

模具手册之一

粉末冶金模具设计手册

(第2版)

印红羽 张华诚 主编



机械工业出版社
China Machine Press

模具手册之一

粉末冶金模具设计手册

第 2 版

印红羽 张华诚 主编

机械工业出版社

为了总结和推广我国在模具设计和制造方面的先进经验和先进技术,本套手册第2版是在组织有关专家对第1版大部分的技术内容进行了必要的删除、增补和修改等工作后完成的。

这套模具手册按下述六个专题手册分别出版:

粉末冶金模具设计手册、塑料模具设计手册、压铸模具设计手册、冷冲模具设计手册、锻模设计手册和模具制造手册。

本手册共分十三章。第一章粉末冶金工艺及制品简介;第二章粉末冶金压坯设计;第三章粉末冶金模具设计基本原理;第四章粉末成形设备及其模具架;第五章成形模具结构设计;第六章精整模具结构设计;第七章模具结构示例;第八章模具零件设计;第九章模具主要零件的尺寸计算;第十章粉末冶金模具的材料选择和制造;第十一章模具常见损伤和压坯缺陷分析;第十二章粉末冶金模具计算机辅助设计/制造(CAD/CAM)技术简介;第十三章金属注射成形(MIM)模具设计简介。

本手册主要供从事粉末冶金模具设计的工程技术人员、机械设计制造和汽车、摩托车设计制造等技术人员使用,并可作为高等院校机械制造、汽车制造、粉末冶金等专业的补充教材。

图书在版编目(CIP)数据

粉末冶金模具设计手册/印红羽,张华诚主编.-2版.

—北京:机械工业出版社,2002.1

(模具手册之一)

ISBN 7-111-09719-X

I. 粉… II. ①印… ②张… III. 粉末冶金模具-设计-技术手册
IV. TF37--62

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第096009号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:刘彩英 版式设计:张世琴 责任校对:程俊巧 姚培新

封面设计:姚毅 责任印制:路环

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002年4月第2版·第1次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·33.5印张·3插页·831千字

31 001—36 000册

定价:56.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

第2版前言

《粉末冶金模具设计手册》第1版系原机械工业部组织编写的六本模具手册之一，由主编单位北京粉末冶金研究所倪明一及副主编单位上海粉末冶金厂张华诚、徐联华负责编写并最后审定。参加编写的人员还有（按姓氏笔划）：卞锦顺、冯国光、龙炳强、朱巧根、张颂钊、陈淑华、韩凤麟和蒋祖福。手册自1978年出版以来已历经20余年，对这个时期粉末冶金行业的发展，特别是对那些技术力量较薄弱的中、小型企业的作用是很显著的。在此，我们深切缅怀原手册主编倪明一教授，他为我国第一部粉末冶金专用技术手册的出版作出了不可磨灭的贡献。

近年来，粉末冶金行业迅猛发展，粉末冶金学科的基础理论日臻完善，新工艺、新技术不断涌现，我国较为系统、完整的粉末冶金行业标准体系已建立起来。随着我国改革开放，国内很多企业还引进了国外先进的粉末冶金设备，所用原料的品种和质量亦有很大的变化和提提高，目前我国粉末冶金零件（不含硬质合金及磁性材料）生产产量已达3万t，居亚洲第二位，产品应用领域已从以农机为主导产品转向汽车、摩托车、家用电器、电动工具及办公机械等行业。粉末冶金行业的整体技术水平和生产、设计能力有了很大提高。为满足行业发展的需要，出版社委托我们重新编写了这本手册。

手册第2版在继承第1版模具设计的系统性、实用性的原则上，对大部分技术内容进行了修改和增补，充分汲取了20余年来国内外粉末冶金零件成形的新技术，删除了第1版陈旧的内容，补充了粉末冶金零件材料的选择、国外最先进的新型粉末成形机及国内、外常见模架结构介绍；复杂形状零件的分类及其补偿装粉示例、模具结构方案示例；调整并增加了大量的成形及精整模具结构实例；充实了模具主要零件及辅助零件的设计内容；新增了模具材料选择及其制造、金属注射成形(MIM)技术简介、以及粉末冶金模具计算机辅助设计(CAD/CAM)技术简介，并通过对5种不同类型的粉末冶金零件的模具设计实例，以启迪查阅本手册模具设计的程序及数据和资料的方法。同时，还增添了与粉末冶金零件制造及模具设计相关的标准等附录。

本手册第2版由北京粉末冶金研究所印红羽和上海粉末冶金厂张华诚主编。手册第一章由印红羽、韩凤麟编写，第二、三章由印红羽编写，第四、五、六章由张华诚编写，第七、八、九章由张华诚、徐鸿昶编写，第十章由苏学宽、印红羽编写，第十一章由韩凤麟编写，第十二章由印红羽、贾成厂编写，第十三章由毕景维编写，附录由印红羽、张华诚和韩凤麟编写，全书最后由印红羽和张华诚统一审定。

由于我们水平有限，难免存在不足，惠请读者批评指正。

编者

目 录

第 2 版 前言	
第一章 粉末冶金工艺及制品	
简介	1
第一节 粉末冶金概述	1
第二节 粉末冶金零件的制造工艺	
过程	2
一、金属粉末	2
二、传统粉末冶金零件制造工艺	5
三、金属注射成形 (MIM)	9
四、粉末锻造	10
五、温压工艺	12
六、传统粉末冶金工艺、金属注射成形和粉末锻造几种工艺之间的比较	12
第三节 粉末冶金零件制造工艺与常见金属成形工艺的比较	13
一、粉末冶金工艺和铸造工艺相比	13
二、粉末冶金工艺和热模锻及板料冲裁工艺相比	14
三、粉末冶金工艺和切削加工相比	15
第二章 粉末冶金压坯设计	17
第一节 粉末冶金制品的材料和密度的选择	18
一、烧结金属含油轴承	18
二、铁基结构零件材料 (烧结钢和烧结不锈钢)	22
三、有色金属烧结材料	32
四、磁性材料及电工合金	36
五、金属注射成形 (MIM) 零件材料简介	41
第二节 压坯密度分布	43
一、压坯的密度分布	43
二、压坯的壁厚与密度分布	44
三、用凸凹状模冲成形压坯的密度分布	45
第三节 粉末冶金压坯形状的确定	45
一、压坯形状分类	45
二、压坯形状设计	46
三、对一些特殊形状设计的说明	53
四、利用组合成形法简化压坯的复杂形状	56
五、压坯尺寸限制	58
六、金属注射成形 (MIM) 零件成形坯形状设计简介	59
第四节 压坯尺寸精度和位置精度的确定	63
一、压坯的尺寸精度	63
二、压坯的位置精度	65
三、烧结制品表面粗糙度	66
四、烧结齿轮的尺寸精度、位置精度和表面粗糙度	67
第三章 粉末冶金模具设计	
基本原理	69
第一节 模架和模具的基本构造与动作	69
一、模架和模具的基本构造	69
二、模架和模具的基本动作	69
第二节 压制过程和精整过程中力的分析	70
一、压制压力	70
二、侧压力和剩余侧压力	71
三、脱模压力	73
四、精整压力	74
五、压力中心	76
第三节 等高 (无台阶面) 压坯密度分布与压制方式的关系	78
一、压坯密度分布规律	78
二、无台阶面柱状实体类压坯的压制方式与密度分布	80
三、带孔无台阶面柱体类压坯的压制方式与密度分布	84
四、压制方式的选择	89
第四节 不等高 (轴向带台阶面) 压坯成形模的设计原理	92

一、粉末充填系数相同或相近	92	四、芯棒的连接	170
二、压缩比相同或相近	93	五、导柱与模板的连接	171
三、压制速率相同	94	第四节 浮动结构	172
第五节 组合模具设计原理	94	一、弹簧浮动	172
一、多台阶面压坯的组合模冲设计	94	二、气压浮动	179
二、斜面压坯的组合模冲设计	96	三、液压浮动	182
三、曲面压坯的组合模具设计	97	第五节 辅助机构	183
四、斜齿轮压坯的压模设计	98	一、脱模复位结构	183
第六节 粉末冶金模具尺寸设计原则	99	二、调节装粉结构	185
一、决定模具尺寸的步骤	99	第六章 精整模具结构设计	188
二、模具变形量	100	第一节 精整方式的选择	188
第四章 粉末成形设备及其模架	103	第二节 精整模具结构基本方案示例	190
第一节 粉末成形设备基本要求及		第三节 送料机构	194
选择依据	103	一、装料机构(料斗)	194
一、基本要求	103	二、贮料机构(料仓)	198
二、选择依据	104	三、供料机构	201
第二节 粉末成形设备规格及		第七章 模具结构示例	207
技术参数	106	第一节 成形模具结构示例	207
一、国内常见粉末成形压机规格及		一、I类零件压坯的成形模具	207
技术参数	106	二、II类零件压坯的成形模具	215
二、国外常见的粉末成形压机规格及		三、III类零件压坯的成形模具	225
技术参数	117	四、IV类零件压坯的成形模具	239
第三节 普通可倾式压力机(冲床)		五、V类零件压坯的成形模具	247
自动化改造	124	六、特殊形状类零件压坯的	
一、凸轮机构	124	成形模具	253
二、拉杆(钩)机构	130	第二节 精整模具结构示例	273
三、送粉机构	133	一、通过式精整模具	273
第四节 常见粉末冶金成形模架	136	二、全精整式精整模	275
一、粉末成形模架基本类型	136	第八章 模具零件的设计	288
二、普通压机用的成形模架	137	第一节 模具主要零件设计	288
三、专用粉末成形机用成形模架	140	一、对模具主要零件的一般要求	288
四、精整模架示例	145	二、成形阴模的形式及技术要求	289
第五章 成形模具结构设计	148	三、成形芯棒形式及技术要求	291
第一节 压坯形状分类及补偿装粉	148	四、成形模冲和精整模冲形式及	
一、压坯形状分类	149	技术要求	291
二、补偿装粉	151	五、精整阴模形式及技术要求	295
第二节 成形模具结构方案	155	六、精整芯棒形式及技术要求	297
一、成形模具结构基本方案	155	第二节 辅助零件的设计	298
二、特殊动作的成形模具结构方案	163	一、辅助零件的结构形式和技术	
第三节 成形模具主要零件连接方式	166	要求	298
一、阴模的连接	166	二、斜楔机构的形式及其设计	304
二、上模冲的连接	168	三、模板形式及其计算	313
三、下模冲的连接	169		

第三节 模具零件的通用化	317	改进措施	393
一、模板类零件	317	第二节 压坯裂纹的形成原因与	
二、导柱、导套类零件	322	对策	398
三、压盖、压垫类零件	324	一、粉末混合料中润滑剂含量对	
第九章 模具主要零件的尺寸		裂纹形成的影响	398
计算	327	二、模具设计、制造和安装对裂纹形成	
第一节 尺寸计算方法	327	的影响	398
一、径向尺寸的计算	327	三、在压制过程中可能产生的压坯	
二、轴向尺寸的计算	330	裂纹与缺陷及对策	399
第二节 与模具设计有关的工艺参数	332	第三节 粉末移送机构和模冲速度	
一、金属粉末的松装密度及其影响		对压坯缺陷的影响	405
因素	332	一、粉末移送机构对压坯缺陷的影响	405
二、压坯的回弹率及其影响因素	333	二、模冲加压速度不当引发压坯中的	
三、烧结收缩率及其影响因素	334	裂纹	407
四、精整余量和回弹量及其影响		三、拉下式压机模架系统的设计	408
因素	335	第十二章 粉末冶金模具计算机辅助	
五、复压装模间隙和压下率	336	设计/制造 (CAD/CAM)	
第三节 阴模与模套的强度和刚度		技术简介	411
计算	337	第一节 CAD/CAM 技术简介	411
一、强度计算	337	一、CAD/CAM 基本概念	411
二、刚性计算	348	二、CAD/CAM 系统硬件及软件	413
三、阴模壁厚推荐数据	353	第二节 粉末冶金模具 CAD/CAM 系统	
第四节 模具设计实例	353	简介	416
一、气门导管零件模具设计示例	353	一、模具 CAD/CAM 系统的结构	
二、活塞零件模具设计示例	357	与功能	416
三、齿轮零件模具设计示例	360	二、粉末冶金产品图形输入	418
四、连杆零件 (无需精整) 模具		三、根据产品工艺性进行压坯设计	419
设计示例	364	四、结合工艺方案的选择进行成形	
五、同步器齿毂零件的模具设计示例	366	工艺参数计算	419
第十章 粉末冶金模具的材料		五、压机的选择	420
选择和制造	373	六、模具结构设计与优化	421
第一节 模具材料的选择和热处理	373	七、装配图的生成	422
一、模具制造的一般要求	373	八、图形的输出	422
二、模具材料的选择	374	九、CAD/CAM 一体化	422
三、模具材料的热处理	376	第十三章 金属注射成形 (MIM) 模具	
第二节 模具主要零件制造	378	设计简介	423
一、模具主要零件的加工工艺流程	378	第一节 金属注射成形模具设计	424
二、模具主要零件加工的关键工艺	378	一、金属注射料的特点	424
三、模具零件的典型加工工艺举例	386	二、金属注射成形模具的基本	
第十一章 模具常见损伤和压坯		结构与形式	425
缺陷分析	393	三、模具设计	427
第一节 模具常见损坏的原因和		第二节 带外侧凹制品的模具设计	446

一、瓣合模	446	[ISO 5755: 2000 (E)]	478
二、侧向抽芯模具	452	四、用于粉末冶金结构零件的	
第三节 带内侧凹制品的模具设计	453	铜熔渗烧结钢	
第四节 金属注射成形模具的材料选择		[ISO 5755: 2000 (E)]	485
与设计实例	457	五、用于粉末冶金结构零件的	
一、金属注射成形模具的材料选择	457	烧结不锈钢 [ISO 5755: 2000 (E)]	485
二、金属注射成形模具设计实例	458	六、用于粉末冶金结构零件的	
附录	461	烧结铜合金 [ISO 5755: 2000 (E)]	487
附录 A 粉末冶金结构零件常用原、		附录 D 美国 MPIF 标准 35 “粉末	
辅材料的标准与规格	461	冶金结构零件材料标准”	
一、铁粉	461	2000 年版介绍	487
二、合金钢粉与不锈钢粉	463	一、烧结铁与烧结碳钢	487
三、铜粉	470	二、烧结铁铜合金和烧结铜铜	488
四、镍粉	472	三、烧结铁镍合金和烧结镍铜	490
五、石墨	473	四、烧结低合金铜	491
六、润滑剂	473	五、烧结硬化钢	493
七、精整用油及防锈油	474	六、扩散合金化钢	494
附录 B 铁基结构材料密度孔隙对		七、烧结渗铜铁和烧结渗钢铜	495
照表和压缩比计算表	474	八、烧结不锈钢 300 系列合金	496
附录 C 粉末冶金含油轴承与结构		九、烧结不锈钢—400 系列合金	498
零件的 ISO (国际标准化		十、烧结黄铜、烧结青铜及烧结	
组织) 技术标准介绍	475	铍青铜	499
一、粉末冶金轴承材料		附录 E 模具制造常用工程数据与	
[ISO 5755: 2000 (E)]	477	资料	500
二、用于粉末冶金结构零件的烧结铁、		一、常用模具材料技术标准	500
烧结碳钢和烧结铜钢		二、常用面积、体积的计算方法	508
[ISO 5755: 2000 (E)]	478	三、表面粗糙度 (GB1031—1995)	512
三、用于粉末冶金结构零件的		四、标准公差	519
烧结合金钢		参考文献	528

第一章 粉末冶金工艺及制品简介

第一节 粉末冶金概述

粉末冶金既是制取金属材料的一种冶金方法，又是制造机械零件的一种加工方法。作为特殊的冶金工艺，可以制取用普通熔炼方法难以制取的特殊材料；作为少无切削工艺之一，可以制造各种精密的机械零件。

粉末冶金从制取金属粉末开始，将金属粉末与金属或非金属粉末（或纤维）混合，经过成形、烧结、制成粉末冶金制品——材料或零件。根据需要，对粉末冶金制品还可进行各种后续处理。如熔浸、二次压制、二次烧结和热处理、表面处理等工序。此外，当制造复杂形状零件时，可以采用金属注射成形（MIM）、温压工艺；当制造大型和特殊制品时，可以采用挤压成形、等静压制、热压制、电火花烧结；对于带材，还可以采用粉末轧制。

粉末冶金工艺之所以能够在机械制造、汽车、电器、航空等工业中获得广泛的应用，主要是基于这种工艺的如下特点：

1. 可制取多组元材料

可制取合金与假合金，发挥每种组元各自的特性，使材料具有良好的综合性能。由于各组元密度或熔点相差悬殊，用熔炼方法制取时，易产生偏析或低熔点组元大量挥发等问题，以至难以制成。粉末冶金采用混料方法，材料成分均匀，烧结温度低于熔炼温度，基体金属不熔化，防止了密度偏析。低熔点组元的液相，被均匀地吸附在多孔基体骨架内，不致大量流失，常见的多组元材料有：

(1) 铁基、铜基结构零件材料 当选用较高的密度时，其力学性能与碳钢相当。

(2) 摩擦材料 以金属组元作基体（如铁、铜），加入提高摩擦系数的非金属组元（如氧化铝、二氧化硅、铸石粉）以及抗咬合、提高耐磨性能的润滑组元（如铅、锡、石墨），制成有良好综合性能的摩擦材料，用作动力机械的离合器片和制动片。

(3) 电工触头材料 将高熔点的组元作为耐电弧的基体（如钨、石墨），加入电导率高的组元（如铜、银），做成有良好综合性能的触头材料。用于电器开关中的触头。

(4) 烧结铜铅减磨材料 用预合金铜铅粉或混合粉，经松装烧结到钢背上并轧制，或经压制成形并加压烧结扩散焊接到钢件上，制成双金属轴瓦、侧板和柱塞泵缸体，可显著减少材料中铅的偏析，提高材料的减磨性能。

(5) 金刚石——金属工具 用金属粉末（如钴、镍、铜、铁、钨或碳化钨等）作为胎体，孕镶金刚石颗粒或粉末，做成各种金刚石工具。

(6) 纤维增强复合材料 用金属纤维、碳纤维、单晶须等，与金属粉末混合后，经成形（压制或轧制）、烧结制成复合材料，使材料的强度及耐磨性显著提高。

2. 可制取多孔材料

熔炼材料通常是致密的，有时存在不可控制的气孔、缩孔，它们是材料的缺陷，无法利

用。而粉末冶金工艺制造的零件材料，基体粉末不熔化，粉末颗粒间的空隙可以留在材料中，且分布较均匀。通过控制粉末粒度和颗粒形状、成形压力及烧结工艺，可获得预定的孔隙大小及孔隙度的多孔材料。

(1) 过滤材料 利用预定孔径及孔隙度的多孔材料，过滤各种流体，根据过滤介质的要求，选用不同的金属粉末。常用的有青铜、不锈钢、镍、钛等多孔金属过滤元件。

(2) 热沉材料 利用材料空隙，从零件内部连续渗透冷却液体，或事先渗入低熔点金属，在高温工作条件下，渗入的液体或低熔点金属从零件表面蒸发，带走大量热量，以冷却高熔点基体材料制成的零件，这类材料可用作燃气轮机叶片、钨浸铜火箭喷管等。

(3) 减摩材料 利用孔隙浸渍润滑油、硫或聚四氟乙烯，做成有良好自润滑性能的材料，如含油轴承及金属塑料轴承、密封环、活塞环、导向环等。

此外，利用孔隙还可制成减振、消声、绝热、阻焰、催化等材料。

3. 可制取硬质合金和难熔金属材料

钨、钼、钽、铌、锆、钛及其碳化物、氮化物等材料的熔点一般在 1800°C 以上，用熔炼方法，会遇到熔化和制备炉衬材料困难，用粉末冶金工艺，可利用压坯自身电阻加热，在真空或保护气氛中烧结，避免了制备耐高温炉衬材料的困难。因此，粉末冶金工艺是制取难熔金属及合金的最佳方法。

(1) 硬质合金 用高熔点、高硬度的钨、钛、钼、铌的碳化物为基体，用钴、镍、铁等作粘结相，做成各种牌号的硬质合金，用作刀具、模具、凿岩工具及耐磨零件等。

(2) 难熔金属材料、钨、钼材料可做电热元件，极板及耐高温材料。利用钨的高密度，可做自动手表中的摆锤、手机中的振子等高密度制品。利用钼的大电容量，可做成体积小、电容量大的电熔器。

4. 是一种精密的少、无切削加工方法

用粉末冶金方法来制造机械零件，在材料性能符合使用要求的同时，制品的形状和尺寸已达到或接近最终成品的要求，无需或只需少量切削加工。与切削加工工艺相比，粉末冶金工艺优点是：

- (1) 生产效率高 一台粉末冶金专用压机，班产量通常为 $1000\sim 10000$ 件。
- (2) 材料利用率高 通常材料利用率在 90% 以上。
- (3) 节约有色金属 在减摩材料领域里，相当多的情况下，多孔铁可取代青铜及巴氏合金。
- (4) 节省机床 节约切削加工机床及其占地面积。

第二节 粉末冶金零件的制造工艺过程

粉末冶金是一门制造金属粉末和以金属粉末(包括配入非金属粉末者)为原料,用成形-烧结法制造材料与制品的技术,广义而言,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-烧结法制造材料和制品的技术。

一、金属粉末

金属粉末的生产方法分为物理化学法和机械法两大类。

物理化学法是借助物理的或化学的作用,改变原材料的聚集状态或成分而制得粉末。机

械法是利用机械外力（固体、液体或气体的力）将原材料（固体或溶液）粉碎成粉末，其成分基本不发生变化。有时为改善粉末性能或因生产上的需要，将两种方法结合起来应用，如用电解法制得某些脆性金属沉积物，或用氢化法处理获得的金属（或合金）氢化物，然后再用机械法粉碎。

金属粉末是粉末冶金的原料，其性能和制造过程与粉末冶金制品的性能密切相关。因此，严格控制金属粉末的性能是十分重要的。

应该注意到，即使同一种粉末，制造方法不同时，其性能也不一样（见表 1-1）。一般来说，对金属粉末制造的基本要求是粉末性能适合于粉末冶金生产要求、质量稳定及均匀、价格便宜。

表 1-1 常用金属粉末的制造方法及其特点

制造方法	原材料	粉末种类	主要金属含量 (质量分数%)	颗粒形状	粒度/ (μm)	应用范围
气体还原	氧化物、矿石、有机化合物(如草酸盐)	W、Mo、Fe、Ni、Co、Cu	97.5~98.5	多角状、针状、复杂形状的凝集体	0.1~10	硬质合金、灯丝、触头、复合材料、永磁合金及其他
固体碳还原	氧化物、矿石	Fe	97.5~98.5	多角状	20~400	机械零件等
水溶液电解	Fe、Cu、Pb、Sn 等的盐类	Fe、Cu、Pb、Sn	99~99.5	树枝状、针状	0.1~30	轴承、硬磁合金、电刷、高密度零件
涡旋研磨	脆性合金及延性金属的丝、小块及切屑	Fe、Ni、Fe-Ni、Co、Cu、Al、Ag、Fe-Al-Ti 等	与原材料相同	皿状	20~400	含油轴承、弹带、磁芯、硬磁合金、电刷、机械零件等
用水蒸汽与空气雾化法	延性金属及合金的溶液	Al、Fe、Cu	96~98	带球形的飞散状	20~400	机械零件、多孔性制品、电刷、复合材料、磁芯等
用空气、水和同时进行机械粉碎的雾化法	延性金属及合金的溶液	Fe、Ni、Cu、Al、Ag、青铜、黄铜、不锈钢等				
羰基法	金属羰基化合物	Ni、Fe	99.5~99.7	球状	0.1~5	永磁合金、磁芯、高纯度合金等

粉末的性能大体可分为五类：

- (1) 几何尺寸 颗粒形状、粒度、粒度分布及比表面。
- (2) 物理性能 颗粒密度、颗粒内孔隙、显微组织、硬度、加工硬化性、塑性变形能、表面状态及表面张力等。
- (3) 力学性能 松装密度、振实密度、流动性、压制性及成形性等。
- (4) 化学性能 纯度、可还原氧及氢中失重等。

(5) 特殊性能 电磁性能、摩擦特性、导热性、耐热性、抗氧化性及耐腐蚀性等。

对粉末冶金机械零件来说，对粉末要求的主要性能是颗粒形状、粒度、粒度分布、松装密度、压制性、成形性、流动性及化学成分等。

1. 颗粒形状

粉末颗粒形状因粉末的制造方法而异，有不规则状、片状、多面体状、皿状、树枝状、粒状、球状、滴状及纤维状等。颗粒形状对松装密度、流动性、成形及烧结性等都有影响，是粉末的主要性能之一。

球形颗粒难以搭桥，故流动性好，松装密度大，但可充填空隙小，成形性差。树枝状及不规则形的颗粒，由于比表面大，故成形性好，利于烧结，但流动性差，松装密度小。片状颗粒成形性和烧结性能均差，不宜用于制造粉末冶金结构零件。

2. 粒度

粉末冶金所用的金属粉末，其颗粒大小约为 $0.1\sim 500\mu\text{m}$ 。很多颗粒是由许多更小的颗粒堆集而成的。这种更小的颗粒叫做一次颗粒。因此，我们常说的颗粒是指一次颗粒的集合体。

颗粒大小通常用平均直径来表示。粒度测定方法较多，最简便的是广泛应用的筛分法。

3. 粒度分布

充填粉末时，颗粒间空隙越少，压坯强度越好，同时也越容易烧结。适当地选择粒度分布可减少孔隙。

一般说来，粒度分布范围宽的粉末，松装密度高，成形性和烧结性好，零件的力学性能也好。粉末中细粉含量高时，可提高压坯棱角的强度，并改进烧结性，但是减低松装密度，使压制性变坏。

4. 松装密度与振实密度

按规定的办法，使粉末轻轻地流入一容器，流满后刮平，求得单位体积的粉重，叫做粉末的松装密度。由于粉末在轻轻流入容器时，颗粒间由于摩擦而形成拱桥现象，因此，若施以振动，则拱桥崩散，细粉充填于粗粉颗粒间，粉末所占的体积减小，这时粉末单位体积的重量叫做振实密度。

粉末的松装密度对模具设计有直接的关系，特别在自动压制时，采用容积法装粉，松装密度的变化直接影响压件重量。就同一制品来说，粉末松装密度越大，阴模高度可设计得越小。

5. 流动性

这是指粉末流经倾斜面的速度。通常以 50g 粉末，从圆锥角为 60° 和出口孔径为 2.5mm 的流速漏斗中流出的时间来表示。流出的时间越短，即粉末流动性越好。

粉末的种类、粒度与粒度分布、颗粒形状、松装密度、吸收的流体（水或油）和气体，以及颗粒的移动方法等，都与流动性有很大的关系。此外，磁性对铁磁性粉末的流动性也有影响。

无论是为了压坯密度均匀，还是为了自动压制快速装粉，都需要粉末有良好的流动性。一般来说，细粉的流动性差，为此，可适当加入粘结剂，将细粉粘结成较大的球形颗粒，以改善粉末的流动性。

6. 压缩性与成形性

压缩性是指粉末在一定单位压力下，可压缩的程度，以压坯密度表示。相同的单位压力下，密度越高，表明粉末的压缩性越好。

成形性是指粉末压坯强度的高低。在相同单位压力下，或在相同密度情况下，用压坯抗弯强度的大小来表示粉末的成形性。

粉末的压缩性和成形性统称为压制性。压制性与粉末的粒度、粒度分布、颗粒形状、表面状态，以及塑性有关，粉末中添加少量的石蜡、硬脂酸锌，以及其他润滑剂和掺入塑性好的粉末，可改善粉末的成形性。

7. 杂质与含氧量

粉末中的杂质，因制造方法而异。碳基粉末和电解粉末的杂质含量最少，还原粉末中的氧化物（包括酸不溶物）较多，雾化粉末根据不同的工艺，颗粒表面含有不同程度的氧化物。

粉末中含有的固体杂质，大体可分为四类：

(1) 无关杂质颗粒 主要来源于原料。例如，由矿石制成的粉末中，往往残留 SiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 等。

(2) 粉末颗粒内伴生的杂质 如 Fe 中的 Mn，Cu 中的 Pb，Co 中的 Ni 等。

(3) 颗粒表面的杂质 如表面的氧化物。

(4) 颗粒内呈化合物或固溶状态的杂质。

这些杂质，固然有有益的，如铁粉中的 Mn，但尤应注意有害的，如 SiO_2 、 Al_2O_3 等杂质，质量分数即使仅 1%，都将是有害的。因这些氧化物坚硬，既会擦伤压模的模壁，又对制品性能不利，固溶性杂质，将使粉粒变硬，有碍于粉末的压制性，并且影响电磁制品的性能。颗粒表面的氧化物，对粉末的压制性不利，并且是含碳合金烧结时脱碳的重要原因之一。

二、传统粉末冶金零件制造工艺

传统粉末冶金工艺的生产工序和烧结后的后续加工工序示于图 1-1。首先，将配制的高纯度的混合粉或合金粉装于模具中，于一定压力下压制成形，随即将之从模具中脱出，然后将压坯于有保护气氛的烧结炉中，在低于基体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。

1. 粉料的混合（或制备）

包括金属粉末的制取，粉料（金属粉末及填加剂等）的混合及其他预处理，如掺加成形剂、增塑剂、制粒、烘干、过筛等。

粉末混合可分为干式、半干式和湿式。干式用于各组元粉末密度相近和均匀性要求不高的情况，半干式即在粉料中加入少量（体积分数约 0.1%~0.5%）的液体（如机油）减轻粉料密度偏析，湿式是在粉料中加入大量易挥发的液体（如汽油、酒精），并伴以球磨（滚动或振动），这样不仅混合均匀，而且增加组元间的粉粒接触面，改善烧结性能。

粉料的其他处理有：为改善粉末的成形性和可塑性，在粉料中加汽油橡胶溶液或石蜡等增塑剂；为改善粉料的流动性，对细粉末进行制粒处理；湿粉烘干并回收液体；混合体的过筛等。

2. 成形

成形是使粉料成为具有一定形状、尺寸和密度的型坯，成形方法见表 1-2。

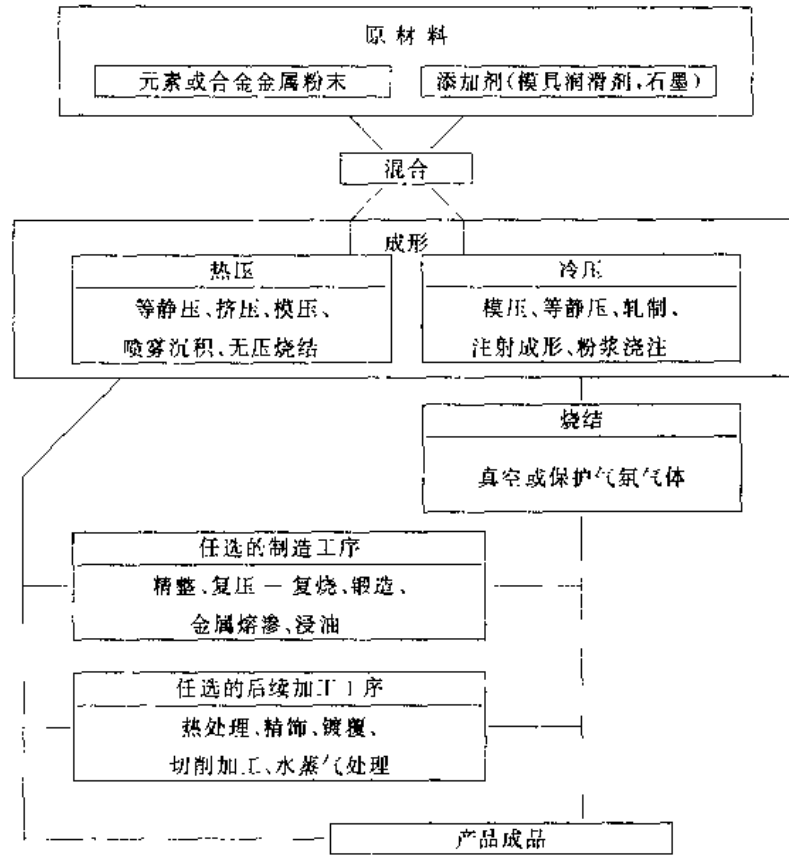


图 1-1 传统粉末冶金工艺流程

表 1-2 金属粉末成形方法

成形方法	简要说明	应用举例	
常 温 加 压	钢模压	粉末在刚性封闭模中,通过模冲对粉末加压成形。压坯密度较高,生产效率高,不宜压制过大、过长、过薄、锥形及难以脱模的制品	铁基、铜基、不锈钢及硬质合金等中小柱状类制品。宜大批生产
	弹性模压	粉末置于弹性模(用塑料或橡胶)型腔中,弹性模放在刚性模中,模冲压力通过弹性模将粉末压实成形	成形单位压力较小的硬质合金锥、球等制品
	挤压	将拌以润滑剂的粉末放入挤压筒内,通过压柱对粉末加压,粉料被压出挤压嘴成形	各种截面的条、棒或麻花钻类螺旋条棒
	液等静压	粉末放入弹性(用塑料或橡胶)包套中,包套放入等静压机的高压容器内,通过高压液体压实套内粉末	各种棒材、管材及其他大型制品
	粉末轧制	将粉末送入两个相对转动的轧辊之间,靠摩擦力将粉末连续咬入辊缝压实成带(片)材	多孔、摩擦、硬质合金、复合材料等带材
	爆炸成形	将粉末放在塑料包套内,包套放入高压容器中,引爆炸药,产生高压冲击波,通过容器中的水,将包套内的粉末压实成形	成形性很差的各种粉末的棒材、管材
加 温 加 压	溢压	将混合粉末加入特种润滑剂和填充剂后,把原料粉末和模具加热到 130~150°C 范围内成形	主要用于成形复杂形状的机械零件

(续)

成形方法	简要说明	应用举例	
加温加压	热压	粉末或预制坯放在模具中,经传导、自身电阻或感应等方式加热,在低于基体熔点下加压,用小压力可获得致密制品。模具材料有石墨、陶瓷、高镍铬合金及高速钢等	硬质合金、金属陶瓷、金刚石工具等制品
	热锻	将粉末预制坯加热,放入锻模中进行无飞边锻造,获得致密并接近成品要求的零件	铁基高强度齿轮、链轮、连杆等结构件
	热挤压	将粉末装入金属包套内,抽真空后封口。包套及粉末加热后,在模壁有润滑剂的挤压模内挤压成材	钢结硬质合金及粉末高速钢的型材
	热等静压	将粉末装入金属包套内,抽真空后封口,粉末被压机内高温高压气体压实	硬质合金、粉末高速钢等大型制品
无压成形	松装烧结成形	粉末装入模具中振实,连同模具一起放入炉内烧结,使粉末成形	多孔过滤元件及多孔浸渍材料
	松装烧结成形	芯板放在模腔下,模腔中装满粉末刮平,取出模具,芯板连同一层均匀松装粉末入炉烧结,使粉末成形,并牢固的焊接在芯板上,经复压或轧制,达到所需的密度	摩擦片及同轴轴瓦等双金属材料
	粉浆浇注	粉末与加有粘结剂的水调成粉浆,注入石膏模内,干燥后使粉末成形	高合金、精细陶瓷等形状复杂制品
	冷冻浇注	将加有水的粉末,注入金属模内,冷冻后成形,埋入细填料中,经干燥后烧结成零件	高合金、精细陶瓷等形状复杂零件
无压浸渍	将基体粉末装入石墨模中,注入可浸润或可形成化合物、固溶体的熔融金属,利用毛细现象进入孔隙,冷却后使粉末成形	金属陶瓷材料	

3. 烧结

烧结时,粉末颗粒间发生还原、扩散、熔焊、化合、溶解和再结晶等物理化学过程,使粉末制品获得所需要的各种性能。

常用的烧结方式见表 1-3。

4. 后处理

烧结后,可根据需要进行一系列的后续处理见表 1-4。

表 1-3 常用的烧结方式

烧结方式	简要说明	应用举例	
按防氧化条件分类	填料保护烧结	用碳(石墨、木炭、焦炭)、氧化铝、石英砂等作填料,工件埋入其中烧结	无保护气体时烧结铁、铜基制品
	气体保护烧结	用还原性的氢、一氧化碳、分解氨及高纯度氮等气体保护工件下烧结	铁、铜、不锈钢、硬质合金等制品
	真空烧结	用真空条件,防止工件氧化	硬质合金、不锈钢、铝、钛等易氧化制品

(续)

烧结方式	简要说明	应用举例	
按烧结方式分类	连续烧结	工件依次连续通过炉子的预热带、保温带及冷却带,完成烧结过程,热利用率及生产率高	大批量生产时用,通常用保护气体,亦可真空
	间歇烧结	工件随炉升温、保温和降温,完成烧结过程	小批生产或试验时用
	半连续烧结	工件装入容器中,在热炉中升温、保温、炉外冷却	摩擦片生产
特殊烧结方式	加压烧结	烧结时对工件加压,以提高制品密度,防止变形,使工件与钢背粘结实牢固	摩擦片、双金属减摩材料
	浸渗烧结	工件端部(上或下)放置低熔点金属片(或块),烧结时,低熔点金属熔化并渗入多孔骨架中	铜钨、铁铜等合金的致密零件
	电阻烧结	工件自身作为电热器,利用自身电阻发热烧结	钨、钼等难熔金属
	活化烧结	用物理方法(振动、循环温度)或化学方法(加卤族化合物、预氧化、加低熔点组元、用氢化钛保护)加快烧结过程,改善产品质量	铁、铜、不锈钢、金刚石工具等
	电火花烧结	粉末体通过直流电流及脉冲电流,使粉末间产生电弧进行烧结,同时逐渐加压	双金属、摩擦片、金刚石工具、钛合金

表 1-4 后 处 理

处理方法	简要说明	应用举例	
压力加工	精整	工件在精整模中受压,校正烧结变形,提高产品精度,减小表面粗糙度	铁、铜基制品
	复压	工件在复压模中受压,可提高密度 5%~20%	铁、铜、不锈钢制品
	精压(整形)	工件在精压模中受压,改变工件形状,并提高密度	需改变形状的塑性零件
	滚挤压	工件受滚轮或标准齿轮对滚挤压,提高齿轮或工件的尺寸精度、密度	齿轮、球面轴承、钨钼管
浸渗	浸油	多孔零件的孔隙吸入润滑油,改善自润滑性能并防锈	铁、铜基减摩零件
	浸塑料	多孔零件的孔隙吸入聚四氟乙烯分散液,经热固化后,实现无油润滑	金属塑料减摩零件
	浸硫	多孔零件的孔隙吸入熔融硫,起润滑及封孔的作用	减摩件、需封孔的结构件
	浸熔融金属	多孔零件的孔隙吸入熔融金属,以提高强度及耐磨性	铁基零件浸铜或铅
热处理	整体淬火	需在保护气氛下加热,孔隙的存在可减小内应力,一般可不回火,其余工艺参数与致密材料相近	不受冲击而要求耐磨的铁基零件
	表面淬火	通常用感应加热,工艺与致密材料相近	要求外硬内韧的铁基零件
	渗碳淬火	碳易由孔隙渗透,应根据孔隙度大小,适当减少渗碳时间;或经硫化封孔后再渗碳,其余工艺要求同致密材料	要求外硬内韧的低碳铁基零件
	碳氮共渗	经硫化封孔或高密度工件,用一氧化碳和分解氨为介质,在较高温度进行碳氮共渗,比单纯渗碳硬度高,速率快	要求外硬内韧的低碳铁基零件

(续)

处理方法	简要说明	应用举例	
热处理	渗硼	将铁基件浸入熔融脱水硼砂与氟化钠中 2~2.5h, 渗层达 0.8~1mm, 浸毕于 10% 氢氧化钠水溶液中洗净	要求提高表面硬度, 耐磨, 堵塞孔隙并能防锈的铁基零件
	硫化处理	经浸硫的工件, 在氧气保护下, 于 720°C 保温 0.5~1h 生成硫化铁的润滑组元	铁基减摩材料
表面处理	蒸汽处理	铁基零件在 550~600°C 温度下, 通入过热蒸汽, 使工件及孔隙表面生成坚固的氧化膜	要求防锈、耐磨及封孔以防高压渗漏的铁基零件
	电镀	经封孔并表面净化(喷砂)后的工件, 按传统工艺电镀	表面防锈、美观及耐磨的零件
	渗锌	将工件埋入锌与氧化铝混合添加剂中, 在 400~420°C 下渗 1~2h。若工件与填料在旋转筒中加热渗锌, 工件表面质量更佳	表面防锈的仪表零件、锁芯等铁基零件
机械加工	切削加工	粉末冶金材料均可磨削及电加工, 除硬质合金等超硬材料外, 大多粉末冶金材料可进行车、铣、刨、钻等加工	铁、铜、镍、铝、钨、钼等制品均可切削加工, 为提高精度和改变形状耐用
	锻压	钨钼镍可压延锻打, 钢结硬质合金可热自由锻, 锻后均需退火	需改变致密材料形状时使用
	焊接	铁基材料可对焊, 不锈钢、钛合金用氩弧焊, 硬质合金用铜焊, 金刚石工具用银焊, 铜基件用锡焊	粉末冶金材料与致密材料需要连接时用

三、金属注射成形(MIM)

金属注射成形与传统粉末冶金成形工艺相比, 可以制造形状更为复杂的零件, 从而扩大了粉末冶金工艺制造复杂形状零件的能力。金属注射成形工艺是将金属粉末与粘结剂的混合料注射到模腔内, 所用的粉末与粘结剂都是为这种工艺专门配制的。该工艺和塑料注射成形与金属高压压铸很相似, 可制造的零件形状和特点也大体上相同。成形与脱粘(排除粘结剂)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 1-2。

金属注射成形零件材料的孔隙度很低, 其材料的密度大于 96% 理论密度, 材料的力学性能与成分类似的精铸件相同。表 1-5 列出了金属注射成形零件烧结态的力学性能。

金属注射成形工艺的生产费用虽然比传统粉末冶金工艺高, 但用这种工艺可制造较小的、形状很复杂的制品。如果这些零件用其它任何金属成形工艺制造, 都需要大量的精切削加工或组装作业。

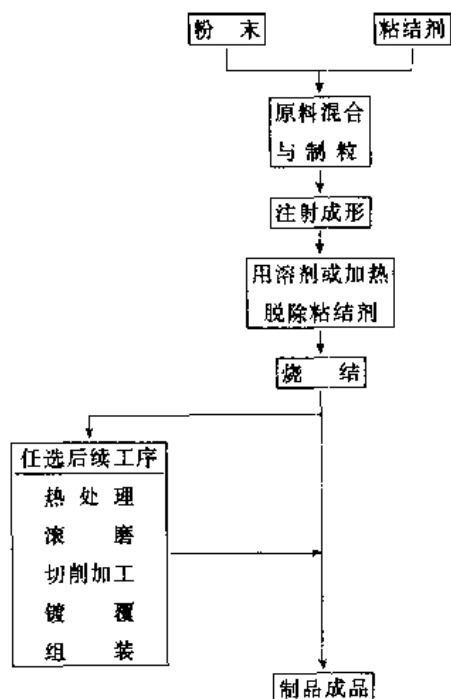


图 1-2 金属注射成形的工艺流程

表 1-5 金属注射成形零件材料的性能

合金		奥氏体 不锈钢 316L		时效处理 不锈钢 17-4PH ^①		镍基高温 合金 In 100 ^②		低膨胀钢 Invar 36 ^③		高磁导率 合金 Hy-Mu 80 ^④		硅 钢 Fe 2.5Si	
特 性	单 位	Me ^①		Mil		Me		ASTM		Mc		MIM	
		18	MIM Bar	H1000	H1000	2-40	MIM Cast	MIM A658	MIM 80Ni				
密度	g/cm ³	7.95	8.03	7.63	7.79	7.70	7.75	7.91	8.14	8.38	8.74	7.50	7.65
抗拉强度	MPa	690	552	1.034	1.089	1.083	1.014	552	552	524	545	310	338
屈服强度	MPa	310	207	965	1.013	903	848	255	241		152		
伸长率	%	56	60	12	11	12	9	29	30	37	61		
硬度	Rs	99	79						80		62	70	
热膨胀系数	10 ⁻⁴ /°C							0.33	1.26				13.24
饱和磁化	T									0.78	0.78		2.06
	G									7.800	7.800		20.600
矫顽力	A/cm									0.10	0.016		0.56
	Oe									0.13	0.02		0.70
最大磁导率	Wb/A·cm									>3.02	12.56	0.427	0.484
		耐腐蚀,可焊接		用于制作航空航天、船舶零件		用于制作透平叶片				用于制作磁屏蔽、变压器铁心等		用于制作转子、继电器等	

- ① 仅能由粉末冶金工艺制作。
- ② 有 Allog 42。
- ③ Materials Eng. 1984, Mat. Selector-Dec. 1983。
- ④ 左侧之值是注射成形材料。

四、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 1-3 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、材料的化学成分和显微组织(相应的热处理工艺)。表 1-6 列出了几种粉末锻造铁基结构零件材料的典型力学性能。

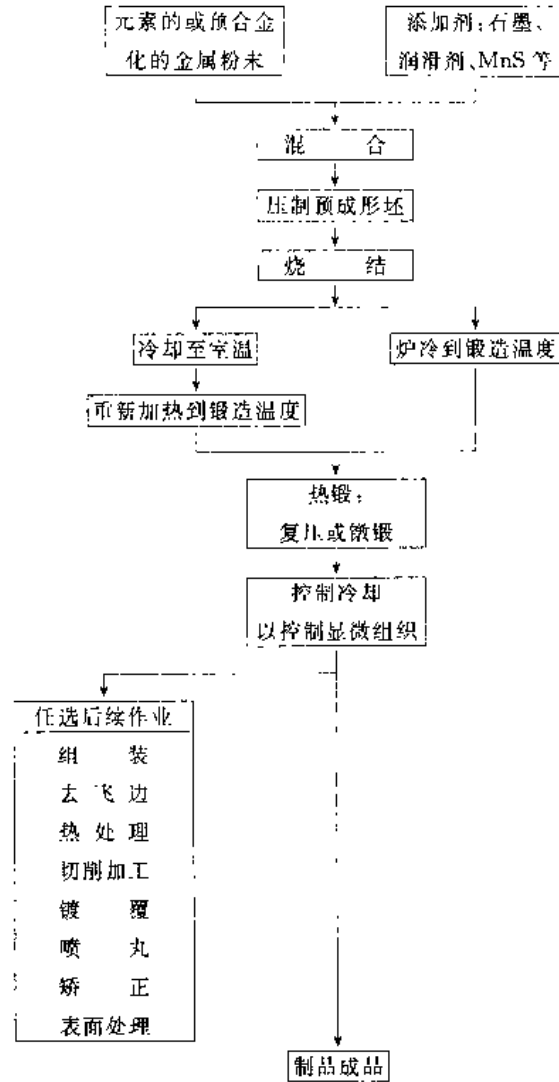


图 1-3 金属粉末热锻工艺流程

表 1-6 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	热处理工艺	硬 度	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率 (%)	冲击吸收功 ²⁾ /J
P/F-1040	正火	80HRB	520	310	27	5
P/F-1040	淬 回火	30HRC	970	830	12	20
P/F-1060	正火	80HRB	590	340	22	3
P/F-1060	淬—回火	40HRC	1340	1210	8	14
P/F-10C40	正火	97HRB	690	480	15	4
P/F 10C60	正火	23HRC	790	670	11	3
P/F-11C60		28HRC	900	620	11	4
P/F-4220	—	84HRB	520	380	25	34
P/F-4240	正火	93HRB	620	410	18	16
P/F-4260	正火	22HRC	760	520	15	7
P/F 4620	正火	96HRB	550	410	20	34
P/F-4620	淬 回火	28HRC	970	900	24	81
P/F 4620	淬—回火	38HRC	1310	1070	20	47

1) 表中数据都是由具有规定的化学成分、密度和热处理工艺的试样坯料经切削加工制成的试件测定的。

2) 夏比 V 形缺口冲击吸收功。

五、温压工艺

温压工艺是一种制造密度高于 7.2g/cm^3 的铁基粉末冶金制品的成形新工艺。图 1-4 所示为温压工艺流程。它本质上仍属于传统粉末冶金工艺的范畴,可利用传统的粉末冶金成形设备,并可采用大多数常用粉末材料,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 1-5 为温压成形时的粉末与模具的温度举例。

由于粉末冶金材料的力学性能大多数都因密度增大而提高,故温压工艺为提高传统粉末冶金工艺对其他金属成形技术的竞争能力开辟了一条新途径。

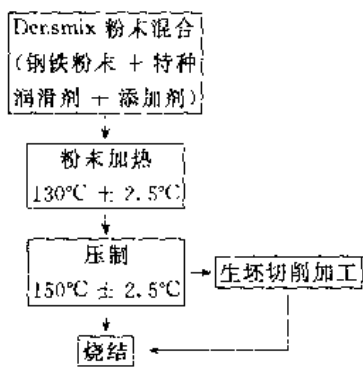


图 1-4 温压工艺流程图

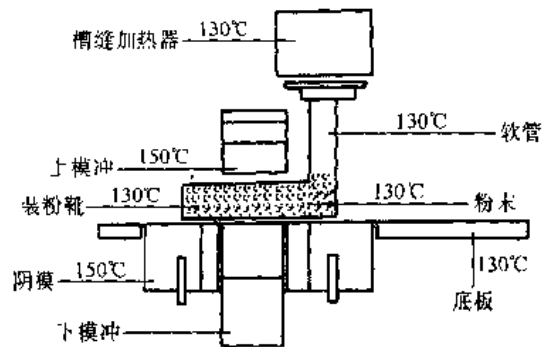


图 1-5 温压成形时粉末与模具温度举例

六、传统粉末冶金工艺、金属注射成形和粉末锻造几种工艺之间的比较

当传统粉末冶金工艺可满足零件的设计要求时,无需采用其他粉末冶金工艺。若零件的形状很复杂,特别是小型零件,用传统粉末冶金工艺难以成形且产量大,一般趋于选择金属注射成形工艺。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并从其中脱出的零件,选择传统粉末冶金工艺最合适。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。此外,金属注射成形工艺的特点与传统粉末冶金工艺的比较见表 1-7。

表 1-7 金属注射成形的特点和与传统粉末冶金工艺的比较

项 目	传统粉末冶金工艺 ^①	金属注射成形
粉末颗粒大小	20~250 μm ^②	<20 μm
成形时颗粒的性状	塑性变形	未变形
烧结前生坯的孔隙度	10%~20%	30%~40%
粘结剂/润滑剂的数量	0.5%~2%	30%~40%
生坯的均匀性	不均匀	均匀
最终烧结件的相对密度	≤92%	>96%

① 一般值。

② 可能有少量的颗粒小于这个值。

对于在选择材料加工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、互换性极好;
- 4) 可选择各种合金系材料;

- 5) 零件表面粗糙度较低;
- 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) 对于有自润滑或过滤要求者,可提供具有可控孔隙度的材料或制品;
- 8) 可制造用其他金属成形工艺不能制造的、形状复杂的零件;
- 9) 适于中等或大批量零件生产。

第三节 粉末冶金零件制造工艺与 常见金属成形工艺的比较

在许多场合,一种零件可用几种不同的金属成形工艺制造。下面将常用的金属成形工艺分成三类分别与粉末冶金工艺进行比较,以提供判断技术—经济效果的参考依据。

一、粉末冶金工艺和铸造工艺相比

通常采用的铸造工艺有造型铸造、压铸及熔模铸造。

(一) 粉末冶金工艺和造型铸造工艺比较

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与传统粉末冶金件以及金属注射成形件相同,而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。

(二) 粉末冶金工艺和压铸工艺比较

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。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。当满足材料要求为主要目的时,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拉伸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°C 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,通常使用粉末冶金有利(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都可进行阳极化处理。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。

(三) 粉末冶金工艺和熔模铸造工艺比较

熔模铸造是一种高精度成形工艺,使用的合金成分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,采用熔模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熔模铸造工艺的、经济的成形工艺。熔模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,熔模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,与铸造工艺相比,粉末冶金工艺在技术上具有下列特点:

- 1) 表面粗糙度非常低;
- 2) 制造的尺寸公差较小;
- 3) 合金化与制取复合材料(互溶性小的材料的组合物,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),性能可靠;
- 5) 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) 零件生产批量小时更为经济;
- 4) 一般情况下,工、模具费用较低。

二、粉末冶金工艺和热模锻及板料冲裁工艺相比

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。

(一) 粉末冶金工艺和热模锻工艺比较

当粉末冶金材料可以满足零件使用性能时,在该工艺与热模锻工艺之间的选择往往决定于制品尺寸大小。锻造工艺可制造尺寸大得多的零件,而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相对比较低。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至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主要决定于零件尺寸大小和形状复杂程度。热模锻可制造尺寸大得多且形状复杂程度较高的零件。当综合考虑形状复杂程度、尺寸精度、重量控制、切削性或力学性能等诸因素时,粉末锻造较为经济。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。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成分有些不同,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。

(二) 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构成的组合件时,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,金属注射成形工艺便成为一种可供选择的成形工艺。

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阶面的零件却很经济。精密冲裁不能制造具有两个以上台阶面的零件。

三、粉末冶金工艺和切削加工相比

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。

数控机床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%。用数控车床车削坯料时,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,由于车削时可采用高速、大进给量,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数控自动车床加工制造,还是比较经济的。

在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,都可采用金属注射成形工艺、由同样成分的合金来制造,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) 模具的使用寿命较长;
- 2) 产品的一致性较好且报废的可能性较小;
- 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车床车削加工,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) 大批量生产同一零件;
- 2) 不需要或可大量减少切削加工;
- 3) 生产形状很复杂零件(如齿轮、凸轮或多功能零件),且保证制造公差;
- 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) 自润滑性能, 烧结制品材料中的连通孔隙可含浸润滑油, 因此与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 5000~10000 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吨位很大的压机, 而大型压机的利用率很低。例如, 一台 6MN(600tf) 压机能够压制最大横截面积(垂直于压制方向的)不大于 $120\sim 130\text{cm}^2$ 的铁基粉末冶金零件, 而这么大的铁基粉末冶金零件市场需求量为数不大。

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, 来自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原图样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, 但试验结果却完全满足使用要求, 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。

第二章 粉末冶金压坯设计

粉末冶金模具设计的首要步骤是进行压坯设计。压坯在这里是指由粉末混合料压制形成的坯体。压坯设计包括压坯材料的选择、压坯密度的设定、压坯形状和精度的设计。这是由于采用粉末冶金工艺制造烧结金属制品来代替普通机加工零件时,与一般的铸、锻、切削加工工

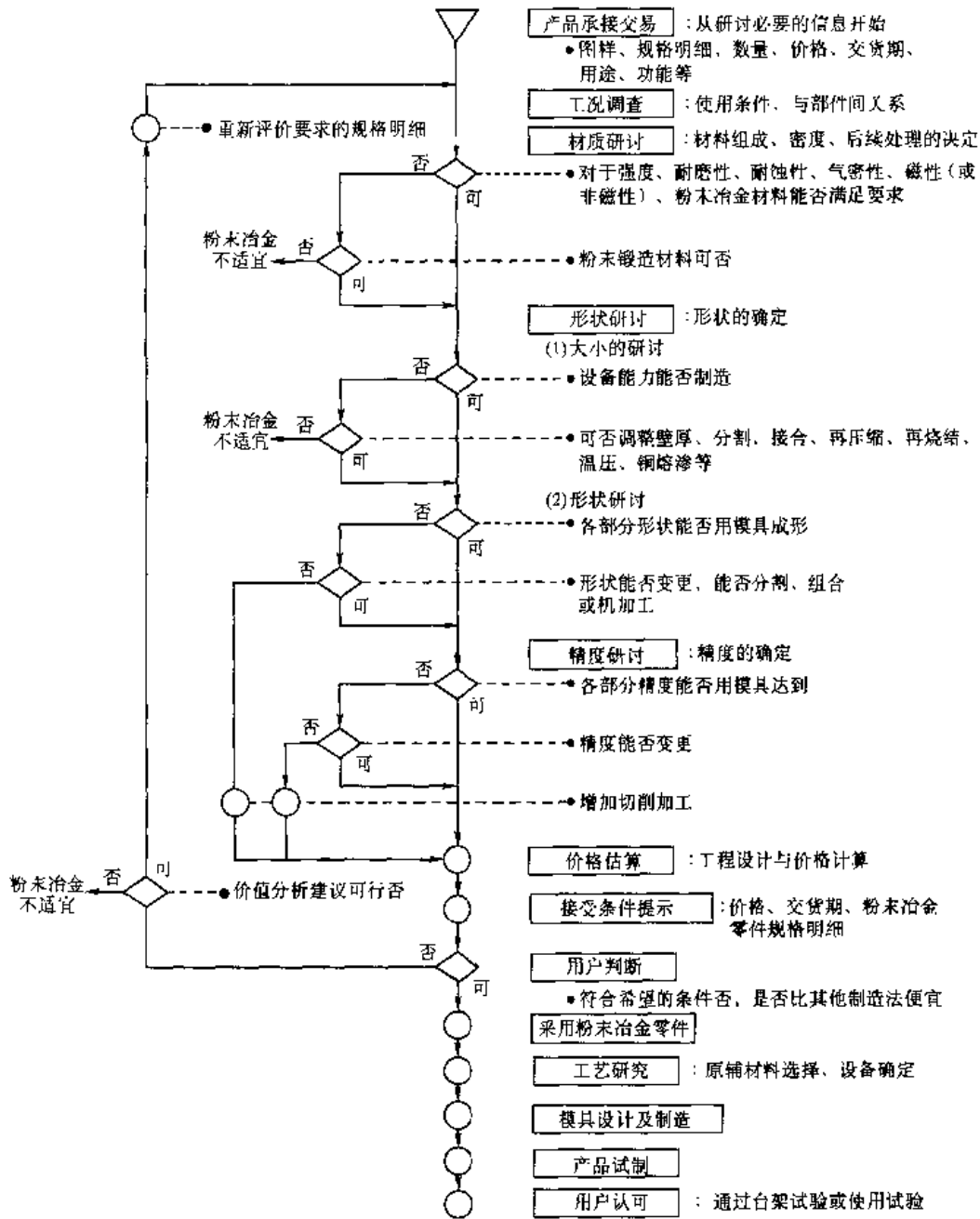


图 2-1 粉末冶金制品设计、研制流程图

艺相比,不仅在材料特性上有较大区别,在制品结构上也受到某些限制。烧结零件除了在技术上满足零件的原设计、使用要求以外,还要考虑是否适于压制成形和脱模。但通常情况下,粉末冶金零件的最初设计往往是由主机厂家依据零件工作状况或原使用的钢铁零件的技术要求而制定的,图纸尺寸精度或形状或材料性能有可能出现粉末冶金工艺无法满足的状况。因此在进行模具设计之前,粉末冶金生产企业可向主机厂提供相关的技术资料,配合主机厂根据粉末冶金工艺特点和制品的使用条件,对制品的原设计要求进行修改,或进行再次设计(其设计流程见图 2-1)。然后才能确定模具设计所需的一些必须的参数。

为了使模具设计者提高模具设计水平,本章就粉末冶金压坯设计的有关资料进行较为详细的介绍,供设计者选用。

第一节 粉末冶金制品的材料和密度的选择

粉末冶金制品的选材和密度的确定对于模具设计非常重要。选材及密度的不同,以及所选材料相应的后续处理工艺的不同,直接影响模具参数的确定。

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。当选用所含合金元素种类多、含量高的预合金粉或混合粉为原料,选用较高的材料密度与特殊烧结工艺,或采用后续热处理、化学热处理、表面处理等,都能够显著提高粉末冶金材料的物理—力学性能,但零件的生产成本也会相应提高。因此,在选择材料和确定密度时,应综合考虑技术—经济因素,最好不要追求不必要的过高的材料特性,而导致增高生产成本。下面将常用的与机械零件生产相关的粉末冶金材料分为烧结金属含油轴承、铁基结构零件材料(烧结钢和烧结不锈钢)、有色金属(铜基、铝基)烧结材料、软磁材料及烧结金属触头分别简介如下。

一、烧结金属含油轴承

含油轴承材料具有以下几点特征:

- 1) 耐磨性好,可靠性高;
- 2) 可在减少供油的次数与供油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,则含油轴承可在比一般滑动轴承材料负载高的工况下工作。

设计烧结金属含油轴承时,最重要的是要根据使用条件选用合适的材质与润滑油,同时还必须考虑到形状与尺寸是否适宜。

图 2-2 为烧结金属含油轴承的应用范围,分别表明了传统的铁基与铜基烧结金属含油轴承的使用范围。该图还表明,由于高性能材料的开发,烧结金属含油轴承已进入传统的滚动轴承应用领域。

对应于不同的密度,表 2-1 表示烧结金属含油轴承的 ISO—5755:1996 标准,表 2-2 表示烧结金属含油轴承的化学成分和物理—力学性能,表 2-3 表示烧结金属含油轴承的各种特性,表 2-4 表示烧结金属含油轴承材料的特点和适用的轴的材质。

设计烧结含油轴承时,应重视润滑油的选择。决定润滑油选择的参数有含油轴承的孔隙度、负荷、使用寿命、工作环境以及容许的噪声级,可参见表 2-5。

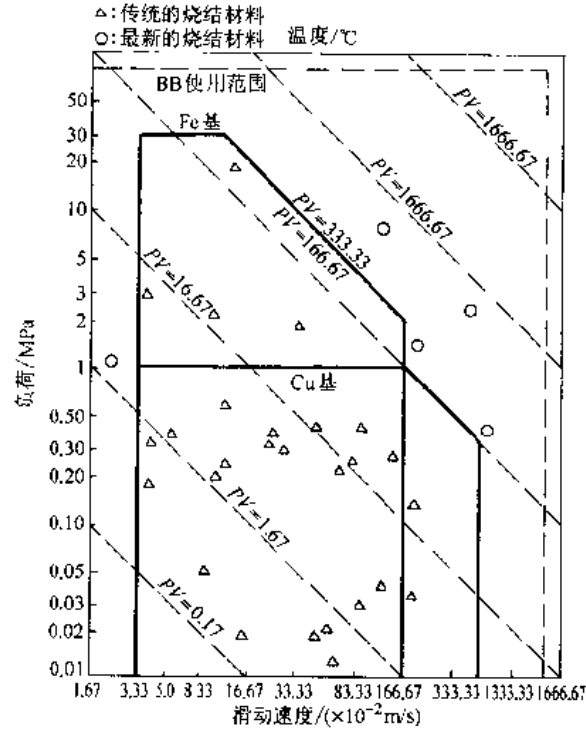


图 2-2 烧结金属含油轴承的应用范围

表 2-1 含浸液体润滑剂的轴承材料——铁、铁-铜、铁-青铜、铁-石墨、青铜、青铜-石墨

材 料	牌 号①	化学成分(质量分数,%)						物理-力学性能(参考近似值)			
		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/(K ⁻¹ × 10 ⁻⁶)
铁	P1011Z							≥27	≥120	5.4	
	P1012Z	<0.3	—	余量	—	—	2	≥22	≥170	5.8	12
	P1013Z							≥17	≥220	6.2	
铁-铜	P2011Z							≥27	≥150	5.4	
	P2012Z	<0.3	1~4	余量	—	—	2	≥22	≥200	5.8	12
	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	
	P2083Z							≥19	120~330	6.2	14
铁-青铜③	P2092Z	<0.5	43~47	余量	4.5~5.5	<1.0	2	≥24	70~245	5.6	
	P2093Z							≥19	100~310	6.0	14
铁-石墨③	P1053Z	<0.5	—	余量	—	2.0~3.5	2	≥20	70~175	5.6	
	P1054Z							≥13	80~210	6.0	16
青铜	P4011Z							≥27	≥110	6.1	
	P4012Z	—	余量	—	8.5~11.0	—	2	≥22	≥140	6.6	
	P4013Z							≥15	≥180	7.0	18
	P4014Z							≥10	≥210	7.4	
青铜-石墨	P4021Z							≥27	≥90	5.9	
	P4022Z	—	余量	—	8.5~11.0	0.5~2.0	2	≥22	≥120	6.4	18
	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 仅指铁相中的含量。

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 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 ($g \cdot cm^{-3}$)	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 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 $MPa \cdot (m/s)^{-1}$	轴 转 速				负 荷			噪声	高温	被切削加工性	钎接性	防锈能力	尺寸精度	价格
		高速	低速	断续	摇动	高负荷	低负荷	冲击负荷							
Cu-Sn	1.67	○	②	②	②	②	○	②	①	②	○	①	○	○	±
Cu-Sn-Pb-C	1.67	○	○	○	○	②	○	○	②	②	○	△	○	○	七
Cu-Sn-C	1.67	①	○	②	②	②	○	○	○	②	○	△	○	○	±
Cu-Sn-Pb	0.33	②	○	②	②	△	○	②	①	②	①	②	○	①	±
Cu-Sn-Pb-C	5.00	①	○	○	①	①	①	○	○	○	○	△	○	○	++
Cu-Sn-Pb	1.67	○	①	①	○	○	①	○	①	○	○	②	○	○	++
Fe-Cu-C	3.33	②	②	②	②	①	○	○	△	②	△	△	△	②	=
Fe-Cu-Pb	2.50	○	○	②	②	②	○	△	②	②	②	○	○	○	=
Fe-Cu-Pb-C	3.33	○	○	○	○	②	○	②	○	②	①	○	○	○	=
Fe-Cu-Sn	2.50	○	②	②	②	②	○	○	○	②	○	○	○	○	=
Fe-Cu-C	2.50	②	②	○	○	△	○	②	△	○	○	△	△	△	=
Fe-Cu-Zn	1.67	○	②	②	②	○	○	②	○	②	②	△	○	○	=

注：1. ①：优秀(最适)；○：良好；②：尚可；△：不适。

2. 关于极限 PV 值，调整内径面的孔隙时，比表中的值小。

3. 价格：++，高价；±，标准；=，便宜。

表 2-4 烧结金属含油轴承材质的特点与轴材质的适应性

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 体类	马氏 体类
Cu-Sn	微型电动机、步进电动机	广泛用作音响机器、家用电器等的轴承	△	○	①	△	○
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	②	○	①	△	○
Cu-Sn-C	音响电动机、办公机械	耐烧轴性好,用于高速场合	②	○	○	△	○
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	②	○	○	△	○
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、高负荷条件	△	○	○	△	○
Cu-Sn-Pb	D、D输带辊电动机和FDD主相电动机用的轴承	磨合性、耐磨性好	△	○	○	△	○
Fe-Cu-C	垫圈、隔片、齿轮传动电动机	强度高、适合于PV值高的条件	△	②	○	△	②
Fe-Cu-Pb	小型通用电动机、缝纫机轴承	一般铁基的标准材质,广泛用于各个领域	②*	○	○	△	○
Fe-Cu-Pb-C	家用电器电动机的轴承	可替代铜基轴承	②*	○	○	△	○
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	各种微型电动机用,输带辊轴承用	可替代铜基轴承	②*	○	○	△	○

注: 1. ① 优秀(最适); ○, 良好; ② 可; △, 不适。

2. * 为当轴表面粗糙度大于 1s, 则属于低负荷条件。

表 2-5 烧结金属含油轴承常用润滑油

润滑油名称	使用温度/°C	粘度指数	成分、特点或适用条件
矿物油	-5~95	VI1~100	具有石蜡族的性质,并经过稳定化处理,有抗乳化、抗沫性
含特殊添加剂的润滑油	-40~70	粘度低	掺有添加剂的矿物原油 适于低负荷
	-10~95		噪声小,适于低负荷与低轴速

(续)

润滑油名称	使用温度/ $^{\circ}\text{C}$	粘度指数	成分、特点或适用条件
合成油	-30~120	VI-110	由合成油或合成油与矿物油混合制成。基本组分为聚烯烃或聚酯
硅油	-70~230	VI 250	只能用于中等负荷下,不适用于使用寿命长于1000h的场合
氟化油	可达 250	VI170~140	主要组分是高氟聚酯,可用于在侵蚀性气氛或溶剂存在下高温环境中。其特点为蒸汽压低、表面张力小、热稳定性高、极压(EP)特性好

二、铁基结构零件材料(烧结钢和烧结不锈钢)

1. 烧结钢

烧结钢是粉末冶金工业中产量最大、应用面最广的一类重要铁基零件材料,目前年需求量已经以10万t计。

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大致可归纳为:

- 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、性能影响规律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的作用。

硫、磷在致密的钢材中是有害元素,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。

磷溶于铁素体中,固溶强化的同时使铁素体的塑性降低,故在致密钢材中要尽量减少磷含量。对于烧结钢来说,孔隙是影响材料韧性和塑性的主要因素。磷的存在,可于1050 $^{\circ}\text{C}$ 与铁、953 $^{\circ}\text{C}$ 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),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 w_{P} 不得高于0.8%(一般控制在

0.6%)，否则 Fe_3P 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-力学性能见表 2-6 至表 2-11。

表 2-6 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 /($g \cdot cm^{-3}$)	力 学 性 能							
		硬 度	抗拉 强度 /MPa	屈服 强度 /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 2-7 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 /($g \cdot cm^{-3}$)	力 学 性 能							
C	P		硬度 (HV_{10})	抗拉 强度 /MPa	屈服 强度 /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 2-8 烧结铜铜的化学组成与物理-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		硬度	抗拉 强度 /MPa	屈服 强度 /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 2-9 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 强度 /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 2-10 烧结铜镍钢的化学组成与物理-化学性能

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 强度 /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 2-11 烧结铜镍钼钢的化学组成与物理-化学性能

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 强度 /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
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 200~280°C 回火)后的物理-力学性能见表 2-12。烧结钢的热处理与熔炼的致密钢的基本相同,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有以下特点:

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 1.96N 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°C 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,低密度件不宜用盐浴加热;不宜在水中淬火,而应选机油作为介质;加热时需用保护气氛等。

5) 对于密度低于 7.0g/cm³ 的制品,在化学热处理时,渗透速度快,渗层过厚。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。

渗碳 渗碳温度为 800~950°C,保温时间为 0.5~2h,渗层深度为 0.8~2.5mm。当材料密度为 6.5~7.0g/cm³ 时,渗层深度主要取决于密度;当密度大于 7.0g/cm³ 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 700HV 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。

碳氮共渗 气体碳氮共渗温度为 780~850°C,保温时间为 1~2.5h,渗层厚度可达 0.4~1.0mm。一般 Fe-C-Cu 材料,渗层硬度可达 700HV。碳氮共渗后零件耐磨性及抗弯曲疲劳强度有较大的提高。

渗氮 渗氮可以提高铁基结构零件材料的硬度、耐磨性、抗卡性、耐腐蚀性及疲劳强度。当材料密度大于 7.1g/cm³ 时,可进行气体渗氮,当密度小于 7.1g/cm³ 时,气体渗氮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 500~600°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,故适合在高速、低负荷工况下的工件。

氮碳共渗 离子氮碳共渗的处理温度和时间与离子渗氮基本相同,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。适用于较低载荷的工况条件。

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 0.08mm,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。

蒸气处理 对烧结钢还可以进行水蒸气处理。烧结钢经过热蒸气处理后,表面及表层孔隙表面生成一层牢固、致密的 Fe₃O₄ 薄膜,起到提高硬度、耐磨性及耐腐蚀性的作用。生成氧化膜时体积胀大,起到封闭孔隙的作用,从而改善材料的气密性。

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,促使密实的结晶沉积物长大。表 2-12 为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。

表 2-12 热处理后烧结钢的化学组成与物理-力学性能

烧 结 碳 钢											
碳含量 (质量分 数,%)	密度 /(g·cm ⁻³)		力 学 性 能								
			硬度	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /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 铜 钢											
材料组成 (质量分数,%) (余为 Fe)			密度 /(g·cm ⁻³)	力 学 性 能							
C	Cu	Ni		硬度 (HRC)	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /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
烧 结 镍 钢											
0.25~0.6	—	2~4	6.6	32	670	550	0.5	7	270	115	0.22
0.25~0.6	—	2~1	7.1	42	910	750	0.5	15.5	360	145	0.24
0.25~0.6	—	2~4	7.3	45	1070	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	1100	1050	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

(续)

烧 结 铜 镍 钢

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	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /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

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	1080	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,可参考表 2-13、表 2-14,并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 $6.5g/cm^3$ 时,一次压制即可达到。密度为 $6.5 \sim 6.9g/cm^3$ 时,需选用压缩性好的铁粉。密度为 $6.9 \sim 7.4g/cm^3$ 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 $7.4g/cm^3$ 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 $6.6g/cm^3$ 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,选用较小负荷的 HV 硬度,较之 HRC 硬度更能反映材料的表层状况。再者,密度分布的不均匀性及合金化效果各部位不平衡的特点,使粉末冶金材料表观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。

表 2-13 烧结钢的材料选择

材料种类	相对密度范围	后续处理工艺及目的	适用范围
烧结碳钢 烧结铜钢	74%~84.5% (制品密度大约 5.8~ 6.6g/cm ³)	—	对韧性无特殊要求,承受低或中等应力,有自润滑能力的机械零件
		蒸气(处理 (改善抗压强度、表面硬度、耐磨性)	对韧性无特殊要求,承受低或中等应力,有自润滑能力的机械零件(表面为灰黑色)
	>84.5% (制品密度大约 > 6.6g/cm ³)	—	承受中等应力,但无特殊韧性和自润滑性能要求的机械零件
		蒸气处理 (提高抗压强度、表面硬度、耐磨性和气密性)	承受中等应力,但无特殊韧性和自润滑性能要求、有气密性要求的机械零件
—	>84.5% (制品密度大约 > 6.6g/cm ³)	整体热处理 (提高整体抗拉强度或硬度) 渗碳、碳氮共渗等化学热处理 (大幅度提高表面硬度)	有较高强度或硬度或表面硬度要求的结构零件
		电镀、化学镀 (一般先进行封孔处理后再进行电镀)	有耐蚀或耐磨要求,以及外观要求的机械零件
烧结碳钢	>84.5% (制品形状简单时,可以达到 90.2%~95.3%)	—	有韧性要求并承受中等机械应力,通过调节磷、碳量,零件尺寸精度可控制在 ISO IT8~9 级
烧结镍钢	>84.5%	— 热处理,渗碳 (显著提高材料强度,硬度或表面硬度)	既要求韧性好,又要求抗拉强度高的结构零件 在疲劳与冲击动态应力作用下,使用性能良好
烧结铜镍钢	>84.5%	— 热处理或渗碳 (显著提高材料强度,硬度或表面硬度)	韧性略低于烧结镍钢,但抗拉强度高。适于制造承受高应力的零件
烧结钢镍 钼钢	>84.5%	— 热处理、渗碳、碳氮共渗 (显著提高材料强度,硬度或表面硬度)	适用于制作在静态与动态都很严酷的条件下工作的结构零件

注:上述各种烧结钢均可进行电镀,含镍的烧结钢不宜进行蒸气处理。

表 2-14 烧结齿轮

材料代号	化学成分(质量分数,%)							密度 (g/cm ³)	表观 硬度	抗拉 强度 σ_b /MPa	屈服点 (残留变 形0.2%) /MPa
	C	Mn	Ni	Mo	Cu	其他	Fe				
EO		—	—	—	—	<1	余量	6.3 7.0	30HRF 50HRF	100 180	65 105
EP	—	—	—	—	1~2	<1	余量	6.3	40HRF	150	110
14EPC	0.4~0.7	—	—	—	1~2	<1	余量	6.3 6.6 7.0 7.4 ^②	20HRB 30HRB 45HRB 50HRB	230 280 350 550	160 195 245
18EPC	0.7~1.0	—	—	—	1~2	<1	余量	6.3 6.6 7.0 7.4 ^②	35HRB 45HRB 50HRB 50HRB	280 330 400 600	210 250 300
ESC	0.4~0.7	—	—	—	2~4	<1	余量	6.3 7.4 ^②	35HRB 55HRB	300 600	255 —
EN	0.2~0.4	0.5~1.0	2~4	—	—	<1	余量	6.6 7.0	20HRB 30HRB	150 250	100 160
ENK	0.3~0.6	—	2~4	—	1~3	<1	余量	7.0	70HRB	400	260
ENM	0.2~0.4	0.05~0.25	1~3	0.3~0.6	—	<1	余量	7.0	70HRB	300	210
4ENKM	0.3~0.6	—	1~3	0.3~0.6	1~3	<1	余量	6.6	50HRB	350	245
8ENKM	0.6~0.9	—	1~3	0.3~0.6	1~3	<1	余量	6.6	60HRB	400	320
HN	0.15~0.3	0.05~0.25	1~3	0.3~0.6	—	<1	余量	7.6	80HRB	400	455
材料代号	化学成分(质量分数,%)							密度 (g/cm ³)	表观 硬度	抗拉 强度 σ_b /MPa	屈服点 (残留变 形0.2%) /MPa
	C	Mn	Ni	Mo	Cu	其他	Fe				
EO	—	—	—	—	—	<1	余量	6.3 7.0	45HRA 55HRA	300 400	195 240
EP	—	—	—	—	1~2	<1	余量	6.3	50HRA	300	255
14EPC	0.4~0.7	—	—	—	1~2	<1	余量	6.3 6.6 7.0 7.4 ^②	50HRA 55HRA 60HRA	450 550 750	40.5 —
18EPC	0.7~1.0	—	—	—	1~2	<1	余量	6.3 6.6 7.0 7.4 ^②	50HRA 50HRA 60HRA	400 450 —	— — —
ESC	0.4~0.7	—	—	—	2~4	<1	余量	6.3 7.4 ^②	50HRA —	600 —	510 —
EN	0.2~0.4	0.5~1.0	2~4	—	—	<1	余量	6.6 7.0	55HRA 65HRA	700 800	630 72.0
ENK	0.3~0.6	—	2~4	—	1~3	<1	余量	7.0	65HRA	—	—
ENM	0.2~0.4	0.05~0.25	1~3	0.3~0.6	—	<1	余量	7.0	65HRA	1000	850
4ENKM	0.3~0.6	—	1~3	0.3~0.6	1~3	<1	余量	6.6	60HRA	700	595
8ENKM	0.6~0.9	—	1~3	0.3~0.6	1~3	<1	余量	6.6	60HRA	550	—
HN	0.15~0.3	0.05~0.25	1~3	0.3~0.6	—	<1	余量	7.6	30HRA	1000	900

① 屈服点,弹性极限,正弹性系数,刚性模数所示都是平均值,无标记者示最低值。

② 熔浸铜,铜的熔浸量为15%~25%。

③ 有()者示抗拉强度相当于日本粉末冶金工业会(JPMA)与汽车技术会(AJISO)的标准者。

材料的力学性能

烧 结 态 力 学 性 能 ¹												JFMA ² 与 JASO 的相当 标准
弹性 极限 0.03% /MPa	正弹性 系数 /MPa	刚性 模量 /MPa	泊松比	伸长率 (%)	抗弯 强度 /MPa	压溃 强度 /MPa	压缩屈 服强度 (残留变 形 0.1%) /MPa	抗剪 强度 /MPa	冲击 初度 J/cm ²	交变旋 转弯曲 强度 ×10 ⁷ /MPa	弯曲疲 劳强度 ×10 ⁷ /MPa	
45	95000	40000	0.20	3.0	250	250	40	100	7	30	—	1010
80	137000	35000	0.25	7.0	500	450	80	180	25	80	—	
75	90000	38000	0.18	1.5	350	400	80	160	6	10	—	2015
115	105000	43000	0.21	2.0	450	500	150	200	7	80	—	()
155	125000	51000	0.23	2.5	600	550	160	250	9	100	—	3230
190	147000	60000	0.25	3.0	750	800	200	300	12	120	—	
—	—	—	—	4.5	—	—	—	—	18	—	—	(6055)
150	98000	41000	0.19	1.0	600	750	200	200	3	80	60	(3020)
200	117000	48000	0.21	1.6	700	900	220	250	4	100	—	(3030)
240	152000	61000	0.25	2.0	950	1200	300	350	5	120	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6055
210	105000	44000	0.20	1.0	600	500	200	200	5	100	—	
—	—	—	—	3.3	—	—	—	—	—	—	—	6055
75	120000	50000	0.20	2.5	500	550	80	200	12	60	50	
125	141000	57000	0.24	3.0	650	700	90	250	20	100	60	
200	158000	63000	0.26	3.0	900	800	200	350	11	120	—	
180	149000	59000	0.27	8.0	1000	900	300	300	20	120	—	
175	115000	17000	0.22	2.0	700	700	200	300	8	120	—	5030
240	115000	47000	0.22	1.8	800	750	250	300	5	140	80	(5040)
335	190000	75000	0.26	7.0	—	—	—	—	—	—	—	
渗 碳 热 处 理 后 的 力 学 性 能												JFMA ² 与 JASO 的相当 标准
弹性 极限 0.03% /MPa	正弹性 系数 /MPa	刚性 模量 /MPa	泊松比	伸长率 (%)	抗弯 强度 /MPa	压溃 强度 /MPa	压缩屈 服强度 (残留变 形 0.1%) /MPa	抗剪 强度 /MPa	冲击 初度 J/cm ²	交变旋 转弯曲 强度 ×10 ⁷ /MPa	弯曲疲 劳强度 ×10 ⁷ /MPa	
135	97000	41000	0.19	0.3	750	400	250	300	2	120	—	1010
180	141000	57000	0.23	0.9	1000	800	300	300	4	150	—	
150	97000	41000	0.20	0.3	900	650	350	400	3	140	—	2015
270	98000	41000	0.19	0.2	850	550	500	400	4	200	—	(3020)
330	120000	50000	0.21	0.3	1000	600	650	400	5	250	—	3020
485	143000	58000	0.21	0.4	1200	850	800	450	6	300	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(6050)
—	—	—	—	0.2	700	—	600	—	2	—	—	(3020)
—	—	—	—	0.3	800	—	700	—	2	—	—	(3030)
—	—	—	—	—	950	—	1000	—	—	—	—	6050
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
420	98000	41000	0.19	0.2	900	700	700	400	2	200	—	6050
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
420	120000	50000	0.21	0.3	1100	800	500	450	5	250	—	
480	150000	60000	0.24	0.4	1400	1300	600	600	6	300	—	
—	—	—	—	—	1400	—	—	—	—	—	—	
650	161000	65000	0.21	1.5	1500	1400	1200	600	9	300	—	
455	117000	48000	0.22	0.2	1200	1200	750	500	6	250	—	5030
—	—	—	—	0.2	1100	—	600	—	6	—	—	(5040)
500	190000	75000	0.26	2.0	—	—	—	—	有 U 形 凹口 3.0	400	—	

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 2-15 为烧结不锈钢的化学组成与力学性能。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不低于 1150°C 的烧结温度下,于分解氨气氛中烧结后获得的。

表 2-15 烧结不锈钢的化学组成和力学性能

牌号	化 学 组 成					力 学 性 能							
	(质量分数,%)					密度 /(g· cm ⁻³)	硬度 (HRB)	抗拉 强度 /MPa	屈服 强度 /MPa	伸长率 (%)	冲击吸 收功 ^① /J	弹性 模量 /GPa	泊松比
	C	Ni	Cr	Mo	其他								
AISI303	<0.15	8~10	17~19	—	S<0.15 Mn<2 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

① 悬臂梁式冲击试验。

三、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 2-16。

(1) 烧结青铜 这是铜-锡系合金,一般含锡的质量分数为 6%~10%。这种烧结青铜的韧性虽稍差,但具有适度的抗拉性能。若承受的比压较适中且材料的孔隙中贮存一定量润滑油时,与钢件组成摩擦副,将具有优异的减摩性能。

烧结青铜中还可以含有石墨,用于制造对韧性无特殊要求的、需具有自润滑性能并承受中等应力的机械零件。

表 2-16 铜基烧结合金的化学组成与物理-力学性能

材料	化 学 组 成 (质量分数, %)(余为 Cu)					密度 /(g· cm ⁻³)	力 学 性 能						
	Sn	Zn	Ni	Pb	其他		硬度	抗拉 强度 /MPa	屈服 强度 ^① /MPa	伸长率 (%)	冲击吸 收功 ^② /J	弹性 模量 /GPa	泊松比
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	25	-	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
	-	26.5~30.5	-	1~2	-	7.8	76HRH	235	130	27	-	77	0.28
锌 白铜	-	18	18	-	-	7.8	70HB	200	120	10	12	84	0.28
	-	18	18	-	-	8.2	80HB	250	140	12	16	100	0.30
铅锌 白铜	-	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 压缩屈服强度。

② 无缺口夏比冲击试验。

(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。烧结黄铜的机电零件可承受一般疲劳应力与磨损,并有一定耐蚀性,但一般不进行表面涂覆。

(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,对该合金的其他性能没有明显影响。用于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,多用这种烧结合金制造。

铜基烧结合金制品的制造公差见表 2-17。烧结青铜制品的制造公差与铁基烧结合金制品很接近,有时略窄一些。

表 2-17 铜基烧结合金制品的尺寸公差

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	—	ISO IT10 级	ISO IT10 级
			30~50	ISO IT8 级	ISO IT10 级	ISO IT10 级
			50~80	ISO IT8 级	ISO IT11 级	ISO IT11 级
			80~120	ISO IT8 级	ISO IT11 级	ISO IT11 级
			120~150	—	ISO IT11 级	ISO IT11 级
黄铜	经一道模具作业	84.5~92.8	所有	ISO IT3 级	ISO IT13 级	—
锌白铜	经一道模具作业	84.5~92.8	所有	ISO IT3 级	ISO IT13 级	—

2. 铝基烧结材料

铝基烧结合金目前实际应用有限。最主要是因为粉末价格高与缺少专有生产技术。一般选用铝基烧结材料的原因,在于利用其质量轻、强度与质量之比很高、在侵蚀性环境中耐大气腐蚀、热导性与电导性好以及无磁性。

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,对钢摩擦时的性状很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 2-18 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。

表 2-18 铝基烧结合金的化学组成和物理-力学性能

系列	材料牌号	化学组成						密度 (g·cm ⁻³)	力学性能 ^①							
		(质量分数,%) (余为 Al)							硬度	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /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									
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)

系列	材料牌号	化学组成						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 强度 /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。

铝基烧结合金属于可时效硬化合金,通过热处理可获得优异的力学性能。铝基烧结合金通常都是在烧结合后或烧结合-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)。

添加于铝基烧结合金中的合金元素和用于传统铝合金中者的相同。因此,烧结合铝合金的组织特性与组成相同的铸锻铝合金一样。

(1) 6060 牌号铝基烧结合金 这是一种 Al-Mg-Si 合金,具有优异的延展性、很好的传导性,并且对阳极氧化的灵敏性比任何其他合金都好。当零件需要诸如耐蚀性好和(或)散热性好,或者必须是电导体,但不需要高力学强度时,可采用这种铝基烧结合金制造。若在 6060 铝基烧结合金中再添加铜,就制成了典型的 6061 与 2014 牌号时效硬化合金。

6061 合金(低含铜量)具有优异的强度、延性及耐蚀性等综合性能,并适于进行阳极化处理。该合金可用于制造承受一般疲劳应力、耐磨损(在中等比压下)及耐腐蚀的零件。

(2) 2014 牌号铝基烧结合金 这是一种含铜量高的 Al-Mg-Si-Cu 合金,其强度特性最佳,但延性稍差,特别是热处理之后。此外,这种烧结合金在动态应力(主要是冲击)作用下性能特别好,甚至优于 6061 合金。

就其耐蚀性和对阳极化的敏感性来说,增高含铜量是不适宜的,故在这些方面 2014 合金不如 6061 合金。

(3) 7075 牌号铝基烧结合金 这是一种 Al-Mg-Zn-Cu-Cr 合金,可对其进行热处理(沉淀硬化),以获得显著高于其他铝合金的力学强度。另外,与上面列举的烧结合铝合金相比,这种合金的硬度最高而韧性最低。对于使用在承受动态应力、惯性低的场合和在较高比压下要求耐磨性的场合的零件,都应选用 2014 和 7075 合金制造。

铝基烧结零件烧结时的尺寸稳定性最差,因此烧结后必须进行精整。表 2-19 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 2-19 铝基烧结合金精整后的尺寸公差

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	—	ISO IT7 级	—	ISO IT6 级
	3~6	ISO IT12 级	ISO IT7 级	ISO IT8 级	ISO IT7 级
	6~10	ISO IT12 级	ISO IT7 级	ISO IT8 级	ISO IT7 级
	10~18	ISO IT12 级	ISO IT8 级	ISO IT8 级	ISO IT7 级
	18~30	ISO IT12 级	ISO IT8 级	ISO IT8 级	ISO IT7 级
	30~50	ISO IT13 级	ISO IT8 级	ISO IT9 级	ISO IT7 级
	大于 50	—	ISO IT8 级	ISO IT9 级	—
95.3~97.8	<3	—	ISO IT7~8 级	—	ISO IT6 级
	3~6	ISO IT12~13 级	ISO IT7~8 级	ISO IT8~9 级	ISO IT6~7 级
	6~10	ISO IT12~13 级	ISO IT7~8 级	ISO IT8~9 级	ISO IT7~8 级
	10~18	ISO IT12~13 级	ISO IT8~9 级	ISO IT8~9 级	ISO IT7~8 级
	18~30	ISO IT12~13 级	ISO IT8~9 级	ISO IT8~9 级	ISO IT7~8 级
	30~50	ISO IT13 级	ISO IT8~9 级	ISO IT9~10 级	ISO IT7~8 级
	大于 50	—	ISO IT8~9 级	ISO IT9~10 级	—

四、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,但也可做进一步处理(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组成与磁性能见表 2-20。

(续)

材 料 系	材 质			直 流 磁 特 性										交 流 磁 特 性				电 阻 率 /($\mu\Omega \cdot$ cm)
	成 分 (%)	密 度 /($g \cdot$ cm^{-3})	相 对 密 度 (%)	磁 通 密 度/T						矫 顽 力 (H_c/O_c)	磁 导 率		磁 通 密 度/T				铁 损/($W \cdot kg^{-1}$)	
				B_1	B_3	B_{10}	B_{25}	B_r	μ		μ_m	B_1	B_3	B_{10}	B_r	W10/50			W15/50
Fe-Si	3Si	6.9	90.0	53	96	B_{20} 112		78	0.8	3.5	4.9×10^3	4.2	B_2 B_{16}	B_2			35	
		7.2~ 7.3	94.5	39~73	117~ 122	122~ 130	133~ 140	111	0.8~ 0.9	(5.1~7.4) $\times 10^3$		7~8	53~58 81~84	120~ 124	18~20	65~66	52	
Fe-Si	4Si	6.86	90.1			B_{15} 112	B_{32} 121	84	0.9		3.9×10^3						69	
		7.3	95.4	50	115	130	140		0.6~ 0.7	(6.4~6.9) $\times 10^3$					13~14			
Fe-Ni	2Si- 0.45P	7.34	94.7			B_{15} 135	B_{32} 144	116	0.7		6.1×10^3						45	
		7.3	88.5				118~ 130	80~83	0.26~ 0.3	7.0~ 7.5	(10~21) $\times 10^3$							
Fe-Ni	47Ni	7.7	93.3	70~80	104~ 120	120~ 132	144	50~59	0.3~ 0.4		(10~13) $\times 10^3$	23	58	83	125	15	60	48
		7.2~ 7.3	87.9	80~ 102		122~ 133		76~95	0.18~ 0.34	0.6~ 1.4	(15.5~25) $\times 10^3$	12	B_2 30	B_3 65	B_{16} 94			65
Fe-Ni	50Ni	7.7	93.3	80~84	114~ 115	120~ 122	127		0.2~ 0.25		(11.3~16) $\times 10^3$							
		7.65	89.0				6.3		0.05		70×10^3							
其他	45Ni- 2Si	7.1	88.0			108			0.2		25×10^4							82
		7.7	92.8			170	185	110	2.0		4.0×10^4							
其他	45Sn	7.6	96.8				151	130	0.56		10.7×10^4					29		25
		7.3	94.2				110	83	1.43		2.7×10^3							

烧结纯铁磁性优异,其密度愈高、晶粒愈粗、杂质含量愈少(特别是碳)、磁性就愈好。其它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,这种烧结合金的含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很高、矫顽力很小,一般含镍的质量分数为50%。

烧结铁钴合金的最重要特性是饱和磁通密度高,含钴的质量分数为25%~50%。

设计人员对化学成分和传统的 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 2-21 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。

表 2 21 一些铁基烧结软磁材料的尺寸公差

材 料	密度/($\mu \cdot \text{cm}^{-3}$)	公 差 ^①	
		垂直于压制方向	平行于压制方向
Fe	6.90~7.10	ISO IT8~9 级	ISO IT11~12 级
	7.10~7.30	ISO IT8 级	ISO IT12 级
	7.30~7.50	ISO IT9~10 级	ISO IT12~13 级
P=0.3%	6.90~7.10	ISO IT9 级	ISO IT12 级
	7.10~7.30	ISO IT9~10 级	ISO IT12 级
P=0.45% Fe-P	6.90~7.10	ISO IT9 级	ISO IT12 级
	7.10~7.30	ISO IT10 级	ISO IT12 级
P=0.6%	6.90~7.10	ISO IT10 级	ISO IT11 级
	7.10~7.30	ISO IT10~11 级	ISO IT12~13 级
Fe-Ni	6.97~7.22	ISO IT10~11 级	ISO IT12 级
	7.22~7.66	ISO IT11 级	ISO IT13 级

① 经一道模具作业。

2. 烧结金属电触头材料

电触头是开闭电路的重要零件,对其熔点和高温硬度有较高的要求,并且其电阻和接触电阻要小,表面不得产生氧化物与硫化物,要求耐腐蚀。

由于粉末冶金可将高熔点的钨、钼及其碳化物,与电导率高的易熔金属银、铜结合起来,制成兼有高强度、耐电蚀及高电导率的复合烧结合金触头,用于大电流高压电路的开闭设备中。烧结银-铜,银-铁触头在低压电器与弱电设备中也得到广泛应用。表 2-22 列举了一些烧结电触头的化学组成和性能及应用。

表 2-22 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 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	热导率 ($\text{cal}/\text{cm} \cdot \text{s}^\circ\text{C}$)	抗压强度 (MPa)	硬度 (HB)	密度 (g/cm^3)	
银-镍	Ag-Ni15	85	-	15	-	-	-	-	0.021	0.96	-	50	10.2	磁起动器,可调式与通用的自动
	Ag-Ni30	70	-	30	-	-	-	-	0.025	0.87	-	55	9.9	斥关,工作条件特别沉重的继电器,
	Ag-Ni40	60	-	40	-	-	-	-	0.029	0.78	-	69	9.6	器,铁路信号设备,线路继电器,振
	Ag-Ni45	55	-	45	-	-	-	-	0.031	0.67	-	70	9.25	动子换流器,电焊机继电器等
银-氧化铜	Ag-CdO8	92	-	-	8	-	-	-	0.021	0.88	-	58	9.7	一般工业、航海及航空工业用继
	Ag-CdO12	88	-	-	12	-	-	-	0.024	0.84	510	56	9.65	电器,磁起动器,自动温度调节器,
	Ag-CdO15	85	-	-	15	-	-	-	0.027	0.78	470	59	9.55	内燃机起动器,控制器等
银-石墨	Ag-C2	98	-	-	-	-	-	2	0.020	0.91	-	40	9.7	无线电接收机的波段开关,升降
	Ag-C3	97	-	-	-	-	-	3	0.021	-	220	30	9.1	机的控制装置,调压器等
	Ag-C5	95	-	-	-	-	-	5	0.027	-	160	25	8.15	
银-钨	Ag-W30	70	-	-	-	30	-	-	0.021	0.81	650	75	12.1	热继电器,多速电动机开关,电
	Ag-W50	50	-	-	-	50	-	-	0.025	0.74	850	105	13.5	子继电器,阻尼继电器,鼓形开关,
	Ag-W60	40	-	-	-	60	-	-	0.028	0.65	-	130	14.4	日用电器开关,内燃机起动器等
	Ag-W80	20	-	-	-	80	-	-	0.037	-	-	220	16.3	
银-铜	Ag-Mo30	70	-	-	-	30	-	-	0.022	0.60	-	70	-	熄弧触头,汽车无线电接收机的
	Ag-Mo60	40	-	-	-	60	-	-	0.027	-	850	127	-	振动物子换流器等
	Ag-Mo70	30	-	-	-	70	-	-	0.030	-	1170	165	10.4	
	Ag-Mo80	20	-	-	-	80	-	-	0.034	-	-	190	-	
铜-石墨	Cu-C5	-	95	-	-	-	-	5	0.043	-	-	17	6.50	三板与单板自动空气断路器,手
	Cu-W20	-	80	-	-	20	-	-	0.024	-	650	100	9.85	对焊机的接触器“罐”型少油高
铜-钨	Cu-W40	-	60	-	-	40	-	-	0.031	-	960	135	11.25	压断路器,电弧炉用功率断路器
	Cu-W60	-	40	-	-	60	-	-	0.041	-	1300	160	13.5	等
	Cu-W80	-	20	-	-	80	-	-	0.049	-	-	220	15.75	

五、金属注射成形(MIM)零件材料简介

金属注射成形工艺能够经济地大量生产用传统粉末冶金工艺无法制作的零件,诸如三维形状复杂的、高密度、高强度粉末冶金零件。因此,金属注射成形(MIM)零件一般具有以下特征:

(1) 材料自由度大 金属注射成形使用的原料成分和传统粉末冶金工艺相同,自由度大。但是,在注射成形过程中,原料粉末并未产生塑性变形,从而也就不会发生新生表面间的相互结合,因此,对于粉末颗粒表面具有稳定的惰性化合物层的材料,诸如 Al 等,都需要进行特殊处理,否则难以使用。

(2) 形状自由度大 传统粉末冶金工艺可制作二维形状很复杂的零件,但不能制作具有三维形状自由度的制品。而用金属注射成形工艺可成形出与各种塑料成形件形状相同的零件,能够很简便地生产出具有三维曲面的制品与很细小的异形零件。

(3) 密度与尺寸精度较高 用传统粉末冶金工艺制作的产品,由于压坯内部密度或内应力分布不均一,只靠烧结一道工序难以实现高密度化。而如采用金属注射成形工艺成形的成形坯,由于使用的原料粉末细小,其内部密度与内应力分布均一,故可在变形小的条件下进行高密度烧结,烧结件的相对密度能高达 96%,且烧结件的尺寸精度和传统粉末冶金工艺制造的零件在垂直压制方向的径向尺寸精度相同。金属注射成形零件的尺寸精度,整体上略胜于传统粉末冶金工艺。另外,金属注射成形不会产生像压铸那样产生大的毛边,在这方面尺寸精度也较好。用金属注射成形虽可成形出三维形状,但对其难以进行精整与尺寸检查。而且,因烧结时易于产生轻微的与塑料注射成形件凝固时相同的变形,所以在设计制品形状时,应考虑到这一点。

注射成形用的金属粉末原料一般比传统粉末冶金工艺使用的细小,平均粒度为几 μm 至几十 μm ;颗粒形状近似球形;以颗粒内部无孔隙与充填密度大者为好。这些都是为了尽量减少添加于注射料中的粘结剂,提高烧结密度。粘结剂的添加量多时,虽然注射成形性好,但烧结体的密度较低且易产生变形。

由于传统粉末冶金工艺采用的是压缩成形,必须通过塑性变形,进而使金属粉末颗粒间相互啮合,才能增高粉末压坯的密度与强度,因此,从压缩成形的观点来看,难以使用致密且硬的原料粉末。另外,微粉易进入模具的间隙部分,往往会导致模冲与阴模或芯棒卡死。金属注射成形工艺使用的注射料是由颗粒表面包覆着一层粘结剂的原料粉末组成,原料粉末颗粒最好近似球形是因为其易于流动。另外,注射成形时注射料呈不可压缩的流体状态,承受的是等静压力,故对原料粉末的压缩成形性没有要求,同时成形坯的密度分布均一,从而保证了烧结时收缩均一,可制得尺寸精度较高的制品。因此,为了增高烧结体的密度,最好采用充填密度高的球形且致密的微细粉末。

由于使用的原料粉末是微小的近似球形的金属粉末、金属注射成形零件的烧结密度高、力学性能好及表面粗糙度小。

金属注射成形零件材料标准见表 2-23~表 2-26,这些标准为美国金属粉末工业联合会(MPIF)于 1993 年~1994 年之间发布的。目前国内尚无相应的标准。

表 2-23 MIM 低合金钢的标称化学成分(质量分数,%)^①

材料牌号	Fe	Ni	Mo	C	其他元素	备注
MIM-4600	94.90	1.5	0.0	0.0	0.0	最小值
	98.50	2.5	0.5	0.1	2.0	最大值
MIM--4650	94.40	1.5	0.0	0.4	0.0	最小值
	98.10	2.5	0.5	0.6	2.0	最大值
MIM--2700	88.90	6.5	0.0	0.0	0.0	最小值
	93.50	8.5	0.5	0.1	2.0	最大值

① 此表依据 MPIF Standard 35 的数据。

表 2-24 MIM 低合金钢的物理-力学性能^①

材料牌号 (状态)	最小值			标准值					
	拉伸性能			拉伸性能			密度 g/cm ³	硬度	
	极限抗 拉强度 MPa	屈服强度 (0.2%) MPa	伸长率 (于 25.4mm 内)(%)	极限抗 拉强度 MPa	屈服强度 (0.2%) MPa	伸长率 (于 25.4mm 内)(%)		表观 (直接)	显微 (换算的)
								洛氏	
MIM-4600 烧结态	255	110	20.0	290	124	40	7.6	45HRB	
MIM-4650 烧结态	379	172	11.0	441	207	15	7.5	62HRB	
MIM-4650 经淬火与回火	1482	1310	<1.0	1655	1482	2	7.5	48HRC	55HRC
MIM-2700 烧结态	379	207	20.0	414	255	26	7.6	69HRB	

① 此表依据 MPIF Standard 35 的数据。

表 2-25 MIM 不锈钢的标称化学组成(质量分数,%)^①

材料牌号	Fe	Ni	Cr	Mo	C	Cu	Nb+Ta	其他元素
MIM-316L	62.97	10.0	16.0	2.0	0.00	--	--	0.0 最小值
	72.00	14.0	18.0	3.0	0.03	--	--	2.0 最大值
MIM--双相(316L)	65.90	7.5	19.0	1.5	0.00	--	--	0.0 最小值
	72.00	8.5	21.0	2.5	0.03	--	--	2.0 最大值
MIM-17-4PH	69.98	3.0	15.5	--	0.00	3.0	0.15	0.0 最小值
	78.35	5.0	17.5	--	0.07	5.0	0.45	2.0 最大值

① 此表依据 MPIF Standard 35 的数据。

表 2-26 MIM 不锈钢的物理-力学性能^①

材料牌号 (状态)	最小值			标准值				硬度	
	拉伸性能			拉伸性能			密度 g/cm ³	表观	显微
	极限抗 拉强度 MPa	屈服强度 (0.2%) MPa	伸长率 (于 25.4mm 内)(%)	极限抗 拉强度 MPa	屈服强度 (0.2%) MPa	伸长率 (于 25.4mm 内)(%)		(直接)	(换算的)
MIM 316L 烧结态	448	138	40.0	517	172	50	7.6	67HRB	
MIM-双相 316L 烧结态	469	179	33.0	538	228	43	7.6	84HRB	
MIM 17-4PH 烧结态	793	648	4.0	896	731	6	7.5	27HRC	
MIM-17-4PH 固溶处理与时效	1069	965	4.0	1186	1089	6	7.5	33HRC	42HRC

① 此表依据 MPIF Standard 35 的数据。

第二节 压坯密度分布

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制品,但有些方法制造的粉末冶金制品密度虽高,尺寸精度却较差,生产费用也较高。因此在设计制品压坯时,应设法做到既能满足制品的技术性能要求,又经济合算,且压坯密度不至于过高。

一、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(其密度分布见图 2-3),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,边缘处密度最高。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低。

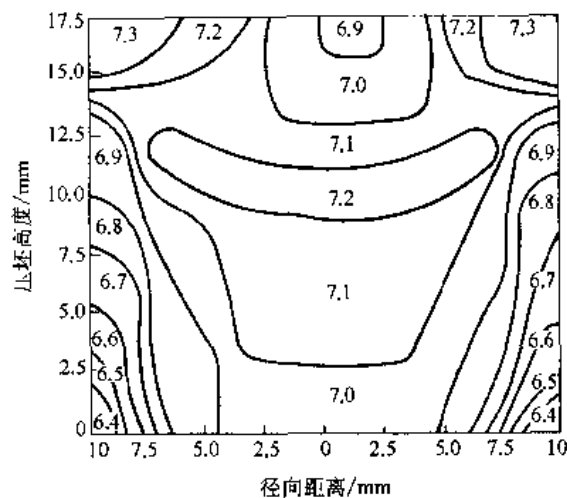


图 2-3 单向压制的压坯密度分布状态

(成分: Ni 粉; 单位压力: 630MPa, 高度/直径: 0.87, 密度单位: g/cm³)

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随着接近压坯的中心而衰减(见图 2-4),由图 2-4 还可以看出,压坯的高度越高,两端与中央部位的密度差就越大(图 2-4c 除外)。在设计细长制品压坯时,不仅要设定压坯的整体密度,而且要注意不同部位的密度差。

二、压坯的壁厚与密度分布

由图 2-4d、e 可看出,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,齿顶部与齿轮内部的密度差就越大,模数大于 2.5 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。

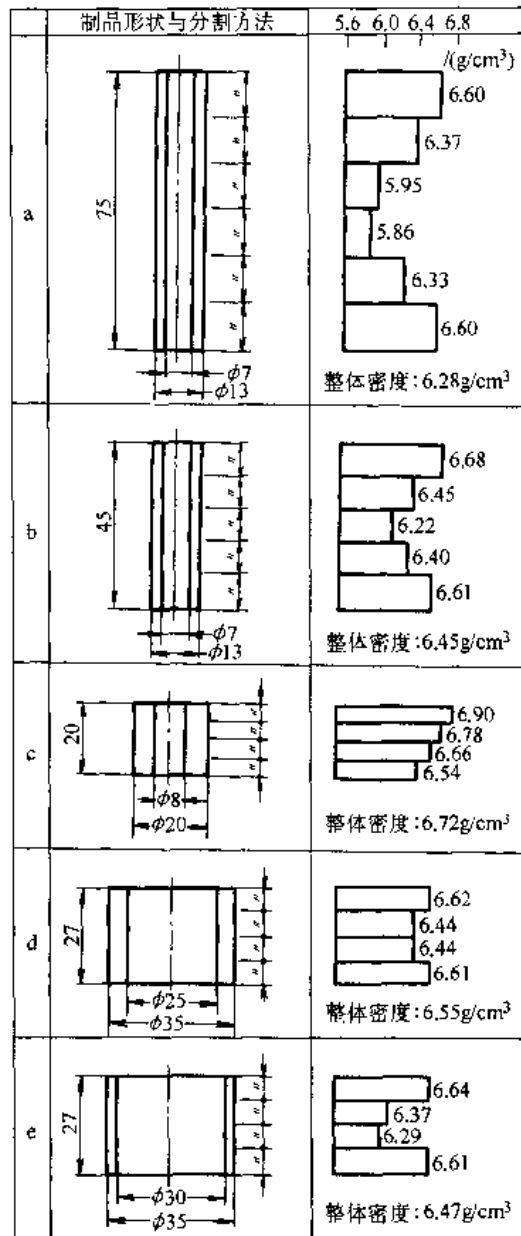


图 2-4 双向压制圆筒状零件中的密度分布
(图中 c 为单向压制状态)

三、用凸凹状模冲成形压坯的密度分布

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。图 2-5 所示为一锥齿轮压坯,该锥齿轮的模数为 1.4,压力角为 20° ,节圆锥角为 70° 。它是用带齿的上模冲成形的。压坯密度亦见图 2-5。其整体平均密度为 $7.0\text{g}/\text{cm}^3$,但齿部密度低至 $6.6\text{g}/\text{cm}^3$ 。因此在计算锥齿轮的强度时,须考虑到局部的密度。

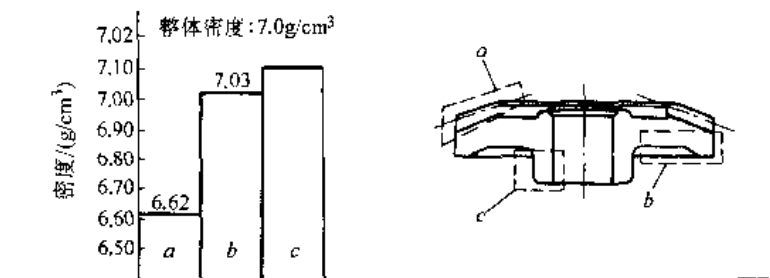


图 2-5 某锥齿轮的密度分布

为了尽可能地将烧结及热处理造成的制品变形减小到最低限度。在压坯设计时,应将压坯设计成密度差尽可能小的形状。

第三节 粉末冶金压坯形状的确定

粉末冶金制品的成形是通过在压模内由模冲于高压下将金属粉末压缩,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形的可能性,将制品压坯按形状进行分类。

一、压坯形状分类

根据现有粉末成形压机的构造和模架、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 2-27):

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、一个下模冲和芯棒等组成的模具成形。

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、两个下模冲及芯棒等组成的模具成形。

III 型是指上、下端面都有两个台阶面的一类压坯。如汽车的减震器导向器壳、变速器壳等。这类压坯必须由阴模、两个上模冲、两个下模冲和芯棒等组成的模具成形。

IV 型是指下端面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。这类压坯必须由阴模、一个上模冲、三个下模冲和芯棒等组成的模具成形。

V 型是指上端面有两个台阶面,下端面有三个台阶面的一类压坯。V 形压坯是目前用粉末冶金成形压机可成形的、形状最复杂的压坯,如汽车的变速器齿壳,摩托车的单向超越离合器内轮毂等。当压坯外凸缘的径向尺寸小时,可用带台阴模成形的话,则可压制成形下部有四个台阶面的压坯。

表 2-27 压坯基本形状

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		

二、压坯形状设计

由于粉末冶金制品是用模具压制而成的,所以在设计压坯形状时,除了在技术上要满足零件的使用要求以外,还要考虑制品形状是否适于压制成形和脱模。压坯形状主要受到以下几个方面的限制。

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,实际上几乎不产生横向移动。具有薄壁、窄键、尖端等部分的制品,由于其窄尖部分难以均匀充填粉末,使压坯密度很不均匀,容易掉边、掉角或变形开裂,还会因受力不均而造成模冲破断。为保证压坯密度的均匀性,必须使粉末均匀充填模腔的各部位,如表 2-28 所示,可用圆角代替尖角。压坯法兰与主体分界处一般要做成半径不小于 0.25mm 的圆角。

2. 压坯脱模的限制

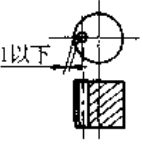
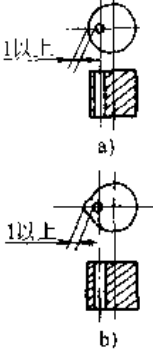
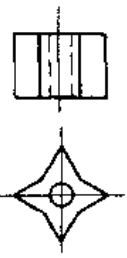
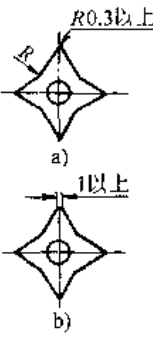
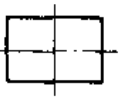
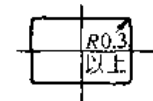
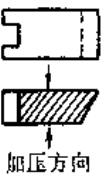
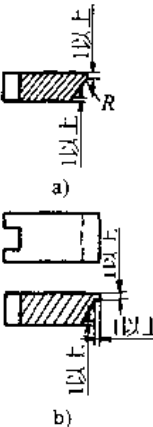
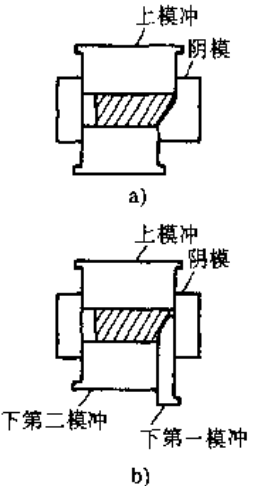
一般压制成形都是沿压坯的轴向进行的。制品中径向(横向)的孔、槽、螺纹和倒锥,通常是不能压制而成的,需要在烧结后用切削加工来完成。设计压坯时,必须将其修改成能脱模的形状。表 2-29 所示为修改形状的例子。

3. 压模强固性的限制

由于铁基烧结零件的成形压力一般为 600MPa 左右,故压模的强度与结构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不坚固部位。压制极小孔时,直径小于 2mm 或直径小于 3mm 但长度较长的芯棒容易折断或弯曲。压制多台阶固压坯时,为避免模冲因太薄而易损坏,压坯内、外台阶面厚度都不能小于 1.5mm。具有球形外表面的压坯,其中间部位应

有一平台(宽 1mm)过渡带,避免将模冲末端做成尖角锐边,以防压制时上下模冲刚性接触造成碰坏。表 2-30 所示为受压模强固性限制的制品形状例。

表 2-28 受粉末能否均匀充填模具的限制的零件形状举例

原 设 计	粉末冶金设计	备 注
<p>(1)</p> 	<p>粉末冶金设计</p> 	<p>小孔的外侧壁厚过小,使粉末难以充填</p>
<p>(2)</p> 		<p>尖角部分应以适当圆弧过渡,或将其端部取平,以利于粉末充填</p>
<p>(3)</p> 		<p>直角部分应以圆弧过渡</p>
<p>(4)</p> 		 <p>斜面端部应采用取平设计,以利于粉末充填端部并防止模冲与阴模刚性接触造成损坏</p>

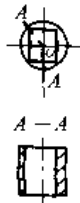
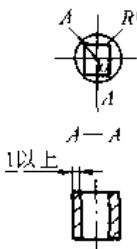

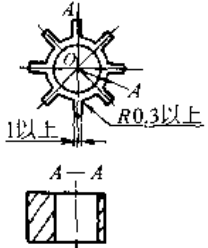
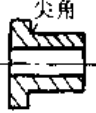
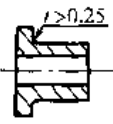

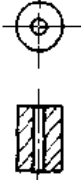
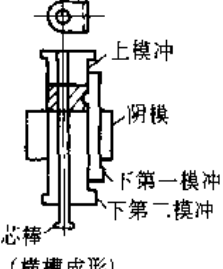
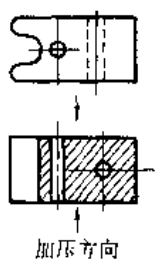
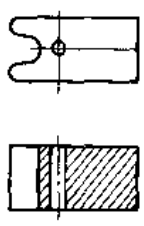
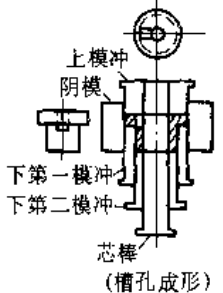
原 设 计	粉末冶金设计	备 注
<p>(5)</p> 		<p>棱角部应以 $R0.3$ 以上的圆弧过渡而且壁厚应大于 1mm</p>
<p>(6)</p> 		<p>花键齿部壁厚应大于 1mm，齿根部应以 $R0.3$ 以上圆弧过渡</p>
<p>(7)</p> 		<p>把转角做成 $r > 0.25\text{mm}$ 的圆角，便于粉末充填和流动，压制时可避免应力集中和开裂</p>

表 2-29 受压坯脱模限制的零件形状

原 设 计	粉末冶金设计	备 注
<p>(1)</p> 		 <p>(横槽成形)</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。但如图单侧有槽，可以设法脱模</p>
<p>(2)</p> 		 <p>(槽孔成形)</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>

(续)





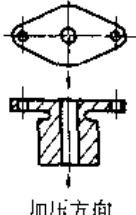
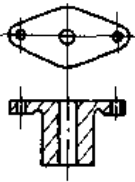
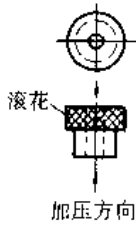
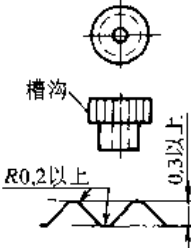
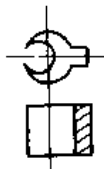
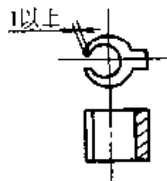
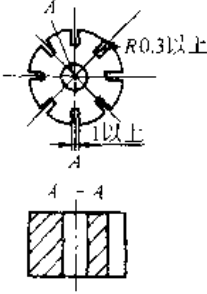
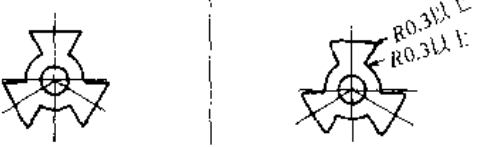
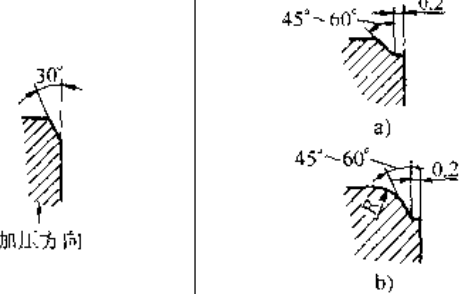

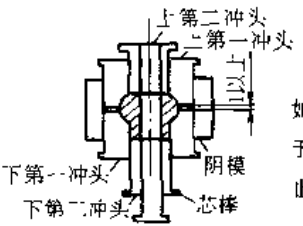
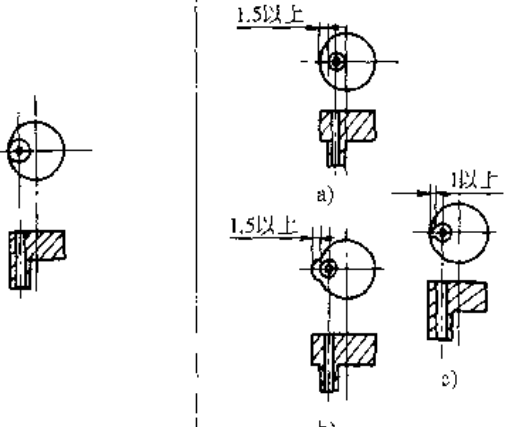
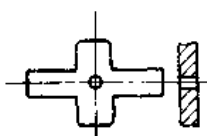
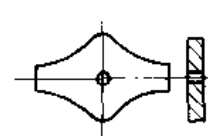

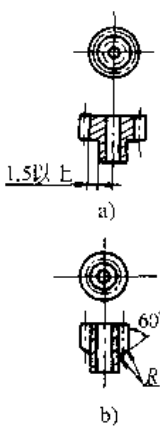
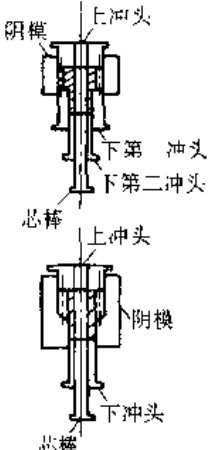
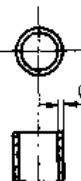
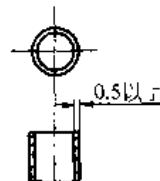
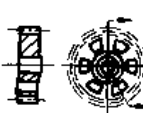
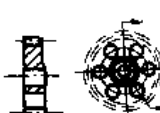
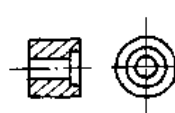
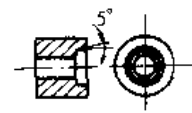
原 设 计	粉末冶金设计	备 注
(3)  加压方向		倒锥形压坯无法脱模
(4) 		螺纹须成形烧结后由机加工完成
(5)  加压方向		与压制方向垂直的退刀槽应改为与压制方向平行
(6)  滚花 加压方向	 槽沟 R0.2以上 0.3以上	要求滚花时,应改为和轴线平行的齿形,齿形要求如图所示

表 2-30 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
(1) 	 1以上	避免出现尖刃,应设计成 1mm 以上的平刃

原 设 计	粉末冶金设计	备 注
(2)		<p>对细深的切槽,槽宽须 1mm 以上,槽底部及端面要有 R0.3mm 以上的圆弧过渡,以使压模变得坚固</p>
(3)		<p>箭头示之角处呈锐角时,压模易破坏,故要做成圆角</p>
(4)		<p>倒角应设计成 45°以上,或同时以圆弧过渡,并有 0.2mm 的平台</p>
(5)		 <p>成形球形时,应带有如右图所示的高度大于 1mm 的柱面,以防止上、下模冲接触损坏</p>
(6)		<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>

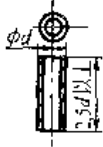
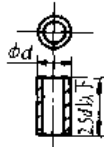
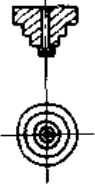
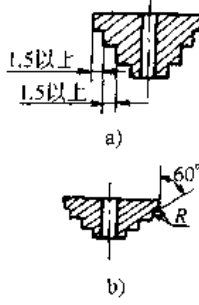
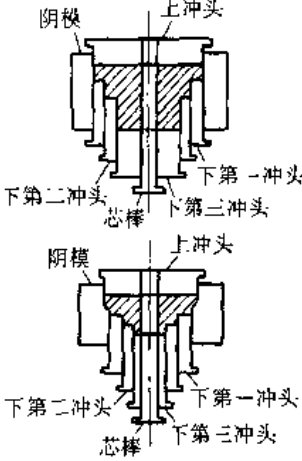
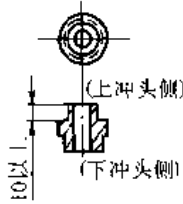
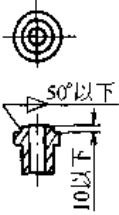
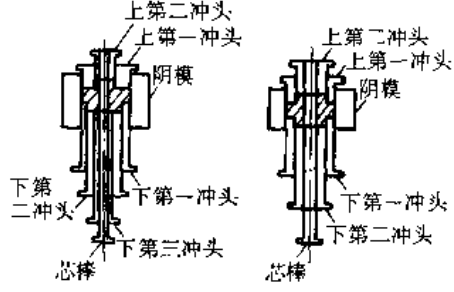
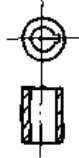

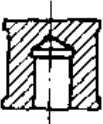
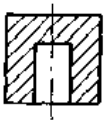
(续)

原 设 计	粉末冶金设计	备 注
(7) 		细窄部分要尽量设计成宽大的曲线
(8) 	 <p>a) 1.5以上</p> <p>b) 60° R</p>	 <p>阴模 上冲头 下第一冲头 下第二冲头 芯棒</p> <p>上冲头 阴模 下冲头 芯棒</p> <p>在带轮毂齿轮的场合, 齿根圆与轮毂外径一致时, 压模无法制作。应改为图 a</p> <p>轮毂直径与齿根圆之差单面不得小于 1.5mm, 或改为图 b</p> <p>带台阶处齿轮端面带约 60° 角</p>
(9) 		含油轴承的壁厚不得小于 0.5mm
(10) 		孔的形状: 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, 这时, 可降低成本
(11) 		埋头孔: 埋头孔(孔端面)要带 5° 左右的拔梢



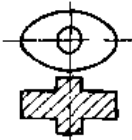
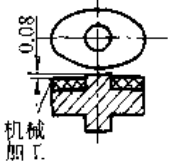
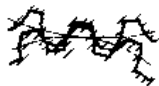
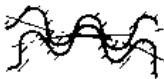

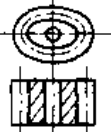
4. 压坯密度均匀性的限制

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 2-31 所示为受密度均匀性限制的零件形状例。

表 2-31 受压坯密度均匀性限制的零件形状

原 设 计	粉末冶金设计	备 注
<p>(1)</p> 		<p>高度与直径比大于 2.5, 工件中部易出现低密度区</p>
<p>(2)</p> 		 <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 1.5mm b) 在由阴模成形台阶的场合, 应将该台阶设计成带 60°斜面的形状</p>
<p>(3)</p> 		 <p>外台阶距上冲头 10mm 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>
<p>(4)</p> 		<p>键槽应设计成套筒中带键的形状</p>
<p>(5)</p> 		<p>如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。</p>

(续)

原 设 计	粉末冶金设计	备 注
(6) 		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
(7) 		上部的突起部,最好成形为如图所示之形状后机械加工
(8) 		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
(9) 		非圆形齿轮和圆形齿轮一样制作

三、对一些特殊形状设计的说明

表 2-28 至表 2-31 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 1.5mm。但壁厚仅 0.3mm,长度为 1.0mm 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。当压坯的长度对壁厚之比为 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。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 2-6)。图 2-7 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。

3. 凸缘

凸缘小时,可用带台阴模成形(图 2-8)。使用带台阴模

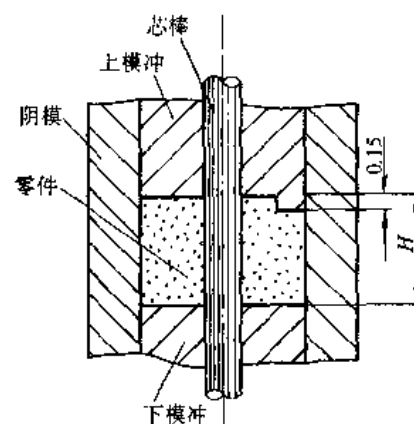


图 2-6 用模冲直接成形凸台
(单一凸台高度不大于零件总高度的 15%)

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

压坯侧壁通直者一般不需要拔梢,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 2-8)。

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(见图 2-9):

- 1) 半圆形或弧形沟的最大深度不超过压坯总高度的 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为压坯总高度的 20%。

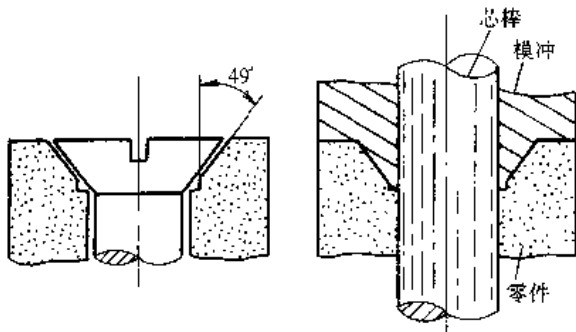


图 2-7 用模冲直接成形埋头孔
(标准埋头孔的一表面需对轴线成 45°窄小端的小平台
可以适当的增高模具强度,而无损于零件功能)

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。但对于盲孔,设计时应注意(见图 2-10)。

1) 盲孔底部最好避免面向凸缘(见图 2-10),否则要用较复杂的粉末移送成形法(见第三章第四节中的“不等高压坯成形模的设计原理”的举例)。

2) 若盲孔的投影面积不大于压坯总投影面积的 20%,盲孔深度不大于压坯总高度的 25%,且最小拔梢为 10°~12°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)成形出浅的盲孔。

3) 图 2-10 所示的下部盲孔,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

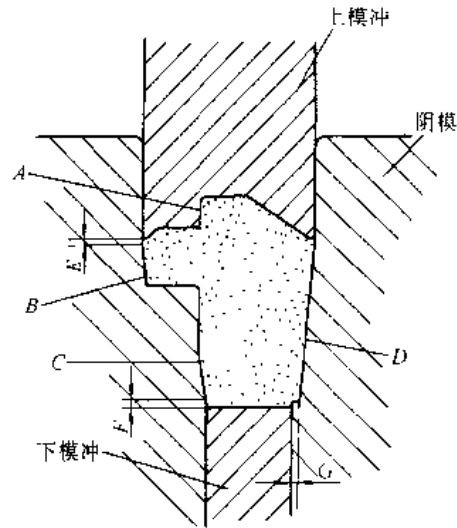


图 2-8 带凸台压坯形状设计图

A 成形零件台阶面的模冲中的台阶,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阴模模壁,需有一长 0.25~0.50mm 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 0.2~0.25mm,平行于压制方向的小平面 F 或一高度为 0.25~0.50mm 的小的径向台 G

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2mm。当压坯的高度与直径之比大时,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大,芯棒可能会断裂。

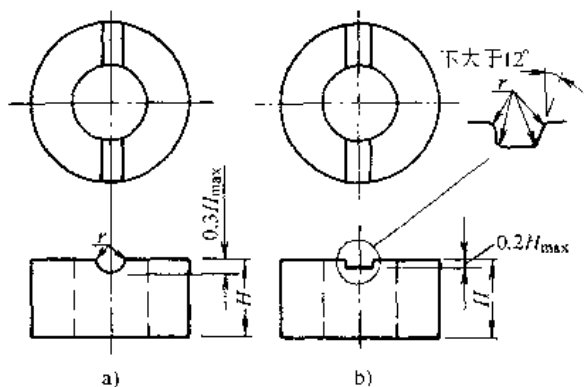


图 2-9 粉末冶金零件的沟槽构型

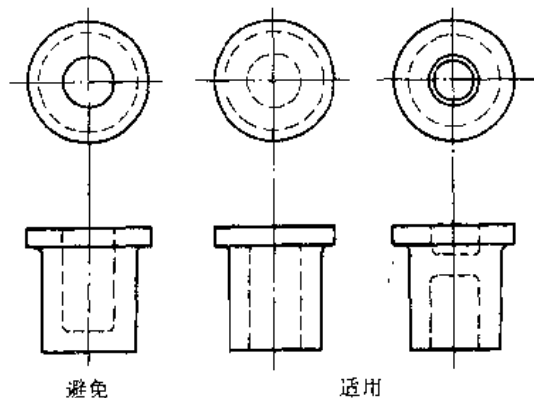


图 2-10 要避免盲孔底面面向凸缘

7. 圆角与倒圆

对于带有要求不严格的角或棱边的压坯,一般尽量采用大半径圆角过渡,以延长模具寿命。当烧结零件功能要求尖棱边或窄小半径圆角时,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真正半径(图 2-11),因为这需要模冲边减薄到零。常用的方法如图 2-1,增加一个微小平台,否则只有进行切削加工。

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0.25mm宽的平台(见图 2 12)。然而,最经济的是取对径向不大于 30° 的倒角,这可最大限度地减小模冲倒角凸出部的破断倾向。当倒角的径向角度必须大于 30° 时,也可选择在复压时成形出斜角。

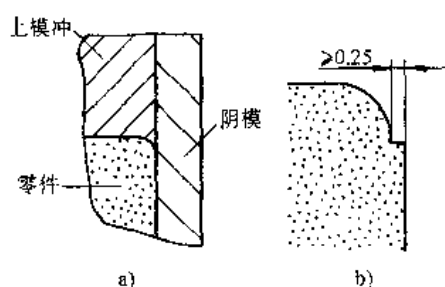


图 2-11 压坯的圆角和倒角的设计
a) 不适用 b) 适用(边缘处加一平台)

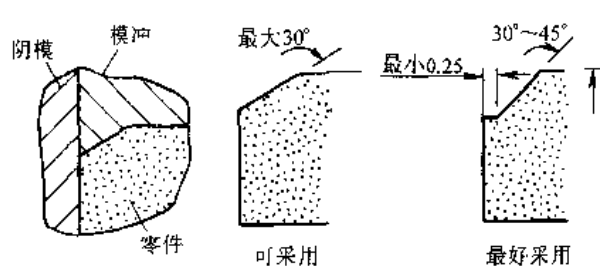


图 2-12 压坯的倒角与斜角的设计
在模具零件交会处,最好采用倒角而不取倒圆。对径向 $\leq 30^\circ$ 的角度,可使模具具有足够高的强度。角度 $30^\circ \sim 45^\circ$ 的终端应有一平台,应避免角度大于 45°

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成形。当压坯须进行复压时,也可留待复压时再压制到零件上。

四、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 2-32 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,烧结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。

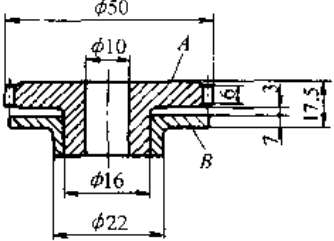
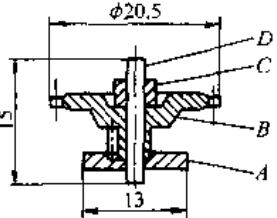
2) 过盈压入法是把烧结后的几部分压坯,在有一定过盈量(几微米到几十微米)的情况下,靠压入的方法将其组合在一起。

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。

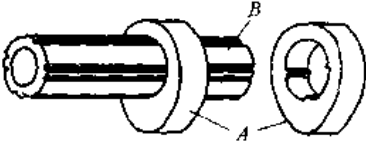
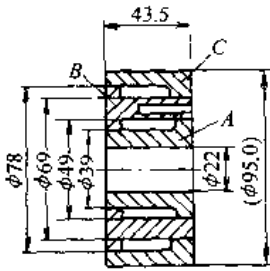
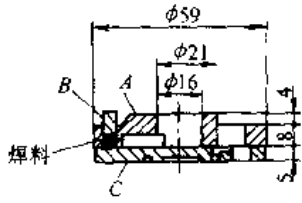
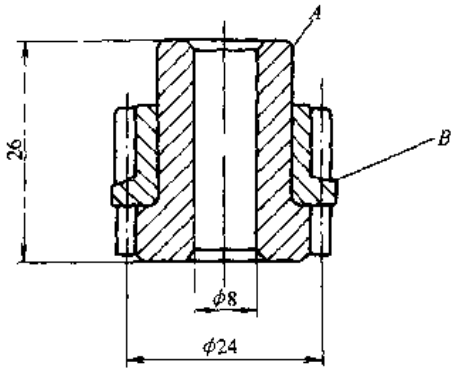
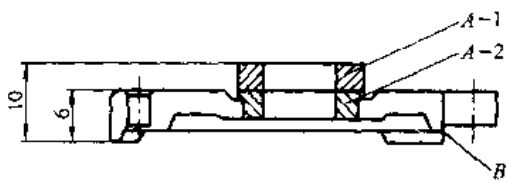
4) 烧结浸渗法是将几部分压坯叠放在一起烧结,并且浸渗铜。由于铜适当过量,在两个压坯的接触面上形成薄铜层,冷却后将两者连接成整体。

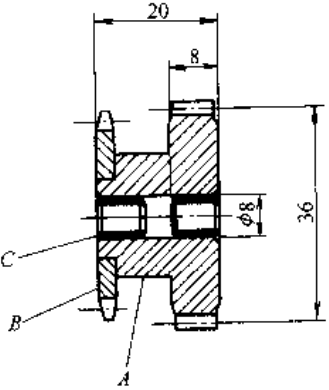
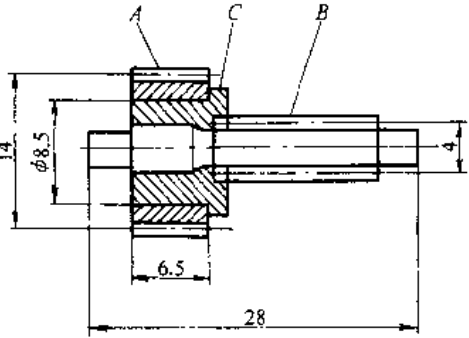
5) 烧结钎焊法是采用镍-铜-锰合金粉末作焊料,在烧结过程中焊粉熔化,通过压坯与导向套之间的缝隙(宽 0.01~0.10mm)流入,与铁固溶后,熔点提高,重新凝固,将几部分压坯粘结成整体。具体实例见表 2-32。几种组合烧结法相比,选用烧结钎焊法或烧结收缩过盈法的产品尺寸精度高,渗铜法中等,烧结钎焊法密封性好,渗铜法中等,烧结收缩过盈法较差。而在成本上,烧结收缩过盈法最低,烧结钎焊法中等,渗铜法较高。

表 2-32 组成成形零件实例

工件剖面图	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, 6.9g/cm³ B Fe-1.5Cu-0.6C, 6.9g/cm³</p> <p>工艺: 将 A、B 两部分分别压制后,组合在一起,于 1130°C 烧结 30min,因两者膨胀量的不同,使界面接触压力增大,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, 6.6g/cm³ B 不锈钢</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 8~15μm 的情况下,将 D 压入 A、B、C 中</p>

(续)

工件剖面图	组合成形简要工艺
<p>(3) 液相扩散法(汽车用凸轮轴)</p> 	<p>材质: AFe-5Cr-1Mo-2Cu-0.5P-2.5C, 7.6g/cm³ B 碳素钢管</p> <p>工艺: 把 A 在 940°C 以下预烧后, 将轴 B 压入凸轮 A。二者间 V 型沟间隙小于 0.3mm。在 1110°C 烧结 30min, 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(油压马达侧板)</p> 	<p>材质: (烧结前) AFe-3Cu-0.7C, 6.7g/cm³ B、CFe-1.5Cu-1.0C, 6.7g/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、CFe-2Cu-0.8C, 6.6g/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°C 烧结 30min。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>
<p>(6) 固相扩散法(办公机用主齿轮)</p> 	<p>材质: AFe-1.5Cu-1.0C, 6.7g/cm³ BFe-1.5Cu-0.7C, 6.7g/cm³</p> <p>工艺: 压坯的配合尺寸公差在 10μm 以下, 包括负差(压力配合)的情况。利用烧结时 A 与 B 的膨胀量不同, 使其交界面处的接触压增大, 达到扩散烧结, 形成强固结合</p>
<p>(7) 二层成形-扩散接合法</p> 	<p>材质: A-1 SUS304(不锈钢), 6.0g/cm³ A-2 Fe-10Cu, 6.5g/cm³ BFe, 6.4g/cm³</p> <p>工艺: 将 A-1 粉与 A-2 粉分两层装粉, 同时加压成形 A 压坯。将纯铁 B 压坯与 A 压坯组合。在烧结时, 利用 A 压坯中的铜向相邻母材渗透, 以及压坯 A 与 B 的膨胀量不同, 形成组合烧结效果</p>

工件剖面图	组合成形简要工艺
<p>(8) 挤压 压入法</p> 	<p>材质: AFe-1.5Cu-0.8C, 6.0g/cm³ B 冷轧钢板 SPCC CCu-10Sn, 6.6g/cm³</p> <p>工艺: 将齿轮 A 和链轮 B 嵌配(间隙: 圆弧部分 0~0.1mm, 直边部分 0~0.15mm), 放在 B 上进行挤压(长 4.8mm 宽 1.2mm 深 0.3mm, 共 8 处)。将轴承 C 压入齿轮 A (过盈 0.03~0.05mm) 轴承内径尺寸误差可达 0.02mm 以下; 相对于内径, 齿轮节圆偏摆可控制在 0.05mm 以内</p>
<p>(9) 树脂压入法</p> 	<p>材质: AFe 2Cu-0.5C, 6.6g/cm³ BSUS303(不锈钢) CPBTP 树脂</p> <p>工艺: 将齿轮轴 B 插入 PBTP 树脂环 C 内嵌镶成形, 再将烧结齿轮 A 压入 C 成一组合件(压配合, 尺寸差为 40~80μm)。在 70°C 下能承受扭矩 2.94N·m, 脱出力大于 196N</p>

五、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。机械式粉末成形压机模具的最大装粉高度见第四章第二节。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 P , 则:

$$P = p \times S \quad (2-1)$$

式中, S 为压坯的投影面积, p 为压坯成形须用的单位压力。如果压机的压制能力为 P_{\max} , 则成形压坯的最大投影面积为

$$S \leq \frac{P_{\max}}{p} \quad (2-2)$$

铁基粉末冶金压坯的单位成形压力约为 400~700MPa。

此外, 压坯的径向尺寸还受到装粉靴(见图 2-13 所示)大小的限制。压坯径向尺寸至少要比装粉靴单侧的尺寸小 20mm 以上, 才能保证装粉质量。粉末成形压机用标准装粉靴的尺寸见表 2-33。

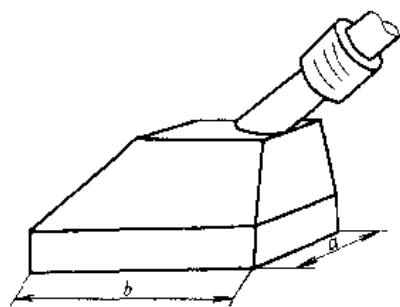


图 2-13 粉末成形压机用装粉靴

表 2-33 粉末成形压机用标准装粉靴的尺寸

成形压机的压制能力, kN(tf)	可用的装粉靴尺寸 a/mm	可用的装粉靴尺寸 b/mm
150(15)	70	80
400(40)	100	110
1000(100)	140	150
2000(200)	180	200
5000(500)	240	240

六、金属注射成形(MIM)零件成形坯形状设计简介

(一) 金属注射成形模具设计要点简介

金属注射成形(MIM)与塑料注射成形模具的设计、制作相近,模具由二个模块组成。装于模块型腔中的型芯用于成形零件坯内部的形状,型腔则成形零件坯的外部形状。设计的全部零件坯形状在零件坯固化后必须能从模具型腔中脱出,并用顶杆将其从型芯上顶出。

设计金属注射成形模具时必须考虑到注射成形工艺的三项要求。首先,注射料是通过一个或几个浇口注入模具型腔的,因此,浇口是正确充填模具型腔的关键,同时浇口在注射成形的零件坯上会残留有明显印痕。其次,模具必须可开启,在注射成形的零件坯上可以看出分型线位置。最后,注射成形的零件坯必须用顶杆从模具中顶出,顶杆在注射成形的零件坯上会残留有明显印迹。

1. 分型线 模具分型线的位置是零件形状取向的关键。分型线一般设置在平行于模型零件移动平面上拔模斜度的起点处。可能的话,为便于注射成形零件坯脱模,零件坯全部形状的排列取向都应垂直于分型线平面。在零件成形坯的形状需要进行补充切削加工或组装作业的场所,增加模具中的模型零件在费用上可能是合算的。如果零件坯的形状复杂程度不需要后续加工或大大延长生产周期,则对零件的生产成本就没有什么影响。倘若复杂形状零件的设计符合金属注射成形的生产工艺与公差的要求,就能将零件的功能设计与经济最好地结合起来。

分型线最好位于一个平面之内。可是,为了能成形出所需要的零件形状特征,往往需要增加零件形状的复杂程度,从而增大模具的制作和维修费用。

有时,可将分型线设置在零件坯的一个边缘(或角)上,从而使分型线难以看出。

2. 浇口位置 在注射成形过程中,浇口是注射料流入模具型腔的进料口。浇口的最佳位置是使产品与工艺需要之间达到平衡。通常,会就浇口与注射成形坯分开处位置,由注射成形零件坯上留下痕迹。所以,设计时,必须考虑到浇口的位置。浇口的最佳位置需由零件设计人员与金属注射成形零件生产厂家双方讨论决定。一般浇口都位于分型线上,浇口的位置应使注射料流向型芯或型腔壁。在壁厚不同处,浇口的位置应使注射料从较厚的截面流向较薄的截面。

3. 顶杆 完成注射成形后,顶杆是将成形的零件坯从模具中顶出的工具。为了顶出时不使零件坯变形,必须有足够数量和大小适当的,顶杆以免在零件坯上残留太深的印痕。

顶杆的位置既要考虑到制造工艺,又要照顾到功能需要。顶杆的位置应设计在需要最大顶

出力的部分(诸如型芯孔)附近和可承受与传递顶出力的结构性部分(诸如加强肋)上。顶杆会在零件坯上残留永久变形的印迹,当顶杆与其导体之间产生磨损时,这种印迹就将变成一圈毛边。为防止这种毛边突出在零件坯的功能表面上,应使顶杆支撑在凹入的形状部位。可能的话,应使顶杆支撑在成形零件最终进行切削加工的表面上或进行修整与再加工的无用区域,诸如注射料流道。

(二) 金属注射成形零件成形坯形状设计

金属注射成形零件的形状设计和常规的塑料注射成形件或压铸件相似。只是由于注射成形的材料特性不同,尺寸与比例不同。在设计金属注射成形零件形状时,必须考虑到:首先,模具型腔必须能够被注射料完全充满以形成零件的全部形状;其次,注射料固化必须无损于零件成形坯;最后,成形坯必须能从模具中顶出且不产生变形,可进行进一步加工。

1. 稍度 为便于从模具中取出成形的零件坯,零件坯壁都是带稍度的。稍度是指成形零件坯表面对平行于模具零件移动方向平面形成的一个小角度,如图 2-14 所示。设计这个稍度是为了使注射成形的零件坯便于脱模与顶出。稍度一般为 $0.5^{\circ} \sim 2.0^{\circ}$ 。实际稍度大小因零件坯形状复杂程度或增加的复合型芯而增大。为便于模具制作,所有形状上的稍度应相同。为便于注射成形,稍度应接近于上限和符合功能要求。

2. 壁厚 零件坯各处的壁厚应尽量均匀一致。壁厚不同会导致成形坯扭曲、内应力、孔洞、开裂及凹陷,另外,还可能导致收缩不均匀,影响尺寸与公差。零件坯壁厚最好在 1.3~6.3mm 范围之内,但在二个方向可能除外。设计零件时,应与生产厂家商议后确定。

图 2-15 所示为将零件坯形状设计成壁厚较均匀的几种常用方法。在壁厚变化处,应采取逐渐过渡的设计,如图 2-16 所示,或采用大半径,如图 2-17 所示。也可借助型芯获得均一壁厚,如图 2-18 所示。

3. 孔 可借助型芯成形的孔将横截面减小到规定的范围之内,获得均一壁厚,减小材料消耗,并减少或消除切削加工。孔的方向最好平行于模具开启的方向并垂直于分型面。最好采用通孔与不用盲孔,因为成形通孔的型芯可支撑在两端,而成形盲孔必须使用悬臂型芯。内部的连通孔可注射成形,但需使用专用工具,在除去毛边上还可能会产生问题。内部的连通孔应相互垂直,可能的话,应将一个孔做成 D 形的,以便于型芯密封,如图 2-19 所示。

4. 肋与腹板 肋与腹板用于增强较薄的壁与避免厚截面,除了增大薄壁的强度与刚度外,还可以改善注射料的流动与限制变形。

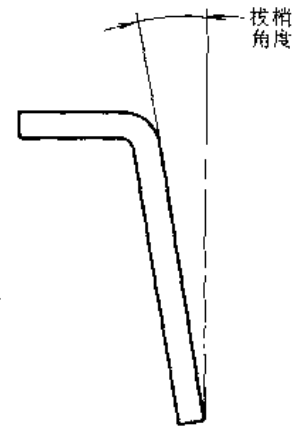


图 2-14 拔梢角度示意图

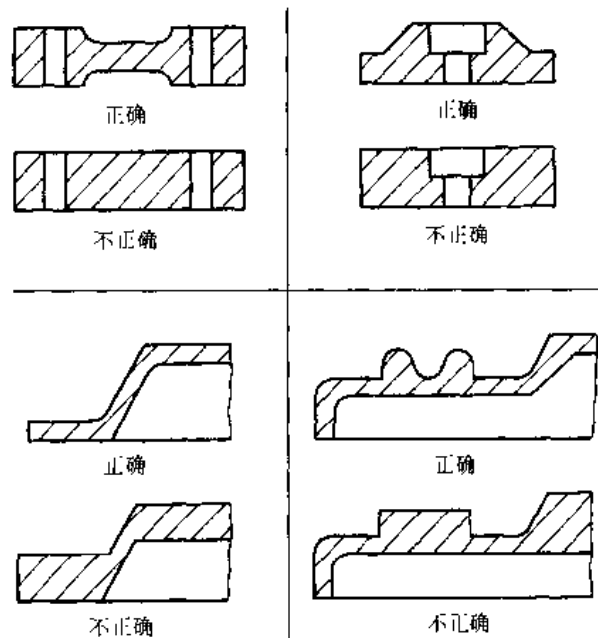


图 2-15 壁厚均一有利于消除或将扭曲、应力集中、孔洞、开裂及凹陷减小至最低限度,改善尺寸精度

肋的厚度不得大于邻接的壁。在结构上需要较厚肋的场合,应用多肋替代。肋可能导致邻接壁反面产生凹陷、翘曲或应力集中。因为肋是通过除去成形材料成形的,所以往往有利于评估无肋时的使用性能,然后再根据使用性能试验结果增加肋。推荐的肋的比例如图 2-20 所示。

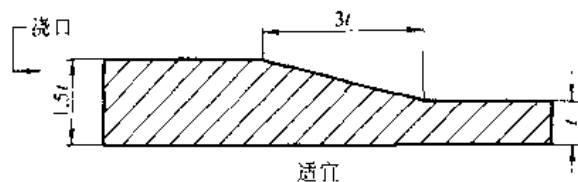


图 2-16 壁厚不同时,截面间逐渐过渡可减小应力集中与减少表面缺陷,改进充填模具型腔时注射料的流动

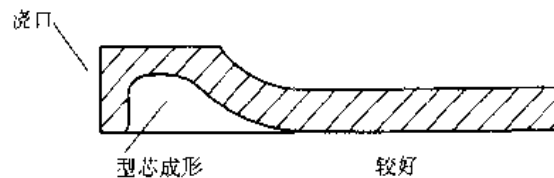


图 2-17 借助型芯除去多余材料有助于获得壁厚均一的零件坯

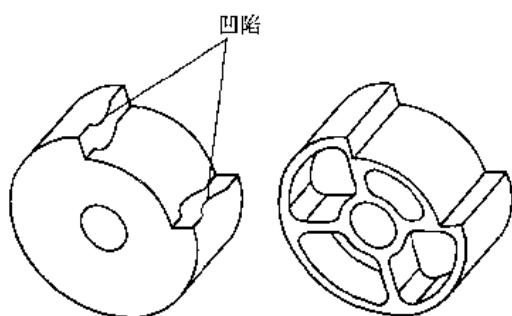


图 2-18 借助于型芯成形的孔可获得均一壁厚,减小或消除凹陷与变形

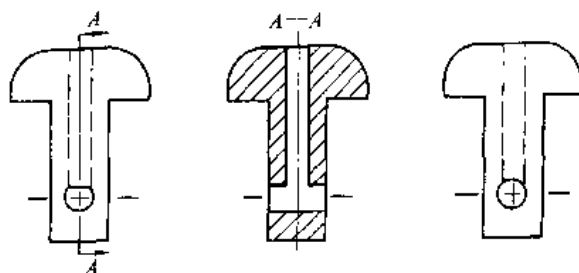


图 2-19 交叉孔应相互垂直,和将一个孔做成“D”形的,以便于在模具中封闭

5. 倒角与圆角 由于倒角与圆角可减小形状交会处的应力,所以对产品功能是有利的。鉴于倒角与圆角可消除导致模具开裂或磨蚀的尖角,并有利于注射料流入模具型腔中,因此,对于注射成形工艺过程也是有利的。对大多数金属注射成形零件推荐采用 0.4~0.8mm 的倒角与圆角。

6. 凸台与柱体 凸台与柱体可用于成形连接头。柱体或孔的最大长度不得超过邻接壁厚度的 5 倍,柱体直径不得超过邻接壁的厚度。带盲孔或通孔的凸台,其直径应为孔的 2 倍,凸台壁厚不得超过邻接表面。这些参数将孔的直径限制为邻接壁厚的 2 倍。孔的设计参数见图 2-21。

7. 螺纹 内螺纹与外螺纹都可以用金属注射成形工艺成形,但用丝锥攻出的内螺纹一般比用型芯成形的内螺纹精确,而且价格不高。用形芯成形时,成形后需将型芯拧出,制作型芯要增加模具费用,还可能略微减低生产速率。期望采用成形内螺纹的用户可就成形螺纹的种类、生产率及费用等向金属注射成形零件生产厂家进行咨询。

外螺纹的最佳位置是位于模具零件分型线上,这时不需要考虑拧出成形外螺纹的模具零件。对于外螺纹在分型线表面增加窄小平面,如图 2-22 所示,可使每一侧的毛边为 0.05mm,从而改进螺纹的品质与减小模具的维修。

8. 凹槽 外部凹槽和外螺纹一样,很容易在

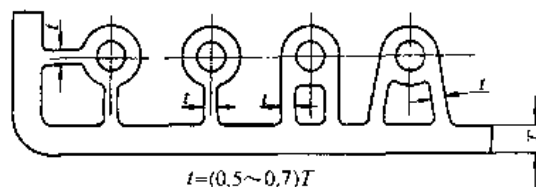


图 2-20 对于薄壁零件或减小横截面以改进壁厚均一性的零件,加强肋或腹板是增高强度与刚度的一条有效途径

分型线上成形,如图 2-23 所示。可是,当需要增加模具零件来成形凹槽的场合,会增加模具费用与减低生产率。当对零件重新进行设计以消除凹槽与相关的模具零件时,可减少模具与生产费用。如图 2-24 所示之内凹槽,虽可用组合型芯成形,但还需要考虑在经济上是否可行,因此,在设计中应避免采用。

9. 其他功能性与装饰性形状 诸如标记、滚花、零件号及型腔号之类的形状细节都易于在适当位置成形。鉴于这些形状细节都必须从模具中脱出,它们不能位于平行或接近平行于模具零件移动方向的模具零件表面上。

10. 尺寸精度与表面粗糙度 金属注射成形工艺的优势之一是能够控制注射成形坯烧结时的收缩以获得精密公差。尺寸公差一般可保持在名义尺寸的 $\pm(0.3\sim 0.5)\%$ 范围之内,下限为 $\pm 0.025\text{mm}$ 。角度的公差一般为 $\pm 0.5^\circ$ 。对于一些形状可取较小的公差,但可能需要放宽其它形状的公差。

鉴于粉末粒度很细与孔隙度低,金属注射成形零件的一般表面粗糙度为 $R_a 0.8\mu\text{m}$ 。

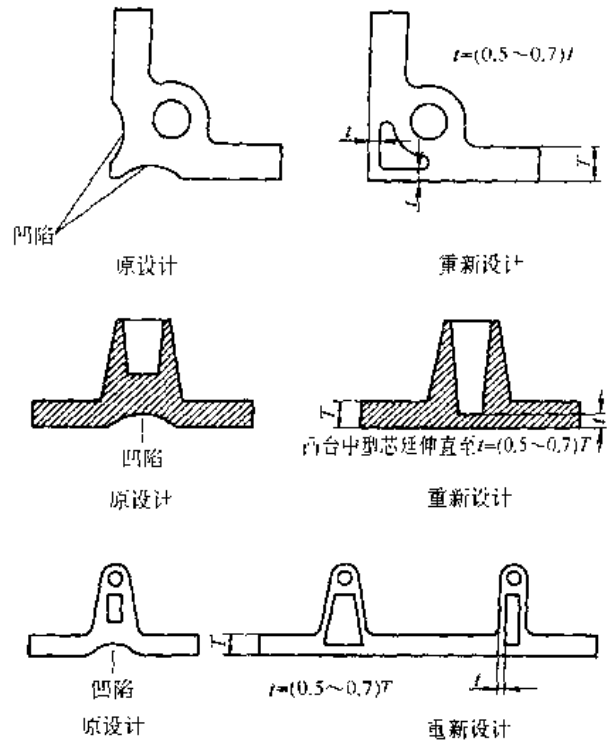


图 2-21 凸台与柱体可用于成形连接头,毗连孔或型芯成形区的壁厚应等于邻接表面厚度的 0.5~0.7 倍

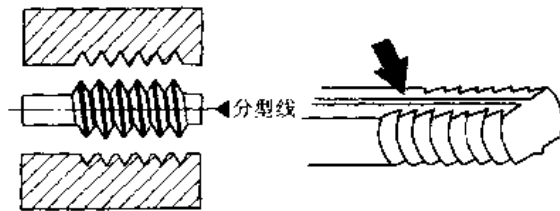


图 2-22 在分型线表面上对外螺纹增加窄小平面,通过使毛边位于根径之下,可改进螺纹的公差



图 2-23 外部凹槽很容易在金属注射成形(MIM)零件上成形。可是,模具必须使凹槽表面有二条相隔 180° 的分型线

图 2-24 在金属注射成形(MIM)零件上不便成形内部凹槽,故应予以避免

第四节 压坯尺寸精度和位置精度的确定

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。

一、压坯的尺寸精度

烧结金属制品的尺寸精度取决于原料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(垂直于压制方向)精度主要受模具尺寸精度的影响。压坯的轴向(平行于压制方向)精度主要受压机动作、压机本身精度、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+精整的工艺。

根据现在粉末冶金制品生产的实际水平,其尺寸精度可以大致分为粗、中、精密三级,如表 2-34 所示。但该表等级较少,不一定能满足零件设计要求,况且随着生产技术的发展,尺寸精度的等级也在不断提高。故这里又以最常用的 Fe—C—Cu 烧结合金制造的零件为例,说明零件分别经烧结后、烧结+精整后、烧结+水蒸气处理后、烧结+精整+水蒸气处理后、烧结+热处理后和烧结+精整+热处理后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 2-35。

表 2-34 烧结金属制品普通尺寸容许差(JIS B0411) (mm)

等 级 尺寸范围	径 向			轴 向		
	精密级	中 级	粗 级	精密级	中 级	粗 级
<6	±0.05	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.6
6~30	±0.1	±0.2	±0.5	±0.2	±0.5	±1
30~120	±0.15	±0.3	±0.8	±0.3	±0.8	±1.8
120~315	±0.2	±0.5	±1.2			

表 2-35 Fe—C—Cu 系烧结零件内、外径和高度的尺寸精度 (mm)

压机类别	生 产 工 艺	外 径 φ20~φ30	内 径 φ5~φ15	高 度		
				10 以下	20 以下	30 以下
400kN	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

(续)

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 以下	20 以下	30 以下
2000kN	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 以下	20 以下	30 以下
5000kN	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(质量分数,%)Fe-(1.5~2)Cu-(0.5~0.8)C,密度6.6~6.8g/cm³

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 2-36。材料的化学成分对压坯的尺寸精度亦有影响,表 2-37 列出了几种常用粉末冶金材料的径向尺寸公差。

表 2-36 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				
	外径尺寸	$>\phi 10 \sim \phi 18$	$>\phi 18 \sim \phi 30$	$>\phi 30 \sim \phi 50$	$>\phi 50 \sim \phi 80$
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 2-37 几种粉末冶金制品的典型径向尺寸的公差 (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0.102mm。

二、压坯的位置精度

对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~IT10 级。而烧结零件的平行度一般取决于精整模具和压机的平行度以及精整方式,由于烧结零件的侧面平行于压制方向,故其平行度约为 IT7~IT8 级,烧结零件端面的平行度约为 IT9~IT10 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,面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 2-38 和表 2-39。

表 2-38 Fe—Cu—C 系烧结零件的径向跳动和平行度
[成分(质量分数,%):Fe-(1.5~2)Cu-0.8C,密度 6.6~6.8g/cm³] (mm)

压机类型	工 艺	外 径	径 向 跳 动	平 行 度
400kN	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
2000kN	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
5000kN	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

表 2-39 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	
齿 轮	

三、烧结制品表面粗糙度

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 $R_a 2.5\mu\text{m}$ ($\nabla 6$ 左右)。当使用抛光后的精整模具精整时, 烧结零件的侧表面粗糙度可达到 $R_a 0.5\mu\text{m}$ ($\nabla 7 \sim \nabla 8$)。但烧结零件的端面, 以及其锥面和球面, 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-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2-40和表2-41。

表 2-40 Fe-(1.5~2)Cu-(0.5~0.8)C^①合金和 Fe-(0.5~0.6)C^①合金制品的表面粗糙度(密度 6.6~6.8g/cm³)

压机类别	400kN			2000kN			5000kN		
	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。表面粗糙度按 JIS B 0601-1976。

① 为质量分数, %。

表 2-41 Fe-(1.5~2)Cu-(0.5~0.8)C^①合金和 Fe-(0.5~0.6)C^①合金的表面粗糙度

压机类型	400~5000kN			
	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。

① 为质量分数, %。

四、烧结齿轮的尺寸精度、位置精度和表面粗糙度

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,最常用的材料成分是铁-碳-铜系列。用粉末冶金工艺制造齿轮时可能产生的尺寸偏差及其影响因素见表2-42。烧结齿轮的精度中最差者是节圆跳动,其次是齿形公差、齿厚公差、齿向公差和周节公差。

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。模具精度对其影响最大。当齿轮的中心孔为圆孔时,用节圆夹具夹住外径精车内孔时,可达日本齿轮标准 JB 176-60 的 7~8 级。

表 2-42 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
齿面有槽	往往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
齿槽不均一	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

齿形公差在批量生产时,烧结状态与热处理状态可达到 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 2-25),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,应将带台内孔改为直孔。烧结齿轮的周节精度取决于模具的精度。

烧结齿轮的容许精度见表 2-43,实际生产中烧结齿轮的尺寸精度和形位公差举例参见表 2-44 和表 2-38。

烧结齿轮的表面粗糙度一般不低于 $R_a 1.6 \sim 2.5 \mu\text{m}$ (相当于 $\nabla 6$),精整后可达到 $R_a 0.32 \mu\text{m}$ (相当于 $\nabla 9$)。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 2-44 的例子。

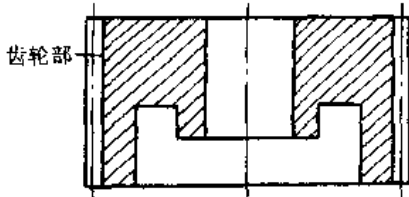


图 2-25 带台阶面的齿轮举例

表 2-43 烧结齿轮的一般容许精度

项 目	节 径/mm		
	小于 12	12~30	30~60
单一周节公差	0.012	0.015	0.020
周节累积公差	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	0.40	0.050

表 2-44 齿轮精度

[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: 6.6~6.8g/cm³]

压机类别	工 艺	外 径/mm	齿轮精度(JIS级) ^①
400kN	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
2000kN	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
5000kN	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

① 日本齿轮精度级别。

第三章 粉末冶金模具设计基本原理

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构造及动作、压制方式与压坯密度的关系以及压制过程和精整过程中力的计算等。

第一节 模架和模具的基本构造与动作

一、模架和模具的基本构造

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。而模具基本上都是由阴模、上、下模冲和芯棒构成（图 3-1）。阴模用于成形零件的径向（垂直于压制方向）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的。图 3-2 示出了模架和模具以及有关部件的关系。

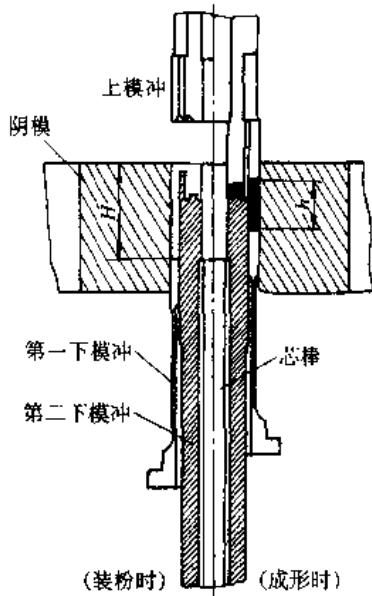


图 3-1 模具组装图

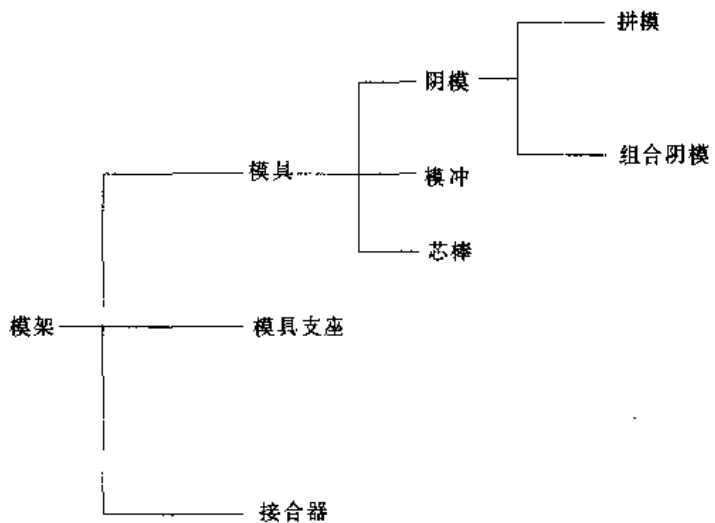


图 3-2 模架的关联用语

以成形Ⅱ型（带上一台阶面、下两台阶面）压坯的装粉状态为例，将典型模架的整体构造简介如下（示意图见图 3-3）。

二、模架和模具的基本动作

1. 典型模架各部分的配置位置和功能，可利用图 3-3 说明如下：

(1) 模架以轭形板连接于压机下压头上。

(2) 用四根导柱将靴形板与阴模板活动连结,使模冲在阴模中动作,进行一体化联动。

(3) 将底板固定在压机台面上,加压时承受下模冲所受的压力。

(4) 将上模冲固定在上模冲板上,然后安装于压机压头上。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。芯棒由芯棒压板固定在靴形板上。

(6) 通过提升杆将第一下模冲顶上去,用装粉调整螺母调整第一与第二下模冲间的轴向成形的装粉深度。

(7) 通过导柱使阴模板上行,调整第一下模冲与阴模端面间的轴向成形的装料位置。

2. 压制时,模架(包括模具)的基本动作顺序为:

(1) 装粉靴前进将粉末充填于阴模型腔后退回,上压头下降。

(2) 上模冲由两根导柱准确导向进入阴模,开始进行压缩。

(3) 上模冲压缩到一定行程(压力大于下缸调整的浮动力)后,即与阴模(连同阴模板)和芯棒开始一起下降。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,第一下模冲在承受的压力大于支承靴形板上的提升杆的弹簧力后,也和阴模一起下降。

(5) 当第一下模冲受压下降,使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) 加压成形后,上压头回升,下压头继续下降一段距离,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向两侧移开,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、压制成形、脱模和复位。

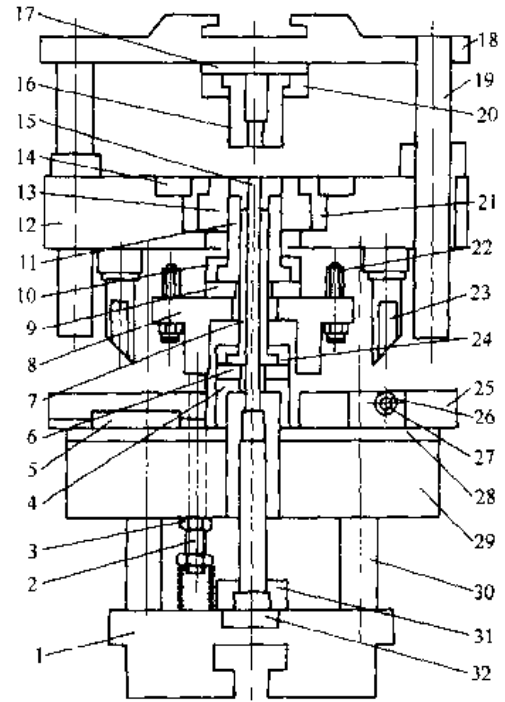


图 3-3 标准模架(拉下法、上一台面、下两台面模架图例)(JPMA4)
1-靴形板 2-提升杆 3-装粉调整螺母
4-第二下模冲支座 5-导体 6-第二下模冲托板 7-第二下模冲 8-第一下模冲支座 9-第一下模冲托板 10-第一下模冲压板 11-第一下模冲 12-阴模板 13-阴模 14-阴模压板 15-芯棒 16-上模冲 17-上模冲底板 18-上模冲板 19-导柱 20-上模冲压板 21-阴模座 22-拔出调整螺栓 23-楔形块 24-第二下模冲压板 25-滑块 26-滚轮 27-滚轮销 28-耐磨板 29-底板 30-导柱 31-芯棒压板 32-芯棒底板

第二节 压制过程和精整过程中力的分析

一、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机的重要参数。

使用钢制模具压制时,施加于粉末体上的压力主要消耗于两个方面:

(1) 静压力—当压坯内各处的压力和密度均匀分布, 并且不考虑粉末与模壁之间的摩擦阻力和模具变形阻力时, 仅仅为了克服粉末体对压制的阻力 F_1 也就是粉末体本身变形和致密所需要的力;

(2) 外摩擦力—用来克服粉末与模壁之间的摩擦所消耗的力 F_2 。

模压过程的总压制压力 $F_{总}$ 为:

$$F_{总} = F_1 + F_2$$

总压制压力 $F_{总}$ 与压坯的关系为:

$$F_{总} = pS$$

式中 p ——单位压制压力 (即压制压强) (MPa);

S ——压坯受压的横截面积 (cm^2)。

单位压制压力与压坯密度的关系, 反映了压制过程中粉末体变形和致密的规律。在忽略粉末与模壁之间摩擦的影响时, 对于确定的粉末, 单位压制压力只取决于压坯的密度要求。不同种类的粉末, 其单位压力与压坯密度的对应关系亦不同。

对于生产中常见的铁基和青铜基的压坯, 其单位压制压力 p 与压坯密度 γ 呈下列关系:

$$p = \left(\frac{\gamma}{b} \right)^{\frac{1}{a}} \quad (3-1)$$

式中 γ ——压坯密度 (g/cm^3);

a ——取决于粉末种类的常数;

b ——当压制压力为 100MPa 时的压坯密度值。

在实际生产中, 一般说来, 硬质合金的单位压制压力为 100~300MPa, 铜基材料的单位压制压力为 200~500MPa, 铁基材料的单位压制压力为 400~700MPa, 不锈钢材料的单位压制压力为 700~800MPa。

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。

二、侧压力和剩余侧压力

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所引起的模壁给予压坯侧面的应力称为侧压压强 p_m 。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:

$$p_m = \xi p = \frac{\nu}{1-\nu} p \quad (3-2)$$

式中 p_m ——侧压强 (MPa);

ν ——泊松比;

ξ ——侧压系数, $\xi = \frac{\nu}{1-\nu}$;

p ——单位压力 (压制压强) (MPa)。

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 (3-2) 计算出来的侧压力仅是一个估计值。

卸压后，上模冲回程，先前高应力下变形的压坯和模具趋于恢复相应的未变形的形状和尺寸。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，表现为径向剩余侧压强 ($p_{\text{侧余}}$)，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。剩余侧压强 $p_{\text{侧余}}$ 可按下式计算：

$$p_{\text{侧余}} = jp_{\text{侧}} = j\xi p = j\xi_0 \theta p \quad (3-3a)$$

式中 j ——剩余侧压强与侧压强之比，取决于模具的刚度 m (阴模外径与内径之比)；

ξ ——侧压系数， $\xi = \theta\xi_0$ ， ξ_0 为相应致密材料的侧压系数；

θ ——压坯的相对密度。

当阴模为钢模，其弹性模量 $E_{\text{阴}} = 2 \times 10^5 \text{MPa}$ ，其泊松比 $\nu_{\text{阴}} = 0.3$ ，铁基压坯密度为 6.6g/cm^3 ， $E_{\text{压坯}} = 1.2 \times 10^5 \text{MPa}$ ， $\nu_{\text{压坯}} = 0.22$ 时，其 j 值与 m 值的关系见表 3-1。不同材料的 ξ_0 值见表 3-2。

表 3-1 m 与 j 的关系

m	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.5	3	4	∞
j	0.89	0.82	0.76	0.70	0.69	0.67	0.64	0.63	0.61	0.60	0.58	0.56	0.54	0.53	0.50

$p_{\text{侧余}}$ 亦可以按下面两式计算：

$$p_{\text{侧余}} = \frac{E\Delta_{R_{\text{阴}}}(m^2-1)}{2R} \quad (3-4)$$

式中 E ——模具材料的弹性模量；

$\Delta_{R_{\text{阴}}}$ ——卸压后阴模外半径上剩余的变形量；

R ——阴模外半径。

若能实测到 $\Delta_{R_{\text{阴}}}$ ，则可按下式计算：

$$p_{\text{侧余}} = \frac{\frac{1}{E_{\text{阴}}}\left(\frac{m^2+1}{m^2-1} + \nu_{\text{阴}}\right)}{\frac{1}{E_{\text{阴}}}\left(\frac{m^2+1}{m^2-1} + \nu_{\text{阴}}\right) + \frac{1}{E_{\text{压坯}}}(1-\nu_{\text{压坯}})} \xi_0 \theta p \quad (3-5)$$

式中 $E_{\text{阴}}$ ——阴模材料的弹性模量；

$E_{\text{压坯}}$ ——压坯材料的弹性模量；

$\nu_{\text{阴}}$ ——阴模材料的泊松比；

$\nu_{\text{压坯}}$ ——压坯材料的泊松比；

m 、 j 见式 (3-3)

表 3-2 不同材料的 ν 值和 ξ_0 值

材 料	泊松比 ν	侧压系数 ξ_0	材 料	泊松比 ν	侧压系数 ξ_0
铁	0.28	0.38	铝	0.36	0.56
钢	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

当相对密度 θ 为 0.80~0.85, $m=2\sim4$ 时, 对于铁基粉末, 残余侧压强值 $p_{\text{侧余}}$ 的范围为:

$$p_{\text{侧余}} = (0.2\sim0.3)p \quad (3-6)$$

三、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、侧面积和尺寸, 以及压模的润滑剂有关。脱模压力与压制压力一般呈线性关系, 并随压坯高度和压坯侧面积而增加。脱模压力的选择在自动压制时非常重要。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 $P_{\text{脱}}$ 可由下式求出:

$$P_{\text{脱}} = f' p_{\text{侧余}} S_{\text{侧}} \quad (3-7)$$

式中 f' ——粉末对阴模壁的静摩擦系数, 铁基压坯单位压力在 400~700MPa 的范围内时 f' 值为 0.17~0.19 (见表 3-3);

$p_{\text{侧余}}$ ——残余侧压强 (MPa);

$S_{\text{侧}}$ ——为压坯与阴模壁接触的侧面积 (cm^2)。

表 3-3 几种粉末与模壁之间的摩擦系数

粉末成分	单位压制压力 p/MPa	静摩擦系数 f'	动摩擦系数 f
铁-铜 2.5%~3%-石墨 0.8%~ 0.85%-硬脂酸锌 0.8%	390	0.140	0.084
	540	0.175	0.105
	875	0.17~0.19	0.110
铁-硫 0.3%-石墨 1.2%-硬脂酸 锌 0.8%	875	0.15	0.10
	540	0.137	0.09
铁-硫 0.3%-石墨 2.2%-硬脂酸 锌 0.8%	875	0.12~0.14	0.08
	390	0.085	0.05
青铜 6-6-3-石墨 0.75%-硬脂酸 锌 1.0%	490	0.088~0.100	0.05~0.06
	500	0.08	0.05
	540	0.09	0.06
	400	0.356	0.18
纯铁	240	0.182	0.127
	500	0.29	0.18

对于齿轮类制品的侧面积可由下式近似计算:

$$S_{\text{侧}} \approx m'(8Z - 7.75)H \quad (3-8)$$

式中 m' 为齿轮模数, Z 为齿数, H 为压坯高度。

压坯与模壁间的摩擦系数主要取决于粉末的成分、粉料中的润滑剂添加量、模壁粗糙度、压制压力和模具温度等因素。在生产中, 不同粉料压坯与模壁的摩擦系数之间存在 $f_{\text{青铜粉}} < f_{\text{纯铜粉}} < f_{\text{铁粉}}$ 的关系。粉料中加入润滑剂, 可显著降低摩擦系数。无润滑剂的金属粉末, 摩擦系数在正常压制阶段略有增加, 超过一定压力后则上升很快。对含有较多润滑剂的粉末, 压力提高, 摩擦系数基本不变或略有增加。连续压制时, 模壁温度增高后, 摩擦系数亦会略有增大。模壁粗糙度的改善, 有利于降低摩擦系数。在低速 (接近压制终了时) 高压制压力条

件下，塑性金属粉末有可能与模壁产生粘附现象，即出现“模瘤”。较差的模壁粗糙度、润滑不良和模具温度过高，都将加重“模瘤”现象，这会使摩擦系数剧增。

在脱模时，当脱模压力超过压坯在阴模中开始移动的阻力峰值后，压坯继续滑动所需的力将降低。当然，如果局部磨损或模具制造过程中造成的某些形状缺陷（如“模瘤”等）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，甚至会使脱模压力 $P_{脱}$ 超过压制压力 P ，造成模壁拉伤现象。脱模压力一般不大于 30MPa，否则在模具强度方面可能引起问题。因此在模具设计时，必须考虑正确选择单位压力的大小和添加适量的润滑剂，避免这种情况发生。

在生产中一般铁粉压坯的脱模压力 $P_{脱}$ 与压制压力 P 的关系近似为：

$$P_{脱} \approx 0.13P \quad (3-9)$$

硬质合金物料的脱模压力一般近似为：

$$P'_{脱} \approx 0.3P \quad (3-10)$$

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 $0.03 \sim 0.05P$ 。

四、精整压力

精整工艺是将烧结后的制品在模具中进行冷压缩，通过塑性变形来提高制品的尺寸精度并改善表面粗糙度。对于低密度的轴套类制品，精整压力一般为压制压力的 $1/3 \sim 1/2$ 。但对于复杂形状的结构零件，当选择较大的精整余量时，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”，是制品外径留有精整余量，内径不留精整余量，精整时芯棒先进入内孔，上模冲强迫制品一起通过阴模，使制品内、外径都减小，从而达到同时精整内、外径的目的（见图 3-4）。而“内胀外”则是制品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膨胀来实现的（见图 3-5）。

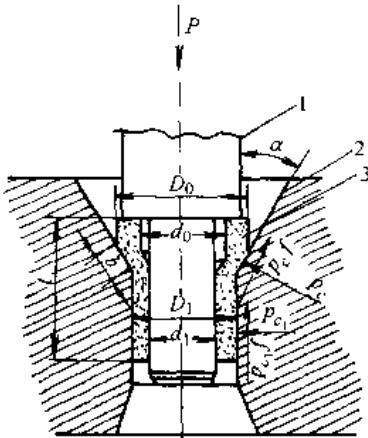


图 3-4 外箍内精整方式的受力分析

1—模冲与芯棒 2—阴模
3—被整形零件

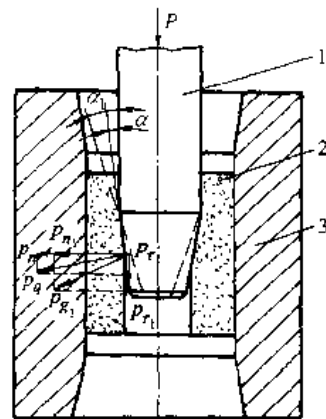


图 3-5 内胀外精整方式的受力分析

1—芯棒 2—被精整零件 3—阴模

采用“外箍内”或“内胀外”精整方式时，精整压力 $P_{\text{整}}$ 由下面三部分组成：

$$P_{\text{整}} = P_1 + P_2 + P_3 \quad (3-11)$$

式中 P_1 ——实现轴套纯变形所需的力；

P_2 ——克服精整区外摩擦所需的力；

P_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。

下面分别考虑这三部分力与被精整零件、精整模具等参数的关系，以便得出精整压力 $P_{\text{整}}$ 的数学表达式。首先分析 P_1 ：

$$P_1 = p_{\text{整}} \Delta S \quad (3-12)$$

式中 $p_{\text{整}}$ ——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。

其次分析克服精整区外摩擦所需的力 P_2 ：

$$P_2 = Qfp_{\text{整}} \quad (3-13)$$

式中 Q ——阴模精整区的工作表面积；

f ——精整区的外摩擦系数。

最后分析 P_3 ：

$$P_3 = 0.58\sigma\alpha S_2 \quad (3-14)$$

式中 σ ——精整材料的塑性变形抗力，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 (3-12)、式 (3-13) 和式 (3-14) 代入式 (3-11)，得出精整压力的数学表达式为：

$$P_{\text{整}} = P_1 + P_2 + P_3 = p_{\text{整}} (\Delta S + fQ) + 0.58\sigma\alpha S_2 \quad (3-15)$$

由式 (3-15) 便能计算出精整压力，式中的 $p_{\text{整}}$ 、 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 (见图 3-4)，芯棒先进入轴套内孔，上模冲强迫轴套一起通过阴模，达到同时精整轴套内外径的目的，在精整区的平均压强可按下式计算：

$$p_{\text{整}} = \frac{\sigma}{1 + \frac{\Delta S}{2S_2} \left(1 - \frac{f}{\alpha} \right)} \quad (3-16)$$

式中 σ ——在三向压缩条件下，精整材料的变形抗力；

ΔS ——在这里， $\Delta S = \frac{D_0^2 - D_1^2}{4} \pi$ (D_0 、 D_1 见图 3-4)；

S_2 ——在这里， $S_2 = \frac{D_1^2 - d_1^2}{4} \pi$ (式中各项见图 3-4)。

而式 (3-15) 中的 Q 为

$$Q = \frac{\pi b (D_2 - D_1)}{2 \cos \alpha} \quad (\text{式中各项亦见图 3-4})；$$

2) 当采用“内胀外”的方式精整 (见图 3-5) 时，轴套外径基本上不留精整余量，内径留精整余量，外径表面的挤压是靠内径精整时向外胀来实现的。其精整区平均压强 $p'_{\text{整}}$ 可由下式计算：

$$p'_{精} = \frac{\sigma'}{1 + \frac{\Delta S + fQ}{2S_2}} \quad (3-17)$$

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只有“外箍内”方式的 1/10。

五、压力中心

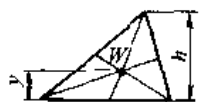

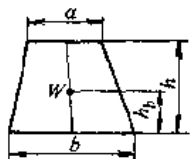
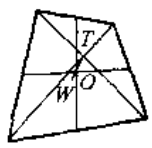
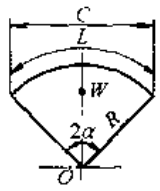
在设计粉末冶金成形模具、精整模具、复压或热锻模具时，都需要注意压力中心问题。压件的压力中心与阴模外形的中心、模冲承压垫的中心，以及压机的压力中心必须重合，否则会产生额外的弯矩，使压机活动横梁台面歪斜，加剧导柱（轨）的磨损，并使上、下模冲承受额外的弯矩，弯矩小时会使配合间隙不对称分配，划伤模壁；弯矩大时会使模冲弯断。对于大截面的压件，因压制压力大，压力中心问题更为突出。

对于对称几何形状的截面，其压力中心即其几何中心。对于非对称的几何形状截面，其压力中心即其截面（垂直于压制方向的投影面）的重心。

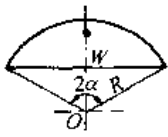
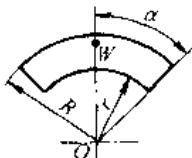
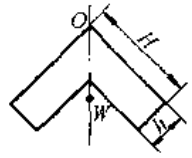
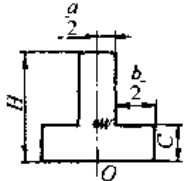
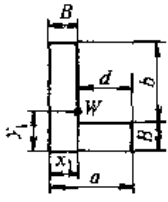
1. 规则截面形状的重心位置（压力中心）

规则截面形状的重心位置，见表 3-4。

表 3-4 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 $y = \frac{1}{3}h$
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 $h_b = \frac{h}{3} \frac{(2a+b)}{(a+b)}$
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 $OW \approx 0.4244R$ $\frac{1}{4}$ 圆时 $OW \approx 0.6002R$

(续)

形状名称	简图	重心位置
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 $x_1 = \frac{a^2 + bB}{2(a+b)}, \quad y_1 = \frac{h^2 + dB}{2(h+d)}$

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 (见图 3-6)。

对于 y 轴取矩平衡, 得

$$x_0 = \frac{P_1 x_1 + P_2 x_2 + \dots + P_n x_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n}$$

对于 x 轴取矩平衡, 得

$$y_0 = \frac{P_1 y_1 + P_2 y_2 + \dots + P_n y_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n}$$

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);

$P_i (i=1 \sim n)$ —— 分截面所受到的压制力;

$x_i (i=1 \sim n)$ —— 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。

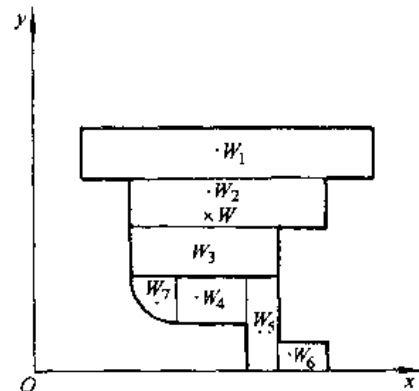


图 3-6 计算压力中心的举例

对于粉末冶金压坯，各分截面 S_i 的压制力按下式计算：

$$P_i = p_i S_i$$

式中 P_i ——分截面所受到的压制力；

S_i ——分截面的面积；

p_i ——单位压力。

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：

$$x_0 = \frac{S_1 x_1 + S_2 x_2 + \cdots + S_n x_n}{S_1 + S_2 + \cdots + S_n} \quad (3-18)$$

$$y_0 = \frac{S_1 y_1 + S_2 y_2 + \cdots + S_n y_n}{S_1 + S_2 + \cdots + S_n} \quad (3-19)$$

该法确定压力中心的坐标，其顺序如下：

- 1) 按比例画出截面形状。
- 2) 任意选择坐标轴 xoy 。
- 3) 把非规则截面分割成若干规则分截面。
- 4) 找出各分截面重心 W_i 位置的坐标。
- 5) 计算各分截面的面积。
- 6) 代入式 (3-18) 及式 (3-19)，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连续截面，可采用物理学上引铅垂线法求得重心位置。其步骤如下：

- 1) 按比例在硬纸板或薄金属片上画出截面形状，并剪下图样。
- 2) 用线将图样吊起（任意位置）。另用一带重物悬挂的线靠在图样上，画一条铅垂线。
- 3) 将图样换一位置悬挂，同样方法再画一条铅垂线。
- 4) 两条铅垂线的交点既重心位置。

第三节 等高（无台阶面）压坯密度分布与压制方式的关系

设计粉末冶金成形模具时，既要尽量使压坯密度分布均匀，又要力求模具结构简单。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分界处。脱模时，这些部位因密度分布不均匀而使弹性后效[⊖]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。压坯密度的均匀性与压制方式有关，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。

一、压坯密度分布规律

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，还受粉

⊖ 弹性后效：在除去压制力并把压坯脱出阴模以后，由于内应力的作用，压坯发生的弹性膨胀。

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，而且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、压缩速率或最终压缩速度有关。

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结果来观察，用箔或玻璃纸将粉末等分为五层置于圆柱体压模中，每层的粉末重量和装粉高度都相同，分别采用单向压制和双向压制，各层的厚度和形状见图 3-7。

压坯密度沿高度的分布见图 3-8。由图 3-7 可以看出，在压坯中存在“中立层”，这一层粉末几乎未产生移动，是压坯中密度最低的部位。单向压制时“中立层”，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，“中立层”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。“中立层”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。

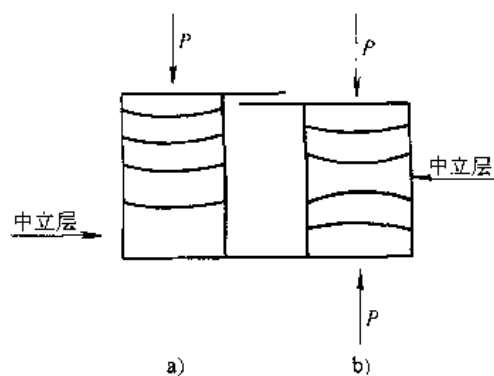


图 3-7 不同压制方式的压坯密度分布图
a) 单向压制 b) 双向压制

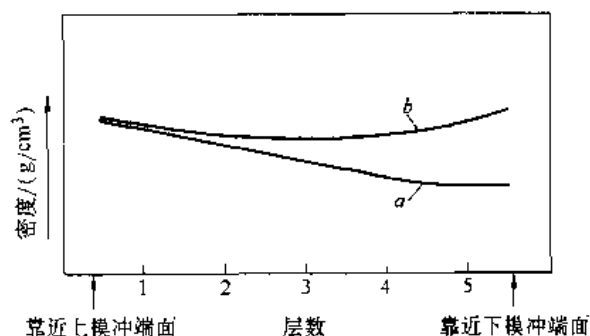


图 3-8 压坯密度沿压坯高度的分布
a—单向压制 b—双向压制

如果采用图 3-9 的压模，依然用上述压坯分五层的方法装粉后，先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），然后用合适的限位块 b 换去原有的限位块 a ，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的压坯密度分布见图 3-10。根据瑞典 Högånäs 《Iron Powder Handbook》中推导的结论，第二次反向单向压制的移动距离 x 为

$$x = \frac{100 (\gamma - \gamma_{\text{单}})}{\gamma_{\text{单}} (c - 1)} \quad (3-20)$$

式中 $\gamma_{\text{单}}$ 为单向压制时的压坯平均密度， γ 为压坯所要求的最终平均密度， c 为粉末的压缩比。非同时双向压制也可称为“后压”，“后压”方式为压模结构设计提供了压坯密度均匀分布的理论基础，特别是为带内台阶面压坯的压模设计提供了使其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。下面将对此进行较为详细分析。

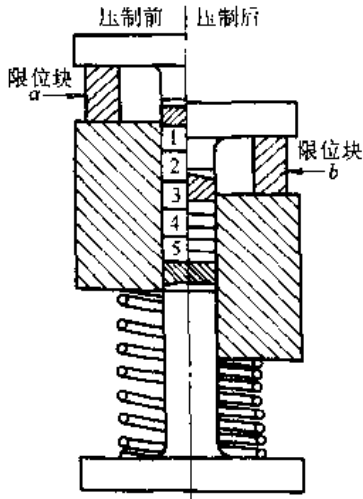


图 3-9 后压实验用模具示意图

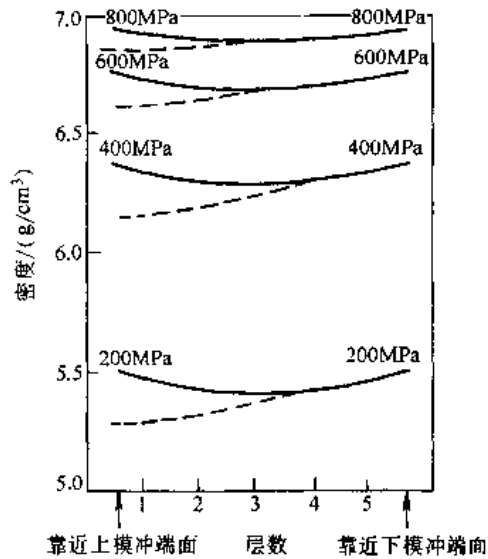


图 3-10 非同时双向压制时沿压坯高度的密度分布曲线

二、无台阶面柱状实体类压坯的压制方式与密度分布

1. 单向压制

(1) 摩擦力的计算 如图 3-11 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 P_{\perp} ，该力一部分通过粉末压坯直接传递到下模冲为 P_{\top} ，另一部分用来克服阴模壁的摩擦力 F ，即

$$P_{\perp} = P_{\top} + F$$

或

$$F = P_{\perp} - P_{\top}$$

压坯最上部 $x=0$ 处，受到单位压力 $p_{\perp} = \frac{P_{\perp}}{S}$ 。压坯最下部 $x=H$ 处，受到单位压力 $p_{\top} = \frac{P_{\top}}{S}$ 。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 $p_{\text{侧}i} = \xi_i p_i$ 。

在 i 处取一小段体积元 dx 来分析。该段体积元产生侧压力 $P_{\text{侧}i}$ 为

$$P_{\text{侧}i} = p_{\text{侧}i} L dx = \xi_i p_i L dx$$

由 $P_{\text{侧}i}$ 产生于体积元的摩擦力 dF_i 为

$$dF_i = f P_{\text{侧}i} = f \xi_i p_i L dx$$

压坯总的摩擦力 F 为

$$F = \int_0^H dF = \int_0^H f \xi_i p_i L dx$$

式中 周长 L 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 $p = p_{\perp}$ 则得

$$F = f\xi p_{\perp} LH = f\xi p_{\perp} S_{侧} \quad (3-21)$$

从式 (3-21) 可知, 摩擦力正比于摩擦系数、侧压系数、单位压力和压坯的侧面积。

式 (3-21) 在各处单位压力 p 相差不大时才适用。过大的长细比或截面上有过分狭长处的压坯则不适用, 如图 3-12 所示。因为在这种情况下 p 不为常数。长细比小于 1~3 的圆柱体 (摩擦系数越小, 允许值越大) 和截面上粉末横向流动受阻不严重时可用式 (3-21), 如图 3-13 所示。

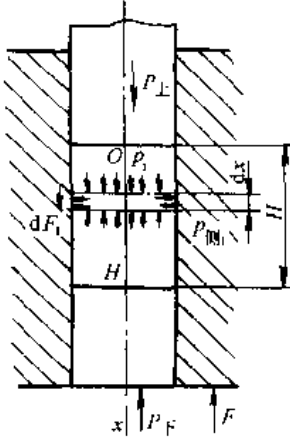


图 3-11 无台阶柱状实体单向压制示意图

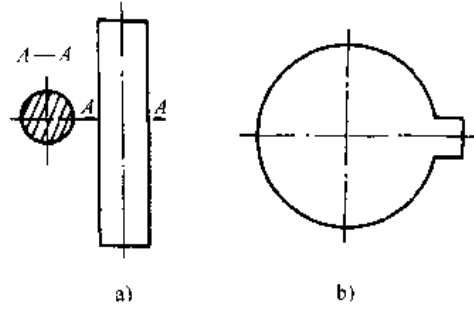


图 3-12 单位压力相差较大的压坯

(2) 密度差与摩擦力的关系 分析摩擦力 F 与上模冲受的的压力 P_{\perp} 之比对压坯密度差的影响:

$$\frac{F}{P_{\perp}} = \frac{P_{\perp} - P_{\top}}{P_{\perp}} = 1 - \frac{P_{\top}}{P_{\perp}} = 1 - \frac{\rho_{\top}}{\rho_{\perp}}$$

如前所述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,

$$\gamma = b p^a \quad \text{或} \quad p = \left(\frac{\gamma}{b} \right)^{\frac{1}{a}}$$

代入前式后, 则得出压坯上下部分密度 γ_{\perp} 、 γ_{\top} 与压制压力 P_{\perp} 、摩擦力 F 的关系:

$$\frac{F}{P_{\perp}} = 1 - \left(\frac{\gamma_{\top}}{\gamma_{\perp}} \right)^{\frac{1}{a}} \quad (3-22)$$

式中 F —— 摩擦力;

P_{\perp} —— 上模冲受的压制压力;

γ_{\top} —— 压坯最下端的密度 (g/cm^3);

γ_{\perp} —— 压坯最上端的密度 (g/cm^3);

a —— 取决于粉末种类的常数。

(3) 摩擦力与侧正面积比的关系

从式 (3-21) 可知, 摩擦力与侧正面积比的关系可由下式确定:

$$\frac{F}{P_{\perp}} = \frac{f\xi p_{\perp} S_{侧}}{p_{\perp} S} = f\xi \frac{S_{侧}}{S} \quad (3-23)$$

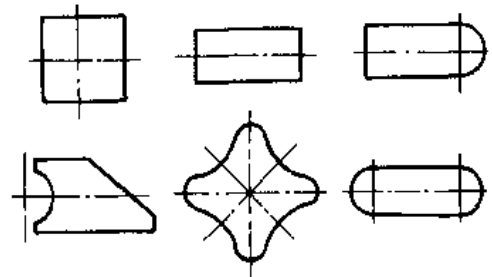


图 3-13 单位压力相差不大的压坯

(4) 密度差与侧正面积比的关系

从式 (3-22) 和式 (3-23) 相等可得出密度差与侧正面积比的关系:

$$\frac{S_{\text{侧}}}{S} = \frac{1 - \left(\frac{\gamma_{\text{上}}}{\gamma_{\text{下}}}\right)^{\frac{1}{\alpha}}}{f\xi} = K \quad (3-24)$$

式中 K ——压坯允许最大的侧正面积比, 取决于粉末的压缩性能、压坯的密度及允许的密度差、摩擦系数和侧压系数。

例 1 加入 1.5% 石墨的铁粉, 测得其 $\alpha = 0.22$, $f_{\text{动}} = 0.06 \sim 0.10$, 压坯密度为 6.2g/cm^3 , 允许密度差为 0.2g/cm^3 , 问可压制的压坯最大侧正面积或长细比。

将已知值代入式 (3-22), 得

$$\frac{F}{P_{\text{t}}} = 1 - \left(\frac{6.1}{6.3}\right)^{\frac{1}{0.22}} = 0.15$$

压坯密度为 6.2g/cm^3 时, 相对密度约 0.80, 致密铁侧压系数为 0.38 (见表 3-2), 多孔压坯的侧压系数为

$$\xi = \theta\xi_0 = 0.80 \times 0.38 \approx 0.30$$

将已知值代入式 (3-24) 后, 则得允许最大侧正面积比:

$$f_{\text{动}} = 0.06 \quad K = \frac{S_{\text{侧}}}{S} \approx 8$$

$$f_{\text{动}} = 0.08 \quad K = \frac{S_{\text{侧}}}{S} \approx 6$$

$$f_{\text{动}} = 0.10 \quad K = \frac{S_{\text{侧}}}{S} \approx 5$$

对于圆柱体:

$$\frac{S_{\text{侧}}}{S} = \frac{\pi DH}{\frac{\pi D^2}{4}} = 4 \frac{H}{D}$$

上式表明, 长细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细比为

$$f = 0.06 \quad \frac{H}{D} \approx 2$$

$$f = 0.08 \quad \frac{H}{D} \approx 1.5$$

$$f = 0.10 \quad \frac{H}{D} \approx 1$$

以上的例子说明, 式 (3-24) 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, 对压坯高度方向相应的限制。对于圆柱体, 用长细比来限制。对于其它截面形状的柱体, 用侧正面积之比来限制。

2. 双向压制

(1) 摩擦力的计算 如图 3-14 所示, 双向压制时, 上、下模冲对于阴模均有相对运动, 故均存在产生摩擦力 F , 且上下相等, 方向相反。从上、下模冲向压坯中间, 因摩擦力的损耗, 压力逐渐减小, 密度也随之减小。在压

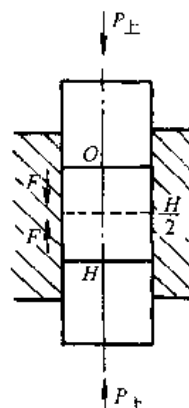


图 3-14 无台阶柱状实体双向压制示意图

坯中间 $H/2$ 处为最小密度。双向压制时，上、下模冲的压力相等，即

$$P_{\uparrow} = P_{\downarrow}$$

则有

$$\begin{aligned} \rho_{\uparrow} &= \rho_{\downarrow} \\ \gamma_{\uparrow} &= \gamma_{\downarrow} \end{aligned}$$

最大压力差产生在压坯上部与中部（或下部与中部）之间，因此双向压制相当于把压坯高度 H 缩短一半的单向压制。压制时产生的摩擦力为上部（或下部）与中部的压力差（ $F = P_{\uparrow} - P_{\text{中}}$ ）。从式（3-21）可得双向压制时的摩擦力 F 为：

$$F = f\xi p_{\uparrow} J \cdot \frac{H}{2} = f\xi p_{\uparrow} \frac{S_{\text{侧}}}{2} \quad (3-25)$$

(2) 密度差与摩擦力的关系 从式（3-22）可知，双向压制时，密度差与摩擦力的关系可由下式确定：

$$\frac{F}{P_{\uparrow}} = 1 - \left(\frac{\gamma_{\text{中}}}{\gamma_{\uparrow}} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (3-26)$$

式中 $\gamma_{\text{中}}$ ——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（3-23）可知，双向压制时，摩擦力与侧正面积比的关系为：

$$\frac{F}{P_{\uparrow}} = f\xi \frac{S_{\text{侧}}}{2S} \quad (3-27)$$

(4) 密度差与侧正面积比的关系 从式（3-26）和式（3-27）相等可得出双向压制时密度差与侧正面积比的关系

$$\frac{S_{\text{侧}}}{S} = 2 \frac{1 - \left(\frac{\gamma_{\text{中}}}{\gamma_{\uparrow}} \right)^{\frac{1}{n}}}{f\xi} = 2K \quad (3-28)$$

式（3-24）中的 γ_{\downarrow} 与式（3-28）中的 $\gamma_{\text{中}}$ 一样，都是压坯中的最小密度值。

不难看出，当其它条件相同时，双向压制压坯允许的侧正面积比，比单向压制时大一倍。对于圆柱体，允许的长细比则增大一倍。

3. 浮动压制

阴模浮动的双向压制见图 3-15。压制时阴模在浮动力作用下呈浮动状态，上、下两半部分产生的摩擦力大小相等、方向相反。对外界而言，总摩擦力为零，故上、下模冲的压力相等，效果同双向压制。浮动力不大时，压坯中的低密度层 $\gamma_{\text{低}}$ 在中间，上下密度相等（ $\gamma_{\uparrow} = \gamma_{\downarrow}$ ）。

一般浮动力不宜过大，只需要能支撑阴模重量，并能可靠复位就行。过大的浮动力将使低密度层 $\gamma_{\text{低}}$ 偏离中间向下移，上下密度也会出现差异（见图 3-16）。

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，这便成为倒过来的单向压制，则低密度层在上部（见图 3-17）。

4. 后压

如前所述，后压即非同时的双向压制。当单向压制结束后，在密度低的一端再进行一次

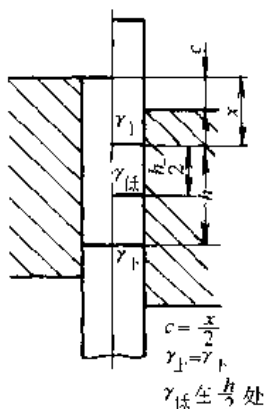


图 3-15 双向
浮动压制

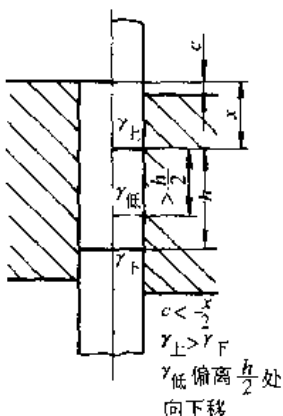


图 3-16 半双向
浮动压制

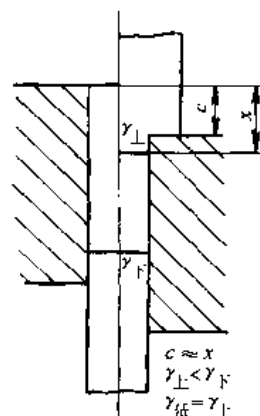


图 3-17 单向浮
动压制

反向的单向压制，用这种分两次进行的正反单向压制改善密度分布的均匀性。每次单向压制都可得到一条压坯密度分布曲线，经过后压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 3-18 中的 aOb 曲线。若第二次压力小于第一次（当然不得小于足以改变原最低密度的压力），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最高密度的压力），则密度分布按 aqd 曲线。

后压量 x 的求法如下：

$$\frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\gamma_2} = \frac{\frac{G}{V_2} - \frac{G}{V_1}}{\frac{G}{V_2}} = \frac{V_1 - V_2}{V_2} = \frac{SH - S(H-x)}{SH} = \frac{x}{H}$$

$$x = \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\gamma_2} H \tag{3-29}$$

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 (g)；

H ——压坯高度 (cm)；

S ——压坯横截面 (cm^2)。

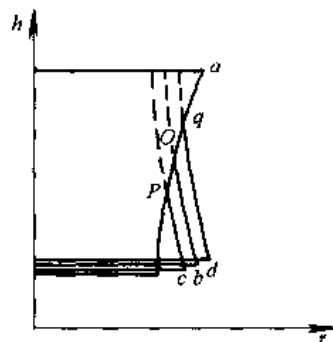


图 3-18 经过后压的压坯
密度分布曲线

三、带孔无台阶面柱体类压坯的压制方式与密度分布

1. 单向压制

(1) 摩擦力的计算

如图 3-19 所示，压坯截面积为

$$S = S_{\text{阴}} - S_{\text{芯}}$$

式中 S ——压坯截面积 (cm^2);

$S_{\text{侧阴}}$ ——阴模孔截面积 (cm^2);

$S_{\text{侧芯}}$ ——芯棒截面积 (cm^2)。

此类压坯与实体类压坯单向压制相似,区别仅在于压坯有轴向通孔。压制时除了在阴模壁产生摩擦力 $F_{\text{阴}}$ 之外,在芯棒也产生摩擦力 $F_{\text{芯}}$,两者方向相同。总摩擦力 F 为

$$F = F_{\text{阴}} + F_{\text{芯}}$$

根据式 (3-21) 可知

$$F = f\xi p_{\perp} (S_{\text{侧阴}} + S_{\text{侧芯}}) \quad (3-30)$$

式中 $S_{\text{侧阴}}$ ——压坯外侧面与阴模接触面积 (cm^2);

$S_{\text{侧芯}}$ ——压坯内侧面与芯棒接触面积 (cm^2)。

不难看出

$$P_{\perp} = P_{\downarrow} + F_{\text{阴}} + F_{\text{芯}} = P_{\downarrow} + F$$

$$F = P_{\perp} - P_{\downarrow}$$

(2) 摩擦力与侧正面积比的关系

从式 (3-30) 可知,摩擦力与侧正面积比的关系可按式确定:

$$\frac{F}{P_{\perp}} = f\xi \frac{S_{\text{侧阴}} + S_{\text{侧芯}}}{S} \quad (3-31)$$

(3) 密度差与侧正面积比的关系

从式 (3-31) 和式 (3-22) 相等可得出密度差与侧正面积比的关系为:

$$\frac{S_{\text{侧阴}} + S_{\text{侧芯}}}{S} = \frac{1 - \left(\frac{\gamma_{\downarrow}}{\gamma_{\uparrow}}\right)^{\frac{1}{2}}}{f\xi} = K \quad (3-32)$$

例 2 条件同例 1。由计算可得侧正面积比的允许值

$$f = 0.06 \quad K = \frac{S_{\text{侧阴}} + S_{\text{侧芯}}}{S} \approx 8$$

$$f = 0.08 \quad K = \frac{S_{\text{侧阴}} + S_{\text{侧芯}}}{S} \approx 6$$

$$f = 0.10 \quad K = \frac{S_{\text{侧阴}} + S_{\text{侧芯}}}{S} \approx 5$$

对于圆柱体,外径 D 、内径 d 、高度 H ,壁厚 $T = \frac{D-d}{2}$

则
$$\frac{S_{\text{侧阴}} + S_{\text{侧芯}}}{S} = \frac{\pi DH + \pi dH}{\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)} = \frac{4H}{D-d} = 2 \frac{H}{T}$$

$$f = 0.06 \quad \frac{H}{T} \approx 4$$

$$f = 0.08 \quad \frac{H}{T} \approx 3$$

$$f = 0.10 \quad \frac{H}{T} \approx 2.5$$

由上式可知,长壁厚比 H/T 是侧正面积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

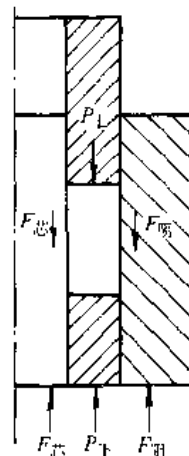


图 3-19 无台阶面
柱体带孔件单向
压制示意图

$$\frac{H}{T} = 2 \frac{H}{D}$$

即长细比是长壁厚比当内径为零时的一种特殊情况。

2. 双向压制

双向压制带孔无台阶面类压坯时，除多了在芯棒产生的上下相等、方向相反的摩擦力之外，其余与柱状实体类压坯的双向压制相同。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

$$F = P_{\uparrow} - P_{\downarrow} = f\xi p_{\uparrow} \left(\frac{S_{\text{阴}} + S_{\text{芯}}}{2} \right) \quad (3-33)$$

$$\frac{F}{P} = f\xi \frac{S_{\text{阴}} + S_{\text{芯}}}{2S} \quad (3-34)$$

$$\frac{S_{\text{阴}} + S_{\text{芯}}}{S} = 2 \frac{1 - \left(\frac{\gamma_{\text{中}}}{\gamma_{\text{上}}} \right)^{\frac{1}{a}}}{f\xi} = 2K \quad (3-35)$$

按例 1 的条件，则可得

$$f=0.06 \quad \frac{S_{\text{阴}} + S_{\text{芯}}}{S} = 2K \approx 16$$

$$f=0.08 \quad \frac{S_{\text{阴}} + S_{\text{芯}}}{S} = 2K \approx 12$$

$$f=0.10 \quad \frac{S_{\text{阴}} + S_{\text{芯}}}{S} = 2K \approx 10$$

对于轴套，则

$$f=0.06 \quad \frac{H}{T} \approx 8$$

$$f=0.08 \quad \frac{H}{T} \approx 6$$

$$f=0.10 \quad \frac{H}{T} \approx 5$$

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 3-20）。低密度层发生在中间 $a-a$ 处。

(2) 仅仅阴模浮动，芯棒不动，则压坯靠近阴模处，近乎双向压制，中间 a 点处密度最低。压坯靠近芯棒处，近似于上模冲下移的单向压制，最下点 a 处密度最低。低密度层按图 3-21 所示的 $a-a$ 曲线。

(3) 仅仅阴模浮动，芯棒与上模冲同步下压，则压坯靠近阴模处，近乎双向压制，中间 a 点处密度最低。压坯靠近芯棒处，近似于下模冲上移的单向压制，最上点 a 处密度最低。低密度层按图 3-22 所示的 $a-a$ 曲线。

(4) 仅仅芯棒浮动，阴模不动，则压坯靠近阴模处，近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。低密度层按图 3-23 所示的 $a-a$ 曲线。

4. 双向摩擦压制

(1) 摩擦力的计算

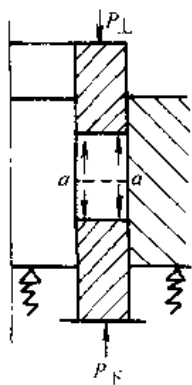


图 3-20 阴模
和芯棒均浮
动的压制

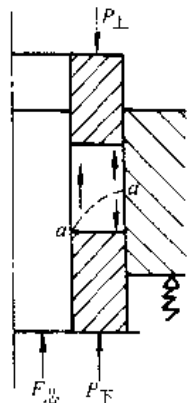


图 3-21 阴模
浮动芯棒不
动的压制

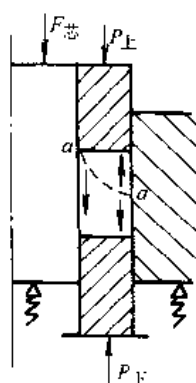


图 3-22 阴模
浮动芯棒强制
压下的压制

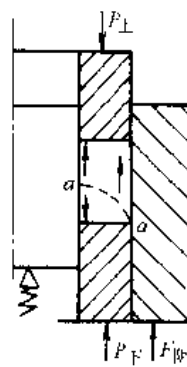


图 3-23 芯棒
浮动阴模
不动的压制

如图 3-24 所示，压制时压棒压着上模冲和芯棒一起下移。压机作用于压棒的总压力为 $P_{总}$ ，该力分别作用于上模冲和芯棒，即

$$P_{总} = P_{上} + F_{芯} \quad (3-36)$$

式中 $P_{上}$ ——上模冲受到的压力；

$F_{芯}$ ——芯棒作用于压坯的摩擦力。

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。这摩擦力 $F_{芯}$ 需要消耗总压力 $P_{总}$ ，但它却起到使压坯下部密度提高的作用。

压制时，阴模不动，故压坯对阴模有个向下的摩擦力 $F_{阴}$ ，或阴模对压坯有个向上的摩擦力，它起到使压坯上部密度提高的作用。

根据力的平衡关系，可得出

$$P_{总} = P_{下} + F_{阴} = P_{上} + F_{芯} \quad (3-37)$$

或

$$P_{上} - P_{下} = F_{阴} - F_{芯} = F \quad (3-38)$$

将式 (3-21) 的关系代入后，可得

$$F = P_{上} - P_{下} = f\xi p_{上} (S_{侧阴} - S_{侧芯}) \quad (3-39)$$

(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

$$S_{侧阴} > S_{侧芯}$$

或

$$S_{侧阴} - S_{侧芯} > 0$$

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

$$S_{侧阴} - S_{侧芯} \leq 0$$

多数情况下外侧面积大于内侧面积。根据式 (3-39) 可知

$$P_{上} - P_{下} > 0$$

或

$$P_{上} > P_{下}$$

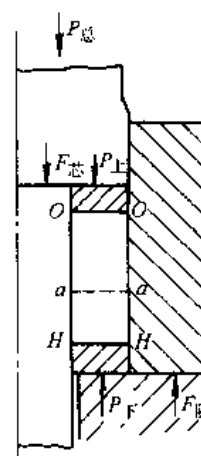


图 3-24 双向摩
擦压制示图

即

$$\gamma_{\uparrow} > \gamma_{\downarrow}$$

压坯中间任一截面 $a-a$ 上的正压力 P_a ，它与上部压力 P_{\uparrow} 之差为

$$P_{\uparrow} - P_a = f \xi p_{\uparrow} (L_{\text{阴}a} - L_{\text{芯}a}) \quad (3-40)$$

式中 a —— $a-a$ 截面至 $o-o$ 截面的距离；

$L_{\text{阴}}$ ——阴模孔横截面周长；

$L_{\text{芯}}$ ——芯棒横截面周长。

$$\because L_{\text{阴}} > L_{\text{芯}}$$

$$\therefore P_{\uparrow} > P_a$$

$$\text{或 } \gamma_{\uparrow} > \gamma_a$$

$$\text{又} \because a < H$$

$$\therefore (L_{\text{阴}} - L_{\text{芯}}) a < (L_{\text{阴}} - L_{\text{芯}}) H = S_{\text{侧阴}} - S_{\text{侧芯}}$$

将式 (3-40) 与式 (3-39) 相比，可得

$$P_{\uparrow} - P_a < P_{\uparrow} - P_{\downarrow}$$

或

$$P_a > P_{\downarrow}$$

则

$$\gamma_a > \gamma_{\downarrow}$$

这说明双向摩擦压制时，当 $S_{\text{侧阴}} > S_{\text{侧芯}}$ 时，则压坯上部密度最大，中间逐渐减小，到下部为最小。即 $\gamma_{\uparrow} > \gamma_a > \gamma_{\downarrow}$ 。

(3) 长壁厚比受限制的条件

摩擦力 F 与侧正面积比的关系，按下式确定：

$$\frac{F}{P_{\uparrow}} = f \xi \frac{S_{\text{侧阴}} - S_{\text{侧芯}}}{S}$$

将式 (3-22) 代入后，可得

$$\frac{S_{\text{侧阴}} - S_{\text{侧芯}}}{S} = \frac{1 - \left(\frac{\gamma_{\downarrow}}{\gamma_{\uparrow}}\right)^{\frac{1}{\alpha}}}{f \xi} = K \quad (3-41)$$

按例 1 的条件，可得

$$f=0.06 \quad K = \frac{S_{\text{侧阴}} - S_{\text{侧芯}}}{S} \approx 8$$

$$f=0.08 \quad K = \frac{S_{\text{侧阴}} - S_{\text{侧芯}}}{S} \approx 6$$

$$f=0.10 \quad K = \frac{S_{\text{侧阴}} - S_{\text{侧芯}}}{S} \approx 5$$

对于轴套，则有

$$\frac{S_{\text{侧阴}} - S_{\text{侧芯}}}{S} = \frac{\pi D H - \pi d H}{\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)} = \frac{4H}{D+d} = \frac{2H}{T+d} = K$$

将上式变换后可得:

$$\frac{H}{T} = \frac{K}{2} \left(1 + \frac{d}{T} \right) \quad (3-42)$$

例3 产品为汽门导管, 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 $a=0.19$, $\xi=0.30$, $f_{\text{侧}}=0.08$ 。求出符合密度均匀性要求的导管长壁厚比的限制条件。

代入式 (3-41), 求得

$$K = \frac{1 - \left(\frac{\gamma_{\text{上}}}{\gamma_{\text{下}}} \right)^{\frac{1}{a}}}{f\xi} = \frac{1 - \left(\frac{5.9}{6.4} \right)^{\frac{1}{0.19}}}{0.08 \times 0.30} = 15$$

将 K 值代入式 (3-42), 得长壁厚比的限制条件为

$$\frac{H}{T} = 7.5 \left(1 + \frac{d}{T} \right)$$

(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 (3-36) 可知

$$\begin{aligned} P_{\text{总}} &= P_{\text{上}} + F_{\text{总}} = p_{\text{上}} S + f\xi p_{\text{上}} S_{\text{侧芯}} \\ P_{\text{总}} &= P_{\text{上}} (S + f\xi S_{\text{侧芯}}) \end{aligned} \quad (3-43)$$

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 $P_{\text{总}}$ 为

$$P_{\text{总}} = p_{\text{上}} (S + 0.024 S_{\text{侧芯}}) \quad (3-44)$$

对于上述条件下的套管 (内径为 d , 高度为 H), 则总压力 $P_{\text{总}}$ 为

$$P_{\text{总}} = p_{\text{上}} (S + 0.76dH) \quad (3-45)$$

式 (3-43) 表明, 当根据压坯密度要求选定单位压力 $p_{\text{上}}$ 后, 在计算总压力 $P_{\text{总}}$ 时, 不能像其它压制方式那样, 只乘以正投影面积 S , 而应乘以 $(S + f\xi S_{\text{侧芯}})$, 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, 仍属于双向摩擦压制, 只不过上下关系颠倒罢了。如由芯棒与上模冲同步下压的压坯密度上高下低, 变成由阴模与上模冲同步下压的压坯密度上低下高。

另外, 当压坯内侧表面积大于外侧表面积时, 即 $S_{\text{侧芯}} > S_{\text{侧阴}}$ 则密度上高下低变成了上低下高 (指当芯棒与上模冲同步下压时)。

四、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. 无台阶面柱状类实体几种压制方式的比较与选择

1) 当 $\frac{S_{侧}}{S} < K$ 或圆柱体 $\frac{H}{D} < \frac{K}{4}$ 时, 或当压坯密度为 $6.2 \sim 7.0 \text{g/cm}^3$ 而 $\frac{H}{D} \leq 2$ 的铁基圆柱状压坯时, 尽可能用单向压制。一方面模具结构或压机动作要求简单, 另一方面采用别的压制方式, 对压坯密度均匀性的改善效果不显著。

2) 当 $K < \frac{S_{侧}}{S} < 2K$, 或铁基圆柱体 $\frac{K}{4} < \frac{H}{D} < \frac{K}{2}$ 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 $\frac{S_{侧}}{S} > 2K$ 的薄壁长板类的压坯, 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 3-25 所示为某些适合双向摩擦压制的零件。

2. 带孔无台阶面柱状类几种压制方式的比较与选择

1) 当 $\frac{S_{侧阴} + S_{侧芯}}{S} < K$ 时, 轴套高度 H 与壁厚 T 之比 $\frac{H}{T} < \frac{K}{2}$ 时, 尽可能用单向压制。理由同上述实体类。

2) 当 $\frac{S_{侧阴} + S_{侧芯}}{S} > K$ 时, 则要根据下面两组值的对比:

当

$$\frac{1}{2} \frac{S_{侧阴} + S_{侧芯}}{S} < \frac{S_{侧阴} - S_{侧芯}}{S}$$

即

$$\frac{1}{2} (S_{侧阴} + S_{侧芯}) < S_{侧阴} - S_{侧芯}$$

对于轴套, 即

$$\frac{1}{2} \pi H (D+d) < \pi H (D-d)$$

$$\frac{D+d}{2} < D-d$$

$$d+T < 2T$$

$$d < T$$

即内孔小于壁厚时, 则采用双向压制。

反之, 若

$$\frac{1}{2} (S_{侧阴} + S_{侧芯}) > S_{侧阴} - S_{侧芯}$$

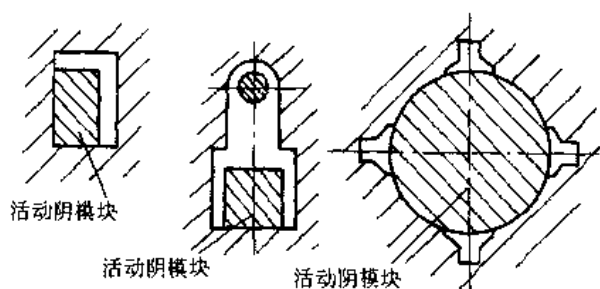


图 3-25 适合双向摩擦压制的零件

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(3-42)也可清楚看出，即压坯允许的长壁 $\frac{H}{T}$ ，不仅与 K 值有关，而且随着内孔 d 的增大而增大。

对于密度范围为 $6.0 \sim 6.8 \text{g/cm}^3$ 的柱状压坯和带孔柱状压坯，其最大侧正面积之比 K_{\max} 与 $\frac{H}{D}$ 、 $\frac{H}{T}$ 的参考值见表3-5。

表 3-5 K_{\max} 与 H/D 、 H/T

压坯密度 (g/cm^3)	动摩擦系数 f	柱状压坯的 K_{\max}		圆柱状压坯的 $\left\{ \frac{H}{D} \right\}$		带孔柱状压坯 K_{\max}		直筒状压坯 $\left\{ \frac{H}{T} \right\}$	
		单向压制	双向压制	单向压制	双向压制	单向压制	双向压制	单向压制	双向压制
$>6 \sim 6.4$	0.06	8	16	2	1	8	16	4	8
	0.08	6	12	1.5	3	6	12	3	6
	0.10	5	10	1.25	2.5	5	10	2.5	5
$>6.4 \sim 6.8$	0.06	7.5	15	1.6	3.2	7.5	15	3.75	7.5
	0.08	5.5	11	1.4	2.8	5.5	11	2.75	5.5
	0.10	4.5	9	1.1	2.2	4.5	9	2.0	4.5

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。

其它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，其效果并不能优于双向压制或双向摩擦压制。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，这样压坯密度最大且上下相等，中间密度最低。密度分布按图3-26的 aob 曲线。然后，在接近压制终了时，改变为一个压下最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。压坯最终密度分布按图3-26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，压坯密度分布按图3-27的 aob 曲线。在接近压制终了时，在低密度端 b 处，增加一个单向后压，压坯密度分布变成了 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，以便提高压坯上部的密度。

若增加一个反向的双向摩擦压制，其效果更好。压坯密度分布按 $ao'b'$ 曲线。在模具动作

上，在上述例子的基础上，只需增加芯棒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，具有强弹性的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。

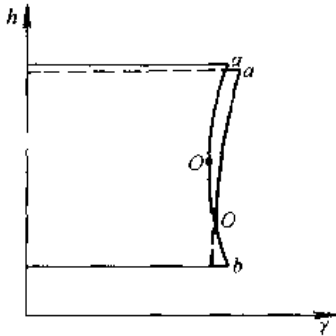


图 3-26 双向压制加双向摩擦后压的密度分布

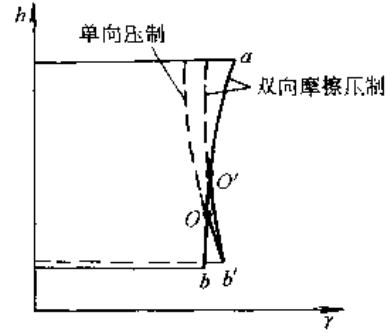


图 3-27 双向摩擦压制加单向和双向摩擦后压的密度分布

以上几种特殊后压，对于压坯截面上壁厚相差较大，或带台阶压件更为适合，如图 3-28 所示。



图 3-28 适宜用特殊后压的零件

第四节 不等高（轴向带台阶面）压坯成形模的设计原理

在不等高（即沿轴向带台阶面、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。

一、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 $H_{\text{粉}}$ 应与压坯高度 $h_{\text{坯}}$ 成比例，这个比例系数被称为粉末充填系数，用 C 来表示，即 $C = H_{\text{粉}}/h_{\text{坯}}$ 。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的部分的粉末充填系数，使之比高度较小的横截面上的粉末的充填系数大 $0.1 \sim 0.5$ 。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。移送装粉例见图 3-29，详见第五章第一节表 5-3。

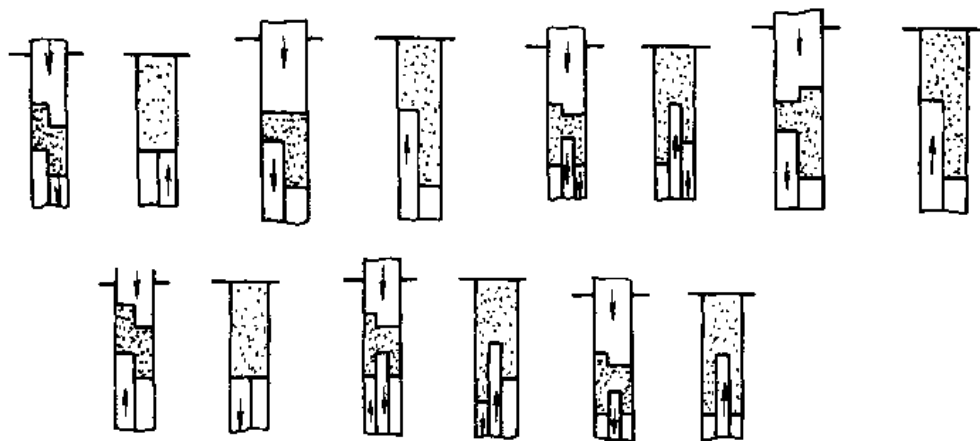


图 3-29 移送装粉示例

二、压缩比相同或相近

压缩比 C 是压坯密度 $\gamma_{\text{压坯}}$ 与粉末松装密度 $\rho_{\text{粉}}$ 之比，即 $C = \gamma_{\text{压坯}}/\rho_{\text{粉}}$ ，在数值上等于粉末充填系数。为了保证带台阶面的压坯密度分布均匀，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，即要求不同横截面相对应的模冲移动的距离各不相同。因此，不能采用整体模冲压制不等高压坯，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 3-29 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，或者成形台阶面的上模冲将粉末和成形台阶面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面浮动阴模或芯棒向下推移，把台阶面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 3-30 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，浮动内上模冲退入外上模冲内，使组合上模冲的端面成为圆滑的曲面。图 3-31 表示带外法兰的异向盲孔压坯的成形方法。装粉时，先由浮动内下模冲装 A 段的装粉高度调节在上端，见图 3-31a；然后浮动上模冲向下运动，与浮动内下模冲同步下行，一同将 A 段粉末（松装状态）移到下端，见图 3-31b；接着外上模冲向下、面定下模冲和浮动内下模冲向上同时压制，压制过程中，于压制力作用下，浮动上模冲向上浮动，直至压坯最终成形，见图 3-31c。

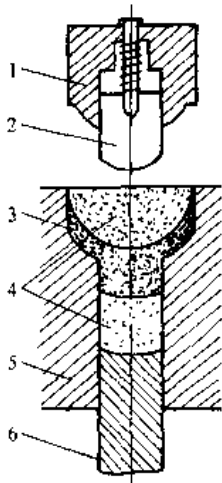


图 3-30 粉末侧向移动
成形法示例

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

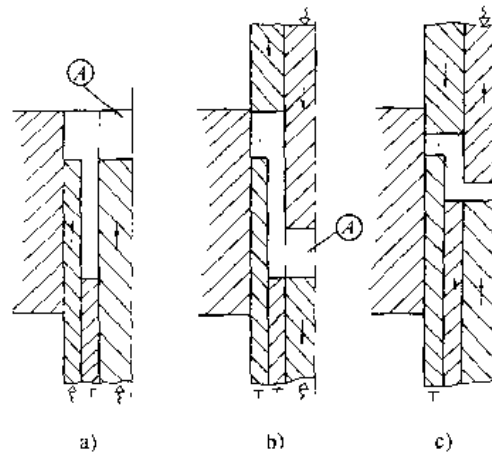


图 3-31 粉末轴向移动成形法实例
a) 装粉 b) 粉末移动到位置 c) 成形

三、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减小的体积 ($\Delta V = V_{粉} - V_{压}$) 与压制前粉末充填的体积 $V_{粉}$ 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分界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。由于目前通常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，再同时压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。

第五节 组合模具设计原理

一、多台阶面压坯的组合模冲设计

设计多台阶面压坯成形模时，一般可按台阶面分别设计模冲，从而保证各横截面上的粉末充填系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

未得到相同的压缩程度。但当压坯中相邻台阶面的高度差较小时，可以用一个模冲来压制这两个台阶面，如图 3-32 所示带台阶面的压坯，其台阶面的高度分别为 h_1 和 h_2 ，其装粉高度应分别为：

$$H_1 = \frac{\gamma}{\rho} h_1, H_2 = \frac{\gamma}{\rho} h_2$$

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：

$$C_1 = \frac{H_1'}{h_1} = \frac{\gamma_1}{\rho}, C_2 = \frac{H_2'}{h_2} = \frac{\gamma_2}{\rho}$$

由压坯孔隙度 θ 的计算公式：

$$\theta = \left(1 - \frac{\gamma}{\gamma_m}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{C\rho}{\gamma_m}\right) \times 100\%$$

可知：

$$\theta_1 - \theta_2 = \frac{\rho}{\gamma_m} (C_2 - C) \times 100\% \tag{3-46}$$

式中 γ_m 为相应致密材料的密度。

由式 (3-46) 可知，当采用整体下模冲压制带台阶面压坯时，相邻两台阶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 3-6)。下面举例说明。

表 3-6 铁基制品相邻台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

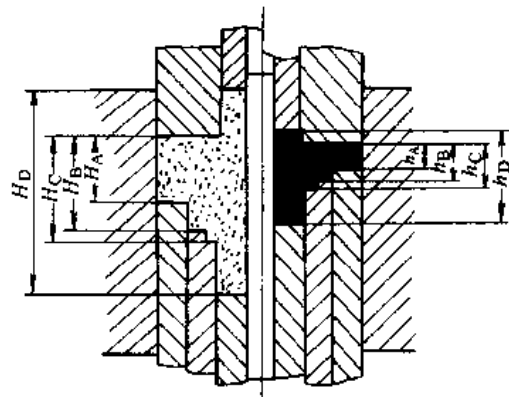


图 3-33 多台阶面压坯的组合模冲设计示例

例 4 图 3-33 为一多台阶面压坯 (图左侧为装粉态，右侧为压制终了态)。设铁粉的松装密度 $\rho = 2.3\text{g/cm}^3$ ，压坯密度 $\gamma = 5.85\text{g/cm}^3$ ，压坯各台阶面高度分别为 $h_A = 20\text{mm}$ ， $h_B = 30\text{mm}$ ， $h_C = 32\text{mm}$ ， $h_D = 90\text{mm}$ ，如何设计组合模冲？

A 和 D 两部分的装粉高度和压缩比：

$$C = \gamma / \rho = 5.85 / 2.3 = 2.5$$

$$H_A = Ch_A = 2.5 \times 20 = 50 \text{ (mm)}$$

$$H_D = Ch_D = 2.5 \times 90 = 225 \text{ (mm)}$$

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 (3-46) 得到 B 和 C 两部分所容许的压缩比差为:

$$C_B - C_C = \frac{(\theta_C - \theta_B) \gamma_m}{\rho}$$

而该压坯的孔隙度 $\theta = \left(1 - \frac{5.85}{7.8}\right) \times 100\% = 25\%$, 由表 3-6 可知其对应的孔隙度差是 3%, 即: $(C_B - C_C)_{\text{容许}} = \frac{3\% \times 7.8}{2.3} = 0.10$

当采用整体下模冲时, B 和 C 的实际装粉高度分别为:

$$H'_B = \frac{H_{B1} - H_{C1}}{2} - \frac{h_C - h_B}{2} = \frac{Ch_B - Ch_C}{2} - \frac{h_C - h_B}{2} = \frac{2.5 \times 30 + 2.5 \times 32}{2} - \frac{32 - 30}{2} = 76.5 \text{ (mm)}$$

$$H'_C = \frac{H_{B1} - H_{C1}}{2} + \frac{h_C - h_B}{2} = \frac{2.5 \times 30 + 2.5 \times 32}{2} + \frac{32 - 30}{2} = 78.5 \text{ (mm)}$$

因此, 台阶面 B 和 C 的实际压缩比为:

$$C_B = \frac{H'_B}{h_B} = \frac{76.5}{30} = 2.55, \quad C_C = \frac{H'_C}{h_C} = \frac{78.5}{32} = 2.45$$

而 $C_B - C_C = 2.55 - 2.45 = 0.1 = (C_B - C_C)_{\text{容许}}$ 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 3-33 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。

二、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坡面的倾斜程度, 如图 3-34 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。

斜面压坯的平均高度 x 可由下式计算:

$$x = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}} \quad (3-47)$$

则 x 点的装粉高度 $H_x = CX$ (C 为压缩比), 短边 b 点到 x 的距离 l_{xb} 可按下式计算:

$$l_{xb} = \frac{x - b}{a - b} \times l_{ab} \quad (3-48)$$

式中 l_{ab} 为从压坯长边 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 3-35)。

$$b = \sqrt{ac}$$

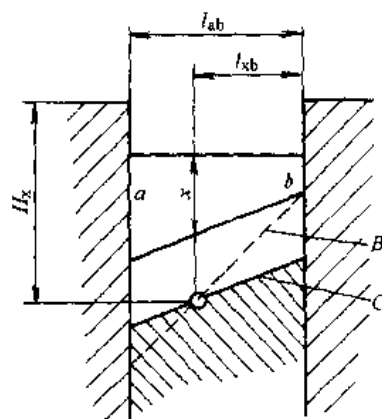


图 3-34 用整体下模冲压制斜面压坯

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_i 线的距离 l_{x2c} 和 l_{x1b} 同样可用式 (3-47)、式 (3-48) 计算。同理, 如采用三个组合下模冲时 (见图 3-36), 各个下模冲的宽度分别为:

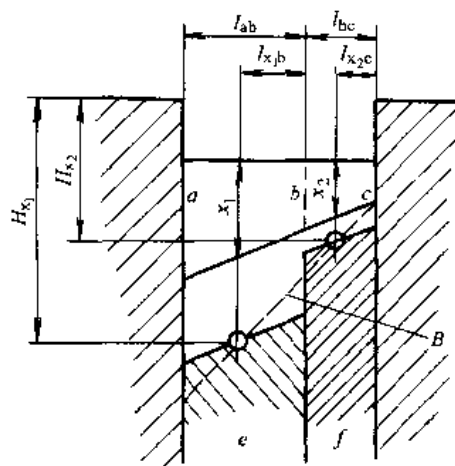


图 3-35 用两个组合下模冲压制斜面压坯

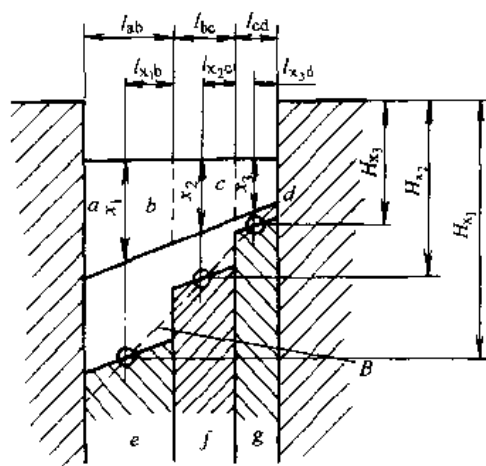


图 3-36 用三个组合下模冲压制斜面压坯

$$b = (a^2 d)^{\frac{1}{3}},$$

$$c = (a d^2)^{\frac{1}{3}}$$

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_{xi} , 同样可用式 (3-47)、式 (3-48) 计算。

三、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, 而应是比压坯更陡的曲面。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 3-30)。

压制外球面压坯, 一般采用组合阴模 (Olivette) 成形法 (图 3-37), 阴模由上下两半组成, 两者从球面最凸出的“赤道线”上分模, 它们与模套滑动配合。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 300kN (30t) 时, 阴模压紧力约为 40kN (4t)。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、有非对称台阶面的压坯。

压制内球面压坯 (图 3-38a), 可采用组合芯球成形法 (图 3-38b)。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。

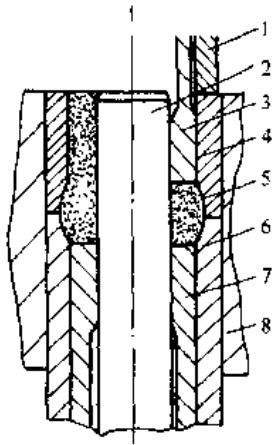


图 3-37 外球面压坯的组合阴模

- 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

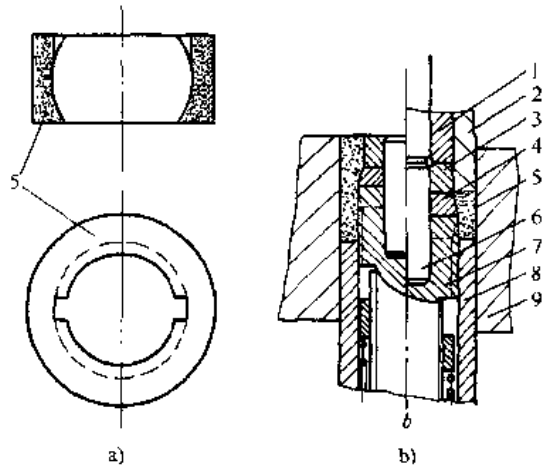


图 3-38 内球面压坯的组合芯球

- 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

四、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。一般采用平面滚珠轴承模座（图 3-39）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。

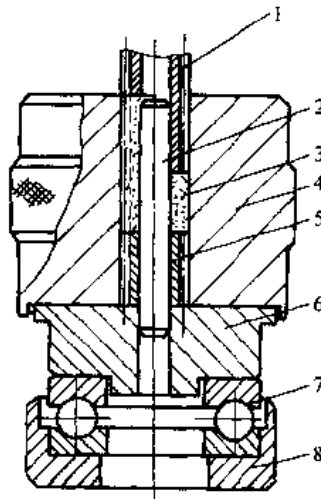


图 3-39 斜齿轮压坯的旋转手动模

- 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- 单向推力滚珠轴承 8- 轴承座

第六节 粉末冶金模具尺寸设计原则

一、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），而模具尺寸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。

这主要是由于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（3-40）所示，当粉末在模具中成形时，加压（300~800MPa）后，将会使阴模与第一下模冲产生径向应变（图 3-41）。待压坯由模具中脱出之际，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，提高阴模刚性，一般采用将阴模红装以保护套，以及使用杨氏模量高于合金工具钢与高速钢的硬质合金制作阴模。成形后的压坯的 C 部分比 B 部分的回弹要大（图 3-40），主要是由于在阴模与第一下模冲之间留有适当间隙（间隙配合，例如 H7/f7 等），成形时，被撑大的第一下模冲便变为挤住阴模的状态。模冲因受形状的制约，无法用提高阴模刚性的办法来提高模冲的刚性。下模冲与阴模的间隙一般为径向尺寸的 0.03%~0.1%，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 3-42）。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，压坯密度越低收缩越大；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面的工件，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，可进行精整或复压（参见图 3-43）。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

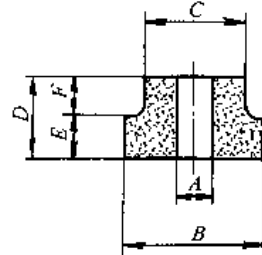


图 3-40 粉末冶金零件图例

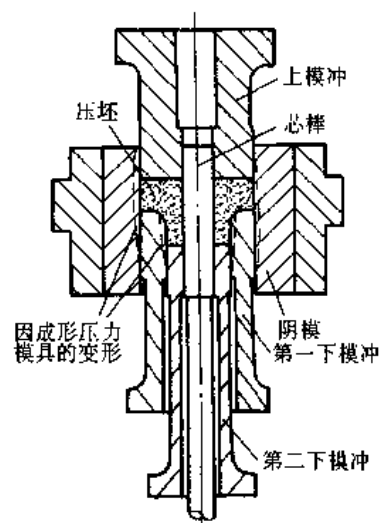


图 3-41 因成形压力所致模具的变形

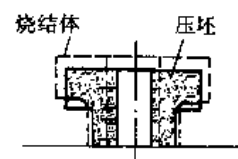


图 3-42 烧结时压坯尺寸的变化

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。精整后的回弹在压力增高时加大。

对于精整方式，根据烧结件与精整模具尺寸间的关系，可分为以下几种：

1) 烧结件外径比精整阴模内径尺寸略小，烧结件内径比精整芯棒外径尺寸略大，高度压下率较小（2%~8%），这是一种全精整的方法，适用于烧结件密度比较低，以提高烧结件尺寸精度与表面粗糙度为目的的场合。这时外径精整余量为径向尺寸的0.05%~0.25%左右，内径精整余量取0.04%~0.2%左右。如果高度方向压下率大，约为15~25%，则为“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，但需要压力较大的压机。

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（或轻压入）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) 将2)种3)结合的精整方法，称之为“外箍内胀”法。鉴于烧结件的尺寸偏差与变形，局部地看时，上述几种方法是混合并存的。

在按本节介绍的程序设计模具时，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。

二、模具变形量

在成形过程中，成形压力将会使模具产生一定量的变形。对于带台阶面类的制品，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3-44a与b所示，其成形模架分别如图3-45和图3-46所示。图的左半部表示模具型腔装粉状态，右半部表示压制成形完了（施加最大压制压力）时的状态。

原料粉末的充填高度 d 、 e 、 f 取决于压坯尺寸 D 、 E 、 F 和压缩比。于装粉状态下，令上模冲下降，用上、下模冲把粉末压制成形。图3-45和图3-46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

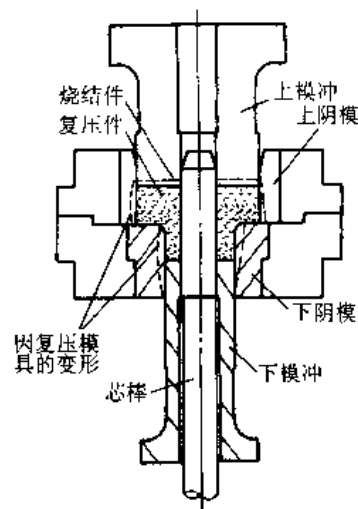
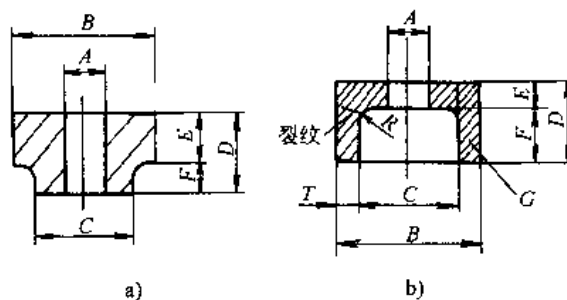


图 3-43 精整（复压）时压坯高度方向的尺寸变化和模具的变形



a) b)
图 3-44 成形压坯形状例

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。就是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 $206\text{kN}/\text{mm}^2$)。

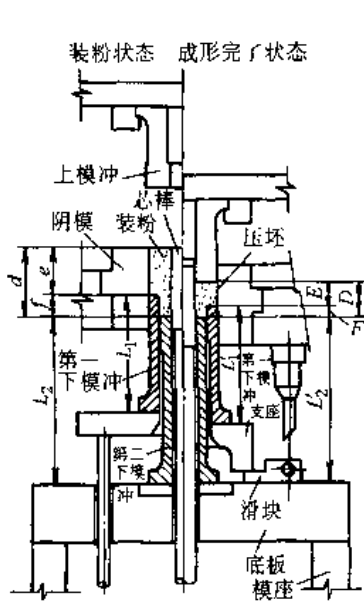


图 3-45 成形模架略图 (1)

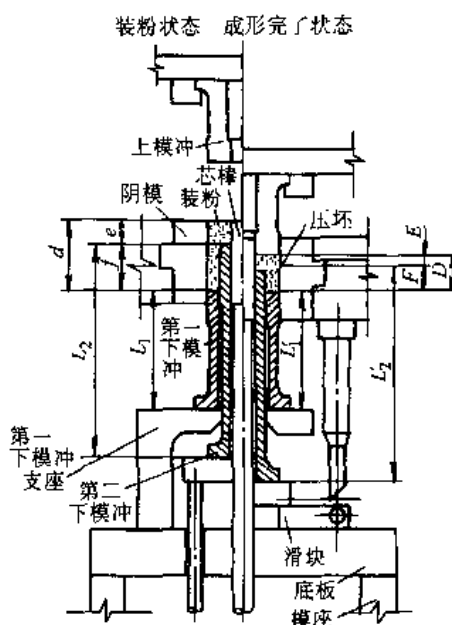


图 3-46 成形模架略图 (2)

例如，在第一下模冲长度为 80mm ，第二下模冲长度为 150mm ，压制压力为 $49\text{kN}/\text{cm}^2$ 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 0.17mm 。因此，修改第一或第二下模冲的长度，即可得到压坯的台阶面尺寸 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，以及在磨冲间变形差大时，压坯中都可能产生裂纹。成形图 3-44b 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紧，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3-44b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，以及设法改变各个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。

第四章 粉末成形设备及其模架

由于粉末冶金制品的材料成分、几何形状和物理-力学性能多种多样，因此，除单轴向刚性闭合模具压制成形外，还有冷或热等静压、挤压、粉末锻造、注射成形等成形工艺。但目前生产量最大的粉末冶金机械零件仍然是用单轴向刚性闭合模具压制成形的。本章所论粉末成形压机及其模架即为进行单轴向刚性闭合模具压制成形而设计制造的。

粉末成形压机及其模架不仅应用于以结构零件为主的铁、铜基粉末冶金机械零件的生产，而且也应用于压制成形铁氧体磁性元件、精密陶瓷件、以及硬质合金制品等。在生产中，除粉末成形压机外，还有精整压机，其结构比粉末压机简单。

在进行模具设计时，应对所选择的（使用的）粉末成形设备的性能、结构有所了解，因它直接影响粉末成形（精整）的模具结构方案的确定。粉末成形设备通常是由机械和液压驱动的，故分为机械式粉末成形压机和液压式粉末成形压机。

随着生产技术的发展，粉末成形压机已作为一种专用设备，并逐渐增加了一些任选附件（模架等）或附属装置（模架快速交换装置等）供选用。

由于专用的粉末成形压机功能齐全，但价格较昂贵。对一些形状简单，精度不高的粉末冶金件的成形（精整），可通过对普通可倾压力机（冲床）、框式（四柱）液压机进行自动化改造，亦能达到较好的技术经济效果。

第一节 粉末成形设备基本要求及选择依据

一、基本要求

根据粉末成形特性，粉末成形压机一般应满足如下要求：压制力（上模冲装置）、送料系统（装料机构）、成形和脱出行程、脱出力（下模冲及芯棒动作装置）等因素对设备的要求，模具设计者应了解这些因素（装置），以便确定模具结构。粉末成形压机的各种基本装置的说明见表 4-1。

表 4-1 粉末成形压机的基本装置

装置名称	说 明
上模冲动作装置	<ol style="list-style-type: none">1. 单动作时（单模冲），直接由上工作台传递压机额定压力，根据成形需要应可调整加压、成形、后压、保压等动作2. 多动作时（多模冲），可以通过增设的气缸（油缸），进行驱动多个上冲头，以达到不同形状压坯成形要求3. 在加压过程中，为防止粉末中空气引起的压坯裂纹及变形，应有排除粉末中空气的装置
装料机构	<ol style="list-style-type: none">1. 供料系统。一般由储存料仓、输送软管、送料靴及驱动与振动装置组成2. 过量装料机构。可以比正规填充量多填充一些粉末，压制前能够充填到模腔的各部分3. 欠料装料机构。送料靴加料完毕退后，使阴模略微上升，防止开始加压时模腔内粉末泄漏影响压坯密度

(续)

装置名称	说 明
阴模装置	1. 预压装置。用控制器控制阴模正确动作, 加上预压以(克服自身重量)阻拦空动 2. 保持装置。在加压过程中, 上模冲下压时, 使阴模在承受规定压力之前不下降(亦称压坯上下密度调整装置) 3. 调节加压装置。上模冲下压时, 阴模可作同样下浮动作, 当需要时, 可令阴模按所需比例下降, 并同时上、下加压, 以保证压坯各部分密度均匀
下模冲动作装置	1. 单模冲时, 山下缸机构传递压机稳定脱模压力, 确保压坯脱模。 2. 多模冲时, 由气缸(或油缸)、斜楔机构来确保压制多台阶面压坯的成形及脱模
芯棒动作装置	1. 通过气缸(或油缸)来保证芯棒装料后到位(对薄壁件时), 以使模腔装粉均匀。 2. 通过气缸(或油缸)来保证芯棒浮动, 使压坯内部密度均匀。 3. 通过气缸(或油缸)来保证脱模时, 芯棒后脱(或先脱)以防止压坯裂纹。

二、选择依据

粉末冶金常用的压机, 有液压式和机械式压机两类。在选用时, 要考虑以下诸因素。

(一) 压制压力

压坯所需的压制力的具体计算见第三章。

1) 在选用专用粉末成形压机时, 必须使压机的额定压力大于压坯所需要的压制压力。一般来说, 压制压力为压机额定压力的 60%~85% 较为合适(特别是对液压式压机)。若使用额定压力过高的压机, 一方面未充分发挥设备的潜力, 另外压力控制的准确性也降低。若使用额定压力过低的压机, 对压机寿命不利。

2) 在选用普通可倾压力机时, 需要结合压坯的高度来考虑压机实际能达到的压力。由于常用的机械压力机(如冲床)是为冷冲模而设计的, 其受行程小。例如 63 吨双柱可倾压力机, 压机实际达到的压力 P 与滑块行程 S 有关, 见图 4-1。所谓“63 吨”是指受行程在 8mm 处的实际压力, 过早受力时(受行程大于 8mm), 则实际压力减小。而粉末冶金压制的受行程大, 开始压制时, 所需要的压力很小, 随着压制过程的进行, 需要的压力急剧上升。在这个过程中, 消耗了冲床一定量的动能, 因而实际达到的压力要小于图 4-1 所示的曲线。压坯越高, 实际压力下降得越多。因此, 压坯的高度将受到限制。

若按照曲拐离下死点 45° 处以下开始压缩粉末计算(见图 4-2), 则受行程 $h_{\text{受力}}$ 为:

$$h_{\text{受力}} \leq (S_{\text{最大}}/2 - S_{\text{最大}}/2) \times \cos 45^\circ \approx 0.15S_{\text{最大}} \quad (\text{mm})$$

式中 $S_{\text{最大}}$ ——冲床最大行程 (mm)。

压坯高度 h 为

$$h = h_{\text{受力}} / (\varepsilon - 1) \quad (\text{mm})$$

式中 ε ——压缩比, 一般为 0.22~0.25。

故压坯高度 h 与压机行程 $S_{\text{最大}}$ 有以下关系:

$$h \leq 0.15S_{\text{最大}} / (1.2 \sim 1.5) = (0.12 \sim 0.10) S_{\text{最大}} \quad (\text{mm}) \quad (4-1)$$

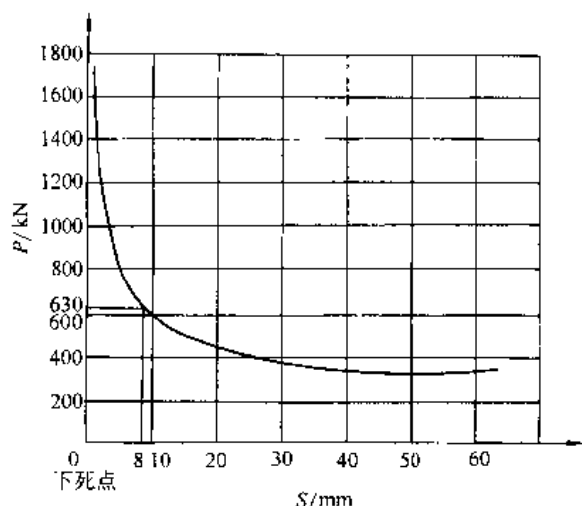


图 4-1 63t 双柱可倾压力机滑块行程与压力的关系

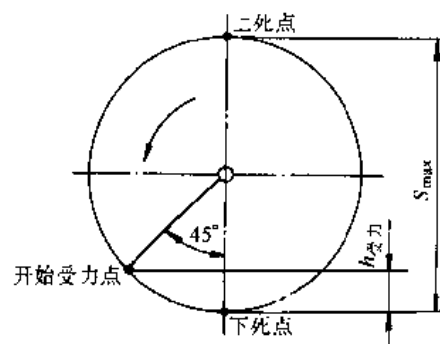


图 4-2 受力行程示意图

即压坯允许高度约为压机行程的 10%~12%。

根据压坯的高度，估计压机实际能达到的压力，一般在额定压力的 50%~90% 范围内。产品越高，实际压力应估计得越小。

在冲床上连续压制时，还应注意电动机的功率是否足够。这是由于粉末冶金压制时，要比冷冲压所消耗的能量大。冲床电动机往往是为冷冲压选用的，对于改为粉末压制后，功率显得不足，此时使用压力还需相应地减小。

(二) 脱模压力

压坯脱模压力的具体计算见第三章。

在选用粉末冶金压机时，必须使下缸的顶出力（或拉下力）大于压坯所需要的脱模压力。一般粉末冶金专用成形压机的下缸力是足够的。

普通液压机下缸顶出力一般较小，在改造成单机自动时要注意核算脱模压力。

对于冲床改造成自动压机时，亦需要计算或核算脱模力。

对于高密度、粉料中润滑剂少和侧面积大（如齿轮或高度大）的压坯，尤其要注意脱模压力的问题。

(三) 工作台面尺寸和行程

选用压机时，必须考虑工作台面的尺寸，以便能安装模具。工作台面和活动横梁的结构，关系到模具与压机的连接和固定方法。

压机的压制行程和脱模行程也是应当注意的参数。对于液压机，其行程必须大于模具的压缩行程（约 1.5 倍于压坯高度），而且还应有足够的空间来安装有关辅助零件并满足操作上的需要。对于冲床，压坯高度 h 与压机行程 $S_{最大}$ 的关系为

$$S_{最大} \geq h / (0.12 \sim 0.10) = (8 \sim 10) h \quad (4-2)$$

顶出（或拉下）的脱模行程 $S_{脱}$ ，必须大于装粉高度 h_0 ，以保证脱模要求。

装粉高度 h 与压坯高度 h 有以下的关系：

$$h_0 = \epsilon h \quad (\text{mm})$$

式中 ϵ ——压缩比，一般为 2.2~2.5，高密度时可达 3。

故脱模行程 $S_{\text{解}}$ 与压坯高度 h 有如下关系式

$$S_{\text{解}} \geq (2.5 \sim 3) h \quad (\text{mm}) \quad (4-3)$$

或者只允许压坯高度 h 为下缸工作行程（即脱模行程）的 1/3 左右。

（四）其它影响因素

（1）压制方式 压坯的压制方式如单向压、双向压、双向摩擦压、浮动压和后压等。根据压坯形状特点来选用（详见第三章）。对于选定的压制方式，要结合压机特点来考虑模具设计。如有的压机带有可调节的浮动机构，有的可以强制拉下，有的可以双向压制、后压等，这样可以简化模具结构。

（2）装粉 根据压坯形状特点，要考虑压机自动压制时装粉时间是否足够、装粉是否均匀。如薄壁长件能否实现多余充填的装粉形式（即装粉过程中，芯棒先下撤，再复位，顶去多余的粉料）、能否实现吸入式装粉等。对于有特殊要求的压坯，应选用有相应特点的压机。

（3）脱模方式 选择采用拉下式或是顶出式，并可选择“压坯有压脱模”（即压制结束后，卸压，但压机活动横梁不回升，靠自重压住压坯），或是无压脱模等。

（4）生产效率 一般机械压力机比液压机生产效率高。在两种压机都能压制的情况下，采用机械压力机更合适。

第二节 粉末成形设备规格及技术参数

粉末冶金用设备有成形压机和精整压机。下面将分别介绍国内外常见的粉末成形压机和精整压机的规格及技术参数。

一、国内常见粉末成形压机规格及技术参数

我国目前生产粉末成形压机的工厂主要有南通锻压机床厂、海宁三强精密机械有限公司、天津市锻压机床总厂等。

（一）全自动粉末成形机械式压机规格及技术参数

1) 海宁三强精密机械有限公司的粉末成形压机主要技术参数见表 4-2。

表 4-2 海宁三强精密机械有限公司的粉末成形压机的技术性能数据

最大压制力/kN	160	空气离合器工作压力/MPa	0.55
最大脱模力/kN	80	压缩空气需要量/L·min ⁻¹	225
压制位置最大支撑力/kN	50	总功率/kN	3.87
阴模最大返回力/kN	5.5	上模冲预加载向下压力调节/MPa	
上模冲行程/mm	100		0.05~0.55
上模冲调整距离/mm	70	向下力调节/N	255~2810
最大装粉深度/mm	65	向上压力/MPa	0.55
最大压制行程/mm	30	向上力/N	1380
最大脱模行程/mm	35	可调行程/mm	30
顶压行程/mm	6	压缩空气需要量/L·min ⁻¹	63
冲程数/(次/min)	12~50	机器重量/kg	1900
驱动马达/kW	3.5	外形尺寸	2380mm(高)×1125mm(宽)×1120mm(厚)

2) 南通锻压机床厂的粉末成形压机主要技术参数见表 4-3。

表 4-3 南通 NPA 系列压机的主要技术参数

技术指标	NPA6.1	NPA16.1	NPA40
最大压制力/kN	60	160	400
最大脱模力/kN	40	80	
上冲头行程/mm	100	100	100
压制行程/mm	0~40	0~30	
脱模行程/mm	0~30	0~35	
顶压行程/mm	0~6	0~6	
冲程数/min	12, 14, 17, 20 24, 28, 34, 40	12~50 (无级可调)	12
装料高度/mm	70	65	80

(二) 全自动粉末成形液压机规格及技术参数

1) 南通锻压机床厂的粉末成形液压机主要技术参数见表 4-4、表 4-5、表 4-6。

表 4-4 南通 NTD-Y79Z-40、100A、250 型自动粉末成形液压机的主要技术参数

压机型号		NTD-Y79Z-40	NTD-Y79Z-100A	NTD-Y79Z-250
公称力/kN		400	1000	2500
液体最大工作压力/MPa		25	25	25
滑动下平面距工作台面最大距离/mm		900	1760	2200
上丁形压头下端距工作台面最大距离/mm			1610	2000
滑块运行参数	最大压制力/kN	400	1000	2500
	最大回程力/kN	180	315	500
	最大行程/mm	350	300	500
	快速下行速度/(mm/s)	75	150	230
	慢速下行速度/(mm/s)	30	16	32
	浮动压制速度/(mm/s)	20	0.5~10	0.5~23
	后压压制速度/(mm/s)	15	10	0.5~13
	慢速回程速度/(mm/s)	80	80	0.5~66
	快速回程速度/(mm/s)			155
顶出活塞运行参数	最大顶出力/kN	280	1000	1600
	最大拉下力/kN	180	630	1400
	最大行程/mm	150	180	250
	快速顶起速度/(mm/s)	48	35	160
	慢速顶起速度/(mm/s)			0.5~22
	浮动下行速度/(mm/s)	20	0.5~10	0~16
	慢速退回速度/(mm/s)	75	16	0.5~25
		快速退回速度/(mm/s)		40	60

(续)

压机型号		NTD-Y79Z-40	NTD-Y79Z-100A	NTD-Y79Z-250
上中心油缸活塞 运行参数	最大伸出力/kN	—	80	80
	最大退回力/kN	—	50	50
	最大行程/mm	—	60	100
下中心油缸活塞 运行参数	最大伸出力/kN	30	80	60
	最大退回力/kN	10	50	35
	最大行程/mm	100	120	200
滑块下平面有效面积(左右×前后)/mm ²		480×460	540×520	800×500
工作台面有效面积(左右×前后)/mm ²		480×460	540×520	800×800
侧油缸运行参数	最大伸出力/kN	—	20	30
	最大退回力/kN	—	20	19
	最大行程/mm	—	80	120
气体工作压力/MPa		—	0.63	0.63
气动系统耗气量/(L/min)		—	120	120
机器总质量/kg		3500	6600	22000
电机总功率/kW		11	13	50.5
机器轮廓尺寸	左右/mm	1300	3600	4500
	前后/mm	2040	2700	4000
	地面以上高/mm	2760	3622	4545
	地面以下深/mm	0	500	1900
上压头到模架安装基面最大距离/mm			1100	
下压头到模架安装基面最大距离/mm			400	

表 4-5 南通 NTD-Y79Z-6300 型自动粉末成形压机的主要技术参数

主要技术参数		数值
主缸	最大压制力/kN	6300
	最大行程/mm	460
	回程力/kN	630
顶出缸	拉下脱模力/kN	3000
	浮动力/kN	0~600
	工作行程/mm	350
	拉下脱模行程/mm	200
	顶出力/kN	2000

(续)

主要技术参数		数值
上中心辅助缸	活塞出(下)最大工作力/kN	125
	活塞入(上)最大工作力/kN	75
	最大行程/kN	100
上两侧辅助双缸	活塞出(下)最大工作力/kN	250
	活塞入(上)最大工作力/kN	150
	最大行程/mm	100
	两辅助缸中心距(前后放置)/mm	300
下中心辅助缸	活塞出(下)最大工作力/kN	125
	活塞入(上)最大工作力/kN	90
	最大行程/mm	200
模架泵站	液体最大工作压力/MPa	31.5
	油泵流量/(L/min)	50
	接口数/个	11
最大压制行程/mm		200
工作频率(全自动)/(次/min)		3~6
最大模具支承力/kN		3000
脱模时最大压持力/kN		0~100
上、下T形块之间最大距离/mm		2000
地面以上高度/mm		7000
工作台面有效面积(左右×前后)/mm ²		1050×940
固定工作台支承面距下T形块上平面最大距离/mm		600
上T形块距滑块下平面距离/mm		430
配套电机功率/kW		140
整机质量/kg		42000

表 4-6 南通 NPH—100、200、315、500 型粉末制品液压机的主要技术参数

压机型号		NPH-100	NPH-200	NPH-315	NPH-500
公称力/kN		1000	2000	3150	5000
回程力/kN		315	400	530	1000
滑块最大行程/mm		500	710	800	600
顶出力/kN		400	1000	630	1500
退回力/kN		315	450	450	1400
顶出缸活塞最大行程/mm		250	250	300	350
液体最大工作压力/MPa		25	25	25	25
开口高度/mm		900	1120	1250	1800
顶出缸中心缸活塞行程/mm		—	—	—	150
中心缸顶出力/kN		—	—	—	80
中心缸退回力/kN		—	—	—	50
滑块速度	快下/(mm/s)	60	>80	>80	100
	工作/(mm/s)	10~15	6~8	6~8	10
	回程/(mm/s)	50	70	60	80
顶出缸活塞速度	顶出/(mm/s)	40	35	35	40
	退回/(mm/s)	50	75	75	45
送料缸行程/mm		250	—	—	350
工作台有效面积	前后/mm	580	900	1120	1400
	左右/mm	720	1060	1250	1400
机器外形尺寸	前后/mm	1500	1400	1400	3200
	左右/mm	2660	3100	3200	5750
	高(地面以上)/mm	3325	3882	4323	5450
总功率/kW		8.3	16.2	28.5	49
机器重量/t		5	11.5	17	42

2) 天津市锻压机床总厂的粉末成形液压机主要技术参数见表 4-7、表 4-8、表 4-9、表 4-10、表 4-11、表 4-12。

表 4-7 天津 YTA79Z—63 粉末成形液压机主要技术参数

项 目		单 位	数 值	
主油路液体最大工作压力		MPa	25	
主缸	压制力	kN	630	
	回程力	kN	160	
	下行速度	快速下行	mm/s	≥240
		慢速下行	mm/s	20~40
		高压下行	mm/s	0~9
	回程速度	快速回程	mm/s	≥225
		慢速回程	mm/s	≥35
工作行程	mm	350		
顶出缸	顶出力	kN	320	
	回程(拉下力)	kN	320	
	浮动力	kN	(最大) 200	
	顶出速度	快速顶出	mm/s	≥110
		慢速顶出	mm/s	≥20~40
	退回速度	快速退回	mm/s	≥220
		慢速退回	mm/s	≥35
	工作行程	mm	160	
模具安装杆尺寸	mm	M110×3		
低空系统油路液体最大工作压力		MPa	2.5	
辅助缸	上升力	kN	6.5	
	下降力	kN	4	
	工作行程	mm	200	
送料器	移送面积	mm	100×100	
	移送速度	mm/s	~200	
	工作行程	mm	200	
滑块工作面至工作台面最大距离		mm	850	
滑块工作面尺寸		mm	600×350	
工作台面尺寸		mm	600×600	
高压泵(轴向柱塞泵)	最大工作压力	MPa	25(最大压力 $P=32$)	
	流量	L/min	40	
低压泵(叶片泵)	最大工作压力	MPa	2.5(最大压力 $P=7$)	
	流量	L/min	170	
电机功率	主电机	kW	11	
	控制电机	kW	1.5	
机器轮廓尺寸(长×宽×高)		mm×mm×mm	2364×1660×3012	
机器重量		t	(毛重) 5.7	

表 4-8 天津 YT79Z-250 粉末成形液压机主要技术参数

项 目	单位 Unit	数值 Value	备注 Remarks	
公称力	kN	2500	25MPa	
液体最大工作压力	MPa	27.5		
滑 块	压制力	kN	2500	25MPa
	回程力	kN	200	15MPa
	行程	mm	350	
	快速下行速度	mm/s	230	
	慢速下行速度	mm/s	33	
	压制速度(最大)	mm/s	30	
	压制速度(最小)	mm/s	15	
	快速回程速度	mm/s	230	
下 缸	拉下力	kN	1500	27.5MPa
	浮动力	kN	200~400	2.5~5MPa
	行程	mm	250	
	活塞杆连接螺纹	mm	M150×3	
	上行速度	mm/s	55	
	下行速度	mm/s	20	
	强制下行速度	mm/s	可调(10~20)	
辅助缸	浮动力	kN	40	15MPa
	行程	mm	200	
送料器	移送盒尺寸	mm×mm	150×200	
	移送行程	mm	350	
	移送速度	mm/s	180	
滑块下平面距工作台面最大距离	mm	1200		
滑块工作面尺寸	mm×mm	800×500		
工作台面尺寸	mm×mm	800×800		
T形槽	mm	28		
电机功率	kW	59		
机器轮廓尺寸(长×宽×高)	mm×mm×mm	5368×3230×3400		
机器总重量	t	13		

表 4-9 天津 HTP79—45 粉末成形液压机主要技术参数

项 目		单 位	数 值	
公称压力		kN	450	
主油路液体最大工作压力		MPa	25	
低压泵液体工作压力		MPa	2	
主 缸	压制压力	kN	450	
	回程压力	mm/s	65	
	下行速度	快速下行	mm/s	180
		慢速下行	mm/s	25
		高压下行	mm/s	25—10
	回程速度	mm/s	170	
工作行程	mm	400		
顶出缸	顶出压力	kN	125	
	回程(拉力)压力	kN	275	
	顶起速度(快速/慢速)	mm/s	100/3.5	
	浮动压力	kN	<50	
	回程(拉下)速度	mm/s	45~18	
	工作行程	mm	250	
辅助缸	下降压力	kN	1.05	
	下降速度	mm/s	200	
	工作行程	mm	250	
送料器	送料盒面积	mm×mm	100×100	
	送料器前进速度	mm/s	100	
	送料器退回速度	mm/s	100	
	工作行程	mm	200	
活动横梁工作面至工作台面最大距离		mm	1000	
活动横梁工作面尺寸(左右×前后)		mm×mm	540×490	
工作台面尺寸(左右×前后)		mm×mm	540×520	
立柱中心距(左右×前后)		mm×mm	650×350	
工作台面距地面高		mm	1000	
电机总功率		kW	9	
机器占地面积	左右	mm	≈2310	
	前后	mm	≈1125	
	高	mm	≈2881	
主机重量		kg	2530	
全机重量		kg	3300	

表 4-10 天津 THP79—100 粉末成形液压机主要技术参数

项 目	单 位	数 值	
公称力	kN	1000	
回程力	kN	100	
顶出力 (浮动力)	kN	500	
顶出退回力 (拉下力)	kN	400	
液体最大工作压力	MPa	25	
活动横梁最大行程	mm	400	
顶出缸活塞最大行程 (填料高度)	mm	150	
活动横梁距工作台最大距离	mm	900	
顶出活塞上平面距工作台面最大距离	mm	285	
顶出活塞与模具的连接螺纹	mm	M60×2	
活动横梁行程速度	快速下行	mm/s	110
	低速下行	mm/s	0.2~2
	高压下行	mm/s	15.6
	回程	mm/s	85
顶出活塞行程速度	顶出时最大	mm/s	22
	退回时最大	mm/s	35
工作台有效面积 (左右×前后)	mm×mm	630×630	
立柱中心距 (左右×前后)	mm×mm	770×460	
工作台面距地面高	mm	900	
主机轮廓尺寸 (左右×前后×地面以上高)	mm×mm×mm	1040×700×3020	
电动机功率	kW	7.5	
主机重量	kg	3411	
整机重量	kg	4500	
机器占地面积 (左右×前后×地面以上高)	mm×mm×mm	2215×1035×3154	

注：推荐用于精整、复压。

表 4-11 天津 THP79—630 粉末成形液压机主要技术参数

项 目	单 位	数 值	备 注	
公称力	kN	6300	25MPa	
液体最大工作压力	MPa	25		
滑块	压制力	kN	6300	25MPa
	回程力	kN	800	25MPa
	快速下行速度	mm/s	240	
	工作速度	mm/s	10~20	
	快速回程速度	mm/s	150	
	慢速回程速度	mm/s	35—100	
	工作行程	mm	900	
顶出缸	顶出力	kN	3000	24MPa
	拉下力	kN	1000	24MPa
	浮动力	kN	240~1200	2~10MPa
	快速上升速度	mm/s	55	
	慢速上升速度	mm/s	10~25	
	退回速度	mm/s	75	
	负载退回速度	mm/s	20~55	
	工作行程	mm	360	
辅助缸	最大上升力	kN	50	
	最大退回力	kN	20	
	上升速度	mm/s	55	
	下降速度	mm/s	75	
	工作行程	mm	250	
上升到位时闭锁力	kN	25~50	可调	
滑块下平面距工作台面距离	mm	2100		
工作台面有效尺寸(左右×前后)	mm×mm	1110×1150		
电机总功率	kN	94		
工作台距地面高度	mm	50		

注：推荐用于精整、复压。

表 4-12 天津 THP79—1000 粉末成形液压机主要技术参数

项 目		单 位	数 值
公称力		kN	10000
液体最大工作压力		MPa	25
滑块	压制力	kN	10000
	回程力	kN	15000
	行程	mm	1000
	空程下行速度	mm/sec	25
	工作速度	mm/sec	2.5
	回程速度	mm/sec	70
顶出缸	顶出力	kN	200
	退回力	kN	400
	顶出行程	mm	400
	顶出速度	mm/sec	80
	退回速度	mm/sec	160
工作台面有效尺寸		mm×mm	1200×1200
滑块工作面尺寸		mm×mm	1200×1150
滑块下平面距工作台面最大距离		mm	1500
工作台距地面高度		mm	500
电机总功率		kW	

3) YA79 系列全自动粉末成形液压机的主要技术参数见表 4-13。

表 4-13 YA79 系列粉末成形液压机主要技术参数

项 目		型 号	YA79—125	YA79—250	YA79—630
最大工作压力 (MPa)			31	32	28
上 油 缸	最大压制压力/kN		1250	2500	6300
	回程拉力/kN		650	500	1000
	下降 速度	空载/(mm/s)	130, 155	300	300
		负载/(mm/s)	28~8	13~4	17~10
	上升 速度	空载/(mm/s)	80	190	190
		负载/(mm/s)	—	45~10	95~34
工作行程/(mm)			400	650	1000

(续)

项 目		型 号	YA79—125	YA79—250	YA79—630
下 油 缸	最大顶出力/(kN)		1250	2500	1000
	拉下压力/(kN)		650	1250	3000
	浮动压力/(kN)		4~250	4~800	8~1200
	上升 速度	空载/(mm/s)	55	5	50
		负载/(mm/s)	28~8	18~4	25
	下降 速度	空载/(mm/s)	80	80	75
		负载/(mm/s)	—	19~6	36~15
	工作行程/mm		200	300	360
模具安装螺杆/mm		M80×2 (左)	M110×3 (左)	M210×4 (左)	
送 料 器	送料器面积/mm ²		100×100	150×150	220×220
	行程/mm		250	400	540
	最大前进速度/mm/s		500	340	400
上下工作台距离/mm			950	1200	1900
上工作台面尺寸(左右×前后)/mm			650×420	850×550	1150×700
下工作台面尺寸(左右×前后)/mm			650×650	850×850	1150×1150

二、国外常见的粉末成形压机规格及技术参数

我国当今拥有数量较多、国际上比较知名的粉末成形压机,主要由德国 Dorst 机械与设备公司、Mannesmann Demag 公司、日本良塚精机株式会社、日本玉川株式会社以及美国 Gasbarre 制备公司等厂商生产。在此,分别介绍这些粉末成形机规格及技术参数。

(一) 全自动粉末成形机械式压机规格及技术参数

1) 日本玉川机械株式会社的粉末成形压机主要技术参数见表 4-14、表 4-15。

表 4-14 日本玉川 S 系列粉末成形压机的主要技术参数

技术条件	6	15	20	10	20A	40A	40N	60	60N	100	10CN	200	200EX	500EX
压制能力(最大)/kN (tf)	58.8 (6)	147 (15)	196 (20)	98 (10)	196 (20)	392 (40)	392 (40)	588 (60)	588 (60)	980 (100)	980 (200)	1960 (200)	1960 (200)	4900 (500)
顶出能力(最大)/kN (tf)	58.8 (6)	147 (15)	196 (20)	98 (10)	196 (20)	392 (40)	392 (40)	392 (40)	392 (40)	490 (50)	490 (50)	980 (100)	1490 (150)	2450 (250)
压坯直径(最大)/mm	45	75	75	75	75	100	100	100	100	100	100	150	150	200
装粉深度(最大)/mm	60	100	100	80	100	120	120	120	120	130	150	130	150	150
顶出行程(最大)/mm	45	75	65	80	100	120	120	120	120	130	150	130	150	150
阴模挡块能力/kN (tf)	29.4 (3)	68.6 (7)	98 (10)	98 (10)	98 (10)	147 (15)	147 (15)	294 (30)	294 (30)	490 (50)	490 (50)	686 (70)	980 (100)	2450 (250)
上压头行程/mm	110	130	150	125	150	175	175	180	180	200	200	210	200	200
装粉靴行程/mm	115	130	130	125	130	200	200	200	200	200	200	230	230	250

(续)

技术条件	6	15	20	10	20A	40A	40N	60	60N	100	100N	200	200EX	500EX
欠量或过量装粉/mm	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5	7.5	7.5
每分钟冲程次数 /(次/min)	10~40	10~40	10~40	10~40	10~40	5~20	5~20	5~20	5~20	5~20	5~20	5~20	5~20	5~20
润滑	1#	1#	1#	1#	1#	2#	2#	3#	3#	3#	3#	4#	4#	4#
电动机/kW	2.2	3.7	3.7	2.2	3.7	7.5	7.5	11	11	22	22	30	30	37
总高度大致值/mm	1970	2345	2580	2370	2660	3030	3170	3350	3550	4010	4155	4560	6630	7500
总宽度大致值/mm	1140	1220	1285	1375	1665	1850	1900	2080	2245	2720	2780	2700	3220	3800
总深度大致值/mm	1290	1290	1470	1200	1415	1630	1600	1690	1370	1975	1610	2460	2620	2905
压机质量大致值/kg	900	1300	2300	2300	3500	5000	5500	8500	9500	14000	16000	20000	30000	58000

表 4-15 日本玉川 T-HS 系列粉末成形压机的主要技术参数

技术条件	3	10N	10B	20N	40
压制能力(最大)/kN (tf)	29.4 (3)	98 (10)	98 (10)	196 (20)	392 (40)
顶出能力(最大)/kN(tf)	19.6 (2)	29.4 (3)	29.4 (3)	49 (5)	49 (5)
压坯尺寸(最大)(W×L)/mm	30×30	40×30	40×30	60×40	75×75
装粉深度(阴模)/mm	30	15	30	20	30
装粉深度(浮动模冲)/mm	—	15	30	20	30
顶出行程(阴模)/mm	30	15	30	20	30
浮动模冲挡块能力/kN (tf)	—	29.4 (3)	98 (10)	49 (5)	392 (40)
上压头行程/mm	50	60	70	70	80
装粉靴行程/mm	60	60	60	70	120
每分钟冲程次数/(次/min)	25~100	25~100	25~100	20~80	15~80
润滑	密封油浴	密封油浴	密封油浴	密封油浴	密封油浴
电动机(大致值)/kW	0.75	2.2	2.2	3.7	5.5
总高度(大致值)/mm	1520	1770	2655	2130	3010
总宽度(大致值)/mm	760	1080	1235	1300	1780
总深度(大致值)/mm	1190	1460	1465	1740	1845
压机质量(大致值)/kg	350	1650	2500	3200	6000

注：用于精整、复压。

2) 日本良塚精机株式会社の粉末成形压机主要技术参数见表 4-16。

表 4-16 日本良源精机(株)PCMH 系列与 PCH 系列粉末成形压机的主要技术参数

技术条件	PCMH 系列						PCH 系列		
	PCMH-12SU	PCMH-20SU	PCMH-40SU	PCMH-60SU	PCMH-100SU	PCMH-200SU	PCH 400SU	PCH-500SU	PCH-750SU
压制能力/kN(kgf)	117.6 (12,000)	196 (20,000)	392 (40,000)	588 (60,000)	980 (100,000)	1960 (200,000)	3920 (400,000)	4900 (500,000)	7350 (750,000)
顶出能力/kN(kgf)	58.8 (6,000)	117.6 (12,000)	235.2 (24,000)	392 (40,000)	588 (60,000)	1470 (150,000)	2156 (220,000)	2156 (220,000)	2450 (250,000)
上模冲行程/mm	110	130	160	180	200	200	200	200	200
上模冲调整量/mm	50	60	80	120	150	150	150	130	130
最大装粉深度/mm	80	100	120	140	150	150	150	150	150
最大顶出行程/mm	50	70	80	90	100	100	100	100	100
最大顶压行程/mm	8	10	10	10	10	10	10	10	10
上模冲压紧行程/mm	65	85	95	110	120	120	110	110	110
欠量(过量)装粉行程/mm	任选(5)	任选(5)	任选(5)	任选(7.5)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
阴模浮动挡块能力/kN(kgf)	49 (5,000)	98 (10,000)	196 (20,000)	294 (30,000)	490 (50,000)	980 (100,000)	1960 (200,000)	1960 (200,000)	2450 (250,000)
每分钟行程次数	10~40	10~40	8~32	6~24	6~24	6~24	6~24	5~20	6~15
主电动机/kW	3.7	3.7	5.5	7.5	11	22	30	37	55
液压助推器/kW									
变速装置	带型	带型	带型	带型	带型	带型	带型	带型	带型
压力指示器	油压计	油压计	油压计	油压计	油压计	油压计	油压计	油压计	油压计
离合器与制动器	复合型	复合型	复合型	复合型	复合型	复合型	复合型	复合型	复合型
可动或浮动芯棒的芯棒气缸	装有	板有	板有	板有	板有	板有	板有	板有	板有
净重(近似值)/kg	2500	3000	5500	9500	12000	24000	24000	24000	24000
宽度×深度(近似值)/mm	1200×1100	2000×1300	2100×1500	2400×1600	2600×1900	3400×2250	3400×2250	3400×2250	3400×2250
压机总高(近似值)/mm	2550	2900	3360	4580	5100	5700	5700	5700	5700
复合上模冲装粉行程/mm	25	25	25	30	30	35	30	35	35
复合模冲顶出行程/mm	12.5	12.5	12.5	15	15	17.5	15	15	15
外上模冲能力/kN(kgf)	196 (20000)	392 (40000)	588 (60000)	980 (100000)	1470 (150000)	2156 (220000)	2156 (220000)	2156 (220000)	2450 (250000)
内上模冲能力/kN(kgf)	117.6 (12000)	235.2 (24000)	470.4 (48000)	735 (75000)	1100 (110000)	2200 (220000)	2800 (280000)	3500 (350000)	4900 (500000)
净重(近似值)/kg	3400	3400	5900	10000	13000	25000	35000	45000	65000
宽度×深度(近似值)/mm	2000×1300	2000×1300	2100×1500	2400×1600	2600×1900	3400×2250	3000×2400	3100×2500	3330×2720
高度(近似值)/mm	3400	3400	4000	4930	5700	6600	7500	7700	8720

3) 美国 Gasbarre 公司的粉末成形压机主要技术参数见表 4-17、表 4-18、表 4-19。

表 4-17 美国 Gasbarre 标准系列压机的主要技术参数

吨位/sh ton (U. S. Tons)	行程/mm	装粉深度 /mm	阴模台板 浮动/mm	每分钟 冲程次数 /(次/min)	吨位/sh ton (U. S. Tons)	行程/mm	装粉深度 /mm	阴模台板 浮动/mm	每分钟 冲程次数 /(次/min)
5	63	25	12	15~19	100	228	158	79	7~25
10	76	38	19	10~60	150	228	158	79	7~25
15	114	63	31	10~60	200	228	158	79	7~25
20	114	82	41	8~50	300	228	158	79	7~25
30	133	82	41	8~50	500	228	158	79	7~17
45	177	114	57	7~40	750	228	158	79	7~17
60	228	158	79	8~40					

表 4-18 美国 Gasbarre 模架系列压机的主要技术参数

吨位/sh ton (U. S. Tons)	行程/mm	装粉深度 /mm	每分钟 冲程次数 /(次/min)	吨位/sh ton (U. S. Tons)	行程/mm	装粉深度 /mm	每分钟 冲程次数 /(次/min)
5	63	38	15~90	100	228	158	7~25
10	88	50	10~60	150	228	158	7~25
15	114	69	10~60	200	228	158	7~25
20	127	82	8~50	400	254	158	6~19
30	139	82	8~50	600	254	158	7~17
45	177	114	7~40	800	254	158	7~17
60	228	158	7~40				

表 4-19 美国 Gasbarre 多动作系列压机的主要技术参数

吨位/sh ton (U. S. Tons)	行程/mm	装粉深度/mm	芯棒能力/sh ton (U. S. Tons)	顶出能力/sh ton (U. S. Tons)	每分钟 冲程次数/ (次/min)
60	228	158	30	50	7~40
125	228	158	50	100	7~40
200	228	158	100	125	7~25
350	254	158	150	200	7~25
500	254	158	200	250	7~20
750	254	158	250	350	7~17

4) 德国 DORST 公司的粉末成形压机主要技术参数见表 4-20。

表 4-20 德国 DORST TPA 系列机械式全自动粉末冶金成形压机的主要技术参数

技术数据	6	15/3	25/3	50/4	100/3	140	200	450
最大压制力/kN	60	150	250	500	1000	1400	2000	4500
最大脱模力/kN	40	80	250	400	800	1000	1500	3000
阴模支撑力(在压制位置)/kN	30	50	250	400	600	800	1200	2500
上压头行程/mm	95	100	200	200	220	220	220	220
最大装粉深度/mm	70	85	185	185	180	180	180	180
最大脱模行程/mm	35	35	90	90	95	90	90	90
最大压制行程/mm	35	30	95	95	85	90	90	90
最大顶压行程/mm	6	6	18	18	18	15	18	18
电动机功率/kW	3	3.1	11	11	22	22	30	55
每分钟压制次数(无级变速)	9.5~63	9~50	4~31	4~31	5~24	6~24	6~24	4~16
上模冲顶压/夹持装置最大行程/mm	25	30	115	115	125	80	85	85
上模冲顶压/夹持装置最大压力/kN	70	2.8	7.16	7.16	9.7	9.5	5.8	24
高(近似值)/mm	2220	2500	3300	3300	4100	3900	4900	7500
宽(近似值)/mm ^①	960	1125	1830	1830	1970	2000	3500	3000
纵深(近似值)/mm ^①	1050	1250	1425	1425	1470	2800	2370	4050
净重量(近似值)/kg	1000	1915	4400	4400	9870	12700	19000	30000

① 不包括电器开关柜和液压装置。

(二) 全自动粉末成形液压式压机规格及技术参数

1) 德国 DORST 机械与设备公司 TPA-H 系列粉末成形机主要技术参数见表 4-21。

表 4-21 德国 DORST TPA-H 系列液压式全自动 CNC 粉末冶金成形压机的主要技术参数

(数控多层板架模型,可带有 10 个数控系统:8 个用于分别控制 8 层板、1 个用于控制装粉装置、1 个用于控制阴模的运动)

技术数据	150H	250H	500H	650H	800H
最大压制力/kN	1500	2500	5000	6500	8000
最大脱模力/kN	800	1500	3000	3000	3000
阴模支撑力(在压制位置)/kN	1100	1800	3000	3800	3800
上压头行程/mm	350	350	450	450	450
阴模最大行程/mm	250	250	350	350	350
电动机功率/kW	60.5	102	208	208	208
每分钟压制次数(无级变速)	14 ^②	10 ^②	10 ^②	9 ^②	8.5 ^②
上模冲顶压/夹持装置最大力/kN	1500	2500	5000	6500	8000
高(近似值)/mm ^①	4100	5230 ^①	8170 ^①	8170 ^①	8625 ^①
宽(近似值)/mm ^①	3535	2760	5000	5000	5200
纵深(近似值)/mm ^①	3090	3200	5200	5200	5500
净重量(近似值)/kg	13500	16500	36000	37000	47000

① 不包括电器开关柜和液压装置。② 在装粉深度 50mm 的条件下的最大次数。

2) 德国 mannesmana Demag 公司 HPM 系列粉末成形机主要技术参数见表 4-22。

表 4-22 德国 mannesmann Demag 公司 HPM 系列粉末成形机主要技术参数

技术数据	单位	HPM 60 E2	HPM 150 E2	HPM 250 E2	HPM 350 E2	HPM 500 E2	HPM 650 E2	HPM 800 E2
上冲头								
行程	mm	300	300	350	350	490	490	490
压制压力	kN	600	1500	2500	3500	5000	6500	8000
下冲头								
行程	mm	200	200	200	200	300	300	300
反向压力	kN	450	1000	2000	2000	4000	6200	6200
脱模压力	kN	300	650	1300	1300	3000	4500	4500
送料器								
行程	mm	500	500	500	500	500	500	500
上模冲内辅助冲头 1								
行程	mm	80	80	80	80	80	80	80
压力	kN	100	30/150	50/300	50/300	100/500	100/500	100/500
上模冲内辅助冲头 2								
行程	mm	80	80	80	80	80	80	80
压力	kN	300	600	100/1200	100/1200	200/2000	200/2000	200/2000
下模冲内辅助冲头 3								
行程	mm	150	150	150	150	200	200	200
压力	kN	40	40	50	50	150	150	150
常用参数								
每分钟次数		18	15	12	12	10	9	9
功率	kW	55	90	130	150	200	200	240
重量	kg	10000	12000	16000	16000	42000	42000	42000

3) 瑞士 Osterwaloler AG 公司 HPM 系列粉末成形机主要技术参数见表 4-23。

上述公司制造的全自动粉末成形液压机是专门为铁基粉末冶金复杂结构件的压制面设计的，专门考虑了对批量生产保证无裂纹压坏的要求。

主要特点是：

- 1) 控制系统可自动编程，操作和编程按菜单提示方式进行并配有图形辅助。
- 2) 外部或内部质量由控制系统 SPS 控制（压制压力、压坯高度、压坯重量等控制均用数据及图形显示）。
- 3) 压制轴采用 CNC 数控，配有多层模板式模架，各模冲动作均为闭环 CNC 控制。
- 4) 为解决复杂形状工件的各部位密度均匀性，装粉补偿方式采用轮廓（仿形）装粉补偿系统，确保复杂形状工件各部密度均匀，压坯无裂纹，保证批量生产的压件质量稳定。

表 4-23 瑞士 Osterwalder AG 公司 UPP 系列粉末成形机主要技术参数

技术参数	UPP1000	UPP1400	UPP2500	UPP3800	UPP5500	UPP8000
压制力						
上活塞最大压力/kN	1000	1400	2500	3800	5500	8000
最大下拉力（阴模）/kN	750	1050	2000	2900	3750	6000
压制位置最大反向力/kN	800	1150	2100	3100	4000	6400
下芯杆力 上/下/kN	50/35	50/35	50/35	50/35	100/70	100/70
上芯杆力 上/下/kN	50/35	50/35	50/35	50/35	100/70	100/70
行程						
上活塞行程/mm	400	400	400	400	400	400
下活塞行程（阴模）/mm	200	200	200	200	200	200
下芯杆行程/mm	150	150	150	150	150	150
上芯杆行程/mm	50	50	50	50	50	50
填粉高度/mm	200	200	200	200	200	200
填粉鞋行程/mm	320	320	320	320	320	320
定位精度						
最小编程增量/mm	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
重复精度/mm	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
填粉鞋定位精度/mm	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
一般参数						
冲程数（生产率）/h/min	18	18	16	14	12	10
主马达功率/kW	52	62	103	123	177	217
模架间距/mm	取决于产品台阶数					
压机总高度/mm	取决于模架高度					
支柱间距/mm	700	840	926	926	1050	1050
总重量/kg	11.000	16.000	29.000	38.000	45.000	62.000

第三节 普通可倾式压力机（冲床）自动化改造

随着粉末冶金工业不断发展，粉末冶金机械结构零件应用领域越来越广泛，品种和产量日益增加。目前，功能齐全、性能良好的粉末冶金成形压机已形成系列，但价格较昂贵。在生产中，一些形状简单、精度不高的粉末冶金零件的成形（精整），可通过对普通可倾式压力机（冲床）、框式（四柱）压力机进行自动化改造，亦能达到较好的技术经济效果。

对于自动化压制（精整）的普通可倾式压力机的改装，可采用的辅助机构有两种：凸轮机构和拉杆（钩）机构，此外，还需要配有装料机构。

一、凸轮机构

凸轮机构是由凸轮、从动杆和机架组成的一种辅助机构。凸轮是原动件，从动杆是从动件，凸轮作连续转动、往复移动或摆动，带动从动杆作连续或间歇的往复移动或摆动。再通过杠杆系统，可以实现机床原规定以外的操作功能，如自动装粉、脱模和复位等动作。

凸轮机构具有运动平稳、动作准确可靠、结构简单紧凑、调整模具方便等特点，适用于各种冲床，但凸轮的磨损较快。

（一）凸轮机构形式

（1）双凸轮顶出式机构 图 4-3 所示为双凸轮在中间的顶出式机构。它主要由两付凸轮、杠杆、连杆机构来实现顶出动作。

两个凸轮 8 安装在曲轴中间的曲柄上，由平键固定。滚轮 7 在凸轮边缘上滚动，推动杠杆 4 摆动，拉杆 5 连接在杠杆 4 中间，使拉杆作垂直往复运动。杠杆 10 把拉杆和顶出杆 9 联系起来，使顶出杆与拉杆同步运动。

装粉时，压机压头处在曲轴的最高位置，相应的滚轮处在凸轮的最小半径部位。拉杆向下运动，与杠杆 10 相连的顶出杆将下模冲拉下，使阴模型腔有一定的装粉容积。曲轴转动，压机压头向下运动，运动一段距离后，相应滚

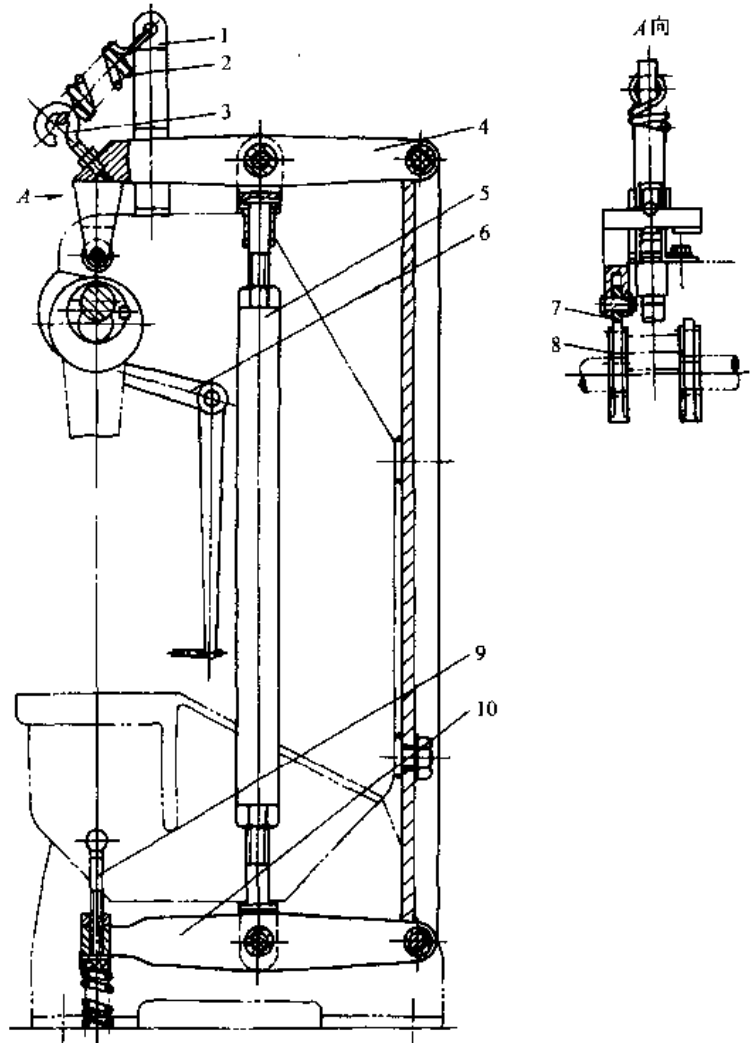


图 4-3 双凸轮顶出式机构
1—拉板架 2—拉簧 3—吊钩 4、6、10—杠杆
5—拉杆 7—滚轮 8—凸轮 9—顶出杆

轮向凸轮最大半径部位滚动，使料斗后退，上模冲进入阴模进行压制。

当压机压头处于下死点时，压坯已成形。压机压头回升，相应滚轮继续向凸轮最大半径处滚动，顶出杆顶住下模冲向上运动。当滚轮滚到凸轮的最大半径处，顶出杆通过下模冲，将压坯脱出阴模。然后滚轮又向凸轮最小半径部位滚动，在拉杆和杠杆 10 及顶出杆自重的作用下，使下模冲又回复到装粉位置。

拉杆和顶出杆应制成可调节杆件，以适应压制高度不同的压坯的需要。拉板架 1 安装在压机机身顶部，通过拉簧 2 及吊钩 3 给予杠杆 4 以向上的拉力，以免压坯脱模后滚轮沿凸轮的最大半径部位突然滚向最小半径部位时产生的冲击，造成滚轮破碎或使凸轮的轮型面受损。

这种机构适用于开式曲柄压力机上。其特点是曲轴受力分布均匀，但杠杆 4 受力条件较差，还受地位的限制。

(2) 单凸轮顶出式机构 (图 4-4) 它由一个凸轮、杠杆、连杆机构来实现顶出动作。

凸轮 3 连接在曲轴的一端。滚轮 2 在凸轮的边缘上滚动，推动杠杆 1 摆动。拉杆 4 连接在杠杆 1 的活动端上，使直杆 9 作上下往复运动。杠杆 8 和连接块 7 把直杆与顶杆 5 联系起来，使它们同步运动。

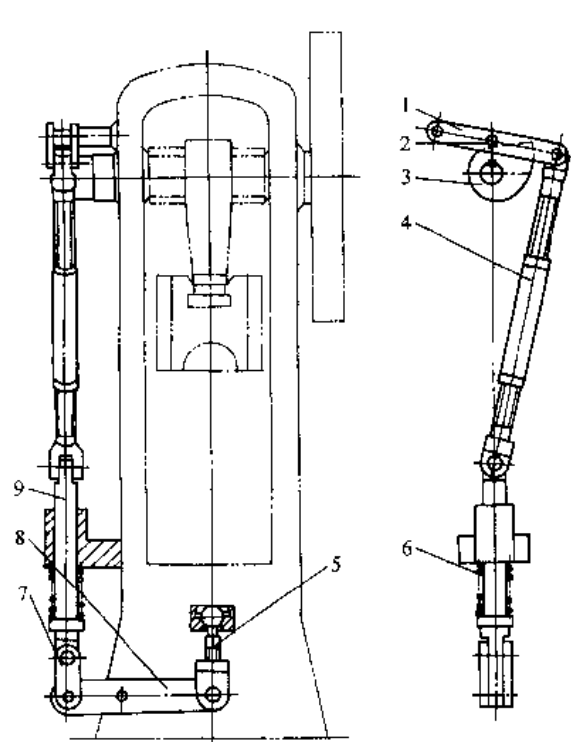


图 4-4 单凸轮顶出式机构
1、8—杠杆 2—滚轮 3—凸轮 4—拉杆
5—顶杆 6—弹簧 7—连接块 9—直杆

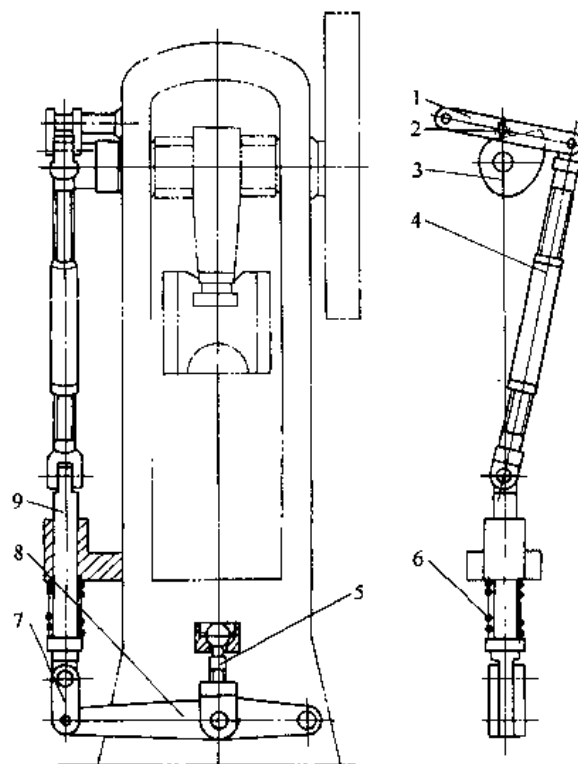


图 4-5 单凸轮拉下式机构
1、8—杠杆 2—滚轮 3—凸轮 4—拉杆
5—顶杆 6—弹簧 7—连接块 9—直杆

装粉时，压机压头处在最高位置（上死点），相应滚轮处在凸轮的最小半径部位。拉杆和直杆在最下位置，弹簧 6 处在松的状态，与杠杆 8 相连的顶杆将下模冲拉下到最低位置，使阴模型腔有一定的装粉容积。曲轴转动，使压力压头下行，运动一段距离后，相应滚轮向凸轮的最大半径部位滚动，使料斗后退，上模冲进入阴模压制。当压机压头处于曲轴最低位置（下死点）时，压坯已成形。压机压头回升，相应滚轮向凸轮最大半径处继续滚动，顶杆顶着下模冲向上运动，当滚轮滚到凸轮最大半径处顶端，弹簧受压缩，顶杆使下模冲向上顶，将

压坯脱出阴模，然后滚轮又向着凸轮的最小半径部位滚动，在弹簧力的作用下，拉杆和直杆向下，由杠杆 8 带动顶杆使下模冲又回复到装粉位置。

拉杆和顶杆应制成可调节的杆件，以适应压制不同高度压坯的需要。直杆上的弹簧弹力较大，使滚轮保持和凸轮接触，脱模后使下模冲复位。

这种机构适用于闭式曲轴压力机。其特点是顶出力大，顶出距离小，但曲轴受力条件不好。

(3) 单凸轮拉下式压制机构 (图 4-5) 与图 4-4 相比，其动作原理与单凸轮顶出式机构相同，只是杠杆 8 的支点移动了位置，脱模时将阴模拉下。

(4) 单凸轮顶出式精整机构 (图 4-6) 图 4-6a 所示为一种单凸轮顶出式精整机构。其动作原理与图 4-4 相同，只是在凸轮 2 与压机曲轴连接中间增加一个凸轮座 3，凸轮座台阶端面与凸轮接触处制成牙嵌式连接，通过调整凸轮的周向位，以适应不同高度产品精整动作的需要。

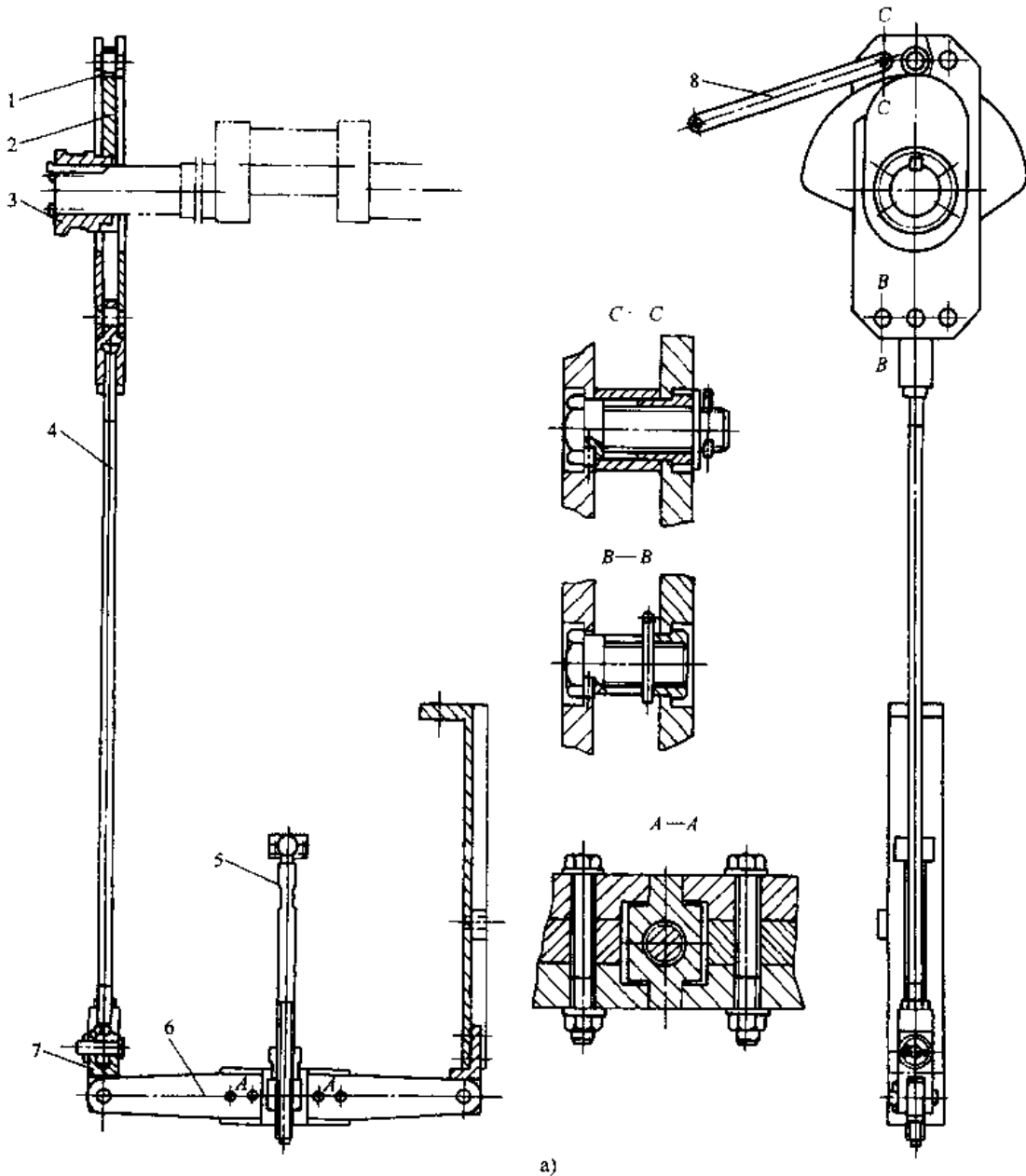
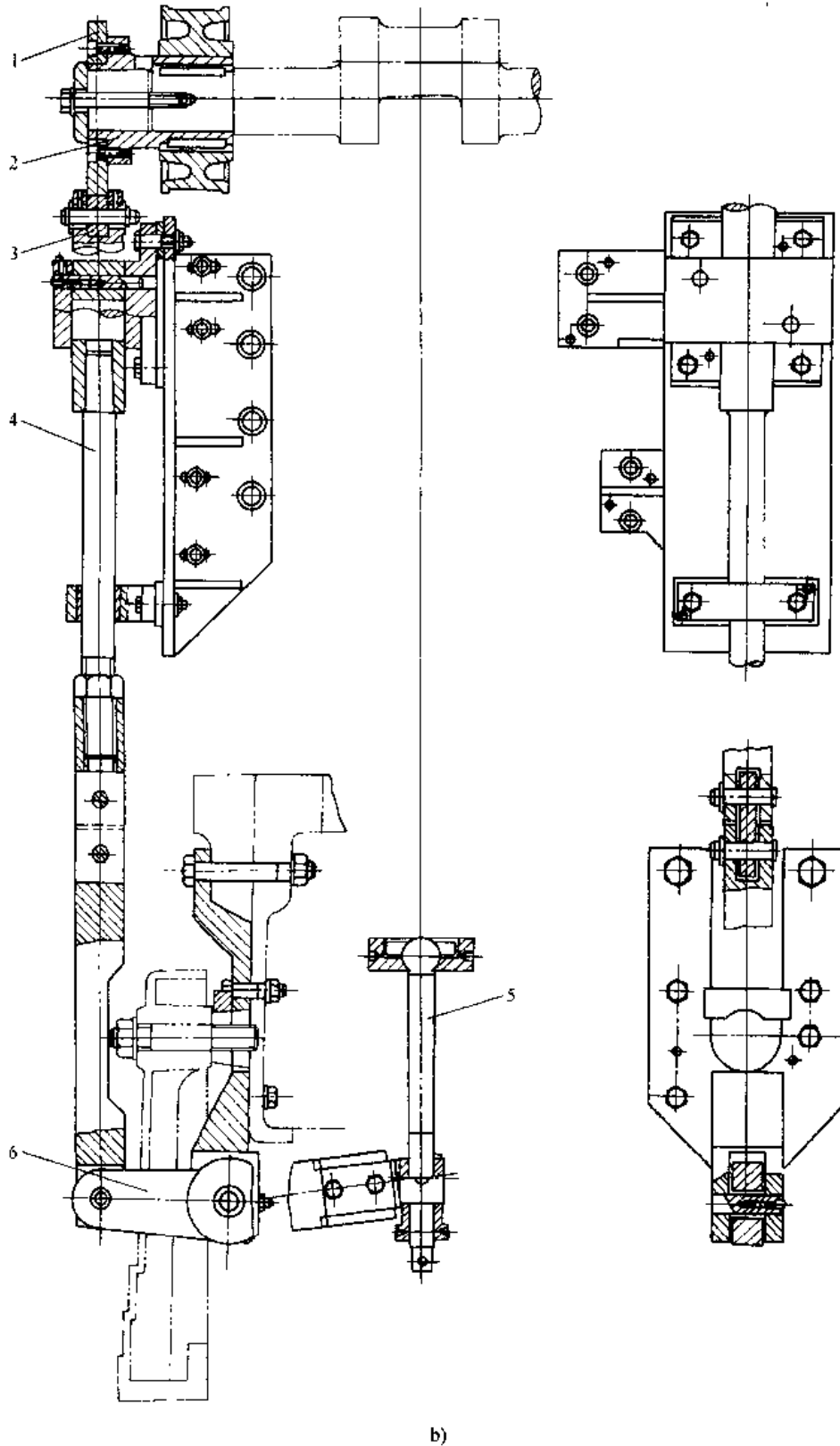


图 4-6a 单凸轮顶出式精整机构 I
1—滚轮 2—凸轮 3—凸轮座 4—拉杆 5—顶杆 6—杠杆 7—连接块 8—连杆



b)

图 4-6b 单凸轮顶出式精整机构Ⅱ (续)

1- 凸轮 2- 凸轮座 3- 滚轮 4- 压杆 5- 顶杆 6- 杠杆

图 4-6b 所示也是单凸轮顶出式精整机构, 其缺点在于压杆 4 受压力, 刚性条件差一些, 亦可应用。

(二) 凸轮机构设计

凸轮的种类、从动杆的形式及其运动规律等在机械原理书中都有介绍。这里只简略介绍改装中常用的盘形凸轮设计的有关资料，便于参考。

1. 盘形凸轮的设计步骤

1) 根据产品的制造工艺要求，对压机曲轴运转一周进行角度分配。安排凸轮工作区域和确定从动杆的运动规律，绘制位移曲线图。

2) 决定基圆半径及滚子半径（图 4-7），推荐下列的经验公式：

$$r_1 = 1.75r_0 + (5 \sim 10) \text{mm} \quad (4-4)$$

$$r_2 = (0.2 \sim 0.3)r_1 \quad (4-5)$$

$$r_3 = r_1 + r_2 \quad (4-6)$$

式中 r_0 ——压机曲轴半径 mm；

r_1 ——凸轮基圆半径，mm；

r_2 ——滚子半径，mm；

r_3 ——滚子中心在凸轮基圆上运动轨迹的半径（mm）。

3) 绘制凸轮轮廓线。用反转法绘制凸轮理论轮廓线，用包络法绘制凸轮实际轮廓线。

4) 检验压力角，即

$$\alpha_{\text{最大}} \leq [\alpha] \quad (4-7)$$

式中 $[\alpha]$ ——许用压力角；

$\alpha_{\text{最大}}$ ——凸轮上最大压力角。

直动杆 $[\alpha] = 30^\circ$ ，摆动杆 $[\alpha] = 45^\circ$ ，非工作行程 $[\alpha] = 80^\circ$ 。

5) 按下式确定凸轮厚度

$$B = (0.3 \sim 0.4)r_1 \quad (4-8)$$

式中 B ——凸轮厚度（mm）；

r_1 ——凸轮基圆半径（mm）。

6) 绘制工作图，标注材料、公差及其它技术要求。

2. 凸轮机构的材料及技术要求

凸轮机构的材料及技术要求见表 4-24。

表 4-24 凸轮机构的材料及技术要求

名称	材料	热处理	配合精度	表面粗糙度
凸 轮	HT21-40	表面冷硬（白口）	凸轮和轴配合推荐 H8/k7	轮廓表面粗糙度为 $R_a 0.8$
	HT24-44	表面冷硬（白口）		
	20 号钢	渗碳淬火 55~60HRC		
	45 号钢	45~50HRC		
	20Cr	渗碳淬火 55~60HRC		
	40Cr	45~50HRC		
滚 子	45	40~45HRC	滚子与轴配合推荐 H8/h8 或 H9/h9	接触表面粗糙度为 $R_a 0.8 \sim 2$
	40Cr	40~45HRC		

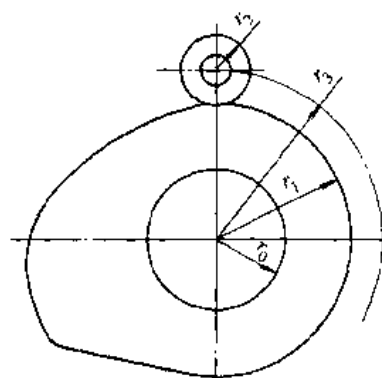


图 4-7 凸轮和滚轮尺寸示意图

3. 盘形凸轮设计举例

(1) 设计举例 已知压制 25mm 高度的铁基制品。压缩比为 2.5, 生产效率为 45 件/min。设备用 350kN (35tf) 可倾式曲柄压力机, 其冲程高度为 100mm, 曲轴直径为 80mm, 转速为 45 次/min, 改装机构的杠杆比 $b/a=1.5$ (见图 4-8)。

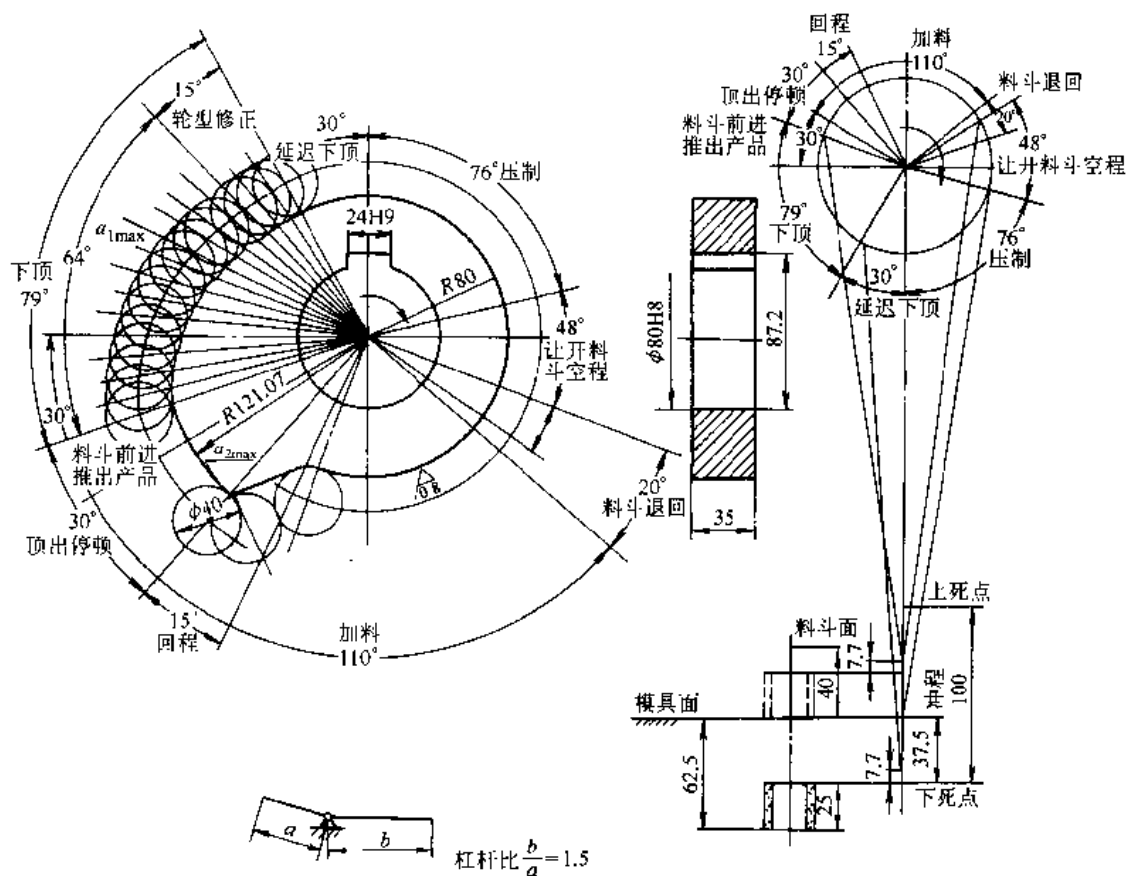


图 4-8 凸轮设计图

(2) 设计分析

1) 根据工艺要求, 对曲轴运转一周进行角度分配。当曲轴从上死点开始顺时针转动 56° 时, 让开料斗空行程开始, 再转过 48° , 让开料斗空行程结束。继续转 76° 时进行压制, 接着转 30° 为延迟下顶, 再转 79° 为下顶。继续转 30° 为顶出停顿, 接着转 15° 为回程 (即复位)。当曲轴顺时针转过 270° 时, 料斗开始前进, 再转 30° 推出压坯。继续转 110° 时加料完毕, 最后转 20° 时料斗退回。

2) 根据上述角度分配, 安排凸轮工作区域。当凸轮顺时针开始转动 210° 时, 从动杆在最高位置不动。

凸轮再转 79° 时, 从动杆从最高点以等速运动下降 41.7mm , 到达最低位置。这里确定 41.7mm , 是根据工艺要求来考虑下模冲顶出压坯时, 需完成 62.5mm 的距离 (由于杠杆比 $b/a=1.5$ 得出从动杆行程为 $62.5/1.5=41.7\text{mm}$)。

凸轮继续转 30° 时, 从动杆在最低位置不动。这里是根据工艺要求, 考虑下模冲顶出压坯时, 压坯与上模冲不应相碰, 故下模冲的顶出需延迟, 待上模冲先回升 7.7mm 后, 再开始顶出压坯。

凸轮再转 15° , 从动杆以等速上升, 回到最高位置。

凸轮再转 26° , 从动杆回到凸轮原始位置 (这时从动杆在最高位置不动)。

3) 已知凸轮轮廓由不同曲线段组成, 每段轮廓曲线使从动杆得到预定的运动。其中有两段轮廓曲线是从动杆不动的圆弧 (静止弧)。

4) 根据上述分析, 可绘制从动杆的位移图 (见图 4-9)。

5) 从动杆形式为滚子式。

(3) 设计计算

1) 确定凸轮基圆半径及滚子半径。

根据式 (4-4)

$$r_1 = 1.75r_0 + (5 \sim 10)$$

$$r_1 = 1.75 \times 40 + 10 = 80\text{mm}$$

根据式 (4-5)

$$r_2 = (0.2 \sim 0.3) r_1$$

$$r_2 = 0.25 \times 80 = 20\text{mm}$$

根据式 (4-6)

$$r_3 = r_1 + r_2$$

$$r_3 = 80 + 20 = 100\text{mm}$$

2) 绘制凸轮轮廓线 (见图 4-8)。

3) 检验压力角。压力角是指凸轮轮廓法线和从动杆运动方向的夹角, 或是凸轮轮廓与滚子接触点的受力方向与从动杆运动速度方向之间的夹角。

根据式 (4-7) $\alpha_{\text{最大}} \leq [\alpha]$

从图 4-8 可测得工作行程最大压力角, 即

$$\alpha_{1\text{最大}} = 22^\circ; [\alpha] = 30^\circ \text{ (直动杆)}$$

从图 4-8 可测得非工作行程最大压力角, 即

$$\alpha_{2\text{最大}} = 66^\circ [\alpha] = 80^\circ \text{ (非工作行程)}$$

均合乎要求。

4) 确定凸轮厚度。根据式 (4-8)

$$B = (0.3 \sim 0.4) r_1$$

$$B = 0.35 \times 100 = 35\text{mm}$$

5) 绘制工作图 (见图 4-8)

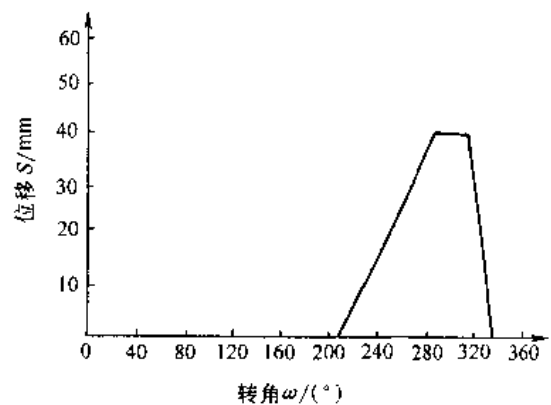


图 4-9 从动杆位移图

二、拉杆 (钩) 机构

拉杆 (钩) 式压制机构, 具有结构简单、易于制造、动作快速和校模方便等特点, 应用

较为广泛，宜于压制较小尺寸的压坯。

(一) 拉杆机构实例

(1) 分合板式拉杆机构 (见图 4-10) 由拉杆和分合机构来实现压坯顶出动作。两根拉杆 4 通过拉杆接头 1 安装在压机压头的两侧。分合机构安装在拉杆下端。

送粉时，压机压头在曲轴最高位置，下模冲与脱模顶杆相连，靠自身重量下落，使阴模型腔有一定的装粉容积。当曲轴转动，压机压头向下移动时，分合板 3 跟着滚轮 2 沿着分离杆 6 向下移动，当压机压头处在曲轴最低位置时，压坯已成形，分合板托住脱模顶杆的台阶 (靠拉簧 5 作用下合拢)。当压机压头回升时，拉杆带着分合机构向上，分合板顶住下模顶杆使下模冲将压坯顶出阴模。当压坯刚脱出阴模，这时分合板靠滚轮在分离杆的作用下分开，使下模冲和顶杆下落，回到装粉位置。

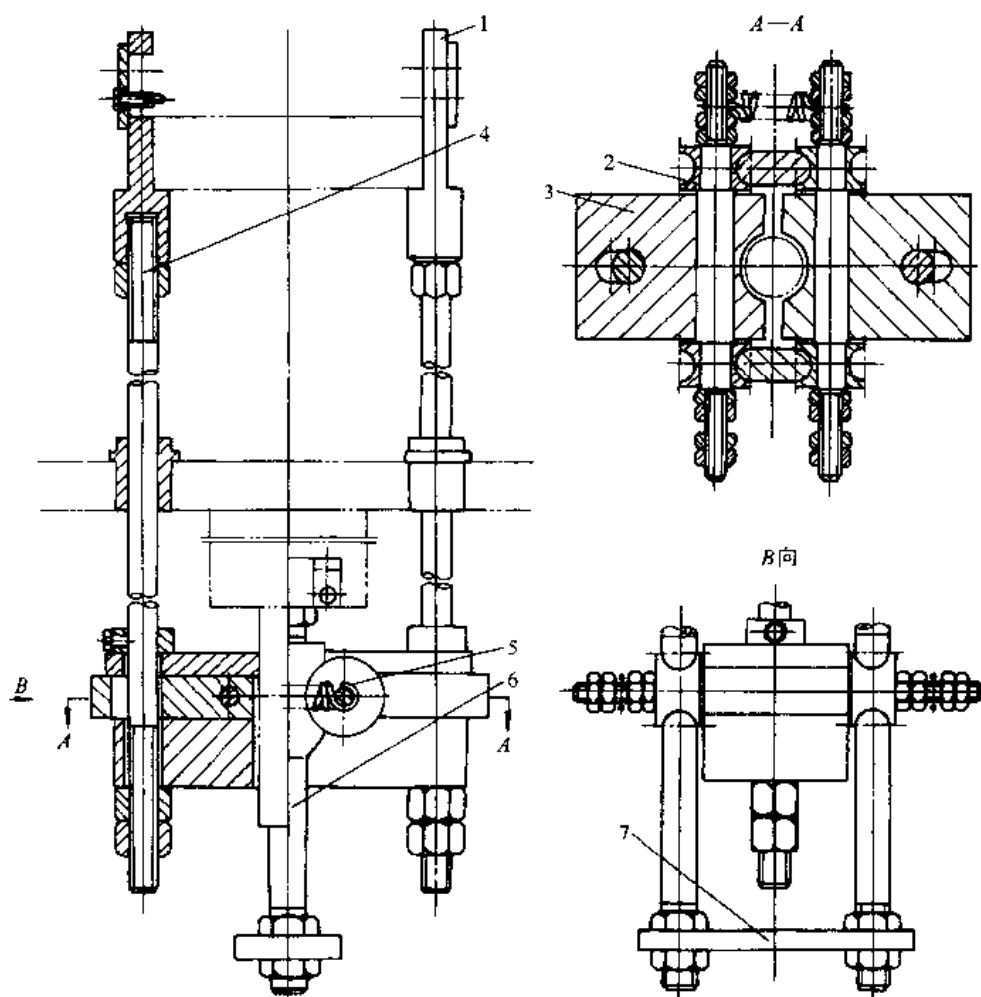


图 4-10 分合板式拉杆机构

- 1 拉杆接头 2—滚轮 3—分合板 4—拉杆
5—拉簧 6—分离杆 7—连接板

(2) 分合块式拉杆机构 (图 4-11) 在压机压头两侧安装拉杆 1, 在横梁 6 上装有两个对称的分合块 5, 在拉簧 4 作用下合抱脱模杆 8。压制时, 分合块随压机压头下行, 到最下位置时, 压坯已形成。这时分合块 1 抱入脱模杆的下部台阶, 压头回升时, 带动拉杆向上移动, 通过分合块托住脱模杆向上, 由下模冲将压坯脱出阴模。当拉杆继续向上运动时, 分合块碰上分离杆 2 的螺钉, 迫使其转向, 从脱模杆的下部台阶处分离开, 在拉簧 3 的作用下, 脱模杆带动下模冲回到原装粉位置, 装粉容积可通过调粉板 9 进行微调。

(二) 拉钩机构实例

拉钩式顶出机构见图 4-12 所示, 由上拉钩 2 和下拉钩 3 带动横梁 6 实现顶出动作。上拉钩装在固定于压机压头的安装板的两端, 脱钩导板 1 安装在压机压头两侧的机身上, 下拉钩和横梁所组成的顶出机构安装在模架上。

脱模时, 上拉钩钩住下拉钩随压机压头上行, 通过横梁使连接下模冲的拉板 4 向上, 将压坯脱出阴模。这时, 安装在上拉钩侧面的滚轮 8, 在脱钩导板斜面的作用下, 迫使上拉钩脱离下拉钩。横梁在拉簧 7 作用下, 使下模冲回到原装粉位置。上拉钩的支点轴和滚轮的位置可以调换。

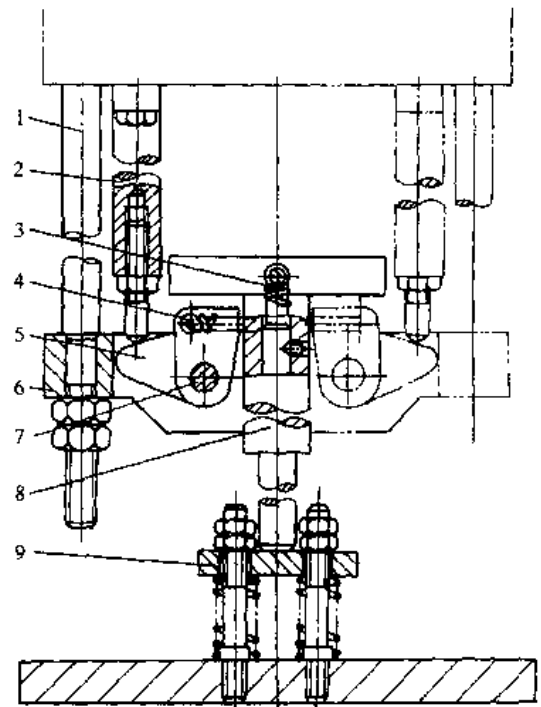


图 4-11 分合块式拉杆机构

1—拉杆 2—分离杆 3、4—拉簧 5—分合块
6—横梁 7—轴 8—脱模杆 9—调粉板

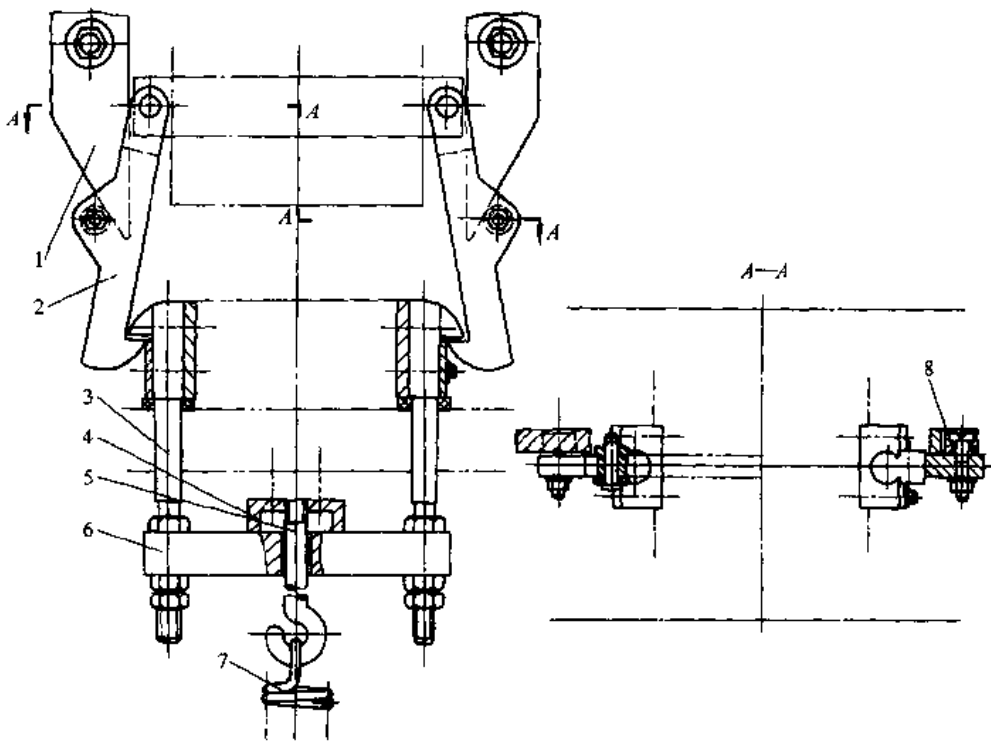


图 4-12 拉钩式顶出机构

1—脱钩导板 2—上拉钩 3—下拉钩 4—拉板 5—拉钩 6—横梁 7—拉簧 8—滚轮

三、送粉机构

(一) 导板式振动送粉机构

导板式振动送粉机构见图 4-13 所示。导板 1 安装在冲床的一侧，中间料斗 2 用螺栓固定于模台，在弹簧 4 的作用下，紧贴在送粉板 5 上。送粉板 5、9 和定位板 7 及滚轮 3、8 均被托板 10 支承而与模台面相平。

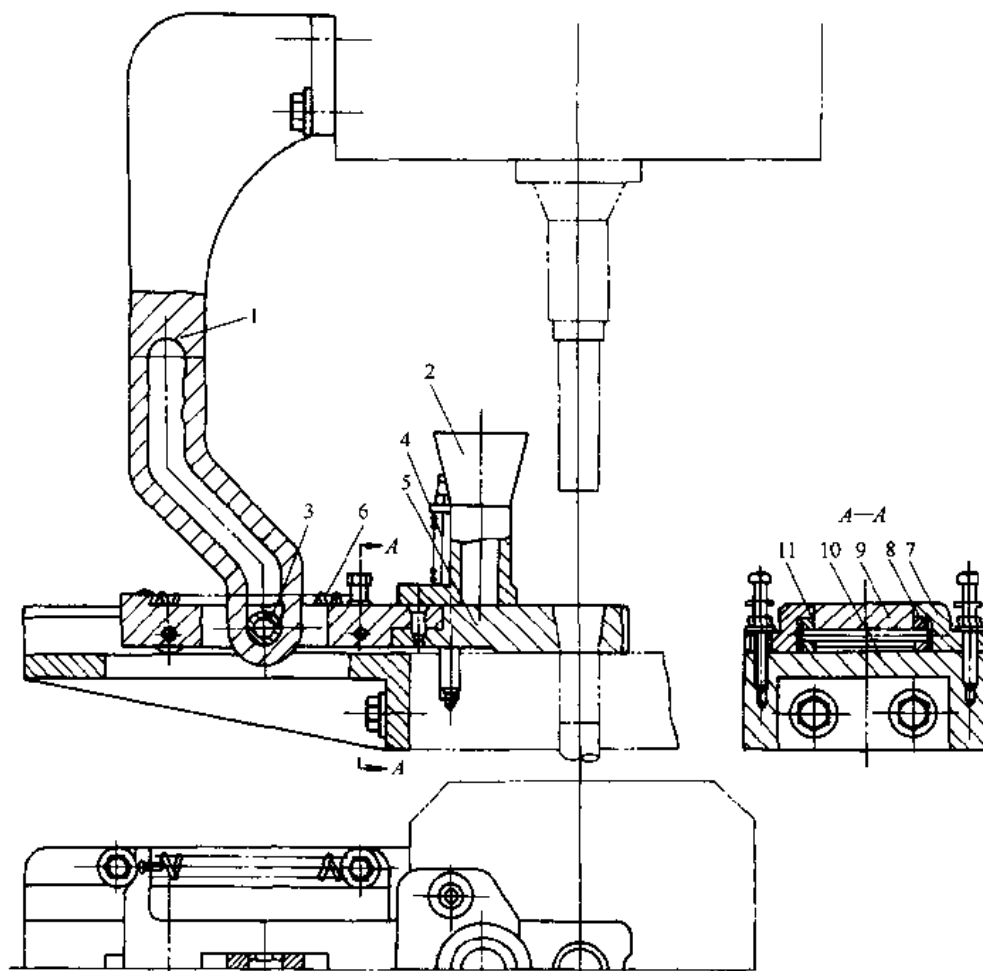


图 4-13 导板式振动送粉机构

1—导板 2—中间料斗 3、8—滚轮 4、6—弹簧
5、9—送粉板 7、11—定位板 10—托板

送粉时，上模冲处在曲轴上死点位置，相应滚轮 3 在导板的最低位置。上模冲向下移动，带着导板向下作垂直运动，在导板导向槽的作用下，使滚轮 3 带动送粉板 5 作水平运动，将送粉板 5 退离加粉位置，进入中间料斗的下而，接受又一次的粉料。压坯成形后，上模冲回升时，先脱模，继而滚轮 3 沿导板的导向槽滚到导板的最低处，使送粉板 5 又回到加粉位置，并同时推出压坯。导板的导向槽内设有几个圆弧缺口，使送粉板 5 在拉簧 6 作用下，滚轮贴紧圆弧运动，从而产生振动，使加粉均匀。

送粉板可设计成调节定量的结构（图 4-14）。若工艺要求需要调整粉量，可调整两个螺钉 3，调节块 2 沿着送粉板 1 的导槽滑动，使装粉空间体积缩小或增大。由于调节块 2 工作时

振动,可增加两个弹簧4,以免螺钉松动,保持粉末定量的准确性。

这种调节定量装置有结构简单、调节方便、定量准确(粉重误差 $\leq 2\%$)等特点,但定量调节范围较小,适用于厚壁压坯。

(二) 凸轮式振动送粉机构

凸轮式振动送粉机构见图4-15所示,是由一个凸轮、杠杆和连杆所组成的机构来实现送粉动作的。

凸轮1连接在曲轴一端,滚轮3在凸轮边缘上滚动,推动杠杆5、6旋转,连杆12接在杠杆6的活动端上,使料斗9和连杆11作水平往复运动。小轴7要穿过压机机身,在轴与机身间装有轴套4,以免机身磨损。料斗9由定位板10安装在模架上,使料斗在阴模型腔上作往复加粉运动。挡套8装在小轴上,用螺钉定位,以防小轴轴向窜动。凸轮型面的设计要保证料斗能作规定的送粉动作。连杆11、12制成左、右旋螺纹连接,以适应各种不同的压坯的送粉要求。在杠杆5与机身上装有拉簧2,以便滚轮3紧贴在凸轮上。

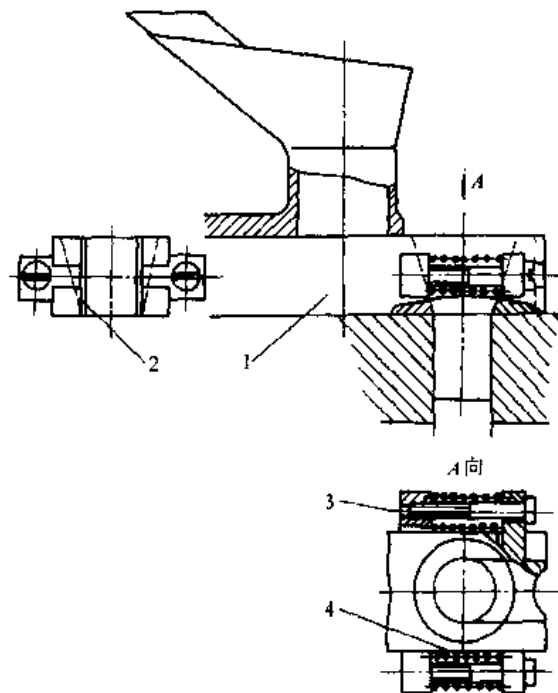


图4-14 送粉器定量调节装置
1—送粉板 2—调节块 3—螺钉 4—弹簧

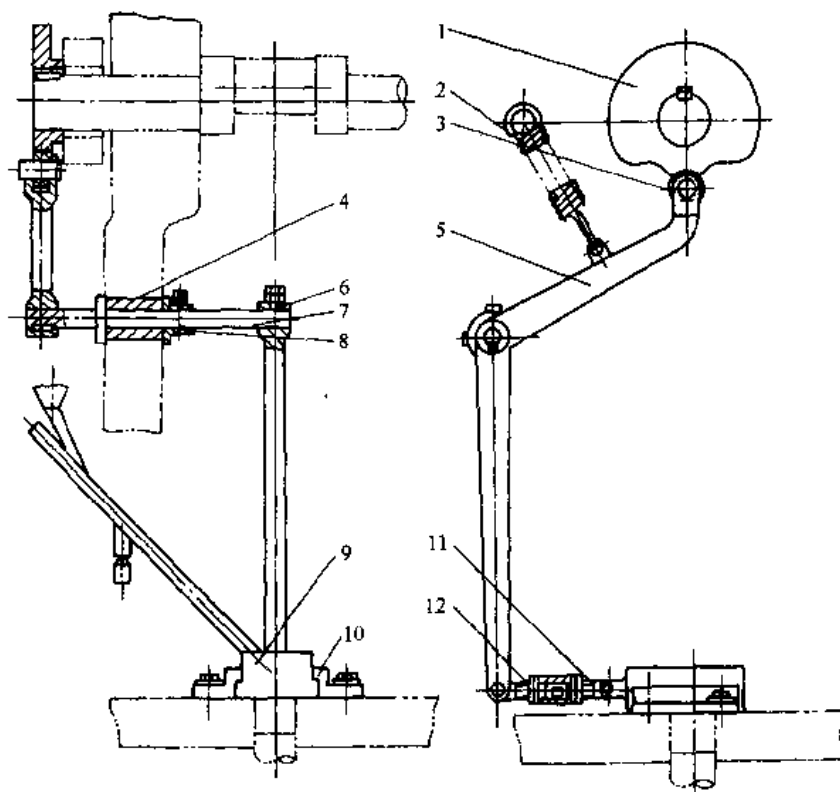


图4-15 凸轮式振动送粉机构

1—凸轮 2—拉簧 3—滚轮 4—轴套 5、6—杠杆 7—小轴
8—挡套 9—料斗 10—定位板 11、12—连杆

送粉时，压机压头处于上死点位置，相应滚轮与凸轮的最小半径部位接触。凸轮上有几个圆弧槽，使料斗振动送粉。当曲轴转到下死点时，滚轮与凸轮最大半径部位接触，在杠杆作用下送粉斗离开到阴模型腔的最远处，上模冲进入阴模压制。曲轴继续转动，滚轮向凸轮的半径减小方向滚动，料斗回复到装粉位置。

(三) 回转式送粉机构

回转式送粉机构见图 4-16 所示，由大料斗 1、摆动料管 2、支承轴 3 和连杆 4、5 组成。当连杆 5 在外力作用下，通过螺旋接头 6，使连杆 4 作往复运动。摆动料管绕支承轴作摆动，使料斗送粉或退回。螺旋接头制成左右旋螺纹，可调节长短，以适应不同压坯的装粉要求。

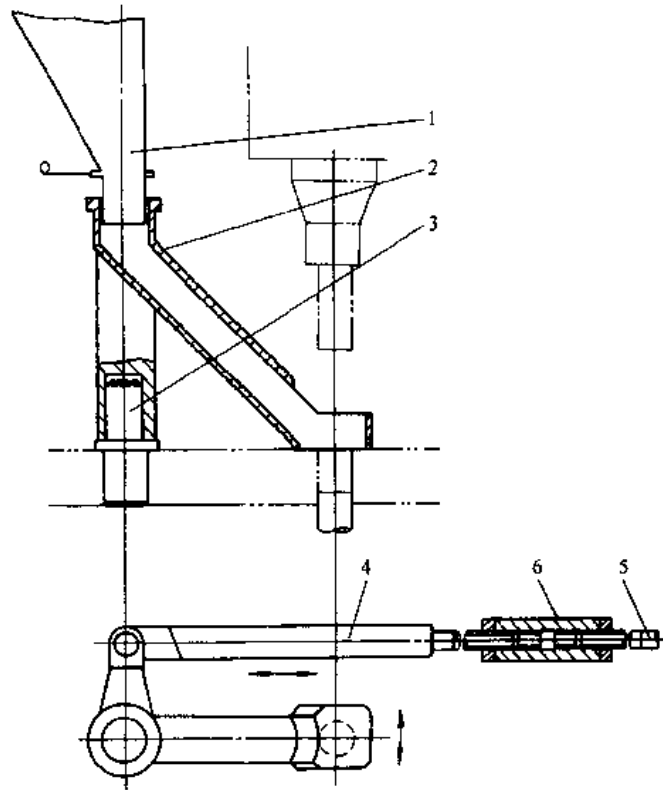


图 4-16 回转式送粉机构
1—大料斗 2—摆动料管 3—支承轴 4、5—连杆 6—螺旋接头

图 4-17 所示为另一种回转式送粉机构。导板 1 固定在压机压头的一侧。杠杆板 2 由支承轴 5 固定于模架上。扇形料斗 4 与杠杆板连接，中间料斗 3 由螺钉安装在模架上，在弹簧作用下，紧贴在扇形料斗上。送粉时，曲轴转到上死点附近，杠杆板在拉簧作用下，使扇形料斗围绕支承轴转到阴模型腔上，导板上的圆弧槽使料斗在振动情况下进行加粉。曲轴转动，冲头下行，导板也下移，在斜面作用下，使杠杆板围绕支承轴转动，扇形料斗离开阴模型腔，到达中间料斗的下面，接受下一次装粉的粉料。当曲轴回升到上死点时，扇形料斗又转到加粉位置。

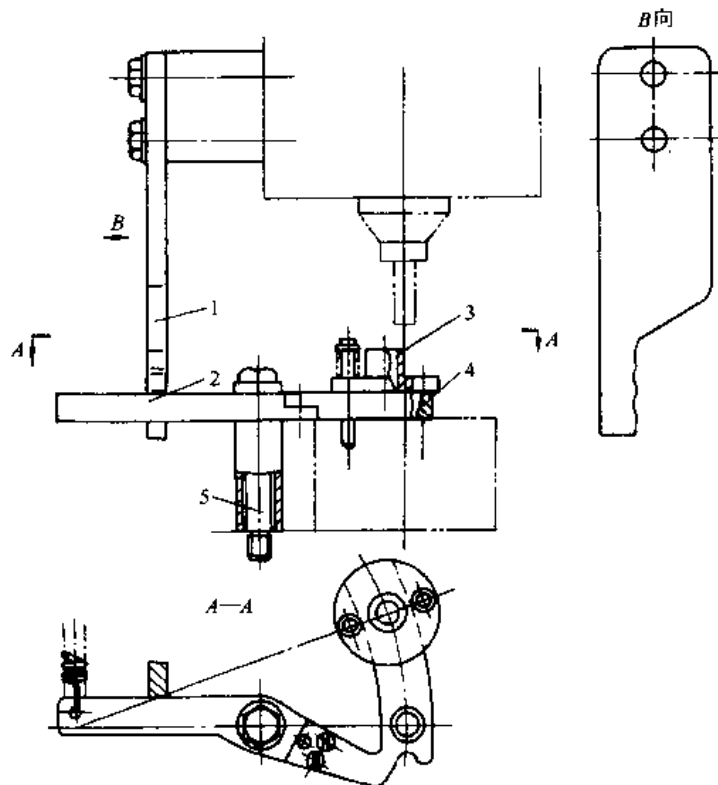


图 4-17 回转式送粉机构
1—导板 2—杠杆板 3—中间料斗 4—扇形料斗 5—支承轴

(四) 送粉机构主要零件技术要求

送粉机构主要零件的材料及技术要求，见表 4-25。

表 4-25 送粉机构主要零件的材料及技术要求

名称	材料	热处理要求	表面粗糙度
凸轮	20 钢	20 号钢渗碳淬火 55~60HRC	工作面 $R_a 1.25$
滚轮	45 钢	45~50HRC	工作面 $R_a 1.25 \sim 2.5$
导板	45 钢	45~50HRC	工作面 $R_a 1.25$
料斗	HT18-36, 黄铜	-	工作面 $R_a 0.63 \sim 1.25$
导料管	塑料管、蛇皮管	-	-

第四节 常见粉末冶金成形模架

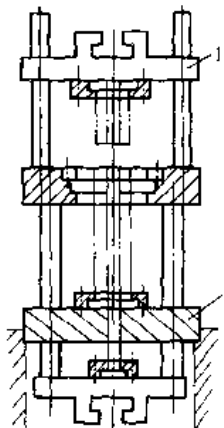
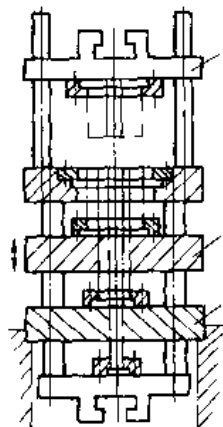
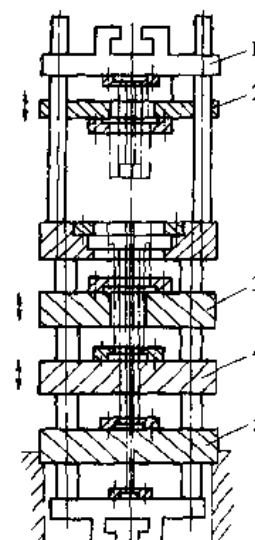
成形模架是粉末冶金压制（精整）生产所用工具的总称。模架的功能是与压机连接、传递压力及各动作，并使模具主要零件完成粉末成形（精整）要求。模架主要零件主要由阴模板、模冲板、芯棒板、导柱、导套、拉杆、斜模机构、调节杆（块）等组成。生产中在一定范围内更换产品时，模架不需要随之更换。模具的主要零件由阴模、模冲、芯棒等组成，生产的产品不同，模具需要随之更换。对于生产不同类型的形状复杂的粉末冶金零件，可以选配不同结构的模架。本节介绍一些典型模架实例，供模具设计者选用。

一、粉末成形模架基本类型


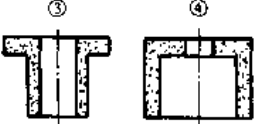
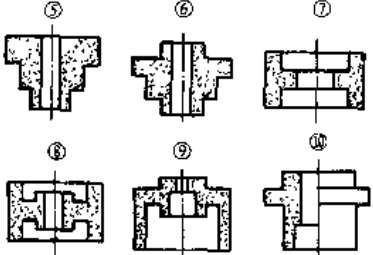
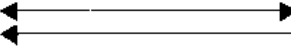


压制不同形状的压坯，所选择的模架亦不同，不同的模架结构又与不同性能的粉末成形压机相关联。因此模具设计者应根据压坯要求，结合现有的成形设备，来选择（或设计）既实用又经济的模架。

对于不同的压坯，推荐选用的成形模架基本类型见表 4-26 所示。

表 4-26 粉末成形模架基本类型及其适于压制的压坯

模架名称	上一下一式模架	上一下二式模架	上二下三式模架
简介	有一块上模板和一块下模板的模架	有一块上模板和二块下模板(其中一块能滑动)的模架	有二块上模板和三块下模板(其中二块能滑动)的模架
结构示意图	<p>A 型</p>  <p>1—上模板 2—下模板</p>	<p>B 型</p>  <p>1—上模板 2—下模板 I (滑动) 3—下模板 II</p>	<p>C 型</p>  <p>1—上模板 I 2—上模板 II (滑动) 3—下模板 I (滑动) 4—下模板 II (滑动) 5—下模板 III</p>

(续)

模架名称	上一下一式模架	上一下二式模架	上二下三式模架
	A类	B类	C类
适宜压制的压坯形状			
模架使用范围			

二、普通压机用的成形模架

(一) 可倾式压力机(冲床)用成形模架

1. 安装在工作台上部的模架

可倾式压力机(冲床)用顶出式模架结构见图 4-18 所示, 整个模架都在压机工作台的上部, 上模冲固定在模柄 1 上, 阴模可在导套 2 中滑动, 导套 2 由盖板 3 固定在下模板 11 上, 由模座 5 与垫块 10 固定在下模板 11 上, 阴模靠弹簧(由托杆 4 导向)托起, 压制时可浮动, 以改善压坯上下密度差, 下模冲由压盖 6 固定在横梁 7 上, 芯棒由压盖 9 固定在下模板 11 上, 装粉高度调节方便, 由调节装粉板 8 通过螺母进行调整。顶出方式可用挂钩或凸轮机构驱动, 此模架结构适用于截面小、高度低的压坯成形。

2. 部分安装在工作台下部的模架

图 4-19 所示亦为可倾式压力机(冲床)用的顶出式模架结构图。其部分模架安装在压机工作台面的下部, 这样可节省台面上部模架所占的空间。上模冲由压盖 3 固定在模柄 1 上, 压垫 2 承受压制负荷。阴模由阴模板 4 固定在模座 5 上。弹簧 6 使阴模浮动, 又起下模冲复位作用, 下模冲由压盖 7 固定在下模座 8 上, 芯棒由压盖 7 固定在下模板上, 脱模顶杆 11 三件一组与顶盘 12 静配合, 形成一组合件, 自由落在压机顶出机构上。顶出方式可用凸轮机构或挂钩机构驱动。

此模架机构适用于成形截面小、高度低的压坯。

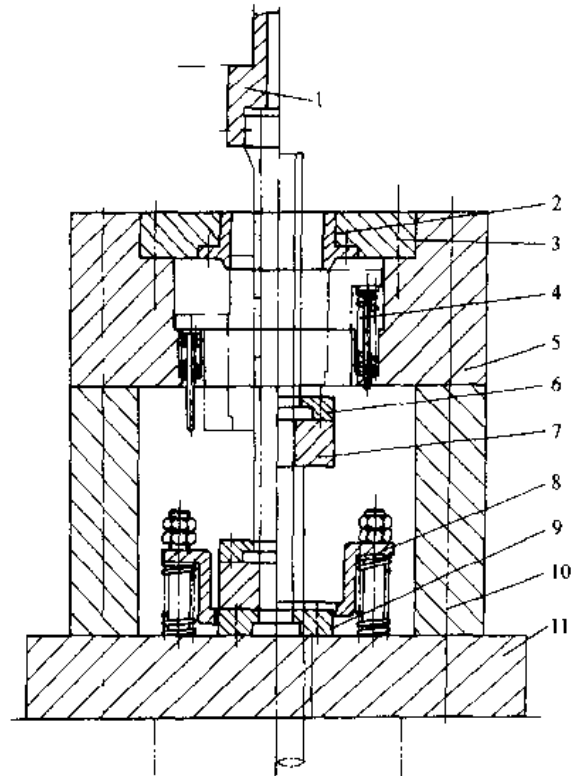


图 4-18 冲床用顶出式模架 (1)

- 1—模柄 2—导套 3—盖板 4—托杆
- 5—模座 6、9—压盖 7—横梁 8—调节装粉板 10—垫块 11—下模板

3. 压制多台阶面压坯的成形模架

压制多台阶面压坯的可倾式曲轴压力机(冲床)用成形模架结构见图 4-20 所示。阴模板 9 与下模板 14 通过四根双头螺栓 24 与等高块 25 固定在工作台 26 上。阴模放入导套 6 和浮动套 7 之中。浮动套下部由六个弹簧和六个浮动杆使阴模(浮动套)浮动,并由阴模盖 5 固定在上模板 4 上。下模由下模盖 11 固定在顶出板 12 上,并定位在调粉套 10 上。顶出板 12 与顶杆 18 相连接。调粉套 10 由四个上调粉杆 13 的弹簧托起。由连接板 1 将两个拉杆 15 上部与冲床滑块上方孔中打料棒 2 相连。拉杆 15 下部与横梁 20 由螺母固定。上模冲固定在上模座 4 上。装粉高度可通过上调粉杆 13 及下调粉杆 22 上的螺母进行调整。

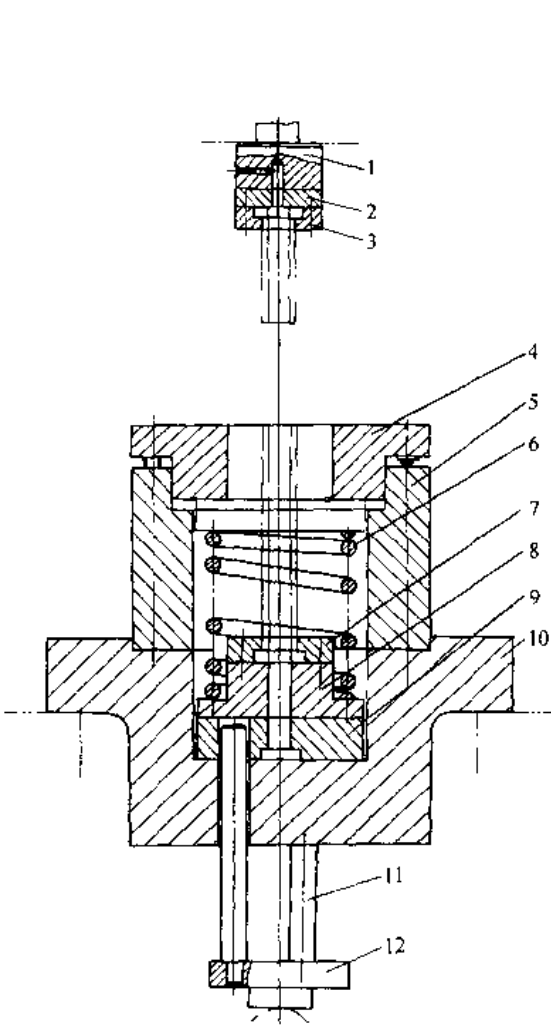


图 4-19 冲床用顶出式模架 (Ⅱ)
 1—模柄 2—压垫 3、7、9—压盖
 4—阴模板 5—模座 6—弹簧 8—下
 模座 10—下模板 11—顶杆 12—顶盘

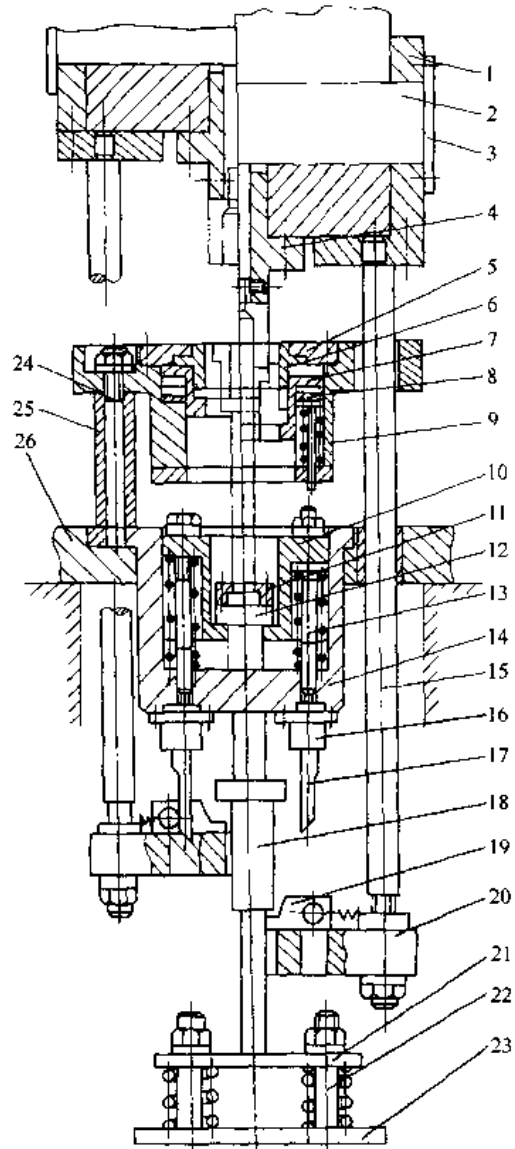


图 4-20 多台阶压坯的成形模架
 1—连接板 2—打料棒 3—挡板 4—上模座
 5—阴模盖 6—导套 7—浮动套 8—垫片
 9—阴模板 10—调粉套 11—下模盖
 12—顶出板 13—上调粉杆 14—下
 模板 15—拉杆 16—固定套 17—
 斜楔 18—顶杆 19—滑块 20—横
 梁 21—下调粉板 22—下调粉杆
 23—基板 24—双头螺栓 25—等
 高块 26—工作台(机床)

压制时，滑块下行使上模冲进入阴模，阴模受力后克服弹簧力向下浮动，当浮动套7碰到垫片8时，压坯成形。

脱模时，滑块回升，通过拉杆15带动横梁20向上运动，两滑块19卡在顶杆18的凸肩上，将顶出板12和压坯向上移动，当压坯脱出阴模时，在斜楔17的作用下，打开两滑块19，使顶杆18、下模冲靠自重下落到装粉位置。

此模架结构特点：可适用多台阶面压坯成形，装粉高度易调整，阴模浮动，压坯密度较为均匀，但对下模冲与阴模配合间隙要求较高，以避免卡粉，并使下模冲脱模后能自由下落。

(二) 普通液压机用成形模架

1. 无下顶缸（杆）的四柱式（框式）塑料液压机用成形模架

无下顶缸（杆）的四柱式（框式）塑料液压机用的浮动模架结构见图4-21所示。其阴模由压盖8固定在上模板7上。压制时，阴模浮动时通过导柱9、导套10克服弹簧力上、下移动，并通过拉杆4复位。下模冲由压盖6、压垫5固定在下模板3上，芯棒由螺母固定在连接板2上，由螺栓、螺母来调节连接板上下位置，以调节装粉高度。此模架结构可实现阴模和芯棒同步浮动。

2. 有下顶缸（杆）的普通液压机用成形模架

有下顶缸（杆）的普通液压机用的顶出式模架结构见图4-22所示。阴模由阴模盖10固定在阴模板11上，并由弹簧9托起。下模冲通过顶杆13与顶出缸相连。

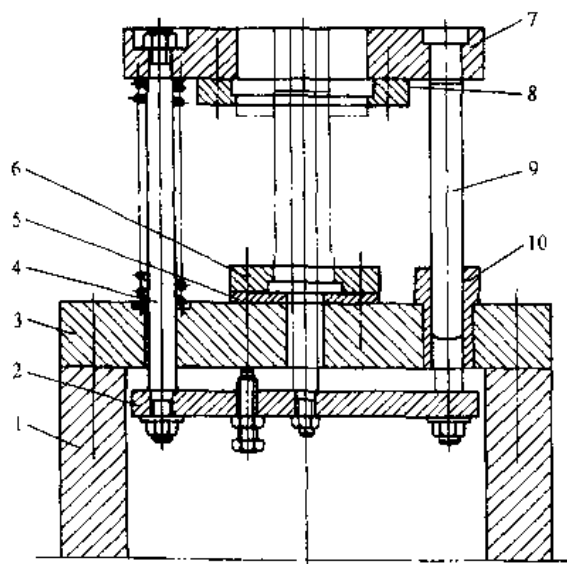


图 4-21 浮动模架

1—垫块 2—连接板 3—下模板
4—拉杆 5—压垫 6、8—压盖
7—阴模板 9—导柱 10—导套

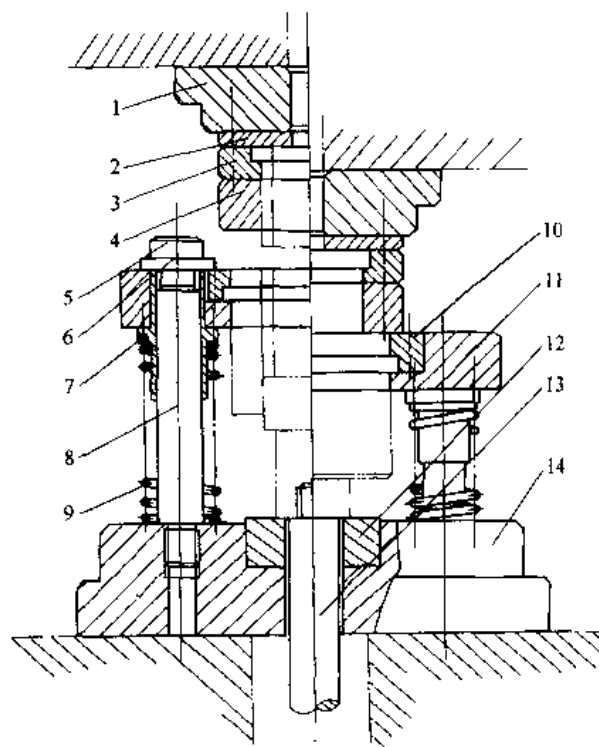


图 4-22 顶出式模架

1—上模板 2—上压垫 3—上模盖 4—压制垫
5—螺钉 6—垫圈 7—导套 8—导柱
9—弹簧 10—阴模盖 11—阴模板
12—下模垫 13—顶杆 14—下模板

压制时，上模冲通过压制垫 4 使阴模强制下浮，浮动量通过压制垫 4 的薄厚来调节，使弹簧 9 压缩。阴模板 11 由导柱 8、导套 7 来保证其运行精度。下模冲承受的力传递到下模垫 12 及下模板 14 上。

脱模时，顶出缸上升，使阴模随下模冲上行，阴模到位后，顶杆 13 继续向上，将压坯脱出阴模。复位时，顶出缸下行使下模冲到下模垫 12 为止。

此模架结构可调节阴模浮动量，对粉末松装密度误差要求较小，但装粉高度难以调节。

三、专用粉末成形机用成形模架

(一) 国产粉末成形机的成形模架

1. 粉末成形液压机用等高类压坯的拉下式成形模架

YA—79 系列型 1250kN 自动粉末成形液压机用的拉下式模架结构见图 4-23 所示。

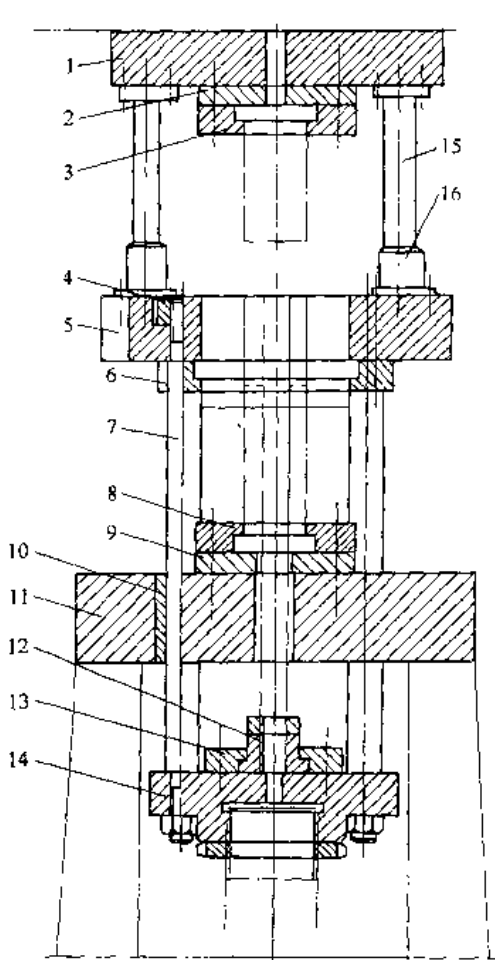


图 4-23 拉下式模架

- 1—上模板 2、9—压垫 3、8—压盖 4—圆螺母 5—阴模板 6—阴模压盖 7—拉杆
- 10—导套 11—下模板 12—芯棒座 13—芯棒压盖 14—下缸井帽 15—导柱 16—导套

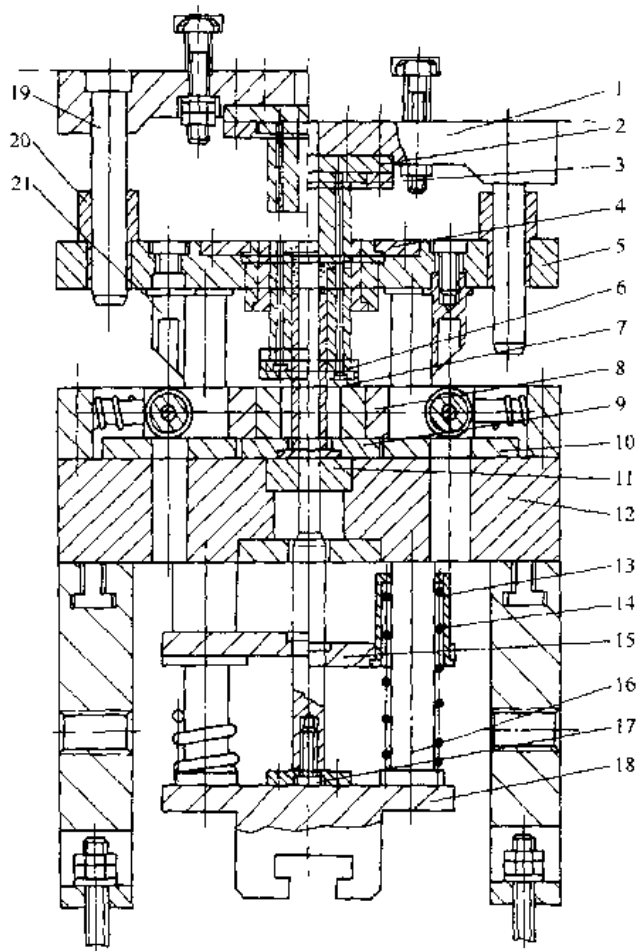


图 4-24 台阶类成形模架

- 1—上模板 2—上模垫 3—上模盖 4—阴模盖 5—阴模板 6—下模(I)盖 7—下模板(I)
- 8—滑块 9—下模(I)盖 10—滑块垫 11—下模(I)垫 12—下模板 13—弹簧套 14—弹簧
- 15—弹簧板 16—拉杆 17—芯棒盖 18—芯棒板 19—导柱 20—导套 21—斜楔

上模冲由压盖 3 固定在上模板 1 上, 阴模由阴模压盖 6 固定在阴模板 5 上, 下模冲由压盖 8 固定在下模板 11 上, 芯棒由芯棒座 12 固定在下缸并帽 14 上。上模板通过两根导柱 15、导套 16 与阴模板 5 相连, 阴模板 5 由四根拉杆 7、导套 10 与下缸并帽相连, 保证模架有较高的运行精度。

压制时, 上模冲进入阴模加压后, 克服压机调节设定的浮动压力, 使阴模与芯棒同时下浮, 达到双向压制的目的。

脱模时, 下缸并帽 14 向下运行, 使压坯脱出阴模, 下缸上升, 使阴模恢复到原装粉设置。此模架结构特点在于: 成形的压坯密度较均匀, 但仅适用表 4-26 所示 A 类压坯成形。

2. 粉末成形液压机用带台阶面类压坯的成形模架

台阶类压坯的成形模架结构 (安装在 2500kN 粉末成形液压机上) 见图 4-24 所示。该结构在图 4-23 拉下式模架结构上增加了下列装置: 斜楔 21 和滑块 8、下模 (I) 板 7、滑动装置 (由两顶杆定位在弹簧板 15 上, 图 4-24 中未显示) 以及由弹簧套 13、弹簧 14、弹簧板 15 组成的调节装粉高度装置。

压制时, 阴模与芯棒在成形侧压力作用下, 同时下浮, 下模板 (I) 在压制力作用下, 由顶杆压缩弹簧, 使下模板 (I) 碰到滑块 8 上, 压坯成形完毕。

脱模时, 芯棒板 18 继续向下, 通过拉杆把阴模板 5 向下拉, 使斜楔 21 打开两块滑块 8, 下缸继续下行, 使压坯完全脱出阴模为止。

复位时, 下缸上升到装粉位置, 弹簧 14 将弹簧板 15 托起, 由两顶杆使下模 (I) 板复位。

此模架结构特点在于能成形带内外台阶面的压坯, 且密度较均匀, 但仅适用于压制表 4-26 所示 B 类压坯。

(二) 国外粉末成形机的成形模架

1. “上一下一”式成形模架

机械式粉末成形机用“上一下一”式模架结构 (日本) 见图 4-25 所示。上模冲由上模盖 2 固定在上模板 1 上; 阴模由阴模盖 4 面定在阴模板 5 上, 下模冲由下模盖 7 固定在下模板 8 上; 芯棒通过芯棒接杆 9 与芯棒座 10 相连, 由芯棒盖 11 面定在芯棒板 12 上。上模板 1 由导柱 3 (导套) 与阴模板 5 滑动配合; 阴模板 5 由拉杆 6 (导套) 与下模板 8 滑动配合, 并通过芯棒板 12 的 T 形连接器与压机下缸相连。因此, 模架刚性及运行精度都比较高。结合成形机配备的气缸及挡块机构配合动作, 该模架可使阴模进行浮动加压和强制下压两种加压方式, 并可进行非同时三次加压 (使用滑块), 且芯棒能进行单独浮动、装粉时后升以及脱模时后脱等特殊动作。

此模架结构特点在于: 因与高精度的成形机相配, 成形过程中装粉高度、压制浮动量、保压脱模等动作较为精确, 调整方便。模架刚性好, 结构可靠, 但仅适用与压制表 4-26 所示 A 类压坯。

2. “上一下二”式成形模架

机械式粉末成形机用的“上一下二”式成形模架 (日本) 结构见图 4-26 所示, 其结构是在上一下一式模架结构 (见图 4-25) 基础上, 增加了一块滑动的下模 (I) 板 20, 并由气缸支承 (或弹簧支承), 且配有脱模用斜楔机构。该机构由两组斜楔 6 (通过螺母 7 可调节位置) 和滑块 8 及吊紧螺栓 5 组成。结合成形机配备的气缸及挡块机构, 使调节装粉高度和压

制密度等更为方便，此外还配有蜗轮蜗杆机构微调。

此模架结构适于压制表 4-26 所示带内（外）台阶面的 B 类压坯。调整、操作方便，可减少模具零件数量，简化了模具设计。

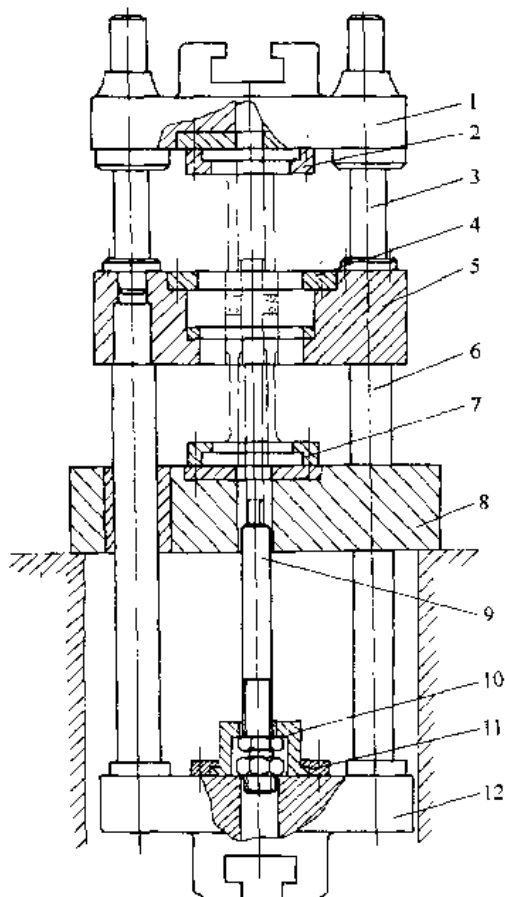


图 4-25 “上一下一”式成形模架
 1—上模板 2—上模盖 3—导柱 4—阴模盖
 5—阴模板 6—拉杆 7—下模盖 8—下
 模板 9—芯棒接杆 10—芯棒座
 11—芯棒盖 12 芯棒板

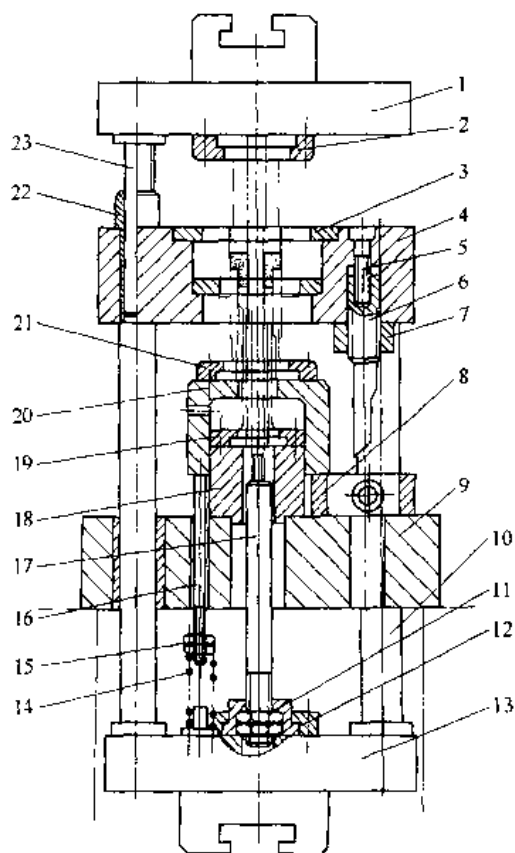


图 4-26 “上一下二”式成形模架
 1—上模板 2—上模盖 3—阴模盖 4—阴模板
 5—吊紧螺栓 6—斜楔 7—螺母 8—滑块
 9—下模板 10—拉杆 11—芯棒座 12—
 芯棒盖 13—芯棒板 14—弹簧 15—调
 节螺母 16—托杆 17—芯棒接杆
 18—下模(II)座 19 下模(II)盖
 20—下模(I)板 21—下模(I)盖
 22—导套 23—导柱

3. “上二下三”式成形模架

机械式粉末成形机用的“上二下三”式成形模架（日本）结构见图 4-27 所示。该模架用于成形上面有二个台阶面、下面有三个台阶面的形状复杂的 C 类压坯（见表 4-26）。选用该模架结构可使压坯每个台阶部分的装粉比相同，并同时保证在压制过程中各台阶部分密度保持均匀，且便于操作人员的调整及操作。模架的上模冲（I）由上模（I）盖 6、上模（I）座 5 固定在上模（I）板 4 上；上模冲（II）由上模（II）盖 3 面定在上模（II）板 2 上，并与上气缸活塞 1 相连；阴模（可上下运动）由阴模盖 22 面定在阴模板 7 上，下模冲（I）由下模（I）垫块 24 固定在下模（I）板 9 上，下模冲（I）由下模（I）垫块 25 固定在下模（I）板 14 上；下模冲（II）由下模（II）垫块 26 固定在下模（II）板 16 上。

压制时，下模（I）受力后，使下模（I）板 9 下行到限位垫（I）11 止；下模冲

(I) 受压后, 使下模 (I) 板 14 下行到限位垫 (I) 15 止, 压制成形。

脱模时, 下缸继续向下行, 下模 (I) 板在斜楔 (I) 8 作用下, 打开滑块 (I) 10, 使下模 (I) 板 9 下行, 下模 (II) 板在斜楔 (II) 27 作用下, 打开滑块 (II) 28, 使下模 (II) 板 14 下行 (如图 4-27 左面所示), 使压坯完全脱出阴模止。

复位时, 下缸上升, 下模 (I) 板 9、下模 (II) 板 14 在压机配置的气缸作用下, 复位到装粉位置。

此模架结构特点:

1) 可成形上两台阶面、下三台阶面的压坯;
2) 可成形带两台阶面带外凸缘或内凸缘的压坯;
3) 由于双上模冲传递的压力较大, 有利于压坯成形密度均匀性;

4) 下模冲 (I)、下模冲 (II) 采用模板支承方式, 可大大简化模具设计;

5) 各段装粉高度可由强力气缸进行调整, 并且是通过按钮或手柄进行无级调整。但本模架为多层板模架, 所使用压机的闭合高度要求较高, 模架许多传动件与压机相关, 结构较复杂, 且精度要求高, 制造难度亦较大, 故其造价较昂贵。

4. 带液压闭环控制系统的多层成形模架

液压式粉末成形机用的带液压闭环控制系统的多层成形模架 (德国 CPA 系列) 的外形见图 4-28 所示。

对于高密度、高精度、形状复杂的汽车粉末冶金零件 (如变速器同步器齿毂等), 绝不允许有微裂纹存在, 供货质量要求 100% 合格。为此, 要求这类零件在压制成形过程中各部位密度均匀, 压坯不允许有裂纹存在。而此模架结构能实现仿形 (轮廓) 补偿装粉 (见第五章第一节), 且压制时各截面受压均匀, 成形后压坯各部位密度均匀, 避免了微裂纹的产生。

CPA 可控多层成形模架结构见图 4-29 所示。上模 (I) 板 4、上模 (II) 板 1 与上油缸 (套缸) 相连接; 下模 (I) 座 6 固定在活塞杆 (I) 7 上; 下模 (II) 座 9 固定在活塞杆 (II) 11 上; 下模 (III) 座 12 固定在活塞杆 (III) 14 上。上模板 1、4 由导套 23、导柱 25 与阴模板 5 相滑配; 阴模板 5 由四根拉杆 38 与芯棒板 19 相连接。芯棒板 19 通过 T 形块 20 与压机下缸活塞杆相连接, 下模 (I) 板 10、下模 (II) 板 13 由垫块 36 相互固定在下模 (III) 板 15 上, 形成闭环的刚性连接的模架。每个模冲运动系统都配备液压控制阀。

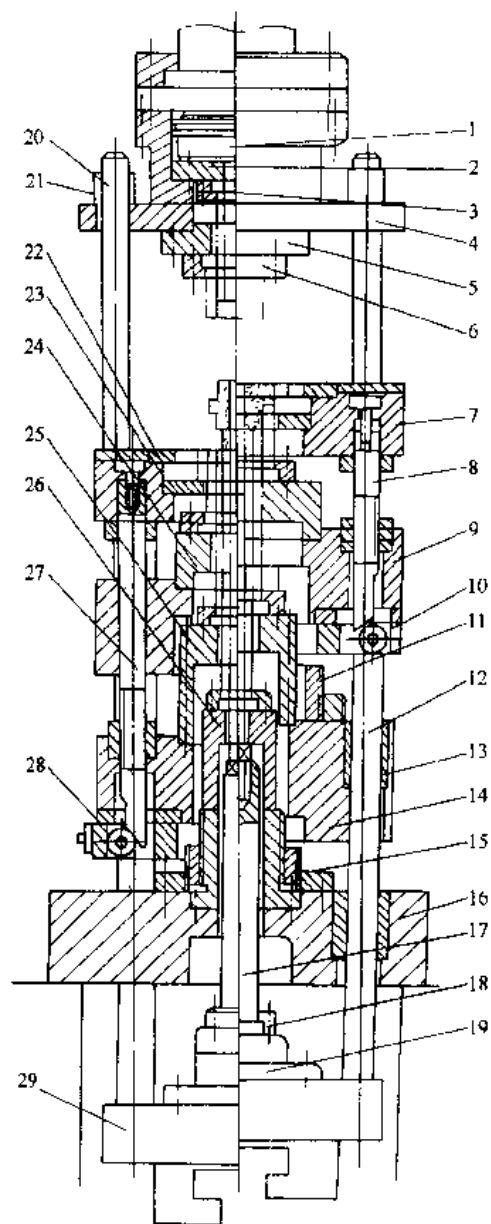


图 4-27 “上二下三”式成形模架
1—上气缸活塞 2—上模(I)板 3—上模(II)盖 4—上模(I)板 5—上模(I)座 6—上模(I)盖 7—阴模板 8—斜楔(I) 9—下模(I)板 10—滑块(I) 11—限位垫(I) 12—拉杆 13—导套 14—下模(II)板 15—限位垫(II) 16—下模(III)板 17—芯棒接杆 18—芯棒盖 19—芯棒座 20—导柱 21—导套 22—阴模盖 23—阴模垫块 24—下模(I)垫块 25—下模(II)垫块 26—下模(III)垫块 27—斜楔(II) 28—滑块(II) 29—芯棒板

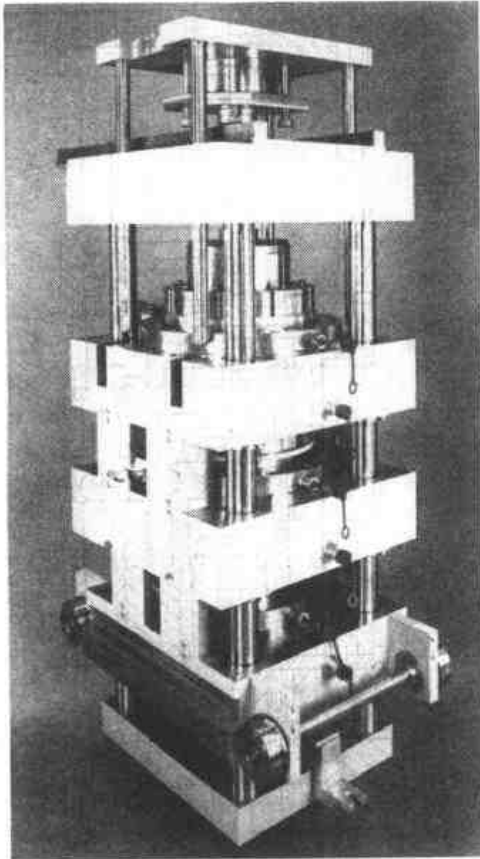


图 4-28 带液压闭环控制系统的多层成形模架（德国 CPA 系列）的外形

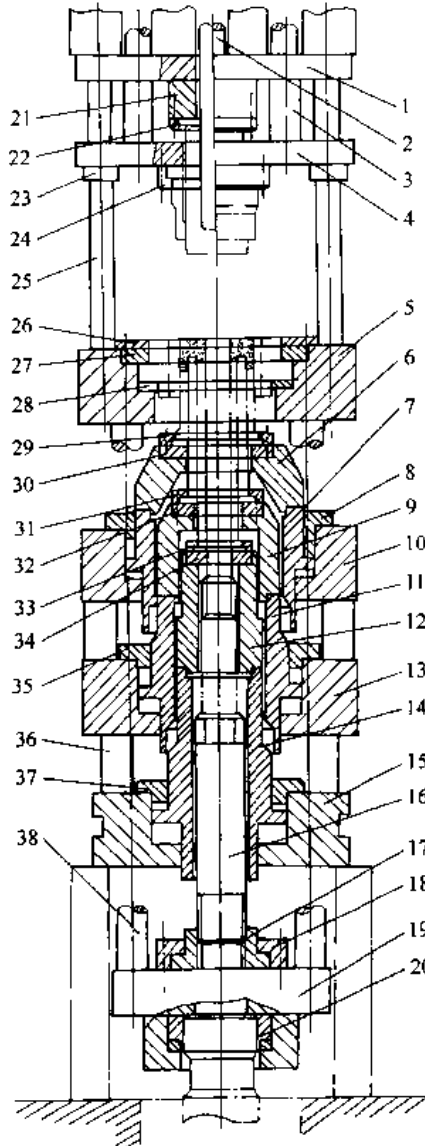


图 4-29 CPA 可控多层成形模架结构图

- 1—上模（I）板 2—活动杆 3—推杆 4—上模（I）板
- 5—阴模板 6—下模（I）座 7—活塞杆（I）
- 8—压盖（I） 9—下模（II）座 10—下模（I）板
- 11—活塞杆（II） 12—下模（II）座 13—下模（II）板
- 14—活塞杆（III） 15—下模（III）板 16—芯棒拉杆
- 17—芯棒座 18—芯棒盖 19—芯棒板 20—T形块
- 21—上模（II）座 22—上模（II）盖 23—导套
- 24—上模（I）盖 25—导柱 26—加粉板 27—阴模盖
- 28—阴模垫块 29—下模（I）盖 30—下模（I）垫块
- 31—下模（II）盖 32—下模（II）垫块 33—下模（III）盖
- 34—下模（III）垫块 35—压盖（I） 36—垫块
- 37—压盖（II） 38—拉杆

加粉时，采用同步装置（仿形补偿装粉）。各下模冲调整到加粉位置，送料斗前进加粉后阴模回升，粉末下填充结束。各上模冲下行，开始进行粉末上填充，根据压坯各台阶面尺寸，下行到粉末传送位置，使压坯各台阶面压缩比一致（详见第五章第一节仿形装粉）。

压制时，各上模冲同时下压，各下模冲同时下降（由伺服-液压系统控制），使压坯各部位密度均匀。成形毕，各上模冲卸压（不回升），压机下缸继续下行，通过芯棒板 19 上四根拉杆 38 将阴模板 5 向下拉，直至压坯脱出阴模（保压脱模）。各上模冲回升，压机下缸上行，使

阴模板 5 回升，各下模冲由控制阀下降到装粉位置。

此模架结构特点：

- 1) 各模冲通过伺服-液压可控系统控制其任意位置，每个模冲都能单独运动和相对运动；
- 2) 最佳的粉末冲填量（装粉高度）不需要与各模冲的运动速度成比例，可任意调整，且可减少压制压力。
- 3) 由于液压控制各压制位置，所以无需固定制动，可消除复杂的机械制动调节装置。
- 4) 由于伺服-液压可控系统，使压坯脱模时，不会因机械制动产生偏移而出现压坯微裂缝。
- 5) 在控制面板上，能输入各种选择的参数，易于检查模具调整位置。不需增加其他装置即可快速微调模冲位置，缩短调节时间。

但本模架为多层板模架，模架许多传动件与压机密切相关，结构较复杂，精度要求高，制造难度较大，且要配以专门的液压式粉末成形机。

四、精整模架示例

（一）国产粉末成形机用精整模架

1. 可倾式机械压力机用精整模架

400kN 冲床用精整模架结构见图 4-30 所示。该模架结构采用上打料装置，可省去冲床上的辅助装置（凸轮顶杆等）简化了模架结构，便于调节和加工。为了保证产品精度，采用了导柱导套结构，使模架重复定位精度较好。

当烧结件进入阴模内芯 22 中，由导向杆 25 扶正。冲床滑块下压进行精整时，上模芯 12、顶杆 19、打料杆 17 及打料横梁 18 将烧结件顶起。滑块上升时，因芯棒 20 随滑块一起运动，烧结件也随滑块一起向上运动，滑动运动到接近行程上限位时，打料横梁被固定在冲床床身上支架螺钉挡住（可按不同烧结件来调整）。滑块继续向上运动时，打料横梁下压，打料杆 17 向下压顶杆 19，顶杆 19 向下顶上模芯 12，因上模内芯 10 与上模冲 11 由压盖 8 固定在上模板 14 上，上模内芯 10 和上模冲 11 产生相对运动，烧结件被上模冲 11 从芯棒 20 上脱出，由接料装置送出。

2. 粉末成形液压机用精整模架

YA—79 系列粉末成形液压机用精整模架结构见图 4-31 所示。该精整模架结构是在图 4-23 拉下式成形模架结构上改进而成的。在下模板 16 上配有定位块 11（硬垫块）。为了适应不同高度的烧结件精整采用垫块（Ⅰ）9、垫块（Ⅱ）10 来调节模具。此模架通用性较大，能适用不同高度尺寸的烧结件精整。

（二）国外粉末精整压机用精整模架

1. “上二下一”式精整模架

机械式精整压机用的上二下一式精整模架（日本产）结构见图 4-32 所示。该模架的上模（Ⅰ）板 4、上模（Ⅱ）板 1 通过导柱 3、导套 5、与阴模板 7 相配。上模（Ⅰ）板 4 通过气缸（图中未表示）作往复运动，并由弹簧协助复位。阴模板 7 由立柱 15 固定在底板 22 上，下模冲由下模盖 16 固定在下模垫块 17 上。并由下模座 18 与下模板 9 相连接。芯棒通过芯棒盖 8 由芯棒接杆 19 与芯棒座 21 相连接。下模板 9 由顶杆 11、导套 10 通过连接板 12 与压机下缸活动杆相连。调整时，可通过调节杆 20 来调整下模冲位置，芯棒调整则可通过芯棒接杆 19 螺纹进行调整。

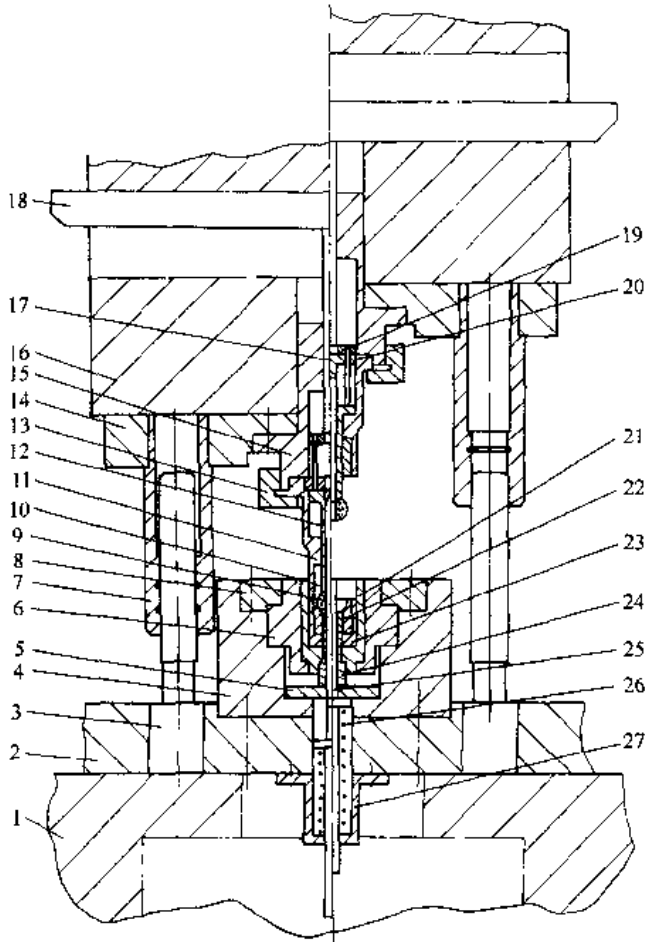


图 4-30 400kN 冲床精整模架

1—工作台 2—下模板 3—导柱 4—大套 5—垫块
6—外套 7—导套 8—压盖 9—烧结件 10—上模
内芯 11—上模冲 12—上模芯 13—压盖 14—上
模板 15—模柄 16—滑块 17—打料杆 18—打料
横梁 19—顶杆 20—芯棒 21—阴模 22—阴模内
芯 23—阴模外芯 24—下模冲 25—导向杆
26—弹簧 27—支撑套

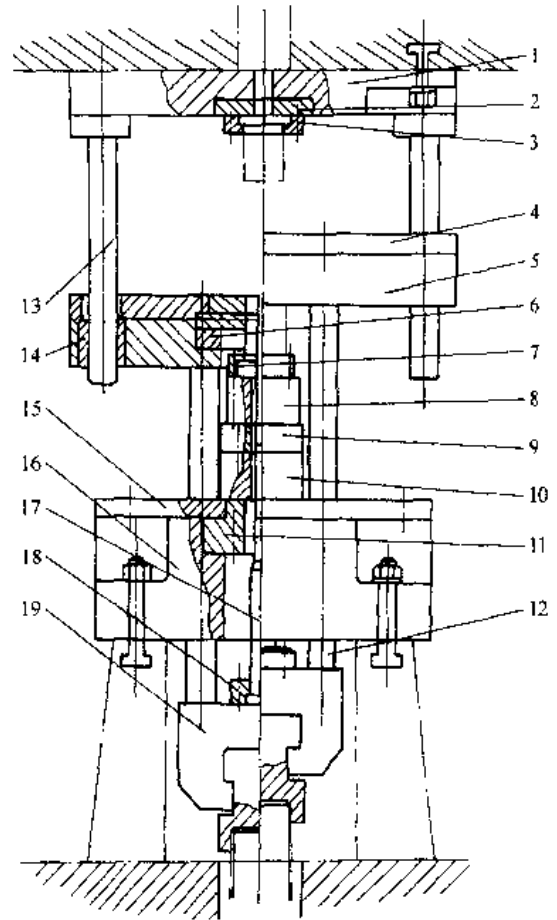


图 4-31 拉下式精整模架

1—上模板 2—上模垫块 3—上模盖 4—阴
模盖 5—阴模板 6—阴模垫块 7—下模盖
8—下模座 9—垫块(I) 10—垫块(II)
11—定位块 12—拉杆 13—导柱 14—
导套 15—盖板 16—下模板 17—芯棒
接杆 18—芯棒盖 19—芯棒板

2. “上一下二”式精整模架

用机械式精整压机的“上一下二”式精整模架(日本)结构见图4-33所示。该模架结构与图4-32所示“上二下一”式精整模架结构的区别是：有一块上模座(板)1和两块下模板7、10，并配置下模冲(I)脱模机构斜楔6、滑块8；下模(I)板10在活塞13、气缸14的作用下复位。

精整时，下模(I)板7定位在滑块8上，支承在调节块9上，下模(II)板10定位在调节杆23上，支承在气缸14上。

脱模时，顶杆11上升，使下模(II)板10带动下模(I)板7上升，使下模冲(I)脱出阴模，顶杆继续上升，使滑块8上的滚轮接触斜楔6上斜面后打开滑块8，使下模(II)板10继续上升，直至脱出精整件止。

下模冲（I）的位置，可由调节块9调整；下模冲（II）的位置，可由调节杆23调整；芯棒位置，可由芯棒接杆22的螺纹来调整。

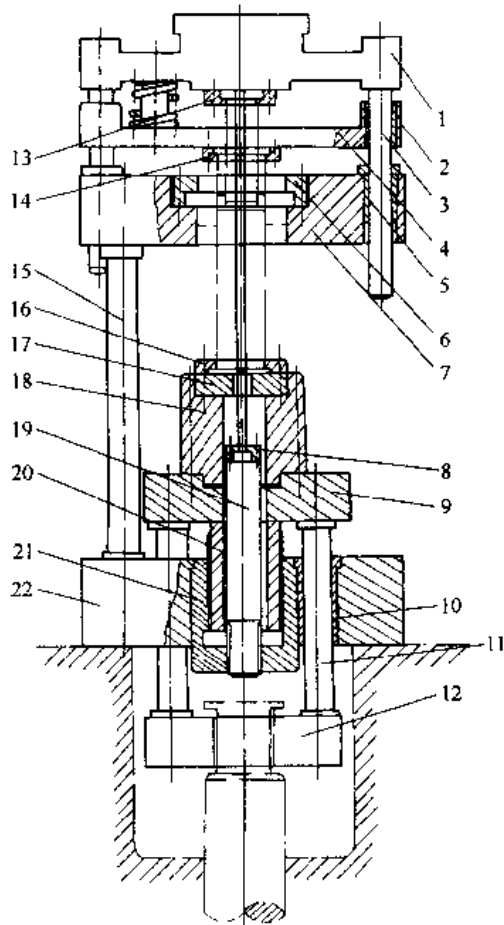


图 4-32 “上二下一”式精整模架

- 1—上模（I）板 2—导套 3—导柱 4—上模（I）板 5—导套 6—阴模盖 7—阴模板 8—芯棒盖 9—下模板 10—导套 11—顶杆 12—连接板 13—上模（II）盖 14—上模（I）盖 15—立柱 16—下模盖 17—下模垫块 18—下模座 19—芯棒接杆 20—调节杆 21—芯棒座 22—底板

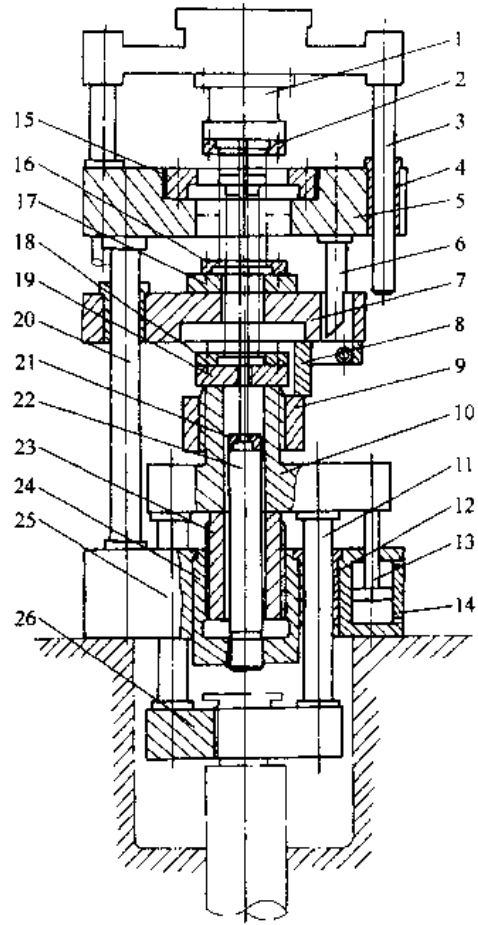


图 4-33 “上一下二”式精整模架

- 1—上模座 2—上模盖 3—导柱 4—导套 5—阴模板 6—斜模 7—下模（I）板 8—滑块 9—调节块 10—下模（II）板 11—顶杆 12—导套 13—活塞 14—气缸 15—阴模盖 16—下模（I）盖 17—下模（I）垫块 18—下模（I）盖 19—下模（II）垫块 20—立柱 21—芯棒盖 22—芯棒接杆 23—调节杆 24—芯棒座 25—底板 26—连接板

第五章 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，确定采用压机的型号及规格，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来比较确定，诸如侧正面积比、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) 是否需要移送装粉。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。采用顶出式（下模冲将压坯顶出阴模），还是采用拉下式（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（或选定）阴模壁厚。
- 6) 计算阴模、芯棒和模冲尺寸。根据工艺参数，计算阴模内孔及芯棒外径尺寸，根据配合精度确定上、下模冲径向尺寸，以及模具主要零件连接方式（详见第九章）。
- 7) 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。

第一节 压坯形状分类及补偿装粉

模具设计者在考虑模具结构时，首先要分析压坯的形状，在压制时哪一个面向上，如何

使压坯密度均匀,对于沿压制方向带台阶面的压坯,还要选择合适的补偿装粉。本节对常见的粉末成形压坯形状进行分类,且推荐一些压坯类型的补偿装粉示例,供设计者在确定合适的模具结构时选用。

一、压坯形状分类

粉末冶金零件在汽车、摩托车、家用电器、电动工具、农业机械、办公机械等领域广泛使用。就其形状来分析,可分为基本形状和特殊形状两类。


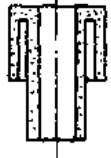


(一) 压坯基本形状

粉末成形压坯的基本形状见表 5-1 所示。

表 5-1 压坯的基本形状

类 型	简 称	可动模冲数		示 图
		上模冲	下模冲	
I 类压坯	实体类	1	1	<p>圆截面 异形截面 A—A</p>
	有孔类			<p>圆截面 异形截面</p>
II 类压坯	一个外台阶面类	1	2	
	一个内台阶面类			
III 类压坯	台阶面在中间类	2	2	
	内外台阶面类			

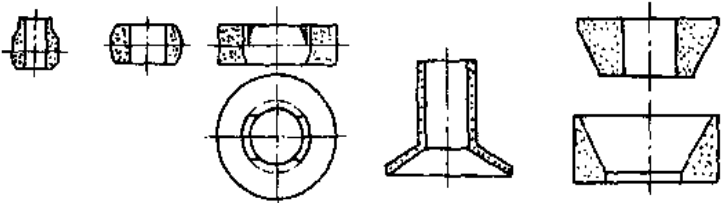
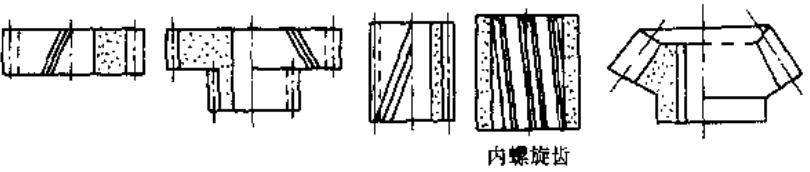
(续)

类 型	简 称	可动模冲数		示 图
		上模冲	下模冲	
N类压坯	二个外台阶面类	1	3	
	凹槽类			
V类压坯	多台阶面类	2	3	
	内外台阶面类			

(二) 压坯的特殊形状

粉末成形压坯的特殊形状见表 5-2 所示。

表 5-2 压坯的特殊形状

序号	简 称	示 图
1	球(斜)面体类压坯	
2	弧齿锥齿类压坯	 <p style="text-align: center;">内螺旋齿</p>

(续)

序号	简称	示 图
3	多平行孔(板)类压坯	
4	支座类压坯	
5	连杆类压坯	

二、补偿装粉

(一) 补偿装粉作用

对于沿压制方向横截面有变化的不等高类压坯(如带台阶面、锥面和球面的压坯等),由于金属粉末压制时侧向流动性差,若无补偿装粉,则压坯不同部位的压缩比相差很大,会造成密度严重不均,甚至不能成形。为了使压坯不同高度处的压缩比大致相等,对于高度大的部分,应多装些粉料,即称之补偿装粉(亦即第三章中讲的移送装粉)。

模具设计者应根据不同形状的压坯,考虑其相应的补偿装粉方法。其要点为:

1) 模冲必须按压坯不同高度分成若干个。对压坯上不同高度的各段,按相同的压缩比来计算装粉高度(多模冲装粉面之间的相对位置差显然大于压坯相应的台阶面高度差),以不动的模冲为基准,再去确定其他模冲的位置。

2) 压制过程中, 各模冲相对位置要发生变动。从模具结构来考虑, 大多数情况下, 一个模冲在压制过程中不动, 其余模冲在压制力作用下向下(或向上)浮动, 在接近压制终了时, 座落到承受一定压力的制动物体上, 并配以脱模装置(斜楔—滑块机构等)。

3) 保证压制过程中压坯各段密度均匀。从模具结构上要考虑, 由于先压部分粉末会向后压部分流动, 以至改变了各段的压缩比, 造成密度不均匀, 所以先受压部分的粉末填装系数应略大些且可调, 即浮动模冲的起始位置应该可以调节, 使压坯密度趋于均匀。

4) 对于压坯各部位高度差小于压坯最小高度 $1/5$ 时, 可不必采取补偿装粉。

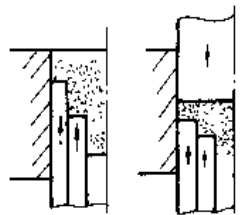
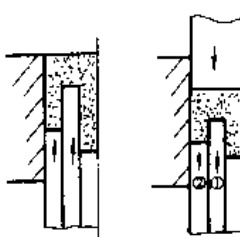
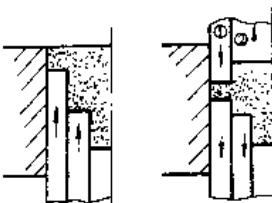
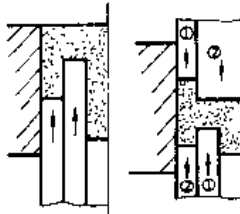
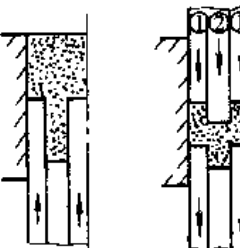
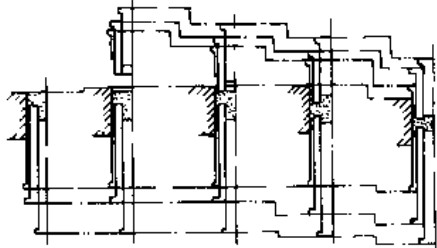
(二) 补偿装粉示例

各类压坯补偿装粉例举于表 5-3, 供模具结构设计时选用。

表 5-3 补偿装粉示例

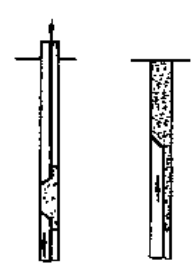
压 坯 类 型		示 例	
I 类压坯	一个外台阶面类		
	一个内台阶面类		
II 类压坯	台阶面在中间类		
	内外台阶面类		

(续)

压 坏 类 型	示 例
IV类压坯	
IV类压坯	
V类压坯	
V类压坯	
V类压坯	
V类压坯	 <p data-bbox="885 1892 1149 1926">下充填 上充填</p> <p data-bbox="933 1937 1149 1968">仿型(轮廓)装粉法</p>

压坯类型	示 例
与水平线夹角小于 45°的斜面	
与水平线夹角大于 45°的斜面	
上斜面 (近 45°)	
下斜面 (近 45°)	
球形类	
圆弧 (球) 面类 (A)	

(续)

压坯类型		示 例
球面类压坯	圆弧(球)面类(B)	

注：①、②是指模冲运动顺序。

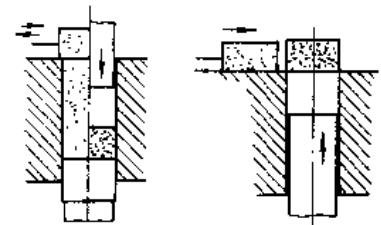
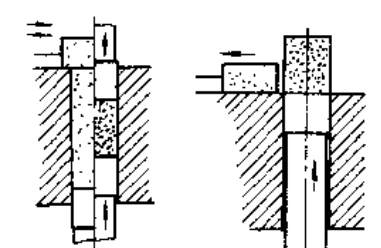
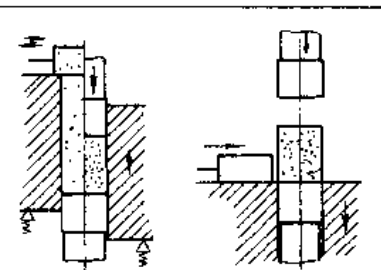
第二节 成形模具结构方案

根据压坯的形状、压制方式、补偿装粉要求，压机具有的动作及配备的模架结构来确定(选择)成形模结构的基本方案。从模具结构特点出发，可分为成形模基本结构方案及特殊动作的成形模结构方案。

一、成形模具结构基本方案

成形模结构基本方案示例见表 5-4。

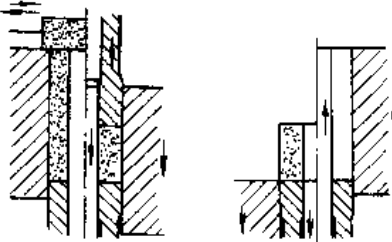
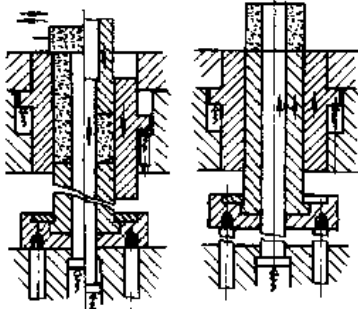
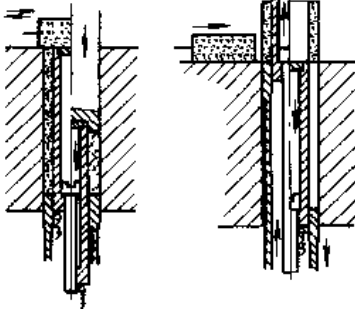
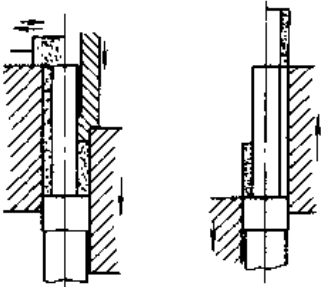
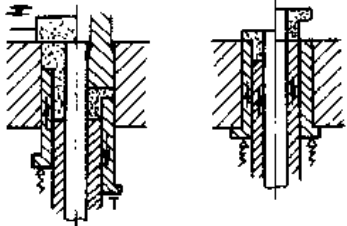
表 5-4 成形模结构基本方案示例

序号	结构特点	示 图	适用范围
1	单向压制，顶出式脱模		长细比 $h/d < 1 \sim 1.5$ 的无台阶面的实体
2	双向压制，(由压机下缸或顶杆实现)顶出式脱模		长细比为 $1 < h/d < 3$ 的无台阶面的实体
3	双向压制(阴模由压机下缸液压浮动实现)，拉下式脱模		长细比为 $1 < h/d < 3$ 的无台阶面的实体

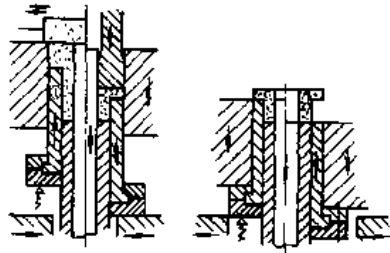
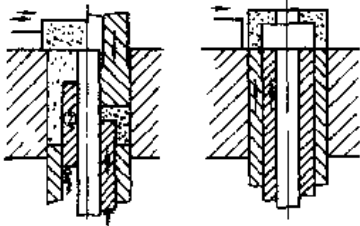
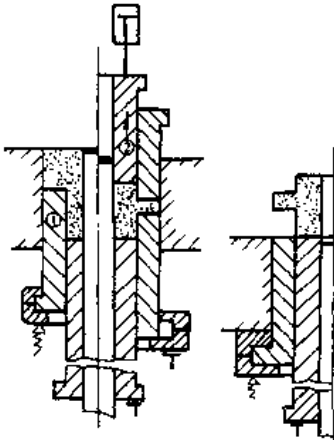
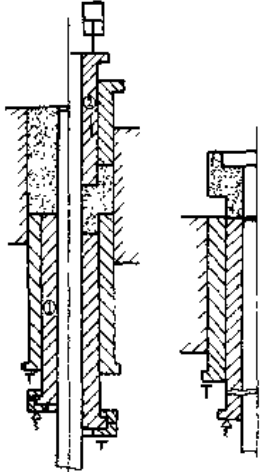
(续)

序号	结构特点	示 图	适用范围
4	双向压制 (阴模由弹簧浮动实现), 顶出式脱模		长细比为 $1 < h/d < 3$ 的无台阶面实体
5	双向摩擦压制 (阴模局部浮动, 由上模冲强制压下), 顶出式脱模		薄壁部分的长壁厚比 $h/T_{min} > 6$ 时的无台阶面实体
6	单向压制, 顶出式脱模, 芯棒不动, 便于装粉, 但脱模力大, 芯棒受拉力		长壁厚比 $h/T < 3$ 的无台阶面的带孔类压坯, 宜用于孔径较大的情况
7	单向压制, 顶出式脱模; 芯棒与下模冲体, 脱模力小, 芯棒不受拉力, 但要求快速复位, 只能脱下后装粉		长壁厚比 $h/T < 3$ 的无台阶面的带孔类压坯, 宜用于孔径较小的情况
8	双向压制 (由压机下油缸或顶杆实现), 顶出式脱模		长壁厚比为 $3 < h/T < 6$ 的无台阶面带孔类压坯

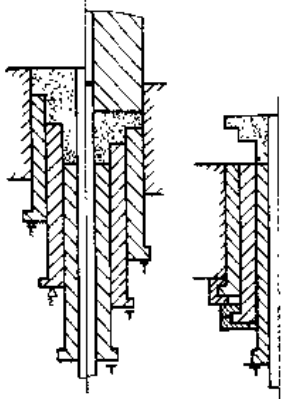
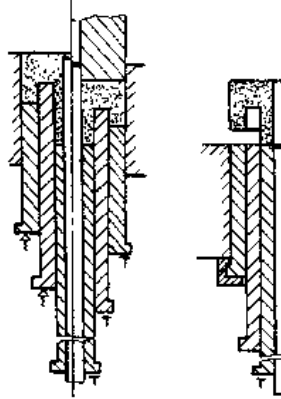
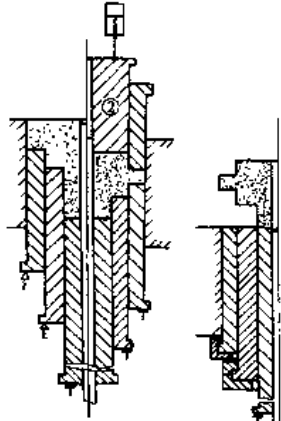
(续)

序号	结构特点	示 图	适用范围
9	双向压制(阴模和芯棒液压浮动实现), 拉下式脱模		长壁厚比为 $3 < h/T < 6$ 的无台阶面带孔类压坯
10	双向压制(阴模和芯棒弹簧浮动实现), 顶出式脱模		长壁厚比为 $3 < h/T < 6$ 的无台阶面带孔类压坯
11	双向摩擦压制(芯棒被上模冲强制压下), 密度上高下低; 顶出式脱模		长壁厚比为 $h/T \leq 7.5$ 的无台阶面的带孔类压坯, 宜 $d > T$ 并 d 较大时用
12	双向摩擦压制(阴模被上模冲强制压下), 密度上低下高, 但可调节限制杆, 使上下密度均匀, 拉下式脱模		长壁厚比为 $h/T \leq 7.5$ (Hd/T), $d > T$, 但 d 尺寸不受限制
13	浮动压制, 顶出式脱模		凸缘较大的带一个外台阶面的压坯

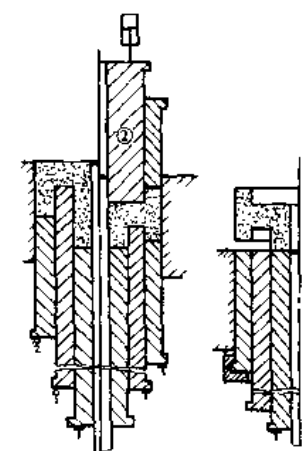
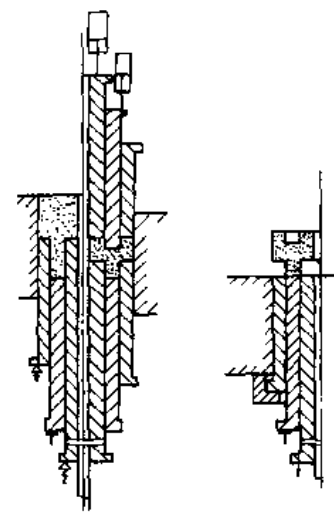
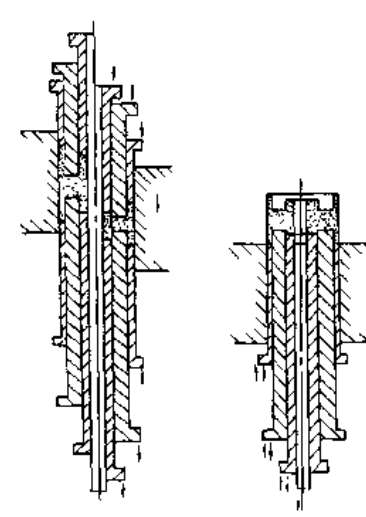
(续)

序号	结构特点	示 图	适用范围
14	阴模、芯棒和下模冲①均浮动，脱模时，有斜楔-滑块机构，使滑块向两侧移开，拉下式脱模		凸缘较大的带一个外台阶面的压坯
15	下模冲②浮动，拉下式脱模（亦可顶出式脱模）		带一个内台阶面类压坯（亦可带盲孔）
16	上模冲②、阴模、芯棒及下模冲①均浮动（由弹簧或气、液压实现），拉下式脱模		台阶面在中间的压坯（亦可带盲孔）
17	上模冲②、阴模、芯棒及下模冲①均浮动（由弹簧或气、液压实现），拉下式脱模		带内外台阶面的压坯（亦可带盲孔）

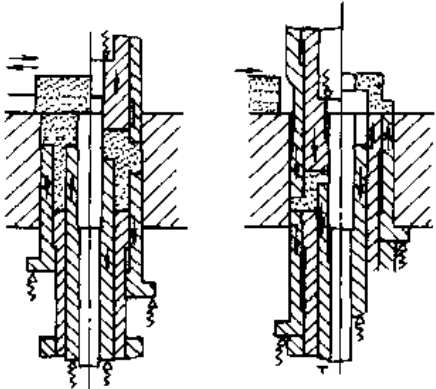
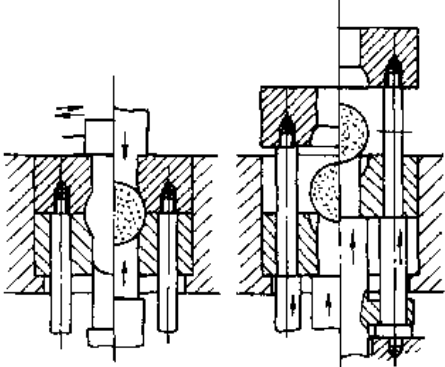
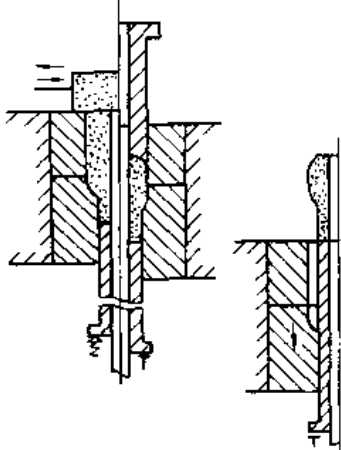
(续)

序号	结构特点	示 图	适用范围
18	两个下模冲及阴模、芯棒浮动 (由弹簧或气、液压实现), 拉下式脱模		带二个外台阶面的压坯 (亦可带盲孔)
19	两个下模冲及阴模、芯棒浮动 (由弹簧或气、液压实现), 拉下式脱模		带凹槽类压坯 (亦可带盲孔)
20	上模冲②及两个下模冲、阴模、 芯棒均浮动 (由弹簧或气、液压实现), 拉下式脱模		带有多个外台阶面的压坯 (亦可带盲孔)

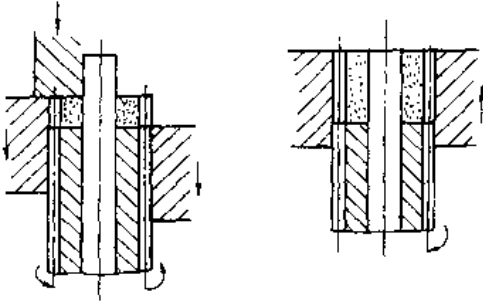
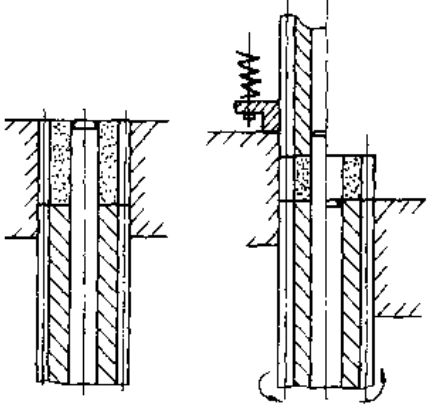
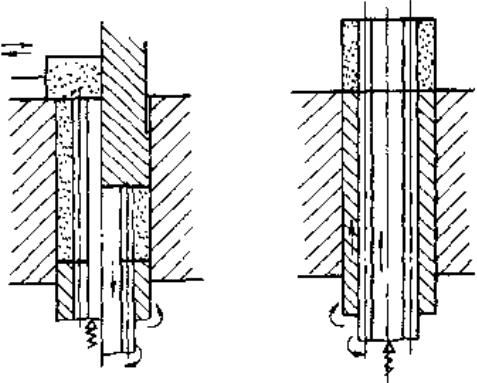
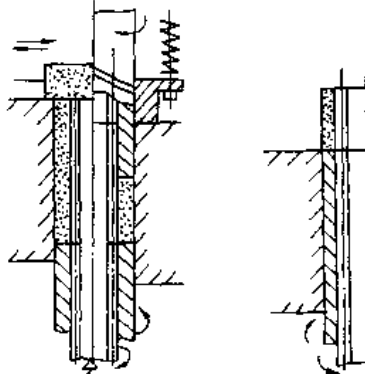
(续)

序号	结构特点	示 图	适用范围
21	<p>上模冲及两个下模冲、阴模、芯棒均浮动（由弹簧或气、液压实现），拉下式脱模</p>		<p>带有凹槽、外台阶面（下）及内台阶面（上）的压坯（亦可带盲孔）</p>
22	<p>两个上、下模冲及阴模、芯棒均浮动（由弹簧或气、液压实现），拉下式脱模</p>		<p>带有凹槽（上）、外台阶面及内台阶面（下）的压坯（亦可带盲孔）</p>
23	<p>有三个上、下模冲及阴模，芯棒均浮动（由液压缸来实现），拉下式脱模</p>		<p>上、下都带有台阶面及凹槽的压坯（亦可带盲孔）</p>

(续)

序号	结构特点	示 图	适用范围
24	<p>由一个上模冲及两个下模冲浮动(可由弹簧、气、液压实现),如使用弹簧,则上模冲弹簧力要大。顶出式脱模</p>		<p>内外反向带台阶面的压坯(亦可带盲孔)</p>
25	<p>双向压制,阴模上、下对开,便可脱模</p>		<p>带外球面的压坯</p>
26	<p>下模冲采取浮动装置(可由弹簧实现),以调节装粉高度,压制时阴模、芯棒、下模冲浮动,下模冲到制动垫块止。拉下式脱模</p>		<p>上、下带球面的压坯</p>

(续)

序号	结构特点	示图	适用范围
27	阴模上、下运动,但不转动,下模冲反向转动,但不上、下运动,拉下式脱模		厚度不宜过高的斜齿轮 ($h < 10\text{mm}$)
28	除序号 27 结构特点外,上模冲亦转动,并由导向套进入阴模,可达双向压制,拉下式脱模		各种类型的斜齿轮
29	芯棒上下运动并转动,下模冲允许转动,以减少芯棒转动;顶出式脱模(亦可拉下式脱模)		内孔带螺旋面齿的压坯 (厚度不宜过高)
30	除序号 29 结构特点外,上模冲亦转动,并由导向套(螺旋角与芯棒同)进入阴模,可达双向压制,拉下式脱模		各种类型的内孔带螺旋面齿的压坯

(续)

序号	结构特点	示 图	适用范围
31	上模冲强迫压下,为使压坯上下密度均匀,可调节压制限位杆来实现。拉下式脱模		各种类型的锥形齿轮的压坯
32	上模冲二次加压(增加锥齿部位密度)阴模在受压时有支撑力(由气、液压来实现)。拉下式脱模		各种类型的锥形齿轮的压坯

二、特殊动作的成形模具结构方案

为确保复杂形状的压坯得以成形且密度均匀,将阴模、模冲或芯棒等设计成装粉或脱模时能够进行较为复杂、特殊的动作,其成形模结构方案见表 5-5 所示。

表 5-5 特殊动作的成形模结构方案示例

序号	动作特点	示 图	适用范围
1	阴模带内台阶面,上模冲压制时使阴模强迫压下,压坯成形		外径比 $D/D' \leq 1.25$ 的带外台阶面的压坯

(续)

序号	动作特点	示 图	适用范围
2	芯棒带外台阶面, 上模冲压制时使芯棒下降到制动垫块时, 压坯成形		内径比 $d:d' \leq 1.2$ 的带内台阶面的压坯
3	粉末充填后, 阴模二次上升, 使模腔上端留有空隙(亦称欠量装粉法), 上模冲压制时, 粉末不会飞溅, 确保压坯台阶面的密度要求		阴模带内台阶面成形的压坯
4	粉末充填后, 阴模上升, 粉末再充填一次, 阴模下降, 料斗退回(亦称过量装粉法), 上模冲压制时, 强迫阴模下降, 确保压坯上段密度要求		上端带凸台阶面的压坯
5	脱模后, 下模冲未复位时, 料斗前进送料, 阴模回升到装粉高度位置(亦称吸入式装粉法), 料斗退回, 上模冲加压使压坯成形		高度较高(细长)的压坯
6	阴模在装粉位置时, 芯棒上端与下模冲上端面平。料斗加粉后, 芯棒上升, 与阴模上端面齐平, 料斗退回(亦称芯棒后升式装粉法)上模冲下降加压, 使压坯成形		壁厚很薄的压坯

(续)

序号	动作特点	示 图	适用范围
7	粉末充填时,上、下模冲根据压坯形状运动到各装粉高度,(亦称粉末移送成形法)各上模冲下降加压使压坯成形		多台阶面(内、外带台阶面)密度要求很均匀的压坯
8	脱模时,压坯外径先脱出阴模,芯棒再向下运动,使从坯内径脱出芯棒(亦称芯棒后脱式)		芯棒带外台阶面,或内孔带齿的压坯
9	由两个阴模(其中一个阴模可动)成形。脱模时,上阴模回升,下模冲顶出式脱模		带台阶面的错位齿轮的压坯
10	双料斗送粉。当一种粉末充填完毕后,阴模上升到另一装粉高度,料斗第二次加粉(亦称二次加粉法),上模冲下降加压,使压坯成形		上、下两种材料组合的压坯

(续)

序号	动作特点	示 图	适用范围
10	双料斗送粉,由二个下模冲组成。加内侧粉时,下模冲①上升与阴模口平,加外侧粉时,下模冲②下降与下模冲①上口平。料斗退出,上模冲下降加压,使压坯成形。	<p>Diagram showing a cross-section of a die with two powder chambers, labeled '粉末 A' and '粉末 B'. Two punches, labeled ① and ②, are shown in different positions to illustrate the process of adding powder and then compressing the material.</p>	圆周(左、右)由两种材料组成的压坯

第三节 成形模具主要零件连接方式

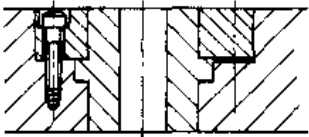
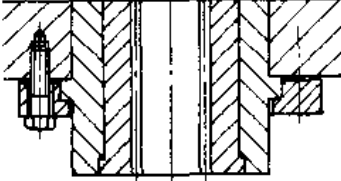
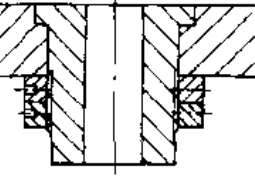
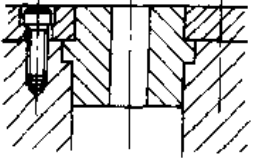
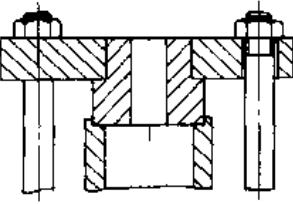
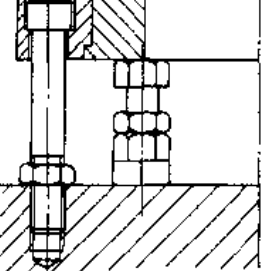
一、阴模的连接

阴模与模板和模座的连接示例见表 5-6。

表 5-6 阴模与模板和模座的连接示例

示 图	说 明
<p>Diagram showing a die connected to a template using a split flange.</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 限制: 若阴模过高,则会使模板过厚 适用: 阴模常需拆卸、易磨损和高度较低时
<p>Diagram showing a die connected to a template using a sleeve.</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) 同上栏 限制: 结构较复杂 适用: 阴模需拆卸、易磨损和高度较厚时
<p>Diagram showing a die connected to a template with a simple structure.</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 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 适用: 阴模高度较低时
<p>Diagram showing another simple die connection structure.</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 缺点: 1) 使用中不便拆卸; 2) 不能调头使用 适用: 阴模外径大、高度低、磨损小时

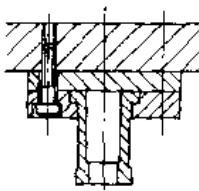
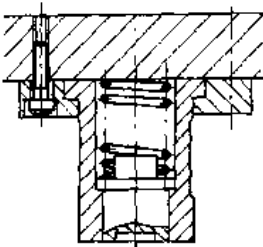
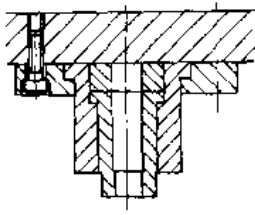
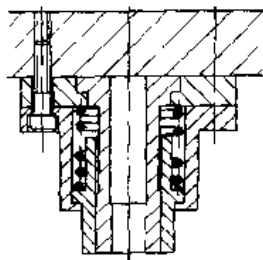
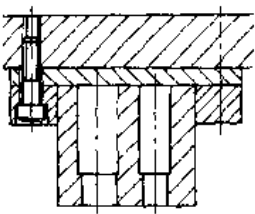
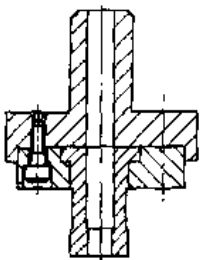
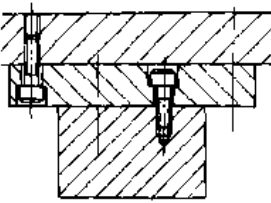
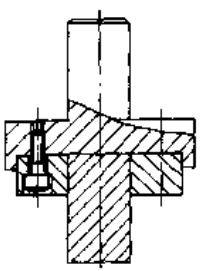
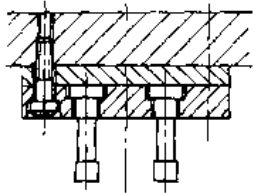
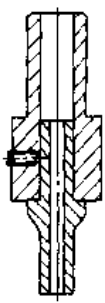
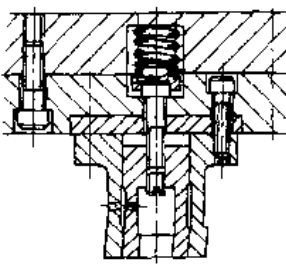
(续)

示 图	说 明
	<p>优点: 1) 阴模便于装卸; 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: 脱模力和阴模高度低时</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>
	<p>特点: 阴模与阴模座相连</p> <p>适用: 阴模不动的自动压模</p>
	<p>特点: 阴模与阴模座相连</p> <p>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</p> <p>适用: 阴模直径大, 高度低并需调节位置的情况</p>

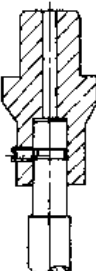
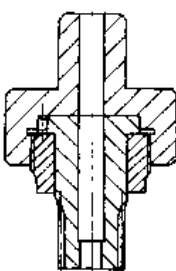
二、上模冲的连接

上模冲的连接示例见表 5-7。

表 5-7 上模冲的连接示例

示 图	说 明	示 图	说 明
	<p>上模冲与垫板连接,由压垫保护垫板</p> <p>适用于压机一般情况</p>		<p>组合上模冲,外模冲固定不动,内模冲由弹簧弹出,并由外模冲内台阶限位,压制时起压紧拼合芯棒的作用</p> <p>适用于压制内球面的压坯等</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</p> <p>适用于压机进行双向摩擦压制时</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</p> <p>适用于压制外球面的压坯等</p>
	<p>上模冲通过法兰盘与垫板连接,上模冲与法兰盘为静配合</p> <p>适用于上模冲截面呈异形,本身不宜做成带法兰时</p>		<p>上模冲与模柄的连接</p> <p>适用与冲床压制薄壁、小直径的压坯</p>
	<p>上模冲通过法兰盘与垫板连接</p> <p>适用于上模冲截面呈异形,本身不宜做成带出法兰,并截面积较大时</p>		<p>上模冲与法兰盘为静配合</p> <p>适用于冲床上压制异形截面压坯</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</p> <p>适用与一模多腔的多上模冲</p>		<p>上模冲插入模柄孔定位,由顶丝顶斜面连接,模冲法兰受力</p> <p>适用与冲床上压制厚壁、小直径的压坯</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</p> <p>适用于压制上面带凸起的压坯</p>		

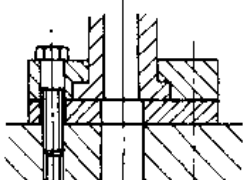
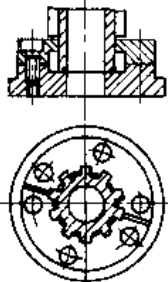
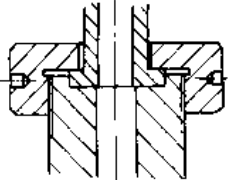
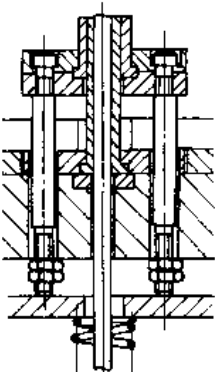
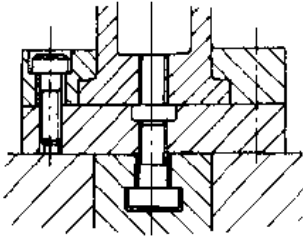
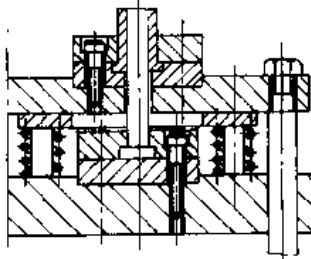
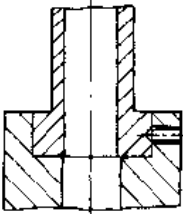
(续)

示 图	说 明	示 图	说 明
	<p>锥端紧定顶环槽, 模冲顶端受力</p> <p>适用于冲床上压制厚壁或实心的小直径压坯</p>		<p>上模冲通过螺帽与模柄连接, 并用销钉防止转动</p> <p>适用于冲床上压制上模冲不许转动的压坯(如齿轮或带键压坯)</p>

三、下模冲的连接

下模冲的连接示例见表 5-8。

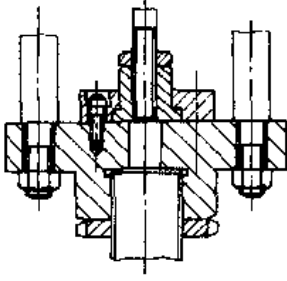
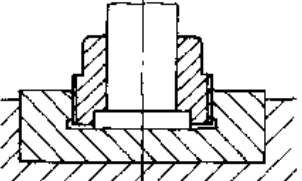
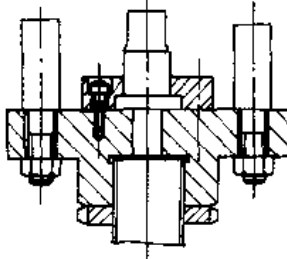
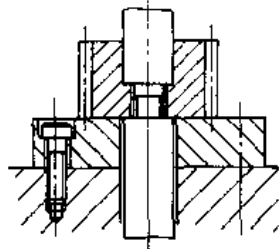
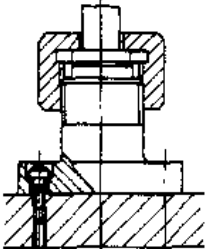
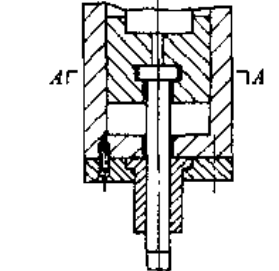
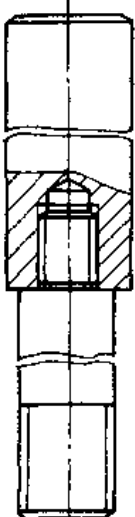
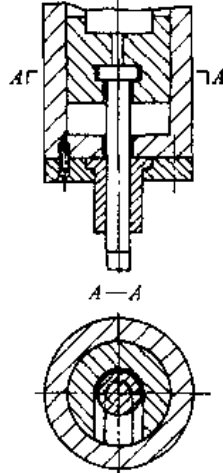
表 5-8 下模冲的连接示例

示 图	说 明	示 图	说 明
	<p>下模冲与模板连接, 接触面便于精加工</p> <p>适用于一般情况</p>		<p>下模冲下部加工出槽, 用对开法兰固定</p> <p>适用于带外齿的模冲, 带外齿的芯棒也可用此连接(如带花键孔压坯)</p>
	<p>下模冲与压座用螺帽连接, 装拆方便</p> <p>适用于压座截面较小时</p>		<p>下模冲与浮动顶杆连接, 弹簧托起, 螺母限位</p> <p>适用于自动压机上压制带外台阶的压坯</p>
	<p>下模冲通过压垫与顶出缸连接</p> <p>适用于普通压机带有顶出缸的情况</p>		<p>下模冲与横梁连接, 由托板托起</p> <p>适用于冲床上压制带外台阶的压坯</p>
	<p>下模冲与压座用锥端紧定顶丝连接, 结构简单紧凑, 装拆方便</p> <p>适用于连接力要求不大的情况</p>		

四、芯棒的连接

芯棒的连接示例见表 5-9。

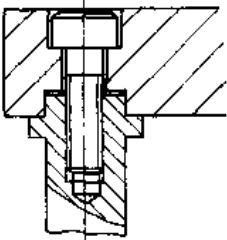
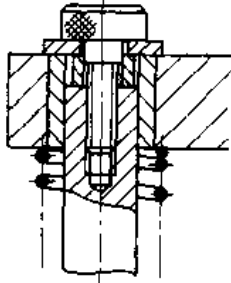
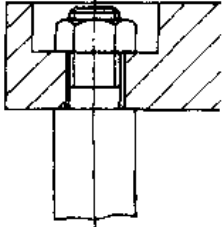
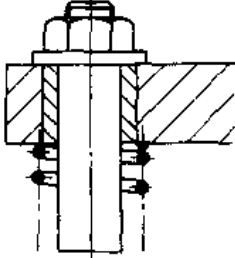
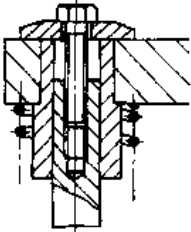
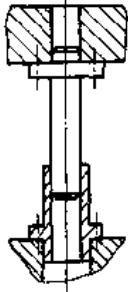
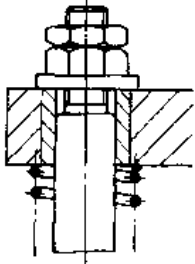
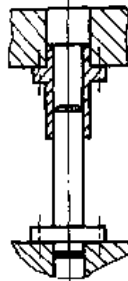
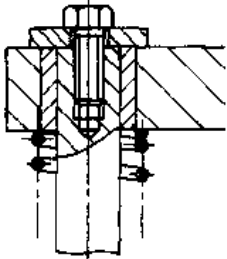
表 5-9 芯棒的连接示例

示 图	说 明	示 图	说 明
	<p>芯棒通过芯棒座的螺 纹与压机下缸并帽连接， 便于装拆，但对芯棒螺纹 的不同轴度要求较高 适用于自动压机拉下 式压模</p>		<p>芯棒通过螺母与芯棒 座连接，芯棒座与下模板 静配合 适用于半自动拉下式 压模</p>
	<p>芯棒与下缸并帽连接。 安装精度及受力条件均 较好，但不便装拆 适用于自动压机拉下 式压模</p>		<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>芯棒通过螺母与芯棒 座连接，径向尺寸较小 适用于自动拉下式压 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>
	<p>芯棒通过接杆与芯棒 座连接，径向尺寸较大 适用于自动拉下式压 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>

五、导柱与模板的连接

导柱与模板的连接示例见表 5-10。

表 5-10 导柱与模板的连接示例

示 图	说 明	示 图	说 明
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 导柱与阴模板连接, 该导柱亦为拉杆 2. 适用于自动压机拉下式压模 		<ol style="list-style-type: none"> 1. 螺钉限位, 更换垫圈调节模板位置 2. 适用于带模架的浮动压模
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 导柱与阴模板连接, 该导柱亦为拉杆 2. 适用于自动压机拉下式压模 		<ol style="list-style-type: none"> 1. 螺母、垫圈对模板限位, 可调节模板的位置 2. 适用于带模架的浮动压模
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 导柱通过螺钉对模板限位 2. 垫圈随模板浮动, 起限位和防粉尘进入导套中的作用 3. 适用于带模架的浮动量较小的压模 		<ol style="list-style-type: none"> 1. 导套固定在阴模板上, 导柱固定在上模板上, (称下装式) 2. 适用于阴模板下方有较大空余位置的模架
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 螺母、垫圈对模板限位, 结构简单, 但不能调节模板的位置 2. 适用于带模架的浮动压模 		<ol style="list-style-type: none"> 1. 导套固定在上模板上, 导柱固定在阴模板上, (称上装式) 2. 适用于上模板上方有较大空余位置的模架
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 螺钉垫圈对模板限位 2. 适用于带模架的浮动压模 		

第四节 浮动结构

模具的主要零件——阴模、芯棒和上、下模冲（包括压套）都可浮动。浮动的作用为：

1) 通过调节浮动量，达到调节装粉的目的。

2) 减少压制时压坯与模具间的摩擦力；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。

3) 通过组合模冲的浮动，借以改善原始装粉状态，获得与移送装粉相当的效果，尽管不同部位的粉末受压有先后，仍使压坯不同部位的密度趋于均匀。

提供浮动力的装置：(1) 弹簧；(2) 辅助气动缸；(3) 液体缸

一、弹簧浮动

(一) 阴模浮动

1. 手动模的阴模浮动

手动模的阴模浮动，是靠浮动座或是由浮动模架来完成。图 5-1~图 5-4 所示为浮动座结构。

图 5-1 所示的结构是在压座 1 上安装 3~4 个顶柱 3，由弹簧 2 托起，支承阴模。顶柱与压座孔配合较松，一般有 0.05~0.10mm 的间隙即可。压座因承受压力，一般采用 45 号钢，热处理硬度为 HRC50 左右，也可在压座与下模冲接触处增加一个淬硬到 55~60HRC 的承压垫 4，这时压座可不必进行热处理。这种结构简单，适用于阴模直径较大时，其缺点是浮动量不能调节。

图 5-2 所示的结构是在压座 1 上安装对称的两个导柱 4 和两个限位螺钉 7，阴模座 5 落在托板 2 上，由弹簧 9 托起。托板上镶有导套 3，可以保护螺钉的螺纹。浮动量由螺母 6 调节。压座上有压垫 8，压座可不必进行热处理。导柱和导套的配合可用 IT6~7 级精度的 h6~7 动配合。

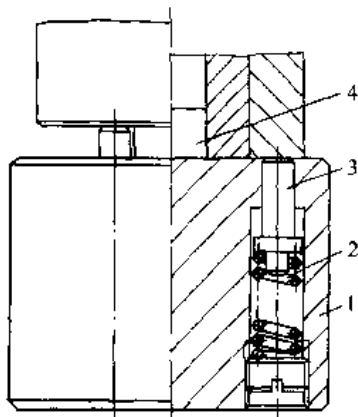


图 5-1 顶柱式浮动座

1—压座 2—弹簧 3—顶柱 4—承压垫

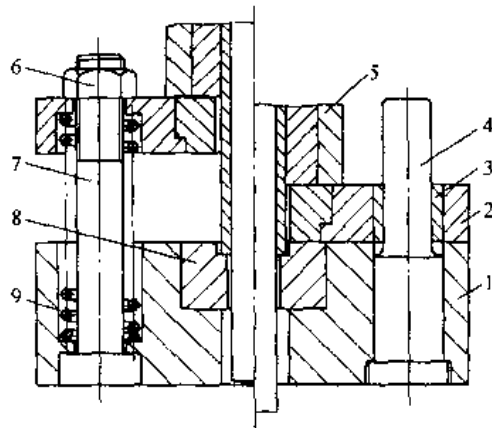


图 5-2 托板式浮动座

1—压座 2—托板 3—导套 4—导柱 5—阴模座 6—螺母 7—螺钉 8—压垫 9—弹簧

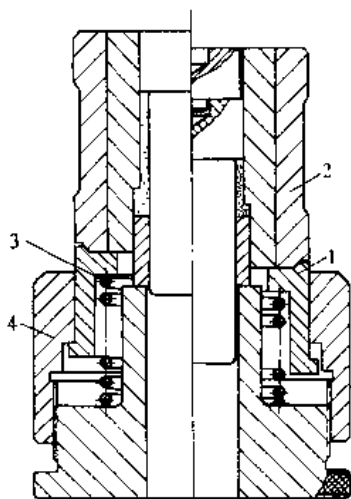


图 5-3 托套式浮动座

1—托套 2—阴模座 3—弹簧 4—螺帽

图 5-3 所示的结构是阴模座 2 落在托套 1 上, 由弹簧 3 托起。通过螺帽 4 导向和限位, 并可调节浮动量。这种结构零件数量少, 阴模浮动最下位置不受限制, 适用于压制带台阶面压坯的浮动阴模。

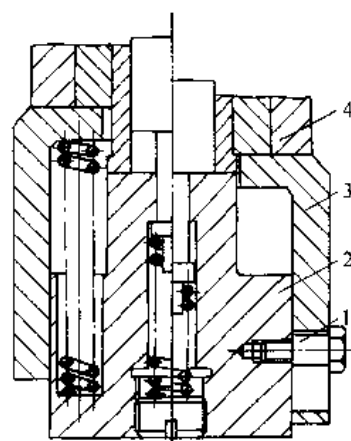


图 5-4 托套式浮动座

1—螺钉 2—压座 3—托套 4—阴模座

图 5-4 所示的结构也是阴模座 4 由托套 3 托起浮动的, 由压座 2 导向, 螺钉 1 限位。这种结构更简单, 但不能调节浮动量。

图 5-5 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, 但这要求压坯横截面较大时才可用, 这种结构自成模架, 便于安装和存放。

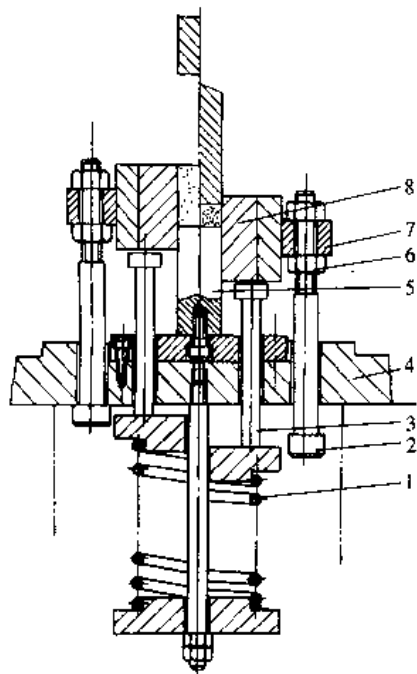


图 5-5 带模架的浮动结构

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

加大, 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, 但这要求压坯横截面较大时才可用, 这种结构自成模架, 便于安装和存放。

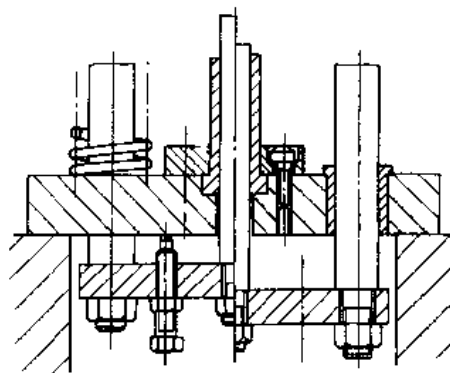


图 5-6 带模架的浮动结构

图 5-6 所示也是带模架的浮动结构。阴模由弹簧托起，用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。

2. 自动模的阴模浮动

图 5-7 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 5-8 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）。

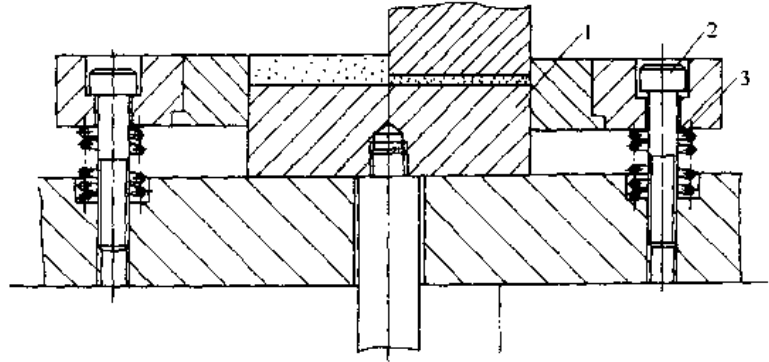


图 5-7 大截面压坯用的阴模浮动结构

1-下模冲 2-螺钉 3-弹簧

图 5-9 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 5-10 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 5-11 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。

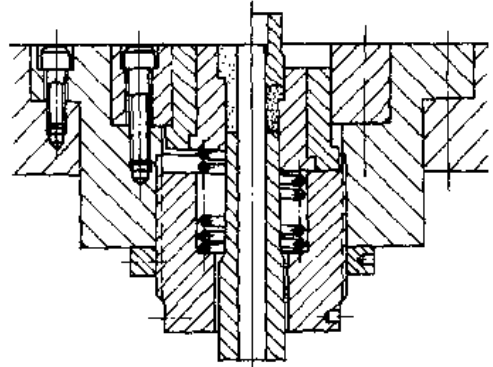


图 5-8 压制带台阶面压坯的阴模浮动结构

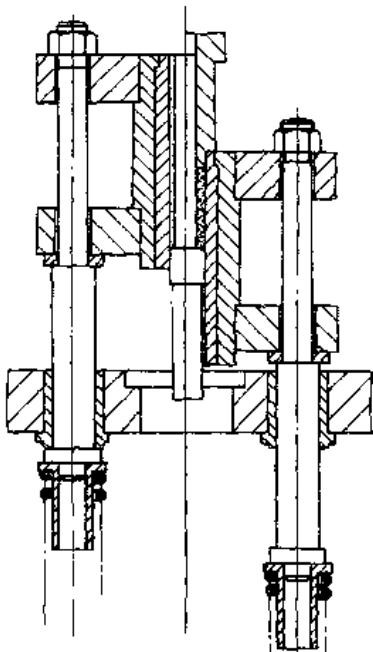


图 5-9 压制细长压坯的阴模浮动结构

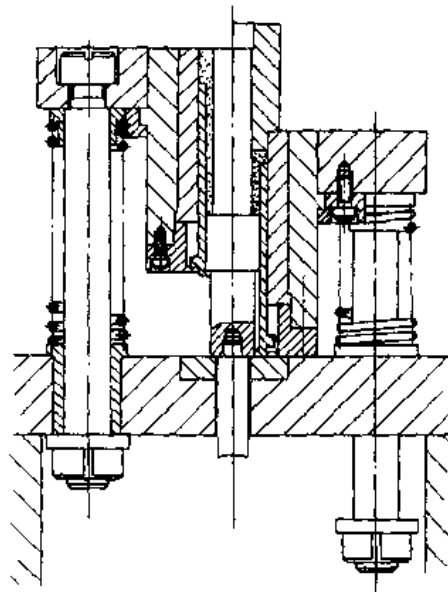


图 5-10 具有压套的阴模浮动结构

(二) 芯棒浮动

图 5-12 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，由横穿的销钉 3 限位，用螺帽 2 来调节芯棒的位置。

图 5-13 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 5-14 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 5-15 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 4 强制压下。该结构适用于芯棒较粗的情况。

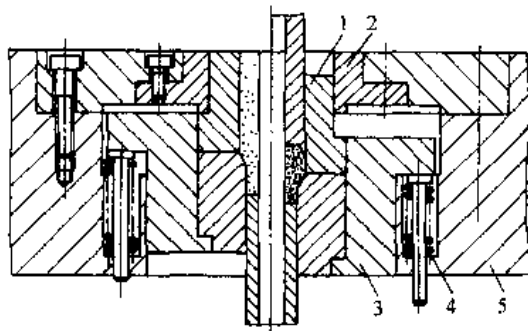


图 5-11 压制带球面压坯的阴模浮动结构
1—阴模 2—导套 3—模套 4—弹簧 5—模座

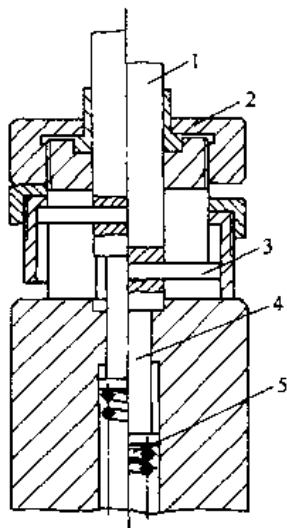


图 5-12 芯棒浮动结构
1—芯棒 2—螺帽 3—螺钉
4—顶柱 5—弹簧

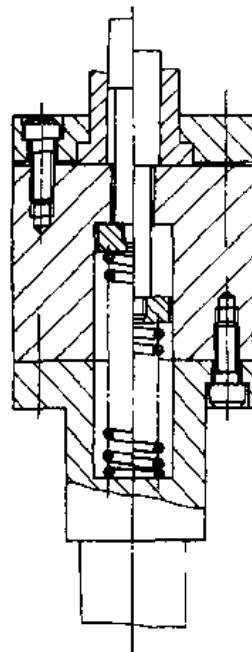


图 5-13 芯棒浮动结构

图 5-16 所示为压制带内台阶面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 用第 1~2 种动配合，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 5-17 所示为另一种压制带内台阶面压坯的组合芯棒浮动结构。大、小芯棒 3、4 用螺纹连接，弹簧 2 托起，螺母 1 限位，调节向上浮动的位置较困难。

图 5-18 所示为拉下式压制带内台阶面压坯的组合芯棒浮动结构。小芯棒 3 被固定在下缸并帽 5 上，只有大芯棒 1 浮动，其向上浮动的位置可由螺母 4 调节。压制时，大芯棒座落在下模板 2 上，小芯棒与下缸并帽一起浮动。脱模时，小芯棒（和阴模一起）被下缸并帽拉下。

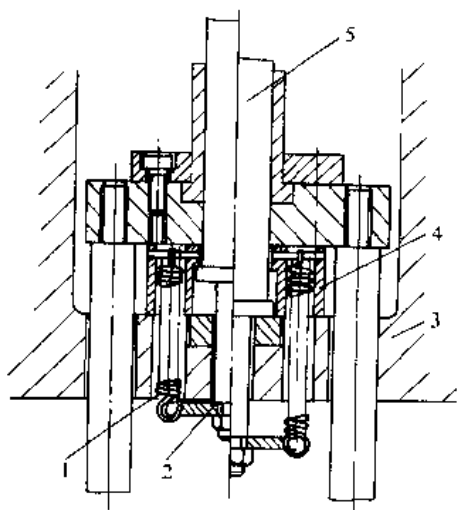


图 5-14 芯棒浮动结构
1—拉簧 2—托板 3—模座
4 压垫 5—芯棒

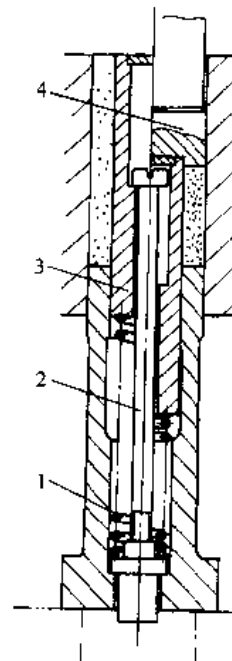


图 5-15 芯棒强迫浮动结构
1—弹簧 2—螺钉 3—芯棒 4—上模冲

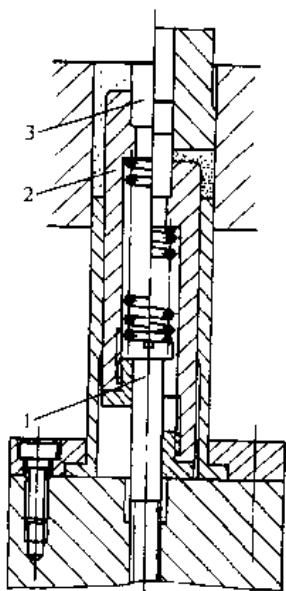


图 5-16 压制带内台阶面压坯的
组合芯棒浮动结构
1—螺钉 2—大芯棒 3—小芯棒

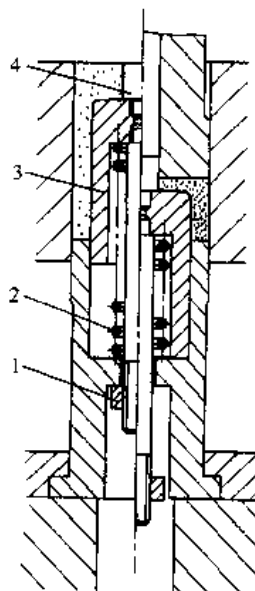


图 5-17 压制带内台阶面压坯的
组合芯棒浮动结构
1—螺母 2—弹簧 3—大
芯棒 4—小芯棒

(三) 模冲及压套浮动

图 5-19 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”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。如图5-19所示的是上模冲浮动，亦可当作下模冲，这时起到补偿装粉的作用。

图5-20所示为压制带台阶面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5-21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，浮动起到的“虚压”作用同前。

图5-22所示的结构与图5-21相似，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5-23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。

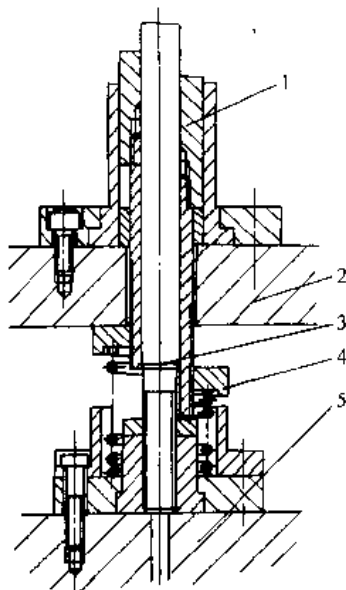


图5-18 压制带内台阶面压坯的组合芯棒浮动结构

1—大芯棒 2—下模板 3—小芯棒
4—螺母 5—下缸并帽

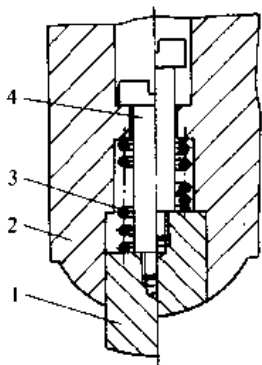


图5-19 压制带圆弧面压坯的组合模冲浮动结构
1—内模冲 2—外模冲 3—弹簧 4—螺钉

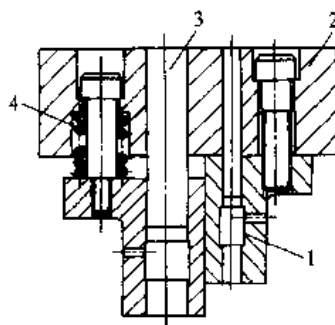


图5-20 压制带台阶压坯的组合模冲浮动结构
1—组合模冲 2—压垫 3—导柱 4—弹簧

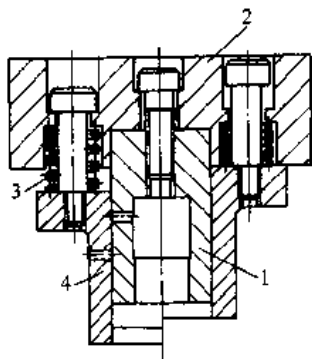


图5-21 压制带凸脐压坯的组合模冲浮动结构
1—内模冲 2—压垫 3—弹簧 4—外模冲

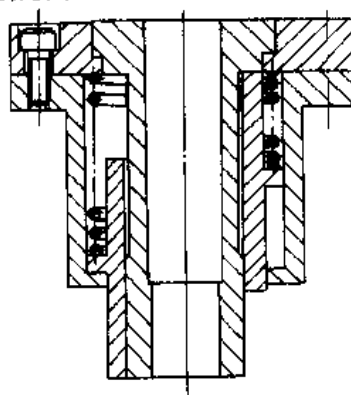


图5-22 起压紧作用的外套浮动结构

图 5-24 和图 5-25 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以便拔出外模冲的作用，故要求弹力较大。

图 5-26 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 5-27 所示为压套浮动结构。它用于压制带外台阶面的压坯，压套 2 由弹簧 1 顶起，芯棒 3 以台阶限位。缺点是浮动位置不能调节。

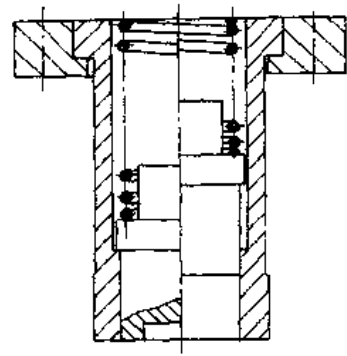


图 5-23 起压紧作用的内柱浮动结构

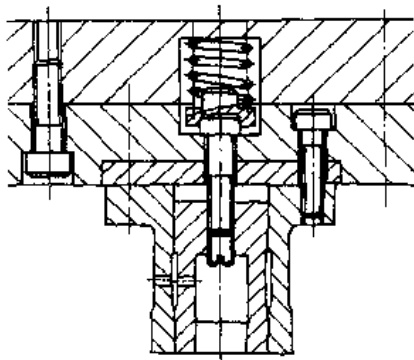


图 5-24 压制带凸脐压坯的内模冲浮动结构

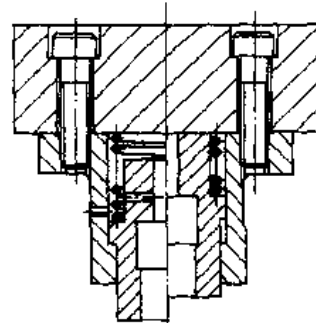


图 5-25 压制凹坑压坯的内模冲浮动结构

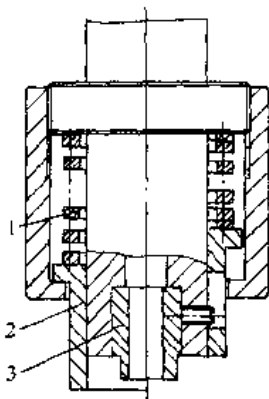


图 5-26 顶套浮动结构
1—强力弹簧 2—顶套 3—上模冲

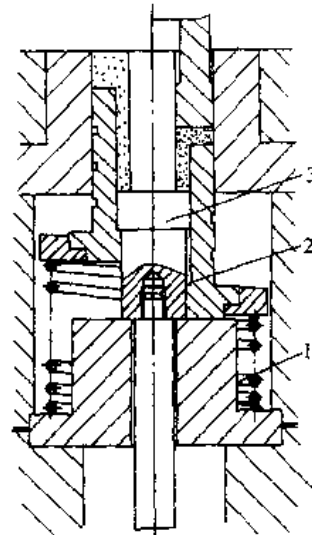


图 5-27 压套浮动结构
1—弹簧 2—压套 3—芯棒

图 5-28 所示为压套和下模冲均浮动的结构。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 5-29 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。

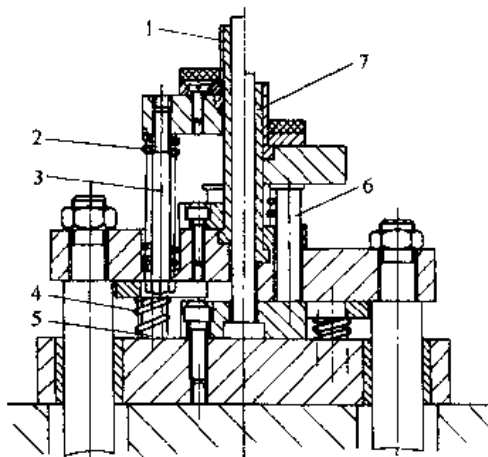


图 5-28 压套和下模冲均浮动结构

1—压套 2、4—弹簧 3、5、6—螺钉
7—下模冲

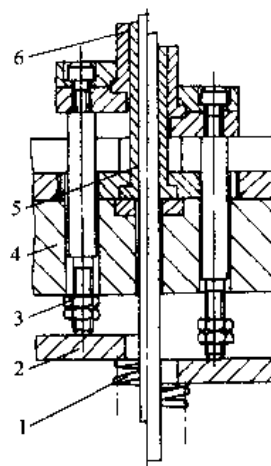


图 5-29 压套浮动结构

1—弹簧 2—托板 3—限位螺母
4—下模板 5—下模冲 6—压套

二、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机尺寸的限制。

气动浮动时，气压约 0.6~0.8MPa。压缩空气需经过冷却、去水（过滤或干燥），并适当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。在气路上安装切换阀、压力调节阀和压力计等部件，以便操作和调节时用。

管路中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 IT5~6 精度的 5~6 级动配合。表面粗糙度一般要研至于 $R_a 0.16$ 。

气缸和活塞之间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。由于是滚动，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圆环截面的直径。环的安装位置应根据活塞移动时环的滚动方向来定（图 5-30）。

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。

图 5-30 所示为阴模浮动结构。气缸 2 安置在阴模座 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（见图 5-30 所示）。

图 5-31 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，通过转向阀改变进排气路，以达到芯棒上下运动的目的。这种动作可用于过量装粉。

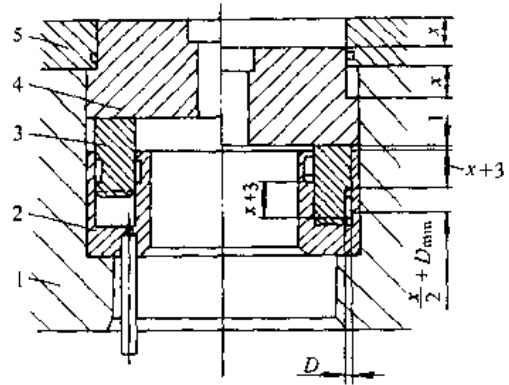


图 5-30 阴模气压浮动结构
1—阴模座 2—气缸 3—活塞
4—阴模 5—导板

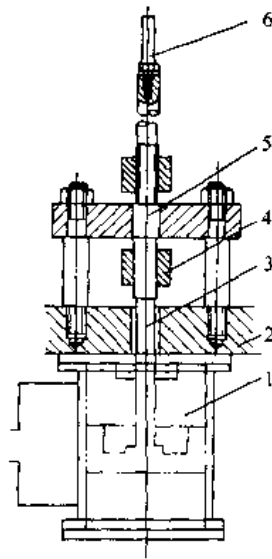


图 5-31 芯棒气压浮动结构
1—气缸 2—模板 3—活塞杆
4—螺母 5—接杆 6—芯棒

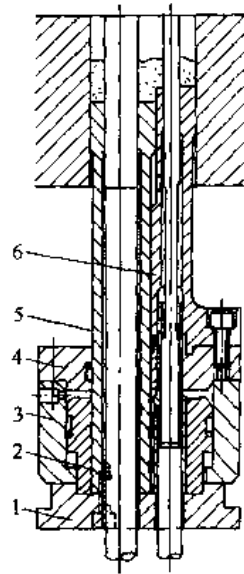


图 5-32 压制带台阶压坯的
下模冲浮动结构

1—压垫 2—活塞 3—气缸 4—气缸盖
5—左下模冲 6—右下模冲

图 5-32~图 5-34 所示为压制不同形状压坯的下模冲浮动结构。

图 5-32 所示为压制非对称带台阶面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薄，故槽只能设在壁较厚的内圆柱面上。

图 5-33 中压制的是一个内外有台阶面、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。

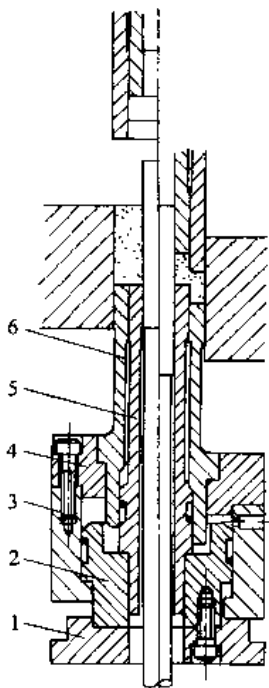


图 5-33 压制带台阶压坯的
下模冲浮动结构

1—压垫 2—活塞 3—气缸 4—气缸盖
5—内下模冲 6—外下模冲

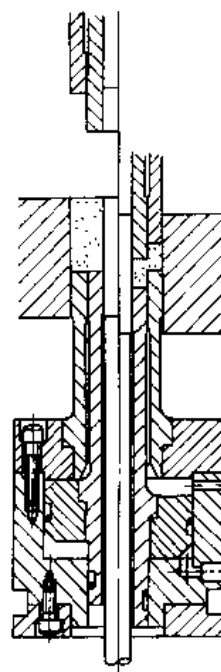


图 5-34 压制带台阶压坯的
下模冲浮动结构

图 5-34 中压坯的形状与图 5-33 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，通过气缸被面定在压垫上，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 5-35~图 5-38 所示为压制不同形状压坯的上模冲浮动结构。

图 5-35 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。当“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 5-36 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 5-37 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 5-38 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。

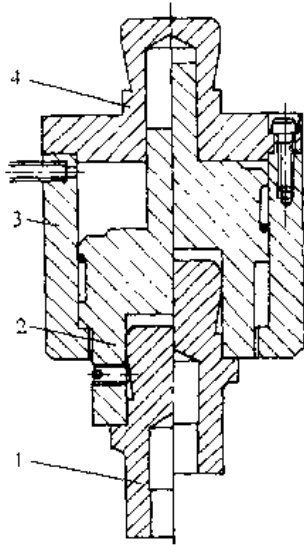


图 5-35 上模冲浮动结构
1—上模冲 2—活塞 3—气缸
4—带模柄的气缸盖

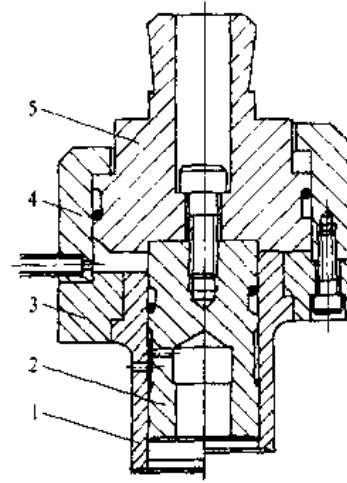


图 5-36 压制带凸脐压坯的组
合上模冲浮动结构
1—外上模冲 2—内上模冲 3—气缸盖
4—气缸 5—带模柄的活塞

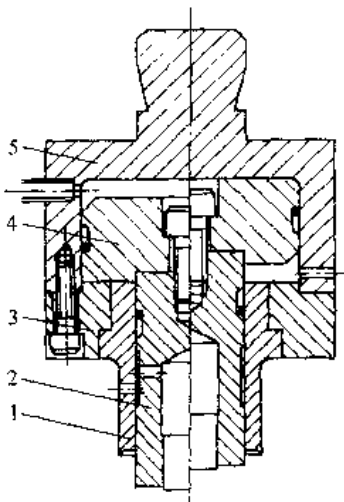


图 5-37 压制带凹坑压坯的
组合上模冲浮动结构
1—外上模冲 2—内上模冲 3—气缸盖
4—活塞 5—带模柄的气缸

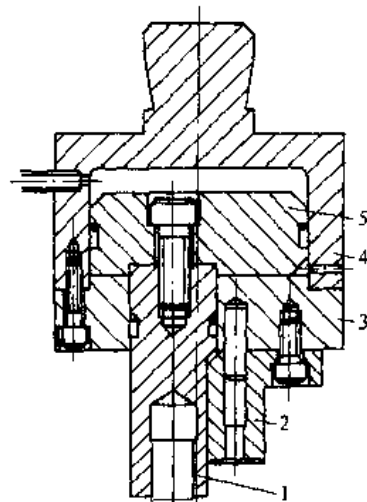


图 5-38 压制非对称带台阶压坯
的组合上模冲浮动结构
1—左上模冲 2—右上模冲 3—气缸盖
4—带模柄的气缸 5—活塞

三、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，制造过程较复杂。一般液压浮动是借助压机本

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。结构示例可参考气压浮动。

第五节 辅助机构

一、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；对于拉下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。

（一）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 5-39 所示为单顶杆脱模复位结构。该结构简单，顶杆 2 与压机的下顶缸 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，但高度尺寸较小的成形模上。

图 5-40 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、壁厚较厚、高度较小的成形模。

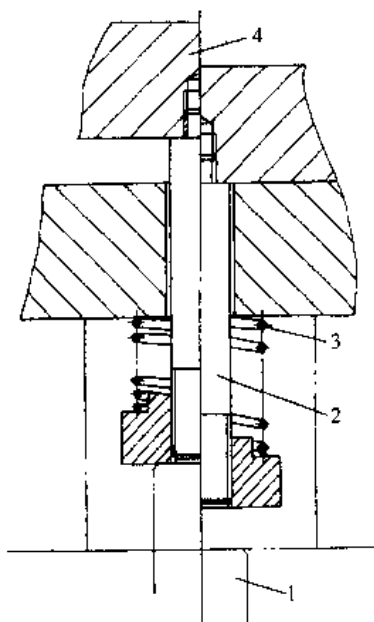


图 5-39 单顶杆脱模复位结构
1—下顶缸 2—顶杆 3—弹簧 4—下模冲

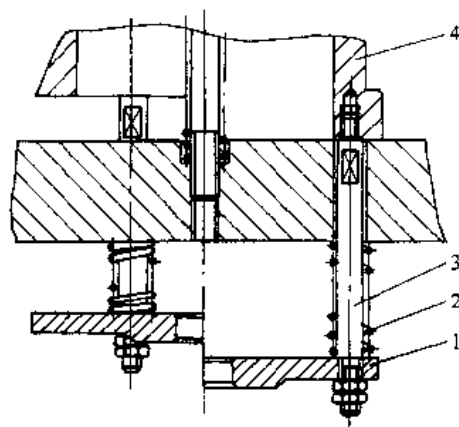


图 5-40 三顶杆脱模复位结构
1—托板 2—弹簧 3—顶杆 4—下模冲

图 5-41 所示的结构与图 5-40 相似，区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它支撑板上。它适用于压坯截面较小的成形模。

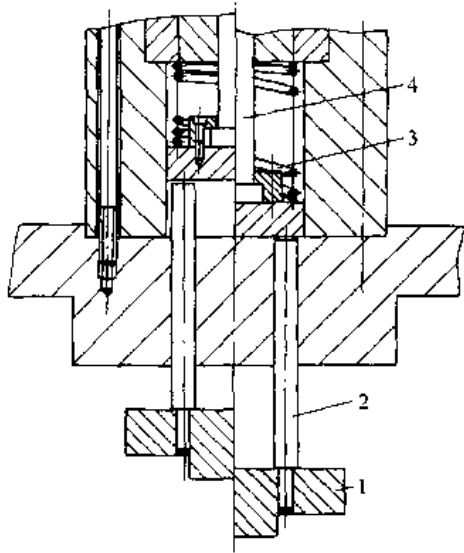


图 5-41 三顶杆脱模复位结构

1—托板 2—顶杆 3—弹簧 4—下模冲

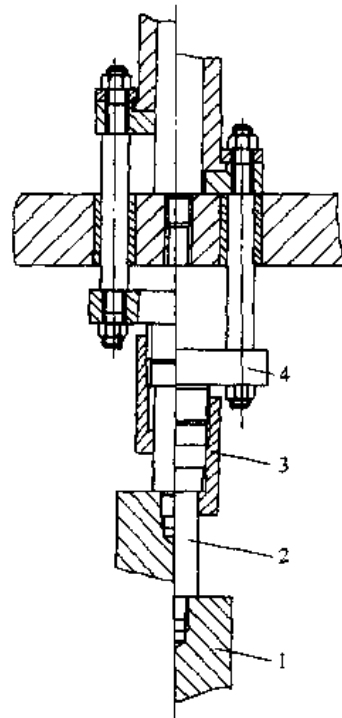


图 5-42 可调节脱模复位结构

1—下顶缸 2—螺钉 3—接套 4—托板

图 5-42 所示的结构适用于压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，可通过旋动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：

$$H_{空} = H_{缸} - H_{脱}$$

式中 $H_{空}$ ——空程距离 (mm)；
 $H_{缸}$ ——顶缸行程 (mm)；
 $H_{脱}$ ——脱模行程 (mm)，即复位行程。

它适用于压坯高度较大，复位阻力较大，采用弹簧复位不可靠的情况。

图 5-43 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。

(二) 无下顶缸压机的脱模复位结构

通用机械式压力机一般无下顶缸装置，个别的液压机

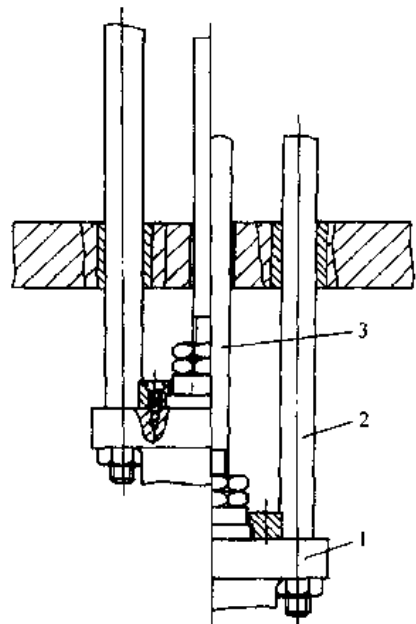


图 5-43 拉下式脱模复位结构

1—下缸并帽 2—拉杆 3—芯棒

亦无下顶缸。为了自动压制，压机往往经过改装，模具与改装过的压机相配合。下面介绍几种拉钩式脱模复位机构。

图 5-44~图 5-46 所示均为拉钩式脱模复位结构。

图 5-44 所示的结构，脱模时，上拉钩钩住下拉钩 4 随压机压头上升，通过横梁 1、顶杆 1 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 5-45 所示的结构与图 5-44 相似，其区别在于顶杆 1 上下都不连接，它适用于压坯为实体的压模。

图 5-46 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。

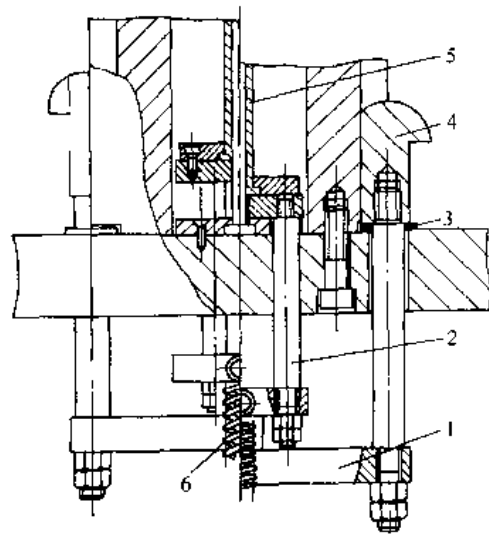


图 5-44 拉钩式脱模复位结构
1—横梁 2—顶杆 3—缓冲垫 4—下
拉钩 5—下模冲 6—拉簧

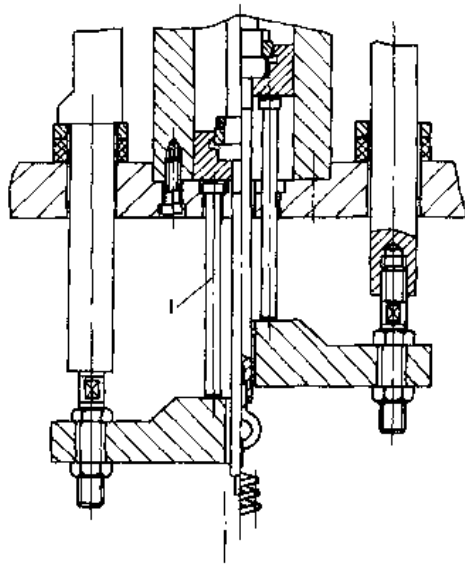


图 5-45 拉钩式脱模复位结构
1—顶杆

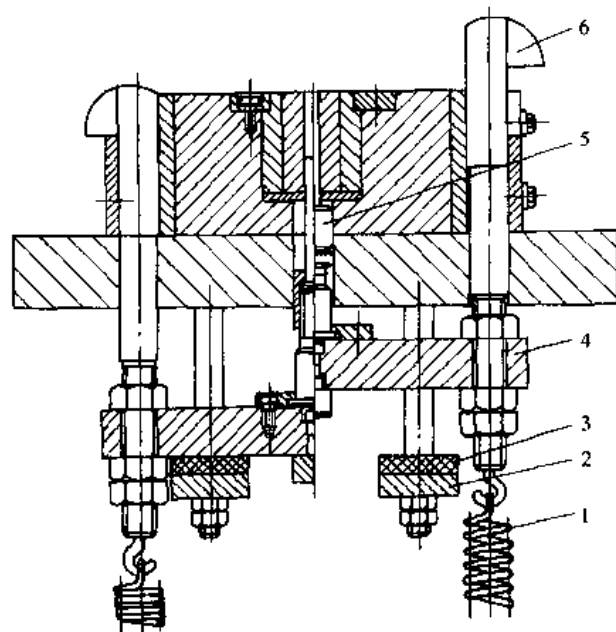


图 5-46 双向压制拉钩式脱模复位结构
1—拉簧 2—支撑板 3—缓冲垫
4—横梁 5—下压头 6—拉钩

二、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 5-47 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）落在螺丝 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 5-48 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。

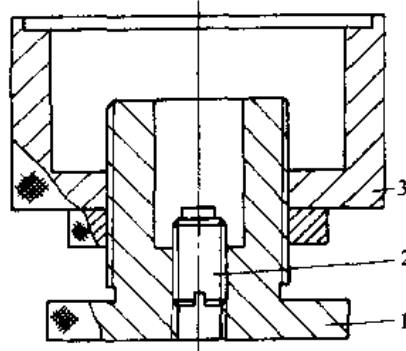


图 5-47 手动模装粉座

1—底座 2—螺丝 3—调节套

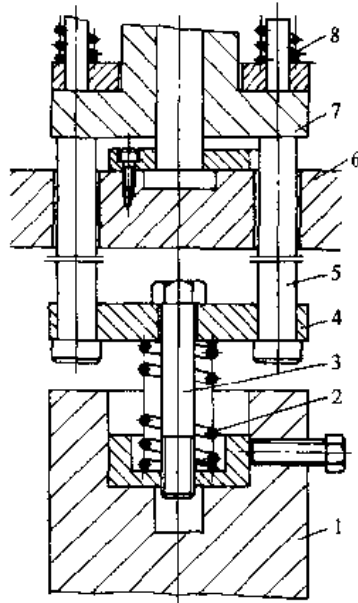


图 5-48 调节装粉结构

1—顶座 2、8—弹簧 3—螺钉 4—盘
5—顶杆 6—下模板 7—下模冲

图 5-49 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。

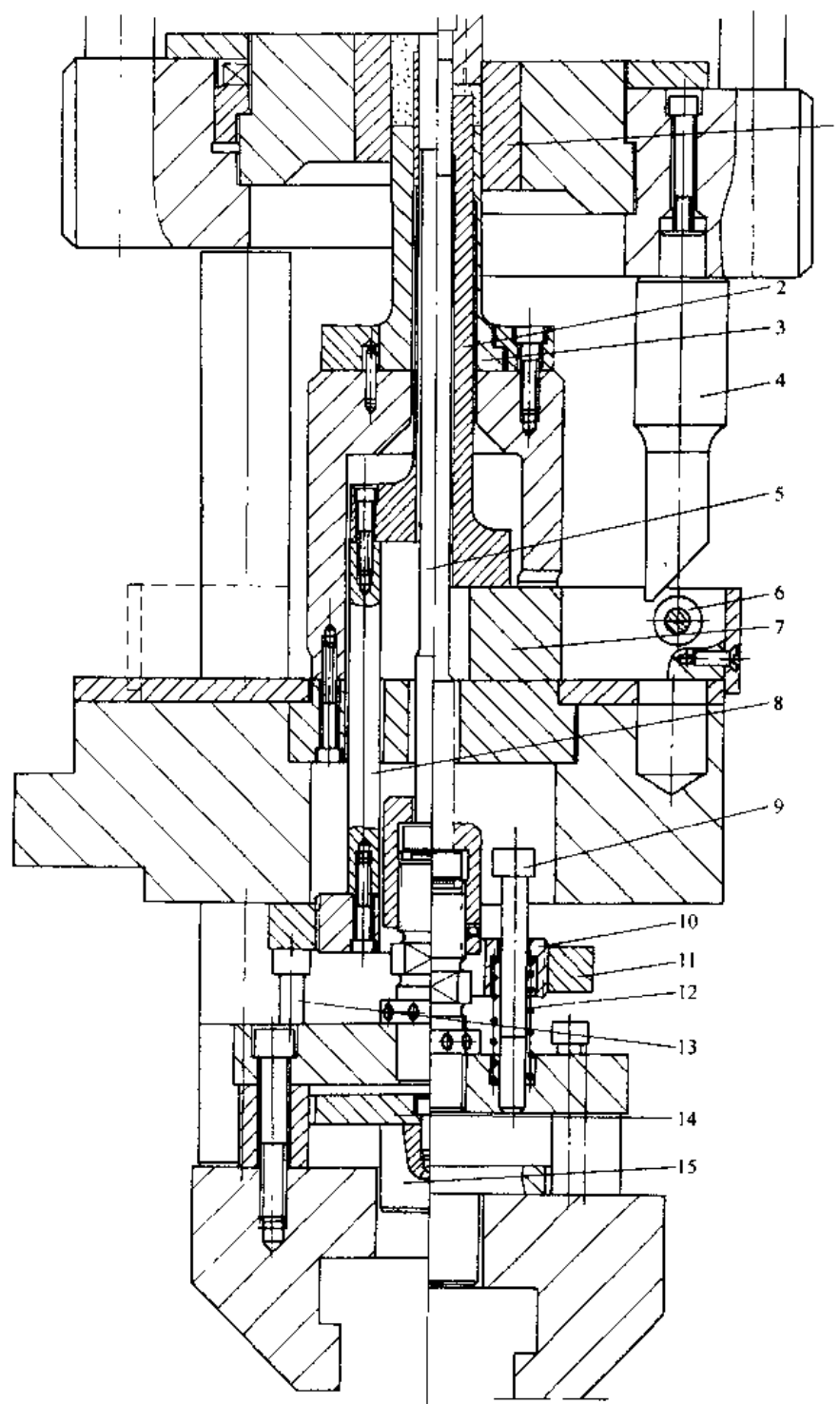


图 5-49 用螺母调节内下模冲装粉的自动模结构

- 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

第六章 精整模具结构设计

精整是指在常温下，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，通过烧结件表面产生塑性变形，以校正其尺寸及变形的过程。所用之模具被称为精整模具。

设计者要根据粉末冶金零件的精度要求，来确定是否需要精整；针对不同的压坯形状、尺寸精度和表面粗糙度，来选择采用具体的精整方式；根据不同的精整方式，考虑具体的精整模结构方案。考虑结构方案时，应从精整工序的步骤——送料、压制、脱模和复位要求来分析。

对于手动模，因送料和复位均为手动，故结构设计只需考虑压制和脱模的有关问题，如定位、导向、限位、脱模方式，安全、操作方便和生产效率等。

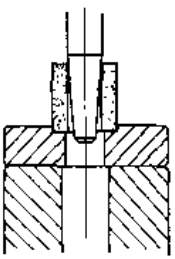
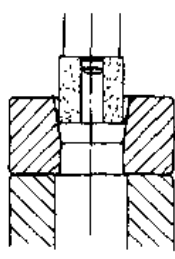
对于自动模，则要结合设备来考虑模具结构方案，要能实现送料、压制、脱模和复位的自动循环。

本章介绍常用的精整方式、精整模具结构基本方案及送料机构。

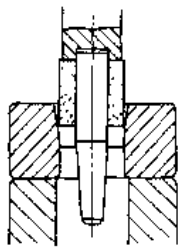
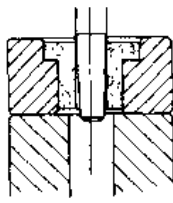
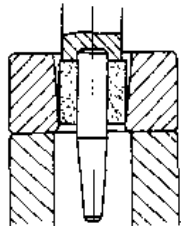
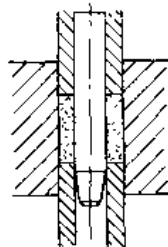
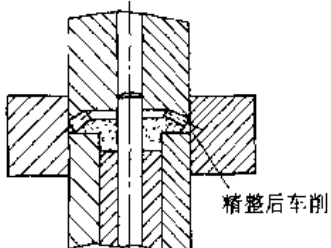
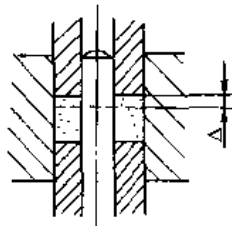
第一节 精整方式的选择

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 6-1。

表 6-1 精整方式的种类和选择

种 类	含 义	简 图	适 用 条 件
单 整 内 径 通 过 式 精 整	烧结件内径留精整余量, 外径不精整		制品的内径尺寸精度要求 IT8~9 级, 外径精度要求低时, 且烧结坯内、外径之比 $D/d \geq 1.5$ (非圆形件内径 d 指内接圆, 外径 D 指外切圆, 以下同), 壁厚 $T > 3\text{mm}$
单 整 外 径	烧结件坯外径留精整余量, 内径不精整		制品的外径尺寸精度要求 IT8~IT9 级, 内径精度要求低时, 且压坯 $D/d \geq 1.5$, 壁厚 $T > 3\text{mm}$

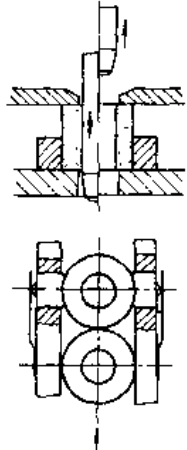
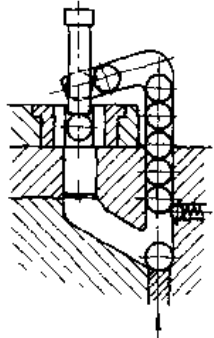
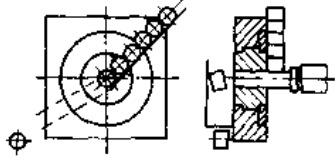
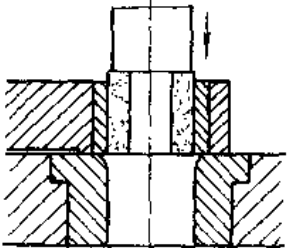
(续)

种类	含义	简图	适用条件
通过式精整	外箍内		制品的内、外径尺寸精度要求 IT8~9 级, 压坯 $D/d < 1.5$, 壁厚 $T \leq 3\text{mm}$
	内胀外		制品的带外台阶, 内、外径精度要求 IT7~8 级, $D/d < 1.5$, 壁厚 $T \leq 5\text{mm}$
	外箍内胀		制品的内、外径尺寸精度要求 IT7~IT8 级, 压坯 $D/d \geq 1.5$, 壁厚 $T > 3\text{mm}$
全精整	烧结件内、外径和高度均留精整余量。高度压下率较小(2%~8%), 以提高精度为主要目的, 密度的增高小于 5%		制品的高度较小, 内、外径尺寸精度要求 IT6~IT7 级
整形	烧结件烧结后, 再次压制, 以改变形状及精度, 并提高密度 2%~12%		不易一次成形的制品, 如锥面、端面带齿等局部密度要求较高的压坯
复压	烧结件内、外径和高度均留装模间隙, 高度压下率较大(15%~20%), 密度可提高 5%~20% (Δ 为压下量)		制品的高度较小, 密度要求较高

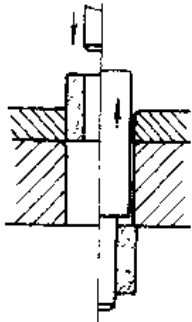
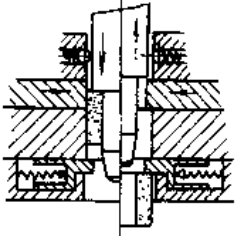
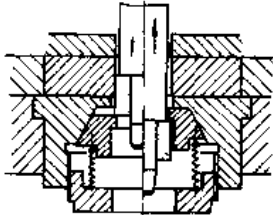
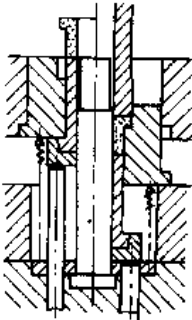
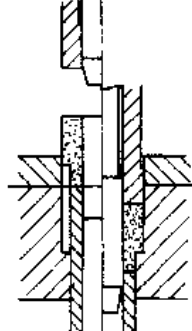
第二节 精整模具结构基本方案示例

精整模结构基本方案示例见表 6-2。

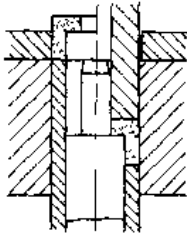
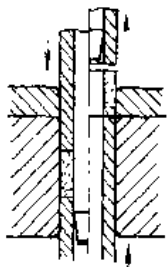
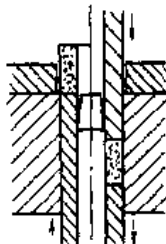
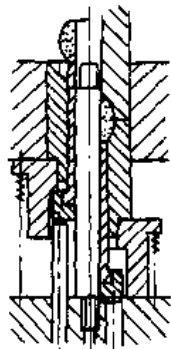
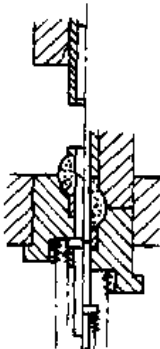
表 6-2 精整模结构基本方案示例

结构特点	示 图	适用情况
1) 直线送料, 烧结件有定位装置 2) 有挡极限位, 保证脱模		单精整内径
1) 旋转送料, 旋转送料台有定位装置 2) 用球珠当作芯棒, 自动循环使用 3) 精整和脱模同步		单精整内径
1) 烧结件靠自重, 在斜槽中滚动送料, 槽底定位 2) 横向通过式精整		单精整外径
1) 旋转送料, 旋转送料台有定位装置 2) 纵向通过式精整		单精整外径

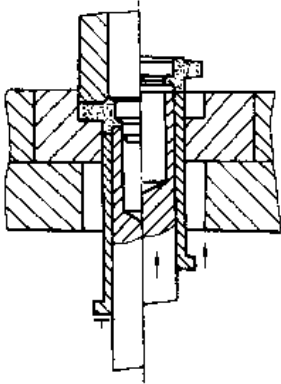
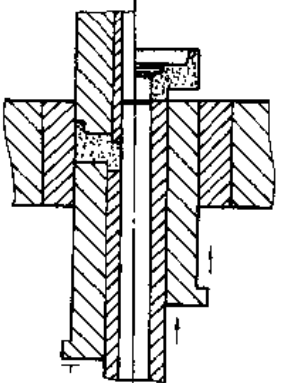
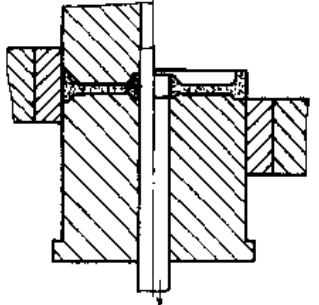
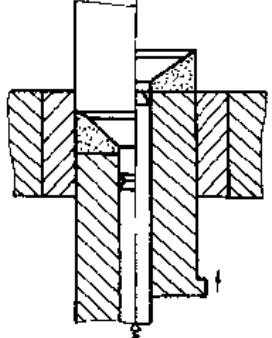
(续)

结构特点	示 图	适用情况
<p>1) 阴模出口端保持棱角, 烧结件靠外径回弹实现芯棒脱模</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>
<p>1) 烧结件由弹簧和珠子定位</p> <p>2) 阴模上有 2-4 个活动滑块, 穿芯棒时, 防止过早进入阴模。芯棒穿完后, 滑块向外退让</p> <p>3) 阴模下有 4 个挡爪脱芯棒用</p>		<p>外箍内胀精整, 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, 内径精整形 余量可能较大, 芯棒脱模力较大</p>
<p>1) 阴模浮动, 烧结件外径无精整余量, 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, 后脱外径</p>		<p>内胀外精整, 高度较小的 带外凸缘的零件 高度尺寸可精整, 亦可不精整</p>
<p>1) 芯棒与上模冲有一定距离的相对运动, 以实现先穿芯棒定位, 再一起精整。烧结件随芯棒上行时, 产生相对运动实现脱模</p> <p>2) 烧结件留在阴模中时, 由下模冲顶出脱模</p>		<p>全精整, 高度较大的带外 凸缘的制品</p>

(续)

结构特点	示 图	适用情况
1) 下模冲起顶出脱模和复位接烧结件的作用 2) 精整时,下模冲向下浮动,座落到刚体上压实 3) 先整外径,然后整内径,最后整高度		全精整,带内台阶面的制品
1) 下模冲起顶出脱模和复位接烧结件的作用 2) 芯棒在上、阴模在下,精整时芯棒先穿入烧结件孔,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		全精整,定位导向良好的制品
1) 下模冲起顶出脱模和复位接烧结件的作用 2) 芯棒和阴模均固定在下,先整烧结件内径,然后整高度		全精整,结构简单
1) 阴模分上、下两半,便于安放压坯以及脱模 2) 下阴模浮动,便于送料和上、下阴模对中导向		全精整,带球面制品
1) 芯棒在上,与上模冲有相对运动,便于精整时烧结件定位和脱模 2) 阴模分上、下两半,下部浮动,便于送料和上、下阴模对中导向 3) 浮动定位芯起烧结件进入模腔对的定位作用		全精整,带直套部分的球面制品

(续)

结构特点	示 图	适用情况
<p>1) 芯棒和上模冲固定在上模板上; 阴模带内台阶面</p> <p>2) 精整时, 两个下模冲定位在制动块上</p> <p>3) 脱模时, 两个下模冲向上顶出 (由斜楔-滑块机构来实现)</p>		<p>全精整, 内径两端及外径带台阶面的制品</p>
<p>1) 两个上模冲固定在上模板上。同步下行</p> <p>2) 精整时, 两个下模冲定位在制动块上。芯棒固定不动</p> <p>3) 脱模时, 两个下模冲向上顶出 (由斜楔-滑块机构来实现)</p>		<p>全精整。带内外台阶面的制品</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, 阴模拉下式脱出烧结件</p>		<p>全精整。两端带内台阶面的制品</p>
<p>1) 上模冲和芯棒成一体; 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, 精整出孔径的导向口</p> <p>3) 脱模时, 上模冲回升, 下模冲将烧结件顶出阴模</p>		<p>整形。带有导向口的或端面带齿形的制品</p>

第三节 送料机构

一、装料机构（料斗）

装料机构是接受成堆烧结品，并一件件地把它们按一定的空间方位送出（但不按一定时间）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。

（一）扇式料斗

具有扇形摆动式取料机构的槽式料斗应用较多，常用于带台阶面类或轴套类零件。其结构如图 6-1 所示。

该结构主要组成部分有料斗 2、摆动扇板 1（取料机件）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，烧结件台阶挂在两侧板间。当它摆动到上方时，烧结件靠自重滑下，落入送料槽中。实践表明，烧结件落入槽中的过程，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。若烧结件重量轻，为了更好地使烧结件滑入送料槽中，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。

为了预防那些未夹入槽内的过剩烧结件妨碍已定好向的烧结件下滑，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 6-2 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。

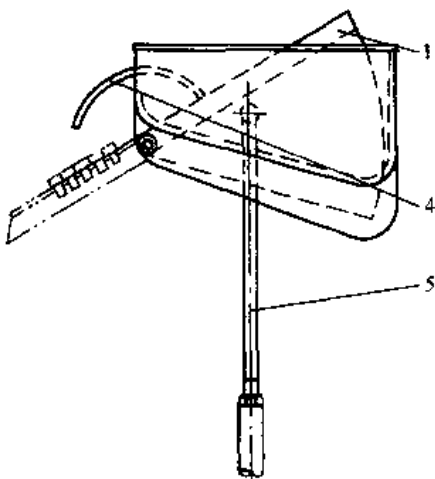


图 6-1 扇式料斗

1—摆动扇板 2—料斗 3—隔板 4—半圆挡板 5—连杆

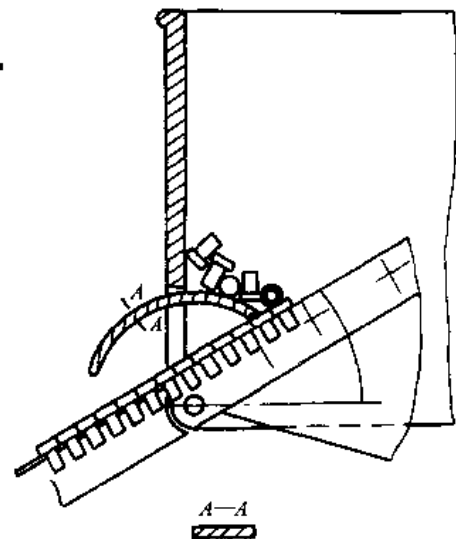


图 6-2 剔除器

此料斗的装料空间形状有两种，对称的和不对称的。对称式料斗中烧结件对扇板压力较大，处于扇板上的烧结件比在不对称的斗中堆得高，因而使扇板的驱动条件恶化。在不对称

的斗中，因装有隔板3，故能阻挡大量烧结件从装料区同时进入工作区，从而降低烧结件堆放高度，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。

(二) 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6-3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。

(三) 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6-4和图6-5所示为用管或斗作往复运动的料斗。

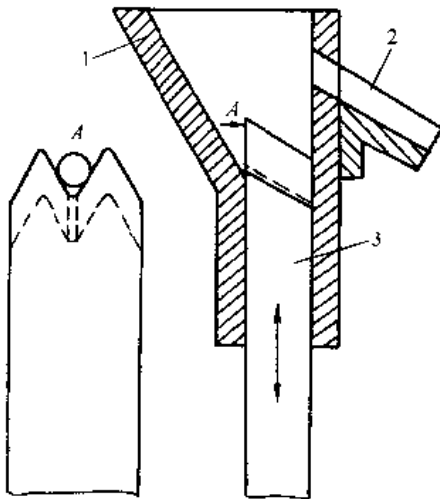


图 6-3 滑块式料斗

1—料斗 2—料槽 3—滑块

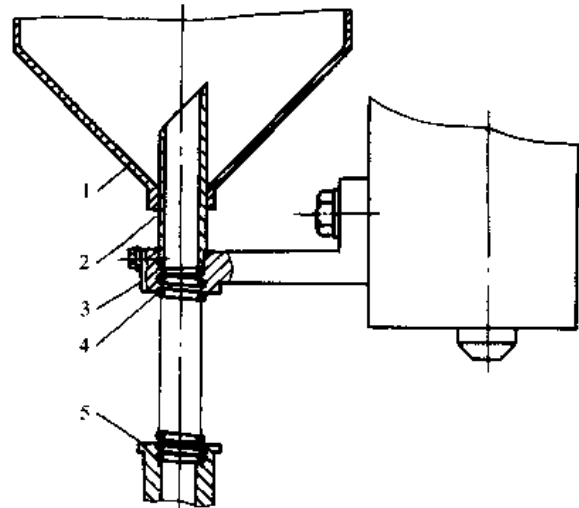


图 6-4 管式料斗

1—料斗 2—料管 3—托脚 4—压簧 5—接头

当管子通过零件时，即有部分烧结件落入管中，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。

为了使烧结件能流向管子，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。扩大管孔可改善烧结件落下的条件，因为烧结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，一是烧结件不应转动到可能卡住的状态，二

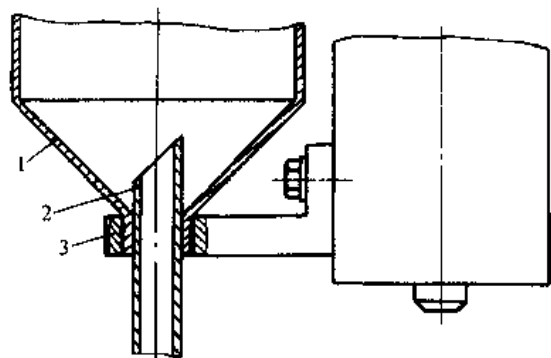


图 6-5 管式料斗

1—料斗 2—料管 3—托脚

是不允许两个烧结件同时进入管中。

要满足第一个条件,就必须保证烧结件转动后,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 6-6)。即

$$\beta > \alpha$$

式中 β ——夹角;

α 摩擦自锁角,约为 $\tan^{-1}(0.15 \sim 0.20) = 8^{\circ}30' \sim 11^{\circ}30'$ 。

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 (mm);

d ——零件外径 (mm)。

受料锥形面的进口角通常取 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 即可。

(四) 振动式料斗

振动式料斗如图 6-7 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 6-8 所示,烧结件在升角 α 的滑道 4 上,弹簧片 2 与垂直面成斜角 β 。交流电经硒整流器 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,就使得烧结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。

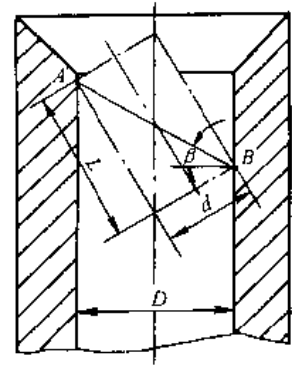


图 6-6 防自锁条件的分析示图

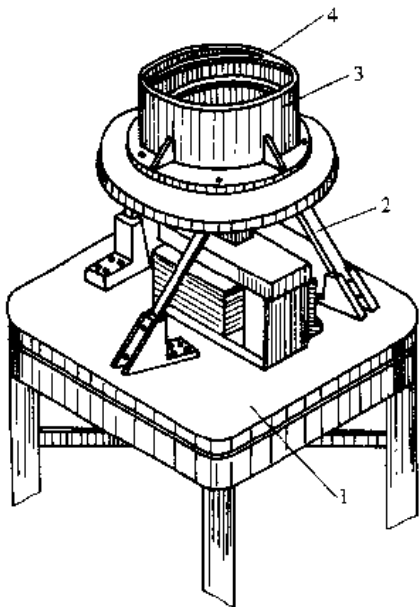


图 6-7 振动式料斗

1—台面 2 弹簧片 3—料斗 4—滑道

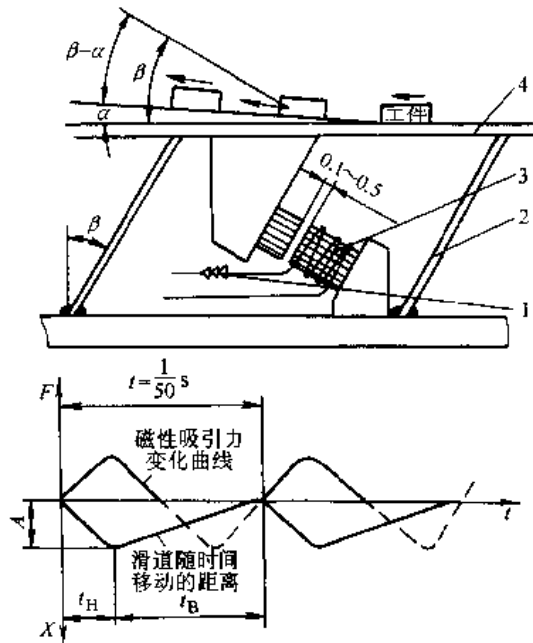


图 6-8 振动式料斗工作原理图

1—硒整流器 2—弹簧片 3—电磁铁 4—滑道

振动式料斗通常为圆斗形的,结构紧凑。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,促使烧结件沿料斗边缘螺旋上升。实际上烧结件爬行过程受零件的质量、

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. 烧结件的定向方法

当烧结件沿滑道上升时，必须根据其形状和尺寸，采取措施，使烧结件定向。图 6-9 所示为烧结件定向示例。

图 6-9a 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的烧结件的大头向下才可以顺利通过，小头向下和横卧的就会翻落于料斗，因其重心已处于支承面之外。

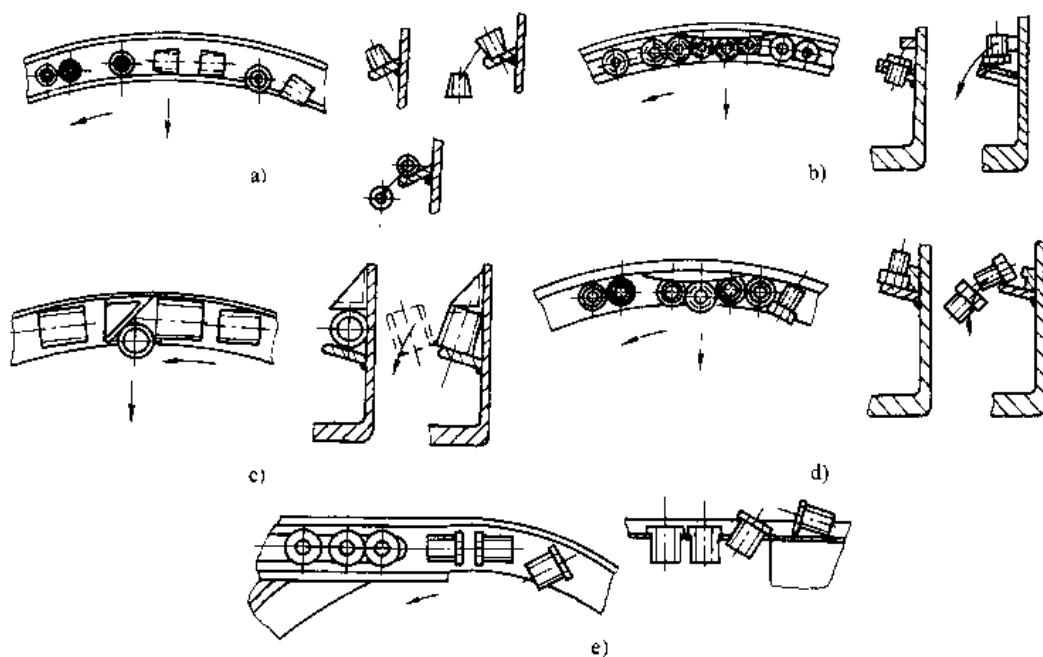


图 6-9 烧结件定向示例

图 6-9b 中，只有台阶向上的烧结件可以通过，而横卧的和台阶向下的烧结件，则翻落于料斗。

图 6-9c 中，只有横卧的套或柱类烧结件能通过，立放的则被凸块推下落于斗中。

图 6-9d 中，只有台阶向下的烧结件才能通过。

图 6-9e 中，带台阶的较长烧结件，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 100Hz；另是交流电经整流器后再通入线圈中，则频率为 50Hz。频率高则噪音大，但在同一移动速度下，烧结件不易脱出滑道，频率低则反之。根据生产实践，当频率为 50~100Hz 时，小烧结件上料情况良好。

(2) 滑道振动方向的水平倾斜角 β β 过小，则烧结件不能产生“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 β 角。当频率为 50~100Hz 时，适应不同需要的速度值，最适宜的 β 角如图 6-10 所示。

(3) 滑道螺旋升角 α α 必须小于 β , 因为 α 越接近于 β , 则不利于“腾空”, 当其接近到某种程度时, 烧结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 (mm);

s ——滑道厚度 (mm)。

(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, 烧结件和摩擦表面不需润滑, 易于维护保养, 寿命长。

3) 工作平稳, 烧结件非硬性强迫前进, 不会产生烧结件挤塞, 或损坏机构等。可用于表面精度要求高的烧结件。

4) 通用性广, 对中小烧结件一般都适用。

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、水渍的烧结件, 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。

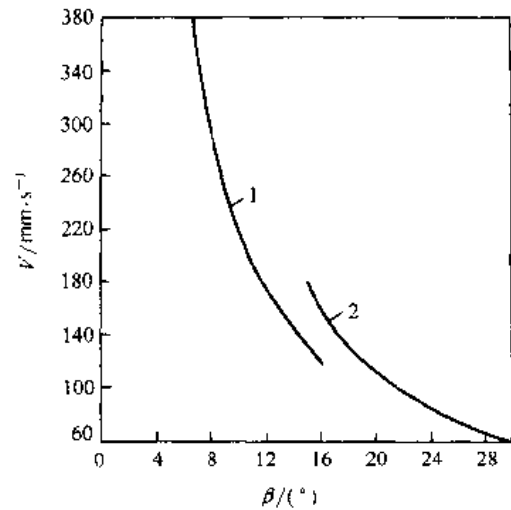


图 6-10 适宜 β 角与频率和速度 v 的关系

1—用于频率为 100Hz 2—用于频率为 50Hz

二、贮料机构 (料仓)

料仓是贮存已在空间定向烧结件的地方。由于料斗生产率并非严格不变, 因此当料斗生产率增高时, 可由料仓贮存烧结件; 当料斗生产率减低时, 料仓再把烧结件送到机床的工作位置。

料仓上料的方法是依靠烧结件的自重或外力。主要型式有管式、槽式和摩擦式等。

(一) 管式料仓

管式料仓有立式的、弯管式的和卧式的几种。如图 6-11 所示, 前两种靠烧结件自重送料, 后一种借助于外力。

图 6-11a 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烧结件。此种料仓用于端部带倒棱或圆头的烧结件当 $d \leq 25\text{mm}$, $L \leq 100\text{mm}$ 时, d/L 约为 0.12~1.0 为宜。

图 6-11b 所示为不可调节式, 适用范围基本上与图 6-11a 相同。此外, 还可用于 $d < 50\text{mm}$, 厚度 $b < 10\text{mm}$ 的片状烧结件。在弯管上常开有 3~8mm 的窗口, 以备观察烧结件送落情况和消除故障。当管的斜度不大时, 可装滚轮 (见图 6-11c), 便于运送烧结件。

直管料仓的孔径 d 可由下式计算:

$$d=d_1+(0.5\sim 1.0) \quad (\text{mm})$$

管长 L 按下式确定:

$$L \geq 20L_1 \text{ (mm)}$$

式中 d_1 ——烧结件外径 (mm);

L_1 ——烧结件长度 (mm)。

弯管式料仓之孔径则需取决于烧结件尺寸,使其能顺利下落。

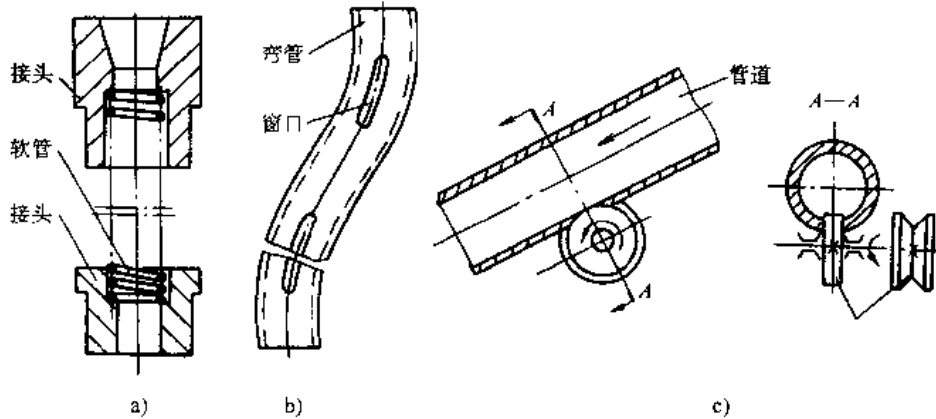


图 6-11 管式料仓

a) 可调节式 b) 不可调节式 c) 装有滚轮的管式料仓

(二) 槽式料仓

槽式料仓按其截面形状有很多种,其应用取决于烧结件的形状、定向方法及移动烧结件的方法(滑动或滚动),最常用的如图 6-12 所示。

图 6-12a、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° 或槽太长有把烧结件向上顶出危险的场合。

图 6-12c、d 所示为开式矩形料仓,适用条件同前。

图 6-12e 所示的料仓适用于带台阶的烧结件,它主要是垂直用的。

图 6-12f 所示的 V 形料仓。用于按轴线定向和输送的烧结件。它常用标准角铁制造。

图 6-12g 所示为开笼式料仓。用于圆环和片状等类烧结件,其位置主要是直立的。

图 6-12h 所示为滚子式料仓。其特点比前述各种滑动式槽输送烧结件省力,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 6-12i 所示为双轨式料仓,用于带外台阶的烧结件。

设计图 6-12a、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。槽的宽度应比烧结件长度略大,即留有间隙。可由下式计算:

$$B = L + A \quad (\text{mm})$$

$$A \geq \Delta L + \Delta A + \Delta B \quad (\text{mm})$$

式中 B ——槽宽 (mm);

L ——烧结件长度 (mm);

A ——间隙 (mm);

ΔL ——烧结件长度公差 (mm);

ΔA ——最小间隙 (mm);

ΔB ——槽宽公差 (mm)。

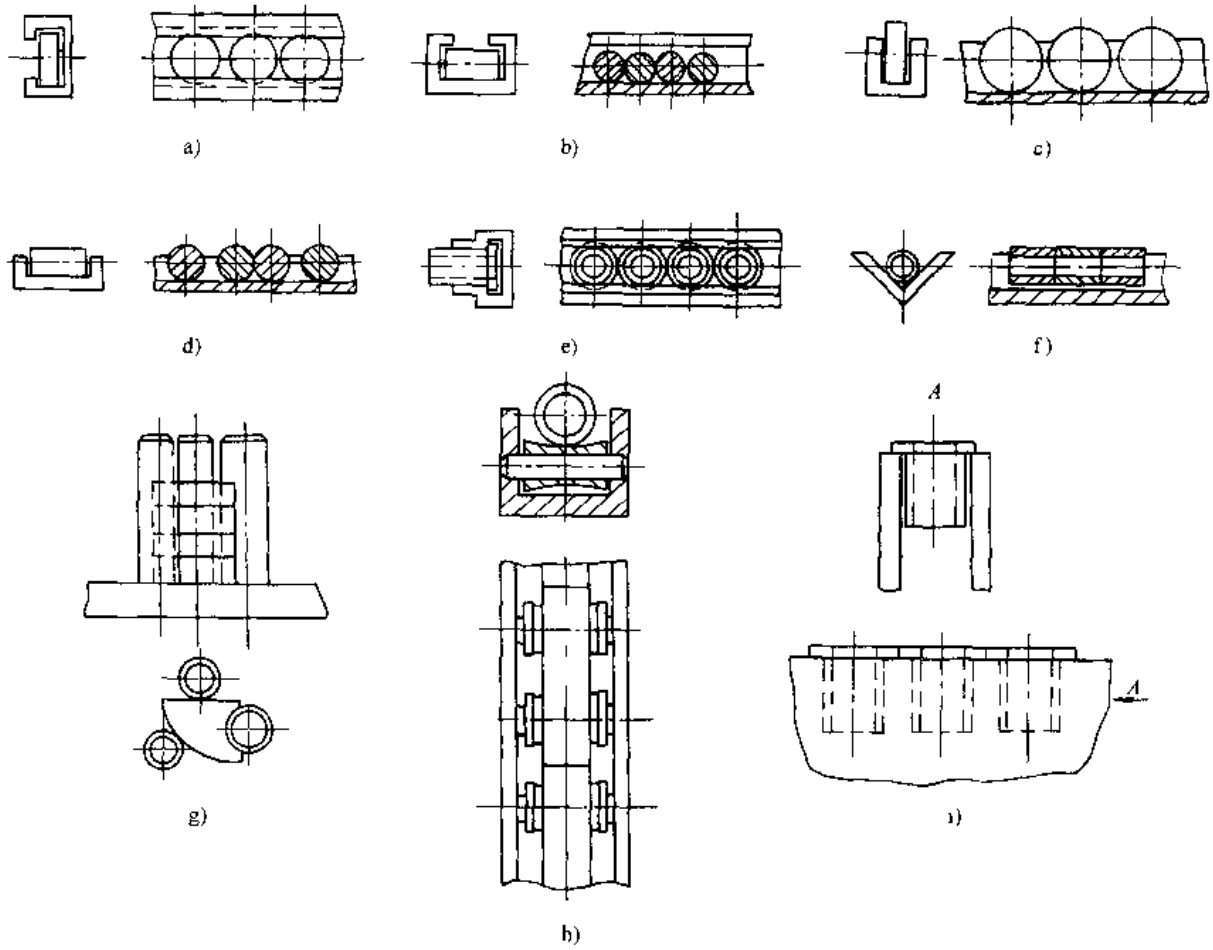


图 6-12 槽式料仓

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

从图 6-13 中可见，尺寸 A 的确定需保证烧结件不被卡住和失去定向，这两种情况产生于烧结件能在槽中旋转。烧结件的转角 ϕ 随尺寸 A 的增加而加大，烧结件的 L/D 的增加，对角线 C 尺寸也就越接近烧结件长度，因而要求尺寸 A 相应减小。选择尺寸 A 时，应保证烧结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—IT12 级精度制造；若工作条件较清洁，则可按 IT8—IT9 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烧结件的表面质量。两者质量较高时，可取 $5^\circ \sim 7^\circ$ ，质量较差时取 $7^\circ \sim 10^\circ$ ，如烧结件表面粗糙时应取 $10^\circ \sim 15^\circ$ 。

开式槽的侧边，其高度不小于产品半径。

图 6-12e、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。

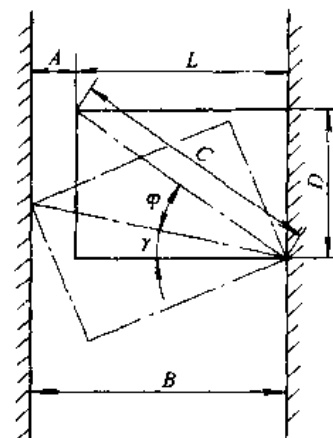


图 6-13 防止卡住和失去定向的分析图

(三) 定向机构

图 6-14 所示的定向机构，在硬管中当送进底部在下的杯形烧结件时用。

烧结件 3 从导管 1 进入壳体 2，如烧结件开口在前的情况下进入，会挂在销钉 4 上，由烧结件自重翻过来，以底部在下的形式落入导管的出口，进入贮料管 5 内，如杯形烧结件以底部在前的形式进入导管时，由于重心近于底部的关系而落入贮料管 5 内。

图 6-15 所示为环形烧结件沿横管进入的定向机构。

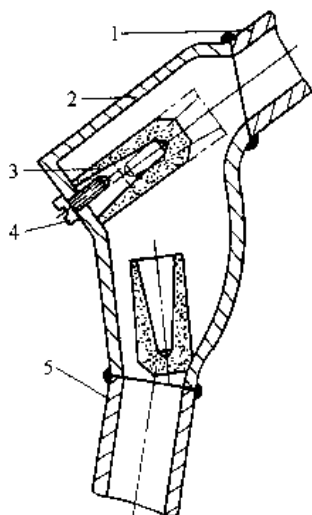


图 6-14 定向机构

1—导管 2—壳体 3—烧结件
4—销钉 5—贮料管

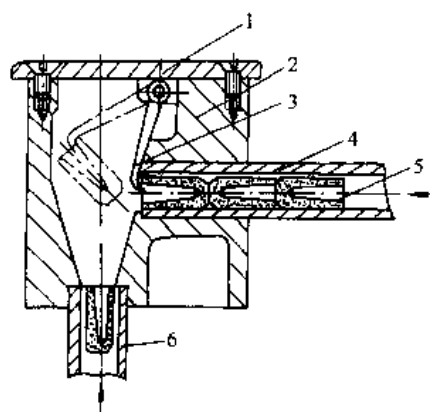


图 6-15 定向机构

1—盖板 2—壳体 3—拨叉 4—导管
5—烧结件 6—贮料管

用以改正烧结件方位的拨叉 3 以铰链固定在壳体 2 上。当烧结件 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，烧结件翻转过来，以底部在下的形式落入贮料管 6 内。当烧结件以正确的方位进入时，即底部在前沿导管进入，也使拨叉抬起，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 1 加以密闭。

三、供料机构

供料机构是从料仓中把烧结件取走并定时向精整模供给烧结件的机构。其工作循环必须与精整工序的工作循环相适应。

(一) 直线往复供料机构

直线往复供料机构如图 6-16 所示。带有滚轮的支柱 1 固定在压机冲头的正面，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阴模板平面齐平。

取料时，压机冲头在精整加压的最下位置，支柱将连杆 4 压下面使之伸直，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，这时烧结件从料仓中滑出，送到定位帽的下面。

送料时，压机冲头上升，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，由定位帽将烧结件定位并压紧，使烧结件随定位帽向阴模型腔送进。当烧结件正好送到阴模型

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，烧结件进入模腔之后，压脚上的定位帽与烧结件脱离接触。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。

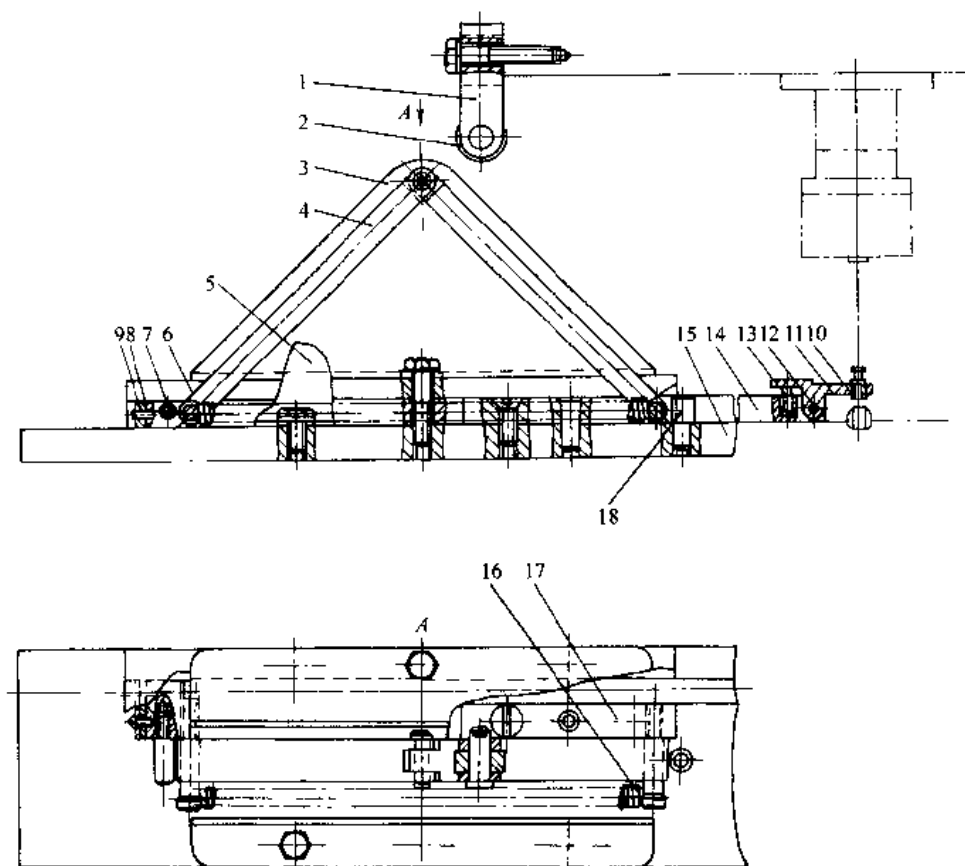


图 6-16 直线往复供料机构

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

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，而连杆被压下时强迫退回，以防止因拉簧出故障而使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，销子仍可起到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。

(二) 往复摆动供料机构

往复摆动供料机构，如图 6-17 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。

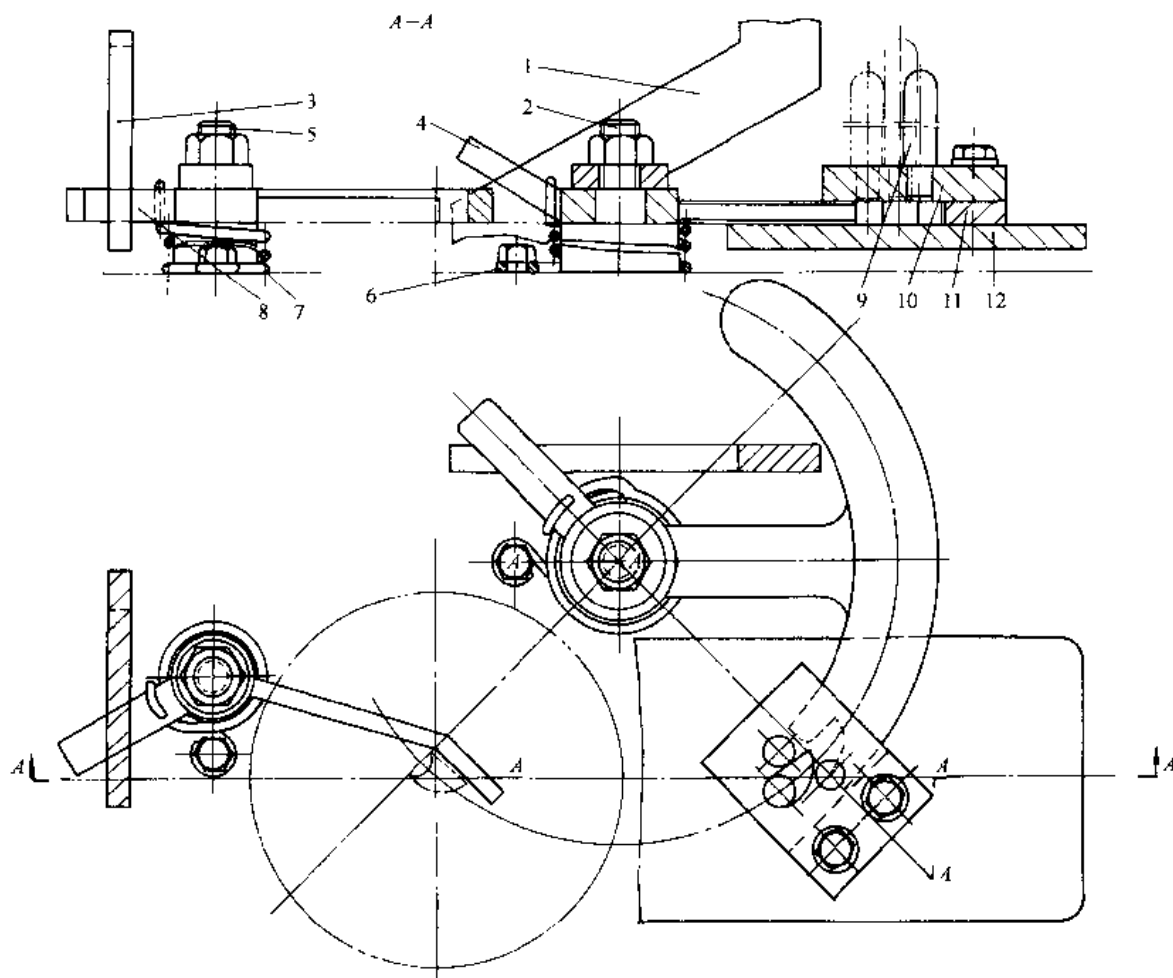


图 6-17 往复摆动供料机构

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

导板 1、3 固定在压机冲头的两个侧面，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，迫使扇形送料板逆时针旋转，直到其头部接触烧结件部位退至开笼式料仓为止。这时烧结件从料仓中落到送料基板上，落下的烧结件就处于被送进的状态。

送料时，压机冲头下行，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，将烧结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，使烧结件每次送进位置有准确的定位。烧结件在上模冲未接触时先送到精整位置，压机冲头继续下行，送料板不动的情况下，完成精整工步。压机冲头再上升时，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，在加压过程中，压机冲头下行，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烧结件拨离型腔。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 的斜面作逆时针的旋转, 这时烧结件脱模已经开始, 在烧结件尚未脱至阴模端面时, 拨料器先通过阴模型腔, 压机进一步上升, 拨料器与导板 3 的直线部分接触而不再转动, 处于拨出已精整过的烧结件的状态。再一次压机下行时, 导板 3 的斜面又迫使拨料器顺时针旋转, 拨出烧结件, 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, 料仓中烧结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。

(三) 旋转运动供料机构

旋转运动供料机构如图 6-18 所示。

整个系统的运动是靠固定在压机冲头上的拉杆 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 中的烧结件顺序送入工作位置, 贮存在料仓 8 中的烧结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, 烧结件被挡板 5 挡住。第二步是由芯棒 15 穿入烧结件, 并迫使烧结件通过阴模 13 整外径, 芯棒退回时, 烧结件被止回爪 10 所挡, 落入接料盒中。

这种结构原理亦可用于成形工序。

(四) 复合运动供料机构

复合运动供料机构如图 6-19 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, 由固定在压机冲头上的导板驱动。供料机构的其余部分安装在送料器底座 4 上, 使送料平面与阴模上端面相平。送料时, 压机冲头上升, 联动杆 1 在固定于压机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 将烧结件推向阴模型腔。烧结件送到工作位置(即阴模型腔上)时, 定位钳 10、11 被第二个准备精整的烧结件撑开。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, 烧结件从料仓中落下, 处于准送料状态, 完成取料动作。

压机冲头下行时, 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, 刚从料仓中落下的烧结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, 将工作位置的烧结件夹紧定位, 同时迫使第二个烧结件略为后退。当压机再上升时, 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。

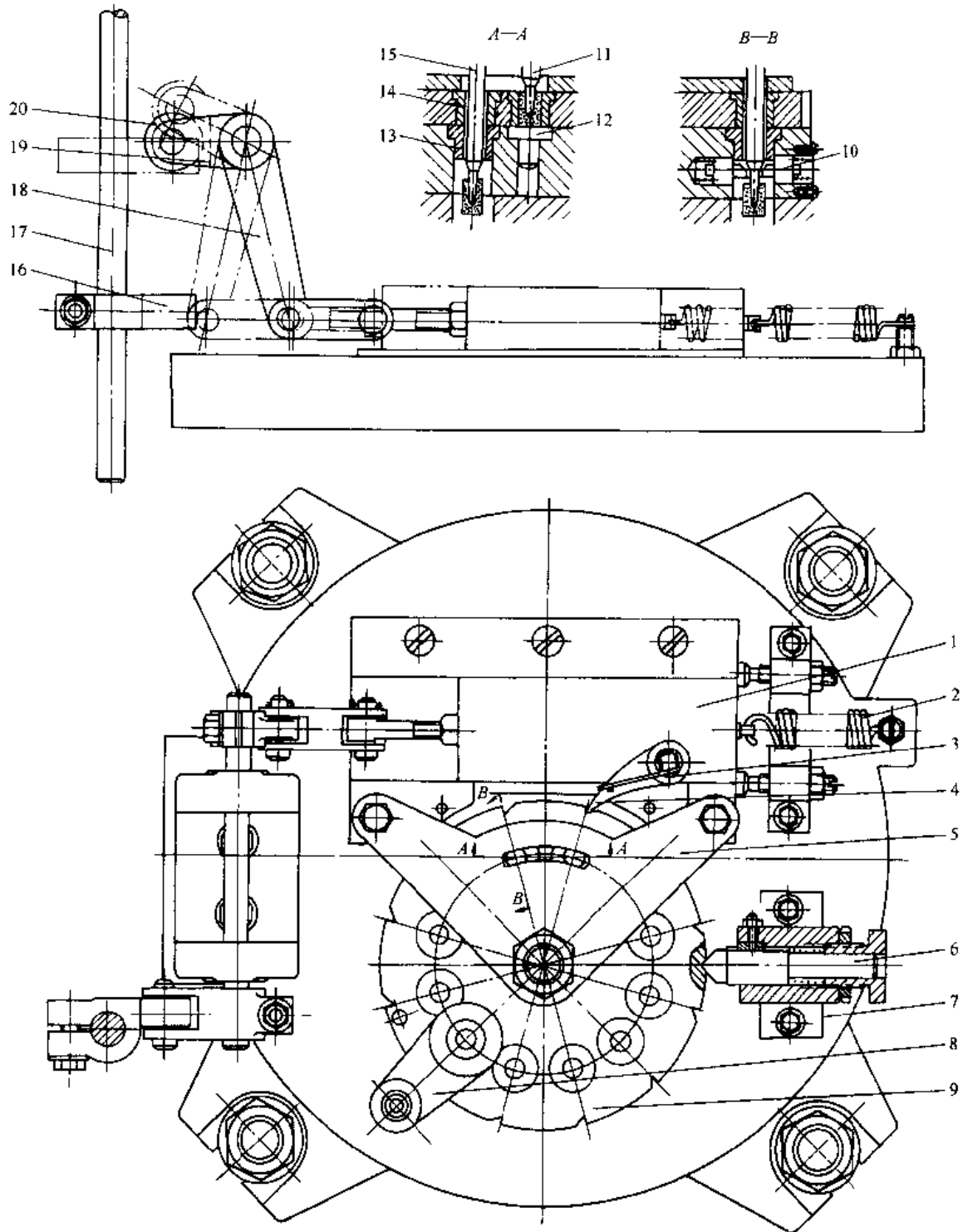


图 6-18 旋转运动送料机构

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

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。

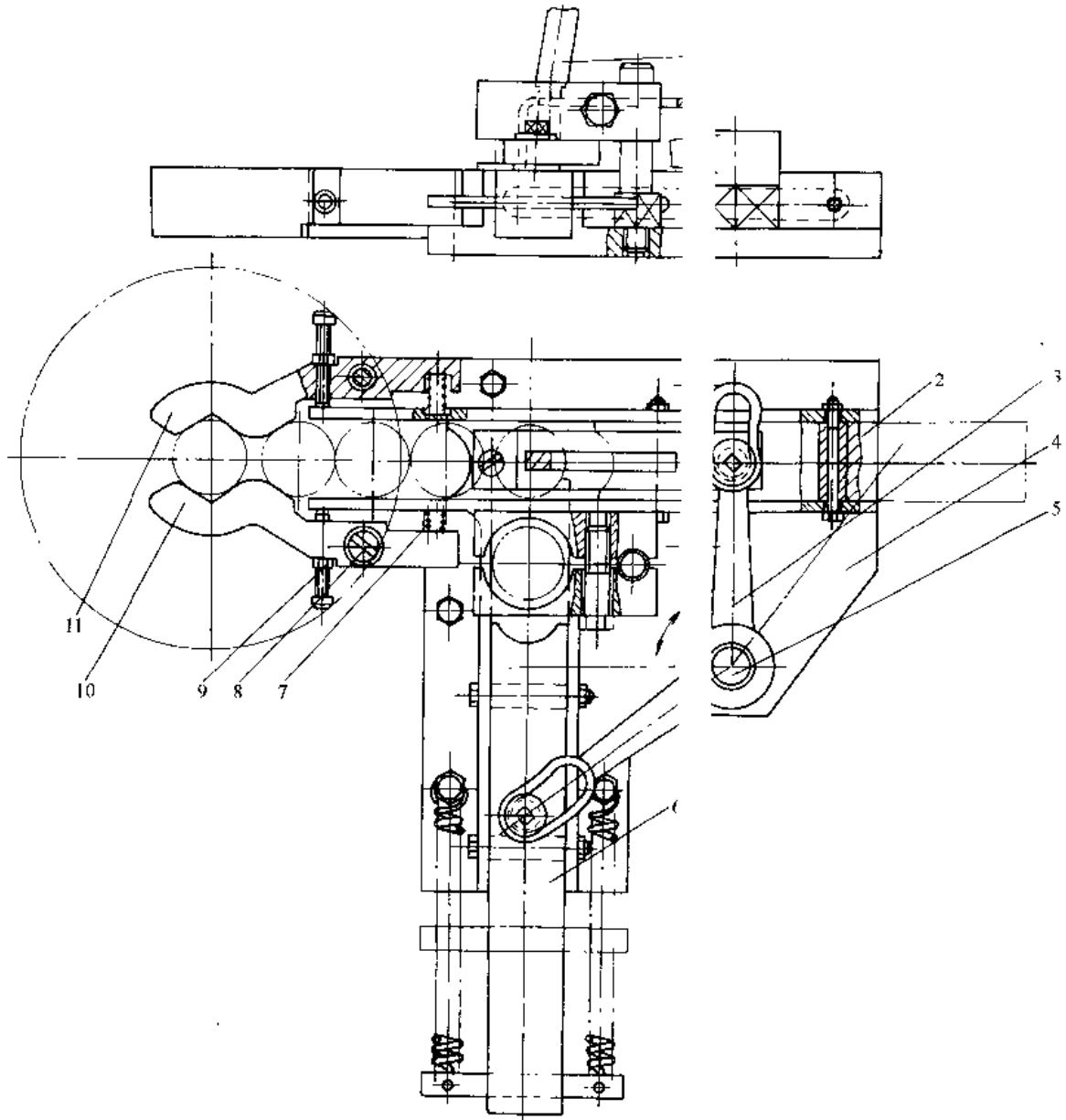


图 6-19 复合运动送料机构

1、3—联动杆 2、6—送料滑块 4—送料器底座 5—轴 7—弹簧 一轴 9—螺钉 10、11—定位销

第七章 模具结构示例

第一节 成形模具结构示例

一、I类零件压坯的成形模具

I类压坯一般是指等高类型零件，如圆筒形、板形等形状最简单的压坯（见第二章第三节表 2-27）。成形模具通常由一个上模冲、一个下模冲及芯棒和阴模等构成。

（一）实体类

图 7-1 所示为实体类压坯的单向手动式成形模。该结构的基本零件是阴模 4 和上、下模冲 6、7。模套 5 与阴模为过盈配合，其作用是给阴模施加预压应力，以提高模具的承载能力。它适用于压制截面较小的零件。压制时，为了便于装粉，可采用装粉斗 2。若压坯截面小则压制力亦小，不便控制压力，一般采用限位块 3 限位。压坯截面小不便于放细长的脱模棒，故采用加长上模冲用以脱模的结构。

图 7-2 所示为实体类压坯浮动式成形模。阴模 8 固定在浮动的阴模板 7 上，由弹簧托起，限位螺钉 3 限位。若需要改变装粉高度时，可更换不同高度的调节垫圈 4 来实现。压制时，阴模壁在摩擦力作用下，克服弹簧力向下浮动。一般情况下，弹簧力远小于摩擦力，故浮动压制相当于双向压制。脱模时，放上脱模座 1 压下阴模 8，压坯脱出后略胀大，随阴模复位，限位套 10 防止脱模时弹簧受过分的压缩。

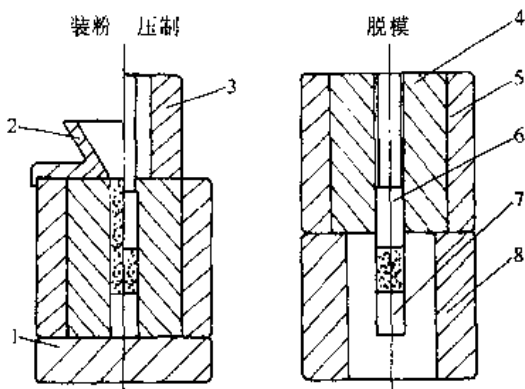


图 7-1 实体类压坯单向压制手动成形模

- 1- 压垫 2-装粉斗 3-限位块
- 4-阴模 5-模套 6-上模冲
- 7- 下模冲 8-脱模座

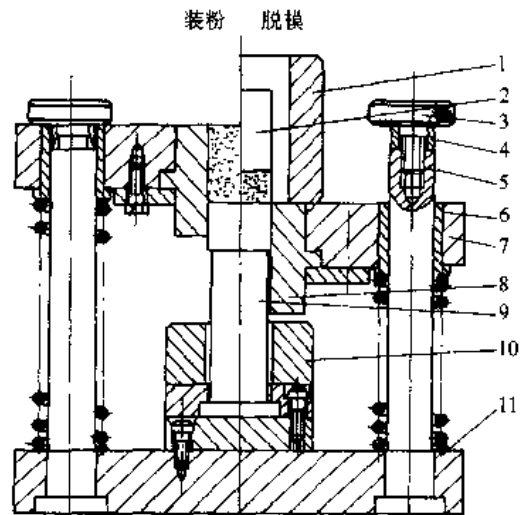


图 7-2 实体类压坯浮动压制成形模

- 1-脱模座 2 上模冲 3-限位螺钉 4-调节垫圈
- 5-导柱 6-导套 7-阴模板 8- 阴模
- 9-下模冲 10-限位套 11-下模板

对于小截面的压坯，阴模应由导柱 5、导套 6 定位和导向，而阴模与下模冲 9 不起定位作用。成形大截面压坯时或用导柱导套定位导向，亦可用阴模与下模冲合适的间隙定位导向。

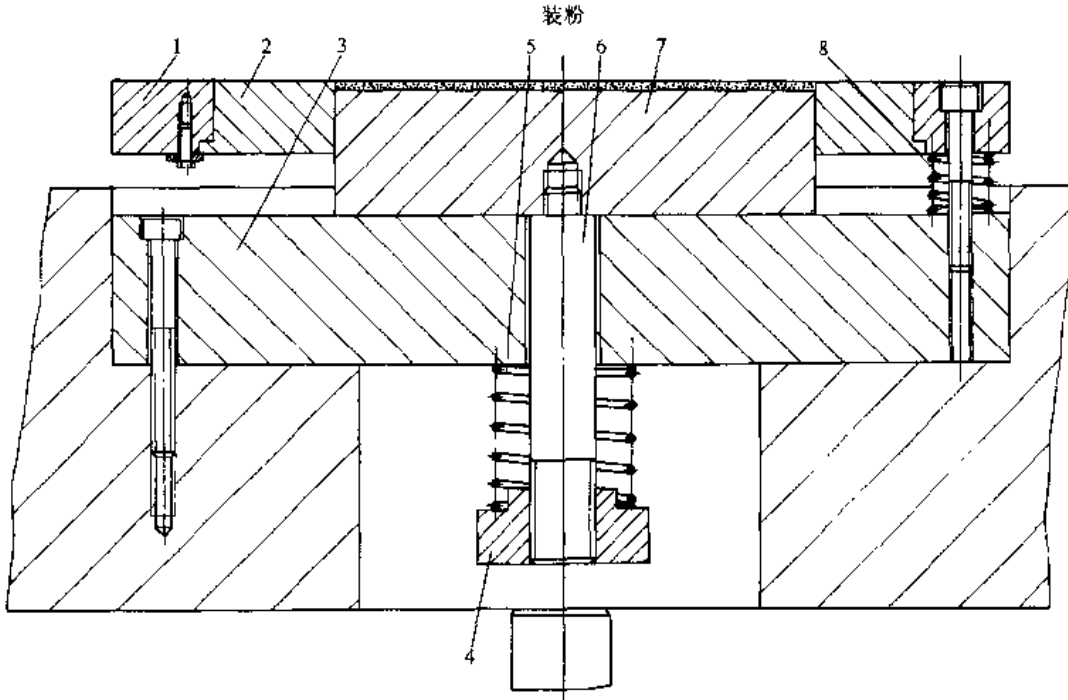


图 7-3 大截面实体类压坯浮动压制成形模

1—阴模板 2—阴模 3—下模板 4—弹簧座 5、8—弹簧 6—脱模顶杆 7—下模冲

图 7-3 所示为大截面实体类压坯浮动成形模。阴模 2 固定在阴模板 1 上，由弹簧 8 托起，通过螺钉调节装粉高度，并起到限位作用。压制时，阴模向下浮动，得到双向压制的效果。脱模时，由压机顶出缸通过脱模顶杆 6 推动下模冲 7，将压坯顶出阴模。下模冲的复位是靠自重和弹簧 5。由于截面大，阴模可由下模冲定位，而不必用导柱导套。该结构可实现自动压制或半自动压制，适用于液压机上压制如摩擦片等大截面的压坯。

图 7-4 所示为极掌压坯单向压制成形模。阴模 5 通过模套 4 连接在模座 6 上，并而定在下模板 12 上。上模冲 3 与法兰圈 2 静配合，固定在模柄 1 上。下模冲 8 与法兰圈 9 静配合，并由锥端紧定螺钉与下模冲座 10 相连。装粉高度可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 10 通过压垫 11 传到下

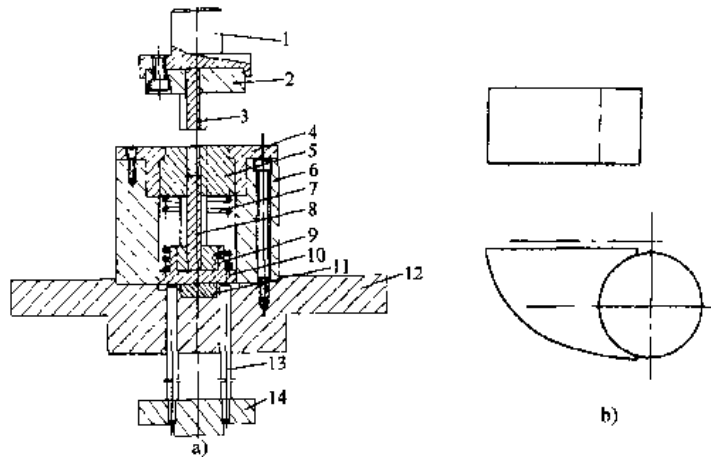


图 7-4 极掌压坯单向压制成形模

a) 成形模 b) 压坯图

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

模板 12 上，脱膜是由下顶出机构（参见第四章第三节）顶动顶板 14 和顶杆 13，将下模冲 8 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。

实体类压坯的机动成形模可参看有孔类压坯的成形模具结构，故不多举例。

(二) 有孔类

图 7-5 是三种小批量生产用的有孔类压坯的成形模具。

图 7-5a 所示是单向压制的手动模具，适用于壁厚较大的压坯；图 7-5b 是双向压制的手动模具，压制时调节弹簧 8 可调节阴模 2 的浮动量，调节弹簧 11 可调整芯棒 4 的浮动量，以达到双向压制，使压坯密度均匀。图 7-5c 所示是适用于压制壁厚小于 1.5mm 的薄壁压坯，其特点是通过压制过程中芯棒移动量增大来达到压坯密度均匀。

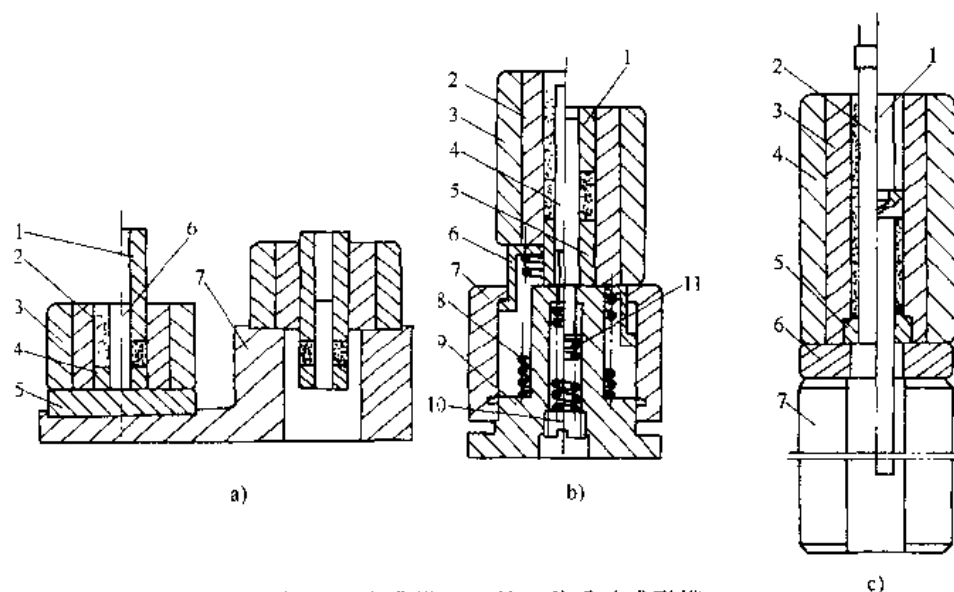


图 7-5 有孔类压坯的三种手动成形模

- | | | |
|-----------------|------------------------------|-----------------|
| a) 单向压模 | b) 双向压模 | c) 摩擦芯棒压模 |
| 1—上模冲 2—阴模 3—模套 | 1—上模冲 2—阴模 3—模套 | 1—上模冲 2—芯棒 3—阴模 |
| 4—下模冲 5—垫块 6—芯棒 | 4—芯棒 5—下模冲 6—滑套 | 4—模套 5—下模冲 6—垫块 |
| 7—脱模垫块 | 7—脱模垫块 8—弹簧 9—座垫 10—螺钉 11—弹簧 | 7—脱模垫 |

图 7-6 所示为有孔类压坯双向摩擦压制手动成形模。压制棒 2 和芯棒 5 可做成一体，并省去上模冲 4，便于加工，但需要反压，不便于操作。压制棒也可与脱模顶杆做成一体，用限位块限位，但要求增大压机行程。该结构适用于压制壁厚且高度较长的压坯，并宜在液压机上使用。

图 7-7 所示为有孔类压坯浮动成形模。通过连接板 10、14 将阴模 2 和芯棒 6 连接在一起，由弹簧 12 托起。通过不同高度的装粉调节垫 13，可调节模腔的装粉容积，并起限位作用。压制时，阴模和芯棒同步向下浮动，得到双向压制的效果。脱模时，靠脱模套 3 下压，压坯同时脱出阴模和芯棒。该结构操作较省力，模具本身成框架，不必经常装拆。

图 7-8 所示是有孔类压坯单向压制成形模。芯棒 4 被固定在下模板 11 上。下模冲 8 通过上、下横梁 9、12 和顶杆 10 与压机顶出缸相连。阴模 3 固定不动，装粉高度可通过压机顶出缸行程的调节，使下模冲 8 上、下移动来调节。压制压力由下模板通过压座 13 传到压机工作台上。脱模由顶出缸顶出压坯。由于芯棒不动，故易实现自动装粉。

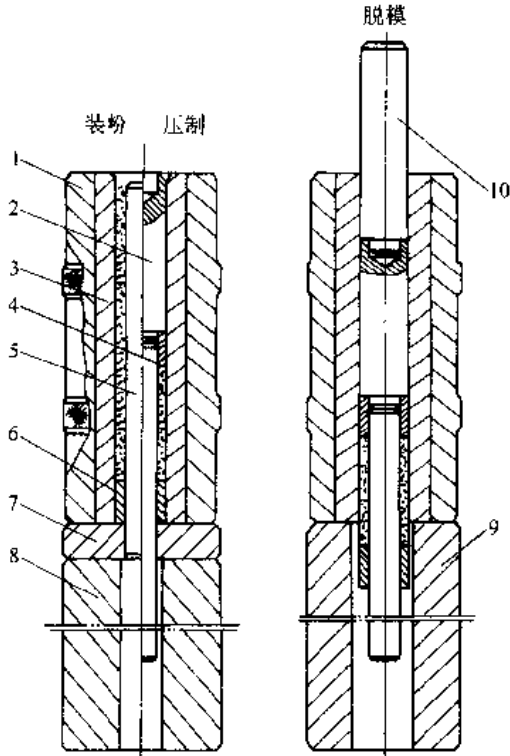


图 7-6 有孔类压坯双向摩擦压制手动成形模
 1-模套 2-压制棒 3-阴模 4-上模冲 5-芯棒 6-下模冲 7-压垫 8-压座 9-脱模座 10-脱模顶杆

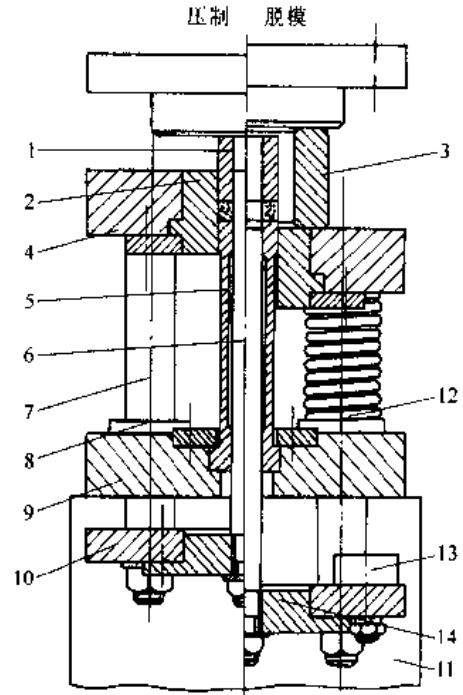


图 7-7 有孔类压坯浮动压制成形模
 1-上模冲 2-阴模 3-脱模套 4-阴模板 5-下模冲 6-芯棒 7-导柱 8-导套 9-下模板 10-外连接板 11-垫铁 12-弹簧 13-装粉调节垫 14-内连接板

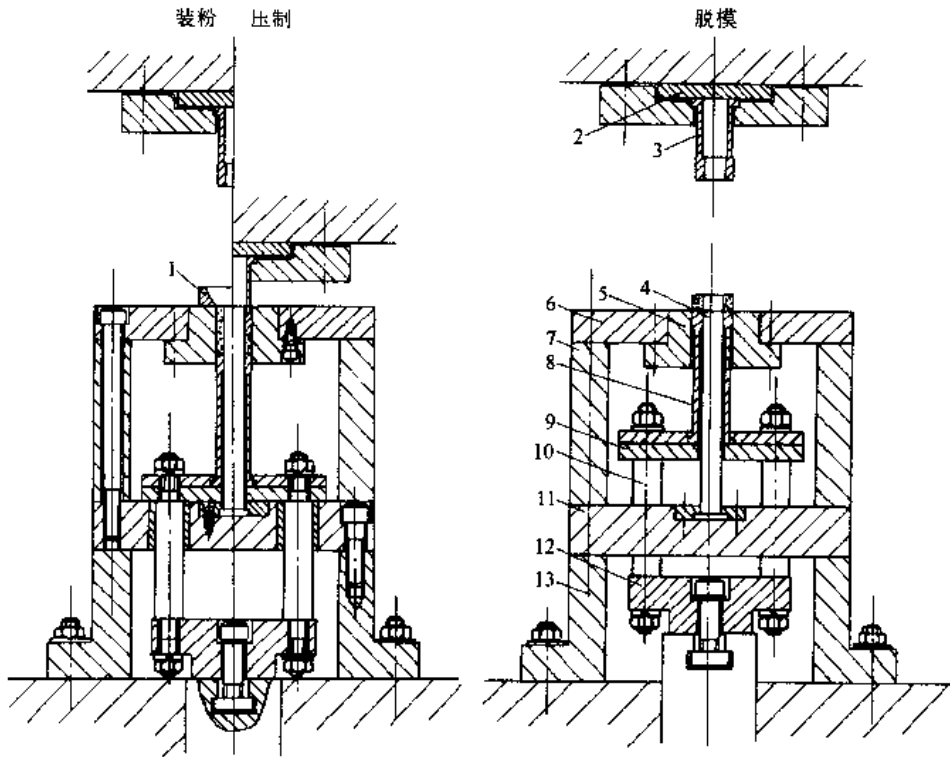


图 7-8 有孔类压坯单向压制成形模
 1-装粉斗 2-压垫 3-上模冲 4-芯棒 5-阴模 6-阴模板 7-垫块 8-下模冲 9-上横梁 10-顶杆 11-下模板 12-下横梁 13-压座

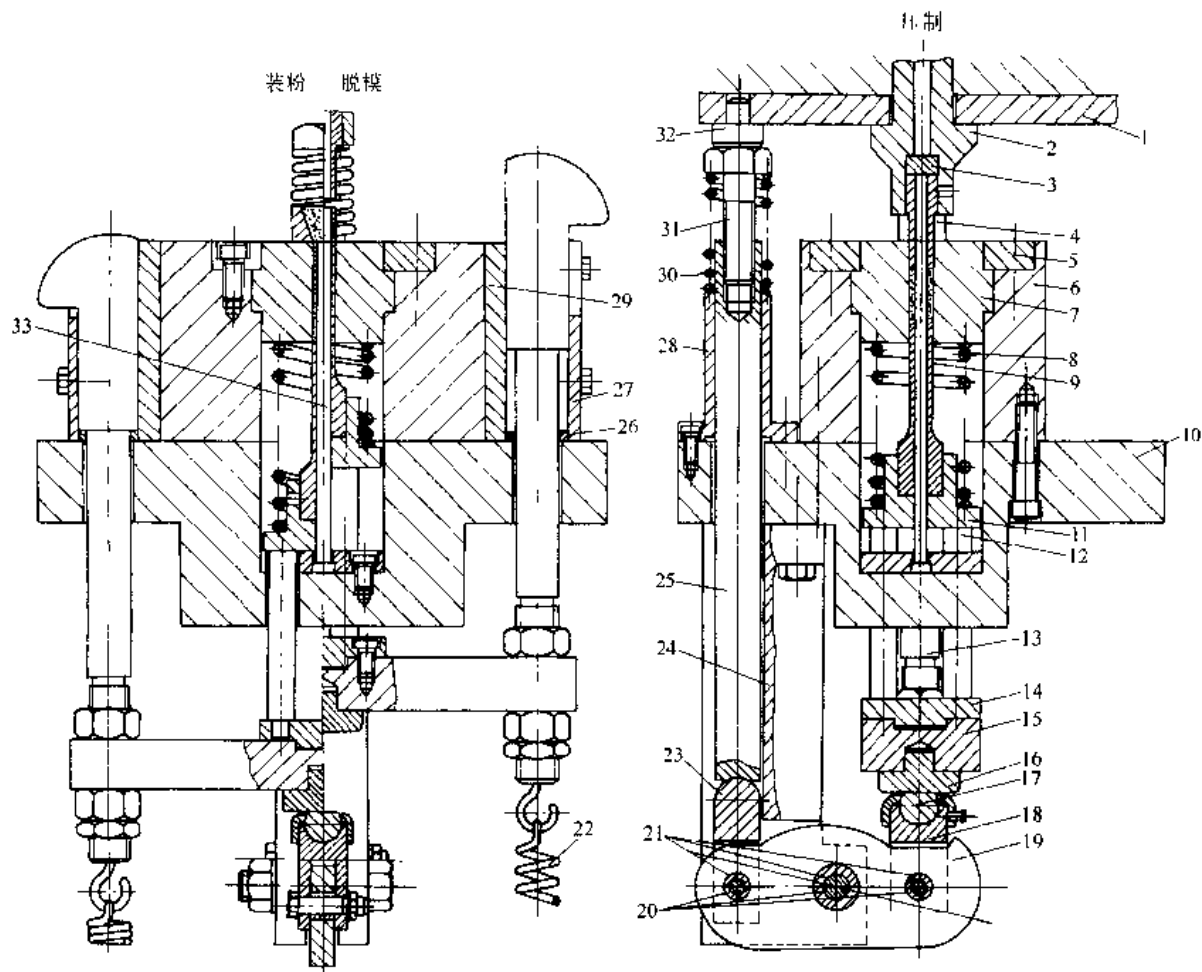


图 7-9 有孔类压坯双向压制成形模

1—上模板 2—模柄 3、15—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 33—芯棒

图 7-9 所示为冲床上的有孔类压坯双向压制成形模。阴模 7 固定不动，上模冲 4 用锥端紧定螺钉固定在模柄 2 上，下模冲 9 固定在弹簧座 11 上，芯棒 33 固定在下模板 10 上。压制时，上模冲下压，同时压机冲头通过上压块 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壁厚且高度较长的压坯。缺点是装粉高度调节较困难，压机受偏心力，压机压力只能利用 50% 左右（杠杆力臂与重臂之比为 1:1 左右）。模具的传动机构可参见第四章第三节。

图 7-10 所示为有孔类压坯浮动压制成形模。阴模 5 和芯棒 15 均浮动，适用在冲床上自动压制。阴模靠弹簧 8 托起，导套 3 导向并限位。芯棒也有弹簧 16 托起，由下模冲 9 导向，盖板限位。上模冲 2 与模柄 1 相连。下模冲与上横梁 11 连接。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，这要求阴模弹簧力小于调节板的弹簧力。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，

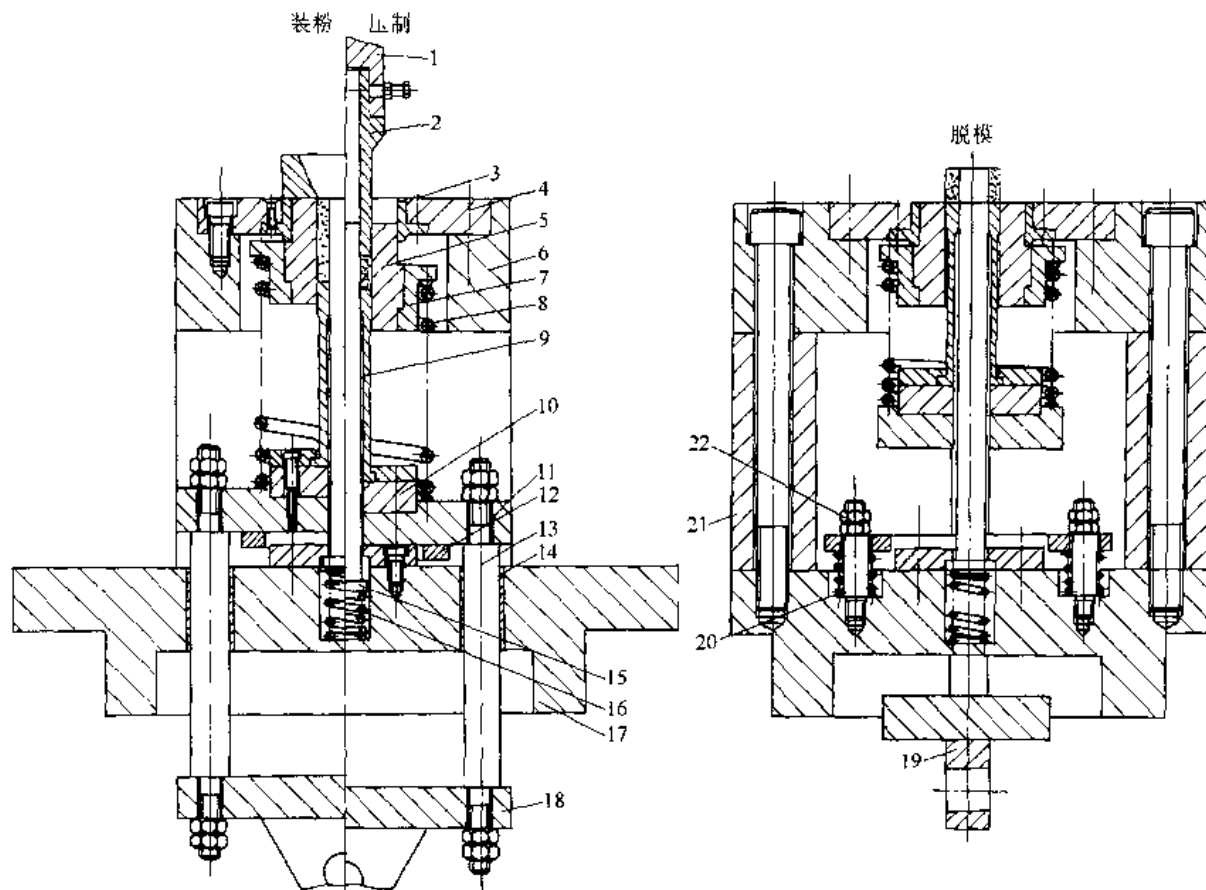


图 7-10 有孔类压坯浮动压制成形模

- 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

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。

自动液压机利用下缸浮动，亦可实现阴模和芯棒浮动的双向压制。其结构可参看自动液压机上的齿轮压模。

图 7-11 所示为有孔类压坯双向摩擦压制浮动成形模。压制时，上模冲 2 与阴模 5 同步下压，芯棒 11 不动，脱模顶杆 1 插入阴模板 8 的通孔内。脱模时，脱模垫 4 盖在通孔上，将阴模板压下，顶出压坯。

图 7-12 所示为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，由下油缸 11 通过顶杆 9 托起。芯棒 5 安装在芯棒板 10 上固定不动。压制时，上模冲 4 通过内油缸 1、外油缸 2 同步下降，护套 3 压在阴模板 7 时，使阴模 6 向下浮动。压制成形后，外油缸 2 继续下降，内油缸 1 回升，使压坯脱出。外油缸 2 回升后，下油缸 11 托起阴模 6，恢复到装粉位置。

图 7-13 所示为直齿轮（有孔类）压坯的拉下式成形模具，可用于全自动粉末冶金成形压机上。阴模 3 由压盖 6 固定在阴模板 5 上，下模冲 7 由压盖 10 固定在下模板 11 上。芯棒 8 通过并帽 13、芯棒座 14 由压盖 15 固定芯棒板 16 上。

装粉时，阴模（阴模板）由拉杆 9 通过芯棒板与压机下缸螺杆相联。通过下缸上下运动来调节装粉高度。压制时，上模冲 2 进入阴模加压，超过压机调整的浮动力时，使阴模和芯

棒均向下浮动，达到双向压制的效果。脱模时，下缸继续向下运动，通过拉杆把阴模向下拉，直至压坯脱出阴模。

图 7-14 所示是适用于压制 $D'/D \leq 1.25$ 带台阶面类零件压坯（阴模模腔带台阶，模具结构简单，故亦归纳为有孔类压坯）的成形模具。压制时，上模冲 4 进入阴模加压，迫使阴模 6 浮动，与阴模板 7 和芯棒板 16 相连的压机下油缸的油压需作相应调节（浮动量的调整）。脱模时，阴模被拉下，直至压坯脱出阴模和芯棒

9。为便于脱模，阴模大端型腔面应带有不小于 $15'$ 锥度。

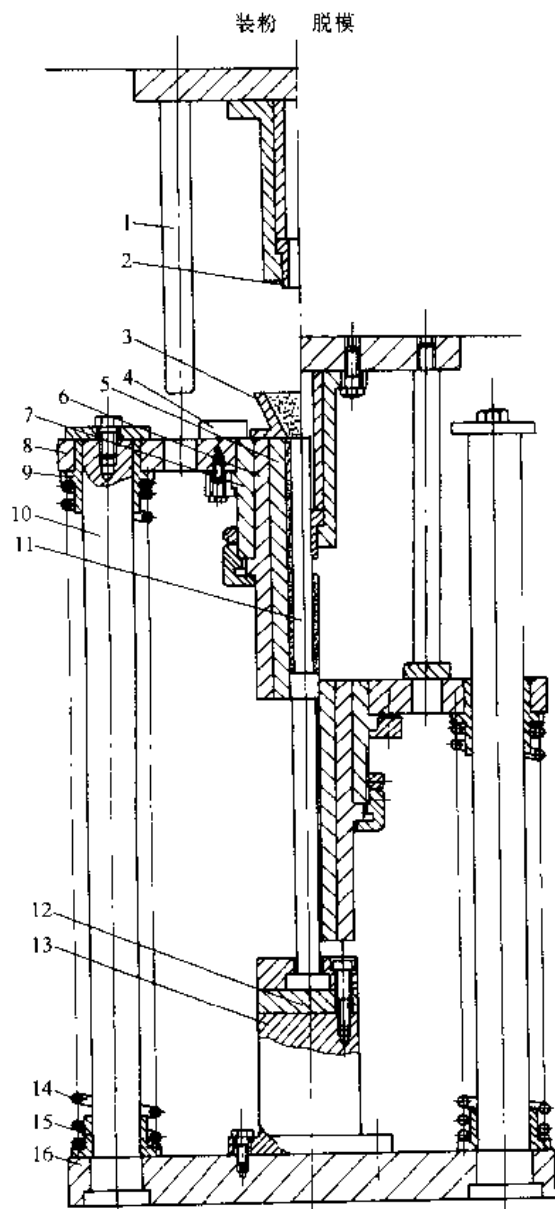


图 7-11 有孔类压坯双向
摩擦压制浮动成形模

- 1—脱模顶杆 2—上模冲 3—装粉斗 4—脱模垫
5—阴模 6—模套 7—接套 8—阴模板
9—导套 10—导柱 11—芯棒 12—压垫
13—压座 14—弹簧 15—弹簧座
16—下模板

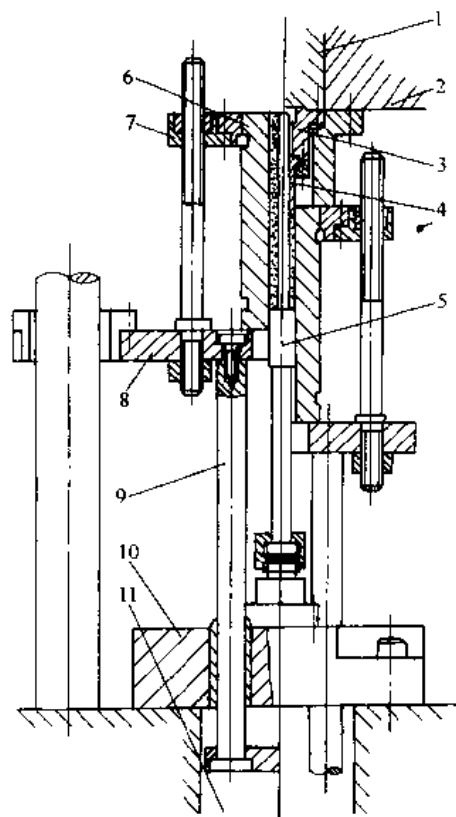


图 7-12 阴模浮动式成形模具

- 1—内油缸 2—外油缸 3—护套 4—上模冲
5—芯棒 6—阴模 7—阴模板 8—阴模底板
9—顶杆 10—芯棒板 11—下油缸

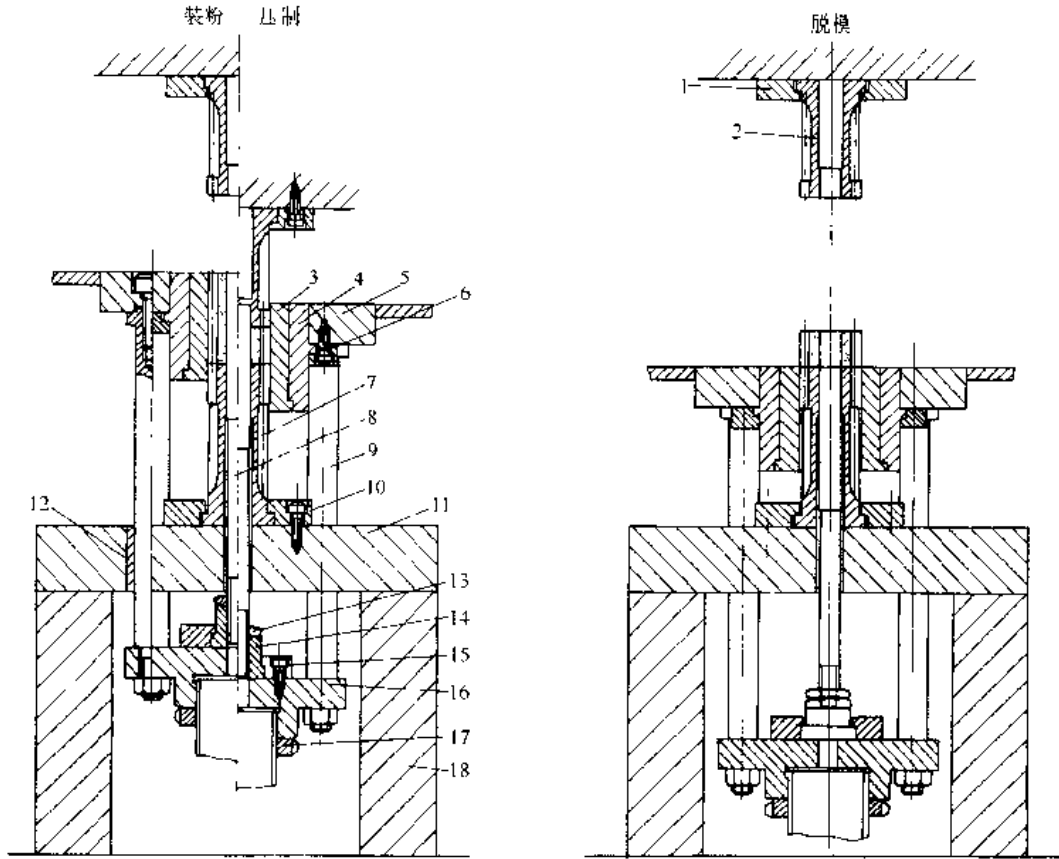


图 7-13 直齿轮压坯的拉下式成形模
 1、6、10、15—压盖 2—上模冲 3—阴模 4—模套 5—阴模板 7—下模冲 8—芯棒 9—拉杆
 11—下模板 12—导套 13—并帽 14—芯棒座 16—芯棒板 17—螺母 18—垫块

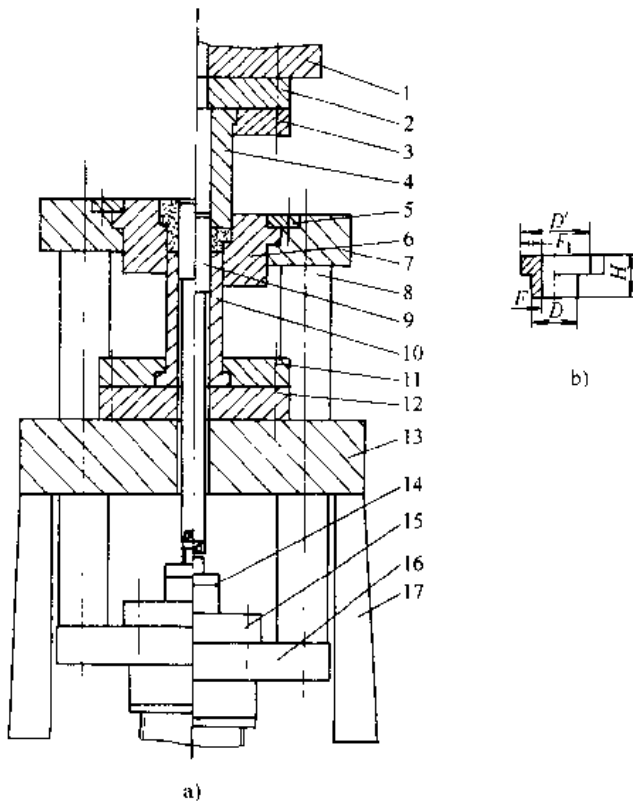


图 7-14 $D'/D \leq 1.25$ 带肩
 类压坯成形模具

- a) 成形模具 b) 压坯图
- 1—上模板 2—垫板 3、5、11、15—压盖
 4—上模冲 6—阴模 7—阴模板 8—导柱
 9—芯棒 10—下模冲 12—下模板
 13—下模板 14—芯棒座
 16—芯棒板 17—垫板

二、Ⅱ型零件压坯的成形模具

Ⅱ型零件压坯的成形模通常由一个上模冲、两个下模冲、阴模及芯棒等构成。

(一) 带一个外台阶面类

图 7-15 所示为有一个外台阶面压坯的有压套的反压成形模。装粉座 8 可调节不同部位的装粉高度。压制时，小直径端是双向摩擦压制，台阶面部分因阴模 5 浮动而获得双向压制的效果。压套 3 受力条件恶劣，必须用较小的间隙，以防开裂。脱模时，一般情况可以直接压顶杆 2，压套同步下行，压坯先脱出台阶面部分，压套法兰圈挂上阴模后，继续脱出小直径部分。对于小直径端的高度较小的压坯，需要先脱大直径端部分，再用顶杆顶出小端部分。

图 7-16 所示为压制有一个外台阶面压坯的有压套的正压成形模。其特点是装粉和压制为同一方向，模具不必反压。改变装粉垫 5 的高度，可调节不同部位的装粉高度。压制时采用限位块 2 限位。

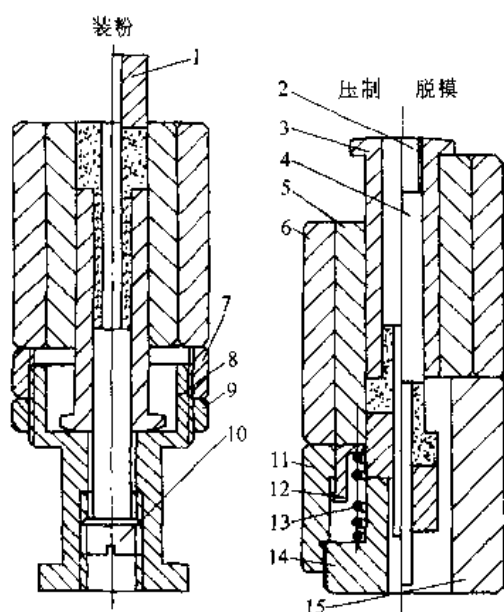


图 7-15 带外台阶面压坯的有压套反压成形模

1—下模冲 2—顶杆 3—压套 4—芯棒 5—阴模
6—模套 7—螺母 8—装粉座 9—并帽 10—螺丝
11—限位套 12—浮动套 13—弹簧 14—压座
15—脱模座

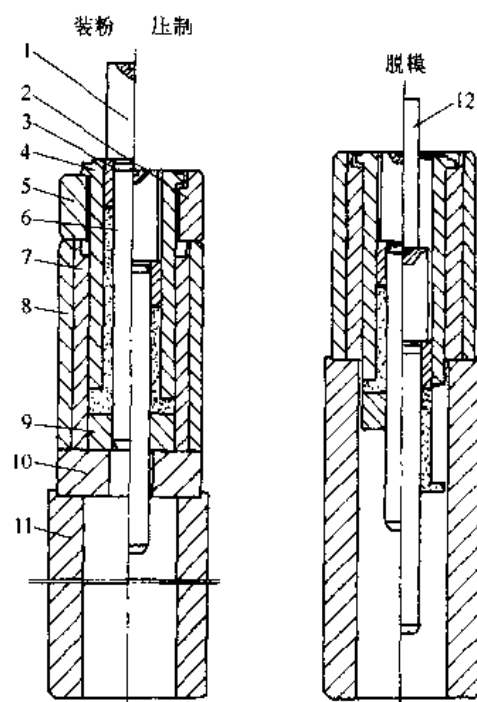


图 7-16 带外台阶面压坯的有压套正压成形模

1—压制棒 2—限位块 3—上模冲 4—压套
5—装粉垫 6—芯棒 7—阴模 8—模套
9—下模冲 10—压垫 11—脱模座
12—顶杆

图 7-17 所示为压制双联齿轮压坯的手动成形模。其大小齿轮阴模 3、6 均需有模套 4、5，否则因应力集中极易胀裂。小模套 5 的外壁因有摩擦，故需热处理到硬度为 30~40HRC 左右，并且它与大阴模 3 的配合间隙必须要小到 0.01~0.015 毫米左右，以防止压制时因外胀而撑裂。大小齿轮的直径尺寸差大，压坯上下所需的成形压力相差也大。因此，压制时应先不撤装粉垫 8，这样对于小齿轮的过载压力由装粉垫承受，当大齿轮的上模冲 1 压下多于一半

压下量后，再撤装粉垫，压缩下模冲7，最终上下一起与限位块9、10压平。上模冲先压下多少，由试模来确定，以上下密度较均匀和压坯台阶面分界处无分层或裂纹为准。

该结构可用于压坯密度要求较高、大小齿轮直径尺寸相差较小时。对于低密度且大小齿轮直径尺寸相差较大时，可采用类似压制带外台阶面压坯的压模结构。

图7-18所示为压制带外台阶面压坯的成形面压坯模，用于普通油压机上。阴模3固定不动。芯棒5（与下模冲一体）通过顶杆9与顶出缸相连，装粉时座落在压垫8上。上模冲1固定在压机冲头上。压套4由弹簧托起，并由芯棒小台阶限位。该结构装粉高度不能调节。压制时，压套被压下，落到压垫后，压实台阶部分。脱模时，顶出缸顶芯棒上行，压套在摩擦力作用下随之同步上行，当其法兰被阻挡后，压坯全部脱出。复位时顶出缸下行，拉下芯棒，并由小台阶带回压套。

该结构较简单，但不宜用于压套壁厚（即压坯法兰宽度）较小的情况。这是由于压套与阴模之间的间隙很小，薄壁压套弹性变形大，易将漏入间隙的细粉碾成薄片，造成复位的困难。故只适用于压坯法兰较宽，小直径端高度较矮或密度较小的情况（对于铁基密度不大于6.2克/厘米³）。在压套外壁上开一些槽，可起到刮去漏入的粉末的作用。

图7-19所示为压制带外台阶面压坯的拉下式成形模，用于自动液压机上。阴模3固定在大模板4上，通过拉杆15与芯棒板19相连。芯棒16也固定在大模板上。上模冲2固定在上模板11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。压套被压到滑块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。下缸通过芯棒板将阴模和芯棒拉下，此时斜楔7随阴模板下行，由于斜面和滚轮24的作用，将滑块撑开，其目的是为了给下模冲将压坯顶出压套留一段可相对移动的行程。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。由于阴模下行面先将压坯台阶部分脱出阴模，这时阴模下端与压套的压盖8相碰，阴模继续下行，迫使压套随之下行，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。斜楔杆离开滚轮，滑块在弹簧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。为了防止下模板因滑块的运动而磨损，在下模板上，需加一块经热处理的垫板33。

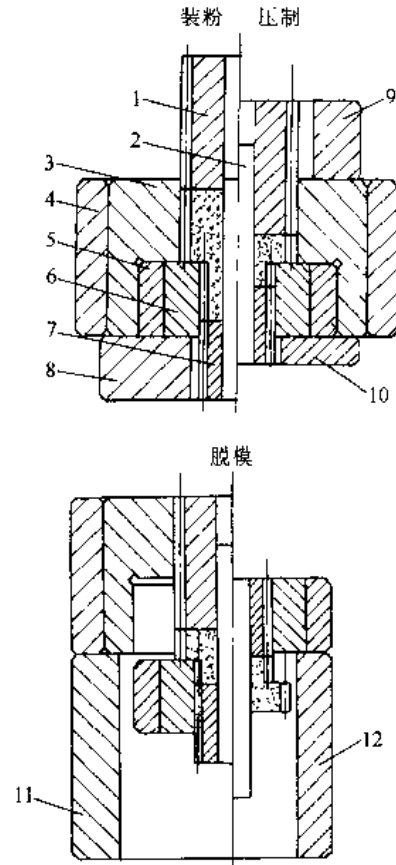


图7-17 双联齿轮压坯
的手动成形模

- 1—上模冲 2—芯棒 3—大阴模 4—大
模套 5—小模套 6—小阴模 7—下模
冲 8—装粉垫 9、10—限位块
11、12—脱模座

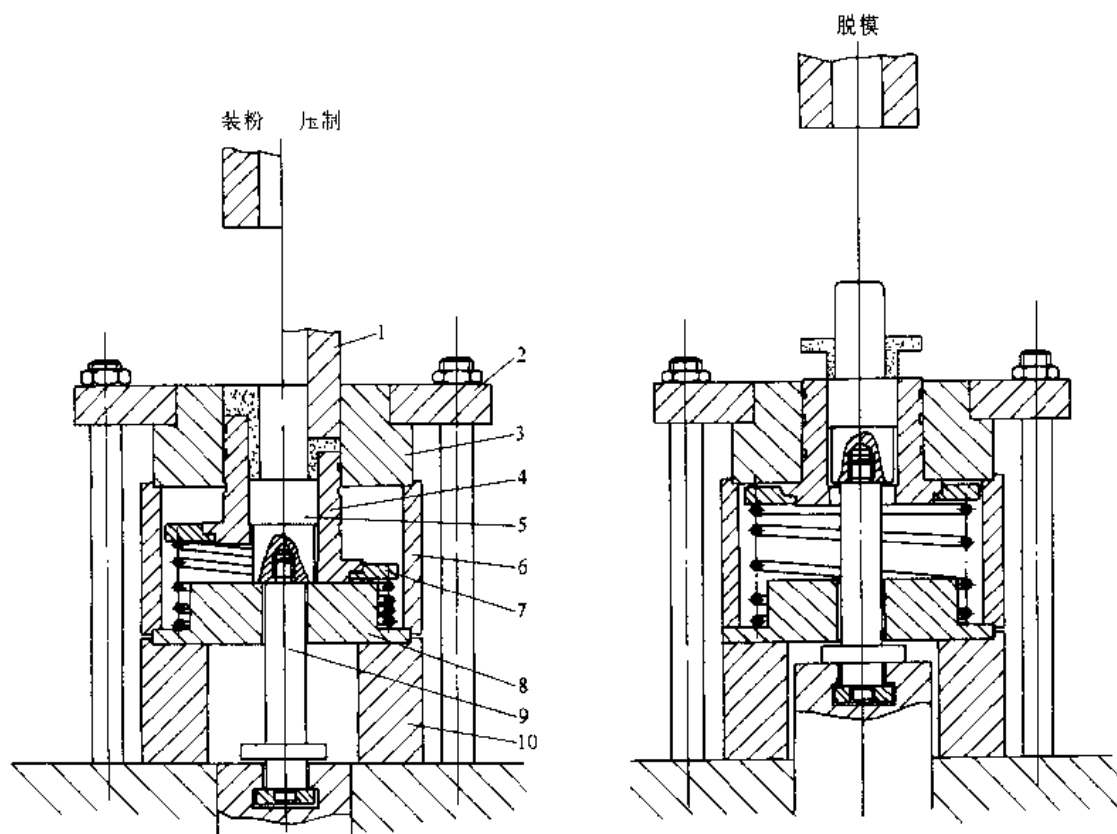


图 7-18 带外台阶面压坯的压成形模

1 上模冲 2—阴模板 3—阴模 4·压套 5—芯棒 6—隔套 7—托板 8—压垫 9·顶杆 10—压座

图 7-20 所示是带气缸结构压制带台阶面的油泵外齿轮压坯的成形模具。装粉高度可由调节杆 11 调节下模冲 (I) 5 和通过气压由活塞杆调节下模冲 (I) 7 来达到所需装粉高度。压制时, 上模冲 1 进入阴模 2 后加压, 下模冲 (I) 5 受压向下, 定位在下模冲托板 6; 下模冲 (I) 7 受压向下, 克服气压力, 定位在下模冲板 9 上。随压制压力增加, 当其大于压机调节的浮动力时, 使阴模 2 和芯棒 8 同步下行, 达到双向压制的效果。脱模时, 由导柱 4 通过芯棒板 15 向下拉, 使带齿台阶面部分脱出阴模口, 同时下缸下端进气, 通过气压由活塞杆向上将下模冲 (I) 7 上顶, 使压坯完全脱出阴模型腔。复位时, 下缸向上, 阴模板 3 复位到原位; 气压换向, 通过活塞杆, 使下模冲 (I) 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。

(二) 带一个内台阶面类

图 7-21 所示为压制带一个内台阶面压坯的反压成形模。装粉座 7 上的螺钉 6 可调节台阶部分的装粉容积。脱模后, 压坯弹性后效是向外胀, 故压坯易脱出芯棒 4。

图 7-22 所示为压制带盲孔压坯的成形模。其芯棒 3 在装粉时被弹簧 7 通过托柱 6 托起, 压制时芯棒开始强迫向下浮动, 对套部分开始压制, 最后被弹簧座 9 止住而压实端台。

图 7-23 所示也是压制带内台阶面压坯的成形模。其浮动芯棒为组合件。压制情况与图 7-22 相似。

图 7-24 所示为压制汽车气泵后盖压坯的成形模具, 用于带下顶出缸的普通液压机上。

阴模 4 固定在压座 13 上。上模冲 3 固定在压机模冲上, 下模冲 9 面定在后垫 14 上。大芯棒 8 由弹簧托起。

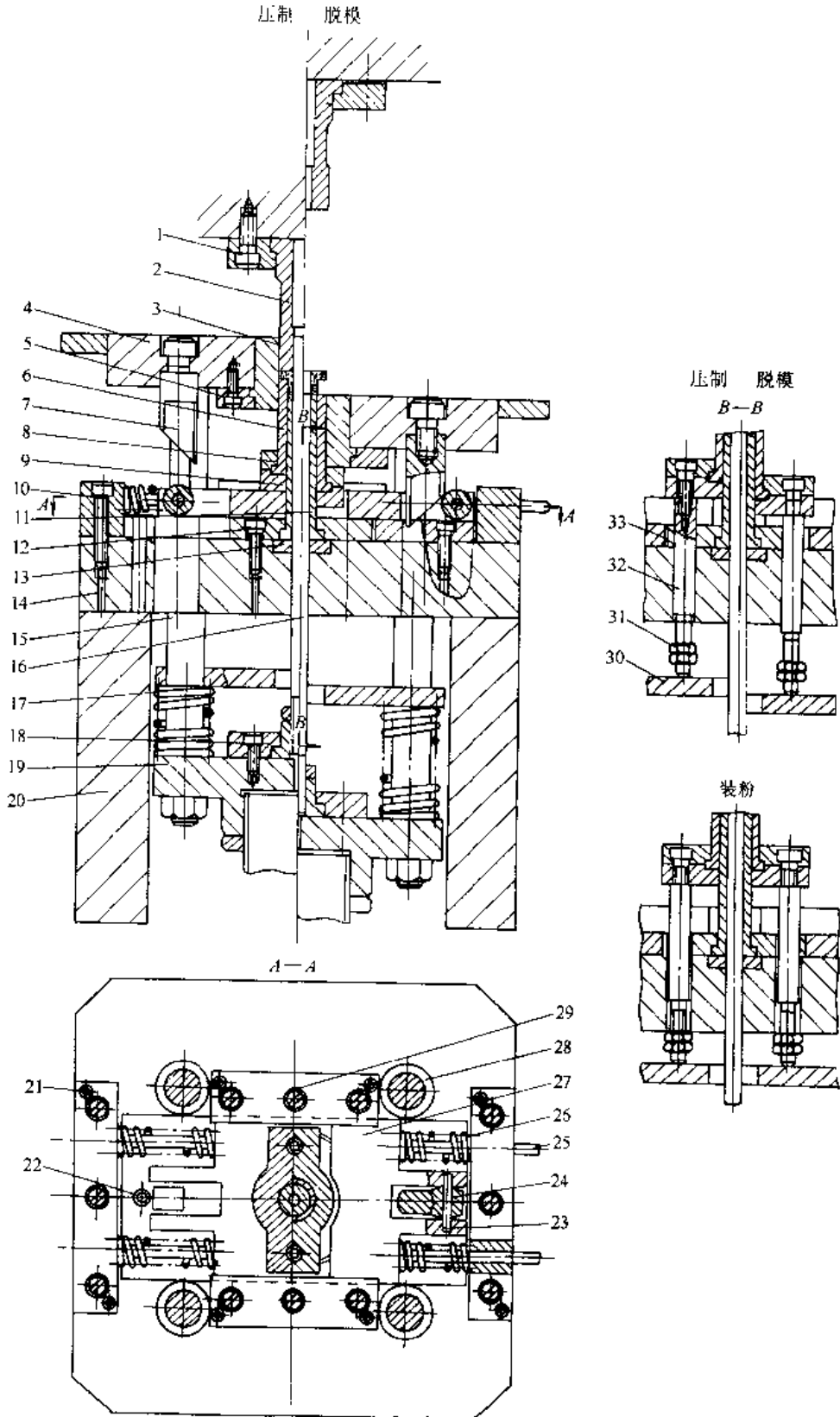


图 7-19 带外台阶面压坯的拉下式成形模具

- 1、5、8、12、18—压盖 2—上模冲 3—阴模 4—阴模板 6—压套 7—斜楔 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—芯棒板 20—垫块 21、22—销子 23—滚轮轴 24—滚轮 25—导柱 27—滑块 28—导套 29—盖板 30—托板 31—螺母 32—螺钉 33—垫板

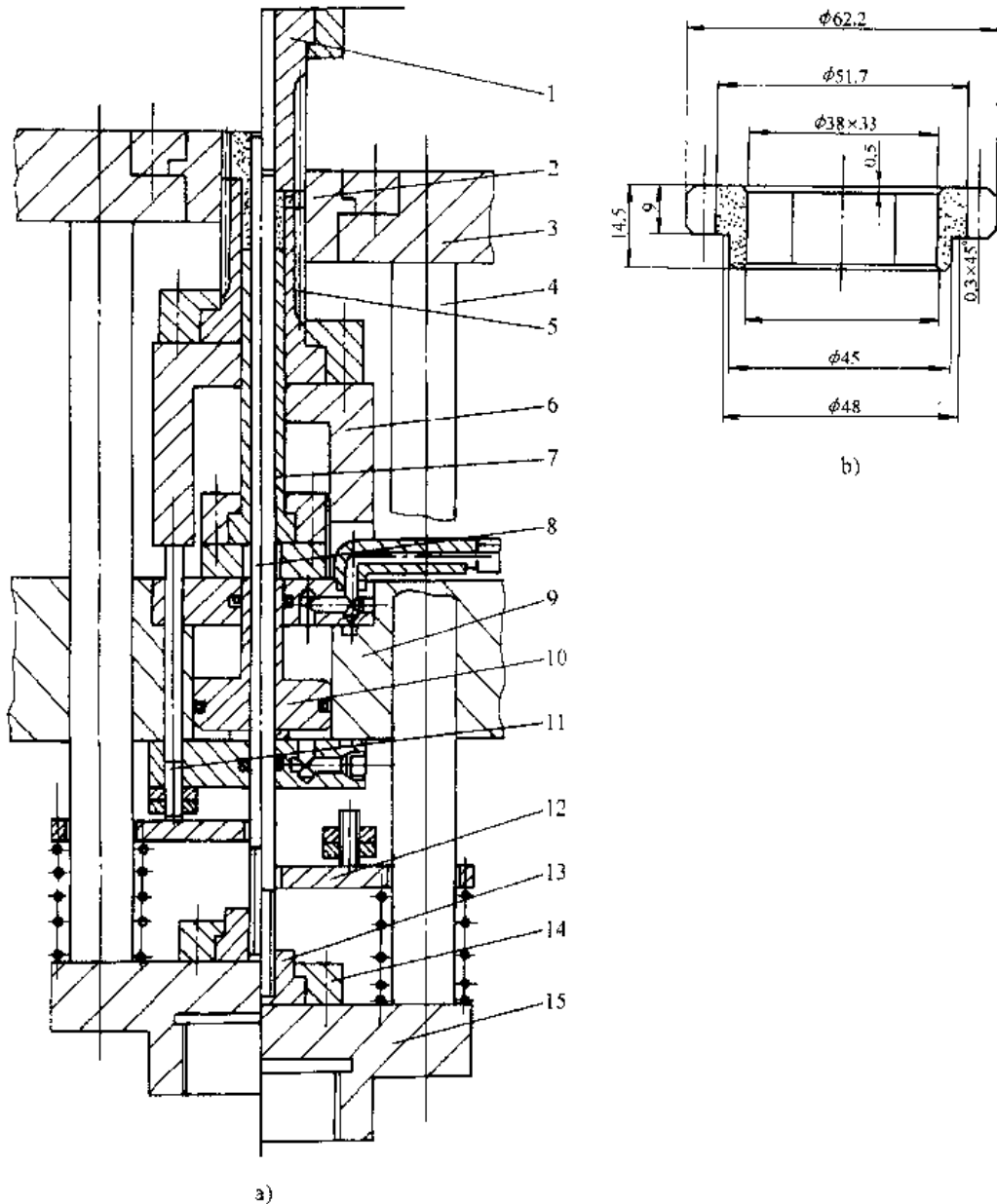


图 7-20 压制带台阶面的油泵外齿轮压坯的成形模具

a) 成形模具 b) 压坯图

1—上模冲 2—阴模 3—阴模托板 4—导柱 5—下模冲(I) 6—下模冲托板 7—下模冲(II) 8—芯棒
9—下模冲板 10—活塞 11—调节杆 12—托板 13—芯棒座 14—压盖 15—芯棒板

装粉高度可通过螺钉 12 来调节(拔出小芯棒 7, 用螺丝刀调整)。压制时, 上模冲进入阴模加压, 当压力大于弹簧力时, 大芯棒向下行, 直至芯堵 10 落在压垫时, 压坯成形。脱模时, 压机带上模冲回升一段距离后, 顶出缸向上, 使下模冲及大芯棒同时向上, 直至压坯脱出模腔。复位时顶出缸下行, 大芯棒被弹簧弹起, 下模冲和大芯棒复位到装粉位置。

图 7-25 所示为压制带内台阶面压坯的浮动成形模, 适用于无顶出机构的压机。阴模 13 固定在阴模板 8 上, 由弹簧 9 托起, 由导柱 10 上的螺母限位。芯棒 14 通过接杆 16 和浮动托杆 21 被弹簧 27 托起, 由销钉 19 和限位套 20 限位(限位套被下模冲压盖螺帽挡住)。上模冲 6 被固定在压机冲头上。下模冲 17 被固定在可调节上下的压座 22 上。装粉时, 可通过更换不同厚度的垫圈 18 来调节芯棒向上托起的位置, 从而调节压坯不同部位的粉末分配。通过旋转

调节螺母 23, 可使压座升降, 从而使芯棒与阴模调平。压制时, 阴模和芯棒向下浮动, 芯棒落到压座上之后压实内台。固定在回转板 2 上的顶杆处于可通过阴模板孔的位置。压完后, 冲头升到上面极限位置, 在由行程开关控制的电磁铁作用下, 使回转板转一角度, 顶杆转到对准固定在阴模板上的脱模垫块上。脱模时, 压机冲头下行, 将阴模板顶下, 使压坯脱出阴模。脱完后, 压机冲头回升, 阴模和芯棒被弹簧托起复位, 压坯由于脱模后胀大而被阴模托出芯棒。

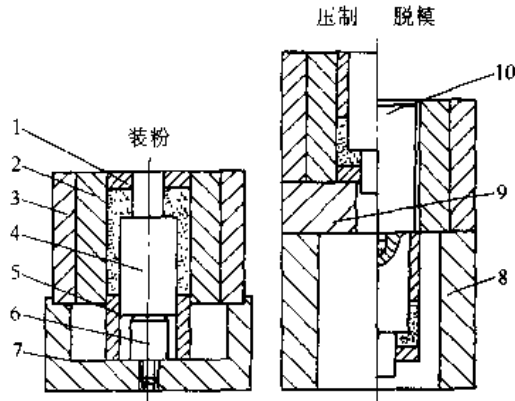


图 7-21 压制带内台阶压坯的反压成形模

- 1—下模冲 2 阴模 3—模套 4—芯棒
- 5 上模冲 6—螺钉 7—装粉座
- 8—脱模座 9—压垫 10 顶杆

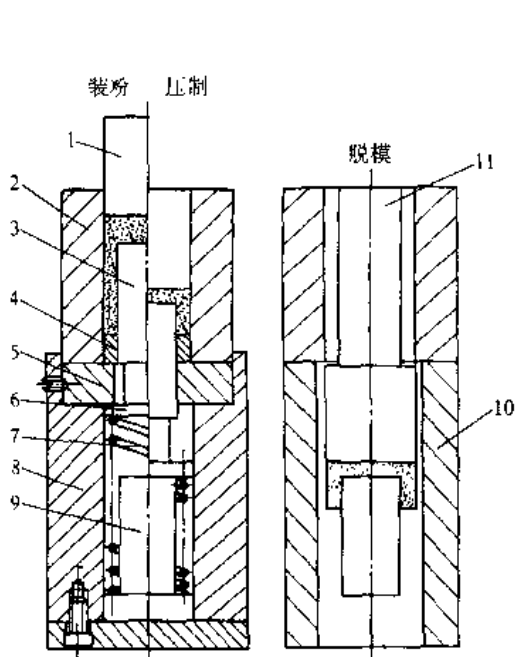


图 7-22 压制带盲孔压坯的成形模

- 1—上模冲 2—阴模 3—芯棒 4—下模冲
- 5—压垫 6—托柱 7—弹簧 8—压座
- 9—弹簧座 10—脱模座 11—顶杆

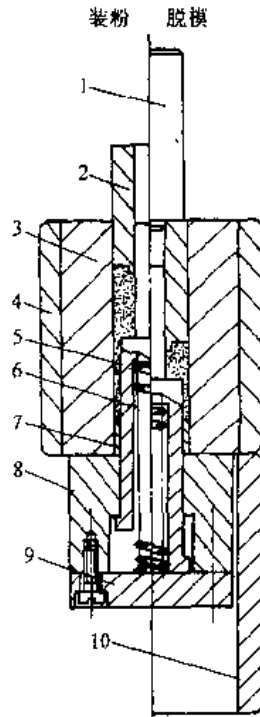


图 7-23 压制带内台阶压坯的成形模

- 1—顶杆 2—上模冲 3—阴模 4—模套
- 5—芯棒 6—弹簧 7—下模冲 8—压座
- 9—底盖 10—脱模座

该结构的优点是阴模和芯棒装拆方便, 装粉高度可任意调节。缺点是压机需上下两次, 才能完成一个工作循环, 故效率较低。可用于无顶出装置的压机上的半自动或自动压制。

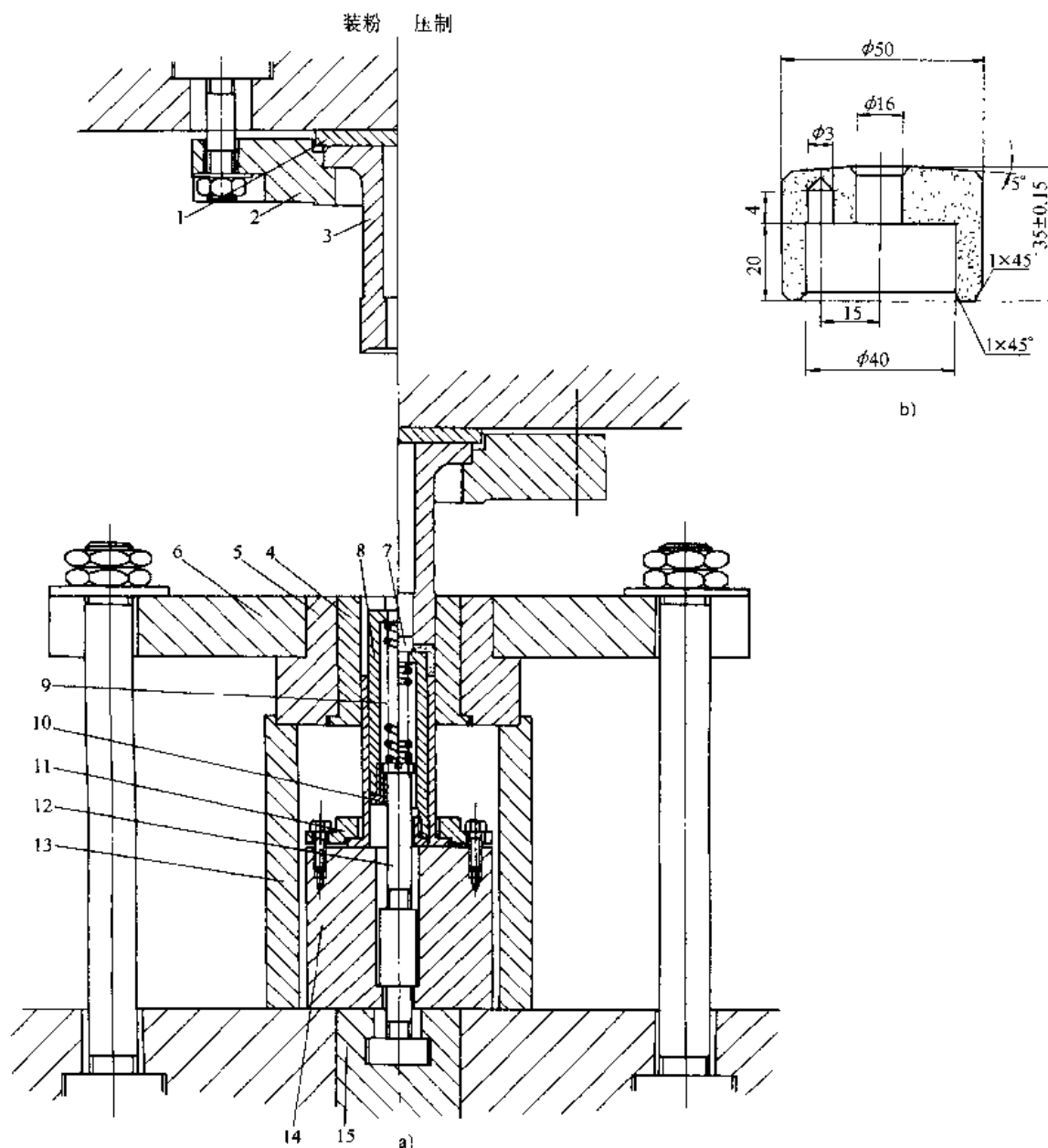


图 7-24 压制汽车气泵后盖压坯的成形模具

a) 成形模具 b) 压坯图

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

图 7-26 所示为压制带内台阶压坯的浮动芯棒成形模，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。装粉高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，压机冲头回升，固定在压机冲头上的上拉钩 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，橡皮垫圈 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。

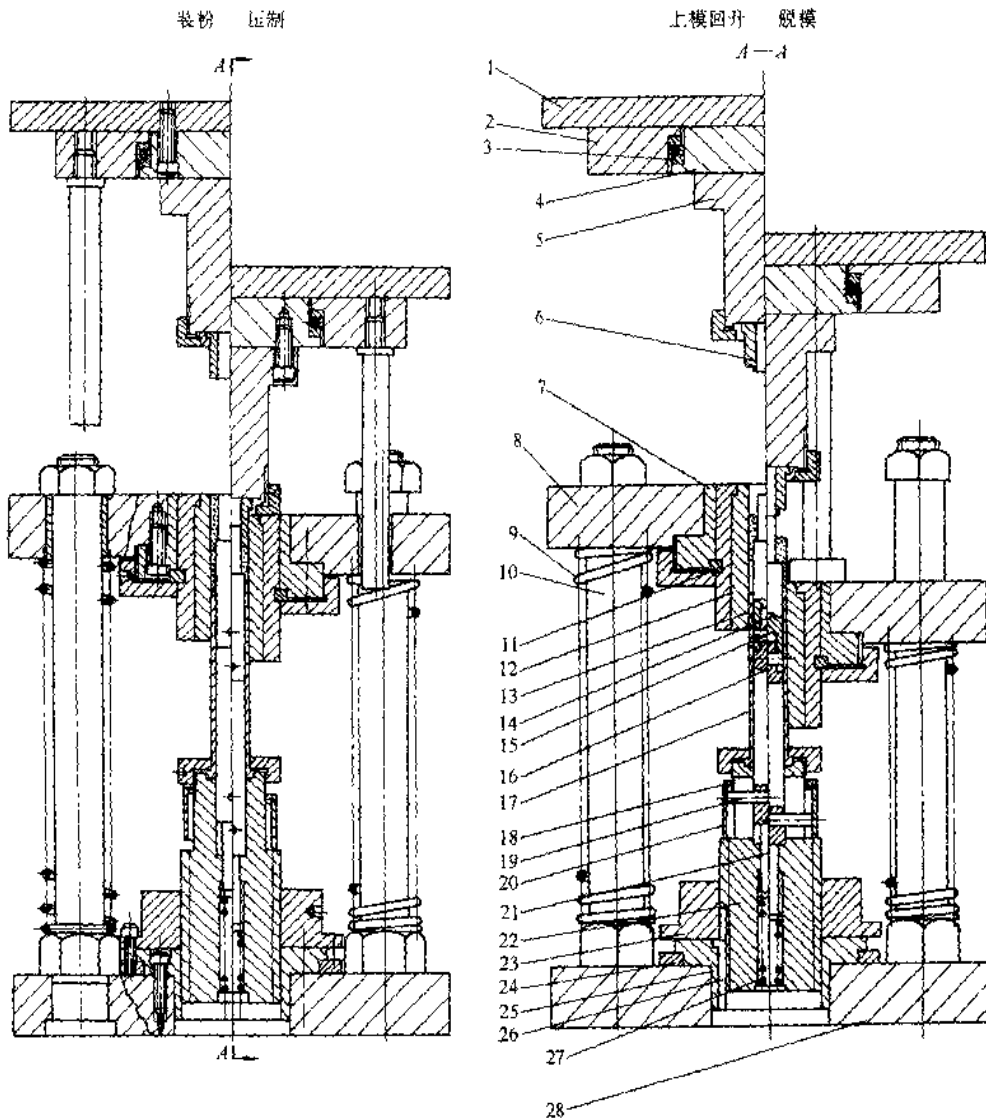


图 7-25 压制带内台阶压坯的浮动成形模

- 1—上模板 2—回转板 3—止推轴承 4、25—压垫 5—上压座 6—上模冲 7—接套
 8—阴模板 9、27—弹簧 10—导柱 11—对开法兰 12—模套 13—阴模 14—芯棒
 15—连接销 16—接杆 17—下模冲 18—垫圈 19—限位销 20—限位套 21—托杆
 22—压座 23—调节螺母 24—活动法兰 26—防转键 28—下模板

图 7-27 所示为压制汽车水泵带轮压坯的拉下式成形模，用于自动液压机上。阴模 4 和小芯棒 3 通过拉杆 8 与芯棒板 20 相连。大芯棒 6 由弹簧 15 托起，调节螺帽 14 限位。上模冲 2 固定在压机冲头上。下模冲 9 固定在下模板 13 上。装粉高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，阴模和小芯棒通过拉杆由下缸同步拉下，将压坯脱出。

复位时下缸回升，使阴模和小芯棒复位，大芯棒由弹簧托起并由调节螺帽限位而复位。压坯因胀大而被阴模托起，由送粉机构推杆。

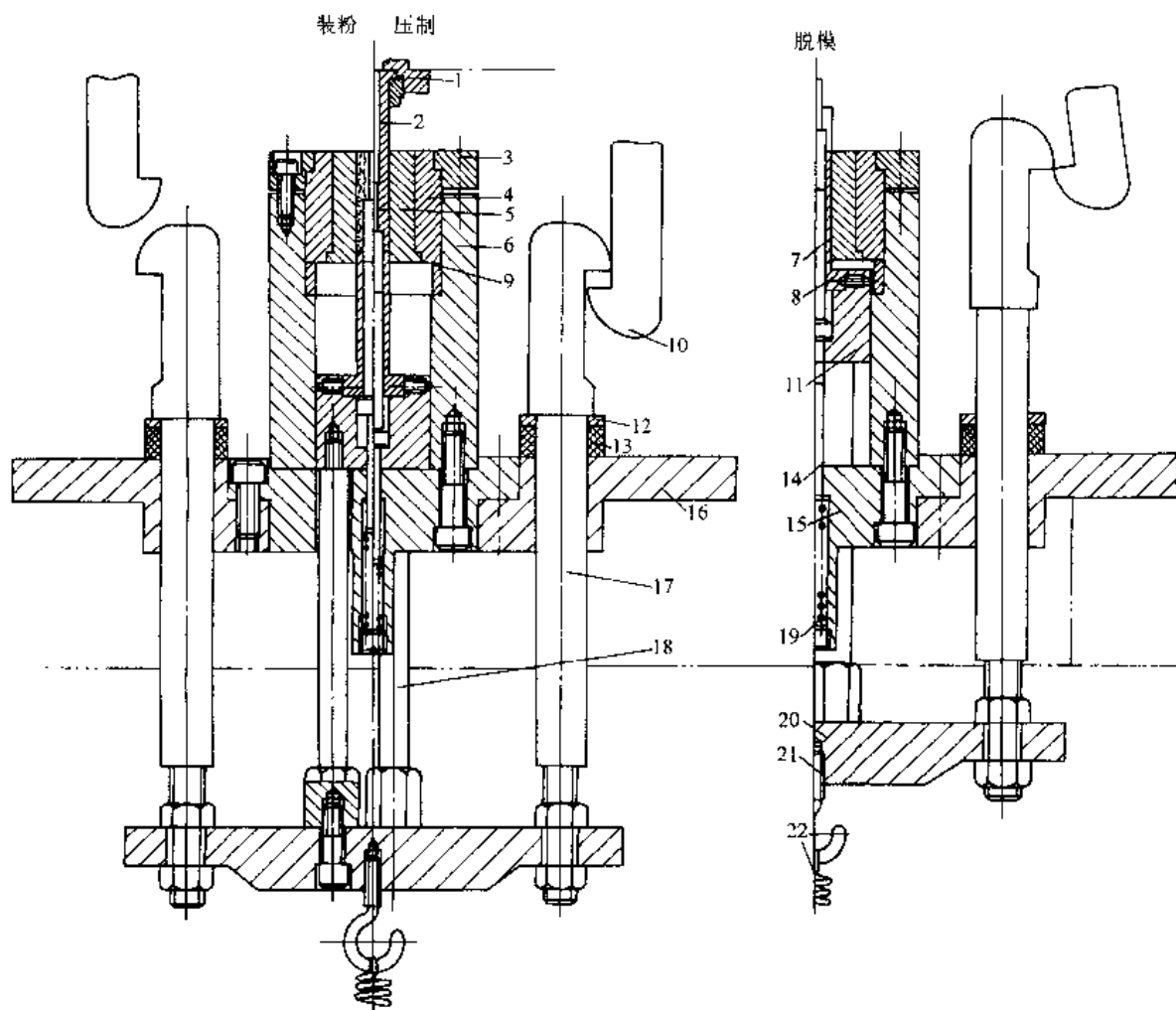
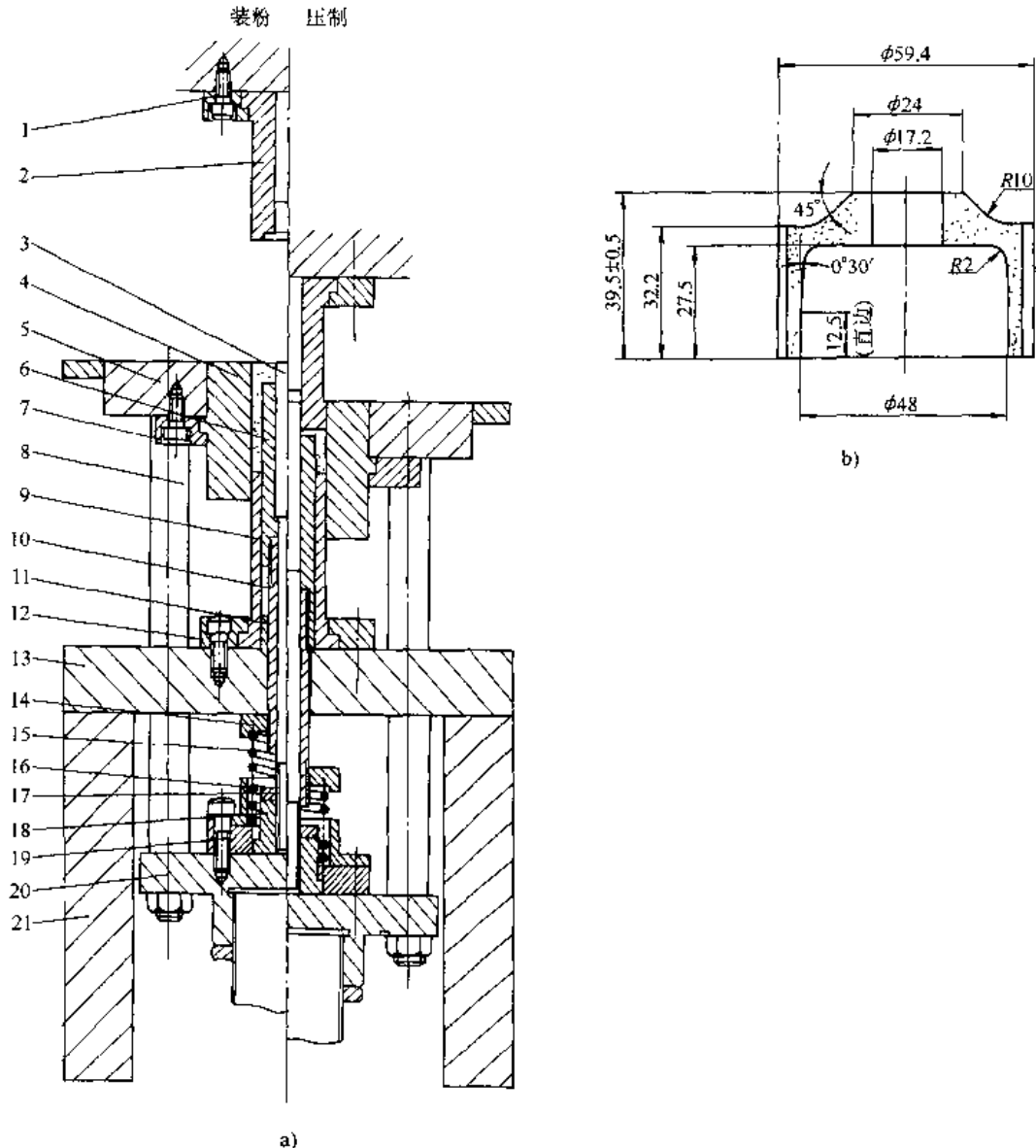


图 7-26 压制带内台阶件的浮动芯棒成形模

- 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—下模座 12—垫圈 13—橡皮垫圈 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 7-28 所示为压制汽车齿条托座压坯的成形模具。装粉时，阴模 2 上升，其位置根据装粉高度需要在压机上调节。下模冲（I）4 固定不动，下模冲（II）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 1 进入阴模，压缩粉末，当下模冲（II）3 所受压力大于弹簧 8 的支持力时，下模冲（II）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，当摩擦力大于压机调整的浮动力后，阴模向下浮动，实现双向浮动压制。脱模时，阴模面下拉至与下模冲（I）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，将压坯脱出下模冲（I）（I）。

图 7-29 所示为压制 $d/d' \leq 1.2$ 带内台阶面类零件压坯的成形模具，是一种弹簧复位的成形模具。压坯的内台阶面高 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 下降至与下模垫 11 接触，压坯成形。脱模时，阴模板 5 通过导柱 8 与芯棒板 17 相连被下油缸拉下，使压坯外径脱出阴模。当阴模回升时，压坯已



a) 图 7-27 汽车水泵带轮压坯的拉下式成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 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—调节螺帽 15—弹簧 16—定位套
 17—并母 18—螺母 20—芯棒板 21—垫块

向外回弹，外径比阴模型腔大，迫使压坯内台阶面脱出芯棒。取出压坯后，阴模继续回升到装粉位置。

图 7-30 所示是压制汽车避震器活塞压坯的成形模具，适用于全自动机械式粉末成形机上。

上模冲 3 由上模盖 2 固定在上模垫块 1 上；阴模 5 固定在阴模板 33 上；下模冲 (I) 7 由下模 (I) 盖 8 固定在下模冲 (I) 垫块 9、下模冲 (I) 座块 11、下模座 12 上。下模冲 (II) 10 由螺钉 28 固定在下模冲 (II) 座块 13 上，并与下模冲 (I) 连接板 16 连接；芯棒 4 和 6 个扁芯套由定位销及螺钉 32 固定在下模冲 (II) 上。上模板由导柱 34、导套与阴模板相连；阴模板由拉杆 25 与芯棒板相连，形成精度较高的闭式模架。

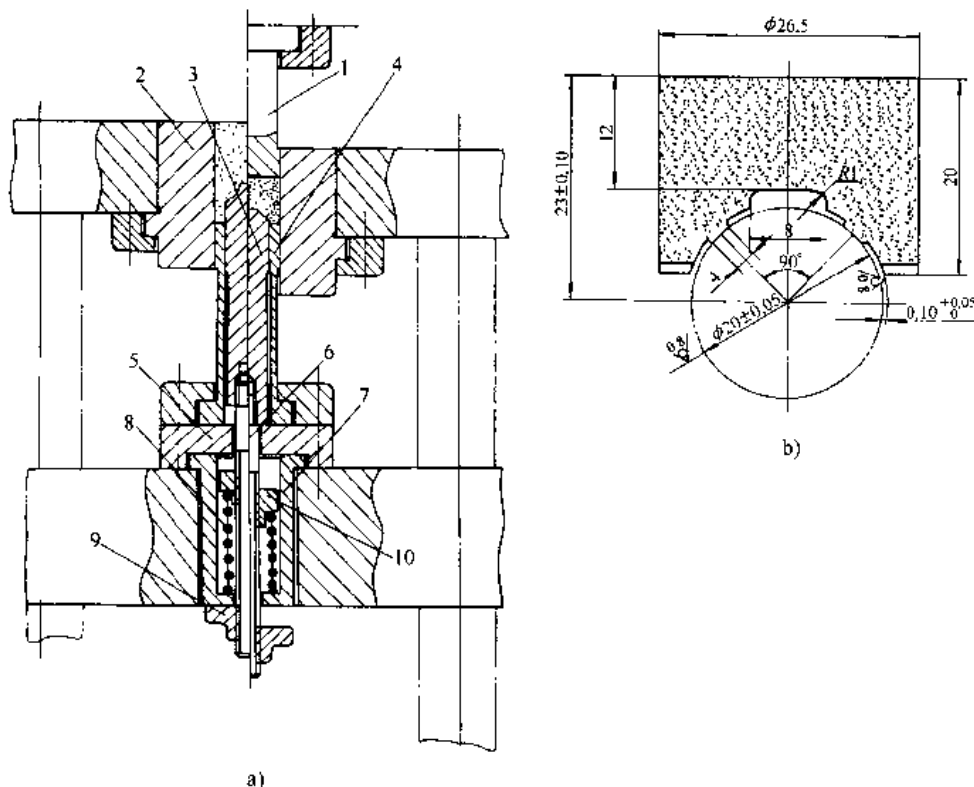


图 7-28 压制汽车齿条托座压坯的成形模具

a) 成形模具 b) 压坯图

1—上模冲 2—阴模 3—下模冲(Ⅱ) 4—下模冲(Ⅰ) 5—垫块
6—连接杆 7—弹簧套筒 8—弹簧 9、10—螺母

装粉时，由压机下气缸顶杆 19 向上行来调节下模冲(Ⅱ)的装粉位置，由螺钉 14、限位板 15、定位套 23 进行定位。压制时，上模冲进入阴模加压，当阴模、下模冲(Ⅰ)所受压力超过压机调节的浮动力后向下浮动，达到双向压制效果，使压坯成形。脱模时，拉杆拉下阴模，使压坯脱出模腔。取出压坯，下缸回升，使限位板碰到下模板 27 止，恢复到装粉位置。

本模具结构紧凑，采用芯棒、扁芯套固定在下模冲(Ⅱ)上的结构，使芯棒等长度较短，既便于加工，又增加模具的刚性，不易损坏。

三、■类零件压坯的成形模具

■类零件压坯的成形模具通常由两个上模冲、两个下模冲及阴模和芯棒等构成。

(一) 台阶面在中间类

图 7-31 所示为台阶面在中间的压坯的手动成形模。其特点是装粉和压制为同一方向，模具不必反压。改变装粉垫 4 的高度，可调节不同部位的装粉高度。压制时，采用限位块 5 限位，下压套 8 用于小端台肩的成形。由于台阶面在中间，需要两次脱模。

图 7-32 所示也是压坯的外台阶面在中间的成形模。其上压套 2 带外锥，成形长的小直径部分，可改善其受力情况(因锥面配合无间隙)。装粉高度用螺钉 11 来调节。预压是为了防止阴模 3 下落，装粉垫 5 是为了保证台阶部分有压缩量。

图 7-33 所示为压制汽车转向器托座压坯的成形模具。上模冲(Ⅰ) 2 和下模冲(Ⅰ) 5 固定不动。装粉时，阴模 4 上升，由压机调节其装粉高度。下模冲(Ⅱ) 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，上模冲 (I) 3 所受压力大于气缸的支持力时，开始向上浮动，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，浮动量由压机调节定位。下模冲 (I) 6 受压下浮至螺母 7 与垫块 9 接触时止，此时即为成形位置。脱模时上模冲 (I)、(II) 回升，下缸下行，由拉杆将阴模 4 下拉至压坯全部脱出阴模模腔，同时下模冲 (I) 6 被垫块 9 及螺母 8 被拉动下行，使压坯完全脱出。

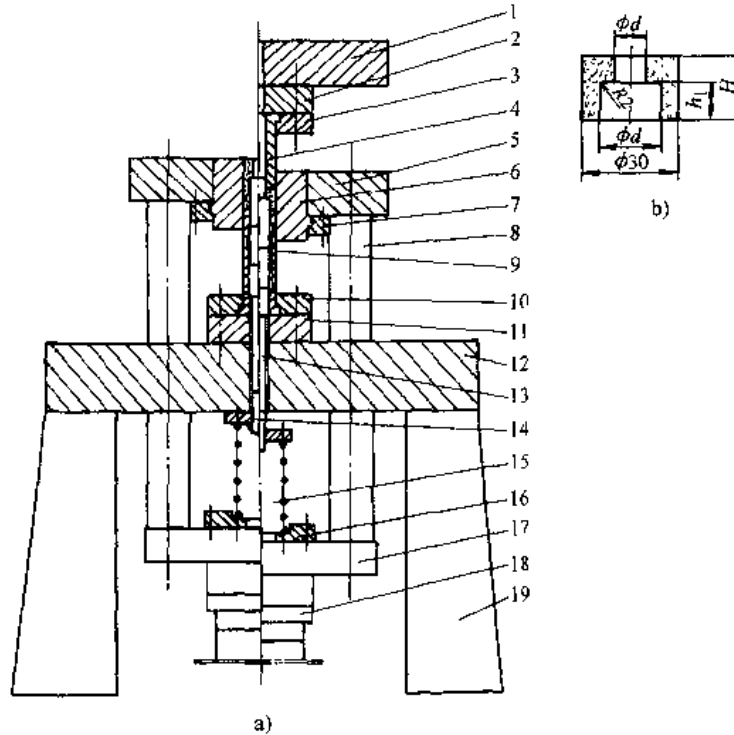


图 7-29 $d/d' \leq 1.2$ 带内台肩类零件压坯成形模具

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—上模冲板 2—垫板 3、7、10—压盖 4—上模冲
5—阴模板 6—阴模 8—导柱 9—下模冲 11—下
模垫 12—下模板 13—芯棒 14—调节螺母板
15—压簧 16—弹簧座 17—芯棒板
18—下油缸螺母 19—垫块

图 7-34 所示是压制汽车分配泵传动齿轮压坯的成形模具。上模冲 (I) 1 和下模冲 (II) 5 分别固定在上模板及下模板上。装粉时，阴模 3 上升至所需装粉高度，下模冲 (I) 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 调节限位。成形时，上模冲 (I) 下降 (此时与上模冲 (II) 2 相连的气缸下端进气，使上模冲 (II) 2 处于向上回升状态)，进入阴模 3，压缩粉末，下模冲 (I) 4 受压下浮至垫块 9 与滑块 11 接触。阴模 3 在所受粉末摩擦力超过压机调整的浮动力后下浮，实现双向浮动压制。脱模时，上模冲 (I) 回升，此时上模冲 (II) 的气缸上端进气，使上模冲 (II) 伸出并将压坯上台阶从上模冲 (I) 中脱出。下缸下行使阴模 3 下降，斜楔 7 接触滚轮 10 并推动滑块 11 向两侧移动，脱离垫块 9，这时螺钉 6 与阴模 3 开始接触，下缸继续下行，拉杆将阴模 3 继续下拉，通过螺钉 6 带动下模冲 (II) 5 下行脱模，此时芯棒 8 在气缸活塞 13 拉力作用下脱出压坯。本结构是采用芯棒后脱结构，其优点是芯棒因所受摩擦力较小，而使磨损较小、使用寿命较长。

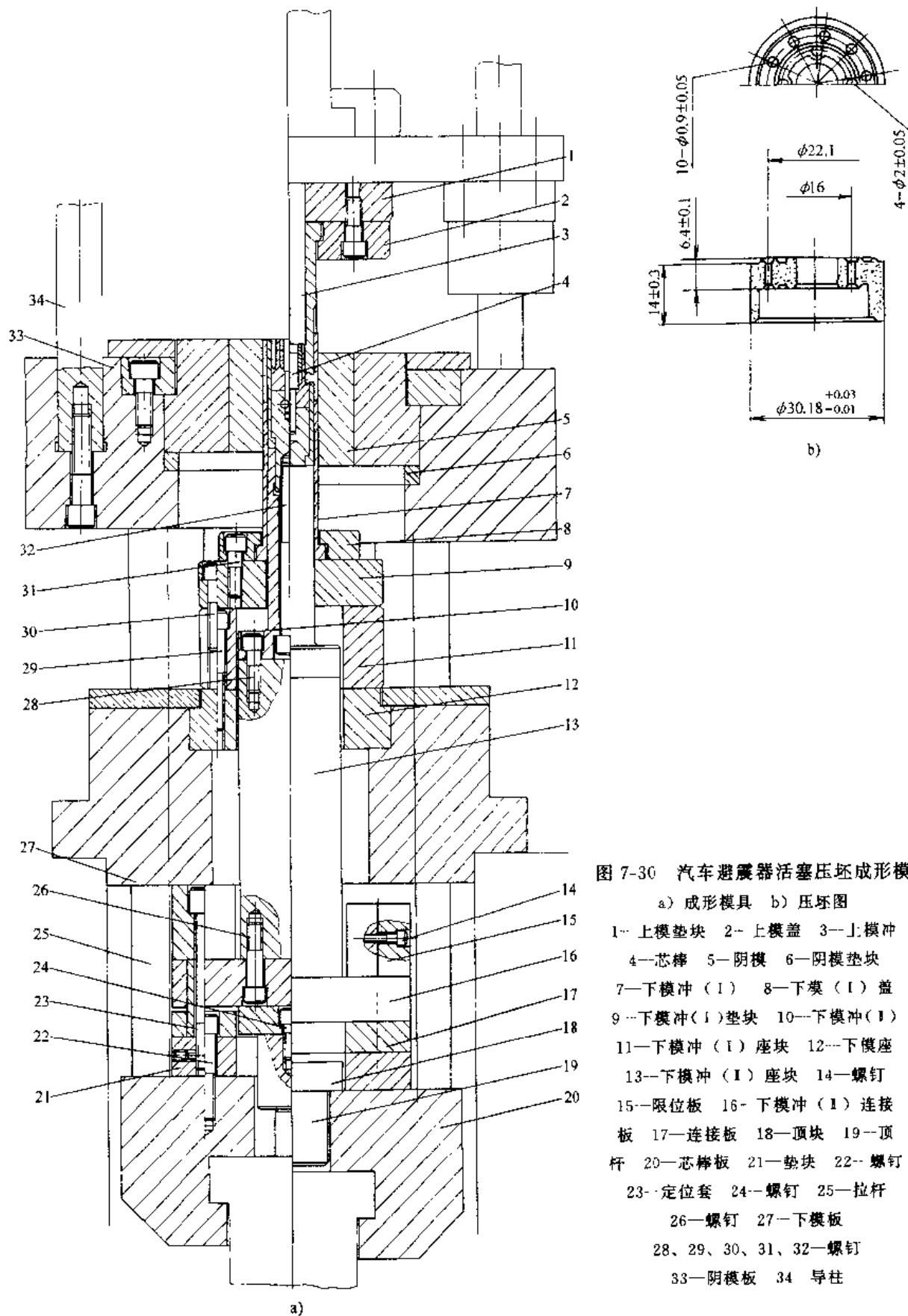


图 7-30 汽车避震器活塞压坯成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—上模垫块 2—上模盖 3—上模冲
 4—芯棒 5—阴模 6—阴模垫块
 7—下模冲(I) 8—下模(I)盖
 9—下模冲(I)垫块 10—下模冲(I)
 11—下模冲(I)座块 12—下模座
 13—下模冲(I)座块 14—螺钉
 15—限位板 16—下模冲(I)连接板
 17—连接板 18—顶块 19—顶杆
 20—芯棒板 21—垫块 22—螺钉
 23—定位套 24—螺钉 25—拉杆
 26—螺钉 27—下模板
 28、29、30、31、32—螺钉
 33—阴模板 34—导柱

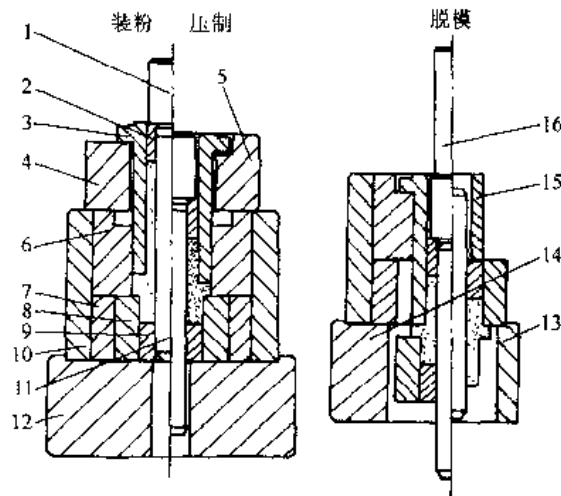


图 7-31 台肩面在中间类压坯的成形模具

- 1—压制棒 2—上模冲 3—上压套 4—装粉垫
 5—限位块 6—阴模 7—内模套 8—下压套
 9—下模冲 10—模套 11—芯棒 12—压垫
 13、14—脱模座 15—脱模套 16—顶杆

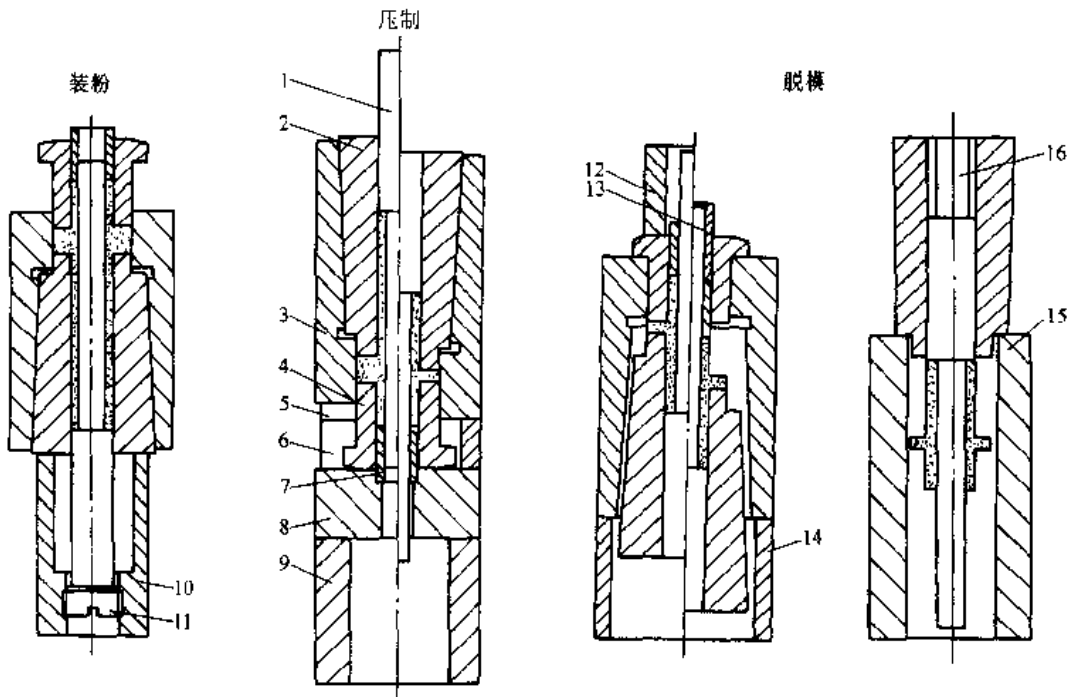


图 7-32 台肩面在中间类压坯的成形模具

- 1—芯棒 2—上压套 3—阴模 4—下压套 5—装粉垫 6—限位块 7—下模冲 8—压垫 9—压座
 10—装粉座 11—螺钉 12、13—脱模套 14、15—脱模座 16—顶杆

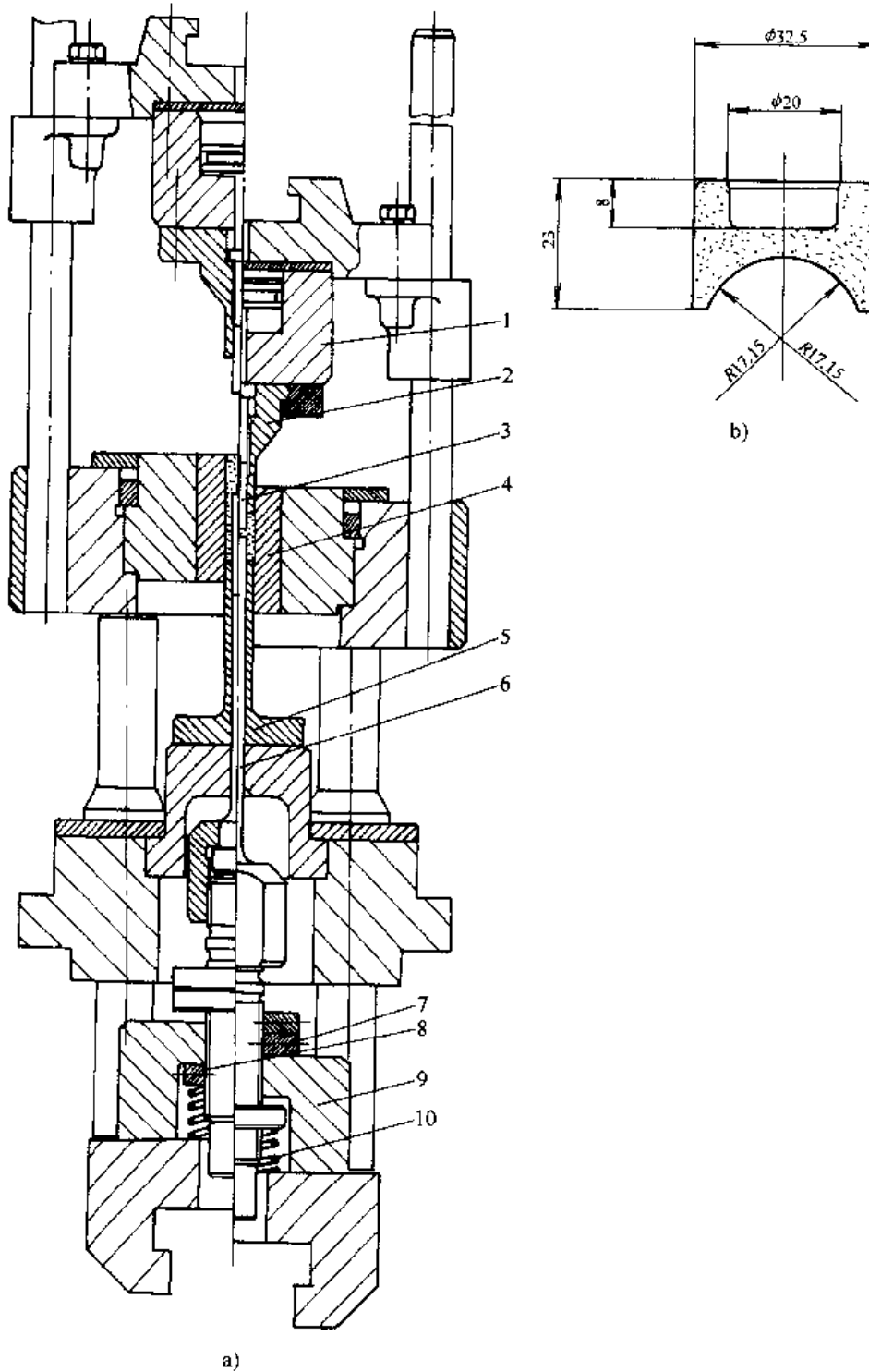


图 7-33 汽车转向器托座压坯成形模具

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—气缸体 2—上模冲 (I) 3—内上模冲 (II) 4—阴模 5—下模冲 (I)
6—下模冲 (II) 7、8—螺母 9—垫块 10—弹簧

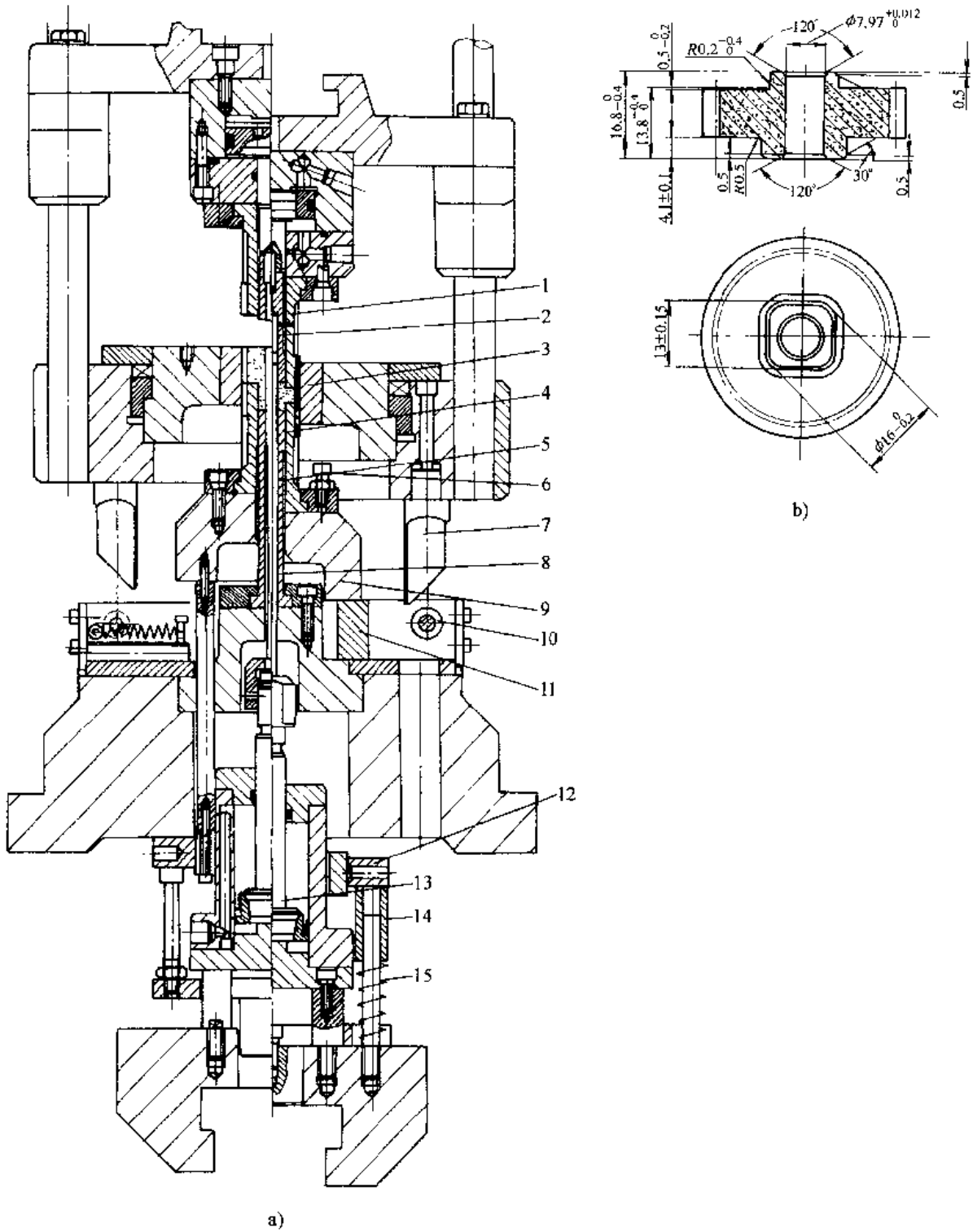


图 7-34 汽车分配泵传动齿轮压坯成形模具

a) 成形模具 b) 压坯图

1—上模冲 (I) 2—上模冲 (II) 3—阴模 4—下模冲 (I) 5—下模冲 (II)

6、14—螺钉 7—斜楔 8—芯棒 9—垫块 10—滚轮 11—滑块

12—螺母 13—活塞杆 15—弹簧

图 7-35 所示是压制油泵轴承座压坯的成形模具，适用于全自动机械式粉末成形机，配“上二下三”式模架。

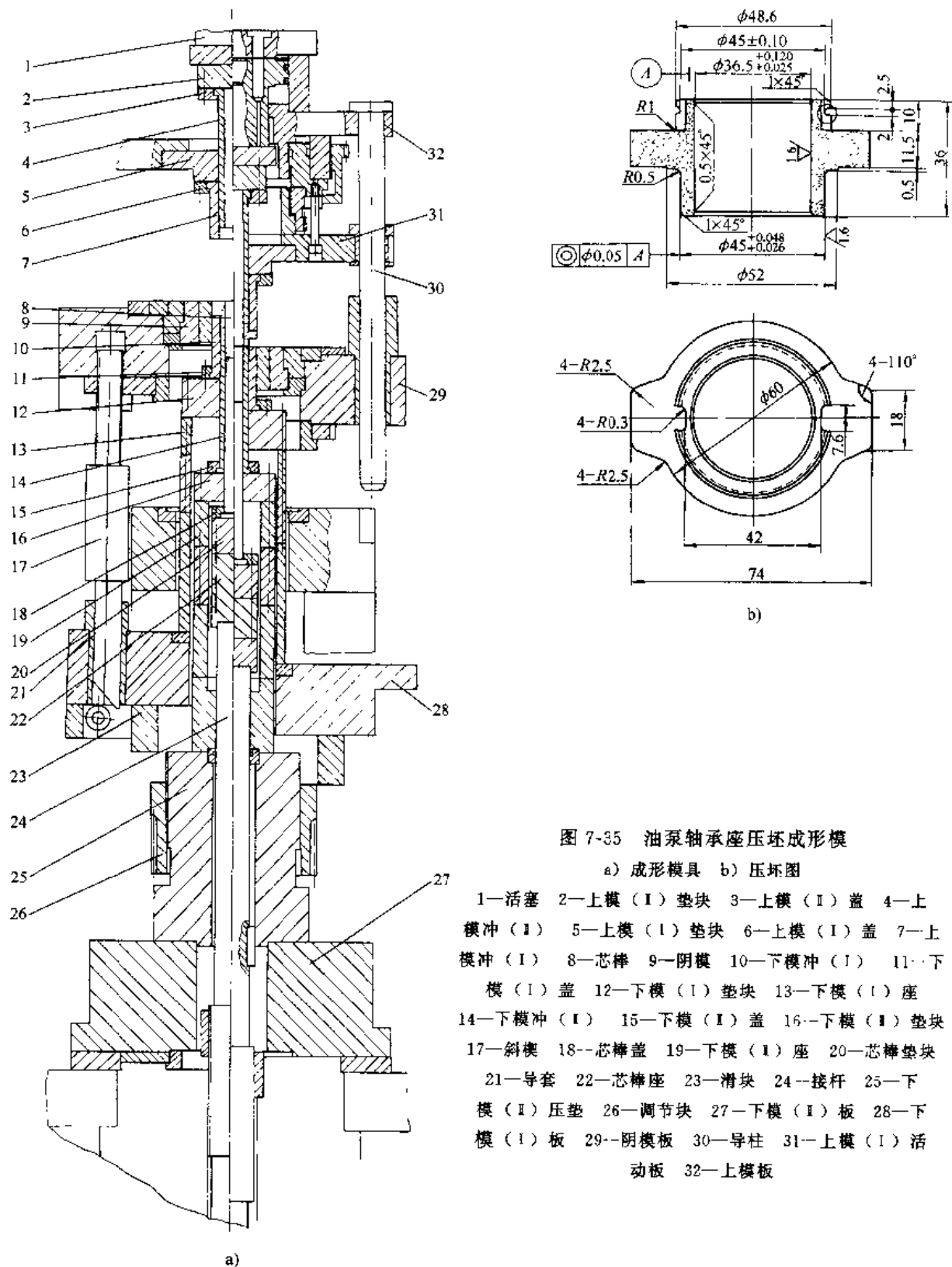


图 7-35 油泵轴承座压坯成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—活塞 2—上模 (I) 垫块 3—上模 (I) 盖 4—上模冲 (I)
- 5—上模 (I) 垫块 6—上模 (I) 盖 7—上模冲 (I)
- 8—芯棒 9—阴模 10—下模冲 (I) 11—下模 (I) 盖
- 12—下模 (I) 垫块 13—下模 (I) 座 14—下模冲 (I)
- 15—下模 (I) 盖 16—下模 (I) 垫块 17—斜楔
- 18—芯棒盖 19—下模 (I) 座 20—芯棒垫块 21—导套
- 22—芯棒座 23—滑块 24—接杆 25—下模 (I) 压垫
- 26—调节块 27—下模 (I) 板 28—下模 (I) 板
- 29—阴模板 30—导柱 31—上模 (I) 活模板 32—上模板

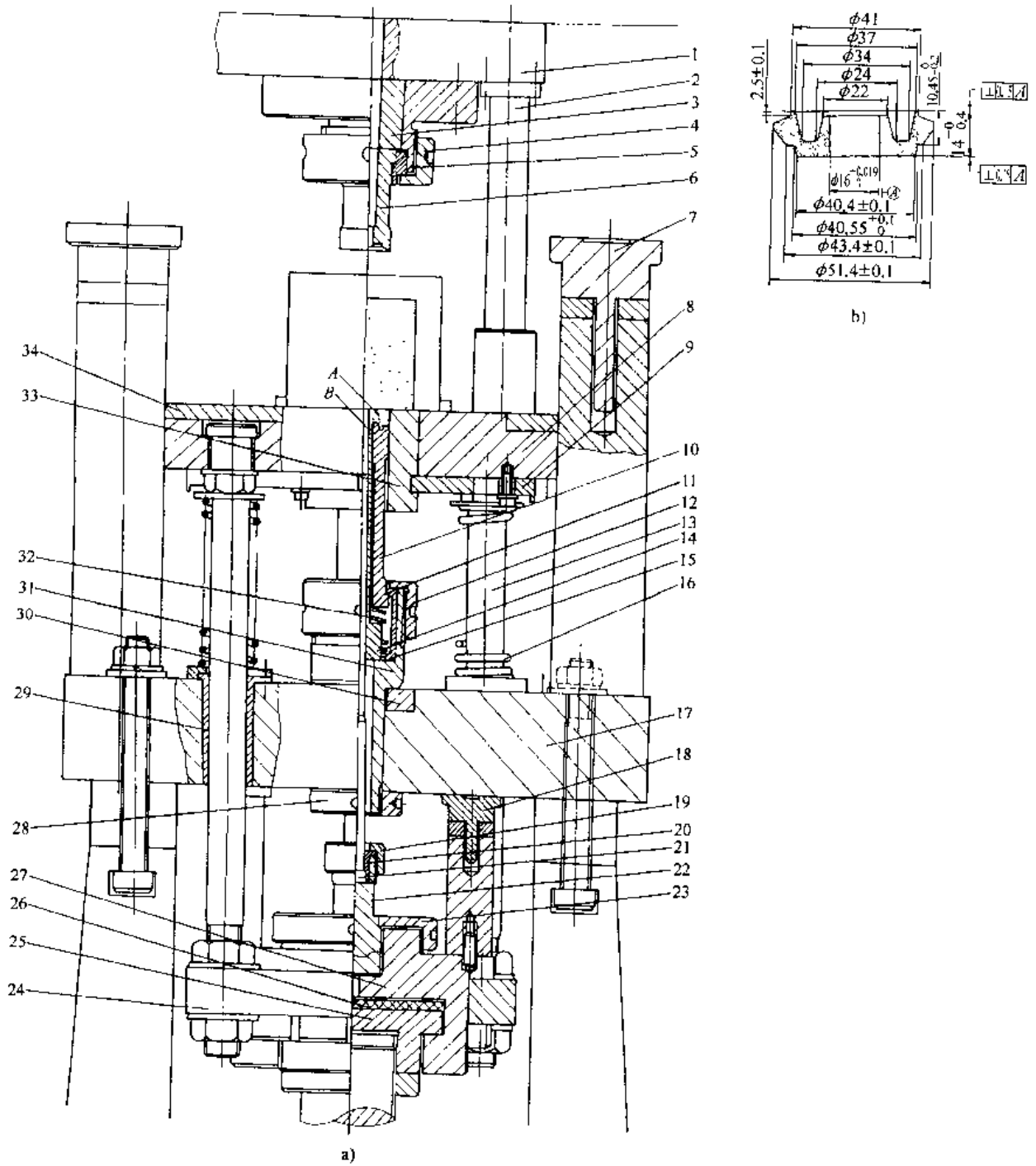


图 7-36 汽车减震器连杆导向器压坯成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—上模板 2—导柱 3—上模垫块 4—并帽 5—上模座 6—上模冲 7—上压制垫 8—阴模板
 9—哈夫压圈 10—下模冲(I) 11—压套 12—并帽 13—拉杆 14—下模冲(II) 15—压盖
 16—弹簧 17—下模板 18—下压制垫 19—并帽 20—压套 21—芯棒 22—芯棒座 23—并帽
 24—芯棒板 25—T型块 26—橡胶垫 27—连接套 28—并帽 29—导套 30—下模垫块
 31—下模座 32—弹簧 33—阴模 34—加粉板

上模(I)冲7由上模(I)盖6固定在上模(I)垫块5上;上模(II)冲4由上模(II)盖3固定在上模(II)垫块2上,并与活塞1相连;阴模9由阴模盖固定在下模板29上;芯棒8由芯棒盖18固定在芯棒垫块20上,并通过芯棒座22由接杆24与下汽缸活塞杆相连。下模冲(I)10由下模(I)盖11固定在下模(I)垫块12上;并通过下模(I)座13固定在下模(I)板28(可滑动)上;下模(II)14由下模(II)盖15固定在下模(II)垫块16上;通过下模(II)座19固定在下模(II)压垫25上,并坐落在下模(II)板27上。由导柱30、导套使上模(I)活动板31与上模板32相连,并与阴模板滑动配合。

装粉时,阴模回升,并将下模冲(I)调整到装粉位置(可通过压机任意调节)。压制时,上模冲(I)进入阴模,此时上模冲(II)相连的活塞下端进气,使上模冲(II)回升。粉末压缩后,下模冲(I)受压下浮,使滑块23接触到调节块26止;阴模受粉末摩擦力作用下,超过压机调整的浮动力向下浮动,实现双向压制效果。脱模时,下缸向下行,由拉杆(图中未表示)把阴模板向下拉,固定在下模板上的斜楔17向下接触滚轮,打开两侧滑块,使下模(I)板向下,压坯脱出阴模模腔,上缸回升,使上模冲(I)与上模冲(II)端面相平止,压坯完全脱出。

此模具结构特点是采用“上二下三”式模架(其中一块下模活动板未用),使模具设计简化,只需计算各模冲高度尺寸即可,其它模具零件均在模架中配套,大大缩短设计周期。

(二) 带内外台阶面类

图7-36所示是压制汽车减震器连杆导向器压坯的成形模,适用于YA79-125型全自动液压力式粉末成形机。

上模冲6由并帽4固定在上模座5、上模板1上;下模冲(I)10由压套11、并帽12与下模座31相连,并由弹簧32托起;下模冲(II)14由压盖15固定在下模座31孔中。芯棒21由压套20、并帽19固定在芯棒座22上。阴模33由哈夫压圈9固定在下模板8上。拉杆13将阴模板与芯棒板24相连;导柱2将阴模板与上模板活动配合连接。

装粉时,下缸上升,使下压制垫18碰到下模板止,使阴模到装粉位置;通过并帽12、压套11可微调下模冲(I),以调节装粉高度。

压制时,上模冲进入阴模加压,使阴模、芯棒同步向下浮动,下模冲(I)克服弹簧压力、亦向下浮动,直至上工作台面压实上压制垫7止,压坯成形。

脱模时,上模冲回升,下缸下行,由拉杆将阴模、芯棒同步拉下,直至压坯脱出。

此结构虽较简单,但设计时需要考虑芯棒座22、下模座31内孔的底面在加工时必须与外螺纹垂直;弹簧32要选择合适的弹力,即要使压坯脱模后,下模冲(I)能自行复位,又不至于因弹簧弹力太大而使压坯脱模时弹裂。

图7-37所示是压制汽车减震器底阀座压坯的成形模具,适用于全自动机械式粉末成形机。

上模冲(I)7、上模冲(II)5分别固定在活塞杆(I)4、活塞杆(II)2上,由于压坯内腔形状复杂,故上模冲(II)5由定位销42定位在气缸体(II)1上,以防转动。下模冲(I)13由压盖38固定在下模座37及下模(I)座块13上,座块由螺钉固定在下模板17上。下模冲(II)14通过下模接杆28由压盖27固定在下模座20上,并由螺钉与芯棒板21连接。为防止下模冲(II)型面移动,由定位套36导向,定位套由压盖35固定在下模座34上。小芯棒40由圆销与下模冲(II)相连。导柱41采用上装式结构,使阴模板9与上模板滑动配合;通过拉杆33使阴模板与芯棒板相连。

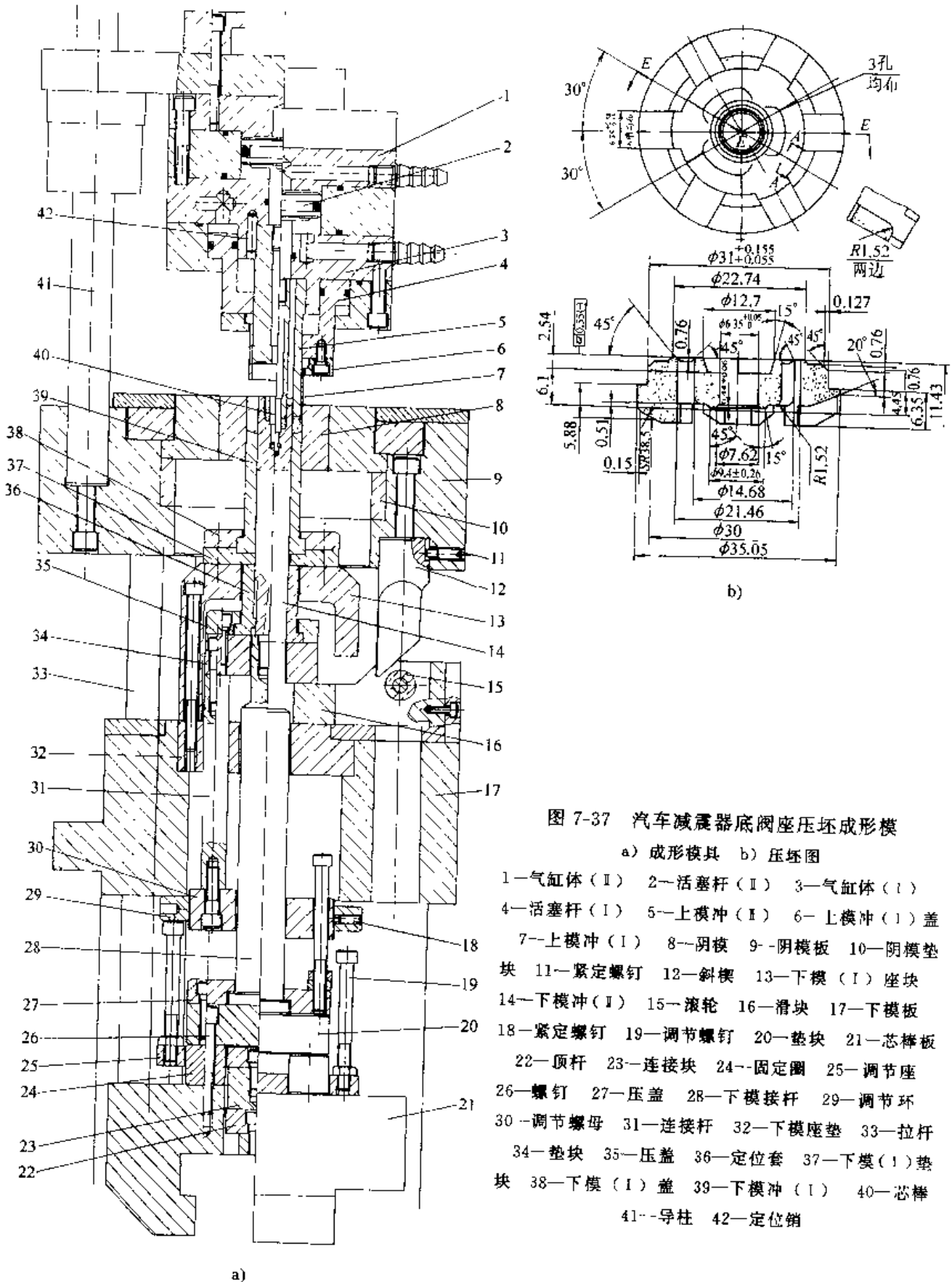


图 7-37 汽车减震器底阀座压坯成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—气缸体 (I) 2—活塞杆 (I) 3—气缸体 (I)
- 4—活塞杆 (I) 5—上模冲 (I) 6—上模冲 (I) 盖
- 7—上模冲 (I) 8—阴模 9—阴模板 10—阴模垫块
- 11—紧定螺钉 12—斜楔 13—下模 (I) 座块
- 14—下模冲 (I) 15—滚轮 16—滑块 17—下模板
- 18—紧定螺钉 19—调节螺钉 20—垫块 21—芯棒板
- 22—顶杆 23—连接块 24—固定圈 25—调节座
- 26—螺钉 27—压盖 28—下模接杆 29—调节环
- 30—调节螺母 31—连接杆 32—下模座垫 33—拉杆
- 34—垫块 35—压盖 36—定位套 37—下模 (I) 垫块
- 38—下模 (I) 盖 39—下模冲 (I) 40—芯棒
- 41—导柱 42—定位销

装粉时，阴模回升，下模冲（Ⅰ）由下气缸顶杆 22 通过连接块 23 将调节座 25 向上顶，使调节螺钉 19 碰到调节环 29 止（调节环一端面与下模板相接触），连接在调节螺母 30 上的连接杆 31 托起定位套 36，使下模冲（Ⅰ）向上至所需的装粉高度。由调节螺钉、调节环、调节螺母等来微调压坯内台阶面的装粉高度。

压制时，上模冲（Ⅰ）进入阴模加压，使阴模下浮，当压制压力大于下气缸托力时，使下模冲（Ⅰ）下浮。气缸体（Ⅰ）上端进气，使活塞杆（Ⅰ）向下，上模冲（Ⅰ）向下加压，压坯成形。

脱模时，下缸下行，拉杆拉下阴模板，使斜楔 12（为防止松动，由紧定螺钉 11 固定）通过滚轮 15 使滑块 16 向两侧移开，与下模冲（Ⅰ）相关的垫块 34 向下行，使压坯完全脱出。

图 7-38 所示是压制汽车发动机油封法兰压坯成形模，设计增加了上气缸结构，固定在上模板上，适用于全自动液压式粉末成形机。

上模冲（Ⅰ）5 由螺钉与活塞 3 相连，上模冲（Ⅰ）由压盖 4 固定在气缸 2 上。下模冲（Ⅰ）14 由下模（Ⅰ）盖 16 固定在下模（Ⅰ）垫块 17 及下模座块 21 上；下模冲（Ⅱ）13 由联结销 18 与下模（Ⅰ）接杆 19 相连，由紧定螺钉 40 固定在下模（Ⅰ）座块 24 上。大芯棒 12 由芯棒接杆 22 和螺钉固定芯棒座 31 上。小芯棒 11 由并帽 30 限位套 38 定位在芯棒座 31 上。阴模 10 带内台阶面，通过导向块 9 在阴模导套 8 中上下滑动，并与阴模垫块 15 联结，由顶杆（图中未表示）托起。

装粉时，阴模回升到装粉位置，下模冲（Ⅰ）由调节盘 23 来调节台阶的装粉高度，定位在下模板 41 上。

压制时，上模冲（Ⅰ）进入阴模加压，气缸下端进气，上模冲（Ⅰ）回升。阴模在粉末摩擦力作用下向下浮动，下模冲（Ⅰ）受力后亦向下浮动，直至压坯成形。

脱模时，阴模由拉杆拉下，使斜楔 45 碰到滚轮 42 后将滑块 43 向两侧移开，使阴模继续向下，直至压坯脱出阴模模腔；上模冲（Ⅰ）回升，同时上模冲（Ⅱ）在气缸作用下亦回升，直到压坯完全脱出。

此模具结构特点可在一般压机上成形较复杂形状的压坯。但对粉末松装比重误差要求较小，因为阴模模腔成形面无法调节装粉高度。

图 7-39 所示是压制汽车发动机曲轴带轮压坯成形模的上半部分，图 7-39（续）所示为该成形模的下半部分，适用于全自动液压式粉末成形机。

在模具结构上增设了上、下两气缸结构，替代斜楔-滑块结构。

上气缸体 2 固定在上模板 1 上，上模冲（Ⅰ）7 直接设计为活塞结构，由导向板 8 导向定位，以防受压后位移；上模冲（Ⅱ）5 由双头螺栓固定在上活塞 3 上，导向销 4 定位导向。下模冲（Ⅰ）16 由下模（Ⅰ）盖 18 固定在下模（Ⅰ）垫块 19 上；下模冲（Ⅱ）15 通过连接杆 44 与调节盘 29 相固定，并由定位键 17 与下模冲（Ⅰ）16 导向定位；下模冲（Ⅱ）14 由螺钉固定在下模（Ⅱ）垫块 20、下活塞 22 上。小、大芯棒 12、13 由芯棒盖 24 固定芯棒垫块 25、芯棒座 32 上，并与芯棒座块 34 相连。

装粉时，阴模 11 回升到装粉位置，考虑到压坯内台阶面的粉末补偿，下模冲（Ⅱ）15 由调节螺母 28 及调节盘 29 调整到装粉高度。下气缸体下端进气，下活塞 22 回升，使下模冲（Ⅱ）14 调整到装粉高度，以保证外台阶面的压缩比。

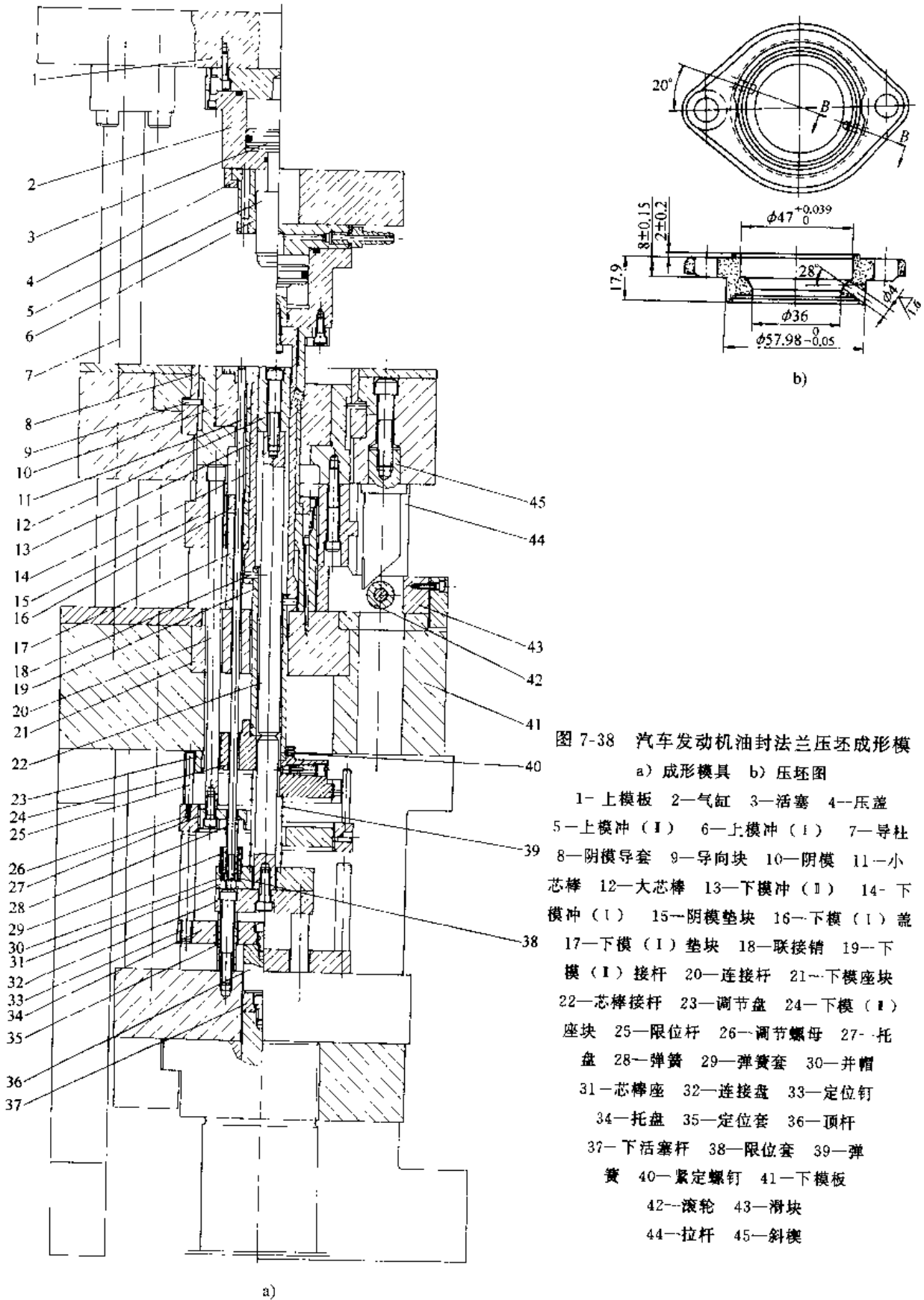


图 7-38 汽车发动机油封法兰压坯成形模

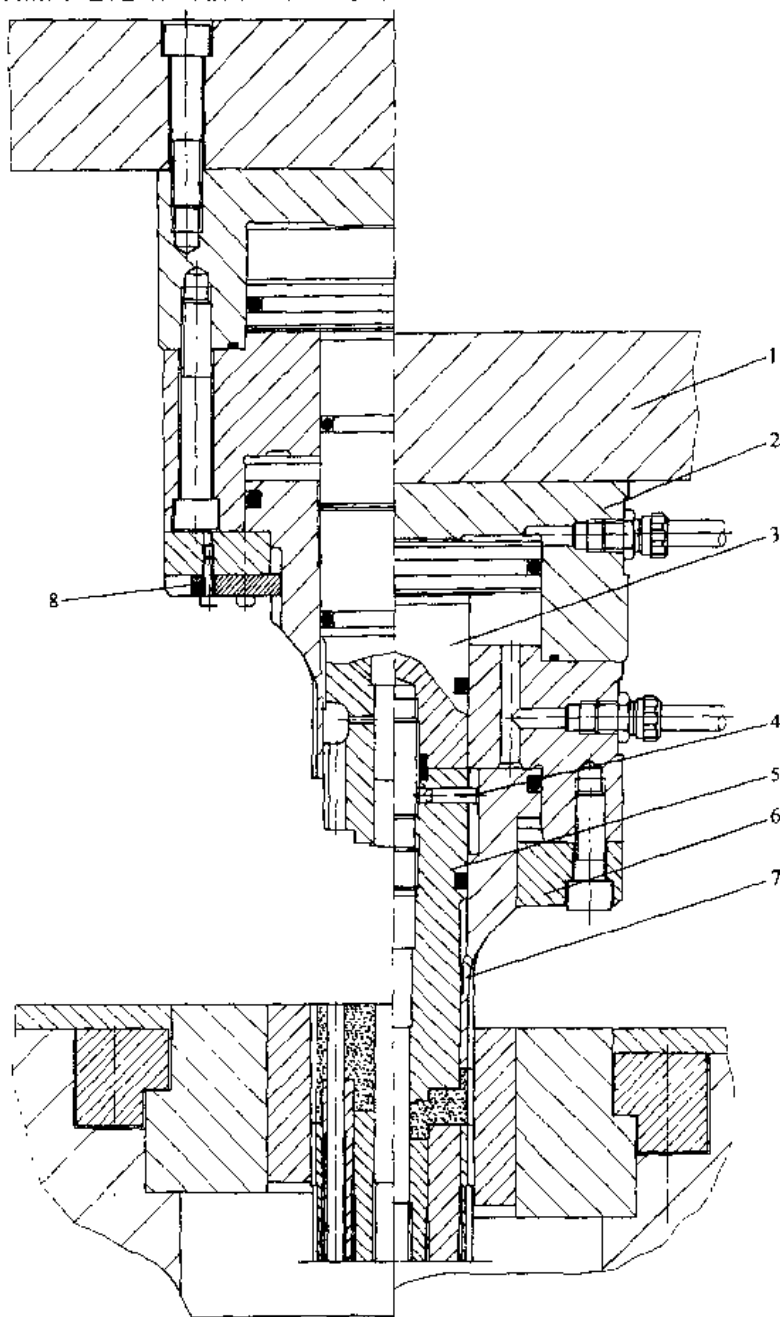
a) 成形模具 b) 压坯图

- 1- 上模板 2-气缸 3-活塞 4-压盖
- 5-上模冲 (I) 6-上模冲 (I) 7-导柱
- 8-阴模导套 9-导向块 10-阴模 11-小芯棒 12-大芯棒 13-下模冲 (I) 14-下模冲 (I)
- 15-阴模垫块 16-下模 (I) 盖 17-下模 (I) 垫块 18-联接销 19-下模 (I) 接杆 20-连接杆 21-下模座块 22-芯棒接杆 23-调节盘 24-下模 (I) 座块 25-限位杆 26-调节螺母 27-托盘 28-弹簧 29-弹簧套 30-并帽 31-芯棒座 32-连接盘 33-定位钉 34-托盘 35-定位套 36-顶杆 37-下活塞杆 38-限位套 39-弹簧 40-紧固螺钉 41-下模板 42-滚轮 43-滑块 44-拉杆 45-斜楔

压制时，上模冲（I）、（II）进入阴模加压，使阴模、芯棒向下浮动。下模冲（I）在压力下克服弹簧40的弹力而向下浮动，下模冲（II）在下气缸换气后通过下活塞向下浮动，获得双向压制的效果，压坯成形。

脱模时，拉杆45将阴模向下拉，压坯外径脱出模腔；同时上模冲（I）上端进气，使压坯内腔脱出上模冲（I）；下气缸下端进气，下活塞上升，使下模冲（II）上顶，压坯外台阶面脱出。

此模具结构特点为通过增设辅助气缸，使复杂形状压坯的成形更为可靠，批产稳定性好。



a)
图 7-39 汽车发动机曲轴带轮压坯成形模

- a) 上模冲结构
1—上模板 2—上气缸体 3—上活塞 4—导向销 5—上模冲（I）
6—压盖 7—上模冲（II） 8—导向板

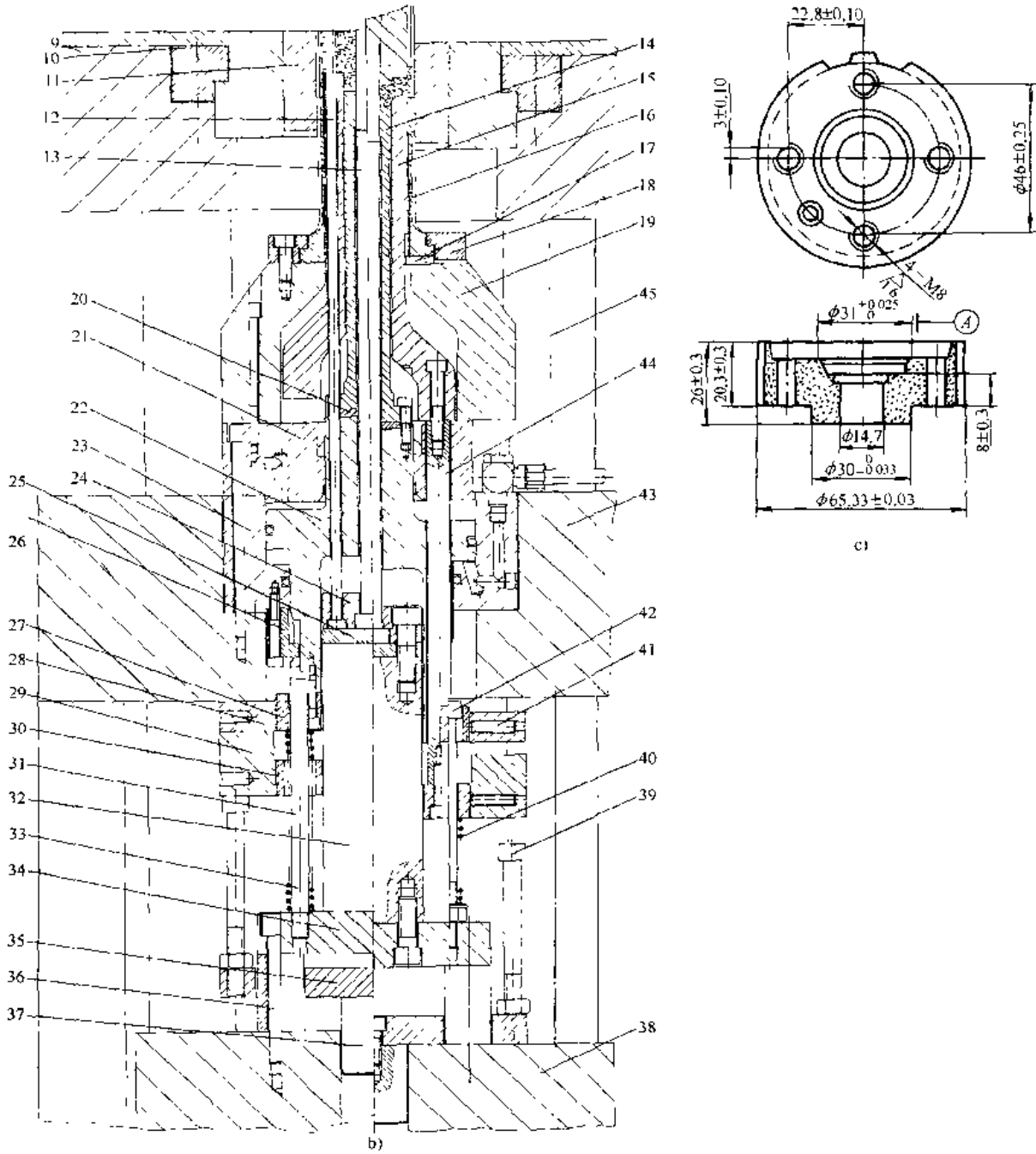


图 7-39 汽车发动机曲轴带轮压坯成形模 (续)

b) 阴模及下模冲结构 c) 压坯图

- 9- 阴模板 10 阴模盖 11 阴模 12-小芯棒 13-大芯棒 14-下模冲 (II) 15-下模冲 (I)
 16-下模冲 (I) 17 定位键 18-下模 (I) 盖 19- 下模 (I) 垫块 20-下模 (II) 垫块
 21- 下气缸体 22-下活塞 23-座套 24- 芯棒盖 25- 芯棒垫块 26 -托盖 27-定
 位螺母 28 调节螺母 29-调节盘 30-螺母 31-顶杆 32-芯棒座 33-弹簧
 34-芯棒座块 35-连接板 36-定位套 37-下缸顶杆 38-芯棒板 39-螺钉
 40- 弹簧 41- 紧定螺钉 42- 螺钉 43-下模板 44-连接杆 45-拉杆

四、IV类零件压坯的成形模具

IV类零件压坯的成形模通常是由一个上模冲、三个下模冲及阴模、芯棒等构成。

(一) 带两个外台阶面类

图7-40所示为压制带两个外台阶面压坯的成形模具,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。上横梁落在浮动的装粉板24上,通过螺母23可调节下模冲到阴模口的距离,从而调节压坯各段的装粉高度,使压坯密度趋于均匀。压制时,上模冲和上模座强迫阴模下行(推开弹簧销钉)。下模冲向下浮动,落在芯棒的压盖上(压缩装粉板的弹簧25)。压套也向下浮动,落到承压柱22上。全部压力均由芯棒压盖传到下模板上。脱模时,顶出机构通过顶杆27、上横梁将下模冲向上顶,压坯脱出。采用橡胶缓冲垫16可防止金属件之间发生快速撞击。复位靠拉簧将顶杆拉回,由于装粉板的弹簧力大于拉簧的拉力,故上横梁被支承在装粉板上。压套被弹簧18托起,螺钉限位。阴模在脱模时随压坯上行,到最上位置后被弹簧销钉托住。

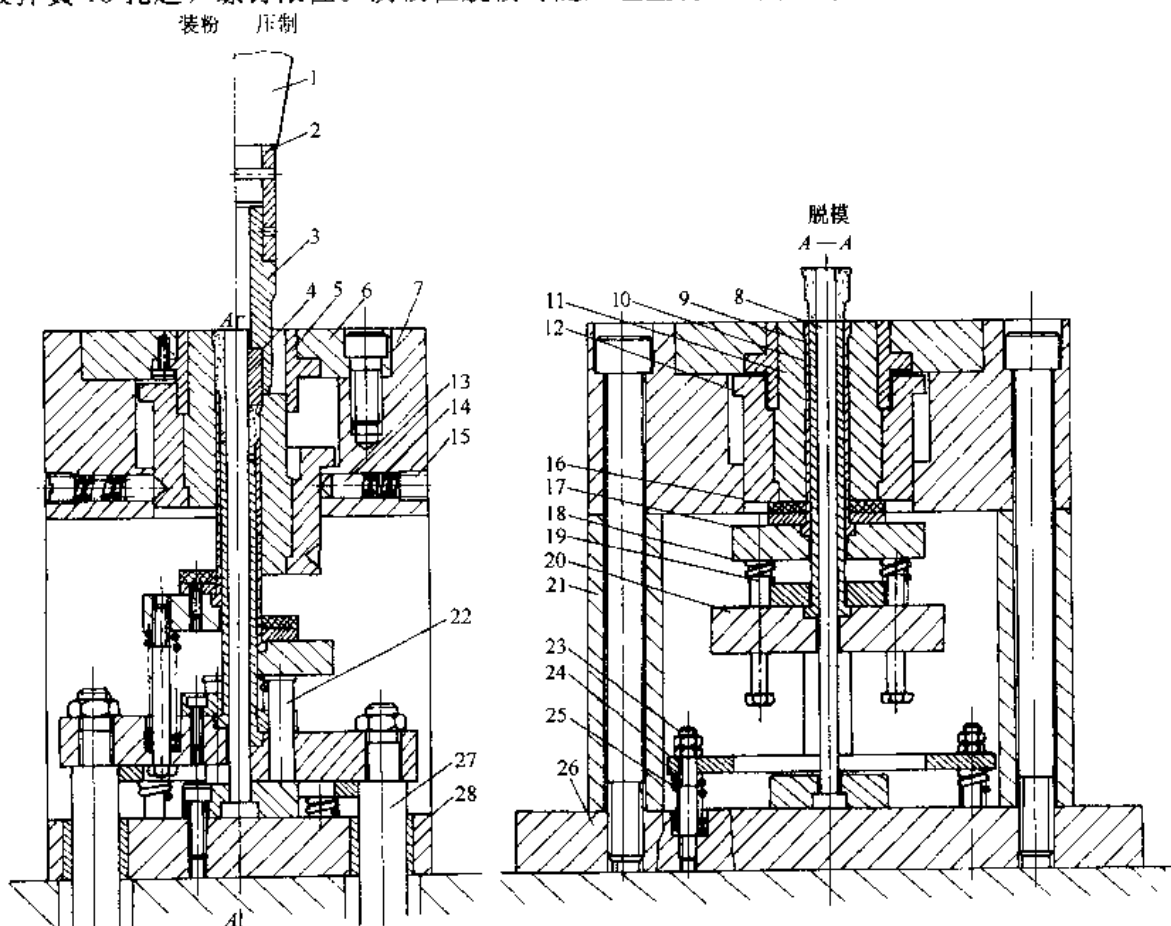


图7-40 带两个外台阶面类压坯的成形模具

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—丝堵 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

图 7-41 所示为压制汽车发动机正时销座压坯的成形模，适用于一般粉末成形压机上。

装粉时，下模冲（Ⅱ）8 固定不动，阴模 2 上升至所需装粉高度（位置可由压机调节），下模冲（Ⅰ）5 由顶杆 15 通过压机辅缸及气缸顶杆 16 作用上升至装粉位置，装粉高度微调可通过螺母 13 调节并限位；下模冲（Ⅰ）4 由顶杆 16 通过气缸作用上升，装粉位置可通过调节螺

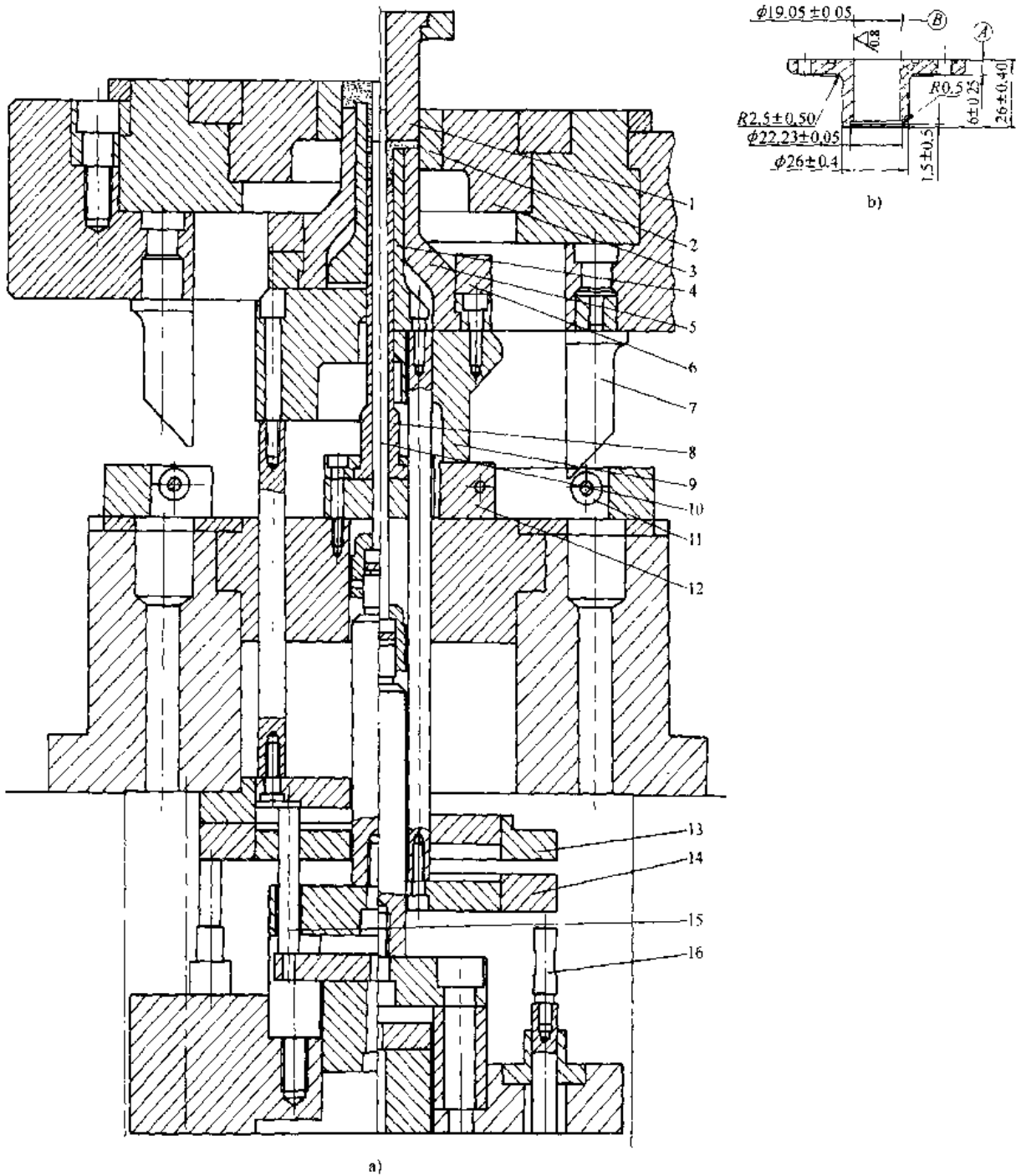


图 7-41 汽车发动机正时销座压坯成形模

- a) 成形模具 b) 压坯图
- 1—上模冲 2—阴模 3—护套 4—下模冲（Ⅱ） 5—下模冲（Ⅰ） 6—限位垫 7—斜楔
 8—下模冲（Ⅰ） 9—垫块 10—芯棒 11—滚轮 12—滑块 13—调节环
 14—调节螺母 15、16—顶杆

母 14 调整并限位。

成形时，上模冲 1 进入阴模，压缩粉末，当下模冲 (I)、(II) 所受压力大于气缸的顶力时，开始下浮至垫块 9 与滑块 12 接触、下模冲 (I) 接触垫块 9 时止。阴模及芯棒 10 浮

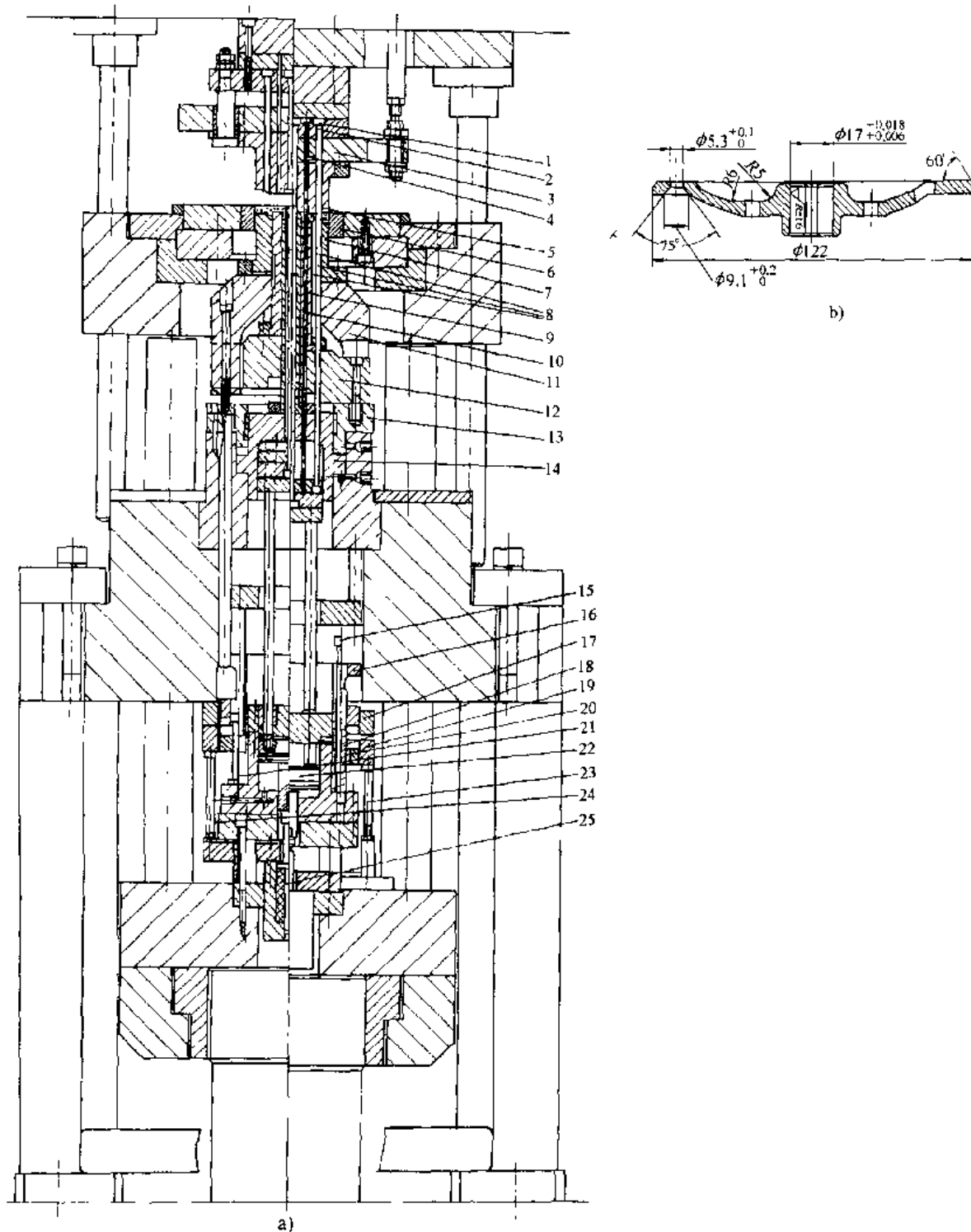


图 7-42 汽车风扇叶轮压坯的成形模具

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—大芯棒 2、3、11、12、13—垫块 4—小芯棒 5—上模冲 6—阴模 7—下模冲 (I) 8—假芯棒
9—下模冲 (II) 10—下模冲 (III) 14—活塞 15、21—拉钉 16、20—连接块
17、19—螺母 18—弹簧 22、23—气缸 24—顶杆 25—橡皮

动量，可按压坯台阶面位置要求，通过压机调节并机械定位。

脱模时，下缸下行，由拉杆将阴模继续下拉，使斜楔 7 接触滚轮 11，并推动滑块 12 向两侧移开，当阴模下行至与下模冲（I）上端面平齐时，滑块 12 已完全与垫块 9 脱开，这时护套 3 底部与限位垫 6 接触，阴模继续下行，带动下模冲（I）、（II）下行，至压坯全部脱出。

复位时，取出压坯，阴模及下模冲（I）、（II）复位至装粉位置。

图 7-42 所示是压制汽车风扇叶轮压坯的成形模具结构示例。一组大芯棒 1 及小芯棒 4 固定安装在上模冲座上，与上模冲 5 一起连接在压机单向辅助气缸上。装粉时，固定下模冲（II）10，气缸上端进气使其处于最低位置，阴模 6 上升至装粉位置，下模冲（I）7 由顶杆 24 通过压机辅缸及气缸 23 的作用上升，装粉高度可由螺母 17 调节限位，下模冲（II）9 由顶杆 24 和气缸 23 作用上升，高度由螺母 19 调节限位，一组长细的“假芯棒”8 通过芯棒气缸 22 及橡皮 25 的力的作用上升，并由气缸端盖限位。成形时，上模冲 5 下降进入阴模，并随压力的增加浮动至垫块 3 与垫块 2 接触时止。同时大芯棒 1 及小芯棒 4 下压推动下部相应的一组“假芯棒”8 克服气缸 22 的阻力下浮，带肩大芯棒 1 进入下模冲（I）7，小芯棒 4 进入下模冲（II）9，下模冲（I）7 受压下浮至垫块 11 与下模冲（III）的气缸端盖 13 接触。下模冲（II）9 受压下浮至垫块 13 与气缸端盖接触时止，压坯成形。

脱模时，上模冲连同芯棒组回升，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，阻止下模冲（I）7 及下模冲（II）9 上升，下模冲（III）10 的气缸下端进气，通过活塞 14 推动下模冲（III）10 上升，将压坯从下模冲（I）9、下模冲（I）7 中脱出。（注：压机下端辅助缸，仅起装粉复位作用，上模冲下降时，该活塞缩回。）

此模具结构特点为设计了辅助气缸，使压坯装粉调节及脱模都很可靠，还采用了芯棒上装式，可缩短芯棒长度，有利于加工。通过“假芯棒”结构，使粉末在压制时移动更充分，以确保压坯密度均匀。

图 7-43 所示是压制汽车发动机曲轴正时带轮（带有两个内台阶面类）压坯的成形模，适用于全自动液压式（机械式）粉末成形机。外台阶面由带内台阶面的阴模 2 成形，两个内台阶面分别由下模冲（III）5、下模冲（II）4 成形；下模冲（I）3 固定不动。

装粉时，阴模上升并由压机调节至所需高度，下模冲（I）由顶杆 13 通过压机辅助缸及气缸顶杆 14 的作用上升，高度由螺母 12 调节内台阶面装粉高度并限位；下模冲（III）5 在气缸活塞 8 的作用下上升，并由螺母 10 调节装粉高度并限位。

成形时，上模冲 1 下降进入阴模，通过压力传递，带动阴模浮动，浮动量根据压坯外台阶面要求，由机床调节限定。下模冲（I）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；下模冲（III）受压向下浮动，至活塞 8 下端部与气缸体接触时止，压坯成形。

脱模时，上模冲回升，阴模由连接压机下缸的拉杆向下拉，使其端面与下模冲（I）上端面齐平，拉杆 9 头部下端与螺纹连接块 11 接触，以阻止下模冲（II）上升，下模冲（III）通过气缸活塞 8 作用上升，将压坯从下模冲（I）中顶出，实现压坯完全脱模。

此模具结构特点在于设计配以辅助气缸，能在一般性能的粉末成形机上压制形状复杂的压坯。但是，由于阴模带内台阶面，装粉高度不能调节，要求所用的粉末有较为稳定的松装比重。

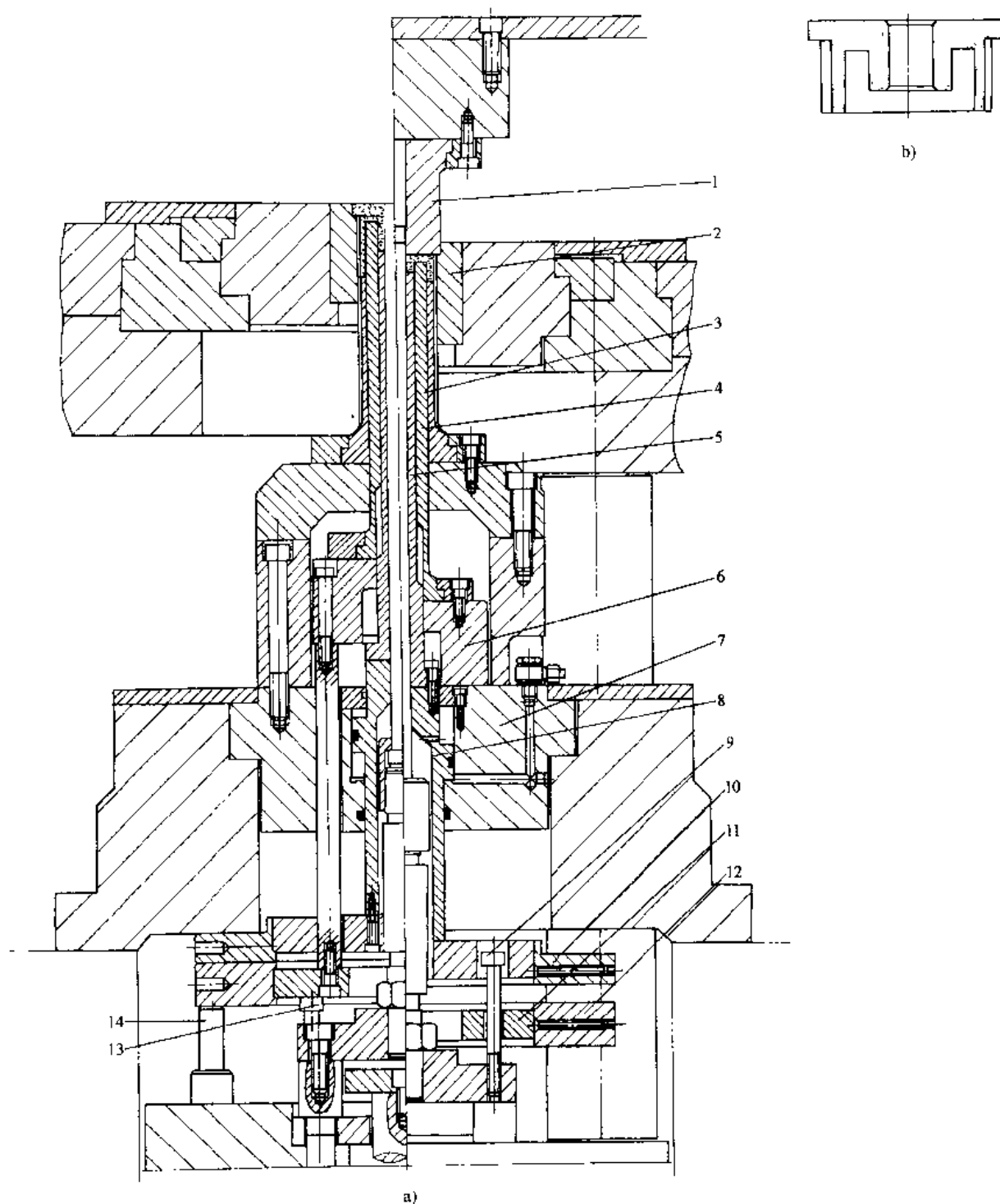


图 7-43 汽车发动机曲轴正时带轮压坯的成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

1—上模冲 2—阴模 3—下模冲 (I) 4—下模冲 (II) 5—下模冲 (III) 6—垫块 7—气缸体
8—活塞 9—拉杆 10—螺母 11—连接块 12—螺母 13—顶杆 14—气缸顶杆

(二) 带有凹槽类

图 7-44 是压制汽车发动机凸轮轴齿形带轮压坯的成形模具，适用于全自动液压式（机械式）粉末成形机。

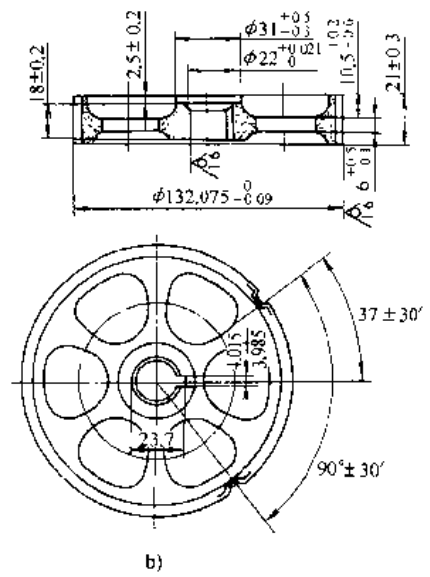
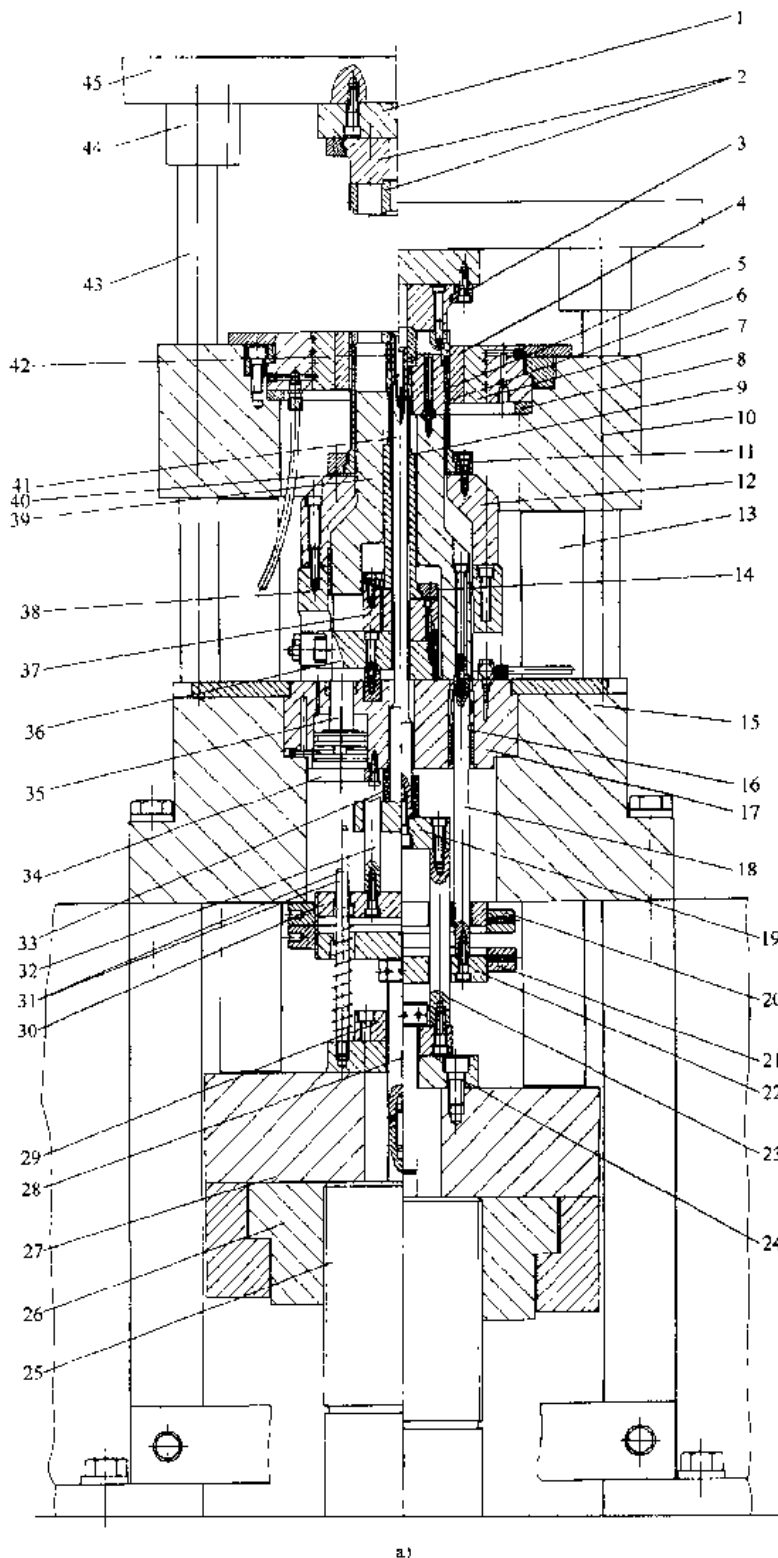


图 7-44 汽车发动机凸轮轴齿形带轮压坯成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—上模冲垫块 2 上模冲 3—上模冲盖
 4—阴模 5—大芯棒 6 下模冲 7 保护套 8—阴模垫块 9—内模冲(I)
 10—阴模板 11 下模盖 12—下模垫块 13—拉杆 14—内模冲(I)盖
 15—下模板 16—导套 17—下模座 18—顶杆(I) 19—芯棒座 20—调节盘(I)
 21 调节盘(II) 22 调节螺母(II) 23 顶杆(II) 24—芯棒垫块 25 下缸螺杆 26—T型块
 27—芯棒板 28—下缸顶杆 29 顶杆(II)接盘 30—调节螺母(I)
 31—弹簧杆 32—顶杆(III) 33—硬橡皮 34—气缸盖 35—气缸 36—内模冲(I)托座 37—内模冲(I)垫块
 38 下模冲座 39—内模冲(II)
 40—下模垫块 41 芯棒接杆
 42—小芯棒 43 导柱
 44—导套 45—上模板

上模冲 2 采用组合结构,由 6 只螺钉相连,6 根大芯棒 5 由螺钉与内模冲 (I) 39 相连,小芯棒 42 与芯棒接杆 41 及芯棒座 19 相连。

装粉时,下缸螺杆 25 上升,通过连接在芯棒板 27 上拉杆 13,使阴模上升到装粉位置。内模冲 (I) 9 由定位销定位,由螺钉固定在内模冲 (I) 盖 14、内模冲 (I) 垫块 37、内模冲 (I) 托座 36 上,并由顶杆 (II) 32 与调节螺母 (I) 30 相连。压坯内台阶面的装粉高度可由调节盘 (I) 20 调节并定位 (与下模板 15 底面接触);内模冲 (II) 39 由顶杆 (I) 18 连接在调节螺母 (I) 22 上,并由调节盘 (I) 21 调节压坯凹槽的装粉高度,并定位在调节盘 (I) 底面。

压制时,上模冲进入阴模加压,当压力大于压机调节的下缸浮动力时,阴模向下浮动,内模冲 (I) 9 下浮至使内模冲 (I) 托座接触到下模板 15 上止;内模冲 (II) 39 下浮至下模座 17 止,小芯棒在粉末摩擦力作用下,克服硬橡皮 33 力亦向下浮动,获得双向压制效果,压坯成形。

脱模时,下缸螺杆 25 通过 T 型块 26 将芯棒板 27 向下拉,由拉杆 13 将阴模板 10 亦向下拉,使压坯外径脱出阴模模腔,上模冲回升,压坯完全脱出。

复位时,下缸上升,调节盘 (I) 20、(II) 21 在弹簧杆 31 上的压缩弹簧作用下,碰到下模板 15 底面,使内模冲 (I) 9、内模冲 (II) 39 复位至装粉高度,小芯棒由下气缸顶杆 28 向上顶,复位至装粉高度。

此模具结构较紧凑,适用在一般功能的粉末成形机上压制有凹槽 (内腔多台阶面类) 的压坯。由于异型大芯棒与内模冲 (I) 相连,因此,对粉末松装比重的变动量范围要求较严格。

图 7-45 所示是压制汽车变速器同步器齿毂压坯的成形模具。

此模具结构设计上采用上、下两个双气缸结构,适用于一般压机 (只需带上、下缸即可)。

上模冲 (I) 14 及下模冲 (I) 17 采用柔性结构,由压盖 13、18 面定在垫块 12、19 上,并由定位套 (I) 11、定位套 (II) 20 将橡胶 (I) 10、橡胶 (II) 21 固定在垫块 12、压座 22 上,由螺钉调节其弹力。上模冲 (II) 9 由压盖 8 面定在垫块 7 上,并与上活塞 (II) 3 相连;下模冲 (II) 23 与下活塞 (I) 25 相连,下模冲 (II) 26 与下活塞 (II) 29 相连。

装粉时,下缸向上,由拉杆 35 托起阴模板 15,使阴模 16 至装粉位置;下模冲 (II) 23 由下活塞 (I) 25 带动上行到装粉高度;下模冲 (II) 26 由下活塞 (II) 29 带动上行到装粉高度;芯棒 39 在弹簧 33 弹力作用下 (使用调节螺母 34 调节弹簧力),顶至下活塞 (I) 端面定位。

压制时,上模冲 (I) 进入阴模加压,当压制压力大于下缸调整的浮动力时,阴模向下浮动;同时,上活塞 (I) 向下加压使上模冲 (I) 压下;上活塞 (I) 向下加压,使上模冲 (II) 6 压下,压缩橡胶 (II) 40,克服弹簧 33 力,使芯棒下浮,下模冲 (I)、下模冲 (II) 在下活塞 (I)、下活塞 (II) 力的调节下向下浮动,直至压坯成形。

脱模时,芯棒板 30 向下行,由拉杆将阴模拉下,使压坯外径脱出阴模模腔;下活塞 (I) 向上,下活塞 (II) 向下,使压坯下端内腔脱出,同时上模冲回升,使压坯完全脱出。

此模具结构特点在于采取双气缸,便于调节装粉高度及成形压力,使压坯密度较均匀;上、下模冲 (I) 及芯棒上端采用橡胶作为柔性受力,可防止压坯成形或脱模时裂纹产生。

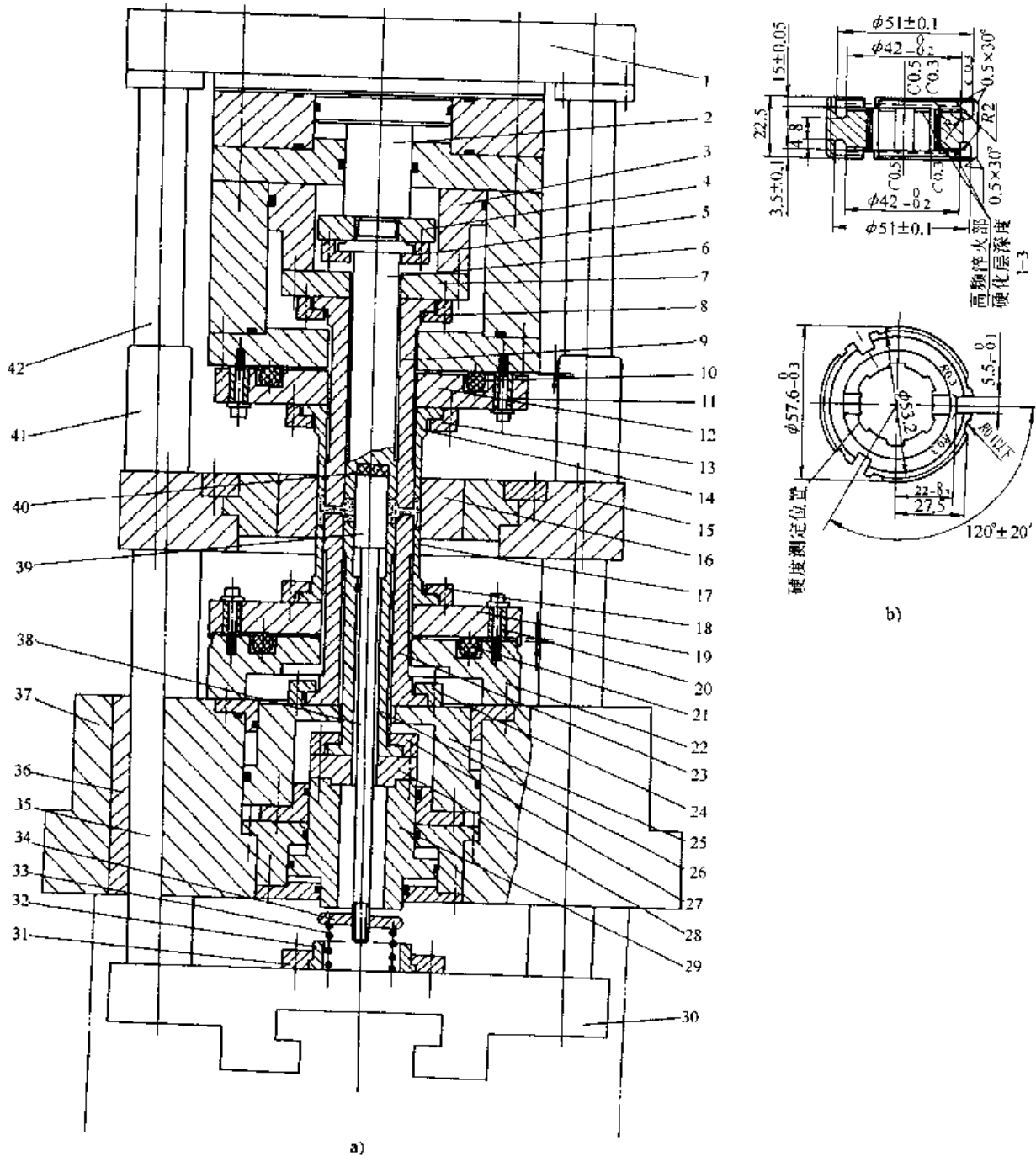


图 7-45 汽车变速器同步器齿毂压坯成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—上模板 2—上活塞 (I) 3—上活塞 (II) 4—垫块 5—压盖 6—上模冲 (II) 7—上模冲 (I) 垫块
 8—上模冲 (II) 盖 9—上模冲 (II) 10—橡胶 (I) 11—定位套 (I) 12—上模冲 (I) 垫块 13—上模
 冲 (I) 盖 14—上模冲 (I) 15—阴模板 16—阴模 17—下模冲 (I) 18—下模冲 (I) 盖 19—下模
 冲 (I) 垫块 20—定位套 (II) 21—橡胶 (II) 22—下模冲 (I) 压座 23—下模冲 (I) 24—下模
 冲 (II) 盖 25—下活塞 (I) 26—下模冲 (II) 27—下模冲 (II) 盖 28—下模冲 (II) 座 29—下活
 塞 (II) 30—芯棒板 31—压盖 32—弹簧座 33—弹簧 34—调节螺母 35—拉杆 36—导套
 37—下模板 38—芯棒接杆 39—芯棒 40—橡胶 (II) 41—导套 42—导柱

五、V 类零件压坯的成形模具

V 形压坯的成形模通常由两个上模冲、三个下模冲及阴模、芯棒等构成。

(一) 多台阶面类

图 7-46 所示为压制多外台阶面压坯的成形模。其结构原理同单台阶面类压坯。即各段要有合适的装粉高度，并能脱模。对于成形，原则上一个外台阶就需要一个压套。压制时要用限位垫 2 保持压套 3、4 之间的距离，以保证压坯轴向尺寸及脱模时有必要的行程。为了简化结构，下模冲 8 分为三块，便于脱模。

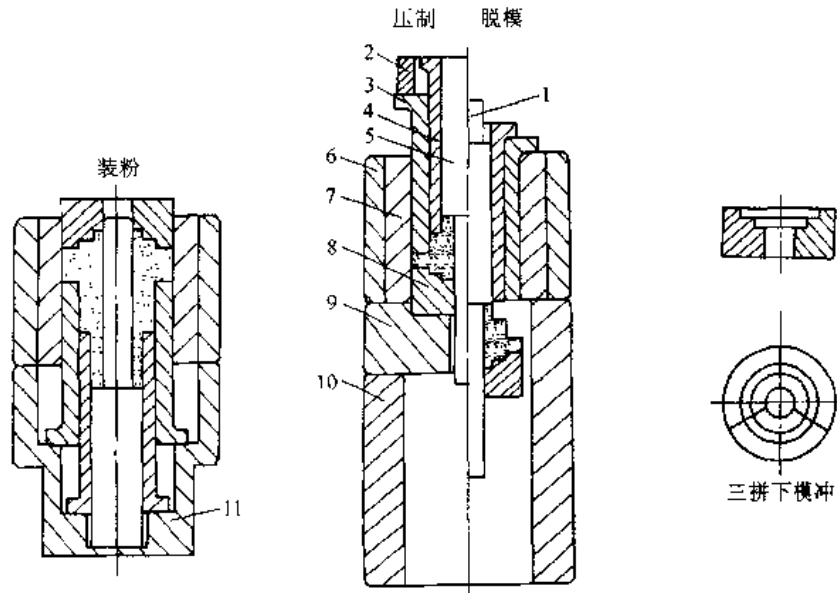


图 7-46 压制多外台阶面类压坯的成形模

1—顶柱 2—限位垫 3—外压套 4—内压套 5—芯棒 6—模套
7—阴模 8—下模冲 9—压垫 10—压座 11—装粉座

图 7-47 所示是压制汽车减震器导向器压坯的成形模具。上模冲 (I) 3 及下模冲 (II) 7、下模冲 (I) 5 固定不动，阴模带台阶面。装粉时，上模冲 (I) 2 气缸上部进气，上模冲 (I) 2 伸出，阴模 4 上升至所需装粉高度，下模冲 (I) 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，上模冲 (I) 2 受压浮动至其底部与气缸体 1 接触为止。当下模冲 (I) 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，其浮动量可根据成形尺寸由压机调节并限位。脱模时，上模冲 2、3 回升，上模冲 (II) 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 (I) 6 下行，使下模冲 (I) 6 从压坯中脱出。(讨论：(1) 由于上模冲 (I) 3 端部有几外凸起，为使密度均匀分布，凸起处阴模需切去一块，称为“粉袋”，让多余粉末从此处逃出。粉袋大小深浅一般通过试验或凭经验确定。该结构可调性较差，要求粉末松装密度稳定；(2) 细长芯棒较难制造，同时由于刚性较差使用中易产生弯曲，寿命较短。)

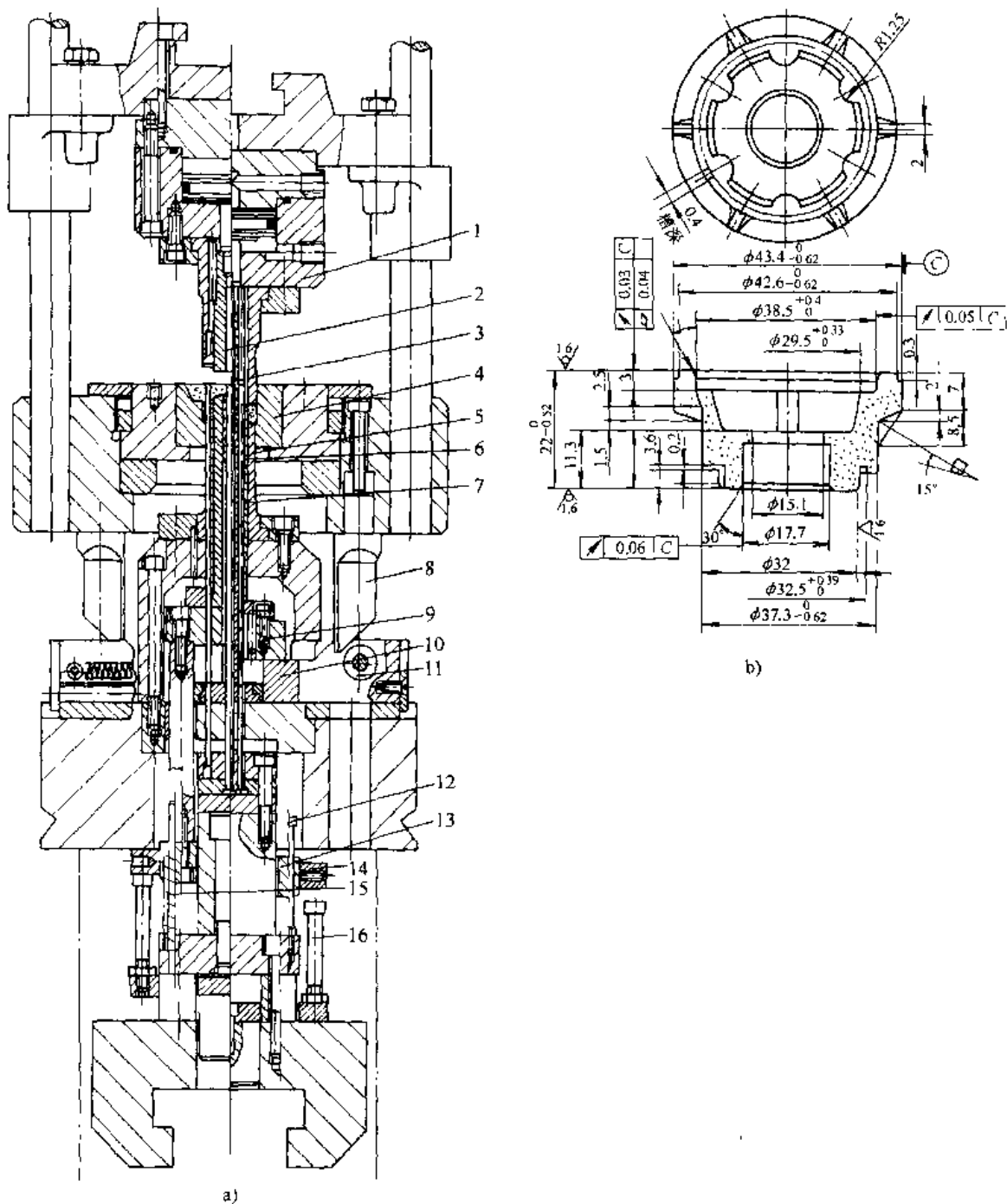


图 7-47 汽车减振器导向器压坯成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—气缸体 2—上模冲(I) 3—上模冲(II) 4—阴模 5—下模冲(I) 6—下模冲(II) 7—下模冲(III)
 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

图 7-48 所示是汽车减震器活塞压坯的成形模具。此结构设计特点在于成形的细芯棒 1 装在上模冲部分，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。下模冲(III) 8、下模冲(I) 6 固定不动。装粉时阴模上升至装粉高度，下模冲(II) 7 由顶板 18 通过压机辅助缸及气缸 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

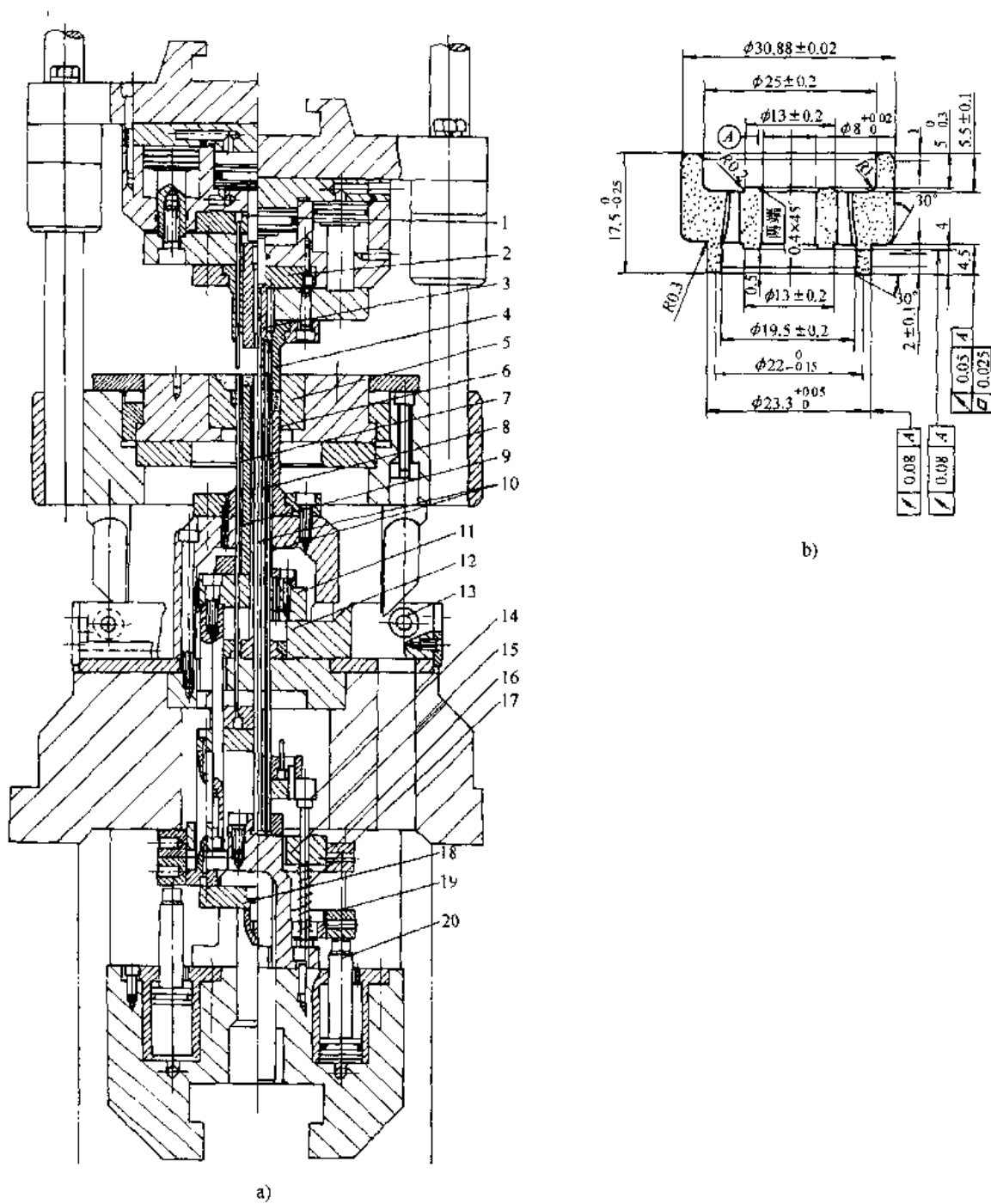


图 7-48 汽车减震器活塞压坯的成形模具

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—细芯棒 2—垫块 3—上模冲 (Ⅱ) 4—上模冲 (Ⅰ) 5—阴模 6—下模冲 (Ⅰ)
 7—下模冲 (Ⅱ) 8—下模冲 (Ⅲ) 9—假芯棒 10—芯棒 11—垫块 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

通过压机辅缸及气缸 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, 此时上模冲 (Ⅰ) 4 气缸下端进气, 上模冲 (Ⅱ) 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 进入下模冲 (Ⅰ) 6 孔中, 上模冲 (Ⅱ) 3 受压开始浮动, 直至其底部与垫块 2 接触, 下模冲 (Ⅰ)

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机上调节限位。脱模时上模冲 3、4 及细芯棒 1 回升, 上模冲 (I) 4 气缸上端进气, 上模冲 (I) 伸出, 以保护细芯棒 1, 上模冲 (II) 3 气缸下端进气。阴模 5、其他芯棒 10 及下模冲 (I) 7 脱模方法与图 7-47 一样, 不再赘述。

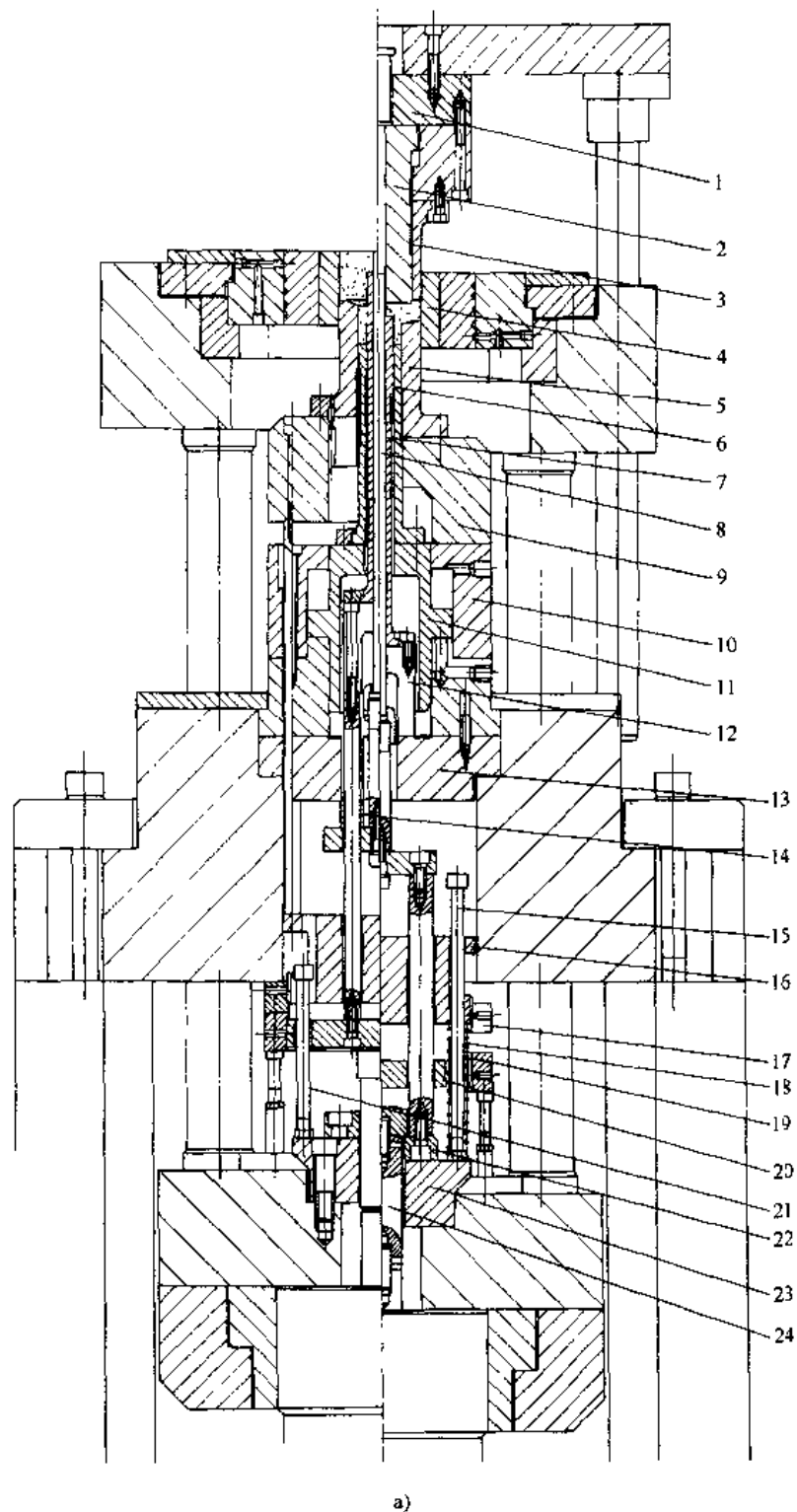


图 7-49 汽车发动机轮毂压坯成形模具

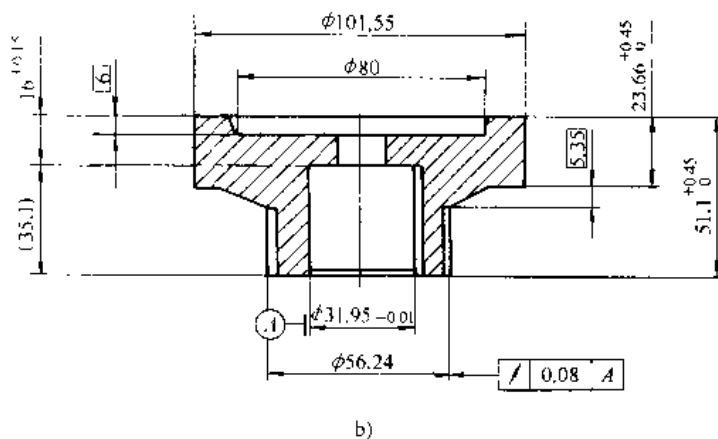


图 7-49 汽车发动机轮毂压坯成形模具 (续)

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1 垫块 2—上模冲 (Ⅰ) 3 上模冲 (Ⅱ) 4—阴模 5—下模冲 (Ⅰ) 6 下模冲 (Ⅱ)
7 下模冲 (Ⅲ) 8—芯棒 9、12、13、22、23—垫块 10—气缸体 11—活塞 14—橡皮圈
15、21 拉钉 16、20—连接块 17、19—螺母 18—弹簧 24—接杆

(二) 内外带台阶面类

图 7-49 所示的是汽车发动机轮毂压坯的成形模具。装粉时，下模冲 (Ⅰ) 6 的气缸上部进气，下模冲 (Ⅰ) 6 处于最低位置。阴模 4 上升至所需装粉高度，下模冲 (Ⅰ) 5 在压机辅缸及弹簧 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。下模冲 (Ⅱ) 7 在压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，并由橡皮圈 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，压机辅缸缩回，上模冲进入阴模，上模冲 (Ⅰ) 2 受压浮动至其底部与垫块 1 接触。下模冲 (Ⅰ) 5 受压下浮至垫块 9 与气缸体 10 接触。下模冲 (Ⅱ) 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，上模冲 (Ⅰ) 2 在压机辅助气缸作用下伸出上模冲 (Ⅱ) 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，以阻止下模冲 (Ⅰ) 5 和下模冲 (Ⅱ) 7 上升。下模冲 (Ⅰ) 气缸下端进气，通过活塞 11 推动下模冲 (Ⅱ) 6 上升，将压坯顶出下模冲 (Ⅰ)、(Ⅱ)。芯棒 8 通过接杆 24 在压机辅缸向下拉力的作用下，从压坯中脱出。

图 7-50 所示是压制汽车发动机曲轴齿形带轮压坯的成形模具，适用于全自动液压式 (机械式) 粉末成形机。

上模冲 (Ⅰ) 38 连接在上活塞 (Ⅰ) 34 上，上模冲 (Ⅱ) 37 由螺钉与上活塞 (Ⅱ) 35 相连；下模冲 (Ⅰ) 4 固定在下模 (Ⅰ) 垫块 8、底座 9 上；下模冲 (Ⅱ) 5 由顶杆 21 连接在调节板 24 上；下模冲 (Ⅲ) 6 连接在下活塞 10 上。

装粉时，下缸上升，使阴模 3 至装粉位置，下模冲 (Ⅱ) 6 上升位置 (装粉高度) 由调节板 22、23 调节。下模冲 (Ⅰ) 5 上升位置 (装粉高度) 由调节板 24、25 调节，调节板 22、23、24、25 由压机下缸中的辅助小油缸顶杆 20 驱动四只调节螺钉 17 向上推动碰到下模板 12 底平面而定位。

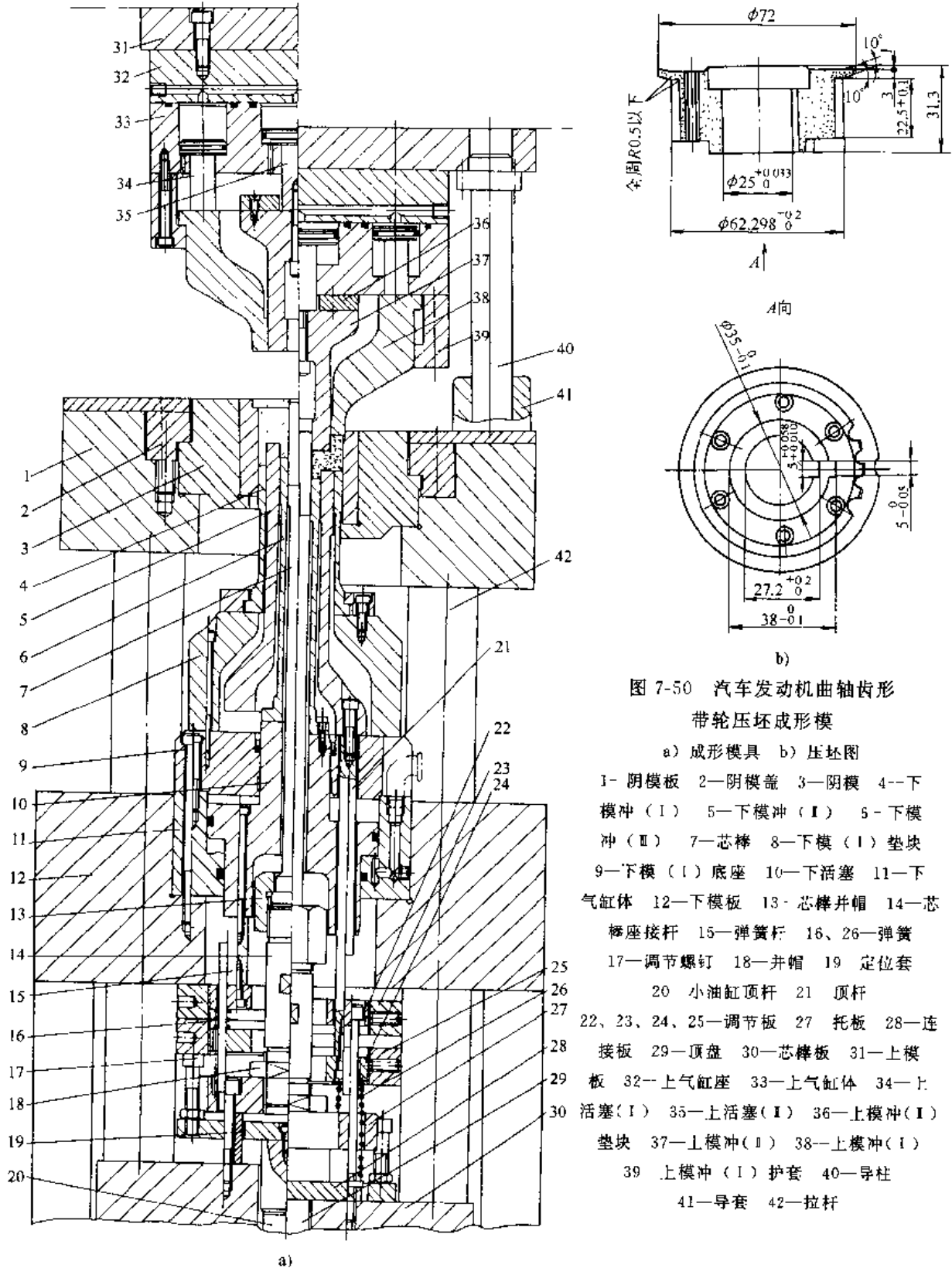


图 7-50 汽车发动机曲轴齿形带轮压坯成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1- 阴模板 2- 阴模盖 3- 阴模 4- 下模冲 (I) 5- 下模冲 (II) 6- 下模冲 (III) 7- 芯棒 8- 下模 (I) 垫块
- 9- 下模 (I) 底座 10- 下活塞 11- 下气缸体 12- 下模板 13- 芯棒并帽 14- 芯棒座接杆 15- 弹簧杆 16、26- 弹簧
- 17- 调节螺钉 18- 并帽 19 定位套 20 小油缸顶杆 21 顶杆
- 22、23、24、25- 调节板 27 托板 28- 连接板 29- 顶盘 30- 芯棒板 31- 上模板 32- 上气缸座 33- 上气缸体 34- 上活塞 (I) 35- 上活塞 (II) 36- 上模冲 (I) 垫块 37- 上模冲 (II) 38- 上模冲 (I) 39 上模冲 (I) 护套 40- 导柱 41- 导套 42- 拉杆

压制时，上模冲 (I) 38 进入阴模加压，当压力大于压机调节的浮动力时，使阴模向下浮动，上模冲 (I) 38 在上气缸的作用下，相对上模冲 (II) 37 作轴向移动。下模冲 (I) 5 在压力下 (大于弹簧 26 弹力后) 向下浮动至下模 (I) 底座 9 平面止，下模冲 (III) 6 向

下浮动，直至压坯成形。

脱模时，上模冲（1）、（1）回升，阴模由拉杆 42 向下拉，使压坯外台阶面脱出阴模模腔，下活塞 10 向上，使压坯颈部脱出下模冲。

此模具结构特点为上模冲采用双气缸结构，下模冲由下气缸代替斜楔脱模功能，结构较可靠。由于压坯外台阶面在阴模模腔中成形，因此，对粉末松装比重的变化要求较严格。

六、特殊形状类零件压坯的成形模具

（一）球（斜）面体类

图 7-51 所示为压制带外薄锥台压坯的成形模。这种结构的特点是仿形装粉，使薄锥台的压制密度较均匀。为了提高薄锥台的密度，有一个后压垫 10，当上模冲 5 压制完，下模冲 9 也压缩了大部分之后，撤出后压垫，进行最终压制，以提高薄锥台的密度。

图 7-52 所示为压制上下带球面类压坯的手动成形模。其结构同带台阶面压坯。螺钉 10 可以调节装粉高度，上下球面由下模冲 6 和压套 2 带出，为此它们与阴模 4 配合间隙应小，且不宜压制高密度的压坯。这种上下球面（小于半球）的压坯无脱模的困难。

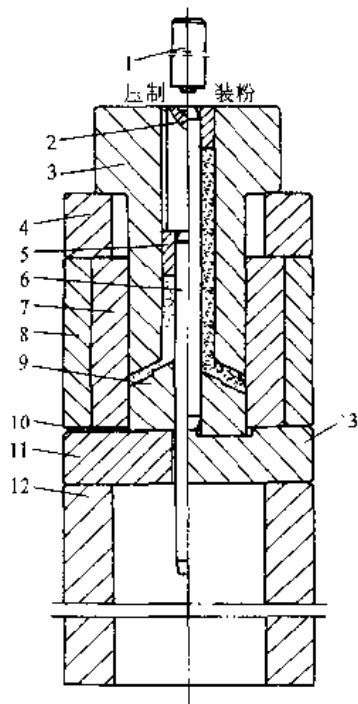


图 7-51 压制带外斜薄锥面类压坯的成形模

- 1—顶杆 2—压制棒 3—压套 4—限位垫
5—上模冲 6—芯棒 7—阴模 8—模套
9—下模冲 10—后压垫 11—压垫
12—底座 13—装粉垫

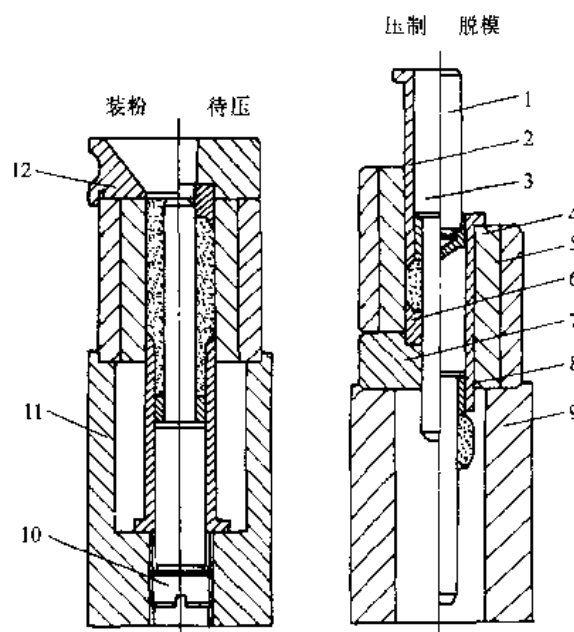


图 7-52 压制上下带球面体类压坯的手动成形模

- 1—顶杆 2—压套 3—芯棒 4—阴模 5—模套
6—下模冲 7—压垫 8—上模冲 9—脱模座
10—螺钉 11—装粉座 12—装粉斗

图 7-53 所示为压制上下带球面体类压坯的成形模，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 固定在上模柄 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，先使阴模复位，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。

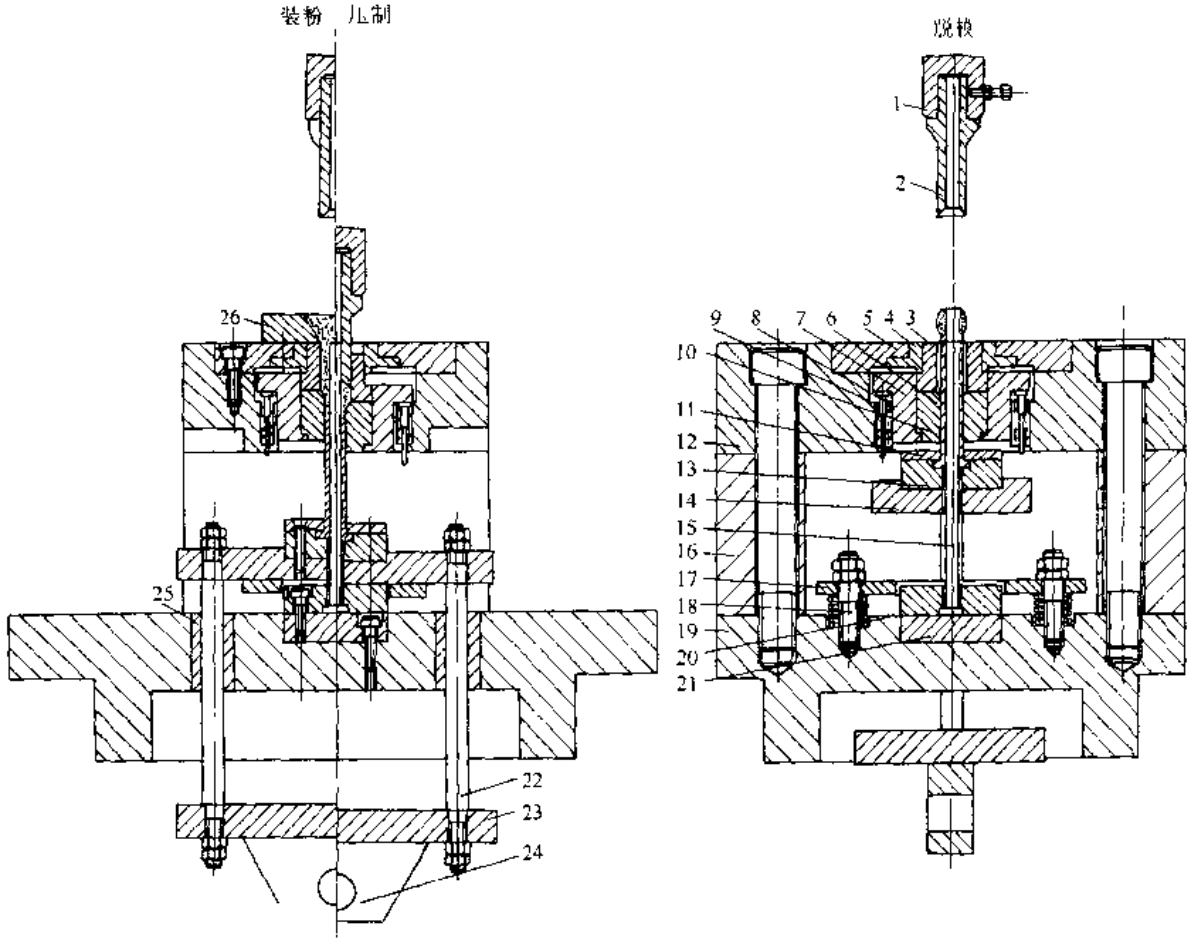


图 7-53 压制上下带球面体类压坯的成形模

- 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 19—下模板 22—顶杆 23—下横梁 24—幅板 26—料斗

图 7-54 所示为压制 204 轴承内环(带外球面)压坯的拉下式成形模，用于自动压机上。模套 8 和芯棒 6 与芯棒板 21 相连。上模冲 5 固定在压机冲头上。下模冲 12 座落在压垫 14 上。下阴模 11 固定在下模板 16 上。上阴模 7 放置在下阴模上。装粉高度不能调节。压制时，连接在上模冲上的顶套 4，在弹簧力作用下，将上阴模压紧，以减轻因侧压力而使上下阴模分离的趋势。脱模时，模套和芯棒被下缸拉下，取出上阴模和压坯。

图 7-55 所示为压制 204 轴承外环(带内球面)压坯的拉下式成形模，用于自动压机上。阴模 8 由拉杆 16 与芯棒板 18 相连。芯套 5 和球芯棒 6 通过定位芯棒 10 插入下模冲 11。上模冲 4 与压机相连。下模冲固定在下模板 14 上。装粉高度不能调节。压制时，阴模向下浮动。连接在上模冲内的顶柱 3 压紧球芯棒，防止粉末侧向挤入接缝。脱模时，阴模被下缸拉下，脱出压坯，取出芯套，旋转球芯棒从压坯中取出。

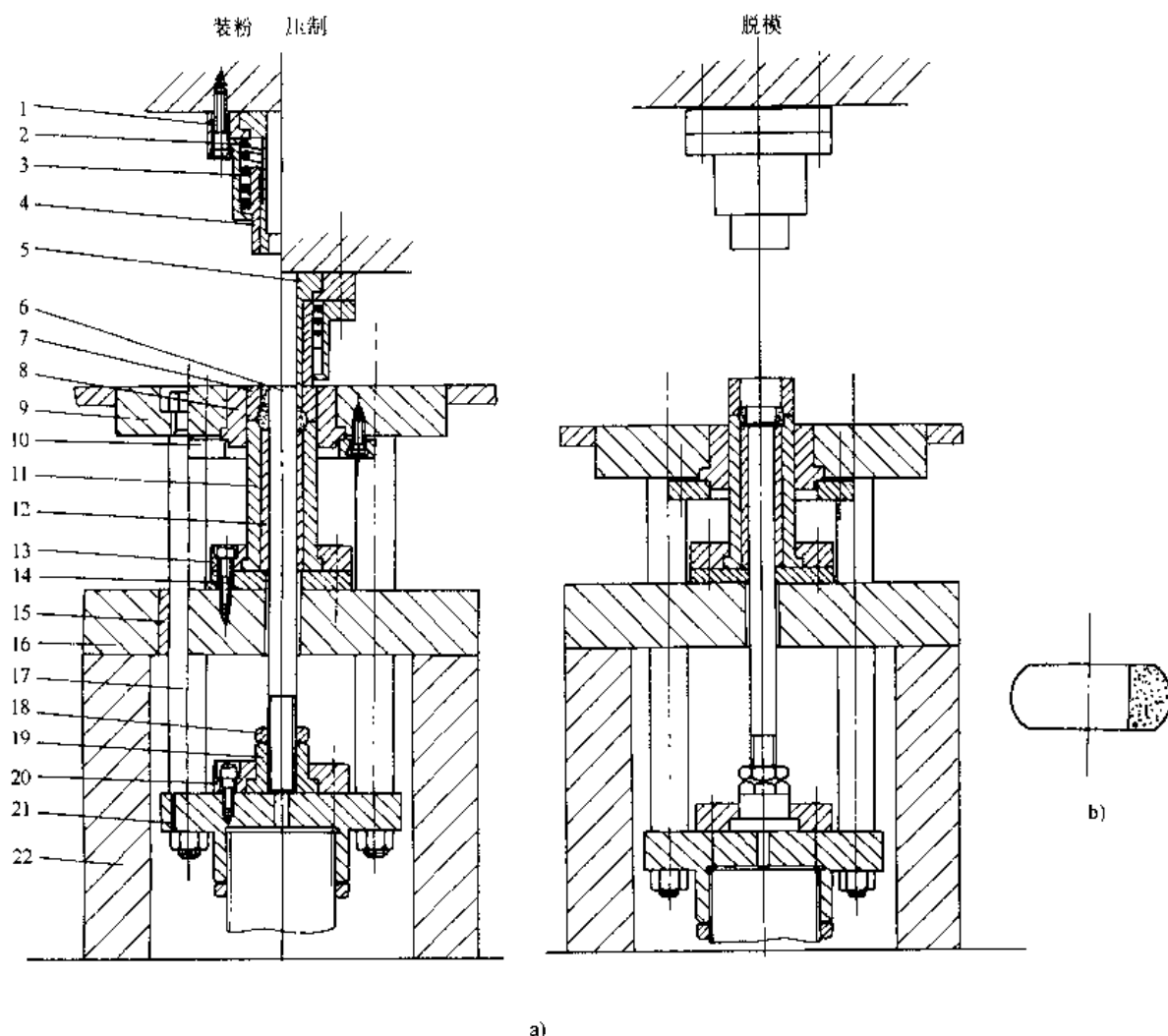


图 7-54 压制 204 轴承内环（带外球面）压坯的拉下式成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1、10、13、20—压盖 2—弹簧 3—限位套 4—顶套 5—上模冲 6—芯棒
 7—上阴模 8—模套 9—阴模板 11—下阴模 12—下模冲 14—压垫
 15—导套 16—下模板 17—拉杆 18—并母 19—螺母
 21—芯棒板 22—垫块

图 7-56 所示是压制汽车控制臂球头压坯的成形模，用于自动粉末成形机。

上模冲 3 由上模冲盖 2 与上模板 1 固定，下模冲 7 由下模冲盖 8 固定在下模冲垫块 10 和下模冲压座 11 上，阴模 4 由阴模盖 22 固定在下模板 20 上，下垫阴模垫块 21。芯棒通过接杆 9、15 与芯棒座 16 相连，并由芯棒盖 17 固定在芯棒垫块 18、芯棒板 19 上。

装粉时，下缸上升，连接在芯棒板上的拉杆 14 将阴模上升至装粉位置（为吸入式装粉）。

压制时，上模冲进入阴模加压，当压制压力大于压机调整的下缸浮动力时，使阴模向下浮动，（浮动力调节宜小），芯棒同时下浮，直至压坯成形。

脱模时，下缸下行，由拉杆将阴模拉下，使压坯脱出阴模模腔，上模回升，送料斗前进，推走压坯，下缸上升，使阴模复位到装粉位置。

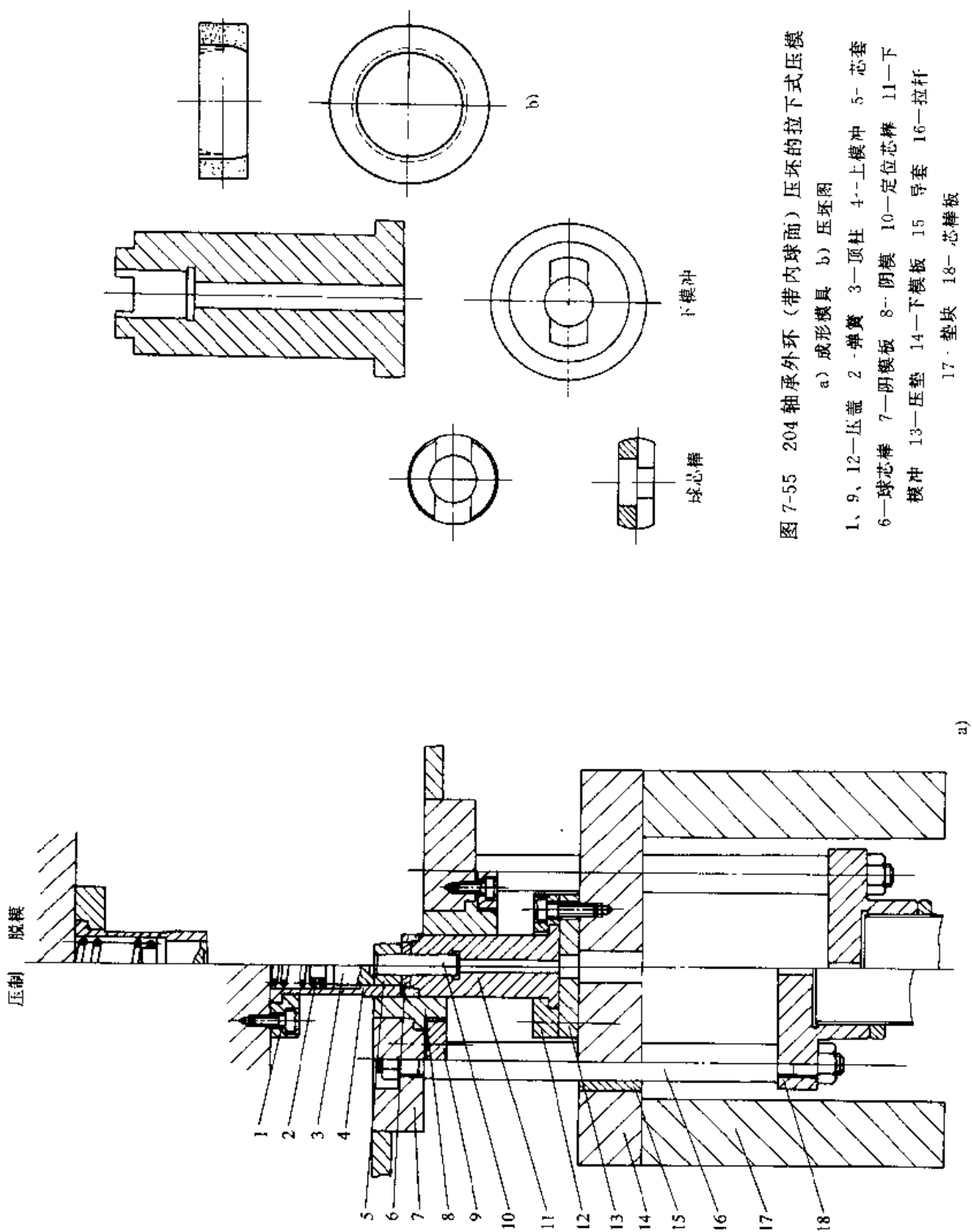


图 7-55 204 轴承外环 (带内球面) 压坯的拉下式压模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1、9、12—压盖 2—弹簧 3—顶柱 4—上模冲 5—芯套
- 6—球芯棒 7—阴模板 8—阴模 10—定位芯棒 11—下模冲 13—压垫 14—下模板 15 导套 16—拉杆
- 17—垫块 18—芯棒板

图 7-57 所示是压制汽车排气管密封圈压坯的成形模具，用于全自动粉末成形机。

芯棒 3 和上模冲 2 组合并由上模冲盖 1 固定在上模板 14 上；下模冲 5 由下模冲盖 6 固定在下模冲垫块 7 和压垫 8 上，并通过固定垫 9 与下模板 22 相连。假芯棒 21 由接杆 10 与下气缸杆 11 相连，由并帽 23 固定。阴模 4 由阴模盖 19 固定在下模板 18 上。

装粉时，下缸及下气缸同时上升，通过拉杆 12 将阴模上升到装粉位置（假芯棒同步上升）。

压制时，上模冲、芯棒进入阴模加压，当压制压力大于压机调节的下缸（下气缸）浮动力时，阴模向下浮动，芯棒顶下假芯棒，令其同步下行，以改善粉末的移动，使压坯密度较为均匀。（下缸及下气缸的浮动力调节宜小）

脱模时，下缸继续下行，拉杆拉下阴模，使压坯脱出阴模模腔，上模冲（及芯棒）回升，压坯完全脱出。

（二）弧齿锥齿形类

图 7-58 所示为压制农用喷雾器变速弧齿轮压坯的拉下式成形模，用于自动压机上。阴模 3 通过拉杆 15 与芯棒板 16 相连。上模冲 2 固定在上模冲头上。下模冲 8 固定在可旋转的压垫 11 上。装粉高度可由下缸行程开关和压机下缸上的微调装置来调节，但不允许芯棒（与下模冲一体）高出阴模平面。压制时，上模冲迫使阴模向下浮动，芯棒相对伸入上模冲孔内，形成双向摩擦压制。阴模和阴模板 6 被拉杆限位不能转动，下模冲靠止推轴承 13 转动，同时相对于阴模向上压紧粉末。脱模时，阴模被拉下，压坯和下模冲继续顺压制时的方向旋转，直至脱模完毕。复位时，阴模上升，下模冲反压制时的方向旋转到装粉位置。

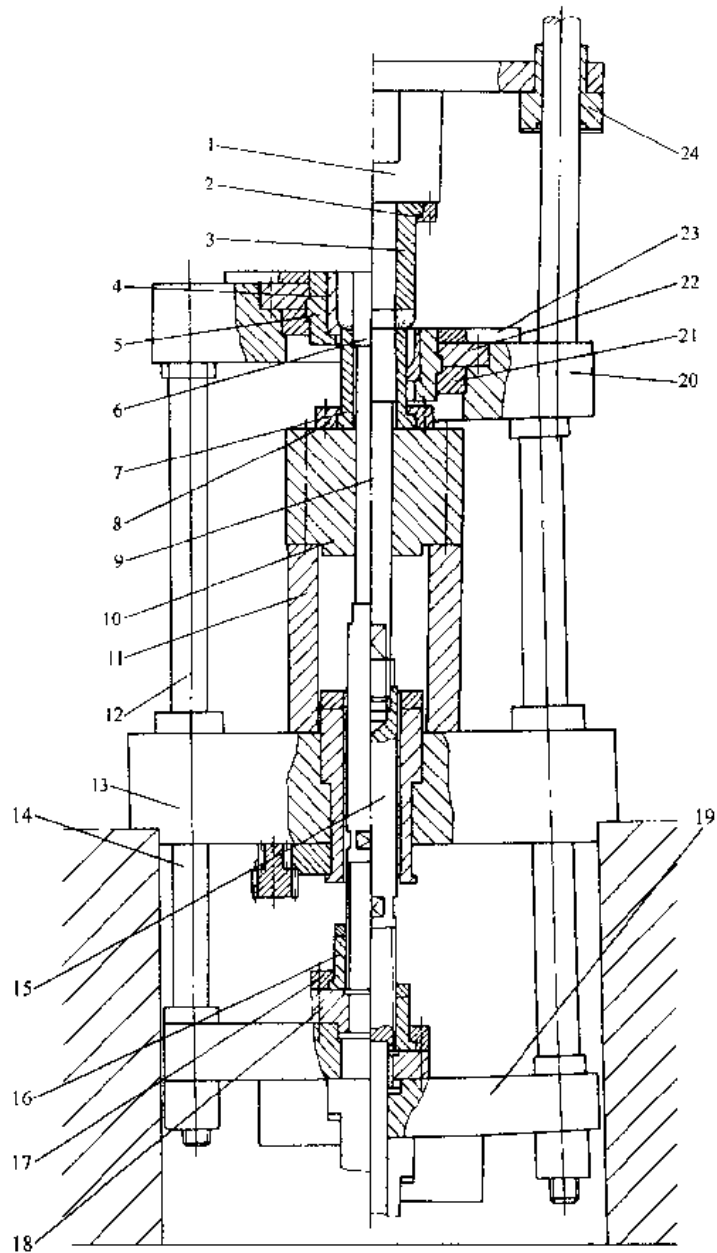


图 7-56 汽车控制臂球头压坯成形模

- 1—上模板 2—上模冲盖 3—上模冲 4—阴模 5—护套 6—芯棒
7—下模冲 8—下模冲盖 9、15—接杆 10—下模冲垫块 11—下模
冲压座 12—导柱 13—下模板 14—拉杆 16—芯棒座 17—芯棒盖
18—芯棒垫块 19—芯棒板 20—阴模板 21—阴模垫块 22—阴模盖
23—送粉板 24—导套

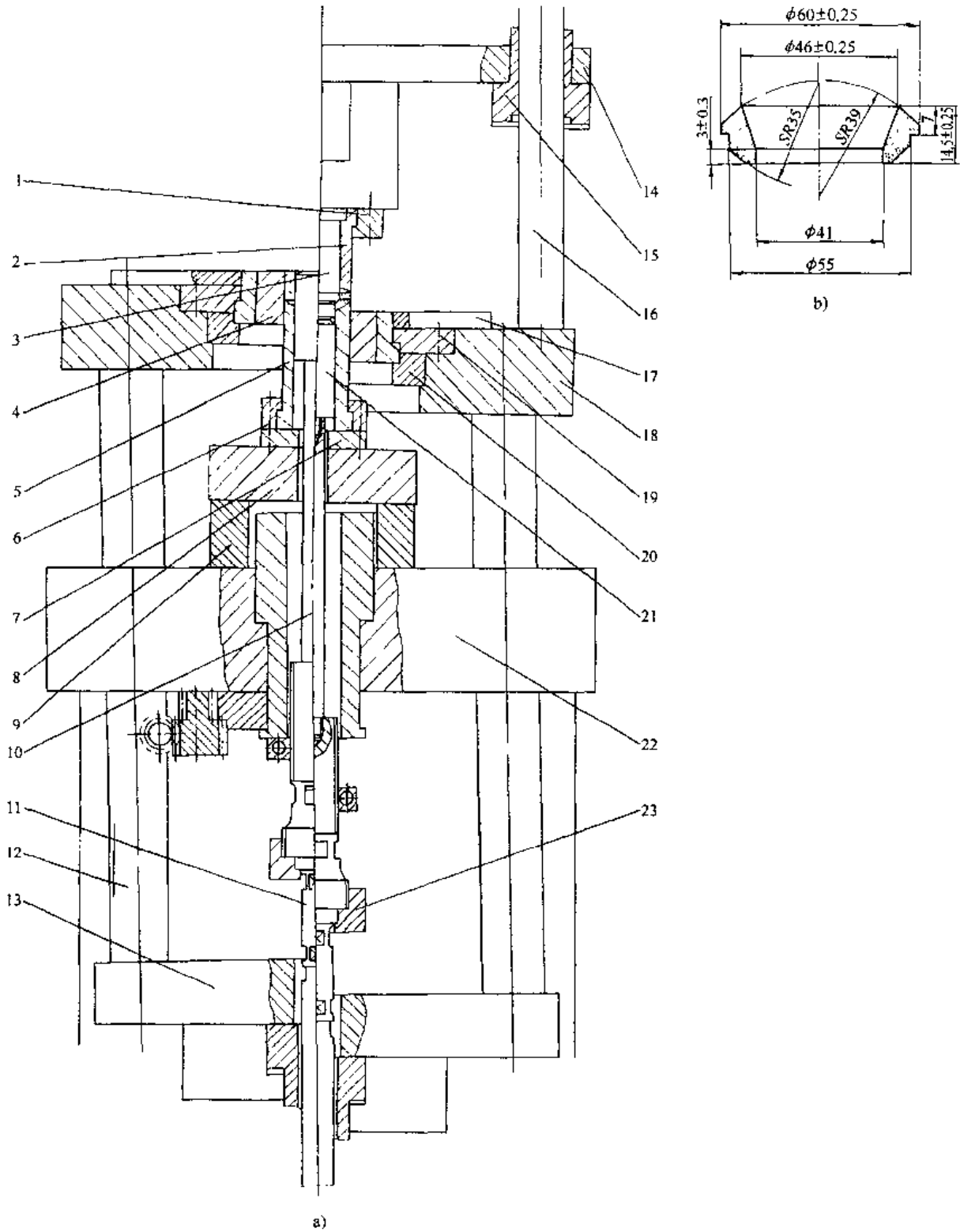


图 7-57 汽车排气管密封圈压坯成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—上模冲盖 2—上模冲 3—芯棒 4—阴模 5—下模冲 6—下模冲盖 7—下模冲垫块 8—压垫 9—固定垫
 10—接杆 11—下气缸杆 12—拉杆 13—芯棒板 14—上模板 15—导套 16—导柱 17—送粉板 18—阴模板
 19—阴模盖 20—阴模垫块 21—假芯棒 22—下模板 23—井帽

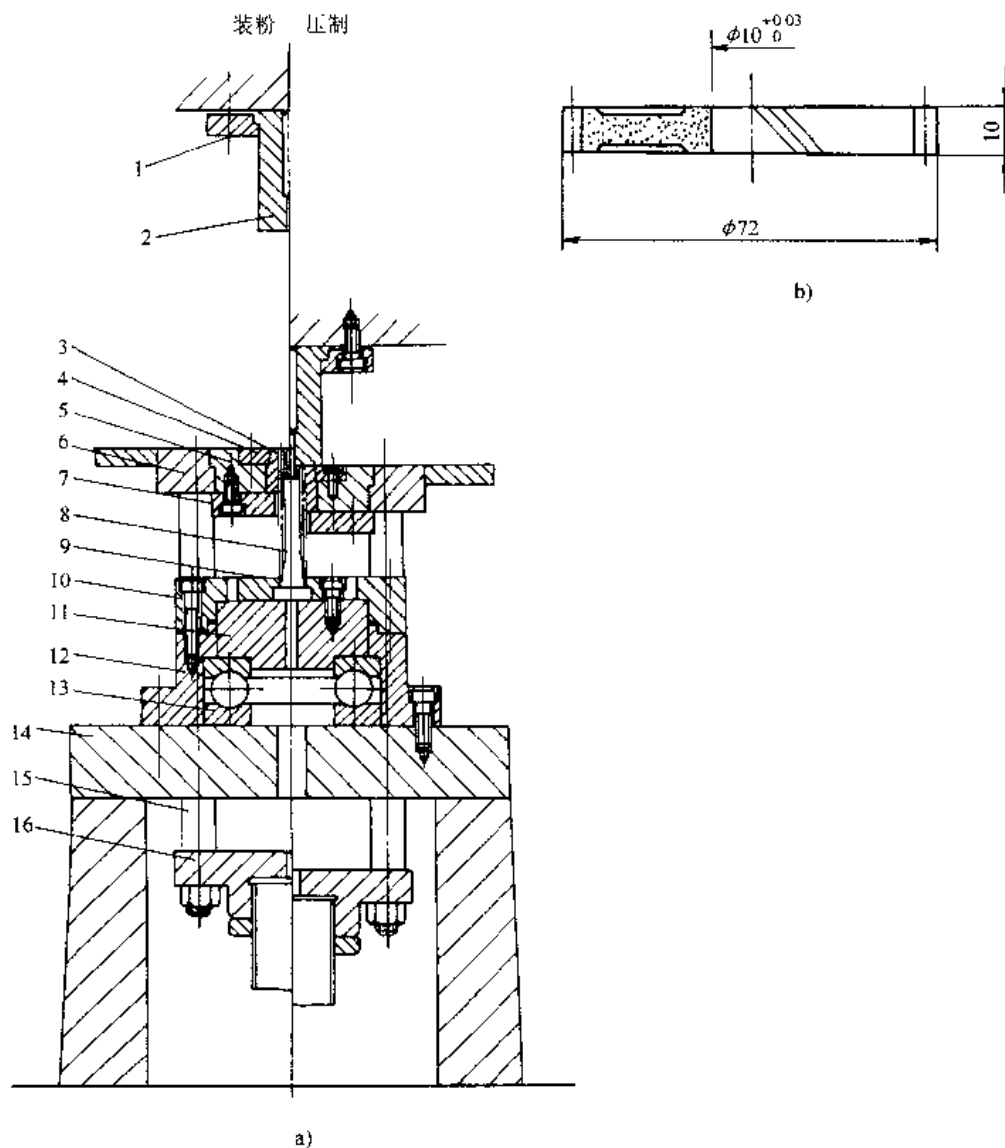


图 7-58 压制农用喷雾器变速斜齿轮压坯的拉下式压模

a) 成形模具 b) 压坯图

1、4、7、9—压盖 2—上模冲 3—阴模 5—模套 6—阴模板 8—下模冲 10—限位盖
11—旋转压垫 12—轴承座 13—止推轴承 14—下模板 15—拉杆 16—芯棒板

此模具结构仅适用于厚度（轴向）较薄的斜齿轮压坯的成形。

图 7-59 是压制电动工具变速器斜齿轮压坯的成形模具示例。阴模 10 经导柱 12 与芯棒板 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，阴模板拉下，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。

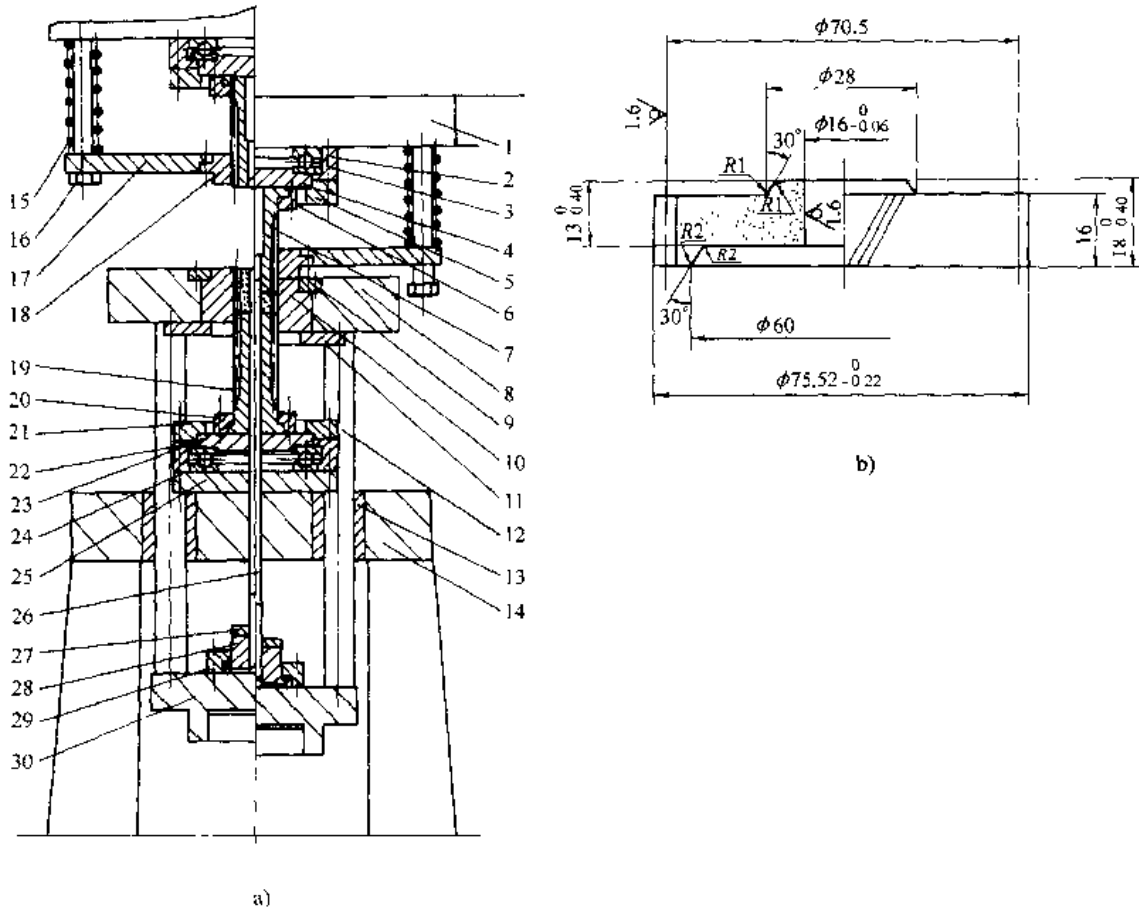


图 7-59 电动工具变速器斜齿轮压坯的成形模具

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1-上模板 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、11-阴模板 10-阴模 12-导柱 13-导套 14-下模板
- 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-芯棒板

图 7-60 所示是压制双台阶面半圆周斜齿轮压坯的成形模具。

下模冲 8 由调节螺钉 10、弹簧 12 连接在下模冲座 11 上，芯棒 9 由芯棒盖 19 固定在下模冲座 20、下模板 21 上。

装粉时，下缸上升，由拉杆 16 将阴模 5 上升至装粉位置。

压制时，上模冲 1 对阴模加压，使其强制向下浮动，阴模斜齿腔面对下模冲 8 的斜齿面产生一个分力，迫使其借助平面轴承 13 的旋转向下运动，芯棒 9 相对下模冲向上作相对运动，使两个凸台部分的粉末也因受压制力的作用而同时，压缩成形。

脱模时，上模冲上升，下缸下行，连接在芯棒板 22 的拉杆将阴模向下拉，直至压坯从阴模模腔中脱出。

下模冲浮动量可通过调节螺钉 10 调节弹簧力来控制。

图 7-61 所示是压制阀门传动机构锥齿轮压坯的成形模具。为顺利压制，可通过调节限位

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板 17，经导柱 12 将阴模板 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。以便脱模。

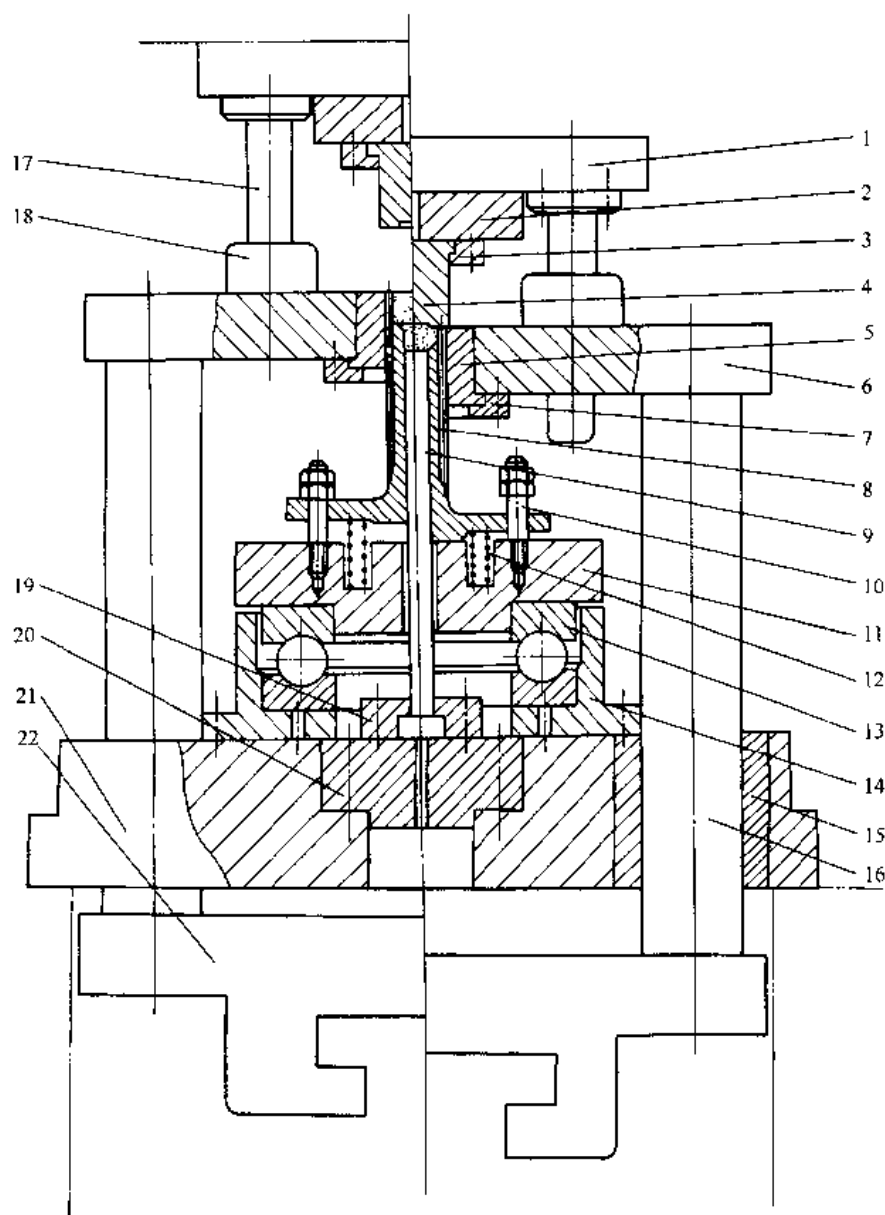


图 7-60 双台阶面半圆周斜齿轮压坯成形模

- 1—上模板 2—垫块 3—压盖 4—上模冲 5—阴模 6—阴模板 7—压盖
 8—下模冲 9—芯棒 10—调节螺钉 11—下模冲座 12—弹簧 13—轴承
 14—轴承座 15—导套 16—拉杆 17—导柱 18—导套 19—芯棒盖
 20—芯棒座 21—下模板 22—芯棒板

图 7-62 所示是压制阀门传动机构伞齿轮压坯的成形模具，适用于全自动粉末成形机。

上模冲 3 由压盖 2 固定在上模板 1 上。下模冲 (I) 16 由弹簧 24、弹簧托板 II 通过调节杆 (图中未表示，可参见图 7-19, B—B 视图) 托起。

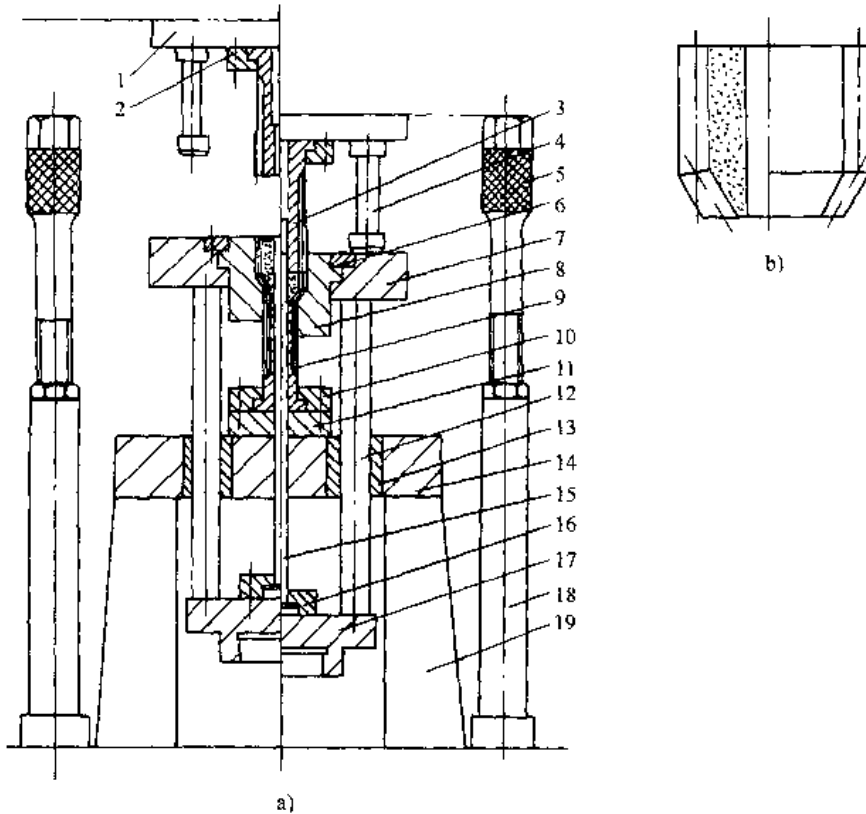


图 7-61 阀门传动机构锥齿轮压坯成形模具

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—上模板 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—下模板 15—芯棒
 16—芯棒压盖 17—芯棒板 18—垫杆 19—垫块

加粉时，下缸上行，连接在芯棒板 27 上拉杆 10 将阴模 12 上升至装粉位置，下模冲 (I) 在弹簧 24 作用下向上升，用调节螺栓调整弹簧力，来调节装粉高度。

压制时，上模冲进入阴模加压，当压力大于压机调整的下缸浮动力时，使阴模向下浮动，下模冲受压大于弹簧 24 的弹力后亦向下浮动，直至碰到滑块 19 面止。压坯成形。

脱模时，下缸继续下行，连接在芯棒板上拉杆 10 将阴模板 14 向下拉，使斜楔 18 接触滚轮，将滑块向两侧移开，下模冲 (I) 接触阴模底面后亦向下行，直至压坯脱出。

图 7-63 所示是压制汽车主动齿轮压坯的成形模具，适用于下缸带有小气缸的全自动粉末成形机。

装粉时，下缸上升。连接在芯棒板 25 上拉杆 11 将阴模 2 上升至装粉位置。下模冲 (I) 4 通过顶杆 19 顶起，由气缸顶杆 26 及下缸将拉杆 22、23 向上顶调节环 21，碰到下模板 17 底面止。装粉高度可通过调节环 20、21 调节下模冲 (I) 8 高低来实现。

压制时，上模冲 1 进入阴模后加压，当压制压力大于压机调整的下缸浮动力，使阴模、芯棒 9 同时向下浮动，下模冲 (I) 受压后下浮至滑块止，压坯成形。

脱模时，下缸继续下行，由拉杆将阴模向下拉，使斜楔 10 打开滑块向两侧移开，下模冲 (I) 上限位钉 5 碰到阴模底面后亦向下行，直至压坯脱出。

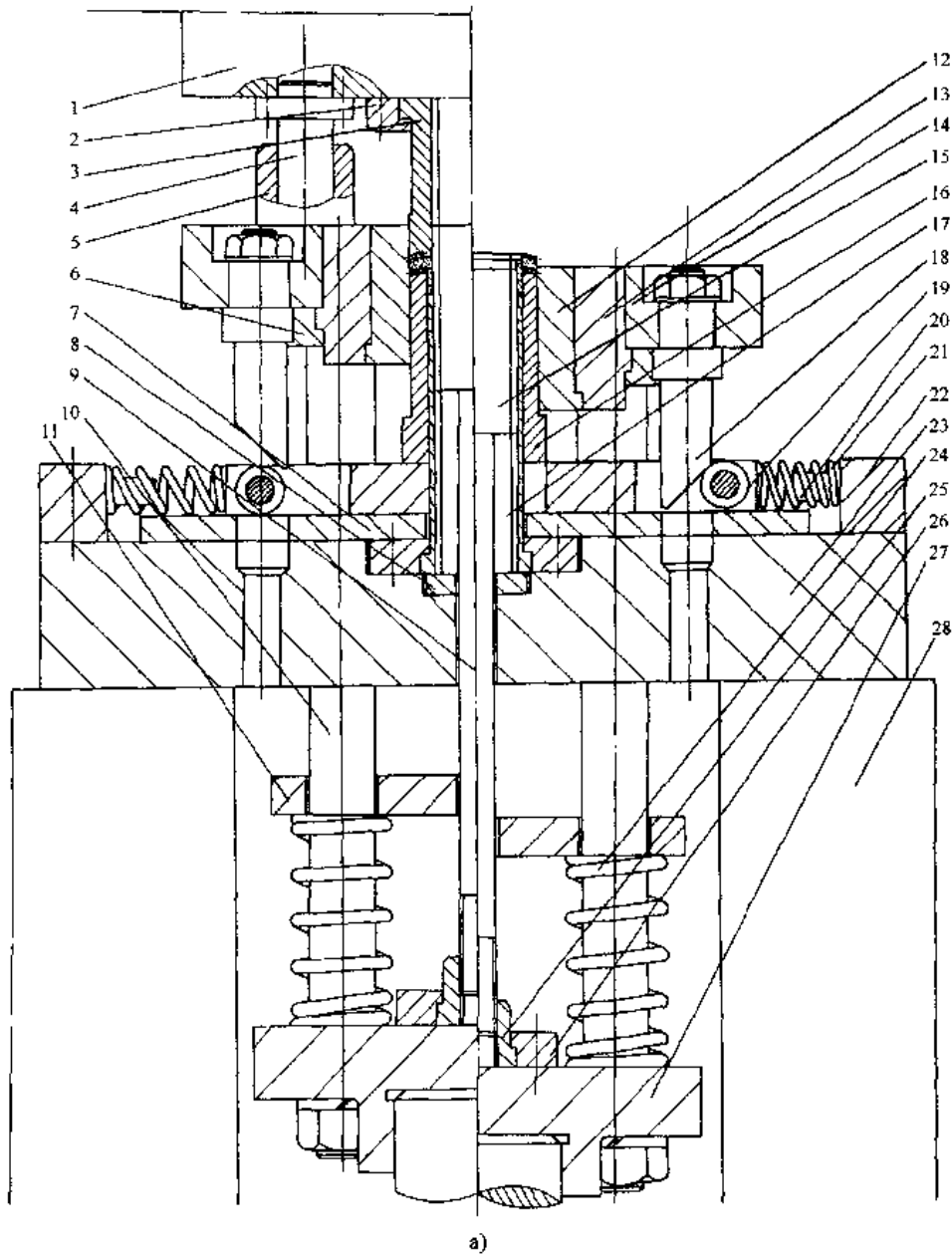


图 7-62 阀门传动机构伞齿轮压坯成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1--上模板 2-压盖 3--上模冲 4-导柱 5-导套 6-压盖 7、28-垫块 8--下模冲 (I) 垫块
 9--接杆 10-拉杆 11---弹簧托板 12-阴模 13-外套 14-阴模板 15--芯棒 16--下
 模冲 (I) 17-下模冲 (I) 18-斜楔 19-滑块 20-弹簧杆 21、24-弹簧
 22-固定块 23-下模板 25-芯棒座 26-压盖 27-芯棒板

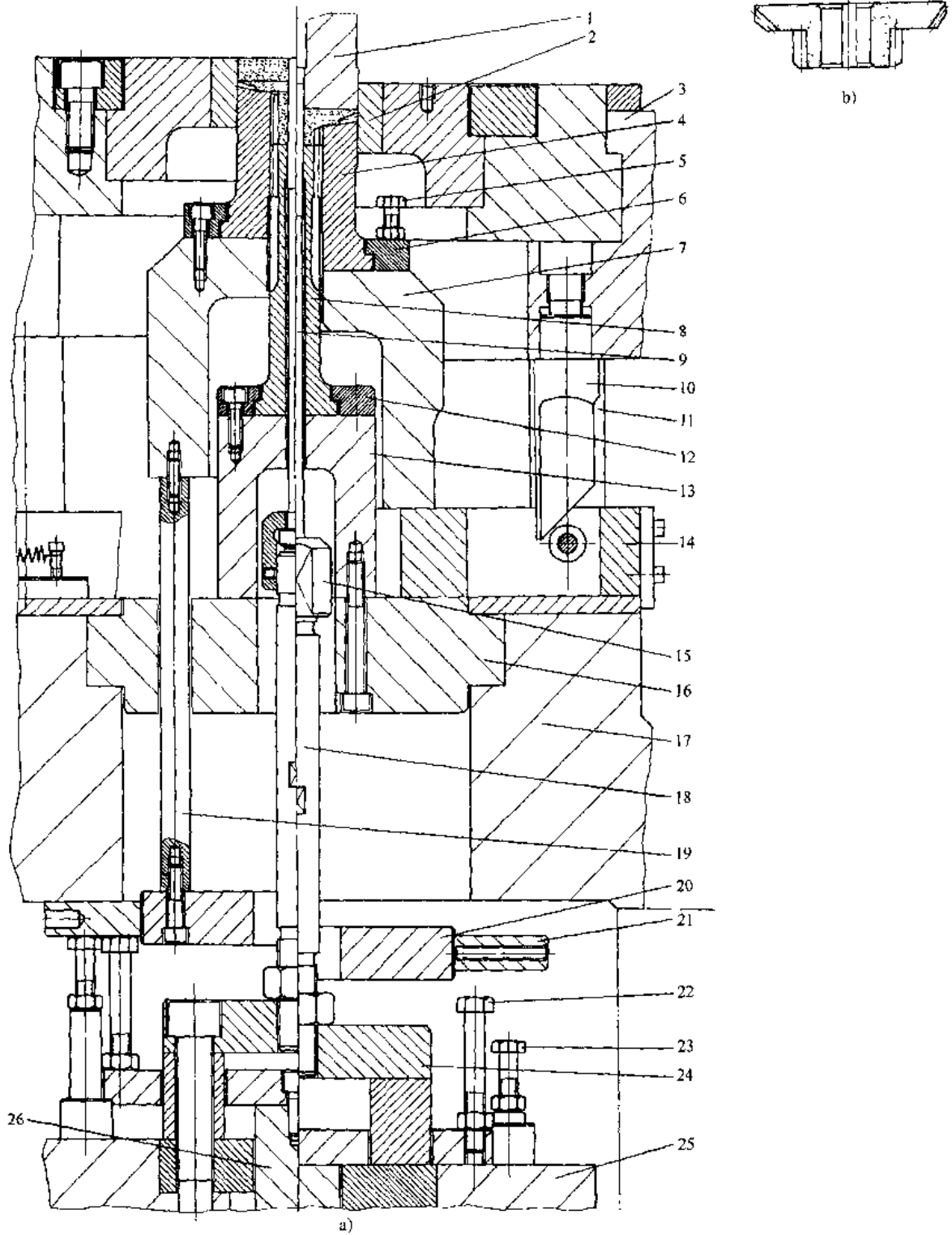


图 7-63 汽车主动齿轮压坯成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—上模冲 2—阴模 3—阴模板 4—下模冲(I) 5—限位钉 6、12—压盖 7—下模冲(I) 垫块
 8—下模冲(II) 9—芯棒 10—斜楔 11—拉杆 13—下模(II) 垫块 14—滑块
 15—并帽 16—垫块 17—下模板 18—接杆 19—顶杆 20、21—调节环
 22、23—拉杆 24—芯棒垫块 25—芯棒板 26—气缸顶杆

图 7-64 所示是压制电动工具螺旋伞齿轮压坯的成形模具。其模具结构及动作与图 7-63 基本相同。

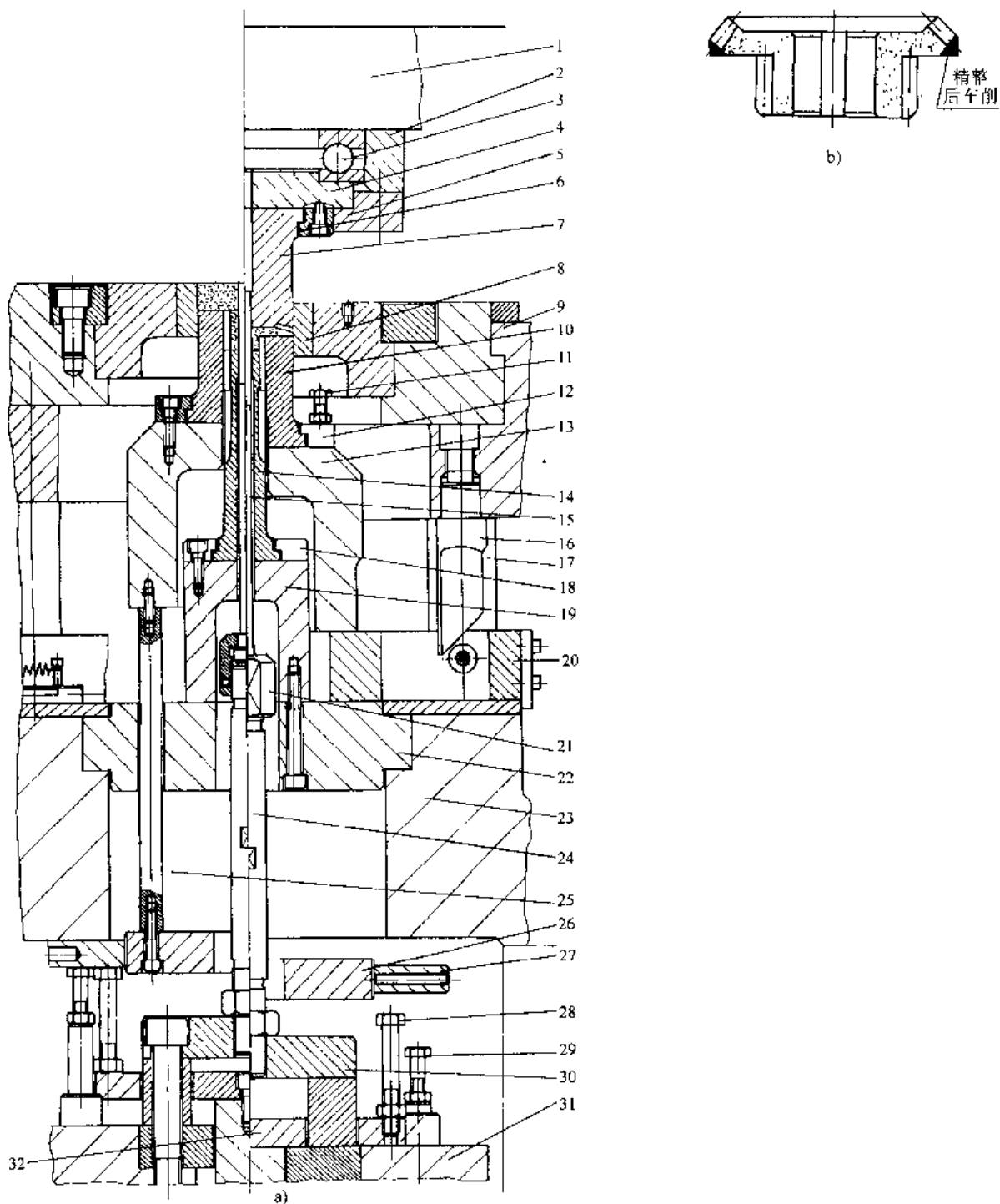


图 7-64 电动工具螺旋伞齿轮压坯成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—上模板 2—轴承座 3—轴承 4—上模冲座 5—轴承盖 6、12、18 压盖 7—上模冲 8—阴模 9—阴模板
 10 下模冲 (I) 11—限位钉 13—下模冲 (I) 垫块 14—下模冲 (II) 15—芯棒 16 斜楔 17—拉杆
 19—下模 (II) 垫块 20—滑块 21—并帽 22—垫块 23—下模板 24—接杆 25—顶杆
 26、27—调节环 28、29—拉钉 30—芯棒垫块 31—芯棒板 32—气缸顶杆

由于压坯端面是螺旋齿形，因此上模冲 7 由压盖定位在与轴承 3 相连的上模冲座 4 上。压制时，上模冲进入阴模受力略带旋转。

脱模时，为避免螺旋齿断裂，当上模冲回升时略带旋转。其他压制及脱模过程同图 7-63 所述，在此不再赘述。

(三) 多平行孔(板)类

多平行孔(平行于压制方向)的压坯，在脱出阴模后，由于孔之间粉末的回弹膨胀而侧向顶住芯棒，使芯棒不易脱出压坯，压坯密度高时，此现象更为严重。为此，可在压坯未脱出阴模时，先将诸芯棒顶离压坯，然后再将压坯顶离阴模。也可以将压坯先脱出阴模，然后将诸芯棒在模冲定位下脱离压坯。

图 7-65 所示为压制汽车轴承保持架压坯的手动成形模，压坯带多平行盲孔。该结构大芯棒 5 和诸小芯棒 6 均与芯棒座 9 的孔有过盈配合，使芯棒群组成一个整体。装粉时，下模冲 7 插入芯棒群中，再套上阴模 4。压制时，下模冲座落在压座 8 上，芯棒群强制向下浮动，此时压坯无孔部分被压实，最终芯棒座落到压座上后，诸小芯棒上端的粉末也被压实。脱模时，先将压坯脱出阴模，然后托住下模冲，将芯棒群脱离压坯。

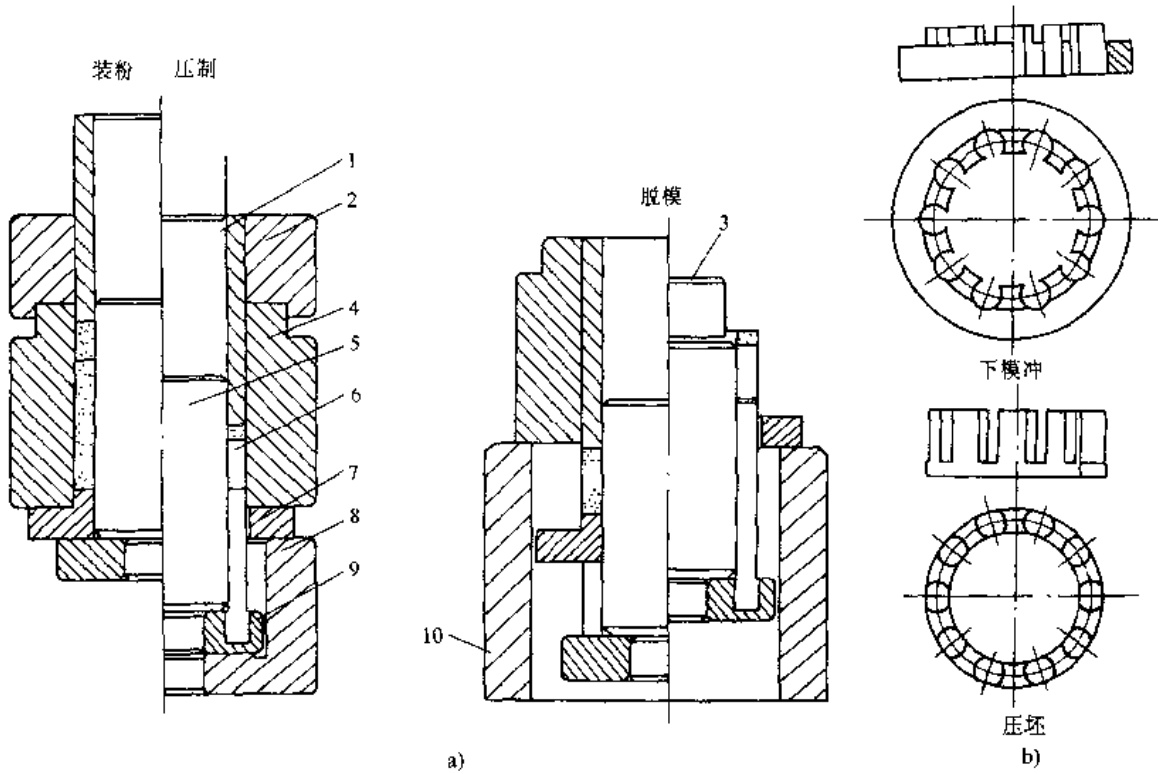


图 7-65 压制汽车轴承保持架压坯的手动成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—上模冲 2—限位垫 3—顶柱 4—阴模 5—大芯棒
- 6—小芯棒 7—下模冲 8—压座 9—芯棒座 10—脱模座

图 7-66 所示为压制空气压缩机阀板压坯的成形模具。适用于带上下缸的压机。

上模冲 4 由上压盖 2 通过上压环 3 固定在上模板 1 上，下模冲 14 由下压盖 13 固定在下模冲垫块 15 上，并由顶杆 20 与芯棒板 21 连接。小芯棒 6 通过卡板 10 及并帽 9 固定在阴模板 8 上；扁芯棒 5 由芯棒压盖 16 固定在芯棒座 18 上。

入阴模后加压，当压力大于压机调节的下缸浮动力时，使阴模和芯棒同时向下浮动，直至压坯成形。脱模时，下缸下行，由拉杆拉下阴模板，使压坯脱出阴模模腔，上模冲回升压坯完全脱出。

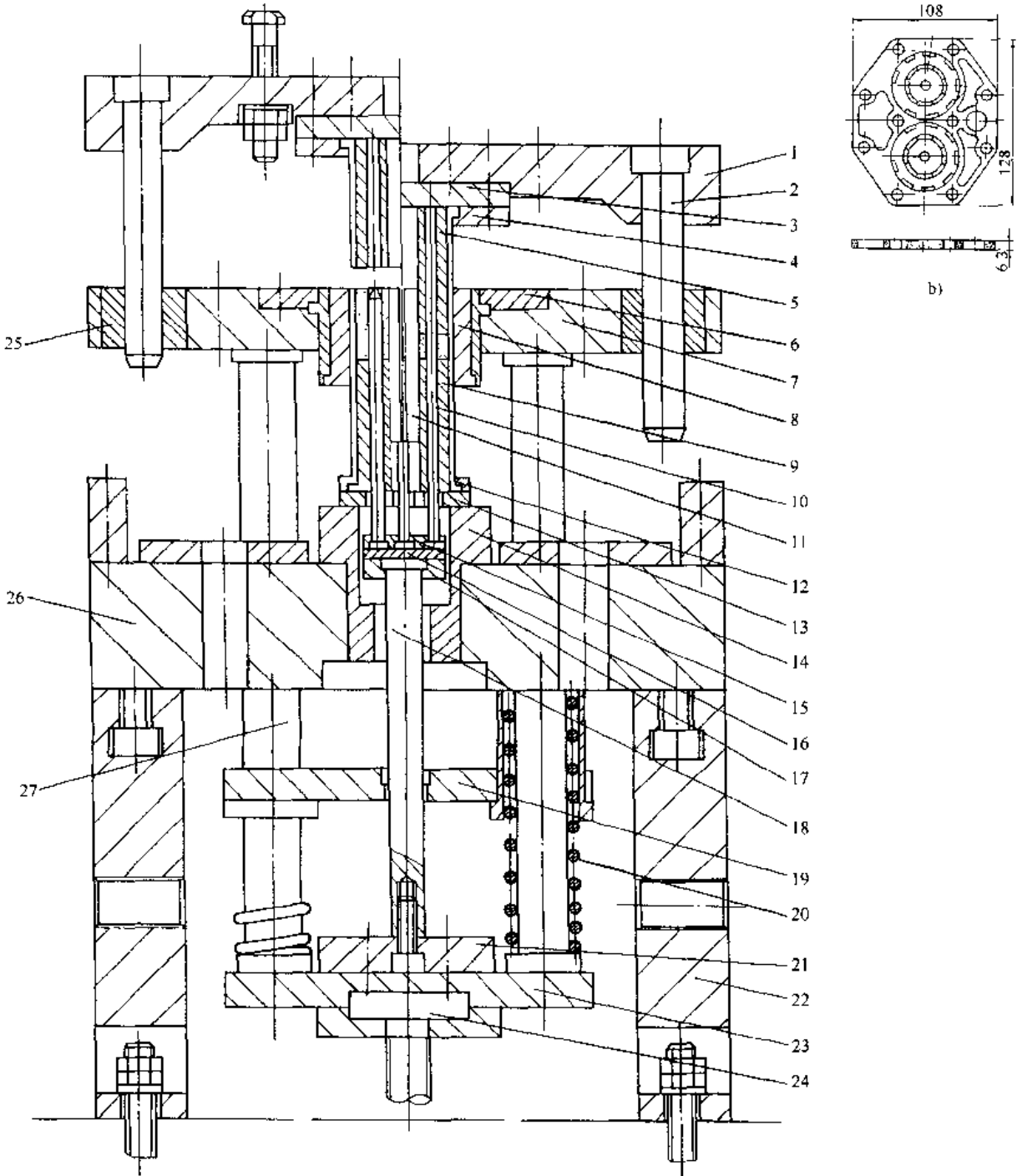


图 7-67 空调器压缩机阀板压坯成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—上模板 2—导柱 3 上模冲垫块 4—上模冲盖 5—上模冲 6—阴模盖 7—阴模板 8—阴模 9—下模冲
- 10—小芯棒 11 大芯棒 12—下模冲盖 13—下模冲垫 14—下模冲座 15—芯棒盖 16 芯棒垫 17—芯棒座
- 18 接杆 19 弹簧托板 20—弹簧 21—接杆盖 22—垫块 23—芯棒板 24—螺杆
- 25 导套 26—下模板 27—拉杆

(四) 支座类

图 7-68 所示为压制汽车发动机主轴承盖压坯的成形模具，适用于 2000kN 液压式粉末成

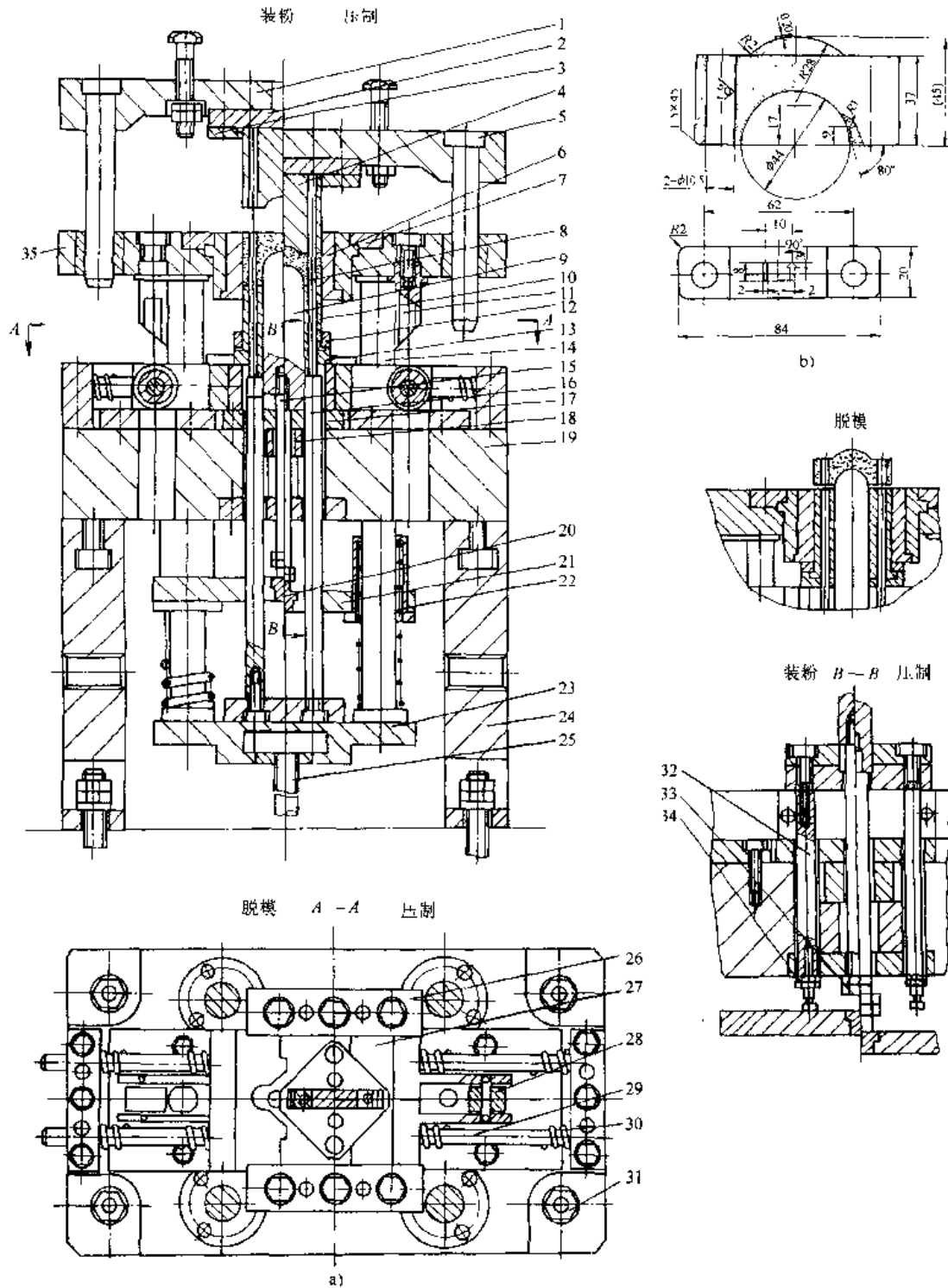


图 7-68 汽车发动机主轴承盖压坯成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—上模板 2—上模垫板 3—上模压盖 4—上模冲 5—上导柱 6—阴模板 7—阴模盖 8—芯棒 9—下模冲 (I)
- 10—下模冲 (II) 11—斜楔 12 下模压盖 13—下模压垫 14—拉杆 15—下模接杆 16—芯棒接杆
- 17—下模垫板 18—调整板 19—下模板 20 调整堵 21 托板 22 弹簧 23—下缸连接板
- 24—支板 25—下缸接杆 26—导轨板 27—滑块 28—导轮 29—导杆 30—复位弹簧
- 31—螺母 32—顶杆 33—调节螺母 34—调整螺钉 35—阴模板

形机。

上模冲 4 由上模压盖 3 固定在上模板 1 上，并通过上导柱 5 与阴模板 6 滑动配合，阴模板 35 由拉杆 14 与下缸连接板 23 相连。斜楔 11 由紧定螺钉固定在阴模板上。芯棒 8 与芯棒接杆 16 连接后固定在下缸连接板上，下模冲（I）9 通过托板 21 在弹簧 22 作用下，上行至工作位置。滑块 27 由导轨板 26 导向，并在复位弹簧 30 作用下下行至工作位置。下模冲（II）10 位置由顶杆通过调整螺钉 34 定位。

装粉时，下缸上升，通过下缸连接板上的拉杆 14 使阴模上升至装粉位置，下模冲（II）10 的装粉高度由调节螺母 33 及调节螺钉 34 来调整。

压制时，上模冲进入阴模加压，当压制压力大于压机调整的下缸浮动力时，阴模和芯棒同时向下浮动，下模冲（II）在压制压力作用下，通过下模接杆 15 下压托板 21，压缩弹簧 22，直至下模冲（I）下行到垫板 17 止（同时，下模冲（II）亦碰到下模垫板上），压坯成形。

脱模时，上模冲回升复位，下缸下行，通过拉杆将阴模和芯棒向下拉，此时，斜楔 11 随阴模板下行，当阴模底面将与下模压盖 13 接触时，压坯外径脱出阴模模腔。同时，在斜楔斜面和导轮 28 作用下，将滑块 27 向两侧移开，下缸继续下行，使下模冲（II）亦下行，直至压坯完全脱出（如图所示）。这种脱模方式主要是为采用机械手取压坯而设置的。

复位时，下缸下行，由拉杆使阴模和芯棒复位至装粉位置。弹簧将托板托起，使下模接杆 15 及顶杆 31 向上，由螺母 33 定位在下模板底面，使下模冲（I）、（II）复位至装粉位置。

图 7-69 所示为压制柴油机摇臂座压坯的成形模具，适用于上、下缸并都带有辅助小气缸的粉末成形机。

上模板 1 上配制一个组合气缸体 3。上模冲（I）5 后端设计成活塞杆；上模冲（II）6 由螺纹与活塞 4 相连。下模冲（I）9 通过顶杆（图中未表示，可参见图 7-19B—B 视图）托起，由调节环 21、22 定位在下模板 18 底面上。下模冲（II）11 由下模冲盖 13 固定在下模冲垫 14 上。芯棒 10、12 由芯棒盖 19 固定在芯棒座 24 上。

装粉时，下缸上升，连接在芯棒板 30 上的拉杆 15 将阴模板 8 托起，使阴模 7 处于装粉位置，下顶杆 29 上顶托板 28，使调节杆 25 顶起调节环 22 碰到下模板，通过调节环可调节下模冲（I）装粉高度。

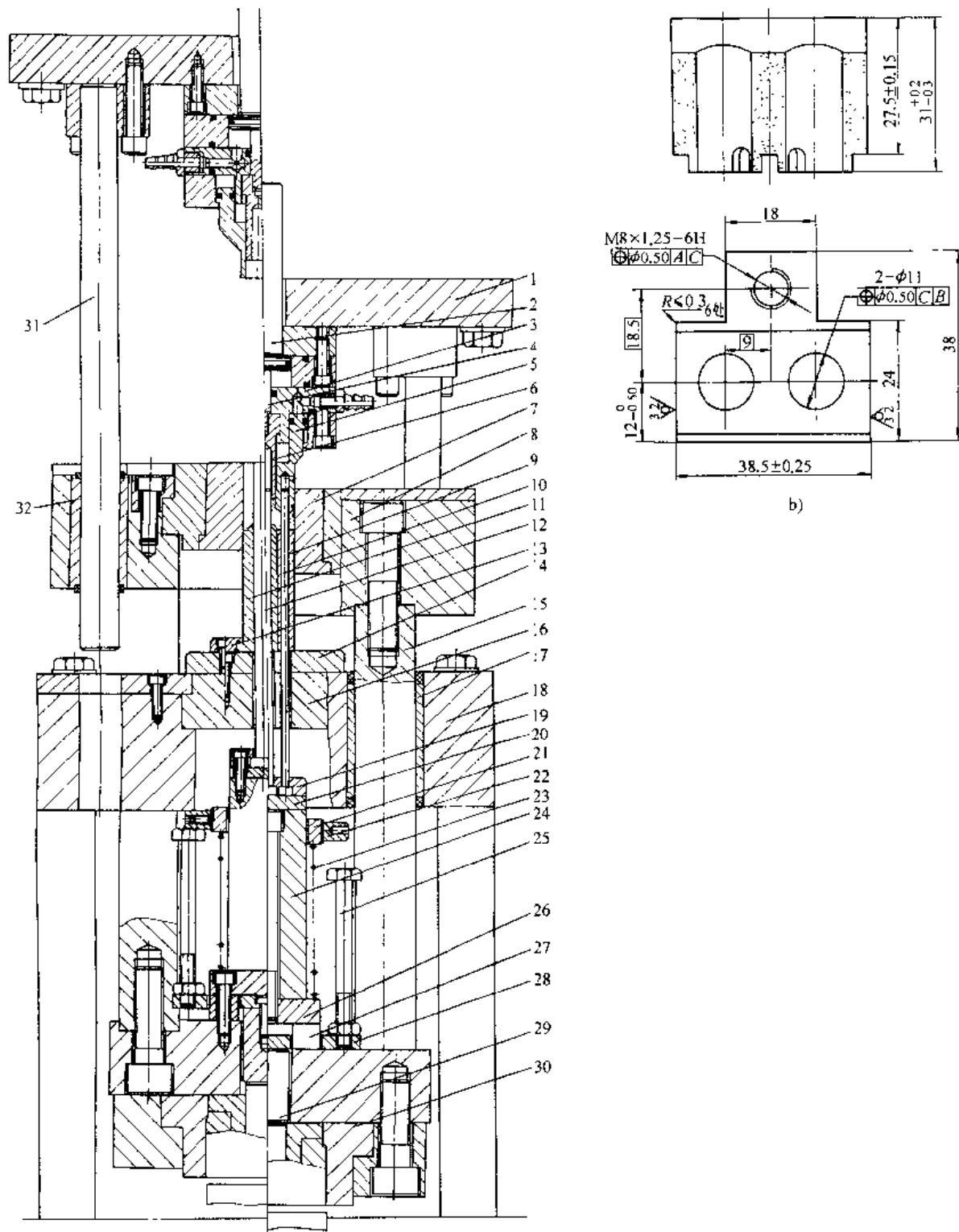
压制时，上模冲（I）、（II）进入阴模加压，压制压力上升，大于组合气缸体压力时，使上模冲（I）回升，直至压坯上部成形止。同时，当压制力大于下缸调整的浮动力后，阴模和芯棒同时向下浮动。下模冲（I）所受压力大于弹簧 23 力后亦下浮，碰至下模冲垫 14 止，压坯成形。

脱模时，上缸上升，上顶杆 2 将气缸活塞向下顶，使上模冲（II）下行至压坯上部脱出上模冲（I）后回缩。下缸下行，通过拉杆将阴模板拉下，使压坯完全脱出模腔止。

图 7-70 所示为压制冰箱压缩机连杆压坯的成形模具，适用于下缸增设一辅助小气缸的粉末成形机。

上模冲 5 由上模冲盖 4 固定在上模板 1 上，下模冲（I）13 由下模冲盖 12 固定在下模冲垫 14 上；下模冲（II）30 由托杆（图中未表示，可参见图 7-19B—B 视图）托起，通过调节环 20、21 定位在下模板 17 底面。

装粉时，下缸上升，连接在芯棒板 32 上的拉杆 19 将阴模板 11 顶起，使阴模 9 和芯棒 18、31 上升到装粉位置。下模冲（II）30 通过调节环来调节其装粉高度，并由连接下气缸的下顶杆 28 将调节杆 25 顶上调环 20，使之定位在下模板底面。



a) 图 7-69 柴油机摇臂座压坯成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1—上模板 2—上顶杆 3—气缸体 4—活塞 5—上模冲 (I) 6—上模冲 (II) 7—阴模 8—阴模板
 9—下模冲 (I) 10—小芯棒 11—下模冲 (II) 12—大芯棒 13—下模冲盖 14—下模冲垫 15—拉杆
 16—下模冲座 17—导套 18—下模板 19—芯棒盖 20—芯棒垫 21、22—调节环 23—弹簧 24—芯
 棒座 25—调节杆 26—连接板 27—垫块 28—托板 29—下顶杆 30—芯棒板 31—导柱 32—导套

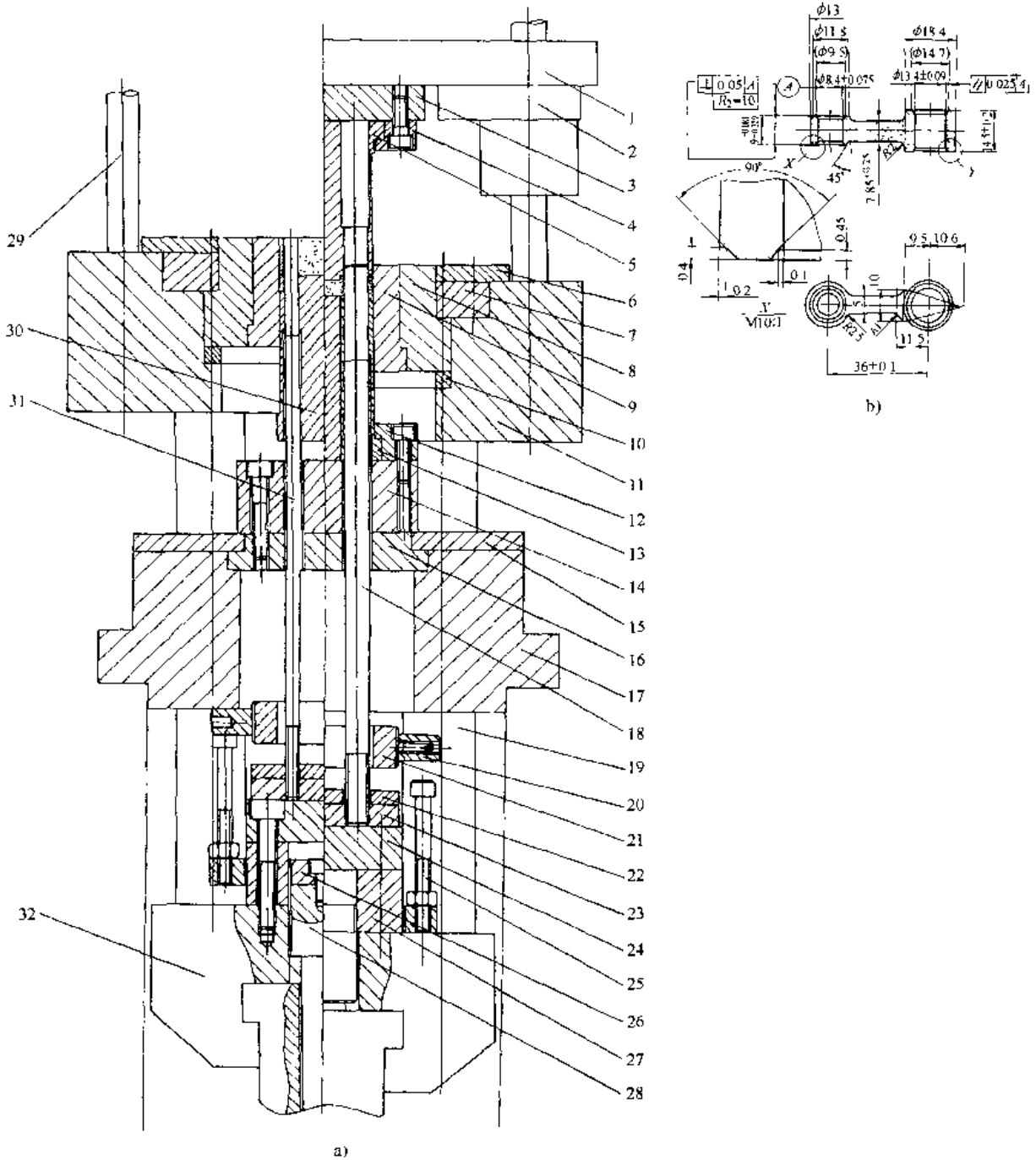


图 7-70 冰箱压缩机连杆压坯成形模

a) 成形模具 b) 压坯图

- 1 上模板 2-上导套 3- 上模冲垫 4-上模冲盖 5-上模冲 6- 送粉板 7 阴模盖 8 模套 9- 阴模
- 10-阴模垫 11- 阴模板 12-下模冲盖 13-下模冲 (I) 14 -下模冲垫 15- 盖板 16- 下模冲座
- 17 -下模板 18-- 大芯棒 19-拉杆 20、21-调节环 22-芯棒盖 23-芯棒垫 24-芯棒座 25-调节杆
- 26-托板 27-垫块 28-下顶杆 29-上导柱 30-下模冲 (II) 31- 小芯棒 32 芯棒板

压制时，上模冲进入阴模加压，当压制压力大于压机调整的下缸浮动力时，阴模和芯棒同步下浮。下模冲 (I) 受力后，大于小气缸顶力时，使下模冲 (I) 亦向下浮动，碰至下模冲垫止，压坯成形。

脱模时，上模冲回升。下缸向下行，由拉杆将阴模和芯棒向下拉，直至压坯脱出阴模模腔。

复位时，下缸上升，由拉杆托起阴模板，使阴模、芯棒恢复至装粉位置；下顶杆亦向上行，通过调节杆将调节环定位在下模板底面，使下模冲（I）复位至装粉位置。

第二节 精整模具结构示例

一、通过式精整模具

图 7-71 所示为手动径向通过式精整模，该结构由于无导向套，故只宜用于较矮粗的工件。

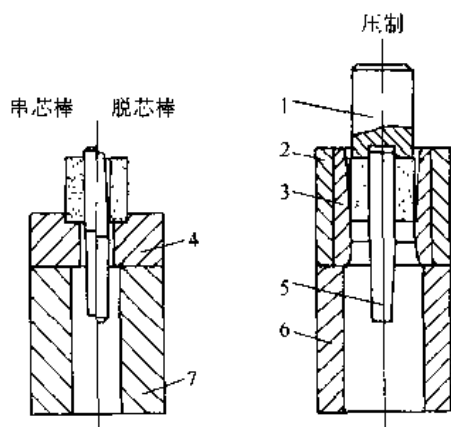


图 7-71 手动通过式精整模

1—上模冲 2—模套 3—阴模 4—压垫
5—芯棒 6—压座 7—脱模座

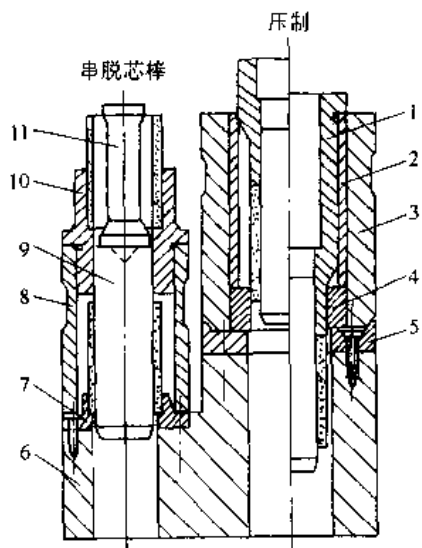


图 7-72 手动通过式精整模

1—上模冲 2—导套 3—模套 4—阴模
5—压垫 6—模座 7、10—定位套
8—脱模座 9—芯棒 11—顶杆

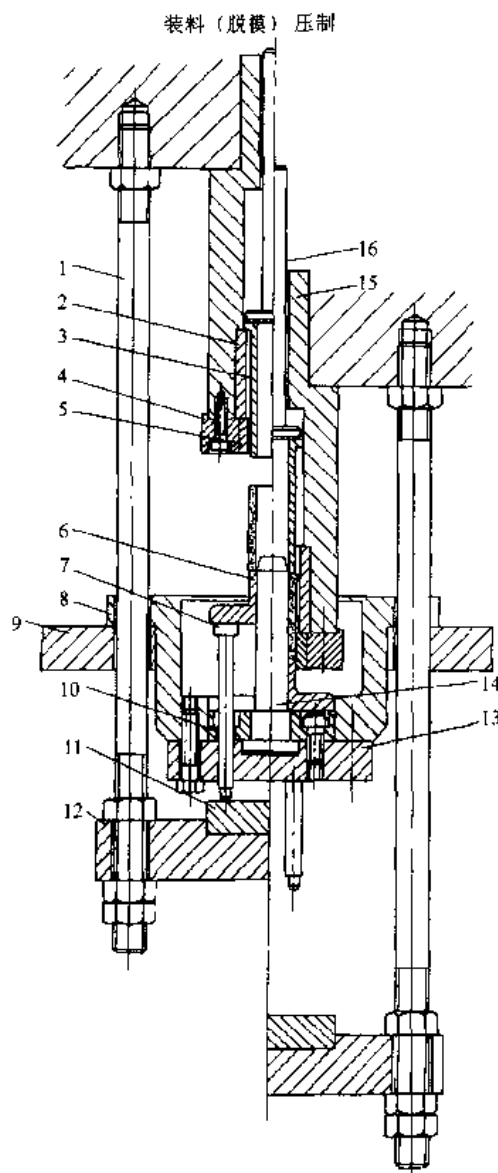


图 7-73 轴套拉杆式半自动通过式精整模具

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

图 7-72 所示也是通过式精整手动模。这种结构精整外径时，上模冲 1 有导向，不致损坏压件的同轴度。另外，将穿芯棒 9 和脱芯棒两程序合并，以提高效率。它适用于精整较长的烧结工件。

图 7-73 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，即成为脱模顶套 3 和托盘 6。精整时，工件放在芯棒上定位，靠阴模精整余量将件压入芯棒，托盘随压机冲头和拉杆下行，落到压盖 10 后，阴模继续下行，完成了径向精整。脱模时，工件或被阴模带上，当顶杆 16 被横梁挡住后，顶套将工件脱出阴模；或工件留在芯棒上，拉杆 1 上行时顶动顶杆 7 和托盘，将压件脱出芯棒。该结构要求工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，送料时件有定位，但不便于自动送料。

图 7-74 所示为轴套全自动通过式精整模具结构，适用于可倾式压力机（冲床）上。

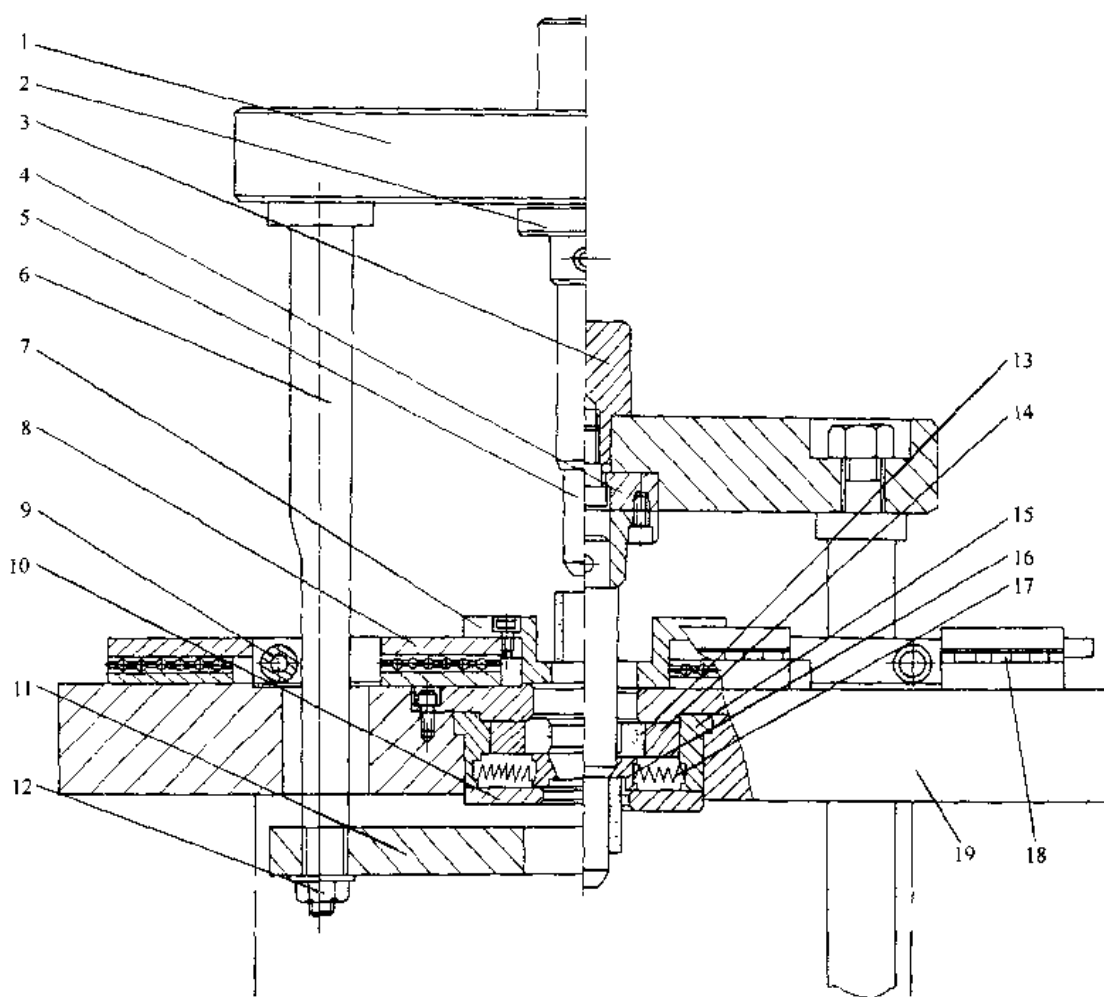


图 7-74 轴套全自动通过式精整模

- 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

该结构上部只有一根带台阶面的芯棒 5 固定在模座 2 上。下部阴模系统分三层：上层是由定位套 7 与导向板 8 等组成，起工件定位导向作用；中部是阴模 13 固定在阴模座 15 上，起

精整作用；下部是由止回板 16、弹簧 17 等组成，起脱模作用。

精整时，压机上滑块下行，拉杆 6 斜面碰到滚轮 9 后，使导向板 8 向两侧移动（在滚柱 18 的导轨中运动，阻力小），工件由芯棒下端锥面进入阴模精整，当其通过阴模下口后，打开止回板 16 向下，压机回升时，止回板在弹簧 17 作用下合拢，使工件脱出芯棒。

复位时，芯棒回至上极限，送料器向前将工件进到待整位置。

二、全精整式精整模

（一）基本形状类

1. 带孔类

图 7-75 所示为烧结轴套全精整自动模。阴模 15 通过阴模板 14 固定在压机工作台上。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 下行穿入烧结件孔内，固定在接套上的上模冲，由于烧结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烧结件压入阴模，这时芯棒已先穿进烧结件内孔。当下模座碰到下模板 18 后，烧结件高度方向受压，实现全精整。脱模时，压机冲头回升，顶出机构将下模冲向上顶，若烧结件留在阴模内，则下模冲将其顶出；若烧结件被芯棒带上，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烧结件。

图 7-76 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，阴模和芯棒随压机冲头同步压向烧结件，内外径开始精整，上模冲被烧结件顶住，相对

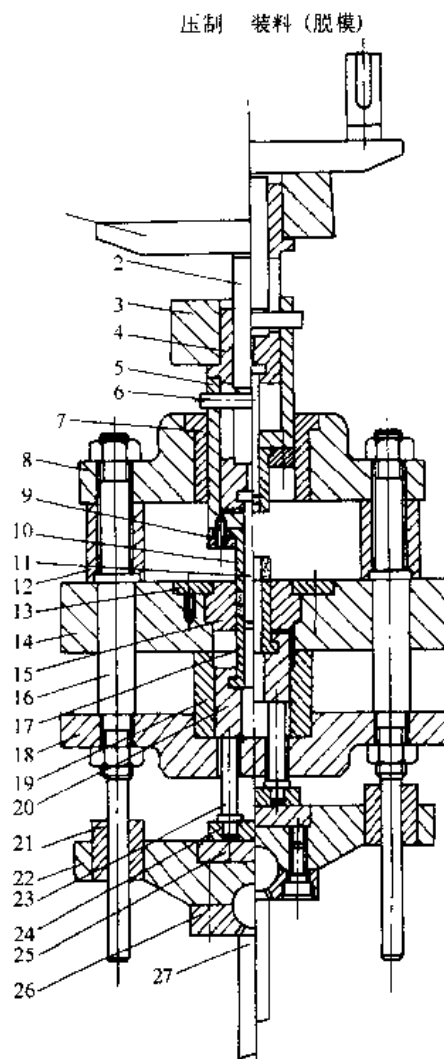


图 7-75 烧结轴套全精整自动模

- 1、22—横梁 2、23—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

于阴模和芯棒向上退，上模冲被接套 6 挡住后，烧结件高度亦受压缩，实现全精整。定位套是为烧结件送料和下模冲定位用，由弹簧 17 托起，导套 15 限位，浮动是为了阴模可穿入下模冲。脱模时，烧结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，上模冲将烧结件脱出。定位套由弹簧托起复位。

2. 带一个内（外）台阶面类

图 7-77 所示为带外台阶面套类工件的全精整手动模。精整时，烧结件先压入阴模 4，再穿入芯棒 2，最后上下模冲 3、6 压向烧结件，形成全精整。脱模时，先顶出芯棒，然后翻转阴模，脱出压件。

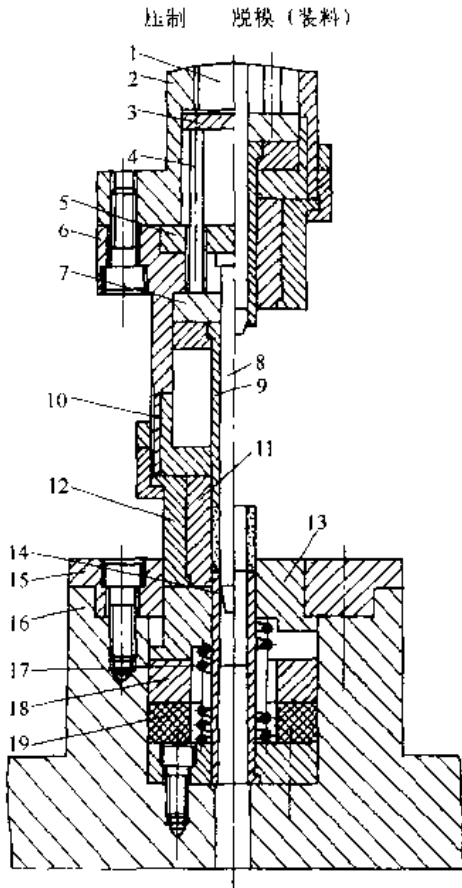


图 7-76 烧结轴套全精整自动模

- 1—顶柱 2—模柄 3—顶盘 4—顶杆 5—压垫
- 6—接套 7、10、18—压垫 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

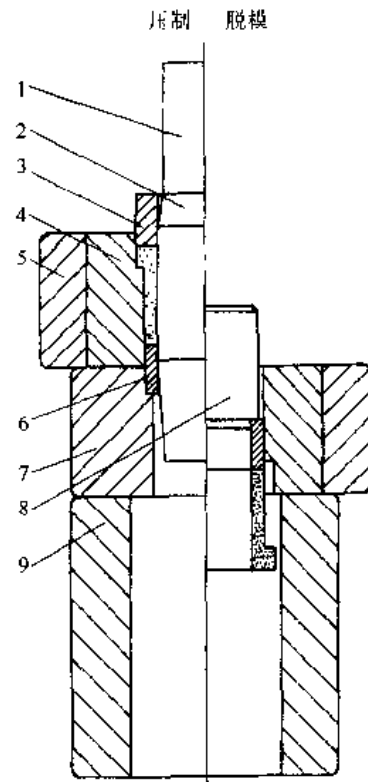


图 7-77 带外台阶面套类工件的全精整手动模

- 1、8—顶杆 2—芯棒 3—上模冲 4—阴模
- 5—模套 6—下模冲 7—压垫 9—模座

图 7-78 所示为带外台阶面轴套全精整自动模。其结构原理与图 7-76 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，烧结件送入下阴模内，芯棒随模柄穿入烧结件，开始由于烧结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，通过烧结件克服弹簧力将下阴模压下，碰到压垫 18 后，

上阴模压入烧结件，整内外径。上模冲先随上阴模座一起下行，碰到烧结件上端面后，上模冲受阻挡，上阴模继续下行，上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，烧结件高度受压，实现全精整。橡胶垫 19 是为了防止调整模具时压机过载和精整时上下阴模之间有压紧力。脱模时，烧结件随上阴模和芯棒上行，顶杆 4 碰到上横梁后，通过挡块 7 阻止上模座上移，也就是上模冲阻止烧结件上行，这时芯棒相对于烧结件向上脱模，上阴模开始与烧结件一起不动，接套继续上行走完空程后，拉着上阴模座上移，上模冲仍不动，则烧结件在脱出芯棒的同时，也脱出上阴模。

图 7-79 所示是汽车发动机水泵带轮带内台阶面类全精整模具，适用于带上、下缸的压机。烧结件图可参见图 7-27)。

此结构中，下模冲 (I) 12 通过接杆 24，由弹簧 19 托起调节螺母 17 与下模板 16 底面接触，使其调节到待精整位置，上模冲 5 与芯棒 4 组合固定在上模板 1 上。精整时，烧结件进入阴模 6 口，上模冲及芯棒下行，使烧结件进入阴模后加压，在精整力的作用下，下模冲 (I) 克服弹簧力下浮，接触到下模垫 14 止。烧结件全精整完毕。脱模时，上模冲回升，下缸下行，连接在芯棒板 21 上拉杆 11 将阴模板 8 向下拉，使烧结件脱出阴模模腔。复位时，下缸上升，下模冲 (I) 在弹簧力作用下，复位到待整位置。

3. 内外带台阶面类

图 7-80 所示为内外带台阶面类烧结件全精整模具，适用于增设辅助气缸的粉末成形机。此结构中，阴模 14 带内台阶面，芯棒 16 下部与气缸的活塞杆 23 相连。

精整时，上模冲 7 将烧结件压入阴模，上气缸加压达全精整。脱模时，下缸下行，连接

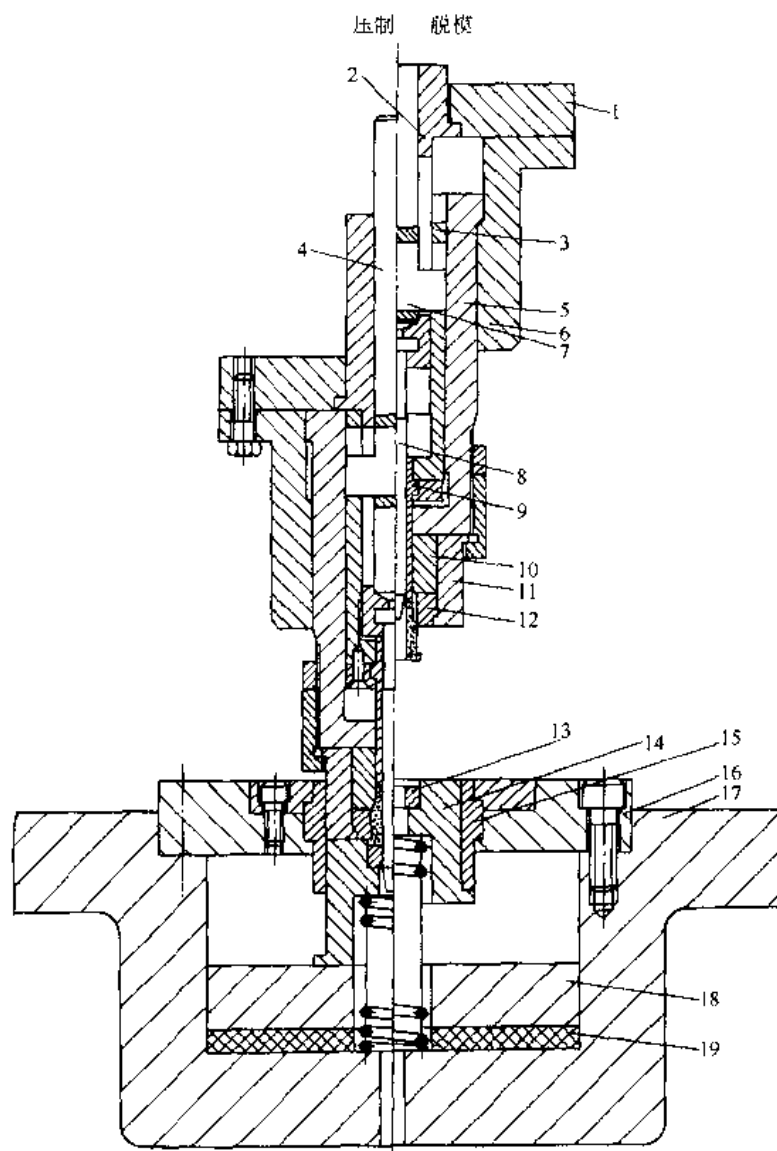


图 7-78 带外台阶面轴套全精整自动模

- 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

在芯棒板 13 上拉杆 19 拉下阴模板 18，使烧结件脱出阴模模腔。下气缸上端进气，通过活塞杆拉下芯棒，使烧结件完全脱出。

此结构采用芯棒后脱，这可改善芯棒受力状况，有利延长其使用寿命。

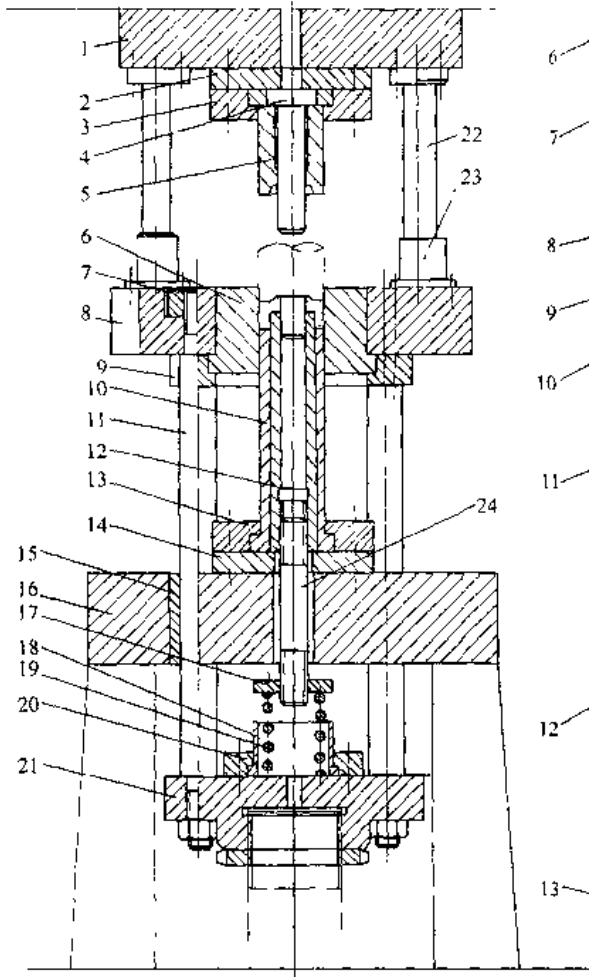


图 7-79 汽车发动机水泵带轮全精整模

- 1—上模板 2—上模垫 3—上压盖 4—芯棒
- 5—上模冲 6—阴模 7—并帽 8—阴模板
- 9—阴模盖 10—下模冲 (I) 11—拉杆
- 12—下模冲 (II) 13—下压盖 14—下模垫
- 15—导套 16—下模板 17—调节螺母
- 18—弹簧座 19—弹簧 20—压盖
- 21—芯棒板 22—导柱 23—导套 24—接杆

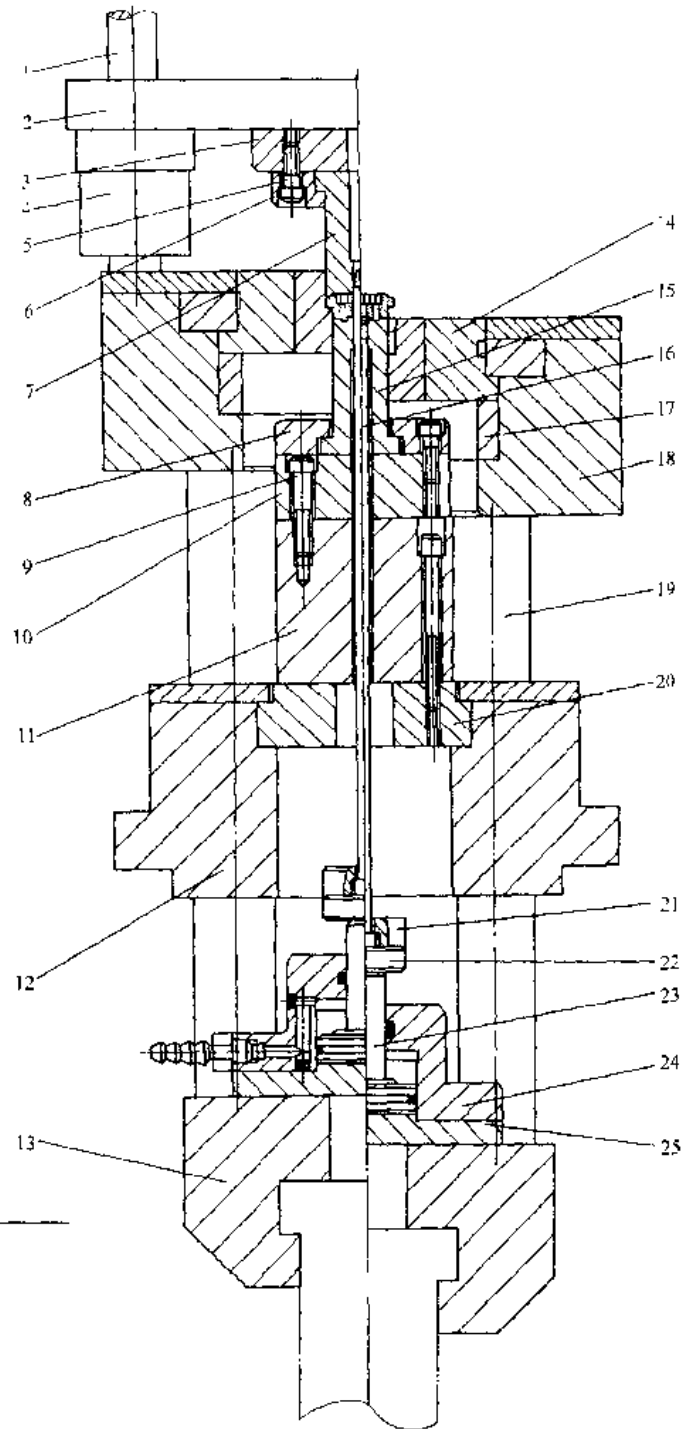


图 7-80 内外带台肩面类烧结件全精整模

- 1—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—下模垫
- 11—下模座 12—下模板 13—芯棒板 14—阴模 15—下模冲
- 16—芯棒 17—阴模垫块 18—阴模板 19—拉杆 20—垫块
- 21—芯棒盖 22—连接板 23—活塞杆 24—气缸体 25—气缸座

图 7-81 所示是汽车发动机曲轴带轮全精整模具,用于日本某机械式粉末精整机上,配以精整模架(烧结件图可参见图 7-39)。

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,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,压机下缸向上行,由顶杆 27 将顶板向上顶,使下模板 (I) 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,烧结件外径脱出阴模。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 21 向两侧移开,使下模冲继续向上,烧结件完全脱出。

4. 台阶面在中间类

图 7-82 所示是汽车发动机凸轮轴齿形带轮全精整模具,适用于带上、下缸的粉末成形机。(烧结件图可参见图 7-44)。

上、下模冲 4、9 分别固定在上模板 1 及下模板 17 上。芯棒 6 与下气缸顶杆 24 相连接。

精整时,上模冲进入阴模加压,使烧结件达精整要求。脱模时,上模冲回升,下缸向下拉,连接在下缸并帽 23 上拉杆 12 将阴模 7 向下拉,使烧结件脱出阴模模腔。同时,下气缸上端面进气,通过限位杆 22 将芯棒板 18 拉下,使烧结件内孔脱出芯棒。

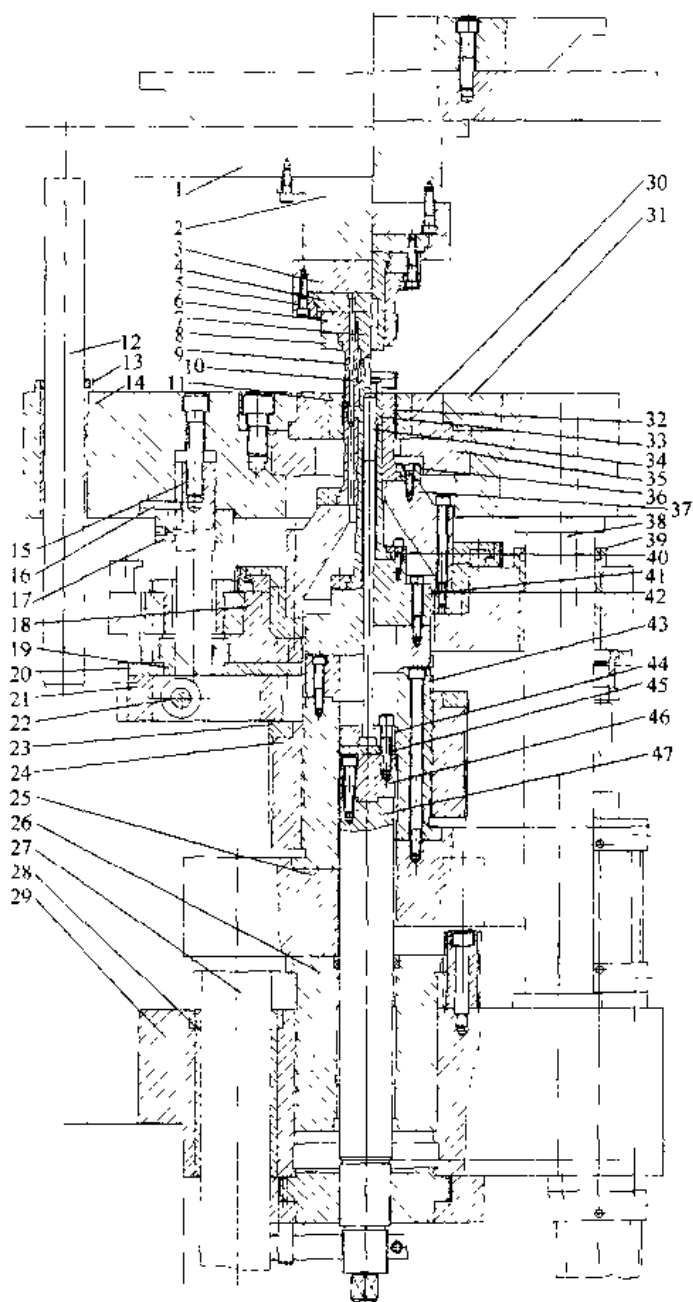


图 7-81 汽车发动机曲轴带轮全精整模

- 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

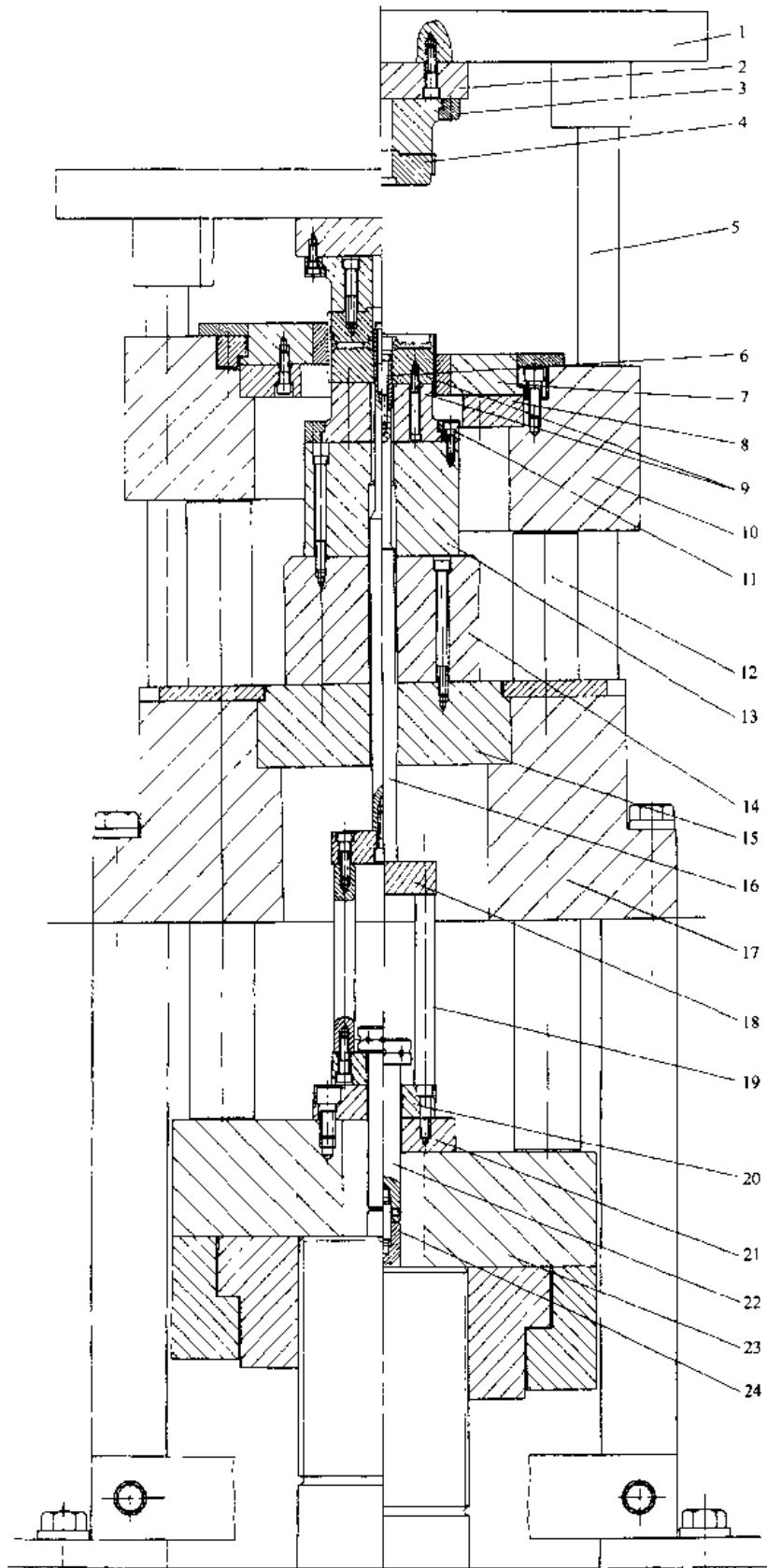


图 7-82 汽车发动机凸轮轴
带轮全精整模

- 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—阴模板 11—压盖 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

此模具结构特点,采用芯棒后脱法,可减少脱模阻力,延长芯棒使用寿命。

图 7-83 所示为汽车发动机油封法兰全精整模具,适用于有上、下缸的粉末成形液压机。(烧结件图见图 7-38)。

上模冲 4 和大芯棒 5 组合后固定在上模垫块 1 上。小芯棒 6 通过顶杆 23 与下缸并帽 30 相连接。阴模板 11 通过导向套 13(由弹簧托起)与下模板 28 相连。

精整时,上模冲进入阴模加压,阴模 7 受压后克服弹簧力向下浮至与定位垫块 27 上面齐平;下模冲 9 受压后克服硬橡皮 21 的力,压在垫块 17 上。

脱模时,上模冲回升,下缸向上升,连接在下缸并帽 30 上的顶杆 23 向上顶,使下模冲 9 上端面与阴模面齐平,小芯棒在硬橡皮弹力作用下脱离烧结件。

(二) 特殊形状类

1. 球(斜)面类

图 7-84 所示为带球面类烧结件的精整模。其阴模分上下两半,为了便于加工,上阴模 13 内镶上模冲 10,阴模导套 12 和下阴模 8 用模套 11 紧固。精整时,将穿好芯棒 9 的烧结件随同上阴模一起压入下阴模。脱模时,将模具反转放在脱模座 4 上,取下下模冲 6,换上脱模套 1,将烧结件连同上阴模顶下,同时烧结件脱出芯棒,取走模套组合件后,上阴模

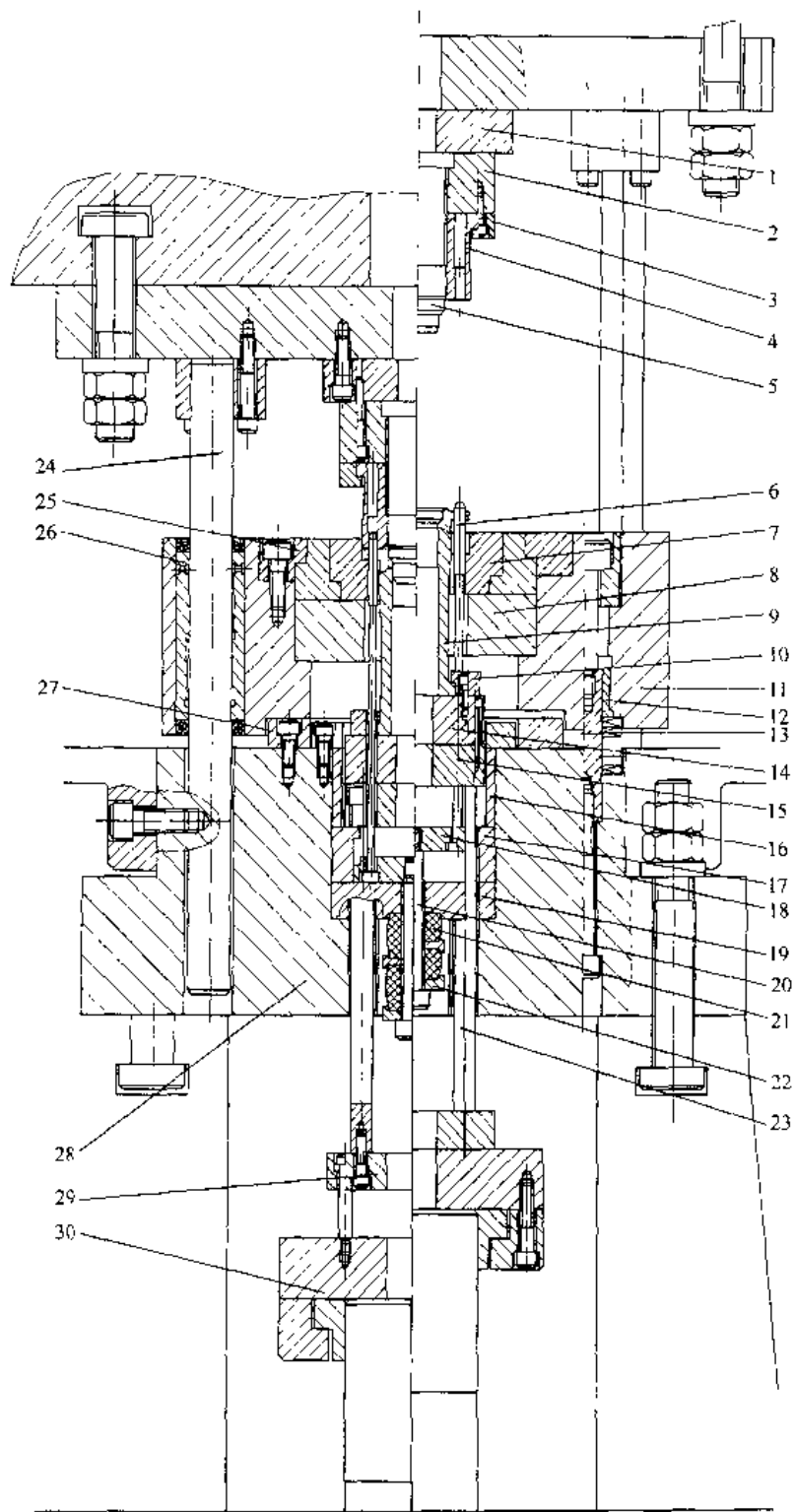


图 7-83 汽车发动机油封法兰全精整模具

1—上模垫块 2—上模座 3、10、25 压盖 4—上模冲 5 大芯棒 6—小芯棒 7—阴模 8—阴模座 9—下模冲 11—阴模板 12—定位套 13—导向套 14—下模座 15 下模座 16—垫套 17、19—垫块 18—芯棒板 20—紧固螺钉 21—硬橡皮 22—垫圈 23—顶杆 24—上导柱 26—导向套 27—定位垫块 28 下模板 29—连接板 30—下缸并帽

被弹簧 3 托起，取出烧结件。

图 7-85 所示为带外球面轴套全精整自动模。其结构与图 7-76 相似，只是在下部多一个送烧结件时起定位作用的定位芯 22，它由弹簧 19 托起，并由下阴模 20 限位。

图 7-86 所示为汽车控制臂球头全精整模具（烧结件图见图 7-56），适用于有上、下缸的粉末成形机。

此模具结构特点，阴模板 26 由弹簧托起（图中未表示，详细结构可参见图 7-63）。精整时，上模冲 6 进入阴模 7 后加压，可由调节钉 3 限位及调整，使阴模板受力于定位套 29 上，下模冲 8 受力后，坐落于芯棒盖 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，使烧结件脱出。

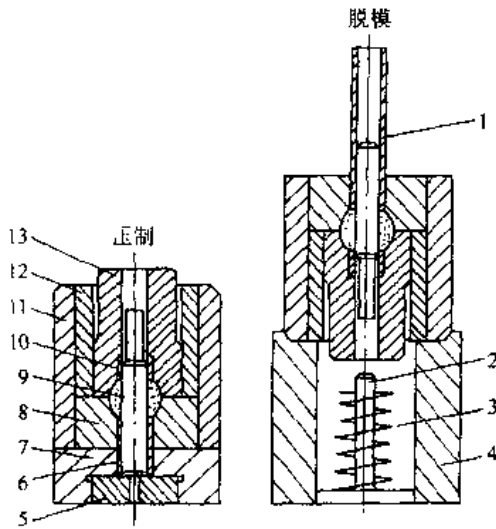


图 7-84 带球面类烧结件的精整模
1—脱模套 2—顶杆 3—弹簧 4—脱模座
5—小压垫 6—下模冲 7—压垫 8—下
阴模 9—芯棒 10—上模冲 11—模套
12—导套 13—上阴模

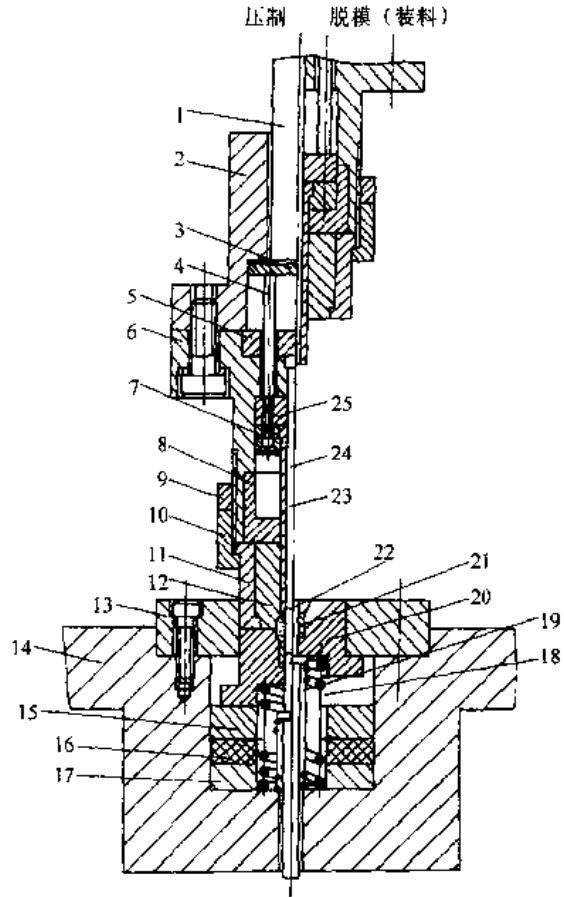


图 7-85 带外球面轴套全精整自动模

- 1—顶棒 2—模柄 3—顶盘 4—顶杆 5、8、15—压垫
17、25—压垫 6—接套 7—压盖 9—并母 10—螺帽
11—模套 12—上阴模 13—导套 14—模座 16—橡
胶垫 18、19—弹簧 20—下阴模 21—下模冲
22—定位芯 23—上模冲 24—芯棒

图 7-87 所示为汽车发动机气门阀座的全精整模具，适用于有上、下缸的粉末成形机。

上模冲 4 作为实体件，将烧结件内腔形状组合在一起，简化了模具结构。假芯棒 11 仅起烧结件精整前定位用。

精整时，上模冲进入阴模 5 加压，克服弹簧 18 力，使假芯棒向下浮动。脱模时，下缸下行，连接在芯棒板 20 上拉杆 10 拉下阴模板 7，使下模冲 9 端面与阴模平面平，烧结件脱出。

2. 伞齿形类

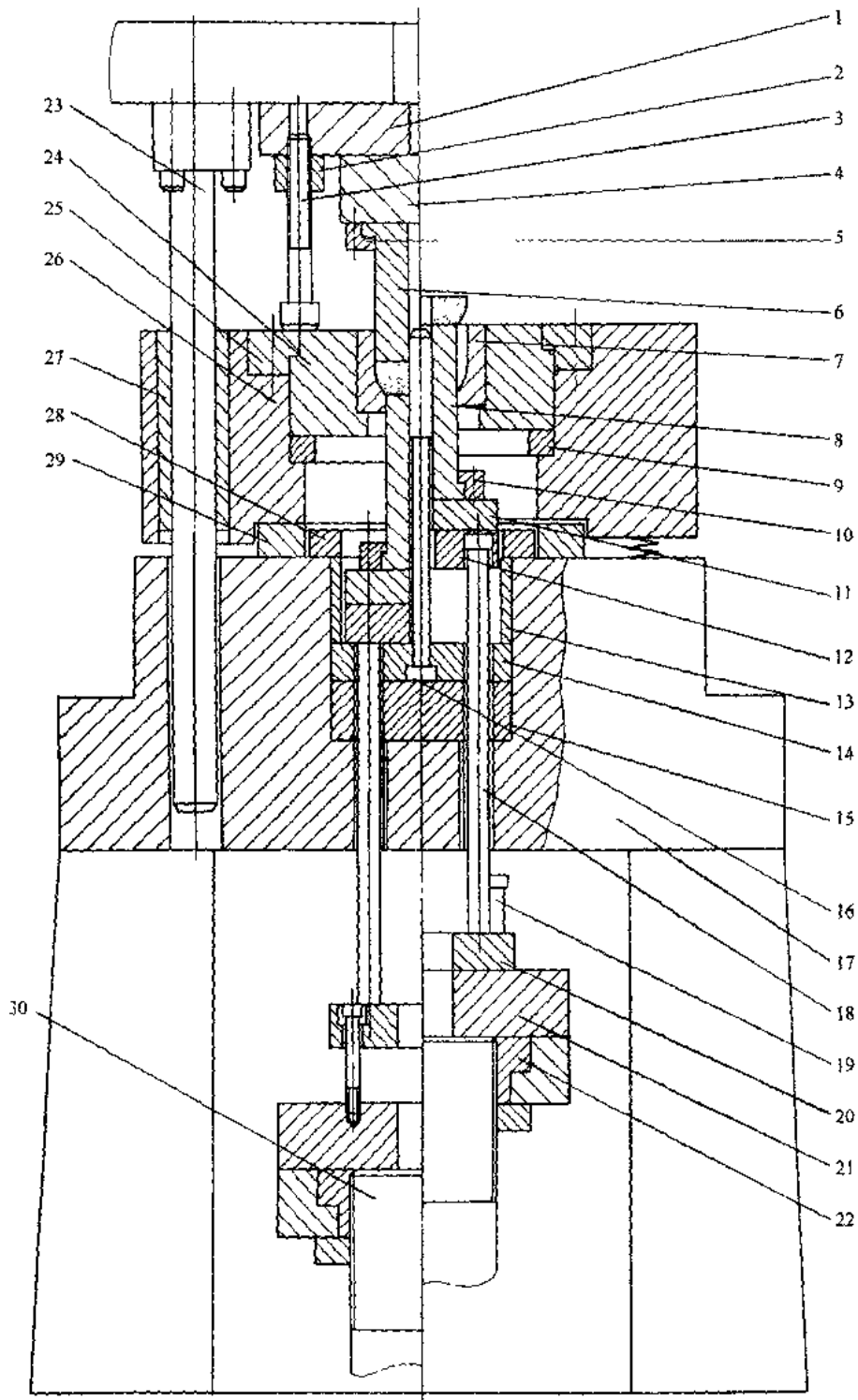


图 7-86 汽车控制臂球头全精整模具

- 1—上模座 2—井帽 3—调节钉 4—上模垫 5、10、25—压盖 6—上模冲 7—阴模
 8—下模冲 9—阴模垫 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型
 帽 23—上导柱 24—护套 26—阴模板 27—导套 28—压垫 29—定位套 30—下缸螺杆

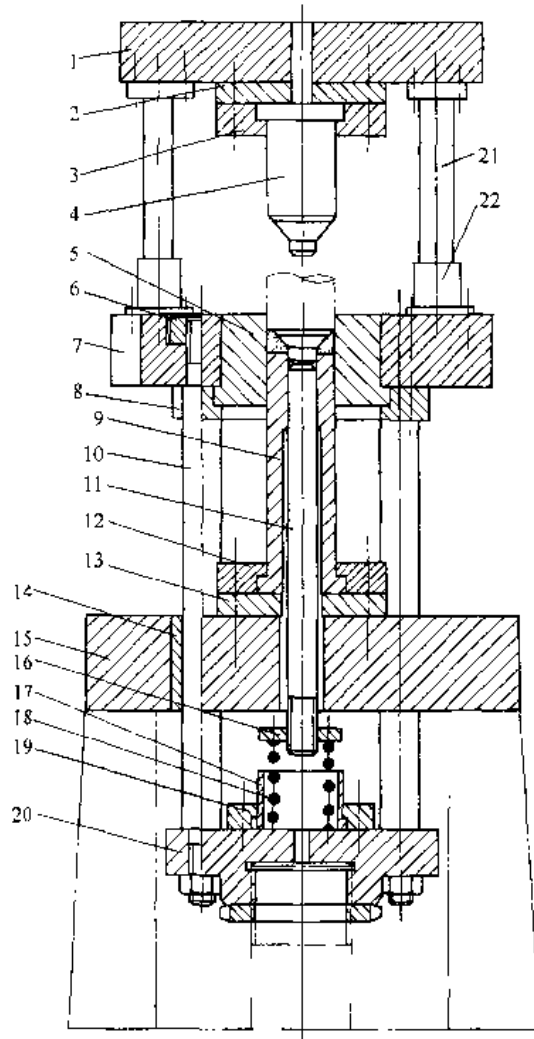


图 7-87 汽车发动机气门阀座的全精整模具

- 1—上模板 2 上模垫 3、12、19—压盖
 4—上模冲 5 阴模 6 并帽 7—阴模
 板 8—阴模盖 9—下模冲 10—拉杆
 11—假芯棒 13—下模垫 14—导套
 15 下模板 16—调节螺母 17—弹
 簧座 18—弹簧 20—芯棒板
 21—上导柱 22—导套

图 7-88 所示为阀门传动机构伞齿轮全精整模具，用于日本某机械式粉末精整机，（烧结件图可参见图 7-62）。压机上部设置气缸带动活动板 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。精整时，上模冲（I）、（II）进入阴模加压，下模冲 11 受力后通过下模座 23 坐落在调节套 25 上。脱模时，上缸回升，上气缸下端进气，使上模冲（I）上行至与上模冲（II）端面平，烧结件外台阶面脱出。下缸上顶，通过顶杆 16 将顶板 14 上的下模冲向上顶，使烧结件脱出阴模模腔。

3. 支座类

图 7-89 所示为柴油机摇臂座全精整模具，适用于有上、下缸的粉末冶金成形机。（压机图可参见图 7-69）。

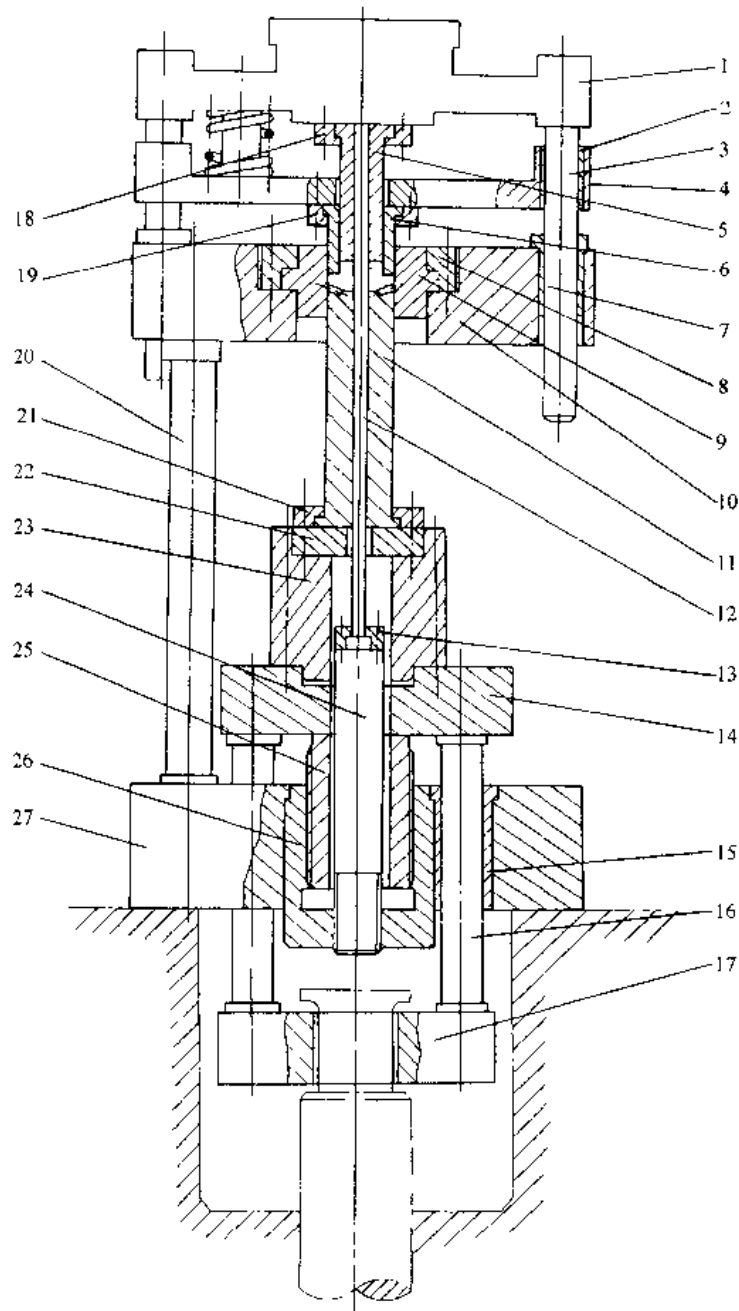


图 7-88 阀门传动机构伞齿轮全精整模具

- 1--上台板 2、7—导套 3 上导柱 4—活动板 5—上模冲 (I) 6—上模冲 (II) 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

此模具结构特点是设计上下气缸，使烧结件脱模较可靠。

精整时，上模冲 (I) 5 及上模冲 (II) 8 进入阴模加压，上活塞 3 至上极限，下活塞 22 至下极限。脱模时，上模冲上升，上气缸上端进气，使上模冲 (I) 下压，脱出烧结件上台阶面。下缸下行，连接在芯棒板 24 上拉杆 23 拉下阴模，脱出烧结件。

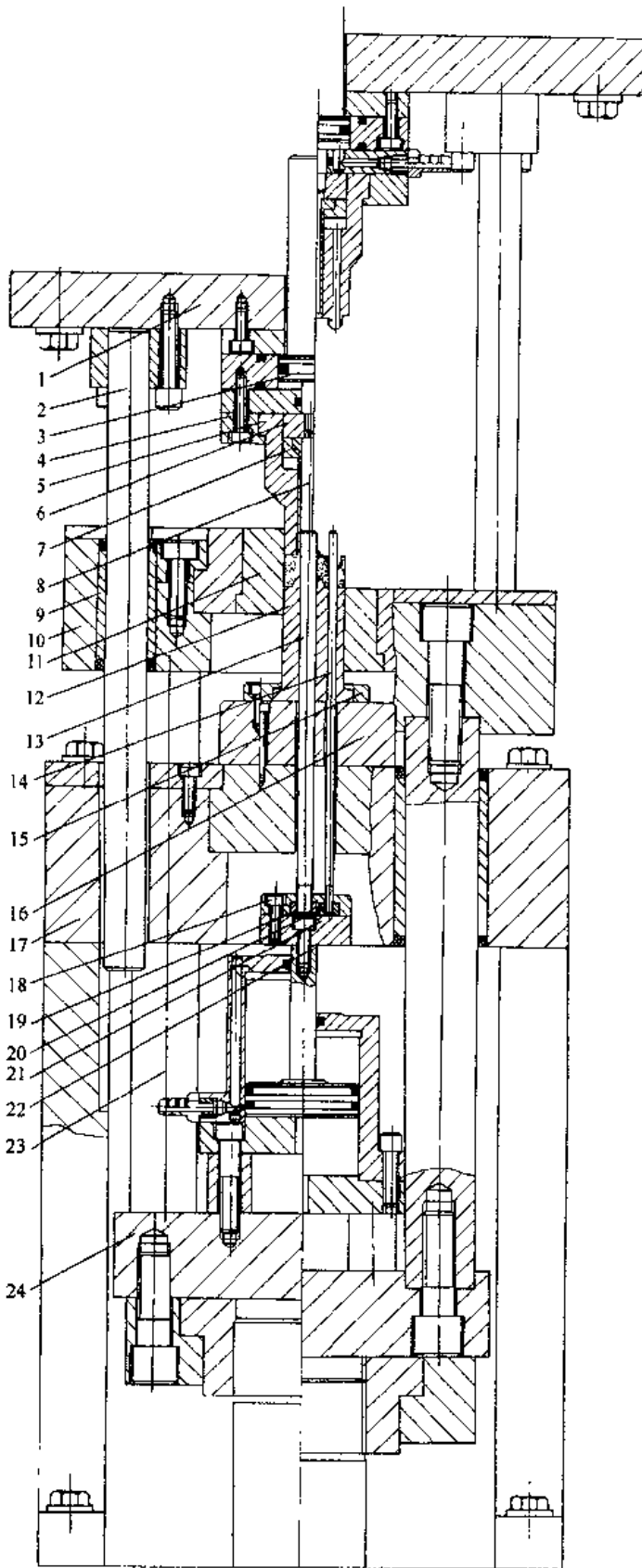


图 7-89 柴油机摇臂座全精整模具

- 1—上模板 2—导柱 3—上活塞
 4、7、15、18—压盖 5—上模冲
 (1) 6—垫块 8—上模冲(1)
 9—导套 10—阴模板 11—阴模
 12—下模冲 13—大芯棒 14—小
 芯棒 16—下模垫 17—下模板
 19、20—并帽 21—芯棒垫块
 22—下活塞 23—拉杆
 24—芯棒板

4. 连杆类

图 7-90 所示为冰箱压缩机连杆全精整模具，适用于有上、下缸的粉末冶金成形机。(烧结件图可参见图 7-70)。

上模冲 4 及下模冲 9 分别固定在上模板 1 及下模板 16 上，阴模 6 由阴模盖 7 固定在阴模板 8 上。由于烧结件上下两端型面均在上下模冲面精整，因此，使精整模结构较简单。精整过程相当于单向压制过程，在此不再赘述。

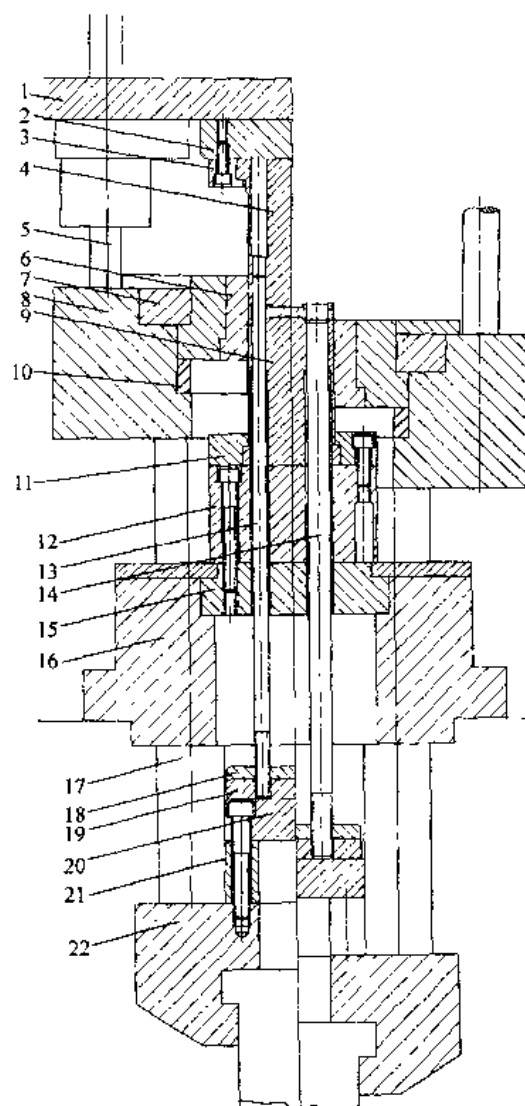


图 7-90 冰箱压缩机连杆全精整模具

- 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—芯棒板

第八章 模具零件的设计

第一节 模具主要零件设计

在成形模和精整模中,决定压坯形状、尺寸精度和表面粗糙度的模具零件称为主要零件。如阴模、芯棒和模冲(包括压套)等。

一、对模具主要零件的一般要求

(一) 成形模具

1. 阴模要求

- 1) 阴模高度应能容纳压制所需的松散粉末,并使上、下模冲有良好的定位和导向;
- 2) 能保证压坯的几何形状和尺寸精度;
- 3) 工作表面的粗糙度要低;
- 4) 工作表面要有高的硬度和良好的耐磨性;
- 5) 在工作压力下应有足够的强度和刚性;
- 6) 根据产品的批量和复杂程度,选择合适的阴模材料;
- 7) 结构上应便于制造和维修,使用安全,操作方便;
- 8) 能使压坯完好地脱出;
- 9) 平磨后需退磁。

2. 芯棒要求

- 1) 保证压坯的几何形状与尺寸精度;
- 2) 工作表面的粗糙度要低;
- 3) 与上下模冲应有良好的配合、定位和导向;
- 4) 工作段应有高的硬度。机动模芯棒的连接或固定端应有足够的刚性和韧性,热处理后的硬度应比工作段适当降低;
- 5) 成形异形孔的芯棒结构,应保证能将压坯脱出芯棒;结构要方便操作,利于加工;
- 6) 设计应考虑材料的利用、较长、较大的芯棒可用组合结构。

3. 模冲要求

- 1) 工作表面要有足够高的硬度和耐磨性,材料的选择与处理应考虑有适当的韧性;
- 2) 上、下模冲对阴模和芯棒应有良好的配合、定位与导向,并有合理的配合间隙,复合的模冲(即有压套时)应能脱出压坯;
- 3) 上、下模冲的工作面和配合面有较低的粗糙度,非工作段的外径可适当缩小,内孔可适当放大,以减少精加工量和与阴模、芯棒的摩擦;
- 4) 有关部位应能保证垂直度、平行度和同轴度等技术要求;
- 5) 平磨后需退磁。

(续)

序号	结构形式图例	说明	技术要求
4		---	1) d 孔对 A 面垂直度不大于 0.01 2) B 孔对 A 面垂直度不大于 0.01 3) C 面对 A 面平行度不大于 0.01 4) d 孔对 D 孔位移度不大于 0.05 5) d 孔表面粗糙度 $R_a 0.10 \sim 0.20$ 6) 其它技术要求同例 1
5		对大型或多台阶面压坯的带台阶面阴模, 为避免连续压制时模壁发热变形(磨损剧烈), 可用水循环冷却系统来确保阴模正常工作	

(二) 成形阴模轴向镶拼形式

成形阴模轴向镶拼形式见表 8-2。

表 8-2 成形阴模轴向镶拼形式

序号	结构形式图例	说明	技术要求
1		成形双联齿轮压坯的阴模, 为了便于模具加工和压坯脱模, 将阴模分为大小两部分。由于脱模需要, 此结构应注意电加工方向, 大阴模应由下而上, 小阴模应由上而下	
2		球面与直孔相接的型孔, 为了便于球面内形的加工, 将阴模从相接处分为上下两部分, 上、下阴模与模套选用静配合	1) D, D_1 均采用热装或过盈配合 2) F 面对 A 面不垂直度小于 0.01 3) 红套后精加工内齿腔, 两齿腔不同轴度允差 0.01 4) 内齿腔表面粗糙度 $R_a 0.025 \sim 0.10 \mu m$ 5) 两齿腔 E 结合面的表面粗糙度 $R_a 0.025 \sim 0.10 \mu m$ 6) 其它技术要求同例 1
3		锥面与直孔相接的型孔, 为了便于锥孔加工, 将阴模从锥孔大端处与直套分开, 上、下阴模与模套选用静配合	

(三) 成形阴模径向镶拼形式

1. 拼模结构特点

复杂形状的阴模型腔,加工中常遇到困难,目前常用电火花加工。但在有些情况下,如模腔较深,粗糙度和精度要求较高,或型腔容易碎裂的阴模,选用拼模结构比较合理。与电火花加工的整体结构相比,拼模结构具有以下的特点:

1) 把不能磨削的内曲线型面变为可磨削的外曲线型面,解决了内曲面加工的困难,表面粗糙度较低。

2) 可以制造高度较大、型腔的尺寸精度和几何精度较高的阴模。

3) 拼块热处理容易淬透,工作表面硬度高于整体阴模的内表面。

4) 便于修复磨损了的阴模拼块,可以通过修磨分缝的平面来缩小模孔,校正尺寸。

5) 拼块加工工艺较复杂,装配工艺性亦差,不如电火花加工简便。

2. 拼模分型原则

1) 把难于加工的内曲线型面变为易于加工的外曲线型面,便于磨加工(图 8-1f、g、h);

2) 避免在工作面上分型(图 8-1a~h);

3) 避免拼块转角部位产生应力集中(图 8-1a~h);

4) 拼块厚度变化不宜相差太大,形状力求简单,以免发生热处理变形;

5) 可拆阴模应便于装拆;

6) 拼模外形应设计成圆形,以利于增加阴模的强度与刚性(图 8-1)。

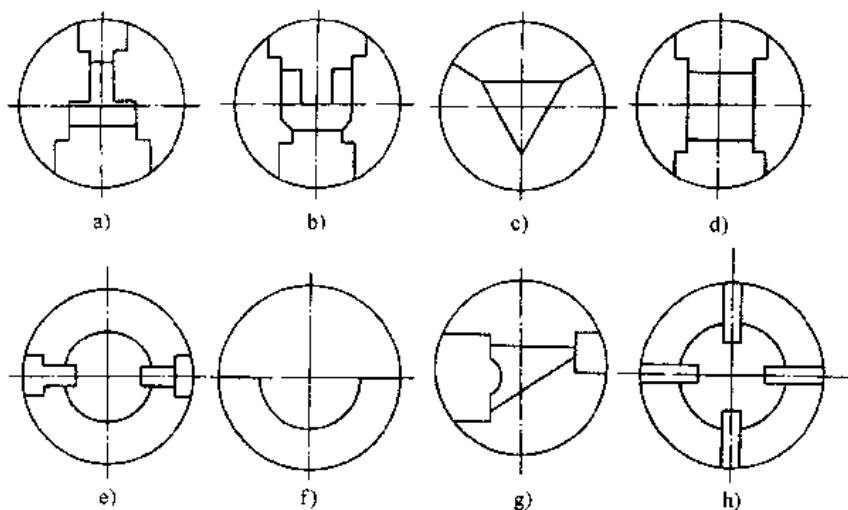


图 8-1 拼模分型示例

三、成形芯棒形式及技术要求

成形芯棒形式及技术要求见表 8-3。

四、成形模冲和精整模冲形式及技术要求

成形模冲以及精整模冲的形式及技术要求见表 8-4。

表 8-3 成形芯棒形式及技术要求

(mm)

序号	结构形式图例	说明	技术要求
1		<p>机动模中,较长的芯棒可分成成形芯棒和接杆两部分,这样可节约工具钢,便于加工、维修和调换。孔径 d_1 为芯棒与接杆的定位孔, H_f 为阴模高度</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) d 外圆对 A 面垂直度允差 0.01 2) d 外圆对直线度允差 0.005 3) d_1, M 对 A 面垂直度允差 0.01 4) $R_1 \leq 0.2; C_1 \leq 0.5$
2		<ol style="list-style-type: none"> 1) 对大尺寸芯棒 $d \geq \phi 20$, 或硬质合金芯棒, 可采用螺钉与接杆连接的形式 2) 连接形式可采用圆头内六角螺钉或沉头螺钉两种 	<ol style="list-style-type: none"> 5) d 外圆表面粗糙度 $R_a 0.025 \sim 0.20$ 6) H 端面表面粗糙度 $R_a 0.16 \sim 0.32$
3		<p>适用于内台阶面压坯的成形芯棒 $d/d_0 \leq 1.2$ 时</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) d 与 d_0 同轴度允差 0.01 2) d, d_0 表面粗糙度 $R_a 0.10 \sim 0.20$ 3) 其它技术要求同序号 1
4		<ol style="list-style-type: none"> 1) $d \geq \phi 10; d_1 = d - (0.2 \sim 0.5)$ 2) $R_1, C_1 \leq 0.5$ 3) 与芯棒座连接形式: 图 a 螺纹或图 b 带肩法兰 	<ol style="list-style-type: none"> 1) M 对 d 同轴度允差 0.02 2) d 对 A 垂直度允差 0.01 3) 其它技术要求同序号 1

(续)

序号	结构形式图例	说明	技术要求
5		<p>1) 对带锥孔的端面,其内、外径差很小的压坯(壁厚 $\delta \leq 0.5$)成形时,芯棒可与上模冲组合成整体形式</p> <p>2) $D_1 = D - (0.5 \sim 1)$</p>	<p>1) d 与 D、及锥面同轴度允差 0.01</p> <p>2) d、D 及锥面对 A 面垂直度允差 0.01</p> <p>3) d 与锥面表面粗糙度 $R_a 0.025 \sim 0.20$</p> <p>4) 其他技术要求同序号 1</p>
6		<p>1) 带异形孔的压坯成形时,芯棒可设计成组合结构形式</p> <p>2) d 小芯棒与 d_1 大芯棒间隙配合 ($h6$),并由圆销定位</p> <p>3) $d_2 = d_1 - (0.5 \sim 1)$</p>	<p>1) d 与 d_1 允差同轴度 0.01</p> <p>2) d 与 d_1 异形面表面粗糙度 $R_a 0.12 \sim 0.20$</p> <p>3) 其他技术要求同序号 1</p>

表 8-4 成形模冲及精整模冲的形式及技术要求

(mm)

序号	结构形式图例	说明	技术要求
1		<p>1) $D_1 = D + (8 \sim 10)$ $D_2 = D + (0.5 \sim 1)$ $D_3 = D - (0.5 \sim 1)$</p> <p>2) $d_1 = d + (0.5 \sim 1)$</p> <p>3) $H = H_1 + (25 \sim 30)$ $h_1 = 10 \sim 12$ $h_2 = 15 \sim 25$</p> <p>4) H_1—阴模高度</p>	<p>1) D 与 d 同轴度允差 0.01</p> <p>2) d、D 对 A 面垂直度允差 0.01</p> <p>3) B 面对 A 面平行度允差 0.01</p> <p>4) D、d、A、B 各表面粗糙度 $R_a 0.025 \sim 0.20$</p> <p>5) D 型面与阴模内壁研配,间隙 0.005</p> <p>6) d 型面与芯棒外圆研配,间隙 0.005~0.01</p>

序号	结构形式图例	说明	技术要求
2		<p>1) 活动模冲,可由4 ϕd_2 孔与顶杆相连接</p> <p>2) $D_2 = D - (25 \sim 30)$ $D_1 = D_2 + (25 \sim 30)$ (其他尺寸同序1)</p>	<p>1) D与d同轴度允差0.01</p> <p>2) d, D对A面垂直度允差0.01</p> <p>3) B面对A面平面度允差0.01</p> <p>4) D, d, A, B各表面粗糙度允差$R_a 0.025 \sim 0.20$</p>
3		<p>1) 利用卡板压紧模冲,便于装拆</p> <p>2) $a = 5 \sim 15; b = 3 \sim 5$ (其他尺寸同序1)</p>	<p>5) D型面与阴模内壁研配,间隙0.005</p> <p>6) d型面与芯棒外圆研配,间隙0.005~0.01</p>
4		<p>1) 压制多台阶面的压坯,组合模冲可采用螺纹M或气缸活塞杆等连接形式</p> <p>2) 内孔d上部应打横向排气孔 (其它尺寸参照序1)</p>	<p>1) M对A面垂直度允差0.01</p> <p>2) 其它技术要求见序1</p>

序号	结构形式图例	说明	技术要求
5		<p>1) 对复杂形状压坯的活动模冲, 上部可设计气缸活塞结构形式 (其它尺寸参照序 1)</p>	<p>1) d_0 孔对 A 面垂直度允差 0.01 2) d_0 对 d 孔平行度允差 0.01 3) B 端面表面粗糙度允差 $R_a 0.025 \sim 0.20$ 4) 其他技术要求见序 1</p>
6		<p>1) 对复杂、大型压坯的模冲, 可设计组合形式, 利于加工及节材 (其它尺寸参照序 1)</p>	<p>1) d_0 孔对 A 面垂直度允差 0.01 2) d_0 对 d 孔平行度允差 0.01 3) C 面对 A 面平行度允差 0.01 4) 其它技术要求见序 1</p>

五、精整阴模形式及技术要求

精整阴模形式及技术要求见表 8-5。

表 8-5 精整阴模形式及技术要求

(mm)

序号	结构形式图例	说明	技术要求
1		<p>通过式机动精整阴模, 精整芯棒退回时, 零件靠回弹留在阴模下口外, 故下模口要保持锐角, 此形式用于外箍内的精整方式。 $\alpha = 1^\circ \sim 3^\circ$</p>	<p>1) D 孔对 A 面垂直度允差 0.01 2) 锥孔对 D 孔同轴度允差 0.01 3) B 面对 A 面平行度允差 0.01 4) D 孔表面粗糙度 $R_a 0.025 \sim 0.20$, 锥孔表面粗糙度 $R_a 0.4 \sim 0.8$</p>
2		<p>通过式精整阴模两端口, 带 $\alpha = 1^\circ \sim 3^\circ$ 的锥面和 $R = 0.5 \sim 1$ 的圆角, $H_1 = 3 \sim 5$, $H_2 = 5 \sim 15$ (硬质合金模 $H_2 = 3 \sim 10$), $H_3 = 1/3$ 工件高度</p>	<p>5) A、B、C 表面粗糙度 $R_a 0.4 \sim 0.8$</p>

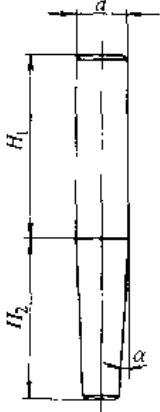
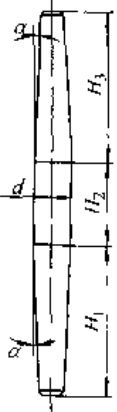
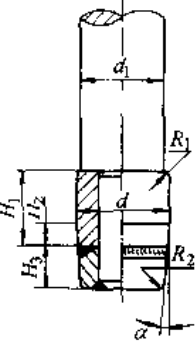
序号	结构形式图例	说明	技术要求
3		<p>带两个导向锥的通过式精整阴模 $\alpha_1=1^\circ, \alpha_2=2^\circ, \alpha_3=1^\circ\sim 3^\circ$, $H_1=3\sim 5, H_2=5\sim 15, H_3=1/4$ 工件高度, $H_1=1/4$ 工件高度, 此形式工件导向较好</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) D 孔对 A 面垂直度允差 0.01 2) 锥孔对 D 孔同轴度允差 0.01 3) B 面对 A 面平行度允差 0.01 4) D 孔表面粗糙度 $R_a 0.025\sim 0.20$, 锥孔表面粗糙度 $R_a 0.4\sim 0.8$ 5) A, B, C 表面粗糙度 $R_a 0.4\sim 0.8$
4		<ol style="list-style-type: none"> 1) 可调式精整模, 阴模与模套要有良好的 1:30 的锥度相配合。通过松开调节螺丝, 将阴模向下压, 靠锥面来缩小模孔尺寸。总调节量可达 0.05。 2) $\alpha_1=1^\circ, \alpha_2=1^\circ\sim 3^\circ, \alpha_3=1^\circ\sim 3^\circ$ <p>该结构与不可调的钢阴模相比, 可延长模具寿命, 并能适应烧结收缩不稳的工件精整</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) 锥面 (α_1) 以及锥孔 (α_2) 对 D 孔同轴度均允差 0.01 2) 锥孔 (α_1) 对 A 面垂直度允差 0.01 3) 螺孔对 A 面垂直度允差 0.01 4) D 孔表面粗糙度 $R_a 0.025\sim 0.2$, 锥孔表面粗糙度 $R_a 0.4\sim 0.8$ 5) α_1、锥孔 (锥面) 表面粗糙度 $R_a 0.20\sim 0.40$ 6) A 面表面粗糙度 $R_a 0.40\sim 0.80$
5		<ol style="list-style-type: none"> 1) 全精整模具结构, 用于自动成形机 2) $\alpha=5^\circ\sim 10^\circ, H_1=2\sim 5, H_2=$ 工件高度 + (15~20), $H_3=5\sim 10$ 	<ol style="list-style-type: none"> 1) D 孔对 A 面垂直度允差 0.01 2) 锥孔对 D 孔同轴度允差 0.02 3) B 面对 A 面平行度允差 0.01 4) D 孔表面粗糙度 $R_a 0.025\sim 0.20$ 5) 锥孔表面粗糙度 $R_a 0.20\sim 0.40$ 6) A, B 表面粗糙度 $R_a 0.40\sim 0.80$
6		<ol style="list-style-type: none"> 1) 多台阶面压件全精整模采用组合式结构 2) $R_1=1, R_2\geq 1$ 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 各外圆配合面同轴度允差 0.01 2) 其它技术要求见序 5

六、精整芯棒形式及技术要求

精整芯棒形式及技术要求见表 8-6。

表 8-6 精整芯棒形式及技术要求

(mm)

序号	结构形式图例	说 明	技 术 要 求
1		<p>一端带锥度的手动精整芯棒, $H_1 >$ 工件高度, $H_2 >$ 工件高度, $\alpha = 1^\circ \sim 2^\circ$</p>	
2		<p>两端带锥度的通过式芯棒, $H_1 = H_3 >$ 工件高度, $H_2 = 5 \sim 15$, $\alpha = 1^\circ \sim 2^\circ$</p>	<p>1) 两端面锥对 d 圆同轴度允差 0.01 2) d 表面粗糙度 $R_a 0.025 \sim 0.20$ 3) 锥面粗糙度 $R_a 0.20 \sim 0.40$</p>
3		<p>当产品批量大时,对工件内孔需预扩整的自动精整芯棒,为了提高耐磨性,在芯棒头部铜焊一硬质合金圈。 $H_1 \leq 20$, $H_2 = 3 \sim 5$, $H_3 = 5 \sim 10$, $\alpha = 1^\circ \sim 2^\circ$, R_1, R_2 为 0.5~1。 R_1 是避免芯棒抽出时划伤工件</p>	

(续)

序号	结构形式图例	说明	技术要求
4		<p>自动全精整的芯棒端部可做成 $H_1 = 10 \sim 20$, $\alpha = 1^\circ \sim 2^\circ$ 的导向锥, 使芯棒平稳的进入工件孔, $d_1 = d - (0.5 \sim 1)$, H_1 为阴模高度, 其下部连接结构形式可参照表 8-3</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) d 圆对底面 A 垂直度允差 0.01 2) d 圆对螺纹 M 同轴度允差 0.01 3) d 圆表面粗糙度 $R_a 0.025 \sim 0.20$ 4) α 锥面(或 R 圆角)表面粗糙度 $R_a 0.20 \sim 0.40$
5		<p>自动精整的芯棒端部可带有圆角 $R \geq 2$, 使芯棒平滑的进入工件孔。 $d_1 = d - (0.5 \sim 1)$, H_1 为阴模高度, 其下部连接结构形式可参照表 8-3</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) d 圆对底面 A 垂直度允差 0.01 2) d 圆对螺纹 M 同轴度允差 0.01 3) d 圆表面粗糙度 $R_a 0.025 \sim 0.20$ 4) α 锥面(或 R 圆角)表面粗糙度 $R_a 0.20 \sim 0.40$
6		<ol style="list-style-type: none"> 1) 全精整较大尺寸芯棒, 采用硬质合金材料, 由螺钉与接杆连接。 2) $R = 1, C = 0.5$ 	<ol style="list-style-type: none"> 1) d 外圆对 A 面垂直度允差 0.01 2) 其它技术要求见序 4

第二节 辅助零件的设计

全套模具除了主要零件(阴模、芯棒和上下模冲)外, 还有其他辅助零件, 设计时要考虑结构形式和技术要求, 对某些零件还需校核其强度和刚性。

一、辅助零件的结构形式和技术要求

模具中常用的一些辅助零件, 其结构形式和技术要求列于表 8-7 中。

表 8-7 辅助零件的结构形式和技术要求

(mm)

名称	结构形式图例	说明	技术要求
压盖		1) 用于压紧上、下模冲、阴模及芯棒座 2) 可形成通用化系列规格	1) 尺寸 D 制造偏差为 $\pm 0.05 \sim \pm 0.10$ 2) 调质处理后硬度 $28 \sim 32\text{HRC}$ 3) 各面表面粗糙度 $R_a 3.2\mu\text{m}$
压垫		1) 用于垫在上、下模冲下面,传递并承受压制力(或精整力) 2) 可形成通用化系列规格	1) 两端面平行度允差 0.01 2) 两端面表面粗糙度 $R_a 0.8$, 其余表面粗糙度 $R_a 3.2\mu\text{m}$ 3) 倒角 $1 \times 45^\circ$
接杆		1) 用于连接芯棒,并承受一定的压制力和脱模力 2) 图例(a)结构,螺纹 M 与芯棒连接,法兰外圆 D 由压盖压紧在模板上;图例(b)结构,螺纹 M_1 与芯棒相连,螺纹 M_2 与芯棒座相连 3) $d_1 = d_{\text{芯}} - (0.5 \sim 1.0)$, $d_{\text{芯}}$ 为芯棒外圆	1) 外圆 d , 螺纹 M 对 A 面垂直度允差 0.01 2) B 面对 A 面平行度允差 0.01 3) 螺纹 M_1, M_2 对 d 外圆同轴度允差 0.01 4) 螺纹 M_1, M_2 、外圆 d 对 B 面垂直度允差 0.01 5) A, B 面及 d 圆表面粗糙度 $R_a 0.8$, 螺纹表面粗糙度 $R_a 1.6\mu\text{m}$, 其余表面粗糙度 $R_a 3.2\mu\text{m}$ 6) 倒角 $1.5 \times 45^\circ$

名称	结构形式图例	说明	技术要求
接杆		<p>1) 适用于组合芯棒的接杆,由芯棒下部外螺纹与之M螺孔连接</p> <p>2) $D_1 = d_{\text{芯}}$ (0.5~1.0)</p>	<p>1) M螺纹对A面垂直度允差0.01~0.02</p> <p>2) B面对A面平行度允差0.01~0.02</p> <p>3) A、B面表面粗糙度$R_a 0.8\mu\text{m}$,其余表面粗糙度$R_a 3.2\mu\text{m}$</p>
接杆		<p>适用于复合模冲的连接。模冲由压簧固定在B面上</p>	<p>3) A、B面表面粗糙度$R_a 0.8\mu\text{m}$,其余表面粗糙度$R_a 3.2\mu\text{m}$</p>
拉杆		<p>1) 连接阴模板和芯棒板,使模具能具有脱模及复位功能</p> <p>2) 下模板配以导套,同时起导向作用</p> <p>3) 可形成通用化系列规格</p>	<p>1) d_1, M_1, M_2对d同轴度允差0.01</p> <p>2) d, d_1对A面垂直度允差0.01</p> <p>3) 四只拉杆的B面对A面的平行度允差均为0.02~0.03</p> <p>4) d, d_1的表面粗糙度$R_a 0.8 \sim 0.16\mu\text{m}$</p> <p>5) A、B面表面粗糙度$R_a 0.8\mu\text{m}$</p> <p>6) d外圆直度允差0.015~0.03</p>

(续)

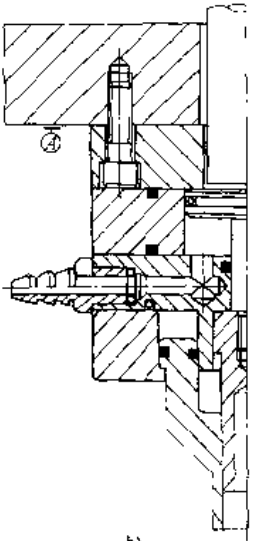
名称	结构形式图例	说明	技术要求
导柱		<p>1) 仅起导向作用,一般可固定在上模板(或阴模板)上</p> <p>2) (a)图例结构是采用压盖将导柱固定在模板上</p> <p>3) (b)图例结构形式是组合式导柱,d外圆与D导柱座孔采用过盈配合。此结构有利于加工并节约材料</p> <p>4) 可形成通用化系列规格</p>	<p>1) d, d_1对A面垂直度允差0.01</p> <p>2) d_1与d同轴度允差0.01</p> <p>3) d, d_1表面粗糙度$R_a 0.8 \sim 0.16\mu\text{m}$</p> <p>4) A面表面粗糙度$R_a 0.8\mu\text{m}$</p> <p>(其它技术要求见拉杆要求)</p>
导套		<p>1) 导套(图 a)形式用于拉杆导向,并压入下模板后再加工孔d</p> <p>2) 导套(图 b)形式用于导柱导向,并固定在阴模板(或上模板)上</p> <p>3) 可形成通用化系列规格</p>	<p>1) D对d孔同轴度允差$0.02 \sim 0.04$</p> <p>2) d孔对A面垂直度允差$0.01 \sim 0.02$</p> <p>3) 与导柱配合精度为$H7/f6, H7/g6$</p> <p>4) d, D圆表面粗糙度$R_a 0.8 \sim 0.16\mu\text{m}$</p>
芯棒座		<p>1) 连接并固定芯棒与芯棒板</p> <p>2) 倒角$(1.5 \sim 2) \times 45^\circ$</p> <p>3) 可形成通用化系列规格</p>	<p>1) B对A面平行度允差0.02</p> <p>2) M对A面垂直度允差0.02</p> <p>3) D_1制造偏差± 0.05</p> <p>4) A, B面表面粗糙度$R_a 0.8\mu\text{m}$</p> <p>5) 螺纹孔M表面粗糙度$R_a 1.6\mu\text{m}$,其它部分表面粗糙度$R_a 3.2\mu\text{m}$</p>

名称	结构形式图例	说明	技术要求
芯棒 垫块		<p>1) 用于多层模架,以缩短芯棒长度</p> <p>2) 结构(图 a)形式采用 A 面螺纹与芯棒板相连, B 面螺纹由芯棒压盖固定用</p> <p>3) 结构(图 b)形式,采用 d_1 沉孔由内六角螺纹连接芯棒板, D_1 螺纹由芯棒压盖固定</p>	<p>1) B 对 A 面平行度允差 0.02</p> <p>2) M 对 A 面垂直度允差 0.02</p> <p>3) D_1 制造偏差 ± 0.05</p> <p>4) A、B 面表面粗糙度 $R_a 0.8\mu m$</p> <p>5) 螺纹孔 M 表面粗糙度 $R_a 1.6\mu m$, 其它部分表面粗糙度 $R_a 3.2\mu m$</p>
护套		<p>此结构形式用于阴模下装式模架(A面与阴模板底面为定位基准)</p>	<p>1) B、C 面对 A 面平行度允差 0.01~0.02</p> <p>2) D 外圆、d 孔对 A 面垂直度允差 0.01~0.02</p> <p>3) 与阴模配合精度为 H6/A5, H7/S7, H7/U7, 或热装</p> <p>4) A、B、C 面及 D、d 圆的表面粗糙度 $R_a 1.6\mu m$</p> <p>5) R、h_1 制造偏差 $\begin{matrix} +0.10 \\ -0.30 \end{matrix}$</p>
护套		<p>此结构形式用于阴模上装式模架(A面与阴模板凹平面为定位基准)</p>	<p>1) 两平面平行度允差 0.01</p> <p>2) 两平面表面粗糙度 $R_a 0.8\mu m$</p> <p>3) 热处理后硬度 50~55HRC</p>
垫套		<p>用于阴模或模冲下面,承受一定的压制力</p>	<p>1) 两平面平行度允差 0.01</p> <p>2) 两平面表面粗糙度 $R_a 0.8\mu m$</p> <p>3) 热处理后硬度 50~55HRC</p>

(续)

名称	结构形式图例	说明	技术要求
托板		用于依靠弹簧托起浮动模冲	表面粗糙度 $R_a3.2\mu m$
顶杆		1) 用于连接浮动模冲, 并起调节高度及复位作用 2) (a) 结构, 可直接与模冲螺孔相连; (b) 结构, 用螺钉与模冲连接	1) 螺纹 M 对 A 面垂直度允差 0.025 2) A 面表面粗糙度 $R_a1.6\mu m$, 其余为 $R_a3.2\mu m$ 3) 调质处理后硬度 $28\sim32HRC$
气缸		1) 单向气缸, 用于一个模冲活动的结构形式 2) 模冲后端由双头螺栓与气缸活塞杆相连	1) 活塞杆对 A 面垂直度允差 0.01 2) 其它要求可参照模冲技术要求(见表 8-4)

(续)

名称	结构形式图例	说明	技术要求
气缸		<p>1) 组合气缸,用于两个模冲运动的形式</p> <p>2) 一个模冲后端设计成气缸活塞:一个模冲后端螺孔与另一气缸活塞杆相连</p>	<p>1) 活塞杆对 A 面垂直度允差 0.01</p> <p>2) 其它要求可参照模冲技术要求(见表 8-4)</p>

注:斜楔和模板的结构形式及设计计算可见后。

二、斜楔机构的形式及其设计

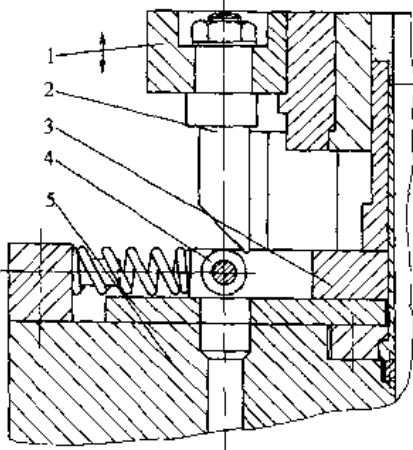
在汽车、摩托车以及机械行业上广泛应用的多台阶面类形状复杂的粉末冶金零件的生产量日益增大。这类零件压坯的自动化生产用模具,其结构中已广泛采用斜楔机构,以确保压制过程中脱模的可靠性。在此介绍一些常见的斜楔机构形式及设计计算方法,供设计者选用。

(一) 斜楔机构的形式及技术要求

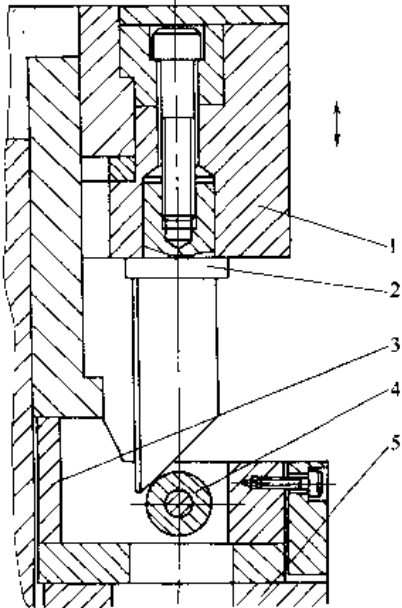
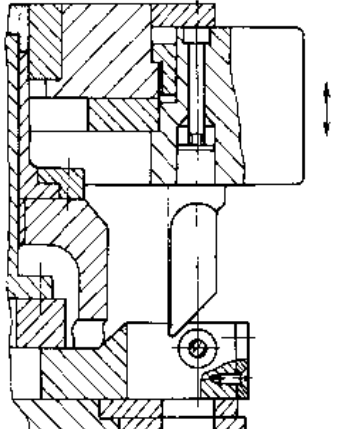
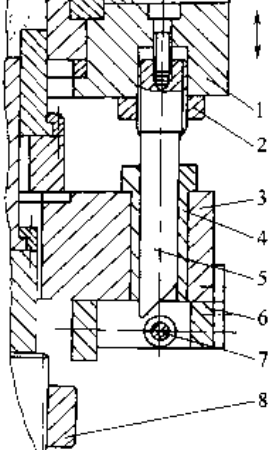
1. 斜楔机构的形式

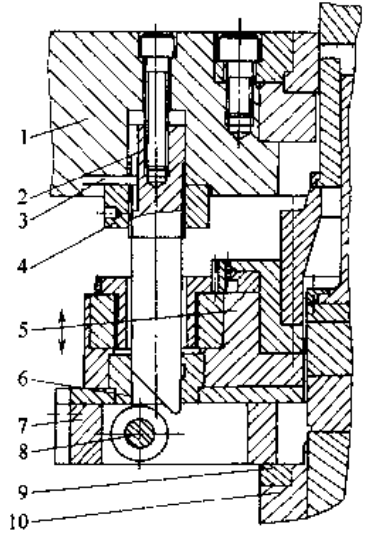
斜楔机构的形式见表 8-8。

表 8-8 斜楔机构的形式

序号	结构形式图例	说明	适用范围
1	 <p>1—阴模板 2—斜楔 3—滑块 4—滚轮 5—下模板</p>	<p>1) 斜楔 2 由螺母固定在阴模板 1 并由孔及端面定位;滑块 3 及滚轮 4 定位在下模板 5 上端面</p> <p>2) 脱模时,阴模板下行,斜楔接触滚轮后,推开两滑块,使下模冲下行,压坯脱出模腔</p> <p>3) 滑块 3 设计成平面(无凸台),便于加工;应用较广</p>	<p>适用于一般的成形压机或带有上、下缸的机械(或液压)式成形机</p> <p>压制及全精整均可采用</p>

(续)

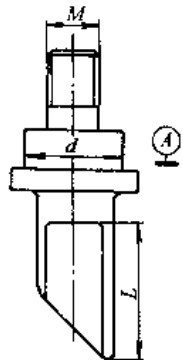
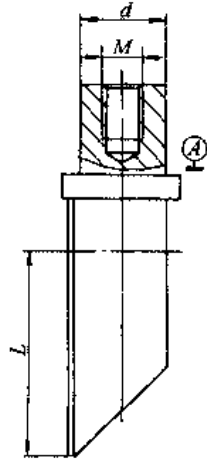
序号	结构形式图例	说明	适用范围
2	 <p data-bbox="229 925 783 954">1—阴模板 2—斜楔 3—滑块 4—滚轮 5—下模板</p>	<p data-bbox="794 555 1158 589">1) 此斜楔 2 由内六角螺钉固定在阴模板 1 上,并由孔及端面良好定位</p> <p data-bbox="794 622 1158 656">2) 适用于压制带外台阶面压坯</p> <p data-bbox="794 667 1158 696">(其动作原理同序 1)</p>	同序 1
3		<p data-bbox="794 1160 1158 1193">1) 适用于压制带内台阶面压坯</p> <p data-bbox="794 1205 1158 1227">2) 其动作原理同序 1</p>	同序 1
4	 <p data-bbox="229 1910 783 1957">1—阴模板 2—调节螺母 3—滑动模板 4—导套 5—斜楔 6—滑块 7—滚轮 8—垫块</p>	<p data-bbox="794 1552 1158 1608">1) 此斜楔 5 通过调节螺母 2 可改变其上下高度,并由导套 4 进行导向</p> <p data-bbox="794 1619 1158 1686">2) 滑块 6 及滚轮 7 连接在活动模板底部</p> <p data-bbox="794 1697 1158 1850">3) 脱模时,阴模板 1 下行,斜楔接触滚轮后推开两滑块,使滑块离开垫块 8,活动模板继续下行,压坯脱出模腔</p>	<p data-bbox="1171 1547 1394 1693">适用于多功能的机械式粉末成形压机,以及“上一下二”式,或“上二下三”式模架中</p> <p data-bbox="1171 1704 1394 1845">斜楔可设计较长些,且可调节,适于压制轴向尺寸范围较大的压坯</p>

序号	结构形式图例	说明	适用范围
5	 <p>1—阴模板 2—斜楔 3 定位键 4—调节螺母 5—活动模板 6—导套 7—滑块 8—滚轮 9—垫块 10—调节环</p>	<p>1) 此结构斜楔 2 由定位键 3 导向, 以防止受力过大后松动错位</p> <p>2) 脱模时, 阴模板 1 固定不动。下缸向上升, 使活动模板亦向上行, 滚轮 8 接触斜楔 2 后使滑块 7 向两侧移开, 垫块 9 继续向上, 使压件脱出阴模模腔</p>	适用于全自动机械式精整机上顶出式模架

2. 斜楔的形式及技术要求

斜楔的形式及技术要求见表 8-9。

表 8-9 斜楔的形式及技术要求

序号	结构形式图例	说明	技术要求
1		<p>1) 适用于压制或全精整多台阶面压坯的脱模机构</p> <p>2) 由 d 及 A 面定位, 螺母紧固, 强度较高</p>	<p>1) d, M 及斜面对 A 面不垂直度允差 $0.015 \sim 0.03$</p> <p>2) 斜面及 A 面表面粗糙度 $R_a 1.6$</p> <p>3) 长度 L 处经高频淬火后硬度 $50 \sim 55HRC$</p>
2		<p>用内六角螺钉紧固, 结构较紧凑 (其它同序 1)</p>	

(续)

序号	结构形式图例	说明	技术要求
3		用于较长的斜楔机构,通过螺纹 M_1 可调节其长度	1) d 、 M 及斜面的不同轴度允差 0.02~0.04 2) d 及斜面表面粗糙度 $R_{a1.6}$ 3) 长度 L 处高频淬火后硬度 50~55HRC
4		用键槽进行导向,可防止受力过大后松动错位 (其它同序号3)	

3. 滑块的形式及技术要求

滑块的形式及技术要求见表 8-10。

表 8-10 滑块的形式及技术要求

序号	结构形式图例	说明	技术要求
1		1) 用于压制或全精整多台阶面的压坯脱模机构 2) 斜楔运动(上下)在滑块外侧;模架开档较大	1) B 、 C 面对 A 面平行度允差 0.01~0.02 2) 热处理硬度 55~58HRC
2		斜楔(上下)运动在滑块内侧;模架开档较小,结构紧凑	

序号	结构形式图例	说明	技术要求
3		斜楔(上下)运动在滑块内侧;模架开档较小,结构紧凑	1) B、C面对A面平行度允差0.01~0.02 2) 热处理硬度 55~58HRC

(二) 斜楔机构的设计

1. 斜楔的运动及其作用

在脱模过程中,斜楔的运动如图 8-2 所示。斜楔运动可分三个阶段:

(1) 空行程 在碰到滚轮之前,斜楔作垂直运动(AB段)。A点是压坯成形结束时的斜楔位置。

(2) 相对运动(BD段) 这亦是压坯脱模过程之一。由图 8-2 可知,滚轮(滑块)的运动是由斜楔运动所致。楔的斜面通常做成 45°角,这样斜楔的垂直运动距离和滚轮(滑块)水平运动距离相等。同时受力均匀,产生的水平推力最大。

在脱模过程中,斜楔的斜面运动作用产生水平方向的推力,迫使滑块沿水平方向运动,造成一个大于 X 值的距离空间,确保下模冲(J)进入这空间,使压坯台阶面脱出(见图 8-3)。

图 8-2 中, C' 点是运动临界点, $KC' = X$; GM 是滚轮的空行程。

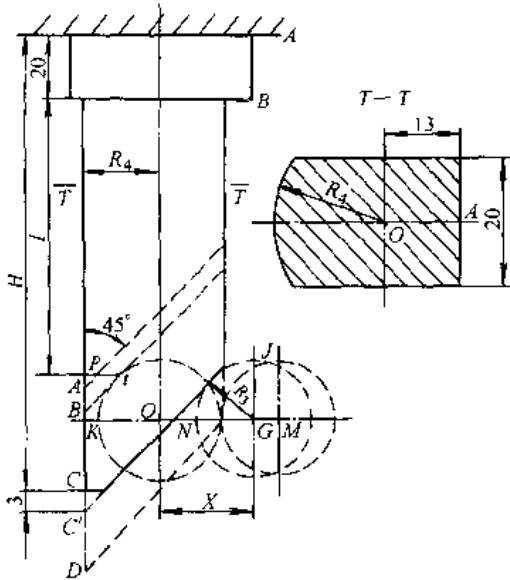


图 8-2 斜楔运动示图

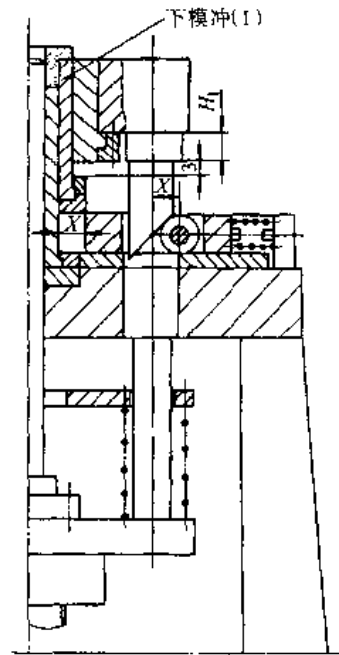


图 8-3 安装在模架上的斜楔机构示图

(3) 继续垂直运动(亦是压坯脱模结束过程) 在滚轮不再移动时,斜楔继续向下垂直运动,直至压坯从模具中完全脱出为止(O点以后的运动)。

2. OA 值的确定

斜楔的截面图,可见图 8-2 T-T 剖面。其 OA 值可由 $R_1 - R_2, K$ 值及 R_3 来确定。

如图 8-4 所示,通常 $R_1 - R_2 \leq 16(\text{mm}), K = 5(\text{mm}), R_3 = 15(\text{mm})$ (R_3 为滚轮半径),且 $OA + R_3 > X, X_{\text{max}} = R_1 - R_2 + K + 5$, X 值是滑块受压的径向距离。在实际设计中由于某种原因,常常会有 $X < R_1 - R_2 + K + 5$ 。所以

$$OA > R_1 - R_2 + K + 5 - R_3 = 16 + 5 + 5 - 15 = 11(\text{mm})$$

取 $OA = 13(\text{mm})$,宽 $b = 20(\text{mm})$,使其具有足够的强度,且能在较大的范围内适用。

3. 斜楔的受力分析

脱模动作开始之前,上油缸已回程,即外加的成形压力已消失。脱模动作开始,当斜楔刚接触到滚轮时,此时存在的力如图 8-5 所示。图中:

F_{11} ——阴模作用于压坯的摩擦力 ($F_{11} = P_{\text{压}}$ ——台阶面从阴模中脱出所需的力);

F_{12} ——下模冲 (I) 作用于压坯的摩擦力 (实际上,此时下模冲 (I) 尚未开始向下运动,所以 $F_{12} = 0$);

F_{13} ——芯棒作用于压坯的摩擦力;

F_{14} ——滑块作用于垫块的摩擦力;

F_{15} ——下模冲 (I) 作用于滑块的摩擦力;

$P_{\text{弹}}$ ——压缩弹簧的复形力。

$$\text{式中 } F_{14} = (F_{11} + W_1 + W_2) f' \quad (8-1)$$

$$F_{15} = (F_{11} + W_2) f' \quad (8-2)$$

式中 W_1 ——滑块重量;

W_2 ——下模冲 (I) 重量;

f' ——摩擦系数。

由于 F_{12} 和 F_{13} 力与斜楔受力无关,所以斜楔所受的水平方向的推力 $P_{\text{推}}$ 为

$$\begin{aligned} P_{\text{推}} &= P_{\text{水平}} = F_{14} + F_{15} + P_{\text{弹}} \\ &= (2F_{11} + W_1 + 2W_2) f' + P_{\text{弹}} \end{aligned} \quad (8-3)$$

4. 斜楔的强度计算

脱模斜楔带 45° 角斜面,其截面近似矩形

(图 8-2)。由于是粗短杆而不是细长杆,故不考虑压杆失稳状态,只考虑弯曲、压缩组合变形状态,如图 8-5 所示。

从图 8-2 中可知,固定处截面上弯矩最大,故在 A 端面外再加一个高度为 $AB = 20(\text{mm})$ 的圆柱体,使弯矩最大处外移。根据叠加原理

$$\sigma_{\text{总}} = \sigma_{\text{T}} + \sigma_{\text{c}}$$

式中 σ_{T} ——弯曲应力;

σ_{c} ——压缩应力。

由于 P_{\perp} 系偏心力,其偏心距为 e ,因而存在 $P_{\perp} \cdot e$ 的弯矩。由图 8-5 可知,其应力计算式如下:

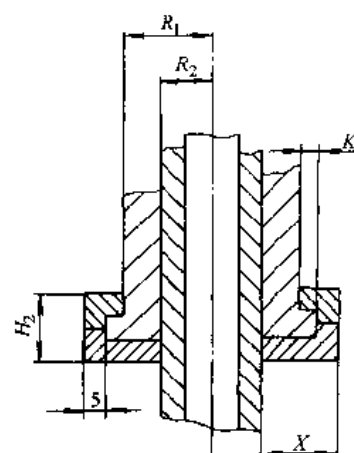


图 8-4 与斜楔机构相联的模冲局部示意图

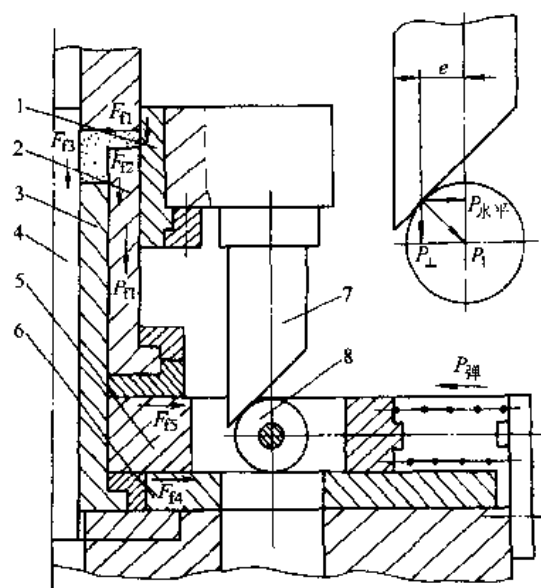


图 8-5 斜楔机构示意图
1—阴模 2—下模冲(I) 3—下模冲 4—芯棒
5—滑块 6—垫块 7—斜楔 8—滚轮

$$\sigma_{\pi} = -\frac{P_{\perp}}{S} - \frac{P_{\text{水}} \cdot e}{W_z} - \frac{P_{\perp} \cdot e}{W_z} = -\frac{P_{\perp}}{S} - \frac{P_{\text{水}} \cdot e + P_{\perp} \cdot e}{W_z} \quad (8-4)$$

$$\sigma_{\pi} = -\frac{P_{\perp}}{S} + \frac{P_{\text{水}} \cdot e}{W_z} + \frac{P_{\perp} \cdot e}{W_z} = -\frac{P_{\perp}}{S} + \frac{P_{\text{水}} \cdot e + P_{\perp} \cdot e}{W_z} \quad (8-5)$$

式中 $P_{\perp} = P_{\text{水}}$: 为滚轮反作用于斜楔的力;

S — B 端面处的横截面积;

W_z —抗弯截面系数 ($W_z = J_z / Y_{\text{max}}$, 式中 J_z —惯性矩; Y_{max} —中心距)

5. H 值计算

H 值为斜楔的长度。实践表明, 对一个具体的压坯来说, 斜楔的 H 值是一定的。若 H 值过长, 将使斜楔在成形过程中折断, 若 H 值过短, 则脱模过程无法完成。根据图 8-2, $OG = X$ (X 值为滚轮移动的距离。根据图 8-4, $X = R_1 - R_2 + K + 5$)

$$KO = R_4 \quad (\text{为斜楔的半径})$$

$$NG = \sqrt{2} R_3 \quad (R_3 \text{ 为滚轮半径})$$

$$ON = X - NG = X - \sqrt{2} R_3$$

$$C'K = KO + ON = R_4 + X - \sqrt{2} R_3$$

$$\therefore KC = KC' - CC' = R_4 + X - \sqrt{2} R_3 - 3$$

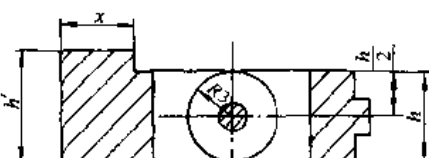
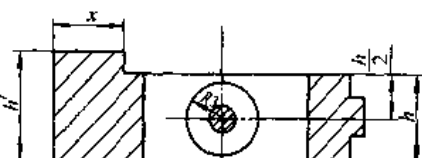
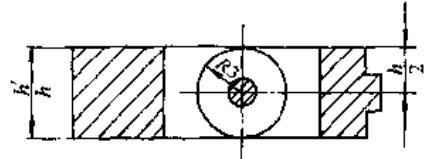
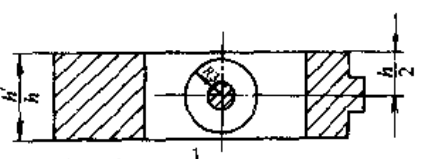
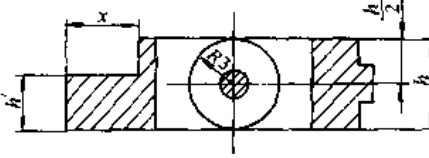
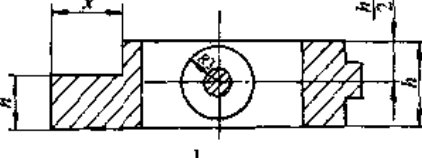
$$JG = \frac{1}{2} h = R_3 \quad (h \text{—滑块高度})$$

$$H = KC + H_1 + H_2 + 3 + \frac{1}{2} h + \Delta = R_4 + X + (1 - \sqrt{2}) R_3 + H_1 + H_2 + \Delta$$

式中 R_3, R_4 见图 8-2 所示, H_1 见图 8-3 所示, H_2 见图 8-4 所示。

Δ 值可以有三种情况, 即 $\Delta = 0, \Delta > 0, \Delta < 0$, 具体情况可从表 8-11 中选择。

表 8-11 Δ 值选择表

条件	$h - 2R_3 = 0$	$h - 2R_3 > 0$
I	 $\Delta = h' - 2R_3 > 0$	 $\Delta = h' - h + \frac{1}{2}(h - 2R_3) > 0$
II	 $\Delta = h' - 2R_3 = 0$	 $\Delta = h' - h + \frac{1}{2}(h - 2R_3) > 0$
III	 $\Delta = h' - 2R_3 < 0$	 $\Delta = h' - h + \frac{1}{2}(h - 2R_3) < 0$

在实际设计中,由于某种原因,常常会有 $X < R_1 - R_2 + K + 5$,故应以 X 的实际值代入 H 值的计算式。鉴于 X 的值和某种因素的改变,还常常辅以作图法校核 H 值,则更为可靠。

6. 强度校核

根据斜楔左边受压应力,右边受拉应力的状况,故必须 $\sigma_{\pm} < [\sigma_c], \sigma_{\pm} < [\sigma_T]$,斜楔的强度才可靠。

7. 实例

以图 8-6 所示带台阶面衬套为例进行计算。

(1) 斜楔的 H 值计算 假定 $R_1=11, R_2=15, K=5, H_1=20, H_2=30, \Delta=0$ 。

$$\begin{aligned} \therefore H &= R_1 + X + (1 - \sqrt{2})R_2 + H_1 + H_2 + \Delta \\ &= R_1 + (R_1 - R_2) + (1 - \sqrt{2})R_2 + H_1 + H_2 + K + 5 + \Delta \\ &= 17 + 12.09 - 6.21 + 20 + 30 + 5 + 5 = 82.88(\text{mm}) \end{aligned}$$

取 $H=83\text{mm}$

(2) 脱模力 $F_{\text{脱}}$ 计算

1) 这里 $f' = 0.17 \sim 0.19$, 取 $f' = 0.18$

2) $S_{\text{阴}} = \pi Dh = 3.142 \times 49.185 \times 7 = 1081.6\text{mm}^2 = 0.001082\text{m}^2$

$$3) p_{\text{侧余}} = \frac{\frac{1}{E_{\text{阴}}} \left(\frac{m^2+1}{m^2-1} + \nu_{\text{阴}} \right)}{\frac{1}{E_{\text{阴}}} \left(\frac{m^2+1}{m^2-1} + \nu_{\text{阴}} \right) + \frac{1}{E_{\text{压坯}}} (1 - \nu_{\text{压坯}})} \xi_0 \theta p \quad (8-6)$$

式中 $E_{\text{阴}} = 0.196 \times 10^6$, 阴模材料的弹性模量(MPa);

$E_{\text{压坯}} = 0.1176 \times 10^6$, 压坯材料的弹性模量(MPa);

$\nu_{\text{阴}} = 0.3$, 阴模材料的泊松比;

$\nu_{\text{压坯}} = 0.22$, 压坯材料的泊松比;

$m = 2.5$, 阴模外径与内径之比;

$\xi_0 = 0.38$, 压坯材料致密时的侧压系数;

$\theta = 85\%$, 相对密度;

$p_0 = 688\text{MPa}$ (单位压制压力)。

$$\begin{aligned} \therefore p_{\text{侧余}} &= \frac{\frac{1}{0.196 \times 10^6} \left(\frac{2.5^2+1}{2.5^2-1} + 0.3 \right)}{\frac{1}{0.196 \times 10^6} \left(\frac{2.5^2+1}{2.5^2-1} + 0.3 \right) + \frac{1}{0.118 \times 10^6} (1 - 0.22)} \times 0.38 \times 0.85 \times 688 \\ &= 0.565 \times 0.38 \times 0.85 \times 688 = 107.30\text{MPa} \end{aligned}$$

4) $P_{\text{脱}} = F_{\text{脱}} = p_{\text{侧余}} \times S_{\text{阴}} \times f' = 107.30 \times 0.001082 \times 0.18 = 20897.75\text{N}$

(3) 摩擦力 F_{f4}, F_{f5} 的计算

1) $F_{f4} = (P_{\text{脱}} + W_1 + W_2) f' = (20897.75 + 11.76 + 29.40) \times 0.15$
 $= 3140.84\text{N}$

2) $F_{f5} = (P_{\text{脱}} + W_2) f' = (20897.75 + 11.76) \times 0.15$
 $= 3136.43\text{N}$

式中 $W_1 < 29.40\text{N}; W_2 < 11.76\text{N}, f' = 0.15$

(4) 斜楔的水平推力 $P_{推}$ 的计算

$$\begin{aligned} P_{推} &= P_{水平} = F_{t4} + F_{t5} + P_{推} = 3140.84 + 3136.43 + 204.8 \\ &= 6428.07\text{N} \end{aligned}$$

式中 $P_{推} = P_1 = 204.8\text{N}$ ($d=4, D=50, t=18, P_1=204.8\text{N}$)

(5) 强度校核 根据图 8-3 分析,从理论上讲,脱模时两只斜楔应同时接触滚轮而受力。实际上,两只斜楔接触滚轮的时间有先后,因而出现单只斜楔受力的恶劣状况。故强度校核应按单楔受力来计算。

1) 抗弯截面系数 W_z 的计算。将斜楔的截面近似地看作为矩形,如图 8-7 所示。

$$\begin{aligned} J_z &= \int_y F^2 dF = \int_y F^2 y dy = \int_L^h b y^2 dy = \frac{b}{3} \Big|_L^h y^3 = \frac{b}{3} (h^3 - L^3) \\ &= \frac{20}{3} (16^3 + 13^3) = 41953.3\text{mm}^4 \end{aligned}$$

$$\therefore W_z = \frac{J_z}{Y_{\max}} = \frac{J_z}{h} = \frac{41953.3}{16} = 2622.1\text{mm}^3$$

2) 应力值计算及其分布。根据图 8-2,斜楔与滚轮的开始接触点(切点) t 得 $PB=8.5$,

$$L = H - 20 - (8.5 - 3) = 83 - 20 - 5.5 = 57.5\text{mm}$$

$$S = 20 \times (16 + 13) = 20 \times 29 = 580\text{mm}^2$$

$$\sigma_{左} = -\frac{6482.07}{580} - \frac{6482.07 \times (57.5 + 10.60)}{2622.1} = -179.53\text{MPa}$$

$$\sigma_{右} = -\frac{6482.07}{580} + \frac{6482.07 \times (57.5 + 10.60)}{2622.1} = 157.17\text{MPa}$$

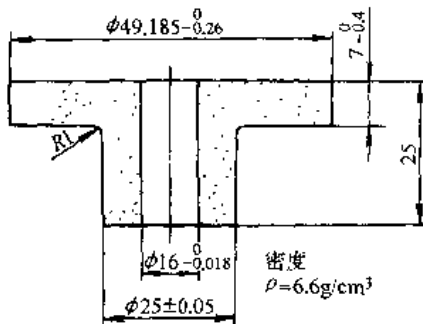


图 8-6 带台阶面衬套的压坯图

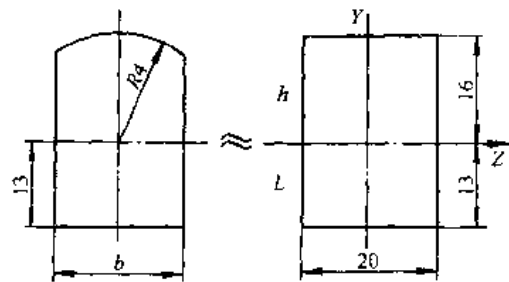


图 8-7 斜楔尺寸举例

其应力分布见图 8-8。

3) 许用应力 $[\sigma_T]$ 及 $[\sigma_c]$ 的确定。设斜楔的材料为 GCr15。根据资料,830°C 油淬,160°C 回火, $\sigma_b = 1960\text{MPa}$ 根据

$$\sigma_T = \frac{1}{3} \sigma_b \text{ 得 } \sigma_T = \frac{1960}{3} = 653.33\text{MPa}, \text{ 取 } n=2,$$

$$\therefore [\sigma_T] = \frac{653.33}{2} = 326.6711\text{MPa}$$

一般认为 $\sigma_c \approx \sigma_b$ (对合金钢来说), $\therefore \sigma_c = 1960\text{MPa}$ 。取 $n=2$, 则 $[\sigma_c] = 1920/2 = 980\text{MPa}$

4) 强度校核

根据计算：

$$\sigma_{\kappa} = 179.53 \text{MPa}, < [\sigma_{\kappa}] = 980 \text{MPa}$$

$$\sigma_{\tau} = 157.17 \text{MPa}, < [\sigma_{\tau}] = 326.67 \text{MPa}$$

为更安全起见,使 B 端面处的受力情况改善,斜楔的形状如图 8-9 所示为宜。

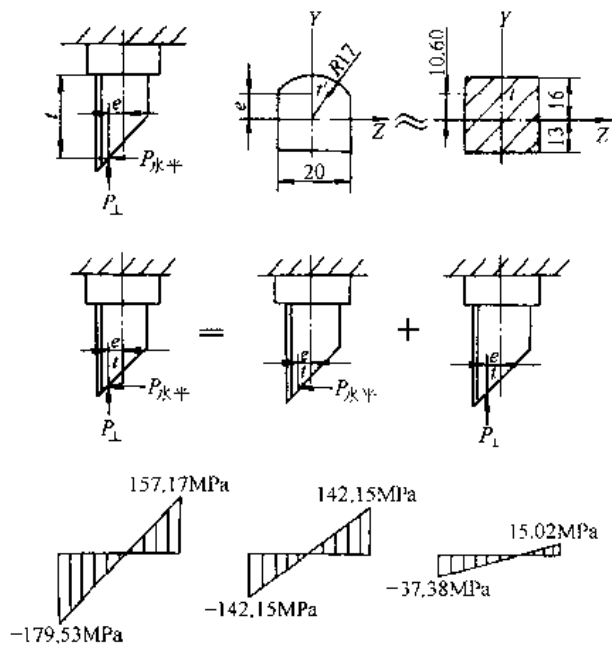


图 8-8 斜楔应力分布图

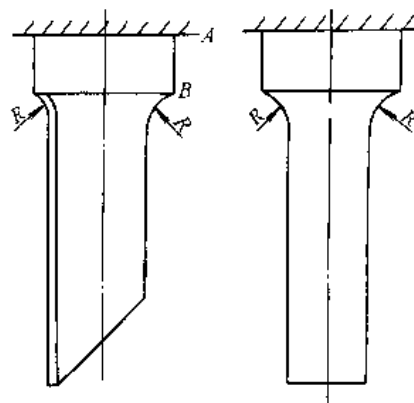


图 8-9 斜楔形状示意图

三、模板形式及其计算

(一) 模板形式及技术要求

模板形式及技术要求见表 8-12。

表 8-12 模板形式及技术要求

名称	结构形式图例	说明	技术要求
上模板		<p>用于固定上模冲,承受压制(精整)压力,并固定在压机的工作台面</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) B 面对 A 面平行度允差 $0.02 \sim 0.04$ 2) d 孔(两处)对 A 面垂直度允差 $0.02 \sim 0.04$ 3) A、B 面表面粗糙度 $R_a 0.8 \mu\text{m}$, d 孔表面粗糙度 $R_a 1.6 \mu\text{m}$ <p>1) 调质处理后硬度 $28 \sim 32 \text{HRC}$</p>

名称	结构形式图例	说 明	技 术 要 求
阴		<p>1) 能上、下运动并用于连接阴模的活动板 2) 适用于阴模下装式模架 3) d_1 孔配上导套外圆</p>	<p>1) B 面对 A 面平行度允差 $0.02 \sim 0.04$ 2) D 孔对 A 面垂直度允差 $0.01 \sim 0.02$ 3) d 孔(四处)对 A 面垂直度 ≤ 0.015 4) d_1 孔对 A 面垂直度允差 $0.01 \sim 0.02$ 5) A、B 面表面粗糙度 $R_a 0.8 \mu\text{m}$; D、d 和 d_1 孔表面粗糙度 $R_a 1.6 \mu\text{m}$ 6) $a_1 \times b_1$ 尺寸与下模板、芯棒板配合加工, 允差 $0.02 \sim 0.04$ 7) 调质处理后硬度 $28 \sim 32\text{HRC}$</p>
模		<p>适用于阴模上装式模架</p>	<p>1) C 对 A 面平行度允差 $0.02 \sim 0.04$ 2) C 面表面粗糙度 $R_a 1.6 \mu\text{m}$ 3) 其它要求同上</p>
板		<p>1) 适用于压制带台阶面压坯的模架 2) d_2 孔与斜楔外圆间隙配合 3) d_1 孔配上导套外圆</p>	<p>1) d_2 孔(两处)对 A 面垂直度允差 $0.01 \sim 0.02$ 2) d_2 孔表面粗糙度 $R_a 1.6 \mu\text{m}$ (其它要求同上)</p>

(续)

名称	结构形式图例	说明	技术要求
下模板		<p>1) 用于固定下模冲,并承受压制(精整)力</p> <p>2) d_1 孔用于压制带台阶面压坯的模架</p>	<p>1) B 面对 A 面平行度允差 $0.015 \sim 0.03$</p> <p>2) d 孔(四处)对 A 面垂直度允差 $0.01 \sim 0.02$</p> <p>3) $a_1 \times b_1$ 尺寸与阴模板,芯棒板配合加工,允差 $0.02 \sim 0.04$</p> <p>4) A, B 面表面粗糙度 $R_a 0.8 \mu\text{m}$; d 孔表面粗糙度 $R_a 1.6$</p> <p>5) 调质处理后硬度 $28 \sim 32\text{HRC}$</p>
板		<p>D 孔安装模冲垫块用。(其它同上)</p>	<p>1) C 面对 A 面平行度允差 $0.015 \sim 0.03$</p> <p>2) C 面表面粗糙度 $R_a 1.6 \mu\text{m}$</p> <p>(其它要求同上)</p>
芯棒板		<p>1) 能上、下运动并用于连接芯棒的活动板,与压机下缸相连接</p> <p>2) 由螺纹 M 与下缸螺柱相连</p>	<p>1) B 面对 A 面平行度允差 $0.02 \sim 0.04$</p> <p>2) d (四处)孔对 A 面垂直度允差 0.015</p> <p>3) $a_1 \times b_1$ 尺寸与下模板,阴模板配合加工,允差 $0.02 \sim 0.04$</p> <p>4) A, B 面表面粗糙度 $R_a 0.8 \mu\text{m}$; d, M 孔表面粗糙度 $R_a 1.6 \mu\text{m}$</p> <p>5) 调质处理后硬度 $28 \sim 32\text{HRC}$</p>

名称	结构形式图例	说明	技术要求
芯 棒 板		适用于以 T 形块与下缸螺杆相连接的模架	1) B 面对 A 面平行度允差 0.02~0.04 2) d(四处)孔对 A 面垂直度允差 0.015 3) a ₁ ×b ₁ 尺寸与下模板, 阴模板配合加工, 允差 0.02~0.04 4) A、B 面表面粗糙度 R _a 0.8μm; d、M 孔表面粗糙度 R _a 1.6μm 5) 调质处理后硬度 28~32HRC

(二) 下模板的强度计算

下模板是承受全部压制压力的零件, 在大载荷和大跨度时, 需要进行强度计算。为了便于计算, 可把下模板受力状态, 当作在中间受集中载荷的双支点梁, 如图 8-10 所示。其最大弯曲应力 σ 不得大于许用应力 $[\sigma]$, 即

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{3}{2} \frac{Pl}{bh^2} \leq [\sigma] \tag{8-7}$$

或

$$h \geq \sqrt{\frac{3Pl}{2b[\sigma]}} \tag{8-8}$$

式中的符号见图 8 10。

模板最大变形(挠度) y_{max} 发生在中间, 其值

$$y_{max} = \frac{Pl^3}{4Ebh^3} \tag{8-9}$$

模板不同材料的许用应力 $[\sigma]$ 及弹性模数 E 值见表 8-13。

表 8-14 列举了不同压机上用的下模板的厚度 h 及最大变形 y_{max} (在满载情况下) 的计算结果。

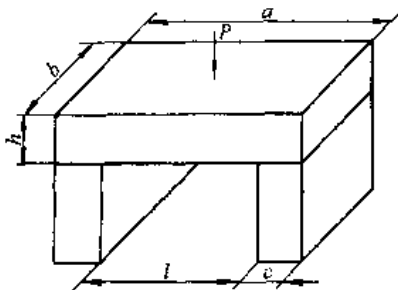


图 8-10 下模板受力示意图

表 8-13 不同材料的 $[\sigma]$ 及 E 值

材 料	35~45 钢	铸 钢	铸铁(HT200)
$[\sigma]$ MPa	150~200	90~120	50~80
$E \times 10^6$ MPa	0.2~0.22	0.175	0.14~0.16

表 8-14 下模板的厚度及最大变形计算示例

压机型号	最大载荷 P/kN	模板材料	模 板 尺 寸/mm					最大变形 y_{max}/mm
			a	b	l	c	h	
ZY79-63	630	45	280	280	200	40	65	0.08
		铸钢					80	0.05
		铸铁					100	0.03
ZY79-160	1600	45	460	360	280	90	100	0.11
		铸钢					130	0.065
		铸铁					150	0.05
YA79-125	1250	45	400	300	260	70	95	0.10
		铸钢					120	0.06
		铸铁					150	0.07
YA79-250	2500	45	320	420	280	120	120	0.09
		铸钢					150	0.055
		铸铁					190	0.03
600kN 冲床	600	45	200	110	130	35	80	0.03
		铸钢					100	0.02
		铸铁					110	0.02

第三节 模具零件的通用化

模具通用化有助于简化设计工作,提高设计效率;可减少同类模具零件的重复加工,节省模具材料和加工工时;可实现部分模具零件的批量生产,降低制造成本;可预先制造贮备件,缩短模具加工周期;采用通用模架,可减少模具的装拆,便于调试。因此,模具通用化有利于粉末冶金生产的发展。

模具通用化包括两个方面:通用模架和通用零件。

由于粉末冶金工艺与其它传统工艺(如冷冲、塑压等)相比,模具结构影响因素较多,不仅与压件横截面形状、大小有关,而且与高度方向的尺寸大小、形状(如台阶、锥面、球面等)、压坯密度、压制方式以及压机等诸因素有关。因此,给模具通用化带来了困难,目前尚未制定通用化的标准。但模具通用化毕竟是发展方向。

本节选择了目前生产中常见的自动化模具模架的有关零件列为通用件,供设计者根据本厂条件、压坯的形状和尺寸范围以及模架结构,来选择并制定本厂的模具通用化标准。

图 8-11 所示为全自动液压式粉末成形压机上用的拉下式模架。本节将该模架中 14 种模具零件列为通用件,供设计者选用。

一、模板类零件

(一) 上模板

上模板的结构及其尺寸,见图 8-12 及表 8-15。

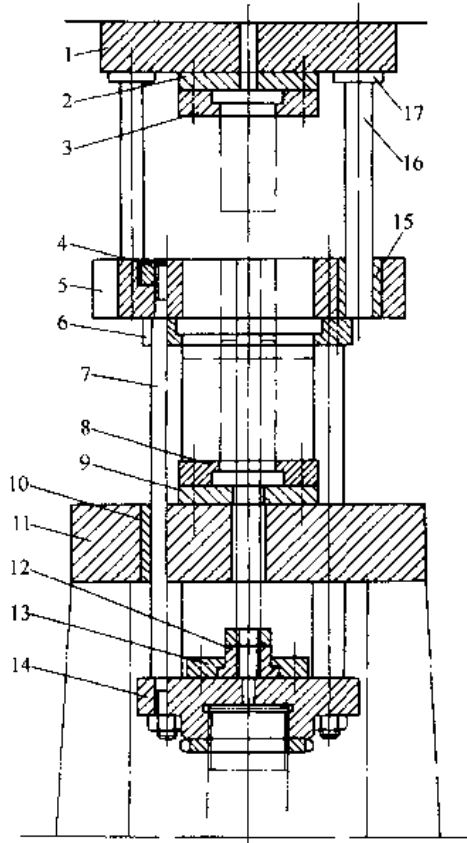


图 8-11 拉下式模架

- 1—上模板 2,9—压垫 3,8—压盖 4—圆螺母
- 5—阴模板 6—阴模压盖 7—拉杆 10—导套
- 11—下模板 12—芯棒座 13—芯棒压盖
- 14—芯棒板 15—导套 16—上导柱
- 17—导柱压盖

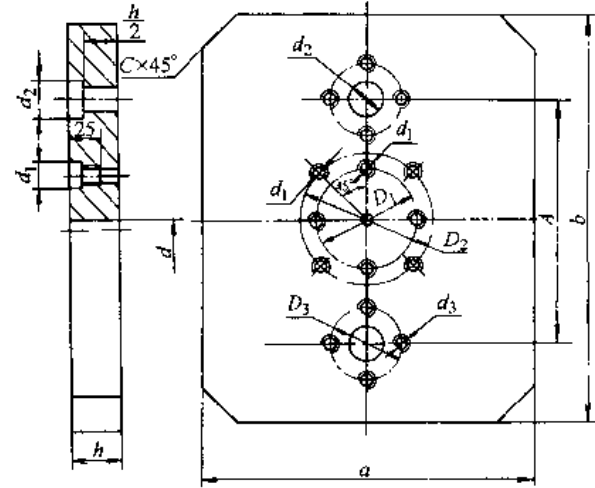


图 8-12 上模板

表 8-15 上模板尺寸

(mm)

a	b	c	d	d_1	d_2	d_3	D_1	D_2	D_3	h	A
200	250	20	5	M8	$18^{+0.021}$	M8	60 ± 0.10	80 ± 0.10	56	30	200 ± 0.09
250	300	30	10	M8	$18^{+0.021}$		80 ± 0.10	120 ± 0.10	56	40	
300	350	40	15	M10	$25^{+0.021}$	M8	120 ± 0.10	135 ± 0.10	66	50	250 ± 0.09
350	400	50	15	M10	$25^{+0.021}$		135 ± 0.10	175 ± 0.10	66	55	

(二) 阴模板

阴模板的结构及其尺寸, 见图 8-13 及表 8-16。

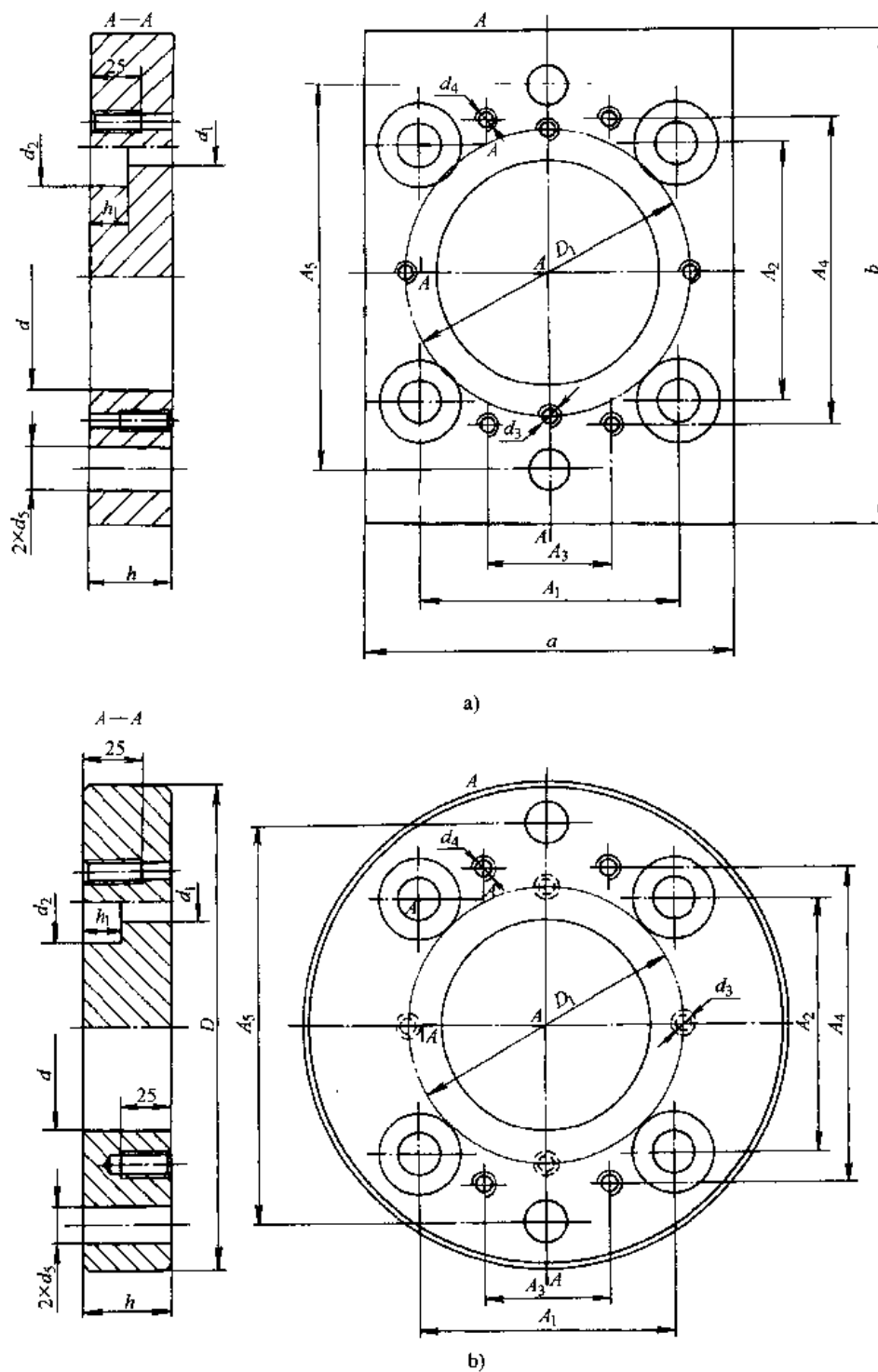


图 8-13 阴模板

a) 用于 1250kN 压机 b) 用于 2500kN 压机

表 8-16 阴模板尺寸

(mm)

通用压机 尺寸	1250kN(125t)			2500kN(250t)	
$D_0^{①}$	20~40	40~50	50~70	70~90	90~110
a	180 $^{+0.15}_{-0.28}$			—	—
b	240 $^{+0.15}_{-0.28}$			—	—
D	—			350 $^{+0.25}_{-0.40}$	
A_1	125±0.084		130±0.084	185±0.094	
A_2	125±0.084		170±0.084	185±0.094	
A_3	60±0.10			110±0.10	
A_4	150±0.10			214±0.10	
A_5	200±0.09			250±0.09	
d	80 $^{+0.03}$	110 $^{+0.05}$	140 $^{+0.04}$	160 $^{+0.04}$	190 $^{+0.045}$
d_1	20 $^{+0.12}$			30 $^{+0.15}$	
d_2	40			55	
D_1	110±0.10	140±0.10	165±0.10	190±0.10	220±0.10
d_3	M8		M10		
d_4	M18				
d_5	30 $^{+0.02}$			38 $^{+0.025}$	
h_1	18			25	
h	40±0.05			60±0.05	

① D_0 是指压件外径尺寸范围。

(三) 下模板

下模板的结构及其尺寸, 见图 8-14 及表 8-17。

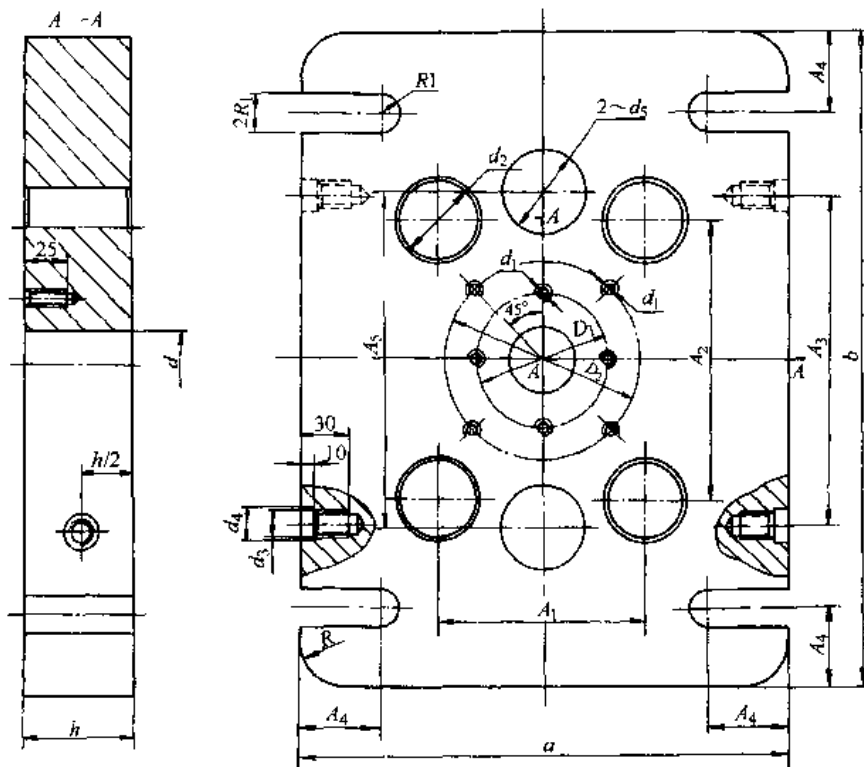


图 8-14 下模板

表 8-17 下模板尺寸

(mm)

尺寸	适用压机		1250kN(125t)					2500kN(250t)					
	15	25	35	42	52	15	25	35	42	52	72	82	
d													
a		300			300		420						
b		400			400		520						
A_1		125±0.028			130±0.025		185±0.025						
A_2		125±0.028			170±0.025		185±0.025						
A_3		200			200		270						
A_4		50			50		60						
A_5		200±0.09					250±0.09						
D_1		80±0.10			120±0.10		120±0.10						
D_2		—			—		135±0.10						
d_1		M8			M8		M10						
d_2		48 ^{+0.027}			48 ^{+0.027}		58 ^{+0.027}						
d_3		M16			M16		M18						
d_4		18			18		20						
d_5		40					50						
R		20			20		30						
R_1		11			11		18						
h		95			95		120						

(四) 芯棒板(图 8-15)、(表 8-18)

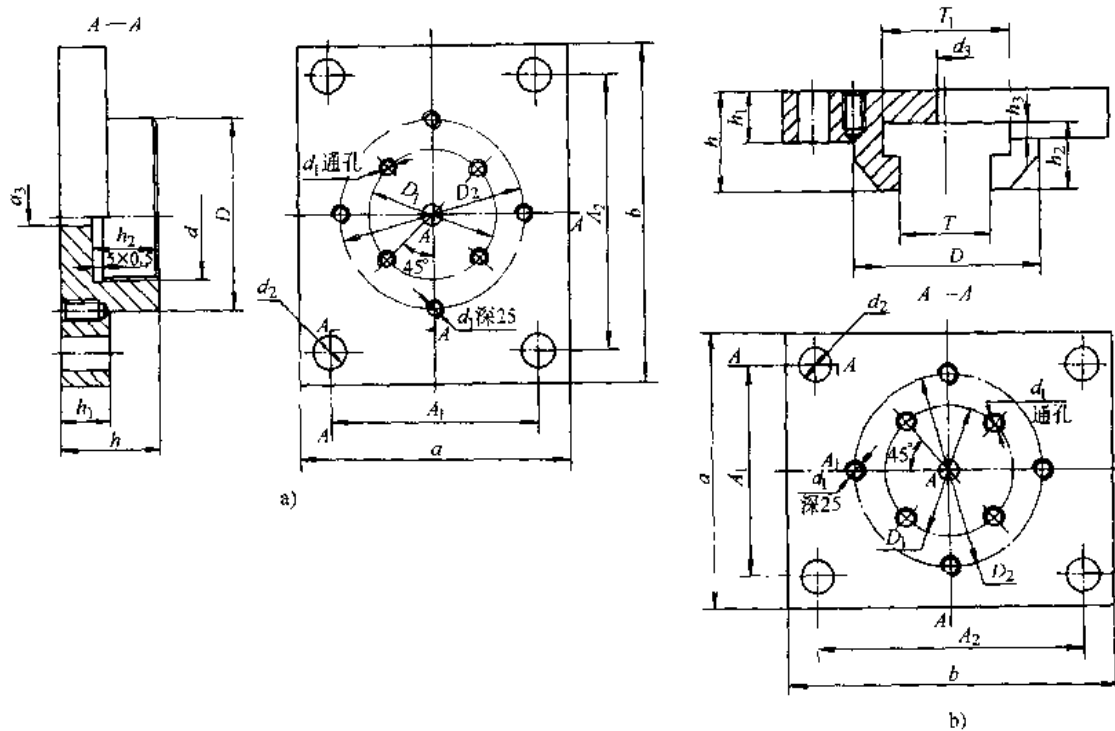


图 8-15 芯棒板

表 8-18 芯棒板尺寸

(mm)

尺寸	1250kN(125t)			2500kN(250t)	
	20~40	40~50	50~70	70~90	90~110
D_0					
a	170		170	270	
b	170		210	270	
A_1	125 ± 0.08		130 ± 0.08	185 ± 0.094	
A_2	125 ± 0.08		170 ± 0.08	185 ± 0.094	
d	M80 × 2 左			M110 × 3 左	
D	120			150	
D_1	80 ± 0.10			80 ± 0.10	
D_2	120 ± 0.10			120 ± 0.10	
d_1	M10			M10	
d_2	20 ^{+0.12}			30 ^{+0.15}	
d_3	15			20	
h_1	30			45	
h_2	30			60	
h	60			90	
h_3	15			20	
T	80			110	
T_1	100			130	

① D_0 是指压件外径尺寸范围。

② 图 8-15a、b 两种结构可任选。

二、导柱、导套类零件

(一) 导套

导套结构及其尺寸, 见图 8-16 及表 8-19。

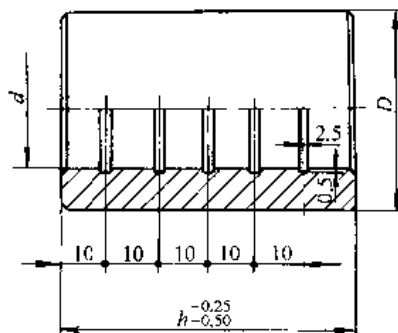


图 8-16 导套

表 8-19 导套尺寸 (mm)

d	D	h	安装位置
30 ^{+0.021}	48 t_b	95	下模板
38 ^{+0.025}	58 t_b	120	
20 ^{+0.021}	30 t_b	40	阴模板
28 ^{+0.021}	38 t_b	60	

(二) 拉杆

拉杆结构及其尺寸见图 8-17 及表 8-20。

表 8-20 拉杆尺寸

(mm)

尺寸 通用压机	d	d_1	d_2	d_3	L_1	h	h_1	h_2	l	$h_0^{\text{①}}$
1250kN(125t)	$30_{-0.021}^{+0.005}$	M20×1.5	$20_{-0.28}^{+0.14}$	M20	240	40	20	30	L_1-95	<20
					300					20~30
					350					30~40
					400					40~50
2500kN(250t)	$38_{-0.031}^{+0.023}$	M30×2	$30_{-0.28}^{+0.14}$	M30	290	60	30	30	L_1-130	<20
					310					20~30
					360					30~40
					420					40~50
					480					50~60
					540					60~70

① h_0 是指压件高度尺寸范围。

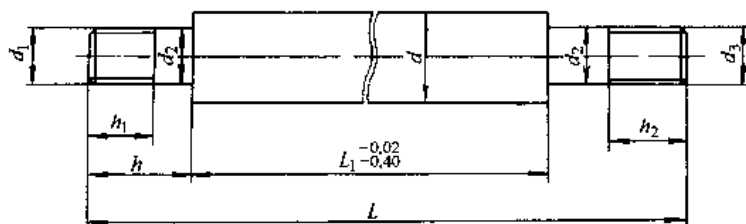


图 8-17 拉杆

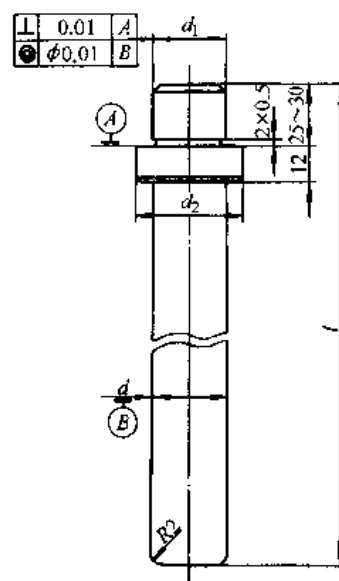


图 8-18 上导柱

(三) 上导柱

上导柱结构及其尺寸,见图 8-18 及表 8-21。

表 8-21 上导柱尺寸

(mm)

d	d_1	d_2	l	压机吨位
$20_{-0.020}^{+0.005}$	$18_{-0.017}^{+0.006}$	30	300,400	1250kN(125t)
$28_{-0.020}^{+0.007}$	$25_{-0.020}^{+0.007}$	38	300,400	2500kN(250t)

三、压盖、压垫类零件

(一) 阴模压盖

阴模压盖的结构及其尺寸见图 8-19 及表 8-22。

表 8-22 阴模压盖尺寸 (mm)

d	$80^{+0.23}$	$110^{+0.23}$	$140^{+0.28}$	$160^{+0.26}$	$190^{+0.31}$
d_1	$88^{+0.23}$	$118^{+0.23}$	$148^{+0.25}$	$168^{+0.24}$	$198^{+0.29}$
D_1	110	140	165	190	220
D	128	158	188	218	248
d_2	9			11	
d_3	13			16	
A_1	65			92.5	
A_2	85			92.5	
R	20			24	
h_1	$9.6^{+0.10}$			$11.6^{+0.10}$	
h_2	9			11	
h	20				

(二) 导柱压盖

导柱压盖的结构及其尺寸见图 8-20 及表 8-23。

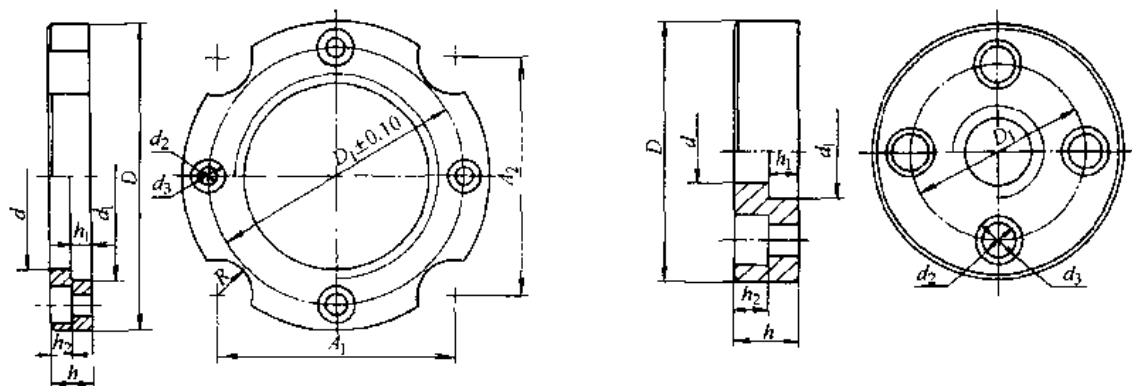


图 8-19 阴模压盖

图 8-20 导柱压盖

表 8-23 导柱压盖尺寸 (mm)

d	d_1	D	D_1	h	h_1	h_2	d_2	d_3
20.5	32	85	56	15	7.5	9	9	13
28.5	40	95	66	15	7.5	9	9	13

(三) 上、下模冲压盖

上、下模冲压盖的结构及其尺寸,见图 8-21、图 8-22 及表 8-24。

上、下模冲的压盖通用,但上模冲法兰厚度比压盖尺寸 $h_1 + 0.5\text{mm}$,以便压紧;下模冲法兰厚度比压盖尺寸 h_1 小 $0.05 \sim 0.10\text{mm}$,以便自由调整中心位置。

表 8-24 上、下模冲的压盖尺寸

(mm)

$D_0^{①}$	d	d_1	D	D_1	d_2	d_3	h_1	h_2	h
>5~8	8.5	$16^{+0.2}$							
>8~12	12.5	$20^{+0.12}$	88	60	9	13	$12^{+0.07}$	9	20
>12~16	16.5	$24^{+0.11}$							
>16~20	20.5	$28^{+0.14}$							
>20~25	25.5	$34^{+0.17}$	88/98	60/80	9	13	$12^{+0.07}$	9	20
>25~30	30.5	$38^{+0.17}$							
>30~35	35.5	$44^{+0.17}$							
>35~40	40.5	$48^{+0.17}$	98	80	9	13	$12^{+0.07}$	9	20
>40~45	45.5	$54^{+0.23}$							
>45~50	50.5	$58^{+0.20}$							
>50~55	55.5	$64^{+0.20}$							
>55~60	60.5	$68^{+0.20}$	148	120	9	13	$12^{+0.07}$	9	20
>60~65	65.5	$74^{+0.26}$							
>65~70	70.5	$78^{+0.20}$							
>70~75	75.5	$84^{+0.20}$	148	120	11	16	$12^{+0.07}$	10.5	20
>75~80	80.5	$88^{+0.26}$							
>80~85	85.5	$94^{+0.23}$							
>85~90	90.5	$98^{+0.23}$							
>90~95	95.5	$104^{+0.23}$	148	135	11	16	$12^{+0.07}$	10.5	20
>95~100	100.5	$108^{+0.23}$							
>100~105	105.5	$114^{+0.23}$							
>105~110	110.5	$118^{+0.23}$							

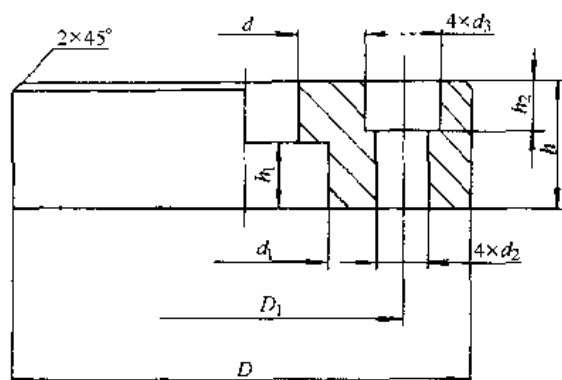
① D_0 是指压件外径尺寸范围。

图 8-21 上、下模冲压盖

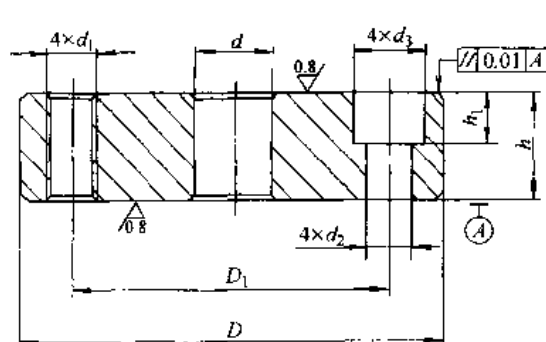


图 8-22 压垫

表 8-25 压垫尺寸

(mm)

$D_0^{①}$	D	D_1	d_1	d_2	d_3	h_1	h	d
>15~20	88	60	M8	9	13	9	10	0,4,8,12,16
>20~30	88/98	60/80	M8	9	13	9	10	0,8,12,16,24,28
>30~50	98	80	M8	9	13	9	15	0,10,15,20,25,30,35,40,45
>50~70	148	120	M8	9	13	9	15	0,10,20,30,35,40,45,50,55,60,65
>70~80			M10	11	16	11	20	0,15,25,35,45,55,65,75
>80~110	148	135	M10	11	16	11	25	0,20,30,40,50,60,70,75,85,95,100,115

① D_0 是指压件外径尺寸范围。

(四) 芯棒座

芯棒座结构及尺寸见图 8-23 及表 8-26。

表 8-26 芯棒座尺寸

(mm)

d	M12×1.5	M16×1.5	M20×1.5	M24×1.5	M30×2	M36×3	M42×3	M48×3
D	$42^{+0.17}_{-0.34}$			$52^{+0.20}_{-0.40}$	$62^{+0.20}_{-0.40}$	$72^{+0.20}_{-0.40}$	$82^{+0.23}_{-0.46}$	$92^{+0.23}_{-0.46}$
D_1	$48^{+0.17}_{-0.34}$			$58^{+0.20}_{-0.40}$	$68^{+0.20}_{-0.40}$	$78^{+0.20}_{-0.40}$	$88^{+0.23}_{-0.46}$	$98^{+0.23}_{-0.46}$
S	36			46	56	66	76	86
h_1	10				10	10	15	
					15	15		
h_2	$12^{+0.05}_{-0.10}$							
h	40				40	40	50	
					50	50		

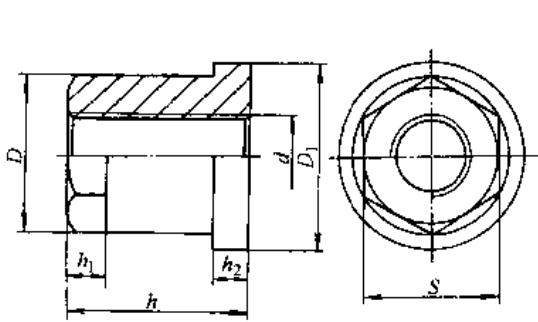


图 8-23 芯棒座

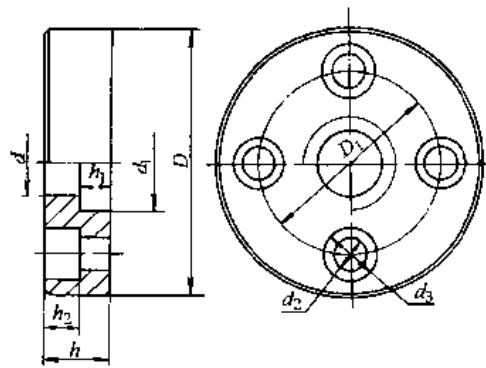


图 8-24 芯棒压盖

(五) 芯棒压盖

芯棒压盖结构及尺寸见图 8-24 及表 8-27。

表 8-27 芯棒压盖尺寸

(mm)

d	$42^{+0.17}$	$52^{+0.20}$	$62^{+0.20}$	$72^{+0.20}$	$82^{+0.23}$	$92^{+0.23}$
d_1	$48^{+0.17}$	$58^{+0.20}$	$68^{+0.20}$	$78^{+0.20}$	$88^{+0.23}$	$98^{+0.23}$
D	108			148		
D_1	80			120		
d_2	10.5			10.5		
d_3	16			16		
h_1	$12^{+0.05}$			$12^{+0.05}$		
h_2	10.5			10.5		
h	20			20		

第九章 模具主要零件的尺寸计算

模具的主要零件指阴模、芯棒和上、下模冲（包括压套）。

根据产品的尺寸精度、形状和性能要求，来确定生产工艺过程。如根据尺寸精度确定是否需要精整，采用什么精整方式等。

不同的工艺过程，对模具零件有不同的尺寸计算方法，并要相应地选择不同的工艺参数。模具的强度和刚性，不仅涉及操作安全和节约钢材（特别对于压制大型制品），同时也影响产品的质量。不同型腔形状和结构的阴模应有不同的强度计算方法。根据工艺过程，确定了尺寸计算方法之后，计算公式中的有关参数的选择就成为关键。这些参数的影响因素很多，如原、辅材料、成分、密度、工艺和设备等。因此，设计者首先要考虑选择的工艺参数应尽可能与实际生产一致（或接近），当与实际参数有出入时，在不降低压件性能的前提下，要有调节工艺规范使模具适用的措施。

第一节 尺寸计算方法

一、径向尺寸的计算

径向尺寸的计算，对于需要精整的制品，一般根据制品图纸的尺寸精度要求，先计算精整模尺寸，然后根据精整模尺寸，计算成形模的尺寸；对于不精整的制品，可直接计算成形模尺寸。

（一）不精整制品的模具计算式

不精整制品的成形模具径向尺寸计算式见表 9-1。

表 9-1 不精整制品的成形模具径向尺寸计算公式

模具名称	计算公式	说 明
阴模外径 D_m	$D_m = D_{cp}(1+c-e)$	D_{cp} ——制品外径平均尺寸
芯棒内径 d_m	$d_m = d_{cp}(1+c-e)$	d_{cp} ——制品内径平均尺寸
孔心距 A_m	$A_m = A_{cp}(1+c-e)$	A_{cp} ——制品中心距平均尺寸 c ——烧结收缩率(%) (见表 9-10) e ——压坯压制回弹率(%) (见表 9-9)

（二）不同精整方式制品的模具计算公式

不同精整方式制品的模具径向尺寸计算公式见表 9-2。

（三）复压模具的计算公式

复压是内外径均无精整余量，留有装模间隙，在高度方向却有较大的压下率的一种特殊的全精整方式，以提高烧结制品的物理和（或）力学性能为主要目的。

表 9-2 不同精整方式制品的模具径向尺寸计算公式

产品类别	模具名称		计算公式	说明
不同精整方式的产品	外箍内	精整模	$D_i = D_{\min} - \delta_{\text{外}}$ $d_i = d_{\max} - \delta_{\text{内}}$	D_{\min} —— 产品外径最小尺寸 d_{\max} —— 产品内径最大尺寸 A_{cp} —— 中心距平均尺寸 c —— 烧结收缩率(%) (表 9-10) e —— 压坯压制回弹率(%) (表 9-9) $\delta_{\text{外}}$ —— 外径精整回弹量(表 9-11~表 9-13); $\delta_{\text{内}}$ —— 内径精整回弹量(表 9-11~表 9-13); $\Delta_{\text{外}}$ —— 外径精整余量(表 9-9~表 9-13); $\Delta_{\text{内}}$ —— 内径精整余量(表 9-9~表 9-13); i —— 全精整回弹率(表 9-14); q —— 全精整余量率(%) (表 9-14)
		成形模	$D_m = D_i(1+c-e) + \Delta_{\text{外}}$ $d_m = d_i(1+c-e)$	
	内胀外	精整模	$D_i = D_{\min} + \delta_{\text{外}}$ $d_i = d_{\max} + \delta_{\text{内}}$	
		成形模	$D_m = D_i(1+c-e)$ $d_m = d_i(1+c-e) - \Delta_{\text{内}}$	
	外箍内胀	精整模	$D_i = D_{\min} - \delta_{\text{外}}$ $d_i = d_{\max} + \delta_{\text{内}}$	
		成形模	$D_m = D_i(1+c-e) + \Delta_{\text{外}}$ $d_m = d_i(1+c-e) - \Delta_{\text{内}}$	
	全精整	精整模	$D_i = D_{\min}(1-i)$ $d_i = d_{\max}(1-i)$	
		成形模	$D_m = D_i(1+c-e-q)$ $d_m = d_i(1+c-e+q)$	

复压时，烧结件自由落入模腔中，靠高度方向较大程度的压缩，径向尺寸变大而达到全精整的目的（见图 9-1）。

复压时，压下率大约为 15%~25%。复压件大多需再经复烧，以消除内应力和进一步致密化。因此，在尺寸计算方面与前几种精整情况不同，特点如下：

1) 由于复压率大，故复压的单位压力亦大，对于铁基约为 400~900MPa；对于铜基约为 300~800MPa。复压时的回弹以回弹率计，而不是以回弹量计，其值相同，见表 9-9。由于初压与复压时密度不同，故回弹率有些差异，为此用 e_2 表示复压时的回弹率。

2) 由于有两次烧结，故有两次收缩率。用 c_1 表示压制件的初烧收缩率， c_2 表示复压件复烧时的收缩率。

3) 用 b 表示装模间隙，其值见表 9-15。

复压产品的模具径向尺寸计算公式见表 9-3。

例 1 极掌，成分为纯铁，初压密度为 6.1~6.3g/cm³，复压密度为 7.0~7.2g/cm³，尺寸见图 9-2。

根据该件密度要求较高，采用复压。

根据表 9-10 取 $c=0.005$ ， $c_2=0.003$ ；根据表 9-9 取 $e=0.002$ ， $e_2=0.0025$ ；根据表 9-15 取，当外径尺寸等于或小于 10mm 时， $b=0.10\text{mm}$ ；外径尺寸大于 10~30mm 时， $b=0.15\text{mm}$ ；内径尺寸等于或小于 10mm 时， $b=0.05\text{mm}$ 。

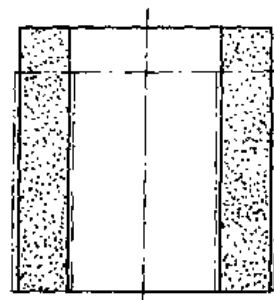


图 9-1 复压示意图

表 9-3 复压产品的模具径向尺寸计算公式

类别	模 具 名 称		计 算 公 式	说 明
复压产品	复压模具	阴模内径 D_1 芯棒外径 d_1	$D_1 = D_{\min}(1 + \epsilon_2 - \epsilon_2)$ $d_1 = d_{\max}(1 + \epsilon_2 + \epsilon_2)$	D_{\min} ——产品外径最小尺寸 d_{\max} ——产品内径最大尺寸 ϵ_2 ——复压件复压收缩率(%) (见表 9-10) ϵ_2 ——复压件复压回弹率(%) (见表 9-9)
	初压模具	阴模内径 D_m 芯棒外径 d_m	$D_m = D_1(1 + c - e) - b$ $d_m = d_1(1 + c + e) + b$	c ——压坯初烧收缩率(%) (见表 9-10) e ——压坯初烧回弹率(%) (见表 9-9) b ——装模间隙(见表 9-15)

由图 9-2 已知

$$D_{(12)\min} = 11.90\text{mm}$$

$$D_{(2)\min} = 1.95\text{mm}$$

$$D_{(14.2)\min} = 14.13\text{mm}$$

$$D_{(22)\min} = 22\text{mm}$$

$$d_{(6)\max} = 6.03\text{mm}$$

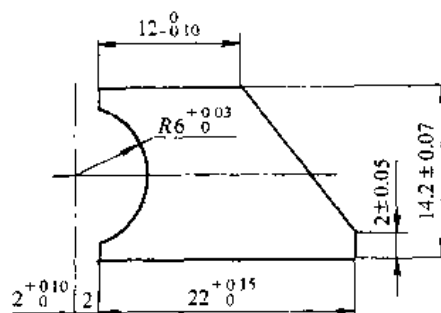


图 9-2 极掌产品图

将以上数值代入复压计算公式, 则得复压模型腔尺寸

$$D_{(12)f} = 11.9(1 + 0.0005 - 0.0030) \approx 11.87\text{mm}$$

$$D_{(2)f} = 1.95(1 + 0.0005 - 0.0030) \approx 1.95\text{mm}$$

$$D_{(14.2)f} = 14.13(1 + 0.0005 - 0.0030) \approx 14.10\text{mm}$$

$$D_{(22)f} = 22(1 + 0.0005 - 0.0030) \approx 21.95\text{mm}$$

$$d_{(6)f} = 6.03(1 + 0.0005 + 0.0030) \approx 6.05\text{mm}$$

初压模型腔尺寸

$$D_{(12)m} = 11.9(1 + 0.002 - 0.002) - 0.15 = 11.75\text{mm}$$

$$D_{(2)m} = 1.95(1 + 0.002 - 0.002) - 0.10 = 1.85\text{mm}$$

$$D_{(14.2)m} = 14.13(1 + 0.002 - 0.002) - 0.15 = 13.98\text{mm}$$

$$D_{(22)m} = 22(1 + 0.002 - 0.002) - 0.15 = 21.85\text{mm}$$

$$d_{(6)m} = 6.06(1 + 0.002 - 0.002) + 0.05 = 6.11\text{mm}$$

(四) 配合及精度

1. 模冲内、外径与阴模孔及芯棒外圆的配合精度

模冲的内外径由阴模孔径和芯棒外径及配合间隙来定。间隙的大小取决于所选的配合种类。在选择配合时, 要考虑以下几点:

1) 间隙过大, 会造成定位和导向不好、漏粉和压坯有毛刺等弊病; 间隙过小, 长时间连

续压制时，由于模冲发热而膨胀，使间隙消失，增加模冲移动阻力，并易擦伤模壁。

2) 在单向压制时，下模冲起定位作用，故其间隙应比上模冲小些。

3) 对于压套及外径带弱边的模冲（见图 9-3），压制时因受较大的侧压力，自身的强度是不够的。为此，必须减小间隙，受力时，模冲在弹性变形范围内向外胀，间隙消失，侧压力由阴模来承受。

对圆柱类产品的成形模模冲的配合，可选用表 9-4 所推荐的种类；对不规则、异型产品的成形模具，其模冲的配合间隙，可选用表 9-5 的推荐值。模具主要零件的成形部位，一般采用 IT5~IT6 级制造精度，阴模内径用基孔制，芯棒外径用基轴制。

2. 阴模外径与保护套的配合精度

阴模外径与保护套内孔的配合均为过盈配合，冷压的配合精度可选 $\frac{H7}{r7}$ 、 $\frac{H7}{s7}$ ，热压过盈量可参见第三节计算。

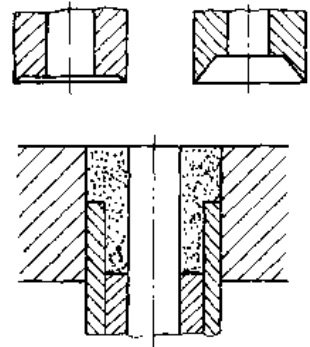


图 9-3 压套及带弱边的模冲

表 9-4 成形模模冲配合推荐种类

配合部位	配合种类
上模冲与阴模	$\frac{H6}{f5}$ 、 $\frac{H6}{g5}$ 、 $\frac{H7}{f6}$
下模冲与阴模	$\frac{H6}{f5}$ 、 $\frac{H6}{g5}$ 、 $\frac{H7}{f6}$
模冲与芯棒	$\frac{F6}{h5}$ 、 $\frac{G6}{h5}$ 、 $\frac{F7}{h6}$
压套及带外弱边的模冲与阴模	$\frac{H6}{f5}$ 、 $\frac{F6}{h5}$

表 9-5 成形模冲间隙公差推荐值

名义尺寸/mm	间隙/ μm
≤ 10	10~15
10~18	12~18
18~30	15~22
30~50	18~27
50~80	21~32
80~120	25~38
120~180	28~42

二、轴向尺寸的计算

轴向尺寸计算的主要部分是装粉高度，其它高度方向的尺寸，往往由结构上的需要（如定位、脱模、装粉、连接和强度等）来选定，从而确定阴模、芯棒和上下模冲的轴向尺寸。

（一）装粉高度的计算

装粉高度由装粉体积可算出，装粉体积取决于压缩比和压坯体积，压缩比是指压坯密度与粉末松装密度之比。装粉高度的计算公式见表 9-6。

（二）模具高度的计算

（1）阴模 阴模高度 H_t 一般由三部分高度组成（见图 9-4a），即

$$H_t = H_0 + H_1 + H_2 \quad (9-1)$$

式中 H_t ——阴模高度（mm）；

H_0 ——装粉高度（mm）；

H_1 ——下模冲定位高度（mm）。一般为 10~50mm；

H_2 ——手动模装粉锥高度（mm）。不需要此锥时 $H_2=0$ （图 9-4b）。

表 9-6 装粉高度尺寸计算公式

压坯类别	图 示	计 算 公 式	
无台阶 面压坯		$H_c = \frac{\rho}{\rho_0} H - CH$ $H_c = H_c + (10 \sim 25)$ $C = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{V_0}{V}$	H_c 装粉高度 H ——压坯高度 ρ_0 ——粉末松装密度(表 9 8) ρ ——压坯密度 C 压缩比
带台阶 面压坯		$H_{c0} = CH_1$ $H_{c10} = CH_1$ $C = \frac{V_0}{V}$ $H_t = H_{c10} + (10 \sim 15)$	H_t 阴模高度 V_0 ——装粉体积 V ——压坯体积 H_s ——压坯台阶高度 H_t 压坯总高度

自动成形模阴模的高度计算公式可参见表 9-6。

(2) 芯棒 在计算芯棒长度时, 要考虑以下几点:

- 1) 芯棒上端面应与阴模上端面平, 或略低一点, 便于自动送粉。
- 2) 芯棒成形面的长度应与阴模高度相等。
- 3) 采用手动模时, 芯棒长度可与阴模高度相等。

4) 采用机动模时, 芯棒除了成形面长度外, 还应加上根据压制方式、脱模方式和连接方式等具体结构条件来选定的其它长度。

(3) 冲模 下模冲定位高度 H_1 选择的原则是:

- 1) 手动模比机动模的下模冲定位高度 H_1 要大。
- 2) 对于机动模, 当压机或模架导向差时, H_1 选较大的值。
- 3) 压坯高度大时 H_1 选较大值。

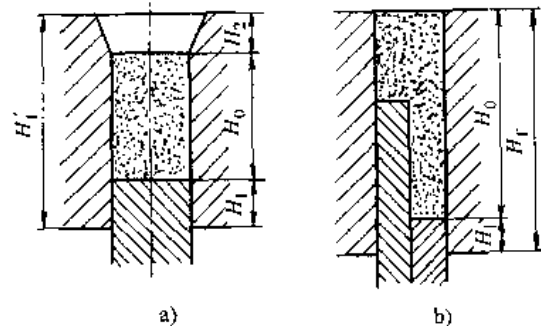
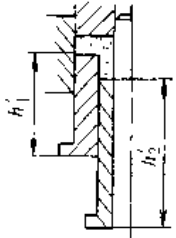


图 9-4 阴模高度计算示意图

表 9-7 下模冲轴向尺寸计算公式

名称	示 图	计 算 公 式	说 明
无台阶 压坯下模冲		$h' = H_t + (25 \sim 30)$	h' ——下模冲高度

(续)

名称	示 图	计 算 公 式	说 明
带台阶面 压坏下模冲		$\Delta h_1 = h_1 \frac{p}{E}$ $\Delta h_2 = h_2 \frac{p}{E}$ $\Delta = \Delta h_2 - \Delta h_1$ $h_2'' = h_2 - \Delta$	h_1' 、 h_2' ——下模冲名义高度 Δh_1 、 Δh_2 ——下模冲压缩弹性变形量 p ——成形压力, MPa E ——弹性模量, 为 2.1×10^4 MPa h_2'' ——长下模冲的实际高度 Δ ——下模冲弹性变形量之差

4) 上、下模冲 在计算模冲高度时, 要考虑以下几点:

- ①足够的压缩行程。
- ②足够的脱模行程。
- ③适宜的定位高度。
- ④连接所需要的高度。

在设计时, 根据具体结构需要来确定模冲的高度。

下模冲轴向尺寸计算公式可参见表 9-7。

第二节 与模具设计有关的工艺参数

在尺寸计算过程中, 所涉及到的工艺参数有金属粉末的松装密度 ρ_0 , 压坯的回弹率 e , 烧结收缩率 c , 整形余量 Δ , 整形回弹量 δ , 复压装模间隙 b , 复压压下率 q 等。

除上述参数外, 还有一些参数是事先给定的, 或可计算出来的, 如压坯密度 ρ , 压缩比 c , 单位压力 p 等。

对于计算时要选择的工艺参数, 由于影响因素较多, 故存在一个波动范围。本节介绍这些参数的范围和推荐计算时的常用值, 便于尺寸计算时参考使用。同时, 还指出这些参数有哪些影响因素, 以及这些因素对参数的影响趋势, 便于试模时在一定范围内调节工艺, 使之适应已制成的模具。

一、金属粉末的松装密度及其影响因素

(一) 金属粉末的松装密度

金属粉末的松装密度直接影响模腔的高度。此参数选择不当, 自动装粉时则会造成粉料装不下, 或粉料装得太多的现象。实际生产中, 松装密度在一定范围内有波动, 为此, 在结构设计中一般考虑了调节装粉高度的装置, 但调节范围不宜过大。

常用铁、铜基粉末的松装密度的参考值见表 9-8。

(二) 松装密度的影响因素

影响粉末松装密度的因素有粉料的成分、颗粒形状、粒度组成及流动性等。在生产中可通过以下措施来调节松装密度:

1) 将成分相同而松装密度不同的各批粉末按比例混合, 以获得所需要的松装密度。例如, 可合批或将还原铁粉与雾化铁粉混合等。

表 9-8 铁、铜基粉末的松装密度 ρ_0

粉末种类	松装密度 / (g/cm^3)	
	范围	常用值
电解铁粉	1.8~2.2	2.0
还原铁粉	2.0~2.8	2.4
雾化铁粉	2.5~3.2	2.8
雾化 6-6-3 青铜粉	2.4~3.1	2.7
电解铜粉	1.7~1.9	1.8

- 2) 改变粉末的粒度组成。一般粗中细粉末按适当比例相配,可增大松装密度。
- 3) 改变混料工艺。如延长混料时间,可提高松装密度。
- 4) 增加润滑剂,如硬脂酸锌或少量的机油,可降低松装密度。

二、压坯的回弹率及其影响因素

(一) 压坯的回弹率

常用的铁、铜基压坯的回弹率的参考值见表 9-9。

表 9-9 铁、铜基压坯的回弹率 e (%)

材料	压坯密度 (g/cm^3) 回弹率	>5.6~6.0	>6.0~6.4	>6.4~6.8	>6.8~7.2	>7.2~7.6
		铁基压坯	0.1~0.2	0.15~0.25	0.2~0.3	0.25~0.35
6-6-3 青铜压坯	—	0.05~0.15	0.1~0.2	0.15~0.25	0.2~0.3	
铜压坯	—	—	0.08~0.12	0.1~0.2	0.15~0.25	

压坯回弹率 e 的计算公式为:

$$e = \frac{\text{压坯脱模后尺寸} - \text{阴模型腔尺寸}}{\text{阴模型腔尺寸}} \times 100\% \quad (9-2)$$

(二) 回弹率的影响因素

1) 粉末的塑性,不仅与其成分有关,而且相同成分但加工工艺不同时,其塑性差异亦较大。如粉末破碎时应力大小,退火充分与否,粉末中的含氧量及其它因素等。塑性好,则回弹率小。

2) 压坯密度高,则压制压力大,侧压力亦大,模具型腔变形(外胀)随之增大,回弹率也就增大。

3) 阴模的刚性对回弹率影响较大。刚性差则变形大,回弹率也大。

4) 当压坯高度大于一定值(如 10~15mm)后,高度对回弹率影响不大。但当高度小于一定值(如 10~15mm)时,则高度对回弹率影响逐渐明显。当压坯高度小到 3~5mm 以下时,回弹率大大降低。

三、烧结收缩率及其影响因素

(一) 烧结收缩率

常用的铁、铜基制品的烧结收缩率的参考值见表 9-10。

表 9-10 铁、铜基压坯的烧结收缩率 c (%)

成 分	密度/(g/cm ³)	c	工 艺 条 件
Fe	>5.6~6.0	0.24~0.40	烧结温度 1080~1150°C
	>6.0~6.4	0.10~0.30	
	>6.4~6.8	0.05~0.15	
	>6.8~7.2	0~0.10	
Fe-(0.5~0.8)C	>5.6~6.0	0.30~0.50	烧结温度 1080~1120°C
	>6.0~6.4	0.20~0.40	
	>6.4~6.8	0.10~0.30	
	>6.8~7.2	0.05~0.15	
Fe-(1~3)Cu (0.5~0.8)C	>5.6~6.0	0.10~0.30	烧结温度 1080~1150°C
	>6.0~6.4	0.10~0.20	
	>6.4~6.8	0.05~0.15	
	>6.8~7.2	0~0.10	
Fe (0.6~0.9)C- 2.5Cu-(1~3)Ni	>6.0~6.4	0.20~0.30	烧结温度 1150~1200°C
	>6.4~6.8	0.15~0.25	
	>6.8~7.2	0.10~0.25	
6-6-3 青铜	>6.5~7.1	1.2~2.0	烧结温度 780~830°C

烧结收缩率的计算公式为：

$$c = \frac{\Delta D}{D_0} \times 100\% = \frac{\text{阴模型腔尺寸} - \text{烧结压坯尺寸}}{\text{阴模型腔尺寸}} \times 100\% \quad (9-3)$$

(二) 收缩率的影响因素

1) 化学成分对收缩率有一定的影响。不仅不同的金属粉末收缩率差异较大，而且少量的合金元素添加剂，对收缩率也有一定的影响。例如，在铁基材料中，添加碳、磷、钼、锡、硼等元素，使收缩率增大；添加铜，可以阻碍收缩，一定条件下可使收缩率近乎零，甚至胀大。在铜基材料中，添加锡、磷、镍等元素，可增大收缩率；添加锌，在一定条件下，有阻碍收缩的作用。

2) 提高压坯密度，可使收缩率减小。反之亦然。

3) 烧结工艺对收缩率影响最为明显。提高烧结温度，收缩率增大。这一因素最敏感，尤其对于收缩率大的材料。延长保温时间，使收缩率增大。保护气氛是不能忽视的因素，真空或良好的还原气氛可增大收缩率，反之则阻碍收缩，甚至胀大。铜基材料对油污气氛较敏感，烧结气氛中有油的挥发物存在，则会残留碳而阻碍收缩，甚至根本烧结不好。采用活化烧结的措施，可增大收缩率。

四、精整余量和回弹量及其影响因素

(一) 精整余量和回弹量

精整方式不同,则精整余量的分配和回弹量的大小也不相同。表 9-11~9-14 列举了对铁基烧结件采用各种精整方式时的精整余量和回弹量的参考值。

表 9-11 外箍内精整时的精整余量和回弹量 (mm)

外径与内径之比 D/d	壁厚 T	外 径		内 径	
		精整余量 $\Delta_{外}$	回弹量 $\delta_{外}$	精整余量 $\Delta_{内}$	回弹量 $\delta_{内}$
<1.5	<3.5	0.05~0.10	0.015~0.025	± 0.02	0.01~0.02

表 9-12 内胀外精整时的精整余量和回弹量 (mm)

外径与内径之比 D/d	壁厚 T	外 径		内 径	
		精整余量 $\Delta_{外}$	回弹量 $\delta_{外}$	精整余量 $\Delta_{内}$	回弹量 $\delta_{内}$
<1.5	<5	0.05~0.10	0.01~0.02	± 0.02	0.015~0.025

表 9-13 外箍内胀精整时的精整余量和回弹量 (mm)

壁厚 t	外 径		内 径	
	精整余量 $\Delta_{外}$	回弹量 $\delta_{外}$	精整余量 $\Delta_{内}$	回弹量 $\delta_{内}$
>3~5	0.04~0.06	0.005~0.015	0.02~0.04	<0.010
>5~7.5	0.05~0.08	0.006~0.016	0.03~0.06	0.005~0.015
>7.5~10	0.06~0.10	0.010~0.020	0.04~0.08	0.008~0.016
>10~15	0.08~0.15	0.015~0.025	0.06~0.10	0.010~0.020
>15	0.10~0.20	0.020~0.040	0.08~0.12	0.015~0.030

表 9-14 全精整的压下率、回弹率及精整余量率 (%)

材 料	精整后密度 (g/cm ³)	压下率 g	回弹率 i	精整余量率 q	
				内 径	外 径
Fe	>6.0~6.4	8~12	0.08~0.12	0.12~0.16	0.16~0.20
	>6.4~6.8	6~10	0.13~0.17	0.14~0.18	0.18~0.22
	>6.8~7.2	4~8	0.18~0.22	0.16~0.20	0.20~0.24
Fe (0.3~0.6)C	>6.0~6.4	4~8	0.06~0.10	0.04~0.08	0.08~0.12
	>6.4~6.8	3~7	0.08~0.12	0.06~0.10	0.10~0.14
	>6.8~7.2	2~6	0.10~0.14	0.06~0.12	0.14~0.18
Fe-(0.3~0.6) C-(1~4)Cu	>6.0~6.4	3.5~7.5	0.06~0.10	0.04~0.08	0.06~0.10
	>6.4~6.8	2.5~6.5	0.08~0.12	0.06~0.10	0.08~0.12
	>6.8~7.2	1.3~5.3	0.10~0.14	0.08~0.12	0.10~0.11
Fe-(0.3~0.6) C (1~4) Cu-(1~5)Ni	>6.0~6.4	3~7	0.03~0.07	0.08~0.12	0.14~0.18
	>6.4~6.8	2~6	0.06~0.10	0.14~0.18	0.18~0.22
	>6.8~7.0	1~5	0.10~0.14	0.16~0.20	0.22~0.25

(二) 回弹量的影响因素

- 1) 精整余量大, 则回弹量增大。
- 2) 烧结件的硬度高, 塑性差, 则回弹量大。
- 3) 烧结件密度高, 则回弹量大。
- 4) 精整模刚性差, 则回弹量大。
- 5) 全精整时, 适当的压下率, 则因塑性变形大而回弹量减小; 过大的压下率, 则使回弹量增大。
- 6) 单精整某个面 (如内径或外径), 因塑性变形小, 弹性变形大, 因而回弹量增大。

(三) 精整余量的选择依据

精整的目的, 主要是为了提高烧结件的尺寸精度和表面粗糙度, 其次是适当增加烧结件的密度和表面硬度。

过小的精整余量, 一则工艺上较难控制, 另则不能很好地达到精整的目的。

过大的精整余量造成模具磨损加剧; 烧结件表面过硬, 于跑合性不利; 对减摩类烧结件表面孔隙封闭, 使润滑不利; 甚至产生表面裂纹。

因此, 在工艺上能控制的范围之内, 并保证烧结件尺寸精度和表面粗糙度的情况下, 尽可能减小精整余量为宜。特殊情况下, 为了增加烧结件表面硬度, 提高耐磨性, 或为了电镀和防腐而需要封闭孔隙时例外。

五、复压装模间隙和压下率

(一) 复压装模间隙

复压装模间隙见表 9-15。

表 9-15 复压装模间隙 b (mm)

压件的径向尺寸	铁 基		铜 基	
	外 径	内 径	外 径	内 径
≤ 10	0.100	0.050	0.120	0.070
$> 10 \sim 30$	0.150	0.080	0.200	0.120
$> 30 \sim 50$	0.200	0.120	0.250	0.150
> 50	0.250	0.150	0.300	0.200

注: 当烧结件高度小于 5mm 时, 装模间隙可取表中值的一半。

表 9-16 复压压下率

材 料	复压后密度 / (g/cm^3)	复压前密度 / (g/cm^3)				
		$> 5.5 \sim 6.1$		$> 6.1 \sim 6.5$	$> 6.5 \sim 7.1$	$> 7.1 \sim 7.6$
		复压压下率 (%)				
		范 围	常用值	范 围	范 围	范 围
铁基	$> 6.1 \sim 6.5$	12~20	15	—	—	—
	$> 6.5 \sim 7.1$	20~30	25	15~20	—	—
铜基	$> 7.1 \sim 7.6$	—	—	—	15~22	—
	$> 7.6 \sim 8.3$	—	—	—	22~28	13~22

(二) 复压压下率

复压压下率见表 9-16。

(三) 复压件的回弹率及复烧收缩率

复压件的回弹可根据其烧结件密度查表 9-9。

复压件的复烧收缩率可根据其材质成份及烧结件密度查表 9-10。

第三节 阴模与模套的强度和刚度计算

在压制过程中，阴模及模套在侧压力作用下，会产生应力和应变，若其强度不足，工作中的阴模或模套会破裂；若刚性不足，卸载时会使压坯产生层裂。但是，阴模和模套不能过厚，以免浪费材料，并造成制造和使用困难。

粉末冶金压模在压制时，阴模承受较大的侧向压强。其值为

$$p_{\text{侧}} = \xi_0 \theta p \quad (9-4)$$

式中 $p_{\text{侧}}$ ——侧压强 (MPa)；

ξ_0 ——压件材料致密状态下的侧压系数，其值见表 3-2；

θ ——压件的相对密度；

p ——压制时的单位压力 (MPa)。

阴模在侧压强的作用下，产生应力和应变。在设计模具时，应当根据所受的侧压强，来验算阴模的强度和刚性。在保证模具安全和压坯完好的情况下，尽量减小阴模外径尺寸。

根据阴模受到的最大应力不得大于模具材料的许用应力，来建立强度条件。

根据压坯受到阴模弹性变形恢复时，收缩引起的剩余侧压强，不得大于压坯允许的侧向（垂直于压制方向）抗压应力，建立刚性条件。

在受力分析时，为了便于计算，假定以下条件，即在阴模模腔总高上均受侧压强，且各处相等。实际上模腔只在与压坯接触段才受到侧压强，其它与压坯不接触段的阴模，起到阻碍接触段张裂的作用。这个效应的存在，不同情况下不同程度地减小了阴模的最大应力。随着压坯高度减小，这个效应就越大。在推导公式时，暂不考虑这个效应，最后在建立强度条件时加以修正。

一、强度计算

(一) 单层圆筒阴模

粉末冶金阴模外半径与内半径之比 $\frac{R}{r}$ 总是大于 1.1，在材料力学上叫做厚壁圆筒。

在侧压强 $p_{\text{侧}}$ 作用下，其应力计算公式如下：

$$\text{径向应力} \quad \sigma_r = \frac{p_{\text{侧}} r^2}{R^2 - r^2} \left(1 - \frac{R^2}{r^2} \right) \quad (9-5)$$

$$\text{切向应力} \quad \sigma_t = \frac{p_{\text{侧}} r^2}{R^2 - r^2} \left(1 + \frac{R^2}{r^2} \right) \quad (9-6)$$

式中 R ——阴模外半径 (mm)；

r ——阴模内半径 (mm)；

r_1 —— r 到 R 之间的任意半径 (mm)。

其应力分布情况按式 (9-5), 式 (9-6) 计算后可画出 (见图 9-5)。σ_t 为正, 即切向应力是拉应力。σ_r 为负, 即径向应力是压应力。

由图 9-5 可看出, 最大 σ_t 有 σ_r 均发生在内壁处 (r₁=r 处), 其值

$$\sigma_r = -p_{\text{阴}} \tag{9-7}$$

$$\sigma_t = p_{\text{阴}} \frac{R^2+r^2}{R^2-r^2} = p_{\text{阴}} \frac{m^2+1}{m^2-1} \tag{9-8}$$

式中 $m = \frac{R}{r}$ 。

阴模一般采用淬火工具钢或硬质合金, 均属脆性材料, 故应按第二强度理论建立强度条件, 即

$$\sigma = \sigma_t - \nu \sigma_r = p_{\text{阴}} \left(\frac{m^2+1}{m^2-1} + \nu \right) \leq [\sigma] \tag{9-9}$$

式中 [σ] —— 许用应力 (MPa);

ν —— 泊松比, 见表 3-2。

由式 (9-9) 可演算成下面的形式, 即

$$m \geq \sqrt{\frac{[\sigma] + p_{\text{阴}}(1-\nu)}{[\sigma] - p_{\text{阴}}(1+\nu)}} \tag{9-10}$$

对于钢模, 其泊松比 ν=0.3, 则式 (9-10) 变成

$$m \geq \sqrt{\frac{[\sigma] + 0.7p_{\text{阴}}}{[\sigma] - 1.3p_{\text{阴}}}} \tag{9-11}$$

例 2 已知 [σ]=300MPa, p_阴=150MPa, 求 m 值。

将已知值代入式 (9-11), 求得 m ≥ 2。

若已知 p_阴、ν 及 [σ] 值, 可用式 (9-10) 求出 m 值。

若已知 p_阴、ν、[σ] 及 m 值之后, 则可用式 (9-9) 来验算。

为了便于应用式 (9-9), 将 m 与 $\left(\frac{m^2+1}{m^2-1} + \nu \right)$ 的对应关系, 制成图表 (见图 9-6 及表 9-17)。

表 9-17 m 与 $\left(\frac{m^2+1}{m^2-1} + \nu \right)$ 的关系 (ν=0.3 时)

m	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.2	2.5	3	4	∞
$\frac{m^2+1}{m^2-1} + \nu$	10.8	5.85	4.2	3.39	2.9	2.58	2.33	2.19	2.07	1.97	1.82	1.68	1.55	1.43	1.3

不难看出, 单层圆筒阴模可受的极限力为

$$\lim_{m \rightarrow \infty} p_{\text{阴}} = \frac{[\sigma]}{1.3}$$

大多数情况下, m ≤ 4, 则其极限力为

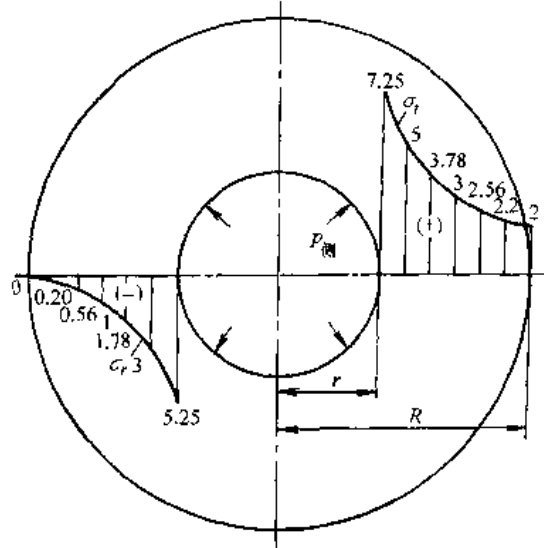


图 9-5 单层圆筒应力分布图例

$$m = \frac{R}{r} = 2.5;$$

$$\sigma_{r\text{内}} = 7.25 \frac{p_{\text{阴}} r^2}{R^2 - r^2};$$

$$\sigma_{r\text{外}} = 2 \frac{p_{\text{阴}} r^2}{R^2 - r^2};$$

$$\sigma_{t\text{内}} = 5.25 \frac{p_{\text{阴}} r^2}{R^2 - r^2};$$

$$\sigma_{t\text{外}} = 0$$

$$\lim_{m \rightarrow 1} p_{\text{侧}} = \frac{[\sigma]}{1.43}$$

例 3 已知 $[\sigma] = 500\text{MPa}$, $p_{\text{侧}} = 150\text{MPa}$, $m = 1.4$, 验算其强度。

按表 9-17 查到, $m = 1.4$ 时 $\frac{m^2+1}{m^2-1} + \nu = 3.39$, 代入式(9-9)后可得最大应力 $\sigma = 508.5\text{MPa}$, 超过 $[\sigma] = 500\text{MPa}$ 仅 1.7%, 故尚可用。

(二) 组合圆筒阴模

常用的组合筒只带一个模套, 即双层组合筒。模套与阴模之间采用过盈配合, 阴模外侧受预压缩压强 $p_{\text{预}}$, 模套内侧受预外胀压强 $p_{\text{预}}$ 。组合筒配合面处半径为 $r_{\text{中}}$ 。

1. 阴模受预压缩压强 $p_{\text{预}}$ 时的情况

阴模在预压缩压强 $p_{\text{预}}$ 作用下, 产生

$$\text{径向应力} \quad \sigma_r = \frac{-p_{\text{预}} r_{\text{中}}^2}{r_{\text{中}}^2 - r_1^2} \left(1 - \frac{r^2}{r_1^2} \right) \quad (9-12)$$

$$\text{切向应力} \quad \sigma_t = \frac{-p_{\text{预}} r_{\text{中}}^2}{r_{\text{中}}^2 - r_1^2} \left(1 + \frac{r^2}{r_1^2} \right) \quad (9-13)$$

其应力分布见图 9-7b。

在阴模内侧 $r_1 = r$ 处

$$\text{径向应力} \quad \sigma_{r1}' = 0 \quad (9-14)$$

$$\text{切向应力} \quad \sigma_{t1}' = -2p_{\text{预}} \frac{r_{\text{中}}^2}{r_{\text{中}}^2 - r^2} \quad (9-15)$$

2. 模套受预外胀压强 $p_{\text{预}}$ 时的情况

阴模在预外胀压强 $p_{\text{预}}$ 作用下, 产生

$$\text{径向应力} \quad \sigma_r = \frac{p_{\text{预}} r_{\text{中}}^2}{R^2 - r_{\text{中}}^2} \left(1 - \frac{R^2}{r^2} \right) \quad (9-16)$$

$$\text{切向应力} \quad \sigma_t = \frac{p_{\text{预}} r_{\text{中}}^2}{R^2 - r_{\text{中}}^2} \left(1 + \frac{R^2}{r^2} \right) \quad (9-17)$$

其应力分布见图 9-7c。

在模套内侧 $r_1 = r_{\text{中}}$ 处

$$\text{径向应力} \quad \sigma_{r2}' = -p_{\text{预}} \quad (9-18)$$

$$\text{切向应力} \quad \sigma_{t2}' = p_{\text{预}} \frac{R^2 + r_{\text{中}}^2}{R^2 - r_{\text{中}}^2} \quad (9-19)$$

3. 当作单层圆筒时的情况 (R 与 r 不变)

在侧压强 $p_{\text{侧}}$ 作用下, 按式(9-5)及式(9-6)可画出应力分布图(见图 9-7a 虚线表示部分)。

在内侧, 即 $r_1 = r$ 处

$$\text{径向应力} \quad \sigma_{r1}'' = -p_{\text{侧}} \quad (9-20)$$

$$\text{切向应力} \quad \sigma_{t1}'' = p_{\text{侧}} \frac{R^2 - r^2}{R^2 - r^2} \quad (9-21)$$

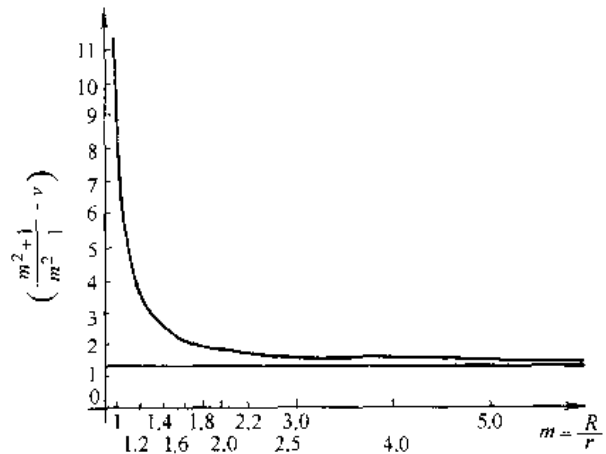


图 9-6 $\left(\frac{m^2-1}{m^2-1} + \nu \right)$ 与 m 的关系曲线

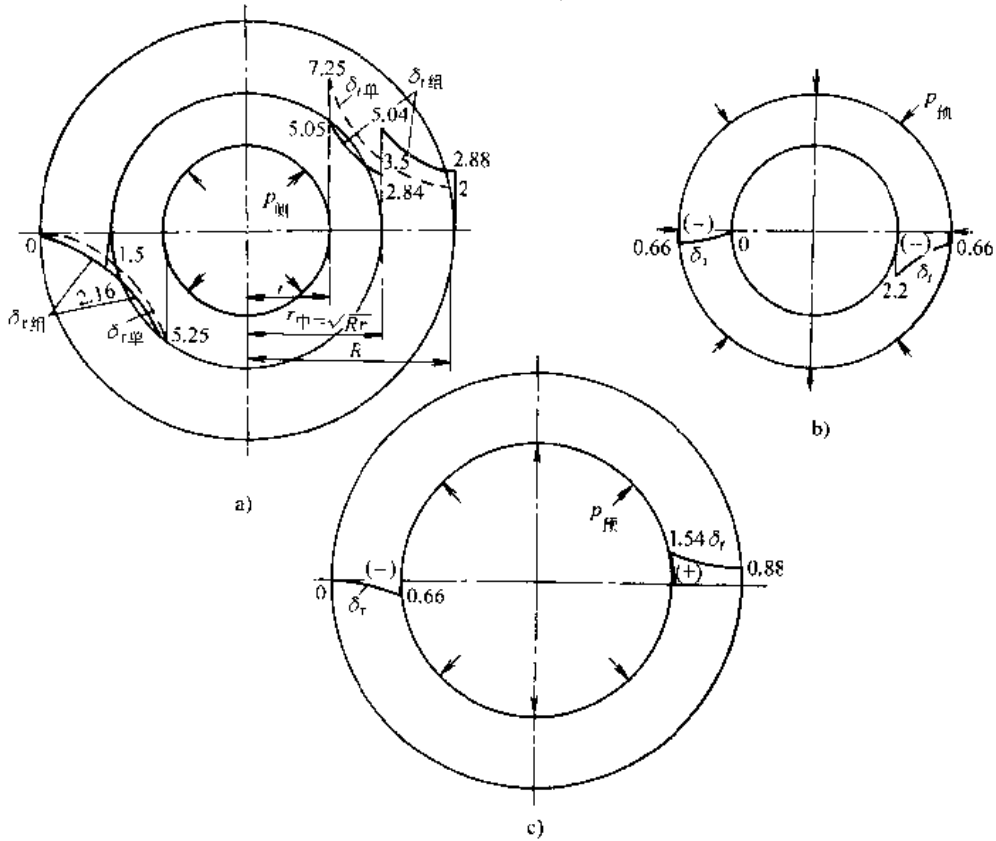


图 9-7 组合(双层)圆筒应力分布图例

$$m = \frac{R}{r} = 2.5$$

$$r_{中} = \sqrt{Rr}$$

在组合筒配合面 $r_1 = r_{中}$ 处

径向应力
$$\sigma_{r2}'' = p_{内} \frac{r^2}{R^2 - r^2} \left(1 - \frac{R^2}{r_{中}^2} \right) \tag{9-22}$$

切向应力
$$\sigma_{t2}'' = p_{内} \frac{r^2}{R^2 - r^2} \left(1 + \frac{R^2}{r_{中}^2} \right) \tag{9-23}$$

4. 实际为组合筒时的情况

在 $p_{内}$ 作用下, 应力各自相应叠加, 其应力分布见图 9-7a 实线表示的那样。此时径向应力:

阴模内侧 ($r_1 = r$ 处)

$$\sigma_{r1} = \sigma_{r1}'' + \sigma_{r1}' = -p_{内} + 0 = -p_{内} \tag{9-24}$$

模套内侧 ($r_1 = r_{中}$ 处)

$$\sigma_{r2} = \sigma_{r2}'' + \sigma_{r2}' = p_{内} \frac{r^2}{R^2 - r^2} \left(1 - \frac{R^2}{r_{中}^2} \right) + (-p_{内}) \tag{9-25}$$

切向应力:

阴模内侧 ($r_1 = r$ 处)

$$\sigma_{t1} = \sigma_{t1}'' + \sigma_{t1}' = p_{内} \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} - 2p_{内} \frac{r_{中}^2}{r_{中}^2 - r^2} \tag{9-26}$$

模套内侧 ($r_1 = r_{中}$ 处)

$$\sigma_{t2} = \sigma_{t2}'' + \sigma_{t2}' = p_{\text{预}} \frac{r^2}{R^2 - r^2} \left(1 + \frac{R^2}{r_{\text{中}}^2} \right) + p_{\text{预}} \frac{R^2 - r_{\text{中}}^2}{R^2 - r_{\text{中}}^2} \quad (9-27)$$

由式(9-9)可知,阴模危险点在内侧 $r_1 = r$ 处,其应力 $\sigma_{\text{阴}}$ 为

$$\sigma_{\text{阴}} = \sigma_{t1} - \nu \sigma_{r1} \quad (9-28)$$

模套危险点也在内侧 ($r_1 = r_{\text{中}}$),其应力 $\sigma_{\text{套}}$ 为

$$\sigma_{\text{套}} = \sigma_{t2} - \nu \sigma_{r2} \quad (9-29)$$

若已知 $r, r_{\text{中}}, R, p_{\text{阴}}$ 及 $p_{\text{预}}$,可按式(9-28)及式(9-29)各自验算阴模和模套的强度。

从应力图可明显地看出,组合筒时,由于预紧压强 $p_{\text{预}}$ 的存在,与单层筒相比,阴模在压制时的应力减小了,而模套内侧处应力比原来增大了,这样可较合理地利用模具材料的强度性能。

5. 合理选择配合面 $r_{\text{中}}$ 及预紧压强 $p_{\text{预}}$ 的分析

若工作状态下的阴模内侧应力为零,对阴模来说固然好,但该情况下,模套内侧应力却大大增加,材料利用不合理。只有在特殊情况下才按此设计。

假设阴模和模套用类似的材料,许用应力相近,则合理使用材料的条件应该是在压制时

$$\sigma_{\text{阴}} = \sigma_{\text{套}}$$

若略去径向应力的影响,近似认为

$$\nu \sigma_{r1} \approx \nu \sigma_{r2}$$

这种假设引起的误差并不大。

则

$$\sigma_{\text{阴}} = \sigma_{\text{套}}$$

变成

$$\sigma_{t1} = \sigma_{t2} \quad (9-30)$$

将式(9-26)及式(9-27)代入上式后可得

$$p_{\text{阴}} \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} - 2p_{\text{预}} \frac{r_{\text{中}}^2}{r_{\text{中}}^2 - r^2} = p_{\text{阴}} \frac{r^2}{R^2 - r^2} \left(1 + \frac{R^2}{r_{\text{中}}^2} \right) + p_{\text{预}} \frac{R^2 + r_{\text{中}}^2}{R^2 - r_{\text{中}}^2} \quad (9-31)$$

从式(9-31)可知,当已知 $p_{\text{阴}}, R$ 及 r 时, $r_{\text{中}}$ 与 $p_{\text{预}}$ 有着对应的关系。只要按此关系式计算出来的,则必然符合 $\sigma_{t1} = \sigma_{t2}$ 的等强度条件。若对于确定 $r_{\text{中}}$ 之后,任意选择 $p_{\text{预}}$,则 $\sigma_{t1} \neq \sigma_{t2}$,其中大的值必然大于等强度的应力值。

但是 $r_{\text{中}}$ 实际上不可以任意选择,它有一个最合理的值,从材料力学可知其最合理的值为

$$r_{\text{中}} = \sqrt{Rr} = \sqrt{m}r$$

符合上述条件时,等强度应力有最小值。在此情况下,式(9-31)简化为

$$p_{\text{阴}} = \frac{m(m-1)}{(3m+1)(m+1)} p_{\text{预}} \quad (9-32)$$

例 4 已知 $p_{\text{阴}} = 200\text{MPa}$, $R = 6\text{cm}$, $r = 3\text{cm}$,确定在不同 $r_{\text{中}}$ 时, $p_{\text{预}}$ 及等强度应力 $\sigma_{t1} = \sigma_{t2}$ 的关系。

将已知值代入式(9-31)后得出对应值,列入表 9-18。

从表 9-18 列出的数据可看出, $r_{\text{中}}$ 由小到大变化时,等强度应力有最小值,即在

$$r_{\text{中}} = \sqrt{Rr} = \sqrt{6 \times 3} = 4.24(\text{cm})$$

时,其应力值为 254.1MPa ,比单层筒时的应力值为 333.3MPa 减少了 23% 。与此同时,预紧压强有最大值,在 $r_{\text{中}} = \frac{R+r}{2}$ 处。

表 9-18 $r_{中}$ 与 $p_{预}$ 和 $\sigma_{t1}=\sigma_{t2}$ 的关系

$r_{中}/cm$	3	3.1	3.5	4	4.24	4.5	5	5.5	5.9	6
$p_{预}/MPa$	0	0.529	7.43	16.3	19.8	21.8	19.7	13.0	2.92	0
$\sigma_{t1}=\sigma_{t2}/MPa$	333.3	316.5	277.1	258.8	254.1	254.8	271.7	296.2	325.4	333.3

从例 4 可知,组合筒降低了阴模内侧的切向应力 23%。现在引进一个修正系数 K_1 ,它表示与单层筒相比,改用组合筒后,内侧最大切向应力下降的折扣,即

$$K_1 = \frac{\sigma_{t组}}{\sigma_{t单}} \tag{9-33}$$

式中 $\sigma_{t组}$ ——组合筒时阴模内侧切向应力(MPa);

$\sigma_{t单}$ ——单层筒时阴模内侧切向应力(MPa)。

当 $r_{中} = \sqrt{Rr}$ 时

$$K_1 = 1 - \frac{2p_{预} \frac{m}{m-1}}{p_{侧} \frac{m^2+1}{m^2-1}}$$

将式(9-32)代入后,即

$$K_1 = 1 - \frac{2m^2(m-1)}{(3m+1)(m^2+1)} \tag{9-34}$$

K_1 与 m 的关系,见图 9-8 及表 9-19。

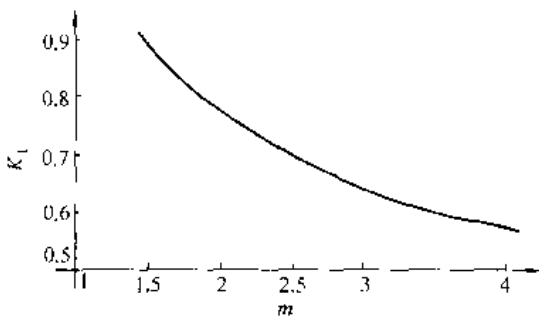


图 9-8 K_1 与 m 的关系曲线

表 9-19 K_1 与 m 的关系

m	1.5	2	2.5	3	4
K_1	0.88	0.77	0.70	0.64	0.57

从表 9-19 可知,随 m 增大, K_1 下降。例 4 中 $m=2$ 时, $K_1=0.77$,即应力减少了 0.23 (23%)。

与单层筒相比,组合筒切向应力为 $K_1\sigma_{t单}$,将此关系代入式(9-9)后,可得

$$\sigma = K_1\sigma_{t单} - \nu\sigma_r = p_{侧} \left[\frac{K_1 m^2 + K_1}{m^2 - 1} + \nu \right] \leq [\sigma] \tag{9-35}$$

或

$$m \geq \sqrt{\frac{[\sigma] + p_{侧}(K_1 - \nu)}{[\sigma] - p_{侧}(K_1 + \nu)}} \tag{9-36}$$

6. 求过盈量 $\Delta r_{中}$

模套外胀

$$\Delta r_{中}' = \frac{p_{预} r_{中}}{E_{中}} \left(\frac{R^2 + r_{中}^2}{R^2 - r_{中}^2} + \nu_{中} \right)$$

$$\text{阴模内缩} \quad \Delta r_{\text{阴}}^{\prime\prime} = \frac{p_{\text{预}} r_{\text{中}}}{E_{\text{阴}}} \left(\frac{r_{\text{中}}^2 + r^2}{r_{\text{中}}^2 - r^2} - \nu_{\text{阴}} \right)$$

总过盈量 $\Delta r_{\text{中}}$ 为模套过盈量 $\Delta r_{\text{中}}^{\prime}$ 与阴模过盈量 $\Delta r_{\text{中}}^{\prime\prime}$ 之和, 即

$$\Delta r_{\text{中}} = \Delta r_{\text{中}}^{\prime} + \Delta r_{\text{中}}^{\prime\prime} = p_{\text{预}} r_{\text{中}} \left[\frac{1}{E_{\text{套}}} \left(\frac{R^2 + r_{\text{中}}^2}{R^2 - r_{\text{中}}^2} + \nu_{\text{套}} \right) + \frac{1}{E_{\text{阴}}} \left(\frac{r_{\text{中}}^2 + r^2}{r_{\text{中}}^2 - r^2} - \nu_{\text{阴}} \right) \right] \quad (9-37)$$

当模套与阴模用同类材料时, 两者材料弹性模数 E 和泊松比 ν 相同, 即

$$E_{\text{套}} = E_{\text{阴}}$$

$$\nu_{\text{套}} = \nu_{\text{阴}}$$

则

$$\Delta r_{\text{中}} = \frac{2p_{\text{预}} r_{\text{中}}^3}{E} \left[\frac{R^2 - r^2}{(R^2 - r_{\text{中}}^2)(r_{\text{中}}^2 - r^2)} \right] \quad (9-38)$$

当 $r_{\text{中}} = \sqrt{Rr}$ 时, 则

$$\Delta r_{\text{中}} = \frac{2p_{\text{预}} r_{\text{中}}^3}{E} \left[\frac{m^2 - 1}{(m^2 + 1)r_{\text{中}}^2 - 2R^2} \right] \quad (9-39)$$

式中 E —— 材料弹性模量(MPa)。对于钢, $E = 2 \sim 2.1 \times 10^5$ (MPa);

其余符号同前。

7. 求热装所需要的温度

热装所需要的温度 t 按下式计算:

$$t = \frac{\Delta r_{\text{中}}}{\alpha r_{\text{中}}} \quad (9-40)$$

式中 t —— 热装时需要的温度($^{\circ}\text{C}$);

$\Delta r_{\text{中}}$ —— 过盈量(单边即半径上)(mm);

α —— 模套材料的线膨胀系数, 对于钢材, 其值为 $12.5 \sim 13.5 \times 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$;

$r_{\text{中}}$ —— 配合面处的半径(mm)。

实际还应考虑到热装配间隙, 一般情况下单边(即半径上)留 $0.05 \sim 0.15\text{mm}$, 尺寸小时, 间隙选小些, 反之则大些。实际加热温度 t 为

$$t = \frac{\Delta r_{\text{中}} + (0.05 \sim 0.15)}{\alpha r_{\text{中}}} \quad (9-41)$$

8. 组合筒设计步骤

1) 根据已知的 $[\sigma]$ 、 $p_{\text{预}}$ 及 ν 值, 先用式(9-10)求出单层筒时所需要的 $m_{\text{单}}$ 值。

2) 根据 $m_{\text{单}}$ 值按表 9-19 或式(9-34)确定 K_1 。

3) 用式(9-36)重算 $m_{\text{组}}$ 值。并求出 $R = mr$ 及 $r_{\text{中}} = \sqrt{mr}$ 。

4) 按式(9-32)求出预紧压强 $p_{\text{预}}$ 。

5) 按式(9-39)求出过盈量 $\Delta r_{\text{中}}$ (单边的)。

6) 按式(9-41)求出热装所需要的温度。

(三) 阴模基本上不能承受张应力的组合筒

对于象齿轮及各种模腔带尖角的阴模(图 9-9), 由于尖角处应力集中严重, 不能承受较大的张应力, 这种模具必须镶以模套, 并要有足够的预紧压强, 以满足压制时阴模切向应力基本为

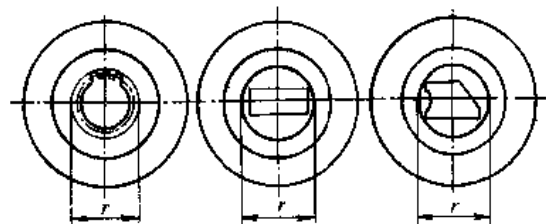


图 9-9 阴模基本上不能承受张应力的型腔示例

零的要求,防止阴模开裂。在此略去径向应力的影响。

在这种情况下,仍规定

$$r_{\psi} = \sqrt{Rr}$$

式中 r_{ψ} — 配合处的半径(mm);

R — 模套外半径(mm);

r — 阴模型腔外接圆半径(mm)。

根据要求,在受侧压强 $p_{\text{侧}}$ 时,阴模内壁切向应力 σ_{ψ} 为零,即

$$\sigma_{\psi} = p_{\text{侧}} \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} - 2p_{\text{预}} \frac{r_{\psi}^2}{r_{\psi}^2 - r^2} = p_{\text{侧}} \frac{m^2 + 1}{m^2 - 1} - 2p_{\text{预}} \frac{m}{m - 1} = 0$$

或

$$p_{\text{预}} = \frac{m^2 + 1}{2m^2 + 2m} p_{\text{侧}} \quad (9-42)$$

当 m 在 2~4 范围内时

$$p_{\text{预}} \approx 0.416 p_{\text{侧}} \quad (9-43)$$

在计算 $p_{\text{预}}$ 同时,必须对模套内侧的应力进行验算,应满足下述的强度条件,即

$$\sigma_{\text{全}} = \sigma_{\psi_2} - \nu \sigma_{r_2} \leq [\sigma]$$

其中

$$\sigma_{\psi_2} = p_{\text{侧}} \frac{r^2}{R^2 - r^2} \left(1 + \frac{R^2}{r_{\psi}^2} \right) + p_{\text{预}} \frac{R^2 + r_{\psi}^2}{R^2 - r_{\psi}^2} = p_{\text{侧}} \frac{1}{m - 1} + p_{\text{预}} \frac{m + 1}{m - 1}$$

$$\sigma_{r_2} = p_{\text{侧}} \frac{r^2}{R^2 - r^2} \left(1 - \frac{R^2}{r_{\psi}^2} \right) - p_{\text{预}} = - \left[p_{\text{侧}} \frac{1}{m + 1} + p_{\text{预}} \right]$$

代入后可得

$$p_{\text{预}} \leq \frac{[\sigma] - p_{\text{侧}} \left(\frac{1}{m - 1} + \frac{\nu}{m + 1} \right)}{\frac{m + 1}{m - 1} + \nu} \quad (9-44)$$

若略去较小的 $\nu \sigma_{r_2}$ 的影响,上式可简化为

$$p_{\text{预}} \leq \frac{1}{m + 1} [(m - 1)[\sigma] - p_{\text{侧}}] \quad (9-45)$$

为了同时满足式(9-42)和式(9-45),令两式相等,即可求得合理的 m 值,即

$$\frac{m^2 + 1}{2m^2 + 2m} p_{\text{侧}} = \frac{1}{m + 1} [(m - 1)[\sigma] - p_{\text{侧}}]$$

则

$$m = \frac{[\sigma] + p_{\text{侧}} + \sqrt{[\sigma]^2 + 4[\sigma]p_{\text{侧}}}}{2[\sigma] - p_{\text{侧}}} \quad (9-46)$$

式(9-46)在推导时是略去径向应力 $\nu \sigma_{r_2}$ 的影响的,实际上其影响存在,其影响约为对式(9-46)计算出来的 m 值需增大 10%,故将式(9-46)修正为

$$m = 1.1 \frac{[\sigma] + p_{\text{侧}} + \sqrt{[\sigma]^2 + 4[\sigma]p_{\text{侧}}}}{2[\sigma] - p_{\text{侧}}} \quad (9-47)$$

例 5 已知齿轮压坯顶圆直径为 50mm,压制时单位压力 $p = 500\text{MPa}$,压坯相对密度 $\theta = 0.80$,模具材料的许用应力 $[\sigma] = 300\text{MPa}$,模套与阴模均用钢材,其 $\nu = 0.3$, $E = 2 \times 10^5\text{MPa}$,

铁基材料的侧压系数 $\xi_0 = 0.38$ 。试设计组合阴模。

根据式(9-46)求得

$$p_{\text{侧}} = \xi_0 \theta p = 0.38 \times 0.8 \times 500 \approx 150 \text{MPa}$$

根据式(9-47)求得

$$m = 1.1 \frac{[\sigma] + p_{\text{侧}} + \sqrt{[\sigma]^2 + 4[\sigma]p_{\text{侧}}}}{2[\sigma] - p_{\text{侧}}} = 1.1 \frac{30 + 15 + \sqrt{30^2 + 4 \times 30 \times 15}}{2 \times 30 - 15} = 2.42$$

将 m 圆整化为 2.4。

模套外径 $D = md = 2.4 \times 50 = 120 \text{mm}$

阴模与模套配合直径 $d_{\text{中}} = \sqrt{Dd} = \sqrt{120 \times 50} = 78 \text{mm}$

根据式(9-43) $p_{\text{预}} = 0.416 p_{\text{侧}} = 0.416 \times 150 = 62.4 \text{MPa}$

根据式(9-44)验算 $p_{\text{侧}}$ ，应符合不等式：

$$p_{\text{侧}} = 62.4 \leq \frac{300 - 150 \left(\frac{1}{2.4 - 1} + \frac{0.3}{2.4 + 1} \right)}{\frac{2.4 + 1}{2.4 - 1} + 0.3} = 66.6 \text{MPa}$$

符合模套内侧的强度条件，故安全。

按式(9-39)求得过盈量 $\Delta r_{\text{中}}$ ，即

$$\Delta r_{\text{中}} = \frac{2 \times 62.4 \times 3.9^2}{2 \times 10^5} \left[\frac{2.4^2 - 1}{3.9^2(2.4^2 + 1) - 2 \times 6^2} \right] = 0.006 \text{cm} = 0.06 \text{mm}$$

直径过盈量为 $2\Delta r_{\text{中}} = 0.12 \text{mm}$ 。

按式(9-41)求得热装时需要的温度 t (热装间隙取 0.10mm)，即

$$t = \frac{0.06 + 0.1}{12.5 \times 10^{-6} \times 39} = 320^\circ\text{C}$$

(四) 阴模为两拼块的组合筒

两拼块的阴模，要求在压制时不被侧压力 $p_{\text{侧}}$ 所撑开，以防粉末挤入拼缝内(见图 9-10)。因此，要求模套对阴模的预紧力不小于工作状态下的侧压力，即

$$p_{\text{预}} \cdot 2r_{\text{中}} H \geq p_{\text{侧}} \cdot 2rH \quad (9-48)$$

式中 H ——阴模高度(mm)。

如前所述，暂假定阴模全高上均受侧压强，即

$$p_{\text{预}} \geq \frac{r}{r_{\text{中}}} p_{\text{侧}}$$

设 $r_{\text{中}} = \sqrt{Rr} = \sqrt{m}r$

则 $p_{\text{预}} \geq \frac{1}{\sqrt{m}} p_{\text{侧}} \quad (9-49)$

同时，必须验算模套在压制状态下的强度条件。模套在压制时受的侧压力由预紧力及压制时侧压强引起的侧压力所组成，即

$$F_{\text{侧}} = p_{\text{预}} 2r_{\text{中}} H + p_{\text{侧}} 2rH$$

由于这两部分力相等，故

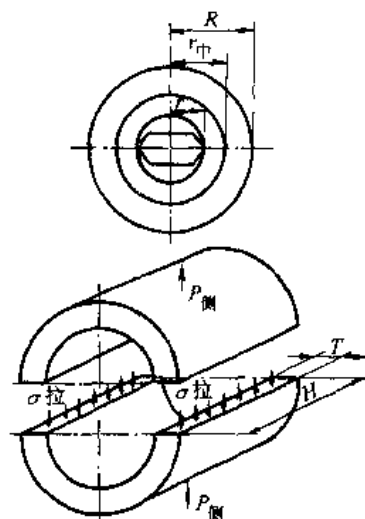


图 9-10 对拼阴模的模套受力示意图

$$P_{\text{侧}} = 2p_{\text{预}} 2r_{\text{中}} H$$

根据拉伸强度条件,即

$$\sigma_{\text{拉}} = \frac{P_{\text{侧}}}{2TH} = \frac{2p_{\text{预}} 2r_{\text{中}} H}{2TH} = 2 \frac{r_{\text{中}}}{T} p_{\text{预}} \leq [\sigma] \quad (9-50)$$

或

$$p_{\text{预}} \leq \frac{T}{2r_{\text{中}}} [\sigma] = \frac{[\sigma]}{2} (\sqrt{m} - 1) \quad (9-51)$$

式中 T ——模套壁厚(mm)。

$p_{\text{预}}$ 既要满足式(9-49),又要满足式(9-51),令两式相等,求得合理的 m 值。即

$$\frac{1}{\sqrt{m}} p_{\text{预}} = (\sqrt{m} - 1) \frac{[\sigma]}{2}$$

解上式可得

$$\sqrt{m} = \frac{[\sigma] + \sqrt{[\sigma]^2 + 8[\sigma]p_{\text{预}}}}{2[\sigma]} \quad (9-52)$$

或

$$m = \left[\frac{[\sigma] + \sqrt{[\sigma]^2 + 8[\sigma]p_{\text{预}}}}{2[\sigma]} \right]^2 \quad (9-53)$$

例 6 已知两拼块阴模模腔外接圆直径为 $d = 50\text{mm}$, $p_{\text{预}} = 150\text{MPa}$, $[\sigma] = 300\text{MPa}$ 。试设计该组合阴模。

根据式(9-52)求得

$$\sqrt{m} = \frac{30 + \sqrt{30^2 + 8 \times 30 \times 15}}{2 \times 30} = 1.63$$

$$m = 2.65$$

模套外径

$$D = md = 2.65 \times 50 = 132.5\text{mm}$$

组合套配合处直径

$$d_{\text{中}} = \sqrt{m}d = 1.63 \times 50 = 81.5\text{mm}$$

根据式(9-49)

$$p_{\text{预}} = \frac{1}{\sqrt{m}} p_{\text{侧}} = \frac{1}{1.63} \times 150 = 91.5\text{MPa}$$

根据式(9-51)验算 $p_{\text{预}}$,即

$$p_{\text{预}} = 91.5 \leq \frac{[\sigma]}{2} (\sqrt{m} - 1) = \frac{300}{2} (1.63 - 1) = 94.5\text{MPa}$$

符合不等式的要求,故安全。

按式(9-39)求半径上的过盈量 $\Delta r_{\text{中}}$,即

$$\Delta r_{\text{中}} = \frac{2 \times 91.5 \times 4.075^3}{2 \times 10^5} \left[\frac{2.65^2 - 1}{(2.65^2 + 1)4.075^2 - 2 \times 6.625^2} \right] = 0.0085\text{cm} = 0.085\text{mm}$$

直径上的过盈量为 $2\Delta r_{\text{中}} = 0.17\text{mm}$ 。

按式(9-41)求得热装时需要的温度 t (热装间隙取 0.10mm),即

$$t = \frac{0.085 + 0.10}{12.5 \times 10^{-6} \times 40.75} = 370^\circ\text{C}$$

(五) 强度条件的修正

前述为了便于计算,假设阴模模腔在总高上均受侧压强,实际上阴模只有在压坯高度上才

受侧压强,其它不与压坯接触段只是由于变形的连续性才受力,非接触段受力,一定程度上减轻了接触段的受力情况。但是,这个因变形连续性引起的减小接触段应力的效应,只有在压坯上下端面附近才起作用。当压坯高度大于10~15mm后,这个效应并不能减小压坯中部处阴模受的最大应力。因此,在压坯高度大于10~15mm时,前面所介绍的计算公式不必修正。

当压坯高度小于10~15mm时,这个效应就起到减小阴模受到的最大应力。压坯高度越小,这个效应作用就越大。

实验表明,在单位压力600MPa下,对于不同的压坯高度,同一阴模的外壁最大变形量则不相同(见表9-20)。

表 9-20 不同压坯高度时阴模外壁最大变形量

压坯高度 h/mm	26	15	6.5	3.26	1.6
阴模外径胀大 $\Delta_{\text{外}}/\mu\text{m}$	11.5	11.5	4.5	2.3	0.7

从材料力学可知,两向受力情况下,应力与应变的广义虎克定律为

$$\epsilon_{\text{r外}} = \frac{\Delta_{\text{外}}}{R} = \frac{1}{E}(\sigma_{\text{r外}} - \nu\sigma_{\text{t外}}) \quad (9-54)$$

因在实验条件下,阴模外壁径向应力 $\sigma_{\text{r外}}=0$,故

$$\epsilon_{\text{r外}} = \frac{\Delta_{\text{外}}}{R} = \frac{\sigma_{\text{t外}}}{E} \quad (9-55)$$

即阴模外径胀大 $\Delta_{\text{外}}$ 与外壁切向应力 $\sigma_{\text{t外}}$ 成正比($\Delta_{\text{外}} \propto \sigma_{\text{t外}}$)。

从式(9-6)及式(9-8)可知

$$\sigma_{\text{t外}} = \frac{2}{m^2 - 1} p_{\text{模}}$$

$$\sigma_{\text{t内}} = \frac{m^2 + 1}{m^2 - 1} p_{\text{模}}$$

或

$$\sigma_{\text{t内}} = \frac{m^2 + 1}{2} \sigma_{\text{t外}}$$

即阴模内壁切向应力 $\sigma_{\text{t内}}$ 与外壁切向应力 $\sigma_{\text{t外}}$ 成正比($\sigma_{\text{t内}} \propto \sigma_{\text{t外}}$)。

上述两个正比关系可知, $\Delta_{\text{外}} \propto \sigma_{\text{t内}}$ 。

令
$$K_2 = \frac{\Delta_{\text{外}}(h < 10 \sim 15 \text{mm 时})}{\Delta_{\text{外}}(h > 10 \sim 15 \text{mm 时})}$$

从实验例子中可得压坯不同高度时 K_2 修正值(见表9-21)。

表 9-21 压坯不同高度时 K_2 修正值

压坯高度 h/mm	26	15	6.5	3.26	1.6
外壁胀大 $\Delta_{\text{外}}/\mu\text{m}$	11.5	11.5	4.5	2.3	0.7
K_2	1	1	0.4	0.2	0.06

由于 $\Delta_{\text{外}} \propto \sigma_{\text{t内}}$,故

$$K_2 = \frac{\Delta_{\text{外}}(h < 10 \sim 15 \text{mm 时})}{\Delta_{\text{外}}(h > 10 \sim 15 \text{mm 时})} = \frac{\sigma_{\text{t内}}(h < 10 \sim 15 \text{mm 时})}{\sigma_{\text{t内}}(h > 10 \sim 15 \text{mm 时})}$$

或

$$\sigma_{i内}(h < 10 \sim 15\text{mm 时}) = K_2 \sigma_{i内}(h > 10 \sim 15\text{mm 时})$$

将上式代入式(9-9),可得

$$\sigma = K_2 \sigma_i - \nu \sigma_r = p_{模} \left[\frac{K_2 m^2 + K_2}{m^2 - 1} + \nu \right] \leq [\sigma] \quad (9-56)$$

或

$$m \geq \sqrt{\frac{[\sigma] + p_{模}(K_2 - \nu)}{[\sigma] - p_{模}(K_2 + \nu)}} \quad (9-57)$$

式(9-56)和式(9-57)是单层圆筒时,考虑到压坯较矮的修正后的计算式。

对于组合圆筒,考虑到压坯高度小于 10~15mm 时,需将式(9-35)和式(9-36)修正为

$$\sigma = K_1 K_2 \sigma_i - \nu \sigma_r = p_{模} \left[\frac{K_1 K_2 m^2 + K_1 K_2}{m^2 - 1} + \nu \right] \leq [\sigma] \quad (9-58)$$

或

$$m \geq \sqrt{\frac{[\sigma] + p_{模}(K_1 K_2 - \nu)}{[\sigma] - p_{模}(K_1 K_2 + \nu)}} \quad (9-59)$$

对于压制时阴模内侧切向应力为零的情况,当压坯高度小于 10~15mm 时,可将式(9-44)、式(9-45)及式(9-46)修正为

$$p_{模} \leq \frac{[\sigma] - p_{模} \left(\frac{K_2}{m-1} + \frac{\nu}{m+1} \right)}{K_2 \left(\frac{m+1}{m-1} \right) + \nu} \quad (9-60)$$

略去 $\nu \sigma_r$ 的影响,式(9-60)可简化为

$$p_{模} \leq \frac{1}{K_2(m+1)} [(m-1)[\sigma] - K_2 p_{模}] \quad (9-61)$$

$$m = \frac{[\sigma] + K_2 p_{模} + \sqrt{[\sigma]^2 + 4K_2[\sigma]p_{模}}}{2[\sigma] - K_2 p_{模}} \quad (9-62)$$

对于对开式两拼模,当压坯高度小于 10~15mm 时,式(9-52)和式(9-53)修正为

$$\sqrt{m} = \frac{[\sigma] + \sqrt{[\sigma]^2 + 8[\sigma]K_2^2 p_{模}}}{2[\sigma]} \quad (9-63)$$

或

$$m = \left[\frac{[\sigma] + \sqrt{[\sigma]^2 + 8[\sigma]K_2^2 p_{模}}}{2[\sigma]} \right]^2 \quad (9-64)$$

以上四种情况的修正式,只有当模具较大,为了节省模具材料,减轻重量和减小体积时才用。对于大多数中小模具可按不修正的式子计算。

二、刚性计算

(一) 单层圆筒的变形

根据广义虎克定律,在弹性范围内

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} (\sigma_r - \nu \sigma_t)$$

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta_r}{r_i} \quad (9-65)$$

式中 ε_t ——径向的相对伸长,即应变。

阴模内侧变形量 Δ_r 为

$$\Delta_r = \frac{r}{E} \left[\frac{m^2 + 1}{m^2 - 1} + \nu \right] p_{\text{侧}} \quad (9-66)$$

阴模外侧变形量 Δ_R 为

$$\Delta_R = \frac{R}{E} \left(\frac{2}{m^2 - 1} \right) p_{\text{侧}} \quad (9-67)$$

任意点的变形量 Δ_n 为

$$\Delta_n = \frac{r_i}{E} \left[\left(1 + \frac{R^2}{r_i^2} \right) - \nu \left(1 - \frac{R^2}{r_i^2} \right) \right] \frac{p_{\text{侧}}}{m^2 - 1} \quad (9-68)$$

(二) 组合圆筒的变形

这里指的变形是压制前后阴模径向尺寸的变化。

压制前,阴模内侧在外侧 $p_{\text{预}}$ 作用下,预先有一个向内的压缩应变 $\varepsilon_{t\text{前}}$,即

$$\varepsilon_{t\text{前}} = \frac{1}{E} \left[\frac{-2r_{\text{中}}^2}{r_{\text{中}}^2 - r^2} p_{\text{预}} + \nu \times 0 \right] = -\frac{2r_{\text{中}}^2}{E(r_{\text{中}}^2 - r^2)} p_{\text{预}}$$

压制后,阴模内侧的切向应力 $\sigma_{t\text{后}}$ 为

$$\sigma_{t\text{后}} = p_{\text{侧}} \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} - 2p_{\text{预}} \frac{r_{\text{中}}^2}{r_{\text{中}}^2 - r^2}$$

径向应力 $\sigma_{r\text{后}}$ 为

$$\sigma_{r\text{后}} = -p_{\text{侧}}$$

复合应力 $\sigma_{\text{后}}$ 为

$$\sigma_{\text{后}} = \sigma_{t\text{后}} - \nu \sigma_{r\text{后}} = p_{\text{侧}} \left(\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} + \nu \right) - 2p_{\text{预}} \frac{r_{\text{中}}^2}{r_{\text{中}}^2 - r^2}$$

阴模内侧的应变 $\varepsilon_{t\text{后}}$ 为

$$\varepsilon_{t\text{后}} = \frac{\sigma_{\text{后}}}{E} = \frac{1}{E} \left[\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} + \nu \right] p_{\text{侧}} - \frac{2}{E} \left[\frac{r_{\text{中}}^2}{r_{\text{中}}^2 - r^2} \right] p_{\text{预}}$$

压制前后应变的变化 ε_t 为

$$\varepsilon_t = \varepsilon_{t\text{后}} - \varepsilon_{t\text{前}} = \frac{1}{E} \left[\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} + \nu \right] p_{\text{侧}}$$

阴模内侧的变形 Δ_r 为

$$\Delta_r = \varepsilon_t r = \frac{r}{E} \left[\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} + \nu \right] p_{\text{侧}}$$

上式与式(9-66)相同。

同样可以证明,模套外侧的变形量 Δ_R 为

$$\Delta_R = \frac{R}{E} \left(\frac{2}{m^2 - 1} \right) p_{\text{侧}}$$

上式与式(9-67)相同。

以上推理说明,组合筒从变形来说与单层筒相同。也就是说预紧压强的存在,并不能改变模具的刚性。

(三) 刚性条件

压坯成形时,阴模内侧在 $p_{侧}$ 作用下,在外侧半径 R 处产生变形量 Δ_R ,即

$$\Delta_R = \frac{R}{E} \left(\frac{2}{m^2 - 1} \right) p_{侧}$$

当卸载后, $p_{侧}$ 消失,阴模产生弹性恢复,向中心收缩。随着收缩的进行,压坯产生向心的压缩变形,同时产生抗压应力,在某一个新的位置上,达到力的平衡。这时阴模外侧并未能恢复到原来的尺寸,而有一个剩余变形 $\Delta_{R剩}$,按式(9-67)可知

$$\Delta_{R剩} = \frac{R}{E} \left(\frac{2}{m^2 - 1} \right) p_{剩} \quad (9-69)$$

或

$$p_{剩} = \frac{E \Delta_{R剩} (m^2 - 1)}{2R} \quad (9-70)$$

对于已有的模具(已知 m 、 R 和 E),实测到阴模外侧剩余变形 $\Delta_{R剩}$ 之后,即可按式(9-70)求得压坯所受的剩余侧压强 $p_{剩}$ 。

压坯应当经受得起 $p_{剩}$ 的外力,即

$$p_{剩} < [\sigma_{压}]_{侧向} \quad (9-71)$$

式中 $[\sigma_{压}]_{侧向}$ —— 压坯侧向的抗压强度(MPa)。它取决于压坯的密度及粉料的成形性能等因素(见表 9-25)。

对于已知 $p_{侧}$,要求按刚性条件确定 m 值时,其计算式推导如下:

在压制时,阴模内侧受侧压强 $p_{侧}$ 产生变形 Δ_r ,其值按式(9-66)可得

$$\Delta_r = \frac{r}{E_{阴}} \left[\frac{m^2 + 1}{m^2 - 1} + \nu_{阴} \right] p_{侧}$$

卸压后,阴模内侧回弹收缩,在剩余侧压强 $p_{剩}$ 作用下,压坯被压缩 $\Delta_{r压坯}$ (见图 9-11),其值为

$$\Delta_{r压坯} = \frac{r}{E_{压坯}} (\sigma_r - \nu \sigma_r)$$

根据式(9-12)及式(9-13)可知

$$\sigma_r = \sigma_r = -p_{剩}$$

代入后

$$\Delta_{r压坯} = \frac{-rp_{剩}}{E_{压坯}} (1 - \nu_{压坯})$$

与此同时,卸压后,阴模内壁上 $p_{剩}$ 作用下,向外胀 $\Delta_{r阴模}$,按式(9-66)可知

$$\Delta_{r阴模} = \frac{r}{E_{阴}} \left[\frac{m^2 + 1}{m^2 - 1} + \nu_{阴} \right] p_{剩}$$

由图 9-11 可知

$$\Delta_r = |\Delta_{r压坯}| + |\Delta_{r阴模}|$$

$$\frac{rp_{侧}}{E_{阴}} \left(\frac{m^2 + 1}{m^2 - 1} + \nu_{阴} \right) = \frac{rp_{剩}}{E_{阴}} \left(\frac{m^2 + 1}{m^2 - 1} + \nu_{阴} \right) + \frac{rp_{剩}}{E_{压坯}} (1 - \nu_{压坯})$$

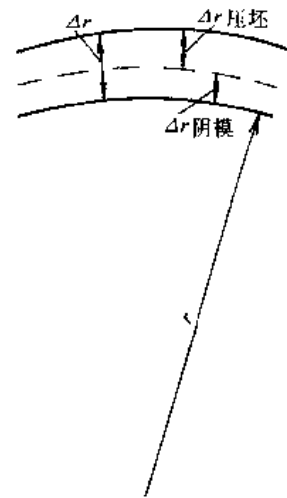


图 9-11 压制卸压后阴模与压坯的变形示意图

$$p_{\text{剩余}} = p_{\text{阴}} \frac{\frac{1}{E_{\text{阴}}} \left(\frac{m^2+1}{m^2-1} + \nu_{\text{阴}} \right)}{\frac{1}{E_{\text{阴}}} \left(\frac{m^2+1}{m^2-1} + \nu_{\text{阴}} \right) + \frac{1}{E_{\text{压坯}}} (1 - \nu_{\text{压坯}})} \quad (9-72)$$

令

$$j = \frac{\frac{1}{E_{\text{阴}}} \left(\frac{m^2+1}{m^2-1} + \nu_{\text{阴}} \right)}{\frac{1}{E_{\text{阴}}} \left(\frac{m^2+1}{m^2-1} + \nu_{\text{阴}} \right) + \frac{1}{E_{\text{压坯}}} (1 - \nu_{\text{压坯}})} \quad (9-73)$$

则

$$p_{\text{剩余}} = j p_{\text{阴}}$$

若阴模为钢材, 则 $E_{\text{阴}} = 2 \sim 2.1 \times 10^5 \text{MPa}$, $\nu_{\text{阴}} = 0.3$ 。若铁基压坯, 其 $E_{\text{压坯}}$ 及 $\nu_{\text{压坯}}$ 列于表 9-22。

表 9-22 铁基压坯的 $E_{\text{压坯}}$ 及 $\nu_{\text{压坯}}$ 值

压坯密度 $\gamma/\text{g/cm}^3$	弹性模数 $E_{\text{压坯}}/\text{MPa}$	泊松比 $\nu_{\text{压坯}}$	压坯密度 $\gamma/\text{g/cm}^3$	弹性模数 $E_{\text{压坯}}/\text{MPa}$	泊松比 $\nu_{\text{压坯}}$
6.3	$0.95 \sim 1 \times 10^5$	0.20	7	$1.4 \sim 1.5 \times 10^5$	0.25
6.6	1.2×10^5	0.22	7.6	1.9×10^5	0.26

下面列举不同 m 值, j 变化的情况。对于钢模, $E_{\text{阴}} = 2 \times 10^5 \text{MPa}$, $\nu_{\text{阴}} = 0.3$; 压坯为铁基材料, 密度为 6.6g/cm^3 , 查表 9-22 可知 $E_{\text{压坯}} = 1.2 \times 10^5 \text{MPa}$, $\nu_{\text{压坯}} = 0.22$ 。将上述数值代入 j 的定义式后, 可得不同 m 值时 j 值的变化, 见表 9-23。

表 9-23 m 与 j 的关系 (铁基压坯密度为 6.6g/cm^3)

m	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.5	3	4	∞
j	0.89	0.82	0.76	0.70	0.69	0.67	0.64	0.63	0.61	0.60	0.58	0.56	0.54	0.53	0.50

从式(9-67)及式(9-69)可知

$$\frac{\Delta_{R\text{剩}}}{\Delta_R} = \frac{p_{\text{剩余}}}{p_{\text{阴}}} = j$$

以上的推论被实验所证实。阴模外半径 $R = 35 \text{mm}$, 内半径 $r = 10 \text{mm}$, $m = \frac{R}{r} = 3.5$, 单位压力 700MPa 时, 压坯密度 $\gamma = 6.55 \text{g/cm}^3$ (相对密度 $\theta = 0.84$), 实测阴模外侧变形 $2\Delta_R = 14 \mu\text{m}$, 卸压后阴模外侧剩余变形 $2\Delta_{R\text{剩}} = 7.5 \mu\text{m}$, 则

$$j = \frac{2\Delta_{R\text{剩}}}{2\Delta_R} = \frac{7.5}{14} = 0.535$$

该值与表 9-23 中被公式计算的值相符合, 即按表 9-23 可查到

$$m = 3 \text{ 时, } j = 0.54$$

$$m = 4 \text{ 时, } j = 0.53$$

故 $m = 3.5$ 时, j 约 0.535 左右。

另外, 按式(9-67), 将实测 $2\Delta_R = 14 \mu\text{m}$ 代入, 得

$$p_{侧} = \frac{0.0007 \times 2 \times 10^5}{3.5} \left(\frac{3.5^2 - 1}{2} \right) = 225 \text{MPa}$$

按式(9-4)亦可算得

$$p_{侧} = \xi_0 \theta p = 0.38 \times 0.84 \times 700 = 224 \text{MPa}$$

这两种计算极为相近。

刚性条件是 $p_{侧}$ 不得大于压坯侧向允许承受的抗压强度, 否则压坯未脱模时已裂了。即

$$p_{侧} = j p_{侧} \leq [\sigma_{压}]_{侧向} \quad (9-74)$$

或

$$j \leq \frac{[\sigma_{压}]_{侧向}}{p_{侧}} \quad (9-75)$$

对于密度在 6.6g/cm^3 左右的铁基压坯, 从表 9-23 及式(9-75)可知:

1) 若 $\frac{[\sigma_{压}]_{侧向}}{p_{侧}} \geq 0.7$ 时, 一般可不必验算刚性, 因按强度条件确定的 m 值一般在 1.4 以上, 因此按表 9-23 可知 $j < 0.7$, 符合式(9-75)的刚性条件。

2) 若 $\frac{[\sigma_{压}]_{侧向}}{p_{侧}} < 0.5$ 时, 则无论模壁增多厚, 即 $m \rightarrow \infty$, 因 $j > 0.5$, 不能满足式(9-75)的刚性条件, 即压坯均不能成型。

3) 若 $0.5 < \frac{[\sigma_{压}]_{侧向}}{p_{侧}} < 0.7$ 时, 则应同时进行强度及刚性的验算, 取其中 m 大的值。

不同阴模材料的许用应力值, 见表 9-24。

表 9-24 不同阴模材料的许用应力值 (MPa)

材 料	碳素工具钢	合金工具钢	硬 质 合 金	
			YG8	YG15
许用应力 $[\sigma]$	300	500	250	400

注: 以上数值来自对于钢, 安全系数为 2.5 左右; 对于硬质合金为 3 左右。

压坯的侧向抗压强度 $[\sigma_{压}]_{侧向}$ 取决于粉料的成形性能及压坯密度。如塑性好的粉料, $[\sigma_{压}]_{侧向}$ 则大; 粉料中多加石墨、硬脂酸锌及其它降低压坯强度的添加剂, 则 $[\sigma_{压}]_{侧向}$ 降低; 压坯密度提高时, $[\sigma_{压}]_{侧向}$ 则增大, 但与此同时 $p_{侧}$ 也剧增。具体粉料压坯的 $[\sigma_{压}]_{侧向}$ 应由实验测定。表 9-25 列举了还原铁基粉末压坯的 $[\sigma_{压}]_{侧向}$ 值。质量差的铁粉 $[\sigma_{压}]_{侧向}$ 更小, 需实验测定。

表 9-25 铁基压坯侧向许用的抗压强度 $[\sigma_{压}]_{侧向}$

材料成分	理论密度 /g/cm ³	压坯密度 γ_K /g/cm ³	相对密度 θ (%)	单位压力 p /MPa	单位侧压力 $p_{侧}$ /MPa	$[\sigma_{压}]_{侧向}$ /MPa	$\frac{[\sigma_{压}]_{侧向}}{p_{侧}}$
铁-0.8%硬脂酸 锌-0.1%机油	7.8	6.18	80	400	120	120	1
		6.6	85	700	226	170	0.75
铁-1.5%石墨- 0.1%机油	7.5	6	80	400	120	130	1.08
		6.5	87	700	233	210	0.90
铁-3%石墨- 0.1%机油	7.2	5.85	82	400	125	90	0.72
		6.33	88	700	234	150	0.64

从表 9-25 可看出,相同成分的压坯,压坯密度越高,虽然 $[\sigma_{\text{压}}]_{\text{侧向}}$ 提高,但 $p_{\text{侧}}$ 增加得更快,对刚性条件不利;石墨含量增加,使 $[\sigma_{\text{压}}]_{\text{侧向}}$ 下降,对刚性条件不利。表中所列的前五种情况,由于 $[\sigma_{\text{压}}]_{\text{侧向}}/p_{\text{侧}}$ 均大于 0.7,故无需验算刚性条件;唯最后一种情况,需要刚性与强度同时验算。

三、阴模壁厚推荐数据

根据理论计算,并通过多年来生产实践验证,对铁基粉末冶金压坯成形模具的阴模壁厚推荐数据可参见表 9-26、表 9-27。

表 9-26 套类和多尖角压坯的组合模具壁厚推荐值

压坯密度/(g/cm ³)	>5.8~6.2	>6.2~6.4	>6.4~6.6	>6.6~6.8	>6.8~7.0
$m=D/d$	1.8~2.0	2.2~2.3	2.5~2.8	3.0~3.2	3.4~3.6
外径 D	(1.8~2.0) d	(2.2~2.3) d	(2.5~2.8) d	(3.0~3.2) d	(3.4~3.6) d
中径 $d_b=2r_b$	(1.3~1.4) d	(1.5~1.52) d	(1.6~1.7) d	(1.7~1.8) d	(1.85~1.9) d
半径过盈量 Δ	0.0007 r_b	0.00075 r_b	0.0003 r_b	0.001 r_b	0.0015 r_b

注:1. 阴模为拼块结构和采用硬质合金制造者,本表不适用;

2. 本表适用压制铁基压坯,其高 $h>15\text{mm}$;

3. 对套类压坯, m 值可取较小值。

表 9-27 阴模为拼块式或硬质合金制造的组合模具的壁厚推荐值

压坯密度/(g/cm ³)	>5.8~6.2	>6.2~6.4	>6.4~6.6	>6.6~6.8	>6.8~7.0	
$m=D/d$	2.0~2.4	2.5~2.7	2.8~3.0	3.2~3.4	4.5~5.0	
外径 D	(2.0~2.4) d	(2.5~2.7) d	(2.8~3.0) d	(3.2~3.4) d	(4.5~5.0) d	
中径 $d_b=2r_b$	(1.4~1.55) d	(1.6~1.65) d	(1.7~1.73) d	(1.8~1.84) d	(2.2~2.4) d	
半径过盈量 Δ	阴模与模套均为钢材	0.001 r_b	0.00125 r_b	0.0015 r_b	0.002 r_b	0.0025 r_b
	阴模镶嵌件为硬质合金和模套为钢材	(0.00125~0.0009) r_b	(0.001~0.00125) r_b	(0.00125~0.0014) r_b	(0.0015~0.00175) r_b	(0.002~0.00225) r_b

注:1. 适用于压制铁基压坯,其高 $h>15\text{mm}$;

2. 采用硬质合金镶嵌件; $d\leq 25\text{mm}$ 时, $d_b=(2.6\sim 2.9)d$, $D=(6.76\sim 8.41)d$; $d>25\sim 50\text{mm}$ 时, $d_b=(1.5\sim 2.4)d$, $D=(2.56\sim 5.76)d$ 。

3. r_b 为组合圆筒阴模配合柱面半径。

第四节 模具设计实例

为使设计者能系统了解和利用本手册的数据和资料,本节试图通过五种不同类型的粉末冶金零件的模具设计实例,以启示使用粉末冶金模具设计程序及查阅本手册数据和资料的方法。

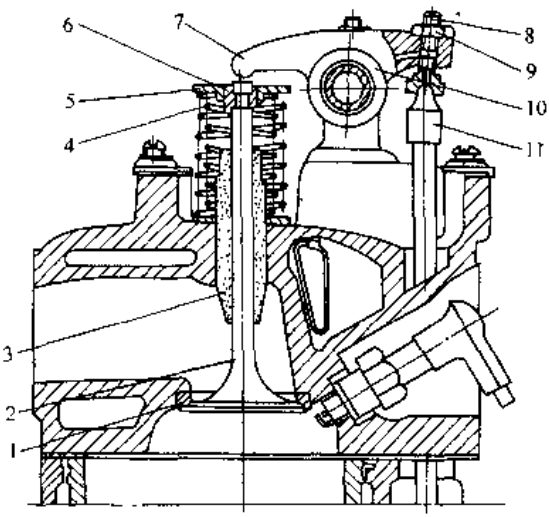
一、气门导管零件模具设计示例

图 9-12 是柴油机气门导管,年产 100 万件,采用粉末冶金工艺生产。

(一) 产品分析

气门导管的工况调查及其材料牌号选择见表 9-28。

表 9-28 气门导管的工况调查及材料牌号选择

名称	内 容	备 注
工况调查	1) 用于汽车发动机顶置式气门配气机构, 功能是保证气门对气缸的密封 2) 导管内孔在 2000 次/min 往复情况下, 确保气门作直线运动, 外径压配在气缸盖上; 在 70~100°C 温度及润滑条件不良的条件下工作 3) 强度要求: K 值大于 250MPa	
机构简介	 <p>1—气门座 2—气门 3—气门导管 4—气门弹簧 5—气门弹簧座 6—气门锁片 7—气门摇臂 8—调整螺钉 9—锁紧螺母 10—摇臂轴 11—挺杆</p>	
材料选择	1) 据使用工况, 查表 2-8 选用 Fe-C-Cu 系列材料, 牌号: P2031Z/ISO5755/I 2) 材料成分: Fe < 0.25% C (1~4)% Cu 3) 密度: 6~6.4 (g/cm ³)	

(二) 制造工艺及模具设计参数选择

根据导管内外径的尺寸公差, 需采用内外径精整来达到该精度。因此, 导管生产工艺拟定为压制后烧结再精整。选定的有关工艺参数见表 9-29。

(三) 设计计算

气门导管压制成形用压机确定见表 9-30, 气门导管模具径向尺寸计算见表 9-31, 气门导管模具轴向尺寸计算见表 9-32。

(四) 模具结构设计及分析

1. 气门导管的阴模浮动式成形模结构可参见第七章图 7-12。

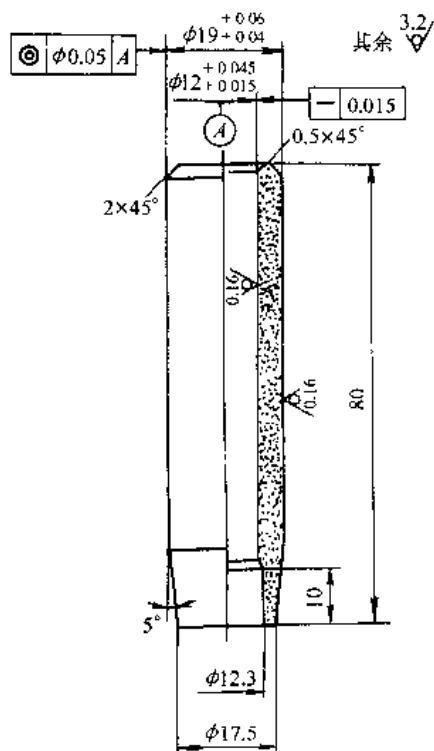


图 9-12 气门导管零件图

表 9-29 气门导管模具设计工艺参数

项目	设计参数			依据	
材料	Fe-0.25C-(1%~4%)Cu			使用工况及表 2-2	
压坯密度	6.2/(g/cm ³)			表 2-2	
产品工艺	压制→烧结→外箍内精整				
工艺参数	部位	内径 <i>d</i>	外径 <i>D</i>	$D = \phi 19 \pm 0.06$ $d = \phi 12 \pm 0.015$	
	工序				
	精整	回弹量 δ	0.01mm	0.025mm	表 9-11
	精整	余量 Δ	0	0.05mm	表 9-11
		烧结收缩率 <i>c</i>	0.15%	0.15%	表 9-10
	压制回弹率 <i>e</i>	0.20%	0.20%	表 9-9	

表 9-30 气门导管压制成形用压机确定

项目	计算公式	计算数据及依据	结果
压制力 <i>P</i>	$P = \rho S$	$S = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} (19^2 - 12^2)$	$S = 170\text{mm}^2$ $p = 4 \times 10^2 \text{MPa}$ $P = 68\text{kN}$
脱模力 $P_{\text{脱}}$	$P_{\text{脱}} = f' p_{\text{侧余}} S_{\text{侧}}$	$f' = 0.18$ $p_{\text{侧余}} = 0.2p$ $S_{\text{侧}} = \pi DH = \pi \times 19 \times 80$	$p_{\text{侧余}} = 0.8 \times 10^2 \text{MPa}$ $S_{\text{侧}} = 4800\text{mm}^2$ $P_{\text{脱}} = 69\text{kN}$
压坯高度验算	$H_{\text{max}} = \frac{\rho_0}{\rho} \times (F_{\text{max}} - 10)$ $H \leq H_{\text{max}}$	$\rho_0 = 2.5\text{g/cm}^3$ (表 9-8) $\rho = 6.2\text{g/cm}^3$ $F_{\text{max}} = 250\text{mm}$ (300kN 浮动式成形压机最大粉末充填高度)	$H_{\text{max}} = 96\text{mm}$ $H = 80\text{mm}$ $H < H_{\text{max}}$ 可行
压制方式选择	$K = \frac{1 - \left(\frac{\rho_{\text{min}}}{\rho_{\text{max}}}\right)^{1/\alpha}}{f \xi}$	详见本手册第三章 $K = 12.49$ $\frac{H}{T} = 22.86$ $\frac{K}{2} \left(1 + \frac{d}{T}\right) = 27.66$	该细长气门导管可以压制, 由于 $d > T$, 最好用摩擦芯棒压制, 但实施困难, 现采用浮动阴模压制
压制用成形压机选定	1) <i>S</i> 2) <i>P</i> 和 $P_{\text{脱}}$ 3) 装粉高度 H_0 4) 压制方式	$S = 170\text{mm}^2$ $P = 68\text{kN}, P_{\text{脱}} = 69\text{kN}$ $H_0 = \frac{\rho}{\rho_0} H = \frac{6.2}{2.5} \times 80 = 198$ 浮动阴模	选用 300kN 浮动模架液压式粉末成形压机

表 9-31 气门导管模具径向尺寸计算

模具工艺参数 (表 9-29)					工艺尺寸 /mm	计算式(表 9-2) 外筒内精整	模具尺寸 /mm		
部 位	工 序				精 整 件	$d = \phi 12 \pm \begin{smallmatrix} 0.045 \\ 0 \\ 0.015 \end{smallmatrix}$ $D = \phi 19 \pm \begin{smallmatrix} 0.05 \\ 0 \\ 0.01 \end{smallmatrix}$	$d_1 = d_{max} - \delta_{内}$ $D_1 = D_{min} - \delta_{外}$	精 整 模	$d_r = \phi 12.03$ $D_r = \phi 19.02$
	精 整	烧 结	压 制	烧 结 件					
	回弹量 /mm	精整余量 /mm	收缩量 /mm	回弹量 /mm	$d' = \phi 12.03$ $D' = \phi 19.07$	$d'' = d'(1 + C_{内})$ $D'' = D'(1 + C_{外})$			
$d_{内径}$	$\delta_{内} = 0.01$	$\Delta_{内} = 0$	$C_{内} = 0.0015$	$e_{内} = 0.002$	压 坯	$d'' = \phi 12.05$	$d_m = d(1 + C_2 - e_2)$	压 制 模	$d_m = \phi 12.02$
$D_{外径}$	$\delta_{外} = 0.025$	$\Delta_{外} = 0.05$	$C_{外} = 0.0015$	$e_{外} = 0.002$	环	$D'' = \phi 19.10$	$D_m = D_r(1 + C_1 - e_1) + \Delta_1$		$D_m = \phi 19.06$

表 9-32 气门导管模具轴向尺寸计算

零件名称	图 例	项 目	计 算 式	结 果
成 形 阴 模		D	表 9-27 $D = 2.6d$	$D = \phi 58$
		d_b	表 9-27 $d_b = 1.65d$	$d_b = \phi 35$
		阴模 高 H_i	表 9-6 $H_i = CH + (10 \sim 20)$ $C = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{6.2}{2.5} = 2.48$ $H = 80$	$C = 2.48$ $H_i = 198.4 + 26.6 = 225$ (导管细长附加 27)
芯 棒		长 度	表 9-7 $L_1 = CH$ $L_2 = H_1 + (25 \sim 30)$ $L_0 = L_1 + L_2$	$L_1 = 198.4$ (导管细长 L_1 取大) $L_2 = 255$ $L_0 = 453.4 \approx 455$

2. 压坯成形分析

由于采用浮动阴模压制,通过上模冲进入阴模后强制浮动。对属于细长件类($L/D > 3$)的导管压坯而言,压制时粉末移动距离较长,易产生密度差。密度差的产生是由阴模内壁和芯棒外圆对粉末的摩擦阻力增大所致。其影响因素主要有:

- 1) 阴模内径和芯棒外径的表面粗糙度的高低;
- 2) 混合粉末的松装密度及压缩性能;
- 3) 压制方式等。

为了使压坯的密度差控制在 $0.3g/cm^3$ 范围内,可通过调节上模冲长度(即进入阴模的深度)来调整。在生产实践中,上模冲长度可定为两档尺寸($H_1 = 70, H_2 = 80$);进入阴模深度分别为($h_1 = 20, h_2 = 30$),可通过测定压坯首件的密度差来确定。导管压坯的上、中、下密度分布见图 9-13。

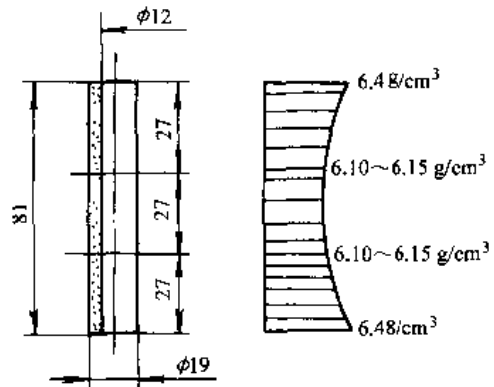


图 9-13 导管压坯密度分布图

二、活塞零件模具设计示例

汽车减震器活塞(见图 9-14)年产 60 万件,采用粉末冶金工艺生产。

(一) 产品分析

减震器活塞的工况调查及其材料牌号选择见表 9-33。

(二) 工艺参数及模具设计参数选择

根据活塞的内外径尺寸公差、形状及气密性要求,确认需采用压制-烧结-全精整-水蒸气处理工艺。选定的有关工艺参数见表 9-34。

(三) 设计计算

活塞压制成形压机的确定见表 9-35,活塞模具径向尺寸计算见表 9-36,活塞成形模轴向尺寸计算见表 9-37,活塞全精整模轴向尺寸计算见表 9-38。

(四) 模具结构设计

减震器活塞全精整模具结构设计及其压制成形模结构设计可参见图 7-30。

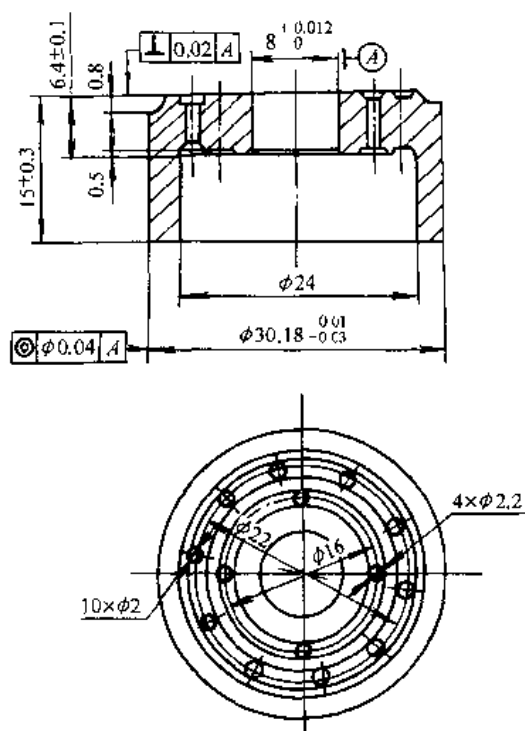
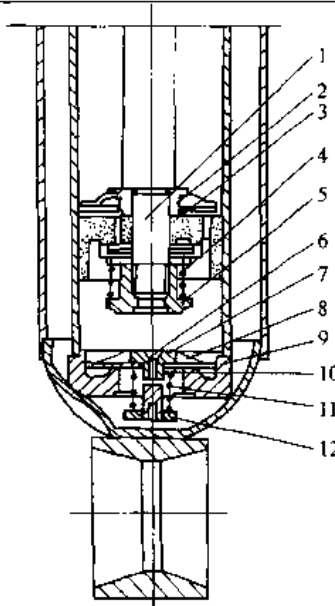


图 9-14 减震器活塞零件图

表 9-33 减震器活塞的工况调查及材料牌号选择

名称	内容	备注
工况调查	1) 用于汽车悬架的液力减震器中,利用液体流动阻力来消除振动,对活塞要有一定气密性要求 2) 活塞外径割槽配环,以防漏油,在 1750 次/min 往复运动。内孔与活塞杆间隙配合 3) 强度要求: $\sigma_b \geq 200\text{MPa}$	
机构简图	 <p>1—活塞杆 2—压套 3—活塞 4—弹簧 5—压紧螺母 6—弹簧片 7—阀杆 8—进油阀门 9—座圈 10—阀门 11—弹簧 12—底座</p>	

(续)

名称	内容	备注
材料选择	1) 据使用工况,查附录表 D-2 选用 Fe-C 系列材料,牌号:F-0005-20/MPIF35 2) 材料成分:Fe-(0.3~0.6)%C 3) 密度:6.4~6.8(g/cm ³)	

表 9-34 减震器活塞模具设计工艺参数

项目	设计参数				依据	
材料	Fe-(0.3~0.6)C				使用工况	
压坯密度	6.6g/cm ³				附录表 D-2	
产品工艺	压制-烧结-全精整-水蒸气处理					
工艺参数	部位	工序	d	D	d_1	小孔 $d = \phi 8^{+0.012}$ 外径 $D = \phi 30.18_{-0.03}^{-0.01}$ 大孔 $d_1 = \phi 24$
			精整	回弹率 $i/\%$	0.1	0.12	0.12	表 9-14
		余量率 $q/\%$	0.1	0.12	0.10	表 9-14
		烧结收缩率 $c/\%$	0.2	0.2	0.2	表 9-10
	压制回弹率 $e/\%$	0.2	0.25	0.2	表 9-9	

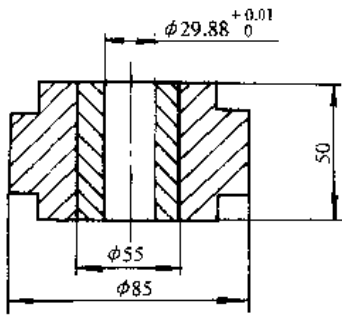
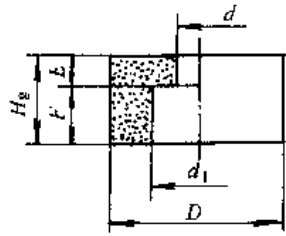
表 9-35 活塞压制成形机确定

项目	计算公式	计算数据及依据	结果
压制力 P	$P = pS$	$S = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4}(30.2^2 - 8^2)$	$S = 666\text{mm}^2$ $p = 5 \times 10^2 \text{MPa}$ $P = 333\text{kN}$
脱模力 $P_{脱}$	$P_{脱} = f' p_{剩} S_{剩}$	$f' = 0.2$ $p_{剩} = 0.2p$ $S_{剩} = \pi DH = \pi \times 30.2 \times 15$	$p_{剩} = 1 \times 10^2 \text{MPa}$ $S_{剩} = 1423\text{mm}^2$ $P_{脱} = 28.5\text{kN}$
压坯高度验算	$H_{max} = \frac{\rho_0}{\rho}(F_{max} - 10)$ $H \leq H_{max}$	$\rho_0 = 2.5\text{g/cm}^3$ (表 9-8) $\rho = 6.6\text{g/cm}^3$ $F_{max} = 185\text{mm}$ (表 4-20 TPA50/2 压机的最大装料高) $H = 15$	$H_{max} = 66\text{mm}$ $H < H_{max}$ 可行
压制方式选择	$K = \frac{S_{剩t} + S_{剩c}}{S}$ $S = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$ $K < \text{单向 } K_{max}$	$S_{剩t} = S_c = 1423\text{mm}^2$ $S_{剩c} = \pi H(A + c) = \pi \times 15(8 + 24) = 1508\text{mm}^2$ $S = 666\text{mm}^2, K = 4.386$ 单向 $K_{max} = 4$ ($f = 0.1$, 表 3-5)	因为 $K > \text{单向 } K_{max}$, 压坯有内台肩, 选择双向压制
压制成形压机确定	1) S 2) P 和 $P_{脱}$ 3) 装粉高度 H_0 4) 压制方式	$S = 666\text{mm}^2$ $P = 333\text{kN}, P_{脱} = 28.5\text{kN}$ $H_0 = \frac{\rho}{\rho_0} H = \frac{6.6}{2.5} \times 15 = 39.6\text{mm}$ 双向压制	由表 4-20 选用 TPA50/2 机械式压制成形压机

表 9-36 活塞模具径向尺寸计算

模具工艺参数 (表 9-34)					工艺尺寸 /mm	计算公式 (表 9-2)全精整	模具尺寸 /mm		
部 位	精 整		烧 结 收 缩 率 $c(\%)$	压 制 回 弹 率 $e(\%)$	精 整 件	$d = \phi 8^{-0.014}_0$ $D = \phi 30^{0.0}_{0.03}$ $d_1 = \phi 24$	$d_t = d_{\max}(1 - i_1)$ $D_t = D_{\min}(1 - i_2)$ $d_{1t} = d_{1\max}(1 + i_3)$	精 整 模	$d_t = \phi 8.02$ $D_t = \phi 29.93$ $d_{1t} = \phi 24.13$
	回 弹 率 $i(\%)$	余 量 率 $q(\%)$								烧 结 件	$d' = \phi 8.03$ $D' = \phi 29.90$ $d'_1 = \phi 24.15$	$d' = d''(1 - c_1)$ $D' = D''(1 - c_2)$ $d'_1 = d''_1(1 - c_3)$
d	$i_1 = 0.1$	$q_1 = 0.1$	$c_1 = 0.2$	$e_1 = 0.2$	压 坯	$d'' = \phi 8.05$	$d_m = d_r(1 + c_1 - e_1 + q_1)$	压 制 模	$d_m = \phi 8.03$
D	$i_2 = 0.12$	$q_2 = 0.12$	$c_2 = 0.2$	$e_2 = 0.25$		$D'' = \phi 29.96$	$D_m = D_r(1 + c_2 - q_2)$		$D_m = \phi 29.88$
d_1	$i_3 = 0.12$	$q_3 = 0.1$	$c_3 = 0.2$	$e_3 = 0.2$		$d''_1 = \phi 24.20$	$d_{1m} = d_{1r}(1 + c_3 - e_3 + q_3)$		$d_{1m} = \phi 24.15$

表 9-37 活塞成形模轴向尺寸计算

零件名称	图 例	项目	计 算 式	结 果/mm												
成 形 阴 模		D	表 9-27, $D = 2.8d$	$D = \phi 85$												
		d_b	表 9-27, $d_b = 1.7d$	$d_b = \phi 55$												
		阴 模 高 H_i	表 9-6 $H_i = CH + (10 \sim 20)$ $C = \frac{p}{\rho_0}$ $H = 15\text{mm}$	$C = 2.64$ $H_i = 50$												
压 坯		压 坯 高 度	表 9-14 全精整压下率 $g = 5\%$ 精整前高度 $H_g = H(1 + g)$ $H = 15\text{mm}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>部 位</th> <th>E</th> <th>F</th> <th>H_g</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>精 整 件</td> <td>6.4 ± 0.1</td> <td>8.6</td> <td>15 ± 0.3</td> </tr> <tr> <td>压 坯</td> <td>6.72</td> <td>9.03</td> <td>15.75^{+0.2}₀</td> </tr> </tbody> </table>	部 位	E	F	H_g	精 整 件	6.4 ± 0.1	8.6	15 ± 0.3	压 坯	6.72	9.03	15.75 ^{+0.2} ₀
			部 位	E	F	H_g										
精 整 件	6.4 ± 0.1	8.6	15 ± 0.3													
压 坯	6.72	9.03	15.75 ^{+0.2} ₀													

(续)

零件名称	图例	项目	计算式	结果/mm
成形下模冲		下模冲高度	$h_g = CH_g$ $e = CE$ $f = CF$ 表 9-7 $H_1 = H_t + (25 \sim 30)$ $H_3 \text{ 由结构定}$ $H_2' = H_1' + F + H_3$ $\Delta H_1 = H_1' \frac{p}{E}$ $\Delta H_2 = H_2' \frac{p}{E}$ $p = 5 \times 10 \text{ MPa}$ $E = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$ $\Delta = \Delta H_2 - \Delta H_1$ $H_2'' = H_2' + \Delta$	$h_g = 42$ $e = 13$ $f = 24$ $H_1' = 80$ $H_3 = 100$ $H_2' = 189.03$ $\Delta H_1 = 0.19$ $\Delta H_2 = 0.45$ $\Delta = 0.26$ $H_2'' = 188.29$

表 9-38 活塞全精整模轴向尺寸计算

零件名称	图例	项目	计算式	结果
阴模		阴模高度 H	$H_t = h' + h'' + H$ $h' = (5 \sim 8) \text{ mm}$ $h'' = (20 \sim 30) \text{ mm}$ $H = 15 \text{ mm}$	$H_t = 50 \text{ mm}$
下模冲		下模冲高度	$H_1', H_2' \text{ 见表 9-37}$ 与成形模相同	$H_1' = 80 \text{ mm}$ $H_2' = 189.29 \text{ mm}$

三、齿轮零件模具设计示例

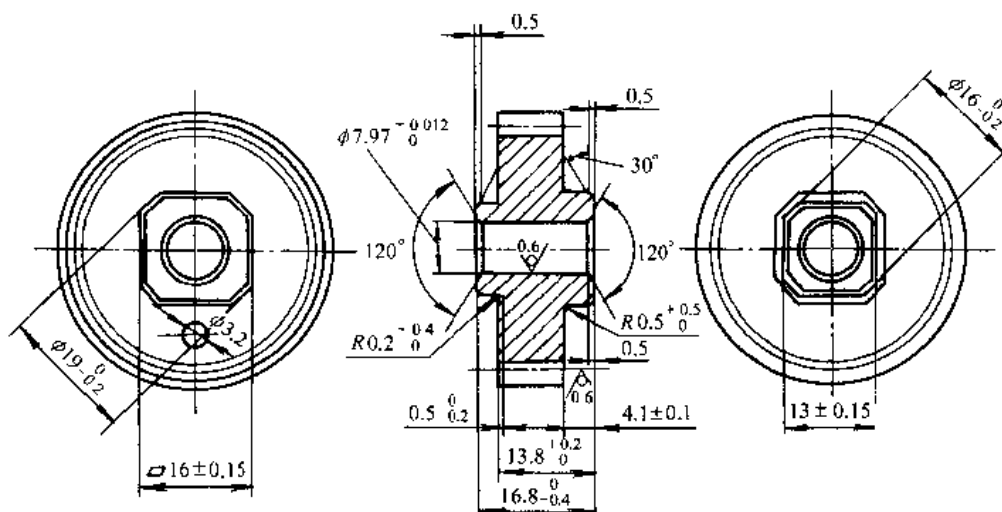
图 9-15 是汽车发动机分配泵传动齿轮, 年产 100 万件, 采用粉末冶金工艺生产。

(一) 产品分析

传动齿轮的工况调查及其材料牌号选择见表 9-39。

(二) 选择合适的制造工艺及模具设计参数

根据齿轮的齿形精度及内孔精度(+0.012)的要求, 查表 2-36, 需采取全精整工序来达到要求。采用压制-烧结-全精整-齿圈高频淬火生产工艺。选定的有关工艺参数见表 9-40。



齿 轮 参 数		齿 轮 参 数	
模数 m	1.5	分度圆直径 d_f (mm)	$\phi 32.60$
齿数 Z	23	齿根圆直径 d_g (mm)	$\phi 32.42_{-0.03}$
压力角 α	20°	公法线长度 l_n (mm)	$16.52_{+0.04}$
变位系数 x	+0.513	跨齿数 n	4
齿顶圆直径 d_k (mm)	$\phi 39.10_{-0.12}$		

图 9-15 传动齿轮零件图

表 9-39 传动齿轮的工况调查及材料牌号选择

名 称	内 容	备 注
工况调查	1) 用于汽车分配泵的传动机构。在 2000r/min 条件下,使油泵正常工作 2) 齿轮啮合传动时,齿形误差(公法线变动量)将影响油泵运动精度 3) 强度要求: $\sigma_b \geq 240\text{MPa}$ 齿部硬度: 68~75HRA	
材料选择	1) 据使用工况,查附录表 D-5 及 D-6 选用 Fe-C-Cu-Ni 系列材料,牌号: FN-0208-30/ MPIF35 2) 材料成分: Fe-(0.6~0.9)%C-2.5%Cu-(1~3)%Ni 3) 密度: 6.8~7.0(g/cm ³)	

表 9-40 传动齿轮模具设计工艺参数

项 目	设 计 参 数	依 据
材料 压坯密度	Fe-(0.6~0.9)%C-2.5%Cu-(1~3)%Ni 密度: 6.8~6.9g/cm ³	使用工况
产品工艺	压制-烧结-全精整-高频淬火	使用工况及表 2-36

(续)

项目	设计参数				依据	
工艺参数	部位		D	A	d	$D = \phi 39.10_{-0.012}^0$ $A = 16.52_{-0.04}^0$ $d = \phi 7.97_{-0.012}^0$
	全精整	回弹率 $i(\%)$	0.12	0.12	0.1	表 9-14
		余量率 $q(\%)$	0.25	0.24	0.1	表 9-14
	烧结收缩率 $c(\%)$		0.25	0.25	0.2	表 9-10
	压制回弹率 $r(\%)$					表 9-9

注: D、A、d 部位见表 9-43 压件图。

(三) 设计计算

齿轮的压制成形压机确定见表 9-41, 齿轮模具径向尺寸计算见表 9-42, 齿轮成形模轴向尺寸计算见表 9-43, 齿轮全精整模轴向尺寸计算见表 9-44。

(四) 模具结构设计

传动齿轮的压制成形模结构设计可参见图 7-34。

表 9-41 齿轮的压制成形压机确定

项目	计算公式	计算数据及依据	结果
压制力 P	$P = pS$	$S = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} (39.1^2 - 7.97^2)$	$S = 1150.84\text{mm}^2$ $p = 6 \times 10^2 \text{MPa}$ $P = 6905\text{kN}$
脱模力	$P_{脱} = f' p_{制余} S_{制}$	$f' = 0.25$ $p_{制余} = 0.2p$ $S_{制} = m(8Z - 7.75)H$	$p_{制余} = 1.2 \times 10^2 \text{MPa}$ $S_{制} = 4970.25\text{mm}^2$ $P_{脱} = 1491.08\text{kN}$
压坯高度验算	$H_{max} = \frac{\rho_0}{\rho} (F_{max} - 10)$ $H \leq H_{max}$	$\rho_0 = 2.8\text{g/cm}^3$ (表 9-8) $\rho = 6.8\text{g/cm}^3$ $F_{max} = 180\text{mm}$ (表 4-20 TPA100/4 压机最大装料高度) $H = 19$	$H_{max} = 69.9\text{mm}$ $H = 19\text{mm}$ $H < H_{max}$ 可行
压制成形压机确定	1) S 2) P 和 $P_{脱}$ 3) 装粉高度 H_0 4) 压制方式	$S = 1150.84\text{mm}^2$ $P = 6905\text{kN}$ $P_{脱} = 1491.08\text{kN}$ $H_0 = \frac{P}{\rho_0} \times H = 46\text{mm}$ 双向压制(二上二下)	由表 4-20 选用 TPA100/4 型机械式粉末成形压机

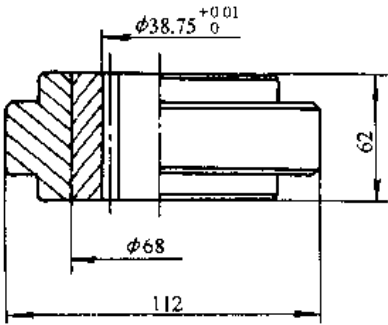
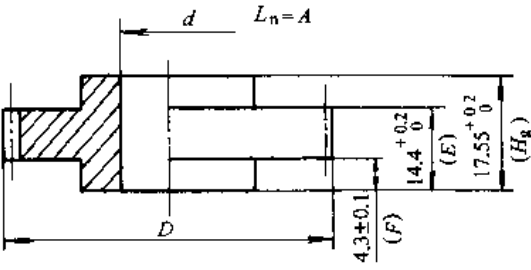
注: Z: 齿数。

表 9-42 齿轮模具径向尺寸计算

模具工艺参数 (表 9-40)					工艺尺寸 /mm	计算公式 (表 9-2 全精整)	模具尺寸 /mm		
部 位	上 序				精 整 件	$D = \phi 39.10_{-0.12}^0$ $A = 16.52_{-0.04}^0$ $d = \phi 7.97_{+0.012}^0$	$D_r = D_{\text{min}}(1 - i_1)$ $A_r = A_{\text{min}}(1 - i_2)$ $d_r = d_{\text{max}}(1 + i_3)$	精 整 模	$D_r = \phi 38.90_{+0.01}^0$ $A_r = 16.44_{+0.01}^0$ $d_r = \phi 7.99_{-0.01}^0$
	回 弹 率 $i(\%)$	余 量 率 $q(\%)$	烧 结 收 缩 率 $c(\%)$	压 制 回 弹 率 $e(\%)$						烧 结 件	$D' = \phi 38.76$ $A' = 16.41$ $d' = \phi 7.98$	$D' = D''(1 - c_1)$ $A' = A''(1 - c_2)$ $d' = d''(1 - c_3)$
D	0.12	0.25	0.25	0.25	压 制 件	$D'' = \phi 38.86$ $A'' = 16.43$ $d'' = \phi 8.02$	$D_m = D_r(1 + c_1 - e_1)$ $A_m = A_r(1 + c_2 - e_2)$ $d_m = d_r(1 + c_3 - e_3)$	压 制 模	$D_m = \phi 38.75_{+0.01}^0$ $A_m = 16.40_{+0.01}^0$ $d_m = \phi 8.03_{+0.01}^0$
A	0.12	0.24	0.25	0.25					
d	0.1	0.10	0.20	0.20					

注：D、A、d 部位见表 9-43 压件图。

表 9-43 齿轮成形模轴向尺寸计算

零件名称	图 例	项目	计 算 式	结 果/mm																		
压制阴模		D	表 9-27, $D = 2.8d$	$D = 40 \times 2.8 = 112$																		
		d_b	表 9-27, $d_b = 1.7d$	$d_b = 40 \times 1.7 = 68$																		
压件图		阴模高度	表 9-6 $H_t = CH + (10 \sim 20)$ $C = \frac{\rho}{\sigma_c} = \frac{6.8}{2.8} = 2.5$ $H = 16.8$	$C = 2.5$ $H_t = 62$																		
		压件高度	表 9-14 全精整压下率 $g = 0.45\%$ 精整前高度 $H_g = H(1 + g)$ $H = 16.8$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>部 位</th> <th>E</th> <th>F</th> <th>H_g</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>精整件</td> <td>13.8+</td> <td>4.1±</td> <td>16.8-</td> </tr> <tr> <td>压坯</td> <td>0.2</td> <td>0.1</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>14.4+</td> <td>4.3±</td> <td>17.55+</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.2</td> <td>0.1</td> <td>0.2</td> </tr> </tbody> </table>	部 位	E	F	H_g	精整件	13.8+	4.1±	16.8-	压坯	0.2	0.1	0.3		14.4+	4.3±	17.55+		0.2
部 位	E	F	H_g																			
精整件	13.8+	4.1±	16.8-																			
压坯	0.2	0.1	0.3																			
	14.4+	4.3±	17.55+																			
	0.2	0.1	0.2																			

(续)

零件名称	图例	项目	计算式	结果/mm
压制下模		下模冲高度	$h_g = CH_g$ $e = CE$ $f = CF$ 表 9-7 $H_1' = H_1 + (25 \sim 30)$ $H_3 \text{ 由结构定}$ $H_2' = H_1' + F + H_3$ $\Delta H_1 = H_1' \frac{p}{E}$ $\Delta H_2 = H_2' \frac{p}{E}$ $p = 5 \times 10 \text{ MPa}$ $E = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$ $\Delta = \Delta H_2 - \Delta H_1$ $H_2'' = H_2' + \Delta$	$h_g = 42$ $e = 18$ $f = 24$ $H_1' = 80$ $H_3 = 100$ $H_2' = 189.03$ $\Delta H_1 = 0.19$ $\Delta H_2 = 0.45$ $\Delta = 0.26$ $H_2'' = 189.29$

表 9-44 齿轮全精整模轴向尺寸计算

零件名称	图例	项目	计算式	结果/mm
阴模	略	阴模高度	$H_t = h' + h'' + H$ $h' = (5 \sim 8) \text{ mm}$ $h'' = (20 \sim 30) \text{ mm}$ $H = 16.8$	$H_t = 41.8 \sim 54.8$ 取 $H_t = 55$
下模冲	略	下模冲高度	$H_1', H_2'' \text{ 见表 9-43, 与成形模相同}$	

四、连杆零件(无需精整)模具设计示例

冰箱压缩机连杆(见图 9-16)年产 50 万件,采用粉末冶金工艺生产。

(一) 产品分析

连杆强度要求 $\sigma_b \geq 245 \text{ MPa}$,要求具有较高的力学性能,相当于铸钢材料,选择 Fe—C—Cu 系材料(见表 2-8)。

由于连杆坯两内孔均需精密机加工,可采用不精整工序来达到要求(参见表 2-35、表 2-36)。采用压制-烧结生产工艺。选定的工艺参数见表 9-45。

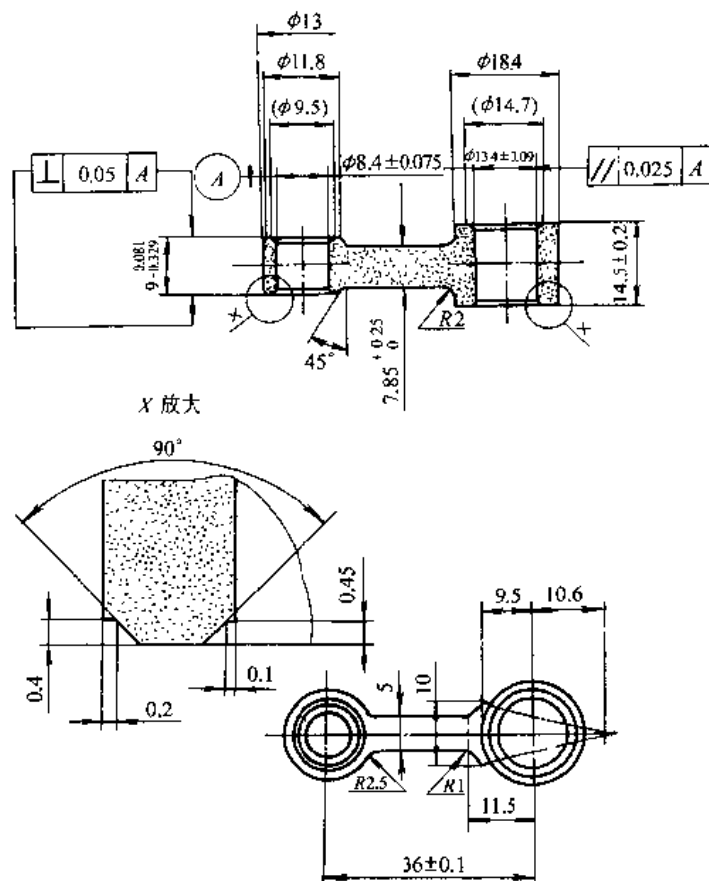


图 9-16 连杆零件图

表 9-45 连杆模具设计工艺参数

项目	设计参数						依据
材料	Fe (0.25~0.6)C-2Cu						使用工况
压坯密度	$\geq 6.85(\text{g}/\text{cm}^3)$						
产品工艺	压制·烧结						使用工况及表 2-36
工艺参数	部位	D_1	D_2	d_1	d_2	A	$D_1 = \phi 18.4$, $D_2 = \phi 13$; $d_1 = \phi 13.4 \pm 0.09$; $d_2 = \phi 8.4 \pm 0.075$; $A = 36 \pm 0.1$ 。
	工序						
	烧结收缩率 $c(\%)$	0.1	0.1	0.1	0.1	C.1		表 9-10
	压制回弹率 $e(\%)$	0.3	0.3	0.2	0.2	C.2	表 9-9

(二) 设计计算

1. 成形压机的确定

由于压坯截面较小 ($S \approx 3.04 \text{cm}^2$), 单位压制压力 $p = 6 \times 10^3 \text{MPa}$, 总压力 $P = 1800 \text{kN}$; 所以宜选用 TPA50/2 机械式压制成形机。

2. 连杆成形模径向尺寸计算

连杆成形模径向尺寸计算见表 9-46。

表 9-46 连杆成形模径向尺寸计算

模具工艺参数 (表 9-45)			工艺尺寸 /mm	计算公式 /mm	模具尺寸 /mm	
部 位	烧 结 收 缩 率 $c(\%)$	压 制 回 弹 率 $e(\%)$	烧 结 件	$D_1'' = \phi 18.40$	$D_1'' = D_1'(1-c)$	—
				$D_2'' = \phi 13.00$	$D_2'' = D_2'(1-c)$	
				$d_1'' = \phi 13.39$	$d_1'' = d_1'(1-c)$	
				$d_2'' = \phi 8.39$	$d_2'' = d_2'(1-c)$	
				$A'' = 36$	$A'' = A'(1-c)$	
D_1	0.1	0.3	压 坯	$D_1' = \phi 18.42$	$D_{m1} = D_{1cp}(1+c-e)$	$D_{m1} = \phi 18.36$
D_2	0.1	0.3		$D_2' = \phi 13.01$	$D_{m2} = D_{2cp}(1+c-e)$	$D_{m2} = \phi 12.97$
d_1	0.1	0.2		$d_1' = \phi 13.40$	$D_m = d_{1cp}(1+c-e)$	$D_{m1} = \phi 13.38$
d_2	0.1	0.2		$d_2' = \phi 8.40$	$D_{m2} = d_{2cp}(1+c-e)$	$D_{m2} = \phi 8.39$
A	0.1	0.2		$A' = 36.04$	$A_m = A_{cp}(1+c-e)$	$A_m = 35.96$

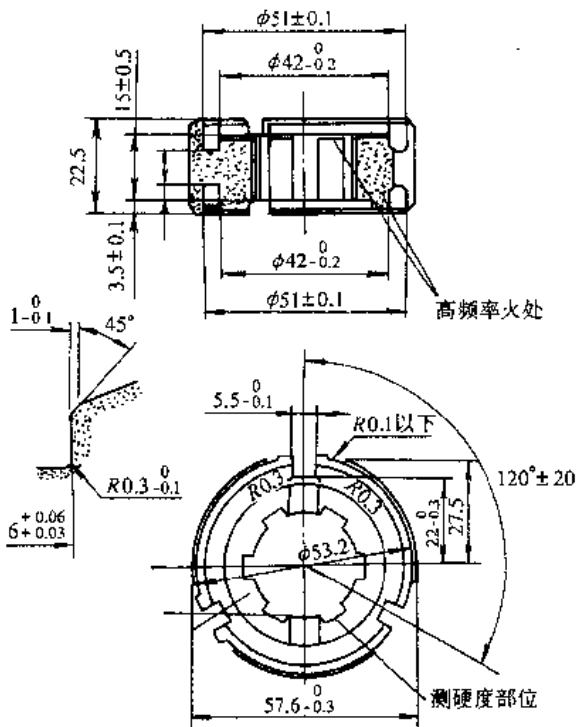
由于模具结构较简单,所以模具轴向尺寸计算从略。

(三) 模具结构设计

连杆的成形模结构设计可见图 7-70。

五、同步器齿毂零件的模具设计示例

图 9-17 是汽车变速器用同步器齿毂,年产 100 万件,采用粉末冶金工艺生产。



渐开线花键参数

修正量		+1.6
工 具	齿形	
	模数	2
	压力角	20°
齿数		27
基准节圆直径/mm		54
等级		B
公法线长度(4 齿)/mm		$22.516_{-0.118}^{+0.082}$

图 9-17 同步器齿毂零件图

(一) 零件的工况调查与材料牌号选择

1. 工况调查

1) 用于汽车变速器锁环式惯性同步器中。换档变速时,以保证接合套接合齿圈在到达同步之前不接触,以避免齿间冲击和发生噪声,从而使换档轻便、平稳、无声。

2) 最大输入扭矩为 $145/3500\text{N} \cdot \text{m}/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$;最高输入转速为 $5200\text{r}/\text{min}$ 。

3) 强度要求: $\delta_b \geq 394.2\text{MPa}$, 硬度 $> 60\text{HRA}$ (淬火部分)。

4) 结构简图见图 9-18。

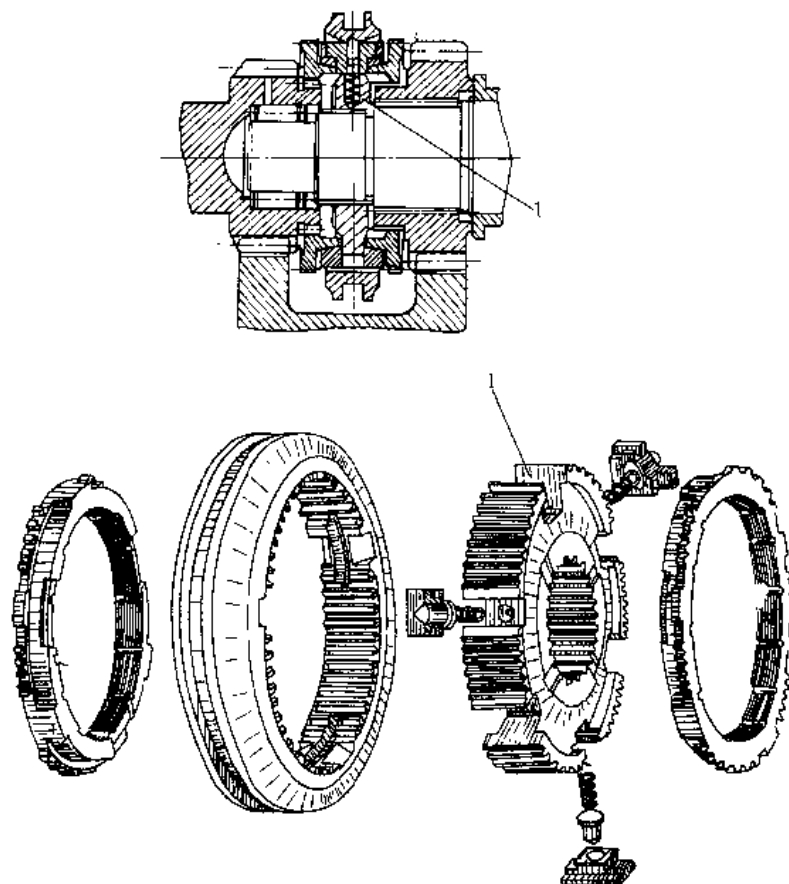


图 9-18 锁环式惯性同步器

1—同步器齿数

2. 材料选择

1) 据使用工况,查附录表 D-3 和表 D-4 选用 Fe-C-Cu 系材料,牌号:FC-0208-50/MPIF35。

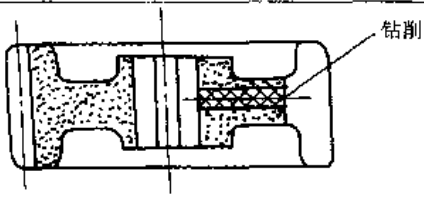
2) 材料成份:Fe-(0.6~0.9)%C-(1.5~3.9)%Cu

3) 密度: $> 6.7\text{g}/\text{cm}^3$

(二) 确定压坯的形状、精度和制造工艺

压坯的形状、精度和制造工艺见表 9-47。

表 9-47 同步器齿毂的压坯形状、精度分析及工艺选择

名称	内容	图形及数据
压坯形状		
精度分析		<ul style="list-style-type: none"> 外圆尺寸: $D = \phi 57.6_{-0.3}^0$ 内孔尺寸: $d = \phi 26^{+0.13}$ 齿形公法线: $l_n = 22.516_{-0.118}^{+0.062}/4$ 齿 花键孔槽宽: $b = 6_{-0.03}^{+0.06}$
工艺确定		<p>根据零件形状、精度及强度要求,选定工艺:</p> <ul style="list-style-type: none"> 压制——烧结——全精整——切削(▽处)——高频淬火(凹槽两端) 为使压坯各部密度均匀,淬火时变形量尽量小,成形模具结构宜采用三个上模冲和三个下模冲构成

(三) 成形设备的选择

成形设备的选择见表 9-48。

表 9-48 同步器齿毂的压制成形机的确定

项目	计算公式	计算数据及依据	结果
压制力 P	$P = pS$	$S = (\pi/4)(D^2 - d^2) = (\pi/4)(57.6^2 - 26^2)$	$S = 2074.84\text{mm}^2$ $p = 6 \times 10^2 \text{MPa}$ $P = 12450\text{kN}$
脱模力 $P_{脱}$	$P_{脱} = f' p_{侧余} S_{侧}$	$f' = 0.25$ $p_{侧余} = 0.2p$ $S_{侧} = m(8Z - 7.75)H$	$p_{侧余} = 1.2 \times 10^2 \text{MPa}$ $S_{侧} = 9579.5\text{mm}^2$ $P_{脱} = 2873.85\text{kN}$
压制成形机确定	1) S 2) P 和 $P_{脱}$ 3) 装粉高度 H_0 4) 压制方式	$S = 2074.84\text{mm}^2$ $P = 12450\text{kN}$ $P_{脱} = 2873.85\text{kN}$ $H_0 = (\rho/\rho_0) \times H = (6.5/2.8) \times 24 \approx 56\text{mm}$ 双向压制(带芯棒摩擦浮动)	由 P 及 $P_{脱}$, 并从模具结构(三上三下)设想, 从压坯各部密度均匀考虑, 打算采用辅助油(气)缸, 故选用 YA79-250 型液压式粉末成形机

(四) 模具设计参数选择

模具设计参数选择见表 9-49。

表 9-49 同步器齿毂模具设计工艺参数

项目	设计参数					依据	
材料 压坯密度	Fe (0.6~0.9)%C-(1.5~3.9)%Cu >6.7g/cm ³					使用工况	
产品工艺	压制—烧结 全精整—车削(▽处)—高频淬火					使用工况	
工艺 参数	部位	工序	D	d	L_n	b	$D = \phi 57.6^{+0.3}_0$ $D = \phi 26^{+0.13}_0$ $L_n = 22.516^{+0.062}_{-0.118}/4$ 齿 $b = 6^{+0.06}_{-0.03}$
			同弹率 i (%)	0.12	0.12	0.12	0.10	表 9-14
	余量率 q (%)	0.10	0.08	0.10	0.08	表 9-14	
	烧结收缩率 c (%)	0.15	0.10	0.15	0.10	表 9-10	
	压制回弹率 e (%)	0.25	0.20	0.25	0.20	表 9-9	

(五) 模具主要零件径向尺寸计算

模具主要零件径向尺寸计算见表 9-50。

表 9-50 同步器齿毂模具径向尺寸计算

模具设计工艺参数(表 9-49)					工艺尺寸/mm		计算公式(全精整)		模具尺寸/mm		
部 位	工 序				精 整 件	$D = \phi 57.6^{+0.3}_0$ $d = \phi 26^{+0.13}_0$ $L_n = 22.516^{+0.062}_{-0.118}/4$ 齿 $b = 6^{+0.06}_{-0.03}$	$D_r = D_{\min}(1 - i_D)$ $d_r = d_{\max}(1 + i_d)$ $L_r = D_{\min}(1 - i_L)$ $b_r = D_{\max}(1 + i_b)$	精 整 模	$D_r = 57.23$ $d_r = 26.15$ $L_r = 22.37$ $b_r = 6.06$		
	同 弹 率 i (%)	余 量 率 q (%)	烧 结 收 缩 率 c (%)	压 制 回 弹 率 e (%)							
					D	0.12	0.10	0.15	0.25	压	$D' = 57.31$ $d' = 26.17$ $L' = 22.40$ $b' = 6.06$

同步器齿毂模具轴向尺寸计算,由于模具结构较为复杂,上下均增设辅助气(油)缸,因此其上下模冲轴向尺寸,需绘制模具总图后再行计算。

(六) 成形模具结构设计

1. 同步器齿毂成形模具结构可参见第七章图 7-45。

2. 压坯成形分析

1) 压制成形时,同步器齿毂压坯易产生裂缝的部位见图 9-19。对裂缝分析可归纳为四大类别,见图 9-20A、B、C、D。

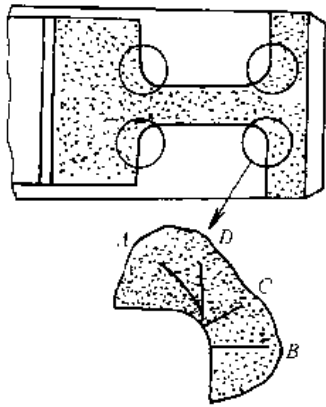


图 9-19 同步器齿环压坯易产生裂缝部位示意图

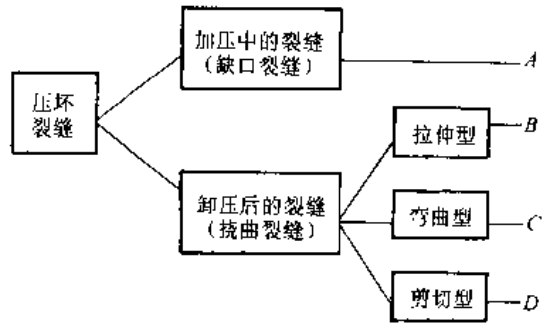


图 9-20 裂纹分析图

2) 压坯裂缝的剖析及预防对策

① 加压过程中产生的裂缝(缺口裂缝)

在成形过程中,中间部分的密度较高,粉末从高密度部位向低密度部位移动,这样易产生缺口裂缝。裂缝形状如图 9-21 所示。从图 9-22 可知,当上模冲进入阴模加压后,如 A、B 段和中心段的粉末充填量差异较大,造成压坯密度差亦较大,如图 9-23a 所示(密度差为 $0.6\text{g}/\text{cm}^3$),则易产生缺口裂缝现象。

预防对策如图 9-23b 所示,调整 A、B 段粉末充填量,及上模冲(I)压下量,使压坯密度差控制在 $0.3\text{g}/\text{cm}^3$ 范围内,可基本消除压坯的缺口裂缝。

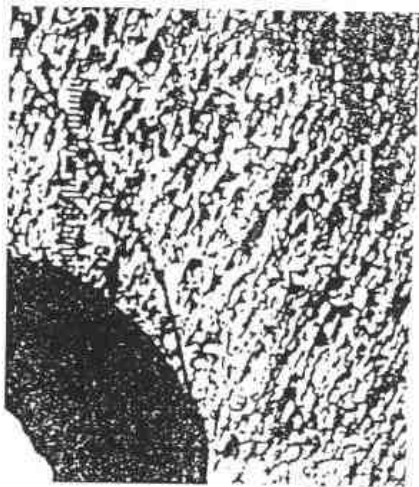


图 9-21 压坯的缺口裂缝

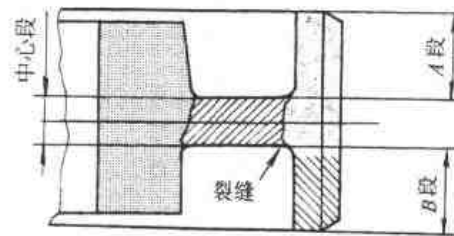


图 9-22 同步器齿环压坯的分段密度

② 卸压后的裂缝(挠曲裂缝)

压坯成形后,在脱模过程中,由于各下模冲卸压时回弹量不一,使模冲与压坯产生间隙,阴模下降时,压坯就易产生挠曲裂缝。裂缝形状如图 9-24 所示。

当上模冲卸压后,下模冲(I)的回弹量相对下模冲(II)、下模冲(III)的小。阴模下降时,目测即可确认下模冲(I)与压坯间的间隙,如图 9-25 所示。关键在于如何减小下模冲(I)和下模冲(II)的回弹量差值,使下模冲(I)尽量减少与压坯的间隙,以避免压坯因脱模时产生的挠曲裂缝。

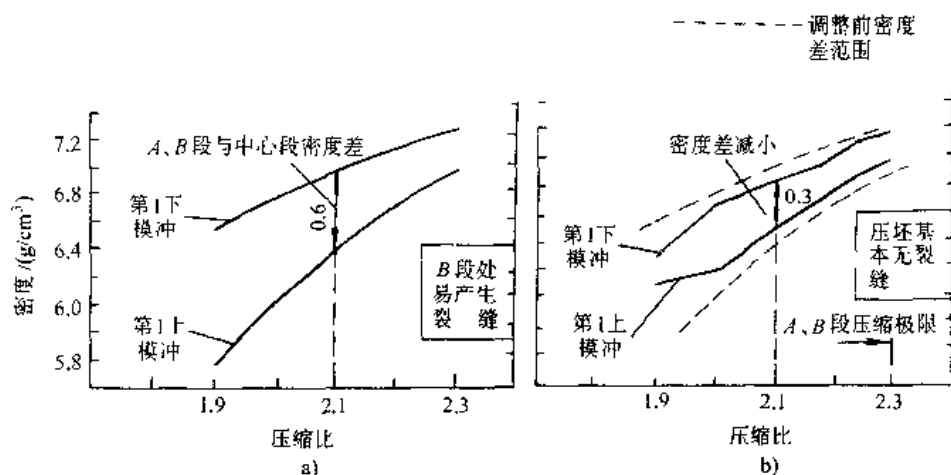


图 9-23 改进前后的压坯密度差

a) 改进前(B段处易产生裂缝) b) 改进后(压坯基本无裂缝)

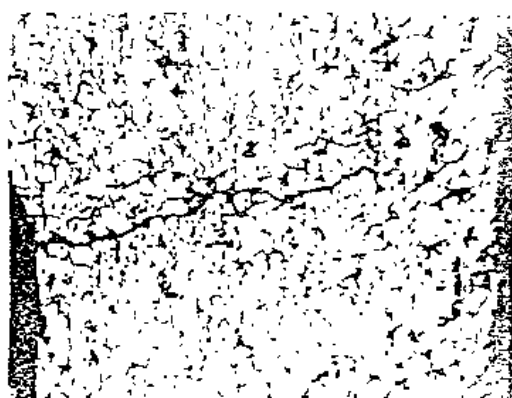


图 9-24 压坯的挠曲裂缝

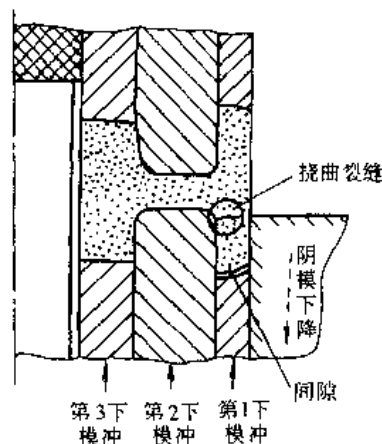


图 9-25 挠曲裂缝的产生现象

预防对策是在上下模冲(I)底部设计弹性体装置,以消除上、下模冲(I)易使压坯产生挠曲裂缝间隙 e 值,(如图 9-26 所示)。实践证明,用此结构基本消除了同步器齿毂压坯在脱模过程中易产生的挠曲裂缝。

3) 模具弹性体装置介绍。图 9-27 所示是同步器齿毂压坯成形模具结构中的弹性体装置。适用于普通的带上、下缸的液压式粉末成形机。

上模冲(I)6 及下模冲(I)9 固定在弹性体装置上。硬橡胶 3、7 的力大小,由所测定的脱模时下模冲(I)9 与下模冲(I)10 之间的回弹量差值而定,回弹量差值大小由定位套 4 进行限位,通过螺钉 5 固定在模板上。

压制成形过程中,下模冲(I)9(与上模冲(I)同样)受压,使硬橡胶 3 储存一定的压缩力(相等于下模冲(I)与下模冲(I)的回弹量差值)。脱模时,上模冲卸压,阴模 8 下行,下模冲

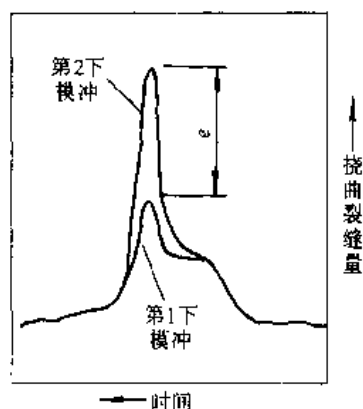


图 9-26 间隙 e 值对挠曲裂缝的影响

(I)在硬橡胶3的弹力作用下,增加了反弹量,使其与下模冲(I)的回弹量相当,在脱模过程中,使下模冲(I)与下模冲(II)基本同步,使压坯无挠曲裂缝产生。

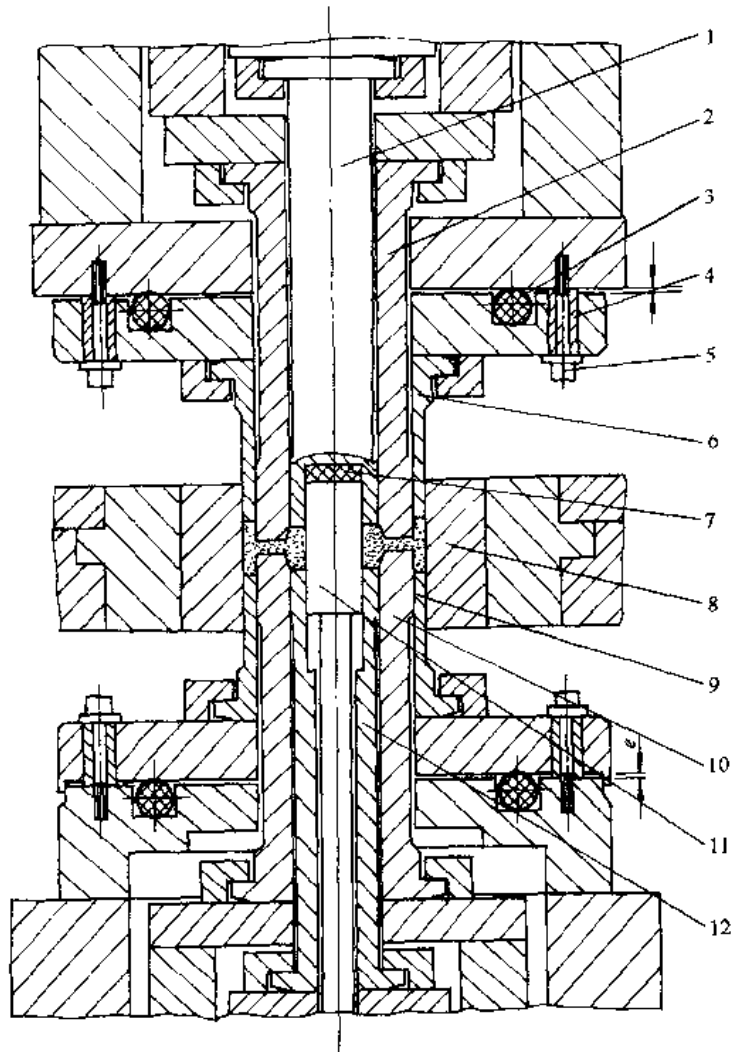


图 9-27 模具弹性体装置结构

1—上模冲(Ⅱ) 2—上模冲(Ⅰ) 3—硬橡胶 4—定位套
5—螺钉 6—上模冲(Ⅰ) 7—硬橡胶 8—阴模 9—下
模冲(Ⅰ) 10—下模冲(Ⅱ) 11—芯棒 12—下模冲(Ⅱ)

第十章 粉末冶金模具的材料选择和制造

本章主要介绍模具以及一些模架零件的选材和制造。粉末冶金模架包括模具、模具支座以及接合器。模具主要零件包括阴模、模冲和芯棒。模具支座和接合器主要包括上、下模板、阴模板、阴模和模冲及芯棒的压板、托板和支座以及导柱和导套等。粉末冶金模具在烧结零件的生产成本中占相当大的份额，而且其设计和制造质量直接影响产品的质量与成本。因此，合理地选择材料以及热处理工艺、制定机械加工工艺和电加工工艺是非常重要的。

第一节 模具材料的选择和热处理

一、模具制造的一般要求

1. 模具的寿命

对模具寿命有较大影响的因素很多，例如，模具零件的制造精度和模具的装配精度；阴模、芯棒和模冲材料的选用及其工作表面的粗糙度和硬度；热处理质量；是否正确使用模具；成形所用的粉末的种类和性能；制品的尺寸、形状和密度；润滑剂的效果等等。

阴模承受的压力很高，实验表明，阴模磨损和压制力之间接近线性关系，况且阴模还在具有磨料作用的粉末反复研磨下工作，而且其磨损量不能超过产品精度允许的范围。硬度可以直接反应材料的耐磨性能，抗磨损能力随硬度的增加而提高。例如在同样的使用条件下，硬质合金阴模的使用寿命是钢模的 20~50 倍。

在考虑阴模使用寿命时，必须同时计算模具成本，要根据生产零件的数量和阴模的制造费用，在保证预期技术条件和使用寿命下，尽量降低成本。

2. 模具制造的精度和表面粗糙度

粉末冶金零件的压制成形和精整，是依靠模具零件在压力下的作用而得到半成品和最终成品。在自动压模中，模具零件固定在模架内。只有严格控制模具零件的安装精度，才能保证均匀的间隙，提高产品的精度，同时减少模具零件的互相磨损。如果模具零件安装偏斜，模冲将与阴模、芯棒发生碰撞而损坏工作表面。因此，模具零件工作表面与其端面之间要求严格垂直；端面与端面之间要求严格平行。模架中的模板、底板和轭板，通过导柱连接的导套孔距要求精确。阴模、芯棒与模冲的尺寸精度直接影响到其相互配合的间隙，这种配合间隙过大过小都将降低模具的寿命。配合间隙的大小要根据粉末的粒度、压模自动化程度、压坯大小和精度来确定。

模具主要零件的精度特别是精整模具的精度，一般不能低于产品的精度。

模具主要零件工作表面的表面粗糙度数值应尽量低，这样可以显著改善产品的表面粗糙度，同时大大延长模具的使用寿命。一般模具工作表面的表面粗糙度为 $R_a 0.2\mu\text{m}$ 左右。

3. 模具零件的硬度

一般要求模具主要零件有尽可能高的硬度，但一定的硬度是与模具的材料和热处理工艺

相联系的。如果热处理工艺选择不当，就有可能硬度达到指标，但脆性增大，在工作时造成模具炸裂，因此应该根据工作条件和具体材料合理地提出硬度要求及相应的热处理工艺。

对于阴模硬度，因其在高应力状态下经受粉末的反复研磨，要求硬度尽量高。用高合金工具钢制造阴模，其热处理硬度应在 63~65HRC，低于此值，阴模容易磨损。

对于芯棒硬度，因其使用条件与阴模相同，故硬度值应与之近似。但其硬度值必须结合芯棒尺寸的大小来考虑。芯棒的长度与直径的比值等于或小于 12:1 时，芯棒可以全部淬硬。当长径比值为 20:1 时，要分段热处理，芯棒成形段的硬度值在 58~60HRC 范围，成形段以下的硬度可以降低到 40~45HRC。芯棒与螺纹连接部份在任何情况下其硬度值均不能大于 45HRC。

对于模冲硬度，应考虑到其结构特点，模冲硬度取决于最薄弱截面的强度和最大压制力。进行回火时要特别避免在薄弱的截面上硬度不均匀。

二、模具材料的选择

选择模具材料主要从两方面考虑，首先要满足使用要求，阴模和芯棒都承受高压和反复摩擦，要求高硬度、高耐磨性，故应采用合金工具钢、高速钢、钢结硬质合金或硬质合金。这些材料的硬度和强度均可满足使用要求，但其耐磨性和成本是按由前者到后者顺序提高，因此具体选用哪一种材料还要视产品批量而定。对模冲的主要要求是韧性和强度，并且要有较好的抗疲劳性，一般选用中合金钢或高合金钢。其次还要从模具制造成本方面考虑。由于精加工在模具制造成本中占的比重很大，所以选材时还要注意材料的切削性和热处理性能，防止因热处理变形而影响加工精度。模具主要零件的材料及性能要求见表 10-1。

表 10-1 模架模具主要零件的材料及性能要求

零件名称	性能要求	材料及性能参数
阴模	硬度高，耐磨性好	1) 硬质合金: YG15, 87HRA 以上; YG8, 89HRA 以上 2) 钢结硬质合金: GT35, 69~72HRC; GW1, 66~68HRC 3) 高速钢: W18Cr4V, W6Mo5Cr4V2, 62~64HRC; 4) 合金工具钢 GCr15, 9CrSi, 60~62HRC; Cr12, Cr12MoV, 62~63HRC
芯棒	耐磨性好, 工作段热处理硬度 60~63HRC。非工作部分 45~50HRC	同上
阴模镶块	耐磨性好, 热处理硬度可高于整体型阴模	1) 硬质合金: YG15, 87HRA 以上; YG8, 89HRC 以上 2) 钢结硬质合金: GT35, 69~72HRC; GW1, 66~68HRC 3) 高速钢: W18Cr4V, HRC62~64; W6Mo5Cr4V2, 62HRC 以上
上、下模冲	耐冲击性好, 有一定的耐磨性。工作段热处理硬度 56~60HRC, 非工作部分的硬度可适当降低	合金工具钢: GCr15, 9CrSi, CrWMn, Cr12, Cr12MoV, 硬度 56~60HRC

(续)

零件名称	性能要求	材料及性能参数
模套	较好的韧性和拉伸强度	1) 中碳钢: 45 钢, 28~32HRC 2) 合金钢: 40Cr, 28~32HRC
导柱	高拉伸强度 平行度公差为 IT4 级 垂直度公差为 IT4 级	1) 中碳钢: 45 钢, 导向段高频淬火 55~60HRC 2) 合金工具钢: Cr12、Cr12MoV、GCr15, $\phi 2 \sim 63$ HRC
上、下模板	下模板承受压制负荷, 要求其厚度大于或等于在最大载荷作用下弯曲最小时的厚度值 平行度公差为 IT5 级 垂直度公差为 IT4 级	1) 中碳钢: 45 钢, 28~32HRC 2) 球墨铸铁: ZG45
阴模板	平行度公差为 IT5~IT6 级 垂直度公差为 IT5~IT6 级	1) 中碳钢: 45 钢, 28~32HRC 2) 合金钢: GCr15, 28~32HRC 3) 球墨铸铁: ZG45
阴模外套	韧性好, 强度高	合金钢: GCr15、Cr12MoV, 40HRC
滑动压垫	承受高负荷, 硬度高 平行度公差为 IT5~IT6 级	合金工具钢: Cr12, GCr15, Cr12MoV, 55~58HRC
滚轮与滚轮芯轴	耐磨性好 圆跳动公差为 IT7 级	合金工具钢: Cr12, Cr12MoV, 50~55HRC
斜楔	耐磨性好	合金工具钢: Cr12, GCr15, Cr12MoV, 52~55HRC
軋板	在拉下式模具中, 軋板承受最大弯曲应力, 其厚度应保证获得最小的弯曲变形	合金工具钢: GCr15、Cr12, Cr12MoV, 52~55HRC
脱模座		T8 钢、45 钢, 40~50HRC
顶杆及压棒	平行度公差为 IT7 级	合金工具钢: GCr15、9CrSi 碳钢: 45 钢、50 钢, 45~50HRC
限位块	平行度公差为 IT7 级	(同上)
装粉座与装粉斗		20 钢、35 钢、45 钢
导套	外圆对内孔的径跳公差为 0.02~0.04	20 钢: 渗碳层 0.8~1.0mm 黄铜 多孔铁石墨
压盖 (包括上、下模冲、阴模、芯棒所用压盖)		35 钢、45 钢 调质处理, 28~32HRC

(续)

零件名称	性能要求	材料及性能参数
压垫 (包括上、下模冲、阴模、芯棒所用压盖)		Ti10, Cr12, GCr15, Cr12MoV 热处理硬度 52~56HRC
芯棒座		35 钢、45 钢 调质处理, 28~32HRC
横梁与拉钩、拉杆		45 钢、40Cr, 调质处理, 28~32HRC (拉钩的钩体部分局部淬硬 40~45HRC)
托板与托柱		20 钢、35 钢

三、模具材料的热处理

模具热处理是保证模具质量和提高模具寿命的关键工序, 因此必须根据所选定的材料制定合理的热处理工艺。表 10-2 列出了主要模具用钢的特性及热处理工艺参数。

表 10-2 主要模具用钢的化学成分及热处理工艺参数

材料	牌号	化学成分 (质量分数)	锻造工艺	退火工艺	淬火工艺	回火工艺
硬质合金	YG15 YG8	85%WC; 15%Co 92%WC; 8%Co				
钢结硬质合金	GT35	35%TiC, 2%Cr, 2%Mo, 0.6%C, 余为铁	升温至 700~750°C 保温 (0.3min/mm), 始锻温度 1180~1220°C, 终锻温度 950~900°C	860~880°C 保温 3~4h, 以 20°C/h 冷至 720°C 保温 3~4h, 再以 20°C/h 冷至 600°C, 炉冷	预热至 800~850°C 保温 30min, 加热至 960~980°C 保温 (0.5min/mm), 油淬	200°C, 硬度 69~72HRC
	GW1	50%WC, 0.62%~0.63%Cr, 0.62%~0.63%Mo, 0.40%~0.45%C, 余为铁	始锻温度 1150~1200°C, 终锻温度 950~900°C	860~880°C 保温 3h, 700~720°C 保温 6h, 炉冷 (16~20°C/h)	缓慢预热至 820~850°C, 快速加热至 1020°C 油淬 (变压器油)	200°C
高速钢	W18Cr4V	17.50%~19.00%W, 3.80%~4.40%Cr, 1.00%~1.40%V, 0.70%~0.80%C	始锻温度 1150~1200°C, 终锻温度 950°C	830~850°C 保温 2~3h, 以 20~30°C/h 冷至 550°C, 随炉冷或空冷, 退火态硬度 ≤277HB	两段预热: 500~600°C, 840~860°C 快速加热到淬火温度 1260~1280°C 油冷	560°C 回火三次, 硬度 62~64HRC

(续)

材料	牌号	化学成分 (质量分数)	锻造工艺	退火工艺	淬火工艺	回火工艺
高速钢	W6Mo5Cr4V2	5.75%~6.75%W, 3.80%~4.40%Cr, 4.50%~5.50%Mo, 1.75%~2.20%V, 0.80%~0.90%C	始锻温度 1150°C, 终锻温 度930°C	820~840°C保温 2~3h, 以20~ 30°C/h冷至550°C, 随炉冷或空冷, 退 火态硬度≤285HB	两段预热: 500~ 600°C, 840~ 860°C, 快速加热到 淬火温度1210~ 1245°C油冷	560°C回火 三次, 62~ 63HRC
合金 工具钢	Cr12	11.50%~13.00%Cr, 2.00%~2.30%C	始锻温度1000 ~1050°C, 终锻 温度920~880°C	850~870°C保 温, 以30~50°C/h 冷至750°C, 保温2 ~3h, 随炉冷至500 ~600°C后空冷, 硬 度207~255HB	缓慢预热至 600°C, 快速加热至 950~980°C油冷	150~200°C 62~65HRC
	Cr12MoV	11.0%~12.5%Cr, 0.40%~0.60%Mo, 0.15%~0.30%V, 1.45%~1.70%C	始锻温度1000 ~1050°C, 终锻 温度900~850°C	850~870°C保 温, 以30~50°C/h 冷至750°C, 保温2 ~3h, 随炉冷至500 ~600°C后空冷, 硬 度HB207~255	缓慢预热至 600°C, 快速加热至 840~860°C油冷	150~200°C 52~63HRC
	CrWMn	0.8%~1.1%Mn, 0.9%~1.2%Cr, 1.2%~1.6%W, 0.9%~1.05%C	始锻温度1050 ~1100°C, 终锻 温度800~850 °C, 快冷至650~ 700°C再缓冷	700~790°C保温 2~3h, 以≤30°C/h 冷至500°C以上空 冷, 硬度≤235HB	820~840°C保 温, 油冷至150~ 200°C空冷	140~160°C 63~65HRC
低合金 工具钢	GCr15	1.30%~1.65%Cr, 0.95%~1.05%C	始锻温度1050 ~1100°C, 终锻 温度850~800°C	790~810°C保温 2~6h, 以20~ 30°C/h冷至550°C, 炉冷或空冷, 退火 态硬度 HB207~ 170	缓慢预热至 600°C, 快速加热至 830~860°C, 油冷	150~400°C 59~64HRC
	9CrSi	0.95%~1.25%Cr, 1.20%~1.60%Si, 0.85%~0.95%C	始锻温度1050 ~1100°C, 终锻 温度850~800°C	790~810°C保温 2~4h, 以20~ 30°C/h冷至550°C, 炉冷或空冷, 退火 态硬度 241~ 197HB	缓慢预热至 600°C, 快速加热至 860~880°C油冷	150~400°C 52~64HRC

(续)

材料	牌号	化学成分 (质量分数)	锻造工艺	退火工艺	淬火工艺	回火工艺
高碳 工具钢	T10	0.95%~1.04%C		750~770℃保温 1~2h, 炉冷至500 ~600℃后空冷	加热至770~ 790℃以5%盐水冷 却至200~250℃ 油冷	140~160℃ 回火, 62~ 64HRC
	T8	0.75%~0.84%C		750~770℃保温 1~2h, 炉冷至500 ~600℃后空冷	加热至770~ 790℃以5%盐水冷 却至200~250℃油 冷	150℃回火, 65HRC
合金 结构钢	40Cr	0.37%~0.44%C, 0.8%~1.1%Cr		820~850℃, 炉 冷	加热至850℃油 冷	500~550℃ 回火, 28~ 32HRC; 250~ 300℃回火, 45 ~50HRC
碳素钢	45	0.42%~0.50%C		820~840℃炉冷 至600℃以下空冷	加热至840℃水 冷或油冷	450℃回火, 35~40HRC; 520℃回火, 30 ~35HRC

第二节 模具主要零件制造

一、模具主要零件的加工工艺流程

模具零件的加工工艺流程如下:

下料→锻造→退火→机加工→热处理→磨加工→退磁→电加工→研磨抛光

模具零件的典型加工工艺实例见本节三。

二、模具主要零件加工的关键工艺

(一) 仿形磨削

在粉末冶金模具制造中, 仿形磨削主要用于各种齿轮、凸轮、链轮、摆线转子及复杂形状制品的模具中的模冲、芯棒以及加工用电极、研磨棒的精加工。这一工序不仅能缩短制造周期, 而且可减少累积加工误差, 从而可保证模具制造精度, 特别是电极制造精度(把公差控制在0.01mm的尺寸精度范围内)。仿形磨削加工的高精度主要是通过M10:1仿形尺样板靠模来保证的。

1. 仿形尺原理

仿形尺原理如图10-1所示, 根据平行四边形四连杆机构特性, 由触

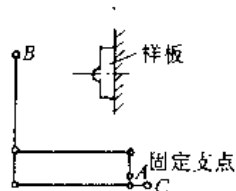


图10-1 仿形尺
原理示意图

头 B 在样板（靠模）上走轨迹，在固定支点 A 的作用下，金刚石砂轮修整器 C 与 B 走同样的轨迹，使砂轮形状与样板形状一致，但其大小是 B 所走轨迹的 1/10 倍，所以修出的仿形砂轮的形状精度较高。因此，通过数控自动进给磨削，由仿形砂轮磨削出的模具零件的形状精度也很高。

2. 仿形样板的加工

由于仿形磨削是通过仿形样板（靠模）来修整仿形砂轮的。因此对仿形样板的加工要求较高。样板材料（厚度为 1.5mm）的平行度公差在为 IT5~IT6 级范围内。仿形样板尺寸按模冲尺寸参数进行计算，由线切割机加工而成。用仿形磨削加工同一制品用的上、下模冲、电极、研磨棒时，只需用同一块仿形样板。

3. 修整仿形砂轮用的金刚石修整器

仿形磨削的关键是修整仿形砂轮。因此应正确选择金刚石修整器的规格（表 10-3）。

表 10-3 金刚石修整器的规格 (mm)

名称	粗修		精修	
	金刚石刀尖半径	0.5	0.5	0.25	0.25
触头直径 (M10:1)	10	10	5	5
锥度 (°)	40~60	60~40	60~40	60~40
修整器高度	$H=54.105$ (由机床而定)			

4. 仿形砂轮修整步骤

- 1) 修整砂轮前，必须将修整器的金刚石刀尖调至零位（即 $H=54.105$ ，由机床而定）
- 2) 用标准触头（直径 $\phi 5$ 或 $\phi 2.5$ ）通过仿形尺，将样板与修整器校正平行水平，修整砂轮端面，作为基准面（图 10-2a）
- 3) 利用仿形尺，使触头（B）在样板上走轨迹，在支点（A）作用下，由金刚石刀尖（C）修整仿形砂轮（图 10-2b）

5. 仿形砂轮与工件定中心

- 1) 将砂轮端面磨出工件外圆尺寸（图 10-3a）；
- 2) 测量工件外圆尺寸 D ；
- 3) 将 $1/2D$ 尺寸由数显校正中心，使 $y_{\text{工}} = y_{\text{砂}}$ （图 10-3b）；

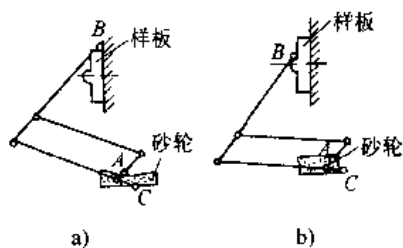


图 10-2 仿形砂轮修整示意图

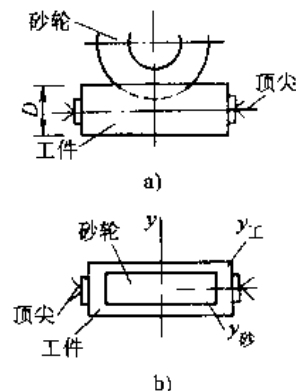


图 10-3 仿形砂轮与工件定中心

4) 将被加工工件的齿形槽(或曲面)对准仿形砂轮。之后即可进行仿形磨削加工。

(二) 数控线切割加工

在粉末冶金模具加工中,数控线切割机床主要用于加工阴模型腔孔和模冲内孔,或芯棒和模冲的外形面;经过热处理的钢件和硬质合金件都可以加工。加工后的表面粗糙度为 $R_a 0.8 \sim 1.6 \mu\text{m}$ ($\nabla 6 \sim \nabla 7$),加工精度一般为 $\pm 0.01\text{mm}$,加工速度为 $25 \sim 45\text{mm}^2/\text{min}$,最大加工速度为 $60\text{mm}^2/\text{min}$ 。对于钢模的最大切割厚度一般可达到 100mm ,在采用新的线架结构和冷却系统系统后,厚度可达 500mm 。一般模具设计时,粗加工单面放电间隙为 0.015mm ,精加工单面放电间隙为 0.01mm 。

1. 工作原理

线切割加工是利用线电极、计算机技术及电火花加工技术来实现各种复杂形状的模具加工。线切割的加工原理是用一根很细的金属丝(直径为 $0.03 \sim 0.05\text{mm}$)作工作电极,将金属丝装在一个高速转动的贮丝筒上,并经过丝架以 10m/s 左右的线速度来回移动,金属丝接高频电源的负极,被切割的工件接正极,以煤油或乳化液作为工作介质。当电极接触金属工件时,即发生电蚀作用,若按规定的方向移动,并使移动的速度与金属丝对工件间电蚀速度相适应(即不使之“短路”),即能达到切割的目的。

在线切割加工时,工件装在纵横十字架的拖板上,拖板的移动由专用小型计算机(数字程序控制部分)控制,即能自动切割各种几何形状。

2. 线切割加工工艺

首先把要进行加工的毛坯经锻、刨、车、铣等机加工成毛坯,在距确定的起始加工点位置 $1 \sim 2\text{mm}$ 处,钻一个电极丝引孔,孔径 $2 \sim 3\text{mm}$ 即可。并且,对于阴模型腔孔或模冲内孔,电极丝引孔应钻在型腔孔型线内;对于芯棒或模冲的外曲面,应将电极丝引孔钻在型线外。经过热处理,其硬度达到图纸要求后,再进行端面平磨加工,以便提供线切割装卡时基准面。将图纸数据输入计算机,然后装卡工件,调整好位置,引入电极丝,并使电极丝垂直于表面,之后便可开机进行线切割加工。为保证模具的精度,最后一道精切工序应采用慢走丝。线切割之后的型腔孔或外曲面应抛光后使用。

3. 线切割加工的优点

线切割加工工艺对于粉末冶金模具这类小批量多品种的工件非常合适。归纳起来,其特点如下:

- 1) 不需要像电火花加工那样做特定形状的电极。
- 2) 不论工件硬度如何,几乎都能进行顺利的加工。
- 3) 加工的主要对象是平面形状,也可以加工锥面,但除了最小拐角必须大于某一 R ($R = \text{电极丝半径} + \text{放电间隙}$) 的限制以外,任何复杂形状都可以进行加工。
- 4) 轮廓加工所需的加工余量小,有利于少无切削,尤其能有效地加工贵重稀有的材料。
- 5) 电极丝不断地往复使用,损耗较小(一般切割 $0.4 \sim 1 \times 10^5\text{mm}^2$ 后电极丝减小 0.01mm),故加工精度较高。

(三) 电火花加工

电火花主要用于加工阴模的异形型腔孔,特别是沿轴向带台阶的异形阴模孔用线切割往往无法加工,而只能采用电火花加工。芯棒及上下模冲端面型腔亦可用电火花加工。

1. 加工原理

金属电火花加工的原理是基于工件与电极之间进行脉冲放电时的电腐蚀现象。被加工的阴模接电源正极，加工电极接电源负极。通电后，电容器充电，这时两极渐渐移近到某一距离时，两极间的介质（矿物油）被击穿，电容器所蓄能量在极短的时间放出，致使火花通道中瞬时产生大量热能，以使工作表面的金属局部熔化和气化而被腐蚀下来，火花不断产生，金属不断被腐蚀。一般作为正极的金属比负极被侵蚀的快，故阴模不断被侵蚀，其型腔最终变成与电极相似的形状。

2. 工具电极的设计与制造

在电火花加工中，工件的孔型是由电极经电腐蚀作用直接复制成形的。电极的设计和制造是电火花加工中影响工艺指标的重要因素，电极的制造精度直接影响到工件的加工精度和质量。

1) 工具电极的材料和技术要求

工具电极应选择相对消耗少、生产率高、加工质量高、导电性能好、抗蚀性高、磨损小、易于加工及价格低廉的材料，加工淬火钢件时，应采用黄铜和铸铁电极；加工硬质合金时，可采用灰铸铁电极，这时加工速度快，但损耗大，适于粗加工；采用Cu-80W电极加工时，速度慢，但损耗小，适于精加工。在加工一些较小或形状复杂的孔穴时，可采用黄铜或纯铜电极。在加工粗糙度要求较严、尺寸及形状要求较精密的工件时，也选用纯铜或黄铜作电极材料，因其加工稳定性要比铸铁和钢好得多。目前已得到广泛应用的Cu-80W电极材料的加工精度与黄铜类电极相当，但损耗却少得多，很适合用于加工粉末冶金模具。

电极的几何形状要和阴模孔的几何形状完全相同，其尺寸大小要按规定的阴模尺寸减去间隙值，电极上的凹槽部分应加上间隙值。精加工用电极的表面粗糙度应在 $R_a0.8\mu\text{m}$ ($>\nabla 7$)以上，粗加工电极表面的粗糙度不低于 $R_a12.5\mu\text{m}$ ($>\nabla 3$)。

2) 工具电极的结构形式

电极结构形式应根据阴模型腔孔型尺寸、电极装夹形式和电极制造精度而定。常用的电极形式有整体式和组合式等。加工简单的孔型时，采用整体式电极，同时为了装卡方便，在电极端面上应攻M6~M10的螺孔，以便在加工时可以紧固在机床的十字夹头上，在加工孔型面积较大(直径大于6mm)的阴模孔时，为减轻电极重量，可制成空心电极(图10-4)，其壁厚应为2~3mm。为了排出腐蚀下来的金属粉末，可在电极上打一气孔。为了提高生产效率和加工精度以及改善表面粗糙度，可将电极做成阶梯式结构(图10-5)。加工形状复杂的孔型时，为减少加工的困难，电极亦可做成组合式的。



图 10-4 空心电极

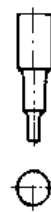


图 10-5 阶梯式电极

3) 工作电极的尺寸计算

电极的几何尺寸，等于阴模孔型尺寸减去电火花放电间隙，而电极上的凹槽部分，则应加上放电间隙值，同时应留0.02~0.03mm左右的研磨余量。放电间隙的大小与电极的材料、制造精度、设备精度、选用的电规准(电火花加工工艺)及工作液有关。粗加工的放电间隙(单面)为0.07mm，精加工的放电间隙(单面)为0.02mm。采用阶梯式电极时，粗加工部分尺寸应比实际加工尺寸均缩小0.08~0.10mm。对于硬质合金模具，粗加工放电间隙为单面

0.10mm 左右, 精加工放电间隙单面为 0.04~0.08mm 左右。

在一般情况下, 电极制造公差应取阴模孔型制造公差的 1/3~2/3。

电极的有效长度 L 根据电极材料而定:

铸铁 $L = (2 \sim 3) H$;

铜 $L = (3 \sim 4) H$;

钢 $L = (3.5 \sim 4.5) H$;

铜钨合金 $L \leq 1/3 H$;

式中 H — 阴模孔型深度。

3. 电火花加工的特点

1) 电火花加工不受材料力学性能的影响, 只要是导体就能加工。可以直接加工热处理后的阴模。

2) 能加工各种形状的带台阶孔和盲孔。

3) 加工出来的表面精度很高 (当阴模高度 $\leq 100\text{mm}$, 内径锥度在 0.02mm 以内时, 尺寸精度在 0.01~0.02mm 的范围内), 表面粗糙度一般在 $R_a 1.6\mu\text{m}$ ($\nabla 6 \sim \nabla 7$) 以下, 最低可达 $R_a 0.4\mu\text{m}$ ($\nabla 8 \sim \nabla 9$)。

4) 金属表面经过剧烈的热作用之后, 产生一层极硬的合金层, 提高了工作表面的耐磨性。

4. 电火花加工应用举例

(1) 模具、研磨棒尺寸设计

1) 制品名称, 油泵齿轮, 成品齿轮参数: $Z = 9$, $m = 3.5$, $x = 22^\circ$, X_m (移距量) = 0.81, d_k (齿顶圆直径) = $39.9^{-0.04}$, d_f (分度圆直径) = 24.8~25.15, Z_w (公法线长度) = 16.445~16.485。

2) 成形阴模 (材料 YG15, 高度 100mm) 齿形参数: $d_{k1} = 40.02$, $d_{f1} = 24.75$, $Z_{w1} = 16.38$ 。

3) 精整阴模齿形参数: $d_{k2} = 40.10$, $d_{f2} = 24.80$, $Z_{w2} = 16.42$

成形模具和精整模具用电极、研磨棒尺寸见表 10-4。

表 10-4 成形模具和精整模具用电极、研磨棒尺寸

(mm)

零件名称	材料	减少量	d_k	d_f	z_w	制造公差
成形阴模	YG15		40.02	24.75	16.38	+0.01
成形上、下模冲	Cr12MoV		40.01	24.74	16.37	-0.01
粗加工用电极	Cu-W	0.1	39.82	24.55	16.18	± 0.01
精加工用电极	Cu-W	0.04	39.94	24.67	16.30	-0.01
粗加工用研磨棒	HT	0.02	39.98	24.71	16.34	-0.01
精加工用研磨棒	HT	0.01	40.00	24.73	16.36	-0.01
精整阴模	YG15		40.10	24.80	16.42	+0.01
精整上、下模冲	Cr12MoV		40.09	24.79	16.41	-0.01
粗加工用电极	Cu-W	0.1	39.9	24.60	16.22	± 0.01
精加工用电极	Cu-W	0.035	40.03	24.73	16.35	-0.01
粗加工用研磨棒	HT	0.02	40.06	24.76	16.38	-0.01
精加工用研磨棒	HT	0.01	40.08	24.78	16.40	-0.01

(2) 电加工

1) 正打: 即电极连接在机床主轴上, 工件连接在工作台上进行电加工。用于阴模与上、下模冲的内腔及其端面内形倒角等。

2) 反打: 即工件连接在机床主轴上, 电极固定在工作台上进行电加工。用于芯棒与上下模的外形或上、下模冲端面有凸肩形面等。

(3) 钳工研配

凡与金属粉末成形直接关联的形面(包括内、外形面和端面等)均要研磨、抛光, 粗糙度 $R_a 0.01 \sim 0.02 \mu\text{m}$ ($\nabla 12 \sim \nabla 14$), 研磨余量在 $0.02 \sim 0.03\text{mm}$ 范围内, 抛光余量在 0.005mm 左右。

研磨一般使用金刚石研磨膏和金刚石锉, 也可使用超声波研磨或振动器研磨。当用软木抛光时, 应将其修成与欲抛光的形状相似, 加以研磨膏、稀释剂进行抛光。

(四) 导柱、导套和上、下模板的加工

对模架中的导柱与导套的要求是能保证配合部分的尺寸精度和配合表面的同心度, 导柱一般是用棒料经过车加工、热处理、修复中心孔后, 再在外圆磨床上磨削。磨削时, 应在一次装卡中将导柱的表面磨出, 以保证两个配合面的同心度。磨削时应留 $0.01 \sim 0.015\text{mm}$ 的研磨余量, 以便进行最后的研磨。

导套也是用棒料车加工、热处理后再进行磨削。磨削时应先在内圆磨床上, 以外圆定位磨内孔, 然后将导套固定在芯轴上, 以内圆定位再磨外圆, 以确保内外表面的同心。其研磨方法与余量和导柱相同。

上、下模板通常是由铸铁或铸钢制成。毛坯经铣削或刨削后, 在平面磨床上平磨, 其表面粗糙度要求在 $R_a 1.6 \mu\text{m}$ ($\nabla 7$) 以下, 并确保上、下两平面的平行度在 500mm 的长度上, 偏差不超过 $0.02 \sim 0.03\text{mm}$ 。必要时, 要在坐标磨床上进行加工。

(五) 钢结硬质合金模具的加工

钢结硬质合金的物理-力学性能见表 10-5。

表 10-5 钢结硬质合金的物理力学性能

牌号	密度 /(g/cm ³)	硬 度		抗弯强度 /MPa	冲击韧度 /(J/cm ²)	弹性模量/GPa		新顽力 /(A/m)	热 胀 系 数	
		退火 HRC	淬火 HRA			退火	淬火		温度范围 /°C	热胀系数 °C ⁻¹
GT35	≥6.4	≤48	≥85	1274	58.8	306	298	5411.37	20~200 200~700	8.43×10^{-4} 11.83×10^{-4}
GW1	≥10.2	≤48	≥83	未锻: 1764~2050 已锻: 2352~2548	未锻: 6.8~8.8 已锻: 10.8~11.8					

钢结硬质合金经退火、软化处理(表 10-2)后, 可进行各种机械加工, 加工工艺参数见表 10-6~表 10-14。

由钢结硬质合金制造的模具零件在淬火-回火前可进行粗磨加工, 留 0.05mm 左右的精磨

余量, 热处理后再精磨或研磨。这样做比热处理后再进行磨削加工效率可提高 2~3 倍。磨削工艺参数见表 10-13, 研磨方法见表 10-14。

表 10-6 钢结硬质合金的车削加工工艺 (I)

刀具材料	加工	参数	前角	后角	主偏角	刀尖圆弧	吃刀深度	走刀量	切削速度	冷却形式
			/ (°)	/ (°)	/ (°)	/mm	/mm	/mm	/ (m/min)	
YG8	车外圆	粗车	0~5	4~6	45~75	<1	2~4	0.1~0.3	14~16	干态
		精车	0~5	4~6	45~75	<1.5	0.5~1	0.3~0.5	14~16	干态
YT15	车外圆	粗车	0~5	3~5	45~75	<1	2~3	0.2~0.3	20~25	干态
		精车	0~5	3~5	45~75	<1	<1	0.1~0.3	20~25	干态
YW1 或 YW2	车外圆	粗车	0~5	6~8	45~75	<1.5	2~4	0.1~0.3	25~30	干态
		精车	0~5	6~8	45~75	<1.5	<1	0.2~0.3	25~30	干态
600 610 620	车外圆	粗车	0~5	6~8	45~75	<1	2~3	0.2~0.3	30~35	干态
		精车	0~5	8~10	45~75	<1.5	<1	0.08~0.3	30~35	干态

表 10-7 钢结硬质合金的车削加工工艺 (II)

刀具材料	加工	前角	后角	侧后角	侧角	刀尖圆弧	切削宽度	切削速度	冷却方式
		/ (°)	/ (°)			/mm	/mm	/ (m/min)	
YT15	切断	3~5	6~8	1°30'	1°~1°30'	0.1~0.2	4	12~15	干态
高速钢	切断	15~20 (带卷屑槽)	3~5	1°30'	1°30'	<0.2	4	5~7	干态

表 10-8 钢结硬质合金的铣削加工工艺

加工方式	刀具材料	刀具规格	齿数	主轴转速	切削深度	进给量	切削速度	冷却方式
		/mm		/ (r/min)	/mm	/ (mm/min)	/ (m/min)	
立铣	W18Cr4V 锥柄立铣刀	φ30~φ36	4	60~95	0.5~2	23.5~47.5	7~9	干态
	YG8 锥柄 立铣刀	φ25~φ30	4	118~190	1~3	47.5~60	11~15	干态
卧铣切断	W18Cr4V	φ110×2.5	40	30~47.5	<30	手动	10~16	干态
	锯片铣刀	φ150×3	50	30~47.5	<35	手动	10~14	干态

注: 卧铣时所用的铣刀片可以改成疏齿形, 即每间隔一个齿去掉一个齿。虽然减少了齿数, 但却增大了容屑空间, 更利于排屑, 减少切削阻力。

表 10-9 用普通铣刀与疏齿铣刀加工参数与效率的比较

刀具及几何参数						加工工艺参数				一次加工件数
W18Cr4V φ150×3	齿数	γ (°)	η (°)	齿深 /mm	R 齿根 /mm	主轴转速 / (r/min)	切削深度 /mm	进给量 / (mm/min)	冷却方式	
普通铣刀	50	5~10	5	5	2	30	7	30	干态	2
疏齿铣刀	30	15	8~10	10	4	30	20	30	干态	15

表 10-10 钢结硬质合金的切削工艺参数

刀具材料	加工方式	前角 / (°)	后角 / (°)	主偏角 / (°)	副偏角 / (°)	刀尖半径 / mm	往复行程 / mm	切削深度 / mm	走刀量 / mm	切削速度 / (m/min)	冷却方式
W18Cr4V	粗刨	10~15	4~6	30~75	20~30	1.5~2	12.5~17.9	1.5~2	0.3	7~8	干态
	精刨	10~15	4~6	30~75	20~30	1~1.5	12.5~17.9	<1	0.3	7~8	干态
YG8	粗刨	0~5	4~6	30~60	20~25	1~1.5	17.9~25	1~3	0.3	10~15	干态
	精刨	5~10	4~6	30~60	20~25	1~1.5	17.9~25	<1	0.3	10~15	干态

表 10-11 钢结硬质合金的钻削工艺参数

刀具材料	钻头规格 / mm	钻头锋角 / (°)	转数 / (r/min)	进给量	冷却方式
W18Cr4V	<φ2.5	90~100	500~800	手动	干态
	<φ6	80~90	300~500	手动	干态
	<φ10	70~90	150~200	手动	干态
	<φ15	70~90	50~80	手动	干态
	<φ20	70~90	30~50	手动	干态
	≥φ30	70~90	<40	手动	干态

注: 钻加工时应采用中等压力进刀, 并及时排除切屑, 以防合金碎末磨损钻头, 尽可能一次钻通。

表 10-12 钢结硬质合金攻丝加工的底孔与钢材底孔对照表

攻丝规格	合金底孔/mm	钢材底孔/mm	攻丝规格	合金底孔/mm	钢材底孔/mm
M3	φ2.5	φ2.5	M8	φ6.9	φ5.7
M4	φ3.3~3.4	φ3.3	M10	φ8.8	φ8.5
M5	φ4.3~4.4	φ4.2	M12	φ10.8	φ10.5
M6	φ5.2	φ5.0			

表 10-13 钢结硬质合金的磨削工艺参数

(1) 平面磨削工艺参数									
砂轮	砂轮参数				磨削工艺			冷却液	
	粒度/mm(目)	浓度	结合剂	形状	加工方式	进给量/mm			
人造金刚石(JR1) φ350×φ127×40	0.177(80)	75%	S	P	粗磨	0.01~0.02	特种冷却液		
	0.125(120)				精磨	0.003~0.005			
(2) 外圆磨削工艺参数									
砂轮	砂轮参数				磨削工艺				
	粒度/mm(目)	浓度	结合剂	形状	加工方式	砂轮转速/(m/min)	工件转速/(m/min)	进给量/mm	冷却液
人造金刚石(JR1) φ400×φ203×20	0.177(80)	75%	S	P	粗磨	20	10	0.01~0.02	特种冷却液
					精磨			<0.005	

(续)

(3) 内圆磨削工艺参数						
砂 轮	砂 轮 参 数				磨 削 工 艺	
	粒度/mm(目)	浓度	结合剂	形状	进给量/mm	冷却液
人造金刚石(JR1)	0.177~0.149 (80~100)	75%	S	P	0.01~0.02	特种冷却液
人造金刚石(JR2)	0.177(80)	75%	Q	P	0.01~0.02	

表 10-14 钢结硬质合金的研磨方法

研磨方法	研磨介质	研磨后的表面粗糙度
粗研	M7 碳化硼+煤油	$R_a 0.8\mu\text{m}(\sqrt{8})$
精研	M3.5 人造金刚石研磨膏	$R_a 0.05\sim 0.1\mu\text{m}(\sqrt{12}\sim\sqrt{11})$

(六) 硬质合金模具的加工

用硬质合金做阴模，可以大幅度提高模具的使用寿命。但由于硬质合金的机械加工性能很差。一般是将硬质合金直接制造成接近阴模的形状，并留有一定的加工余量，然后进行磨削加工和电加工。

硬质合金的磨削加工一般用金钢石砂轮，在普通磨床上进行。使用金刚石砂轮时，砂轮旋转要平稳，安装砂轮架的锥度径向跳动不应超过 0.005mm，当发现砂轮变形时，应立即对砂轮进行修整。砂轮的进给量不宜过大，一般为 0.02~0.03mm。砂轮的转速应在 15~25m/s（根据砂轮的直径，可由此计算出转数）。

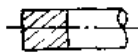
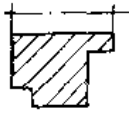
硬质合金阴模的线切割加工方法与一般钢模相同，只是放电间隙略小些为好。当阴模带有台阶孔或锥度孔时，可进行电火花加工。如采用铸铁电极，粗加工放电间隙为 0.10mm。精加工的放电间隙最好为 0.04~0.08mm。

三、模具零件的典型加工工艺举例

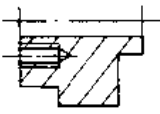
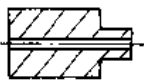
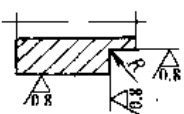
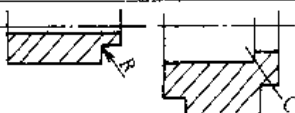
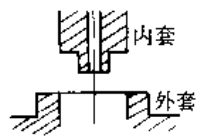
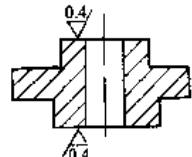
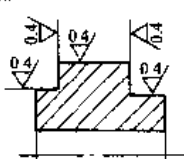


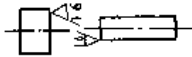
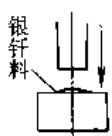
对于阴模、芯棒和上下模冲，可以根据图纸下料，经锻造改善材料组织并退火后，对毛坯的端面及内、外径进行切削加工。切削加工时要留磨加工余量。经过热处理后，磨内外圆及两端面，然后做退磁处理。必要时进行电加工、仿型铣或仿型磨削，最后还要研磨或抛光。

这里以一种粉末冶金齿轮成形模具为例，对模具主要零件的典型加工工艺规范进行介绍（表 10-15）。

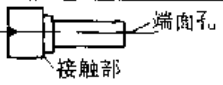
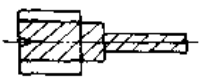
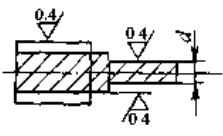
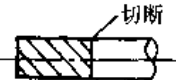

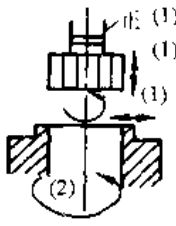
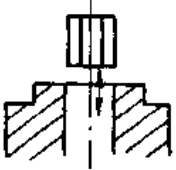
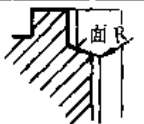
表 10-15 粉末冶金模具零件典型加工工艺规范举例

零件名称	加工工艺	工艺图示	工艺规范
阴模 α (钢模)	1) 下料		根据图纸尺寸放长 5mm 以上进行下料
	2) 车加工		1) 粗切削 2) 外径：图纸尺寸+0.3mm；内径：图纸尺寸下限-1.0mm；全长：图纸尺寸+0.2mm

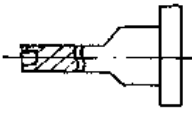

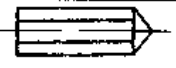
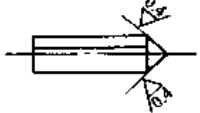
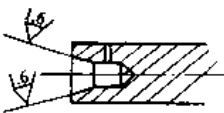
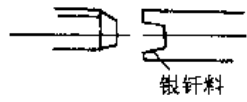
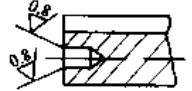
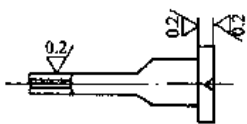

(续)

零件名称	加工工艺	工艺图示	工艺规范
阴模 a (钢模)	3) 攻丝		两孔 M8×1.25×8
	4) 热处理		按表 10-2 选择正确的淬火·回火工艺
阴模 b (硬质合金)	1) 备料		外径按图纸尺寸、内径按图纸尺寸下限-1.0mm、长度按图纸尺寸+1.0mm 的要求备料
	2) 外径磨削		1) 用 0.147mm (100 目) 金刚石砂轮除去氧化皮 2) 以一次夹紧磨削外径和端面 2) R 处成 0.3~0.5mm 弧
外套(保护套)	下料		根据图纸尺寸放长 5mm 以上进行下料
阴模与 外套的组 合	1) 车加工		1) 测量阴模外径尺寸, 根据热压配合过盈量车加工外套的内径 2) 对应阴模 R 处, 加工外套 C 处的倒角
	2) 热压配合		1) 将外套在高频下加热 2) 迅速把外套贴镶在阴模外
	3) 平面磨削		进行上下端面的精磨(用 GC 砂轮及金刚石砂轮), 要注意台阶加工余量
	4) 外圆磨削		1) 用轧头进行加工, 在加工过程中交替加紧(按端面和外径定中心) 2) 台阶部分加工量较大时, 也可改精车加工
电极(加工阴模内孔齿形用)	1) 铜块备料		1) 小齿用料: $\phi 40 \times 20$ 两块(粗、精加工用各一根) 2) 大齿用料: $\phi 45 \times 10$ 两块(粗、精加工用各一根)
	2) 棒体准备		45 钢拉拔棒 4 根(全长下料 190mm)
	3) 车加工		切削铜块及棒体断面
	4) 钎焊		1) 在高频下进行 2) 银钎料使用 SA-2 或 SA-8 (都要去镭)

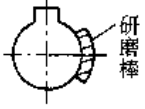
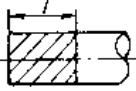
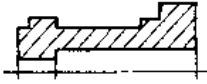
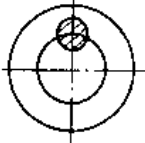
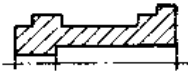
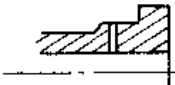
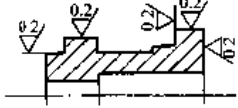
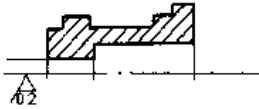
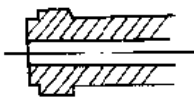
(续)

零件名称	加工工艺	工艺图示	工艺规范
电极(加工阴模内孔齿形用)	5) 车加工		<ol style="list-style-type: none"> 1) 在两端打中心孔, 切削铜块, 外径留 0.3mm 余量 2) 在齿根径处车一台阶 (为测量底径)
	6) 铣加工		<ol style="list-style-type: none"> 1) 用齿轮铣刀在铜块部分进行模数 0.5 以上及齿高 1.0mm 以上的齿的粗切削 (该模数及齿高以下的不进行粗切削) 2) 用分度头进行分度, 放电位置配合用取“正”字
	7) 外圆磨削		<ol style="list-style-type: none"> 1) 进行铜块及棒体的磨削 (也进行接触部分的精加工) 2) 粗、精加工用铜块各自的放电间隙尽量做得小些, 粗加工用为 $\phi 0.5$, 精加工用为 $\phi 0.08$ 3) 使用放电穿孔夹头时, 棒体 ϕd 应注意偏差; 使用弹簧夹具时, ϕd 能精确配合
	8) 齿形磨削 (仿形磨削)		<ol style="list-style-type: none"> 1) 将砂轮 (GC) 成形后, 用金刚石修整器进行磨削 2) 用齿形校验机进行校验, 以齿厚及接触斑点进行检验
研磨棒 (研磨阴模内孔用)	1) 铸件备料		$\phi 40 \times 190$ 、 $\phi 45 \times 190$ 各一根
	2) 车加工		进行粗切削, 有效部位为 100mm, 剩余部分为手柄
	3) 铣加工 4) 齿形磨削		以电极为标准 注意精加工的尺寸, 以图纸尺寸 -0.01 进行
阴模内孔精加工	1) 电火花加工		<ol style="list-style-type: none"> 1) 安装小齿部粗打电极, 校正中心 (注意垂直、对正) 2) 安装阴模, 校正中心 (在上面左右平行找中心) 3) 条件设定后, 进行放电加工 4) 粗放电结束后, 安装精打电极, 以粗打为标准定好中心, 放电加工 5) 大齿部的放电加工也以 (1) ~ (4) 顺序进行 台阶 30° 粗精相同, 加工电极后进行。为消除喇叭口, 精放电至少两次
	2) 研磨 I 机械研磨		<ol style="list-style-type: none"> 1) 用研磨棒和 1500 目金刚石粉末进行研磨 2) 研磨小齿部时, 腐蚀研磨棒顶部 5~10mm, 放入阴模经电加工过的部分进行研磨 3) 研磨大齿部时, 腐蚀研磨棒顶部 3~5mm, 放入阴模经电加工过的部分进行研磨
	3) 研磨 II 手工研磨		<ol style="list-style-type: none"> 1) 使用 1500 目金刚石粉末 2) 台阶内侧取 $R_{0.5}$ 进行台阶 30° 面和 $R_{0.5}$ 的研磨

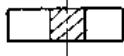
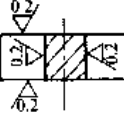
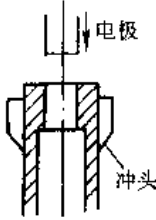
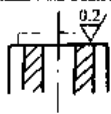

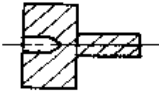

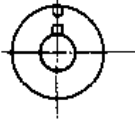
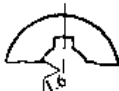
(续)

零件名称	加工工艺	工艺图示	工艺规范
阴模内 孔精加工	4) 检验		进行齿部尺寸的测定
	5) 电刻字		用电笔刻上所定记号
	6) 最终校 验		复检配合状态和精度以及是否有加工遗漏
芯棒接 杆部分	1) 车加工		1) 粗切削 2) 法兰部分取上公差, 其他照图纸加工 3) 钎焊部分从合金顶端打若干个小孔
	2) 钻床加 工		钻 $\phi 1.0$ 通气孔
	3) 热处理		按表 10-2 选择正确的淬火-回火工艺
芯棒(硬 质合金 YG15)	1) 备料		外径为图纸尺寸+1.0mm, 其他按图纸要求
	2) 磨外圆		1) 使用 0.147mm (100 目) 金刚石砂轮去除氧化皮 2) 大致 30° 的角度即可
芯棒与 接杆部分 配合	1) 车加工		1) 按芯棒钎焊部分的尺寸切削接杆钎焊部分与之配合 2) 切削时随时用红丹漆检查配合情况 3) 注意底面间隙在 0.05mm 以下
	2) 钎焊		1) 用去镉 SA 2 银钎料 2) 在高频下进行
	3) 加工芯 棒(钻床或铣 床)		用 0.246mm (60 目) 金刚石砂轮加工
	4) 外圆磨 削		顶住中心孔进行磨削
	5) 工具磨 削		1) 用卡盘进行加工 2) 用 0.147mm (100 目) 金刚石砂轮进行粗加工 3) 用 0.074mm (200 目) 金刚石砂轮进行精加工 4) 用手工转动分度头的同时进行磨削, 外圆部分为图纸尺寸的上公差+0.002mm

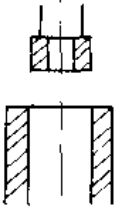
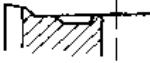
(续)

零件名称	加工工艺	工艺图示	工艺规范
芯棒与接杆 部分配合	6) 研磨		1) 制作与芯棒直径相配的月牙状研磨棒, 其内径尺寸比芯棒外径大 0.01~0.02 (分三等分, 长度 20mm) 2) 用 1500 目金刚石粉末研磨, 键部用铜槽研磨 3) 尺寸确定后, 把布轮安装在回转研磨机上, 进行抛光 4) 用金刚石锉为顶端倒角
	7) 电刻字		用电笔刻上所定记号
	8) 最终校 验		以模冲为标准进行
上、下模冲 (Cr12MoV)	1) 下料		上模冲: $\phi 60 \times 100$ 下模冲: $\phi 60 \times 125$
	2) 车加二		1) 粗加工 2) 外径为图纸尺寸 + 0.3mm; 内径为图纸尺寸 - 0.3mm; 全长为齿轮端部尺寸 + 3mm, 其余按图纸尺寸
	3) 铣加工 a		1) 键部排屑加工 2) 在已钻好的孔中放入 Cr12MoV 的柱销, 用铣床钻孔
	6) 铣加工 b		以电极为标准进行齿部粗加工 (图纸尺寸 + 0.3mm)
	7) 钻加二		在上模冲钻 $\phi 3$ 通气孔
	8) 热处理		按表 10-2 选择正确的淬火-回火工艺
	9) 外圆磨 削		使用 GB 砂轮进行外圆磨加工, 注意齿部、接触部都取下公差
	10) 内圆磨 削		磨削有效部分内径 (取上公差)
	11) 齿形磨 削 (仿形磨 削)		1) 用金刚石修整器将砂轮 (32A) 修成形后, 进行磨削 2) 齿形用齿形校验机做校验 3) 以齿厚及接触斑点进行校验的同时进行加工

(续)

零件名称	加工工艺	工艺图示	工艺规范
电极(键)	1) 铜块备料		长度为100mm的料两根(粗、精各一根)
	2) 平面磨削		键部为图纸尺寸-0.06mm
模冲电加工	1) 放电加工		1) 将键用电极安装在电极夹具上,上下对齐、左右对正 2) 安装模冲,以“上”字定中心 3) 从外周间断供给,进行电极和模冲位置的组合(注意间隙) 4) 进行粗放电加工 5) 用同一要领进行精加工
	2) 研磨(手工研磨)		用油石(WA600)进行研磨,去除放电表面
	3) 组合(于T)		1) 进行模冲配合,去掉齿部棱边 2) 将阴模、芯棒和上、下模冲定位配套
	4) 平面磨削		平磨模冲上、下端面
端面电极	1) 铜块备料		φ40×15一块
	2) 车加工接杆		以齿电极为标准,杆体长度50mm,外径35mm,内径要倒角
	3) 铣加工		1) 取放电加工用“正”字 2) 钻上模冲凸部用孔(φ2.0×10),以放电用“正”字定中心
	4) 放电加工		键部放电加工时,以放电用“正”字定中心
	5) 手工精修		键部不倒角

(续)

零件名称	加工工艺	工艺图示	工艺规范
模冲放电加工	1) 放电加工		<ol style="list-style-type: none"> 1) 安装电极定中心、端面、外径偏差取正 2) 安装上模冲, 定出“正”字的中心。进行位置配合 3) 对上模冲端面放电加工 4) 以上模冲为标准, 进行下模冲端面放电加工
	2) 车加工		结合放电加工过的面, 进行外圆的倒角
	3) 研磨		<ol style="list-style-type: none"> 1) 对模冲端面进行整体研磨 2) 对外周进行回转研磨, 对其他部分进行手工精磨
	4) 电刻字		使用电笔刻上所定记号

第十一章 模具常见损伤和压坯缺陷分析

由于设计、制造及使用不当，粉末冶金成形模具时有损坏，为模具设计、制造及使用者提供这方面的经验，是很有意义的。

对于形状复杂的零件压坯，成形密度越高，产生裂纹的可能性就越大。另外，对于一些形状复杂的零件，在其某些特定的压制成形区，诸如多台阶面零件的截面转接处，也可能存在有隐匿的成形裂纹。在粉末冶金机械零件发展初期，由于原料粉末（特别是铁粉）性能差、压机的可控性差及缺少实践经验等原因，往往难以解决压坯产生裂纹的问题。即使是正确地分析出了压坯产生裂纹的原因，一般也缺少正确的解决办法。

近年来，在原材料和粉末成形压机制造方面都取得了长足进展。这意味着当今已拥有了能够正确、可靠地消除压制成形裂纹的知识与实际手段。当采用合适的原料粉末、正确的粉末混合料、合适的模具及模架系统与压机时，一般说来，即使是对于压制形状复杂的、高强度的粉末冶金零件，也能消除其压坯缺陷。这种可靠性的保证，对于扩大粉末冶金零件在许多工业技术领域的应用十分重要。

本章，对粉末冶金成形模具在使用中经常出现的各种损伤现象，特别是对复杂形状零件在压制成形时出现的压坯裂纹进行了详细分析，并提出改进措施，供模具设计者与压制成形操作人员参考。

第一节 模具常见损坏的原因和改进措施

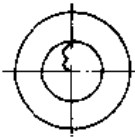
粉末冶金成形模具在使用中出现的主要问题大多是非正常性损坏，其主要原因归纳起来有以下几个方面：

- 1) 设计不合理；
- 2) 热处理不当；
- 3) 模具材料有缺陷；
- 4) 使用时操作不正确。

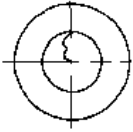
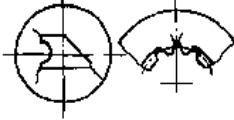
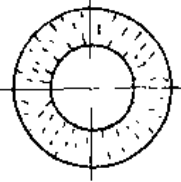
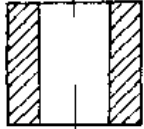
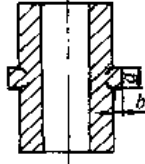
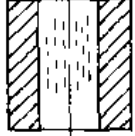
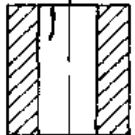
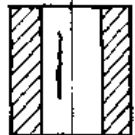
一般说来，只要设计合理、选材合适、热处理得当、严格按照操作规程制造与使用，上述问题是能够解决的。

表 11-1 所示为阴模损坏的原因与改进措施。表 11-2 所示为芯棒损坏的原因与改进措施。表 11-3 所示为模冲损坏的原因与改进措施。

表 11-1 阴模损伤原因及改进措施

损伤形式	简 图	损 伤 原 因	改 进 措 施
圆模碎裂		<ol style="list-style-type: none">1) 模壁厚，强度不够2) 热处理不当，如过脆、内应力大	<ol style="list-style-type: none">1) 增大壁厚；加模套并合理选择过盈量2) 改进热处理工艺

(续)

损伤形式	简图	损伤原因	改进措施
圆模碎裂		3) 材质缺陷, 如裂纹、气孔、夹杂 4) 过压, 如重叠压制、加粉过多、脱模时未撤压垫等	3) 材料加工前做探伤试验 4) 严格按工艺规程操作
异形模碎裂		1) 尖角处产生应力集中 2) 模套刚性不够 3) 热处理不当 4) 材质缺陷	1) 加模套, 并合理选择过盈量, 采用镶拼模, 避免清角 2) 阴模外形选圆形 3) 改进热处理工艺 4) 进行材质探伤
表面龟裂		1) 磨削热引起, 如进刀量太大, 砂轮钝, 冷却液不充分 2) 热处理不当 3) 材质缺陷	1) 选择合适砂轮, 采用合理的磨削参数, 勤修砂轮, 改善冷却条件 2) 改进热处理工艺 3) 进行材质探伤
崩裂		1) 手动模操作不当, 自动模调整中心不当 2) 热处理不当	1) 手动模阴模口加圆角或倒角, 自动模注意调模 2) 改进热处理工艺 3) 严格按工艺规程操作
凸缘碎裂		1) 强度不够, 如尺寸 a 小, b 大, 发生剪切或弯曲断裂 2) 垂直度差, 产生额外弯曲应力 3) 清角应力集中 4) 热处理不当, 台阶处过于硬脆	1) 增加强度, a 大, b 小 2) 提高台阶处的垂直度 3) 台阶消除清角, 改为圆角 4) 适当降低凸缘硬度, 如局部退火等
拉毛		1) 阴模与模冲配合间隙不当, 塞粉划伤 2) 阴模内腔硬度低 3) 粉中混有硬质点	1) 合理选择阴模与模冲的配合 2) 提高阴模内腔的硬度 3) 粉料用前过筛
暗伤		模冲没对正阴模, 不垂直进入阴模压制	1) 手动模阴模口采用圆角, 精心操作 2) 自动模注意调模
		1) 压机上下台面不平行较严重 2) 模冲不垂直进入阴模压制 3) 配合间隙不当, 塞粉 4) 模壁产生模瘤 5) 粉中混有硬颗粒	1) 检修压机, 使上下台面平行 2) 调正模具 3) 合理选配合间隙, 消除塞入的粉末 4) 调整工艺参数, 加强润滑, 消除模瘤 5) 粉料用前过筛

(续)

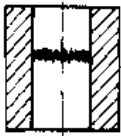

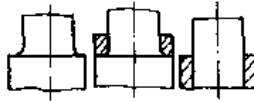
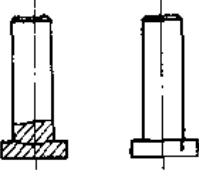


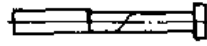
损伤形式	简图	损伤原因	改进措施
型腔凹形		1) 阴模硬度低, 耐磨性差, 造成塑性变形或严重磨损 2) 粉料摩擦系数大 3) 压制力过大	1) 选用优质模具材料, 改进热处理工艺, 并防止磨削退火 2) 加强润滑 3) 调整工艺参数, 适当减少压制压力

表 11-2 芯棒损伤原因及改进措施

损伤形式	简图	损伤原因	改进措施
颈根断裂		1) 结构不当, 如清角 2) 热处理不当, 内应力过大 3) 芯棒长度不当, 受轴向压力 4) 装粉不均匀, 受侧向压力	1) 改变结构, 如下图所示  a) 加圆角或倒角; b) 附加压圈; c) 模冲和芯棒两体 2) 改进热处理工艺 3) 不使芯棒受压 4) 改善装粉均匀性
凸缘断裂		1) 结构不当, 如清角、凸缘受力 2) 热处理不当, 内应力大 3) 芯棒与凸缘端面不垂直度大, 或垫不平 4) 固定芯棒的模板刚性过差	1) 改变结构, 如下图所示  a) 加圆角或倒角 b) 凸缘底端周圈不受力 c) 底部球面, 自动调心 2) 改进热处理工艺, 适当降低凸缘的硬度 3) 减小不垂直度, 要垫平 4) 加厚模板
螺纹孔断裂		1) 热处理过硬 2) 螺纹壁太薄 3) 压制时螺纹受力	1) 适当降低螺纹处硬度 2) 小直径芯棒不用此结构 3) 使端面受力, 螺纹只起连接作用
细长件断裂		1) 热处理过硬 2) 芯棒受弯曲应力 3) 芯棒受轴向压力 4) 脱模力太大被拉断	1) 非工作段适当降低硬度 2) 提高装配精度, 装粉均匀 3) 不使芯棒受压 4) 改变脱模方式, 先脱阴模, 再脱芯棒

(续)

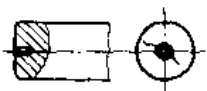
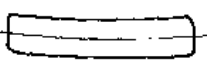


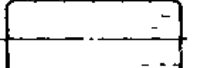
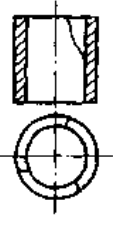

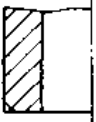

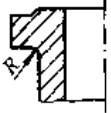
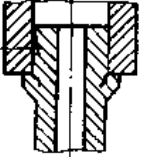
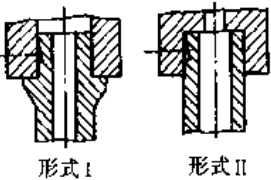
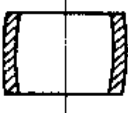
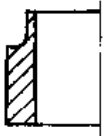
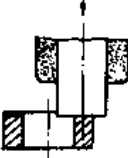
损伤形式	简图	损伤原因	改进措施
内应力碎裂		1) 热处理不当, 如加温过高, 冷却太快, 没回火或回火不及时等 2) 中心孔处产生应力集中	1) 改进热处理工艺, 淬火后及时回火 2) 尽量不留中心孔, 或降低中心孔的冷却速度
弯曲变形		1) 热处理不当, 如硬度过低, 淬火方向不妥 2) 操作装粉不均	1) 适当提高硬度, 采用垂直淬火或液淬 2) 装粉要均匀
墩粗变形		1) 设计过长或脱模高度不够, 使芯棒受压 2) 热处理硬度低	1) 芯棒高度低于阴模, 加长脱模高度 2) 提高热处理硬度
成形凹凸形		1) 芯棒硬度低或耐磨性差, 产生塑性变形或严重磨损 2) 粉末摩擦系数大 3) 压制压力过大	1) 提高淬火硬度, 选用耐磨性好的材料 2) 加强润滑 3) 适当降低压制压力
拉毛		1) 热处理硬度低 2) 与模冲配合间隙不当, 过松则嵌粉划伤; 过紧则模冲划伤 3) 粉中混有硬质点 4) 模冲端口有毛刺	1) 提高热处理硬度 2) 选择合理配合间隙 3) 防止粉中混有硬质点, 粉中添加润滑剂 4) 去掉模冲毛刺

表 11-3 模冲损伤原因及改进措施

损伤形式	简图	损伤原因	改进措施
碎裂		1) 热处理不当, 如过脆, 内应力过大 2) 材质缺陷 3) 压力过大 4) 模冲不正, 与阴模或芯棒相碰	1) 改进热处理工艺 2) 材质加工前探伤 3) 压机设有保险装置(限压) 4) 手动模阴模加圆角, 模冲放正。自动模校准中心, 并紧固防止松动
掉角或倒角		1) 热处理硬度不当, 过高崩碎, 过低翻边 2) 模冲与阴模配合间隙太大	1) 尖角部位硬度适当 2) 减小配合间隙

(续)

损伤形式	简 图	损 伤 原 因	改 进 措 施
崩角		模冲未对正模腔, 与阴模或芯棒相碰	1) 阴模和芯棒端口加圆角 2) 自动模校正要细心
凸缘断裂		1) 清角处应力集中 2) 圆角配合不当, 压套圆角半径大于阴模相应处的圆角半径, 即 $R_{套} > R_{阴}$ 3) 凸缘垂直度差, 压制时凸缘单边受力 4) 热处理过硬、过脆	1) 增设圆角 2) $R_{套} < R_{阴}$ 3) 不使凸缘受力, 如下图所示  4) 适当降低硬度, 增加韧性
凸缘剪断		上模冲凸缘受力不妥, 凸缘被剪断	不使凸缘受剪, 改为如下图形式 I, 定位孔径缩小; 或采用形式 II, 去掉凸缘 
变形		1) 热处理硬度不够 2) 薄壁较高, 模冲刚度不够	1) 适当提高硬度 2) 薄壁模冲做成如下图所示的形式, 改善薄壁处的刚性 
压碎		下模冲与芯棒间隙较大, 脱模时下模冲先落下, 同时脱模座高度较小, 下模冲被芯棒压碎	1) 用液压机时, 可加高脱模座 2) 用冲床时, 脱模座内可加弱弹簧, 托住下模冲

第二节 压坯裂纹的形成原因与对策

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，这既和模具、模架及压机结构的设计密切相关，也和原料铁粉与粉末混合料的性能有很大关系。

一、粉末混合料中润滑剂含量对裂纹形成的影响

粉末混合料中润滑剂的含量应根据零件压坯的形状与密度进行调整，而不应该总是加入一定量，例如1%。当粉末混合料的润滑剂添加量不合适时，成形的压坯就可能出现裂纹。

1) 粉末混合料中润滑剂的添加量取决于压坯的侧面面积，也就是压坯脱出时，压坯侧面和阴模型腔与芯棒的接触面积。图 11-1 所示为压坯脱模时，润滑剂添加量对脱模过程的影响。润滑剂添加量合适时，压坯的脱出曲线是平滑的。若润滑剂添加量不合适，压坯脱出时出现粘-滑现象，这时就可能造成压坯中出现裂纹。

2) 在粉末混合料中石墨与固体润滑剂的添加量之和太大时，它们将充满压坯内的孔隙和使压坯处于较高的密度水平。在高的压制力作用下，这些复合润滑剂在压坯内的孔隙之间通过液压水平流体移动可能形成分层裂纹。

3) 另外，石墨与固体润滑剂的添加量多时，压坯的弹性后效显著增大，在装粉或压制时易发生分层。

粉末混合料的稳定性可能会影响压机作业的一致性。因此，为避免由于装粉与压制成形条件发生变化而使压坯产生裂纹，粉末混合料不要混合完就立即使用。混合后，粉末混合料的松装密度与流速常按渐近线的规律发生变化（通常是使松装密度增大），致使装粉的规范和装粉量发生变化。因此，在装粉容积恒定的条件下，当压坯密度要求高时，压制力有可能超过模具材料的容许强度。总之，实际装粉情况的变动，在压制成形时也有可能引发裂纹。

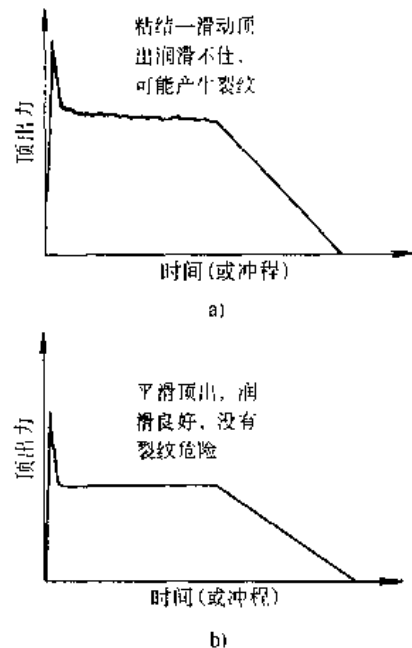


图 11-1 压坯的典型脱出曲线
a) 粘结-滑动顶出，润滑确易发生裂纹
b) 平滑顶出，润滑良好，没有发生裂纹危险

二、模具设计、制造和安装对裂纹形成的影响

在压制成形时，模具的设计、制造及状态都可能使压坯中产生裂纹。鉴于模具零件的弹性变形或不可控弯曲都可能导致压坯产生裂纹，模具的刚度必须尽量高。这意味着，对于阴模镶嵌件与芯棒宁可使用硬质合金而不用高速钢制造。同时，对模冲上的任何切削加工空刀量都必须尽量减小。模冲支承板的刚度必须很高，以减小受力时产生的变形和避免模冲底面失效。必须尽量减小芯棒向侧面移动的间隙。若对零件压制图的重心位置计算不精确，模冲就可能发生不可控弯曲，致使压制的压坯产生裂纹。通常，进行这种计算时都没有考虑到压制成形多台阶面零件压坯时模壁摩擦对应力分布图的影响。对于某些形状零件，压制时作用在模冲上的扭矩可能会使模冲暂时发生弯曲。当从顶部施加的压力释放导致阴模内的压坯

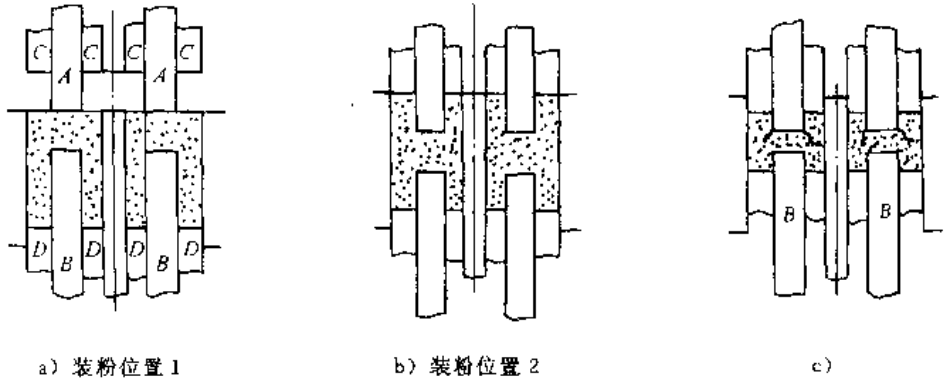
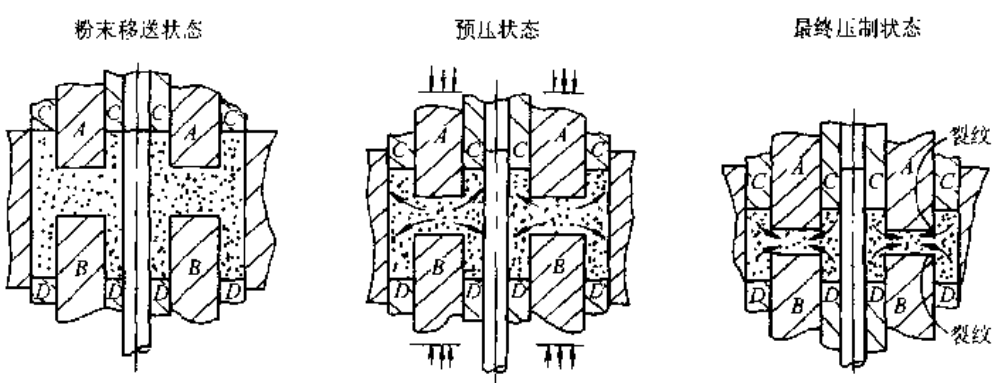
的平衡发生某些变化时，压坯就会开始产生裂纹。在模具设计中，各个模冲，从装粉位置到最终压制位置的行程，都必须是固定不变的，不得出现任何非重现性的动作。

为避免一些模具零件发生不可控弯曲，必须对相关零件的尺寸、表面状态、成套的完整性进行检验。若压机的维护状况很差，就不可能保证模具的正常作业。因此，容许压头进行侧向位移的任何间隙都可能引起一些小的相对的侧向位移，并对压坯与模具产生影响。

三、在压制过程中可能产生的压坯裂纹与缺陷及对策

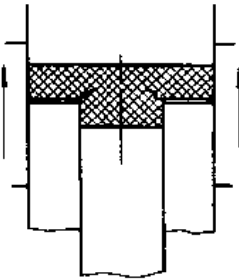
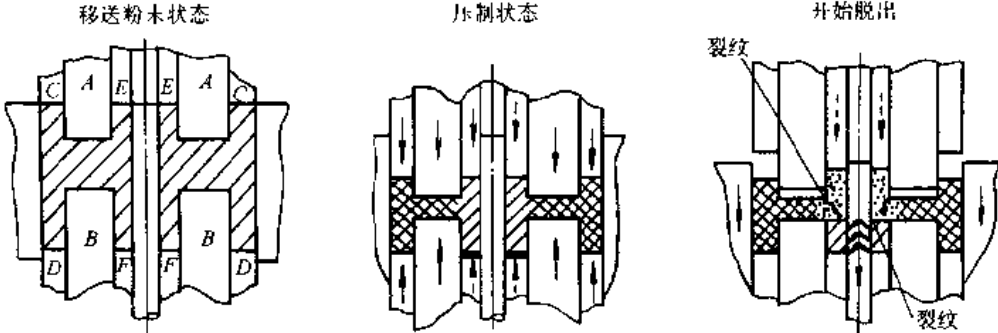
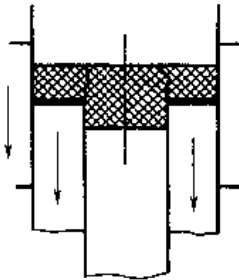
在压制过程中可能导致裂纹产生的一些原因及纠正措施进行分类并列入表 11-4 中，将因模具粗糙度、刚性及其它综合因素造成的压坯缺陷和裂纹及改进措施列入表 11-5 中。

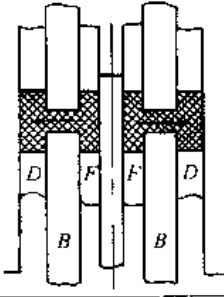
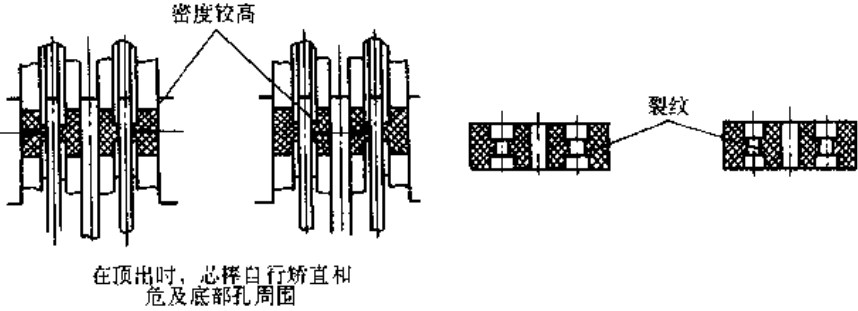
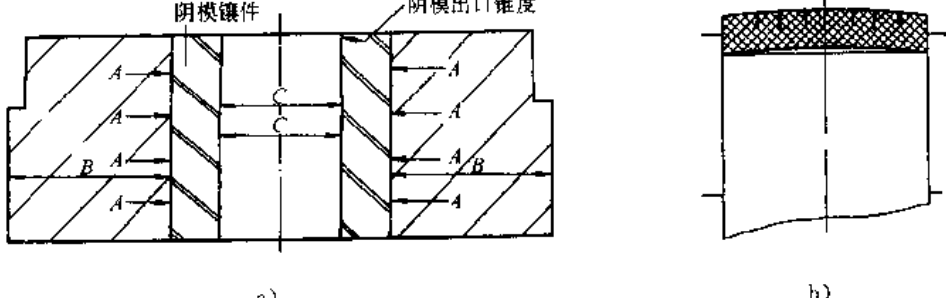
表 11-4 在压制过程中复杂形状的压坯裂纹产生原因及改进措施

分类	粉末移送不当产生的裂纹
<p>简图 (1)</p> <p>引发裂纹的原因及改进方法</p>	 <p>a) 装粉位置 1 b) 装粉位置 2 c)</p> <p>以 H 形零件（齿形带轮、同步器毂）为例。开始压制前，如粉末移送到装粉位置 1 而未达到装粉位置 2 就已开始对粉末体进行压制的话，则将产生图 c 表示的裂纹。这种裂纹是由于位于模冲 A 与 B 之间的向下移送的粉末量不充分，致使部分压实的粉末材料在垂直压制移动时在横向对其他部分压实的粉末材料进行挤压所致。可通过精确调节粉末移送位置与加压过程的速度来纠正。粉末移送一般是用机械联动装置进行的。通过用电子或液压系统闭环控制速度，也能完全同步地使上模冲 A 和下模冲 B 将其间的粉末体准确地移送到装粉位置 2</p>
分类	预压制状态时因下模冲反向压力太大产生的裂纹
<p>简图 (2)</p>	 <p>粉末移送状态 预压状态 最终压制状态</p> <p>裂纹 裂纹</p>

<p>分类</p>	<p>预压制状态时因下模冲反向压力太大产生的裂纹</p>
<p>引发裂纹的原因及改进方法</p>	<p>以H形零件压坯成形为例,开始压制时,如上图所示,若由于下模冲B对上覆的粉末体反向压力太大,就会将上模冲A与下模冲B间的粉末体挤向了相邻的粉末体。在最终压制时,由于模冲C与D之间粉末体的密度较高,压制的材料就又被从模冲C与D之间挤向模冲A与B之间的低密度区,从而使压坯中产生挤压剪切裂纹。这种裂纹的特征是略微向上弯曲。在大多数情况下,这种裂纹并不会马上显示出来,在压坯断裂或破碎或烧结之前是看不出来的</p> <p>解决办法是减小支承下模冲B的反向压力,在一些情况下可采用强制阴模浮动</p>
<p>分类</p>	<p>在预压制状态时因下模冲反向压力太小产生的裂纹</p>
<p>简图(3)</p>	
<p>引发裂纹的原因及改进方法</p>	<p>若开始压制时,由于下模冲B对上覆的粉末体反向压力太小而过早的下行,致使模冲C与D间的粉末体移向了模冲A与B之间。在最终压制时,由于模冲A与B之间粉末材料密度较高,压制的粉末材料就又被从模冲A与B之间反向挤到模冲C与D之间的低密度区,从而使压坯中产生了以略微向下弯曲为特征的剪切裂纹</p> <p>只需增大对下模冲B的支承力就可以消除这种裂纹</p>
<p>分类</p>	<p>压制终了时(压力减至接近零)因各个模冲的弹性变形不同而引发的裂纹</p>
<p>简图(4)</p>	
<p>引发裂纹的原因及改进方法</p>	<p>模具设计规定下模冲B与F比下模冲D长。因此,在同样压力下,下模冲B与F的绝对弹性应变变量就比下模冲D大。压制力消除后,所有下模冲都将回复它们未变形时的形状,但只有下模冲B与F对其外表面仍紧贴在阴模中的零件压坯施加压力。回复时,下模冲D因反作用力小而和相应的压坯台面脱离,二者之间就产生一小间隙。因此,就如图所示产生了受下模冲B与F支承的压坯台面向上挠曲,从内向外将之从外环截而上撕裂的现象</p> <p>对于这种裂纹,可通过减低下模冲B与F上粉末材料的密度或借助于使用盘簧人为地增大外环截面下模冲D的反作用量来解决。最好采用可编程的液压缸,因为它对于伸长的力与时间都能通过精确编程进行控制</p>

(续)

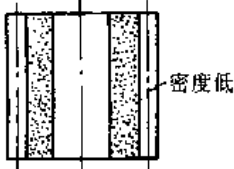
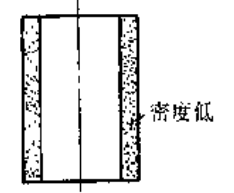
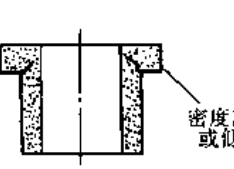
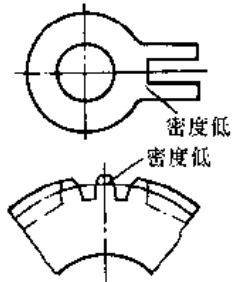
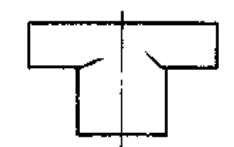
分类	压制终了时阴模动作失控而引发的裂纹	
简图 (5)		
引发裂纹的原因及改进方法	<p>在达到压制终点时,要在很短的时间内使阴模落在固定挡块上,以使之不会移动或上、下跳动。同样,必须由压机施力于阴模。否则压机的阴模支承机构将会胀大和损坏压坯。倘若压坯仍有一部分箍紧在一模冲中的话(如上图所示),压坯就不能随着阴模向上移动而自由移动,从而在压坯转角处撕裂。因此,一定要避免阴模的移动失控</p>	
分类	局部密度太低引发的裂纹	
简图 (6)		
引发裂纹的原因及改进方法	<p>如上图所示的H形零件压坯,若下模冲F上覆的粉末材料下部密度太低,则对这一部分压坯的压制力就较小。因此,在压力释放阶段,下模冲B与D的伸长就比下模冲F长。由于摩擦力作用,压坯抱紧在芯棒上,从而就产生了图中所示的弯曲断裂。很清楚,对于这种缺陷可用增高内环密度或采取液压“滞后”,即下模冲B的可控延迟来解决</p>	
分类	由于脱出模具零件的动作不同步而引发的裂纹	
简图 (7)		
引发裂纹的原因及改进方法	<p>脱模时作用于压坯上的挠曲力可能引发裂纹。最经常发生的原因是,对多台阶面零件压坯的一些台阶面缺少下面的支承。上图为一典型示例。弹性应变回复的差异或一些夹紧零件的不可控间隙都可能使压坯产生很危险的、小的垂直位移,从而导致压坯开裂。这些裂纹可用压紧脱模的方法来消除,即用合适弹簧承载的上模冲将压坯压紧,一直到阴模上表面和压坯的无支承下端面齐平,也就是压坯从阴模中完全脱出为止</p>	

<p>分类</p>	<p>从阴模中脱出时, 因压坯径向胀大而产生的裂纹</p>
<p>简图 (8)</p>	
<p>引发裂纹的原因及改进方法</p>	<p>这种裂纹经常地出现在形状复杂、高度矮的压坯中。上图为一典型示例。借助于减小下模冲 F 与 B 上粉末材料的密度可以避免这种裂纹, 但采用这种解决措施时, 成形压坯的密度必须处在允许的范围内, 否则就需要进行复压以提高下模冲 F 与 B 上粉末材料的密度。另外一个方法是将阴模出口区作成圆锥形。圆锥上部的直径应等于压坯脱出、胀大后的直径, 圆锥深度应等于压坯与阴模接触的高度。为避免上模冲角部快速磨损, 圆锥深度应等于上模冲入口处的深度。通常圆锥的角度为 $1^\circ \sim 3^\circ$。但这种阴模已不再能进行吸入装粉。另外, 圆锥形阴模还往往对上、下模冲的使用寿命有不良影响。有时只要将阴模上部的角作成适当的圆角就能解决因压坯回弹而可能产生裂纹的问题</p>
<p>分类</p>	<p>压坯脱出时因芯棒侧移而引发的裂纹</p>
<p>简图 (9)</p>	
<p>引发裂纹的原因及改进方法</p>	<p>当压坯中有的孔不位于其中心位置时, 如减震器活塞, 芯棒可能会因压坯的密度分布不适宜而被向外或向内推移。若外部密度较高时, 芯棒将被向内推移; 反之, 芯棒就被推向外部。在上模冲一离开压坯时, 或脱出时, 侧移的或弯曲的芯棒将自行矫直, 而破坏压坯底部孔的周围 (见上图)</p>
<p>分类</p>	<p>在阴模出口处因压坯弯曲或鼓胀而产生的裂纹</p>
<p>简图 (10)</p>	

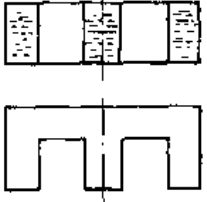
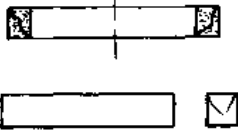
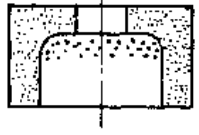
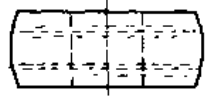
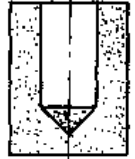
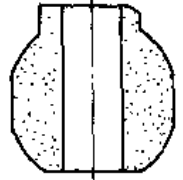
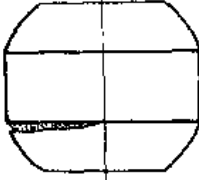
(续)

引发裂纹的原因及改进方法	<p>倘若阴模的压制成形区(C-C位置)被磨损;或在上图所示的A-A位置阴模的预应力加固外套对阴模镶嵌件的过盈量不够大,在B-B处加固外套的厚度不够大,或阴模镶嵌件不是用硬质合金而是用工具钢制造的;或阴模出口端锥度不够大,都可能使压坯中产生层裂。为避免这种裂纹,必须防止压坯产生任何鼓胀。加固外套对阴模镶嵌件的标准热装过盈量为阴模镶嵌件外径的0.25%</p> <p>“扁平”压坯从阴模中脱出时,也可能因鼓胀而产生层裂,如图所示。对于这种缺陷,只要采用压紧脱模,也就是上模冲一直以一定的压力压紧压坯,直到压坯完全从阴模中脱出为止,就能予以消除</p>
--------------	---

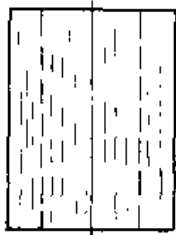
表 11-5 因模具、压制方式等因素引发的压坯缺陷及改进措施

缺陷形式	简图	产生原因	改进措施
中间密度过低		<ol style="list-style-type: none"> 1) 横面积过大,双向压制仍不适用 2) 模壁粗糙度差 3) 模壁润滑差 4) 粉料压制性差 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 大孔薄壁可改用双向摩擦压制 2) 改善模壁粗糙度 3) 在模壁或粉料中加润滑剂 4) 粉料还原退火
局部一端密度过低		<ol style="list-style-type: none"> 1) 长细比或长壁厚比过大,单向压制不适用 2) 模壁粗糙度差 3) 模壁润滑差 4) 粉料压制性差 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 改用双向压、双向摩擦压或后压等 2) 改善模壁粗糙度 3) 在模壁或粉料中加润滑剂 4) 粉料还原退火
台阶密度超高或过低		<p>补偿装粉不恰当</p>	<p>调节补偿装粉量</p>
薄壁处密度过低		<p>局部长与壁厚比过大,单向压制不适用</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) 采用双向压制或薄壁处局部双向摩擦压制 2) 改善模壁粗糙度 3) 模壁局部加强润滑
裂纹		<ol style="list-style-type: none"> 1) 补偿装粉不当,密度差较大 2) 粉料压制性能差 3) 脱模方式不对 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 调整补偿装粉 2) 改善粉料压制性 3) 采用正确脱模方式,如带内台产品,应先脱薄壁部分;带外台产品,应带压套,用压套先脱凸缘

(续)

缺陷形式	简图	产生原因	改进措施
裂纹	侧面龟裂 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 阴模内孔沿脱模方向尺寸变小。如加工中的倒锥, 成形部位已严重磨损, 出口处有毛刺 2) 粉料中石墨粉偏析分层 3) 压机上下台面不平, 或模具垂直度和平行度超差 4) 粉末压制性差 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 阴模沿脱模方向加工出脱模锥度 2) 粉料中加些润滑油, 避免石墨偏析 3) 改善压机和模具的平直度 4) 改善粉料压制性能
	对角裂纹 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 模具刚性差 2) 压制压力过大 3) 粉料压制性能差 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 增大阴模壁厚, 改用圆形模套 2) 改善粉料压制性, 降低压制压力 (达相同密度)
皱纹 (即轻度重皮)	内台拐角皱纹 	大孔芯棒过早压下, 端台先已成形, 薄壁套继续压制时, 粉末流动冲破已成形部位, 又重新成形, 多次反复刚出皱纹	<ol style="list-style-type: none"> 1) 加大大孔芯棒最终压下量, 适当降低薄壁部位的密度 2) 适当减小拐角处的圆角
	外球面皱纹 	压制过程中, 已成形的球面, 不断地被流动粉末冲破, 又不断重新成形的结果	<ol style="list-style-type: none"> 1) 适当降低压坯密度 2) 采用松装比重较大的粉末 3) 最终滚压消除 4) 改用弹性模压制
	过压皱纹 	局部单位压力过大, 已成形处表面被压碎, 失去塑性, 进一步压制时不能重新成形	<ol style="list-style-type: none"> 1) 合理补偿装粉避免局部过压 2) 改善粉末压制性能
缺角掉边	掉棱角 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 密度不均, 局部密度过低 2) 脱模不当, 如脱模时不平直, 模具结构不合理, 或脱模时有弹跳 3) 存放搬运碰伤 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 改进压形方式, 避免局部密度过低 2) 改善脱模条件 3) 操作时细心
	侧面局部剥落 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 镶拼阴模接缝处有缝 2) 镶拼阴模接缝处有倒台阶, 压坯脱模时必然局部剥落 (即球径大于柱径, 或球与柱不同心) 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 拼模时应无缝 2) 拼缝处只许有不影响脱模的台阶, (即图中球部直径可小一些, 但不得大, 且要求球与柱同心)

(续)

缺陷形式	简图	产生原因	改进措施
表面划伤		1) 模腔表面粗糙度差,或加工时粗糙度高,或模腔硬度低使用中变差 2) 模壁产生模瘤 3) 模腔表面局部被啃或划伤	1) 提高模壁的硬度和粗糙度 2) 消除模瘤,可加强润滑
尺寸超差		1) 模具磨损过大 2) 工艺参数选择不合适	1) 采用硬质合金模 2) 调整工艺参数
不同心度超差		1) 模具安装调中差 2) 装粉不均 3) 模具间隙过大 4) 模冲导向段短	1) 调模对中要好 2) 采用振动或吸入式装粉 3) 合理选择间隙 4) 增长模冲导向部分

第三节 粉末移送机构和模冲速度对压坯缺陷的影响

在用单轴向刚性模具压制成形多台阶面的、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料正确地配置在压模中的各个相应位置,否则,压制成形时,在压坯中就会出现各种各样的剪切裂纹,这些裂纹在压制成形时也许看不出来,但烧结时会因压坯热胀而显现出来。

一、粉末移送机构对压坯缺陷的影响

一些类型的粉末成形压机中现在都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阶面压坯。

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 11-2 所示为一拉下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压坯上部的凹入部(如表 11-4 中简图(4)所示)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空气缸与活塞前进的,在压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向气缸与活塞上升,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。压机上压头使上模冲向阴模行进, 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和进入阴模型腔, 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的厚度与密度不稳定或截面转接处开裂, 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高与厚度过大, 且内、外环截面的密度减小与压制的高度尺寸小 (图 11-3a)。

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 11-3b)。

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的自由螺旋有适当的活动范围, 不要使螺旋相互连接。在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 11-3c 所示, 将在截面转接处产生裂纹。

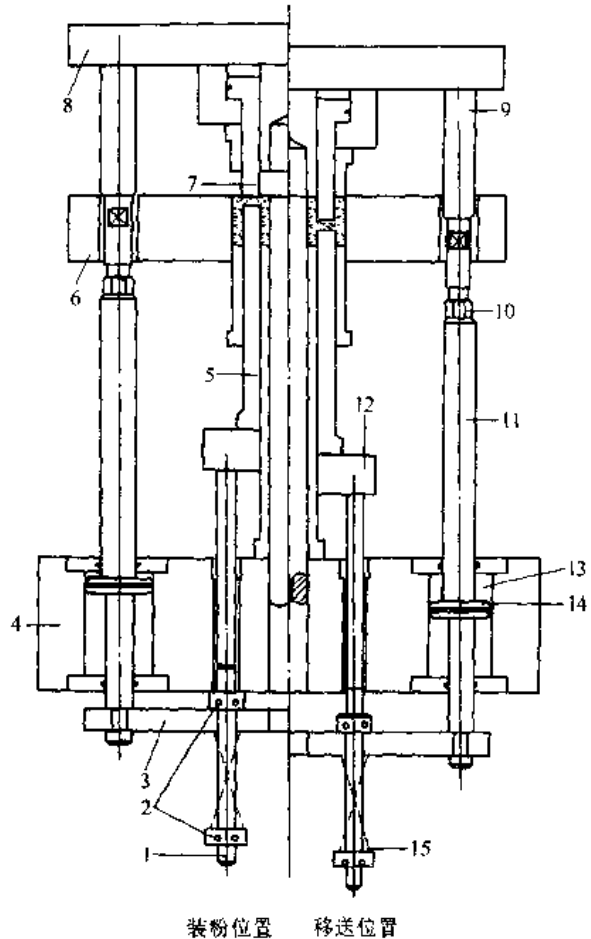


图 11-2 拉下式压机模架的粉末移送系统

- 1—移送回程杆 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—下模冲支承板
13—空气缸 14—活塞 15—移送补偿弹簧

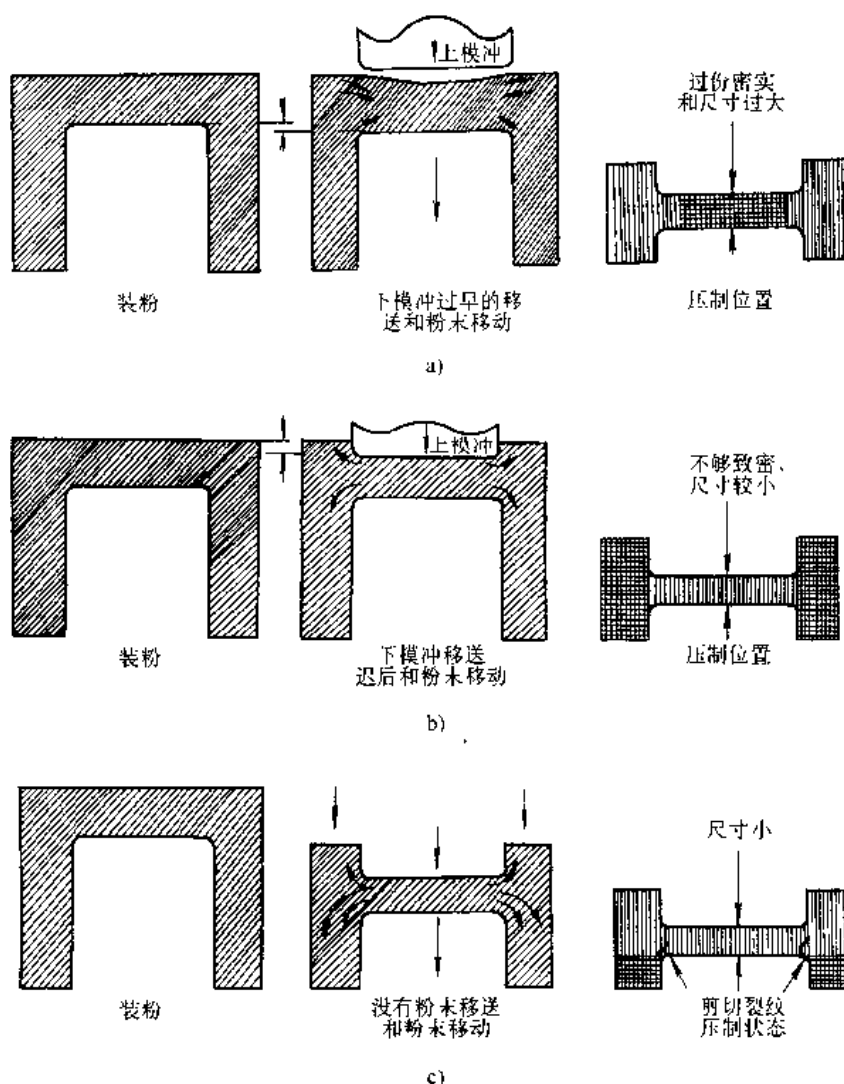


图 11-3 模冲移动速度与粉末移送装粉不当造成的压坯裂纹

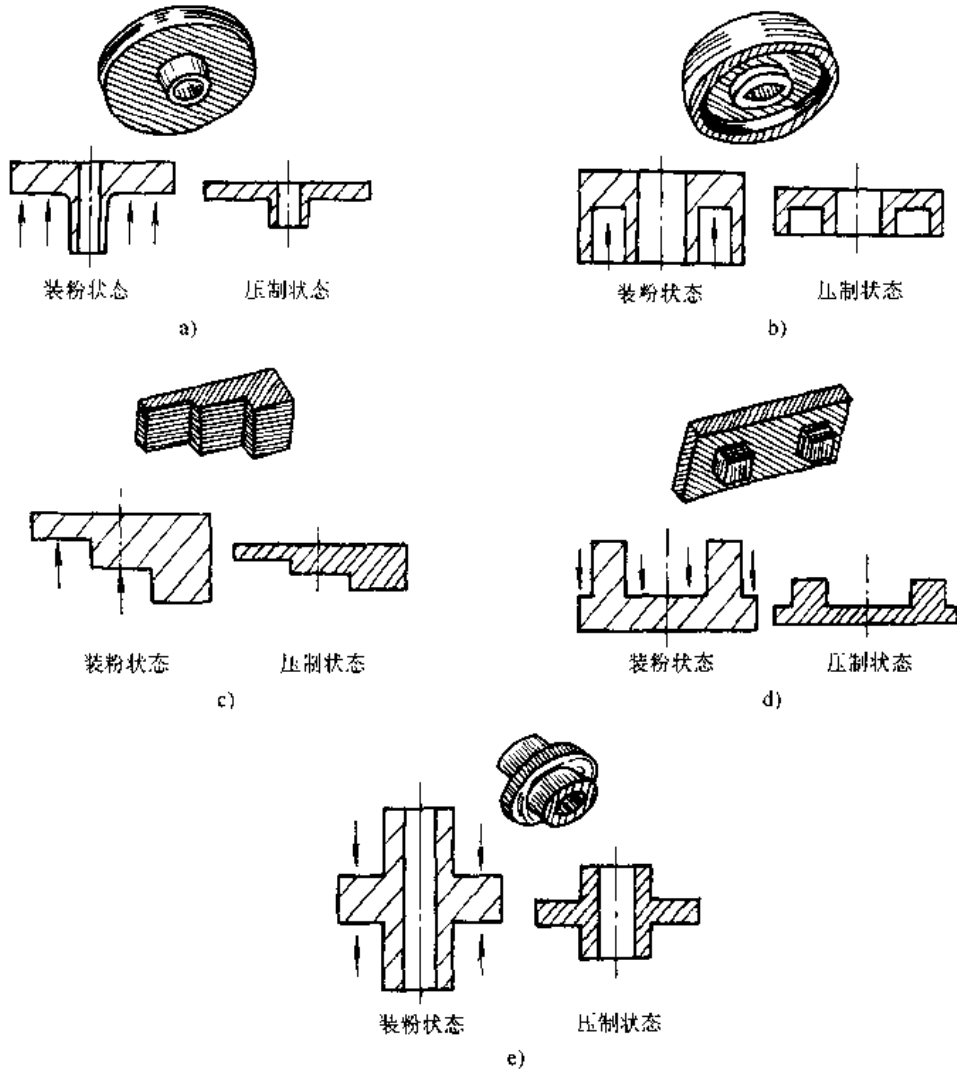
二、模冲加压速度不当引发压坯中的裂纹

在压制成形形状复杂的、多台阶面压坯时，为防止压坯中产生裂纹，除采用粉末移送技术装粉使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，当先成形的密度较高的压坯截面的粉末材料挤向密度较低的截面时，在压制动作较迟的截面就会产生裂纹。

图 11-4a~e 示出五种零件压坯的示意图，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 11-5 中的压坯示意图清楚表明，相对于图 11-4a~e 所示压坯，由于模具设计不正确或生产用压机的设定相反，致使压坯中产生的各种问题。

图 11-5 中的两行压坯示意图，左边一行是对可动模冲缺少控制者，其或者是对可动模冲的压制速度没有进行控制，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



(图中箭头表示成形该截面的模冲的速度需要控制)

图 11-4 成形时要求控制可动模冲压制速度的压坯举例

不同方向产生裂纹。

图 11-5 左边一行从上向下第二个零件例 b 表明,若辐板与内环截面的密度太高,则将会引发材料的弛豫裂纹。对于这一类型的压坯,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,设计一适当的速度控制系统,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 11-5 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。

三、拉下式压机模架系统的设计

图 11-6 表示,图 11-4e 所示压坯成形用模架系统的设计。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。

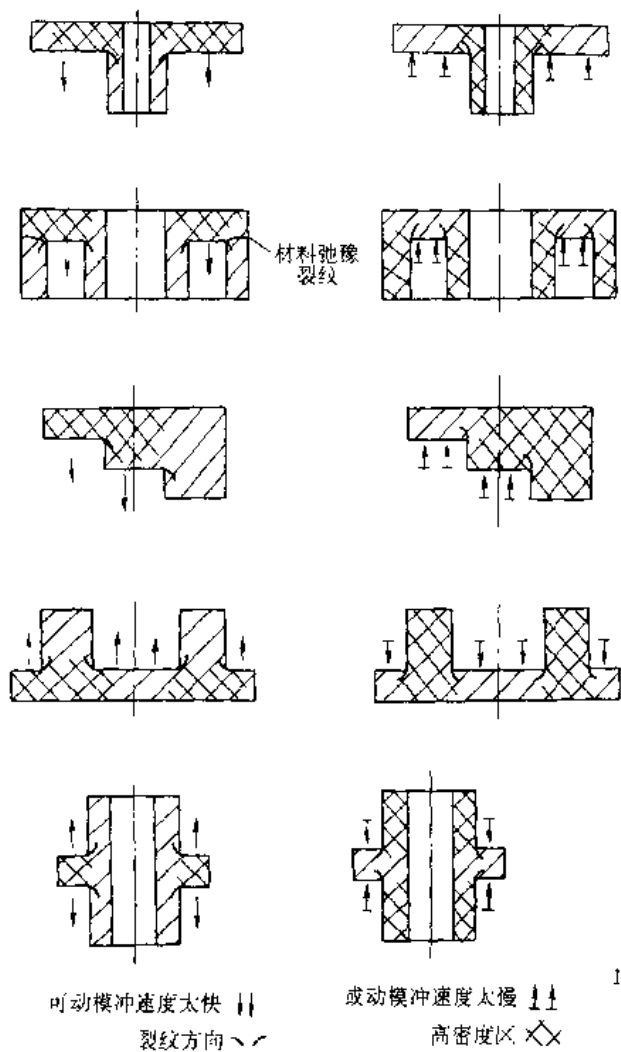
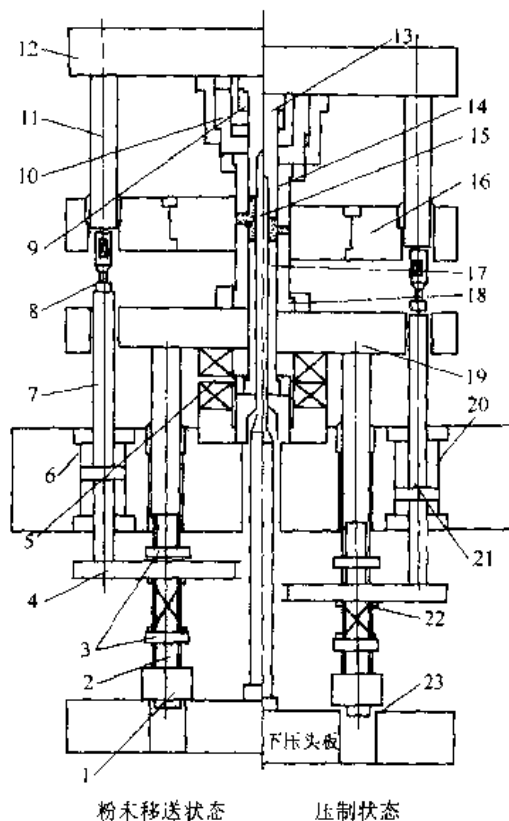


图 11-5 由于模具设计不正确或生产用压机的设定相反可能造成的压坯裂纹

(一) 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，其减压阀的定位可使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。



图中箭头表示成形该截面的模冲的速度需要控制
图 11-6 拉下式模冲速度控制系统 (没有画出阴模台板与下压头板连接的拉杆)

- 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

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) 请注意，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。

(二) 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，就能使压制的压坯具有均一密度。兹对图 11-6 中从粉末移送状态到压制成形状态的动作用叙述如下：

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。在这个下模冲下行时，借助于压机与模架在压制动作时和“下压头板”相接触的“模冲速度控制螺母”，用压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荷。

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，一个空气缸系统就能绰绰有余地进行速度控制了。

3) 在压制成形时，粉末移送系统不断地下行，且因外下模冲的下行受到现在处于压制支承位置的滑块阻止，“移送补偿弹簧”被压缩。这时，重要的是，不要使“移送补偿弹簧”的螺旋相连接，因此，在压制成形时要小心观察。

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) 因为压机的下压头机构中有发生严重机械磨损的危险，所以一些机械式压机的下压头承受不了高的压制负荷。因此，当使用这种机械式压机时，必须精心确定作用在压机下压头上的负荷大小。对于这个问题，应和对待带台阴模或带台芯棒一样来进行考虑。对于只能使用上述类型的机械式压机者，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之任何高压。

6) 当使用拉下式压机时，通常阴模下行的动程为总压制动程的 50%。对于在阴模与模冲之间达到平衡的摩擦压制作用，这个阴模动程是需要的，因此，压坯上部和下部环形截面的密度相同。

7) 可用一空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) 和上面 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负荷要等于施加于模冲的总压制吨位的两倍。

第十二章 粉末冶金模具计算机辅助设计/ 制造 (CAD/CAM) 技术简介

第一节 CAD/CAM 技术简介

一、CAD/CAM 基本概念

计算机辅助设计 (Computer Aided Design 简称 CAD) 是指应用计算机系统, 协助工程技术人员完成产品设计过程中各阶段的工作。在方案设计及技术设计阶段, CAD 应用尤为广泛。计算机辅助设计系统则是指进行 CAD 作业时, 所需的硬件及软件两大部分集合。一个完整 CAD 系统的硬件部分应包括: 主机、图形输入设备、图形显示器及自动绘图仪。它区别于一般事务处理计算机系统之处, 主要在于 CAD 系统具有较强的图形处理能力。

计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing 简称 CAM) 是指应用计算机协助处理制造信息处理的全过程。现代产品开发中的制造手段和传统加工方法的重要区别, 是大量采用数控机床进行零件的加工。数控机床的各种加工动作不是靠人工, 而是靠一种数控代码并通过计算机来控制的。数控代码的生成, 即数控编程就成为数控加工的关键。采用计算机辅助制造技术, 可以实现数控代码的自动生成和正确性检验, 并能在显示器上快速模拟刀具或轨迹, 大大提高了数控编程的质量和效率。

计算机辅助制造技术 (CAM) 主要包括:

1) 计算机辅助工艺规程编制 CAPP (Computer Aided Process Planning), 即利用计算机编写零件加工的工艺路线, 选择合理的加工设备和切削参数, 制定合理的检验方法。

2) 计算机辅助质量控制 CAQ (Computer Aided Quality), 即对产品质量进行及时的检查, 并提出分析报告, 对生产的组织、进度和其它的管理问题及时跟踪、反馈, 并辅助做出决策。

1. CAD/CAM 模具设计工作内容

CAD 工作内容:

(1) 建立模具设计库 模具设计数据库是用来存储设计模具所需的各种信息, 如有关标准、模具材料性能要求、线图、表格、计算公式等。数据库可供 CAD 作业时检索或调用, 也便于数据的管理及数据资源的共享。

(2) 建立多功能交互式图形程序库 利用图形程序库可以进行二维及三维图形的信息处理, 可以在此基础上绘制工程设计图样, 建立标准模具的零、部件图形库等图形处理工作。

(3) 建立应用程序库 汇集解决模具、模具结构和专用模架设计问题的通用及专用设计程序, 如通用数学方法计算程序、常规机械设计程序、优化设计程序、有限元方法计算程序等。

在建立了上述模具设计数据库、图形程序库、应用程序库的基础上, 就能开展下列 CAD

工作:

1) 向 CAD 系统输入设计要求, 以及根据设计要求建立模具模型 (几何模型、材料选择、制造精度等非几何模型), 并存入数据库中。

2) 利用应用程序库中已编制的各种应用程序, 进行设计计算及优化设计, 确定设计方案及模具零、部件的主要参数。

3) 运用交互式图形程序库, 以人机交互作业方式对初步设计的图形进行实时修改, 最后由设计人员确认设计结果。

4) 利用图形处理和动画技术, 对模具模型进行图形仿真, 为评估设计方案提供逼真和直接的依据。

5) 输出设计结果, 其中包括设计计算数据、图样及文档等。

CAM 工作内容:

(1) 代码生成 根据模具各零件的设计模型, 利用计算机自动生成该模具零件的数控加工代码。

(2) 代码仿真 在使用代码之前, 在计算机中运行该数控代码, 进行虚拟的数控加工, 观察加工中的机床运动情况和零件的切除情况, 确保在切削中没有碰撞、干涉现象, 确保零件加工的正确性。

2. CAD/CAM 模具设计特点

模具 CAD/CAM 技术具有以下几个特点:

(1) 模具 CAD/CAM 系统必须具备描述物体几何形状的能力 模具设计不同于其它的设计过程, 因为其工作部分 (如阴模的型腔、模冲的端面及芯棒的外形) 是根据产品零件的形状设计的, 所以在进行模具设计的初始阶段必须提供产品零件的几何形状。这就要求模具 CAD 系统具备描述物体几何形状的能力, 即几何造型的功能。否则, 就无法输入关于产品零件的几何信息, 设计程序便无法运行。另外, 为了编制 CNC 加工程序, 计算刀具轨迹, 也需要建立模具零件的几何模型。因此, 几何造型是模具 CAD/CAM 中的一个重要问题。

(2) 标准化是实现模具 CAD 的必要条件 模具设计一般不具有唯一性。对同一种产品 (或零件), 不同设计人员设计的模具不尽相同。为了便于实现模具 CAD, 减少数据的存储量, 在建立模具 CAD 系统时首先要解决的问题是标准化问题, 包括设计准则的标准化、模具零件和模具结构的标准化、系列化和通用化。目前, 我国已颁布了“标准化法”, 对于已公布的模具标准, 模具 CAD 中应予贯彻使用。

(3) 设计准则的处理是模具 CAD 中的一个重要问题 传统的模具设计所依据的设计准则大多是以数表和线图形式给出的。在 CAD 的过程中, 编制设计程序时, 必须对这些数表和线图进行处理, 将其变为计算机能够处理的表达形式。程序化和公式化是处理数表或线图形式设计准则的基本方法。而某些定性的设计准则, 某些经验准则则难以程序化或公式化, 这时就需要总结归纳出定量的设计准则或通过人机交互的方式完成这些准则的处理工作。

(4) 模具 CAD/CAM 系统应具有充分的柔性 模具的结构随产品的不同而变化, 模具型面的几何形状复杂, 故现阶段, 模具的设计方法基本上属于经验设计, 设计质量在很大程度上取决于设计者的技巧。模具的生产多为单件或小批量, 所有这些, 要求模具 CAD/CAM 系统具有充分的柔性, 即可以根据不同产品的特点和生产条件, 灵活地作出选择, 方便地修改

设计。因此,在开发模具 CAD/CAM 系统时,不仅要考虑全面的功能、较高的效率,还应提供充分的柔性。这是实用化的模具 CAD/CAM 系统所应具备的基本条件之一。

二、CAD/CAM 系统硬件及软件

(一) CAD/CAM 系统硬件

CAD 系统硬件配置与通用计算机系统有所不同,其主要差异在于 CAD 系统硬件配置中,应具有较强的人机交互设备及图形输入、输出装置,即 CAD 系统有专门的输入及输出设备来处理图形的显示和输出,为产品的 CAD 过程提供一个良好的硬件环境。下面扼要介绍 CAD 系统的主要硬件设备。

1. 主机部分

主机由中央处理器(简称 CPU)及内存存储器两部分组成。CAD 系统选用哪种机型,要视设计产品的生产规模、复杂程度、设计工作量大小等情况而定。CAD/CAM 系统一般需要几十到几百兆以上的存储及工作空间。

2. 外存储器

计算机中的内存可以直接和运算器、控制器交换信息,存取速度很快。但是 CAD 作业中包含了科学计算及绘制图形,信息量很大。因此目前计算机系统均以外存作为内存的后援。将暂时不用的部分程序及数据置于外存中,待需用时再调入内存。这样就能实现以较小的内存,完成信息量较大的题目。

外存常见的为磁盘。磁盘分硬磁盘与软磁盘两种。硬磁盘存储容量大,目前在微机上配备的硬磁盘均有几百兆存储单元,有时高达十几甚至几十个 G。硬磁盘采用磁盘和磁头一体化的密封结构,可靠性很高,可以作为随机存取装置,已成为 CAD 系统中不可缺少的设备。软磁盘则使用方便、价格低廉,其容量及存取速度不如硬磁盘。

3. 图形输入设备

在 CAD 作业过程中,需输入产品图形,以及建立模具常用零部件标准图形库。不仅要求能快速输入图形,而且还要求将输入的图形以人机交互方式进行修改,以及对输入的图形进行图形变换(如缩放、平移、旋转)。因此,图形的输入设备占有重要的地位。

输入设备包括:键盘、鼠标器、数字化仪和扫描仪等。

其中,数字化仪是由一块输入板和一个游标定位器组成。数字化仪的基本功能为:

1) 指点操作,在显示屏上指示作图点位置,或指定欲修改图形对象;

2) 点菜单,在屏幕上点菜单,或在其上专门设立的子图区上点菜单;

3) 徒手作图,当游标在台面上移动时,其移动轨迹经数字化仪转换为数字信号,输入到交互式图形系统中,在屏幕或自动绘图机上输出。“徒手作图”为快速输入图形创造了良好的条件。只要将数字化仪的图样固定在台面上,然后用电笔(或游标的十字线)对图形描绘一遍,就可将图形输入,其工作方式几乎就像描图一样,输入图形快速而方便。数字化仪分辨率高,一般在 0.025~0.25mm 之间,作图精度也高。传输速度快,一般为每秒几十到几百个坐标点。

扫描仪则可以快速地将整张图样信息转化为数字信息输入计算机,通过扫描仪和图形识别技术的综合应用,并结合光盘存储技术,可以方便地实现图样的无纸化管理。扫描仪、绘图机一般有大型和小型两种,大型通常为单色扫描输入,主要用于工厂图样信息的录入,小型的通常为彩色扫描输入,主要用于彩色图形和图像的录入。扫描仪的主要性能指标是幅面、

光学分辨率和扫描速度。

4. 图形输出设备

由于 CAD/CAM 系统的应用主要表现为图形的处理、显示和输出,因此对输出设备的图形处理能力的要求也相应提高。目前 CAD/CAM 系统中普遍采用的输出设备主要包括显示器和打印机。

(1) 显示器和显示卡 显示器用于文字、图形等信息的显示,显示器与主机之间的联系是通过图形适配器(又称显示卡)实现的,它通过总线与 CPU 和显示器相连。显示卡的性能主要取决于显示处理芯片的性能和显示内存容量的大小。

(2) 绘图机、打印机 打印机和绘图机是 CAD/CAM 系统把计算机内的字符和图形信息转化输出为图样信息的主要设备,对打印输出设备的主要要求为打印幅面的大小、打印速度大小和分辨率的高低。

(二) CAD/CAM 系统软件

具备了硬件之后,软件配置水平决定了整个 CAD 系统性能的优劣。软件的成本目前已超过了硬件。

CAD 系统的软件可分成三个层次(如图 12-1 所示):系统软件(一级软件)、支撑软件(二级软件)和应用软件(三级软件)。

(1) 系统软件 系统软件是应用和开发 CAD/CAM 系统的软件平台,一般指操作系统,如目前微机上流行的窗口系统 Windows95、Windows98、WindowsNT 和 Windows2000。工作站上流行的 UNIX 操作系统,苹果机上运行的 Mac 操作系统等。

(2) 支撑软件 支撑软件有计算机分析软件、图形处理软件和数据库管理系统等几类。

计算机分析软件主要用来解决工程设计中各数值计算问题,包括常用数学方法程序库、有限元法结构分析软件、优化设计软件等。

图形处理软件分为图形处理语言及交互式绘图软件两种类型。图形处理语言在高级程序设计语言编程时使用。交互式绘图软件供人机交互式(如菜单式、问答式)生成图形,进行图形编辑、标注尺寸、拼装图形等图形处理工作。

数据库管理系统除了保证数据资源共享、信息保密、数据安全之外,还能尽量减少数据库内数据的重复。用户使用数据库都是通过数据库管理系统,因而它也是用户与数据之间的接口。

(3) 应用软件 应用软件是在系统软件、支撑软件基础上,针对设计工作需要自行开发的软件,如模具设计软件、机械零件设计软件等。能否发挥已有 CAD 硬件的效益,应用软件的开发是一个关键。专家系统就是一种应用软件。在设计过程中有相当一部分工作不是计算及绘图,而是依靠这一领域专家的丰富实践经验和专门知识,经过专家进行思维、推理与判断才获得解决。使计算机工作竭力模拟专家解决问题的的工作过程,为达到这个目的而编制的智能型计算机程序称为专家系统。CAD 系统可运用专家系统的概念和方法,使 CAD 进一步智能化、自动化。



图 12-1 CAD 软件层次

(三) CAD/CAM 选型原则及配置实例

1. CAD/CAM 选型原则

在市场上类型众多的 CAD 系统中, 如何选择一套理想而实用的 CAD 系统是十分重要的。下面介绍选用 CAD 系统时应掌握的一些原则, 供配置 CAD 系统时参考。

(1) 要根据既定的目标和确定的任务进行选择 目前使用 CAD 系统的目的, 主要是应用计算机使绘图过程自动化、使设计与制造一体化、缩短产品开发周期, 提高产品质量等。不同的任务与目标应选择不同的 CAD 系统, 就当前国情看, 20 世纪 90 年代超级微机 CAD 工作站, 由于其投资少, 见效快, 将占主导地位。经济实力强, 技术力量雄厚的工厂企业, 可考虑选择网络型工作站分布式 CAD 系统, 以增强整个系统的工作能力, 并有扩充的余地。

(2) 要选择性能价格比优越的 CAD 系统 应根据企业拥有的资金、人员的技术水平、产品的系列化程度及复杂程度、产品更新换代速度等情况, 选择性能价格比优越的硬件。其中关键的设备是主机及图形输入输出设备, 还要注意硬件设备的维修及技术服务。

(3) 要善于选择与硬件配套的软件包 只有在大量支撑软件、应用软件支持下, 才能充分发挥硬件的作用而有效地进行 CAD 工作。选择软件时应注意: 根据本单位开展 CAD 工作任务, 采用在功能上能满足要求的成熟软件; 软件应与高级语言有接口, 便于二次开发; 宜采用运行速度快及便于移植的高级语言编写的软件。目前常用 C 语言编写的软件, 由于 C 语言兼有汇编语言的高速度和一般高级语言的可移植性及具有较强的图形功能等优点, 故日益受到用户欢迎。

2. CAD/CAM 系统配置实例

单 PC 机或工作站 CAD/CAM 系统的硬件配置见表 12-1, 软件配置见表 12-2。

表 12-1 CAD/CAM 硬件配置表

内 容	PC 模 式	工 作 站 模 式
CPU	PII400 以上	SGI, SUN、IBM 等图形工作站
内存	64M 以上	128M 以上
硬盘	6G 以上	15G 以上可配磁盘机
光驱	4 速以上	20 速以上
显示器及图形卡	17in 以上	21in 以上
打印机	HP 台式激光打印	HP 台式激光打印
绘图机	A0 (或 A1) 视需求而定	A0 (或 A1) 视需求而定
键盘和鼠标	标准键盘、三键鼠标	随机配置

注: 对工程应用型, 硬件参数可上调。

表 12-2 CAD/CAM 软件配置表

内 容	PC 模 式	工 作 站 模 式
系统软件	Windows98 或 2000, WindowsNT	UNIX, WindowsNT
二维 CAD (如 AutoCAD, InteCAD)	配	可配
二维 CAM (如 MasterCAM)	配	可配
二维低端 CAD 系统 (如 MDT, Solidworks)	配	可配
三维及多维 CAM 系统 (如 MasterCAM, Cimtron)	配	可配
中端 CAD 系统 (如 SolidEdges, T-Flex)	配	可配
高端 CAD/CAM 集成系统 (如 Ideas, Pro-E, UG, CATIA)	可配	配
中型分析软件 (如 SAP, ANSYS, ModelFlow)	可配	配
大型分析软件 (如 ADAMS, NASTRON)		配

第二节 粉末冶金模具 CAD/CAM 系统简介

CAD/CAM 在粉末冶金模具设计与制造中的应用, 主要可归纳为以下几个方面:

- 1) 根据产品形状、尺寸精度、性能要求, 完成工艺设计并确定压坯尺寸、形状;
- 2) 利用几何造型技术完成模具零件和模具结构 (以及模架) 的几何设计;
- 3) 建立模具零件和结构的通用化和系列化的图形库, 提高模具结构和模具零件设计的效率;
- 4) 辅助完成绘图工作, 输出模具零件图与装配图;
- 5) 辅助完成模具加工工艺设计和 CNC 编程。

一、模具 CAD/CAM 系统的结构与功能

粉末冶金模具 CAD/CAM 系统的运行流程如图 12-2。

首先, 将粉末冶金零件的生产用图 (形状和尺寸) 输入计算机, 图形处理程序将其转换为机内模型, 为后续模块提供必要的信息。

常用的粉末冶金零件图形输入方法有编码法、面素拼合法和交互输入法等。用编码法输入零件图形时, 将组成零件轮廓的几何元素的类型、尺寸和相互位置关系以代码表示, 按照几何元素之间的相互决定关系, 依次对轮廓元素进行描述。编码法的优点在于节省机时, 可预先对零件图进行编码形成输入数据, 其缺点是编码规则较多, 出错率较高。

面素拼合法类似于三维几何造型中的体素拼合, 利用一些称为面素的简单几何图形的并、交、差, 拼合成冲裁件图形。其优点是图形输入效率较高, 但缺点是缺少尺寸公差信息。

交互输入方法通过在屏幕上交互作图, 完成零件的图形输入。这种方法可对图形进行交互编辑, 如修改、插入和删除等。

工艺性判断模块是以自动搜索和判断的方式分析粉末冶金零件的工艺性。粉末冶金零件工艺性是指零件的形状、密度、尺寸及精度要求、物理力学性能等内容。当用计算机辅助分析工艺可行性时, 如零件是否适合于粉末冶金工艺制造; 需要根据粉末冶金工艺特点对零件形状、尺寸进行判别, 如不适合粉末冶金制造, 则给出信息, 要求与客户协商修改产品零件图。

工艺方案的选择, 即决定产品零件是否需要精整、应采用何种精整方式; 采用何种压制方式、脱模方式、移送粉方式等等。程序可以按照企业设计的工艺参数 (软件) 自动确定工艺方案, 设计人员也可以自行选择认为合适的工艺方案。

程序完成了从压制参数计算到模具结构与零件设计的一系列工作, 阴模、芯棒和模冲形状的设计以及模架及辅件的设计后, 可通过屏幕上显示的图形菜单选择确定。

模具设计完毕后, 绘图程序可根据系统的绘图软件包括绘图基本软件、零件图库和装配图绘制程序等自动绘出模具零件图和装配图。

绘图基本软件包括几何计算子程序、数图转换子程序、尺寸标注程序、剖面线程序、图形符号和汉字包。

零件图由阴模、芯棒和模冲以及辅件等零件的绘图程序组成。绘制阴模、芯棒和模冲、阴模板和芯棒板等零件图的关键是将压坯的几何图形信息通过数字图形转换, 生成压坯的图形。

此外，还要恰当地处理剖面线和尺寸标注。所有这些均可调用基本软件中的有关程序完成。装配图的绘制采用图形模块拼合法实现，即将产生的零件图的视图转换成图形文件，将各装配件的图形插入到适当的位置，拼合成模具装配图。

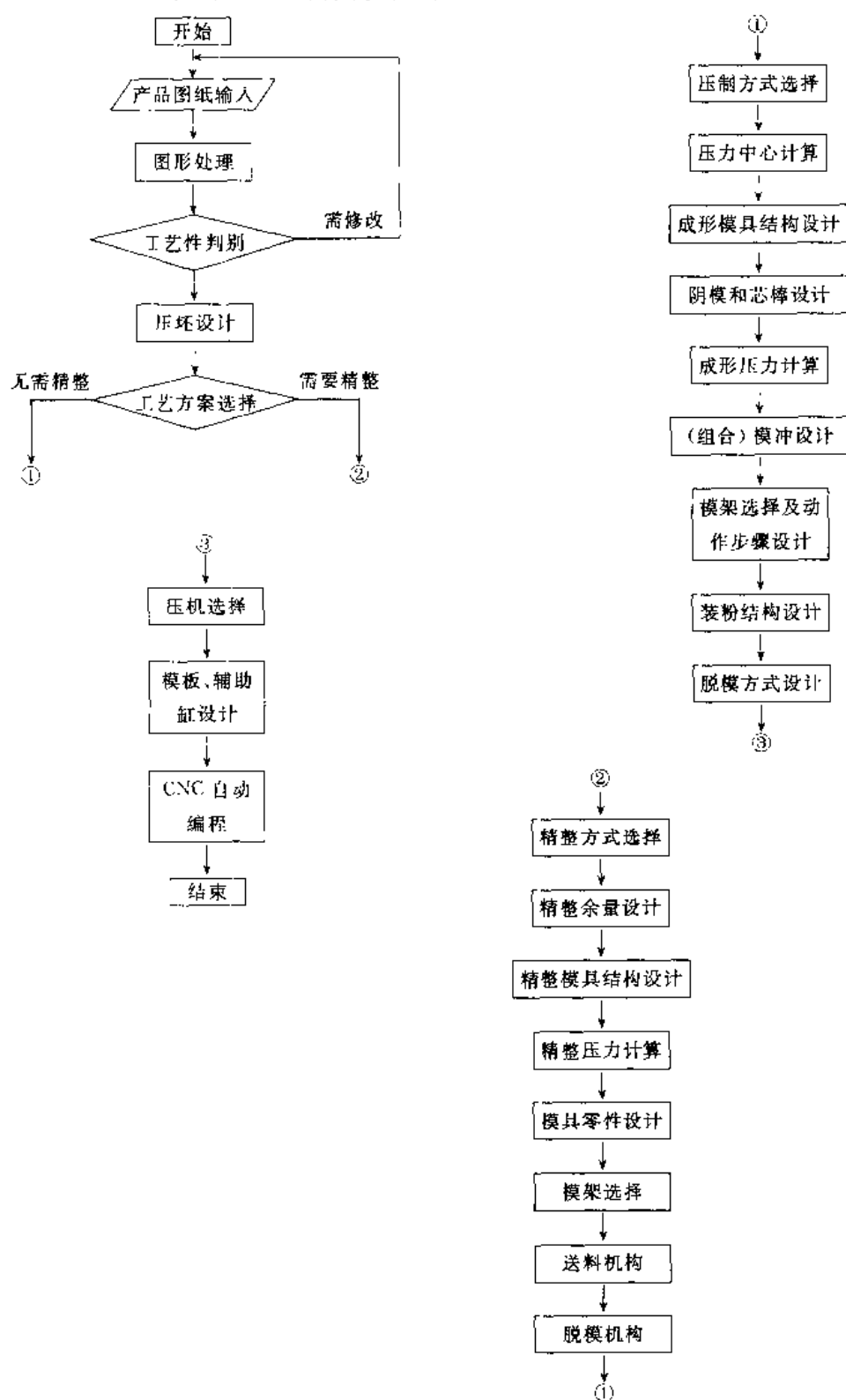


图 12-2 粉末冶金模具 CAD/CAM 系统的流程

该系统可利用 AutoCAD 绘图软件包作为绘图的基础软件，将此软件包和高级语言结合使用，完成绘图程序的设计。

数控线切割自动编程模块可选择穿丝孔位置和直径，确定起割点，计算金属丝的运动轨迹，按照数控线切割机床控制程序的格式完成 CNC 编程，并可在凿孔机上输出纸带。

二、粉末冶金产品图形输入

二维零件由封闭的轮廓线表示，组成轮廓的线段称为线素。零件图形输入就是在计算机内建立起一套可以描述零件的数据。这些数据既要包括每个线素的参数（线段的起始点，圆弧的圆心角、半径、起始角度等），又要包括各线素之间的拓扑关系。二维零件图形的拓扑关系中最基本的是组成图形的各线素按一定的顺序首尾相接。但必须规定当轮廓线为某一方向（顺时针或逆时针）时，线的两侧何侧为零件实体，何侧为空白。由于图形中包含有拓扑关系，所以不能直接采用一般的二维绘图软件来输入，而应使用相应的软件。

作为图形输入的方法，可以由人工标出所有的线素参数，排好顺序，然后通过键盘或鼠标等输入计算机。该方法的优点是适用性强，但是也有缺点，费时且容易出错。此外还有线素代码或编码法、数控语言法、图形板输入法、形状参数代码法等。但这些方法要逐条线素处理，且不直观。

二维零件图形的面素拼合法是一种省时且直观的方法。该法是通过面素（简单的几何图形）的并、交、差而拼合成零件图。

首先将一些简单的图形（圆、矩形等）分别定义为面素，如果将每一个面素看成是一个点集，则两个以上的面素就可以进行并、交、差等运算，而构成新的面素（图形），这就是面素的拼合。拼合可以多次地进行，直至得到符合要求的复杂图形。

最初在软件中定义的简单图形称为基本面素。可对面素编码。使用时只需输入面素编码与所需参数，软件即可算出面素参数与排序。定义的基本面素越多，拼合复杂图形时所使用的基本面素的数目就越少，且面素的参数也减少，但软件的容量却增大。因此基本面素的定义应根据实际需要及软件结构要求等来确定。

将拼合所得的图形保存，称为“结构面素”，以后可以象基本面素一样随时调用。

大部分图形都可以通过上述方法拼合而成，但有时也会遇到困难。此时需要设置一些辅助功能。主要有：圆角和倒角，平移、镜像、旋转与复制，插补等。

使用 FILLET 命令可以按照预定的圆角半径，对相交的两条直线、圆、圆弧或整条多义线倒圆角。CAD 软件可以方便地移动图形，还能够以设定的任何角度旋转。如图形中有若干相同的结构，可以只画一个，而其余的可以很快地复制出，从而大大缩短时间。

当需要在预定的位置执行多重复制时，可以采用阵列命令，它包括矩形阵列和环形阵列，在矩形阵列中应指定行数、列数、行间距和列间矩。在环形阵列中应指定阵列中心、组元个数、最大张角以及复制组元本身是否旋转。

镜像命令用于构造镜像图，而原来的图形可以选择是否保留，在制图中经常遇到列对称图形，这时只需要画出一半，而另一半图形可由 MIRROR 命令作镜像复制。

尺寸标注是制图的重要环节，一个完整的尺寸包括尺寸线，尺寸界限，尺寸文本和尺寸箭头。CAD 将这四部分有机地结合，提供了良好的标注环境。此外还有形状位置公差、尺寸公差、表面粗糙度、技术要求等。

三、根据产品工艺性进行压坯设计

零件图形输入之后，工艺性判断模块对其形状、尺寸精度、表面粗糙度、密度、性能（如硬度、强度、冲击韧度等）等能否适应粉末冶金压制成形工艺，进行工艺可行性判断，如不适合粉末冶金工艺制造，则给出具体修改意见，并优化设计；若适合，则进行压块设计。

压坯设计主要包括压坯的形状设计、密度设计与精度设计。压坯设计信息库或压坯设计过程中人机对话时，必须包含下列三方面的内容：

(1) 压坯形状设计 由于粉末冶金制品是用模具压制成形的，所以在设计压坯形状时，除了在技术上应满足零件的使用要求外，还必须考虑制品形状是否适用于压制成形与脱模。压坯形状设计时所必须考虑的主要因素有：粉末的均匀填充、压坯密度的均匀性、模具的强固性与耐久性、压坯的脱模、简化模具结构与易于后续加工等。

(2) 压坯密度设计 压坯密度不仅关系到粉末冶金零件的性能，而且对其形状与精度也有很大影响。利用压缩性好的原料粉末，低密度粉末冶金制品的形状可以比较复杂，尺寸精度也可以高一些；对于高密度的粉末冶金制品，尺寸精度和形状复杂程度都要相应降低，生产成本也较高。因此在设计压坯密度时，应考虑既能满足制品的技术性要求，又经济合算。

(3) 压坯精度设计 精度设计主要包括尺寸精度、位置精度和表面粗糙度。

尺寸精度取决于原材料粉末的种类、颗粒形状、粒度组成，模具零件的工作面精度，压机的工作方式与精度，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，而轴向精度则主要受压机的动作与精度、装粉精度的影响。一般说来，压坯的径向尺寸比较容易达到较高的精度，而轴向的尺寸精度较差。

位置精度的要求主要有同轴度、垂直度、平行度和径向跳动度等。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等都会影响位置精度。

粉末冶金零件表面的粗糙度主要取决于模具表面的粗糙度等。

四、结合工艺方案的选择进行成形工艺参数计算

产品的成形工艺方案和/或产品的精整工艺方案的确定，包括选用的压制方式、模架的类型、模具的结构（是否组合模冲、上下模冲个数）、装粉方式、脱模方式等等；精整工艺方案包括，精整方式、精整余量、脱模方式等等。可以通过交互的方式实现，即由程序按数据库中的设计准则自动完成，也可以由操作者选择、修改或重新设计合适的方案。

结合已经确定的工艺方案，需要进一步选择工艺参数。成形工艺参数计算主要有压坯受压横断面积、压坯侧面积、压坯体积、压坯单重、压制压力、脱模压力、压坯压力中心等，详见第二章和第三章。

(1) 压坯受压横断面积、压坯侧面积、压坯体积可由压坯几何形状计算或测定。

(2) 压坯单重

$$G = (1+k)\rho V$$

式中 G ——压坯单重(g)；

k ——烧损系数，一般取 1.5%~2.0%；

ρ ——产品零件密度(g/cm³)；

V ——压坯体积(cm³)。

(3) 压制力

$$F = pS$$

式中 F ——压制力(kN);
 p ——单位压力(MPa);
 S ——压坯受压横截面积(cm²)。

(4) 脱模力

$$P_{\text{脱}} = f' p_{\text{侧余}} S_{\text{侧}}$$

式中 $P_{\text{脱}}$ ——脱模力(kN);
 f' ——粉末对阴模壁的静摩擦系数,铁基压坯单位压力在 400~700MPa 的范围内时 f' 值为 0.18~0.25;
 $p_{\text{侧余}}$ ——残余侧压强(卸压后阴模弹性收缩时作用于压坯的压强)(MPa);
 $S_{\text{侧}}$ ——压坯与阴模壁接触的侧面积(cm²)。

残余侧压强由下式计算:

$$p_{\text{侧余}} = \frac{E \Delta_{R_{\text{侧}}} (m^2 - 1)}{2R} \quad \text{或} \quad p_{\text{侧余}} = j \xi_0 \theta p$$

式中 E ——模具材料的弹性模量;
 $\Delta_{R_{\text{侧}}}$ ——卸压后阴模外半径上剩余的变形量;
 m ——阴模外径与内径之比;
 R ——阴模外半径;
 p ——单位压制压力;
 j ——残余侧压强与侧压强之比;
 ξ_0 ——压坯的侧压系数;
 θ ——压坯的相对密度。

当阴模外径与内径之比为 2~4,压坯相对密度为 0.8~0.85 时,对于铁基压坯 $p_{\text{侧余}} = (0.18 \sim 0.20)p$,对于铜基压坯, $p_{\text{侧余}} = (0.20 \sim 0.22)p$ 。

(5) 压力中心 在设计粉末冶金模具时,应使压坯的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相重合,否则会产生额外的弯矩,使压机活动横梁台面歪斜,加剧导柱(轨)的磨损;另外,使上下模冲承受额外的弯矩,小则使配合间隙不对称分配,划伤模壁;大则使模冲弯断。对于大截面的压坯,由于压制压力大,若不注意压力中心问题,上述问题显得更为严重。

对于对称几何形状的截面,其压力中心即几何中心。对于非对称的几何形状的截面,其压力中心为其截面的重心。

五、压机的选择

在选择粉末成形压机时,压机结构、压制力、压制与装粉方式、装粉深度、压制与脱出行程、顶出力等是必须考虑的主要参数,详见第四章。

(1) 压制力 压坯所需要的成形压力或精整压力是选择压机吨位的依据。选用液压机时,必须使压机公称压力大于压坯所需要的压制力。一般来说,压制力为压机公称压力的 60%~85% 较为合适。选用机械压机时,需要结合压机行程或压坯高度来考虑压机实际能达到的压

力。压坯越高，实际压力越小。一般为公称压力的 50%~90%。

(2) 脱模力 脱模力是选择压机的重要依据之一。必须按照脱模机构顶出力或拉下力大于压坯所需的脱模力的原则进行设计。特别是高径比、高厚比和侧面积大的压坯，往往需要大的脱模力。一般专用粉末压机的脱模力是足够大的，但液压机的下缸顶出力或拉下力往往较小，甚至无下缸，需要另行安装脱模机构。因此要对此进行核算和选择。

(3) 压制方式与脱模方式 由产品的工艺性选择压制方式：包括单向压制、双向压制、双向摩擦压制、浮动压制、后压等，由此确定模架及辅助缸的选用。

脱模方式分为顶出式和拉下式，并可分为有压脱模和无压脱模。由压坯形状、分模和压机类型来确定。

(4) 装粉方式与装粉高度 应根据压坯形状、粉末流动性、压机类型和自动化程度来选择，主要有自由落入法、吸入法、过量法等。

由压坯高度与压缩比计算装粉高度。

(5) 压制行程与脱模行程 当阴模的装粉高度与脱模行程（处于压制終了位置的下模冲上端面到阴模上端面的距离）都已确定时，可以根据上模冲的移动距离来计算压制行程。

(6) 工作台面参数与模具模架安装 选择压机时，必须考虑工作台面的尺寸，以便于模架和模具的安装。工作台和活动横梁的结构限制了模具和模架的连接和固定。

(7) 生产效率与安全 粉末冶金机械零件生产必须强调生产效率，讲究批量效益。一般说来，机械压机的效率比液压机高，但经常受到额定压力与行程的限制。应当根据压坯形状、压制力、产品批量和压机自动化程度等来选择压机。在粉末冶金压制成形工艺中，安全问题非常重要。对于液压机应当配置安全等压柱，这样既可保证人身与模具的安全，又可提高压坯高度方向上的精度。对于压制速度高的压机，应考虑配置机械手代替手工操作，以提高安全性。

(8) 压机结构 将产品的主要工艺参数和批量及交货期等信息输入，程序按数据库中已存储的机械式压机、液压机的最大压制力、最大脱模力、最大装料高度、压机精度、压机最大压制行程和脱模行程等有关数据，自动进行选择。

六、模具结构设计与优化

CAD/CAM 系统要对模具结构进行优化，以确定方案。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、尺寸和表面粗糙度；
- 2) 由生产批量与设备确定生产方式（自动、半自动或手动）；
- 3) 由压坯形状（长径比等）和压坯密度均匀性的要求确定压制方式；

4) 由压制压力、脱模力、压制与脱模行程、工作台面积及模具特殊动作的需要等选择压机的型号与规格。由上述依据进而确定主要零件（阴模、棒芯、上下模冲等）的连接方式、浮动结构、脱模复位结构、调节装粉结构。并在工艺性、经济性和安全性的前提下进行优化。然后根据有关公式和数据，通过计算确定其尺寸与公差。最后进行图形化处理，输出图形。

在设计模具零件时，CAD 的关键在于计算机如何利用压坯尺寸精度、几何尺寸和性能要求，选择工艺参数，进行尺寸计算和强度校核，进而产生图形程序，在装配图生成同时得到便于调用的零件视图。

七、装配图的生成

(1) 子图形拼合法 将装配图看成由许多子图拼装而成, 只要作出各子图, 调用程序, 将子图拼装到合适位置, 即可完成装配图。

(2) 零件图拼装法 将装配图看成由许多零件图拼装而成。

(3) 排斥检验法 利用排斥检验原理, 调用图库, 在拼图过程中对上、下层零件和图形遮挡进行自动消隐生成装配图。

八、图形的输出

绘图机和打印机为常用的图形输出设备, 绘图机输出的精度较高、图幅大, 而且线宽可以调整, 打印机输出的图形则具有速度快, 操作方便等优点, 采用的绘图机和打印机型号必须以 CAD 系统配置才能作图形输出。

九、CAD/CAM 一体化

利用 CAD 技术可以设计出优化的模具, 而利用 CAM 技术可以解决模具的加工问题, 在 CAD 设计时充分考虑工艺性, 将 CAD 与 CAM 有机结合起来, 形成一体化。

在 CAD/CAM 一体化系统中, 不仅要进行设计计算, 而且还要考虑编程及各种工艺问题, 这样就可以在图纸输出, 零件制造之前就发现问题, 进行修改, 使设计更加合理。

数控线切割自动编程模块可选择穿丝孔位置和直径, 确定起割点, 计算金属丝的运动轨迹, 按照数控线切割机床控制程序完成 CNC 编程。

目前在粉末冶金行业, 模具 CAD/CAM 的应用还处于试行阶段。但其优越性将使之得以迅速发展和广泛应用。无论在提高生产率、改善质量方面, 还是在降低成本、减轻劳动强度方面, CAD/CAM 技术的优越性是传统的模具设计制造方法所不能比拟的:

1) CAD/CAM 可以提高模具的质量。在计算机系统内存储了各有关专业的综合性的知识为模具的设计和工艺的制定提供了科学的依据, 同时, 系统采用的优化设计方法有助于某些工艺参数和模具结构的优化。

2) CAD/CAM 可以节省时间, 提高生产率。设计计算和图样绘制的自动化大大缩短了设计时间。CAD/CAM 的一体化可显著缩短从设计到制造的周期。

3) CAD/CAM 可以较大幅度地降低成本。优化设计可以带来原材料的节省; 采用 CAM 技术可加工复杂模具型面, 减少模具的加工和调试工时, 降低制造成本。

4) CAD/CAM 技术将技术人员从繁重的计算、绘图和 CNC 编程中解放出来, 使其可以从事更多的创造性劳动。模具 CAD/CAM 的优越性还可以列举不少。所有这些, 将使 CAD/CAM 逐步取代传统的模具设计制造方法, 最终将在模具设计制造中占据主导地位。

第十三章 金属注射成形 (MIM) 模具设计简介

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。它是将细的金属粉末（如铁基、镍基、不锈钢、磁性材料、钨高比重合金、硬质合金、陶瓷等）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（见图 13-1）。

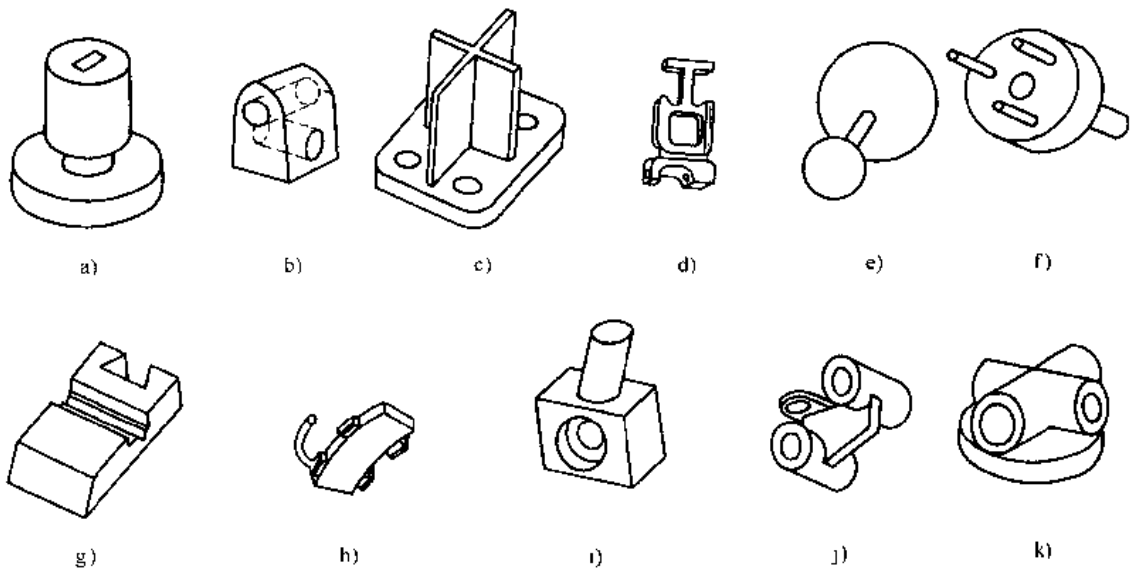


图 13-1 注射成形工艺能够制作的一些代表性零件的形状

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 100mm ，体积小于 100mm^3 。对于形状复杂，难以用其它方法加工的稍大零件有时也可采用该工艺。

典型金属注射成形零件的密度波动范围和尺寸及行位公差如表 13-1 所示。

表 13-1 典型金属注射成形零件的密度波动范围和尺寸及行位公差

项 目	精密级	一般级	项 目	精密级	一般级
密 度	$\pm 0.2\%$	$\pm 1\%$	平 面 度	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.2\%$
质 量	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.4\%$	平 行 度	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.3\%$
尺 寸	$\pm 0.05\%$	$\pm 0.3\%$	圆 度	$\pm 0.3\%$	$\pm 0.3\%$
绝对尺寸	$\pm 0.04\text{mm}$	$\pm 0.1\text{mm}$	垂 直 度	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.3\%$
孔 径	$\pm 0.04\%$	$\pm 0.1\%$	表面粗糙度 R_a	$4\mu\text{m}$	$15\mu\text{m}$
位 置 度	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.3\%$			

第一节 金属注射成形模具设计

一、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,粘度一般不超过 $100\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。粉末一般由粒度为 $0.5\sim 20\mu\text{m}$ 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:

$$L_m = KL_p \quad (13-1)$$

$$L_m^3 = K^3 L_p^3, \text{ 即 } V_m = K^3 V_p$$

$$\text{而 } V_{pt} = \phi V_p,$$

$$\text{所以 } V_m = K^3 V_{pt} / \phi, V_{pt} / V_m = \phi / K^3$$

$$\text{而 } \Phi_F = V_{pt} / V_m = \phi / K^3$$

$$\text{所以 } K = (\phi / \Phi_F)^{1/3} \quad (13-2)$$

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;

ϕ ——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,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(13-1)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,而高比重合金、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 。放大率 K 一般在1.15~1.30之间，比传统的粉末冶金压模和塑料注射模的放大率要大许多。

图13-2所示为根据计算得出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。但这只能是细微调整，不可能将放大系数 K 在很大的范围变动。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

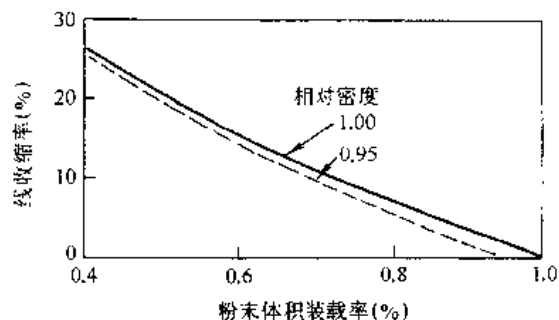


图 13-2 成形坯的收缩率与粉末的装载率的曲线

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，可通过微量添减粘结剂来调整。且应注意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、粘度、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，是模具设计的一个非常重要的参数。

二、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。传统的塑料注射成形机基本上可以用来成形金属零件。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以降低各部件的磨损，提高整机的使用寿命。

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，但考虑到金属注射料与塑料在流动性、热性能、力学性能等存在显著的差别，故须根据金属注射料导热系数较高，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13-3至图13-6。

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特点选择合适的模架形式，以实现所要求的成形、脱模，再根据型腔大小、数目等确定模架尺寸。最后，根据具体的注射机选择浇口套、定位圈等其它备件。我国于1990年正式颁布了塑料注射模架的国家标准。其中包括中小型模架标准GB/T 12556.1~GB/T 12556.2—1990和大型模架标准GB/T 12555.1~GB/T 12555.15—1990。模架的具体组合形式有A1、A2、A3、A4四种，见图13-7。

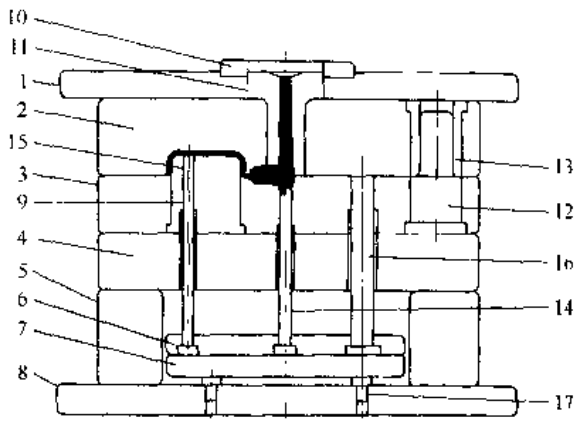


图 13-3 模具基本结构一（圆形顶杆顶出结构）

- 1—定模安装板 2—定模模板 3—动模模板 4—垫板
5—支撑块 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

注：1. 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。

2. 圆形顶杆顶出结构

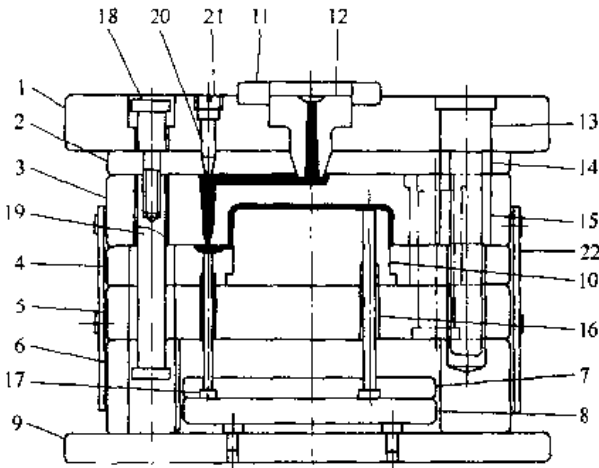


图 13-5 模具基本结构三[三板式（“L”形浇道用）]

- 1—定模安装板 2—流道冷料推板 3—定模模板 4—动模模板
5—垫板 6—支撑板 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—支撑柱 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—限动螺钉 22—拉板

注：1. 三板式 适用于制品上不允许有圆柱状浇口痕迹时；
2. 浇口形式 侧浇口；
3. 拉板形式 代替链条牵引，型腔厚和开模行程大时使用。

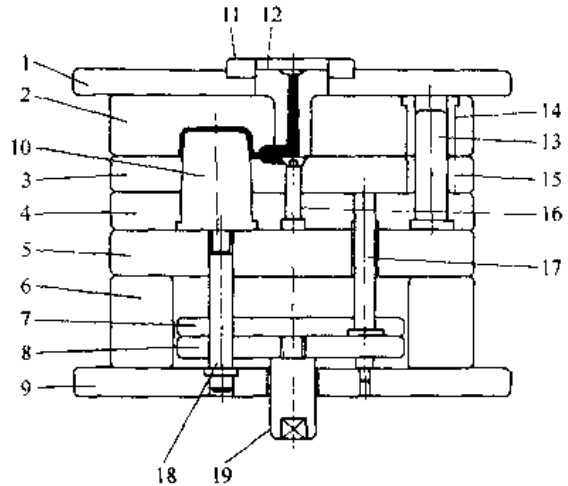


图 13-4 模具基本结构二（推板形）

- 1—定模安装板 2—定模模板 3—推板 4—动模模板
5—垫板 6—支撑块 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—顶出板导套 19—顶杆

注：1. 侧浇口形式；

2. 推板顶出结构；

3. 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。

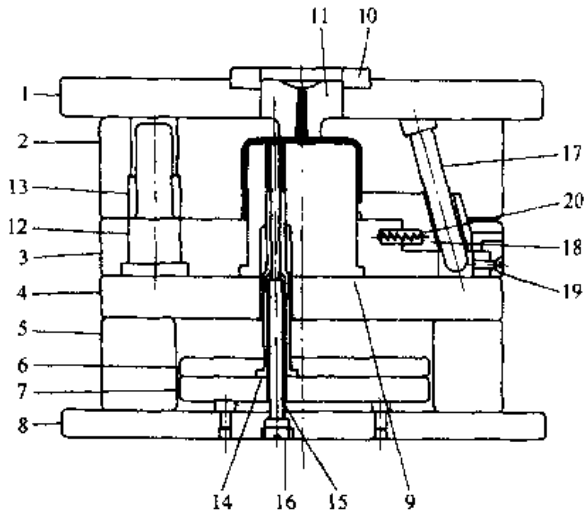


图 13-6 模具基本结构四 [侧型芯（动模侧）]

- 1—定模安装板 2—定模模板 3—动模模板 4—垫板
5—支撑块 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

注：1. 主流道浇口、直浇口；

2. 顶管顶出和块顶出；

3. 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。

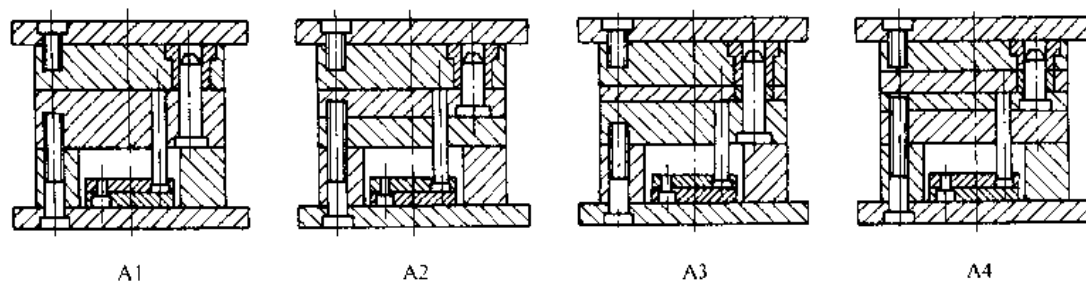


图 13-7 模架的基本形式

三、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，不适合之处是否修改图纸或后续加工解决。
- 2) 腔体基本结构的确定。选择分型面及脱模方式。
- 3) 型腔数量、布局的确定。
- 4) 浇注系统基本形式分析。确定浇口形式、位置、冷料穴等。
- 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。

(一) 注射机的选择

注射模具与注射机必须有机结合，协调动作，才能制出高质量的成形坯。设计注射模具时必须首先弄清注射机的形式和规格、注塑容量、锁模力、锁模装置、喷嘴孔径等参数。

1. 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并便于调整，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，并难以保持机械精度。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，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场合，占地较小。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。

2. 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 1.05g/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，过低会降低注射机的效率并导致成形质量的难以控制。

3. 注射机的锁模力

锁模力是表示注射机压紧模具的最大力，一般以 kN 表示。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。一般注射压强为 20~40MPa，但超精密成形技术采用的注射压强甚至超过 100MPa。

4. 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。

5. 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。

6. 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 13-8）。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：

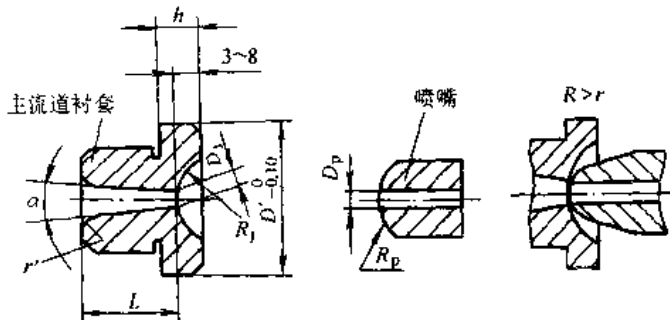


图 13-8 注射机喷嘴与模具主流道衬套的关系

$$D_j = D_p + (0.5 \sim 1.0)\text{mm}$$

$$R_j = R_p + (0.5 \sim 1.5)\text{mm}$$

(二) 分型面的选择

分型面的确定对于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，以利于不可避免的飞边溢料的修整，尽量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。

(三) 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 13-9。

浇注系统的设计应充分考虑以下因素：

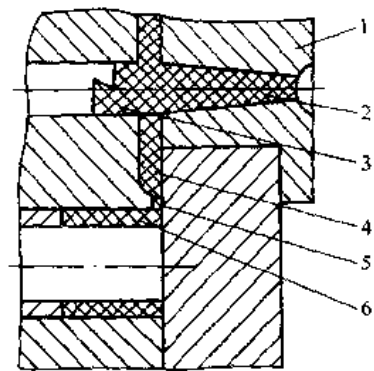


图 13-9 卧式注射机用模具的普通浇注系统

1-主流道衬套 2-主流道 3-冷料穴 4-分流道 5-浇口 6-型腔

(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。如无法避免, 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, 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 由于金属注射料重复使用对性能无太大影响, 故在保证注射质量的前提下, 不必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) 冷料的储存 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。

主流道各部分尺寸见图 13-10。

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来确定。剪切速率以 $y' = 5 \times 10^2 \sim 5 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ 为宜。根据经验公式

$$y' = 3.3Q/\pi R_n^3$$

式中 y' ——熔体流动时的剪切速率;

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 $60\% \sim 80\%$ 除以注射时间 θ 得出的值, 为实际的体积速率, 即: $Q = (0.6 \sim 0.8)Q_n/\theta (\text{cm}^3/\text{s})$

计算主浇道直径的另一经验公式为: $D = (4V/\pi k) (\text{mm})$

式中 D ——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、分流道、主浇道及冷料穴的容积);

k ——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 $0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$ 来确定主浇道的小端直径。

图 13-11 所示为主流道的应用及主流道衬套的安装形式。

2. 分流道设计

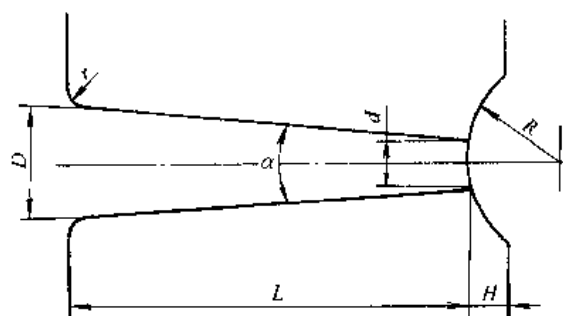


图 13-10 主流道各部分尺寸

$d = \text{喷嘴孔径} + (0.5 \sim 1.0) (\text{mm})$ $R = \text{喷嘴球面半径} + (0.5 \sim 1.5) (\text{mm})$ $\alpha = 2^\circ \sim 4^\circ$ $r = 1 \sim 3 (\text{mm})$

$$H = (1/3 \sim 2/5)R$$

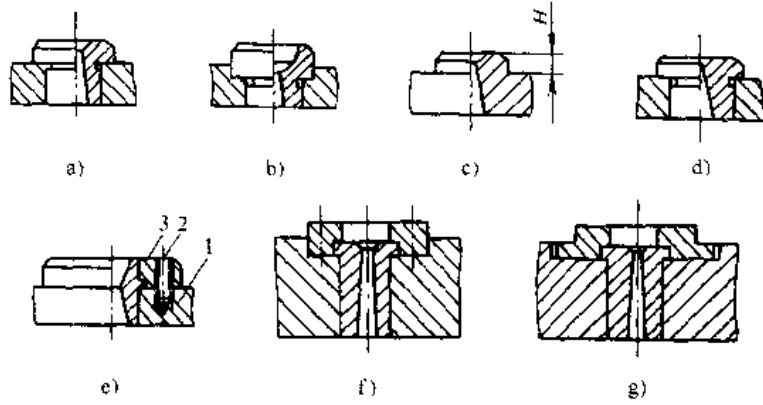


图 13-11 主流道衬套与定位圈
1—定模 2—主流道衬套 3—定位圈

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量小，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 13-12 和图 13-13 所示：

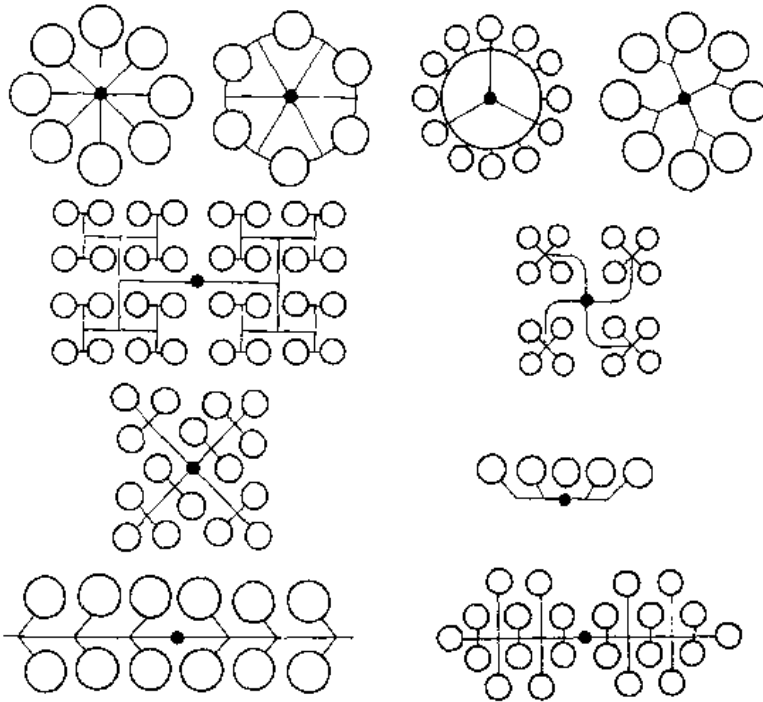


图 13-12 多型腔的分流道布置图

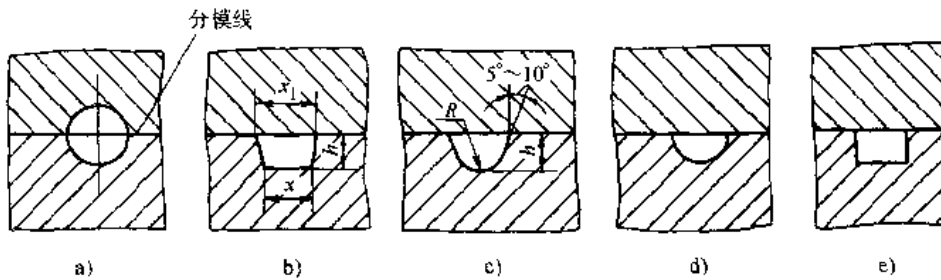

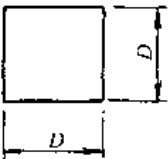

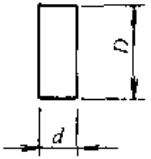


图 13-13 分流道横截面形状

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 13-2 可看出圆形与正方形的效率最大，但正方形流道不易脱模，实际中最常使用的是斜度为 10° 的梯形。梯形流道加工简单，实际应用较多。

表 13-2 各种分流道截面形状的效率

									
$0.25D$	$0.25D$	$0.153D$	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>$d = \frac{D}{2}$</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> </tbody> </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									

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分流道。为了降低压力损失及避免注射料的温度下降，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，使主流道到各形腔的距离相同。

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。

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，但其封闭时间长，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形式。

浇口设计是模具设计的核心。对于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，可以在设计之前最大限度地预测模具充填的缺陷，并寻求最优的解决方案，从而降低失误。

(1) 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产生摩擦热，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。

(2) 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度最大的部位。这样较易进行因体积收缩所须的注射料补充, 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) 要避免在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, 使液流沿腔壁能平稳流动推进的部位。图 13-14 示中心浇口与边侧浇口充填过程的比较与分析。

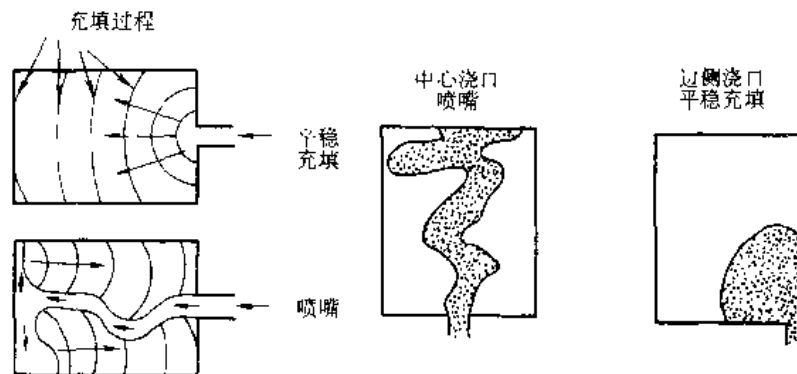


图 13-14 中心浇口与边侧浇口充填过程的比较与分析

(3) 非限制性浇口与限制性浇口 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 13-15)。其特点如下:

- 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。

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。

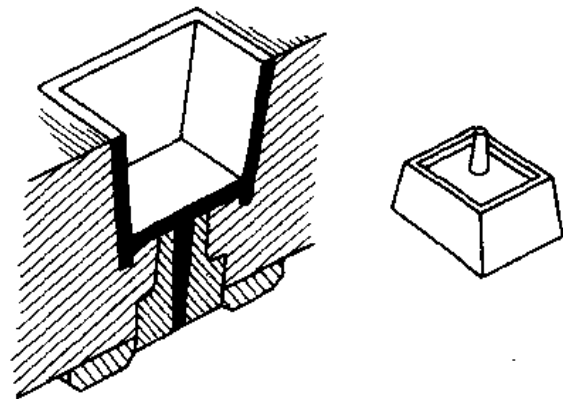


图 13-15 直接浇口

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, 可缩短成形周期;

4) 浇口加工处理简单, 外表美观。

(4) 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。

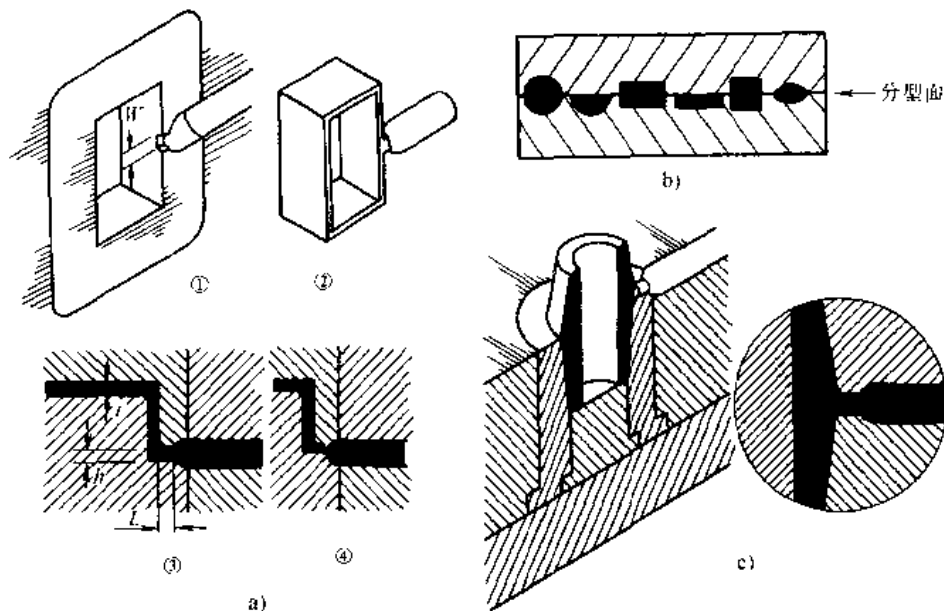


图 13-16 标准浇口
a) 矩形侧浇口系统 b) 一般浇口的形状 c) 圆形侧浇口

1) 标准浇口(图 13-16a、b、c)。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注入口, 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:

① 截面形状简单, 便于加工(图 a、b、c、d);

② 浇口尺寸容易精确控制;

③ 容易修整, 取得浇口的平衡;

④ 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。普通使用的浇口大致深度为 0.5~2.0mm, 宽度为 1.5~5mm, 浇口的长度为 1.5~2.5mm。

2) 搭接浇口(图 13-17a、b、c、d)。搭接浇口也称为直端浇口, 是为了防止在成形坯上

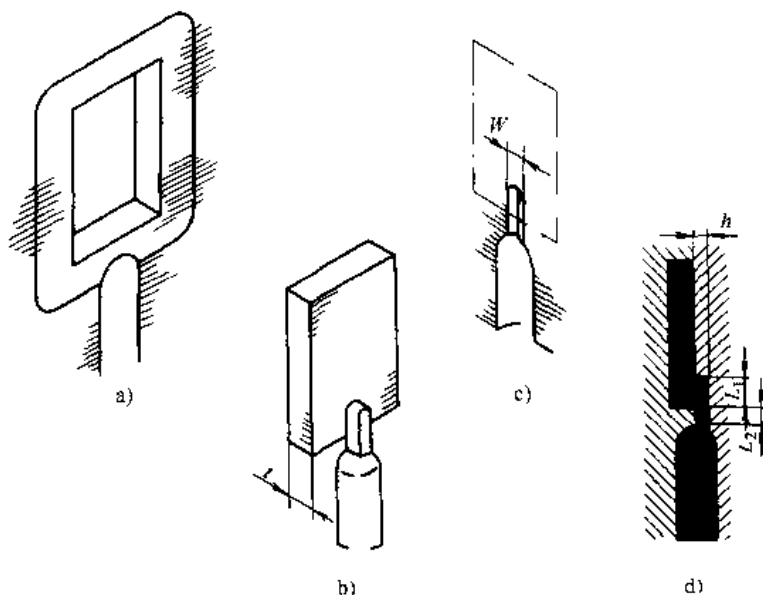


图 13-17 搭接浇口

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 $0.5 \sim 1.0 \text{mm}$ 。

3) 扇形浇口(图 13-18)。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。

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 13-19a、b、c)。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、缝隙浇口。

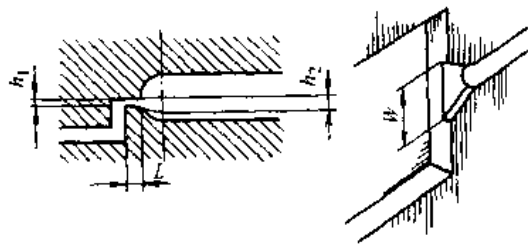


图 13-18 扇形浇口

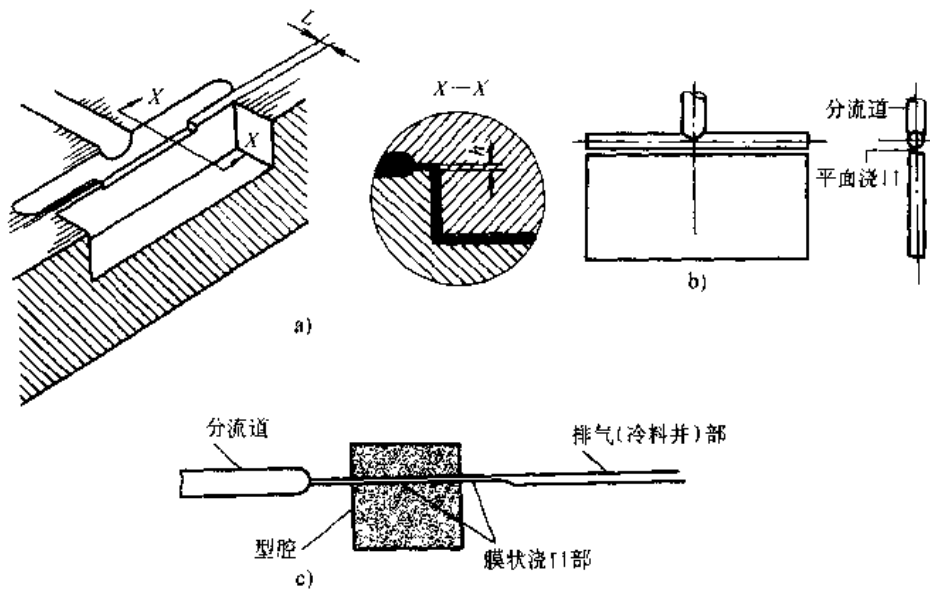


图 13-19 膜状(平面)浇口

a) 膜状浇口系统 b) 平面浇口 c) 注意排气部分

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 1.0mm 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 13-20)。圆盘形浇口也叫隔膜浇口，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接痕的产生。但型芯容易磨损和细长的型芯容易偏倒。这种浇口广泛用于成形筒形制品。

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 13-21)。环状浇口适合于成形长筒形制品，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，制得壁厚均匀的制品。一般在流道注入的相反方向开设溢流槽。

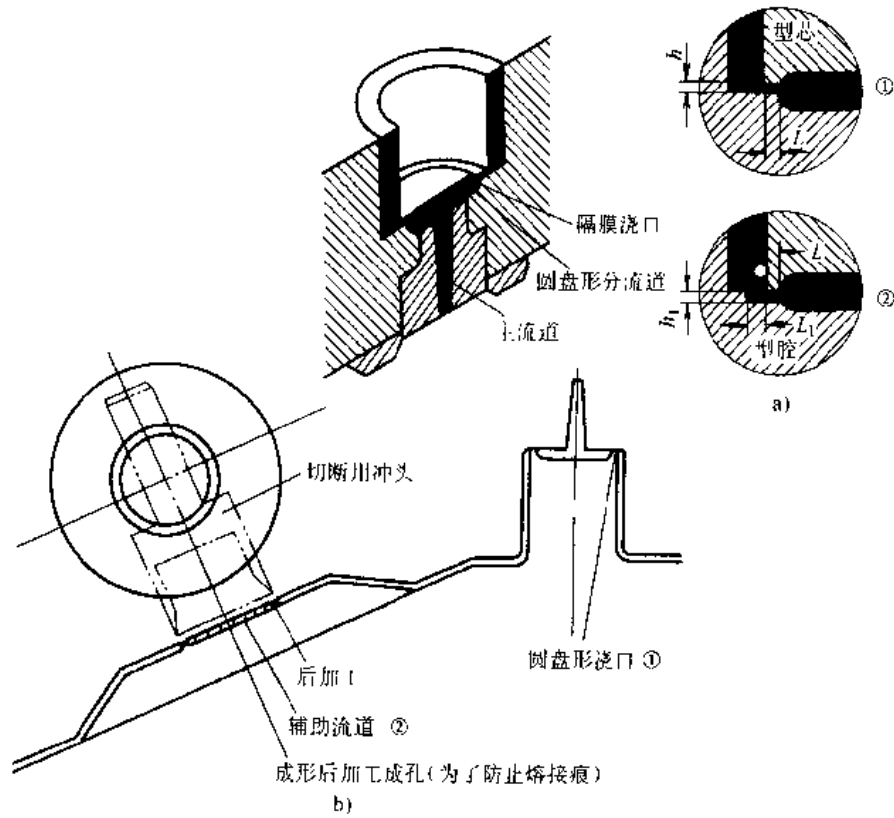


图 13-20 圆盘形（隔膜）浇口和其应用

a) 圆盘形浇口系统 ①一般用 ②内径精度严格时用 b) 圆盘形浇口 ①和辅助流道 ②断面图

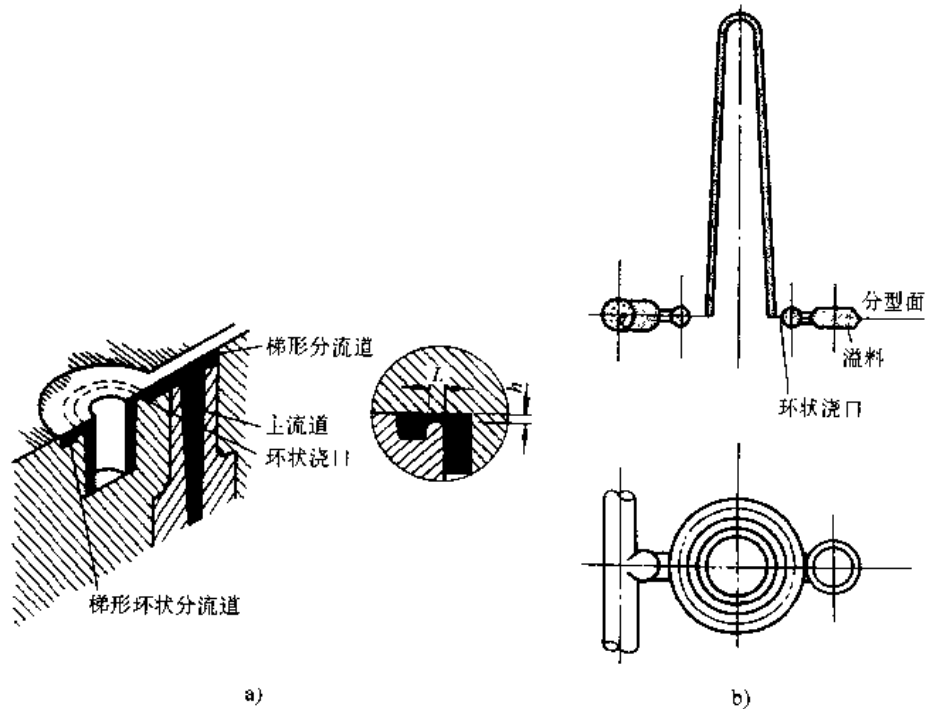


图 13-21 环状浇口

a) 环状浇口系统 b) 环状浇口和溢料部分

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。浇口一般靠脱模板与顶管顶出，普遍采用梯形流道。

浇口深度一般为 0.2~1.2mm，通道长度为 0.7~1.2mm。

7) 翼状浇口 (图 13-22)。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、适用于粘度较高的注射料的高压成形。

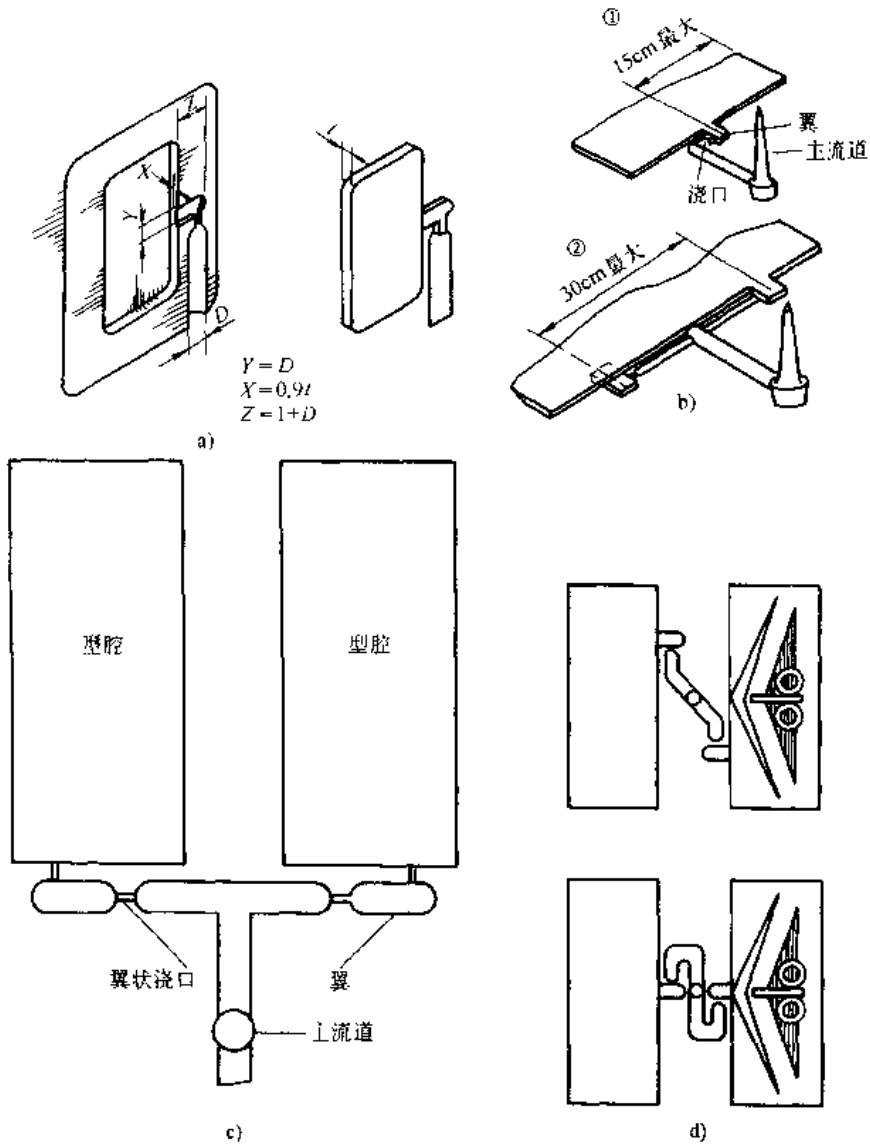


图 13-22 各种翼状浇口的形状

a) 翼状浇口系统 b) 单翼浇口和多翼浇口 ①单翼浇口 ②多翼浇口
c) 变形的翼状浇口 d) 翼状浇口的对称布置

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。

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 (流道直径)

翼深度(X)= $0.9 \times T$ (制品的厚度)

翼长度(Z)= $1.5 \times D$

8) 轮辐式浇口(图 13-23a, b)。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。

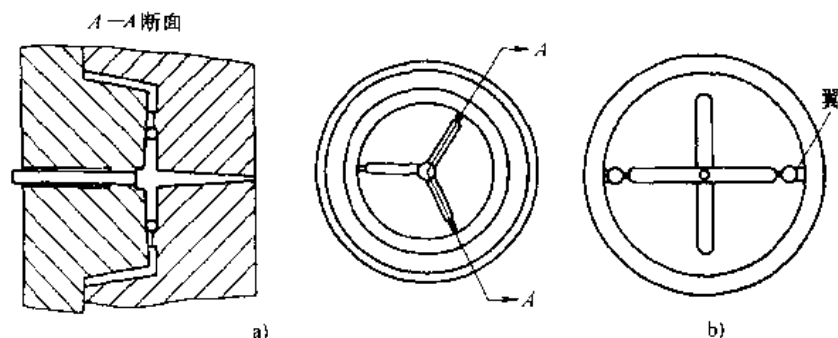


图 13-23 轮辐式浇口

a) 3 根轮辐浇口 b) 4 根轮辐浇口

9) 针点状浇口(图 13-24)。针点状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:

- ① 选择位置的自由度较大;
- ② 浇口附近的变形小;
- ③ 多型腔时能容易取得浇口的平衡;
- ④ 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;
- ⑤ 浇口易于切断去除,但也有痕迹;

⑥ 采用针点状浇口必须使用三板式模具、热流道模具,或者具有并式喷嘴的二板式模具。

浇口的流道长度一般为 $0.8 \sim 1.5\text{mm}$, 浇口直径 $0.4 \sim 2.0\text{mm}$ 。

10) 潜伏式浇口(图 13-25)。潜伏式浇口又称为隧道式浇口。这种浇口在塑料行业被广泛采用,可自动切断浇口,浇口痕迹不外漏。但由于金属注射料低的强度和韧性,浇口冷料很难取出。若不与热流道配合使用,一般不能应用于金属注射成形。

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下降与距离成正比,所以当其它条件都相同,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、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。

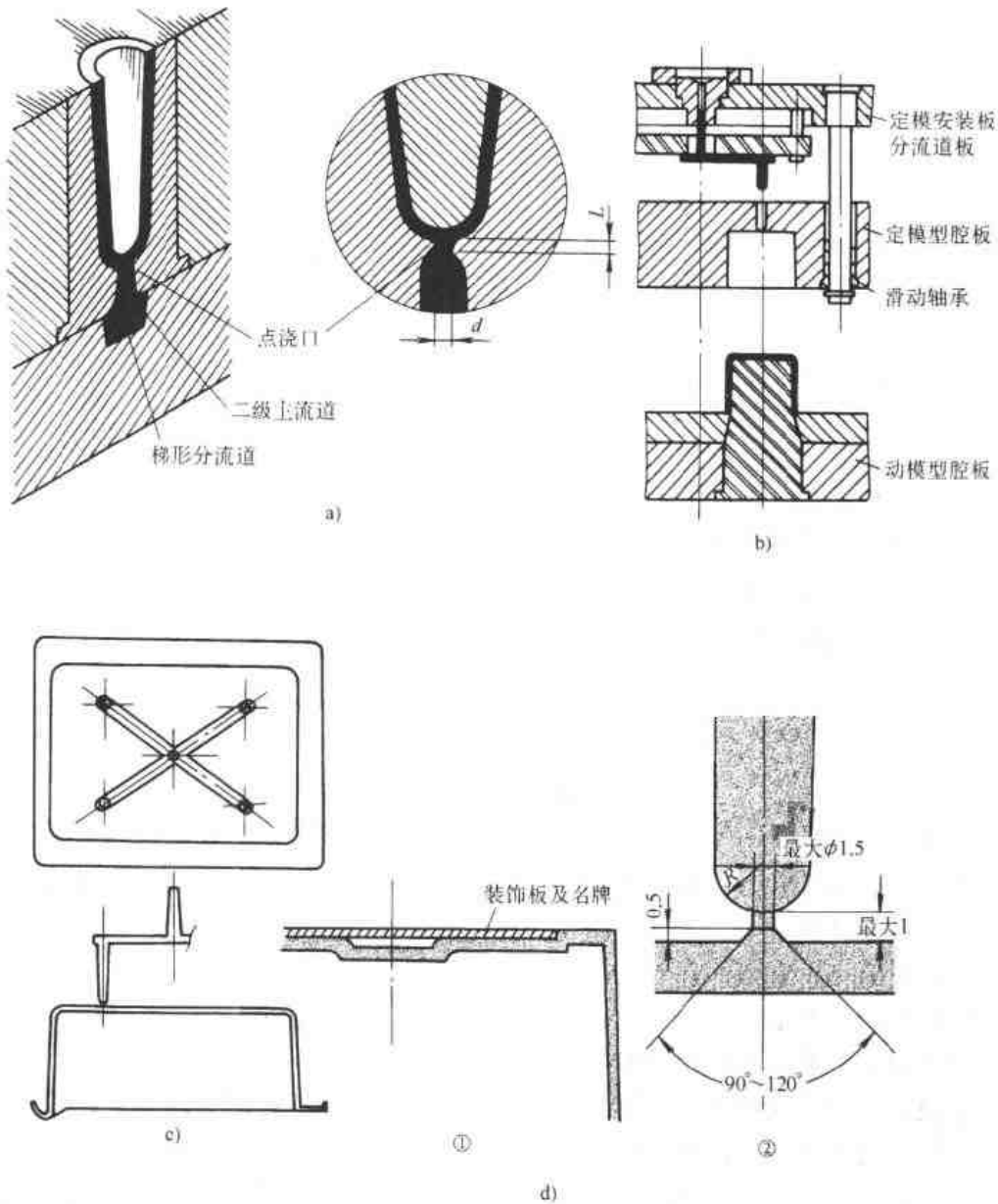


图 13-24 针点式浇口及其应用

a) 针点式浇口系统 b) 针点式浇口模具的动作 c) 多针点式浇口 d) 不需精加工的形状

①凹处浇口形状 ②浇口部详图

$$B. G. V. = S_G / (L_R^{0.5} \times L_G)$$

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，

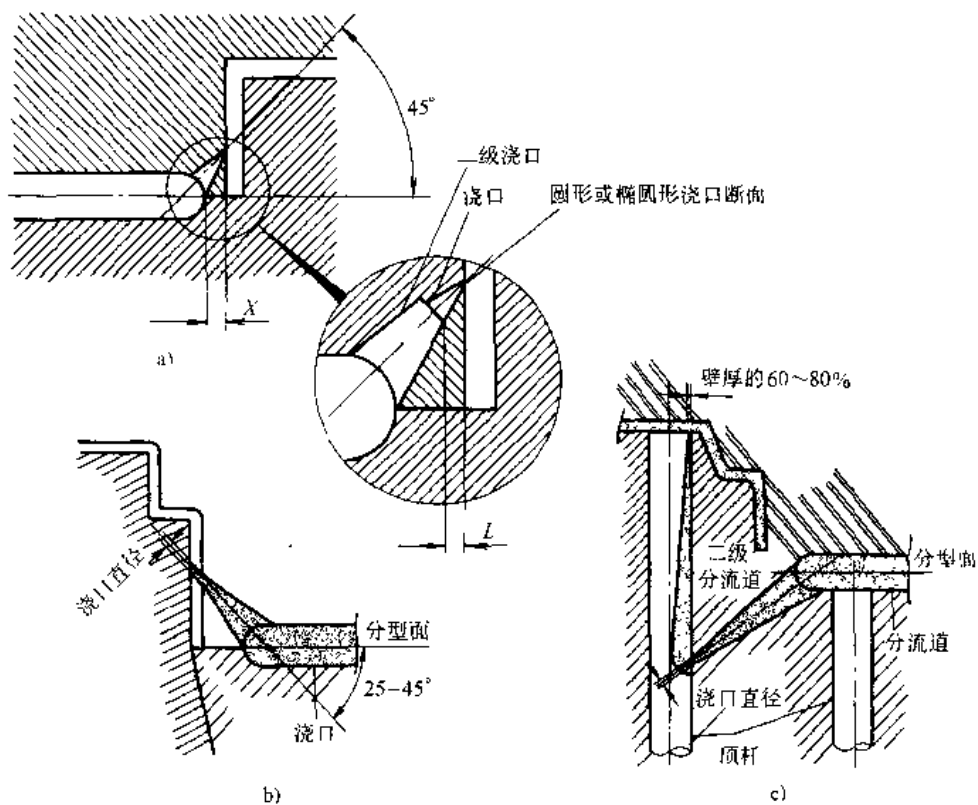


图 13-25 潜伏式浇口

a) 潜伏式浇口系统 b) 表面的潜伏式浇口 c) 带二级分流道的潜伏式浇口

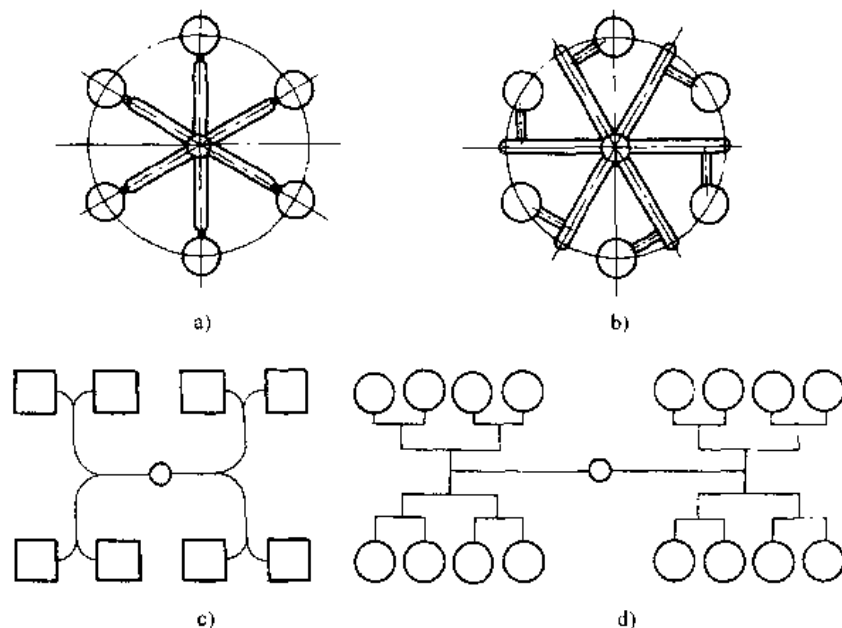


图 13-26 平衡式分布的分流道

从而使流道对称均匀布置，比较容易达到浇口的平衡，见图 13-26。

(四) 温度调整系统

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、改善制品的表面质量、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，选择适当的模具温度及调节方式。对于尺寸较大、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。

1. 模具与用于冷却或加热液体的接触面积计算（忽略不计向大气的散热及与机器的安装板、喷嘴的接触传热）

$$A = Q / (h_w \times \Delta T) \quad (13-2)$$

$$Q = S_b \times C_p \times (t_1 - t_2)$$

$$h_w = \lambda / d \times (d \times u \times \rho / \mu)^{0.8} \times (C_p \times \mu / \lambda)^{0.3}$$

式中 A —— 传热面积(m^2)；

Q —— 传递热量(kcal/h)；

h_w —— 管壁的传热系数[kcal/($m^2 \cdot h \cdot K$)]；

t_1 —— 注射料的熔融温度(K)；

t_2 —— 毛坯的脱模温度(K)；

λ —— 冷却介质的传热系数[kcal/($m^2 \cdot h \cdot K$)]；

μ —— 粘度(kg/m \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；

S_b —— 每小时的注射次数；

d —— 冷却孔的直径(m)；

u —— 流速(m/s)。

2. 冷却水的流量计算

$$W = W_p [C_p (T_1 - T_2) + L] / [K (T_3 - T_4)] \quad (13-3)$$

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；

L —— 注射料的熔解潜热；

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(K)；

T_2 —— 模具的温度(K)；

T_3 —— 出水温度(K)；

T_4 —— 入水温度(K)。

3. 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。

$$S = \ln[\pi/4 \times (T_2' - T_2) / (T_1 - T_2)] \times t^2 / (2\pi\alpha) \quad (13-4)$$

$$\alpha = R / (\rho \times C_p)$$

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(K);
 t ——制品的壁厚(cm);
 R ——注射料的传热系数[$\text{cal}/(\text{cm} \cdot \text{s} \cdot \text{K})$];
 ρ ——注射料的密度(g/cm^3);
 T_1 ——注射料的熔融温度(K);
 T_2 ——模具的温度(K)。

4. 模具加热功率的计算

$$P = mc(t_1 - t_2)/(860\eta T) \quad (13-5)$$

- 式中 P ——加热功率(kW);
 m ——控制部分模具重量(kg);
 t_1 ——模具需要加热的温度(K);
 t_2 ——室温(K);
 T ——加热时间(h);
 η ——加热效率(%);
 c ——模具材料的比热。

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 13-27)加热,热效率高、寿命长、更换方便。电热套和电热板(见图 13-28)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。

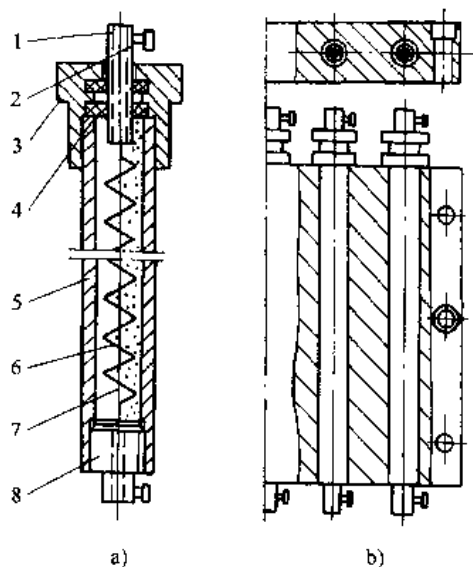


图 13-27 电热棒及其在加热板内的安装

- 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

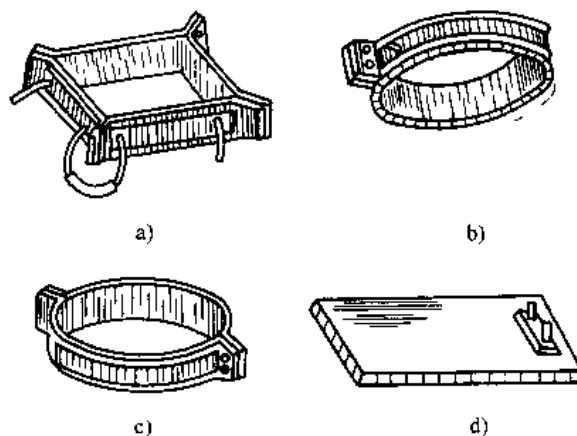


图 13-28 电热套和电热板

5. 电热加热的设计应注意的问题

- 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。

6. 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 13-29）。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它地方，见图 13-30。

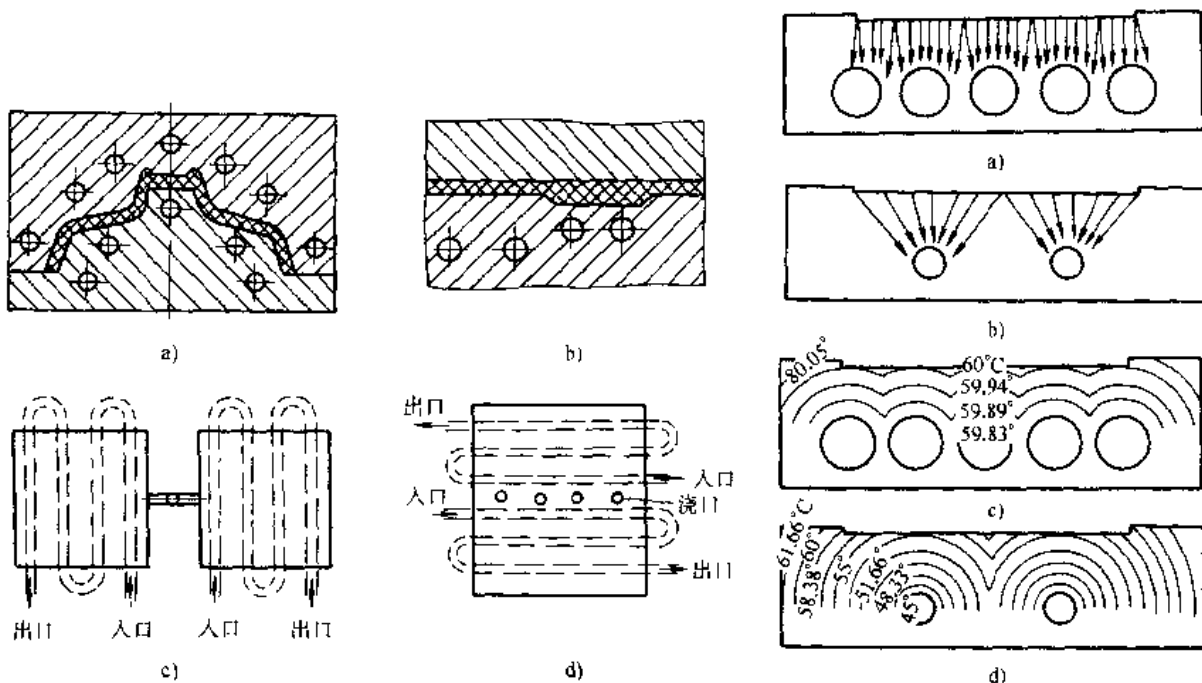


图 13-29 冷却通道的布置示意图

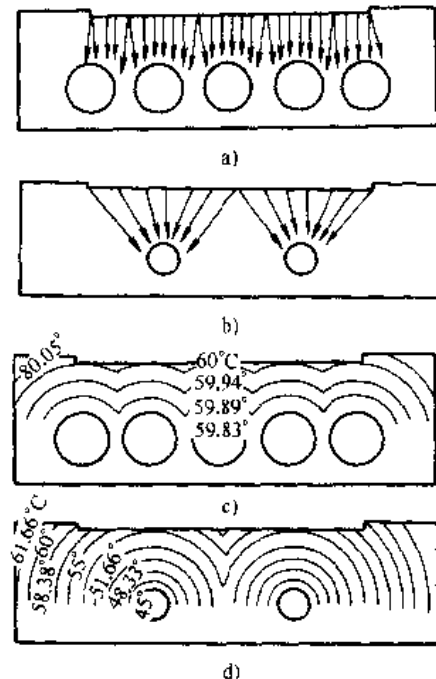


图 13-30 热传导路线与温度梯度

(五) 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) 故意增大顶杆、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。

此外，在塑料制品的生产中常常采用的模腔镶嵌粉末多孔材料的排气方式，在金属的注

射成形中一般不能使用，因为金属注射料会将粉末多孔材料的孔隙封闭。

排气槽（间隙）一般为 $0.020\sim 0.030\text{mm}$ 。过大，易引起溢料；过小，排气效果不良。

（六）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，过快容易粘模变形。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，在外面用手或其它工具取出制品；
- 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。

至于对于塑料制品常用的强制脱模方式，在金属注射成形中一般不采用。因为金属注射料的强度与韧性较低，会导致制品开裂、使凹凸部位脱落。

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 13-31）

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，长使用时，由于顶杆和孔的磨损，容易产生溢料。

顶杆的形状多种多样（见图 13-32），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。

顶杆的设计应注意以下几个方面：

- 1) 顶杆的设置要均匀，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，如筋、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

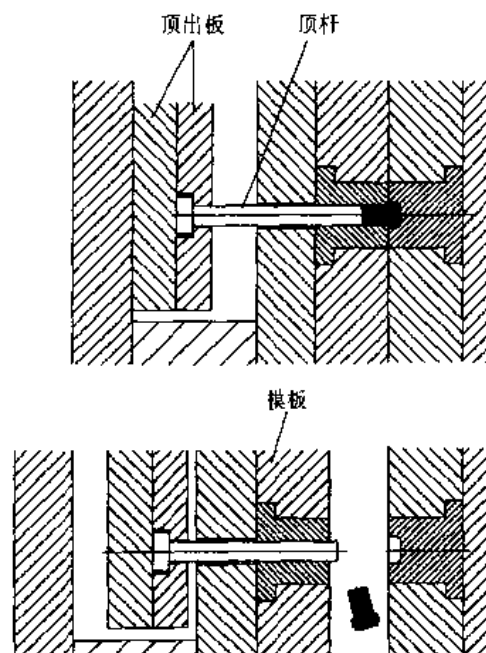


图 13-31 顶杆顶出方式

注射压力过大，容易造成破坏。同时由于注射料的温度关系，顶杆自身的温度也难以控制。

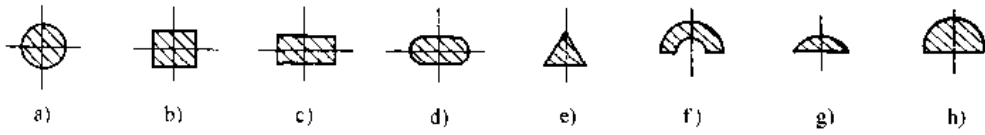


图 13-32 推杆截面形状

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，同时对顶杆自身的强度和寿命有利。

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)，一般在 15~25mm。

6) 配合部位应淬火，硬度大于 55HRC。

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，在其它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。

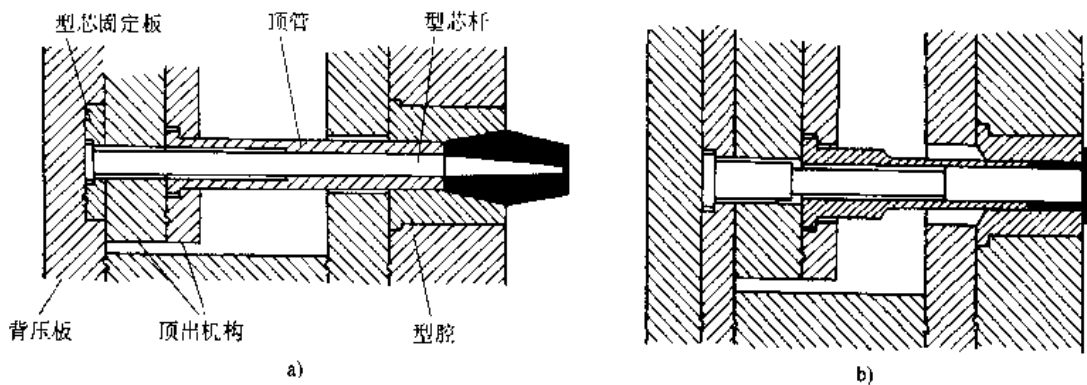


图 13-33 顶管的形状

a) 一般用顶管 b) 阶梯状顶管

2. 顶管顶出方式(图 13-33)

对于管状或圆筒状的制品(见图 13-34a~d)，若壁厚不是非常薄，常采用顶管顶出。这种顶出方式靠顶管端面周围均衡的顶出。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 1.5mm，细的顶管可以做成阶梯形式。

2) 活动配合部位热处理硬度 50HRC 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 7~8mm 的配合长度。

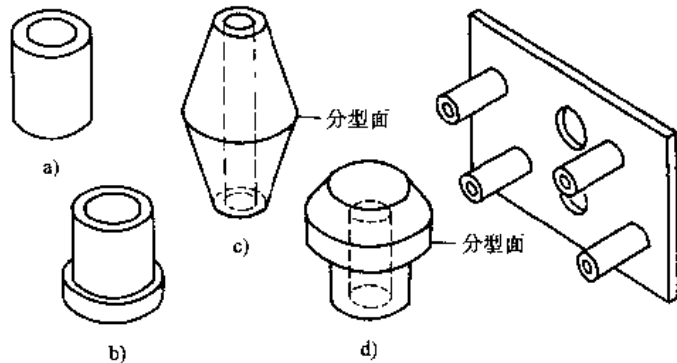


图 13-34 适于采用顶管顶出的制品实例

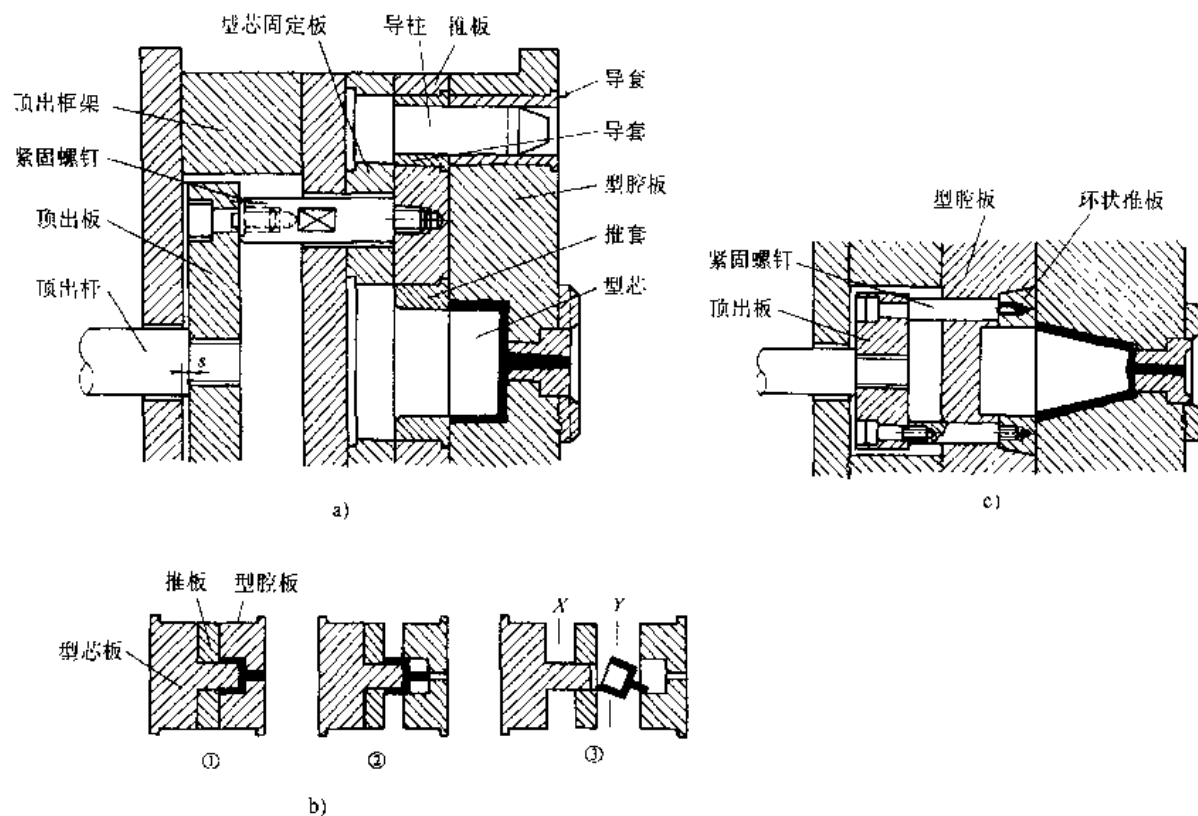


图 13-35 推板顶出机构和驱动实例

a) 推板顶出装置 b) 推板顶出的动作顺序 c) 环状推板方式

3. 推板顶出方式(图 13-35)

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。

推板顶出与顶管顶出的区别在于: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;其它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) 动配合部位热处理硬度 50HRC 左右。
- 2) 活动配合部位单面间隙不超过 $20\mu\text{m}$, 避免溢料卡死。

3) 对于较长模芯,须采取措施防止其倾斜。

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 13-36)及利用顶出的时差。

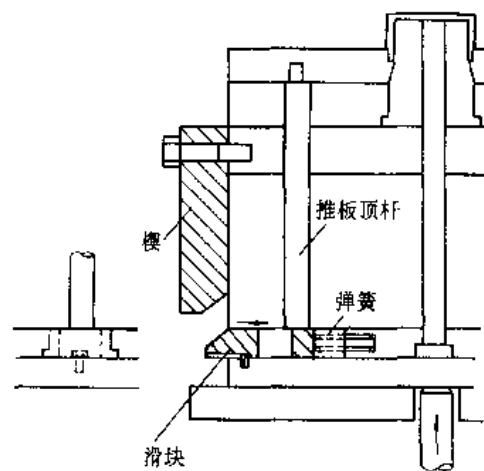


图 13-36 采用滑块的二次顶出机构

第二节 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制品一类。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。

一、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 13-37a~f 示采用适于瓣合模成形的几种典型制品:

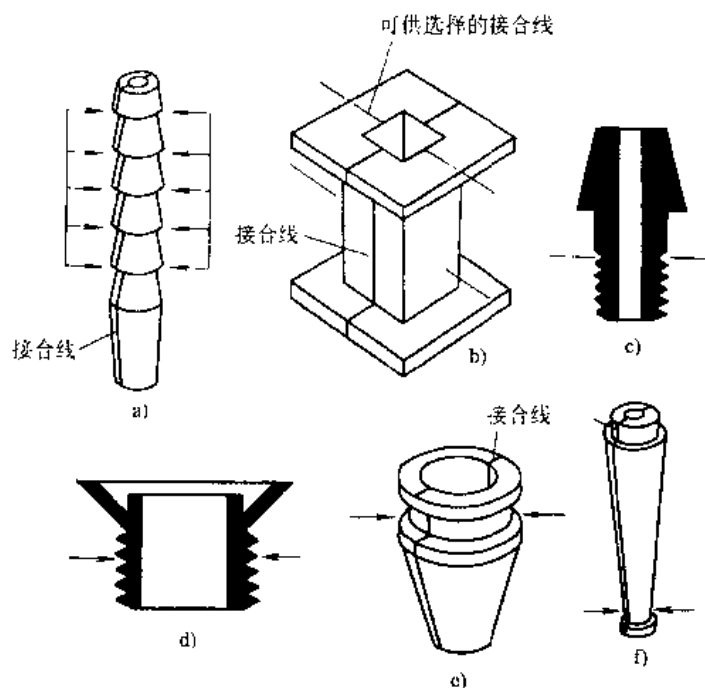


图 13-37 适于采用瓣合模成形的有侧凹的制品,箭头处为侧凹
a) 管接头 b) 线轴 c) 螺纹接头 d) 带螺纹的零件 e) 接头 f) 管轴杆

瓣合模的基本构造和动作如图 13-38 所示。

为了便于加工,瓣合模的导槽多设计成 T 形,并采用图 13-39 的结构,用螺钉、定位销正确地紧固定位。

下面是瓣合模常用的几种驱动方式:

1. 斜导柱驱动方式

图 13-40 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。此时,锁紧力不是由斜导柱施加。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。

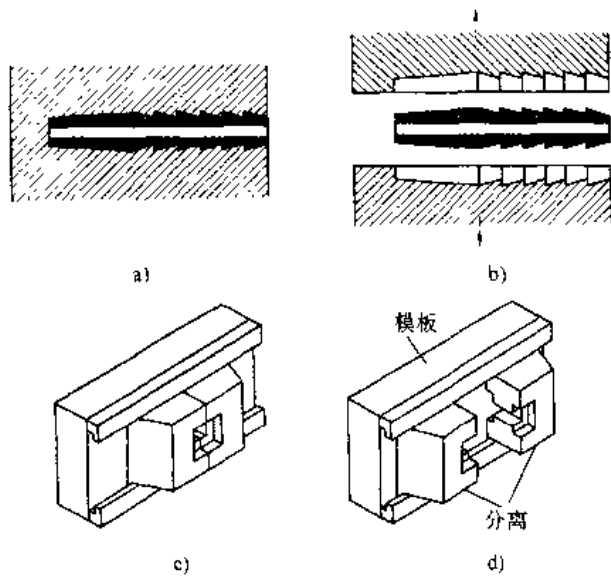


图 13-38 瓣合模的基本构造
a) 分型面的选取 b) 瓣合模的动作图
c) 合模状态 d) 开模状态

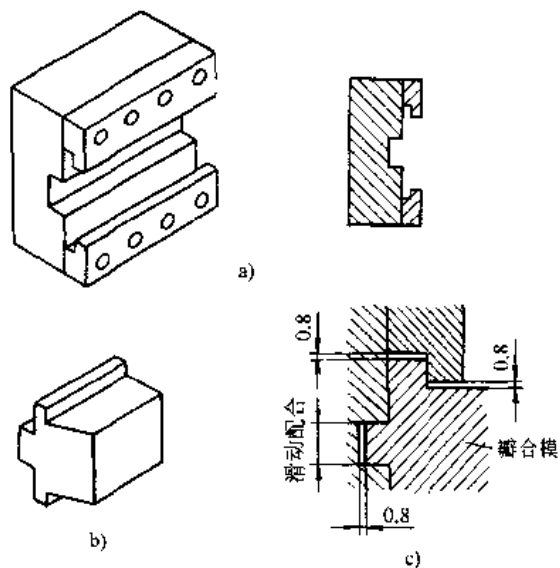


图 13-39 瓣合模滑动导轨的设计
a) 模座的形状 b) 瓣合模的形状 c) 尺寸实例

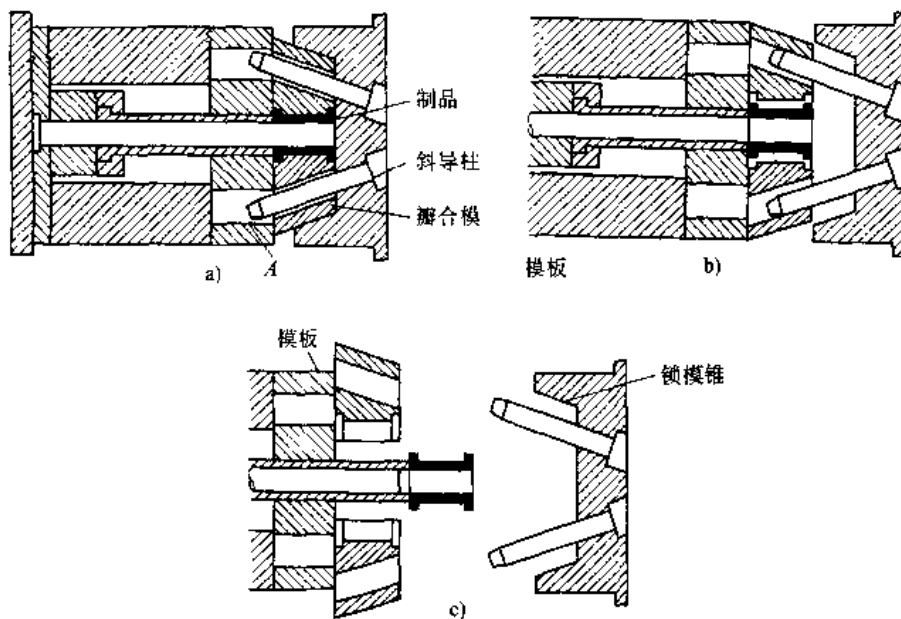


图 13-40 斜导柱驱动方式的基本动作
a) 合模状态 b) 开模初始状态 c) 开模后状态

瓣合模的移动距离 M 及斜导柱的长度 L (图 13-41) 由下式计算:

$$M = (L \sin \phi) - (C / \cos \phi)$$

$$L = (M / \sin \phi) + (2C / \sin 2\phi)$$

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 13-42 所示为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：

$$M = L_n \tan\phi - C$$

$$L_n = (M + C) / \tan\phi$$

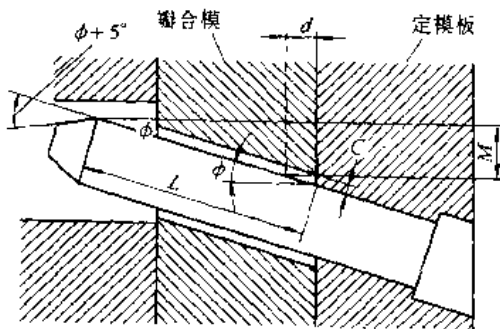


图 13-41 斜导柱主要部位设计说明图

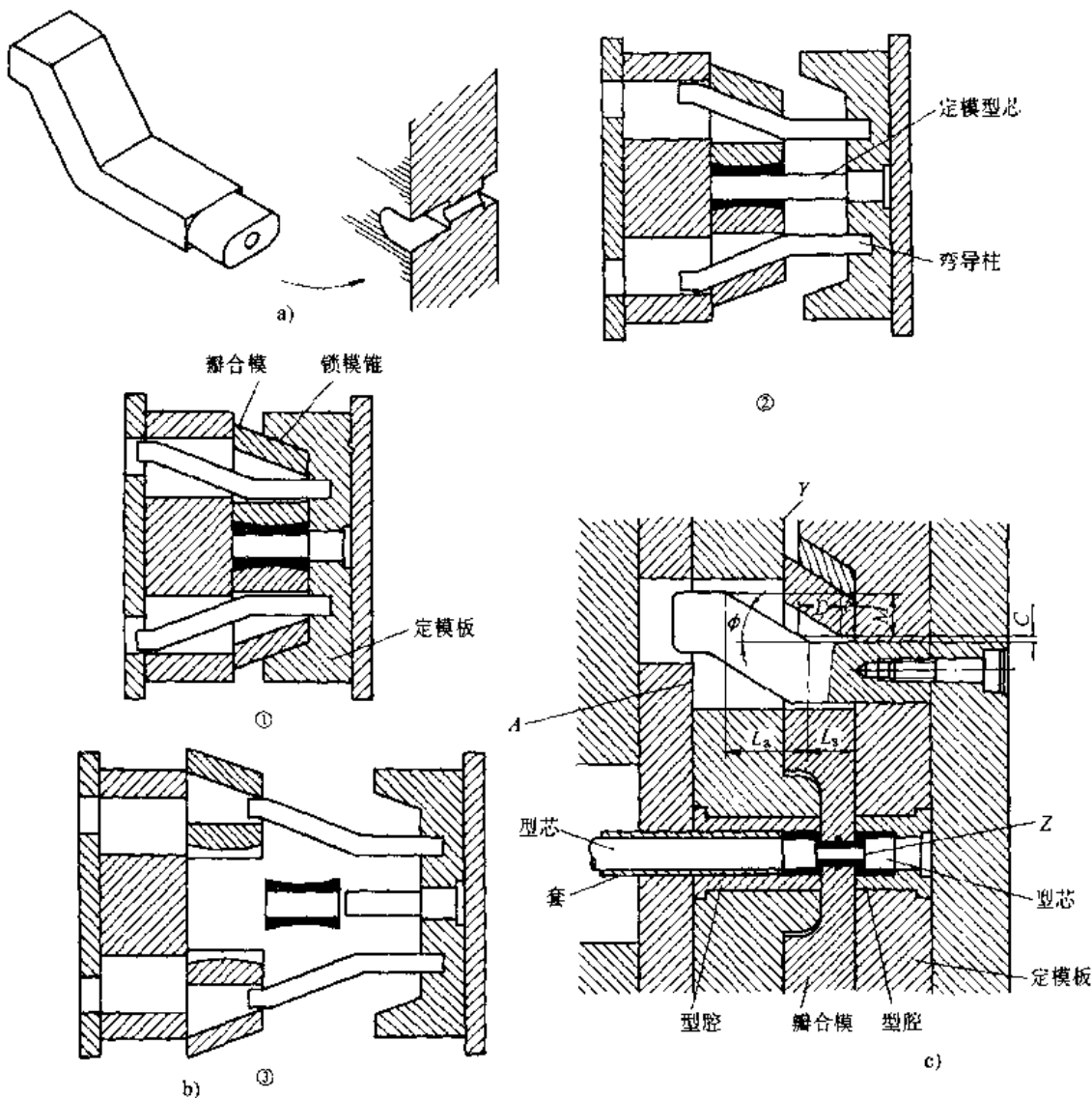


图 13-42 弯导柱驱动的瓣合模

a) 弯导柱的形状和装置实例 b) 弯导柱驱动方式的基本顺序 ①合模状态 ②开模初始状态 ③开模后的状态 c) 弯导柱驱动方式的主要部位设计实例

$$D = (L_s - e) + (C/\tan\phi)$$

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 13-43 示导板驱动方式的原理图:

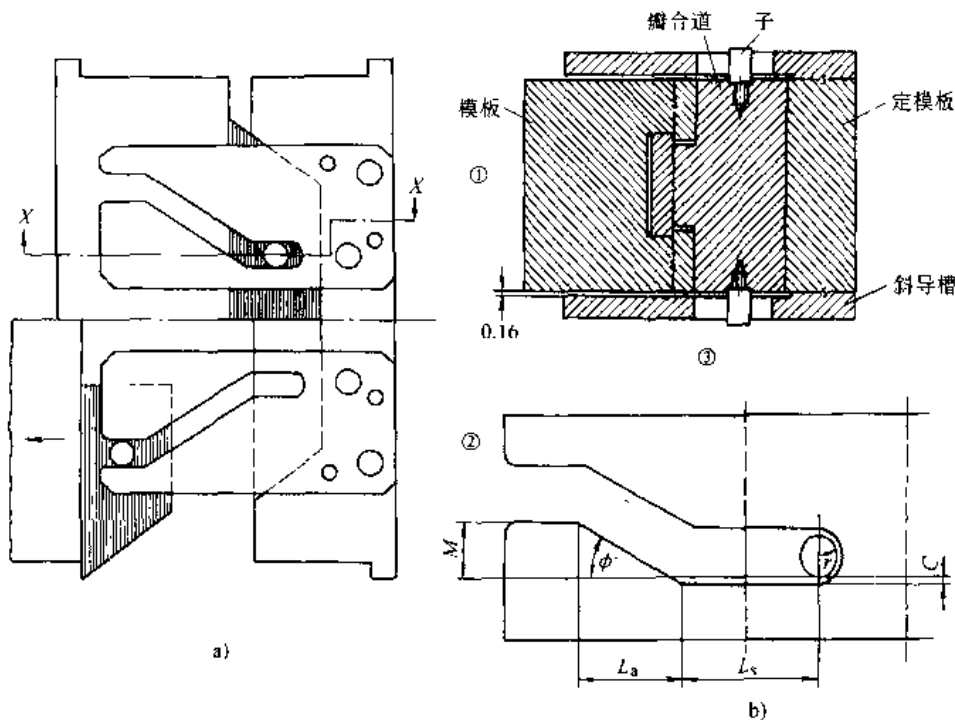


图 13-43 斜导槽动作的瓣合模

a) 斜导槽动作方式的基本顺序 ①合模状态 ②开模状态 ③X-X 断面

b) 斜导槽动作方式的主要部位设计实例

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:

$$M = L_a \tan\phi - C$$

$$L_a = (M + C) / \tan\phi$$

$$D = L_s + C/\tan\phi + r(1/\tan\phi - 1/\sin\phi)$$

式中 M ——瓣合模的移动距离(mm);
 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)。

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 13-44 所示为其驱动方式的原理图：

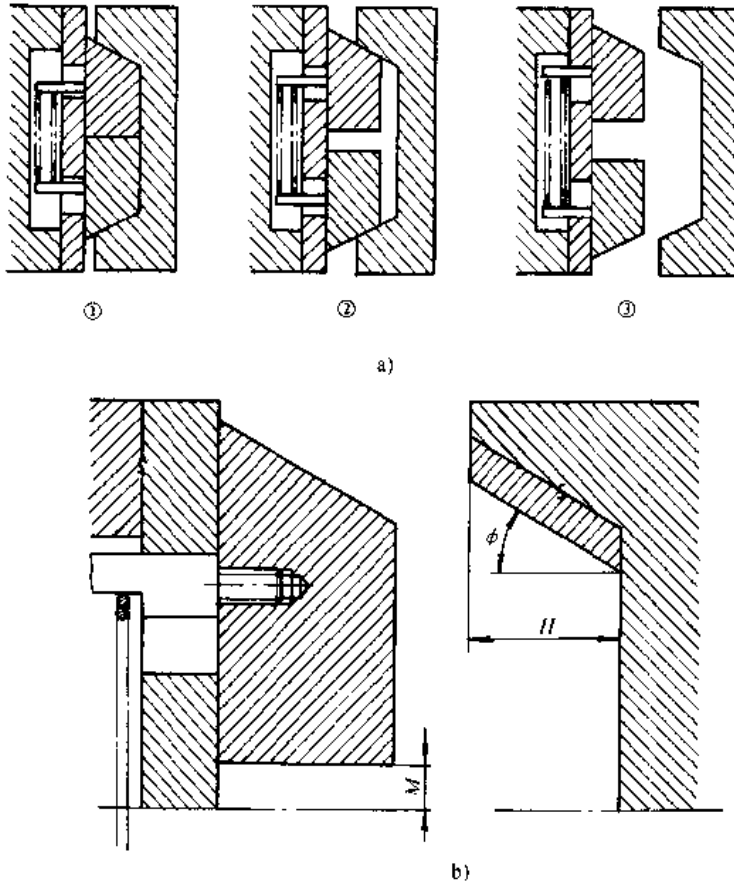


图 13-44 弹簧动作的瓣合模

a) 弹簧动作方式的基本顺序 ①合模状态 ②开模初始的状态
③开模后的状态 b) 弹簧动作方式的主要部位设计实例

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($^{\circ}$)一般 ϕ 角为 $20 \sim 25^{\circ}$ 。

5. 液压、气压驱动方式

这是利用固定于模板上的油缸、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 13-45 示其原理图：

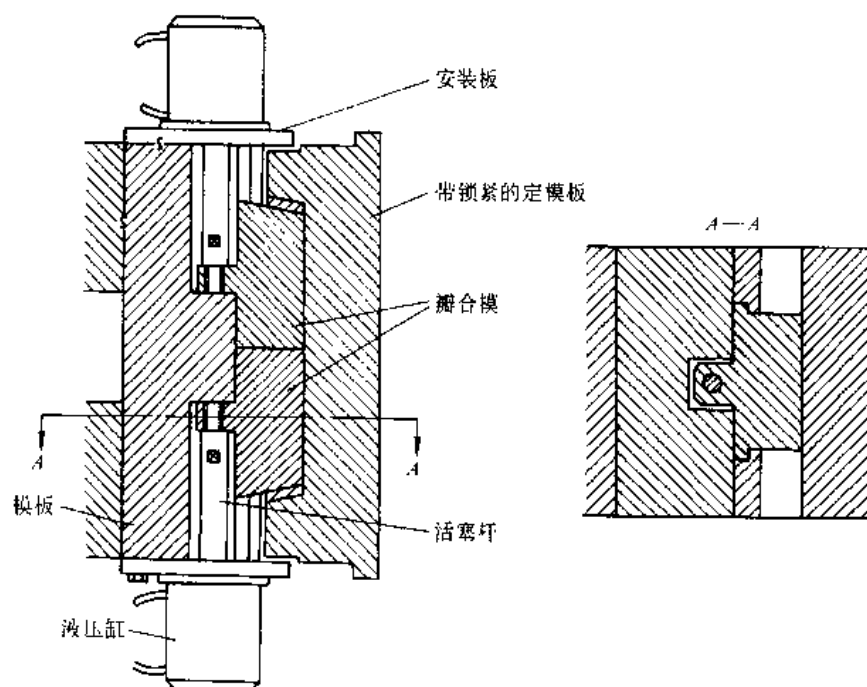


图 13-45 液压(气压)方式一例(行程不大的情况)

6. 瓣合模的锁紧、定位方法(图 13-46)

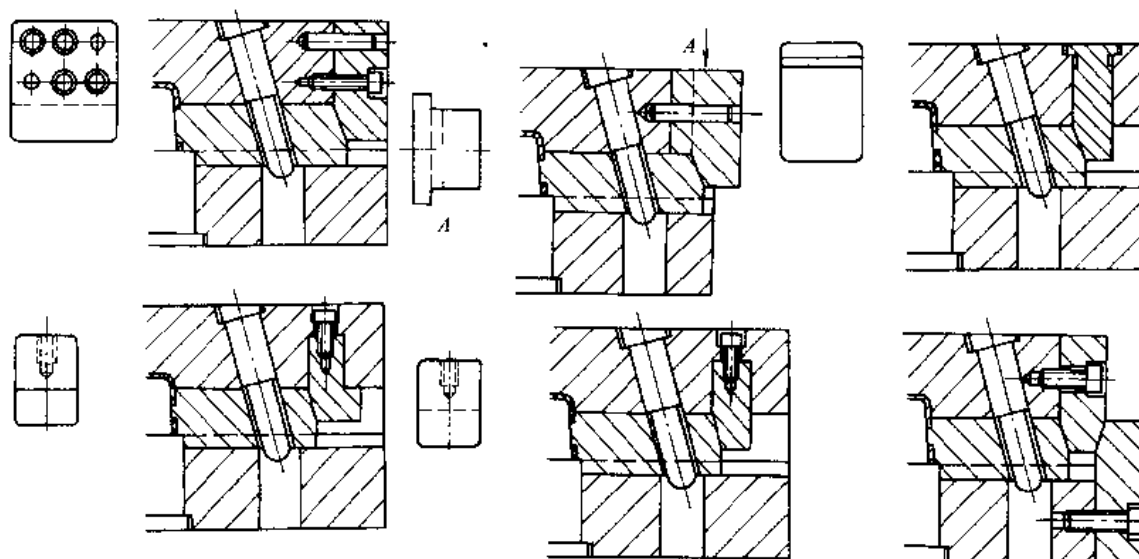
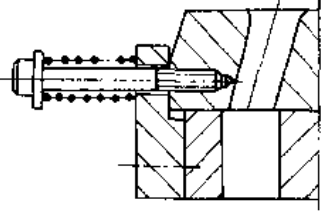
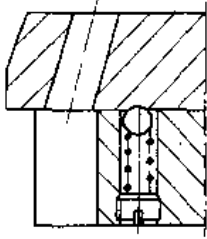
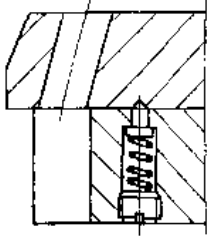
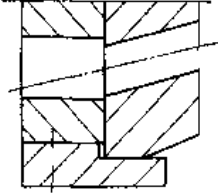
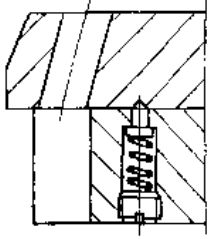
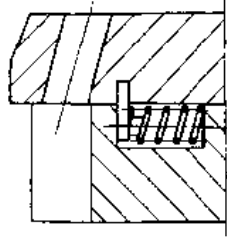


图 13-46 瓣合模的锁紧、定位方法

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）来锁紧滑动的各瓣模具。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。

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 13-3 和图 13-47。

表 13-3 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

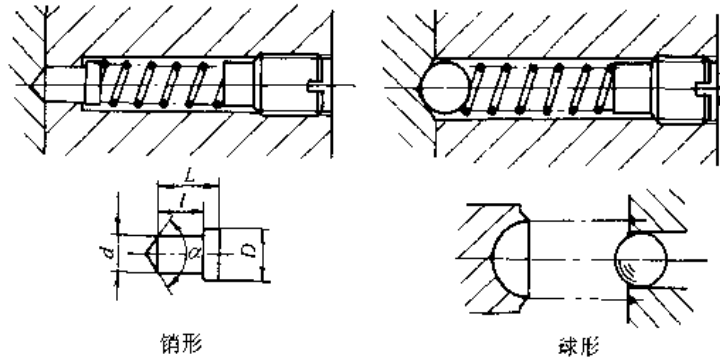


图 13-47 销形及球形定位装置图

二、侧向抽芯模具

当制品的外侧有侧凹时,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 13-48 所示为适于采用侧向抽芯模具制作的一些典型制品。

图 13-49 所示为侧向抽芯模具的动作原理图。

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

于诸如浇口位置设置,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。

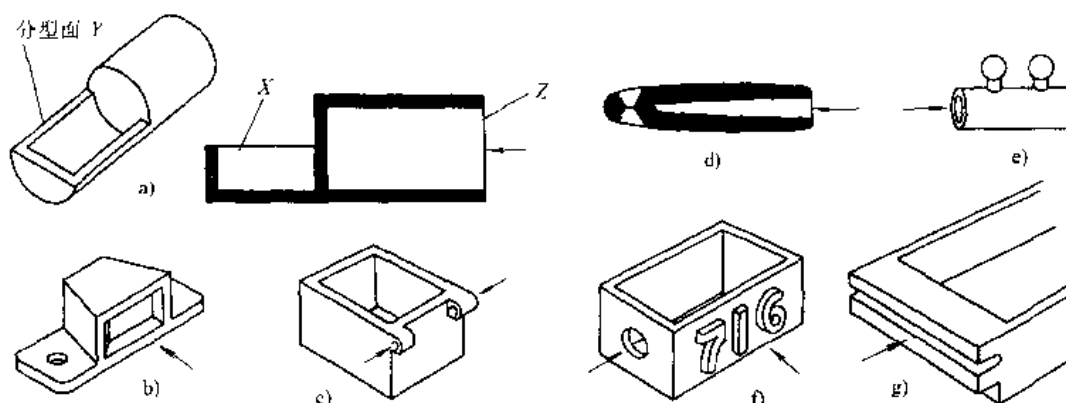


图 13-48 适于用侧型芯和侧型腔模成形的制品,箭头处是滑块成形的部位

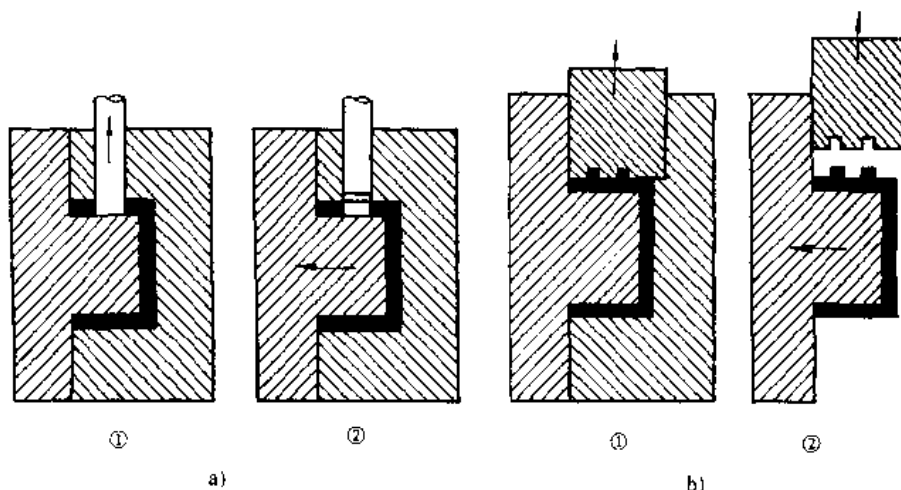


图 13-49 滑块模的基本动作

a) 侧型芯式 ①合模 ②开模 b) 侧型腔式 ①合模 ②开模

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。

第三节 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制品一类。图 13-50 所示为一些典型的内侧凹制品。

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 13-51 所示为其基本结构和动作实例:

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 13-52 所示为其常见的几种形式。

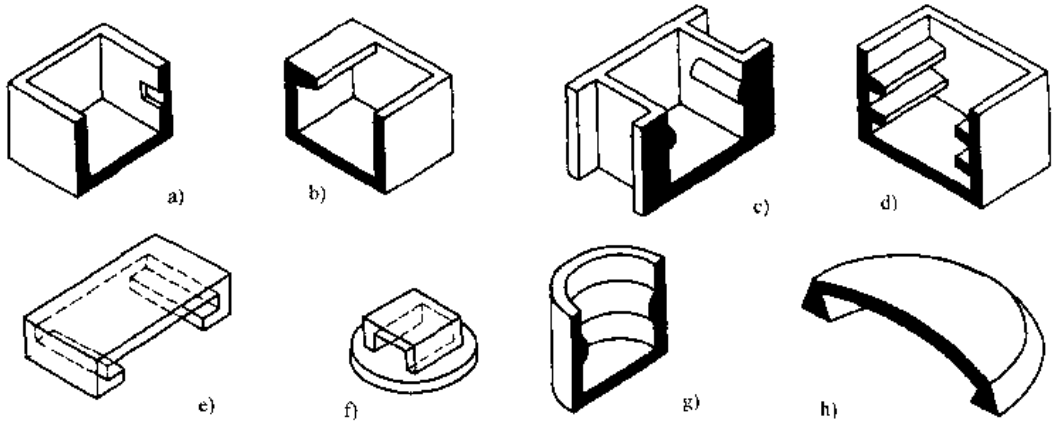


图 13-50 有内侧凹的制品

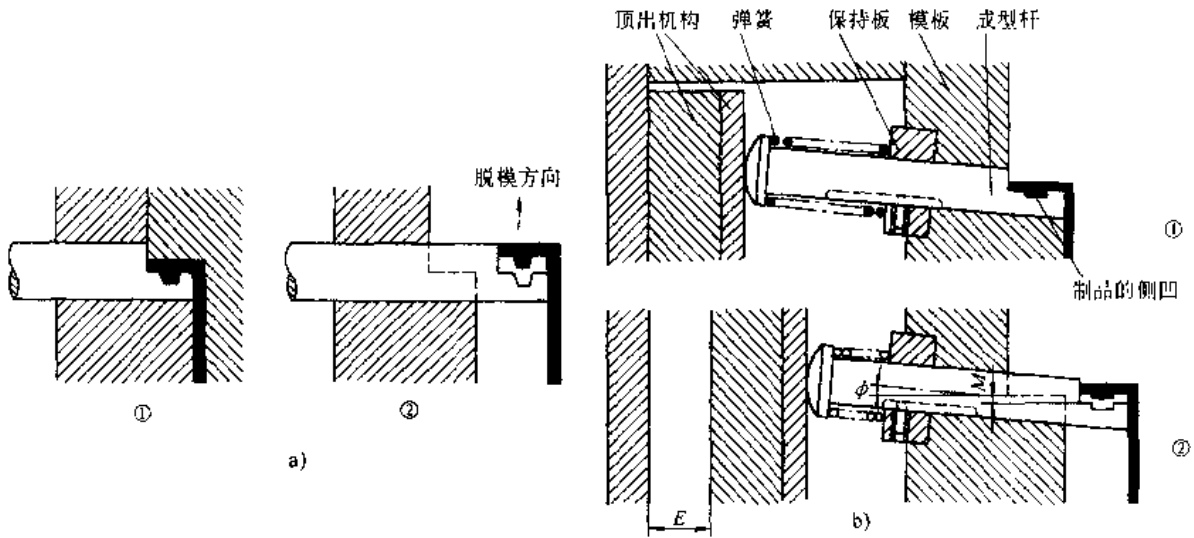


图 13-51 直杆和斜顶杆的比较,直杆不能自动下落,斜顶杆可以自动下落
a) 直杆方式 ①成形 ②顶出 b) 斜顶杆方式 ①成形 ②顶出

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、油缸等驱动将其脱出。

4. “熔”芯成形法(图 13-53)

对于周围内侧凹的制品,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、熔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 13-54 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。

主流道的冷料勾料杆的沟槽深度为 0.5~1.0mm,分流道的冷料勾料杆的沟槽深度为 0.2~0.4mm。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 13-55 所示为主流道、分流道的推板顶出结构。

图 13-56 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。

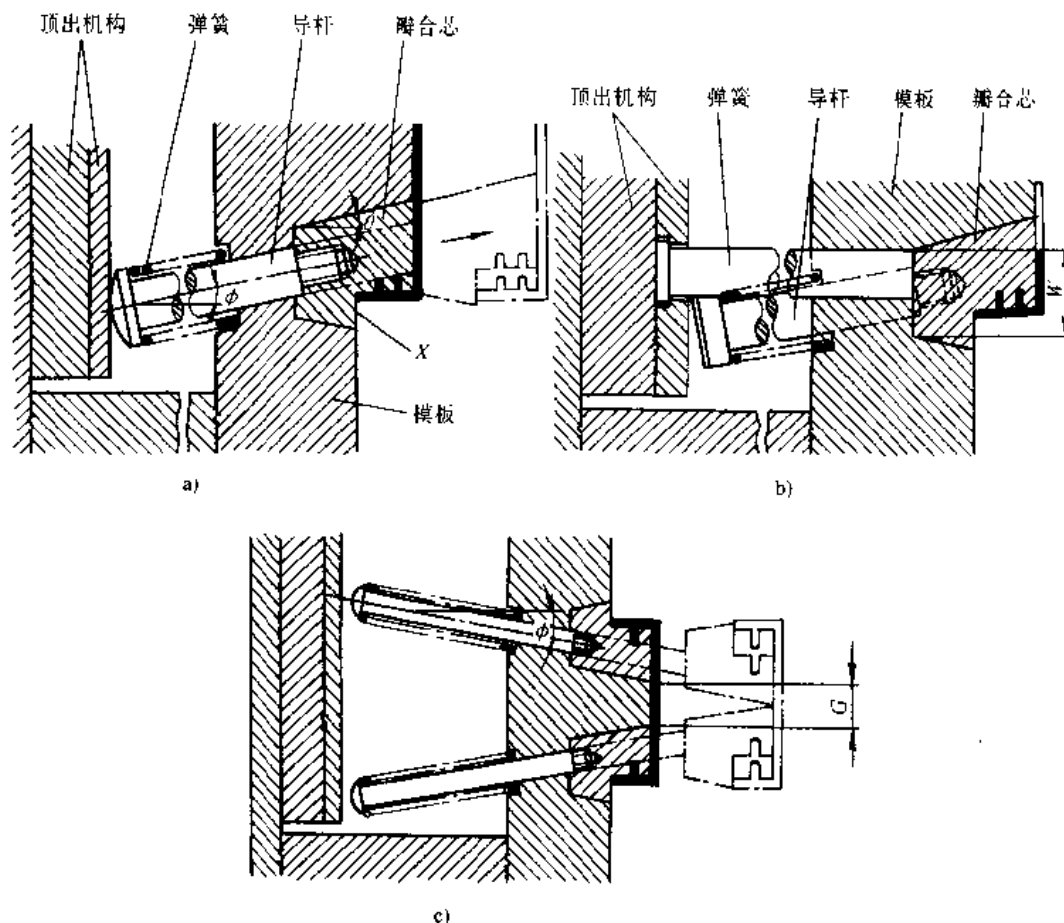


图 13-52 瓣合型芯的各种动作方式
 a) 斜导柱和瓣合型芯图例--I b) 斜导柱和瓣合型芯图例 I c) 对称分布的两处以上带有侧凹制品的成形结构

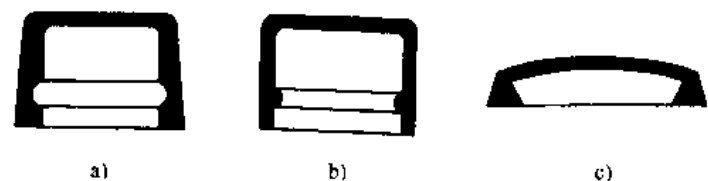


图 13-53 “熔”芯成形法

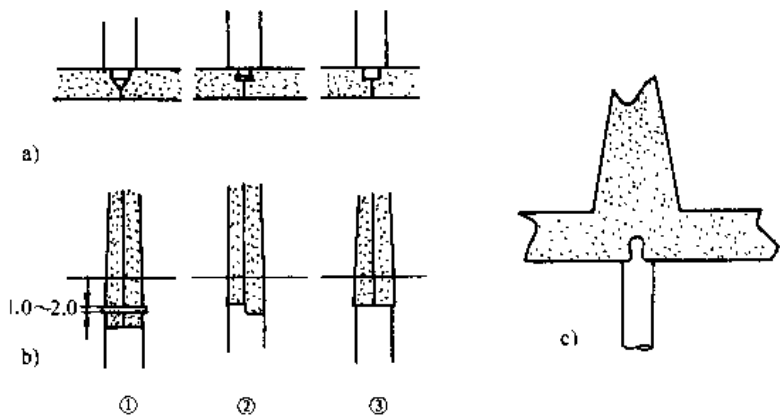


图 13-54 分流道冷料勾杆和主流道冷料勾杆
 a) 分流道冷料勾料杆 b) 主流道冷料勾料杆 c) 球形主流道冷料勾料杆

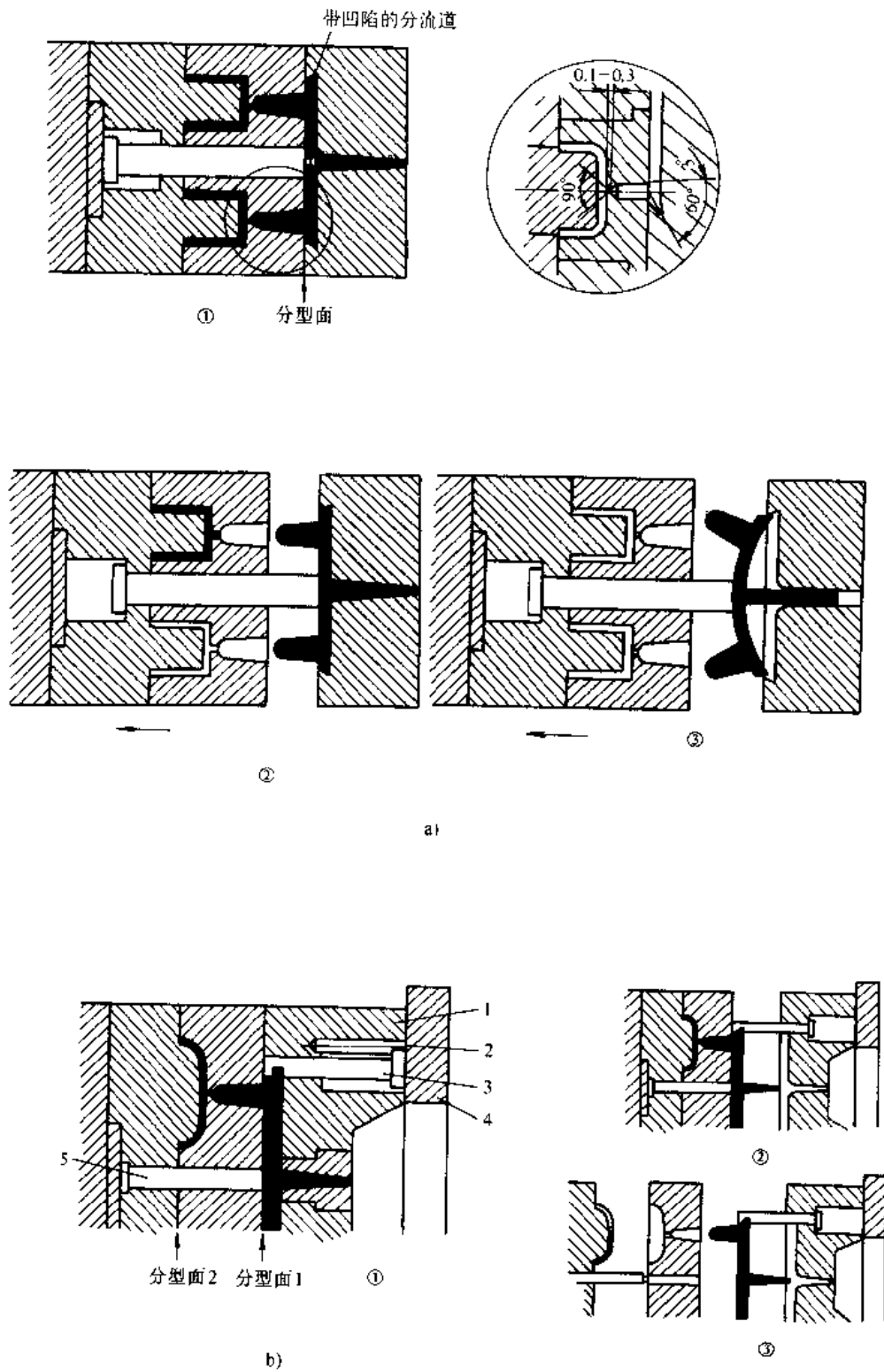


图 13-55 主流道、分流道冷料的顶出方式

a) 主流道, 分流道冷料自动脱落的方式和动作 b) 当不能用 a) 的方式时, 可采用此方式, 但这个方式自动脱落困难

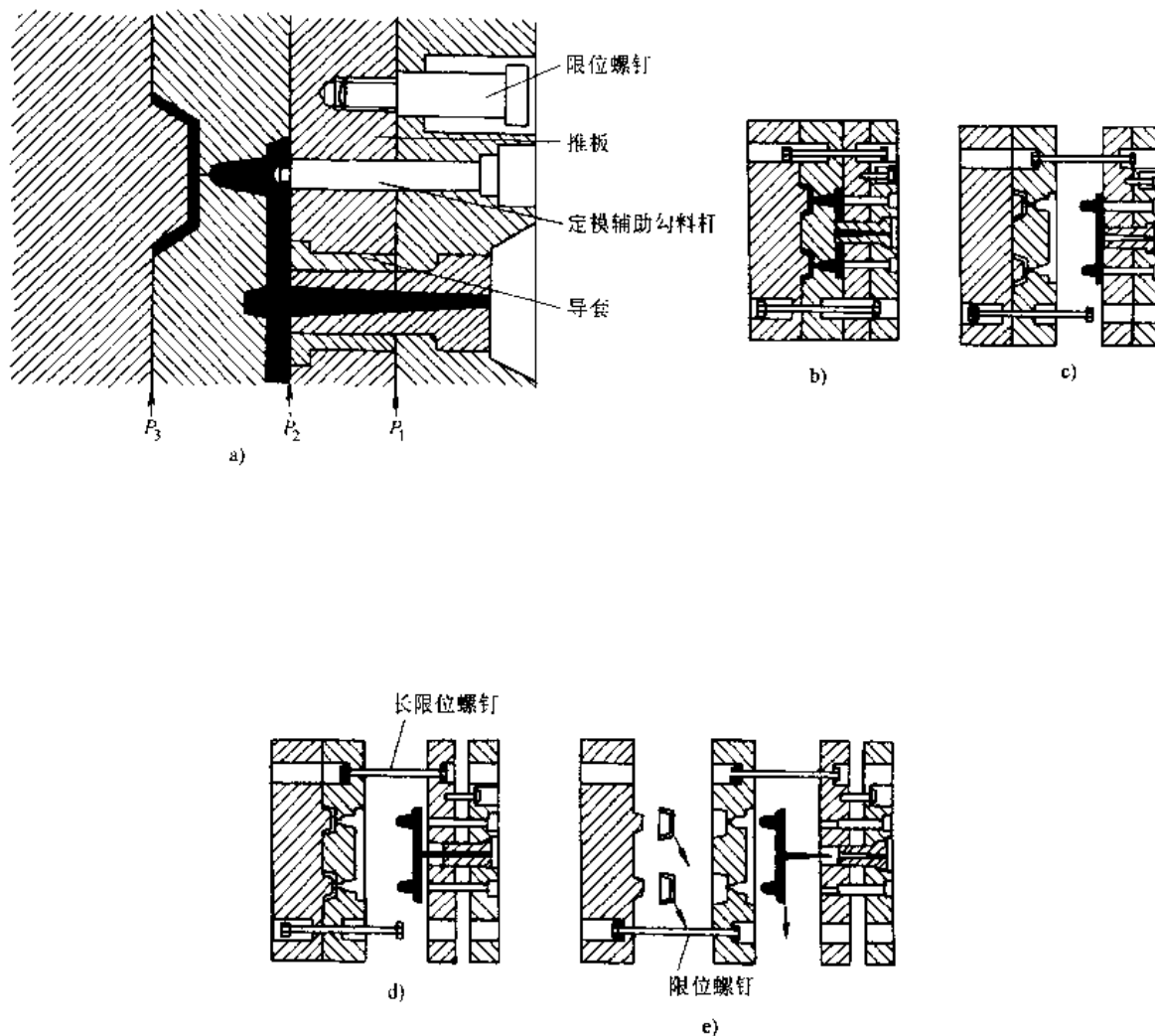


图 13-56 主流道、分流道的推板顶出结构
 a) 成形状态时主要部位详细图 b) 成形时的状态 c) 第一次分型 d) 第二次分型 e) 开模后的顶出状态

第四节 金属注射成形模具的材料选择与设计实例

一、金属注射成形模具的材料选择

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 180~250HBS。其它板料可以采用 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 50~55HRC 或 20 钢渗碳 0.5~0.8mm 厚，淬硬到 56~60HRC。

注射模具工作时，一般承受 20~50MPa 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 58~62HRC 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。

对于腔体部分，材料选择主要考虑耐磨性、淬火形状稳定性、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 58~62HRC。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、线切割等电加工手段，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，故耐蚀性也是对模具材料的一项要求。

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。

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，可以不进行强度计算。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。较为简单形状模腔的强度计算，可以参考有关塑料注射模具的设计手册。复杂型腔可以采用有限元或专业软件来分析计算。

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) 合理选择浇口的形式和位置。
- 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) 合理间隙，避免产生飞边、毛刺。

二、金属注射成形模具设计实例

图 13-57 所示为针式打印机打印头基座图。

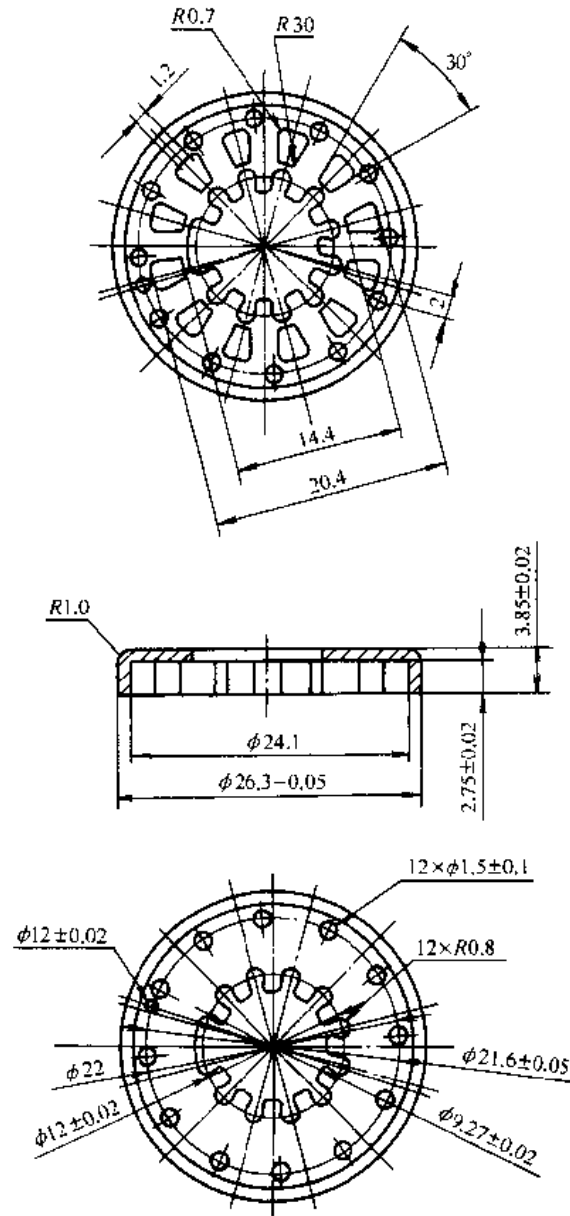


图 13-57 针式打印机打印头基座图

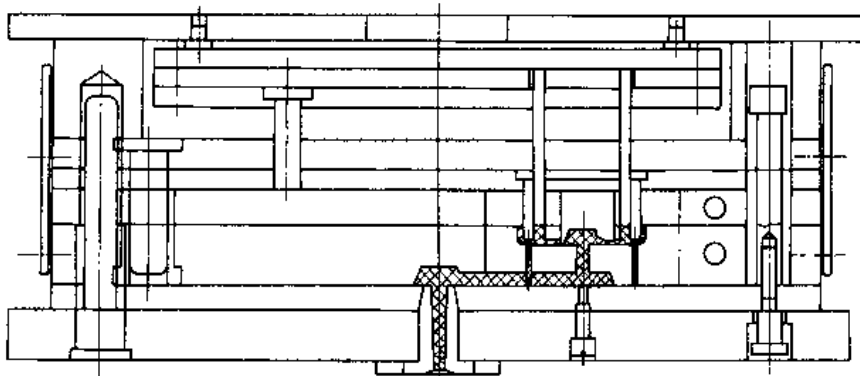


图 13-58 针式打印机打印头基座注射成形模具图

这个零件是击打针吸引线圈的铁芯,材质为纯铁,要求密度大于 $7.4\text{g}/\text{cm}^3$,这样才能使线圈在通电时产生足够的吸引力。

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 $7.5\text{g}/\text{cm}^3$ 。

该零件的注射成形模具的简图见图 13-58。

模具采用点浇口模架,四型腔对称布置,型腔镶件采用 Cr12MoV。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 $20\sim 40\text{MPa}$ 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 210mm ,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。模具的顶出采用中间一根顶出杆,在模具的底部座板上留有一个 40mm 的顶出孔。

附 录

附录 A 粉末冶金结构零件常用原、 辅材料的标准与规格

一、铁 粉

1. 还原铁粉 (表 A-1~表 A-5)

表 A-1 还原铁粉化学成分的国家标准 (GB/T4136-1994)

牌 号	化学成分 (质量分数,%)							
	总铁 不小于	杂质量, 不大于						
		Mn	Si	C	S	P	盐酸不溶物	氢损
FHY80.23	98.00	0.40	0.15	0.07	0.030	0.030	0.40	0.50
FHY80.25	98.00	0.40	0.15	0.05	0.030	0.030	0.40	0.45
FHY100.25	98.50	0.35	0.10	0.03	0.020	0.020	0.30	0.30
FHY100.27	98.50	0.35	0.10	0.03	0.020	0.020	0.25	0.25
FHY200	98.00	0.35	0.15	0.10	0.030	0.030	0.50	0.50

表 A-2 还原铁粉工艺性能的国家标准 (GB/T4136-1994)

牌 号	松装密度 (g/cm ³)	流动性 (s/50g) 不大于	压缩性 (g/cm ³) 不小于	筛 分 析 (%)				
				>250 μ m (+60 目)	>180 μ m (+80 目)	>150 μ m (+100 目)	>75 μ m (+200 目)	<45 μ m (-325 目)
				FHY80.23	2.20~2.45	38	6.40	0	≤3	余量		5~25
FHY80.25	2.45~2.70	35	6.45	0	≤3	余量		5~25
FHY100.25	2.40~2.60	35	6.60	—	0	≤5	余量	5~30
FHY100.27	2.60~2.80	30	6.70	—	0	≤5	余量	5~30
FHY200	2.00~2.80	—	—	—	—	—	≤5	≤32

注: 除 FHY200 牌号外, 其余牌号铁粉小于 75 μ m (-200 目) 的粉末应为 40%~60%。

表 A-3 武钢粉末冶金公司的还原铁粉牌号与化学成分

牌 号	化学成分 (质量分数,%)							
	Fe	Mn	Si	C	S	P	氢损	盐酸不溶物
	≥	≤						
WHF80.240	98.50	0.35	0.10	0.05	0.025	0.025	0.5	0.20
WHF100.255	98.50	0.35		0.04	0.025	0.025	0.4	
WHF100.270	98.50	0.35		0.04	0.025	0.025	0.4	
WHF100.290	98.50	0.35		0.04	0.020	0.020	0.4	

表 A-4 武钢粉末冶金公司还原铁粉的牌号与工艺性能

牌 号	工 艺 性 能			粒 度 组 成 要 求 (%)			
	松装密度 (g/cm ³)	流 速 (s/50g)	压缩性 ¹ (g/cm ³)	180~250 μm	150~100 μm	106~63 μm	<15 μm
WHF80.240	2.4±0.1	≤40	>6.10	<1			<20
WHF100.255	2.55±0.1	≤36	>6.45	-	<5	余量	<30
WHF100.270	2.70±0.1	≤32	>6.70	-	<2		<30
WHF100.290	2.90±0.1	≤32	>6.70	-	<2		<20

注:压制压力 490.3MPa。

表 A-5 瑞典 Höganäs 粉末公司还原铁粉的牌号与工艺性能

牌 号	大致的粒 度范围/ (μm)	松装 密度/ (g/cm ³)	流速/ (s/50g)	O ₂ (%)	C (%)	生坯强度/ (N/mm ²) 1%H ₂		压缩性/ (g/cm ³) 1%H ₂		用 途
						成形压力	成形压力	成形压力	成形压力	
						120 MPa	600 MPa	420 MPa	600 MPa	
MH80.23	40~200	2.30	33	0.30	0.08	20	29	6.35	6.75	含油轴承
NC100.24	20~180	2.45	29	0.20	<0.01	15	21	6.65	6.98	结构零件
SC100.26	20~180	2.65	28	0.12	<0.01	11	15	6.82	7.10	高密度零件
MH100.28	20~180	2.85	27	0.20	0.01	7	11	6.70	7.01	细长零件
MH65.17	40~200	1.8	45	0.35	0.01	25	33	6.46	6.84	摩擦材料
MH300.25	5~50	2.8	-	0.25	0.02	8	12	6.53	6.90	表面粗糙度低的零件

2. 雾化铁粉(表 A-6~A-10)

表 A-6 鞍钢冶金粉材厂水雾化铁粉的牌号与性能(QJ/AG02[01]287—1990)

牌 号	级 别	化 学 组 成 (质量分数,%)								
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	盐酸不溶物	氢损
SFB200.25	0	0.02	0.05	0.15	0.015	0.015	-	-	0.20	0.20
SFB200.26	1	0.05	0.10	0.30	0.030	0.030	-	-	0.20	0.40
SFG200.30	0	0.02	0.05	0.15	0.015	0.015	-	-	0.20	0.20
SFG200.30	1	0.05	0.10	0.30	0.030	0.030	-	-	0.20	0.40

表 A-7 鞍钢冶金粉材厂水雾化铁粉的工艺性能(QJ/AG02[01]287—1990)

牌 号	级 别	松装密度/ (g/cm ³)	流动性/ (s/50g)	压缩性/ (g/cm ³)		粒 度 组 成 要 求 (%)			
				成形压力	成形压力	>400 μm	>200 μm	>76 μm	<63 μm
				392/ MPa	588/ MPa				
SFB200.25	0	2.6±0.1	<33	6.50	7.00	-	<1	-	<40
SFB200.26	1	2.6±0.15	<35	6.40	6.90	-	<3	-	<50
SFG200.30	0	3.0±0.1	<28	6.60	7.03	-	<1	-	<35
SFG200.30	1	3.0±0.15	<30	6.50	6.90	-	<3	-	<45

表 A-8 瑞典 Höganäs 粉末公司水雾化铁粉的牌号与工艺性能

牌 号	粒度 范围/ (μm)	松装 密度/ (g/cm^3)	流速/ ($\text{s}/50\text{g}$)	O_2 (%)	C (%)	生坯强度/ MPa		压缩性/ (g/cm^3)		用 途
						1%H 蜡		1%H 蜡		
						成形压力 420 MPa	成形压力 600 MPa	成形压力 420 MPa	成形压力 600 MPa	
AHC100.29	20~180	2.95	25	0.15	0.01	7	11	6.79	7.13	高密度零件
ASC100.29	20~180	2.95	25	0.10	<0.01	11	15	6.86	7.18	高密度零件与磁性材料
ABC100.30	30~200	3.0	24	0.05	<0.01	8	10	6.96	7.25	高密度零件与磁性材料

表 A-9 日本神户制钢水雾化铁粉的牌号与工艺性能

牌 号	C	[O]	松装密度/ (g/cm^3)	流速/ ($\text{s}/50\text{g}$)	压缩性 ^① (g/cm^3)	磨损性 ^② (%)	特 点
	(%)	(%)					
300M	<0.02	<0.25	2.85~3.05	<30	>6.85	<1.0	高纯度、高松装 密度、高压缩性
300MH	<0.01	<0.20	2.85~3.05		>6.95	<1.0	
500M	<0.02	<0.25	2.85~3.10		>6.80	<1.2	
270MA	<0.02	<0.25	2.60~2.80		>6.75	<0.80	高压缩性、高成形性
250M	<0.02	<0.25	2.40~2.60		>6.70	<0.6	高成形性
290PC	<0.01	<0.20	2.40~2.80		>6.90	—	高纯度、高压缩性
290PC-2	<0.01	<0.20	2.40~2.75		>6.95	—	高频磁性特性良好

① 成形压力 490.3MPa

② 即拉托拉试验的磨损值，粉末中加入了 0.75% 硬脂酸锌。

表 A-10 加拿大 QMP 公司水雾化铁粉的牌号与工艺性能

牌 号	粒度范围/目 μm			松装 密度/ (g/cm^3)	流速/ ($\text{s}/50\text{g}$)	O_2 (%)	C (%)	压缩 性 ^① / (g/cm^3)	生坯 密度 ^② / (g/cm^3)	特 点
	(+100)	(+325)	(-325)							
	>154	>45	<45							
ATOMET25	3	67	30	2.52	29	0.20	0.03	6.8	6.90	生坯强度高
ATOMET29	5	73	22	2.93	26	0.17	0.05	6.8	6.95	生坯强度高
ATOMET29M	5	73	22	2.95	26	0.16	0.05	6.83	7.00	含 BN 的易切削钢粉
ATOMET1001	10	65	25	2.95	26	0.08	0.003	6.93	7.10	高纯度、高压缩性

① 成形压力 500MPa。

② 成形压力 600MPa。

二、合金钢粉与不锈钢粉

1. 部分预合金粉

在粉末冶金汽车零件生产中，最常用的粉末冶金材料的合金化方法是将合金元素以粉末状混入原料铁粉中。但是，由于压制前混合粉在运送过程中粉末组成会产生偏析，致使连续压制成形的压坯之间化学组成产生差异。这个问题可用预合金化和用通过烧结或胶粘将合金元素粉末颗粒粘结在铁粉颗粒上（见附录图 A-1）来解决。用烧结粘结者，称之为部分合金化粉末。

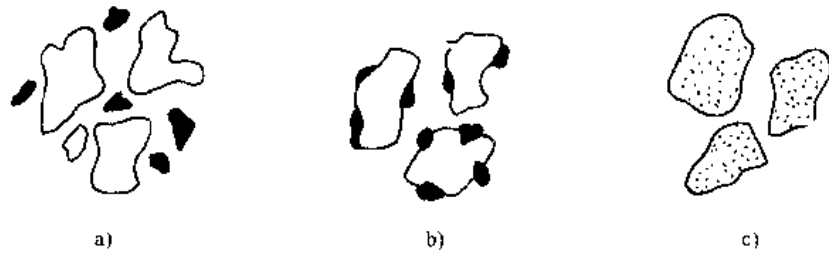


图 A-1 铁基粉末冶金材料为合金化而使用的原料粉的示意图

a) 混合粉 b) 部分预合金化粉末 c) 完全预合金化粉末

部分预合金化铁基粉末的主要优点是可以大大减小合金元素粉末的偏聚，压缩性好，烧结尺寸稳定，能消除烧结前由于需要还原接触颗粒表面的氧化物层而产生的扩散滞后，及改善淬透性（表 A-11、表 A-12）。

表 A-11 瑞典 Höganäs 粉末公司的部分预合金化粉的牌号、化学组成及用途

牌 号	基体铁粉	合金元素 (质量分数,%)			用 途
		Cu	Ni	Mo	
Distaloy AE	ASC100.29	1.5	4	0.5	一次压制与烧结后，抗拉强度 750MPa，淬透性好
Distaloy AF	ASC100.29	2	5	1	一次压制与烧结后，抗拉强度 850MPa
Distaloy AG	ASC100.29		8	1	一次压制与在 1150°C 下烧结后，抗拉强度可达 1050MPa
Distaloy AB	ASC100.29	1.5	1.75	0.5	一次压制密度可达 7.2g/cm ³ ，添加石墨后，烧结件抗拉强度为 650MPa，热处理后，抗拉强度可达 1000MPa
Distaloy SA	SC100.26	1.5	1.75	0.5	一次压制密度可达 6.9g/cm ³ ，添加石墨后烧结件的抗拉强度可达 600MPa，可热处理
Distaloy SE	SC100.26	1.5	4	0.5	一次压制与烧结后，抗拉强度约为 700MPa，特别适用于需热处理的大型零件
Distaloy Cu	NC100.24	10	—	—	用于制备含 Cu 量不高于 5% 的预混合粉
Distaloy ACu	ASC100.29	10	—	—	用于制备制造高密度、高精度烧结零件的预混合粉
Distaloy MH	MH80.23	25	—	—	用于制造含 Cu 量高的含油轴承

表 A-12 瑞典 Höganäs 粉末公司的部分预合金化铁基粉末的牌号与性能

牌 号	大致的粒 度范围/ μm	松装 密度/ (g/cm ³)	流速/ (s/50g)	氢损 (%)	C (%)	生坯强度/ MPa		压 缩 性/ (g/cm ³)	
						0.8%硬脂酸锌		0.8%硬脂酸锌	
						成形压力 420 MPa	成形压力 600 MPa	成形压力 420 MPa	成形压力 600 MPa
DistaloyAE	20~180	3.0	26	0.10	<0.01	9	14	6.83	7.15
DistaloyAF		3.0	26	0.18	0.01	9	14	6.78	7.12
DistaloyAG		3.05	27	0.10	0.01	8	12	6.88	7.16
DistaloyAB		3.0	26	0.10	0.01	8	12	6.84	7.16
DistaloySA	20~150	2.75	29	0.12	0.02	9	13	6.73	7.05
DistaloySE		2.75	28	0.12	0.01	10	15	6.70	7.03
DistaloyCu	20~180	2.8	25	0.20	0.01	12	17	6.65	7.02
DistaloyACu		3.4	22	0.20	0.01	9	11	6.90	7.23
DistaloyMH	40~200	2.85	27	0.50	0.02	12	16	6.64	7.01

2. 低合金钢粉 (表 A-13~表 A-18)

表 A-13 鞍钢冶金粉材厂低合金钢粉的牌号与化学成分 (质量分数,%)

牌 号	级别	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	盐酸不溶物	氢损
		≤								
SFJ200.30	0	0.02	0.05	0.20	0.020	0.020	1.7~2.0	0.5~0.6	0.20	0.20
SFJ200.30	1	0.05	0.10	0.30	0.030	0.030	1.5~2.2	0.4~0.7	0.20	0.40

注: Fe 余量。

表 A-14 鞍钢冶金粉材厂低合金钢粉的牌号与性能 (QJ/AG02 (01) 287-1990)

牌 号	级别	松装密度/ (g/cm ³)	流动性/ (s/50g)	压缩性/ (g/cm ³)		粒度组成要求 (%)			
				390/ MPa	590/ MPa	>400 μm	>200 μm	>76 μm	<63 μm
				SFJ200.30	0	3.0±0.1	<30	6.30	6.80	—	<1	—	<40
SFJ200.30	1	3.0±0.15	<33	6.20	6.70	—	<3	—	<50

表 A-15 加拿大 QMP 公司低合金钢粉的牌号与性能

牌 号	化学组成 (质量分数,%)													
	C	O	S	P	Mn	Cr	Ni	Si	Cu	Mo	Al	V	Ti	Fe
ATOMET 4201	0.004	0.10	0.009	0.012	0.28	0.05	0.45	0.003	0.02	0.60	—	—	—	>98
ATOMET 4401	0.003	0.08	0.007	0.01	0.15	0.05	0.07	0.003	0.02	0.85	—	—	—	>98
ATOMET 4601	0.003	0.10	0.009	0.012	0.20	0.05	1.8	0.003	0.02	0.55	—	—	—	>97
ATOMET 4701	0.01	0.25	0.009	0.012	0.45	0.45	0.9	0.03	0.02	1.00	—	—	—	余量
ATOMET DB48	0.005	0.10	—	—	0.15	—	4.0	—	1.5	0.50	—	—	—	余量

牌 号	松装密度/ (g/cm ³)	流速/ (s/50g)	压缩性 ^① / (g/cm ³)	粒度组成 μm		
				(+100) >154	(+325) >45	+ (-325) <45
ATOMET 4201	2.92	26	6.92	10	65	25
ATOMET 4401	2.92	26	6.95	10	65	25
ATOMET 4601	2.92	26	6.78	10	65	25
ATOMET 4701	2.92	26	6.7	12	67	21
ATOMET DB48	3.02	24	—	10	66	24

① 成形压力 500MPa。

表 A-16 日本神户制钢 (株) 的水雾化低合金钢粉与易切削钢粉的牌号、化学成分及性能

种类	牌 号	化学成分 (质量分数, %)											松装 密度/ (g/cm ³)	流速/ (s/50g)	压坯 密度 ^① / (g/cm ³)	磨损值 ^② (%)				
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	(O)									
易 切 削 钢 粉	400MS				0.015~ 0.260															
	600MS	<0.02	<0.05	0.10~0.30	<0.020	0.260~ 0.400	—												<1.0	
	400MSA				0.250~ 0.45	0.300~ 0.350	—													
低 合 金 钢 粉	4800DFA				<0.010	<0.010	1.30~1.70	3.60~4.40											<1.0	
	4800DFB																			
	4600																			
	4600H	<0.02	<0.05		<0.035		—	1.70~2.20											<2.0	
	4600-60			0.10~0.30			—													
	46F2				<0.020	<0.020	—	0.40~0.60											<1.5	
	46F2H						—													
	4100		<0.10				—												<2.0	
	4100H			0.50~0.80	<0.035		—													<2.0
	30CRMH	<0.01	<0.05	0.10~0.30			—	(V)0.20~ 0.40	2.60~3.40	0.20~0.10										<1.0

① 成形压力 490.3MPa。

② 即托拉试验的磨损值, 添加硬脂酸锌 0.75%。

表 A-17 日本神户制钢 (株) 的水雾化低合金钢粉与易切削钢粉的粒度组成、特点及用途

种类	牌 号	粒度分布 (质量分数, %)								特 点	用 途
		>250 μm	>180 μm	>150 μm	>106 μm	>75 μm	>63 μm	>45 μm	<45 μm		
易切削钢粉	400MS								15~35	硫化物分布均匀 切削性能良好	粉末冶金机械零件
	600MS		<1	<10	10~25	15~30	5~20	8~23			
	400MSA								20~40			硫化物分布均匀 切削性能良好 烧结时脱碳少
低合金钢粉	4800DFA									高压缩性 高强度	高密度、高强度 粉末冶金机械零件
	4800DFB		<1						20~40		
	4600									高强度 稳定的热处理特性	粉末锻造件 高强度粉末冶金件
	4600H				10~25	15~30				高压缩性、高强度 稳定的热处理特性	
	4600 60	<1	<10				5~20	8~23	15~35		
	46F2								20~40	高强度 稳定的热处理特性	
	46F2H		<1						15~35	高压缩性、高强度 稳定的热处理特性	
	4100				5~20	10~25			25~45	高强度 稳定的热处理特性	
	4100H	<1	<10							高压缩性、高强度 稳定的热处理特性	
	30CRMH			<15	10~30	15~35	5~25	5~25	10~30	高强度 耐热耐磨性良好		耐磨粉末冶金件

表 A-18 瑞典 Höganäs 粉末公司的耐磨高合金钢粉的化学成分与用途

牌 号	化学成分 (质量分数, %)											用 途
	Cr	Ni	Mo	W	V	Co	Si	P	Cu	C	Fe	
M2	4	—	5	6	2	—	—	—	—	1	余	耐磨高速钢, 价格最便宜, 可用于阀座圈
M3 I	—	—	—	—	3	—	—	—	—	1.25	余	耐磨性较好
M35	4	—	5	6	2	5	—	—	—	1	余	红硬性高和耐磨性好
T42	4	—	3	9	3	10	—	—	—	1.35	余	高速钢牌号中耐磨性最好
Cold10	9	—	30	—	—	—	2.5	—	—	—	余	Laves 相合金。用作母合金, 以改进零件的耐磨性
AstaloyE	5	—	1	—	—	—	1	0.5	2	—	余	用于耐磨零件, 如凸轮片

3. 高合金钢粉 (表 A-19~表 A-21)

表 A-19 瑞典 Höganäs 粉末公司的耐磨高合金钢粉的牌号与性能

牌 号	粒度范围/ μm	松装 密度/ (g/cm^3)	流速/ ($\text{s}/50\text{g}$)	O_B (%)	C (%)	生坯强度/ (N/mm^2) 1%H 蜡		压 缩 性/ (g/cm^3), 1%H 蜡	
						成形压力 420MPa	成形压力 600MPa	成形压力 420MPa	成形压力 600MPa
						M2	10~150	2.1	29	0.1	0.90	9	17	5.90	6.40
M31	2.35	29	0.1	1.25	9	17		5.70	6.20
M35	2.4	29	0.1	0.95	7	13		5.70	6.20
T42	2.4	29	0.1	1.35	6	13		5.65	6.15
Cold10	3.0	27	0.13	0.05	—	—		—	—
AstaleyE	3.0	28	0.15	0.1	3	6		5.95	6.35

表 A-20 瑞典 Höganäs 粉末公司的不锈钢粉的化学成分与用途

牌 号	化学成分 (质量分数, %)				用 途
	Cr	Ni	Mo	Fe	
304L	18	12	—	余	奥氏体不锈钢, 无磁性, 耐腐蚀性与压缩性最好
316L	18	12	2.5	余	奥氏体不锈钢, 常用牌号
316LFC	18	12	2.5	余	广泛用于生产过滤器
410	12	—	—	余	马氏体不锈钢, 用于耐磨零件, 铁磁性零件
430L	18	—	—	余	铁素体不锈钢, 主要用于高物理性能零件
434L	18	—	1	余	铁素体不锈钢, 400 系列中耐腐蚀性最好的粉末

表 A-21 瑞典 Höganäs 粉末公司的不锈钢粉的牌号与性能

牌 号	大致的粒 度范围/ μm	松装 密度/ (g/cm^3)	流速/ ($\text{s}/50\text{g}$)	O_B (%)	C (%)	生坯强度/ (N/mm^2) 1%H 蜡		压 缩 性/ (g/cm^3) 1%H 蜡	
						成形压力 420 MPa	成形压力 600 MPa	成形压力 420 MPa	成形压力 600 MPa
						304L	10~150	2.7~3.0	29~28	0.2	0.02	4~3	7~5	6.20~6.25	6.55~6.65
316L	10~150	2.7~3.0	29~28	0.2	4~3	7~5	6.25~6.30	6.60~6.70	
316LFC	100~200	2.2	48	0.13	—	—	—	—	
410L	10~150	3.0	27	0.17	6	11	6.20	6.60	
430L	10~150	2.9	27	0.22	6	11	6.05	6.45	
434L	10~150	2.9	27	0.25	4	8	6.0	6.40	

4. 不锈钢粉 (表 A-22、表 A-23)

表 A-22 美国 SCM 金属制品公司的不锈钢粉的牌号、化学成分、性能、特点及用途

牌号	化学成分 (质量分数, %)										松装密度 / (g/cm ³)	流速 / (s/50g)	筛分析 (%)				特点与用途	
	Cr	Ni	S	St	Mn	C	Mo	Cu	Sn	Fe			>149 μm	105~149 μm	44~74 μm	<44 μm		
303-L	17.5	12.5	0.2	0.7	0.2	0.02	—	—	—	余	3.1	26	6	14	32	47	奥氏体不锈钢, 无磁性, 切削性好	
304-L	18.8	11.5	—	0.8	0.2	0.02	—	—	—	余	2.8	28	1	19	31	39	奥氏体不锈钢, 无磁性, 可热处理, 制造较大的粉末冶金件	
316-L	16.7	13.5	—	0.7	0.2	0.02	2.1	—	—	余	2.8	27	10	18	29	42	奥氏体不锈钢, 无磁性, 力学性能与耐腐蚀性好	
303-LSC	17.50	12.50	—	0.75	0.15	—	—	2.00	1.00	余	—	—	—	—	—	—	—	
304-LSC	18.50	11.50	—	0.90	0.15	—	—	2.00	0.95	余	2.8~3.0	26~30	1~3	10~15	20~25	20~30	30~40	奥氏体不锈钢, LSC 牌号用于耐腐蚀性要求较高, 而普通粉末冶金不锈钢牌号又不适用的场合
316-LSC	16.50	13.50	—	0.75	0.15	—	2.10	2.00	1.00	余	—	—	—	—	—	—	—	—
410-L	12.0	—	—	0.80	0.5	0.02	—	—	—	余	2.9	27	2	12	18	29	39	马氏体不锈钢, 铁磁性材料, 用于制造硬度较高、耐磨且耐蚀的粉末冶金件, 可热处理
430-L	17.0	—	—	0.80	0.2	0.02	1.0	—	—	余	—	—	—	—	—	—	—	—
434-L	17.0	—	—	0.80	0.2	0.02	—	—	—	余	2.8~3.0	27~30	1~3	9~13	15~20	20~30	40~50	铁素体不锈钢, 铁磁性材料, 广泛用于制造粉末冶金汽车零件

表 A-23 日本大同特殊钢(株)的不锈钢粉的牌号、化学成分、性能及用途

牌 号	化学成分(质量分数,%)						松装 密度/ (g/cm ³)	流速/ (s/50g)	压坏 密度/ (g/cm ³)	磨损性 ^① (%)	特 征 与 用 途	
	C	Ni	Cr	Mo	Cu	其它						
303L	0.02	19.5	19.0			S0.2	2.70	23	6.50	1.8	切削性优异	
304L						—	2.60	24	6.65	1.4	一般粉末冶金件	
304L-U						1.0			Sn0.7	6.70	1.3	切削性与耐蚀性优异
308L							20.0			6.55	1.4	烧结后焊接的零件
309L						13.0	23.0			6.65	1.4	烧结后焊接的零件
310L						20.5	25.0		—	2.55	25	6.75	1.0	耐热粉末冶金件
316L							2.60	24	6.75	1.4	一般粉末冶金零件	
316L-S		13.0	17.0	2.5		S0.2	2.70	23	6.60	1.6	切削性优异	
316L-U						2.0	Sn0.7	2.60	24	6.80	1.3	切削性与耐蚀性优异
329J1		6.0	25.0	2.0			6.35			1.2	高强度粉末冶金件	
410L				12.5				2.70	23	6.65	0.8	一般粉末冶金零件
420J2				13.0			6.45			2.0	高强度粉末冶金零件	
430L				16.5			5.55			0.8	一般粉末冶金零件	
630		4.0	17.0		4.0		2.60	24	6.35	1.4	高强度粉末冶金件	
18Cr-2Mo		—	17.5	2.0	—				6.40	0.8	强化耐蚀性的Cr系不锈钢	

① 成形压力: 686.4MPa。

② 添加了1%硬脂酸锌。

三、铜 粉

1. 纯铜粉(电解铜粉)(表 A-24)
2. 合金铜粉(表 A-25)

表 A-24 电解铜粉的牌号、化学成分及性能 (GB5246-1985)

牌 号	化 学 成 分 (质量分数,%)													松 装 密 度 / (g/cm ³)		粒 度 分 布	
	Cu ≥	杂 质 含 量 ≤											杂质 总和	μm (目)	%		
		Fe	Pb	As	Sb	O	Bi	Ni	Sn	Zn	S	氯化物 (Cl)				水分 (H ₂ O)	硝酸不 溶残渣
FTD1	99.8	0.02	0.05	0.005	0.01	0.15	0.002	0.003	0.004	0.004	0.004	0.05	0.05	0.2	1.5~2.3	<71 (-200)	≥90
																<50 (-300)	≥60
FTD2															1.2~1.7	<50 (-300)	≥95
FTD3	99.7	0.02	0.05	0.005	0.01	0.20	—	—	—	—	—	0.05	0.05	0.3	1.5~1.9	<71 (-200)	≥95
FTD4	99.6	0.02	0.05	0.005	0.01	0.25	—	—	—	—	—	0.05	0.05	0.4	1.8~2.5	<180 >50	70~80
																<71 (-200)	30~20

表 A-25 雾化 6-6-3 锡青铜粉的牌号、化学成分及性能 (JB/T6648 1993)

牌 号	化 学 成 分 (质量分数,%)							松 装 密 度 / (g/cm ³)	压 缩 性 / (g/cm ³)	流 动 性 / (s/50g)	粒 度 组 成 (%)	
	Cu	Sn	Zn	Pb	Fe	O ₂	其它杂质				>180μm (+80目)	<71μm (-200目)
FCuSn6Zn6Pb3.24	83~87	5~7	5~7	2~4	<0.3	<0.4	<0.8	2.4~2.7	>6.9	<40	>180μm (+80目)	<71μm (-200目)
FCuSn6Zn6Pb3.27								>2.7~3.0	>7.0	<38	<1.5	30~60 40~70
FCuSn6Zn6Pb3.30								>3.0~3.3	>7.1	<36		50~75

表 A-26 雾化 CuSn10 青铜粉的规格、化学成分及性能 (JB/T 7380—1994)

FWCuSn10 规格	化学成分 (质量分数, %)						松装 密度/ (g/cm ³)	流动性/ (s/50g)	压缩性/ (g/cm ³)	粒度组成 (%)					
	Cu	Sn	Cu+Sn	O ₂	P	其它				>154	154-- 100	100-- 71	71~63	63~45	<45
										μm					
I							2.9~ 3.2	<35	>7.0						
II	89~91	9~11	>99.5	<0.3	<0.1	<1.0	>3.2 ~3.8	<30		>7.1	<1	<15	15~25	5~20	15~25 10~50
III							>3.8 ~4.4	<25							

四、镍 粉

1. 羰基镍粉

表 A-27 羰基镍粉的成分与性能 (GB/T 7160 1987)

牌 号	性 能		杂质含量 (质量分数, %)			
	平均粒度/ μm	松装密度/ g/cm ³	C	O	Fe	S
FTN-1	2.0~3.2	0.50~0.74	<0.15	<0.25	0.03	<0.005
FTN-2	2.2~3.6	0.75~1.00	<0.15	<0.25	0.03	<0.005
FTN-3	2.6~3.6	0.75~0.95	<0.20	<0.15	0.01	<0.001
FTN-4	2.2~2.8	0.50~0.65	<0.15	<0.15	0.01	<0.001
FTN-5	2.9~3.6	0.75~1.00	<0.10	<0.15	0.01	<0.001
FTN-6	4~7.0	1.80~2.50	<0.15	<0.15	0.01	<0.001

2. 电解镍粉

表 A-28 电解镍粉的成分与性能 (GB/T 5247—1985)

产品牌号	化学成分 (质量分数, %)						松装密度/(g/cm ³)	粒度组成
FND-2	Ni+Co 不小于 99.5						1.2~1.4	+300目 ≤ 3%
	其中 Co 不大于 0.1							
杂质含量	Zn	Mg	Pb	Mn	Si	Ca		
	0.002	0.015	0.002	0.03	0.01	0.03		
不大于	Fe	S	C	Cu	氢损			
	0.03	0.003	0.05	0.03	0.3			

注: 镍粉主品位应为 100% 与表中所列各种杂质含量总和之差

五、石 墨

粉末冶金常用石墨材料属于微粉状、高散性、绝不粘结的高纯胶体石墨，其规格及技术要
求见下表。

表 A-29 常用石墨的技术要求

指 标 名 称	牌 号 与 技 术 要 求					
	F-00	F-0	F-1	2	F-2	F-3
(1) 颗粒度 (%)						
$\leq 1.5\mu\text{m}$	90		—	—	—	—
$\leq 2.3\mu\text{m}$	—	90	—	—	—	—
$\leq 4.0\mu\text{m}$	—		90	—	—	—
$\leq 10.0\mu\text{m}$	—			90		—
$\leq 15.0\mu\text{m}$	—			—	90	
$\leq 30.0\mu\text{m}$	—			—	—	90
(2) 石墨灰分 (%) 不大于	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5
(3) 水分含量 (%) 不大于	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
(4) pH 值	6~7	6~7	6~7	6~7	6~7	6~7
(5) 含碳量 (质量分数,%)	99	99	99	98.5	98.5	98.5

注：1. F-3 牌号石墨，只适用于作填料。

2. F-2、特 2 牌号石墨，适用于制作含油轴衬、汽门导管类产品。

3. F-1、F 0 牌号石墨，适用于制作中高强度机械结构零件。

4. F-00 牌号石墨，适用于制作特殊要求（军工等）产品。

（产地：上海、山东）

六、润 滑 剂

1. 国产硬脂酸锌

表 A-30 硬脂酸锌的技术参数 (Q/HG 13-041)

名 称	灰粉 (ZnO)	游离酸	融 点	水 分	粒 度
参 数	$\leq 13.61\%$	$\leq 1\%$	$\geq 120^\circ\text{C}$	$\leq 1\%$	$\mu\text{m} (-200\text{目}) \geq 99\%$

硬脂酸锌的外观应呈白色粉状。

2. 进口硬脂酸锌

表 A-31 瑞典 Höganäs 公司硬脂酸锌的技术参数

化 学 成 分	物 理 性 能	
Zn 含量 (质量分数,%)	粒度分布 (%)	
1.8~2.4	1.40~2.80 μm	<10
	17.40~24.60 μm	<50
	52.60~63.40 μm	<90
	+150 μm	0

熔点范围：100~140°C

七、精整用油及防锈油

表 A-32 精整用油及防锈油

项目	名称	多功能防锈油	防锈整形油	封存防锈油	试验方法
外观		棕色透明液体	棕色透明液体	棕色透明液体	目测
运动粘度/(mm ² /s)		<3	A型: 20~30 B型: <3	20±2	GB 265
水分		<0.1%	A型: <0.1% B型: <0.1%	<0.1%	GB 260
闪点/°C		>40	A型: >40 B型: >140	>140	GB 267
机械杂质		<0.1%	A型: <0.1% B型: <0.1%	<0.1%	GB 511
油基稳定性		合格	合格	合格	SH/T 0214
湿热试验 45 钢		>10 周期	>7 周期	15 天合格	GB/T 2361
PB		—	>600N	—	GB/T 12583
脱水性		合格	—	—	SH/T 0036
盐雾试验 45 钢		—	—	3 周期合格	SY 2752
叠片试验 45 钢		—	—	7 天合格	SY 1752
腐蚀试验 45 钢		—	—	7 天合格	SY 2752
适用范围		烧结后浸渗	A: 低压整形 B: 高压整形	产品包装	

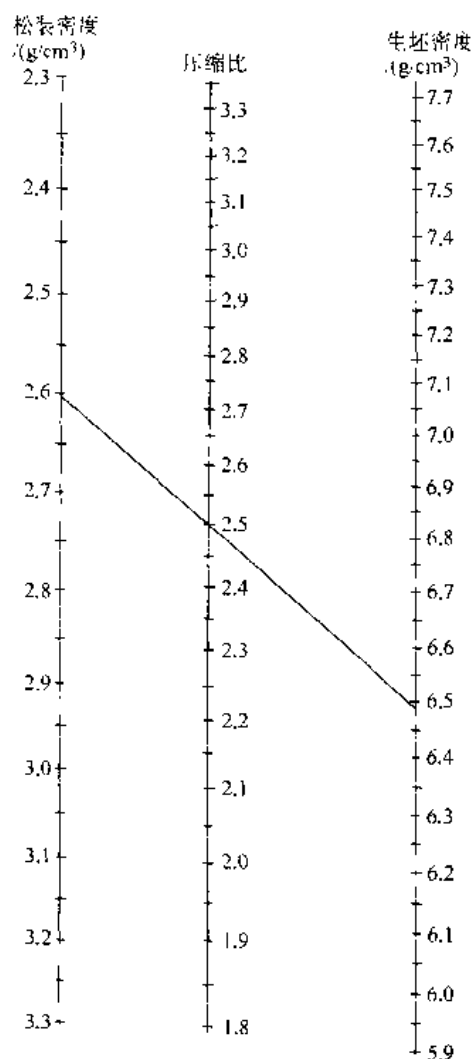
附录 B 铁基结构材料密度孔隙对照表和压缩比计算表

表 B-1 铁基烧结材料密度-孔隙度对照表^①

密度/ (g/cm ³)	孔隙度 (%)	密度/ (g/cm ³)	孔隙度 (%)	密度/ (g/cm ³)	孔隙度 (%)	密度/ (g/cm ³)	孔隙度 (%)
5.00	36.47	5.75	26.94	6.50	17.41	7.25	7.88
5.05	35.83	5.80	26.30	6.55	16.77	7.30	7.24
5.10	35.20	5.85	25.67	6.60	16.14	7.35	6.61
5.15	34.56	5.90	25.03	6.65	15.50	7.40	5.97
5.20	33.93	5.95	24.40	6.70	14.87	7.45	5.34
5.25	33.29	6.00	23.76	6.75	14.23	7.50	4.70
5.30	32.66	6.05	23.13	6.80	13.60	7.55	4.07
5.35	32.02	6.10	22.49	6.85	12.96	7.60	3.47
5.40	31.39	6.15	21.86	6.90	12.33	7.65	2.80
5.45	30.75	6.20	21.22	6.95	11.69	7.70	2.16
5.50	30.11	6.25	20.58	7.00	11.05	7.75	1.52
5.55	29.48	6.30	19.95	7.05	10.42	7.80	0.89
5.60	28.84	6.35	19.31	7.10	9.78	7.85	0.25
5.65	28.21	6.40	18.68	7.15	9.15	7.87	0.00
5.70	27.57	6.45	18.04	7.20	8.51		

① 孔隙度是根据理论上的最高密度 7.87g/cm³ 算出的。

表 B-2 压缩比计算图表



举例：松装密度 2.60g/cm^3 和生坯密度 6.5g/cm^3 时，压缩比如图中虚线所示为 2.50。

附录 C 粉末冶金含油轴承与结构零件的 ISO (国际标准化组织) 技术标准介绍

本节介绍关于粉末冶金含油轴承与结构零件的国际标准——“ISO5755:2000(E) 烧结金属材料规范”（韩凤麟译）。

1. 范围

本国际标准规定了用于制造轴承和结构零件的烧结金属材料的化学成分和物理-力学性能。

选择粉末冶金材料时，应该注意其性能不仅取决于化学成分和密度，而且取决于制造工艺。特定用途的烧结材料，其性能不一定和用于其它工况的锻、铸造材料的性能相同，因此，

建议需方和可能的生产厂家联系。

2. 标识系统

- (1) 描述代码应包括字母 P, 代表粉末冶金材料。
- (2) 识别代码应包含 ISO5755, 其后是材料专用代码。
- (3) 材料专用代码

1) 第一组

第一组专用代码包含 1~3 个大写字母, 描述基体金属及添加合金元素的方法:

- F 纯铁或混入有合金添加剂的铁粉
- FD 加入有扩散合金化添加剂的铁粉
- FL 预合金化钢粉
- FX 渗铜钢粉
- C 混入有合金添加剂的铜粉
- CL 预合金化铜基粉末
- FLD 混入有扩散合金化添加剂的预合金钢粉 (待将来修订时用)
- FLA 混入有合金化添加剂的预合金钢粉 (待将来修订时用)

2) 第二组

材料专用代码的第二组包含 2 到 6 个字母-数字字符, 利用两位不带小数点的数字表示固溶碳 (化合碳) 的百分含量 (铜基材料和不锈钢除外), 例如 03 代表 0.3% C (质量分数)。这一组中的第三组代码是用一个大写字母代表含量最高的合金元素 (如果存在的话), 随后是其百分含量, 用 1 个或 2 个数字表示, 例如: 05 表示 0.5%, 10 表示 10%, 2 表示 2.0%, 这一组最后一个是 大写字母, 用来表示含量第二高的合金元素 (如果存在的话), 但不标明其含量。

3) 第三组

材料专用代码第三组表示最小屈服强度 (或对于热处理材料为抗拉强度), 单位是 MPa。字符 H 表示该材料经过热处理。

(4) 表示合金元素的字母

表示合金元素的字母如下:

- C-铜 G-石墨 Z-锌
- M-钼 N-镍
- P-磷 T-锡

(5) 标识系统举例

在本国际标准的材料规范表中没有使用描述代码和识别代码, 它们仅应用于含意可能不明确的购买和技术文件中:

例 1: -C-T10-K110 是铜基合金, 添加有 10% 的锡 (质量分数), 径向压溃强度 K 为 110MPa。

例 2: -F-08C2-620H 是铁基材料, 含碳 0.8% (质量分数), 含铜 2% (质量分数), 在热处理状态下最小抗拉强度 620MPa。

例 3: -FD-05N4C-240 是含 0.5% 碳 (质量分数) 的铁基合金, 加入有扩散合金化添加剂镍 (4%) (质量分数) 和铜, 最小屈服强度 240MPa。

例 4: -FL-05N2M-860H 是预合金化镍 (2%) 钼钢 (质量分数), 含碳 0.5% (质量分数), 在热处理状态下, 最小抗拉强度 860MPa。

例 5: -FX-08C20-410 是渗铜铁基材料, 最小屈服强度 410MPa。

例 6: -FL-304-260N 是在含氮气氛中烧结的 304 不锈钢, 最小屈服强度 260MPa (关于不锈钢代号的详细说明请参阅表 C-10)。

例 7: ISO 5755-F-05C2-620H. 是用国际标准的识别代码与材料专用代码连在一起列入一个采购合同的例子。

如果采用描述代码, 只要将代表粉末冶金的字母 P 置于以上举例代码的前面即可。

一、粉末冶金轴承材料 [ISO 5755: 2000 (E)]

1. 关于制造轴承的铁, 铁-铜, 铁-青铜, 铁-碳-石墨材料 见表 C-1。

表 C-1 轴承用材料: 铁、铁-铜、铁-青铜、铁-碳-石墨

参 数	符 号	单 位	铁		铁-铜		铁-青铜 ^①				铁-碳-石墨 ^①	
			代号 ^②		代号 ^②		代号 ^②				代号 ^②	
化学成分			-F -00 -K170	-F -00 -K220	F -00C2 -K200	-F -00C2 -K250	F -03C36T -K90	-F -03C36T -K120	-F -03C45T -K70	-F -03C45T -K100	F -03G3 -K70	-F -03G3 -K80
	C _{化合} ^③	%	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	Cu	%	-	-	1~4	1~4	34~38	34~38	43~47	43~47	-	-
Fe	%	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	
Sn	%	-	-	-	-	3.5~4.5	3.5~4.5	4.5~5.5	4.5~5.5	-	-	
石墨	%	-	-	-	-	0.3~1.0	0.3~1.0	<1.0	<1.0	2.0~3.5	2.0~3.5	
其它元素总和, max	%	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
开孔孔隙度	P	%	22	17	22	17	24	19	24	19	20	13
径向压溃强度, min	K	MPa	170	220	200	250	90~265	120~345	70~245	100~310	70~175	80~210
密度 (干态)	ρ_s	g/cm ³	5.8	6.2	5.8	6.2	5.8	6.2	5.6	6.0	5.6	6.0
线膨胀系数 ^④		10 ⁻⁶ K ⁻¹	12	12	12	12	14	14	14	14	12	12

①所给出径向压溃强度值的范围表明化合碳和游离石墨之间须保持平衡。

②所有材料可浸渍润滑剂。

③仅铁相的。

④参考值。

在铁-铜轴承中, 铜应该熔化和流入周围的小孔隙中。对于含铜量 (质量分数) 高于 2% 者, 可观察到一些游离铜, 若含铜量 (质量分数) 等于或小于 2% 时, 一般不会出现游离铜。轴承中应具有最少的原始颗粒边界。

依据制造工艺, 铁-石墨材料的显微组织中应含有游离石墨或游离石墨与化合碳的混合物。

铁-青铜材料的显微组织应兼有铁和青铜组织的外观。

2. 关于制造轴承的青铜和青铜-石墨材料 见表 C-2。

表 C-2 轴承用青铜、青铜-石墨材料

参 数	符号	单位	青铜			青铜-石墨			
			代号 ^①			代号 ^②			
化学成分			-C-T10 -K110	C-T10 -K140	-C-T10 K180	-C-T10 -K90	-C-T10G -K120	-C-T10G -K160	
Cu		%	余量	余量	余量	余量	余量	余量	标准值
Sn		%	8.5~11.0	8.5~11.0	8.5~11.0	8.5~11.0	8.5~11.0	8.5~11.0	
石墨		%	--	--	--	0.5~2.0	0.5~2.0	0.5~2.0	
其它元素总和, max		%	2	2	2	2	2	2	
开孔孔隙度	P		27	22	15	27	22	17	
径向压溃强度, min	K	MPa	110	140	180	90	120	160	
密度 (干态)	ρ	g/cm ³	6.1	6.6	7.0	5.9	6.4	6.8	参考值
线膨胀系数 ^②		10 ⁻⁶ K ⁻¹	18	18	18	18	18	18	

①所有材料都能含浸润剂。

②参考值。

在 90-10 铜-锡青铜轴承中, 组织应为 α 青铜, 不存在灰色的铜-锡化合物, 并有极少量的淡红色的富铜区。

二、用于粉末冶金结构零件的烧结铁、烧结碳钢和 烧结铜钢 [ISO5755: 2000 (E)]

1. 关于制造结构零件的铁与碳钢材料 见表 C-3。

烧结材料组织中的碳含量可用金相法根据珠光体的面积百分含量来估计, 100% 珠光体近似等于含碳 0.8%, 碳能快速溶于铁中, 因此, 在 1040°C 烧结约 5min 后就很难观察到未化合的碳了。

2. 关于制造结构零件的铜-钢与铜-碳钢材料 见表 C-4。

混入的钢粉大约在 1082°C 熔解, 然后流入铁粉的颗粒之间和小孔隙中, 有助于烧结过程的进行。含铜量 (质量分数) 为 2% 或不到 2% 的烧结合金一般不存在或只含有极微量未溶解的铜, 当铜的百分含量较高时, 就可以看到析出的铜相。铜溶于铁中, 但不能渗入到较大颗粒的心部, 当铜熔化时, 它进行扩散或迁移, 在其后留下相当大的孔隙, 这在显微组织中很容易观察到。化合碳含量可用本标准中叙述的方法根据显微组织进行金相估计。

三、用于粉末冶金结构零件的烧结合金钢 [ISO 5755: 2000 (E)]

1. 关于制造结构零件用磷钢 见表 C-5。

含碳量 (质量分数) 小于 0.1% 的磷钢, 其显微组织主要是铁素体。当用 4% 的硝酸乙醇腐蚀液侵蚀时, 能识别出含磷量高和低的区域。随着碳含量的增加, 能观察到灰色或黑色的细小片状珠光体区与浅色的铁素体区。通过添加铜, 在显微组织中能观察到网状的富铜区。磷钢还有一个特点是孔隙显著圆化。

2. 关于制造结构零件的镍钢 见表 C-6。

表 C-3 结构零件用铁基材料：铁与碳钢

参 数	符 号	单 位	铁										碳 钢				
			代 号					代 号					代 号				
			-F-00 -100	-F-00 K120	-F-00 K140	-F-05 -140	-F-05 170	-F-05 -340H ^①	-F-05 -480 ^②	-F-08 -210	-F-08 -240	F-08 -450 ^③	F-08 -550H ^④	标准 值	参 考 值		
化学成分			<0.3	<0.3	<0.3	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.6~0.9	0.6~0.9	0.6~0.9	0.6~0.9		
C _{化合} ^⑤		%	<0.3	<0.3	<0.3	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.6~0.9	0.6~0.9	0.6~0.9	0.6~0.9		
Cu		%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
Fe		%	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量		
其它元素总和, max		%	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
抗拉屈服强度, min	R _{p0.2}	MPa	100	120	140	140	140	170	170	340	480	210	240	240	450	550	
极限抗拉强度, min	R _m	MPa															
表面硬度		HV5	62	75	85	90	120	120	120	250HV10	300HV10	120	140	140	320HV10	360HV10	
密度	p	g/cm ³	6.7	7.0	7.3	6.6	7.0	7.0	7.0	6.6	7.0	6.6	7.0	7.0	6.6	7.0	
抗拉强度	R _m	MPa	170	210	260	220	275	275	275	410	550	290	390	390	520	620	
抗拉屈服强度	R _{p0.2}	MPa	120	150	170	160	200	200	200	①	①	240	260	260	②	③	
伸长率	A ₂₅	%	3	4	7	1	2	2	2	nm ^④	nm ^④	1	1	1	nm ^④	nm ^④	
杨氏模量		GPa	120	140	160	115	140	140	140	115	140	115	140	140	115	140	
泊松比			0.25	0.27	0.28	0.25	0.27	0.27	0.27	0.25	0.27	0.25	0.27	0.27	0.25	0.27	
无缺口夏比冲击功		J	8	24	47	5	8	8	8	4	5	5	7	7	5	7	
压缩屈服强度 (0.1%)		MPa	120	125	130	210	225	225	225	300	420	290	290	290	400	550	
横向断裂强度		MPa	340	500	660	440	550	550	550	720	970	510	690	690	790	950	
疲劳极限 90%存活率 ^⑥		MPa	65	80	100	80	105	105	105	160	220	120	170	170	210	260	

注：这些材料可通过添加剂提高可切削性，表中所列性能不变。

①在 850°C，于 0.5% 碳势保护气氛中加热 30min 进行奥氏体化后油淬火，再在 180°C 回火 1h。

②在 850°C，于 0.8% 碳势保护气氛中加热 30min 进行奥氏体化后油淬火，再在 180°C 回火 1h。

③经过热处理的材料，抗拉屈服强度和极限抗拉强度近似相等。

④1mm—没有测量。

⑤由旋转弯曲试验测定的存活率为 90% 的疲劳耐久寿命，按 ISO 3928 (GB/T 4337) 切削加工后的试样。

表 C-4 结构零件用铁基材料：铜钢和铜-碳钢

参 数	符 号	单 位	铜 钢																			
			铜 钢					铜 碳 钢														
			F-00C2 -140		F-00C2 -K175		F-05C2 -K270	F-05C2 300		F-05C2 -620H ^①		F-08C2 -350		F-08C2 -390		F-08C2 -500 ^②		F-08C2 -620H ^③				
化学成分																						
C _总 ^④		%	<0.3	<0.3	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.6~0.9	0.6~0.9	0.6~0.9	0.6~0.9	0.6~0.9	0.6~0.9	0.6~0.9	0.6~0.9	0.6~0.9	0.6~0.9	0.6~0.9	
Cu		%	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	
Fe		%	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	
其它元素总和, max		%	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
抗拉屈服强度, min	R _{p0.2}	MPa	140	175	270	300	300	350	350	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390
极限抗拉强度, min	R _m	MPa				500	620															620
表面硬度		HV5	70	90	115	150	150	140	140	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165
		洛氏	26HRB	39HRB	57HRB	68HRB	68HRB	70HRB	70HRB	78HRB	78HRB	78HRB	78HRB	78HRB	78HRB	78HRB	78HRB	78HRB	78HRB	78HRB	78HRB	78HRB
密度	ρ	g/cm ³	6.6	7.0	6.6	7.0	7.0	6.6	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
抗拉强度	R _m	MPa	210	235	325	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390
抗拉屈服强度	R _{p0.2}	MPa	180	205	300	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330
伸长率	A _{5.0}	%	2	3	nm ^⑤	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
杨氏模量		GPa	115	140	115	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
泊松比			0.25	0.27	0.25	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
无缺口夏比冲击功		J	7	8	7	10	10	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
压缩屈服强度 (<0.1%)		MPa	160	185	380	400	400	450	450	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
横向断裂强度		MPa	390	445	620	760	760	800	800	930	930	930	930	930	930	930	930	930	930	930	930	930
疲劳极限 90%存活率 ^⑥		MPa	80	89	130	200	200	220	220	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
疲劳极限 50%存活率 ^⑦		MPa			110	160	160	120	120	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

注：这些材料可通过加入添加剂提高可切削性，但表中所列性能不变。

①在 850°C，于 0.5% 的碳势保护气氛中加热 30min 进行奥氏体化后油淬火，再在 180°C 回火 1h。

②在 850°C，于 0.8% 的碳势保护气氛中加热 30min 进行奥氏体化后油淬火，再在 180°C 回火 1h。

③经过热处理的材料，抗拉屈服强度和极限抗拉强度近似相等。

④nm = 没有测量。

⑤由旋转弯曲试验测定的存活率为 90% 的疲劳耐久极限，试样是按 ISO 3928 切削加工的。

⑥根据四点弯曲试验测定的存活率为 50% 的疲劳耐久极限，试样是按 ISO 3928 制造的，不是切削加工的。

表 C-5 结构零件用铁基材料：磷钢

参 数	符 号	单 位	磷 钢 ^①		铜-磷钢		铜-磷-碳钢		
			代 号	代 号	代 号	代 号			
化学成分			F-00P05-180	F-00P05-210	F-00P05-270	F-00C2P-260	F-00C2P-300	F-05C2P-320	F-05C2P-380
C _{化学}		%	<0.1	<0.1	0.3~0.6	<0.3	<0.3	0.3~0.6	0.3~0.6
Cu		%	--	--	0.40~0.50	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5
P		%	0.40~0.5	0.40~0.50	0.40~0.50	0.40~0.50	0.40~0.50	0.40~0.50	0.40~0.50
Fe		%	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量
其它元素总和, max		%	2	2	2	2	2	2	2
抗拉屈服强度, min	R _{σ0.2}	MPa	180	210	270	260	300	320	380
表面硬度		HV5	70	120	130	120	140	140	160
		洛氏	40HRB	60HRB	65HRB	60HRB	69HRB	69HRB	74HRB
密度	ρ	g/cm ³	6.6	7.0	6.6	6.6	7.0	6.6	7.0
抗拉强度	R _m	MPa	300	400	400	400	500	450	550
抗拉屈服强度	R _{p0.2}	MPa	210	240	305	300	340	360	400
伸长率	A ₂₅	%	4	9	3	3	6	2	3
杨氏模量		GPa	115	140	115	115	140	115	140
泊松比			0.25	0.27	0.25	0.25	0.27	0.25	0.27
无缺口夏比冲击功		J	18	30	9	15			
横向断裂强度		MPa	600	900	700			820	1120
疲劳极限 50%存活率 ^②		MPa	110	140	140	130	160	150	180

① 当这些材料用于磁性用途时, 事先应向供应商咨询。一些粉末冶金软磁材料在 IEC60404 8-9 中已标准化。
 ② 根据四点平面弯曲试验测定的存活率为 50% 的疲劳耐久极限, 试样是按 ISO3928 制造的, 不是切削加工的。

参 考 值

标 准 值

表 C-6 结构零件用铁基材料：碳钢

参 数	符 号	单 位	代 号											
			F-05N2 -140	F-05N2 -K180	F-05N2 -K550H ^①	F-06N2 -800H ^①	F-08N2 -260	F-08N2 -600H ^②	F-08N2 -900H ^②	F-05N4 -180	F-05N4 -240	F-05N4 -600H ^②	F-05N4 -900H ^②	
化学成分			标准值											
C _总 ^③		%	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.6~0.9	0.6~0.9	0.6~0.9	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	
Ni		%	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5	3.5~4.5	3.5~4.5	3.5~4.5	3.5~4.5	
Fe		%	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	
其它元素总和, max		%	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
抗拉屈服强度, min	R _{p0.2}	MPa	140	180	③	④	260	③	③	240	③	③	③	
极限抗拉强度, min	R _m	MPa			550	800		600	900		600	900	900	
表面硬度		HV5	80	140	330HV10	350HV10	160	350HV10	380HV10	145	270HV10	350HV10	350HV10	
密度	ρ	g/cm ³	7.0	7.0	6.6	7.0	7.0	6.6	7.0	7.0	6.6	7.0	7.0	
抗拉强度	R _m	MPa	280	360	620	900	430	1000	1000	410	610	930	930	
抗拉屈服强度	R _{p0.2}	MPa	170	220	③	⑤	300	③	③	280	③	③	③	
伸长率	A ₂₅	%	1.5	2.5	nm ^⑥	nm ^⑥	1.5	nm ^⑥	nm ^⑥	3.0	nm ^⑥	nm ^⑥	nm ^⑥	
杨氏模量		GPa	115	140	115	140	140	140	140	140	115	140	140	
泊松比			0.25	0.27	0.25	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.25	0.27	0.27	
无缺口夏比冲击功		J	8	20	5	7	15	5	7	20	6	9	9	
压缩屈服强度 (<0.1%)		MPa	230	270	530	650	350	680	940	280	510	710	710	
横向断裂强度		MPa	450	740	830	1200	800	830	1280	830	860	1380	1380	
疲劳极限 90%存活率 ^⑦		MPa	100	130	180	260	150	200	320	150	190	290	290	

①在 850°C. 于 0.5%的碳势保护气氛中加热 30min 进行奥氏体化后油淬火, 再在 260°C 回火 1h.

②在 850°C. 于 0.8%的碳势保护气氛中加热 30min 进行奥氏体化后油淬火, 再在 260°C 回火 1h.

③经过热处理的材料, 抗拉屈服强度和极限抗拉强度近似相等.

④nm=没有测量.

⑤由旋转弯曲试验测定的存活率为 90%的疲劳耐久极限, 试样是按 ISO 3928 切削加工的.

表 C-7 结构零件用铁基材料: 扩散合金化镍-铜-钼钢

参 数	符 号	单 位	镍-铜-钼钢 ^①									
			代号									
化学成分			-FD-05N2C -360	-FD-05N2C -400	-FD-05N2C -440	-FD-05N2C -950H ^②	-FD-05N2C -1100H ^②	-FD-05N4C -400	-FD-05N4C -440	-FD-05N4C -450	-FD-05N4C -930H ^③	-FD-05N4C 1100H ^③
C _总 ^④		%	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6	0.3~0.6
Ni		%	1.5~2.0	1.5~2.0	1.5~2.0	1.5~2.0	1.5~2.0	3.5~4.5	3.5~4.5	3.5~4.5	3.5~4.5	3.5~4.5
Cu		%	1.0~2.0	1.0~2.0	1.0~2.0	1.0~2.0	1.0~2.0	1.0~2.0	1.0~2.0	1.0~2.0	1.0~2.0	1.0~2.0
Mo		%	0.4~0.6	0.4~0.6	0.4~0.6	0.4~0.6	0.4~0.6	0.4~0.6	0.4~0.6	0.4~0.6	0.4~0.6	0.4~0.6
Fe		%	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量
其它元素总和, max		%	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
抗拉屈服强度, min	R _{0.2}	MPa	360	400	440	③	③	400	420	450	③	③
极限抗拉强度, min	R _m	MPa				950	1100				930	1100
表面硬度		HV5	155	180	210	400HV10	480HV10	170	200	230HV10	390HV10	460HV10
密度	ρ	g/cm ³	7.1	7.1	7.4	7.1	7.4	6.9	7.1	7.4	7.1	7.4
抗拉强度 ^④	R _m	MPa	540	590	680	1020	1170	650	750	875	1000	1170
抗拉屈服强度 ^④	R _{0.2}	MPa	390	420	450	③	③	440	460	485	③	③
伸长率	A ₂₅	%	2	3	4	nm ^⑤	nm ^⑤	1	2	3	nm ^⑤	nm ^⑤
杨氏模量		GPa	135	150	170	150	170	135	150	170	150	170
泊松比			0.27	0.27	0.28	0.27	0.28	0.27	0.27	0.28	0.27	0.28
无缺口夏比冲击功		J	14	22	38	11	15	21	28	39	10	15
压缩屈服强度 (0.1%)		MPa	350	380	430	1170	1380	410	440	510	1060	1240
横向断裂强度		MPa	1040	1200	1450	1420	1650	1220	1380	1630	1420	1650
疲劳极限 90%存活率 ^⑥		MPa	190	220	260	400	490	200	240	290	350	410
疲劳极限 50%存活率 ^⑦		MPa	170	200	240	380	—	190	220	260	—	—

① 这些材料是由扩散合金化粉末与石墨粉的混合粉制成的。

② 在 850°C, 于 0.5% 的碳势保护气氛中加热 30min 进行奥氏体化后油淬火, 再在 180°C 回火 1h。

③ 经过热处理的材料, 抗拉屈服强度和极限抗拉强度值大致相等。

④ 性能是按 ISO 2740 制得的试样经压制、烧结及热处理后 (不进行切削加工) 测定的

⑤ nm=没有测量。

⑥ 由旋转弯曲试验测定的存活率为 90% 的疲劳耐久极限, 试样按 ISO 3928 切削加工的。

⑦ 根据四点平面弯曲试验测定的存活率为 50% 的疲劳耐久极限, 试样是按 ISO 3928 制造的, 非切削加工试样。

标准值

参考值

在常规烧结中,混合于铁粉和石墨中的细镍粉,并不能充分扩散,烧结态镍钢的显微组织为浅色奥氏体富镍区及其边缘周围为针状马氏体或贝氏体。在高于 1150°C 的温度下烧结时,富镍区的体积百分数将减小。在热处理状态下,富镍区呈浅色,在其心部为奥氏体,边缘为马氏体(在×1000 倍下观察),这种多相组织是正常的。基体为马氏体,取决于淬火速率,细珠光体含量为 0%~35%。

3. 关于制造结构零件用扩散合金化镍铜钼钢 见表 C-7。

这些材料都是用添加有石墨粉的扩散合金化粉末制造的。这些材料具有多相显微组织。烧结态的扩散合金化钢的显微组织类似于 B. 6 的镍钢,但含有较大比例的贝氏体和马氏体。热处理后,显微组织类似于热处理的镍钢。

4. 关于制造结构零件用预合金化镍钼锰钢 见表 C-8。

表 C-8 结构零件用铁基材料:预合金化镍-钼-锰钢

参数	符号	单位	镍-钼-锰钢 ^①						
			代号						
化学成分			-FL -05M07N -620H ^{②③}	FL -05M07N -830H ^{②④}	-FL -05M1 -940H ^{②⑤}	-FL -05M1 -1120H ^{②⑥}	-FL -05N2M -650H ^{②⑦}	-FL -05N2M -860H ^{②⑧}	
C _总		%	0.4~0.7	0.1~0.7	0.4~0.7	0.4~0.7	0.4~0.7	0.4~0.7	标准值
Ni		%	0.4~0.5	0.4~0.5	—	—	1.75~1.79	1.75~1.79	
Mo		%	0.35~0.85	0.55~0.85	0.75~0.95	0.75~0.95	0.50~0.85	0.30~0.85	
Mn		%	0.2~0.5	0.2~0.5	0.10~0.25	0.10~0.25	0.1~0.6	0.1~0.6	
Fe		%	余量	余量	余量	余量	余量	余量	
其它元素总和, max		%	2	2	2	2	2	2	
抗拉屈服强度, min	R _{p0.2}	MPa	⑥	⑥	⑥	⑥	⑥	⑥	参考值
极限抗拉强度, min	R _m	MPa	620	830	940	1120	650	860	
表面硬度	HV10		340	380	350	380	320	380	
	洛氏		30HRC	36HRC	32HRC	36HRC	28HRC	35HRC	
密度	ρ	g/cm ³	6.7	7.0	7.0	7.2	6.7	7.0	
抗拉强度 ^⑨	R _m	MPa	690	900	1020	1190	720	930	
伸长率 ^⑩	A ₂₅	%	nm ^⑪	nm ^⑫	nm ^⑬	nm ^⑭	nm ^⑮	nm ^⑯	
杨氏模量		GPa	120	140	140	155	120	140	
泊松比			0.25	0.27	0.27	0.27	0.25	0.27	
无缺口夏比冲击功		J	8	11	10	15	7	12	
压缩屈服强度	(C.1%)	MPa	650	970	1140	1270	750	1000	
横向断裂强度		MPa	1020	1280	1480	1750	1100	1390	
疲劳极限 90%存活率 ^⑰		MPa	240	300	310	360	250	330	

① 这些材料是由预合金化粉末与石墨粉的混合粉制成的。

② 预合金基粉末的名义成分(质量分数)是: 0.45%Ni, 0.7%Mo, 0.35%Mn, Fe 余量。

③ 在 850°C, 于 0.6% 的碳势保护气氛中加热 30min 奥氏体化后油淬火, 再在 180°C 回火 1h。

④ 预合金基粉末名义成分(质量分数): 0.85%Mo, 0.2%Mn, 余量 Fe。

⑤ 预合金基粉末名义成分(质量分数): 1.8%Ni, 0.7%Mo, 0.3%Mn, 余量 Fe。

⑥ 经热处理材料的抗拉屈服强度和极限抗拉强度值近似相等。

⑦ 热处理态的拉伸性能是由按 ISO 2740 切削加工的试样测定的。

⑧ nm=没有测量。

⑨ 由旋转弯曲试验测定的存活率为 90% 的疲劳耐久极限, 试样是按 ISO 3928 由切削加工制造的。

这些材料都是由添加有石墨粉的预合金钢粉制造的。热处理后，预合金化钢具有均匀的回火马氏体组织。

四、用于粉末冶金结构零件的铜熔渗烧结钢 [ISO 5755: 2000 (E)]

关于制造结构零件用铜或铜合金熔渗钢，见表 C-9。

表 C-9 结构零件用铁基材料：铜或铜合金熔渗钢

参 数	符号	单位	渗铜钢				
			代号				
化学成分			-FX-08C10 -340	-FX-08C10 -760H ^①	-FX-08C20 -410	-FX-08C20 -620H ^①	
C _{化合} ^②		%	0.6~0.9	0.6~0.9	0.6~0.9	0.6~0.9	标准值
Cu		%	8~15	8~15	15~25	15~25	
Fe		%	余量	余量	余量	余量	
其它元素总和, max		%	2	2	2	2	
抗拉屈服强度, min	R _{p0.2}	MPa	340	③	410	③	参考值
极限抗拉强度, min	R _m	MPa		760		620	
表观硬度		HV5	210	460HV10	210	390HV10	
		洛氏	89HRB	43HRC	90HRB	36HRC	
密度	ρ	g/cm ³	8.3	7.3	7.3	7.3	
抗拉强度	R _m	MPa	600	830	550	690	
抗拉屈服强度	R _{p0.2}	MPa	410	③	480	③	
伸长率	A ₂₅	%	3	nm ^④	1	nm ^④	
杨氏模量 ^⑤		GPa	160	160	145	145	
泊松比 ^⑥			0.28	0.28	0.24	0.24	
无缺口夏比冲击功		J	14	9	9	7	
压缩屈服强度	(0.1%)	MPa	190	790	480	510	
横向断裂强度		MPa	1140	1300	1080	1100	
疲劳极限 90%存活率 ^⑦		MPa	230	280	160	190	

注：所有数据都是基于一歩熔渗处理。

①在 850°C，于 0.5% 的碳势保护气氛中加热 30min 奥氏体化后油淬火，再在 180°C 回火 1h。

②仅基于铁相的。

③经过热处理的材料抗拉屈服强度和极限抗拉强度值近似相等。

④um=没有测量。

⑤其值来源于超声谐振测量。

⑦由旋转弯曲试验测定的存活率为 90% 的疲劳寿命耐久极限，试样是按 ISO 3928 切削加工制作的。

在×100 倍至×1000 倍下能清楚地观察到富铜相。如果存在熔渗区的话，则可在指明的熔渗区测定整个零件的铜相分布。尽管铜不能充填所有的孔隙，但它会借助毛细作用首先充填相互连通的较小的孔隙。化合碳的含量仅只与铁相有关。

五、用于粉末冶金结构零件的烧结不锈钢 [ISO 5755: 2000 (E)]

关于制造结构零件用奥氏体、铁素体及马氏体不锈钢，见表 C-10。

-FL303，-FL304 及 -FL306 代号不锈钢都具有奥氏体组织，且有生成孪晶的一些迹象。在 316L 不锈钢中，应有很少的或没有原颗粒界、铬的碳化物、氮化物或氧化物的迹象。

表 C-10 结构零件用铁基材料：奥氏体、马氏体及铁素体不锈钢

参数	符号	单位	奥氏体不锈钢						马氏体不锈钢			铁素体不锈钢			
			FL303	FL304	FL304	FL316	FL316	FL316	FL410	FL410	FL410	FL410	FL410	FL410	FL410
化学成分			FL303 170N ^① 303	FL304 -210N ^② 304	FL304 -260N ^③ 304	FL316 -170N ^④ 316	FL316 -260N ^⑤ 316	FL316 150 ^⑥ 316L	FL410 -620H ^⑦ 410	FL410 -140 ^⑧ 410L	FL410 170 ^⑨ 430L	FL410 -170 ^⑩ 434	FL410 -170 ^⑪ 434	FL410 -170 ^⑫ 434	FL410 -170 ^⑬ 434
Cr		%	17~19	18~20	18~20	16~18	16~18	16~18	11.5~13.5	11.5~13.5	16~18	16~18	16~18	16~18	16~18
Ni		%	8~13	8~12	8~12	8~14	8~14	8~14	—	—	—	—	—	—	—
Mo		%	0.15~0.30	—	—	2~3	2~3	2~3	—	—	—	—	—	—	—
S		%	<0.15	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
C		%	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
N		%	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
Fe		%	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量
其它元素总和, max		%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
抗拉屈服强度, min	R _{0.2}	MPa	170	210	260	170	260	125	620 ^⑭	620 ^⑮	140	170	170	170	170
极限抗拉强度, min	R _m	MPa	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
表面硬度		HV5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
洛氏硬度		洛氏	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
密度	ρ	g/cm ³	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
抗拉强度 ^⑯	R _m	MPa	270	300	480	280	480	480	720	720	330	340	340	340	340
抗拉屈服强度 ^⑰	R _{0.2}	MPa	220	260	310	230	310	310	620	620	180	210	210	210	210
伸长率	A ₅₀	%	nm ^⑱	nm ^⑲	nm ^⑲	nm ^⑲	nm ^⑲	nm ^⑲	nm ^⑲	nm ^⑲	nm ^⑲	nm ^⑲	nm ^⑲	nm ^⑲	nm ^⑲
杨氏模量	E	GPa	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
泊松比	ν		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
无缺口夏比冲击功		J	5	47	34	7	88	88	3	3	68	108	88	88	88
压缩屈服强度		MPa	260	260	320	250	320	320	640	640	190	230	230	230	230
横向断裂强度		MPa	590	nm ^⑳	nm ^⑳	nm ^⑳	nm ^⑳	nm ^⑳	780	780	nm ^⑳	nm ^⑳	nm ^⑳	nm ^⑳	nm ^⑳
疲劳极限 90%存活率 ^㉑		MPa	90	105	160	75	130	115	240	240	125	170	170	170	170

注：1. 烧结不锈钢的耐腐蚀性不必与熔铸不锈钢相同，一般地，奥氏体不锈钢以 316L 最佳，其次是 304 和 303，而一些又都比马氏体钢和铁素体钢要好，在后者当中又以 434 最佳。

2. 烧结会影响耐腐蚀性，因此，-FL316-150 材料的耐腐蚀性比在含氮气氛中烧结者要好。

3. 建议采用烧结不锈钢之前，在预期环境中进行腐蚀试验。

①-FL303 170N, -FL304-210N, -FL316-170N 都是在含氮气氛（如分解氨）中烧结的。

②-FL303-260N, -FL304-260N, -FL316-260N 都是在含氮气氛（如分解氨）中烧结的。

③-FL316-150N 是在无氮气氛（如氮气，或真空中反充氮气）中烧结的。

④-FL410-620H 是在 1290°C 在含氮气氛（如分解氨）中烧结的，通过快冷硬化，然后在 180°C 回火 1h。

⑤-FL410 140, FL430-170, -FL434 170 都是在 1290°C 在无氮气氛（如氢气，或真空中反充氮气）中烧结的。

⑥经过热处理的材料抗拉屈服强度和极限抗拉强度近似相等。

⑦nm—没有测量。

⑧由旋转弯曲试验测定的存活率为 90% 的疲劳耐久极限，试样是按 ISO 3928 切削加工制造的。

-FL410, -FL430 及 -FL434 在烧结状态下都具有铁素体组织,不得有原颗粒界、氧化物或碳化物的迹象,但在显微组织中,存在微量的残留碳或氮。热处理的-FL410 在由烧结周期正常冷却后,其显微组织全部为马氏体,也可单独进行硬化。但在上述两种情况下,一般都要进行回火,以得到最佳韧度。

六、用于粉末冶金结构零件的烧结铜合金 [ISO 5755: 2000 (E)]

关于制造结构零件用铜基合金,见表 C-11。

黄铜,青铜和锌白铜都应烧结到很难观察到原颗粒界。在烧结良好的青铜合金中, α 青铜晶粒都是从其原始细晶粒族长大生成的,并且没有青灰色的金属间化合物的迹象。

表 C-11 结构零件用有色金属材料,铜基合金

参 数	符号	单位	黄铜				青铜	锌白铜	
			代号				代号	代号	
化学成分			-CL-Z20 -75	-CL-Z20 -80	-CL-Z30 -100	CL Z30 -110	-C-T10 -90R	-C-N18Z -120	
Sn		%	—	—	—	—	8.5~11.0	—	标准值
Zn		%	余量	余量	余量	余量	—	余量	
Ni		%	—	—	—	—	—	16~20	
Cu		%	77~80	77~80	68~72	68~72	余量	62~66	
其它元素总和, max		%	2	2	2	2	2	2	
抗拉屈服强度, min	$R_{p0.2}$	MPa	75	80	100	110	90	120	参考值
表观硬度		HV5	50	68	72	84	68	82	
		洛氏	73HRH	82HRH	84HRH	92HRH	82HRH	90HRH	
密度	ρ	g/cm ³	7.6	8.0	7.6	8.0	7.2	7.9	
抗拉强度	R_m	MPa	160	240	190	230	150	230	
抗拉屈服强度	$R_{p0.2}$	MPa	90	120	110	130	110	140	
伸长率	A_{25}	%	9	18	14	17	4	11	
杨氏模量		GPa	85	100	80	90	60	95	
压缩泊松比			0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	
无缺口夏比冲击功		J	37	61	31	52	5	33	
压缩屈服强度	(0.1%)	MPa	80	100	120	130	140	170	
横向断裂强度		MPa	360	480	430	590	310	500	

①字母 R 表示材料经过复压

附录 D 美国 MPIF 标准 35 “粉末冶金结构零件材料标准” 2000 年版介绍

一、烧结铁与烧结碳钢

这里所讲的烧结铁与烧结碳钢是除碳外由不含其它合金元素的纯铁粉制造的。

这些材料都是用压制-烧结,由添加或不添加石墨的铁粉混合物制造的。添加石墨是为了引入碳。当最终密度为 7.0g/cm³ 或更高时,可采用压制-预烧结-复压-烧结工艺制造。

烧结碳钢的化合碳含量可由金相根据珠光体所占面积百分数来进行估计。100%珠光体约等于 0.8%化合碳。碳在铁中溶解迅速,在 1037.8°C 保温约 5min,通常就看不到未化合的碳了。烧结铁与烧结碳钢的化学成分和物理-力学性能分别见表 D-1 与表 D-2。

表 D-1 烧结铁和烧结碳钢的化学成分 (MPIF35, 2000 年版) (质量分数, %)

材料牌号	Fe	C
F-0000	97.7~100	0~0.3
F-0005	97.4~99.7	0.3~0.6
F-0008	97.1~99.1	0.6~0.9

注: 其它元素 (包括为了特殊目的而添加的其它微量元素) 总量最大为 2.0%。

表 D-2 烧结铁和烧结碳钢的物理-力学性能^①

材料牌号	最小值 ^②		标准值 ^②											
	最小强度 ^③		拉伸性能			弹性常数		无凹口夏比冲击功	横向断裂强度	压缩屈服强度 (0.1%)	硬度		疲劳极限 (90% 存活率)	密度
	屈服 /MPa	极限 /MPa	极限抗拉强度 /MPa	屈服强度 (0.2%) /MPa	伸长率 (25.4 mm) (%)	弹性模量 /GPa	泊松比				宏观 (表观)	微观 (换算的)			洛氏
F-0000-10	70		120	90	1.5	105	0.25	4	250	110	40HRF		46	6.1
F-0000-15	100		170	120	2.5	120	0.25	8	340	120	60HRF	N/A	65	6.7
F-0000-20	140		260	170	7.0	160	0.28	47	660	130	80HRF		99	7.3
F-0005-15	100		170	120	<1.0	105	0.25	4	330	125	25HRB		60	6.1
F-0005-20	140		220	160	1.0	115	0.25	5	440	160	40HRB	N/A	80	6.6
F-0005-25	170		260	190	1.5	135	0.27	7	520	190	55HRB		100	6.9
F-0005-50HT		340	410		<0.5	115	0.25	4	720	300	20HRC	58HRC	160	6.6
F-0005-60HT		410	480	④	<0.5	130	0.27	5	830	360	22HRC	58HRC	190	6.8
F-0005-70HT		480	550		<0.5	140	0.27	5	970	420	25HRC	58HRC	220	7.0
F-0005-20	140		200	170	<0.5	85	0.25	3	350	190	35HRB		80	5.8
F-0005-25	170		240	210	<0.5	110	0.25	4	420	210	50HRB	N/A	100	6.2
F-0005-30	210		290	240	<1.0	115	0.25	5	510	210	60HRB		120	6.6
F-0005-35	240		390	260	1.0	140	0.27	7	690	250	70HRB		170	7.0
F-0008-55HT		380	450		<0.5	115	0.25	4	690	480	22HRC	60HRC	180	6.3
F-0008-65HT		450	520	④	<0.5	115	0.25	5	790	550	28HRC	60HRC	210	6.6
F-0008-75HT		520	590		<0.5	135	0.27	6	900	620	32HRC	60HRC	240	6.9
F-0008-85HT		590	660		<0.5	150	0.27	7	1000	690	35HRC	60HRC	280	7.1

① 后缀数字代表最小强度值 (psi); 烧结态为屈服强度, 热处理态为极限抗拉强度。

② 力学性能数据来源于实验室制备的在工业生产条件下烧结的试样。

③ 将在本标准以后的版本中给出的, 准备补充的数据。

④ 对于热处理过的材料, 屈服强度和极限抗拉强度大体上相等。

⑤ 热处理 (HT) 材料的回火温度为 177°C。N/A: 不适用。

⑥ 此表依据 MPIF standard 35, 2000 年版的数据。

二、烧结铁铜合金和烧结铜钢

这里所讲的烧结铁铜合金和烧结铜钢都是由添加或不添加石墨粉 (碳) 的纯铁粉与纯铜粉的混合粉制造的。每一种组成的比例取决于所要求的强度水平和材料是以烧结态还是热处理态使用。

因为烧结时石墨很容易扩散到铁粉颗粒基体中, 所以 0.8% 或更高化合碳含量 (质量分数) 是可以达到的。添加铜粉是为了提高材料的强度、硬度及耐磨性。用热处理还可以更进一步提高材料的耐磨性。当最终密度为 7.0g/cm³ 或更高时, 这些材料可用压制——预烧结——复压——烧结来制造。

烧结铁铜合金与烧结铜钢的化学成分和物理-力学性能分别见表 D-3, 表 D-4。

表 D-3 烧结铁铜合金和烧结铜钢的化学成分 (质量分数, %)

材料牌号	Fe	Cu	C
FC—0200	93.8~98.5	1.5~3.9	0.0~0.3
FC—0205	93.5~98.2	1.5~3.9	0.3~0.6
FC 0208	93.2~97.9	1.5~3.9	0.6~0.9
FC--0505	91.4~95.7	4.0~6.0	0.3~0.6
FC·0508	91.1~95.4	4.0~6.0	0.6~0.9
FC—0808	88.1~92.4	7.0~9.0	0.6~0.9
FC--1000	87.2~90.5	9.5~10.5	0.0~0.3

注: 其它各种元素 (包括为了特殊目的而添加的微量元素) 总量最大为 2.0%。

表 D-4 烧结铁铜合金和烧结铜钢的物理-力学性能^①

材料牌号	最小值 ^②		标准值 ^③											
	最小强度 ^④		拉伸性能			弹性常数		无凹夏冲击功	横向断裂强度	压缩屈服强度 (0.1%)	硬度		疲劳极限 (90% 存活率)	密度
	屈服 /MPa	极限 /MPa	极限强度 /MPa	屈服强度 (0.2%) /MPa	伸长率 (25.4 mm) (%)	杨氏模量 /GPa	泊松比				宏观 (表观)	微观 (换算的)		
								/J	/MPa	/MPa	洛氏	/MPa	/(g/cm ³)	
FC—0200—15	100		170	140	1.0	95	0.25	6	310	120	11HRB	N/A	70	6.0
FC—0200—18	120		190	160	1.5	115	0.25	7	350	140	18HRB		72	6.3
FC—0200—21	140		210	180	1.5	115	0.25	7	390	160	26HRB		80	6.6
FC—0200—24	170		230	200	2.0	135	0.27	8	430	180	36HRB		87	6.9
FC--0205-30	210		240	240	<1.0	95	0.25	<3	410	240	37HRB	N/A	90	6.0
FC—0205—35	240		280	280	<1.0	115	0.25	4	520	280	18HRB		100	6.3
FC—0205--40	280		340	310	<1.0	120	0.25	7	660	310	60HRB		140	6.7
FC—0205—45	310		410	340	<1.0	150	0.27	10	790	340	72HRB		210	7.1
FC—0205—60HT		410	480		<0.5	110	0.25	3	660	390	19HRC	58HRC	190	6.2
FC--0205--70HT		480	550	③	<0.5	105	0.25	5	760	490	25HRC	58HRC	210	6.5
FC 0205·80HT		550	620		<0.5	130	0.27	6	830	590	31HRC	58HRC	230	6.8
FC—0205—90HT		620	690		<0.5	140	0.27	7	930	660	36HRC	55HRC	260	7.0
FC—0208—30	210		240	240	<1.0	85	0.25	<3	410	280	50HRB	N/A	90	5.8
FC·0208 40	280		340	310	<1.0	115	0.25	3	620	310	61HRB		120	6.3
FC—0208—50	340		410	380	<1.0	120	0.25	7	860	340	73HRB		160	6.7
FC 0208--60	410		520	450	<1.0	155	0.28	9	1070	380	84HRB		230	7.2
FC--0208—50HT		340	450		<0.5	105	0.25	3	660	100	20HRC	60HRC	170	6.1
FC—0208—65HT		450	520	④	<0.5	120	0.27	5	760	500	27HRC	60HRC	210	6.4
FC—0208—80HT		550	620		<0.5	130	0.27	6	900	630	35HRC	60HRC	240	6.8
FC—0208—95HT		660	660		<0.5	150	0.27	7	1030	720	43HRC	60HRC	280	7.1
FC—0505—30	210		300	250	<0.5	85	0.25	4	530	340	51HRB	N/A	114	5.8
FC—0505—40	280		400	320	<0.5	115	0.25	6	700	370	62HRB		152	6.3
FC—0505—50	340		490	390	<1.0	120	0.25	7	850	400	72HRB		186	6.7
FC 0508 40	280		400	340	<0.5	90	0.25	4	690	400	60HRB	N/A	152	5.9
FC 0508 50	340		470	410	<0.5	115	0.25	5	830	430	68HRB		179	6.3
FC—0508—60	410		570	480	<1.0	130	0.27	6	1000	470	80HRB		217	6.8
FC—0808—45	310		380	340	<0.5	95	0.27	4	590	430	65HRB	N/A	144	6.0
FC 1000-20	140		210	180	<1.0	95	0.27	5	370	230	15HRB	N/A	80	6.0

①此表依据 MPIF standard 35, 2000 年版的数据。

②③④及 N/A 同表 D-2。

三、烧结铁镍合金和烧结镍钢

烧结铁镍合金与烧结镍钢是由纯铁粉、纯镍粉与石墨粉的混合粉制造的。镍的添加量一般为1%~4% (质量分数)。不含碳者称之为烧结铁镍合金。

石墨粉和(或)镍粉的添加量取决于所要求的强度水平和材料是于烧结态还是热处理态使用。还可添加其它合金元素(如钼),但添加量必须在规定的其它元素添加总和的范围内。

在常规工业烧结条件下,和碳不同,镍不可能完全扩散到铁基体中。形成的多相冶金组织,含有富镍相,可以显著改善材料的韧度、抗拉性能及淬透性。当要求材料的最终密度为7.0g/cm³或更高时,可用压制—预烧结—复压—烧结工艺制造。

添加于铁粉与石墨粉混合粉中的细镍粉,在正常烧结时不可能充分扩散。烧结状态镍钢的金相组织形成浅色富镍奥氏体区,针状马氏体或贝氏体围绕在该区的边缘。在高于1149℃的高温下烧结时,富镍奥氏体区的体积分数将减小。在热处理状态富镍区为浅色,其心部为奥氏体,其周围为针状马氏体。这种多相组织是正常的。基体是马氏体,这取决于淬火速率。细珠光体含量为0%~35% (体积分数)。

烧结铁镍合金与烧结镍钢的化学成分和物理-力学性能分别见表D-5和表D-6。

表D-5 烧结铁镍合金和烧结镍钢的化学成分(质量分数,%)

材料牌号	Fe	Ni	C	Cu
FC 0200	92.2~99.0	1.0~3.0	0.0~0.3	0.0~2.5
FN 0205	91.9~98.7	1.0~3.0	0.3~0.6	0.0~2.5
FN 0208	91.6~98.1	1.0~3.0	0.6~0.9	0.0~2.5
FN 0405	89.9~96.7	3.0~5.5	0.3~0.6	0.0~2.0
FN-0108	89.6~96.4	3.0~5.5	0.6~0.9	0.0~2.0

注:其它元素(包括为了特殊目的而添加的微量元素)总量最大为2.0% (质量分数)。

表D-6 烧结铁镍合金和烧结镍钢的物理-力学性能[®]

材料牌号	最小值 ^①		标准值 ^②											
	最小强度 ^③		拉伸性能			弹性常数		无凹口冲击功	横向断裂强度	压缩屈服强度(0.1%)	硬度		疲劳极限(90%存活率)	密度
	屈服/MPa	极限/MPa	抗拉强度/MPa	屈服强度(0.2%) /MPa	伸长率(25.4mm) (%)	杨氏模量/GPa	泊松比				宏观(表观)	微观(换算的)			洛氏
FN-0200-15	100		170	120	3.0	115	0.25	14	340	110	55HRF		70	6.6
FN-0200-20	140		240	170	5.0	140	0.27	27	550	120	75HRF	N/A	91	7.0
FN-0200-25	170		280	210	10.0	160	0.28	58	720	140	80HRF		103	7.3
FN-0205-20	140		280	170	1.5	115	0.25	8	450	170	44HRB		100	6.6
FN-0205-25	170		340	210	2.5	135	0.27	16	690	210	59HRB	N/A	120	6.9
FN-0205-30	210		410	240	4.0	155	0.28	28	860	240	69HRB		150	7.2
FN-0205-35	240		480	280	5.5	170	0.28	46	1030	280	78HRB		180	7.4
FN-0205-80HT		550	620		<0.5	115	0.25	5	830	410	23HRC	55HRC	180	6.6
FN-0205-105HT		720	830		<0.5	135	0.27	6	1110	550	29HRC	55HRC	240	6.9
FN-0205-130HT		900	1000	④	<0.5	150	0.27	8	1310	690	33HRC	55HRC	290	7.1
FN-0205-155HT		1070	1100		<0.5	155	0.28	9	1480	830	36HRC	55HRC	320	7.2
FN-0205-180HT		1210	1280		<0.5	170	0.28	13	1720	970	40HRC	55HRC	370	7.4

(续)

最小值 ^①			标准值 ^②											
材料牌号	最小强度 ^③		拉伸性能			弹性常数		无凹夏冲功	横向断裂强度	压缩屈服强度 (0.1%)	硬度		疲劳极限 (90%存活率)	密度
	屈服 /MPa	极限 /MPa	抗拉强度 /MPa	屈服强度 (0.2%) /MPa	伸长率 (25.4 mm) (%)	杨氏模量 /GPa	泊松比				宏观 (表观)	微观 (换算的)		
								/J	/MPa	/MPa	洛氏		/MPa	(g/cm ³)
FN 0208-30	210		310	240	1.5	120	0.25	7	530	240	63HRB		110	6.7
FN-0208-35	240		380	280	1.5	135	0.27	11	720	280	71HRB		140	6.9
FN-0208-40	280		480	310	2.0	150	0.27	15	900	310	77HRB	N/A	170	7.1
FN-0208-45	310		550	340	2.5	160	0.28	22	1070	340	83HRB		190	7.3
FN-0208-50	340		620	380	3.0	170	0.28	28	1170	380	88HRB		220	7.4
FN 0208-80HT		550	620		<0.5	120	0.25	5	830	680	26HRC	57HRC	200	6.7
FN 0208-105HT		720	830		<0.5	135	0.27	6	1030	850	31HRC	57HRC	260	6.9
FN-0208-130HT		900	1000	④	<0.5	140	0.27	7	1280	940	35HRC	57HRC	320	7.0
FN-0208-155HT		1070	1170		<0.5	155	0.28		1520	1120	39HRC	57HRC	370	7.2
FN 0208-180HT		1240	1340		<0.5	170	0.28	11	1720	1300	42HRC	57HRC	430	7.1
FN-0405-25	170		280	210	<1.0	105	0.25	6	450	230	49HRB		100	6.5
FN 0405-35	240		410	280	3.0	140	0.27	20	830	280	71HRB	N/A	150	7.0
FN-0405-45	310		620	340	4.5	170	0.28	45	1210	310	84HRB		220	7.4
FN-0405-80HT		550	590		<0.5	105	0.25	5	790	460	19HRC	55HRC	180	6.5
FN 0405-105HT		720	760		<0.5	130	0.27	7	1000	610	25HRC	55HRC	230	6.8
FN-0405-130HT		900	930	④	<0.5	140	0.27	9	1380	710	31HRC	55HRC	290	7.0
FN-0405-155HT		1070	1100		<0.5	160	0.28	13	1690	850	37HRC	55HRC	340	7.3
FN-0405-180HT		1240	1280		<0.5	170	0.28	18	1930	910	40HRC	55HRC	390	7.4
FN-0408-35	240		310	280	1.0	105	0.25	5	520	260	67HRB		110	6.5
FN-0408-45	310		450	340	1.0	135	0.27	10	790	340	78HRB	N/A	160	6.9
FN-0408-55	380		550	410	1.0	155	0.28	15	1030	410	87HRB		190	7.2

注：①②④及 N/A 同表 D-2 注。

③热处理 (HT) 材料的回火温度为 260°C。

⑥此表依据 MPIF Standard 35, 2000 年版的数据。

四、烧结低合金钢

这里所讲的烧结低合金钢是由以镍、钼及锰为主要合金元素的预合金化低合金钢粉制造的。将石墨粉(碳)混入预合金钢粉中,以提供烧结低合金钢所需之含碳量。也可混入不同量的元素粉末。

预合金钢粉一般用于中~高密度粉末冶金结构零件。这些材料的淬透性比由元素混合粉末制造的烧结钢或烧结镍钢高。当要求最终密度为 7.0g/cm³ 或更高时,这些材料可用压制、预烧结、复压和烧结工艺制造。

烧结低合金钢的材料牌号编制说明见图 D-1。

烧结低合金钢的化学成分和物理-力学性能见表 D-7 与表 D-8。

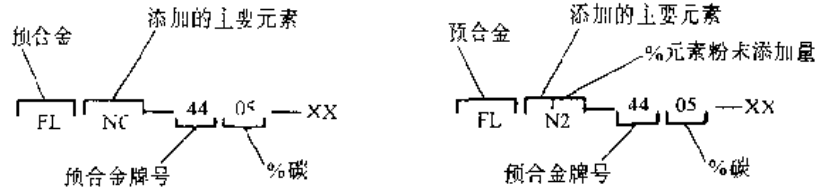


图 D-1 烧结低合金钢的材料牌号说明 (MPIF35, 2000 年版)

表 D-7 烧结低合金钢的化学成分 (质量分数, %)

材料牌号	Fe	C	Ni	Mo	Cu
FL-4205	95.90~98.75	0.4~0.7	0.35~0.55	0.50~0.85	—
FL-4405	96.35~98.85	0.4~0.7	—	0.75~0.95	—
FL-4605	94.20~97.50	0.4~0.7	1.70~2.00	0.40~1.10	—
FLN-4205	93.95~97.76	0.4~0.7	1.35 ^① ~2.50 ^①	0.49~0.85	—
FLN2-4405	93.35~97.95	0.4~0.7	1.00~3.00	0.65~0.95	—
FLN4-4405	91.35~95.95	0.4~0.7	3.00~5.00	0.65~0.95	—
FLN6-4405	89.35~93.95	0.4~0.7	5.00~7.00	0.65~0.95	—
FLNC-4405	90.35~96.95	0.4~0.7	1.00~3.00	0.65~0.95	1.0~3.0

注: 其它元素 (包括为特殊目的而添加的微量元素) 总量质量分数最大为 2.0%。

①至少混入镍粉 1% (质量分数)。

表 D-8 烧结低合金钢的物理-力学性能^①

材料牌号	最小值 ^②		标准值 ^②											
	最小强度 ^③		拉伸性能			弹性常数		无凹口夏比冲击功	横向断裂强度	压缩屈服强度 (0.1%)	硬度		疲劳极限 (90% 存活率)	密度
	屈服 /MPa	极限 /MPa	抗拉强度 /MPa	屈服强度 (0.2%) /MPa	伸长率 (25.4 mm) (%)	弹性模量 /GPa	泊松比				宏观 (表观)	微观 (换算的)			洛氏
FL-4205-35	240		350	290	1.0	130	0.27	8	690	290	60HRB		140	6.80
FL-4205-40	280		400	320	1.0	140	0.27	12	790	320	66HRB	N/A	190	6.95
FL-4205-45	310		450	360	1.5	150	0.27	16	860	360	70HRB	N/A	220	7.10
FL-4205-50	340		500	400	2.0	160	0.28	23	1030	390	75HRB		280	7.30
FL-4205-80HT		550	620		<0.5	115	0.25	7	930	550	28HRC	60HRC	210	6.60
FL-4205-100HT		690	760		<0.5	130	0.27	9	1100	760	32HRC	60HRC	260	6.80
FL-4205-120HT		830	900		<0.5	140	0.27	11	1280	970	35HRC	60HRC	300	7.00
FL-4205-140HT		970	1030		<0.5	155	0.28	16	1480	1170	39HRC	60HRC	340	7.20
FL-4405-35	240		360	290	1.0	120	0.25	8	690	270	60HRB		140	6.70
FL-4405-40	280		400	320	1.0	135	0.27	15	860	310	67HRB	N/A	190	6.90
FL-4405-45	310		460	360	1.5	150	0.27	22	970	360	73HRB	N/A	220	7.10
FL-4405-50	340		500	400	2.0	160	0.28	30	1140	390	80HRB		280	7.30
FL-4405-100HT		690	760		<1.0	120	0.25	7	1100	930	24HRC	60HRC	230	6.70
FL-4405-125HT		860	950		<1.0	135	0.27	9	1380	1070	29HRC	60HRC	290	6.90
FL-4405-150HT		1030	1100		<1.0	150	0.27	12	1590	1210	34HRC	60HRC	330	7.10
FL-4405-175HT		1210	1280		<1.0	160	0.28	19	1930	1340	38HRC	60HRC	400	7.30

(续)

材料牌号	最小值 ^①		标准值 ^②											
	最小强度 ^③		拉伸性能			弹性常数		无回夏冲击功	横向断裂强度	压缩屈服强度 (0.1%)	硬度		疲劳极限 (90%存活率)	密度
	屈服 /MPa	极限 /MPa	抗拉强度 /MPa	屈服强度 (0.2%) /MPa	伸长率 (25.4 mm) (%)	弹性模量 /GPa	泊松比				宏观 (表观)	微观 (换算的)		
								洛氏	洛氏	洛氏			洛氏	
FL-4605-35	240		360	290	1.0	125	0.27	8	690	290	60HRB		140	6.75
FL-4605-40	280		400	320	1.0	140	0.27	15	830	310	65HRB	NA	190	6.95
FL-4605-45	310		460	360	1.5	150	0.28	22	970	360	71HRB		220	7.15
FL-4605-50	340		500	400	2.0	165	0.28	30	1140	390	77HRB		280	7.35
FL-4605-80HT		550	590		<0.5	110	0.25	6	900	630	24HRC	60HRC	200	6.55
FL-4605-100HT		690	760	④	<0.5	125	0.27	8	1140	790	29HRC	60HRC	260	6.75
FL-4605-120HT		830	900	④	<0.5	140	0.27	11	1340	960	34HRC	60HRC	320	6.95
FL-4605-140HT		970	1070	④	<0.5	155	0.28	16	1590	1170	39HRC	60HRC	370	7.20
FLN-4205-40	280		400	320	1.0	115	0.25	8	720	310	64HRB		140	6.60
FLN-4205-45	310		460	360	1.0	130	0.27	11	860	340	70HRB	N/A	190	6.80
FLN-4205-50	340		500	400	1.5	145	0.27	18	1030	390	77HRB		220	7.05
FLN-4205-55	380		600	430	2.0	160	0.28	30	1210	410	83HRB		280	7.30
FLN-1205-80TH		550	620		<1.0	115	0.25	7	900	860	24HRC	60HRC	190	6.60
FLN-4205-105TH		720	790	⑤	<1.0	130	0.27	9	1170	1000	30HRC	60HRC	250	6.80
FLN-4205-140TH		970	1030	⑤	<1.0	145	0.27	12	1590	1170	36HRC	60HRC	320	7.05
FLN-4205-175TH		1210	1280	⑤	1.0	160	0.28	19	2000	1380	42HRC	60HRC	400	7.30

①、②、④、⑤及N/A同表D-2注。

③此表依据 MPlF standard 35, 2000 年版的数据。

⑦添加有铜的烧结低合金钢的冲击值与疲劳极限可能比表中列出的值小。

五、烧结硬化钢

这里所讲的烧结硬化钢是由用镍、钼及锰为主要合金元素的预合金化低合金钢粉和元素铜粉的混合粉制造的。为了使最终材料中具有所需要的含碳量混入了石墨粉(碳)。

烧结硬化材料一般用于制造中~高密度粉末冶金结构零件。这些材料具有足够高的淬透性,因此在烧结后冷却期间能够淬硬。当要求最终密度为 7.0g/cm^3 或更高时,这些材料可用压制、预烧结、复压及烧结制造。烧结硬化材料难以切削加工。

烧结硬化钢的材料牌号如下:(图 D-2)

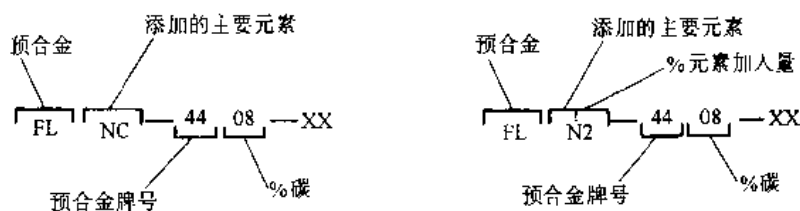


图 D-2 烧结硬化钢牌号说明 (MPlF35, 2000 年版)

烧结硬化钢的化学成分和物理-力学性能分别见表 D-9 与表 D-10。

表 D-9 烧结硬化钢的化学成分 (质量分数, %)

材料牌号	Fe	C	Ni	Mo	Cu
FLN2-4408	93.15~97.75	0.6~0.9	1.00~3.00	0.65~0.95	—
FLN4-4408	91.15~95.75	0.6~0.9	3.00~5.00	0.65~0.95	—
FLN6-4408	89.15~93.75	0.6~0.9	5.00~7.00	0.65~0.95	—
FLN-4608	91.00~96.41	0.6~0.9	3.60~5.00	0.39~1.10	—
FLC-4608	91.00~96.41	0.6~0.9	1.60~2.00	0.39~1.10	1.0~3.0
FLC-4908	92.40~95.10	0.6~0.9	—	1.30~1.70	1.0~3.0
FLNC-4408	90.15~96.75	0.6~0.9	1.00~3.00	0.65~0.95	1.0~3.0

注: 1. 其它元素 (包括为了特殊目的而添加的微量元素) 总量最大为 2.0% (质量分数)。

2. ②为至少添加了 2% (质量分数) 元素镍粉。

表 D-10 烧结硬化钢的物理-力学性能^①

材料牌号	最小值 ¹		标准值 ^②											
	最小强度 ^{1,3}		拉伸性能			弹性常数		大凹 口复 比冲 功	横 向 断 裂 强 度	压 缩 屈 服 强 度 (0.1%)	硬度		疲 劳 极 限 (90% 存 活 率)	密 度
	屈服 /MPa	极限 /MPa	抗拉 强度 /MPa	屈服 强度 (0.2 %) /MPa	伸 长 率 (25.1 mm) (%)	弹 性 模 量 /GPa	泊 松 比				宏 观 (表 观)	微 观 (换 算 的)			洛 氏
								J	/MPa	/MPa			/MPa	(g/cm ³)
FLC-4608-50HT	310	410			<1.0	115	0.25	7	830	③	20HRC	55HRC	110	6.60
FLC-4608-70HT	480	550			<1.0	130	0.27	9	1030	③	26HRC	55HRC	160	6.80
FLC-4608-90HT	620	690		④	<1.0	140	0.27	12	1310	③	31HRC	55HRC	230	7.00
FLC-4608-110HT	760	830			<1.0	155	0.28	19	1590	③	37HRC	55HRC	290	7.20

注: ①、②、③、④、⑤和表 D-2 注同。

②此表依据 MPIF standard 35, 2000 年版的数据。

六、扩散合金化钢

这里所讲的扩散合金化钢是由以镍、铜及钼作为主要合金元素的扩散合金化钢粉制造的。为使最终材料具有所需要的含碳量, 在扩散合金化钢粉中混入石墨粉(碳), 也可混入不同数量的元素粉末。为提高韧度与冲击性能, 可添加元素镍粉。当要求最终密度为 7.0g/cm³ 或更高时, 这些材料可用压制——预烧结——复压——烧结制造。这些材料也可进行热处理, 以提高强度与耐磨性。

扩散合金化钢的化学成分和物理-力学性能分别见表 D-11 与表 D-12。

表 D-11 扩散合金化钢的化学成分 (质量分数, %)

材料牌号	Fe	C	Ni	Cu	Mo
FD-0205	93.15~96.45	0.3~0.6	1.55~1.95	1.3~1.7	0.4~0.6
FD-0208	92.85~96.15	0.6~0.9	1.55~1.95	1.3~1.7	0.4~0.6
FD-0405	90.70~94.40	0.3~0.6	3.60~4.40	1.3~1.7	0.4~0.6
FD-0408	90.40~94.10	0.6~0.9	3.60~4.40	1.3~1.7	0.4~0.6

注: 其它元素 (包括为了特殊目的而添加的微量元素) 总量最大为 2.0% (质量分数)。

表 D-12 扩散合金化钢的物理-力学性能¹⁾

材料牌号	最小值 ¹⁾		标准值 ²⁾										密度 (g/cm ³)		
	最小强度 ¹⁾		拉伸性能			弹性常数			无凹夏冲击功 /J	横向断裂强度 /MPa	压缩屈服强度 (0.1%) /MPa	硬度		疲劳极限 (90%存活率) /MPa	
	屈服 /MPa	极限 /MPa	抗拉强度 /MPa	屈服强度 (0.2%) /MPa	伸长率 (25.4 mm) (%)	弹性模量 /GPa	泊松比	宏观 (表观)				微观 (换算的)			
								洛氏							
FD 0205-45	310		470	360	1.0	125	0.27	11	900	320	72HRB		170	6.75	
FD-0205-50	340		540	390	1.5	140	0.27	16	1070	360	76HRB	N/A	200	6.93	
FD 0205-55	380		610	420	2.0	150	0.28	21	1210	390	80HRB		220	7.15	
FD-0205-60	410		690	460	2.0	170	0.28	38	1150	430	86HRB		260	7.40	
FD-0205-95HT		660	720		<1.0	125	0.27	7	1100	900	28HRC	55HRC	250	6.75	
FD 0205-120HT		830	900	③	<1.0	110	0.27	9	1310	1070	33HRC	55HRC	360	6.95	
FD 0205-140HT		970	1030		<1.0	130	0.28	12	1450	1210	38HRC	55HRC	450	7.15	
FD-0205-160HT		1100	1170		<1.0	170	0.28	15	1650	1380	45HRC	55HRC	520	7.40	
FD-0208-50	340		480	400	<1.0	125	0.27	9	930	400	80HRB		170	6.75	
FD 0208-55	380		510	430	<1.0	135	0.27	12	1070	430	83HRB	N/A	230	6.90	
FD 0208-60	410		630	470	1.0	150	0.27	16	1240	460	87HRB		260	7.10	
FD-0208-65	450		710	500	1.0	160	0.28	23	1340	500	90HRB		320	7.25	
FD-0405-55	380		590	430	1.0	125	0.27	15	1100	390	80HRB		170	6.75	
FD-0405-60	410		710	460	1.0	145	0.27	27	1340	430	85HRB	N/A	200	7.05	
FD-0405-65	450		850	480	2.5	165	0.28	37	1590	500	91HRB		280	7.35	
FD-0405-100HT		690	760		<1.0	125	0.27	7	1100	860	30HRC	55HRC	230	6.75	
FD 0405-130HT		900	970	③	<1.0	145	0.27	9	1380	1030	35HRC	55HRC	340	7.05	
FD 0405-155HT		1070	1140		<1.0	165	0.28	14	1620	1210	42HRC	55HRC	400	7.35	
FD-0408-50	340		490	390	<1.0	120	0.25	12	900	430	85HRB		150	6.70	
FD-0408-55	380		620	430	1.0	140	0.27	18	1140	470	89HRB	N/A	190	6.95	
FD 0408-60	410		760	460	1.5	155	0.28	24	1380	500	93HRB		260	7.20	
FD 0408-65	450		860	490	2.0	170	0.28	30	1590	550	95HRB		330	7.40	

①、②、③、④及N/A和表D-2注相同。另外，添加有铜的合金的冲击值与疲劳极限可能比表中所示的数据值低。

③此表依据MPIF standard 35, 2000年版的数据。

七、烧结渗铜铁和烧结渗铜钢

这里所讲的烧结渗铜铁和烧结渗铜钢是由铁粉和(或)铁合金粉与石墨(碳)粉的混合粉经成形后,烧结时大部分孔隙用熔渗的铜基合金充填制成的。

可以采用一步或二步熔渗工艺。和烧结态的烧结铁或烧结碳铜相比,熔渗铜可改进材料的抗拉强度、伸长率、硬度及冲击性能。

烧结渗铜钢零件可于熔渗状态或热处理状态使用。由于钢显微组织中的孔隙为铜封闭,可避免镀液被截留于孔隙中,从而可改进材料的电镀特性。由于同样原因,对于需要考虑压力密封的中等压力的液压件,也可用烧结渗铜钢制造;对于切削加工,由于减少了断续切削,材料的切削性得到改善。

用分别压制零件、组装,然后通过熔渗工艺进行连接,可将几个粉末冶金零件组合为一

个部件。用铜焊可连接经过熔渗的和经过锻轧的金属零件。由于铜钎焊合金存留在被钎焊表面的界面处（而不会渗入到烧结态烧结渗铜钢孔隙中）将烧结熔渗钢的表面孔隙充填，故于空气中进行高频淬火或火焰淬火时，钢基体内部不会发生过分氧化。材料密度高时，低碳烧结熔渗钢渗碳或碳氮共渗后，表面有一清晰可见的渗碳层，使材料表面硬且耐磨，而心部仍具有韧性。

烧结渗铜铁和烧结渗铜钢的化学成分和物理-力学性能分别见表 D-13 和表 D-14。

表 D-13 烧结渗铜铁和烧结渗铜钢的化学成分（质量分数，%）

材料牌号	Fe	Cu	C ^b
FX 1000	82.8~92.0	8.0~14.9	0~0.3
FX 1005	82.5~91.7	8.0~14.9	0.3~0.6
FX 1008	82.2~91.4	8.0~14.9	0.6~0.9
FX-2000	72.7~85.0	15.0~25.0	0~0.3
FX-2005	72.4~84.7	15.0~25.0	0.3~0.6
FX-2008	72.1~84.4	15.0~25.0	0.6~0.9

注：其它元素总和最大为 2.0%（质量分数），包括为了特殊目的而添加的其它微量元素。

①只可根据铁相来估计化合物。

表 D-14 烧结渗铜铁和烧结渗铜钢的物理-力学性能^①

材料牌号	最小值 ^①		标准值 ^②											
	最小强度 ^③		拉伸性能			弹性常数		无凹口冲击功	横向断裂强度	压缩屈服强度 (0.1%)	硬度		疲劳极限 (90%存活率)	密度
	屈服 /MPa	极限 /MPa	抗拉强度 /MPa	屈服强度 (0.2%) /MPa	伸长率 (25.4 mm) (%)	杨氏模量 /GPa	泊松比				宏观 (表观)	微观 (换算的)			洛氏
FX-1000-25	170		350	220	7.0	160	0.28	34	910	230	65HRB	N/A	133	7.3
FX-1005-40	280		530	340	4.0	160	0.28	18	1090	370	82HRB	N/A	200	7.3
FX 1005-110HT		760	830	④	<0.5	160	0.28	9	1450	760	38HRC	55HRC	230	7.3
FX-1008-50	340		600	410	3.0	160	0.28	14	1140	490	89HRB	N/A	230	7.3
FX-1008-110HT		760	830	④	<0.5	160	0.28	9	1300	790	43HRC	58HRC	280	7.3
FX-2000-25	170		320	260	3.0	145	0.24	20	990	280	66HRB	N/A	122	7.3
FX-2005-45	310		520	410	1.5	145	0.24	11	1020	410	85HRB	N/A	140	7.3
FX-2005-90HT		620	690	④	<0.5	145	0.24	9	1180	490	35HRC	55HRC	160	7.3
FX-2008-60	410		550	480	1.0	145	0.24	9	1080	480	90HRB	N/A	160	7.3
FX-2008-90HT		620	690	④	<0.5	145	0.24	7	1100	510	36HRC	58HRC	190	7.3

注：1. 所有数据都是基于一歩熔渗。

2. ①、②、④、⑤及 N/A 和表 D-2 注相同。

⑥此表依据 MPIF standard 35, 2000 年版的数据。

八、烧结不锈钢—300 系列合金

这里所讲的烧结不锈钢是由预合金奥氏体不锈钢粉制造的。

烧结不锈钢通常皆用作中~高密度材料。由于是用预合金粉末作为原料粉末，故在正常工业烧结条件下可获得完全均一的显微组织。

实际制造工艺对烧结不锈钢的力学性能影响很大。较高的烧结温度(1148°C以上)趋向于提高冲击能量、延性及耐蚀性。在分解氨气氛中烧结者,由于氮合金化的影响,比在真空或氢气中烧结的强度高而延性小。烧结条件也影响材料的耐蚀性。

烧结不锈钢-300系列合金的化学成分和物理-力学性能分别见表D-15和表D-16。

表D-15 烧结不锈钢-300系列合金的化学成分(质量分数,%)

材料牌号	Fe	Cr	Ni	Mn	Si	S	C	P	Mo	N
SS-303N1,N2	余量	17.0~19.0	8.0~13.0	0.0~2.0	0.0~1.0	0.15~0.30	0.0~0.15	0.0~0.20	—	0.2~0.6
SS-303L	余量	17.0~19.0	8.0~13.0	0.0~2.0	0.0~1.0	0.15~0.30	0.0~0.03	0.0~0.20	—	0.00~0.03
SS-304N1,N2	余量	18.0~20.0	8.0~12.0	0.0~2.0	0.0~1.0	0.0~0.03	0.0~0.08	0.0~0.045	—	0.2~0.6
SS-304L	余量	18.0~20.0	8.0~12.0	0.0~2.0	0.0~1.0	0.0~0.03	0.0~0.03	0.0~0.045	—	0.00~0.03
SS-316N1,N2	余量	16.0~18.0	10.0~14.0	0.0~2.0	0.0~1.0	0.0~0.03	0.0~0.08	0.0~0.045	2.3~3.0	0.2~0.6
SS-316L	余量	16.0~18.0	10.0~14.0	0.0~2.0	0.0~1.0	0.0~0.03	0.0~0.03	0.0~0.045	2.0~3.0	0.00~0.03

注:其它元素(其中包括为了特殊目的而添加的微量元素)总量最大为2.0%质量分数。

表D-16 烧结不锈钢-300系列合金的物理-力学性能^①

材料牌号	最小值 ^①		标准值 ^②											密度 (g/cm ³)	
	最小强度 ^③		拉伸性能			弹性常数		无凹夏冲击功 /J	横向断裂强度 /MPa	压缩屈服强度 (0.1%) /MPa	硬度		疲劳极限 (90%存活率) /MPa		
	屈服 /MPa	极限 /MPa	抗拉强度 /MPa	屈服强度 (0.2%) /MPa	伸长率 (25.4mm) (%)	杨氏模量 /GPa	泊松比				宏观 (表观) 洛氏	微观 (换算的)			
SS-303N1-25	170		0.0	270	220	0.5	105	0.25	5	590	260	62HR3	N/A	90	6.4
SS-303N2-35	240		3.0	380	290	5.0	115	0.25	26	680	320	63HRB	N/A	110	6.5
SS-303N2-38	260		6.0	470	310	10.0	140	0.27	47	N/A	320	70HR3	N/A	145	6.9
SS-303L-12	80		12.0	270	120	17.5	120	0.25	54	570	140	21HRB	N/A	105	6.6
SS-303L-15	100		15.0	330	170	20.0	140	0.27	75	N/A	200	35RB	N/A	130	6.9
SS-304N1-30	210		0.0	300	260	0.5	105	0.25	5	770	260	61HRB	N/A	105	6.4
SS-304N2-33	230		5.0	390	280	10.0	115	0.25	34	880	320	62HRB	N/A	125	6.5
SS-304N2-38	260		8.0	480	310	13.0	140	0.27	75	N/A	320	68HRB	N/A	160	6.9
SS-304L-13	90		15.0	300	120	23.0	120	0.25	61	N/A	150	30HRB	N/A	115	6.6
SS-304L-18	120		18.0	390	180	26.0	140	0.27	108	N/A	190	45HRB	N/A	145	6.9
SS-316N1-25	170		0.0	280	230	0.5	105	0.25	7	740	250	59HRB	N/A	75	6.4
SS-316N2-33	230		5.0	410	270	10.0	115	0.25	38	860	300	62HRB	N/A	95	6.5
SS-316N2-38	260		8.0	480	310	13.0	140	0.27	65	N/A	320	65HRB	N/A	130	6.9
SS-316L-15	100		12.0	280	140	18.5	120	0.25	47	550	150	20HRB	N/A	90	6.6
SS-316L-22	150		15.0	390	210	21.0	140	0.27	88	N/A	200	45HRB	N/A	115	6.9

注:①、②、③及N/A和表D-2注相同。

②此表依据MPIF standard 35, 2000年版的数据。

N1:氮合金化的,强度高,伸长率低(于1149°C在分解氨中烧结)。

N2:氮合金化的,强度高,中等伸长率(于1288°C在分解氨中烧结)。

L:低碳,强度较低,伸长率最高(于1288°C在部分真空中烧结,冷却时要避免吸收氮)。

九、烧结不锈钢—400 系列合金

这里所讲的烧结不锈钢—400 系列合金是由预合金化的铁素体或马氏体不锈钢粉制造的。需要时可混入石墨粉来控制含碳量。

实际的制造工艺对 400 系列不锈钢的力学性能有一定程度影响。在无氮气氛（纯氢或真空）中高温烧结（高于 1149°C）可获得最高的软磁性能。于同样条件下处理时，其腐蚀性能不如 300 系列不锈钢。

一般选用 400 系列不锈钢是鉴于它们的磁性能或热处理特性：

- SS—409L 为焊接应用而选用。
 SS—410L 为软磁性能和需要耐蚀性低的环境而选用。
 SS—410—90HT 为其兼有强度、硬度及耐磨性而选用。为提高热处理性能而添加了碳。作为一种烧结硬化合金，这种合金的性能受炉子冷却速率的控制。后续淬火与回火工艺将提高硬度。耐蚀性和切削加工性欠佳。
 SS—430 和 SS—410 相比磁性能较低，但耐蚀性稍好。
 SS—434 磁性能和 SS—430 级相似，耐蚀性略好些。

410L、430 及 434 合金在烧结状态都是铁素体。不得有原颗粒界、氧化物或碳化物的痕迹。甚至微量残余碳或氮在显微组织中都将以晶界沉淀状出现。410—90HT 级由烧结作业正常冷却后全部为马氏体。也可以另外淬硬，但在任何一种情况下，为了获得最佳韧性，一般都要回火。

烧结不锈钢—400 系列合金的化学成分和物理-力学性能分别见表 D-17 和表 D-18。

表 D-17 烧结不锈钢—400 系列合金的化学成分（质量分数，%）

材料牌号	Fe	Cr	Mn	Si	S	C	P	Mo	N	Nb
SS—409L	余量	10.5~11.75	0.0~1.0	0.0~1.0	0.00~0.03	0.00~0.03	0.00~0.04	—	0.00~0.03	8XC~0.80
SS—410	余量	11.5~13.5	0.0~1.0	0.0~1.0	0.00~0.03	0.00~0.25	0.00~0.04	—	0.20~0.60	—
SS—410L	余量	11.5~13.5	0.0~1.0	0.0~1.0	0.00~0.03	0.00~0.03	0.00~0.04	—	0.00~0.03	—
SS—430N2	余量	16.0~18.0	0.0~1.0	0.0~1.0	0.00~0.03	0.00~0.08	0.00~0.04	—	0.20~0.60	—
SS—430L	余量	16.0~18.0	0.0~1.0	0.0~1.0	0.00~0.03	0.00~0.03	0.00~0.04	—	0.00~0.03	—
SS—434N2	余量	16.0~18.0	0.0~1.0	0.0~1.0	0.00~0.03	0.00~0.08	0.00~0.04	0.75~1.25	0.20~0.60	—
SS—434L	余量	16.0~18.0	0.0~1.0	0.0~1.0	0.00~0.03	0.00~0.03	0.00~0.04	0.75~1.25	0.00~0.03	—

注：其它各种元素（包括为了特殊目的而添加的微量元素）总量最大为 2.0%（质量分数）。

表 D-18 烧结不锈钢—400 系列合金的物理-力学性能^①

材料牌号	最小值 ^①		标准值 ^②												
	最小强度 ^③		最小伸长率 (25.4 mm) (%)	拉伸性能			弹性常数		无凹夏比冲击功 /J	横向断裂强度 /MPa	压缩屈服强度 (0.1%) /MPa	硬度		疲劳强度 (10 ⁷ 周) /MPa	密度 (g/cm ³)
	屈服 /MPa	极限 /MPa		抗拉强度 /MPa	屈服强度 (0.2%) /MPa	伸长率 (25.4 mm) (%)	杨氏模量 /GPa	泊松比				宏观 (表观)	微观 (换算的)		
											洛氏				
SS—410—90HT		620	0.0	720	④	<0.5	125	0.25	3	780	640	23HRC	55HRC	240	6.5
SS—410L—20	140		10.0	330	180	16.0	165	0.27	68	N/A	190	45HRB	N/A	125	6.9

(续)

最小值 ¹⁾			标准值 ²⁾												
材料牌号	最小强度 ¹⁾		最小伸长率 (25.4 mm) (%)	拉伸性能			弹性常数		无凹口夏比冲击功 /J	横向断裂强度 /MPa	压缩屈服强度 (0.1%) /MPa	硬度		疲劳强度 (10 ⁷ 周) /MPa	密度 (g/cm ³)
	屈服 /MPa	极限 /MPa		抗拉强度 /MPa	屈服强度 (0.2%) /MPa	伸长率 (25.4 mm) (%)	杨氏模量 /GPa	泊松比				宏观 (表观)	微观 (换算的)			洛氏
SS-430N2-28	190		3.0	410	240	5.0	170	0.27	34	N/A	230	70HRB	N/A	170	7.1
SS-430L-24	170		14.0	340	210	20.0	170	0.27	108	N/A	230	45HRB	N/A	170	7.1
SS-434N2-28	190		4.0	410	240	8.0	165	0.27	20	N/A	230	68HRB	N/A	150	7.0
SS-434L-24	170		10.0	340	210	15.0	165	0.27	88	N/A	230	50HRB	N/A	150	7.0

注：①、②、③、④、⑤及N/A和表D-2注同。

③此表依据 MPIF standard 35, 2000 年版的数据。

N2—氮合金化的，强度高，中等伸长率（于1288°C在分解氮中烧结）；

L—低碳，强度较低，伸长率最高（于1288°C在部分真空中烧结）；

LIT—马氏体级，热处理的，强度最高（于1149°C在分解氮中烧结硬化的）。

十、烧结黄铜、烧结青铜及烧结锌白铜

这里所讲的是制造结构零件（而不是制造轴承）用的烧结青铜、烧结黄铜及烧结锌白铜。其中除烧结青铜一般是由纯铜粉与锡粉的混合粉制造的外，烧结黄铜与烧结锌白铜都是由预合金粉制造的。

烧结黄铜、烧结青铜及烧结锌白铜的化学成分和物理-力学性能分别见表D-19和表D-20。

表D-19 烧结黄铜、烧结青铜和烧结锌白铜的化学成分（质量分数，%）

材料牌号	Cu	Zn	Pb	Sn	Ni
CZ-1000	88.0~91.0	余量	--	--	--
CZP-1002	88.0~91.0	余量	1.0~2.0	--	--
CZ-2000	77.0~80.0	余量	--	--	--
CZP-2002	77.0~80.0	余量	1.0~2.0	--	--
CZ-3000	68.5~71.5	余量	--	--	--
CZP-3002	68.5~71.5	余量	1.0~2.0	--	--
CZN~1818	62.5~65.5	余量	--	--	16.5~19.5
CNZP~1816	62.5~65.5	余量	1.0~2.0	--	16.5~19.5
CT-1000	87.5~90.5	--	--	9.5~10.5	--

注：其它各种元素（包括为了特殊目的而添加的其它微量元素）总量最大为2.0%（质量分数）。

表 D-20 烧结黄铜、烧结青铜及烧结铍青铜的物理-力学性能^①

最小值 ^①		标准值 ^②											
材料牌号	最小强度 ^③	拉伸性能			弹性常数		无凹口夏比冲击功	横向断裂强度	压缩屈服强度 (0.1%)	硬度		疲劳强度 (10 ⁷ /周)	密度
		抗拉强度	屈服强度 (0.2%)	伸长率 (25.4 mm)	杨氏模量	泊松比				宏观 (表观)	微观 (换算的)		
	/MPa	/MPa	/MPa	(%)	/GPa		/J	/MPa	/MPa	洛氏		/MPa	/(g/cm ³)
CZ-1000-9	60	120	70	9.0	80	0.31	20	270	80	65HRH	N/A	N/A	7.6
CZ-1000-10	70	140	80	10.5	90	0.31	33	320	80	72HRH	N/A	N/A	7.9
CZ-1000-11	80	160	80	12.0	100	0.31	42	360	80	80HRH	N/A	N/A	8.1
CZP-1002-7	50	140	60	10.0	90	0.31	33	310	70	66HRH	N/A	N/A	7.9
CZ-2000-11	80	160	90	9.0	85	0.31	37	360	80	73HRH	N/A	N/A	7.6
CZ-2000-12	80	240	120	18.0	100	0.31	61	480	100	82HRH	N/A	N/A	8.0
CZP-2002-11	80	160	90	9.0	85	0.31	37	360	80	73HRH	N/A	N/A	7.6
CZP-2002-12	80	240	120	18.0	100	0.31	61	480	100	82HRH	N/A	N/A	8.0
CZ-3000-14	100	190	110	14.0	80	0.31	31	430	120	84HRH	N/A	N/A	7.6
CZ-3000-16	110	230	130	17.0	90	0.31	52	590	130	92HRH	N/A	N/A	8.0
CZP3002-13	90	190	100	14.0	80	0.31	16	390	80	80HRH	N/A	N/A	7.6
CZP3002-14	100	220	110	16.0	90	0.31	34	490	100	88HRH	N/A	N/A	8.0
CNZ-1818-17	120	230	140	11.0	95	0.31	33	500	170	90HRH	N/A	N/A	7.9
CNZP-1816-13	90	180	100	10.0	95	0.31	30	340	120	86HRH	N/A	N/A	7.9
CT-1000-13 (复压)	90	150	110	4.0	60	0.31	5	310	140	82HRH	N/A	N/A	7.2

注：①、②、③及 N/A 和表 D-2 同。

④此表依据 MPIF stadard d35, 2000 年版的数据。

附录 E 模具制造常用工程数据与资料

一、常用模具材料技术标准

(一) 冷作模具钢钢号、化学成分及热处理

表 E-1 常用模具钢钢号和化学成分 (GB/T 1299—1997、YB/Z10—1976)

序号	钢组	钢号	化学成分 (质量分数, %)						
			C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V
GB1299—1977									
1	冷作模具钢	Cr12	2.00~2.30	≤0.40	≤0.40	11.50~13.00			
2		Cr12MoV	1.45~1.70	≤0.40	≤0.40	11.00~12.50		0.40~0.60	0.15~0.30
3		Cr6WV	1.00~1.15	≤0.40	≤0.40	5.50~7.00	1.10~1.50		0.50~0.70
4		9Mn2	0.85~0.95	≤0.40	1.70~2.00				0.10~0.25
5		9Mn2V	0.85~0.95	≤0.40	1.70~2.00				0.10~0.25
6		MnCrWV	0.95~1.05	≤0.40	1.00~1.30	0.40~0.70	0.40~0.70		0.15~0.30

(续)

序号	钢组	钢号	化学成分 (质量分数, %)						
			C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V
GB1299—1977									
7	冷作模具钢	CrWMn	0.90~1.05	≤0.40	0.80~1.10	0.90~1.20	1.20~1.60		
8		MnSi	0.95~1.05	0.65~0.95	0.60~0.90				
9		Cr4W2MoV	1.12~1.25	0.40~0.70	≤0.40	3.50~4.00	1.90~2.60	0.80~1.20	0.80~1.10
10		W6Mo5Cr4V	0.80~0.90	≤0.40	≤0.40	3.80~4.40	5.55~6.75	4.50~5.50	1.75~2.20
11		Cr2Mn2SiWMoV	0.95~1.05	0.60~0.90	1.80~2.30	2.30~2.60	0.70~1.10	0.50~0.80	0.10~0.25
YB/Z10—1976									
1	冷作模具钢	SiMnMo	1.40~1.50	0.90~1.20	1.00~1.30	≤0.10		0.30~0.50	

注: 硫、磷含量各不大于 0.030% (质量分数)。

表 E-2 常用模具钢的热处理

钢号	退火硬度 HB	淬 火			回火温度 /°C	回火脆性 温度区 /°C
		加热温度 /°C	冷却剂	硬度 HRC		
T8A	≤187	770~790	水—油	≥62	160~180	—
T10A	≤197	770~790	水—油	≥62	160~180	200~250
9Mn2V	≤229	780~820	油	≥62	160~180	190~230
CrWMn	255~207	820~850	油	≥62	160~200	250~300
9SiCr	241~197	860~870	油	≥62	180~200	210~275
GCr15	179~229	820~860	油	≥60	160~170	200~250
5CrW2Si	285~229	860~900	油	≥55	160~180	—
Cr6WV	≤235	960~980	油	≥60	180~200	250~350
Cr12	269~217	970~990	油	≥60	160~180	300~375
Cr12MoV	255~207	1000~1020	油	≥60	160~180	325~375
Cr4W2MoV	241~253	960~980 1020~1040	油	≥60	280~300 500~540	—
Cr2Mn2	≤269	840~860	油空	≥60	180~200	—
W18Cr4V	285~207	1200~1240	油	≥60	560~580	—
W6Mo5Cr4V2	285~207	1150~1180	油	≥60	560~580	—

(二) 中国、美国、德国、日本工具钢钢号对照表

表 E-3 中国、美国、德国、日本工具钢钢号对照表

美 国			德 国		日 本	中 国
AISI	SAE	UNS	DIN	W-Nr	JIS	GB, YB
M1	M1	T11301	S2-9-1 BMo9	3346	MoH1	W2Cr4Mo8V

(续)

美 国			德 国		日 本	中 国
AISI	SAE	UNS	DIN	W-Nr	JIS	GB, YB
M2	M2	T11302	S6-5-2 BMo5	3343	SKH9	W6Cr4Mo5V2
M3 Class 1	M3	T11313	S6 5-3 EMo5V3	3344	V11	W6Cr4Mo5V3
M4	M4	T11304	-	-	SKH54	-
M36		T11336	-	-	SKH56	-
T1	T1	T12001	S18 0-1 B18	3355	SKH2	W18Cr4V
T2	T2	T12002	C18	3357	BBB2	W18Cr4Mo5V2
T4	T4	T12004	S18-1-2-5 E18Co5	3255	SKH3	
T5	T5	T12005	S18-1-2-10 E18Co10	3265	SKH4A	-
T6	-	T12006	E18Co15	-	SKH4B	-
T8	T8	T12008	EC05	3251	X00	-
T15		T12015	S12-1-4-5 EV4Co	3202	KHV3	-
H11	H11	T20811	X38CrMoV51	1.2343	SKD6	4Cr5MoVSi
H12	H12	T20812	X37CrMoV51	1.2606	SKD62	37CrMoWV _{20 15}
IV B (ASM) H13	H13	T20813	X40CrMoV51	1.2344	SKD61	-
H21	H21	T20821	X30WCrV9-3	1.2567	SKD5	3Cr2W8V
A2	A2	T30102	-	-	SKD12	Cr6WV
D2	D2	T30402	X165CrMoV12	1.2601	SKD11	Cr12MoV
D3	D3	T30403	X210Cr12	1.2080	SKD1	Cr12
D7	D7	T30407	X210CrW12	1.2436	SKD2	
O1	O1	T31501	-	-	SKS3	MnCrWV 9CrWMn
O2	O2	T31502	- 90MnV8	- 1.2842	-	9Mn2 9Mn2V
O7		T31507	110WCrV5~	1.2519~	SKS2	CrW
S1	S1	T41901	35WCrV7 45WCrV7	1.2541 1.2542	SKS41	4CrW2Si 5CrW2Si
S5	S5	T41905	-	-	-	5SiMnMoV
L2	-	T61202	80CrV3	1.2235	-	8Cr
L6~	L6~	T61206~	55NiCrMoV6	1.2713	SKT4	5CrNiMo
W1	W1-0.8C	T72301	C85W2 C85W1	1.1630 1.1530	SK6	T8 T8A
W1	W1-0.9C	T72301	C90W3	1.1760	SK5	T9, T9A
W1	W1-1.0C	T72301	C100W2 C100W1	1.1640 1.1540	SK4	T10 T10A
W1	W1-1.2C	T72301	C115W2 C115W1	1.1650 1.1550	SK2	T12 T12A
W5	-	T72305	110Cr12 85Cr1	1.2025~1.2004	SKS8 -	Cr06 8Cr
W7	W7	T72307	115CrV3	1.2210	SKK	CrV

(续)

美 国			德 国		日 本	中 国
AISI	SAE	UNS	DIN	W-Nr	JIS	GB, YB
M35	M35	T11335	S6 5-2-5 EMo5Co5	3243	MZ35	—
T7	T7	T12007	ABC II	3316	SKH6	W9Cr4V2
D6~	D6~	T30406	X210CrW12	1.2435	SKD2~	Cr12W
S4~	S4~	T41904	70Si7	1.2823	—	7MnSi2
L1	L1	T61201	105Cr5 105Cr4, 90Cr3	1.2069 1.2057, 1.2056	—	Cr2 Cr
L4~	L4~	T61204	145Cr6	2063	—	CrMn
L7	L7	T61207	85Cr7	2064	—	9Cr2
F1	—	—	120W4	1.2414	SKU8	W
F3~	F3~	—	142WV13	1.2562	SKS11	W3CrV
6G (ASM)	—	—	40CrMnMo7~	1.2311~	SKT5	5CrMnMo
6F2 (ASM)	—	—	55NiCrMoV6	1.2713	SKT4	5CrNiMo
1 A (ASM)	—	—	C130W2	1.1660	SK1	T11, T13
1 A (ASM)	—	—	80CrV3	1.2235	—	8CrV
1 B (ASM)	—	—	85Cr1	1.2004	—	8Cr
W5	W5	—	110Cr2	—	SKS8	Cr05
O1	O1	T31501	105WCr6	2419	SKS31	CrWMn
W2 IC (ASM)	W2-1.0C-V	T72303	100V1	2833	SKS43	V
W2 IC (AMS)	W2-0.9C-V	T72302	—	—	SKS44	8V
F3	F3	—	X130W5	2453	SKS1	CrW5

(三) 硬质合金牌号、化学成分和物理-力学性能表

表 E-4 硬质合金牌号、化学成分和物理-力学性能 (YB849--1975)

类 别	牌 号	化学成分 (质量分数, %)					物理-力学性能		
		碳化钨	碳化钛	碳化钽 (钽)	钴	其它	抗弯强度 不低于 /MPa	密度 /(g/cm ³)	洛氏硬度 不小于 HRA
钨	YG3X	96.5	—	<0.5	3	—	1080	15~15.3	91.5
	YG6X	93.5	—	<0.5	6	—	1375	14.6~15	91
	YG6A	92	—	2	6	—	1375	14.6~15	91.5
钴	YG6	94	—	—	6	—	1420	14.6~15	89.5
	YG8N	91	—	1	8	—	1470	14.5~14.9	89.5
	YG8	92	—	—	8	—	1470	14.5~14.9	89
合	YG4C	96	—	—	4	—	1420	14.9~15.2	89.5
	YG8C	92	—	—	8	—	1715	14.5~14.9	88
	YG11C	89	—	—	11	—	2060	14~14.4	86.5
金	YG15	85	—	—	15	—	2060	13.0~14.2	87

(续)

类别	牌号	化学成分 (质量分数, %)					物理-力学性能		
		碳化钨	碳化钛	碳化钽 (钨)	钴	其它	抗弯强度 不低于 /MPa	密度 /g(g/cm ³)	洛氏硬度 不小于 HRA
钨钛钽 (钨) 钴合金	YW1	84~85	6	3~4	6		1175	12.6~13.5	91.5
	YW2	82~83	6	3~1	8		1500	12.4~13.5	90.5
钨钛钴 合金	YT5	85	5	—	10		1375	12.5~13.2	89.5
	YT14	78	11	—	8		1175	11.2~12.0	90.5
	YT30	66	30		4		885	9.3~9.7	92.5
碳化钨镍 钼合金	TN10	15	62	1	Ni12	Mo10	1080	≥6.3	92

注: X——表示由细颗粒碳化钨组成的合金; C——表示由粗颗粒碳化钨组成的合金;

A——表示加少量碳化钽的合金; N——表示加少量碳化钨的合金。

(四) 中国、原苏联、美国、瑞典、日本和国际标准硬质合金牌号对照表

表 E-5 中国、原苏联、美国、瑞典、日本和国际标准硬质合金牌号对照表

国家	商 标	P					M				K					
		P01	P10	P20	P30	P40	P50	M10	M20	M30	M40	K01	K10	M20	M30	K40
		合金韧性										合金耐磨性				
中国		YT30	YT15	YY14	YT5			YW	YW2	—	—	—	G6A	YG6	YG8	—
原苏联		T30K4	T15K6	T14K8	T5K10			—	—	—	—		BK6	BK8	—	
美国	CARBOLOY	330	78	78B	370	—	—	—	860	—	—	999	905	883	44A	55A
	KENNAMETER	K165	K5H	K45	K21	KM	—	K4H	K3H	K25	K21	K8	K68	K6	K1	
	TECO	TS2	TS3	TS5	TS7	TS8	—	—	TU5	TU7	—	TC2	TC4	TC6	TC8	TC10
	ADAMAS	CC	C	D	434	DD	474	—	548	434	—	AAA	AA	A	B	BB
	CAMET	CA704	CA606	CA610	CA51	—	—	—	—	—	—	CA8	CA7	CA4	CA3	CA12
瑞典	FIRLOMET	FT7	FT6	FT4	FT3		—	—	—	—	FA8	FA7	FA6	FA5	—	
瑞典	COROMANT	F02	S1P	S2	S4	S6	S8	R1P	H1P		R4A	H05	H10	G1	H20	
	CRU	S10	S13	S20	S30	S40	S45	SH10	SH20	S30	—	H05	H10	H20	H30	H40
	SECO	FH	S1F	S2	S4	S6	S7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	UDDEX	F1	S1	S2	S4	S6	S7	—	SU36	—	—	H05	H05	H20	H30	H40
日本	IGETALLOY	FT1	ST1	ST2	ST3	ST4	—	U1	U2	—	A40	H2	H1	G2	G3	—

(五) 洛氏硬度、布氏硬度、维氏硬度换算表 (表 E-6、表 E-7)

表 E-6 洛氏硬度、布氏硬度、维氏硬度换算表 (对于非奥氏体钢在 HRC 硬度范围)

HRC	HIV	HBS	HBW	HK	HRA	HRD	HR	HR	HR
150kgf		10mm 标准球	10mm 硬质合金球		A 刻度	D 刻度	15-N	30-N	45-N
		3000-kgf	3000-kgf	500kgf 及以上	60kgf	100kgf	15kgf	30kgf	45kgf
68	940	...	...	920	85.6	76.9	93.2	84.4	75.4
67	900	...	...	895	85.0	76.1	92.9	83.6	74.2
66	865	...	...	870	84.5	75.4	92.5	82.8	73.3
65	832	...	(739)	846	83.9	74.5	92.2	81.9	72.0

(续)

HRC	HV	HBS 10mm 标准球 3000-kgf	H3W 10mm 硬质合金球 3000-kgf	HK 500kgf 及以上	HRA A 刻度 60kgf	HRD D 刻度 100gf	HR 15-N 15kgf	HR 30 N 30kgf	HR 45-N 45kgf
64	800	...	(722)	822	83.4	73.8	91.8	81.1	71.0
63	772	...	(705)	799	82.8	73.0	91.4	80.1	69.9
62	746	...	(688)	776	82.3	72.2	91.1	79.3	68.8
61	720	...	(670)	754	81.8	71.5	90.7	78.4	67.7
60	697	...	(654)	732	81.2	70.7	90.2	77.5	66.6
59	674	...	634	710	80.7	69.9	89.8	76.6	65.5
58	653	...	615	690	80.1	69.2	89.3	75.7	64.3
57	633	...	595	670	79.6	68.5	88.9	74.8	63.2
56	613	...	577	650	79.0	67.7	88.3	73.9	62.0
55	595	...	560	630	78.5	66.9	87.9	73.0	60.9
54	577	...	543	612	78.0	66.1	87.4	72.0	59.8
53	560	...	525	594	77.4	65.4	86.9	71.2	58.6
52	544	(500)	512	576	76.8	64.6	86.4	70.2	57.4
51	528	(487)	496	558	76.3	63.8	85.9	69.4	56.1
50	513	(475)	481	542	75.9	63.1	85.5	68.5	55.0
49	498	(464)	469	526	75.2	62.1	85.0	67.6	53.8
48	484	451	455	510	74.7	61.4	84.5	66.7	52.5
47	471	442	443	495	74.1	60.8	83.9	65.8	51.4
46	458	432	432	480	73.6	60.0	83.5	64.8	50.3
45	446	421	421	466	73.1	59.2	83.0	64.0	49.0
44	434	409	409	452	72.5	58.5	82.5	63.1	47.8
43	423	400	400	438	72.0	57.7	82.0	62.2	46.7
42	412	390	390	426	71.5	56.9	81.5	61.3	45.5
41	402	381	381	414	70.9	56.2	80.9	60.4	44.3
40	392	371	371	402	70.4	55.4	80.4	59.5	43.1
39	382	362	362	391	69.9	54.6	79.9	58.6	41.9
38	372	353	353	380	69.4	53.8	79.4	57.7	40.8
37	363	344	344	370	68.9	53.1	78.8	56.8	39.6
36	354	336	336	360	68.4	52.3	78.3	55.9	38.4
35	345	327	327	351	67.9	51.5	77.7	55.0	37.2
34	336	319	319	342	67.4	50.8	77.2	54.2	36.1
33	327	311	311	334	66.8	50.0	76.6	53.3	34.9
32	318	301	301	326	66.3	49.2	76.1	52.1	33.7
31	310	294	294	318	65.8	48.4	75.6	51.3	32.5
30	302	286	286	311	65.3	47.7	75.0	50.4	31.3
29	294	279	279	304	64.8	47.0	74.5	49.5	30.1
28	286	271	271	297	64.3	46.1	73.9	48.6	28.9
27	279	264	264	290	63.8	45.2	73.3	47.7	27.8

(续)

HRC	HV	HBS 10mm 标准球 3000-kgf	HBW 10mm 硬质合金球 3000-kgf	HK 500kgf 及以上	HRA A 刻度 60kgf	HRD D 刻度 100gf	HR 15-N 15kgf	HR 30-N 30kgf	HR 45-N 45kgf
26	272	258	258	284	63.3	44.6	72.8	46.8	26.7
25	266	253	253	278	62.8	43.8	72.2	45.9	25.5
24	260	247	247	272	62.4	43.1	71.6	45.0	24.3
23	254	243	243	266	62.0	42.1	71.0	44.0	23.1
22	248	237	237	261	61.5	41.6	70.5	43.2	22.0
21	243	231	231	256	61.0	40.9	69.9	42.3	20.7
20	238	226	226	251	60.5	40.1	69.4	41.5	19.6

表 E-7 洛氏硬度、布氏硬度、维氏硬度换算表 (对于非奥氏体钢在 HRB 硬度范围)

HRB 100kgf	HV	HBS 3000kgf	HK 500kgf 及 以上	HRA 60kgf	HRF 60kgf	HR 15-T 15kgf	HR 30-T 30kgf	HR 45-T 45kgf
100	240	240	251	61.5	...	93.1	83.1	72.9
99	234	234	246	60.9	...	92.8	82.5	71.9
98	228	228	241	60.2	...	92.5	81.8	70.9
97	222	222	236	59.5	...	92.1	81.1	69.9
96	216	216	231	58.9	...	91.8	80.4	68.9
95	210	210	226	58.3	...	91.5	79.8	67.9
94	205	205	221	57.6	...	91.2	79.1	66.9
93	200	200	216	57.0	...	90.8	78.4	65.9
92	195	195	211	56.4	...	90.5	77.8	64.8
91	190	190	206	55.8	...	90.2	77.1	63.8
90	185	185	201	55.2	...	89.9	76.4	62.8
89	180	180	196	54.6	...	89.5	75.8	61.8
88	176	176	192	54.0	...	89.2	75.1	60.8
87	172	172	188	53.4	...	88.9	74.4	59.8
86	169	169	184	52.8	...	88.6	73.8	58.8
85	165	165	180	52.3	...	88.2	73.1	57.8
84	162	162	176	51.7	...	87.9	72.4	56.8
83	159	159	173	51.1	...	87.6	71.8	55.8
82	156	156	170	50.6	...	87.3	71.1	54.8
81	153	153	167	50.0	...	86.9	70.4	53.8
80	150	150	164	49.5	...	86.6	69.7	52.8
79	147	147	161	48.9	...	86.3	69.1	51.8
78	144	144	158	48.4	...	86.0	68.4	50.8
77	141	141	155	47.9	...	85.6	67.7	49.8
76	139	139	152	47.3	...	85.3	67.1	48.8
75	137	137	150	46.8	99.6	85.0	66.4	47.8
74	135	135	147	46.3	99.1	84.7	65.7	46.8
73	132	132	145	45.8	98.5	84.3	65.1	45.8

(续)

HRB 100kgf	HV	HBS 3000kgf	HK 500kgf 及 以上	HRA 60kgf	HRF 60kgf	HR 15-T 15kgf	HR 30 T 30kgf	HR 45-T 45kgf
72	130	130	143	45.3	98.0	84.0	64.4	44.8
71	127	127	141	44.8	97.4	83.7	63.7	43.8
70	125	125	139	44.3	96.8	83.4	63.1	42.8
69	123	123	137	43.8	96.2	83.0	62.4	41.8
68	121	121	135	43.3	95.6	82.7	61.7	40.8
67	119	119	133	42.8	95.1	82.4	61.0	39.8
66	117	117	131	42.3	94.5	82.1	60.4	38.7
65	116	116	129	41.8	93.9	81.8	59.7	37.7
64	114	114	127	41.4	93.4	81.4	59.0	36.7
63	112	112	125	40.9	92.8	81.1	58.4	35.7
62	110	110	124	40.4	92.2	80.8	57.7	34.7
61	108	108	122	40.0	91.7	80.5	57.0	33.7
60	107	107	120	39.5	91.1	80.1	56.4	32.7
HRB 100kgf	HV	HBS 3000kgf 100mm 球	HK 500kgf 及 以上	HRA 60kgf 金刚石压头	HRF 60kgf 1.588mm 球	HR 15-T 15kgf 1.588mm 球	HR 30-T 30kgf 1.588mm 球	HR 45-T 45kgf 1.588mm 球
59	106	106	118	39.0	90.5	79.8	55.7	31.7
58	104	104	117	38.6	90.0	79.5	55.0	30.7
57	103	103	115	38.1	89.4	79.2	54.4	29.7
56	101	101	114	37.7	88.8	78.8	53.7	28.7
55	100	100	112	37.2	88.2	78.5	53.0	27.7
54	...	...	111	36.8	87.7	78.2	52.4	26.7
53	...	...	110	36.3	87.1	77.9	51.7	25.7
52	...	...	109	35.9	86.5	77.5	51.0	24.7
51	...	...	108	35.5	86.0	77.2	50.3	23.7
50	...	...	107	35.0	85.4	76.9	49.7	22.7
49	...	...	106	34.6	84.8	76.6	49.0	21.7
48	...	...	105	34.1	84.3	76.2	48.3	20.7
47	...	...	104	33.7	83.7	75.9	47.7	19.7
46	...	...	103	33.3	83.1	75.6	47.0	18.7
45	...	...	102	32.9	82.6	75.3	46.3	17.7
44	...	...	101	32.4	82.0	74.9	45.7	16.7
43	...	...	100	32.0	81.4	74.6	45.0	15.7
42	...	...	99	31.6	80.8	74.3	44.3	14.7
41	...	...	98	31.2	80.3	74.0	43.7	13.6
40	...	...	97	30.7	79.7	73.6	43.0	12.6
39	...	...	96	30.3	79.1	73.3	42.3	11.6
38	...	...	95	29.9	78.6	73.0	41.6	10.6
37	...	...	94	29.5	78.0	72.7	41.0	9.6
36	...	...	93	29.1	77.4	72.3	40.3	8.6
35	...	...	92	28.7	76.9	72.0	39.6	7.6

(续)

HRB 100kgf	HV	HBS 3000kgf 100mm 球	HK 500gf 及 以上	HRA 60kgf 金刚石压头	HRF 60kgf 1.588mm 球	HR 15-T 15kgf 1.588mm 球	HR 30-T 30kgf 1.588mm 球	HR 45-T 45kgf 1.588mm 球
34	91	28.2	76.3	71.7	39.0	6.6
33	90	27.8	75.7	71.4	38.3	5.6
32	89	27.4	75.2	71.0	37.6	4.6
31	88	27.0	74.6	70.7	37.0	3.6
30	87	26.6	74.0	70.4	36.3	2.6

二、常用面积、体积的计算方法

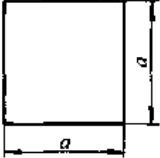
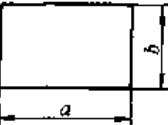
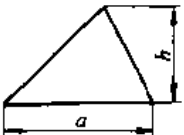
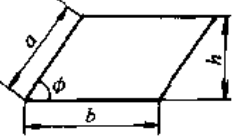
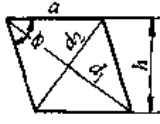
(一) 面积计算方法

压坯压制方向确定之后，需要求出受压横截面积，以便计算压制压力和粉重时用。

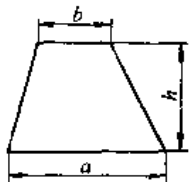
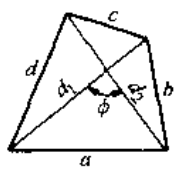
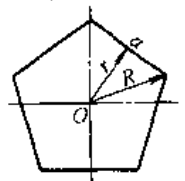
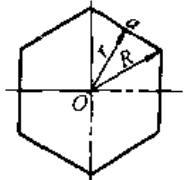
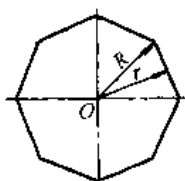
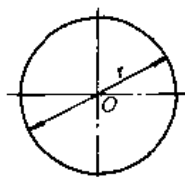
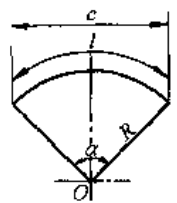
1. 规则形状面积的计算公式

规则形状面积 S 的计算公式，见表 E-8。

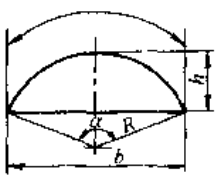
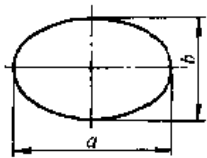
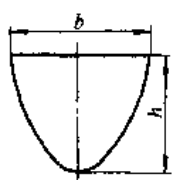
表 E-8 规则形状面积 S 的计算公式

形状名称	简图	计算公式
正方形		$S = a^2$
矩形		$S = ab$
三角形		$S = \frac{1}{2}ah$
平行四边形		$S = bh = absin\phi$
菱形		$S = ah = a^2sin\phi = \frac{1}{2}d_1d_2$

(续)

形状名称	简图	计算式
梯形		$S = \frac{1}{2}(a+b)h$
任意四边形		$S = \frac{1}{2}d_1d_2\sin\phi = \sqrt{(m-a)(m-b)(m-c)(m-d) - abcd\cos^2\alpha}$ $m = \frac{1}{2}(a+b+c+d)$ <p>α 是两个对角之和之半</p>
正五边形		$S = \frac{a^2}{4}\sqrt{25+10\sqrt{5}}$ $a = \frac{1}{2}R\sqrt{10-2\sqrt{5}}$ $r = \frac{1}{2}a\sqrt{\frac{5+2\sqrt{5}}{5}}$ $R = \frac{1}{2}a\sqrt{\frac{10-2\sqrt{5}}{5}}$
正六边形		$S = \frac{3}{2}\sqrt{3}a^2 = \frac{3}{2}\sqrt{3}R^2 = 2.598a^2 = 3.464r^2$ $r = \frac{\sqrt{3}}{2}a = 0.866a = 0.866R$
正八边形		$S = 2.828R^2 = 4.828a^2$ $r = 0.924R \quad a = 0.765R$
圆形		$S = \frac{\pi}{4}d^2$
扇形		$S = \frac{1}{2}Rl = \frac{1}{2}R^2\alpha = \frac{\pi R^2\alpha}{2 \times 180^\circ} = 0.00873R^2\alpha$

(续)

形状名称	简图	计算式
圆弓形		$S = \frac{1}{2}R^2\alpha - \frac{1}{2}b(R-h)$ $b = 2R\sin\frac{\alpha}{2}$
椭圆形		$S = \frac{\pi}{4}ab$
抛物面形		$S = \frac{2}{3}bh$

2. 面积的其他计算法

(1) 格点法 格点法就是把所需求的零件截面按比例画在图纸上, 然后被单位面积的小方格划分。若截面占有 n 个小方格, 则面积为 n 乘以小方格的面积。小方格越小, 描绘图形的比例越大, 则所求出面积的精度越高。这种方法适用于计算较困难的任何复杂形状的截面。

(2) 称重法 对于无台阶的柱体, 其横截面为沿高度均相同的复杂形状, 可应用称重法。

该法是取一个致密金属零件, 其形状和尺寸与要求压制的粉末冶金件相同, 称得致密件质量 G , 将 G 被致密件的密度 $\gamma_{\text{致}}$ 除 (如致密铁密度为 7.8g/cm^3), 求得体积 V , 再将 V 被零件高度 h 除, 即求得截面积 S 。用计算式表示

$$S = \frac{G}{\gamma_{\text{致}} h}$$

(3) 排水法 对于无台阶的柱体, 其横截面为沿高度均相同的复杂形状, 在不知致密金属比重的情况下, 可应用排水法。

此法是将零件放入量筒 (杯) 中排水直接求得体积, 或称得在空气中和在水中的重量, 求得失重, 亦就求得体积, 将体积 V 被零件高度 h 除, 即得面积 S 。用计算式表示

$$S = \frac{V}{h}$$

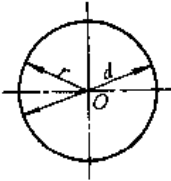
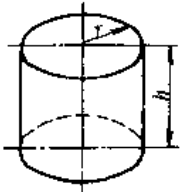
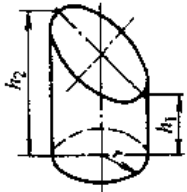
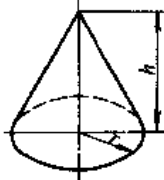
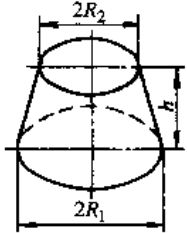
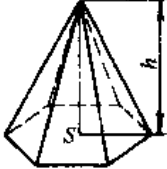
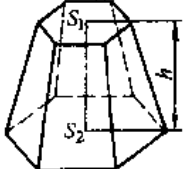
(二) 体积计算方法

压坯体积是求单件粉重所需要的数据。

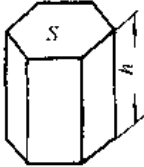
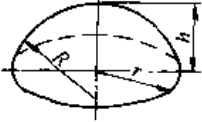
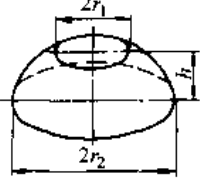
1. 规则几何体体积的计算公式

规则几何体体积 V 的计算公式, 见表 E-9。

表 E-9 规则几何体体积 V 的计算公式

形状名称	简图	计算公式
球体		$V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{1}{6}\pi d^3$
正圆柱体		$V = \pi r^2 h$
斜截圆柱体		$V = \frac{\pi r^2}{2}(h_1 + h_2)$
正圆锥体		$V = \frac{\pi}{3}r^2 h$
圆台		$V = \frac{\pi h}{3}(R_1^2 + R_2^2 + R_1 R_2)$
棱锥体		$V = \frac{1}{3}Sh$ S —底面积
棱台		$V = \frac{1}{3}h(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2})$ S_1 及 S_2 ——分别为上、下截面积

(续)

形状名称	简图	计算式
棱柱体		$V = Sh$ S——截面积
球缺		$V = \frac{1}{6}\pi h(3r^2 + h^2) = \pi h^2\left(R - \frac{h}{3}\right)$
球台		$V = \frac{1}{6}\pi h(3(r_1^2 + r_2^2) + h^2)$

2. 体积的其它计算法和面积的其它计算法相似。

三、表面粗糙度 (GB1031—1995)

(一) 表面光洁度级别与表面粗糙度参数间的转化

老的产品图样是按 GB1031—1974 标注表面光洁度级别代号 (它可用 R_s 也可用 R_z 评定), 按新国标需改注表面粗糙度的参数值, 因此, 由表面光洁度过渡到表面粗糙度, 首先要明确采用的是哪一个参数。

(1) R_s 参数 将表面光洁度的级别所对应的 R_s 值改为表面粗糙度的 R_s 值时, 一般应采用第 1 系列, 可用 I、II 两种转化方式, 见表 E-10、表 E-11。

第 I 种转化方式取新国标中相应最靠近的下一档的第 1 系列值。一般零件表面可采用第 I 种转化方式, 在不影响原表面粗糙度要求的情况下, 有利于加工。

第 II 种转化方式取新国标中相应最靠近的上一档的第 1 系列值。重要的零件表面为保证工件质量可采用第 II 种转化方式, 但提高了原表面粗糙度要求和加工成本。

表面光洁度相应级别的 R_s 最大允许值与新国标第 2 系列一致, 应尽量不用。只有当零件表面按第 I 种转化方式降低要求会严重影响零件质量而不能容许, 按第 II 种转化方式提高加工要求又不可能做到或在经济上很不合理时, 才可采用。

(2) R_z 参数 当采用 R_s 参数时, 表面光洁度 7~14 级的 R_s 上限值和新国标 R_s 第 1 系列的数值一致 (见表 E-12), 故可直接转化为新国标 R_s 的参数值, 表面光洁度 1~6 级的 R_s 上

限值是新国标 R_z 第 2 系列值, 故转化到新国标时, 也有 I、II 两种转化方式, 见表 E-12。采用原则同 R_a , 即光洁度 1~6 级的表面较为粗糙, 要求不高, 一般多采用第 I 种转化方式。

表 E-10 轮廓算术平均偏差 R_a 、微观不平度十点高度 R_z 的数值 (摘自 GB1031—1995)

$R_a/\mu\text{m}$		旧 国 标				取样长 l/mm	$R_z/\mu\text{m}$		
第 1 系列	第 2 系列	级别代号	细分级别代号	R_a 值	旧国标		第 1 系列	第 2 系列	取样长 l/mm
100	80						1600	1250	
	63						800	1000	
	40	▽1		80		320	400	630	
50					8		200	250	8
	32	▽2		40		160	100	160	
25	20							125	
	16	▽3		20		80	50	80	
12.5	10							63	
	8	▽4		10	2.5	40	25	40	2.5
6.3	5							32	
	4	▽5		5.0		20	12.5	20	
3.2	2.5							16	
	2	▽6		2.5		10		10	
1.6	1.25							8	
	1.0	▽7		1.25		6.3	6.3	5	
0.8	0.63							4	
	0.5	▽8		0.63	0.8	3.2	3.2	2.5	0.8
0.4	0.32							2.0	
	0.25	▽9	▽9a ▽9b ▽9c	0.32		1.6 1.25 1.0	1.6	1.25	
0.2	0.16							1.0	
	0.125	▽10	▽10a ▽10b ▽10c	0.16		0.8 0.63 0.5	0.8	0.63	
0.10	0.08							0.5	
	0.063	▽11	▽11a ▽11b ▽11c	0.08	0.25	0.4 0.32 0.25	0.4	0.32	0.25
0.05	0.04							0.25	
	0.032	▽12	▽12a ▽12b ▽12c	0.04		0.20 0.16 0.125	0.2	0.16	
0.025	0.02							0.125	
	0.016	▽13	▽13a ▽13b ▽13c	0.02		0.10 0.08 0.063	0.1	0.08	
0.012	0.01				0.08			0.063	0.08
	0.008	▽14	▽14a ▽14b ▽14c	0.01 ≤0.063		0.05 0.04 ≤0.032	0.05 0.025	0.04 0.032	

表 E-11 新旧国标 R_a 参数值转化表

表面光洁度		表面粗糙度数值 ^②		表面光洁度		表面粗糙度数值 ^②	
级别	数值 ^①	I	II	级别	数值 ^①	I	II
▽1	80	100	50	▽8	0.63	0.80	0.40
▽2	40	50	25	▽9	0.32	0.40	0.20
▽3	20	25	12.5	▽10	0.16	0.20	0.10
▽4	10	12.5	6.3	▽11	0.08	0.10	0.05
▽5	5	6.3	3.2	▽12	0.04	0.05	0.025
▽6	2.5	3.2	1.6	▽13	0.02	0.025	0.012
▽7	1.25	1.6	0.80	▽14	0.01	0.012	0.006

① R_a 值为表面粗糙度第 2 系列值。

② R_a 值为表面粗糙度第 1 系列值。

表 E-12 新旧国标 R_a 参数值转化表

表面光洁度		表面粗糙度数值 ^①	
级 别	数 值	I	II
▽1	为新国标第 2 系列	320	200
▽2		160	100
▽3		80	50
▽4		40	25
▽5		20	12.5
▽6		10	6.3
▽7	为新国标第 1 系列	6.3	6.3
▽8		3.2	3.2
▽9		1.60	1.60
▽10		0.80	0.80
▽11		0.40	0.40
▽12		0.20	0.20
▽13		0.10	0.10
▽14		0.05	0.05

① R_a 值为表面粗糙度第 1 系列值。

(二) 表面粗糙度的选用

1. 选用原则和方法

设计者在选用表面粗糙度参数和参数值时从零件的功能需要及工作条件出发,如:耐磨性;摩擦系数;配合性质;接触刚度;疲劳强度;密封性;耐腐蚀性;测量准确度;液体阻力;粘合性;涂漆性;镀层性;冲压时起裂纹;导热性;导电性;清洁性;美观性;反光性;辐射性;表面电流等。同时还需考虑工艺的可能性、经济性以及测量设备等方面的条件。总的选用原则是:在满足零件使用功能和寿命的前提下,尽可能选用要求较低的表面粗糙度。

选用表面粗糙度的方法有:计算法、试验法、类比法。一般情况下采用类比法。

2. 粗糙度参数的选用

1) 粗糙度高度参数必须选用,间距参数 (s_m 、 s) 和综合参数 (t_p) 则视零件功能需要作为附加参数选用。

2) 在三个高度参数中推荐优先选用 R_a , 由于 R_a 即反映微观几何形状特征,又反映凸峰高度,且便于测量仪器进行数值处理或用粗糙度比较样块目测比较。GB/T1031-1995 规定,在常用的参数范围内 (R_a 为 $0.025 \sim 0.63 \mu\text{m}$, R_z 为 $0.1 \sim 25 \mu\text{m}$) 推荐优先选用 R_a 。

3) 因 R_a 只反映被测表面微观轮廓凸峰高度,不反映微观几何特征,故在只需评定表面微观轮廓的高度而不需评定其微观几何特征,或直接测量 R_a 困难时,才选用 R_z 。

4) 被测表面很小或不允许表面出现较深的加工痕迹时,应选用 R_y 。或虽用 R_a 、 R_z 但又

需控制被测表面轮廓最大高度(如控制应力集中、疲劳强度)时,则可同时选用 R_a 、 R_v 或 R_z 、 R_y 两个高度参数,但 R_a 和 R_v 不能同时选用。

5) 表面功能需附加要求控制加工痕迹的疏密度时则选用 s_m 或 s 。间距参数主要影响表面的涂漆质量、工作时的振动以及耐腐蚀等,常选用 s_m 。

6) 要求耐磨性能好的零件表面需选用综合参数 t_p 。由于 t_p 能反映出实际表面接触面积的大小,主要影响摩擦表面的耐磨性能、接触刚度以及结合面的密封性等。对有以上性能要求的重要表面需附加 t_p 最小允许值。

对要求控制加工纹理方向的零件表面,还需标注所需的加工纹理方向。

3. 粗糙度参数值的选用

(1) 参数值选用原则

1) 在满足零件功能要求的条件下,选用要求低的表面粗糙度。

2) 同一零件,工作表面比非工作面的粗糙度要求高;尺寸差小的部位比尺寸公差大的部位要求高。

3) 摩擦表面比非摩擦表面要求高;滚动摩擦表面比滑动摩擦表面要求高;相对运动速度高的比低的要求高;单位压力大的摩擦表面比单位压力小的要求高。

4) 承受交变载荷或冲击载荷的表面比同样情况下只受一般载荷的要求高;在受交变载荷零件的容易引起应力集中的沟槽、圆角处比其一般表面的粗糙度要求高。

5) 间隙配合表面比过盈配合表面的粗糙度要求高;配合性质的一致性要求高的及间隙较小的配合或过盈配合中要求联接强度高的配合的表面粗糙度要求高。

6) 配合性质相同或同一公差等级,尺寸小的比尺寸大的表面粗糙度要求高;相互配合的轴比孔的表面粗糙度要求高。

7) 对特殊用途的零件,如食品、卫生设备等及机械设备上的手柄和门把手,要求防腐蚀或外观美以及防止伤手等,其表面粗糙度一般要求均高,且与其尺寸公差的大小无关。

(2) 表面粗糙度和尺寸公差、形状公差的关系

1) 表面粗糙度 R_z 与尺寸公差、形状公差的关系(供参考)

对于精密机械、仪器仪表和计量器具的零件,取 $R_z \approx 0.1T$ (尺寸公差)

对于普通精度和工具之类的零件,取 $R_z \approx 0.25T$;

对于一般通用机械,取 $R_z \approx 0.5T$;

对于直线度和平面度: 1~4 级, $R_z = 0.50t$

5~9 级, $R_z = 0.25t$

对于圆柱度: 1~3 级, $R_z = 0.25t$

4~11 级, $R_z = 0.50t$

式中 t —— 形状公差值 μm 。

2) 表面粗糙度 R_z 与尺寸公差、形状公差的关系(表 E-13)(供参考)

表 E-13 R_z 与 T 或 t 的关系

精 度	形状公差 t 和尺寸公差 T 的关系	表面粗糙度 R_z 和 T 的关系
普通精度	$t \geq 0.6T$	$R_z \leq 0.05T$
提高精度	$t \geq 0.4T$	$R_z \leq 0.025T$
高精度	$t \geq 0.25T$	$R_z \leq 0.0125T$

(三) ISO 及部分国家的表面粗糙度标准 (E-14)

表 E-14 ISO 及部分国家的表面粗糙度标准

标准 代号	国际标准协会 ISO/R468-1966				美国 ANSI B46.1-1978		英国 BS1134-1972		
	R_a		R_z		$R_a/\mu\text{m}$	符号	R_a		符号
	μm	10^{-4}in	μm	10^{-5}in			μm	10^{-6}in	
粗 糙 度 数 值 和 符 号	0.008	0.32	0.04	1.60	0.0125	✓	50	2000	N12
	0.010	0.40	0.05	2.0	0.025				
	0.012	0.50	0.063	2.5	0.050				
	0.016	0.63	0.08	3.2	0.075				
	0.020	0.80	0.10	4.0	0.10				
	0.025	1.00	0.125	5.0	0.125				
	0.032	1.25	0.16	6.3	0.15				
	0.040	1.60	0.20	8.0	0.20				
	0.050	2.00	0.25	10.0	0.25				
	0.063	2.5	0.32	12.5	0.32				
	0.080	3.2	0.40	16.0	0.40				
	0.100	4.0	0.50	20.0	0.50				
	0.125	5.0	0.63	25.0	0.63				
	0.160	6.3	0.80	32	0.80				
	0.200	8.0	1	40	1.00				
	0.250	10.0	1.25	50	1.25				
	0.320	12.5	1.5	63	1.60				
	0.400	16.0	2	80	2.00				
	0.500	20.0	2.5	100	2.5				
	0.630	25.0	3.2	125	3.2				
	0.800	32.0	4	160	4.0				
	1	40.0	5	200	5.0				
	1.25	50.0	6.3	250	6.3				
	1.60	63	8	320	8.0				
	2	80	10	400	10				
	2.50	100	12.50	500	12.5				
	3.20	125	16	630	15				
	4	160	20	800	20				
	5	200	25	1000	25				
	6.30	250	32	1250					
8.00	320	40	1600						
10	400	50	2000						
12.5	500	63	2500						
16	630	80	3200						
20	800	100	4000						
25	1000	125	5000						
32	1250	160	6300						
40	1600	200	8000						
50	2000	250	10000						
63	2500	320	12500						
80	3200	400	16000						
100	4000								
					0.0125	0.5	—		

(续)

标准 代号	日 本 JISB0601—1976				前苏联 ГОСТ2789—1973				法 国 NFE05—1978					
	$R_{max}/$ μm	$R_z/$ μm	$R_a/$ μm	符号	$R_a/$ μm	$R_z/$ μm	符号	t_p (%)	$R_a/$ μm	符号				
粗 糙 度 数 值 和 符 号	(0.05S)	(0.02Z)	(0.0125a)	▽▽▽▽	—	0.032	a	90	0.0125	N0				
	0.1S	0.1Z	0.025a			0.040	14		b	0.025	N1			
						0.050	B							
	0.2S	0.2Z	0.05a			▽▽▽▽	—	0.063	a	80	0.05	N2		
								0.080	b					
								0.100	B					
	0.4S	0.4Z	0.10a			▽▽▽▽	—	0.025	a	70	0.1	N3		
								0.032	b					
								0.040	B	60			0.2	N4
								0.050	a					
	0.8S	0.8Z	0.20a			▽▽▽▽	—	0.063	b	50	0.4	N5		
								0.080	B					
								0.100	a					
	1.6S	1.6Z	0.40a			▽▽▽▽	—	0.125	b	40	0.8	N6		
				0.16	B									
	3.2S	3.2Z	0.80a	▽▽▽▽	—	0.20	a	30	1.6	N7				
						0.25	b							
						0.32	B							
						0.40	a							
	6.3S	6.3Z	1.6a	▽▽▽▽	—	0.50	b	25	3.2	N8				
						0.63	B							
						0.80	a							
	12.5S	12.5Z	3.2a	▽▽	—	1.00	b	20	6.3	N9				
	(18S)	(18Z)	6.3a			1.25	B							
	25S	25Z		12.5a	▽	—	1.60	a	15	12.5	N10			
	(35S)	(35Z)												
	50S	50Z												
	(70S)	(70Z)	25a	▽	—	2.00	b	10	25	N11				
100S	100Z													
(140S)	(140Z)	(50a)	~	—	2.50	a	5	50	N12					
200S	200Z													
(280S)	(280Z)	(100a)	~	—	40	4	15	50	N11					
400S	400Z													
(560S)	(560Z)													

(续)

标准 代号	德 国 DIN4763—1972					奥 地 利 M1115 1975				
	R_a / μm	符号	$R_z, R_v,$ R_{max} / μm	R_v / μm	r_t (%)	R_a / μm	符号	$R_z,$ R_v / μm	R_p / μm	t_p (%)
粗 糙 度 数 值 和 符 号	0.006	—	0.04	0.025	95	0.06	N01	0.04	0.025	95
			0.06			0.012	N0	0.063		
	0.012	—	0.10	0.05	90	0.025	N1	0.10	0.05	90
			0.16			0.05	N2	0.16		
	0.025	N1	0.25	0.1	80	0.1	N3	0.25	0.1	80
			0.10			0.1	N3	0.40		
	0.05	N2	0.63	0.2	70	0.2	N4	0.63	0.2	70
			1.00			0.2	N4	1.00		
	0.10	N3	1.6	0.4	60	0.4	N5	1.60	0.4	60
			2.5			0.4	N5	2.5		
	0.20	N4	4.0	0.8	50	0.8	N6	4.0	0.8	50
			6.3			0.8	N6	6.3		
	0.4	N5	10	1.6	40	1.6	N7	10	1.6	40
			16			1.6	N7	16		
	0.8	N6	25	3.2	30	3.2	N8	25	3.2	30
			40			3.2	N8	40		
	1.6	N7	63	6.3	25	6.3	N9	63	6.3	25
			100			6.3	N9	100		
	3.2	N8	160	12.5	20	12.5	N10	160	12.5	20
			250			12.5	N10	250		
6.3	N9	400	25	15	25	N11	400	25	15	
		630			25	N11	630			
12.5	N10	1000	50	10	50	N12	1000	50	10	
		1600			50	N12	1600			
25	N11	2500	100	10	100	N13	2500	100	10	
		2500			100	N13	2500			

四、标准公差 (E-15、E-16、E-17)

表 E-15 标准公差数值 (GB/T 1800.3—1998)

基本尺寸 /mm		标准公差等级																	
		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	μm										mm							
—	3	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.1	0.14	0.25	0.4	0.6	1	1.4
3	6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.3	0.48	0.75	1.2	1.8
6	10	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.9	1.5	2.2
10	18	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.7	1.1	1.8	2.7
18	30	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.3	2.1	3.3
30	50	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1	1.6	2.5	3.9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.3	0.46	0.74	1.2	1.9	3	4.6
80	120	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.4	2.2	3.5	5.4
120	180	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.4	0.63	1	1.6	2.5	4	6.3
180	250	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.9	4.6	7.2
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.3	2.1	3.2	5.2	8.1
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.4	2.3	3.6	5.7	8.9
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.5	4	6.3	9.7
500	630	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0.7	1.1	1.75	2.8	4.4	7	11
630	800	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0.8	1.25	2	3.2	5	8	12.5
800	1000	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0.9	1.4	2.3	3.6	5.6	9	14
1000	1250	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1.05	1.65	2.6	4.2	6.6	10.5	16.5
1250	1600	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1.25	1.95	3.1	5	7.8	12.5	19.5
1600	2000	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1.5	2.3	3.7	6	9.2	15	23
2000	2500	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1.75	2.8	4.4	7	11	17.5	28
2500	3150	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2.1	3.3	5.4	8.6	13.5	21	33

注：1. 基本尺寸大于 500mm 的 IT1 至 IT5 的标准公差数值为试行的。

2. 基本尺寸小于或等于 1mm 时，无 IT14 至 IT18。

表 E-16 轴的基本

基本偏差		上 偏 差						
		a	b	c	cd	d	e	ef
基本尺寸/mm		公 差 等						
大于	至	所 有 等						
—	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10
3	6	-270	-140	-70	-16	-30	-20	-14
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	18
10	14	-290	-150	-95	—	-50	-32	—
14	18							
18	24	-300	-160	-110	—	-65	-40	—
24	30							
30	40	-310	-170	120	—	-80	-50	—
40	50	-320	-180	-130				
50	55	-340	-190	-140	—	-100	-60	—
65	80	-360	-200	-150				
80	100	-380	-220	-170	—	-120	-72	—
100	120	-410	-240	-180				
120	140	-460	-260	-200	—	-145	-85	—
140	160	-520	-280	-210				
160	180	-580	-310	-230	—	-170	-100	—
180	200	-660	-340	-240				
200	225	-740	-380	-260	—	-190	-110	—
225	250	-820	-420	-280				
250	280	-920	-480	-300	—	-210	-125	—
280	315	-1050	-540	-330				
315	355	-1200	-600	-360	—	-230	-135	—
355	400	-1350	-680	-400				
400	450	-1500	-760	-440	—	-260	-145	—
450	500	-1650	-840	-480				
公差等级		6 至						
500	560	—	—	—	—	-260	-145	—
560	630							
630	710	—	—	—	—	-290	-160	—
710	800							
800	900	—	—	—	—	-320	-170	—
900	1000							
1000	1120	—	—	—	—	-350	-195	—
1120	1250							
1250	1400	—	—	—	—	-390	-220	—
1400	1600							
1600	1800	—	—	—	—	-430	-240	—
1800	2000							
2000	2240	—	—	—	—	-480	-260	—
2240	2500							
2500	2800	—	—	—	—	-520	-290	—
2800	3150							

注：1. 基本尺寸小于 1mm 时，各级的 a 和 b 均不采用。

2. js 的数值，对 IT7 至 IT11，若 IT 的数值 (μm) 为奇数，则取 $js = \pm \frac{IT-1}{2}$ 。

偏差数值 (μm) (摘自 GB/T 1800—1998)

(es)					下偏差 (ei)		
f	fg	g	h	js	j		
级							
级					5、6	7	8
-6	-4	-2	0	偏差 = $\pm \frac{IT}{2}$	-2	-4	-6
-10	-6	-4	0		-2	-4	
-13	-8	-5	0		-2	-5	
-16	-	-6	0		-3	-6	
-20	-	-7	0		-4	-8	-
-25	-	-9	0		-5	-10	
-30	-	-10	0		-7	-12	-
-36	-	-12	0		-9	-15	
-43	-	-14	0		-11	-18	-
-50	-	-15	0		-13	-21	-
-56	-	-17	0		-16	-26	-
-62	-	-18	0		-18	-28	-
-68	-	-20	0	-20	-32		
18							
-76	-	-22	0	偏差 = $\pm \frac{IT}{2}$			
-80	-	-24	0				
-86	-	-26	0				
-98	-	-28	0				
-110	-	-30	0				
-120	-	-32	0				
-130	-	-34	0				
-145	-	-38	0				

基本偏差		下 偏 差						
		k	m	n	p	r	s	
基本尺寸/mm		公 差 等 级						
大于	至	4 至 7	≤ 3 > 7	所 有 等 级				
—	3	0	0	+2	+4	+6	+10	+14
3	6	+1	0	+4	+8	+12	+15	+19
6	10	+1	0	+6	+10	+15	+19	+23
10	14	+1	0	+7	+12	+18	+23	+28
14	18							
18	24	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35
24	30							
30	40	+2	0	+9	+17	+26	+34	+43
40	50							
50	65	+2	0	+11	+20	+32	+41	+53
65	80							
80	100	+3	0	+13	+23	+37	+51	+71
100	120							
120	140	+3	0	+15	+27	+43	+63	+92
140	160							
160	180							
180	200	+4	0	+17	+31	+50	+77	+122
200	225							
225	250							
250	280	+4	0	+20	+34	+56	+94	+158
280	315							
315	355	+4	0	+21	+37	+62	+108	+190
355	400							
400	450	+5	0	+23	+40	+68	+126	+232
450	500							
公差等级		6 至						
500	560	0		+26	+44	+78	+150	+280
560	630							
630	710	0		+30	+50	+88	+175	+340
710	800							
800	900	0		+34	+56	+100	+210	+430
900	1000							
1000	1120	0		+40	+66	+120	+250	+520
1120	1250							
1250	1400	0		+48	+78	+140	+300	+640
1400	1600							
1600	1800	0		+58	+92	+170	+370	+820
1800	2000							
2000	2240	0		+68	+110	+195	+440	+1000
2240	2500							
2500	2800	0		+76	+135	+240	+550	+1250
2800	3150							
							+580	+1400

(续)

(ei)								
t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
级								
级								
—	+18	—	+20	—	+26	+32	+40	+60
—	+23	—	+28	—	+35	+42	+50	+80
—	+28	—	+34	—	+42	+52	+67	+97
	+33	—	+40	—	+50	+64	+90	+130
		+39	+45	—	+60	+77	+108	+150
—	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188
+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218
+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325
+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690
+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000
+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150
+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250
+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350
+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550
+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700
+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900
+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400
+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600
18								
+400	+600							
+450	+660							
+500	+740							
+560	+840							
+620	+940							
+680	+1050							
+780	+1150							
+840	+1300							
+960	+1450							
+1050	+1600							
+1200	+1850							
+1350	+2000							
+1500	+2300							
+1650	+2500							
+1900	+2900							
+2100	+3200							

表 E-17 孔的基本

基本偏差		下 偏 差									
		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G
基本尺寸/mm		公 差 等									
大于	至	所 有 等									
-	3	+270	+140	-60	-34	+20	+14	+10	+6	+4	+2
3	6	+270	+140	-70	-46	+30	+20	+14	+10	+6	+4
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5
10	14	+290	+150	+95	-	+50	+32	-	+16	-	+6
14	18										
18	24	+300	+160	+110	-	+65	+40	-	+20	-	+7
24	30										
30	40	+310	+170	+120	-	+80	+50	-	+25	-	+9
40	50	+320	+180	+130	-						
50	65	+340	+190	+140	-	+100	+60	-	+30	-	+10
65	80	+360	+200	+150	-						
80	100	+380	+220	+170	-	+120	+72	-	+36	-	+12
100	120	+410	+240	+180	-						
120	140	+460	+260	+200	-	+145	+85	-	+43	-	+14
140	160	+520	+280	+210	-						
160	180	+580	+310	+230	-						
180	200	+660	+340	+240	-	+170	+100	-	+50	-	+15
200	225	+740	+380	+260	-						
225	250	+820	+420	+280	-						
250	280	+920	+480	+300	-	+190	+110	-	+56	-	+17
280	315	+1050	+540	+330	-						
315	355	+1200	+600	+360	-	+210	+125	-	+62	-	+18
355	400	+1350	+680	+400	-						
400	450	+1500	+760	+440	-	+230	+135	-	+68	-	+20
450	500	+1650	+840	+480	-						
公差等级		6 至									
500	560					+260	+145		+76		+22
560	630										
630	710					+290	+160		+80		+24
710	800										
800	900					+320	+170		+86		+26
900	1000										
1000	1120					+350	+195		+98		+28
1120	1250										
1250	1400					+390	+220		+110		+30
1400	1600										
1600	1800					+430	+240		+120		+32
1800	2000										
2000	2240					+480	+260		+130		+34
2240	2500										
2500	2800					+520	+290		+145		+38
2800	3150										

注：1. 基本尺寸小于1mm时，各级的A和B及大于8级的N均不采用。

2. J_s 的数值：对IT7至IT11，若IT的数值（ μm ）为奇数，则取 $J_s = \pm \frac{IT-1}{2}$ 。

3. 特殊情况，当基本尺寸大于250至315mm时，M6的ES等于-9（不等于-11）。

4. 对小于或等于IT8的K、M、N和小于或等于IT7的P至ZC，所需 Δ 值从表内右侧栏选取。例如：大于6至

偏差数值 (μm) (摘自 GB/T 1800—1998)

		上 偏 差 (ES)								
H	Js	J		K		M		N		
级		6	7	8	≤ 8	> 8	≤ 8	> 8	≤ 8	> 8
0	偏差 = $\pm \frac{IT}{2}$	+2	+4	-6	0	0	-2	-2	-4	-4
0		+5	+6	-10	$-1+\Delta$	-	$-4+\Delta$	-4	$-8+\Delta$	0
0		+5	+8	-12	$-1+\Delta$	-	$-6+\Delta$	-6	$-10+\Delta$	0
0		+6	+10	+15	$-1+\Delta$	-	$-7+\Delta$	-7	$-12+\Delta$	0
0		+8	+12	+20	$-2+\Delta$	-	$-8+\Delta$	-8	$-15+\Delta$	0
0		+10	+14	+24	$-2+\Delta$	-	$-9+\Delta$	-9	$-17+\Delta$	0
0		+13	+18	+28	$-2+\Delta$	-	$-11+\Delta$	-11	$-20+\Delta$	0
0		+16	+22	+34	$-3+\Delta$	-	$-13+\Delta$	-13	$-23+\Delta$	0
0		+18	+26	+41	$-3+\Delta$	-	$-15+\Delta$	-15	$-27+\Delta$	0
0		+22	+30	+47	$-4+\Delta$	-	$-17+\Delta$	-17	$-31+\Delta$	0
0		+25	+36	+55	$-4+\Delta$	-	$-20+\Delta$	-20	$-34+\Delta$	0
0		+29	+39	+60	$-4+\Delta$	-	$-21+\Delta$	-21	$-37+\Delta$	0
0		+33	+43	+66	$-5+\Delta$	-	$-23+\Delta$	-23	$-40+\Delta$	0
18										
0	偏差 = $\pm \frac{IT}{2}$				0		-26		-44	
0					0		-30		-50	
0					0		-34		-56	
0					0		-40		-66	
0					0		-48		-78	
0					0		-58		-92	
0					0		-68		-110	
0					0		-76		-135	

10mm 的 P6, $\Delta=3$, 所以 $ES=-15+3=-12\mu\text{m}$ 。

基本偏差		上 偏 差							
		P 至 ZC	P	R	S	T	U	V	X
基本尺寸/mm		公 差 等							
大于	至	≤7	≥7						
—	3	在 ≥7 级的相应数值上增加一个 Δ 值	-6	-10	-14	—	-18	—	-20
3	6		-12	-15	-19	—	-23	—	-28
6	10		-15	-19	-23	—	-28	—	-34
10	14		-18	-23	-28	—	-33	—	-40
14	18		-18	-23	-28	—	-33	-39	-45
18	24		-22	-28	-35	—	-41	-47	-54
24	30		-22	-28	-35	-41	-48	-55	-64
30	40		-26	-34	-43	-48	-60	-68	-80
40	50		-26	-34	-43	-54	-70	-81	-97
50	65		-32	-41	-53	-66	-87	-102	-122
65	80		-32	-43	-59	-75	-102	-120	-146
80	100		-37	-51	-71	-91	-124	-146	-178
100	120		-37	-54	-79	-104	-144	-172	-210
120	140		-43	-63	-92	-122	-170	-202	-248
140	160		-43	-65	-100	-134	-190	-228	-280
160	180		-43	-68	-108	-146	-210	-252	-310
180	200		-50	-77	-122	-166	-236	-284	-350
200	225		-50	-80	-130	-180	-258	-310	-385
225	250	-50	-84	-140	-196	-284	-340	-425	
250	280	-56	-94	-158	-218	-315	-385	-475	
280	315	-56	-98	-170	-240	-350	-425	-525	
315	355	-62	-108	-190	-268	-390	-475	-590	
355	400	-62	-114	-208	-294	-435	-530	-660	
400	450	-68	-126	-232	-330	-490	-595	-740	
450	500	-68	-132	-252	-360	-540	-660	-820	
公差等级		6 至							
500	560		-78	-150	-280	-400	-600		
560	630		-78	-155	-310	-450	-660		
630	710		-88	-175	-340	-500	-740		
710	800		-88	-185	-380	-560	-840		
800	900		-100	-210	-430	-620	-940		
900	1000		-100	-220	-470	-680	-1050		
1000	1120		-120	-250	-520	-780	-1150		
1120	1250		-120	-260	-580	-840	-1300		
1250	1400		-140	-300	-640	-960	-1450		
1400	1600		-140	-330	-720	-1050	-1600		
1600	1800		-170	-370	-820	-1200	-1850		
1800	2000		-170	-400	-920	-1350	-2000		
2000	2240	-195	-440	-1000	-1500	-2300			
2240	2500	-195	-460	-1100	-1650	-2500			
2500	2800	-240	-550	-1250	-1900	-2900			
2800	3150	-240	-580	-1400	-2100	-3200			

(续)

(ES)					Δ					
Y	Z	ZA	ZB	ZC						
级					3	4	5	6	7	8
-	-26	-32	-40	-60	0					
--	-35	-42	-50	-80	1	1.5	1	3	4	6
-	-42	-52	-67	-97	1	1.5	2	3	6	7
-	-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9
--	-60	-77	-108	-150						
-63	-73	-98	-136	-188	1.5	2	3	4	8	12
-75	-88	-118	-160	-218						
-94	-112	-148	-200	-274	1.5	3	4	5	9	14
-114	-136	-180	-242	-325						
-144	-172	-226	-300	-405	2	3	5	6	11	16
-174	-210	-274	-360	-408						
-214	-258	-335	-445	-585	2	4	5	7	13	19
-254	-310	-400	-525	-690						
-300	-365	-470	-620	-800	3	4	6	7	15	23
-340	-415	-535	-700	-900						
-380	-465	-600	-780	-1000						
-425	-520	-670	-880	-1150	3	4	6	9	17	26
-470	-575	-740	-960	-1250						
-520	-640	-820	-1050	-1350						
-580	-710	-920	-1200	-1550	4	4	7	9	20	29
-650	-790	-1000	-1300	-1700						
-730	-900	-1150	-1500	-1900	4	5	7	11	21	32
-820	-1000	-1300	-1650	-2100						
-920	-1100	-1450	-1850	-2400	5	5	7	13	23	34
-1000	-1250	-1600	-2100	-2600						
18										



参 考 文 献

- 1 日本粉末冶金工業会. 燒結機械部品—その設計と製造. 日本: 技術書院, 1987
- 2 日本粉末冶金工業会. 燒結機械部品の設計要覽. 日本: 技術書院, 1967
- 3 MPIF; Powder Metallurgy Design Manual, 1989
- 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, 第九版, 第七卷, 粉末冶金. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 6 《机械工程手册》第2版编辑委员会. 机械工程手册(第二版), 第三卷, 北京: 机械工业出版社, 1996
- 7 韩凤麟主编. 粉末冶金零件实用手册. 北京: 兵器工业出版社, 1996
- 8 王至尧主编. 电火花切割工艺. 北京: 原子能工业出版社, 1987
- 9 《机械工程材料性能数据手册》编委会编. 机械工程材料性能数据手册. 北京: 机械工业出版社, 1995
- 10 姜祖康等编. 模具钢. 北京: 冶金工业出版社, 1988
- 11 彭建生等编. 冷冲模制造与修理. 北京: 机械工业出版社, 1985
- 12 刘恩福等主编. 工程CAD基础及应用. 北京: 机械工业出版社, 1999
- 13 宗志坚主编. CAD/CAM技术. 北京: 机械工业出版社, 2000
- 14 王兴天主编. 注塑成形技术. 北京: 化学工业出版社, 1989
- 15 叶屋臣一主编. 注射模具设计及应用. 许鹤峰 叶淑静译. 北京: 轻工业出版社, 1989
- 16 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
- 17 Randall M. German Powder Injection Molding Princeton, New Jersey Metal Powder Industries Federation, 1990
- 18 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
- 19 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
- 20 《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
- 21 奚永生编. 精密注塑模具设计. 北京: 中国轻工业出版社, 1997
- 22 陆宁编. 实用注塑模具设计. 北京: 中国轻工业出版社, 1997
- 23 韩凤麟编. 粉末冶金零件设计与应用必备. 北京: 中国机械通用零部件工业协会粉末冶金专业协会, 2001

