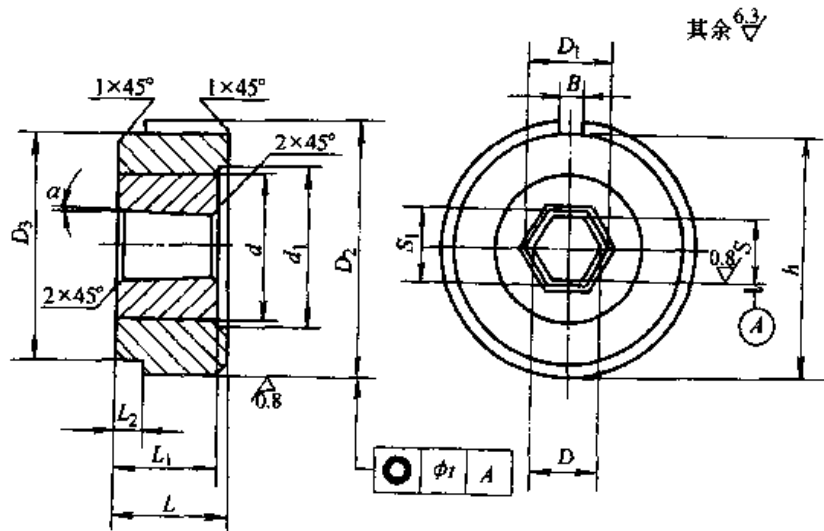


图 25.7-50 钢制镦六角凹模

α 决定后, 就可选定 S 和 S_1 的尺寸。假定螺母在六角凹模中间偏下 $0.5 \sim 2 \text{ mm}$ 处成形 (见图 25.7-51), 此时 S_2 的尺寸应取:

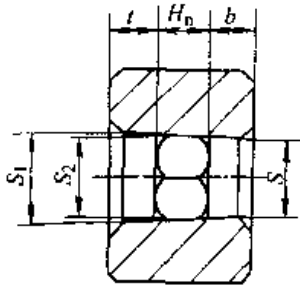


图 25.7-51 锻六角凹模尺寸图

$$S_2 = S_n - (0.10 \sim 0.15) \text{ (M8 以上规格)}$$

式中 S_n —— 螺母对边公称尺寸。

在此位置, 螺母下端尺寸可能小于要求的尺寸, 但在冲孔时能得到补偿。

根据 α 及 S_2 , 可算出 S 和 S_1 :

$$S_1 = S_2 + 2t \tan \alpha$$

$$S = S_2 - 2(b + H_n) \tan \alpha$$

式中 H_n —— 螺母公称厚度;

t —— $(0.9 \sim 1) H_n$;

b —— $(0.8 \sim 0.9) H_n$ 。

3) 硬质合金锻六角凹模 (图 25.7-52) 硬质合金锻六角凹模的尺寸见表 25.7-61。

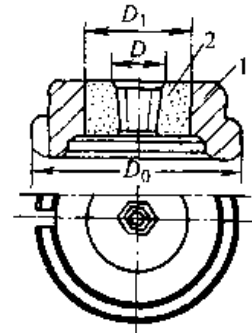


图 25.7-52 硬质合金锻六角凹模

1—模套 2—硬质合金

表 25.7-61 硬质合金锻六角凹模尺寸

(mm)

螺母规格	模具尺寸			配合过盈量
	D	D_1	D_0	
M4	7	30	60	0.16~0.18
M5~M8	8~16	40	60~80	0.18~0.20
M10~M14	19~25	50	80	0.26~0.28
M16	27	60	100	0.30~0.32

4) 六片组合硬质合金锻六角凹模 (图 25.7-53, 表 25.7-62)。

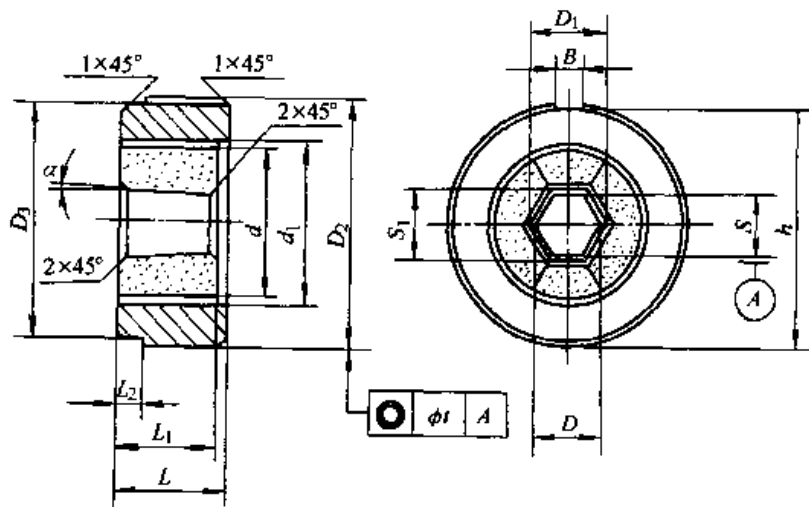


图 25.7-53 六片组合硬质合金锻六角凹模

表 25.7-62 六片组合硬质合金镶六角凹模尺寸 (mm)

螺 母 规 格	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	
S	基本尺寸	12.56	15.52	17.46	20.36	23.30	25.76	28.73
	极限偏差	+0.070 0			+0.084 0			
S ₁	基本尺寸	12.90	15.94	17.99	20.98	24.04	26.56	29.60
	极限偏差	+0.070 0			+0.084 0			
D ₂	基本尺寸	65	80	88		128		
	极限偏差	0 -0.074		0 -0.087		0 -0.100		
L	基本尺寸	25	35	40		50		
	极限偏差	0 -0.13	0 -0.16					
D _{min}	14.19	17.54	19.73	23.01	26.33	29.11	32.47	
D _{1min}	14.58	18.01	20.33	23.71	27.17	30.01	33.45	
D ₃	60	75	80		120			
L ₁	20	24	30	36	42	46	50	
L ₂	10	12	15					
d	32	40	44	52	58	66	72	
d ₁	40	48	52	60	66	74	80	
B	5			8				
h	62.5	77.5	84		124			
α	30′							
同轴度	0.08				0.10			

4.3 冲孔模具设计

(1) 冲孔冲头

1) 冲孔冲头组合 (图 25.7-54)

2) 冲孔冲头尺寸 (图 25.7-55) 冲头头部形状与冲孔质量及使用寿命有很大的关系。

刃带直径: $d = d_{i \max}$

刃带宽度: $h = 0.3 \sim 0.5 \text{ mm}$

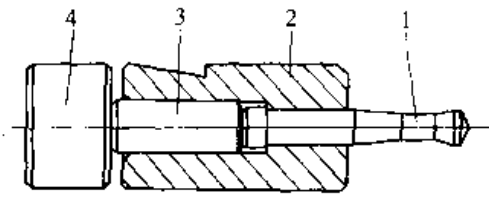


图 25.7-54 冲孔冲头组合

1—冲孔冲头 2—冲孔冲头模套
3—冲孔冲头垫块 4—冲孔冲头模后垫

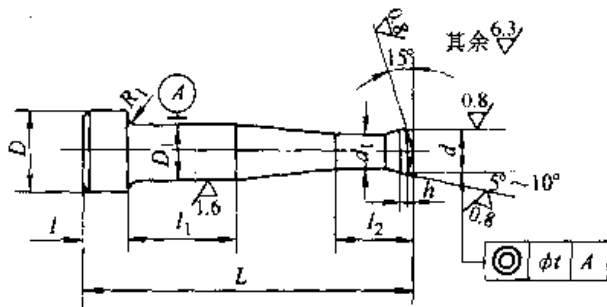


图 25.7-55 冲孔冲头

刃带斜度: $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$

顶部锥角: 150°

颈部直径: $d_1 = d - 1 \sim 2 \text{ mm}$

柄部直径: $D_1 = d_n$

连接圆弧半径: $R = 2 \sim 4 \text{ mm}$

台阶直径: $D = D_1 + 4 \sim 6 \text{ mm}$

设计冲头总长时, 应按机床的具体尺寸, 保证冲针穿过螺母后还要进入凹模 $3 \sim 8 \text{ mm}$, 以使废料不至被冲针带回。冲针柄部长度 $L_1 \geq 0.4L$ 。

当被冲螺母的规格小于 M12 时, 冲针的柄部可以作成直柄, 但必须采用两半开的夹持器夹紧, 夹持长度应不小于 $0.5l$ 。

材料: W18Cr4V 或 7Cr7Mo3V2Si

硬度: $58 \sim 62\text{HRC}$

(2) 冲孔凹模

1) 冲孔凹模组合 (图 25.7-56)

2) 冲孔凹模尺寸 (图 25.7-57) 冲孔凹模尺寸按以下原则确定:

凹模孔径 d : 与冲孔冲头间隙 $0.03 \sim 0.05 \text{ mm}$;

凹模外径 D : 与模套配合过盈量 $0.01 \sim 0.03 \text{ mm}$, 大于被冲零件支承面最大尺寸 (对螺母必须大于螺母对角尺寸)。

材料: 60Si2MnA。
硬度: $58 \sim 62\text{HRC}$ 。

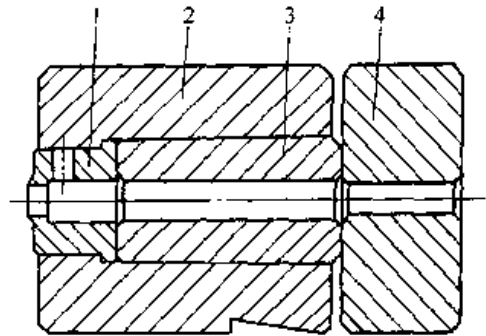


图 25.7-56 冲孔凹模组合

1—冲孔凹模 2—冲孔凹模套
3—冲孔凹模垫块 4—冲孔凹模后垫

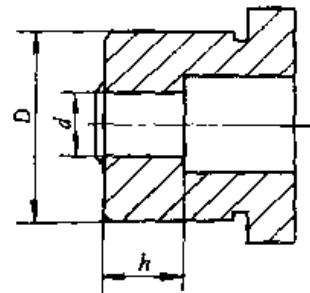


图 25.7-57 冲孔凹模

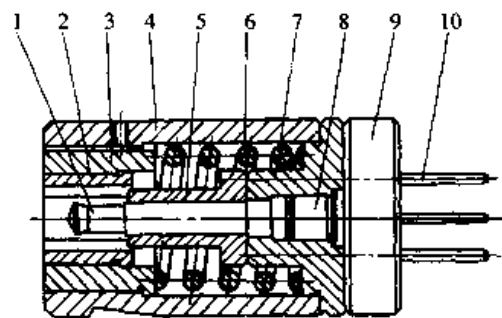


图 25.7-58

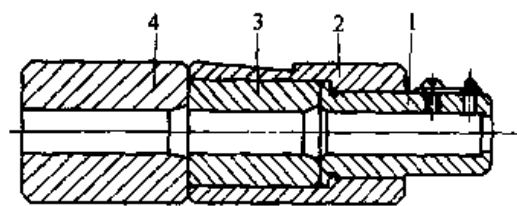


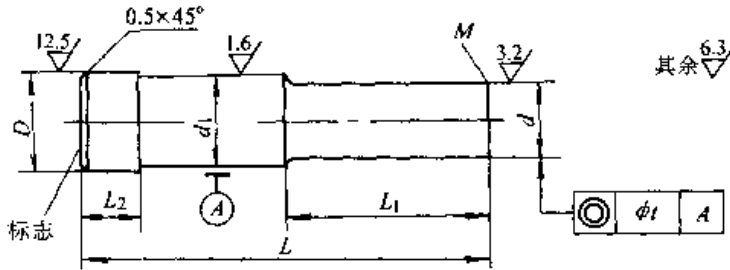
图 25.7-59

4.4 六角螺母冷锻模具标准件

(1) 整形冲头 (表 25.7-63)

表 25.7-63 整形冲头 (摘自 JB/T 4210.1—1996)

(mm)



标记示例: M12 GB/T 6170 六角螺母适合机床 A412 用整形冲头的标记为:

整形冲头 GB/T 6170 M12、A412、JB/T 4210.1—1996

材料: 60Si2Mn GB/T 1222

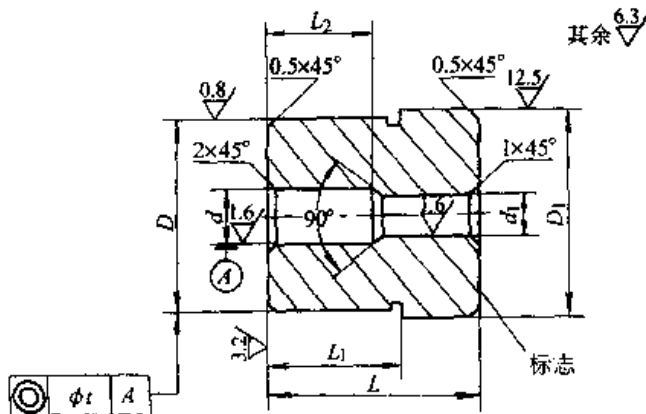
热处理硬度: 56~60HRC

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M14	M16	M18	M20
d	基本尺寸	9.1	11.0	12.6	14.7	14.7	16.8	18.9	21.0
	极限偏差	0 -0.058	0 -0.070				0 -0.084		
d ₁	基本尺寸	16			25				
	极限偏差	±0.035			±0.042				
L	基本尺寸	70			100				
	极限偏差	0 -0.46			0 -0.54				
L ₁		35			50				
L ₂		10			15				
D		18			28				
同轴度 φ		0.06	0.08				0.10		
适用机床		A411、A412			ZM416 Z41—20G				

(2) 整形凹模 (表 25.7-64)

表 25.7-64 整形凹模 (摘自 JB/T 4210.2—1996)

(mm)



标记示例: M12 GB/T 6170 六角螺母适合机床 A412 用整形凹模的标记为:

整形凹模 GB/T 6170 M12 A412 JB/T 4210.2—1996

材料: T10A GB/T 1298

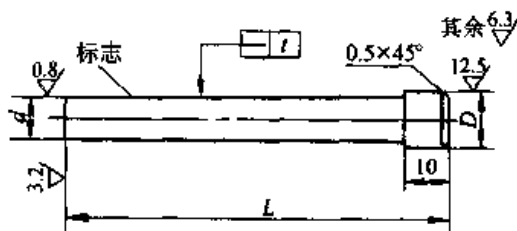
热处理硬度: 58~62HRC

续表 25.7-64

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M14	M16	M18	M20	
d	基本尺寸	9.1	11.2	12.6	14.7	14.7	16.8	18.9	21	
	极限偏差	+0.138 +0.080	+0.165 +0.095						+0.194 +0.110	
d ₁	基本尺寸	6.5	8.0	9.0	10.5	10.5	12.0	13.5	15.0	
	极限偏差	+0.058 0			+0.07 0					
D	基本尺寸	35				50				
	极限偏差	+0.082 +0.043								
L	基本尺寸	40				50				
	极限偏差	0 -0.25								
L ₁	基本尺寸	25				35				
	极限偏差	+0.21 0				+0.25 0				
L ₂	基本尺寸	16	20	25	30	30	34	36	38	
	极限偏差	±0.09	±0.105						±0.125	
D ₁		38				53				
同轴度 ϕ		0.06								
适用机床		A411、A412				ZM416 Z41—20G				

(3) 整形顶料杆 (表 25.7-65)

表 25.7-65 整形顶料杆 (摘自 JB/T 4210.3—1996) (mm)



标记示例: M12 GB/T 6170 六角螺母整形顶料杆的标记为:

整形顶料杆 GB/T 6170 M12 JB/T 4210.3—1996

材料: 9SiCr GB/T 1299 或 65Mn GB/T 1222

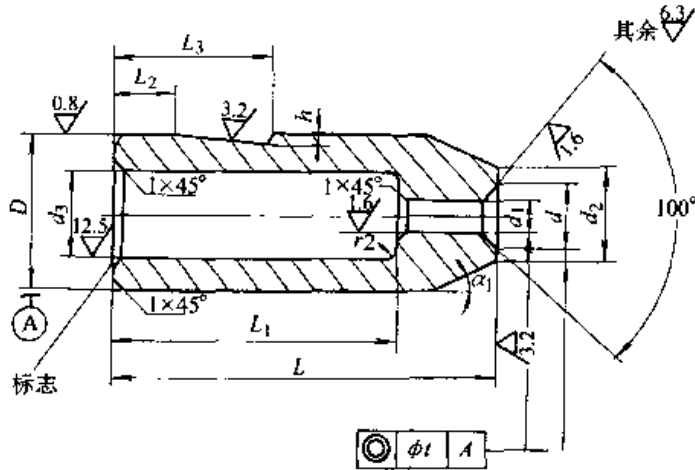
热处理硬度: 54~58HRC

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	
d	基本尺寸	6.5	8.0	9.0	10.5	12.0	13.5	15.0	
	极限偏差	-0.08 -0.17			-0.095 -0.205				
L	基本尺寸	90				100			
	极限偏差	0 -0.54							
D		8	10	12	14	16	18	20	
直线度 ι		0.06							

(4) A 型徽球冲头 (表 25.7-66)

表 25.7-66 A 型徽球冲头 (摘自 JB/T 4210.4—1996)

(mm)



标记示例: M5 GB/T 6170 六角螺母, 适合机床 Z41—5 用 A 型徽球冲头的标记为:

徽球冲头 GB/T 6170 M5
Z41—5 JB/T 4210.4—1996

材料: GCr15 或 T10A GB/T 1298

热处理硬度: 58~62HRC

螺纹规格		M1.6	M2	M2.5	M3	M4
d	基本尺寸	3.14	3.92	4.90	5.39	6.86
	极限偏差	+0.12 0				+0.15 0
d ₁	基本尺寸	1.6	2	2.5	2.75	3.5
	极限偏差	+0.040 0				+0.048 0
D	基本尺寸	25				
	极限偏差	0 -0.084				
L	基本尺寸	60				
	极限偏差	0 -0.46				
L ₁	基本尺寸	40				
	极限偏差	+2.5 0				
d ₂		8		9	11	
d ₃		14				
L ₂		10				
L ₃		30				
h		1.5				
α ₁ / (°)		30		28	25	
同轴度 φ		0.05				0.06
适用机床		Z41—4				

续表 25.7-66

螺纹规格		M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	
<i>d</i>	基本尺寸	6.86	7.84	9.8	12.74	15.68	17.64	20.58	
	极限偏差	+0.15 0			+0.18 0			+0.21 0	
<i>d</i> ₁	基本尺寸	3.5	4	5	6.5	8	9	10.5	
	极限偏差	+0.048 0			+0.058 0			+0.070 0	
<i>D</i>	基本尺寸	28			45				
	极限偏差	0 -0.084			0 -0.10				
<i>L</i>	基本尺寸	70			115				
	极限偏差	0 -0.46			0 -0.54				
<i>L</i> ₁	基本尺寸	50			95				
	极限偏差	+2.5 0			+3.0 0				
<i>d</i> ₂	11	13	15	19	24	27	31.5		
<i>d</i> ₃	16			20					
<i>L</i> ₂	10			5					
<i>L</i> ₃	30								
<i>h</i>	1.5			3.5					
<i>a</i> ₁ / (°)	30	27	23	41	35	31	24		
同轴度 φ _z	0.06			0.08			0.10		
适用机床	Z41—6			A 411 A 412					
螺纹规格		M14	M16	M16	M18	M20			
<i>d</i>	基本尺寸	20.58	23.64	23.64	26.60	29.55			
	极限偏差	+0.21 0							
<i>d</i> ₁	基本尺寸	10.5	12	12	13.5	15			
	极限偏差	+0.07 0							
<i>D</i>	基本尺寸	48			63				
	极限偏差	0 -0.10			0 -0.12				
<i>L</i>	基本尺寸	115			120				
	极限偏差	0 -0.54							

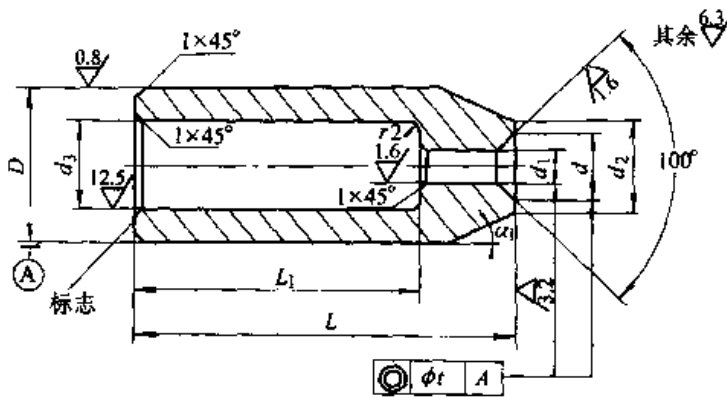
续表 25.7-66

螺纹规格		M14	M16	M16	M18	M20
L_1	基本尺寸	95			100	
	极限偏差				+3.0 0	
	d_2	31.5	36	36	40	45
	d_3	20			25	
	L_2	30				
	L_3	5				
	h	3.5				
	$\alpha_1 / (^\circ)$	18	13	28	25	20
	同轴度 ϕ_t	0.10				
	适用机床	Z41—16 ZM416			Z41—20 Z41—20G	

(5) B型锻球冲头 (表 25.7-67)

表 25.7-67 B型锻球冲头 (摘自 JB/T 4210.5—1996)

(mm)



标记示例: M8 GB/T 6170 六角螺母, 适合机床 ZM308 用 B 型锻球冲头的标记为:

锻球冲头 GB/T 6170 M8 ZM308 JB/T 4210.5—1996

材料: GCr15 或 T10A GB/T 1298

热处理硬度: 58~62HRC

螺纹规格		M8		M10	M12
d	基本尺寸	12.74		15.68	17.64
	极限偏差			+0.18 0	
d_1	基本尺寸	6.5		8.0	9.0
	极限偏差			+0.058 0	
D	基本尺寸	28	33	45	
	极限偏差	0 -0.13	0 -0.16		
L	基本尺寸	70	80	95	
	极限偏差	0 -0.46		0 -0.54	

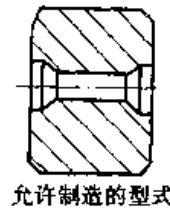
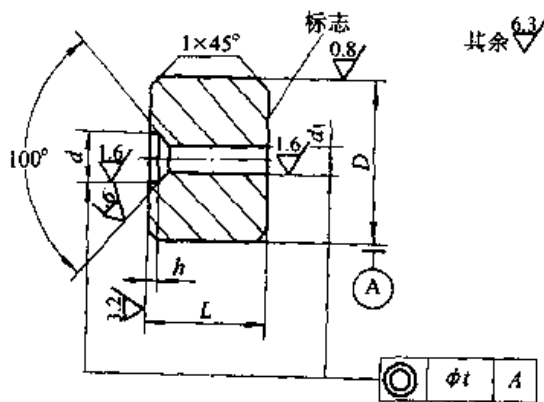
续表 25.7-67

螺纹规格		M8		M10	M12	
L_1	基本尺寸	50	60	75		
	极限偏差	+2.5 0	+0.3 0			
d_2		19		24	27	
d_3		18		20		
$\alpha_1 / (^\circ)$		20	34	40	35	30
同轴度 ϕ_t		0.08				
适用机床		ZM308	Z41-8	Z41-12		

(6) A型墩球凹模 (表 25.7-68)

表 25.7-68 A型墩球凹模 (摘自 JB/T 4210.6—1996)

(mm)



允许制造的类型

标记示例: M5 GB/T 6170 六角螺母 A 型墩球凹模的标记为:

墩球凹模 GB/T 6170 M5 JB/T 4210.6—1996

材料: T10A GB/T 1298

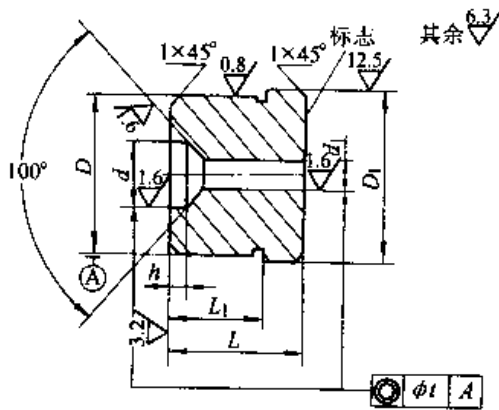
热处理硬度: 58~62HRC

螺纹规格		M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	
d	基本尺寸	3.02	3.8	4.78	5.27	6.70	7.70	9.68	
	极限偏差	+0.048 0				+0.058 0			
d_1	基本尺寸	1.60	2.00	2.50	2.75	3.50	4.00	5.00	
	极限偏差	+0.04 0				+0.048 0			
h	基本尺寸	0.52	0.64	0.8	0.96	1.28	1.88	2.08	
	极限偏差	± 0.05							
D	基本尺寸	16		20		25		30	
	极限偏差	± 0.035			± 0.042				
L	基本尺寸	12		15		18		22	
	极限偏差	0				-0.11		0	-0.13
同轴度 ϕ_t		0.05				0.06			

(7) B型徽球凹模 (表 25.7-69)

表 25.7-69 B型徽球凹模 (摘自 JB/T 4210.7—1996)

(mm)



标记示例: M10 GB/T 6170 六角螺母 B型徽球凹模的标记为:

徽球凹模 GB/T 6170 M10 JB/T 4210.7—1996

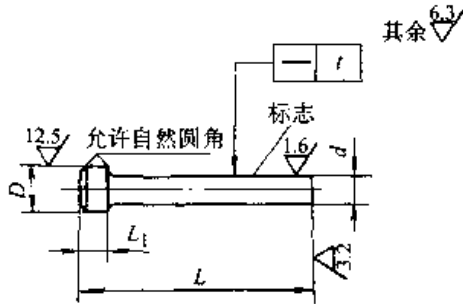
材料: T10A GB/T 1298

热处理硬度: 58~62HRC

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
d	基本尺寸	12.6	15.57	17.55	20.46	23.43	25.90	28.87
	极限偏差	+0.07 0				+0.084 0		
d ₁	基本尺寸	6.5	8	9	10.5	12	13.5	15
	极限偏差	+0.058 0				+0.07 0		
h	基本尺寸	2.65	3.29	4.23	4.98	5.78	6.18	6.98
	极限偏差	±0.65	±0.06				±0.075	
D	基本尺寸	32	38	42		58		
	极限偏差	+0.085 +0.060		+0.095 +0.070		+0.117 +0.087		
L	基本尺寸	25	30	35		45		
	极限偏差	0 -0.13		0		-0.16		
L ₁	基本尺寸	20	25	25		35		
	极限偏差	+0.13 0				+0.16 0		
D ₁		36	42	46		62		
同轴度 φ _t		0.08				0.10		

(8) A型锻球推杆 (表 25.7-70)

表 25.7-70 A型锻球推杆 (摘自 JB/T 4210.8—1996) (mm)



标记示例: M4 GB/T 6170 六角螺母 A型锻球推杆的标记为:

锻球推杆 GB/T 6170 M4 JB/T 4210.8—1996

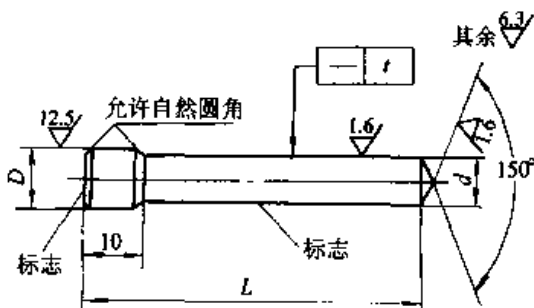
材料: 65Mn GB/T 1222 或 9SiCr GB/T 1299

热处理硬度: 54~58HRC

螺纹规格		M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6		
适用于锻球冲头的推杆	d	基本尺寸	1.60	2.00	2.50	2.75	3.50	4.00	5.00	
		极限偏差	-0.06 -0.12			-0.070 -0.145				
	L	基本尺寸	30		35			40		
		极限偏差	0 -0.33		0 -0.39					
	L ₁		2		3			4		
	D		2.4	3	3.8	4.2	5.3	6	7.5	
	直线度 t		0.04							
适用于锻球凹模的推杆	d	基本尺寸	1.60	2.00	2.50	2.75	3.50	4.00	5.00	
		极限偏差	-0.06 -0.12			-0.070 -0.145				
	L	基本尺寸	18.5		24.0			30.0		36.0
		极限偏差	0 -0.33		0 -0.39			0 -0.39		
	L ₁		2		3			4		
	D		2.4	3	3.8	4.2	5.3	6	7.5	
	直线度 t		0.03			0.04				

(9) B型锻球推杆 (表 25.7-71)

表 25.7-71 B型锻球推杆 (摘自 JB/T 4210.9—1996) (mm)



标记示例: M12 GB/T 6170 六角螺母 B型锻球推杆的标记为:

锻球推杆 GB/T 6170 M12 JB/T 4210.9—1996

材料: 9SiCr GB/T 1299 或 65Mn GB/T 1222

热处理硬度: 54~58HRC

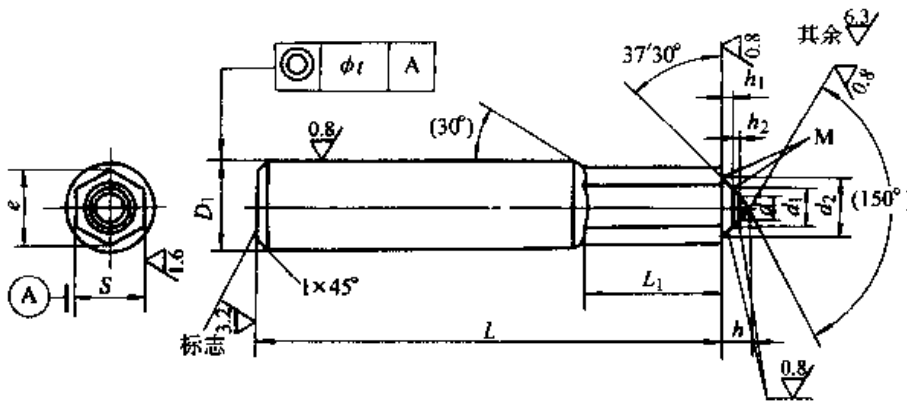
续表 25.7-71

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	
适用于 墩球 冲头及 墩球凹 模用冲 头推杆	d	基本尺寸	6.5	8	9	10.5	12	13.5	15.0
		极限偏差	-0.08 -0.17			-0.095 -0.205			
	L	基本尺寸	60			80			
		极限偏差	0			-0.46			
	D		8.5	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0
	直线度 t		0.04			0.05			

(10) A型墩六角上冲头 (表 25.7-72)

表 25.7-72 A型墩六角上冲头 (摘自 JB/T 4210.10—1996)

(mm)



标记示例: M12 GB/T 6170 六角螺母, 适合机床 Z41—12 用 A 型墩六角上冲头的标记为:

墩六角上冲头 GB/T 6170 M12 Z41—12 JB/T 4210.10—1996

材料: Cr12MoV GB/T 1299 或 7Cr7Mo3VSi 或 60Si2Mn GB/T 1222

热处理硬度: 58~62HRC

螺纹规格		M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	
适用于 GB/T 6170 ~ 6171	D ₁	基本尺寸	8				10		12	15	18	20
		极限偏差	0 -0.058				0		0	0	0	0
	S	基本尺寸	3.06	3.86	4.86	5.36	6.83	7.64	9.64	12.56	15.52	17.46
		极限偏差	-0.030 -0.105				-0.04 -0.13	0 -0.09	0 -0.11			
	d ₁	基本尺寸	1.32	1.68	2.14	2.60	3.42	4.33	5.15	6.97	8.74	10.51
		极限偏差	+0.10 0				+0.12 0		+0.15 0		0	0

续表 25.7-72

螺纹规格		M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12		
适用于GB/T 6170 ~ 6171	d_2	基本尺寸	1.84	2.30	2.90	3.45	4.60	5.75	6.75	8.75	10.8	13.0	
		极限偏差	+0.10 0			+0.12 0			+0.15 0		+0.18 0		
	h	基本尺寸	0.46	0.56	0.70	0.84	1.12	1.65	1.82	2.38	2.94	3.78	
		极限偏差	+0.10 0										+0.12 0
	h_1	基本尺寸	0.30	0.34	0.39	0.43	0.45	0.55	0.61	0.68	0.79	0.96	
		极限偏差	—				+0.10 0						
	h_2	基本尺寸	0.20	0.20	0.24	0.28	0.34	0.55	0.55	0.81	1.03	1.47	
		极限偏差	—					+0.10 0					
	L	基本尺寸	55					65		80	90	105	
		极限偏差	0 -0.46								0 -0.54		
	e_{min}		3.34	4.24	5.37	5.94	7.57	8.53	10.79	14.07	17.41	19.61	
	d		1.22	1.57	2.02	2.46	3.24	4.13	4.92	6.65	8.37	10.10	
	L_1		8		10		12	15	18	24	28	32	
	同轴度 μ		0.03						0.04			0.05	
适用机床		Z41—4~Z41—6							Z41—8~Z41—12				

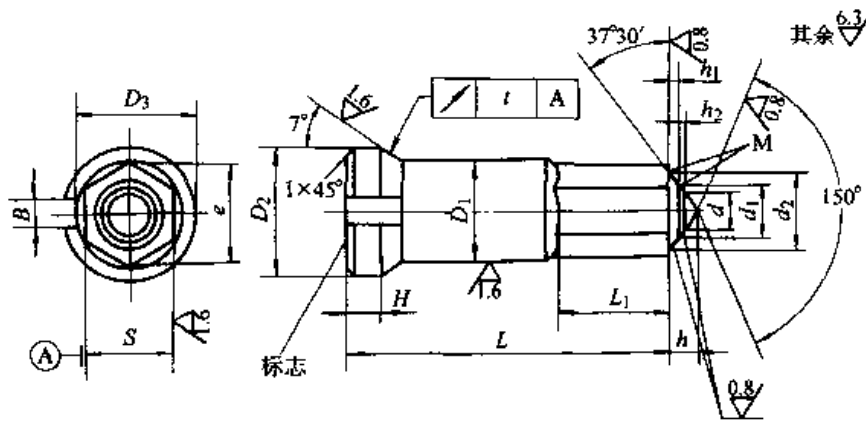
螺纹规格		M5	M6	M8	M10	M12	
适用于GB/T 6175 ~ 6176	D_1	基本尺寸	10	12	15	18	20
		极限偏差	0 -0.058	0 -0.07			0 -0.084
	S	基本尺寸	7.64	9.64	12.56	15.52	17.46
		极限偏差	0 -0.09		0 -0.11		
	d_1	基本尺寸	4.33	5.15	6.97	8.74	10.51
		极限偏差	+0.12 0		+0.15 0		+0.18 0
	d_2	基本尺寸	5.75	6.75	8.75	10.8	13.0
		极限偏差	+0.12 0	+0.15 0		+0.18 0	
	h	基本尺寸	1.79	2	2.63	3.26	4.2
		极限偏差	+0.10 0				+0.12 0

续表 25.7-72

螺纹规格		M5	M6	M8	M10	M12	
适用于 GB/T 6175 ~ 6176	h_1	基本尺寸	0.55	0.61	0.68	0.79	0.96
		极限偏差	+0.10 0				
	h_2	基本尺寸	0.69	0.73	1.06	1.35	1.89
		极限偏差	+0.10 0				
	L	基本尺寸	65		80	90	105
		极限偏差	0 -0.46		0 -0.54		
	e_{min}		8.53	10.79	14.07	17.41	19.61
	d_1		4.13	4.92	6.65	8.37	10.10
	L_1		15	18	24	28	32
	同轴度 ϕ_t		0.03	0.04			0.05
适用机床		Z 41-5 Z 41-6		Z 41-8~Z 41-12			

(11) B 型徽六角上冲头 (表 25.7-73)

表 25.7-73 B 型徽六角上冲头 (摘自 JB/T 4210.11—1996) (mm)



标记示例: M12 GB/T 6170 六角螺母, 适合机床 A412 用 B 型徽六角上冲头的标记为:
 徽六角上冲头 GB/T 6170 M12 A412 JB/T 4210.11—1996
 材料: Cr12MoV GB/T 1299 或 7Cr7Mo3V2Si 或 60Si2Mn GB/T 1222
 热处理硬度: 58~62HRC

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	
适用于 GB/T 6170 ~ 6171	D_1	基本尺寸	15	18	20	24	28	30	34
		极限偏差	0 -0.07		0 -0.084			0 -0.10	

续表 25.7-73

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
S	基本尺寸	12.56	15.52	17.46	20.36	23.30	25.76	28.73
	极限偏差	0 -0.11			0 -0.13			
d_1	基本尺寸	6.76	8.74	10.51	12.59	14.29	15.83	17.83
	极限偏差	+0.15 0		+0.18 0				
d_2	基本尺寸	8.75	10.8	13	15.1	17.3	19.44	21.6
	极限偏差	+0.15 0	+0.18 0				+0.21 0	
h	基本尺寸	2.38	2.94	3.78	4.48	5.18	5.35	6.30
	极限偏差	+0.10 0		+0.12 0				+0.15 0
h_1	基本尺寸	0.68	0.79	0.96	1.08	1.16	1.38	1.45
	极限偏差	+0.10 0						
h_2	基本尺寸	0.81	1.03	1.47	1.81	2.17	1.92	2.53
	极限偏差	+0.10 0						
L	基本尺寸	70			100			
	极限偏差	0 -0.46			0 -0.54			
e_{\min}		14.07	17.41	19.61	22.86	26.18	28.93	32.32
D_2		19	22	24	30	34	36	40
d		6.65	8.37	10.10	11.84	13.84	15.29	17.29
L_1		24	28	32	40	44		
D_3		17	20	22	27	31	33	35
B		5			6			
H		6			8			
斜向圆跳动 t		0.08	0.10					
适用机床		A411 A 412			Z41-16 A 412	Z41-16 Z41-20		

适用于GB/T 6170 ~ 6171

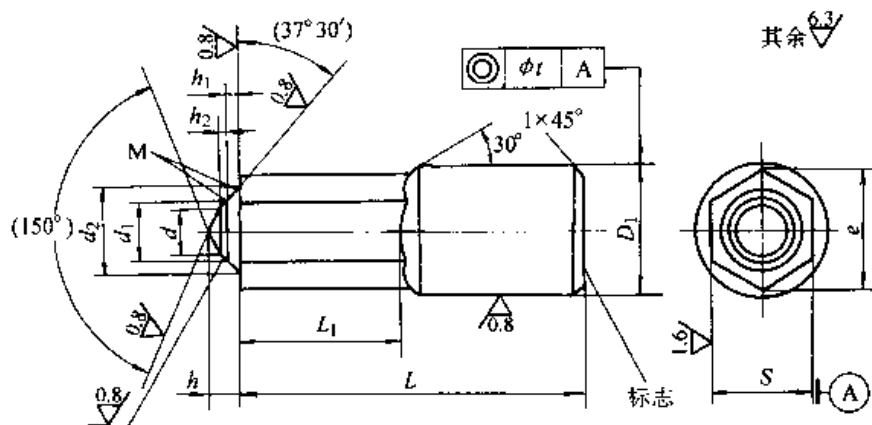
续表 25.7-73

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
D_1	基本尺寸	15	18	20	24	28	30	34
	极限偏差	0 -0.07		0 -0.084			0 -0.10	
S	基本尺寸	12.56	15.52	17.46	20.36	23.30	25.73	28.73
	极限偏差	0 -0.11			0 -0.13			
d_1	基本尺寸	6.76	8.74	10.51	12.29	14.29	15.83	17.83
	极限偏差	+0.15 0		+0.18 0				
d_2	基本尺寸	8.75	10.8	13	15.1	17.3	19.44	21.6
	极限偏差	+0.15 0	+0.18 0				+0.21 0	
h	基本尺寸	2.63	3.26	4.2	4.94	5.74	6.37	7.11
	极限偏差	+0.10 0	+0.12 0				+0.15 0	
h_1	基本尺寸	0.68	0.79	0.96	1.08	1.15	1.39	1.45
	极限偏差	+0.10 0						
h_2	基本尺寸	1.06	1.35	1.89	2.27	2.73	2.94	3.34
	极限偏差	+0.10 0						+0.12 0
L	基本尺寸	70			100			
	极限偏差	0 -0.46			0 -0.54			
e_{mit}		14.07	17.41	19.61	22.86	26.18	28.93	32.32
D_2		19	22	24	30	34	36	40
d		6.65	8.37	10.10	11.84	13.84	15.29	17.29
L_1		24	28	32	40	44		
D_3		17	20	22	27	31	33	35
B		5			6			
H		6			8			
斜向圆跳动 t		0.08	0.10			0.12		
适用机床		A 411 A 412			Z41-16 A 412	Z41-16 Z41-20		

适用于 GB/T 6175 ~ 6176

(12) A型锻六角下冲头 (表 25.7-74)

表 25.7-74 A型锻六角下冲头 (摘自 JB/T 4210.12—1996) (mm)



标记示例: M6 GB/T 6170 六角螺母 A型锻六角下冲头的标记为:

锻六角下冲头 GB/T 6170 M6 JB/T 4210.12—1996

材料: Cr12MoV GB/T 1299 或 7Cr7Mo3V2Si 或 60Si2Mn GB/T 1222

热处理硬度: 58—62HRC

螺纹规格		M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	
D_1	基本尺寸	8				10			12
	极限偏差	0				-0.058			0
S	基本尺寸	3.06	3.86	4.86	5.36	6.83	7.64	9.64	
	极限偏差	-0.030				-0.040			-0.098
d_1	基本尺寸	1.32	1.68	2.14	2.60	3.42	4.33	5.15	
	极限偏差	+0.10				+0.12			0
d_2	基本尺寸	1.84	2.3	2.9	3.45	4.6	5.75	6.75	
	极限偏差	+0.10			+0.12			+0.15	0
h	基本尺寸	0.40	0.48	0.60	0.72	0.96	1.41	1.56	
	极限偏差	+0.10				0			
h_1	基本尺寸	0.3	0.34	0.40	0.45	0.45	0.55	0.61	
	极限偏差	—			+0.10			0	
h_2	基本尺寸	0.13	0.13	0.16	0.16	0.18	0.40	0.40	
	极限偏差	—				+0.10			0

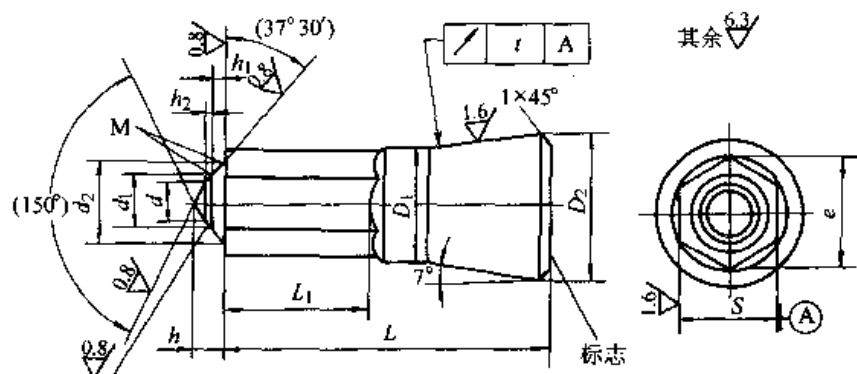
适用于 GB/T 6170 ~ 6171

续表 25.7-74

螺纹规格		M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	
适用于 GB/T 6170 -- 6171	L	基本尺寸	25				32		
		极限偏差	0 -0.33				0 -0.39		
	e_{min}	3.37	4.28	5.41	5.97	7.62	8.53	10.79	
	d	1.22	1.57	2.02	2.46	3.24	4.13	4.92	
	L_1	10		12		16			
	同轴度 ϕ_t	0.03						0.04	
螺纹规格		M5				M6			
D_1	基本尺寸	10				12			
	极限偏差	0 -0.058				0 -0.07			
S	基本尺寸	7.64				9.64			
	极限偏差					-0.040 -0.098			
d_1	基本尺寸	4.33				5.15			
	极限偏差					+0.12 0			
d_2	基本尺寸	5.75				6.75			
	极限偏差	+0.12 0				+0.15 0			
h	基本尺寸	1.53				1.71			
	极限偏差					+0.10 0			
h_1	基本尺寸	0.55				0.61			
	极限偏差					+0.10 0			
h_2	基本尺寸	0.43				0.44			
	极限偏差					+0.10 0			
L	基本尺寸					32			
	极限偏差					0 -0.39			
e_{min}		8.53				10.79			
d		4.13				4.97			
L_1		16							
同轴度 ϕ_t		0.03				0.04			
适用于 GB/T 6175	D_1	基本尺寸	10				12		
		极限偏差	0 -0.058				0 -0.07		
	S	基本尺寸	7.64				9.64		
		极限偏差					-0.040 -0.098		
	d_1	基本尺寸	4.33				5.15		
		极限偏差					+0.12 0		
	d_2	基本尺寸	5.75				6.75		
		极限偏差	+0.12 0				+0.15 0		
	h	基本尺寸	1.53				1.71		
		极限偏差					+0.10 0		
	h_1	基本尺寸	0.55				0.61		
		极限偏差					+0.10 0		
h_2	基本尺寸	0.43				0.44			
	极限偏差					+0.10 0			
L	基本尺寸					32			
	极限偏差					0 -0.39			
e_{min}		8.53				10.79			
d		4.13				4.97			
L_1		16							
同轴度 ϕ_t		0.03				0.04			

(13) B型镦六角下冲头 (表 25.7-75)

表 25.7-75 B型镦六角下冲头 (摘自 JB/T 4210.13—1996) (mm)



标记示例: M12 GB/T 6170 六角螺母 B型镦六角下冲头的标记为:

镦六角下冲头 GB/T 6170 M12 JB/T 4210.13—1996

材料: Cr12MoV GB/T 1299 或 7Cr7Mo3V2Si 或 60Si2Mn GB/T 1222

热处理硬度: 58~62HRC

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
D_1	基本尺寸	15	18	20	24	28	30	34
	极限偏差	0 -0.07			0 -0.084			0 -0.10
S	基本尺寸	12.56	15.52	17.46	20.36	23.30	25.76	28.73
	极限偏差		-0.050 -0.120			-0.065 -0.149		
d_1	基本尺寸	6.97	8.74	10.51	12.29	14.29	15.83	17.87
	极限偏差		+0.15 0			+0.18 0		
d_2	基本尺寸	8.75	10.80	13.00	15.10	17.30	19.44	21.60
	极限偏差	+0.15 0		+0.18 0			+0.21 0	
h	基本尺寸	2.04	2.52	3.24	3.84	4.44	4.74	5.40
	极限偏差		+0.10 0			+0.12 0		
h_1	基本尺寸	0.68	0.79	0.96	1.08	1.16	1.39	1.45
	极限偏差				+0.10 0			
h_2	基本尺寸	0.47	0.61	0.93	1.17	1.43	1.31	1.63
	极限偏差				+0.10 0			
L	基本尺寸	44	50	60	70	80		85
	极限偏差	0 -0.39			0 -0.46			0 -0.54

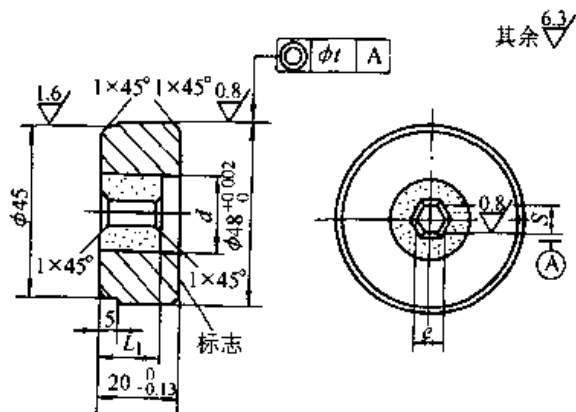
适用于 GB/T 6170

续表 25.7-75

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	
适用于 GB/T 6170	e_{min}	14.07	17.41	19.61	22.86	26.18	28.96	32.32	
	D_2	19	22	24	30	34	36	40	
	d	6.65	8.37	10.10	11.84	13.84	15.29	17.29	
	L_1	22	26	32	38	44	48	52	
	斜向圆跳动 t	0.04	0.05				0.06		
适用于 GB/T 6175 ~ 6176	D_1	基本尺寸	15	18	20	24	28	30	35
		极限偏差	0 -0.070		0 -0.084				0 -0.100
	S	基本尺寸	12.56	15.52	17.46	20.36	23.30	25.76	28.73
		极限偏差	-0.050 -0.120			-0.065 -0.149			
	d_1	基本尺寸	6.97	8.74	10.51	12.29	14.29	15.83	17.83
		极限偏差	+0.15 0		+0.18 0				
	d_2	基本尺寸	8.75	10.80	13.00	15.10	17.30	19.44	21.60
		极限偏差	+0.15 0	+0.18 0				+0.21 0	
	h	基本尺寸	2.25	2.79	3.60	4.23	4.92	5.46	6.09
		极限偏差	+0.10 0		+0.12 0				+0.15 0
	h_1	基本尺寸	0.68	0.79	0.96	1.08	1.16	1.39	1.45
		极限偏差	+0.10 0						
	h_2	基本尺寸	0.68	0.93	1.29	1.82	1.91	2.03	2.32
		极限偏差	+0.10 0						
	L	基本尺寸	44	50	60	70	80	85	
		极限偏差	0 -0.39		0 -0.46			0 -0.54	
	e_{min}	14.07	17.41	19.61	22.86	26.18	28.96	32.32	
	D_2	19	22	24	30	34	36	40	
	d	6.65	8.37	10.10	11.84	13.84	15.29	17.29	
	L_1	22	26	32	38	44	48	52	
斜向圆跳动 t	0.04	0.05				0.06			

(14) A型镦六角硬质合金凹模 (表 25.7-76)

表 25.7-76 A型镦六角硬质合金凹模 (摘自 JB/T 4210.14—1996) (mm)



标记示例: M4 GB/T 6170 六角螺母 A型镦六角凹模的标记为:

镦六角凹模 GB/T 6170 M4 JB/T 4210.14—1996

材料: 模套 60Si2Mn GB/T 1222

模芯 YG20C

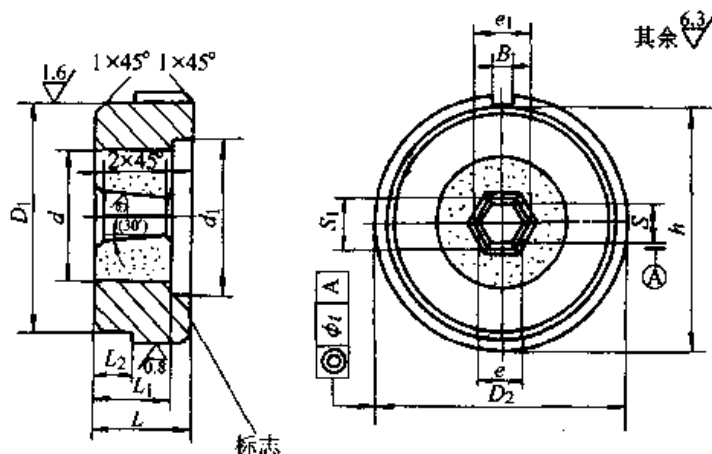
热处理硬度: 模套 42~48HRC

模芯与模套过盈量为 0.4%~0.6%

螺纹规格		M1.6	M2	M2.5	M3	M4
S	基本尺寸	3.06	3.86	4.86	5.36	6.83
	极限偏差	+0.048				+0.058
		0				0
	e_{min}	3.46	4.36	5.49	6.06	7.72
	L_1	10		12		16
	L_2	5				
	d	12		16		20
	同轴度 ϕt	0.06				

(15) B型镦六角硬质合金凹模 (表 25.7-77)

表 25.7-77 B型镦六角硬质合金凹模 (摘自 JB/T 4210.15—1996) (mm)



标记示例: M12 GB/T 6170 六角螺母 B型镦六角凹模的标记为:

镦六角凹模 GB/T 6170 M12 JB/T 4210.15—1996

材料: 模套 60Si2Mn GB/T 1222

模芯 YG20C

热处理硬度: 模套 42~48HRC

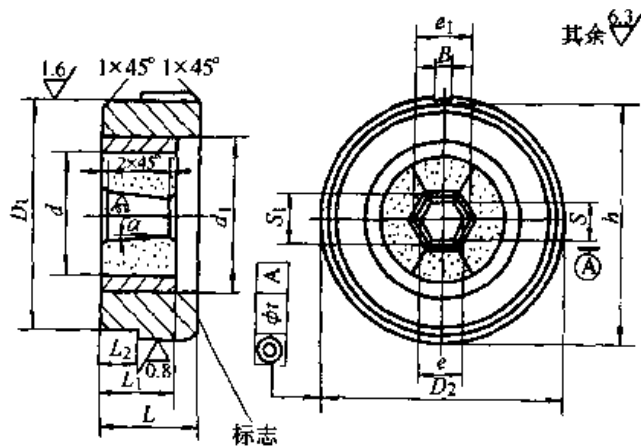
模芯与模套过盈量为 0.4%~0.6%

续表 25.7-77

螺纹规格		M5	M6	M8	M10	M12	M14	
S	基本尺寸	7.64	9.64	12.56	15.52	17.46	20.36	
	极限偏差	+0.058 0		+0.070 0			+0.084 0	
S ₁	基本尺寸	7.92	9.92	12.90	15.94	17.99	20.98	
	极限偏差	+0.058 0		+0.070 0			+0.084 0	
D ₂	基本尺寸	48	65		80	88		
	极限偏差	0 -0.062	0 -0.074			0 -0.087		
L	基本尺寸	20		25	35	40		
	极限偏差	0 -0.13				0 -0.16		
e _{min}		8.63	10.89	14.19	17.54	19.73	23.01	
e _{1min}		8.95	11.21	14.58	18.01	20.33	23.71	
D ₁		45	60		75	80		
L ₁		16		20	24	30	36	
L ₂		5		10	12	15		
d		24	30	32	40	44	52	
d ₁		24	30	40	48	52	60	
B		5				8		
h		46.5	62.5		77.5	84		
同轴度 φ		0.06					0.08	

(16) C型锻六角六片组合硬质合金凹模 (表 25.7-78)

表 25.7-78 C型锻六角六片组合硬质合金凹模 (摘自 JB/T 4210.16-1996) (mm)



标记示例: M16 GB/T 6170 六角螺母 C型锻六角凹模 (六片组合硬质合金) 的标记为:

锻六角凹模 GB/T 6170 M16 JB/T 4210.16-1996

材料: 模套 T10A GB/T 1298

中套 60Si2Mn GB/T 1222

模芯 YG20C

热处理硬度: 模套 50~55HRC

中套 42~48HRC

模芯与模套过盈量为 0.4%~0.6%

续表 25.7-78

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	
适用于螺母的正冲孔工艺	S	基本尺寸	12.56	15.52	17.46	20.36	23.30	25.76	28.73
		极限偏差	+0.070 0			+0.084 0			
	S ₁	基本尺寸	12.90	15.94	17.99	20.98	24.04	26.56	29.60
		极限偏差	+0.070 0			+0.084 0			
	D ₂	基本尺寸	65	80	88		128		
		极限偏差	0 -0.074		0 -0.087		0 -0.100		
	L	基本尺寸	25	35	40		50		
		极限偏差	0 -0.13	0 -0.16					
	e _{min}		14.19	17.54	19.73	23.01	26.33	29.11	32.47
	e _{1min}		14.58	18.01	20.33	23.71	27.17	30.01	33.45
	D ₁		60	75	80		120		
	L ₁		20	24	30	36	42	46	50
	L ₂		10	12	15				
	d		32	40	44	52	58	66	72
	d ₁		40	48	52	60	66	74	80
	B		5			8			
h		62.5	77.5	84		124			
α		30'							
同轴度 φ _t		0.08				0.10			
螺纹规格		M16		M18		M20			
适用于螺母的反冲孔工艺	S	基本尺寸	23.45		25.92		28.90		
		极限偏差	+0.084 0						
	S ₁	基本尺寸	23.89		26.40		29.42		
		极限偏差	+0.084 0						
	D ₂	基本尺寸	128						
		极限偏差	0		-0.10				
L	基本尺寸	50							
	极限偏差	0				-0.16			

续表 25.7-78

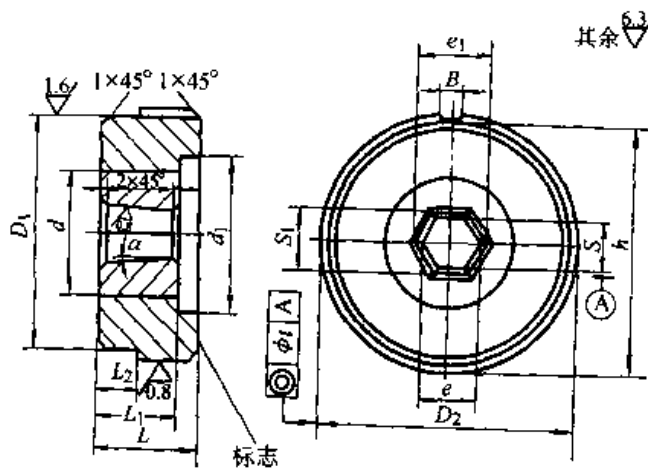
螺纹规格	M16	M18	M20
e_{min}	26.50	29.29	32.66
e_{1min}	27.00	29.83	33.25
D_1	120		
L_1	42	46	50
L_2	15		
d	58	66	72
d_1	66	74	80
B	8		
h	124		
α	18'		
同轴度 ϕ	0.10		

适用于螺母的反冲孔工艺

(17) D型锻六角凹模 (表 25.7-79)

表 25.7-79 D型锻六角凹模 (摘自 JB/T 4210.17—1996)

(mm)



标记示例: M16 GB/T 6170 六角螺母 D型锻六角凹模 (反冲孔工艺用) 的标记为:

锻六角凹模 (反) GB/T 6170 M16 JB/T 4210.17—1996

材料: 模套 60Si2Mn GB/T 1222

模芯 Cr12MoV GB/T 1299

热处理硬度: 模套 42—48HRC

模芯 58—62HRC

模套与模芯过盈量为 0.4%~0.6%

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	
适用于螺母的正冲孔工艺	S	基本尺寸	12.56	15.52	17.46	20.36	23.30	25.76	28.73
		极限偏差	+0.070 0			+0.084 0			
	S ₁	基本尺寸	12.90	15.94	17.99	20.98	24.04	26.56	29.60
		极限偏差	+0.070 0			+0.084 0			
	D ₂	基本尺寸	65	80	88		128		
		极限偏差	0 -0.074		0 -0.087		0 -0.100		

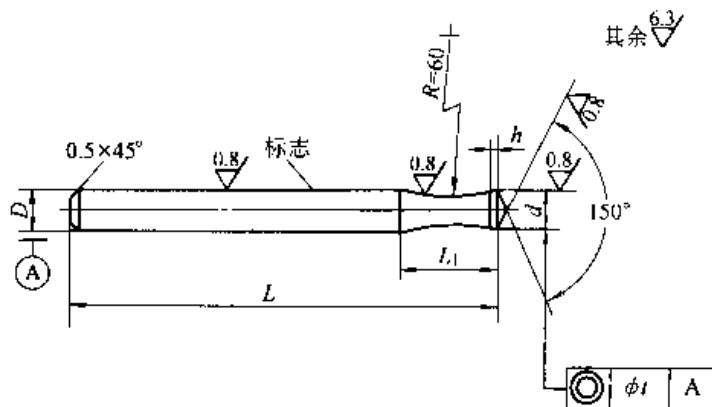
续表 25.7-79

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	
适用于螺母的正冲孔工艺	L	基本尺寸	25	35	40		50		
		极限偏差	0 -0.13	0 -0.16					
	e_{min}	14.19	17.54	19.73	23.01	26.33	29.11	32.47	
	e_{1min}	14.58	18.01	20.33	23.71	27.17	30.01	33.45	
	D_1	60	75	80		120			
	L_1	20	24	30	36	42	46	50	
	L_2	10	12	15					
	d	32	40	44	52	58	66	72	
	d_1	40	48	52	60	66	74	80	
	B	5		8					
	h	62.5	77.5	84		124			
	α	30'							
	同轴度 ϕ	0.08				0.10			
	螺纹规格		M16		M18		M20		
适用于螺母的反冲孔工艺	S	基本尺寸	23.45		25.92		28.90		
		极限偏差	+0.084 0						
	S_1	基本尺寸	23.89		26.40		29.42		
		极限偏差	+0.084 0						
	D_2	基本尺寸	128						
		极限偏差	0 -0.10						
	L	基本尺寸	50						
		极限偏差	0 -0.16						
	e_{min}	26.50		29.29		32.66			
	e_{1min}	27.00		29.83		33.25			
	D_1	120							
	L_1	42		46		50			
	L_2	15							
	d	58		66		72			
d_1	66		74		80				
B	8								
h	124								
α	18'								
同轴度 ϕ	0.10								

(18) A 型冲孔冲头 (表 25.7-80)

表 25.7-80 A 型冲孔冲头 (摘自 JB/T 4210.18—1996)

(mm)



标记示例: M5 GB/T 6170 六角螺母 A 型冲孔冲头的标记为:

冲孔冲头 GB/T 6170 M5 JB/T 4210.18—1996

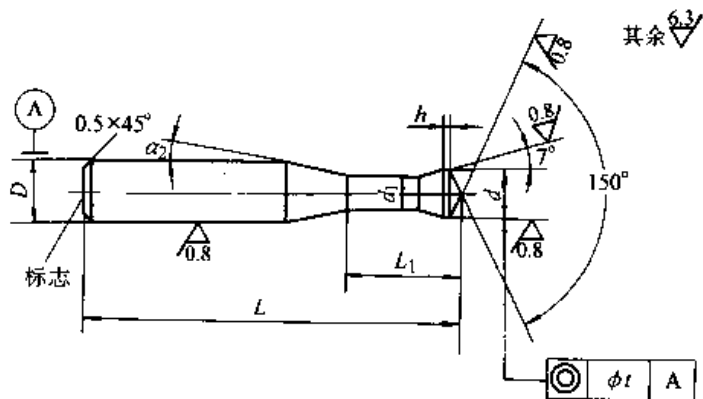
材料: W18Cr4V 或 7Cr7Mo3V2Si
热处理硬度: 58~62HRC

螺纹规格		M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	
d	基本尺寸	1.29	1.65	2.10	2.56	3.37	4.27	5.08	
	极限偏差	0			-0.025			-0.030	
D	基本尺寸	5						7	
	极限偏差	0						-0.058	
L	基本尺寸	50						70	
	极限偏差	0						-0.46	
L ₁		10						12	
h		0.2~0.4							
同轴度 ϕ_t		0.020				0.025			

(19) B 型冲孔冲头 (表 25.7-81)

表 25.7-81 B 型冲孔冲头 (摘自 JB/T 4210.19—1996)

(mm)



标记示例: M10 GB/T 6170 六角螺母 B 型冲孔冲头的标记为:

冲孔冲头 GB/T 6170 M10 JB/T 4210.19—1996

材料: 7Cr7Mo3V2Si 或 W18Cr4V
热处理硬度: 58~62HRC

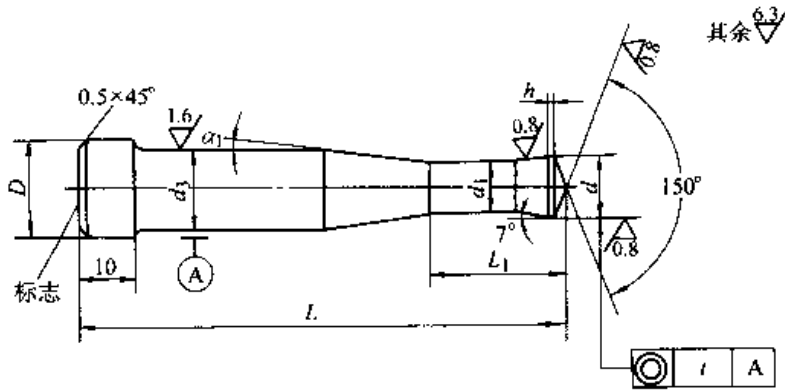
续表 25.7-81

螺纹规格		M8	M10	M12	
适用于GB/T 6170、GB/T 6175	d	基本尺寸	6.83	8.59	10.34
		极限偏差	0 -0.036		0 -0.043
	d_1	基本尺寸	6.49	8.16	9.82
		极限偏差	0 -0.09		
	D	基本尺寸	10	12	
		极限偏差	0 0.058	0 -0.070	
	L	基本尺寸	70		90
		极限偏差	0 -0.46		0 -0.54
	L_1	15	20	25	
	h	0.4~0.6	0.8~1.0		
α_2	4°30'	5°	2°30'		
同轴度 ϕ		0.03		0.04	
适用于GB/T 6171、GB/T 6176	d	基本尺寸	7.08	9.08	10.59
		极限偏差	0 -0.036		0 -0.043
	d_1	基本尺寸	6.73	8.63	10.06
		极限偏差	0 -0.09		0 -0.11
	D	基本尺寸	10	12	
		极限偏差	0 -0.058	0 -0.070	
	L	基本尺寸	70		90
		极限偏差	0 -0.46		0 -0.54
	L_1	15	20		
	h	0.4~0.6	0.8~1.0		
α_2	4°30'	5°	2°30'		
同轴度 ϕ		0.03		0.04	

(20) C 型冲孔冲头 (表 25.7-82)

表 25.7-82 C 型冲孔冲头 (摘自 JB/T 4210.20—1996)

(mm)



标记示例: M16 GB/T 6170
六角螺母 C 型冲孔冲头的标记为:
冲孔冲头 GB/T 6170 M16
JB/T 4210.20—1996
材料: 7 Cr7Mo3V2Si 或
W18Cr4V
热处理硬度: 58~62HRC

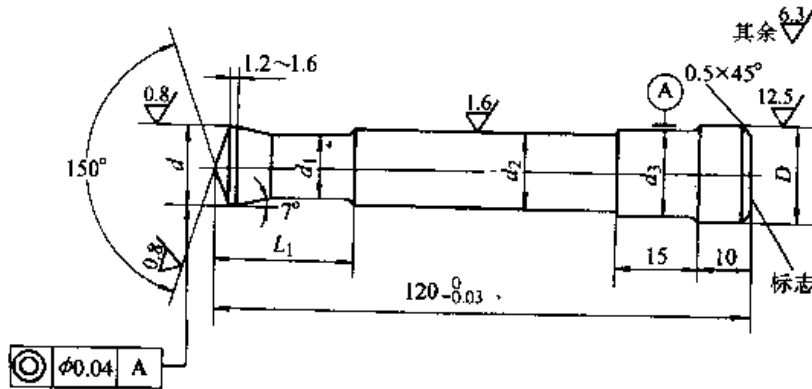
螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20		
适用于 GB/T 6170、GB/T 6175	d	基本尺寸	6.83	8.59	10.34	12.10	14.10	15.61	17.61	
		极限偏差	0 -0.036			0 -0.043				
	d ₁	基本尺寸	6.49	8.16	9.82	11.50	13.40	14.83	16.73	
		极限偏差	0 -0.09			0 -0.11				
	d ₃	基本尺寸	10	12	14	16	18	19		
		极限偏差	±0.029	±0.035				±0.042		
	L	基本尺寸	90				120			
		极限偏差	0 -0.54							
		d ₂	6.83	8.59	10.34	12.10	14.10	15.61	17.61	
		D	12	14		16	18	20	22	
		L ₁	15	20	25		45			
		h	0.4~0.6		0.8~1.0		1.2~1.6			
	α ₁	4'30'	5°	2'30'			2°			
	同轴度 φ _t	0.03			0.04					
适用于 GB/T 6171、GB/T 6176	d	基本尺寸	7.08	9.08	10.59	12.59	14.59	16.10	18.10	
		极限偏差	0 -0.036			0 -0.043			0 -0.052	
	d ₁	基本尺寸	6.73	8.63	10.06	11.96	13.86	15.30	17.20	
		极限偏差	0 -0.09			0 -0.11				
	d ₃	基本尺寸	10	12	14	16	18	19		
极限偏差		±0.029	±0.035				±0.042			

续表 25.7-82

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	
适用于 GB/T 6171、GB/T 6176	L	基本尺寸	90					120	
		极限偏差	0 -0.54						
	d_2	7.08	9.08	10.59	12.59	14.59	16.10	18.10	
	D	12	14		16	18	20	22	
	L_1	15	20	25		45			
	h	0.4~0.6	0.8~1.0			1.2~1.6			
	α_2	4°30'	5°	2°30'			2°		
	同轴度 ϕ_t	0.03			0.04				

(21) D型冲孔冲头 (表 25.7-83)

表 25.7-83 D型冲孔冲头 (摘自 JB/T 4210.21—1996) (mm)



标记示例: M20 GB/T 6170 六角螺母 D 型冲孔冲头 (反冲孔) 的标记为:

冲孔冲头 GB/T 6170 M20 JB/T 4210.21—1996

材料: 7 Cr7Mo3V2Si 或 W18Cr4V

热处理硬度: 58~62HRC

螺纹规格		M16	M18	M20	
适用于 GB/T 6170、GB/T 6175	d	基本尺寸	14.10	15.61	17.61
		极限偏差	0 -0.043		
	d_1	基本尺寸	13.40	14.83	16.73
		极限偏差	0 -0.11		
	d_2	基本尺寸	14.5	16.5	18.0
		极限偏差	0 -0.10		
	d_3	基本尺寸	16	18	19
		极限偏差	± 0.035		± 0.042
	D		18	20	22
	L_1		25	28	30

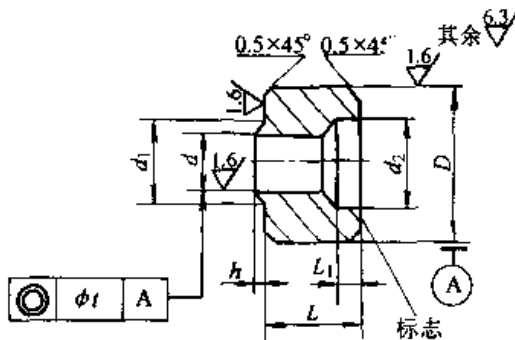
续表 25.7-83

螺纹规格		M16	M18	M20	
适用于 GB/T 6171、 GB/T 6176	d	基本尺寸	14.59	16.10	18.10
		极限偏差		0 -0.043	
	d_1	基本尺寸	13.86	15.30	17.20
		极限偏差		0 -0.11	
	d_2	基本尺寸	14.5	16.5	18.0
		极限偏差		0 -0.10	
	d_3	基本尺寸	16	18	19
		极限偏差		± 0.035	
	D		18	20	22
	L_1		25	28	30

(22) A型冲孔凹模 (表 25.7-84)

表 25.7-84 A型冲孔凹模 (摘自 JB/T 4210.22—1996)

(mm)



标记示例: M5 GB/T 6170 六角螺母 A
型冲孔凹模的标记为:

冲孔凹模 GB/T 6170 M5 JB/T
4210.22—1996

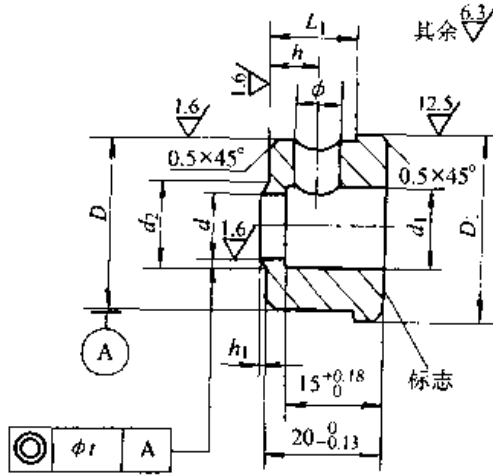
材料: 60Si2Mn GB/T 1222

热处理硬度: 58~62HRC

螺纹规格		M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6
d	基本尺寸	1.29	1.65	2.10	2.56	3.37	4.27	5.08
	极限偏差	+0.060 +0.020			+0.078 +0.030			
d_1	基本尺寸	1.73	2.16	2.70	3.24	4.32	5.40	6.48
	极限偏差	+0.10 0			+0.12 0			+0.15 0
D	基本尺寸	10						13
	极限偏差	0 -0.09						0 -0.11
L	基本尺寸	6						8
	极限偏差	0 -0.075						0 -0.09
d_2		6						8
L_1		4	3					
h		0.17	0.20	0.24	0.27	0.33	0.45	0.56
同轴度 f_t		0.04				0.05		

(23) B型冲孔凹模 (表 25.7-85)

表 25.7-85 B型冲孔凹模 (摘自 JB/T 4210.23—1996) (mm)



标记示例: M10 GB/T 6170 六角螺母 B 型冲孔凹模的标记为:

冲孔凹模 GB/T 6170 M10 JB/T 4210.23—1996

材料: 60Si2Mn GB/T 1222

热处理硬度: 58~62HRC

螺纹规格		M8	M10	M12	
适用于 GB/T 6170、GB/T 6175	d	基本尺寸	6.83	8.59	10.34
		极限偏差	+0.208 +0.150		+0.220 +0.150
	d ₂	基本尺寸	8.64	10.80	12.96
		极限偏差	+0.15 0	+0.18 0	
	D	基本尺寸	20	25	30
		极限偏差	+0.084 0		
	D ₁	23	28	33	
	L ₂	17		16	
	d ₁	8	10	12	
	h	6.5		9.0	
	h ₁	0.7	0.87	1.03	
	φ	6		8	
	同轴度 φ _r	0.03		0.04	
	适用于 GB/T 6171、GB/T 6176	d	基本尺寸	7.08	9.08
极限偏差			+0.208 +0.150		+0.220 +0.150
d ₂		基本尺寸	8.64	10.80	12.96
		极限偏差	+0.15 0	+0.18 0	

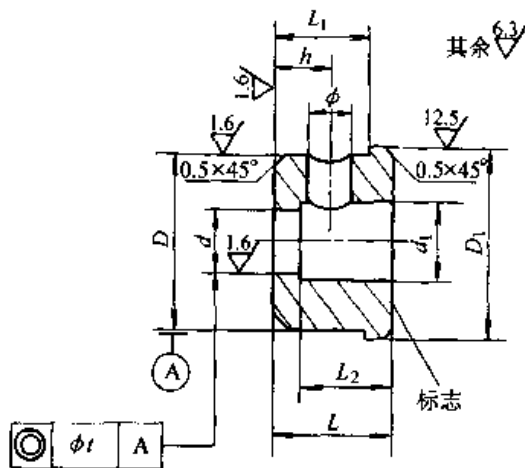
续表 25.7-85

螺纹规格		M8	M10	M12	
适用于 GB/T 6171、 GB/T 6176	D	基本尺寸	20	25	30
		极限偏差	+0.084 0		
	D_1	23	28	33	
	L_2	17		16	
	d_1	8	10	12	
	h	6.5		9	
	h_1	0.7	0.87	1.03	
	ϕ	6		8	
同轴度 ϕt		0.03		0.04	

(24) C型冲孔凹模 (表 25.7-86)

表 25.7-86 C型冲孔凹模 (摘自 JB/T 4210.24—1996)

(mm)



标记示例: M12 GB/T 6170
六角螺母 C型冲孔凹模的标记为:
冲孔凹模 GB/T 6170 M12
JB/T 4210.24—1996
材料: 60Si2Mn GB/T 1222
热处理硬度: 58~62HRC

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	
适用于 GB/T 6170、 GB/T 6175	d	基本尺寸	6.83	8.59	10.34	12.10	14.10	15.61	17.61
		极限偏差	+0.208 +0.150			+0.220 +0.150			
	D	基本尺寸	20	25	30		35		
		极限偏差	+0.084 0				+0.100 0		
	L	基本尺寸	20			25			
		极限偏差	0				-0.13		
	L_1	基本尺寸	15			20			
		极限偏差	+0.18 0			+0.21 0			

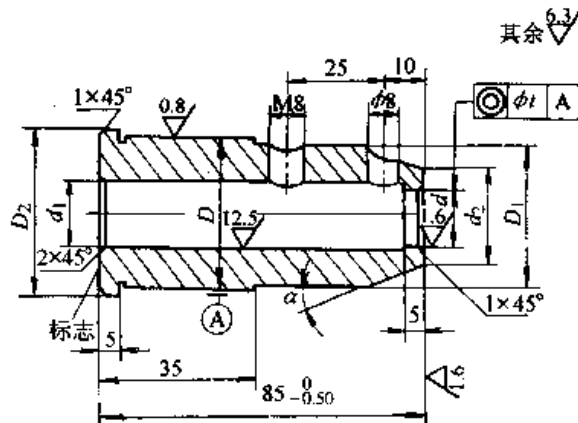
续表 25.7-86

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	
适用于 GB/T 6170、 GB/T 6175	D_1	23	28	33		38			
	L_2	17		16	20				
	d_1	8	10	12	14	16	18	20	
	h	6.5		9	10				
	ϕ	6		8					
	同轴度 ϕ_t	0.03		0.04					
适用于 GB/T 6171、 GB/T 6176	d	基本尺寸	7.08	9.08	10.59	12.59	14.59	16.10	18.10
		极限偏差	+0.208 +0.150		+0.220 +0.150				
	D	基本尺寸	20	25	30		35		
		极限偏差	+0.084 0				+0.100 0		
	L	基本尺寸	20			25			
		极限偏差	0 -0.13						
	L_1	基本尺寸	15			20			
		极限偏差	+0.18 0			+0.21 0			
	D_1	23	28	33		38			
	L_2	17		16	20				
	d_1	8	10	12	14	16	18	20	
	h	6.5		9	10				
	ϕ	6		8					
	同轴度 ϕ_t	0.03		0.04					

(25) D型冲孔凹模 (表 25.7-87)

表 25.7-87 D型冲孔凹模 (摘自 JB/T 4210.25—1996)

(mm)



标记示例: M20 GB/T 6170
六角螺母 D型冲孔凹模的标记为:
冲孔凹模 GB/T 6170 M20
JB/T 4210.25—1996
材料: 60Si2Mn GB/T 1222
热处理硬度: 58~62HRC

续表 25.7-87

螺纹规格		M16	M18	M20	
适用于 GB/T 6170、GB/T 6175	d	基本尺寸	14.10	15.61	17.61
		极限偏差		+0.22 +0.15	
	D	基本尺寸	35	40	
		极限偏差		±0.05	
	d_1	16	18	20	
	D_1	34	39		
	d_2	23.76	26.73	29.70	
	D_2	40	45		
	$\alpha / (^\circ)$	28	32	25	
	同轴度 ϕt		0.04		
适用于 GB/T 6171、GB/T 6176	d	基本尺寸	14.59	16.10	18.10
		极限偏差		+0.22 +0.15	
	D	基本尺寸		40	
		极限偏差		±0.05	
	d_1	16	18	20	
	D_1	34	39		
	d_2	23.76	26.73	29.70	
	D_2		43		
	$\alpha / (^\circ)$	28	32	25	
	同轴度 ϕt		0.04		

5 通用模具设计

5.1 切料模具设计

毛坯的切口质量取决于切料模与材料之间的间隙和切料模与材料刀之间的间隙。

(1) 切料刀

1) 切料刀组合

型式 I (图 25.7-60)

型式 II (Z47—12 等专用) (图 25.7-61)

此种型式与 1 型不同之处是省去了切料刀压板、弹簧、双头螺柱、螺钉、螺母、垫圈。坯料被切断后由一把夹钳接料送入锻工位。

2) 切料刀尺寸 (图 25.7-62) 该切料刀上设

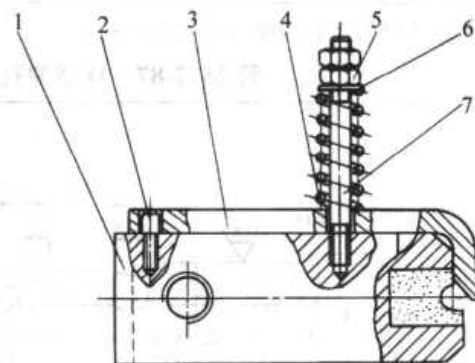


图 25.7-60 切料刀组合 (型式 I)

1—切料刀 2—螺钉 3—切料刀压板 4—弹簧
5—六角螺母 6—垫圈 7—双头螺柱

计的 15°斜度的部分是为了避免冲头和切料刀碰

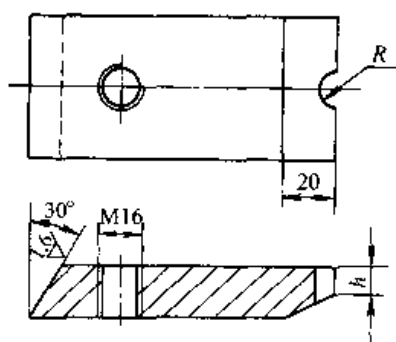


图 25.7-61 切料刀 (型式 II)

撞。因为当冲头接近切料模时，材料一边进入切料模，切料刀一边后退。这一斜度部分，可避免两者相碰。切料刀的切削刃部分 R 取所用线材的最大直径的 $1/2$ ，再适当增大 0.8 mm 到 0.5 mm 。

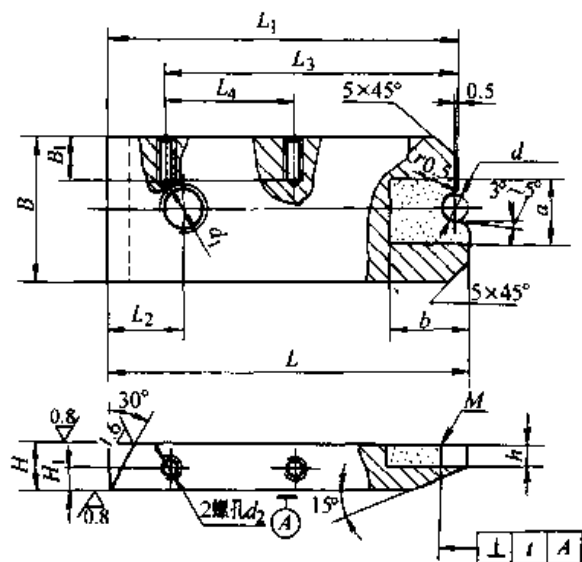


图 25.7-62 切料刀尺寸图

(2) 切料模

1) 切料模组合 (图 25.7-63)

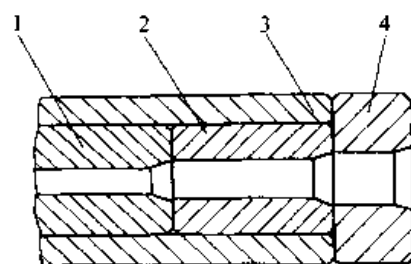


图 25.7-63 切料模组合

1—切料模 2—模套 3—模垫 4—后垫

2) 切料模尺寸 (图 25.7-64) 为使线材能够顺利进入模孔，将进口部制成喇叭状。切料模的切削刃部分的孔径 d ，要比使用的线材直径大 $0.05\sim 0.1\text{ mm}$ ，使线材能够顺利通过，导向孔径 d_1 取 d 的 1.2 倍，角度 α 取 $20^\circ\sim 30^\circ$ 。切削刃不锋利时，可反复进行修磨使用。

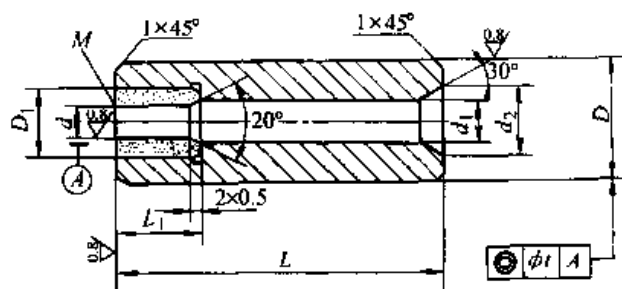


图 25.7-64 切料模

硬质合金镶块进行压装的过盈量等于工作孔径的 $0.5\%\sim 1.5\%$ 。为切取冷墩用的低碳钢毛坯所推荐的过盈量见表 25.7-88。

当切断含碳量较高的钢毛坯和合金钢毛坯时，过盈量应提高 $20\%\sim 30\%$ 。而切断较软的有色金属毛坯 (铜和铝) 时，过盈量可降低 $20\%\sim 30\%$ 。

表 25.7-88 切断模硬质合金镶块的压装过盈量 (mm)

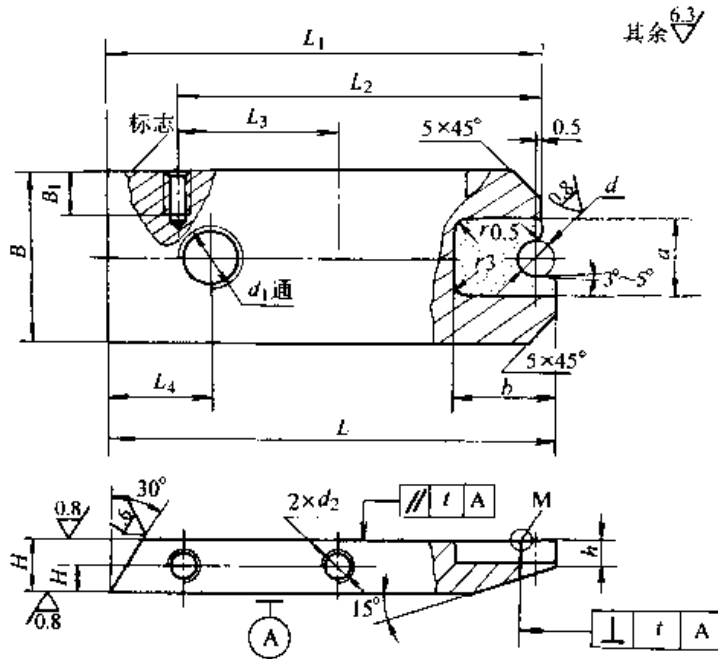
零件	毛坯直径	过盈量	零件	毛坯直径	过盈量
3 mm 铆钉	2.85	0.04~0.06	M12 螺栓	11.50	0.08~0.10
3.5 mm 铆钉	3.35	0.04~0.06	M14 螺栓	12.43	0.08~0.10
4 mm 铆钉	3.85	0.04~0.06	M16 螺栓	14.45	0.10~0.12
5 mm 铆钉	4.85	0.04~0.06	M6 螺母	8.00	0.08~0.10
6 mm 铆钉	5.85	0.06~0.08	M8 螺母	10.00	0.08~0.10
13 mm 铆钉	12.30	0.08~0.10	M10 螺母	12.5	0.08~0.10
M10 螺栓	8.75	0.06~0.08	M12 螺母	16.0	0.10~0.12

(3) 标准切料刀和切料模

1) A 型切料刀 (表 25.7-89)

表 25.7-89 A 型切料刀 (摘自 JB/T 4208.1—1996)

(mm)



标记示例: M8 GB/T 5780 六角头螺栓, 适用于 Z12—8 机床用 A 型切料刀的标记为:

切料刀 GB/T 5780 M8 Z12—8 JB/T 4208.1—1996

材料: 刀体 45 钢 GB/T 699

镶块 YG20C

热处理硬度: 刀体 40~45HRC

切料刀口 M 处应保持锐角

螺纹规格		M2	M2.5	M2.5	M3	M4	M4	M5	M6	M5	M6	M8	M8	M10	M12
d	基本尺寸	—	—	—	2.84	3.80	3.80	4.78	5.78	4.78	5.78	7.72	7.72	9.72	11.68
	GB/T 5780~5783, GB/T 5785~5786	—	—	—	2.84	3.80	3.80	4.78	5.78	4.78	5.78	7.72	7.72	9.72	11.68
	GB/T 5784, GB/T 65~820	1.65	2.12	2.12	2.58	3.44	3.44	4.36	5.21	4.36	5.21	7.04	7.04	8.85	10.67
	GB/T 70.1~70.3	—	—	—	—	3.84	3.84	4.84	5.84	4.84	5.84	7.80	7.80	9.80	11.75
极限偏差		+0.060 0			+0.075 0						+0.090 0			+0.110 0	
H	基本尺寸	7		8			10			12		15			
	极限偏差	0			-0.09			0			-0.11				
L1	基本尺寸	52		70			82			104		130			
	极限偏差	0			-0.19			0			0.22		0		
L		54		72			85			108		135			
B		22		32			34			36		50			
a		8		12			15			18		30			
b		10		15			20			22		38			
L2		38		60			72			92		116			
L3		19		28			34			44		54			
L4		16		20			24			30					
H1		3.5		4.0			5.0			6.0		7.5			

适用于双击整模自动冷锻机

续表 25.7-89

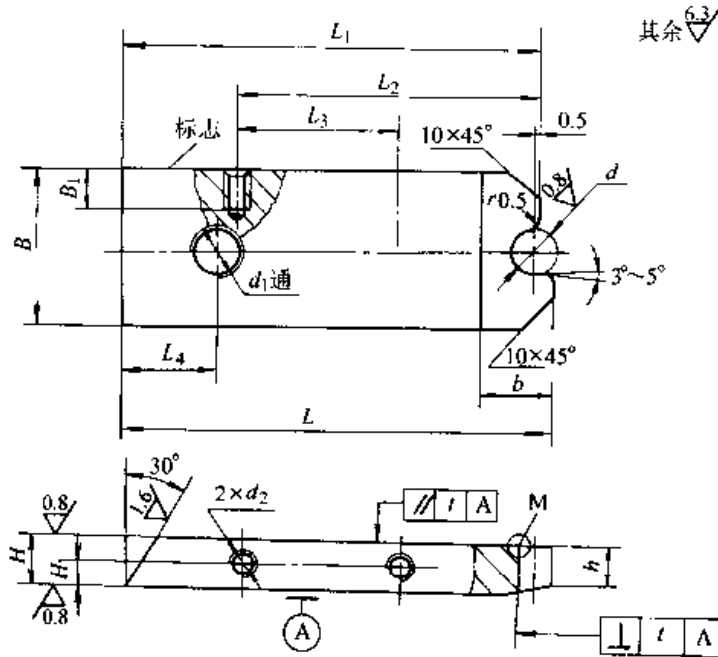
螺 纹 规 格		M2	M2.5	M2.5	M3	M4	M4	M5	M6	M5	M6	M8	M8	M10	M12
适用于 双击整模自动冷锻机	h	5 (3)			6 (4)				8 (5)			12 (8)			
	B_1	5			6			8			10			14	
	d_1	M6			M10			M12			M16				
	d_2	M4				M5				M6			M8		
	垂直度 t	0.08			0.10				0.12						
	平行度 t	0.05			0.06				0.08						
	适用机床	Z12—2.5			Z12—4			Z12—6			Z12—8			Z12—12	
螺 纹 规 格									M4		M5		M6		
d	基本尺寸	GB/T 5780~5783, GB/T 5785~5786, GB/T 70.1~70.3							3.74		4.74		5.74		
		GB/T 5784							3.40		4.32		5.17		
		极限偏差							+0.075					0	
H	基本尺寸	10							10						
		极限偏差							0					-0.09	
L_1	基本尺寸	82							82						
		极限偏差							0					-0.22	
适用于多工位自动冷锻机	L	85							85						
	B	34							34						
	a	15							15						
	b	20							20						
	L_2	72							72						
	L_3	34							34						
	L_4	20							20						
	H_1	5							5						
	h	6 (4)							6 (4)						
	B_1	8							8						
	d_1	M12							M12						
	d_2	M5							M5						
	垂直度 t	0.1							0.1						
	平行度 t	0.06							0.06						
	适用机床	Z47—6							Z47—6						

注：括号内的尺寸适用于螺栓及内六角螺钉长度 $\leq 3d$ 。

2) B型切料刀 (表 25.7-90)

表 25.7-90 B型切料刀 (摘自 JB/T 4208.2—1996)

(mm)



标记示例: M16 GB/T 5782 六角头螺栓, 适用于 Z12—16 机床用 B 型切料刀的标记为:

切料刀 GB/T 5782 M16 Z12—16
JB/T 4208.2—1996

材料: GCr15 或 T10A

热处理硬度: b 段 58~62HRC

其余 45~50HRC

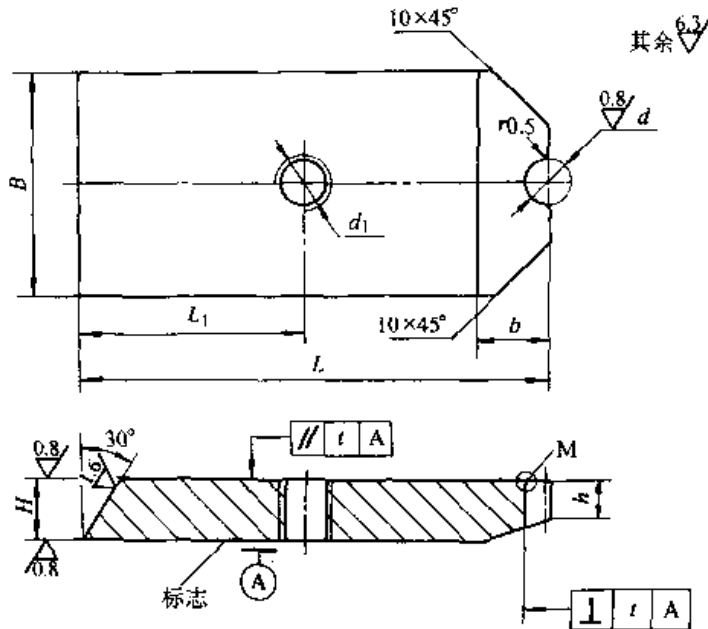
切料刀口 M 处应保持锐角

螺 纹 规 格		M5	M6	M8	M8	M10	M12	M12	M14	M16	
d	基本尺寸	4.78	5.78	7.72	7.72	9.72	11.68	11.68	13.68	15.68	
		4.36	5.21	7.04	7.04	8.85	10.67	10.67	12.49	14.49	
		4.84	5.84	7.80	7.80	9.80	11.75	11.75	13.75	15.75	
	极限偏差	+0.075		+0.090			+0.110				
		0		0			0				
H	基本尺寸	12			15			20			
	极限偏差	0			-0.11			-0.13			
L ₁	基本尺寸	104			130			154			
	极限偏差	0		0			-0.25				
		-0.22									
	L	108			135			160			
	B	36			50			60			
	L ₂	92			116			138			
	L ₃	44			54						
	L ₄	24			30			35			
	H ₁	6.0			7.5			10.0			
	h	8 (5)			12 (8)			16 (12)			
	B ₁	10			14			16			
	b	20			25			30			
	d ₁	M16						M20			
	d ₂	M6			M8						
	垂直度 t					0.12					
	平行度 t					0.08					
	适用机床	Z12—8			Z12—12			Z12—16			

注: 括号内的尺寸适用于螺栓及内六角螺钉长度 ≤ 3d。

3) C型切料刀 (表 25.7-91)

表 25.7-91 C型切料刀 (摘自 JB/T 4208.3—1996) (mm)



标记示例: M8 GB/T 70.1~70.3 内六角圆柱头螺钉, 适用于 Z47-8 机床用 C 型切料刀的标记为:

切料刀 GB/T 70.1~70.3 M8
Z47-8 JB/T 4208.3—1996

材料: GCr15 或 T10A
热处理硬度: *b* 段 58~62HRC
其余 HRC45~50

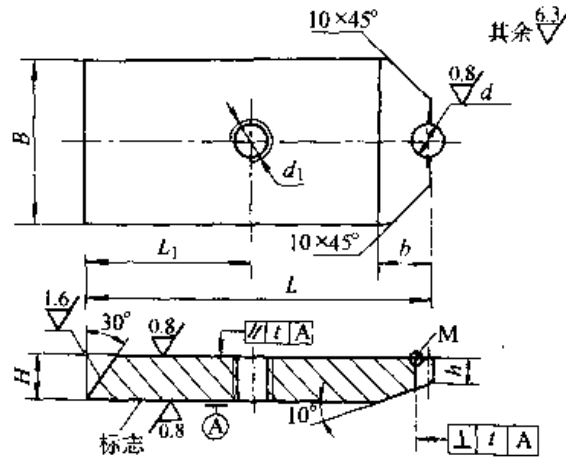
切料刀口 M 处应保持锐角

螺 纹 规 格		M5	M6	M8	M8	M10	M12	M12	M14	M16	M16	M18	M20
d	基本尺寸	4.74	5.74	7.65	7.65	9.65	11.60	11.60	13.60	15.60	15.60	17.50	19.50
	GB/T 5780~5783 GB/T 5785~5786, GB/T 70.1~70.3												
	GB/T 5784	4.32	5.17	7.00	7.00	8.81	10.62	10.62	12.43	14.43	14.43	—	18.05
	极限偏差	+0.075 0		+0.090 0					+0.110 0				+0.130 0
H	基本尺寸	12.0			14.5			20.0			23.0		
	极限偏差	0 -0.11			0 -0.11			0 -0.13			0 -0.13		
L	基本尺寸	79			115			120			135		
	极限偏差	0 -0.19			0 -0.22			0 -0.22			0 -0.25		
	L_1	42			45								
	B	42			50			60			70		
	<i>h</i>	6			10			15					
	d_1	M10			M16			M20					
	垂直度 <i>t</i>	0.10			0.12			0.12					
	平行度 <i>t</i>	0.06			0.08			0.08					
	适用机床	Z47-8			Z47-12			Z47-16			Z47-20		

4) D型切料刀 (表 25.7-92)

表 25.7-92 D型切料刀 (摘自 JB/T 4208.4—1996)

(mm)



标记示例: M16 GB/T 6170 六角螺母, 适用于 Z41—16 机床用 D 型切料刀的标记为:

切料刀 GB/T 6170 M16 Z41—16 JB/T 4208.4—1996

材料: GCr15 或 T10A

热处理硬度: *b* 段 58~62HRC

其余 45~50HRC

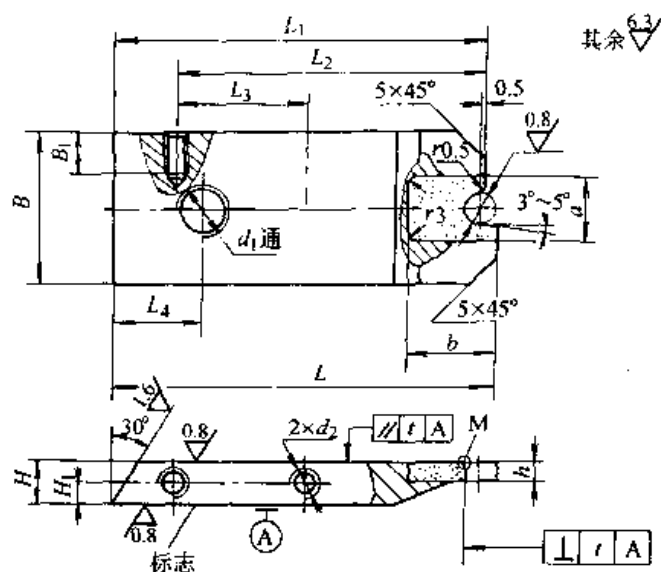
切料刀口 M 处应保持锐角

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
<i>d</i>	基本尺寸	9.1	11.2	12.6	14.7	16.8	18.9	21
	极限偏差	+0.09 0			+0.11 0			+0.13 0
<i>H</i>	基本尺寸	16						
	极限偏差	0 -0.11						
<i>L</i>	基本尺寸	115			120			
	极限偏差	0 -0.22						
<i>B</i>		50			70			
<i>b</i>		≈23						
<i>h</i>		12						
<i>L</i> ₁		45			40			
<i>d</i> ₁		M16			M20			
垂直度 <i>t</i>		0.12						
平行度 <i>t</i>		0.08						
适用机床		Z41—12			Z41—16		Z41—20	

5) E型切料刀 (表 25.7-93)

表 25.7-93 E型切料刀 (摘自 JB/T 4208.5—1996)

(mm)



标记示例: M6 GB/T 6170 六角螺母, 适用于 Z41—6 机床用 E 型切料刀的标记为:

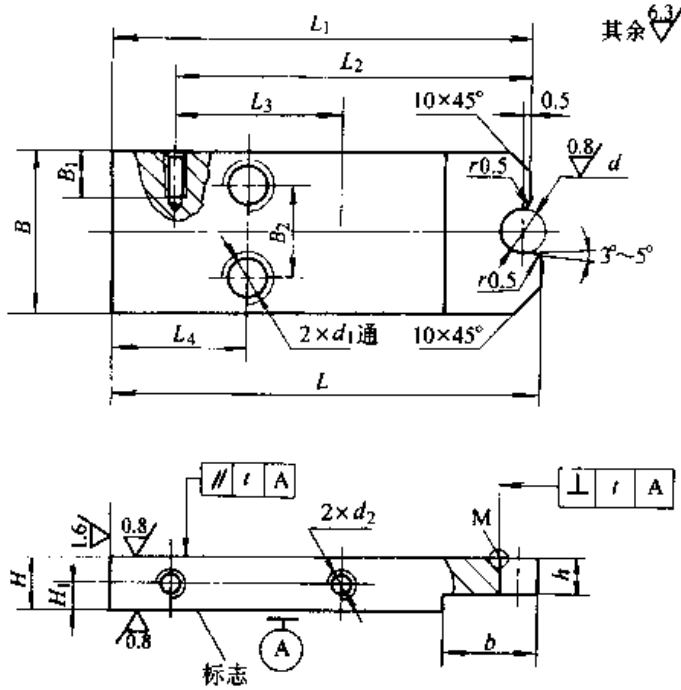
切料刀 GB/T 6170 M6
Z41—6 JB/T 4208.5—1996
材料: 刀体 45 钢 镶块 YG20C
热处理硬度: 刀体 40~45HRC
切料刀口 M 处应保持锐角

螺纹规格		M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6
d	基本尺寸	2.2	2.8	3.5	3.9	4.9	5.6	7
	极限偏差	+0.060 0		+0.075 0				+0.090 0
H	基本尺寸	10						
	极限偏差	0 -0.09						
L ₁	基本尺寸	90						
	极限偏差	0 -0.22						
L		92						
B		34						
a		15						
b		20						
h		2.8	3	4	5			
L ₂		68						
L ₃		34						
L ₄		20						
H ₁		5						
B ₁		8						
d ₁		M12						
d ₂		M5						
垂直度 t		0.1						
平行度 t		0.08						
适用机床		Z 41—4			Z 41—6			

6) F型切料刀 (表 25.7-94)

表 25.7-94 F型切料刀 (摘自 JB/T 4208.6—1996)

(mm)



标记示例: M12 GB/T 6170 六角螺母, 适用于 A412 机床用 F 型切料刀的标记为:

切料刀 GB/T 6170 M12
A412 JB/T 4208.6—1996

材料: GCr15 或 T10A

热处理硬度: b 段 58~62HRC

其余 45~50HRC

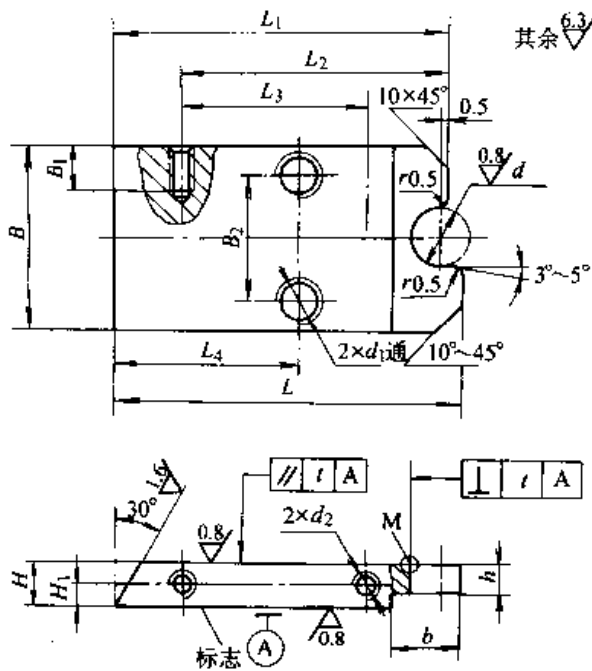
切料刀口 M 处应保持锐角

螺纹规格		M8	M10	M8	M10	M12	M14
d	基本尺寸	9.1	11.2	9.1	11.2	12.6	14.7
	极限偏差	+0.09 0	+0.11 0	+0.09 0	+0.11 0		
H	基本尺寸	12		16			
	极限偏差	0 -0.11					
L ₁	基本尺寸	115					
	极限偏差	0 -0.22					
L		120					
B		50		60			
b		≈25					
h		8		12			
L ₂		100					
L ₃		50					
L ₄		35		26			
H ₁		6		8			
B ₁		14		16			
B ₂		32		40			
d ₁		M12					
d ₂		M6		M8			
垂直度 t		0.12					
平行度 t		0.08					
适用机床		A411		A412			

7) G型切料刀 (表 25.7-95)

表 25.7-95 G型切料刀 (摘自 JB/T 4208.7—1996)

(mm)



标记示例: M16 GB/T 6170 六角螺母, 适用于 Z41—20 机床用 G 型切料刀的标记为:

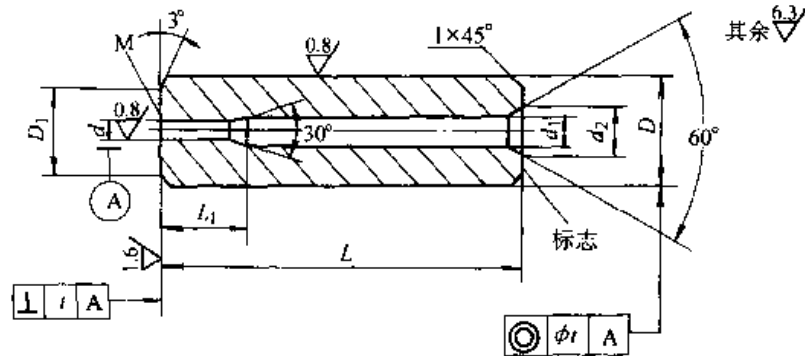
切料刀 GB/T 6170 M16
Z41—20 JB/T 4208.7—1996
材料: GCr15 或 T10A
热处理硬度: *b* 段 58~62HRC
其余 45~50HRC
切料刀口 M 处应保持锐角

螺纹规格		M14	M16	M16	M18	M20
<i>d</i>	基本尺寸	14.7	16.8	16.8	18.9	21
	极限偏差		+0.11 0		+0.13 0	
<i>H</i>	基本尺寸	16		18		
	极限偏差			0 -0.11		
<i>L</i> ₁	基本尺寸	105		125		
	极限偏差	0 -0.22		0 -0.25		
<i>L</i>		110		130		
<i>B</i>				75		
<i>b</i>				≈25		
<i>h</i>		12		14		
<i>L</i> ₂		88		104		
<i>L</i> ₃		44		34		
<i>L</i> ₄		50		70		
<i>H</i> ₁		8		9		
<i>B</i> ₁				16		
<i>B</i> ₂				50		
<i>d</i> ₁				M16		
<i>d</i> ₂				M8		
垂直度 <i>t</i>				0.12		
平行度 <i>t</i>				0.08		
适用机床		Z41—16 ZM416		Z41—20 Z41—20G		

8) A 型切料模 (表 25.7-96)

表 25.7-96 A 型切料模 (摘自 JB/T 4208.10—1996)

(mm)



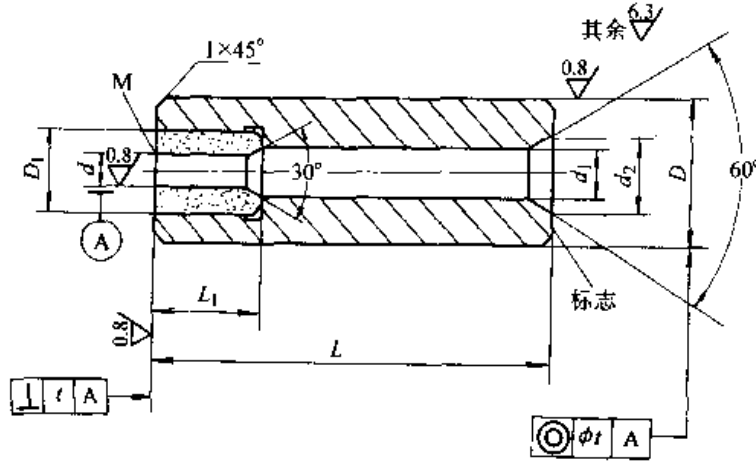
标记示例: M2.5 GB/T 67 螺钉, 适用于 Z12—2.5 机床用 A 型切料模的标记为:
 切料模 GB/T 67 M2.5 Z12—2.5 JB/T 4208.10—1996
 材料: W18Cr4V
 热处理硬度: 60~62HRC
 切料模口 M 处应保持锐角

螺纹规格		M2	M2.5
d	基本尺寸	1.65	2.12
	极限偏差		+0.10 +0.06
D	基本尺寸		14 (10)
	极限偏差		-0.025 -0.061
L	基本尺寸		34
	极限偏差		0 -0.16
	D ₁		6
	L ₁	5	7
	d ₁	2.4	3
	d ₂		5
	同轴度 φr		0.04
	垂直度 t		0.04
	适用机床		Z12—2.5

注: 括号内尺寸系根据自动冷锻机现行模腔尺寸确定。

9) B型切料模 (表 25.7-97)

表 25.7-97 B型切料模 (摘自 JB/T 4208.11—1996) (mm)



标记示例: M8 GB/T 5780 螺栓, 适用于 Z12—8 机床用 B 型切料模的标记为:
切料模 GB/T 5780 M8 Z12—8 JB/T 4208.11—1996
材料: 模套 T10 模芯 YG20C
热处理硬度: 模套 44~48HRC
切料模口 M 处应保持锐角

螺纹规格		M2.5	M3	M4	M4	M5	M6	M5	M6	M8	M8	M10	M12
d	基本尺寸												
	GB/T 5780~5783 GB/T 5785~5786	—	2.84	3.80	3.80	4.78	5.78	4.78	5.78	7.72	7.72	9.72	11.68
	GB/T 5784, GB/T 65~69 GB/T 818~820	2.12	2.58	3.44	3.44	4.36	5.21	4.36	5.21	7.04	7.04	8.85	10.67
	GB/T 70.1~70.3	—	—	3.84	3.84	4.84	5.84	4.84	5.84	7.80	7.80	9.80	11.75
	极限偏差	+0.100 +0.060		+0.118 +0.070				+0.138 +0.080		+0.165 +0.095			
D	基本尺寸	18		22			35 (28)			45 (40)			
	极限偏差	-0.032 -0.075		-0.040 -0.092			-0.050 -0.112						
L	基本尺寸	45		60			75			100			
	极限偏差	0 -0.39		0 -0.46			0 -0.54						
	D ₁	10		13			16			26			
	L ₁	12		15			20			30			
	d ₁	3	3.6	4.8	6	7.2	6	7.2	9.6	12	14.2		
	d ₂	5	6	8	10	12	10	12	16	20	24		
	同轴度 φ	0.04		0.05				0.06					
	垂直度 t	0.05		0.06									
	适用机床	Z 12—4		Z 12—6			Z 12—8			Z 12—12			

适用于双击整模自动冷墩机

续表 25.7-97

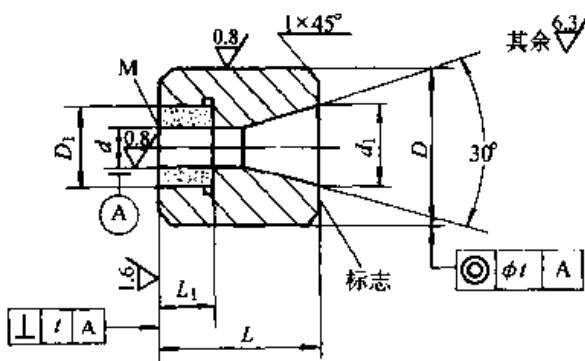
螺纹规格		M4	M5	M6	M5	M6	M8	M8	M10	M12									
d	基本尺寸	GB/T 5782~5783 GB/T 70.1~70.3 GB/T 5784																	
	极限偏差	+0.118 +0.070						+0.138 +0.080		+0.165 +0.095									
	基本尺寸	22			35 (28)			45 (40)											
D	基本尺寸	60			75			100											
	极限偏差	-0.04 -0.092						-0.050 -0.112											
L	基本尺寸	13			16			26											
	极限偏差	0 -0.46						0 -0.54											
D_1		15			20			30											
L_1		10.8			6.0			7.2		6.0		7.2		9.6		12		14.2	
d_1		8		10		12		10		12		16		20		24			
d_2		0.05						0.06											
同轴度 ϕ_t		0.05						0.06											
垂直度 t		0.06						0.06											
适用机床		47—6			47—8			47—12											

注：括号内尺寸系根据自动冷锻机现行模具尺寸确定。

10) C型切料模 (表 25.7-98)

表 25.7-98 C型切料模 (摘自 JB/T 4208.12—1996)

(mm)



标记示例：M5 GB/T 6170 六角螺母，适用于 Z41—6 机床用 C 型切料模的标记为：

切料模 GB/T 6170 M5 Z41—6
JB/T 4208.12—1996

材料：切料模套 60Si2Mn

切料模芯 YG20C

热处理硬度：切料模套 42~45HRC

切料模口 M 处应保持锐角

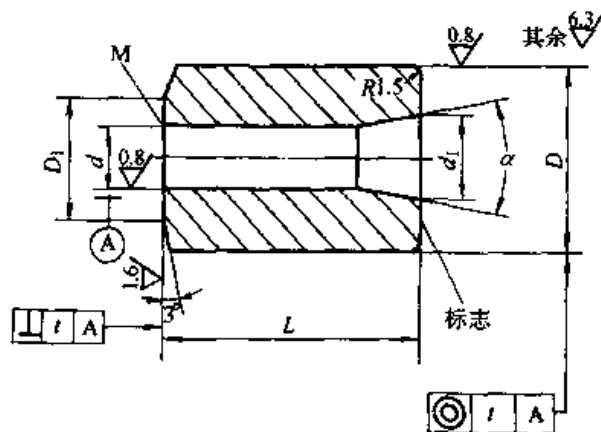
续表 25.7-98

螺纹规格		M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M4	M5	M6
d	基本尺寸	2.2	2.8	3.5	3.9	4.9	5.6	4.9	5.6	7
	极限偏差	+0.10 +0.06		+0.118 +0.070				+0.138 +0.080		
D	基本尺寸	18						22		
	极限偏差	-0.032 -0.075						-0.040 -0.092		
L	基本尺寸	30								
	极限偏差	0 -0.13								
d ₁		6.5	10.8	11.5	11.9	12.9	13.6	12.9	13.6	15.0
D ₁		10						13		
L ₁		10								
同轴度 φ		0.04						0.05		
垂直度 t		0.04								
适用机床		Z41—4			Z41—5			Z41—6		

11) D型切料模 (表 25.7-99)

表 25.7-99 D型切料模 (摘自 JB/T 4208.13—1996)

(mm)



标记示例: M12 GB/T 5780 六角头螺栓, 适用于双击整模自动冷镦机用 D 型切料模的标记为:

切料模 GB/T 5780 M12 双
JB/T 4208.13—1996

材料: W18Cr4V

热处理硬度: 58~62HRC

切料模口 M 处应保持锐角

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16	
适用于双击整模自动冷镦机	基本尺寸	GB/T 5780~5783 GB/T 5785~5786	7.72	9.72	11.68	13.68	15.68
		GB/T 5784, GB/T 65~69, GB/T 818~820	7.04	8.85	10.67	12.49	14.19
		GB/T 70	7.80	9.80	11.75	13.75	15.75
	极限偏差	+0.138 +0.080			+0.165 +0.095		

续表 25.7-99

螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16				
适用于双击整模自动冷锻机	D	基本尺寸			26		32			
		极限偏差			+0.088 +0.055		+0.107 +0.068			
	L	基本尺寸			30		40			
		极限偏差			0 -0.130		0 -0.160			
	D_1		12	15	18	21	24			
	d_1		10	12	15	17	20			
	α		12°	16°	18°	20°				
	同轴度 ϕ_t		0.05			0.05				
	垂直度 l		0.04			0.04				
	螺纹规格		M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	
d	基本尺寸	GB/T 5780~5783, GB/T 5785~5786, GB/T 70		7.65	9.65	11.60	13.60	15.60	17.50	19.50
		GB/T 5784, GB/T 65~69, GB/T 818~820		7.00	8.81	10.62	12.43	14.43	—	18.05
		GB/T 6170~6171, GB/T 6175~6176		9.10	11.20	12.60	14.70	16.80	18.90	21.00
	极限偏差		+0.138 +0.095		+0.165 +0.095			+0.194 +0.110		
D	基本尺寸			26		32		40		
	极限偏差			+0.088 +0.055		+0.107 +0.068				
	基本尺寸			30		40		50		
	极限偏差			0 -0.130		0 -0.160				
适用于多工位自动冷锻机	D_1		12	15	18	21	24	27	30	
	d_1		10	12	15	17	20	22	24	
	$\alpha / (^\circ)$		12	16	18	20				
	同轴度 ϕ_t		0.05			0.06				
	垂直度 l		0.04			0.05				

5.2 滚压工具设计

滚压螺纹使用的工具有三种：滚丝轮、搓丝板、扇形丝板。

滚丝轮是滚丝机使用的工具，搓丝板是搓丝机使用的工具，扇形丝板是行星式滚丝机使用的工具。

(1) 滚丝轮 (图 25.7-65)

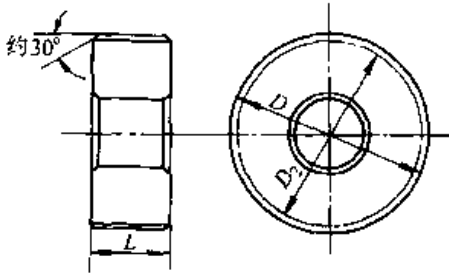


图 25.7-65 滚丝轮

滚丝轮的尺寸按下列公式确定

1) 滚丝轮中径 D_2

$$D_2 = Z d_2$$

式中 Z —— 滚丝轮螺纹线数；
 d_2 —— 制件螺纹中径。

2) 滚丝轮外径 D

$$D = D_2 + 2h_1$$

式中 h_1 —— 螺纹牙顶高。

3) 螺纹升角 β

$$\tan\beta = \frac{P}{\pi d_2}$$

式中 P —— 螺距；

d_2 —— 制件螺纹中径。

4) 滚丝轮的宽度 L 一般为 50~150 mm。

加工普通螺纹的滚丝轮的基本尺寸和技术要求见 GB/T 971—1994。

使用两个滚丝轮进行滚压时，需要用支板将坯料支撑住，如图 25.7-66 所示，支板顶部通常

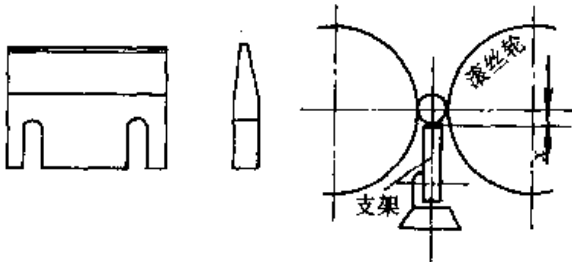


图 25.7-66 支板

焊有高速钢或硬质合金块。

滚压时支板的位置 x (mm) 按下式确定：

$$x = \frac{d}{2} + 0.2 \text{ mm}$$

式中 d —— 制件螺纹外径 (mm)。

(2) 搓丝板 (图 25.7-67)

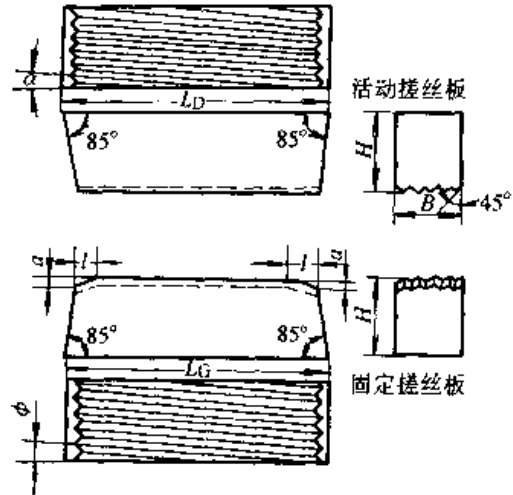


图 25.7-67 搓丝板

搓丝板的升角 β 由下式决定：

$$\tan\beta = \frac{P}{\pi d_2}$$

式中 P —— 螺距；

d_2 —— 制件螺纹中径。

搓丝板的全长 L 一般规定为螺纹直径的 14~20 倍。

切入部分的长度和退出部分的长度 l 取螺纹外径的 3 倍，其角度是 $3^\circ \sim 7^\circ$ 。因搓丝板的两侧容易损伤，所以要磨成 $30^\circ \sim 45^\circ$ 角。在制作搓丝板时，为了减少热处理变形和提高螺纹精度，热处理后要对搓丝板，包括切削刃部分用螺纹磨床进行精磨，热处理硬度最好为 58~62HRC，若硬度过高，容易损伤。搓丝板是使用范围很广的工具，除用于滚压螺纹外，也用于滚花和木螺钉的螺纹滚压。

加工普通螺纹的搓丝板的基本尺寸和技术要求见 GB/T 972—1994。

(3) 扇形丝板 (图 25.7-68)

扇形丝板和转动丝辊的工作部分尺寸 (图 25.7-69) 按下列公式确定：

1) 转动丝辊的外径 D_1

$$D_1 = Zd_2 + 2h_1$$

式中 Z ——转动丝辊螺纹线数;
 d_2 ——制件螺纹中径;
 h_1 ——螺纹牙顶高。

2) 扇形丝板内径 D_2

$$D_2 = (Z + 2) d_2 + 2h_1 + a$$

式中 Z ——转动丝辊螺纹线数;
 d_2 ——制件螺纹中径;
 h_1 ——牙顶高;
 a ——修正值。

3) 扇形丝板外径 D_3 根据所使用的机床决定。

4) 切入部分与退出部分的长度取 $2.5P$ 以上 (P 为螺距)。

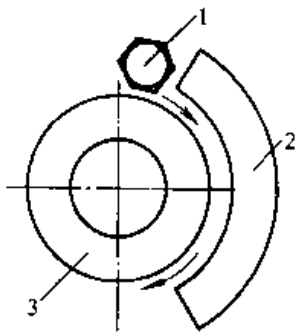


图 25.7-68 扇形丝板
 1—坯料 2—扇形丝板 (固定)
 3—转动丝辊 (回转)

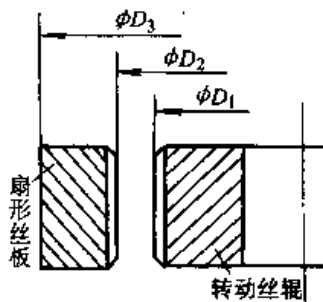


图 25.7-69 扇形丝板与转动丝辊

6 冷锻模具技术条件 (JB/T 4213—1996)

(1) 技术要求

1) 模具尺寸、偏差、形位公差和表面粗糙度等应符合相应模具标准的技术要求和本技术条件的规定。

2) 模具材料及热处理, 亦可按 JB/T 7715—1995 《冷锻模具用钢及热处理技术条件》的规定。

3) 未注公差尺寸的极限偏差按 GB/T 1804—2001 m 级 (中等级) 的规定。

4) 模具表面不允许有裂纹、锈蚀、工作表面的划痕、热处理软点、脱碳区及影响使用的缩孔、机械损伤等缺陷。

5) 模具的锥度配合面 (内表面和外表面), 其接触面积不低于 70%。

6) 模具在压装过程中, 不得有啃套现象。

(2) 检验方法

1) 模具模孔用光滑极限量规、内径千分表或气动量仪中的任意一种量具检验。

2) 模具配合内、外圆柱面, 用千分尺或卡规检验。

3) 模具配合内、外圆锥面, 用万能角度尺、锥度量规或相应的仪器检查。

4) 模具长度按其公差不同, 分别采用相应的千分尺或游标卡尺检查。

5) 模具的模腔长度按不同的偏差和型腔尺寸, 用深度尺、深度千分尺或百分表检查。

6) 冲头的窝型尺寸用样板、千分表或投影仪检查。其中十字槽冲头用综合量仪检查。

7) 模具的形位公差检查按 GB/T 1958 进行。

8) 模具硬度用硬度计在非工作面上检查, 检测点不少于 3 点。

9) 模具表面粗糙度采用“表面粗糙度比较样块”或相应测试仪器检查。

参 考 文 献

- 1 全国锻压模具标准化技术委员会编. 中国机械工业标准汇编: 锻压模具卷, 上. 北京: 中国标准出版社, 1999
- 2 肖景容. 精密模锻. 北京: 机械工业出版社, 1985
- 3 夏巨谟, 丁永祥, 胡国安. 闭式模锻. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 4 刘景茂. 齿轮无飞边模锻的点滴经验. 锻压机械, 1986 (2): 29~30
- 5 史万明. 半闭式模锻工艺及应用. 锻压技术,

- 1995 (3): 8~10, 12
- 6 屠延庚, 洪慎章. 闭式模锻工艺的应用. 锻压技术, 1993 (4): 6~9
 - 7 杨予勇等. 快速装卸精锻模设计. 模具工业, 1999 (5): 34~36
 - 8 (俄) М. З. 叶尔曼诺克著. 铝合金壁板挤压. 李西铭, 张淦泉译. 北京: 国防工业出版社, 1988
 - 9 韩世焯. 多向模锻. 上海: 上海人民出版社, 1977
 - 10 锻模设计手册编写组. 锻模设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1991
 - 11 В. Г. КОНДратенко, М. В. БЛНнов, М. А. члннч, Ф.С. АъдулласВ, С. В. Бузинов. Технологические процессы изготовления поковок с Фланцами на прессах Для штамповки Ъ разынлж Мамрицах. Р. ш. П, 1985, No. 4
 - 12 В. Н. Сеендин, И. П. АКАРО, Н. Н. Волосоь. прогрессные Технологи я. оьорудование И Автоатмзация КузНечнош-тамповочного производства Раказа, 1989
 - 13 А. М. СМурь, Канд. техн. наук. НЗ опнта разраьотки, Осьюенпя И ьнедренпя штампъ сразьеннпй цатрпцей Для цеталлозконошной штамповки Сталъных поковок. К. Ш. П, 1992, No. 6
 - 14 霍连魁. 薄壁锻件无飞边无连皮锻造. 锻压技术, 1997 (4): 8~9
 - 15 毛厚军. 汽车转向节的少飞边锻造技术. 锻压技术, 1998 (5): 16~19
 - 16 李东平, 白志成, 梁继才, 刘志平, 李彬, 锤上无飞边模锻的探讨. 锻压技术, 1999 (6): 6~8
 - 17 上海交通大学冷挤压技术编写组. 冷挤压技术. 上海: 上海人民出版社, 1976
 - 18 贾宪安, 胡九扬. 热挤压工艺与模具设计. 北京: 机械工业出版社, 1986
 - 19 杨长顺. 冷挤压模具设计. 北京: 国防工业出版社, 1994
 - 20 吴诗悖. 冷温挤压技术. 北京: 国防工业出版社, 1995
 - 21 洪深泽. 冷挤压工艺及模具设计. 北京: 机械工业出版社, 1995
 - 22 王英, 段道华, 夏巨谏, 丁永祥. 正向热挤压凹模优化设计方法的研究. 中国机械工程, 1997 (4), Vol. 8: 49~52
 - 23 夏巨谏, 洪深泽, 徐光祺. 精密塑性成形工艺. 北京: 机械工业出版社, 1999
 - 24 A. Y. C, Nee, S. K. Ong and Y. G. Wang. Computer Applications in Near Net-Shape Operations. Springer, 1999
 - 25 张猛, 胡亚民. 摆辗技术. 北京: 机械工业出版社, 1998
 - 26 张承鉴. 辗锻技术. 北京: 机械工业出版社, 1986
 - 27 胡正寰, 张康生, 王宝雨, 张巍. 楔横轧理论与应用. 北京: 冶金工业出版社, 1996
 - 28 胡正寰等. 斜轧与楔横轧的原理. 工艺及设备. 北京: 冶金工业出版社, 1985
 - 29 Rajiv Shivpuri. Past Development and Future Trends in the Rotary or Orbital Forging Process. Materials Shaping Technology, 1988, Vol. 6, No. 1: 55 ~ 71, Spring-Verlag New York Inc
 - 30 林法禹. 特种锻压工艺. 北京: 机械工业出版社, 1991



中国模具设计大典
CHINA DIE & MOULD DESIGN CANON

第
26
篇

粉末冶金与粉末锻造模具设计

主 编 韩凤麟

编 写 韩凤麟 印红羽
苏学宽 张华诚
夏巨湛 毕景维
马福康 甄美茹

审 稿 中国模具设计大典编委会



中国机械工程学会
中国模具设计大典编委会



第 1 章 概 述

粉末冶金是一门制造金属粉末和以金属粉末(包括混入有非金属粉末者)为原料,用成形-烧结制造材料或制品的技术学科。广义上,它也包括以氧化物、氮化物、碳化物等非金属化合物粉末为原料,用成形-烧结制造材料或制品的技术。

这里所讲的成形,系指赋予金属粉末等原料粉末以所要求的形状与尺寸。

用粉末冶金技术制造的金属材料或制品叫做粉末冶金材料或制品,或谓之烧结金属材料或制品。

1 粉末冶金技术概要

粉末冶金是一门古老的冶金技术。我国早在 2500 多年以前的春秋末期,就已用块炼铁(即海绵铁)锻造法制造铁器了。公元 4 世纪,古印度用同一工艺制成了举世闻名的德里铁柱(高 7.2 m,重 6 t)和达尔铁柱(高 12.5 m,重 7 t)。块炼铁是用木炭还原铁矿制成海绵铁,这和现在还原铁粉的生产工艺相似。以块炼铁为原料锻造铁器的工艺过程和现代的粉末锻造工艺相似,故可称之为早期的粉末锻造技术。这项技术后来由于炼铁技术的兴起而从历史舞台上消失。进入 18 世纪后,为制取金属铂,粉末冶金重新焕发了青春。从而,使粉末冶金这门古老的冶金技术开始进入现代科学技术发展的行列。

继金属铂之后,在 19 世纪后期至 20 世纪初,用粉末冶金方法制取了具有划时代意义的金属钨。之后,又用粉末冶金方法制取了钼、钽、铌等难熔金属,从而为现代电子与电光源工业的发展奠定了基础。

20 世纪初,继难熔金属之后,用粉末冶金技术陆续研制成功了硬质合金、多孔性金属含油轴承、钨-铜与钨-铜-镍复合材料等。

20 世纪 40 年代,欧洲开始工业生产铁粉。第二次世界大战时,最引人注目的粉末冶金技术是铁基制品的发展。当时,德国为用含浸石蜡的烧结铁弹带取代铜弹带,铁粉的最高月耗用量达到过 3 175 t。

汽车工业的发展推动了现代粉末冶金技术的进步。汽车制造业现已成为粉末冶金工业的最大用户,1999 年欧洲生产的粉末冶金结构零件 80%用于汽车制造,在日本为 88%,在北美为 75%。

现代粉末冶金工业,除了通常所讲的生产铁粉、铜粉等金属粉末和生产铁基、铜基粉末冶金制品等的产业外,广义地讲,还应包括用粉末冶金技术制造的所有产品门类的产业,诸如难熔金属制品、硬质合金、金刚石-金属制品、软磁与硬磁铁氧体元件、技术陶瓷、电触头材料、多孔性金属过滤器、金属-石墨材料等产业。现在用粉末冶金技术制造的材料或制品,大体上可分为以下五类:

1) 粉末冶金机械零件,其中包括烧结金属自润滑轴承、烧结金属结构零件及烧结金属摩擦材料与制品等;

2) 铁氧体磁性材料,其中包括永磁铁氧体材料、软磁铁氧体材料;

3) 硬质合金材料与制品,其中包括工具材料、耐磨材料及耐高温与耐腐蚀材料;

4) 难熔金属或高熔点金属材料与制品,诸如钨、钼、钽、铌;

5) 精细陶瓷材料与制品。

以上五大类材料与制品都是以粉末为基本原料,用成形-烧结工艺制造的。因此,使用的生产设备大体上也是相互通用的,诸如粉末成形压力机、冷或热等静压机。当然,有些设备是不同的,如烧结炉等。这本大典中所介绍的模具既照顾到了以上五大类粉末冶金材料制造中通用的模具,又以粉末冶金零件生产中使用的模具为主要对象给予了较详细的说明。

粉末冶金机械零件是当前粉末冶金工业的主导性产品。广泛使用的粉末冶金机械零件材料有烧结铁、烧结碳钢、烧结低合金钢、烧结合金钢、烧结不锈钢、烧结铝与烧结铝合金、烧结铜与烧结铜合金、烧结镍基合金等。

早期的粉末冶金机械零件主要是含油轴承与

垫圈之类制品,形状简单且力学性能较低。近40年来,由于钢铁粉末、粉末成形压机、模具、烧结炉等的不断改进,组合烧结、粉末锻造、注射成形、温压以及冷、热等静压等工艺技术的相继开发,制造的粉末冶金结构零件形状愈来愈复杂,材料的力学性能愈来愈高,像汽车发动机中承受动态应力最高的连杆,现在不但可用粉末锻造生产,甚至可用一次压制-烧结工艺制造。利

用温压技术,用一次压制-烧结就可使铁基粉末冶金零件的材料密度达到 7.4 g/cm^3 以上,从而使材料的力学性能显著增高。因此,粉末冶金机械零件的市场一直在不断扩大。

表26.1-1为粉末冶金零件与材料的种类与用途。由表26.1-1可看出粉末冶金工业应用范围之广阔与未来发展的前景。

表 26.1-1 粉末冶金零件的种类与用途

类别	种别	材料及特性	应用例
机械零件	结构零件	铁、钢、铜合金、铝合金等制造的齿轮及各种受力件	汽车、机床、农机、纺织机械、仪表、缝纫机、复印机、电动工具等
	滑动轴承	1) 烧结金属含油轴承。孔隙度为15%~25%的铁基与铜基多孔性轴承,孔隙中充满润滑油 2) 钢背烧结合金轴承。第一层为钢背,第二层为烧结铜铝合金 3) DU、DX轴承等	汽车、机床、飞机、内燃机、铁路车辆、纺织机械、缝纫机、冶金机械、录音机、录像机、微电机等 汽车和内燃机中的曲轴轴瓦、连杆轴瓦等
	摩擦零件	由钢背与铁基或铜基粉末组合物制成的离合器片或刹车带等	汽车、飞机、坦克、工程机械、机床及动力机械上的摩擦组件
	过滤元件及其他多孔性材料	1) 过滤元件。是由球形青铜、镍、铁、不锈钢及其他金属粉末制造的,孔隙均匀分布的,杯状、圆锥状、圆筒状及棒状的制品 2) 汗冷材料。是由镍、镍铬合金、不锈钢及其他耐腐蚀材料制造的孔隙度达50%的棒材、带材、筒状制品 3) 纤维金属制品。是由细金属纤维制造的高孔隙度(达80%)制品	化工、机床、飞机、汽车、内燃机等中用于过滤各种气体与液体,用作射流元件中的多孔性金属过滤器 飞行器中用作多孔性汗冷元件 吸声板,特殊用途的过滤元件
电器零件与材料	电触头	由难熔金属(W、Mo等)与银、铜等制成的假合金	点焊机、滚焊机、各种火花仪器与开关设备用的触头
	集电零件	1) 金属-石墨电刷。是由银与石墨或铜(或铜合金)与石墨制成的假合金 2) 烧结合金滑板。是用粉末冶金法制造的铁基与铜基合金滑板	各种发电机、电动机等用的集电电刷 电机车、无轨电车的集电滑板
	真空材料	铁、各种难熔金属(W、Mo等)及其合金	真空器件的封接材料
	灯泡与电子管用材料	W、Mo及其合金与Ta、Nb、Re等制造的线材、棒材、板材	灯泡与电子管等

续表 26.1-1

类别	种别	材料及特性	应 用 例
磁性零件	软磁零件	纯铁、铁铜磷钨合金、铁硅合金、铁镍合金、铁铝合金材料与制品	无线电设备、仪器、仪表等
	硬磁零件	铝镍铁合金、铝镍钴铁合金、钐钴合金、钕铁硼合金等的制品	
	磁介质零件	由软磁材料与电介质组合物制成的制品，如 Al-Si-Fe 粉芯等	
工具材料与制品	硬质合金	1) 钨-钴类合金。以碳化钨为基以钴为粘结剂的合金 2) 钨-钛-钴合金。以碳化钨、碳化钛为硬质相，以钴为粘结相的合金	金属加工、凿岩工具、量具、耐磨零件 金属加工、用于加工硬度高的钢及其他金属
	合金工具钢	高速钢等	切削工具、模具等
	金刚石-金属工具	碳化钨-镍-金刚石粉或铜合金-金刚石粉的组合物	研磨工具、切割砂轮、凿岩钻头
耐热零件	非金属难熔化合物基合金	碳化硅、碳化硼、氮化硅、氮化硼等为基体的合金	高温下工作的各种零件、磨具、磨料
	难熔金属化合物基合金	过渡族金属 (W、Mo、Ta、Nb、Ti 等) 的碳化物、硼化物、硅化物、氮化物，它们彼此间的及与各种金属的化合物	高温下工作的涡轮机中的各种零件，切削工具
	弥散强化合金	Al-Al ₂ O ₃ 、Cu-Al ₂ O ₃ 、Nb-Al ₂ O ₃ 、Ni-Cr、ThO、Ag-Al ₂ O ₃ 等，具有良好的高温特性	用于较高温度的耐热零件，如 Al-Al ₂ O ₃ 制作的内燃机活塞
原子能反应堆材料	核燃料材料	将 U 及其化合物 UAl ₂ 、UAl ₃ 、UAl ₄ 、UBe ₁₃ 、UC、UC ₂ 、UO ₃ 等分散于基体金属 Al、Be、Fe、Mg、Mo 等中的弥散型燃料	用作原子能反应堆的燃料
	减速和反射壁材料	热中子减速能量大，且吸收断面积小的物质，如 Be、BeO、Be ₂ C 等	原子能反应堆
	结构材料	热中子吸收断面积小的金属与合金，如 Al、Be、Mg、Zr、Al-Al ₂ O ₃ 、Mo、Mo 合金、Ni 基合金、Ni-Cr 合金、Co 基合金、TiC 基金属陶瓷等	
	控制与屏蔽材料	热中子吸收断面积大，强度高，质量轻和耐蚀性好的金属与合金，如 B、B ₄ C	

1.1 粉末冶金零件生产过程

尽管粉末冶金零件的材料千差万别，但其生产过程大同小异。图 26.1-1 示典型的粉末冶金零件生产过程。

兹以铁基粉末冶金零件为例予以说明。其基本原料粉末为铁粉，所添加的合金元素粉末有石墨粉、铜粉、镍粉、钨粉、磷铁粉等，另外添加

以压制用固体润滑剂，诸如硬脂酸锌、硬脂酸等，将它们装于混料机中混合均匀。之后，将混合好的粉末定量地装于压模中，于粉末成形压机上压制成形，制成生坯，即未烧结的零件压坯。然后，将压坯装于烧结炉中，在保护气氛下，于低于主要组分熔点的温度下进行加热，也就是所谓的烧结，以使粉末颗粒相互焊接在一起，从而赋予烧结的零件压坯以足够高的力学强度，以满

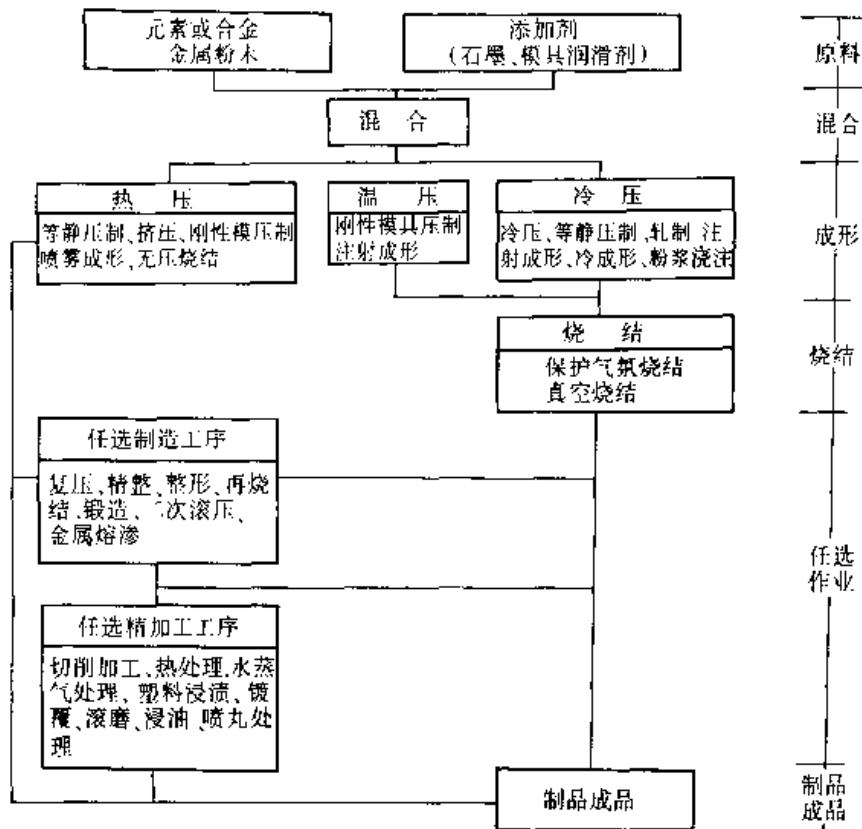


图 26.1-1 粉末冶金零件或制品生产过程

足零件的各项技术要求。因此，也将烧结的零件压坯称为烧结金属零件。有时，添加量较少的其他组分，诸如铜，在烧结温度下会熔化，通常将有液相出现的烧结过程称为液相烧结。但是，液相的数量必须是有限的，以便使烧结的零件压坯保持其形状。在一些特殊场合，压制是在高温下完成的，这种压制被称之为热压或加压烧结。

在许多场合下，烧结的零件还需要进行后续处理或加工，诸如精整、整形、镀覆、水蒸气处理、去毛刺、切削加工、热处理和浸油等。

由于粉末冶金是在低于材料熔点的温度下，通过成形-烧结制造金属材料与制品的，所以，也将粉末冶金称之为固态冶金，以与传统的熔炼冶金相区别。

1.2 粉末冶金制品的本征特点

用粉末冶金工艺生产零件具有质优、价廉、节能、省材等优点，而且有的机械设备中的一些零件只能用粉末冶金法制造。

(1) 粉末冶金机械结构零件

在粉末冶金制品中，机械结构零件是所占比

重最大的一类产品。其中大部分是铁基零件，此外，铜基、黄铜基、青铜基及铝基粉末冶金零件的产量也很大。一般说来，这类粉末冶金制品，其力学性能并不一定比由锻件或棒料切削加工的同样零件好，可是，它们能完全满足零件使用条件的要求。粉末冶金零件的尺寸精度比锻造件高。在许多场合，使用粉末冶金零件的主要理由是节能、省材、质优、价廉、生产效率高，也就是社会效益和经济效益好。可是，最近的技术发展（诸如粉末锻造、温压）表明，对上述观点必须予以修正。用这些新技术生产出的粉末冶金零件，其力学性能甚至可优于用传统工艺（诸如铸造、锻造）制造的零件。现在美国福特汽车公司的发动机中大量使用的粉末锻造连杆就是一个最有说服力的实例。

(2) 难熔或高熔点金属材料

某些金属，特别是熔点很高者，即所谓的难熔金属或高熔点金属，用一般的熔铸冶金法无法或很难生产，并且它们在铸态往往很脆。钨、钼、钽及相关金属皆属于这一类金属材料。

现在，这类材料主要是用粉末冶金法生产

的。当烧结的粉末压坯的相对密度不高于90%时,在适当温度下,可进行机械变形,并逐渐形成择优取向的显微结构,从而成为完全致密态材料,甚至在室温下都具有一定的延性。

(3) 复合材料

这是一类由两种或几种甚至在液态都相互不溶解的金属,或金属与非金属(诸如氧化物)和其他难熔材料的混合物组成的材料。这也是一种只能用粉末冶金技术制造的材料。其中主要有:

1) 电触头材料。诸如铜-钨合金、银-钨合金、银-氧化镉合金等。

2) 硬质合金。在这类合金中居于首位的是钨-钴合金,主要用于制造切削工具、耐磨零件(诸如拉丝模)及金属的热锻模具。其他类型的硬质合金(诸如TiC基硬质合金)和以氮化物、碳氮化物及硼化物为基体的硬质材料的使用量也在增多。

3) 摩擦材料。用于制造制动器与离合器衬面。它们是在铜合金或其他金属基体中镶嵌以磨料与其他非金属材料制成的。

4) 金刚石切削工具。特别是磨轮,是由小的金刚石颗粒均匀地分布于金属基体中制成的。

5) 含有细的弥散的非金属相的锻轧烧结材料制品。倘若弥散强化颗粒为氧化物,则将这些材料叫做ODS(氧化物弥散强化)材料。这些材料的高温强度优于基本组成相同的铸锻材料制品。

上述各种复合材料用其他方法无法或很难生产,只能用粉末冶金法制造。

(4) 多孔性材料

这里所讲的多孔性材料是指为某些用途而专门设计制造的,具有大量的可控孔隙的材料。这类材料中的主要产品是多孔性金属含油轴承和金属过滤器,前者也叫做自润滑轴承。含油轴承是一类重要的粉末冶金制品。微电机中用的含油轴承现在年产量数以亿件计。这些制品除粉末冶金技术外,用其他方法是无法生产的。

(5) 特种高性能合金

在粉末冶金中一个在快速增长的领域是烧结高速钢和镍基与钴基高温合金。这些粉末冶金制品的性能皆优于相应的铸锻制品。它们一般是,将原料粉末,譬如高速钢粉,压制成坯料或板坯,烧结后经锻造或挤压,再用传统方法进行成

形。粉末冶金法的优点在于材料利用率高;生产的材料显微组织较细、较均匀,力学性能及耐磨性较好。用粉末冶金技术还可以开发以微晶或非晶粉末为基础的新型材料,微晶或非晶组织是在用雾化法制造粉末时由于液滴以很高速率冷却形成的。由微晶或非晶粉末制造之粉末冶金材料,其强度、延性及热稳定性都很高。

1.3 粉末冶金技术的限制

就粉末冶金零件生产而言,粉末冶金技术当前仍受到下列限制:

1) 原料粉末的性能对烧结制品的质量影响极大,金属粉末的价格比相应的一般金属材料高,因此,用粉末冶金法制造的零件在重量上就受到一定限制。

2) 粉末成形模具造价高,因此粉末冶金零件须批量生产,最小批量应不少于5 000~10 000件,否则经济效益差。

3) 现在粉末冶金零件基本上是采用单轴向模压成形的,由于受脱模的限制,在垂直压制方向的面上的复杂形状,诸如沟槽等,都无法成形,只能烧结后进行切削加工。

4) 粉末的成形压力因零件的材质与形状而异,一般为49~686 MPa。现在,常用的粉末成形压机的最大吨位为7 500 kN左右,因此,成形零件的尺寸就受到一定限制。当用等静压成形时,成形零件的尺寸受到压力缸尺寸大小的限制。

5) 粉末烧结制品一般皆残存有一定量的微小孔隙,因此,其力学性能,特别是延性不及由锻件采用传统机械加工制造的。当然,用粉末锻造制造者另当别论。

6) 金属粉末与多孔性烧结制品的表面积大,易氧化,存在储存和后续表面处理的问题。

7) 粉末冶金技术比其他制造工艺更需要专业技术知识与实际生产经验。

上述种种限制,通过粉末制造技术、零件设计、粉末成形压机与模具设计、烧结技术与烧结设备等的不断改进;通过粉末锻造、温压、组合烧结、烧结钎焊等新技术的不断开发,正在逐步获得解决。这些都是就粉末冶金零件和铸锻-切削加工工艺相比较而言的。对于多种只能用粉末冶金工艺生产的材料或制品而言,就是另外一回

事了。

2 粉末冶金制品的基本生产工艺

现在粉末冶金工业中使用的金属粉末成形方法主要有五种：①传统的粉末冶金法，即单轴向刚性模具压制成形法，这是当前粉末冶金工业普遍采用的方法；②金属注射成形法（MIM）；③粉末锻造法（P/F）；④热等静压法（HIP）；⑤冷等静压法（CIP）。其中，前三种用于制造具有最终形状与尺寸的各种金属与合金零件，是粉末冶金的基本制造工艺。冷、热等静压法一般用于生产形状与尺寸接近制成品的各种形状复杂的粉末冶金零件。下面对它们分别予以扼要说明。

2.1 传统粉末冶金工艺

传统粉末冶金工艺的生产工序和烧结后的任选后续加工工序示于图 26.1-2。首先，将配制的高纯度的混合粉或合金化粉装于模具中，于一定压力下压制成形，随即将之从模具中脱出。之后，将压坯于一可控气氛气体或真空炉中，在低

于基本材料熔点的温度下进行烧结（加热），以使粉末颗粒之间形成冶金结合。

粉末冶金材料组织中通常含有一定量的可控的微小孔隙，这些微小孔隙对声与振动有阻尼作用。利用这些微小孔隙还可赋予粉末冶金制品特殊性能，诸如含浸以油与固体润滑剂，从而使其具有和白润滑轴承一样的自润滑性能；可浸渍树脂，从而密封相互连通的微小孔隙；可熔渗以熔点较低金属或合金，以增高零件的材料强度与冲击韧性；可通过水蒸气处理来增强材料的耐蚀性。通过调整粉末特性、粉末组成、压制工艺及烧结条件可将微小孔隙的数量与特性控制在一定范围之内。可控孔隙度的一种常见应用是多孔性金属过滤器。

2.2 金属注射成形

与传统粉末冶金工艺相比采用这种工艺可以制造形状更为复杂的零件，从而扩大了用粉末冶金工艺制造复杂形状零件的能力。其工艺是将金属粉末与粘结剂的混合料注射到模型内，粉末与

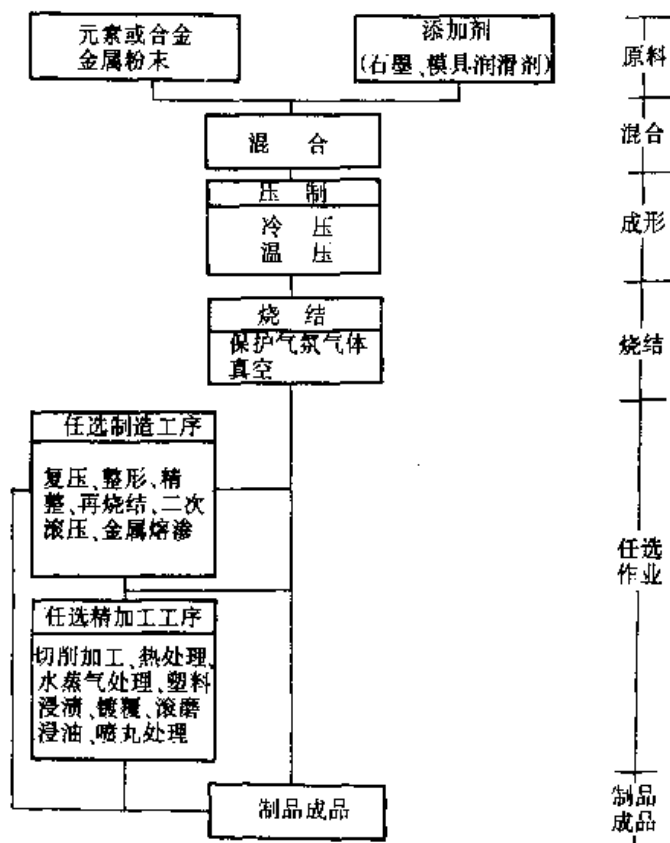


图 26.1-2 传统粉末冶金工艺流程

粘结剂都是为这种工艺专门配制的。金属注射成形工艺和塑料注射成型与金属高压压铸很相似，它们可制造的零件形状和特点也大体上相同。成形与脱粘后，将零件成形坯进行烧结，以获得接近铸造状态的材料性能。金属注射成形的工艺流程示于图 26.1-3。

金属注射成形零件材料的孔隙度很小。其材料的密度大于 96% 理论密度，和材料的力学性能与类似合金的精铸件相同。表 26.1-2 列出了金属注射成形钢零件烧结态的拉伸性能。

表 26.1-2 金属注射成形零件材料的性能^①

材料牌号 (状态)	最小值			典型值					
	拉伸性能			拉伸性能			密度 /g·cm ⁻³	硬度	
	抗拉强度 /MPa	屈服强度 (0.2%) /MPa	伸长率 (于 25 mm 中) /%	抗拉强度 /MPa	屈服强度 (0.2%) /MPa	伸长率 (于 25 mm 中) /%		表观值 (直接)	显微硬度 (换算的)
低合金钢									
MIM-4 600 (烧结态)	255	110	20.0	290	124	40	7.6	45HRB	
MIM-4 650 (烧结态)	379	172	11.0	441	207	15	7.5	62HRB	
MIM-4 650 (淬火与回 火态)	1 482	1 310	<1.0	1 655	1 482	2	7.5	48HRC	55HRC
MIM-2 700 (烧结态)	379	207	20.0	414	255	26	7.6	69HRB	
不 锈 钢									
MIM-316L (烧结态)	448	138	40.0	517	172	50	7.6	67HRB	
MIM-Duplex (烧结态)	469	179	33.0	538	228	43	7.6	84HRB	
MIM-17-4PH (烧结态)	793	648	4.0	896	800	6	7.5	27HRC	
MIM-17-4PH (固溶处理 与时效的)	1 069	965	4.0	1 186	1 089	6	7.5	33HRC	42HRC

①来源于 MPIF 35 金属注射成形零件材料标准，1993~1994 年版。

2.3 粉末锻造

粉末锻造是将预成形坯装在闭合模具中热锻成最终形状，而预成形坯是用传统粉末冶金工艺制作的。粉末锻造材料中已不存在微小孔隙，因此，粉末锻造材料的韧性、冲击能量及疲劳强度都比传统粉末冶金材料高得多。预成形坯的材料

重量很接近于成品零件的重量，粉末锻造零件实际上没有飞边，并具有精密的尺寸公差。图 26.1-4 为最常用的粉末锻造工艺流程。

粉末锻造零件的力学性能取决于其制造工艺参数、材料的化学组成及热处理。表 26.1-3 列出了几种粉末锻造铁基结构零件材料的典型力学性能。

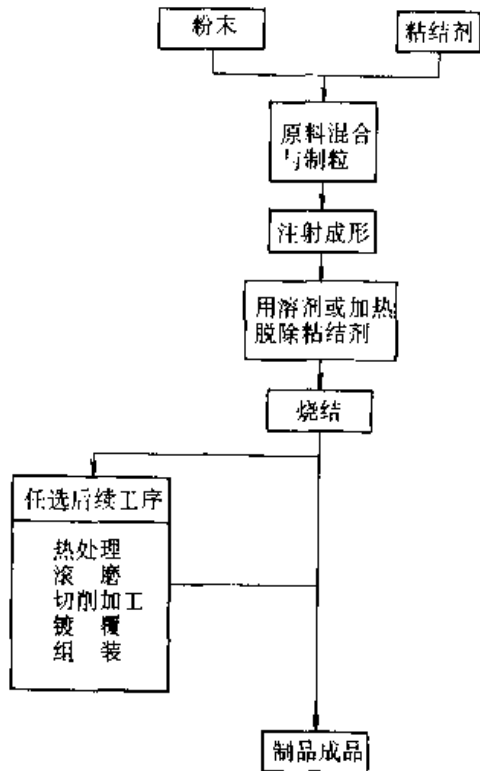


图 26.1-3 金属注射成形的工艺流程

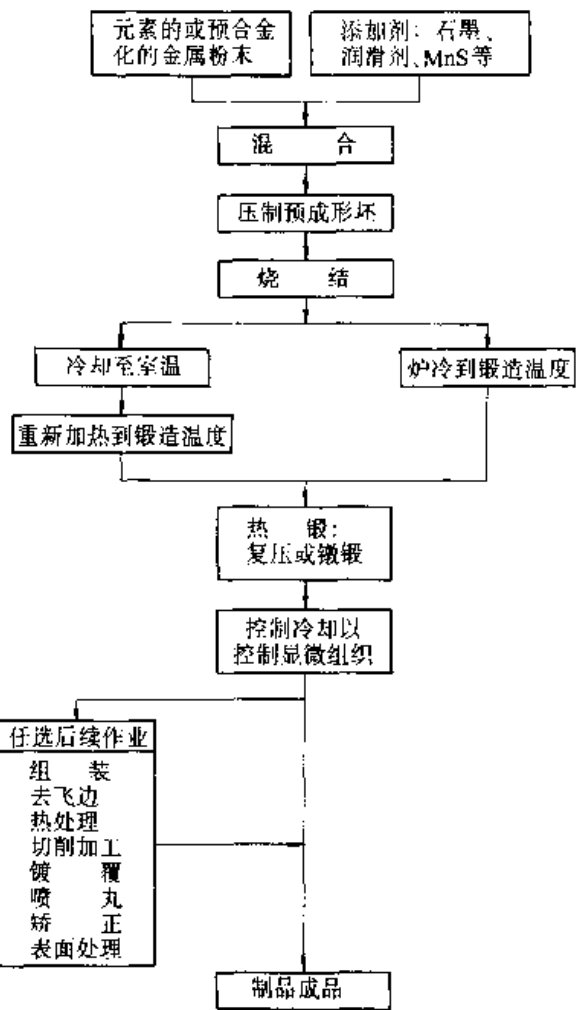


图 26.1-4 粉末锻造工艺流程图

表 26.1-3 粉末锻造铁基结构零件材料的典型力学性能 (ASTM B 848)^①

合金	热处理 ^②	硬度	抗拉强度/MPa	屈服点/MPa	伸长率/%	冲击吸收功 ^② /J
P/F-1040	N	80HRB	515	310	27	5.4
P/F-1040	Q	30HRC	965	825	12	20.3
P/F-1060	N	80HRB	585	345	22	2.7
P/F-1060	Q	40HRC	1 345	1 205	8	13.6
P/F-10C40	N	97HRB	690	480	15	4.1
P/F-10C60	N	23HRC	790	670	11	2.7
P/F-11C60		28HRC	895	620	11	4.1
P/F-4220		84HRB	515	380	25	33.9
P/F-4240	N	93HRB	620	415	18	16.3
P/F-4260	N	22HRC	760	515	15	6.8
P/F-4620	N	96HRB	550	415	20	33.9
P/F-4620	Q	28HRC	965	895	24	81.3
P/F-4620	Q	38HRC	1 310	1 070	20	47.5

①表中数据都是由具有规定的化学组成、密度和热处理试样坯料经切削加工制成的试件测定的；

②夏比 V 型凹口冲击吸收功；

③N：正火的；Q：淬硬和回火到表中所列硬度值。

2.4 温压工艺

温压工艺是一种制造密度高于 7.2 g/cm^3 的铁基粉末冶金制品的新工艺。图 26.1-5 示温压工艺流程。它本质上仍属于传统粉末冶金工艺的范畴，可应用传统的粉末冶金成形设备，并可采

用大多数粉末/材料系统，只是需要将原料粉末和模具加热到 $130 \sim 150^\circ\text{C}$ 。为保证良好的粉末流动性与粉末充填性，必须将整个系统的温度进行严格控制。粉末与模具二者的温度偏差均应控制在 $\pm 2.5^\circ\text{C}$ 范围以内。图 26.1-6 为推荐的粉末与模具的温度。

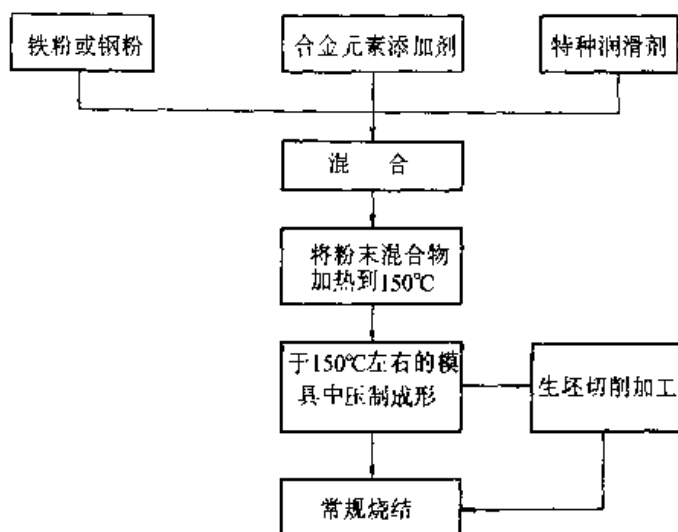


图 26.1-5 温压工艺流程图

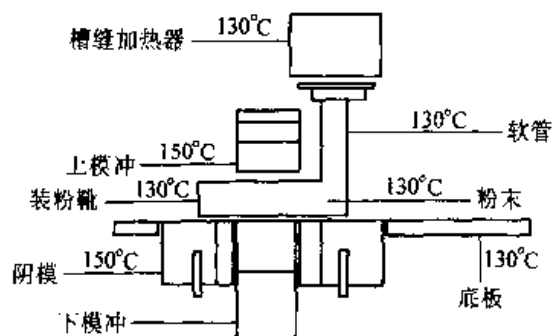


图 26.1-6 对温压工艺推荐的粉末与模具的温度

将混合好的粉末混合物用各种加热系统加热到所需的均一温度。随后，经管道将之送到装粉靴。在整个生产过程中，管道和装粉靴都要加热，并要对外部隔热，以免热量散失。另外，须使粉末混合物温度均一。

模具也必须加热。可用电阻式加热器对模具进行加热和用热电偶控制温度。最重要的是，全部模具必须处于均一加热状态，以免加热不均一，致使模具零件不匹配，工作时发生相互碰撞。上模冲组合件与大的芯棒组合件都应加热。一般说来，下模冲不直接加热，因为下模冲和阴

模一直保持接触，经阴模传导可间接进行加热。要注意使阴模传递给压力机机架的热量减低到最低限度，以免损伤压力机。必要时，可用简便的隔热方法来限制从阴模传递给台板的热量。

对于模具设计，也必须采取一些相应措施。鉴于阴模的作业温度不低于 130°C ，采用冷缩配合的硬质合金镶嵌阴模时，必须保证阴模外套和硬质合金阴模之间有足够大的过盈配合量，以使镶嵌的硬质合金阴模处于足够高的压缩应力作用之下。另外，由于温压工艺的压制力都比较大，一般为 $400 \sim 700 \text{ MPa}$ ，故设计的模具必须具有足够高的强固性。

温压使用的生产设备和常规单轴向粉末冷压制成形完全一样，只是需要对粉末成形压力机进行一些技术改造。也就是需在压力机上添置一套粉末加热输送系统与模具加热装置。

(1) EL-TEMP 温压系统

这个系统是美国 Hoeganaes Corp. 和 Cincinnati Incorp. 共同开发的。它将控制粉末体加热与输送

的功能与使用加热模具的经过改造的 Cincinnati 压机实现了—体化。EL—TEMP 系统使用性能的关键因素是粉末体的温度稳定、均一，粉末输送量与供给量精确。为了克服粉末体中空气的绝热作用，EL—TEMP 系统是使一个个粉末颗粒暴露于—系列温度可控的加热表面，以保证传热均一。快速加热可将氧化减低到最低限度。同时采用闭环控制，从而可防止影响粉末体性能的过热发生。

一旦粉末体全部均—地达到了所需温度，温度可控的输送与供粉系统就将之输送到模具型腔中。EL—TEMP 系统是利用—能使粉末体温度保持不变的中间送料仓，将加热的粉末以适合大小不同零件的容积与生产速率自动输送到装粉靴。为了能对装粉靴的动作进行程控，EL—TEMP 系统使用的是和计算机数控 (CNC) 伺服驱动装置相连接的容积一定的、温度可控的装粉靴。模具加热也很重要，这不仅是为了保证压制成形的零件压坯的质量，也是为了保护模具和压机结构。为将热冲击减小到最低限度与防止由于过热而破坏粉末颗粒的形态，EL—TEMP 系统中装有带闭环控制器的模具加热器，其特点是能够斜坡—设定点。为加速组装，加热器与温度传感器都可利用插入式接头。这个系统输送加温粉末体的速率为 2.3~9.1 kg/min，温度范围为室温至 163℃。

最近，Cincinnati 公司开发一种用于其 4MN (440 U.S.tf，即 440 sh tf) 与 8MN (880 U.S.tf，即 880 sh tf) “机动模具更换”压机的 EL—TEMP 系统。用独特的输送系统可使一台 EL—TEMP 装置用于两副模架，从而使零件的更替时间和总的设备费用都大为减少。

Cincinnati 公司采用“压制计算机控制中心”对 EL—TEMP 系统与 880—DC II—7 “机动模具更换”压力机进行集成控制。这个控制中心可提高压力机的生产率，改进零件压坯的质量，简化操作者的输入。其中包括对模具载荷的监控，压力机动作监控，闭环控制及统计过程管理 (SPC) 数据输出。

(2) MICRO—MET 温压系统

这个系统是美国 Hoeganaes Corp 与美国微波材料技术公司 (MMT) 开发的，系统采用的是微波加热技术，其特点是：

1) 采用微波加热。微波是一种电磁波，其

加热本质上是体积性的，就是粉末体流的内部与外表面一起直接被加热。相反地，热壁传导加热是，和热壁相接触的粉末温度比粉末体流内部的温度高。热壁加热系统要通过一定形式的搅拌作用或适当时间的保温，才能使粉末体流内、外达到均—的工艺要求的温度。搅拌作用具有研磨的性质，可能破坏粉末颗粒的润滑剂涂层。微波加热是一种非研磨性体积加热法，可使粉末体流的内、外温度具有高度的均—性。MICRO—MET 系统可提供的温度稳定性为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

2) 自动粉末需求量控制。这是 MICRO—MET 作业的“心脏”。加热系统可自动跟踪压力机的作业与要求，相应地调整粉末通过量。

3) 每一个控制参数都受到系统内装的自诊断装置监控。

4) 模具可实现分区控制，并可储存 10 组模具加热控制参数。

5) MICRO—MET 系统采用的是模块化设计，既可装在新压力机上，也可装在已有压力机上。当需要增大供粉能力时，可安装几台 MICRO—MET 装置。

美国 Gasbarre Products Inc. 使用的 MW—6 温压 (粉末输送) 系统示于图 26.1-7。该系统的技术规格为：

1) 能力：① 6 kW 装置：256 kg/h；② 复式 6 kW 装置：512 kg/h。

2) 作业温度： $140.5^\circ\text{C} \pm 2.78^\circ\text{C}$ 。

3) 冷却水需用量：① 5.7 L/min，压力 345 kPa， $21^\circ\text{C} \pm 5.56^\circ\text{C}$ (6 kW)；② 11.4 L/min，压力 345 kPa， $21^\circ\text{C} \pm 5.56^\circ\text{C}$ (12 kW)。

从图 26.1-7 可看出，在该系统中一定量的粉未经料斗进入微波室加热。通过改变微波功率与粉末输送速率可控制微波室的加温。粉末体经微波加温后，被输送到加温的料仓中，再通过加热的软管送到装粉靴。整个系统采用程序闭环控制。系统作业温度为 $140.5^\circ\text{C} \pm 2.78^\circ\text{C}$ 。每小时可输送粉末 512 kg。

模具、料仓及输送软管也都要加热到规定的温度范围。模具可用电阻式加热器加热。将热电偶嵌入模具中控制温度。

(3) 流体油加热系统

由于专利权的原因，欧洲温压的粉末加热系统采用的是流体油加热装置。

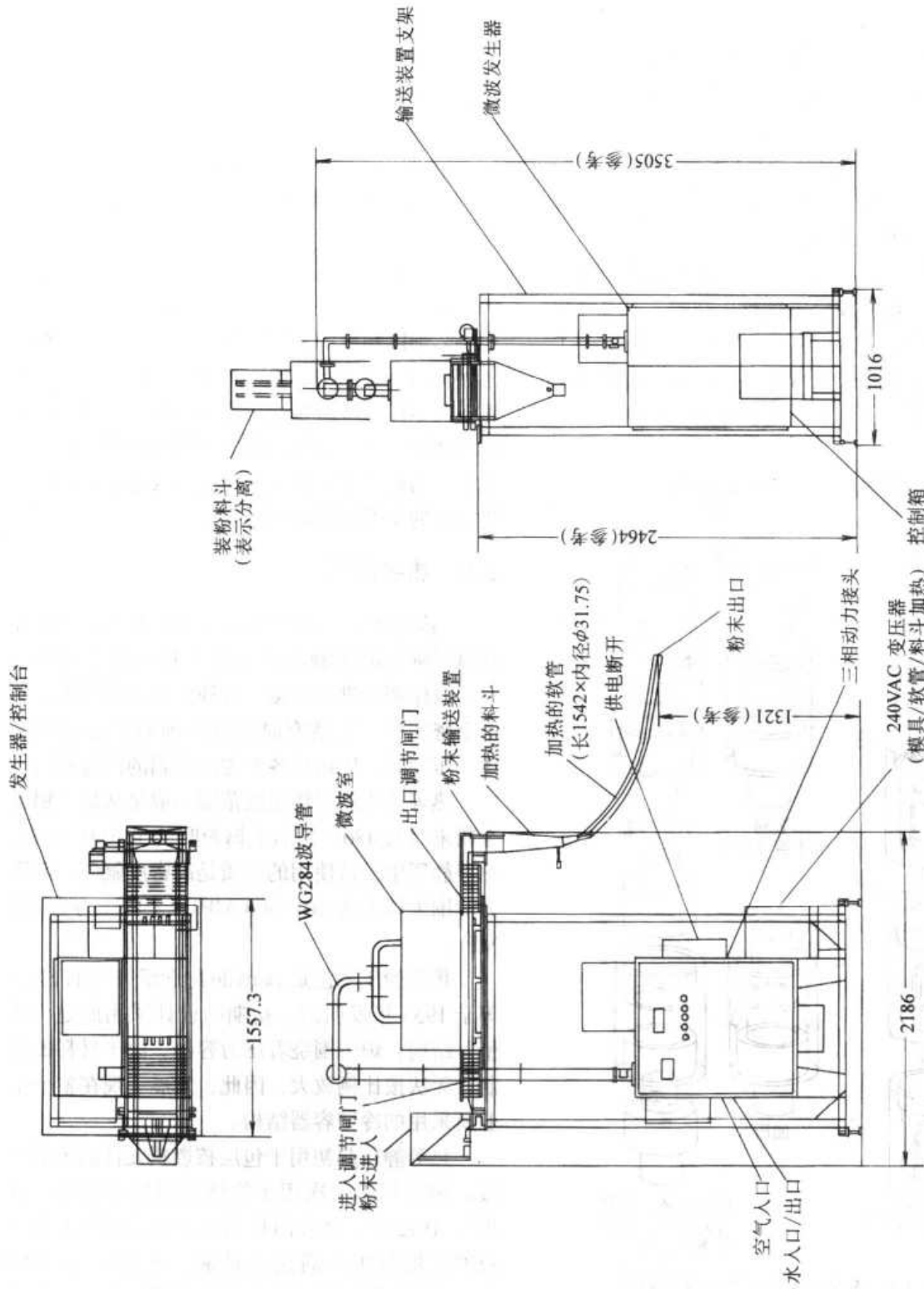


图 26.1-7 MW-6 温压粉末输送系统图
 使用动力: 电 480 VAC/60 Hz/3 φ160 A; 水 5.7 L/min/345 kPa/21°C;
 空气 345 kPa/0.028 3 m³/min(供给调节器); 重量约 672 kg

2.5 冷等静压

冷等静压是一种于室温下对粉末体施以高的流体压力，将之压制成预定形状的材料成形工艺和将粉末体固结成部分密实的压坯。通常用水或油作为压力介质。压制压力的范围为 210~410 MPa，虽然也采用过高达 760 MPa 的压力。压制是在室温下进行的。一般是将粉末零件密实到其理论密度的 60%~80%。

冷压制工艺主要有两种，它们都是将粉末装于预成形的合成橡胶模中进行压制的。若将合成橡胶模固定于压力容器中，则该工艺叫做“干袋”等静压。若橡胶模可从容器中取出，则该工艺称为“湿袋”等静压。这两种方法分别示于图 26.1-8。

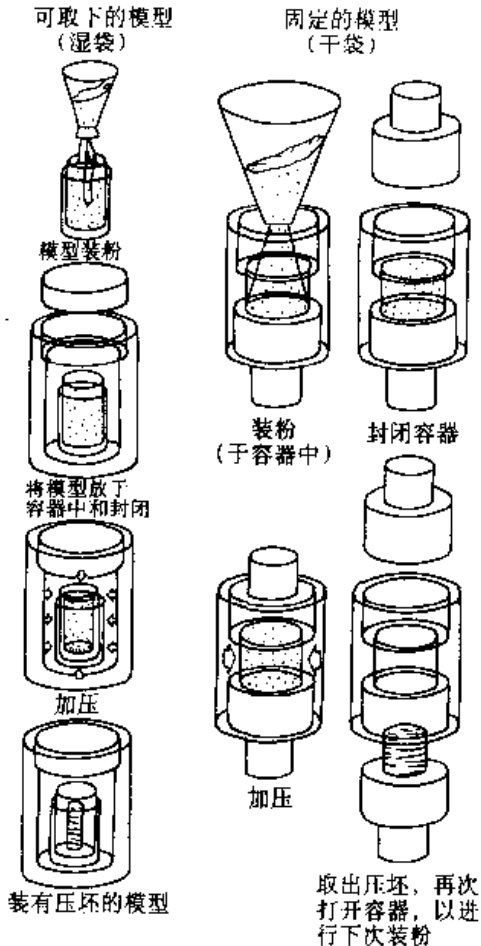


图 26.1-8 湿袋工艺与干袋工艺示意图

冷等静压以后，要对零件压坯进行烧结，以增高零件压坯的密度和改进其力学性能。若需要进一步变形，则可用锻造、挤压或轧制将零件完全密实。若零件已制成最终形状，则它可用热等

静压完全密实，以改进其材料性能。这种方法的一个好处是，冷等静压与烧结的零件往往可以进行无包套热等静压。

早期的等静压的生产应用主要涉及到陶瓷。最近，冷等静压的应用已扩大到了粉末冶金的生产领域，这是因为：

- 1) 可以经济地将粉末压制接近最终形状。
- 2) 可以制造用铸锭冶金工艺不能生产的新合金。

3) 很容易成形难加工的材料，诸如碳化物。

现在，冷等静压主要用于以常规金属成形加工工艺难以制造的金属。用冷等静压成形的材料通常有钨、碳化钨、钼、高速钢、钛及铝。冷等静压的零件常常需要进行进一步加工，以改进材料的性能。一些制品，诸如金属过滤器，需要特定水平的孔隙度，但是，在大多数应用中，都希望零件的密度接近理论密度。

2.6 热等静压

热等静压是一种材料成形加工技术，它是在高温下将高的等静压力施加于粉末零件或压坯上，以使颗粒进行连接。这种方法通常皆用于制造全密实体，虽然有时也有意地制造部分密实体。压制时，压坯从各个方向受到的压力相同。

热等静压的工作温度范围一般是从加工铝合金粉末时的 480℃ 到加工钨粉时的 1700℃ 左右。热等静压中最常使用的介质是高密度氩气，而压力范围大体上为 20~300 MPa，平均压力为 100 MPa。

热等静压工艺是 Battelle 纪念研究所的 Saller 等于 1955 年发明的。初期的设计采用的是“热壁”结构；炉子围绕着压力容器。由于材料的限制，无法按比例放大，因此，发展了现在整个工业所采用的冷壁容器结构。

热等静压起初用于包层核燃料元件的扩散连接。1964 年第一次用于将钨金属粉末固结“成形”。1972 年，在美国和瑞典实现了用热等静压技术大批量生产高速工具钢。从 1970 至 1980 年，美国空军材料实验室将热等静压技术的应用扩大到了镍基高温合金与钛合金粉的预成形坯制造和最终形状锻造。

目前，用热等静压技术制造的粉末冶金产品有：飞机发动机涡轮盘和轴的镍基高温合金最终

成形件(这种成形件都具有适于声射检测的划分为方格的横断面),镍基粉末冶金锻造和轧制的预成形坯,以及镍基粉末冶金英蒂格拉尔轴向柱塞泵与涡轮的叶轮;钛合金粉末冶金坯料、锻造的预成形坯及异形件;工具钢坯料(轧制加工用),大型模块及复合结构;粉末冶金铍、钨合金及其他难熔金属的最终异形件;以及弥散强化的和纤维强化的粉末冶金铝合金。用金属粉末的冷压、烧结和热等静压相结合制造的粉末冶金小零件有:工具钢异形件、稀土永磁体,以及工具、模具、轧辊、耐磨零件及由碳化钨-钴和其他碳化物的混合物制造的密封件,镍基粉末冶金在飞机发动机上的应用体现了这种方法的最高技术水平,而工具钢生产的吨位最大。全世界对粉末冶金碳化钨-钴零件都采用了热等静压。

2.7 热压

全密实金属粉末压坯可用热固结工艺来制取,并且其显微组织是可控的。热固结是同时加压与加热,而不是像常规粉末冶金工艺那样先加压成形后再加热烧结。压力是沿一根轴线或从各个面,单向或双向,静力学或动力学地作用于加热的粉末。需要用可控气氛来防止热的粉末或预成形坯被空气氧化或氮化。

热固结有多种不同的工艺,包括单轴向热压与加压烧结、热等静压、热挤压及热锻。热挤压与热锻不适用于热的松散粉末,但可用于烧结的预成形坯。

在封闭模中热压金属粉末是一种最古老的粉末冶金热固结法。欧洲与美国从20世纪20年代末就用热压生产圆柱形的硬质合金拉伸模。起初,是将球磨的粉末混合料装在电加热的石墨模中,在碳化钨/钴系的共晶温度下进行压制。粉末中裹带的空气与石墨反应生成一氧化碳,它可防止颗粒表面氧化,从而使得可借液相烧结顺利地进行固结。并曾用合金钢模热压铜粉、铁粉以及铜合金的压坯。文献中有许多关于热压青铜粉、黄铜粉及添加有碳的铁粉的有用的资料。

虽然,用热压可制造高质量制品,但对于钢、黄铜及其他普通金属,热压在经济上却是不可行的。其缺点是:

- 1) 生产速率低;
- 2) 需热模装料;

3) 压坯易焊连在金属模壁上;

4) 模具易磨损;

5) 需要保护气氛。

单轴向热压仍在用于制造圆柱形的硬质合金模、轧辊、耐磨零件,以及铍制品与氮化硅制品。但即使在这些生产领域,单轴向热压也正逐渐被热等静压所取代。用热等静压工艺可避免因粉末压坯与模具相互作用而产生的一些问题,且加压较均匀,因此制品的显微组织与性能都较均匀。

3 零件制造工艺的比较与选择准则

在许多场合,一种零件可用几种不同的金属成形工艺制造。通常,人们感兴趣的是,对于制造同一种零件,粉末冶金工艺和其他金属成形工艺相比,技术-经济效果如何?下面将常用的金属成形工艺分三类分别和粉末冶金工艺进行比较。当然,这些都是综合性的,而不是绝对的,具体到某一种零件,情况可能有所不同。

3.1 传统粉末冶金工艺、金属注射成形及粉末锻造之间的比较

当传统粉末冶金工艺可满足零件的设计要求时,当然不需要采用其他粉末冶金工艺。若零件的形状很复杂,用传统粉末冶金工艺难以成形,且产量大、特别是小型零件,一般趋向于选择金属注射成形工艺。现在用这种工艺制造的零件重量已接近250g。对于要求材料力学性能高的精密零件,往往选用粉末锻造工艺。

制造工艺的选择在很大程度上和零件形状密切相关。对于适于在刚性模具中压制成形和从其中脱出的零件,当然选择传统粉末冶金工艺最合适。在上述的零件大小的范围内,金属注射成形件的形状和塑料注射成形者相同。粉末锻造件的形状和热模锻生产者相似。

对于在寻找材料/成形工艺的设计人员来说,粉末冶金工艺的优点是:①不需要或只需要极少量切削加工;②材料利用率可高达97%;③零件尺寸的制造公差较小和具有再现性;④可利用各种合金系材料;⑤零件表面粗糙度较小;⑥为增高强度或改进耐磨性,可提供能进行热处理的零件;⑦对于自润滑或过滤用,可提供具有可控孔隙度的材料或制品;⑧可制造用其它金属成形

工艺不能制造的,形状复杂或奇特的零件;⑨适于中等到大批量零件生产。

3.2 粉末冶金和铸造工艺比较

通常采用的铸造工艺有,造型铸造、压铸及失蜡铸造。

(1) 粉末冶金和造型铸造比较

造型铸造即一般所谓的“翻砂”,通常包括砂模铸造与壳模铸造。粉末冶金和造型铸造的合金范围相似。一般说来,翻砂铸件的拉伸性能和传统粉末冶金件与金属注射成形件相同。粉末锻造件的力学性能,特别是冲击功高于翻砂铸件。选择哪一种工艺往往决定于零件的尺寸,大型零件宜采用翻砂铸造制造。

在翻砂铸造与粉末冶金工艺两者都可行的范围内,通常翻砂铸造的工具和材料费用较低,但生产费用较高。粉末冶金件的制造公差较小,不需要或只需要极少量的后续切削加工,而铸件需要大量的切削加工。在零件产量大,可平均分摊模具费用时,采用粉末冶金工艺比较合适。对于小型的、形状复杂的、尺寸精度高的零件,金属注射成形可能比翻砂铸造经济。

(2) 粉末冶金和压铸比较

在压铸与粉末冶金工艺之间的选择,往往是零件大小或材料要求的问题,而不是经济问题。常用的压铸材料是铝合金、镁合金及锌合金,在有限的范围内也采用铜合金压铸件(在这里不讨论铜合金)。铁合金与不锈钢由于熔点高,不宜采用压铸工艺。

压铸件的尺寸和传统粉末冶金零件、金属注射成形零件及粉末锻造零件相比,可能相同或大得多。当材料要求是主要的时,则宜选用粉末冶金工艺,诸如:①很高的强度。一些铁基烧结合金的抗拉强度比压铸合金的最高强度高三倍以上;②高耐磨性与高减摩性能。这可用含浸润滑油的铁基与铜基烧结合金来解决;③高作业温度。这可用铁基与铜基烧结合金解决;④耐腐蚀。铜基烧结合金与烧结不锈钢可满足要求。

在使用温度不高于65℃和要求中等强度的条件下,锌压铸件可能是铁基粉末冶金制品的替代品。就尺寸精度和对切削加工的需要而言,两种工艺相似。就工具和加工费用而言,通常采用

粉末冶金有利,特别是在低与中等产量的条件下。压铸虽可制造比传统粉末冶金工艺形状更为复杂的零件,但金属注射成形工艺也能作到这一点。

有时,铝基粉末冶金件可替代铝压铸件。制造铝压铸件因需要流动性而含有硅,因此,一般不能进行明亮的或彩色的阳极化处理;而含硅量有限的铝基粉末冶金件却可进行阳极化处理。压铸和粉末冶金相比,可制造形状更为复杂的零件,而且,一般说来,大量生产是经济的。

(3) 粉末冶金和失蜡铸造比较

失蜡铸造是一种高精度成形工艺,使用的合金范围和传统粉末冶金工艺、金属注射成形工艺及粉末锻造工艺相同。当零件形状采用粉末冶金工艺无法成形或当采用粉末冶金工艺需要大量切削加工时,采用失蜡铸造工艺可能是适宜的。对于小型的、形状复杂的零件,金属注射成形工艺往往是一种可替代失蜡铸造工艺的经济成形工艺。失蜡铸造工艺的工具费用虽比传统粉末冶金工艺、金属注射成形工艺或粉末锻造工艺低,但生产费用高。一般说来,在产量很小的条件下,失蜡铸造工艺是有竞争能力的。盈亏平衡点取决于许多因素,诸如尺寸精度和需要的后续加工作业量等。当需要动态性能时,可选用粉末锻造工艺。

总的来看,粉末冶金工艺和铸造工艺相比,在技术上具有下列特点:①表面粗糙度非常小;②制造的尺寸公差很窄;③合金化与制取复合材料(亲和力小的材料的组合物,如铜-钨电触头材料)的可能性较大;④组织均一(没有偏聚、砂眼、缩孔),力学性能可靠;⑤在经济上,粉末冶金工艺能耗小。

铸造工艺在下列方面优于粉末冶金工艺:①形状不受限制;②适于制造大型零件;③零件生产批量小时,经济;④一般说来,工、模具费用较低。

3.3 粉末冶金工艺和热模锻及板料冲裁工艺比较

粉末冶金工艺和热模锻及板料冲裁相比,在零件形状上虽受到一些限制,但在大多数场合尺寸公差较小,不需要切削加工。粉末冶金工艺受到的主要限制是不能制造大型零件和模具费用

高。

(1) 粉末冶金工艺和热模锻工艺比较

在粉末冶金材料可以满足零件使用性能的情况下，在粉末冶金工艺与热模锻工艺之间的选择往往决定于制品尺寸大小。锻造和粉末冶金相比，虽可制造尺寸大得多的零件，但一般不生产很小的零件。在两种成形工艺都适用的尺寸范围内，传统粉末冶金工艺的尺寸精度比精锻高，但粉末冶金材料的强度与动态性能比较低。近年来，传统粉末冶金工艺的改进，如高温烧结，已将粉末冶金材料的冲击能量提高到足以满足中高动态性能要求的水平。

金属注射成形工艺很少用于替代热模锻工艺。金属注射成形的最大特点在于制造尺寸较小的、形状很复杂的零件。这些零件一般都不用锻造制造。

热模锻与粉末锻造间的选择可能决定于零件尺寸和形状复杂程度。热模锻和粉末锻造相比，可制造尺寸大得多与形状复杂程度较高的零件。当对形状复杂程度、尺寸精度、重量控制、切削性或力学性能进行综合考虑时，粉末锻造是有效益的。粉末锻造只需要一套成形模具和一副锻模。热模锻一般却需要两副或更多副锻模、一副修边模，有时还需要进行一道或几道辊压成形作业。由于粉末锻造实际上没有或可减小飞边，从而不需要或可减少修边作业量，并简化了接合线部位多余金属材料的清除。用这两种工艺制造的零件力学性能虽相同，但无法直接对比，因为它们使用的合金有些不同，相应的热处理工艺可能也不同。粉末锻造工艺的尺寸精度较高，特别是热处理后，有时不需要后续切削加工。

(2) 金属板料冲裁和粉末冶金工艺比较

在采用粉末冶金材料可以满足零件使用性能的情况下，当一个零件可用一副模具由金属板料一次冲裁制造时，冲裁成形必定是可行和经济的。当需要进行连续冲裁和需要几副模具时，模具费用和机器使用费用都会大大增高，这时对于某些零件采用粉末冶金工艺就可能是有利的。当制造的是由几个冲裁件组成的组合件时，除零件与模具费用外，还需要增加装配用具和焊接费用，这时采用粉末冶金工艺制造可能比较合适。当零件形状的复杂程度超出了传统粉末冶金工艺的制造能力时，金属注射成形工艺可能是一种可

供选择的成形工艺。如上所述，相对的模具与生产费用取决于所需模具和压机的数量。

板料冲裁的材料利用率较低，而粉末冶金工艺的材料利用率却很高。精密冲裁虽生产速率不及普通冲裁且设备费用也较高，但对于制造具有一个台面的零件却很经济。精密冲裁不能制造具有两个以上台面的零件。

3.4 粉末冶金工艺和切削加工比较

粉末冶金是一种少切削无切削成形工艺，在粉末冶金材料性能可以满足零件使用要求的条件下，从经济观点来看，采用粉末冶金工艺就意味着或多或少可以节省能源与材料，并可节省大量的设备投资。对于价格昂贵或难以切削加工的材料，粉末冶金工艺的价值是显而易见的。

计算机数控与自动车床车削的工具费用比任何生产方法都低。由于机床高度自动化，劳动强度低，车削加工费用因车削作业的数量与范围而异。加工的对象通常是棒材、管材、板材或坯料。使用车削进行加工的零件材料利用率很低，由棒料切削加工时，材料利用率不大于50%。用计算机数控车床车削坯料的话，材料利用率可能还要低。一般说来，零件加工时被车削掉的金属量愈大，就愈有利于采用粉末冶金工艺制造。选用车削加工，还是选用传统粉末冶金工艺、金属注射成形工艺及粉末锻造工艺还决定于零件的生产批量，生产批量愈大，车削加工的效益就愈小。

对于黄铜零件来说，由于车削时可采用大进给量和高速，刀具维修少，黄铜车屑的回收价格较高，尽管车削加工时材料利用率低，对效益的影响却较小。因此，黄铜零件若能全部用计算机数控自动车床加工制造，还是比较经济的。

车削加工与粉末冶金工艺之间的选择，可能较多地决定于零件形状与经济因素。当零件形状对中心轴线对称和具有诸如圆柱状、凹槽、台阶等时，车削加工最为有利。传统粉末冶金工艺可制造能从模具中脱出的任何形状的零件。

用车削加工制作的任何形状的零件都可用金属注射成形由同样的合金来制造，并且，零件的材料性能也相同。在车削加工和粉末锻造之间的选择，可能决定于对材料性能（特别是冲击能量）的要求。

粉末冶金和切削加工相比,还具有下列优点:

- 1) 和切削加工相比,模具的使用寿命较长;
- 2) 产品的一致性好与报废的可能性较小;
- 3) 尺寸公差与表面粗糙度较好(磨削与拉削加工除外);

4) 可节省检查与试验费用,因为粉末冶金

零件生产过程中只有一道成形作业。

切削加工和粉末冶金相比的特点是:

- 1) 能制造任何尺寸的零件;
- 2) 能制造有螺纹的零件;
- 3) 若零件能全部用数控自动车床车削加工,可能较经济。

可能较经济。

由上述对比不难看出,粉末冶金和其他成形工艺相比,在下列情况下是有利的:

- 1) 大批大量生产同一零件;
- 2) 不需要或可大大减少切削加工;
- 3) 形状很复杂零件(如齿轮、凸轮或多功能零件)的制造公差窄;

4) 不需要或可简化机械的精加工作业;

5) 无切屑加工:节能、省材;

6) 自润滑性状:烧结制品材料中的连通孔隙可含浸以润滑油,因此和相应的铸锻材料制品相比,具有较好的耐磨性与减振能力;

7) 可以制取用其他任何工艺无法制造的冶金复合材料。

粉末冶金的主要不足之处在于:①压制成形模具昂贵。每一经济的生产批量的下限是5 000~10 000个零件,这和零件形状的复杂程度相关。②零件形状往往受到脱模和一些其它限制。③大

型零件的压制成形需用压制力很大的压机,而大型压机的利用率很低。例如,一台6MN压机能够压制最大横截面积(垂直于压制方向的)不大于120~130 cm²的铁基粉末冶金零件,而这么大的铁基粉末冶金零件为数不多。

因此,对于一个零件是否可用粉末冶金工艺生产,设计人员必须对下列诸项重点进行核查:①零件的生产批量对模具与压制设备的投资是否合算。②粉末冶金工艺能否满足对零件的功能与形状提出的技术要求。③采用的粉末冶金材料能否达到所要求的物理-力学性能。④粉末冶金和可采用的其他成形工艺相比,生产成本是不是最经济?

在技术-经济评价阶段,特别是当涉及到用于新用途的零件时,以及当通常的类似准则不适用时,粉末冶金生产厂的帮助将是非常重要的。用烧结零件的标准试件进行功能试验是非常必要的。这是因为实际零件往往不能满足设定的所有技术条件的要求,设计人员规定的所有技术要求也不一定都必须达到。倘若零件试件虽然并没有完全达到原来设计的各项技术要求,但试验结果却完全令人满意,则可得出结论,实际情况和原来的设计略有出入,将技术条件修订后,就可确定采用粉末冶金工艺了。也可能发生相反的情况:尽管全部技术条件都达到了,但粉末冶金零件却不适用。这时,应研究分析失效的实际原因,精确的失效分析有助于消除用户对粉末冶金技术产生偏见。当然,失效也可能是与个别试验相关的一些异常的偶然性事件造成的。

第2章 粉末冶金模具设计基础

用粉末冶金工艺制造烧结金属零件,与一般的铸、锻-切削加工工艺相比,不仅在材料特性上有较大区别,在零件结构上也受到某些限制。因此在进行模具设计之前,首先要根据粉末冶金工艺特点和零件的使用条件,对零件的原设计进行修改,或重新进行设计。粉末冶金零件设计过程中的材质选择、形状和尺寸精度的设计过程,实际上是模具设计的前提。

1 粉末冶金零件的材料选择

粉末冶金零件的选材对于模具设计非常重要。选材不同,以及所选材料的后续处理工艺不同,都直接影响模具参数的制定。

选择粉末冶金零件的材料时,除考虑力学性能外,还应根据用户对零件提出的耐磨性、气密

性、磁性能等要求,来挑选粉末原料的种类与组成、粉末颗粒大小及分布、材料密度、烧结工艺、后续处理工艺等。

1.1 烧结金属含油轴承

含油轴承材料具有以下特征:①耐磨性好,可靠性高;②可在减少供油的次数与数量或不供油的状态下工作;③若同时用其他方法补充润滑时,则可在比一般滑动轴承材料负载高的工况下工作。

烧结金属含油轴承材料见表26.2-1,烧结金属含油轴承的化学成分和物理-力学性能见表26.2-2,烧结金属含油轴承的各种特性见表26.2-3,烧结金属含油轴承材料的特点与轴材质的适应性见表26.2-4。

表 26.2-1 烧结金属含油轴承材料 (摘自 ISO5755: 1996)

材料	牌号 ^①	标准值						参考近似值			
		化学成分 (质量分数) /%						物理-力学性能			
		C _{化合} ^②	Cu	Fe	Sn	石墨	其他元素总和 ≤	开孔孔隙度 P/%	径向压溃强度 K/MPa	密度 ρ/(g/cm ³)	线膨胀系数 α/10 ⁻⁶ K ⁻¹
铁	P1011Z	<0.3	—	余量	—	—	2	≥27	≥120	5.4	12
	P1012Z							≥22	≥170	5.8	
	P1013Z							≥17	≥220	6.2	
铁-铜	P2011Z	<0.3	1~4	余量	—	—	2	≥27	≥150	5.4	12
	P2012Z							≥22	≥200	5.8	
	P2013Z							≥17	≥250	6.2	
铁-青铜 ^③	P2082Z	<0.5	34~38	余量	3.5~4.5	0.3~1.0	2	≥24	90~265	5.8	14
	P2083Z							≥19	120~330	6.2	
铁-青铜 ^③	P2092Z	<0.5	43~47	余量	4.5~5.5	<1.0	2	≥24	70~245	5.6	14
	P2093Z							≥19	100~310	6.0	
铁-石墨 ^③	P1053Z	<0.5	—	余量	—	2.0~3.5	2	≥20	70~175	5.6	16
	P1054Z							≥13	80~210	6.0	
青铜	P4011Z	—	余量	—	8.5~11.0	—	2	≥27	≥110	6.1	18
	P4012Z							≥22	≥140	6.6	
	P4013Z							≥15	≥180	7.0	
	P4014Z							≥10	≥210	7.4	
青铜-石墨	P4021Z	—	余量	—	8.5~11.0	0.5~2.0	2	≥27	≥90	5.9	18
	P4022Z							≥22	≥120	6.4	
	P4023Z							≥17	≥160	6.8	

① 字母 Z 表明烧结材料已经过最终处理。在此表中表示材料已含浸液体润滑剂。

② 仅只铁相。

③ 所给出的径向压溃强度值的范围表明化合碳和游离石墨之间必须保持平衡。

表 26.2-2 烧结金属含油轴承的化学成分和物理-力学性能

合金系 (主要成分)	化学成分(质量分数)/%						相应的 JIS 标准	性能		
	Cu	Fe	Sn	Pb	C	其他		密度/g·cm ⁻³	含油率/%	压溃强度 /MPa
Cu-Sn	余	—	8~11	—	—	<1	SBK1218	6.4~7.2	>18	>150
Cu-Sn-Pb-C	余	—	8~11	<3	<3	<1	SBK2118	6.4~7.2	>18	>150
Cu-Sn-C	余	—	8~11	—	<3	<1	SBK1218	6.4~7.2	>18	>150
Cu-Sn-Pb	余	—	3~5	4~7	—	<1	SBK2118	6.4~7.2	>18	>150
Cu-Sn-Pb-C	余	MoS ₂ 1.5~ 5.5, Ni<3	7~11	<1.5	<1.5	<1	—	6.4~7.2	>12	>150
Cu-Sn-Pb	余	MoS ₂ 1.5~2.5	7~11	<1.5	—	<1	—	6.4~7.2	>12	>150
Fe-Cu-C	<5	余	—	—	0.2~0.8	<1	SBF4118	5.6~6.4	>18	>150
Fe-Cu-Pb	<3	余	—	<2	—	<1	SBF2118	5.6~6.4	>18	>200
Fe-Cu-Pb-C	<5	余	—	3~10	0.2~0.8	<3	SBF5110	(5.7~7.2)	>15	>200
Fe-Cu-Sn	48~52	余	1~3	—	—	<3	—	6.2~7.0	>18	>200
Fe-Cu-C	14~20	余	—	—	1~4	<1	—	5.6~6.4	>18	>160
Fe-Cu-Zn	18~22	余	1~3	Zn 2~7	—	<1	—	5.6~6.4	>18	>150

注：化学成分与密度各生产厂略有不同。

表 26.2-3 烧结金属含油轴承的各种特性

合金系 (主要成分)	使用特性														
	极限 pv 值/ N·m·(cm ² ·min) ⁻¹	轴回转				载荷			音响	高温	被切削 加工性	铆接 性	防锈 能力	尺寸 精度	价格
		高速	低速	断续	摇动	高载荷	低载荷	冲击							
Cu-Sn	(10 000)	○	·	·	·	·	○	·	*	·	○	*	○	○	±
Cu-Sn-Pb-C	(10 000)	○	○	○	○	·	○	○	·	·	○	△	○	○	±
Cu-Sn-C	(10 000)	*	○	·	·	·	○	○	○	·	○	△	○	○	±
Cu-Sn-Pb	(20 000)	·	○	·	·	△	○	·	*	·	*	·	○	*	±
Cu-Sn-Pb-C	(30 000)	*	○	○	*	*	*	○	○	○	○	△	○	○	++
Cu-Sn-Pb	(10 000)	○	*	*	○	○	*	○	*	○	○	·	○	○	++
Fe-Cu-C	(20 000)	·	·	·	·	*	○	○	△	·	△	△	△	·	=
Fe-Cu-Pb	(15 000)	○	○	·	·	·	○	△	·	·	·	○	○	○	=
Fe-Cu-Pb-C	(20 000)	○	○	○	○	·	○	·	○	·	*	○	○	○	=
Fe-Cu-Sn	(15 000)	○	·	·	·	·	○	○	○	·	○	○	○	○	=

续表 26.2-3

合金系 (主要成分)	使用特性													价格	
	极限 pv 值/ $N \cdot m \cdot (cm^2 \cdot min)^{-1}$	轴回转				载荷			音响	高温	被切削 加工性	铆接 性	防锈 能力		尺寸 精度
		高速	低速	断续	摆动	高载荷	低载荷	冲击							
Fe-Cu-C	(15 000)	·	·	○	○	△	○	·	△	○	○	△	△	△	=
Fe-Cu-Zn	(10 000)	○	·	·	·	○	○	·	○	·	·	△	○	○	=

注: 1. * : 优秀 (最适); ○: 良好; ·: 可; △: 不适;
 2. 关于极限 pv 值, 调整内径面的孔隙时, 比 () 中的值小;
 3. (价格) ++: 高价; ±: 标准; =: 便宜。

表 26.2-4 烧结金属含油轴承材质的特点与轴材质的适用性

合金系 (主要成分)	适用例	特点	轴的材质				
			一般钢材			不锈钢	
			不进行 热处理	调质	淬火-低 温回火	奥氏 体系	马氏 体系
Cu-Sn	微型马达、步进 马达	广泛用作音响机器、 家用电器等的轴承	△	○	*	△	○
Cu-Sn-Pb-C	换气扇、办公机 械、运输机械	作为铜基的标准材 质用于各个领域	·	○	*	△	○
Cu-Sn-C	音响马达、办公 机械	耐烧轴性好, 用于 高速场合	·	○	○	△	○
Cu-Sn-Pb	磁带录音机输带 辊轴承	磨合好, 适于用作 低摩擦材料	·	○	○	△	○
Cu-Sn-Pb-C	起动机、电动工 具, VTR 用的各种 轴承	适用于油膜难以形 成的高温环境; 高速、 高负载条件	△	○	○	△	○
Cu-Sn-Pb	D、D 输带辊马 达和 FDD 主轴马 达用的轴承	磨合性、耐磨性好	△	○	○	△	○
Fe-Cu-C	垫圈、隔片、齿 轮传动马达	强度高、适合于 pv 值高的条件	△	·	○	△	·
Fe-Cu-Pb	小型通用马达、 缝纫机轴承	一般铁基的标准材 质, 广泛用于各个领 域	·①	○	○	△	○
Fe-Cu-Pb-C	家用电器马达的 轴承	可替代铜基轴承	·①	○	○	△	○
Fe-Cu-Sn	办公机械、家用 电器用轴承	耐久性好的廉价轴 承	△	○	○	△	○
Fe-Cu-C	运输机械用轴承	配合有大量的石墨, 耐烧轴性好	△	○	○	△	○
Fe-Cu-Zn	各种微型马 达用, 输送带辊 轴承用	可替代铜基轴承	·①	○	○	△	○

注: * : 优秀 (最适); ○: 良好; ·: 可; △: 不适;
 ① 轴表面粗糙度大于 $1 \mu m$, 则属于低负载条件。

1.2 铁基结构零件材料（烧结钢和烧结不锈钢）

1.2.1 烧结钢

烧结钢的性能与一般钢铁材料类似，主要取决于材料的密度、化合碳含量、合金元素的种类与数量、组织状态。烧结钢与钢铁材料的最大区别在于前者组织中存在着孔隙，其密度在一定范围内可任意调节，因此材料密度是影响烧结钢性能的重要参数之一。在选择烧结钢牌号时，首先要确定材料密度，用粉末冶金法可以根据使用要求制造从低密度到完全致密的具有各种性能的烧结钢。

(1) 烧结钢的化学成分、组织与性能

在烧结钢中添加合金元素，能改善材料的金相组织及孔隙形态。

烧结钢的组织变化规律，基本遵循铁-碳相图，以及铁的其他三元或多元相图。但与熔炼材料相比，由于孔隙的存在，以及未经熔炼过程，合金化充分程度有差异。随着温度的变化，材料组织不是完全按相图中成分点对应的直线改变，而是按成分点附近的区域成分改变，呈多种组织共存的非平衡状态。

合金元素在烧结钢中的作用是：①活化烧结，即在烧结时，合金元素与基体形成低熔点共晶，或加速扩散过程；②球化孔隙，即在烧结时提高扩散系数，通过铁原子扩散，使孔隙由多边形趋于球形；③固溶强化、弥散强化、细化晶

粒、生成化合物强化以及提高淬透性等。

碳、铜、镍和钼对烧结钢的组织、性能的影响与对致密钢的影响相同。此外，铜还有活化烧结和调节烧结收缩率的作用。

硫、磷在致密钢中是有害元素，但在烧结钢中，加入适量的硫或磷，却会产生有益的作用。烧结钢结构零件，除热锻件外，一般不进行热压加工，故无热脆性问题。硫的质量分数为0.4%以下时，加硫可提高材料的断后伸长率；硫的质量分数为0.2%以下时，加硫可提高材料的抗弯强度；此外，加硫可改善材料的被切削性能，提高减摩性能。

对于烧结钢，孔隙是影响材料韧性和塑性的主要因素。磷的存在，可于1050℃与铁、在953℃与铁和碳分别形成共晶，产生液相，活化烧结，提高材料密度（即减少孔隙数量），并使残留孔隙呈球状，从而提高材料的韧性和强度。烧结钢中磷的加入量不得高于0.8%（一般控制在0.6%），否则Fe₃P沿晶界析出，会降低材料的韧性。

铬、锰、钒合金元素对烧结钢性能的影响与对致密钢相同。这三种元素均与氧有很强的亲和力，因而对烧结时的保护气氛要求很高。通常用预合金粉的方式加入，也可以铬或钒的碳化物形式加入，经热处理后，获得高强度烧结合金钢。

烧结碳钢及烧结合金钢的化学组成与物理学-力学性能见表26.2-5、26.2-6、26.2-7和26.2-8。

表 26.2-5 烧结碳钢的化学组成与物理-力学性能

含碳量（质量分数） /% （余为Fe）	密度/ g·cm ⁻³	力学性能							
		硬度	抗拉强度 /MPa	屈服点 /MPa	伸长率 /%	冲击 ^① 吸收功/J	疲劳极限 /MPa	弹性模量 /GPa	泊松比
<0.25	6.1	35HB	130	90	3	6	49	90	0.20
<0.25	6.55	50HB	160	110	5	12	60	110	0.21
<0.25	6.9	60HB	210	140	9	20	76	135	0.23
<0.25	7.3	30HRB	270	180	15	34	100	160	0.26
0.25~0.6	6.1	20HRB	170	130	1.5	4	65	90	0.20
0.25~0.6	6.55	45HRB	220	160	2.5	6	85	110	0.21
0.25~0.6	6.9	60HRB	290	190	3.5	12	110	135	0.23
0.25~0.6	7.3	80HRB	340	210	5	—	130	160	0.26
0.6~1.0	6.1	50HRB	240	200	1	3.5	90	90	0.20
0.6~1.0	6.55	65HRB	290	250	1.5	4	100	110	0.21
0.6~1.0	6.9	75HRB	380	270	2.5	8.5	150	135	0.23

① 悬臂梁式冲击试验。

表 26.2-6 烧结磷钢的化学组成与物理-力学性能

材料组成 (质量分数) / % (余为 Fe)		密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	力学性能							
C	P		硬度 HV10	抗拉 强度 /MPa	屈服点 / MPa	伸长率 / %	冲击 ^① 吸收功 / J	疲劳极限 /MPa	弹性模 量 /GPa	泊松比
<0.25	0.30	6.55	80	230	190	4	12	—	110	0.21
<0.25	0.30	6.9	90	270	230	5	22	—	135	0.23
<0.25	0.30	7.3	105	370	280	7.5	43	—	160	0.26
0.25~0.60	0.30	6.9	120	370	270	1.5	—	—	135	0.23
<0.25	0.45	6.55	95	280	210	4.5	14	—	110	0.21
<0.25	0.45	6.9	110	360	270	5.5	23	—	135	0.23
<0.25	0.45	7.3	145	430	330	8	45	—	160	0.26
0.25~0.60	0.45	6.9	135	430	330	2.5	—	—	135	0.23
<0.25	0.60	6.55	105	330	250	4.5	16	—	110	0.21
<0.25	0.60	6.9	120	380	280	6	26	—	135	0.23
<0.25	0.60	7.3	150	470	360	8.5	55	—	160	0.26
0.25~0.60	0.60	6.9	140	450	350	2.5	—	—	135	0.23

① 无缺口夏比冲击试验。

表 26.2-7 烧结铜钢的化学组成与物理-力学性能

材料组成 (质量分数) / % (余为 Fe)		密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	力学性能							
C	Cu		硬度	抗拉 强度 /MPa	屈服点 / MPa	伸长率 / %	冲击 ^① 吸收功 / J	疲劳极限 /MPa	弹性模 量 /GPa	泊松比
<0.25	1~3	6.1	50HB	160	115	2.5	7.5	60	90	0.20
<0.25	1~3	6.55	60HB	200	145	3	9.5	70	110	0.21
<0.25	1~3	6.85	75HB	260	160	5	23	100	130	0.23
0.25~0.6	1~3	6.1	45HRB	275	230	1	4.7	105	90	0.20
0.25~0.6	1~3	6.55	70HRB	345	260	1.5	7.5	130	110	0.21
0.25~0.6	1~3	6.85	80HRB	420	310	3	13	160	130	0.23
0.6~1.0	1~3	6.1	60HRB	310	280	0.5	4	120	90	0.20
0.6~1.0	1~3	6.55	70HRB	480	360	1	7	170	110	0.21
0.6~1.0	1~3	6.85	80HRB	540	390	1.5	11	200	130	0.23
0.25~0.6	3~6	6.1	50HRB	240	200	0.5	4	90	72	0.18
0.25~0.6	3~6	6.55	60HRB	340	290	1	6	130	90	0.20
0.25~0.6	3~6	6.85	75HRB	450	310	1.5	7	170	110	0.22
0.6~1.0	3~6	6.1	60HRB	330	290	<0.5	4	125	72	0.18
0.6~1.0	3~6	6.55	65HRB	430	390	<1	4.8	160	90	0.20
0.6~1.0	3~6	6.85	85HRB	510	480	1	6	190	110	0.22

① 悬臂梁式冲击试验。

表 26.2-8a 烧结镍钢的化学组成与物理-力学性能

材料组成 (质量分数) / % (余为 Fe)		密度 / $g \cdot cm^{-3}$	力学性能							
C	Ni		硬度 HRB	抗拉 强度 /MPa	屈服点 / MPa	伸长率 / %	冲击 ^① 吸收功 / J	疲劳极限 /MPa	弹性模 量 /GPa	泊松比
<0.25	2~4	6.3	30	180	105	2	18	60	96	0.20
<0.25	2~4	6.65	38	210	135	4	20	80	117	0.22
<0.25	2~4	7.1	50	300	190	5	45	120	145	0.24
<0.25	2~4	7.3	60	350	220	8.5	68	140	160	0.26
0.25~0.6	2~4	6.3	50	315	190	1	7	100	96	0.20
0.25~0.6	2~4	6.65	62	340	210	2	13	115	117	0.22
0.25~0.6	2~4	7.1	74	400	230	3	18.5	150	145	0.24
0.25~0.6	2~4	7.3	80	470	270	5.5	40	190	160	0.26
0.6~1.0	2~4	6.3	55	330	210	0.5	5	120	96	0.20
0.6~1.0	2~4	6.65	65	370	250	1.5	10	150	117	0.22
0.6~1.0	2~4	7.1	80	480	340	3	16	200	145	0.24
0.6~1.0	2~4	7.3	88	600	400	4	26	240	160	0.26
0.6~1.0	4~6	6.3	55	250	180	1	6	100	96	0.20
0.6~1.0	4~6	6.65	72	390	290	1.5	7.5	160	117	0.22
0.6~1.0	4~6	7.1	88	540	390	3	12.5	215	145	0.24

① 悬臂梁式冲击试验。

表 26.2-8b 烧结铜镍钢的化学组成与物理-力学性能

材料组成 (质量分数) / % (余为 Fe)			密度 / $g \cdot cm^{-3}$	力学性能							
C	Cu	Ni		硬度 HRB	抗拉 强度 /MPa	屈服点 / MPa	伸长率 / %	冲击 ^① 吸收功 / J	疲劳 极限 /MPa	弹性 模量 /GPa	泊松比
0.25~0.6	2~4	0.5~2	6.1	40	200	100	0.5	6	80	90	0.20
0.25~0.6	2~4	0.5~2	6.6	55	255	155	1.5	13	100	115	0.21
0.25~0.6	2~4	0.5~2	6.95	70	340	210	2.5	24	130	140	0.23
<0.25	1~3	2~5	6.55	52	300	150	4	22	110	110	0.21
<0.25	1~3	2~5	6.95	54	340	205	8	47	130	130	0.23

表 26.2-8c 烧结铜镍钼钢的化学组成与物理-力学性能

材料组成 (质量分数) / % (余为 Fe)				密度 / $g \cdot cm^{-3}$	力学性能							
C	Cu	Ni	Mo		硬度 HRB	抗拉 强度 /MPa	屈服点 / MPa	伸长率 / %	冲击 ^① 吸收功 / J	疲劳 极限 /MPa	弹性 模量 /GPa	泊松比
<0.25	1.50	1.75	0.5	6.75	55	360	290	5	—	130	117	0.22
<0.25	1.50	1.75	0.5	7.1	70	500	375	6	—	190	145	0.24
<0.25	1.50	1.75	0.5	7.3	75	550	390	8.5	—	210	160	0.26

续表 26.2-8c

材料组成 (质量分数) / % (余为 Fe)				密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	力学性能							
C	Cu	Ni	Mo		硬度 HRB	抗拉 强度 /MPa	屈服点 / MPa	伸长率 / %	冲击 ^① 吸收功 / J	疲劳 极限 /MPa	弹性 模量 /GPa	泊松比
0.25~0.6	1.50	1.75	0.5	6.75	68	400	330	3	—	150	117	0.22
0.25~0.6	1.50	1.75	0.5	7.1	82	570	450	4	—	210	145	0.24
0.25~0.6	1.50	1.75	0.5	7.3	85	620	490	6	—	230	160	0.26
0.6~1.0	1.50	1.75	0.5	6.75	75	440	360	1.5	—	165	117	0.22
0.6~1.0	1.50	1.75	0.5	7.1	90	650	500	2	—	250	145	0.24
0.6~1.0	1.50	1.75	0.5	7.3	95	700	530	3	—	265	160	0.26
<0.25	1.50	4	0.5	6.75	60	380	280	4	—	140	117	0.22
<0.25	1.50	4	0.5	7.1	75	500	350	5	—	190	145	0.24
<0.25	1.50	4	0.5	7.3	80	550	380	8	—	210	160	0.26
0.25~0.6	1.50	4	0.5	6.75	70	500	360	2	—	190	117	0.22
0.25~0.6	1.50	4	0.5	7.1	90	600	420	3	—	230	145	0.24
0.25~0.6	1.50	4	0.5	7.3	95	700	480	5	—	260	160	0.26
0.6~1.0	1.50	4	0.5	6.75	85	500	380	1	—	150	117	0.22
0.6~1.0	1.50	4	0.5	7.1	60HRA	620	450	1.5	—	235	145	0.24
0.6~1.0	1.50	4	0.5	7.3	62HRA	720	520	2	—	270	160	0.26

① 悬臂梁式冲击试验。

(2) 烧结钢的热处理、化学热处理、蒸气处理和电镀

烧结钢制品，进行整体热处理（在奥氏体化温度淬火，于 200~180℃ 回火）后的物理-力学性能见表 26.2-9。烧结钢的热处理与熔炼的致密钢基本相同，但由于孔隙的存在和合金化的特殊性，铁基结构材料的热处理具有下列特点：

1) 密度对热处理后的材料性能影响很大，密度越高，热处理效果越好，性能越稳定。

2) 由于孔隙的影响，材料表面硬度偏低，但其组织的显微硬度并不低。为了反映材质本身的硬度，最好选用载荷 1.961 N 以下的维氏硬度 (HV)。

3) 孔隙降低材料的导热性，造成过热敏感性差，以及淬透性差。为此，淬火温度应比致密钢高 50℃ 左右，加热时间相应延长。

4) 热处理过程应防止有害物质由表面孔隙进入材料内部，低密度零件不宜用盐浴加热；不宜在水中淬火，而应选机油作为淬火介质；加热时需用保护气氛等。

5) 对于密度低于 7.0 g/cm^3 的零件，在化学热处理时，渗透速度快，渗层厚。为防止此现象，可用封孔措施，如液相烧结或渗硫。烧结钢常用的化学热处理有渗碳、碳氮共渗、渗氮、氮碳共渗以及渗合金元素等。

① 渗碳 渗碳温度为 800~950℃，保温时间为 0.5~2 h，渗层深度为 0.8~2.5 mm。当材料密度为 $6.5\sim 7.0 \text{ g/cm}^3$ 时，渗层深度主要取决于密度；当密度大于 7.0 g/cm^3 时，渗层深度主要取决于渗碳时间。Fe-2Cu 材料渗碳后表面硬度可达 700 HV 左右。材料中添加 Cu 和 Mo，可提高淬透性。添加少量硫，可使渗碳表面硬度均匀。

与碳氮共渗的渗层相比，渗碳层硬度稍低，但渗层较厚，因而承载能力强，可用于速率高、受力大的场合。缺点是处理温度高，工件尺寸及形状易变化。

② 碳氮共渗 气体碳氮共渗温度为 780~850℃，保温时间为 1~2.5 h，渗层厚度可达 0.4~1.0 mm。一般 Fe-C-Cu 材料，渗层硬度可

达 700 HV。碳氮共渗后零件耐磨性及抗弯曲疲劳强度有较大提高。

③ 渗氮 渗氮可以提高铁基结构材料的硬度、耐磨性、抗卡性、耐腐蚀性及疲劳强度。当材料密度大于 7.1 g/cm^3 时, 可进行气体渗氮, 当密度小于 7.1 g/cm^3 时, 气体氮化会造成零件边角脆化而掉边, 只适宜用离子渗氮。离子渗氮温度为 $500 \sim 600^\circ\text{C}$, 保温十几分钟到十几小时 (视零件具体要求而定)。材料中添加氮化物生成元素 Cr、Mo 等, 不仅能提高表面硬度, 而且可增加硬化层深度。渗氮处理温度低, 不影响零件的尺寸精度和形位精度, 适用于高精度耐磨零件。由于渗层较薄, 故适用于在高速、低载荷工况下工作的零件。

④ 氮碳共渗 离子氮碳共渗的处理温度和时间与离子渗氮化基本相同, 只是气氛中同时含有 N、C 原子, 对于不含氮化物生成元素 Cr、Mo 的材料 (如 Fe-C、Fe-C-Cu), 能起到提高耐磨性和耐腐蚀性的作用, 并且不改变零件的精度。适用于在较低载荷工况下工作的零件。

⑤ 渗其他合金元素 渗硫可改善材料的被

切削性能及减摩性能, 同时起到封闭孔隙的作用。渗硼可使材料表面硬度达 1330HV , 渗层深度约 0.08 mm , 从而提高材料的耐磨性及抗弯强度。渗锌及渗铝可提高材料的抗腐蚀和抗氧化性能。

⑥ 水蒸气处理 对烧结钢还可以进行水蒸气处理和电镀。烧结钢经过水蒸气处理后, 表面及表层孔隙表面生成一层牢固、致密的 Fe_3O_4 薄膜, 起到提高硬度、耐磨性及耐腐蚀性的作用。生成的氧化膜起到封闭孔隙的作用, 从而可改善材料的气密性。

⑦ 电镀 烧结钢零件可以进行镀镍、铬、锌、镉等处理。电镀前, 需对材料进行封孔处理, 以防止电镀液浸入孔隙, 造成内腐蚀。封孔办法有水蒸汽处理、浸树脂 (如厌氧树脂) 等。为了改善表面电导性能, 封孔后的零件需经抛光或喷砂处理, 然后再去电镀。电镀开始时, 需加大电流“冲镀”, 以增大表面活性, 促使密实的细晶沉积物长大。

热处理后烧结碳钢和烧结合金钢的化学组成与物理-力学性能见表 26.2-9。

表 26.2-9 经过热处理的烧结钢的化学组成与物理-力学性能

烧结碳钢									
含碳量 (质量分数) /%	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	力学性能							
		硬度	抗拉 强度 /MPa	屈服点 /MPa	伸长率 /%	冲击 ^① 吸收功/J	疲劳 极限 /MPa	弹性 模量 /GPa	泊松比
0.25~0.6	6.55	30HRA	400	380	0.5	—	150	110	0.21
0.25~0.6	6.9	50HRA	560	520	0.5	—	210	135	0.23
0.6~1.0	6.1	100HRB	400	380	<0.5	—	150	90	0.20
0.6~1.0	6.55	25HRC	500	480	<0.5	—	190	110	0.21
0.6~1.0	6.9	30HRC	650	630	<0.5	—	250	135	0.23

烧结合金钢											
材料组成 (质量分数) /% (余为 Fe)			密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	力学性能							
C	Cu	Ni		硬度 HRC	抗拉 强度 /MPa	屈服点 /MPa	伸长率 /%	冲击 ^① 吸收功/J	疲劳 极限 /MPa	弹性 模量 /GPa	泊松比
0.25~0.6	1~3	—	6.5	30	580	550	<0.5	—	220	110	0.21
0.25~0.6	1~3	—	6.9	35	690	650	<0.5	—	260	130	0.23
0.6~1.0	1~3	—	6.1	25	380	360	<0.5	—	145	90	0.20
0.6~1.0	1~3	—	6.5	35	550	520	<0.5	—	210	110	0.21
0.6~1.0	1~3	—	6.9	45	690	650	<0.5	—	260	130	0.23

续表 26.2-9

材料组成 (质量分数) / % (余为 Fe)				密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	力学性能						
C	Cu	Ni	硬度 HRC		抗拉强度 / MPa	屈服点 / MPa	伸长率 / %	冲击 ^① 吸收功 / J	疲劳极限 / MPa	弹性模量 / GPa	泊松比
0.25~0.6	—	2~4	6.6	32	670	550	0.5	7	270	115	0.22
0.25~0.6	—	2~4	7.1	42	910	750	0.5	15.5	360	145	0.24
0.25~0.6	—	2~4	7.3	45	1 070	890	1.5	28	400	160	0.26
0.6~1.0	—	2~4	6.6	35	700	650	0.5	8	280	115	0.22
0.6~1.0	—	2~4	7.1	45	930	880	0.5	—	370	145	0.24
0.6~1.0	—	2~4	7.3	47	1 100	1 050	0.5	26	410	160	0.26
0.6~1.0	—	4~6	6.6	35	650	550	0.5	5	250	115	0.22
0.6~1.0	—	4~6	7.1	42	750	650	0.5	9	350	145	0.24

烧结铜镍钢

材料组成 (质量分数) / % (余为 Fe)				密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	力学性能							
C	Cu	Ni	Mo		硬度	抗拉强度 / MPa	屈服点 / MPa	伸长率 / %	冲击 ^① 吸收功 / J	疲劳极限 / MPa	弹性模量 / GPa	泊松比
0.25~0.6	2~4	0.5~2	—	6.6	32HRC	565	450	0.5	7.5	220	115	0.21
0.25~0.6	2~4	0.5~2	—	6.95	40HRC	750	600	1	21	300	140	0.23
0.25~0.6	1~3	2~5	—	6.6	60HRA	500	—	—	—	190	110	0.21
0.25~0.6	1~3	2~5	—	6.95	65HRA	620	—	—	—	—	130	0.23

烧结铜镍钼钢

材料组成 (质量分数) / % (余为 Fe)				密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	力学性能							
C	Cu	Ni	Mo		硬度 HRC	抗拉强度 / MPa	屈服点 / MPa	伸长率 / %	冲击 ^① 吸收功 / J	疲劳极限 / MPa	弹性模量 / GPa	泊松比
0.6~1.0	1.5	1.75	0.5	6.75	32	650	550	0.5	5	250	117	0.22
0.6~1.0	1.5	1.75	0.5	7.1	42	900	750	1	9	350	145	0.24
0.25~0.6	1.5	4	0.5	6.75	24	715	560	0.5	—	285	117	0.22
0.25~0.6	1.5	4	0.5	7.1	38	980	770	1	—	390	145	0.24
0.6~1.0	1.5	4	0.5	6.75	30	790	660	0.5	—	320	117	0.22
0.6~1.0	1.5	4	0.5	7.1	40	1 080	890	1	—	420	145	0.24

① 悬臂梁式冲击试验。

(3) 烧结钢材料选择

选用材料时，需注意粉末冶金工艺的特点：

1) 工艺因素 当有多种不同成分和密度的材料都能满足使用要求时，应尽量选择密度低的材料。因为提高密度势必增大压制压力，加快模具消耗和增加工序。一般密度小于 6.5 g/cm^3 时，一次压制即可达到。密度为 $6.5\sim 6.9 \text{ g/cm}^3$ 时，需选用压缩性好的铁粉。密度为 $6.9\sim 7.4 \text{ g/cm}^3$ 时，需增加复压复烧、热复压、浸铜等工序或采用温压工艺。密度大于 7.4 g/cm^3

时，需采用热锻工艺或注射成形工艺。

需要采用热处理工艺提高零件的强度和硬度时，应选择 6.6 g/cm^3 以上的材料密度以避免过多的孔隙降低导热性，影响材料的淬透性。

2) 硬度特点 测定铁基结构材料表观硬度时，压头作用在材料的金属基体与孔隙的复合体上，表观硬度值低于相同成分及组织的致密材料。但金属基体的显微硬度可能不低于致密材料（同成分时），也可能高于致密材料（不同成分时）。大多数有硬度要求的结构材料在使用中，

局部压应力并不很大，主要要求耐磨，故表观硬度低的粉末冶金材料，其耐磨性往往优于表观硬度高的致密材料。应注意，选材时，对材料硬度的要求，要区别于通常对致密材料的要求，即相同使用效果时，允许粉末冶金材料有较低的表现硬度。另外，密度分布的不均匀性及合金化效果各部位不平衡的特点，使粉末冶金材料表现硬度的波动范围增大，在制定硬度要求时，要允许有一个比致密材料更宽的硬度波动范围。

3) 零件密度分布的不均匀性 粉末冶金结构零件在成形时，因模壁摩擦和粉末流动性差的因素，造成制品的密度不均匀性，并使零件不同部位的物理-力学性能有差异。对性能要求严格的零件，必须规定零件不同部位分段密度允许的差值，并对零件主要工作部位，如最大应力处、摩擦处、导磁部位等，规定密度允许的最小值。

1.2.2 烧结不锈钢

烧结不锈钢选择准则和化学组成相同的普通不锈钢一样，其中最主要的是耐蚀性。烧结不锈钢的力学性能也很好，特别是延性和韧性，另外，奥氏体不锈钢无磁性，从电化学观点看，和化学组成相同的冶炼不锈钢相比，烧结不锈钢并没有什么特异之处。但烧结不锈钢由于具有一定的孔隙度、致使暴露于侵蚀环境的自由表面大大增加，因此耐蚀性稍差。当将其表面孔隙适当地进行密封（如浸渍以树脂）时，则可显著改善其耐蚀性。

表 26.2-10 表示烧结不锈钢的化学成分与物理-力学性能。对于烧结不锈钢来说，烧结条件（特别是温度与保护气氛）对力学性能和耐蚀性有决定性影响。表中所列数据都是在高于一般铁基材料的烧结温度 1150℃，于分解氨气氛中烧结后获得的。

表 26.2-10 烧结不锈钢的化学成分和物理-力学性能

牌号	化学成分 (质量分数) %					力学性能							
	C	Ni	Cr	Mo	其他	密度 /g·cm ⁻³	硬度 HRB	抗拉强度 /MPa	屈服点 /MPa	伸长率 /%	冲击 ^① 吸收功 /J	弹性 模量 /GPa	泊松比
AISI303	<0.15	8~10	17~19	—	S0.15 Mn<2p Si<1	6.4	52	300	280	1.0	—	88	0.20
	<0.15	8~10	17~19	—	同上	6.8	65	390	365	2.0	6	108	0.21
AISI 304L	<0.03	8~12	18~20	—	Mn<2 Si<1	6.6	65	360	280	4.0	—	98	0.20
	<0.03	8~12	18~20	—	同上	7.0	75	430	290	7.0	—	120	0.22
AISI 316L	<0.03	10~14	16~18	2~3	Mn<2 Si<1	6.4	48	280	240	3.0	2.5	88	0.20
	<0.03	10~14	16~18	2~3	同上	6.8	68	380	290	4.0	6	108	0.21
AISI 410L	<0.03	<1	11.5 ~ 13.5	—	Mn<1 Si<1	6.0	85	290	280	0.5	—	82	0.19
	<0.03	<1	11.5 ~ 13.5	—	同上	6.4	95	380	370	1.0	—	103	0.20
	<0.03	<1	11.5 ~ 13.5	—	同上	6.4	95	380	370	1.0	—	103	0.20

① 悬臂梁式冲击试验。

1.3 有色金属烧结材料

(1) 铜基烧结材料

铜基烧结材料耐大气腐蚀，与钢件组成摩擦副（对于具有轴承功能的零件）时，具有优异的减摩性、导电性与导热性，且无磁性。铜基烧结材料的选择准则与化学成分相同的熔铸材料一

样，在机电产品中的用途也相同。铜基烧结材料的化学成分与物理性能见表 26.2-11。

1) 烧结青铜 一般是铜-锡系合金，锡的质量分数约为 10%。这种烧结青铜的韧性虽稍差，但具有适度的拉伸性能。若承受的比压较适中和材料的孔隙度可贮存一定量润滑油时，特别是对钢摩擦时，具有优异的减摩性能。

有的烧结青铜中可能还含有石墨,可用于制造对韧性无特殊要求且需具有自润滑性能,并承受中等应力的机械零件。

2) 烧结黄铜 这是一种铜-锌系合金。这种铜合金比青铜力学性能好得多,但减摩性能不太好,烧结黄铜的密度较高是原因之一。烧结黄铜中锌的质量分数约为20%。希望改进其切削加工性时,可在其化学组成中添加少量铅。烧结黄铜机电零件可用于承受一般疲劳应力与磨损,具有一定耐蚀性(如仪器零件),但不需进行表面涂覆。

3) 烧结锌白铜 这是一种铜-镍-锌合金,一般镍与锌的质量分数约为18%。这种烧结合金的力学性能与减摩性能都和烧结黄铜相似。需要改进其切削加工性时,可加入少量铅。添加少量铅对这种烧结合金的各种性能没有任何大的影响。用于特别的侵蚀性环境中,或需要耐大气腐蚀的机电零件,诸如船舶中一些仪器的零件,必须用这种烧结合金制造。

铜基烧结合金制品的制造公差见表26.2-12。这些尺寸公差,特别是烧结青铜制品的制造公差与铁基烧结制品很接近,有时窄一些。

表 26.2-11 铜基烧结合金的化学成分与物理-力学性能

材料	化学成分(质量分数)/%					密度/ g·cm ⁻³	力学性能 ^①						
	(余为Cu)						硬度	抗拉 强度 /MPa	屈服 ^② 点/MPa	伸长率/ %	冲击 ^③ 吸收功/J	弹性 模量 /GPa	泊松比
	Sn	Zn	Ni	Pb	其他								
青铜	9~11	—	—	—	<2 (Fe<1)	5.8	20HB	55	45	1	—	30	0.20
	9~11	—	—	—	<2 (Fe<1)	6.6	25HB	95	75	1	—	40	0.22
	9~11	—	—	—	<2 (Fe<1)	7.0	30HB	120	100	2.5	—	50	0.24
	9~11	—	—	—	<2 (Fe<1)	7.6	45HB	200	150	10	—	70	0.26
	9~11	—	—	—	<2 (Fe<1)	8.2	50HB	300	220	20	—	87	0.30
黄铜	—	8.3~12	—	—	—	7.4	57HRH	140	100	8	—	65	0.25
	—	8.3~12	—	—	—	7.8	70HRH	185	130	12	—	80	0.28
	—	27.8~ 31.5	—	—	—	7.4	76HRH	215	150	20	—	70	0.25
	—	29.8~ 31.5	—	—	—	7.8	85HRH	285	180	26	—	85	0.28
铅黄铜	—	7~11	—	1~2	—	7.4	46HRH	120	90	14	—	65	0.25
	—	7~11	—	1~2	—	7.8	60HRH	175	120	20	—	78	0.28
	—	20	—	1~2	—	7.4	50HB	165	90	13	12	63	0.25
	—	20	—	1~2	—	7.8	60HB	195	105	19	19	76	0.28
	—	20	—	1~2	—	8.2	—	220	120	23	25	90	0.30
	—	26.5~ 30.5	—	1~2	—	7.4	65HRH	195	100	22	—	65	0.25
锌白铜	—	26.5~ 30.5	—	1~2	—	7.8	76HRH	235	130	27	—	77	0.28
	—	18	18	—	—	7.8	70HB	200	120	10	12	84	0.28
铅锌 白铜	—	18	18	—	—	8.2	80HB	250	140	12	16	100	0.30
	—	13.2~ 20	16.5 ~ 19.5	1~ 1.8	—	7.8	70HB	190	120	10	11	80	0.28
	—	13.2~ 20	16.5 ~ 19.5	1~ 1.8	—	8.2	80HB	240	130	12	14	95	0.30

① 数据大部分来源于现有文献; ② 压缩屈服强度; ③ 无凹口夏比冲击试验。

表 26.2-12 铜基烧结合金制品的尺寸公差范围举例

合金种类	制造过程特点	相对密度/ %	尺寸 /mm	典型公差		
				垂直于压制 方向的尺寸	平行于压制 方向的尺寸	同轴度
青铜	经一道模 具作业	63.5~87.5	18~30	—	IT10	IT10
			30~50	IT8	IT10	IT10
			50~80	IT8	IT11	IT11
			80~120	IT8	IT11	IT11
			120~150	—	IT11	IT11
黄铜	经一道模 具作业	84.5~92.8	所有	IT13	IT13	—
锌白铜	经一道模 具作业	84.5~92.8	所有	IT13	IT13	—

(2) 铝基烧结材料

铝基烧结合金质量轻、强度/质量比高、在侵蚀性环境中耐大气腐蚀、热导性与导电性好且无磁性。

铝基烧结合金的减摩性能和耐磨性十分优越。孔隙度不低于 20% 且含浸一定量润滑剂的铝基烧结合金，对钢摩擦时的性状接近于烧结青铜的水平，在某些方面优于具有同样孔隙度的铁基烧结合金。铝粉的压缩性好，采用压制工艺易获得高密度，故铝基烧结合金的力学性能、耐蚀性及一般物理性能都比较好。此外，这种烧结合

金的切削性极好，特别是经过热处理，可得到最佳表面粗糙度。

表 26.2-13 列出了铝基烧结合金的化学成分和物理-力学性能。表中的数据都是在一般工业生产条件下得到的。

铝基烧结合金属于可时效硬化合金，用热处理可获得优异的力学性能。铝基烧结零件通常都是在烧结后或烧结-复压或冷成形后再进行固溶热处理，冷水淬火及时效处理（最好是人工时效）。

表 26.2-13 铝基烧结合金的化学成分和物理-力学性能

系列	材料 牌号	化 学 成 分						密度/ g·cm ⁻³	力 学 性 能 ^①							
		质量分数/% (余为 Al)							硬度	抗拉 强度 /MPa	屈服点 /MPa	伸长率 /%	冲击吸 收力 ^② /J	疲劳 极限 /MPa	弹性 模量 /GPa	泊松 比
		Mg	Si	Cu	Mn	Zn	Cr									
2000	* ^③	1	0.3	2	—	—	—	2.53	83HRH	140	100	4	—	—	—	—
	* T6 ^④	1	0.3	2	—	—	—	2.53	73HRE	230	190	2	—	—	—	—
	** ^⑤	—	—	4	—	—	—	2.64	—	160	75	10	—	—	57	0.25
	** T	—	—	4	—	—	—	2.64	—	225	145	7	—	—	57	0.25
	2014	0.5	0.8	14.4	<0.4	—	—	2.50	70HRE	150	115	3	5	—	49	0.23
	2014	0.5	0.8	14.4	<0.4	—	—	2.64	75HRE	180	150	3	7	45	59	0.25
	2014 T6	0.5	0.8	14.4	<0.4	—	—	2.50	85HRE	250	235	1	3	—	49	0.23
	2014 T6	0.5	0.8	14.4	<0.4	—	—	2.64	90HRE	300	280	2	6	52	59	0.25

续表 26.2-13

系列	材料 牌号	化 学 成 分						密度/ g·cm ⁻³	力 学 性 能 ^①							
		质量分数/% (余为 Al)							硬度	抗拉 强度 /MPa	屈服点 /MPa	伸长率 /%	冲击吸 收功 ^② /J	疲劳 极限 /MPa	弹性 模量 /GPa	泊松 比
		Mg	Si	Cu	Mn	Zn	Cr									
6000	6061	1	0.6	0.25	—	—	0.1	2.42	62HRH	100	65	4	7	—	47	0.23
		1	0.6	0.25	—	—	0.1	2.55	65HRH	125	80	6	—	35	56	0.25
	6061 T6	1	0.6	0.25	—	—	0.1	2.42	72HRH	140	130	0.5	2.5	45	47	0.23
		1	0.6	0.25	—	—	0.1	2.55	80HRE	210	195	2	—	—	56	0.25
	*** ^③	***	0.6	0.4	—	—	—	2.42	64HRH	120	55	9	—	—	45	0.23
			0.6	0.4	—	—	—	2.55	—	130	60	9	—	—	54	0.25
		*** T6	0.6	0.4	—	—	—	2.42	—	175	165	2	—	—	45	0.23
			0.6	0.4	—	—	—	2.55	—	185	170	3	—	—	54	0.25
7000	7075	2.5	—	1.6	—	5.6	0.2	2.51	90HRH	205	150	3	—	—	49	0.23
	7075 T6	2.5	—	1.6	—	5.6	0.2	2.51	80HRE	310	275	2	—	—	49	0.23

① 精整后的力学性能和部分数据来源于现有文献；② 悬臂梁式冲击试验；③ 非标准成分；④ T6-固溶硬化和人工时效。

铝基烧结零件烧结时的尺寸稳定性较差，因此烧结后必须进行精整。表 26.2-14 中所列的公差都是精整后的公差。精整（或复压）不仅可提

高铝基烧结零件的尺寸精度，而且固溶热处理后与时效处理前的塑性变形还有助于进一步提高烧结铝合金的力学性能水平。

表 26.2-14 铝基烧结材料制品精整后的尺寸公差范围举例

相对密度 /%	尺寸/mm	典 型 公 差			
		平行于压制 方向的尺寸	垂直压制 方向的尺寸	孔间中心 至中心距离	孔 径
90.2--95.3	<3	—	IT7	—	IT6
	3~6	IT12	IT7	IT8	IT7
	6~10	IT12	IT7	IT8	IT7
	10~18	IT12	IT8	IT8	IT7
	18~30	IT12	IT8	IT8	IT7
	30~50	IT13	IT8	IT9	IT7
	大于 50	—	IT8	IT9	—
95.3--97.8	<3	—	IT7~8	—	IT6
	3~6	IT12~13	IT7~8	IT8~9	IT6~7
	6~10	IT12~13	IT7~8	IT8~9	IT7~8
	10~18	IT12~13	IT8~9	IT8~9	IT7~8
	18~30	IT12~13	IT8~9	IT8~9	IT7~8
	30~50	IT13	IT8~9	IT9~10	IT7~8
	大于 50	—	IT8~9	IT9~10	—

1.4 磁性材料及电工合金

(1) 磁性材料

烧结金属软磁材料一般都是以烧结状态供应的。可做进一步处理（复压，退火）以改善其磁性能或耐蚀性。烧结金属软磁材料的特点是孔隙度较低（一般小于 10%，相对密度 > 87.7%）。这类烧结材料的化学组成与力学性能和用于同样用途的熔铸合金类似。烧结金属软磁材料的主要化学成分与磁性能见表 26.2-15。

烧结纯铁磁性优异，密度愈高，晶粒愈粗、杂质含量愈少（特别是碳），磁性就愈好。其他烧结软磁合金大体上也具有同样关系。此外，对于铁基或镍基烧结软磁合金来说，合金元素的均匀分布也很重要。烧结铁基合金中添加的合金元素主要是磷、硅、镍及钴。添加磷主要是为了增高铁基烧结合金的密度与电阻率。

烧结铁硅合金的矫顽力小、电阻率大，这种

烧结合金硅的质量分数一般为 3%，少数高达 6%。可用铝取代烧结铁硅合金中的部分或全部硅，这些烧结合金的电阻率仍然很高。烧结铁镍合金的磁导率颇高、矫顽力很小、一般镍的质量分数为 50%。

烧结铁钴合金的最重要特性是饱和磁通密度高，钴的质量分数为 25%~50%。

设计人员对化学组成和传统的 Mumetal 与坡莫合金相同的烧结合金比较感兴趣。这些烧结合金的镍含量高、价格也高，其磁性能也比一般烧结铁镍合金好。烧结铁镍合金因烧结温度较高，制造公差稍宽一些。表 26.2-16 中列出了一些铁基烧结软磁合金的制造公差。这些数据都是在一般工业生产条件下获得的。

(2) 烧结金属电触头材料

表 26.2-18 为烧结金属电触头的化学成分、性能及应用。

表 26.2-15 烧结金属软磁材料的化学成分、磁性能

材料系	材质		直流磁特性							交流磁特性					
	成分 / %	密度 / g·cm ⁻³	相对密度 / %	磁通密度 / 10 ⁻¹ T					磁场强度 H / (79.5 775 A/m)	相对磁导率		磁通密度 / 10 ⁻¹ T			
				B ₁	B ₅	B ₁₀	B ₂₅	B _r		μ _i	μ _m	B ₁	B ₅	B ₁₀	B ₂
Fe 100	6.8	86.6		7.6		11.5	8.2~10.1	1.1~2.5		(1.3~3.1) × 10 ³					
	7.0	89.2		8.8~10.8		11.5~12.5	8.6~10.8	1.3~2.3		(1.8~3.3) × 10 ³	0.3	2.4	4.2	7.5	
	7.2	91.7				12.5	9.5~11.5	0.9~2.8		(2.0~4.1) × 10 ³					
	7.4	94.2		11.3~12.9		14.2~14.7	12.0~12.9	0.9~1.8		(3.6~5.4) × 10 ³					
Fe-P	0.3P	7.0~7.1	89.8		11.6	B ₂₀ 12.4~13.0	11.2~11.7	1.5~2.0	0.6	4.0 × 10 ³					
	0.45P	7.2	91.7			13.0~13.6	11.2~12.4	0.6~1.4		(4.9~5.6) × 10 ³					
		7.4	94.2		12.8		14.9	12.6~13.4	0.6~1.3		(3.8~6.7) × 10 ³				
	0.6P	7.1~7.2	91.1		9.6~12.0		11.9~14.9	11.1~12.4	1.2~1.6	1.3	(3.6~5.6) × 10 ³				
		7.4	94.2		9.7~13.0		12.5~14.5	11.1~12.8	0.8~1.5	1.5	(5.0~7.3) × 10 ³	0.6~0.7	3.6~4.0	5.4~6.0	9.5
0.8P	7.2	91.7			B ₁₅ 12.7~13.3	11.4~11.6	0.4~0.8		(6.8~11.9) × 10 ³						

续表 26.2-15

材料系	材质			直流磁特性						交流磁特性							
	成分/%	密度/ g·cm ⁻³	相对密度/%	磁通密度/10 ⁻¹ T					磁场强度 H/(79.577 5 A/m)	相对磁导率		磁通密度/10 ⁻¹ T					
				B ₁	B ₅	B ₁₀	B ₂₅	B _r		μ _i	μ _m	B ₁	B ₅	B ₁₀	B ₂		
机械结构用	0.3C	6.8	86.6			B ₂₀ 8.9		7.4	4.0								
	2Cu-0.3C	↑	↑			B ₂₀ 6.7		5.2	5.7								
	2.5Ni-0.3C	↑	↑			B ₂₀ 6.6		4.9	5.2								
Fe-Si	2Si	7.13	92.1				B ₃₂ 13.2	8.6	1.2		3.5×10 ³						
	3Si	6.9	90.0	5.3	9.6	B ₂₀ 11.2		7.8	0.8	3.5	4.9×10 ³	0.42	B ₂ 1.6	B ₃ 4.3	B ₁₆ 9.7		
		7.2~7.3	94.5	3.9~7.3	11.7~12.2	12.2~13.0	13.3~14.0	10.0~11.1	0.8~0.9		(5.1~7.4)×10 ³	0.7~0.8	5.3~5.8	8.1~8.4	12.0~12.4		
	4Si	6.86	90.1			B ₁₅ 11.2	B ₃₂ 12.1	8.4	0.9		3.9×10 ³						
		7.3	95.4	5.0	11.5	13.0	14.0		0.6~0.7		(6.4~6.9)×10 ³						
2Si-0.45P	7.34	94.7			B ₁₅ 13.5	B ₃₂ 14.4	11.6	0.7		6.1×10 ³							
Fe-Ni	45Ni	7.3	88.5				11.8~13.0	8.0~8.3	0.26~0.3	7.0~7.5	(10~21)×10 ³						
		7.7	93.3	7.0~8.0	10.4~12.0	12.0~13.2	14.4	5.0~5.9	0.3~0.4		(10~13)×10 ³	2.3	5.8	8.3	12.5		
	47Ni	7.2~7.3	87.9	8.0~10.2		12.2~13.3		7.6~9.5	0.18~0.34	0.6~1.4	(15.5~25)×10 ³	1.2	B ₂ 3.0	B ₃ 6.5	B ₁₆ 9.4		
	50Ni	7.7	93.3	8.0~8.4	11.4~11.5	12.0~12.2	12.6~12.7		0.2~0.25		(11.3~16)×10 ³						
	78Ni	7.65	89.0				6.3		0.05		70×10 ³						
	45Ni-2Si	7.1	88.0			10.8			0.2		25×10 ³						
其他	50Co	7.7	92.8			17.0	18.5	11.0	2.0		4.0×10 ³						
	4Sn	7.6	96.8				15.1	13.0	0.56		10.7×10 ³						
	13Cr	7.3	94.2				11.0	8.3	1.43	0.82	2.7×10 ³						

表 26.2-16 一些铁基烧结软磁材料的尺寸公差范围举例

材料	密度/g·cm ⁻³	公差 ^①	
		垂直于压制方向	平行于压制方向
Fe	6.90~7.10	IT8~9	IT11~12
	7.10~7.30	IT8	IT12
	7.30~7.50	IT9~10	IT12~13

续表 26.2-16

材 料	密度/g·cm ⁻³	公差 ^①	
		垂直于压制方向	平行于压制方向
P=0.3% Fe-P P=0.45% P=0.6%	6.90~7.10	IT9	IT12
	7.10~7.30	IT9~10	IT12
	6.90~7.10	IT9	IT12
	7.10~7.30	IT10	IT12
	6.90~7.10	IT10	IT11
	7.10~7.30	IT10~11	IT12~13
Fe-Ni	6.97~7.22	IT10~11	IT12
	7.22~7.66	IT11	IT13

① 经一道模具作业。

2 粉末冶金零件形状与尺寸精度

表 26.2-17 压坯的基本形状

2.1 压坯形状

粉末冶金零件的成形是通过在压模内由模冲压缩金属粉末，使之致密化而达到的。因此，压坯的形状和密度都受到一定限制。为使压坯各部分密度均匀，必须考虑压制时模冲的个数、模具的动作及成形过程中粉末的移动，此外，还受到成形压力机和模架结构的制约，所以，首先根据单轴向在刚性压模中压制成型的可能性。将制品压坯按形状进行分类。

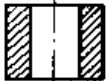
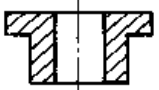
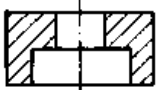

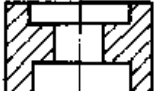

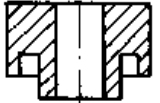
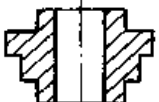

(1) 压坯形状分类

根据现有粉末成形压力机的构造和模架、模具的结构。一般将能成形的粉末压坯归纳为五种基本类型（见表 26.2-17）。

I 型是指柱状、筒状、板状等形状最简单的一类压坯。如汽车的气泵转子、油泵内转子等，它们通常可以由阴模、一个上模冲、一个下模冲和芯棒组成的模具成形。

II 型是指端部有外凸缘或内凸缘的一类压坯。如汽车的真空泵转子、转向离合器导承等。它们通常要由阴模、一个上模冲、两个下模冲及芯棒组成的模具成形。

III 型是指上、下端面都有凸台的一类压坯。如汽车的减震器导向器壳、变速器毂等。III 型压坯必须由阴模、两个上模冲、两个下模冲和芯棒组成的模具成形。

类型	可动模冲数		基本形状	
	上模冲	下模冲		
I	1	1		
II	1	2		
III	2	2		
IV	1	3		
V	2	3		

IV 型是指下部有三个台阶面的一类压坯。如汽车发动机的带轮毂、摩托车的调整带轮等。IV 型压坯必须由阴模、一个上模冲、三个下模冲和芯棒组成的模具成形。

V 型是指上部有两个台阶面，下部有三个台阶面的一类压坯。V 型压坯是目前用粉末冶金成

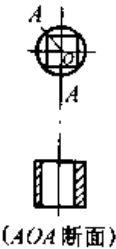
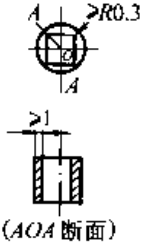
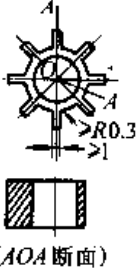


表 26.2-18 主要烧结电触头的化学组成、性能及应用

合金名称	牌号	化学组成 (质量分数) /%						物理-力学性能				应用例		
		Ag	Cu	Ni	CdO	W	Mo	石墨	电阻率/ $\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	热导率/ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	抗压强度 /MPa		硬度 HBS	密度/ (g/cm^3)
银-镍	Ag-Ni15	85	—	15	—	—	—	—	0.021	401.93	—	50	10.2	磁起动机, 可调式与通用的自动开关, 工作条件特别沉重的继电器, 铁路信号设备, 线路继电器, 振电子换流器, 电焊机继电器等
	Ag-Ni30	70	—	30	—	—	—	0.025	364.25	—	55	9.9		
	Ag-Ni40	60	—	40	—	—	—	0.029	326.57	—	69	9.6		
	Ag-Ni45	55	—	45	—	—	—	0.031	280.52	—	70	9.25		
	Ag-Cu18	92	—	—	8	—	—	—	0.021	368.44	—	58	9.7	
银-氧化铜	Ag-Cu12	88	—	—	12	—	—	0.024	351.69	510	56	9.65	一般工业、航海及航空工业用继电器, 磁起动机, 自动温度调节器, 内燃机起动机, 控制器等	
	Ag-Cu15	85	—	—	15	—	—	0.027	326.57	470	59	9.55		
	Ag-C2	98	—	—	—	—	2	0.020	381.00	—	40	9.7		
银-石墨	Ag-C3	97	—	—	—	—	3	0.021	—	220	30	9.1	无线电接收机的波段开关, 升降机的控制装置, 调压器等	
	Ag-C5	95	—	—	—	—	5	0.027	—	160	25	8.15		
	Ag-W30	70	—	—	—	30	—	0.021	339.13	650	75	12.1		
银-钨	Ag-W50	50	—	—	—	50	—	0.025	309.82	850	105	13.5	热继电器, 多速电动机开关, 电子继电器, 阻尼继电器, 鼓形开关, 日用电器开关, 内燃机起动机等	
	Ag-W60	40	—	—	—	60	—	0.028	272.14	—	130	14.4		
	Ag-W80	20	—	—	—	80	—	0.037	—	—	220	16.3		
	Ag-Mx30	70	—	—	—	—	30	0.022	251.21	—	70	—		
银-铂	Ag-Mx60	40	—	—	—	—	60	0.027	—	850	127	—	电弧触头, 汽车无线电接收机的振电子换流器等	
	Ag-Mx70	30	—	—	—	—	70	0.030	—	1170	165	10.4		
	Ag-Mx80	20	—	—	—	—	80	0.034	—	—	190	—		
	Cu-C5	—	95	—	—	—	—	5	0.043	—	17	6.50		
铜-钨	Cu-W20	—	80	—	—	20	—	—	0.024	680	100	9.85	对焊机的接触器“罐”型少油高压断路器, 电弧炉用功率油断路器	
	Cu-W40	—	60	—	—	40	—	—	0.031	960	135	11.25		
	Cu-W60	—	40	—	—	60	—	—	0.041	1300	160	13.5		
	Cu-W80	—	20	—	—	80	—	—	0.049	—	220	15.75		

形压机可成形的、形状最复杂的压坯，如汽车变速器的同步器齿毂，摩托车的单向超越离合器内



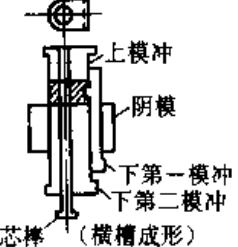
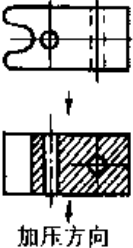
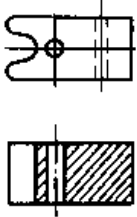
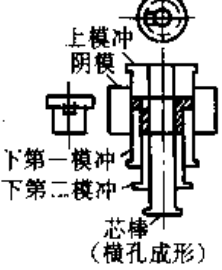


1) 粉末能否均匀充填的限制 在压制过程中，模具里各部分的粉末在同时受压的情况下，

续表 26.2-19

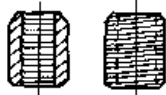
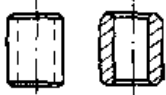
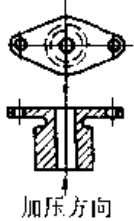
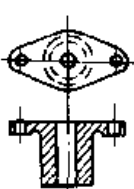
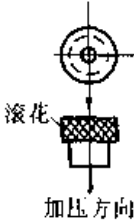
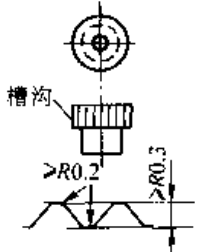
原设计	粉末冶金设计	备注
 <p>(AOA 断面)</p>	 <p>(AOA 断面)</p>	<p>棱角部应以 R0.3 以上的圆弧过渡而且壁厚应大于 1 mm</p>
	 <p>(AOA 断面)</p>	<p>花键齿部壁厚应大于 1 mm, 齿根部应以 R0.3 以上圆弧过渡</p>
 <p>尖角</p>	 <p>$r > 0.25$</p>	<p>把转角做成 $r > 0.25$ mm 的圆角, 便于粉末充填和流动, 压制时可避免应力集中和开裂</p>

2) 压坯脱模的限制 一般压制成形都是沿压坯的轴向进行的。制品中径向的孔、槽、螺纹和倒锥, 通常是不能压制成形的, 需要在烧结后用切削加工来完成。设计压坯时, 必须将其修改成能脱模的形状。表 26.2-20 所示为修改形状的例子。

表 26.2-20 受压坯脱模限制的零件形状举例

原设计	粉末冶金设计	备注
 <p>加压方向</p>		 <p>与加压方向垂直的沟槽成形后无法脱模, 所以沟槽应靠随后的机械加工完成。但如右图单侧有槽, 可以设法脱模</p>
 <p>加压方向</p>		 <p>与加压方向垂直的孔成形后无法脱模, 须靠烧结后的机械加工完成。但类似左图的情况则可以脱模</p>
 <p>加压方向</p>		<p>倒锥形压坯无法脱模</p>

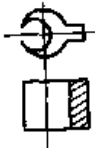
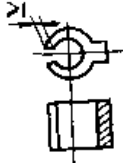
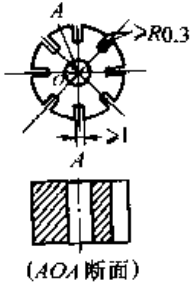
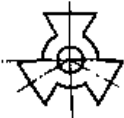

续表 26.2-20

原设计	粉末冶金设计	备注
		螺纹须成形烧结后由机加工完成
		与压制方向垂直的退刀槽应改为与压制方向平行
		要求滚花时, 应改为和轴线平行的齿形, 齿形要求如右图所示

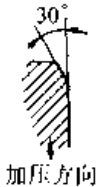
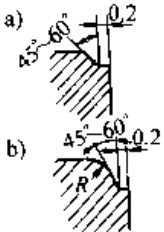

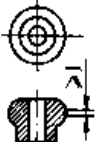
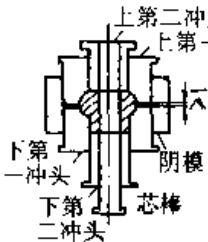

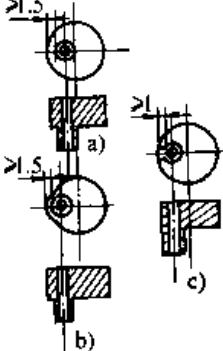
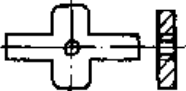
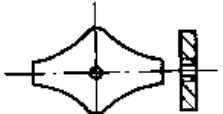

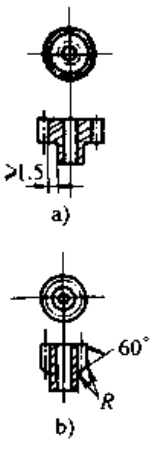
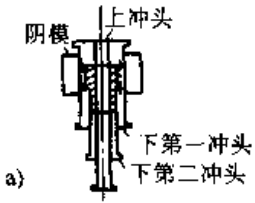
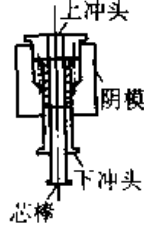
3) 压模强度与刚性的限制 由于铁基粉末烧结的结构零件的成形压力一般为 600 MPa 左右, 故压模的强度与刚性必然受到一定的限制。设计压坯时, 应避免在压模结构中出现强度与刚性不足的部位。压制直径小于 2 mm 的孔或长度较长、直径小于 3 mm 的孔时, 芯棒容易折断或

弯曲。压制多台面压坯时, 为避免模冲太薄而易损坏, 压坯内、外台面厚度都不能小于 1.5 mm。具有球形外表面的压坯, 其中间部位应有一平台(宽 1 mm)带, 避免模冲末端做成尖角和锐边, 防止压制时上下模冲碰坏。表 26.2-21 所示为受压模强固性限制的零件形状举例。

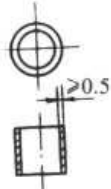
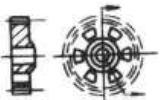


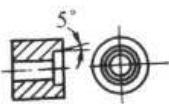
表 26.2-21 受压模强固性限制的零件形状举例

原设计	粉末冶金设计	备注
		避免出现尖刃, 应设计成 1 mm 以上的平刃
		对细深的切槽, 槽宽须 1 mm 以上, 槽底部及端面要有 R0.3 mm 以上的圆弧过渡, 以使压模变得强固
		箭头示之角处呈锐角时, 压模易破坏, 故要做成圆角

续表 26.2-21


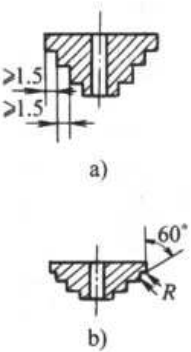
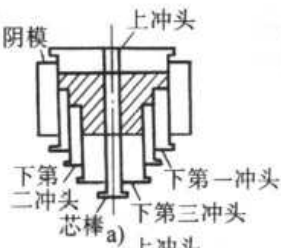
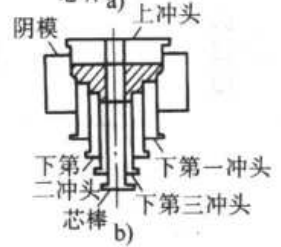
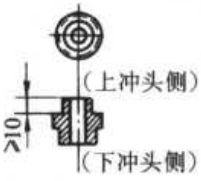

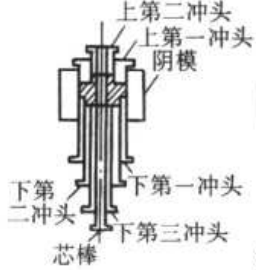

原设计	粉末冶金设计	备注
		<p>倒角应设计成 45° 以上，或同时以圆弧过渡，并有 0.2 mm 的平台</p>
		<p>成形球形压坏时，应带有如右图所示的高度大于 1 mm 的柱面，以防止上、下模冲接触损坏</p> 
		<p>应避免两圆相切，要修改成图 a、b、c 的设计，有利于模冲加工，并提高模具强度</p>
		<p>细窄部分要尽量设计成宽大的曲线</p>
		<p>在成形带轮毅齿轮的场合，齿根圆与轮毂外径一致时，压模无法制作。应改为图 a 形式</p>  <p>轮毂直径与齿根圆之差单面不得小于 1.5 mm，或改为图 b 形式</p>  <p>带台阶处齿轮端面带约 60° 角</p>

续表 26.2-21


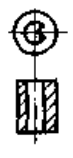

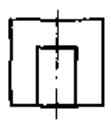


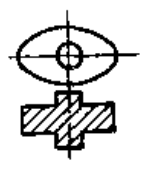
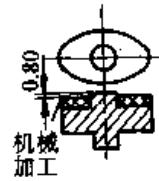
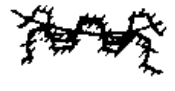



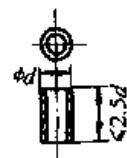
原设计	粉末冶金设计	备注
		含油轴承的壁厚不得小于 0.5 mm
		为了压模易于制作与安装, 孔的形状最好为圆形, 推荐作成圆孔, 可降低成本
		埋头孔 (孔端面) 要带 5° 左右的拔梢

4) 压坯密度均匀性的限制 密度均匀对于提高和稳定烧结制品的强度与尺寸精度十分重要。对于沿压制方向有多台阶面的零件, 为使压坯密度均匀, 应尽量少成形几个台阶面, 烧结后再用切削加工做出其余几个台阶面。表 26.2-22 所示为受密度不均匀限制的零件形状例。

表 26.2-22 受压坯密度均匀性限制的零件形状举例

原设计	粉末冶金设计	备注
		 <p>a) 多台阶部分可烧结后由机械加工完成。相邻的各台阶的壁厚差不应小于 1.5 mm</p>  <p>b) 在由阴模成形台阶的场合, 应将台阶设计成右图带 60° 斜面的形状</p>
		  <p>外台阶距上冲头 10 mm 以下容易脱模, 最好设计出脱模锥度。若上、下轮毂径相同, 则可简化冲头结构</p>

续表 26.2-22

原设计	粉末冶金设计	备注
		键槽应设计成右图套筒中带凸键的形状
		如左图所示孔的形状复杂的零件, 最好成形-烧结为右图所示的简单形状后再机械加工
		断面急剧变化的零件将引起密度变化; 这是烧结时尺寸变化不定的原因, 容易产生缺陷, 应尽量避免
		上部的凸起部, 最好成形为如图所示之形状后机械加工
		齿轮的齿顶与齿根的齿形可进行修正, 以增高齿的强度和降低噪声
		非圆形齿轮和圆形齿轮一样制作
		高度与直径比大于 2.5, 工件中部易出现低密度区

(3) 对一些特殊形状设计的说明

表 26.2-19 至表 26.2-22 对压坯形状设计的限制性因素用图例进行了说明, 但有些情况随着成形技术的发展会产生变动, 有必要进一步加以说明。

1) 壁厚 压坯最小壁厚取决于整个压坯的尺寸与形状。对于长度很长的压坯, 壁厚不应小于 1.5 mm。但壁厚仅 0.3 mm, 长度为 1.0 mm 的烧结零件已经大量生产, 所以压坯的长度对壁

厚之比也是很关键的。当压坯的长度与壁厚之比为 8:1 或更大时, 必须采用特殊措施使装粉均匀。这时密度差异实际上是不可避免的, 但应力求最小。压制薄壁、长压坯的模具十分易坏, 寿命很短。

2) 凸台 高度不大于压坯总高度 15% 的单一凸台, 当其斜度足够大时, 可用具有相应凹形面的模冲成形 (图 26.2-1)。图 26.2-2 所示之埋头孔也可用类似的方法成形。用这种方法成形的

压坯凸台部与其余部分之间密度差较大，但模具最简单，模具与零件费用最低，轴向公差也最小。

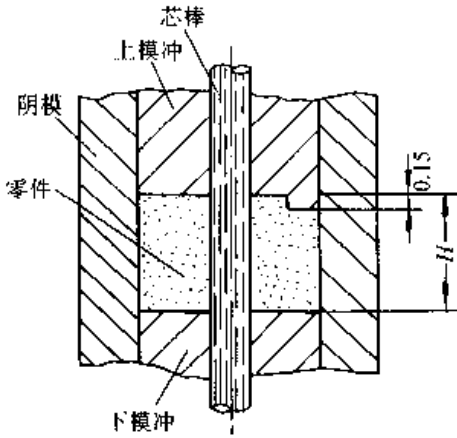


图 26.2-1 用模冲直接成形凸台
单一凸台高度不大于零件总高度的 15%

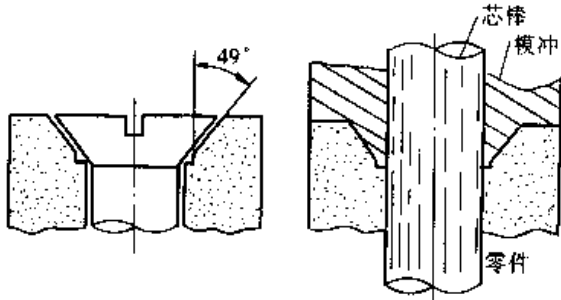


图 26.2-2 用模冲直接成形埋头孔

(标准埋头孔的一表面需对轴线成 45°。窄小端的小平台可以适当增高模具强度，而无损于零件功能)

3) 凸缘 凸缘小时，可用带台阴模成形(图 26.2-3)。使用带台阴模成形时，为便于脱模，防止压坯碎裂，压坯形状设计应注意下列几点：①凸缘须有拔梢；②凸缘底边要做成圆角；③凸缘与压坯主体连接处要做成圆角。

4) 拔梢与斜度 压坯侧壁为直壁时一般不需要拔梢。当压坯侧壁有拔梢时，为避免装粉时粉末楔入阴模或芯棒的拔梢与下模冲之间，生产速度应减低。为防止上模冲进入阴模壁或芯棒的拔梢部分。在拔梢部分通常须有一小段表面平行于压制方向(图 26.2-3)。

5) 沟槽 在低、中密度压坯的任一端面都可用带凸起的模冲直接压制出沟槽，但须符合下列要求：①半圆形或弧形沟的最大深度不大于压坯总高度的 30%；②若矩形沟槽平行于压制方向的表面有不大于 12°的拔梢和所有角与棱边都做成圆角时，则矩形沟槽的最大深度可为压坯总高度的 20%。

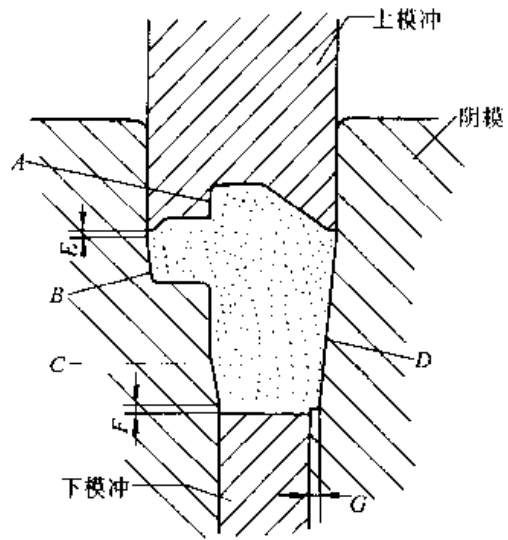


图 26.2-3 带凸台压坯形状设计图

A: 成形零件台肩的模冲中的台阶，为便于脱模，至少需有 12°的拔梢；B: 非支撑凸缘作成 2°~3°拔梢便于脱模；C-D: 当采用底部压制时最适宜的拔梢为 15°；E: 为防止模冲在压制时楔入与带拔梢的阴模壁，需有一长 0.25~0.50 mm 的平行表面；F-G: 由于压制完成时模冲与阴模位置的变动，阴模内腔的斜面状可能会使粉末塞在模冲与阴模或芯棒之间的锐角中。可在阴模上做出长度为 0.2~0.25 mm，平行于压制方向的小平面 F 或一高度为 0.25~0.50 mm 的小的径向台 G

6) 孔 压坯中平行于压制方向的通孔，不论其形状如何，都易于成形。但对于不通孔，设计时应注意(参见图 26.2-4)：

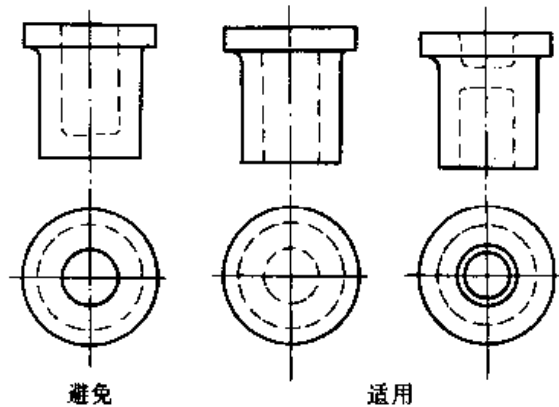


图 26.2-4 要避免不通孔底面面向凸缘

①不通孔底部最好避免面向凸缘(见图 26.2-4)，否则要用较复杂的粉末移送成形法(见本章 3.5 “不等高压坯的设计原理”中的举例)。

②若不通孔的投影面积不大于压坯总投影

面积的20%，不通孔深度不大于压坯总高度的25%，且最小拔梢为 $10^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 时，则可用带凸起构型的模冲，在凸缘一端（若无凸缘时，在压坯任一端均可）成形出浅的不通孔。

③ 图26.2-4所示的下部不通孔，有时可用一活动芯棒或第二个下模冲成形。侧向孔或不平行于压制方向的孔都无法压制成形，须采用后续切削加工完成。

压坯中孔的最大直径受到壁厚的限制，最小直径则取决于孔的深度。孔的直径不应小于其深度的20%，一般孔的最小直径为2 mm。当孔的高径比较大时，成形孔的芯棒可能弯曲或脱模时被拉长。在复压时，由于侧向力或切向力较大，芯棒可能会断裂。

7) 圆角与倒圆 对于带有要求不严格的角或棱边的压坯，一般尽量采用大圆角过渡，以延长模具寿命。当烧结零件功能要求尖棱边或小圆角时，压坯图上应特别注明。实际上在阴模壁与模冲面连接处无法成形圆角半径（图26.2-5），因

为这需要将模冲边减薄到零。常用的方法如图26.2-5，增加一个微小平台，否则只有进行切削加工。

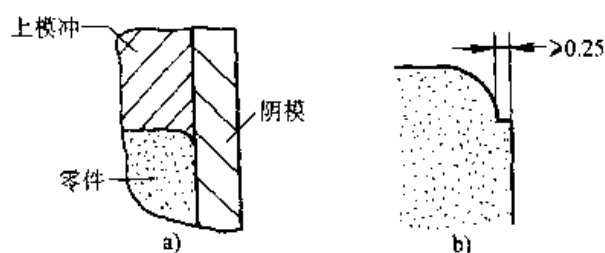


图26.2-5 压坯的圆角和倒圆的设计
a) 不适应 b) 适用

图a半径无法压制成形，因为它必须将模冲边缘减薄至零，故应改为图b边缘处加一平台

8) 倒角和斜角 如仅为防止产生毛边，压坯边缘采用倒角比圆角好。为避免模冲边缘过于尖薄，一般采用 45° 角和一个不小于0.25 mm的平台（见图26.2-6）。然而，最好的方法是取不大于 30° 的倒角，这可最大限度地减小模冲倒角凸出部的破裂倾向。当倒角的径向角度必须大于 30° 时，也可选择在复压时形成斜角。

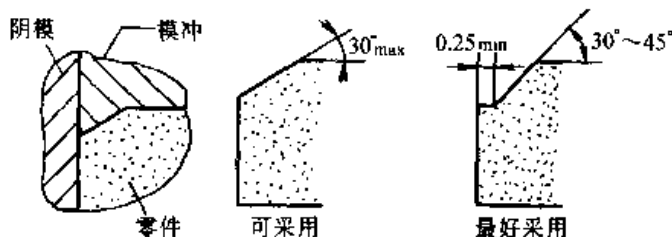


图26.2-6 压坯的倒角与斜角的设计

在模具零件交会处。最好采用倒角而不取倒圆。对径向 $\leq 30^{\circ}$ 的角度，可使模具具有足够高的强度。角度 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 的终端应有一平台。应避免角度大于 45°

9) 字母、数字标志 凸出或凹入的文字都可以在垂直压制方向的表面上同时压制出来。当压坯须进行复压时，也可留至复压时再在零件上压制出来。

(4) 利用组合成形法简化压坯的复杂形状

对于某些难于压制的形状复杂的压坯，以及对其各部分性能或材质要求不同的烧结件，可以采用组合成形法。如表26.2-23中的例子，先将烧结件分解为几部分压制，然后采用组合成形法再做成整体零件。常见的组合成形法有：烧结收缩过盈法、过盈压入法、液相扩散法、浸渗法和烧结钎焊法。

1) 烧结收缩过盈法是把两部分压坯设计成

不同成分，利用二者烧结收缩（或膨胀）量的不同，靠收缩过盈连成整体。常用的方法是调节含铜量或含磷量。

2) 过盈压入法是把烧结后的几部分压坯，在有一定过盈量（几 μm 到几十 μm ）的情况下，靠压入的方法将其组合在一起。

3) 液相扩散法是利用烧结时压坯组织中出现的少量液相，在压坯结合面上产生液相扩散，使几部分压坯结合在一起。

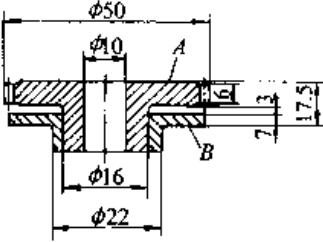
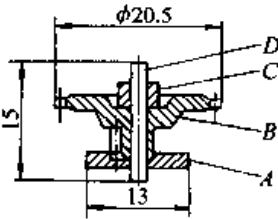
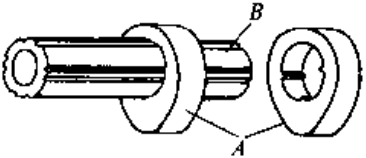
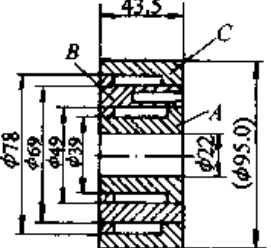
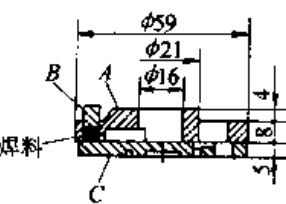
4) 烧结浸渗法是将几部分压坯叠放在一起烧结，并且浸渗铜。由于铜适当过量，在两个压坯的接触面上形成薄铜层，冷却后将两者连接成整体。

5) 烧结钎焊法是采用镍-铜-锰合金粉末作

焊料，在烧结过程中焊粉熔化，通过压坯与导向套之间的缝隙（宽 0.01~0.10 mm）流入，与铁熔解后，熔点提高，重新凝固，将几部分压坯粘结成整体（见表 26.2-23）。几种组合烧结法相比：选

用烧结钎焊法或烧结收缩过盈法的产品尺寸精度高，渗铜法中等；烧结钎焊法密封性好，渗铜法中等，烧结收缩过盈法较差；而在成本上，烧结收缩过盈法最低，烧结钎焊法中等，渗铜法较高。

表 26.2-23 组合成形零件举例

工作剖面图	组合成形简要工艺
<p>1) 烧结收缩过盈法（复印机送纸机构用齿轮）</p> 	<p>材质：A Fe-3Cu-0.6C, 6.9 g/cm³ B Fe-1.5Cu-0.6C, 6.9 g/cm³</p> <p>工艺：将 A、B 两部分分别压制后，组合在一起，于 1130℃ 烧结 30 min，因两者膨胀量的不同，使界接触压力增大，促进界面固相扩散而结合成整体</p>
<p>2) 过盈压入法（汽车立体声装置用凸轮）</p> 	<p>材质：A、B、C 均为 Fe-2Cu-0.5C, D 为不锈钢, 6.6 g/cm³</p> <p>工艺：把 A、B、C 三部分工件分别压制，进行烧结并蒸汽处理之后，控制过盈量在 8~15 μm 的情况下，将 D 压入 A、B、C 中</p>
<p>3) 液相扩散法（汽车用凸轮轴）</p> 	<p>材质：A Fe-5Cr-1Mo-2Cu-0.5P-2.5C, 7.6 g/cm³ B 碳素钢钢管</p> <p>工艺：把 A 在 940℃ 以下预烧后，将轴 B 压入凸轮 A。二者间 V 型沟间隙小于 0.3 mm。在 1110℃ 烧结 30 min，烧结时 A 产生收缩，同时出现液相，两者形成牢固的结合</p>
<p>4) 熔渗法（液压马达侧板）</p> 	<p>材质：（烧结前） A Fe-3Cu-0.7C, 6.7 g/cm³ B、C Fe-1.5Cu-1.0C, 6.7 g/cm³</p> <p>工艺：将 A、B、C 三部分压制后，组合成一体进行烧结，烧结时铜熔渗进内部孔隙，将三者结合成整体（在满足气密性要求的情况下，要正确设计好铜的熔渗量）</p>
<p>5) 烧结钎焊法（汽车用叶片泵侧板）</p> 	<p>材质：A、B、C Fe-2Cu-0.8C, 6.6 g/cm³, B 的下层为焊料部分</p> <p>工艺：将 A、B、C 三部分压坯组合后，在 1130℃ 烧结 30 min。由于在界面上已做出沟槽，焊料熔融后分别进入 A/B 及 A/C 界面，将各部分结合成一体，确保了结合强度与工件本身的强度相同</p>

(5) 压坯尺寸限制

压坯的最大高度尺寸受到压机允许的模具最大装粉高度的限制。模具的装粉高度因主要原料粉末的种类、配比、混料方式及装粉方法而异。压坯的径向最大尺寸取决于压机的压制能力和装粉靴的大小。若施加于模具上的总压力为 F ，则

$$F = S \times p \quad (26.2-1)$$

式中 S ——压坯的投影面积；

p ——压坯成形须用的单位压力。

如果压机的压制能力为 F_{\max} ，则成形压坯的最大投影面积为

$$S \leq \frac{F_{\max}}{p} \quad (26.2-2)$$

铁基粉末冶金压坯的单位成形压力约为 400~700 MPa。

此外，压坯的径向尺寸还受到装粉靴大小的限制。压坯径向尺寸至少要比装粉靴单侧的尺寸小 20 mm 以上，才能保证装粉质量。

2.2 压坯密度

烧结制品的密度对其物理-力学性能有明显影响。一般烧结材料的孔隙度越小，也就是密度越高，其物理-力学性能越好。利用压缩性好的原料粉末、复压-重烧结、温压、高温烧结、热锻等工艺都可以制造高密度粉末冶金零件，但有些方法制造的粉末冶金零件密度虽高，尺寸精度却较差，生产费用也较高。因此在设计压坯时，应设法做到既能满足零件的技术性能要求，又经济合理，压坯密度也不至过高。

(1) 压坯的密度分布

仅从上向下或从下向上压制成形时，为单向压制，在与施加压力的上模冲接触的压坯上端，密度是从边缘向中心部位逐渐减小，边缘处密度最大。在压坯高度方向，密度是从上向下逐渐减小。但靠近阴模壁处，由于外摩擦的作用，轴向压力的减低比中心部位大得多。故压坯底部边缘处的密度比中心小。

对压模中的粉末进行双向压制成形时，由于阴模内壁与粉末颗粒间的摩擦阻力，上、下模冲从上、下双方所施加的压力则自上、下两端向中间衰减。压坯的高度越高，两端与中间部位的密度差就越大。在设计细长零件压坯时，不仅要设定压坯的整体密度，而且要特别注意不同部位的密度差。

(2) 压坯的壁厚与密度分布

压坯壁厚越小，压坯的上、中、下的密度差就越大。这是阴模内壁以及芯棒表面对粉末的摩擦阻力增大所致。对于齿轮压坯，模数越小，齿顶部与齿心部的密度差就越大，模数大于 2.5 mm 的压坯，其密度差较小。设计小模数齿轮时，一定要注意这种情况。

(3) 用凸凹状模冲成形的压坯的密度分布

当压坯端面的形状难以采用组合模冲成形时，往往将模冲端面做成凸凹状，用这种模具成形的压坯具有较大的密度差。

2.3 压坯尺寸精度的确定

模具设计时必须考虑对压坯的尺寸精度要求。粉末冶金工艺可以制取高精度的制品，但制造高精度的制品，除了需要成形模、精整模的尺寸精度高外，还必须严格控制粉末的性能、成分及烧结工艺，其制造费用随着精度的提高而增大。因此，烧结金属制品的尺寸精度应以满足使用条件或技术要求为准。

(1) 普通烧结金属零件的尺寸精度与表面粗糙度

1) 尺寸精度 烧结金属零件的尺寸精度取决于粉末的种类与颗粒形状、粉末组成、模具零件的工作精度、压机动作方式与动作精度、成形条件、烧结条件和后续处理等。压坯的径向精度主要受模具尺寸精度的影响。压坯的轴向精度主要受压机动作、压机精度、装粉精度的影响。一般来说，压坯的径向尺寸比较容易达到较高精度，而轴向尺寸精度较差。当烧结后制品的尺寸精度满足不了设计要求时，可以采用烧结+精整工艺。

根据现在粉末冶金制品生产的实际水平，以最常用的 Fe-Cu 粉末合金材料制造的零件为例，说明零件分别经烧结、烧结+精整、烧结+水蒸气处理、烧结+精整+水蒸气处理、烧结+热处理和烧结+精整+热处理等不同工艺处理后可能达到的外径、内径和高度的精度范围，详见表 26.2-24。

精整方式对常用铁基与铜基制品的尺寸精度的影响举例见表 26.2-25。材料的化学成分对压坯的尺寸精度亦有影响，表 26.2-26 列出了几种常用粉末冶金材料的典型径向尺寸公差。

表 26.2-24 Fe-C-Cu 系烧结零件内、外径和高度的尺寸精度 (参考) (mm)

压机类别	生产工艺	外径 $\phi 20 \sim \phi 30$	内径 $\phi 5 \sim \phi 15$	高度		
				≤ 10	10~20	20~30
		尺寸精度	尺寸精度	尺寸精度		
400 kN	烧结后	0.06~0.12	0.04~0.08	0.10~0.30	0.10~0.30	0.15~0.40
	烧结+水蒸气处理	0.07~0.13	0.05~0.08	0.12~0.32	0.15~0.35	0.20~0.42
	烧结+热处理	0.10~0.18	0.07~0.12	0.14~0.35	0.14~0.35	0.20~0.45
	烧结+精整	0.03~0.06	0.02~0.03	0.06~0.30	0.06~0.30	0.10~0.40
	烧结+精整+水蒸气处理	0.04~0.07	0.03~0.05	0.06~0.30	0.06~0.30	0.10~0.40
	烧结+精整+热处理	0.06~0.12	0.04~0.10	0.10~0.30	0.10~0.30	0.15~0.40
压机类别	生产工艺	外径 $\phi 50 \sim \phi 80$	内径 $\phi 10 \sim \phi 30$	高度		
				≤ 10	10~20	20~30
		尺寸精度	尺寸精度	尺寸精度		
2 000 kN	烧结后	0.09~0.24	0.06~0.12	0.10~0.40	0.10~0.40	0.15~0.50
	烧结+水蒸气处理	0.10~0.26	0.06~0.12	0.11~0.42	0.11~0.42	0.16~0.52
	烧结+热处理	0.14~0.33	0.08~0.18	0.14~0.45	0.15~0.46	0.20~0.56
	烧结+精整	0.05~0.10	0.03~0.07	0.06~0.40	0.06~0.40	0.10~0.50
	烧结+精整+水蒸气处理	0.05~0.12	0.04~0.08	0.06~0.40	0.10~0.40	0.12~0.50
	烧结+精整+热处理	0.10~0.24	0.07~0.12	0.10~0.40	0.10~0.40	0.14~0.50
压机类别	生产工艺	外径 $\phi 100 \sim \phi 150$	内径 $\phi 20 \sim \phi 50$	高度		
				≤ 10	10~20	20~30
		尺寸精度	尺寸精度	尺寸精度		
5 000 kN	烧结后	0.15~0.40	0.08~0.20	0.20~0.40	0.20~0.40	0.25~0.60
	烧结+水蒸气处理	0.18~0.45	0.09~0.22	0.22~0.42	0.22~0.42	0.27~0.62
	烧结+热处理	0.25~0.55	0.14~0.28	0.24~0.45	0.25~0.46	0.30~0.66
	烧结+精整	0.07~0.16	0.04~0.10	0.15~0.40	0.15~0.40	0.20~0.60
	烧结+精整+水蒸气处理	0.08~0.20	0.05~0.12	0.16~0.40	0.16~0.40	0.20~0.60
	烧结+精整+热处理	0.15~0.35	0.08	0.20~0.40	0.20~0.40	0.24~0.60

注: 成分 Fe- (1.5~2) Cu- (0.5~0.8) C, 密度 6.6~6.8g/cm³。

表 26.2-25 精整方式对常用铁基与铜基制品径向尺寸精度的影响举例 (mm)

精整方式	尺寸精度			
	> $\phi 10 \sim \phi 18$	> $\phi 18 \sim \phi 30$	> $\phi 30 \sim \phi 50$	> $\phi 50 \sim \phi 80$
单整外径 (外径公差)	0.027~0.035	0.033~0.045	0.039~0.050	0.046~0.060
单整内径 (内径公差)	0.027~0.035	0.033~0.045	0.039~0.050	0.046~0.060
整内、外径、(内、外径公差)	0.019~0.027	0.023~0.033	0.027~0.039	0.030~0.046
全精整 (内、外径公差)	0.011~0.019	0.013~0.023	0.015~0.027	0.018~0.030

表 26.2-26 几种粉末冶金制品的典型径向尺寸的公差举例 (mm)

材 料	烧 结 态	精 整 态	热 处 理 态
黄铜、青铜	±0.089	±0.013	—
铝	±0.051	±0.013	±0.013
铁	±0.025	±0.013	—
铁-铜合金	±0.025	±0.025	±0.038
铜钢	±0.038	±0.025	±0.038
镍钢	±0.038	±0.025	±0.038
不锈钢	±0.025	±0.013	—

注：径向尺寸≤12.7 mm，轴向公差 0.102 mm。

2) 位置精度 烧结结构零件的位置精度要求，常见的有同轴度、垂直度、平行度和径向圆跳动等。装粉的均匀性、模冲与芯棒和阴模的配合间隙大小、模冲定位导向部分的长度都会影响烧结零件的同轴度。自动压制时，轴套类压坯的同轴度可以控制在 IT8 级左右。压机导柱与工作台面之间的垂直度、模具有关部位之间的垂直度偏差、模具配合间隙以及装粉的均匀性都会影响烧结零件的垂直度。在一般情况下，烧结零件的垂直度为 IT9~10 级，而烧结零件的平行度一般取决于精整模具和压力机的平行度以及精整方式。在平行于压制方向的烧结零件侧面，其平行度约为 IT7~8 级，烧结零件的端面的平行度约为 IT9~10 级。

烧结制品的位置精度随着其径向尺寸的增大

而降低。烧结后，精整工序可以提高烧结制品的位置精度。水蒸气处理工艺则对其无明显影响，而热处理工艺会使其有所降低。对于最常用的 Fe-C-Cu 合金，具体例子参见表 26.2-27 和表 26.2-28。

3) 表面粗糙度 烧结零件的表面粗糙度取决于模具表面的粗糙度。烧结零件在烧结后的表面粗糙度约为 $Ra2.5 \mu m$ 。当用抛光后的精整模具精整时，烧结零件的侧表面粗糙度可提高到 $Ra0.5 \mu m$ 。但烧结零件的端面，包括其锥面和球面，由于精整时这部分表面与模壁无明显的相对移动、挤压，故精整与否对其表面粗糙度无明显影响。以最常用的 Fe-C 合金和 Fe-C-Cu 合金为例，不同工艺、不同尺寸外径的烧结零件的表面粗糙度可参见表 26.2-29 和表 26.2-30。

表 26.2-27 Fe-Cu-C 系烧结零件的径向圆跳动和平行度 (参考) (mm)

压机类别	工 艺	外 径	径 向 圆 跳 动	平 行 度
400 kN	烧结后	20~30	0.04~0.08	0.03~0.10
	烧结+水蒸气处理		0.04~0.08	0.03~0.10
	烧结+热处理		0.06~0.12	0.05~0.12
	烧结+精整		0.03~0.08	0.02~0.08
	烧结+精整+水蒸气处理		0.03~0.08	0.03~0.08
	烧结+精整+热处理		0.05~0.12	0.05~0.10
2 000 kN	烧结后	50~80	0.08~0.12	0.05~0.15
	烧结+水蒸气处理		0.08~0.12	0.05~0.15
	烧结+热处理		0.10~0.18	0.08~0.15
	烧结+精整		0.06~0.12	0.04~0.10
	烧结+精整+水蒸气处理		0.06~0.12	0.05~0.10
	烧结+精整+热处理		0.08~0.15	0.06~0.14

续表 26.2-27

压机类别	工艺	外径	径向圆跳动	平行度
5 000 kN	烧结后	100~150	0.12~0.17	0.08~0.20
	烧结+水蒸气处理		0.12~0.17	0.08~0.20
	烧结+热处理		0.16~0.22	0.14~0.25
	烧结+精整		0.08~0.17	0.06~0.15
	烧结+精整+水蒸气处理		0.08~0.17	0.07~0.15
	烧结+精整+热处理		0.12~0.20	0.08~0.20

注：成分：Fe-1.5~2Cu-0.8C，密度 6.6~6.8 g/cm³。

表 26.2-28 全精整压坯的形位公差举例

成形方法	形位公差示例
两个模冲成形	
多个模冲成形	

续表 26.2-28

成形方法	形位公差示例
齿轮	<p style="text-align: right;">齿轮精度 7 级</p>

表 26.2-29 Fe-(1.5~2)Cu-(0.5~0.8)C 合金和 Fe-(0.5~0.6)C 合金零件的表面粗糙度(参考)

压力机类别	400kN			2 000 kN			5 000 kN		
	烧结	水蒸气处理	热处理	烧结	水蒸气处理	热处理	烧结	水蒸气处理	热处理
外径/mm	20~30			50~80			100~150		
表面粗糙度/ μm	8~12.5	10~12.5	8~12.5	8~12.5	10~12.5	8~12.5	8~12.5	10~12.5	8~12.5

注：烧结后再进行水蒸气处理或热处理。密度 6.6~6.8 g/cm³。

表 26.2-30 Fe-(1.5~2)Cu-(0.5~0.8)C 合金和 Fe-(0.5~0.6)C 合金的表面粗糙度(参考)

压力机类别	400~5 000 kN			
工艺	烧结	烧结+精整	烧结+精整+水蒸气处理	烧结+精整+热处理
外径/mm	20~150	20~150	20~150	20~150
表面粗糙度/ μm	8~12.5	3~8	6~10	5~10

注：烧结后精整，然后再进行水蒸气处理或热处理。密度 6.6~6.8g/cm³。

(2) 烧结齿轮的尺寸精度和表面粗糙度 齿轮时可能产生的尺寸偏差及其影响因素见表 26.2-31。烧结齿轮的精度最差者是齿槽跳动，其次是齿形公差、齿厚公差、齿向公差和齿距公差。烧结齿轮的精度取决于模具的材料与尺寸精度，以及烧结材料和工艺。用粉末冶金工艺制造

表 26.2-31 粉末冶金齿轮制造中可能产生的尺寸偏差与常见原因

误差	常见原因
节径不同心	成形模具磨损
节径太大	阴模磨损
弦齿距太大	阴模磨损
齿面有梢	往往是阴模的顶部比底部磨损大
节径不圆(梨形)等	不对称, 压坯收缩不均匀
齿槽不均	收缩不均匀, 密度不均匀, 阴模装粉不合适
齿面与孔不平行	上述的所有原因

齿槽跳动受模具的组装、装粉、成形及烧结变形等因素的影响。其中模具精度对其影响最大。当齿轮的中心孔为圆孔时，用分度圆夹具夹住外径精车内孔时，可达 7~8 级。

在批量生产时，烧结状态与热处理状态的齿形公差可达到 8~9 级，精整后可达到 7 级。

齿厚即公法线长度的公差与齿形公差相同，除模具精度外，压制、烧结过程中齿轮的变化都会影响齿厚公差。

齿向公差一般可达到较高的精度。但若齿轮的内壁带台阶时（见图 26.2-7），由于不同壁厚的上下两部分密度差的影响，会使齿向精度降低，精整后效果亦不十分明显。因此，在齿向精度要求高时，应将带台阶内孔改为直孔。烧结齿

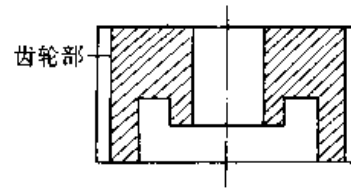


图 26.2-7 烧结带台齿轮举例
轮的齿距精度取决于模具的精度。

烧结齿轮的容许精度见表 26.2-32，实际生产中烧结齿轮的尺寸精度和形位公差举例参见表 26.2-33 和表 26.2-27。

烧结齿轮的表面粗糙度一般不低于 $Ra1.6 \sim 2.5 \mu m$ ，精整后可达到 $Ra0.32 \mu m$ 。水蒸气处理和热处理工艺对两种常用成分的烧结齿轮精度的影响参见表 26.2-33 的例子。

表 26.2-32 烧结齿轮的一般容许精度

项 目	节 径/ μm		
	小于 12	12~30	30~60
单一齿距公差	0.012	0.015	0.020
齿距累积公差	0.050	0.060	0.070
齿形公差	0.013	0.015	0.020
齿槽公差	0.050	0.060	0.070
齿厚公差	0.035	0.040	0.050
外径公差	0.035	0.040	0.050

表 26.2-33 齿轮精度

压机类别	工 艺	外径/mm	齿轮精度 (JIS 级)
400 kN	烧结	20~30	5~7
	烧结+水蒸气处理		5~7
	烧结+热处理		6~8
	烧结+精整		4~6
	烧结+精整+水蒸气处理		4~6
	烧结+精整+热处理		5~7
2 000 kN	烧结	50~80	5~7
	烧结+水蒸气处理		5~7
	烧结+热处理		6~8
	烧结+精整		4~6
	烧结+精整+水蒸气处理		4~6
	烧结+精整+热处理		5~8

续表 26.2-33

压机类别	工艺	外径/mm	齿轮精度 (JIS级)
5 000 kN	烧结	100~150	6~8
	烧结+水蒸气处理		6~8
	烧结+热处理		7~8
	烧结+精整		5~7
	烧结+精整+水蒸气处理		5~7
	烧结+精整+热处理		6~8

注:化学成分(质量分数):Fe-(1.5~2)Cu-(0.5~0.8)C与Fe-(0.5~0.6)C,密度:6.6~6.8 g/cm³。

3 粉末冶金零件压制成形原理

粉末冶金的压制成形是指将粉末混合物置于压模中,通过模冲对粉末体施加压力,使之成形。随后卸压,再将压坯(已成形之粉末体)由模具中脱出。因此,在设计模具时,应掌握常用模架和模具的基本结构及动作、压制方式与压坯密度的关系、压制过程和精整过程中力的计算等。

3.1 模架和模具的基本结构与动作

(1) 模架和模具的基本结构

粉末冶金压制成形所用的模架是成形时所用工具的总称,它是由模具、模具支座及接合器所构成。而模具主要是由阴模、上、下模冲和芯棒构成(图 26.2-8)。阴模用于成形零件的径向形

状和尺寸,借助于上、下模冲的运动来决定零件高度方向的尺寸,芯棒则是用于成形轴向孔。图 26.2-9 示出了模架和模具以及有关部件的关系。

以成形 II 型压坯(上一台面、下两台面)的装粉状态为例,典型模架的整体结构图见图 26.2-10。

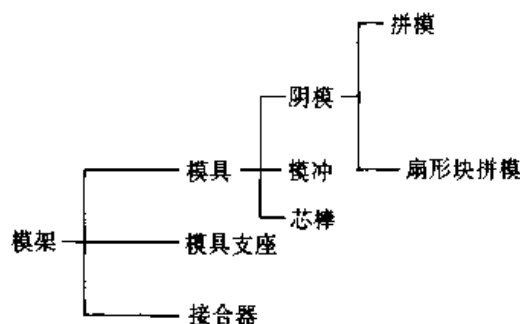


图 26.2-9 模架的关联用语

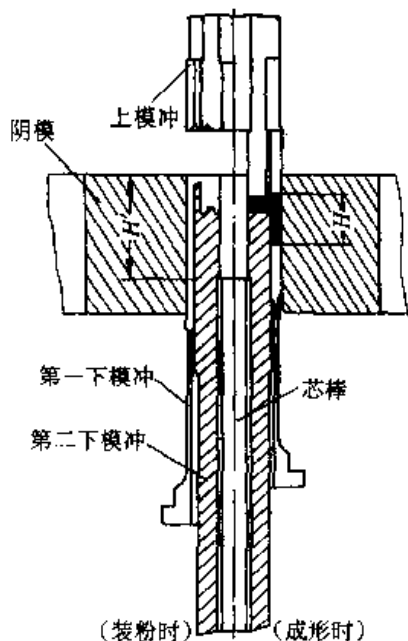


图 26.2-8 模具组装图

H'—装粉高度 H—压坯高度

(2) 模架和模具的基本动作

典型模架各部分的配置位置和功能,可利用图 26.2-10 说明如下:

- 1) 模架以鞍形板连接于压机下压头上。
- 2) 用四根导柱将鞍形板与阴模板连结,通过下压头的上、下动作,进行一体化连动。
- 3) 将底板固定在压机台面上,加压时承受下模冲施加的压力。
- 4) 将上模冲固定在上模板上,然后安装于压头上。依靠导柱将上模冲与阴模调至精确同轴。
- 5) 将第二下模冲安装在底板上。
- 6) 通过提升杆将第一下模冲顶上去,用装粉调整螺母分别调整第一与第二下模冲在轴向成形的装粉深度。

压制时(即装粉、模具闭合,压制和脱模整个过程中),模架(包括模具)的基本动作顺序为:

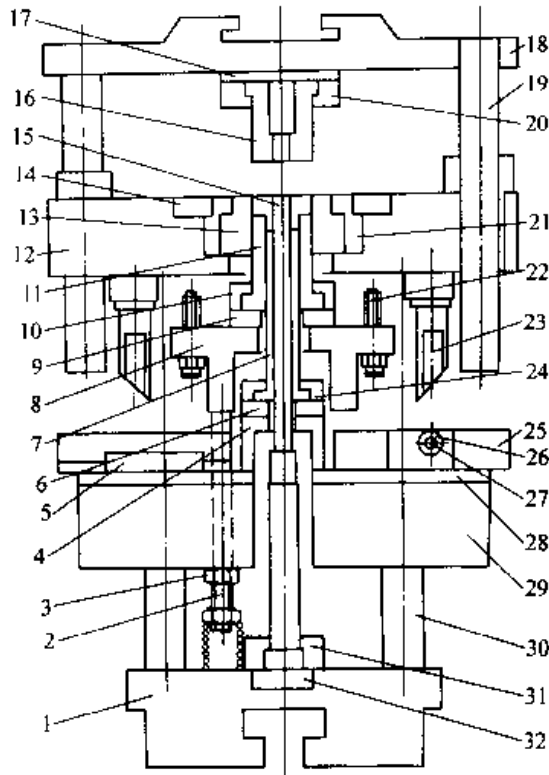


图 26.2-10 标准模架（拉下法、上一台面、下两台面模架图例）(JPMA4)

1—靴形板 2—提升杆 3—装粉调整螺母 4—第二下模冲支座 5—导体 6—第二下模冲托板 7—第二下模冲
8—第一下模冲支座 9—第一下模冲托板 10—第一下模冲压板 11—第一下模冲 12—阴模板 13—阴模
14—阴模压板 15—芯棒 16—上模冲 17—上模冲底板 18—上模冲板 19—导柱 20—上模冲压板 21—阴
模座 22—拔出调整螺栓 23—楔形块 24—第二下模冲压板 25—滑块 26—滚轮 27—滚轮销 28—耐磨板
29—底板 30—导柱 31—芯棒压板 32—芯棒底板

1) 由自动装粉靴将粉末充填于阴模型腔中，上压头即下降。

2) 上模冲进入阴模中进行压缩。

3) 上模冲压缩到既定行程后，即与阴模（连同阴模板）开始一起下降。阴模的下降速度可控制为与上模冲同速，或慢于上模冲。

4) 与阴模板联动的靴形板也同时下降，由弹簧支承在靴形板上的提升杆也下降，使得第一下模冲也和阴模板一起下降。

5) 连接第一下模冲的第一下模冲支座一触及滑块，正好位于规定的和第二下模冲的相对位置时，即由上模冲进行最终压制成形（加压位置）。

6) 加压成形完成后，上压头回升，下压头再下降一段距离，使安装在阴模板上的楔形块将滚轮向左右推开，造成滑块从第一下模冲支座和与之连接的第一下模冲下移开，阴模与第一下模冲分别下降到压坯可以自由脱出的（脱模）位置。

7) 下压头上升，通过提升杆将第一下模冲顶上去，滑块借助于弹簧复位，从而回到装粉位置。

3.2 压制和精整过程中力的分析

(1) 压制压力

粉末体在压模中于压力下成形，压制压力是模具设计与选择压力机的重要参数。在实际生产中，一般说来硬质合金的单位压力为 100~300 MPa。铜基材料的单位压力为 200~500 MPa。铁基材料的单位压力为 400~700 MPa。不锈钢材料的单位压力为 700~800 MPa。

在压制和脱模过程中压坯除了受到正压力之外，还受到侧压力、摩擦力、弹性内应力、脱模压力等的作用。

(2) 侧压力和残余侧压力

粉末体在压模内受压时，压坯会向周围膨胀，模壁就会给压坯一个等量、反向的作用力。

压制过程中这种由垂直压力（压强 p ）所引起的模壁给予压坯的侧面应力称为侧压力（侧压强 p_s ）。由于粉末颗粒之间的内摩擦和粉末体与阴模壁之间的外摩擦等因素的影响，传递到模壁上的压力（即侧压力）将始终小于压制压力。

根据虎克定律，可以得到：

$$p_s = \xi p = p\nu / (1 - \nu) \quad (26.2-3)$$

式中 ν ——泊松比；

ξ ——侧压系数。

应该指出，由于没有考虑粉末体的塑性变形和阴模壁变形的影响，以及侧压力随压坯高度降低而下降的变化，所以按式（26.2-3）计算出来的侧压力仅是一个估计值。

卸压后，上模冲回程，由于受粉末施加的横向应力而胀大的阴模发生收缩，对压坯产生压缩作用，表现为径向残余侧压力（ p_a ）。这个力表征着压坯、阴模、刚性限制压坯的其他模具组件、下模冲等之间在卸压后的新的平衡状态。对于铁基粉末，残余侧压力值 p_a 为

$$p_a = (0.2 - 0.3) p \quad (26.2-4)$$

(3) 脱模压力

使压坯从模具中脱出所需的力称为脱模压力。脱模压力与压制压力、粉末性能、压坯的密度和尺寸、压模的润滑剂有关。

为了从模具中顶出压坯，脱模压力必须大于模壁摩擦阻力。开始顶出压坯所必需的脱模压力 F_c ，可由下式求出：

$$F_c = f' p_a S_s \quad (26.2-5)$$

式中 f' ——粉末对阴模壁的静摩擦因数，铁基压坯单位压力在 400~700 MPa 的范围内时 f' 值为 0.18~0.25；

S_s ——压坯与阴模接触的侧面积。

对于齿轮类制品的侧面积可由下式近似计算：

$$S_s \approx m (8z - 7.75) H \quad (26.2-6)$$

式中 m ——齿轮模数；

z ——齿数；

H ——压坯高度。

当脱模压力超过压坯在阴模中开始移动的阻力峰值时，压坯继续滑动所需的力将有所下降。然而，当局部磨损或模具制造时造成的某些缺陷影响模具内表面时，压坯的脱模压力可能再次突

然地明显增大。脱模的单位压力一般不大于 30 MPa，否则在模具强度方面可能引起严重问题。

此外，铁粉的脱模压力 F_c 与压制压力 F 的关系为

$$F_c \approx 0.13F \quad (26.2-7)$$

硬质合金物料的脱模压力一般为

$$F_c \approx 0.3F \quad (26.2-8)$$

在使用硬脂酸锌作为润滑剂来压制铁粉时，可以将脱模压力降低到 0.03~0.05F。

(4) 精整压力的计算

精整工艺是将烧结后的零件在模具中进行冷压，通过塑性变形来提高零件的尺寸精度并改善表面粗糙度。对于小密度的轴套类零件，精整压力一般为压制压力的 1/3~1/2。但对于复杂形状的结构零件，精整压力有可能接近或超过压制压力。

轴套类零件的精整压力，取决于其成分、金相组织、孔隙度、精整余量和精整方式。最常见的精整方式“外箍内”是零件外径留有精整余量，内径不留精整余量。精整时芯棒先进入内孔，上模冲强迫零件一起通过阴模，使零件内、外径都减小，从而达到同时精整内、外径的目的（见图 26.2-11）。而“内胀外”则是零件外径基本不留精整余量，内径留精整余量，外径表面的挤压是靠内径精整时向外胀大来实现的（见图 26.2-12）。

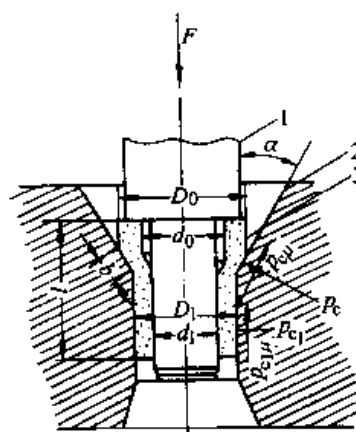


图 26.2-11 外箍内精整方式的受力分析
1—模冲与芯棒 2—阴模 3—被整形零件

采用“外箍内”或“内胀外”精整方式时，精整压力 F_c 由下面三部分组成：

$$F_c = F_1 + F_2 + F_3 \quad (26.2-9)$$

式中 F_1 ——实现轴套变形所需的力；
 F_2 ——克服精整区外摩擦所需的力；
 F_3 ——克服内摩擦所需的力，或为了补偿在斜面上与由于轴向材料位移有关的内部损失所需的力。

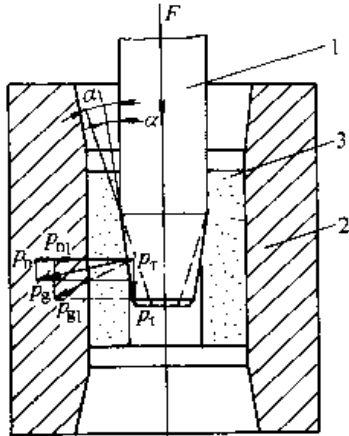


图 26.2-12 内胀外精整方式的受力分析
 1—芯棒 2—阴模 3—被精整零件

$$F_1 = p_c \Delta S \quad (26.2-10)$$

式中 p_c ——在精整区的平均压强；
 ΔS ——在精整过程中轴套横截面积的变化。

$$F_2 = Qf p_c \quad (26.2-11)$$

式中 Q ——阴模精整区的工作表面积；
 f ——精整区的外摩擦因数。

$$F_3 = 0.58 \sigma \alpha S_2 \quad (26.2-12)$$

式中 σ ——塑性变形抗力，取决于被精整件的材质、组织和孔隙度；
 α ——阴模入口端的角度；
 S_2 ——精整区轴套的横截面积。

将式 (26.2-10)、(26.2-11) 和 (26.2-12) 代入式 (26.2-9)，得出精整压力的数学表达式为

$$F_c = F_1 + F_2 + F_3 = p_c (\Delta S + fQ) + 0.58 \sigma \alpha S_2 \quad (26.2-13)$$

由式 (26.2-13) 便能计算出精整压力，式中的 p_c 、 ΔS 、 Q 和 S_2 ，根据精整方式而定：

1) 当采用“外箍内”方式精整时 (图 26.2-

11)，在精整区的平均压强可按下式计算：

$$p_c = \frac{\sigma}{1 + \frac{\Delta S}{2S_2} \left(1 - \frac{f}{\alpha}\right)} \quad (26.2-14)$$

式中 σ ——在三向压缩条件下，精整材料的变形抗力；

ΔS —— $\Delta S = (D_0^2 - D_1^2) \pi/4$ (D_0 、 D_1 见图 26.2-11)；

S_2 —— $S_2 = (D_1^2 - d_1^2) \pi/4$ (式中各项见图 26.2-11)。

而 (26.2-13) 式中的 Q 为

$$Q = \frac{\pi b (D_0 - D_1)}{2 \cos \alpha} \quad (26.2-15)$$

2) 当采用“内胀外”的方式精整 (见图 26.2-19) 时，其精整区平均压强 p'_c 可由下式计算：

$$p'_c = \frac{\sigma'}{1 + \frac{\Delta S + fQ}{2 + S_2}} \quad (26.2-15)$$

式中 σ' ——在单向压缩条件下材料塑性变形的抗力。

通常“内胀外”精整方式的精整压力约为“外箍内”方式的 1/10。

(5) 压力中心的计算

在设计各种粉末冶金模具时 (不论成形、精整、复压或热锻模)，都需要注意压力中心问题。应当使工件的压力中心与阴模外形的中心、模冲承压垫的中心，以及压机的压力中心重合。否则会产生附加弯矩，使压机活动横梁台面歪斜，加剧导柱 (轨) 的磨损并使上、下模冲承受附加弯矩。弯矩小会使配合间隙不对称分配，划伤模壁；弯矩大会使模冲弯断。对于大截面的工件，因压制压力大，如不注意压力中心问题，上述问题显得更加严重。

对于几何形状对称的截面，其压力中心即其几何中心。对于几何形状非对称的截面，其压力中心即其截面的重心。


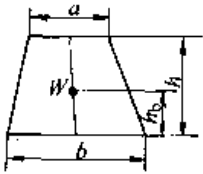
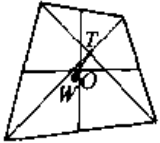
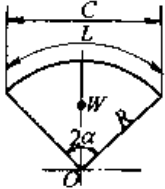
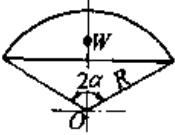
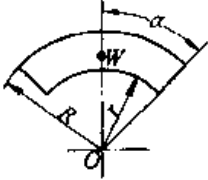
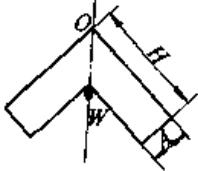
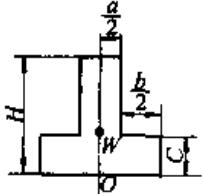
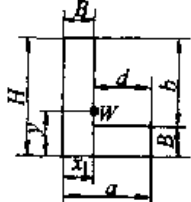
1) 规则截面形状的重心位置 (压力中心)

规则截面形状的重心位置，见表 26.2-34。

表 26.2-34 规则截面形状的重心位置

形状名称	简图	重心位置
三角形		重心 W 在三边中线的交点上， 且 $y = \frac{1}{3} h$

续表 26.2-34

形状名称	简图	重心位置
平行四边形		重心 W 在对角线的交点上
梯形		重心 W 在上下底边中点的连线上, 且 $h_b = \frac{h(2a+b)}{3(a+b)}$
四边形		T 为对角线交点, O 为对边中点连线的交点, 重心 W 在 TO 延长线上, 且 $WO = \frac{1}{3} TO$
扇形		重心 W 在圆心角 2α 角平分线上, 且 $OW = \frac{2RC}{3L} = \frac{2R\sin\alpha}{3\alpha\left(\frac{\pi}{180^\circ}\right)}$ 半圆时 $OW \approx 0.424 4R$ $\frac{1}{4}$ 圆时 $OW \approx 0.600 2R$
圆弓形		重心 W 在圆心角 2α 角平分线上, 且 $OW = \frac{4R\sin^3\alpha}{3\left(2\alpha\frac{\pi}{180^\circ} - \sin 2\alpha\right)}$
圆环扇形		重心 W 在圆心角 2α 角平分线上, 且 $OW = \frac{2}{3} \frac{(R^3 - r^3)\sin\alpha}{(R^2 - r^2)\alpha\left(\frac{\pi}{180^\circ}\right)}$
等边三角形		重心 W 在对称线上, 且 $OW = \frac{H^2 + hH - h^2}{2(2H - h)\cos 45^\circ}$
丁字形		重心 W 在对称线上, 且 $OW = \frac{1}{2} \frac{aH^2 + bc^2}{aH + bc}$
不等边三角形		重心 W 的位置为 $x_1 = \frac{a^2 + bB}{2(a+b)}, y_1 = \frac{h^2 + dB}{2(h+d)}$

2) 非规则截面形状的压力中心

① 解析法 这种方法是基于对同一轴线的合力之矩和各分力矩之和相等的关系, 得出力矩平衡方程式 (图 26.2-13)。

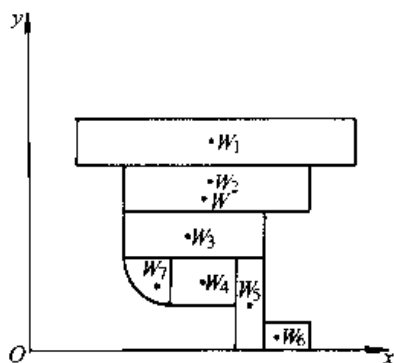


图 26.2-13 计算压力中心的举例

对于 y 轴取矩平衡, 得

$$X_0 = \frac{F_1 X_1 + F_2 X_2 + \dots + F_n X_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n}$$

对于 x 轴取矩平衡, 得

$$Y_0 = \frac{F_1 Y_1 + F_2 Y_2 + \dots + F_n Y_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n}$$

式中 X_0 ——重心 W 的横坐标 (到 y 轴的距离);

Y_0 ——重心 W 的纵坐标 (到 x 轴的距离);

$F_i (i=1 \sim n)$ ——分截面所受到的压力;

$X_i (i=1 \sim n)$ ——分截面重心 W_i 的横坐标;

$Y_i (i=1 \sim n)$ ——分截面重心 W_i 的纵坐标。

对于粉末冶金压坯, 各分截面 S_i 的压力按下式计算:

$$F_i = p_i S_i$$

式中 F_i ——分截面所受到的压力 (N);

S_i ——分截面的面积 (mm^2);

p_i ——单位压力 (N/mm^2)。

由于各分截面的单位压力相等, 即 p_i 为常数, 则上述两式变为

$$X_0 = \frac{S_1 X_1 + S_2 X_2 + \dots + S_n X_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad (26.2-16a)$$

$$Y_0 = \frac{S_1 Y_1 + S_2 Y_2 + \dots + S_n Y_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad (26.2-16b)$$

该法确定压力中心的坐标, 其顺序如下:

a) 按比例画出截面形状。

b) 任意选择坐标轴 xOy 。

c) 把非规则截面分割成若干规则分截面。

d) 找出各分截面重心 W_i 位置的坐标。

e) 计算各分截面的面积。

f) 代入式 (26.2-16a) 及式 (26.2-16b), 求出压力中心位置的坐标。

该法对于连续截面或不连续截面 (如多模冲时) 均可适用。

② 引铅垂线法 对于无法分割成规则形状的连续截面, 可采用物理学上引铅垂线法求得重心位置。

3.3 压坯密度分布与压制方式的关系

设计粉末冶金成形模具, 既要尽量使压坯密度分布均匀, 又要力求使模具结构简单。压坯形状越复杂, 密度分布越不容易均匀。密度分布差异大的地方, 往往是压坯横截面发生变化的位置。脱模时, 这些部位因密度分布不均匀而使弹性后效 (在除去压制力并将压坯脱出阴模后, 由于内应力的作用, 压坯发生弹性膨胀) 不同, 易造成裂纹的出现。烧结时, 密度分布不均匀会引起收缩不一致, 从而产生弯曲、变形。因此, 压坯密度分布的均匀性直接影响零件的力学性能和使用性能。

压坯密度分布的均匀性除了受粉末成分、性能和模具表面质量等因素影响之外, 主要还受粉末体在压制过程中移动特点的影响。其一是粉末与模壁之间的摩擦会引起压坯密度的不均匀分布, 而其不均匀程度与压制方式有关。其次, 当模腔中的粉末同时受到压缩时, 粉末体几乎不产生横向移动。因此, 压坯密度分布的均匀性主要取决于阴模型腔各部位的装粉高度, 并且与各部位粉末体的压缩比、压缩速率或最终压制速度有关。

由于粉末与模壁之间的摩擦, 使得压坯密度无论沿高度方向还是横截面方向的分布都很不均匀, 随压坯高径比的增大而越来越严重。压制方式对压坯密度的影响可通过下面的实验来观察, 即用箔将粉末等分为等重量的五层置于压模中, 分别采用单向压制和双向压制, 各层的厚度和形状见图 26.2-14。

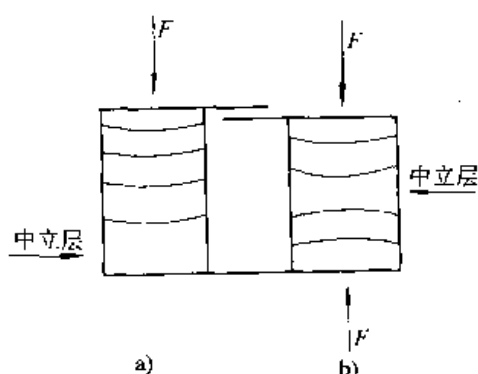


图 26.2-14 压坯密度分布图
a) 单向压制 b) 双向压制

由图 26.2-14 可以看出，在压坯中存在“中性层”，这一层粉末几乎未产生移动，是压坯中密度最小的部位。单向压制时“中性层”，处于压坯最下层，且仅在其上面受到单向压缩，故密度分布很不均匀。在双向压制时，“中性层”处于压坯中部，两面受到相同的压缩，所以密度分布比较均匀。“中性层”在压坯中的位置表示出压坯密度分布的均匀程度，并明显地受到压制方式和压模结构的影响。

如果采用一定的单位压力进行单向压制（上模冲与阴模无相对运动，由下模冲向上运动），然后进行单位压力相同、方向相反的单向压制（上模冲向下压制），其结果与同时进行沿高度的双向压制一样，这种非同时的双向压制也可称为“后压”，“后压”方式为压模结构设计提供了使压坯密度均匀分布的便利的方法，特别是为带内台阶压模设计提供了使压坯密度分布尽量均匀的压制方式。

改善压坯密度分布的另一种压制方式是摩擦压制。摩擦压制是在压制过程中，让阴模或芯棒与压坯侧面产生同向相对移动，其移动速度要大于粉末的移动速度。这种压制方式借助于粉末与模壁之间的摩擦，带动与阴模或芯棒接触的粉末层移动，从而改善沿压坯高度方向的密度分布不均匀性。利用摩擦压制的方式主要有浮动阴模双向压制、拉下式压制和摩擦芯棒压制。下面将对这进行较为详细分析。

3.4 常用压制方式的分析与选择

设计粉末冶金成形模具时，压坯密度的均匀性对烧结收缩均匀性、精整余量的控制、最终成品的尺寸精度和物理-力学性能等方面，都有重

要影响。

压坯密度的均匀性与选择的压制方式有关，通过分析压制方式对压坯密度均匀性的影响，得出不同情况下选择不同压制方式的依据，供模具设计时参考。

(1) 无台阶柱状类实体的压制

1) 单向压制

① 摩擦力的计算 如图 26.2-15 所示压坯截面积为 S ，周长为 L ，高度为 H 。上模冲受到正压力 F_u ，该力一部分通过粉末压坯直接传递到下模冲为 F_d ，另一部分用来克服阴模壁的摩擦力 F_f 。即

$$F_u = F_d + F_f$$

压坯最上部 $x=0$ 处，受到单位压力 $p_u = F_u/S$ 。压坯最下部 $x=H$ 处，受到单位压力 $p_d = F_d/S$ 等。压坯上下之间某处 $x=i$ ，受到单位压力 p_i 。并存在单位侧压力 $p_{si} = \xi_i p_i$ 。

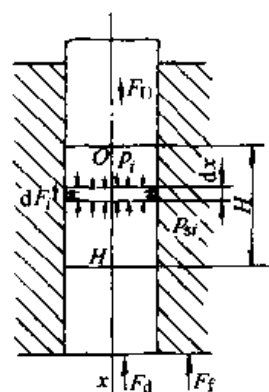


图 26.2-15 无台阶柱状实体单向压制示意图

在 i 处取一小段体积元 dx 来分析。该体积元产生的侧压力 F_{si} 为

$$F_{si} = p_{si} L dx = \xi_i p_i L dx$$

由 F_{si} 产生的微体摩擦力 dF_i 为

$$dF_i = f F_{si} = f \xi_i p_i L dx$$

压坯总的摩擦力 F 为

$$F = \int_0^H dF = \int_0^H f \xi p L dx$$

上式中 L 周长为常数。摩擦系数 f 和侧压系数 ξ 也可当作常数。唯单位压力 p 不仅是 x 的函数，而且在同一截面上的不同点亦不相同。为了便于计算，假设 $p = \text{常数}$ ，且 $p = p_u$ 则得

$$F = f \xi p_u L H = f \xi p_u S, \quad (26.2-17)$$

由式(26.2-17)可知,摩擦力正比于摩擦因数 f 、侧压系数 ξ 、单位压力 p_u 和压坯的侧面积 S_s 。

式(26.2-17)是在各处单位压力 p 相差不大时才适用。过大的长径比或截面上有过份狭长处的压坯则不适用,如图26.2-16所示。因这种情况下 p 不为常数。长径比小于1~3的圆柱体(摩擦因数越小,允许值越大)和截面上粉末横向流动受阻不严重时可用式(26.2-17),如图26.2-17所示。

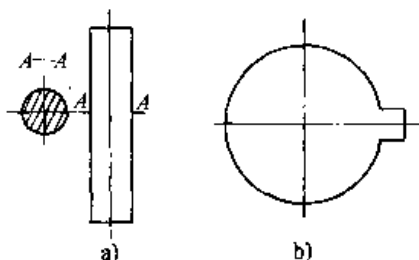


图26.2-16 单位压力相差较大的压坯

② 密度差与摩擦力的关系 用摩擦力 F_f 与上模冲受的压制压力 F_u 之比来表示摩擦力的影响。即

$$F_f/F_u = (F_u - F_d)/F_u = 1 - F_d/F_u = 1 - p_d/p_u$$

对于一般铁基和青铜粉末,压坯密度 γ 与单位压力 p 有如下关系

$$\gamma = bp^a \text{ 或 } p = (\gamma/b)^{1/a}$$

代入前式后,则得

$$F_f/F_u = 1 - (\gamma_d/\gamma_u)^{1/a} \quad (26.2-18)$$

式中 F_f ——摩擦力(N);
 F_u ——上模冲受的压制压力(N);
 γ_d ——压坯最下端的密度(g/cm^3);
 γ_u ——压坯最上端的密度(g/cm^3);
 a ——常数。

③ 摩擦力与侧正面积比的关系 从式(26.2-17)可得

$$F_f/F_u = f\xi p_u S_s/p_u S = f\xi S_s/S \quad (26.2-19)$$

④ 密度差与侧正面积比的关系 从式(26.2-18)和式(26.2-19)相等可得

$$S_s/S = [1 - (\gamma_d/\gamma_u)^{1/a}] / (f\xi) = K \quad (26.2-20)$$

式中 K ——压坯允许最大的侧正面积比,它取决于粉末的压缩性能、压坯的密度及允许的密度差、摩擦因数和侧压系数。

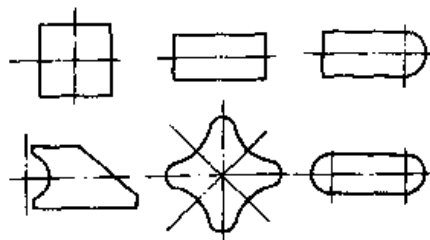


图26.2-17 单位压力相差不大的压坯

不同材料的泊松比和侧压系数见表26.2-35。

表 26.2-35 不同材料的 μ 值和 ξ_0 值

材 料	泊松比 μ	侧压系数 ξ_0	材 料	泊松比 μ	侧压系数 ξ_0
铁	0.28	0.38	铝	0.36	0.56
铜	0.35	0.54	锌	0.27	0.37
铅	0.44	0.79	金	0.42	0.72
锡	0.33	0.49	钨	0.17	0.20

例1 添加石墨1.5%的铁粉,测得 $a = 0.22$, $f = 0.06 \sim 0.10$, 压坯密度为 $6.2 \text{ g}/\text{cm}^3$, 允许密度差为 $0.2 \text{ g}/\text{cm}^3$, 求可压制的压坯最大侧正面积或长径比。

将已知值代入式(26.2-18),得

$$F_f/F_u = 1 - (6.1/6.3)^{1/0.22} = 0.15$$

压坯密度为 $6.2 \text{ g}/\text{cm}^3$ 时,相对密度约0.80,致密铁侧压系数为0.38(见表26.2-35)。

多孔压坯的侧压系数为

$$\xi = \beta\xi_0 = 0.80 \times 0.38 \approx 0.30$$

将已知值代入式(26.2-20)后,则得允许最大侧正面积比:

$$f = 0.06 \quad K = S_s/S \approx 8$$

$$f = 0.08 \quad K = S_s/S \approx 6$$

$$f = 0.10 \quad K = S_s/S \approx 5$$

对于圆柱体:

$$S_s/S = \frac{\pi DH}{\frac{\pi}{4} D^2} = \frac{4H}{D}$$

上式表明，长径比是侧正面积比在圆柱体情况下的特殊形式。按例1中的数据，可得圆柱体允许的长径比为

$$\begin{aligned} f &= 0.06 & H/D &\approx 2 \\ f &= 0.08 & H/D &\approx 1.5 \\ f &= 0.10 & H/D &\approx 1 \end{aligned}$$

以上的例子说明，式(26.2-20)表示出不同粉末性能(即不同 α 、 f 、 ξ)，要达到所规定的密度均匀性对压坯高度方向的限制。对于圆柱体，用长径比来限制。对于其他截面形状的柱体，则用侧、正面积比来限制。

2) 双向压制

① 摩擦力的计算 如图26.2-18所示，双向压制时，上、下模冲对于阴模均有相对运动，故均有摩擦力 F_f ，且上下相等，方向相反，成为模壁的压缩内力而平衡。对于压坯来讲，从上、下模冲向中间压缩，因摩擦力的损耗，压力逐渐减小，密度也随之减小。在压坯中间 $H/2$ 处密度最小。双向压制时，上、下模冲的压力相等，即

$$F_u = F_d$$

则有

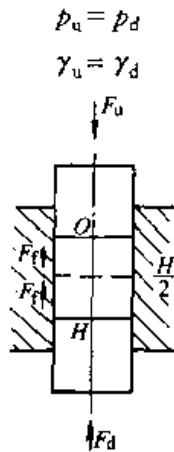


图 26.2-18 无台阶柱状实体双向压制示意图

最大压力差产生在上部与中部(或下部与中部)之间，因此双向压制相当于把压坯高度缩短一半的单向压制。其摩擦力为上部压力 F_u (或下部压力 F_d)与中部压力 F_m 的压力差($F_f = F_u - F_m$)。从式(26.2-17)可得双向压制时的摩擦力 F_f ，即

$$F_f = f\xi p_u LH/2 - f\xi p_u S_s/2 \quad (26.2-21)$$

② 密度差与摩擦力的关系 从式(26.2-18)可知，双向压制时

$$F/F_u = 1 - (\gamma_m/\gamma_u)^{1/\alpha} \quad (26.2-22)$$

式中 γ_m ——压坯中部的密度(g/cm^3)。

③ 摩擦力与侧正面积比的关系 从式(26.2-19)可知，双向压制时

$$F/F_u = f\xi S_s / (2S) \quad (26.2-23)$$

④ 密度差与侧正面积比的关系 从式(26.2-22)和式(26.2-23)相等可知

$$S_s/S = 2 [1 - (\gamma_m/\gamma_u)^{1/\alpha}] / f\xi = 2K \quad (26.2-24)$$

式(26.2-20)中的 γ_d 与式(26.2-24)中的 γ_m 一样，都是压坯中的最小密度。

不难看出，当其它条件相同时，双向压制压坯的允许的侧正面积比，比单向压制时大一倍。对于圆柱体，则允许的长径比增大一倍。

3) 浮动压制 阴模浮动的双向压制见图26.2-19。压制时，阴模呈浮动状态，故上下两半部摩擦力大小相等方向相反。上、下模冲的压力相等，效果等同于双向压制。浮动力不大时，压坯中的低密度层 γ' 在中间，上下密度相等($\gamma_u = \gamma_d$)。

一般浮动力不宜过大，只需能支撑阴模重量，并能可靠复位就行。过大的浮动力将使低密度层 γ' 偏离中间向下移，上下密度也不相等(见图26.2-20)。

若阴模虽属浮动，但其向下移动是靠上模冲强迫压下，即阴模与上模冲同步下行，而不是摩擦力作用下自由向下移动，这就变成了倒过来的单向压制，低密度层在上部(见图26.2-21)。

4) 后压 即非同时的双向压制。当单向压制结束后，在密度小的一端再进行一次反向的单向压制，以改善密度分布的均匀性，这种分两次进行的正反单向压制叫做后压。

每次单向压制都可得到一条压坯密度分布曲线，后压后的压坯密度分布曲线由两条单向压制曲线相交组成，其交点即低密度层。若两次单向压制的单位压力相等，则低密度层正好在中间，其结果与双向压制相同，密度分布按图26.2-22中的 acb 曲线。若第二次压力小于第一次(当然不得小于足以改变原低密度的压力)，则密度分布按 apc 曲线。若第二次压力大于第一次(当然不得大于足以改变原高密度的压力)，则密度分布按 aqd 曲线。

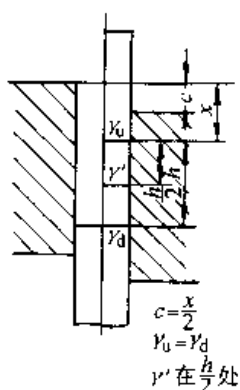


图 26.2-19 双向浮动压制

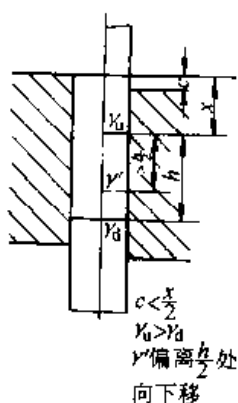


图 26.2-20 半双向浮动压制

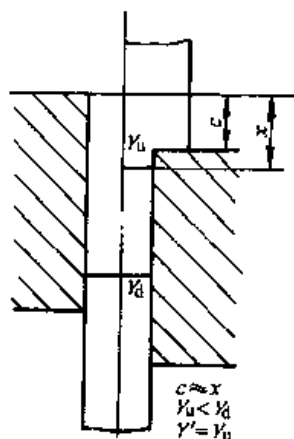


图 26.2-21 单向浮动压制

后压量 x 的求法如下:

$$\begin{aligned} (\gamma_2 - \gamma_1) / \gamma_2 &= \frac{\frac{G}{V_2} - \frac{G}{V_1}}{\frac{G}{V_2}} = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \\ &= SH - S(H-x) / SH = x/H \end{aligned}$$

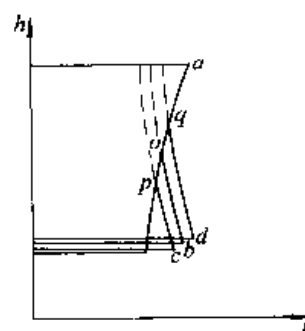


图 26.2-22 后压密度分布曲线

$$x = H(\gamma_2 - \gamma_1) / \gamma_2 \quad (26.2-25)$$

- 式中 γ_1 ——第一次单向压制后的压坯平均密度 (g/cm^3);
 γ_2 ——后压过的压坯的平均密度 (g/cm^3);
 V_1 ——与 γ_1 相应的压坯体积 (cm^3);
 V_2 ——与 γ_2 相应的压坯体积 (cm^3);
 G ——压坯粉重量 (g);
 H ——压坯高度 (cm);
 S ——压坯横截面 (cm^2);

(2) 带孔无台阶柱体类的压制

1) 单向压制

① 摩擦力的计算 如图 26.2-23 所示, 压坯截面积为

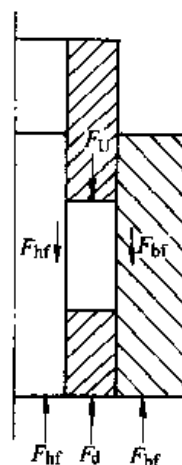


图 26.2-23 无台阶柱体带孔压坯单向压制示意图

$$S = S_b - S_h$$

- 式中 S ——压坯截面积;
 S_b ——阴模孔截面积;
 S_h ——芯棒截面积。

相应的截面周长为 L_o 和 L_h , 压坯高度为 H_o 。

与实体类单向压制相似, 区别在于压坯有孔。除了阴模壁有摩擦力 F_{bf} 之外, 芯棒也有摩擦力 F_{hf} , 两者方向相同。总摩擦力 F_f 为

$$F_f = F_{bf} + F_{hf}$$

根据式 (26.2-17) 可知

$$F = f\xi p_o (S_{sb} + S_{sh}) \quad (26.2-26)$$

式中 S_{sb} ——压坯外侧面与阴模接触面积;

S_{sh} ——压坯内侧面与芯棒接触面积。

不难看出

$$F_u = F_d + F_{bf} + F_{hf} = F_d + F_f$$

$$F_f = F_u - F_d$$

② 摩擦力与侧正面积比的关系 从式 (26.2-26) 可知, 按下式确定:

$$F/F_u = f\xi (S_{sb} + S_{sh}) / S \quad (26.2-27)$$

③ 密度差与侧正面积比的关系 从式 (26.2-27) 和式 (26.2-18) 相等可知

$$(S_{sb} + S_{sh}) / S = [1 - (\gamma_d / \gamma_o)^{1/\alpha}] / f\xi = K \quad (26.2-28)$$

例2 条件同例1。可得侧、正面积之比的允许值

$$f = 0.06 \quad K = (S_{sb} + S_{sh}) / S \approx 8$$

$$f = 0.08 \quad K = (S_{sb} + S_{sh}) / S \approx 6$$

$$f = 0.10 \quad K = (S_{sb} + S_{sh}) / S \approx 5$$

对于圆柱体, 外径 D , 内径 d , 高度 H , 壁厚 $T = (D - d) / 2$, 则

$$\begin{aligned} (S_{sb} + S_{sh}) / S &= \frac{\pi DH + \pi dH}{\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)} \\ &= 4H / (D - d) = 2H/T \end{aligned}$$

$$f = 0.06 \quad H/T \approx 4$$

$$f = 0.08 \quad H/T \approx 3$$

$$f = 0.10 \quad H/T \approx 2.5$$

由上式可知, 长度与壁厚之比 H/T 是侧、正面积之比在无台阶同心轴套类情况下的特殊形式。当压坯孔径为零时, 则

$$H/T = 2H/D$$

即长径比是长度与壁厚之比当内径为零时的一种特殊情况。

2) 双向压制 除了多了芯棒上下相等方向相反的摩擦力之外, 其余与柱状实体类的双向压制相同。压坯仍是上下密度相等, 中间密度最低。最大压力差发生在上与中 (或下与中) 之间, 即

$$F_f = F_u - F_m = f\xi p_o (S_{sb} + S_{sh}) / 2 \quad (26.2-29)$$

$$F_f / F_u = f\xi (S_{sb} + S_{sh}) / (2S) \quad (26.2-30)$$

$$(S_{sb} + S_{sh}) / S = 2 [1 - (\gamma_m / \gamma_o)^{1/\alpha}] / f\xi = 2K \quad (26.2-31)$$

按例1的条件, 则可得

$$f = 0.06 \quad (S_{sb} + S_{sh}) / S = 2K \approx 16$$

$$f = 0.08 \quad (S_{sb} + S_{sh}) / S = 2K \approx 12$$

$$f = 0.10 \quad (S_{sb} + S_{sh}) / S = 2K \approx 10$$

对于轴套, 则有

$$f = 0.06 \quad H/T \approx 8$$

$$f = 0.08 \quad H/T \approx 6$$

$$f = 0.10 \quad H/T \approx 5$$

3) 浮动压制

① 阴模和芯棒均自由浮动, 则其本质属于双向压制 (见图 26.2-24)。低密度层发生在中间 $a-a$ 处。

② 单阴模浮动, 芯棒不动, 则压坯靠近阴模处, 接近于双向压制, 中间 a 点处密度最低。压坯靠近芯棒处, 相似于上模冲下移的单向压制, 最下点 a 处密度最低。低密度层沿图 26.2-25 所示的 $a-a$ 曲线。

③ 单阴模浮动, 芯棒与上模冲同步下压, 则压坯靠近阴模处, 接近于双向压制, 中间 a 点处密度最低。压坯靠近芯棒处, 接近于下模冲上移的单向压制, 最上点 a 处密度最低。低密度层沿图 26.2-26 所示的 $a-a$ 曲线。

④ 单芯棒浮动, 阴模不动, 则压坯靠近阴模处, 相似于上模冲下移的单向压制, 下部 a 点处密度最低。靠近芯棒处, 相似于双向压制, 中间 a 点处密度最低。低密度层沿图 26.2-27 所示的 $a-a$ 曲线。

4) 双向摩擦压制

① 摩擦力的计算 如图 26.2-28 所示, 压制时压棒推动上模冲和芯棒一起下移。压机作用于压棒的总压力为 F , 该力分别作用于上模冲和芯棒, 即

$$F = F_u + F_{hf} \quad (26.2-32)$$

式中 F_u ——上模冲受到的压力;

F_{hf} ——芯棒作用于压坯的摩擦力。

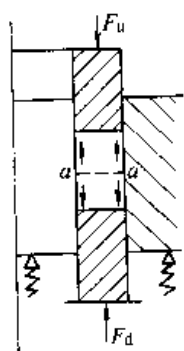


图 26.2-24 阴模和芯棒均浮动的压制

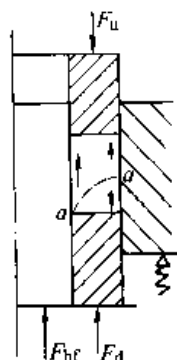


图 26.2-25 阴模浮动芯棒不动的压制

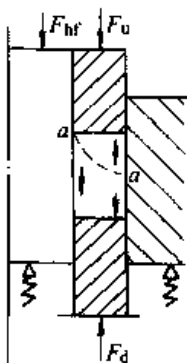


图 26.2-26 阴模浮动芯棒强制压下的压制

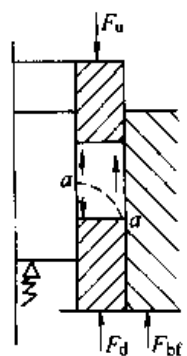


图 26.2-27 芯棒浮动阴模不动的压制

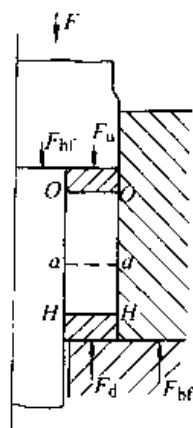


图 26.2-28 双向摩擦压制示图

芯棒下移速度大于粉末下移速度，因此压坯对芯棒的摩擦力是向上的，或芯棒对压坯的摩擦力是向下的。摩擦力 F_{hf} 需要消耗总压力 F ，但它却促使压坯下部密度增大。

压制时，阴模不动，故压坯对阴模产生了向下的摩擦力 F_{bf} ，或阴模对压坯产生了向上的摩擦力，促使压坯上部密度增大。

根据力的平衡关系，可得出

$$F = F_d + F_{bf} = F_u + F_{hf} \quad (26.2-33)$$

将式 (26.2-17) 的关系代入后，可得

$$F_f = F_u - F_d = f \xi p_u (S_{sb} - S_{sh}) \quad (26.2-34)$$

② 密度分布规律 在大多数情况下，外侧面积大于内侧面积，即

$$S_{sb} > S_{sh} \text{ 或 } S_{sb} - S_{sh} > 0$$

只有当压坯外侧形状简单，而内孔带齿或花键等复杂形状时，有可能出现

$$S_{sb} - S_{sh} \leq 0$$

多数情况下外侧面积大于内侧面积。根据式 (26.2-34) 可知

$$F_u - F_d > 0 \text{ 或 } F_u > F_d$$

即

$$\gamma_u > \gamma_d$$

压坯中间任一截面 $a-a$ 上的正压力 F_a 它与上部压力 F_u 之差为

$$F_u - F_a = f \xi p_u (L_{ba} - L_{ha}) \quad (26.2-35)$$

式中 $a-a$ 截面至 $o-o$ 截面的距离。

将式 (26.2-35) 与式 (26.2-34) 相比，可得

$$F_u - F_a < F_u - F_d$$

则

$$\gamma_a > \gamma_d$$

这说明双向摩擦压制时,当 $S_b > S_{sh}$ 时,则压坯上部密度最大,中间逐渐减小,到下部为最低,即 $\gamma_u > \gamma_a > \gamma_d$ 。无双向压制时中间密度最小。

③ 长壁厚比受限制的条件 摩擦力 F_f 与侧正面积比的关系,按下式确定:

$$F_f/F_u = f\xi (S_b - S_{sh}) / S$$

将式 (26.2-18) 代入后,可得

$$(S_b - S_{sh})/S = [1 - (\gamma_d/\gamma_u)^{1/a}] / f\xi = K \quad (26.2-36)$$

按例 1 的条件,可得

$$f = 0.06 \quad K = (S_b - S_{sh}) / S \approx 8$$

$$f = 0.08 \quad K = (S_b - S_{sh}) / S \approx 6$$

$$f = 0.10 \quad K = (S_b - S_{sh}) / S \approx 5$$

对于轴套,则

$$\begin{aligned} (S_b - S_{sh})/S &= \frac{\pi DH - \pi dH}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)} = \frac{4H}{D+d} \\ &= 2H/(T+d) = K \end{aligned}$$

$$\frac{H}{T} = \frac{K}{2} \left(1 + \frac{d}{T}\right) \quad (26.2-37)$$

例 3 产品为气门导管,密度要求 6.15g/cm^3 ,导管分成上中下三段,各段的平均密度允差为 0.3g/cm^3 (即密度为 $6\sim 6.3\text{g/cm}^3$),实际导管上下两端部分密度允差为 0.5g/cm^3 (即实际密度为 $5.9\sim 6.4\text{g/cm}^3$)。该粉料 $a = 0.19$, $\xi = 0.30$, $f = 0.08$,求出符合密度均匀性要求的导管长壁厚比的限制条件,并验证已有的导管尺寸。

代入式 (26.2-36),求得

$$\begin{aligned} K &= [1 - (\gamma_d/\gamma_u)^{1/a}] / f\xi \\ &= [1 - (5.9/6.4)^{1/0.19}] / 0.08 \times 0.30 = 15 \end{aligned}$$

将 K 值代入式 (26.2-37),得长壁厚比的限制条件为

$$H/T = 7.5 \left(1 + d/T\right)$$

已在工厂投产的导管尺寸,按上式验算后均符合要求,即长壁厚比均未超过限制的条件,则密度差不超过允差 (见表 26.2-36)。

表 26.2-36 导管尺寸的验算数据

导管尺寸 外径/mm×内径/mm ×长度/mm	壁厚 T /mm	长度与壁厚 比 $\frac{H}{T}$	长度与壁厚比 不得大于 $7.5\left(1 + \frac{d}{T}\right)$	导管尺寸 外径/mm×内径/mm ×长度/mm	壁厚 T /mm	长度与壁厚 比 $\frac{H}{T}$	长度与壁厚比 不得大于 $7.5\left(1 + \frac{d}{T}\right)$
$\phi 18 \times \phi 10 \times 90$	4	22.5	26.25	$\phi 13 \times \phi 8 \times 52$	2.5	20.8	31.50
$\phi 22 \times \phi 13 \times 110$	4.5	24.4	29.25	$\phi 20 \times \phi 12 \times 110$	4	27.5	30.00
$\phi 14.5 \times \phi 9 \times 86$	2.75	31.2	31.50	$\phi 11 \times \phi 7 \times 40$	2	20	33.75
$\phi 16 \times \phi 10 \times 72$	3	24	32.25	$\phi 17 \times \phi 10 \times 69$	3.5	19.7	28.88

④ 总压力的计算 双向摩擦压制时上模冲受到的压力小于总压力。从式 (26.2-32) 可知

$$\begin{aligned} F &= F_u + F_{hf} = p_u S + f\xi p_u S_{sh} \\ F &= p_u (S + f\xi S_{sh}) \quad (26.2-38) \end{aligned}$$

对于压坯相对密度为 80% 左右的铁基压坯,若 $f = 0.08$, $\xi = 0.30$,则总压力 F 为

$$F = p_u (S + 0.024 S_{sh}) \quad (26.2-38a)$$

对于上述条件下的套管 (内径为 d , 高度为 H), 则总压力 F 为

$$F = p_u (S + 0.076 dH) \quad (26.2-38b)$$

式 (26.2-38) 表明,根据压坯密度要求选定单位压力 p_u ,在计算总压力 F 时,不能像其他压制方式那样,只乘以正投影面积 S ,而应乘以 $(S + f\xi S_{sh})$,即要放大一些。

应当指出,对于芯棒和下模冲不动,阴模和上模冲同步下压的压制,它仍属于双向摩擦压制,只不过上下关系颠倒罢了。如压坯密度由芯棒与上模冲同步下压的上紧下松,变成由阴模与上模冲同步下压的上松下紧。

另外,当压坯内侧表面积大于外侧表面积时,即 $S_{sh} > S_b$,则密度上松下紧变成了上松下紧 (指当芯棒与上模冲同步下压时)。

(3) 压制方式的选择

粉末与阴模壁之间的摩擦,对压坯密度分布影响很大。压制方式不同,上、下模冲与阴模和芯棒对粉末体的相对运动方向及速度也不同,从而使外摩擦对压坯密度的均匀分布产生不利或有利的影响。根据其影响规律,正确选择压制方

式，是压模设计的主要内容之一。

1) 无台阶柱状类实体几种压制方式的比较与选择

① 对于铁基圆柱体压坯，当 $S_s/S < K$ 或圆柱体 $H/D < K/4$ 时，或当压坯密度为 $6.2 \sim 7.0 \text{ g/cm}^3$ 而 $H/D \leq 2$ 时，尽可能用单向压制。一方面模具结构或压机动作要求简单，另一方面采用其他压制方式，对压坯密度均匀性的改善效果不显著。

② 对于铁基圆柱体压坯，当 $K < S_s/S < 2K$ ，或圆柱体 $K/4 < H/D < K/2$ 时，或当压坯密度为 $6.2 \sim 7.0 \text{ g/cm}^3$ 而高径比 $2 < H/D \leq 4$ 时，应当采用双向压制。无论是上下模冲同时加压，或是阴模浮动，或是后压，其效果均相同。具体选择哪一种，应根据压机及模具条件来定。

③ 对于 $S_s/S > 2K$ 的薄壁长板类的工件，双向压制已不适用，这时可应用双向摩擦压制，即把组成阴模型腔的某部分侧面，改成一个可移动的活块，压制时上模冲与活动阴模块同步下压，下模冲与阴模固定部分不动，形成双向摩擦压制。图 26.2-29 所示为某些适合双向摩擦压制的压坯。

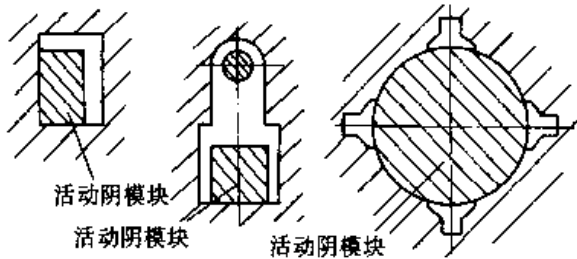


图 26.2-29 某些适合双向摩擦压制的压坯

2) 带孔无台阶柱状类几种压制方式的比较与选择

① 对于铁基直筒形压坯，当 $(S_{sb} + S_{sh})/S < K$ 时，轴套高度 H 与壁厚 T 之比 $H/T < K/2$ 或 $H/T \leq 4$ 时，尽可能用单向压制。理由与上述实体类相同。

② 当 $(S_{sb} + S_{sh})/S > K$ 时，则要看下面两组值的对比：

当

$$\frac{1}{2} (S_{sb} + S_{sh}) / S < (S_{sb} - S_{sh}) / S$$

对于轴套，即

$$d < T$$

即内孔小于壁厚时，则采用双向压制。

反之，若

$$\frac{1}{2} (S_{sb} + S_{sh}) > (S_{sb} - S_{sh})$$

对于轴套

$$d > T$$

即内孔大于壁厚时，则采用双向摩擦压制。

这说明双向摩擦压制特别适宜压制大孔薄壁件。从式 (26.2-37) 也可清楚看出，即压坯允许的长度与壁厚之比 H/T ，不仅与 K 值有关，而且随着内孔 d 的增大而增大。

3) 各种浮动压制的选择 阴模和芯棒均浮动，则可按双向压制的选用原则来考虑。

其他只浮动阴模和芯棒两者之一的压制，属于不完全的双向压制。对于截面上壁厚均匀的压坯，其效果并不比双向压制或双向摩擦压制好。这是指最大密度差不会缩小，但它可扩大低密度区，避免双向压制时，在压坯中部有明显的低密度区。对于截面上壁厚严重不均的压坯，在薄壁部分采用双向摩擦压制，在厚壁部分采用双向压制，效果比单纯用一种压制方式的为好。

4) 特殊的后压 理想的压制方式应该是先采用双向压制。这样压坯上下密度最大且相等，中间密度最小。密度分布沿图 26.2-30 的 aob 曲线变化。然后，在接近压制终了时，改变为一个压下量很小的双向摩擦压制，以提高压坯中间的密度，而不会降低下部已提高的密度。压坯最终密度分布如图 26.2-30 所示。这在模具上可由原来的自由浮动，在接近压制终了时，增加一个强制拉下（或压下）阴模（或芯棒）的动作来完成。

另一种理想的压制方式是先采用双向摩擦压制，压坯密度沿图 26.2-31 的 aob 曲线变化。在接近压制终了时，在低密度端 b 处，增加一次单向后压，压坯密度分布就变成了 aob' 。这在模具上可先由强力弹簧克服阴模浮动力，强制阴模与上模冲同步下压（芯棒与下模冲不动），形成双向摩擦压制（这时低密度层在上部）。在接近压制终了时，阴模被刚性物体阻挡，上模冲继续下压一小段距离，这时强力弹簧被压缩，形成单向后压，以便增大压坯上部的密度。

若增加一个反向的双向摩擦压制，其效果更好。压坯密度分布如图 26.2-31 $ao'b'$ 曲线所示。在模具压制动作上，以上述例子为基础，只需给芯棒增加一个很小的压下量即可。可将芯棒支承在具有强弹性的物体（如硬橡胶）上。在第一阶段压制

时，强弹性物体在芯棒摩擦力作用下变形很小，芯棒基本不动。在后压时，阴模被刚性体阻挡不动，上模冲的内台阶强制芯棒同步下移一小段距离，强力弹簧被压缩，形成了双向摩擦后压动作。

以上几种特殊后压，对于压坯截面上壁厚相差较大，或带台阶压坯更为适合，如图 26.2-32 所示。

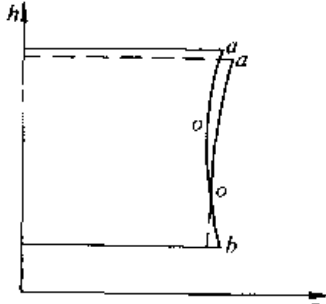


图 26.2-30 双向压制加双向摩擦后压的密度分布

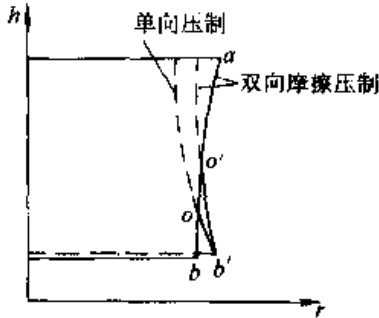


图 26.2-31 双向摩擦压制加单向和双向摩擦后压的密度分布



图 26.2-32 适宜于特殊后压的零件

3.5 不等高压坯压模的设计原理

在不等高（即沿轴向带台阶、锥面和球面等的）压坯的压制过程中，粉末的移动方式不仅与粉末的流动性、装粉方法以及粉末与阴模壁间的摩擦等因素有关，而且还取决于压坯横截面的形状和模冲的设计。当压坯各横截面上的粉末受到同样程度的压缩时，粉末只产生轴向移动，基本不产生横向移动。但如果压坯相邻截面上的粉末受到不同程度的压缩时，先受压缩或受压程度大的截面上的粉末，会向未受压缩或受压程度小的截面上产生横向移动。特别是在接近压制过程终了时，压坯中一个横截面上的粉末可能对相邻截面上的粉末产生很大的压力，形成滑动面，造成裂纹。因此对横截面有变化的压坯，应避免截面分界处粉末之间的相

对滑动，要根据下面列举的不等高压坯模具设计的三项原理，正确设计模冲形状和动作程序。

(1) 粉末充填系数相同或相近

根据在压制过程中粉末体几乎不产生横向移动的特点，压坯密度分布的均匀性首先取决于装粉高度。装粉高度 H_F 应与压坯高度 h_p 成比例，这个比例系数被称为粉末充填系数，用 C 来表示，即 $C = H_F/h_p$ 。装粉时，对压坯各截面的充填系数应该相同，但当压坯各截面上的粉末不能同时受压或受压程度差别大时，先受压或受压程度大的截面上应多装些粉料，即适当增大粉末充填系数。这种方法称为移送装粉（也称补偿装粉）。例如，在压制铁基不等高压坯时，可调整先受压的高度较大部分的粉末充填系数，使之比高度较小的横截面上的粉末充填系数大 0.1~0.5。当压坯各部分高度差小于压坯最小高度的 1/5 时，可不采用移送装粉。移送装粉如图 26.2-33。

(2) 压缩比相同或相近

压缩比 C 是压坯密度 γ_p 与粉末松装密度 ρ_F

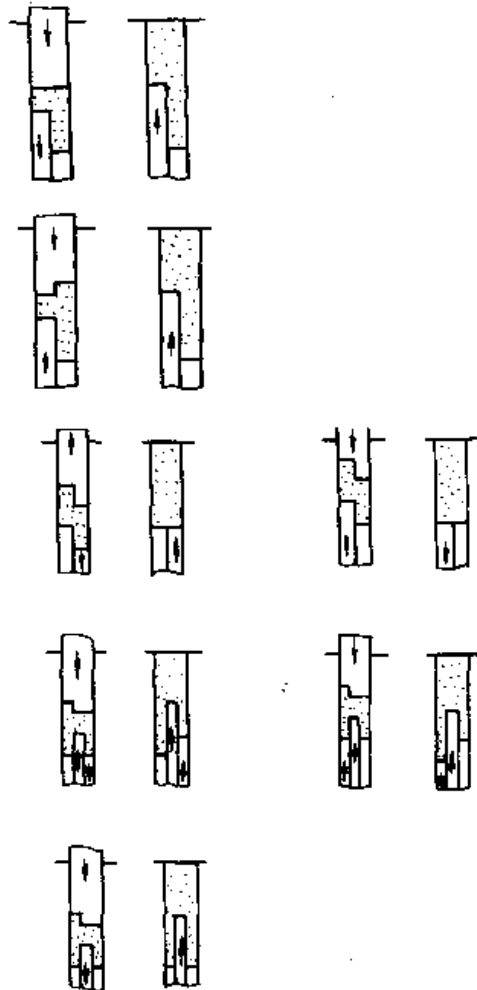


图 26.2-33 移送装粉示例

之比,即 $C = \gamma_p / \rho_F$, 在数值上等于粉末充填系数。为了保证压坯密度分布均匀,压制时还必须保证压坯各横截面上的粉末的压缩比相同或相近,即与不同横截面相对应的模冲移动的距离各不相同。因此,不能采用整体模冲,而应按压坯各截面的不同高度,将模冲分成若干个,从而就形成了组合模冲。在压制过程中,各模冲间的相对位置虽然随着压制的进行而发生变动,但必须保证压缩比一致。

如图 26.2-33 所示,对于中间带内外台阶的压坯,要按不同横截面设计组合模冲。压制时一般先将全部粉末装入阴模型腔,并使各横截面上的粉末充填系数相近,然后,成形主体的下模冲向上移送粉末,或者成形台阶的上模冲将粉末和成形台阶的浮动下模冲向下移送,或者利用组合上模冲将粉末和带台阶浮动阴模或芯棒向下推移。把台阶部分的粉末移到所要求的位置。同时控制各个模冲的移动距离,使压坯各横截面上粉末的压缩比相同。这种方法叫做粉末移送成形法。图 26.2-34 表示一种具有上下曲面的复杂形状压坯的成形方法。利用凸形浮动内上模冲,压制时将阴模型腔内的粉末按需要的形状向侧向移动,当压制到最终位置时,浮动上模冲芯子退入上模冲内,使组合上模冲的端面成为圆滑的曲面。图 26.2-35 表示带外法兰的异向不通孔。压坯的成形方法,装粉时浮动芯棒处于最上位置(见图 26.2-35a),以便装平粉末,压制时浮动上模冲和浮动芯棒将中间部分粉末移到最下位置(图 26.2-35b),最后压实。

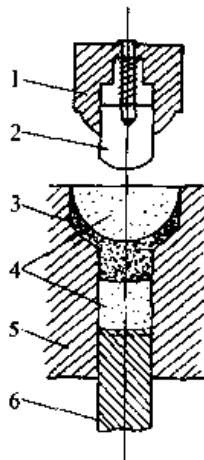


图 26.2-34 粉末侧向移动成形法示例
1—外上模冲 2—浮动内上模冲 3—压坯
4—装粉状态 5—阴模 6—下模冲

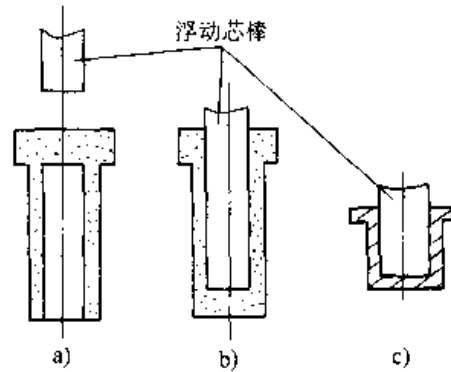


图 26.2-35 粉末轴向移送成形法实例
a) 装粉 b) 粉末移送到位 c) 压坯

(3) 压制速率相同

压制不等高压坯时,为避免在压坯截面变化分界处形成滑动面,以致产生裂纹,在满足上述两项设计原理的条件下,还应力求压坯各截面上粉末的压制速率相等,即在单位时间内,各截面上粉末被压缩的体积 ($\Delta V = V_F - V_p$) 与压制前粉末充填的体积 V_F 之比相等。

在压制过程中,与各个不同横截面相对应的模冲移动的距离和速度是各不相同的,但各个模冲的压制速率应该相同,这样才能保证压坯中相邻区域的平均密度相等,既不会使粉末产生横向移动,也不会使横截面变化分界处形成滑动层。当不等高压坯的装粉高度相差很大时,装粉高度不同处的压制速度也相差很大。这时,可以先压缩装粉高度较高部分的粉末,此时因粉末体密度不高,产生的横向移动很小,待压到相同高度时,再同时压缩整个压坯,也能减少粉末横向移动和横截面变化处的粉末层相对滑动,还可以采用非同时双向压制(后压)方式,在压坯的等高端进行后压。后压时,各横截面上粉末的压制速度相同,能使压坯中相邻区域的平均密度相同。由于目前使用的压机和模具较难满足各模冲压制速率相同的要求,因此采用先压高区粉末,然后,同时压制整个压坯的方法以及后压法,也可以改善压坯密度分布的均匀性。

3.6 组合模具设计原理

(1) 多台阶压坯的组合模冲设计

设计多台阶压坯的压模时,一般可按台阶分别设计模冲,从而保证各横截面上的粉末充填系

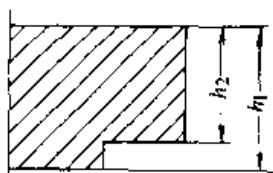


图 26.2-36 带台阶的压坯

数和压缩比相同或相近，并且要正确设计模冲的动作程序，使压坯各横截面上的粉末得到相同的压缩程度。但当压坯中相邻台面的高度差较小时，可以用一个模冲来压制这两个台阶面，如图 26.2-36 所示带台阶面的压坯，其台面的高度分别为 h_1 和 h_2 ，装粉高度应分别为：

$$H_1 = h_1 \gamma / \rho, \quad H_2 = h_2 \gamma / \rho$$

式中 γ 为压坯密度， ρ 为粉末的松装密度，如果采用整体下模冲来压制该压坯，则实际装粉高度分别为

$$H_1' = \frac{(H_1 + H_2)}{2} + \frac{(h_1 - h_2)}{2}$$

$$H_2' = \frac{(H_1 + H_2)}{2} - \frac{(h_1 - h_2)}{2}$$

其相应的压缩比 C 分别为

$$C_1 = H_1' / h_1 = \gamma_1 / \rho$$

$$C_2 = H_2' / h_2 = \gamma_2 / \rho$$

由压坯孔隙度 θ 的计算公式

$$\theta = (1 - \gamma / \gamma_m) \times 100\% = (1 - C\rho / \gamma_m) \times 100\%$$

可知：

$$\theta_1 - \theta_2 = \frac{\rho}{\gamma_m} (C_2 - C_1) \times 100\% \quad (26.2-39)$$

式中 γ_m 为相应致密材料的密度。由式 (26.2-39) 可知，当采用整体下模冲压制带台阶压坯时，相邻两台面的压缩比是不同的，当粉末的松装密度一定时，两台面的孔隙度差与其压缩比之差成正比，对于铁基制品，可容许的孔隙度差 ($\theta_1 - \theta_2$) 应根据制品的孔隙度来确定 (见表 26.2-37)，下面举例说明。

表 26.2-37 铁基制品相邻台阶面用整体模冲成形时所容许的孔隙度差

孔隙度 θ / %	≤ 10	11~15	16~30	> 30
相邻台阶面所容许的孔隙度差 ($\theta_1 - \theta_2$) / %	1	2	3	5

例 4 图 26.2-37 为一多台阶压坯。设铁粉的松装密度 $\rho = 2.3 \text{ g/cm}^3$ ，压坯密度 $\gamma = 5.85$

g/cm^3 $h_A = 20 \text{ mm}$ ， $h_B = 30 \text{ mm}$ ， $h_C = 32 \text{ mm}$ ， $h_D = 90 \text{ mm}$ ，如何设计组合模冲？

A 和 D 两部分的装粉高度和压缩比：

$$C = \gamma / \rho = 5.85 / 2.3 = 2.5$$

$$H_A = Ch_A = 2.5 \times 20 \text{ mm} = 50 \text{ mm}$$

$$H_D = Ch_D = 2.5 \times 90 \text{ mm} = 225 \text{ mm}$$

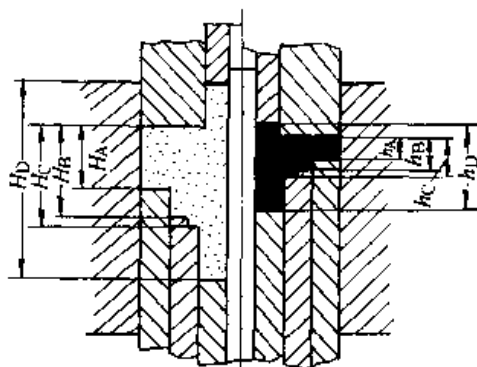


图 26.2-37 多台阶压坯的组合模冲设计示例

由于 B 和 C 两部分高度差 $h_C - h_B = 2 \text{ mm}$ ，有可能采用整体下模冲，则由式 (26.2-39) 得到 B 和 C 两部分所容许的压缩比差为

$$C_B - C_C = (\theta_C - \theta_B) \gamma_m / \rho$$

而该压坯的孔隙度 $\theta = (1 - (5.85 / 7.8)) \times 100\% = 25\%$ ，由表 26.2-37 可知其对应的孔隙度差是 3%，即 $(C_B - C_C)_P = 3\% \times 7.8 / 2.3 = 0.10$

当采用整体下模冲时，B 和 C 的实际装粉高度分别为

$$H_B' = (H_{B1} + H_{C1}) / 2 - (h_C - h_B) / 2$$

$$= (Ch_B + Ch_C) / 2 - (h_C - h_B) / 2$$

$$= (2.5 \times 30 + 2.5 \times 32) \text{ mm} / 2 - (32 - 30) \text{ mm} / 2$$

$$= 76.5 \text{ mm}$$

$$H_C' = (H_{B1} + H_{C1}) / 2 + (h_C - h_B) / 2$$

$$= (2.5 \times 30 + 2.5 \times 32) \text{ mm} / 2 + (32 - 30) \text{ mm} / 2$$

$$= 78.5 \text{ mm}$$

因此，B 和 C 的实际压缩比为

$$C_B = H_B' / h_B = 76.5 / 30 = 2.55,$$

$$C_C = H_C' / h_C = 78.5 / 32 = 2.45$$

而 $C_B - C_C = 2.55 - 2.45 = 0.1 = (C_B - C_C)_P$ 由此计算结果得出 B 和 C 两台阶面可采用整体下模冲压制。图 26.2-37 的多台阶压坯，需要采用三个组合下模冲和两个组合上模冲来压制。

(2) 斜面压坯的组合模冲设计

带斜面的压坯是否采用组合模冲压制主要取

决于压坯高度和斜面的倾斜度，如图 26.2-38 所示，理论装粉线应该是虚线 B，如果采用整体下模冲，实际装粉线只能是下模冲的端面线 C，这使得 a 边装粉量少于理论值，而 b 边装粉量高于理论值。坡面的倾斜程度增大，会加大装粉差造成的密度不均匀性，但同时也促进了粉末由 b 边向 a 边的横向移动。

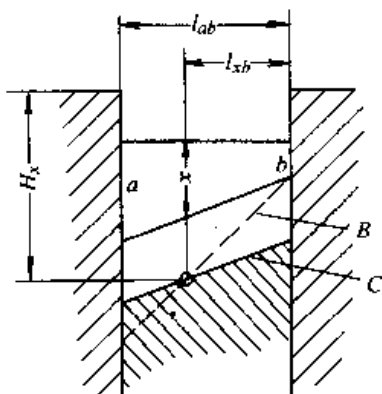


图 26.2-38 用整体下模冲压制斜面压坯
斜面压坯的平均高度 x 可由下式计算。

$$x = \sqrt{(a^2 + b^2)} / 2 \quad (26.2-40)$$

则 x 点的装粉高度 $H_x = Cx$ ，短边 b 点到 x 的距离 l_{xb} ，可按下式计算：

$$l_{xb} = l_{ab} (x - b) / (a - b) \quad (26.2-41)$$

式中 l_{xb} ——从压坯长边 a 到短边 b 的距离。

对于中等密度的斜面压坯，当 $b > (a - b)$ 时，可采用整体下模冲，当 $b < (a - b)$ 时，需要采用组合下模冲。采用组合下模冲时，为了减少压坯密度差，关键是选好组合下模冲的分模线 B (见图 26.2-39)：

$$b = \sqrt{ac}$$

每个下模冲所对应的压坯平均高度 x_1 、 x_2 和装粉高度 H_{x1} 、 H_{x2} 及从短边到 x_1 线的距离 l_{x2c} 和 l_{x1c} 同样可用式 (26.2-40)、(26.2-41) 计算。同理，如采用三个组合下模冲时 (见图 26.2-40)，各个下模冲的宽度分别为：

$$b = (a^2 d)^{1/3}, \quad c = (ad^2)^{1/3}$$

每个下模冲所对应的压坯平均高度 x_i 和装粉高度 H_{xi} 以及从短边到 x_i 线的距离 l_{x2c} 、 l_{x1b} ，同样可用式 (26.2-40)、式 (26.2-41) 计算。

(3) 曲面压坯的组合模具设计

压制端面为曲面的压坯，为保证各部分粉末充填系数相同，压坯曲面的装粉表面不应该是平

面，而应是比较更陡的曲面。压制时要使曲面压坯各部分的压缩比和压制速率相同，就得在压制过程中不断变换模冲端面的曲率，这在实际生产中很难做到。为了使曲面压坯的密度分布尽量均匀，一般采用组合模冲，依靠浮动内上模冲将阴模型腔中心的粉末向四周推移，即用粉末侧向移动成形的方法来压制凹面压坯 (见图 26.2-34)。

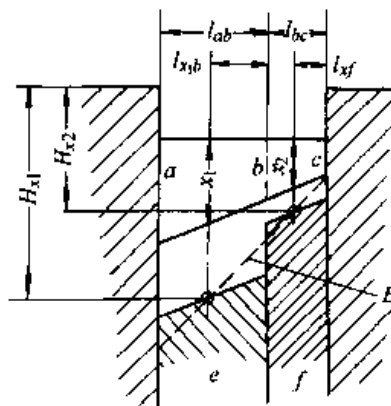


图 26.2-39 用两个组合下模冲压制斜面压坯

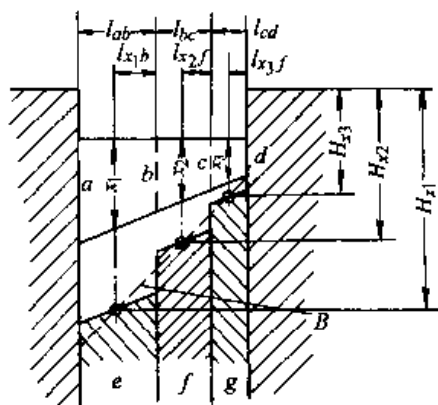


图 26.2-40 用三个组合下模冲压制斜面压坯

压制外球面压坯，一般采用组合阴模 (Olivette) 成形法 (图 26.2-41)，阴模由上下两半组成，两者从球面最凸出的赤道线上分模，它们与模套间隙配合。压制时，主上模冲向下压缩粉末，辅助的浮动上模冲压住上半阴模，阻止上半阴模向上移动，当压制力为 300 kN 时，阴模压紧力约为 40 kN。脱模时，下模冲和下半阴模一起向上顶出压坯，使压坯和上半阴模同时从模套内脱出。这种方法亦可用于成形鼓形、双锥形、有非对称台阶的压坯。

压制内球面压坯 (图 26.2-42a)，可采用组合芯球成形法 (图 26.2-42b)。组合芯球是由芯球座、定位芯棒和芯球三部分组成，活动的芯球和定位芯棒装在浮动的芯球座上。压制时，浮动内上

模冲压住辅助压圈，迫使芯球对着固定下模冲向下浮动。脱模时，阴模拉下，压坯与芯球一起脱出模外。由于压坯产生弹性后效，压坯与芯球之间是松动的，可转动芯球，由压坯缺口处脱出。

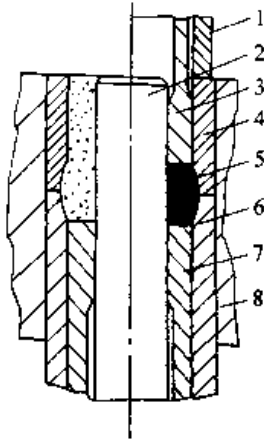


图 26.2-41 外球面压坯的组合阴模

1—辅助上模冲 2—芯棒 3—主上模冲 4—上半阴模
5—压坯 6—下半阴模 7—下模冲 8—模套

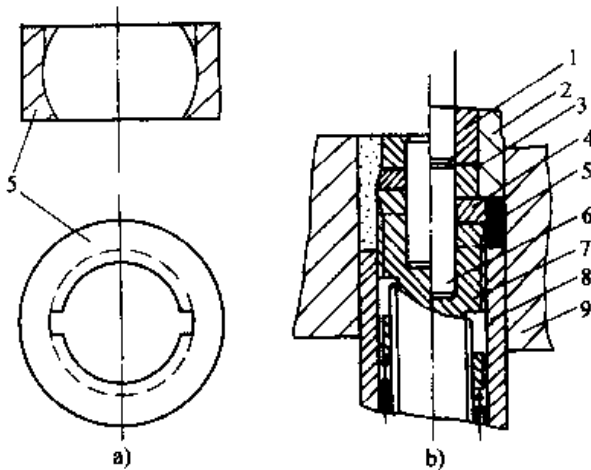


图 26.2-42 内球面压坯的组合芯球

a) 内球面压坯 b) 组合芯球成形法

1—内上模冲 2—外上模冲 3—辅助压圈 4—芯球
5—内球面压坯 6—定位芯棒 7—芯球座
8—下模冲 9—阴模

(4) 斜齿轮压坯的压模设计

压制斜齿轮压坯，要采用旋转压模。压制时，带齿的上模冲迫使齿部的粉末随着阴模的螺旋形角一面旋转，一面下降，由于粉末与模壁之间的摩擦力和压制力在阴模的斜齿槽上的径向分力的作用，将迫使阴模产生顺着螺旋方向旋转的趋势。这就要求在压制和脱模过程中，模冲与阴模在上下相对移动的同时，必须有相对转动，即要求模冲或阴模能旋转。一般采用平面滚子轴承

模座(图 26.2-43)来使阴模或模冲旋转。当压制内孔带斜花键槽的压坯时，除模冲旋转外，带斜花键的芯棒也要能上下旋转。

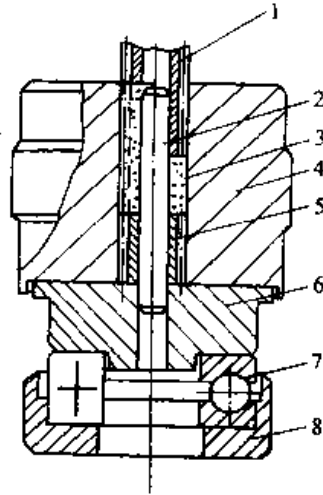


图 26.2-43 斜齿轮压坯的旋转手动模

1—齿形上模冲 2—芯棒 3—压坯
4—齿形阴模 5—齿形下模冲 6—模垫
7—单向推力滚子轴承 8—轴承座

4 粉末冶金模具尺寸设计原则

4.1 决定模具尺寸的步骤

粉末冶金制品的生产过程一般为：混料——成形——烧结——精整（或复压），而模具设计的步骤则依次为：

- 1) 选定精整方式及精整模具尺寸，根据精整余量确定烧结件尺寸；
- 2) 根据所选定的烧结材料和制造工艺的烧结收缩（或膨胀）量，确定压坯尺寸；
- 3) 根据压坯尺寸确定成形模具尺寸。

造成压坯尺寸变化的因素来自成形、烧结和精整。下面逐一加以说明。先假设粉末冶金制品的形状如图 26.2-44，当粉末在模具中成形时，加压（300~800 MPa）后，将会使阴模与第一下模冲产生径向变形（图 26.2-45）。待压坯由模具中脱出后，内应力得以释放，这时在径向产生胀大，表现为压制回弹。为减小压制回弹，应提高阴模刚性，一般采用预应力组合结构，并采用硬质合金制作阴模。成形后压坯的尺寸 C 比尺寸 B 的回弹要大（图 26.2-44），这主要是由于在阴模与第一下模冲之间留有适当间隙。下模冲与阴模的间隙一般为径向尺寸的 0.03%~0.1%，

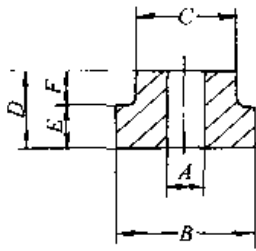


图 26.2-44 粉末冶金零件图例

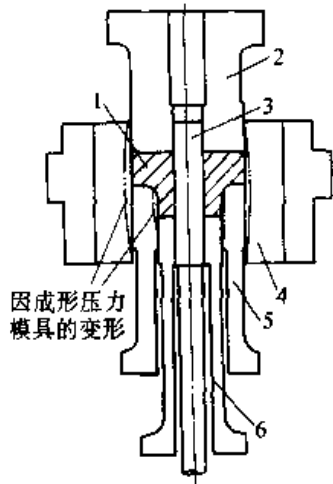


图 26.2-45 因成形压力所致模具的变形
1—压坯 2—上模冲 3—芯棒
4—阴模 5—第一下模冲 6—第二下模冲

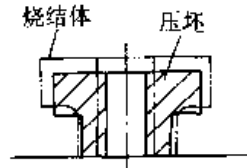


图 26.2-46 烧结时压坯尺寸的变化

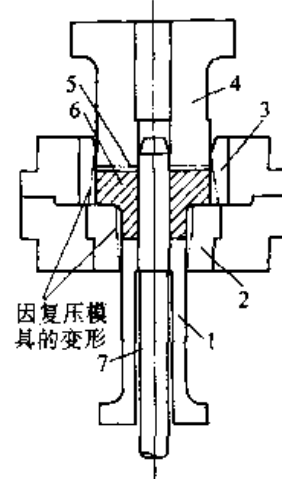


图 26.2-47 精整（复压）时高度方向的尺寸变化和模具的变形

1—下模冲 2—下阴模 3—上阴模

4—上模冲 5—烧结件 6—复压件 7—芯棒

异。径向尺寸与高度方向尺寸的变化量间具有相关关系，在确定烧结件尺寸和压坯尺寸时，必须十分清楚，当施加必要的压力进行精整（或复压）以矫正烧结制品的变形时，高度方向的变形量是多少。精整时的回弹随压力的增高而加大。

对于精整方式，根据烧结件与精整模具尺寸间的关系，可分为四种：

1) 烧结件外径比精整阴模内径尺寸大，但烧结件内径比精整芯棒直径小时的方法。这是一种箍外径、胀内径的方法，适用于烧结件密度比较小、使用的压机吨位比较小、以提高烧结件尺寸精度与减小表面粗糙度为目的的场合。这时径向精整余量为径向尺寸的 0.05%~0.1% 左右。这种方法的缺点在于阴模与芯棒磨损快，而且当模具润滑不良时，烧结件易粘在模具上。对于内外径任一形状复杂、烧结件与模具难以配合、仅就必要部分精整的场合，精整余量取 0.2%~0.5% 左右。如果高度方向再留精整余量，则为“全精整”，也可称为“复压”。

2) 烧结件外径比精整阴模内径大，烧结件内径也比精整芯棒外径大时的方法，称为“外箍

间隙过大则易造成模冲破损。

压坯经过烧结后，一般会产生尺寸变化（图 26.2-46）。或收缩或膨胀，统称为烧结收缩量，用百分数来表示。对烧结收缩量影响最大的是压坯的化学成分，含铜的压坯会产生比较明显的膨胀，而加入磷、镍等合金元素则会产生不同程度的收缩。烧结温度和烧结气氛以及压坯的密度也会影响压坯烧结后的尺寸。一般在材料成分相同时，压坯密度越小收缩越大；烧结温度越高收缩越明显。在较高温度下烧结时，对于薄壁件或形状复杂的工件，特别是沿轴向带台阶的工件，当其密度分布不均时，易产生烧结变形。这在进行模具设计时，一定要考虑到。

对于烧结制品，为了校正其变形和提高其尺寸精度，必须进行精整或复压（参见图 26.2-47）。精整时的尺寸变化，径向与高度方向有所不同。和成形时一样，精整时径向尺寸也产生回弹。高度方向的尺寸变化因施加于烧结制品上的压力而

内”法。将烧结件装于模具内，用上、下模冲加压，使烧结件与模具密切接触。这种方法模具承受的压力小，对模具寿命有利，但需要吨位较大的压机。

3) 烧结件内径比精整芯棒小，外径比精整阴模内径小时的方法，称为“内胀外”法。烧结件先放入阴模，然后使芯棒通过烧结件内孔。这种方法适用于内径精度高、外径要求低的情况。

4) 烧结件的尺寸与精整模具的尺寸大体上相同时的方法。这是最常用的一种精整方式。鉴于烧结件的尺寸偏差与变形，从局部观察时，上述几种方法是混合并存的。

此外，在设计模具时，还必须正确、定量地掌握原料粉末的种类、成分、制品的密度、模具材料以及烧结条件等变化因素。

4.2 模具的变形量

在成形过程中，成形压力将会使模具产生一定量的变形。对于带台阶类的制品，由于成形下模冲不只一个，而当各个模冲的变形量不同时，有可能造成压制废品。下面具体分析一下模具变形量的影响。

假设压坯的形状如图 26.2-48a 与 b 所示，其成形模架分别如图 26.2-49 和图 26.2-50 所示。图的左半部表示模具型腔的装粉状态，右半部表示压制成形结束时的状态。

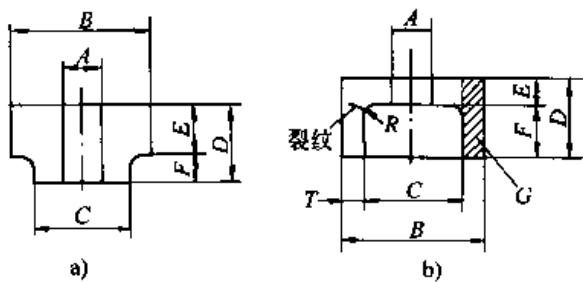


图 26.2-48 成形压坯形状例

粉末的充填高度 d 、 e 、 f 取决于压坯尺寸 D 、 E 、 F 和压缩比。在装粉状态下，令上模冲下降，用上、下模冲把粉末压制成形。图 26.2-49 和图 26.2-50 都是采用拉下法成形的，实际上将阴模拉下，也就是由下模冲一侧进行加压，加压完了时，在各个模冲中都产生了最大的压缩应力。由于模具结构上的限制，第一与第二下模冲的长度不同。因此，即使是压缩应力相同，长度较长

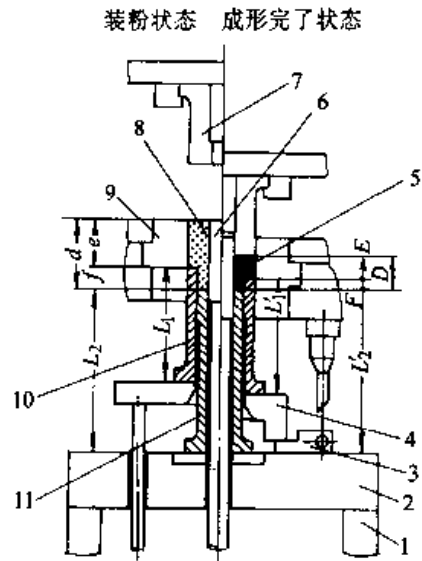


图 26.2-49 成形模架略图 (1)

- 1—模座 2—底板 3—滑块 4—支座 5—压坯
- 6—芯棒 7—上模冲 8—装粉 9—阴模
- 10—第一下模冲 11—第二下模冲

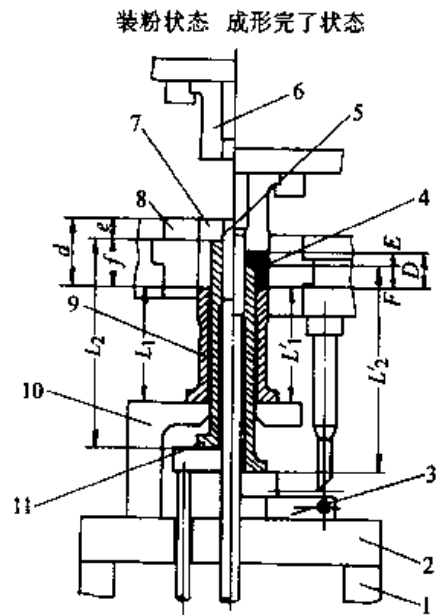


图 26.2-50 成形模架略图 (2)

- 1—模座 2—底板 3—滑块 4—压坯 5—芯棒
- 6—上模冲 7—装粉 8—阴模 9—第一下模冲
- 10—第一下模冲支座 11—第二下模冲

的第二下模冲的弹性变形量也比第一下模冲大。以底板为基准时，压坯的尺寸 F 取决于加压完了时第二下模冲的长度 L_2' 与第一下模冲的长度 L_1' 、第一下模冲支座的厚度与滑块厚度之和的差值。必须将这个弹性变形量之差反映在设计模冲尺寸 L_1 与 L_2 中，模冲的断面形状虽不同，但

在实用中, 模冲的变形量可用下式来计算:

$$\Delta L = L \times p / E$$

式中 ΔL ——模冲的尺寸变化量 (mm);

L ——模冲长度 (mm);

p ——成形压力 (kN/mm^2);

E ——杨氏模量 (合金钢为 $206 \text{ kN}/\text{mm}^2$)。

例如, 在第一下模冲长度为 80 mm , 第二下模冲长度为 150 mm , 压制压力为 $49 \text{ kN}/\text{mm}^2$ 的情况下, 模冲的变形量分别为

$$\Delta L_1 = (80 \times 0.49) / 206 = 0.19$$

$$\Delta L_2 = (150 \times 0.49) / 206 = 0.36$$

这表明第二下模冲比第一下模冲的变形量大 0.17 mm 。因此, 修改第一或第二下模冲的长度, 即可得到压坯的台阶尺寸 F 。成形之后上模冲回升, 模冲上的压应力随即消失, 各个模冲恢复到原尺寸, 第一下模冲与第二下模冲的压缩变形量之差将使压坯与第一下模冲之间产生间隙。此时阴模的进一步下降虽使压坯从阴模中脱出,

但施加在压坯上的力却是第二下模冲的顶出力和阴模及芯棒与压坯间的摩擦力。当压坯壁薄、形状复杂和强度低时, 以及在模冲间变形差大时, 压坯中都可能产生裂纹。成形图 26.2-48b 所示之压坯时, 容易出现图示的裂纹。这是因为卸压后, 下模冲之间的变形量之差造成的。脱模前, 外径 B 部分因阴模的摩擦而被压缩, 但第二下模冲的变形量大于第一下模冲的变形量, 导致第二下模冲对压坯产生额外的向上顶的压力, 从而产生裂纹。

为防止产生这类缺陷, 可以提高 G 部 (图 26.2-48b 中画剖面线部分) 的成形密度, 改变下模冲承受的压缩力, 用减小第一下模冲与第二下模冲压缩变形量的不同, 以及设法改变各模冲支座的形状, 以便减小压缩变形的差异。在压坯形状上也可做些改进, 例如在台阶根部取 R , 厚度 T 不能太小等。此外, 选用压缩性好的粉末, 也会有利于减小由于模具与模架变形引起的压坯缺陷。

第3章 粉末冶金成形模架

用传统粉末冶金工艺，即单轴向刚性模具压制成形法，制造粉末冶金零件时，粉末的压制成形都是在粉末冶金成形压力机上，于压制成形模具系统中完成的。通常，将压制成形模具系统叫做模架。

模架是由基本模具、模具的支撑与动作机构及接合器组成。图 26.3-1 所示为这些相关用语的关系。图 26.3-2 所示为基本模具组装图。图 26.3-3 示为模冲与芯棒和接合器的连接示意图。

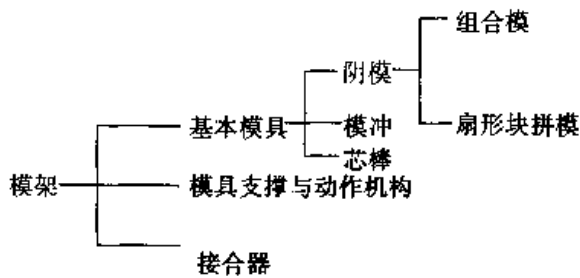


图 26.3-1 模架的关联用语

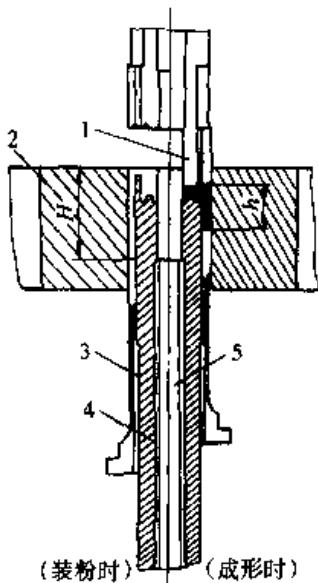


图 26.3-2 基本模具组装图
1—上模冲 2—阴模 3—第一下模冲
4—第二下模冲 5—芯棒

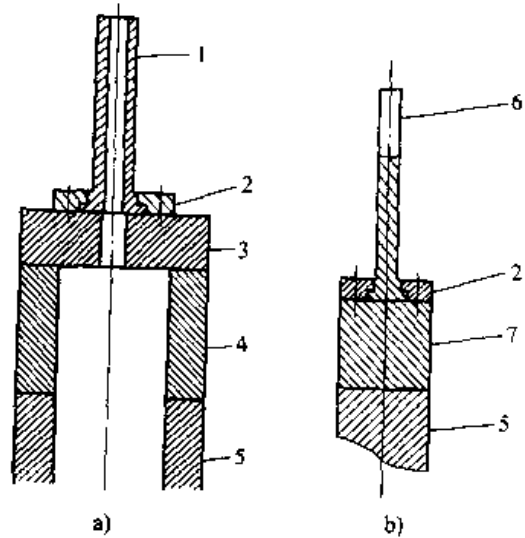


图 26.3-3 模冲与芯棒和接合器连接的示意图
a) 模冲与接合器的连接 b) 芯棒与接合器的连接
1—模冲 2—紧固环 3—模冲接合器 4—管状接合器
5—标准压力机接合器 6—芯棒 7—芯棒接合器

粉末冶金成形压机中使用的模架有二种，一种是直接成为压力机上不可拆卸的部分，主要用于压制成形形状较简单的零件压坯。其主要缺点是更换模具时停机时间长。另外一种是可拆卸模架，即可从压力机上拆卸下来进行更换的模架。

使用可拆卸模架时，通常一台粉末冶金成形压力机都装备有二副模架，一副装在压力机上工作，另外一副模架在压力机外进行生产准备，将准备压制的模具装于模架中进行调试，可大大缩短压力机更换模具的时间。

在粉末冶金零件生产中，粉末压制成形时的模具动作与零件压坯的密度分布及裂纹形成密切相关，而模具动作是由压力机与模架结构决定的。

本章首先介绍模架的结构与动作机构，然后说明模具动作和压坯中裂纹形成的关系。关于成形模具设计的详细情况见本篇第 4 章。

1 粉末冶金成形模架

设计粉末冶金零件的成形模具时，最为重要的是，要考虑如何满足粉末冶金零件的如下各项

技术条件:

- 1) 研讨粉末冶金零件的图样与技术要求;
- 2) 设计模具的动作机构;
- 3) 完成模具的动作与组装图;
- 4) 进行总体检查。

依据上述设计研究结果来确定:

- 1) 适用的粉末冶金成形压力机;

2) 包括成形方法在内的模具的支撑与动作机构;

- 3) 模架。

粉末冶金零件的形状不同时, 压制成形时使用的模架与压力机可能也不同。图 26.3-4 所示为零件压坯形状、模架与压力机的关系示意图。

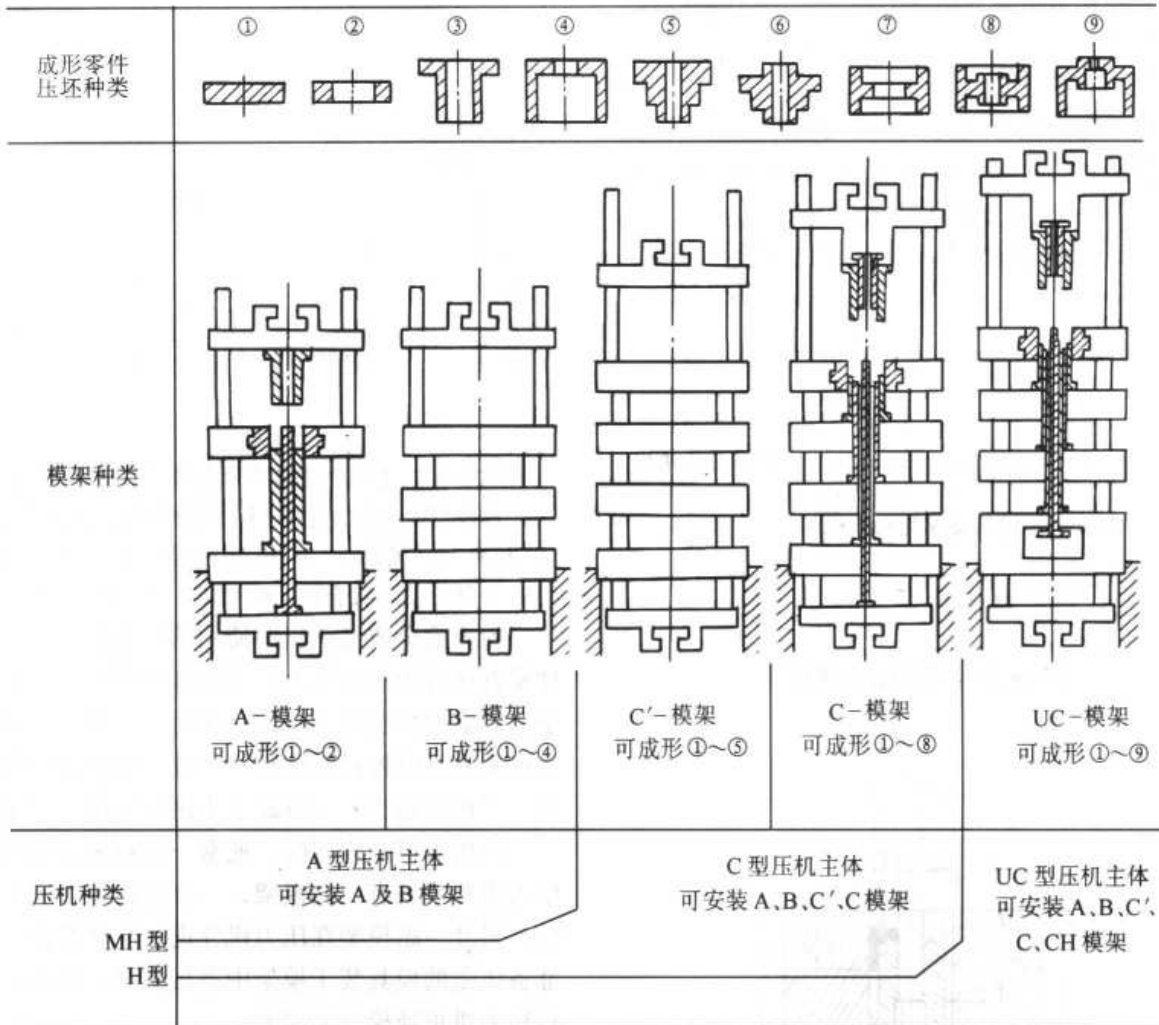


图 26.3-4 零件压坯形状、模架和压力机的关系图

因此, 在选购粉末冶金成形压力机时, 应首先根据压制成形的零件压坯的形状选择模架, 再根据选用的模架, 选用合适的压力机。

1.1 成形模具的动作设计

在粉末冶金零件生产中, 要求压制成形过程实现双向、同步及对称压制, 否则, 可能会使零件压坯中产生缺陷, 特别是裂纹。因此, 必须根据粉末冶金零件的形状与技术要求, 来设计粉末成形模具的动作。

粉末成形时模具的基本动作如图 26.3-5 所示。图 26.3-6 所示模架各部分的结构与功能, 说明如下:

- 1) 模架以轭形板连接于压力机下压头上。
- 2) 用四根导柱将轭形板与阴模板连结, 通过下压头的上、下动作, 进行一体化连动。
- 3) 将底板固定在压机台面上, 加压时承受下模冲的压力。
- 4) 将上模冲固定在上模板上, 然后安装于压头上。依靠导柱将上模冲与阴模调至精确同轴。

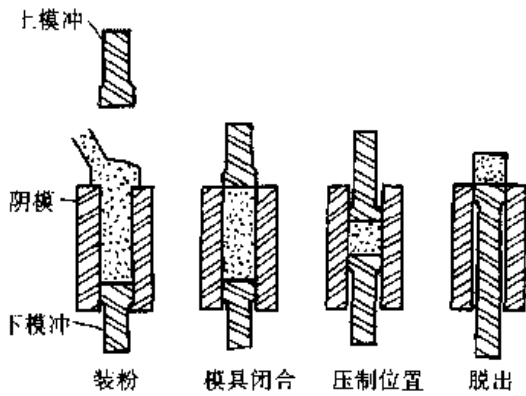


图 26.3-5 单轴向压制成形的典型模具动作

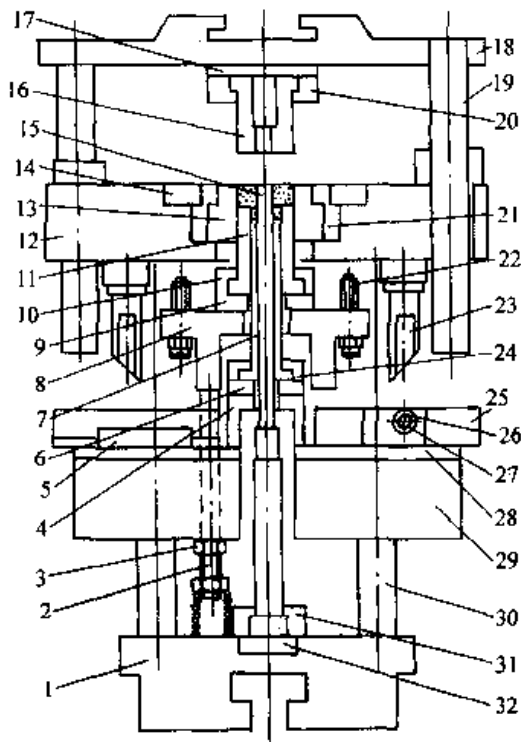


图 26.3-6 标准模架

- 1—靴形板 2—提升杆 3—装粉调整螺母
- 4—第二下模冲支座 5—导体 6—第二下模冲托板 7—第二下模冲 8—第一下模冲支座
- 9—第一下模冲托板 10—第一下模冲压板 11—第一下模冲 12—阴模板 13—阴模 14—阴模压板
- 15—芯棒 16—上模冲 17—上模冲底板
- 18—上模冲压板 19—导柱 20—上模冲压板
- 21—阴模座 22—拔出调整螺栓 23—楔形块
- 24—第二下模冲压板 25—滑块 26—滚轮
- 27—滚轮销 28—耐磨板 29—底板
- 30—导柱 31—芯棒压板 32—芯棒底板

- 5) 将第二下模冲安装在底板上。
- 6) 通过提升杆将第一下模冲顶上去，用装

粉调整螺母分别调整第一与第二下模冲在轴向成形的装粉深度。

压制时，模架（包括模具）的动作顺序为：

- 1) 由自动装粉靴将粉末充填于阴模型腔中，上压头开始下降。
- 2) 上模冲凭借两根导柱准确地进入阴模中进行压缩。
- 3) 上模冲压缩到既定位置后，即与阴模（连同阴模板）一起下降。阴模的下降速度可控制为与上模冲同速，或慢于上模冲。
- 4) 与阴模板联动的靴形板也同时下降，由弹簧支承在靴形板上的提升杆也下降，使得第一下模冲也和阴模板一起下降。
- 5) 连接第一下模冲的第一下模冲支座与滑块一接触，正好位于规定的和第二下模冲的相对应的位置时，即由上模冲进行最终压制成形（加压位置）。

6) 加压成形完成后，上压头回升，下压头再下降一段距离，使安装在阴模板上的楔形块将滚轮向左右推开，使滑块从第一下模冲支座和与之连接的第一下模冲下移开，阴模与第一下模冲分别下降到压坯可以自由脱出的（脱模）位置。

7) 下压头上升，通过提升杆将第一下模冲顶上去，滑块借助于弹簧复位，从而回到装粉位置。

压制时模具的基本动作如上所述，为装粉、模具闭合、压制和脱模。对于成形形状复杂的零件，具体的模具结构及动作在第4章中详细叙述。下面仅就一些特殊的模具结构与动作予以说明。

(1) 带台阴模成形

图 26.3-7 所示为成形外周带台阶压坯的情景。台阶的宽度小时，可用这种方法成形。用这种方法成形时，必须有阴模止动机构。

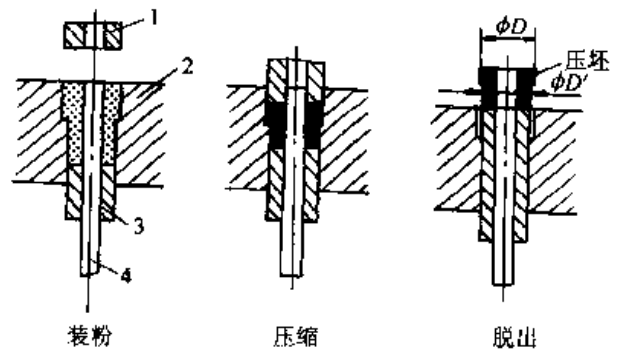


图 26.3-7 带台阴模成形例

- 1—上模冲 2—带台阴模 3—下模冲 4—芯棒

(2) 带台芯棒成形

图 26.3-8 所示为成形内孔带台阶压坯的情景。采用这种方法成形时，必须有芯棒止动机构。

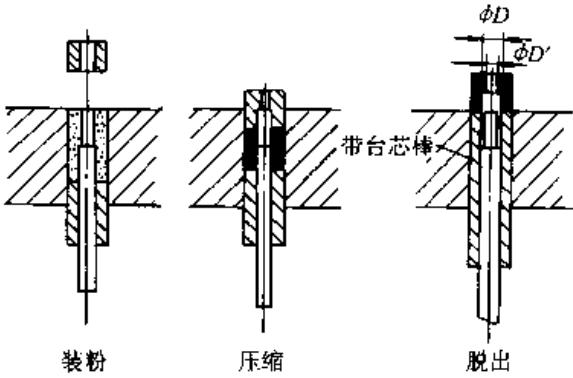


图 26.3-8 带台芯棒成形例

(3) 压紧脱模

如图 26.3-9 所示，压制完了后，上模冲凭借气压或弹簧力等压紧压坯，同时使阴模下降以脱出压坯。这是为了防止脱模时压坯产生裂纹而采取的一种措施。

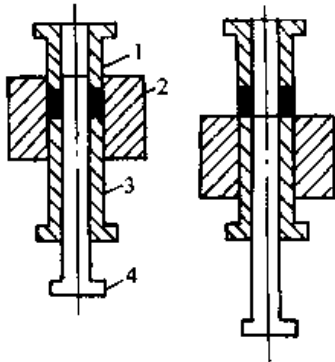


图 26.3-9 压紧脱模

1—上模冲 2—阴模 3—下模冲 4—芯棒

(4) 浮动芯棒

图 26.3-10 示一可动芯棒。这是一种脱模

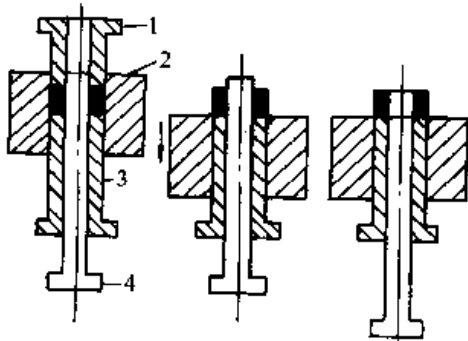


图 26.3-10 浮动芯棒

1—上模冲 2—阴模 3—下模冲 4—芯棒

时和压坯的摩擦力相等且可上、下移动的浮动芯棒。这种芯棒可减小脱模力，在成形总长度长的压坯时，效果很显著。

(5) 粉末移送成形

这种方法是，将粉末装于模具型腔中，使粉末移送后再加压成形，如图 26.3-11 所示。这种方法一般用于将下模冲一侧的粉末移送至上模冲一侧的场合居多。

粉末移送也叫做粉末转移。为使粉末移送而将下模冲拉下（在图 26.3-11 的场合为第一下模冲），称之为模冲控制。

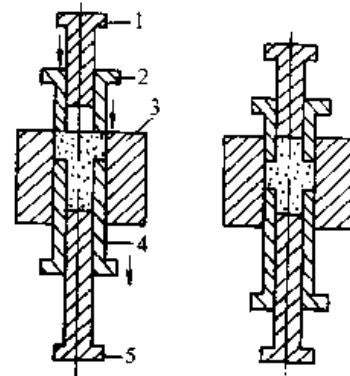


图 26.3-11 粉末移送成形

1—第二上模冲 2—第一上模冲 3—阴模
4—第一下模冲 5—第二下模冲

(6) 阴模控制

这种方法是拉下阴模以进行下部加压。图 26.3-12 所示为凸缘部分的下部加压，虽以对下模冲侧的轮毂部施加压力为目的，但第一下模冲下降，所以也将这种情况叫做模冲控制。

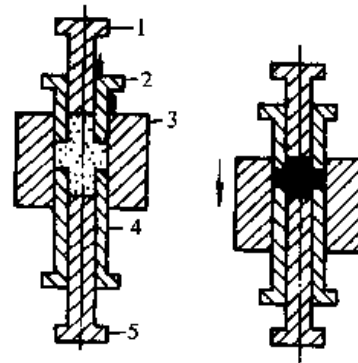


图 26.3-12 阴模控制

1—第二上模冲 2—第一上模冲 3—阴模
4—第一下模冲 5—第二下模冲

(7) 吸入装粉

在脱模状态，使装粉靴在阴模台板上移动，

通过阴模上升或下模冲下降实现型腔容积装粉，称之为吸入装粉。图 26.3-13 所示使阴模上升的场合。对于装粉深度大和薄壁状零件等装粉困难的场合，采用这种方法装粉效果显著。

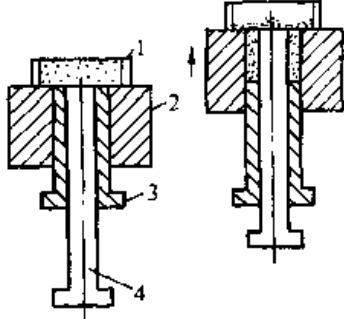


图 26.3-13 吸入装粉

1—装粉靴 2—阴模 3—下模冲 4—芯棒

(8) 过量装粉法

这种方法是，预先将型腔的装粉深度加深，装粉后，在装粉靴退回之前，将型腔调整到规定的装粉深度，然后通过使阴模、芯棒及下模冲移动，将多余的粉末重新送回装粉靴内。

图 26.3-14 所示为使阴模下降的场合，图 26.3-15 所示为使芯棒上升的场合。这种方法对于装粉困难的场合有效。

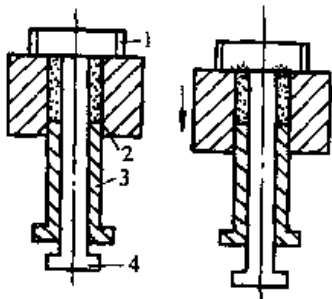


图 26.3-14 过量装粉法 (1)

1—装粉靴 2—阴模 3—下模冲 4—芯棒

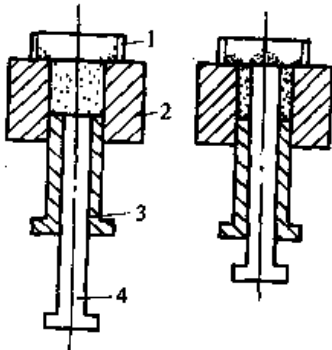


图 26.3-15 过量装粉法 (2)

1—装粉靴 2—阴模 3—下模冲 4—芯棒

(9) 欠量装粉法

这是在规定装粉与装粉靴移动终了后，使阴模上升或模冲下降，将型腔内的粉末上表面降低到低于阴模上表面的一种方法。图 26.3-16 与图 26.3-17 所示为使阴模上升的场合。这种方法可有效地防止带突起上模冲进入阴模中时粉末发生溅出现象。

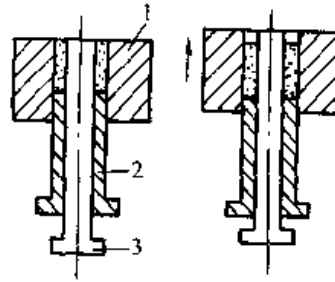


图 26.3-16 欠量装粉法

1—阴模 2—下模冲 4—芯棒

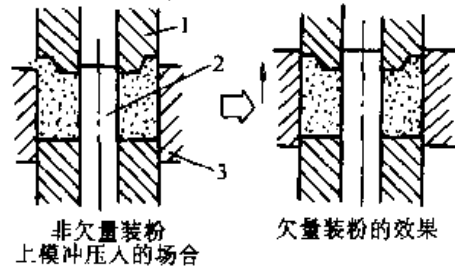


图 26.3-17 欠量装粉法的效果

1—上模冲 2—芯棒 3—阴模

1.2 粉末冶金成形模架的功能

粉末冶金成形模架是为实现粉末压制成形时模具的各项动作而设计、制造的，是实现高精度粉末压制成形的工装。

模架的基本功能是：

- 1) 能实现粉末冶金零件形状及精度的要求；
- 2) 能与粉末成形压力机实现快速连接；
- 3) 与模具实现高精度快速组装，并与接合器连接；
- 4) 压制成形前，可按照工艺要求进行粉末移送；
- 5) 压制成形过程中，可根据工艺要求，调控可动模冲的压力与加压速度及阴模的动作；
- 6) 应力求实现标准化、系列化、以利于模具设计、制造的标准化、系列化。

下面以实例来说明模架的功能。

德国 Dorst 公司生产的 TPA 系列压机都装有

图 26.3-18 所示的单层板标准模架。现以一零件压坯为例来说明该模架的功能。零件压坯示于图 26.3-19, 可看出, 这个零件的压坯具有 3 个上台面与 3 个下台面。因此, 压制成形时, 下部需有 3 个下模冲, 上部至少需有 2 个上模冲, 其中外上模冲必须是一带台阶的模冲。3 个下模冲中 2 个是可动的, 其中一个受阴模控制, 一个由中心杆操纵。另外一个下模冲与模架底板固定连接。

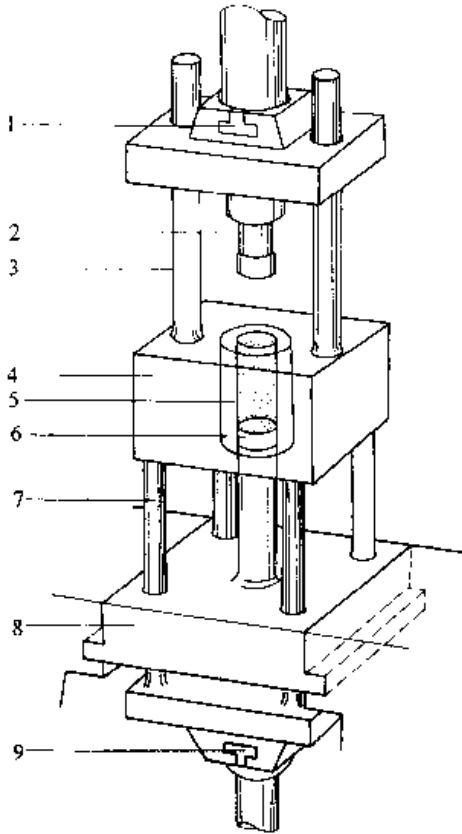


图 26.3-18 TPA 压机的标准模架 (单层板模架) 示意图

- 1—上部 T 形导槽 2—上模冲 3—导柱
- 4—阴模支撑板 5—阴模 6—下模冲 7—导柱
- 8—底板 9—下部 T 形导槽

1) 装粉位置 (图 26.3-20) 在装粉位置, 两个可动下模冲从下部压向底板上的止挡, 第三个下模冲固定安装在底板上。上模冲控制装置直接压在内上模冲上, 并通过弹性元件压到外上模冲上。成形法兰盘上 4 个小孔的芯棒和成形中心孔的芯棒都与阴模固定连接。

2) 压制成形位置 (图 26.3-21) 在压制成形过程中, 当位于阴模型腔中的粉末体随着密度增大, 产生之阻力大于上模冲上弹性元件的压力时, 弹性元件被压缩, 外上模冲座落在止挡上和内上模冲一起施加压力。

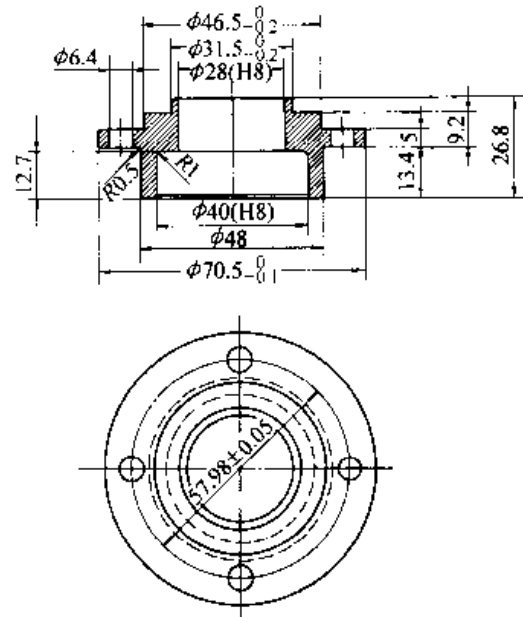


图 26.3-19 粉末冶金零件压坯图

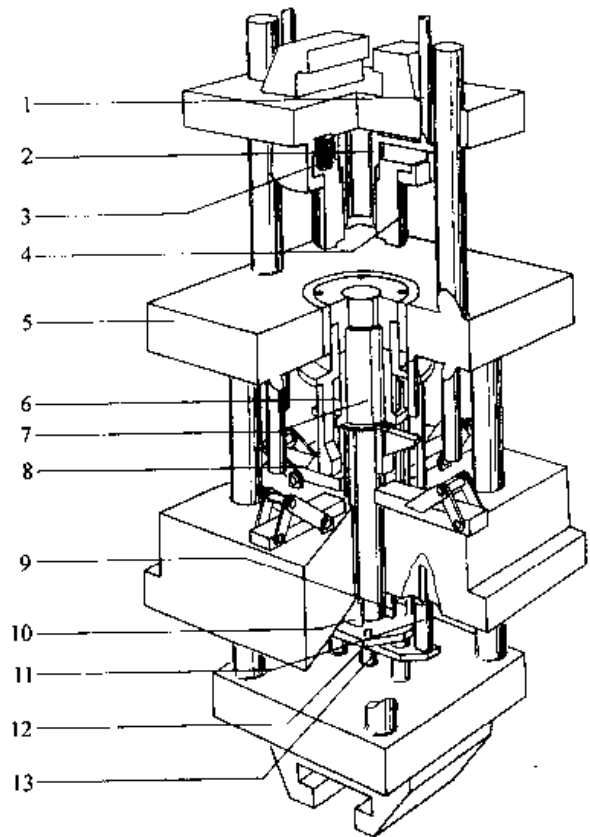


图 26.3-20 模架的装粉位置示意图

- 1—压紧装置 2—内上模冲 3—弹性元件
- 4—外上模冲 5—阴模支撑板 6—固定在底板上的下模冲
- 7—第一可动下模冲 8—第二可动下模冲 9—止挡
- 10—第一可动下模冲由阴模控制压向止挡 11—止挡
- 12—第二可动下模冲由中心杆压向止挡 13—设备上操作的中心杆

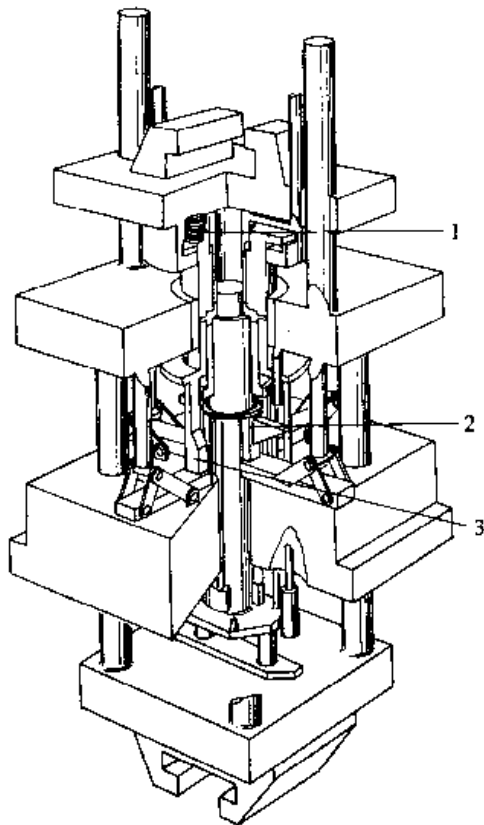


图 26.3-21 模架的压制成形位置示意图

在较小的压制模具中，一般情况下可采用通过模型止挡控制的带楔块和滑板的结构代替剪型机构

- 1—弹性元件被压缩，外上模冲座落在止挡上
- 2—第一可动下模冲座落在一对剪型机构的止挡上
- 3—第二可动下模冲座落在另一对剪型机构的止挡上

在压制成形过程中，二个可动下模冲下行到它们的压制位置，这个位置是由底板上的止挡决定。

3) 脱模位置 (图 26.3-22) 压制成形后，将阴模拉下，脱出成形的零件压坯。

为防止压坯的薄台阶部分碎裂，在内上模冲一直处于压持装置加压状态下，先将外上模冲从压坯上脱开。然后，将阴模拉下，脱出压坯。待压坯完全从阴模中脱出后，再将可动下模冲拉下。脱模时，要先用装在阴模支撑板上的压杆将可动下模冲下的止挡推开。

1.3 模架中的粉末移送机构和模冲速度控制系统

在用单轴向刚性模具压制成形多台面、形状复杂的零件压坯时，在压制成形之前，必须通过粉末移送将粉末混合物正确地配置在压模中的各个相应位置，否则，压制成形时，在压坯中就会

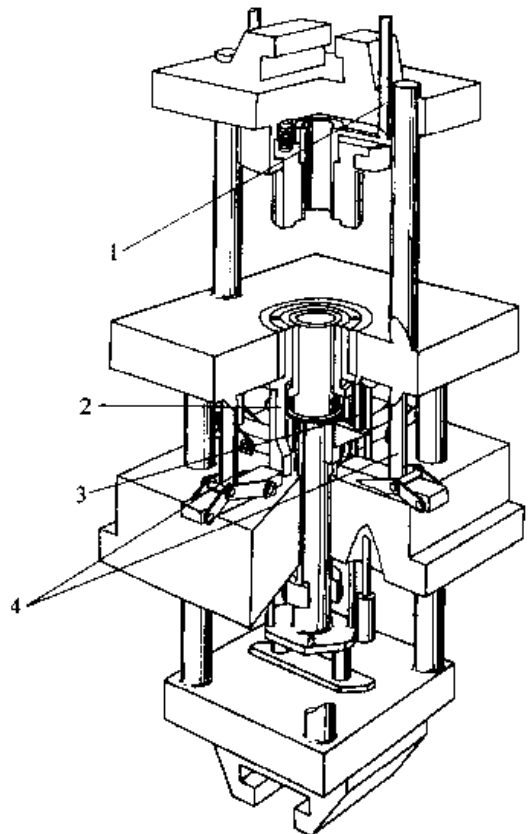


图 26.3-22 模架的脱模位置示意图

- 1—内上模冲用压紧装置一直向下压着，直至外上模冲从压坯凸缘上脱开为止
- 2—第二可动下模冲由一个压力杆压入脱模位置
- 3—第一可动下模冲由一个压力杆压入脱模位置
- 4—在阴模支撑板上的压力杆将剪型机构压向后面

出现剪切裂纹，这些裂纹在压制成形时也许看不出来，但烧结时会因热胀而显现出来。

(1) 粉末移送机构

现代粉末成形压力机一般都装备有标准模架与粉末移送机构。实际上，只有具备粉末移送机构的模架才能用来压制成形形状复杂的多台面零件压坯。

鉴于大批量生产时模具中的摩擦力经常发生变化，气动或弹簧操纵的粉末移送机构不够稳定，最好采用机械驱动的粉末移送机构。图 26.3-23 示下拉式压机模架的粉末移送系统。这是一种标准机构，可用于需要进行粉末移送的各种各样的零件，其作业如下：

1) 上模冲组件包括两个固定的上模冲和一个居中的可动上模冲。可动上模冲用于成形零件压坯上部的凹入部分和使之下行到一前置位置，这个前置位置取决于凹入部深度与粉末压缩比的乘积。这个可动上模冲是借助于气缸前进，在压

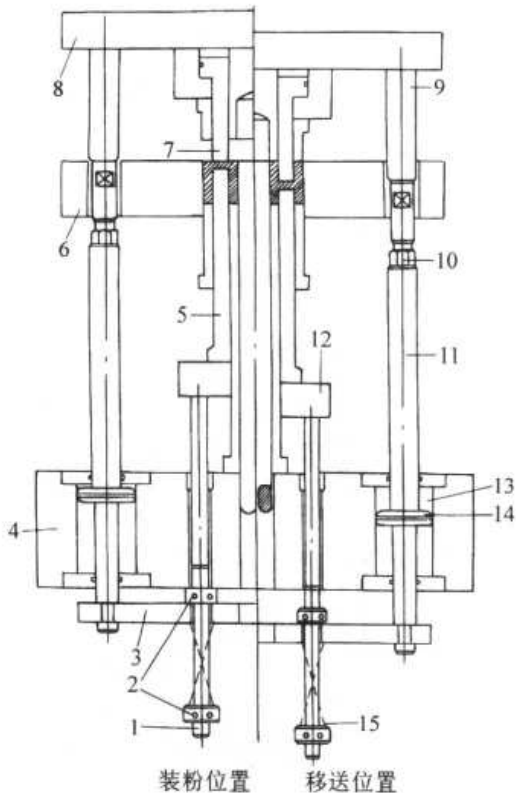


图 26.3-23 拉下式压机模架的粉末移送系统

- 1—移送回行杆 2—装粉量调节螺母 3—移送板
 - 4—底板 5—可动下模冲 6—阴模台板
 - 7—可动上模冲 8—上模冲板 9—移送驱动杆
 - 10—移送定时调整 11—移送活塞杆 12—下模冲
 - 13—空气缸 14—活塞 15—移送补偿弹簧
- 制成形时被强制退回到压制位置。

2) 在装粉位置时，可动下模冲借助于双气缸与活塞上升，而内、外下模冲仍处于固定的装

粉位置不动。可通过位于“移送板”和“底板”之间的“装粉量调节螺母”来调整固定模冲和可动模冲之间装粉量的关系，而总的装粉高度则可通过设定的压机下部机构的前置位置或液压缸的调控来进行调整。

3) 在装粉位置，装粉靴将粉末装于阴模型腔中并退回。压力机上压头使上模冲向阴模移动，当可动上模冲一接触粉末时，两根“移送驱动杆”就和两个“移送定时调节螺杆”相接触。随着可动上模冲进一步下行进入阴模型腔，借助于“双活塞杆”、“移送板”及“移送补偿弹簧”，“移送驱动杆”使可动下模冲准时随着上模冲进入而下行，一直下行到粉末材料的薄辐板截面位于内、外环装粉层截面的中间位置为止。

4) 必须注意可动下模冲“装粉量调节螺母”上部定位的下移，使它与“移送板”上表面保持接触。在粉末移送期间，倘若这些螺母和“移送板”之间出现间隙，这种现象或者是由于可动下模冲和固定下模冲间的摩擦过大，或者是由于“移送补偿弹簧”强度不够高。为了在每一压制循环对压坯的厚度与密度都能有效地进行控制，粉末移送动作的稳定重现性是十分重要的。粉末移送动作中的任何缺陷都会导致压坯厚度与密度不稳定或截面交接处开裂，从而增大压制成形的废品率。

5) 倘若在可动上模冲触及装入的粉末之前，“移送驱动杆”使可动下模冲下行，则将使粉末体从装粉层厚的内、外环截面移入到装粉层薄的辐板截面，致使辐板截面的密度增大与厚度过大，且内、外环截面的密度减小与压制的高度尺寸减小（图 26.3-24）。

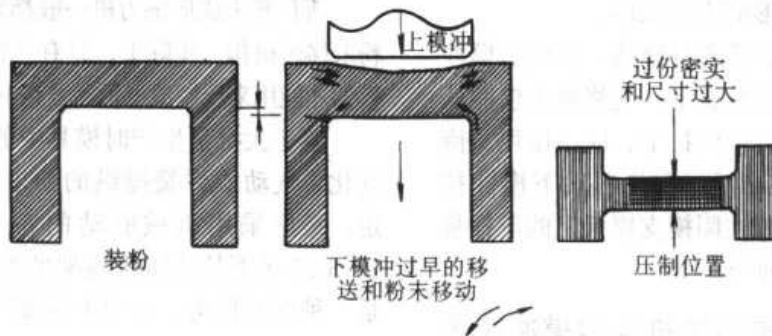


图 26.3-24 下模冲过早下行

6) 倘若可动上模冲进入阴模型腔中后，“移送驱动杆”才使移送系统碰到可动下模冲，则将产生和上面 5) 中所述相反的作用。在这两种情况下都需要重新设定粉末的移送定时（见图

26.3-25)。

7) “移送补偿弹簧”应具有足够高的强度，以保持精确的粉末移送动作。同时，在压制作业时要使弹簧有适当的活动范围，不压成死圈。在

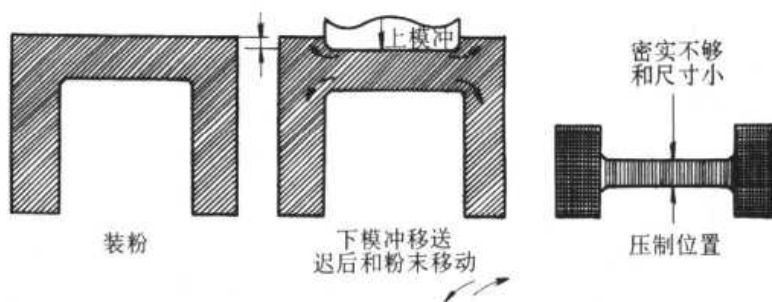


图 26.3-25 下模冲下行迟延

对压制速度进行控制的可动下模冲移位时和当可动下模冲的下方压制动作用通过其滑块支承系统被延迟时，“移送补偿弹簧”都会发生这种压缩。没有“移送补偿弹簧系统”（一些现代压机都装备有脱出移送释放系统），移送系统将发生机械锁定，从而使之严重损坏。

若H形零件压坯在开始压制前，未按照上述程序进行粉末移送装粉，而在开始压制时，强制将辐板处的粉末体层位移到零件压坯的中央截面处，则如图 26.3-26 所示，将在截面过渡处产生裂纹。

(2) 模冲加压速度引起压坯中的裂纹

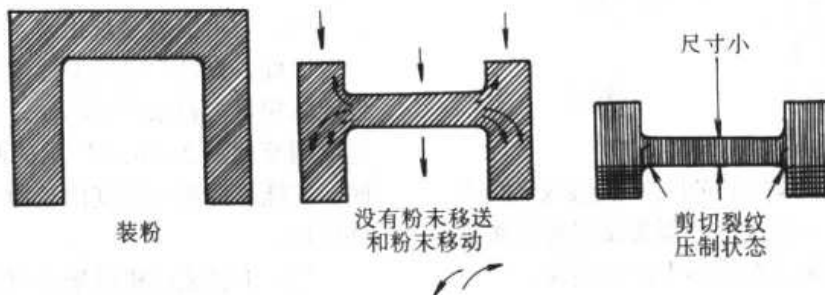


图 26.3-26 不进行粉末移送装粉时压坯中产生的裂纹

在压制成形形状复杂、多台面零件压坯时，为防止压坯中产生裂纹，除采用粉末移送装粉使零件压坯各截面装粉层高度符合工艺要求外，在压制成形时，还必须控制可动模冲的压制速度，因为一些可动模冲的压制速度太快或太慢都会导致最终压制时压坯内粉末材料的移动，当先成形密度较大的压坯截面的粉末材料挤向密度较小的截面时，在压制动作较迟的截面就会产生裂纹。

图 26.3-27~图 26.3-31 示出五种零件压坯的

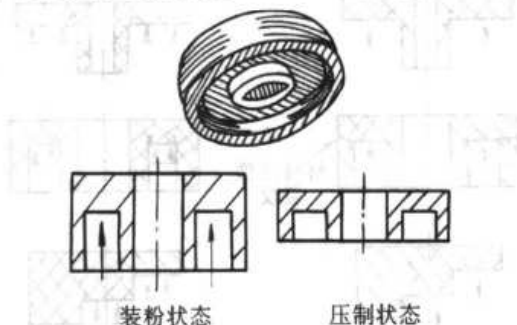


图 26.3-28 零件 (二)

(图中箭头表示成形该台面的模冲速度需要控制)

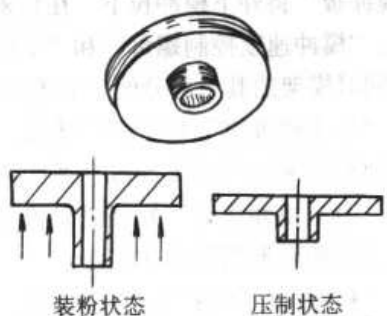


图 26.3-27 零件 (一)

(图中箭头表示成形该台面的模冲速度需要控制)

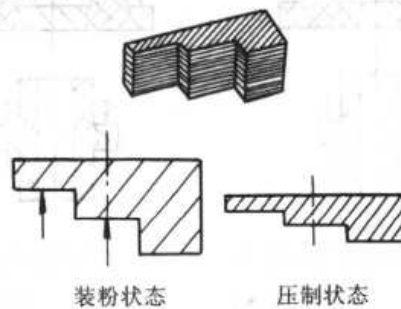


图 26.3-29 零件 (三)

(图中箭头表示成形该台面的模冲速度需要控制)

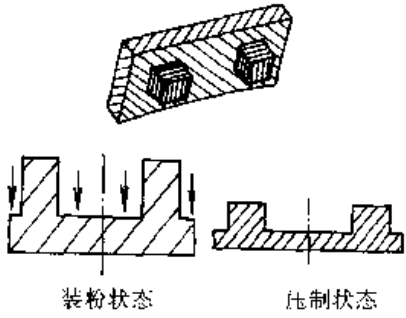


图 26.3-30 零件 (四)

(图中箭头表示成形该台面的模冲的速度应该控制)

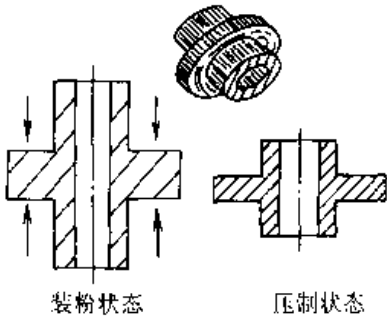


图 26.3-31 零件 (五)

(图中箭头表示成形该台面的模冲的速度应该控制) 示意图, 它们在压制成形时都需要控制可动模冲的压制速度, 以防止在压坯中产生裂纹。

图 26.3-32 所示零件压坯示意图清楚表明,

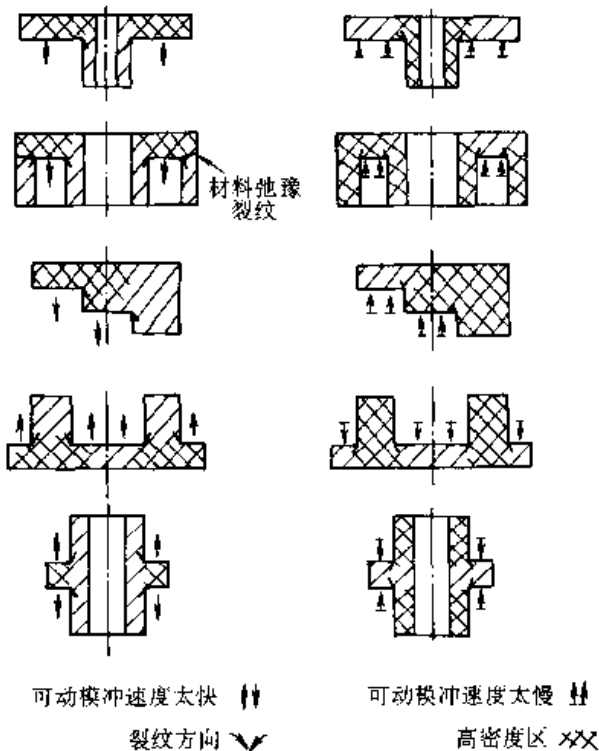


图 26.3-32 由于模具设计不正确或生产用压机的设定相反, 成形的零件压坯中可能产生的问题

由于模具设计不正确或生产用压机的设定相反, 致使零件压坯中产生的各种问题。

图 26.3-32 中的两行零件压坯示意图, 左边一行是对可动模冲缺少控制者、或者是设定的反向压力与流量控制使模冲回到压制位置的速度太快。右边一行是、对可动模冲的压制速度控制过紧, 致使压制的粉末材料中产生横向移动, 在不同方向产生裂纹。

图 26.3-32 左边一行从上向下第二个零件例表明, 若辐板与内环截面的密度太大, 则将会引发材料的弛豫裂纹。对于这一类型的零件压坯, 它们的几何形状决定了三个截面的密度应有所不同。倘若这三个截面的密度必须相同时, 则需要进行复压, 否则压坯中就会产生裂纹。在压制成形阶段, 压坯中的裂纹可能看不出来, 但在烧结时或烧结后可能就显现出来了!

因此, 设计一合理的速度控制系统, 正确地设定装粉量与粉末移送动作, 通过将模冲的压制速度调节到图 26.3 32 所示的两种相反的状况之间, 才能够压制出密度比较均一的、无裂纹的零件压坯。

(3) 下拉式压机模架的模冲速度控制系统

图 26.3-33 表示压制成形图 26.3-31 所示零件压坯用模架的模冲速度系统。图中表明了压制成形时的“粉末移送状态”和“最终压制状态”。兹就这两种功能的详细操作说明如下。

1) 粉末移送动作 对阴模型腔装粉后, 压机的装粉靴退回, 压机的上压头下行。当外上模冲触及成形法兰盘部分的粉末时, “移送驱动杆”和“移送定时调节器”相接触, 因此, 当外上模冲进入阴模型腔时, “移送活塞杆”及“移送杆”以和外上模冲进入阴模型腔相同的速度下行。“移送板”通过“移送补偿弹簧”、“移送退回杆”及“滑块模冲板”将外下模冲拉下。在粉末移送动作终了时, “模冲速度控制螺母”和“下压头板”相接触, 同时模架的其余部分处于下述状态:

① “外上模冲缸”处于下行状态, 其减压阀的定位使得压制时外上模冲以合适的速度回行。

② “内上模冲活塞”处于退回状态, 只有脱出压坯上部的环形截面时才前进。

③ “移送补偿弹簧”没有被压缩。

④ 将支承“下压头板”的压力调整到使外下模冲在压制时以合适的速度下行; 当法兰盘的压

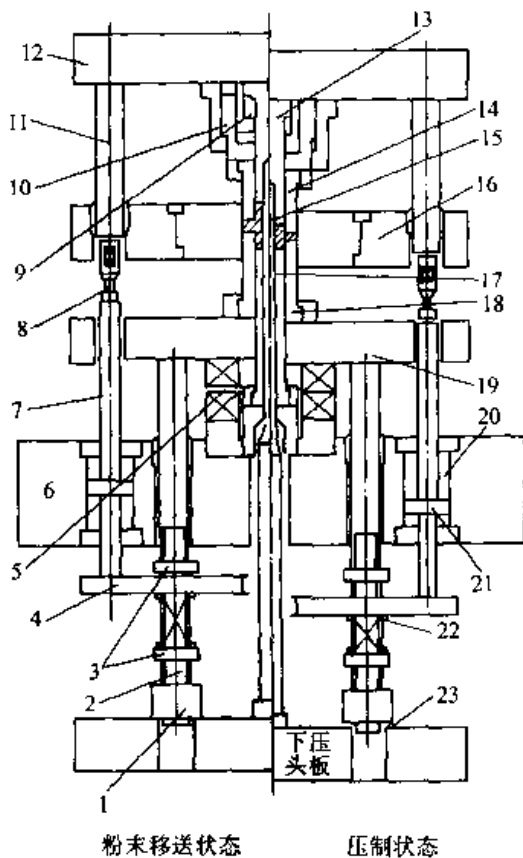


图 26.3-33 下拉式压机模架的模冲速度控制系统
(没有画出将阴模台板固定在下压头板上的主要支柱)

- 1—模冲速度控制螺母 2—移送退回杆 3—装粉调节螺母 4—移送板 5—滑块间隙 6—底板
- 7—移送活塞杆 8—移送定时调节器 9—内脱出缸 10—控制模冲速度用的外模冲缸 11—移送驱动杆
- 12—上模冲杆 13—内上模冲 14—外上模冲 15—芯棒 16—阴模与阴模台板 17—内下模冲
- 18—外下模冲 19—滑块模冲板 20—空气缸 21—活塞 22—移送补偿弹簧
- 23—模冲速度控制螺母和下压头板间的间隙

制面积小时，为了使外下模冲以合适的速度下行，可能需要采用强制阴模浮动。在开始生产时，都要正确设定用来控制外下模冲的下方压制速度的反压力或强制阴模浮动的速度。这是因为对于特定的零件几何形状，粉末对模具的摩擦作用不同。

⑤ 必须注意，在“模冲速度控制螺母”刚一接触“下压头板”的瞬间，粉末并没有被压缩。

2) 压制成形时的模冲速度控制 压制成形时，借助于设定的“外上模冲缸”的减压和压力机下压头的下行速度，可以使压坯各个截面的成形密度稳定、均一。倘若使外上模冲或外下模冲的反压太快，则压坯上部或下部环形截面中的密

度将太低和法兰盘部分的密度太高。倘若，这两个外模冲中任何一个的反压速度太慢，则上部或下部环形截面中的密度将太高，法兰盘部分的密度则太低。

若装粉高度正确且粉末移送时也没有对粉末进行压缩，则通过正确地调整模冲速度控制系统，就能使压坯具有均一密度。对图 26.3-33 所示从粉末移送状态转变到压制成形状态的动作叙述如下：

① 当上模冲进入阴模型腔时，外下模冲下行到压制位置，支承滑块端面间的间隙闭合，到达滑块的支承位置。当外下模冲下行时，借助于压力机与模架在压制动作用时和“下压头板”相接触的“模冲速度控制螺母”，用压力机的下压头控制其下行速度。在最终压制阶段，在“模冲速度控制螺母”和“下压头板”之间必须形成一间隙，以保证“移送退回杆”不会承受过高的压制负载。

② 外上模冲被压回到压制位置，从而使外上模冲活塞处于紧靠在上模冲板上的支承位置。为防止因外上模冲回弹而毁坏压坯，应将外上模冲缸的液压压力限定在充分压制的位置。压坯的法兰盘较小时，对于外上模冲的反压动作，仅一个空气缸系统就能进行速度控制了。

③ 在压制成形时，粉末移送系统不断下行，因外下模冲的下行受到正处于压制支承位置的滑块阻止，“移送补偿弹簧”被压缩。这时，特别要防止“移送补偿弹簧”的螺旋相连接。

④ 在粉末移送开始后，底板缸中的活塞进一步下行，因此，要保证底板缸具有足够的长度。

⑤ 当使用机械式压力机时，必须精心确定作用在压力机下压头上的载荷大小，在相应的可动模冲与模架底板之间应设计支承可动下模冲下行速度所需的压力。

⑥ 当使用下拉式压力机时，通常阴模下行的行程为总压制行程的 50%，以便对于在阴模与模冲之间达到平衡的摩擦压制作用，使得压坯上部和下部环形截面的密度相同。

⑦ 可用一气缸系统将芯棒压住，这个系统有助于防止脱模时压坯中产生裂纹，几乎可以完全消除压制成形时施加于芯棒的柄与支座上的应力。

⑧ 和③中叙述的一样，当滑块间隙闭合达到压制位置时，要保证滑块接合表面的支承面所能够承受的最小载荷要等于施加于模冲的总压制力的两倍。

1.4 多层板模架

在粉末冶金零件中，上面有二个台面，下面有三个台面的形状复杂的零件愈来愈多，诸如汽车离合器中的离合器齿毂、正时齿形带轮、步进电机外框等。为了使零件压坯每个台面的装料比相同，和在压制过程中保持各台面密度均一，即实现双向、同步及对称压制，开发了多种多层板模架。采用多层板模架生产形状复杂的粉末冶金零件的主要优点是：

1) 由于规定了粉末移送与模冲回弹的补偿，可避免压坯中形成裂纹；

2) 改进零件压坯的密度分布；

3) 零件压坯的重复精度较高；

4) 缩短模具的设计与组装时间，且费用较低。

Dorst 公司生产的 TPA 系列压机，可将上述单层板标准模架更换为多层板模架，以生产不同形状粉末冶金零件。下面介绍几种多层板模架。

(1) 机械式压力机用液压控制的多层板模架

液压控制的多层板模架比较适用于中、低吨位的机械式压力机。图 26.3-34 为一种典型模架示意图。利用集装于底板中的液压缸，使板 A 移动到装粉位置，通过与上压头相连接的杆 1 同步推到压制位置。在该位置，板 A 为一楔形体与滑块 2 系统所支承，这个系统在阴模拉动之前被机械地打开。而后，由杆 3 将板 A 移动到拉下位置。

液压缸 4 使板 B 移动到装粉位置，板 B 在压制位置落在底板上。为了脱出压坯，板 B 只能进行液压脱出。板 C 和板 B 的动作一样，借助于液压缸使之移动到装粉位置或相应的脱出位置。

可将一外加的模冲安装在杯型件 D 上，杯型件 D 被牢固地连接在底板上。为了用压制板 7 或压力机的液压芯杆控制另外的模冲，孔 6 的尺寸应足够大。

可借助于液压活塞 E 和两个同步的液压活塞 F 来控制多个上模冲。因此，用这种模架系统可提供 6 个液压面，即可成形 6 个台面的压坯（如图 26.3-4 所示压坯 7）。

借助杆 1 的上模冲与板 A 间的同步可避免粉末移送不当而引起的裂纹。在压制点压制后瞬间，液压压力可使所有模冲处于保压状态，从而可避免由于膨胀引起的裂纹（图 26.3-46）。

这种模架系统的刚度较高，因为在压制位置

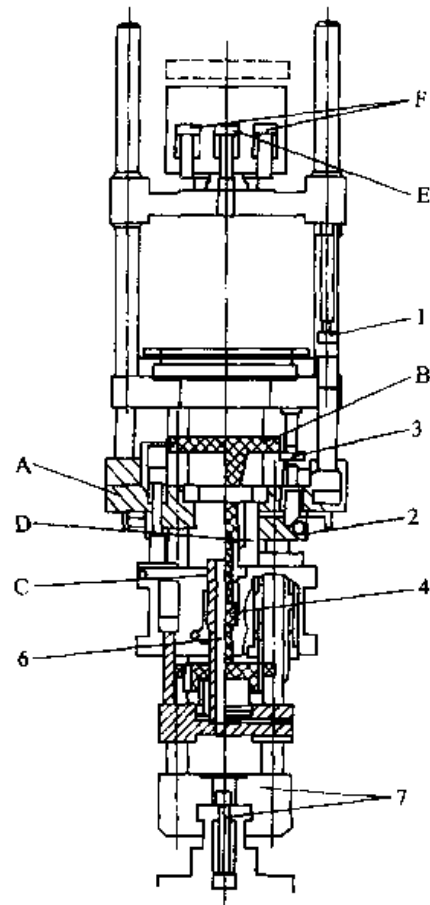


图 26.3-34 机械式压机（低、中吨位）
用液压控制的多层板模架示意图

所有板都落于底板上。这意味着，板和桥基本上都不会挠曲，通过对有关反向力的灵敏调节可消除不良的粉末移动，从而可避免裂纹的产生。

(2) 液压式压机用带液压闭环控制系统的多层板模架

图 26.3-35 表示液压闭环控制的多层板模架示意图，阴模是按照下拉式动作的。模冲 a 与 b 安装在支承板 1 与 2 上，它们都是由支承在底板上的液压缸来移动的。这些液压缸也用作调整压制位置的挡块。同样地用于模冲 c。模冲 c 位于装在底板内的中间环形活塞（板 3）上。这些板都和以 1/100 mm 精度测量各个模冲位置的旋转扫描装置相连接。液压缸是用伺服阀开动的。用一电子装置来闭合包括伺服阀与扫描装置在内的控制环。在一个压制循环内，利用这三块板可以可编程序的速度或可编程序的力达到各种不同的位置。当用闭环控制速度时，不论摩擦条件如何，都能进行恒定的粉末移送。在压制过程中，在上模冲和任一下模冲之间都能实现完全同步或可编程序的速

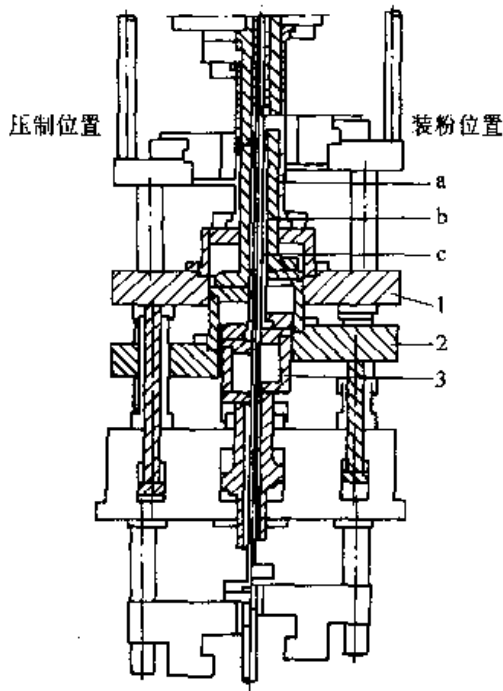


图 26.3-35 液压式压机用带液压闭环控制系统的多层板模架示意图

度比。压制位置挡块只需 5 mm 的调节范围。模冲的长度决定零件压坯的高度，也可用调节压制位置的挡块的方法来补偿模冲少量的切削加工。

压坯不同截面内的装粉高度可以精确编程，在试运转期间也可以根据需要很快地重新编程。当每一个模冲的速度都可以编程和对于每一个模冲都可进行闭环控制时，不论摩擦与温度的影响如何，任一模冲都可以以相同的速度从装粉位置移动到压制位置。

这样就可以避免由非最佳压制速度引发压坯裂纹，因为每一下模冲都能够和上模冲同步地从装粉位置 1 移动到装粉位置 2，所以在开始压制之前很容易进行粉末移送。此外，借助于单个推出压头的最佳编程，可依相应的顺序和速度，将压坯一步步地脱出。最后，通过使达到压制位置后立即产生弹性回复伸长较小的那些下模冲稍微上行一点，就可避免因下模冲伸长不等而引起的压坯裂纹。

(3) 带无源液压系统的多层板模架 MAP/H (图 26.3-36)

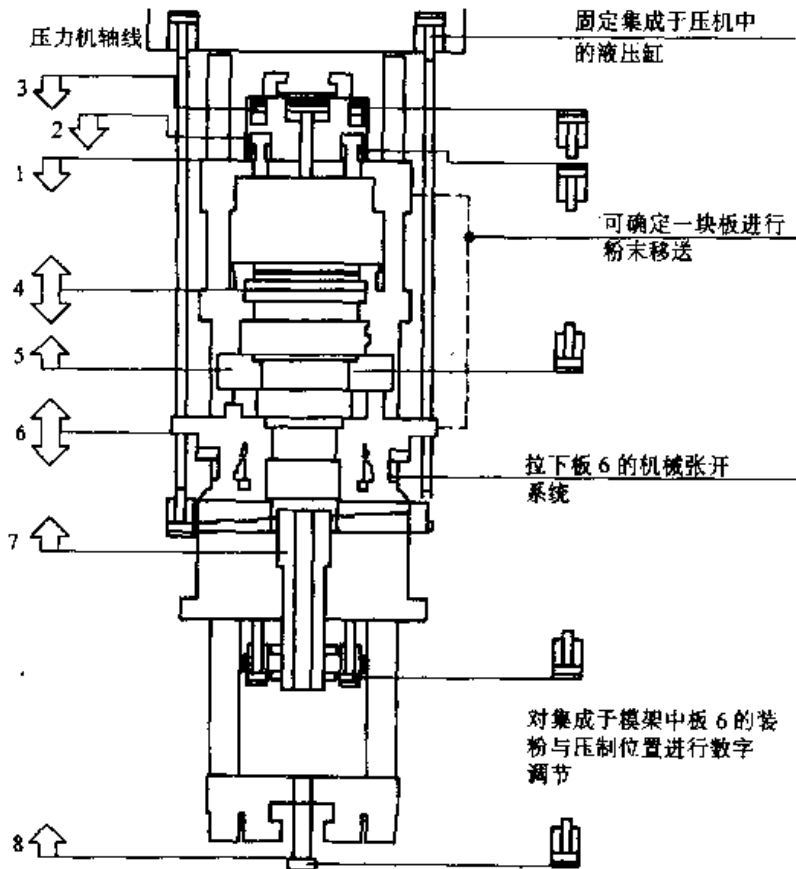


图 26.3-36 用于 4 500 kN 机械式压力机的带无源液压系统的多层板模架 MAP/H

- 1—第一上模冲（机械的） 2、3—第二、第三上模冲（液压的） 4—阴模台板（机械的）
- 5—装第一下模冲的可进行模冲回弹补偿的板（机械的或液压的） 6—装第二下模冲的可下拉的板（可机械拉下，也可通过液压缸上升至装粉位置） 7—装第三下模冲的板（机械的或液压的） 8—液压芯棒

关于这种模架，在压力机的十字头中集装有两个液压缸。模架夹持系统下部也有两个液压缸。通过多层模架中的杆，上面的两个液压缸控制一个可下拉的板的精确粉末移送；这块板的精确定时（粉末的移送的开始与结束）是机械调整的。下部的两个液压缸规定了这块板的支撑力与回程力。这块可下拉板的装粉位置与压制位置都可进行数字调整。液压缸所需压力是由压力机通过一膜片蓄能器产生的。

这种模架设计原理的主要优点是：

- 1) 规定了一块板进行粉末移送；
 - 2) 不需要复杂的液压驱动装置；
 - 3) 板不需要用复杂的电器控制装置；
 - 4) 可下拉板用的液压缸都集成于压力机中，只需要少数的液力管接头即可。
 - 5) 易于操作和维修；
 - 6) 压制速度快，生产率高。
- (4) 带有源液压系统的多层板模架 MA (图 26.3-37)

这种模架主要用于同步器齿毂和类似复杂形

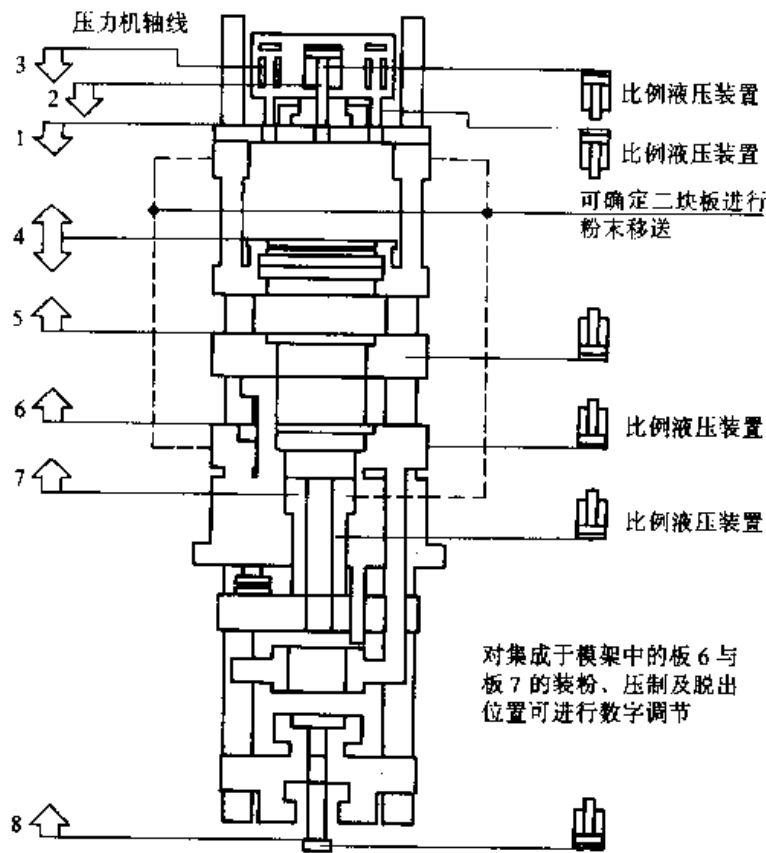


图 26.3-37 4 500 kN 机械式压机用的带有源液压系统的多层板模架 MA

- 1—第一上模冲（机械的） 2、3—第二、第三上模冲（比例液压装置） 4—阴模台板（机械的）
 5—装第一下模冲的可进行液压模冲回弹补偿的板 6—装第二下模冲的板（比例液压装置）
 7—装第三下模冲的板（比例液压装置） 8—液压芯棒

状零件的粉末冶金的生产，其特点是生产速度高。

安装下模冲的各个板是依照顶出法操作的；这些板的装粉位置、压制位置及顶出位置都是数控可调的。上面的两根轴和下面的两根轴都是由压力机控制器编程的压力比例阀与比例方向控制阀控制的。在压制过程中也可改变这些板的压力

与速度。因此，即使是对于生产像同步器齿毂这种形状最复杂的零件，对粉末移送与压制过程都可实现最佳控制。

图 26.3-38 所示为在 4 500 kN 机械式压力机上采用装有带有源液压系统的多层板模架 MA 压制同步器齿毂。

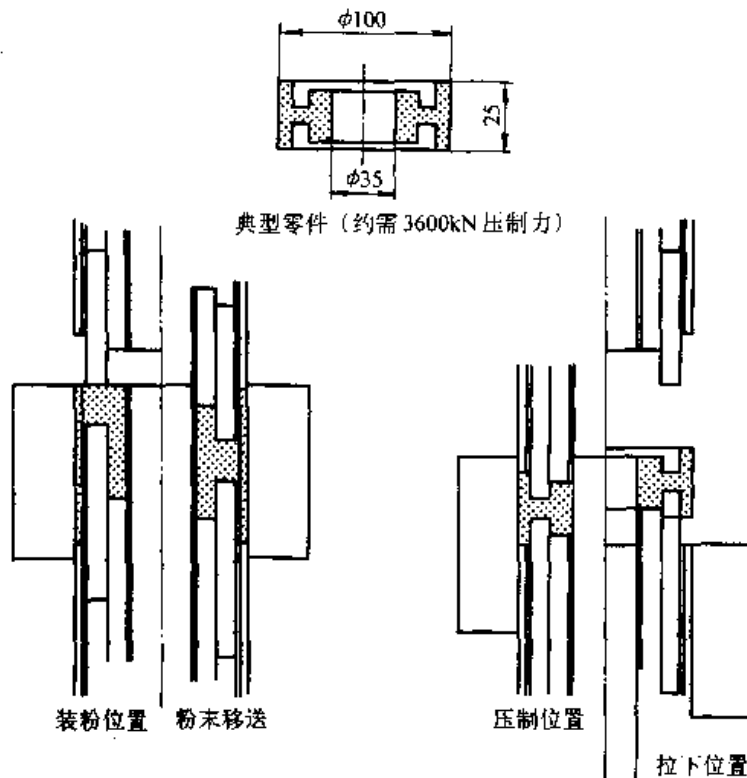


图 26.3-38 在 4 500 kN 机械式压机上采用带有源液压系统的多层板模架 MA 压制成形同步器齿毂
压制速度: 10 件/min 密度: 7.0 g/cm^3 密度分布: $\pm 0.05 \text{ g/cm}^3$
重量公差: $\pm 0.6\%$ 高度公差: $\pm 0.1 \text{ mm}$ 压制压力: 52 kN/cm^2

2 压坯内裂纹形成

在用单轴向刚性模具成形粉末压坯时, 最常见的缺陷是压坯中出现裂纹。这是一个长期没有很好解决的问题。

对于粉末压制成形, 其理想条件是, 双向、对称及同时压制成形。但是, 在实际生产中, 粉末冶金零件形状愈复杂, 愈难以达到理想的压制成形工况。下面, 仅提出了一些防止裂纹形成的措施。

可将裂纹定义为粉末颗粒间联结的破裂。裂纹主要是在压制和预烧结阶段形成的。裂纹产生的主要原因是, 粉末混合物组成不当, 粉末颗粒间产生侧向移动, 不适当的弹性应变弛豫, 以及高的拉伸/切应力。图 26.3-39 中列出了粉末冶金零件生压坯中裂纹形成的原因。

2.1 裂纹形成机理

(1) 粉末混合物组成

粉末混合物的组成与性能是研究裂纹形成的基本因素。例如, 在粉末混合物中添加适量的润滑剂可改进压缩性与减小脱模力, 可是, 添加量太多时, 可能会妨碍颗粒间联结。粉末颗粒表面的污染与夹带的空气也都会影响粉末颗粒间联结的形成。

(2) 颗粒间侧向移动

裂纹形成的原因之一是压制成形后期颗粒间的侧向移动。粉末颗粒间的联结主要依靠的是颗粒的塑性变形与大量移动。理想的压制成形应是双向、对称及同时进行的。在压制过程中, 若粉末颗粒间产生侧向移动, 就可能会阻碍粉末颗粒间相互联结, 从而形成裂纹。

(3) 弹性应变弛豫

弹性应变弛豫是形成裂纹的另一原因。在粉末压制成形的塑性变形阶段, 粉末体被压缩。当模具的上、下模冲达到要求的位置后开始回程时, 压坯卸压, 压制力就变为零。这时, 压缩应力弛豫, 压坯从塑性变形突变为纯弹性变形。若内应力超过了弹性极限, 压坯内部就会形成裂纹。

2.2 裂纹形成的防止

要防止粉末冶金零件中产生裂纹, 首先必须找出裂纹形成的原因。现参照图 26.3-39 裂纹产生原因, 就防止裂纹的形成提出一些准则与建议, 供参考。

(1) 在零件设计阶段, 防止裂纹产生的措施

鉴于粉末冶金零件中的大部分裂纹形成于压制成形阶段, 因此, 在粉末冶金零件生产中, 最

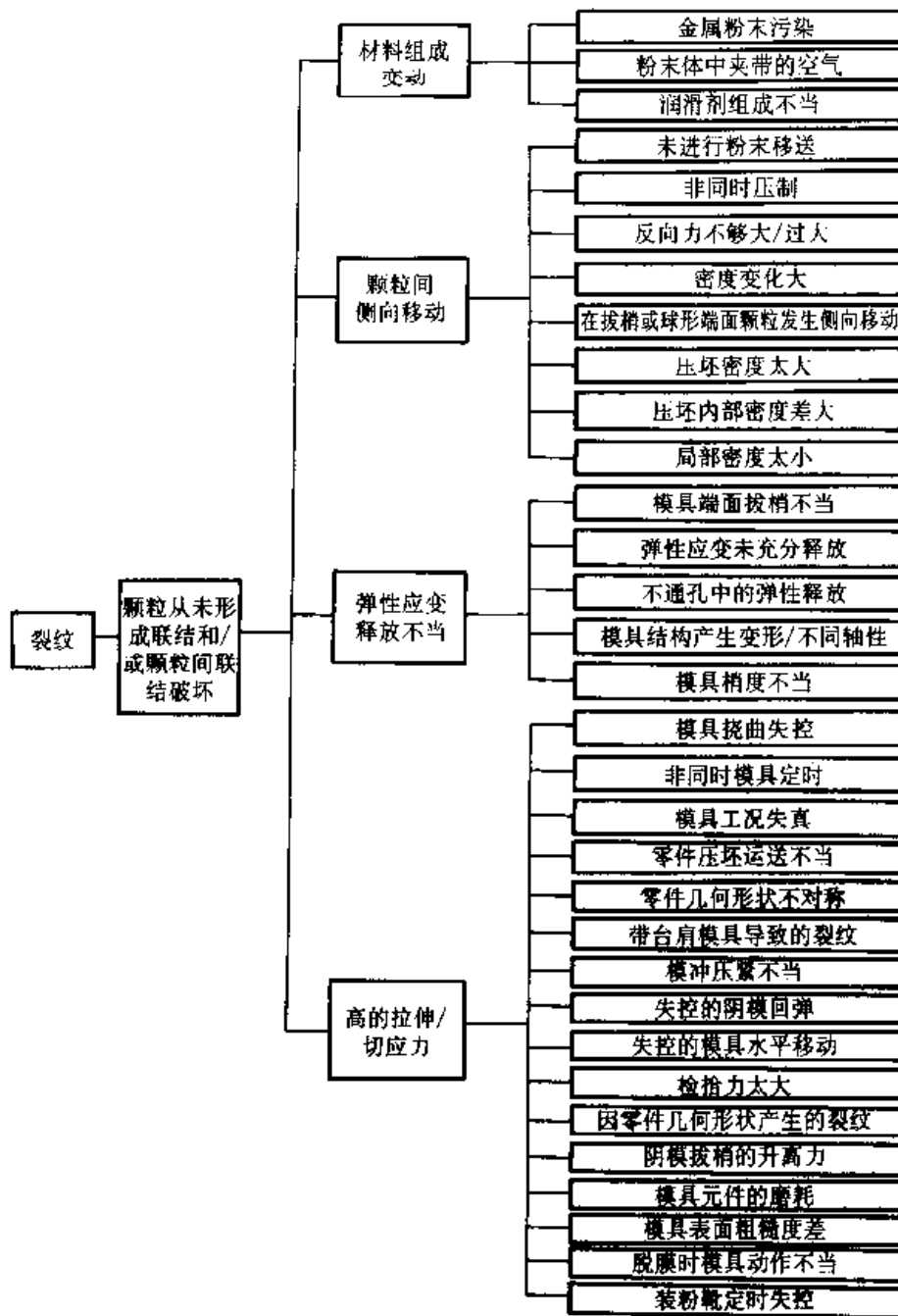


图 26.3-39 产生裂纹的原因

重要的是避免在压坯中产生裂纹。在防止裂纹形成方面，几乎无规律可循。但从粉末冶金零件设计的角度，可提出下列准则。

1) 零件的几何形状要对称 零件压坯形状

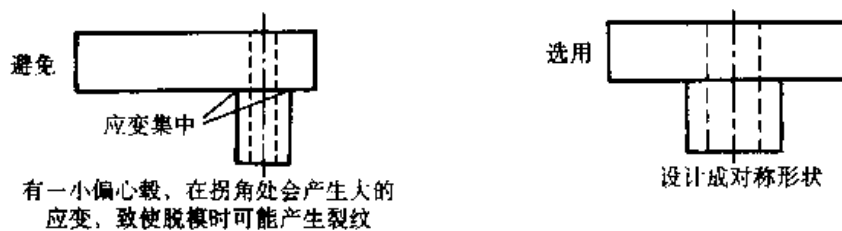


图 26.3-40 零件几何形状设计成对称形状

不对称在脱模时会导致应力集中，致使弹性回复应变不平衡，从而在脱模时产生裂纹。例如，图 26.3-40 所示的零件压坯，小的偏心载在连结处可能产生大的应变，致使脱模时可能产生裂纹。

2) 高度(长度)对直径之比要适当 压坯中密度变化大是形成裂纹的一个主要原因。在高径比大的粉末冶金零件中,零件中心线附近密度很小,从而使压坯强度低。在压坯强度低的区

域,颗粒间联结很容易断裂而形成裂纹。因此,减小高径比可改善压坯内部的密度分布,提高压坯质量。一般说来,粉末冶金零件的高径比最好设计得小一些。一些准则见图 26.3-41。

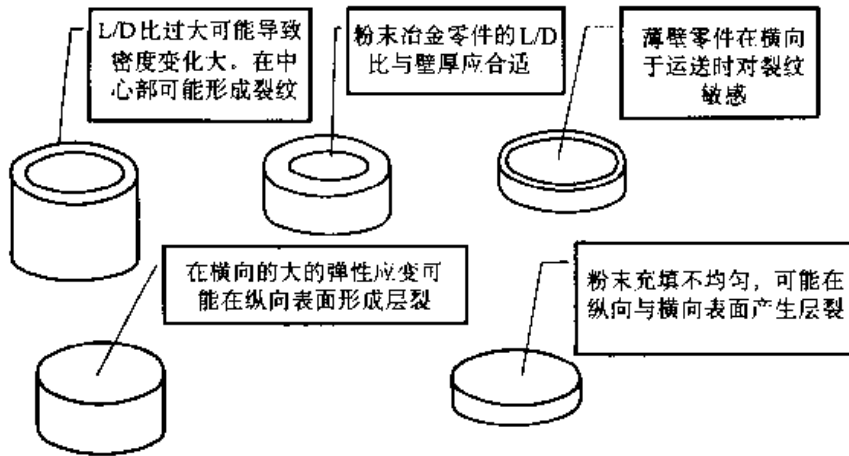


图 26.3-41 选择合适尺寸的准则

3) 设计的零件形状要适合于粉末冶金压制成形 粉末冶金零件图是用于粉末冶金生产的,根据粉末冶金工艺要求设计的,不应采用用于其他成形工艺的零件图。

(2) 正确的模具设计与组装

模具的设计、制造及使用工况不当时,在压制成形过程中都可能使压坯中产生裂纹。鉴于各种模具零件的弹性应变或不可控弯曲都可能导致压坯中形成裂纹,因此,设计时应充分保证模具的刚度,阴模最好使用硬质合金,芯棒宜用高速钢制作,同时模冲上的任何切削空刀都必须尽量小一些。为避免支撑模冲的底板失效,底板的刚度也必须大一些。和芯棒侧向移动相关的配合间隙要尽量小一些。对压坯的重力中心计算不精确时,模冲在工作时可能产生弯曲,致使压坯中产生裂纹。对于多台面零件压坯,应考虑在压制过程中模壁摩擦对应力分布图的影响。对于某些零

件形状,压制时作用在一些模冲上的扭矩可能导致暂时发生弯曲,当释放掉从顶部施加的压力时,由于弹性回复,压坯内开始形成裂纹。在模具设计时,各个模冲从装粉位置到停留在支撑板上的路径必须固定不变。

在模具的组装过程中,必须始终小心、精细及清洁。为避免一些零件产生不可控弯曲,对相关零件的尺寸、表面状态及整体完整性都必须进行检验。若压力机保养状况不佳时,模具的使用工况就不能处于“良好”状态。

1) 模具寿命设计 粉末冶金零件的价格在很大程度上取决于模具费用。模具的维修费用可能是模具造价的1~2倍。耐用的模具可提高模具的使用寿命和减少维修费用。为提高模具的使用寿命,应避免将阴模与模冲设计成纤薄状。对于一些粉末冶金零件,在零件的某些部位要留出余量,以后再行补充切削加工,见图 26.3-42。

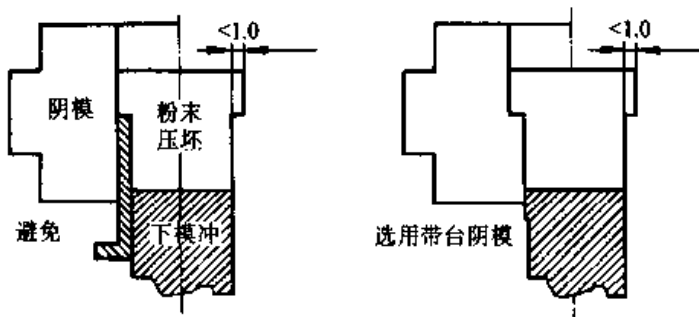


图 26.3-42 设计的模具要耐用

2) 采用多模冲系统压制成形 对于多台面粉末冶金零件压坯, 产生裂纹的一个普遍原因是对各台面的压制速度不同, 导致部分粉柱体间产生相对侧向移动。因此, 对于这类零件压坯, 最好采用多模冲系统压制成形, 保证每一台面都具有较均一的密度, 减小不同台面间的密度变化,

从而减小裂纹形成。

若采用单一模冲压制成形多台面粉末冶金零件压坯的话, 各台面即粉柱体之间会产生侧向移动, 可能导致压坯内粉末颗粒间的机械联结的断裂, 进而形成裂纹, 见图 26.3-43。

3) 采用粉末移送 粉末冶金零件压坯的压

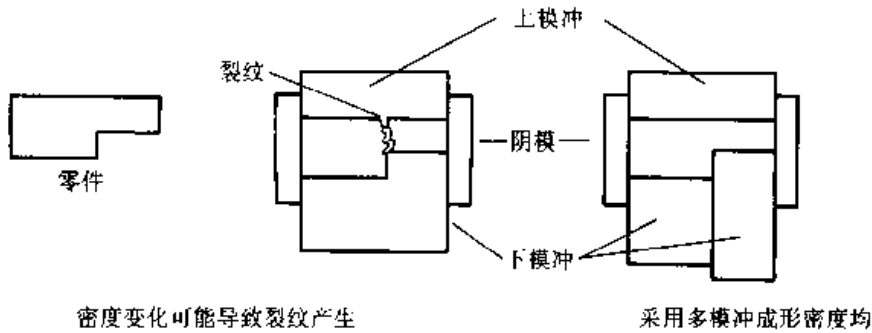


图 26.3-43 粉末冶金零件台阶处裂纹

制成形通常分为几个工步: 装粉、压制及脱出。当压坯形状复杂, 例如压坯上面有凸台时, 在压制之前, 必须进行粉末移送。也就是, 在不施加压力的条件下, 依据零件压坯的形状, 通过适当调整各下模冲相互间的相对位置, 调整压坯各部

位的装粉高度。若不进行粉末移送的话, 相邻粉体柱的粉末颗粒间的机械联结可能发生断裂, 并在压坯内部形成裂纹, 见图 26.3-44。

4) 阴模稍度设计 鉴于在压制阶段施加的压力很大, 脱模时, 由于弹性回复, 压坯的尺寸

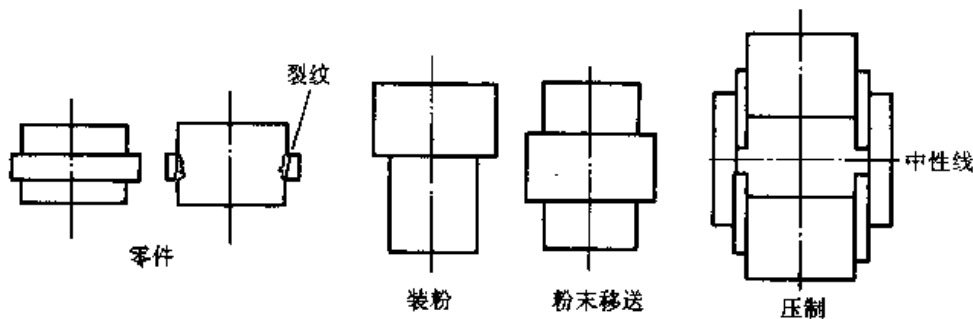


图 26.3-44 进行粉末移送以防止产生裂纹

将比阴模型腔“胀大”。这种回弹, 可能会导致压坯外表面层裂。为避免产生这种层裂, 在阴模出口端应设计一稍度, 可防止上模冲边缘损坏。通常, 稍度为 $(1 \sim 2) \text{ mm} \times 14^\circ$ 见图 26.3-45。

5) 模具零件的设计 模冲与阴模、芯棒的配合必须保证它们的配合间隙位于规定的范围之内。对于阴模与芯棒应规定尺寸公差。对于模冲, 则应按照规定间隙范围, 和阴模或芯棒研配。例如, 对于生产粉末冶金含油轴承用的模具, 需采用间隙最小的配合。对于粉末冶金轴承, 模冲与阴模和芯棒的径向配合间隙一般不大于 0.004 mm 。模冲内径与外径的同轴度不得大于 0.004 mm 。对于其他粉末冶金零件, 配合间隙一般可适当放宽一些, 径向尺寸为 $0.013 \sim 0.024 \text{ mm}$ 。

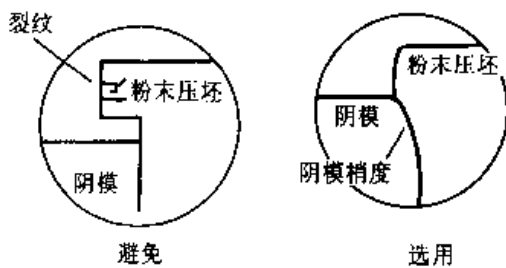


图 26.3-45 用于防止裂纹产生的阴模稍度

直径大与壁厚很薄的模冲很容易压坏。因

此,对于纤薄的模冲,其内、外空刀部分都应在热处理后进行磨削加工,将之减小到最小值0.4 mm左右,以免过份削弱模冲的刚度。

6) 控制模具挠曲 关于多模冲系统,最好对模具零件、模具辅助装置及压机进行挠曲分析。这些零件实质上都是刚性弹簧,且每一零件的回弹速率都不同。当施加压力时,它们都产生

挠曲,而卸压时,又都回复到原来长度。若模具系统中有2个或多个独立的下模冲时,则其中每一模冲与其支撑零件的总挠曲量都必须恒等。否则,压制成形的零件压坏在脱模时将随总挠曲量最大的模冲一起移动,而没有受到支撑的部分却静置不动,从而在压坯内形成裂纹,见图26.3-46。

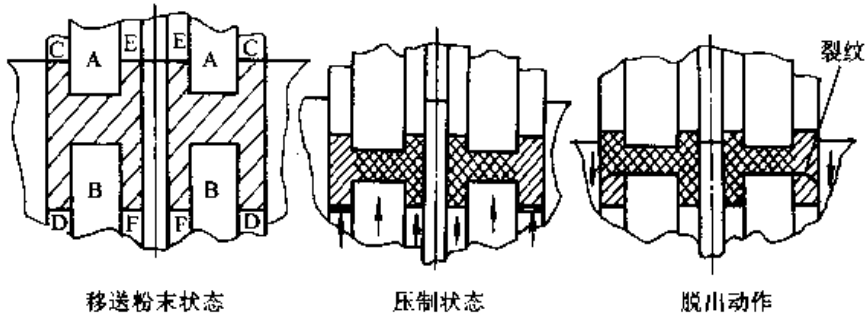


图 26.3-46 由于下模冲的弹性回复不同而产生的裂纹例

7) 采用先进的装粉方法 在粉末压制成形时,粉末颗粒间的空气被压缩,若空气没有任何逸出,其压力可高达40 MPa左右,见图26.3-47。很明显,这个压力远远超过了任何铁基混合粉压坯的最高压坯强度。模腔内的高压空气的逸出,可能会破坏粉末颗粒的联结,形成裂纹。这种裂纹通常呈暗淡的不规则状,且分布均匀。采用下拉式装粉替代“倾倒式装粉”(见图26.3-48)可减少滞留的空气量。

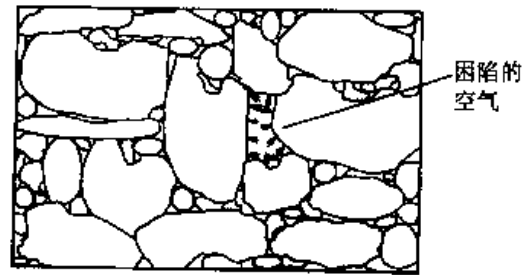


图 26.3-47 高压空气破坏颗粒联结

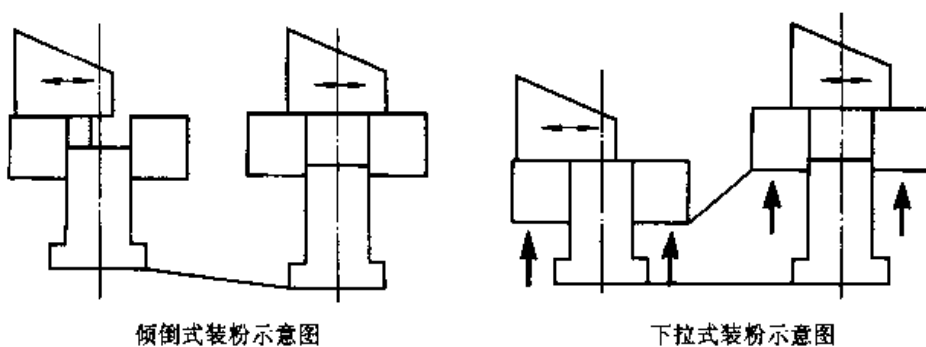


图 26.3-48 用下拉式装粉可减少截留于阴模型腔中的空气量

8) 采用先进的模具动作系统 采用先进的CNC压力机,可设定与改变模具的动作,以及使工艺过程的程序智能化。利用先进的模具动作系统可避免因模具零件挠曲不均匀而产生的裂纹。

CNC压力机通过严密控制模具位置、成形速度及施加的压力,易于实现压坯密度的调整和

避免裂纹等缺陷形成。利用CNC的反馈功能,可自动调整成形尺寸,使成形压力最佳化及调整粉末充填量等;还能使成形功能自动化与智能化,大幅度地缩短更换产品的准备时间。

再者,由于可实现多种模具独立工作和数值控制精度可达到 ± 0.01 mm,因此,对于垂直于压制方向的孔与凹槽也能成形,可望免去后续加

工工序，从而减低产品的生产费用。

利用 CNC 压机，压制成形后，可使上模冲对压坯仍然施加一定压力，同时，使阴模下行将压坯从阴模中脱出。在卸压阶段，这种上模冲施加的压力可阻止下模冲回复到其初始长度，以及将下模冲的挠曲量限制在较小范围之内。图 26.3-49 为上模冲压紧法示意图，上模冲压紧阶

段 3 正好处于压制成形后，压坯全部从阴模型腔中脱出之时；因此，在压坯与阴模型腔之间不存在摩擦力。这就消除了由于阴模型腔的摩擦力在拐角处产生的应力集中与内下模冲的挠曲。通常，依据各个模具零件挠曲的差异，上模冲的压紧压力约为总压制压力的 10%~30%。

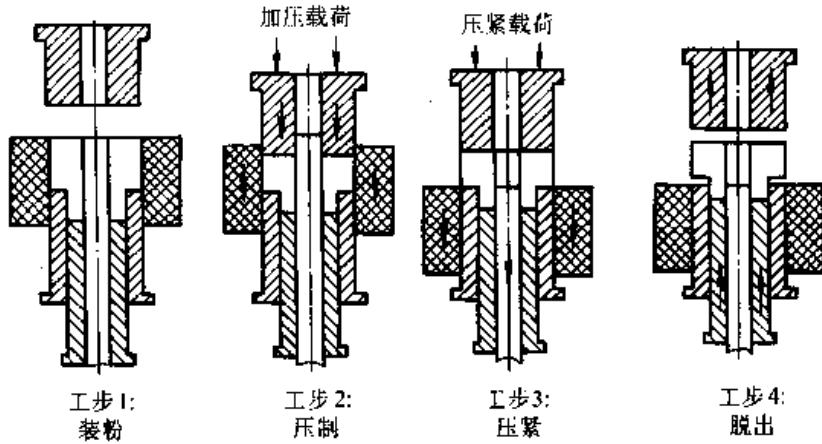


图 26.3-49 上模冲压紧法示意图

9) 弹性应变释放控制不当 对于形状复杂、在水平方向压坯面积变化大及高度小的粉末冶金零件压坯，因弹性应变释放不当产生的裂纹较普遍。图 26.3-50 所示为一典型例子。在脱模阶段，当压坯从阴模型腔中脱出时，由于压坯内部弹性应变释放，压坯将在水平方向胀大。当主腹板脱出到阴模端面时，特别是当要求压坯密度高时，来自主腹板的弛豫力可能使下外裙部与主腹板体间的颗粒联结破裂。

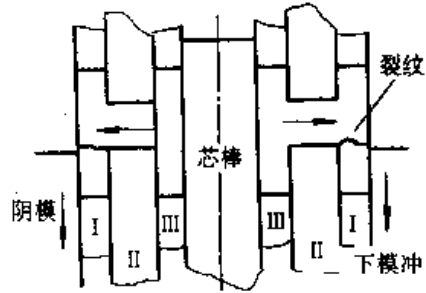


图 26.3-50 零件压坯径向胀大导致的裂纹

第 4 章 成形模具结构设计

成形模具结构设计的主要依据是：①由粉末成形的工艺性确定压坯的形状、精度和表面粗糙度；②由生产批量及设备确定生产方式是自动、半自动还是手动；③由压坯形状和对密度均匀性的要求，确定压制方式；④由压制压力、脱模力、压制和脱模行程、工作台面积及模具特殊动作的需要等因素，确定采用的压力机型号及规格，并选择合适的模架。

成形模具结构设计可按下列顺序进行：①压坯压制上端面的选择。压坯在压制时哪一个面向上，这需要综合多方面因素比较确定。诸如侧面积比、密度均匀性、压制压力、压坯尺寸精度、装粉、脱模，以及模具加工等。②移送装粉。对于沿压制方向横截面有变化的压坯，为了使压坯的不同截面部分在压制后密度均匀，应考虑采用组合模冲结构，进行移送装粉，以便得到基本相同的压缩比。③脱模方式的确定。顶出式是下模冲将压坯顶出阴模。下拉式是下模冲不动，将阴模拉下脱出压坯。对于带台阶压坯、有球面压坯、螺旋面压坯等，需要从模具结构上来解决脱模问题。④结构方案的确定。根据压坯形状、压制方式、脱模方式、移送装粉要求和压机具有的动作，对于大批量自动生产的产品，要选定合适的模架，确定模具结构方案。⑤计算装粉高度和阴模壁厚。根据压坯高度和密度要求，选

定压缩比，计算装粉高度；并根据强度和刚度条件计算（选定）阴模壁厚。⑥绘制结构装配总图及零件图。

成形模具结构设计需考虑以下几个问题：①主要零件的连接方法方式。特别是阴模、芯棒和上下模冲的配合与连接。要求零件的连接应安全可靠，安装和拆卸方便，结构简单。②浮动结构。根据压制方式和移送装粉的要求，往往需要阴模、芯棒和上下模冲浮动。浮动力可由弹簧、摩擦、气动和液压产生。③脱模复位结构。根据压坯形状和压力机具有的动作来设计。脱模和复位一般是由同一结构完成。脱模应保证压坯完好，动作正确可靠，复位位置要求准确。④调节装粉结构。要考虑如何实现装粉型腔深浅的调节，尽可能操作方便，并能实现微调。⑤成形模具结构应考虑模具制造的工艺性和经济性。

1 成形模具结构基本方案

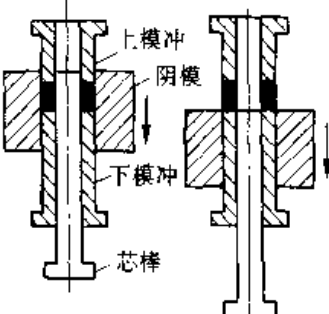
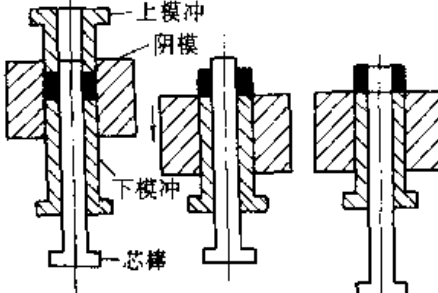
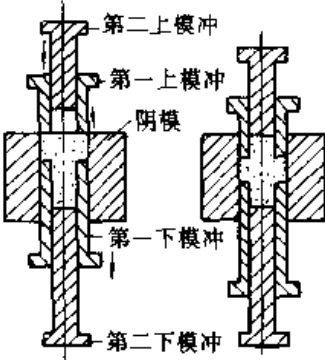
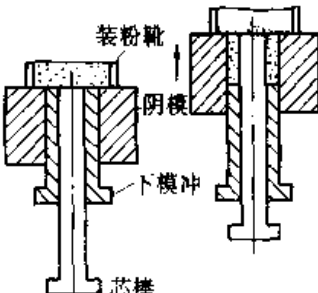
根据压坯的形状、压制方式、脱模方式、移送装粉要求，压力机具有的动作及配备的模架来确定成形模结构的基本方案。

从模具结构特点出发，可将零件压坯的形状分成五种类型（见表 26.2-17）。成形模具结构基本方案示例见表 26.4-1。特殊的成形模具结构方案示例见表 26.4-2。

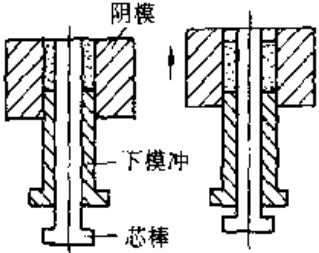
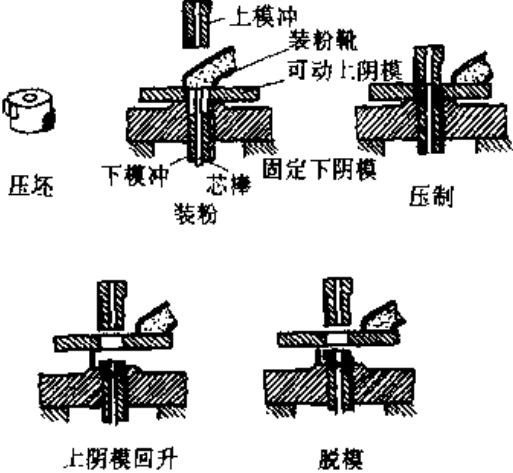
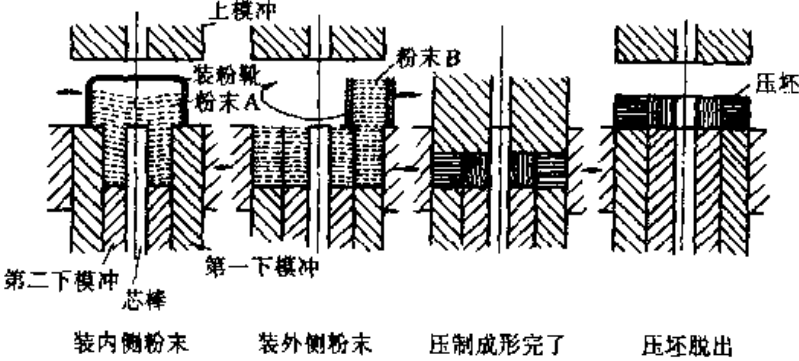
表 26.4-1 成形模具结构基本方案示例

压坯形状类型	成形模具结构示例
I 型	<p style="text-align: center;">a) 最单一形状成形 b) 带台阴模成形</p>

压坯形状类型	成形模具结构示例
<p>II 型</p>	<p>a) 带外凸缘压坯的成形 b) 带内凹缘压坯的成形</p>
<p>III 型</p>	<p>a) 带中凸缘压坯的成形 b) H型压坯的成形</p>
<p>IV 型</p>	<p>a) b)</p>

序号	成形动作	成形模具结构示例
3	阴模浮动成形	
4	芯棒后脱成形	
5	粉末移送成形	
6	粉末吸入充填成形	

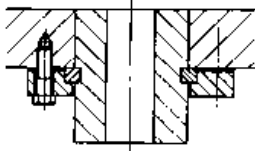
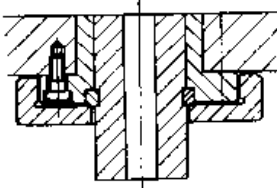
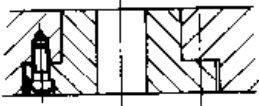

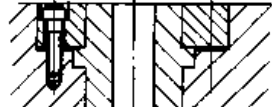
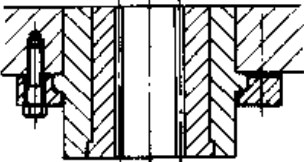
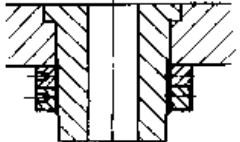
续表 26.4-2

序号	成形动作	成形模具结构示例
7	阴模回升成形	
8	组合阴模成形	
9	复合材料成形	

2 成形模具主要零件和模座的连接方式

阴模与模板和模座的连接示例见表 26.4-3。上模冲的连接示例见表 26.4-4。下模冲的连接示例见表 26.4-5。芯棒的连接示例见表 26.4-6。

表 26.4-3 阴模与模板和模座的连接示例

示 图	说 明
	<p>优点：①采用对开法兰圈，便于阴模装拆；②阴模可调头使用，延长寿命；③模板上面平整</p> <p>限制：阴模过高，则模板过厚</p> <p>适用：阴模常需拆卸，易磨损和高度较低时</p>
	<p>优点：①改变接套的内径和高度，可适应不同外径和高度的阴模；②、③同上</p> <p>限制：结构较复杂</p> <p>适用：阴模常需拆卸，易磨损和高度较厚时</p>
	<p>优点：①结构简单；②阴模不占模板下面的空间；③模板上面平整</p> <p>缺点：①削弱模板的强度和刚度；②阴模用料较大；③使用中不便拆卸；④不能调头使用</p> <p>适用：阴模外径高度较低时</p>
	<p>优点：①结构较简单；②阴模用料不必过大；③模板上面平整</p> <p>缺点：①使用中不便拆卸；②不能调头使用</p> <p>适用：阴模外径大，高度低，磨损小时</p>
	<p>优点：①阴模便于装拆；②阴模可调头使用</p> <p>缺点：①模板上面有凹坑，粉末易进入；②脱模力由螺钉承受，连接刚性差</p> <p>适用：脱模力小和高度低时</p>
	<p>优点：①可承受较大的脱模力（如高密度齿轮）；②模板上面平整</p> <p>缺点：使用中不便拆卸</p> <p>适用：阴模必须带模套（如齿轮），脱模力大时</p>
	<p>优点：①阴模便于装拆；②模板上面平整</p> <p>缺点：脱模力由螺纹承受，连接刚性差</p> <p>适用：阴模外径小，高度厚，脱模力不大时</p>

续表 26.4-3

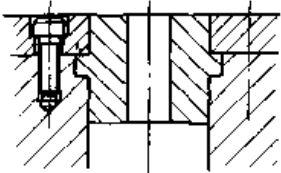
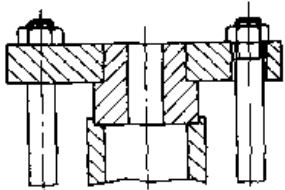
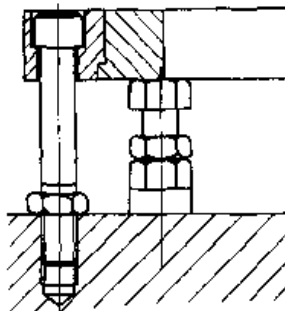
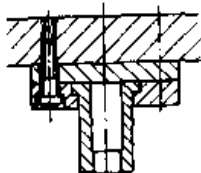
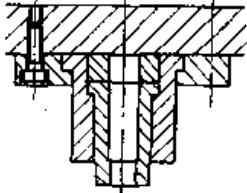
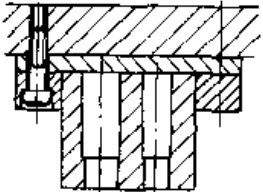
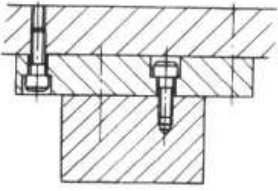
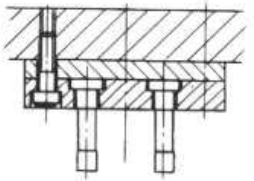
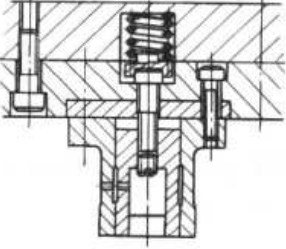
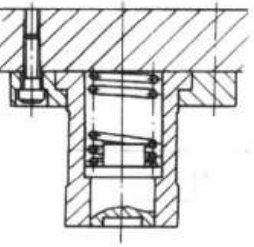
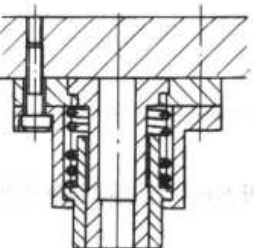
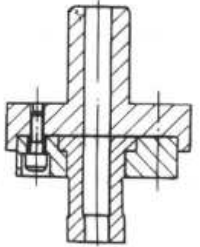
示 图	说 明
	<p>特点：阴模与阴模座相连 适用：阴模不动的自动压模</p>
	<p>特点：阴模与阴模座相连 适用：阴模不动的普通压机上的半自动压模</p>
	<p>特点：阴模用正反向的螺钉托起和固定，阴模位置可调节 适用：阴模直径大，高度低并需调节位置的情况</p>

表 26.4-4 上模冲的连接示例

示 图	说 明
	<p>上模冲与垫板连接，由压垫保护垫板 适用于液压机一般情况</p>
	<p>上模冲通过套状的压盖与垫板连接，压盖起强制阴模压下的作用 适用于液压机上双向摩擦压制时</p>
	<p>上模冲通过法兰盘与垫板连接。上模冲与法兰盘为过盈配合 适用于上模冲截面呈异形，本身不宜做成带法兰时</p>

示 图	说 明
	<p>上模冲通过法兰盘与垫板连接 适用于上模冲截面呈异形，本身不宜做成带出法兰，并截面较大时</p>
	<p>上模冲与法兰盘通过环氧树脂固定，法兰盘与垫板连接 适用于一模多腔的多上模冲</p>
	<p>组合上模冲。外模冲固定不动，内模冲由螺钉连接并限位，由弹簧浮动 适用于压制上面带凸起的压坯</p>
	<p>组合上模冲。外模冲固定不动，内模冲由弹簧弹出，由外模冲内台限位。压制时起压紧拼合芯棒的作用 适用于压制内球面等形状的压坯</p>
	<p>组合上模冲。内模冲固定不动，外模冲由弹簧弹出，由接套内台阶限位。压制时起压紧拼合阴模的作用 适用于压制外球面等形状的压坯</p>
	<p>上模冲与模柄的连接 适用于冲床压制薄壁小直径的压坯</p>

续表 26.4-4

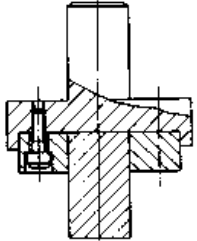
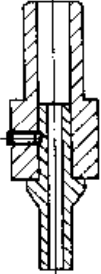
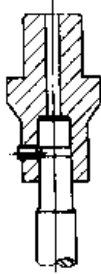
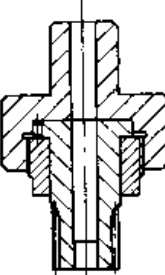
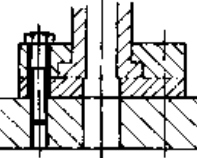
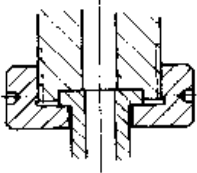
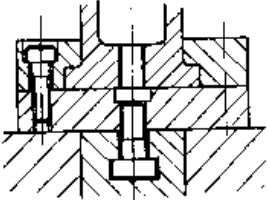
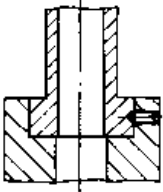
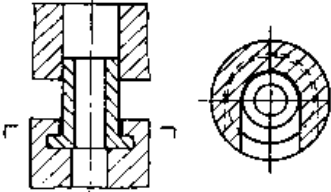
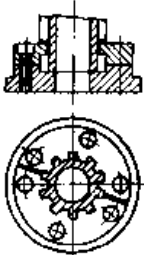
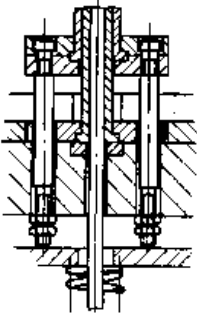
示 图	说 明
	<p>上模冲与法兰圈为静配合 适用于冲床上压制异形截面压坯</p>
	<p>上模冲插入模柄孔定位, 由锥端紧定螺钉顶斜面相连。模冲法兰受力 适用于冲床上压制厚壁小直径的压坯</p>
	<p>锥端紧定螺钉顶环槽。模冲顶端受力 适用于冲床上压制厚壁或实心的小直径压坯</p>
	<p>上模冲通过螺母与模柄连接, 并用圆柱销防止转动 适用于冲床上压制上模冲不许转动的压坯 (如齿轮或带键件)</p>

表 26.4-5 下模冲的连接示例

示 图	说 明
	<p>下模冲与模板连接。接触面便于精加工 适用于一般情况</p>

续表 26.4-5

示 图	说 明
	<p>下模冲与压座用螺母连接。装拆方便 适用于压座截面较低时</p>
	<p>下模冲通过压垫与顶出缸连接 适用于普通液压机带有顶出缸的情况</p>
	<p>下模冲与压座用锥端紧定螺钉连接。结构简单紧凑，装拆方便 适用于连接力要求不大的情况</p>
	<p>下模冲与压座用“T”形槽连接，由阴模定位，防止横向移动。 结构简单，但受压面不便于精加工</p>
	<p>下模冲下部加工出槽，用对开法兰固定 适用于带外齿的模冲。带外齿的芯棒亦可用此连接（如压坯带花键孔）</p>
	<p>下模冲与浮动顶杆连接。弹簧托起，螺母限位 适用于自动压机上压制带外台阶的压坯</p>

续表 26.4-5

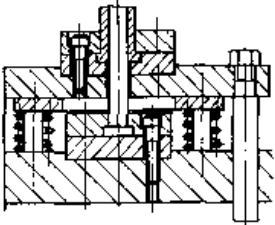
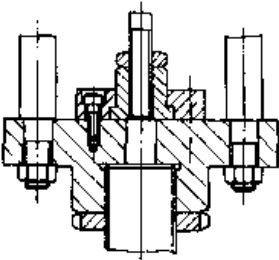
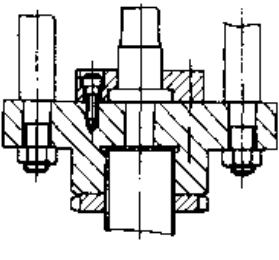
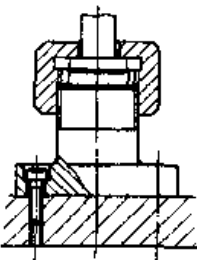
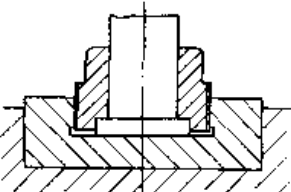
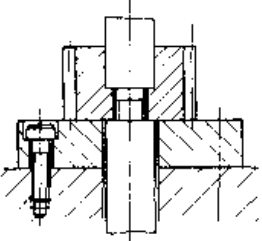
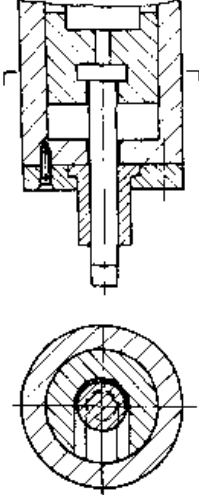
示 图	说 明
	<p>下模冲与横梁连接。由托板托起 适用于冲床上压制带外台阶的压坯</p>

表 26.4-6 芯棒的连接示例

示 图	说 明
	<p>芯棒通过芯棒座的螺纹与压机下缸螺母连接。便于装拆。但对芯棒螺纹的不同轴度要求较高 适用于自动压机下拉式压模</p>
	<p>芯棒与下缸螺母连接。安装精度及受力条件均较好，但不便装拆 适用于自动压机下拉式压模</p>
	<p>芯棒通过螺母与芯棒座连接。径向尺寸较小 适用于半自动下拉式压模</p>
	<p>芯棒通过螺母与芯棒座连接。芯棒座与下模板过盈配合 适用于半自动下拉式压模</p>

示 图	说 明
	<p>芯棒通过接杆与下模冲连接。接杆与顶出缸连接，起顶出脱模和装粉复位的作用 适用于齿轮类顶出式自动压模</p>
	<p>芯棒与芯棒座（或连杆）用“T”形槽连接。模冲定位，防止横向移动 适用于连接力较小的情况</p>

3 浮动结构

模具的主要零件如阴模、芯棒和上下模冲（包括压套）都可浮动。浮动的作用为：①减小压制时压坯与模壁间的摩擦力，形成双向压制、双向摩擦压制及后压等，以改善压坯密度的均匀性，降低压制压力；②通过调节浮动量，达到调节装粉的目的；③组合模冲的浮动，由于不同部位的粉末受压有先后，借以改变原始装粉状态，获得与移送装粉相当的效果，使压坯不同部位的密度趋于均匀。

浮动力有：弹簧力、气动力、液体节流阻力。

3.1 弹簧浮动

(1) 阴模浮动

图 26.4-1 所示为带模架的浮动结构。弹簧 1 安装在下模板 4 的下面，这样不仅浮动量可以加

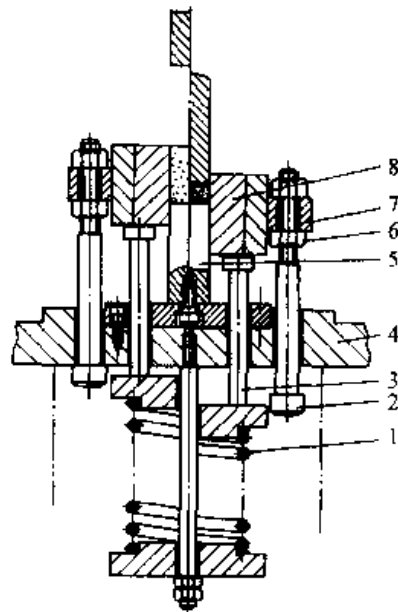


图 26.4-1 带模架的浮动结构
1—弹簧 2—螺钉 3—顶杆 4—下模板
5—下模冲 6—螺母 7—托板 8—阴模

大，而且大大减小了下模板以上的模架高度。这对于用在闭合高度较小的冲床上有很大的意义。下部弹簧可放在冲床工作台的孔中。阴模8靠下模冲5定位导向。弹簧通过托板7、顶杆3将阴模托起，并由螺钉2限位，通过螺母6可调节浮动量。由于阴模靠下模冲定位和导向，故其他部分无配合要求。但这要求压坯模截面较大时才可用。这种结构自成模架，便于安装和存放。

图26.4-2所示也是带模架的浮动结构。阴模由弹簧托起，螺钉调节阴模的升起位置。阴模由两个导柱导套导向，下模冲不起主要定位作用。该结构还能兼使芯棒浮动。适用于压坯带孔，截面较小的情况。

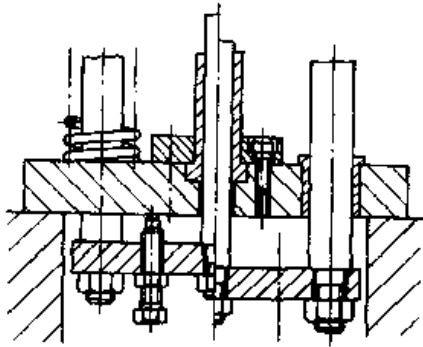


图 26.4-2 带模架的浮动结构

图26.4-3所示为适用于大截面压坯的阴模浮动结构。它由下模冲1定位导向，弹簧3托起，螺钉2限位，并可调节阴模的位置。图26.4-4所示适用于压制带台阶压坯的阴模浮动结构。它由导套导向并限位，浮动距离可通过限位套来调节，从而调节压坯的台阶高度（而不是靠调节装粉高度来实现）。

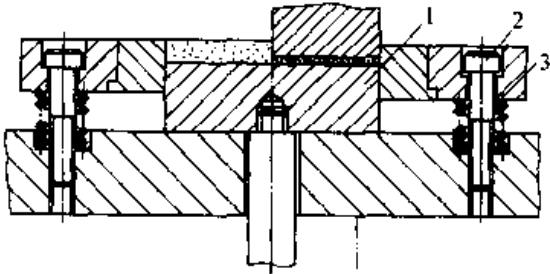


图 26.4-3 大截面压坯用的阴模浮动结构

1—下模冲 2—螺钉 3—弹簧

图26.4-5所示为压制细长压坯的阴模浮动结构。其特点是弹簧安装在模板的下面，可充分利用压力机工作台的大孔。此外，阴模有导柱导套导向。该结构浮动量不能调节，适用于双向摩擦压制。

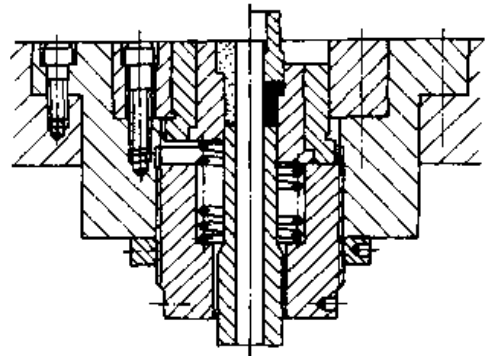


图 26.4-4 压制带台阶压坯的阴模浮动结构

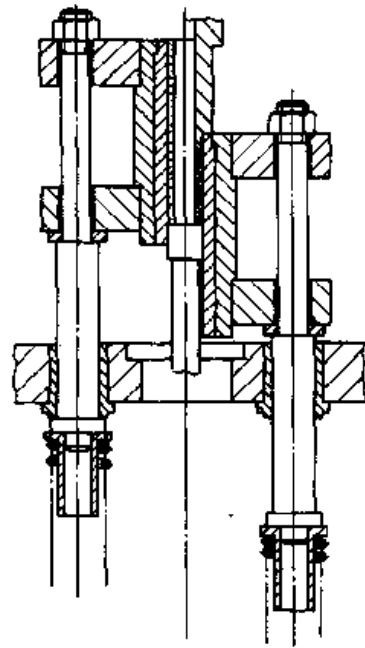


图 26.4-5 压制细长压坯的阴模浮动结构

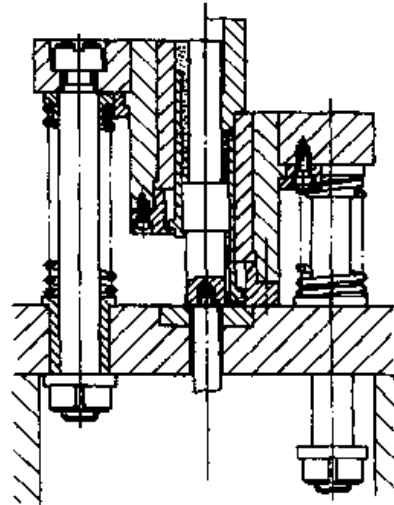


图 26.4-6 具有压套的阴模浮动结构
擦压制。

图26.4-6所示为具有压套的阴模浮动结构，

适用于带台阶压坯的压制。阴模和压套同时浮动，并在压制终了时，它们之间产生相对位移，压实台阶。阴模靠导柱导套导向。

图 26.4-7 所示为压制带球形压坯的阴模浮动结构。压制时，阴模 1 和模套 3 向下浮动到模座 5 上被限位。阴模由导套 2 导向。该结构弹簧 4 占空间较小，阴模受的托力较均匀。

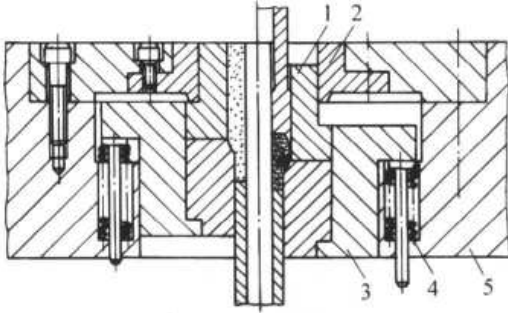


图 26.4-7 压制带球形压坯的阴模浮动结构
1—阴模 2—导套 3—模套 4—弹簧 5—模座

(2) 芯棒浮动

图 26.4-8 所示为芯棒浮动结构。该结构的芯棒 1 由弹簧 5 通过顶柱 4 托起浮动，由横穿的圆柱销 3 限位，用螺母 2 来调节芯棒的位置。

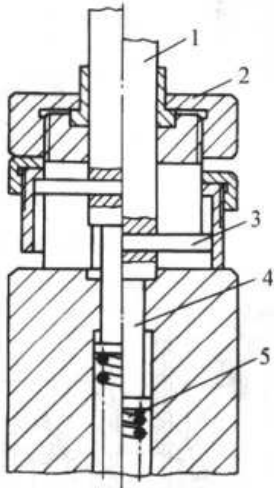


图 26.4-8 芯棒浮动结构
1—芯棒 2—螺母 3—圆柱销 4—顶柱 5—弹簧

图 26.4-9 所示的芯棒通过螺母被托起并限位，其缺点是不能调节芯棒向上浮动的位置。

图 26.4-10 所示的芯棒 5 由拉簧 1 拉起托板 2 浮动，由固定在模座 3 上的压垫 4 限位，浮动位置不能调节。

图 26.4-11 所示为双向摩擦压制的芯棒强迫浮动结构。芯棒 3 被弹簧 1 托起，由螺钉 2 限位和调节向上浮动的位置。压制时，芯棒被上模冲

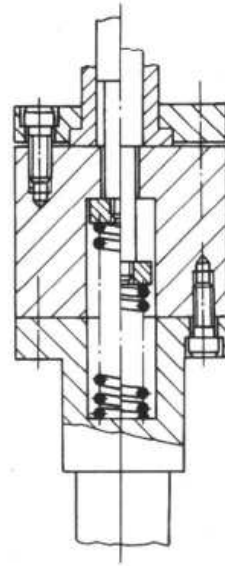


图 26.4-9 芯棒浮动结构

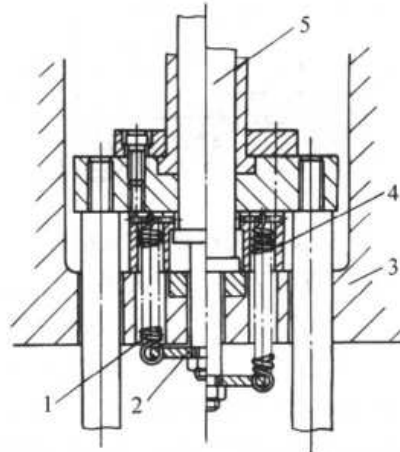


图 26.4-10 芯棒浮动结构
1—拉簧 2—托板 3—横座 4—压垫 5—芯棒
4 强制压下。该结构适用于芯棒较粗的情况。

图 26.4-12 所示为压制带内台阶压坯的组合芯棒浮动结构。芯棒由大、小直径的两件组成。小芯棒 3 与大芯棒 2 用 $g7$ 、 $d8$ 间隙配合。需要时，可拔出小芯棒，拧动螺钉 1，调节芯棒向上的浮动位置。

图 26.4-13 所示为另一种压制带内台阶压坯的组合芯棒浮动结构。大、小芯棒用螺纹连接，弹簧 2 托起，螺母 1 限位。调节向上的浮动的位置较困难。

图 26.4-14 所示为下拉式压制带内台阶压坯的组合芯棒浮动结构。小芯棒 3 被固定在调节螺母 4 上，只有大芯棒 1 浮动。其向上浮动的位置

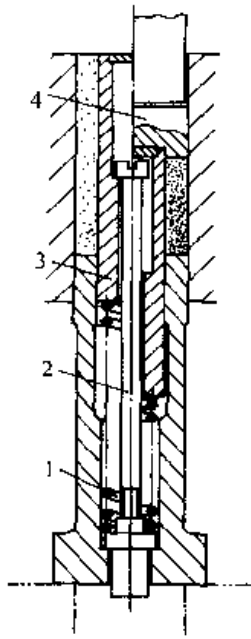


图 26.4-11 芯棒强迫浮动结构
1—弹簧 2—螺钉 3—芯棒 4—上模冲

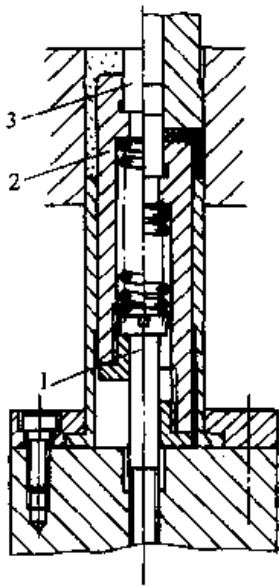


图 26.4-12 压制带内台阶压坯的组合芯棒浮动结构
1—螺钉 2—大芯棒 3—小芯棒
可由调节螺母 4 调节。压制时，大芯棒座落在下模板 2 上，小芯棒与调节螺母 4 一起浮动。脱模时，小芯棒（和阴模一起）被调节螺母 4 拉下。

(3) 模冲及压套浮动

图 26.4-15 所示为压制带圆弧面压坯的组合模冲浮动结构。内模冲 1 浮动，由螺钉 4 限位。压制时，内模冲先与粉末接触，靠弹簧力“虚压”

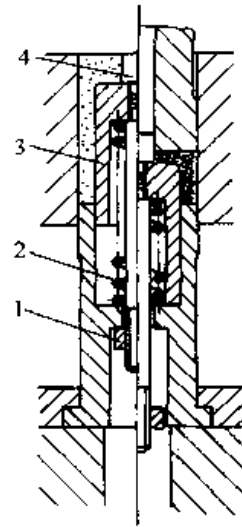


图 26.4-13 压制带内台阶压坯的组合芯棒浮动结构
1—螺母 2—弹簧 3—大芯棒 4—小芯棒

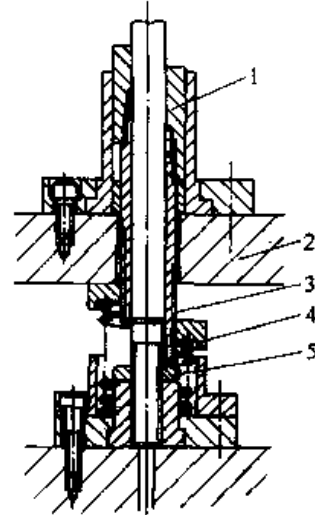


图 26.4-14 压制带内台阶压坯的组合芯棒浮动结构
1—大芯棒 2—下模板 3—小芯棒
4—调节螺母 5—螺母

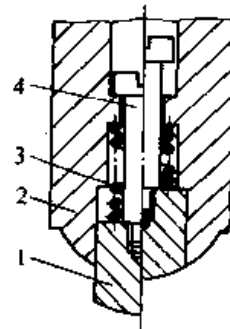


图 26.4-15 压制带圆弧面压坯的组合模冲浮动结构
1—内模冲 2—外模冲 3—弹簧 4—螺钉
粉末，改变原始的装粉状态，以达到使压坯密度均匀的目的。压制后期，弹簧 3 被压缩，内模冲

被外模冲2限位，同时对粉末压实，而获得所要求的圆弧面。图26.4-15所示的是上模冲浮动，亦可当下模冲，这时起到补偿装粉的作用。

图26.4-16所示为压制带台阶压坯的组合模冲浮动结构。组合模冲两侧分开，一侧被固定在压垫2上，另一侧浮动，并由导柱3定位导向。浮动弹簧4有2~3个。模冲的浮动作用同前。如图所示为上模冲浮动结构，该原理同样可用于下模冲浮动。

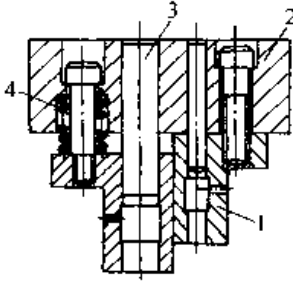


图 26.4-16 压制带台阶压坯的组合模冲浮动结构
1—组合模冲 2—压垫 3—导柱 4—弹簧

图26.4-17所示为压制带凸脐压坯的外模冲浮动结构。内模冲1被固定在压垫2上，外模冲4浮动，由内模冲定位导向，弹簧3有2~4个。外模冲内孔成形段需有脱模锥度。浮动起到“虚压”作用同图26.4-15所述。

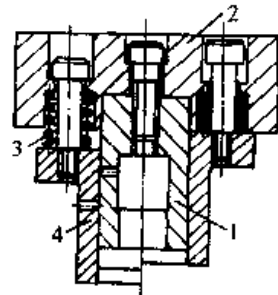


图 26.4-17 压制带凸脐压坯的外模冲浮动结构
1—内模冲 2—压垫 3—弹簧 4—外模冲

图26.4-18所示的结构与图26.4-17相似。

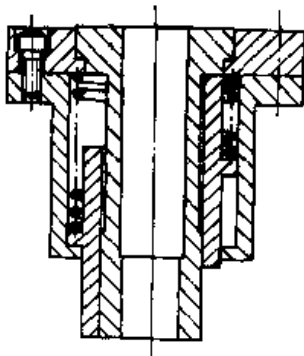


图 26.4-18 起压紧作用的外套浮动结构

但其浮动外套不是起模冲作用，而是为了在压制过程中压紧组合阴模用的。

图26.4-19所示为起压紧作用的内柱浮动结构。内柱不是模冲，而只起压紧组合芯棒作用。

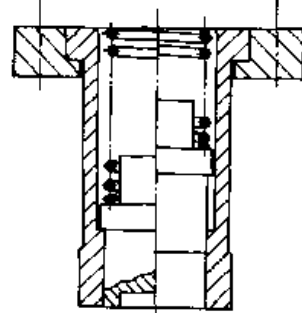


图 26.4-19 起压紧作用的内柱浮动结构

图26.4-20和图26.4-21所示都是内模冲浮动的结构。前者适用于压制端面带凸脐的压坯，后者适用于压制端面带凹坑的压坯。前者的弹簧还起到脱模时，顶住压坯拔出外模冲的作用，故要求弹力较大。

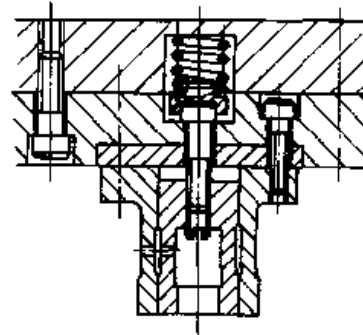


图 26.4-20 压制带凸脐压坯的内模冲浮动结构

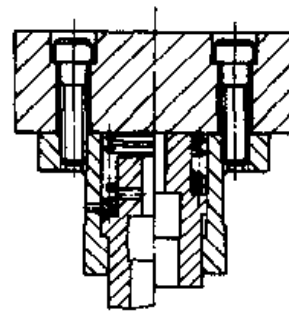


图 26.4-21 压制带凹坑压坯的内模冲浮动结构

图26.4-22所示为起后压作用的顶套浮动结构。顶套2由强力弹簧1顶住，压制过程中，顶套推动阴模下压，形成双向摩擦压制，压制后期，由于摩擦力上升，强力弹簧被压缩，获得上模冲3相对于阴模下压的位移，补偿了压坯上部密度的不足。

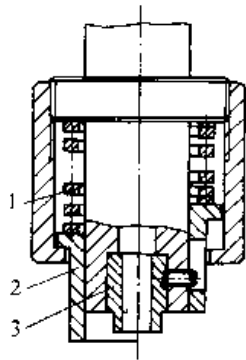


图 26.4-22 顶套浮动结构

1—强力弹簧 2—顶套 3—上模冲

图 26.4-23 所示为压套浮动结构。它用于压制带外台阶的压坯。压套 2 由弹簧 1 顶起，芯棒 3 台阶限位。缺点是浮动位置不能调节。

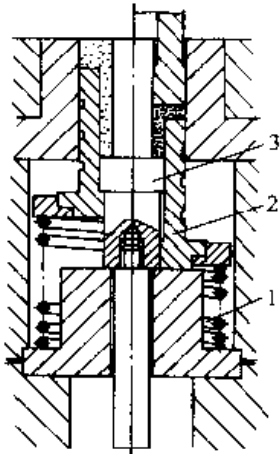


图 26.4-23 压套浮动结构

1—弹簧 2—压套 3—芯棒

图 26.4-24 所示为压套和下模冲均浮动结构。

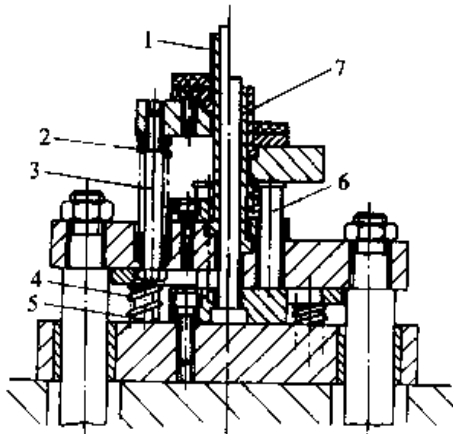


图 26.4-24 压套和下模冲均浮动结构

1—压套 2、4—弹簧 3、5、6—螺钉 7—下模冲

压套 1 和下模冲 7 分别由两组弹簧 2、4 托起，螺钉 3、5、6 限位。拧动螺钉 3、5，可分别调节压套和下模冲的浮动位置，达到调节装粉分配比例的目的。

图 26.4-25 所示为压套浮动结构。下模冲 5 被固定在下模板 4 上，压套 6 靠托板 2 下面的弹簧 1 顶起，拧动限位螺母 3，可调节压套的浮动位置。

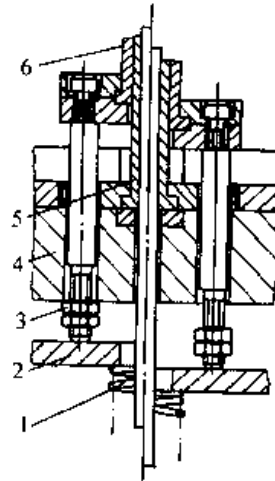


图 26.4-25 压套浮动结构

1—弹簧 2—托板 3—限位螺母
4—下模板 5—下模冲 6—压套

3.2 气压浮动

用空气压力当作浮动力有以下优点：①空气的作用相当于风动弹簧，但不需要弹簧那样大的轴向空间；②浮动力可通过改变气压来调节，且比弹簧力稳定；③与液压浮动力相比，清洁并且密封要求简单；④可实现弹簧做不到的双向动作。设计两个气室，根据需要改变气路，可完成较复杂的动作。

其缺点是：①与弹簧相比，气缸、活塞加工精度要求高，并且有密封要求；②与液压相比，浮动力较小，并不能自润滑；③浮动力大小受模具及压力机尺寸的限制。

气压浮动时，气压约 30~60 MPa。压缩空气需经过冷却、去水（过滤或干燥）并适当的混入一些油雾后使用。这样可保证气缸和活塞的清洁，良好的润滑，并防止生锈。在气路上安装切断阀、压力调节阀和压力计等部件，以便操作和调节时用。

管路上的管接头处用小铜管，在移动处用橡

皮管。

气缸和活塞应采用 H7 级精度的 e7 或 f7 间隙配合。表面粗糙度一般要研至 $R_a 0.2 \mu\text{m}$ 以上。

气缸和活塞之间的密封可采用圆弧截面的橡胶密封环，将密封环安装在凹槽中，凹槽深度约为密封环圆截面直径的 0.9 倍，凹槽应设计在外圆柱表面上，便于密封环的安装。这种圆截面的密封环在气缸与活塞有相对运动时产生滚动，一则减小了摩擦力，另则减小了密封环的磨损。由于是气动，故环移动的距离仅为活塞行程的一半，由此可得槽宽应为活塞行程的一半加上环圆截面的直径。环的安装位置应根据活塞移动时环的滚动方向来定（图 26.4-26）。

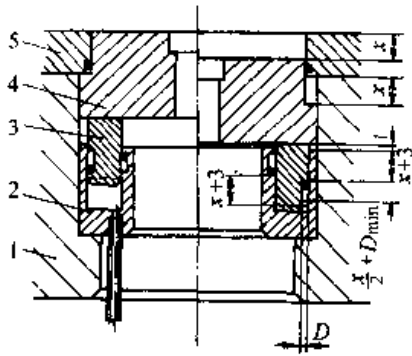


图 26.4-26 阴模气压浮动结构

1—阴模座 2—气缸 3—活塞 4—阴模 5—导板

一般情况下，气缸的气室只有一个进气口，而不需要排气口。在气缸气室外部的空间，要考虑模具动作时的排气问题，在适当之处开排气孔。

当活塞和气缸处在闭合的极限位置时，气室应有一定的环形空间，以便气压均匀的作用于活塞底部。

气动力根据使用要求，在计算时只要用气压来除，即可求出活塞面积。

以下列举一些利用气压浮动的结构例子。

图 26.4-26 所示为阴模浮动结构。气缸 2 安置在阴模 1 中，由活塞 3 将阴模 4 顶起，并有导板 5 限位。压制时，在压力作用下，克服气动力，强制将阴模压下，缸底受压力。活塞底部内外均有倒角，并有沟槽相通，以保持对活塞有均匀的压力。该结构轴向尺寸的确定，均与浮动量 x 有关。

图 26.4-27 所示为芯棒浮动结构。气缸 1 安置在模板 2 下部，活塞杆 3 通过芯棒接杆 5 与芯棒 6 相连。接杆两头均带螺母 4，起调节芯棒上下极限位置的作用。气缸分上下两个气室，通过换向阀改变进排气路，以达到芯棒上下运动的目的。这种动作可用于过量装粉。

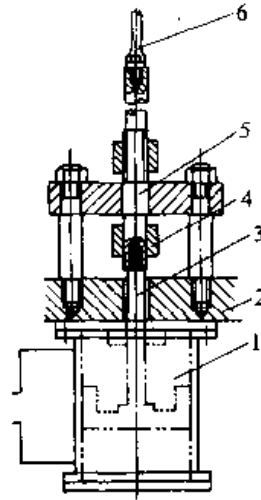


图 26.4-27 芯棒气压浮动结构

1—气缸 2—模板 3—活塞杆
4—螺母 5—接杆 6—芯棒

图 26.4-28~图 26.4-29 所示为压制不同形状压坯的下模冲浮动结构。

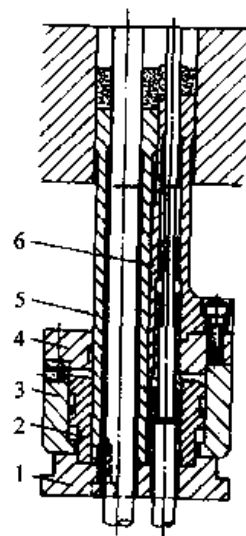


图 26.4-28 压制带台阶压坯的下模冲浮动结构

1—压垫 2—活塞 3—气缸
4—气缸盖 5—左下模冲 6—右下模冲

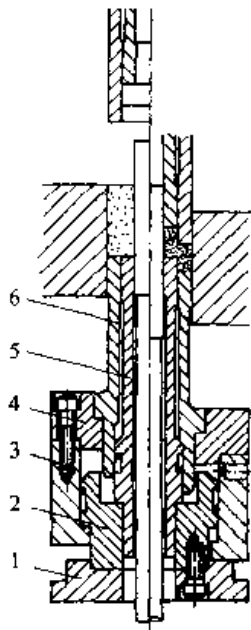


图 26.4-29 压制带台阶压坯的下模冲浮动结构
1—压垫 2—活塞 3—气缸 4—气缸盖
5—内下模冲 6—外下模冲

图 26.4-28 所示为压制带台阶压坯的下模冲浮动结构。该结构是活塞 2 与压垫 1 用螺钉固定不动，左下模冲 5 与活塞紧配相连，右下模冲 6 被固定在气缸盖 4 上。装粉时，气缸 3 在气动力作用下升起，被活塞下部台阶限位，起到补偿装粉的作用。压制时，右下模冲被强制压下，座落到压垫上。在所有组成气室的有相对运动的零件配合处，都装有密封环。由于上面两个需密封处的外圆柱面壁厚薄，故槽只能设在壁较厚的内圆柱面上。

图 26.4-29 中压制的是一个内外有台阶，凸脐在上的零件压坯。该结构的外下模冲 6 与气缸盖 4 相连，并随气缸 3 上下浮动。装粉时升起，起到补偿装粉的作用。压制时气缸座落到压垫 1 上。内下模冲 5 与活塞 2 相连，活塞被固定在压垫上。

图 26.4-30 中压坯的形状与图 26.4-29 相同，但压制上端面正好相反。该结构的外下模冲与气缸盖相连，通过气缸被固定在压垫上。内下模冲与活塞相连。气室在活塞的下部。装粉时活塞升起，达到补偿装粉的目的。压制时活塞被压下，压力传到压垫上，活塞上部因形成气室，故设有小孔，当活塞上下运动时，供自然进排气用。

图 26.4-31 ~ 图 26.4-34 所示为压制不同形状压坯的上模冲浮动结构。

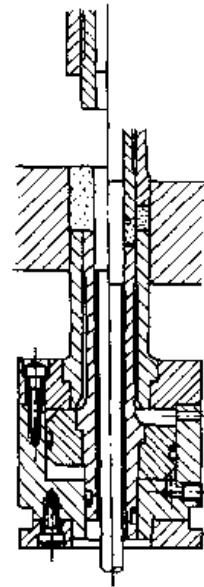


图 26.4-30 压制带台阶压坯的下模冲浮动结构

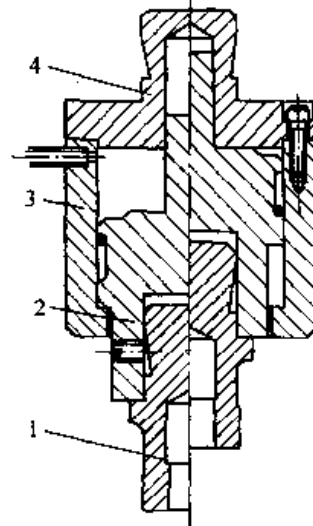


图 26.4-31 上模冲浮动结构

1—上模冲 2—活塞 3—气缸 4—带模柄的气缸盖

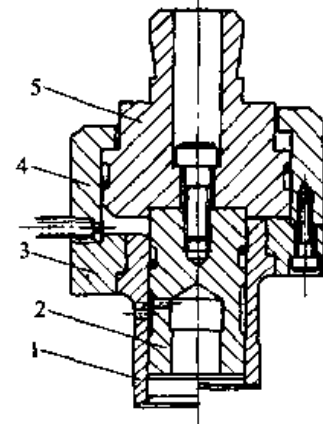


图 26.4-32 压制带凸脐压坯的组合上模冲浮动结构

1—外上模冲 2—内上模冲 3—气缸盖
4—气缸 5—带模柄的活塞

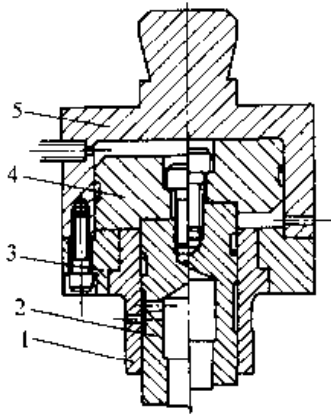


图 26.4-33 压制带凹坑压坯的组合上模冲浮动结构
1—外上模冲 2—内上模冲 3—气缸盖
4—气缸 5—带模柄的活塞

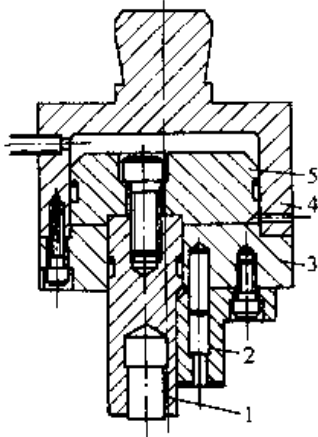


图 26.4-34 压制非对称带台阶
压坯的组合上模冲浮动结构
1—左上模冲 2—右上模冲 3—气缸盖
4—带模柄的气缸 5—活塞

图 26.4-31 所示为单个上模冲浮动结构。上模冲 1 固定在活塞 2 上，气缸 3 与带模柄的缸盖 4 相连。上模冲开始接触粉末时，由较小的气动力进行“虚压”，用于如阴模型腔带外台阶的压制。“虚压”的力即上模冲的浮动力大于阴模浮动力，迫使阴模下降，先压实阴模下部的无台阶部分粉末，到后来，摩擦阻力上升，上模冲向上退到底，压实台阶部分的粉末，可起到类似双向压制的作用。

图 26.4-32 所示为组合上模冲浮动结构，适用于压制带凸脐的压坯。外上模冲 1 固定在气缸盖 3 上，随气缸 4 上下浮动，起到“虚压”作用。内上模冲 2 固定在带模柄的活塞 5 上。

图 26.4-33 所示也是组合上模冲浮动结构，适用于压制带凹坑的压坯。外上模冲 1 与气缸盖

3 相连，固定在带模柄的气缸 5 上。内上模冲 2 与活塞 4 相连，上下浮动，起“虚压”的作用。

图 26.4-34 所示为压制非对称带台阶压坯的组合上模冲浮动结构。右上模冲 2 固定在气缸盖 3 上，与带模柄的气缸 4 成为一体。左上模冲 1 与活塞 5 相连，上下浮动，起“虚压”作用。

3.3 液压浮动

与气压浮动相比，液压浮动具有浮动力较大，作用平稳，机构动作更可靠等优点。但也有缺点，油缸易漏油，因此密封要求高，制造较气缸困难。一般液压浮动是借助压力机本身功能（如自动液压机）或带有液压浮动的多层板模架来实现，而作为模具结构设计往往较少采用。结构示例可参考气压浮动。

4 辅助机构

4.1 脱模复位结构

脱模有顶出和拉下两种主要形式。不同压坯形状和不同的压机条件，应有不同的脱模结构。脱模时的顶出（或拉下）距离应该准确，并可调节。

脱模完了后就需复位，对于顶出式即下模冲下降的复位；对于下拉式即阴模升起的复位。在冲床上自动压制时，每个压制循环时间很短，往往需要复位迅速，以满足装粉时间的需要。复位动作要求快而冲击小。每次复位的位置应重复性好，以保持装粉容积的稳定。

(1) 带下顶缸压机的脱模复位结构

液压机一般有下顶缸（或下拉缸）的装置，大多数顶出（或拉下）距离可调节，个别情况顶出行程不可调节。

图 26.4-35 所示为单顶杆脱模复位结构。该结构简单，顶杆 2 与压力机的下顶缸 1 不必连接。脱模时下顶缸上升，通过顶杆将压坯脱出阴模。下顶缸复位后，下模冲 4 通过弹簧 3 复位。它适用于压制压坯面积较大，但高度较薄的模具。

图 26.4-36 所示为三顶杆脱模复位结构。该结构有三根顶杆 3，其一端与下模冲 4 相连，另一端由托板 1 将其连成一体。脱模时，压力机的下顶缸上升，顶托板脱模。复位靠弹簧 2。它适用于压坯直径大、壁较厚、高度较薄的压模。

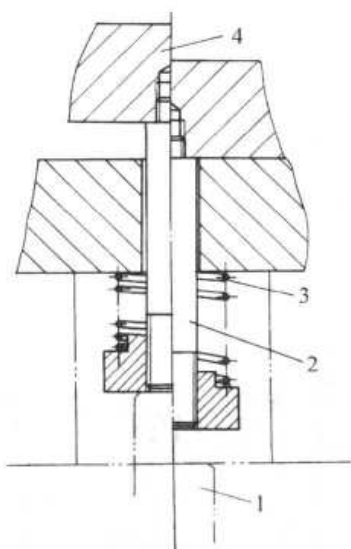


图 26.4-35 单顶杆脱模复位结构
1—下顶缸 2—顶杆 3—弹簧 4—下模冲

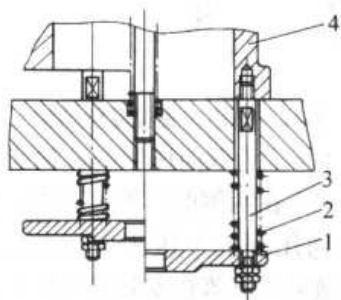


图 26.4-36 三顶棒脱模复位结构
1—托板 2—弹簧 3—顶杆 4—下模冲
图 26.4-37 所示的结构与图 26.4-36 相似，区

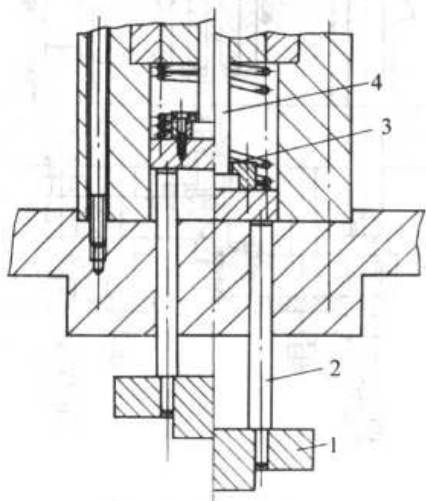


图 26.4-37 三顶杆脱模复位结构
1—托板 2—顶杆 3—弹簧 4—下模冲

别在于只用一根复位弹簧3，顶杆2可不必与下模冲4相连。脱模时，压力机的下顶缸通过托板1将压坯顶出阴模。下顶缸退回后，弹簧使下模冲复位，顶杆和托板自由落在下顶缸或其他支撑板上。它适用于压坯截面较小的模具。

图 26.4-38 所示的结构适用于压力机的下顶缸顶出距离不可调节的情况。脱模时，下顶缸1通过螺钉2向上先走一段空程，碰到托板4后才开始脱模。复位时，螺钉先向下走一段空程，碰到接套3后才开始复位。由于下顶缸行程不可调节，压坯有不同顶出距离要求时，可通过旋转接套螺纹来改变空程距离，以适应脱模和复位的需要。空程距离按下式确定：

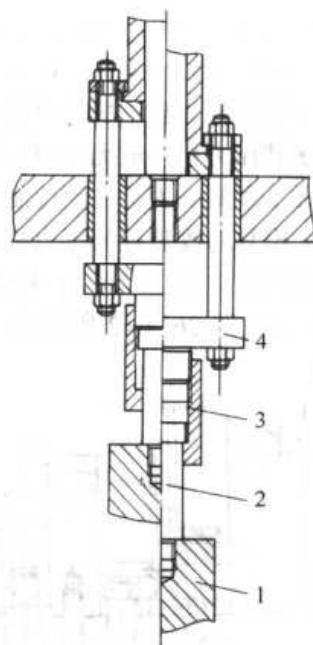


图 26.4-38 可调节脱模复位结构
1—下顶缸 2—螺钉 3—接套 4—托板

$$H_k = H_g - H_t$$

式中 H_k ——空程距离；
 H_g ——顶缸行程；
 H_t ——脱模行程，即复位行程。

它适用于压坯高度较厚，复位阻力较大，采用弹簧复位不可靠的情况。

图 26.4-39 所示为自动液压机上的拉下式脱模复位结构。阴模（通过拉杆2）和芯棒3都与下缸并帽1相连，复位与脱模由下缸的上下运动完成，而下缸的上下的位置均由行程开关控制。

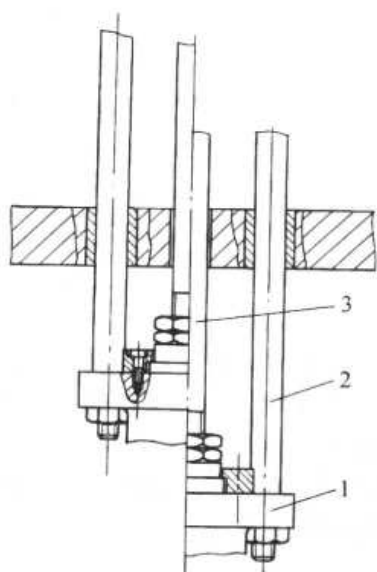


图 26.4-39 下拉式脱模复位结构
1—下缸并帽 2—拉杆 3—芯棒

(2) 无下顶缸压力机的脱模复位结构

通用机械式压力机一般无下顶缸装置，个别的液压机亦无下顶缸。为了自动压制，压力机往往经过改装，模具与改装过的压力机相配合。有三种脱模复位结构，即拉钩式、拉杆式和凸轮式。

图 26.4-40 ~ 图 26.4-42 所示均为拉钩式脱模复位结构。

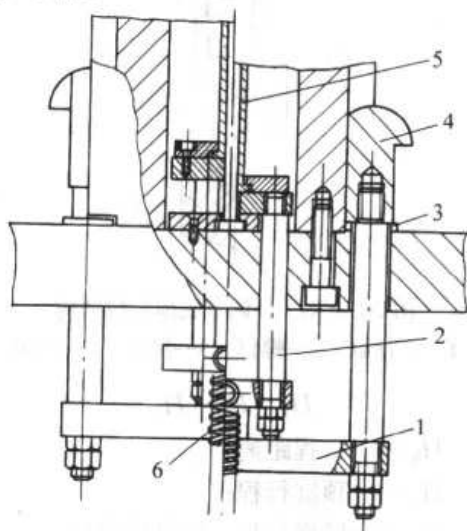


图 26.4-40 拉钩式脱模复位结构
1—横梁 2—顶杆 3—缓冲垫
4—下拉钩 5—下模冲 6—拉簧

图 26.4-40 所示的结构，脱模时，上拉钩钩住下拉钩 4 随压力机压头上升，通过横梁 1、顶杆 2 和下模冲 5 将压坯顶出阴模。脱模后，上下拉钩脱开，下模冲在拉簧 6 作用下迅速复位。为

了减小冲击，在下拉钩的下部安装有缓冲垫 3。它适用于压坯带孔的模具。

图 26.4-41 所示的结构与图 26.4-40 相似，其区别在于顶杆 2 上下都不连接。它适用于压坯为实体的压模。

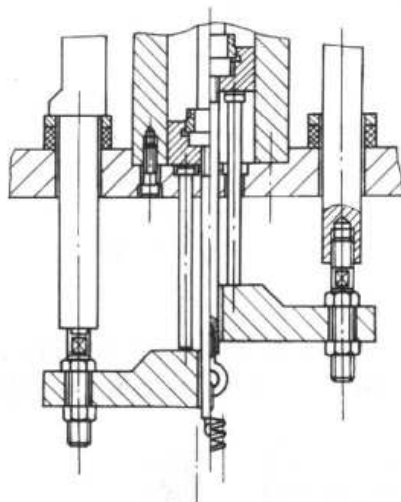


图 26.4-41 拉钩式脱模复位结构

图 26.4-42 所示为双向压制的拉钩式脱模复位结构。拉簧 1 安在两侧的下拉钩 6 下面，中心部分用于安装双向压制的下压头 5，脱模过程同前。复位时，横梁 4 座落在安装有缓冲垫 3 的支撑板 2 上。这种结构适用于压制面积较小的实体的压模。

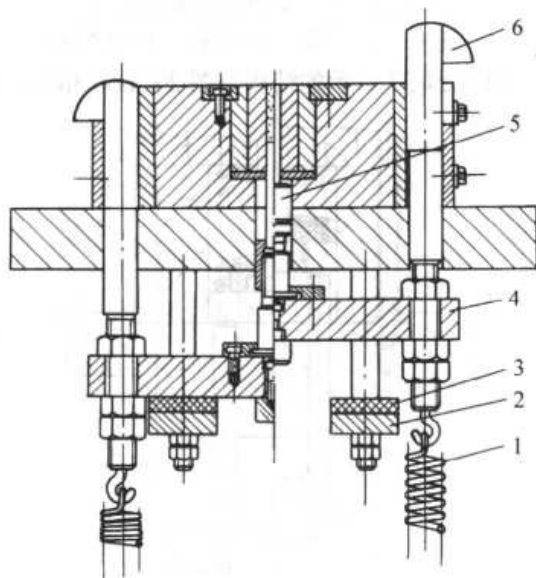


图 26.4-42 双向压制拉钩式脱模复位结构
1—拉簧 2—支撑板 3—缓冲垫
4—横梁 5—下压头 6—拉钩

4.2 调节装粉结构

在浮动结构中，凡浮动升起的位置可调节的，就可改变阴模、芯棒与下模冲之间的相对位置，从而达到调节装粉的目的。大多数情况下，调节装粉由浮动结构来完成。

图 26.4.43 所示为手动模的装粉座。它适用于压制带外凸缘轴套的手动模。装粉时压套落在底座 1 顶端上，带台阶的芯棒（即与下模冲成为一体）落在螺钉 2 上，阴模落在调节套 3 上。根据粉料松装密度的变化，可调节阴模、芯棒和压套之间的位置，使压坯密度趋于均匀。

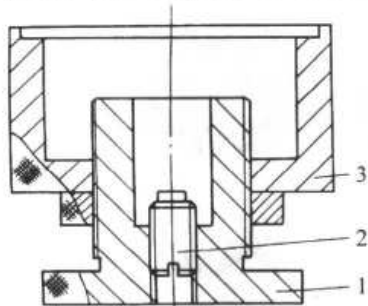


图 26.4.43 手动模装粉座
1—底座 2—螺钉 3—调节套

图 26.4.44 所示为靠拧动螺钉 3 来调节下模冲 7 的浮动位置，以达到调节装粉的目的。下部浮动弹簧 2 的弹力要求大于上部复位弹簧 8 的合力。顶杆 5 与盘 4 紧配合。压制时，下模冲克服

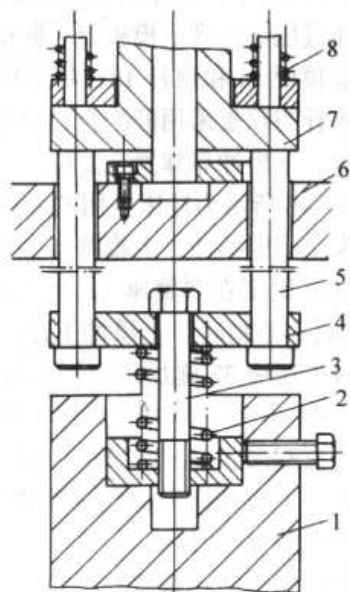


图 26.4.44 调节装粉结构
1—顶座 2—弹簧 3—螺钉 4—盘 5—顶杆
6—下模板 7—下模冲 8—弹簧

浮动弹簧力，座落在下模板 6 上的芯棒压盖上。脱模时，顶座 1 克服浮动力，靠上顶杆，向上顶动下模冲而脱模。

图 26.4.45 所示为用螺母调节内下模冲装粉的自动模示例。装粉时，阴模 1 上升到装粉位置。内下模冲 2 与接杆 8 及连接块 10 连接在一起，而螺钉 13 与顶板 14 及顶杆 15 连接在一起，在压力机辅缸的向上力作用下，螺钉 13 上行并推动螺母 11，而带动内下模冲 2 上升，同时被压缩的弹簧 12 也推动连接块 10 及内下模冲 2 上升，上升高度可由螺母 11 调节，并限位。成形时压机辅缸缩回，内下模冲 2 由弹簧力支撑，当内下模冲所受向下压力大于弹簧阻力时内下模冲下浮，直至成形位置，此时内下模冲 2 与滑块 7 接触。脱模时，阴模 1 下行，斜楔 4 接触滚轮 6 并推动滑块 7 移动，使滑块 7 与内下模冲 2 脱开，这时拉钉 9 与连接块 10 接触，阴模 1 继续

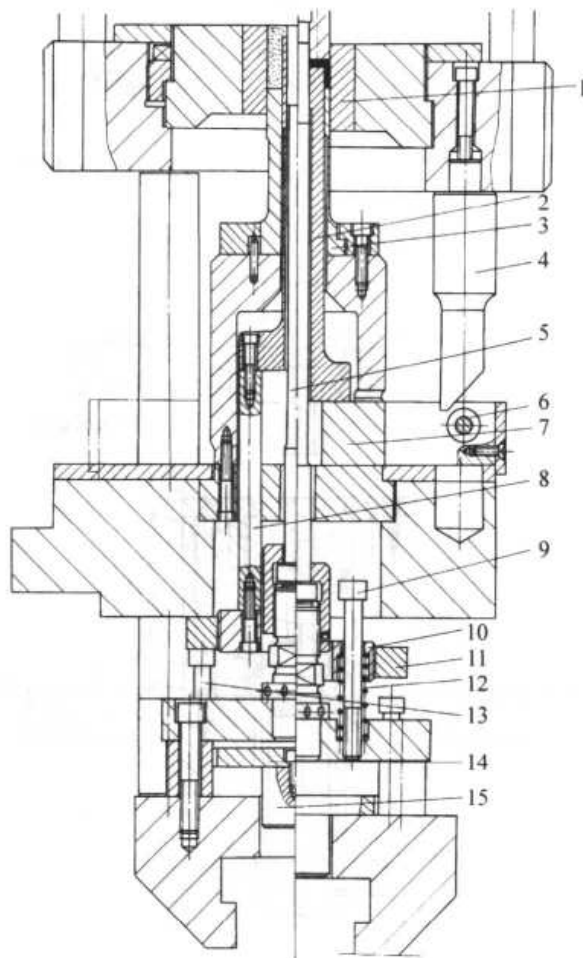


图 26.4.45 用螺母调节内下模冲装粉的自动模结构
1—阴模 2—内下模冲 3—外下模冲 4—斜楔 5—芯棒
6—滚轮 7—滑块 8—接杆 9—拉钉 10—连接块
11—螺母 12—弹簧 13—螺钉 14—顶板 15—顶杆

下行，拉钉 9 带动连接块 10 及内下模冲 2 下行，直至内下模冲 2 从压坯中脱出。

5 成形模具结构示例

5.1 I 型零件压坯的成形模具

I 型零件压坯一般是圆筒形、板形，形状最简单（图 26.4-46）。成形模具通常由一个上模冲、一个下模冲及芯棒和阴模构成。

图 26.4-47 所示为极掌单向压模。阴模 5 通过模套 4 连接在模座 6 上，并固定在下模板 12



图 26.4-46 I 型零件压坯示例

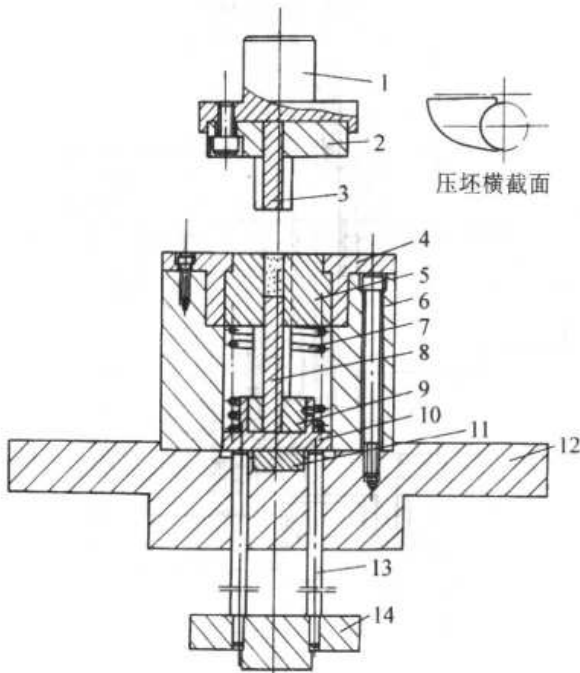


图 26.4-47 极掌单向压模

- 1—模柄 2、9—法兰圈 3—上模冲 4—模套 5—阴模
6—模座 7—弹簧 8—下模冲 10—下模冲座
11—压垫 12—下模板 13—顶杆 14—顶板

上。上模冲 3 与法兰圈 2 过盈配合，固定在模柄 1 上。下模冲 8 与法兰圈 9 过盈配合，并由螺钉与下模冲座 10 相连。装粉高度可用更换不同高度的压垫 11 来调节，但不方便。压制时压力由下模冲座通过压垫传到下模板上。脱模是由下顶出机构顶动顶板 14 和顶杆 13，将下模冲推动脱出压坯。顶杆与顶板采用静配合，顶板自由落在顶出机构上。下模冲靠弹簧 7 复位。

图 26.4-48 所示为冲床上用的套类压坯双向压模。阴模 7 固定不动，上模冲 4 固定在模柄 2 上，下模冲 9 固定在弹簧座 11 上，芯棒固定在下模板 10 上。压制时，上模冲下压，同时压力机压头通过上压块 32 施加压力于压杆 25，通过杠杆板 19 将力传到下模冲上，与上模冲同时压缩粉末，形成双向压制。脱模是采用拉钩式，由弹簧 8 复位。下模冲向上的压缩量由螺钉 31 调节。压杆靠弹簧 30 复位。

该结构适宜压制小截面的厚壁长压坯。缺点是装粉高度不能调节，压力机受偏心力，且压力机能力只能利用 50% 左右（杠杆力臂与重力臂之比为 1:1 左右）。

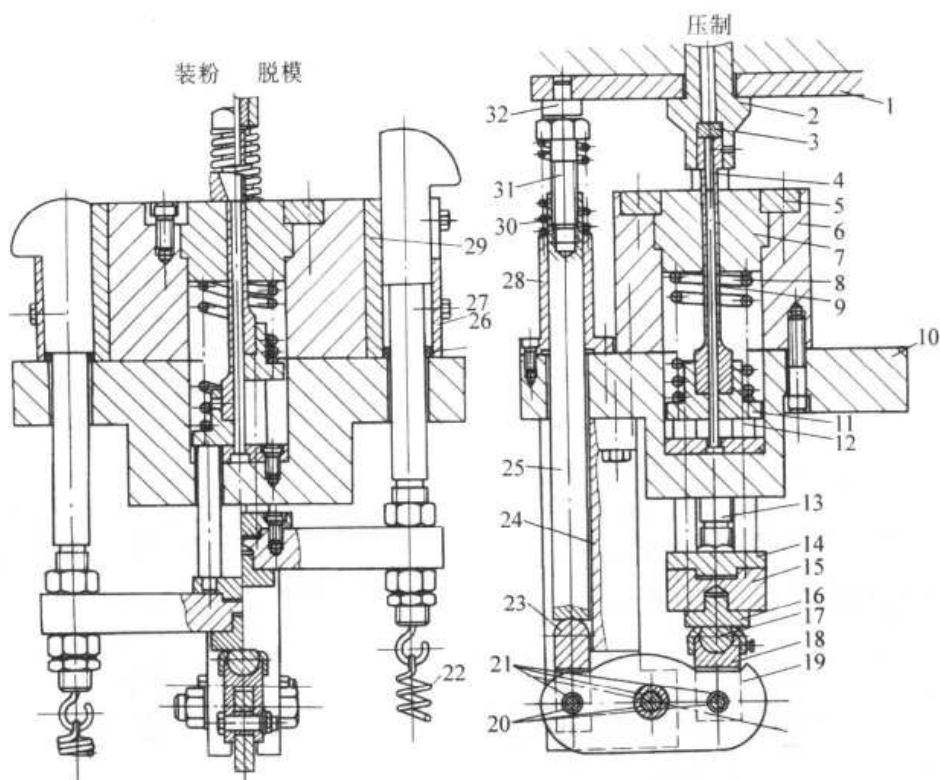


图 26.4-48 套类压坯双向压模

- 1—上模板 2—模柄 3、16—压垫 4—上模冲 5—压盖 6—模座 7—阴模 8、30—弹簧
 9—下模冲 10—下模板 11—弹簧座 12—顶杆 13—拉钩 14—顶盘 15—横梁
 17—球压头 18—球座 19—杠杆板 20—销轴 21—衬套 22—拉簧 23—球压柱
 24—支架 25—压杆 26—橡胶垫 27—导套盖 28、29—导套 31—螺钉 32—上压块

图 26.4-49 所示为压制带球面压坯的压模，用于冲床上自动压制。阴模 3、6 为了便于加工分成上下两截，由模套 7 紧箍，由弹簧 8 托起，导套 4 限位。芯棒 15 固定在下模板 19 上。上模冲 2 固定在模柄 1 上。下模冲 10 固定在上横梁 14 上，并座落在装粉板 17 上。装粉时，可通过调节装粉板的升降来改变装粉高度。为此，要求回程拉簧力应小于装粉板的弹簧力。压制时下模冲向下浮动一段距离后被阻挡；阴模向下浮动，模套被模座 12 限位后，压实上下球面。脱模时，顶出机构将下模冲顶上，先阴模复位，然后压坯脱出。复位时，顶出机构在拉簧作用下迅速下落，上横梁 14 座落在装粉板上。

图 26.4-50 所示为套类压坯浮动压模。阴模 5 和芯棒 15 均浮动，适用于在冲床上自动压制。阴模靠弹簧 8 托起，导套 3 导向并限位。芯棒由弹簧 16 托起，由下模冲 9 导向，盖板的限位。上模冲 2 与模柄 1 相连。下模冲与上横梁 11 相连。装粉时，下模冲通过上横梁落在装粉调节板 12

上，通过拧动螺母 22 来改变调节板的高低，从而调节装粉容积，这要求阴模弹簧 8 的力小于调节板弹簧 20 的力。压制时，阴模和芯棒在摩擦力作用下向下浮动，下模冲通过上横梁和芯棒盖板将压力传到下模板 17 上，阴模和芯棒均浮动，获得双向压制的效果。脱模时，顶出机构通过下横梁 18、顶杆 13 和下模冲，将压坯顶出阴模和芯棒。下模冲复位是靠阴模弹簧力推下。该结构宜压制壁厚和高度较大的压坯。

图 26.4-51 是适用于压制细长压坯、阴模浮动、芯棒不动的成形模具。阴模 6 固定在阴模底板 8 上，由下液压缸 11 通过顶杆 9 托起。芯棒 5 安装在芯棒底板 10 上固定不动，压制时，上模冲 4 通过内液压缸 1、外液压缸 2 同步下降，护套 3 压制阴模托板 7 时使阴模 6 向下浮动。压制成形后，外液压缸 2 继续下降，内液压缸 1 回升，使压坯脱出。外液压缸 2 回升后，下液压缸 11 托起阴模 6，恢复到装粉位置。

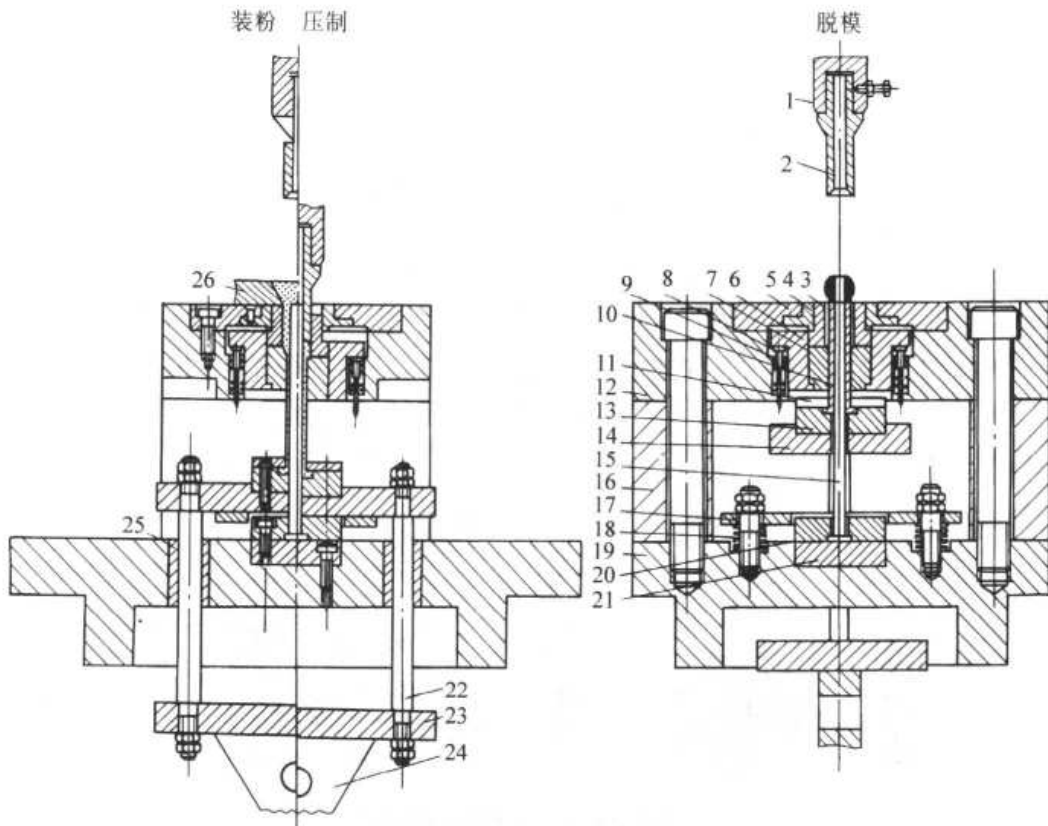


图 26.4-49 压制上下带球面压坯的压模

- 1—模柄 2—上模冲 3—上阴模 4、25—导套 5—阴模板 6—下阴模 7—模套 8、18—弹簧
 9—导杆 10—下模冲 11、20—压盖 12—模座 13、21—压垫 14—上横梁 15—芯棒
 16—垫块 17—装粉板 18—下模板 22—顶杆 23—下横梁 24—幅板 26—料斗

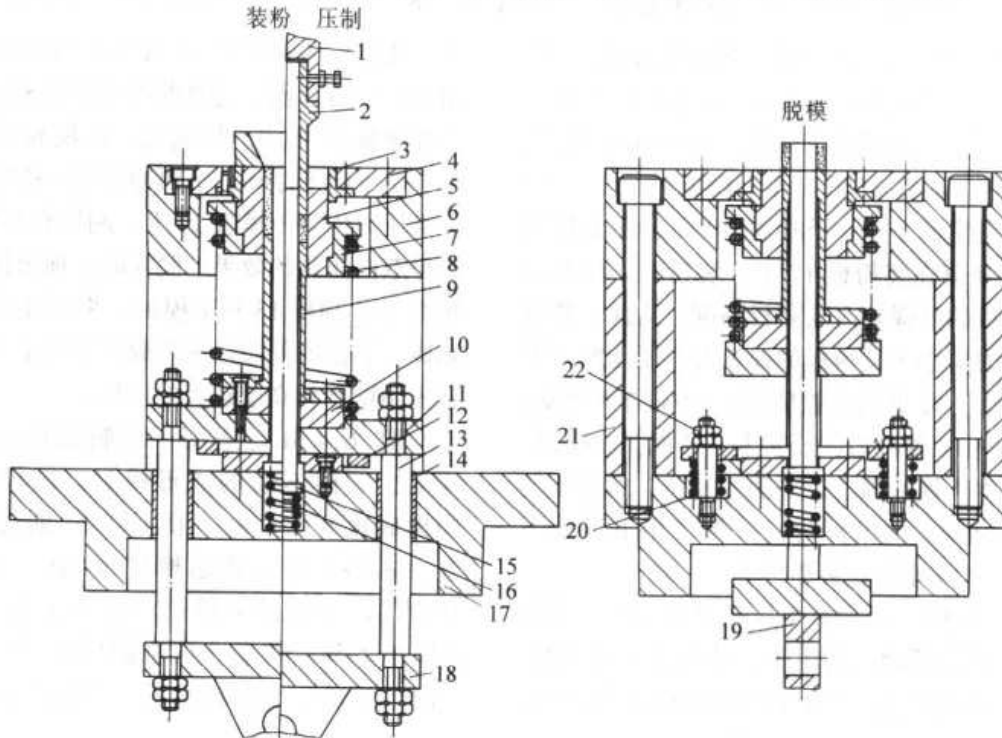


图 26.4-50 套类压坯浮动压模

- 1—模柄 2—上模冲 3、14—导套 4—阴模板 5—阴模 6—模座 7—模套 8、16、20—弹簧 9—下模冲 10—压垫
 11—上横梁 12—装粉调节板 13—顶杆 15—芯棒 17—下模板 18—下横梁 19—幅板 21—垫铁 22—螺母

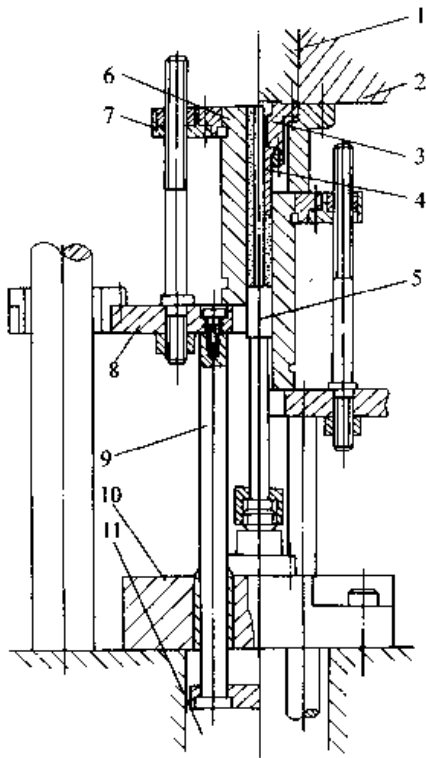


图 26.4-51 阴模浮动式成形模具

- 1—内液压缸 2—外液压缸 3—护套 4—上模冲
5—芯棒 6—阴模 7—阴模托板 8—阴模底板
9—顶杆 10—芯棒底板 11—下液压缸

图 26.4-52 是适用于压制 $D/D' \leq 1.25$ 带肩

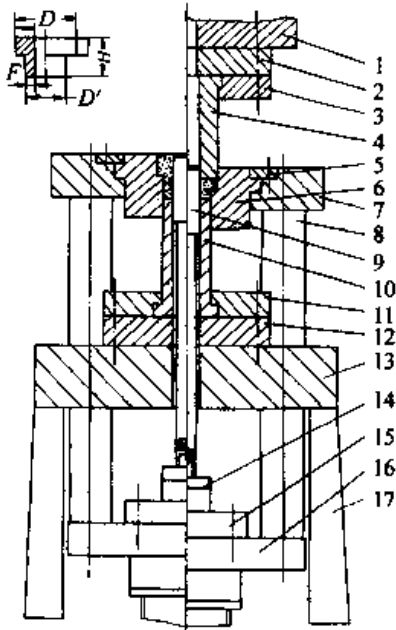


图 26.4-52 $D/D' \leq 1.25$ 带肩类零件压坯成形模具

- 1—上模冲底板 2—垫板 3、5、11、15—压盖
4—上模冲 6—阴模 7—阴模托板 8—导柱
9—芯棒 10—下模冲 12—下模冲垫板 13—下模冲
底板 14—芯棒座 16—芯棒底板 17—垫块

类零件压坯的成形模具。压制时，上模冲 4 进入阴模 6 加压，迫使阴模 6 浮动，与阴模托板 7 和芯棒底板 16 相连的压力机下液压缸压力需作相应调节。脱模时，阴模被拉下，直至压坯脱出阴模和芯棒。为便于脱模，阴模大端型腔带有 $\geq 15'$ 锥度。

图 26.4-53 是一种弹簧复位的成形模具。适用于内台肩 $d/d' \leq 1.2$ 的制品。制品内台肩高 h_1 的装粉高度通过调节螺母板 14 调整。压制时，上模冲 4 进入阴模 6 后加压，压缩弹簧 15，使芯棒 13 下降至下模垫板 11 与下模垫板 12 接触。脱模时，阴模托板 5 被下液压缸拉下，使压坯外径脱出阴模。当阴模回升时，压坯已回弹，外径比阴模型腔大，迫使压坯内台肩脱出芯棒。取出压坯后，阴模继续回升到装粉位置。

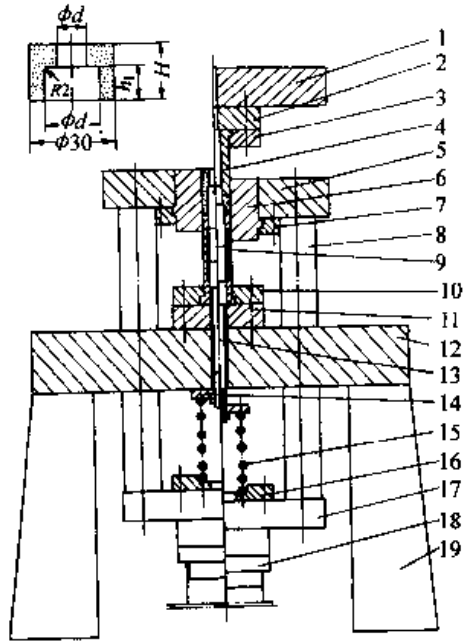


图 26.4-53 $d/d' \leq 1.2$ 带内台肩类零件压坯成形模具

- 1—上模冲底板 2—垫板 3、7、10—压盖 4—上模冲
5—阴模托板 6—阴模 8—导柱 9—下模冲
11、12—垫板 13—芯棒 14—调节螺母板
15—压簧 16—弹簧座 17—芯棒底板
18—下液压缸螺母 19—垫块

图 26.4-54 所示为压制直齿轮压坯的下拉式压模，用于自动压机上。阴模 3 和芯棒 8 均液压浮动，得到双向压制的效果。该结构亦适用于压制套类压坯。

图 26.4-55 是锥齿类零件压坯的成形模具示例。为顺利压制，可调节限位杆 4 控制上模冲 3 进入阴模 8 后阴模向下的浮动量。压坯的成形高

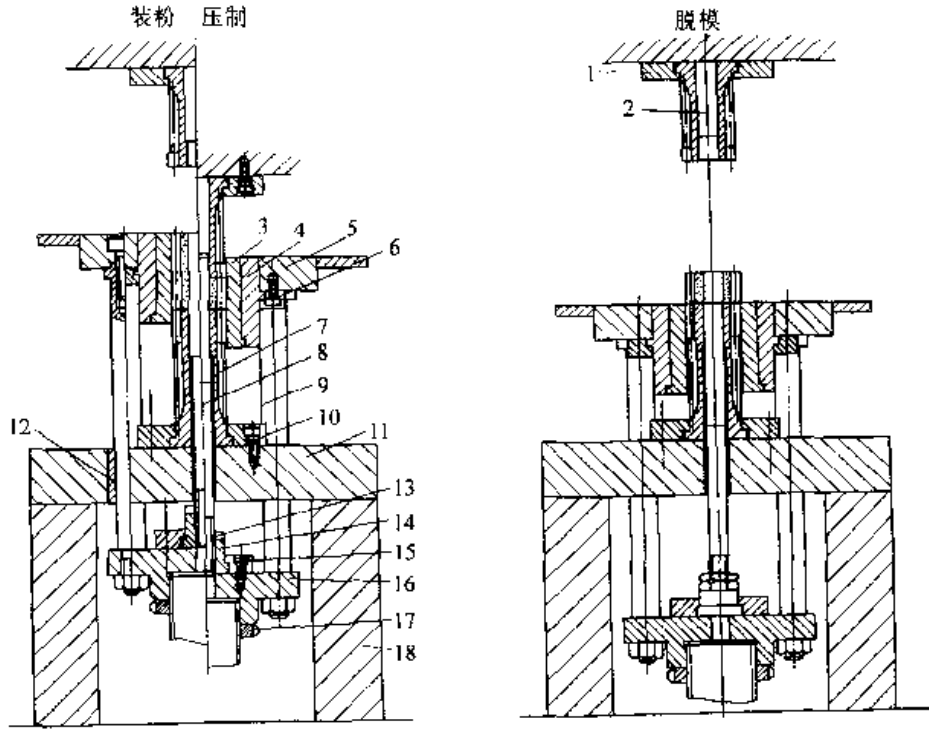


图 26.4-54 压制直齿轮压坯的拉下式压模

- 1、6、10、15—压盖 2—上模冲 3—阴模 4—模套 5—阴模板 7—下模冲 8—芯棒 9—拉杆
11—下模板 12—导套 13—并母 14—螺母 16—下缸螺母 17—螺母 18—垫块

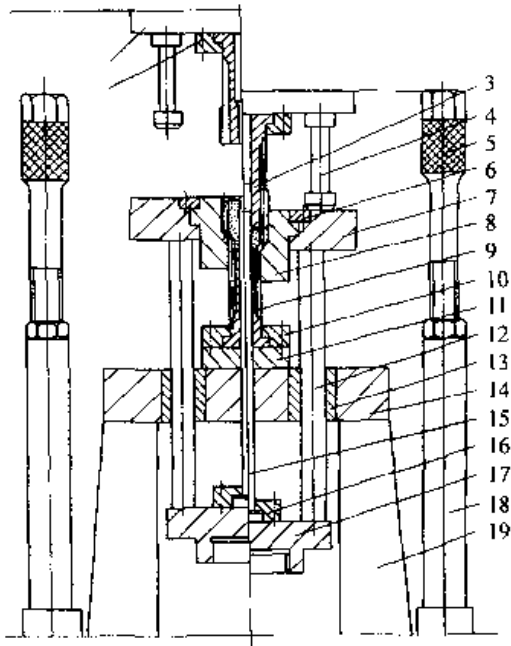


图 26.4-55 锥齿类零件压坯成形模具

- 1—上模冲底板 2—上模冲压盖 3—上模冲
4—限位杆 5—压制高度调节杆 6—阴模压盖
7—阴模托板 8—阴模 9—下模冲 10—下模冲
压盖 11—下模冲垫块 12—导柱 13—导套
14—下模冲底板 15—芯棒 16—芯棒压盖
17—芯棒底板 18—垫杆 19—垫块

度可由压制高度调节杆 5 来控制。脱模时，连接压机下缸的芯棒底板 17，经导柱 12 将阴模托板 7 向下拉，使压坯脱出阴模，阴模型腔的非成形面应有约 30° 锥度。

图 26.4-56 是压制斜齿类零件压坯的成形模具示例。阴模 10 经导柱 12 与芯棒底板 30 相连接。上模冲 7 固定在可旋转的轴承座 4 上。下模冲 19 固定在可旋转的轴承座 23 上。装粉高度可由下缸回升来调节。压制时，上模冲 7 由导向套 18 对准阴模 10 的斜齿型腔加压旋转向下。阴模 10 和阴模托板 8 因导柱 12 的限位不能转动，迫使下模冲 19 在止推轴承 24 上转动，达到双向压制成形。脱模时，阴模被拉下，压坯和下模冲继续沿压制方向旋转，直至可自由取出。复位时，阴模上升、下模冲反向旋转到装粉位置。

5.2 II 型零件压坯的成形模具

II 型零件压坯通常由一个上模冲、两个下模冲、阴模及芯棒构成的成形模压制成形。图 26.4-57 是 II 型零件压坯的示例。

图 26.4-58 所示为压制带外台阶压坯的拉下式压模，用于自动液压机上。阴模 3 固定在阴模

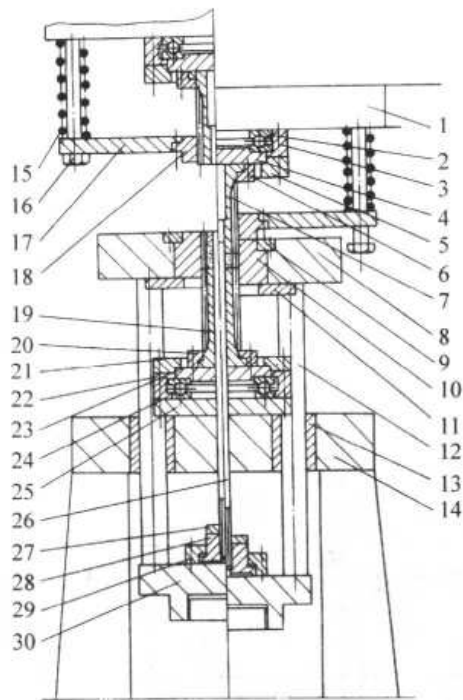


图 26.4-56 斜齿类零件压坯成形模具

- 1—上模冲底板 2—止推轴承 I 3—轴承套 4、5、6、9、20、21、23—轴承座 7—上模冲
 8—阴模托板 10—阴模 11—阴模托板 12—导柱 13—导套 14—下模冲底板 15—压簧
 16—调节螺钉 17—导向板 18—导向套 19—下模冲 22—轴承套 24—止推轴承 II
 25—垫块 26—芯棒 27—芯棒螺母 28—芯棒座 29—压盖 30—芯棒底板

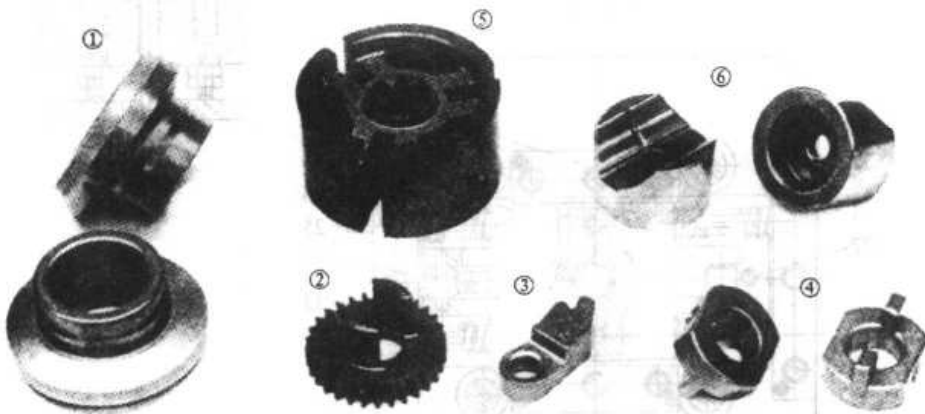


图 26.4-57 II 型零件压坯示例

板 4 上，通过拉杆 15 与下缸并帽 19 相连。芯棒 16 也固定在下缸并帽上。上模冲 2 固定在压机冲头上。下模冲 11 固定在下模板 14 上。压套 6 与螺钉 32 相连，并由弹簧 17 通过托板 30 托起，由螺母 31 限位。装粉时，通过螺母来调节压套升起的位置，从而调节各段粉料的分配。压制

时，阴模和芯棒同步向下浮动。压套被压到活动垫板 27 上，以得到所要求的压坯轴向尺寸。脱模时，上模冲上升复位。下缸通过下缸并帽将阴模和芯棒拉下，此时脱模导杆 7 随阴模板下行，由于斜面和滚轮 24 的作用，将活动垫板撑开，其目的是为了下模冲将压坯顶出压套留一段可

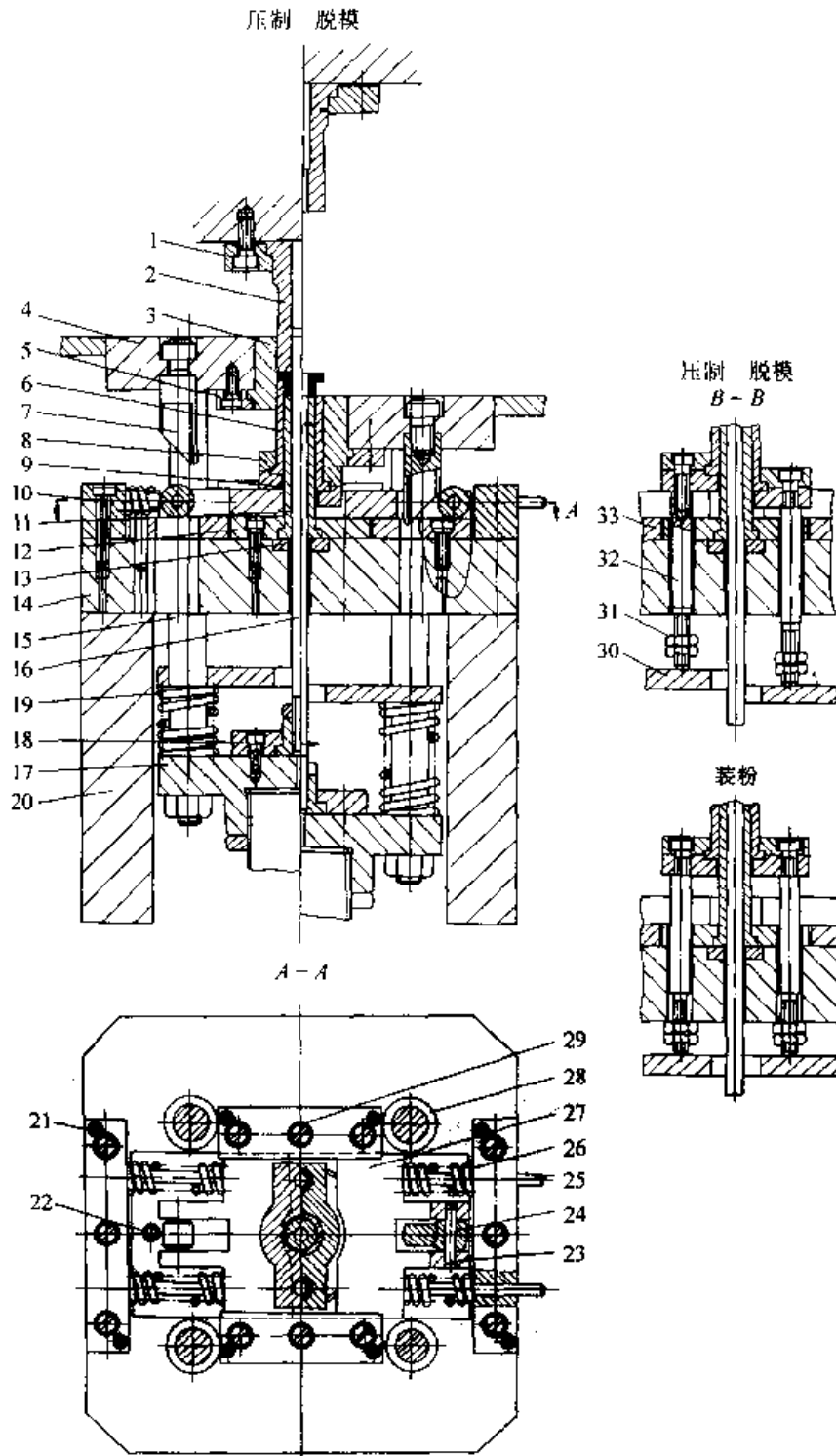


图 26.4-58 压制带外台阶压坯的拉下式压模

- 1、5、8、12、18—压盖 2—上模冲 3—阴模 4—阴模板 6—压套
 7—导杆 9、13—压垫 10—挡板 11—下模冲 14—下模板 15—拉杆
 16—芯棒 17、26—弹簧 19—下缸并帽 20—垫块 21、22—销子 23—滚
 轮轴 24—滚轮 25—导柱 27—活动垫板 28—导套 29—盖板
 30—托板 31—螺母 32—螺钉 33—垫板

相对移动的行程。脱模的开始阶段，压套被压坯胀紧与下模冲一起均保持不动。由于阴模下行而先将压坯台阶部分脱出阴模，这时阴模下端面与压套的压盖8相碰，阴模继续下行，迫使压套下行，下模冲仍不动，因而将压坯顶出压套。复位时下缸上升到最上位置（由压机行程开关控制），阴模和芯棒复位。弹簧将压套托起，并由螺母限位。脱模导杆离开滚轮，活动垫板在弹簧26作用下向中心移动而复位。活动垫板要有良好的导向，以防动作不灵或卡住。为了防止下模板因活动垫板的运动而磨损，在下模板上，需加一块经热处理的垫板33。

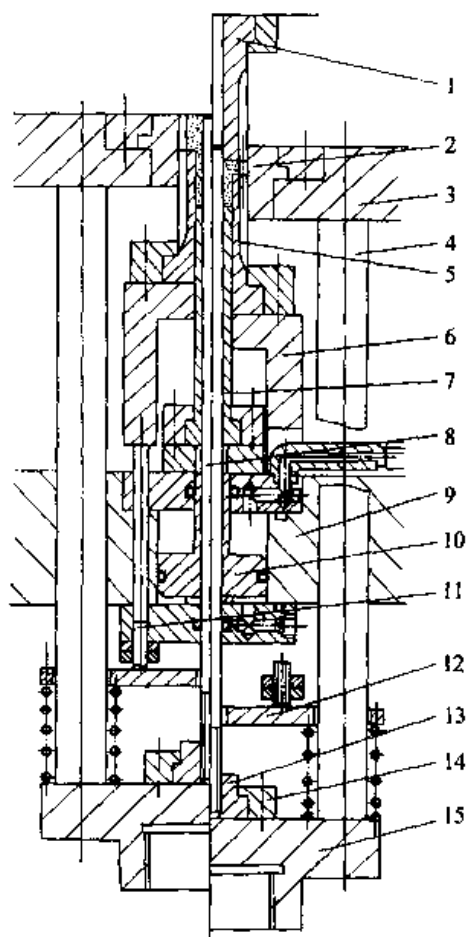


图 26.4-59 带气缸结构压制带台肩零件压坯的成形模具

- 1—上模冲 2—阴模 3—阴模托板 4—导柱
5—下模冲（I） 6—下模冲托座 7—下模冲（II）
8—芯棒 9—下模冲底板 10—活塞 11—调节杆
12—托板 13—芯棒座 14—压盖 15—下缸并帽

图 26.4-59 是带气缸结构压制带台肩零件压坯的成形模具；装粉高度可由调节杆 11 调节下模冲（I）5 和通过气压由活塞口调节下模冲（II）7 来达到所需装粉深度。压制时，上模冲 1

进入阴模 2 后加压成形。下模冲（I）5 受压向下，由下模冲托板 6 定位；下模冲（II）7 受压向下，克服气压力，定位在下模冲底板 9 上。脱模时，由导柱 4 通过下缸并帽 15 向下拉，使压坯脱出阴模，然后，通过气压由活塞口向上将下模冲（II）7 上顶，使压坯完全脱出阴模型腔。复位时，下缸向上，阴模托板 3 复位到原位；气压换向，通过活塞口，使下模冲（II）7 恢复原位。其特点是由气缸代替斜楔作用，动作可靠，且对装粉调节较为便利。

图 26.4-60 所示为压制带多外台阶压坯的压模，用于冲床上。阴模 11 由侧向弹簧 14 及销钉 13 托住，并由导套 5 限位，芯棒 8 固定在下模板 26 上。上模冲 4 与上模座 3 为紧配合，通过接套 2 固定在模柄 1 上。下模冲 9 固定在上横梁 20 上。压套 10 固定在浮动压垫 17 上。装粉时，压套被弹簧 18 托起，并由螺钉 19 限位，拧动该螺钉，可调节压套与下模冲之间的距离。

图 26.4-61 所示是压制带内台阶压坯的压模。装粉时，大芯棒 8 通过弹簧 16 的作用上升，其装粉高度可由螺钉 12 来调节（拔出小芯棒 7，用旋具调整）。成形时，上模冲下降进入阴模 4，大芯棒 8 受压下浮至芯堵 10 落在压垫 14 上为止，压实内台阶。脱模时，下模冲 9 在顶出缸 15 的作用下将压坯从阴模和芯棒中顶出，然后下模冲复位。

图 26.4-62 所示为压制带内台阶压坯的浮动芯棒压模，用于冲床上。阴模 5 固定不动。芯棒 7 由弹簧 19 托起，并由下模冲 8 限位。上模冲 2 固定在模柄 1 上。下模冲固定在下模座 11 上，通过顶杆 18 与横梁 20 相连。装粉深度由更换不同高度的垫圈 9 来调节，但芯棒位置不能调节。压制时，下模冲和阴模不动，芯棒向下浮动，落到下模座后，压实内台阶。脱模时，压力机压头回升，固定在压力机压头上的上拉钩 10 将下拉钩 17 带上，压坯脱出阴模。上拉钩在导板斜面的作用下脱钩，横梁在拉簧 22 作用下迅速将下模冲拉下复位，压坯由于胀大而留在阴模口上。自动送粉时将压坯推出。橡胶垫圈 13 起到快速复位时缓冲和压制时不使顶出系统受力的作用。

图 26.4-63 所示为压制带内台阶压坯的拉下式压模，用于自动液压机上。阴模 4 和小芯棒 3

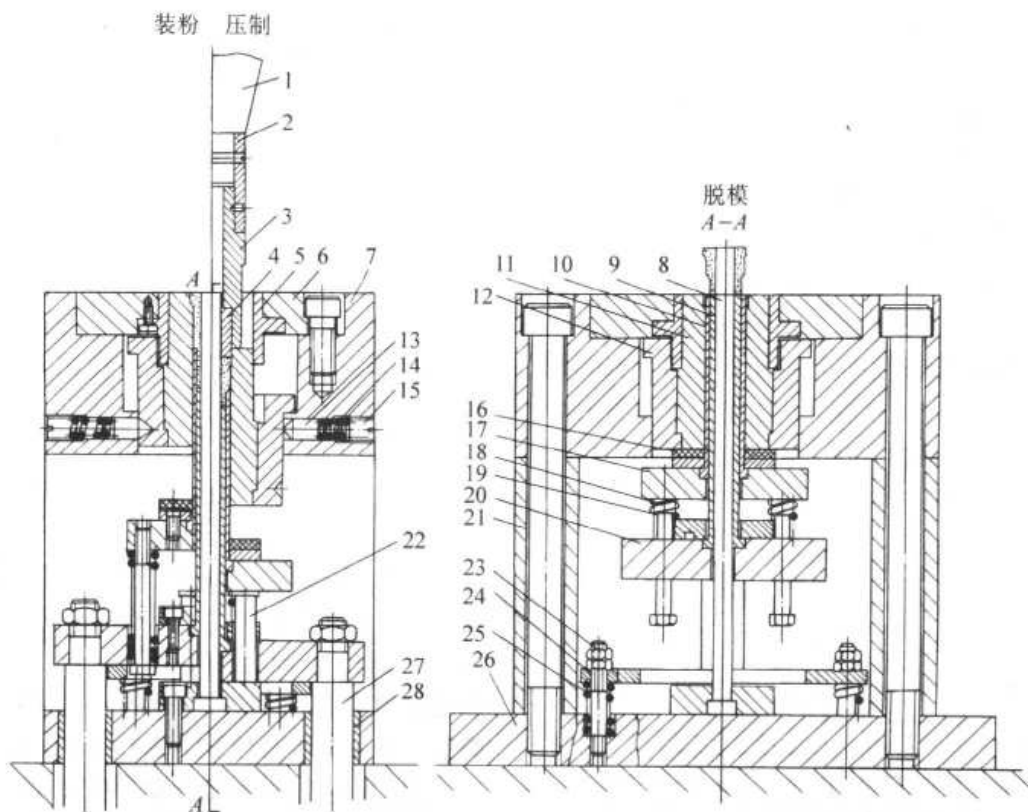


图 26.4-60 压制带多外台阶压坯的压模

- 1—模柄 2—接套 3—上模座 4—上模冲 5、28—导套 6—阴模板 7—模座
 8—芯棒 9—下模冲 10—压套 11—阴模 12—模套 13—销钉 14、18、25—弹簧
 15—螺塞 16—橡胶缓冲垫 17—浮动压垫 19—螺钉 20—上横梁 21—垫块
 22—承压柱 23—螺母 24—装粉板 26—下模板 27—顶杆 28—导套

通过连接件与下缸并帽 20 相连。大芯棒 6 由弹簧 15 托起，调节螺母 14 限位。上模冲 2 固定在压力机压头上。下模冲 9 固定在下模板 13 上。装粉深度可通过下缸的行程开关来控制阴模和小芯棒的上升位置来调节。通过调节螺母 18 可改变大芯棒的位置，从而调节台阶与套筒两者的粉量分配。压制时，阴模和小芯棒由下缸同步液压浮动，大芯棒强迫向下弹簧浮动，落到下压圈 11 上后，压实内台。脱模时，阴模和小芯棒由下缸同步拉下，将压坯脱出。下缸回升时，阴模和小芯棒复位，大芯棒由弹簧托起并由调节螺母限位而复位。压坯因胀大而被阴模托起，由装粉靴推开。

图 26.4-64 为成形带内台阶 II 型压坯的自动压模示例。装粉时，阴模 2 上升，其位置根据装粉深度需要在压力机上调节。外下模冲固定不动，内下模冲 3 通过弹簧 8 的作用上升，上升高度由螺母 9 调节控制。成形时，上模冲 4 进入阴模，压缩粉末，当内下模冲 3 所受压力大于弹簧

8 的支持力时，内外模冲 3 向下浮动至其底部与垫块 5 接触时止（此位置为成形位置）。阴模受粉末摩擦力的作用，向下浮动，实现双向浮动压制。脱模时，阴模面下拉至与外下模冲上端面齐平时，压坯脱出阴模，利用压坯回弹，阴模复位装粉时，将压坯脱出内外模冲。

5.3 III 型零件压坯的成形模具

III 型零件压坯通常由两个上模冲、两个下模冲及阴模和芯棒等构成的成形模压制成形。图 26.4-65 是 III 型零件压坯的示例。

图 26.4-66 所示的是成形上下带内台阶压坯的压模结构。外上模冲 2 和外下模冲 5 固定不动。装粉时，阴模 4 上升，由压机调节其装粉深度。内下模冲 6 由弹簧 10 作用上升，高度由螺母 8 调节限位。成形时，上模冲下降进入阴模 4，压缩粉末，内上模冲 3 所受压力大于气缸的支持力时，开始浮动，直至其底部与气缸体 1 接触为止。阴模 4 受粉末摩擦力作用下浮，浮动量

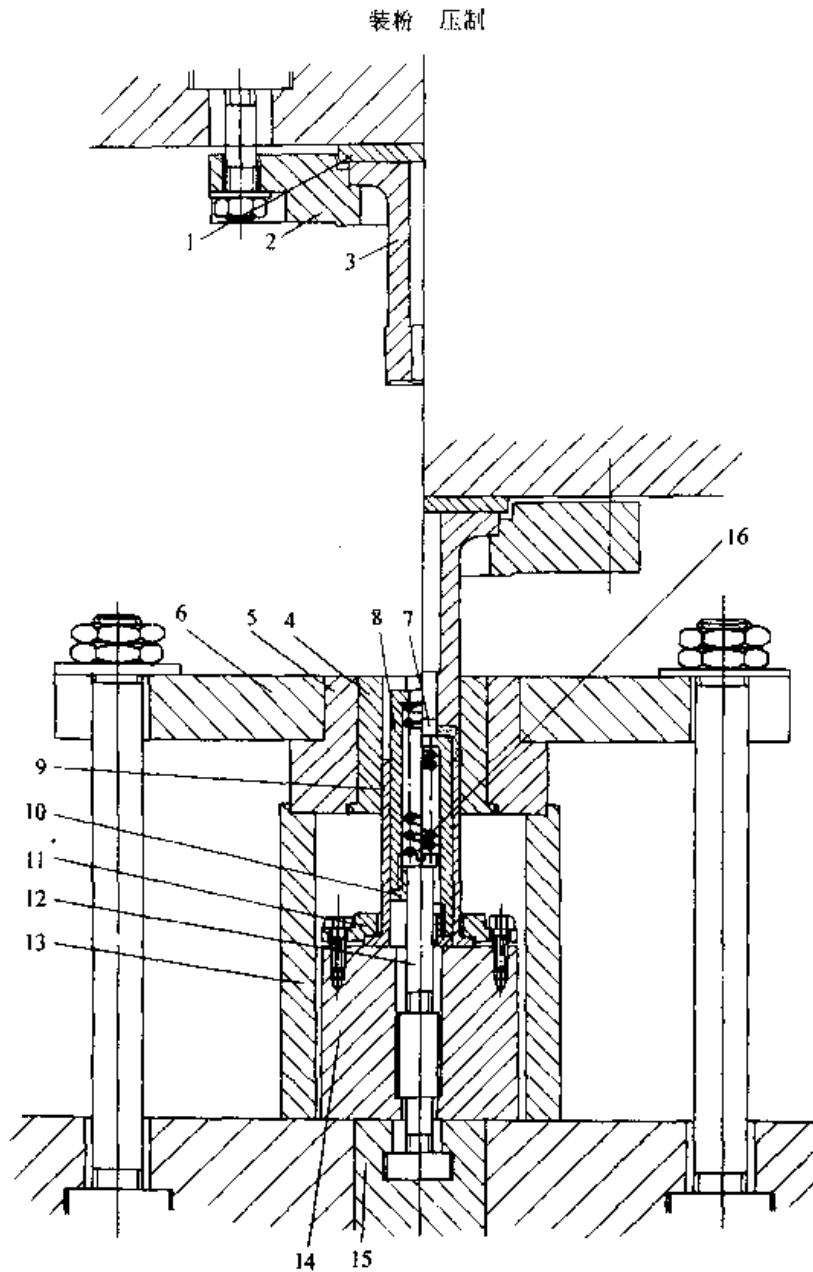


图 26.4-61 压制带内台阶压坯的压模

1—压垫 2—压盖 3—上模冲 4—阴模 5—模套 6—阴模板 7—小芯棒 8—大芯棒
9—下模冲 10—芯堵 11—压盖 12—螺钉 13—压座 14—压垫 15—顶出缸 16—弹簧

由压机调节定位。内下模冲6受压上浮至螺母7与垫块9接触时止，此时即为成形位置。脱模时上模冲回升，阴模4下拉至压坯全部脱出阴模，同时内下模冲6通过垫块9及螺母8被拉动下行，而脱出压坯。

图 26.4-67 所示是成形上下带外台阶压坯的压模结构。外上模冲1和内下模冲5固定不动。装粉时，阴模3上升至所需装粉高度，外下模冲4由螺钉14通过压机辅缸和弹簧15的作用上

升，上升高度由螺母12调界限位。成形时上模冲下降（此时上模冲气缸下端进气，内上模冲2处于缩回状态），进入阴模3，压缩粉末，外下模冲4受压上浮至垫块9与滑块11接触。阴模3受粉末摩擦力作用下浮，实现双向浮动压制。脱模时，上模冲回升，此时上模冲气缸上端进气，内上模冲2伸出将压坯上台阶从外上模冲1中脱出。阴模3下降，斜楔7接触滚轮10并推动滑块11向外移动，脱离垫块9，这时螺钉6与阴模

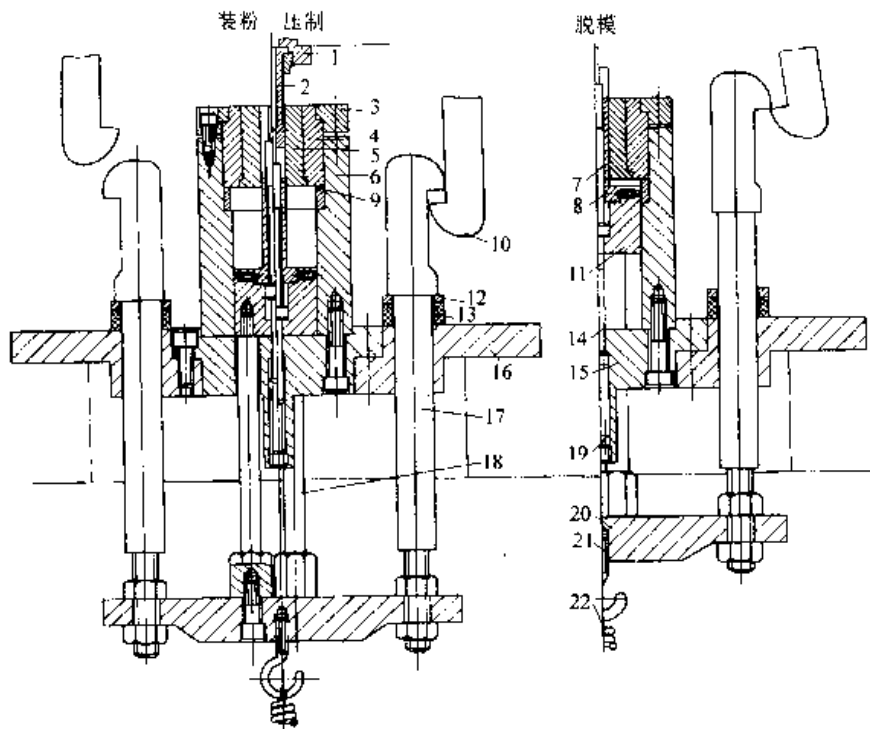


图 26.4-62 压制带内台阶压坯的浮动芯棒压模

- 1—模柄 2—上模冲 3—压盖 4—模套 5—阴模 6—模座 7—芯棒 8—下模冲 9—装粉调节垫圈
 10—上拉钩 11—下模冲座 12—垫圈 13—橡胶垫圈 14—托杆 15—下模板（内）
 16—下模板（外） 17—下拉钩 18—顶杆 19—弹簧 20—横梁 21—拉钩 22—拉簧

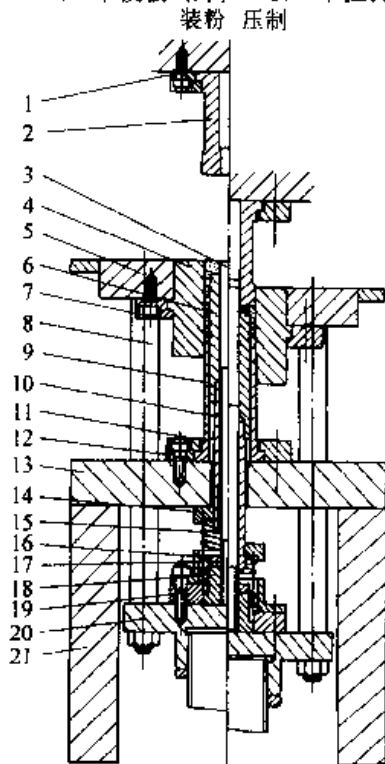


图 26.4-63 压制带内台阶压坯的拉下式压模

- 1、7、12、19—压盖 2—上模冲 3—小芯棒 4—阴模
 5—阴模板 6—大芯棒 8—拉杆 9—下模冲
 10—接管 11—压圈 13—下模板 14—调节螺母
 15—弹簧 16—定位套 17—并母
 18—螺母 20—下缸并帽 21—垫块

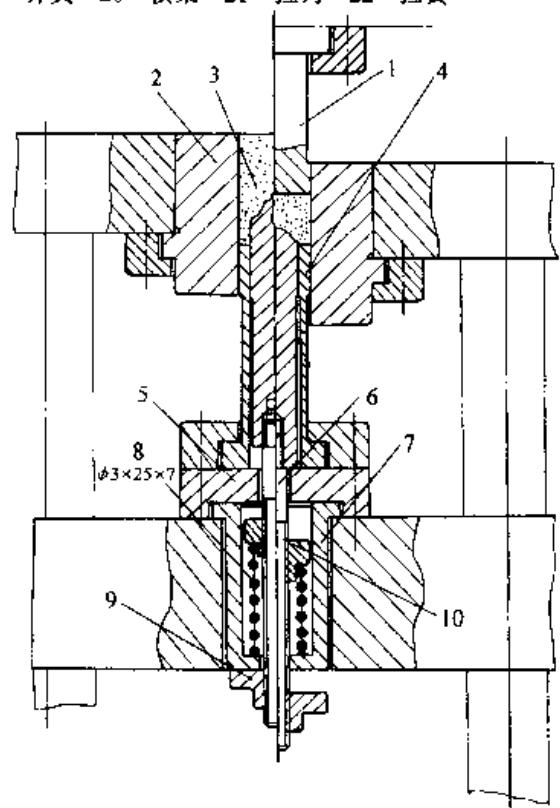


图 26.4-64 带内台阶 II 型压坯的成形模具

- 1—外下模冲 2—阴模 3—内下模冲
 4—上模冲 5—垫块 6—连接杆 7—弹簧套筒
 8—弹簧 9—螺母 10—螺母

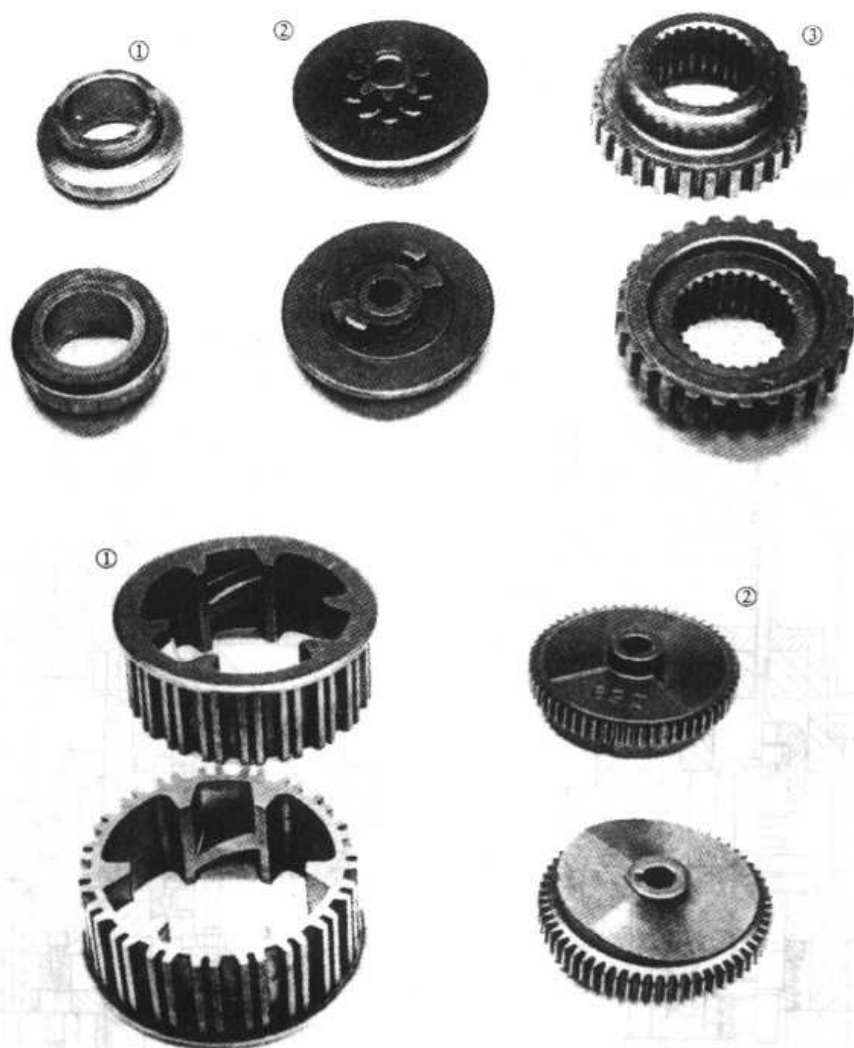


图 26.4-65 III型零件压坯示例

3 下端开始接触。阴模 3 继续下拉，通过螺钉 6 带动外下模冲 4 下行脱模，此时芯棒 8 在气缸活塞 13 拉力作用下脱出压坯（芯棒采用后脱结构的优点是，芯棒所受摩擦力较小，因而芯棒磨损较小，使用寿命较长）。

5.4 IV型零件压坯的成形模具

IV型零件压坯通常由一个上模冲、三个下模冲及阴模、芯棒等构成的成形模压制成形。图 26.4-68 是IV型零件压坯的示例。

图 26.4-69 为成形多个外台阶压坯的成形模具示例。内下模冲 8 固定不动，阴模 2 上升至所需装粉高度（高度位置可由压力机调节），外下模冲 5 由顶杆 15 通过压力机辅缸及气缸顶杆 16 的作用上升至装粉位置，位置通过螺母 13 调节

并限位。中下模冲 4 由顶杆 16 通过气缸作用上升，高度通过螺母 14 调节并限位。成形时，上模冲 1 进入阴模 2，压缩粉末，当外、中下模冲所受压力大于气缸的支持力时，开始下浮至垫块 9 与滑块 12 接触，中下模冲 4 接触垫块 9 时止。阴模 2 浮动量根据带肩芯棒 10，压坯台阶位置要求，通过压力机调节并机械定位。脱模时，阴模下行，斜楔 7 接触滚轮 11，并推动滑块 12 向外移动，当阴模面下行至与外下模冲上端面齐平时，滑块 12 已完全与垫块 9 脱开，这时阴模护套 3 底部与垫圈 6 接触，阴模继续下行，带动外、中下模冲下行，至压坯全部脱出时为止。取出压坯，阴模 2 及外下模冲 5 中下模冲 4 复位装粉。

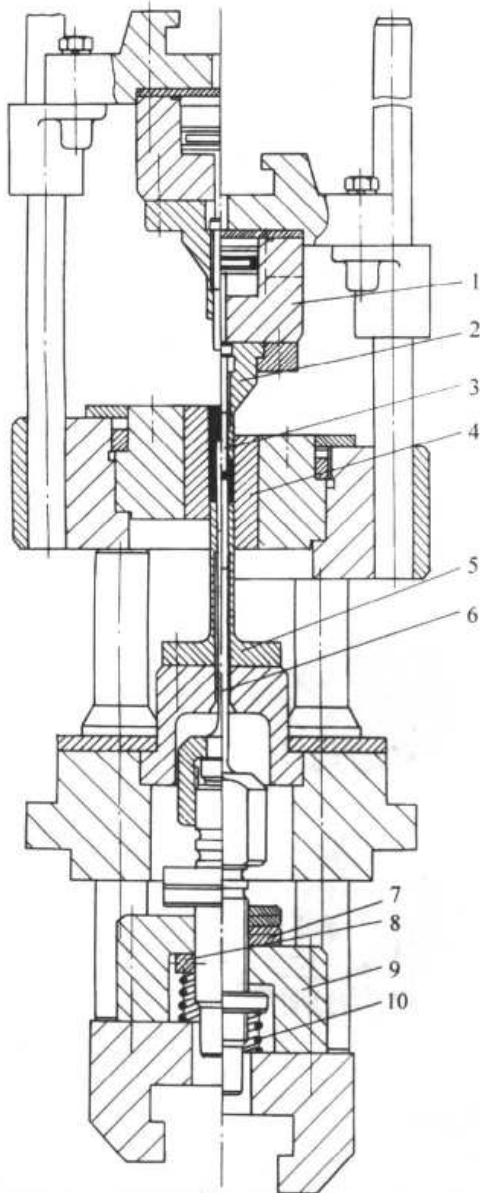


图 26.4-66 上下带内台阶Ⅲ型零件压坯成形模具
1—气缸体 2—外上模冲 3—内上模冲 4—阴模
5—外下模冲 6—内下模冲 7、8—螺母
9—垫块 10—弹簧

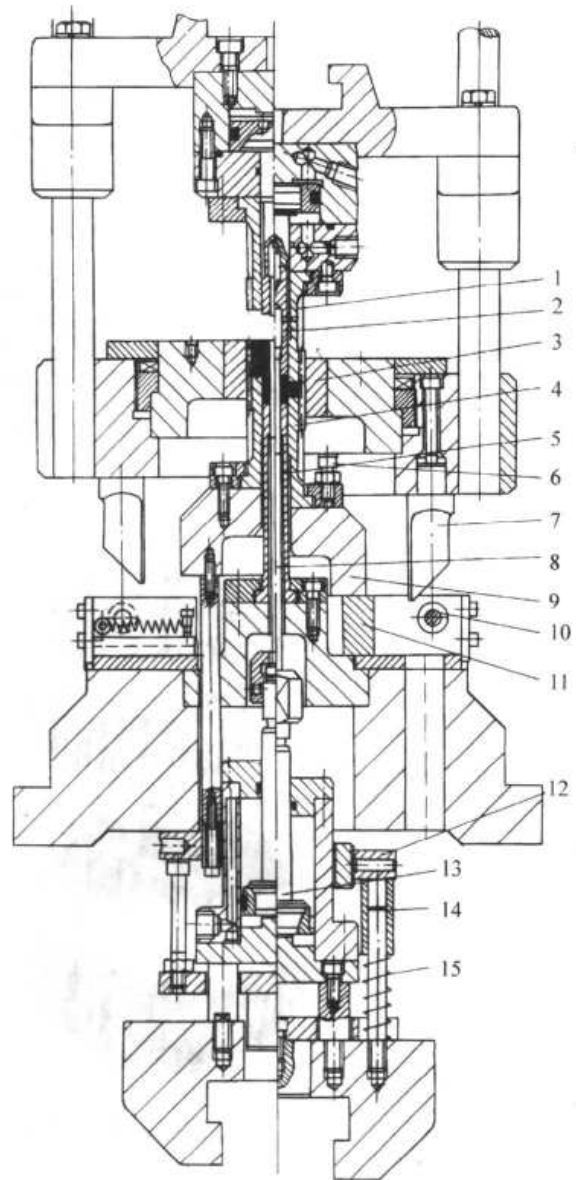


图 26.4-67 上下带外台阶Ⅲ型零件压坯成形模具
1—外上模冲 2—内上模冲 3—阴模 4—外下模冲
5—内下模冲 6—螺钉 7—斜楔 8—芯棒
9—垫块 10—滚轮 11—滑块 12—螺母
13—活塞 14—螺钉 15—弹簧

图 26.4-70 为成形带内外台阶类零件压坯的模具结构示例。外台阶由带肩阴模 2 成形，两内台阶分别由内下模冲 5、中下模冲 4 成形，外下模冲 3 固定不动。装粉时，阴模 2 上升并由压力机调节至所需高度（阴模带肩处装粉高度不能调节，要求粉末有较为稳定的松装密度），中下模冲 4 由顶杆 13 通过压力机辅缸及气缸顶杆 14 的作用上升，高度由螺母 12 调节点位。内下模冲 5 通过气缸活塞 8 的作用上升，并由螺母 10 调节点位。成形时，上模冲 1 下降进入阴模 2，通

过压力传递，带动阴模浮动，浮动量根据压坯外台阶尺寸要求，由机床调节点位。中下模冲 4 所受压力大于气缸支持力时向下浮动，至垫块 6 接触气缸体 7 时止。内下模冲 5 受压向下浮动，至活塞 8 下端部与气缸体 7 接触时为止。脱模时，上模冲 1 上升，阴模脱至其端面与外下模冲 3 上端面齐平时，拉钉 9 头部下端部与螺纹连接块 11 接触，以阻止中下模冲 4 上升，内下模冲 5 通过气缸活塞 8 作用上升，将压坯从中下模冲 4 中顶出，实现脱模。

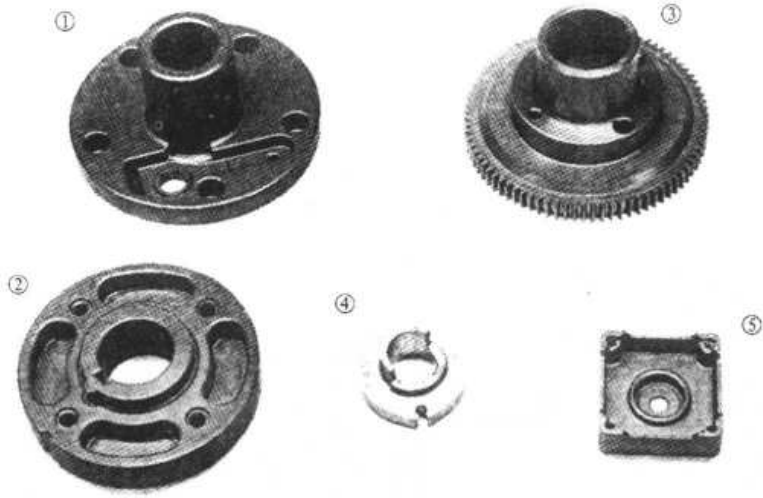


图 26.4-68 IV型零件压坏的示例

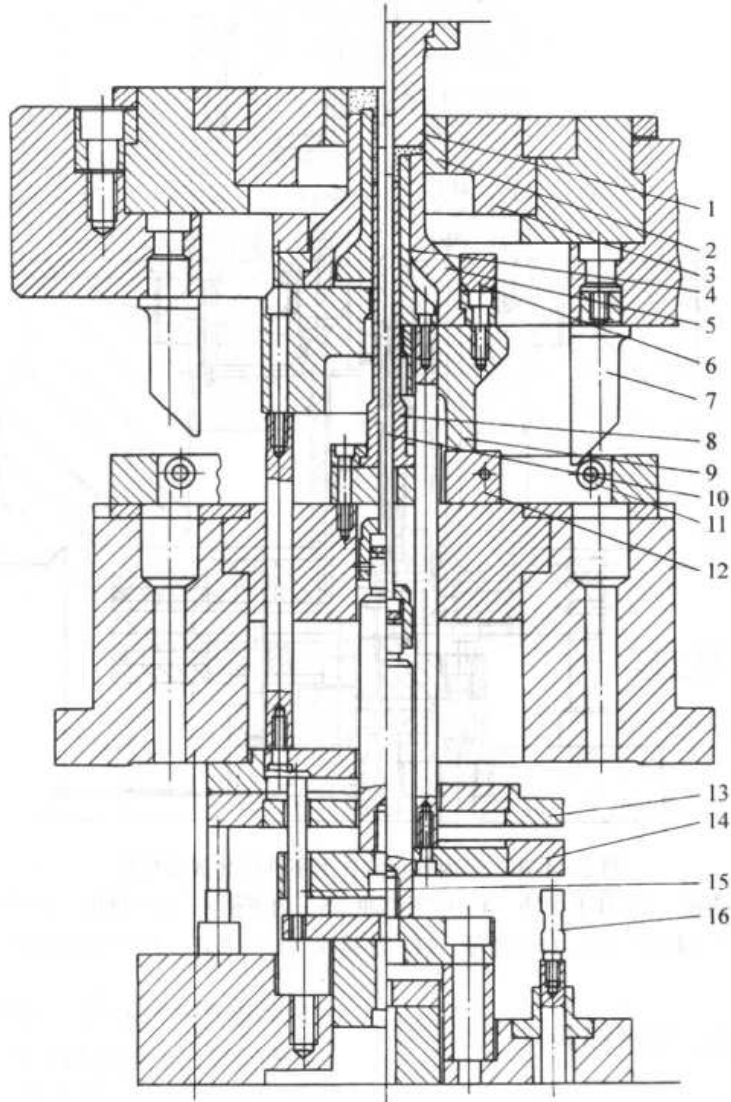


图 26.4-69 带外台阶IV类形状压件成形模具

1—上模冲 2—阴模 3—阴模护套 4—中下模冲 5—外下模冲 6—垫圈 7—斜楔 8—内下模冲 9—垫块
10—带肩芯棒 11—滚轮 12—滑块 13、14—螺母 15、16—顶杆

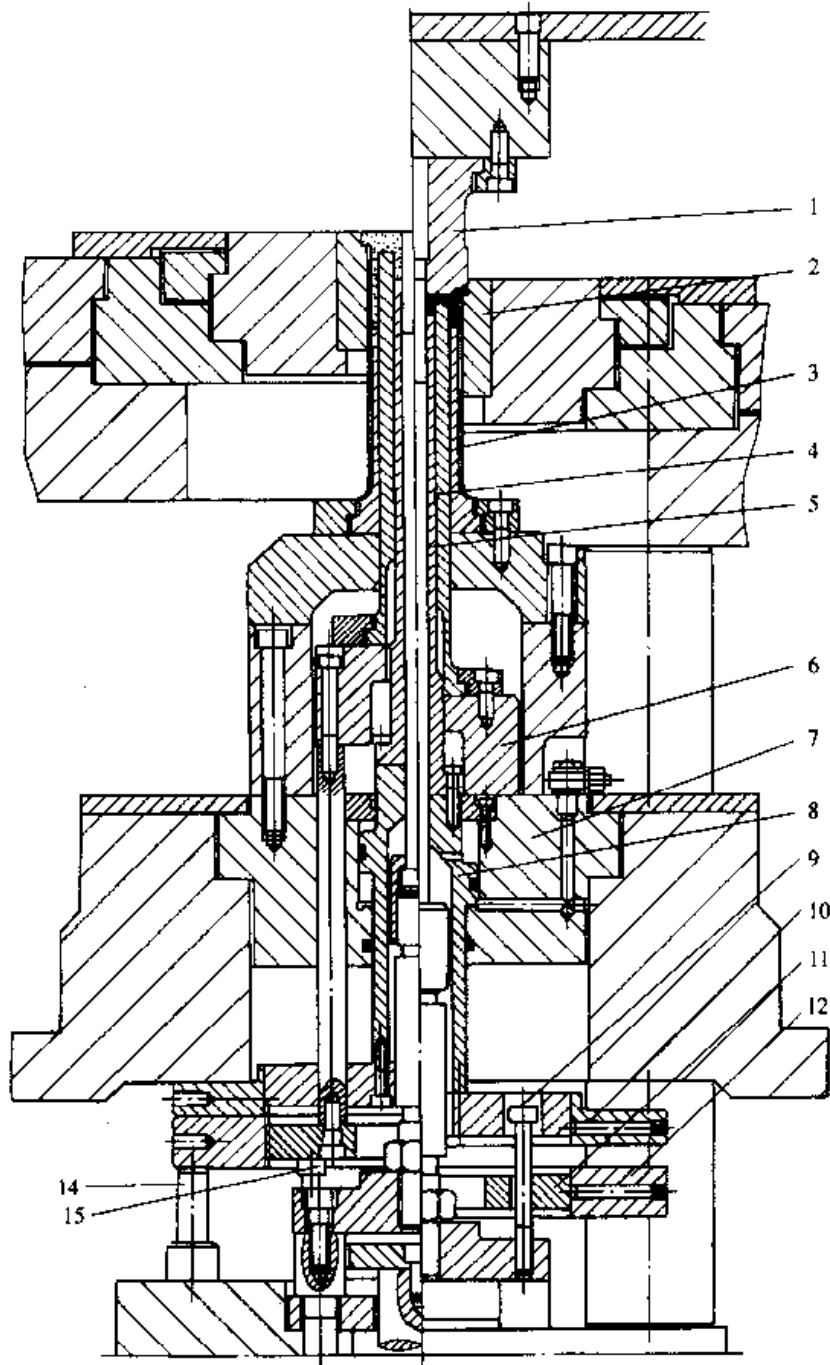


图 26.4-70 带内外台阶V型零件压坯成形模具

1—上模冲 2—阴模 3—外下模冲 4—中下模冲 5—内下模冲 6—垫块 7—气缸体 8—活塞
9—拉钉 10、12—螺母 11—连接块 13—顶杆 14—气缸顶杆

5.5 V型零件压坯的成形模具

V型零件压坯通常由两个上模冲、三个下模冲及阴模、芯棒等构成的成形模压制成形。图 26.4-71 是V型零件压坯的示例。

图 26.4-72 所示的是成形带多台面零件V型

压坯的模具结构示例。一组带肩芯棒 1 及细芯棒 4 固定安装在上模冲部分相当于一种上模冲，上模冲 5 与压机单向辅助气缸相连接。装粉时，内下模冲 10 气缸上端进气使其处于最低位置，阴模 6 上升至装粉高度。外下模冲 7 由顶杆 24 通过压力机辅缸及气缸 23 和弹簧 18 的作用上升，

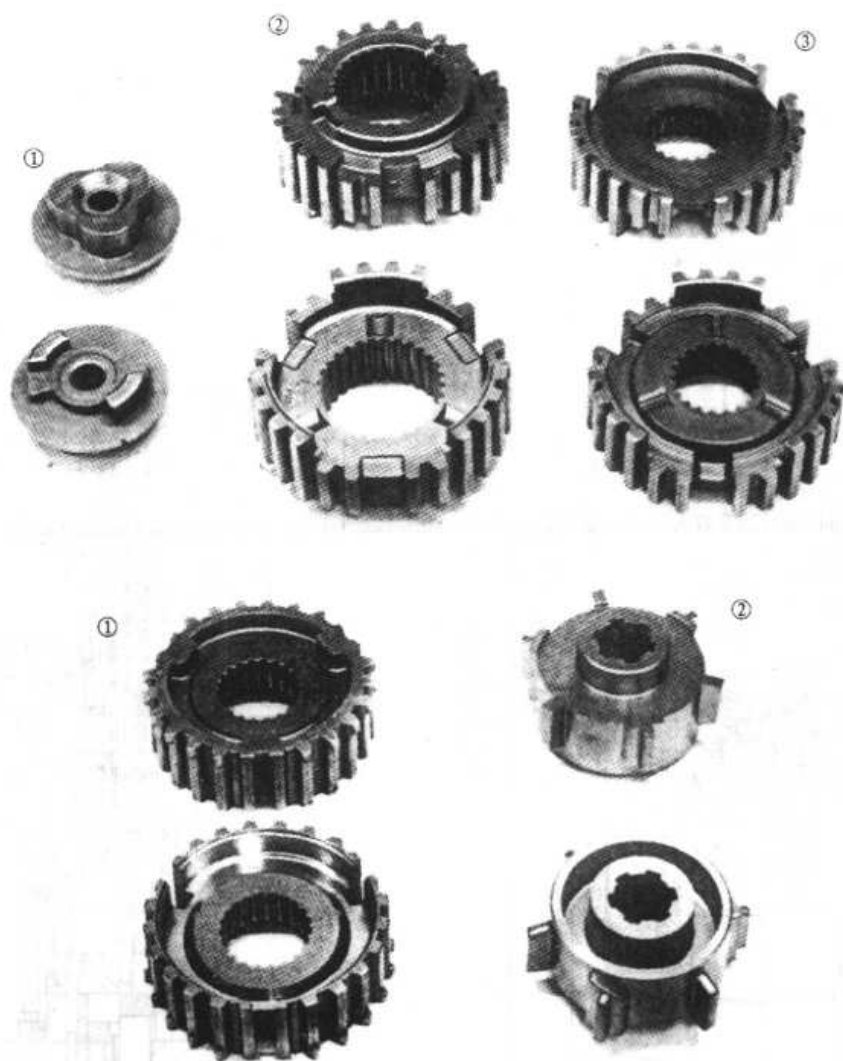


图 26.4-71 V型零件压坯的示例

其高度可由螺母 17 调界限位, 中下模冲 9 由顶杆 24 和气缸 23 作用上升, 高度由螺母 19 调界限位, 一组细长的“假芯棒” 8 通过芯棒气缸 22 及橡胶 25 力的作用上升, 并由气缸端盖限位。成形时上模冲 5 下降进入阴模, 并受压浮动至垫块 3 与垫块 2 接触时止。同时带肩芯棒 1 及其他芯棒 4 推动下部相应的一组“假芯棒” 8 克服气缸 22 的阻力下浮, 带肩芯棒 1 进入外下模冲 7, 细芯棒 4 进入中下模冲 9, 外下模冲 7 受压浮动至垫块 11 与内下模冲气缸端盖 13 接触。中下模冲 12 受压下浮至垫块 13 与气缸端盖接触时止。脱模时, 上模冲部分回升, 在单向气缸的作用下, 上模冲 5 伸出以保护芯棒。阴模 6 拉下至压坯脱出阴模, 此时拉钉 15 与连接块 16 接触, 拉钉 21 与连接块 20 接触, 阻止外下模冲 7 及中下模冲 9 上升, 内下模冲 10 气缸下端进气, 通过

活塞 14 推动内下模冲 10 上升, 将压坯从中下模冲 9 和外下模冲 7 中脱出(注: 压力机下端辅缸, 仅起装粉复位作用, 上模冲部分下降时, 该活塞缩回)。

图 26.4-73 所示的是成形带内台阶零件 V 型压坯的模具示例。外上模冲 3 及内下模冲 7、外下模冲 5 固定不动, 阴模带台肩。装粉时, 内上模冲 2 气缸上部进气, 内上模冲 2 伸出, 阴模 4 上升至所需装粉高度, 中下模冲 6 由螺钉 16 通过压机辅缸及弹簧 15 的推动作用上升, 上升高度由螺母 14 调节并限位, 芯棒通过垫块与模架固定连接, 与阴模动作同步。成形时上模冲 2、3 下降进入阴模 4 压缩粉末, 内上模冲 2 受压浮动至其底部与气缸体 1 接触为止。当中下模冲 6 所受压力大于弹簧 15 的支持力时开始浮动, 直至垫块 9 与滑块 10 端面接触。阴模 4 受压浮动, 其

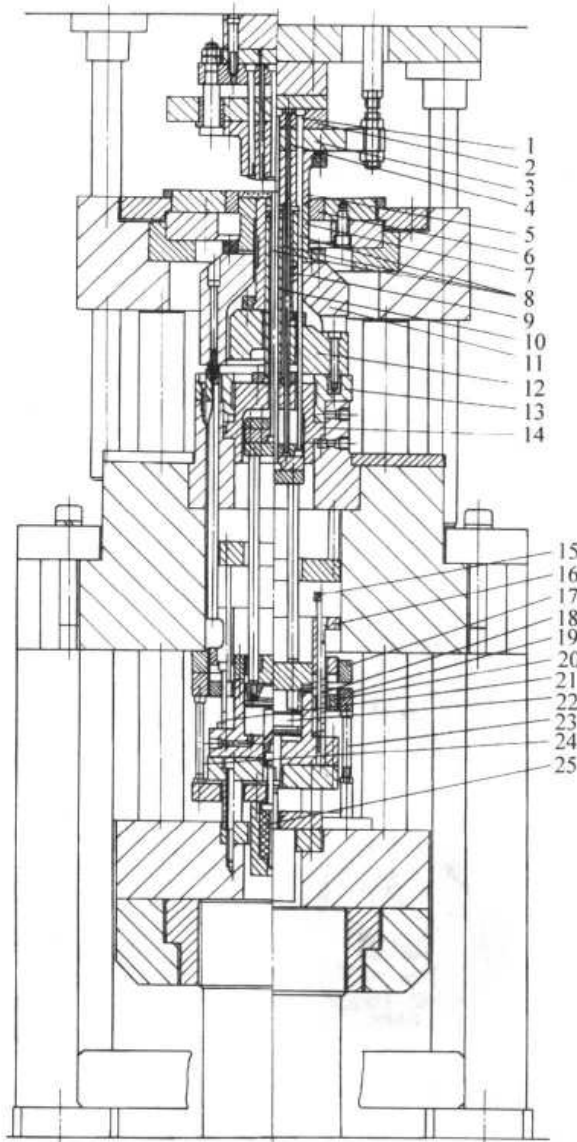


图 26.4-72 带多台面 V 型零件压坯成形模具

- 1—带肩芯棒 2、3、11、12、13—垫块
 4—细芯棒 5—上模冲 6—阴模 7—外下模冲
 8—假芯棒 9—中下模冲 10—内下模冲 14—活塞
 15—拉钉 16、20—连接块 17、19—螺母 18—弹簧
 21—拉钉 22、23—气缸 24—顶杆 25—橡胶

浮动量可根据成形尺寸由压力机调节并限位。脱模时，上模冲 2、3 回升，内上模冲 2 气缸下部进气。阴模 4 下行，斜楔 8 接触滚轮 11，并推动滑块 10 向外移动，使滑块 10 与垫块 9 脱开，此时，拉钉 12 头部与连接块 13 相接触，阴模继续下行，拉钉 12 通过连接块 13 带动下模冲 6 下行，使中下模冲 6 从压坯中脱出。

图 26.4-74 所示的成形压模与图 26.4-73 相同，主要区别在于成形的细芯棒 1 装在上模冲部

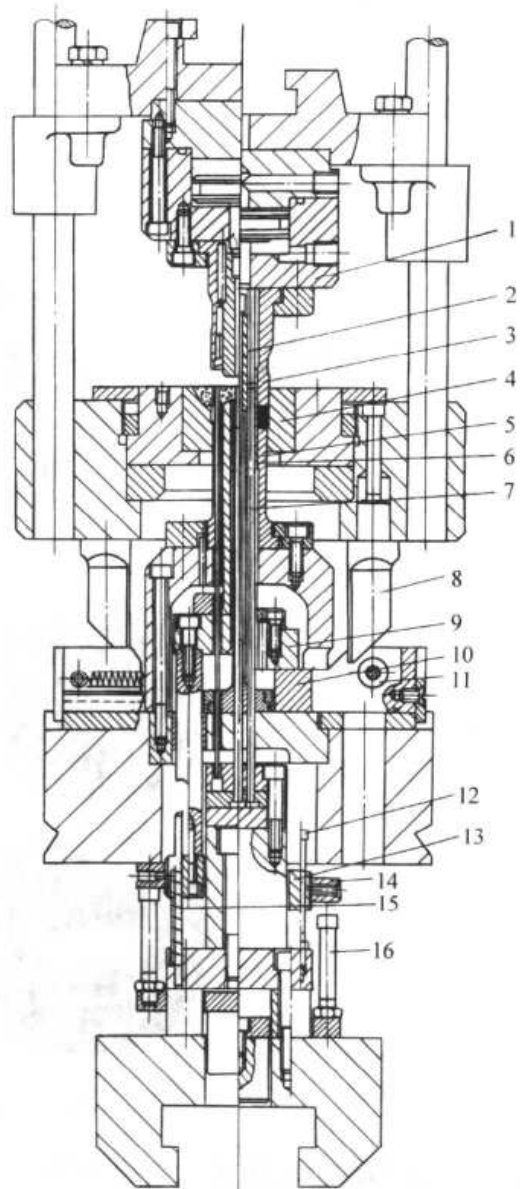


图 26.4-73 带内台阶 V 型零件压坯成形模具

- 1—气缸体 2—内上模冲 3—外上模冲 4—阴模
 5—外下模冲 6—中下模冲 7—内下模冲
 8—斜楔 9—垫块 10—滑块 11—滚轮 12—拉钉
 13—连接块 14—螺母 15—弹簧 16—螺钉

分，而下面的细长芯棒 9 仅用于装粉，称为“假芯棒”。目的是用于成形的细芯棒可大大缩短，刚性增大，使用寿命延长，因此，模具结构上也有较大的不同。内下模冲 8、外下模冲 6 固定不动。装粉时阴模上升至装粉高度，中下模冲 7 由顶板 18 通过压力机辅缸及气缸 20 和弹簧 17 的推力作用上升，高度由螺母 16 调节限位，细长“假芯棒” 9 由顶板通过压力机辅缸及气缸 20 的推力作用上升，高度由螺母 19 调节限位（与阴

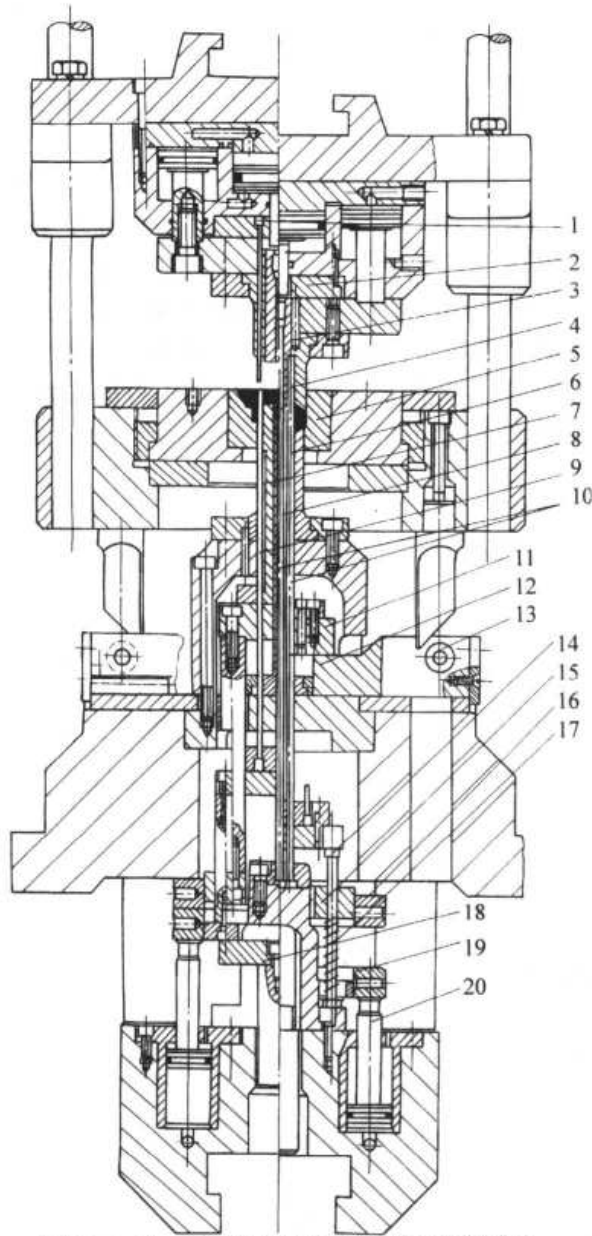


图 26.4-74 带内台阶 V 型零件压坯成形模具

- 1—细芯棒 2、11—垫块 3—内上模冲
- 4—外上模冲 5—阴模 6—外下模冲 7—中下模冲
- 8—内下模冲 9—假芯棒 10—芯棒 12—滑块
- 13—滚轮 14—拉钉 15—连接块 16、19—螺母
- 17—弹簧 18—顶板 20—气缸

模同高), 其他几根较粗芯棒通过垫块及压圈与模架固定连接与阴模 5 动作同步, 此时外上模冲 4 气缸下端进气, 内上模冲 3 气缸上部进气使其伸出。成形时, 上模冲下降, 一组细芯棒 1 端部接触相对应细长“假芯棒”9 并推动“假芯棒”9 克服气缸 20 的阻力向下浮动, 至细芯棒 1 进入外下模冲 6 孔中, 内上模冲 3 受压开始浮动, 直至其底部与垫块 2 接触, 中下模冲 7 所受压力

大于弹簧 17 支持力时, 开始下浮至垫块 11 与滑块 12 接触, 阴模 5 受压浮动, 其浮动量根据压坯外台阶尺寸要求可在压力机上调限位。脱模时上模冲 3、4 及细芯棒 1 回升, 外上模冲 4 气缸上端进气, 外上模冲伸出, 以保护细芯棒 1, 内上模冲 3 气缸下端进气。阴模 5、其他芯棒 10 及中下模冲 7 脱模方法与图 26.4-73 一样, 不再赘述。

图 26.4-75 所示的是成形带内外台阶零件压

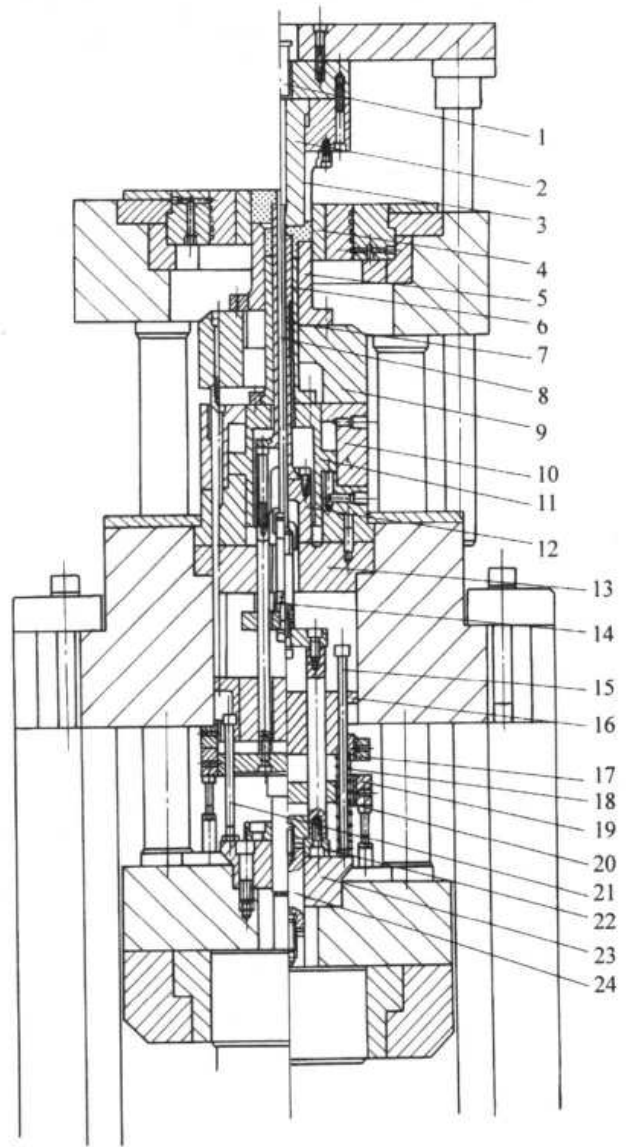


图 26.4-75 带内外台阶 V 型零件压坯成形模具

- 1、9、12、13、22、23—垫块 2—内上模冲
- 3—外上模冲 4—阴模 5—外下模冲 6—中下模冲
- 7—内下模冲 8—芯棒 10—气缸体 11—活塞
- 14—橡胶圈 15、21—拉钉 16、20—连接块
- 17、18、19—螺母 24—接杆

坯的模具示例。装粉时，中下模冲6的气缸部进气，中下模冲6处于最低位置。阴模4上升至所需装粉高度，外下模冲5在压力机辅缸及弹簧18和模架气缸的作用下上升，上升高度根据装粉需要通过螺母17调节并限位。内下模冲7在压力机辅缸及模架气缸的作用下上升，上升高度由螺母19调节并限位。芯棒8随阴模4上升而上升，并由橡胶圈14反弹力保持垫块22与垫块23紧密接触，以保证芯棒位置稳定。成形时，压力机辅缸缩回，上模冲进入阴模，内上模冲2受压浮动至其底部与垫块1接触。外下模冲5受

压下浮至垫块9与气缸体10接触。内下模冲7浮动至垫块12与垫块13端面接触。阴模及芯棒受粉末摩擦力作用而向下浮动，实现双向压制。脱模时上模冲回升，内上模冲2在压力机辅助气缸作用下伸出外上模冲3。阴模4下行至压坯脱出阴模，这时拉钉15与连接块16端面接触，拉钉21与连接块20接触，以阻止外下模冲5和内下模冲7上升。中下模冲气缸下端进气，通过活塞11推动中下模冲6上升，将压坯顶出内、外下模冲。芯棒8通过接杆24在压力机辅缸向下拉力的作用下，从压坯中脱出。

第 5 章 精整模具结构设计

在常温下，为了获得所要求的粉末冶金零件的尺寸精度及表面粗糙度，对烧结件进行再压制称为精整。精整用的模具为精整模。

根据粉末冶金零件的精度要求，来确定是否需要精整，对于不同的压坯形状与尺寸精度、表面粗糙度，采用不同的精整方式。

根据不同的精整方式，设计者考虑具体的精整模具结构方案。同时，应从精整工序的几个工步——送料、压制、脱模及复位的要求来进行结构方案的分析。

对于手动模，因送料与复位均为手动，故结构设计只需考虑与压制和脱模有关的问题，诸如

定位、导向、限位、脱模方式、安全、操作方便及生产效率等。

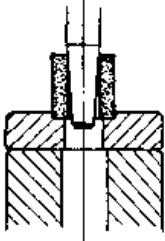
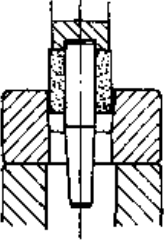
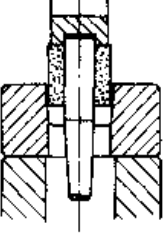
对于自动模，则要结合设备来考虑模具结构方案，要能实现送料、压制、脱模及复位的自动循环。

本章介绍常用的精整方式、基本结构、送料机构及模具示例。

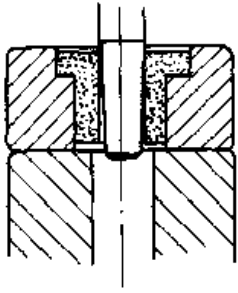
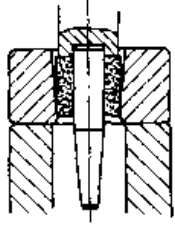
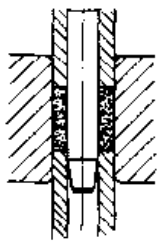
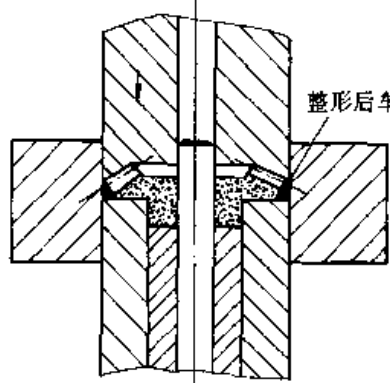
1 精整方式的选择

精整方式有单整内径、单整外径、内外径同整、全精整等。精整方式的种类和选择见表 26.5-1。

表 26.5-1 精整方式的种类和选择

种类	含 义	简 图	适 用 条 件
单 整 内 径	压件内孔留精整余量，外径不精整		内径尺寸精度要求 IT8~9 级，外径要求低时。且压件 $\frac{D}{d} \geq 1.5$ (非圆形件内径 d 指外接圆，外径 D 指内切圆。以下同)，壁厚 $T > 3 \text{ mm}$
单 整 外 径	压件外径留精整余量，内径不精整		外径尺寸精度要求 IT8~9 级，内孔精度要求低时。且压件 $\frac{D}{d} \geq 1.5$ ，壁厚 $T > 3 \text{ mm}$
外 箍 内	压件外径留精整余量，内径基本无精整余量。内径表面挤压是靠外径精整时向内箍来实现		内外径尺寸精度要求 IT7~8 级 压件 $\frac{D}{d} < 1.5$ ，壁厚 $T \leq 3 \text{ mm}$

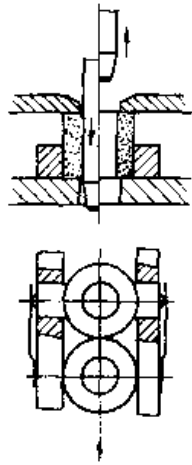
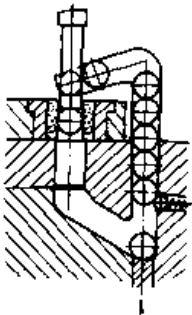
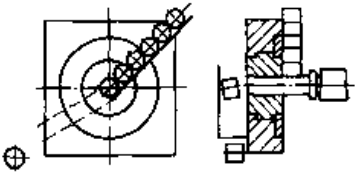
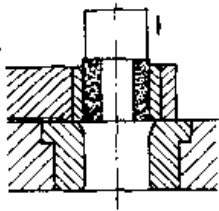
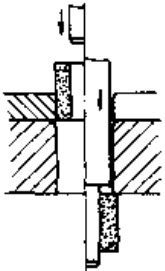
续表 26.5-1

种类	含义	简图	适用条件
内胀 外胀	压件内径留精整余量, 外径基本无精整余量。外径表面挤压是靠内径精整时向外胀来实现		压件带外台阶, 内外径尺寸精度要求 IT7~IT8 级 $\frac{D}{d} < 1.5$, 壁厚 $T \leq 5$ mm
外箍 内胀	压件内外径均留精整余量		压件内外径尺寸精度要求 IT7~8 级 $\frac{D}{d} \geq 1.5$, 壁厚 $T > 3$ mm
全精整	压件内外径和高度均留精整余量。高度压下率较小(约 2%~8%), 以提高压件精度为主, 密度提高小于 5%		压件高度较小, 内外径尺寸精度要求 IT6~7 级
精整	压坯烧结后, 再次压制, 以改变形状, 提高局部的密度(2%~12%)及其尺寸精度		形状不易成形的烧结零件, 如端面带齿的零件和轴向有导向口的零件

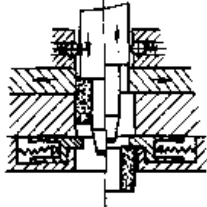
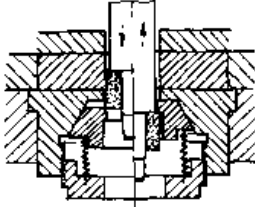
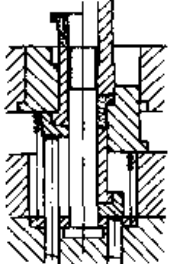
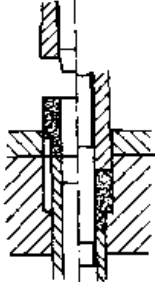
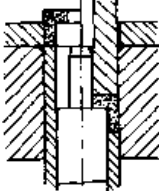
2 精整模具结构基本方案示例

精整模结构基本方案示例见表 26.5-2。

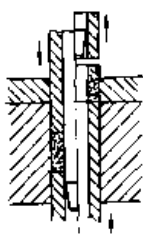
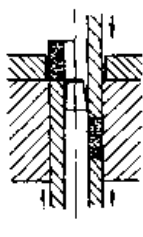
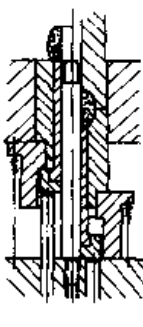
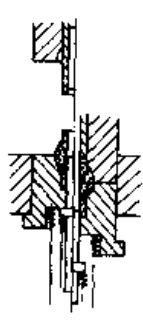
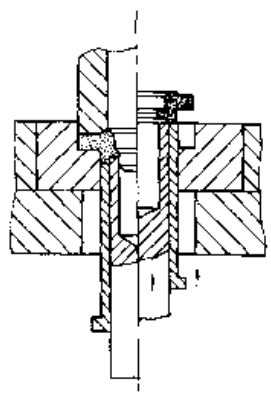
表 26.5-2 精整模具结构基本方案示例

结构特点	示意图	适用情况
<p>1) 直线送料, 压件有定位装置</p> <p>2) 有挡极限位, 保证脱模</p>		<p>单整内径</p>
<p>1) 旋转送料, 旋转送料台有定位装置</p> <p>2) 用球珠当作芯棒, 自动循环使用</p> <p>3) 精整和脱模同步</p>		<p>单整内径</p>
<p>1) 压件靠自重, 在斜槽中滚动送料, 槽底定位</p> <p>2) 横向通过式精整</p>		<p>单整外径</p>
<p>1) 旋转送料, 旋转送料台有定位装置</p> <p>2) 纵向通过式精整</p>		<p>单整外径</p>
<p>1) 阴模出口端保持棱角, 压件靠外径回弹量实现芯棒脱模</p> <p>2) 定位装置参照下例</p>		<p>外箍内精整, 芯棒脱模力较小</p>

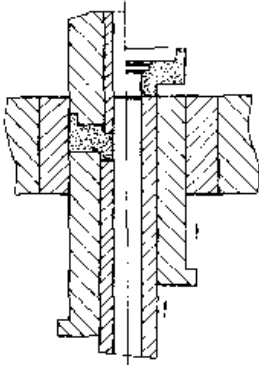
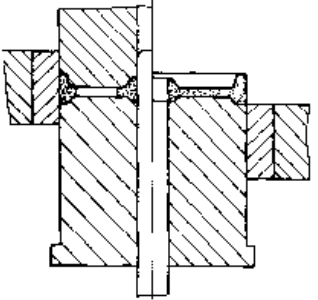
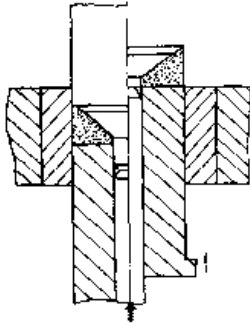
续表 26.5-2

结构特点	示意图	适用情况
<p>1) 压件由弹簧和珠子定位</p> <p>2) 阴模上有 2~4 个活动滑块, 串芯棒时, 防止过早进入阴模。芯棒串毕后, 滑块向外退让</p> <p>3) 阴模下有 4 个挡爪, 脱芯棒用</p>		<p>外箍内胀, 内径精整余量可能较大, 芯棒脱模力较大</p>
<p>1) 阴模下有 4 个带锥面的活动挡爪, 脱芯棒用</p> <p>2) 其余部分结构同上</p>		<p>外箍内胀, 内径精整余量可能较大, 芯棒脱模力较大</p>
<p>1) 阴模浮动, 压件外径无精整余量, 先进入阴模, 然后与阴模一起向下, 整内孔, 实现内胀外精整</p> <p>2) 脱模时先脱内孔, 后脱阴模</p>		<p>内胀外, 高度较小的带外台阶件 高度尺寸可整, 亦可不整</p>
<p>1) 芯棒与上模冲有一定距离的相对运动, 以实现先串芯棒定位, 再一起精整。压件随芯棒上行时, 相对运动实现脱模</p> <p>2) 压件留在阴模中时, 由下模冲顶出脱模</p>		<p>全精整, 高度较大的带外台阶件</p>
<p>1) 下模冲起顶出脱模和复位、接压件的作用</p> <p>2) 压制时, 下模冲向下浮动, 座落到刚体上压实</p> <p>3) 先整外径, 然后内径, 最后高度</p>		<p>全精整, 带内台阶的压件</p>

续表 26.5-2

结构特点	示意图	适用情况
<p>1) 下模冲起顶出脱模和复位、接压件的作用</p> <p>2) 芯棒在上, 阴模在下, 压制时芯棒先串入压件孔, 然后与上模冲一起压下, 下模冲向下浮动到制动垫上, 实现全精整</p>		<p>全精整, 定位导向良好</p>
<p>1) 下模冲起顶出脱模和复位接压件的作用</p> <p>2) 芯棒和阴模均固定在下, 先整内外径, 然后高度</p>		<p>全精整, 结构简单</p>
<p>1) 阴模分上下两半, 为了安放压件和脱模</p> <p>2) 下阴模浮动, 为了送料和上下阴模对中导向</p>		<p>全精整的带球面件</p>
<p>1) 芯棒在上, 与上模冲有相对运动, 为了压制时压件定位和脱模</p> <p>2) 阴模分上下两半, 下部浮动, 为了送料和上下阴模对中导向</p> <p>3) 浮动定位芯起压件进入模腔时的定位作用</p>		<p>全精整, 压件带直套部分的球面件</p>
<p>1) 芯棒与上模冲固定在上模板上, 阴模带内台肩</p> <p>2) 精整时, 两下模冲定位在制动块上</p> <p>3) 脱模时, 两下模冲向上顶出 (由斜楔-滑块机构来实现)</p>		<p>全精整。内径二端及外径带台肩的烧结件</p>

续表 26.5-2

结构特点	示意图	适用情况
<p>1) 两上模冲固定在上模板上, 同步下行</p> <p>2) 精整时, 两下模冲定位在制动块上。芯棒固定不动</p> <p>3) 脱模时, 两下模冲向上顶出 (由斜楔-滑块机构来实现)</p>		<p>全精整。带内、外台肩的烧结件</p>
<p>1) 由上、下模冲、芯棒、阴模组成。芯棒随阴模同步运动</p> <p>2) 脱模时, 下模冲不动, 拉下阴模, 脱出精整件</p>		<p>全精整。两端带内台肩的烧结件</p>
<p>1) 上模冲与芯棒成一体; 下由假芯棒 (浮动杆) 导向</p> <p>2) 精整时, 上模冲以较大压力压制, 整出孔径的导向口</p> <p>3) 脱模时, 上模冲回行, 下模冲将烧结件顶出</p>		<p>整形。带导向口的, 或端面带齿形的烧结件</p>

3 送料机构

3.1 装料机构 (料斗)

装料机构是接受成堆产品, 并逐件地把它们按一定的空间方位送出的机构。料斗式上料在大量、大批生产中用得很多, 但要求产品重量小、尺寸小和形状较简单。

料斗式上料装置的主要任务在于正确地解决产品的定向和生产率问题, 保证按需要供给机床以足够数量的零件。

(1) 扇式料斗

具有扇形摆动式取料机构的槽式料斗应用较多, 常用于带台阶件或轴套类零件。其结构如图 26.5-1 所示。

该结构主要组成部分有料斗 2、摆动扇板 1

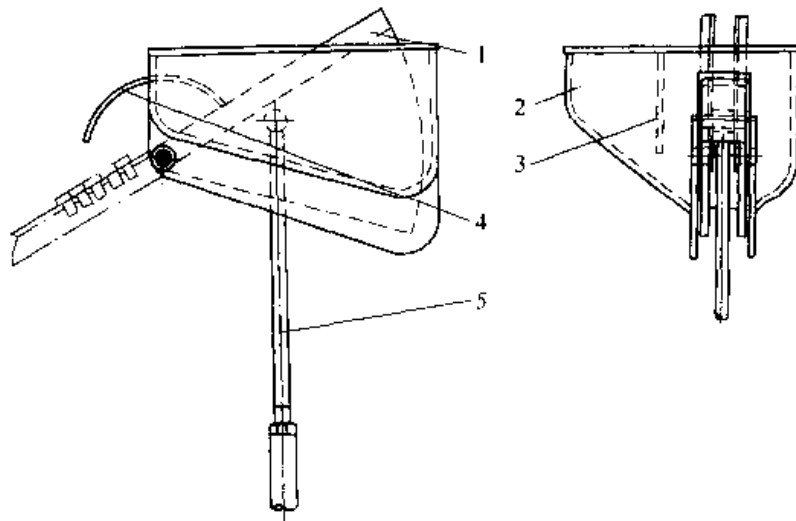


图 26.5-1 扇式料斗

1—摆动扇板 2—料斗 3—隔板 4—半圆挡板 5—连杆

及半圆挡板 4 等零件。扇板由两块侧板和中间的夹条所组成，由连杆 5 连接在驱动装置上，被带动绕轴摆动。

当摆动扇板向下后，又缓慢上升时，斗里产品落入其槽内，零件台阶挂在两侧板间。当它摆动到上方时，零件靠自重滑下，落入送料槽中。实践表明，零件落入槽中的过程，最好是在扇板缓慢上升时进行。因此，希望扇板升起时速度较小，而降下时速度较大。若零件重量轻，为了更好地使零件滑入送料槽中，最好当扇板升到上方时产生振动，用凸轮机构即可实现。为了避免扇板侧面磨损太快，最好在其表面镶上用合金钢或表面镀铬的结构钢作成可更换的板条。

为了预防那些未落入槽内的过剩零件妨碍已定好向的零件下滑，同时消除由于料斗壁与扇板间的角度变化所引起零件楔压现象，料斗上装有半圆挡板，起剔除作用。如图 26.5-2 所示的剔除器，半圆挡板一端装在扇形板上，另一端伸出料斗前壁的窗口。

此料斗的装料空间形状有对称的和不对称的两种。对称式料斗中零件对扇板压力较大，处于扇板上的零件比在不对称的料斗中堆得高，因而使扇板的驱动条件恶化。在不对称的料斗中，因装有隔板 3，故能阻挡大量零件从装料区同时进入工作区，从而降低零件堆放高度，使扇板驱动变得较平稳。

扇式料斗的生产率通常在 120~130 件/min 以下。因为扇板往返次数过多，会加剧零件的扰

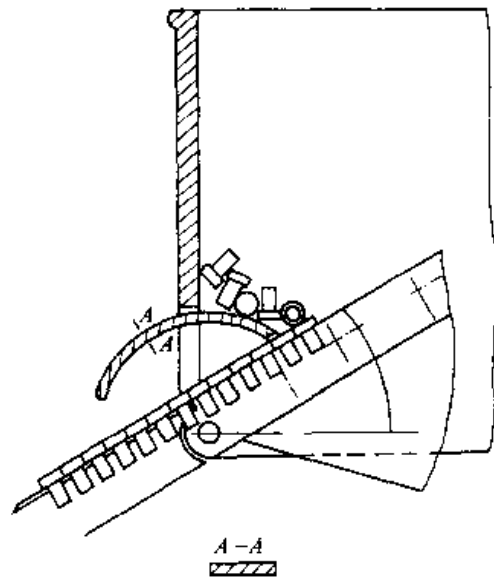


图 26.5-2 剔除器

动，损坏表面或在工作中发生剧烈冲击，甚至使零件从料斗中跳出，而不能夹在槽中，故生产率不易提高。

(2) 滑块式料斗

滑块式料斗的作用基本与扇式相同，只是取料机件改为往复式滑块。如图 26.5-3 所示，零件倒入料斗 1 中，由凸轮、曲柄或摇杆机构驱动的滑块 3 将零件送往料槽 2。为了剔除定向不正确的零件，在出料口处常设有滚轮式剔除器（见图 26.5-2）。

(3) 管式料斗

管式料斗应用较广，因其结构简单，易于重新调整，以适应另一种零件，即使零件充满料

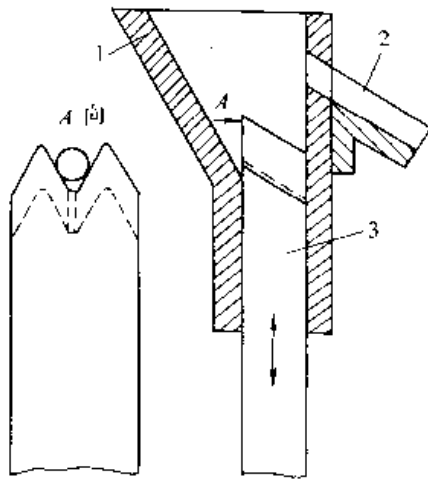


图 26.5-3 滑块式料斗

1—料斗 2—料槽 3—滑块

斗，也无碍料斗工作，因而不需要剔除器。

管式料斗的种类很多，按其运动方式可分为旋转的、往复的和复杂运动的。运动件可能是管子，也可能是料斗。如图 26.5-4 和图 26.5-5 所示为用管或斗作往复运动的料斗。

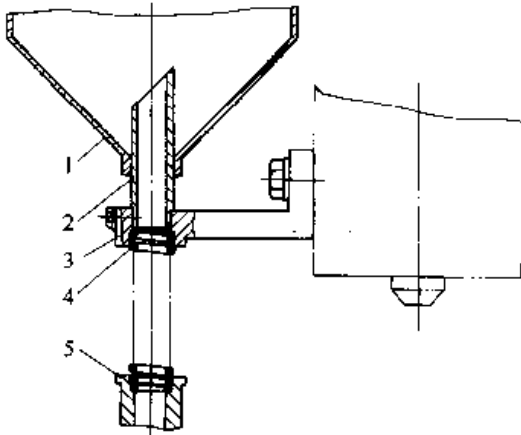


图 26.5-4 管式料斗

1—料斗 2—料管 3—托脚 4—压簧 5—接头

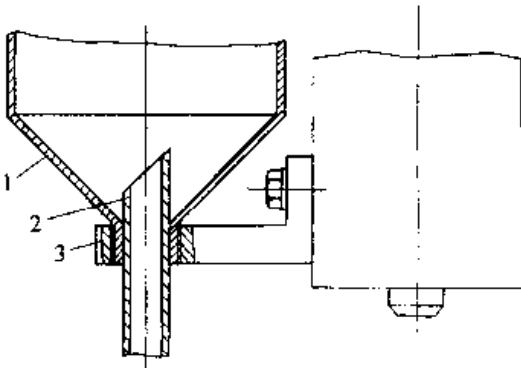


图 26.5-5 管式料斗

1—料斗 2—料管 3—托脚

当管子通过零件时，即有部分零件落入管中，还可起搅动作用。设计管式料斗时，需要确定最适宜的外壳底面倾斜角、管子口径和受料锥形面的进口角度。

为了使零件能流向管子，外壳与水平面所成的角度应大大超过摩擦自锁角。一般情况下，选择夹角以 $40^\circ \sim 45^\circ$ 为宜。

管孔径对生产有很大的影响。扩大管孔可改善零件落下的条件，因为零件以孔边为支点借自重而翻入孔内的力臂可以增大。故管孔径应尽可能选大些，但它受到两个条件的限制，一是零件不应转动到可能卡住的状态，二是不允许两个零件同时进入管中。

要满足第一个条件，就必须保证零件转动后，其纵向剖面的对角线 AB 与垂直于管壁的水平线的夹角 β 大于摩擦自锁角（见图 26.5-6）。即

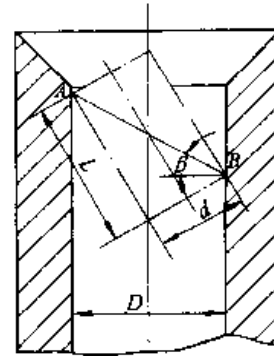


图 26.5-6 防自锁条件的分析示意图

$$\beta > \alpha$$

式中 β —— 夹角；

α —— 摩擦自锁角，约为 $\arctan(0.15 \sim 0.20) = 8^\circ 30' \sim 11^\circ 30'$ 。

要满足第二个条件，使管孔径为零件外径的 1.8~1.9 倍为宜，即

$$D = (1.8 \sim 1.9)d$$

式中 D —— 管子孔径；

d —— 零件外径。

受料锥形面的进口角通常取 $30^\circ \sim 45^\circ$ 即可。

(4) 振动式料斗

振动式料斗如图 26.5-7 所示。它仍属于连续供给零件的料斗，有两部分组成，一是带螺旋滑道 4 的料斗 3，二是弹簧片 2 和电磁铁组成的振动器。

1) 工作原理 如图 26.5-8 所示，零件在升

角 α 的滑道 4 上，弹簧片 2 与垂直面成斜角 β 。

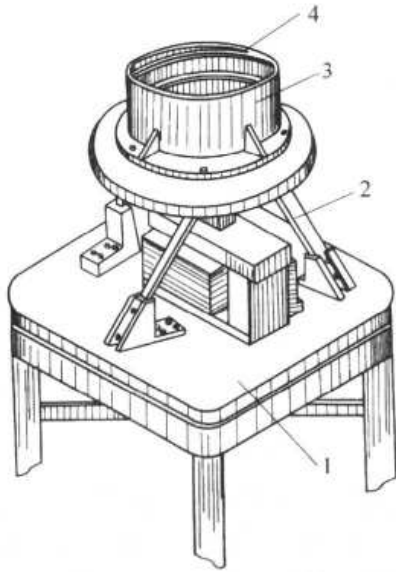


图 26.5-7 振动式料斗

1—台面 2—弹簧片 3—料斗 4—滑道

交流电经晒整流器 1 半波整流后，通往电磁铁 3 的线圈，于是滑道上的衔铁在 t_H 时间内被吸引，在 t_B 时间内依靠弹簧力退回。依此断续振动滑道，就使得零件自低而高的向前移动。电磁铁吸力应大于弹簧力，应可调整，以适应弹簧力。

振动式料斗通常为圆斗形的，使结构紧凑。

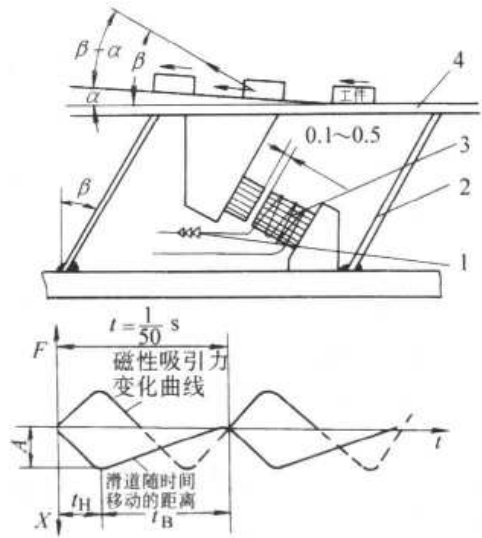


图 26.5-8 振动式料斗工作原理图

1—晒整流器 2—弹簧片 3—电磁铁 4—滑道
圆斗是沿切线方向振动，因而振动时其中心不动，外圆速度最高，促使零件沿料斗边缘螺旋上升。实际上零件爬行过程受零件的重量、滑道的升角 α 、弹簧片的斜角 β 、振动频率和振幅等影响。要得到最大的零件移动速度，必须合理地选择结构和工作参数。

2) 零件的定向方法 当零件沿滑道上升时，必须根据零件的形状和尺寸，采取措施，使零件定向。图 26.5-9 所示为零件定向示例。

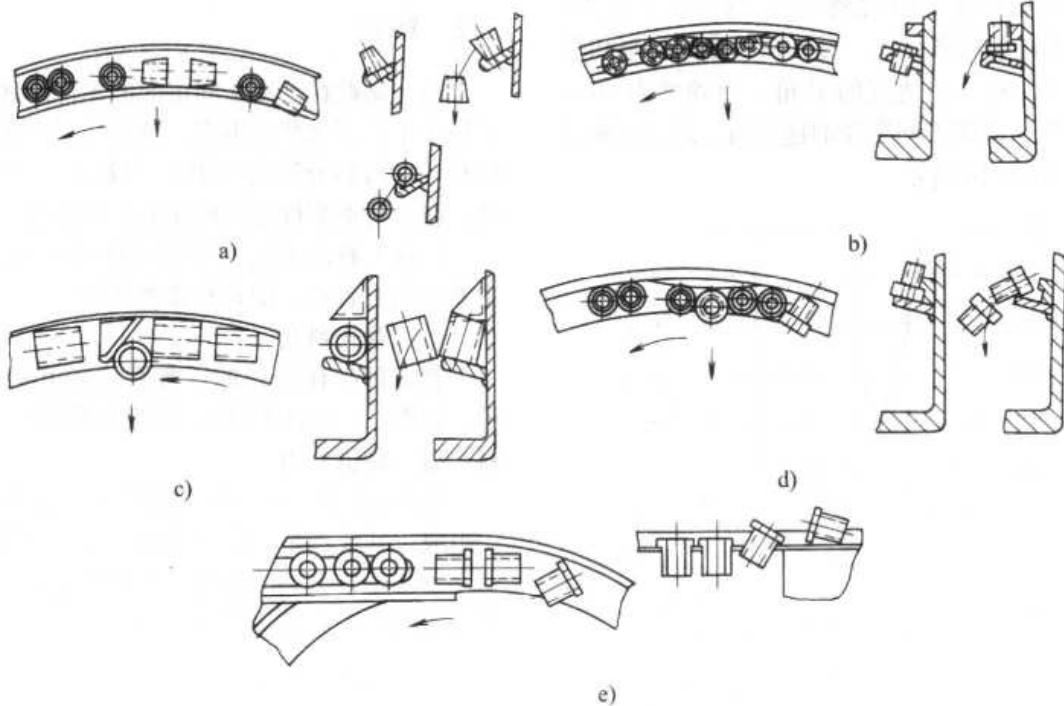


图 26.5-9 零件定向示例

图 26.5-9a 中, 一小段滑道做成带有凸起棱边的倾斜面, 因而只有外形为圆锥面件的大头向下才可以通过, 小头向下和横卧的就会翻落于料斗中, 因其重心已处于支承面之外。

图 26.5-9b 中, 只有台阶向上的零件可以通过, 而横卧的和台阶向下的件, 则翻落于料斗中。

图 26.5-9c 中, 只有横卧的套或柱类零件能通过, 立放的则被凸块推下落于料斗中。

图 26.5-9d 中, 只有台阶向下的零件才能通过。

图 26.5-9e 中, 带台阶的较长零件, 小头向下悬挂前进。

3) 主要参数选择 振动式料斗的生产率、所需功率和工作可靠性, 在很大程度上决定于对参数的选择。

①振动频率 振动频率一般采用两种, 一是直通交流电于电磁铁线圈中, 则频率为 100 Hz; 另是交流电经整流器后再通入线圈中, 则频率为 50 Hz。频率高则噪声大, 但在同一移动速度下, 零件不易脱出滑道; 频率低则反之。根据生产实践, 当频率为 50~100 Hz 时, 小零件上料情况良好。

②滑道振动方向的水平倾斜角 β β 过小, 则零件不能产生“瞬时腾空”; 反之, β 过大, 则腾空前进的距离缩短。可见在一定的频率和移动速度下, 有一个适宜的 β 角。当频率为 50~100 Hz 时, 适应不同需要的速度值、最适宜的 β 角如图 26.5-10 所示。

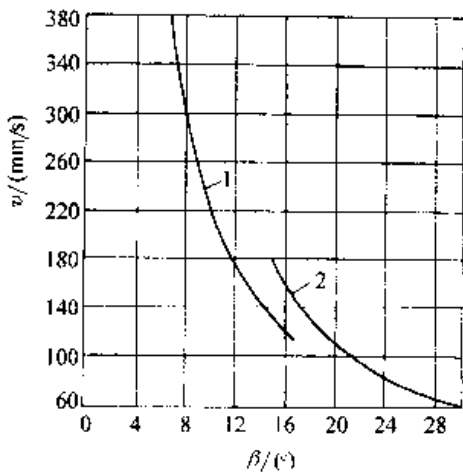


图 26.5-10 适宜 β 角与频率和速度 v 的关系
1—用于频率为 100 赫兹 2—用于频率为 50 赫兹

③滑道螺旋升角 α α 必须小于 β , 因为 α 接近于 β , 则不利于“腾空”, 当其接近到某种程度时, 零件将停止在料槽上移动, 一般取 $\alpha = 1^\circ 30'$ 。

④滑道间距 t t 应不允许有两个重迭零件通过。可按下式决定:

$$t = 1.6h + s$$

式中 h ——零件的直径或长度;

s ——滑道厚度。

⑤弹簧的选择 使振动系统的自振频率与电磁振动器的频率接近, 以获得较大的振幅, 而动力消耗小。自振频率与振动系统的质量和弹簧刚度有关。

4) 特点和应用范围

- ①结构简单, 无机械传动装置, 制造成本低。
- ②经久耐用, 因无剧烈运动, 零件和摩擦表面不需润滑, 易于维护保养, 寿命长。
- ③工作平稳, 零件非硬性强迫前进, 不会产生零件挤塞, 或损坏机构等。可用于表面精度要求高的零件。
- ④通用性广, 对中小零件一般都适用。
- ⑤生产率易调节, 改变电压或振幅即可。
- ⑥不能运送表面有油污、水渍的零件, 否则与滑道粘住而不能滑移。
- ⑦噪声较大。但设计和调整合理时, 不使衔铁与电磁铁碰撞, 可减少噪声。

3.2 料仓

料仓是贮存已在空间定向的零件的地方。由于料斗生产率非严格不变, 因此当料斗生产率增高时, 可由料仓贮存零件; 当料斗生产率减低时, 料仓再把零件送到机床的工作位置。

料仓上料的方法, 可靠零件的自重或外力。主要型式有管式、槽式和摩擦式等。

(1) 管式料仓

管式料仓有立式的、弯管式的和卧式等几种。如图 26.5-11 所示, 前两种靠零件自重送料, 后一种借外力。

图 26.5-11a 所示为可调节式。由软管和接头组成。其优点是装卸较方便, 且可调节长短; 但不适用于带尖刺的零件。此种料仓用于端部带倒棱或圆头的零件。当 $d \leq 25 \text{ mm}$, $L \leq 100 \text{ mm}$ 时, $\frac{d}{L}$ 约为 0.12~1.0 为宜。

图 26.5-11b 所示为不可调节式。适用范围基本上与图 26.5-11a 相同。此外, 还可用于 $d <$

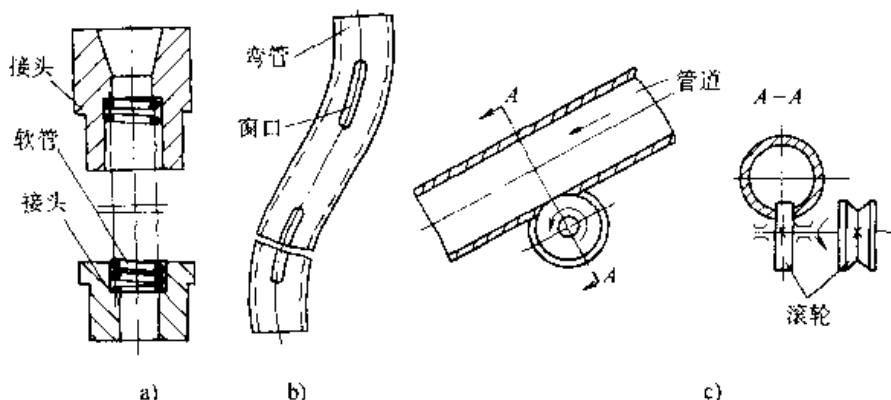


图 26.5-11 管式料仓

a) 可调节式 b) 不可调节式 c) 装有滚轮的管式料仓

50 mm, 厚度 $b < 10$ mm 的片状零件。在弯管上常开有 3~8 mm 的窗口, 以备观察零件送落情况和消除故障。当管的斜度不大时, 可装滚轮 (见图 26.5-11c), 便于运送零件。

直管料仓的孔径 d (mm) 可由下式计算:

$$d = d_1 + 0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$$

管长 L (mm) 按下式确定:

$$L \geq 20l$$

式中 d_1 ——零件外径 (mm);

l ——零件长度 (mm)。

弯管式料仓之孔径侧需取决于零件尺寸, 使其能顺利下落。

(2) 槽式料仓

槽式料仓按其截面形状有很多种, 其应用取决于零件的形状, 定向方法及移动零件的方法 (滑动或滚动), 最常用的如图 26.5-12 所示。

图 26.5-12a、b 所示为闭式矩形料仓, 四周有边。用于槽垂直或倾斜角大于 10° 或槽太长有把零件向上顶出危险的场合。

图 26.5-12c、d 所示为开式矩形料仓, 适用条件同前。

图 26.5-12e 所示的料仓适用于带台阶的零件, 它主要是垂直用的。

图 26.5-12f 所示的 V 形料仓。用于按轴线定向和输送的零件。它常用标准角铁制造。

图 26.5-12g 所示为开笼式料仓。用于圆环和片状等类零件。其位置主要是直立的。

图 26.5-12h 所示为滚子式料仓。其特点比前述各种滑动式槽输送零件省力, 因而槽的倾斜度可小些, 且可节省高度方向所占的空间位置。

图 26.5-12i 所示为双轨式料仓, 用于带外

台阶的零件。

设计图 26.5-12a、b、c、d 所示的槽式料仓时, 应正确选择槽的截面形状尺寸、倾斜角和侧板高度。

槽的宽度应比零件长度略大, 即留有间隙。可由下式计算:

$$B = L + A$$

$$A \geq \Delta l + \Delta A + \Delta B$$

式中 B ——槽宽;

L ——零件长度;

A ——间隙;

Δl ——零件长度公差;

ΔA ——最小间隙;

ΔB ——槽宽公差。

从图 26.5-13 中可见, 尺寸 A 的确定需保证零件不被卡住和失去定向, 这两种情况产生于零件能在槽中旋转。零件的转角 φ 随尺寸 A 的增加而加大, 零件的 $\frac{L}{D}$ 的增加, 对角线 C 尺寸也就越接近零件长度, 因而要求尺寸 A 相应减小。选择尺寸 A 时, 应保证零件回转到与槽壁接触时, 对角线 C 与水平线夹角 γ 比摩擦自锁角 α 大些, α 约 $8^\circ \sim 12^\circ$ 左右。

选取最小间隙时, 必须考虑到槽的具体条件, 若可能有灰尘、脏物落入槽中或本身不清洁时, 槽的尺寸可按 IT9~12 级精度制造; 若工作条件较清洁, 则可按 IT8~9 级精度制造。

槽的倾斜角, 在很大程度上决定于其加工质量和零件的表面质量。两者质量较高时, 可取 $5^\circ \sim 7^\circ$, 质量较差时取 $7^\circ \sim 10^\circ$, 如零件表面粗糙时应取 $10^\circ \sim 15^\circ$ 。

开式槽的侧边, 其高度不应小于产品半径。

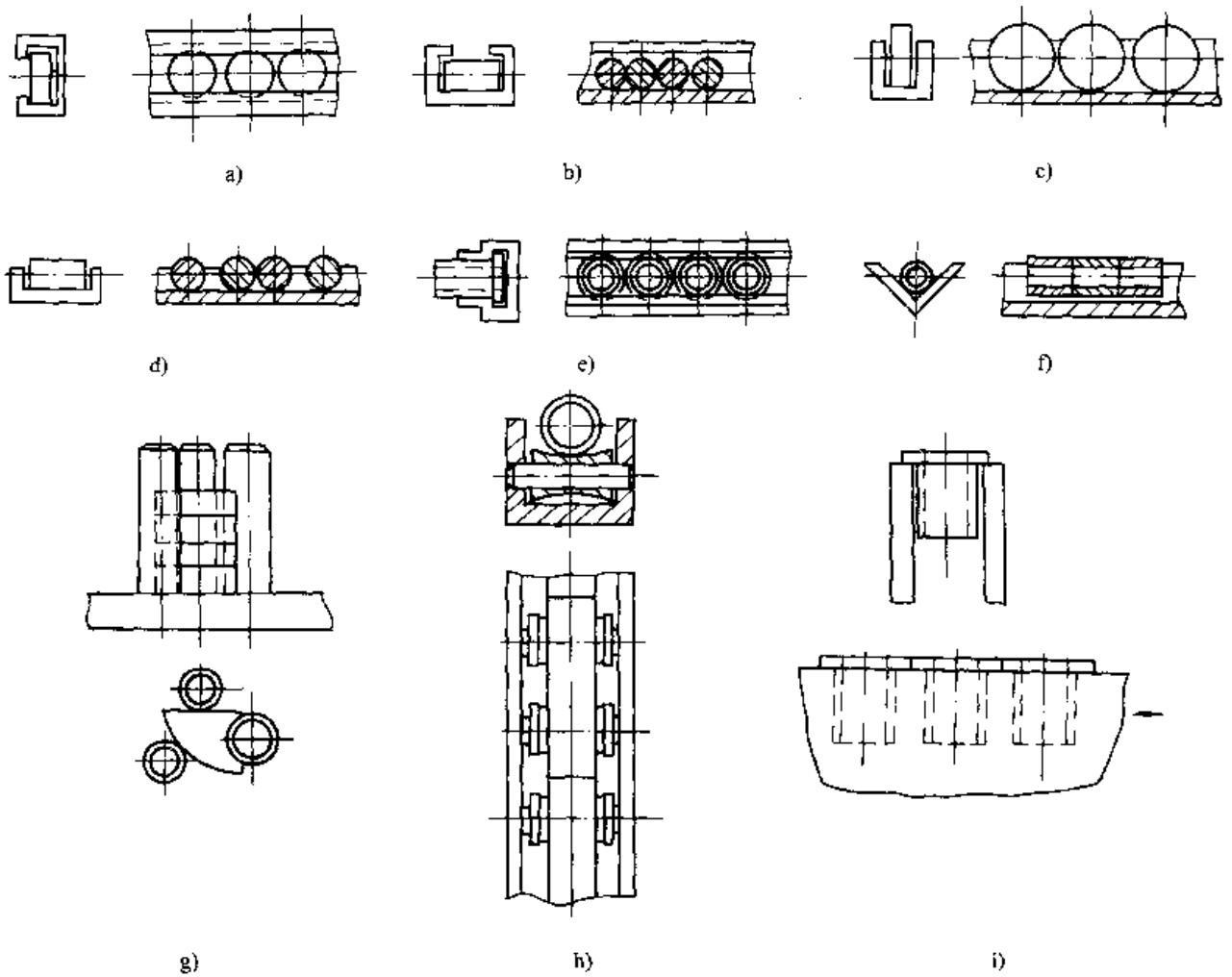


图 26.5-12 槽式料仓

a)、b) 闭式矩形料仓 c)、d) 开式矩形料仓 e) 垂直用的料仓 f) V形料仓
g) 开笼式料仓 h) 滚子式料仓 i) 双轨式料仓

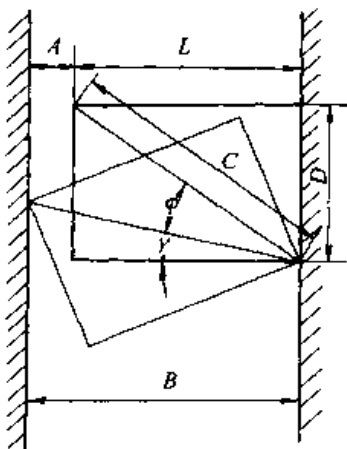


图 26.5-13 防止卡住和失去定向的分析示意图

图 26.5-12e、f、i 所示的槽式料仓，其倾斜角应远超过摩擦自锁角，一般大于 25° 较可靠。

(3) 定向机构

图 26.5-14 所示的定向机构，在硬管中当送进底部在下的杯形零件时用。

零件 3 从导管 1 进入壳体 2，如零件开口在前的情况下进入，会挂在销钉 4 上，由零件自重翻过来，以底部在下的形式落入导管的出口，进入贮料管 5 内。如杯形零件以底部在前的形式进入导管时，由于质心近于底部的关系，落入贮料管 5 内。

图 26.5-15 所示为杯形零件沿横管进入的定向机构。

用以改正零件方位的拨叉 3 以铰链固定在壳体 2 上。当零件 5 以开口在前，从导管 4 进入时，挂在拨叉上，使拨叉发生倾斜，零件翻转过

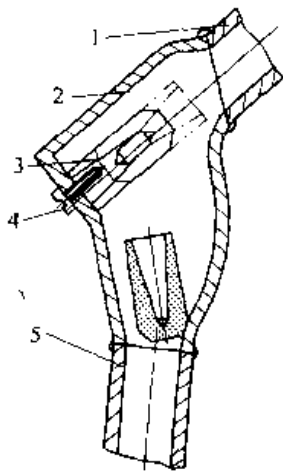


图 26.5-14 定向机构

1—导管 2—壳体 3—零件 4—销钉 5—贮料管
来，以底部在下的形式落入贮料管6内。当零件以正确的方位进入时，即底部在前沿导管进入，也使拨叉顶起，但拨叉不起作用，而以底部在下的形式落入贮料管内。为了防止灰尘进入定向机构，影响正常工作，因此在壳体上部装有盖板加以封闭。

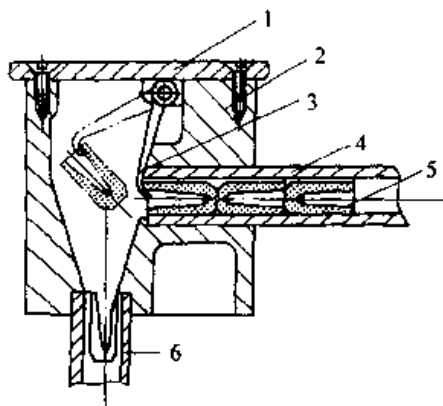


图 26.5-15 定向机构

1—盖 2—壳体 3—拨叉
4—导管 5—零件 6—贮料管

3.3 供料机构

供料机构是从料仓中把压件取走，并每隔一定时间向整形模供给压件的机构。它的工作循环必须与精整工序的工作循环相适应。

(1) 直线往复供料机构

直线往复供给机构，如图 26.5-16 所示。带有滚轮的支柱 1 固定在压力机冲头的正面，供料机构的其余部分均安装在托板 15 上，托板的上平面与阴模的上端面及模板平面相平。

取料时，压力机冲头在整形加压的最下位置，支柱将连杆 4 压下而使之伸直，送料板 14 被迫退回到离阴模最远位置，压脚 11 在压板 6 的斜面作用下反时针旋转一个角度，定位帽 10 向上翘起，这时压件从料仓中滑出，送到定位帽的下面。

送料时，压力机冲头上升，支柱亦随之上升，送料板在拉簧 16 的作用下向前（即阴模方向）送进，当压脚刚离开压板 6 的斜面，在压簧 13 的作用下，压脚顺时针旋转一个角度，由定位帽将压件定位并压紧，使压件随定位帽向阴模型腔送进。当压件正好送到阴模型腔中心时，送料板被限位板 17 阻挡而停止前进。由于压模下半球底面低于阴模上端面，压件进入模腔之后，压脚上的定位帽与压件脱离接触。此时，送料完毕，当压机再次下压时，送料板又退回取料，完成工作循环。

这种供料机构在结构上有以下几个特点：

1) 支柱通过滚轮 2 驱动连杆，减少摩擦力和磨损。

2) 送料板由拉簧力送进，由连杆被压下时强迫退回，以防止拉簧出故障时，送料板不能退回而引起事故。

3) 销子 7、18 起到保险作用，一旦安装拉簧的两个螺钉断裂时，销子起到仍可使送料板退回的作用。

4) 两侧挡板 3、5 起到防护作用，保证连杆运动正常及防止人身事故。

5) 与送料板相接触的平面，均应磨光，配合间隙要防止送料板进退时阻力太大，甚至卡住。

(2) 往复摆动供料机构

往复摆动供料机构，如图 26.5-17 所示。这种机构的送料和拨料驱动力是靠导板和扭簧，实现送料和拨料两部分机构的往复摆动。

导板 1、3 固定在压力机冲头的两个侧面，扇形送料板 4 和拨料器 8 通过定位轴 2、5 安装在模板上。扇形送料板工作部分的下平面、送料基板 12 的上平面、拨料器工作部位的下平面与阴模上端面均在一个平面上。

取料时，压力机冲头回升到上死点，在导板 1 上部斜面作用下，克服扭簧 6 的扭力，迫使扇形送料板反时针旋转，直到其头部接压件部位退

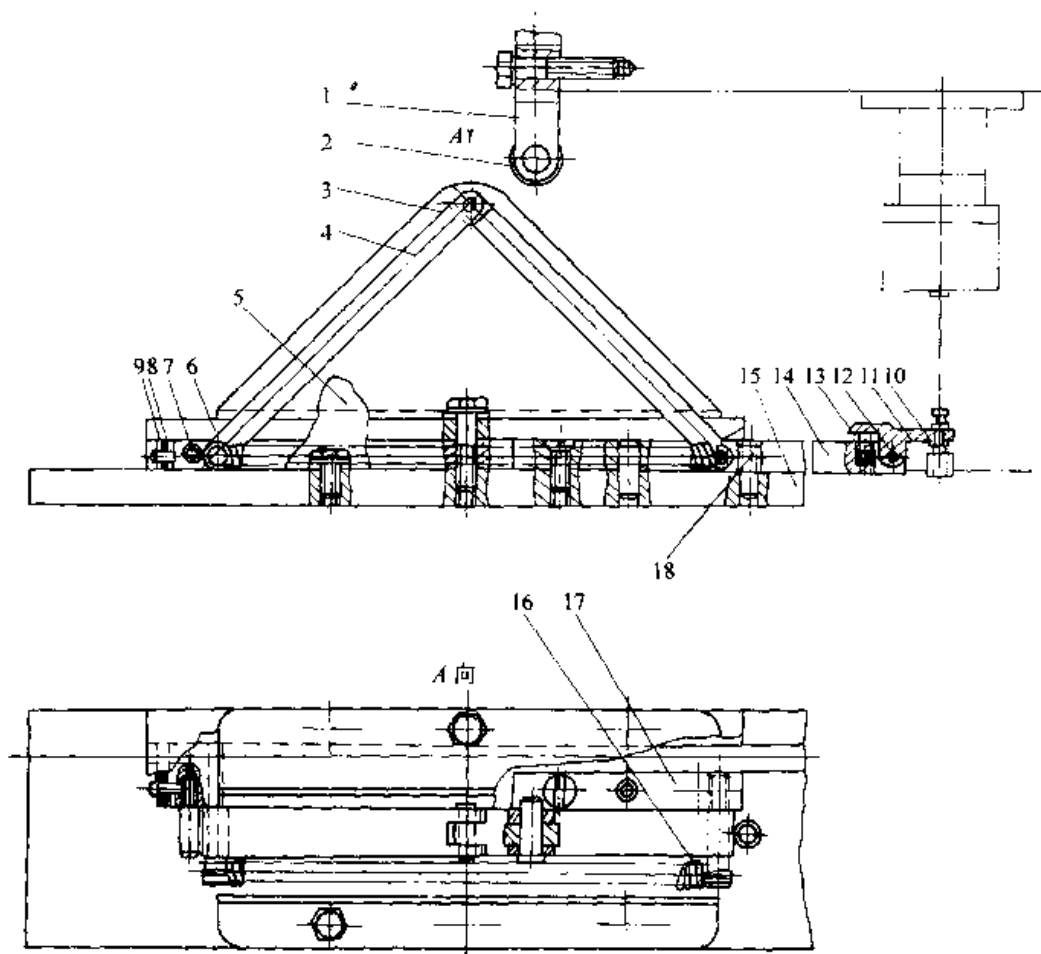


图 26.5-16 直线往复供料机构

1—支柱 2—滚轮 3、5—挡板 4—连杆 6、9—压板 7、12、18—销子 8—毛毡
10—定位帽 11—压脚 13—压簧 14—送料板 15—托板 16—拉簧 17—限位板

过开笼式料仓为止。这时压件从料仓中落到送料基板上，落下的压件就处于被送进的状态。

送料时，压力机冲头下行，导板1亦随之下行，扇形送料板在扭簧力作用下，沿着导板1的上部斜面作顺时针的旋转，将压件按圆弧轨迹送到阴模型腔中，阴模端面相应部位设有小限位板，使压件每次送进位置有准确的定位。压件在上模冲未接触时先送到精整位置，压力机冲头继续下行，送料板不动的情况下，完成压制工步。压力机冲头再上升时，送料板在导板1的作用下，强迫退回取料，完成工作循环。

拨料部分是这样工作的，当加压过程中，压力机冲头下行，导板3亦随之下行，迫使拨料器顺时针旋转，将精整过已脱出阴模的压件拨离型腔。在扇形送料板未到阴模型腔时，拨料器已先离开阴模型腔，并在压下过程中不会回转。当加压完毕后，压力机冲头开始上行，导板3亦随之

上行，拨料器在扭簧7的作用下，沿着导板3的斜面作反时针的旋转，这时压件脱模已经开始，在压件尚未脱至阴模端面时，拨料器先通过阴模型腔，压力机进一步上升，拨料器与导板3的直线部分接触而不再转动，处于拨出已整过形的压件的状态。压力机再一次下行时，导板3的斜面又迫使拨料器顺时针旋转，拨出压件，完成工作循环。

这种结构有以下特点：

- 1) 扭簧送进，导板强迫退离，可免除扭簧出故障时发生事故。
- 2) 送料板和拨料器交替经过阴模型腔。
- 3) 送料板和拨料器均作旋转运动，无需导轨，结构简单。
- 4) 送料板扇形面较长是为了防止送料时，料仓中压件落到送料基板上而不能正常工作。
- 5) 有相对运动处的配合面均需磨光。

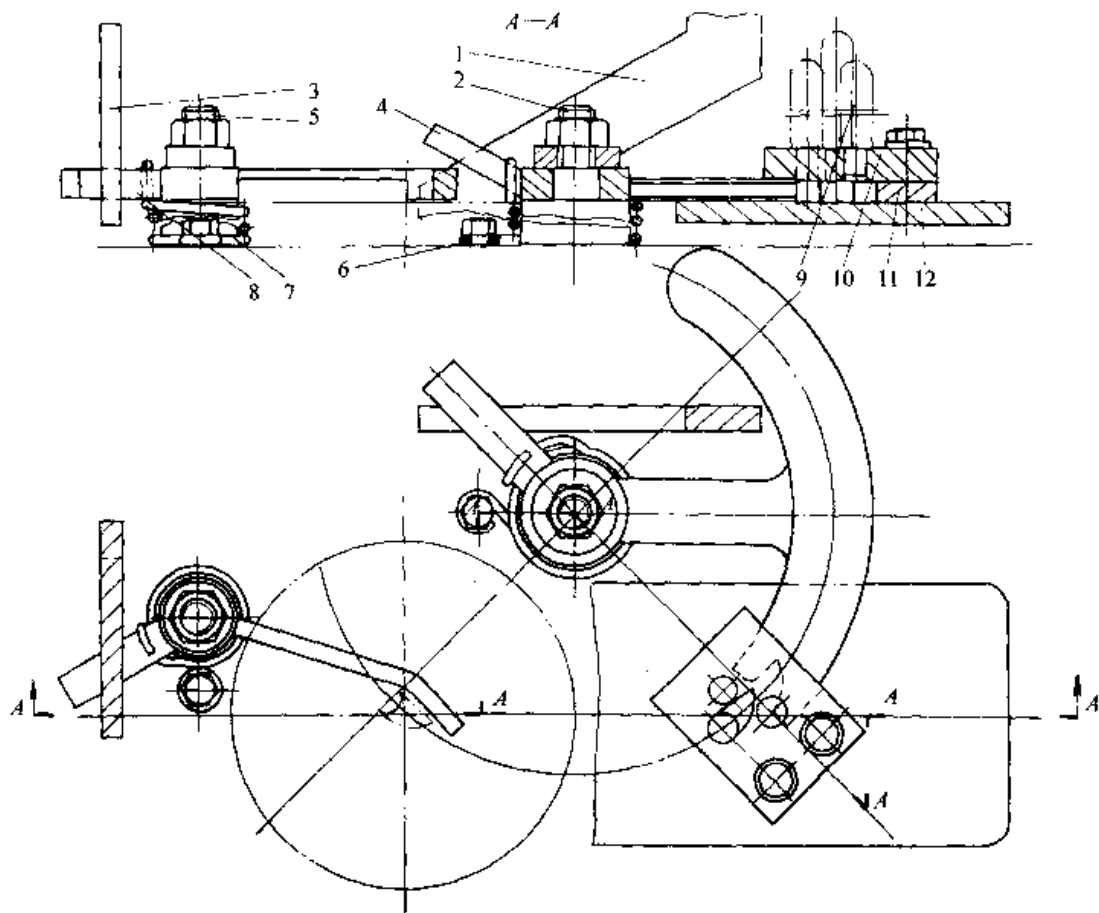


图 26.5-17 往复摆动供料机构

1、3—导板 2、5—定位轴 4—扇形送料板 6—右旋扭簧 7—左旋扭簧
8—拨料器 9—导向杆 10—压板 11—垫块 12—送料基板

(3) 旋转运动供料机构

旋转运动供料机构，如图 26.5-18 所示。

整个系统的运动是靠固定在压力机冲头上的拉杆 17 向上运动，碰块 16 碰到滚轮 20 后，使摇臂 18、19 顺时针摆动，将滑块 1 向左拉，棘爪 4 驱动转盘 9 逆时针转动一个角度，正好定位销 6 弹入转盘的销孔内定位，这个转动角度可通过改变碰块上下固定的位置来调节。这时已落在转盘定位套 14 中的压件顺序送入工作位置，贮存在料仓 8 中的压件逐个落入定位套内，完成取料和送料动作。

压机冲头下行时，碰块离开滚轮，滑块在拉簧 2 作用下后退复位，棘爪滑退到下一个缺口内，滑块被可调节距离的螺钉阻住而限位。这样，压机冲头上下一次，完成了取送料的一个循环。

精整过程分两步，先由芯棒 11 整内孔，芯棒退回时，压件被挡板 5 挡住。第二步是由芯棒 15 串入压件，并迫使压件通过阴模 13 整外径，

芯棒退回时，压件被止回爪 10 所挡，落入接料盒中。

这种结构原理亦可用于成型工序。

(4) 复合运动供料机构

复合运动供料机构，如图 26.5-19 所示。这种机构是侧向取料，正面送料。整个系统的运动是靠联动杆 1 送料，拉簧后退复位。联动杆 1 安装在压机的支架上，由固定在压力机冲头上的导板驱动。供料机构的其余部位安装在送料器底座 4 上，使送料平面与阴模上端面相平。

送料时，压力机冲头上升，联动杆 1 在固定于压力机冲头上的导板斜面驱动下向前（阴模位置）运动，带动送料滑块 2 将压件推向阴模型腔。当压件送到工作位置（即阴模型腔上）时，定位钳 10、11 被第二个准备整形的压件撑开。与此同时，送料滑块 6 在联动杆 3 的带动下，克服拉簧拉力，强制向后退过料仓落料口，压件从料仓中落下，处于准送料状态，完成取料动作。

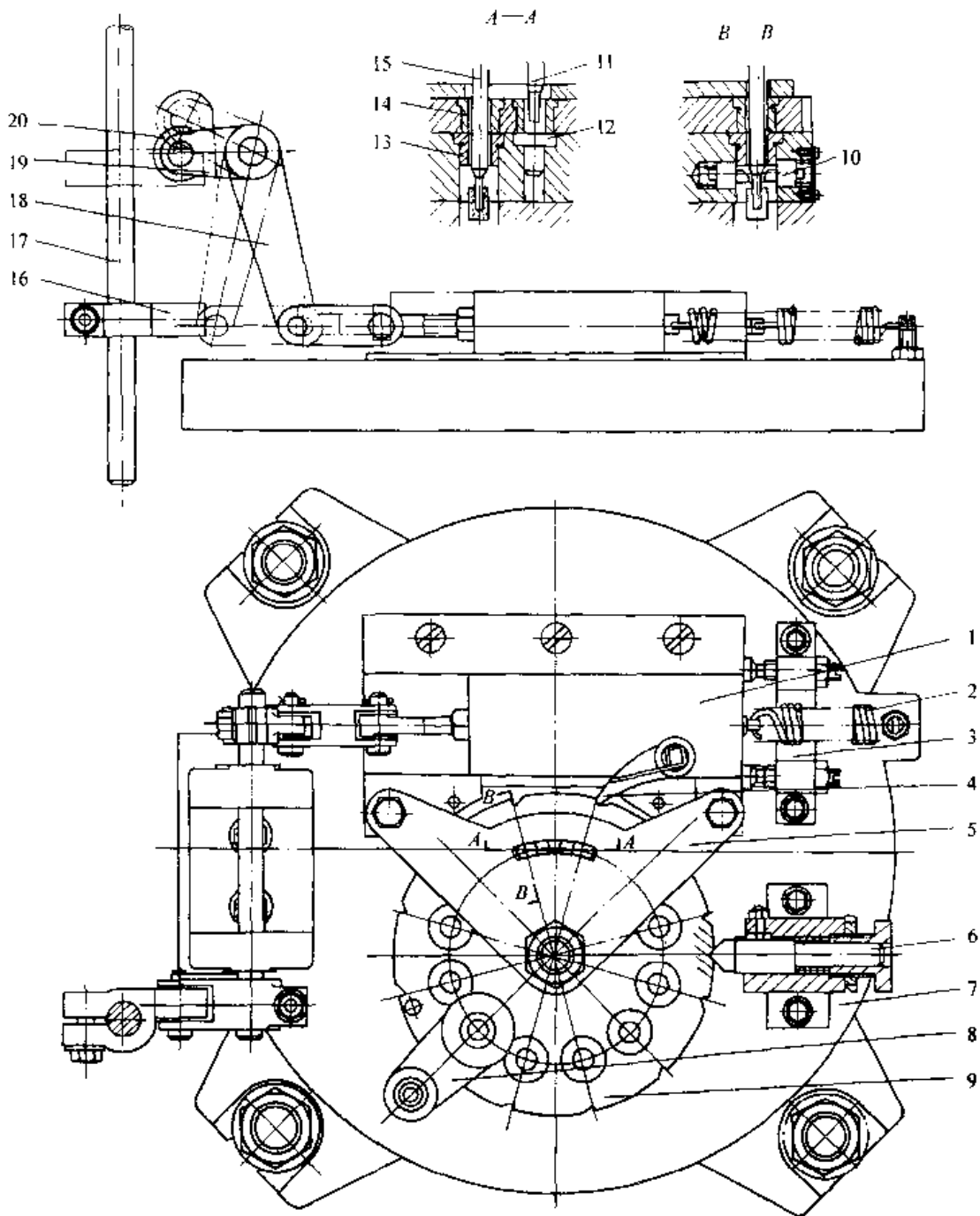


图 26.5-18 旋转运动送料机构

1—滑块 2—拉簧 3—弹簧 4—棘爪 5—挡板 6—定位销 7—底座 8—料仓 9—转盘 10—止回爪
11、15—芯棒 12—压垫 13—阴模 14—定位套 16—碰块 17—拉杆 18、19—摇臂 20—滚轮

压力机冲头下行时，送料滑块 6 在拉簧作用下向前送料，送料滑块 2 在联动杆 3 带动下向后退，联动杆 1 沿导板斜面向后退，刚从料仓中落下的压件被送进与之垂直的滑道中。随着送料滑块 2 的退回，定位钳在弹簧作用下合拢，将工作位置的压件夹紧定位，同时迫使第二个压件略为后退。当压力机再上升时，又重复原来的动作，完成工作循环。

这种结构有以下特点：

- 1) 料仓在侧向，简化正面送料机构。
- 2) 当送料机构发生故障时（如拉簧断），循环就停止，不再向工作位置送料，不致发生事故。
- 3) 定位钳的距离可调节。
- 4) 送料滑块 2、6 均由套管在其横槽中定位，以防止滑块向上翘起。

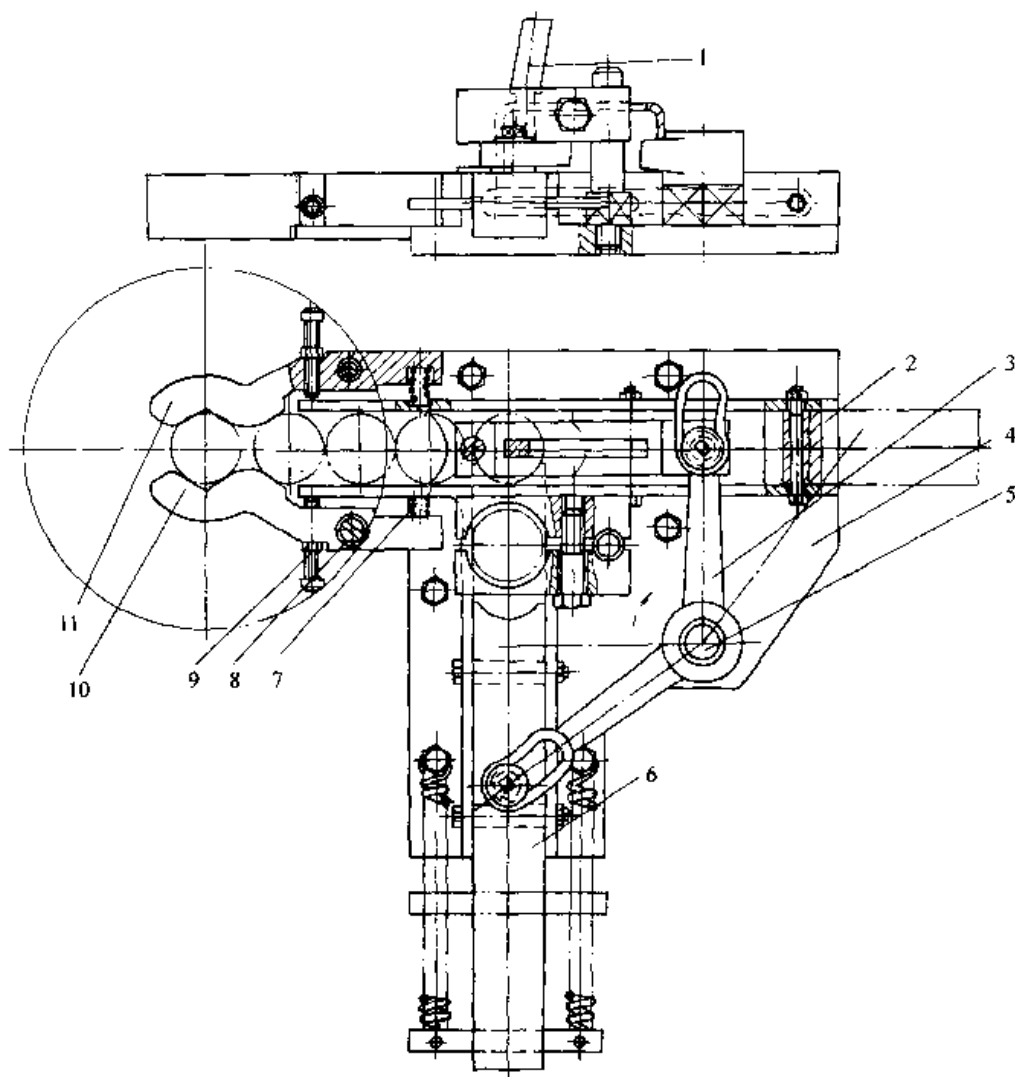


图 26.5-19 复合运动送料机构

1、3—联动杆 2、6—送料滑块 4—送料器底座 5、8—轴 7—弹簧 9—螺钉 10、11—定位钳

4 精整模具结构示例

4.1 通过式精整模具

图 26.5-20 所示为轴套拉杆式半自动通过式精整模，阴模 5 固定在模柄 15 上。芯棒 14 固定在模座底板 13 上。上、下模冲只起顶脱作用，即成为脱模用的顶套 3 和托盘 6。精整时，压件放在芯棒上定位，靠阴模精整余量将压件压入芯棒，托盘随压机冲头和拉杆下行，落到压盘 10 后，阴模继续下行，完成径向精整。脱模时，压件被阴模带上，当顶杆 16 被横梁挡住后，顶套将压件脱出阴模；或压件留在芯棒上，拉杆 1 上行时顶动顶杆 7 和托盘，将压件脱出芯棒。该结构要求压件外径精整余量大于内径的精整余量，

即适用于外箍内的精整方式。该结构较简单，送料时压件有定位，但不便于自动送料。

图 26.5-21 所示为轴套全自动通过式精整模具结构图，适用于可倾式压力机（冲床）上。

该结构上部只有一根带台阶的芯棒 5 固定在模座 2 上。下部阴模系统分三层：上层由定位套 7、导向板 8 等组成，为轴套起定位导向作用；中部是阴模 13 固定在阴模座 15 上，起精整作用；下部由止回板 16、弹簧 17 等组成，起脱模作用。

精整时，压力机上滑块下行，拉杆 6 的斜面碰到滚轮 9 后，使导向板 8 向两侧移动（在滚柱 18 导轨中运动，阻力小），轴套由芯棒下端锥面进入阴模精整，当其通过阴模出口后，打开止回板 16 向下，压力机回升时，止回板在弹簧 17 作用下合拢，使轴套脱出芯棒。

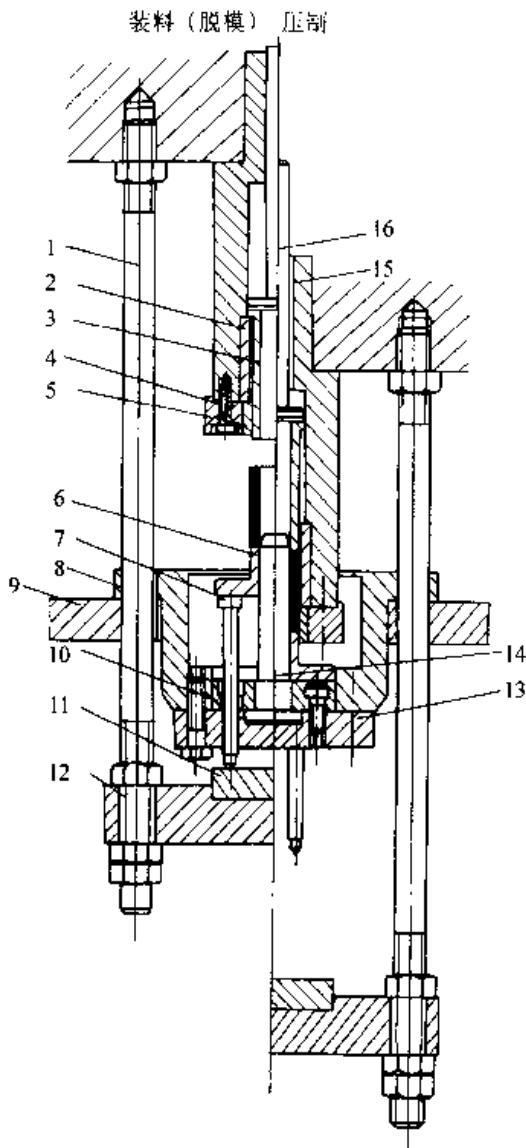


图 26.5-20 轴套拉杆式半自动通过式精整模

- 1—拉杆 2—限位套 3—顶套 4—模套
- 5—阴模 6—托盘 7、16—顶杆 8—模座
- 9—模板 10—压盖 11—垫块 12—横梁
- 13—底板 14—芯棒 15—模柄 16—顶杆

复位时，芯棒回至上极限，送料器向前将轴套送到待精整位置。

4.2 全精整式精整模具

(1) 基本形状类压件

1) 带孔类压件 图 26.5-22 所示为轴套全精整自动模。阴模 15 通过阴模板 14 固定在压力机工作台上。芯棒 11 插在模柄 4 的“T”形槽内，由固定在接套 5 上的上模冲 10 内孔定位。

接套由销钉 6 挂在模柄上。下模冲 17 插在下模座 20 的“T”形槽内，由阴模孔定位。精整时，连接在模柄上的芯棒随压机冲头 3 下行串入压件孔内，固定在接套上的上模冲，由于压件未压入阴模孔而被阻挡下行，接套相对于模柄向上退一段空程，接套上端面碰到模柄法兰后才强迫上模冲将压件压入阴模，这时芯棒已先串进压件内孔。当下模座碰到下模板 18 后，压件高度方向受压，实现全精整。脱模时，压力机冲头回升，顶出机构将下模冲向上顶，若压件留在阴模内，则下模冲将其顶出；若压件被芯棒带上，则上部打杆通过上横梁 1、顶杆 2 和销钉，阻挡接套上行，而芯棒随模柄继续上行，上模冲相对于芯棒向下顶出压件。

图 26.5-23 所示为下部无顶出机构的轴套全精整自动模。阴模 11 和芯棒 8 固定在模柄 2 上。上模冲 9 可上下活动地连接在上部。下模冲 14 固定在压座 16 上，由定位套 13 定位。整形时，阴模和芯棒随压力机冲头同步压向压件，内外径开始整形，上模冲被压件顶住，相对于阴模和芯棒向上退，上模冲被接套 6 挡住后，压件高度亦受压缩，实现全整形。定位套是为压件送料和下模冲定位用，由弹簧 17 托起，导套 15 限位，浮动是为了阴模可串入下模冲。脱模时，压件被阴模和芯棒带上，当上部顶杆 4 被挡后，随着阴模和芯棒继续上升，上模冲将压件脱出。定位套由弹簧托起复位。

2) 有一个内(外)台肩类压件 图 26.5-24 所示为带外台阶轴套全精整自动模。其结构原理与图 26.5-23 相似。上阴模 10、12 可上下活动地连接在模柄 2 上。芯棒 8 插在模柄的“T”形槽内，由上模冲 9 定位。上模冲连接在上模座 3 上，可在上阴模内上下活动。下阴模 14 由弹簧托起，导套 15 限位。下模冲 13 变成下阴模内的镶套。精整时，压件送入下阴模内，芯棒随模柄串入压件，开始由于压件外径的精整余量和下阴模的弹簧力的阻挡，上阴模被阻挡，它相对于接套 6 在空程中向上移动，当上阴模座 5 碰到压盖 1 后，通过压件克服弹簧力将下阴模压下，碰到压垫 18 后，上阴模压入压件，整内外径。上模冲先随上阴模座一起下行，碰到压件上端面后，上模冲受阻挡，上阴模继续下行，上

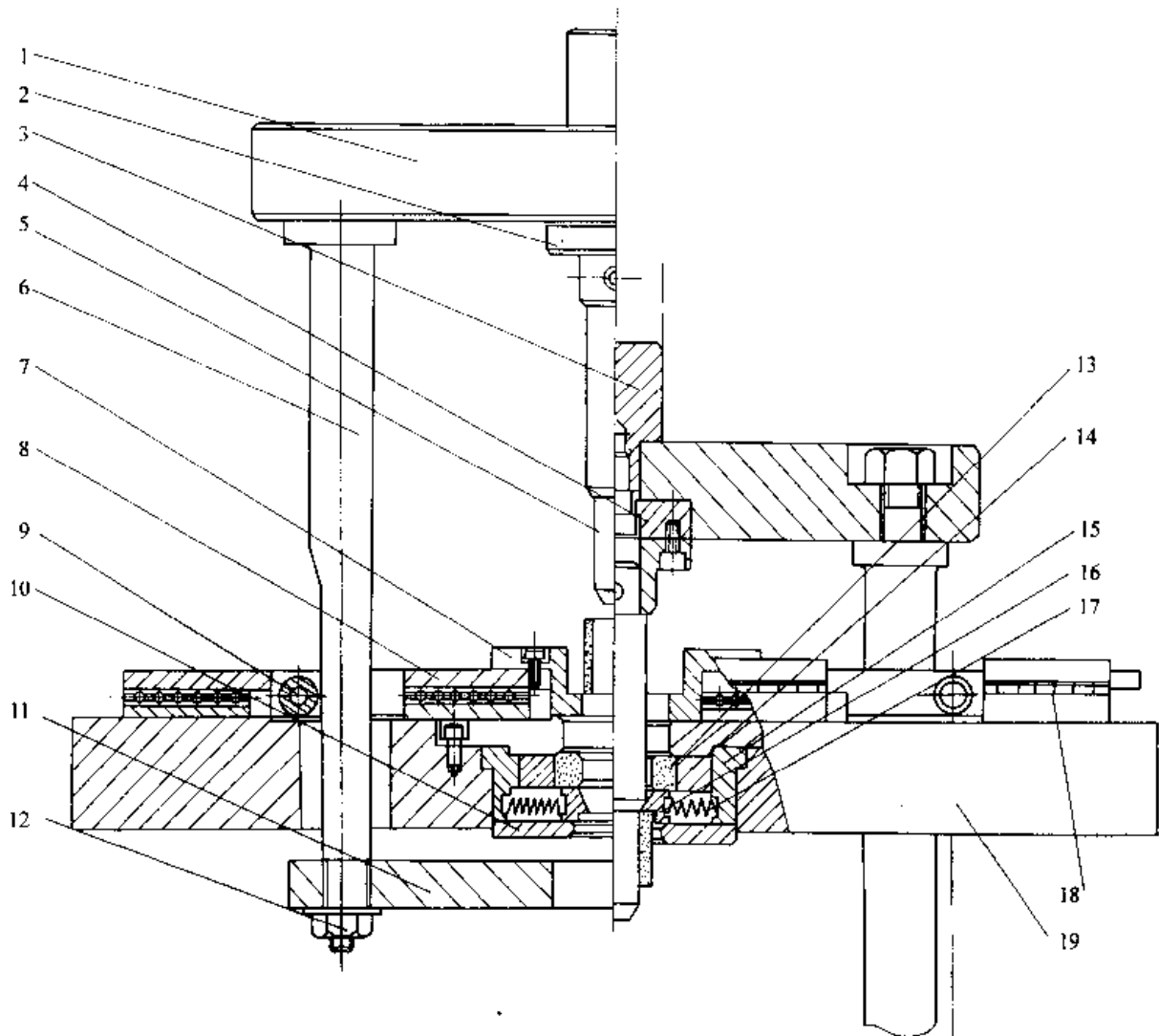


图 26.5-21 轴套全自动通过式精整模具图

- 1—模板 2—模座 3—连接套 4—垫块 5—芯棒 6—拉杆 7—定位套 8—导向板
9—滚轮 10—阴模垫块 11—下托板 12—螺母 13—阴模 14—护套 15—阴模座
16—止回板 17—弹簧 18—滚柱 19—阴模板

模冲相对于上阴模向上移动，当上模座与模柄相碰后，迫使上模冲下压一小段距离，压件高度受压，实现全精整。橡胶垫 19 是为了防止调整模具时压力机过载和整形时上下阴模之间有压紧力。脱模时，压件随上阴模和芯棒上行，顶杆 4 碰到上横梁后，通过挡块 7 阻止上模座上行，也就是上模冲阻止压件上行，这时芯棒相对于压件向上脱模，上阴模开始与压件一起不动，接套继续上行走完空程后，拉着上阴模座上行，上模冲仍不动，则压件在脱出芯棒的同时，也脱出上阴模。

图 26.5-25 所示是汽车发动机水泵带轮的全

精整模具，适合于在带上、下缸的压力机上使用。

此结构中下模冲 (II) 12 通过接杆 24 由弹簧 19 托起，调节螺母 17 与下模板底面接触，使其调节到待精整位置，上模冲 5 和芯棒 4 组合固定在上模板 1 上。精整时，压件进入阴模 6 的口部，上模冲及芯棒下行，使压件进入阴模后加压，在精整力作用下，下模冲 (II) 克服弹簧力下移，到下压垫 14 止，压件全精整完毕。脱模时，上模冲回升，下缸下行，连接在下缸并帽 21 上拉杆 11 将阴模托板 8 向下拉，使压件脱出阴模型腔。复位时，下缸上升，下模冲 (II) 在弹簧力作用下，复位到待精整位置。

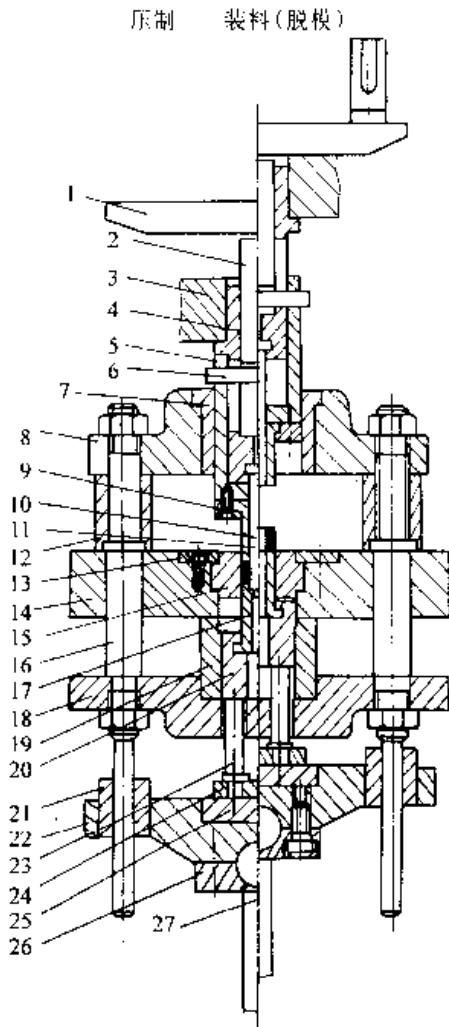


图 26.5-22 轴套全精整自动模

- 1、22—横梁 2、33—顶杆 3—压机冲头
- 4—模柄 5—接套 6—销钉 7、21—导套
- 8—上模板 9、13、26—压盖 10—上模冲
- 11—芯棒 12、19—隔套 14—阴模板
- 15—阴模 16—螺柱 17—下模冲 18—下模板
- 20—下模座 24—底盘 25—压垫 27—顶柱

3) 内、外带台肩类压件 图 26.5-26 所示为内、外带台肩类压件全精整模，适合于在增设辅助气缸的粉末成形压力机上使用。

此结构中，阴模 14 带内台肩，芯棒 16 下部与气缸的活塞杆 23 相连。精整时，上模冲 7 将压件压入阴模，上缸加压进行全精整。脱模时，下缸下行，连接在下缸并帽 13 上。拉杆 19 拉下阴模托板 18，使压件脱出阴模型腔。下气缸上端进气，通过活塞杆拉下芯棒，使芯棒完全脱出。

此结构采用芯棒后脱，可改善芯棒受力，有利于延长芯棒使用寿命。

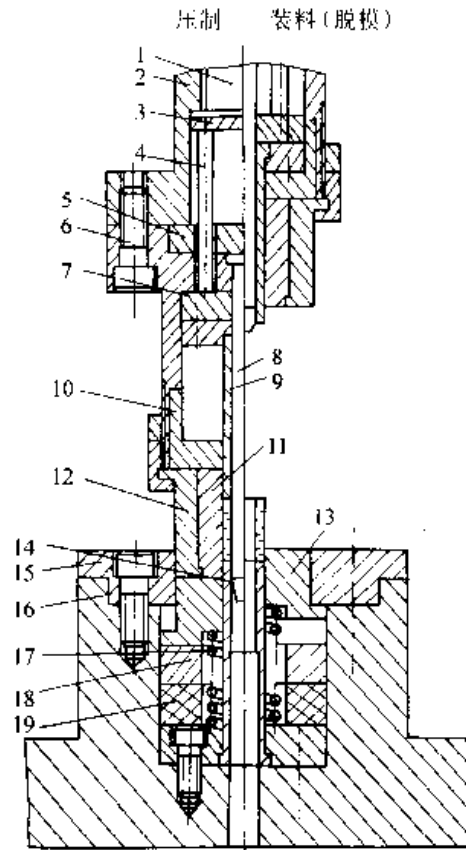


图 26.5-23 轴套全精整自动模

- 1—顶柱 2—模柄 3—顶盘 4—顶杆 5、7、10、18—压垫 6—接套 8—芯棒 9—上模冲
- 11—阴模 12—模套 13—定位套 14—下模冲
- 15—导套 16—压座 17—弹簧 19—橡胶垫

图 26.5-27 所示汽车发动机曲轴带轮全精整模具图。用于机械式粉末冶金精整压力机上，配以精整模架。

上模冲 (I) 9、上模冲 (II) 7 及小芯棒 10 组合固定在上模垫 2 上。

精整时，上模冲进入阴模 11 加压后，下模冲 (I) 32 受压定位在下模 (I) 板 18 上，并通过滑块 21 与调节螺母 24 (上有硬垫块 23)、螺杆座 43 接触至顶板 25 上，顶板所受力由调节套 26 传递至固定板 29 上。下模冲 (II) 33 受压定位在螺杆座 43 上。

脱模时，上模冲回升，压机下缸向上顶，由顶杆 27 将顶板向上顶，使下模 (I) 板亦向上，下模冲 (I)、下模冲 (II) 同时向上，使下模冲 (I) 端面与阴模端面平齐，压件外径脱出阴模。顶杆继续向上，连接在下模 (I) 板底面的滚轮 22 接触斜楔 15，在其斜面作用下，使滑块

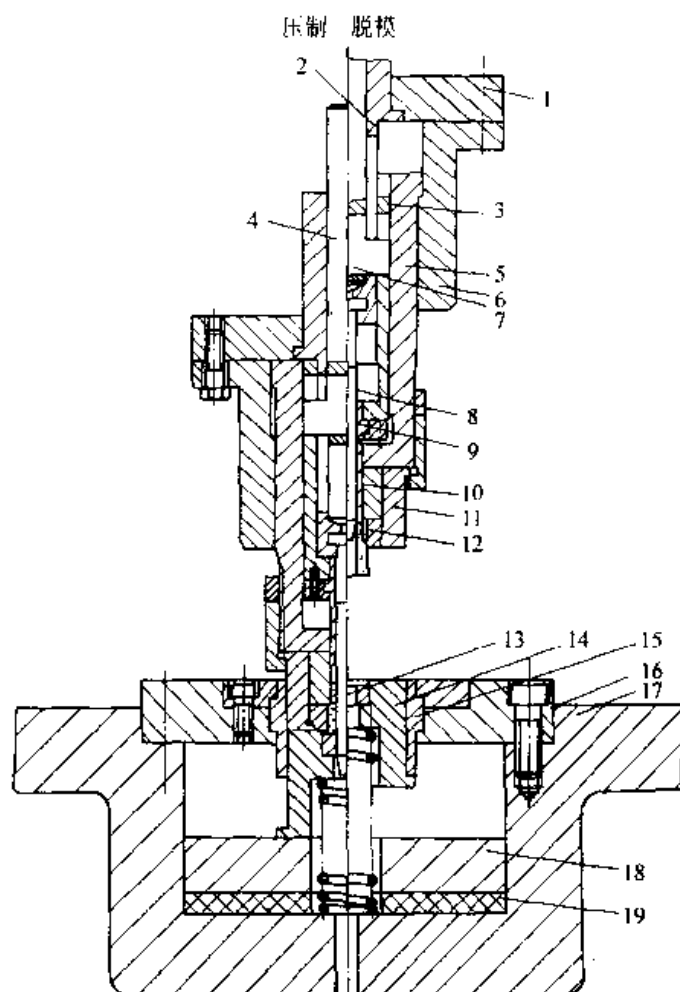


图 26.5-24 带外台肩轴套全精整自动模

- 1、16—压盖 2—模柄 3—上模座 4—顶杆 5—上阴模座
 6—接套 7—挡块 8—芯棒 9—上模冲 10、12—上阴模 11—模套
 13—下模冲 14—下阴模 15—导套 17—模座 18—压垫 19—橡胶垫

21 向两侧移开，使下模冲（Ⅱ）继续向上，压件完全脱出。

4) 台肩在中间类压件 图 26.5-28 所示是汽车发动机凸轮轴带轮全精整模。适合于带上、下缸(并附有小气缸)的粉末冶金压力机上使用。

上、下模冲 4、9 分别固定在上模板 1 及下模板 17 上，芯棒 6、芯棒接杆 16 固定在芯棒板 18 上，并通过小顶杆 19 与下气缸顶杆 24 相连接。

精整时，上模冲进入阴模加压使压件达到精整要求。脱模时，上模冲回升，下缸向下拉，连接在下缸并帽 23 上的拉杆 12 将阴模 7 向下拉，使压件脱出阴模型腔。同时，下气缸上端进气，通过限位杆 24 将芯棒板 18 拉下，使芯棒从压件内孔脱出。

此模具结构特点，是采用芯棒后脱法，可减小脱模阻力，延长芯棒使用寿命。

(2) 特殊形状类压件

1) 球(斜)面类压件 图 26.5-29 所示为汽车控制臂球全精整模。适合于有上、下缸的粉末冶金压力机上使用。

此模具结构的特点，是阴模板 26 由弹簧托起(图中未表示)。精整时，上模冲 6 进入阴模 7 后加压，由调节钉 3 限位及调整。使用模板受力于定位套 29 上，下模冲 8 受力后，座落于芯棒盖 14 上。脱模时，上模冲回升，下缸向上行，通过下缸螺杆 30 将顶杆 18 上顶，使下模冲端面与阴模平面平，可由限位钉 19 来调节及定位，使压件脱出。

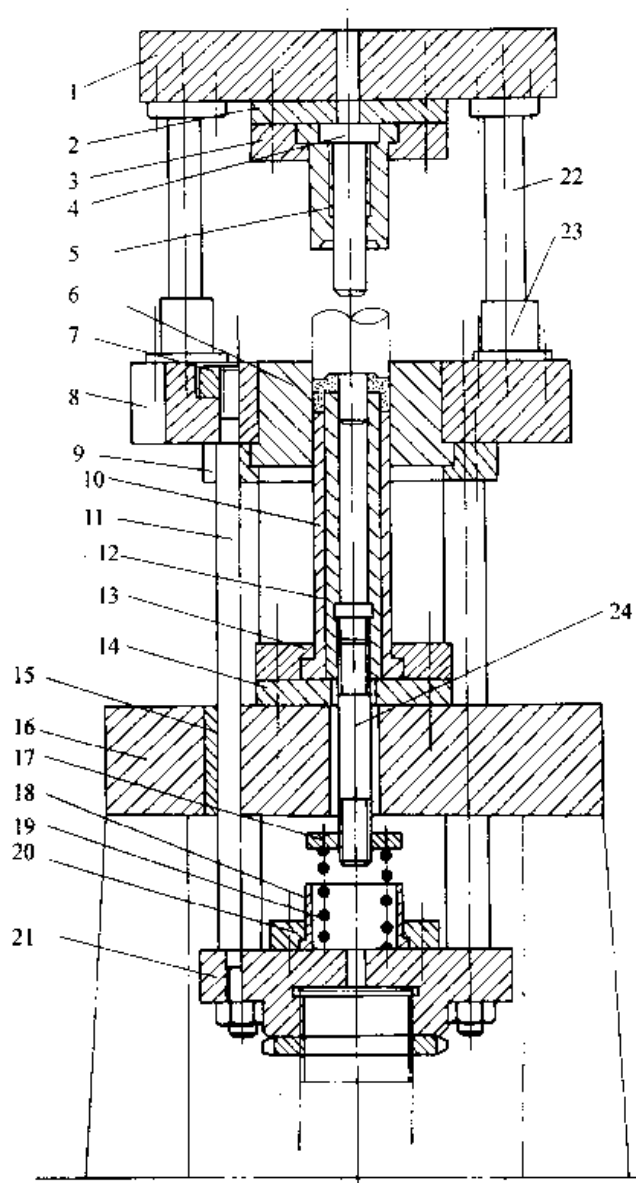


图 26.5-25 汽车发动机水泵带轮全精整模

- 1—上模板 2—上模垫 3—上压盖 4—芯棒 5—上模冲
 6—阴模 7—并槽 8—阴模托板 9—阴模盖 10—下模冲(I) 11—拉杆
 12—下模冲(II) 13—下压盖 14—下压垫 15—导套 16—下模板 17—调节螺母
 18—弹簧座 19—弹簧 20—压盖 21—下缸并帽 22—导柱 23—导套 24—接杆

图 26.5-30 所示为汽车发动机座圈全精整模。适合于有上、下缸的粉末冶金压力机上使用。

上模冲 4 作为实体件，将压件内腔形状组合在一起，简化了模具结构。假芯棒 11 仅起压件

动机构的锥齿轮全精整模。适合于机械式粉末精整压力机上使用。压力机上部设有气缸，带动活动板 4 上下运动。上模冲 (I) 6 固定在活动板上，上模冲 (II) 5 固定在上台板 1 上。精整

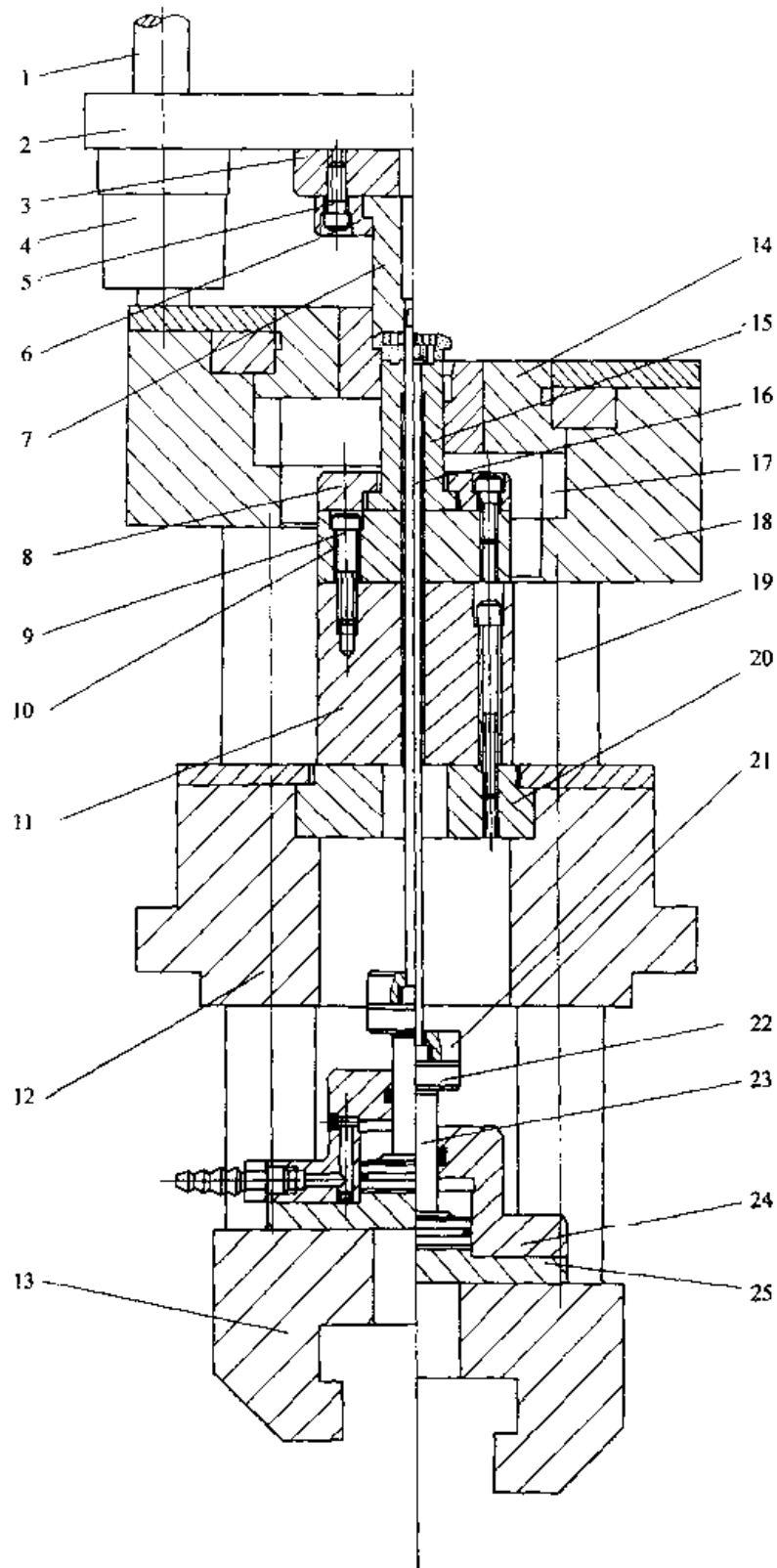


图 26.5-26 内、外带台肩类压件的全精整模具图

- 1—上导柱 2—上模板 3—上模垫 4—导套 5—螺钉 6—上压盖 7—上模冲
 8—下压盖 9—螺钉 10—下压垫 11—下模座 12—下模板 13—下缸并帽
 14—阴模 15—下模冲 16—芯棒 17—阴模垫块 18—阴模托板 19—拉杆
 20—垫块 21—芯棒盖 22—连接块 23—活塞杆 24—气缸体 25—气缸座

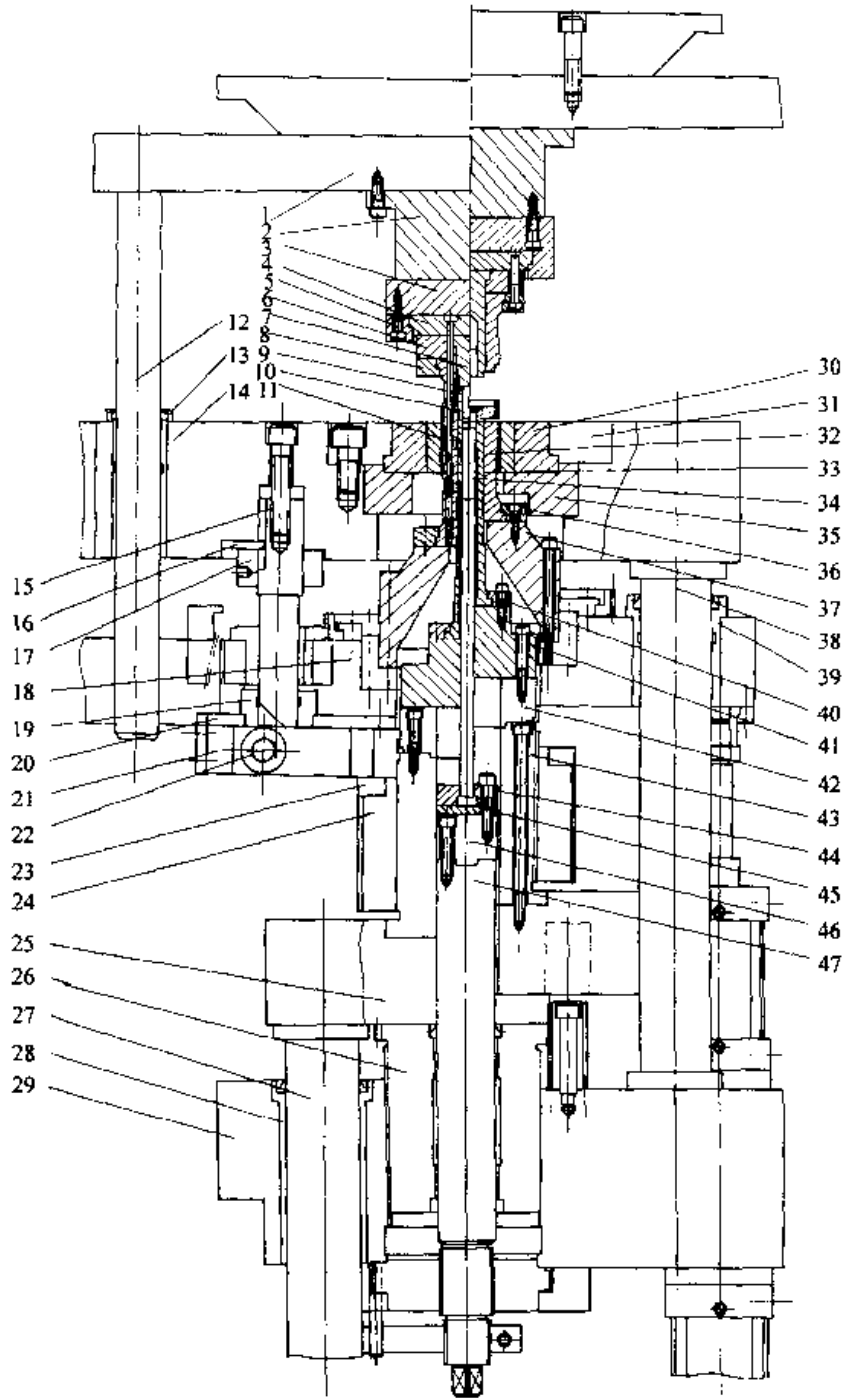


图 26.5-27 汽车发动机曲轴带轮全精整模具图

- 1—上模板 2—上模垫 3,4—垫块 5—压盖 6—垫块 7—上模冲(Ⅱ)
- 8—压盖 9—上模冲(Ⅰ) 10—小芯棒 11—阴模 12—导柱 13—导套 14—阴模托板
- 15—斜楔 16—定位键 17—并帽 18—下模(Ⅰ)板 19—导套 20—垫板 21—滑块
- 22—滚轮 23—硬垫块 24—调节螺母 25—顶板 26—调节套 27—顶杆 28—导套
- 29—固定板 30—护套 31—压盖 32—下模冲(Ⅰ) 33—下模冲(Ⅱ) 34—大芯棒
- 35—阴模座 36—压盖 37—下模(Ⅰ)座 38—立柱 39—导套 40—压盖 41—下模(Ⅱ)座
- 42—垫块 43—螺杆座 44—芯棒盖 45—垫块 46—芯棒座 47—接杆

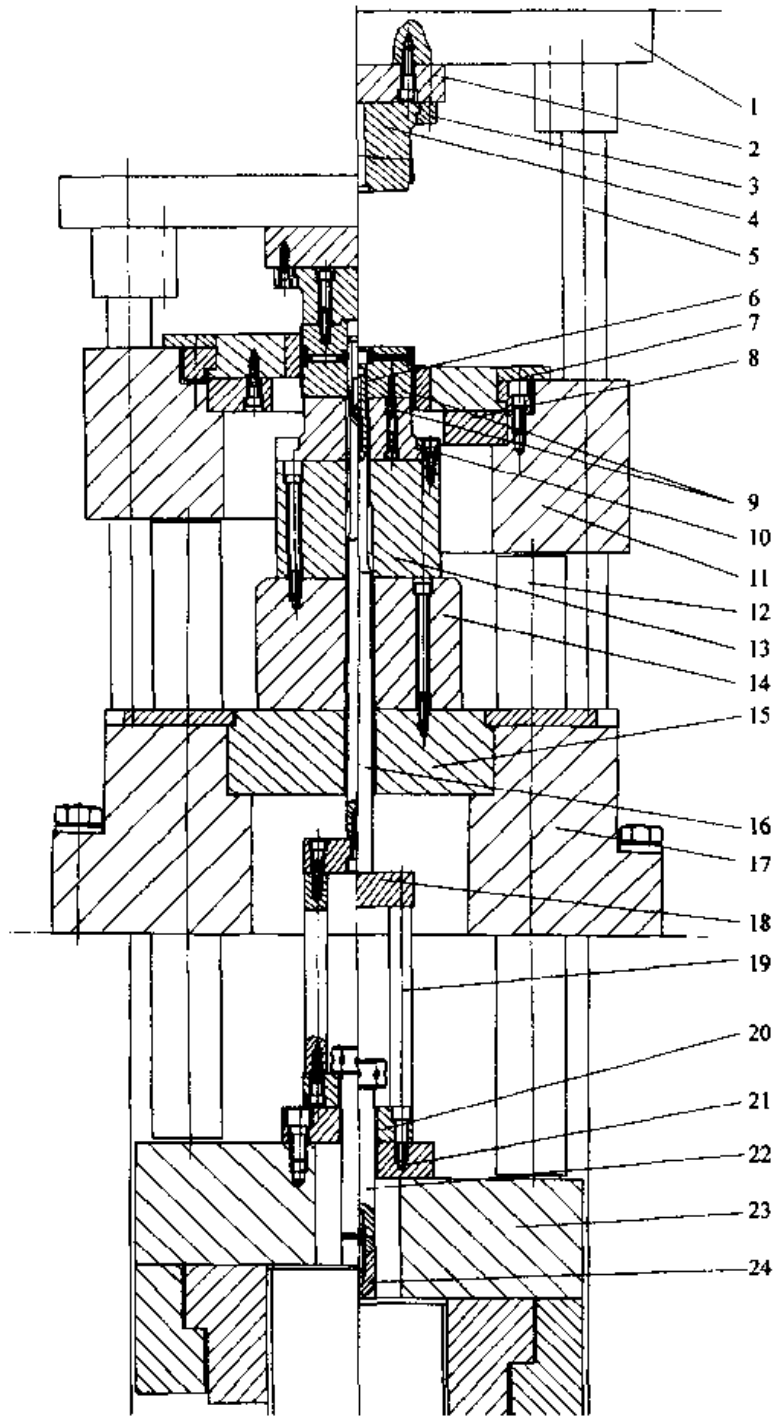


图 26.5-28 汽车发动机凸轮轴带轮全精整模

- 1—上模板 2—上模垫 3—压盖 4—上模冲 5—上导柱 6—芯棒 7—阴模
 8—阴模垫 9—下模冲 10—压盖 11—阴模托板 12—拉杆 13—下模垫
 14—下模座 15—座垫 16—芯棒接杆 17—下模板 18—芯棒板 19—小顶杆
 20—连接板 21—芯棒座 22—限位杆 23—下缸并帽 24—气缸顶杆

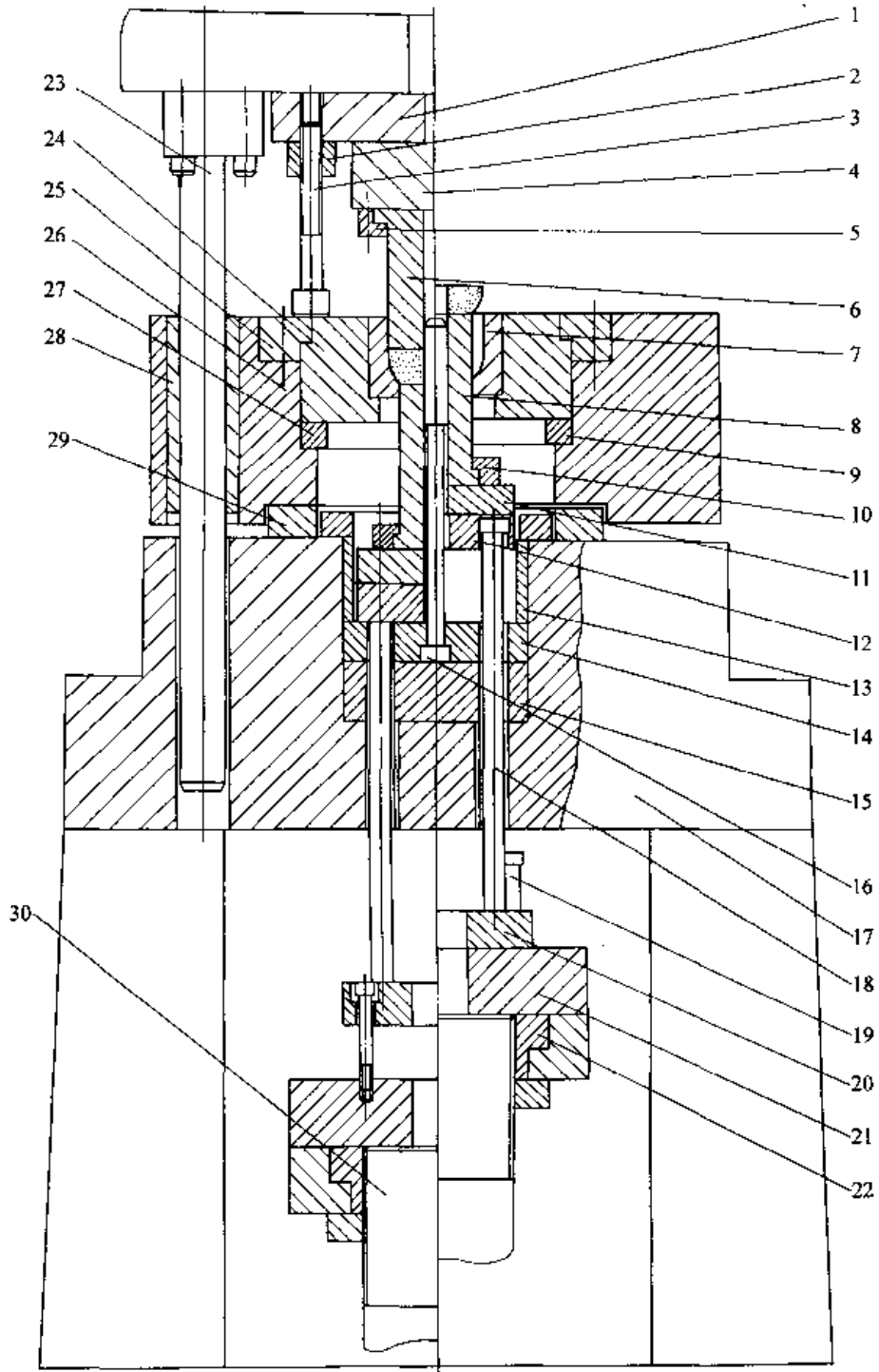


图 26.5-29 汽车控制臂球头全精整模

- 1—上模座 2—并帽 3—调节钉 4—上模垫 5—压盖 6—上模冲 7—阴模
 8—下模冲 9—阴模垫 10—压盖 11—下模垫 12—连接板 13—垫套
 14—芯棒盖 15—芯棒垫 16—芯棒 17—下模板 18—顶杆 19—限位钉 20—托板
 21—连接块 22—T形帽 23—上导柱 24—护套 25—压盖 26—阴模板
 27—阴模垫 28—导套 29—定位套 30—下缸螺杆

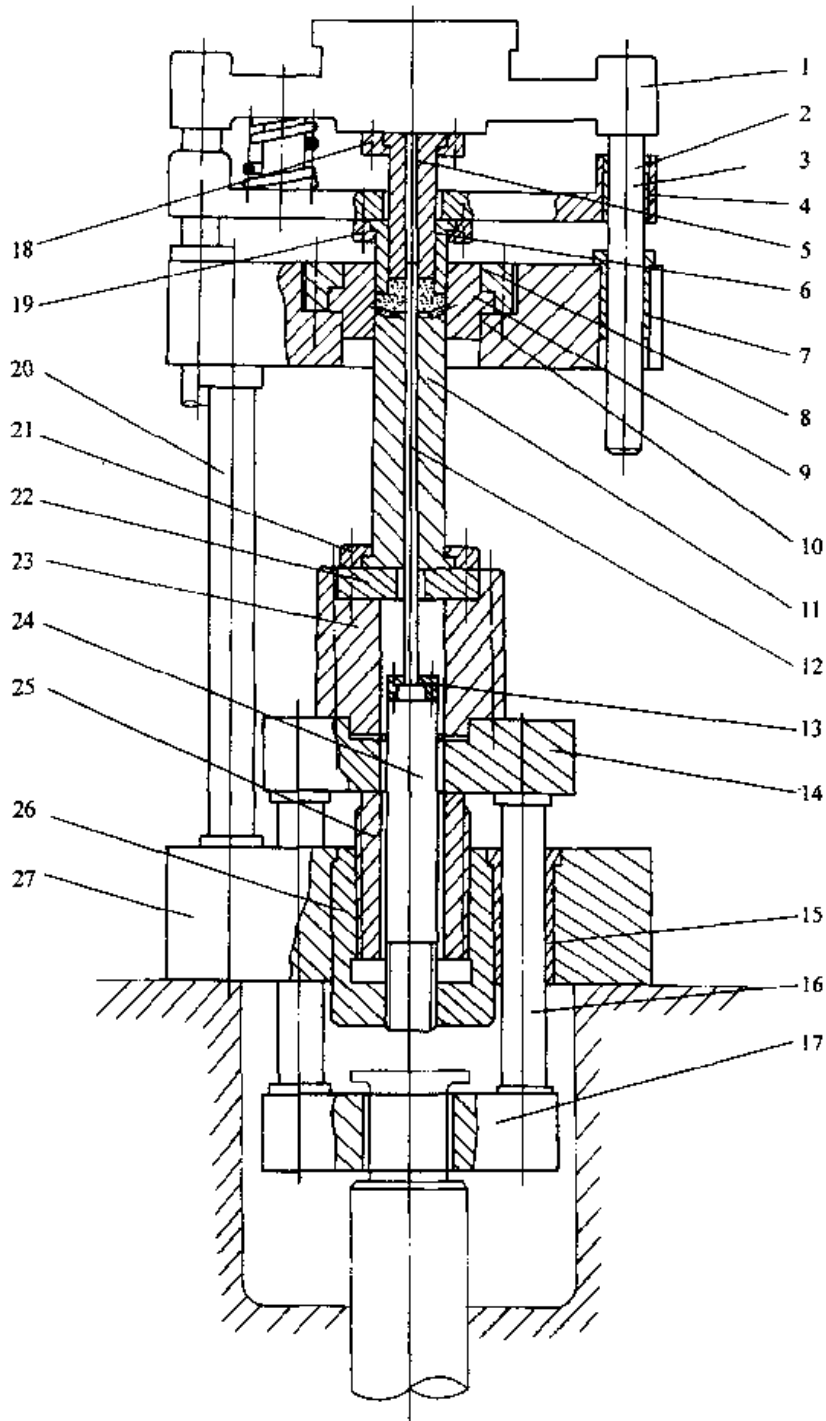


图 26.5-31 阀门传动机构伞齿轮全精整模

- 1—上台板 2—导套 3—上导柱 4—活动板 5—上模冲(Ⅱ) 6—上模冲(Ⅰ) 7—导套
 8—阴模盖 9—阴模 10—阴模板 11—下模冲 12—芯棒 13、18、19、21—压盖
 14—顶板 15—导套 16—顶杆 17—下模板 20—立柱 22—下模垫 23—下模座
 24—芯棒接杆 25—调节套 26—限位套 27—模板

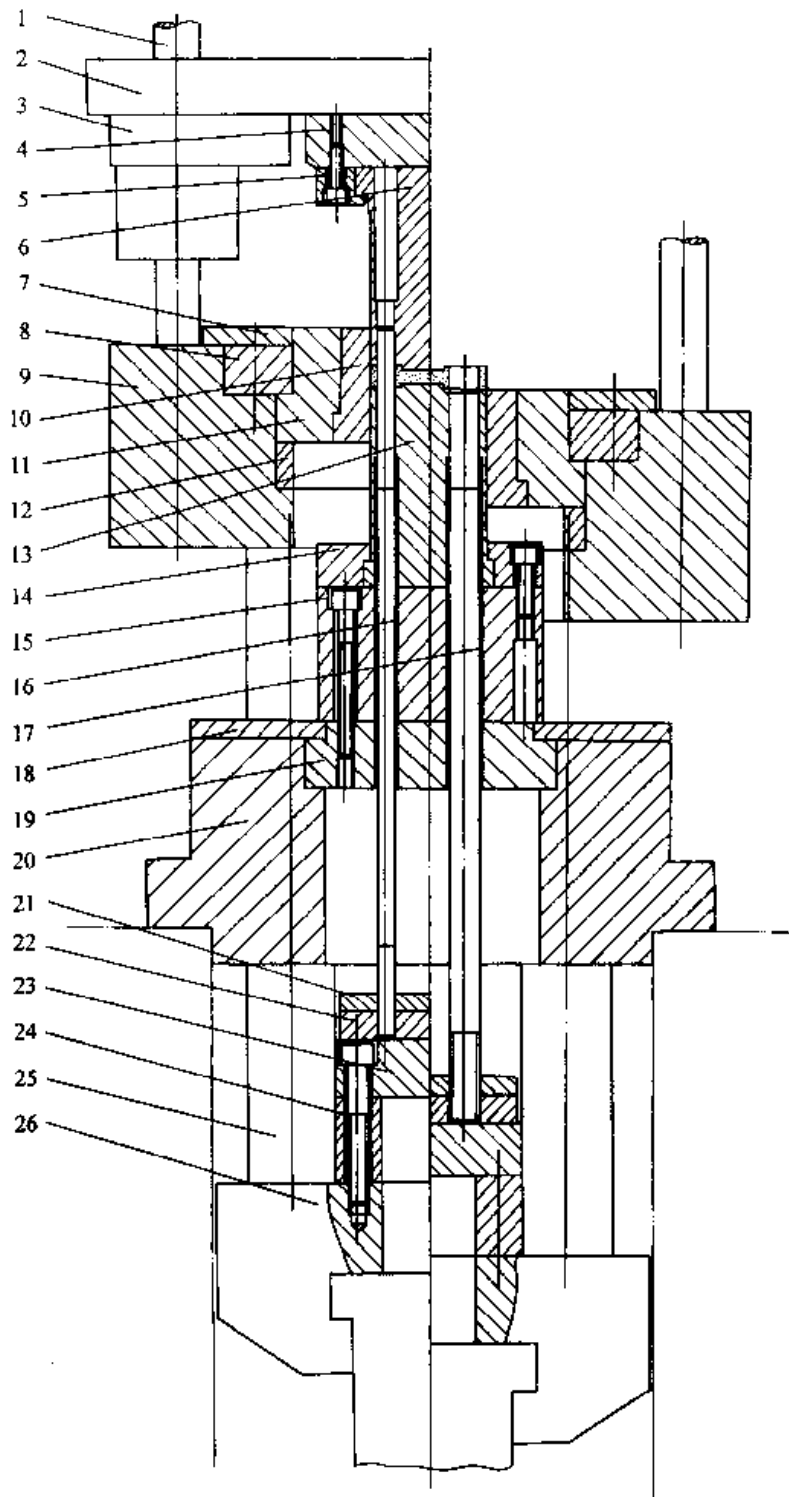


图 26.5-32 冰箱压缩机连杆全精整模

- 1—上模板 2—上模垫 3、11—压盖 4—上模冲 5—上导柱 6—阴模 7—阴模盖
 8—阴模板 9—下模冲 10—阴模垫 12—下模垫 13—小芯棒 14—大芯棒 15—压座
 16—下模板 17—拉杆 18—并帽 19—芯棒垫块 20—连接板 21—垫块 22—下缸并帽

第 6 章 粉末锻造模具设计

1 粉末锻造的特点及应用

1.1 概述

粉末锻造是将粉末冶金和精密模锻相结合 的工艺,综合了二者的优点。能以较低的成本和较高的生产率实现大批量生产。能够生产高质量、高精度、形状复杂的结构零件。粉末锻造工艺已经受到各工业化国家的重视。

美国粉末锻造一直处于领先地位。GM 公司首先使用粉末锻造生产汽车后桥差速器齿轮。Federal Mogul 公司大规模生产粉末锻件,用于自动变速机构,其中轴承座圈月产量达 10 万件。该公司建立了两条粉锻生产线,主要生产汽车传动装置用零件,月产量达 60 万件。用 4 600 系低合金钢粉生产的粉末锻件年产量已达 1 亿件。目前该公司生产的粉末锻件近 100 种。现在,IPM 公司在粉末锻造上已采用计算机技术,研制大型卡车制动系统用刹车导轨锻件,并建立了两条生产线。俄亥俄州克利夫兰市变形控制技术公司开发了粉末锻造预成形坯设计的“专家系统”,用以处理复杂工艺条件和材料种类粉末锻造预成形坯的设计问题。

我国从 1972 年开始粉末锻造工艺的研究,先后有数十个单位从事研究开发,先后建成三条生产线生产齿轮、密封环等多种零件,能力达 100 万件以上。目前,正在不断扩大粉锻工艺的研究开发与应用。

1.2 粉末锻造工艺分类

粉末锻造工艺,通常可分为粉末锻造、烧结锻造,锻造烧结和粉末冷锻。

(1) 粉末热锻

粉末热锻包括粉末锻、烧结锻造、锻造烧结三种。与烧结锻造不同粉末锻采用预合金粉、预成形坯成形后直接加热锻造成形。由于直接法比烧结锻造方法减少了二次加热,可节省能源 15% 左右。因此由烧结锻造向直接加热锻造或烧

结后直接锻造方向发展是总的趋势。

(2) 粉末冷锻

粉末冷锻目前是指粉末预成形坯烧结后冷锻。

冷锻烧结后的预成形坯,比粉末热锻有许多优点,制品表面光洁,容易控制制品重量和尺寸精度,不需要保护气氛加热,节约能源。但粉末冷锻要求烧结后预成形坯必须具有足够的塑性。为此对粉末原材料提出更高要求,日本曾研制专门用于冷锻的一种 Fe-Cu 系材料。因此目前粉末冷锻工艺应用较少。

1.3 粉末锻造工艺过程与生产自动化

与普通锻造不同,粉锻毛坯采用的是粉末预成形坯。对于粉末烧结锻造工艺,其前期工序为传统的粉末冶金生产方法,后期工序为锻造成形。具体工艺过程如图 26.6-1 所示。

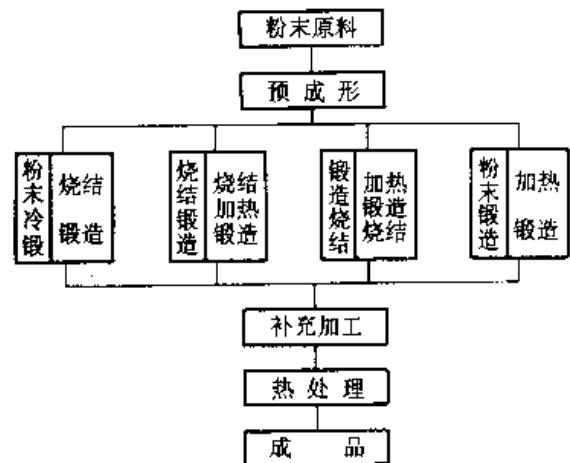


图 26.6-1 粉末锻造基本工艺过程

粉末锻造工艺从压制—烧结—冷却—加热—锻造,向压制—加热—锻造方向发展。锻造加热逐渐普遍采取保护气氛下的感应加热。感应加热不仅节约能源,避免环境污染,还可以有利于生产自动化,提高生产效率。采用高温(1 250℃)烧结或加热,不仅可还原 Ni 和 Mo 的氧化物,还有利于 Cr 和 Mn 的氧化物还原,同时锻后可直接淬火。渗碳是在烧结或加热时进行。这样不仅

节约能源,而且大大缩短工艺周期,降低成本。

生产过程中粉末锻件的无损检测,不破坏锻件可检查锻件心部硬度、表面脱碳,表面氧化层及孔隙度、裂纹等。这是向生产全自动化保证产品质量方向发展的重要问题。

目前国外粉末锻造生产主要是建立自动生产线,生产率已达到 800~900 件/h。生产线上的主要设备有:粉末压机、加热炉、锻造压力机、自动传送装置。粉末锻造压力机多为机械压力机,也有采用锻造液压机和液压螺旋压力机。

如图 26.6-2 所示,生产线的自动化程度很高,从粉末压力机到加热炉,从加热炉到锻造压力机等均实现全自动操作。粉末压力机上装有精密加料机和电子控制装置,可达到预成形坯精确的重量自动控制。各工序间有机械手或自动传输装置,工件在可控气氛中加热。锻模上装有两个辐射温度计或红外探测器,温度不在调定范围内和位置不正确的预成形坯,将自动被剔除。锻后锻件被自动送入淬火介质中或保护气氛冷却通道中,防止表面氧化。

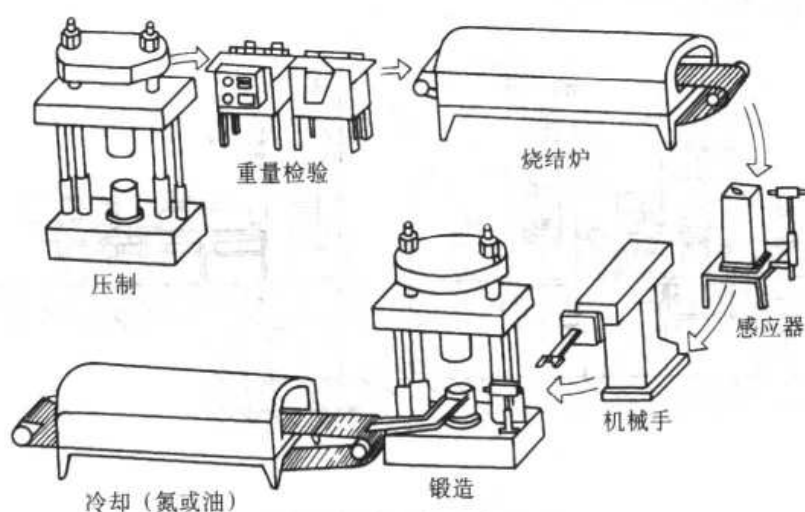


图 26.6-2 粉末锻造生产线示意图

粉末锻造自动生产线的主要特点有:

- 1) 整个系统由计算机控制与监测。
- 2) 整个系统中工件自动传送。
- 3) 整个生产过程工件在完全保护或部分保护气氛之中。
- 4) 整个生产线可以快速改变程序,以适应不同品种零件的锻造。

下面以神户制钢所的粉末锻造生产线为例对具体的粉末锻造生产线作一介绍。

该生产线由粉末预成形压机、辐射加热装置以及粉末锻造压力机(压机)组成,图 26.6-3 是其外形,表 26.6-1 是其主要设备规格。

利用粉末预成形压机使模具产生适合于粉末成形的动作,把压力均匀地传给粉末,获得密度均匀的预成形体,同时为便于把预成形体从模具中取出,设有与压力机本体相分离的单独的模具装置——模架机构。为了实现自动移位,设有两副模架,因而模具的细心安装和调整可以在机身外面开阔的空间中以较高效率和充分的时间来进

行,使预成形体的精度较高,模具的寿命也较长。此外,由于模架是自动移位的,模具的更换和修磨,不需要花很多时间,压力机的利用率就能大幅度提高。

1.4 粉末锻造工艺的特点及应用

(1) 粉末锻造工艺的特点

粉末锻造与普通模锻相比的主要优点见表 26.6-2。其中主要表现在,能源消耗低,如粉末锻造连杆为普通锻造的 49%。材料利用率可达 80%~90% 以上,而普通锻造只有 40%~60%。另外粉末锻件精度高,机械性能好。内部组织无偏析,无各向异性。如高速钢工具寿命可提高 2 倍以上,粉末锻造连杆的疲劳寿命比普通锻造提高 10%~20%。可高效率生产形状复杂的零件,这是由于粉末锻造预成形坯的变形抗力小,重量可精确控制,预成形坯形状可根据锻件形状优化设计,因而可一次锻打成形。

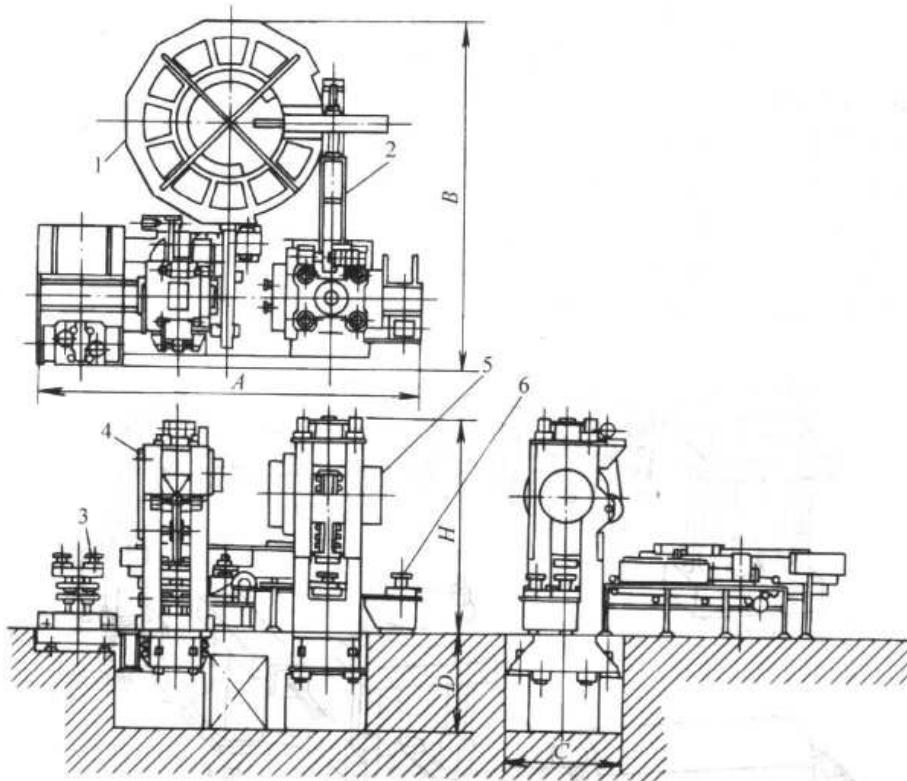


图 26.6-3 粉末锻造生产线

1—旋转式电阻烧结加热炉 2—锻造加热炉 3—粉末预成形模具
4—粉末预成形压力机 5—粉末锻造压力机 6—粉末锻造模具

表 26.6-1 粉末锻造生产线的主要参数

型 号	压力机吨位		外形尺寸/mm				
	预成形压机	锻造压机	A	B	C	D	H
KPFL-150-400	1 500	4 000	6 700	5 650	2 200	2 000	4 200
KPFL-200-600	2 000	6 000	7 800	7 150	2 400	2 000	4 375
KPFL-300-800	3 000	8 000	8 300	7 550	2 600	2 200	4 500
KPFL-400-1000	4 000	10 000	9 650	9 500	2 600	2 200	4 830
KPFL-500-1 200	5 000	12 000	10 150	9 900	2 800	2 500	5 010

表 26.6-2 粉末锻造与普通模锻件对比

对比项目	普通模锻	粉末锻造
100 mm 的尺寸精度	±1.5 mm	±0.2 mm
制品重量波动	±3.5%	±0.5%
初加工毛坯的材料利用率	70%	99.5%
制品材料的利用率	45%	80%

其特点包括优点和一些不足之处，可归纳如下：

- 1) 粉末锻造属于无飞边闭式精密成形，材料利用率高，显著减少后续加工工作量。
- 2) 粉末制品零件几何形状准确，表面光洁，尺寸精度高，且在大批量生产中零件的一致性好。
- 3) 制件可以由不同粉料混合制成，也可使制件的不同层面具有不同的金属成分，甚至可以制造钻石级硬度的零件。
- 4) 工模具磨损减小，使用寿命长。
- 5) 噪声低，热辐射减少，改善劳动条件。
- 6) 易于实现自动化生产。

粉末冶金锻造工艺虽有许多优点，但也有一些不足之处，如零件的大小和形状还受到一些限制；粉末价格还比较高；零件的韧性较差等。但这些问题随着粉末冶金和锻造技术的发展，正在逐步解决。随着粉末冶金和锻造技术的进展，其应用范围正在不断扩大，技术经济效益将越来越显著。

(2) 粉末锻造工艺的应用

粉末锻造在许多领域中得到应用，主要用来制造高性能的粉末制品。特别是在汽车制造业中表现更为突出。表 26.6-3 给出适于粉末锻造工艺生产的汽车零件。其中齿轮和连杆最能发挥粉末锻造优点的两大类零件。这两类零件均要求有良好的动平衡性能，要求零件具有均匀的材质分布，这正是粉末锻件特有的优点。

传统的连杆锻件，端盖和杆身是分开锻造的，而粉末锻造连杆可整体锻造，因而尺寸精度较高。

表 26.6-3 适于粉末锻造工艺生产的汽车零件

发动机	连杆、齿轮、气门挺杆、交流电机转子、阀门、起动机齿轮、环形齿轮
变速器（手动）	毂套、倒车空套齿轮、离合器、轴承座圈、同步器中各种齿轮
变速器（自动）	内座圈、压板、外座圈、停车自动齿轮、离合器、凸轮、差动齿轮
底盘	后轴承端盖、扇形齿轮、万向联轴器、侧齿轮、轮毂、锥齿轮及环形齿轮

图 26.6-4 所示为从欧洲汽车中选择出来的零件，这些零件在汽车行业中有一定的通用性。这些零件，从形状上来看适合于粉锻生产，从功能上看属于保证安全的零件，故均为重要零件。

表 26.6-4 为汽车零件，特别是发动机和传动轴系零件按烧结锻造技术应用的基本形式。

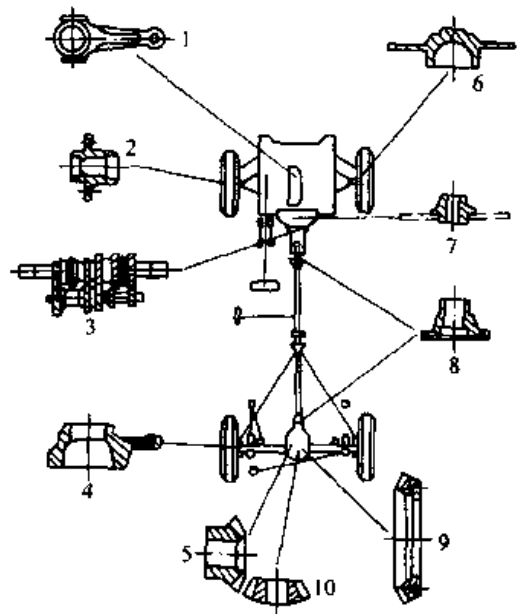


图 26.6-4 形状适于粉末锻造的轿车零件

- 1—连杆(1 kg) 2—轮毂(1.9 kg) 3—齿轮组和同步齿圈(2.5 kg) 4—半轴法兰 5—差动锥齿轮(0.4 kg)
 6—球节座(0.2 kg) 7—离合器毂(0.4 kg) 8—驱动法兰(0.6 kg) 9—大齿圈(2.3 kg) 10—小齿轮(0.2 kg)
 (倒车齿轮、倒车惰轮、变速齿轮)

2 粉锻件和预制坯的设计

2.1 粉锻件的分类与锻件图设计

与普通钢锻件不同,粉锻件除按外形和轴线方向分为长轴类锻件和短轴类锻件外,还应按锻件锻击方向的高度分为等高件和非等高件两大类。等高与非等高是指与锻击方向垂直的各断面面积是否相等。

粉锻件图的制订与钢锻件的基本相同,其特殊性为:

1) 预制坯的几何形状及重量准确,利于闭式锻造成形;

2) 粉锻为精锻成形,某些表面可直接达到成品零件的最终要求,而且锻件易锻出内孔;

3) 粉末预制坯的抗拉强度和塑性低,锻造时易出现裂纹。

粉锻件图的设计内容如下:

(1) 确定表面精度

粉锻件同样不是所有表面靠锻造来保证精度的,主要解决难于机加工或机加工量大的面,并以此作为其他表面的检验和加工基准。如粉锻齿轮是以齿面作为主要精锻表面,然后以齿面定位来加工其他表面。

(2) 确定分模面的位置和形状

对于圆柱体和直齿轮类零件,由于锻体是等高件,可采用套筒模锻,在上表面分模。一般采用强制性脱模;对高度方向断面变化大的非等高锻件,考虑出模的问题,因而分模面一般选在最大断面处,如锥齿轮锻件。

(3) 余量、公差和余块的确定

粉锻件余量、公差的确定和余块的添加与一般钢质精锻件类似。一般精锻表面的公差按零件公差给定,而其他表面的余量和公差除与零件的尺寸、精度和表面粗糙度有关外,还与设备及模具的结构和精度有关。

(4) 确定模锻斜度

粉锻往往可以作出内孔,但内孔芯棒不能采用强制方法脱模时则需采用较大的斜度,否则锻件冷缩时将把芯棒越夹越紧,芯棒上的斜度一般取 $\alpha \geq 7^\circ$,方能使芯棒从锻件的孔内拔出。其他不能采用强制方法脱模的部分也应适当给出斜度。

斜度对粉锻成形也有很大的影响,取得不当则可能造成锻件开裂。粉锻为压入成形时,模壁带有斜度对粉末金属可造成轴向分力和水平分力的作用,有利于金属的致密。同时斜度的设置使孔口直径加大,起到了开流作用,有利于金属充满型腔。

综合考虑成形、脱模及防止裂纹等因素,压入成形时的斜度宜取大些。图 26.6-5a 为未加斜度,入口圆角又较小时,锥齿轮轮毂部位压入成形产生裂纹的情况,改为 10° 斜度且入口圆角半径增至 12mm 时,则不产生裂纹。

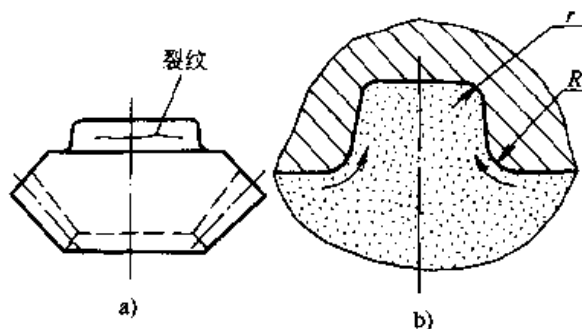


图 26.6-5 斜度、圆角半径影响开裂示意图

a) 开裂 b) 圆角半径的影响

(5) 确定圆角半径

粉末锻造时,如果预制坯作成与锻件相似的形状,锻造时金属以墩粗的方式成形,当锻件密度低时金属就可以充填细小角部,得到清晰的粉锻件。但如用压入法成形,如图 26.6-5b 所示,圆角半径 R 又很小时,金属不易流入型腔,预成形件在拐角处受阻力较大易于开裂。因此内圆角半径 R 应比相应的钢质锻件时取大些。而外圆角半径 r 仅影响到充满和模具拐角处的强度,可参照一般锻造方法选取。

2.2 预制坯的设计

预制坯的设计是从锻件的重量、密度、形状和尺寸出发,考虑预成形坯的密度、形状和尺寸。最基本的原则是在锻造时有利于致密和充满模腔;在充满模腔时应尽可能使预成形坯有较大的横向塑性流动。因为塑性变形有利于致密和改善性能。但过大的塑性变形可能在锻件表面或心部产生裂纹,因此其塑性变形量不能大于预成形坯塑性变形所允许的极限值。另外还需考虑预成形坯在充满型腔时,各部分尽可能处于三向压应

力状态下成形，避免或减少拉应力状态。

(1) 预制坯的密度选择

密度是预制坯的基本参数。根据预制坯密度及锻件质量，求得预制坯的体积，然后根据预制坯的高径比，分别确定预成形坯的高度及径向尺寸，以此作为压制模具尺寸设计的依据。

粉末锻件的最终密度主要是由锻造变形所决定的，一般与预成形坯的密度关系不大。预成形坯密度的选择主要考虑预成形坯要有足够的强度，保证在生产工序传输过程中不被损坏，形状完整为基准。为此，一般冷压制后的预成形坯密度为理论密度的 80% 左右。对于铁基制品的密度选择在 $6.2 \sim 6.6 \text{ g/cm}^3$ 范围内。为了获得无飞边的粉末锻件，预成形坯重量公差必须控制在 $\pm 0.5\%$ 左右。

(2) 预制坯的设计

预制坯的设计主要包括形状设计和尺寸的确定。

1) 预制坯形状设计 预制坯的几何形状大体上可分为两类：

① 近似形状 即预成形坯与终锻件形状近似。这有利于锻造时以墩粗的方式成形，且因塑性变形量小，可以避免产生裂纹。适于制造连杆和直齿轮类零件。

② 简单形状 预制坯形状较简单，与锻件形状差别较大。这一般是锻件形状的一种简化，经简化的预成形坯锻造时，不仅是高度方向的墩粗变形或压实，而且通过较大的塑性流动充满模具型腔。相应的预成形坯模具易于制造且寿命长，在热锻过程中塑性变形量较大，有利于提高粉末锻件的力学性能。

对于形状较复杂的锻件的预成形坯，可以对其不同部位及性能要求，分别进行设计。例如对于如图 26.6-6a 所示带脰法兰零件，如果采取近似形状制坯，锻造时只是简单的轴向压实，由于没有水平方向的塑性流动，不能满足力学性能要求。图 26.6-6b、c 给出了这种法兰两种可能的预成形坯的形状。图 26.6-6b 所示预成形坯的形状是充满法兰的脰部，通过墩粗充满法兰的盘部；图 26.6-6c 所示预成形坯是充满法兰的盘部，通过挤压成形脰部。图 26.6-6b 的径向应变为 $\epsilon_d = \ln(26.55/15) = 0.575$ ，显然大于这种材料预成形坯的塑性极限值，因此不能采用。图 26.6-6c 方案是反挤压成形法兰脰部，如果预成形坯内孔与芯棒之间变形时接触过早，就会因摩擦作用而产生拉应变，导致脰的顶部开裂。为此要求预成形坯内孔与芯棒之间留有一定间隙，避免内表面过早接触芯棒，需选择合适的孔径。

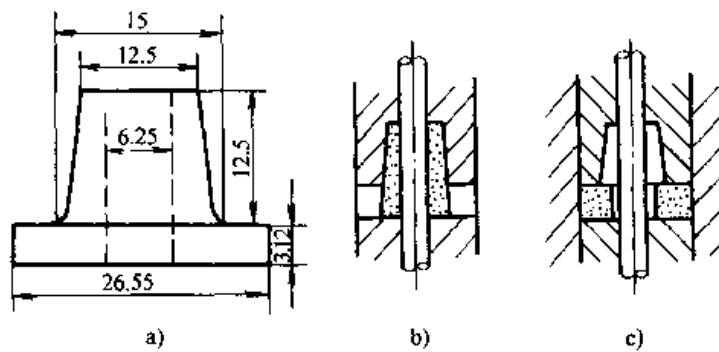


图 26.6-6 长脰法兰零件及预成形坯形状设计

a) 零件形状及尺寸 b) 近似形状预成形坯 c) 简单形状预成形坯

第二个例子如图 26.6-7 所示。这是由法兰脰—法兰盘—凸缘的组合。此种复杂形状零件也没有采用近似热复压的预成形坯形状。而是采用了有利于提高锻件性能的环形预成形坯形状，如图 26.6-8，给出四种形状的预成形坯。

b 和 d 两种情况预成形坯不能使用，因为当金属环绕模冲向上流动时，在外凸缘处将产生裂纹，这是由于墩粗径向流动过大鼓肚产生拉应力

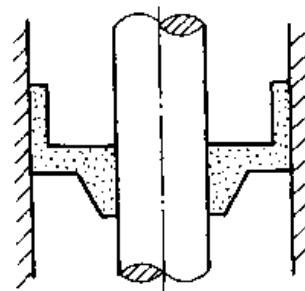


图 26.6-7 带凸缘的长脰法兰类锻件图

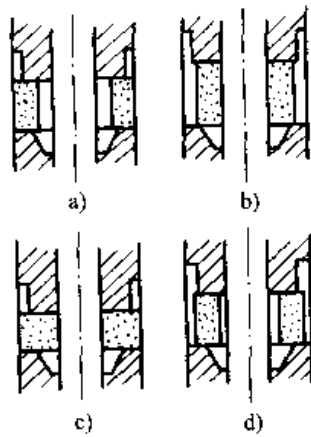


图 26.6-8 四种可能形状的预制坯设计

- a) 内孔有间隙, 外径无间隙
- b) 外径有间隙, 内孔无间隙
- c) 外径和内孔均无间隙
- d) 外径和内孔均有间隙

所致。c 的情况类似图 26.6-6 中 b 预成形坯形状讨论中的情况, 预成形坯内孔必须与心轴留有间隙, 没有间隙必然也会在法兰颈部顶端产生裂纹。由此可知, 只有 a 种情况的预成形坯的形状设计是合理的, 能够采用。

2) 几种典型粉锻件的预制坯设计

①直齿轮

a) 当 $H/d > 0.4 \sim 0.5$, $d_1/d > 0.5$ 时 (如图 26.6-9 所示), 一般设计成相似形状预制坯, 锻造时径向外形以镦粗方式成形。此时齿侧间隙在 $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ 间选取。其余的径向尺寸考虑热胀并考虑顺利放入模具而给以适当间隙, 在内孔部分不宜给变形间隙, 以保证定位准确。同时可以防止内孔处间隙较大, 内孔产生内凹或充不满, 如图 26.6-10 所示。

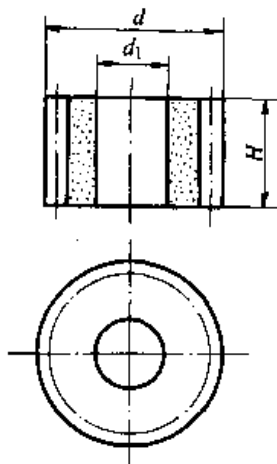


图 26.6-9 直齿轮粉锻件

b) 当 $H/d < 0.4 \sim 0.5$, $d_1/d \leq 0.5$ 时, 可采取径向压入成形方式设计预制坯。

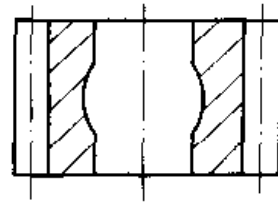


图 26.6-10 预制坯内孔间隙大时锻件产生内凹

对模数较小的齿轮, 预制坯可作为圆柱形或筒形, 外径为产品齿根圆直径, 并给定一放入间隙。对中等模数以上的齿轮 (如 $m > 3$), 齿高较大, 变形不均匀。若齿形全部靠压入成形, 所需变形功很大, 而且金属的流动大对模具的磨损严重, 产品还易产生裂纹。压入成形时, 当压入深度超过一定值时, 致密效果与压入深度无关, 但决定于变形程度。因此最好采用半齿压入, 即预制坯作出半个齿形, 外径等于产品的分度圆直径, 齿侧、齿根仅给定放入间隙, 如图 26.6-11 所示。此种预制坯成形时齿厚剧减, 预制坯处于强大的三向压应力状态, 致密效果好, 不易开裂。

同样, 对于其余部位不宜给出变形间隙, 以免不均匀变形造成开裂。

②锥齿轮 锥齿轮主要的成形方向在轴向, 适合于压入成形, 所以一般设计为简单形状预制坯。按锻件的几何形状, 设计为带锥圆柱体, 锻造时压入成形齿形。为入模后定位可靠, 锥角 α 一般与产品齿轮齿根锥顶角相等。底部直径 d_{01} 可等于产品的 d_1 , 也可将 d_{01} 稍大于 d_1 ($3 \sim 5 \text{ mm}$), 这样可减少底部的冷却。 d_{02} 约等于最大齿根圆的直径。如图 26.6-12 所示。这种预制坯可称之为全锥形预制坯。

另一种方法是采用半锥形预制坯, 其形状如表 26.6-5 所示。实验表明, 正圆柱形预制坯在成品齿轮根部面积内出现很大的流动梯度, 因而形成折叠、剪切裂纹, 并且模具磨损很大。而全锥形的预制坯在齿轮底部只发生小的流动, 底部密度不均匀, 同时难以达到高密度。因而采用半锥形预制坯。

从工艺实践来看, 半锥形预制坯可能产生两个问题。第一, 小端齿形的成形性不好, 易造成小端齿形充不满; 第二, 易在锻造时产生裂纹。因此采用全锥形预制坯, 并适当调整底部直径, 是协调两种设计方案的有效办法。

③法兰件 这类零件的结构尺寸如图 26.6-13 所示, 其工艺参数为:

表 26.6-5 预制坯的几种不同几何形状

	正圆柱形	全锥形	半锥形
预制坯剖面			
轮齿剖面			
根部剖面			

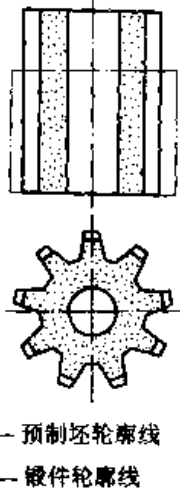


图 26.6-11 半齿压入预制坯形状

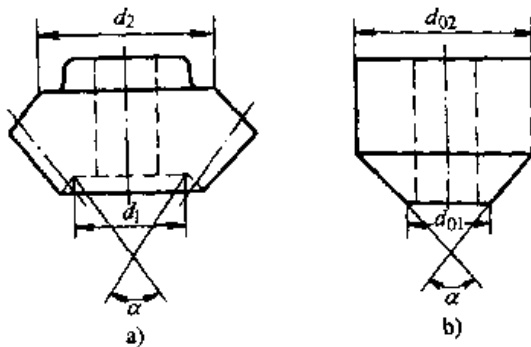


图 26.6-12 锥齿轮全锥形预制坯设计

a) 锻件 b) 预制坯

a) 沿高度方向的等截面变化率 (设 $\alpha=0$):

$$\epsilon = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\% = \frac{D_1^2 - D^2}{D_1^2 - d^2} \times 100\%$$

b) 凸台高度比: h/b

c) 法兰高宽比: h_1/b_1

如 ϵ 大于 60%, 可采取压入成形, 预制坯

为一圆环, 如图 26.6-13b 所示, 尺寸 d_0 和 D_0 的选取视产品的 h/b 大小而定。

当 $h/b < 1$, d_0 和 D_0 分别接近 d 和 D_1 时, 不给变形间隙。当 $h/b > 1$ 时, D_0 应小于产品的 D_1 , 使法兰部分成形时, 有一个锻粗变形量, 保证预制坯在锻造时先充满孔隙, 后充满法兰的角部, 或至少应大致同时充满, 以防因形成死区而造成剪切裂纹。否则应改变产品形状 (见图 26.6-13a 中双点画线所示) 加余块, 以保证挤压时不形成死区。当然, 对塑性不同的预制坯应区别对待。

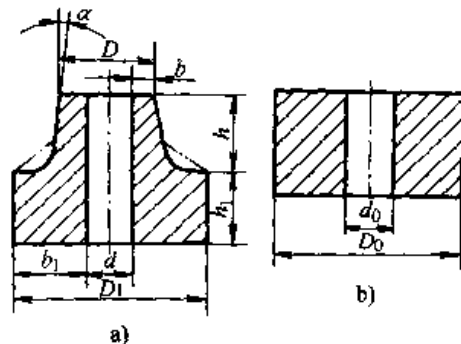


图 26.6-13 法兰粉锻件及预制坯设计

a) 锻件 b) 预制坯

ϵ 大于 60% 时, 采用压入成形一般不产生挤压裂纹。但对塑性较低的烧结体, 在 ϵ 超过 60% 不多的情况下, 也可产生裂纹, 特别是对大型件。裂纹可能产生于外表面, 也可产生在内表面, 如图 26.6-14 所示。这些裂纹是因压入成形时内外表面因摩擦的影响, 流动速度低于中心部位, 因而产生轴向拉应力而造成的。此时可通过调节锻件的斜度或圆角来控制裂纹的产生。

如果锻件工艺参数不允许改变, 而又易于产生裂纹, 则有必要设计成相似形状预制坯, 锻造

时以锻粗方式成形，如图 26.6-15 所示。

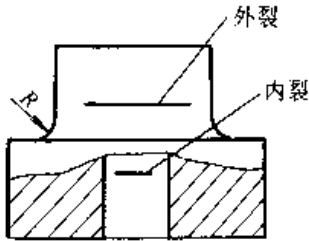


图 26.6-14 压入成型粉锻件开裂示意图

如果 $\epsilon < 60\%$ ，一般可锻粗成形为好。否则靠压入成形致密效果差，而且又易于产生挤压开裂。锻粗成形预制坯如图 26.6-15 所示，结构尺寸的计算按对应锻件部分重量相等来考虑。预制坯尺寸 h_0 和 h_{01} 均比锻件尺寸 h 和 h_1 大，而转角处的圆角半径 R_0 应比锻件的圆角半径 R 大，否则易产生折叠。预制坯由内孔定位，变形间隙由外径给出，间隙大小视相应的 h_0/b_0 与 h_{01}/b_{01} 的大小给出。

④长轴类锻件 长轴类粉锻件国内研制得较少。国外研制的典型锻件有汽车连杆、加速器(M85 型 50 发机关枪用)等，西欧、美国、日本均已将连杆粉锻件应用于实际生产。

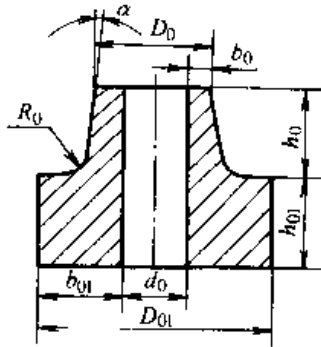


图 26.6-15 法兰件锻粗成形预制坯

粉锻长轴类锻件有许多优点，如锻件沿轴线的体积分配由预制坯制造来实现，不必采用较多的制坯工步；易于准确装粉，保证重量公差；可以作出内孔，实现无飞边或少飞边模锻，不用或简化切边工序等。因而锻件精度高、质量好、材料利用率高、成本低。

对于这一类锻件，粉末预制坯的设计方法一般不同于致密锻造。可以按下述方法来考虑。

长轴类锻件粉锻时，金属在横断面内的流动阻力要比沿轴向流动的阻力小得多，可假定长轴类锻件模锻时属于平面应变状态，因而预制坯的长度与粉末锻件的长度相等。设计时沿轴线将锻

件划分为若干个简单的几何形体，分别考虑各个几何形体的成形、致密与开裂等问题，仅在各几何形体交接处考虑金属的轴向流动及其影响。这样长轴类粉锻件的问题就可得到简化。至于预制坯的密度，一般按等密度原则确定。

图 26.6-16 为粉锻连杆预制坯设计的两种方案：一种为相似形状预制坯，或称精压式预制坯(图 26.6-16b)；另一种为简单形状预制坯，或称锻造式预制坯(图 26.6-16a)。前者在锻造时材料仅发生少量的侧向流动即接触模壁，即锻粗加复压方式成形并致密化。而后者在锻造时有锻粗成形和压入成形两种方式，最终复压致密。两种预制坯的密度均为理论密度的 83%。

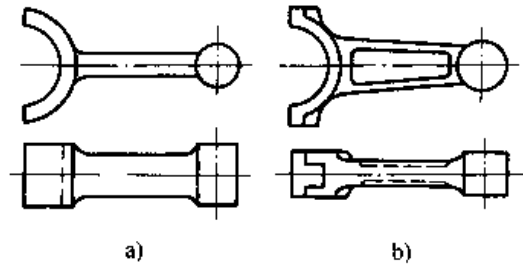


图 26.6-16 连杆预制坯的两种设计方案

a) 锻造式(简单形状) b) 精压式(相似形状)

连杆粉锻时若采用简单形状预制坯，由于变形流动大，模具的磨损比较明显，但预制坯制作简单。相似形状预制坯的锻粗成形时金属变形流动小，对模具的磨损小，模具寿命可达 25 000 次，较常规钢模提高 3~4 倍，但预制坯制作比较困难。

3 粉末锻造工艺及其变形特点

3.1 粉末锻造工艺

如前所述，粉末冶金锻造有三种工艺方法：粉末锻造，即直接将粉末预成形坯加热后锻造；烧结锻造，即将预成形坯烧结后进行加热锻造；锻造烧结，即将预成形坯加热锻造后再烧结。第一种方法简单，第三种方法的锻件性能较好，但因锻前未烧结，易于锻裂。所以一般采用烧结锻造。

(1) 预制坯锻造成形方法

粉末锻造按其成形方式有三种方法：

第一种为热复压法。它类似于粉末体的压制成形。预成形坯具有精确的外形尺寸和重量，其形状与终锻件非常接近，仅考虑加入模具型腔的间隙的高度方向的压缩变形量，故又称小变形量

锻造。显然这种方法在成形过程中没有宏观的金属流动，如图 26.6-17a 所示。

第二种为无飞边闭式锻造。预成形坯一般设计得较为简单，但重量公差同样要求严格。它与前一方法的主要区别在于需经较大的塑性变形来充满型腔，如图 26.6-17b 所示。

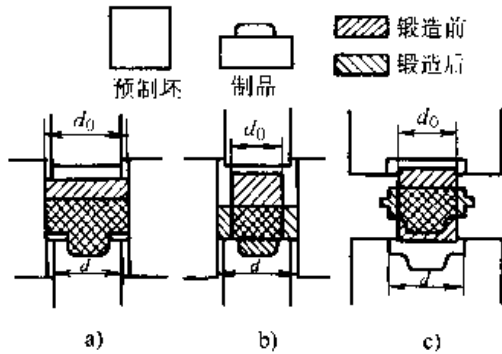


图 26.6-17 粉末锻造成形方案

- a) 热复压法 ($d/d_0=1$) b) 闭式锻造 ($d/d_0>1$)
c) 开式锻造 ($d/d_0>1$)

第三种为开式小飞边模锻。预成形坯不像前两种方法那样严格，重量的波动可通过飞边调节，锻造成形时塑性变形量较大，如图 26.6-17c 所示。

第一种方法用于密度要求不高的零件生产，锻造的残余孔隙度在 0%~2%。要使密度提高，

需要很大的压力。第二、第三种方法用于要求高密度的场合。但是粉末锻件并不总是要求高密度，而与产品性能有关。除密度指标外，还要根据锻件成形的复杂程度、锻造设备及工艺条件等合理选择锻造成形方法。

(2) 预制坯锻造工艺参数的选择

要获得致密、高性能的粉锻件，必须正确选择锻造温度、速度、变形力等参数。

粉末锻造变形初期，由于多孔的预成形坯易变形、变形力较小，密度增加较快。锻造成形后期，由于大部分孔隙闭合，变形抗力增大，要消除残留孔隙所需变形力迅速增高。变形抗力还与变形温度密切相关，较高的变形温度有利于致密，并降低变形抗力。较高的变形速度同样也有利于致密。为此，必须综合考虑诸因素对锻件质量影响、选择工艺参数。

图 26.6-18 给出 800℃ 和 1100℃ 锻造还原铁粉和低中碳钢时变形力与锻造密度的关系。图 26.6-19、图 26.6-20 给出几种低合金雾化钢粉末锻造时的变形力、变形温度与锻件密度的关系。变形力、变形温度与锻件密度的关系曲线是确定变形力和锻造温度的依据。

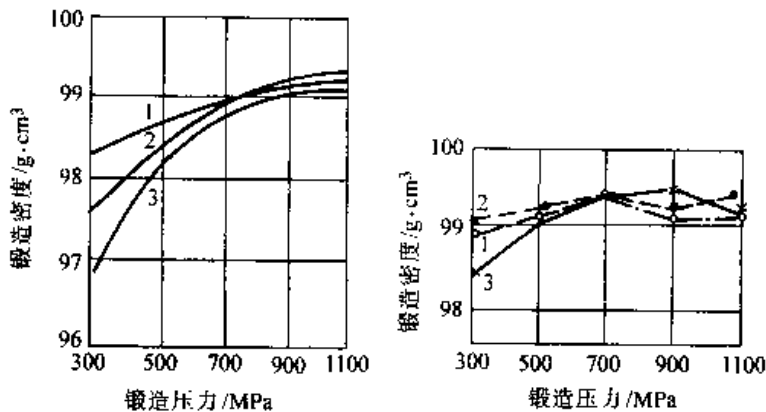


图 26.6-18 混合粉预制坯锻造变形力与锻件密度的关系

- a) 800℃ 锻造 b) 1100℃ 锻造

- 1—还原铁粉 2—还原铁粉+0.3%C (质量分数)
3—还原铁粉+0.6%C (质量分数)

(3) 粉末锻造的锻造工序

粉末锻造工序必须具备下列特点：

1) 由于使用的是多孔的加热的预成形体，所以从加热炉送到锻造压机直到锻造结束的时间应尽可能缩短，必须防止烧结体的氧化和脱碳，也就是说搬运时间的缩短是很重要的。

2) 锻造是在热态下进行的，通常，由于制

品不太大，如果运送速度较慢，锻模和烧结体的温差较大，锻造速度较慢，烧结体就会冷却。这时，无论怎样增大锻造压力，制品特别是其表面总会残留有孔隙，强度就无法提高，耐磨性和表面疲劳强度也不能提高。就是说，从这个角度看缩短运送时间也是很重要的。

3) 对金属模具，如上所述，进行预热是必

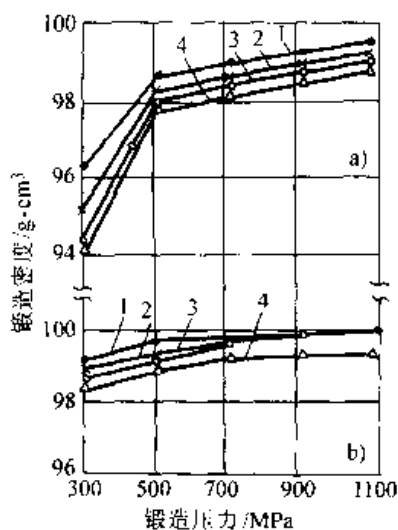


图 26.6-19 雾化锻造变形力与锻件密度的关系 (预成形坯密度 6.5 g/cm^3)
 a) 800°C 锻造 b) 1100°C 锻造
 1— $0.4\% \text{ C}$ (质量分数)+雾化粉($0.005\% \text{ C}$, $0.025\% \text{ Si}$, $0.28\% \text{ Mn}$)(均为质量分数)
 2— $0.4\% \text{ C}$ (质量分数)+4 600 系 3— 0.4% (质量分数) $\text{C} + \text{雾化粉}$ ($0.19\% \text{ C}$, $0.029\% \text{ Si}$, $1.48\% \text{ Mn}$, $0.51\% \text{ Ni}$, $0.54\% \text{ Cr}$, $0.49\% \text{ Mo}$, $0.09\% \text{ O}$)(质量分数)
 4— $0.4\% \text{ C}$ (质量分数)+雾化粉($0.096\% \text{ C}$, $0.036\% \text{ Si}$, $1.33\% \text{ Mn}$, $0.56\% \text{ Cr}$, $0.43\% \text{ Mo}$, $0.24\% \text{ O}$)(均为质量分数)

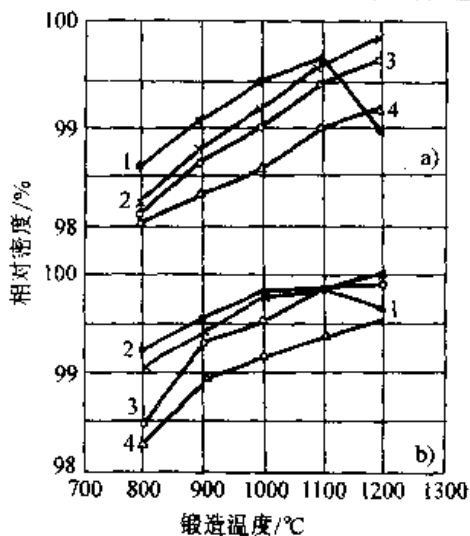


图 26.6-20 雾化粉锻造温度与锻件密度的关系
 a) 锻造力 500 MPa b) 锻造力 900 MPa
 1— $0.4\% \text{ C}$ (质量分数)+雾化粉($0.005\% \text{ C}$, $0.025\% \text{ Si}$, $0.28\% \text{ Mn}$)(均为质量分数)
 2— 0.4% (质量分数) $\text{C} + 4 600$ 系雾化粉
 3— 0.4% (质量分数) $\text{C} + \text{雾化粉}$ ($0.19\% \text{ C}$, $0.029\% \text{ Si}$, $1.48\% \text{ Mn}$, $0.51\% \text{ Ni}$, $0.54\% \text{ Cr}$, $0.49\% \text{ Mo}$, $0.09\% \text{ O}$)(均为质量分数)
 4— 0.4% (质量分数) $\text{C} + \text{雾化粉}$ ($0.096\% \text{ C}$, $0.036\% \text{ Si}$, $1.33\% \text{ Mn}$, $0.56\% \text{ Cr}$, $0.43\% \text{ Mo}$, $0.24\% \text{ O}$)(均为质量分数)

要的。但与此同时，在生产开始以后还必须对模具进行冷却，以防止温度升高。要使制品的质量稳定，控制模具温度是重要的。为了防止模具温度上升，必须缩短热的预成形体与模具的接触时间，特别是施加锻造压力的时间。

4) 对疏松的烧结预成形体，必须在不影响锻造和运送循环的情况下自动供应润滑剂，而润滑剂又必须是没有不利影响的。

3.2 预制坯锻前加热

(1) 加热方式

在粉末锻造中，由于粉末粒子之间结合的强化和致密化主要是在锻造时而不是在烧结时进行的，烧结时间、烧结温度等加热条件就不必与粉末冶金时一样，而可以分别选择最佳的烧结加热条件和锻造加热条件。目前用于粉末锻造的加热方式有两种：一种是烧结加热和锻造加热在不同炉内进行；另一种是烧结加热和锻造加热连续进行。前者称为烧结锻造方式，后者称为粉末锻造方式。

1) 烧结锻造的加热方式 这种加热方式的规范如图 26.6-21a 所示。烧结加热是在普通粉末冶金用烧结炉内进行的，在前述润滑剂脱除工序和烧结工序之后，预成形体就在炉内冷到在大气中也不会氧化的 100°C 以下。而后把获得的烧结体再放到另一个炉子中重新加热到锻造温度。这种方式的优点如下：

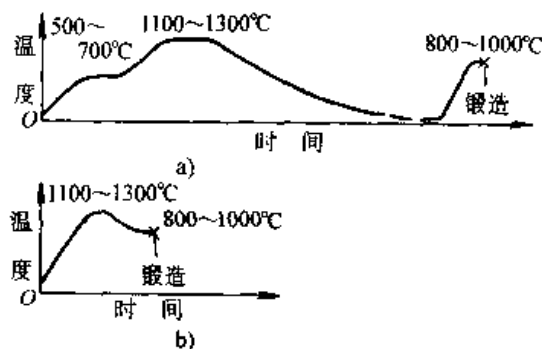


图 26.6-21 烧结锻造和粉末锻造的加热规范
 a) 烧结锻造 b) 粉末锻造

①在已经具有粉末冶金用烧结炉的场合，只要再增加一台加热炉就行了，投资较少；

②由于烧结加热炉是独立于生产线之外的，所以不受其他设备所发生的故障的影响。

可是，普通粉末冶金用烧结炉平均单位时间

内的烧结量虽大,但不能按较短的时间节奏逐个输送工件,无法组织到连续的生产线中去,工件的搬送较为复杂,这是一大缺点。辛辛那提公司、通用汽车公司、费德勒尔·莫格尔公司以及日本的一些公司对这种方式也正在进行试验。

2) 粉末锻造的加热方式 这种加热方式的规范如图 26.6-21b 所示,烧结加热和锻造加热是在同一炉子中连续进行的,采用模具润滑法,在炉内不需进行润滑剂脱除。这种方法的优点如下:

- ①由于不需进行象烧结锻造那样的冷却和再加热,热效率较高;
- ②由于加热炉的工作节奏与预成形压机和锻

造压机一致,省去了烧结加热和锻造加热的中间贮藏以及从事贮藏和运送的工作人员;

③可以自由采用适合于粉末锻造的加热条件。由于这种方式对粉末锻造有许多有利之处,各公司正在研究,想必不久就可用于生产。

(2) 加热设备

具体的加热设备有辐射加热和感应加热两种。两者各有优缺点,从粉末锻造用加热装置的观点出发,两种设备优缺点的比较如表 26.6-6 所列。另外,两种加热设备对于连续生产线来说,也各有优缺点。究竟哪种方式更好,很难下结论,必须依据所需条件来选择。有时也可以考虑采用两种方式相结合的炉子。

表 26.6-6 辐射加热和感应加热的比较

加热方式和炉型	辐射加热方式	感应加热方式
	转底式炉	卧式或立式圆筒形感应圈加热炉
加热温度	由于发热体寿命的限制,不超过 1 200℃	依靠选择耐火材料,可达到 1 400℃
加热时间	若增加加热器容量,也可进行快速加热	与辐射加热相比,可进行快速加热
均热性	均热性好,与形状无关	简单圆柱体以外的局部突起和沟不能均热
工件形状适应性	运送和加热较容易	改变形状时效率降低较多,运送的限制也较大
可控制性	容易自动控制,升温降温时间的缩短是有限度的	灵敏度高,控制容易
运送方法	一般容易	磁力影响和漏磁影响等困难较大
炉子大小	高度较低,面积大	断面积极小,长度较大
热效率	比感应方式差	通常为 50%~60%

(3) 加热中应考虑的主要因素

1) 炉内气氛的控制 为了有效地进行被加热预成形体中氧化物的还原,并防止氧化和脱碳,以及过份增碳,炉内应充满氢气、氨分解气体或碳化氢等还原性气氛;为使制品的性能稳定,必须控制好气氛的露点,并使之与外界大气隔绝。而且,材料的装入口与取出口若大量流出炉气,其露点就会上升,对预成形体会产生不良影响,这点必须充分注意防止。

2) 加热温度和加热时间 粉末锻造的加热温度必须从烧结温度和锻造温度两方面来考虑,两者不一定一致,烧结温度最好取为 1 100~1 300℃,锻造温度最好取为 900~1 000℃。当然,如果就在烧结温度下进行锻造,则只用一段

式的炉子就够了,但锻造温度太高模具寿命就短,锻件的质量会因晶粒粗大而降低,不仅制品精度降低,还会发生氧化和脱碳等许多问题。另外,粉末冶金时在烧结温度下长时间保温主要是为了强化粉末粒子之间的结合和致密化。但是在粉末锻造中由于结合和致密化是靠锻造进行的,在烧结温度下的保温时间可以短些。

3.3 粉末烧结锻造变形特点与致密

(1) 预制坯烧结锻造变形的特点

粉末冶金烧结体的锻造与致密金属坯的锻造相比,具有下列特点:

1) 质量不变条件 致密金属坯在塑性变形过程中遵循体积不变条件,而多孔体在锻造时则

遵循质量不变条件。

由于质量不变，体积 V 和密度 ρ 成反比：

$$\rho_0 V_0 = \rho V$$

$$\frac{\rho V}{\rho_0 V_0} = 1$$

则 $\ln\left(\frac{\rho V}{\rho_0 V_0}\right) = \ln\frac{\rho}{\rho_0} + \ln\frac{V}{V_0} = 0$

式中 ρ_0, ρ ——变形前后的密度；

V_0, V ——变形前后的体积。

如果设 $\ln\frac{\rho}{\rho_0} = \epsilon_\rho$ 为真实密度应变；

$\ln\frac{V}{V_0} = \epsilon_V$ 为真实体积应变。

则有

$$\epsilon_\rho + \epsilon_V = 0$$

因 $\epsilon_V = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3$

所以质量不变条件可表达为

$$\epsilon_\rho + \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0$$

对于致密金属坯，塑变时没有密度的改变，即 $\epsilon_\rho = 0$ ，上式变为 $\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0$ ，因此可以认为致密金属的体积不变条件仅是质量不变条件的一个特例。而质量不变条件用以描述多孔烧结体锻造时的塑性变形和致密化则是一种更普遍的规律。

2) 小的横向流动和泊松比的变化 在无摩擦单轴压缩时，将会发生金属的横向流动。对于致密金属，其高度的减小等于宽度的增加。此时泊松比 $\nu = 0.5$ ，并且在整个过程中， ν 值保持不变。烧结体在锻造时产生变形和致密化，遵循质量不变条件，但其体积不断减小。初期的锻造能量用于减小孔隙，横向流动较小，其塑性泊松比 $\nu < 0.5$ 。随着密度的提高， ν 值随着变化，当密度趋向于理论密度时， ν 值也逐渐趋向于 0.5。

经实验分析可知，锻造初期，多孔预制坯的横向流动小，致密化速度快。当相对密度大于 85% 时，才显示出大的横向流动。这一特点表明，预制坯锻造初期，高度方向的变形量大，而横向流动充满型腔的能力较差，仅当密度提高时，充填能力才逐渐与致密材料相当。

3) 屈服点和拉伸性能低 图 26.6-22 和图 26.6-23 为铁粉预成形坯无润滑平面应变热锻时，锻造压力与高度真实应变及相对密度的关系。根据实验曲线测得屈服点与单位压力及孔隙度的关系式如下：

$$p = 1.15(\sigma_s - K\eta^{2/3})$$

式中 η ——预成形坯的孔隙度；

K ——常数。

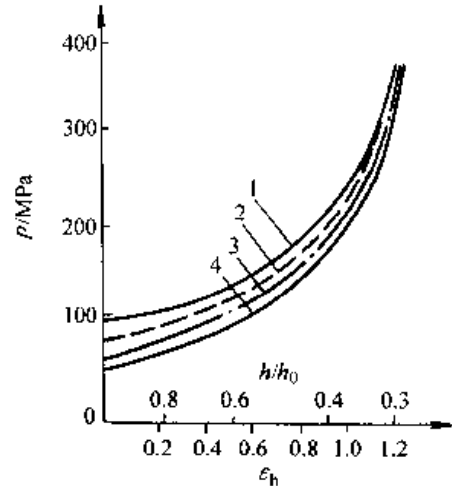


图 26.6-22 平均单位锻造压力 p 与高度真实应变 ϵ_h 的关系

1—19.8% 2—25.7% 3—32.7%
4—37.4% (1~4 为预制坯孔隙度；锻造温度 1160℃)

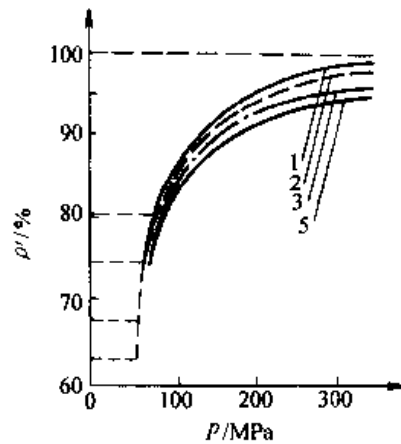


图 26.6-23 平均相对密度 ρ' 与平均锻造压力 p 的关系

1—19.8% 2—25.7% 3—32.7%
4—37.4% (1~4 为预制坯孔隙度；锻造温度 1160℃)

表 26.6-7 为屈服点与孔隙度的关系数据。这些数据表明，预成形坯的屈服点均随孔隙度的增大而减小。因此密度较低的预成形坯在较低的锻造变形力作用下就会产生塑性变形。随预成形坯的相对密度提高，变形抗力也随之增加。当相对密度达到 95%~98% 以后，基体材料发生显著塑性变形，并且进一步致密的抗力很大，必须用很高的锻造力才能接近致密。但如果在锻造初期锻件能够基本成形，锻造后期则基本是一种复压形式，因此对模具的磨损小，而且与致密钢锻

表 26.6-7 预成形坯的屈服点与孔隙度的关系

预成形坯 的孔隙度 γ/%	屈服点/MPa		
	取自图 26.6-20	取自图 26.6-22	取自 经验公式
37.4	58	55	56
32.7	63	65	65
25.7	84	78	79
19.8	88	94	91

造相比，能够得到更精确的形状。

由于孔隙削弱了基体之间的联系，多孔预成形坯的拉伸性能低，在非均匀拉应力的情况下，较致密金属易于产生开裂。这是区别于致密金属锻造的又一显著特点，需要在设计时慎重对待。

(2) 烧结体的致密

对粉末烧结体进行塑性加工时，既有形状的变化，又有体积的变化，前者称为变形，后者称为致密。从粉末锻造方法来看，要达到成形和致密的双重目的，可以采用纯复压致密的方式，也可采用塑性变形致密的方式，两种方式相比较，后者的效果好。致密效果应包括四个方面：①所得锻件密度高低及分布；②孔洞焊合情况；③锻造变形力的大小；④裂纹的产生与发展情况。

1) 复压致密 如烧结体完全不经或只经少量的宏观塑性变形即接触模壁，高度方向的变化导致体积改变。孔洞主要是在体积应力下产生缩小，闭合或压平。致密仅仅靠内部孔隙的缩小或

减少来实现，这就是复压致密，如图 26.6-24 所示。变形体主要通过静水压应力来消除孔洞，要达到完全致密是困难的，需要无穷大的压应力。被一层致密材料所包围的球形孔隙，在致密过程中，在一定温度和压力下存在一个“终点”密度，热复压的压力可高达 1 500 MPa。而且孔洞表面的氧化物及夹杂不易破坏，因而致密效果不好。即使给予极高的压力，锻件还残存着 2%~3% 左右的孔隙。

但另一方面，由于复压时变形体受三向压应力作用，不可能产生裂纹，而且可能闭合已经出现的表面裂纹。

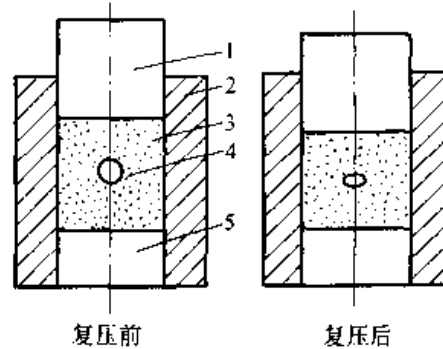


图 26.6-24 复压变形时孔洞变形示意

1—冲头 2—凹模 3—预成形坯 4—孔洞 5—模垫
2) 塑性变形致密

①成形过程 塑性成形可分为墩粗成形方式和压入成形方式，其成形过程分别如图 26.6-25 和图 26.6-26 所示。由图可见，其共同特点是变形初期均有较大的塑变致密过程，最后阶段又或多或少的存在一个复压过程。

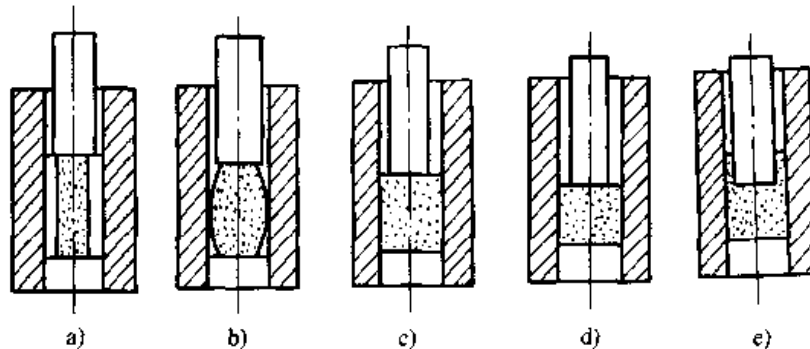


图 26.6-25 粉锻墩粗成形过程

a) 开始接触 b) 自由墩粗 c) 充满型腔
d) 压实 e) 形成毛刺

粉锻中的塑性变形与致密是互相渗透的，然而致密与变形所占比例的各个阶段有所不同。当金属具有宏观塑性变形时，孔隙被拉长、压合以

致闭合，所需变形力较小，而且易于破坏孔洞表面的氧化物及夹杂，见图 26.6-27。由于大量孔洞在塑性变形过程中闭合，当充满型腔后，仅需

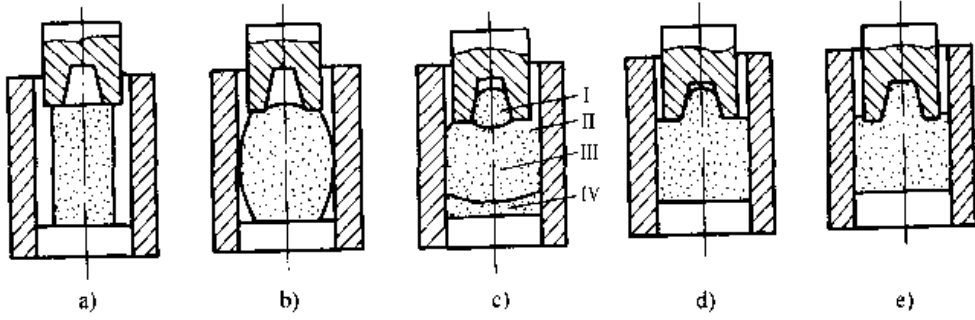


图 26.6-26 粉锻压入成形过程
 a) 开始接触 b) 孔板锻粗 c) 充满角部
 d) 充满型腔 e) 压实与形成毛刺

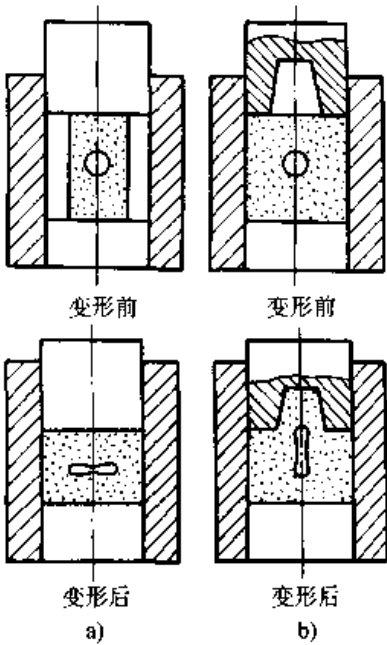


图 26.6-27 塑变方式对孔洞锻合的影响
 a) 锻粗 b) 压入

在最终复压阶段锻合少量残余孔洞，因此可以得到最佳致密效果。

但是必须指出，由于烧结体残存约 20% ~ 30% 的孔隙度，塑性较低，因此宏观塑性变形量受到限制。例如闭式锻粗初期烧结体自由锻粗时，

鼓形表面存在切向拉应力，易出现裂纹。当塑性较好时，开裂呈正裂形式，见图 26.6-28a；塑性较差时，开裂呈剪裂形式，见图 26.6-28b。此外，由于端面滑移可能产生端面开裂，环形件锻粗时由于不均匀锻粗成形可能产生纵向开裂，见图 26.6-28c。

而在压入成形时，由于金属的不均匀流动，可能产生挤入端开裂（图 26.6-29a）、剪切裂纹（图 26.6-29b），以及挤压裂纹（图 26.6-29c）等多种形式。

避免这些缺陷的途径有：

a) 合理确定烧结体的密度以及控制密度的均匀分布，以保证烧结体有足够的塑性。

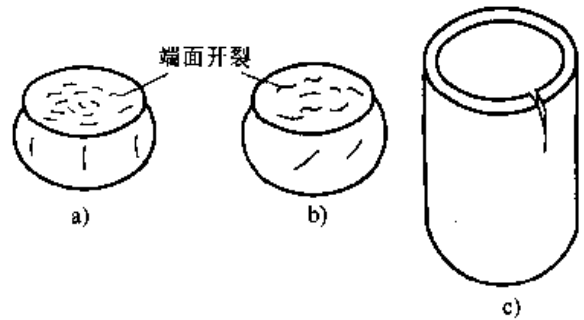


图 26.6-28 锻粗成形时裂纹的种类
 a) 侧表面正裂 b) 侧表面剪裂 c) 纵向端裂

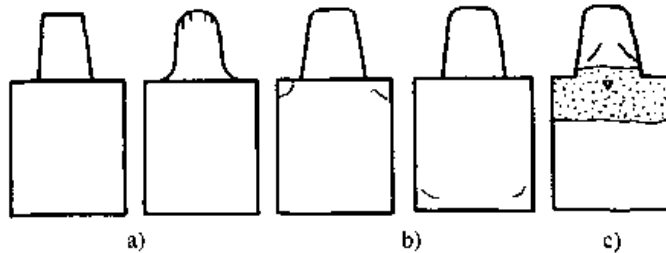


图 26.6-29 压入成形时裂纹的类型
 a) 挤入端开裂 b) 剪切裂纹 c) 挤压裂纹

b) 正确设计预制坯的几何尺寸, 即控制烧结体锻造时的塑性变形程度。

c) 正确设计模具工艺参数, 减少不均匀变形。

d) 增加润滑。

②致密效果 从闭式墩粗成形的全过程来看, 致密贯穿始终, 但效果不同。自由墩粗与充满角部效果好, 压实及形成纵向毛刺的效果差, 而其中又以充满角部效果最好。

压入成形时 (图 26.6-26), 第一阶段和第二阶段的致密速度最高。在充满型腔阶段, 近似于挤压变形。若型腔无斜度时, 压入部分即 I 区作平行移动, 大变形区 (III 区) 向下移动, 死区 II 与不变形区 IV 基本上不变化 (图 26.6-26c)。反映到变形抗力上变化不大, 仅增加变形流动的距离。在压实及形成毛刺阶段, 可继续增加致密作用, 但与墩粗成形相同, 所需变形力或功极大。

从密度与性能分布来看, 压入部分的顶端最差, 其次是 II 和 IV 区, III 区即大变形区的密度及性能最好。图 26.6-30 为实测密度分布纵断面图。

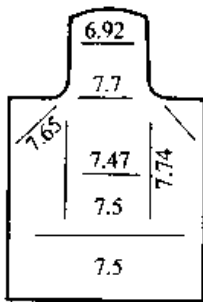


图 26.6-30 压入成形时的密度分布
(试件 $\rho_0 = 6.0 \text{ g/cm}^3$)

复压时致密方式是压实致密。密度最难提高, 孔洞难于焊合, 得到同一密度, 所需变形力最大。而墩粗方式和压入方式在变形初期均有较大的塑变致密过程, 最后阶段或多或少存在一个复压过程。因此若变形力一样, 变形程度达一定值, 最终的致密效果总高于复压形式。

3) 应力状态对致密的影响 由塑性理论可知, 一点的应力状态可分为静水压分量和应力偏量。在墩粗变形时, 应力偏量最大, 静水压分量最小; 在复压状态, 应力偏量最小, 静水压分量最大; 平面应变时, 介于两者之间。在应力偏量

作用下, 将产生宏观金属流动, 易于消除孔洞, 使烧结体致密化。静水压条件虽然也可产生压实致密, 但需要极高的压力。

通过把所施加的应力分解为静水压分量和应力偏量, 研究了对应三种简单变形方式的静水压应力分量和应力偏量与密度的关系, 如图 26.6-31 示。自由墩粗时致密化最为容易, 复压时致密化最为困难, 平面应变时介于其间。

至于致密化所需应力, 以墩粗形式时为最小、平面应变时其次, 而复压时为最大。这点从图 26.6-32 的实验曲线中可以清楚看出。

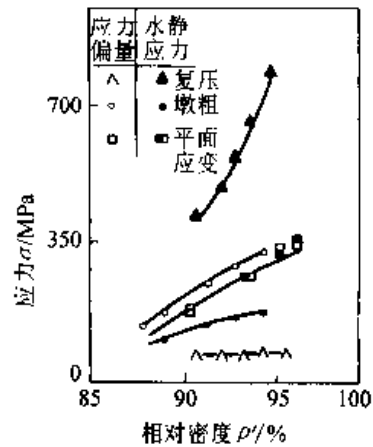


图 26.6-31 对应于三种变形方式的静水压分量和应力偏量与密度的关系

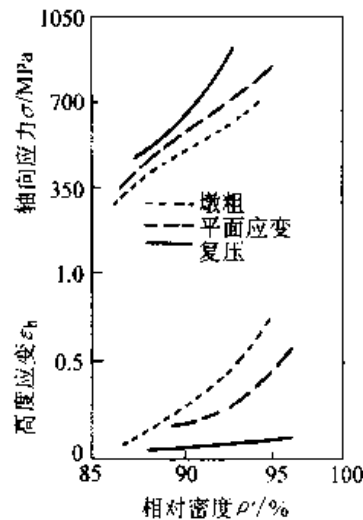


图 26.6-32 对应于三种变形方式的高度应变和轴向应力与密度的关系

(3) 粉锻件的性能

影响粉末烧结体锻后性能的因素很多, 如粉末原料、压制及烧结工艺、锻前加热、锻造成形

方式和锻后密度等。但一般说来，粉锻件的性能主要取决于锻造工艺。下面主要讨论粉锻致密程度和变形方式对最终性能的影响。

1) 粉锻件密度对性能的影响 锻件的致密程度对性能的影响很大。所有的性能指标均随锻后致密度的增加而增加。

其中强度、硬度指标随密度增加而增加的趋势比较平缓。图 26.6-33 为几种粉末（雾化铁、1020、4620 和 4630 钢）预制坯经平面应变变形后的硬度-密度曲线。图 26.6-34 为各种铁粉粉锻件的抗拉强度与孔隙度之间的关系。

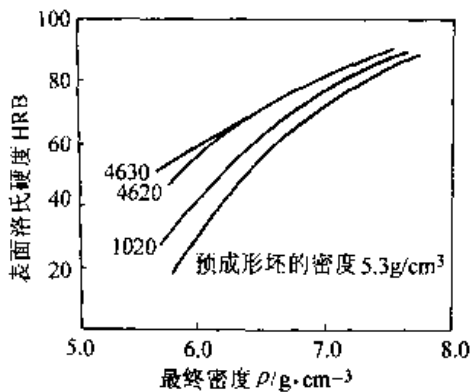


图 26.6-33 几种铁粉锻件平面应变变形后的硬度-密度曲线 (1020、4620、4630 均系国外合金钢粉牌号)

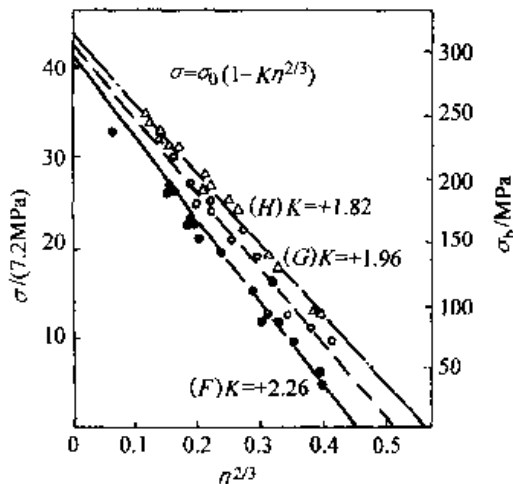


图 26.6-34 颗粒大小不同的铁粉锻件的抗拉强度与孔隙度之间的关系
σ₀—理论密度下的金属抗拉强度

- η—粉末金属的孔隙度 K—与成分和原料品位有关的常数
 - (F)—喷雾铁粉(0.154~0.103 mm 或 100~145 目)
 - (H)—喷雾铁粉(0.043~0.035 mm 或 325~400 目)
 - (G)—喷雾铁粉(0.071~0.059 5 mm 或 200~250 目)
- 塑性指标伸长率、以及冲击能量对密度敏感

性极大。往往起初随密度的提高而缓慢提高，达到某一程度后则迅速提高，如图 26.6-35 和图 26.6-36 所示。由此可见，粉末锻造为获取高性能宜尽可能达到高密度。当密度达到一定程度，粉锻件的性能将有一个突变。

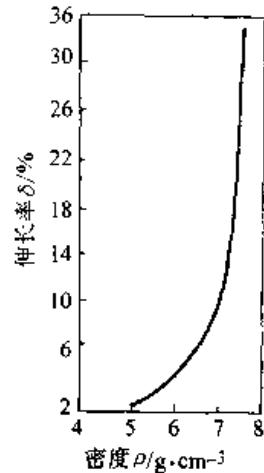


图 26.6-35 粉锻件密度与伸长率关系曲线

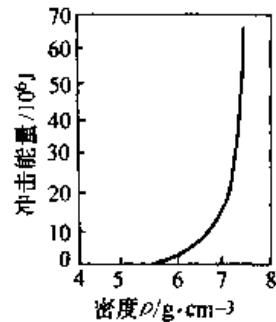


图 26.6-36 粉锻件密度与冲击能量关系曲线

粉锻件在达到或接近全密度的情况下，机械性能一般将达到相同成分锻钢的水平。原因可从如下几个方面分析：

- ①粉末成分、组织非常均匀，基本不存在成分偏析，这是一般铸锻材料，尤其是合金钢所无法比拟的。
- ②粉锻件的晶粒非常细小，优于一般铸锻材料。晶粒边界形成了阻止晶粒长大的壁垒。
- ③高倍金相分析表明，极细的渗杂物的存在，可以产生弥散硬化效应。而且残余细小微孔和极细渗杂物，也能阻碍晶粒的长大。

表 26.6-8 为国外粉末锻钢与相应锻钢的性能指标，表 26.6-9 为国内研制的粉锻齿轮与致密钢 (18CrMnTi) 切削加工齿轮性能比较表。大量的试验研究表明，粉末锻钢的力学性能可以和普通锻钢相匹敌。

应当指出，粉末锻件可能存在少量残余孔洞，

表 26.6-8 粉末锻钢与相应锻钢的力学性能

粉末成分(质量分数) $w_i/\%$				抗拉强度	伸长率	面缩率	回火硬度	冲击韧度	淬透性
Mn	Ni	Mo	Cu	σ_b/MPa	$\delta/\%$	$\psi/\%$	HRC	$a_K/\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$	
0.067	0.62	0.41	1.59	954	18.4	56.3	29.0	85.7	相当
0.042	0.70	0.33	3.09	985	16.5	47.3	31.9	75.4	相当
0.056	0.65	0.61	2.88	896	16.9	54.1	27.0	99.9	相当
0.058	0.06	0.33	2.80	995	16.6	49.9	32.4	63.5	相当
相应锻钢				998	20.5	46.0	31.0	70.8	相当

表 26.6-9 粉锻齿轮和 18CrMnTi 钢切削加工齿轮的力学性能

材 料	热 处 理	σ_b/MPa	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$\delta/\%$	$\psi/\%$	$a_K/\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$
18CrMnTi	淬碳、淬火、回火	1 660	1 590	0.5	1.0	34
粉锻 Fe-2Cr-0.4Mo	淬碳、淬火、回火	1 670	1 360	0.5	1.0	30

因此当成分相同时，一次冲击韧度 a_K 值较低。但是 a_K 值的大小并不能完全反映零件使用条件下的受力情况。国内进行的多冲抗力试验表明，当冲击能量低于 1.8 J 时，粉末锻造齿轮的破断抗力均高于 18CrMnTi 齿轮。因此粉锻件的实际使用寿命比相应致密钢件长，其试验曲线示于图 26.6-37。

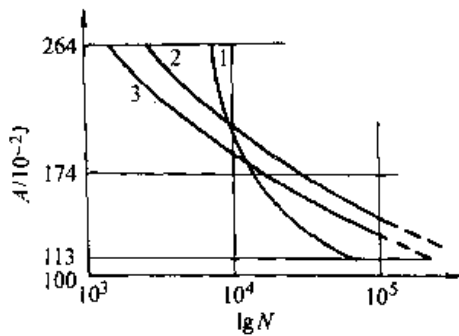


图 26.6-37 冲击能量 A 与破断寿命 $\lg N$ 关系曲线
1—18CrMnTi 2—共还原铁粉(Fe, Cu, Mo, C)
3—普通还原铁粉(Fe, Cu, Mo, C)(热处理:渗碳淬火)

2) 塑性流动对性能的影响 粉锻件的高密度对性能的影响很大，然而高密度是通过锻造而达到的。锻造时塑变致密效果好，而单纯复压致密效果差。而且研究表明，锻件的某些最终性能与总变形程度有关。

为了说明流动对获得最好性能的影响，曾进行过对比实验：使用 $7.2\text{g}/\text{cm}^3$ (孔隙度为 8%) 和 $5.7\text{g}/\text{cm}^3$ (孔隙度为 28%) 两种密度的预制坯，尺寸均为 $61\text{mm}\times 61\text{mm}\times 153\text{mm}$ ，二者都在室温下锻到 $7.78\text{g}/\text{cm}^3$ 左右，如图 26.6-38 所示。每一锻件按图 26.6-39 示加工成四个带 V 型缺口的摆锤冲击试样，冲击试验结果汇于表 26.6-10。

低密度预制坯制造的锻件有较高的冲击强度

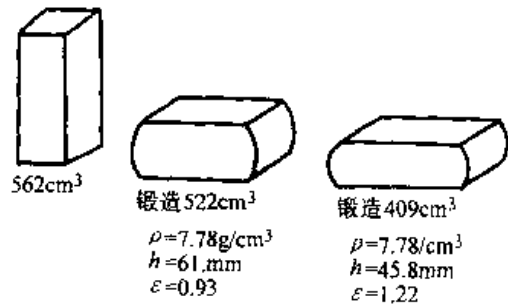


图 26.6-38 不同密度预制坯的冷锻

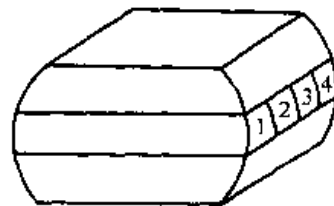


图 26.6-39 粉锻件冲击试样取样部位

值,各部位的性能指标均匀。而用高密度预制坯制造的锻件性能不一,与取样部位有关。如试样1和4是从锻件外侧截取的,那里的流动量较大,性能与低密度预成形坯粉锻件的相同。但试样2和3是从锻件的内部截取的,因中心部位金

属的变形流动小,低于外侧试样1和4,因此性能很差。

由此可见,粉锻的致密方式以及总变形程度对性能的影响很大。所以,粉锻成形应尽可能地增加塑性变形程度,以期得到最佳的性能。

表 26.6-10 流动对雾化铁粉冲击能和断裂的影响

粉锻试样编号	密度 5.7 g/cm ³ 预制坯				密度 7.2 g/cm ³ 预制坯			
	1	2	3	4	1	2	3	4
密度 $\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	7.78	7.77	7.77	7.76	7.78	7.78	7.76	7.77
冲击值 $a_K/\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$	89.7	86.9	85.6	88.3	85.6	5.5	5.5	82.8

4 粉末锻造模具设计及实例

4.1 粉末锻造模具设计

(1) 粉锻模具设计

粉锻模的结构设计与精密模锻的锻模设计极为相似,但也有一些特殊之处。

对于等高型粉锻件,均应采用闭式锻模结构。由于粉锻工艺采用粉末压制模制坯,易于满足闭式模锻的工艺条件,如能准确控制重量,可以靠毛坯外形或内孔准确定位。粉锻设备大多有顶出装置,易于使锻件脱模。在采用闭式模锻时,要使冲芯或模垫与凹模之间的间隙控制适当,防止纵向飞刺的产生,同时便于冲芯进入凹模。

对于非等高型粉锻件,如果小断面的部分靠

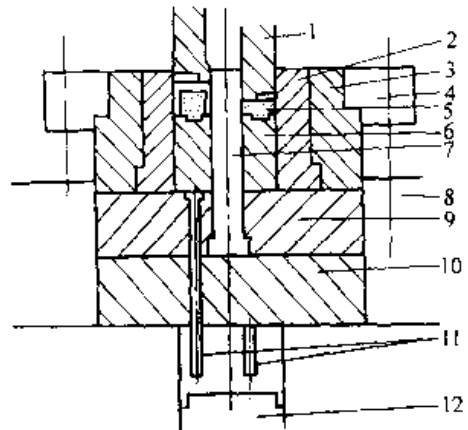


图 26.6-40 粉末锻造模具结构

- 1—上凸模 2—凹模 3—预应力圈
- 4—紧固圈 5—锻件 6—下凸模 7—芯棒
- 8—模座 9—垫块 10—支承垫块
- 11—顶出缸 12—凹模落出机构

作为粉锻润滑剂，也有采用水溶性玻璃润滑剂，均以喷涂的方法，喷涂在模具或预成形坯表面。

(2) 粉锻工艺应用

粉末烧结锻造 NJ-130 汽车后桥行星齿轮，其预成形坯和锻件如图 26.6-41 所示。锻造用模具结构如图 26.6-42 所示。

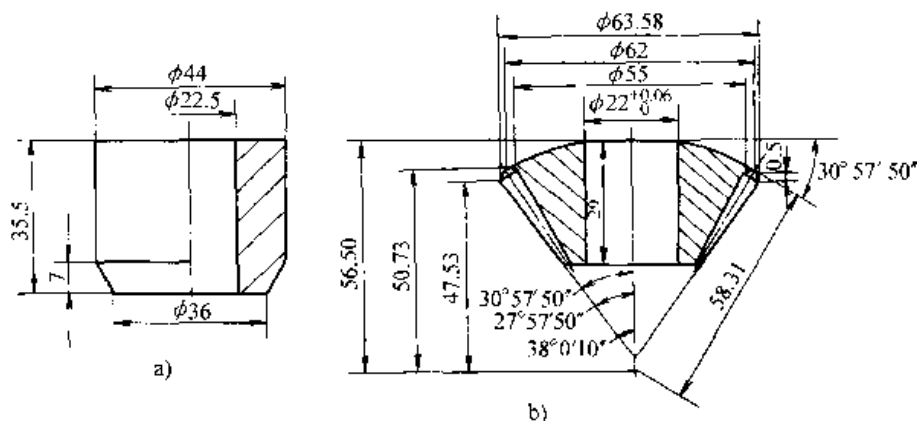


图 26.6-41 NJ-130 汽车行星齿轮预制坯与锻件图
a) 预制坯 b) 锻件

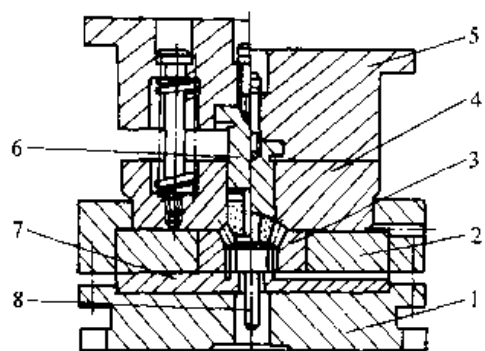


图 26.6-42 NJ-130 汽车行星齿轮
粉末锻造模具结构图

- 1—下模座 2—预应力圈 3—凹模 4—导向模块
5—上模座 6—凸模 7—垫块 8—顶杆

NJ-130 汽车后桥行星齿轮，原采用 18CrMnTi 钢制造。采用粉末烧结锻造生产该齿轮，选用 Fe-Mo 共还原粉，其预成形坯的化学成分为： w_C 0.4% ~ 0.45%， w_{Mo} 0.38% ~ 0.44%， w_{Cu} 2%，余量为 Fe。外加 $w_{硬脂酸锌}$ 0.4% 和 $w_{20\text{号机油}}$ 0.1%，经混粉后进行压制。压制是在 1 250 kN 粉末自动压机上进行。预成形坯重量控制在 262 ± 2 g，密度为 6.5 ~ 6.7 g/cm³。其主要工艺如下：

1) 烧结 烧结是在分解氨保护气氛的钼丝烧结炉内进行，烧结温度为 1 120 ~ 1 180℃，保温时间 1.5 ~ 2.0 h。烧结后检查预成形坯离表层

3 ~ 3.5 mm 处含碳量， w_C 为 0.28% ± 0.07% 的合格。

2) 锻前加热及锻造 锻前加热是在氮气保护下的 100 kW、2 500 Hz 可控硅中频感应加热装置内进行。加热温度控制在 900℃ ± 50℃ 范围内，加热时间为 10 ~ 15s。取出后立即在 3 000 kN 摩擦压力机上进行锻造，空气中暴露时间不应大于 4 s。然后利用锻后余热（约在 800℃ 左右）在 1 000 kN 压力机上精整。润滑剂采用水基胶体石墨，模具温度应控制在 300℃ 左右。锻件密度在 7.75 g/cm³，应大于理论密度的 98% 以上，在 800 kN 冲床切去小飞边。

3) 锻后热处理 锻件在井式炉中进行气体渗碳，渗碳温度为 930℃，保温 2.5 h，880℃ 出炉直接油淬。然后在盐浴炉中加热至 860℃ 进行二次油淬，再加热到 180℃ 回火 1.5 h。渗碳层应控制在 0.75 ~ 1.00 mm 之间，表面层 w_C 应为 0.75% ~ 0.9%，表面硬度 > 50HRC，心部硬度 > 30HRC。

(3) 粉末锻造对设备的要求

粉末锻造对设备的基本要求为：

- 1) 满足粉末锻造的力、能量及精度的要求；
- 2) 工作速度要合适，即每分钟行程次数、加压保持时间和加压速度等要合适；
- 3) 粉锻常采用单型腔模锻，应有顶出装置

或模具能翻转脱模，以便能迅速方便地脱模。

常用的模锻设备中，摩擦压力机、高速锤、热模锻压力机等均能较好地进行粉锻。自由锻锤在某些特定条件下也能满足粉锻工艺要求。这些设备的特点如表 26.6-11 所列。

4) 由于锻造是在闭式的模具内进行的，为使模具和压机不过载，滑块下死点或锻造压力必

须能够正确控制。

我国目前主要使用机械压力机和高精度摩擦压力机进行粉末锻造。在自由锻锤上用锻模对一些批量不大而重量较大的零件进行粉锻也是可行的，胎模设计应力求结构简单，操作方便，定位可靠。

表 26.6-11 锻造设备的比较

机 种	控制方式	大力量 的实现	操 作 性 能				价 格
			锻造速度	行程次数	行程次数 的稳定性	尺寸精度	
机械压机	行程	可能	中	高	好	好	价格高
液压机	变形力	容易	小	低	好	差	价格高
螺旋压力机	能量	困难	中	中	好	差	价格中等
高速锤	能量	可能	大	低	差	差	价格中等
模锻锤	能量	困难	大	高	稍差	不太好	价格便宜

4.2 粉末锻造模具设计实例

1) 锥齿轮粉锻模 图 26.6-43a、b 分别为锥齿轮预制坯和粉锻件图，图 26.6-44 为锥齿轮预制坯压制模，图 26.6-45 为锥齿轮粉锻模，图 26.6-46a、b 分别为凹模精加工电极和粗加工电极，图 26.6-47~59 为粉锻模关键零件的结构设计。

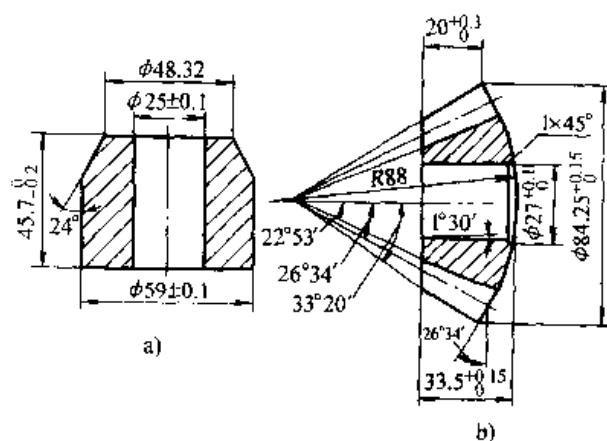


图 26.6-43 锥齿轮预制坯和锻件图

a) 预制坯图 b) 锻件图

1. 齿轮参数: $m = 6.35 \text{ mm}$ $z = 11$ $\alpha = 19^\circ$

全齿高 $h = 13.10 \pm 0.02 \text{ mm}$ 节锥距 $L = 78.09 \text{ mm}$

2. 铁基粉末密度 6.5 g/cm^3 ，重量为 $630 \pm 2.5 \text{ g}$

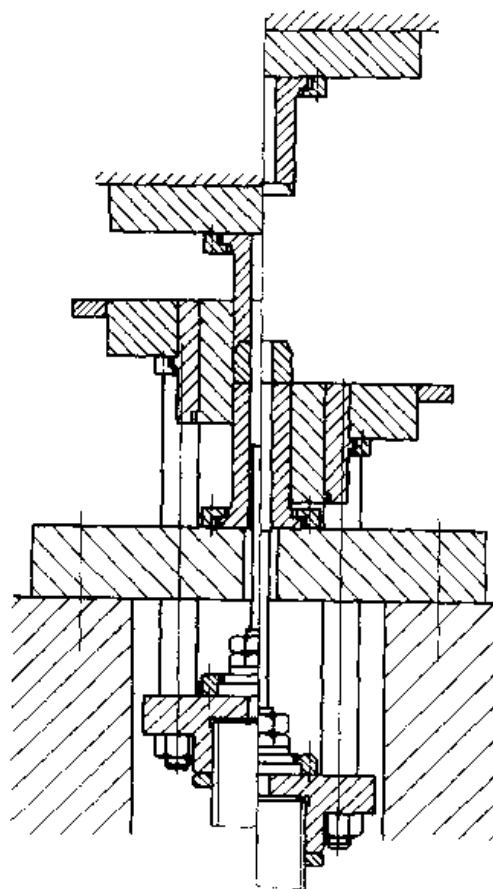


图 26.6-44 预制坯压制模 (用于 2500 kN 自动粉末液压机)

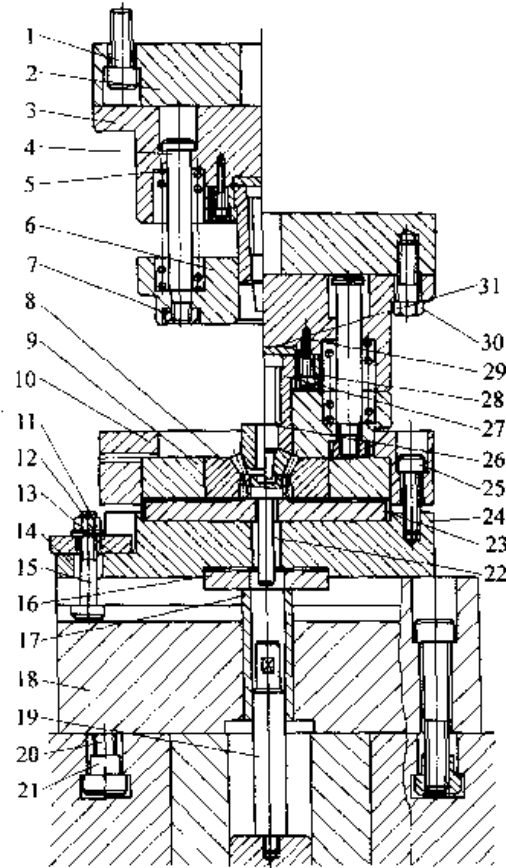


图 26.6-45 锥齿轮粉锻模结构图

1、20、25、29、30—螺钉 2—上底板 3—上模座 4—拉杆 5—弹簧 6—导模 7、11—螺母 8—凹模
 9—外套 10—压紧套 12—垫圈 13—下压板 14—垫块 15—螺栓 16—定位圈 17—导套 18—下底板
 19—顶杆 21—方螺母 22—顶杆 23—凹模垫 24—凹模座 26—芯棒 27—上模 28—上模盖 31—上模垫

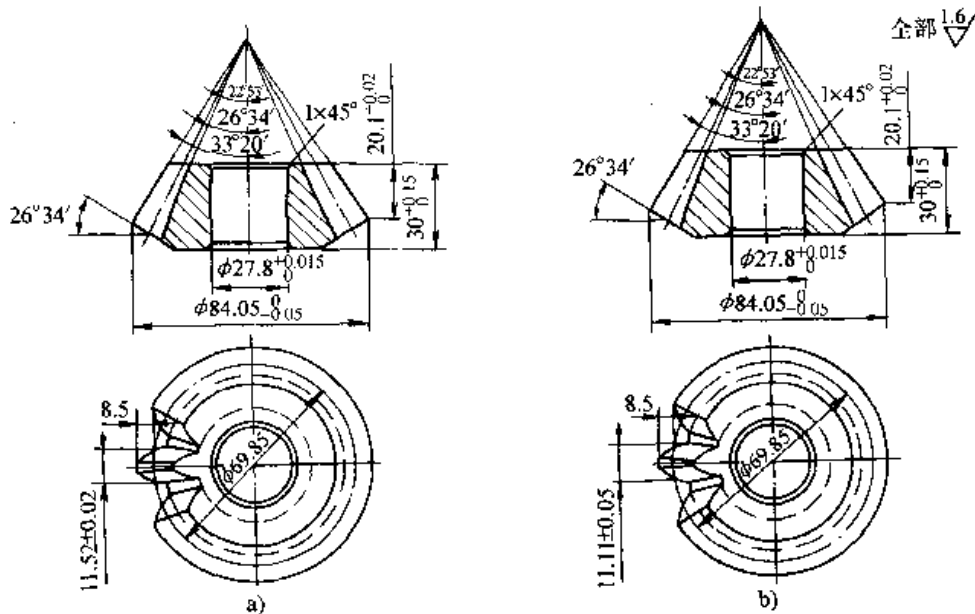


图 26.6-46 凹模加工电极

a) 精加工电极 b) 粗加工电极

1. 材料: HT200 2. 齿形参数: $m = 6.35 \text{ mm}$ $z = 11$ $\alpha = 19^\circ$
 $L = 78.09 \text{ mm}$ $h = 13.10 \pm 0.02 \text{ mm}$ 3. 电极按 IT11 级精度制造

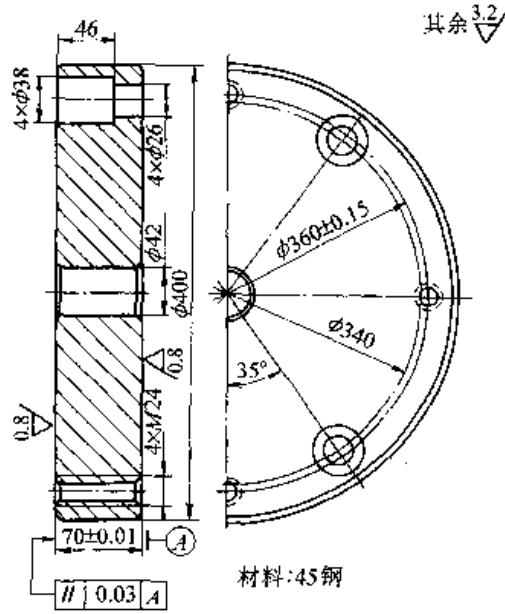


图 26.6-47 上底板 (2)

材料: 45 钢

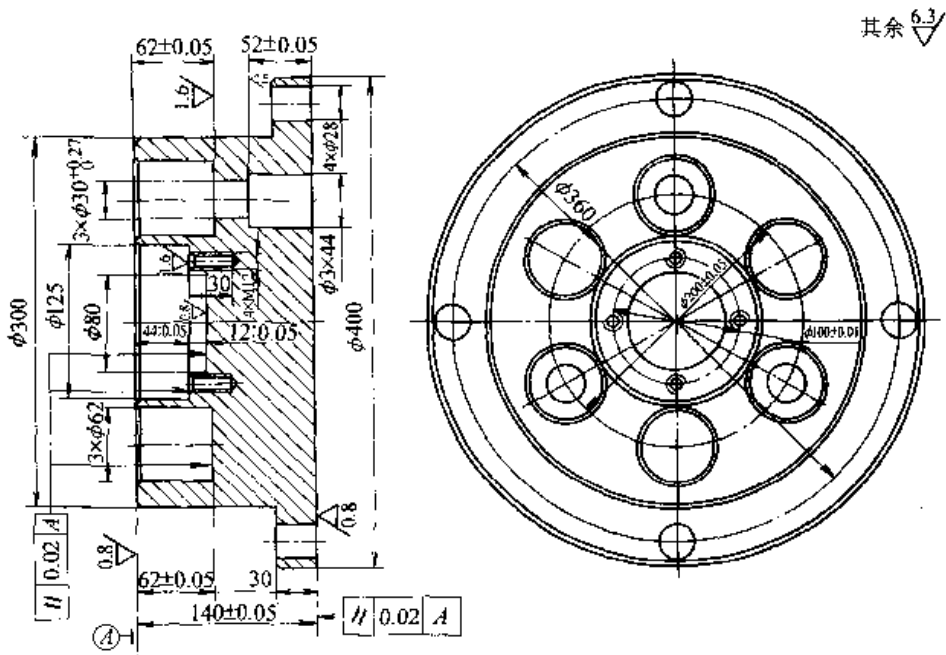


图 26.6-48 上模座 (3)

1. $\phi 30^{+0.027}$ mm 与导模共镗
2. 材料: 45 钢, 硬度 45~50 HRC
3. 倒角 $1.5 \times 45^\circ$

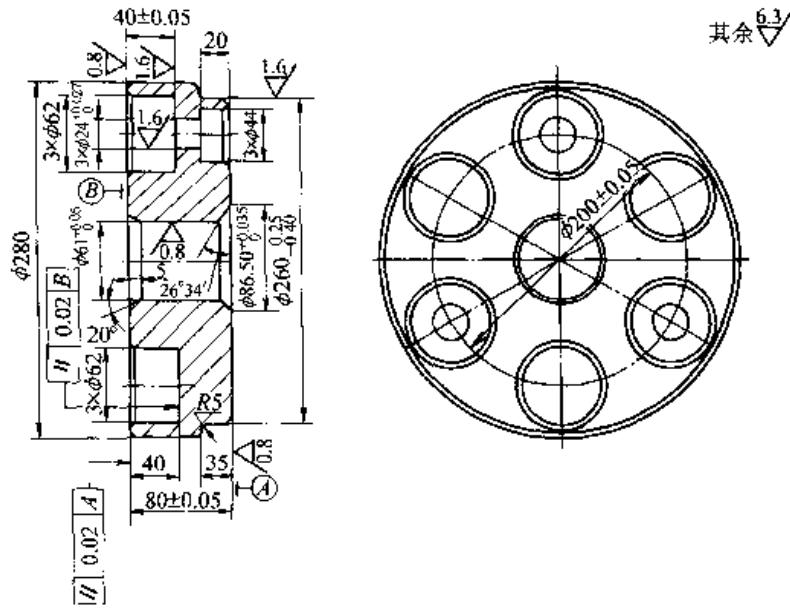


图 26.6-49 导模 (6)

1. $3 \times \phi 24^{+0.027}$ mm 与上模座共模
2. 材料: 3Cr2W8V, 硬度 46~50HRC
3. 倒角: $1.5 \times 45^\circ$

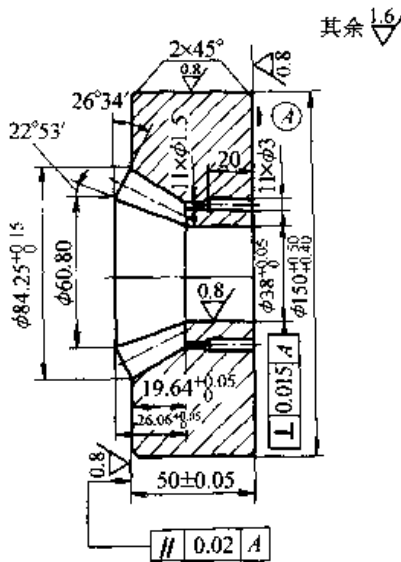


图 26.6-50 凹模 (8)

1. 齿腔加工精度不低于 IT12 级
2. 齿形参数: $m = 6.35$ mm $z = 11$ $\alpha = 20^\circ$
 $L = 78.09$ mm $h = 13.08$ mm
3. 材料: 3Cr2W8V, 硬度 46~50HRC

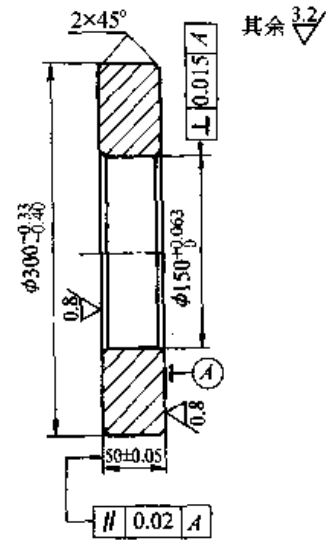


图 26.6-51 外套 (9)

1. 加热至 $400 \sim 450^\circ\text{C}$ 与凹模装配
2. 材料: 5CrMnMo, 硬度 45~48HRC

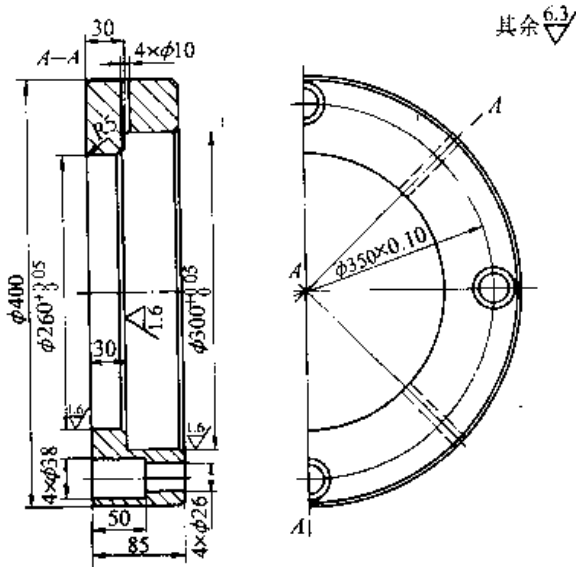


图 26.6-52 压紧套 (10)
1. 材料: 45 钢 2. 倒角 $2 \times 45^\circ$

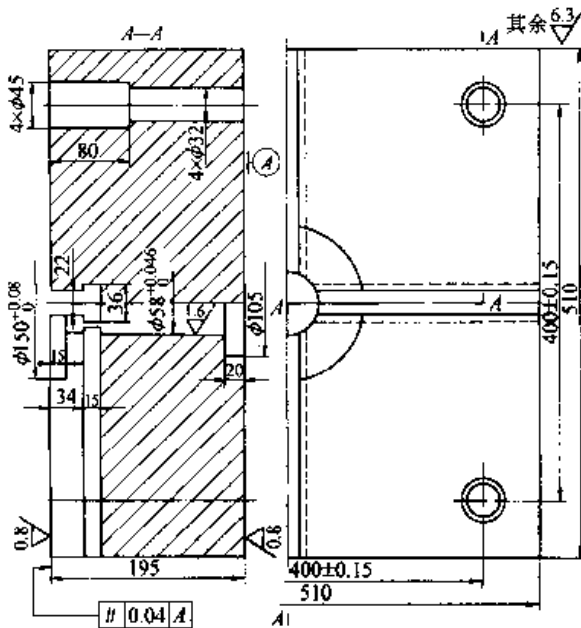


图 26.6-53 下底板 (18)
材料: ZG310-570

2) 圆柱齿轮粉锻模 图 26.6-60a、b 为圆柱齿轮的粉锻毛坯、粉锻件, 图 26.6-61a、b 分别为圆柱齿轮粉锻毛坯压制模和粉锻模。

3) 齿轮套粉锻模 图 26.6-62a、b、c 分别为齿轮套粉锻毛坯图、粉锻件图和粉锻模结构。

4) 滑板粉锻模 图 26.6-63a、b、c 分别为滑板粉锻毛坯图、粉锻件图和粉锻模结构。

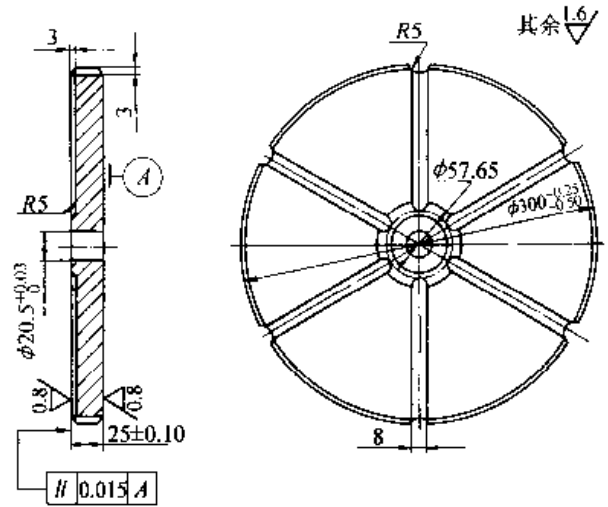


图 26.6-54 凹模垫 (23)
1. 材料: 5CrMnMo, 硬度 48~52HRC 2. 倒角 $1 \times 45^\circ$

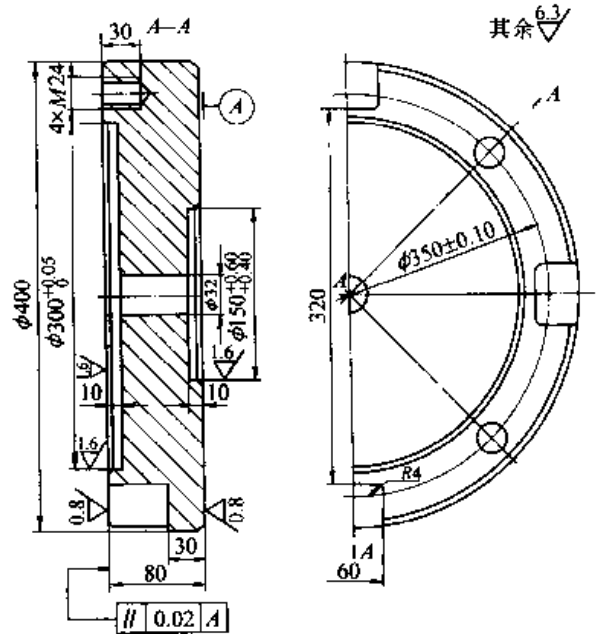


图 26.6-55 凹模垫 (24)
1. 材料: 45 钢 2. 倒角 $2 \times 45^\circ$

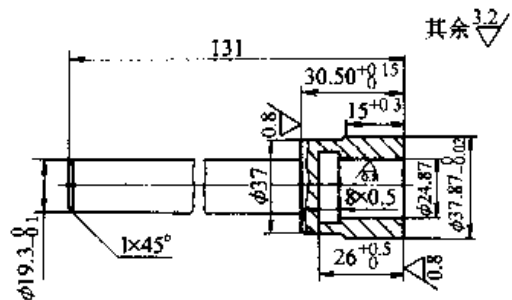


图 26.6-56 顶杆 (22)
材料: 3Cr2W8V

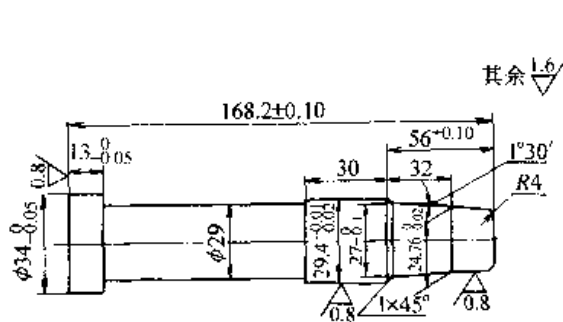


图 26.6-57 芯棒 (26)
材料: 3Cr2W8V, 硬度 46~50HRC

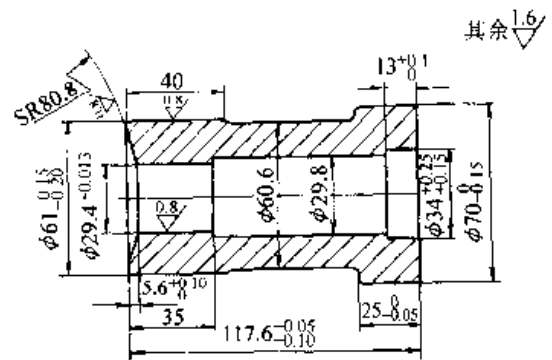


图 26.6-58 上模 (27)
1. 材料: 3Cr2W8V, 硬度 46~50HRC 2. 倒角 1×45°

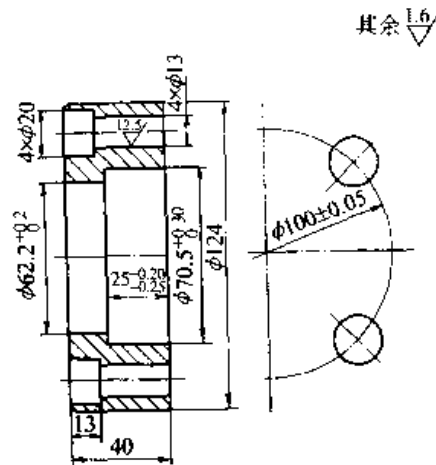


图 26.6-59 上模盖 (28)
1. 材料: 45 钢 2. 倒角 1×45°

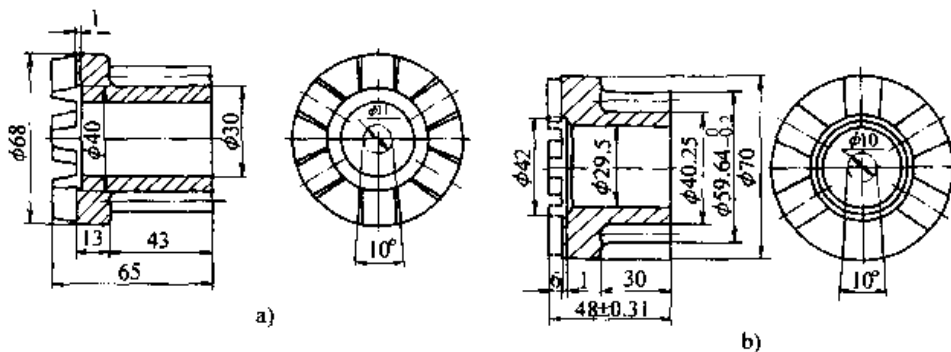


图 26.6-60 圆柱齿轮粉锻毛坯图和锻件图
a) 粉锻毛坯图 b) 粉锻件图

齿轮参数 $m=3.5\text{ mm}$ $z=14$ $\alpha=20^\circ$ $D_2=49\text{ mm}$ $h_1=1\text{ mm}$
修正系数: +0.52 齿顶高: 5.32 mm 齿全高: 7.875 mm 精度 8-F8

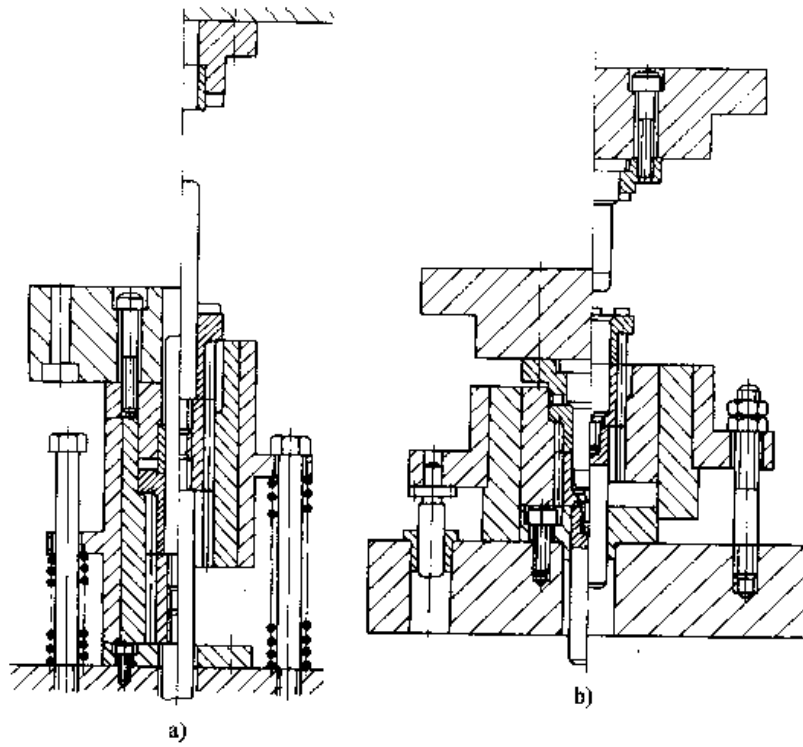
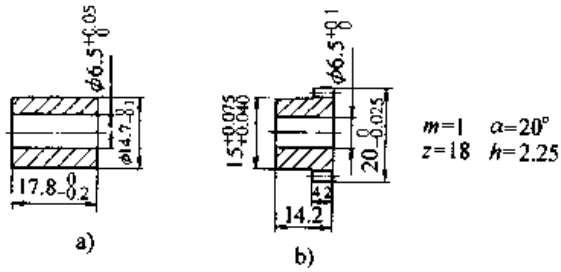


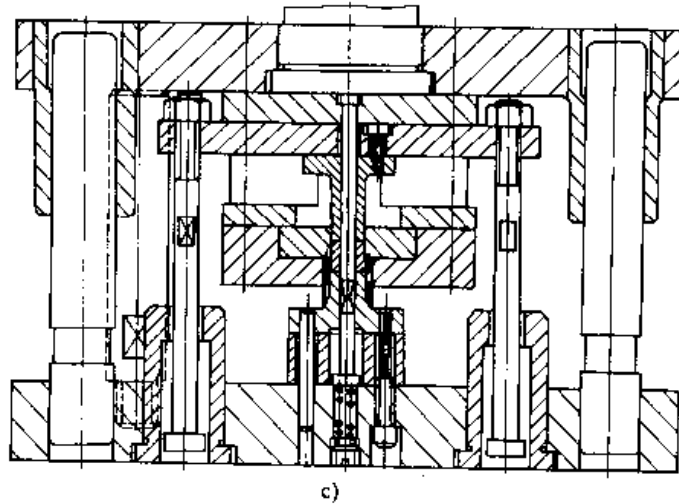
图 26.6-61 圆柱齿轮粉锻毛坯压制模和粉锻模

a) 粉锻毛坯压制模 b) 粉锻模



a)

b)



c)

图 26.6-62 齿轮套粉锻模

a) 粉锻毛坯图 b) 粉锻件图 c) 模具结构

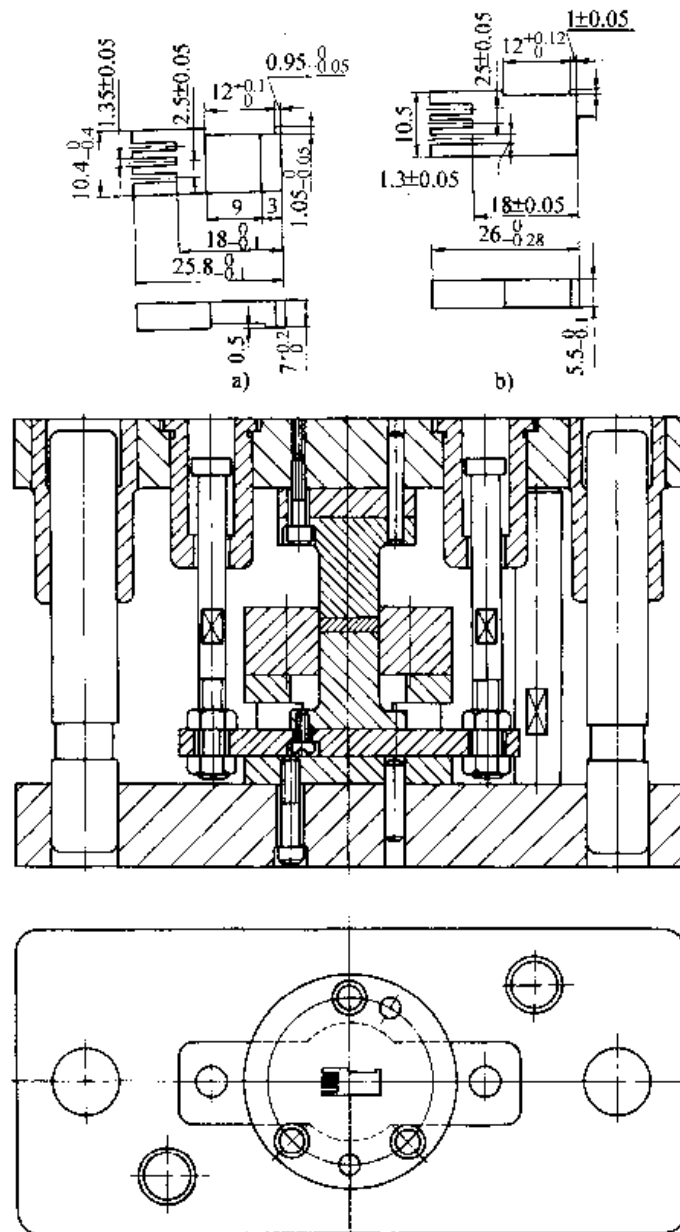


图 26.6-63 滑块粉锻模
 a) 粉锻毛坯图 b) 粉锻件图 c) 模具结构

第 7 章 金属注射成形模具设计

金属注射成形是最新一代金属的高效近终成形方法，是传统塑料成形与粉末冶金工艺的完美结合。它是将金属粉末与一定量的粘结剂混合成具有一定粘度的均匀混合物，经破碎造粒，加入

塑料注射成形机压入模腔，成形出特定形状的毛坯。毛坯经脱粘后，可以按传统粉末冶金工艺，烧结成具有复杂形状的金属零件。

典型金属注射成形工艺流程见图 26.7-1。

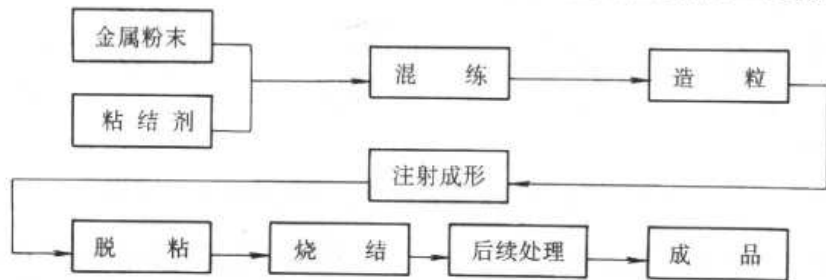


图 26.7-1 金属注射成形工艺流程图

金属注射成形是生产小型复杂形状精密金属零件的有效方法。同传统工艺如机加工、精密铸造、粉末压制相比，注射成形有其独到之处：它可以像精密铸造、压力铸造一样生产出三维复杂金属零件。且精度更高，材料应用范围更广，如铁基、镍基、不锈钢、磁性材料、钨高密度合金、硬质合金、陶瓷等。它突破了传统粉末冶金工艺在复杂形状成形方面的局限性，可以用普通塑料注射机高效成形出像塑料制品一样复杂形状

的精密金属、陶瓷制品。

由于注射成形所用粉末较细（一般在 $1\sim 20\ \mu\text{m}$ ），价格较高，并且脱粘时间与零件厚度的平方成正比，所以该工艺主要用于复杂形状小零件的批量生产。零件一般尺寸小于 $100\ \text{mm}$ ，体积小于 $100\ \text{mm}^3$ 。对于形状复杂，难以用其他方法加工的稍大零件有时也可采用该工艺。

图 26.7-2 示采用金属注射工艺制作的一些代表性零件。

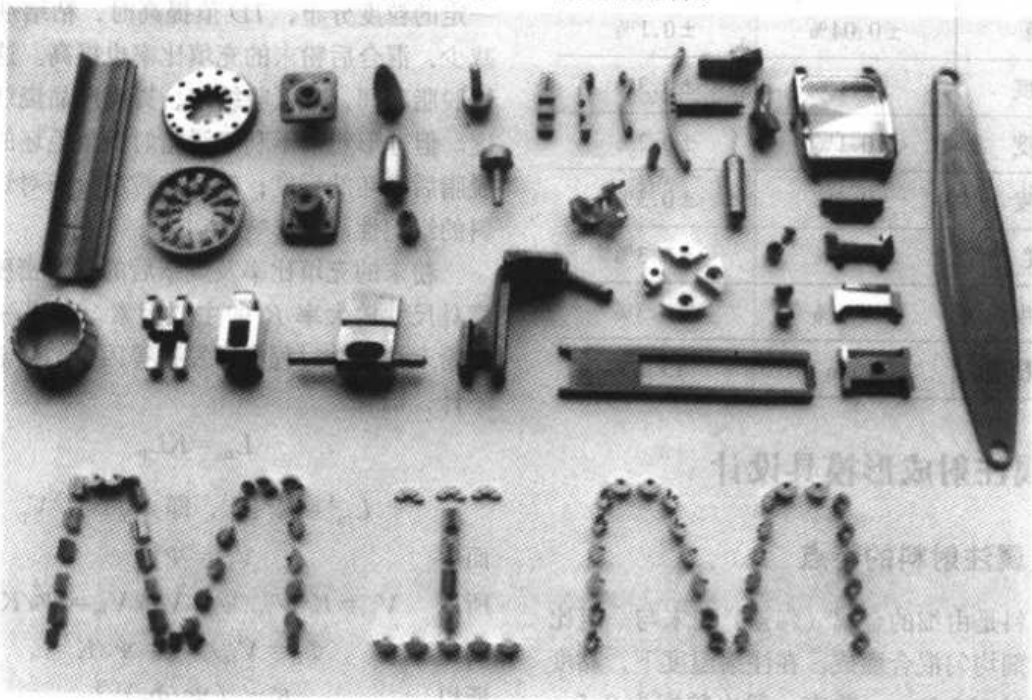


图 26.7-2 金属注射成形工艺制作的一些代表性零件

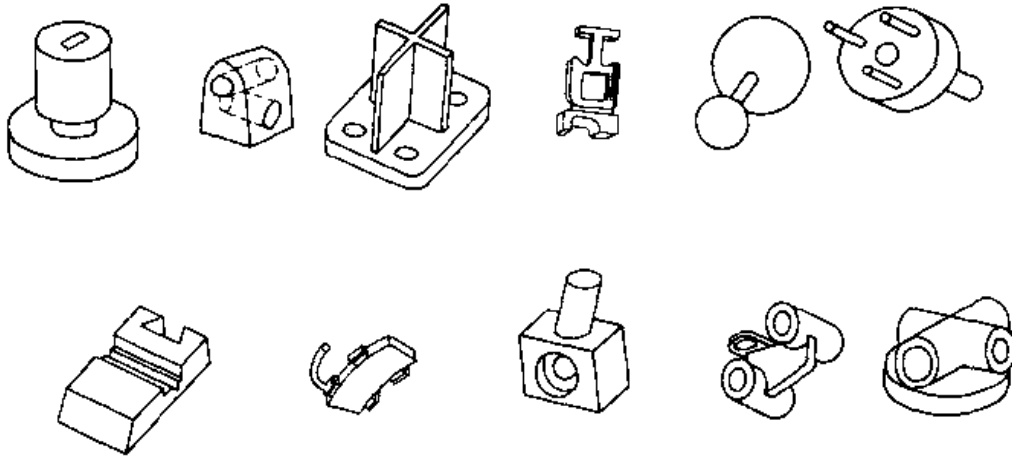


图 26.7-3 注射成形工艺能够制作的一些代表性零件的形状

图 26.7-3 所示为注射成形工艺能够制作的一些代表性零件的形状。典型金属注射成形零件的公差如表 26.7-1 所示。

表 26.7-1 典型金属注射成形零件的公差

项目	精密级	一般级
密度	±0.2%	±1%
重量	±0.1%	±0.4%
尺寸	±0.05%	±0.3%
绝对尺寸	±0.04 mm	±0.1 mm
孔径	±0.04%	±0.1%
位置度	±0.1%	±0.3%
平面度	±0.1%	±0.2%
平行度	±0.2%	±0.3%
圆度	±0.3%	±0.3%
垂直度	±0.1%	±0.3%
表面粗糙度	4 μm	15 μm

1 金属注射成形模具设计

1.1 金属注射料的特点

注射料是由细的金属（陶瓷）粉末与一定比例的粘结剂均匀混合而成。在注射温度下，黏度一般不超过 100 Pa·s。粉末一般由粒度为 0.5~20 μm 的类似球形的各种金属、陶瓷粉末组成。

粘结剂分类方式较多，按主粘结剂高分子树脂分子链的类型，可分为热塑性和热固性两种。工业上最常用、最成功的为热塑性树脂类。它是由多组分、较宽分子量分布的高分子树脂与增塑剂、润滑剂及粉末表面活性剂等构成。由热塑性粘结剂与金属粉末制成的注射料可以反复使用而性能没有显著的变化。故流道、毛坯废品可以破碎重新使用，材料利用率高，几乎没有浪费。

粘结剂的添加量主要决定于粉末的振实密度（TD），当然其与粉末的相容性对此也有一定的影响。当粉末变为球形，表面光滑，粒度增大，一定的粒度分布，TD 值提高时，粘结剂使用量减少，混合后粉末的充填比率也提高。这可以缩短脱脂时间，降低收缩率，提高产品烧结后的精度。但球形粉末不利于脱脂时保持毛坯的形状及脱脂后毛坯的强度；较宽的粒度分布对烧结后材料的组织性能有影响。

粉末的充填比率及烧结后的相对密度是决定模具尺寸放大率 K 的主要因素。如果注射条件及粉末在烧结过程中挥发物等因素的影响可忽略不计，则有

$$L_m = KL_p \quad (26.7-1)$$

$$L_m^3 = K^3 L_p^3, \text{ 即 } V_m = K^3 V_p$$

而

$$V_{\text{F}} = \Psi V_p$$

所以

$$V_m = K^3 V_{\text{F}} / \Psi, \quad V_{\text{F}} / V_m = \Psi / K^3$$

而

$$\Phi_{\text{F}} = V_{\text{F}} / V_m = \Psi / K^3$$

所以

$$K = (\Psi / \Phi_{\text{F}})^{1/3}$$

式中

L_m ——模腔尺寸；

- L_p ——零件对应尺寸；
 K ——模具尺寸相对零件的放大系数；
 V_m ——模腔体积；
 V_p ——零件体积；
 V_{pt} ——粉末原料的理论体积；
 Ψ ——一定量粉末变成最终零件体积的变化系数，若忽略了此过程物质密度的变化，则可以将其看成零件的相对密度；
 Φ_F ——粉末与粘结剂的体积比率（体积装载率）。

由式(26.7-1)进一步可以得出毛坯的收缩率计算公式。

由于金属注射成形采用的粉末较细，一般零件的密度皆高于传统粉末冶金制品的密度。对于铁基、不锈钢制品，一般可以达到95%以上的相对密度，而高密度合金、硬质合金基本上可以完全致密。这两类材料涵盖了典型注射成形制品可以达到的相对密度。分别以95%和100%的相对密度，绘出成形坯的收缩率与粉末的装载率的曲线。以此作为估算粘结剂添加量及成形坯收缩率的初步依据。但模具设计必须采用更加准确的放大率数据，以尽量减少粘结剂的添加量。为此，应根据具体的粉末与粘结剂的混合情况来确定模具的放大率 K 。

图26.7-4示根据计算得出的收缩率与粉末的装载率的曲线。

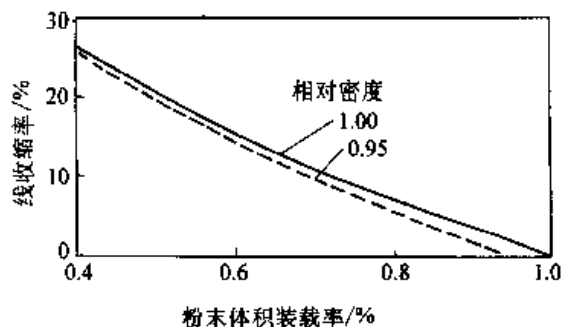


图 26.7-4 成形坯的收缩率与粉末的装载率的曲线

由上面可以看出，在保证零件的相对密度不变的情况下，可以调整粉末的体积装载率来改变放大系数 K ，从而调整零件的尺寸。这只能是细微调整，不可能将放大系数 K 定于很大的范围。在保证成形性能的前提下，粘结剂的含量越少，零件的尺寸、形位精度越容易保证。过多地

添加粘结剂，不但会造成浪费，而且会导致成形过程中粘结剂与粉末的分离，以及脱粘、烧结过程的失败。对于一种新材料，可以先用实验模具定出这种材料的收缩系数，再进行模具设计。至于不合适的地方，可通过微量增减粘结剂调整。值得注意的是，粘结剂的含量也会影响材料的致密程度。

粉末的充填比率还影响注射料的强度、黏度、导热系数、比热容、线胀系数等，并且是决定零件最终精度的一个重要因素。它是模具设计的一个非常重要的参数。

1.2 金属注射成形模具的基本结构与形式

金属注射成形同传统的塑料注射成形工艺非常相似。金属注射成形所使用的设备及模具设计是基于传统的塑料注射成形技术。然而金属注射料同传统的塑料在许多方面，如流动性、热性能、力学性能等存在显著的差别，因此在许多方面必须认真研究并加以改进。

传统的塑料注射成形机基本上可用来成形金属零件。但由于存在金属粉末与粘结剂分离的倾向，一般不采用柱塞式塑料注射成形机。虽然添加了润滑剂，但金属注射料对料筒、螺杆、喷嘴、止回环的冲刷磨损远大于塑料。因此，必须采取热处理或表面硬化层，降低各部件的磨损，提高整机的使用寿命。

在模具设计方面必须考虑金属注射料导热系数高，设计加热系统，降低成形坯的残余应力和收缩。此外，由于金属注射料的强度和韧性较低，对浇口及脱模设计应特别加以注意，一般不采用潜伏式浇口及强制脱模。

粉末注射成形是在塑料成形技术基础上发展起来的金属、陶瓷粉末成形技术。粉末注射模具的基本结构同塑料注射模基本相同。注射模具的结构设计必须根据成形零件的结构特点、产品数量、注射料性能及注射成形机型号和遵循安全、可靠、快速、廉价的原则，具体确定。一副完整的注射成形模具是由浇注系统、成形系统、脱模系统、排气系统及温度调节系统等组成。

注射成形模具常用的几种基本结构形式见图26.7-5~图26.7-11。

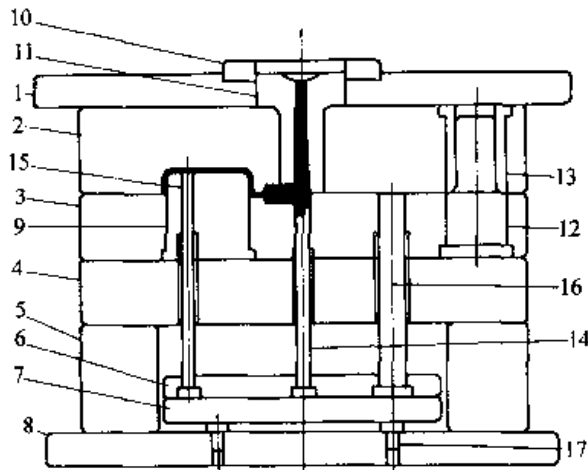


图 26.7-5 模具基本结构一 (圆形顶杆顶出结构) 侧浇口形式 浇口的断面用矩形或圆形较好, 断面积 $0.025 \sim 0.25 \text{ mm}^2$, 长度 (台肩) $0.75 \sim 1.5 \text{ mm}$ 为宜
1—定模安装板 2—定模模板 3—动模模板
4—垫板 5—支承块 6—顶出固定板 7—顶出板
8—动模安装板 9—型芯 10—定位环
11—主流道衬套 12—导柱 13—导套
14—勾料杆 15—顶出杆 16—回程杆 17—挡销

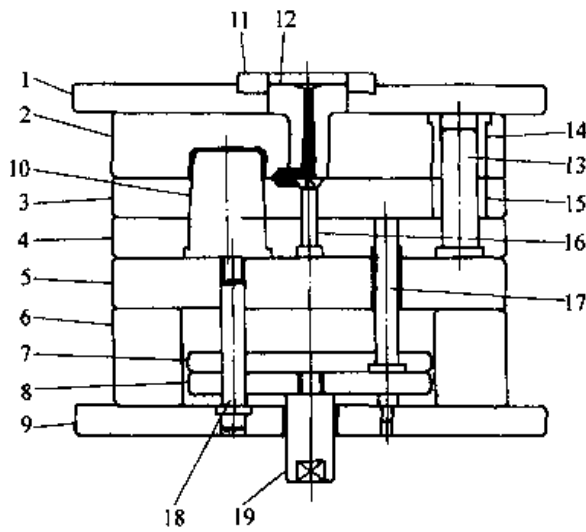


图 26.7-6 模具基本结构二 (推板型)

侧浇口形式
推板顶出结构
顶出板导杆导向
较大模具横向安装时, 顶出板的重量作用在顶杆上, 导柱具有防止顶出杆过早产生变形、卡死、磨损的作用
1—定模安装板 2—定模模板 3—推板 4—动模模板
5—垫板 6—支承板 7—顶出固定板 8—顶出板
9—动模安装板 10—型芯 11—定位环 12—主流道衬套 13—导柱 14、15—导套 16—勾料杆
17—回程杆 18—顶出板导向杆 19—顶杆

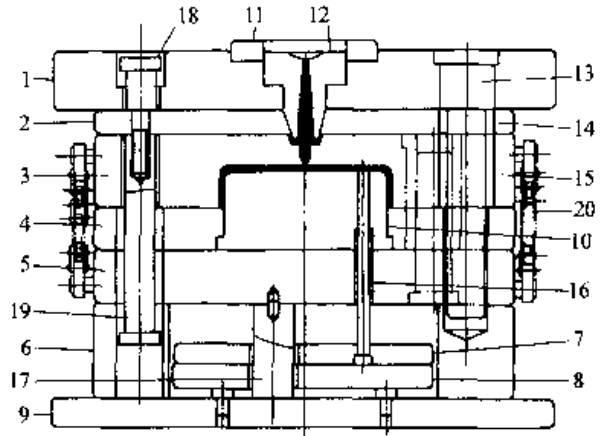


图 26.7-7 模具基本结构三 (三板式 (点浇口用))
因为开模时浇口自动剪断, 几乎看不出浇口 ($\phi 0.4 \sim \phi 0.6 \text{ mm}$) 痕迹。省略浇口的加工, 多型腔时, 注射料同时充填型腔, 得到一致的制品
在注射压力作用下垫板会产生变形, 对型腔的尺寸精度影响较大, 为了承受上述作用力必须有支承柱, 对大型模具是不可缺少的

开模时强制牵引型腔板、流道冷料推板
1—定模安装板 2—主流道冷料推板 3—定模型板
4—动模型板 5—垫板 6—支承块 7—顶出固定板
8、16—顶出杆 9—动模安装板 10—型芯
11—定位环 12—主流道衬套 13、17—支承柱
14、15—导套 18—限位螺钉 19—拉杆螺钉 20—链条

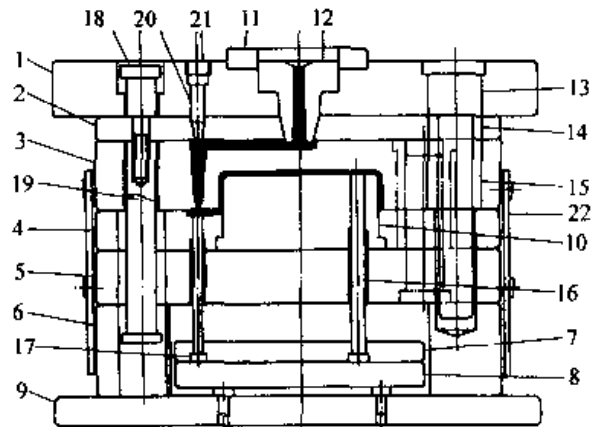


图 26.7-8 模具基本结构四 [三板式 ('L'型浇道用)]
三板式 适用于制品上不允许有圆柱状浇口痕迹时
浇口形式 侧浇口
拉板形式 代替链条牵引, 型腔厚和开模行程大时使用
1—定模安装板 2—主流道冷料推板 3—定模模板
4—动模模板 5—垫板 6—支承板 7—顶出固定板
8—顶出板 9—动模安装板 10—型芯 11—定位环
12—主流道衬套 13—支承柱 14、15—导套
16—顶出杆 17—流道冷料顶出杆 18—限位螺钉
19—拉杆螺钉 20—流道冷料勾料杆
21—限位螺钉 22—拉板

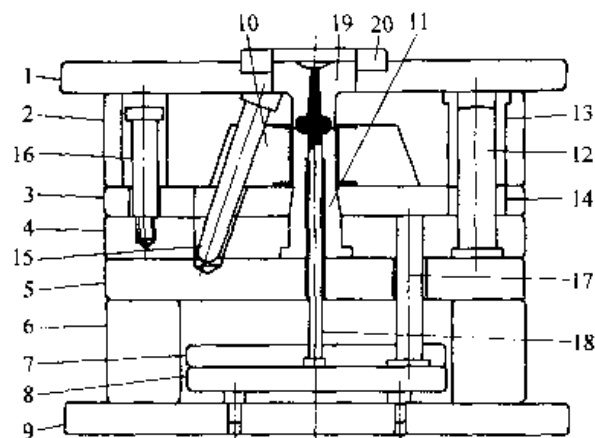


图 26.7-9 模具基本结构五 (瓣合模型)
#侧浇口形式 推板顶出, 两块瓣合模
#斜导柱、倾斜杆 利用开模力靠斜导柱将瓣合模型腔分成两块

- 1—定模安装板 2—定模模板 3—排板
- 4—动模模板 5—垫板 6—支承块
- 7—顶出固定板 8—顶出板 9—动模安装板
- 10—瓣合块 11—型芯 12—导柱 13、14—导套
- 15—斜导柱 16—限位螺钉 17—回程杆
- 18—勾料杆 19—主流道衬套 20—定位环

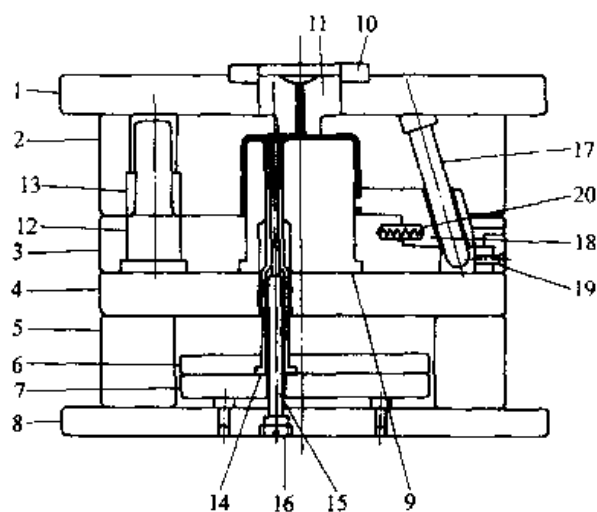


图 26.7-10 模具基本结构六 [侧型芯 (动模侧)]

- #主流道浇口、直浇口
- #顶管顶出和块顶出
- #侧型芯 利用开模靠斜导柱将制品上横孔、圆孔、拐角等抽出的装置

- 1—定模安装板 2—定模模板 3—动模模板
- 4—垫板 5—支承块 6—顶出固定板
- 7—顶出板 8—动模安装板 9—型芯 10—定位环
- 11—主流道衬套 12—导柱 13—导套
- 14—顶出管 15—芯杆 16—限位螺钉
- 17—斜导柱 18—侧型芯 19—限位块 20—弹簧

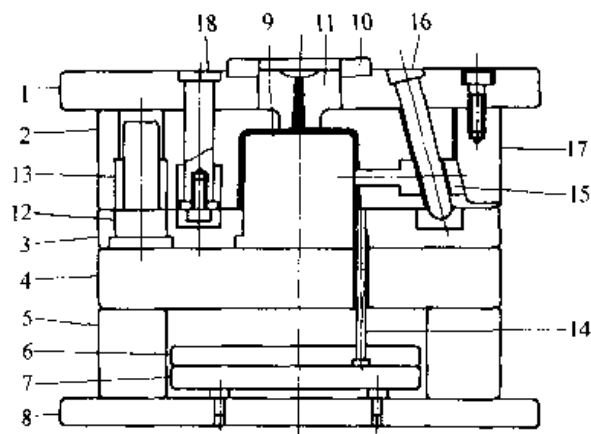


图 26.7-11 模具基本结构七 [侧型芯 (定模侧)]

- #三板式 直浇口 圆杆旁侧顶出定模侧侧型芯
- #斜楔 利用锁模压力以斜面来阻止侧型芯因注射压力而产生的窜动

开模时, 借助斜导柱使侧型芯滑动所需要的距离

- 1—定模安装板 2—定模模板 3—动模模板
- 4—垫板 5—支承块 6—顶出固定板
- 7—顶出板 8—动模安装板 9—型芯
- 10—定位环 11—主流道衬套 12—导柱
- 13—导套 14—顶出杆 15—侧型芯
- 16—斜导柱 17—斜楔 18—限位螺钉

注射成形模具的基本结构有很多共同点, 实行标准化可以简化设计、缩短制造周期、提高产品质量、降低成本。一般的模架、导柱、导套、复位杆、圆形顶杆、浇口套, 甚至滑块、导轨、斜导柱等都已标准化。模具设计只须根据制品的形状选择合适的模架形式, 以实现所要求的成形、脱模形式; 根据型腔大小、数目等选择模架尺寸; 根据注射机选择浇口套、定位圈等其他备件。塑料注射模架有小型标准模架 (GB/T 12556.1~12556.2—1990) 和大型标准模架 (GB/T 12555.1~12555.15—1990)。模架的具体组合形式有 A1、A2、A3、A4 四种, 见图 26.7-12。

1.3 模具设计

模具设计的基本步骤如下:

- 1) 成形坯的形状及尺寸分析 确定成形坯的关键所在, 不合理的地方是否修改图样或后加工解决;
- 2) 腔体基本结构的确定 分型面及脱模方式确定;
- 3) 型腔数量、布局的确定;
- 4) 浇注系统基本形式分析 浇口形式、位

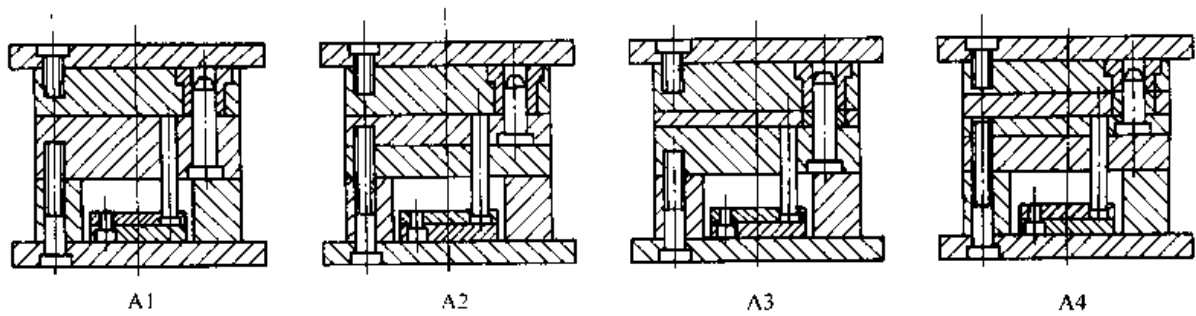


图 26.7-12 模架的基本形式

置、冷料穴等的确定；

5) 温度调节系统的设计 加热、冷却方式的确定；

6) 排气方式的确定；

7) 模架选择；

8) 加工工艺分析 结构优化及加工方式选择；

9) 模具成本及制造周期分析。

(1) 注射机的选择

注射模具与注射机必须有机结合，协调动作，才能成形出高质量的成形坯。注射模具的设计必须首先弄清注射机的形式和规格。

根据锁模机构形式，注射机可分为直压式和肘撑式。

直压式注射机行程大而且便于调整，不仅便于模具的安装，而且启合速度容易控制。虽锁模力较小，但由于金属注射成形坯一般较小，不易产生溢料飞边。

肘撑式锁模力较大，可缩短锁模时间和启模时间。但难以调整锁模行程和保持机械精度。

由于现在大多数注射机采用了计算机控制，调整控制比较简单，两种形式都有应用，但肘撑式相对较多。

根据锁模机构开启方向及螺杆、柱塞的移动方向，注射机可分为立式与卧式两种。

立式多用于手动模具的操作及模具成形自动化程度较低，占地较小场合。

卧式的容易实现高速与自动化生产，应用较为广泛。

根据塑化形式，可分为螺杆式和柱塞式。

螺杆式塑化能力大，混炼效果好。适于金属的注射成形。

柱塞式设备简单，价格便宜。但塑化混炼效果差，存在粘结剂与粉末分离的倾向，较少用于金属的注射成形。

在模具的整体结构确定之前，必须弄清注射机的注塑容量、锁模力、锁模装置、喷嘴孔径等参数。

1) 注射机的注塑容量 注塑容量表示每次从喷嘴射出的普通苯乙烯树脂（密度 1.05 g/cm^3 ）的最大质量，一般以克表示。对于具体的注射料，应乘以该注射料与普通苯乙烯树脂的密度比。一副模具一次所成形的制品及流道的总质量不应超过注塑容量的 80%。但又不宜过低，这会降低注射机的效率并导致成形质量的难以控制。

2) 注射机的锁模力 锁模力是表示注射机压紧模具的最大力。液体注射料作用于启模方向的压力不应超过锁模力的 80%，才不会引起溢料飞边。一般注射压力为 $20 \sim 40 \text{ MPa}$ ，超精密成形技术采用的注射压力甚至超过 100 MPa 。

3) 注射压力 注射压力是计算模腔强度及熔融注射料流动的基本参数。

4) 模具安装尺寸 这一部分包括模板尺寸、拉杆间距、最大模厚、最小模厚、螺孔规格、顶出杆规格及定位圈孔尺寸。这些是设计选择模架的基础。

5) 喷嘴的孔径与球面半径 喷嘴的孔径 D_p 、球面半径 R_p 与浇口套的孔径 D_j 、球面半径 R_j 必须相配，才能正确密封而不漏料（见图 26.7-13）。假如密封不好，高速高压泻料将很快损坏密封面，导致不能正常注射。正确密封应确保：

$$D_j = D_p + 0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$$

$$R_j = R_p + 0.5 \sim 1.5 \text{ mm}$$

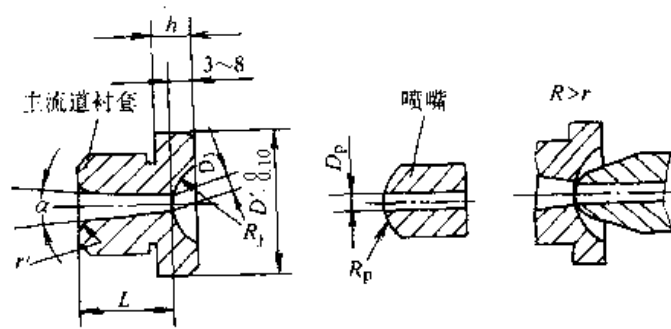


图 26.7-13 注射机喷嘴与模具主流道衬套的关系

(2) 分型面的选择

分型面的确定对于一副模具的整体结构非常关键，它决定了制品的质量、成形效率、模具制造难度等。分型面的选择应遵循以下基本原则：

1) 简化模具结构，便于成形坯的脱模 尽量采用一个与开模方向垂直的分型面，避免侧向分型和侧向抽芯。并使成形坯尽量留在动模一侧，以利于脱模机构的设计。

2) 便于排气，减少成形坯内部缺陷 尽量使分型线与熔体末端的流向一致，利于集气的排出。

3) 利于保持成形坯的质量 尽量使有同轴度、位置度要求的部分设在同一模板内。分型线应在制品不明显的部位，利于不可避免的飞边溢料的修整，不影响制品的外观质量。

4) 便于成形零件的加工 尽量采用直的分型面，以利于模具加工。

(3) 浇注系统的设计

浇注系统是指熔融注射料从喷嘴射出到达模具型腔之前所流经的通道。它是由主流道、分流道、浇口及冷料穴四部分构成，见图 26.7-14。

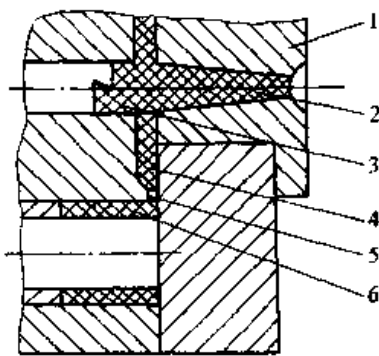


图 26.7-14 卧式注射机用模具的普通浇注系统

- 1—主流道衬套 2—主流道 3—冷料穴
- 4—分流道 5—浇口 6—型腔

浇注系统的设计应充分考虑以下因素：

①注射料的成形特性 浇注系统的设计必须围绕注射料的成形特性来进行，以确保毛坯的质量。

②成形坯的大小、形状及精度等 根据成形坯的大小、形状特点、技术要求等因素，结合分型面的选择，综合考虑浇注系统的形式、数量及位置，以保证正常成形，还应避免流料对腔体的关键或脆弱部位的直接冲击。如不可避免，应采取相应措施或采用可更换的嵌件。

③模腔数量及分布形式 浇注系统的设计应保证单腔或多腔的均匀、平稳充填，以保证毛坯的均匀一致。对称布局，可防止模具的受力不均。

④成形坯的外观 浇注系统的设计应考虑到浇口的去除和修整方便，同时不影响制品的外观。

⑤成形效率 金属注射料可重复使用对性能无太大影响，在保证注射质量的前提下，不应过分计较流道的体积。同时，由于其导热系数较高，充填冷却时间较短。只要利于成形质量，较粗大的流道对效率影响不大。

⑥冷料 浇注系统的设计必须考虑冷料不进入模腔，因此在主流道、分流道末端必须设置适当的冷料穴来储存冷料。

1) 主流道设计 主流道位于模具的入口处，将从注射机喷嘴射出的熔融注射料导入模腔或分流道。主流道一般外形做成柱套状，镶配于型腔板或流道板上，称为主流道衬套。

主流道各部分的尺寸见图 26.7-15。

主流道截面为圆形，整体为圆锥体，锥度为 $2^{\circ} \sim 4^{\circ}$ 。

主流道直径主要是根据其内熔体的剪切速率

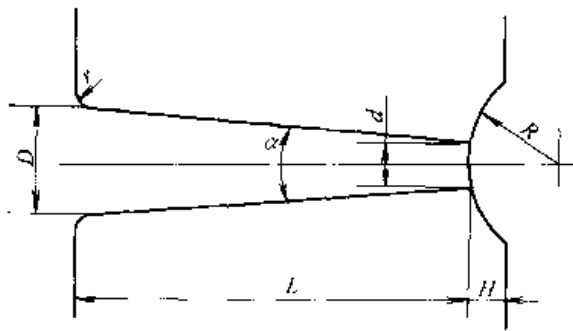


图 26.7-15 主流道各部分尺寸

- $d = \text{喷嘴孔径} + 0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$
- $R = \text{喷嘴球面半径} + 0.5 \sim 1.5 \text{ mm}$
- $\alpha = 2^\circ \sim 4^\circ$
- $r = 1 \sim 3 \text{ mm}$
- $H = (1/3 \sim 2/5) R$

米确定。剪切速率以 $\dot{\gamma} = 5 \times 10^2 \sim 5 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ 为宜。根据经验公式 $\dot{\gamma} = 3.3Q / (\pi R_n^3)$

式中 $\dot{\gamma}$ ——熔体流动时的剪切速率 (s^{-1})；
 Q ——熔体的体积速率 (cm^3/s)；

R_n ——浇道的名义半径，即除去表面冷凝层后的有效半径 (cm)。

上式中 Q 之值为注射机对该种注射料的额定注射量 Q_n 的 60%~80% 除以注射时间 θ 得出的值，为实际的体积速率，即 $Q = (0.6 \sim 0.8) Q_n / \theta$

计算主浇道直径的另一经验公式为

$$D = 4V / (\pi K)$$

式中 D ——为主浇道大头直径 (mm)；

V ——流经主浇道的熔体容积 (cm^3) (包括型腔、分浇道、主浇道及冷料穴的容积)；

K ——为因熔体材料而异的常数。

实际设计一般在选定了注射机之后，根据注射机的喷嘴直径加大 0.5~1.0 mm 来确定主浇道的小端直径。

图 26.7-16 示主流道的应用及主流道衬套的安装形式。

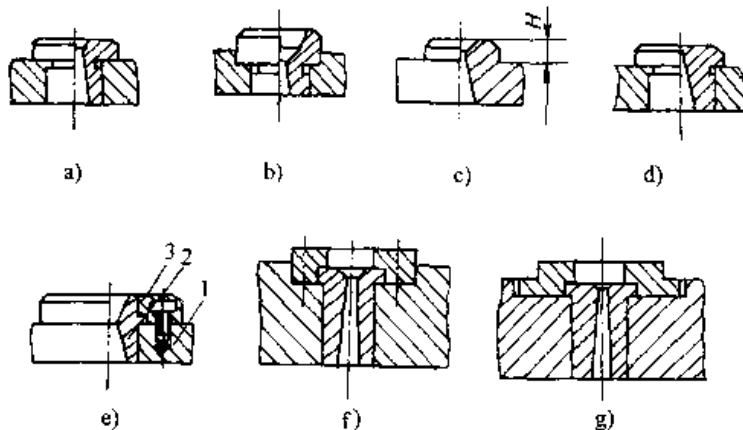


图 26.7-16 主流道衬套与定位圈

1—定模 2—主流道衬套 3—定位圈

2) 分流道设计 分流道是连接主流道与型腔的通道。熔融注射料在其中流动阻力应尽可能小，并且不易冷却。分流道截面积应尽可能大一些，接近圆形的截面形状是最理想的。这样的截面形状成形方便，因金属料的导热系数高，固化很快，不会延长成形周期。

分流道的布局及截面形状如图 26.7-17 和图 26.7-18 所示。

从压力传递的角度考虑，截面积应取最大的。从热传导角度考虑，要求流道外周长度应最小。截面积与外周长度之比表示分流道的效率。

从表 26.7-2 可看出圆形与正方形的效率最大，但正方形流道不易脱模，实际上最常使用的是斜度为 10° 的梯形。梯形流道加工简单。

分流道的布置应根据型腔的数量、成形坯的形状、模板的层数及浇口的方式来布置。设计分流道为了降低压力损失及注射料的温度下降，分流道的长度应尽量短，数量应尽量少。对于高精度成形，分流道的设计必须考虑流动分配平衡，使主流道到各型腔的距离相同。

实际上，由于种种限制，往往难于采用平衡的分流道系统，这需要通过浇口的平衡来解决。

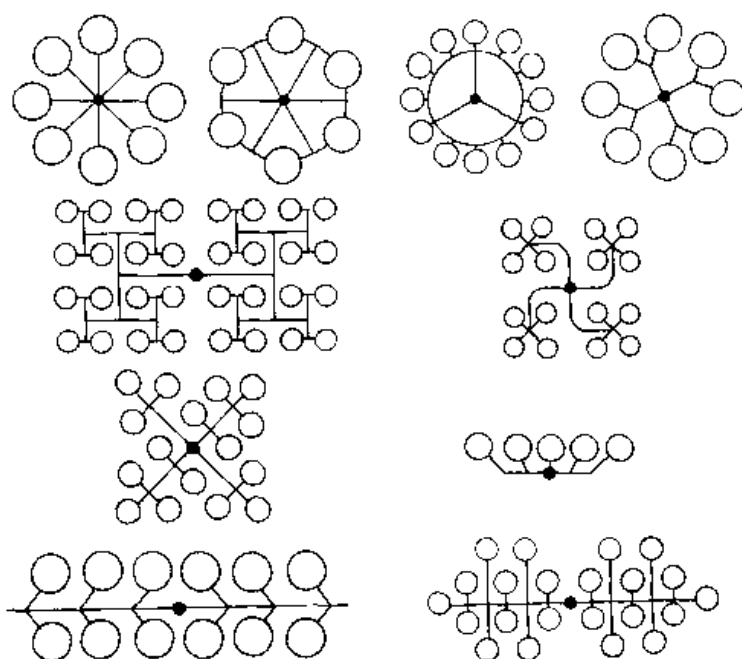


图 26.7-17 多型腔的分流道布置图

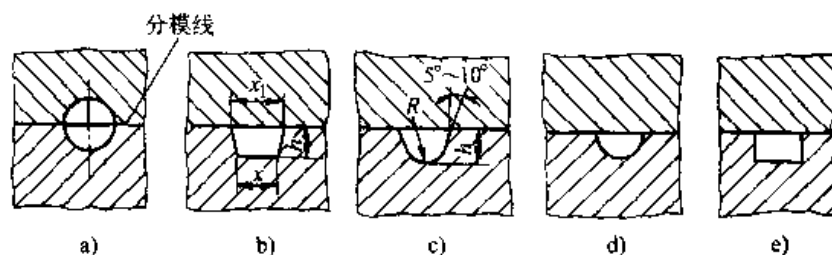


图 26.7-18 分流道横截面形状

表 26.7-2 各种分流道截面形状的效率

0.25D	0.25D	0.153D	<table border="1"> <tr> <td rowspan="3">d =</td> <td>$\frac{D}{2}$</td> <td>0.166D</td> </tr> <tr> <td>$\frac{D}{4}$</td> <td>0.1D</td> </tr> <tr> <td>$\frac{D}{6}$</td> <td>0.071D</td> </tr> </table>	d =	$\frac{D}{2}$	0.166D	$\frac{D}{4}$	0.1D	$\frac{D}{6}$	0.071D
d =	$\frac{D}{2}$	0.166D								
	$\frac{D}{4}$	0.1D								
	$\frac{D}{6}$	0.071D								
分流道效率 = 面积 / 外周长										

3) 浇口设计 浇口是流道的终点，是熔融注射料注入型腔的入口。浇口的位置、形状、数量、尺寸对毛坯的精度、外观及成形效率有很大的影响。浇口的设计必须考虑成形坯的形状、型腔内熔融注射料的流动方向、熔接痕产生的情况、浇口的去除等问题。浇口的截面积大，充填性好，但浇口的封闭时间长，去除麻烦。浇口设

计的最基本要求是，选择应力集中最小、因取向性造成的变形最小的浇口形式。

浇口设计是模具设计的核心。一副复杂形状的模具设计，浇口的选择仅凭传统的经验很难确保不出问题。计算机模拟技术（CAE）的应用，可以在设计之前预测模具充填时可能产生的缺陷，并寻求最优的解决方案，从而降低失误。

浇口的作用:

①控制熔融注射料的流动方向与流量的同时,把注射料封闭在型腔中、直到成形坯充分固化,防止熔融注射料的回流。

②流经主流道、分流道的冷却注射料,由于通过狭窄的浇口摩擦生热,温度上升,减少流动痕及熔接痕的产生。

③容易切断流道与成形坯的连接,后续加工方便。

④对于多型腔或多点浇口,通过浇口的大小、宽度、厚度的调整能取得向型腔的平衡充填。

选择浇口位置的一般原则:

①浇口应设置在能同时充填到各型腔末端的位置。

②最重要的原则是浇口应设置在成形坯壁厚最厚的部位。这样较易进行因体积收缩所需的注

射料补充,防止塌陷、空洞的产生,提高成形坯的精度。

③浇口应设置在不影响成形坯外观(不明显)的部位,或较容易进行修整的部位。

④浇口应设置在难以产生熔接痕的部位。

⑤要避免在细型芯、镶片或细杆的附近部位,以及流动压力可能造成壁厚不均、成形坯偏倒的方向设置浇口。

⑥要避免从容易造成气体滞留的方位设置浇口。

⑦不在成形坯的关键受力部位设置浇口。

⑧设置在不发生喷射的部位。不在面向长方向开放的部位设置浇口,以免引起注射料的蛇形窜动喷射造成外观质量及强度的降低。浇口应设置在面向腔壁,使料流沿腔壁能平稳流动推进的部位。图 26.7-19 所示为中心浇口与边侧浇口充填过程的比较与分析。

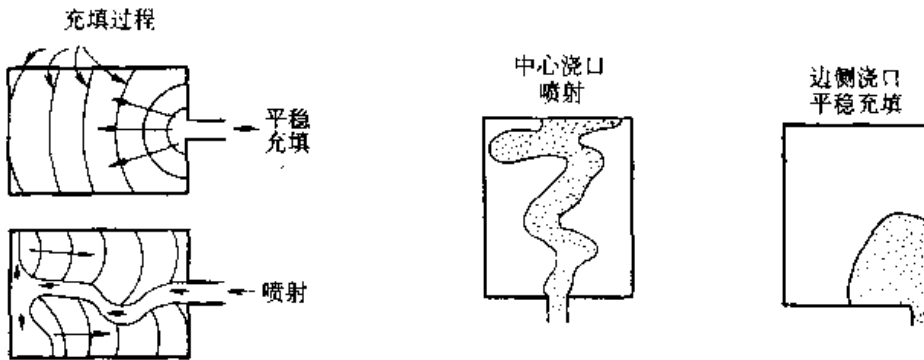


图 26.7-19 中心浇口与边侧浇口充填过程的比较与分析

浇口一般分为非限制性浇口与限制性浇口。非限制性浇口,即主流道浇口,或称为直接浇口(见图 26.7-20)。它的特点如下:

- ①压力损失小;
- ②模具结构简单、故障少;
- ③浇口的加工处理麻烦;
- ④容易产生残余应力,超压充填变形。

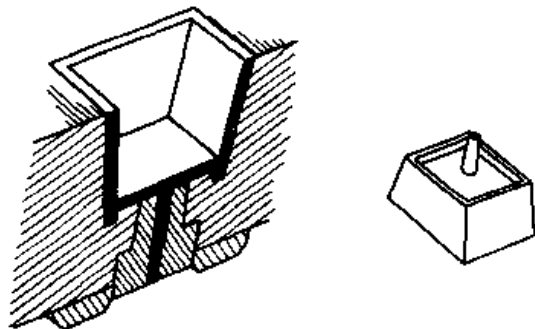


图 26.7-20 直接浇口

冷料直接进入模腔,会引起多种问题。所以在金属的注射成形中,很少直接采用直接浇口。但在成形精度较高的单薄框、圈类零件时,为了增高强度,减小变形,可将框、圈的底部封闭,并在浇口的对面设置冷料穴。此时,可采用直接浇口。成形烧结之后,去掉多余部分。

限制性浇口是通过浇口调整填充量,限制浇口的截面积,使浇口急剧固化的浇口形式。普通(侧)浇口系列、翼状浇口、针点式浇口等皆属于此类浇口。它们与非限制性浇口相比有如下优点:

- ①能减少浇口附近的残余应力与变形;
- ②能减少成形坯变形、裂纹、翘曲、弯曲等;
- ③浇口封闭快,可缩短成形时间;
- ④浇口加工处理简单,外表美观。

对于侧浇口系列，有从成形材料的流动性考虑的标准浇口、搭接浇口；有从成形坯形状考虑的膜状浇口、扇形浇口、环状浇口、圆片浇口等；从成形坯的性能考虑的有翼状（护耳式）浇口；有从扩大应用范围与自动化成形技术发展角

度考虑的针点浇口。

①标准浇口（图 26.7-21） 标准浇口普遍应用于多型腔成形模具。在成形坯的侧面开设矩形或半圆形限制性入口，又称为边缘浇口或侧浇口。这是一种通过浇口限制充填量，使浇口部

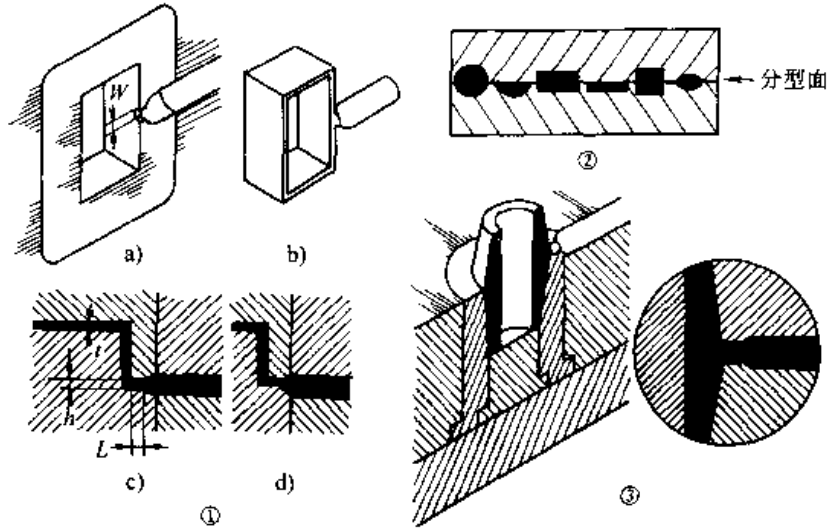


图 26.7-21 标准浇口

①矩形侧浇口系统 ②一般浇口的形状 ③圆形侧浇口

位急速固化，防止注射压力损失的方式。

这种浇口的优点如下：

- a) 截面形状简单，便于加工；
- b) 浇口尺寸容易精确控制；
- c) 容易修整，获得浇口的平衡；
- d) 可以相对独立地控制向型腔的充填速度与浇口的封闭时间。

这种浇口的缺点是在成形坯的外表面容易看到浇口的痕迹。

浇口的深度影响浇口的封闭时间，宽度与深

度的乘积影响充填速度。普通使用的浇口深度约为 0.5~2.0 mm，宽度约为 1.5~5 mm，浇口的长度约为 1.5~2.5 mm。

②搭接浇口（图 26.7-22） 搭接浇口也称为直端浇口，是为了防止在成形坯上产生流动痕迹，替代标准浇口而设计的。它设置在平行并高于平面的部位，成形之后可以加工去除，不留浇口痕迹。

浇口的尺寸可以参考侧浇口，搭接长度可取 0.5~1.0 mm。

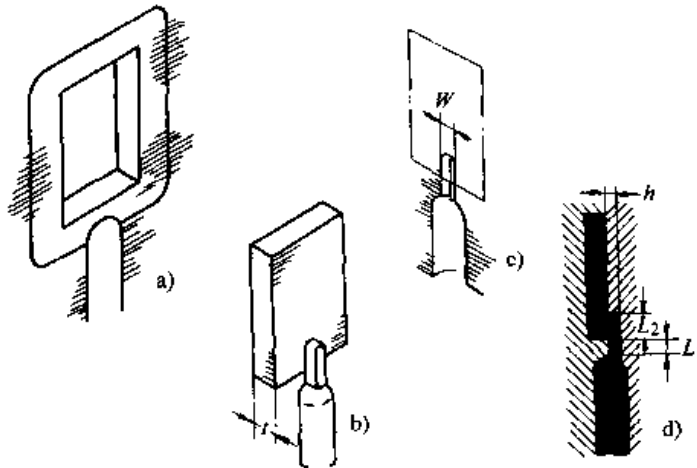


图 26.7-22 搭接浇口

③扇形浇口 (图 26.7-23) 扇形浇口适用于流畅且均匀地注射面积大的板状与薄壁的成形坯。这种浇口可以最大限度减轻浇口附近的缺陷, 当然必须考虑浇口的后加工处理。

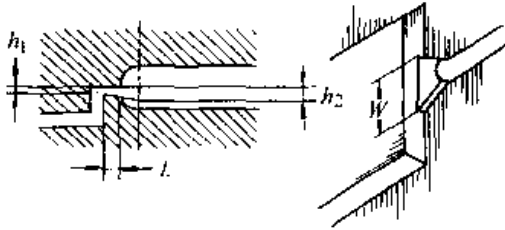


图 26.7-23 扇形浇口

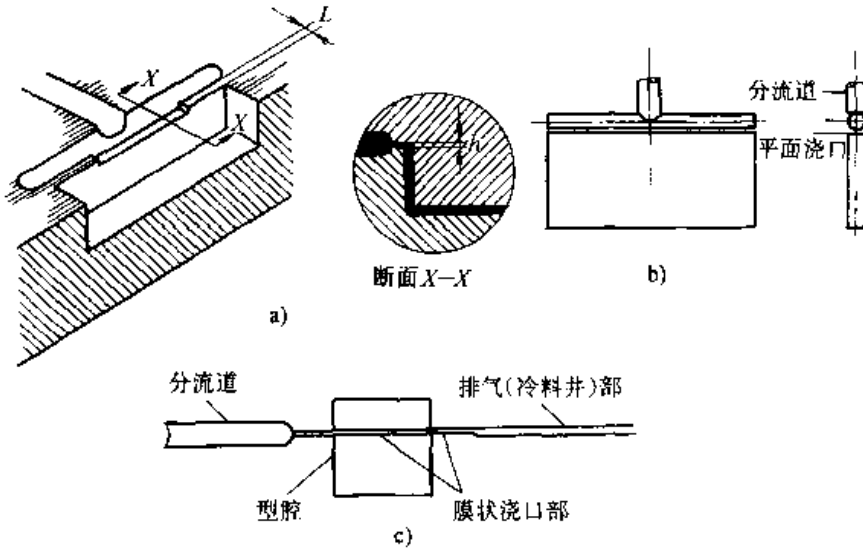


图 26.7-24 膜状 (平面) 浇口

a) 膜状浇口系统 b) 平面浇口 c) 注意排气部分

也叫隔膜浇口, 在成形坯的圆孔处开设。注射料从主流道流过来后, 在孔的中央先形成圆盘状, 而后从圆盘的周围以隔膜方式注入型腔。这种浇口可以防止熔结痕的产生。但型芯容易磨损和细长的型芯容易偏倒。这种浇口广泛用于筒形制品。

浇口深度一般为 $0.2 \sim 1.5 \text{ mm}$, 通道长度为 $0.7 \sim 1.2 \text{ mm}$ 。

⑥环状浇口 (图 26.7-26) 环状浇口适合于成长筒形制品, 注射料由环状浇口均衡注入型腔, 可有效防止熔接痕的产生, 并且可以防止注射压力引起型芯偏倒, 获得壁厚均匀的制品。一般在流道注入的相反方向开设溢流槽。

与在圆筒形制品的内侧开设圆盘浇口相反, 环状浇口开设在圆筒的外侧。浇口一般靠脱模板

浇口的深度可取 $0.3 \sim 1.5 \text{ mm}$, 宽度可尽量取大, 但浇口的截面积不能大于流道的截面积。

④膜状浇口 (图 26.7-24) 膜状浇口是一种把浇口宽度做成同成形坯宽度一致, 但深度减薄的浇口, 也称为平面浇口或缝隙浇口。

浇口的位置通常布满整个成形坯的短边。为了减少浇口的处理加工量, 在满足注射要求的情况下, 可以把浇口最初开得窄一些, 逐步扩大。

浇口深度为 $1.0 \sim 2.0 \text{ mm}$, 浇口通道为 1.0 mm 左右, 流道与宽度无关, 可以大于成形坯宽度。

⑤圆盘形浇口 (图 26.7-25) 圆盘形浇口

与顶管顶出, 普遍采用梯形流道。

浇口深度一般为 $0.2 \sim 1.2 \text{ mm}$, 通道长度为 $0.7 \sim 1.2 \text{ mm}$ 。

⑦翼状浇口 (图 26.7-27) 翼状浇口又称为护耳式浇口, 是搭接浇口的变异, 由浇口和被称为翼 (护耳) 的注入口构成。翼状浇口一般采用矩形截面, 此外也采用扇形浇口。这种浇口可以有效地消除浇口附近的残余应力、减少变形, 适用于黏度较高的注射料的高压成形。

注射料经过翼状浇口的挤压, 再次被加热, 在冲击翼的壁面后填充型腔, 充满翼的注射料进一步得到塑化, 流畅地充满型腔, 因而制得无残余应力与变形的制品。此外, 依靠翼能允许浇口周边的收缩, 消除由于注射压力造成的过量充填及冷却收缩所产生的变形。

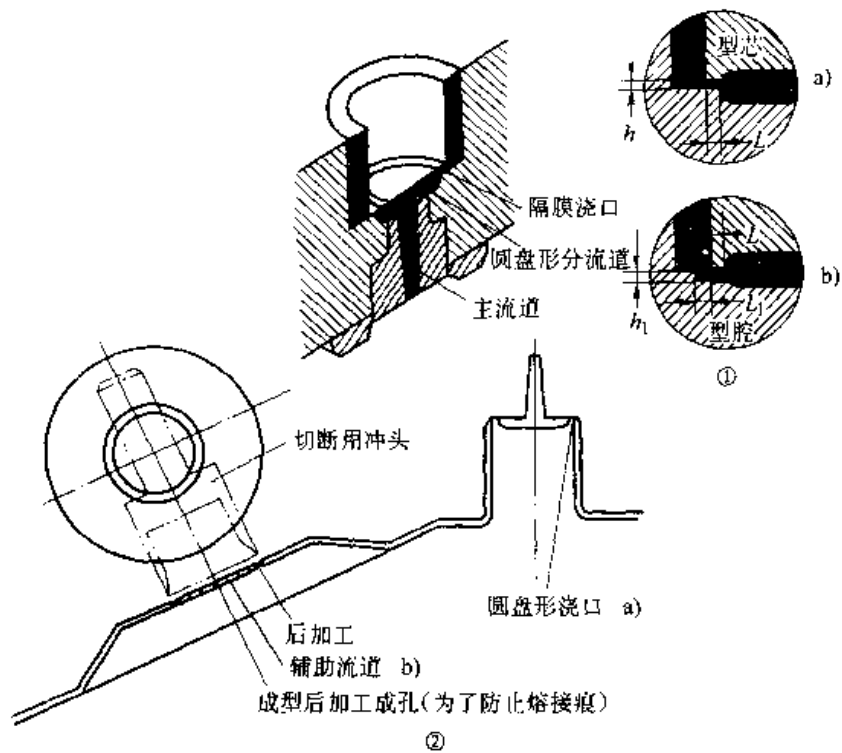


图 26.7-25 圆盘形(隔膜)浇口和其应用
 ①圆盘形浇口系统 a) 一般用 b) 内径精度严格时用
 ②圆盘形浇口 a) 和辅助流道 b) 断面图

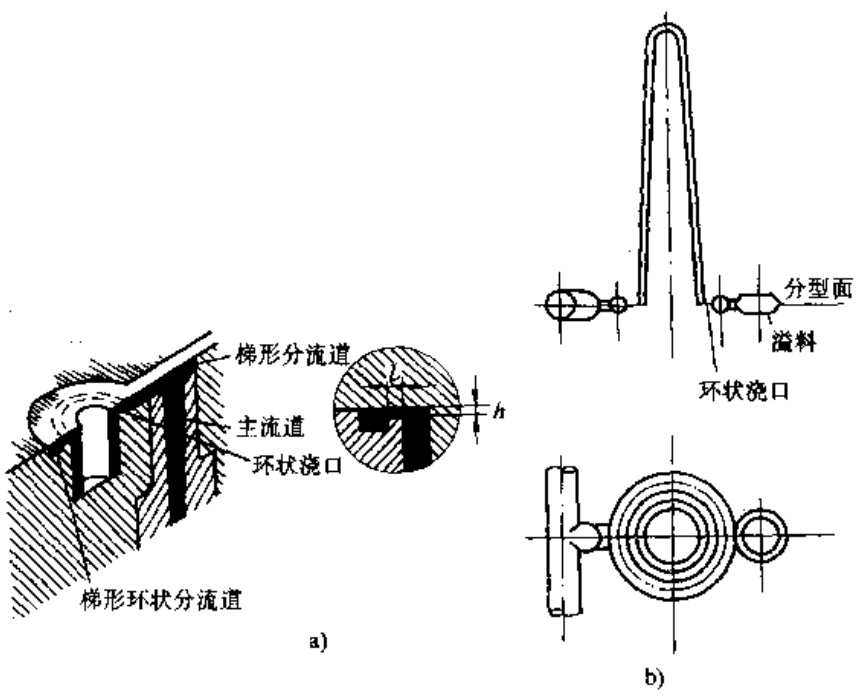


图 26.7-26 环状浇口
 a) 环状浇口系统 b) 环状浇口和溢料部分

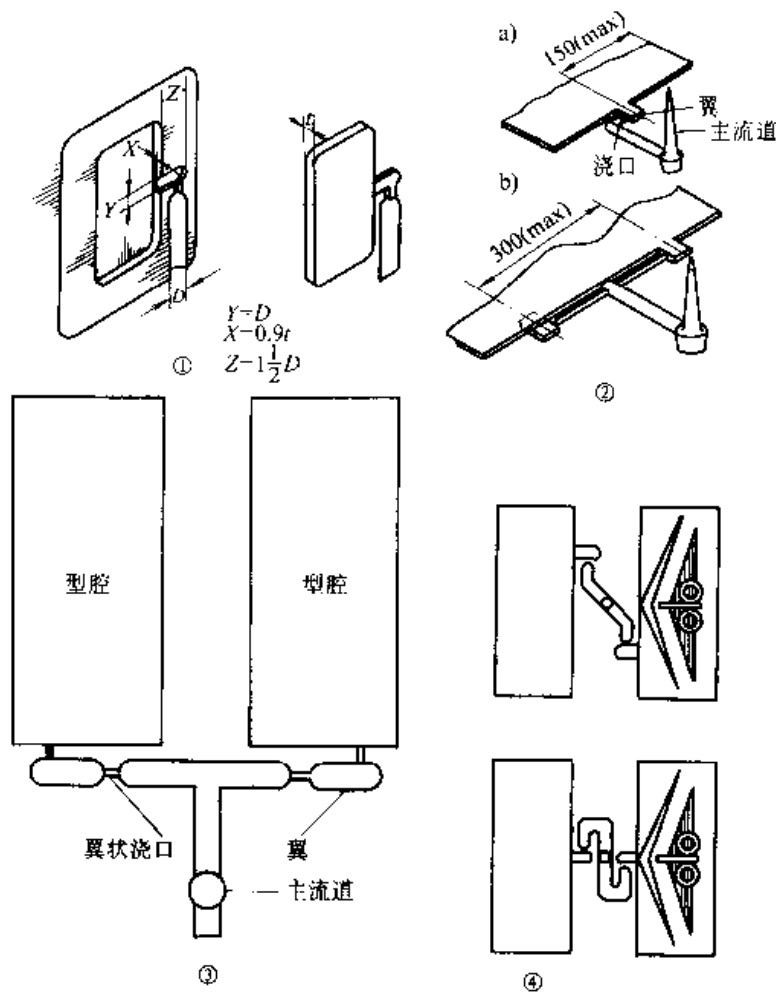


图 26.7-27 各种翼状浇口的形状

①翼状浇口系统 ②单翼浇口和多翼浇口 a) 单翼浇口 b) 多翼浇口
③变形的翼状浇口 ④翼状浇口的平衡布置

翼状浇口一般对流动道呈直角排列。为了避免流动纹与熔接痕，翼要设在壁厚较厚的部位。翼状浇口（矩形浇口）尺寸的设计与标准浇口相同。但是翼状浇口由于再次被加热，改变了压力，所以实际上可比标准浇口略小。

翼宽度 (Y) = D (流动道直径)
翼深度 (X) = 0.9 × T (制品的厚度)

翼长度 (Z) = 1.5 × D

⑧轮辐式浇口 (图 26.7-28) 轮辐式浇口是圆盘式浇口的变异。圆盘式浇口是从圆孔的整个内侧进行充填，而轮辐式浇口是被分成两条或多条标准侧浇口或膜状浇口进行充填。与圆盘式浇口相比，便于浇口的后续加工。

⑨针点状浇口 (图 26.7-29) 针点状浇口

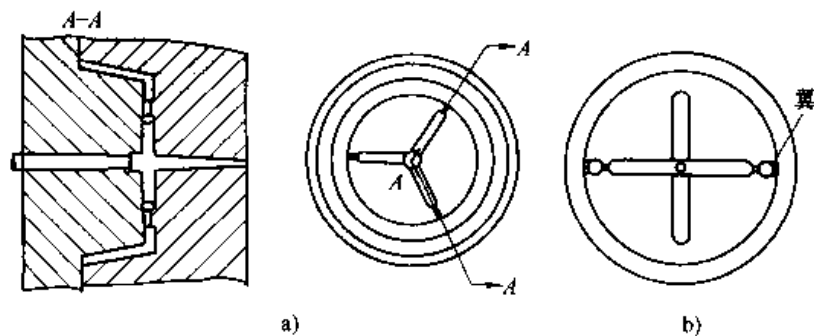


图 26.7-28 轮辐式浇口
a) 3根轮辐浇口 b) 4根轮辐浇口

是一种在制品的中央开设浇口时使用的圆形限制性浇口。由于浇口截面积小，流动阻力大，因此注射料的粘度不能太大，需要提高注射压力。

针点状浇口的特点：

- a) 选择位置的自由度较大；
- b) 浇口附近的变形小；
- c) 多型腔时容易取得浇口的平衡；

d) 对于投影面积大或易变形的制品，采用多点注射能取得较理想的结果；

e) 浇口易于切断去除，但也有痕迹；

f) 采用针点状浇口必须使用三板式模具、热流道模具，或者具有井式喷嘴的二板式模具。浇口的流道长度一般为0.8~1.5 mm，浇口直径0.4~2.0 mm。

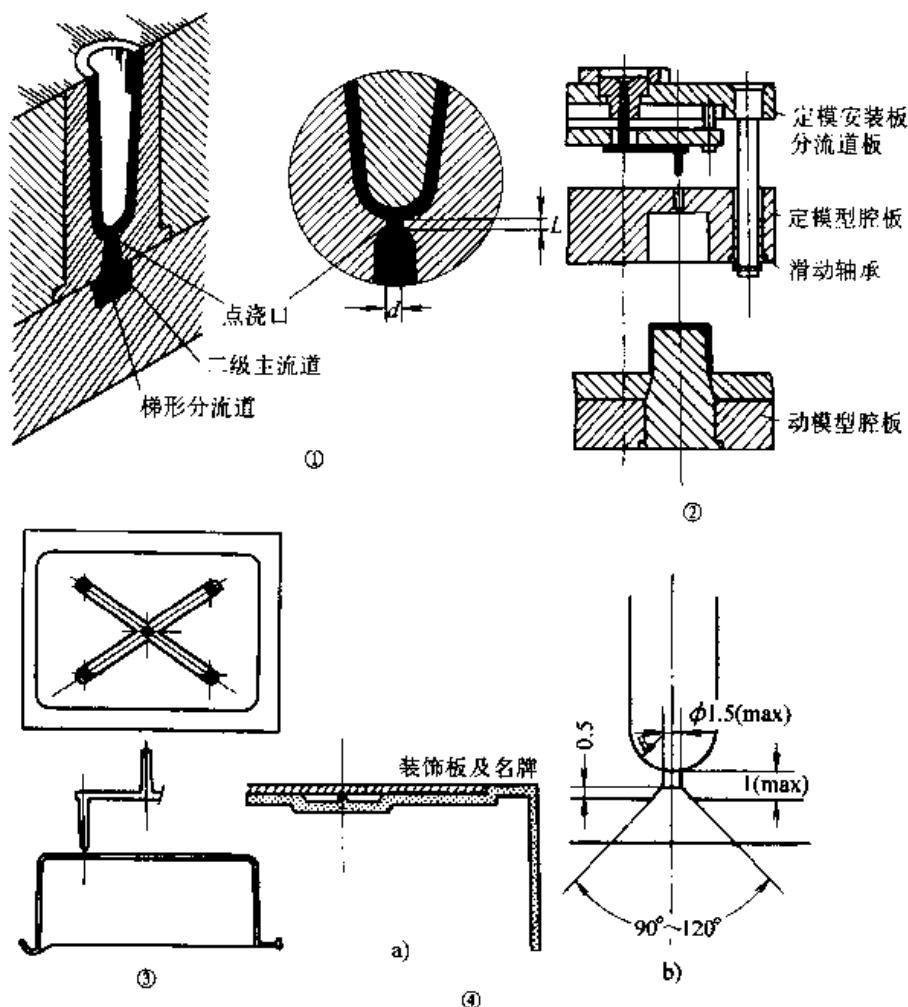


图 26.7-29 针点式浇口及其应用

- ①针点式浇口系统 ②针点式浇口模具的动作 ③多针点式浇口
④不需精加工的形状 a) 凹处浇口形状 b) 浇口部详图

4) 多型腔模具浇口的平衡与排列布置 对于多型腔模具，为了做到对所有型腔的均一充填，浇口平衡是一个非常重要的条件。因为从主流道到型腔端部的压力降与距离成正比，所以当其他条件都相同，离型腔距离越远，传递的压力越低。因而随着从主流道到型腔距离的增大，必须适当缩短浇口通道的长度或增大浇口的尺寸，以达到对所有型腔均一充填。若浇口不平衡，多

型腔模具成形时容易产生流动痕、塌坑、注不满、重量误差大、尺寸精度误差等缺陷。

浇口平衡是通过对各型腔进行 B.G.V. 值 (Balanced Gate Value) 的计算，调整浇口或通道的尺寸，使各型腔都有一定的 B.G.V. 值来达到的。

$$B.G.V. = S_G / (L_R^{0.5} \times L_G)$$

式中 S_G —— 浇口的截面积；

L_R ——流道的长度；

L_G ——浇口通道的长度。

若各型腔体积相同，则 B.G.V. 值必须相同；若各型腔体积不相同，则有：

$$V_1/V_2 = (B.G.V.)_1 / (B.G.V.)_2$$

浇口的平衡是通过改变浇口的尺寸，调整流

动阻力，使作用于各型腔的注射压力平衡的一种方式。在实际生产中，一般同一零件采用多腔注射。设计中常常使各型腔均匀对称排列，从而使流道对称均匀布置，比较容易达到浇口的平衡，见图 26.7-30。

(4) 温度调整系统

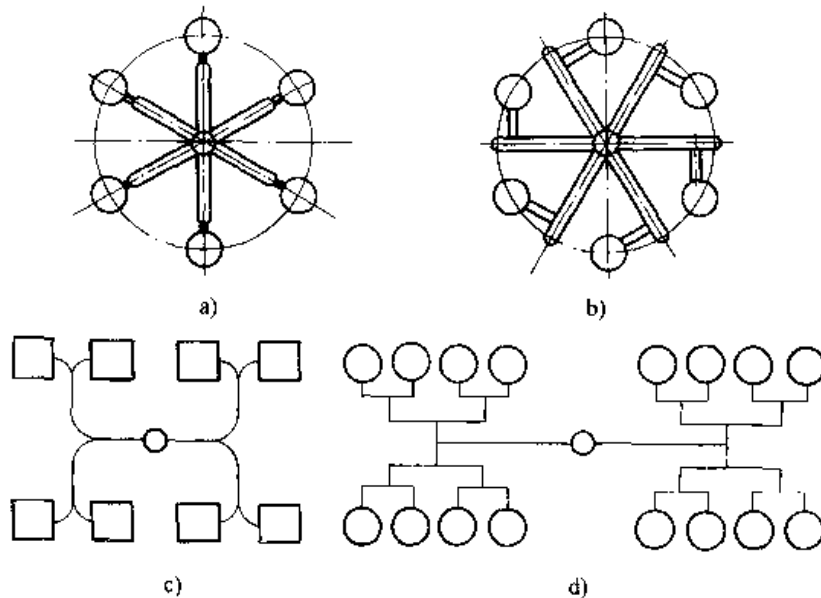


图 26.7-30 平衡式分布的分流道

模具的温度极大地影响着制品的质量及成形效率。调整模具温度的目的在于缩短成形周期、改善成形性能和制品的表面质量、防止制品因过度收缩引起开裂、保持制品的形状及尺寸精度等。对于不同的制品，应根据其采用的粘结剂的类型及零件的形状、大小等因素，采用适当的模具温度及调节方式。一般，尺寸较大、形状复杂、应力开裂倾向大的零件要采用较高的模具温度。在整个成形过程中应保持模具温度的均匀稳定，使输入输出的热量平衡。因此，必须合理设置温度调节系统，对模具进行加热和冷却。

模具和冷却或加热液体的接触面积计算如下。为简化计算，将向大气的散热及与机器的安装板、喷嘴的接触传热忽略不计，其计算公式为

$$A = Q / (h_w \times \Delta T)$$

$$Q = S_h \times c_p \times (t_i - t_o)$$

$$h_w = (\lambda/d) \times (d \times u \times \rho/\mu)^{0.8} \times (c_p \times \mu/\lambda)^{0.3}$$

式中 A ——传热面积 (m^2)；

Q ——传递热量 (J/h)；

h_w ——管壁的传热系数 ($J/(m^2 \cdot h \cdot K)$)；

t_i ——注射料的熔融温度 ($^{\circ}C$)；

t_o ——毛坯的脱模温度 ($^{\circ}C$)；

λ ——冷却介质的传热系数 ($J/(m^2 \cdot h \cdot K)$)；

μ ——黏度 ($Pa \cdot s$)；

ρ ——密度 (kg/m^3)；

ΔT ——模具和冷热介质的平均温差 (K)；

c_p ——注射料的比热容 ($J/(kg \cdot K)$)；

S_h ——每小时的注射次数 (h^{-1})；

d ——冷却孔的直径 (m)；

u ——流速 (m/s)。

冷却水的流量计算：

$$W = W_p [c_p (T_1 - T_2) + L] / [K (T_3 - T_4)]$$

式中 W ——冷却水的流量 (L/h)；

W_p ——每小时的注射容积 (cm^3/h)；

c_p ——注射料的比热容 ($J/(kg \cdot K)$)；

L ——注射料的质量焓 (旧称溶解潜热) (J/kg)；

K ——向水传导的热传导效率 (型腔 0.64, 底板 0.50)；

- T_1 ——注射料的熔融温度 (°C);
- T_2 ——模具的温度 (°C);
- T_3 ——出水温度 (°C);
- T_4 ——入水温度 (°C)。

模具的冷却时间:

模具的冷却时间是由制品的最大壁厚处的冷却时间决定的。

$$S = \ln[\pi/4 \times (T'_2 - T_2) / (T_1 - T_2)] \times t^2 / (2\pi\alpha)$$

$$\alpha = R / (\rho \times C_p)$$

- 式中 S ——最小冷却时间 (s);
- α ——注射料的散热率 (cm^2/s);
 - T'_2 ——制品取出温度、热变形温度 (°C);
 - t ——制品的壁厚 (cm);
 - R ——注射料的传热系数 [$\text{J}/(\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{K})$];
 - ρ ——注射料的密度 (g/cm^3);
 - T_1 ——注射料的熔融温度 (°C);
 - T_2 ——模具的温度 (°C)。

模具加热功率的计算

$$P = mc (t_1 - t_2) / (860\eta T)$$

- 式中 P ——加热功率 (kW);
- m ——控制部分模具质量 (kg);
 - t_1 ——模具需要加热的温度 (°C);
 - t_2 ——室温 (°C);
 - T ——加热时间 (h);
 - η ——加热效率 (%);
 - c ——模具材料的比热容 ($\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$)。

模具的加热方式有电阻加热、油加热、蒸汽加热、水加热等。电阻加热方便洁净,应用广泛。

常用的电阻加热元件有电热棒、电热套和电热板等。电热棒由于直接安装于模板中(见图 26.7-31)加热,热效率高、寿命长、更换方便。电热套和电热板(见图 26.7-32)由于置于模具之外,热效率较低,但不需打孔削弱模具的强度。

电热加热装置的设计应注意以下几个方面:

1) 电热功率应适当 设计时,一般倾向于功率稍大,以借助于温控设备来调节控制。但选择过大的功率,容易引起较大的温度冲击。

2) 合理布置加热元件,尽量使各个型腔及每个型腔的不同部位的温度均匀稳定。

模具的冷却常采用循环水。

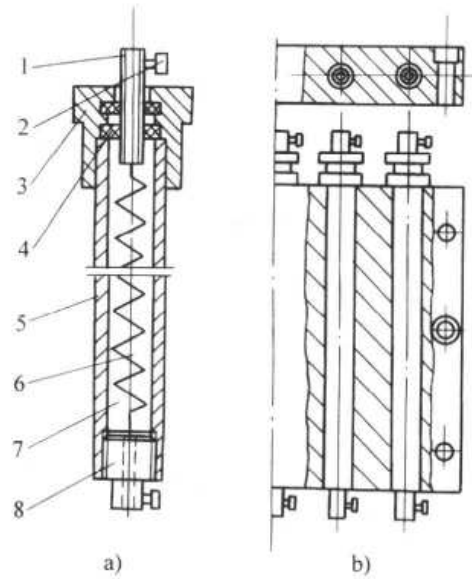


图 26.7-31 电热棒及其在加热板内的安装
1—接线柱 2—螺钉 3—帽 4—垫圈
5—外壳 6—电阻丝 7—石英砂 8—塞子

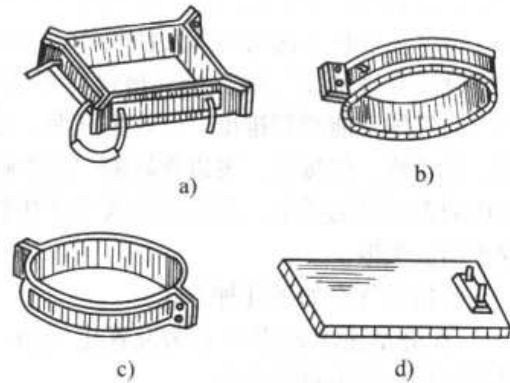


图 26.7-32 电热套和电热板

冷却装置的设计原则:

1) 在满足冷却所需的传热面积和模具结构允许的前提下,冷却回路的数量要尽量多,冷却通道孔径要尽量大。以使型腔散热均匀,表面温度均匀,制品内应力小,变形小,精度高。

2) 冷却通道的布置要合理。当制品的壁厚基本均匀时,冷却通道与型腔表面的距离最好相等,分布尽量与型腔轮廓相吻合(见图 26.7-33)。当制品的壁厚不均匀时,壁厚处应加强冷却,可以将冷却通道间隔变小并且适当靠近型腔。因为浇口附近的温度较高,冷却水应从浇口附近开始流向其他地方,见图 26.7-34。

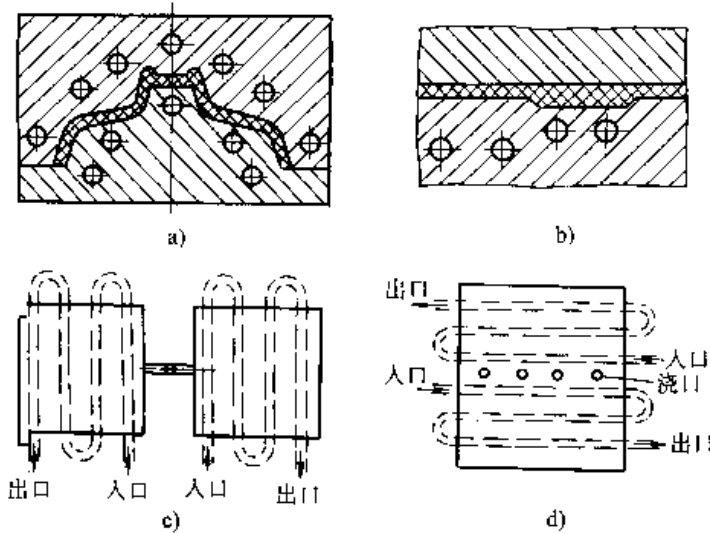


图 26.7-33 冷却通道的布置示意图

(5) 模具排气系统设计

熔融注射料向型腔充填时，必须排除型腔中的空气及由注射料中逸出的挥发性气体。因此模具必须设计合理的排气槽。排气槽设计不合理，型腔中的气体不能顺利排出，会产生气泡、充填不足、流动痕、熔接痕、飞边等缺陷。这些缺陷严重影响着制品的质量，甚至导致成形还在脱粘过程中彻底失败。

型腔的排气有如下几种方式：

- 1) 在分型面注射流动末端设置排气槽，这是最简便最有效的排气方式。
- 2) 型芯、型腔采用拼镶结构，从拼镶缝隙排气。
- 3) 增大顶杆、顶管的配合间隙，达到排气目的。
- 4) 在流动的末端设置冷料井排气。
- 5) 利用真空泵强制排气。

排气槽（间隙）一般为 0.020~0.030 mm。过大，易引起溢料；过小，排气效果不良。

(6) 制品的顶出机构

由于金属注射料的强度与韧性较低及导热系数高，复杂形状的制品脱模过慢容易收缩开裂，过快容易沾模变形。制品的顶出比塑料制品须更加小心。制品的顶出方式对于制品的质量及是否可以自动成形等起着重要作用。顶出的方式决定

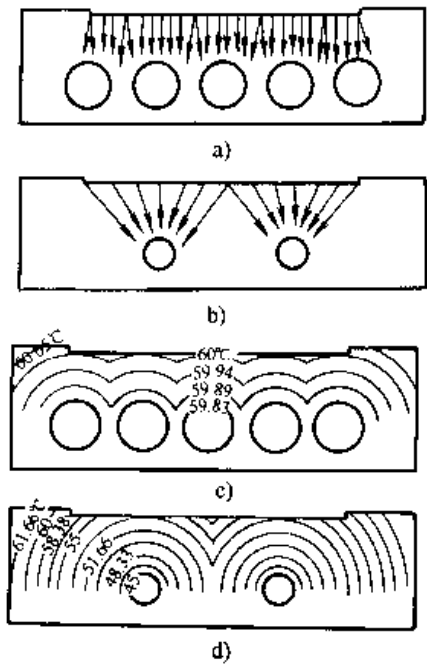


图 26.7-34 热传导路线与温度梯度

于注射料的特点、制品的形状、浇口的种类、制品的外观质量要求、制品的数量、模具制作的复杂程度等。其中，注射料的特点、制品形状是最重要的考虑因素。

常见的顶出方式有如下几种：

- 1) 手动直接取出。
- 2) 用简单工具取出。
- 3) 置换模芯，在外面用手或其他工具取出制品。
- 4) 顶杆顶出。
- 5) 顶管顶出。
- 6) 顶板顶出。
- 7) 气动顶出。
- 8) 几种方式的组合应用。

1)~3) 的方式用于批量不大的产品试制的手动模具中，或形状特别复杂难以用常规方式脱模的制品。具体的使用形式主要取决于零件的形状。

4)~8) 的方式是批量生产模具中较多采用的形式：

1) 顶杆顶出方式（图 26.7-35）这是一种最简单和应用最广泛的顶出形式。顶杆可以设在制品的任一部位，对异型制品，及脱模时局部需要较大顶出力的制品设置非常灵活。但由于顶出力集中于杆端，制品的表面会有顶杆的痕迹。甚至顶杆会顶入制品，产生凹坑、裂痕、变形等。

另外,长时间使用时,由于顶杆和孔的磨损,容易产生溢料。

顶杆截面的形状多种多样(见图 26.7-36),主要是根据零件形状的特点,在保证顶出面积足够大,及杆、孔的加工工艺性的条件下具体选择应用。

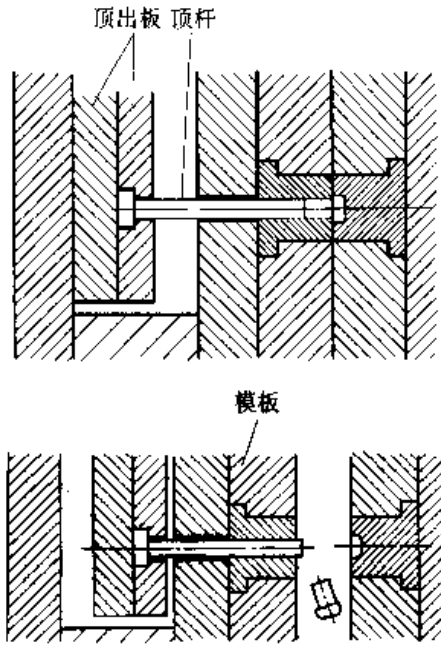


图 26.7-35 顶杆顶出方式

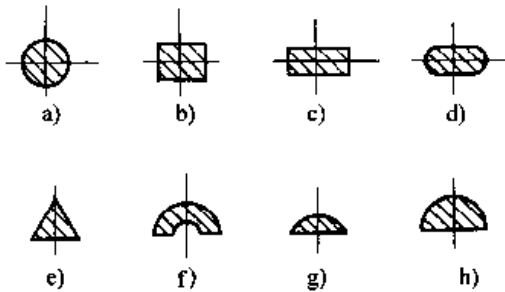


图 26.7-36 顶杆截面形状

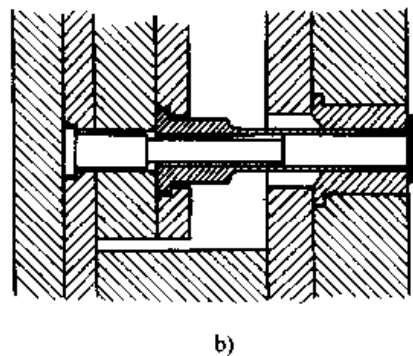
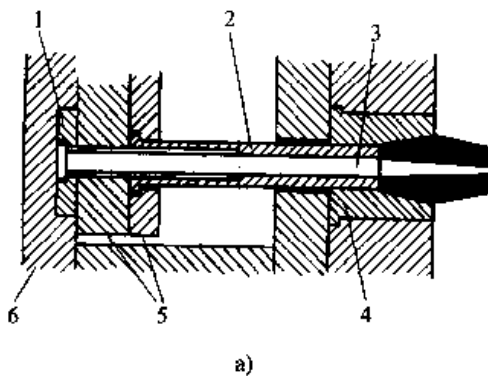


图 26.7-37 顶管的形状

a) 一般用顶管 b) 阶梯状顶管

1—型芯固定板 2—顶管 3—型芯杆 4—型腔 5—顶出机构 6—背压板

顶杆的设计应注意以下几个方面:

①顶杆的布置要均匀,尽量使脱模力均衡,避免制品倾斜弯曲而造成损坏。脆弱部位,如肋、凸台、细小凹进处应多设顶杆。

②不要在浇口的下部和浇口直线方向的根部设置顶杆。这是由于流动压力和浇口附近的注射压力过大,容易造成破坏。同时由于注射料的温度关系,容易造成顶杆自身的温度升高。

③在不影响制品外观的前提下,尽可能多设置顶杆。这可以减轻制品的变形、开裂、应力集中,同时对顶杆的强度和寿命有利。

④顶杆应设置在模腔气体排除最困难的地方,借助配合间隙排气。

⑤顶杆与孔的配合一般采用 H7/f6。配合长度 $x = (1.5 \sim 2.0) d$ (d 为杆径),一般为 15~25 mm。

⑥配合部位应淬火,硬度大于 55 HRC。

⑦应使杆的端部以尽可能大的面积和制品接触,防止顶杆和型芯侧壁产生咬合。

⑧尽量缩短台阶顶杆最细部位的长度。

⑨为避免制品上有顶杆的痕迹,在其他方法难以使用的条件下,可设置溢料槽,用溢料槽作为顶出部位。

2) 顶管顶出方式(图 26.7-37) 对于管状或圆筒状的制品,若壁厚不是非常薄,常采用顶管顶出。这种顶出方式,制品不易开裂,没有顶出痕迹。

顶管顶出设计应注意的事项:

①顶管的壁厚不应小于 1.5 mm,细的顶管可以做成阶梯形式。

②活动配合部位应淬硬至 50 HRC 左右。

③顶管和型芯的配合长度应尽量短,但顶管前进到极限位置时,还应留有 7~8 mm 的配合长度。

3) 推板顶出方式 (图 26.7-38) 这种顶出方式是从分型面处在制品的周围同时顶出, 适用于壁厚较薄及深度较大侧壁脱模阻力较大的箱状、圆筒状制品。

推板顶出与顶杆顶出的区别在于: 当要在分型面以外的支脚等处进行顶出时, 以及顶出较浅的管 (短型芯) 时用顶管顶出; 其他情况下用推板顶出较为有利。但是当分型线不是直线时, 研合加工较难, 容易产生溢料, 另外当只在周围顶

出, 中间部分产生变形、开裂等情况时, 要考虑推板顶出与顶杆顶出或气动顶出等方式的并用。

推板顶出结构简单, 制品不易变形, 外观没有顶出痕迹。

推板顶出设计应注意的事项:

- ①动配合部位应淬硬至 50 HRC 左右。
- ②活动配合部位单面间隙不超过 20 μm , 避免溢料卡死。
- ③对于较长模芯, 须采取措施防止其倾斜。

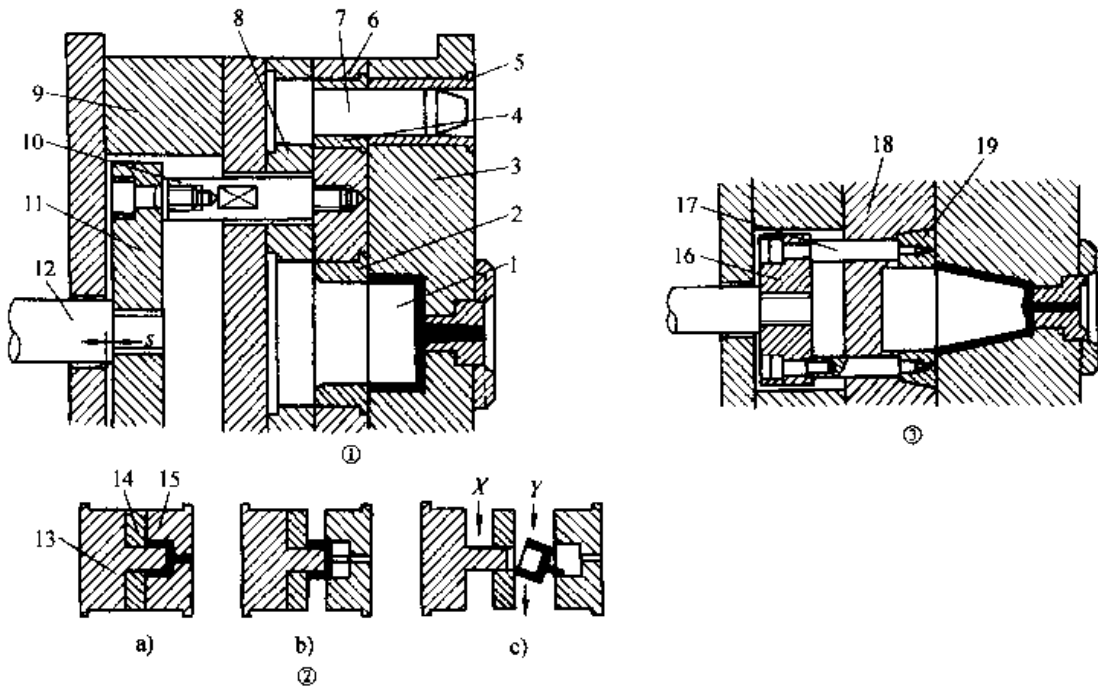


图 26.7-38 推板顶出机构和驱动实例

①推板顶出装置 ②推板顶出的动作顺序 ③环状推板方式

1—型芯 2—推套 3、15、18—型腔板 4、5—导套 6、14—推板 7—导柱 8—型芯固定板
9—顶出框架 10、17—紧固螺钉 11、16—顶出板 12—顶出杆 13—型芯板 19—环状推板

4) 二次顶出方式 有些制品由于带有侧凹, 用一次顶出不能取出或自动落下。这时, 可对其进行了一次顶出的制品再进行第二次顶出。采用的方法是将基本顶出方法进行组合 (图 26.7-39) 及利用顶出的时差。

2 带外侧凹制品的模具设计

金属注射成形制作的产品一般形状比较复杂, 许多制品的形状在与开模方向成一定角度处带有凹陷、孔等。此时, 仅仅依靠开模方向的运动根本无法将制品取出。这类制品在注射模具设计时统一归结到侧凹类制品。塑料制品的侧凹, 有时会利用其弹性, 强制脱模。对于金属注射制

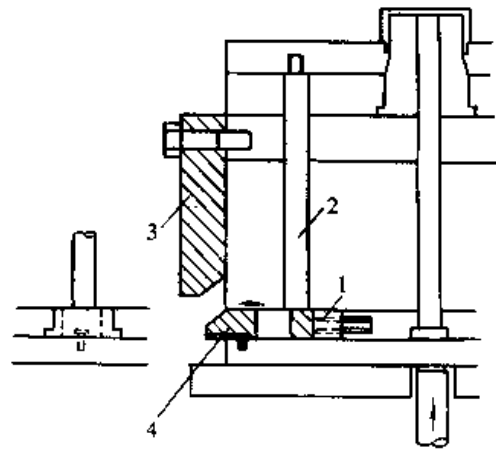


图 26.7-39 采用滑块的二次顶出机构
1—弹簧 2—推板顶杆 3—模 4—滑块

品，一般不能采用强制脱模，常采用瓣合模和侧向抽芯的方法。

2.1 瓣合模

将模具分成几部分，利用开合模的机械运动或气压、液压带动瓣合模的全部或部分侧向滑

动，从而顺利取出制品。图 26.7-40 示采用适于瓣合模成形的几种典型制品。

瓣合模的基本构造和动作如图 26.7-41 所示。为了便于加工，瓣合模的导向槽多设计成 T 形，并采用图 26.7-42 的结构，用螺钉、定位销正确地紧固定位。

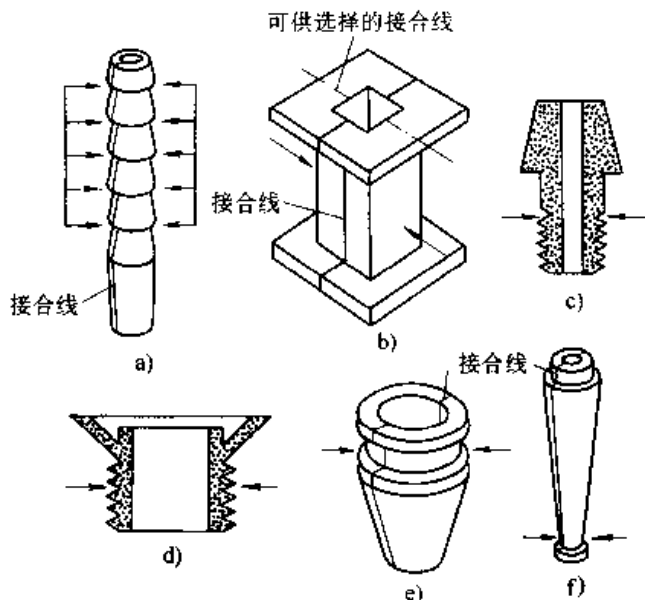


图 26.7-40 适于采用瓣合模成形的有侧凹的制品，箭头处为侧凹
a) 管接头 b) 线轴 c) 螺纹接头 d) 带螺纹的零件 e) 接头 f) 管轴杆

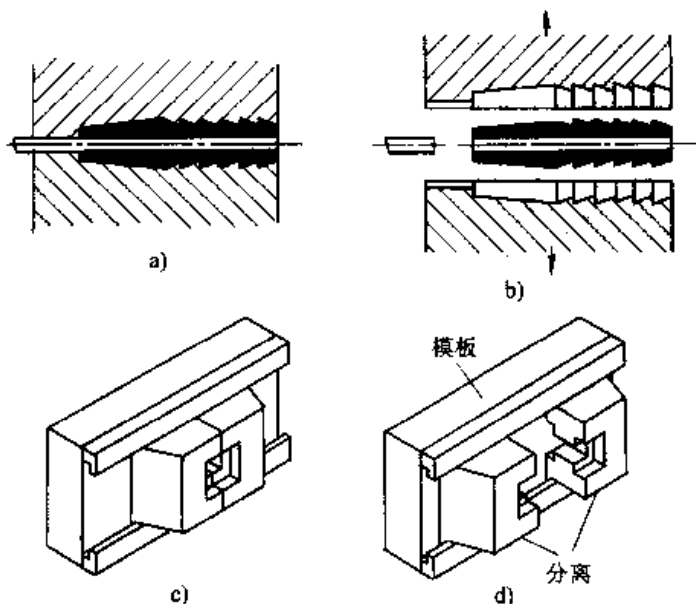


图 26.7-41 瓣合模的基本构造
a) 分型面的选取 b) 瓣合模的动作图 c) 合模状态 d) 开模状态

下面是瓣合模常用的几种驱动方式：

(1) 斜导柱驱动方式

图 26.7-43 示斜导柱驱动瓣合模的原理图。

合模时，依靠定模板上的锁紧斜面压紧瓣合模并将其定位。注射完成后，注射机带动动模移开，斜导柱的侧向分力带动瓣合模沿导槽滑动打开。

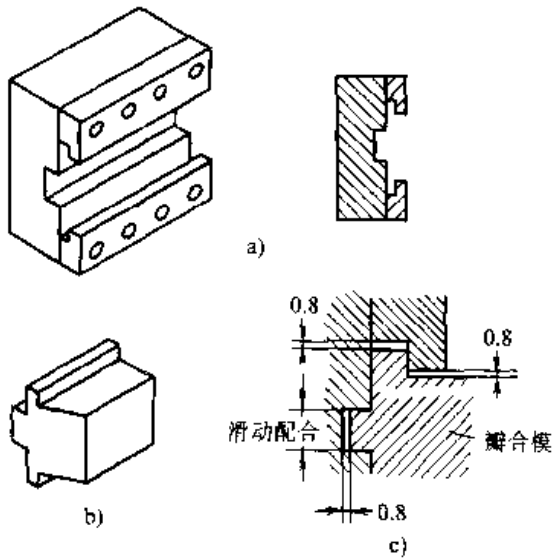


图 26.7.42 瓣合模滑动导轨的设计

a) 模座的形状 b) 瓣合模的形状 c) 尺寸实例

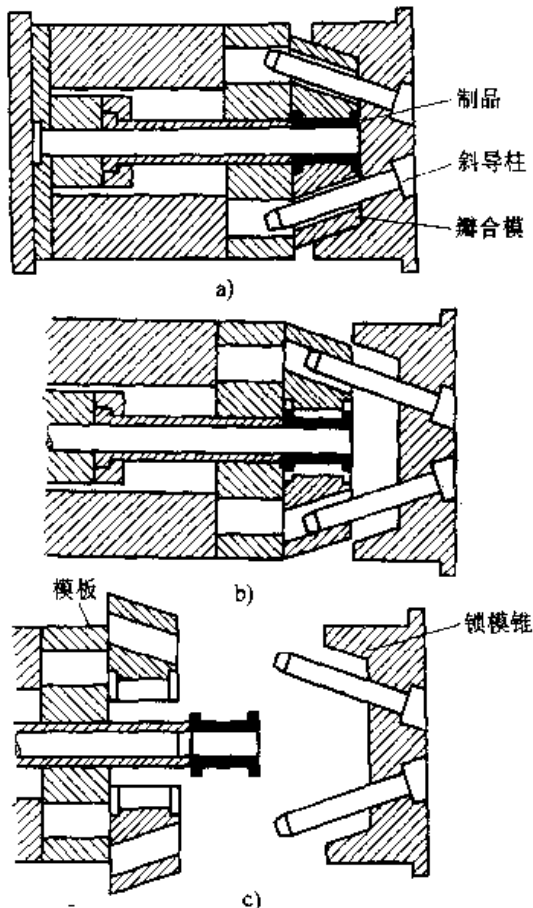


图 26.7.43 斜导柱驱动方式的基本动作

a) 合模状态 b) 开模初始状态 c) 开模后状态

瓣合模的移动距离 M (图 26.7.44) 由下式计算:

$$M = (L \sin \phi) - (C / \cos \phi)$$

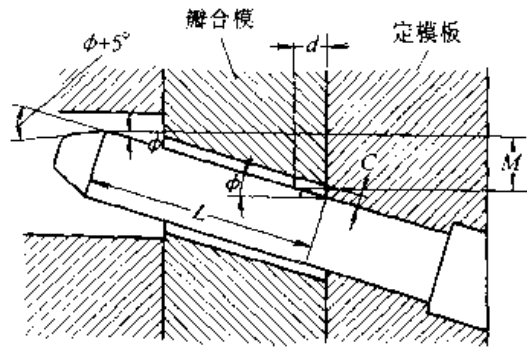


图 26.7.44 斜导柱主要部位设计说明图

式中 M —— 瓣合模的移动距离 (mm);
 L —— 斜导柱的有效长度 (mm);
 ϕ —— 斜导柱的倾斜角度 ($^{\circ}$);
 C —— 间隙 (mm)。

间隙 C 的作用是减少作用于斜导柱上的成形压力; 开模时使瓣合模的打开运动滞后。瓣合模移动前模板的运动量 d 由下式计算:

$$d = C / \sin \phi$$

ϕ 一般取 10° 为宜。但当斜导柱很长时, 可增至 25° 。 ϕ 应小于锁紧块的角度。

(2) 弯导柱驱动方式

图 26.7.45 示弯导柱驱动方式的原理图。

弯导柱驱动方式主要参数的计算如下:

$$M = L_a \tan \phi - C$$

$$D = (L_s - e) + (C / \tan \phi)$$

式中 M —— 瓣合模的移动距离 (mm);
 L_a —— 弯导柱的倾斜部分长度 (mm);
 L_s —— 弯导柱的直线部分长度 (mm);
 ϕ —— 弯导柱的角度 ($^{\circ}$);
 C —— 间隙 (mm);
 D —— 滞后量 (mm);
 e —— 孔的直线部分长度 (mm)。

对于小型模具, 弯导柱的断面约为 $13 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$, 角度 ϕ 通常为 10° , 为减小模具厚度可增至 25° , 倒角部分有 10° 即可, 也可作成圆角。

(3) 导板 (斜导槽) 驱动方式

图 26.7.46 示导板驱动方式的原理图。

导板驱动方式可以得到较大的滑动距离。以下是其主要参数的计算公式:

$$M = L_a \tan \phi - C$$

$$D = L_s + C / \tan \phi + r (1 / \tan \phi - 1 / \sin \phi)$$

式中 M —— 瓣合模的移动距离 (mm);

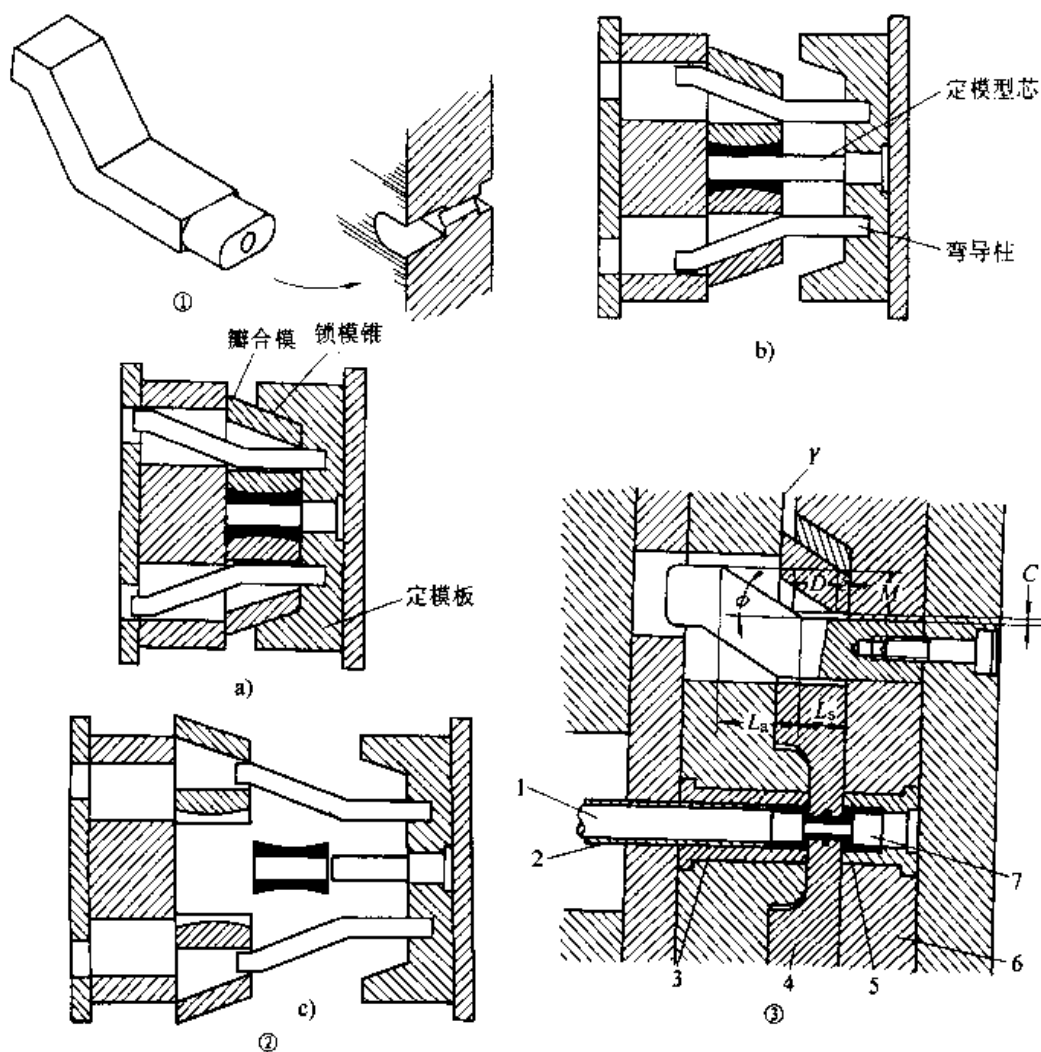


图 26.7-45 弯导柱动作的瓣合模

①弯导柱的形状和装置实例 ②弯导柱动作方式的基本顺序 a) 合模状态 b) 开模初始状态
c) 开模后的状态 ③弯导柱动作方式的主要部位设计实例
1—型芯 2—套 3—型腔 4—瓣合模 5—型腔 6—定模板 7—型芯

L_a ——斜导槽的倾斜部分长度 (mm);
 L_s ——斜导槽的直线部分长度 (mm);
 ϕ ——斜导槽的角度 ($^\circ$);
 C ——间隙 (mm);
 D ——滞后量 (mm);
 r ——销子的半径 (mm)。

一般 ϕ 角为 $20^\circ \sim 25^\circ$ 。

(5) 液压、气压驱动方式

这是利用固定于模板上的液压缸、气缸带动瓣合模的移动方式。这种方式的驱动时间可以自由调整，驱动力较大，移动距离也可很长。若机器上带有驱动接口，采用这种方式很方便。

图 26.7-48 所示为原理图。

(6) 瓣合模的锁紧、定位方法 (图 26.7-49)

在注射压力作用下，如果瓣合模没有锁紧装置就会打开。瓣合模常用斜楔（锁紧块）来锁紧滑动的各模瓣。斜楔突出部分的深度为瓣合模高度的 $3/4$ ，角度应比斜（弯）导柱（槽）大 5° 以上。根据锁模力的大小，斜楔可直接用螺钉固定或镶嵌在模板上。

(4) 弹簧驱动方式
 小型模具有时采用弹簧驱动，结构较为简单。图 26.7-47 示其驱动方式的原理图。

以下是其主要参数的计算公式：

$$M = 0.5H \tan \phi$$

式中 M ——瓣合模的移动距离 (mm);
 H ——锁紧块高度 (mm);
 ϕ ——锁紧块角度 ($^\circ$)。

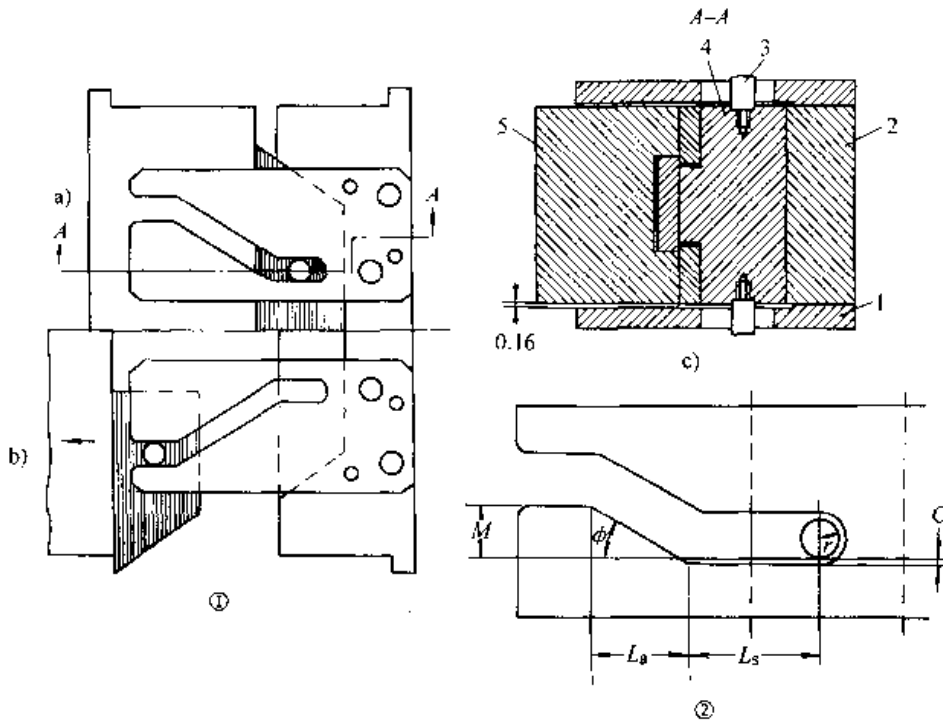


图 26.7-46 斜导槽动作的瓣合模

①斜导槽动作方式的基本顺序 a) 合模状态 b) 开模状态 c) X-X 断面

②斜导槽动作方式的主要部位设计实例

1—斜导槽 2—定模板 3—销子 4—瓣合模 5—模板

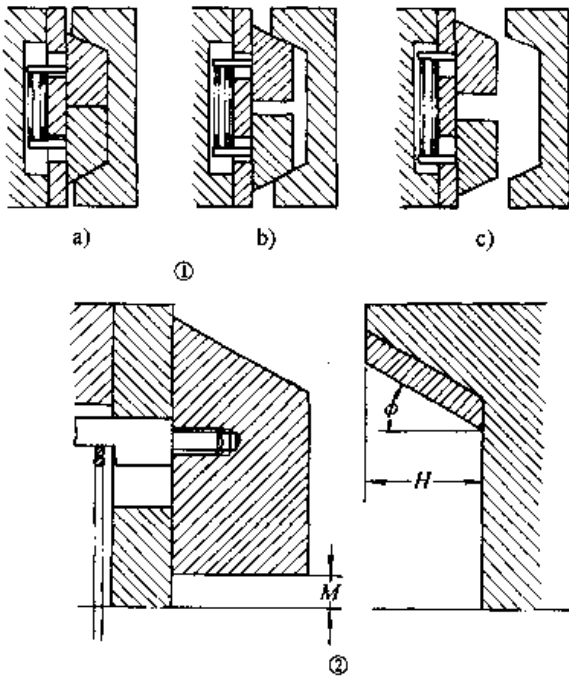


图 26.7-47 弹簧动作的瓣合模

①弹簧动作方式的基本顺序 a) 合模状态

b) 开模初始的状态 c) 开模后的状态

②弹簧动作方式的主要部位设计实例

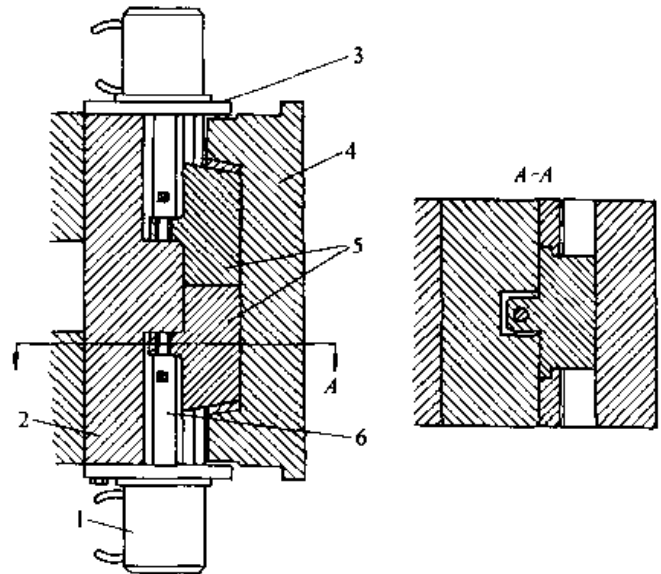


图 26.7-48 液压(气压)方式一例(行程不大的情况)

1—液压缸 2—模板 3—安装板

4—带锁紧的定模板 5—瓣合模 6—活塞杆

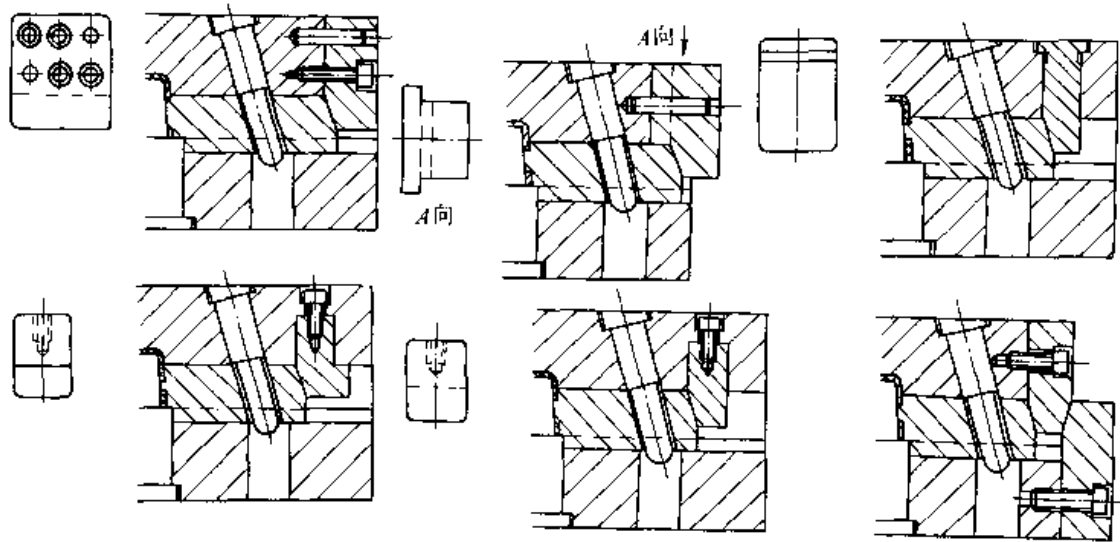
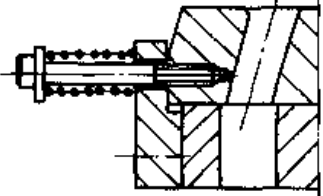
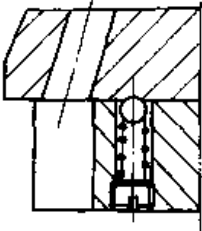
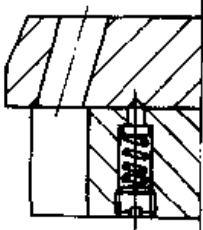
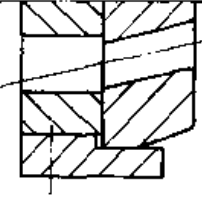
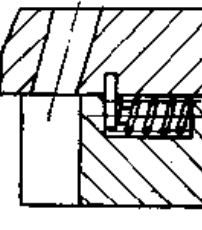


图 26.7-49 瓣合模的锁紧、定位方法

合模时，瓣合模应停留在一定的位置上。为此，须设置弹簧、销子、钢珠、挡块等装置来固定瓣合模的开模位置。滑块定位形式和定位装置分别见表 26.7-3 和图 26.7-50。

表 26.7-3 滑块定位形式

简 图	说 明	简 图	说 明
	适用于模具安装后滑块位于上方或侧面，用弹簧支承		以球形定位装置定位，适用于模具安装后滑块位于侧面时
	以圆头的销形定位装置定位。适用于模具安装后滑块位于侧面时		适用于模具安装后滑块位于下方时，利用滑块自重停留在挡块上
			利用埋在模板槽内的弹簧与设在滑块内的挡块定位

2.2 侧向抽芯模具

当制品有侧凹时，瓣合模是将整个型腔分成几个对称部分；而侧向抽芯模具是将侧凹部分作

成单独的部分，固定于滑块上，借助于滑块的移动使制品顺利脱模。图 26.7-51 所示适于采用侧向抽芯模具制作的一些典型制品。

图 26.7-52 示侧向抽芯模具的动作原理图。

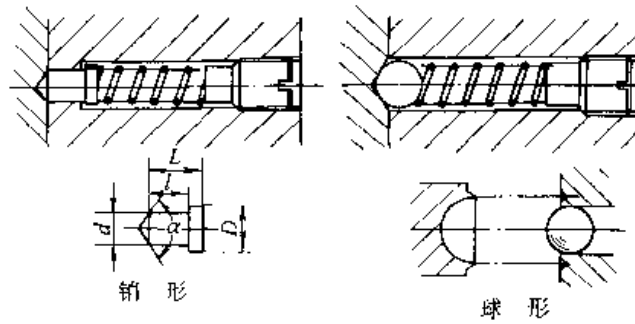


图 26.7-50 销形及球形定位装置图

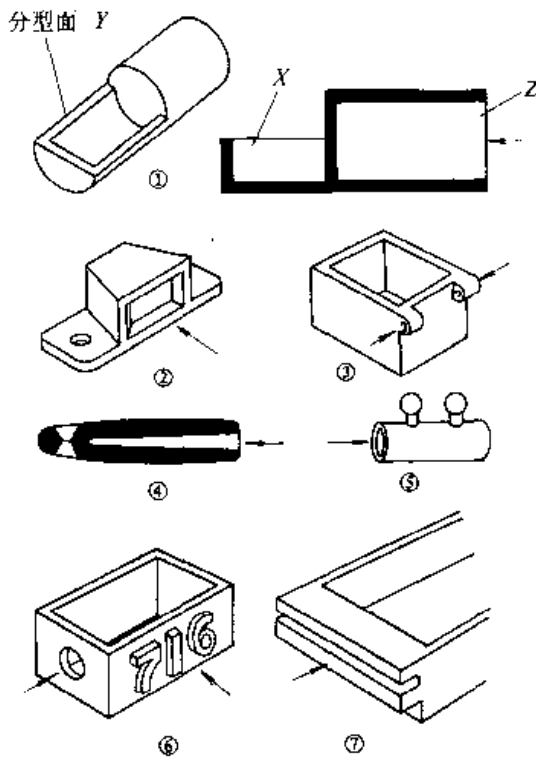


图 26.7-51 适于用侧型芯和侧型腔模成形的制品
(箭头处是滑块成形的部位)

有些制品既可以采用侧向抽芯模具，也可采用瓣合模具成形，这要根据具体情况决定。对于诸如浇口位置，长孔芯杆的定位、型腔制作的难易，制品的外观等进行通盘考虑后，选择具体的方法。

侧向抽芯模具滑块的驱动方式与瓣合模具的驱动方式基本相同。图 26.7-53~图 26.7-59 示各种方式的实例与动作原理图。

3 带内侧凹制品的模具设计

在制品的内侧或型芯上，常常带有突起、凹进的部分，仅靠开合模方向的运动无法成形。这类制品统统归于内侧凹类制品。图 26.7-60 所示为一些典型的内侧凹制品例。

内侧凹制品的成形方法有如下几种。

(1) 顶杆驱动方式

就是在倾斜角度为 ϕ 的顶杆上作出侧凹部分，此杆靠弹簧的作用与顶出板相接触，开模后顶出板带动斜顶杆前进，依靠斜顶杆的横向运动将侧凹脱开。图 26.7-61 示其基本结构和动作实例。

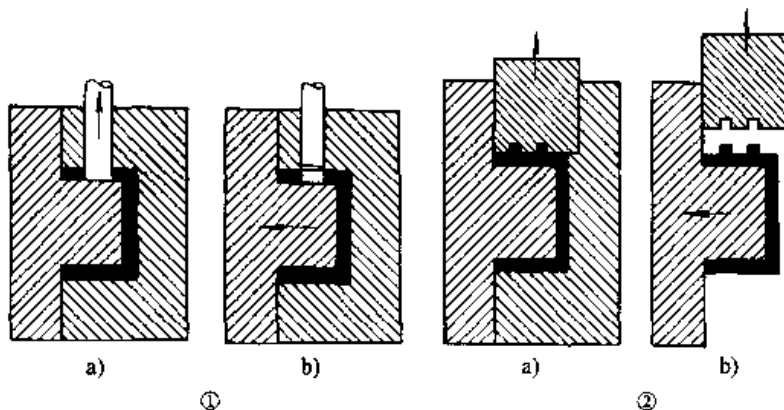


图 26.7-52 滑块模的基本动作

①侧型芯式 a) 合模 b) 开模 ②侧型腔式 a) 合模 b) 开模

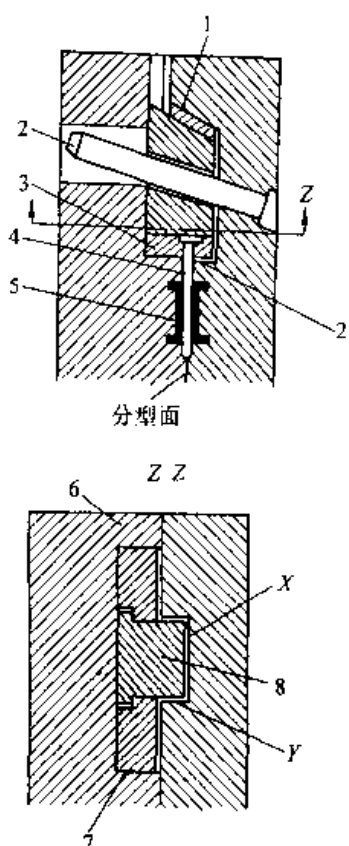


图 26.7-53 斜导柱驱动的滑块模
1—锁紧块 2—斜导柱 3—保持板 4—侧芯
5—制品 6—动模板 7—导轨 8—拖板

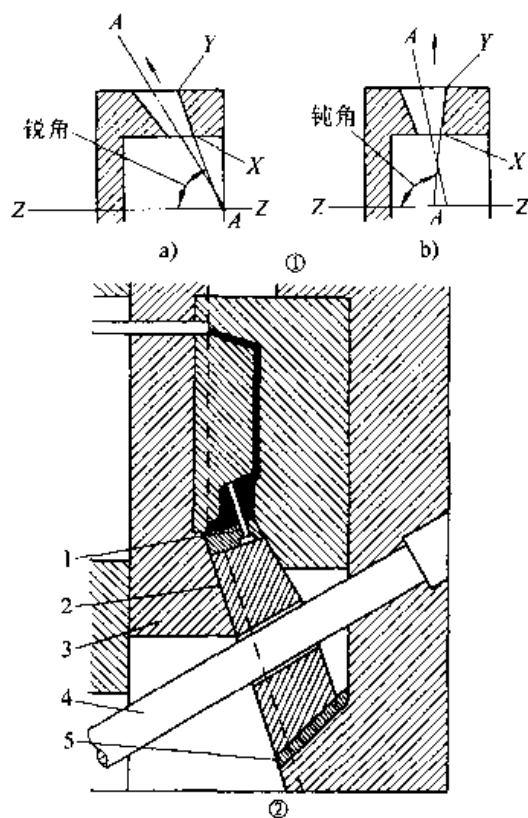


图 26.7-54 倾斜滑块模
①孔的角度 a) 锐角 b) 钝角
②孔的角度为锐角时必须使滑块倾斜
1—型芯 2—拖板 3—型芯板 4—斜导柱 5—锁模块

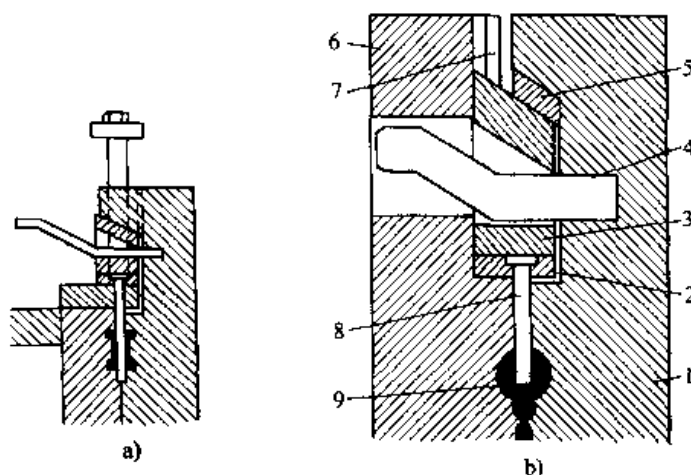


图 26.7-55 弯导柱动作方式的装配实例
1—定模板 2—保护板 3—拖板 4—弯销 5—调整块
6—动模板 7—导轨 8—侧芯结构 9—制品

(2) 镶拼型芯驱动方式

这种驱动方式与斜顶杆驱动方式基本相同，只是将成形内侧凹部分的型芯与斜顶杆作成两部分，此方式应注意顶杆的斜角 ϕ 应小于型芯接触

面的斜角 θ 。图 26.7-62 示其常见的几种形式。

(3) 滑块（型芯）驱动方式

此方式同外侧凹的处理相似，可利用滑块成形，利用斜导柱、导槽、液压缸等驱动将其脱出。

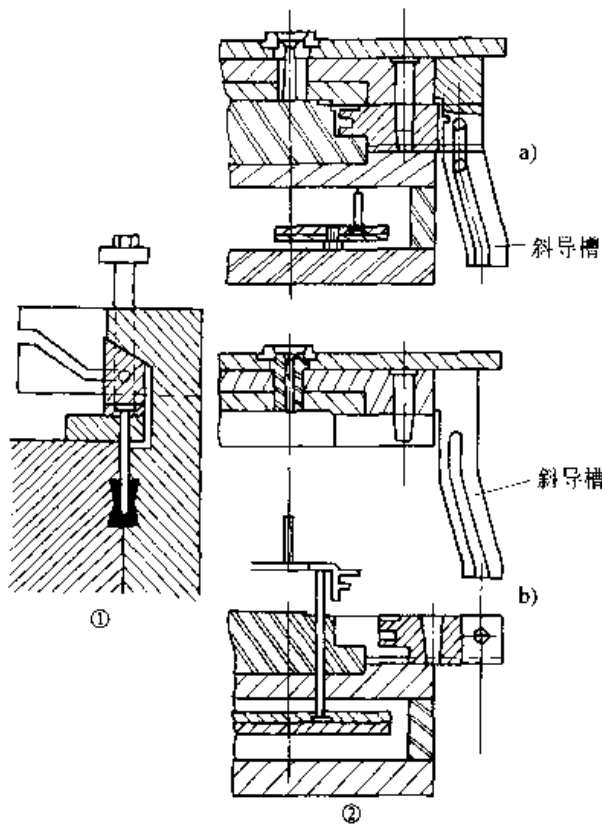


图 26.7-56 斜导槽驱动的滑块模
①斜导槽动作方式的装配实例 ②动作顺序
a) 合模状态 b) 开模后的顶出状态

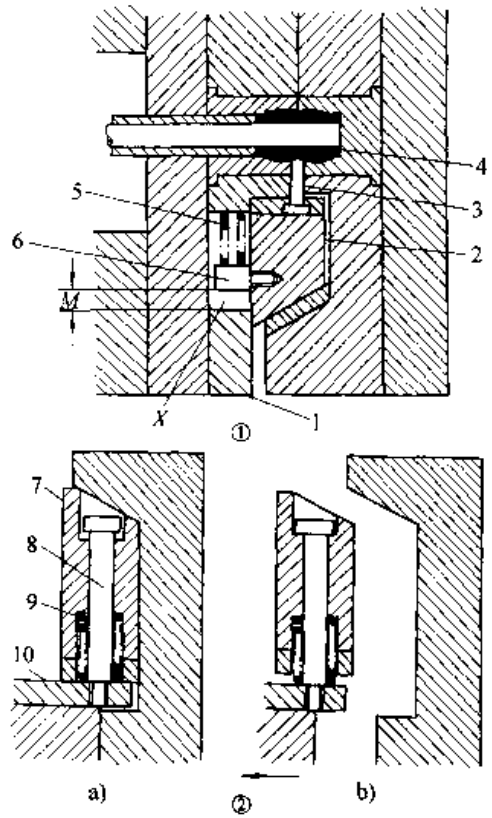


图 26.7-57 弹簧驱动的滑块模
①弹簧动作方式的装配实例 ②动作顺序
a) 合模状态 b) 开模状态
1—模板 2—拖板 3—侧芯 4—制品 5—弹簧
6—内六角螺钉 7—滑板 8—支柱 9—弹簧 10—加长板

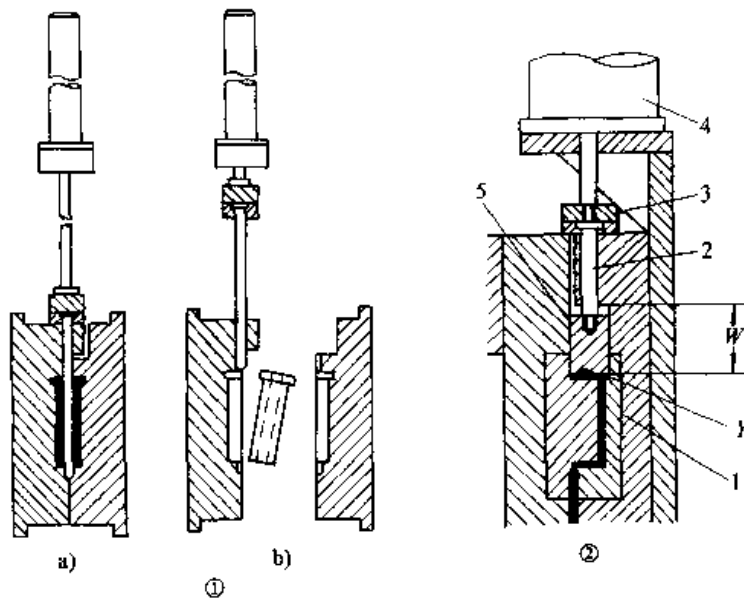


图 26.7-58 气压或液压驱动的滑块模
①长行程的情况 a) 合模 b) 开模 ②短行程的情况
1—型腔 2—联接螺栓 3—拖板 4—液压缸 5—侧腔滑块

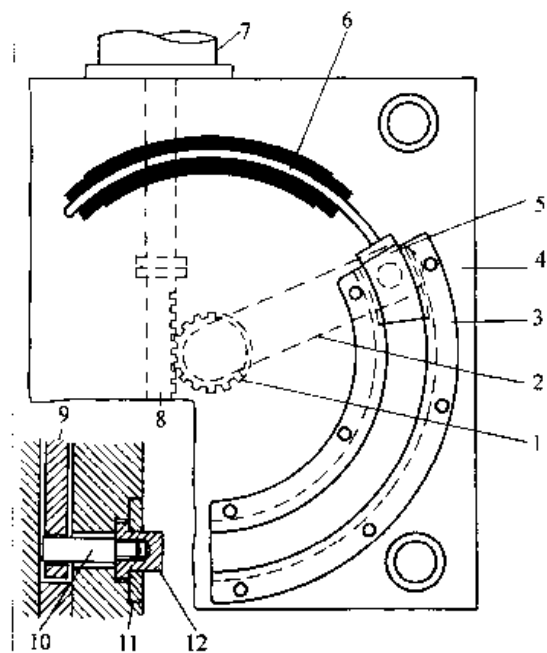


图 26.7-59 液压缸带动齿条齿轮传动的回转型芯

1—齿轮 2—驱动杆 3—带状导轨 4—垫板 5—拖板 6—型芯
7—液压缸 8—齿条 9—驱动杆 10—内六角螺钉 11—带状导轨 12—拖板

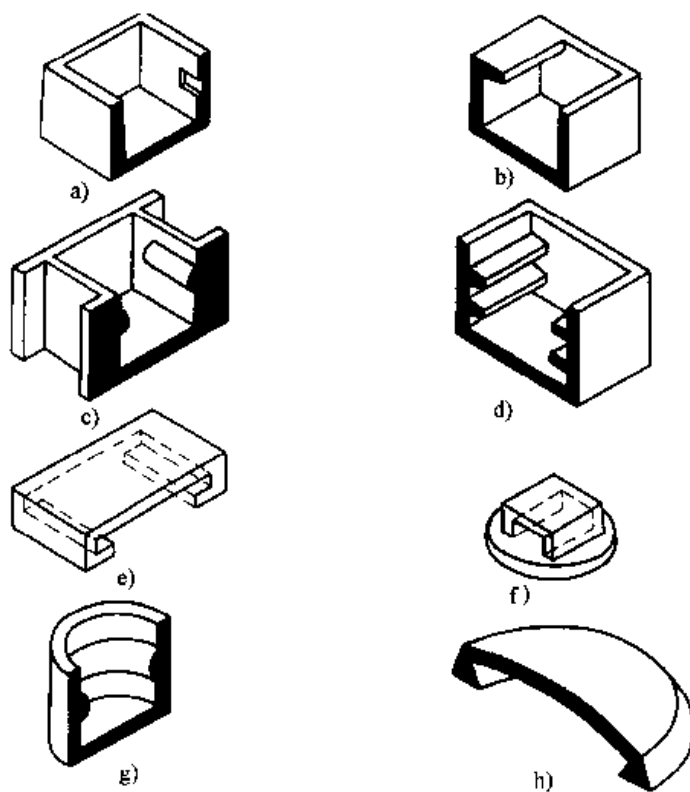


图 26.7-60 有内侧凹的制品

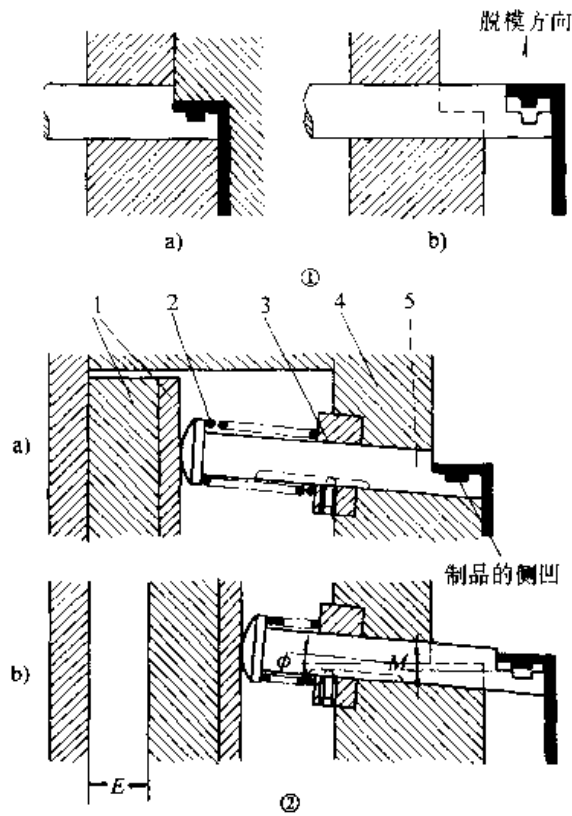


图 26.7-61 直杆和斜顶杆的比较

(直杆不能自动下落, 斜顶杆可以自动下落)

①直杆方式 a) 成形 b) 顶出 ②斜顶杆方式 a) 成形 b) 顶出
1—顶出机构 2—弹簧 3—保持板 4—模板 5—成形杆

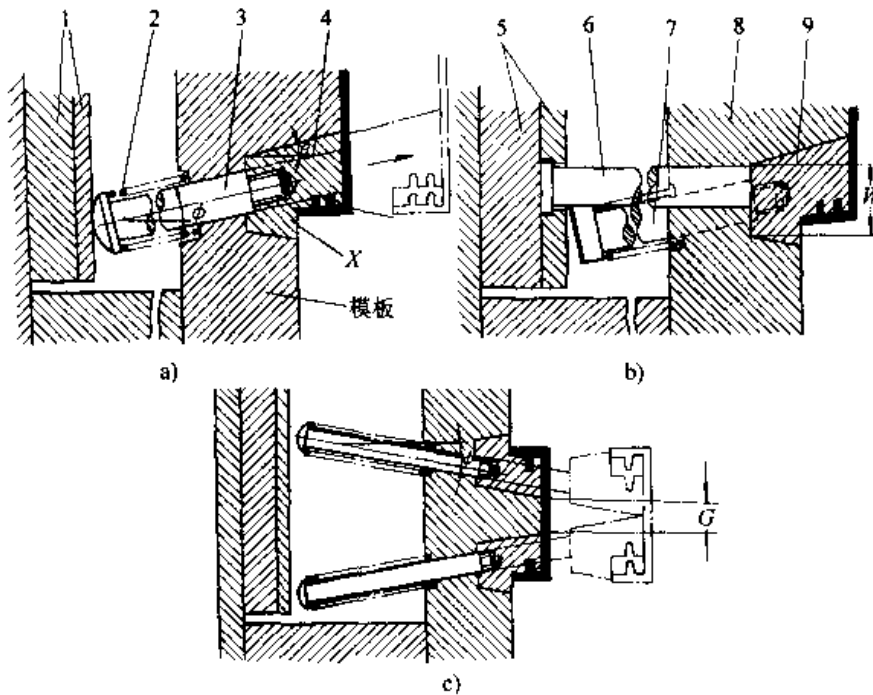


图 26.7-62 瓣合型芯的各种动作方式

a) 斜导柱和瓣合型芯图例 (I) b) 斜导柱和瓣合型芯图例 (II) c) 对称分布的两处以上带有侧凹制品的成形结构
1、5—顶出机构 2—弹簧 3、7—导杆 4、9—瓣合芯 6—顶杆 8—模板

(4) “熔”芯成形法(图 26.7-63)

对于周圈内侧凹的制品,在塑料的成形中常采用强制脱模方式。对于金属注射成形不能采用强制脱模方式,此时可将成形侧凹的部分作成镶嵌型芯。脱模后利用热解、溶化等手段将型芯去

除。镶嵌型芯材料可以是塑料、纸等材质制作的。

浇注系统的冷料必须全部取出,才能使后面的注射顺利进行。为此,须设置图 26.7-64 所示的冷料勾料杆,在模具打开时顺利取出主流道与分流道的冷料,并随制品一起顶出。

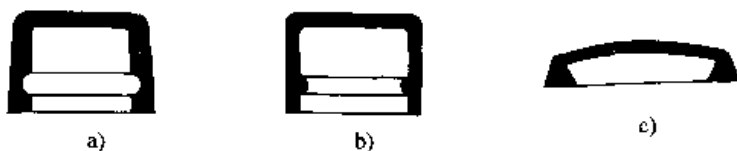


图 26.7-63 “熔”芯成形法

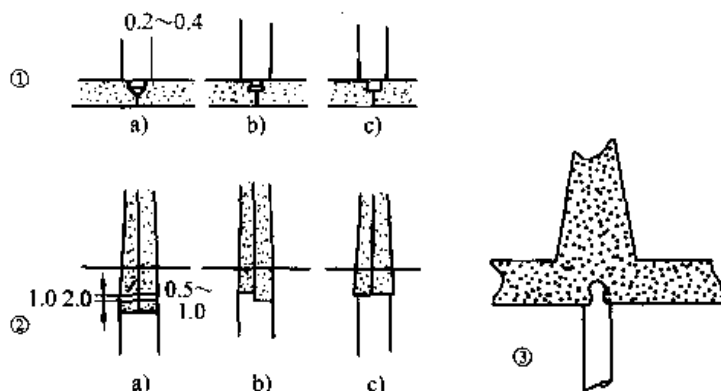


图 26.7-64 分流道冷料勾料杆和主流道冷料勾料杆

①分流道冷料勾料杆 ②主流道冷料勾料杆 ③球形主流道冷料勾料杆

主流道的冷料勾料杆的沟槽深度为 0.5~1.0 mm,分流道的冷料勾料杆的沟槽深度为 0.2~0.4 mm。主流道的冷料勾料杆位于冷料井部位,兼有储存喷嘴端部冷料的作用。分流道的冷料勾料杆一般设在点浇口反面模板上。图 26.7-65 所示为一些较复杂的自动顶出方式。对于一些不能自动取出的冷料,常采用手工或机械手取出。

图 26.7-66 示主流道、分流道的推板顶出结构。

4 金属注射成形模具的强度计算与设计实例

金属注射模具可以简单地划分为模架和腔体两部分。

金属注射模具的模架与塑料注射模具模架完全相同,模架材料可以参考塑料注射模具模架来选择:一般,动模板、定模板、推板可采用 45 钢,调质处理硬度 180~250 HBS。其他板料可以采用 45 钢或 Q235 钢。对于精度要求特别高

的模架,所有板料均可采用 45 钢调质处理,甚至用 Cr12 类的微变形模具钢,淬火处理。导柱、导套可采用 T8A 淬硬到 50~55 HRC 或 20 钢渗碳 0.5~0.8 mm 厚,淬硬到 56~60 HRC。

对于腔体部分,材料选择主要考虑耐磨性、淬火变形小、耐蚀性及加工性能。由于金属注射料对模具的冲刷磨损比一般塑料严重得多,耐磨性是用于批量生产的金属注射模具腔体的最基本要求,一般要求腔体的硬度在 58~62 HRC。工具钢由于具有综合的强度、硬度、韧性、淬透性、耐蚀性及加工性能,是腔体的首选材料。常用材料有合金模具钢如 Cr12、Cr12MoV、Cr4W2MoV、Cr2Mn2SiWMoV、Cr6WV 及高速钢 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 等。对于批量特别大的精密零件,腔体的整体或关键部位常常采用硬质合金或钢结硬质合金材料。注射模具一般形状较为复杂,常采用超精密电火花、线切割等先进加工手段,要求材料组织均匀、淬透性及淬火形状稳定性高。金属注射料在注射温度下,常产生腐蚀性气体,耐蚀性也是对模具材料的一项要求。

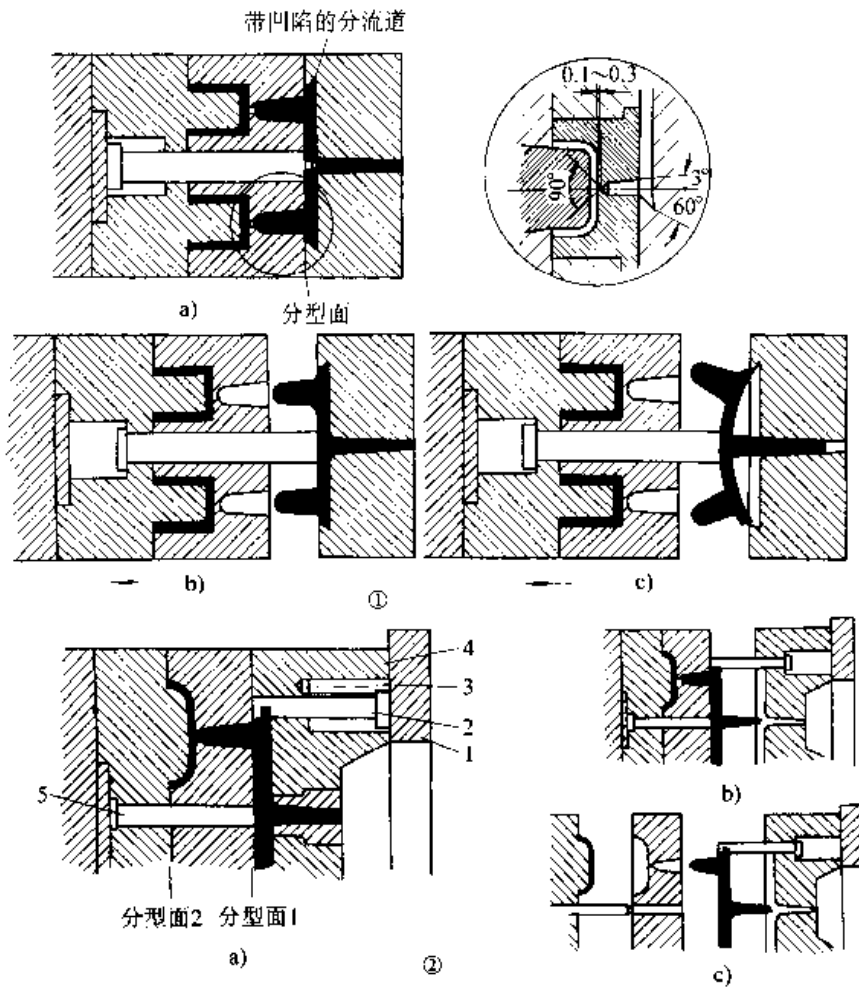


图 26.7-65 主流道、分流道冷料的顶出方式

①主流道，分流道冷料自动脱落的方式和动作

②当不能用①的方式时，可采用此方式，但这个方式自动脱落困难

1—定模安装板 2—辅助勾料杆 3—键 4—分流道板 5—主流道勾料杆

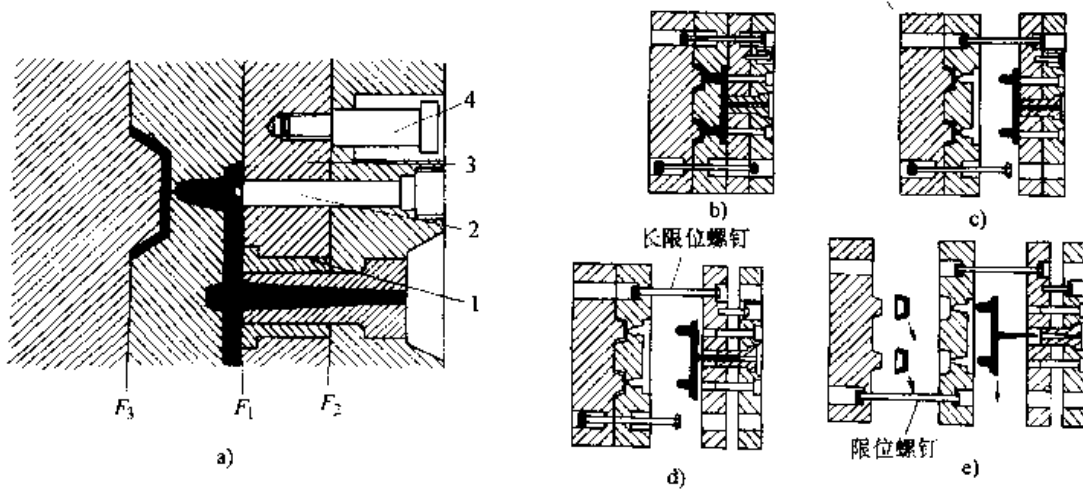


图 26.7-66 主流道、分流道的推板顶出结构

a) 成形状态时主要部位详细图 b) 成形状态 c) 第一次分型 d) 第二次分型 e) 开模后的顶出状态

1—导套 2—定模辅助勾料杆 3—推板 4—限位螺钉

金属注射成形模具用于批量生产复杂形状的小型零件。腔体一般较小，但形状复杂，需采用先进的加工手段和工艺，模具价格昂贵。模具材料费用在总成本中所占的比例相对较低。一般不会因为材料价格，限制了选择好的材料来制造高质量的模具。

在特殊情况下，如试样和小批量零件的快速制作，为了简化工艺，Q235 钢、45 钢、铝合金、锌基合金等，也常用来制作某些腔体。这会大大缩短样品的开发周期。但这样的模具一般不能用于批量生产。

总之，模具材料的选择必须根据产品的批量，零件的形状、精度，采用的加工手段及工艺，具备的热处理手段及热处理的难易程度，以及材料来源的方便性等来综合考虑。

4.1 金属注射成形模具的强度计算

注射模具工作时，一般承受 20~50 MPa 的交变负荷，同时伴有冷热温度的交替。在超精密注射成形中，使用的成形压力甚至会超过正常使用压力的几倍。注射模具的使用寿命一般为几万甚至几十万次，因此模具应有足够的强度与刚度。

金属注射模具模腔一般采用硬度为 58~62 HRC 的淬硬模具钢制作，因此必须注意由尖角、沟槽、切口及加工缺陷所引起的应力集中。这些缺陷会大大降低模具的疲劳强度。

金属注射模具一般用于小型零件的生产，模具尺寸很小。正常使用情况下，只要模板的使用面积不超过长度和宽度的 60%，深度不超过 10% 时，可以不进行计算。况且，模具形状一般比较复杂，型腔内的实际受力情况也很复杂，即使作出多种假设，也很难用弹性力学及有限元的方法得出结果。因此模具设计常采用放大安全系数的宽容方法。

但对于较大的制品或采用超高压精密成形工艺时，如有可能，还是应对型腔的强度进行计算。防止由于强度不足，变形过大产生溢料甚至破坏。以下是对于简单的矩形和圆形型腔，假设载荷均匀分布时，常用的一些计算方法：

(1) 组合式矩形阴模（型腔底板与侧壁不是整体（图 26.7-67）

这种方式可以简化为双端简支梁，考虑一定的安全系数，得出模具的侧壁厚度为

$$h = [12p \times l^4 \times a / (384E \times b \times \delta)]^{1/3}$$

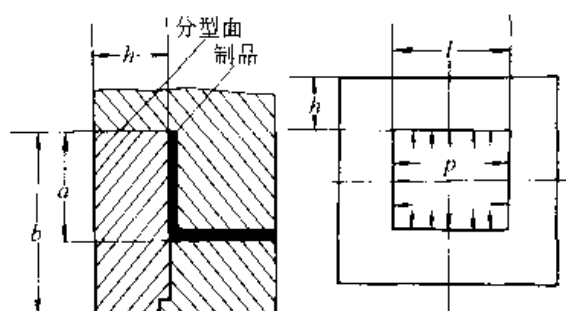


图 26.7-67 组合式矩形阴模

- 式中 h —— 模具侧壁厚度 (mm);
 p —— 模内的成形压力 (MPa);
 l —— 制品 (梁) 的长度 (mm);
 a —— 型腔深度 (mm);
 E —— 弹性模量 (MPa);
 b —— 凹模模板的高度 (mm);
 δ —— 模具侧壁允许的变形量 (mm)。

(2) 整体式矩形阴模（图 26.7-68）

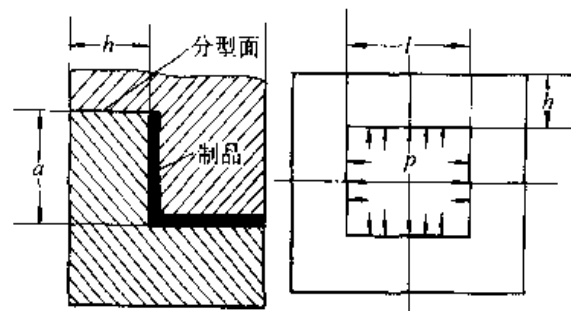


图 26.7-68 整体式矩形阴模

整体式矩形阴模的强度要比组合式阴模大得多，得出模具的侧壁厚度为

$$h = (cpl^4(a/E)\delta)^{1/3}$$

- 式中 h —— 模具侧壁厚度 (mm);
 p —— 模内的成形压力 (MPa);
 l —— 制品 (梁) 的长度 (mm);
 a —— 型腔深度 (mm);
 c —— 由 $1/a$ 决定的常数，由表 26.7-4 中可查出;
 E —— 弹性模量 (MPa);
 δ —— 模具侧壁允许的变形量 (mm)。

(3) 圆形阴模的壁厚计算（图 26.7-69）

假设圆形阴模的内部受压时，载荷均匀作用在圆筒内侧面。因此：

$$S = r(p/E)[(R^2 + r^2)/(R^2 - r^2) + \nu]$$

- S —— 内圆半径的变形量 (mm);
 p —— 模内成形压力 (MPa);
 r —— 内圆半径 (mm);

表 26.7-4 l/a 与 c 的关系

l/a	c	l/a	c	l/a	c
1.0	0.044	1.5	0.084	2.0	0.111
1.1	0.053	1.6	0.090	3.0	0.134
1.2	0.062	1.7	0.096	4.0	0.140
1.3	0.070	1.8	0.102	5.0	0.142
1.4	0.078	1.9	0.106		

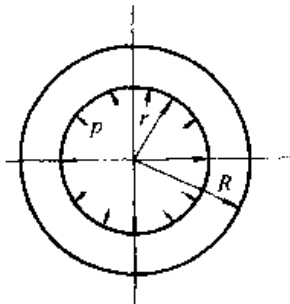


图 26.7-69 圆形阴模

R —— 外圆半径 (mm);
 E —— 弹性模量 (MPa);
 ν —— 泊松比。

与矩形型腔一样, S 值要限制在 0.02 mm 以下。

在成形压力作用下, 模冲会变形。如果变形过大, 则制品的壁厚就会改变, 或产生溢料。这时需要设置支承块 (图 26.7-70), 将变形量控制在允许的范围內。

1) 垫板之间没有支承块时 (图 26.7-70a)

$$h = L [5pbl / (32EBS)]^{1/3}$$

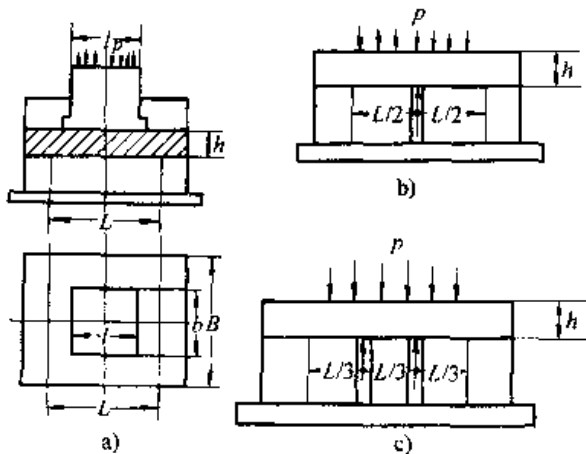


图 26.7-70 动模板的挠度

式中 h —— 垫板的厚度 (mm);
 p —— 模内的成形压力 (MPa);
 L —— 支承块间的距离 (mm);
 l —— 承压长度 (mm);
 b —— 承压宽度 (mm);
 B —— 模板宽度 (mm);
 S —— 模冲板的允许变形量 (mm);
 E —— 弹性模量 (MPa)。

2) 垫板中间加入一块垫块时 (图 26.7-70b)

$$h = 0.4L [5pbl / (32EBS)]^{1/3}$$

3) 垫板中间加入二块垫块时 (图 26.7-70c)

$$h = 0.25L [5pbl / (32EBS)]^{1/3}$$

为保证制品精度, 模具设计应注意以下几点:

1) 合理设计模具的放大系数。在保证顺利成形的前提下, 尽量减少粘结剂的加入量。

2) 合理的模具结构。精密的尺寸部件应有一定硬度, 并且要更换方便; 采用的公差合理, 成形坯“孔”尽量采用公差上限, 成形坯“轴”尽量采用公差下限; 零件的工艺结构合理, 保证加工精度。对于位置度要求较严格的部分要尽量设置在一个完整的零件上。同时模具的整体安装定位结构应合理, 以保证模具的整体精度。

3) 合理选择浇口的位置。

4) 合理选择顶出方式, 尽量使顶出均匀平稳, 减少变形。

5) 模具应设有温度调节系统, 尽量保证均匀填充和冷却, 减少密度不均匀性。

6) 合理选择型腔数量和布局, 尽量采用均匀对称布局, 保证平衡填充。特别精密的制品, 应尽量减少型腔数目。

7) 应有合理间隙, 避免产生飞边、毛刺。

4.2 金属注射成形模具设计实例

图 26.7-71 所示为针式打印机打印头基座图、

图 26.7-72 所示为该零件的注射成形模具图。

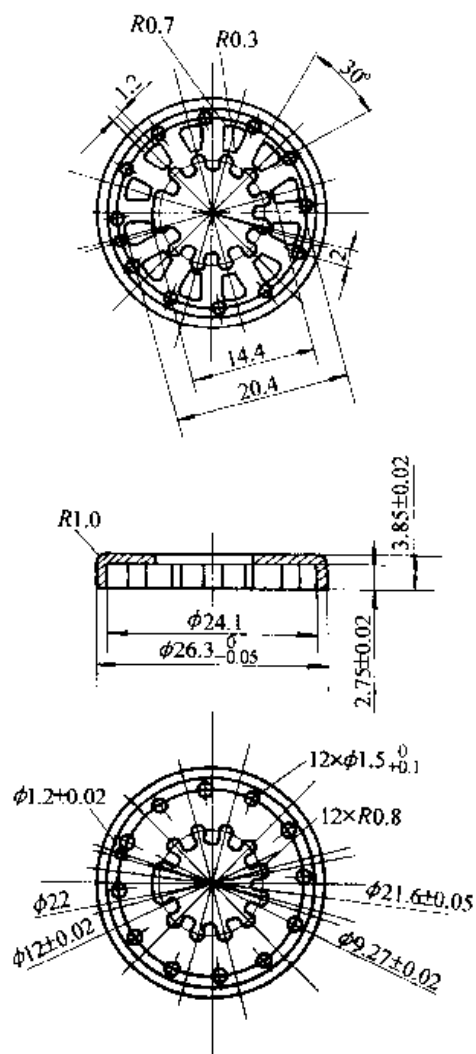


图 26.7-71 针式打印机打印头基座图

这个零件是击打针吸引线圈的铁心，材质为纯铁，要求密度大于 7.4 g/cm^3 ，这样才能使线圈在通电时产生足够的击打力。

采用传统的粉末冶金压制成形工艺，密度达不到要求，凸起的根部易产生裂纹。采用金属注射成形工艺时，使用平均粒度为 $3.0 \mu\text{m}$ 的羰基铁粉，热塑性粘结剂，粉末装载密度 60%，可顺利成形，零件的烧结密度大于 7.5 g/cm^3 。

模具采用点浇口模架，四型腔对称布置，型腔镶件采用 Cr12MoV 制造。浇口从零件中间孔的宽敞侧面进入。零件可以通过分型面、凸起顶杆间隙进行排气。由于零件的强度较低，与型腔有较多的交互镶嵌，单靠推板顶出，凸起易脱落粘于型腔；单靠凸起推杆顶出，外沿易在根部开裂；两种方式混合使用，顶出平稳，制品不易变形开裂。冷料可以自动取出。模具的加热采用四根不锈钢加热棒。

模具型腔、流道总容积小于 80/100 型注射机的额定注射量的 80%；成形压力为 20~40 MPa，型腔和流道的投影面积与注射压力的乘积小于注射机的锁模力。模具总厚 210 mm，在 80/100 型注射机上可以成形。浇口套小端孔径、球形半径选择符合 80/100 型注射机。选择与该注射机对应的定位圈，模具可以可靠定位。整个模具用八个压脚固定于注射机上。模具的顶出采用一根中间顶出杆，在模具的底部座板上留有一个 40 mm 的顶出孔。

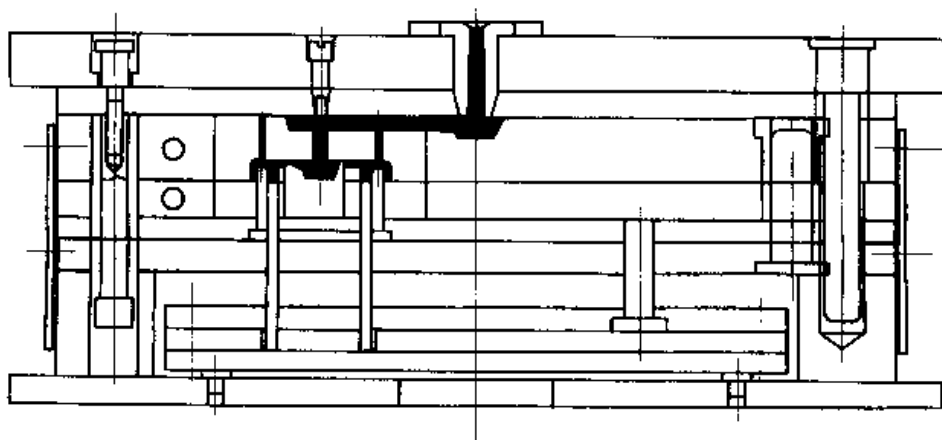


图 26.7-72 针式打印机打印头基座注射成形模具图

第 8 章 冷等静压成形包套模具设计

1 包套和模具的作用和种类

冷等静压技术从试验研究阶段发展到现在的生产规模,不仅是基于冷等静压设备的不断革新,而且也是冷等静压包套和模具技术不断改进的结果。因此,冷等静压包套和模具的设计是冷等静压技术中的重要组成部分。实践证明,在冷等静压技术中,包套和模具设计是否合理,是保证压坯质量和影响包套使用寿命的关键所在,也是节约原材料、降低产品成本的重要环节之一。

冷等静压成形是依靠模具组件构成的腔体来充填被成形的粉末,密封后在外界压力的作用下,通过模具组件的相互位移或形变,使充填粉末的型腔体积缩小,从而达到压缩粉末和使粉末成形的目的。各个模具组件所构成的充填粉末的腔体,一般称之为模腔。模腔的形状和尺寸大小与成形后压坯的形状和尺寸大小有直接关系,或者基本相似,或者在其他尺寸近似的情况下,要求保证的关键尺寸,如内径、外径、高度等保持不变。模具的复杂程度主要与所需压坯的形状有关,它可以是一个简单的塑料包套,如一个玩具气球,也可以是由几个组件构成的组合模具。

在冷等静压成形技术中,依据静压成形方法的不同,目前所用的包套和模具可分为三种类型。

1.1 “湿袋”法等静压成形用湿包套模具

使用湿包套模具时,首先在等静压机外装粉,密封后浸入高压缸内的液体压力介质中施压成形。卸压后模具从高压缸内取出,与成形的压坯脱离,经清洗、干燥后仍可重复使用。图 26.8-1 是一种简单的湿包套模具示意图。由于这种模具在成形前后并非固定在高压缸内,所以有时还有“自由模具”之称。

1.2 “干袋”法等静压成形用干包套模具

干包套模具一般可分为两种类型。一种是固

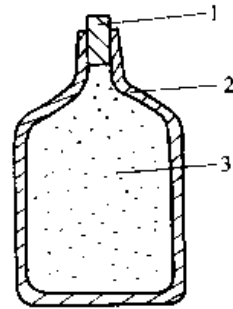


图 26.8-1 湿包套模具示意图

1—密封端塞 2—塑料包套 3—粉末

定在高压缸内,成为等静压机的一个部件,通常称作固定模,如图 26.8-2 所示。它一方面与压力介质接触,起传递压力的作用,另一方面与被成形的粉末接触,起模型的作用。从其结构和作用来看,这种固定模属于一种简单的干包套模具。

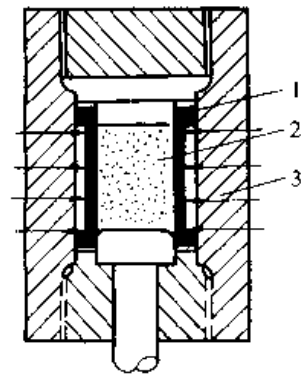


图 26.8-2 干包套固定模

1—固定模 2—粉末 3—施压方向

第二种干包套模具实际上是在第一种固定模的内部增设塑性和刚性成形模件所构成的一种组合模(如图 26.8-3 所示)。这种组合模的工作特点是通过隔离固定模与压力介质,起着传递压力和型模的作用,又通过增设的橡胶筒和上下橡胶端塞的传压作用,可以对粉末各向均匀施压,克服了前一种固定模成形时只具有径向压力的缺陷。此外,在采用这种组合模成形时,可将装粉、脱模工序移至等静压机外进行,比较灵活方便。

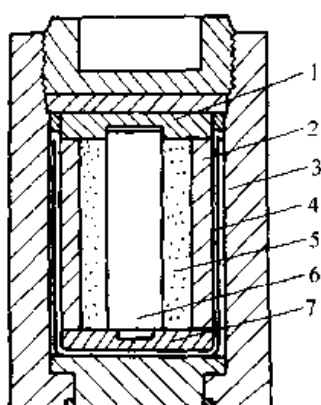


图 26.8-3 干包套组合模
1—上橡胶端塞 2—一层或数层橡胶筒
3—液体压力介质 4—固定模
5—粉末 6—刚性模芯 7—下橡胶端塞

1.3 均衡压制用厚壁模具

厚壁模具(图 26.8-4)在使用时被置于刚性的金属模具中,通过单向或双向机械施压,依靠厚壁塑性包套本身的弹性形变来实现等静压成形。实际上,这种模具是机械模压的一种改进,其作用原理与上述的组合模相类似,一般只适用于试验室工作。

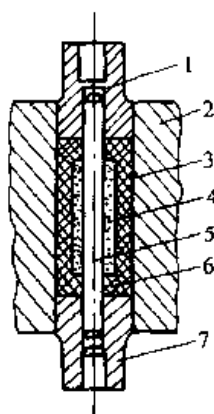


图 26.8-4 厚壁模具组装示意图
1—上冲头 2—金属阴模 3—弹性厚壁模 4—粉末
5—刚性模芯 6—弹性模垫 7—下冲头

2 包套和模具的组成

从上述三种模具可以看出,无论是哪一种模具,其基本构件都可分为塑性模件、刚性模件、端口密封装置和支撑装置四个部分。

2.1 塑性模件

在冷等静压模具中,所谓塑性模件,通常是

指由弹性材料(如橡胶、塑料)制成的塑性包套、厚壁模、塑性端塞和模垫。这种模件在冷等静压成形过程中,不但起型模作用,而且还通过压缩性或膨胀性的弹性变形来传递液等静压力,使粉状物料达到成形密实的目的。

2.2 刚性模件

采用冷等静压技术成形复杂形状的压坯必须借助于刚性模件。这种一般由金属材料制成的模件在成形过程中与粉末直接接触。刚性模件的尺寸形状在成形过程中保持不变,从而可使成形出来的压坯具有某一固定的尺寸和形状。这种模件当用以成形压坯的内孔时,一般就称作模芯,图 26.8-5 就是一种成形复杂形状内孔时所用的组装式模芯;当用于成形复杂的压坯外形轮廓时,就称作型模,图 26.8-6 是一种型模的示意图。

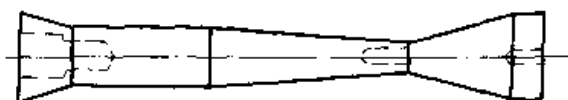


图 26.8-5 成形内孔用的组装式模芯

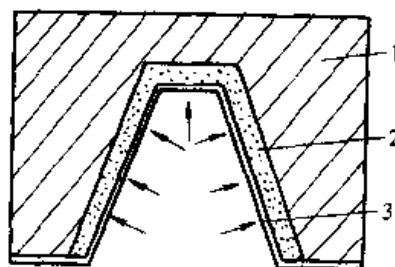


图 26.8-6 用型模成形压坯外形轮廓的模具示意图
1—型模 2—粉末 3—塑性包套

2.3 端口密封装置

在等静压工艺中,特别是在湿包套冷等静压工艺中,模具的端口密封装置具有十分重要的作用。端口密封装置需要兼备塑性和刚性的二重性。要求端口密封装置具有塑性,是为了端口密封装置在成形过程中能适应塑性包套的变形,避免包套在与端口密封的连接处发生撕裂,并减少成形压坯在封口部位出现畸形的程度。要求端口密封装置具有刚性,是为了实现在封口处的系紧密封措施,如施加弹性或非弹性的预紧捆扎措施等,从而保证整个模具在成形期间具有良好的密封性。

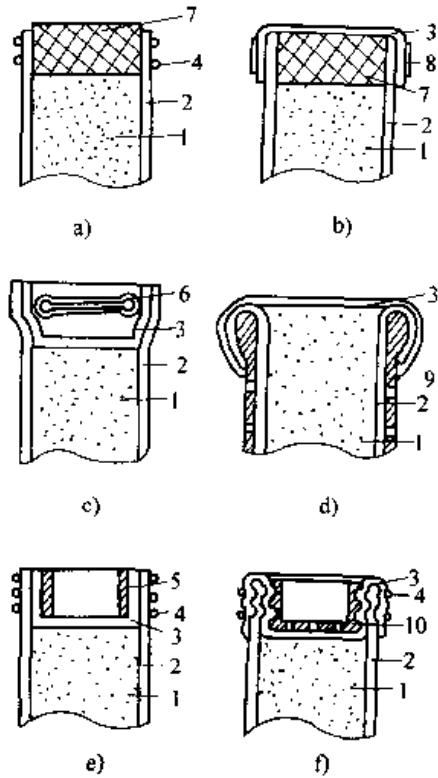


图 26.8-7 成形圆柱形压坯的模具端口密封装置

- a) 橡胶塞密封 b) 橡胶塞加包套盖密封
 - c) 包套盖加弹性环密封 d) 弹性包套盖自密封
 - e) 包套盖刚性环捆扎密封
 - f) 弹性包套盖刚性盖自紧加捆扎密封
- 1—粉末 2—包套 3—包套盖 4—捆丝
5—刚性环 6—金属弹簧环 7—胶塞
8—系紧环 9—刚性支撑 10—刚性盖

在湿包套模具中所采用的端口密封装置，根据成形压坯形状的不同，有各种不同的形式。仅就成形圆柱形的压坯而言，常见的端口密封装置就有图 26.8-7 中所示的六种。在这六种密封方式中，a、b 两种形式容易实施，密封效果好，缺点是易使压坯端头出现喇叭形。c、d 两种形式适用于弹性好的塑性包套和塑性帽，并可以获得良好的密封效果。但是当 c 种方式用于成形大型压坯时，如果包套中的粉末未进行压前除气，卸压期间从压坯中逸出的气体易将端盖推出而脱落，而 d 方式虽能避免端盖的脱落，但由于塑性包套和塑性帽在刚性支撑端口处，如果成形期间发生过大的局部形变，将容易出现裂纹。对于 e、f 两种方式来说，由于采用了刚性环（盖）和捆丝措施，除了可以加强密封效果、防止端盖脱落外，还有利于压坯的端面平整，但是在成形期

间，塑性帽易在刚性件的外肩角处出现裂纹。

2.4 支撑装置

装料的包套在成形前往往处于松软状态，很难保持固定的形状。增加包套的壁厚，或者压前对包套内的粉末进行除气，在某种程度上有利于保持装粉包套形状。但实践证明，更为有效的方法是在装粉包套外面附设专门的支撑装置。这种装置目前主要用于湿包套模具，一般可分为固定型和随机型两种（见图 26.8-8）。

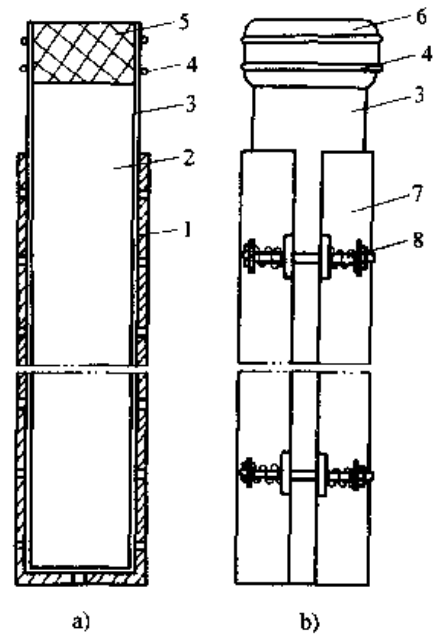


图 26.8-8 湿包套模具的支撑装置示意图

- a) 固定型支撑筒 b) 随机型支撑夹板
- 1—支撑筒 2—粉末 3—包套 4—捆丝 5—胶塞
6—包套盖 7—夹板 8—弹簧、螺杆、螺帽

固定型支撑装置（图 26.8-8a）一般呈筒状，在装粉前安置于包套外面。筒壁通常带有均匀的孔眼，以便成形时液体压力传递介质的进出。安置时，支撑筒的上端口与包套的端口密封装置之间要留有一定的间距，否则如果包套的端口密封装置在成形期间随着压坯的轴向压缩完全进入支撑筒内，也会给成形后支撑筒与包套的分离带来很大的不便。

这种装置，除了在成形前能使装料包套保持一定的形状外，对于高径比大的棒状压坯在成形期间所发生的弯曲现象，也能起到一定的抑制作用，使其不致弯出筒外，但对棒状压坯在支撑筒内发生的弯曲却不起作用。

随机型支撑装置(图 26.8-8b)是在装粉后安置在包套外面。这种装置由二或三片圆弧状的夹板构成,并通过金属弹簧或弹性胶环(在夹板之间)施加一定的预紧力。在这种预紧力的作用下,支撑夹板可以随着包套内粉末的压缩而缩小相互间的间距。如果预紧力适当,不但可以使装粉包套在成形之前保持一定的形状,而且还可以对压坯在成形期间的弯曲现象起到相当大的抑制作用。实验表明,在成形钹粉棒状压坯时采用这种随机支撑装置,可使棒状压坯的弯曲尺寸低于 5 mm/m。

3 包套和模具的设计

3.1 包套和模具的设计步骤

在粉末冷等静压成形中,模具设计是整个工艺中的关键环节之一。压坯形状、尺寸精度与稳定性、加工余量的大小(亦即原料的利用率的高低)、表面粗糙度的优劣、操作的难易与周期长短等,一般都要靠正确的模具设计来保证。

在一般情况下,对于少量的压坯成形,其模具设计工作往往不是很严格的,大多数是从现成的模具中适当选配而成,成形压坯的加工余量一般都比较小,压坯形状尺寸的精度主要靠成形后的机加工来保证。

在大批量生产中,对冷等静压成形的模具有严格的要求,其设计工作通常按以下三个步骤进行。

第一步首先确定待压物料冷等静压成形的基本数据。利用现成的或易得的小型包套模具进行冷等静压成形的试验,可确定待压物料在拟定的装料方式下所达到的充填密度、成形时的压缩比、压力与压坯的密度及强度等性能的关系,以及压坯最后经过固结密实所达到的收缩比和性能。

为达到上述目的,选用的试验包套模具的尺寸大小主要取决于待压物料的颗粒尺寸和颗粒形状等特征。一般来说,除了特殊的粉末颗粒或尺寸有特殊要求的试样外,试验用的包套模具只要能压制出尺寸足以测定上述性能的试样即可。包套模具的形状也无特殊要求,只要能成形出圆形或矩形截面的压坯即可。如有必要,试验用的塑性包套外也可附以支撑装置。

第二步是进行模具形位尺寸的校核设计。根据第一步所得的试验数据,再加上为成形后各工序所留的加工余量及尺寸公差等,就可以进行包套模具的形位尺寸为 1:1 的试样性设计。通过实测结果,再对这种 1:1 的包套模具进行校核设计。通过一次或多次的反复校核设计,直到成形的压坯在形状、尺寸、压坯性能等方面均达到要求为止。

第三步是进行生产用模具的设计。

其内容包括:

- 1) 选择合适的包套材料;
- 2) 确定塑性包套的壁厚;
- 3) 设计金属模芯;
- 4) 设计装卸方便的模具组装结构;
- 5) 确定便于物料充填的装料孔数目与位置;
- 6) 设计端口密封装置。

所设计出的模具还需通过实践进行验证。其中,包套的壁厚和压坯的表面质量应作为评价的重点。如果包套壁厚不合适,压坯表面质量达不到要求,应当修改设计。

上述的模具设计步骤主要是对缺乏待压物料资料和毫无实践经验而言的。如果长期从事冷等静压成形或模具设计工作,资料数据充足,经验丰富,对于成形一种新尺寸的压坯来说,新模具的设计工作一般可从第二步开始,有时甚至可以直接从第三步开始。

在实施第二步、第三步的模具设计程序时,应注意以下几点:

- 1) 应考虑塑性包套制备的难易程度和成本;
- 2) 根据压坯表面的主次,即压坯的哪一个尺寸要尽可能地接近最终尺寸,确定合适的施压方向和组装方式;
- 3) 为保证物料充填密度的均匀性,要选择合理的装料方法和装料口位置;
- 4) 在保证密封的前提下,端口密封装置的结构应能尽量减少压坯的端头效应;
- 5) 支撑装置要设计合理,不能在成形过程中阻碍包套的变形。

总之,在模具设计中,既要注意设计的合理性,又要考虑到模具的经济成本。在这方面可参考表 26.8-1 所列的模具设计程序。

表 26.8-1 模具设计程序

步骤和考虑	涉及的因素
生产的详细要求	尺寸、公差、表面粗糙度、物理化学性能、特殊要求以及数量
成本大致估算	模具成本、周期时间、所需数量、制作成本
粉末以及需要采用的成形和烧结条件	考虑产品要求与工艺是否合适
模具形状即工件的基本形状和轮廓	保证粉末良好而均匀地压实, 权衡形状的准确性与模具的复杂性, 便于充填和压坯脱模, 良好的密封
模具中刚性部件的详细设计 (模具的支撑装置除外), 尺寸、材质、密封、夹具位置	1) 模具表面尺寸: 所需工件的尺寸和公差, 粉末收缩的允许量, 是否需要机加工 2) 材料和总尺寸 3) 密封和夹紧
塑性包套的详细设计, 尺寸、材质、厚度	1) 尺寸: 假想的塑性包套运动情况, 粉末的压缩比和收缩比, 刚性模件的表面尺寸 2) 材质和厚度: 压坯表面粗糙度, 压坯脱模的方便性, 是否需要专门技术及其开支
模具支撑装置的详细设计 (心轴及容器), 尺寸、模套密封、夹紧	1) 尺寸: 模具中塑性包套的尺寸和厚度, 压力介质的流速与传送通路尺寸的关系 2) 密封和夹紧: 要避免使塑性包套受损
开支的详细计算	设备、模具开支、周期时间, 产品数量, 废品率, 制作成本
生产准备所需时间的估计	研究性工作时间, 获得设备、模具的时间
原型	
改进	改进费用同成本节约的关系
最后设计	

3.2 包套和模具设计的主要因素

在包套和模具设计中有一系列因素需要考虑。当各方面的要求不能同时得到满足时, 就只能根据诸因素的作用大小, 根据实施难易、成本高低, 采取经济合理的方案。通常在设计中应该充分考虑的主要因素有以下几个方面。

(1) 粉末的充填密度

这是包套和模具设计中最关键的一个因素。待压物料在模具中的充填密度, 不但决定了塑性包套尺寸的大小, 而且对压坯尺寸和形状的准确性也具有重要的影响。

如何保证物料在模具中的充填密度均匀而恒定, 将在后面装粉工艺中再详细叙述。在这里强

调充填密度的重要性, 因为它是模具设计中的主要依据。充填密度愈高, 模腔尺寸愈小。

粉状物料在模具中的充填密度, 主要受以下三个方面的影响。

1) 粉末特性的影响 粉末特性对充填密度的影响, 主要是指粉末的颗粒形状、粒度组成和表面状态对充填密度的影响。在充填密度上, 形状规则的球形颗粒粉末要高于形状不规则的树枝状颗粒粉末; 粗颗粒粉末要高于细颗粒粉末; 具有适当粒度配比的粉末要高于单一粒度的粉末。所以, 只有在充分掌握粉末特性的前提下, 才能比较顺利地实施模具设计。

一般将粉末的颗粒特性对其充填密度的影响用粉末的容积特性来表示。对模具设计来说, 使

用粉末的容积特性这一概念是十分方便的。所以在粉末冶金成形技术中，往往将粉末的容积特性作为一个重要数据来考虑，这不但对模具设计是必要的，而且对在生产过程中控制粉末充填量也

是十分必要的。表 26.8-2 中列出了某些金属粉末的容积特性。从表中可以看出，粉末的相对松装密度一般在 3.8%~52% 范围内波动，而相对振实密度为 12.9%~67%。

表 26.8-2 某些粉末的容积特性

粉 末	松装密度 / (g/cm ³)	振实密度 / (g/cm ³)	相对松装密度 /%	相对振实密度 /%	振实与松装密度之比
细氧化铁粉	0.44	1.16	8.6	22.4	2.64
细氧化铁粉低温还原的铁粉	0.30	1.02	3.8	12.9	3.40
细氧化铁粉高温还原的铁粉	0.70	2.22	8.9	28.0	3.17
由铁鳞还原的铁粉	1.97	3.12	25.0	39.6	1.59
电解铁粉	2.70	4.34	34.3	55.8	1.61
铝粉	0.27	0.71	10.0	26.3	2.63
电解铜粉	1.65	2.85	18.5	31.9	1.72
严重氧化的电解铜粉	2.42	2.66	27.1	29.8	1.10
粒化成球状的铜粉	4.66	6.06	52.2	67.2	1.30
还原细钨粉	1.93	5.12	9.7	25.6	2.65
还原钨粉	2.49	6.24	12.5	31.2	2.50
压坏重粉碎的钨粉 (原松装密度为 2.42 g/cm ³)	4.53	9.52	22.7	45.6	2.10
还原粗钨粉	4.91	7.40	24.6	37.0	1.50

2) 粉末充填方式的影响 粉末的充填方式对粉末在模具中的充填密度也有明显的影响。同一种粉末，由于采用的充填方式不同，所得的充填密度往往也不同。一般采用的充填方式有自然充填、人工振实、人工捣实、机械振实和离心充填。其中以自然充填的充填密度为最低，这种充填方式在冷等静压技术中主要被干袋式等静压和厚壁模均衡压制所采用。机械振实的充填密度要比其他方法高而均匀。从表 26.8-2 可以看出，通过振实，可使粉末的充填密度提高 1.1~3.1 倍。在湿袋式等静压工艺中，通常以机械振实作为主要的充填方式。图 26.8-9、26.8-10 为几种粉末机械振实的密度曲线。由图 26.8-10 可以看出，对于同一种粉末，振动时振幅不同，所得的振实密度也不同。在同一振幅的条件下，随着振实时间的延长，振实密度逐渐趋于某一恒定值。人工捣实虽然容易实施，并且也可以得到很高的

充填密度，但捣实的密度往往是不均匀的。这就必然使成形压坯表面的平整性欠佳。在大批量的压坯生产中，不宜采用人工捣实这种充填方式。

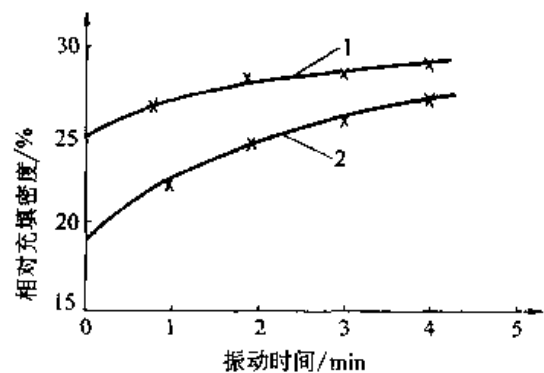


图 26.8-9 Fe、Al₂O₃ 粉末机械振实密度与振动时间的关系曲线
1—铁粉 2—氧化铝粉

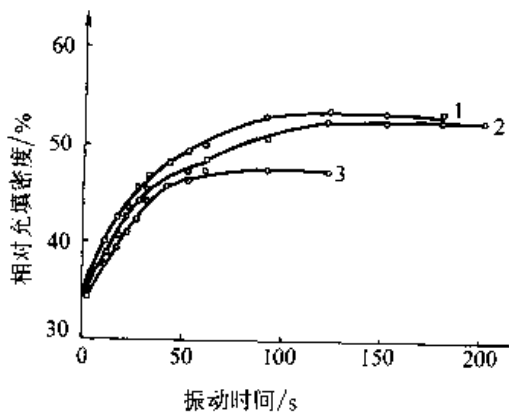


图 26.8-10 高纯镍粉 (Patch Y9669.8B) 相对于不同振幅的振实密度 - 时间曲线 (振动频率 50 Hz)
1—振幅 1 mm 2—振幅 0.5 mm 3—振幅 0.2 mm

3) 模具本身的影响 待压粉末一般是靠自身的重力作用被充入模腔内的。在充填过程中, 粉末颗粒间存在着内摩擦, 粉末颗粒与模壁之间也存在着外摩擦, 从而使粉末在模腔内的流动性受到一定的限制, 不能像液体那样迅速而完全地充填入形状复杂的模腔。为此, 模具的装料口应设在模腔的最高处, 如果有难以避免的盲腔, 应考虑对盲腔单设装料口, 以便使粉末在重力的作用下能完全充满整个模腔。为了减少充填过程中粉末颗粒与模壁之间的摩擦, 应使模壁表面光滑。要做到这一点, 对模具中的刚性模件来说是很容易的, 但对塑性模件如塑性包套来说却很困难。往往因塑性包套的材质硬度低, 表面不光滑, 装粉时又处于松软状态, 从而影响粉末的充填密度。如果塑性包套外没有支撑, 就连装粉量也很难控制。实践证明, 对塑性包套施以真空吸附的措施, 使塑性包套能挺直地紧贴在其外面的支撑装置上, 对于提高粉末的充填密度是十分有益的。

(2) 模具形状与尺寸的确定

冷等静压模具的形状尺寸是依据具有一定密度要求的压坯的形状和尺寸而确定的。利用复杂形状的模具成形出复杂形状的压坯是冷等静压技术较之常规模压技术的一个突出的优点。为了发挥冷等静压技术的这一优点, 必须重视对冷等静压模具形状和尺寸的确定。

1) 刚性模件尺寸的确定 众所周知, 静压压坯的轮廓尺寸是由成形压力下的塑性模件和刚性模件的形状尺寸确定的。刚性模件 (如模芯) 的尺寸一般认为在成形期间是固定不变的。因

此, 由刚性模件成形的压坯的形状和尺寸也是固定不变的。通常在这些部位无需再经机加工, 就可满足压坯的最终要求。

在一般情况下, 模具中的刚性模件是用于成形压坯的内孔 (见图 26.8-11) 或外径 (见图 26.8-12) 的, 所以其径向尺寸一般都要求与压坯所对应的径向尺寸相同, 但轴向尺寸则要比压坯尺寸长得多, 以留有安放密封件的位置, 并考虑粉末的压缩量和压坯的加工余量。

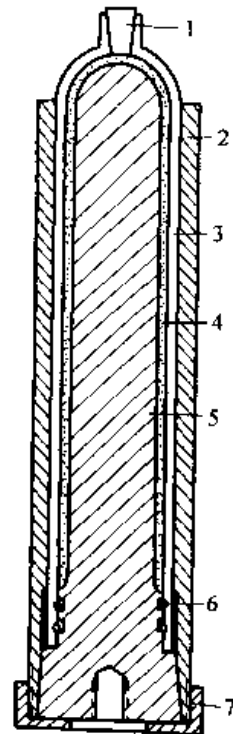


图 26.8-11 成形内孔用的模芯装配示意图
1—聚氨酯端塞 2—刚性支撑管 3—聚氨酯包套
4—粉末腔体 5—刚性模芯 6—密封环 7—固定盖

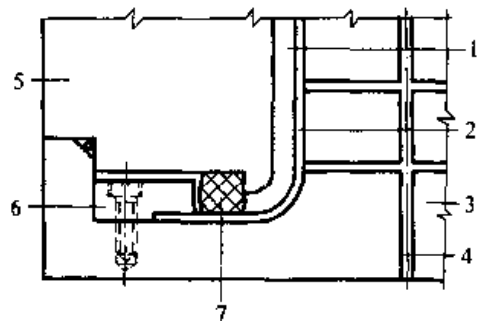


图 26.8-12 用刚性模件成形坯料外圆的模具装配示意图
1—粉末腔体 2—塑性包套 3—模芯
4—压力介质通道 5—刚性模件
6—包套压环 7—弹性环

有时为了脱模方便，成形内孔的刚性模芯的外圆周面需要具有一定的锥度，一般为 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ 。用这种带锥度的模芯成形出来的内孔，需要机加工才能达到孔径的要求。由这种带锥度的模芯成形的管坯，在烧结时，如以孔径小的一端作为放置接触面，则因接触面在烧结时受到接触摩擦力的限制，径向收缩将明显小于自由端，从而可以使管坯内孔的锥度得到一定的修正。表 26.8-3 就是冷等静压的钨粉厚壁管坯在真空烧结前后锥孔直径变化的情况。

表 26.8-3 真空烧结前后管坯锥孔直径的变化

名称	锥孔直径/mm			
	位置	烧结前	烧结后	收缩率/%
$\phi 510\text{ mm}\times 365\text{ mm}$ 钨粉管坯	上端 (自由端)	255.3	227.8	10.6
	下端 (放置端)	234.7	222.2	5.3

为了使由刚性模件成形出的压坯表面光滑，根据成形粉末的颗粒硬度，对模件的材质也有一定的要求。在成形颗粒硬度高的粉末时，刚性模件要采用较硬的材质，通常还要经过淬火处理，使其硬度高于粉末的颗粒硬度，以避免粉末颗粒在成形期间对模件造成擦伤磨损和压痕。刚性模件表面一般都经过精加工，具有较小的表面粗糙度，这不但是压坯的表面粗糙度所要求的，而且对刚性模件与压坯的分离也是十分有利的。

在刚性模件的设计中，如何使模件在冷等静压成形期间保持刚性而不发生变形是一个不容忽视的问题。为了使刚性模件具有足够的刚性，一般应尽量采用实心模芯。不过在采用实心模芯成形高径比大的管坯时，如果模芯太细，压坯会出现明显的弯曲现象。当然，这种弯曲现象主要还是由于粉末在模芯周围充填不均匀引起的。图 26.8-13 就是用直径为 6 mm 的长模芯成形外径为 30 mm 铁粉管坯时的模具装配和压坯弯曲的示意图。从中可以看出，由于模芯和压坯的弯曲十分明显，根本无法使模芯与压坯分离。

成形中空管状压坯是冷等静压成形技术的专长之一，特别是冷等静压技术中的湿袋法工艺，更是压制大型中空压坯的主要工艺方法。在压制大型中空压坯时，如果仍然采用实心模芯来成形

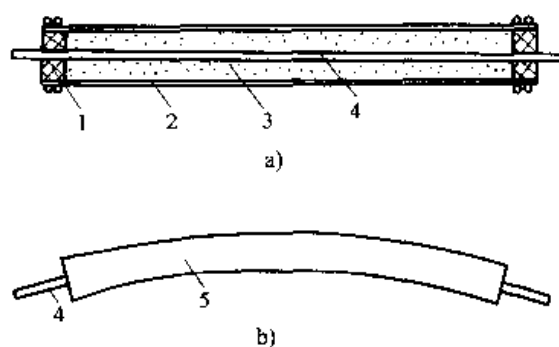


图 26.8-13 用实心细长模芯成形管坯所出现的弯曲现象

a) 成形前 b) 成形脱模后
1—橡胶端塞 2—塑性包套 3—还原铁粉
4—金属模芯 5—成形管坯

压坯的内孔，则由于模芯的重量大，往往会给操作（如模具的装卸、粉末的振实、模具的搬运和脱模等）带来很大的不便。因此生产中，通常采用如图 26.8-14 所示的中空模芯。这种中空模芯的内腔，在成形期间要充满液体压力传递介质，以使整个装粉模具的内外压力保持相等。

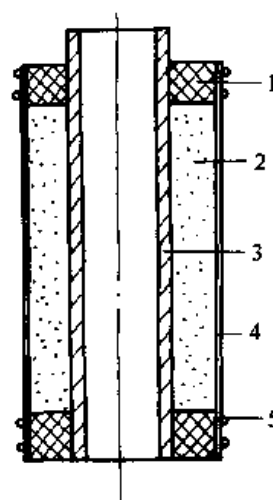


图 26.8-14 采用中空模芯成形管坯的模具装配示意图

1—橡胶环 2—粉末 3—中空模芯
4—塑性包套 5—捆丝

根据受均匀压力作用的厚壁圆筒的应力分析，当圆筒内外压力相等时，圆筒的径向应力和切向应力都是压应力。因此，当中空模芯周围充填粉末后，整个装粉模具在静压成形期间所受的压缩载荷除很少一部分由粉坯承担外，主要由中空模芯来承受。在这种压缩载荷下，为了使中空模芯不发生扁塌或翘曲等变形，中空模芯本身要有足够的强度，当然这与模芯的材质选择有直接

关系。在模芯材质确定以后，在设计模芯的壁厚以及对模芯的圆度提出要求时仍需要慎重。在实际生产中，采用 191~294 MPa 的成形压力成形内径 100~200 mm、壁厚 50~100 mm 的管坯，选用壁厚大于 20 mm 的模芯比较合适。如果模芯材质的强度低，壁厚又太薄，装粉成形时，中空模芯在压应力的作用下发生翘曲，管坯的内径缩小就会失去控制。图 26.8-15 是在 245 MPa 的压力下冷等静压成形铁粉管坯时所发生的薄壁铝管模芯翘曲现象。

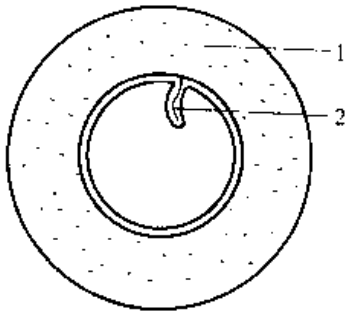


图 26.8-15 成形后薄壁铝管模芯发生的翘曲现象(横断面)
1—管坯 2—模芯壁翘曲

如果采用汽车轮胎形的橡胶包套充填粉末成形时，就会出现内径和外径都将缩小的现象。

2) 塑性包套尺寸的确定 如前所述，在冷等静压成形过程中，模具中刚性模件的尺寸一般认为是固定不变的。随着粉末体的压缩，形状尺寸发生变化的模件，只有塑性包套和塑性端塞。所以，冷等静压压坯的尺寸形状能否满足要求，在很大程度上取决于塑性模件——塑性包套和塑性端塞的正确设计与制备。

在设计中，根据静压成形技术中具体成形工艺（湿袋法、干袋法和均衡压制）的不同，塑性模件的设计要求也有所不同。

①确定湿袋法用塑性包套的尺寸 湿袋法成形工艺的特点是模具自由浸入液体压力介质中，各向同时均匀受压。根据这一特点，可以认为模具中的粉末体经过冷等静压成形，各向尺寸的相对压缩比是相等的。充填粉末的模腔截面尺寸与压坯相应截面尺寸之间的关系可以表达为

$$L_0(1 + \Delta L/L_0) = L \quad (26.8-1)$$

式中 L_0 ——模腔的截面尺寸；

L ——压坯的相应截面尺寸，其中包括成形后的加工余量、尺寸公差和

由于弹性后效引起的尺寸胀大值；

$\Delta L/L_0$ ——待压粉末体的线性压缩率，通常以百分数表示，此值需先由试验确定，其中：

$$\Delta L = L_0 - L$$

ΔL ——模腔中粉末体的线性压缩绝对值。

实践表明，式(26.8-1)只适用于简单形状的压坯，如立方体或球体压坯。对复杂形状的压坯来说，其各向线性压缩比值并不相同。如文献[33]引证的侧面面积都相等的三棱柱体，当作用于每个表面上的压力都相等时，理论上各向尺寸的减少应该与垂直于各向表面的压力成比例，可实际上在其中两个方向上的线性压缩比要比另一方向多 10%。在冷等静压成形 $\phi 100 \text{ mm} \times 1350 \text{ mm}$ 铁粉棒坯的实践中也证实了这一点，这种棒坯的径向压缩比要比轴向压缩比大 10%。文献[24]指出，对纵横比大的压坯来说，纵向与横向的压缩比具有明显的差别，在选择测定压缩比的试样形状尺寸时应该考虑到这个问题。并且建议，在最后设计塑性包套的尺寸时，所采用的压缩比要略大于试样测定值。

由于复杂形状压坯的各向压缩比不等，因此在进行模具设计时，最好是根据粉末体的体积压缩比进行包套尺寸的设计，这样有利于计算充填粉末的模腔体积。实际上，粉末的体积压缩比和线性压缩比一样，在整个冷等静压期间也并不是保持不变，而是随着成形压力的增加呈非线性变化。对于大多数粉末来说，低压下的体积压缩速率较大，而在高压下则明显减小。从图 26.8-16 所表示的粉末体体积压实程度与压力的关系曲线可以看出，粉末体积的压实速率从低压到高压逐渐变缓。虽然通过相应的试样可以测定粉末的体积压缩比，但在具体应用于塑性包套的尺寸设计时，还是相当困难的，目前还只能应用于设计成型简单形状压坯的包套。粉末体的质量在成形期间保持不变，其密度与体积成反比，所以对于形状比较简单的压坯来说，粉末在模腔中的体积比可以比较容易地换算成密度比，故成形用的塑性包套的尺寸可由成形前后模腔中粉末体的密度比来表示。例如，在成形高径比不大的圆柱形压坯时，塑性包套的尺寸可由式(26.8-2)和式(26.8-3)计算：

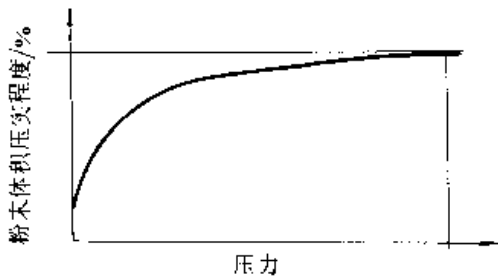


图 26.8-16 粉末体积压实与压力的关系曲线

$$h_0 = h \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (26.8-2)$$

$$D_0 = D \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (26.8-3)$$

式中 h —— 压坯高度；
 h_0 —— 模腔高度；
 D —— 压坯直径；
 D_0 —— 模腔直径；
 ρ_2 —— 压坯密度；
 ρ_1 —— 粉末在模腔中的充填密度。

由于形状复杂的压坯在冷等静压成形期间存在各向不均匀压缩，所以在设计塑性包套的尺寸

时，只能参照由成形试样测定的线性压缩比或体积压缩比和依靠实际设计经验，通过试探或给以适当的公差进行设计。为了适应压坯形状的特点（如肩角、凸台和凹槽等），提高压坯尺寸的准确性，避免裂纹或严重的剪切破裂等现象，在塑性包套的设计中，往往要根据具体情况对形状尺寸进行相应的修正。如图 26.8-17 所示，在成形带底的中空杯状压坯时，如果粉末含有成形剂，并且流动性好，可以采用图 26.8-17a 所示的模具装配方式；当粉末的颗粒形状不利于成形，又不含成形剂时，即使粉末的流动性良好，若采用图 26.8-17a 所示的模具成形，仍会使杯形压坯在底座肩角处出现裂纹。对于这种成形性能不佳的粉末，应该优先选用图 26.8-17b 所示的模具装配方式进行塑性包套的尺寸设计，使杯状压坯的底部增厚。但在成形后，还需通过机加工切掉底部多余部分。对于流动性差的粉末来说，为了克服塑性包套内肩角处模腔部位难以充填粉末的问题，可以将包套设计成如图 26.8-17c 所示的开口形状，这样有利于粉末的充填。但成形后，仍需通过机加工切除底部多余的部分。

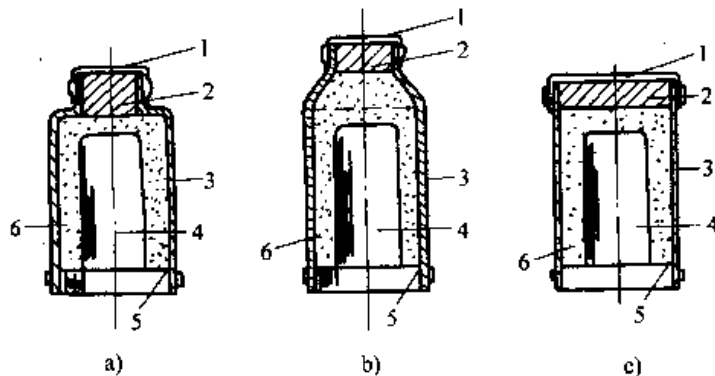


图 26.8-17 成形杯形压坯用的模具示意图

1—盖 2—软塞 3—包套 4—模芯 5—圆角 6—粉末

在采用刚性模芯成形厚壁管坯时，塑性包套的内腔尺寸可按粉末层的径向压缩比略高于轴向压缩比进行设计。如果成形的管坯壁很薄，由于模芯表面摩擦力对压坯轴向压缩阻力的增加，粉末沿模芯表面已无明显压缩，基本上只存在径向压缩。在这种情况下，塑性包套的内径尺寸可以通过体积压缩比公式算出：

$$\text{体积压缩比} = \frac{R^2 - r^2}{R^2 - r_1^2} \quad (26.8-4)$$

式中 R —— 塑性包套的内径；
 r —— 成型管坯的外径；
 r_1 —— 模芯的外径。

湿袋法用塑性包套的厚度，一般要根据包套材料本身的性能、压坯的尺寸形状和成形后压坯的力学性能，以及成形设备控制卸压速度的能力等因素进行综合考虑。试验用的塑性包套大多采用壁厚为 1-3 mm 的薄壁包套。在工业生产中，成形薄而细长的压坯一定要采用薄壁包套，但对

成形要求轮廓、尖角分明的压坯，则需采用浇铸的厚壁包套，或者采用薄壁包套外加型壳的装配式模具。正如文献[24]所指出的，薄壁包套和厚壁包套各有利弊。薄壁包套制备容易，成本低，卸压时包套本身贮存的弹性能量比较低，不会对压坯起破坏作用。增加包套厚度，有利于提高塑性包套的刚性，延长使用寿命，以及可得到轮廓比较清晰的压坯形状，但也增加了卸压时因弹性膨胀而对压坯造成破坏的危险性。为了避免厚壁塑性包套卸压时对压坯的破坏作用，可以在模具外面附加一种随机变化装置。这种装置可以防止塑性包套在卸压中与压坯脱离时产生的振动冲击，使包套弹性膨胀的冲击能量在释放时得到缓冲，从而对压坯起到保护作用。通过在成形棒状压坯的塑性包套外安设弹性夹板的实践已经证实了这一点。

②确定干袋法用塑性包套的尺寸 在一般的干袋法冷等静压工艺中，粉末在成形期间只经受径向压缩，压坯的长度等于压前粉末充填于模具中的长度。因此，如果已知粉末的压缩比，根据式(26.8-4)就能很容易地确定塑性包套模具的内部尺寸。

对于袋法工艺中所用的具有各向均压作用的组合模具的设计，其尺寸确定与湿袋法用塑性包套基本相同。

③确定均衡压制用厚壁包套的尺寸 在均衡压制中，厚壁包套(或称作软模、厚壁模)不仅是粉末的充填容器，而且还起均衡传压的压力介质作用。这种模具的尺寸(如图 26.8-18 所示)可通过以下公式进行计算：

$$H = H' + 2h \quad (26.8-5)$$

式中 H ——模具的总高；

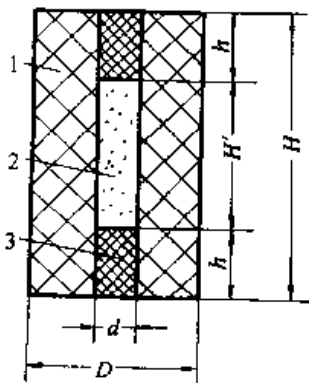


图 26.8-18 均衡压制用厚壁模尺寸示意图
1—软模壁 2—粉末 3—端塞

H' ——粉末充填高度；
 h ——端塞高度(与模壁同一材质)。

$$H' = h_p \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad (26.8-6)$$

式中 ρ_2 ——压坯密度；
 ρ_1 ——粉末充填密度；
 h_p ——压坯高度。

对均衡压制而言，厚壁模中端塞的高度是十分重要的。如果端塞的高度不够，则使垂直于加压方向的致密化程度低于加压方向，从而会导致压坯出现“鼓腰”的现象。端塞的高度 h 可按下式计算：

$$h = T \frac{H}{2D} \quad (26.8-7)$$

式中 T ——厚壁模的壁厚；
 D ——厚壁模的外径。

根据文献[25]介绍，当成形高度为 80~100 mm、直径为 30~50 mm 的压坯时，厚壁模的最佳厚度为 5~7 mm。如果模壁太薄，由于在成形期间模壁变形的程度减少，侧压力就可能达不到垂直方向的压力值，同样也会导致压坯出现“鼓腰”现象。

(3) 施压方向的选定

在冷等静压模具的设计中，一个重要问题是施压方向的选定。这个问题直接影响着模具尺寸、密封方式、支撑措施的确定以及压坯在成形过程中的稳定性。

成形实心压坯的施压方向只能是由外往里。但在压制空心压坯时，施压方向是从外向里，还是从里向外，则需根据压坯的哪一个尺寸应尽可能地接近最终尺寸、成形的稳定性以及成形后机加工整形的方便性进行确定。在一般情况下，塑性包套压制出的压坯表面质量要比刚性模件成形的压坯表面差，往往需经机加工整形才能达到要求。因此，施压方向一般都选择在压坯表面质量要求不高或成形后仍需机加工的那一面。在压制中空压坯时，考虑到成形的稳定性，宜采用膨胀式塑性包套从里向外施压。对细而长的管坯来说，对外表面机加工要比对内表面机加工方便得多，因而在压制这种管坯时采用压缩式塑性包套由外向里施压是比较合理的。

(4) 定位和密封

冷等静压用模具的模腔是由塑性模件或由刚

性模件与塑性模件构成的。为了使成形的压坯具有正确的形状和尺寸，需要在这些模件之间有一定的配合和连接，使模腔的形状尺寸保持准确和稳定，并在成形期间具有可靠的密封效果。

刚性模件和塑性模件之间的定位和密封，一般都是通过塑性模件的弹性自紧和捆扎措施来实现，很少采用刚性模件定位的方式。例如从图 26.8-19a 可以看出，若起定位作用的刚性端塞在成形期间不发生变形和位移，就会对塑性包套的变形和位移具有妨碍作用。这一方面会导致压坯出现如图 26.8-19b 所示的喇叭状端头效应，另一方面，由于塑性包套在刚性端塞的肩角处变化甚大，即使刚性端塞的肩角具有一定的圆角，也很容易使包套在此处出现裂纹，降低包套的使用寿命。若在刚性端塞和粉末之间隔一层弹性垫环（见图 26.8-20a 上端），将会明显减轻压坯的端头效应（见图 26.8-20c），使端头的形状由喇叭状变为略呈锥面状，并且使塑性包套在刚性端塞肩角处的变形也有所缓和，从而改善了包套易在此处发生撕裂的状况。

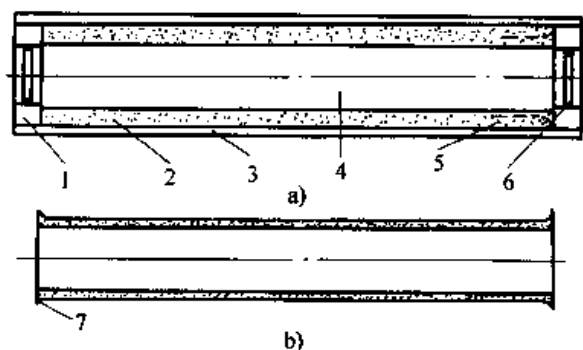


图 26.8-19 采用刚性端塞定位和密封方式示意图
a) 模具装配 b) 成形压坯
1—刚性端塞 2—粉末 3—塑性包套 4—模芯
5—塑性包套的变形位移 6—“O”形密封环
7—喇叭状端头效应

图 26.8-20a 中的下端采用的是由弹性环定位和密封的方式。如图 26.8-20b 所示，采用这种方式，弹性环在成形期间由于受到模芯的阻碍，不能轴向移动，压坯出现锥形端头，喇叭状的端头效应有所减轻。如果弹性环按图 26.8-21a 所示方式装配，在成形期间，弹性环就可沿着模芯表面进行轴向移动（见图 26.8-21b），结果使压坯端头的锥面得到缓和，而喇叭状效应却比图 26.8-20c 更趋明显（见图 26.8-21c）。但是，无论是采用图 26.8-20a 下端的方式还是采用图

26.8-21a 的方式，均会由于弹性环的可压缩性，使塑性包套的变形能够比较均匀地发生，从而避免了包套的撕裂现象。

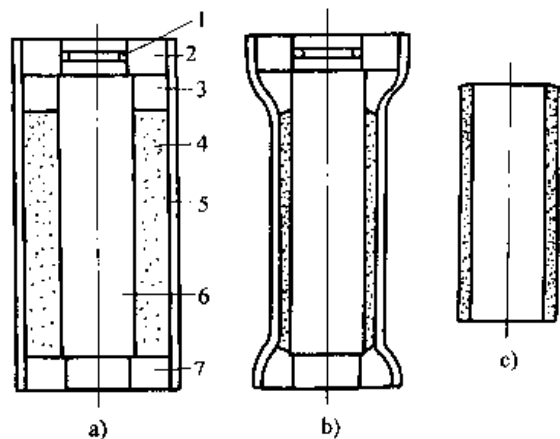


图 26.8-20 模具定位密封方式示意图

a) 模具装配 b) 压制状态 c) 成形压坯
1—“O”形密封环 2—刚性定位端塞 3—弹性环
4—粉末 5—塑性包套 6—刚性模芯 7—弹性端塞

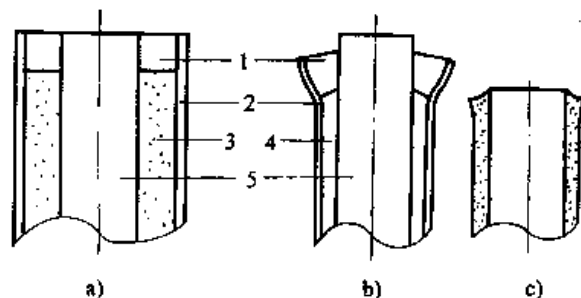


图 26.8-21 采用弹性环定位和密封的模具示意图
a) 模具装配 b) 压制状态 c) 成形压坯
1—弹性环 2—塑性包套 3—粉末
4—压坯 5—刚性模芯

当采用壁较薄的塑性包套成型时，包套容易起皱或出现尺寸偏差，模腔的形状和尺寸往往难以控制。为了得到一个固定而可重复的模腔，宜采用真空吸附的方法。这种方法（如图 26.8-22）是利用一套专门的真空装置，在粉末充入模腔以前将塑性包套吸附在真空型腔——一种包套外支撑体的内壁上。充填粉末时，包套与外支撑体之间要一直维持真空吸附的状态，直至粉末充填完毕后再消除真空。这种方法适用于厚度为 1 mm 左右的塑性包套，可以使包套预先伸展到一定的模腔尺寸，真空消除以后，包套对粉末就会有一定的弹性预紧力。在成形前的搬运过程中，这种预紧力对保持装粉模腔形状尺寸是十分有利的。

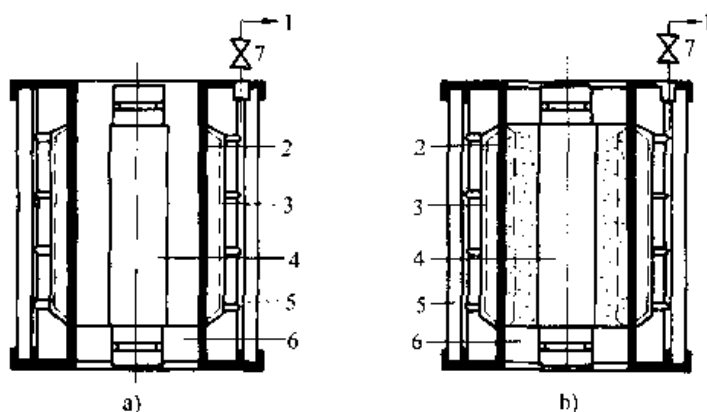


图 26.8-22 薄壁塑性包套的真空吸附定位装置

a) 装粉前 b) 装粉后

1—通真空 2—薄壁包套松弛位置 3—真空吸附时包套位置
4—模芯 5—刚性外支撑 6—端塞 7—真空开关阀或夹

应当指出,在成形复杂形状的压坯时,刚性模件与塑性模件(主要是塑性包套)之间肯定存在密封部位或接触处。在这些部位,刚性模件应当具有光滑的表面,尽量减少深孔和沟槽,棱角必须磨圆到半径至少为1 mm的圆角,以减少塑性模件沿其表面移动时的摩擦阻力,避免成形期间塑性包套在这些部位出现因过分的变形或损伤(如撕裂)以致密封失效等现象。

4 包套材料的选择

根据冷等静压成形工艺的特点,塑性包套材料应该具备以下特点:

- 1) 与压力介质和被压物料具有稳定的化学相容性;
- 2) 耐磨性能好;
- 3) 抗撕裂强度高;
- 4) 弹性好,具有适宜的泊松比;
- 5) 容易制备。

与压力介质和被压物料的化学相容性是对冷等静压用包套材料的一项基本要求,是为了防止压力介质和被压物料受到污染,同时也是为了模具在成形期间能具有可靠的密封性能,实践证明,要求与被压物料具有化学相容性这一点并不怎么影响包套材料的选择,而应与压力介质具有化学相容性这一点却对包套材料提出了较为严格的要求。在以水作为压力传递介质的高压系统中,可以选用橡胶一类的材料,选择范围很宽。在以油作为传压介质的高压系统中,则不能采用天然橡胶,以防止本身会受油的腐蚀,同时还会

使油受到污染。如果在这种材料的包套与油接触的表面上包覆一层聚乙烯薄膜,虽然增加了包套的制备成本,却可以防止油的腐蚀。

包套材料的耐磨性主要取决于材料本身的硬度。塑性包套材料的硬度高,成形期间可以防止粉末颗粒挤入与之接触的塑性包套表面,减少包套在成形后被粘附在压坯表面上的倾向性,有利于减小压坯的表面粗糙度值,延长包套的寿命。不过,包套的硬度也不能太高,否则在卸压过程中,往往会对压坯产生破坏作用。目前,在干袋法等静压工艺中使用包套材料的肖氏硬度一般为65~95HSA,在湿袋法等静压工艺中使用塑性包套材料的肖氏硬度一般为45HSA。近期的试验表明,成形金属或陶瓷粉末时,包套材料的硬度一般应该低于65HSA。在成形金属纤维管压坯时,为防止包套被穿透,橡胶包套的肖氏硬度应为60~85HSA。

包套材料的抗撕裂强度对冷等静压模具来说是十分重要的性能。在干袋法等静压工艺中,固定模的两端支撑在高压缸壁上,成形时要经受局部的径向变形。如果包套材料的抗撕裂强度低,就会导致固定模的破裂,这不但会造成压力介质进入粉末,而且更换固定模时也很麻烦。在湿袋法等静压成形工艺中,塑性包套往往需要与刚性模件(模芯或端塞等)相连接。粉末被压缩时,包套在这些连接处会产生局部大的变形。若包套材料的抗撕裂强度低,就会在包套与粉末接触的表面上出现断续的裂纹,甚至发生破漏。

包套材料的弹性好 在成形期间包套就不容

易出现永久变形，可以使包套增加重复使用的次数。一般来说，包套材料的弹性越好，塑性包套就越软。如果包套太软，在成形颗粒尺寸较大，颗粒形状不规则的粉末时，包套表面往往被挤入压坯表面上的颗粒间隙中，紧紧粘在一起，使脱模困难。如果包套壁很厚，则卸压时，包套在其恢复变形的弹回过程中，会对压坯形成破坏性的拉伸应力。

在干袋法成型工艺和厚壁模均衡压制中，对塑性模具材料的泊松比也有一定的要求。通过下面公式可以看出，只有当模具材料的泊松比等于0.5时，才能使侧压系数等于1。

$$\zeta = \nu / (1 - \nu) = 0.5 / (1 - 0.5) = 1 \quad (26.8-8)$$

式中 ζ ——侧压系数；

ν ——泊松比。

侧压系数等于1，是等静压技术中各向均匀施压的成形特点，而在常规模压技术中，侧压系数远远小于1。

选择包套材料时，包套制备工艺的难易程度，也应该作为一个重要的考虑因素。包套的成本，除了材料成本以外，还包括型模的制备成本和包套制备工艺的成本。有关塑性包套的制作、成本和使用寿命的对比列于表26.8-4~图26.8-6。

表 26.8-4 塑性包套制作难易程度的比较

工艺方法名称	所需设备的复杂性增加趋势
浸渍法 浇注法 模压法	↓

表 26.8-5 塑性包套制作成本的比较

成本分类	所用材料或工艺方法	成本增加趋势
材料成本	聚氯乙烯 天然橡胶 氯丁橡胶 聚氨酯	↓
模具成本	浸渍法 浇注法 模压法	↓
辅助设备成本	浸渍法 浇注法 模压法	↓

表 26.8-6 塑性包套使用寿命的比较

包套所用材料	寿命下降趋势
聚氨酯 氯丁橡胶 天然橡胶 天然橡胶(乳胶) 聚氯乙烯	↓

目前，可供制作等静压用塑性包套的弹性材料有许多种，但常用的主要有天然橡胶（乳胶）、合成橡胶（氯丁橡胶、硅橡胶）、聚氯乙烯（PVC）和聚氨酯。这些弹性材料的主要性能列于表26.8-7。其中，天然橡胶（乳胶）和氯丁橡胶材料一般多用于制作湿袋法等静压工艺用的包套模具，而聚氨酯和聚氯乙烯则主要用于制备干袋法等静压工艺用的包套模具。

表 26.8-7 各种包套材料的特性

性能	天然橡胶 (模压品)	天然橡胶 (乳胶)	异丁(烯) 橡胶	聚氯乙烯 (PVC)	聚氨酯	氯丁(二烯) 橡胶	腈橡胶	硅橡胶
抗拉强度/MPa	20.5	20.5	13.5	13.5~20.5	27.5	13.5	10.5	7.0
硬度(HSA)	30~90	40	40~75	65~72	20~98	40~95	40~95	40~85
室温伸长率/%	100~700		100~700	270	100~700	100~700		50~800
抗撕裂性能	良	良	良	中或良	优	良	中	差
耐磨性能	优	良	良	中	优	良	良	差
回弹能力	优	优	差	差	良	良	中	优

续表 26.8-7

性能	天然橡胶 (模压品)	天然橡胶 (乳胶)	异丁(烯) 橡胶	聚氯乙烯 (PVC)	聚氨酯	氯丁(二烯) 橡胶	腈橡胶	硅橡胶
耐压性能	良	中	中	差	差	良	良	中
压缩永久变形/%		15~35			5~35	20~50		5~30
耐溶性能								
脂肪族碳氢化合物	差	差	差	中	优	良	优	差
芳香族碳氢化合物	差	差	差	中	差或良	中	良	差
充氧的碳氢化合物	良	良	良	中	差	差	差	中
耐油性能								
润滑油	差	差	差	差或良	优	良	良	中
汽油	差	差	差	差	优	中	优	中
动植物油	良	良	优	差	优	良	优	中
耐热性能	良	—	优	良	差	优	优	优

天然橡胶弹性好,不易老化,硬度比较低,一般肖氏硬度只有35HSA。用这种材料制成的包套在成形期间可以承受大的或局部的极度变形。但由于天然橡胶包套的硬度比较低,成形期间很容易被挤入压坏表面上的颗粒间隙中,使难以脱模。从表26.8-7可以看到,天然橡胶的耐油性能比较差。这种材料的包套在油的压力介质中使用,很容易发生膨胀变形,往往用过一二次后就不得不报废。如果这种材质的包套在水或含有少量可溶性油的压力介质中使用,其形状尺寸就比较稳定,使用寿命可以大大延长。这种材质的包套主要是通过浸渍法制备的,只有当包套壁要求特别厚时才用模压法或浇注法制备。这种包套制备时收缩量比较大,最终形状和尺寸不容易控制,加之这种包套材质比较软,要想成形出形状规则,尺寸一定的压坯,装粉时需要在其外围安设一种起型模作用的支撑装置。

氯丁(二烯)橡胶是一种与天然橡胶性状相似的弹性材料。这种材质的包套在高压下不宜承受局部的极度变形,在与刚性模件连接处往往表现出较低的抗剪强度,易造成破损,使包套的使用寿命大大降低。

聚氯乙烯是一种合成的弹性材料,具有较宽的性能范围。这种包套的制备工艺是:将聚氯乙烯制成溶胶,通过预热的金属型模进行浇注或浸

渍,制成厚度为0.5~10mm或更厚的包套坯料,再经190℃左右的熟化处理,即可获得表面质量很高的塑性包套。

目前国内通用的一种塑性包套的配方如表26.8-8所示,其主要成分是聚氯乙烯树脂、增塑剂和稳定剂。

增塑剂的作用是增加塑料包套的塑性。常用的增塑剂有苯二甲酸二辛酯和苯二甲酸二丁酯,二者既可单独使用,亦可混合使用。

稳定剂的作用是增强塑料的热稳定性,是制造塑料模具不可缺少的成分。常用的稳定剂有三盐基硫酸铅、硬脂酸钙、硬脂酸锌、硬脂酸铅和碳酸钙等。这些稳定剂可单独使用,亦可混合使用。

这种塑料包套或塑料模具,在制备时的收缩量很小,形状尺寸容易控制。由于聚氯乙烯的分子在高压下容易移动,所以这种材质的包套在成形期间的大变形量下不易被损坏。另外,由于该种材质耐油和耐水腐蚀性良好,包套的使用寿命比较长。

聚氨酯是一种聚异氰酸盐与聚酯、多元醇或聚醚之间的反应产物,通过反应条件的控制,可以获得一种性能适合、容易处理的弹性材料。这种材质的包套多数是通过浇注法制备的。由于这种材料的硬化速度快,很难制成壁厚小于3mm的长包套。浇注的生坯料需在室温置放7天或在

45℃下置放 3 天进行熟化处理，方可作为模具使用。从表 26.8-7 可以看出，这种材质的包套，其耐磨性、抗撕裂强度和硬度都比较高，挠性或

弹性比较适宜，成形后也不易与压坯粘贴在一起。尽管这种包套的成本比较高，但使用寿命长，一般可达几百次甚至数千次。

第9章 热等静压成形包套模具设计

1 包套技术

在热等静压工艺中,除了最近发展的烧结-热等静压法外,不论是粉末直接装入包套一次成形,还是将冷等静压坯再次进行热等静压的二次成形,原则上均应采用包套。包套的主要作用首先是作为气密性容器,在装入粉末或冷压压坯后经过真空抽气可排除粉末中的气体和水分,并在热等静压过程中可保证压力介质不进入粉体空隙,从而确保成形材料的质量。另外,包套作为模具,可使所装入的物料压成预定的形状和尺寸。实践证明,即使少量的氩气进入粉末基体,也会引起热等静压坯性能显著下降。热等静压工艺的成本较昂贵,因而包套的选择、设计和加工质量具有十分重要的作用。包套的损坏和设计的失误都将降低热等静压工艺的效益,甚至导致高压炉体的损伤。

1.1 包套材料选择原则

在选择包套材料时,必须遵守以下基本原则。

1) 有绝对可靠的气密性。所谓气密性系指包套在抽空排气时不渗漏(即真空密封性)和在高压气体介质作用下不渗漏(即高压密封性),这是确保热等静压成形得以实现的基本条件。为此材料必须具有良好的焊接性能,以保证焊缝的质量。

2) 不与被压物料反应。包套材料在热等静压周期中的高温、高压下不能与被成形的物料发生化学反应和共晶反应,以防止包套失效、避免污染被压物料和炉体。

3) 有适当的强度和良好的塑性。热等静压所采用压力及温度范围分别为70~200 MPa和700~2000℃。在高温、高压的作用下,包套必须具有适当的强度和良好的塑性,以防止在热压过程中发生破裂或过分软化从而可能渗透到压坯中去。对于非金属包套,应注意其冷脆性;而对金属包套,则应留心其热脆性。包套材料良好的

可塑性,可以保证随物料的收缩压实,使包套壁厚均匀增厚,不起皱,以免影响压坯的均匀收缩和表面质量。

4) 易加工成形、易剥离。除了成形形状简单的制品(如棒材、管材、锥体、轧辊)外,热等静压还能成形复杂形状的制品,但包套作为模具也应能适应复杂形状的设计要求,因此所选包套材料应具备良好的切削加工性和焊接性。当然,成形后能通过常规的机械方法或化学腐蚀方法使包套与压坯分离,也是对包套材料的基本要求。

5) 具有良好的经济性。在满足上列条件的同时,应选择尽可能便宜的包套材料和包套方式。

1.2 包套的种类

热等静压工艺使用的包套根据材质可分为金属包套和非金属包套。

1) 金属包套 金属包套是当前最常采用的一种包套,一般是用金属板材、管材、棒材,经冲压、旋压、机械加工、焊接等工艺,制备成所需形状的包套。包套材质应根据拟成形粉末的种类来选择,如表26.9-1所示。金属包套的优点是强度和延性高,在输送、装料和搬运过程中不易损坏,对热等静压工艺的不同工艺周期的适应性好。缺点是若形状复杂,包套的制作工艺难度大,成本高,在热等静压过程中若收缩量大容易产生皱纹,影响压坯的形状。金属包套在热等静压成形后需用切削加工或化学腐蚀方法剥离,因而只能使用一次。尽管有的工作旨在改进剥离方法,如在包套内壁先喷涂一层隔离层,但所得的包套仍不能重复使用。

为了制作形状复杂的制品,近年来出现了一种称作电沉积金属壳的包套。在由石蜡、聚苯乙烯或金属铝板做成的预制型件上用电沉积的方法沉积形成一层金属壳,然后去掉型模,就可以得到尺寸精确、形状复杂的薄壁包套。日本钨公司还研制了一种气相沉积金属薄膜包套,用于含

表 26.9-1 包套材料及其应用范围

材料名称	化学成分 (质量分数) /%	适用粉末	适用温度/℃	封焊方法 ^①
钢	C=0.1 Si=0.2 S=0.03 P=0.03 Mo=0.5	粉末高速钢	≤1 400	TIG
		钹		MIG
		高温合金		气焊
镍	Ni=99.5 C=0.01 Fe=0.2 Si=0.1 Cu=0.13	钛	≤1 430	TIG
		陶瓷		MIG
		铁氧体		气焊
钛	工业级钛	碳化物 硼化物 氮化物	≤1 700	TIG 惰性保护气体
不锈钢	18/8	不锈钢	≤1 350	TIG、MIG
钼		钼	>1 450	TIG
		钨	<2 200	电子束焊
铜	工业纯	铜、铁	≤1 050	TIG、MIG
铱		二氧化铈		电子束焊
钾钠铅 硅玻璃		金属 陶瓷	410~613	热焊
硼硅玻璃		金属 陶瓷	550~990	热焊
铝硅玻璃		金属 陶瓷	700~980	热焊
高硅氧 玻璃	96 石英	金属 陶瓷	890~1 800	热焊
石英 玻璃		金属 陶瓷	1 130~1 800	热焊

① TIG 为钨极惰性气体保护焊，MIG 为金属惰性气体保护焊。

0.5%氧化镁的氧化铝陶瓷的热等静压。其工艺是首先将粉末冷压压坯烧结到 92% 的理论密度，然后在其表面沉积一层厚 10 μm 的钛膜，这层薄膜在热等静压过程中可以起到气密性包套的作用。国际镍公司提出的所谓超塑性包套是将两块超塑性合金薄板焊接在一起，然后吹成所需形状

的模具，以制备形状复杂的制品。金属软模包套也是成形形状复杂制品的一种方法，即用某种适当的金属粉末进行等静压烧结或无压烧结，再加工成一定形状的模件，然后将它放在软钢包套内构成所需的型腔，用以充填被压粉末。这种软模的密度应和充填在其中粉末的密度一样，以保证

粉末在热等静压过程中能均匀收缩。图 26.9-1 为制备高温合金盘件所用的冷压烧结铁基粉末软模示意图。图 26.9-2 为带化学隔离层的包套。

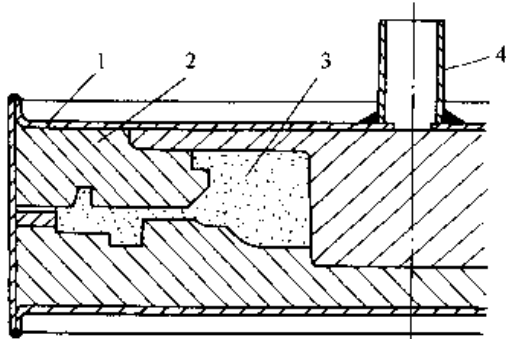


图 26.9-1 制作高温合金盘件用的软模包套
1—软钢包套 2—软模 3—粉末 4—抽气管

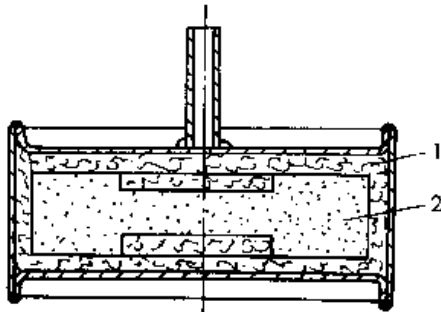


图 26.9-2 带化学隔离层的包套
1—泡沫氧化铝 2—冷等静压后粉末件

Kelsey-Hayes 公司开发了一种低碳钢流体模，用于热等静压成形重量为 10~100 kg 的接近最终形状制品，成形后的机械加工量小于 2.5 mm。这种模具是通过精密铸造后机械加工或直接机械加工制成的。该模具在热等静压条件下软化，因而能够传递压力并密封压坯。成形后，需经过机械加工、侵蚀或使用该公司的专利方法除去包套。

2) 非金属包套 非金属包套主要包括玻璃包套、陶瓷包套和熔融玻璃介质包套三种。这类包套的特点是容易制作、对压坯形状适应性大、成本低、使用中不会因起皱而影响压坯尺寸形状的精确性、剥离容易。缺点是性脆易碎、装粉及搬运中需小心处理。此外，这类包套对热等静压工艺有特定的要求，即炉子应设计成低压加热式甚至无压加热式，使包套在低压或无压情况下快速加热，在粉末开始收缩变形前软化，然后才可升压，若包套在软化前受压会发生破裂。

表 26.9-1 中除金属包套材料外还归纳了部分可用作玻璃包套的材料，并给出了每种材料的适用温度范围。玻璃包套的工作温度是以所用玻璃的黏度值确定的。在热等静压条件下，玻璃的黏度降低，容易粘附和渗入压坯，甚至发生流失。玻璃黏度一般以 $10^{5.5} \text{Pa}\cdot\text{s}$ 为低限，黏度达到 $10^3 \text{Pa}\cdot\text{s}$ 时玻璃即会流失，从而暴露被压坯料。但若玻璃黏度超过 $10^{13} \text{Pa}\cdot\text{s}$ 时，玻璃因硬化而有破碎的危险。

玻璃包套的制作方法和普通玻璃容器一样，或在熔融态用压力吹制，或用模铸，也可以采用石膏模具用粉浆浇铸再进行烧结。

Kelsey-Hayes 公司曾致力于玻璃包套的研究，并将这种包套应用于钛合金的热等静压。该公司的试验表明，采用硼硅玻璃包套会使钛合金表面出现孔洞和 α 相富集层，铝硅玻璃包套也会使压坯表面出现 α 相富集层。而用 96% 的石英玻璃包套，即可消除上列缺陷而取得比较满意的结果。利用玻璃包套代替金属包套进行氧化钨制品的热等静压，可以使压坯密度达到理论值的 99%，其组织细密，并略呈透明。

玻璃包套的设计比较简单，当被压物料为冷压坯时，玻璃包套的形状不一定要完全与压坯的形状密合。也就是说，简单的玻璃包套可以成型形状较为复杂的粉末部件，如图 26.9-3 所示。玻璃包套的另一特点是可以将预先作成的几个部件通过热连接的方法组焊在一起。玻璃包套在受热软化阶段，包套内的真空将促使包套壁贴附在压坯的外表面，并使包套随压坯的收缩而变形。在现阶段，玻璃包套的应用仍不如金属包套广泛。

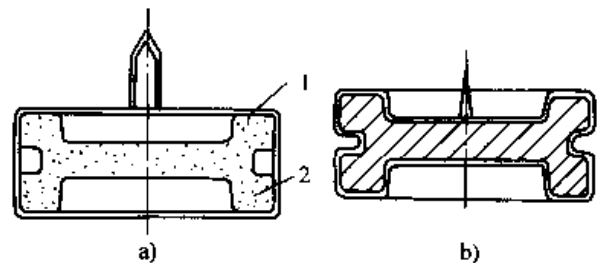


图 26.9-3 玻璃包套

a) 热压前 b) 热压后
1—玻璃包套 2—粉末

如图 26.9-4 所示，熔融包套的工作原理是把压坯埋入玻璃或低熔点金属中，经加热熔融后

即可进行热等静压。

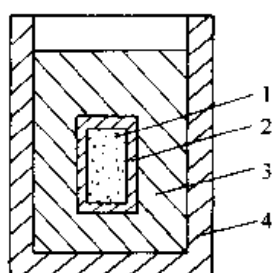


图 26.9-4 熔融介质包套法示意图

1—粉末压坯 2—金属箔
3—熔融介质 4—熔融介质容器

利用玻璃作为熔融介质曾成功地进行了 WC-Co 硬质合金的热等静压试验，得到了接近理论密度的制品。所采用的玻璃为硼硅酸玻璃粉，

以石墨模具为容器，将压制和烧结后的硬质合金部件埋入玻璃粉中，然后在温度为 1 200~1 700℃，压力为 21~42 MPa 的条件下进行热等静压。硼硅酸玻璃的主要组分是二氧化硅和氧化硼，并要求不含钾等金属元素（质量分数应低于 0.05%），以防止与硬质合金发生作用。另外，氧化铝的含量也应控制在 5% 以下。当温度升高至热等静压所需的水平时，玻璃熔化，包围住硬质合金压坯的所有表面。此时，因硬质合金内部也有液相产生，故熔融的玻璃不能通过压坯表面的孔隙进入内部。玻璃介质和压坯的温度均衡以后即可加压成形。根据不同成分的硬质合金，热成形的温度将在 1 200~1 700℃ 内选择，并相应地调整玻璃组分，其中二氧化硅的调整范围为 83%~99.7%，氧化硼的调整范围为 0.3%~17%。

表 26.9-2 在不同温度下应用的硼硅酸玻璃成分

成分 (质量分数)/%	热压温度 /℃					
	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600	1 700
B ₂ O ₃	14.3~16.8	10.0~12.5	8.6~11.1	5.9~8.4	3.0~5.5	0.3~2.8
SiO ₂	85.7~83.2	90.0~87.5	91.4~88.9	94.1~91.6	97.0~94.5	99.7~97.2

表 26.9-2 为在 1 200~1 700℃ 下使用的硼硅酸玻璃组分比例。

在 1 200℃ 下采用成分（质量分数）为 85% SiO₂ + 15% B₂O₃ 的玻璃或在 1 550℃ 下采用成分（质量分数）为 95% SiO₂ + 5% B₂O₃ 的玻璃进行热等静压，均收到良好的效果。

采用熔融介质进行热等静压时，在某些情况下为了避免压坯与直接接触的介质发生作用，可在压坯外面覆盖金属箔。根据所选介质及压坯的具体情况，可以采用铂、不锈钢、铝、金、银、

镍、铜等作为包覆箔材，厚度为几十微米。

熔融介质可采用玻璃、锌、铅、铋等低熔点金属，也可采用聚苯乙烯、尼龙、聚乙烯等热塑性材料以及氯化钠、氯化钾等盐类。介质容器用石墨或氧化铝等材料制成。

采用这种方法已成功地制备了高质量的氧化铝、氧化铍等氧化物和碳化钨等碳化物，以及碳化钛系列的金属陶瓷的小型压坯。表 26.9-3 列举了压坯覆盖金属箔的熔融介质包套法的应用实例。

表 26.9-3 压坯覆盖金属箔的熔融介质包套法的应用

粉末压坯 (熔点/℃)	适用温度 /℃	金属箔 (熔点/℃)	熔 融 介 质 (熔化或软化温度/℃)
Al ₂ O ₃ (2050)	1 200	铂 (1772)	硬质玻璃 (780)
	1 400	铂 (1772)	硼硅酸玻璃 (820)
BeO (2570)	1 200	铂 (1772)	硬质玻璃 (780)
MgO (2800)	1 400	铂 (1772)	硼硅酸玻璃 (820)
	800	不锈钢 (约 1 000)	聚乙烯 (104)
	900	金 (1063)	氯化钠 (803)

续表 26.9-3

粉末压坯 (熔点/℃)	适用温度 /℃	金属箔 (熔点/℃)	熔 融 介 质 (熔化或软化温度/℃)
TeO (733)	500	铝 (660)	尼龙 (149)
	650	金 (1063)	软质玻璃 (550)
	550	铂 (1772)	铋 (270)
TiC 系金属陶瓷 (2776)	1 370	铂 (1772)	硼硅酸玻璃 (820)
WC	1500	铂 (1772)	硼硅酸玻璃 (820)

陶瓷包套也属于非金属包套。它是通过蜡模造型的一种壳型包套，可以做成比较复杂的形状，但使用时需要特别谨慎的处理技术，以防止壳型在热等静压前产生裂纹。有关陶瓷包套应用的报道甚少。

综合金属与非金属包套的特点而设计的一种在金属包套内充填陶瓷粉末，并将冷压坯埋入其中的方法，称为带化学隔离层的包套。这种包套制作简便，陶瓷粉末可采用泡沫氧化铝，在热等静压过程中同样起到压力介质的作用。

1.3 包套设计

在各种包套中，金属包套的应用最为广泛。图 26.9-5 为充填了金属粉末的金属包套示意图。

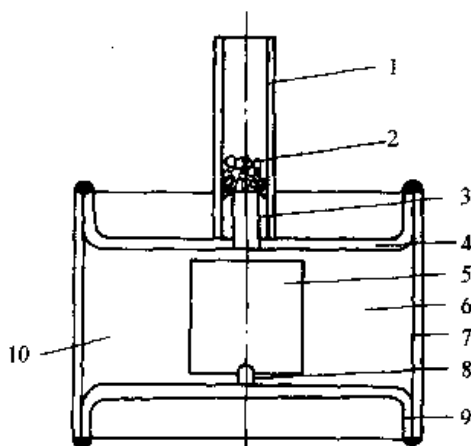


图 26.9-5 金属包套结构示意图

- 1—抽空管 2—钢丝棉 3—锥头管
- 4—上端盖 5—模芯 6—装粉型腔
- 7—包套壁 8—定位销 9—下端盖 10—粉末

在热等静压工艺中，制品的密度、尺寸和形

状是靠正确的包套设计来保证的。

1) 包套壁厚 在保证气密性、装料后包套不变形和有利于封焊的前提下，尽量选用较薄的包套。薄包套对压坯的收缩有利。如果包套尺寸较大，为防止装料后在操作过程中的变形，包套壁应选择厚一些。同样，若包套在热等静压前需经加热脱气处理，包套材料的强度也相应地要有所下降，此时包套壁厚也应适当加大。低碳钢（碳小于 0.1%）包套的壁厚通常选用 1~2 mm。图 26.9-6 给出了当热等静压成型高速工具钢粉末所用的软钢包套的高度为 1.7 m 时，包套直径与壁厚的关系。包套筒应尽可能使用无缝钢管。

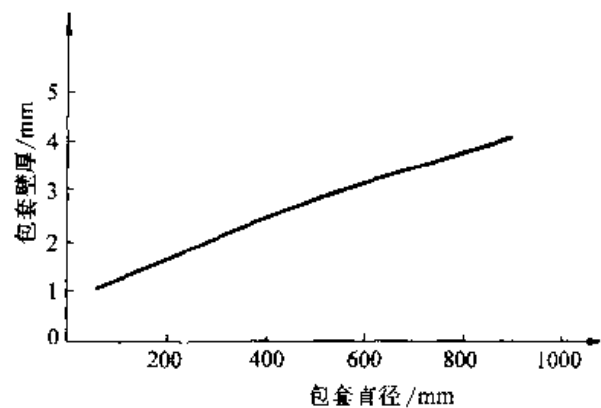


图 26.9-6 成形高速钢粉末时包套壁厚与直径的关系

2) 包套端盖 包套上下端盖的材质及厚度应与包套本体相同。端盖应带有冲压而成的高度为 10~20 mm 的翻边，其斜度为 1°。端盖底部的最小外径应稍大于包套的内径。这样设计端盖是出于以下三方面的考虑：

- ①防止待成形的粉末接近焊区而产生氧化，

同时保证端盖及包套的紧密配合；

②防止粉末进入焊缝区域影响焊接的质量；

③减小焊缝区域的应力以降低在热等静压过程中因包套变形而发生焊缝漏泄的危险。

3) 抽空管 抽空管的内径大有利于抽空排气，而管径小且壁薄又有利于脱气后的卡死焊封。设计中应根据包套的大小和装料量的多少来选择抽空管的尺寸。

抽空管内的钢丝棉是防止粉末在抽空时进入真空系统而设置的，若包套内放置的是冷压压坯，则无需再用。

抽空管内的锥头管对抽空管起支撑作用，以防止抽空管在热等静压期间由于变形而撕裂焊缝，但对抽空十分不利。国外已有一种可省去锥头管的专利技术，从而可以使抽空效率提高10倍，这对压制大型工件是很有意义的。图26.9-7为用这种专利设计的抽空管示意图。从图中可以看出，这种抽空管端头结构在热等静压前呈倒置锥形漏斗状，与锥砧之间构成的抽空通道截面比较大，有利于抽空排气。在等静压期间，它与置于粉末表面的锥砧贴合在一起，达到密封的目的。

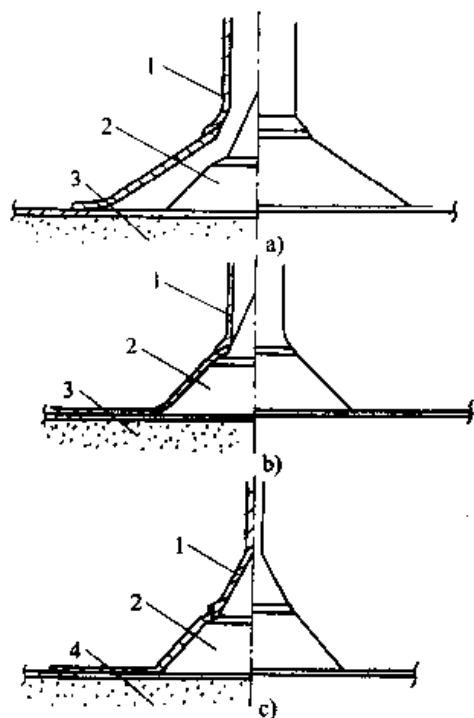


图 26.9-7 扩大抽空管断面的一种专利设计方案示意图
a) 热等静压前 b) 热等静压期间 c) 热等静压后
1—锥形漏斗状端头的抽空管 2—锥砧 3—粉末 4—压坯

4) 模芯 包套中的模芯是为成形复杂形状压坯（如中空、不通孔、凹槽等）而设置的。成形管状和锥筒形部件的模芯多用刚性材料制成，可以是整体的，也可以是组装可拆式的。这种模芯在热等静压时不收缩，故称为硬模芯。模芯一般应放在包套内部以减少焊缝，但又不能直接与包套接触。图26.9-8中，a因模芯与包套接触而属错误安置；b、c则为正确安置。

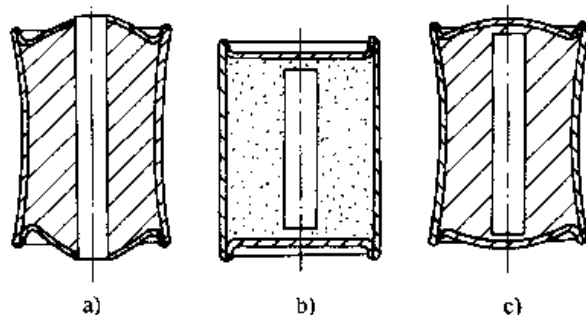


图 26.9-8 模芯在包套中安放的位置
a) 模芯与包套接触，为错误放置
b) 模芯与包套不接触（HIP前），为正确放置
c) 模芯与包套不接触（HIP后），为正确放置

从图26.9-8可看出，这种硬模芯能使制品的某些尺寸（如内径）得到良好的控制，但对获得整个制品的均匀密度和精确的形状尺寸不利。为了制备航空用高温合金部件，近年来发展了软模技术。在用热等静压工艺加工钎制品（如陀螺万向接头和卫星摆镜的盲孔）时采用了无压烧结多孔铜作软模芯。

无论是硬模芯还是软模芯，其材质的热膨胀系数均应与被压材料相匹配，以免在热等静压降温过程中引起不利的热应力。钎材的热等静压之所以选用铜作为成形内孔的模芯，就是因为铜的热膨胀系数比较大，热等静压后铜的收缩比钎大，可以收到自行分离的效果。

5) 模腔尺寸 模腔是充填粉末或安放冷压压坯的空间，其形状应和热等静压成形的压坯形状一致。在确定模腔尺寸时，应考虑到压坯在致密化过程中有一定的收缩量，并在此基础上适当放大。具体的尺寸因受多种因素，诸如粉末充填密度或压坯的相对密度、包套材质、压坯的形状等的影响，难以精确计算，只能估算，然后再经实验加以确定。

由于热等静压过程是压坯各向同时均匀受

压, 可以认为相应地收缩也是各向均匀的, 故通过热等静压前后压坯密度的变化可以计算模腔任意方向的尺寸, 其计算式为

$$x_i = x_f \sqrt[3]{\frac{\rho_f}{\rho_i}} \quad (26.9-1)$$

式中 x_i ——起始尺寸;
 x_f ——成形后尺寸;
 ρ_i ——起始密度 (充填密度或冷压坯密度);
 ρ_f ——最终压实密度。

对于处理冷等静压压坯的包套, 在保证压坯可以轻易装入的条件下, 应尽量缩小包套内壁和压坯的间隙, 否则包套在以后的变形中容易起皱, 导致压坯畸形并破坏表面的规整性。

实践证明, 由于包套本身和焊缝的影响, 粉末压坯在热等静压期间, 各方向和各部位的收缩不完全是均匀的, 而是略有差异。例如在成形直径 90 mm、长径比为 12 的铍棒时, 其轴向收缩要比径向约小 1%。这显然是由于包套在轴向不易收缩变形, 而影响了压坯的轴向收缩。图 26.9-11 示出了焊缝区域对不同长径比压坯的热静压致密化程度的影响。由图可以看出, 压坯端头的径向压缩比中间部位明显减少, 文献 [42] 认为, 这是由于包套及端头焊缝的影响所致。影响区占压坯全长的 60%, 而不受包套及焊缝影响的只是压坯的中段, 只占压坯全长的 40%。

值得一提的是, 当用双层薄壁金属包套由粉末直接热等静压成形压坯时 (见图 26.9-12), 发现在压坯外径收缩的同时, 内径在扩大。这与用

薄壁空心模芯冷压成形管坯 (见图 26.8-15) 或冷等静压管坯烧结时出现的收缩现象截然不同。这一点在包套设计中应予以考虑。

近年来, 由于近最终形状成形技术的发展及计算机模拟方法的应用, 使热等静压模具设计工艺水平达到了新高度, 成为热等静压技术发展的一个重要方向。计算机模拟方法在模具设计中的成功应用是基于以下五方面的进展和研究:

- 1) 说明在 HIP 过程中粉末材料收缩的新的流变模型的建立;
- 2) 粉体材料性能充分的数据库的建立;
- 3) 作为包套设计基础的“反转”问题的解决;
- 4) 在分析首次迭代法演算结果后的二次模拟;
- 5) 将 HIP 工程模型与现代三维 CAD 和有限元程序方法相组配。

计算机模拟方法设计近最终形状成形工艺用包套主要用于喷气及火箭发动机的关键部件, 如钛合金涡轮增压转子。其直径为 150 mm 时, 剖面上的通道直径精度可达 0.2 mm, 圆度 0.1 mm, 叶片的尺寸公差为 0.1 mm。我国学者在这一领域的研究上也取得了实际进展, 通过采用刚粘塑性有限元法开发的计算机模拟 FGH95 高温合金致密化过程软件建立了优化的包套设计程序, 取得了模拟精度误差小于 1% 的成效。图 26.9-9 为所成形的复杂形状带短轴及端齿的涡轮盘。图 26.9-10 为模拟计算出的 HIP 涡轮盘初始与最终尺寸和计算的与实测的成形件尺寸比较。

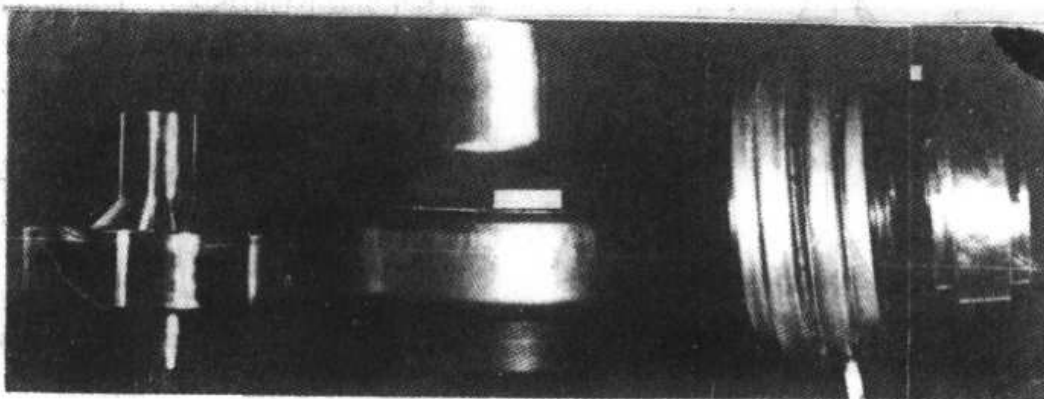


图 26.9-9 用 HIP 直接成形的带短轴及端齿的复杂形状涡轮盘

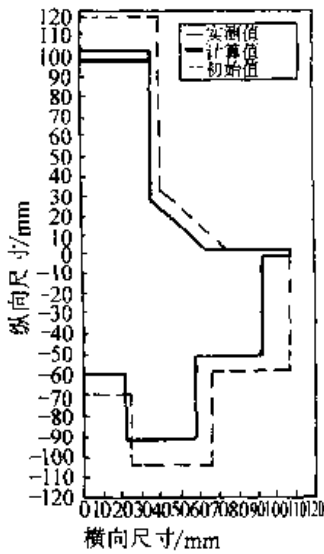


图 26.9-10 模拟计算的 HIP 涡轮盘初始及最终尺寸

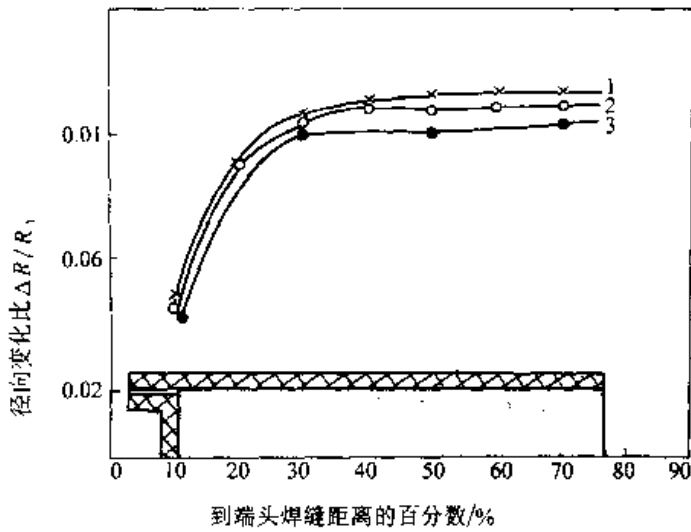


图 26.9-11 焊缝区热等静压件收缩情况的差别 (充填密度 70%，包套壁厚 2 mm)

1— $R_i=12.42$ mm, $h_i=72.44$ mm 2— $R_i=17.54$ mm, $h_i=36.32$ mm
3— $R_i=22.47$ mm, $h_i=22.13$ mm

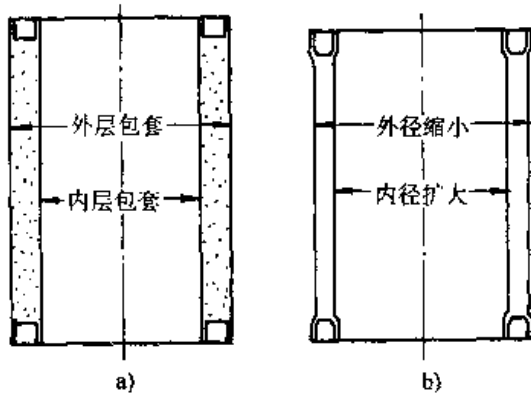


图 26.9-12 双层薄壁空心模 HIP 管坯试验
a) 热等静压前 b) 热等静压后

焊接时焊区产生的高温也是应予以注意的问题。如果焊区温度过高，将导致包套及金属粉末的氧化和晶粒长大。常常采用惰性气体对包套和粉末进行冷却，如图 26.9-13 所示。

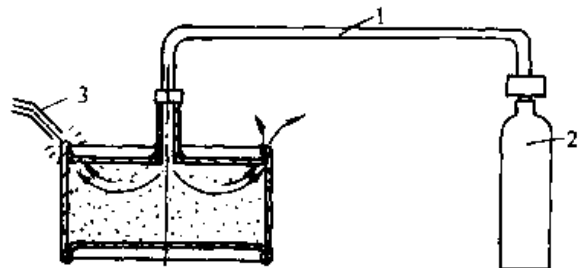


图 26.9-13 焊接时用惰性气体进行冷却

1—导管 2—惰性保护气体 3—焊枪

总之，包套的焊接是关系热等静压工艺成败的一个重要环节。

2 包套焊接

由于金属包套的应用最为广泛，故着重讨论金属包套的焊接。不同金属粉末的热等静压要求采用不同的包套金属材料，因而应选择相应的焊接方法。对焊接的要求是要使焊缝在真空及高压下具备气密性，以防止抽空时空气的逸入和在热等静压周期中压力介质的渗漏。同时，焊缝应具备足够的强度以承受工艺过程中施加的高压。

焊缝中存在裂纹和孔洞均会导致包套的泄漏，因而每一个包套在进行装料抽空和热等静压前均应对其所有的焊缝逐一检漏，这在热等静压工艺操作中是一道必不可少的工序。

2.1 软钢包套的焊接

低碳钢即软钢是最常用的包套材料。对高速工具钢、铍、高温合金等材料进行热等静压均采用软钢包套。因而软钢包套也是目前研究得比较深入的一种包套材料。以工具钢的热等静压为例，所选用的软钢包套成分(质量分数)为：0.1% 碳、0.15% 硅、0.45% 锰、磷 < 0.03%、硫 < 0.03%。这种材料具有良好的塑性和可焊性。为了减少热脆性，应严格限定杂质碳、磷的

含量，同时钢种应为镇静钢，以降低钢中的气孔，这一点对于非填料焊接尤为重要。

软钢包套应尽可能选用无缝钢管，但大尺寸的包套不得不用钢板通过螺旋焊法制成，螺旋焊缝质量应经 X 光探伤检验。为了保证包套筒体与上下端盖配合严密，包套筒体端部内表面的焊缝凸起部位应磨平。

端盖的直径尺寸要比包套筒体内径稍大些，并通过选择 β 角使端盖及包套之内的缝隙降至最小程度，这样才能保证焊缝的质量，并防止焊接的保护气氛氩气渗入包套。

1) 准备工作 焊接端盖前应做好以下两项准备工作：

①包套筒壁的端沿及端盖法兰应在一个水平位置上（见图 26.9-14），不允许出现斜面；

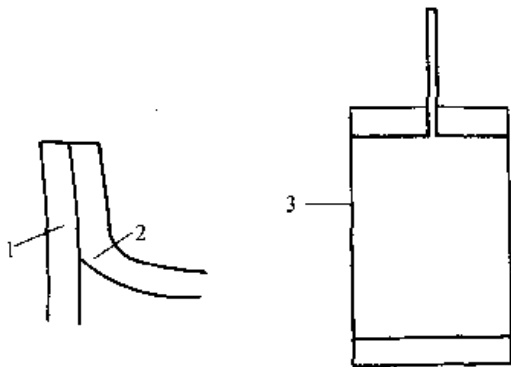


图 26.9-14 端盖安入包套筒内的位置要求

1—包套筒 2—端盖 3—包套

②包套筒体和端盖的间隙及端头的表面均应保持洁净，不允许有灰尘、水分、铁锈及油污等。

包套的焊接要求在垂直状态下进行。焊缝的深度至少应等于包套的壁厚，以保证焊透。图 26.9-15 为焊缝深度示意图。

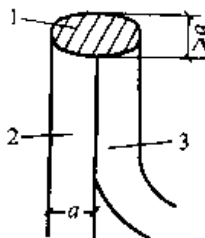


图 26.9-15 焊缝深度要求示意图

1—焊缝 2—包套筒 3—端盖

2) 焊接方法 在生产中，为了获得良好的焊接质量，应采用垂直焊枪进行自动焊接。焊接方法有以下几种。

① TIG 法，即钨极惰性气体保护焊法，以氩气为保护气体，采用非消耗电极，焊料以丝状自动送入焊区。

② MIG 法，即金属惰性气体保护焊法，以氩气为保护气体，采用消耗电极。

③ MAG 法，即金属活性气体焊接法，所用气体为 $Ar + 20\% CO_2$ 。这种气体比 MIG 法所用的纯氩便宜。

在上述三种方法中推荐选用 TIG 法。

采用 TIG 法可以较好地防止熔焊不充分及焊缝残留孔隙，但焊接时必须使用焊丝。若选用设备得当，氩弧的位置也能很好地控制，从而可以得到对称的焊缝。图 26.9-16 为 TIG 法的操作示意图。焊丝材的成分可与基体材料成分一样，因为在此焊接过程中材料不发生氧化。但一般焊丝中硅的含量要偏高些（0.6%~0.8%）。焊丝的直径应与包套的壁厚相匹配，最常用的为 1.0~1.6 mm。

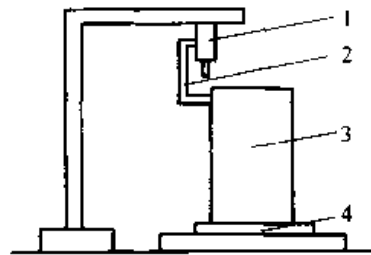


图 26.9-16 TIG 法自动焊操作示意图

1—焊接设备 2—定位装置

3—工件 4—旋转工作台

MIG 法及 MAG 法均可实现自动化作业，但由焊丝作为电极不够稳定，导致焊弧不稳定，焊接中的飞溅现象要多于 TIG 法。采用 MAG 法时焊丝中的合金元素硅的含量应超量，因焊接中要发生烧损。

无焊丝的 TIG 焊法由于很容易产生焊缝孔隙，故不宜采用。

在试验室的条件下，也可以采用氧炔焰手工焊焊接形状复杂的包套，但需要有高超的操作技艺才能保证焊缝的质量。

上述内容只是简要地介绍了软钢包套焊接工艺。在实际焊接前，应对焊接电流、电压、焊丝给速、包套转速等工艺参数进行试验选择，以保证焊接的质量。

镍、不锈钢、铜等金属包套的焊接亦可参照软钢包套焊接工艺，采用保护气氛焊接。焊接方

法有 TIG 及 MIG 两种。使用 TIG 法时,要求焊接部位保持良好的洁净度,而且包套与端盖应配合严密,这一点对在无焊丝填充情况下的 TIG 焊接法特别重要。在生产实践中往往倾向于采用加焊丝的 TIG 法。MIG 法也经常采用,因为该法对洁净度以及包套与端盖的配合要求不高。

2.2 钛包套的焊接

钛的焊接一般要求焊接部位非常洁净,并且焊接过程必须在保护性气氛中进行。用 TIG 法焊接实验室规模的钛包套大多是在手套箱中完成的。在生产条件下,钛包套焊接往往安排在专门的保护气氛风罩下进行,使焊接部位处于适当的气压下。应该强调的是,不仅焊接部位应为惰性气体所保护,而且钛包套的任何部位,只要温度超过 250℃,即应处于保护气氛中。焊缝在冷却过程中也需要惰性气体保护。

2.3 钼包套的焊接

钼作为高熔点和具有良好导热性的难熔金属,其焊接难度较大。在焊接钼过程中需要较高的焊接电流,因而焊区较宽,使材料产生较大的温度梯度。焊接钼要求采用较高的焊接速度,这也给希望获得无裂纹、无孔洞的焊缝带来困难。钼的焊接必须在不含空气的保护气氛中进行,可以在能抽空的手套箱中,于氢和氩的混合气体保护下采用 TIG 法。为了防止氢气和空气形成可燃的混合气体,手套箱必须气密,这在一定程度上限制了 TIG 法在钼包套焊接上的应用。

电子束焊较适用于钼包套的焊接。电子束焊可以得到很窄的焊缝。为了防止在高速焊接条件下产生裂纹和孔洞,宜将包套材料加热至接近钼的再结晶温度,即 900~1000℃。可采用低功率、未聚焦的电子束或是安装在焊区部位的加热线圈来预热钼包套。预热温度必须用热电偶检测。焊接后,焊区需再加热一次,以消除残余应力。焊接前应使用苯、三氯乙烯或洗液对焊口部位进行认真清洗。

2.4 玻璃包套的焊接

玻璃包套可采用在煤气上加热并添加玻璃材料的方法进行热连接。所用玻璃材料的热膨胀系数越大,焊口周围应加热的区域也越广,以免在

玻璃包套材料中产生过高的温度梯度导致裂纹的形成。于 890~1800℃ 温度下使用的硅酸玻璃,其热膨胀系数很小,故对形成裂纹不敏感,易于用热连接法制备包套。

3 包套检漏

如前所述,为了保证包套在真空和压力下的气密性,应在装料抽空和热等静压前对焊缝进行检漏,采用的方法主要有氮质谱检漏法和卤素检漏法。

3.1 氮质谱检漏法

氮质谱检漏法是目前真空检漏的主要方法,其灵敏度可达 $10^{-11} \sim 10^{-12} \text{Pa} \cdot \text{L/s}$,适用于粗高真空。具体的实施方式可有以下三种。

1) 真空检漏法,原理如图 26.9-17 所示,被检的包套处于抽空状态,在其外部用氮气细流喷嘴进行扫描式检查,当遇到泄漏部位时,氮气即进入包套内,从而导入质谱管,并被转化成电信号。为了确保检漏的完整性,应对包套的所有焊缝进行探查。

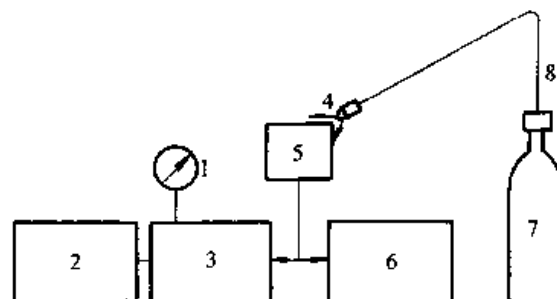


图 26.9-17 氮质谱仪真空检漏法示意图

1—指示计 2—泵 3—质谱管
4—氮气细流 5—被检工件 6—辅助真空泵
7—氮气瓶 8—管道

2) 压力检漏法,原理如图 26.9-18 所示。这种方法要求将氮气充入包套内部,并使其压力始终高于大气压。氮质谱仪的吸探器在包套外沿焊缝进行探查,泄漏处逸出的氮气即可从氮质谱仪反映出来。压力检漏法适用于大型包套或不能承受内部真空的包套,但灵敏度不如真空检漏法,因为吸探器要同时吸入周围的空气,从而稀释了示踪泄漏的氮气。

3) 压力真空检漏法,这是一种将真空法与压力法综合在一起的检漏方法。将内部充有氮气的包套放入与氮质谱仪连接的真空室,如包套泄

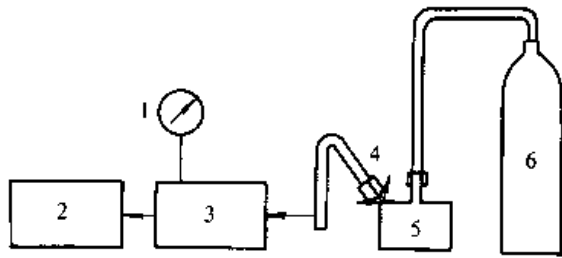


图 26.9-18 氮质谱仪压力检漏法示意图

1—指示器 2—真空泵 3—质谱管
4—吸探器 5—包套 6—氮气瓶

漏，质谱管即可做出反应。这种方法适用于全密封包套的检漏（图 26.9-19）。

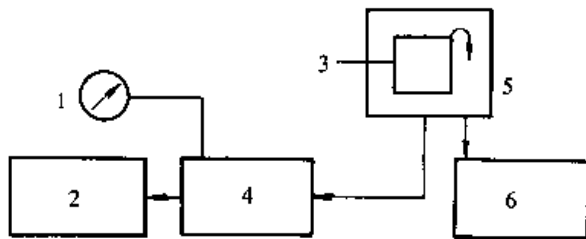


图 26.9-19 氮质谱仪压力真空检漏法示意图

1—指示器 2—真空泵 3—含有氮气的焊封受检包套
4—质谱管 5—真空容器 6—辅助真空泵

在上述三种方法中，前两种使用较多，尤其在对小规格包套进行检漏时，真空检漏法更为常用。在利用压力法进行检漏后，应注意排除包套中残留的氮气。为了保证氮质谱检漏的精确性，

检漏时环境空气应保持清洁。空气中氮的体积分数大约为 $4 \times 10^{-4} \%$ ，在这一浓度下，每秒约有 10^{-8} cm^3 的氮气进入检漏仪，这个数值将是最小可检漏泄量的 100 倍。但若调整好空白值，当氮体积分数达 $0.5 \times 10^{-4} \%$ 时即可检出。

3.2 卤素检漏法

卤素检漏仪可用六氟化硫 SF_6 作为示踪气体，也可以用其他气体作示踪气体，但示踪气体与仪器中安装的电子吸收器应相适应。电子吸收器是由一个电极和一个氚放射性源所组成。当纯氮气流经与设定电路相连接的探测器时，由于 β 射线的作用，在电极和氚放射性源之间会形成电子云，并在一定的电压下产生一个稳定的电流值。当示踪气体进入检漏仪内的电子吸收器时，电子将与示踪气体碰撞并被吸收，示踪气体中将形成大尺寸的负离子，其运动能力很低，从而导致稳定电流值的下降，下降幅度与示踪气体的浓度及其吸收电子的能力成比例，因之可以测定泄漏的位置。图 26.9-20 为用这种方法进行检漏的实例。卤素检漏法具有良好的精确度，亦适用于工业环境。在可供选择的三种方法中以压力检漏法最为常用，但在热等静压前应将包套中的残余示踪气体彻底排除。以六氟化硫为示踪气体时检漏仪的最大含量灵敏度为 $0.1 \times 10^{-4} \%$ 。

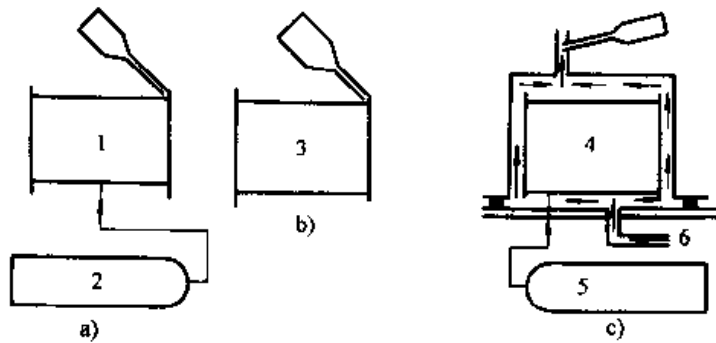


图 26.9-20 卤素检漏方法实例示意图

a) 用示踪气体充填包套并探查泄漏 b) 探查已充满示踪气体的包套 c) 测定处于风罩的包套的总泄漏量
1—充压包套 2—示踪气体 3—已充满示踪气体的包套 4—充压的包套 5—示踪气体 6—空气

应当指出，检漏合格的包套并不一定在热等静压过程不发生泄漏。焊缝内部的缺陷有可能发展成为裂纹而引起泄漏，因而在要求严格的场合最好先对包套的焊缝进行 X 射线探伤，在确认焊缝质量良好的前提下再进行检漏。

4 包套的充填

在向热等静压包套中直接充填粉末时，要求粉末的充填密度高而均匀，并且不出现粒度和成分的偏析。若粉末充填密度低，会增大压缩量。

当充填密度低于理论密度的 65% 时, 包套易起皱褶, 造成压坯形状畸变。对于充填密度不能达到 65% 理论密度的粉末应先进行冷等静压。充填密度高而均匀, 不但有利于制品的质量, 还会改善粉末的导热性, 缩短热等静压的升温时间。不同类型的粉末可以得到的充填密度如表 26.9-4 所示。

粉 末	相对密度 / %
不规则形状的粉末	25~35
球形粉末	60~70
高温合金粉	65
高速钢粉	65~70
钛粉	50~60

粉末充填的方法大致可以分为手工充填及机械充填两种。手工充填只适用于试验研究, 实际生产中则必须采用机械充填的方法, 如振动装粉和离心充填装粉等。为了保证粉末充填的均匀性, 应设计专门的装置。如果粉末在包套内发生成分和粒度的偏析, 不仅会造成成形后的材料性能下降, 而且会因为包套变形不均匀, 导致制品

形状的失控。克服包套内粉末发生偏析的措施, 首先是防止粉末以自由降落方式进入包套。为此可采用如图 26.9-21 所示的包套可逐渐下降以保证装料面不动的充填方法。当粉末充满后, 可升降台面开始振动, 同时随粉末的振实不断补充粉末, 直至装足。

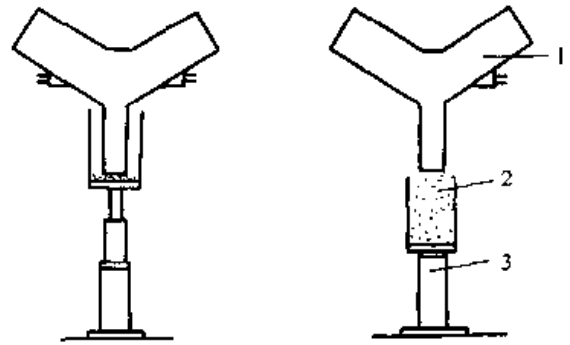


图 26.9-21 粉末自动充填装置

1—粉末混合器 2—包套 3—升降台

在大规模生产条件下, 粉末一般都贮存于大型料仓中。为了获得均匀的粒度分布, 这种料仓的漏斗可设计成多点下料式。根据球形粉末在料仓中粒度分布 (图 26.9-22), 粒度大的粉末趋向分布在料仓的周围, 因此将料仓设计成多点下料式是很有必要的。

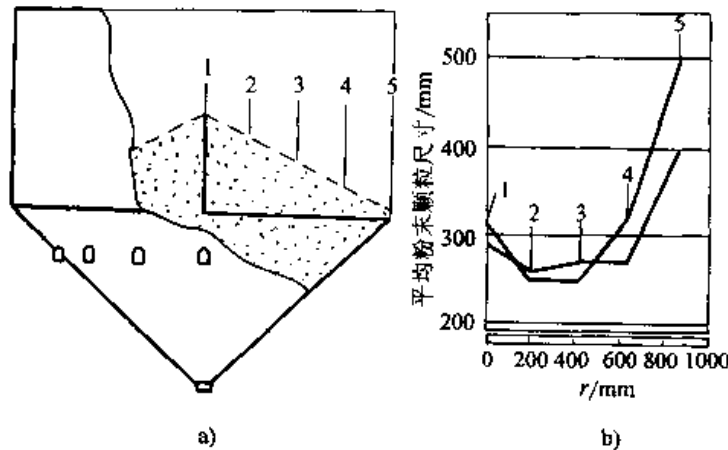


图 26.9-22 球形粉末在粉末料仓中粉末粒度的分布

a) 在粉末料仓中取样位置示意图 b) 粉末平均颗粒尺寸曲线

粉末充满包套后的振动时间应严格控制, 以防止粉末颗粒在包套中的“沸腾”运动引起粒度成分的偏析和颗粒的择优取向。

离心充填法适用于充填形状对称而又复杂的包套。通过旋转时产生的离心力作用可将粉末充入沟槽及凹腔。为了增大充填密度, 还可在旋转的同时加以振动 (图 26.9-23)。

当在热等静压包套中安放冷等静压压坯时, 要求尽量减少包套内壁和压坯之间的间隙, 以防止包套在热等静压过程中起皱, 导致压坯的变形。如在成形直径 75 mm 棒料时, 冷等静压压坯的外径与热等静压包套内径的配合公差应控制在 0.25 mm。

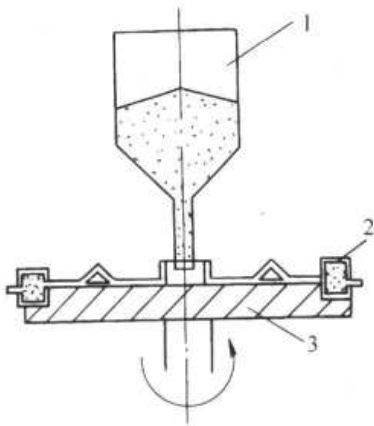


图 26.9-23 离心充填装粉装置示意图
1—粉末储仓 2—包套 3—旋转台

5 包套的抽空及封焊

由于粉末体或压坯中存在 20%~75% 的孔隙度，在物理和化学吸附作用下必然含有数量可观的气体和水分。因此在充填了金属粉末或装有冷等静压压坯后，应对包套进行抽空脱气处理。这一工序在热等静压工艺周期中也是很重要的一环。对那些在加热过程中表面会发生分解，并形成化合物的金属粉末来说，抽空脱气的作用则更为突出。为了达到预期的抽空脱气效果，抽空往往在加热条件下进行。表 26.9-5 给出了几种不同粉末脱气所需的真空度和加热温度。

表 26.9-5 中列举的高速钢粉末的脱气处理也可在室温下进行，抽空后再充以氮气，即可进行上端盖的焊接。

表 26.9-5 几种粉末在热等静压前脱气条件

粉末类型	温度/℃	真空度/Pa
铁	20	133
高速钢	600~1 150	133
高温合金	1 000	$133 \times 10^{-2} \sim 133 \times 10^{-3}$
碳化物，硼化物，氮化物	600~1 000	133×10^{-2}
铁氧体	1 000	133×10^{-2}
铍	960	133×10^{-5}

抽空封焊工序所需要的设备主要有真空泵、加热炉、液压切断卡死钳及焊接设备。

为了防止抽空时粉末被吸入真空管道，除在开启真空阀门时要注意遵守缓慢渐次的原则外，

抽空管内还须放入钢丝棉或粗颗粒粉末（如图 26.9-24 及图 26.9-25）所示。试验用的包套可能要长时间地加热抽空。为防止抽气管材料因受热而发生晶粒长大，在炉外必须附加冷却水套。包套脱气工序结束前，抽气管需用焊枪加热至红热状态，然后分几道用液压钳卡死。卡死后可以剪断过长的部分，然后立即焊封剪口，使之成为封闭的真空容器。

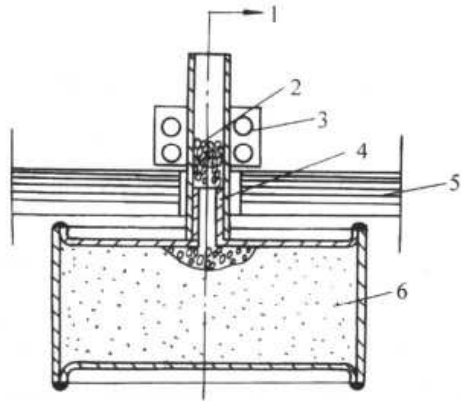


图 26.9-24 实验室用工件抽空装置示意图
1—至真空泵 2—钢丝棉 3—水冷套
4—锥头管 5—炉顶 6—粉末

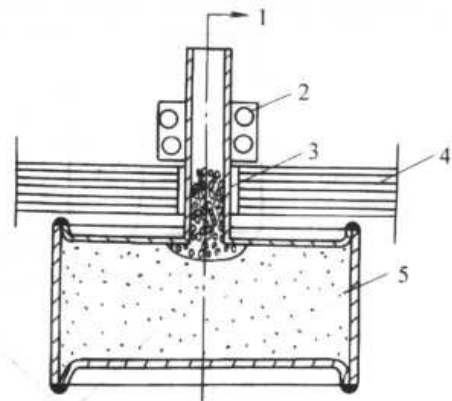


图 26.9-25 无锥头衬管的工件抽空方法
1—至真空泵 2—水冷套 3—钢丝棉
4—炉顶 5—粉末

在大规模生产时，包套抽空的时间要尽量短，这就要求包套有大的抽空通道。图 26.9-26 所示的方法是将粉末装入包套后，先不焊接上端盖，而是用一个抽空罩进行脱气。脱气后再充入惰性气体（对高速钢粉末可充氮气），然后再把上盖焊好。对于不能充注惰性气体和需要加热脱气的粉末或压坯，仍应安有排气管，并配置相应的锥头管。

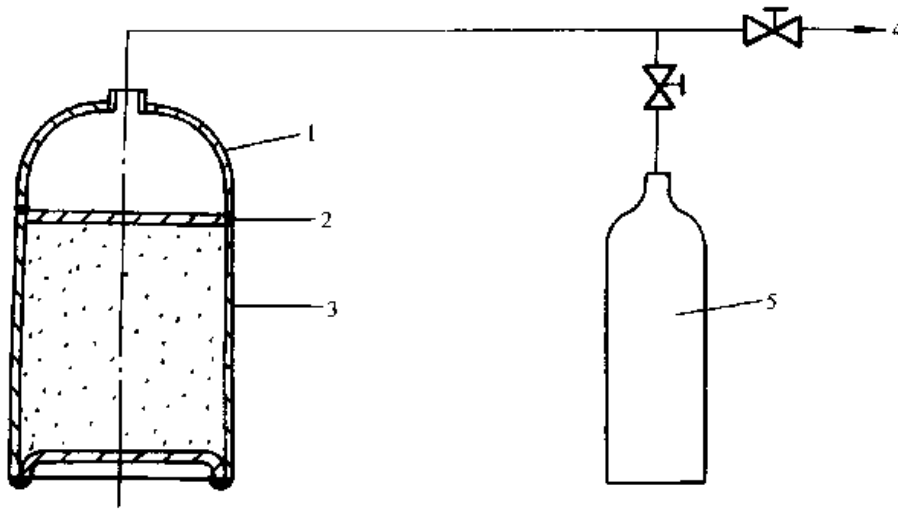


图 26.9-26 实际生产所用的一种包套抽空充气方法
1—罩 2—密封 3—包套 4—至真空泵 5—充灌气瓶

参考文献

- 1 MPIF. Powder Metallurgy Design Manual. 3rd Edition. Published by MPIF, 1998
- 2 马福康主编. 静压技术. 北京: 冶金工业出版社, 1996
- 3 Engström U, Johansson B., Jacobson O. Properties and Tolerance of Warm Compacted P/M Materials. 粉末冶金工业, 1997, 2: 10~15
- 4 Enrico Mosca. Powder Metallurgy (Criteria for Design and Inspection). Produced by AMMA, 1984
- 5 美国金属学会主编. 金属手册: 第七卷, 粉末冶金. 第九版. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 6 日本粉末冶金工业会. 烧结机械部品—その設計と製造. 技術書院, 1987
- 7 粉末冶金模具设计手册编写组. 粉末冶金模具设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1978
- 8 姚德超主编. 粉末冶金模具设计. 北京: 冶金工业出版社, 1982
- 9 韩凤麟主编. 粉末冶金模具模架实用手册. 北京: 冶金工业出版社, 1998
- 10 韩凤麟编著. 粉末冶金机械零件. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 粉末冶金常用标准汇编: 上、下册. 机械工业粉末冶金制品标准化技术委员会, 2000
- 12 韩凤麟. 粉末冶金零件压制成形中裂纹的成因与对策. 粉末冶金技术, 1999, Vol. 17, No. 3: 209~215
- 13 Bocchini G. F., H. Schaidl. 1991 "Powder and Mix Properties, Tooling and Innovative Presses, Suitable to Avoid Cracks in P/M Part Compacting." Advances in Powder Metallurgy, Vol. 1: p. 59~87
- 14 Luk H. S., A. B. Davala, H. M. Kopech. 1996 "Enhanced Green Strength Material System for Ferrous and Stainless P/M Process." Technical Data. Hoeganaes Corp. Riverton, NJ 08077
- 15 David C., Zenger, Haimian C.. Handbook of the Common Cracks in Green P/M Compacts. Published by MPIF, 1997
- 16 (日) 叶屋臣一主编. 注射模具设计和应用. 许鹤峰, 叶淑静译. 北京: 轻工业出版社, 1989
- 17 翁其金主编. 冷冲压与塑料成形—工艺与模具设计. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 18 Randall M. German. Powder Injection Molding. Princeton, New Jersey: Metal Powder Industries Federation, 1990
- 19 (美) J.B. 戴姆. 注射模具与注射成形实用手册. 沈金堂译. 北京: 化学工业出版社, 1987
- 20 (日) 白石顺一郎. 注塑成形模具. 许鹤峰译. 北京: 中国石化出版社, 1989

- 21 塑料模具设计手册编写组. 塑料模具设计手册. 北京: 机械工业出版社, 2000
- 22 奚永生编. 精密注塑模具设计. 北京: 中国轻工业出版社, 1997
- 23 陆宁编. 实用注塑模具设计. 北京: 中国轻工业出版社, 1997
- 24 Popper P., Isostatic Pressing. London: Heyden & Son Ltd, 1976
- 25 Кличко, Л. И. и др. Новое В Технологии вольфрама и Молибдена. Металлургия. Москва, 1979, СТР.57~114
- 26 Jackson C. H., New Methods for the Consolidation of Metal Powder, 1967, Vol.1: p. 13~26
- 27 Anon.ASEA—QUINTUS Isostatic Pressing Techniques, 1975
- 28 Spain I. L., Paauwe J.. High Pressure Technology: Vol. II, Marcel Dekker, INC, New York, 1977, p. 339~389
- 29 Lowe J. N. *etal.*, Fourth International Conference of Beryllium. 1977, Paper 33: p. 1~13
- 30 Reeves G. L., Keeley R. L.. The Metallurgy of Beryllium, 1963: p. 697
- 31 Street R. J., Duncan J. H.. Papers Presented at 1st International Conference on Isostatic Pressing, Loughborough University of Technology, 19th~21st Sep. 1978, Vol. 1: p. 25.1~25.13
- 32 Hanes H. D.. Powder Metallurgy for High—Performance Application. Syracuse University, New York, 1972: p. 211~230
- 33 Deplace C., Cornil F.. Papers Presented at 1st International Conference on Isostatic Pressing, Loughborough University of Technology, 19th~21st Sep. 1978, Vol.1: p. 6-1~6-33
- 34 Swindelles R., Brett R. D.. Papers Presented at 1st International Conference on Isostatic Pressing, Loughborough University of Technology, 19th~21st Sep. 1978, Vol. 2: p. 3/4-4~15
- 35 Wastenson G., Papers Presented at 2nd International Conference on Isostatic Pressing, A Metal Powder Report Conference Hilton International Stratford—Upon—Avon, 21 - 23 - Sep. 1982, Vol.1: p. 4-1~4-11
- 36 Gripshoret P. J., Hanse H. D.. Proceedings of 5th Space Congress, Cocoa Beach, Florida, March 1968
- 37 Saito S.. Proceedings of the First U. S. — Japan Seminar on Basic Science of Ceramics, Feb. 24 - March 3, 1969: p. 73~91
- 38 Anon. ASEA—Quentus Isostatic Pressing Techniques, 1975
- 39 Session 5 Hot Isostatic Pressing of Metallic/Non-metallic Materials, First International Conference on Isostatic Pressing, 19th~21st Sep. 1978, Vol. 2, D-37
- 40 Witt R. H.. Modern Development in Powder Metallurgy, Vol. 8, 1974
- 41 Gripshoret P. J., Hanes H. D.. Five Space Congress, Cocoa Beach, Fla., Mar. 1968
- 42 Cotta A., Bennani A.. First International Conference on Isostatic Pressing, Loughborough University of Technology, 19th~21st Sep. 1978, Vol. 2, 7-4/R
- 43 V. Samarov, D. Seliverstov, E. Kratt, G. Raisson. HIP of Complex Shape Parts - the Way to Industrial Technology through Modeling, Capsule Design and Demonstrators. HOI ISOSTATIC PRESSING HIP 99', 万国学术出版社, 25~30
- 44 Wang Wuxiang, Mao Jiany, Yang Wanrong Hu He, Li Chenggong. Development and Application of HIP of Superalloys in Aviation Industry of China. HOT ISOSTATIC PRESSING HIP 99', 万国学术出版社, 58~70
- 45 Lowe J. N. *etal.*, Fourth International Conference on Beryllium, The Royal Society, London, 4~7 Oct. 1977, p. 33-1~13

- 21 塑料模具设计手册编写组. 塑料模具设计手册. 北京: 机械工业出版社, 2000
- 22 奚永生编. 精密注塑模具设计. 北京: 中国轻工业出版社, 1997
- 23 陆宁编. 实用注塑模具设计. 北京: 中国轻工业出版社, 1997
- 24 Popper P., Isostatic Pressing. London: Heyden & Son Ltd, 1976
- 25 Кличко, Л. И. и др. Новое В Технологии вольфрама и Молибдена. Металлургия. Москва, 1979, СТР.57~114
- 26 Jackson C. H., New Methods for the Consolidation of Metal Powder, 1967, Vol.1: p. 13~26
- 27 Anon.ASEA—QUINTUS Isostatic Pressing Techniques, 1975
- 28 Spain I. L., Paauwe J.. High Pressure Technology: Vol. II, Marcel Dekker, INC, New York, 1977, p. 339~389
- 29 Lowe J. N. *etal.*, Fourth International Conference of Beryllium. 1977, Paper 33: p. 1~13
- 30 Reeves G. L., Keeley R. L.. The Metallurgy of Beryllium, 1963: p. 697
- 31 Street R. J., Duncan J. H.. Papers Presented at 1st International Conference on Isostatic Pressing, Loughborough University of Technology, 19th~21st Sep. 1978, Vol. 1: p. 25.1~25.13
- 32 Hanes H. D.. Powder Metallurgy for High—Performance Application. Syracuse University, New York, 1972: p. 211~230
- 33 Deplace C., Cornil F.. Papers Presented at 1st International Conference on Isostatic Pressing, Loughborough University of Technology, 19th~21st Sep. 1978, Vol.1: p. 6-1~6-33
- 34 Swindelles R., Brett R. D.. Papers Presented at 1st International Conference on Isostatic Pressing, Loughborough University of Technology, 19th~21st Sep. 1978, Vol. 2: p. 3/4-4~15
- 35 Wastenson G., Papers Presented at 2nd International Conference on Isostatic Pressing, A Metal Powder Report Conference Hilton International Stratford—Upon—Avon, 21 - 23 - Sep. 1982, Vol.1: p. 4-1~4-11
- 36 Gripshoret P. J., Hanse H. D.. Proceedings of 5th Space Congress, Cocoa Beach, Florida, March 1968
- 37 Saito S.. Proceedings of the First U. S. — Japan Seminar on Basic Science of Ceramics, Feb. 24 - March 3, 1969: p. 73~91
- 38 Anon. ASEA—Quentus Isostatic Pressing Techniques, 1975
- 39 Session 5 Hot Isostatic Pressing of Metallic/Non-metallic Materials, First International Conference on Isostatic Pressing, 19th ~ 21st Sep. 1978, Vol. 2, D-37
- 40 Witt R. H.. Modern Development in Powder Metallurgy, Vol. 8, 1974
- 41 Gripshoret P. J., Hanes H. D.. Five Space Congress, Cocoa Beach, Fla., Mar. 1968
- 42 Cotta A., Bennani A.. First International Conference on Isostatic Pressing, Loughborough University of Technology, 19th ~ 21st Sep. 1978, Vol. 2, 7-4/R
- 43 V. Samarov, D. Seliverstov, E. Kratt, G. Raisson. HIP of Complex Shape Parts - the Way to Industrial Technology through Modeling, Capsule Design and Demonstrators. HOT ISOSTATIC PRESSING HIP 99', 万国学术出版社, 25~30
- 44 Wang Wuxiang, Mao Jiany, Yang Wanrong Hu He, Li Chenggong. Development and Application of HIP of Superalloys in Aviation Industry of China. HOT ISOSTATIC PRESSING HIP 99', 万国学术出版社, 58~70
- 45 Lowe J. N. *etal.*, Fourth International Conference on Beryllium, The Royal Society, London, 4~7 Oct. 1977, p. 33-1~13