

TG 39.62
L 47

板金冲压工艺手册

《板金冲压工艺手册》编委会 编著

671258



国防工业出版社

218861

内 容 提 要

本手册是为制定板金冲压工艺方案、规程、模具设计、机床选择和制品质量及检验等方面提供资料数据和指导原则而编写的,书中包括民用工业和军用工业的大板金件到小的冲压件。本书可供板金冲压部门的设计与工艺人员和大专与中专院校有关专业师生使用。

板金冲压工艺手册

《板金冲压工艺手册》编委会 编著

责任编辑 蒋 怡

国防工业出版社出版发行

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店经营

北京昌平长城印刷厂印

787×1092 1/16 印张 76 $\frac{1}{2}$ 插页2 1778千字

1989年9月第一版 1989年9月第一次印刷 印数: 0,001—5,000册

ISBN 7-118-00103-1/TH·7 定价: 48.80 元

科技新书目 199-036

编委会名单

主编 梁炳文

编委 (以笔划为序)

于恺甲	池大杰	刘蔚	陈孝福
陈孝戴	李国祥	李沛瑶	李育本
周贤宾	梁炳文	蒋怡	魏菊元

前 言

本手册共分四篇。第一篇钣金成形基本知识，提供钣金冲压方面需要的基本和通用资料。第二篇冲压工艺，指一般用通用设备和专用模具等完成的、多在冲压车间或工段进行的各种工艺。第三篇钣金工艺，指一般用专用设备在钣金车间或工段完成的各种工艺。第四篇是产品检验与协调，提供了有关质量要求、标准、方法等方面的规定和数据。

本手册内容和数据，尽可能注明资料来源，为读者进行深入了解提供线索。

本手册篇章节的编号，按最新国家标准规定，第一个数字表示篇，第二个数字表示章，以下不论数位多少，均称节。

本手册内容尽量采用久经考验、行之有效的资料，也采用经过分析比较或验证可供生产使用和参考的新资料，并尽量注明各种资料的有效范围和注意事项。

过去钣金冲压工艺手册，常将民用和军用截然分开，各搞各的。由于今后民用工业承包军用产品，军用工业兼生产民用产品的趋向，必将日益显示其优越性。为适应这一变化，凡属于钣金冲压工艺范畴的各个方面的内容，不论民用军用，本手册均收入，因此本手册适用范围极广。

本手册编写大纲经过讨论审定后，由各章执笔人负责编写，经过集体讨论和反复审核后定稿。1.1，1.2和1.3章由陈孝戴执笔；1.4章由徐冰清执笔；1.5章由常荣福执笔；1.6章由高新生执笔；1.7章由魏淑乔执笔；1.8章由李福群执笔；2.1和4.4章由周维高执笔；2.2，2.3、2.4章和附录由梁炳文执笔；2.5和2.7章由常和生执笔；2.6章由刘云厚执笔；2.8和3.10章由平申执笔；2.9和2.10章由周贤宾执笔；2.11章由韩乐礼执笔；2.12和3.12章由池大杰执笔；3.1章由陈适先执笔，3.2章由陈毓勋执笔；3.3章由李沛瑶和陈登聚执笔；3.4章由李沛瑶执笔；3.5章由李育本和孙启龙执笔；3.6章由黄开祥执笔；3.7章由理有亲执笔；3.8章由张顺富执笔；3.9章由李国祥执笔；3.11章由胡肆圣执笔；4.1章由张一执笔；4.2章由许杰芳执笔；4.3和4.5章由陈孝福执笔；4.6章由崔德运执笔；4.7章由赵洪桥执笔；4.8章由蒋骏执笔。

由于本手册内容广泛，编写时间仓促，欠缺失当之处，在所难免。希望读者在使用中对发现的问题，提出宝贵意见和指正，更希望提出有价值的资料与科研和生产硕果，以利再版修订。

本手册中的绝大部分单位已按法定计量单位标注，对于一些原国标或部标中采用米制单位的，为避免换算过程出现的误差，仍保留原单位制，请读者根据需要，自行换算成法定计量单位的数值。

最后，本手册在编写过程中，受到有关单位和许多同志的关怀和支持，尤其是航空航天工业部屠德章同志和张富山同志，对本手册提过不少宝贵意见和帮助，康宝林同志积极协助手册的编写工作；此外，张玉兰和岳永兰两位同志，为本手册精心描图，谨在此表示感谢。

符号说明

一、几何参数

A —(剖)面积	r_i —凹模圆角半径
B 或 b —宽度	r_c —凸模圆角半径
A, B —弯曲件两边长度, 或用小写 a, b	R_i —内(圆角)半径
C_z —相对单边间隙(z/t)	R_o —外(圆角)半径
d —(压延件)直径	S —面积(当 A 和 F 另有用场时)
d_c —凸模工作部分直径	t —厚度
d_i —凹模口直径	W 或 w —宽度(当 B 另有用场时)
D 或 D_0 —圆毛料直径	z 或 Z —单边间隙
F —面积(当 A 另有用场时)	$\alpha, \beta, \phi, \gamma, \theta$ —角度, 当一个图上有几个角度时, 用它们表示不同角度
H 或 h —高度, 深度	$\Delta\alpha$ —回弹角或角度变化
I —剖面惯性矩	ρ —圆弧半径(一般指弯曲件中性层)
L 或 l —长度	
r —(圆角, 拐角)半径	

二、力, 应变, 功

A —功	e —假象应变
F —力(一般指内力)	ϵ 或 ε —实际应变
M —弯矩	e_s —细颈点假象应变
N —功率	e_s 或 e_{s_0} —细颈点实际应变
N_m —马达功率	$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ —实际主应变
N_p —凸模功率	e_1, e_2, e_3 —假象主应变
P —载荷, 力(一般指外力)	$\varepsilon_r, \varepsilon_\theta, \varepsilon_z$ —径向, 切(周)向, 厚向实际应变
p —压强	e_r, e_θ, e_z —径向, 切(周)向, 厚向假象应变
q —单位压边力	ε_l —纵(轴)向实际应变
Q —剪力(同一节内不能又表示液体量)	e_l —纵(轴)向假象应变
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ —主应力	σ_l —应力强度(或叫等效应力)
$\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$ —径向, 切(周)力, 厚向应力	ε_s —应变强度(或叫等效应变)
σ_l —纵(轴)向应力	δ —延伸率(一般指假象断裂时的延伸率, 同 e_l)
σ_s —假象极限应力	γ —剪应变(角)
σ_b —实际极限应力	$e_{r, \theta}$ —屈服点应变
σ_k —冲击韧性	e_f —破坏假象应变
σ_f —假象破坏应力	
σ_p —实际破坏应力	
σ_s —屈服点应力	

ψ —剖面收缩率

三、其他物理量与系数

D —应变刚(或应变强化)模数

K_f —翻边系数

K_l —拉形系数

K_z —胀形系数

m —压延系数

β —压延比(等于 $1/m$)

r —厚向异性指数

n —应变刚指数

Q —液体量

目 录

符号说明..... VII

1. 基本知识

1.1 板金成形基本原理.....	3
1.1.1 内容与范围.....	3
1.1.2 板料塑性变形力学基本知识.....	3
1.1.2.1 应力、应变、实际应力曲线.....	3
1.1.2.2 应变速度.....	4
1.1.2.3 卸载规律和反载软化现象.....	4
1.1.2.4 简单加载条件.....	5
1.1.2.5 复杂应力状态下, 应力与应变之 间的关系.....	5
1.1.2.6 各向同性板工程计算的基本公式.....	6
1.1.2.7 厚向异性板工程计算的基本公 式.....	7
1.1.2.8 塑性变形能及其热效应.....	7
1.1.3 基本成形类型和典型成形方式.....	7
1.1.3.1 成形类型.....	7
1.1.3.2 典型成形方式.....	8
1.1.3.3 成形方式的复合.....	10
1.1.4 板金成形的限制.....	11
1.2 板金材料的成形性能及其试 验方法.....	12
1.2.1 内容与范围.....	12
1.2.2 基本成形性能指数及其试验.....	14
1.2.2.1 单向拉伸试验.....	14
1.2.2.2 液胀成形试验.....	25
1.2.2.3 硬度试验.....	29
1.2.3 模拟成形性能指数及其试验.....	30
1.2.3.1 弯曲成形试验.....	30
1.2.3.2 扩孔成形试验.....	32
1.2.3.3 拉胀成形试验.....	33
1.2.3.4 压延成形试验.....	35
1.2.3.5 复合成形试验.....	37
1.2.3.6 其他模拟成形试验.....	39
1.2.3.7 BCS-30A 型通用板材成形性试验机.....	39
1.2.4 成形极限曲线及其试验.....	39
1.2.4.1 成形极限曲线的概念.....	39
1.2.4.2 建立板料 FLC 的试验方法.....	42
1.2.4.3 一些板料的成形极限曲线.....	46
1.2.4.4 BHB21 型坐标网格印制仪.....	49

1.2.4.5 FLC-I 型板料成形极限曲线试验机.....	50
1.2.5 金属学的成形性能指数及其试验.....	51
1.2.6 特定成形性能指数及其试验.....	51
1.2.6.1 凸耳试验 (Earing Test) 及其 指数.....	51
1.2.6.2 下陷成形试验 (Joggle Test) 及其指数.....	53
1.2.7 一些常用日本板料的成形性试 验值.....	54
1.3 常用板金材料的一般知识及 有关标准和资料.....	62
1.3.1 内容与范围.....	62
1.3.2 与板金材料有关的国标和冶金部标.....	62
1.3.2.1 黑色板金材料.....	62
1.3.2.2 有色板金材料.....	63
1.3.3 常用资料.....	64
1.3.3.1 黑色金属品种及常用规格.....	64
1.3.3.2 黑色金属产品名称、用途、特性、 工艺方法命名符号.....	66
1.3.3.3 有色金属及合金产品牌号表示方 法 (GB340-76).....	68
1.3.3.4 美国板料厚度编级表.....	71
1.3.4 常用金属材料牌号的国内外对 照表.....	72
1.3.5 板金成形用钢板的特点.....	82
1.3.5.1 冷轧薄钢板.....	82
1.3.5.2 冲压用热轧钢板.....	85
1.3.6 常用黑色板金材料.....	86
1.3.6.1 轧制薄钢板品种 (GB708-65).....	86
1.3.6.2 常用黑色金属的机械性能.....	88
1.3.6.3 优质碳素结构钢薄钢板 (GB710- 65).....	90
1.3.6.4 深冲压用冷轧薄钢板 (YB215-64).....	93
1.3.6.5 不锈钢冷轧钢板 (GB3280-84).....	94
1.3.6.6 合金结构钢薄钢板 (YB204-63).....	100
1.3.6.7 航空用合金结构钢板 (YB540- 65).....	101
1.3.6.8 汽车大梁用钢板 (GB3273-82).....	102
1.3.6.9 搪瓷用热轧薄钢板 (YB474-64).....	104
1.3.6.10 变形高温合金钢板.....	105
1.3.6.11 连续热镀锌薄钢板和钢带 (GB2518	

-61)	107	1.4.6.1 标准橡皮的选用	168
1.3.6.12 电镀薄钢板和钢带 (GB 2520-81)	110	1.4.6.2 非标准橡皮的选用	169
1.3.6.13 一般结构用热连轧钢板和钢带 (GB 2517-81)	111	1.4.7 弹簧的选用及计算	170
1.3.6.14 优质碳素结构钢冷轧钢带 (GB3522-83)	112	1.4.7.1 圆柱形压缩弹簧的计算	170
1.3.6.15 冷轧不锈钢、耐热钢带 (GB2598- 81)	114	1.4.7.2 碟形弹簧的计算	172
1.3.7 常用有色板金材料	117	1.4.8 提高模具寿命的措施	173
1.3.7.1 常用有色金属的机械性能	117	1.4.8.1 冲裁凸模末端断裂的解决办法	173
1.3.7.2 铝及铝合金板材的尺寸及允许偏 差 (GB3194-82)	118	1.4.8.2 改进压延模几何形状, 延长寿命	174
1.3.7.3 可热处理强化的铝合金板 (GB167-82)	121	1.4.8.3 避免凹模热处理时产生裂纹的办法	174
1.3.7.4 不可热处理强化的铝及铝合金板 (YB606-66)	126	1.5 板金成形中的摩擦磨损与润滑	176
1.3.7.5 铝及铝合金薄壁管 (YB611-66)	126	1.5.1 板金成形中的摩擦特点	176
1.3.7.6 铝及铝合金挤压型材 (YB615- 66)	127	1.5.2 摩擦	176
1.3.7.7 工业用纯铝箔 (GB3198-82)	129	1.5.2.1 摩擦起因与减小措施	176
1.3.7.8 铝合金箔 (GB3614-83)	131	1.5.2.2 纯净金属的摩擦系数	177
1.3.7.9 铝及铝合金的其他性能参数	132	1.5.2.3 常用金属材料间的摩擦系数	177
1.3.7.10 镁合金板金材料 (YB623-73)	136	1.5.2.4 各种工程塑料的摩擦系数	177
1.3.7.11 铜及铜合金板金材料	138	1.5.2.5 常用材料的滚动摩擦系数	178
1.3.7.12 钛及钛合金板金材料	150	1.5.3 板金成形中的摩擦分析	178
1.3.7.13 镍及镍合金板 (GB2054-80)	155	1.5.3.1 影响摩擦的因素	178
1.3.8 常用非金属材料的抗剪强度	157	1.5.3.2 各种板金成形中的摩擦	179
1.4 模具零件强度计算	159	1.5.4 磨损	184
1.4.1 前言	159	1.5.4.1 磨损的成因	184
1.4.2 模具的压力中心及其决定方法	159	1.5.4.2 估算磨损的公式	184
1.4.2.1 解析法	159	1.5.4.3 擦伤的成因	186
1.4.2.2 图解法	161	1.5.4.4 耐擦伤的判别方法	187
1.4.3 冲裁凸模的强度计算及稳定性 验算	162	1.5.5 摩擦、磨损、润滑效果常用试 验方法	188
1.4.3.1 凸模固定端面抗压强度的计算	163	1.5.5.1 常用测试方法	188
1.4.3.2 凸模最小剖面抗压强度的计算	163	1.5.5.2 常用测试板金摩擦的方法	189
1.4.3.3 凸模纵向弯曲稳定性的验算	163	1.5.6 润滑	190
1.4.4 冲裁凹模的强度计算	164	1.5.6.1 润滑的机理	190
1.4.4.1 整体凹模的强度计算	164	1.5.6.2 液体润滑的方式	190
1.4.4.2 分段凹模的固定力的计算	166	1.5.6.3 液体润滑剂的成分	192
1.4.4.3 凹模承受的撕裂力的计算	166	1.5.6.4 润滑油膜	195
1.4.5 模板的强度计算及垫板的选择	166	1.5.6.5 固体润滑剂	195
1.4.5.1 模板的强度计算	166	1.5.6.6 高温保护润滑剂	196
1.4.5.2 垫板的选择	168	1.5.6.7 润滑剂的选用原则	196
1.4.6 橡皮的选用及计算	168	1.5.6.8 润滑剂的涂覆方法	196
		1.5.6.9 板金成形常用润滑剂配方	197
		1.6 板金成形中的热处理	207
		1.6.1 热处理	207
		1.6.1.1 定义与范围	207
		1.6.1.2 变形铝合金的热处理	207
		1.6.1.3 镁合金的热处理	209
		1.6.1.4 钢及铜合金的热处理	210

1.6.1.5 钛合金的热处理	211	1.8.7.5 金属冷挤压机的特性	291
1.6.1.6 黑色金属热处理	213	1.8.7.6 高速压力机的特性	292
1.6.2 表面处理	216	1.8.8 选择普通机械压力机的规格	293
1.6.2.1 定义与范围	216	1.8.8.1 根据冲压变形力选择压力机	293
1.6.2.2 铝合金的表面处理	216	1.8.8.2 根据冲压变形功选择压力机	294
1.6.2.3 镁合金的表面处理	218	1.8.8.3 计算加工所需的变形力和变形功	294
1.6.2.4 钢的表面处理	220	1.8.9 选择压力机的精度和刚度	296
1.6.2.5 铜及铜合金的表面处理	222	1.8.10 普通机械压力机的技术参数 和工作台面尺寸	297
1.6.3 国外铝合金热处理规范	223	1.8.10.1 单柱固定台压力机	297
1.6.3.1 2024铝合金热处理规范	223	1.8.10.2 开式可倾台压力机	298
1.6.3.2 7075铝合金热处理规范	223	1.8.10.3 闭式单点单动压力机	300
1.7 一般冲模的典型结构和材料		1.8.11 冲压生产场地	303
选择	225	1.8.12 冲压生产的方式	306
1.7.1 定义与范围	225	1.8.13 设备数量的计算和冲压工时 定额	306
1.7.2 一般冲模的典型结构	225	1.8.13.1 设备数量的计算方法	306
1.7.2.1 冲裁模	225	1.8.13.2 冲压工时定额	308
1.7.2.2 弯曲模	232	1.8.14 冲压机械化与自动化	317
1.7.2.3 压延模	232	1.8.14.1 实现冲压机械化与自动化的措施	317
1.7.3 冷冲模标准模架	235	1.8.14.2 冲压机械化装置应用示例	318
1.7.3.1 冷冲模滑动导向模架	235	1.8.15 冲压生产线	323
1.7.3.2 冷冲模滚动导向模架	269	1.8.15.1 冲压自动化方式的选择	323
1.7.3.3 冷冲模模架技术条件	275	1.8.15.2 冲压生产线的特点	324
1.7.4 一般冲模零件的材料	276	1.8.16 冲压用通用工业机器人	324
1.8 通用机械压力机及冲压机械 化与自动化	278	1.8.16.1 冲压用通用工业机器人的类型	324
1.8.1 内容与范围	278	1.8.16.2 冲压用工业机器人的动作及特点	325
1.8.2 通用锻压设备的型号表示方法 及含义	278	1.8.16.3 采用工业机器人的冲压生产线 示例	330
1.8.3 机械压力机的分类和特点	280	1.8.16.4 冲压用工业机器人的选择	333
1.8.4 机械压力机的主要参数和特性	282		
1.8.4.1 曲柄压力机的主要参数	282	2. 冲压工艺	
1.8.4.2 曲柄压力机的主要参数与模具的 关系	283	2.1 下料	339
1.8.4.3 曲轴压力机的许可压力和行程的 关系	283	2.1.1 定义与范围	339
1.8.4.4 曲柄压力机的公称压力	285	2.1.2 下料的依据	339
1.8.5 压力机的选择原则	286	2.1.3 下料工艺余量	339
1.8.6 根据生产批量选择压力机的形式	286	2.1.4 材料定额与材料利用率	339
1.8.7 根据冲压工艺的特点选择压力 机的形式	287	2.1.4.1 板材	339
1.8.7.1 冲压工艺对压力机的要求	287	2.1.4.2 型材	341
1.8.7.2 压延压力机的特性	288	2.1.4.3 管材	342
1.8.7.3 精压机的特性	289	2.1.4.4 材料利用率	343
1.8.7.4 精密冲裁压力机的特性	290	2.1.5 板料排样	344
		2.1.5.1 板料排样原则	344
		2.1.5.2 单一条料的排样	344
		2.1.5.3 两个矩形件合理排样举例	345

2.1.5.4 多矩形排样	346	2.2.8 力、功与功率的计算	405
2.1.5.5 花边条料下料举例	346	2.2.8.1 冲裁(冲孔)力	405
2.1.6 常用下料方法	347	2.2.8.2 脱料力	407
2.1.6.1 剪切下料	347	2.2.8.3 推(顶)件力	409
2.1.6.2 铣切下料	352	2.2.8.4 凸模力与压力中心	409
2.1.6.3 锯切下料	360	2.2.8.5 冲裁功与功率	411
2.1.6.4 氧气切割下料	363	2.2.8.6 冲裁力与功的图算法	412
2.1.7 特种切割下料方法	364	2.2.9 精密冲裁	413
2.1.7.1 等离子切割下料	364	2.2.9.1 用突齿压板的精密冲裁	413
2.1.7.2 激光切割下料	366	2.2.9.2 圆刃精密冲裁	416
2.1.7.3 几种热切割方法的选用与比较	367	2.2.10 用橡皮的冲裁	417
2.1.7.4 电火花线切割下料	368	2.2.11 夹模与板模	419
2.1.7.5 高压水切割下料	369	2.2.12 冲切模和钢带模	422
2.1.8 非金属材料下料	372	2.2.13 刮边整修	423
2.1.8.1 剪切下料	372	2.2.13.1 外缘的整修	423
2.1.8.2 铣切下料	373	2.2.13.2 内缘的整修	425
2.1.8.3 锯切下料	373	2.2.14 冲裁质量, 模具磨损与润滑	426
2.1.8.4 高压水切割下料	373	2.2.14.1 冲裁质量	426
2.1.8.5 激光切割下料	373	2.2.14.2 模具磨损与润滑	427
2.1.9 下料工艺方案选择与下料工艺 规程	374	2.3 弯曲	428
2.1.9.1 下料工艺方案的选择	374	2.3.1 定义与范围	428
2.1.9.2 下料工艺规程	374	2.3.2 弯曲件展开长度	428
2.1.10 钛合金、镁合金和LC4 材料 对下料的特殊要求	377	2.3.2.1 弯曲中性层位置	428
2.1.10.1 钛合金材料的特殊要求	377	2.3.2.2 卷边	429
2.1.10.2 镁合金材料的特殊要求	378	2.3.2.3 展开长度的确定	430
2.1.10.3 LC4超硬铝材料的特殊要求	378	2.3.3 弯曲件工艺性	435
2.2 冲裁	379	2.3.4 最小弯曲半径	437
2.2.1 定义与范围	379	2.3.4.1 外层纤维的变形程度	437
2.2.2 排样	379	2.3.4.2 板材最小弯曲半径	438
2.2.2.1 无废料排样	379	2.3.4.3 型材与管材最小弯曲半径	440
2.2.2.2 无锯齿少废料排样	380	2.3.4.4 避免弯曲破裂的措施	440
2.2.2.3 废料利用的排样	381	2.3.4.5 管材弯曲用低熔点填料	441
2.2.3 冲裁模工作部分	382	2.3.5 回弹	441
2.2.3.1 间隙	382	2.3.5.1 凹模压弯回弹角	441
2.2.3.2 模具	384	2.3.5.2 弹性凹模压弯回弹角	449
2.2.4 斜刃模	391	2.3.5.3 最大弯曲半径	453
2.2.5 冲裁件与冲孔的尺寸偏差	392	2.3.6 弯曲模	453
2.2.6 裁件与冲孔凸、凹模的制造公差	394	2.3.6.1 刚性模具	453
2.2.7 模具功能参数	395	2.3.6.2 橡胶模具	453
2.2.7.1 零件工艺性	397	2.3.7 弯曲力与弯矩	457
2.2.7.2 搭边	398	2.3.7.1 弯曲力	457
2.2.7.3 条料宽度与导轨间宽度	401	2.3.7.2 弯矩	459
2.2.7.4 模具其他尺寸	401	2.3.7.3 橡胶凹模弯曲力	459
		2.3.8 型材可能承受的最大弯矩估算式	460
		2.4 压延	462
		2.4.1 定义与范围	462

2.4.2 毛料展开	462	2.5 翻边	510
2.4.2.1 求旋转体压延件毛料的计算方法	462	2.5.1 定义与范围	510
2.4.2.2 求旋转体压延件毛料的图算法	463	2.5.2 圆孔的翻边	510
2.4.2.3 由表直接查出压延系数后算出毛料直径	466	2.5.2.1 圆孔翻边的工艺性	511
2.4.2.4 将凸缘件折合为筒形件求 m 值的方法	472	2.5.2.2 孔的翻边系数	511
2.4.2.5 盒形件毛料的作图展开法	473	2.5.2.3 翻边底孔尺寸的确定	513
2.4.2.6 不规则压延件的展开毛料	474	2.5.2.4 翻边凸、凹模之间的间隙	514
2.4.3 旋转体的压延系数	476	2.5.2.5 翻边力的计算	514
2.4.3.1 杯形件压延系数的推荐值	476	2.5.2.6 翻边模	510
2.4.3.2 杯形件极限压延系数 m_2 的计算值	477	2.5.3 非圆形孔的翻边	518
2.4.4 旋转体压延件压延次数与高度的估算	478	2.5.4 螺纹孔和变薄翻边	518
2.4.4.1 压延次数	478	2.5.4.1 预制孔直径, 翻边孔直径和翻边高度	519
2.4.4.2 压延件高度	478	2.5.4.2 变薄翻边用模具	521
2.4.4.3 压延系数给定后凸缘件的几何关系	480	2.5.5 埋头窝和减重孔	524
2.4.5 矩形压延件的成形极限与压延次数	481	2.5.5.1 埋头窝	524
2.4.5.1 一次压延成形的极限	481	2.5.5.2 减重孔	526
2.4.5.2 压延次数及各次压延参数	482	2.5.6 曲线外形的凹弯边	528
2.4.6 压边与压延梗	483	2.6 胀形	533
2.4.6.1 压边圈	483	2.6.1 定义与范围	533
2.4.6.2 压边力	484	2.6.2 零件的胀形系数	533
2.4.6.3 矩形及不规则零件的压边与压延梗	485	2.6.3 刚性模胀形法	534
2.4.7 模具圆角半径	487	2.6.3.1 刚性分瓣凸模的胀形	534
2.4.8 间隙与通气孔	489	2.6.3.2 刚性整体凸模胀形	535
2.4.9 凸、凹模的制造公差、粗糙度	490	2.6.3.3 平头凸模和圆头凸模胀形高度的估算式	536
2.4.10 压延速度	491	2.6.4 橡皮模胀形法	537
2.4.11 压延力, 功与功率的计算	492	2.6.5 液压胀形	538
2.4.11.1 压延力	492	2.6.5.1 橡皮囊液压胀形	538
2.4.11.2 压延功	493	2.6.5.2 液压胀形	539
2.4.11.3 压延功率	494	2.6.5.3 橡皮和液压胀形高度的估算式	541
2.4.12 连续压延	494	2.6.5.4 波纹管零件液压胀形	541
2.4.13 宽凸缘压延	499	2.6.6 胀形最大应变与胀形力计算	542
2.4.14 橡皮与液囊压延	499	2.7 扩口	544
2.4.14.1 橡皮压延	499	2.7.1 护口部分的基本要求	544
2.4.14.2 液囊压延成形	502	2.7.2 最小直段长度	545
2.4.15 其他压延方法	505	2.7.2.1 单扩口管	545
2.4.15.1 凹模加热和凸模冷却的压延方法	505	2.7.2.2 双扩口管	546
2.4.15.2 无凸模压延	506	2.7.3 管端壁厚的计算	546
2.4.16 变薄压延	507	2.7.4 扩口力	547
		2.7.5 扩口用的工具和模具	547
		2.7.5.1 扩口棒扩口	547
		2.7.5.2 扩口模	548
		2.7.6 对毛料的要求	548

2.8 缩口	550
2.8.1 定义和分类	550
2.8.2 缩口方法	550
2.8.2.1 模压缩口	550
2.8.2.2 旋压缩口	551
2.8.2.3 冲击缩口	551
2.8.2.4 热缩口	551
2.8.3 缩口工艺参数	553
2.8.3.1 缩口变形程度	553
2.8.3.2 缩口毛料高度的计算	555
2.8.3.3 缩口力的计算	555
2.8.3.4 缩口参数	556
2.9 冷挤压	558
2.9.1 冷挤压方法及分类	558
2.9.2 冷挤压用材料	559
2.9.3 冷挤压件的工艺性	560
2.9.3.1 冷挤压件的一般工艺要求	560
2.9.3.2 冷挤压件的尺寸精度及表面粗糙度	563
2.9.3.3 冷挤压件图的内容	567
2.9.4 冷挤压毛坯	568
2.9.4.1 毛坯的形状和尺寸	568
2.9.4.2 毛坯的制备	570
2.9.4.3 毛坯的软化处理	572
2.9.4.4 毛坯的表面处理与润滑	572
2.9.5 冷挤压变形程度与挤压力	578
2.9.5.1 变形程度的计算和许用变形程度	578
2.9.5.2 挤压力	581
2.9.6 冷挤压模具设计	592
2.9.6.1 模具的基本设计要求与典型形式	592
2.9.6.2 工作部分的设计	595
2.9.6.3 冷挤压模主要零部件结构	612
2.9.7 冷挤压模具材料及热处理	614
2.9.8 冷挤压件质量分析	615
2.10 压印	623
2.10.1 定义与范围	623
2.10.2 压印的工艺设计	626
2.10.2.1 一般工艺步骤	626
2.10.2.2 压印件的尺寸、精度和表面粗糙度	626
2.10.2.3 压印压力	626
2.10.3 压印中的润滑	628
2.10.4 压印模设计	628
2.10.5 设备选择	628

2.10.6 压印件质量问题	629
2.11 局部成形	631
2.11.1 定义与范围	631
2.11.2 板材的压窝	631
2.11.2.1 最大压窝高度	633
2.11.2.2 压窝所需的力	636
2.11.3 板件的压埂(加强槽)	636
2.11.4 型材的下陷	639
2.11.4.1 直线零件简单下陷的成形	640
2.11.4.2 成形极限	641
2.11.4.3 通用下陷模	645
2.11.4.4 压制下陷中的常见故障	649
2.11.4.5 其它下陷的成形	649
2.11.4.6 压下陷所需的力	650
2.11.4.7 工艺上应注意的几个问题	650
2.12 校形	652
2.12.1 定义与范围	652
2.12.2 常用的校形方法	652
2.12.2.1 机械校形	652
2.12.2.2 热校形	660
2.12.2.3 手工校形	660
2.12.3 板金零件校形的基本要求	663
2.12.4 辅助设备与工具	664
2.12.4.1 辅助设备	664
2.12.4.2 校形工具	673

3. 板金工艺

3.1 旋压	677
3.1.1 定义与范围	677
3.1.2 普遍旋压	677
3.1.2.1 分类与应用	677
3.1.2.2 毛料材料要求与尺寸	679
3.1.2.3 工艺条件	679
3.1.2.4 工艺装备	683
3.1.2.5 旋压力	686
3.1.2.6 工件质量	687
3.1.2.7 特殊旋压方式	688
3.1.3 剪切旋压	688
3.1.3.1 分类与应用	688
3.1.3.2 毛料材料与尺寸	689
3.1.3.3 工艺条件	692
3.1.3.4 工艺装备	693
3.1.3.5 旋压力	695
3.1.3.6 工件质量	697

3.1.4 筒形变薄旋压	699	3.3.2.5 心棒选用和弯曲前机床调整要点	793
3.1.4.1 分类与应用	699	3.3.2.6 弯管主要设备	794
3.1.4.2 毛料材料与尺寸	699	3.3.2.7 弯管润滑剂	797
3.1.4.3 工艺条件	700	3.3.2.8 弯管常见故障分析及排除方法	797
3.1.4.4 工艺装备	701	3.4 拉弯	800
3.1.4.5 旋压力	704	3.4.1 定义与机理	800
3.1.4.6 工件质量	706	3.4.2 型材拉弯过程及有关参数	801
3.1.4.7 一些特殊旋压方式及特点	707	3.4.2.1 一次拉弯法	801
3.1.5 旋压机床	710	3.4.2.2 二次拉弯法	802
3.2 滚弯	717	3.4.2.3 预拉力、补拉力、延伸率的计算	803
3.2.1 定义与范围	717	3.4.2.4 剖面尺寸收缩的计算	806
3.2.2 板料滚弯零件分类及一般性问题	717	3.4.2.5 毛料长度的确定	806
3.2.3 圆筒形零件的滚弯	719	3.4.3 几种特殊形状零件的拉弯法	807
3.2.3.1 上下滚轴中心距的确定	719	3.4.3.1 曲率方向变化零件的拉弯	807
3.2.3.2 直线段与非圆段的处理方法	721	3.4.3.2 变斜角零件的拉弯	808
3.2.4 圆锥形零件的滚弯	722	3.4.3.3 变切面型材的拉弯	809
3.2.4.1 毛料展开方法	722	3.4.3.4 具有下陷零件的拉弯	809
3.2.4.2 消除扭曲变形	724	3.4.3.5 环形件、空间弯曲件的拉弯	810
3.2.4.3 上下滚轴中心距的确定	725	3.4.4 拉弯零件的缺陷及解决方法	811
3.2.5 切向变曲率零件的滚弯	726	3.4.4.1 塌肩现象	811
3.2.5.1 手工滚弯法	726	3.4.4.2 剖面收缩	812
3.2.5.2 靠模滚弯法	728	3.4.4.3 剖面挠曲及畸变	813
3.2.6 纵向变厚度一切向变曲率零件 的滚弯	742	3.4.5 拉弯模与拉伸夹头	814
3.2.7 典型型材滚弯零件分类	743	3.4.5.1 拉弯模的典型结构	814
3.2.8 等曲率型材零件的滚弯	744	3.4.5.2 ПГР-6, ПГР-7, XL-2, ПГР-8 拉弯模典型结构	814
3.2.9 板弯型材的滚弯	745	3.4.5.3 拉弯夹头典型图	818
3.2.9.1 手工调整滚弯法	746	3.4.5.4 转台拉弯机侧压滚轮设计	821
3.2.9.2 靠模滚弯法	746	3.4.6 回弹样板的制造	822
3.2.10 型材滚弯过程的一般性问题	754	3.4.7 加热拉弯	822
3.2.11 型材滚形	756	3.4.7.1 加热拉弯工艺规范及润滑剂	822
3.2.12 板料滚弯机	762	3.4.7.2 加热拉弯模及附属设备	824
3.2.13 型材滚弯机	763	3.4.8 拉弯机	825
3.3 绕弯	764	3.5 拉形	827
3.3.1 型材绕弯	764	3.5.1 定义与范围	827
3.3.1.1 型材绕弯的方式与选择	764	3.5.2 拉形的成形过程与影响因素	827
3.3.1.2 绕弯力矩及回弹量的计算	765	3.5.2.1 拉形的成形过程	827
3.3.1.3 绕弯过程常见缺陷	767	3.5.2.2 摩擦对拉形的影响	827
3.3.1.4 绕弯模与侧压装置	768	3.5.2.3 典型拉形零件各点的变形量	829
3.3.2 管子绕弯	769	3.5.2.4 板材塑性指数 n 、 r 值对拉形的影 响	830
3.3.2.1 管子绕弯方法和分类	769	3.5.3 拉形件和拉形方法分类	830
3.3.2.2 各类管子绕弯法的使用范围	771	3.5.3.1 按几何外形分类	830
3.3.2.3 管子绕弯工艺参数	780	3.5.3.2 按拉形原理分类	831
3.3.2.4 弯管工具	783	3.5.3.3 双曲度整体壁板的成形	831

3.5.3.4 钛合金板材拉形	832	3.7.5.2 超塑性成形的的基本方法	867
3.5.4 拉形工艺方法	834	3.7.5.3 气压成形的一般工艺步骤	869
3.5.5 拉形参数	834	3.7.5.4 零件壁厚不均匀的控制方法	870
3.5.5.1 板材热处理状态的选择	834	3.7.6 超塑性成形模具	873
3.5.5.2 毛料尺寸确定	835	3.7.6.1 模具材料	873
3.5.5.3 拉形力	836	3.7.6.2 模具设计问题	874
3.5.5.4 拉形系数	836	3.7.7 超塑性成形设备	877
3.5.5.5 极限拉形系数和拉形次数的确定	837	3.7.7.1 基本要求	877
3.5.6 拉形质量	838	3.7.7.2 基本组成部分	877
3.5.7 拉形模设计技术要求	839	3.7.8 超塑性成形与扩散连接组合工艺	879
3.5.7.1 制造依据	839	3.7.8.1 组合工艺特点	879
3.5.7.2 拉形模数量	839	3.7.8.2 组合工艺结构的基本形式	879
3.5.7.3 拉形模材料	839	3.7.8.3 隔离剂(止焊剂)	881
3.5.7.4 拉形模结构	840	3.8 橡皮成形	882
3.5.7.5 拉形模重量	840	3.8.1 定义与范围	882
3.5.7.6 拉形模吊环	840	3.8.2 橡皮成形机	882
3.5.8 拉形设备	841	3.8.2.1 基本形式	882
3.6 加热成形与校形	842	3.8.2.2 大台面液压橡皮囊成形机的技术 参数	883
3.6.1 定义与范围	842	3.8.3 橡皮成形工艺	883
3.6.2 加热成形工艺参数的选择	842	3.8.3.1 直弯边成形	883
3.6.3 加热校形工艺参数的选择	844	3.8.3.2 凸弯边成形	884
3.6.4 加热方法	844	3.8.3.3 凹弯边成形	888
3.6.5 成形设备	845	3.8.3.4 其它结构要素的橡皮成形	893
3.6.5.1 专用成形设备	845	3.8.4 减少橡皮成形零件手工修整量	895
3.6.5.2 加热电炉	849	3.8.5 橡皮成形模	896
3.6.6 成形模(或校形模)	850	3.8.6 橡皮垫容框	897
3.6.6.1 模具种类	850	3.8.6.1 容框材料和结构	897
3.6.6.2 模具材料	850	3.8.6.2 橡皮容框的壁厚	898
3.6.6.3 模具设计	851	3.8.7 橡皮成形零件设计的工艺性	899
3.6.7 毛料的制备	857	3.8.8 钛合金橡皮热成形	899
3.6.8 润滑剂和防氧化涂料	858	3.8.8.1 工艺参数	899
3.6.9 热处理	859	3.8.8.2 钛合金橡皮热成形工艺	900
3.6.9.1 钛与钛合金	859	3.8.8.3 橡皮热成形的计算	902
3.6.9.2 镁合金	859	3.9 喷丸成形与校形	904
3.6.10 去氧化膜	860	3.9.1 定义与范围	904
3.7 超塑性成形	862	3.9.2 典型零件与工艺方法的选择	904
3.7.1 定义与功用	862	3.9.2.1 工艺方法	904
3.7.2 超塑性机理	862	3.9.2.2 典型零件	907
3.7.3 金属超塑性材料	863	3.9.3 工艺参数的选择	909
3.7.4 影响超塑性成形的因素	864	3.9.3.1 喷丸成形工艺参数选择的原则	909
3.7.4.1 变形温度的影响	864	3.9.3.2 主要参数对极限成形半径的影响	909
3.7.4.2 应变速度的影响	864	3.9.3.3 极限成形半径的限制	913
3.7.4.3 晶粒的影响	865	3.9.3.4 喷丸送进方向和零件尺寸因素的影响	913
3.7.5 超塑性成形方法	866	3.9.4 马鞍形零件的数控喷丸成形	914
3.7.5.1 超塑性成形规范	866		

- 3.9.5 喷丸校形 916
- 3.9.6 零件的质量控制 920
- 3.9.6.1 表面粗糙度的变化 920
- 3.9.6.2 外形精度与尺寸的变化 921
- 3.9.6.3 残余应力与组织结构的变化 922
- 3.9.6.4 机械性能的变化 923
- 3.9.7 喷前要求和喷后处理 926
- 3.9.7.1 喷前要求 926
- 3.9.7.2 喷后处理 927
- 3.9.8 预应力夹具 927
- 3.9.8.1 横向施加预弯的夹具 927
- 3.9.8.2 纵向施加预弯的夹具 928
- 3.9.8.3 局部施加预弯的夹具 929
- 3.9.9 喷丸成形机 929
- 3.9.9.1 气动式喷丸成形机 929
- 3.9.9.2 离心式喷丸成形机 932
- 3.9.9.3 真空喷丸装置 933
- 3.9.9.4 旋片喷丸工具 934
- 3.9.10 弹丸 936
- 3.10 高能率成形 940
- 3.10.1 定义与范围 940
- 3.10.2 爆炸成形 941
- 3.10.2.1 爆炸成形的原理 941
- 3.10.2.2 进行爆炸成形的条件 942
- 3.10.2.3 炸药 944
- 3.10.2.4 安全问题 945
- 3.10.2.5 工艺参数选择 945
- 3.10.2.6 爆炸成形件的质量 946
- 3.10.2.7 模具材料 949
- 3.10.2.8 爆炸成形设备 949
- 3.10.2.9 爆炸胀形 955
- 3.10.2.10 爆炸成形工艺参数实例 958
- 3.10.3 液电成形 976
- 3.10.3.1 电极形式和放电法 977
- 3.10.3.2 液电成形设备 978
- 3.10.4 电磁成形 978
- 3.10.4.1 线圈与集磁器 979
- 3.10.4.2 成形方法 980
- 3.10.4.3 电磁成形设备 983
- 3.11 落压成形 985
- 3.11.1 定义与特点 985
- 3.11.2 气动落锤 985
- 3.11.3 典型的落压零件 986
- 3.11.4 落压零件展开毛料形状和尺寸的确
 定 987
- 3.11.4.1 铺铅皮法确定展开样板 987
- 3.11.4.2 几何作图法 988
- 3.11.5 落压工艺 988
- 3.11.5.1 落压成形的方
 法 988
- 3.11.5.2 中间退火的确定 990
- 3.11.6 落压模 990
- 3.11.6.1 落压模种类和结构 990
- 3.11.6.2 落压模的制造 992
- 3.11.7 钛和镁合金板的落压成形 1000
- 3.11.7.1 钛合金板零件落压成形的基本
 要求 1000
- 3.11.7.2 自阻加热工作电压 V 的确定 1001
- 3.11.7.3 加热夹具 1001
- 3.11.7.4 保温和测温装置 1002
- 3.11.7.5 钛合金落压成形用保护涂料及
 润滑涂料 1003
- 3.11.7.6 镁合金落压成形 1003
- 3.12 辅助加工 1004
- 3.12.1 定义与范围 1004
- 3.12.2 板金零件的修边、钻孔及其
 工具设备 1004
- 3.12.2.1 板材零件的修边 1004
- 3.12.2.2 型材零件的修边 1009
- 3.12.2.3 板金零件的钻孔 1012
- 3.12.3 板金冲压零件去毛刺 1013
- 3.12.3.1 板金件去毛刺 1013
- 3.12.3.2 冲压件和小板金件去毛刺 1013
- 3.12.4 零件打标记 1013
- ## 4. 产品检验与协调
- 4.1 表面质量控制 1019
- 4.1.1 定义与范围 1019
- 4.1.2 术语 1019
- 4.1.2.1 一般术语 1019
- 4.1.2.2 表面缺陷术语 1020
- 4.1.3 表面质量标准 1022
- 4.1.3.1 一般标准 1022
- 4.1.3.2 特殊标准 1024
- 4.1.3.3 板金零件边缘要求 1025
- 4.1.4 板金零件的表面保护 1026
- 4.1.4.1 铝合金优质表面板金零件的表面
 保护 1026
- 4.1.4.2 中等质量表面铝合金板金零件的表面
 保护 1027
- 4.1.4.3 镁合金板金零件的表面保护 1027

4.1.4.4 管制零件的表面保护	1028	4.2.6 挤压型材零件的偏差	1044
4.1.4.5 不锈钢板金零件加工过程中的表面保护	1029	4.2.6.1 型材长度、端头、缺口和切边的偏差	1044
4.1.5 铝合金板金零件外表面的修复	1030	4.2.6.2 型材零件的外形偏差	1044
4.1.5.1 铝合金板金零件表面缺陷的检测方法	1030	4.2.6.3 型材不平度偏差	1044
4.1.5.2 铝合金蒙皮的修复方法	1031	4.2.6.4 型材斜角偏差	1044
4.1.5.3 修复表面的保护	1033	4.2.6.5 型材零件压制斜角	1044
4.1.6 控制	1034	4.2.6.6 挤压型材的滚弯	1044
4.1.6.1 工、器具控制	1034	4.2.6.7 型材下陷允许偏差	1046
4.1.6.2 材料控制	1034	4.2.6.8 型材弯曲部分的偏差	1048
4.1.6.3 工艺控制	1034	4.2.6.9 型材拉弯允许的尺寸变化	1048
4.1.6.4 操作人员的控制	1034	4.2.6.10 铰链零件的偏差	1047
4.2 板金工艺通用技术检验条件	1035	4.2.7 焊接半管零件的允许偏差	1047
4.2.1 定义与范围	1035	4.2.8 边缘切割允许偏差	1047
4.2.2 平板件和毛料的加工偏差	1035	4.2.9 制孔的允许偏差	1048
4.2.3 板弯零件的允许偏差	1037	4.2.10 零件材料的允许变薄量	1048
4.2.3.1 板件凸弯边与凹弯边的外形偏差	1037	4.2.11 铝合金板制零件表面状态要求	1049
4.2.3.2 加强筋与减轻孔类零件的偏差	1038	4.2.11.1 包铝层零件允许划伤和擦伤的范围	1049
4.2.3.3 翻边孔	1039	4.2.11.2 无包铝层零件的划伤和擦伤	1049
4.2.3.4 弯边端头的弯曲半径	1039	4.2.12 板金零件加压检验	1049
4.2.3.5 板弯型材拉弯后截面变化	1039	4.3 板金零件无损检验方法	1051
4.2.3.6 弯曲半径偏差	1039	4.3.1 定义与范围	1051
4.2.3.7 配合板件的弯曲半径偏差	1040	4.3.2 磁力探伤	1051
4.2.3.8 带有缺口的弯边弯曲半径偏差	1040	4.3.2.1 磁力探伤法可以发现的缺陷	1051
4.2.3.9 弯边斜角偏差	1040	4.3.2.2 磁力探伤对零件表面的要求	1051
4.2.3.10 下陷偏差	1040	4.3.3 超声波探伤	1051
4.2.3.11 加强弯边的内外隆起	1041	4.3.3.1 应用范围	1052
4.2.3.12 搭边间隙	1041	4.3.3.2 超声波探伤注意事项	1052
4.2.3.13 板弯铰链和卡箍的允许开口尺寸	1042	4.3.4 X光探伤	1052
4.2.3.14 零件平面的不平度	1042	4.3.4.1 应用范围	1052
4.2.4 蒙皮零件允许偏差	1042	4.3.4.2 工序安排	1052
4.2.4.1 单曲和双曲度蒙皮与切面样板或模胎的允许间隙	1042	4.3.4.3 灵敏度	1052
4.2.4.2 前缘蒙皮和模胎与样板的允许间隙	1042	4.3.5 荧光探伤	1053
4.2.4.3 大蒙皮与模胎的允许间隙	1042	4.3.5.1 应用范围	1053
4.2.4.4 蒙皮翻边圆角与模胎的允许间隙	1043	4.3.5.2 荧光液的配制和功能	1053
4.2.4.5 鼓形件的收边	1043	4.3.5.3 荧光探伤设备和材料	1053
4.2.4.6 蒙皮倒角、弯曲半径和下陷的偏差	1043	4.3.5.4 对被检查零件的要求	1053
4.2.5 立体零件允许偏差	1043	4.3.6 着色探伤	1053
4.2.5.1 立体零件与模胎或检验模的允许间隙	1043	4.3.6.1 应用范围	1054
4.2.5.2 油箱零件的加强槽和翻边孔	1043	4.3.6.2 灵敏度	1054
4.2.5.3 立体件的弯曲半径和下陷偏差	1043	4.3.7 各种无损探伤方法的性能比较	1054
		4.3.8 铝合金分光检验	1055
		4.3.8.1 应用范围	1055
		4.3.8.2 分光检验位置和表面要求	1055

4.4 硬度检验.....1056	4.5.9.2 橡胶压制凹弯边的高度 (HB0-18-83).....1084
4.4.1 定义与范围.....1056	4.5.10 挤压型材下陷(HB0-22- 83).....1075
4.4.2 常用的各类硬度及其测定方法.....1056	4.5.11 挤压型材倾斜角度极限值 (HB0-35-83).....1087
4.4.2.1 布氏硬度(HB).....1056	4.5.12 长桁缺口.....1083
4.4.2.2 洛氏硬度(HR).....1057	4.5.12.1 角形型材桁条的缺口 (HB0-24-83).....1084
4.4.2.3 维氏硬度(HV).....1058	4.5.12.2 角形型材桁条的缺口 (HB0-25-83).....1084
4.4.2.4 克氏硬度(HK).....1058	4.5.12.3 角形型材桁条的缺口 (HB0-26-83).....1083
4.4.2.5 邵尔硬度(A).....1058	4.5.12.4 点形型材桁条的缺口 (HB0-27-83).....1092
4.4.3 硬度检验方法的选择原则和适 用范围.....1058	4.5.12.5 角形型材桁条的缺口 (HB0-28-83).....1093
4.4.4 显微硬度检验.....1059	4.5.12.6 丁字型材桁条的缺口 (HB0-29-83).....1095
4.4.5 热处理零件的硬度检验类别.....1060	4.5.12.7 槽形型材桁条的缺口 (HB0-30-83).....1093
4.4.5.1 航空、航天工业最终热处理零件 的硬度检验.....1060	4.5.12.8 槽形型材桁条的缺口 (HB0-31-83).....1093
4.4.5.2 航空、航天工业化学热处理零件 的硬度检验.....1060	4.5.12.9 槽形型材桁条的缺口 (HB0-32-83).....1100
4.4.6 硬度检验的安排.....1060	4.5.12.10 槽形型材桁条的缺口 (HB0-33-83).....1101
4.4.7 硬度检验的抽样和判定.....1060	4.5.12.11 Z字型材桁条的缺口 (HB0-34-83).....1102
4.4.8 变形铝合金硬度检验的有关规定.....1061	4.5.13 钣金零件弯角处止裂孔.....1104
4.4.8.1 成形后淬火、时效的零件的硬度 检验.....1061	4.5.14 展开长度计算表(HB0- 45-83).....1104
4.4.8.2 用硬料加工的零件的硬度检验.....1061	4.6 模线样板.....1107
4.4.8.3 铝合金硬度检验合格值.....1061	4.6.1 定义与范围.....1107
4.4.9 金属材料各种硬度值的相互换算.....1062	4.6.2 样板品种及其标记.....1107
4.4.10 黑色金属硬度、硬度与强度的换 算值.....1065	4.6.2.1 样板的分类、名称、用途和特征.....1107
4.4.11 铝合金硬度、硬度与强度的换 算值.....1070	4.6.2.2 样板上的工艺孔.....1110
4.5 钣金零件常用结构要素标准.....1072	4.6.2.3 样板标记.....1112
4.5.1 板材最小弯曲半径(HB0- 10-83).....1072	4.6.3 模线样板公差.....1132
4.5.2 加强槽(HB0-11-83).....1073	4.6.3.1 模线绘制公差.....1132
4.5.3 加强窝(HB0-13-83).....1074	4.6.3.2 样板制造公差.....1134
4.5.4 弯边减轻孔(HB0-14-83).....1075	4.7 钣金零件的协调.....1137
4.5.5 用橡胶模压制的60°弯边减轻 孔(HB0-15-83).....1076	4.7.1 钣金零件协调的基本概念.....1137
4.5.6 直角减轻孔(HB0-16-83).....1077	4.7.1.1 互换与协调.....1137
4.5.7 开口弯边和皱纹弯边.....1079	4.7.1.2 协调路线.....1137
4.5.7.1 开口弯边(HB0-19-83).....1079	
4.5.7.2 皱纹弯边(HB0-20-83).....1079	
4.5.8 板材零件下陷(HB0-21-83).....1080	
4.5.9 橡胶压制凸凹弯边高度.....1082	
4.5.9.1 橡胶压制凸弯边的高度 (HB0-17-83).....1082	

4.7.1.3 协调误差的计算	1138
4.7.1.4 超差率的计算	1142
4.7.2 协调方案的制定	1144
4.7.2.1 协调方案选择原则	1144
4.7.2.2 协调路线制定步骤	1144
4.7.2.3 提高协调路线准确度措施	1146
4.7.3 板金零件协调方法	1147
4.7.3.1 协调方法分类	1147
4.7.3.2 摸线样板工作法	1148
4.7.3.3 标准样件工作法	1149
4.7.3.4 表面样件(总模型)工作法	1152
4.7.3.5 CAD/CAM工作法	1151
4.8 工艺方案的制定与技术经济分析	1165
4.8.1 工艺方案的制定	1165
4.8.1.1 制定工艺方案的基本原则	1165
4.8.1.2 制定工艺方案的依据	1165
4.8.1.3 典型零件的工艺方案	1165

4.8.2 工艺方案的技术经济分析	1169
4.8.2.1 工艺方案的经济核算	1170
4.8.2.2 典型零件工艺方案经济评价	1171
4.8.3 工艺方案的选定	1176

附 录

1. 力的单位换算	1178
2. 压力单位换算	1179
3. 功、能及热量单位换算	1182
4. 功率单位换算	1184
5. 各种温度单位换算	1185
6. 公差等级的应用	1186
7. 光洁度与表面粗糙度的关系	1186
8. 我国新旧国标及OCT公差与配合对照表	1186

1 基本知识



1.1 板金成形基本原理

1.1.1 内容与范围

本章将对板料塑性变形力学中与板金成形最有关的名词和概念，作简要的说明；列举板料塑性变形力学中、可用于工程计算的常用公式。限于手册的性质，对概念和公式都只列出了实用的结论。如需说明和解释，请读者参阅本章所列的参考文献。

本章从板料塑性变形力学的角度对板金成形方法进行了分类。列举了板金成形生产实际中必需考虑的限制因素。

1.1.2 板料塑性变形力学基本知识

1.1.2.1 应力、应变、实际应力曲线

设图1中拉伸试件加载前标距为 l_0 ，断面积为 A_0 ，加载后分别变为 l 和 A ，则名义（或假象）应力 σ_N ，实际应力 σ ，假象（或工程）应变 e 和实际应变 ϵ 的表达式如下：

$$\sigma_N = P/A_0$$

$$\sigma = P/A$$

$$e = (l - l_0)/l_0$$

$$\epsilon = \ln(l/l_0)$$

实际应变可以叠加。

对变形板中的一点，其：

$$\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0$$

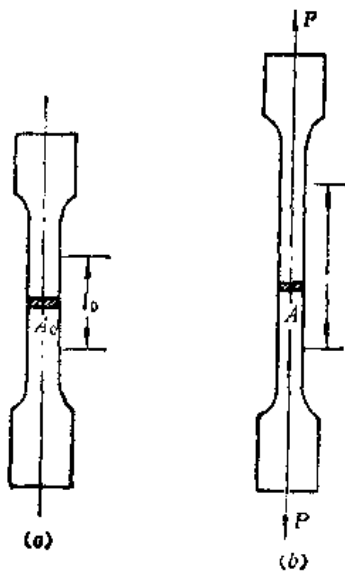


图1

(a) 加载前 (b) 加载后

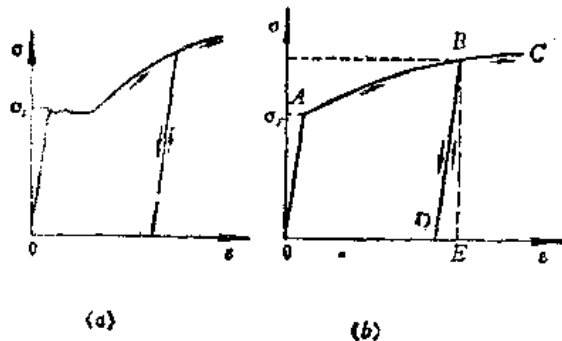


图2

(a) 软钢等 (b) 一般金属

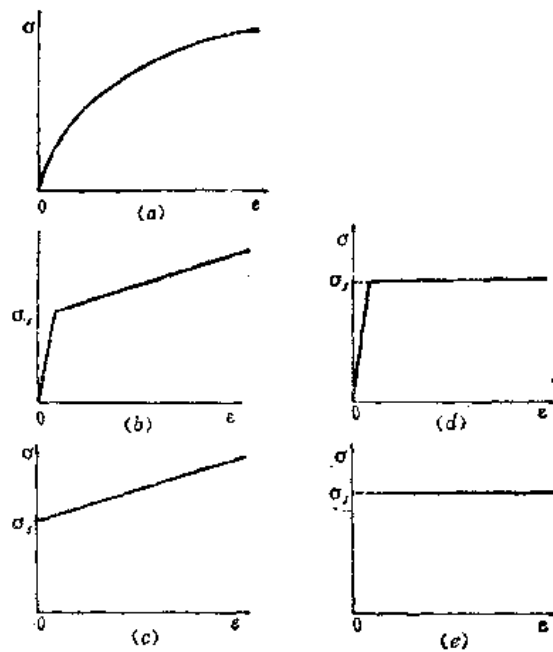


图3

(a) 指数函数型; (b) 直线强化型; (c) 直线强化型(无弹性变形); (d) 理想弹-塑性型; (e) 理想刚-塑性型。

实际应变与假象应变可作如下换算:

$$\epsilon = \ln(1 + e)$$

单向拉伸时, 实际应力与实际应变的典型关系曲线如图 2 所示, 称之为材料的实际应力应变曲线。

为了使各种塑性加工问题的分析简化, 常将材料的实际应力应变曲线简化, 使之便于用数学公式表达。常用的有图 3 所示的几种。

1.1.2.2 应变速度

单位时间内的应变称作应变速度 $\dot{\epsilon}$, 即 $\dot{\epsilon} = d\epsilon/dt$, 其单位为 s^{-1} (秒 $^{-1}$)。

在某一时刻长度为 l 的试件, 一端以速度 v 被拉伸时, 其应变速度:

$$\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt} = \frac{1}{l} \left(\frac{dl}{dt} \right) = \frac{1}{l} \frac{dl}{dt} = \frac{V}{l}$$

1.1.2.3 卸载规律和反载软化现象

卸载直线正好与加载时弹性变形的直线段相平行, 如图 1。反向屈服后, 应力应变基本上按加载时的曲线规律变化, 如图 2。

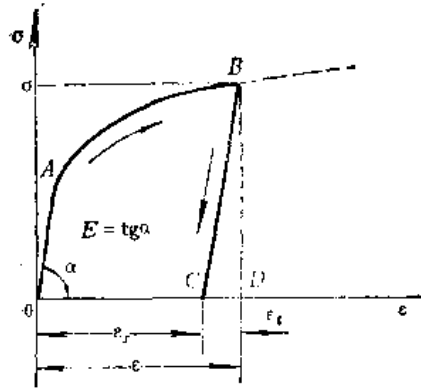


图1

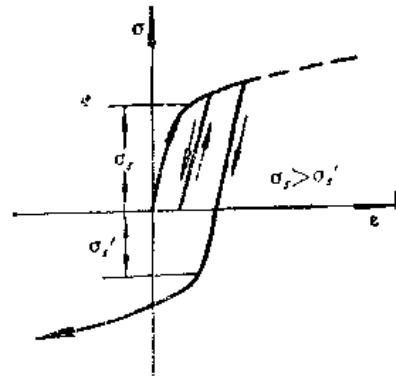


图2

1.1.2.4 简单加载条件

如果在加载过程中：应力主轴方向不变；应力大小次序不变；应力之间的比值不变。这样的加载过程称为简单加载。与上述条件出入甚大的加载过程称为复杂加载，近似满足上述条件的过程称为近似简单加载。

塑性变形工程计算中，确定复杂应力状态下应力应变间的关系常采用全量理论。全量理论在简单加载的条件才能成立。但实际生产中，只要在变形过程中没有卸载或改变变形方式的现象，即可认为是近似简单加载过程。

1.1.2.5 复杂应力状态下，应力与应变之间的关系

在简单加载条件下，按照全量理论，应力分量与应变分量之间最基本的关系为主应力差与主应变差成比例，即：

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\varepsilon_2 - \varepsilon_3} = \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{\varepsilon_3 - \varepsilon_1} = \frac{2}{3} \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1}$$

应力强度 σ_1 和应变强度 ε_1 是三个主应力和三个主应变作用效果的综合表现，它们之间存在着统一单值的关系 $\sigma_1 = f(\varepsilon_1)$ 。这种关系可通过由单向拉伸或液压胀形实验所得的实际应力应变曲线来建立。此实验实际应力应变曲线常可采用幂次式来逼近： $\sigma_1 = K\varepsilon_1^n$ ，或直线式来逼近： $\sigma_1 = \sigma_0 + D\varepsilon_1$ 。

式中 K ——材料的强度系数；

n ——材料的应变强化指数；

D ——材料的应变刚模数；

σ_0 ——斜直线在纵轴上的截距，可称为起始屈服点。

以上常数均需通过实验来确定。

引入 σ_1 、 ε_1 和简单加载的概念后，可以将由单向拉伸或液压胀形得到的 $\sigma = f(\varepsilon)$ 关系曲线用到复杂应力状态中去。

1.1.2.5.1 通过单向拉伸试验建立 $\sigma_1 = f(\varepsilon_1)$ 关系时的计算

$$\sigma_1 = \sigma_1, \quad \sigma_1 \text{ 为轴向应力}$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_1, \quad \varepsilon_1 \text{ 为轴向应变}$$

$$n = \varepsilon_B$$

$$K = \sigma_B / \varepsilon_B^n$$

式中 ε_B 、 σ_B 为细颈点的应变和应力。

$\sigma_B = \sigma_s e^{1/n}$ ， σ_s 为材料的名义（假象）极限强度， e 是自然对数的底 ($e = 2.718$)。

1.1.2.5.2 通过液压胀形试验建立 $\sigma_t = f(\varepsilon_t)$ 关系时的计算

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{2}{1+r}} \sigma_p = \sqrt{\frac{2}{1+r}} \frac{Rq}{2t}$$

$$\varepsilon_t = \sqrt{\frac{1+r}{2}} \left| \varepsilon_p \right| = \sqrt{\frac{1+r}{2}} \ln \frac{t_0}{t}$$

式中 r ——材料的厚向异性指数；

σ_p ——顶点的经线向应力；

q ——液压单位压力；

R 、 t ——单位压力为 q 时顶点的曲率半径和厚度；

ε_t ——单位压力为 q 时顶点的厚向应变。

1.1.2.6 各向同性板工程计算的基本公式

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \\ &= \frac{1}{\beta} (\sigma_1 - \sigma_3) \end{aligned}$$

$\beta = 1 \sim 1.155$ ，取决于中间主应力 σ_2 的相对大小。单向拉伸、单向压缩、双向等拉，双向等压时， $\beta = 1$ 。纯剪、平面应变时， $\beta = 1.155$ 。应力间的相对关系未知时，可取 $\beta = 1.1$ 。

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2} \\ &= \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2} \\ &= \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_2^2} \\ &= \beta \varepsilon_{\max} \end{aligned}$$

ε_{\max} 为绝对值最大的主应变。 $\beta = 1 \sim 1.155$ ，取决于中间主应变 ε_2 的大小。应变间的相对关系未知时，可取 $\beta = 1$ 。

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_t}{\sigma_t} \left[\sigma_1 - \frac{1}{2} (\sigma_2 + \sigma_3) \right]$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_t}{\sigma_t} \left[\sigma_2 - \frac{1}{2} (\sigma_3 + \sigma_1) \right]$$

$$\varepsilon_3 = -\frac{\varepsilon_1}{\sigma_1} [\sigma_3 - \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2)]$$

1.1.2.7 厚向异性板工程计算的基本公式⁽¹⁾

r 为厚向异性指数。将3轴取为厚向，1、2轴在板面内，可认为 $\sigma_3=0$ 。

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma_1^2 - \frac{2r}{1+r}\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1+r}{\sqrt{1+2r}} \sqrt{\varepsilon_1^2 + \frac{2r}{1+r}\varepsilon_1\varepsilon_2 + \varepsilon_2^2}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_1}{\sigma_1} \left(\sigma_1 - \frac{r}{1+r}\sigma_2 \right)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_2}{\sigma_2} \left(\sigma_2 - \frac{r}{1+r}\sigma_1 \right)$$

$$\varepsilon_3 = -\frac{\varepsilon_1}{\sigma_1} \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{1+r} \right)$$

1.1.2.8 塑性变形能及其热效应⁽⁵⁾

在三个主应力 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 作用下产生三个主应变增量 $d\varepsilon_1$ 、 $d\varepsilon_2$ 、 $d\varepsilon_3$ ，在这期间给予材料每单位体积的塑性变形能增量 dw 为：

$$\begin{aligned} dw &= \sigma_1 d\varepsilon_1 + \sigma_2 d\varepsilon_2 + \sigma_3 d\varepsilon_3 \\ &= \sigma_1 \cdot d\varepsilon_1 \end{aligned}$$

$$d\varepsilon_1 = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(d\varepsilon_1 - d\varepsilon_2)^2 + (d\varepsilon_2 - d\varepsilon_3)^2 + (d\varepsilon_3 - d\varepsilon_1)^2}$$

若塑性变形能 W 全部消耗于坯料的温升，则温升 ΔT 为：

$$\Delta T = -\frac{W}{\rho C J}$$

式中 J ——热功当量；
 C ——为坯料的比热；
 ρ ——为坯料的密度。

1.1.3 基本成形类型和典型成形方式

1.1.3.1 成形类型

板金成形可归纳为压缩类成形、伸长类成形和弯曲类成形三种基本类型，如图1所示。

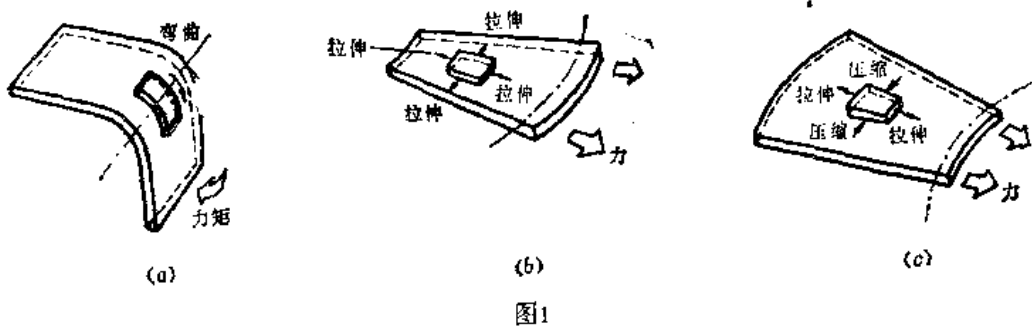


图1

如把材料的破裂作为最直观的成形极限，则破裂的极限可分为三种：由于弯曲产生的弯曲破裂，由于材料强度不足而产生的破裂(称 α 破裂)，和由于材料塑性不足而产生的破裂(称 β 破裂)，如图2所示。

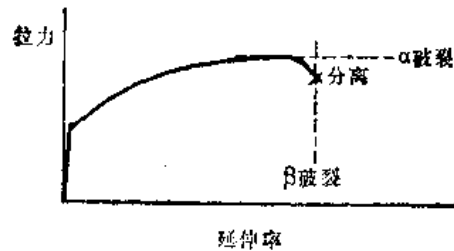


图2

1.1.3.2 典型成形方式

各种冲压成形方法中，最常见的典型成形方式可归纳为下述五类：

(1) 拉胀成形：或称为局部胀形。特点是：毛料外缘不变形，成形出的空心件，其侧壁面积完全由毛料中部产生双向拉胀，厚度变薄而形成，如图1(a)所示。

(2) 压延成形：或称为拉深成形。特点是：空心件的侧壁面积完全是由毛料凸缘被拉进凹模产生周向压缩使径向延伸而形成的，如图1(b)所示。

(3) 扩孔成形：或称为翻孔成形。特点是：空心件的侧壁面积是由位于原始开孔与凸模外径之间的材料受拉，产生周向延伸而形成的，如图1(c)所示。

(4) 弯曲成形：在弯矩作用下，使平板绕折弯线被弯曲为具有一定弯角和弯曲半径的零件。实际加工中，随所加弯矩的方法不同，又可分为压弯，绕弯，滚弯和拉弯。如图1(d)所示。

(5) 复合成形：综合有上述两种以上变形方式的成形，特点是：空心件的侧壁面积部分由压延，部分由拉胀或扩孔变形而形成，如图1(e)所示。

这些成形方式其变形区上材料所受应力状态和应变状态的特点，可分别用冲压应力图(图2)和冲压变形图(图3)来表示^[2]。

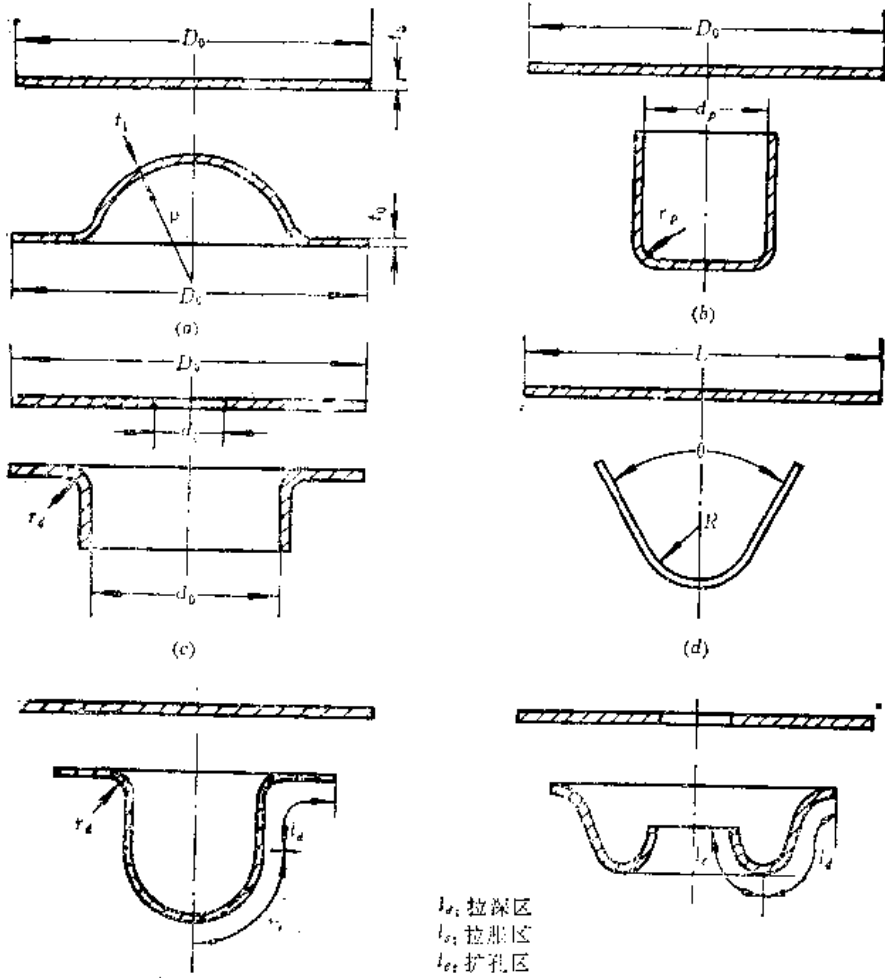


图1

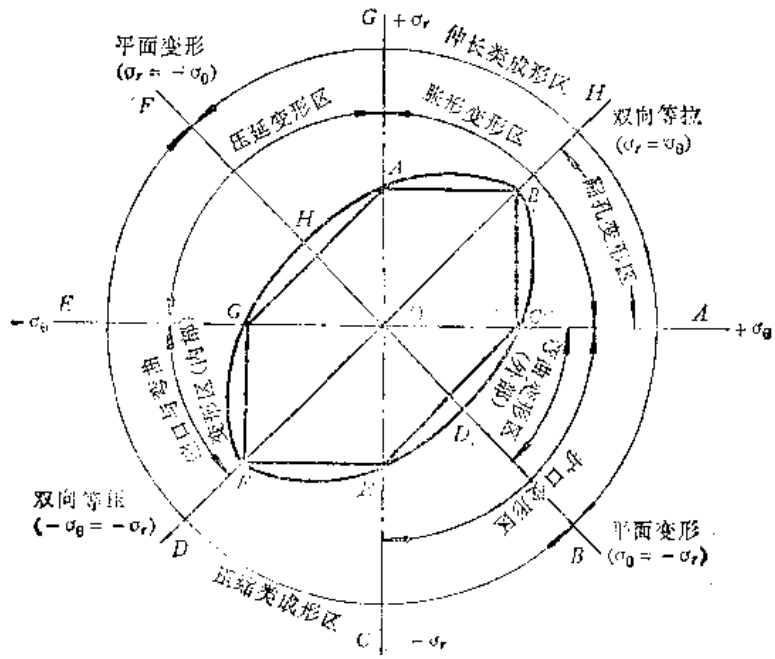


图2

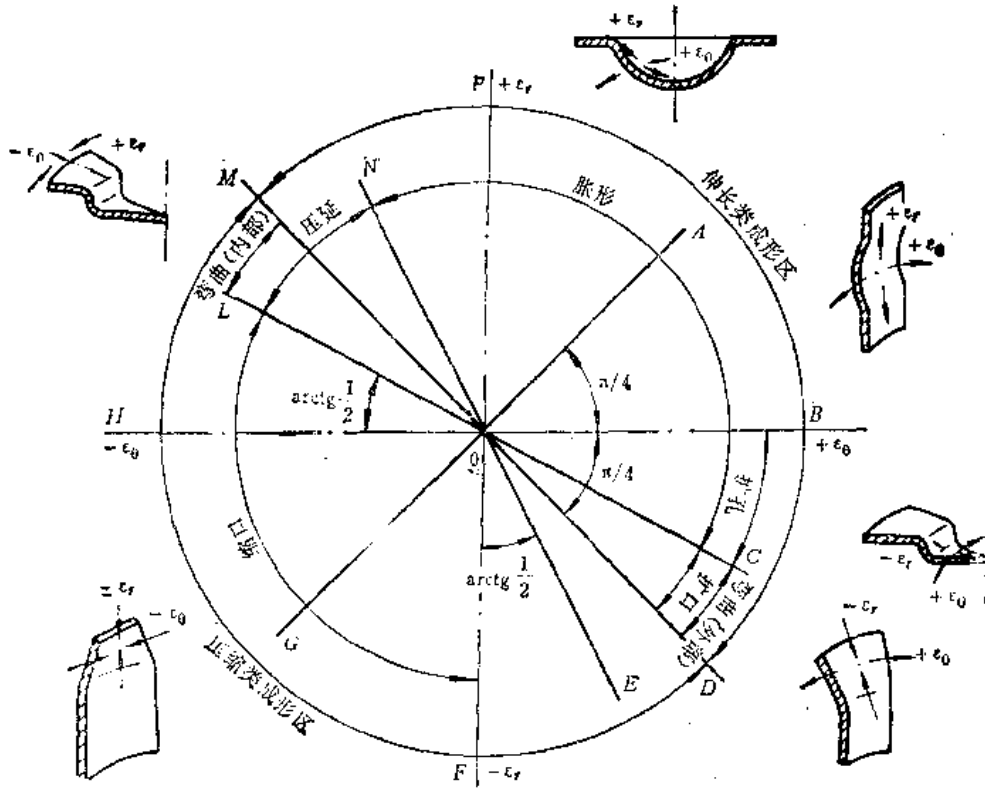
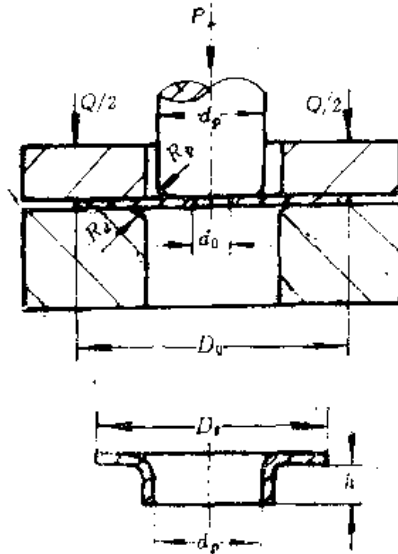


图3

1.1.3.3 成形方式的复合⁽⁸⁾

实际生产中很少出现单一典型成形方式的情况，严格地说几乎都是复合成形。如图所示的情况，形成零件侧壁 h 所需的材料，可能来自凸缘的流入(压延)，也可能来自底部的流出(扩孔)，或来自整个变形区材料的变薄(拉胀)。不同来源材料各占的比重，将取决于不同来源材料流动阻力的大小。当 D_0/d 和 d_0/d 都很小时，能实现的成形方式将是压延。当 D_0/d 和 d_0/d 都很大时，能实现的成形方式将是扩孔。当 D_0/d 很大而 d_0/d 很小时，能实现的成形方式将是拉胀。一般情况下，将是三者的综合，流动阻力相对大的，



对侧壁材料的贡献相对就小。

1.1.4 板金成形的限制^{〔4〕}

主要的限制有：

(1) 成形力的限制：以所用冲压设备的能力和模具的强度作为成形力的上限。

(2) 尺寸的限制：以所用冲压设备的大小和毛料尺寸作为成形尺寸的上限。

(3) 成形极限的限制包括：

①拉伸失稳（颈缩）或破裂的限制：希望材料无限制地变形或承受无限大的外力都是不可能的。成形中，坯料上某一局部的应力或应变超过某一定值时，就会在该处发生失稳或破裂。

②压缩失稳或起皱的限制：薄板在不大的压缩力或剪切力的作用下，就会失稳起皱。故坯料上局部出现过大的压缩力或剪切力时就会产生压缩失稳，其发展结果是出现皱纹。

一般把毛料在拉伸或压缩失稳前能承受的最大变形程度，称之为成形极限。

(4) 外形准确度和厚度变化率的限制：由于金属塑性变形中总含有弹性变形，故加工后的零件一般不会和模具的形状完全一致。由于塑性变形体积不变，伸长类成形区厚度会变薄（ $\epsilon_t < 0$ ），压缩类成形区厚度会变厚（ $\epsilon_t > 0$ ），故零件上必然厚度不均。

(5) 表面状态的限制：与模具相接触的材料有可能产生伤痕，自由表面也可能因塑性变形量和变形方式的不同，而使表面状态发生变化。

(6) 零件机械性能、理化性能等要求的限制：实际使用的是零件的材料，由于已有了较大的塑性变形，零件材料和原始板料在机械、理化性能上都已有相当大的不同。例如零件的残余应力会降低零件的使用强度及引起应力腐蚀。对此设计时应予以考虑或在成形后应予以消除。

参 考 资 料

- 〔1〕 胡世光，《板料冷压成形原理》，国防工业出版社，1979年。
- 〔2〕 李硕本，《冲压工艺学》，机械工业出版社，1982年。
- 〔3〕 唐荣锡、陈鹤峰、陈孝戴，《飞机钣金工艺》，国防工业出版社，1983年。
- 〔4〕 日本塑性加工学会，《压力加工手册》，机械工业出版社，1984年。
- 〔5〕 日本材料学会，《塑性加工学》，机械工业出版社，1983年。

1.2 板金材料的成形性能及其试验方法

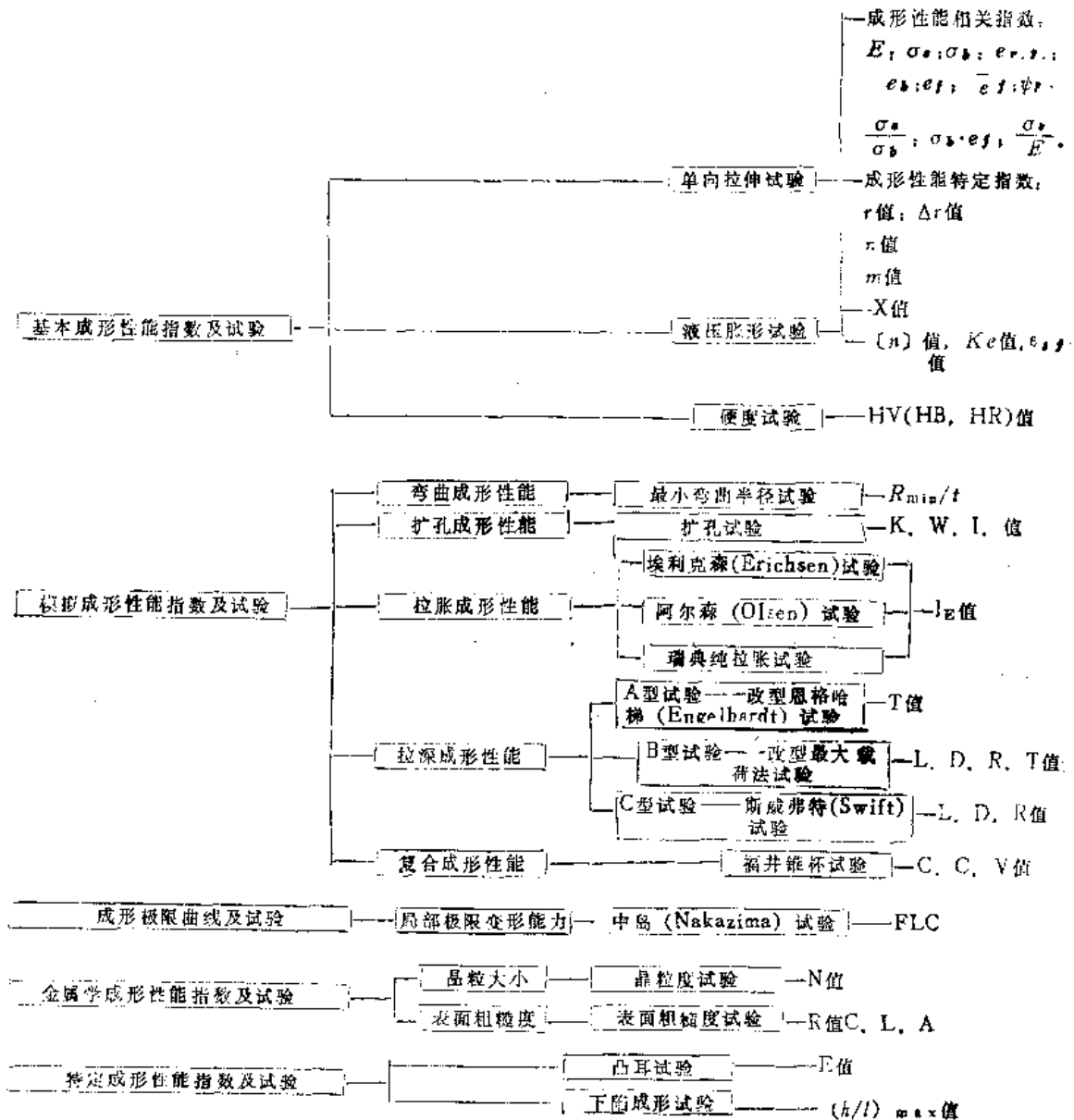
1.2.1 内容与范围

板金材料适应冲压加工的性能叫做冲压性，一般包括冲剪性、成形性、和定形性三个方面。

冲剪性是指板材适应冲裁与剪裁加工的能力。

成形性是指板材适应各种成形加工的能力。大多数板金零件都需经成形工序，使平板毛料变成具有一定形状的零件。

表1. 成形性能、成形性能试验及成形性能指数归类表(I)



定形性是指在成形外力卸除过程中和卸除之后，零件保持其已得形状的能力。

本章的内容主要是有关成形性的资料。

成形性中最重要的是成形极限的大小。成形极限一般指钣金材料在破裂或起皱以前，能够达到的极限变形程度。

钣金材料的成形性能除取决于材料的牌号和状态外，还取决于其在成形时的变形方式、变形条件、变形历史和应变梯度。同一种牌号的钣金材料，采用不同的成形方法，能达到的极限变形程度也不同。

再者，各种具体生产条件，例如毛料平面尺寸的大小、厚薄、边缘状况，模具参数，摩擦润滑情况、工人操作情况等，对钣金材料能达到的极限变形程度也有相当大的影响。

对一种钣金材料如何评判其成形性能？对一个钣金零件如何从成形加工的角度选择最恰当的材料牌号和状态？是成形性研究中很有实用意义的问题。

当前已经提出了很多评判钣金材料成形性能的指数和取得这些指数的试验方法，现归纳如表1⁽¹⁾和表2⁽²⁾。本章按照表1的体系简明介绍了各成形性能指数的含意、意义和试验方法的要点。对试验方法的介绍，以有关国标和航空工业部部标或草案为基础。

表2. 成形性能, 成形性能试验, 成形性能指数归类表 (I)

成形性能	试验方法	成形性能指数
拉伸性能	单向拉伸试验 液压胀形试验 埃利克森试验 纯拉伸试验	应变强化指数 n 值 均匀延伸率 e_b 极限延伸率 e_f 应变强化指数(n)值 破裂处的厚向应变 $e_{t,f}$ 胀形系数 k_e 最大胀形高度 h_{max} (mm) 埃利克森值 I_E (mm) 极限胀出高度 (mm)
压延性能	单向拉伸试验 液压胀形试验 压延试验 恩格哈梯试验	厚向异性指数 r 值 宽度收缩应变 μ 值 加工硬化各向异性指数 X 值 极限压延比 L, D, R , (用平底凸模) Engelhardt T值
压延胀形复合成形性能	单向拉伸试验 锥杯试验 压延试验	$n \times r$ 值 n 值 锥杯值 C, C, V , (mm) L, D, R , (用平底凸模) 极限成形高度 h_{max} (mm)
扩孔性能	单项拉伸试验 液压胀形试验 扩孔试验	极限变形能 \bar{e}_f n 值 e_b e_f (n)值 $e_{t,f}$ K, W, I 值
弯曲性能	弯曲试验	R_{m10}/t 值
板面内各向异性	单向拉伸实验 凸耳实验 锥杯实验	Δr 值 平均耳高 E 值 外径的比较
表面恶化性	单向拉伸试验 埃利克森试验 液压胀形试验	屈服现象, 拉伸滑移, 表面粗糙 表面粗糙, 拉伸滑移 表面粗糙

(续)

成形性能	试验方法	成形性能指数
定形性	单向拉伸试验 实物试验	弹性模量 E , σ_s/E 屈强比 σ_s/σ_b , r 值 成形件尺寸差等
抗起敏性	单向拉伸试验	r 值, n 值
二次成形性	多次压延试验	极限再压延比

1.2.2 基本成形性能指数及其试验

成形材料的基本特性指数, 可通过单向拉伸试验、液压胀形试验和硬度试验得到。这些特性指数和成形性能的关系如下表^[3]:

材料特性值和成形性的关系表

材料特性	符 号	与成形性的关系
弹性模量	$E, E/\sigma_s$	此值越大, 定形性越好
屈服点现象	上屈服强度和下屈服强度的差, 屈服点伸长 e_{r-p}	发生拉伸带移线, 影响表面质量
抗拉强度	σ_b	此值越大, 成形力越大; 与成形性能有关的其它性能大致相同时, 抗拉强度大的成形性好
极限延伸率	e_f	此值越大, 胀形性能、翻边性能和弯曲性能越好
屈强比	σ_s/σ_b	此值越小, 成形性、定形性越好
均匀延伸率	e_b	此值越大, 胀形性能、弯曲性能和翻边性能越好
极限变形能	$\bar{\epsilon}_f$	绝对值越大, 翻边性能、弯曲性能越好
应变硬化指数	n_1 (单向), n_2 (双向)	此值越大, 胀形性能、压延性能、翻边性能和弯曲性能越好, 抗皱折性也好
强度系数	K_1 (单向), K_2 (双向)	此值越大, 成形力越大
厚向异性指数	r_0 (轧制方向) 平均 $\bar{r} = \frac{r_0 + r_{90} + 2r_{45}}{4}$	在同类材料范围内, 此值越大, 压延性能越好, 抗皱折性也好
Δr 值	$\Delta r = \frac{r_0 + r_{90} - 2r_{45}}{2}$	此值越大压延件的突耳越大
加工硬化各向异性指数	$X = \frac{(\sigma_i)_{\text{双拉}}}{(\sigma_i)_{\text{单拉}}}$	对于许多材料, 此值越大, 压延性能越好, 胀形性能也好
胀形系数	$K_s = \left(\frac{\text{最大胀形高度}}{\text{凹模半径}} \right)^2$	此值越大, 胀形性越好
晶粒度	A, S, T, M, N, 等	晶粒大则表皮粗糙
再结晶组织结构	主方向和其聚集度	与压延性能有关

1.2.2.1 单向拉伸试验

由单向拉伸试验能得到的材料特性指数如图 1。试件的尺寸如图 2, 用(a)或(b)均可。

1.2.2.1.1 单拉试验求得的成形性能相关指数

弹性模量 E 、屈服点 σ_s (或 $\sigma_{0.2}$)、抗拉强度 σ_b 及极限延伸率 e_f 的测定按 GB228-76《金属拉力试验法》和 GB3076-82《金属薄板(带)拉伸试验方法》的规定。对应于最大载荷时的应变称为细颈点应变 e_n 或 e_{n0} 。

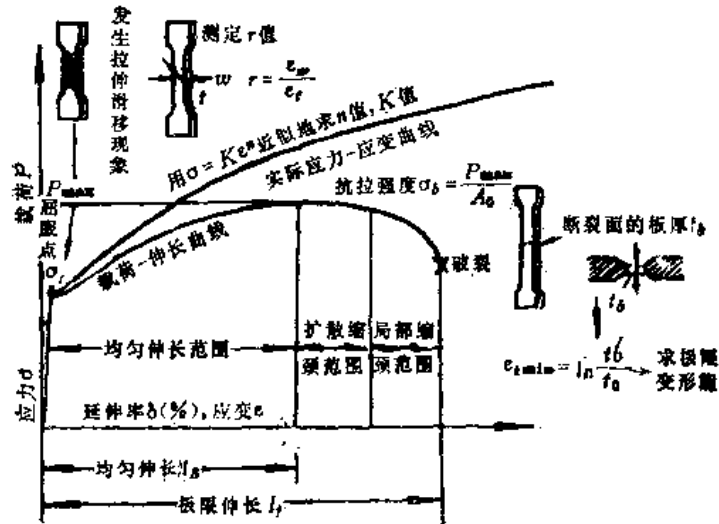


图1

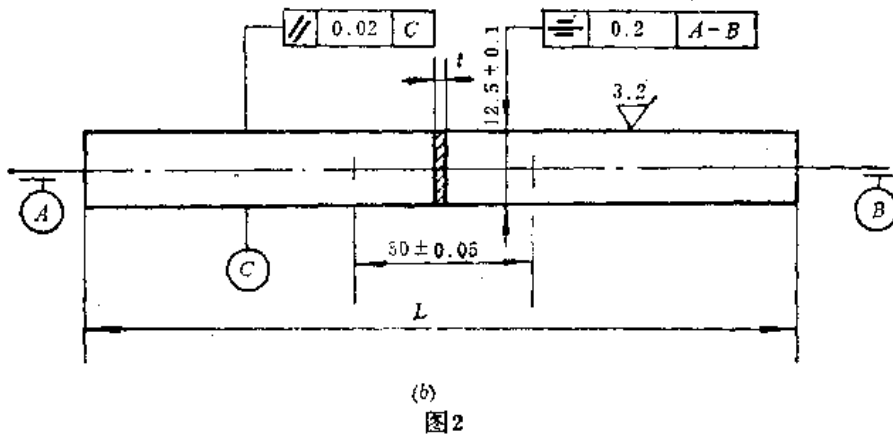
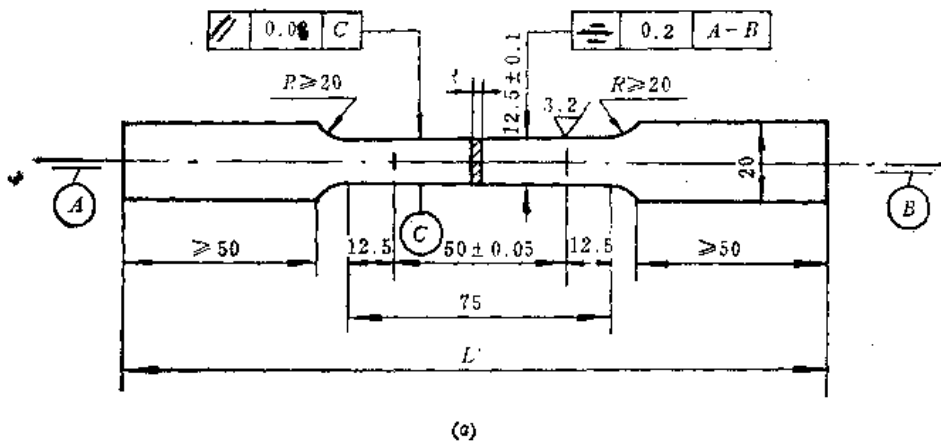
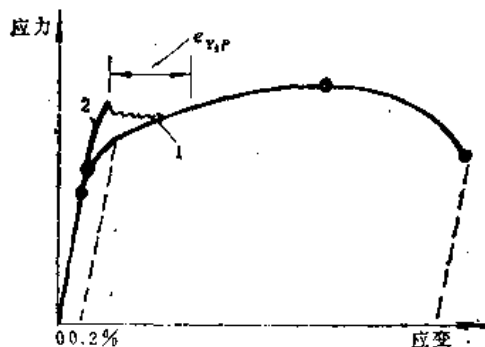


图2

极限变形能 $\bar{\epsilon}_f$ 即试件断裂部位的应变强度。可先求得断裂部位的 ϵ_s 和 ϵ_n 。(原始标距2mm的宽向应变), 进而求得该部位的轴向应变 ϵ_t 。

屈服点伸长 $\epsilon_{r, 0.2}$ 的含义如图。第一类材料没有明显的屈服点, 一般用有0.2%永久伸长时的应力 $\sigma_{0.2}$ 作为屈服强度 σ_s 。第二类材料有不连续屈服现象——屈服时有一段应力

上下波动的应变区，这个应变区的长度叫屈服点伸长 $e_{r,p}$ 。第二类材料在成形经过屈服时，板料表面会产生目视可见的滑移线。这种不连续屈服现象最容易在退火状态的冷轧钢板中产生， $e_{r,p}$ 值往往达百分之几。



上述各特性指数与成形性能的关系见1.2.2所列表。

1.2.2.1.2 单拉试验求得的成形性能特定指数

通过单拉试验求得的下述指数，能令人满意的表明板材成形性能的好坏。

厚向异性指数 r 值；

应变强化指数 n 值；

应变速率敏感指数 m 数。

1.2.2.1.2.1 r 值和 Δr 值

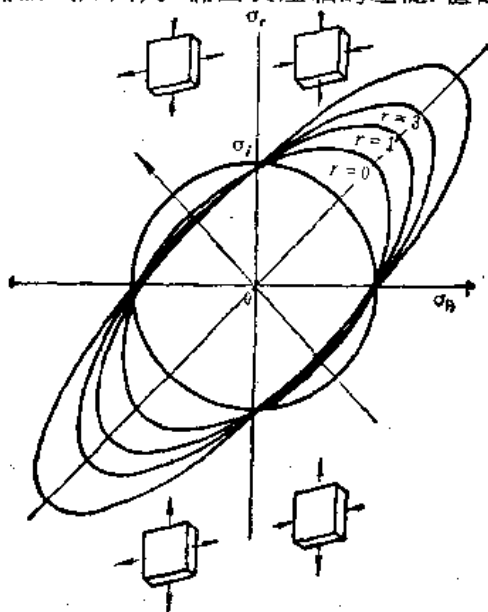
r 值叫做板材的厚向异性指数，也叫塑性应变比。其定义为：单向拉伸试验时，试件宽向应变 ϵ_w 与厚向应变 ϵ_t 之比，即

$$r = \left(\frac{\epsilon_w}{\epsilon_t} \right)$$

其直接的物理意义是板材抵抗变薄（或变厚）的能力。它隐含的物理意义是板面内变形抗力的异向性。存在厚向异性的板材，在任何平面应力状态下，其屈服方程为

$$\sigma_r^2 - \frac{2r}{1+r} \sigma_r \sigma_\theta + \sigma_\theta^2 = \sigma_0^2$$

此方程的几何图形为一族椭圆（如图）。椭圆长短轴的差随 r 值的增大而增大。



r 值是评判材料成形性能，尤其是压延类成形性能好坏的重要指数。

试件轴向与板材轧压纤维方向间的夹角不同，同一张板材上所取试件的 r 值还可能不同，这种情况叫板面内的各向异性，其大小常用 Δr 值来表示：

$$\Delta r = \frac{r_0 + r_{90} - 2r_{45}}{2}$$

规定主轧制方向为 0° ， r_0 表示 0° 方向的 r 值。

r_0 、 r_{90} 、 r_{45} 不相等时，通常用 r （或 \bar{r} ）来代表板材的 r 值。

$$r = \frac{r_0 + 2r_{45} + r_{90}}{4}$$

也有人认为不应该用 r 而应该用 r_{\min} 来代表，因裂或皱总是最先在 r_{\min} 的方位上出现。

试验还发现：大多数材料的 r 值不随轴向应变 e_t 的增加而变化，但也有材料是变化的。对这些材料，还需统一规定用一定的 e_t 值时的 r 来代表板料的 r 。例如对于软钢板，建议用 $e_t = 0.2$ 时的 r 代表板料的 r 。

例如 $r_{45}^{20\%}$ ，表示是用 45° 方向取样在假象应变20%时测得的 r 值。

由于厚向应变 e_t 难以高精度的自动测量，故实际上多是用引伸计自动测量轴向应变 e_t 和宽向应变 e_w ，从而换算出 r 值。

1.2.2.1.2.2 n 值

n 值叫做板料的应变强化指数。大多数材料的单拉实验实际应力曲线都可以用一个幂次式

$$\sigma = Ke^n$$

来近似拟合。故 n 值的定义为：用幂次式来拟合材料的实际应力曲线时，该幂次式的幂指数。它反映了材料的应变强化特征。

n 值的物理意义，是材料均布变形的能力。 n 值大，即材料的 $d\sigma_t/d\varepsilon_t$ 大时，整个变形区上应变分布比较均匀。

n 值是评判材料成形性能，尤其是拉胀类成形性能好坏的重要指数。

由于板面内的各向异性，可用 n 或 \bar{n} 来代表板料的 n 值：

$$\bar{n} = \frac{n_0 + 2n_{45} + n_{90}}{4}$$

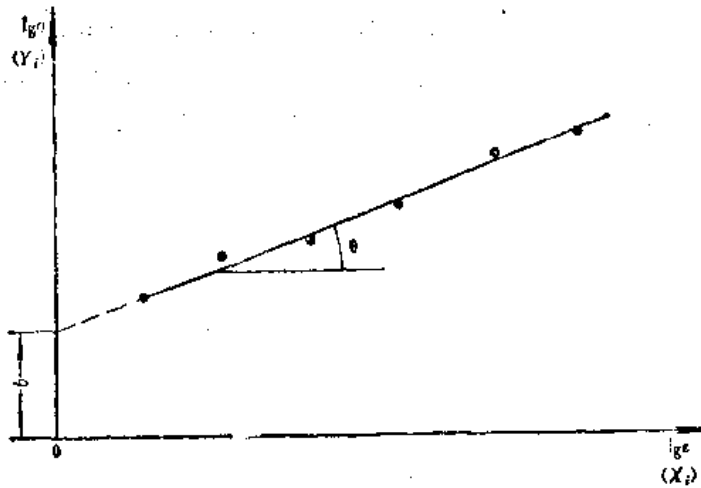
试验发现，不少材料的 n 值是随轴向应变 e_t 的增加而变化的。即这些材料的实验实际应力曲线在不同的 e_t 区间，需用不同 n 值的幂次式曲线才能较好的拟合。这类材料只用 $e_t = e_s$ ($\varepsilon_t = \varepsilon_s$)时的 n 来代表板料的 n ，其误差就大了。

我国测定 n 值的国家标准（草案），规定用如下方法求材料的 n 值和 K 值（ K 值叫做材料的强度系数）：

由 $\sigma = Ke^n$ 取对数：

$$\lg \sigma = \lg K + n \lg e$$

此式在 $\lg \sigma \sim \lg e$ 的直角坐标中为一条直线（如图），此直线的斜率 $\tan \theta$ 即为 n 值。 $e=1$ 时的 σ 值为 K 值（直线在纵轴上的截距 b 即为 $\lg K$ 值）。



在需要考查的应变范围内，等距离地选取5个以上的 ϵ 值并记录下相应的 σ 值。这样在 $\lg\sigma$ - $\lg\epsilon$ 坐标上至少能有五个点，从而可画出直线。

更常用的是线性回归方法，由实测数据计算出 n 值和 K 值。

令实测应变值的对数为 X_i （即 $X_i = \lg\epsilon$ ），应力值的对数为 Y_i （即 $Y_i = \lg\sigma$ ），共实测了 N 个数据对，则有：

$$n = \frac{N \sum_{i=1}^N X_i Y_i - \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N Y_i}{N \sum_{i=1}^N (X_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^N X_i \right)^2}$$

$$K = e^b \quad (e \text{ 为所用对数的底数})$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i - N \sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

$\lg\sigma$ 和 $\lg\epsilon$ 间的线性相关程度，可用线性相关系数 ρ 来判断：

$$\rho = \frac{N \sum_{i=1}^N X_i Y_i - \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N Y_i}{\left[\left(N \sum_{i=1}^N X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N X_i \right)^2 \right) \left(N \sum_{i=1}^N Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N Y_i \right)^2 \right) \right]^{\frac{1}{2}}}$$

上述这种确定 n 值和 K 值的方法，叫做曲线拟合法。

除曲线拟合法外，还可以用最大载荷法来确定 n 值和 K 值。最大载荷法是以载荷加到最大值 P_{max} 时， $d\rho=0$ 为条件，推得：

$$n = \epsilon_B$$

$$K = \frac{P_{max}}{A_0} \left(\frac{e}{n} \right)^n$$

单向拉伸时的细颈点应变 ϵ_B ，最大载荷 P_{max} ，试件原始剖面积 A_0 ，均可由试验求得。式

中 e 是自然对数的底。这样求得的幂次式理论实际应力曲线, 只能保证在细颈点附近与实验实际应力曲线一致。

1.2.2.1.2.3 m 值

变形温度对材料的塑性变形有重大影响。考虑温度因素时, 材料单拉实际应力曲线可用如下形式表示:

$$\sigma = f(K, \epsilon^n, \dot{\epsilon}^m, T)$$

其中 $\dot{\epsilon} = d\epsilon/dt$, 叫做实际应变的变速率, T 为绝对温度 K 。在室温常速条件下, $m \approx 0$, 则实际应力曲线可表示为:

$$\sigma = K\epsilon^n$$

在变形温度高于 $0.5T$ 或 K 时, 将没有应变强化, 即 $n=0$, 则实际应力曲线可表示为:

$$\sigma = K\dot{\epsilon}^m$$

由
$$d\sigma = mK\dot{\epsilon}^{m-1}d\dot{\epsilon} = mK\dot{\epsilon}^m \frac{d\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}} = m\sigma \frac{d\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}}$$

可知
$$m = \frac{\frac{d\sigma}{\sigma}}{\frac{d\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}}}$$

这就是 m 值的定义。即在单拉试验中, 变形抗力增长率对应变速率增长率的比率。

m 值在热成形中具有重要意义, 是评定材料热成形 (包括超塑性成形) 性能好坏的一个重要指数。但对室温常速成形, m 值没有重要意义。

1.2.2.1.3 一些国产板料的单拉试验数据

国产板料的单拉试验数据表⁽²⁾

材料牌号	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_b (MPa)	$\frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_b}$	$\delta_{10} (\delta_5)$ (%)	ψ_r (%)	$n = \epsilon_B$	$K = \frac{\sigma_f}{\epsilon_B^n}$	r	F (MPa)	E $\sigma_{0.2}$
LF21M	83	106	0.59	30	80	0.21	17.7	0.44	71000	1130
LF2M	90	177	0.51	20	70	0.16	27.5	0.63		
LY12M	104	166	0.63	19	53	0.13	24.6	0.64	71000	662
LY12C	295	457	0.65	15.6	35	0.13	68.1		71000	234
LC4M	100	210	0.48	17	52	0.12	30.5		71000	670
LC4C	491	576	0.85	10.3	25.2	0.04	63.7		71000	136.5
MB8	211	270	0.78	15~20	25~30	0.11	38.4		41000	195
10F	232	310	0.75	45	70	0.23	54.7	1.30	210000	945
20	236	301	0.6	28	45	0.18	63.7	0.60	210000	860
30CrMnSi	388	609	0.64	26	50	0.14	92.4	0.90		
1Cr18Ni9Ti	357	652	0.55	45	65	0.34	1.4	0.89	200000	530
TC1	450~650	600~750	0.8~0.85	(20~35)	30~50	0.08~0.09			110000	259~109

(续)

材料牌号	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_s (MPa)	$\frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_s}$	$\delta_{10}(\delta_5)$ (%)	ψ (%)	$n=\varepsilon_B$	$K=\frac{\sigma_f}{\varepsilon_B^n}$	r	E (MPa)	$\frac{E}{\sigma_{0.2}}$
T2	174	220	0.79	43	61	0.27	41.1	1.09	110000	632
H62	161	320	0.5	50	58	0.38	67.2	1.00		
GH-99						0.377	204.6	0.977		

1.2.2.1.4 一些板料的单拉实际应力曲线[⊖]

见图1~图10。图中：

N_1, K_1 ——按最大载荷法确定的 n, K 值；

N_2, K_2 ——按曲线拟合法确定的 n, K 值；

W_0 ——试件的原始宽度；

T_0 ——试件的原始厚度；

ρ ——用曲线拟合法时的线性相关系数；

角度——指试件轴向与轧制方向的夹角。

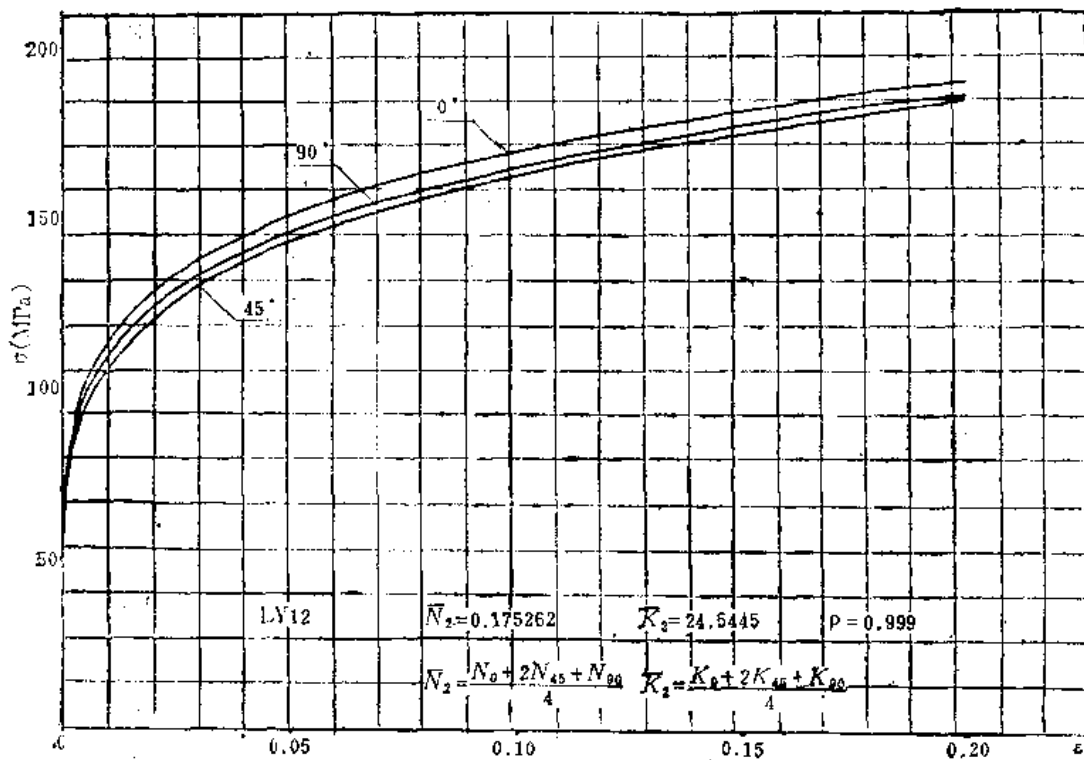


图1

[⊖]资料取自北京航空学院七〇四教研室《板材成形性能科研资料汇编》，1985。

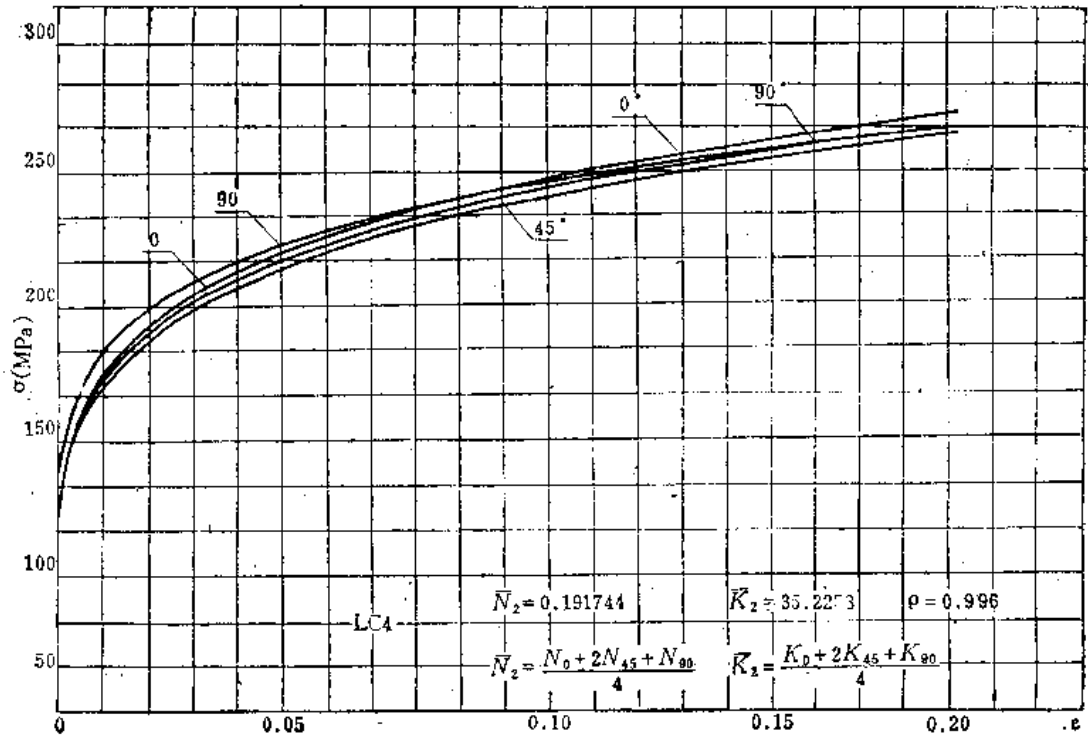


图2

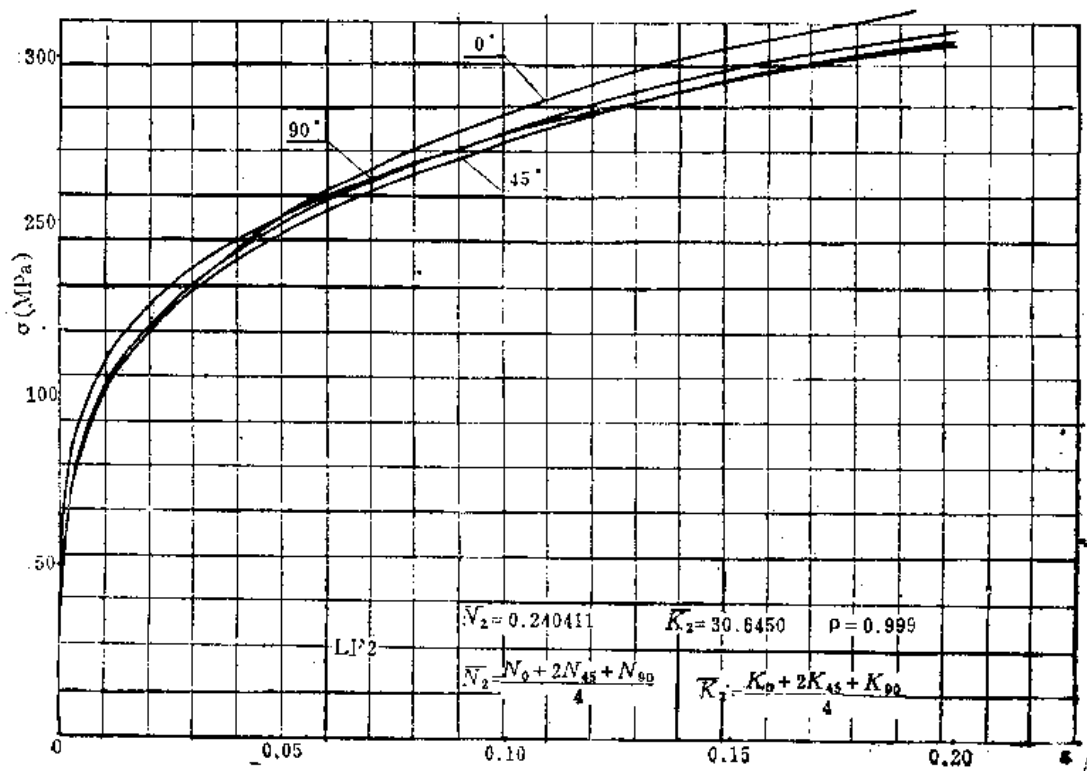


图3

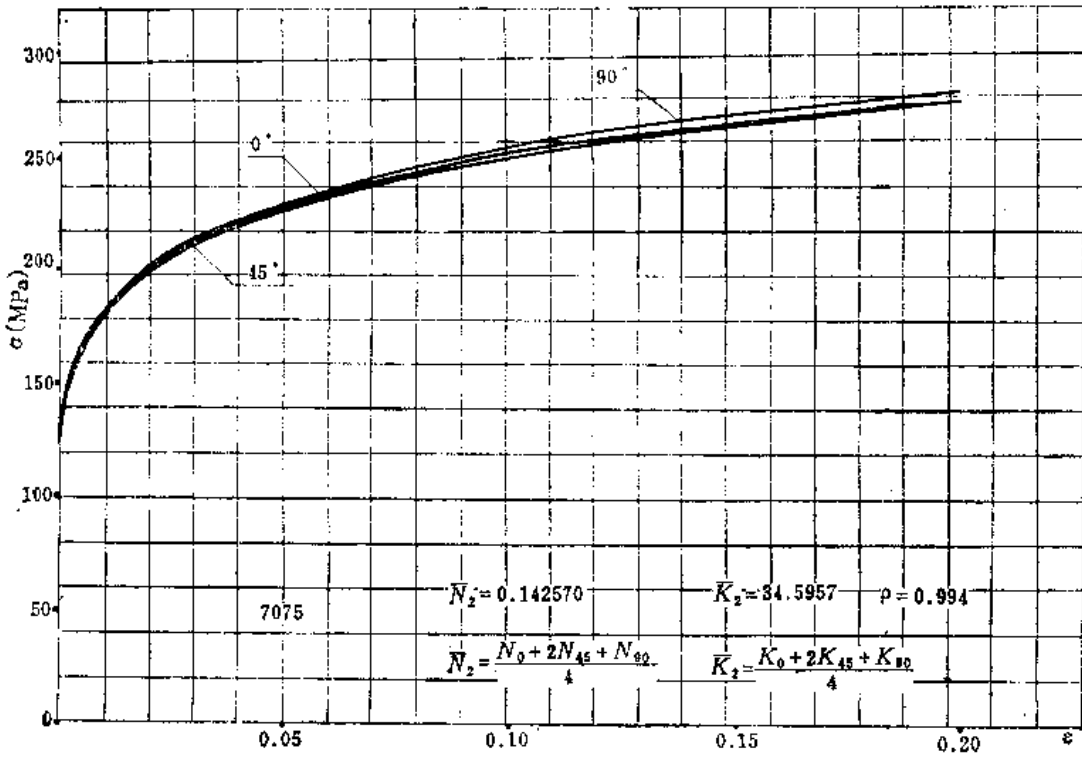


图4

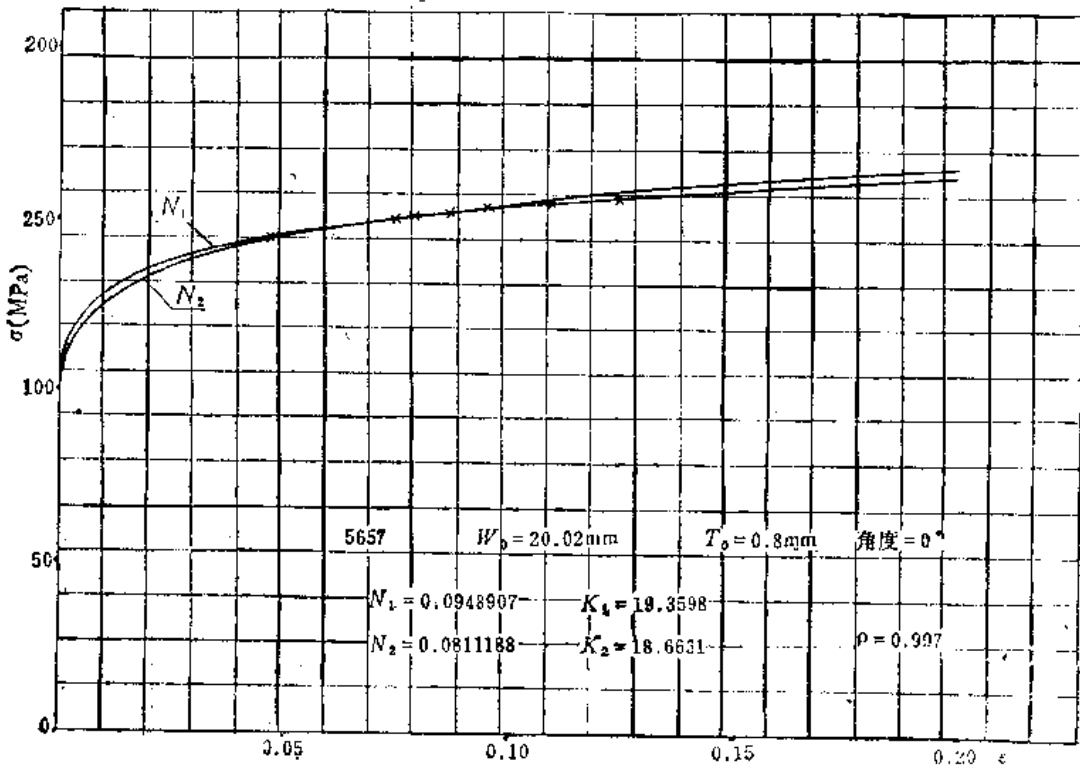


图5

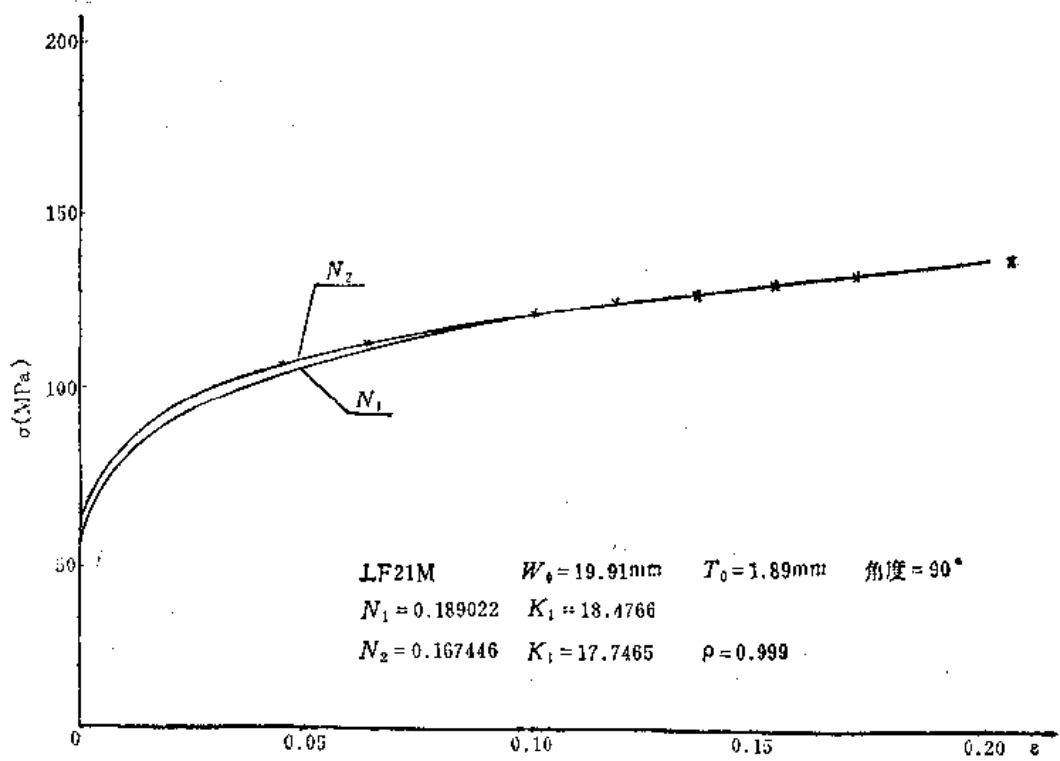


图6

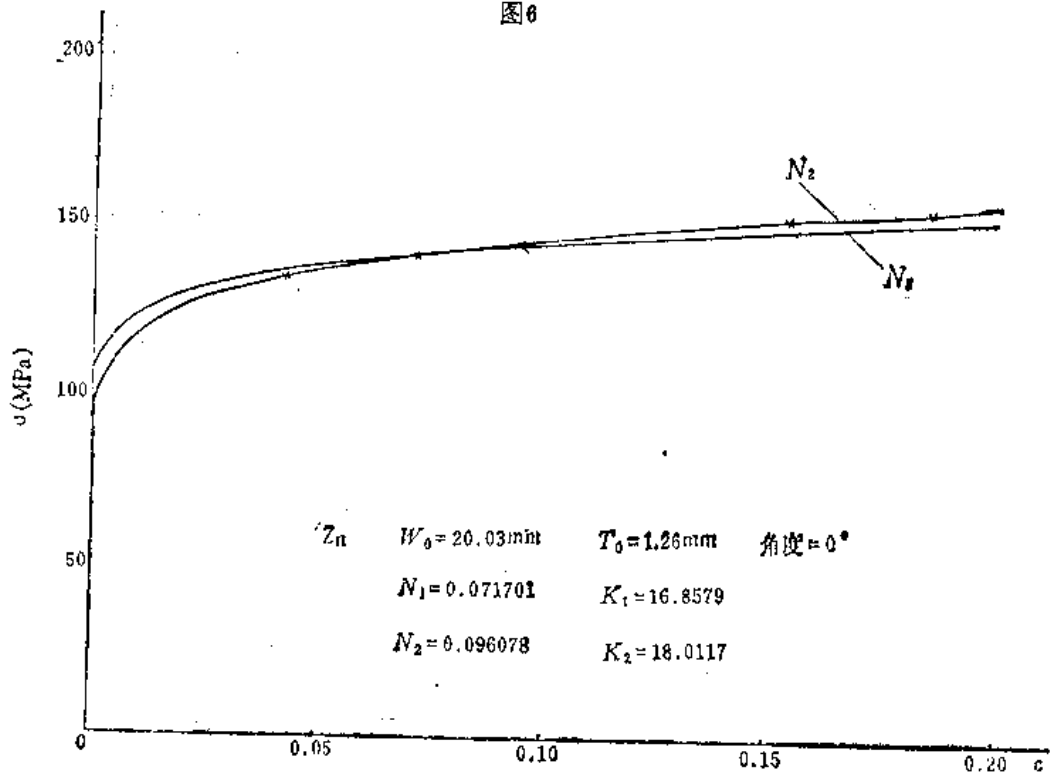


图7

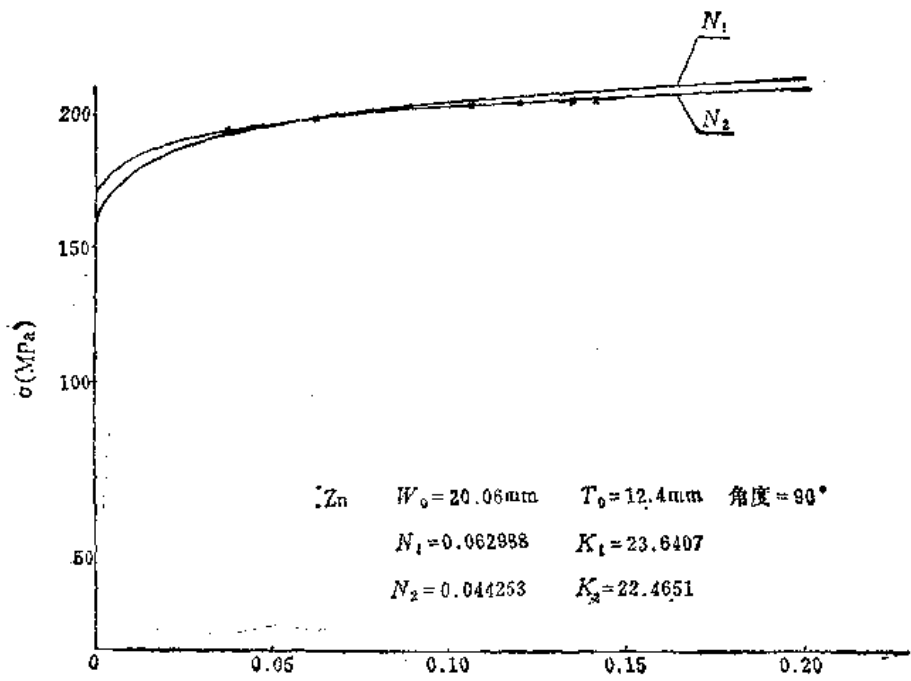


图8

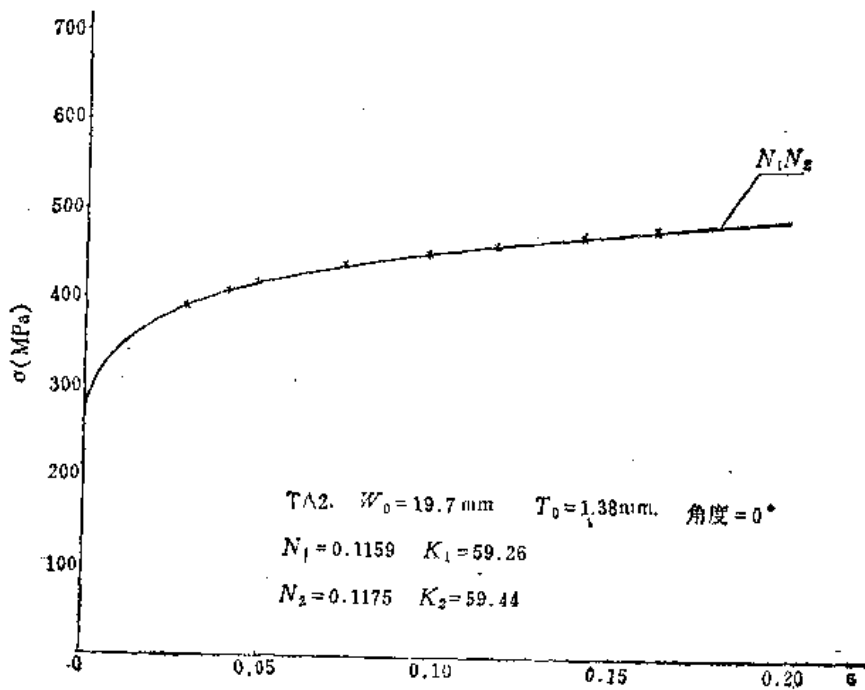


图9

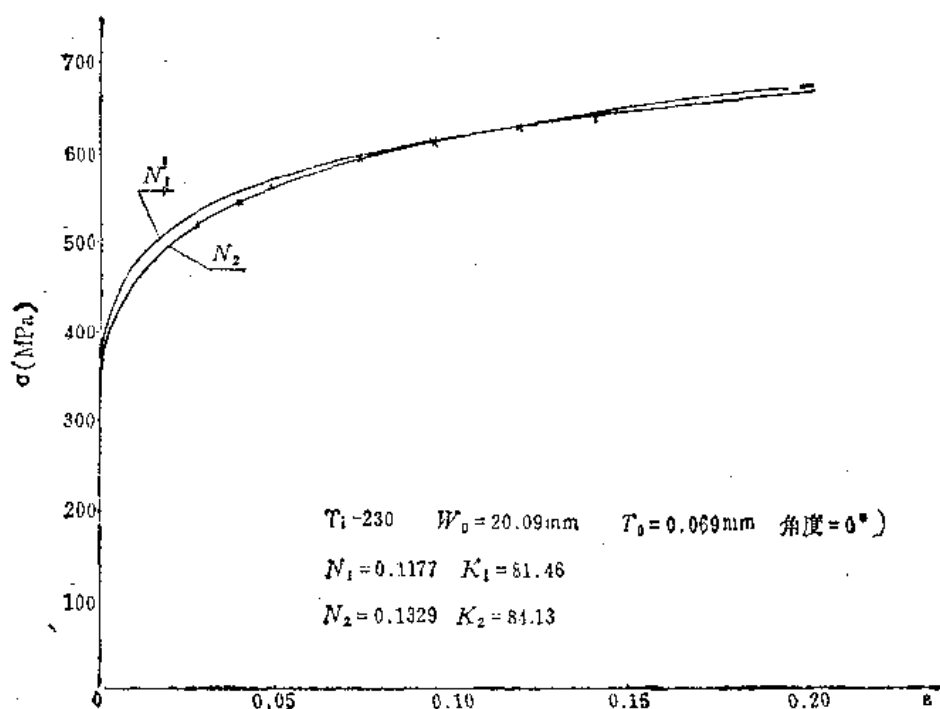
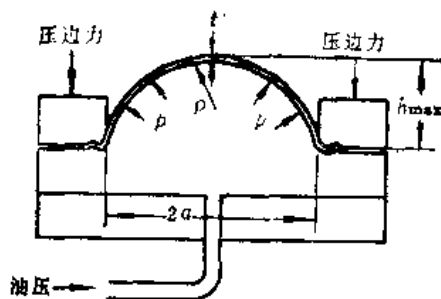


图10

1.2.2.2 液压胀形试验

液压胀形试验的原理如图。通过此试验来建立材料实验实际应力曲线 $\sigma_i = f(\epsilon_i)$ 关系的计算参见1.1.2.6节。



1.2.2.2.1 (n) 值和 X 值

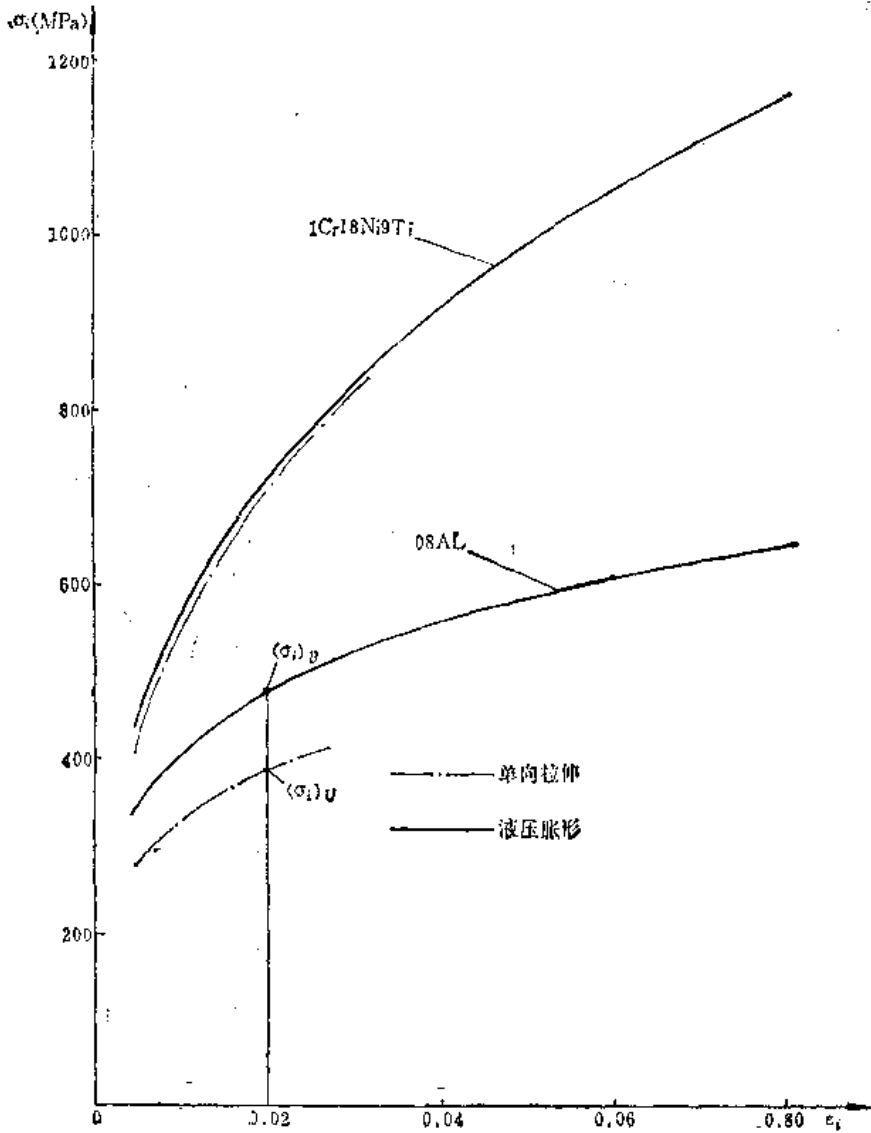
同一材料从单拉试验和从胀形试验求得的实验实际应力曲线画在一起将如下页图所示。为了减少理论曲线的拟合误差，胀形曲线可以分两段用两个幂次式来拟合：

$$\sigma_i = K_1 \epsilon_i^{n_1}; \quad \sigma_i = K_2 \epsilon_i^{n_2}$$

从图上还可看出：单拉曲线和胀形曲线并不一致。这种不一致是材料塑性的各向异性的反映，可用 X 值来表示。 X 值的定义为：对应于相同的 ϵ_i ，胀形试验的 $(\sigma_i)_B$ 和单拉试验的 $(\sigma_i)_T$ 的比值，即：

$$X = \frac{(\sigma_i)_B}{(\sigma_i)_T}$$

ϵ_i 可取在20%或失稳点。 X 值称为材料的加工硬化各向异性指数。



X 值也是一个反映材料塑性异向性的指数。试验证明，钛和硬铝板材的极限压延比（ LDR ）和 X 值的相关性比 r 值更好。但 X 值的取得必须通过单拉和胀形两种基本试验，它远不如取得 r 值容易。

1.2.2.2.2 h_{max} 值或 K_z 值

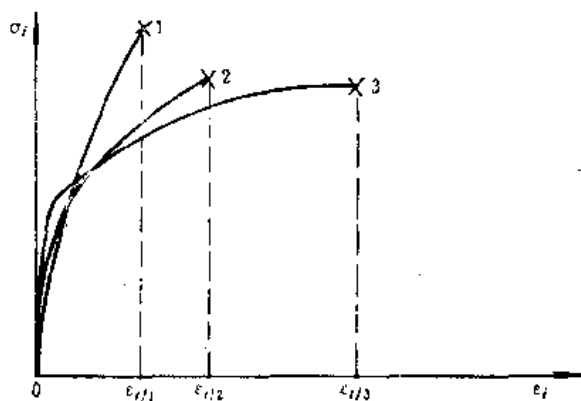
由胀形到破裂时的最大成形高度 h_{max} 值，可得到材料的胀形系数 K_z 值

$$K_z = \left(\frac{h_{max}}{a} \right)^2$$

a 为胀形凹模的半径。 K_z 值大，胀形性能好。

1.2.2.2.3 ϵ_{if} 值

ϵ_{if} 是液压胀形试验中破裂处的厚向应变值。在胀形试验中可认为 ϵ_t ，即 ϵ_{if} 。大多数材料的实际应力曲线均能用理论曲线 $\sigma_t = K \epsilon_t^n$ 来拟合。下页图表示了三条这样的曲线 K, n 值均由拟合法确定， $\epsilon_{if} = \ln(t_f/t_0)$ ， t_f 从破口处测得。



由图可以看出，曲线1、2、3的 K 、 n 值依次减小，但材料的极限变形能力 ϵ_{if} （即 ϵ_{if} ）却依次增大。一般来说， K 值反映了材料的变形抗力，决定曲线位置的高低， K 值愈大，曲线愈高。 n 值反映了材料的应变强化特性，决定曲线的弯曲程度， n 值愈大，曲线的弯曲度愈小。 ϵ_{if} 值反映了材料拉胀时的极限变形能力，决定了曲线的有效区间——即函数 $\sigma_i = K \epsilon_i^n$ 的定义域。

常用材料的 ϵ_{if} 值及按 ϵ_{if} 值排队的顺序如下表 \ominus 。

常用板材的 ϵ_{if} 值表

顺序	1	2	3	4	5	6
材料	T2M	1Cr18Ni9Ti	PCEN	08AL	2024CL	LF21M
f_0	0.953~0.963	1.005~1.035	0.975~1.000	1.020~1.050	1.027~1.032	0.970~0.990
ϵ_{if}	0.985~1.070	0.945~1.005	0.930~1.075	0.900~1.015	0.885~0.935	0.875~0.935
顺序	7	8	9	10	11	12
材料	7075CL	20*	LY12M	A3F	LF2M	LC4M
f_0	1.015~1.025	1.085~1.120	0.915~0.930	1.005~0.930	0.903~0.920	0.930~0.955
ϵ_{if}	0.740~0.865	0.710~1.085	0.665~0.835	0.665~0.835	0.515~0.715	0.405~0.550

1.2.2.2.4 一些板料的液压胀形试验数据 \ominus

常用板料从双拉试验求得的实际应力曲线如图1和2。用拟合法求得的幂次式理论曲线的 K 、 n 值和相应的线性相关系数 ρ 值如表。

\ominus 资料取自北京航空学院七〇四教研室《板材成形性能科研资料汇编》，1985。

双拉实际应力曲线的 K, n 值表

材 料	LF2M	LF21M	LY12M	LCM4	7075CL	2024CL
K	37.333	20.104	28.192	45.793	38.008	28.384
n	0.182	0.133	0.130	0.153	0.116	0.140
ρ	0.997	0.949	0.992	0.998	0.978	0.979
材 料	T2M	08AL	1Cr18Ni9Ti	20*	A3F	SPCEN
K	47.964	68.316	124.715	74.168	69.135	68.020
n	0.309	0.227	0.341	0.220	0.208	0.213
ρ	0.999	0.998	0.994	0.998	0.998	0.998

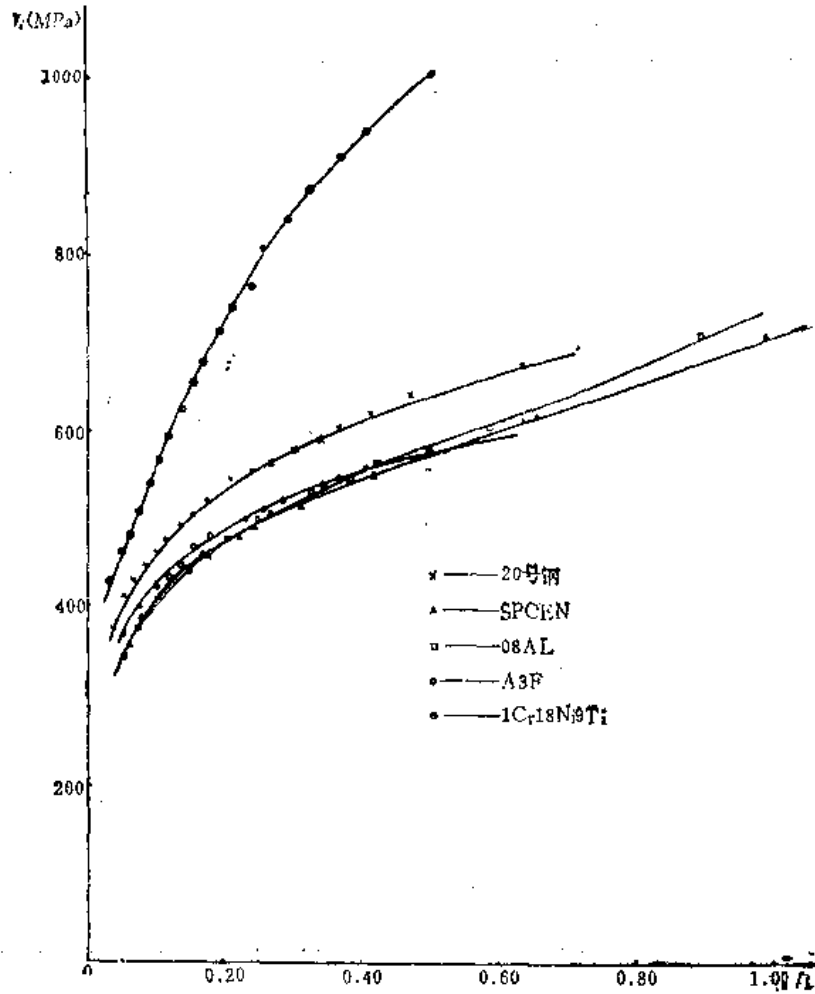


图1

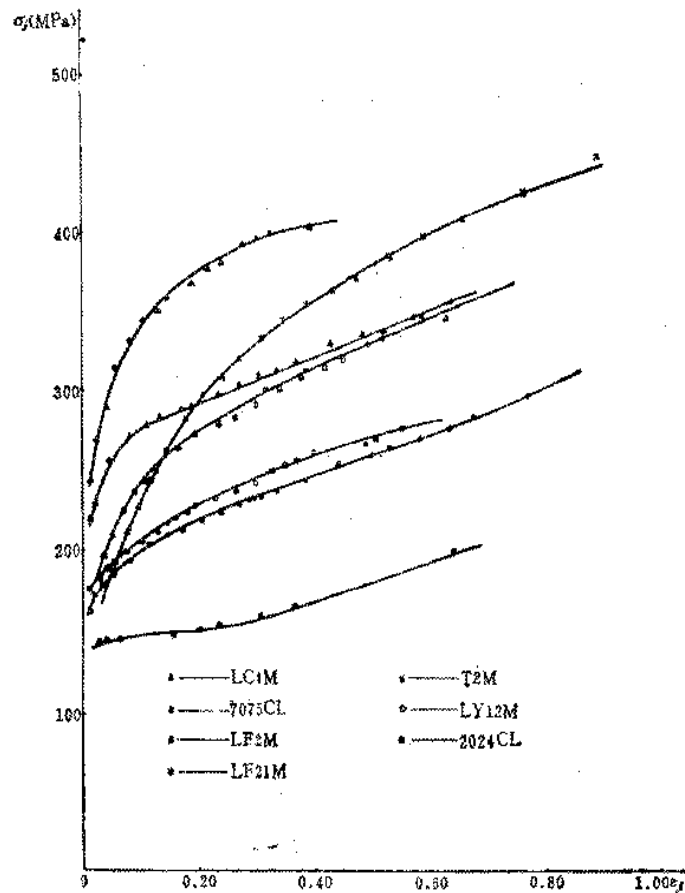


图2

1.2.2.2.5 BHB型板料双向拉伸试验机

北京航空学院研制的BHB型板料双向拉伸试验机,能进行铝、铜、普通碳钢板料1Cr18Ni9Ti等高强度合金钢板料的双向拉伸试验。用刚性模和坐标网法做成形极限曲线等试验。机床配有单板机数据采集和处理系统,可自动绘制出试件材料的 $\sigma_s = K \varepsilon^n$ 曲线,打印出 K 值、 n 值,曲线拟合的线性相关系数 ρ 值、标准偏差和抛物线回归系数,还可自动记录并计算出每个采集点的拱顶曲率半径 R 、压强 q 、应力强度 σ_s 和应变强度 ε_s 。现有BHB1-70T, BHB2-80T两个型号,主要技术参数如表。

板料双向拉伸试验机技术参数表

参 数 型 号	最大液压 胀形压力 (MPa)	最大刚性 横冲压力 (kN)	最大压边 力 (kN)	胀形模或压 延模行程 (mm)	主机长、 宽、高 (m)	油柜长、 宽、高 (m)	参考价格 万元/台
BHB1-70T	30	235	480	60	1.4×0.8 ×1.36	1.18×0.56 ×0.89	3.2
BHB2-80T	30	304	500	100	1.4×0.8 ×1.36	1.18×0.56 ×0.89	3.4

1.2.2.3 硬度试验

硬度至今仍是最常用的能大致鉴别材料性能的试验方法,尤其是用来鉴别材料的不

同热处理状态。

硬度是用压痕试验法来确定的，常用的有

(1) 维氏硬度HV

$$HV = 1.854 \frac{P}{d^2}$$

式中 P ——所加载荷的公斤数；

d ——永久压痕对角线长度的毫米数。

参见国标GB4340-84《金属维氏硬度试验方法》。

(2) 布氏硬度HB

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中， P ——所加载荷，kg；

D ——钢球直径，mm；

d ——压痕直径，mm。

参见国标GB231-84《金属布氏硬度试验方法》。

(3) 洛氏硬度HR

通过测定小载荷压下时的压痕深度和大载荷压下时的压痕深度之差，来表示硬度。

较软的材料用B标度叫HRB，较硬的材料用C标度叫HRC。参见国标GB230-83《金属洛氏硬度试验方法》。

1.2.3 模拟成形性能指数及其试验

模拟试验又叫相似试验，模拟某一类成形方法的变形方式（材料在变形过程中所承受的应力应变状态）。用成形小尺寸的典型零件，求得某种钣金材料在这类成形方法下的极限变形程度，以此作为评定该种板材对这类方法适应能力的指数。由于考虑了变形方式这一重要因素，因此模拟成形性能指数比基本成形性能指数，能更直接而准确地说明某种板材对某类成形方法的成形性能。但模拟实验与实际生产之间，在变形条件、变形历史、应变梯度、尺寸效应、边缘状况等方面，未能全都保证相似，故所求得的极限成形参数，用作材料成形性能好坏的相对比较是可以的，要作为指导实际生产的具体数据，尚需仔细修正。

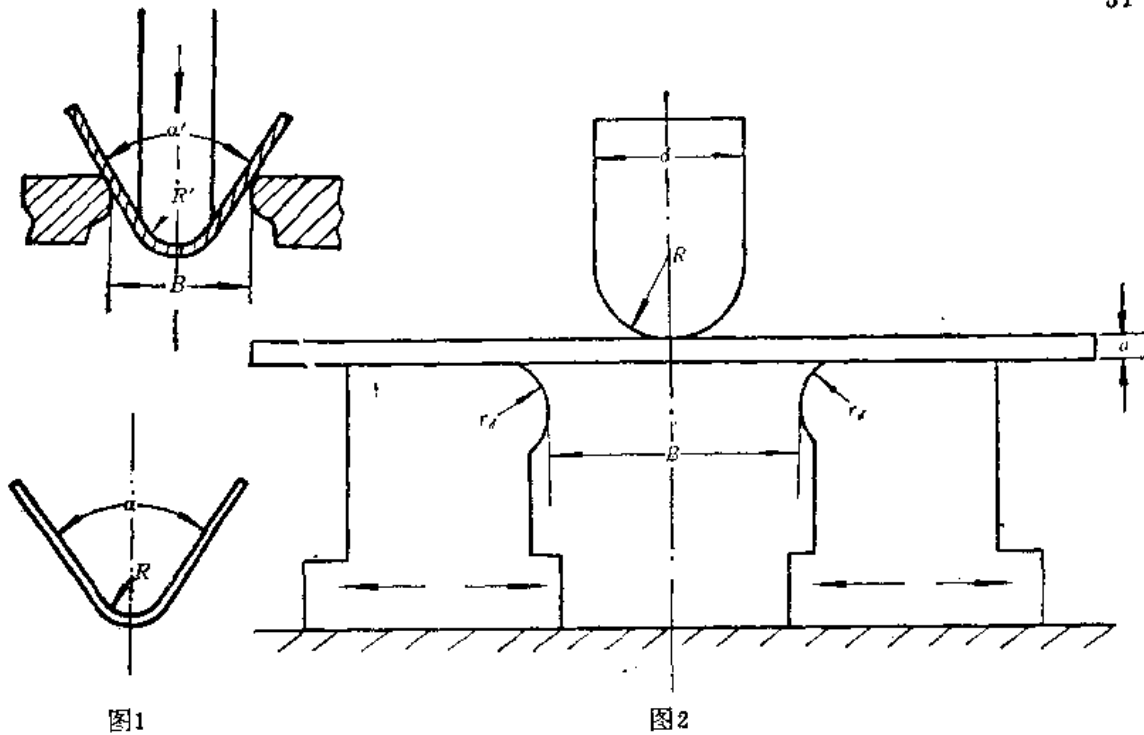
模拟实验按其模拟的变形方式分类，常用的有如下五种：

1.2.3.1 弯曲成形试验

用无底压弯模，如图1所示，对规定尺寸试件进行正反面的弯曲，弯角 α 为 90° ， 135° ， 180° （回跳后的弯曲角），以弯曲区未出现裂痕（用20倍放大镜仔细观察）时能达到的最小相对弯曲半径 R_{min}/t 为指数。

我国航空工业部制定的《金属薄板模拟试验方法》（草案）规定：试件宽度为50mm，长度应保证能弯成V形。边缘应无毛刺、微裂和硬化区。试件应在三个方向上取出：对主轧方向 0° 、 45° 、 90° 。试验装置的尺寸如图2。

$R = 0.4 \rightarrow 1.6$ 每隔0.1为1级共14个



$R=1.6 \rightarrow 2.2$ 每隔0.2为1级共3个

$R=2.5, 2.8, 3.2\text{mm}$

$r_s = 2 \pm 0.1\text{mm}$

$\alpha=90^\circ$ 时, $B=d+3a$

$\alpha=180^\circ$ 时, $B=d+2.1a$

试验结果 R_{min}/t 值应为三个试件的平均值。

一些板料的弯曲试验数据如表 \ominus 。

一些板料的最小弯曲半径表

(mm)

材 料	弯 角	90°		180°	
		L	T	L	T
LC4M	$t=1.8$	0.5	0.44	0.83	0.77
	1.5	0.22	0.27	0.67	0.53
	1.0			0.6	0.5
LY12M	2.5			0.4	0.32
	1.2				对折
LY12CZ	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
7075	1.3			1.31	对折
08A1	1.0				对折
30CrMnSi	0.8				对折

\ominus 资料取自北京航空学院七〇四教研室《板材成形性能科研资料汇编》，1985。

(续)

R_{min} 弯角		90°		180°	
		L	T	L	T
材料					
1Cr18Ni9Ti	2.0				对折
板厚 t					
轧制方向					

国标GB232-82《金属弯曲试验方法》的规定与此类似。

1.2.3.2 扩孔成形试验

用规定尺寸的模具，对一定内外径的环形试件进行扩孔，以孔缘或孔附近材料濒于出现细颈或裂纹时的扩孔比作指数。或称为 K.W.I (西德一研究所名) 值，如图 1 所示。

$$K.W.I = \frac{d_1 - d_0}{d_0} \cdot 100\%$$

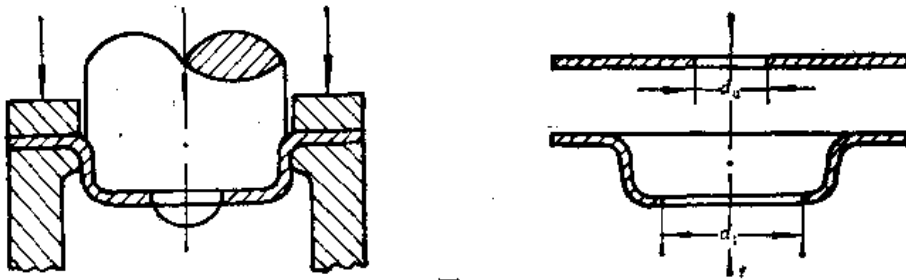


图1

我国航空工业部制定的《金属薄板模拟试验方法》(草案) 规定：试验模具及试件尺

扩孔成形试验模具和试件的尺寸表 (mm)

t_0	D_0	d_0	ϕ_f	ϕ_s	r_f	r_s
6.0~2.0	90	10, 12, 15, 18	50	55	5	0.5

寸如表和图 2。试件孔径 d_0 应优先选用较大的数值，所选的 d_0 须在试验结果中注明，例如 KWI_{18} 的 d_0 公差为 $\pm 0.05\text{mm}$ ，应铰制。试件外径 $D_0 = 90\text{mm}$ 。

试验过程中应保持 $10000 \pm 1000\text{N}$ 的压边力。凸模与试件间采用 $0.04 \sim 0.06\text{mm}$ 厚的聚四氟乙烯软态薄膜加锭子油润滑。孔边缘刚出现裂纹时停车，测量孔径的最大和最小尺寸精度到 0.02mm 。取 $d_1 = (d_{1max} + d_{1min}) / 2$ 。

试验应重复 10 次，舍去其中最大与最小值，取剩余 8 次的平均值作为试验结果。

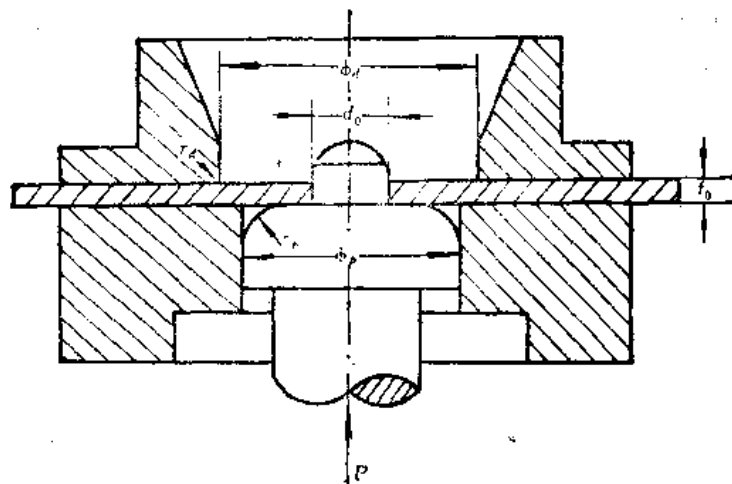


图2

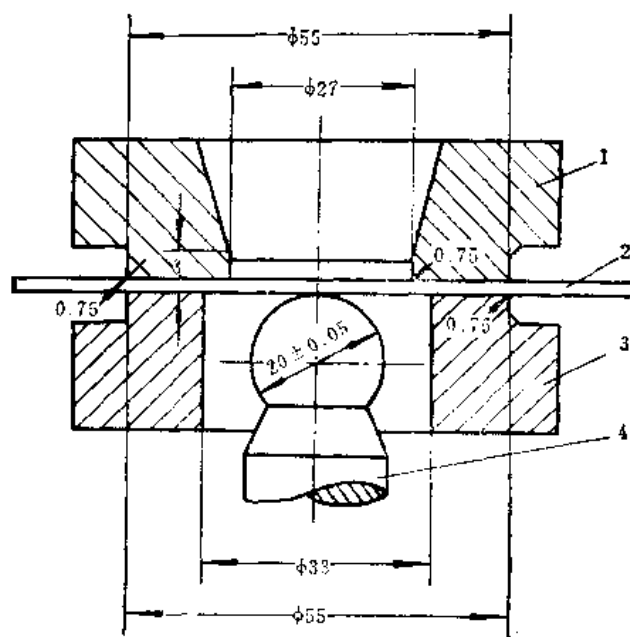
1.2.3.3 拉胀成形试验

评定材料拉胀成形性能好坏的试验及指数有以下三方法。

1.2.3.3.1 埃利克森试验 (Erichsen Test) 及 I_n 值

本试验也叫杯突试验，压穴试验。图为此试验装置的原理。把规定宽度的板料放在凹模与压边圈之间，用规定尺寸的球形凸模在试件上压坑，坑底濒于破裂的坑深毫米数（也就是凸模行程的毫米数）为板料的 I_n 值。有时还测出破裂时凸模的作用力作为参考。

国际上，在 1961 年以前，埃利克森试验是用固定间隙压边，规定的间隙值为 0.05 mm，所得的试验值叫 $I_n(A)$ 。61年后改为常值压力压边，规定的压边力为 10000N，所得的试验值叫 $I_n(B)$ 。



1-凹模；2-试片；3-压边圈；4-凸模。

我国航空工业部制定的《金属薄板模拟试验方法》(草案)规定:试件尺寸如表所示。对于90mm的带料,试件宽度允许取为70mm。

杯突试验试件的规格

形 状	条 料	方 料	圆 料
尺寸 (mm)	宽 $B=90\pm 1$	边长 $B=90\pm 1$	直径 $D_0=90\pm 1$

试验过程中,应保持 $10\pm 1\text{kN}$ 的压边力,采用厚度为 $0.04\sim 0.06\text{mm}$ 的聚四氟乙烯软态薄膜润滑试件与凸模和压边圈的接触面,薄膜应双面涂锭子油。试验到试件底部出现刚能透光的裂缝为止,读出杯突高度,精确到 0.05mm 。凸模载荷的下降可作为确定试验终点的参考数据。

对于条料,压坑中心与两侧边的等距偏差应小于 2mm ,压坑中心到端头的距离应大于 45mm ,压坑之间的距离应大于 55mm 。

I_p 值应为6次重复试验的平均值,精确到 0.1mm 。

与国标GB41656-84《金属杯突试验方法》的规定相比,仅在润滑条件上有些差别。

1.2.3.3.2 阿尔森试验 (Olsen Test) 及 I_p 值

1921年美国阿尔森 (Olsen) 提出了与Erichsen类似的试验,并在美国获专利。埃利克森用公制,阿尔森用英制,两者的差别见表。

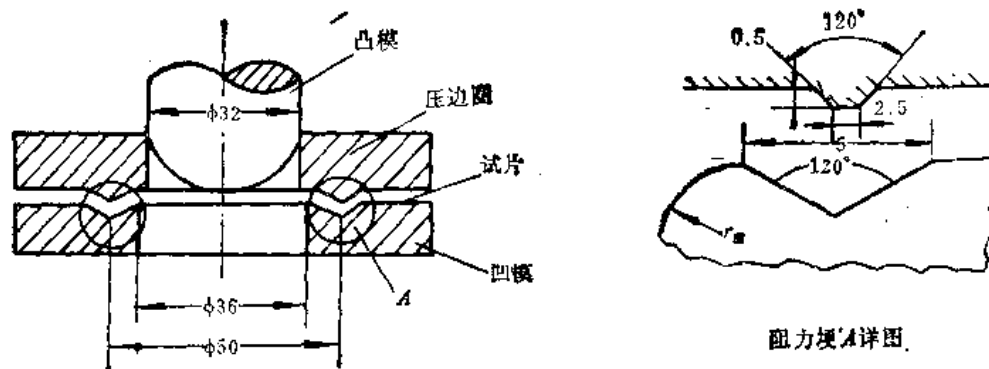
埃利克森试验和阿尔森试验的比较表

项 目	埃 利 克 森 试 验		阿 尔 森 试 验	
	A型	B型	标准型压边	齿形压边
压边间隙	0.05mm	—	—	—
压边力	—	10000N	20000N	80000N
压边孔径	33mm	33mm	13in	1.0in
凸模球径	20mm	20mm	7/8in	7/8in
凹模孔径	27mm	27mm	1.0in	1.0in
凹模圆角	0.75mm	0.75mm	0.05in	0.05in
加载速度	0.1mm/s	0.1mm/s	0.005in/s	0.005in/s
润滑剂	凡士林	石墨油脂	SAE-40	
试件宽	70/90mm	90mm	4.5in	2.3in

适用范围: $t=0.1\sim 2.0\text{mm}$ 。

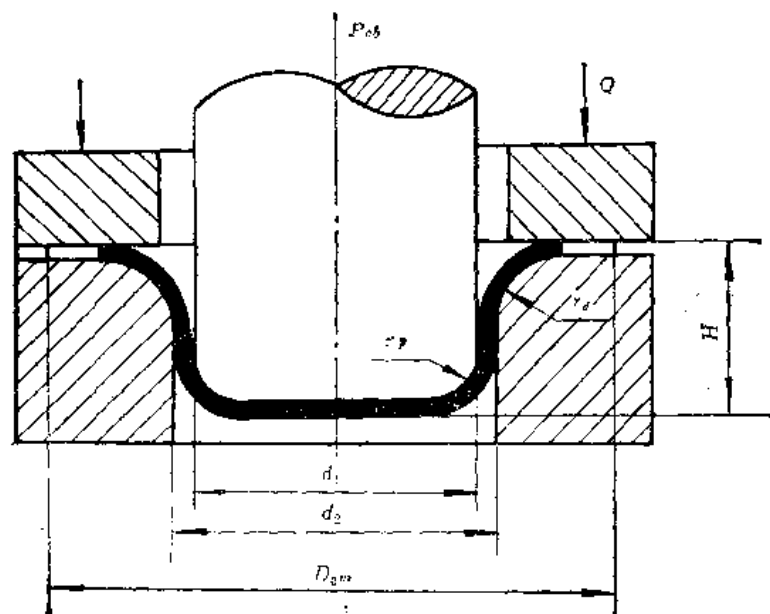
1.2.3.3.3 瑞典纯拉胀试验 (Sweden pure Stretching Test)

瑞典提出凹模洞口带阻力埂的杯突试验方案(如图),凸模有球头($\phi 32$)与平底($\phi 20$)两种,试件为 $90\times 90\text{mm}^2$ 的方料。仍以底部濒于破裂时的坑深毫米数为指数。此试验能基本阻止突缘上的材料流入凹模洞口,故较前二者能更好地说明材料拉胀成形性能的好坏。



1.2.3.4 压延成形试验

国际上常用的压延试验方法有三种：恩格哈梯 (Englhardt) 法，最大载荷法和斯威弗特 (Swift) 法。三种方法各有特点，各自从不同的角度反映了材料的压延性能。



压延成形试验模具的尺寸表

(mm)

凸 模	适用板厚	d_1	r_d
	0.45~1.84	$50_{-0.05}^{+0}$	5.0 ± 0.1
凹 模	适用板厚	d_2	r_d
	0.45~0.64	$51.80_{0}^{+0.05}$	6.4 ± 0.1
	0.64~0.91	$52.56_{0}^{+0.05}$	9.1 ± 0.1
	0.91~1.30	$53.64_{0}^{+0.05}$	13.0 ± 0.1
	1.30~1.84	$55.20_{0}^{+0.05}$	18.0 ± 0.1

三种试验方法本身的复杂程度差别很大。不同试验方法、不同国家采用的试件尺寸也不统一。我国航空工业部制定的《金属薄板模拟试验方法》(草案),对这三种方法作了改进,统一了三种方法试验模具的尺寸,如图和表。

1.2.3.4.1 A型试验——改型恩格哈梯法

试验原理:用规定原始直径为 D_0 的试件,在规定凸模直径为 d_1 的压延模具上成形,求得最大成形力 P_m ,再用同种材料的其它试件求得试件直径为 d_1 时的极限承载能力 P_{ϕ} , (也可用求 P_m 的同一个试件,在求得 P_m 后用加大压边力 Q 等办法把试件危险断面拉裂,从而求得 P_{ϕ})。以 T_{ϕ} 作为材料压延成形性能的指数:

$$T_{\phi} = \frac{P_{\phi} - P_m}{P_{\phi}} 100\%$$

T_{ϕ} 愈大,压延性能愈好。

试验要点:求 P_m 的试件,取 $D_0 = 90 \pm 0.05\text{mm}$ 。对不能在此尺寸下压成杯形件(即 $P_{\phi} < P_m$)的材料,可以用5mm的级差减小 D_0 ,但应注明。

测定 P_{ϕ} 的试件形状可用圆形或正八角形,应逐步调整试件的尺寸和压边力,以确保拉裂时试件的高度能满足:

$$H > 2.5(d_2 - d_1) + r_1 + r_2 - 3t$$

试验结果的处理:将三个以上试件的 P_m 值和 P_{ϕ} 值分别平均,平均值以 \bar{P}_m 和 \bar{P}_{ϕ} 表示:

$$T_{\phi, \text{平均}} = \frac{\bar{P}_{\phi} - \bar{P}_m}{\bar{P}_{\phi}} 100\%$$

所得结果保留一位小数。

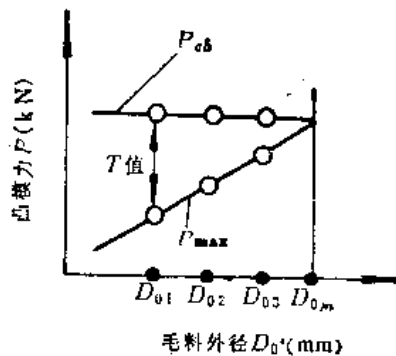
1.2.3.4.2 B型试验——改型最大载荷法

试验原理:用三种不同 D_0 的试件成形,能求得 P_{ϕ} 和三个不同的 P_m 值(即三个不同的 T_{ϕ} 值)。利用 P_m 近似与 D_0 成线性关系这一原理,推出 $P_m = P_{\phi}$ 时的毛料直径 D_{0m} ,从而推出近似极限压延比 $L \cdot D \cdot R \cdot T$:

$$L \cdot D \cdot R \cdot T = \frac{D_{0m}}{d_1}$$

此原理如图所示。

试验要点: P_{ϕ} 的测定与1.2.3.4.1节相同。



测定 P_m 的试件推荐采用 $D_{01} = 85 \pm 0.05\text{mm}$, $D_{02} = 90 \pm 0.05\text{mm}$, $D_{03} = 95 \pm 0.05$

mm。对压延性能差的材料， $\phi 95$ 试件无法正常成形时，允许以5mm的级差减小 D_0 。

试验结果的处理：按A型试验的处理方法分别求得 $T_{\phi 85}$ ， $T_{\phi 90}$ ， $T_{\phi 95}$ ，则

$$L \cdot D \cdot R \cdot T = \frac{9}{5} + \frac{T_{\phi 85} + T_{\phi 90} + T_{\phi 95}}{15(T_{\phi 85} - T_{\phi 95})}$$

所得结果保留两位小数。如试件尺寸未采用推荐值，则可用最小二乘法对 $P_n \sim D_0$ 关系进行线性逼近，然后求出满足 $P_n = P_{e1}$ 条件的 D_{0m} ，

$$L \cdot D \cdot R \cdot T = \frac{D_{0m}}{d_1}$$

所得结果保留两位小数。

1.2.3.4.3 C型试验——斯威弗特法

试验原理：用一系列 D_0 具有一定尺寸间隔的试件在规定的模具上压延，求得试件不致拉裂的最大毛料外径 D_{0m} ，进而求得材料的极限压延比 $L \cdot D \cdot R$ 。以 d_1 表示凸模直径，则：

$$L \cdot D \cdot R = \frac{D_{0m}}{d_1}$$

试验要点：试件 D_0 的级差为 1.25 ± 0.05 mm。每组试件应在六件以上。

试验结果的处理：观察各试件组的成形情况，以同时满足以下两个条件的试件组的 D_0 为 D_{0m} ：组内破裂件数小于或等于该组总数的一半；各试件组中临界组的直径最大。按公式，对于常用的 $d_1 = 50$ mm的情况：

$$L \cdot D \cdot R = \frac{D_{0m}}{50}$$

求出 $L \cdot D \cdot R$ 值，结果保留两位小数。

1.2.3.4.4 润滑，压边力等条件

上述三种类型试验的要求相同。

润滑为：93% 2号锭子油加7%蓖麻油双面均匀涂布。

压边力 Q 用下述公式的计算结果在0.5kN范围内圆整化。

$$Q = 0.1 \times \left[1 - \frac{18t_0}{(D_0 - d_1)} \right] \frac{D_0^2}{d_1} P_n$$

在0~50kN内，压边装置应能提供恒定的压边力。

凸模压入速度为30~70mm/min。

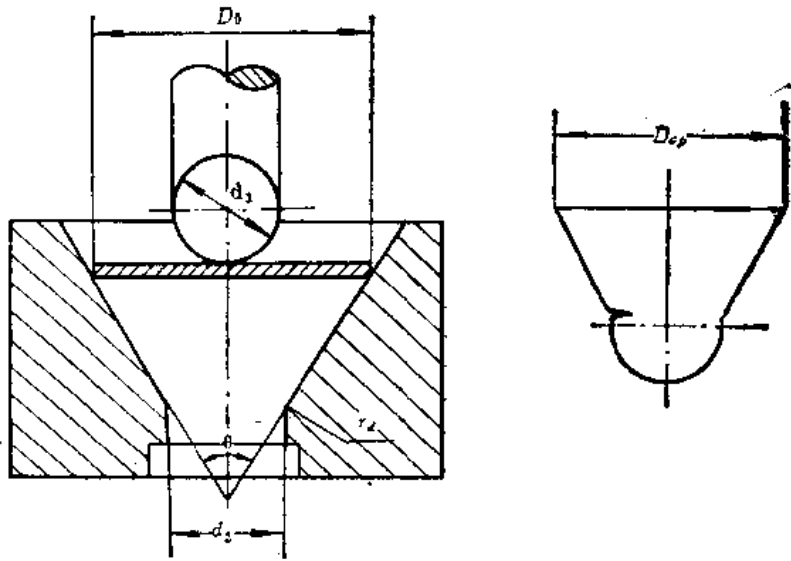
试验装置应能提供大于200kN的成形力，示值误差不大于 $\pm 0.5\%$ 。

1.2.3.5 复合成形试验

锥杯试验又称为福井试验，是鉴别材料拉胀与压延复合成形性能的一种方法。将规定外径的试件放于有 60° 锥角无压边的凹模内，用规定直径的球形凸模压延，至底部出现破裂为止，如图所示。以此时的杯口平均直径 D_{c1} 与原试件直径 D_0 之比为指数，称为C.C.V值（国际标准）。

$$C.C.V = \frac{D_0 - D_{c1}}{D_0}$$

我国航空工业部制定的《金属薄板模拟试验方法》（草案）规定：试件及试验模具的



尺寸如表1。

表1. 试件及试验模具的尺寸表

型 别	13 型	17 型	21 型	27 型
试件公称厚度(mm)	$0.5 \leq t_0 < 0.8$	$0.8 \leq t_0 < 1.0$	$1.0 \leq t_0 < 1.3$	$1.3 \leq t_0 \leq 1.6$
θ°	60	60	60	60
d_2 (mm)	14.60	19.95	24.40	32.00
r_2 (mm)	3.0	4.0	6.0	8.0
d_1 (mm)	12.70	17.46	20.64	26.99
r_2 (mm)	$d_1/2$	$d_1/2$	$d_1/2$	$d_1/2$
D_0 (mm)	38	50	60	78

d_2 ——凹模下部直腔内径； d_1 ——钢珠凸模直径。

凸模可选用标准钢球。精度、硬度、粗糙度应符合钢球标准 GB803-77。凹模硬度应高于HV600，与试件接触的表面粗糙度 $R_a < 0.8 \mu\text{m}$ 。润滑剂为93% 2号锭子油加7%蓖麻油。试件放入凹模需用定位块仔细定位，保证偏斜不大于0.2mm。凸模压入的速度小于500mm/min即可。

试件破裂后用卡尺测量与轧向成 0° 、 45° 、 90° 、 135° 的四个直径，取

$$D_{c,p} = \frac{1}{4} (D_{0^\circ} + D_{45^\circ} + D_{90^\circ} + D_{135^\circ})$$

至少应作6个试件，将6个 $D_{c,p}$ 平均 平均值以 $\bar{D}_{c,p}$ 表示，则材料的锥杯值：

$$C.C.V = \frac{D_0 - \bar{D}_{c,p}}{D_0}$$

所得结果保留三位小数。

日本JISZ2249规定：直接以 $\bar{D}_{c,p}$ 作为材料的锥杯值C.C.V。

表2. 几种国产板料的锥杯试验数据^①

材 料	08Al	1Cr18Ni9Ti	LF21M	LY12M
板厚 t_0 (mm)	1.06	1.06	1.0	0.92
D_0 (mm)	60	60	60	60
\bar{D}_{e_f} (mm)	45.19	46.37	48.16	50.44
C. C. V.	0.247	0.227	0.197	0.159

①资料取自北京航空学院七〇四教研室《板材成形性能科研资料汇编》，1985。

1.2.3.6 其他模拟成形试验

除上述五种国际通用的模拟试验外，还有许多其他的成形模拟试验，如：变薄压延、二次压延、椭圆盒的压延、旋压、强力旋压、拉形、收口、压梗、下陷等等。

1.2.3.7 BCS-30A型通用板材成形性试验机

北京航空学院研制的这种机床，能进行杯突，压延（一）（*Swift*法），压延（二）（*Englhardt*法），凸耳，锥杯和扩孔六种试验。

主要性能如下：

最大成形力：300kN；最大压边力：100kN；

最大顶件力：50kN；凸模行程：160mm；

压边力可调范围：3~100kN；

凸模上升速度：0~300mm/min；

成形力测量：量程0~300kN，误差±1%；

压边力测量：量程3~100kN，误差±2%；

凸模位移测量：量程0~20mm时，误差±0.25%；

量程0~90mm时，误差±1%。

该机床设有计算机测控系统，具有数据采集处理与监控功能。测试过程完全自动化，测试数据自动采集，自动记录，并直接打印出测试结果。

1.2.4 成形极限曲线及其试验

1.2.4.1 成形极限曲线的概念

模拟试验只能模拟几种典型的变形方式，形状复杂的板金件上，每一点的变形方式都可能不同，不可能一一模拟。但是在任何“拉-拉”应力状态的变形方式下，板金的成形极限都是被拉裂，把各种“拉-拉”应力状态下的成形极限点联成线，就是材料的成形极限曲线，如图1。简称FLC (*Forming Limit Curve*)。故 FLC 位置的高低，能反映材料在各种“拉-拉”状态下极限变形能力的大小。

如图2所示，在 e_1 和 e_2 为坐标轴的直角坐标系上，变形板料内 E 点的应变状态可用 (e_1^E, e_2^E) 来表示。连线 OE 与 e_1 轴的夹角

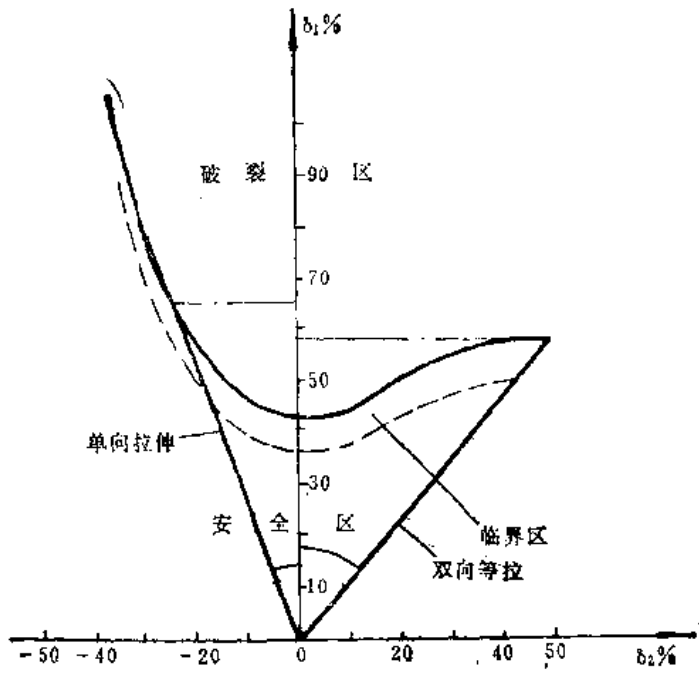


图1

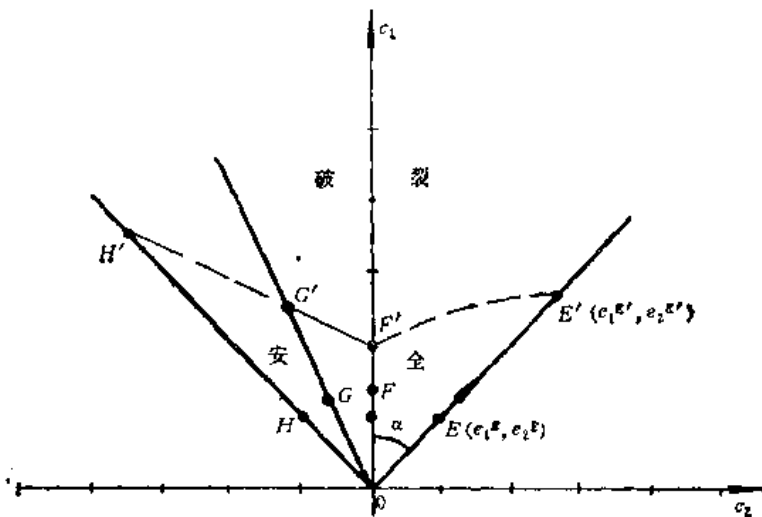


图2

$$\text{tg}\alpha = \frac{e_2}{e_1}, \text{ 故 } \alpha = \text{tg}^{-1} \frac{e_2}{e_1} = \text{tg}^{-1} \beta$$

e_2/e_1 叫做E点的应变状态参数，符号 $\beta = e_2/e_1$ 。在简单加载的情况下（实际生产中，一次冲压成形时，一般近似于简单加载）， β 为常数。随着变形过程的进行，E点的应变状态将是沿着直线OE向箭头所示方向移动。大到E'点时材料将破裂，E'点就是此种板料在 β 这种应变状态下的成形极限点。

任一点的应变均可用实验的方法找到。在试件毛料上印上直径 d_0 的坐标网格，成形后圆变成椭圆，如图3所示。则试件上各点的应变状态均可求得，如：

$$e_1^A = \frac{d_1^A - d_0}{d_0}; \quad e_2^A = \frac{d_2^A - d_0}{d_0}$$

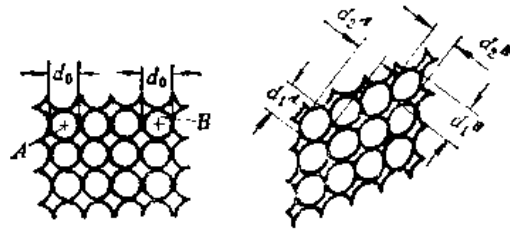


图3

$$e_2^A = \frac{d_2^A - d_0}{d_0}; \quad e_2^B = \frac{d_2^B - d_0}{d_0}$$

找到试件上濒于破裂的点（极限点），量出该处椭圆的长轴 d_1^A 和短轴 d_2^A ，则可求得一个极限点：

$$e_1^A = \frac{d_1^A - d_0}{d_0}; \quad e_1^B = \frac{d_1^B - d_0}{d_0}$$

改变试件，使之能在另外一种应变状态下发生破裂，又可求得另一个极限点。

通过实验求得一种材料在各种应力应变状态下的成形极限点，把这些点标注到以对数应变 e_1 和 e_2 （或工程应变 e_1, e_2 ）为座标轴的直角坐标系中并连成线，就是该材料的成形极限曲线FLC。

从图1可以看到，对同一板料，在不同的应变（应力）状态下，其极限变形能力大不相同。不同应变状态在 e_1-e_2 图上就是与 e_1 轴成不同的夹角 α （ $\alpha = \text{tg}^{-1}\beta$ ）的直线族。对图1的板料， $\alpha = 0^\circ$ （平面应变状态）时 $e_1^A = 42\%$ ； $\alpha = -26^\circ 25'$ （单向拉伸）时 $e_1^A = 65\%$ ； $\alpha = 45^\circ$ 时 $e_1^A = 58\%$ ；可见相差是很大的。同一板料在不同应力应变状态下，其极限变形能力不同，这是一个很有用的新概念和事实。

FLC可直观地说明材料在“拉-拉”应力状态下成形性能的好坏。图4是五种铝合金板材FLC的比较。可看出：牌号不同其FLC的差别很大；同一牌号，厚度不同其FLC的差别也不小；在拉压应变区，这五种板的FLC差别不大，而愈靠近双向拉伸状态，其间差别愈大。

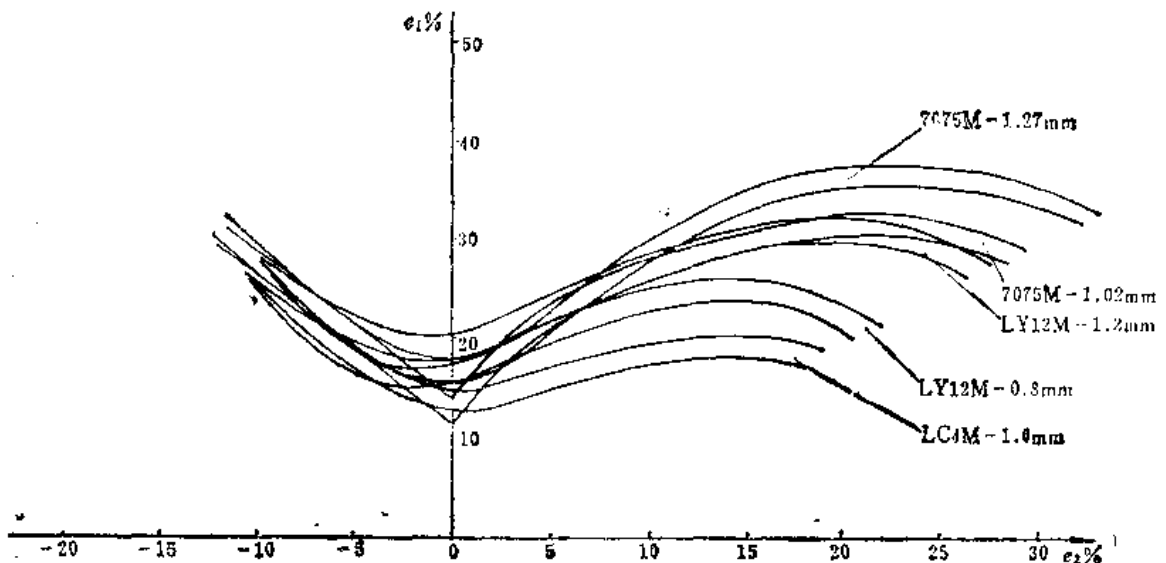


图4

已知板料的 FLC 后,和坐标网技术结合,还可对复杂板金件进行应变分析。在零件毛料上印上坐标网,成形时从坐标网的变化就可看出应变的分布情况,并找到最危险的地方。量得最危险点椭圆的长轴短轴,算得该点的长轴应变 $e_1(M)$,短轴应变 $e_2(M)$,标在应变坐标系中为一点 M ,如图5所示。在 OM 这种应变状态下,材料的成形极限点为 Z , $e_1(Z)-e_1(M)=f$,称为安全裕度。对于大批量生产, f 应为0.1(10%)左右。 f 太小,生产时废品率会很高,说明工艺过程设计得太冒进。如 f 太大,则说明工艺过程设计得太保守。可以通过改换材料(如换用性能较差的材料),改换润滑剂(如换用润滑效果更好的润滑剂),改变毛料的形状尺寸,改变模具几何参数等等手段,把“ f ”调到最佳值附近。可见坐标网应变分析法,能形象而大致定量的、指出生产中的各种可控因素对变形效果产生的影响,从而给我们指出调整这些因素的正确方向。调整到最佳状态后,这种应变分析法又可用来监视生产过程是否正常。如生产中发现 M 点偏离原始位置向 Z 点漂移,则应停止生产查出原因,从而避免大批报废。

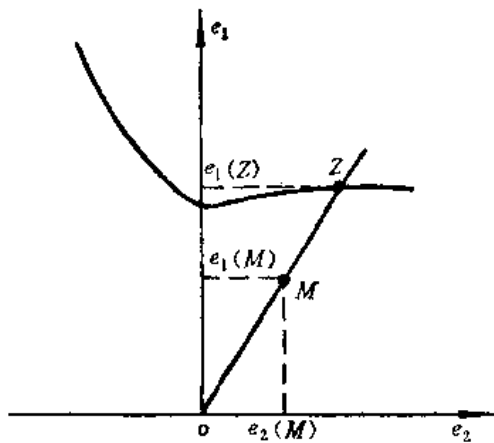


图5

1.2.4.2 建立板料 FLC 的试验方法

到目前为止,实际应用的成形极限曲线都是用试验方法建立的。

第一批 FLC 是对大量软钢板制成的工业冲压件测量其破坏点的应变而作出的,如图1所示,即 Keeler-Goodwin 曲线。实测的点总有一个散布带,故曲线上有一个临界区。为了使用方便, e_2 的比例比 e_1 的大一倍。

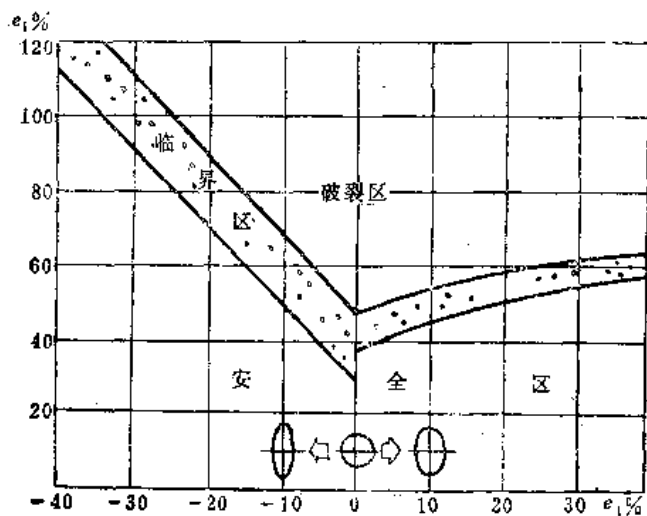


图1

为了求得更多材料的 FLC 和对 FLC 进行深入研究,需要有在实验室里建立 FLC 的试验方法,这些方法必须解决下述三个主要问题:

①极限状态的形成——能够以线性的或准线性的变形使试件上的某一点达到极限状态;

②应变状态的变化——能够使极限状态点的应变状态在 $\beta = -1$ (纯剪) 到 $\beta = 1$ (双向等拉) 之间变动;

③测量点的选择——能够恰当地确定极限应变的数值。

各国已提出了多种试验方法,尚未统一。北京航空学院建议的方法如下:

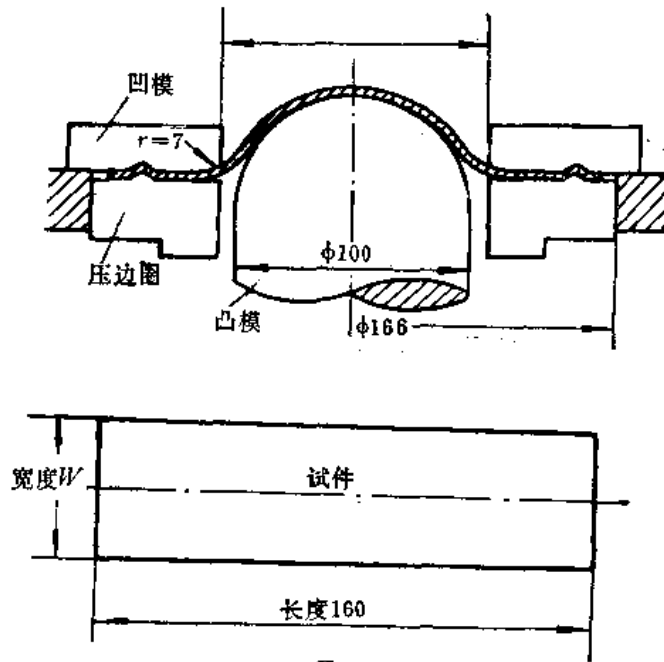


图2

采用刚性凸模胀形使试件出现极限状态,即采用中岛 (Nakazima) 试验的原理,如图2。在长度为160mm宽度为 W 的试件上印上基圆直径为 d_0 的坐标网格。凸模上升加载到试件某处(顶部附近)出现目视可见的裂纹。裂纹附近的典型的情况如图3。

裂纹附近有三类椭圆:破裂的(如19号,20号椭圆),安全的(如15号,16号),临界的(如1号,4号)。试验中注意到20号椭圆附近是始裂处,在始裂处选择两个最靠近破裂椭圆的未破椭圆(即5号和7号)进行测量,取此二椭圆长轴的平均值为 e_1' ,短轴的平均值为 e_2' 。每一种试件备五块,进行重复试验和测量,将同组五块试件所得的五个极限点都标在 e_1-e_2 坐标面上,如相当集中,即可采用。如分散严重,则此组数据需重做。

为能较合理的连接各试验点,希望各试验点沿 e_2 轴的分布能比较均匀和合理,如图4。改变这种分布的主要手段是:改变试件与凸模间的润滑条件和改变试件的宽度。一般取八个点,左三右四,再尽量靠近 $e_2=0$ (平面应变)取一个点。在常用的胀形凸模直径 $\phi=100\text{mm}$ 、坐标网格 $d_0=2.5\text{mm}$ 左右的情况下,在表1,2列的试件尺寸和润滑条件附近稍作调整,就能得到满意的试验点分布。

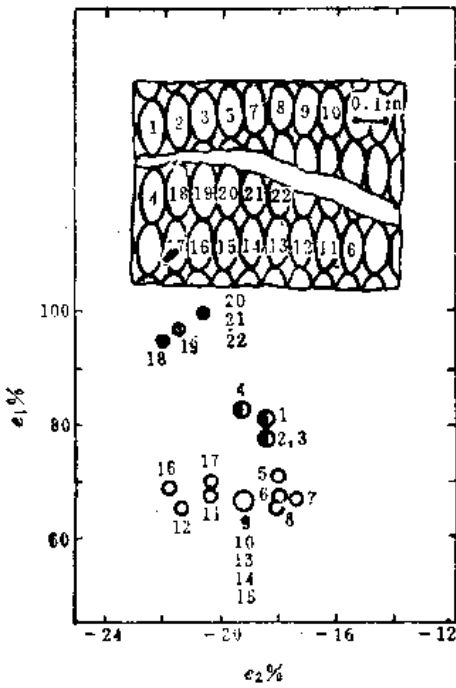


图3

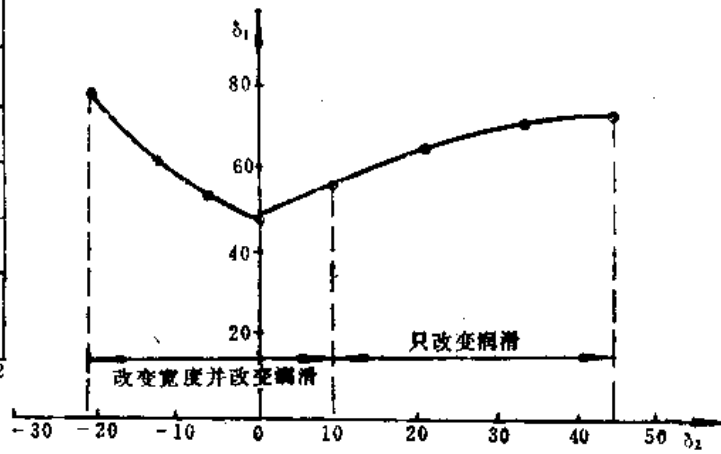







图4

表1, 表2中, ①~⑥号为矩形试件, ⑦和⑧号试件必须加强根部, 否则胀形时会从接近压边的根部断裂。加强根部的办法是: 在试件中部的两侧边各铣进1~2mm, 削弱段的长度约40~50mm。

表1. 试件尺寸和润滑条件的选择

试件号	试件形状	各种软钢板		
		试件尺寸 mm	润滑条件	e ₂ % (近似)
①		160×160	邵氏硬度60, 厚4mm的聚四氟乙烯胶板两层, 机油	+40
②		160×160	一层聚四氟乙烯生胶带薄膜, 加二硫化钼	+30
③		160×160	一层聚四氟乙烯生胶带薄膜	+20
④		160×160	二硫化钼	+10
⑤		160×120	机油	-0.5

(续)












试件号	试件形状	各种软钢板		
		试件尺寸 mm	润滑条件	$e_2\%$ (近似)
⑥		160×90	机油	-10
⑦		160×30	机油	-20
⑧		160×20	邵氏硬度60, 厚4mm的 聚氨酯橡胶板一层	-30

表2. 试件尺寸和润滑条件的选择

试件号	试件形状	硬铝及超硬铝板		
		试件尺寸 mm	润滑条件	$e_2\%$ (近似)
①		160×160	聚氨酯橡胶板两层; 聚 四氟乙烯薄膜一层, 加 机油	+20
②		160×160	聚氨酯橡胶板一层, 不 加机油	+15
③		160×160	聚四氟乙烯薄膜一层	+10
④		160×160	二硫化钼加黄油 (比例 1:3)	+5.0
⑤		160×97	无 润 滑	0
⑥		160×90	机 油	-3.0
⑦		160×40	机 油	-7.0
⑧		160×20	二硫化钼加黄油 (比例 1:3)	-16

1.2.4.3 一些板料的成形极限曲线[⊖]

如图1~图10。

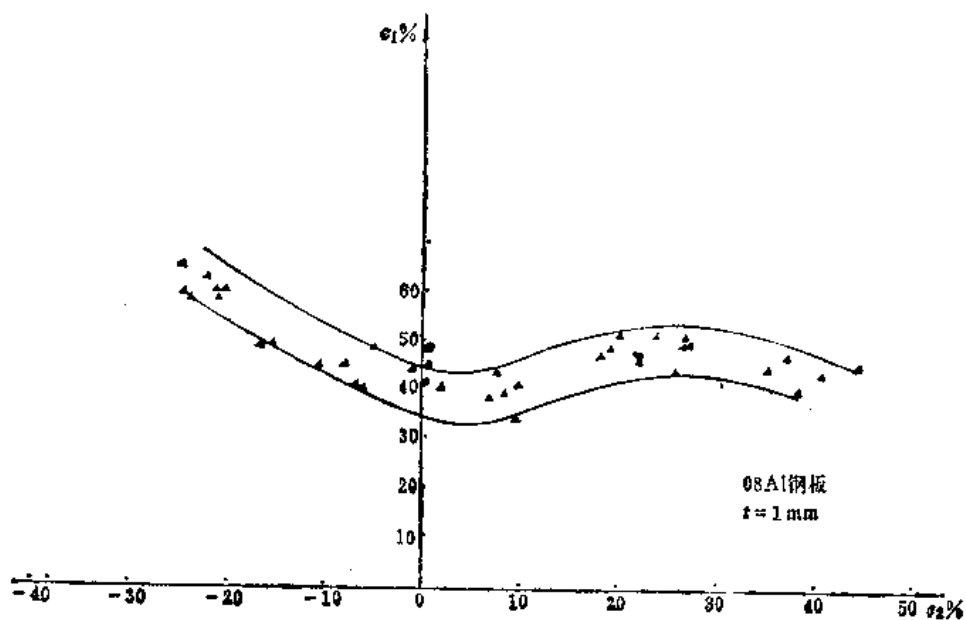


图1

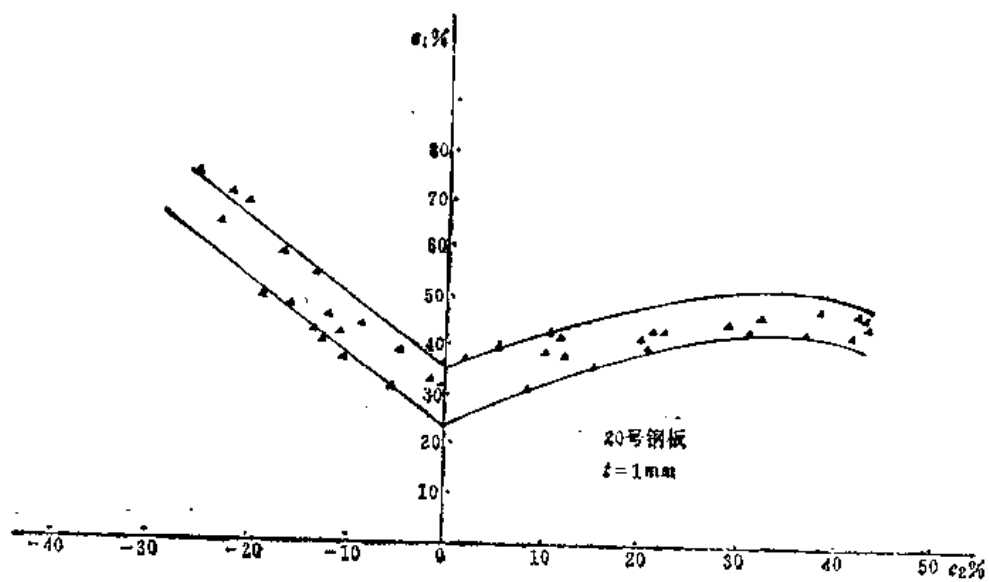


图2

[⊖]资料取自北京航空学院七〇四教研室《板料成形性能科研资料汇编》，1985。

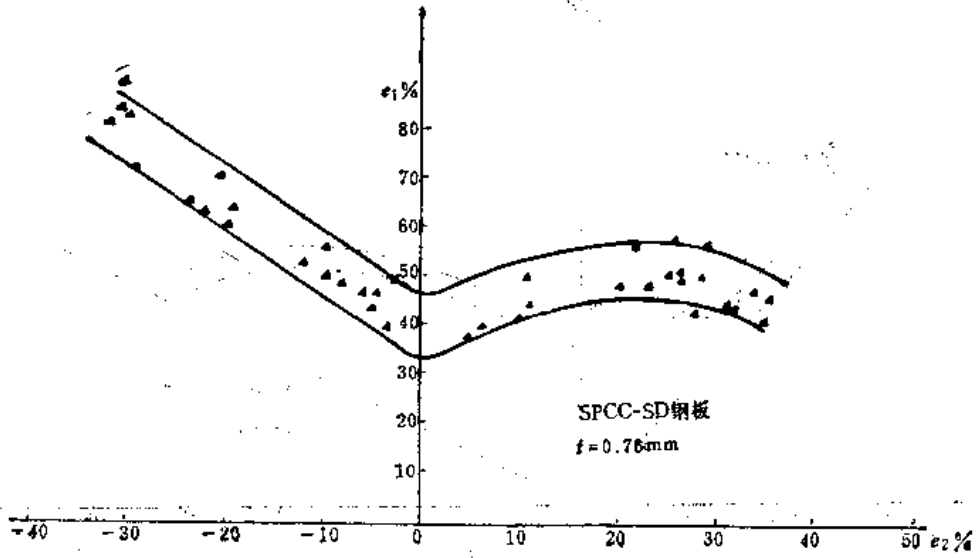


图3

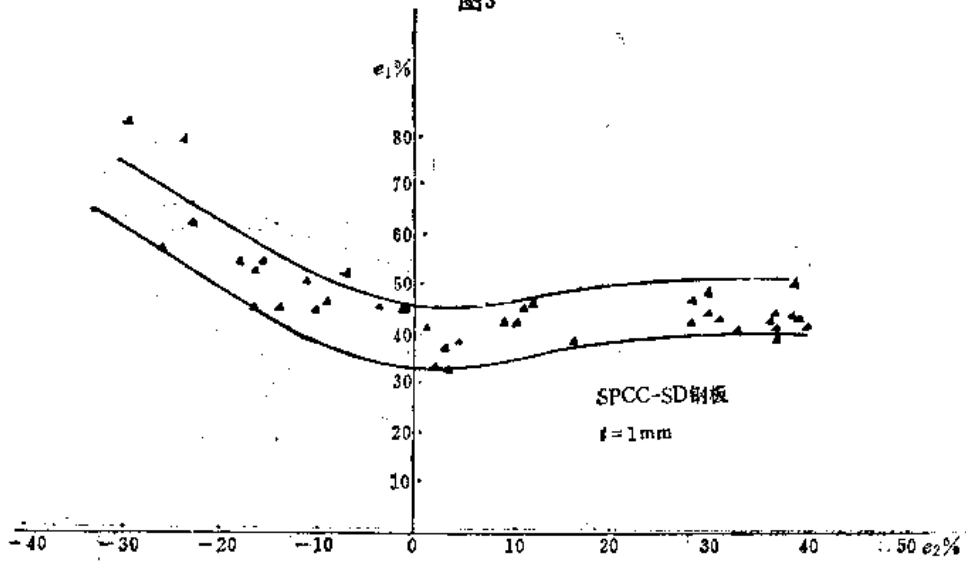


图4

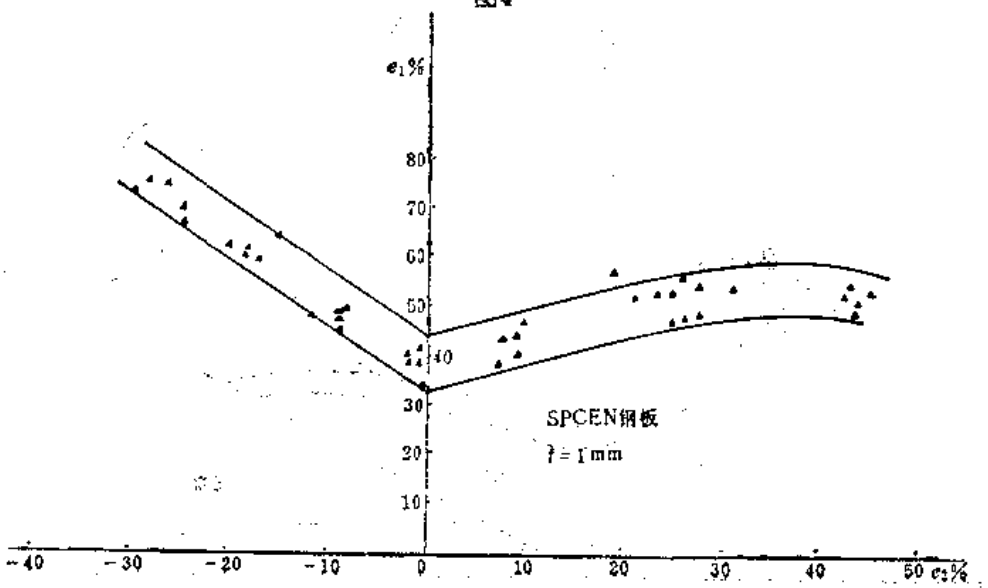


图5

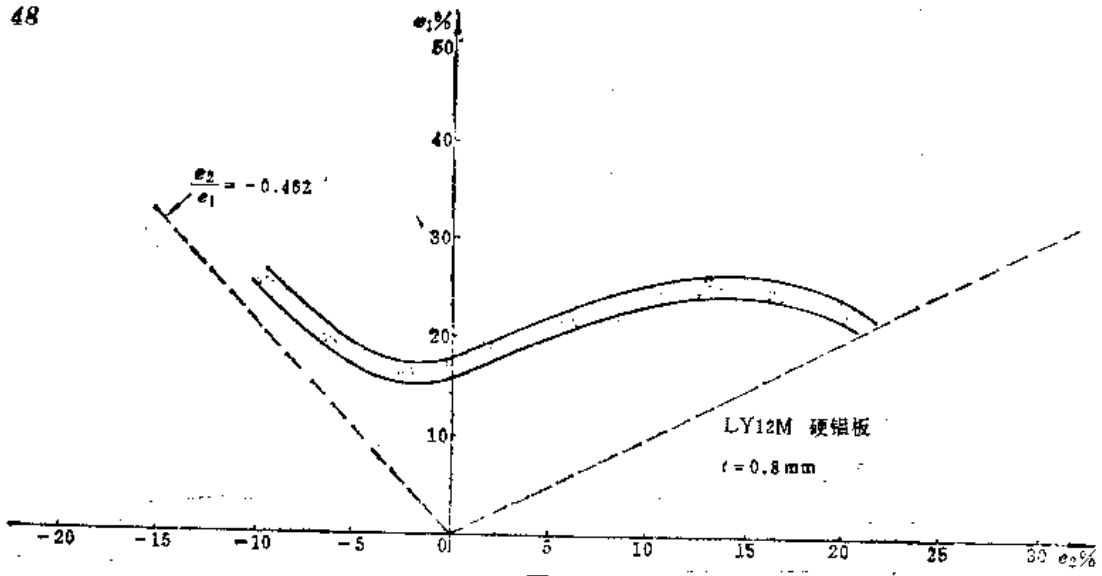


图6

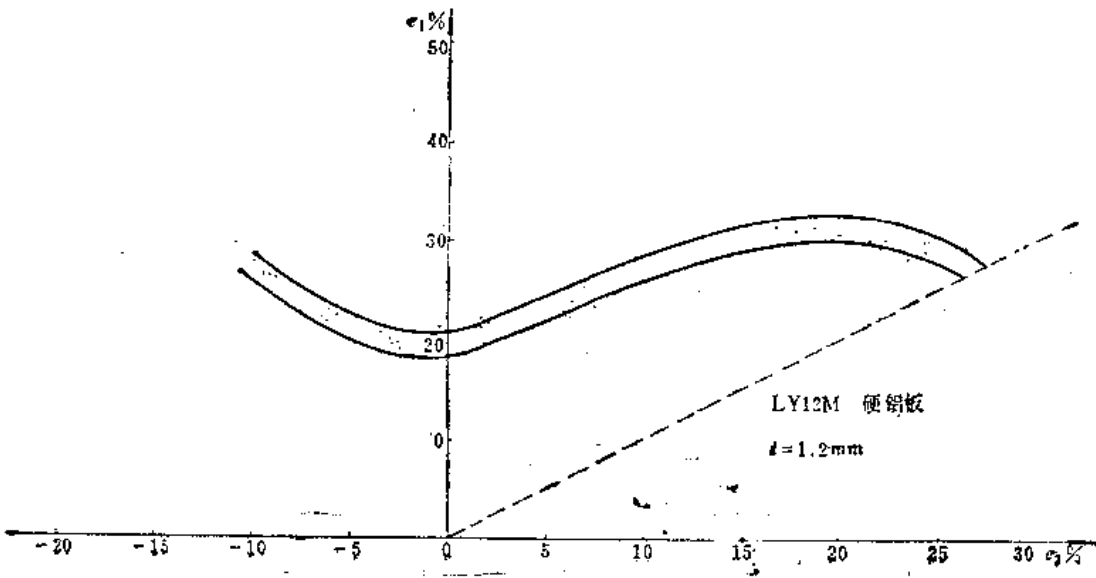


图7

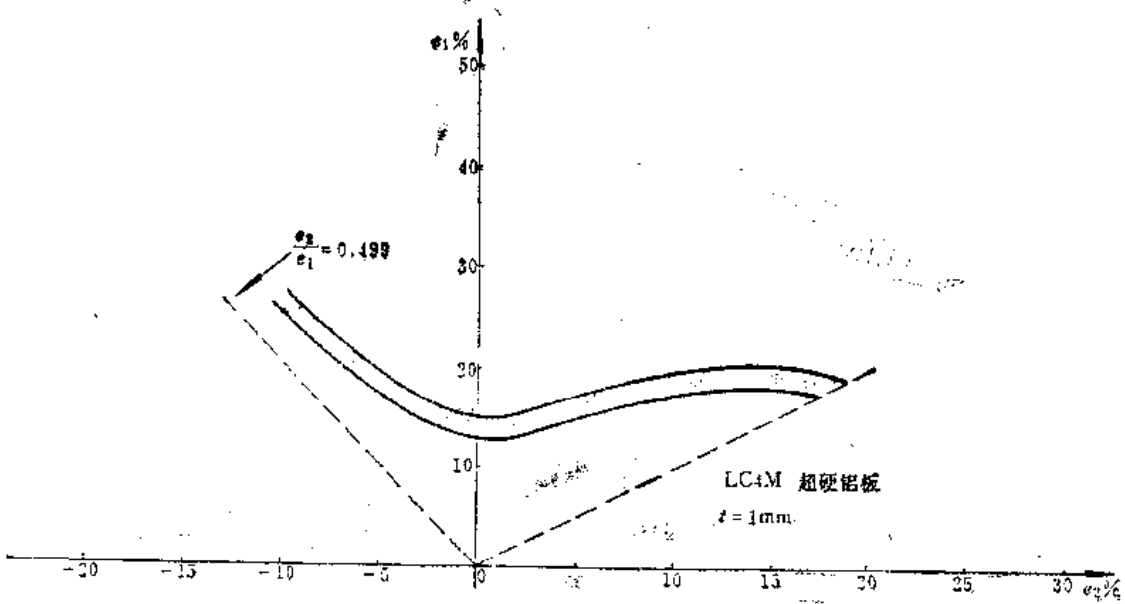


图8

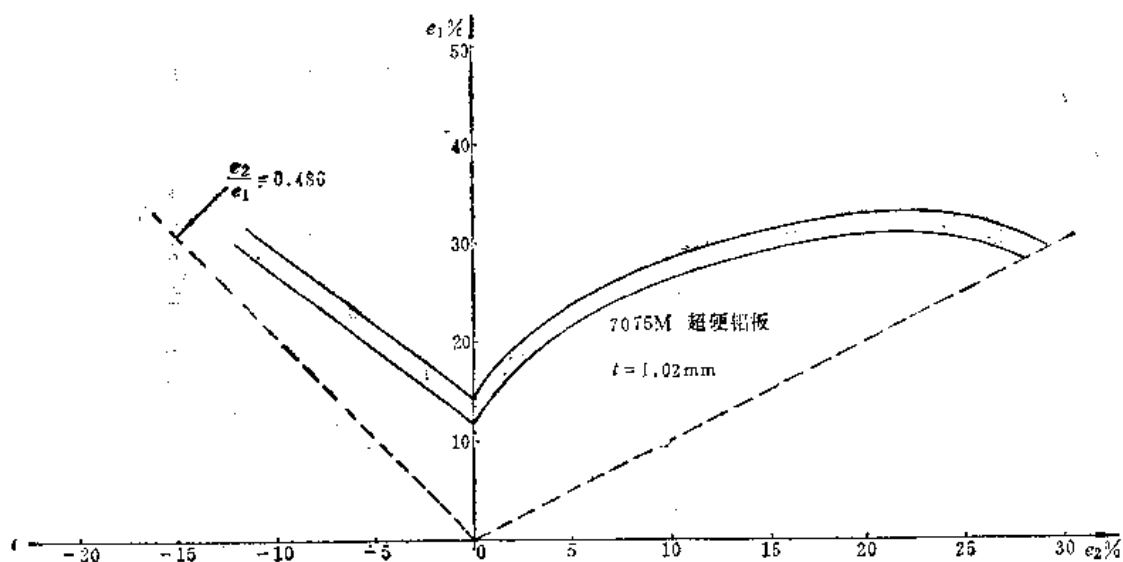


图9

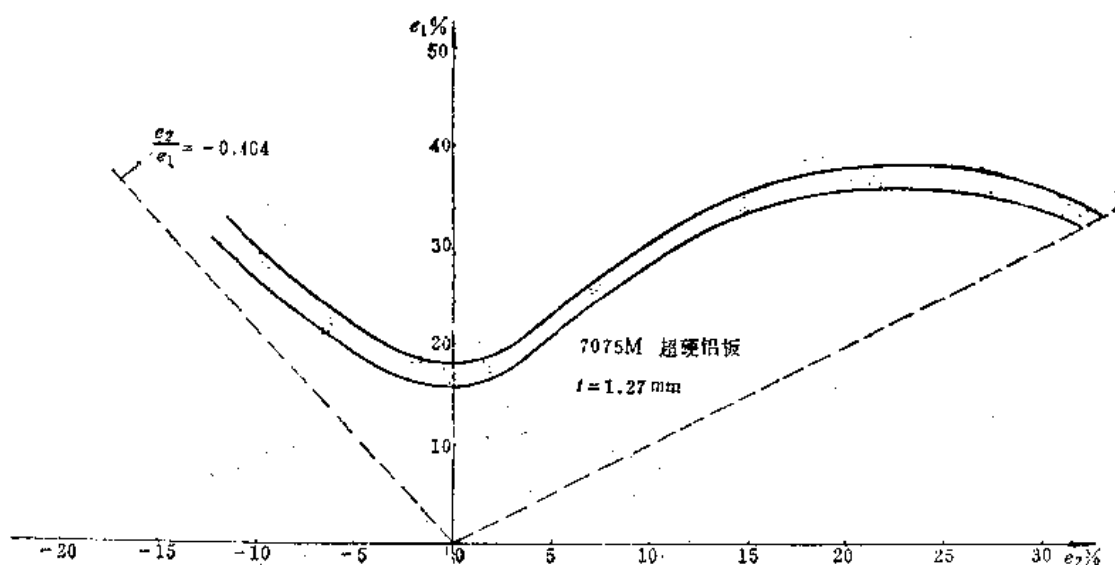


图10

为便于工程应用，纵-横坐标均采用工程应变 e ，且短轴应变 e_2 的比例尺比长轴应变 e_1 的大一倍。图中用符号 Δ （或 \cdot ）标出的点是建立此曲线时的实验点。

1.2.4.4 BHB21 型坐标网格印制仪

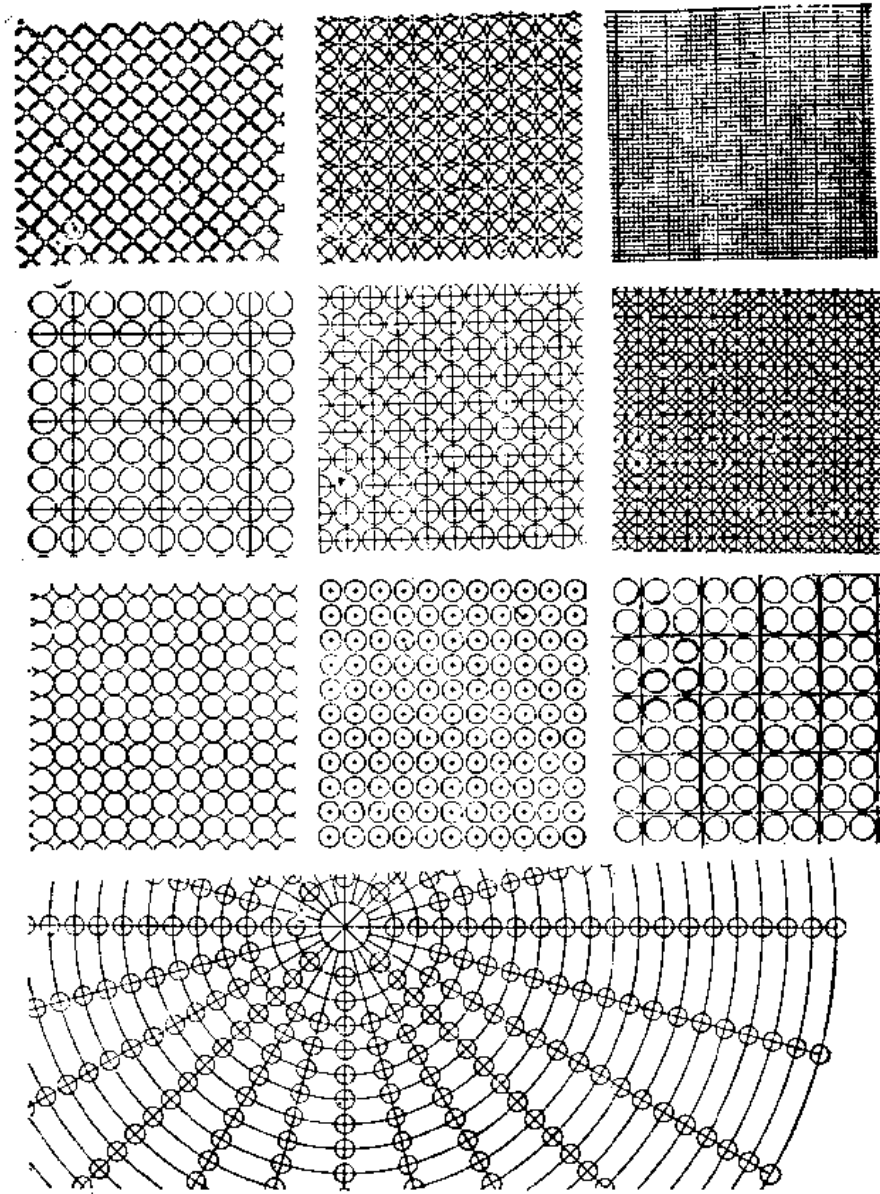
由北京航空学院研制的 BHB21 型坐标网格印制仪是一种采用蜡纸模版电化学法印制坐标网格的仪器，能于几十秒钟之内在各种板金材料的表面印制上各种供给应变测量用的坐标网格。

能印制的材料：铁及其合金；铝及其合金；铜及其合金。

能印制的面积：一次不大于 $250 \times 250 \text{ mm}$ 。

网格的型式：有图示的10种，基圆的直径又有 $d_0 = 2.4 \text{ mm}$ 和 $d_0 = 5 \text{ mm}$ 两种。

能达到的精度：置信概率为90%时，基圆直径的波动率 $\leq 2\%$ 。



蜡纸模版的精度寿命 ≤ 5 次，总寿命 ≤ 20 次。

仪器总重量 $< 30\text{kg}$ ，电源 2kW 、 220V 、单相交流。

1.2.4.5 FLC-I 型板料成形极限曲线试验机

北京航空学院研制的这种试验机能在实验室内建立各种金属薄板的成形极限曲线。

主要技术参数为：

试件直径： $50\sim 100\text{mm}$ ；

最大成形力： 350kN ；

试件厚度：低碳钢 $0.4\sim 2.0\text{mm}$ ；

1Cr18Ni9Ti $0.3\sim 1.5\text{mm}$ ；

凸模行程： 80mm

此机床还可用于液压胀形试验，最大胀形压力45MPa。

此机床还可进行定间隙压边的压延试验，最大压边力525kN。

1.2.5 金属学的成形性能指数及其试验

目前已提出的评判板金成形性能好坏的金属学方面的指数有：晶粒的方位，晶粒的大小，表面粗糙度，晶界杂质和均质性，再结晶组织等等。这方面的试验可按照以下国标或冶金部部标进行：

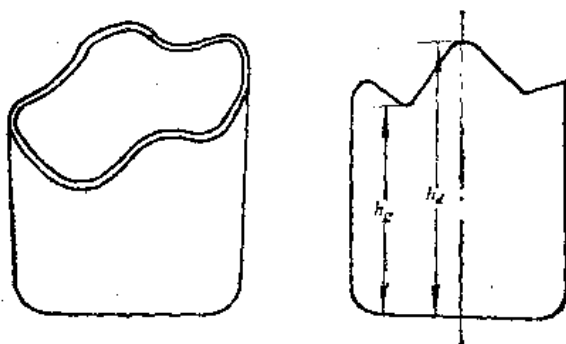
- GB224-78 钢的脱碳层厚度显微测定法；
- GB226-77 钢的低倍组织及缺陷酸蚀试验法；
- GB1979-80 结构钢低倍缺陷评级图；
- GB2523-81 冷轧薄钢板（带）表面粗糙度测量方法；
- GB3246-82 铝及铝合金制品显微组织检验方法；
- GB3247-82 铝及铝合金加工制品低倍组织检验方法；
- YB27-77 钢的晶粒度测定法；
- YB28-59 金属显微组织检验法；
- YB797-71 单相铜合金晶粒度测定法。

1.2.6 特定成形性能指数及其试验

特定成形性能指数，是指那些因用户有某种特殊要求而提出的，需与板料供应部门协商才能提供和保证的指数。这类指数的名目繁多，其中有普遍意义的指数和试验有凸耳和下陷试验。

1.2.6.1 凸耳试验（Earing Test）及其指数

用圆形毛料压延平底杯形件时，杯口会带有几个凸耳，如图。凸耳反映板面内材料各向异性（即 Δr 值）的灵敏度高，故可用凸耳试验来评判板材平面各向异性的大小。凸耳试验的指数有：



- (1) 凸耳的方位：凸耳的轴线与板料辗压方向间的夹角 α 。
- (2) 个数：一般为4个，但也有2个或6个者。例如黄铜就是6个，从 $\alpha=0^\circ$ 起每隔 60° 一个。
- (3) 平均耳高 E ：建议用下式定义 E ：

$$E = \frac{(\bar{h}_s - \bar{h}_v)}{\frac{1}{2}(\bar{h}_s + \bar{h}_v)} \cdot 100\%$$

式中 h_s ——从杯底到凸耳顶峰的高度；
 \bar{h}_s ——几个凸耳 h_s 的平均值；
 \bar{h}_v ——几个凸耳从杯底到凸耳谷底高度的平均值。

常用材料的凸耳为四个，且与轧向成 0° 和 90° 的方向为凸耳的峰（或谷）点，同时与轧向成 45° 的方向为凸耳的谷（或峰）点，此时可如下定义凸耳值 E ：

$$E = \frac{(h_0 + h_{90} - 2h_{45})}{\frac{1}{2}(h_0 + h_{90} + 2h_{45})} \cdot 100\%$$

当峰值在 0° 、 90° 方向时， E 值为正。峰值在 45° 方向时， E 值为负。这样 E 值不仅反映了凸耳的大小，还反映了凸耳的方位。

板材的平面各向异性值 Δr 能集中而灵敏地反映板材成分、熔炼、轧制和热处理规范等变化的影响，故凸耳值还可以作为一个评判板材成形性能是否稳定的重要指数。

凸耳试验各国应用已较普遍，但尚无统一标准。我国航空工业部制定的试验标准（草案）规定：试验模具的尺寸及精度如表：

凸耳试验模具的尺寸及精度表 (mm)

凸 模	适用板厚	d_p	r_p
	0.2~2.4	$50_{-0.05}^0$	5.0 ± 0.1
凹 模	适用板厚	d_d	r_d
	0.40~0.56	$51.80_{+0.05}^0$	6.4 ± 0.1
	0.56~0.80	$52.56_{+0.05}^0$	9.1 ± 0.1
	0.80~1.14	$53.64_{+0.05}^0$	13.0 ± 0.1
	1.14~1.70	$55.20_{+0.05}^0$	18.0 ± 0.1
	1.70~2.40	$56.48_{+0.05}^0$	25.2 ± 0.1

相对间隙对 E 值有显著影响，但在

$$\frac{d_s - d_p}{2t_0} \geq 1.6$$

的条件下，则不再对 E 值产生显著影响。表列模具尺寸即根据此原则并尽量使模具能与压延试验通用而定的。

试件用 $D_0 = 90 \pm 0.1 \text{ mm}$ 的圆形试件

对模具、压边力、润滑的要求同压延试验。

用高度尺测量 h_1 和 h_2 。试验数据应为三个以上试件的平均值。 E 值保留一位小数， α 保留整数。

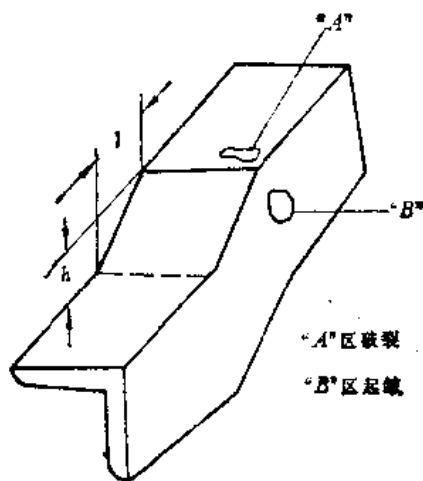
一些板料的凸耳试验数据如表 \ominus ：

六种板料的凸耳试验数据

材 料	LF21M	1Cr18M19Ti	30CrMnSi	Ly12M	LC4M	SPCEN
板厚 t_0 (mm)	0.96	1.07	0.57	0.96	0.90	1.0
E %	-7.7	-4.1	-4.0	-3.5	-2.1	5.4

1.2.6.2 下陷成形试验 (Joggle Test) 及其指数

板材或薄壁挤压型材，在某局部突然下折一定距离，谓之下陷成形，如图。以不出现破裂和起皱的 $(h/l)_{max}$ 值作成形性能指数。 h 和 l 是下陷的深度和长度。



用标准的试验模具对型材试件进行冲压。型材的断面形状和壁厚 t 对 $(h/l)_{max}$ 值也有重大影响。

\ominus 资料取自北京航空学院七〇四教研室《板材成形性能科研资料汇编》，1985。

(2) 不锈钢

材料	轧制方向				45°方向				垂直方向													
	埃利克森值	LDR	屈服点抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	n 值	r 值	屈服点抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	n 值	r 值	屈服点抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	n 值	r 值	Δr				
SUS304	11.4	2.03	30.9	67.3	0.46	53.5	0.43	1.02	30.0	63.6	0.47	59.0	0.40	1.19	30.7	63.7	0.48	60.0	0.43	0.98	1.10	0.12
SUS430	9.1	2.03	35.7	52.3	0.67	28.0	0.18	1.09	39.8	55.3	0.72	23.5	0.16	0.83	38.8	53.8	0.72	62.0	0.16	2.29	1.26	0.86

(3) 铝1100板

材料	轧制方向				45°方向				垂直方向													
	埃利克森值	LDR	屈服点抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	n 值	r 值	屈服点抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	n 值	r 值	屈服点抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	n 值	r 值	Δr				
软材	22.5	2.075	2.8	8.7	0.32	42.8	0.24	0.60	2.8	8.9	0.32	44.0	0.30	0.53	3.0	8.4	0.36	41.9	0.28	0.94	0.65	0.24
半硬材	41.9	1.975	11.9	13.5	0.87	11.9	0.10	0.41	12.1	13.7	0.88	10.0	0.09	1.12	13.0	14.2	0.92	10.0	0.08	0.81	0.87	-0.51

(4) Al-3.5% Mg

冷轧率 (%)	退火温度 (°C)	硬度 HV	埃利克森值	LDR	轧制方向				垂直方向			
					屈服强度 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	屈服强度 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)
2.5	100	81.4	9.00	2.02	18.2	29.6	0.62	18.5	0.19	0.56		
2.5	200	72.6	9.35	2.06	13.3	29.5	0.43	22.4	0.29	0.58		
2.5	300	72.2	9.6	2.06	11.8	28.9	0.41	24.3	0.33	0.60		
5.0	100	70.2	9.5	2.06	11.7	29.2	0.40	22.9	0.33	0.56		
5.0	200	84.4	9.2	2.02	16.5	30.4	0.54	20.8	0.23	0.57		
5.0	300	74.9	9.3	2.06	15.2	29.6	0.51	20.3	0.33	0.58		
5.0	400	72.7	9.4	2.06	11.7	29.4	0.40	25.2	0.29	0.58		
10.0	100	70.4	8.2	2.06	11.2	28.4	0.38	21.7	0.30	0.55		
10.0	200	89.3	8.6	1.97	23.1	31.9	0.72	13.1	0.16	0.50		
10.0	300	81.3	8.9	2.02	20.3	31.5	0.53	20.9	0.26	0.54		
10.0	400	75.9	9.1	2.05	13.0	29.2	0.45	21.8	0.29	0.58		
10.9	400	71.7	9.0	2.02	11.3	29.2	0.39	23.9	0.34	0.57		

(5) Al-1/4 Mn

冷轧率 (%)	硬度 HV	埃利克森值	LDR	轧制方向				垂直方向				平均值									
				屈服强度 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	r 值	n 值	屈服强度 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	r 值	n 值	屈服比	延伸率 (%)	r 值	n 值		
0	27.8	11.9	1.94	2.9	8.8	0.33	49.0	0.23	0.67	2.9	8.7	0.33	29.5	0.23	0.60	2.9	8.8	0.33	39.2	0.23	0.63
5	32.9	11.0	1.97	8.3	10.1	0.32	35.3	0.15	0.60	8.4	9.4	0.39	16.5	0.14	0.57	8.4	9.8	0.35	25.9	0.15	0.58
10	37.3	10.4	1.98	9.6	10.3	0.93	24.6	0.10	0.49	8.8	10.8	0.81	11.6	0.10	0.32	9.2	10.5	0.87	18.1	0.10	0.40
20	42.0	10.1	1.98	11.0	12.0	0.91	18.6	<0.05	0.34	11.1	12.4	0.90	8.2	<0.05	0.27	11.1	12.2	0.90	11.4	<0.05	0.30
40	48.0	9.4	1.94	13.2	13.9	0.93	7.3	<0.03	0.29	13.8	14.6	0.94	5.2	<0.03	0.24	13.9	14.3	0.94	6.3	<0.03	0.26
60	52.1	8.9	1.91	14.6	15.7	0.91	7.2	<0.03	0.23	14.4	16.3	0.88	4.9	<0.03	0.22	15.1	16.0	0.90	6.0	<0.03	0.22

(6) 纯铜 (冷轧状态)

冷轧率 (%)	硬度 HV	埃利克森值	LDR	轧制方向				垂直方向				平均值									
				屈服强度 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	r 值	n 值	屈服强度 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	r 值	n 值	屈服比	延伸率 (%)	r 值	n 值		
0	49.5	12.4	2.04	5.25	21.7	0.24	51.0	0.43	0.92	4.98	21.1	0.24	51.0	0.44	0.99	5.12	21.4	0.24	51.2	0.4	0.95
3.9	70.0	10.6	2.06	12.2	22.2	0.55	42.1	0.17	0.85	14.1	21.7	0.65	46.1	0.23	0.94	12.8	22.0	0.58	43.4	0.19	0.88
12.0	81.0	8.5	2.04	21.0	24.2	0.86	31.9	<0.09	0.67	21.0	23.6	0.89	31.0	0.05	0.65	21.0	23.9	0.88	31.5	0.07	0.66
19.4	92.6	9.0	2.04	24.5	26.9	0.91	14.1	<0.05	0.54	25.2	26.9	0.94	10.6	0.05	0.61	24.8	26.9	0.92	12.3	0.05	0.57
30.0	108	8.9	1.97	25.5	32.2	0.78	9.4	<0.05	0.46	25.6	33.2	0.77	6.3	0.05	0.58	25.6	32.8	0.78	7.9	<0.05	0.52
40.0	111	8.1	1.94	26.7	33.2	0.80	3.7	<0.05	0.20	30.4	34.3	0.89	3.4	0.05	—	28.6	33.7	0.85	3.5	<0.05	0.20
60.2	117	7.0	1.88	33.1	35.7	0.93	2.6	<0.05	—	32.5	39.0	0.83	3.3	0.05	—	32.8	37.4	0.88	2.9	<0.05	—

(7) 纯铜 (退火250°C一小时)

0	47.0	12.1	12.5	2.04	5.08	21.2	0.24	53.1	0.44	0.98	4.26	21.1	0.20	56.0	0.50	1.05	4.67	21.2	0.22	54.6	0.47	1.01
3.9	68.0	10.5	11.3	2.04	11.3	21.9	0.51	43.9	0.21	0.86	14.0	22.2	0.63	51.5	0.28	0.97	12.6	22.1	0.57	47.7	0.25	0.91
12.0	79.0	9.7	10.3	2.06	18.2	23.8	0.76	33.1	0.14	0.78	17.8	23.7	0.75	42.1	0.14	0.82	18.0	23.8	0.75	37.6	0.14	0.80
19.4	91.0	9.1	9.8	2.04	23.3	26.3	0.89	18.4	0.07	0.60	24.2	26.7	0.81	14.5	0.07	0.40	23.7	26.5	0.80	16.4	0.07	0.50
40.0	89.0	8.9	9.5	2.00	14.9	25.9	0.58	20.6	0.13	0.67	17.8	27.3	0.65	19.6	0.10	0.65	18.4	26.6	0.61	20.1	0.11	0.66
60.2	68.0	10.4	11.0	2.02	7.4	23.5	0.32	39.1	0.31	0.70	5.8	23.9	0.24	34.3	0.30	0.90	6.83	23.7	0.28	36.7	0.30	0.80

(8) 无氧铜

材 料	硬度 HV	埃利克值	LDR	轧制方向						45°方向						垂直方向							
				屈服强度 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	r 值	n 值	屈服强度 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	r 值	n 值	屈服强度 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	r 值	n 值	Δr	
软 材	49.5	13.4	2.23	4.6	22.4	0.21	56	0.50	0.90	4.7	21.6	0.22	46	0.48	0.94	4.9	22.0	0.22	52	0.49	0.77	0.89	-0.11
半硬材	54.0	9.3	2.20	22.5	25.3	0.89	32	0.05	0.76	22.0	23.8	0.92	34	0.04	0.87	22.8	24.2	0.94	38	0.04	0.90	0.85	-0.04

(9) 黄铜2种(65/35)软材

材 料	硬度 HV	埃利克值	轧制方向						45°方向						垂直方向								
			屈服强度 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	r 值	n 值	屈服强度 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	r 值	n 值	屈服强度 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	r 值	n 值			
BsR2AS	0.2	31.9	12.3	11.2	33.6	0.30	56	0.564	0.96	12.0	33.4	0.28	60	0.552	11.7	33.3	0.29	57	0.490				
—O	0.6	83.1	12.7	11.0	35.9	0.31	59	0.53	0.86	11.6	34.8	0.33	65	0.52	11.6	35.7	0.33	63	0.53				

(10) 黄铜3种(60/40)软材

材 料	硬度HV	埃利克森值	LDR	屈服点 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	轧制方向		r 值	
						屈服比	延伸率 (%)		
软 材	102	12.3	2.2	18.0	40.0	轧制方向		0.82	
						0.45	52.3		
						0.43	0.43		
				45° 方向					
				18.9	38.4	0.49	55.9	0.44	0.93
				垂直方向					
				18.9	38.7	0.44	53.2	0.45	0.81
				r 值				Δr	
								0.87	
								-0.12	

(11) 红铜板

材 料	硬 度 HV	LDR	埃利克森值	屈服点 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	轧制方向		r 值	
						屈服比	延伸率 (%)		
B3P3-0	81.6	2.17	11.0	12.2	30.6	轧制方向		0.97	
						0.40	41.8		
						0.40	0.40		
				45° 方向					
				12.0	29.8	0.40	42.5	0.40	0.88
				垂直方向					
				12.2	29.6	0.41	44.1	0.38	0.82
				r 值				Δr	
								0.89	
								0.02	

(12) 锌白铜板

材 料	硬 度 HV	LDR	埃利克森值	屈服点 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	轧制方向		r 值	
						屈服比	延伸率 (%)		
NSR2-0	12.6	2.25	11.2	20.9	45.8	轧制方向		0.63	
						0.46	36.8		
						0.41	0.41		
				45° 方向					
				20.3	44.4	0.46	42.3	0.41	11.9
				垂直方向					
				20.9	45.7	0.46	41.4	0.44	1.00
				r 值				Δr	
								-1.00	
								-0.37	

(13) 钛、钛合金

材 料	晶 格	埃利克森值	LDR	轧 制 方 向				45° 方 向							
				屈服强度 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	n 值	r 值	屈服强度 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	n 值	r 值
钛 (软材)	α六方晶格	11.3	2.45	31.1	37.7	0.82	36.0	0.10	2.25	30.3	37.3	0.82	33.5	0.12	2.08
钛 (硬材)	α六方晶格	7.5	1.91	48.9	62.7	0.78	24.5	0.14	0.62	56.5	61.8	0.91	24.5	0.11	1.28
Ti+5%Al+2.5%Sn	α六方晶格	2.0	1.33	75.6	80.0	0.94	14.0	0.07	2.46	77.6	79.0	0.98	10.5	<0.05	1.41
Ti+6%Al+4%V	α/β六方体心立方晶格	4.4	1.36	93.8	97.2	0.97	12.0	<0.05	1.09	88.4	88.9	0.99	11.5	0	1.69
Ti+2%Cu	α六方晶格	7.1	2.00	52.6	62.3	0.81	23.0	0.13	1.32	52.2	59.0	0.88	24.0	0.13	2.07
Ti+15%Mo	β体心立方晶格	8.4	2.34	59.8	74.7	0.80	37.0	0.09	1.41	59.6	75.3	0.79	36.0	0.24	1.56

材 料	晶 种	垂 直 方 向				平 均 值								
		屈服强度 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	n 值	r 值	屈服强度 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈服比	延伸率 (%)	n 值	r 值	
钛 (软材)	α六方晶格	32.4	38.4	0.84	33.0	0.12	1.61	31.0	37.7	0.82	34.0	0.11	2.01	-0.15
钛 (硬材)	α六方晶格	62.0	69.8	0.90	21.0	0.15	1.51	56.1	64.0	0.88	23.7	0.13	1.17	-0.22
Ti+5%Al+2.5%Sn	α六方晶格	76.8	76.6	0.96	16.5	<0.05	2.46	76.9	79.4	0.97	12.9	0.05	1.94	-1.05
Ti+9%Al+4%V	α/β六方体心立方晶格	94.0	94.0	1.00	14.5	0	1.44	91.1	92.3	0.99	12.4	0.01	1.48	-0.43
Ti+2%Cu	α六方晶格	55.8	60.1	0.98	22.5	0.12	2.38	52.7	60.1	0.88	23.4	0.13	1.98	-0.22
Ti+15%Mo	β体心立方晶格	61.4	77.5	0.79	31.0	0.29	1.43	60.1	75.7	0.79	35.0	0.22	1.49	-0.14

(14) 铸(150℃15分钟→冷轧→100℃--小时退火)

冷 轧 率 (%)	硬 度 HV	埃 利 克 森 值	LDR	轧 制 方 向				垂 直 方 向				平 均 值									
				屈服强度 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈 强 比	延 伸 率 (%)	均 匀 延 伸 率	r 值	屈服强度 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	屈 强 比	延 伸 率 (%)	均 匀 延 伸 率	r 值						
0	49.7	4.7	1.43	3.64	7.77	0.47	20.3	15.4	0.10	7.56	14.3	0.53	12.2	8.0	0.21	5.60	11.0	0.51	16.2	11.7	0.16
5	52.9	6.2	1.48	5.98	10.9	0.55	42.9	36.7	0.14	12.2	18.1	0.68	15.8	15.1	0.64	9.11	14.5	0.63	29.3	25.9	0.39
9.4	53.9	9.0	1.61	7.35	12.0	0.63	49.5	41.4	0.24	12.8	20.2	0.64	18.1	8.3	1.43	10.1	16.1	0.63	33.8	24.8	0.88
19.3	56 C	8.9	1.73	8.73	13.7	0.64	50.0	49.5	0.28	13.5	21.4	0.63	31. C	21.1	1.50	11.1	17.5	0.64	40.5	35.3	0.89
40.0	62.8	8.4	1.82	9.95	16.5	0.61	39.1	31.6	0.33	12.1	22.8	0.53	26.5	20.5	1.15	11.0	19.7	0.58	32.8	26.0	0.74
60.2	65.0	8.1	1.61	8.40	14.5	0.58	22.8	16.7	0.08	7.56	19.0	0.40	17.6	8.1	0.28	7.9	16.7	0.48	20.2	12.4	0.19

①根据法定计量单位的规定, 屈服单位应为Pa, 因本手册中收集的一些数据为原试验数据, 为精确起见, 仍保持原有单位, 读者根据需要可自行换算Pa=1N/m², 1N=1kgm/s².

参 考 资 料

- [1] 李荣福、陈孝猷, “加强钣金成形性能的研究与实验”, 《航空制造工程》1984年第1,2期。
- [2] 胡世光, 《板料冷压成形原理》, 国防工业出版社, 1970年。
- [3] 日本塑性加工学会, 《压力加工手册》, 机械工业出版社, 1984年。

1.3 常用钣金材料的一般知识及有关标准和资料

1.3.1 内容与范围

本章针对设计和制造钣金产品时选材和制定工艺规程的需要,把国标和冶金工业部部标中有关钣金材料的资料进行了提炼和汇编。简明地介绍了我国黑色和有色金属产品牌号命名的方法和符号。列举了常用金属材料牌号的国内外对照表。对于民用钣金中应用最多的薄钢板的特点作了重点说明。对民用产品和军工产品中最常使用的钣金材料的品种规格、物理性能、机械性能数据,从现行的国标和冶金部标中,进行了摘引汇编。为便于读者查阅,本章列举了截至1984年底我国已颁布的与钣金材料有关的国标和冶金部标的目录。

钣金成形模具用的材料,本章只有牌号,其用途请参阅1.7.4节。厚度大于4mm的金属板料、各种非金属板料,已不属“钣金材料”的范畴。有关的资料,除少数情况外,本章未予收入。

1.3.2 与钣金材料有关的国标和冶金部标^{[3],[6],[7]}

1.3.2.1 黑色钣金材料

- GB221-79 钢铁产品牌号表示方法。
- GB247-80 钢板和钢带验收、包装、标志及质量证书的一般规定。
- GB2102-80 钢管验收、包装、标志及质量证明书的一般规定。
- GB699-65 优质碳素结构钢钢号和一般技术条件。
- GB708-65 轧制薄钢板品种。
- GB710-65 优质碳素结构钢薄钢板技术条件。
- GB716-83 普通碳素钢冷轧钢带。
- GB912-82 普通碳素结构钢和低合金结构钢薄钢板技术条件。
- GB2517-81 一般结构用热连轧钢板和钢带。
- GB2518-81 连续热镀锌薄钢板和钢带。
- GB2519-81 热连轧钢板和钢带品种。
- GB2520-81 电镀锡薄钢板和钢带。
- GB2521-81 冷轧电工钢带(片)。
- GB2597-81 热轧窗框钢。
- GB2598-81 冷轧不锈、耐热钢带。
- GB3273-82 汽车大梁用钢板。
- GB3280-84 不锈钢冷轧钢板。
- GB3522-83 优质碳素结构钢冷轧钢带。

- GB3524-83 普通碳素结构钢热轧钢带。
- GB3644-83 自行车用冷轧碳素钢宽钢带和钢板。
- GB3646-83 自行车用冷轧钢带。
- YB178 -65 酸洗薄钢板技术条件。
- YB179 -63 屋面薄钢板技术条件。
- YB180 -63 镀锌薄钢板技术条件。
- YB181 -65 镀锌用原板和酸洗薄钢板品种。
- YB204 -63 合金结构钢薄钢板技术条件。
- YB205 -63 优质碳素结构钢汽车制造用热轧厚钢板。
- YB215 -64 深冲压用冷轧薄钢板。
- YB216 -64 镀铅薄钢板。
- YB364 -64 200升油桶用热轧碳素钢薄钢板。
- YB474 -64 搪瓷用热轧薄钢板。
- YB537 -65 一般用途普通碳素钢、普通低合金钢薄钢板技术条件。
- YB540 -65 航空用合金结构钢板技术条件。
- YB 541-70 不锈、耐酸及不起皮钢薄钢板技术条件。
- YB/Z1-73 热镀锡钢板技术条件。
- YB 208-63 弹簧钢、工具钢冷轧钢带。
- YB 209-63 低碳钢冷轧钢带。
- YB 314-64 热镀锡钢带。
- YB 317-64 手表用冷轧不锈钢钢带。
- YB 318-64 手表用冷轧碳素工具钢钢带。

1.3.2.2 有色板金材料

- GB340 -76 有色金属及合金产品牌号表示方法。
- GBn167-82 可热处理强化的铝合金板。
- GB3193-82 铝及铝合金热轧板。
- GB3194-82 铝及铝合金板材的尺寸及允许偏差。
- GB3198-82 工业用纯铝箔。
- GB3614-83 铝合金箔。
- GB3617-83 表盘及装饰用铝及铝合金板。
- GB3618-83 铝及铝合金花纹板。
- YB606 -66 不可热处理强化的铝及铝合金板。
- YB611 -66 铝及铝合金薄壁管。
- YB615 -66 铝及铝合金挤压型材。
- YB618 -66 大型铝及铝合金板。
- GB3621-83 钛及钛合金板。
- GB3622-83 钛带材。
- GB3624-83 钛及钛合金无缝管。

- GB2040-80 纯铜板。
 GB2041-80 黄铜板。
 GB2043-80 铝青铜板。
 GB2048-80 锡青铜板。
 GB2050-80 普通白铜板。
 GB2059-80 纯铜带。
 GB2060-80 黄铜带。
 GB2062-80 铝青铜带。
 GB2066-80 锡青铜带。
 GB2068-80 普通白铜带。
 YB462-64 纯铜箔。
 YB552-75 镀青铜条材和带材。
 YB559-65 黄铜箔。
 GB2054-80 镍及镍合金板。
 GB2072-80 镍及镍合金带。
 GB1527-79 拉制铜管。
 YB628-73 镁合金板材。
 YB632-66 镁合金挤压型材。
 GBn64-79 贵金属及其合金板、带材。

1.3.3 常用资料

1.3.3.1 黑色金属品种及常用规格⁽⁵⁾

1.3.3.1.1 钢板品种及常用规格

钢板品种及常用规格

类别	品 种	常用产品及规格举例	
		钢板名称	厚度(mm)
普通钢板 (包括普通碳素和低合金钢板)	热轧普通厚钢板(厚度>4mm)	桥梁用钢板	4.5~50
	热轧普通薄钢板(厚度≤4mm)	造船用钢板	1.0~120
		汽车大梁用钢板	2.5~10
	冷扎普通薄钢板(厚度≤4mm)	锅炉钢板	4.5~120
		压力容器用钢板	4.5~120
		普通碳素钢板	0.3~120
		低合金钢板	1.0~120
		花纹钢板	3.0~7
		镀锌薄钢板	0.3~2.0
	镀锡薄钢板	0.21~0.50	
镀铅薄钢板	0.9~1.2		

(续)

类别	品 种	常用产品及规格举例	
		钢板名称	厚度(mm)
优 质 钢 板	热轧优质钢厚钢板(厚度>4mm)	碳素结构钢钢板	0.5~120
	热轧优质钢薄钢板(厚度≤4mm)	合金结构钢钢板	1.0~50
		碳素和合金工具钢钢板	0.8~20
	冷轧优质钢薄钢板(厚度≤4mm)	高速工具钢钢板	1.0~8
		弹簧钢钢板	1.0~20
		滚动轴承钢钢板	1.0~8
		不锈钢钢板	0.5~20
		耐热钢钢板	4.5~8
	复合钢板	不锈钢复合厚钢板	6~30
		塑料复合薄钢板	0.35~2.0
	犁铧用三层钢板	7~9	

1.3.3.1.2 钢带品种及常用规格

钢带品种及常用规格

类别	品 种	常用产品及规格举例		
		钢带名称	厚度 (mm)	宽度 (mm)
普 通 钢 带	热轧普通钢钢带 冷轧普通钢钢带	普通碳素钢钢带	2.5~6(热轧)	41~520
		镀锌钢带	0.05~4(冷轧)	10~1000
		软管用钢带	0.08~0.6 (冷轧)	
			0.25~0.7 (冷轧)	4~25
优 质 钢 带	热轧优质钢钢带 冷轧优质钢带	碳素结构钢钢带	2.5~7 (热轧)	60~520
		合金结构钢钢带	0.05~3(冷轧)	5~300
		碳素和合金工具钢钢带	0.25~3 (冷轧)	10~120
		高速工具钢钢带	2.75~7 (热轧)	15~300
		弹簧钢钢带	0.05~3 (冷轧)	5~300
		热处理弹簧钢钢带	1~1.5 (冷轧)	50~100
		不锈钢钢带	2.5~6 (热轧)	60~160
			0.05~3(冷轧)	10~200
			0.1~1.5 (冷轧)	5~105
			2.5~9 (热轧)	15~300
	0.05~2.5 (冷轧)	10~400		

1.3.3.1.3 钢管品种及常用规格

钢管品种及常用规格

类 别	品 种	常用产品及规格举例	
		钢 管 名 称	外径 (mm)
无 缝 钢 管	热轧无缝钢管	一般用无缝钢管	57~325(热轧) 5~36(冷拔)
	冷拔(轧)无缝钢管 异形无缝钢管 (包括方形、各种三角形、六角形、矩形、菱形、梯形、半圆形、椭圆形、梅花形、双凹形、双凸形等)	锅炉用无缝钢管	57~377(热轧) 14~159(冷拔)
		锅炉用高压无缝钢管	57~245 (热轧) 10~89 (冷拔)
	高压油管用无缝钢管	6~7(冷拔)	
	不锈钢耐酸钢无缝钢管	57~133(热轧) 6~76 (冷拔)	

类别	品 种	常用产品及规格举例	
		钢 管 名 称	外 径 (mm)
无缝钢管	渗铝钢管	滚动轴承钢无缝钢管	70~114(热轧) 32~75(冷拔)
		汽车半轴套管用无缝钢管	77(热轧)
		碳素结构钢毛细管	1.5~5(冷拔)
		渗铝钢管	20~90
焊接钢管	直缝电焊钢管 螺旋缝电焊钢管 炉焊钢管 异形电焊钢管	水、煤气输送用焊接钢管	3/8~8英寸 (17~219)
		水、煤气输送用镀锌钢管	1/2~2 1/2英寸 (21.25~75.5)
		直缝电焊钢管	9~114
		螺旋缝电焊钢管	168~720

1.3.3.2 黑色金属产品名称、用途、特性、工艺方法命名符号

1.3.3.2.1 命名符号 (GB221-79)

名 称	采用的汉字及其汉语拼音		采用符号	字 体	位 置
	汉字	汉语拼音			
甲类钢(普通碳素钢用)			A	大写	牌号头
乙类钢(普通碳素钢用)			B	大写	牌号头
特类钢(普通碳素钢用)			C	大写	牌号头
氧气转炉(普通碳素钢用)	氧	YANG	Y	大写	牌号中
碱性空气转炉(普通碳素钢用)	碱	JIAN	J	大写	牌号中
易切削钢	易	YI	Y	大写	牌号头
电工用热轧硅钢	电 热	DIANRE	DR	大写	牌号头
碳素工具钢	碳	TAN	T	大写	牌号头
滚珠轴承钢	滚 珠	GUN	G	大写	牌号头
焊接用钢	焊	HAN	H	大写	牌号头
船用钢	船	CHUAN	C	大写	牌号尾
汽车大梁用钢	梁	LIANG	L	大写	牌号尾
矿用钢	矿	KUANG	K	大写	牌号尾
压力容器用钢	容	RONG	R	大写	牌号尾
多层式高压容器用钢	高 层	GAO CENG	gC	小、大写	牌号尾
桥梁钢	桥	QIAO	q	小写	牌号尾
锅炉钢	锅	GUO	g	小写	牌号尾
耐蚀合金	耐 蚀	NAI SHI	NS	大写	牌号头
精密合金	精	JING	J	大写	牌号中
变形高温合金	高 合	GAO HE	GH	大写	牌号头
铸钢	铸 钢	ZHU GANG	ZG	大写	牌号头
灰铸铁	灰 铁	HUI TIE	HT	大写	牌号头
球墨铸铁	球 铁	QIU TIE	QT	大写	牌号头
耐热铸铁	热 铁	RE TIE	RT	大写	牌号头
沸腾钢	沸	FEI	F	大写	牌号尾
半镇静钢	半	BAN	b	小写	牌号尾
高级	高	GAO	A	大写	牌号尾
特级	特	TE	E	大写	牌号尾
超级	超	CHAO	C	大写	牌号尾

1.3.3.2.2 举例说明

常用钢号表示方法说明及举例

钢 类	钢 号 举 例		钢 号 表 示 方 法 说 明
	汉字牌号	字母牌号	
1. 普通碳素钢 1) 甲类钢 2) 乙类钢 3) 特种钢	甲3, 甲碱3, 甲酸3, 甲3沸, 甲顶3, 甲3半 乙1, 乙酸3, 乙碱3, 乙1沸, 乙酸3沸, 乙碱3 沸, 乙顶3, 乙1 半, 乙酸3半, 乙碱 3半 特3, 特 碱3, 特顶3	A3, AJ3, AS3, A3F, AD3, A3b B1, BS3, BJ3, B1F, BS3F, BJ3F, BD3, B1b, BS3b, BJ3b C3, CJ3, CD3	普通碳素钢分三类, 采用字母A、B、C和阿拉伯数字顺序号表示 甲类钢: 平炉钢省略去字母“P”, 以“A”和顺序号表示, 例如3号平炉钢的钢号为“A3”; 转炉钢则在钢类和顺序号中间加以代表冶炼方法的字母, 例如2号碱性侧吹转炉钢的钢号为“AJ2”, 2号氧气顶吹转炉钢表示为“AD2” 乙类钢和特类钢: 除乙类钢冠以“B”, 特类钢冠以“C”外, 钢号其余部分的表示均和甲类钢相同 沸腾钢在钢号后加“F”, 半镇静钢在钢号后加“b”, 镇静钢则不加任何字母 专门用途的碳素钢, 例如桥梁钢、船用钢等, 基本上采用普通碳素钢的表示方法, 但在钢号后附加用途字母, 例如桥梁用甲类3号钢以“A3q”表示
2. 优质碳素钢	05, 08沸, 50锰、20半	05, 08F, 50Mn, 20b	以平均碳含量的万分之几表示, 例如平均碳含量为0.45%的钢, 钢号表示为“45” 锰含量较高的优质碳素钢, 应将锰元素标出, 例如平均碳含量为0.50%, 锰含量为0.70~1.00%的钢, 钢号为“50Mn” 沸腾钢, 半镇静钢及专门用途的优质碳素钢的表示方法和普通碳素钢相同, 应在钢号后特别标出
3. 碳素工具钢	碳7, 碳8, 碳8 锰, 碳10高	T7, T8, T8Mn, T10A	钢号冠以“T”, 代表碳素工具钢; 含碳量以千分之几表示, 例如平均碳含量为0.8%的钢, 钢号为“T8”; 锰含量较高者, 在钢号后标出“Mn”, 例如“T8Mn”
4. 易切钢	易12, 易30, 易40锰	Y12, Y30, Y40Mn	以平均碳含量的万分之几表示, 并冠以“Y”, 以区别于优质碳素钢, 例如“Y30”, 锰含量较高者, 亦在钢号后标出“Mn”
5. 合金结构钢	12铬镍3 15锰2 18铬2镍4钨 20铬锰钛 38铬钼铝高 40铬镍钼 45锰硼	12CrNi3 15Mn2 18Cr2Ni4W 20CrMnTi 38CrMoAlA 40CrNiMo 45MnB	以平均碳含量的万分之几表示, 钢中主要合金元素除个别情况外, 一般以百分之几表示, 当平均含量 <1.5%时, 钢号中一般只标出元素符号, 而不标明含量, 但在特殊情况易致混淆者, 有符号后亦可标以1字; 当平均含量 ≥1.5%, ≥2.5%, ≥3.5%……时, 在元素符号后面还标明含量, 可相应为2, 3, 4……等, 例如平均碳含量为0.36%, 锰1.5~1.8%, 硅0.4~0.7%的钢, 钢号应表示为“36Mn2Si” 钢中的钒、钛、钨、钼、稀土等合金元素, 虽然含量很低, 仍应在钢号中标出, 例如平均碳含量为0.20%, 锰1.0~1.3%, 钒0.07~0.12%, 钼0.001~0.005%的钢, 钢号应表示为“20MnVB”
6. 低合金高强度钢	16锰 15锰钛 14锰钒钛稀土 18锰钼铌	16Mn 15MnTi 14MnVTiRE 18MnMoNb	为了区别于优质钢, 对高级优质钢应在钢号后加“A” 低合金高强度钢的钢号表示方法, 基本上同合金结构钢, 对于专门用途的钢种, 应在钢号后标明, 例如16Mn钢, 用于桥梁的专用钢种表示为“16Mnq”, 汽车大梁的专用钢种为“16MnL”, 压力容器的专用钢种为“16MnR”
7. 弹簧钢	85, 65锰 60硅2锰 50铬钒高 55硅锰钒硼	85, 65Mn, 60Si2Mn 50CrVA 55SiMnVB	弹簧钢的钢号表示方法, 基本上与碳素和合金结构钢相同
8. 铬滚动轴承钢	滚铬9 滚铬15 滚铬15硅锰	GCr9 GCr15 GCr15SiMn	滚动轴承钢的碳含量不予标出, 铬含量以千分之几表示, 并冠以“G”表示滚动轴承钢, 例如平均铬含量为1.5%的轴承钢, 钢号表示为“GCr15”

钢 类	钢 号 举 例		钢 号 表 示 方 法 说 明
	汉字牌号	字母牌号	
9. 合金工具钢	铬06, 铬锰 铬12钼钒 5铬镍铜 3铬2钨8钒 9硅铬	Cr06, CrMn Cr12MoV 5CrNiMo 3Cr2W8V 9SiCr	合金工具钢的平均碳含量 $\geq 1.0\%$ 时, 不标出碳含量; 当 $< 1.0\%$ 时, 以千分之几表示, 例如“CrMn”钢的碳含量为1.3~1.5%; “9Mn2V”钢的碳含量为0.85~0.95% 钢中合金元素含量的表示方法, 基本上与合金结构钢相同, 但对碳含量低的钢, 其碳含量以千分之几表示, 并在含量前加“0”字, 以示区别。1例如平均铬含量为0.6%的低铬工具钢, 钢号应表示为“Cr06” 高速工具钢的钢号中一般不标出碳含量, 只标出合金元素平均含量的百分之几。例如“18-4-1”型的钢号为“W18Cr4V”
10. 高速工具钢	钨18铬4钒钨6钼 5钨4-钒2	W18Cr4V W6Mo5Cr4-V2	
11. 不锈钢和耐热钢	1铬13 2铬13 1铬18镍9钛 4铬14镍14-硅2 钨2钼	1Cr13, 2Cr13 1Cr18Ni9Ti 4Cr14Ni14-Si2 Si2W2Mo	碳含量仍以千万分之几表示, 例如“9Cr18”钢的平均碳含量均为0.9%; 但碳含量 $\leq 0.03\%$ 及 $\leq 0.08\%$ 者, 钢号前分别冠以00及0表示之, 而00Cr18Ni10, 0Cr13等钢中主要合金元素以百分之几表示, 而钛、铌、锆、氮……等则按上述微量元素的表示方法标出

1.3.3.3 有色金属及合金产品牌号表示方法 (GB340-76)

1.3.3.3.1 常用金属、合金名称及其汉语拼音字母的代号

常用金属、合金名称及其汉语拼音字母的代号

名 称	采用的汉字及汉语拼音		采用代号
	汉 字	汉语拼音	
铜	铜	tong	T
铝	铝	lu	L
镁	镁	mei	M
镍	镍	nie	N
黄铜	黄	huang	H
青铜	青	qing	Q
白铜	白	bai	B
钛及钛合金	钛	tai	T

1.3.3.3.2 专用金属、合金名称及其汉语拼音字母的代号

专用金属、合金名称及其汉语拼音字母的代号

名 称	采用的汉字及汉语拼音		采用代号	字 体
	汉 字	汉语拼音		
防锈铝	铝、防	lu fang	LF	大写
锻铝	铝、锻	lu duan	LD	大写
硬铝	铝、硬	lu ying	LY	大写
超硬铝	铝、超	lu chao	LC	大写
特殊铝	铝、特	lu te	LT	大写
硬钎焊铝	铝、钎	lu qian	LQ	大写
无氧铜	铜、无	tong wu	TU	大写
镁合金(变形加工用)	镁、变	mei bian	MB	大写
稀土	稀土	xita	Xt	X大写t小写
钨钴硬质合金	硬、钨	ying gu	YG	大写
钨钛钴硬质合金	硬、钛	ying tai	YT	大写

1.3.3.3.3 产品状态名称、产品特性及其汉语拼音字母的代号

产品状态名称、产品特性及其汉语拼音字母的代号

名 称	采用的汉字及汉语拼音		采用代号	字 体
	汉 字	汉语拼音		
产品状态代号				
热加工	热	re	R	大写
退火(焖火)	焖(软)	men	M	大写
淬火	淬	cui	C	大写
淬火后冷轧(冷作硬化)	淬、硬	cui ying	CY	大写
产 品 状 态 代 号				
淬火(自然时效)	淬、自	cui zi	CZ	大写
淬火(人工时效)	淬、时	cui shi	CS	大写
硬	硬	ying	Y	大写
十硬、十硬、十硬、十硬、	硬	ying	Y ₁ 、Y ₂ 、Y ₃ 、Y ₄	Y大写, 数字右下角
特硬	特	te	T	大写
产 品 特 性 代 号				
优质表面	优	you	O	大写
涂漆蒙皮板	漆	qi	Q	大写
加厚包铝的	加	jia	J	大写
不包铝的	不	bu	B	大写
硬 质 合 金	表面涂层	涂	tu	大写
	添加碳化钽	钽	tan	大写
	添加碳化镍	镍	ni	大写
	细颗粒	细	xi	大写
	粗颗粒	粗	cu	大写
	超细颗粒	超	chao	大写
产品状态、特性代号组合举例				
不包铝(热轧)	不、热	bu re	BR	大写
不包铝(退火)	不、焖	bu men	BM	大写
不包铝(淬火、冷作硬化)	不、淬、硬	bu cui ying	BCY	大写
不包铝(淬火、优质表面)	不、淬、优	bu cui you	BCO	大写
不包铝(淬火、冷作硬化、优质表面)	不、淬、硬、优	bu cui ying you	BCYO	大写
优质表面(退火)	焖、优	men you	MO	大写
优质表面淬火自然时效	淬、自、优	cui zi you	CZO	大写

(续)

名 称	采用的汉字及汉语拼音		采用代号	字 体
	汉 字	汉语拼音		
优质表面淬火人工时效	淬、时、优	cuì shí yōu	CSO	大写
淬火后冷轧、人工时效	淬、硬、时	cuì yìng shí	CYS	大写
热加工、人工时效	热、时	re shí	RS	大写
淬火、自然时效、冷作硬化、优质表面	淬、自、硬、优	cuì zì yìng yōu	CZYO	大写

1.3.3.3.4 产品牌号表示方法举例

有色金属及合金加工产品牌号表示方法举例

产品名称	组 别	金属或合金牌号举例	
		汉 字 牌 号	代 号
铝及铝合金	工业纯铝	四号工业纯铝	L4
	防锈铝	二号防锈铝	LF2
	硬铝	十二号硬铝	LY12
	锻铝	二号锻铝	LD2
	超硬铝	四号超硬铝	LC4
	特殊铝	六十六号特殊铝	LT66
	硬钎焊铝	一号硬钎焊铝	LQ1
镁合金		八号镁合金	MB8
钛及钛合金	工业纯钛	一号 α 型钛	TA1
	钛合金	五号 α 型钛合金	TA5
		四号 $\alpha+\beta$ 型钛合金	TC4
纯铜	纯铜	二号铜	T2
	无氧铜	一号无氧铜	TU1
		磷脱氧铜	TUP
黄铜	普通黄铜	68黄铜	H68
	铅黄铜	59-1铅黄铜	HPb59-1
	锡黄铜	90-1锡黄铜	HSn90-1
	铝黄铜	77-2铝黄铜	HA177-2
	锰黄铜	58-2锰黄铜	HMn58-2
	铁黄铜	59-1-1铁黄铜	HFe59-1-1
	镍黄铜	65-5镍黄铜	HNi65-5
	硅黄铜	80-3硅黄铜	HSi80-3
青铜	锡青铜	6.5-0.1锡青铜	QS _{6.5-0.1}
	铝青铜	10-3-1.5铝青铜	QA110-3-1.5

(续)

产品名称	组 别	金属或合金牌号举例	
		汉 字 牌 号	代 号
青铜	铍青铜	1.9铍青铜	QBe1.9
	硅青铜	3-1硅青铜	QSi3-1
	锰青铜	5锰青铜	QMn5
	镉青铜	1镉青铜	QCd1
	铬青铜	0.5铬青铜	QCr0.5

1.3.3.4 美国板料厚度编级表

美国计量习惯采用英制，较薄板料的厚度如以英寸作为最小单位，其数目字将很麻烦，所以常用级数 (*grade*) 来表示板料的厚度。级数愈小，板料愈厚，见下表。

美国板料厚度编级表

板料厚度级数	对应的in数	对应的mm数	板料厚度级数	对应的in数	对应的mm数
0,000,000	0.5 ($\frac{1}{2}$)	12.7	13	0.09375	2.38125
000,000	0.46875	11.90625	14	0.078125	1.984375
00,000	0.4375	11.1125	15	0.0703125	1.7859375
0,000	0.40625	10.3185	16	0.0625 ($\frac{1}{16}$)	1.5175
000	0.3752	9.525	17	0.05625	1.4287
00	0.34375	8.73125	18	0.05 ($\frac{1}{20}$)	1.27
0	0.3125	7.9375	19	0.0437	1.11125
1	0.28125	7.14377	20	0.0375	0.9525
2	0.265625	6.746875	21	0.034375	0.873125
3	0.25 ($\frac{1}{4}$)	6.35	22	0.03121 ($\frac{1}{32}$)	0.79375
4	0.234375	5.953125	23	0.028123	0.714325
5	0.2187	5.55625	24	0.025 ($\frac{1}{40}$)	0.635
6	0.203125	5.159375	25	0.021875	0.5625
7	0.1875	4.7625	26	0.0187	0.47498
8	0.171875	4.365625	27	0.0171	0.43414
9	0.15625	3.96875	28	0.0156	0.39624
10	0.14062	3.571875	29	0.014	0.3546
11	0.125 ($\frac{1}{8}$)	3.135	30	0.0125	0.3175
12	0.109375	2.778125			

1.3.4 常用金属材料牌号的国内外对照表

常用金属材料牌号的国内外对照表(4)

1. 黑色金属材料

分 类	中 国 GB(YB)	美 国 SAE		英 国 B. S.	日 本 JIS	法 国 NF	西 德 DIN	苏 联 ГОСТ
		AISI	SAE					
碳 素 结 构 钢	08	1008		En2A/1	S9CK			08
	08F	1006		En2A/1	SPCH1			08KП
	10	C1012	1010	En2A	S10C	XC10	C10, CK10	10
	10F	C1010	1010	En2A	SPH2			10KП
	15	C1015	1015	En2E	S15C	XC12	C15, CK15	15
	15F			En2B				15KП
	20	C1020	1020	En3A	S20C	XC18	C20, C22	20
	20F	C1020	1020	En2C	SPH3			20KП
	30	C1030	1030	En4	S30C	XC32		30
	45	C1045	1045	En3D	S45C	XC45	C45 CK45	45
	15Mn	C1115	1115	En14A	SB46	XC12	14Mn4	14Г
	20Mn	C1022	1022	En3C, 4S21		XC18		20Г
	30Mn	C1033	1033	En5D, En5K		XC32		30Г
	50Mn	C1052	1052	En43A, En43B, En43C		XC48		50Г
20Mn2	1320, 1321		En41A, S92, S514, 3T35, 3T45			20Mn5	20Г2	
30Mn2	1330		S92, S514, 3T35, 3T45		32M5	30Mn5	30Г2	
40Mn2	1340		~En15A		40M5		40Г2	
50Mn2					~55M5		50Г2	
20MnV						20MnV6		
42MnV						42MnV7		
15Cr		5115	~En206	SCr21	12C3	15Cr3	15X	

合

金	20Cr	5120	En207	5Cr22	18C3	20Cr4	20X
	40Cr	5140	En18, S117	SCr4	38C4	41Cr4	40X
	50Cr	5150, 5152	En48	—	—	—	50X
	16CrMn	—	—	—	16MC5	16MCr5	15XΓ, 18XF
	20CrMn	—	—	—	20MC5	20MCr5	20XΓ
	40CrMn	—	—	—	—	—	40XΓ
	25CrMnSi	—	—	—	—	—	25XΓC
	30CrMnSi	—	—	—	—	—	30XΓC
	35CrMnSiA	—	—	—	—	—	35XΓCA
	20CrV	6120	—	—	—	22CrV4	20XΦ
	40CrV	6140	—	—	—	42CrV6	40XΦA
	45CrV	6145	En50	—	—	—	18XΓT
	18CrMnTi	—	—	—	—	—	30XΓT
	30CrMnTi	—	—	—	—	—	40XΓT
	40CrMnTi	—	—	—	—	—	12XM
	12CrMo	—	1501-620CrB	SCM22	12CD4	13CrMo44	20XM
	20CrMo	4118	CDS12, CDS110	SCM2	18CD4	20CrMo5	30XM
	30CrMo	4130	En19B	SCM3	35CD4	34CrMo4	35XM
精	40CrMnMo	—	—	—	—	—	18XΓM
	24CrMoV	4140	En19C	—	—	24CrMoV55	38XΓM, 40XΓM
	35CrMoV	—	—	—	—	35CrMoV5	35XMΦA
	30Cr2MoV	—	—	—	30CD12	30CrMoV9	~25X2MΦ
	25Cr2MoVA	—	—	—	—	—	~25X2MΦA
	30Cr2N12WVA	6470E(A MS)	En40C, S106	—	45CAD6-12	34CrAlMo5	30X2HBΦA
	38CrMoAlA	—	En41B	SACMI	—	—	38XMΦA
	38CrWVA1A	—	En40C	—	—	—	38XBΦJOA
	38CrAlA	—	—	—	—	34CrAl16	38XJOA
	12CrNi2A	—	—	—	16NC11	14NiCr10	12XH2A
	12CrNi3A	E3310, 3310, 3310H	En36A, En36B	SNC21	14NC12	14NiCr14	12XH3A
	12Cr2Ni4A	2515, 2515H	En39A, En39B	SNC22	12NC15	—	12X2H4A

分 类	中 国	美 国	英 国	日 本	法 国	西 德	苏 联
	GB(YB)	AISI SAE	B.S.	JIS	NF	DIN	ГОСТ
合 金 结 构 钢	30CrNi3A	3435		SNC2	30NC11	28NiCr10	30XH3A
	37CrNi3A						37XH3A
	18Cr2Ni4WA						18XHBA
	40CrNiWA						40CrHBA
	30Cr2Ni2WVA						30X2H2BΦA
	40CrNiMoA	4340	En110, S95, S118	SNCM8	35NCD5	36CrNiMo4	40XHMA
	40B	~TS14B35					
	45B	50B46H					
	40MnB	~TS14B35H					
	45MnB	~TS14B50H					
20CrMnB	50B20					20XГП	
40CrMnB	50B40H					40XГП	
弹 簧 钢	65	C1065 1065	En43E	SUP2, SWR7	XC65	CK67	65
	75	1074		SUP3, SWR9	~XC70, XC80	C75, MK75	75
	60Mn	1069	En43J				60Г
	60SiMn	9260	En45A	SUP6		60SiMn6	60ГГ
	65Mn	C1065 1065	En43E		~45S7	51Si7	65Г
	50Si2Mn				55S6	55Si7	50C2
	55Si2Mn	9255	En45, 1429		50CV4	50CrV4	55C2
	50CrVA	6150	En47	SUP10			50XΦA
	T7A				XC65fins	C70W1	Y7A
	T8	W1-0, 8C	D1	SKU3	XC85courants	C85W2	Y8
碳 素 工 具 钢	T8A	W1-0, 8C-Special	D1		XC85fins	C85W1	Y8A
	T10	W1-1, 0C	D1	SK3	XC85fins	C100W2	Y10
	T10A	W1-1, 0C-Special	D1	SK2, SKU2	XC95fins	C100W1	Y10A
	T12	W1-1, 2C	D1		XC95extra-fins	C115W2	Y12
	T12A	W1-1, 2C-Special	D1		XC120fins	C110W1	Y12A
					XC120extra-fins		

	T8MnA		SK5	C85WS	Y&FA
合金工具钢	9Mn2V	02		80M8	90MnV8
	6SiCr				64SiCr5
	9SiCr				90CrSi5
	4SiCrV				45SiCrV6
	Cr2	L1	SKS8	100C6	105Cr5
	Cr06		SKD1	Z200C12	110Cr2
	Cr12				X210Cr12
	CrMn	L4		80M8	145Cr6
	5CrMnMo	V1G(AMS)	SKT5	55NCD7-03	40CrMnMo7
	5CrNiMo	L6	SKT4	60NCDV06-02	55NiCrMoV6
	CrWs		SKS1	120WC45-02	X130W5
	Cr12W	D6~	SKD2~		X210CrW12
	3Cr2W8V	H21	SKD5	Z30WC00-03	X30WCrV0-3
	CrWMn		SKS31	80M8	105WCr6
	5CrW2Si		SKS41~	45WC20-04	
Cr12MoV	D3	SKD11	Z200C12	X165CrMoV12	
W	F1	SKU8	100WC15-04~	120W4	
W2		SKS7		115W8	
高速钢	W6Cr4V2	T7	SKH6	Z70WD12	ABC I
	W18Cr4V	T1	SKH2	Z80W18 Z125WV, 15-W	S18-0-1, B18 S12-1-4, EV4
	W12Cr4V4Mo				
	W6Mo5Cr4V2	M2	SKH9		
	W2M19Cr4VC08	M42			3343

Steel for cold working Al

AlW-Cr
Steels for cold working C

Type(A)2

(A)14%W

(A)16%W

(续)

分 类	中 国 GB(YB)	美 国		英 国 B. S.	日 本 JIS	法 国 NF	西 德 DIN	苏 联 ГОСТ
		AISI	ASTM					
	1Cr17Mn9Ni5N	201, S20100			SUS201			12X17T9AH4
	1Cr18Mn8Ni5N	202, S20200		284S16	SUS202			12X17T9AH4
	2Cr13Mn9Ni4							20X13H4T9
	1Cr17Ni7	301, S30100		301S21	SUS301	Z12CN17, 07	X12CrNi177	
	1Cr17Ni8				SUS301JI		X12CrNi188	12X18H9
	1Cr18Ni9	302, S30200		302S25	SUS302	Z10CN18, 03		
	1Cr18Ni9Si3	302B, S30215			SUS302B			
	0Cr18Ni9	304, S30400		304S15	SUS304	Z6CN18, 09	X5CrNi189	08X18H10
	00Cr18Ni11	304L, S30403		304S12	SUS304L	Z2CN18, 09	X2CrNi189	03X18H11
	0Cr19Ni9N	304N, S30451			SUS304N1			
	0Cr19Ni10NbN	XM21, S30452			SUS304N2			
	00Cr18Ni110N				SUS304LN	Z2CN18, 10N	X2CrNiN1810	
	1Cr18Ni12	305, S30500		305S19	SUS305	Z18CN18, 12	X5CrNi1811	12X18H12T
	0Cr23Ni13	303S, S30303			SUS303S			
	0Cr25Ni20	310S, S31008			SUS310S			
	0Cr17Ni12Mo2	316, S31600		316S16	SUS316	Z6CND17, 12	X5CrNiMo1810	08X17H13M2T
	00Cr17Ni14Mo2	316L, S31603		316S12	SUS316L	Z2CND17, 12	X2CrNiMo1810	03X17H13M2
	0Cr17Ni12Mo2N	316N, S31651			SUS316N			
	00Cr17Ni13Mo2N				SUS316LN	Z2CND17, 12N	X2CrNiMoN1812	
	0Cr18Ni12Mo2Ti					Z6CND17-12	X10CrNiMoTi1810	08X17H13M2T
	1Cr18Ni12Mo2Ti							10X17H13M2T
	0Cr18Ni12Mo2Cu2							
	00Cr18Ni14Mo2Cu2							
	0Cr18Ni12Mo3Ti				SUS316JI			08X17H15M3T
	1Cr18Ni12Mo3Ti				SUS316JL	Z6CND17-13		10X17H15M3T
	0Cr19Ni13Mo3	317, S31700		317S16	SUS317			08X17H15M3T
	00Cr19Ni13Mo3	317L, S31703		317S12	SUS317L	Z2CND19, 15	X2CrNiMo1616	03X16H15M3
	0Cr18Ni16Mo5				SUS317JI			
	0Cr18Ni11Ti	321, S32100		321S20	SUS321	Z6CNT18, 10	X10CrNiTi189	08X18H10T
	1Cr18Ni9Ti						X10CrNiTi189	12X18H10T

不

第

中国	美国	英国	日本	法国	西德	苏联
0Cr18Ni11N6	347, S34700	347S17	SUS347	Z6CNNb18.10	X10CrNiNb189	08X18H12T
0Cr18Ni13Si4	XM15, S38100		SUSXM15J1			
00Cr18Ni5Mo3Si2						
1Cr18Ni11Si4AlT						
1Cr21Ni5Ti						
0Cr21Ni5Mo2						
0Cr13Al	405, S40500	405S17	SUS329J1	Z6CA13	X7CrAl13	15X18H12-C4T10 1X21H5T
00Cr12						
1Cr15	429, S42900		SUS405			
1Cr17	430, S43000	430S15	SUS410L	Z6C17	X8Cr17	12X17
00Cr17		434S19	SUS429			
1Cr17Mo	434, S43400		SUS430			
00Cr17Mo			SUS430LX	Z8CD17.01	X6CrMo17	
00Cr18Mo2	18Cr2Mo		SUS434			
00Cr30Mo2			SUS436L			
00Cr27Mo	XM27, S44625		SUS444			
1Cr12	403, S40300	403S17	SUS447J1	Z01CD26.1		
1Cr13	410	410S21	SUSXM27			
0Cr13	410S, S41000		SUS403	Z12C13	X10Cr13	12X13
2Cr13	420, S42000	420S37	SUS410	Z6C13	X7Cr13	08X13
3Cr13		420S45	SUS410S	Z20C13	X20Cr13	20X13
3Cr16			SUS420J1			30X13
			SUS420J2			
			SUS429J1			

2. 有色金属材料

分类	中国	美国	英国	日本	法国	西德	苏联
	GB(YB)	ASTM, (SAE)	B.S.	JIS	NF	DIN	ГОСТ
工业纯铝	L1	1080	1A	A1080			A00
	L2	1070, 1060		A1070		(A199.6)	A0
	L3	EC1050	1B	A105	A5	A199.5	A1
	L4	1030					AД1
	L5	1100	1C	A1100	A4	A99	A2
	L6	1200		A1200			AД

(续)

分 类	中 国 GB(YB)	美 国 ASTM, (SAE)	英 国 B. S.	日 本 JIS	法 国 NF	西 德 DIN	苏 联 ГОСТ
防 锈 铝	LF1	5040	N4	A-5052	A-G2	AlMg2	Д12 AMГ
	LF2	5052	N5	A-5154	A-G3	AlMg3	AMГ3
	LF3	5154	N6	A-5056	A-G5	AlMg5	AMГ5
	LF5	5056	N7				AMГ6
	LF6		N8	A-5056	A-G5	AlMg5	AMГ7 AMГ5Π
	LF10	5056	N3	A-3003	A-M1	AlMn	AMГ5B
	LF11	5356					AMΠ
	LF21	3003					
	LY1	2117	L86	A2117	A-U2G	AlCaMg0.5	Д18Π BД17
	LY2						Д3Π
	LY3						Д19Π
LY4						Д19	
LY6						Д2	
LY7						Д1Π	
LY8	2017		A2017	A-U4G	AlCuMg1	Д16Π	
LY9	2024	H14	A2024	A-U4G1	AlCuMg2	B65	
LY10						Д1	
LY11	2017	DTD	A2017	A-U4G	AlCuMg1	Д16	
LY12	2024		A2024	A-U4G1	AlCuMg2	AM4	
LY13						Д20	
LY16	2219					Д21	
LY17	2021						
硬 铝	LY1	2117	L86	A2117	A-U2G	AlCaMg0.5	Д18Π BД17
	LY2						Д3Π
	LY3						Д19Π
	LY4						Д19
	LY6						Д2
	LY7						Д1Π
	LY8	2017		A2017	A-U4G	AlCuMg1	Д16Π
	LY9	2024	H14	A2024	A-U4G1	AlCuMg2	B65
	LY10						Д1
	LY11	2017	DTD	A2017	A-U4G	AlCuMg1	Д16
	LY12	2024		A2024	A-U4G1	AlCuMg2	AM4
	LY13						Д20
	LY16	2219					Д21
	LY17	2021					

LD1	6063	H9	A6063	A-GS	AlMgSi0.5	ALD
LD2	6061	H20	A6061		AlMgSiCu	AB
LD5						AK6
LD6		H11				AK6-1
LD7	2618	H18	A2N01	A-U2GN		AK4-1
LD8						AK4
LD9	2018		A2018	A-U4N		AK2
LD10	2014	H15	A2014	A-U4SG	AlCuSiMg	AK8
LC3						B84
LC4	7075		A7075	A-Z6GU	AlZnMg1.5	B95
LC5	7076					B95-1
LC6	7049					B98
LC9	7075		A7075	A-Z6GU	AlZnMgCu1.5	
MB1	AIMA	DTD737, 142, 118	M1		MgAl3Zn	MA1
MB2	AZ31C	MAG111				MA2
MB3						MA2-1
MB5	AZ61A	MAG121	M2		MgAl6Zn	MA3
MB6						MA4
MB7	A280X	88B	AZ61A		MgAl7Zn	MA5
MB8			AZ80A		AM537	MA8
MB15	AK60A	DTD503L, 5041	AK60A			BM65-1
TA1	Ti-35A	IMI115	KS60			BT1-0
TA2	Ti-50A	IMI125	KS60			BT1-1
TA3	Ti-65A	IMI135	KS85			BT1-2
TA4	Ti-2Al					48-T2
TA5						48-OT3
TA6						BT5
TA7	Ti-5Al-2Sn	IMIB8	KS115AS			BT5-1
TA8						BT10
TB1						BT15
工业纯钛						
钛合金						

(续)

分 类	中 国	美 国	英 国	日 本	法 国	西 德	苏 联
	GB(YB)	ASTM. (SAE)	B. S.	JIS	NF	DIN	ГОСТ
铁 合 金	TB2		IMI315				OT4-1
	TC1						OT4
	TC2						BT6C
	TC3						BT6
	TC4	Ti-6Al-4V					BT3
	TC5		IMI317				BT3-1
	TC6						AT6
	TC7						BT8
	TC8						BT9
	TC9						
TC10	Ti-6Al-6V-3Sn				T-A6V6Sn2		
铜	T3						M2
	T4						M3
	TU1	101		EOFCuP			MB1
	TU2	102	C103	OF-CuP			MB2
黄 铜	H90	220	DTD713, CZ101	RB32		Ms90	Л180
	H80	240	DTD711, CZ103	RB54		Ms80	Л180
	H70	260	CZ106	BsP1		Ms70	Л170
	H62	280	CZ123	Bs3			Л162
	HPb63-3	353	CZ119			Ms63P.	ЛС63-3
	HPb59-1		216	PbBs13		Ms58	ЛС59-1
	HSn70-1	443	CZ111	BsTF1		SoMs71	ЛЮ70-1
	HSn62-1	462	CZ112	NBsBE1			ЛЮ62-1
	HA160-1-1						ЛДЖ60-1-1
	HMn58-2						ЛМn58-2
	HFe59-1-1						ЛЖКМn59-1-1

QSπ4-3	B139BZ	407-3	BC6	MSπBZ4	БРОИ4-3
QSπ4-4-4	B139, B159		PBB2	MSnBZ4P6	БРОИ4-4-4
QSπ6.5-0.1	519			SπBZ6	БРОФ8.5-0.15
QSπ6.5-0.4					БРОФ8.5-0.4
QSπ7-0.2					БРОФ7-0.2
QA19-2			AB1		БРАМπ9-2
QA19-4					БРАЖ9-4
QA110-3-1.5					БРАЖМπ10-3-1.5
QA110-4-4	AMS4040	2033	AB5	NiAIBZ	БРАЖН10-4-4
QBe2	172		BeCu2		БРБ2
QBe1.7	170		BeCuPI		БРБНТ1.7
QBe1.9					БРБНТ1.9

1.3.5 板金成形用钢板的特点^[5]

冲压件有两类：一类是形状复杂但受力不大，如汽车驾驶室覆盖件和一些机器的外壳，只要求钢板有良好的冲压性和表面质量，多采用冷轧深冲低碳钢板。另一类零件形状比较复杂而且受力较大，例如汽车车架，要求钢板既有良好的冲压性又有一定的强度，多选用冲压性能好的热轧低合金（或碳素）厚板（过去习惯上称中板）。

用不同方法生产的钢板，有不同的特点和用途，如表：

钢板的生产方法、特点及用途表

生产方法	主要特点	用途举例	
热轧	连续轧制 (薄、厚板)	厚度约在1.2~10mm范围内，生产效率高，但方向性较显著，横向塑性差，加入Ti、Zr、RE等元素可以改善	碳素钢板用于冲制形状复杂零件如汽车刹车盘，普通低合金板用于冲制受力较大零件如汽车车架横梁、焊管坯
	往复式轧制 (劳特轧机) (厚板)	厚度在4~60mm范围内，生产效率低，但横向、纵向性能比较接近	普通低合金钢板用于冲制形状复杂且受力大的零件，如汽车大梁
	叠轧(薄板)	几张板坯叠在一起热轧，轧后再分开，厚度在0.35~2.0mm范围内，表面质量差，冲压性能也较差	用于一般用途的冲压件
冷轧	连续轧制 (薄板)	厚度一般在0.2~2.5mm范围内，表面质量好，冲压性能好	形状复杂，表面要求高的零件，如汽车驾驶室外表面零件
	单张轧制 (薄板)	厚度约在0.5~4.0mm范围内，生产效率低	多为合金钢板

注：以往对厚度4~25mm的钢板习惯上称为中板，按现行国标和冶标规定厚度大于4mm的钢板一律称为厚板。

1.3.5.1 冷轧薄钢板

冷轧深冲薄板通常采用优质低碳钢，用量最大的是08钢，并有沸腾钢与镇静钢之分。沸腾钢板价格低，表面质量好，但由于偏析比较严重，钢锭不同部位轧成的钢板性能不一致，且有“应变时效”倾向。对简单冲压件和非外表零件可选用沸腾钢。对冲压性能要求较高，外观要求较严的零件不宜用。铝镇静钢板价格较贵，但性能比较均匀，“应变时效”倾向小。冲压性能要求高，外观要求严的零件，通常采用铝镇静钢冷轧板

1.3.5.1.1 影响冷轧薄板冲压性能的因素

1.3.5.1.1.1 钢板的化学成分

化学成分的影响如表。

主要元素对08钢冲压性能的影响

元素名称	对冲压性能的影响
C	增加Fe ₃ C的数量, 提高钢板的抗拉强度和屈服强度, 降低塑性, 使冲压性能恶化, 特别是当Fe ₃ C出现于晶界时, 对冲压性能的不利影响更大
Si	硅溶于铁素体中, 强化铁素体的作用很大, 增加强度, 降低塑性, 含硅量越低越好, 深冲压钢板不能用硅脱氧
Mn	锰的直接影响不大, 锰和硫形成MnS夹杂物, 其数量及形态对冲压性能有影响
P	磷显著地增加钢板的强度, 增加脆性, 并有偏析倾向, 有利于形成带状组织, 都对冲压性能不利
S	形成硫化物, 其数量、形状和分布对冲压性能有很大影响, 数量多而且细长条状分布的硫化物对冲压性能的不利影响最大
Al	是镇静钢的最终脱氧剂, 铝与氮形成氮化铝; 显著降低钢板的“应变时效”倾向, 容易获得“饼形”铁素体晶粒, 改善冲压性能, 钢中铝含量一般为0.02~0.07%, 最佳值为0.03~0.05%

1.3.5.1.1.2 钢板的金相组织

冷轧深冲薄板的金相组织主要是铁素体基体上分布有极少量非金属夹杂物及游离碳化铁。这三种组分的分布状况对钢板的冲压性能都有影响。

1. 铁素体晶粒大小和形状 对冲压性能最理想的晶粒度是6级, 粗于6级时, 冲压零件表面粗糙, 晶粒过于粗大时, 冲压零件将产生“桔皮”状表面或引起冲裂。晶粒度过细时, 钢板的强度提高, 使冲压性能恶化。特别是晶粒大小不均匀时, 对冲压性能的影响尤甚。

铁素体晶粒形状有等轴晶粒和“饼形”晶粒两种, 具有“饼形”晶粒的钢板在冲压时沿板面方向容易变形, 沿厚度方向不容易变形, 阻碍钢板冲压时厚度的变薄和破裂, 可以提高钢板的冲压性能。

在深冲薄板标准中对铁素体晶粒大小和形状有所规定, 如表。

标准中规定的铁素体晶粒级别

钢板状态	钢 号 及 拉 深 级 别			
	ZF, HF	F	Z	S
	08A1	05F, 08F, 10F	08b, 15F, 20F, 08, 10, 15, 20	05F, 08F, 10F, 15F, 20F, 08b, 08, 10, 15, 20
冷 轧	6, 7, 8或“饼形”	6, 7, 8, 9或“饼形”	6, 7, 8	6, 7, 8, 9
热 轧			5, 6, 7, 8	5, 6, 7, 8, 9, 10

注: ZF, HF, F, Z级钢板晶粒不均匀性允许在两个相邻号码范围内, S级钢板允许在三个相邻号码范围内。

2. 游离碳化铁和非金属夹杂物 碳化铁的硬度很高, 冲压时几乎不产生变形, 成为钢板变形的一种障碍, 特别是在晶粒间界析出或成链状分布时, 破坏了金属基体的连续性, 降低了钢板的冲压性能。在冷轧深冲钢板的标准中, 对碳化铁的数量进行评定并限制其级别。ZF, HF, F 三级钢板的游离碳化铁不得超过 2 级, Z 级钢板的游离碳化铁不得超过 3 级。

常见夹杂物有硫化物、氧化物、硅酸盐和其他复合夹杂物。当数量增加, 并呈连续条状分布时, 割断了金属基体的连续性, 降低钢板的塑性, 使冲压性能恶化。

1.3.5.1.1.3 钢板的机械性能

参见 1.2.2 节。

1.3.5.1.1.4 钢板的表面质量

在薄板标准 GB710-65 中, 根据表面质量情况把冷轧钢板分为三级, I 级表面质量最好, II 级次之, III 级较差。

根据零件的用途不同, 装配部位不同, 可以选用表面质量不同级别的钢板。如电镀零件, 对钢板表面质量要求最高; 装在外表面的油漆零件, 对钢板表面质量的要求也比较高; 不暴露在外表面的零件, 对钢板的表面质量要求较低。

有时冷轧薄板在未冲压前表面质量很好, 但冲后零件的某些部位形成“水波纹”状的表面缺陷, 称滑移线, 它破坏了零件的外观, 在油漆之后仍然可见。对于外观很重要的零件, 不允许有滑移线缺陷。引起这种缺陷的原因, 是一般薄钢板存在屈服伸长。

冷轧后退火的钢板塑性最佳, 但抗拉试验时在应力-应变曲线上出现屈服伸长。实际生产中消除屈服伸长的方法是将退火后的钢板经过一次轻微的冷轧, 一般称平整, 平整后延伸率略有下降, 但能消除屈服伸长, 平整压下量一般在 1% 左右。

有时时效倾向的钢板, 平整处理后, 过一段时间再进行冲压时, 仍会出现滑移线。消除滑移线的最有效办法是采用铝脱氧的无时效钢。

1.3.5.1.1.5 钢板的厚度尺寸公差

钢板厚度超出允许公差时, 也影响冲压性能。钢板过薄, 零件表面会出现皱纹, 影响外观及密封质量。钢板过厚, 导致凹、凸模的间隙过小, 阻碍正常冲压过程, 引起冲件开裂, 甚至损坏模具或设备。

1.3.5.1.2 冷轧薄钢板的选用

深冲薄板按冲压性能在 GB710-65 中分 Z (最深压延)、S (深压延)、P (普通压延) 三级, 包括冷轧及热轧薄板。对冲压性能要求特别高的冷轧薄板, 按 YB215-64 标准分 ZF (最复杂)、HF (很复杂)、F (复杂) 三个冲压级别。冲压级别越高, 钢板的价格也越贵。

零件的变形程度通过下述方法测得: 即先在冲压该零件的钢板上画 $10 \times 10\text{mm}$ 的网格, 将画好网格的钢板在实际生产条件下冲压出零件, 根据最大变形部位的变形量来选择适当冲压级别的钢板。

选择时先根据变形程度并结合以往的生产经验, 选择一种认为冲压级别适当的钢板进行试冲, 如冲废率很高, 说明钢板级别过低, 再用高一级的钢板试冲, 如冲压时没有废品, 可能选用的钢板级别过高, 应再用低一级的钢板试冲, 直至冲压废品率为 1~2% 时, 钢板冲压级别最适当, 成本最低。

根据零件的变形程度, 建议选择的冷轧钢板的冲压级别列入下表。

根据零件的变形程度选择钢板的冲压级别

钢 号	零件变形程度 (%)	建议选用的 冲 压 级 别
08Al	40~45	YB 215-64中ZF级
08Al	35~40	YB 215-64中HF级
08Al	30~35	YB 215-64中F级
08Al	小于30	GB 710-85中Z级或S、P级

1.3.5.2 冲压用热轧钢板

选用冲压用热轧钢板时，除考虑强度要求外，主要考虑冲压性能。在冲压用碳素钢板和普通低合金钢板标准中，都反映了冲压性能的要求。YB205-63将碳素钢板按冲压性能分成S（深压延）、P（普通压延）和W（冷弯）三级。GB3273-82中，钢号16MnL的“L”字母是“梁”的代号，表示适于冲压汽车的纵梁和横梁，在化学成分和性能指标上考虑了冲压性能的要求。

在试验室内评定钢板冲压性能最简易，又能比较真实反映生产情况的试验方法是冷弯试验。

用不同的弯心直径（如弯心直径 $D=\frac{1}{2}a$ ， $D=a$ ， $D=2a$ ， $D=3a$ ， a 为板厚）压弯后，在试样外表面不得有裂纹。弯心直径越小，压弯后没有裂纹，证明钢板的冲压性能越好。

1.3.5.2.1 影响热轧钢板冲压性能的因素

1.3.5.2.1.1 钢板的化学成分

对热轧钢板冲压性能影响最大的元素是碳。对于冲压用的热轧钢板，一般不宜以增加碳含量的办法来提高强度，应采用合金元素强化的方法，因而形成以铁素体为主的成系列的低合金高强度钢。

影响性能的另一重要元素是硫。硫在钢中形成硫化物夹杂，在轧制中被拉长，分割金属基体，降低塑性。

钛、锆、钒、铌和稀土等元素加入钢中，能改变硫化物的形态，提高钢板的冲压性能。

1.3.5.2.1.2 钢板的轧制方法

同一钢号甚至同一炉号的钢，由于轧制方法的不同，冲压性能有很大区别。连轧时钢板的纵向和横向性能差别较大，冲压零件时，当变形部位与轧制方向平行时，容易开裂。

单张往复轧制时，钢板各向均有变形，钢板的纵横向机械性能差别小，冲压性能好。

表1列出连续轧制和单张往复轧制的同一炉的16Mn钢板的性能数据。钢板厚度为6mm取样方向为横向。

表1. 不同轧制方法的16Mn钢板的性能数据

轧制方法	化 学 成 分 (%)					机 械 性 能				冷弯试验180°, D=a样品宽度 (mm)				
	C	Si	Mn	P	S	σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	e_s (%)	HB	12	24	36	48	60
往复轧制	0.19	0.30	1.45	0.024	0.022	580	415	30	170	完好	完好	小裂	小裂	小裂
连 轧	0.17	0.34	1.47	0.015	0.016	595	425	26	170	微裂	裂断	裂断	裂断	裂断

用上述两种钢板冲制解放牌汽车大梁的结果列于表2。

表2. 冲压解放牌汽车大梁结果

轧制方法	试冲总数	成 品		废 次 品	
		数 量	%	数 量	%
往复轧制	28	28	100	—	—
连 轧	54	6	11	48	89

1.3.5.2.1.3 夹杂物的形态

提高连轧钢板的横向塑性, 必须设法改变钢板中硫化物的分布形态。降低硫含量, 大量减少硫化物的数量, 有助于改善连轧钢板的横向塑性, 提高其冲压性能, 但在大量生产中受到一定限制。在钢中加入铌、钛、锆和稀土等元素改变硫化物的分布形态, 使之成棒状、圆球状、点状或不规则状分布, 减少分割金属基体的作用, 也可以显著地提高钢板的横向塑性。

金相检验证明: 加钛或加入稀土元素后明显地改善硫化物的形态。但钢中加钛后, 连轧板卷头、中、尾的强度数值易有较大差别, 生产和使用时须予注意。

1.3.5.2.1.4 钢板的表面质量

经常出现的缺陷有裂缝、气泡、结疤、折叠、热划痕和侧面分层等。对冲压性能影响最大的是热划痕, 产生的原因是轧机组滚道失修、卷板机技术状态不良或操作不当。钢板表面划痕处于零件变形部位的受拉一面, 则在划痕部位会引起开裂。

1.3.5.2.1.5 热轧钢板的厚度公差

冲压用的热轧钢板的厚度公差比一般用途的钢板严格, 允许的公差范围小。

厚度公差范围过宽会给冲压工艺带来困难。钢板厚度偏薄超差将增加零件冲压时的回弹, 影响零件的几何形状, 增加装配的困难, 降低产品的质量。钢板偏厚超差, 超差较小则拉伤模具, 超差较多将挤碎模子或损坏设备。

1.3.6 常用黑色板金材料

1.3.6.1 轧制薄钢板品种 (GB708-65)

本标准适用于厚度等于或小于4mm的热轧和冷轧薄钢板。

1. 钢板的厚度、宽度和长度应符合表1的规定。

表1. 钢板的厚度、宽度和长度

(mm)

钢板厚度	钢 板 宽 度													
	500	600	710	750	800	850	900	950	1000	1100	1250	1400	1500	
	钢 板 长 度													
热 轧 钢 板														
0.35, 0.4		1200		1000										
0.45, 0.5	1000	1500	1000	1500	1500		1500	1500						
0.55, 0.6	1500	1800	1420	1800	1600	1700	1800	1900	1500					
0.7, 0.75	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000					
0.8, 0.9				1500	1500	1500	1500	1500						
	1000	1200	1420	1800	1600	1700	1800	1900	1500					
	1500	1420	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000					
1.0, 1.1				1000			1000							
1.2, 1.25	1000	1200	1000	1500	1500	1500	1500	1500						
1.4, 1.5	1500	1420	1420	1800	1600	1700	1800	1900	1500					
1.6, 1.8	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000					
2.0, 2.2							1000							
2.5, 2.8	500	600	1000	1500	1500	1500	1500	1500	1500	2200	2500	2800		
	1000	1200	1420	1800	1600	1700	1800	1900	2000	3000	3000	3000	3000	3000
	1500	1500	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	3000	4000	4000	4000	4000
3.0, 3.2				1000			1000					2800		
3.5, 3.8				1500	1500	1500	1500	1500	2000	2200	2500	3000	3000	
4.0	500	600	1420	1800	1600	1700	1800	1900	3000	3000	3000	3500	3500	
	1000	1200	2000	2000	2000	2000	2000	2000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
冷 轧 钢 板														
0.2, 0.25		1200	1420	1500	1500	1500								
0.3, 0.4	1000	1800	1800	1800	1800	1800	1500		1500					
	1500	2000	2000	2000	2000	2000	1800		2000					
0.5, 0.55		1200	1420	1500	1500	1500								
0.6	1000	1800	1800	1800	1800	1800	1500		1500					
	1500	2000	2000	2000	2000	2000	1800		2000					
0.7, 0.75		1200	1420	1500	1500	1500								
0.8, 0.9	1000	1800	1800	1800	1800	1800	1800		1500	2000	2000			
	1500	2000	2000	2000	2000	2000	2000		2000	2200	2500			
1.0, 1.1	1000	1200	1420	1500	1500	1500						2800	2800	
1.2, 1.4	1500	1800	1800	1800	1800	1800	1800					3000	3000	
1.5, 1.6										2000	2000			
1.8, 2.0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000		2000	2200	2500	3500	3500	
2.2, 2.5	500	600												
2.8, 3.0	1000	1200	1420	1500	1500	1500								
3.2, 3.5	1500	1800	1800	1800	1800	1800	1800		2000					
3.8, 4.0	2000	2000	2000	2000	2000	2000								

注: 经供需双方协议, 可以供应比表1更长、更宽的各种厚度的钢板。

2. 钢板厚度的允许偏差应符合表2的规定。

表2. 钢板厚度的允许偏差 (mm)

钢板厚度	A		B		C	
	高级精度		较高精度		普通精度	
	冷轧钢板		普通和优质钢板		热 轧	
	全部宽度		冷轧和热轧		宽度 < 1000	宽度 ≥ 1000
0.20~0.49	±0.03		±0.04		±0.06	±0.06
0.45~0.50	±0.04		±0.05		±0.07	±0.07
0.55~0.60	±0.05		±0.06		±0.08	±0.08
0.70~0.75	±0.06		±0.07		±0.09	±0.09
0.80~0.90	±0.06		±0.08		±0.10	±0.10
1.0~1.1	±0.07		±0.09		±0.12	±0.12
1.2~1.25	±0.09		±0.11		±0.13	±0.13
1.4	±0.10		±0.12		±0.15	±0.15
1.5	±0.11		±0.12		±0.15	±0.15
1.6~1.8	±0.12		±0.14		±0.16	±0.16
2.0	±0.13		±0.15		+0.15 -0.18	±0.18
2.2	±0.14		±0.16		+0.15 -0.19	±0.19
2.5	±0.15		±0.17		+0.16 -0.20	±0.20
2.8~3.0	±0.16		±0.18		+0.17 -0.22	±0.22
3.2~3.5	±0.18		±0.20		+0.18 -0.25	±0.25
3.8~4.0	±0.20		±0.22		+0.20 -0.30	±0.30

注: 根据需方要求, 供应表2以外厚度的钢板时, 其厚度允许偏差按接近表中小尺寸钢板厚度的规定。

1.3.6.2 常用黑色金属的机械性能

进行工艺估算时, 可用下表所列的数据

表1. 常用黑色金属的机械性能

材料名称	牌 号	材料的状态	机 械 性 能				
			抗剪强度 τ (MPa)	抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服强度 σ_s (MPa)	延伸率 e_{10} (%)	弹性模数E (10^5 MPa)
电工用工业纯铁 C < 0.025	DT1, DT2, DT3	已退火的	177	225		26	
电工硅钢	D11, D12, D21 D31, D32, D310~340, D370, D41~48	已退火的	186	225		26	

(续)

材料名称	牌 号	材料的状态	机 械 性 能				
			抗剪强度 τ (MPa)	抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服强度 σ_s (MPa)	延伸率 ϵ_{10} (%)	弹性模数E (10^4 MPa)
普通碳素钢	A0	未经退火的	255~373	314~461	188	18~22	
	A1		255~314	314~392		28~33	
	A2		265~333	333~412	216	26~31	
	A3		304~373	432~461	253	21~25	
	A4		333~412	481~511	255	19~23	
	A5		392~490	569~608	275	15~19	
碳素结构钢	05	已退火的	196	225		28	
	05F		206~294	255~373		32	
	08F		216~304	276~383	177	32	
	08		255~353	324~441	196	32	186
	10F		216~333	275~412	188	30	
	10		255~333	294~432	206	29	194
	15F		245~363	314~451		28	
	15		265~373	333~471	225	26	198
	20F		276~383	333~471	225	26	196
	20		276~392	353~500	245	25	206
	25		314~432	392~539	275	24	198
	30		353~471	441~588	294	22	197
	35		392~511	490~637	314	20	197
	40		412~530	511~657	333	18	209
	45		432~549	539~686	353	16	200
	50		432~569	539~716	373	14	216
	55		539	≥ 657	383	14	
	60		639	≥ 686	402	13	204
65	588	≥ 716	412	12			
70	588	≥ 745	422	11	206		
碳素工具钢	T7~T12	已退火的	588	736			
	T7A~T12A						
	T13, T13A				706	883	
	T8A, T9A	冷作硬化的	588~932	736~1177			
优质碳素钢	10Mn2	已退火的	314~451	392~569	225	22	207
	65Mn		588	736	392	12	207

(续)

材料名称	牌 号	材料的状态	机 械 性 能				
			抗剪强度 τ (MPa)	抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服强度 σ_s (MPa)	延伸率 e_{10} (%)	弹性模数 E (10^5 MPa)
合金结构钢	25CrMnSiA 25CrMnSi	已低温退火的	392~549	490~686		18	
	30CrMnSiA 30CrMnSi		432~588	539~736		16	
优质弹簧钢	60Si2Mn 60Si2MnA 65Si2WA	已低温退火的	706	883		10	196
		冷作硬化的	628~941	785~1177		10	
不 锈 钢	1Cr13	已退火的	314~373	392~461	412	21	206
	2Cr13		314~392	392~490	441	20	206
	3Cr13		392~471	490~588	471	18	206
	4Cr13		392~471	490~588	490	15	206
	1Cr18Ni9Ti	经热处理的	451~511	569~628	196	35	196

表2. 钢在加热状态的抗剪强度

钢 的 牌 号	加热到以下温度 (°C) 时的抗剪强度 (MPa)					
	20	500	600	700	800	900
A1, A2 10, 15	353	314	196	108	59	29
A3, A4 20, 25	441	441	235	127	88	59
A5 30, 35	520	511	324	157	88	69
A6 40, 45, 50	588	569	373	186	88	69

- 注: 1. 在用厚板料冲裁的实际工作中, 如因冲床力量不足而需要将材料加热时, 才采用本表数据。
 2. 在计算所需要的力量时, 应用材料正在冲压时的温度。
 3. 钢在冲压时的温度最好在700~900°C之间。
 4. 钢在蓝脆范围 (100~400°C) 内, 由于脆性增加得快, 不做任何加工。

1.3.6.3 优质碳素结构钢薄钢板 (GB710-65)

钢板品种按GB708-65的规定。

钢板用下列钢号制造: 05F、08F、10F、15F、20F、08b、08、10、15、20、25、30、35、40、45和50。

钢板按表面质量分为四组 (I、II、III、IV)。按压延级别分为三级: 最深压延的(Z), 深压延的(S), 普通压延的(P)。其特征如表1。

表1. 钢板的分组分级表

组 别	拉 延 级 别	钢 号	表 面 情 况 (特 征)
I—特别高级 的 精 整 表 面	Z	05F, 08F, 10F, 15F, 20F, 08b, 08, 10, 15, 20,	冷 轧 钢 板 钢板正面(钢板质量较好的一面)不得有表面缺陷
	S	05F, 08F, 10F, 15F, 20F, 08b, 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35,	钢板反面允许在钢板厚度公差四分之一范围内(允许偏差绝对值之和的1/4)不大于钢板厚度最小范围内的一般的轻微麻点和轻微的划痕
	P	本标准第2条全部钢号	
II—高级的精 整 表 面	Z	05F, 08F, 10F, 15F, 20F, 08b, 08, 10, 15, 20	冷 轧 钢 板 钢板两面允许有在钢板厚度公差一半范围内不大于钢板最小厚度范围内的下列缺陷:一般的轻微麻点, 轻微划痕, 允许有呈蓝色的氧化色和经酸洗后钢板(厚度在2mm以上者)有浅黄色薄膜
	S	05F, 08F, 10F, 15F, 20F, 08b, 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35	钢板反面允许有在公差范围内不大于钢板厚度最小范围内的下列缺陷:一般的轻微麻点, 小气泡, 小拉裂, 轻微划痕及轧辊压痕
	P	本标准第2条全部钢号	
III—较高的精整 表 面	Z	05F, 08F, 10F, 15F, 20F, 08b, 08, 10, 15, 20	冷 轧 及 热 轧 钢 板 钢板两面允许有在钢板厚度公差一半范围内不大于钢板最小厚度范围内的下列缺陷:一般的轻微麻点及局部的深麻点, 小气泡, 小拉裂, 划伤, 轻微划痕及轧辊压痕, 允许有呈蓝色的氧化色和经酸洗后钢板有浅黄色薄膜
	S	05F, 08F, 10F, 15F, 08b, 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35	钢板反面允许有在公差范围内不大于钢板最小范围内的下列缺陷:一般的轻微麻点, 小气泡, 小拉裂, 轻微划痕及轧辊压痕
	P	本标准第2条全部钢号	
IV—普通的精整 表 面	S	05F, 08F, 10F, 15F, 20F, 08b, 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35	热 轧 钢 板 钢板两面允许有不大于钢板厚度最小范围内的下列缺陷:一般的轻微麻点、局部的深麻点, 小气泡, 小拉裂, 划伤、泥土痕迹, 划痕及轧辊压痕
	P	本标准第2条全部钢号	钢板反面允许有在厚度公差范围内且每一平方米不多于两个的斑疤及压坑

钢板的机械性能如表2。

厚度小于2mm的钢板, 其伸长率允许比表2的规定降低1% (绝对值)。

厚度大于2mm的和不经热处理交货的普通拉延级钢板, 根据需方要求才进行机械性能的试验。

正火状态下供应的钢板, 其他要求符合本标准规定时, 抗拉强度允许比表2上限的规定提高50MPa。

钢板的成形性能用杯突试验判定。杯突值应符合表3的规定。

钢板的显微组织应符合1.3.5.1.1.2节的规定。

标记举例: 钢号20, 尺寸精度B, 钢板尺寸1.0×750×1500mm, 表面质量组别I,

表2. 钢板的机械性能表

钢号	拉 延 级 别							
	Z	S和P	Z	S	P	Z	S	P
	抗拉强度 σ_s (kgf/mm ²)		伸 长 率 a_{10} % 不 小 于					
			冷 轧 钢 板			热 轧 钢 板		
05F	26~36	26~38	34	32	30	30	29	27
08F	28~37	28~39	34	32	30	30	29	27
08								
08b	28~40	28~42	32	30	28	28	27	25
10F								
10	30~42	30~44	30	29	28	27	26	24
15F	32~44	32~46	29	28	27	27	26	24
15								
20F	34~46	34~48	27	26	25	26	25	24
20	36~50	36~51	26	25	24	25	24	24
25	—	40~55	—	24	23	—	23	22
30	—	45~60	—	22	21	—	21	20
35	—	50~65	—	20	19	—	19	18
40	—	52~67	—	—	18	—	—	17
45	—	65~70	—	—	16	—	—	16
50	—	55~73	—	—	14	—	—	13

表3. 钢板的成形性能表

钢 板 厚 度 (mm)	钢 号 和 拉 延 级 别				
	Z	S	P	Z	S
	05F, 08F, 08b, 08, 10F	05F, 08F, 08b, 08, 10F	05F, 08F, 08b, 08, 10F	10, 15F, 15, 20F, 20	10, 15, F 15, 20F, 20
冲 压 深 度 (mm) 不 小 于					
0.5	9.0	8.4	8.0	8.0	7.6
0.6	9.4	8.9	8.5	8.4	7.8
0.7	9.7	9.2	8.9	8.6	8.0
0.8	10.0	9.5	9.3	8.8	8.2
0.9	10.3	9.8	9.6	9.0	8.4
1.0	10.5	10.1	9.9	9.2	8.6
1.1	10.8	10.4	10.2	以下均不做试验	
1.2	11.0	10.6	10.4		
1.3	11.2	10.8	10.6		
1.4	11.3	11.0	10.8		
1.5	11.5	11.2	11.0		
1.6	11.6	11.4	11.2		
1.7	11.8	11.6	11.4		
1.8	11.9	11.7	11.5		
1.9	12.0	11.8	11.7		
2.0	12.1	11.9	11.8		

压延级别S级的标记为:

钢板 $\frac{B-1.0 \times 750 \times 1500 - GB708-65}{20-I-S-GB710-65}$

1.3.6.4 深冲压用冷轧薄钢板(YB215-64)

钢板品种按GB708-65的规定,厚度0.8~3.0mm。

钢板用08Al钢号冷轧,其成分如表1。

表1. 08Al钢的成分

钢 号	化 学 成 分 %					
	碳	锰	铝	硅	磷	硫
08Al	≤0.08	0.30~0.45	0.02~0.07	痕迹	≠0.02	≠0.03

钢板按成形性能分为三级:ZF(最复杂)级,用于成形最复杂的零件;HF(很复杂)级,用于成形很复杂的零件;F(复杂)级,用于成形一般复杂零件。按表面质量分为三组(I、II、III)。

钢板的机械性能如表2

表2. 08Al钢板的机械性能

压延级别	钢板厚度 (mm)	σ_s (MPa) ≥	σ_b (MPa)	ϵ_{10} (%) ≤	洛氏硬度 ≤	σ_s/σ_b ≤
ZF	全部	200	260~330	44	45	0.65
HF	全部	210	260~340	42	48	0.70
F	>1.2	220	260~350	39	—	—
	1.2	220		42		
	<1.2	240		42		

钢板的杯突值应符合表3的规定。

表3. 08Al钢板的成形性能 (mm)

钢板厚度	冲压深度, 不小于		
	ZF	HF	F
0.8	10.6	10.5	10.3
0.9	10.8	10.7	10.5
1.0	11.2	10.8	10.7
1.1	11.3	11.0	10.9
1.2	11.5	11.2	11.1
1.3	11.7	11.3	11.3
1.4	11.8	11.4	11.4
1.5	12.0	11.6	11.5
1.6	—	11.8	11.7
1.7	—	12.0	11.9
1.8	—	12.1	12.0
1.9	—	12.2	12.1
2.0	—	12.3	12.2

钢板的显微组织应符合表1.3.5.1.1.2。

标记举例: 钢号08Al, 尺寸精度A, 钢板尺寸1.0×750×1500mm, 表面质量组别I, 压延级别HF的标记为:

$$\frac{A-1.0 \times 750 \times 1500-GB708-65}{08Al-I-HF-YB215-64}$$

1.3.6.5 不锈钢冷轧钢板 (GB3280-84)

1. 类别和牌号

钢种按组织特征分为五类, 共55个牌号, 类别和牌号按表1所列。

2. 尺寸规格

按GB708-65《轧制薄钢板品种》的规定。

3. 机械性能

如表2~表8。

4. 表面加工

如表9。

表1. 类别和牌号

类别	序号	牌 号	类别	序号	牌 号	
奥 氏 体 型	1	1Cr17Mn6Ni5N	铁素体-奥氏体型	33	00Cr18Ni5Mo3Si2	
	2	1Cr18Mn8Ni5N		34	1Cr18Ni11Si4AlTi	
	3	2Cr13Mn9Ni4		35	(1Cr21Ni5Ti)	
	4	1Cr17Ni7		36	0Cr26Ni5Mo2	
	5	1Cr17Ni8				
	6	1Cr18Ni9		铁 素 体 型	37	0Cr13Al
	7	1Cr18Ni9Si3	38		00Cr12	
	8	0Cr19Ni9	39		1Cr15	
	9	00Cr19Ni11	40		1Cr17	
	10	0Cr19Ni9N	41		00Cr17	
	11	0Cr18Ni10NbN	42		1Cr17Mo	
	12	00Cr18Ni10N	43		00Cr17Mo	
	13	1Cr18Ni12	44		00Cr18Mo2	
	14	1Cr23Ni13	45		00Cr30Mo2	
	15	0Cr25Ni20	46		00Cr27Mo	
	16	0Cr17Ni12Mo2	马 氏 体 型		47	1Cr12
	17	00Cr17Ni14Mo2			48	1Cr13
	18	0Cr17Ni12Mo2N		49	0Cr13	
	19	00Cr17Ni13Mo2N		50	2Cr13	
	20	(0Cr18Ni12Mo2Ti)		51	3Cr13	
	21	(1Cr18Ni12Mo2Ti)		52	3Cr16	
	22	1Cr18Ni12Mo2Cu2		53	7Cr17	
	23	00Cr18Ni14Mo2Cu2		54	1Cr17Ni2	
	24	(0Cr18Ni12Mo3Ti)				
	25	(1Cr18Ni12Mo3Ti)		沉 淀 硬 化 型	55	0Cr17Ni7Al
	26	0Cr19Ni13Mo3				
	27	00Cr19Ni13Mo3				
	28	0Cr18Ni16Mo5				
	29	0Cr18Ni11Ti				
	30	(1Cr18Ni9Ti)				
	31	0Cr18Ni11Nb				
	32	0Cr18Ni13Si 4				

注：括号内的钢号不推荐使用。

表2. 经固溶处理的奥氏体型钢的力学性能

序号	牌 号	拉 力 试 验			硬 度 试 验		
		屈服强度 $\sigma_{0.2}$ kgf/mm ² (MPa)	拉伸强度 σ_b kgf/mm ² (MPa)	伸长率 e_s %	HB	HRB	HV
1	1Cr17Ni6Ni5N	≥25 (245)	≥65 (637)	≥40	≤241	≤100	≤253
2	1Cr18Mn8Ni5N	≥25 (245)	≥60 (588)	≥40	≤207	≤95	≤218
3	2Cr13Mn9Ni4	—	≥65 (637)	≥42	—	—	—

序号	牌 号	拉 力 试 验			硬 度 试 验		
		屈服强度 $\sigma_{0.2}$ kgf/mm ² (MPa)	拉伸强度 σ_b kgf/mm ² (MPa)	伸长率 e_5 %	HB	HRB	HV
4	1Cr17Ni7	≥21 (206)	≥53 (520)	≥40	≤187	≤90	≤200
5	1Cr17Ni8	≥21 (206)	≥58 (569)	≥45	≤187	≤90	≤200
6	1Cr18Ni9	≥21 (206)	≥53 (520)	≥40	≤187	≤90	≤200
7	1Cr18Ni9Si3	≥21 (206)	≥53 (520)	≥40	≤207	≤95	≤218
8	0Cr19Ni9	≥21 (206)	≥53 (520)	≥40	≤187	≤90	≤200
9	00Cr19Ni11	≥18 (177)	≥49 (481)	≥40	≤187	≤90	≤200
10	0Cr19Ni9N	≥28 (275)	≥56 (481)	≥35	≤217	≤95	≤220
11	0Cr19Ni10NbN	≥35 (343)	≥70 (686)	≥35	≤250	≤100	≤260
12	00Cr18Ni10N	≥25 (245)	≥56 (549)	≥40	≤217	≤95	≤220
13	1Cr18Ni12	≥18 (177)	≥49 (481)	≥40	≤187	≤90	≤200
14	0Cr23Ni13	≥21 (206)	≥53 (520)	≥40	≤187	≤90	≤200
15	0Cr25Ni20	≥21 (206)	≥53 (520)	≥40	≤187	≤90	≤200
16	0Cr17Ni12Mo2	≥21 (206)	≥53 (520)	≥40	≤187	≤90	≤200
17	00Cr17Ni14Mo2	≥18 (177)	≥49 (481)	≥40	≤187	≤90	≤200
18	0Cr17Ni12Mo2N	≥28 (275)	≥56 (549)	≥35	≤217	≤95	≤200
19	00Cr17Ni13Mo2N	≥25 (245)	≥56 (549)	≥40	≤217	≤95	≤200
20	(0Cr18Ni12Mo2Ti)	≥21 (206)	≥54 (529)	≥35	≤187	≤90	≤200
21	(1Cr18Ni12Mo2Ti)	≥21 (206)	≥54 (529)	≥35	≤187	≤90	≤200
22	0Cr18Ni12Mo2Cu2	≥21 (206)	≥53 (520)	≥40	≤187	≤90	≤200
23	00Cr18Ni14Mo2Cu2	≥18 (177)	≥49 (481)	≥40	≤187	≤90	≤200
24	(0Cr18Ni12Mo3Ti)	≥21 (206)	≥54 (529)	≥35	≤187	≤90	≤200
25	(1Cr18Ni12Mo3Ti)	≥21 (209)	≥54 (529)	≥35	≤187	≤90	≤200
26	0Cr19Ni13Mo3	≥21 (206)	≥53 (520)	≥40	≤187	≤90	≤200
27	00Cr19Ni13Mo3	≥18 (177)	≥49 (481)	≥40	≤187	≤90	≤200
28	0Cr18Ni16Mo5	≥18 (177)	≥49 (481)	≥40	≤187	≤90	≤200
29	0Cr18Ni11Ti	≥21 (206)	≥53 (520)	≥40	≤187	≤90	≤200
30	(1Cr18Ni9Ti)	≥21 (206)	≥55 (539)	≥40	≤187	≤90	≤200
31	0Cr18Ni11Nb	≥21 (206)	≥53 (520)	≥40	≤187	≤90	≤200
32	0Cr18Ni13Si4	≥21 (206)	≥53 (520)	≥40	≤207	≤95	≤218

表3. 不同冷作硬化状态的力学性能

序号	牌 号	状态符号	拉 力 试 验				
			屈服强度 $\sigma_{0.2}$ kgf/mm ² (MPa)	抗拉强度 σ_b kgf/mm ² (MPa)	伸 长 率 e_5 (%)		
					厚 度 <0.4mm	厚 度 >0.4mm <0.8mm	厚 度 ≥ 0.8 mm
3	2Cr13Mn9Ni4	II	—	≥ 100 (981)	≥ 15		
4	1Cr17Ni7	1/4H	≥ 62 (510)	≥ 88 (863)	≥ 25	≥ 25	≥ 25
		1/2H	≥ 77 (755)	≥ 105 (1030)	≥ 9	≥ 10	≥ 10
		3/4H	≥ 95 (932)	≥ 123 (1206)	≥ 3	≥ 5	≥ 7
		H	≥ 98 (961)	≥ 130 (1275)	≥ 3	≥ 4	≥ 5

表4. 经固溶处理的奥氏体-铁素体型钢的力学性能

序号	牌 号	拉 力 试 验			硬 度 试 验		
		屈服强度 $\sigma_{0.2}$ kgf/mm ² (MPa)	抗拉强度 σ_b kgf/mm ² (MPa)	伸长率 e_5 %	HB	HRC	HV
33	00Cr18Ni5Mo3Si2	≥ 40 (392)	≥ 60 (588)	≥ 20	—	≤ 30	≤ 300
34	(1Cr18Ni11Si4AlTi)	—	≥ 73 (716)	≥ 30	—	—	—
35	(1Cr21Ni5Ti)	—	≥ 65 (637)	≥ 20	—	—	—
36	0Cr26Ni5Mo2	≥ 40 (392)	≥ 60 (588)	≥ 18	≤ 277	≤ 29	≤ 292

表5. 经退火处理的铁素体型钢的力学性能

序号	牌 号	拉 力 试 验			硬 度 试 验			弯 曲 试 验 180° d—弯心直径, t—钢板厚度
		屈服强度 $\sigma_{0.2}$ kgf/mm ² (MPa)	抗拉强度 σ_b kgf/mm ² (MPa)	伸长率 e (%)	HB	HRB	HV	
37	0Cr13Al	≥ 18 (177)	≥ 42 (412)	≥ 20	≤ 183	≤ 88	≤ 200	$t < 8$ mm, $d = t$ $t \geq 8$ mm, $d = 2t$
38	00Cr12	≥ 20 (196)	≥ 37 (363)	≥ 22	≤ 183	≤ 88	≤ 200	$d = 2a$

序号	牌号	拉力试验			硬度试验			弯曲试验
		屈服强度 $\sigma_{0.2}$ kgf/mm ² (MPa)	抗拉强度 σ_b kgf/mm ² (MPa)	伸长率 e (%)	HB	HRB	HV	180° d —弯心直径, t —钢板厚度
39	1Cr15	≥21 (206)	≥45 (451)	≥22	≤183	≤88	≤200	$d=2a$
40	1Cr17	≥21 (206)	≥45 (451)	≥22	≤183	≤88	≤200	$d=2a$
41	00Cr17	≥18 (177)	≥37 (363)	≥22	≤183	≤88	≤200	$d=2a$
42	1Cr17Mo	≥21 (206)	≥45 (451)	≥22	≤183	≤88	≤200	$d=2a$
43	00Cr17Mo	≥25 (245)	≥42 (412)	≥20	≤217	≤96	≤230	$d=2a$
44	00Cr18Mo2	≥25 (245)	≥42 (412)	≥20	≤217	≤96	≤230	$d=2a$
45	00Cr30Mo2	≥30 (294)	≥46 (451)	≥22	≤209	≤95	≤220	$d=2a$
46	00Cr27Mo	≥25 (245)	≥42 (412)	≥22	≤190	≤90	≤200	$d=2a$

表6. 经退火处理的马氏体型钢的力学性能①

序号	牌 号	拉力试验			硬度试验			弯曲试验
		屈服强度 $\sigma_{0.2}$ kgf/mm ² (MPa)	抗拉强度 σ_b kgf/mm ² (MPa)	伸长率 e (%)	HB	HRB	HV	180° d —弯心直径 t —钢板厚度
47	1Cr12	≥21 (206)	≥45 (441)	≥20	≤200	≤93	≤210	$d=2t$
48	1Cr13	≥21 (206)	≥45 (441)	≥20	≤200	≤93	≤210	$d=2t$
49	0Cr13	≥21 (206)	≥42 (412)	≥20	≤183	≤88	≤200	$d=2t$
50	2Cr13	≥23 (226)	≥53 (520)	≥18	≤233	≤97	≤234	—
51	3Cr13	≥23 (226)	≥55 (539)	≥18	≤235	≤98	≤247	—
52	3Cr16	≥23 (226)	≥53 (520)	≥18	≤241	≤100	≤253	—
53	7Cr17	≥25 (245)	≥60 (588)	≥15	≤255	HRC ≤25	≤269	—
54	1Cr17Ni2	≥110(1079)	≥10					

① 1Cr17Ni2为淬火回火状态拉伸性能。

表7. 经淬火、回火处理的马氏体型钢的硬度

序号	牌 号	HRC
51	3Cr13	≥40
53	7Cr17	≥40
54	1Cr17Ni2	需方要求时, 由供需双方协商规定

表8. 沉淀硬化型钢的力学性能

序号	牌 号	热处理 种 类	拉 力 试 验			硬 度 试 验			
			屈服强度 $\sigma_{0.2}$, kgf/mm ² (MPa)	抗拉强度 σ_B , kgf/mm ² (MPa)	伸长率 e_5 (%)	HB	HRC	HRB	HV
4	0Cr17Ni7Al	固溶	≤39 (382)	≤105(1030)	≥20	≤190	—	≤92	≤200
		565°C 时效	≥98 (961)	≥116(1136)	$t \leq 3.0\text{mm}$, ≥3; $> 3.0\text{mm}$, ≥5	—	≥35	—	≥345
		510°C 时效	≥105(1030)	≥125(1226)	$t \leq 3.0\text{mm}$, 不作规定, $> 3.0\text{mm}$, ≥4	—	≥40	—	≥392

注: t —钢板厚度。

表9 .表面加工

表面加工等级	表 面 加 工 要 求
No. 2D	冷轧后进行热处理酸洗或类似处理加工, 最后经毛面辊进行轻度冷平整
No. 2B	冷轧后, 进行热处理, 酸洗或类似的处理, 最后经冷轧获得适当光洁度
No. 3	用GB 2477-83所规定的粒度为100~120号研磨材料进行抛光精整
No. 4	用GB 2477-83所规定的粒度为150~180号研磨材料进行抛光精整
No. 5	用GB 2477-83所规定的粒度为240号研磨材料进行抛光精整
No. 6	用GB 2477-83所规定的粒度为W63号研磨材料进行抛光精整

表面加工等级	表面加工要求
No. 7	用GB 2477-83所规定的粒度为W50号研磨材料进行抛光精整
No. 8	冷轧后, 进行光亮热处理
No. 10	用适当粒度的研磨材料抛光, 使表面呈连续磨纹

注: 上表所列的表面加工等级以外的要求按供需双方协议。

1.3.6.6 合金结构钢薄钢板 (YB204-63)

钢板品种按GB708-65的规定。

钢板用下列钢号冷轧或热轧:

60Mn、65Mn、70Mn、10Mn2、30Cr、35Cr、40Cr、38CrSi、20CrMnSi、25CrMnSi、30CrMnSi。

10Mn2A、12Mn2A、38CrA、20CrMnSiA、25CrMnSiA、30CrMnSiA、35CrMnSiA、25CrMnVA、38CrMoAlA。

表1. 钢板的表面特征

组别	表面特征
I	表面抛光的钢板: 钢板的正面(表面质量好的一面)不允许有表面缺陷 钢板的反面允许有在钢板厚度公差一半范围内的缺陷, 如一般的轻麻点、小气泡、小拉裂、小划痕、凹坑、压痕
II	钢板的正面允许有在钢板厚度公差一半范围内的缺陷, 如一般的轻麻点和小划痕。 钢板的反面允许有在厚度公差一半范围内的下列缺陷, 一般的轻麻点、小划痕、小气泡、小拉裂, 凹坑, 压痕
III	钢板的正面允许有在厚度公差一半范围内的下列缺陷, 一般的轻麻点、划痕、轻刮伤、凹坑、压痕 钢板的反面允许有在厚度公差范围内的下列缺陷: 一般的轻麻点, 小划痕, 刮伤, 小气泡, 小拉裂, 压痕, 凹坑
IV	钢板的正反两面允许有在厚度公差范围内的下列缺陷: 麻点, 薄层氧化铁皮、小气泡、小拉裂、小划痕、刮伤, 凹坑, 压痕, 结疤和局部深压坑(压坑数量每一平方米不得超过两个)

表2. 钢板的机械性能

钢号	抗拉强度 σ_b (kgf/mm ²)	伸长率 δ_{10} 不小于
60Mn	55~80	14
65Mn	60~85	12
70Mn	65~90	10
10Mn2, 10Mn2A	40~58	22
25CrMnSi, 25CrMnSiA	50~70	18
30CrMnSi, 30CrMnSiA	55~75	16
12Mn2A	50~65	18

钢板按表面质量分为四组,其特征如表1。退火或回火后的钢板,其机械性能应符合表2的规定。未列入表2中的钢号,其机械性能由供需双方协议规定。

没有关于区分压延性能级别的规定,但规定板料的杯突值应符合表3。

表3. 钢板的成形性能 (mm)

钢板 厚度	钢 号			
	10Mn2和10Mn2A	12Mn2A	25CrMnSiA	30CrMnSiA
	冲 压 深 度 不 小 于			
0.5	7.3	7.0	7.0	7.0
0.6	7.7	7.4	7.4	7.2
0.7	8.0	7.6	7.6	7.5
0.8	8.5	7.8	7.8	7.7
0.9	8.8	8.0	8.0	8.0
1.0	9.0	8.2	8.2	8.2

1.3.6.7 航空用合金结构钢板(YB540-65)

钢板品种按GB708-65的规定。

钢板用下列钢号冷轧或热轧: 12Mn2A、16Mn2A、45Mn2A、25CrMnVA、20Cr、38CrA、40Cr、20(25、30、35)CrMnSiA。

钢板在供应状态下的机械性能如表1:

表1. 钢板的机械性能

钢 号	机 械 性 能					
	薄 板		厚 板			
	抗拉强度 σ_s (kgf/mm ²)	伸长率 e_{10} (%) 不小于	抗拉强度 σ_s (kgf/mm ²)	伸长率 e_5 (%) 不小于	布 氏 硬 度	
				压痕直径 (mm)	HB	
12Mn2A	40~58	22	—	—	—	—
16Mn2A	50~65	18	—	—	—	—
45Mn2A	—	—	60~85	13	—	—
25CrMnVA	50~70	18	(45~70)	18	—	—
20Cr	40~60	18	40~60	20	—	—
38CrA	55~75	16	50~75	18	—	—
40Cr	55~75	14	55~75	16	—	—
20CrMnSiA	(50~70)	(18)	(45~70)	(20)	—	—
25CrMnSiA	(50~70)	18	50~70	20	4.85~4.15	152~221
30CrMnSiA	55~75	16	50~75	17	4.85~4.07	152~221
35CrMnSiA	(60~80)	(14)	(60~80)	(15)	—	—

注: 1. 厚度小于和等于0.9mm的钢板,其伸长率指标仅供参考。

2. 在保证伸长率指标条件下正火状态供应的钢板,其抗拉强度上限可提高5kg/mm²。

3. 表3中未列钢号的机械性能由双方协议规定。

4. 表3中括弧内的指标,仅供参考,不作报废依据。

5. 厚度大于18毫米的钢板,其伸长率允许降低1% (绝对值)。

钢板按冲压性能和表面质量分成三组，如表2。

表2. 钢板的表面特征

组别	深冲级别	钢号	表面状态(特征)
I	P	本标准所有钢号	冷轧、抛光钢板
	S	12Mn2A 16Mn2A 20CrMnSiA 25CrMnSiA	钢板的正面(表面质量较好的一面)不允许有表面缺陷 钢板的反面允许有钢板厚度公差一半的,而且不得超过钢板最小厚度范围内的下列缺陷: 一般的轻微麻点,小划痕及压痕
II	P	本标准所有钢号	冷轧钢板
	S	12Mn2A 16Mn2A 20CrMn2A 25CrMnSiA	钢板允许有在钢板厚度公差一半的,而且不得超过钢板最小厚度范围内的下列缺陷: 正面:一般的轻微麻点和小压痕,轻微小擦伤 反面:一般的轻微麻点、小划伤、压痕、钢板的两面允许有轻微的浅黄色薄膜
III	P	本标准所有钢号	冷轧板和热轧板
	S	12Mn2A 16Mn2A 20CrMnSiA 25CrMnSiA	钢板允许有在厚度公差一半的,而且不超过钢板最小厚度范围的下列缺陷:一般的轻微麻点,小划痕、压痕、个别凹坑局部深麻点,并允许有局部的打磨面和酸洗薄膜

注: P为一般冲压; S为深冲压。

钢板在供应状态下的杯突指标应符合表3规定。

表3. 钢板的成形性能

(mm)

钢号	12Mn2A	16Mn2A及25CrMnSiA	30CrMnSiA
深冲级别	S	P	P
钢板厚度	冲压深度		不小于
0.5	7.3	7.0	7.0
0.6	7.7	7.4	7.2
0.7	8.0	7.6	7.5
0.8	8.5	7.8	7.7
0.9	8.8	8.0	8.0
1.0	9.0	8.2	8.2

注: 中间厚度钢板的杯突试验指标按表5内相邻的较小厚度钢板的冲压深度规定。

1.3.6.8 汽车大梁用钢板(GB3273-82)

这是厚度为2.5~10mm的低合金钢热轧钢板。

钢的牌号和化学成分应符合表1的规定。

表1. 钢号的化学成分

牌 号	化 学 成 分, %						其 它
	C	Si	Mn	V	P	S	
					不 大 于		
09MnXtL	<0.12	0.20~0.60	0.70~1.00	—	0.040	0.040	加入Xt ^①
09SiVL	0.08~0.15	0.70~1.00	0.45~0.75	0.04~0.10	0.040	0.040	
16MnL	0.12~0.20	0.20~0.60	1.20~1.60	—	0.040	0.040	
16MnXtL	0.12~0.20	0.20~0.60	1.20~1.60	—	0.040	0.040	加入Xt

①稀土 (Xt) 加入量由生产厂控制, 分析结果应填入质量证明书中。

钢板的尺寸规格应符合表2的规定。

表2. 钢板的尺寸规格 (mm)

长度 宽度 厚度	210	260	272	280	300	310	320	332	356	370	375	377	395	400	422	460
	2.5~6.0	5000	4450	5000	4450 5720	2000 2600 5200	4750 5200 5480 5830 5900 6550	4930	4800 6185	6600	4300 4430 4800	4460 5670 5915 6390 6445				
6.5~8.0										6835	5930 6600 7900 6430 7830 8710 9250	7090 7430	7000			7210 9000
8.5~10															7150	8900

钢板的厚度允许偏差应符合表3的规定。

表3. 钢板的厚度允差 (mm)

厚 度	5~6.5	7~8	9~10
偏 差	+0.3 -0.5	±0.5	±0.55

钢板的机械性能和工艺性能应符合表4的规定。

表4. 钢板的机械性能

牌 号	厚 度 (mm)	屈服点 σ_s (kgf/mm ²) 不小于	抗拉强度 σ_b (kgf/mm ²)	伸长率 e_s (%) 不小于	宽冷弯180° $b=35\text{mm}$
09MnXtL	2.5~10	25	>38	32	$d=0.5a$
09SiVL	5~7	36	52~62	24	$d=a$
16MnL	2.5~7	36	52~62	24	$d=a$
	8~10	35			
16MnXtL	2.5~7	36	52~62	24	$d=a$
	8~10	35			

09MnXtL钢板的抗拉强度上限由供需双方协议规定。

经供需双方协议，09MnXtL钢板冷弯试验按弯心直径 d 等于钢板厚度 a 合格者也可交货。16MnL钢板可作窄冷弯试验（ b 等于 $2a$ ），其弯心直径 d 应符合表4的规定。

钢板的晶粒度应为5~10级，其相邻级别不得超过三个级别。

钢板的带状组织应不大于2级。大于2~3级的钢板也可交货。连轧钢板的带状组织不作考核。

1.3.6.9 搪瓷用热轧薄钢板 (YB474-64)

钢号为08, 08F。

品种如表1和2：

表1. 钢板的尺寸规格 (mm)

钢板 厚度	钢板宽度		
	750	900	1000
	钢板长度		
0.30	1500	1800	2000
0.35			
0.40			
0.50			

表2. 钢板的厚度公差 (mm)

钢板厚度	高级精度A	较高精度B	普通精度C
0.30	±0.03	±0.04	±0.05
0.35	±0.03	±0.04	±0.05
0.40	±0.04	±0.05	±0.06
0.50	±0.04	±0.05	±0.06

按表面特征分为两组 (I、II) 如表3:

表3. 钢板的表面特征

组别	表面情况特征
I组 表面 的 精 整	钢板两面允许有在钢板厚度公差之半且不超过钢板最小厚度的下列缺陷: 一般的小麻点; 局部轻微的涂料痕迹; 轻微的小拉裂; 局部氧化皮剥落后的粗糙; 轻划痕及辊印; 允许有热处理后掀板产生的轻微折印; 呈蓝色的淡黄色; 回火色和轻酸洗后钢板附有浅黄色薄膜 钢板及面上允许有在厚度公差内且不使钢板厚度小于其最小厚度的下列缺陷: 一般的小麻点; 轻微的涂料痕迹; 涂料剥落后的小拉裂; 氧化铁皮剥落后的表面粗糙; 轻微划痕及辊印
II组 表面 的 精 整	钢板两面允许有不超过钢板最小厚度的下列缺陷: 一般小麻点; 局部的深麻点; 涂料痕迹; 涂料剥落后的小拉裂; 氧化铁皮剥落后的表面粗糙; 轻划痕、辊印; 允许有热处理后掀板产生的轻微折印; 呈蓝色的淡黄色; 回火色和轻酸洗后附有浅黄色的薄膜 钢板反面上允许有在厚度公差内且斑点及压坑每米不多于两个

按成形性能分成三级 (Z、S、P), 杯突值应符合表4。

表4. 钢板的成形性能 (mm)

钢 板 厚 度	压 延 级 别		
	Z	S	P
	冲 压 深 度		
	不 小 于		
0.30	7.4	7.0	6.8
0.35	7.6	7.2	7.0
0.40	7.8	7.6	7.4
0.50	9.0	8.4	8.0

有关显微组织的规定如下: 晶粒度等于或大于5级; 游离碳化铁组织为0、1、2、3级; 带状组织为1、2、3级。

1.3.6.10 变形高温合金钢板

钢板的钢号和机械性能如表⁽⁴⁾。

钢板的机械性能

项目 牌号	供应状态	规格 (mm)	机械性能 (不小于)				持久强度			技术条件	
			温度 (°C)	抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服极限 $\sigma_{0.2}$ (MPa)	延伸率 ϵ_s (%)	收缩率 ψ (%)	温度 (°C)	应力 (MPa)		时间 t (不小于)
GH30 冷轧板	980~1020°C空冷	0.8~3.0	20	700		30				YB507-65	
			700			30					
GH39 热轧板	1050~1080°C空冷	8.5~11	20	750		40	45			YB538-65	
			800	250		40	50				
GH44 冷轧板	1120~1180°C空冷	0.8~2.5	20	750		40					
			900	200		30					
GH128 板	1215°C 10'空冷		20	833~ 844		60~62.4				钢铁研究院67	
			950	192~ 208		94~100					
GH35 (冷轧)板	1100~1140°C空冷	0.8~4.0	20	600		35				YB634-67	
GH131 (冷轧)板	1130~1170°C空冷	0.8~4.0	20	750		34				高温合金参考 技术条件66	
			300	190		40					
GH112 (冷轧)板	交货状态, 700~720°C保温12~16小时空冷	1~4.0	20	900		20				高温合金参考	
			550	800		16	550	300	100		
			650	750		15	650	400	100		
GH140 冷轧板	1050~1080°C空冷	0.8~3.0	20	650		40				YB639-67	
			800	230		40					
GH140 热轧板	1050~1080°C空冷	6~12	20	650		40	45			YB640-67	
			800	250		40	50				

1.3.6.11 连续热镀锌薄钢板和钢带 (GB2518-81)

分类与符号如表1。

表1. 镀锌钢板和钢带的分类与符号

分 类 方 法	类 别	符 号	
按加工性能	普通用途	PT	
	机械咬合	JY	
	深冲	SC	
	超深冲耐时效	CS	
	结 构	JG	
按锌层重量	001	001	
	100	100	
	200	200	
	275	275	
	350	350	
	450	450	
	600	600	
按表面结构	正常锌花	Z	
	小 锌 花	X	
	光整锌花	GZ	
按表面质量	光整锌花	I 组	I
		II 组	II
按尺寸精度	正常锌花、小锌花		
	高级精度		A
	普通精度		B
按表面处理	铬酸钝化		L
	涂 油		Y
	铬酸钝化加涂油		LY

标记举例：锌层重量 $275\text{g}/\text{m}^2$ ，性能JY、表面结构Z、表面处理Y、尺寸精度B、尺寸 $0.70\times 700\times 2000\text{mm}$ 的钢板，标记为：

钢板275-JY-Z-Y-B- $0.70\times 700\times 2000$ -GB 2518-81

机械与工艺性能如表2。

表2. 镀锌钢板和钢带的机械与工艺性能

加工性能	锌层		钢基				用途
	锌层符号	180°弯曲试验 d ——弯心直径 t ——试样厚度	抗拉强度 σ_b MPa (kgf/mm ²)	屈服点 σ_s MPa (kgf/mm ²)	伸长率 e %	杯突试验	
PT	001	$d=a$	—	—	—	—	$d=t$
	100						
	200						
	275						
	350						
	450	$d=2a$	—	—	—	—	—
600							
JY	001	$d=0$	270~500 (28~51)	—	—	—	$d=0$
	100						
	200						
	275						
	350						
SC	001	$d=0$	270~380 (28~39)	—	≥ 30	见表4	—
	100						
	200						
	275						
CS	001	$d=0$	270~380 (28~39)	—	≥ 30	见表4	—
	100						
	200						
	275						
JG	001	$d=a$	370 (38)	≥ 240 (≥ 25)	≥ 18	—	—
	100						
	200						
	275						
	350						
	450	$d=2a$	—	—	—	—	—
600							

注：1. 锌层弯曲，距试样边部5mm以外不允许出现锌层脱落，但允许表面出现不露钢基的裂纹。

2. 钢基冷弯，试样弯曲处不允许出现裂纹和分层。

3. 拉力试验，试样的标距 $L_0=80\text{mm}$ 、宽度 $b_0=20\text{mm}$ 。

4. JG镀锌钢板和钢带，其抗拉强度仅供参考，最小的抗拉强度值可按双方协议。

5. 对于厚度大于2.0mm的钢板和钢带，其杯突试验冲压深度可按双方协议。

6. CS镀锌钢板和钢带经供方光整处理后，保证六个月内深冲加工时不产生滑移线。

7. SC镀锌钢板和钢带经供方光整处理后，保证八天内深冲加工时不产生滑移线。

8. 供方可生产合金化镀锌钢板和钢带，其技术条件按双方协议。

尺寸及其允许偏差：

钢板和钢带的公称尺寸按表3的规定。

钢板和钢带的厚度允许偏差按表4的规定。

钢板和钢带宽度允许偏差按表5的规定。

钢板长度允许偏差按表6的规定。

钢号及化学成分由供方选择。

表3. 镀锌钢板和钢带的公称尺寸

(mm)

名 称		公 称 尺 寸	
厚 度		0.25~0.50	>0.50~2.5
宽 度		700~1500	
长 度	钢 板	1000~6000	
	钢 带	卷内径450	卷内径610

注：需方有特殊要求时，按双方协议。

表4. 镀锌钢板和钢带的厚度允差

(mm)

公称厚度	厚 度 允 许 偏 差					
	SC CS				PT JY JG	
	高级精度 A		普通精度 B		普通精度 B	
	公 称 宽 度					
	<1200	>1200 ~1500	≤1200	>1200 ~1500	≤1200	>1200 ~1500
≤0.40	±0.04	—	±0.05	—	±0.07	—
0.50	±0.05	±0.06	±0.06	±0.07	±0.08	±0.09
0.60	±0.05	±0.06	±0.06	±0.07	±0.08	±0.09
0.70	±0.06	±0.07	±0.07	±0.08	±0.09	±0.10
0.80	±0.06	±0.07	±0.07	±0.08	±0.09	+0.10
0.90	±0.07	±0.08	±0.08	±0.09	±0.10	+0.11
1.00	±0.07	±0.08	±0.08	±0.09	±0.10	±0.11
1.20	±0.08	±0.09	±0.09	±0.10	±0.11	±0.12
1.50	±0.09	±0.10	±0.11	±0.12	±0.13	±0.14
2.00	±0.10	±0.11	±0.13	±0.14	±0.15	±0.16

注：1. 厚度测量部位距边缘不小于20mm。

2. 钢带头部和尾部30m内的厚度允许偏差最大不得超过表6规定值的50%。

3. 钢带焊缝区20m内的厚度允许偏差最大不得超过表6规定值的100%。

4. 根据需方要求，供应表4公称厚度中间规格钢板和钢带时，其厚度允许偏差按相邻小尺寸的规定。

表5. 镀锌钢板和钢带的宽度允差

(mm)

公称宽度	宽 度 允 许 偏 差	
	高级精度A	普通精度B
≤1200	+2	+6
>1200	+3	+6

表6. 镀锌钢板和钢带的长度公差

(mm)

公称长度	长度允许偏差	
	高级精度A	普通精度B
≤ 2000	± 3	$+6$
> 2000	$+0.0015 \times \text{公称长度}$	$+0.003 \times \text{公称长度}$

1.3.6.12 电镀锡薄钢板和钢带 (GB2520-81)

分类与符号如表1。

表1. 镀锡钢板和钢带的分类与符号

分类方法	类别	符号
按镀锡量	等厚镀锡 E ₁ 、E ₂ 、E ₃ 、E ₄	
	差厚镀锡 D ₁ 、D ₂ 、D ₃ 、D ₄	
按硬度等级	T50、T52、T57、T61、T65、T70	
按表面状况	光面	G
	麻面	M
	石纹面	S
按钝化方式	化学钝化	H
	阴极电化学钝化	Y
按涂油量	轻涂油	Q
	重涂油	Z
按表面质量	一组	I
	二组	II

标记举例：镀锡量E₂、硬度等级 T57、表面状况G、钝化方式H、涂油量Q、表面质量I组、尺寸0.25×712×508mm的钢板，标记为：

钢板E₂-T57-G-H-Q-I-0.25×712×508-GB2520-81

表面洛氏硬度按表2的规定。

表2. 镀锡钢板和钢带的表面洛氏硬度

符 号	硬度值, HR30T
T50	≤ 52
T52	48~56
T57	54~61
T61	57~65
T65	61~68
T70	66~73

注：对于厚度小于0.22毫米者，可采用HR15T进行试验，然后换算成HR30T硬度值。

钢板和钢带的公称尺寸按表3的规定。

表3. 镀锡钢板和钢带的公称尺寸 (mm)

名 称		公 称 尺 寸	
厚 度		0.15~0.19	0.20~0.50
宽 度		520~900	520~1050
长 度	钢 板	400~1200	
	钢 带	卷内径450	

注：厚度大于0.50mm时，按双方协议。

钢板和钢带的尺寸允许偏差按表4的规定。

表4. 镀锡钢板和钢带的尺寸允差 (mm)

名 称	项 目		允 许 偏 差
厚 度	一张钢板的平均厚度		±8.5% 公称厚度
	同板差		4% 一张钢板平均厚度
	一个检验批 的平均厚度	100~1500张	+6% -4% 公称厚度
		>1500~20000张	±4% 公称厚度
>20000张		±2.5% 公称厚度	
宽 度	钢 板		+3
	钢 带		+3
长 度	钢 板		+3

1.3.6.13 一般结构用热连轧钢板和钢带 (GB2517-81)

钢板和钢带的牌号和化学成分(熔炼分析)应符合表1的规定。

表1. 钢号的化学成分

牌 号	化 学 成 分 %			
	C	Mn	P	S
	不 大 于			
RJ216	0.20	0.70	0.045	0.050
RJ235	0.20	0.70	0.045	0.050
RJ255	0.20	0.70	0.045	0.050
RJ294	0.20	1.50	0.045	0.050
RJ343	0.20	1.60	0.045	0.050
RJ392	0.20	1.70	0.040	0.040

注：1. 钢一般用硅脱氧，经双方协议可用铝脱氧。

2. 经需方同意，必要时钢中可添加微量合金元素。

钢板和钢带的屈服点、抗拉强度、伸长率及冷弯试验应符合表2的规定。

表2. 钢板和钢带的机械与工艺性能

牌 号	机 械 性 能			
	屈服点 σ_s , (MPa) (kgf/mm ²) 不小于	抗拉强度 σ_b , (MPa) (kgf/mm ²)	伸长率, e_s % 不小于	180°冷弯试验 d ——弯心直径 t ——试样厚度
RJ216	216(22)	333~412 (34~42)	31	$d=a$
RJ235	235(24)	372~451 (38~48)	27	$d=1.5t$
RJ255	255(26)	412~510 (42~52)	25	$d=2t$
RJ284	284(30)	441~539 (45~55)	22	$d=2t$
RJ343	343(35)	400~608 (50~62)	22	$d=2t$
RJ392	392(40)	539~657 (55~67)	20	$d=3t$

注: 1. 经双方协议, 可供应机械性能和工艺性能高于表2规定的钢板和钢带。

2. 经双方协议, 可增加钢板和钢带的检验项目, 其试验方法和技术指标按双方协议。

钢板和钢带的交货状态和尺寸规格应符合表3的规定。

表3. 钢板和钢带的交货状态及尺寸规格

(mm)

类 别	宽 度	厚 度	交 货 状 态
钢 板	700~1550	1.2~6.35	热轧或冷平整
		6.35~13.0	热 轧
钢 带	700~1500	1.2~8.6	热轧或冷平整
		8.6~13.0	热 轧
	700	1.2~8.6	热 轧

注: 1. 宽度700~1550mm的钢带为轧制边供应。

2. 冷平整量不大于4%。

1.3.6.14 优质碳素结构钢冷轧钢带(GB3522-83)

1.3.6.14.1 钢带的分类

1. 按制造精度分:

普通精度钢带 (P);

宽度精度较高的钢带 (K);

厚度精度较高的钢带 (H);

厚度精度高的钢带 (J);

宽度和厚度精度较高的钢带 (KH)。

2. 按表面质量分:

I组钢带(I);

II组钢带(II)。

3. 按边缘状态分:

切边钢带(Q);

不切边钢带(BQ)。

4. 按材料状态分:

冷硬钢带(Y);

退火(再结晶退火)钢带(T)。

标记举例: 用15号钢制造的, 普通精度的、I组的、切边的、冷硬的、厚1mm及宽50mm钢带, 其标记为:

钢带15-P-I-Q-Y-1×50-GB3522-83

1.3.6.14.2 钢带尺寸及其允差

钢带的尺寸及其允差

(mm)

厚 度				宽 度				
尺 寸	允 许 偏 差			切 边 钢 带		不 切 边 钢 带		
	普通精度 (P)	较高精度 (H)	高精度 (J)	尺 寸	允 许 偏 差		尺 寸	允 许 偏 差
					普通精度 (P)	较高精度 (K)		
0.10~0.15	-0.020	-0.015	-0.010	4~ 120	-0.3	-0.2	<50	+2 -1
>0.15~0.25	-0.030	-0.020	-0.015					
>0.25~0.40	-0.040	-0.030	-0.020	6~ 200				
>0.40~0.50	-0.050	-0.040	-0.025					
>0.50~0.70	-0.050	-0.040	-0.025	10~ 200	-0.4	-0.3		
>0.70~0.95	-0.070	-0.050	-0.030					
>0.95~1.00	-0.090	-0.060	-0.040					
>1.00~1.35	-0.090	-0.080	-0.040	18~ 200	-0.6	-0.4	>50	+3 -2
>1.35~1.75	-0.110	-0.090	-0.050					
>1.75~2.30	-0.130	-0.100	-0.060					
>2.30~3.00	-0.160	-0.120	-0.080					
>3.00~4.00	-0.200	-0.160	-0.100					

1.3.6.14.3 钢带的钢号及供货状态的机械性能

钢带的机械性能

钢 号	冷 硬 钢 带 (Y)		退 火 钢 带 (T)	
	抗拉强度 σ_b (kgf/mm ²)		抗拉强度 σ_b (kgf/mm ²)	伸长率, e (%) 不小于
15	45~80		32~50	22
20	50~85		32~55	20
25	55~90		35~60	18
30	65~95		40~60	16
35	65~95		40~65	16
40	65~100		45~70	15
45	70~105		45~70	15
50	75~110		45~75	13
55	75~110		45~75	12
60	75~115		45~75	12
65	75~115		45~75	10
70	75~115		45~75	10

1.3.6.15 冷轧不锈、耐热钢带(GB2598-81)

钢带的分类:

类别	规定符号
按软硬程度分	
软钢带	R
半冷作硬化钢带	BI
冷作硬化钢带	I
特殊冷作硬化钢带	TI
按表面状态分	
光亮钢带	G
酸洗钢带	S
按边缘状态分	
切边钢带	Q
不切边钢带	BQ

标记举例: 用1Cr18Ni9钢制造的, 软状态、光亮、切边、厚度为1mm, 宽度为10毫米的钢带, 其标记为:

钢带1Cr18Ni9-R-G-Q-1×40-GB2598-81

钢带厚度及允许偏差应符合表1的规定。

表1. 钢带的尺寸及允差

(mm)

厚度 允 许 偏 差	宽 度	厚度		
		20~150	>150~400	>400~600
0.05~0.10		-0.015	-0.02	—
>0.10~0.15		-0.02	-0.02	—
>0.15~0.25		-0.03	-0.03	-0.03
>0.25~0.45		-0.04	-0.04	-0.03
>0.45~0.65		-0.05	-0.05	-0.06
>0.65~0.90		-0.06	-0.06	-0.07
>0.90~1.20		-0.07	-0.08	-0.09
>1.20~1.50		-0.09	-0.10	-0.11
>1.50~1.80		-0.12	-0.13	-0.14
>1.80~2.00		-0.15	-0.15	-0.16
>2.00~2.30		-0.16	-0.17	-0.17
>2.30~2.50		-0.17	-0.18	-0.18

注：1. 根据需方要求，可提供公差值等于表1允许偏差值，但具有正负偏差的钢带。

2. 根据需方要求，可提供表1以外的规格，允许偏差由双方协议规定。

3. 酸洗状态交货的钢带，厚度偏差允许比上表的规定增加：

厚度<0.9mm者.....0.01mm；

厚度≥0.9mm者.....0.02mm。

钢号及交货状态的机械性能应符合表2的规定。

表2. 钢带的机械性能

钢 号	交 货 状 态	抗 拉 强 度, σ_b (MPa)	伸 长 率, ϵ_{10} (%) 不 小 于
0Cr13	软	≥400	21
	硬	700~1000	—
2Cr13	软	≥500	20
	硬	750~1050	—
3Cr13	软	≥500	20
	硬	800~1100	—
4Cr13	软	≥500	18
	硬	800~1100	—
1Cr28	软	≥450	17
	硬	750~1150	—
0Cr18Ni9	软	≥540	46
	半冷作硬化	≥750	25

(续)

钢 号	交 货 状 态	抗拉强度, σ_b (MPa)	伸 长 率, e_{10} (%) 不小于
1Cr18Ni9	软	≥ 540	40
	半冷作硬化	≥ 800	20
	冷作硬化	≥ 1000	10
	特殊冷作硬化	≥ 1150	5
2Cr18Ni9	软	≥ 580	35
	半冷作硬化	≥ 800	20
	冷作硬化	≥ 1000	10
	特殊冷作硬化	≥ 1150	5
1Cr18Ni9Ti	软	≥ 540	35
	半冷作硬化	≥ 750	20
	冷作硬化	≥ 900	7
2Cr13Mn9Ni4	软	≥ 600	40
	半冷作硬化	≥ 800	20
	冷作硬化	≥ 1000	15
	特殊冷作硬化	≥ 1150	8
1Cr23Ni18	软	≥ 580	45

注：厚度小于等于0.1mm钢带的机械性能指标和厚度大于0.1~0.3mm钢带的伸长率，仅供参考，不作为交货条件。

钢带表面按光亮、酸洗两类分组，表面质量应符合表3的规定。

表3. 钢带的表面质量

表面状态	软硬程度	表面光泽要求	表 面 允 许 缺 陷	
光 亮	软	光亮或暗银色， 允许有轻微色差	允许有个别轻微的擦伤、压痕、凹面、麻点和清理的痕迹，其深度不得超过钢带厚度公差的一半	
	硬	光滑、洁净和 光亮	I组	允许有个别轻微的划痕、刮伤、凹面、辊印及清理的痕迹，其深度或高度不得超过钢带厚度公差的1/4
			II组	允许有局部轻微的划痕、刮伤、凹面、辊印及清理的痕迹，其深度或高度不得超过钢带厚度公差的一半
酸 洗	软	银灰色或暗色， 允许有轻微色差	允许有局部轻微的划痕、刮伤、凹面及清理的痕迹，其深度或高度不得超过钢带厚度公差的一半 无氧化层及过酸洗痕迹	

注：经需方同意，可以不切除不允许缺陷，但须在有缺陷处作出明显标记。

1.3.7 常用有色板金材料

1.3.7.1 常用有色金属的机械性能

进行工艺估算时,可用表(3)列的数据。

常用有色金属的机械性能

材料名称	牌 号	材料的状态	机 械 性 能				
			抗剪强度 τ (MPa)	抗拉强度 σ_s (MPa)	屈服强度 σ_s (MPa)	延伸率 e_{10} (%)	弹性模数E (10^3 MPa)
铝	L2, L3	已退火的	78	74~103	49~78	25	71
	L5, L7	冷作硬化	98	118~147		4	
铝锰合金	LF21	已退火的	69~98	108~142	49	19	70
		半冷作硬化的	93~137	132~196	127	13	
铝镁合金 铝铜镁合金	LF2	已退火的	127~158	177~225	98		69
		半冷作硬化的	158~196	225~275	206		
高强度的 铝铜合金	LC4	已退火的	167	245			69
		淬硬并经 人工时效	343	490	451		
铝镁合金	MB1	已退火的	118~235	167~198	96	3~5	43
		冷作硬化的	167~186	216~225	137	12~14	
	MB3	冷作硬化的	186~196	235~245	157	8~10	39
硬铝(杜拉铝)	LY12	已退火的	103~147	147~211		12	71
		淬硬并经 自然时效	275~304	392~432	361	15	
		淬硬后 冷作硬化	275~314	392~451	333	10	
紫 铜	T1, T2	软 的	157	196	69	30	106
		硬 的	235	294		3	
黄 铜	H62	软 的	255	294		35	98
		半 硬 的	294	373	196	20	
		硬 的	412	412		10	
	H63	软 的	235	294	98	40	108
		半 硬 的	275	343		25	
		硬 的	392	392	245	15	
铅 黄 铜	HPb59-1	软 的	294	343	142	25	91
		硬 的	392	441	412	5	

(续)

材料名称	牌 号	材料的状态	机 械 性 能				
			抗剪强度 τ (MPa)	抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服强度 σ_s (MPa)	延伸率 e_{10} (%)	弹性模数E (10^5 MPa)
锰黄铜	HMn58-2	软 的	333	383	167	25	98
		半 硬 的	392	441		15	
		硬 的	511	588		5	
锡磷青铜	QSn4-4-2.5	软 的	265	294	137	38	98
锡锌青铜	QSn4-3	硬 的	471	539		3~5	
铝青铜	QA17	特 硬 的	490	637	535	1~2	122
		退 火 的	511	588	182	10	
铝锰青铜	QA19-2	不 退 火 的	549	637	245	5	113~127
		软 的	353	441	294	18	90
硅锰青铜	QSi3-1	硬 的	471	588	490	5	
		软 的	275~294	343~373	234	40~45	118
		特 硬 的	549~588	686~736		1~2	
铍青铜	QBe2	软 的	235~471	294~588	245~343	30	115
		硬 的	511	647		2	129~138
钛合金	TA2	退 火 的	353~471	441~588		25~30	
	TA3		432~588	539~736		20~25	
	TA5		628~667	785~834		15	102
铁锰合金	MB1	冷 态	118~137	167~186	118	3~5	39
	MB8		147~177	225~235	216	14~15	40
	MB1	预 热 300°C	29~49	29~49		50~52	39
	MB8		49~69	49~69		58~62	40

1.3.7.2 铝及铝合金板材的尺寸及允许偏差 (GB3194-82)

定义

薄板：厚度0.3~4.0mm称为薄板。

厚板：厚度大于4.0mm称为厚板。

大规格板：宽度大于1500mm或长度大于4000mm称为大规格板。

变断面板：厚度沿板材长度方向均匀变化的板材称为变断面板。

板材标准尺寸及允许偏差

板材厚度及允许偏差应符合表1规定。但对变断面板材，在其厚端厚度不大于5mm、宽度不大于1500mm时的厚度允许偏差应为 ± 0.20 mm。

表1. 板材厚度及允差

(mm)

厚 度	标 准 宽 度										
	400~600	800	1000	1200	1500	1600	1800	2000	2200	2400	2500
	厚 度 允 许 偏 差										
0.3	-0.05	-0.08	±0.05	±0.06	—	—	—	—	—	—	—
0.4	-0.05	-0.08	±0.05	±0.06	—	—	—	—	—	—	—
0.5	-0.05	-0.08	-0.10	-0.12	-0.13	—	—	—	—	—	—
0.6	-0.05	-0.10	-0.12	-0.12	-0.14	-0.14	—	—	—	—	—
0.7	-0.07	-0.11	-0.12	-0.13	-0.14	-0.14	—	—	—	—	—
0.8	-0.08	-0.12	-0.12	-0.13	-0.14	-0.14	-0.18	—	—	—	—
0.9	-0.09	-0.13	-0.14	-0.15	-0.16	-0.17	-0.19	—	—	—	—
1.0	-0.10	-0.15	-0.15	-0.16	-0.17	-0.17	-0.20	-0.20	—	—	—
1.2	-0.10	-0.15	-0.15	-0.16	-0.17	-0.17	-0.20	-0.22	—	—	—
1.5	-0.15	-0.20	-0.20	-0.22	-0.25	-0.25	-0.27	-0.27	-0.29	—	—
1.8	-0.15	-0.20	-0.20	-0.22	-0.25	-0.25	-0.27	-0.27	-0.29	-0.30	—
2.0	-0.15	-0.20	-0.20	-0.24	-0.26	-0.26	-0.28	-0.28	-0.30	-0.30	—
2.3	-0.20	-0.22	-0.23	-0.26	-0.28	-0.28	-0.29	-0.29	-0.30	-0.30	—
2.5	-0.20	-0.25	-0.25	-0.28	-0.29	-0.29	-0.30	-0.30	-0.32	-0.32	—
3.0	-0.25	-0.30	-0.30	-0.33	-0.34	-0.34	-0.35	-0.35	-0.36	-0.36	—
3.5	-0.25	-0.30	-0.30	-0.34	-0.35	-0.35	-0.36	-0.36	-0.37	-0.37	—
4.0	-0.25	-0.30	-0.30	-0.35	-0.36	-0.36	-0.37	-0.37	-0.38	-0.38	—
5.0	-0.30	-0.35	+0.10 -0.35	+0.10 -0.36	+0.10 -0.37	±0.10 -0.37	+0.10 -0.42	+0.10 -0.42	+0.10 -0.45	+0.10 -0.45	—
6.0	-0.30	-0.40	+0.10 -0.40	+0.10 -0.41	+0.10 -0.42	+0.10 -0.42	+0.10 -0.42	+0.10 -0.42	+0.10 -0.45	+0.10 -0.45	—
7.0	-0.30	-0.40	+0.10 -0.40	+0.10 -0.42	+0.10 -0.43	+0.10 -0.43	+0.10 -0.50	+0.10 -0.50	+0.10 -0.50	+0.10 -0.50	—
8.0	-0.35	-0.40	+0.10 -0.45	+0.10 -0.46	+0.10 -0.47	+0.10 -0.47	+0.10 -0.50	+0.10 -0.50	+0.10 -0.50	+0.10 -0.50	—
9.0	-0.35	-0.45	+0.10 -0.45	+0.10 -0.47	+0.10 -0.48	+0.10 -0.49	+0.10 -0.50	+0.10 -0.50	+0.10 -0.50	+0.10 -0.50	—
10	-0.40	-0.50	+0.10 -0.50	+0.10 -0.50	+0.10 -0.50	+0.10 -0.50	+0.10 -0.50	+0.10 -0.50	+0.10 -0.50	+0.10 -0.50	—
12											
14											
15											
16	—		±0.5			±1.0			±1.5		
18											
20											
22											
25	—		±0.75			±1.5			±2.0		
30											
35											
40	—		±1.0			±1.5			±2.5		

(续)

厚度	标准宽度											
	400~600	800	1000	1200	1500	1600	1800	2000	2200	2400	2500	
厚度允许偏差												
50 60	—	±1.5	±2.0					±3.0				
70 80	—	±3.0	±3.5					±4.0				
90 100 110 120	—	±3.5	±5					±5.5				
130 140 150	—	±4.0	±5.5					±6.0				

注：1. 非标准厚度板材的允许偏差按其相邻较小标准厚度的允许偏差。
2. LF3、LF5、LF6、LF11、LT41合金厚板，厚度允许偏差为其公称厚度的±5%。

薄板宽度的允许偏差为：

≤1000时 +5, -3;

>1000~2000时 +10, -5;

>2000~2400时 ±10。

板材标准长度为2~10m，间距为0.5m。厚度≤4.0mm时长度允差为+25, -5。

计算理论重量时，可取LC₄的比重为2.85，其它牌号铝合金的比重换算系数如表2。

表2. 各种铝合金的比重换算系数

合金牌号	比重换算系数	合金牌号	比重换算系数
LC4, LC9	1.000	LT41	0.926
LD2, LD21	0.947	LT62	0.951
LD10	0.982	LT66	0.940
LF2, LF43	0.940	LY6	0.968
LF4, LF3	0.937	LY11	0.982
LF5, LF11	0.930	LY12	0.975
LF6	0.928	LY16	0.998
LF21	0.958	纯铝	0.951
LQ1, LQ2	0.960		

1.3.7.3 可热处理强化的铝合金板 (GBn167-82)

产品供应的牌号和状态应符合表1规定。

表1. 铝合金板的供应状态

分 类	合 金 牌 号	供 应 状 态
蒙 皮 板	LY12, LY16	MO, CZO, BCZO, CZYO
	LY16, LC4, LC9	MO, CSO, BCSO, CSYO
涂 漆 蒙 皮 板	LY12, LY16	MQ, CZQ, BCZQ, CZYQ
	LY16, LC4, LC9	MQ, CSQ, BCSQ, CSYQ
结 构 板	LD2	M, CZ, CS
	LY6	M, CZ, CS, CZY, CSY
	LY11	M, CZ
	LY12	M, BM, JM, CZ, BCZ, ICZ CZY, BCZY
	LY16	M, CZ, CS
	LC4, LC9	M, CS, CSY
变 断 面 板	LY12	M, CZ, MO, CZO, MQ, CZQ
	LC4, LC9	M, CS, MO, CSO, MQ, CSQ

板材供应的规格应符合表2规定。

表2. 铝合金板的供应规格 (mm)

分 类	厚 度	宽 度	长 度
蒙 皮 板	0.5~4.0	1000, 1200, 1500	2000~4000
涂 漆 蒙 皮 板 和 结 构 板	0.3~0.4	1000, 1200, 1500	2000~4000
	>0.4~10.0	1000, 1200, 1500	2000~4000
变 断 面 板	厚端≤5.0 薄端≥1.0	≤1000	≤4000
		>1000~1400	≤3000
		>1400~1500	≤2000

LC4、LC9合金采用LB1合金包覆；LY6、LY11、LY12、LY16合金采用LB2合金包覆。轧制后，包覆层的平均厚度应符合表3规定。

板材的不平度（即将板材自由放在平台上，板面与平台的间隙）应符合表4规定。

标记示例

1. 用四号超硬铝制造的淬火人工时效状态，厚度为2.0mm、宽度为1200mm、长度为4000mm的蒙皮板，标记为：

板LC4 CSO2.0×1200×4000 GBn167-82

2. 用十二号硬铝制造的淬火自然时效状态，厚端的厚度为4.0mm、薄端的厚度为

表 3

包铝类型	合金牌号	厚度 (mm)	每面包覆层厚度占总厚度的百分比, % 不小于
正常包铝	LY6	0.3~0.7	7.5
		>0.7~1.5	4.0
		>1.5~2.5	2.5
		>2.5~10.0	2.0
	LC4, LC9, LY11 LY12, LY16	≤2.5	4.0
		>2.5	2.0
工艺包铝	LY12	所有	≤1.5
加厚包铝	LY12	0.5~4.0	8.0

注: 经供需双方协商, 工艺包铝的厚板, 可供应单面包铝或不包铝的板材。

表 4

(mm)

分类	厚度	宽度	不平度, 不大于	
			短边	长边及中间
蒙皮板及涂漆蒙皮板	0.3~1.5	<1200	20	4
		1200~1500	20	5
	>1.5~4.0	≤1500	30	6
涂漆蒙皮板	>4.0~6.5	<1200	35	7
		1200~1500	35	8
	>6.5~10.0	≤1500	35	12
变断面蒙皮板	≤1.5	≤1200	20	4
	>1.5~5.0	≤1500	20	7
结构板和变断面结构板	0.3~1.5	<1200	20	14
		1200~1500	20	16
	>1.5~4.0	≤1500	30	18
	>4.0~6.5		35	20
	>6.5~10.0		40	20

注: 1. 短边系指由短边边部沿长边方向300mm所包含的部分版面。

2. 变断面板的厚度系指薄端厚度。

2.74mm、宽度为1000mm、长度为3000mm的变断面涂漆蒙皮板、标记为:

板LY12 CZQ4.0×2.74×1000×3000 GBn167-82

板材室温横向机械性能应符合表5的规定。

以退火状态供应的板材, 经淬火时效后的室温横向机械性能应符合表6的规定。

表5. 铝合金板的室温横向机械性能

合金牌号	状 态	厚 度 (mm)	抗拉强度 σ_b (kgf/mm ²)	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²)	伸长率 e_{10} (%)
			不 小 于		
LD2	M	0.3~5.0	≤15.0	—	20
		>5.0~10.0	≤16.0	—	15
	CZ	0.3~0.6	20.0	—	18
		>0.6~3.0	20.0	—	20
		>3.0~5.0	20.0	—	18
		>5.0~10.0	18.0	—	16
	CS	0.3~5.0	30.0	—	10
		>5.0~10.0	30.0	—	8
LC4	M	0.5~10.0	≤25.0	—	10
	CS	0.5~2.5	49.0	41.0	7
		>2.5~10.0	50.0	42.0	7
	CSY	1.2~6.5	53.0	46.0	6
LC9	M	0.5~10.0	≤25.0	—	10
	CS	0.5~2.5	49.0	42.0	7
		>2.5~10.0	50.0	43.0	7
	CSY	1.2~6.5	53.0	47.0	6
LY6	M	0.3~1.5	≤23.0	—	10
		>1.5~10.0	≤24.0	—	10
	CZ	0.3~0.7	37.0	23.5	13
		>0.7~1.5	41.5	27.5	13
		>1.5~2.5	43.0	28.0	12
		>2.5~6.0	43.5	28.0	11
LY6	CZ	6.0~10.0	435	280	10
	CZY	1.5	435	340	10
		>1.5~2.5	460	350	8
		>2.5~6.5	465	360	8
	CSY	1.5~2.5	510	400	10
		>2.5~6.5	520	420	9
LY11	M	0.3~2.5	≤230	—	12
		>2.5~10.0	≤240	—	12
	CZ	0.3~2.5	370	190	15
		>2.5~10.0	380	200	15

(续)

合金牌号	状 态	厚 度 (mm)	抗拉强度 σ_b (kgf/mm ²)	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²)	伸长率 ϵ_{10} (%)
			不 小 于		
LY12	M	0.3~4.0	≤220	—	14
		>4.0~10.0	≤240	—	12
	BM	0.3~3.0	≤240	—	12
		>3.0~10.0	≤240	—	11
	JM	0.5~4.0	≤230	—	10
	M (变断面)	1.0~2.5	≤230	—	10
		>2.5	≤240	—	10
	CZ (包括变断面 面板)	0.3~2.5	415	275	13
		>2.5~6.0	435	285	11
		>6.0~10.0	435	285	10
	BCZ	0.3~1.5	450	295	13
		>1.5~6.0	450	285	11
		>6.0~10.0	450	295	10
	ICZ	0.5~4.0	370	235	13
	CZY	1.5~2.5	435	340	10
		>2.5~6.5	465	350	8
BCZY	1.5~3.0	485	365	10	
	>3.0~6.5	485	365	8	
LY16	M	0.3~10.0	≤240	—	15
	CZ	0.3~10.0	280	—	12
	CS	0.3~10.0	380	280	8

表 6

合金牌号	试样状态	厚 度 (mm)	抗拉强度 σ_b (kgf/mm ²)	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²)	伸长率 ϵ_{10} (%)
			不 小 于		
LC4	MCS	0.5~2.5	48.0	40.0	7
		>2.5~10.0	48.0	41.0	7
LC9	MCS	0.5~2.5	48.0	41.0	7
		>2.5~10.0	48.0	42.0	7
LD2	MCS	0.3~5.0	28.5	—	10
		>5.0~10.0	28.5	—	8

(续)

合金牌号	试样状态	厚度 (mm)	抗拉强度 σ_b (kgf/mm ²)	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²)	伸长率 e_{10} (%)
			不 小 于		
LY6	MCZ	0.3~0.7	35.5	22.0	13
		>0.7~1.5	40.0	26.0	13
		>1.5~2.5	41.5	26.5	12
		>2.5~6.0	42.0	26.5	11
		>6.0~10.0	42.0	26.5	10
LY11	MCZ	0.3~2.5	36.0	19.0	15
		>2.5~10.0	36.0	20.0	15
LY12	MCZ	0.3~0.8	40.0	25	15
		>0.8~2.5	40.0	26	15
		>2.5~10.0	42.0	27	12
	BMCZ	0.3~10.0	43.5	28.0	10
	JMCZ	0.5~4.0	35.5	22.5	13
LY16	MCS	0.3~10.0	38.0	27.0	8

注：1. 以淬火自然时效状态供应的 LD2和 LY16合金板材，可测试淬火人工时效状态的性能，但必须在合同中注明。

2. 对于变断面板，表中的厚度指薄端厚度。

1.3.7.4 不可热处理强化的铝及铝合金板 (YB606-66)

板材品种按YB605-66的规定。

板材仅供应下列状态：退火的 (M)；半冷作硬化的 (Y_2)；冷作硬化的 (Y)。

板材的横向机械性能如表：

铝板的横向机械性能

代号	供应状态	厚度 (mm)	σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	e ($L=11.3\sqrt{F_0}$) (%)
			不 小 于		
L1 L2 L3	退火的(M)	0.3~0.5	<110	—	20
		0.51~0.9	<110	—	25
		0.91~1.0	<110	—	28
L4 L5 L6	半冷作硬化的(Y_2)	0.3~0.4	100	—	3
		0.41~0.7	100	—	4
		0.71~1.0	100	—	5
		1.1~4.0	100	—	6
	冷作硬化的(Y)	0.3~4.0	140	—	3
		4.1~6.0	130	—	4

(续)

代 号	供 应 状 态	厚 度 (mm)	σ_b	$\sigma_{0.2}$	e ($L=11.3\sqrt{L_0}$) (%)
			(MPa)	(MPa)	
LF2	退火的(M)	0.3~1.0	170~230	—	16
		1.1~10	170~230	—	18
	半冷作硬化的(Y ₂)	0.3~1.0	240	—	4
		1.1~6.5	240	—	6
	冷作硬化的(Y)	0.3~1.0	270	—	3
		1.1~4.0	270	—	4
LF3	退火的(M)	0.5~4.5	200	100	15
	半冷作硬化的(Y ₂)	0.5~4.5	230	200	8
LF5 LF11	退火的(M)	0.5~4.5	280	150	15
LF6	退火的(M)	0.5~4.5	320	160	15
LF21	退火的(M)	0.3~3.0	100~150	—	22
		3.1~10	100~150	—	20
	半冷作硬化的(Y ₂)	0.3~6.5	150~220	—	6
	冷作硬化的(Y)	0.3~0.5	190	—	1
		0.6~0.8	190	—	2
		0.9~1.2	190	—	3
1.3~6.0		190	—	4	

1.3.7.5 铝及铝合金薄壁管 (YB611-66)

管材的机械性能如下表:

铝管材的机械性能

代 号	供 应 状 态	管 材 尺 寸 (mm)		σ_b	$\sigma_{0.2}$	e (%)
		外 径	壁 厚	(MPa)	(MPa)	
LY11	退火的(M)	所 有 尺 寸		≤250	—	10
		<22	≤1	380	200	13
	1.5~2.0		14			
	淬火后自然时效(CZ)	22~50	≤1	400	230	12
			1.5~5.0			13
		>50	≤5			11
		型 管				12

(续)

代 号	供 应 状 态	管 材 尺 寸 (mm)		σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	ϵ (%)
		外 径	壁 厚			
LY12	退火的(M)	所 有 尺 寸		≤ 250	—	10
	淬火后自然时效(CZ)	< 22	≤ 1	420	260	13
			1.5~2.0			14
		22~50	≤ 5.0	430	290	12
		> 50	≤ 5.0			10
型 管			270	10		
LD2	退火的(M)	所 有 尺 寸		≤ 150	—	17
	淬火自然时效(CZ)			210	—	14
	淬火人工时效(CS)			310	—	8
LF2	退火的(M)	所 有 尺 寸		170~230	—	—
	半冷作硬化(Y ₂)			210	—	—
	冷作硬化(Y)			< 50	≤ 5.0	230
≥ 50		220	—	—		
LF3	退火的(M)	所 有 尺 寸		180	80	15
	半冷作硬化(Y ₂)			220	130	8
LF5	退火的(M)	所 有 尺 寸		220	90	15
	半冷作硬化(Y ₂)			250	150	8
LF6	退火的(M)	所 有 尺 寸		320	150	15
LF21	退火的(M)	所 有 尺 寸		< 140	—	—
	冷作硬化(Y)			140	—	—
L2、L3、 L4、L6	退火的(M)	所 有 尺 寸		≤ 120	—	20
L4、L6	冷作硬化(Y)	所 有 尺 寸	≤ 2.0	110	—	4
			2.5~5.0	100	—	5
L2、L3	冷作硬化(Y)	所 有 尺 寸	2.5~5.0	70	—	—

1.3.7.6 铝及铝合金挤压型材 (YB615-66)

1. 挤压型材根据其横截面分为:

等截面型材;

一般型材;

高精度型材;

逐渐变截面型材。

2. 根据供应状态分为:

热挤压的 (R);
退火的 (M);
淬火及自然时效的 (CZ);
淬火及人工时效的 (CS)。

型材的尺寸及其允许偏差按表1的规定。

表1. 铝型材的尺寸公差 (mm)

型材的公称尺寸	允 许 偏 差	
	一 般 型 材	高 精 度 型 材
	+0.20	
<1.49	-0.10	±0.10
1.5~2.0	±0.20	±0.15
3.0~3.5	±0.25	±0.15
3.6~6.0	±0.30	±0.15
6.1~12.0	±0.35	±0.20
12.1~25.0	±0.45	±0.35
25.1~50.0	±0.60	±0.40
50.1~75.0	±0.70	±0.45
75.1~100.0	±0.85	±0.50
100.1~125.0	±1.00	±0.60
125.1~150.0	±1.10	±0.70
150.1~175.0	±1.20	±0.80
175.1~200.0	±1.30	±0.90
200.1~225.0	±1.50	±1.00
225.1~250.0	±1.60	±1.10
250.1~275.0	±1.70	±1.20
275.1~300.0	±1.90	±1.30
300.1~325.0	±2.00	±1.30

型材的纵向机械性能应符合表2的规定:

表2. 铝型材的纵向机械性能

合金牌号	型材或试样状态及代号	型材壁厚 (mm)	抗拉强度	屈服强度	伸长率
			σ_b (kgf/mm ²)	$\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²)	e (%) ^①
			不	小	于
LC4	淬火和人工时效 (CS)	≤10.0	51	44	6
		10.1~20.0	54	45	6
		20.1~40.0	57	47	6
		>40.0	58	50	6
	退火 (M)	所有	<28	—	40
LC6	淬火和人工时效 (CS)	所有	60	55	40
LY6	淬火和自然时效 (CZ)	≤5.0	40	30	10
		5.1~10.0	42	30	10
		10.1~20.0	43	31	10
		20.1~40.0	45	32	
	退火 (M)	所有	<25	—	12

(续)

合金牌号	型材或试样状态及代号	型材壁厚(mm)	抗拉强度	屈服强度	伸长率 e(%) ^①
			σ_b (kgf/mm ²)	$\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²)	
			不	小	于
LY11	淬火和自然时效(CZ)	≤10.0	36	22	12
		10.1~20.0	38	23	12
>20.0		41	25	10	
	退火(M)	所有	<25	—	12
LY12	淬火和自然时效(CZ)	≤50	40	30	10
		5.1~10.0	42	30	10
		10.1~20.0	43	31	10
		20.1~40.0	45	32	10
		>40.0	48	36	10
	退火(M)	所有	<25	—	12
LY18	淬火和人工时效(CS)	所有	35	24	8
LD2	淬火和自然时效(CZ)	所有	180	—	14
	淬火和人工时效(CS)	所有	300	230	10
LF2	热挤压(R) 或退火(M)	所有	<230	—	12
LF3	热挤压(R) 或退火(M)	所有	180	80	12
LF5、LF11	热挤压(R) 或退火(M)	所有	260	130	15
LF6	热挤压(R) 或退火(M)	所有	320	160	15
LF21	热挤压(R) 或退火(M)	所有	<170	—	16
L4、L8	热挤压(R) 或退火(M)	所有	<110	—	20

①壁厚<10mm时, $L_0=11.3\sqrt{F_0}$ 。

型材的横向性能应符合表3的规定。

表 3

合金牌号	型材或试样 状态及代号	取样部位	抗拉强度	屈服强度	伸长率 $e(\%)L_0=5.65\sqrt{F_0}$ 或5d
			σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	
			不	小	于
LY12	淬火和自然时效 (CZ)	横向 高向	400	280	6
			350	290	4
LC4	淬火和人工时效 (CS)	横向 高向	500	—	4
			480	—	3

1.3.7.7 工业用纯铝箔 (GB3198-82)

产品的牌号及其供应状态应符合表1的规定。

纯铝箔的尺寸及允许偏差应符合表2的规定。

标记示例

用二号工业纯铝制造的退火状态,厚度为0.007mm,宽度为260mm的箔材标记为:

箔 L2M0.007×260 GB3198-82

纯铝箔的室温机械性能应符合表3的规定。

表1. 牌号及供应状态

牌 号	供 应 状 态
L1, L2, L3, L4, L5, L6	M, Y

表2. 纯铝箔的尺寸及允许偏差

(mm)

厚 度	厚度允许偏差	宽 度	宽度允许偏差		理论重量 g/m ²
			≤200	>200	
0.006	±0.001	40~950	±0.5	±1.0	18.20
0.007	±0.0015				18.80
0.0075					20.25
0.008					21.60
0.009					24.30
0.010					27.00
0.012	±0.002	80~1000	±0.5	±1.0	32.40
0.014					37.80
0.016					43.20
0.020					54.00
0.025	±0.003				67.50
0.030					81.00
0.040	±0.004				108.00
0.050					135.00
0.060	±0.006				162.00
0.070					189.00
0.080	±0.008	80~1000	±0.5	±1.0	216.00
0.100					270.00
0.120	±0.010				324.00
0.150					405.00
0.200	±0.015				540.00

注. 纯铝箔的理论重量按公称厚度计算, 比重采用2.7.

表3. 室温机械性能

厚度 mm	抗拉强度 σ_b (kgf/mm ²) 不小于		伸长率 e (%) 不小于	
	M	Y	M	Y
0.006	—	—	—	—
0.007~0.010	3.0	10.0	0.5	—
0.012~0.025	3.0	10.0	1.0	—
0.026~0.040	3.0	10.0	2.0	0.5
0.050~0.200	4.0	12.0	3.0	0.5

1.3.7.8 铝合金箔 (GB3614-83)

合金箔的牌号和状态应符合表1的规定。

表1. 牌号及供应状态

合 金 牌 号	状 态
LF21	M, Y ₂ , Y
LF2, LY11, LY12, LT13	M, Y

合金箔的厚度及厚度允许偏差和宽度应符合表2的规定。

表2. 尺寸及允差

(mm)

厚 度	厚度允许偏差	宽 度
0.030	±0.003	40~360
0.040	+0.002 -0.006	
0.050	±0.004	
0.060	±0.007	
0.070		
0.080		
0.100		
0.120	±0.010	60~440
0.150		
0.180	±0.015	
0.200		

注：经供需双方协议，可供应非标准厚度的箔材，其允许偏差按相邻规格检查。

宽度的允许偏差为： <200 时 ± 0.5 ； ≥ 200 时 ± 1.0 。

标记示例

用二号防锈铝合金制造的退火状态、厚度为0.03mm、宽度为300mm的箔材，标记为：

合金箔 LF2M0.03×300GB3614-83

合金箔的横向（宽度小于170mm为纵向）室温力学性能应符合表3的规定。

表3. 横向室温机械性能

合金牌号	供应状态	厚度 (mm)	抗拉强度 σ_b (kgf/mm ²)	伸长率 e (%)
			不小于	
LF2	M	0.03~0.04	≤ 20	—
	Y		26	—
	M	0.05~0.20	≤ 20	4
	Y		26	0.5
LF21	M	0.03~0.04	6	2
	Y		15	—
	M	0.05~0.20	6	3
	Y		15	—
	Y ₂	0.10~0.20	13~18	1
LY11	M	0.03~0.04	≤ 20	1.5
	Y		21	—
	M	0.05~0.20	≤ 20	3
	Y		22	—
LY12	M	0.03~0.04	≤ 20	1.5
	Y		23	—
	M	0.05~0.20	≤ 21	3
	Y		25	—
LT13	M, Y	0.03~0.20	—	—

1.3.7.9 铅及铝合金的其他性能参数⁽⁸⁾

表1. 纯铅物理性能

性能	单位	数据
密度 ρ	g/cm ³	2.698
熔点	°C	660.1
电阻率 ρ_{20}	$10^{-2}\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$	2.655
电阻温度系数 0°C	$10^{-3}/^\circ\text{C}$	4.23
线胀系数 $\alpha(0\sim 100^\circ\text{C})$	$10^{-6}/^\circ\text{C}$	23.6
导热系数 $\lambda(20^\circ\text{C})$	cal/(cm·s·°C)	0.53
比热 $c(20^\circ\text{C})$	cal/(g·°C)	0.215
弹性模量 E	MPa	10000

表2. 铝合金物理性能

代 号	密度 ρ g/cm ³	导热系数 $\lambda(25^\circ\text{C})$ cal/(cm s $^\circ\text{C}$)	比热 $c(100^\circ\text{C})$ cal/(g $^\circ\text{C}$)	线胀系数 α (20~100 $^\circ\text{C}$) 10 ⁻⁸ / $^\circ\text{C}$	电阻率 ρ (20 $^\circ\text{C}$) 10 ⁻² $\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$
LF2t	2.73	0.43	0.26	23.2	3.45
LF2	2.68	0.37	0.23	24.2	4.76
LF3	2.67	0.35	0.21	23.5	4.96
LF6	2.64	0.28	0.22	23.7	6.73
LY1	2.76	0.39	0.22	23.4	3.90
LY10	2.80	0.35	0.23		5.04
LY11	2.80	0.28	0.22	22.9	5.40
LY12	2.78	0.28	0.22	22.7	5.70
LY2	2.75	0.32	0.20	23.6	5.50
LY6	2.76		0.21		6.10
LY16	2.84	0.33	0.21	22.6	6.10
LC3	2.85	0.38		21.9	4.4
LC4	2.85	0.38		23.1	4.2
LD2	2.7	0.42	0.19	23.5	3.7
LD6	2.75	0.42	0.20	21.4	4.1
LD6	2.75	0.39	0.20	21.4	4.3
LD10	2.8	0.38	0.20	22.5	4.3
LD7	2.8	0.34	0.19	19.6	5.5
LD8	2.77	0.35	0.20	21.8	5.0

表3. 铝在各种介质中耐蚀性比较

耐 蚀	一 般 耐 蚀	不 耐 蚀
大气、石油类、液体、空气、浓硝酸、浓乙酸、甲酸、酒精、丙酮、乙醚、硫、二甲苯、甘油、甲苯、苯、牛乳、肉类	亚硝酸、氨、海水、蚁酸、果汁、混凝土、石灰水、骨胶、尿	亚硫酸、墨水、氟、氯、溴、碘、盐、酸、氢氟酸、磷酸、稀乙酸、碱、稀硫酸、食盐

表4. 铝及其合金加工产品工艺性能

代号和状态	抗应力冷变形			被切削			焊接性能			代号和状态	抗应力冷变形			被切削			焊接性能		
	抗应力 腐蚀裂 纹倾向	冷变形 力性	能	被切削 力性	能	能	气焊	电弧焊	电阻点焊 和缝焊		抗应力 腐蚀裂 纹倾向	冷变形 力性	能	被切削 力性	能	能	气焊	电弧焊	电阻点焊 和缝焊
L2 M Y	优 优	优 良	劣 差	优 优	优 优	良 良	优 优	优 优	良 良	LD10 M CZ	一 中	一 中	差 良	差 差	差 良	良 良	良 良	良 良	
LY1 CZ	优	良	中	差	良	良	差	良	良	LD2 M CZ CS	优 良 优	优 良 中	差 中 中	优 优 优	优 优 优	良 优 优	良 优 优		
LY11 CZ	中	中	良	差	良	良	差	良	良	LC4 M CS	一 中	一 差	差 良	差 差	中 中	良 良	良 良		
LY12 M CZ	一 中	一 中	差 良	差 中	差 良	差 良	差 中	差 良	差 良	LF21 M Y	优 优	优 中	劣 差	优 优	优 优	优 优	优 优		
LY16 M CYSO	一 一	一 差	一 良	差 优	优 优	良 优	差 优	优 优	良 优	LF2 M	优	优	差	优	优	良	良		
LD7 CS	中	一	良	差	中	良	差	中	良	LF3 M	优	优	差	中	优	良	良		

① 淬火冷变形人工时效。

表5. 不同温度下防锈铝的机械性能

代号及状态	机械性能	试 验 温 度 (°C)								
		-253	-196	-70	20	100	150	200	250	300
LF21, M	σ_s (MPa)	390	230	—	130	95	85	70	55	45
	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	70	60	—	50	38	35	31	25	—
	δ (%)	46	40	—	23~30	36	39	41	43	45
LF21, Y ₂	σ_s (MPa)	—	253	187	170	160	145	100	60	30
	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	—	165	140	130	115	100	65	30	18
	δ (%)	—	24	16	10	10	12	20	60	70
LF21, Y	σ_s (MPa)	—	300	230	220	200	180	110	60	30
	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	—	225	196	180	150	120	65	30	18
	δ (%)	—	25	10	8	8	11	18	60	70
LF2, M	σ_s (MPa)	—	310	200	190	170	160	130	110	70
	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	—	160	90	80	80	70	60	—	—
	δ (%)	—	50	38	23	26	35	51	62	75
LF2, Y ₂	σ_s (MPa)	500	380	280	260	260	220	160	80	50
	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	280	260	220	210	210	190	100	50	35
	δ (%)	40	30	21	14	16	25	40	80	100
LF2, Y	σ_s (MPa)	630	440	330	290	—	250	160	90	50
	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	380	330	280	260	—	210	100	70	30
	δ (%)	32	25	11	8	—	24	40	60	100
LF3, M	σ_s (MPa)	450	350	250	235	230	195	140	80	65
	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	125	120	105	100	100	100	90	70	60
	δ (%)	41	42	35	22	22.5	44	52	73	89
LF3, Y ₂	σ_s (MPa)	610	430	330	290	—	240	175	110	70
	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	300	280	250	230	—	195	110	60	40
	δ (%)	35	23	21	13	—	25	35	70	100
LF6, M	σ_s (MPa)	545	470	350	320	300	250	190	160	130
	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	195	185	175	170	150	130	120	100	80
	δ (%)	24.5	26	25	24	31	37	43	45	48

表6. 不同温度下防锈铝疲劳强度($N=5 \times 10^6$)

代号及状态	σ_{-1} (MPa)			
	25°C	150°C	200°C	260°C
LF21, Y ₂	63	39	25	18
LF2, Y	140	98	70	42
LF3, Y	147	102	70	46

表7. 在不同温度下硬铝机械性能

代号	产品种类	机械性能	试验温度 (°C)							
			-253	-196	-70	20	150	200	250	300
LY11	锻件 (淬火时效)	σ_b (MPa)	—	550	450	410	280	150	90	50
		$\sigma_{0.2}$ (MPa)	—	360	280	250	210	110	65	35
		δ (%)	—	21	19	15	16	28	45	95
LY12	轧制的 (淬火时效)	σ_b (MPa)	700	550	470	440	380	330	220	150
		$\sigma_{0.2}$ (MPa)	520	420	320	290	265	255	195	115
		δ (%)	18	24	21	19	19	11	13	13
	挤压的 (淬火时效)	σ_b (MPa)	—	710	540	520	440	420	290	190
		$\sigma_{0.2}$ (MPa)	—	570	390	380	—	—	—	—
		δ (%)	—	17	18	16	14	9	10	12
LY16	挤压的 (淬火时效)	σ_b (MPa)	—	—	410	400	345	300	240	180
		$\sigma_{0.2}$ (MPa)	—	—	—	250	220	210	160	130
		δ (%)	—	—	12	12	11	12	11	14

表8. 不同温度下超硬铝LC4机械性能

产品种类及状态	机械性能	试验温度 (°C)							
		-253	-196	-70	20	100	150	200	250
锻件 (淬火、时效)	σ_b (MPa)	750	640	560	520	480	410	280	150
	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	630	520	470	440	410	350	240	120
	δ (%)	7	9	12	14	14	15	11	16
挤压产品 (淬火、时效)	σ_b (MPa)	810	750	620	600	530	430	330	160
	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	730	640	560	550	500	400	310	150
	δ (%)	5	7	8	8	8	7	4	16

表9. 不同热处理状态下硬铝LY12机械性能^①

性能参数	σ_b (kgf/mm ²)	$\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²)	e (%)	n	r
热处理状态					
供货M状态	17	7.2	18.5	0.15	0.57
使用厂退火M状态	17	6.1	23.7	0.18	0.58
新淬火状态	32.6	13.6	21.5	0.17	0.77
淬火、冷藏、深校一次、自然时效	45.7	29.5	15.6	0.17	0.82

①国营132厂提供。

表10. 不同热处理状态下超硬铝LC4机械性能^①

性能参数 热处理状态	σ_b (kgf/mm ²)	$\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²)	ϵ (%)	n	r
供货M状态	20.5	9.8	16.7	0.13	0.64
使用厂退火M状态	20.5	7.8	17.1	0.12	0.66
新淬火状态	33.7	12.9	20.2	0.17	0.90
淬火, 冷藏, 滚校一次, 人工时效	55.2	48.5	11.5	0.08	0.94

①国营132厂提供。

1.3.7.10 镁合金板金材料 (YB628-73)

表1. 变形镁合金物理性能^{①②}

代号	密度 ρ (g/cm ³)	电阻率 ρ ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	比热 c (20~100°C) (cal/(g·°C))	线胀系数 α (20~100°C) ($10^{-6}/\text{°C}$)	导热系数 λ (30°C) (cal/cm·s·°C)	弹性模量 E (MPa)
MB1	1.76	0.0513	0.25	22.29	0.3	40000
MB2	1.78	0.093	0.25	26.0	0.23 ^①	43000
MB3	1.79	0.120	0.25	26.1	0.23	42000
MB5	1.80	0.153	0.25	24.4	0.165	43000
MB6	1.84	0.196	0.25	23.4	—	45000
MB7	1.82	0.162	0.25	26.3	0.14	43000
MB8	1.78	0.0612	0.25	23.61	0.32	41000
MB14	1.76	0.082	0.32 ^②	22.67	0.265	42000
MB15	1.8	0.0565	0.247	20.9	0.28 ^②	43000

①温度为25°C。

②温度为100°C。

薄板材的尺寸及允差如表2^{①②}

表2. 镁合金板厚度的极限偏差

(mm)

厚度	厚度偏差				厚度	厚度偏差			
	宽度					宽度			
	500	1000	1200	1500		500	1000	1200	1500
0.60	-0.05	-0.12	-0.12		2.00	-0.15	-0.20	-0.24	-0.26
0.80	-0.08		-0.13		2.50	-0.20	-0.25	-0.28	-0.29
1.00	-0.13	-0.15	-0.16	-0.17	3.00	-0.25	-0.30	-0.33	-0.34
1.20					3.50			-0.34	-0.35
1.50	-0.15	-0.20	-0.22	-0.25	4.00			-0.35	-0.36

板材的供应状态有: 热轧(R), 退火(M), 半冷作硬化(Y₂), 蒙皮用优质板(MO)。机械性能如表3^{①②}。

型材的供应状态有: 热挤压状态(R), 热挤压和人工时效状态(S)。机械性能如表4^{①②}。
挤压管材的机械性能如表^{①②}。

表3. 镁合金冷轧板材机械性能

代 号	供应状态	板材厚度 (mm)	σ_b	$\sigma_{0.2}$	$e(L=11.3\sqrt{F_0})$
			(MPa)	(MPa)	(%)
MB1	M	0.8~3.0	190	110	6.0
		3.5~5.0	180	100	5.0
		6.0~10.0	170	90	5.0
MB2	M	0.8~3.0	240	130	12.0
		3.5~10.0	230	120	12.0
MB3	M	0.8~3.0	250	150	12.0
		3.5~5.0	240	140	12.0
		6.0~10.0	240	140	10.0
MB8	M	0.8~3.0	230	120	12.0
		3.5~5.0	220	100	11.0
		6.0~10.0	220	100	11.0
	Y2	0.8~3.0	250	160	10.0
		3.5~5.0	250	140	8.0

注：机械性能为纵向性能。

表4. 镁合金型材机械性能

代 号 状 态	机械性能 (不小于)		
	σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	e (%)
MB1(R)	260	—	4
MB8(R)	230	—	10
MB15(S)	320	250	7

表5. 镁合金挤压管材机械性能

代 号	状 态	机 械 性 能	
		σ_b (MPa)	e (%)
MB3	退火 (M)	260	9.0
	热挤压 (R)	260	9.0
MB8	退火 (M)	230	8.0
	热挤压 (R)	230	8.0

表6. MB15合金低温机械性能^[5]

材料品种及状态	试验温度(°C)	抗拉强度 (MPa)		e_{10} (%)	ψ (%)	σ_K (N·m/cm ²)	$\frac{\sigma_{b.H}}{\sigma_b}$
		光滑试样 σ_b	带缺口试样 $\sigma_{b.H}$				
挤压带材(截面80×40)S状态	+20	330	400	11	18	6	1.2
	-40	390	420	9.0	10	5	1.08
	-70	410	460	8.0	8	4	1.11

σ_K ——冲击韧性。

表7. MB8合金低温机械性能(1.2mm退火板材)

试样形式	试验温度°C	纵向		横向	
		σ_b (MPa)	e (%)	σ_b (MPa)	e (%)
光滑试样	-70	34.0	9.0	29.0	14.0
	-40	33.0	12.5	30.0	15.5
	+20	26.5	11.0	22.0	18.0
带缺口试样	-70	26.5	—	19.0	—
	-40	27.0	—	22.0	—
	+20	24.5	—	19.0	—

1.3.7.11 铜及铜合金板金材料

1.3.7.11.1 品种规格

1. 纯铜板 (GB2040-80)

材料牌号有 T2、T3、T4 和 TUP。

供应状态有热轧 (R)、软 (M)、硬 (Y)。

冷轧板的厚度及其允许偏差如表1。

冷轧板的宽度允许偏差为-10mm, 但宽度为1100mm以上者为-20mm。

冷轧板的长度允许偏差为-15mm, 但宽度为1100mm以上者为-30mm。

2. 黄铜板 (GB2041-80)

材料牌号有H59、H62、H65、H68、H80、H90、H96、HPb59-1、HSn62-1、HMn58-2。

供应状态有热轧 (R)、软 (M)、半硬 (Y₂)、硬 (Y)、特硬 (T)。合同中未注明时均按硬状态供应。

冷轧板的厚度及允许偏差如表2。

冷轧板的宽度允许偏差为-10mm, 但宽度为1100mm以上者为-20mm。

3. 白铜板 (GB2050-80)

表1. 纯铜冷轧板的厚度及其允许偏差

(mm)

厚度	宽度							理论重量 kg/m ² (密度8.9)
	200~400	>400~600	>600~800	>800~1000	1100~1500	1600~2000	2100~2500	
厚度允许偏差								
0.2	-0.06	—	—	—	—	—	—	1.78
0.3	-0.06	—	—	—	—	—	—	2.67
0.4	-0.07	-0.07	-0.10	—	—	—	—	3.56
0.5	-0.07	-0.07	-0.10	—	—	—	—	4.45
0.6	-0.07	-0.08	-0.11	—	—	—	—	5.34
0.7	-0.08	-0.08	-0.11	—	—	—	—	6.23
0.8	-0.08	-0.10	-0.12	-0.15	—	—	—	7.12
0.9	-0.09	-0.10	-0.14	-0.17	—	—	—	8.01
1.0	-0.09	-0.12	-0.14	-0.17	—	—	—	8.90
1.1	-0.10	-0.12	-0.14	-0.18	—	—	—	9.79
1.2	-0.10	-0.14	-0.16	-0.18	—	—	—	10.68
1.3	-0.10	-0.14	-0.16	-0.18	—	—	—	11.57
1.5	-0.10	-0.16	-0.18	-0.21	—	—	—	13.35
1.6	-0.12	-0.16	-0.18	-0.21	—	—	—	14.69
1.8	-0.12	-0.16	-0.18	-0.21	—	—	—	16.02
2.0	-0.12	-0.18	-0.20	-0.21	—	—	—	17.80
2.2	-0.12	-0.18	-0.20	-0.24	—	—	—	19.68
2.5	-0.12	-0.18	-0.22	-0.24	—	—	—	22.25
2.8	-0.14	-0.20	-0.24	-0.24	—	—	—	24.92
3.0	-0.14	-0.20	-0.24	-0.24	-0.35	-0.45	—	26.70
3.5	-0.16	-0.23	-0.27	-0.30	-0.40	-0.50	—	31.15
4.0	-0.18	-0.23	-0.27	-0.30	-0.40	-0.50	—	35.60
4.5	-0.20	-0.26	-0.30	-0.35	-0.45	-0.55	—	40.05
5.0	-0.20	-0.26	-0.35	-0.37	-0.50	-0.60	-0.70	44.50
5.5	-0.25	-0.30	-0.35	-0.37	-0.50	-0.60	-0.70	48.95
6.0	-0.25	-0.30	-0.35	-0.37	-0.50	-0.60	-0.70	53.40
6.5	-0.25	-0.35	-0.37	-0.40	-0.50	-0.60	-0.70	57.85
7.0	-0.25	-0.37	-0.40	-0.45	-0.55	-0.65	-0.75	62.30
7.5	-0.25	-0.37	-0.40	-0.45	-0.55	-0.65	-0.75	66.75
8.0	-0.25	-0.37	-0.40	-0.45	-0.55	-0.65	-0.75	71.20
9.0	-0.30	-0.40	-0.45	-0.50	-0.60	-0.70	-0.80	80.10
10.0	-0.30	-0.40	-0.45	-0.50	-0.60	-0.70	-0.80	89.0

注：宽度1100mm以上的冷轧板，最大长度为3000mm。

材料牌号有B5、B19、B30、B10。

供应状态有热轧(R)、软(M)、硬(Y)。

冷轧板的厚度及其允许偏差按表3的规定。

白铜冷轧板的宽度允许偏差按表4的规定。

4. 铝青铜带(GB2062-80)

带材的尺寸及其允许偏差，按表5的规定。

表2. 黄铜冷轧板的厚度及其允许偏差

(mm)

厚度	宽 度						理论重量		
	200~400	>400~600	>600~800	>800~1000	>1000~1500	>1500~2000	>2000~2500	kg/m ²	
	普通精度	较高精度	厚 度 允 许 偏 差						(密度 8.8)
0.20								1.76	1.70
0.25	-0.06	-0.05						2.20	2.12
0.30								2.64	2.55
0.35								3.08	2.98
0.40								3.52	3.40
0.45	-0.07	-0.06	-0.07					3.96	3.82
0.50								4.40	4.25
0.55								4.84	4.68
0.60			-0.08					5.28	5.10
0.70	-0.08	-0.07						6.16	5.95
0.80			-0.09	-0.12				7.04	6.80
0.90	-0.09	-0.08	-0.10					7.92	7.65
1.00			-0.11	-0.14	-0.18			8.80	8.50
1.10				-0.14				9.68	9.35
1.20	-0.10	-0.09	-0.12		-0.18			10.56	10.20
1.35				-0.16				11.88	11.48
1.50			-0.14					13.20	12.75
1.65				-0.18				14.52	14.02
1.80			-0.15		-0.21			15.84	15.30
2.00	-0.12	-0.10		-0.20				17.60	17.00
2.25								19.80	19.12
2.50				-0.22				22.00	21.25
2.75	-0.14		-0.16		-0.24	-0.35	-0.45	24.20	23.38
3.00				-0.24				26.40	25.50
3.50	-0.18	-0.12						30.80	29.75
4.0	-0.18		-0.20	-0.27	-0.30	-0.40	-0.50	35.20	34.00
4.50				-0.30	-0.35	-0.45	-0.55	39.60	38.25
5.00	-0.20		-0.22					44.00	42.50
5.50				-0.35	-0.37			48.40	46.75
6.0			-0.25			-0.50	-0.60	52.80	51.00
6.50	-0.25	-0.15		-0.37	-0.40			57.20	55.25
7.0								61.60	59.50

(续)

厚度	宽 度							理论重量 (kg/m ²)		
	200~400	>400~600	>600~800	>800~1000	>1000~1500	>1500~2000	>2000~2500	(密度 8.8)	(密度 8.5)	
	普通精度	较高精度	厚 度 允 许 偏 差							
7.50			-0.27	-0.40	-0.45	-0.55	-0.65	-0.75	66.00	63.75
8.0									70.40	68.00
9.0									79.20	76.50
10.0	-0.30	-0.18	-0.30	-0.45	-0.50	-0.60	-0.70	-0.80	88.00	85.00

注：1. 宽度等于或大于1100mm的冷轧板，最大供应长度为3000mm。

2. 表中比重为参考值，H96、H90的比重按8.8；H80、H68、H65、H62、H59、HPb59-1、HSn62-1、HMn58-2的比重按8.5，理论重量不作供货依据。

表3. 白铜冷轧板的厚度及允差

(mm)

厚 度	宽 度				长度	长度允许偏差	理论重量 kg/m ² (密度 8.9)
	100~300	>300~600	>600~1000	>1000~1500			
	厚 度 允 许 偏 差						
0.5					<2000	-5 (宽度>600为-25)	4.45
0.6	-0.06	-	-				5.34
0.7							6.23
0.8							7.12
0.9	-0.08	-0.12	-0.18				8.01
1.0							8.90
1.2							10.68
1.5	-0.10	-0.16	-0.22				13.35
1.8							16.02
2.0	-0.11	-0.18	-0.24				17.80
2.5	-0.13	-0.22	-0.27				22.25
3.0	-0.13	-0.22	-0.27				26.70
3.5							31.50
4.0	-0.15	-0.24	-0.30				35.60
4.5							40.05
5.0	-0.20	-0.27					44.50
5.5			-0.35				48.95
6.0	-0.25	-0.30		-0.45			53.40
6.5							57.85
7.0							62.30
7.5	-0.30	-0.35	-0.40	-0.50	66.75		
8.0					71.20		

(续)

厚度	宽 度				长度	长度允许偏差	理论重量 (kg/m ²) (密度 8.9)
	100~300	>300~600	>600~1000	>1000~1500			
厚度允许偏差							
8.5					<2000	-15 (宽度>600为-25)	75.65
9.0	-0.35	-0.40	-0.45	-0.55			80.10
10.0							89.00

- 注：1. 板材的宽度分为定尺、倍尺和不定尺三种。倍尺宽度允许偏差为+10mm，长度允许偏差为+15mm。
 2. 不定尺板材，每批许可交付重量不大于15%，长（宽）度不小于最小长（宽）度2/3的短尺板材，但板材的长度不得小于宽度。
 3. 经双方协议，可供应其它规格和允许偏差的板材。

表4. 白铜冷轧板的宽度及允差 (mm)

宽 度	厚 度		
	0.5~1.5	1.8~5.0	5.5~10
宽度允许偏差			
100~300	-4.0	-5.0	-6.0
>300~600	-8.0	-9.0	-10
>600~1500	-12	-15	-20

表5. 铝青铜带的尺寸及允差 (mm)

厚度	厚度允许偏差		宽 度		长 度	理论重量 (kg/m ²)			
	普通精度	较高精度	30~150	>150~300		QA15 (密度8.2)	QA17 (密度7.8)	QA19-2 (密度7.6)	QA19-4 (密度7.5)
			宽度允许偏差						
0.05					≥2000	0.41	0.39	0.38	0.37
0.06						0.49	0.47	0.45	0.45
0.07	-0.10	-				0.57	0.54	0.53	0.52
0.08						0.66	0.62	0.61	0.60
0.09						0.74	0.70	0.68	0.67
0.10	-0.02	-0.015				0.82	0.78	0.76	0.75
0.12						0.98	0.93	0.91	0.90
0.15						1.23	1.17	1.11	1.12
0.18						1.47	1.40	1.37	1.35
0.20	-0.03	-0.02	-0.6	-1.0		1.64	1.56	1.52	1.50
0.22						1.80	1.76	1.67	1.65
0.25						2.05	1.95	1.90	1.87
0.30						2.46	2.34	2.28	2.25
0.35						2.81	2.73	2.66	2.62
0.40	-0.04	-0.03				3.28	3.12	3.04	3.00
0.45						3.69	3.51	3.42	3.37
0.50	-0.05	-0.04			4.10	3.90	3.80	3.70	
0.55					4.51	4.29	4.18	4.12	

(续)

厚度	厚度允许偏差		宽 度		长 度	理论重量 (kg/m ²)			
	普通精度	较高精度	30~150	>150~300		QA15	QA17	QA19-2	QA19-4
			宽度允许偏差			(密度8.2)	(密度7.8)	(密度7.6)	(密度7.5)
0.60	-0.06	-0.05	-0.6	-1.0	≥2000	4.92	4.68	4.58	4.50
0.65						5.33	5.07	4.94	4.87
0.70						5.74	5.46	5.32	5.25
0.75						6.15	5.85	5.70	5.62
0.80						6.56	6.24	6.08	6.00
0.85	6.97	6.63	6.46	6.37					
0.90	-0.07	-0.06				7.38	7.02	6.84	6.75
0.95						7.79	7.41	7.13	7.13
1.00	-0.08	-0.07	-1.0	-1.5		8.20	7.80	7.60	7.50
1.10						8.02	8.58	8.36	8.25
1.20					8.84	9.36	9.12	9.00	

带材的供应状态：软(M)；半硬(Y₂)；硬(Y)；特硬(T)。

注：供应状态须在合同中注明，否则按硬状态供应。

标记举例：

用QA15制造的普通精度、厚度为1.0mm，宽度为200mm的硬带，标记为：

带 QA15Y 普通1.0×200GB2062-80

1.3.7.11.2 物理性能⁽⁹⁾

表1. 白铜物理性能

合金代号	密度 ρ (g/cm ³)	线膨胀系数 α (10 ⁻⁶ /°C)	比热 c (cal/(g·°C))	导热系数 λ (cal/(cm·s·°C))	电阻率 ρ (Ω ·mm ² /m)	电阻温度系数 α (1/°C)
B0.6	8.9	—	—	0.65	0.031	0.0028
B5	8.9	16.3	—	0.31	0.07	0.0015
B10	8.8	16.3	0.09	0.11	—	—
B16	8.9	15.3	—	—	0.223	0.0028
B19	8.0	16.0	0.09	0.092	0.287	0.00029
B30	8.9	15.3	0.09	0.089	—	—
BFe5-1	8.76	13.7	0.13	0.115	0.195	0.0036
BFe30-1-1	8.9	16.0	—	0.089	0.42	0.0012
BA16-1.5	8.7	—	—	—	—	—
BA113-3	8.5	—	—	—	—	—
BZn15-20	8.7	16.6	0.095	0.06~0.085	0.26	0.0002
BZn14-24-1	—	—	—	—	—	—
BMn8-12	8.4	16.0	0.098	0.052	0.435	0.00003
BMn40-1.5	8.9	14.4	0.098	0.05	0.48	0.00002
BMn43-0.5	8.9	14.0	—	0.058	0.49	-0.00014

表2. 紫铜物理性能

性 能	单 位	数 值
熔点	°C	1083
密度 ρ (20°C)	g/cm ³	8.87~8.91
比热 c (20°C)	cal/(g·°C)	0.092
导热系数 λ (20°C)	cal/(cm·s·°C)	0.92
线胀系数 α (20~100°C)	10 ⁻⁶ /°C	16.5
电阻率 ρ (20°C)	10 ⁻³ Ω·mm ² /m	1.724
电阻温度系数 (20°C)	10 ⁻³ /°C	4.28

表3. 变形复杂黄铜物理性能

组别	合金代号	密度 ρ (20°C) (g/cm ³)	线胀系数 α (20°C) (10 ⁻⁶ /°C)	导热系数 λ (20°C) (cal/(cm·s·°C))	电阻率 ρ (20°C) (Ω·mm ² /m)
铅黄铜	HPb74-3	8.70	17.5	0.29	0.078
	HPb64-2	8.50	20.3	0.28	0.068
	HPb63-3	8.50	20.5	0.28	0.066
	HPb60-1	8.50	20.8	0.25	0.064
	HPb59-1	8.50	20.6	0.25	0.065
	HPb59-1A	8.50	20.6	0.25	0.065
锡黄铜	HSn90-1	8.80	18.4	0.30	0.054
	HSn70-1	8.58	19.7	0.22	0.072
	HSn62-1	8.54	18.3	0.26	0.072
	HSn60-1	8.45	21.4	0.24	0.070
铝黄铜	HA177-2	8.60	18.5	0.27	0.075
	HA160-1-1	8.20	21.6	—	—
	HA159-3-2	8.40	19.0	0.20	0.078
锰黄铜	HMn58-2	8.50	21.2	0.168	0.108
铁黄铜	HFe59-1-1	8.50	22.0	0.24	0.093
硅黄铜	HSi80-3	8.60	17.1	0.10	—
	HSi65-1.5-3	8.50	—	—	0.200
镍黄铜	HNi65-3	8.65	18.2	0.14	0.146

表4. 变形简单黄铜物理性能

代 号	密度 ρ (g/cm ³)	导热系数 λ (20°C) (cal/cm·s·°C)	比热 c (cal/g·°C)	线胀系数 α (25~300°C) (10 ⁻⁶ /°C)	电阻率(20°C) (Ω·mm ² /m)	电阻温度系数 (20~100°C) (1/°C)
H96	8.85	0.58	0.093	18.1	0.031	0.0027
H90	8.80	0.40	0.09	18.2	0.039	0.0018
H85	8.75	0.36	0.09	18.7	0.047	0.0016
H80	8.65	0.34	0.09	19.1	0.054	0.0015
H75	8.63	0.29	—	19.6	0.057	—
H70	8.53	0.29	0.09	19.9	0.062	0.00148
H68	8.50	0.28	—	19.9	0.068	0.0015
H62	8.43	0.26	—	20.6	0.071	0.0017
H59	8.40	0.18	—	21.0	0.062	0.0025

表5. 青铜物理性能

合金代号	密度 ρ (g/cm ³)	线胀系数 α (20°C) (10 ⁻⁵ /°C)	导热系数 λ (20°C) (cal/(cm·s·°C))	电阻率 ρ (20°C) (Ω ·mm ² /m)
QSn4-3	8.8	18.0	0.20	0.087
QSn4-4-2.5	9.0	18.2	0.20	0.087
QSn4-4-4	9.0	18.2	0.20	0.087
QSn6.5-0.1	8.8	17.2	0.14	0.128
QSn6.5-0.4	8.8	17.1	0.15~0.2	0.176
QSn7-0.2	8.8	17.5	0.12	—
QSn4-0.3	8.9	17.6	0.20	0.091
QA15	8.2	18.2	0.25	0.0995
QA17	7.8	17.8	0.19	—
QA19-2	7.6	17.0	0.17	0.11
QA19-4	7.5	16.2	0.14	0.12
QA110-3-1.5	7.5	20.0	0.14	0.189
QA110-4-4	7.5	17.1	0.18	0.193
QA111-6-6	8.1	14.9	0.152	—
QSi3-1	8.4	15.8	0.11	0.15
QSi1-3	8.85	18.0	0.25	0.046
QBe2	8.23	16.6	0.2~0.25	—
QBe2.15	8.22	16.5~16.7	0.2~0.25	—

1.3.7.11.3 机械性能^[6]

表1. 紫铜加工产品机械性能

产品种类	状态	机械性能 (不小于)	
		σ_s (MPa)	ϵ (%)
冷轧板(条)材	硬的	300	3
	软的	200	30
热轧板(条)材	—	200	30
带材	硬的	300	3
	软的	210	30
线材(铆钉用)	—	240	15
拉制管材	硬的	300	—
	软的	210	35
轧制管材	硬的	250	—
挤制管材	—	190	35

表2. 黄铜板、带机械性能

材料 状态	代 号	σ_b (MPa)			$e(l_0=11.3\sqrt{F_0})$ (%)		
		不 小 于					
		热轧板材	冷轧板材	带材	热轧板材	冷轧板材	带材
软	H59	300	300	300	25	25	10
	H62	300	300	300	30	40	35
	H65		300	300		40	40
	H68		300	300		40	40
	H80		270	270		50	50
	H90		250	240		35	38
	H96		220	220		33	30
	HPb59-1	380	350	350	18	25	25
	HMn58-2	—	390	390	—	30	30
	HSn62-1	350	300	—	20	35	—
半硬	H62	—	350	380	—	20	20
	H65	—	350	350	—	25	25
	H68	—	350	350	—	25	25
	H90	—	340	—	—	7	—
	HMn58-2	—	450	450	—	25	25
硬	H59	—	420	420	—	5	5
	H62	—	420	420	—	10	10
	H65	—	420	400	—	10	15
	H80	—	—	实测	—	—	实测
	H90	—	450	450	—	5	5
	H96	—	400	400	—	—	—
	H68	—	400	400	—	15	15
	HMn58-2	—	600	600	—	3	3
	HSn62-1	—	400	400	—	5	5
	HPb59-1	—	450	450	—	5	5
特硬	H62	—	600	600	—	2.5	2.5
	H68	—	—	500	—	—	4

表3. 黄铜管机械性能

代 号	制造方法	材料状态	σ_b (MPa)		e_{10} (%)	
			不	小 于		
H62	挤制	—	300		38	
	拉制	半硬	340		30	
软		300		38		
H68	拉制	半硬	350		30	
		软	300		38	
HSn70-1	拉制	半硬	350		30	
		软	300		38	
HSn62-1	拉制	半硬	340		30	
		软	300		35	

(续)

代 号	制 造 方 法	材 料 状 态	σ_b (MPa)	e_{10} (%)
			不 小 于	
HPb59-1	挤制	—	400	20
HFe59-1-1	挤制	—	440	28

表4. 简单黄铜高温机械性能

代 号	温 度 (°C)	σ_b (MPa)	e (%)	HB	σ_K (N·m/cm ²)
H90	100	270	48	53	180
	200	260	48	50	160
	300	260	50	48	150
	500	210	—	46	90
H80	100	310	52	53	160
	200	300	51	51	150
	300	280	47	48	135
	500	270	39	44	60
H59	100	360	57	56	70
	200	320	55	56	65
	300	210	48	43	40
	500	16	—	23	30

表5. 简单黄铜低温机械性能

代号和状态	温 度 (°C)	σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	e (%)	ψ (%)	HRF
H70 变形后退火	20	358	198	49	77	—
	-10	372	201	49	77	—
	-40	383	189	58	77	—
	-80	400	192	60	79	—
	-120	429	196	55	78	—
	-180	515	189	75	73	—
H68 550°C 退火2小时	20	400	275	50.4	72	—
	-78	429	306	48.8	76.6	—
	-183	535	400	50.8	70.7	—
H68 冷变形40%	20	601	592	6.3	66.5	—
	-78	648	643	7.8	71.5	—
	-183	720	712	10.1	66.5	—
H59 550°C 退火2小时	20	384	140	51.3	75.5	95
	-78	429	158	53.0	74.6	104
	-183	531	200	55.3	71.0	142
H59 冷变形25%	20	558	399	19.8	65.5	160
	-78	581	420	21.0	67.7	160
	-183	689	561	24.4	64.1	181

表6. 锡青铜板、带机械性能

材料状态	代 号	σ_b (MPa)		$e(l_0=11.3\sqrt{F_0})(\%)$	
		不 小 于			
		板	带	板	带
软	QSn6.5-0.1 QSn6.5-0.4 QSn7-0.2	300	300	38	38
	QSn4-3 QSn4-0.3	300	300	38	38
硬	QSn6.5-0.1 QSn6.5-0.4 QSn7-0.2	500	550	5	3
	QSn4-3 QSn4-0.3	500	550	3	3
特硬	QSn6.5-0.1 QSn6.5-0.4 QSn7-0.2	600	680	1	2
	QSn4-3 QSn4-0.3	650	650	1	2

表7. 铝青铜管机械性能

代 号	σ_b (MPa)	$e_{10}(\%)$	HB
	不 小 于		
QA19-2	480	15	—
QA19-4	500	15	110~190
QA110-3-1.5	600	12	140~190
QA110-4-4	650	5	170~220

表8. 铍青铜条、带机械性能

代 号	材料状态	σ_b (MPa)	$e(l_0=11.3\sqrt{F_0})(\%)$	HV
		不 小 于		
QBe2	软 (淬火)	400~600	30	≤ 130
QBe1.9				≤ 120
QBe2	硬 (淬火后冷轧)	650	2.5	≥ 170
QBe1.9				≥ 160
QBe1.7				≥ 150
QBe2	淬火后时效	1150	2	≥ 320
QBe1.9				≥ 350
QBe2	冷轧后时效	1200	1.5	≥ 360
QBe1.9				≥ 370
QBe1.7				1100

表9. 锡青铜铝青铜低温机械性能

合金代号	性能	试验温度		
		17℃	-195℃	-253℃
QSn6.5-0.4	σ_b (MPa)	630	840	950
	ϵ (%)	120	290	290
	ψ (%)	610	540	510
QA15	σ_b (MPa)	420	580	650
	ϵ (%)	610	810	830
	ψ (%)	700	760	720

表10. 白铜板、带机械性能

代号	材料状态	σ_b (MPa)		ϵ_{10} (%)	
		板	带	板	带
B5	软	220	220	32	32
	硬	380	400	10	10
B10	软	300	300	30	25
	硬	400	400	3	3
B30	软	380	380	23	23
	硬	550	550	3	3
BMn8-12	软	360	360	25	25
BMn40-1.5	软	400~500	400	实测	实测
	硬	600	650	实测	实测
BA15-1.5	硬	550	—	3	—
BZn15-20	软	350	350	35	35
	硬	550	550	2	1.5
	特硬	650	650	1	1

表11. 白铜管机械性能

代号	材料状态	σ_b (MPa)	ϵ_{10} (%)
		不小于	
BZn15-20	软	300	30
	半硬	400	15
	硬	500	3
BFe5-1	软	260	30
B30 BFe30-1-1	软	380	23
	半硬	500	6

表12. 铝青铜带机械性能

合金代号	状态	抗拉强度 σ_b (MPa)	伸长率 e_{10} (%)
		不小于	
QA15	软	280	33
QA19-2		450	18
QA17	半硬	600~750	10
QA15	硬	600	2.5
QA17		650	5
QA19-2		600	5
QA19-4		650	—
QA19-3	特硬	900	—

1.3.7.12 钛及钛合金板金材料

1.3.7.12.1 钛及钛合金板材 (GB3621-83)

板材的牌号包括: TA1, TA2, TA3, TA5, TA6, TA7, TB2, TC1, TC2, TC3, TC4, TC7, TC10。

板材呈热轧状态 (R)、冷轧状态 (Y)、退火状态 (M) 和淬火状态 (C) 供应。

板材的厚度及厚度允许偏差应符合表1的规定。

表1. 板材的厚度及允差

(mm)

厚度	厚度允许偏差	
	宽 度	
	400~1000	1000~2000
0.3, 0.4, 0.5	±0.05	—
0.6, 0.7, 0.8	±0.07	—
0.9, 1.0, 1.1	±0.09	—
1.2, 1.4, (1.5)	±0.11	—
1.6, 1.8, 2.0	±0.14	—
2.2, 2.5, 2.8, 3.0	±0.17	—
3.5, 4.0	±0.22	—
4.5, 5.0	±0.30	±0.40
5.5, 6.0	±0.30	±0.40
7.0, 8.0	±0.40	±0.60
9.0, 10.0	±0.50	±0.80
11.0, 12.0, 14.0, (15.0)	±0.70	±1.00
16.0, 18.0, 20.0	±0.95	±1.40
22.5, 25.0	±1.20	±1.80
28.0, 30.0	±1.50	±2.20

注: 1. 供方也可根据用户需要, 提供非系列化的其他规格的产品, 其厚度允许偏差按相邻的较大规格执行。

2. 厚度小于4mm的板材为冷轧板材。

用 TA2 制造的、退火状态的、厚度为 1.2mm、宽度为 1000mm、长度为 3000mm 的板材标记为：

板 TA2M1.2×1000×3000GB3621-83

板材的室温、高温机械性能和工艺性能应符合表 2⁽⁴⁾ 的规定。

表 2. 钛板材的机械性能

牌号	板材厚度 (mm)	试样状态	试验温度 (°C)	机 械 性 能 (不 小 于)										
				抗拉强度 σ_b (MPa)	延伸率 e (%) ($L=5.65\sqrt{F}$)	弯 曲 角 α (°)	高温瞬时强度 σ_s (MPa)	持久强度 σ_{100h} (MPa)						
TA1	0.3~2.0 2.1~10.0	M	室温	350~500	40 30	140 130	—	—						
TA2	0.3~1.0 1.1~2.0 2.1~10.0	M	室温	450~600	35 30 25	100 100 90	—	—						
TA3	0.3~1.0 1.1~2.0 2.1~10.0	M	室温	550~700	30 25 20	90 90 80	—	—						
TA5	0.5~1.0 1.1~2.0 2.1~10.0	M	室温	700	20 15 12	60	—	—						
TA6	0.8~1.5 1.6~2.0 2.1~10.0	M	室温	700	20 15 12	50 40 40	—	—						
										350 500	— —	— —	430 350	400 200
TA7	1.0~1.5 1.6~2.0 2.1~10.0	M	室温	750~950	20 15 12	50 50 40	—	—						
										350 500	— —	— —	500 450	450 200
TB2	1.0~3.5 1.0~3.5	C C+S	室温	≤1000 1350	20 8	120 —	—	—						
TC1	0.5~1.0 1.1~2.0 2.1~10.0	M	室温	600~750	25 25 20	100 70 60	—	—						
										350 400	— —	— —	350 320	330 300
TC2	1.0~2.0 2.1~10.0	M	室温	700	15 12	70 50	—	—						
										350 400	— —	— —	430 400	400 370
TC3 (TC4)	0.8~2.0 2.1~10.0	M	室温	900 (920)	12 10	35 30	—	—						
										400 500	— —	— —	600 450	550 200

(续)

牌号	板材厚度 (mm)	试样状态	试验温度 (°C)	机械性能 (不小于)				
				抗拉强度 σ_b (MPa)	延伸率 e (%) ($L=5.65\sqrt{F}$)	弯曲角 α (°)	高温瞬时强度 σ_s (MPa)	持久强度 σ_{100h} (MPa)
TC7	1.0~2.0 2.1~10.0	M	室温	950	10 8	30 25	—	—
			500 550	—	—	—	600 550	—
TC10	1.0~2.0 2.1~10.0	M	室温	1080	10 8	25	—	—
			400 450	—	—	—	900 850	800 500

低温机械性能应符合表3⁽⁵⁾的规定。

表3. 钛合金低温机械性能

代 号	温度 (°C)	σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	e (%)	ψ (%)
TA7	20	758	700	15.0	30.2
	-196	1240	1127	20.0	31.0
	-253	1573	1290	19.5	9.2
TC1	20	656	636	21.3	54.0
	-196	1155	1092	25.0	49.3
	-253	1380	949	15.4	—
TC4	20	980	875	13.0	—
	-196	1540	1435	12.0	—
	-253	1820	1750	5.0	—

1.3.7.12.2 钛带材(GB3622-83)

带材的牌号、状态和规格应符合表1的规定。

表1. 带材的供应状态和规格

牌 号	供 应 状 态	厚 × 宽 (mm)
TA1, TA2	退火(M)、硬(Y)	(0.01~0.02) × (50~100) (0.03~0.3) × (50~300) (0.4~2.0) × (50~500)

注：厚度小于0.03mm的带材均以硬态供货。

带材的厚度、宽度、长度的尺寸及允许偏差应符合表2的规定。

表2. 带材的尺寸及允差

带材厚度 (mm)	厚度允许偏差 (mm)		宽度 (mm)	宽度允许 偏差 (mm)	长度 (mm)	每平方米的理 论重量 (kg/m ²)
	普通精度	较高精度				
0.01	±0.005	±0.003	50~100	±0.5	≥500	0.045
0.02						0.030
0.03						0.135
0.04						0.180
0.05						0.225
0.06	±0.007	±0.005	50~300	±0.5	≥500	0.270
0.07						0.315
0.08	±0.010	±0.007	50~300	±0.5	≥500	0.360
0.10						0.450
0.12						0.540
0.15	±0.015	±0.010	50~300	±0.5	≥500	0.675
0.18						0.810
0.20	±0.02	±0.015	50~300	±0.5	≥500	0.900
0.25						1.125
0.30						1.35
0.40	±0.05	±0.04	50~300	±0.5	≥500	1.80
0.50						2.25
0.60	±0.07	±0.05	50~300	±1.0	≥1000	2.70
0.70						3.15
0.80						3.60
0.90						4.00
1.00						4.50
1.10	±0.09	±0.07	50~500	±1.5	≥2000	4.94
1.20						5.40
1.30						5.85
1.40						6.30
1.50						6.75
1.60	±0.12	±0.10	50~500	±2.0	≥2000	7.20
1.70						7.65
1.80						8.10
1.90						8.55
2.00						9.00

注：带材的宽度应在合同中注明，否则以不定尺宽度供应。带材厚度允许偏差的精度级别应在合同中注明，否则以普通精度供应。

退火状态的带材，室温纵向性能应符合表3的规定。

表3. 退火带材室温纵向机械性能

牌 号	带材厚度 (mm)	室 温 性 能 不 小 于		
		抗拉强度 σ_b (MPa)	伸 长 率 ϵ_s (%)	弯 曲 角 α (°)
TA1	0.3~0.5	350	35	150
	0.5~2.0	350	40	150
TA2	0.3~0.5	400	25	140
	0.5~2.0	450	30	140

用TA2制造的退火状态，厚度为0.3mm、宽度为150mm的带材标记为：

带 TA2M0.3×150GB 3622-83

1.3.7.12.3 钛和钛合金的物理性能

如表1~表3^①。

表1. 钛的物理性能

密度 ρ (20°C) (g/cm ³)	熔 点 (°C)	线胀系数 α (0~100°C) (10 ⁻⁶ /°C)	比 热 c (20°C) (cal/(g·°C))	导热系数 λ (20°C) (cal/(cm·s·°C))	电 阻 率 ρ (0°C) (10 ⁻² ·Ω·mm ² /m)	弹性模量 E (MPa)
450	1677	8.2	0.124	0.036 (α -Ti) ^①	42.1~47.8	102500

① 钛是有同素异构转变的金属，转变温度为882°C。882°C以下为六方晶格 α 钛，882°C以上为体心立方晶格 β 钛。

表2. 钛合金的物理性能

代号	密度 ρ (g/cm ³)	电阻率 ρ (20°C) (Ω·mm ² /m)	线胀系数 α (20~100°C) (10 ⁻⁶ /°C)	导热系数 λ (25°C) (cal/(cm·s·°C))	热容量 c (100°C) (cal/°C)	熔 点 (°C)	弹性模量 E (MPa)
TA6	4.4	1.08	8.3	0.018	0.14		104000
TA7	4.46	1.57	9.38	0.021	0.13(20°C)	1590~1650	105000
TC2	4.55		8.0	0.02(20°C)		1570~1640	110000
TC4	4.43	1.6	8.41	0.02	0.13	1570~1650	113000
TC5	4.46	1.58	8.4	0.017	0.12		110000

表3. 钛在各种介质中的耐蚀性

介 质	浓 度 (%)	温 度	腐 蚀 速 度 (mm/a)	评 价 ①
盐 酸	5	室温	0	优 差 良 差
	5	沸腾	6.53	
	10	室温	0.175	
	20	室温	1.34	
硫 酸	5	室温	0	优 差 良 差
	5	沸腾	13.01	
	60	室温	0.277	
	80	室温	32.66	
硝 酸	37	室温	0	优 优 优 良
	37	沸腾	小于0.127	
	64	室温	0	
	64	沸腾	0.437	
磷 酸	30	室温	0	优 差
	30	沸腾	17.60	
氯化钠	20℃饱和溶液	室温 沸腾	小于0.127 小于0.127	优 优
氢氧化钠	20	室温 沸腾	小于0.127	优 优
	20		小于0.127	

① 优—耐蚀，腐蚀速度在0.127mm/a以下。
 良—中等耐蚀，腐蚀速度在0.127~1.27mm/a之间。
 差—不耐蚀，腐蚀速度在1.27mm/a以上。
 注：腐蚀速度mm/a表示年腐蚀深度。

1.3.7.13 钛及钛合金板 (GB2054-80)

冷轧板的尺寸及其允许偏差按表1的规定。

板材的供应状态：

热轧 (R)。

冷轧：软 (M)；半硬 (Y₁)；硬 (Y)。

板材的拉力试验结果应符合表2的规定。

表1. 冷轧板的尺寸及允差

(mm)

厚度	宽 度						长度	长度允 许偏差	理论重量 kg/m ² (密度8.85)
	100~300	>300~600	>600~1000	100~300	>300~600	>600~1000			
	厚度允许偏差			宽度允许偏差					
0.5								4.42	
0.6	-0.06	—	—					5.21	
0.7								6.19	
0.8								7.08	
0.9	-0.08	-0.12	-0.16	-4	-8	-10	800~ 1500	-15	7.96
1.0								8.85	
1.2	-0.09	-0.14						10.62	
			-0.18					13.37	
1.5	-0.10	-0.16						15.97	

(续)

厚度	宽 度						长度	长度允 许偏差	理论重量 kg/m ² (密度8.85)
	100~300	>300~600	>600~1000	100~300	>300~600	>600~1000			
	厚度允许偏差			宽度允许偏差					
1.8	-0.11	-0.18	-0.22				800~ 1500	-15	17.70
2.0									22.12
2.5	-0.12	-0.21	-0.24						26.55
3.0	-0.13	-0.22							30.97
3.5	-0.15	-0.24		-5	-9	-13			35.40
4.0									39.82
4.5	-0.20	-0.27	-0.30						44.25
5.0									48.68
5.5	-0.25	-0.30	-0.35						53.10
6.0									57.52
6.5							61.95		
7.0	-0.30	-0.35	-0.40				66.37		
7.5							70.80		
8.0				-6	-10	-15	75.22		
8.5							79.65		
9.0	-0.35	-0.40	-0.45				84.08		
10.0							88.50		

表2. 板材的机械性能

材料状态	抗拉强度, σ_b (MPa)		伸 长 率, e_{10} (%)	
	不 小 于			
	N6, N7, NSi0.19, NSi0.2, NMg0.1	NCu28-2.5-1.5	N6, N7, NSi0.19, NSi0.2, NMg0.1	NCu28-2.5-1.5
热 轧	400	450	15	20
软 态	400	450	35	25
半 硬	—	580	—	6.5
硬	550	—	2	—

注: 1. 厚度等于和大于15mm的板材不做此项试验。

2. N6热轧板 σ_b 不小于350MPa。

3. NCu40-2-1供实测数据。

标记举例:

用NCu28-2.5-1.5制成的厚度为0.5mm、宽度为300mm、长度为1000mm的半硬板, 标记为:

板 NCu28-2.5-1.5 Y₂ 0.5×300×1000 GB2054-80。

1.3.8 常用非金属材料的抗剪强度

如表1和表2⁽²⁾。

表1. 非金属材料的抗剪强度

材 料 名 称	抗剪强度 τ (MPa)		材 料 名 称	抗剪强度 τ (MPa)	
	用管状凸模冲裁时	用普通凸模冲裁时		用管状凸模冲裁时	用普通凸模冲裁时
纸胶板	98~127	137~196	未硝过的皮革		78~98
布胶板	88~98	118~177	云母 厚0.5mm	78	59~98
玻璃布胶板	118~137	157~181	云母 厚0.2mm	49	50~98
金属箔的玻璃布胶板	127~147	157~216	人造云母	118~147	137~177
金属箔的纸胶板	108~127	137~196	桦木胶合板	20	
玻璃纤维丝胶板	98~108	137~157	松木胶合板	10	
石棉纤维塑料	78~88	118~177	其他木板的胶合板	16~20	
有机玻璃	69~78	88~98	马粪纸	20~34	29~59
聚氯乙烯塑料、透明橡胶	59~78	98~127	硬马粪纸	69	59~98
赛璐珞	39~59	78~98	厚纸板	29~39	39~78
聚乙烯	29~39	49	绝缘纸板	39~69	59~98
石棉橡胶	39		红纸板		137~196
石棉板	39~49		纸(普通的)	20~39	20~29
橡皮	1~8	20~78	纸(硬的)	29~49	25~39
人造橡胶, 硬橡胶	39~69		漆布、绝缘漆布	29~59	
柔软的皮革	6~8	29~49	绝缘板	147~157	177~235
硝过的及烙化的皮革		44~54			

表2. 非金属材料加热时的抗剪强度

材 料	温 度 (°C)	抗 剪 强 度 τ (MPa)			
		孔 的 直 径			
		1~3	3~5	5~10	>10和外形
纸胶板	22	147~177	118~147	108~118	98~108
	70~100	118~137	98~118	88~98	93
	105~130	108~127	98~108	88~98	88
布胶板	22	127~147	118~127	103~118	88~98
	80~100	98~118	78~108	88~98	69~78
玻璃布胶板	22	157~181	147~152	147	39~127
	80~100	118~137	113~118	103	88~98
玻璃纤维丝胶板	22	137~157	127~137	118~127	69
	80~100	98~118	88~108	88	39
有机玻璃	22	88~98	78~88	69~78	69
	70~80	59~78	69	49	39
聚氯乙烯塑料	22	118~127	98~108	49~88	59~78
	100	59~78	49~59	39~49	39
赛 璐 珞	22	78~98	69~78	59~64	59
	70	49	39	34	29

注: 表列抗剪强度为用普通凸模冲裁时的计算值。

参 考 资 料

- (1) 《中国国家标准汇编》，中国标准出版社，1984年。
- (2) 王孝培主编，《冲压设计资料》，机械工业出版社，1983年。
- (3) 《中华人民共和国工农业产品工程建设国家标准和部标准目录》，技术标准出版社，1982年。
- (4) 陆激逸、王于林编，《航空金属材料学》，国际工业出版社，1979年。
- (5) 《机械工程手册(精装第三卷)》，机械工业出版社，1982年。
- (6) 《冶金产品国家标准、部标准目录》，冶金工业部标准化研究所，1982年。
- (7) 《中国国家标准目录》，中国标准出版社，1984年。

1.4 模具零件强度计算

1.4.1 前言

在实际生产中,采用标准模具零件时,一般不需要对其进行强度计算,但在不采用标准件或需要设计特殊的模具构造时,常需对其主要零件进行强度计算。

另外,要使模具正常地工作,就必须使其压力中心与模柄的中心线重合,否则模具将发生歪斜、间隙不均匀、导向磨损、刃口迅速变钝,以致模具被损坏。因此,对复杂形状的冲裁模,多凸模的打孔模及连续模,必须确定压力中心。

1.4.2 模具的压力中心及其决定方法

冲裁力的合力中心称为压力中心。

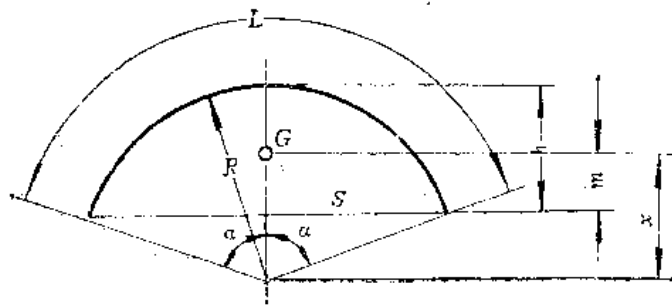
对称工件的压力中心与其重心重合。工件为弧形,其压力中心为弧形之重心 G ,如图 1 所示。重心 G 的位置按下式计算^①。

$$x = R \frac{\sin \alpha}{\alpha} = R \frac{S}{L}$$

式中 S ——弦长;

L ——弧长。

如果同时冲裁 n 个相同或不不同的工件,则需利用解析法或图解法求出其压力中心。



1.4.2.1 解析法

解析法即抗剪力矩法。

(1) 同时冲裁两个重心在同一对称轴线上,而大小不同的工件时(见图 1), G 为合力作用点,即压力中心的位置^②。

$$P_1 = \pi D_1 t \tau_0; \quad P_2 = \pi D_2 t \tau_0;$$

$$x = \frac{P_1 l}{P_1 + P_2} = \frac{D_1 l}{D_1 + D_2} \quad (1)$$

式中 D_1 和 D_2 ——分别为两凸模的直径;

P_1 和 P_2 ——分别为两凸模的冲裁力；
 i ——板料厚度；
 τ_0 ——材料抗剪强度；
 l ——两凸模间的中心距离。

(2) 同时冲裁 n 个大小不同的工件时 (见图2)。 u_1, u_2, \dots, u_n 为各工件的周长；
 O_1, O_2, \dots, O_n 为各工件的重心； P_1, P_2, \dots, P_n 为各凸模的冲裁力。任意选择坐标轴
 OXY ，设 x, y 分别为合力 P 的作用点 (即压力中心 G) 至 Y 轴与 X 轴的距离^[2]。

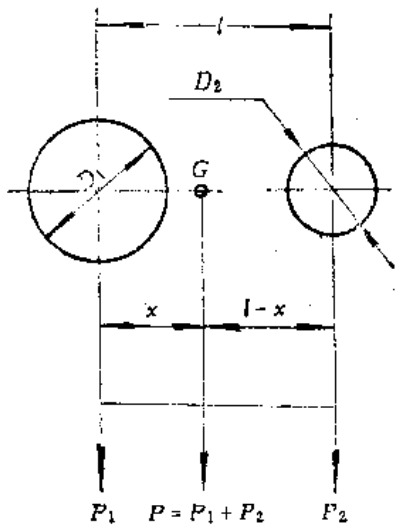


图1

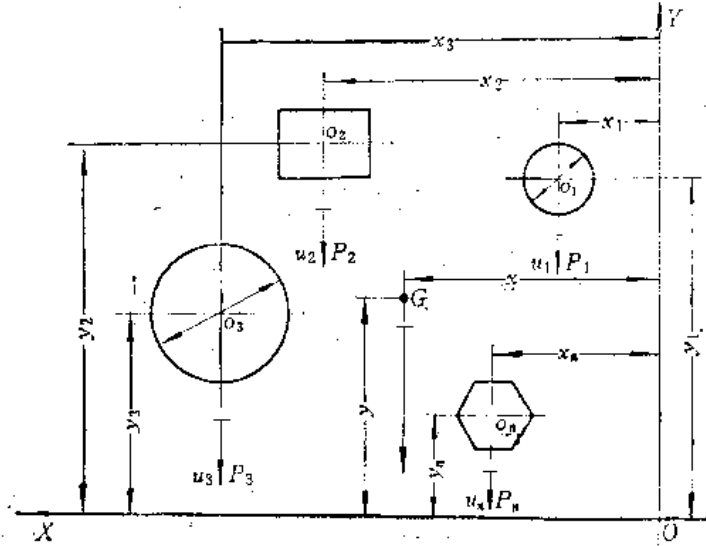


图2

$$x = \frac{P_1 x_1 + P_2 x_2 + \dots + P_n x_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2a)$$

$$y = \frac{P_1 y_1 + P_2 y_2 + \dots + P_n y_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

或

$$x = \frac{u_1 x_1 + u_2 x_2 + \dots + u_n x_n}{u_1 + u_2 + \dots + u_n} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i x_i}{\sum_{i=1}^n u_i} \quad (2b)$$

$$y = \frac{u_1 y_1 + u_2 y_2 + \dots + u_n y_n}{u_1 + u_2 + \dots + u_n} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i y_i}{\sum_{i=1}^n u_i}$$

1.4.2.2 图解法

图解法的原理与解析法相同，它是利用索线多边形求出一个平面内任意几个力的合力及其方向。

1.4.2.2.1 冲裁复杂轮廓的工件

冲裁复杂轮廓的工件时，求压力中心的步骤如下⁽³⁾（见图1）：

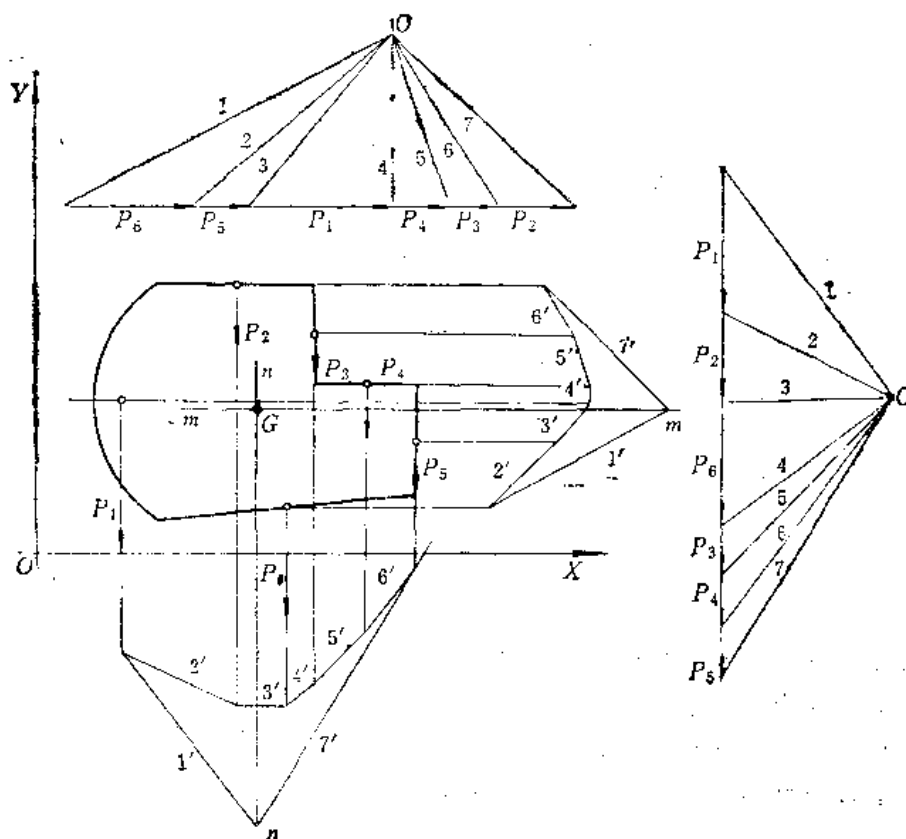


图1

- (1) 按比例画出凸模工作部分的轮廓图；
- (2) 将外形轮廓分成若干段，找出各段的重心位置；
- (3) 任意选择坐标系 OXY ；
- (4) 根据比例，用线段表示各段的冲裁力（冲裁力与轮廓长度成正比） P_1, P_2, \dots, P_n ，由各段重心作 x 轴和 y 轴的平行线段；
- (5) 在坐标系的一侧，作一条平行于 y 轴的直线，并在其上按各平行线段距 y 轴的远近次序，以与 P_1, P_2, \dots, P_n 各线段相同长度顺序截取，首尾相连；
- (6) 在上述直线的一侧任意取一点 O ，通过 O 点与各线段的端点依次相连，得射线 $1, 2, \dots, n$ ；
- (7) 在冲裁力 P_1 的延长线上任意一点作射线 1 的平行线 $1'$ ，由交点再作射线 2 的平行线 $2'$ ，与 P_2 的延长线相交，以后用同样方法作出 $3', 4', \dots, n'$ ，得到 $1'$ 与 n' 的交点 n 。通过 n 点作平行于 y 轴的直线 $n-n$ ，各冲裁力的合力 P 的作用点必在此直线上；
- (8) 按照(5)~(7)步骤以同样的方法作出平行 y 轴的直线 $m-m$ ，各冲裁力的合力 P

的作用点也必然在此直线上。

因此，压力中心即为 $n-n$ 与 $m-m$ 两直线的交点 G 。

1.4.2.2.2 同时冲裁 n 个大小不同的工件

同时冲裁 n 个大小不同的工件时求压力中心的步骤如下⁽¹⁾(见图2)：

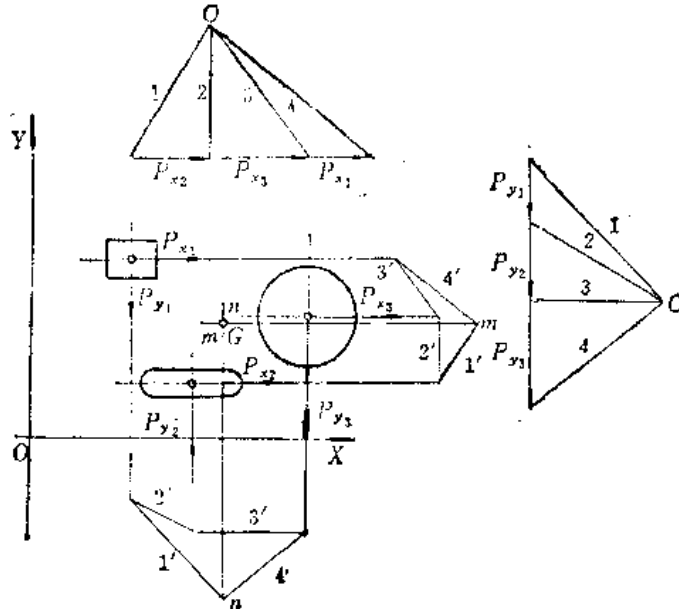


图2

- (1) 按比例画出各凸模工作部分的轮廓图；
- (2) 任意选择坐标系 OXY ；
- (3) 确定每一个凸模的压力中心；
- (4) 按前述步骤(4)~(8)，求得整个冲模的压力中心位置 G 。

1.4.3 冲裁凸模的强度计算及稳定性验算

冲裁力

$$P=ut\tau_0$$

式中 u ——工件周长；

t ——板料厚度；

τ_0 ——抗剪强度。

但实际冲裁力大于理论冲裁力，因而需要乘一系数 k ， k 为考虑影响冲裁力各种因素的综合系数，主要考虑六个方面， $k=\alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4\alpha_5\alpha_6$ ⁽¹⁾。

$\alpha_1 \geq 1.0$ 裁件形状(非圆形)的影响；

$\alpha_2 = 1.0 \sim 1.16$ 间隙数值(非合理)的影响；

$\alpha_3 = 0.99 \sim 0.97$ 凹模构造(锥形)的影响；

$\alpha_4 = 1.1$ 变形速度($V > 0.15 \text{mm/s}$)的影响；当材料厚度为 $0.5 \sim 3.5 \text{mm}$ ，偏心冲床转速 $< 300 \text{r/min}$ 时；

$\alpha_5 = 1.0 \sim 0.95$ 润滑的影响(不用润滑油用 1.0 ，用优质润滑油用 0.95)；

$\alpha_6 = 1.1$ 边刃钝度的影响。

从六个系数的最大值及最小值，得到 $k=1.0\sim 1.30$ 。

因此，实际冲裁力 $P_s=kP=(1.0\sim 1.30)P$ 。

1.4.3.1 凸模固定端面抗压强度的计算

$$\sigma_{s1} = \frac{P_s}{F} \leq [\sigma]$$

式中 σ_{s1} ——凸模固定端面的压应力，MPa；

P_s ——实际冲裁力，N；

F ——凸模固定端面的面积， mm^2 ；

$[\sigma]$ ——材料许用压应力，MPa。

1.4.3.2 凸模最小剖面抗压强度的计算

$$\sigma_{s2} = \frac{P_s}{f} \leq [\sigma]$$

式中 σ_{s2} ——凸模最小剖面的压应力，MPa；

f ——凸模最小剖面的面积， mm^2 。

1.4.3.3 凸模纵向弯曲稳定性的验算^{(1) (2)}

对于细而长的凸模，当模具材料为软钢， $\frac{L}{r} > 105$ 时，或当材料为硬钢， $\frac{L}{r} > 90$ 时，就需要对凸模的稳定性进行验算。这里， L 为凸模长度； r 为最小惯矩半径， $r = \sqrt{\frac{I}{F}}$ （ I 为最小惯性矩； F 为凸模最小剖面积）。

(1) 无导向装置时

$$L \leq \sqrt{\frac{\pi^2 EI}{4nkut\tau_0}} = \sqrt{\frac{\pi^2 EI}{4nP_s}} \quad (1a)$$

对圆形凸模
$$L \leq 30 \sqrt{\frac{d^2}{P_s}} \quad (1b)$$

(2) 有导向装置时

$$L \leq \sqrt{\frac{2\pi^2 EI}{n \cdot ut\tau_0}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 EI}{nP_s}} \quad (2a)$$

对圆形凸模
$$L \leq 85 \sqrt{\frac{d^2}{P_s}} \quad (2b)$$

式中 E ——材料弹性模数，MPa；

I ——最小惯性矩， mm^4 ；

n ——安全系数：未淬火钢为4~5，淬火钢为2~3。

1.4.4 冲裁凹模的强度计算

1.4.4.1 整体凹模的强度计算

假设压力均布，用简化公式按弯曲应力来检查强度⁽³⁾，见图1。

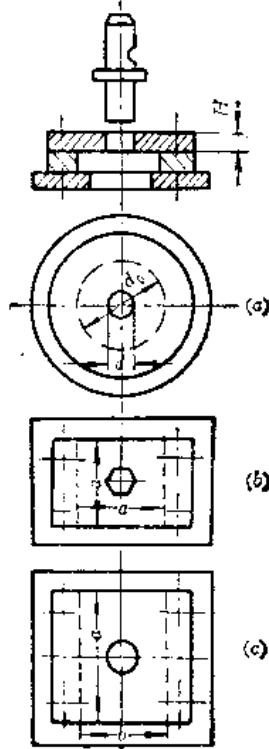


图1

(1) 直径 $d=2r$ 的圆凹模装在内径 $d_0=2r_0$ 的圆环形板上时(见图1a)。

$$H \geq \sqrt{\frac{1.5P_s}{[\sigma_w]} \left(1 - \frac{2r}{3r_0}\right)} \quad (1)$$

式中 H ——凹模厚度，mm²；

$[\sigma_w]$ ——许用弯曲应力，MPa，淬火钢为未淬火钢的1.5~3倍。

(2) 矩形凹模装在有方形洞($a \times a$)的板上时(见图1b)。

$$H \geq \sqrt{\frac{1.5P_s}{[\sigma_w]}} \quad (2)$$

(3) 矩形凹模装在有矩形洞($a \times b$)的板上时(见图1c)。

$$H \geq \sqrt{\frac{3P_s}{[\sigma_w]} \left(\frac{b}{a} \left(1 + \frac{b^2}{a^2}\right)\right)} \quad (3)$$

此外，还可以根据经验公式决定凹模外形尺寸⁽³⁾(见图2)。

$$H = Kb; C = (1.5 \sim 2)H; B = b + (3 \sim 4)H$$

式中 H ——凹模厚度，一般不小于8mm；

K ——系数，数值见表1。

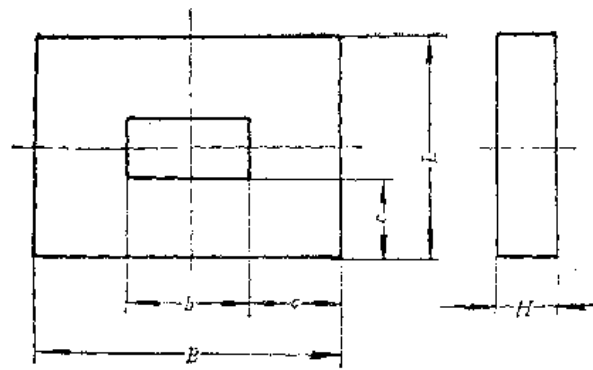


图2

表1. 系数 K 的数值 (8)

凹模孔的 最大宽度 b (mm)	材料厚度 t (mm)		
	≤ 1	$> 1 \sim 3$	$> 3 \sim 8$
	K		
≤ 50	0.3~0.4	0.35~0.5	0.45~0.6
$> 50 \sim 100$	0.2~0.3	0.22~0.35	0.30~0.45
$> 100 \sim 200$	0.15~0.2	0.18~0.22	0.22~0.30

对于复杂形状的多孔凹模, 为了提高其寿命, 对刃口间距离及刃口至模具边缘距离应有一定限制^[8](见图3)。

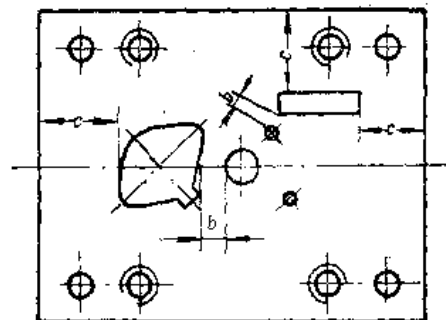


图3

图中 c 的数值与材料厚度和凹模洞口大小有关, 一般不小于18mm。当冲裁0.5mm以下的薄材料, 又是冲小孔时, c 的数值不得小于10mm。具体数值见表2。

表2. c 的一般数据 (8)

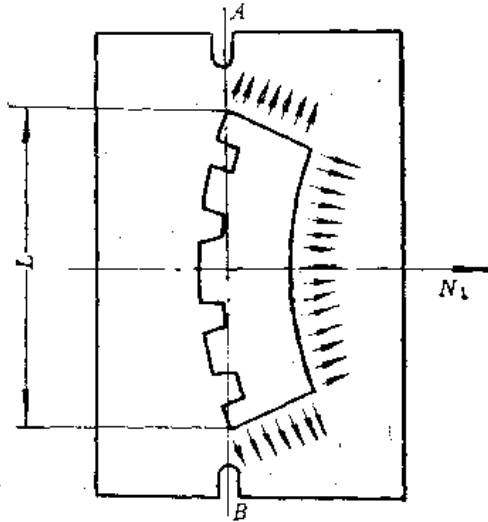
条料宽度 (mm)	材 料 厚 度 (mm)			
	≤ 0.8	$> 0.8 \sim 1.5$	$> 1.5 \sim 3.0$	$> 3.0 \sim 5$
≤ 40	20	22	28	32
$> 40 \sim 50$	22	25	30	35
$> 50 \sim 70$	28	30	36	40
$> 70 \sim 90$	34	36	42	46
$> 90 \sim 120$	38	42	48	52
$> 120 \sim 150$	40	45	52	55

图中 b 的数值视洞口复杂情况而定，一般不小于5mm，但冲裁0.5mm以下的薄材料时，小孔之间距离应减小，大孔之间距离应放大。

计算出凹模外形尺寸后，通常按其近似值选用标准尺寸。

1.4.4.2 分段凹模的固定力的计算

组合在一起的凹模各段，受力后有被挤开的趋势，因此，应求出凹模各段所受的主要作用力^①，见图。



作用于每段凹模上的最大挤压力为 N

$$N = N_1 + N_2 + N_3$$

式中 N_1 ——垂直于该段接合线 AB 的挤压力；

$$N_1 = (0.3 \sim 0.4) P_s$$

N_2 ——各段凹模与板座间的摩擦力，

$$N_2 = 0.15 P_s$$

N_3 ——工件在凹模内对各段的侧压力，

$$N_3 = \frac{T_{\text{推}}}{\mu}$$

$T_{\text{推}}$ ——推件力，计算方法见2.2.2节；

μ ——摩擦系数。

1.4.4.3 凹模承受的劈裂力的计算^②

承受强大载荷及有复杂尖角形工作孔的凹模，常因材料挤进凹模工作孔而产生的劈裂力作用下而破裂。最大劈裂力的数值可达冲裁力的40%。

1.4.5 模板的强度计算及垫板的选择

1.4.5.1 模板的强度计算

可根据几个剖面检查^③，见图1。

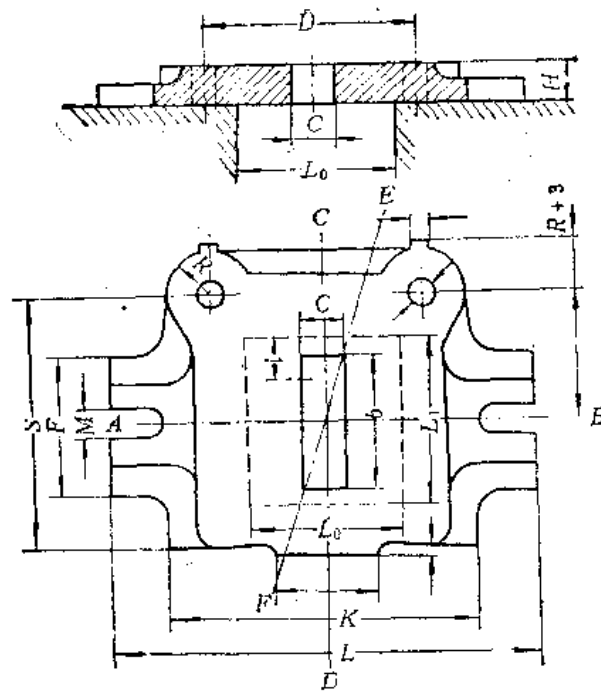


图1

(1) 沿AB剖面计算(如同两支点的简支梁, 见图2(a))。

$$\frac{Pl}{2W_{AB}} \leq [\sigma_w] \quad (1)$$

式中 P ——冲裁力;

l ——一边均布力的合力至冲床台面孔的距离;

W_{AB} ——AB剖面的剖面模数, $W_{AB} = \frac{(K-C)H^2}{6}$ 。

(2) 沿CD剖面计算(如同两支点半固定的梁, 见图2b)。

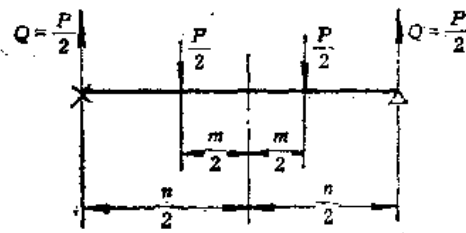
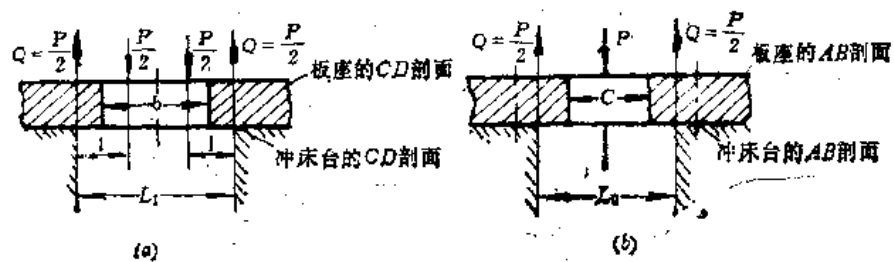


图2

$$\frac{3PL_0}{16W_{cd}} \leq [\sigma_w] \quad (2)$$

式中 L_0 ——压床台面孔沿 AB 方向的长度；

$$W_{cd} \text{——} CD \text{剖面的剖面模数, } W_{cd} = \frac{(S+R-b)H^2}{6};$$

(3) 沿 EF 剖面计算(见图2c)。

$$\text{矩形孔} \quad \frac{P(n-m)}{4W} \leq [\sigma_w] \quad (3)$$

$$\text{圆孔} \quad \frac{0.64(R-r)P}{2W} \leq [\sigma_w] \quad (4)$$

式中 n ——冲床 $L_1 \times L_0$ 的矩形孔角至 EF 剖面的距离；

m ——模板 $b \times c$ 的矩形孔角至 EF 剖面的距离；

W ——剖面模数。

以上简化计算的适用范围为：

- (1) 模板孔的形状和大小与凹模孔的出口一致。
- (2) 冲床台面上落料孔与模板轴对称。
- (3) 凹模不嵌入模板内。
- (4) 凹模不承受载荷，载荷完全传到模板上。

1.4.5.2 垫板的选择⁽¹⁾

垫板的作用是为了平均分布模板所受的压力。实际生产中可根据凸模传至模板的压力(即前述凸模固定端面的压力) $\sigma_{s1} \leq [\sigma]$ 来决定选用与否。

模板材料为软钢： $\sigma_{s1} > 180 \sim 200 \text{MPa}$ ，模板材料为生铁： $\sigma_{s1} > 80 \sim 90 \text{MPa}$ 时，即应使用垫板。

1.4.6 橡皮的选用及计算

本书所述仅限于卸料、顶件及压边所用橡皮。橡皮工作时所产生的弹性压力的大小与其形状、尺寸和压缩量有关。

1.4.6.1 标准橡皮的选用

常用的标准橡皮有四种形式⁽²⁾(见图1)。

根据模具工艺要求和结构空间要求，确定工作压力 P 和所需工作行程 L 。橡皮装在模具上，一般应预先压缩 $10 \sim 15\%$ ，因此，橡皮厚度

$$H = \frac{L}{0.25 - 0.3}$$

式中 L ——所需工作行程。

根据压缩量和某一选定形式，在橡皮压缩曲线图(见图2)上查得橡皮单位压力 q ⁽²⁾，求出

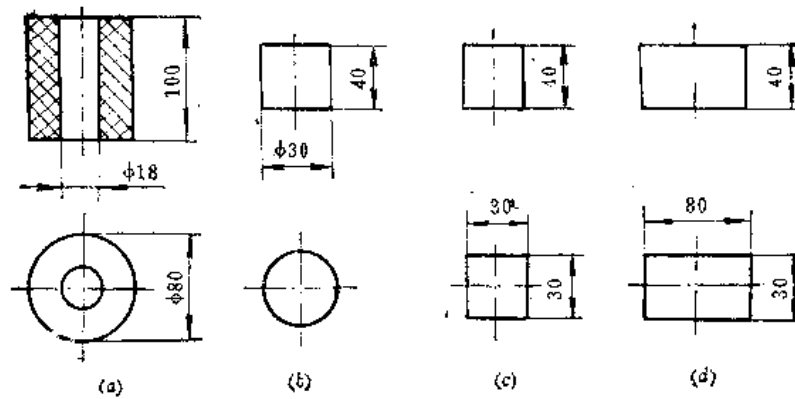


图1

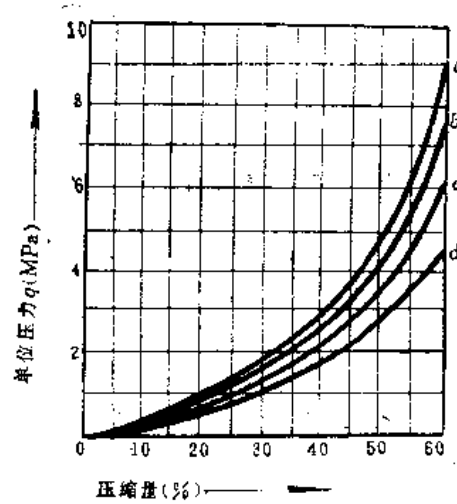


图2

$P=Fq$, 检查是否符合要求。

此外, 还要注意两点:

(1) 一般情况下, 橡皮最大压缩量不宜超过自由长度 H 的 45%。

(2) 按照 $0.5 \leq \frac{H}{D} \leq 1.5$ 校核。

1.4.6.2 非标准橡皮的选用

根据表1进行各种截面的橡皮尺寸的计算⁽³⁾。

常用橡皮的机械性能⁽³⁾, 见表2。

表1. 橡胶板截面尺寸的计算

橡胶板形式								
	计算项目 (mm)	d	D	D	a	a	b	
按结构 选用		$\sqrt{d^2 + 1.27 \frac{P}{q}}$		$\sqrt{1.27 \frac{P}{q}}$	$\sqrt{\frac{P}{q}}$	$\frac{P}{bq}$	$\frac{P}{aq}$	

表中 q ——橡胶板单位压力, (2~3) MPa;
 P ——所需工作压力。

表2. 常用橡皮的机械性能

橡皮类型	牌 号	单位扯断力 (MPa) 不小于	伸 长 率 不 小 于	永 久 变 形 不 小 于	硬 度 (HS)
普通橡皮	1120	3	250	35	60~75
	1130	6	300	35	60~75
	1140	8	350	35	55~70
	1250	13	400	30	50~65
耐油橡皮	3001	7	250	25	60~75
	3002	9	250	25	60~75

1.4.7 弹簧的选用及计算

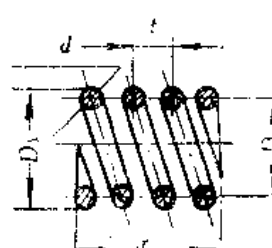
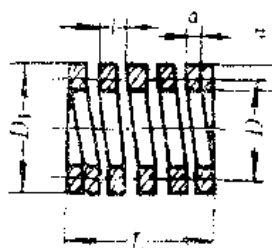
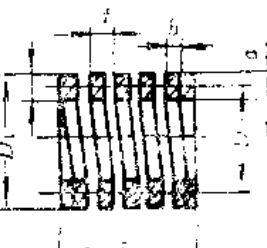
本书所述仅限于卸料、顶件及压边等所用的弹簧。生产中常用的有圆柱形压缩弹簧和碟形弹簧, 弹簧钢丝的剖面形状有圆的、方的和矩形的。

1.4.7.1 圆柱形压缩弹簧的计算

设计模具选用圆柱形压缩弹簧时, 可按表1中公式计算。

在将圆钢丝(d)的弹簧换为扁钢丝($a \times b$)时, 可利用换算系数 α 及 φ , $b = 2ad^{0.2}$, $F_{扁} = \varphi F_{圆}$, 换算系数值见表2⁽⁵⁾。

表1. 圆柱形压缩弹簧的计算⁽⁸⁾

圆柱形弹簧			
容许最大负荷 P (N)	$P = \frac{\pi d^3}{8D} [\tau]$ $= 0.392 \frac{d^3}{D} [\tau]$	$P = 0.416 \frac{a^3}{D} [\tau]$	$P = \frac{2k_1 a^3}{5} [\tau]$
钢丝截面	$d = \sqrt[3]{\frac{PD}{0.392[\tau]}}$ 或 $d = \sqrt{\frac{Px}{0.392[\tau]}}$	$a = \sqrt[3]{\frac{PD}{0.416[\tau]}}$	$b = \frac{PD}{2ka^2[\tau]}$ $a = \sqrt{\frac{PD}{2kb[\tau]}}$
弹簧轴向挠度 F	$F = \frac{8PD^3 \cdot n}{Gd^4}$	$F = \frac{5.5849 PD^3 \cdot n}{Ga^4}$	$F = \frac{PD^3 n}{(c^2)^2} R_1$
工作有效圈数 n	$n = \frac{F \cdot Gd^4}{8PD^3}$	$n = \frac{F Ga^4}{5.5849 PD^3}$	$n = \frac{F G c^2}{k_1 P D^3}$
总圈数 n_1	$n_1 = n + 1.5$	$n_1 = n + (1.5 \sim 2)$	$n_1 = n + (1.5 \sim 2)$
节距 t	$t = d + (1.1 \sim 1.2) \frac{F}{n}$	$t = a + (1.1 \sim 1.2) \frac{F}{n}$	
最大压力下弧簧长度 L_1	$L_1 = (n_1 - 0.5)d$	$L_1 = (n_1 - 0.5)a$	
弹簧的自由长度 L	$L = L_1 + n(t - d)$	$L = L_1 + n(t - a)$	
外径 D_1	$D_1 = D + d$	$D_1 = D + a$	$D_1 = D + b$
钢丝展开后长度 L		$L = \pi D n_1$	

表中 D ——弹簧节径 (mm);
 D_1 ——弹簧外径 (mm);
 t ——节距 (mm);
 n ——工作有效圈数;
 n_1 ——总圈数;
 L_1 ——最大压力下弧簧长度 (mm);
 L ——弹簧的自由长度 (mm);
 l ——钢丝展开后之长度 (mm);
 P ——容许最大负荷 (N);
 $[\tau]$ ——容许扭转剪应力 (MPa);
 G ——剪力弹性系数, 78000~80000 MPa;
 F ——弹簧的轴向挠度 (mm);
 k, k_1 ——系数, 见表2;

$x = \frac{D}{d}$ 的比值, 建议采用4, 6, 8, 或10.

表2. 换算系数值

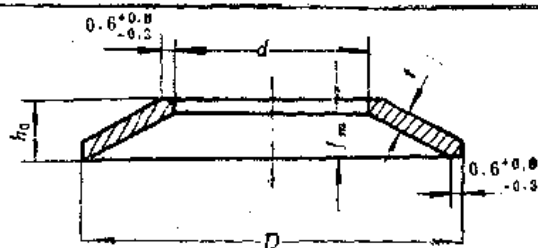
$\frac{b}{a}$	k	k_1	a	φ
1.0	0.208	5.567	0.98	0.754
1.5	0.231	2.67	0.827	0.715
1.75	0.239	2.086	0.779	0.712
2.0	0.264	1.713	0.737	0.726
2.5	0.258	1.256	0.672	0.767
3.0	0.267	0.995	0.625	0.81
4.0	0.282	0.698	0.557	0.905
5.0	0.299	0.439	0.477	1.05
10.0	0.312	0.252	0.397	1.265

1.4.7.2 碟形弹簧的计算

模具中最常用的碟形弹簧规格见表3^[3]。

表3. 常用碟形弹簧尺寸

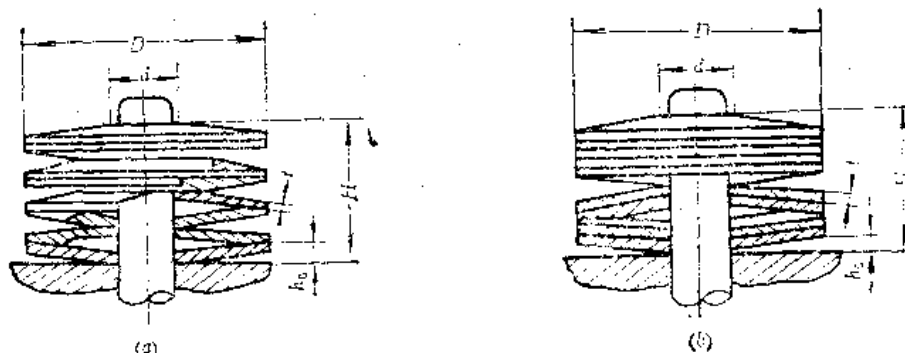
(mm)



$F(d_s)$		$d(D_s)$		t		f_m		H		许可行程 $0.65f_m$		许可行程L的 负荷P (N)	
基本尺寸	允差	基本尺寸	允差	基本尺寸	允差	基本尺寸	允差	基本尺寸	允差	基本尺寸	允差	基本尺寸	允差
16	-0.43	8.5	+0.34	1.0				1.5				150	
22		10.5		1.5		0.5		2		0.32		270	
28		12		1.0		0.8		2.3		0.52		350	
30	-0.52	15	+0.43	2.0		1.0		2.0		0.65		140	
32		10		1.5		0.6		2.6		0.39		550	
35		15		2.0		0.8		2.9		0.58		610	
40	-0.62	20	+0.52	1.5		1.0		2.5		0.65		280	
				2.0		0.8	+0.4	2.8	+0.5	0.52	+0.26	600	±1.8
				1.0		1.5	-0.2	2.5	-0.3	0.97	-0.13	130	
2.0		1.0		3.0		0.65		520					
45		25		2.5		0.8		3.3		0.52		990	
				1.5		1.5		3.0		0.97		320	
				2.5		1.0		3.5		0.65		840	
50				3.0		1.5		4.0		0.97		1450	
				2.0		1.5		3.5		0.65		460	
				3.0		1.0		4.0		0.65		1250	

注: 1. 材料65Mn 60Si2Mn65Si2MnWA 等牌号的弹簧钢, 热处理TFC43~52;
2. 不允许用切削材料的方法制造弹簧。

碟形弹簧的装置形式见图，计算公式见表2⁽³⁾。



(a) 单个装置；(b) 多个装置。

表2. 碟形弹簧的计算公式

计算项目	单个装置的	多个装置的
整个弹簧允许负荷(N)	$P = \frac{10000 \lg^2 \alpha \cdot f_m \cdot t^2}{n \left(1 - \frac{d}{1.5D}\right)}$	$P = \frac{10000 \lg^2 \alpha \cdot K \cdot f_m \cdot t^2}{n \left(1 - \frac{d}{1.5D}\right)}$
一片弹簧的允许行程(mm)	$L = 0.65 f_m$	
弹簧的工作行程(mm)	$L_w = L_t - L_f$	
整个弹簧的允许行程(mm)	$L_t = 0.65 n \cdot f_m$	$L_t = 0.65 \frac{n}{K} \cdot f_m$
安装时弹簧预先压缩量(mm)	$L_f = (0.15 \sim 0.20) n \cdot f_m$	$L_f = (0.15 \sim 0.20) \frac{n}{K} \cdot f_m$
保证规定行程的弹簧个数	$n = \frac{L_w}{0.5 f_m}$	$n = \frac{L_w K}{0.5 f_m}$
整个弹簧自由高度	$H = n \cdot h$	$H = \frac{n}{K} (h + t(K-1))$

表中P——一个弹簧在挠度等于 $0.65 f_m$ 时的最大允许负荷，按表1中数据选用；
 f_m ——弹簧内锥高度；
 K ——多个装置中每一叠的弹簧数，见图， $K=3$ ；
 n ——装置弹簧总数；
 h ——一片弹簧高度；
 t ——弹簧板厚度。

1.4.8 提高模具寿命的措施

提高模具寿命的办法很多，下面介绍几种行之有效的办法。

1.4.8.1 冲裁凸模末端断裂的解决办法⁽⁴⁾

由于材料镀层的小微粒剥落后嵌入金属片和模壁之间，阻止了金属片通过，引起侧压力，导致凸模或模槽断裂。将模槽镗出锥形的喇叭孔 $\phi 2.6 \sim 3.2 \text{mm}$ 即可避免这种情况产生。

由于固定的或导向用的模板使软而锈蚀的材料拱起，并与凸模粘合，引起凸模腐蚀

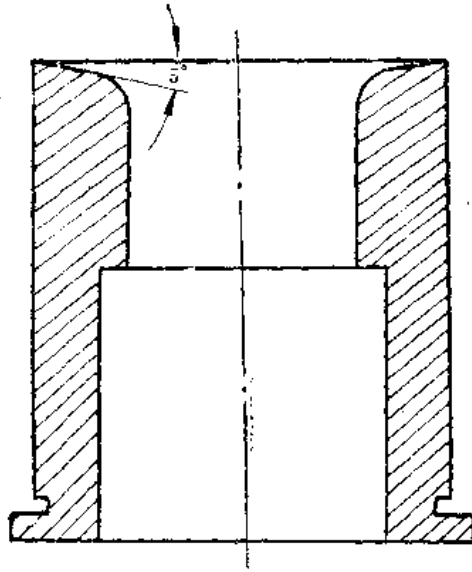
或断裂。

遇到这种情况，有三种解决办法：

- (1) 使用具有两倍于正常压力的弹性压料板，以阻止条料拱曲。
- (2) 在凸模末端镀上一层铬。
- (3) 增加凸、凹模间隙，使凸模与材料接触表面减少，腐蚀的机率就减少。

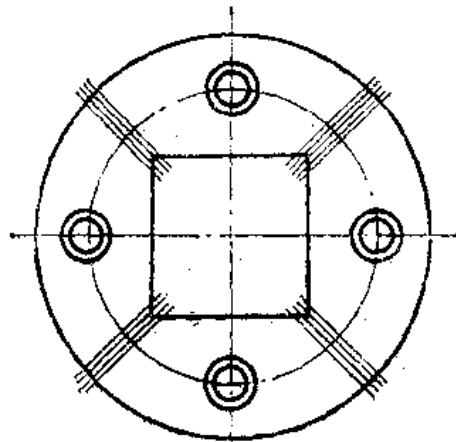
1.4.8.2 改进压延模几何形状，延长寿命^{〔5〕}

由于压料板阻止润滑油进入模子圆角区，使凹模磨损较快。如果将压延凹模几何形状稍加修改(见图)，即可增加模具寿命5倍。



1.4.8.3 避免凹模热处理时产生裂纹的办法^{〔6〕}

热模锻钢材料的凹模淬火时，在尖内角处易产生裂纹。在尖角处绕上几层软铁丝，即可降低骤冷程度，避免产生裂纹。这一方法对油淬和水淬都适用(见图)。



参 考 资 料

- (1) 祖巴卓夫著,《冷压技术》,龙门联合书局,1953年。
- (2) 罗曼诺夫斯基,《冷压手册》,机械工业出版社,1957年。
- (3) 四机部标准化研究所,《冷压冲模设计》,四机部标准化研究所,1981年。
- (4) Tooling and Production, Jan. , 1965, P. 106~107.
- (5) Machinery, Sep. , 1965, Vol72, No.1, P356.
- (6) American Machinist, May, 1978, P.150.

1.5 板金成形中的摩擦磨损与润滑

1.5.1 板金成形中的摩擦特点

摩擦磨损与润滑是摩擦学中三项主要研究内容。摩擦是因，磨损是果，润滑是措施。

构成摩擦副的三个条件是：法向载荷、接触面和相对滑移。板金成形中的摩擦副是由板材与模具（或工具）间相对移动或滚动而形成的。

同机械运动中的摩擦副相比，板金成形中的摩擦副具有下述一些特点：

(1) 接触面间有较大的正压力。

(2) 板材在作宏观滑动的同时，常伴随有局部金属的塑性流动。塑性流动有可能改变接触面上的滑移方向和产生新生表面。未经污染的新生表面易同模具粘着，造成摩擦力的增大，加快模具的磨损和零件的表面擦伤。

(3) 板材与模具接触面间有温升。

(4) 板金成形多为非稳定的变形过程，摩擦副之间的接触面积、正压力和板材的硬度都在不断变化，所以摩擦系数并非为一常值。

1.5.2 摩擦

1.5.2.1 摩擦起因与减小措施

摩擦起因与减小措施见表。

摩擦起因与减小措施

类别	起因	减小措施
金属间的滑动摩擦	(1) 粘着； (2) 犁沟； (3) 尖峰变形	(1) 用互溶性差的材料作摩擦副； (2) 用润滑剂、软金属、或非金属膜将板材与模具隔开； (3) 用高硬度模具
金属间的滚动摩擦	(1) 粘着； (2) 犁沟； (3) 接触区的形变	(1) 用润滑剂将工具与板材隔开； (2) 用高硬度低粗糙度的模具
金属与非金属间的滑动摩擦	(1) 弹性后滞； (2) 微量滑移； (3) 永久变形	(1) 用润滑剂隔开； (2) 降低表面粗糙度

1.5.2.2 纯净金属的摩擦系数

纯净金属材料的摩擦副、由于不存在表面氧化膜、其摩擦系数都较高，见表。

纯净金属的摩擦系数表⁽¹⁾

摩擦系数 固定材料 \ 滑动材料	材料							载荷 N
	铅	铝	锡	铜	铜	锌	钢	
钢	0.78	0.56	0.44	0.45	0.31	0.30	0.82	21.872
铜	0.36	0.35	0.34	0.25	1.46	0.23	0.17	21.872
锡	0.39	0.44	0.26	0.26	0.27	—	0.39	11.621
锡	1.14	0.83	0.54	0.68	0.84	0.69	0.60	11.621
铅	1.34	0.51	1.00	1.00	1.14	1.10	0.57	11.621

注：表中数值是以三个球凸脚沿平板作滑动试验求出的。

1.5.2.3 常用金属材料间的摩擦系数

常用金属间的摩擦系数表

摩擦副的材料	摩擦系数	
	无润滑	有润滑
钢-钢	0.15 ^① 0.1	0.1~0.12 ^① 0.05~0.1
钢-软钢	0.2	0.1~0.2
钢-铸铁	0.2~0.3 ^①	0.05~0.15
钢-黄铜	0.19	0.03
钢-青铜	0.15~0.18	0.1~0.15 ^① 0.07
铜-铜	0.17	0.02
铜-轴承合金	0.20	0.04
铸铁-铸铁	0.15	0.15~0.16 ^① 0.07~0.12
铸铁-青铜	0.28 ^①	0.16 ^①
黄铜-黄铜	0.17	0.02
铝-黄铜	0.27	0.02
铝-青铜	0.22	—

注：表中摩擦系数是试验值只供作近似估算用。

①为静摩擦系数。

1.5.2.4 各种工程塑料的摩擦系数

钢板材与非金属模具间的静动摩擦系数见表。

工程塑料的摩擦系数表⁽¹⁾

塑料名称 (固定试件)	滑动试件(钢)		滑动试件(塑料)	
	μ_s	μ_k	μ_s	μ_k
聚四氟乙烯	0.10	0.05	0.04	0.04
聚全氟乙丙烯	0.25	0.18	—	—
聚乙烯(低密度)	0.27	0.26	0.33	0.33
聚乙烯(高密度)	0.18	0.08~0.12	0.12	0.11
聚甲醛	0.14	0.13	—	—
聚偏二氯乙烯	0.33	0.25	—	—
聚苯二甲酸乙二醇酯	0.29	0.28	0.27 [ⓐ]	0.20 [ⓐ]
聚酰胺(尼龙66)	0.37	0.34	0.42 [ⓐ]	0.35 [ⓐ]
聚氯乙烯	0.45 [ⓐ]	0.40 [ⓐ]	0.50 [ⓐ]	0.40 [ⓐ]

[ⓐ]为粘滑运动的摩擦系数。

1.5.2.5 常用材料的滚动摩擦系数

滚动摩擦系数 k 的概念与滑动摩擦系数 μ 不同,系根据力矩平衡求出的当量值。不同材料间的 k 值见表。

常用材料的滚动摩擦系数表⁽¹⁾

摩擦副材料	滚动摩擦系数 k (cm)	摩擦副材料	滚动摩擦系数 k (cm)
淬火钢-淬火钢	0.001	木材-木材	0.05~0.06
铸铁-铸铁	0.05	铁或钢轮-木面	0.15~0.25
木材-钢	0.03~0.04	钢轮-钢轨	0.05

1.5.3 板金成形中的摩擦分析

1.5.3.1 影响摩擦的因素

板金成形中,摩擦副的摩擦力和摩擦系数并不是一个稳定的常数。受较多因素的影响,例如:

- (1) 材料性质: 相同金属或互溶性较好的金属摩擦副、因易粘着、 μ 值较大。
- (2) 表面氧化膜: 氧化膜的机械强度大多低于基体金属、能阻止或减小基体金属间的粘着、 μ 值可较低。
- (3) 载荷: 两物体的真实接触面积一般随载荷增加而加大,但超过最大值之后,则趋于稳定。
- (4) 滑移速度: μ 值随速度而增大。一般速度与温度的影响常混在一起,速度快,散热不及,温度升高。对温度不敏感的材料, μ 值随速度的变化就很小。
- (5) 温度: 温度能改变表面材料性能,尤其是易改变润滑剂的粘度,甚至使之失效。故 μ 值随温度的变化较大。

(6) 表面粗糙度：表面粗糙度对一般摩擦副的真实接触面积影响不大，而稍粗糙的板材表面还具有存储润滑剂的优点使 μ 值降低，磨损和擦伤减少。对经超精加工的表面，当粗糙度低到使分子吸引力发生有效作用时，粗糙度愈低，真实接触面愈大。 μ 亦愈大。

(7) 滑移距离：滑移距离愈长，杂质和磨粒积累愈多，温升愈高， μ 值增加。但对新制模具或工具的研合阶段例外。

(8) 变形烈度：变形烈度系指塑性变形的激烈程度。包括：压力、速度、变形程度和新生表面产生的大小等多方面激烈程度的总合。一般将其划分为三类：(a) 轻等烈度；(b) 中等烈度；(c) 重等烈度。显然，烈度愈大、 μ 值亦愈大。

(9) 润滑剂与润滑方式：其影响见1.5.6.2所述。

(10) 板材与模具或工具的接触方式：不同的接触方式对润滑剂的带入、封存和扩散有较大影响，因而使 μ 值不同。板金成形中的接触方式，约可分为七类：

A. 面滑式：板材与模具在较大面积接触下进行相对滑移。例如压延成形中毛料与凹模平面间的接触。

B. 绕滑式：板材绕固定的圆角滑过，例如压延成形中毛料滑过凹模圆角的接触。

C. 包覆式：板材开始从模具顶点（或一条线）接触，其后逐渐扩大接触面积直至将模具规定部分全部包覆。例如在拉弯成形中和半球刚凸模的局部胀形中毛料与模具的接触形式。

D. 点滑式：板材与工具接触面积很小，例如旋压中旋棒与毛料间的接触。

E. 线滑式：板材与工具接触为一线，例如滚弯成形中滚轴与板材间的接触。

F. 挤入式：模刃挤入板材中，例如冲裁加工中模刃挤入板材时的接触。

G. 脱出式：模刃从板材孔中脱出，例如冲裁后凸模从孔料中脱出时的接触。

1.5.3.2 各种板金成形中的摩擦

1.5.3.2.1 剪裁与冲裁

剪裁和冲裁过程中的摩擦见表。

剪裁与冲裁中的摩擦

成形方法	剪 裁		冲 裁	
	剪切区		剪切区	脱料区
变形地点	剪切区		剪切区	脱料区
变形程度	重		重	轻
接触压力	大		大	中
接触面积	小		小	小
滑移距离	短		短	中
滑移速度	中		中	中
接触面温度	中		高	低
接触方式	挤入式		挤入式	脱出式

(续)

成形方法	剪 裁	冲	裁
润滑条件	油带入剪切区较困难	油带入剪切区较困难	润滑较困难
摩擦系数	大	大	中
影 响	剪刀寿命和剪口质量	冲刃寿命和剪口质量	使凸模直壁部磨损
改善措施	利用板材保护油	选用高粘度油	用喷油法润滑

1.5.3.2.2 压弯成形

包括用有底或无底凹模的压弯成形，其过程中的摩擦见表。

压弯成形中的摩擦表

成形方法	压弯 (V型)	压弯 (有压边)	厚板压弯
变形地点	凹模圆角	凹模圆角	凹模圆角
变形程度	轻	轻	中
接触压力	小	小	中
接触面积	小	小	小
滑移距离	短	中	中
滑移速度	中	中	中
接触温度	低	低	低
接触方式	线滑式	绕滑式	线滑式
润滑条件	易润滑	油易被刮下	易润滑
摩擦系数	小	中	小
影 响	使零件侧壁擦伤	使零件侧壁擦伤	近10%功率损失于摩擦
改善措施	适当采用润滑	适当采用润滑	适当采用润滑

1.5.3.2.3 绕弯与滚弯成形

包括绕弯、滚弯和辊形三种弯曲成形，其摩擦见表。

绕弯滚弯中的摩擦表

成形方法	绕 弯	滚 弯	辊弯成形
变形地点	旋滚与毛料间	滚轴与板料间	滚轮与条料间
变形程度	轻	轻	轻
接触压力	小	小	小
接触面积	小	小	小
滑移距离	长	长	长

(续)

成形方法	绕 弯	深 弯	辊弯成形
滑移速度	低	低	高
接面温度	低	低	高
接触方式	线滑式	线滑式	面滑式
润滑条件	可用亦可不用润滑	可不用润滑	条料应浸油, 转速快时, 油易甩失
摩擦系数	中	中	较大
影 响	功率损失, 擦伤零件	摩擦力是滚弯成形的主作用力。太小时板易打滑, 擦伤零件	零件侧壁与滚轮间有大的相对滑移, 易造成零件擦伤
改善措施	采用高粘润滑剂	—	可换用塑料滚轮

1.5.3.2.4 拉弯成形与拉形

包括拉弯、加侧压拉弯和拉形成形, 其摩擦特点见表。

拉弯与拉形中的摩擦表

成形方法	拉 弯	拉弯加侧压	拉 形
变形地点	模具与毛料间	侧压轮与毛料间	模具与毛料间
变形程度	中	轻	中
接触压力	中	大	小
接触面积	大	小	大
滑移距离	短	长	短
滑移速度	小	中	小
接触方式	包覆式	线滑式	包覆式
接面温度	低	中	低
润滑条件	油易被挤走	油易被挤走	便于润滑
摩擦系数	中	大	小
影 响	摩擦力影响各点应变不均, μ 值大, 回弹大	摩擦力大, 功率大, 并易擦伤零件	润滑不均, 影响零件粘模度和回弹量
改善措施	采用最后反复加卸载以改善润滑条件	选用高粘度润滑油	使润滑油均布

1.5.3.2.5 胀形与扩孔

包括局部胀形和扩孔成形, 其摩擦特点见表。

胀形与扩孔中的摩擦表

成形方法	局部胀形		扩孔
	毛料与凸模间	毛料与凹模圆角	毛料与凸模圆角间
变形地点			
变形程度	重	中	中
接触压力	中	大	大
接触面积	大	小	小
滑移距离	短	短	长
滑移速度	小	小	中
接面温度	中	低	中
接触方式	包覆式	绕滑式	绕滑式
润滑条件	油易被挤走	油易被挤走	油易被挤走
摩擦系数	大	大	大
影响	μ 值影响破点位置和厚度分布。 $\mu=0$, 零件高度最大	μ 值太小, 易使突缘材料拉入, 可增大成形高度	μ 值太大, 中部贴模度差
改善措施	加高压润滑剂		用水基润滑剂

1.5.3.2.6 杯形件压延成形

包括各种平底杯形件和带突缘的杯形件等的压延成形, 其摩擦特点见表。

压延成形中的摩擦表

成形方法	平底杯形件压延变形					
	突缘区	凹模圆角区	凸模圆角区	凸模直壁区	凹模直壁区	凸模底区
变形地点						
变形程度	重	重	中	—	重	轻
接触压力	中	大	大	中	大	小
接触面积	大	小	小	中	小	大
滑移距离	长	长	短	短(无)	中	短(无)
滑移速度	中	高	低	—	中	—
接面温度	低	高	中	低	高	低
接触方式	面滑式	绕滑式	绕滑式	面滑式	面滑式	面滑式
润滑条件	较好	油难带入	油难带入	较好	油难带入	较好
摩擦系数	小	大	大	大	大	小
影响	减小 μ 值, 可增大L.D. R值	减小 μ 值, 可增大L.D. R值	加大 μ 值, 可增大L.D. R值	可使某些材料的危险断面转移至凹模圆角下	该地为变薄拉深, μ 值愈小愈好	为双向等拉, 一般与凸模底不完全接触
改善措施	用适当压延润滑油	用适当压延润滑油	最好不用润滑油		用适当压延润滑油	最好不用或少用润滑剂

1.5.3.2.7 复合成形

复合成形一般为压延成形、胀形成形或扩孔成形三者的综合。成形中的摩擦特点，突缘与凹模圆角部分可参看1.5.3.2.6节表中有关地点的分析、凸模圆角与凸模底部可参看1.5.3.2.5节表中有关地点的分析。复合成形件，例如汽车车身外覆盖件类零件的成形，为了消除成形过程中悬空部位出现的皱褶，为了减少回弹和提高贴模度，一般需在突缘上采用拉力埂以增大摩擦力。对直壁矩形盒件、有时还利用负间隙来减缓直线边材料的流入。

1.5.3.2.8 变薄压延成形

变薄压延是将杯形毛料拉过小于料厚的凸凹模间隙，使壁变薄，零件变长。变薄压延中的摩擦特点见表。

变薄压延中的摩擦表

成形方法	变 薄 压 延		橡皮凸模压延
变形地点	凹模锥角	零件与凸模壁	突缘区
变形程度	重	轻	大
接触压力	大	大	大
接触面积	小	大	大
滑移距离	长	短	长
滑移速度	快	低	低
接面温度	高	高	中
接触方式	面滑式	面滑式	面滑式
润滑条件	润滑油带入困难，易被挤走	不润滑或轻润滑	毛料与凹模间用润滑剂。毛料与橡皮间加松香粉
摩擦系数	希望尽量小	大	毛料与橡皮间 μ 值大
影 响	μ 值大，变薄率降低，擦伤零件壁	加大 μ 值，可利用摩擦进料，减小危险断面上的拉应力	毛料成形完全靠橡皮摩擦力将其推入凹模孔内
改善措施	采用流体动力润滑并加冷却液		选用延伸率大的橡皮

1.5.3.2.9 旋压成形

旋压成形分普通旋压和变薄旋压两类，其摩擦特点见表。

旋压成形中的摩擦表

成形方法	普通旋压	变薄旋压	旋压收口
成形地点	旋棒与毛料	旋轮与毛坯	凹模与管子间
变形程度	中	重	重
接触压力	高	高	高
接触面积	小	小	中

(续)

成形方法	普通旋压	变薄旋压	旋压收口
槽移距离	长	长	长
槽移速度	高	高	高
接面温度	中	高	高
接触方式	点滑式	点滑式	面滑式
润滑条件	润滑油易被挤走, 并易被离心力甩掉	润滑油易被挤走并易被甩掉	润滑油易被挤走, 进不到接触区
摩擦系数	大	大	大
影响	μ 值大, 表面硬化快, 易开裂	μ 值大, 毛料与旋轮粘着, 零件表面出现裂纹	减小每次的缩口率, 表面与模具粘着

1.5.4 磨 损

1.5.4.1 磨损的成因

磨损是指接触面在相对运动中因机械或化学作用, 使物体表面物质不断损失的现象。

擦伤是指工件或模具(或工具)在相对摩擦中表面产生的划痕和损伤的现象, 是磨损的一种表现。

磨损产生的起因有粘着磨损与非粘着磨损两大类:

(1) 粘着磨损: 粘着结点被剪开后, 部分软金属转移到硬金属一侧, 其后脱落形成磨粒, 物体表面出现局部形状的改变。

(2) 非粘着磨损:

(a) 磨粒磨损: 硬磨粒对软金属表面进行犁沟切削。

(b) 疲劳磨损: 在交变接触压应力作用下, 物体表面因疲劳而产生物质损失。

(c) 腐蚀磨损: 金属表面氧化膜在摩擦中易被破坏, 于是金属又生成新的氧化膜, 氧化膜的反复破坏与生成, 加速了表面磨损的速率。

(d) 微振腐蚀磨损: 粘着结点被外界微振动所剪切, 剪切处表面氧化, 氧化屑脱落形成磨屑, 磨屑使表面进一步磨损。如此反复进行而形成的复合磨损形式。

1.5.4.2 估算磨损的公式

(1) 阿卡德 (Archard) 估算法⁽¹⁾

$$Q = K \frac{W}{3p_0} \quad (1a)$$

或

$$Q = K' \frac{W}{H} \quad (1b)$$

式中 W ——载荷;

p_0 ——金属的压缩屈服应力;

H ——金属的布氏硬度；
 K 与 K' ——与摩擦副有关的系数，或为摩擦副表面全部尖峰中产生磨粒的百分率，如表(1)所列。

表1. J. F. Archard的磨损试验⁽²⁾

摩擦副材料	静摩擦系数 ^① μ_0	磨损百分率 ^② K'
金对金	2.5	0.1~1
铜对铜	1.2	0.01~0.1
软钢对软钢	0.6	10^{-2}
黄铜对硬钢	0.3	10^{-3}
PTFE ^③ 对硬钢	0.15	2×10^{-5}
不锈钢对硬钢	0.5	2×10^{-6}
聚乙烯对硬钢	0.6	10^{-7}
碳化钨对硬钢	0.35	10^{-8}

①试验在无润滑状态进行的；

②PTFE为聚四氟乙烯的缩写。

(2) 赫尔木 (Holm) 估算法⁽⁵⁾

$$Q = \frac{CWL}{p_0} \quad (2)$$

式中 W ——载荷；
 L ——滑移距离；
 p_0 ——压缩屈服应力；
 C ——为一与摩擦副有关的系数。

(3) 茹 (Rowe) 估算法⁽⁶⁾

$$Q = k_n (1 + \alpha \mu^2)^{\frac{1}{2}} \beta \frac{W}{p_0} \quad (3)$$

式中 W ——载荷；
 p_0 ——压缩屈服应力； $\alpha=9$ ；
 $\beta = A_0/A$ ；
 A_0, A ——接触面表观面积与真实接触面积；
 μ ——摩擦系数；
 k_n ——为一与摩擦副有关的系数。

(4) 判别磨粒磨损发生的公式⁽⁶⁾

$$\begin{aligned} Ha < (0.7 \sim 1.0) Hm & \text{ 不发生} \\ Ha > (1.3 \sim 1.7) Hm & \text{ 发生} \\ Ha \text{ 介于 } 1.0 \sim 1.3 \text{ 之间} & \text{ 不定} \end{aligned} \quad (4)$$

式中 Ha ——磨粒的布氏硬度；
 Hm ——摩擦副软金属的布氏硬度。

(5) 疲劳磨损交变循环次数估算法^[7]

$$N = \left(\frac{2\varepsilon_f}{\varepsilon_f} \right)^2 \quad (5)$$

式中 N ——在交变循环下的极限疲劳次数；

ε_f ——材料的极限延伸率；

ε_f ——每循环的应变幅度。

(6) 金属的耐磨指数 e

$$e = \frac{\text{标准试件的磨损量}}{\text{被测试件的磨损量}} \quad (6)$$

标准试件一般用退火后的Armko生铁，试验是在载荷为150和200N时，将单位时间的Armko生铁磨损量为“1”。如表2所列。

表2. 几种模具钢的耐磨指数^[8]

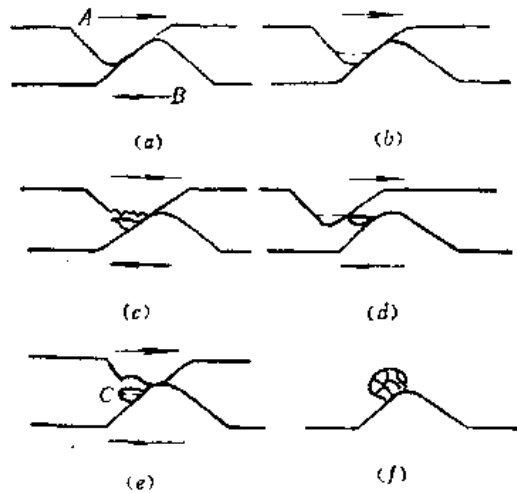
钢的牌号	热处理温度 °C			维氏硬度 HV	耐磨指数	
	渗碳	淬火	回火		载荷为 150 N	载荷为 200 N
W ₁₈ Cr ₄ V		1280(油)	550	835	8.0	8.95
CrWMn		800(油)	100	905	8.85	8.90
CrWMo		1050(油)	400	835	7.85	8.12
T ₁₀ A		780(水)	160	809	5.72	5.62
9Cr		840	180	649	4.5	4.55
5CrNiMo		840	500	502	3.58	3.43
18CrMnTi	920	840	200	805	8.9	8.85
12CrNi	820	800	150	743	6.52	6.75
12CrNiW	920	840	200	694	6.3	6.3
20Cr	920	840	180	694	5.6	5.5
45*		高频淬火	—	651	5.2	5.26
40Cr		830(油)	180	628	3.91	3.97
45*		820(油)	160	606	3.68	3.05
30CrMn		870(油)	540	255	1.66	1.84
退火Armko					1.00	1.00

1.5.4.3 擦伤的成因

板金零件，尤其是飞机外蒙皮件特别怕擦伤。擦伤有多种形式，如划痕、刮伤、麻点、凹坑、起皮和崩块等等表面的破坏。

擦伤的原因有：

(1) 模具表面完整性受到损害或形成了模瘤 (相似于切削中的刀瘤)。模瘤在好的润滑条件下仍可出现, 是表面尖峰被挤压为平台后, 部分金属挂在平台边缘, 其后不断粘着磨粒而形成较大颗粒的硬瘤, 见图。



(a) 尖峰接触; (b) 破裂; (c) 出现材料转移;
(d) 第二次接触; (e) 二次材料转移; (f) 形成模瘤。

A—模具表面的尖峰; B—板材表面的尖峰; C—被挤走的金屬和模瘤的初始形态。

(2) 板材或润滑油不洁带来的外界杂质。

板材微观表面的几何形状对形成擦伤亦有较大影响。如果尖峰高度在一定范围, 并比较一致, 且分布均匀彼此间有一定距离, 则可以减小擦伤。

1.5.4.4 耐擦伤的判别方法

(1) 接触率作为判据⁽⁸⁾

$$R = \frac{A}{A_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中 A ——为真实接触面积;
 A_0 ——为表观接触面积。

(2) 硬度比作为判据⁽⁹⁾

$$K = \frac{Hd}{Hm} \quad (2)$$

式中 Hd ——为模具表面的硬度;
 Hm ——为板材表面的硬度。

$Hd/Hm \leq 2$ 一般为轻磨损

$Hd/Hm \geq 2$ 一般为擦伤

上面判据仅适用于韧性金属无润滑情况。

(3) 摩擦比作为判据⁽¹⁰⁾

$$D = \frac{F_0}{F_1} \quad (3)$$

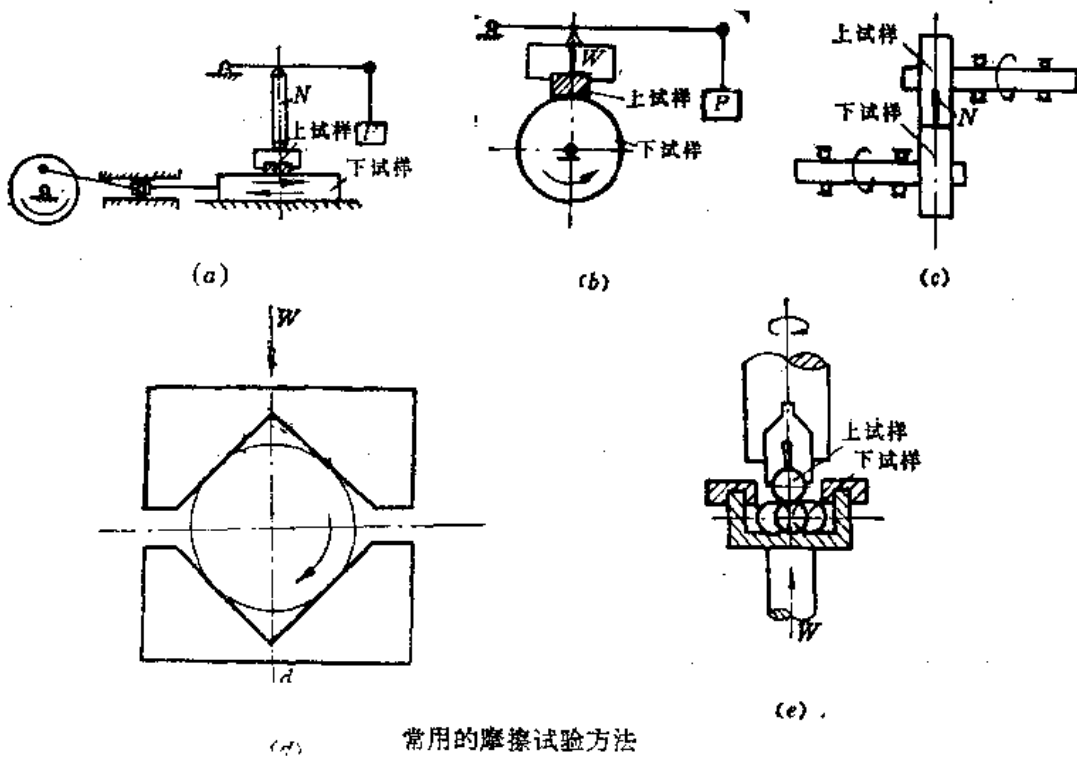
式中 F_s ——静摩擦力;
 F_d ——动摩擦力。

美国汽车工业对十一批高强钢板进行拉条料试验,证明其中 8 批的 D 值在 1.17~1.28 之间者不易擦伤, 3 批的 D 值在 1.3~1.42 之间者易擦伤, 所以确定 D 值大于或小于 1.3 作为判别擦伤的判据。试验载荷 W 应相当使板条产生 3% 延伸率的力。

1.5.5 摩擦、磨损、润滑效果常用试验方法

1.5.5.1 常用测试方法

用以测试摩擦系数, 磨损率和润滑效果的常用试验如图所示。各试验机的功用和指数见表。



常用的摩擦试验方法

(a) 往复滑动式试验机; (b) 铁姆肯试验机; (c) 滚子式磨损试验机; (d) 法利克斯磨损试验机; (e) 四球式磨损试验机。

常用摩擦试验机的功能

序号	试验机名称	功用	主要指数
1	往复滑动式	(1) 测摩擦副的摩擦系数; (2) 测一定时间内的试样磨损量	(1) μ 值($^{\circ}\text{C}$); (2) 磨损量, μg 或 μm^3
2	铁姆肯式 (Timken)	(1) 测摩擦系数; (2) 测不同润滑剂的效果	(1) 以转轮卡死之前的最大负荷的 kg 值称作铁姆肯 OK 值; (2) μ 值($^{\circ}\text{C}$)

(续)

序号	试验机名称	功 用	主 要 指 数
3	滚子式 (又名S. A. E. 试验机)	(1) 测一定时间内的试样磨 损量; (2) 测试样的疲劳磨损量	磨损量, μg 或 μm^3
4	法兰克斯式 (Faxex)	(1) 测一定时间内的试样的 磨损量; (2) 测动摩擦系数	(1) 磨损量, μg 或 μm^3 (2) μ_s 值 ($^{\circ}\text{C}$)
5	四球式	(1) 测磨损量; (2) 测不同润滑剂的效果	以旋转球卡死前的最大负荷液压压力作为 比较指数, 单位 N/mm^2 (习用 kg/cm^2)

1.5.5.2 常用测试板金摩擦的方法

1.5.5.2.1 杯突试验法

用不同润滑剂对相同试样进行杯突试验, 可求得不同的杯突 IE 值。用杯突试样顶点周围一定范围内电蚀网格小圆的平均应变值来评比润滑效果, 有较高的灵敏度。

1.5.5.2.2 杯件压延试验法

用两种不同压边力, 测得两个最大压延力, 利用下式^[11]可估算出压延中压边圈、凹模平面和凹模圆角处的摩擦系数:

$$\frac{P_{m2} - P_{m1}}{Q_2 - Q_1} = 2\mu + 3.2\mu^2$$

式中 P_{m1} ——当压边力为 Q_1 时的最大压延力, N ;

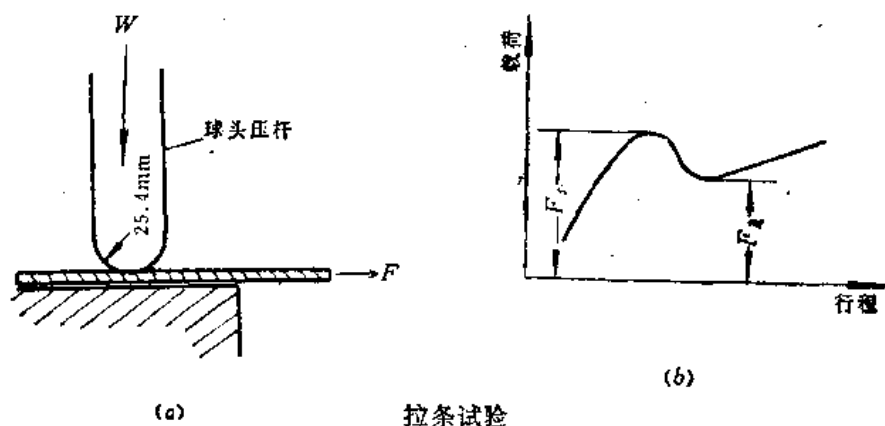
P_{m2} ——当压边力为 Q_2 时的最大压延力, N ;

Q_1 ——第一次压延时的压边力, N ;

Q_2 ——第二次压延时的压边力, N 。

1.5.5.2.3 拉条试验法

长条形试样放于平台上, 将负有载荷为 W 的球形压柱压于试样中, 加侧向力 F , 测出试样刚开始移动所需的侧力 F_s 和维持等速移动所需的侧力 F_A , 前者可求静摩擦系数 μ_s , 后者可求动摩擦系数 μ_d 。用此试验还可测出试样材料的耐擦伤能力, 见图示。



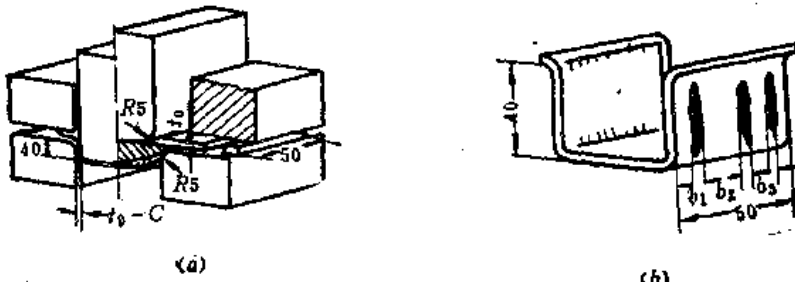
(a) 拉条试验装置原理; (b) 拉条试验求得的摩擦力与行程曲线。

1.5.5.2.4 U形件弯曲试验法

在有压边装置的U形件弯曲模上对长方形料进行弯曲成形，见图。可测板材滑过凹模圆角时的摩擦系数；测试样耐擦伤能力；测凸凹模间隙小于试样厚度时的摩擦力和测不同润滑条件下对试样的擦伤率。擦伤率可按式估算：

$$\text{擦伤率} = \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{B} \times 100\%$$

式中 b_i ——按图所示测得各擦伤处的宽度，mm；
 B ——与试样的宽度，mm；
 n ——试样一侧擦伤处的数目。



U形弯曲试验
 (a) 试验用的模具；(b) 试样擦伤情况。

1.5.6 润 滑

1.5.6.1 润滑的机理

润滑剂对摩擦副的作用是：隔开、减小摩擦力、冷却、带走杂屑。其中“隔开”最为重要。隔开可避免两物体接触面的粘着和犁沟现象，也自然能达到减小磨损和擦伤的目的。

但是，要使润滑剂起到“隔开”的作用，除研究好的润滑剂之外，还需解决好以下问题：

- (1) 如何使润滑剂进入接触区。
- (2) 如何能使润滑剂在接触区保存下来，而不被挤走或变质。
- (3) 如何使润滑剂能迅速的扩散到新生的表面以便将其保护起来。
- (4) 在连续的循环生产中如何使润滑剂不断更新。

润滑不仅是如何选用恰当的润滑剂问题，还包括对润滑方式、模具几何尺寸、机床速度和模具材料等作恰当的设计和选用。

1.5.6.2 液体润滑的方式

1.5.6.2.1 一般油膜润滑

一般油膜润滑是指润滑膜不依靠外力仅靠自身的能力能保留在接触面之间，不被挤走、不变薄和不变质。按不同润滑膜的厚度和保留方法，可细分为：

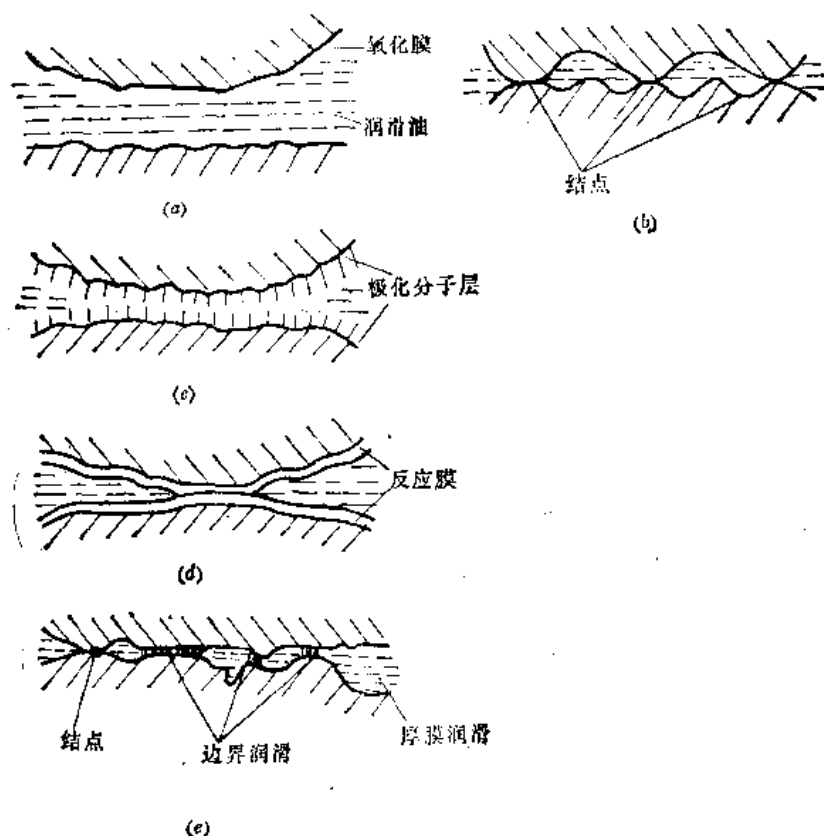
(1) 厚膜润滑, 参见图 (a), 其特点有: 膜厚应超过两接触表面尖峰高的总和; 载荷全部由油膜承担; 摩擦力仅用来克服润滑剂自身的抗剪力。

(2) 薄膜润滑, 参见图 (b)。其特点有: 膜厚等于或微大于两表面尖峰高度之和; 载荷大部分由油膜承受, 小部分由接触尖峰承受; 摩擦力除克服润滑剂自身剪应力外, 还要剪断尖峰间冷焊的结点。

(3) 边界润滑, 参见图 (c), 特点有: 膜厚只有几个或几十个原子距离 (\AA), 此时油膜已非流体, 起润滑作用的是其中含极化分子链的油性剂。有次序排列并吸附在金属表面的极化分子膜, 叫作吸附膜; 载荷由吸附膜承受; 摩擦力用来克服吸附膜自身的抗剪力。

(4) 极压润滑, 参见图 (d), 又称为 *E、P* 润滑 (*Extreme pressure lubrication*), 其特点有: 在温度达到一定值后, 混于润滑剂中的氯、硫、磷等盐化物, 与金属表面发生化学作用, 生成反应膜; 载荷由化学膜承受; 摩擦力用来克服两金属表面反应膜间的摩擦阻力。

(5) 混合润滑, 参见图 (e)。此类润滑形式是工程中最常见者, 在一接触面上兼有上述各种不同的润滑方式。



(a) 厚膜润滑; (b) 薄膜润滑; (c) 边界润滑; (d) 极压润滑; (e) 混合润滑。

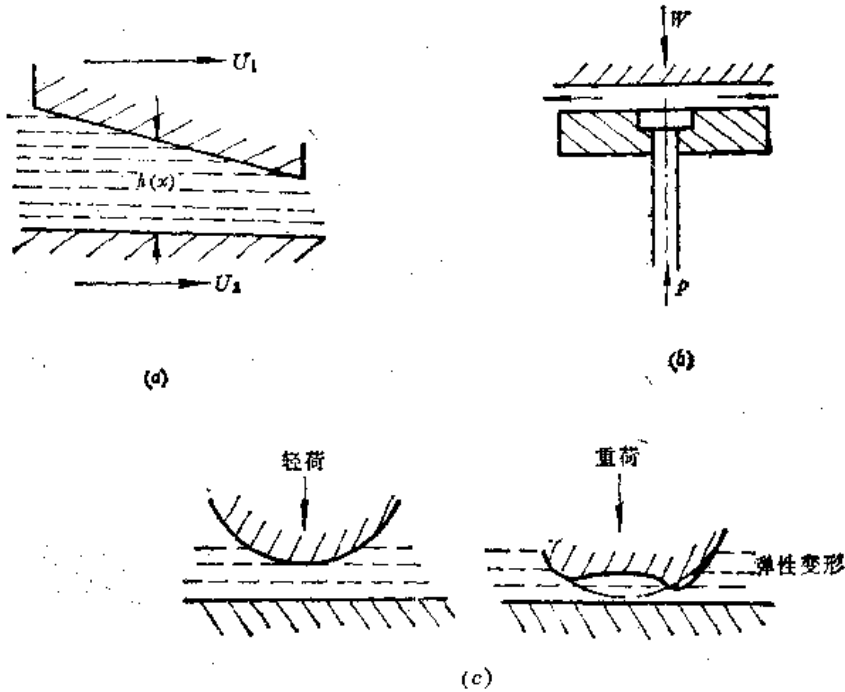
1.5.6.2.2 流体润滑

(1) 流体动压润滑, 参见图。其特点是: 依靠润滑剂的粘度和高移动速度, 使油膜在接触面间形成压力油楔, 利用此油楔将两表面隔离。

(2) 流体静压润滑，参见图。其特点是：依靠外油源将高压油挤入两接触面之间，原理同静压轴承。

(3) 弹性流体润滑，参见图。其特点是：利用油液的粘度能随压力迅速升高；在局部高压作用下，金属产生弹性变形，使接触面积增大。

在钣金成形中，除弹性流体润滑采用较少外，其它各种都有应用。



(a) 流体动压润滑；(b) 流体静压润滑；(c) 弹性流体润滑。

1.5.6.3 液体润滑剂的成分

液体润滑剂通常由下述成分所组成：

(1) 基剂：润滑剂中占成分最多，用以使其他润滑剂均匀混合的液体，通常多采用价格低廉的矿物油、植物油、动物油或水。

(2) 油性剂：用以在金属表面形成吸附膜和保证边界润滑方式。常用动植物油、油酸、脂肪酸和硬脂酸等。

(3) 极压剂：用以在金属表面生成化学反应膜。多为氯、硫、磷的盐类。

(4) 隔离剂：用机械方法使两接触面分开，多用无机物的粉末。

(5) 各种不同功能的添加剂：如用以改善基油的粘性变化性质、防腐、防锈、去泡沫等等特种功能用的化学物质。

1.5.6.3.1 矿物油的种类

钣金成形中常用矿物油有下述几种：

(1) 正品矿物油：见表。

常用矿物油^[12]

油 名	矿 油 类 别	运 动 粘 度 值 CS
锭子油	L. V. (低粘度油)	≤35
机油	M. V. (中粘度油)	35~80
重机油	H. V. (高粘度油)	80~110
气缸油	V. H. V. (很高粘度油)	>110

(2) 板材表面保护油。

(3) 再生矿物油。

1.5.6.3.2 常用油性剂与极压剂

常用油性剂与极压剂见表1和表2。

表1. 常用油性剂

类 别	物 质 名 称
动物油	猪油、牛油、羊油、蜂蜡、鲸油、鱼油、鱼肝油
植物油	棕榈油、棉子油、蓖麻油、菜油、玉米芯油、豆油、糠油
油酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
脂肪酸	$\text{C}_{17}\text{H}_{33}-\text{COOH}$
化合物	乙醇、胺、甘油、油酸丁酯、二聚酸乙二醇单酯、二聚酸

表2. 常用极压剂

类 别	物 质 名 称	适 用 温 度 (°C)
氯化物	氯化石蜡、氯化棉子油、氯化苯	200~300
硫化物	硫化棉子油、硫化矿油、硫磺粉、硫化烯烃、二苯基二硫化物、石油磺酸钡、磺化蓖麻油	300~400
磷化物	磷酸酯、亚磷酸酯、二烷基二硫代磷酸锌、硫代磷酸酯的含氮衍生物	400~500
碘化物	(适用于不锈钢和钛合金)	200~300

1.5.6.3.3 无机填料 (见表)

无机填料

名称	化学式	适用温度 (°C)	备注
石墨	C	300~600	有水剂、油剂、粉剂
二硫化钼	MoS ₂	<400	35°C以下比石墨好
二硫化钨	WS ₂	<400	气化稳定性比MoS ₂ 好
二硫化钽	TaS ₂	<550	有低的电阻
三硫化钼	MoS ₃	<400	
氧化硼	B ₂ O ₃	<250	
氧化铅	PbO	<250	<250°C比MoS ₂ 差
氟化硼	BF ₃	<100	
氟化钙	CaF ₂	700~1,000	<350失效
氮化硼	BN	700~1,000	不宜用于真空环境
云母粉		<300	要求有一定粒度
硫磺粉	S	<200	亦可熔于热油中
滑石粉		<500	
氧化锌	ZnO ₂	>300	
三氧化二钇	Y ₂ O ₃	<900	

1.5.6.3.4 金属皂

金属皂一般为脂肪酸、硬脂酸、乙酸与脂肪酸等与金属钙、钾、钠、锂、铝和非金属硼等的化合物。溶于水形成水溶性润滑剂。水基润滑剂有良好的冷却性能，易清除，并可收回。宜采用喷射的涂加方法。

金属皂亦常用来作为固体润滑剂，将其水溶剂喷涂在板材上，烘干后即形成固体润滑剂。

1.5.6.3.5 功能添加剂 (见表)

各种功能添加剂^[12]

类型	名称	用途
增塑剂	聚乙烯基正丁基醚 聚甲基丙烯酸酯 聚异丁烯	改善粘温特性； 起增稠作用
防锈剂	石油磺酸钠 环烷酸锌 羊毛脂及其皂 硬皂	可与金属表面起强烈的 吸附作用
抗氧化剂	二芳基二硫代磷酸锌 硫磺化烯烃钙盐	(1) 分解油中受热氧化； (2) 与金属形成反应膜； (3) 钝化金属表面
清净剂	石油磺酸钙 烷基酚钡 烷基水杨酸钙 硫磺化聚异丁烯钡盐	清净剂易吸附于胶质氧化 物上使之悬浮于油中。 防止产生沉淀
抗泡剂	二甲基硅油	降低油的表面张力 防止形成稳定泡沫

1.5.6.4 润滑油脂

油脂是液体润滑剂与稠化剂的稳定混合物。皂为半流动体；除作润滑剂外，还可作密封剂用。常用润滑油脂见表。

常用油脂⁽¹⁾

标准号	名称	针入度(25℃) 1/10mm	滴点(℃)	组成	特点
GB 491-65	钙基润滑脂 1~5号	130~340	75~95	脂肪酸钙皂稠化于粘度矿油中	中滴点，有良好抗水性，使用温度为55~65℃
GB 492-65	钠基润滑脂 2~4号	175~295	140~150	钠皂稠化于粘度矿油中	耐高温 110~120℃
SYB 1409-62S	合成钙基润滑脂 1~2号	220~330	75~85	合成脂肪酸钙皂稠化于粘度矿油中	中滴点，有良好抗水性，使用温度55~60℃
SYB 1407-59	复合钙基润滑脂 1~4号	160~350	180~240	乙酸和脂肪酸复合钙皂稠化于粘度矿油中	用于高温150~200℃
—	锂基润滑剂 1~5号	160~340	175	硬脂酸锂皂稠化于粘度矿油中	用于140℃以下，抗水性好
SYB 1408-59	钼基润滑剂	230~280	75	脂肪酸钼皂稠化于粘度矿油中	抗水防锈性好
—	膨脹土润滑剂 1~3号	220~340	250	膨脹土稠化于粘度矿油中	有良好极压性，温度200℃以下

1.5.6.5 固体润滑剂

固体润滑剂可减少板金成形的生产准备时间，使工厂能文明生产。缺点是摩擦系数比液体润滑剂大，和不能起冷却和带屑作用。固体膜容易脱落需注意保护和修补，成本较高。常用固体润滑剂的使用方法见表1。常用材料见表2。

表1. 固体润滑剂使用方法

类别	使用方法	说明
固体润滑剂粉末	将固体粉末分散于气体、液体或胶体中	(1)分散到硬脂酸、石蜡内，制成固体蜡笔，以便在需要润滑局部涂复 (2)随气体或油喷射到毛料上
固体润滑膜	将固体润滑剂用粘着剂粘于板材上	用合成树脂将固体润滑剂粘接到板材表面
	用特殊方法在板材表面形成固体润滑膜	(1)用真空沉积、离子喷涂、电沉积等形成固体润滑膜； (2)用化学反应法； (3)用塑料薄临时衬垫

表2. 常用固体润滑剂的种类

类别	粘附方法	常用材料
贵金属	轧制复合, 喷涂或浸沾	Pb, Sn, In, Zn, Ba, Ag, Au, Cu
金属的化合物	各种纯化和处理方法	(1)氧化物, 如 PbO_2 , Fe_3O_4 等; (2)卤化物, 如 CuF_2 , BaF_2 , $CoCl_2$; (3)硒化物, 如 WSe_2 , $MoSe_2$ 等; (4)磷酸盐, 如 $Zn(PO_4)_2$ 等; (5)硫酸盐, 如 Ag_2SO_4 等; (6)草酸盐, 草酸亚铁; (7)有机酸盐, 如各种金属脂肪酸皂膜
无机物质	用树脂粘于板面	石墨, 二硫化钼, 等(见4.1.3, 3.3节表)
有机物质	涂刷、沾浸、临时衬垫	(1)蜡、石蜡、固体脂肪酸、联苯 (2)塑料、聚四氟乙烯、聚乙烯尼龙(聚酰胺)等

1.5.6.6 高温保护润滑剂

高温合金、钛合金、耐热不锈钢和高强度结构钢等难变形合金, 在高温变形时需润滑剂来保护表面使之不氧化、吸氢、腐蚀、污染和脱碳。常用的润滑剂多为玻璃物质。我国航空材料研究所研制有FR系列。北京机电研究所亦研制有WY系列。此外, 西安油漆厂生产的高温油漆也是一种较好的高温保护润滑剂。

1.5.6.7 润滑剂的选用原则

1. 使用要求: 使用目的不同, 选油的重点亦应不同。如: ①小 μ 值; ②小磨损; ③需冷却或绝热; ④保护使之与大气隔离; ⑤降低零件表面粗糙度; ⑥防尘密封; ⑦不染色。

2. 操作要求: ①易去除; ②易涂敷; ③易于毛料定位和零件出模; ④无毒, 不伤皮肤; ⑤安全不易燃不发霉变质; ⑥能长期库存。

3. 后继工序要求: 对后继各工序, 如焊接、热处理、表面保护、印刷等工序不应带来较大的麻烦, 对模具无腐蚀作用。

4. 经济要求: ①成本低, 资源丰富; ②节能。

选用润滑油还应考虑生产规模。大批量快速生产时模具积热高, 应适当冷却。

润滑剂、模具参数、模具材料、毛料性能、冲压速度都是保证良好润滑的重要因素, 应全面综合考虑, 使之匹配恰当。

1.5.6.8 润滑剂的涂覆方法

流体润滑剂的涂覆方法见表。

流体润滑剂的涂覆方法

类别	采用方法	备注
人工涂覆	刷；抹；浸。	毛料在油中至少应浸1min以上
机械涂覆	喷；沾；滚。	喷涂颗粒度应大于10 μ m, 以避免气化浪费

1.5.6.9 板金成形常用润滑剂配方

润滑油有多种配方（各国和各生产厂对其润滑剂配方都严格保密。下述是一些公开配方，如表1～表12所列。

表1. 苏联板金成形用润滑油^{〔10〕}

成分	1号油	2号油	3号油	4号油	5号油	6号油	7号油	8号油	9号油	10号油	11号油	注
锭子油	—	12	65	—	43	40	—	—	20	33	60.3	
黄油	56	25	12	—	—	40	—	—	40	—	—	
含硫油	22	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	
硫化蓖麻子油	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.5	2.6	
鱼肝油	9	12	2.5	—	8	—	—	—	—	1.2	2.1	
机油	—	—	—	—	—	—	100	—	—	—	—	
白垩粉	12	20.5	—	3	—	11	—	—	—	45	—	
石墨	—	—	—	—	15	—	—	—	20	—	—	
油酸	—	5.5	11.5	—	8	—	—	—	—	5.5	10.2	
硫磺粉	—	—	—	—	5 ^①	8 ^②	—	—	7 ^②	—	—	
钾肥皂	—	—	—	3	6	—	—	20	—	—	—	
苛性钠	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.7	1.3	
酒精	1	—	—	—	—	1	—	—	1	—	—	
滑石粉	1.2	—	—	3	—	—	—	—	—	—	—	
水	—	25	6	91	15	—	—	80	12	13	23.5	

① 硫磺粉研很细后加入；

② 硫磺粉溶于160°锭子油中加入。

表2. 板金润滑剂⁽¹⁵⁾

润滑剂名称	主要成分	特点与应用
板材表面保护油	冶金厂出厂涂的保护油	用于浅(轻)成形, 弯曲。
改性矿物油	1. 矿油加5~50%油性剂; 2. 矿油加5~50%硫化油; 3. 矿油加磷酸盐	用于中等或重成形
皂液	钾、钠皂与水的溶液	用于轻等或中等成形。优点易去除
动植物油	1. 猪、牛、鱼油 2. 棕榈、蓖麻油	不耐温, 易变腐, 用于中等或重等成形
皂加油性剂 (为油脂状)	35~36%金属皂与动植物油混合, 用时加水稀释 (a) 1:1(皂脂:水)	用于中等或重等成形 用于重等成形
	(b) 1:6(皂脂:水)	用于轻等或中等成形
	(c) 1:1(皂脂:水)再加入10~15%无机添加物	用于重等成形, 去除较难
极压油	1. 直接用氯化油, 如氯化石蜡等	可延长模具寿命。易腐蚀零件用于强旋和重等成形
	2. 直接用硫化油, 如硫化蓖麻油等	用于冲裁, 有好的防尘能力, 易腐蚀模具
磷化处理	处理后, 应立即再加以皂剂	离开性好, 难去除, 零件如印刷、磷化表面可作底层用
干膜	1. 塑料膜面(由冶金厂直接供应)	用于潮湿环境, 价格较贵可水磨去除, 但易碰伤, 价为塑料膜的1/4
	2. 喷皂液于板面, 烘干	
	3. 蜡或石蜡	能承受高压, 不易去除, 价贵, 用于旋压, 强力旋压。
	4. 石墨或MoS ₂ 用树脂粘于板面	能承受中温高压, 难去除
	5. 塑料薄膜, 如PTFE或P. V. C. 用时临时铺于板面, 再加机油	适用于试验, μ 值小。生产中难采用
玻璃润剂	铅硼、钾铅钙、硼硅、铝硅、等玻璃	350~1200℃ 高温下的保护润滑剂

表3. 板金成形常用润滑油配方⁽¹⁶⁾

1. 极压(E、P)油

为含高氯的氯化油, 脂或石蜡; 含高硫的硫化油或脂; 一定量的无机添加剂, 如环烷铅之类; 与矿物油混合而成, 有着强的极压性能。可直接使用, 亦可用作配剂。

2. 压延润滑剂

(a) 有添加剂的乳化剂:

动植物或矿物油, 加定量无极添加剂, 用金属肥皂作乳化剂, 与水拌合制成乳化剂

(b) 有添加剂的油性剂:

无机添加剂溶于氯化或硫化油中, 可直接使用, 或加水稀释后使用

(c) 无添加剂的乳化油:

脂肪、油酸、乳化剂与水合成, 用时再加水稀释

3. 皂类润滑剂

(a) 可溶皂液:

10~25% 钾、钠、锂皂加水形成混合液

(b) 有体润滑膜:

用水溶性金属肥皂, 加定量无灰添加剂, 亦可加蜡、稳定剂与80~90%水混合, 用喷涂或刷涂法, 覆于板面, 经烘干制成带固体润滑膜的板料

(c) 肥皂粉:

常直接用于拉丝或拔管等加工中

(d) 金属肥皂:

直接涂于加工的局部

表4. 用于不同金属的润滑剂^①

变形程度 ^① 材料	轻 等	中 等	重 等
低碳钢板	1. 中或高粘度矿油; 2. 皂液; 3. 脂肪和矿油与皂和水的乳化剂; 4. 蜡与其他油脂的混合物	1. 加细锌钡粉添加剂的石水乳化液; 2. 加硫化油的乳化剂; 3. 加磷化物的乳化液; 4. 用皂肥固体膜润滑	1. 加磷化物的干膜与蜡膜; 2. 覆以软金属表面层; 3. 先经磷化处理压时再涂以硫化油; 4. 含硫磺粉的乳化剂; 5. 含硫磺粉的油基硫化混合液
不锈钢	1. 蓖麻油, 米糠油; 2. 蓖麻油加乳化剂; 3. 涂蜡, 或贴油纸	1. 粉或胶质石墨; 2. 加无机添加剂形成高稠度的乳化剂; 3. 固体蜡膜	1. 加立德粉的棉子油; 2. 加白铅粉的棉子油; 3. 喷清漆后加矿油
黄 铜	1. 高滴度皂液; 2. 脂肪或矿油的皂水乳剂; 3. 10~20%猪油; 80~90%矿油的混合剂	1. 高滴点(39~42%)的皂加1~2%脂肪酸, 活性碱(<0.7%), 1%牛油, 混合成的液体; 2. 大比重脂肪与皂的乳化剂; 3. 25~50%猪油与矿油混合剂	1. 1~2%皂, 1~2%牛油, 2.5%脂肪酸混成的润滑剂, 涂于毛料上后应停放较长时间后再用; 2. 50~100%猪油与矿油混合液; 3. 肥皂干膜
铝及铝合金	1. 矿油(粘度应随成形程度增奇而增加); 2. 10~20%脂肪与矿油混合液	1. 牛油加机油; 2. 10~15%硫化植物油与矿油混合剂	1. 干肥皂膜或蜡膜; 2. 加添加剂的硫化油; 3. 加添加剂的脂肪与皂和水的乳化剂
镁及镁合金	1. 胶质石墨加矿油; 2. 蜂蜡, 或石蜡加牛油	胶质石墨, 四氯化碳, 石脑油, 或酒精的混合液。涂于毛料上, 加热使液体挥发。另外还需在模具上涂20%石墨与牛油的混合剂	
锌	1. 中性皂液; 2. 中性轻矿油		
钛	磷化铍处理覆层, 再加一层皂, 蜡或 MoS ₂		
钽、铌	硫化牛油		

① 轻等变形烈度, 如中空件的浅压延成形;

中等变形烈度, 如杯件的深压延成形;

重等变形烈度, 如变薄压延, 管子拉拔和缩径。

表5. 普通钢板冲压用油⁽¹⁷⁾

油剂 NO.	粘度 cst	燃点 COC (°C)	四球 试验 200 r. p. m. kg/cm ²	振子式油性试验机 μ 值			压延试验 L. D. R.		添 加 剂			
	50°C			25°C	100°C	200°C	10m/ min	20m/ min	S	Cl	油性	防锈
A-1	15	184	6.5	0.128	0.132	0.096	2.35	2.35			0	0
A-2	13	168	>15	0.136	0.164	0.092	2.35	2.35		0	0	0
A-3	20	179	>15	0.150	0.180	0.144	2.35	2.375		0	0	0
A-4	30	198	7	0.136	0.144	0.112	2.35	2.35			0	0
A-5	40	191	7	0.144	0.136	0.084	2.35	2.35		0	0	0
A-6	65	213	6.5	0.112	0.140	0.112	2.375	2.375			0	0
A-7	65	226	9	0.131	0.118	0.086	2.375	2.375		0	0	0
A-8	165	221	15	0.144	0.121	0.072	2.40	2.40	0	0	0	0
A-9	220	240	>15	0.104	0.108	0.056	2.425	2.45			0	0
A-10	570	263	8.5	0.104	0.144	0.072	2.425	2.475			0	0
A-11	330	250	>15	0.144	0.148	0.096	2.40	2.45	0	0	0	0
A-12	580	250	>15	0.116	0.124	0.072	2.425	2.50	0	0	0	0

表6. 不锈钢板冲压用润滑油⁽¹⁷⁾

油剂 NO.	粘度 cst	燃点 COC (°C)	四球 试验 200 r. p. m. kg/cm ²	振子式油性试验机 μ 值			压延试验 L. D. R.		添 加 剂			
	50°C			25°C	100°C	200°C	5m/min	20m/min	S	Cl	油性	防锈
B-1	20.7	169	>15	0.138	0.158	0.078	2.175	2.15	0	0	0	0
B-2	22.1	163	>15	0.136	0.160	0.064	2.150	—		0	0	0
B-3	68.6	240	>15	0.108	0.132	0.088	2.20	2.187		0	0	0
B-4	47.1	206	>15	0.140	0.176	0.080	2.187	2.175		0	0	0
B-5	86.3	174	>15	0.116	0.104	0.108	2.20	2.175	0	0	0	0
B-6	57.3	164	>15	0.114	0.108	0.090	2.175	2.15	0	0	0	0
B-7	280.6	—	>15	0.100	0.115	0.90	2.20	2.225		0	0	0
B-8	274.1	194	>15	0.096	0.092	0.076	2.225	2.25		0	0	0
B-9	33.7	—	>15	0.120	0.100	0.120	2.275	2.25		0	0	0
B-10	(30°C) 33.2	200	>15	0.156	0.136	0.096	2.25	2.225		0	0	0
B-11	138	—	>15	0.155	0.140	0.120	2.30	2.30		0	0	0
B-12	21.0	—	>15	0.108	0.082	0.080	2.25	2.275		—	0	0

表7. 高强钢板冲压用润滑油⁽¹⁷⁾

油剂 NO.	粘度 (cst)			燃点 COC (°C)	四球试验 (200 r. p. m.) 耐压 (kg/cm)	振子式油性试验机 μ 值			压延试验 (L. D. R)		添加剂		
	30°C	50°C	100°C			25°C	100°C	200°C	5m/min	20m/min	S	Cl	油性
C-1	332			200	>15	0.156	0.136	0.095	2.275	2.30		0	0
C-2	—	21.0		—	—	—	—	—	2.375	2.35			
C-3	—	64.0	11.1	180	>15	0.130	0.125	0.100	2.20	2.225		0	0
C-4	625	153	21	210	>15	0.130	0.150	0.065	2.25	2.275	0	0	0
C-5	—	515	55	221	>15	0.130	0.140	0.060	2.30	2.325	0	0	0
C-6	—	—	—	—	>15	0.103	0.034	0.184	2.325	2.375			
C-7	—	—	—	—	—	—	—	—	2.337	2.35			

表8. 薄板冲裁用润滑剂⁽¹⁷⁾

油剂 NO.	粘度cst		燃点 (°C)	四球试验 200r-p. m. (kg/cm ²)	振子式油性试验机 μ 值		添加剂		适用加工
	30°C	50°C			25°C	200°C	Cl	S	
1	15.48	3.46	>80	9	0.121	0.118	0	0	碳钢薄板用
2	3.3	2.28	>50	>15	0.14	0.159	0		不锈钢0.8~1mm用
3	1.73	1.30	>50	>15	0.14	0.150	0	0	碳钢有色金属
4	1.36	—	>50	>15	0.15	0.160	0		电磁钢板用于干燥形
5	1.05		>50	>15	0.183	0.210	0		电磁钢板用, 干燥性大
6	0.88		>30	3	0.20	0.15			电磁钢板用, 干燥形
7	1.55		>30	3	0.20	0.16			电磁钢板用, 干燥形
8	1.43		>40	6	0.140	0.12			电磁钢板, 镀锌钢板用
9	1.44		>40	6	0.116	0.10			电磁钢板, 镀锌钢板用
10	1.11		>30	>15	0.136	0.088			电磁钢板, 碳钢板用

表9. 厚板冲裁用润滑油⁽¹⁷⁾

油剂 NO.	粘度cst		燃点 COC (°C)	四球试验 200r. p. m. 耐压 (kg/cm)	振子式油性试验机 μ 值		添加剂		适用加工
	30°C	50°C			25°C	200°C	Cl	S	
11	19.8	9.60	>160	6	0.132	0.128	0	0	1~6mm碳钢板
12	5.1	8.61	>140	9	0.150	—	0		碳钢; 胀形成形亦可用
13		20.53	>140	>15	0.150	0.144	0		碳钢、有色金属
14		36.2	>200	8	0.125	0.07	0	0	1~3mm碳钢

油剂 NO.	粘度 cst		燃点 COC (°C)	四球试验 200r. p. m. 耐压 (kg/cm)	振子式油性试验机 μ值		添加剂		适用加工
	30°C	50°C			25°C	200°C	Cl	S	
15		86.35	>160	>15	0.116	0.103	0	0	10mm左右冲裁
16		366.7	>240	>15	0.12	0.09	0		洋白钢板, 磷青铜
17		280.6	>200	>15	0.10	0.09	0		不锈钢
18		151.2	>220	>15	0.23	0.23	0		不锈钢; 厚板
19		49.54	>160	>15	0.14	0.086	0	0	3~6mm碳钢板
20		136.1	>180	>15	0.103	0.087	0	0	6mm以上碳钢板

表10. 不同板材不同成形方法适用的润滑油⁽¹⁾

材料 \ 成形	冲 裁	弯 曲	成 形	压 延
硅钢板	冲裁速度快应选用粘度愈低			
碳钢板 合金钢板	碳钢, 合金钢为粘着磨损。润滑油膜强度应在15kg/cm ² 以上 ^①	用锭子油与机油之间的粘度。油膜强度对薄板为7kg/cm ² , 对厚板为10kg/cm ²	采用含Cl化合物的E. P. 剂, S化合物禁用。油膜强度在7kg/cm ² 以上, 粘度介于锭子油与机油之间	防止擦伤, 油膜强度应在15kg/cm ² 之上。据板厚不同, 粘度应为矿油的2~5倍
镀锌钢板	为防锈用非水溶性润滑油, 不用有氯化物的E. P. 剂	粘度相当于锭子油, 含氯E. P. 剂不用	油膜强度7kg/cm ² 以上, 粘度为矿油相同或大2倍	—
不锈钢板	模具易与板材粘着, 应用专用的不锈钢润滑油。薄板可适当加以稀释。厚板可直接使用原油	为防止擦伤可采用专用不锈钢润滑油	应用加入较多E. P. 剂的润滑油。油膜强度在15kg/cm ² 以上, 粘度在矿油的3~5倍	油膜强度在15kg/cm ² 以上, 粘度为矿油的50倍。模具采用铜合金效果较好
镀锡钢板 (马口铁) 磷青铜板	同不锈钢板	同不锈钢板	用不锈钢润滑油, 粘度为矿油的2~3倍	—
铜板 铜合金板	不用含硫化物的润滑剂以防染色。用低粘度但油性剂含量较多的润滑油	同冲裁, 粘度在锭子油与矿油之间	用稀释率为5~10倍的水溶性润滑剂以防擦伤。如没有擦伤亦可用非水溶性润滑剂	油膜强度在15kg/cm ² 以上, 粘度为矿油的5~10倍
铝板 铝合金板	不用含氯化物的润滑剂, 用低粘度油	不用含氯化物的润滑剂以免表面染色。粘度在锭子油与矿油之间, 注意后工序的脱脂问题	铜金属皂, 脂肪油的混合剂, 粘度在矿油的2~5倍	油膜强度在15kg/cm ² , 粘度为矿油的10倍。厚板应为矿油的50倍

①油膜强度为用四球试验机在200r. p. m. 情况下, 油膜完全破坏, 转球卡死时的载荷。

表11. 润滑剂分类^[18]

编号	类别	或分
A	矿物油	纯矿物油
B	动植物油	
B-1	动植物脂肪油	纯脂肪油
B-2	脂肪油混合剂	混有氯化物的脂肪油
B-3	脂肪油混合剂	含有硫化物的脂肪油
B-4	脂肪油混合剂	含有硫化与氯化物的脂肪油
C	矿物油混合剂	
C-1	矿油混合剂	几种不同矿油混合剂
C-2	脂肪油混合剂	几种不同脂肪油混合剂
C-3	处理矿油	硫化矿油
C-4	处理矿油	氯化矿油
C-5	处理矿油	硫化与氯化处理矿油
C-6	混合矿油(硫化)	矿油+硫化脂肪的混合剂
C-7	混合矿油(硫化)	矿油+硫化非脂肪的混合剂
C-8	混合矿油(硫化)	矿油+硫化非脂肪+硫化脂肪
C-9	混合矿油(氯化)	矿油+氯化脂肪的混合剂
C-10	混合矿油(氯化)	矿油+氯化非脂肪的混合剂
C-11	混合矿油(氯化)	矿油+氯化脂肪+氯化非脂肪
C-12	混合矿油(双处理)	矿油+硫化氯化双处理脂肪
C-13	混合矿油(双处理)	矿油+硫化氯化双处理非脂肪
C-14	混合矿油(多成分)	矿油+C-6和C-9
C-15	混合矿油(多成分)	矿油+C-7和C-10
C-16	混合矿油(多成分)	矿油+C-8和C-11
C-17	混合矿油(多成分)	矿油+C-6和C-10
C-18	混合矿油(多成分)	矿油+C-5和C-11
C-19	混合矿油(多成分)	矿油+C-6和C-11
C-20	混合矿油(多成分)	矿油+C-7和C-9
C-21	混合矿油(多成分)	矿油+C-8和C-11
C-22	混合矿油(多成分)	矿油+C-8和C-9
C-23	混合矿油(含氮)	矿油+C-3和C-10
C-24	混合矿油(含磷)	矿油+氮化物+C-1到C-22中任一种剂
C-25	混合矿油(无机磷料)	矿油+磷化物+C-1到C-22中任一种剂
C-26	混合脂肪(含氮)	矿油+无机添加剂+C-1到C-22中任一种剂

编号	类别	成分
C-27	混合脂肪(含磷)	脂肪+氟化物+C-1到C-22中任一种剂
C-28	混合脂肪(无机添料)	脂肪+无机添加剂+C-1到C-22中任一种剂
C-29	矿油脂肪混合剂	矿油+脂肪+氟化物+C-1到C-22中任一种剂
C-30	矿油脂肪混合剂	矿油+脂肪+磷化物+C-1到C-22中任一种剂
C-31	矿油脂肪混合剂	矿油+脂肪+无机添料+C-1到C-22中任一种剂
D	乳化剂	
D-1	水包油乳化剂	矿油A类乳化剂
D-2	水包油乳化剂	矿油(或脂肪)—B-1或C-1的乳化剂
D-3	水包油乳化剂	E、P剂—C-3到C-31任一种的乳化剂
D-4	油包水乳化剂	矿油A类乳化剂
D-5	油包水乳化剂	矿油(或脂肪)—B-1或C-1乳化剂
D-6	油包水乳化剂	E、P剂—C-3到C-31中任一种的乳化剂
(E)	胶体乳化剂	
E-1	胶体乳化剂	常规—A类乳化剂
E-2	胶体乳化剂	矿油(或脂肪)—B-1或C-1或C-2乳化剂
E-3	胶体乳化剂	重等或E、P—C-3到C-31中任一种的乳化剂
(F)	弥散剂	
F-1	液体弥散剂	A、B类液体材料的物理弥散剂
F-2	固体弥散剂	G类固体材料的物理弥散剂
(G)	化学溶剂	
G-1	有机物溶剂	水溶性有机物系列溶剂
G-2	无机物溶剂	自然无机物溶剂或真液(有高、中、低三种不同的表面张力)
G-3	混合溶剂	有机液与无机液的混合剂
(H)	固体润滑剂	
H-1	粉状物晶体	石墨、MoS ₂ 、氧化锌、氯化钙、滑石、石英等等
H-2	成膜物	聚四氟乙烯(PTFE)
H-3	非晶体	皂类, 蜡类
H-4	混合剂	上述物质的混合
H-5	粘流物	硼酸, 玻璃, 磷酸盐
H-6	油脂或胶类	各种油脂
H-7	干膜	用树脂粘的或用胶粘的减摩质点
H-8	化学覆层	磷酸处理, 草酸处理

表12 各种成形所需润滑剂^[18]

分类	方法与范围	要 求	编号	材料	润滑剂(编号)
1	中等尺寸零件, 压延带变薄。高与直径比 $H/\phi \geq 1.3$ 。用多位冲床或多位模具, 冲压次数每分钟100~200次	(1)粗糙度; (2)模具寿命; (3)定位、脱模方便; (4)适合大批生产	1-a	低碳钢	A, C-2, C-6
			1-b	不锈钢	C-9, C-10, C-11, C-6.
			1-c	铜合金	C-7, C-2.
			1-d	铝合金	C-2.
2	小尺寸零件, 压延, 高与直径比 $H/\phi = 1$ 。中等程度变薄压延	同 上	2-a	低碳钢	A, C-2, C-6
			2-b	不锈钢	C-9, C-10, C-11, C-6, C-7
			2-c	铜合金	C-2
			2-d	铝合金	C-2
3	小转角的盒形件, 冲裁与压延复合成形, 用负间隙对零件进行压延。多用双动冲床。多用卷或条料	保护冲裁模, 其余与上相同	3-a	低碳钢	C-6
			3-b	不锈钢	C-10, C-11, C-12, C-13
			3-c	铜合金	C-2
			3-d	铝合金	C-2
4	如洗衣机筒类零件, 压边装置需调整恰当	同 上	4-a	碳钢	C-2, C-25
			4-b	不锈钢	C-2, C-25
5	压延与拉胀同时存在的零件和有一两处局部胀形的零件, 需用拉力埂以防皱	(1)粗糙度; (2)防皱	5-a	低碳钢	C-2, C-25
			5-b	不锈钢	C-10, C-25
6	如家用餐具类零件, 有浅压延和弯曲成形	表面粗糙度有严格要求不允许染色	6	不锈钢	C-2, C-10, C-25
7	大型洗澡盆类零件, 压延与拉胀综合成形需用拉力埂	凸缘应具有一定摩擦力以防止变薄	7	低碳钢	C-2, C-10, C-25
8	深压延件和变薄拉深件,	防止零件擦伤, 延长模具使用寿命	8-a	低碳钢	C-25
			8-b	不锈钢	C-25
			8-c	铜合金	C-25
			8-d	铝合金	C-25
9	冲裁与精密冲裁	模具提高使用寿命	9-a	低碳钢	C-3, C-6
			9-b	不锈钢	C-9, C-10
			9-c	铜合金	C-2, C-6
			9-d	铝合金	C-2
10	汽车车身覆盖件, 雷达罩等有严重拉张成形零件, 成形后有焊接			低碳钢	C-25
11	压延、变薄压延零件成形后可能长期库存		11-a	碳钢	C-25
			11-b	不锈钢	C-25
			11-c	铜合金	C-2
			11-d	铝合金	C-2

参 考 资 料

- (1) 机械工程手册, 电机工程手册编辑委员会, 《机械工程手册》第22篇, 机械工业出版社, 1978年。
- (2) D. F. Moore, "Principles and application of Tribology," 1975.
- (3) 载中涛, "摩擦磨损润滑学的基础知识" 《润滑与密封》, 1980年。
- (4) J. F. Archard, "The Wear of metals under unlubricated. condition", Proc. Roy. Soc. 1956, vol. 238, p397.
- (5) 日本塑性加工学会, 江国屏等译, 《压力加工手册》, 机械工业出版社, 1984年。
- (6) R. C. D. Richardson, "The Wear of Metals by Relatively Soft abrasives," Wear, 1968年。
- (7) J. 霍林《上海交通大学译, 摩擦学原理》, 机械工业出版社, 1981年。
- (8) F. T. Borwell, "Wear of Metals" Wear, 1957-58.
- (9) J. F. Archard, "Contact and Rubbing of flate surfaces," G. appl. phys. 24(1953).
- (10) R. R. Hilson, "Relation between Surface Characteristics and Galling Index by sheet steel formability" A. S. T. M. Str 847. p220.
- (11) П. А. Щофман "Элементы Теории Холодной Штамповки," 1975.
- (12) M. J. Neal "Tribology Handbook," 1973.
- (13) 机械工程手册, 电机工程手册编辑委员会, 《机械工程手册》, 22篇p. 67, p. 64.
- (14) Исалева, "Контактное Трение и Смазка При Обработке Металлов Павлением" 1978.
- (15) J. A. Sckey, "Metal Deformation Processes," Part. I 1975.
- (16) ASTE, Die Design Handbook, McGraw-Hill, 1955.
- (17) プレス技術, 潤滑月刊, 16卷 3号, 1978.
- (18) B. Fogg, "Modern Developments in lubrication Theory and Practice. for Deep Drawing" Sheet Metal Ind, 5. 1975.

1.6 板金成形中的热处理

1.6.1 热处理

1.6.1.1 定义与范围

热处理是用来稳定和改善材料性能的方法。板金件的热处理包括铝、镁、铜和钛等有色金属的板材、挤压型材和黑色金属板材（包括不锈钢、合金钢）的各种热处理。

1.6.1.2 变形铝合金的热处理

1.6.1.2.1 热处理种类、目的及规范

1.6.1.2.1.1 退火

将半成品或毛料加热到一定温度，并在此温度下保温一定时间，然后在空气中冷却或以规定的速度冷却，使其变软的过程。

退火的目的是：

- (1) 消除合金的晶内偏析。
- (2) 消除在压力加工中产生的冷作硬化，使合金重新再结晶，恢复良好的塑性，使之继续进行压力加工。退火次数一般不超过三次。
- (3) 使合金半成品性能达到技术条件规定的要求。

1.6.1.2.1.2 淬火

淬火是将半成品加热到接近共晶温度并保温一段时间，然后以较快的速度冷却至室温，以获得过饱和的固溶体的操作过程。

淬火的目的在于：

- (1) 提高半制品的机械强度。
- (2) 利用孕育期内材料良好的塑性特点，便于进行压力加工。

1.6.1.2.1.3 时效

时效是将淬火后的半成品，在室温下或在 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ 下停留一段时间后，自发产生组织与性能的变化过程。在室温下进行的称为自然时效；在 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ 条件下进行的称为人工时效。

时效的目的在于强化，使淬火处理后的铝合金半制品的机械性能得到提高。

1.6.1.2.1.4 回归

回归是经过自然时效后的铝合金，在 $200\sim 250^{\circ}\text{C}$ 温度下加热几秒至几分钟，使铝合金性能恢复到刚刚淬火状态性能的操作过程。回归的操作可以重复多次，每一次回归都可使其恢复到新淬火状态，回归后的铝合金又产生自然时效。回归可反复进行，不过回归次数增多，会略为降低合金自然时效强化的作用。

1.6.1.2.1.5 变形铝合金的热处理规范

(1) 不接受热处理强化的铝合金退火规范见表1。

表1. 不接受热处理强化的铝合金退火规范

合金牌号	退火温度℃		保温时间 (min)			冷却介质
	高温退火	低温退火	高温退火		低温退火	
			$t < 6\text{mm}$	$t > 6\text{mm}$		
L2	350~500	150~250	热浸	30	2~3	空气
LF2	350~420	150~180		30	1~2	
LF21	350~500	250~280		30	1~2.5	

(2) 可热处理强化的铝合金退火规范见表2。

表2. 可热处理强化的铝合金退火规范

合金牌号	退火温度(℃)		各种厚度的保温时间		快速退火的冷却介质	完全退火的冷却速度
	完全退火	快速退火	完全(min)	快速(h)		
LY11	390~450	350~370	10~60	2~4	空气或水	30℃/h 冷至260℃ 然后空冷
LY12	390~450					
LY6	380~430					
LY16	390~450					
LY17	390~450					
LT42	400~420	390~430	10~60	2~4	空气或水	30℃/h 冷150℃空冷
LC4	390~430					
LC6	390~430					
LD2	380~420					
LD5	350~400					
LD10	390~410					

(3) 可热处理强化的铝合金的淬火规范见表3。

(4) 可热处理强化铝合金的时效规范见表4。

说明:

(1) LY12铝合金如在150℃使用则需经人工时效。自然时效的LY12铝合金具有综合的机械性能和抗腐蚀性能的良好配合。

(2) LC4等超硬铝合金只能用人工时效。自然时效则抗蚀性降低。

(3) 变形铝合金板材零件无论包铝、非包铝毛料或半成品,凡厚度小于或等于1.2mm者,允许重复淬火一次,厚度大于1.2mm者,允许重复淬火两次,挤压型材可以重新淬火三次。

表3. 可热处理强化的铝合金的淬火规范

合金牌号	半成品种类	开始计算加热持续时间的温度(°C)	容许的淬火温度范围(°C)	合金牌号	半成品种类	开始计算加热持续时间的温度(°C)	容许的淬火温度范围(°C)	
LY12	板材	490	495~505	LD2	各种半成品	505	510~530	
LY6	板材	495	500~515	LD5		500	505~525	
LY12	挤压型材	490	495~503	LD6		500	505~525	
LY6	挤压型材	495	495~505	LD10		490	495~505	
LY11	各种半成品	490	495~510	LD8		520	525~540	
LY14		495	497~503	LD7		520	525~540	
						LD9	505	510~520
LY16		525	530~540	LC2		460	465~475	
LT42		490	495~505	LC4		460	465~475	
LY17		515	520~530	LC6		460	465~473	

表4. 可热处理强化铝合金的时效规范

牌 号	半成品种类	时 效	时效温度(°C)	时效时间(h)	备 注
LY12	各种半成品	自然	室温	96	
LY12	板	人工	185~195	12	
LY12	挤压型材	人工	185~195	6	
LC4	板	人工	120~125	24	
LC4	挤压型材	人工	135~145	16	
LY16	各种半成品	人工	规范 I: 160~175	10~16	用于高温短时工作
			规范 II: 200~220	8~12	用于高温长时工作

1.6.1.3 镁合金的热处理

1.6.1.3.1 镁合金的退火

退火处理的镁合金有MB1、MB3、MB5和MB8。

退火的目的是为了消除冷作硬化，提高塑性。退火规范按表。

镁合金的退火规范表

合金牌号	半成品种类	热处理代号	退火规范			备注
			加热温度(°C)	保持时间	冷却介质	
MB1	板材	MB1-M	320~350	30min	空气冷却	
MB3	板材	MB3-M	250~280	30min	空气冷却	
MB5	锻件和模锻件	MB5-M	320~350	4h	空气冷却	
MB8	板材和管材	MB8-M	320~350	30min	空气冷却	有较高塑性
	板 材	MB8-y	260~290	30min	空气冷却	有较高的抗拉强度
	锻件和模锻件	MB-8	250~280	1h	空气冷却	

1.6.1.3.2 镁合金的淬火

淬火处理的镁合金有 MB7、MB15，淬火后需进行人工时效处理，淬火及人工时效的目的是为了使镁合金强化，其规范见表。

镁合金淬火及人工时效规范表

合金牌号	热处理代号	半成品种类	淬 火			人 工 时 效		
			加热温度(°C)	保温时间(h)	冷 却	加热温度(°C)	保温时间(h)	冷 却
MB7	T4	铸锭	410~425	8~16	空气	—	—	—
	T4	锻件和模锻件	410~425	2~6	空气	—	—	—
	T5		—	—	—	175~200	8~16	空气
	T6		410~425	2~6	空气	175~200	8~16	空气
	T5		棒材和型材	—	—	—	175~200	8~16
MB15	T5	型材、棒材、条材	—	—	—	170±5	10	空气
	T5	锻件和模锻件	—	—	—	160~170	24	空气

1.6.1.4 铜及铜合金的热处理

1.6.1.4.1 纯铜

纯铜不能进行热处理强化，在退火状态下具有很高的塑性，但强度较低。用冷变形

的方法（冷作硬化）可以大大提高铜的强度性能，但此时塑性却急剧地降低。铜的冷作硬化经退火可以消除，退火温度根据零件壁厚不同，可在500~700℃范围内选择。一般情况下不进行中间退火。

1.6.1.4.2 黄铜

黄铜不接受热处理强化，黄铜在冷变形（轧压和拉伸）时强化。在500~550℃退火一小时就可以完全消除冷作硬化。

为了提高塑性，可在500~700℃温度范围内进行退火。

冷作硬化的黄铜有形成季裂性倾向。为了消除内应力，防止或避免季裂性破坏，凡是具有季裂性破坏倾向的黄铜（即含锌大于20%）在冷塑性变形后，以及用硬态材料制成的零件，均应进行低温退火，其温度为250~300℃，保温一小时，可以完全消除内应力，而保持原有强度不变。

1.6.1.4.3 青铜

锡青铜、锰青铜、铬青铜、含铝量小于9%的铝青铜采用退火处理；含量大于9%的铝青铜等采用回火处理；铍青铜属于淬火时效合金，即在780℃淬火后具有极高的塑性，可进行压力加工。

1.6.1.5 钛合金的热处理

1.6.1.5.1 钛合金热处理种类、方法、目的

1.6.1.5.1.1 不完全退火

即为将零件加热至稍低于再结晶温度，保温后空冷。

目的在于消除复杂加工件和焊接件的内应力。

1.6.1.5.1.2 完全退火

将零件加热至高于再结晶温度而低于 $(\alpha+\beta)\rightarrow\beta$ 相变温度，保温后空冷。

目的是较彻底地消除加工和焊接应力，均匀组织。

1.6.1.5.1.3 稳定化退火

将零件加热到相变温度以下30~80℃，保温并冷却，然后在低于相变温度300~400℃保温后空冷。

目的在于均匀组织，稳定性能，以适应在较高工作温度条件下塑性不会严重下降。

1.6.1.5.1.4 淬火时效

将合金加热至一定温度，骤冷而使合金获得介稳定饱和固溶体。然后在高于脆性相 ω 形成的温度（450~600℃）加热，保温后空冷，使介稳定固溶体分解，可溶性相从 β 固溶体中呈弥散的质点析出，使合金强化。

目的在于提高强度，获得良好的综合机械性能。使合金组织和性能具有足够的热稳定性。

1.6.1.5.2 钛合金的热处理规范

1.6.1.5.2.1 钛合金的退火规范

钛合金的退火规范见表。

钛合金的退火规范表

合金 牌号	不完全退火			完全退火			等温退火														
	温度(°C)	保温时间	冷却介质	温度(°C) (板、铸件)	保温时间	冷却介质	退火 温度(°C)	保温时间	冷却方法	等温 温度(°C)	等温时间	冷却介质									
TA3	460±10	1~1.5h	空	520±10	15min + 1~1.5min/mm	空															
TA4	650±10			750±10																	
TA5	650±10			750~800																	
TA6	650±10			750~800																	
TA7	620±10			750~800																	
TA8	620±10			750~800																	
TB1	600±10			750~800																	
TB2	600±10			750~800																	
TC1	540±15			15min + 1min/mm									气	660±10	15min + 1min/mm	气	840±10	随炉冷	650±10	80min ± 20min	空气
TC2	580±15													660±10			840±10		650±10		
TC3	—	750~800	—		—																
TC4	600±15	800±10	840±10		550±10																
TC5	—	750±10	—		—																
TC6	650±15	800±10	840±10		650±10																
TC7	—	800~850	—		—																
TC8	—	—	920±10		590±10																
TC9	—	—	950±10		530±10																
TC10	600±10	750±10	—		—																

注：为防止氢脆现象，可进行真空退火，稳定化退火又可分为分级退火和等温退火。

1.6.1.5.2.2 钛合金的淬火时效规范

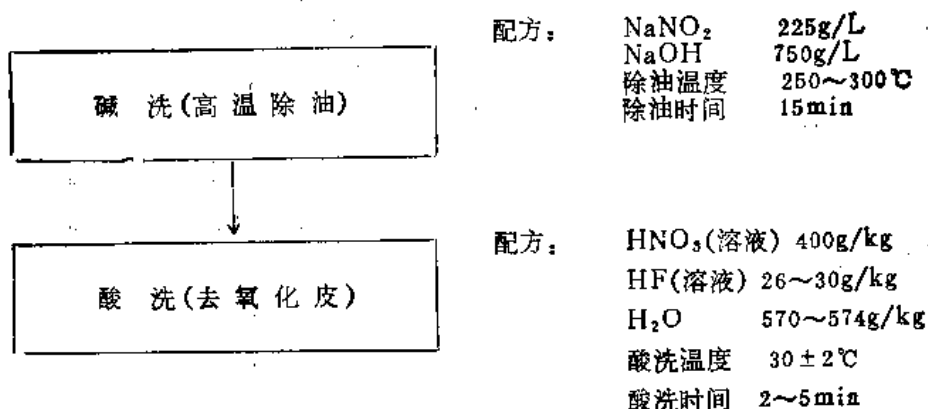
钛合金的淬火时效规范见表。

钛合金的淬火时效规范表

合金 牌号	淬 火				时 效		
	温度(°C)	加 热 时 间		冷却介质	温度(°C)	时间(h)	冷却介质
		板厚(mm)	时间(min)				
TB1	800±10	1.5以下	10	水 (≤35°C)	450~480 转入560	25min 15min	空 气
TB2	800±10	1.6~2.0	15		500±10	8~8.5	
TC3	800~850	2.1~5.5	25		400~500	4~6	
TC4	750~850 转入920±10	5.5~10	40		450~550	4~8	
TC6	860±10				550±10	5~10	
TC8	950±10				500~600	4~6	
TC9	900±10				500~600	4~6	
TC10	860±10				560±20	12~16	

1.6.1.5.3 钛合金的清洗

钛合金在热处理前应进行清洗，以去除表面污物及氧化皮，其主要程序和清洗剂配方为：

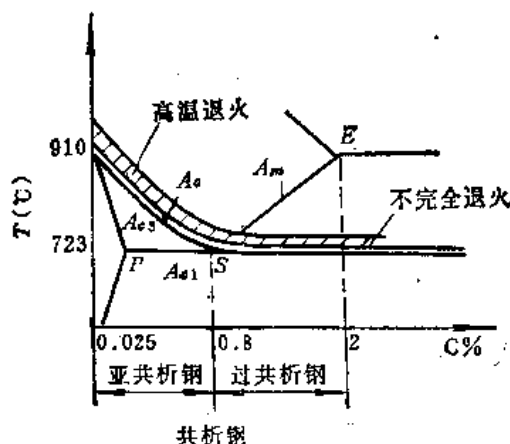


1.6.1.6 黑色金属热处理

1.6.1.6.1 黑色金属热处理种类、方法、目的

1.6.1.6.1.1 高温退火

将钢加热至 A_{c3} 点以上30~50℃，在此温度下保温，然后以规定的速度缓慢冷却。



目的：

- (1) 可以引起重结晶及促使获得均匀的组织。
- (2) 使钢具有低的硬度和强度。
- (3) 消除热加工后的内应力。
- (4) 改善切削性能。

1.6.1.6.1.2 不完全(快速)退火

将钢加热至 A_{c1} 和 A_{c3} 之间的温度下保温以后，厚的零件并在空气中冷却，而薄的零件则随炉冷却至各种不同的温度。

目的是改善钢的机械加工性能。

1.6.1.6.1.3 低温退火

将钢加热至稍低于 A_{c1} 点的温度，保温以后，无论零件的截面如何均在空气中冷却。

目的：(1) 使钢变软，并可作为冷塑性变形的预备处理。(2) 降低强度，作为机械加工的预备工序。

1.6.1.6.1.4 等温退火

将钢加热至高于Ac₃点温度并在此温度下保温，然后迅速地转移到加热至650±10℃的另一炉内，继续保温15~20min，然后在空气中冷却。

目的引起钢的重结晶，促使获得均匀的组织 and 较高的塑性。

1.6.1.6.1.5 钢的正火

将钢加热至Ac₃点以上30~50℃并在此温度下保温，随后在空气中冷却。

目的与退火相似，可引起钢的再结晶，改善锻造、焊接后的不均匀组织。

1.6.1.6.1.6 钢的回火

将淬火状态的非均衡组织转变为较均匀组织的热处理过程。

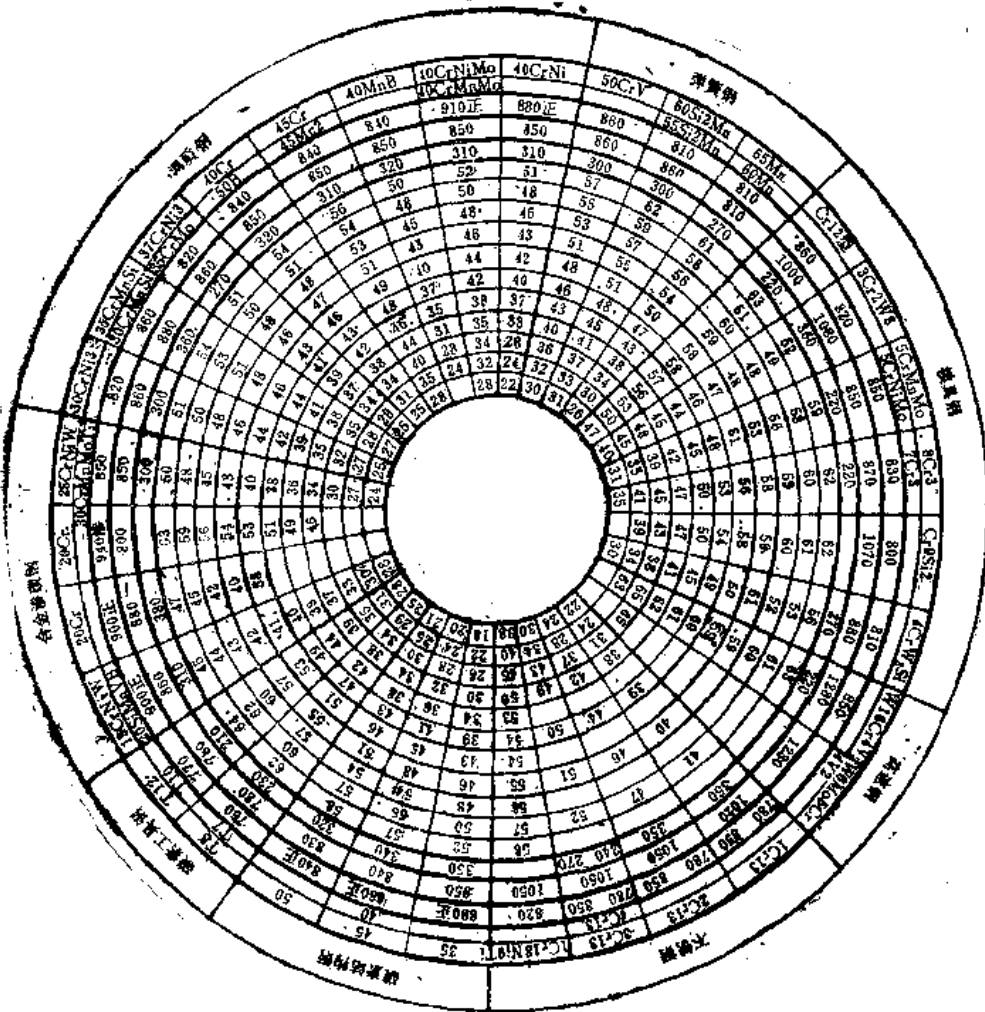
目的：(1) 达到图纸要求的机械性能。(2) 消除淬火应力。

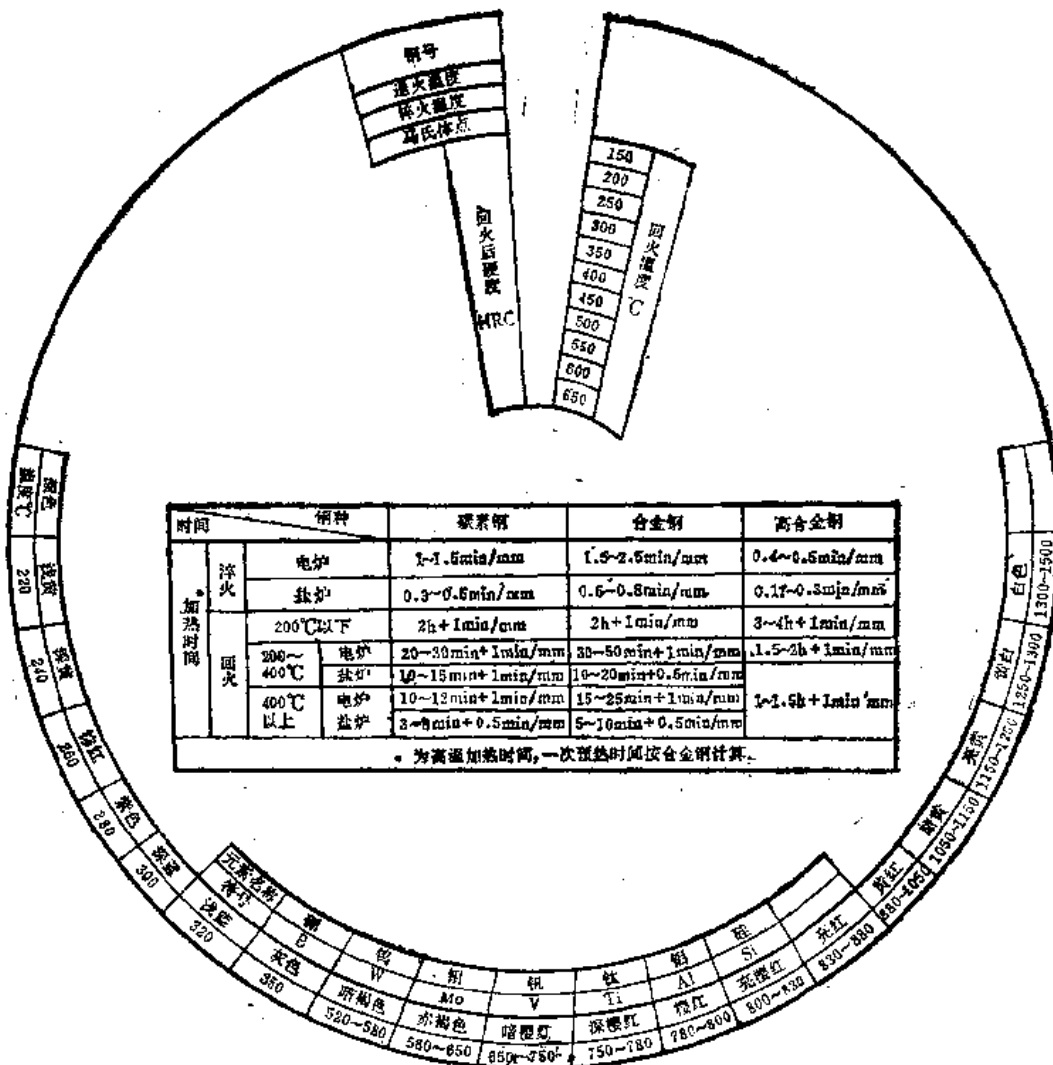
(3) 提高塑性，降低脆性。

回火又根据温度高低可分为低温回火、中温回火和高温回火。

1.6.1.6.2 黑色金属热处理规范⁽¹⁾

在生产中应用如图的《热处理工艺盘》可迅速查出有关钢种的淬火加热温度以及淬火、回火对各种钢种的加热时间关系，完全退火温度以及回火温度与回火后硬度的关





用法说明

1. 本工艺盘适用于中小件热处理,使用时将缺口对准钢号,即可读出各项数据,表中数据一般取中间值。
2. 碳素钢一般采用水冷(5~10%食盐或碱水溶液)水温20~40℃,合金钢一般采用油冷,油温不得高于120℃等温淬火时可参考马氏体点,选定工艺。
3. 弹簧钢一般用中温回火,锰弹簧钢回火后要快冷。
4. 氮化钢一般是先经调质处理后用500~650℃进行氮化处理用维氏硬度检验。
5. 含铬、锰、镍等元素的调质钢经高温回火(约450~600℃)后须快冷,避免回火脆性,为清除应力进行低温回火时,一般时间稍长些,采用高频淬火的工件,淬火温度比正常淬火加热温度约高100℃,其回火温度较一般回火约低20℃。
6. 表中Cr12型钢指一次硬化值,高速钢需经560℃三次回火。

系。

几点说明:

(1) Gc-11, 正常温度 $925 \pm 10^\circ\text{C}$, 空冷, 渗碳后回火温度 $150 \sim 200^\circ\text{C}$ 。

(2) 淬火不强化的不锈钢如0Cr18Ni9, 2Cr18Ni9, 1Cr18Ni9Ti, 2Cr13Ni4Mn9等不锈钢可进行淬火, 目的是为了消除冷作硬化以获得良好的抗蚀性。

(3) 淬火可以强化的不锈钢如1Cr13, 2Cr13, 3Cr13, 4Cr13, Cr17Ni2等不锈钢的热处理包括退火、淬火加回火。目的是为了消除加工硬化以及获得所需的机械性能与抗蚀性能。

1.6.2 表面处理

1.6.2.1 定义与范围

金属及合金由于周围介质或电化学反应, 使其不断地遭受破坏和腐蚀, 这种有害的介质指潮湿大气, 工业废气, 海水及盐雾, 冷却系统的水及防水液, 液压油和汽油与空气的混合物等。特别在变载荷工作下, 由于腐蚀而使材料的疲劳极限显著降低。表面处理是提高(金属)材料抗蚀性的方法与途径, 以延寿耐用。板金零件常用的有色金属(铝、镁、铜)及黑色金属的表面处理方法、表面涂层用料如下。

1.6.2.2 铝合金的表面处理

1.6.2.2.1 铝合金表面处理的种类、范围、特征

1.6.2.2.1.1 铝合金的非金属涂覆种类

铝合金非金属涂覆种类有化学氧化、阳极化和磷化, 其应用范围、特征见表。

铝合金的非金属涂覆的种类、应用范围与特征表

种类	应用范围	涂覆特征
化学氧化	用于大气条件下工作的零件	膜厚 $2 \sim 4\mu\text{m}$, 膜柔软, 能与零件结合牢固, 膜呈浅黄到深黄
阳极化	所有铝及铝合金零件, 形状简单的对接气焊零件	膜厚 $5 \sim 10\mu\text{m}$, 膜呈透明、无色, 为提高氧化膜的防护性能, 阳极化后在铬酸盐溶液中作填充处理, 填充后呈黄绿色, 又名黄色阳极化
无色阳极化	蒙皮及外部铝合金零件	无色阳极化的氧化膜填充处理在热水中进行, 在热水作用下, 氧化膜水化, 使膜的体积增大而气孔的尺寸缩小, 从而达到提高膜的抗蚀性, 表面呈白色故称无色阳极化
着色阳极化	用于需要装饰的零件需要某种颜色, 但受工作条件和特殊目的所限不能采用涂漆时用	氧化膜用有机染料着色 由于有机染料在阳光照射下很快破坏, 因而适用于不受阳光直射之零件 着色氧化膜的防护性能低于重铬酸盐填充的氧化膜
硬阳极化	工作时受摩擦和受腐蚀作用而需要表面具有较高硬度和耐磨性的铝合金零件	氧化膜具有高硬度, 良好的耐磨性和高的电绝缘性和绝热性, 膜厚 $20 \sim 100\mu\text{m}$ 氧化膜虽脆, 但与金属结合牢固, 松孔度大而易浸油 氧化膜呈暗灰色至近黑色
磷化	用于复杂形状和薄壁零件	膜呈青色, 硬度高于化学氧化膜, 能与主体金属牢固地结合, 具有一定的绝缘性能

说明:

(1) 包铝材料的零件 (特别是LC4合金零件) 必须避免进行再次阳极化; 厚度等于或小于0.6mm的包铝材料制成的零件不进行再次阳极化。

(2) 在硫酸中再次进行阳极化时, 必须去除氧化膜。

(3) 在磷酸和铬酐溶液中去除氧化膜时, 厚度0.8mm以下的零件, 再次阳极化不得超过一次, 其它零件的再次阳极化不得超过两次。

(4) 去除氧化膜允许在5%的NaOH溶液中进行腐蚀, 腐蚀时间不超过三分钟, 此时厚度在0.8mm以下的包铝材料, 再次阳极化不超过一次, 而较厚的材料不超过二次。

1.6.2.2.1.2 铝合金的镀层

1.6.2.2.1.2.1 镀铬

(1) 耐磨镀铬: 用于承受滑动摩擦的形状简单的零件, 镀后能进行机械加工 (镗、磨、抛)。

(2) 装饰镀铬: 用于轻负荷条件下工作的零件和器皿的装饰。

1.6.2.2.1.2.2 镀锌

当在结构上为改善零件的电接触, 通常作为铝与铜接触的隔离层。

1.6.2.2.2 铝合金表面处理规范

(1) 硫酸阳极化

温度: 13~26℃

电压: 13~22V

时间: 20~40min

电流密度: 0.8~1.5A/dm²

(2) 铬酸阳极化:

电压: 22±2V或(40±2V)

时间: 35min (特殊情况可延至60min)

(3) 磷酸阳极化:

电压: 1.5±1V

时间: 20~30min

(阳极化过程中不允许断电)

(4) 镀铬:

电镀温度: 50~70℃

电流密度: 50~100A/dm²

1.6.2.2.3 铝合金的涂漆

铝合金常用的涂漆种类见表

铝合金涂漆的种类和牌号表

材料名称	牌 号	被代替漆号	材料名称	牌 号	被代替漆号
环氧清漆	H01-1	Э-4100	各色环氧无光烘漆	H04-94	H05-4
各色环氧氨基磁漆	H04-2	ЭЛ-51	铁红锌黄环氧底漆	H05-2	АЛП-1; -5; -7; -8

(续)

材料名称	牌 号	被代替漆号	材料名称	牌 号	被代替漆号
环氧腻子	H07-5	—	铝色缩醛磁漆	X04-1	A0
环氧腻子	H07-6	ЭШ-2 Э-4021 З-4020	磷化底漆	X06-1	ВЛ-02
各色过氧乙烯磁漆	G044-2	XB-16	各色醇酸抗弧漆	C32-9	ГФ-92ХК
各色环氧磷基无光磁漆	H04-80	H04-10	酚醛醇溶清漆	F01-36	F01-6 A, B, B _Д
丙烯酸清漆	1301-4	9-32Ф	清油	Y00-1	阿立夫油
丙烯酸清漆	13016	AC-82	黑色氢丁橡胶可剥漆	J64-1	—
丙烯酸清漆	1301-15	—	硝基漆稀释剂	X-1	P ₅
白丙烯酸磁漆	B04-6	ДС-1СЛ ДС-2СЛ	过氧乙烯漆稀释剂	X-3	PДВ
各色丙烯酸磁漆	B04-9	—	银黄环氧聚酯底漆	(H04-D)	
各色醇酸磁漆	CO4-2	A-Ф	深灰色丙烯酸无光磁漆	B04-87	—
黑色有机硅耐热漆	W61-63	W61-23	铝色有机硅耐酸磁漆	W61-31	K-1
草绿色有机硅耐热漆	W61-3	W61-24	丙烯酸漆稀释剂	X-5	648
各色有机硅耐热漆	W61-55	ФГ-9, -15	醇酸漆稀释剂	X-6	P-1 PC-2
有机硅绝缘漆	W30-4	K-55	缩醛漆稀释剂	X-9	P-6
硝基外用清漆	Q01-1	AB-4Д/В	脱漆剂	T-1	СД(ОВ)
各色硝基透明漆	Q14-1	951, 955, 956……	脱漆剂	T-2	СД(СП)
各色硝基外用磁漆	Q04-2	660, 624	铝锰钛催干剂	G-T	—
各色硝基腻子	Q07-5	АШ-32	环氧固化剂	H-1	—
硝基涂布清漆	Q63-21	A1H	环氧固化剂	H-2	—
脂胶清漆	T01-1	17A	各色硝基内用磁漆	Q04-3	ДМ
各色油基美术漆	T04-8	—	银黄丙烯底剂	B06-2	AF-10C
脂胶贴花清漆	TQ-34	T01-14		r	
沥青耐酸漆	L50-1	177AJI-177	各色过氧乙烯防腐清漆	G52-31	XBЭ-1-16
沥青绝缘漆	L30-9	318, 447	过氧乙烯防腐清漆	G5-2	—

1.6.2.3 镁合金的表面处理

1.6.2.3.1 镁合金表面处理的要求

镁合金在工业金属中耐腐蚀性较差,因此其毛料、半成品零件成形、保管和使用中对氧化膜、涂漆均应注意保护。

(1) 镁合金零件切削加工时,不使用润滑油和冷却液,即在干燥状态下进行(攻丝时可采用润滑油润滑)。

(2) 凡机械加工工序(包括IT₇级精度的加工)应在最后氧化前完成。仅在特殊情况下,经设计允许方能进行补加工。

(3) 需冲压成形的变形镁合金是在冲压前退出氧化膜(挤压型材除外)。

(4) 无氧化膜的变形镁合金在车间允许存放15昼夜,超过15昼夜应送表面处理车间工序钝化,钝化后的零件允许存放15昼夜;带氧化膜的变形镁合金在车间可存放一个月,完成冲压的镁合金零件送表面处理车间按图纸规定最后氧化涂漆。

1.6.2.3.2 镁合金的非金属涂层种类及特性

镁合金的非金属涂层种类及特性见表。

镁合金的非金属涂层种类及特性表

涂 层 类 别	应 用 范 围	涂 复 特 性
化学氧化	用于内部结构件	因耐蚀性低,其防护层一般采用化学氧化后涂上数层特种清漆或磁漆,氧化膜颜色由浅黄色到深褐色,但耐蚀性差
阳极化	用于内部或外部结构件	膜厚10~60μm,阳极膜比氧化后涂漆的膜具有更高的抗蚀性(尤其在潮湿条件下)

1.6.2.3.3 镁合金的涂漆

镁合金的涂漆见表。

镁合金涂漆技术要求表

序 号	油 漆 名 称	牌 号	稀 释 剂	涂-4粘度计(s)		漆料配制后使用 有效时间
				喷	刷	
1	环氧锌黄底漆	H06-2	X-3或二甲苯	16~24	60~80	加5%或10%铝粉的H06-2 20昼夜
2	各色环氧无光烘漆	H04-94	二甲苯	20~32	60~80	
3	铝色缩醛磁漆	X04-1	X-9	14~18		100份清漆中加入2.75份铝粉 5昼夜
4	缩醛清漆	X04-1	X-9	14~18		不加铝粉
5	白色丙烯酸磁漆	B04-6	X-5	13~18	18~22	
6	丙烯酸清漆	B01-6	X-5	12~17	14~18	
7	环氧清漆	H01-1	甲苯丁醇:乙二醇:乙醚=7:2:1		10~20	100份清漆加6份固化剂H-1 1昼夜
8	黑色环氧平光磁漆			20~32	60~80	100份清漆加15份固化剂H-2 6小时
9	黑色醇酸皱纹漆	C11-1				各种花纹及喷漆粘度等按BS395-61
10	黑色环氧硝基平光磁漆	H04-2	X-1或X-2	20~32	60~80	
11	铝色有机硅耐热漆	W61-31	X-3	8~25		100份清漆中加25份铝粉 5昼夜

说明:

(1) 镁合金在涂漆前必须进行氧化处理, 涂漆与氧化的时间间隔不得超过 24h, 特殊情况下不超过 72h。

(2) 涂漆前, 保持表面清洁、干燥。

1.6.2.3.4 镁合金焊件

(1) 凡需点焊的零件, 焊前应氧化, 注明焊缝位置及不涂漆要求, 其余部分涂 H06-2 锌黄底漆, 焊后进行焊缝除油、净化并补涂 H06-2 底漆后加涂面漆。

(2) 凡涂 X04-1 的清漆零件, 在焊后需彻底除油、净化, 并在 70~80℃ 温度下干燥 30 min, 然后喷涂 X04-1 底漆, 最后涂 X04-1 清漆。

(3) 需点焊和气焊的油箱零件, 焊前进行氧化处理, 焊后清理熔渣, 按图纸规定涂漆。

(4) 油箱和焊接件组合后有夹缝者, 焊前氧化, 而焊后可以局部氧化。零件组合后无夹缝者, 焊前不氧化而在焊后氧化。用无氯焊药或氩弧焊 (氧乙炔焊) 的镁合金焊缝焊接熔渣, 无腐蚀现象时, 允许不清理打磨。

1.6.2.3.5 保管和运输

(1) 未涂漆前的镁合金零件, 禁止赤手接触, 以防腐蚀。

(2) 镁合金零件及其半成品, 应单独存放在专用的木制涂漆支架上, 大零件可以采用悬挂, 蒙皮应竖放。

(3) 库房条件为相对湿度不超过 75%, 室内空气畅通, 严禁和酸、碱、盐等物质同库存管。

(4) 存放期超过一个月的未涂漆件, 需涂敷 663 防锈脂。

1.6.2.4 钢的表面处理

钢的各种表面处理见表。

钢的各种表面处理表

镀层种类	镀层厚度 (μm)	应 用 范 围
镀锌	5~8	良好条件下使用的零件
	8~12	一般条件下使用的零件
	12~18	1. 一般条件下使用, 使用过程不拆换的零件; 2. 在恶劣条件下使用, 而修理时定期更换的零件
	18~25	恶劣条件下使用的零件
镀镉	3~5	1. IT7级或IT7级以上精密配合零件; 2. 弹簧薄片
	5~8	良好条件下使用的零件
	12~18	1. 一般条件下使用, 修理过程中不拆换的零件 2. 恶劣条件下使用, 而定期更换的零件
	8~12	一般条件下使用的零件
	18~25	恶劣条件下使用的零件

(续)

镀层种类	镀层厚度 (μm)	应用范围
镀铜	3~5	1. 防止耐热钢螺纹零件高温下相互粘结 2. 防止精密零件表面冷作硬化
	8~12 12~18	防止松动零件高温粘结及冷作硬化
	20~30	减磨
镀黄铜	3~5	粘橡胶
	5~8	一般条件下的防护装饰
	8~12	防300~500℃条件下高温氧化
镀镍	18~25	高温下防护
镀黑镍	锌5~8 黑镍不规定	良好条件下防护装饰
	锌8~12 黑镍不规定	一般条件下防护装饰
镀锡	铜5~8 锡5~8	良好条件下防护及改善焊接性能 注: 采用热熔工艺镀锡层为3~5 μm
	铜8~12 锡5~8	一般条件下防护及改善焊接性能 注: 采用热熔工艺镀锡层为3~5 μm
镀银	铜3~5 银5~8	良好条件下需高温钎焊或导电的零件
	铜5~8 银8~12	一般条件下需高温钎焊或导电的零件
镀硬铬	3~5 5~10 10~20	1. 在无润滑条件下工作的零件 2. 无润滑的条件下, 受摩擦不大的零件
	20~40	定期润滑条件下, 受摩擦较大的零件
	40~80	无润滑条件且受摩擦较大的零件
	100~160	要求吸附润滑油的且受摩擦较大的零件
装饰镀铬	铜12~18 镍8~12 铬0.5~2	一般条件下防护装饰的零件
	铜18~25 镍2~18 铬0.5~2	恶劣条件下防护装饰的零件
镀合金锡	5~8	改善焊接性能
	8~12	防腐及减磨
磷化	5~10	1. 良好大气条件下工作的零件 2. 外形复杂的零件和钢管
氧化 (发蓝)	氧化膜厚 0.5~1.5	1. 用于不能用其他覆盖层保护, 又在良好大气条件下工作的零件, 或有定时润滑的零件; 2. 可使零件呈黑色表面; 3. 要求尺寸精确、公差小的配合零件

镀层种类	镀层厚度 (μm)	应用范围
镀锌	30~1000 及1000以上	1. 带内腔的零件; 2. 单面焊缝的搭焊件; 3. 板之间有间隙的带孔板片焊接件, 以及有点焊或滚焊缝的焊件; 4. 外部零件, 如起重架、防弹钢板等

1.6.2.5 铜及铜合金的表面处理

铜及铜合金的表面处理见表

铜及其合金的表面处理的种类与应用范围表

镀层种类	镀层厚度 (μm)	应用范围
镀锌 (铜)	5~8	作为铜和镁、铝合金接触的隔离(防电防腐蚀)且有配合要求的零件
	8~12	作为铜和镁、铝合金接触的隔离(防电防腐蚀)且无配合要求的零件
镀 镍	3~5	良好条件下防护装饰的零件
	5~8	一般条件下防护装饰的零件
	8~12	恶劣条件下防护装饰的零件
镀 黑 镍	镍3~5 黑镍不规定	良好条件下防护装饰的零件
	镍5~8 黑镍不规定	一般条件下防护装饰的零件
镀 银	5~8	良好条件下导电的零件
	8~12	一般条件下导电的零件
	12~18	一般条件下导电, 且受摩擦较大的零件
镀 锡	3~5	良好条件下防护 需改善焊接性能的零件
	5~8	一般条件下防护的零件 注: 采用热熔工艺时镀锡层为3~5 μm
	8~12	恶劣条件下防护的零件
镀 硬 铬	3~5	1) 在润滑条件下工作的零件; 2) 无润滑条件下受摩擦较大的零件
	5~10	
	10~20	
装饰 镀铬	镍 5~8 铬 0.5~2	一般条件下防护装饰的零件
	镍 8~12 铬 0.5~2	恶劣条件下防护装饰的零件
镀锡 铜合金	5~8	减 摩
镀铅	5~8	改善焊接性能
化学 镀 镍	5~8	良好条件下防腐或耐磨零件
	8~12	一般条件下防腐或耐磨零件
	12~18	在高温下(300~600 $^{\circ}\text{C}$)防护或恶劣条件下工作的零件

1.6.3 国外铝合金热处理规范

1.6.3.1 2024铝合金热处理规范

1.6.3.1.1 2024铝合金的固溶处理

2024包铝或非包铝的薄板、厚板、棒材、挤压件和管材的固溶处理按表进行。

2024包铝或非包铝合金的固溶处理表

温度 (°C)	金属厚度 (mm)	盐槽中加热时间, (min)	空气炉加 热时间 (min)
488	3.2~6.35	{ 35 (最少) 45 (最大、用于包铝)	{ 50 (最少) 60 (最大、包铝)
489	6.38~12.7	{ 45 (最少) 55 (最大、包铝)	{ 65 (最少) 75 (最大、包铝)

1.6.3.1.2 2024铝合金的沉淀处理

2024包铝或非包铝的薄板、厚板、棒材、挤压件和管材的沉淀处理按表进行。

2024包铝或非包铝合金的沉淀处理表

原状态	温度 (°C)	时 间 (h)	所得状态
2024W	室 温	96	2024-T4, T42

1.6.3.2 7075铝合金热处理规范

1.6.3.2.1 7075铝合金的固溶处理

7075厚板、棒材、管材、挤压件的固溶处理温度：460~471℃。

保温时间：厚度超过12.7mm时，在盐槽中保温时间每增加12.7mm时或不足12.7mm时，增加20min；在空气炉中加热时，厚度增加12.7mm，保温时间增加30min。

1.6.3.2.2 7075铝合金的沉淀处理

7075厚板、棒材、管材、挤压件的沉淀处理按表进行。

7075铝合金的沉淀处理表

原状态	加热温度 (°C)	保温时间 (h)	所得状态
7075-W	116~127	22~24	7075-T6, T62

1.6.3.2.3 7075铝合金的固溶处理

7075非包铝和薄板的固溶处理按表进行。

7075非包铝和薄板的固溶处理表

加热温度(°C)	460~499
保温时间	同7075厚板

1.6.3.2.4 7075铝合金的时效处理

7075包铝和非包铝薄板的时效处理按表进行。

7075包铝和非包铝合金的时效处理表

原 状 态	加 热 温 度 (°C)	保 温 时 间 (h)	最 终 状 态
7075-W	240~260	22~24	7075-T6, T62

1.6.3.2.5 7075铝合金的导电率试验

7075合金时效后需进行导电率的试验其标准为:

- (1) 如果导电率低于38%IACS (国际退火铜标准), 则认为是不合格的;
- (2) 如果导电率为40%IACS或更高, 并且抗拉性能满足于相应规范的最低极限, 则材料是合格的;
- (3) 如果导电率为38.0~40.0%IACS, 并且抗拉性能满足相应规范最低极限, 而且屈服强度又不超出82.03 MPa, 则材料认为是合格的。
- (4) 如果导电率为38.0~40.0% IACS, 而屈服强度又超过82.71MPa或更高值, 则材料认为是可疑的。对可疑材料应在466℃重复加热30min, 然后在冷水中淬火, 且在淬火15 min内测量导电率, 如果导电率与原始测量之间的差值为6%或大于6%的话, 则材料是合格的。如果差别小于6%, 则材料是不合格的。

参 考 资 料

- (1) 《锻压机械》, 1977年, 第5期。

1.7 一般冲模的典型结构和材料选择

1.7.1 定义与范围

本章将一般冲模最常见的结构归纳典型化成为典型结构，包括冲裁模、弯曲模和压延模的典型结构形式。提供了冲模的标准模架和构成冲模的主要零件以及可供选用的材料。

1.7.2 一般冲模的典型结构

1.7.2.1 冲裁模

(1) 开式落料模的典型结构见图1，其结构特征见表1。

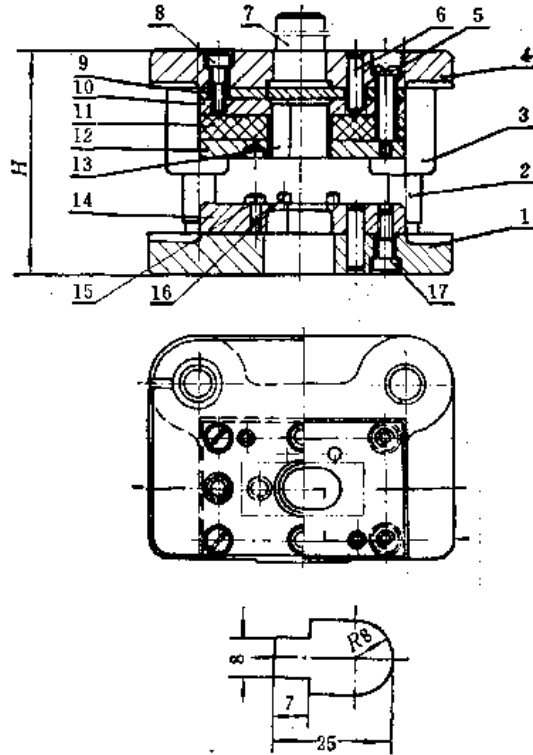


图1

1—下模板；2—导柱；3—导套；4—上模板；5、8、17—螺钉；6、16—圆柱销；7—模柄；9—填板；10—固定板；11—橡皮板；12—卸料板；13—凸模；14—凹模；15—挡料销。

表1. 开式落料模的结构特点

结构特点	备注
(1) 卸料装置为橡皮或弹簧的弹性结构；	(1) 工件材料较厚时，应注意核算顶件力；
(2) 冲裁时，条料被卸料板和凹模压紧，使冲出的工件平整且精度较高；	(2) 宜用于厚度为2mm以下的材料的冲裁
(3) 冲裁时，条料敞开地放在凹模上，操作时视线良好	

(2) 闭式落料模的典型结构见图 2，其结构特征见表 2。

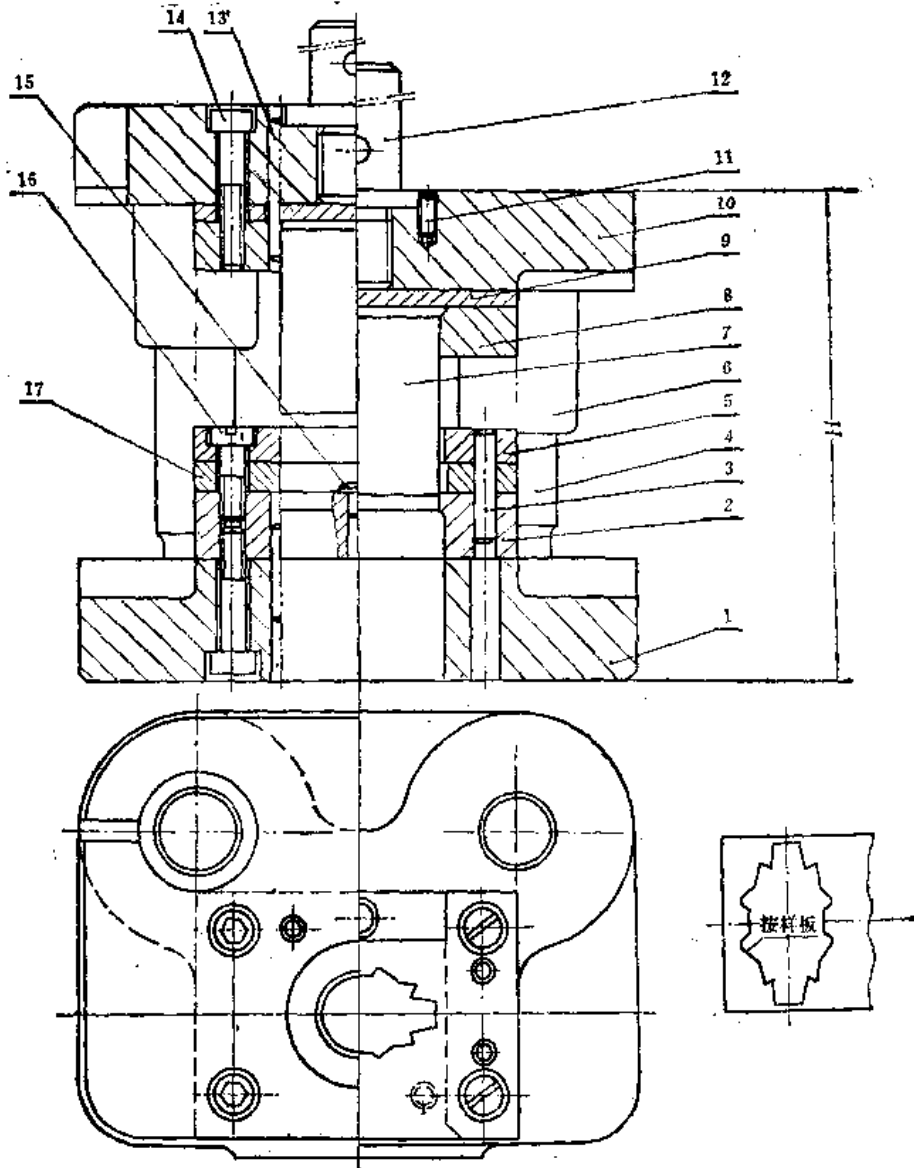


图2

1—下模板；2—凹模；3,13—圆柱销；4—导柱；5—卸料板；6—导套；7—凸模；8—固定板；9—垫板；
10—上模板；11,14,16—螺钉；12—模柄；15—固定挡料销；17—导料板。

表2. 闭式落料模的结构特点

结 构 特 点	备 注
(1) 固定卸料板安装在凹模上，冲裁时条料被卸料板盖住，视线不好； (2) 条料以导料板和挡料销定位； (3) 冲裁时条料没有被压紧	(1) 宜用于厚料冲裁，比较安全； (2) 当材料厚度小于0.8mm时，因条料的刚性不好，操作者凭手感有时难以断定是否已定位好，易产生废品； (3) 条料在冲裁时没有被压紧，易窜动，不宜冲制形状复杂、较细窄的工件

(3) 冲孔落料复合模的典型结构见图3，其特征见表3。

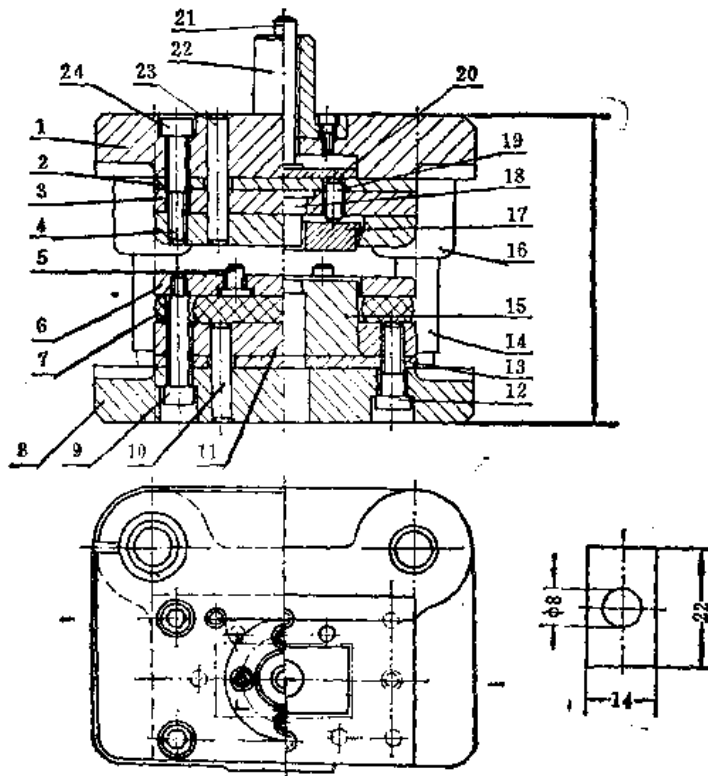


图3

1—上模板；2,13—垫板；3,11—固定板；4—凹模；5—活动挡料销；
6—卸料板；7—橡皮；8—下模板；9,12,24—螺钉；10,19,23—圆柱
销；14—导柱；15—凸凹模；16—导套；17—顶件板；18—凸模；20—
顶板；21—顶杆；22—模柄。

表3. 冲孔落料复合模的结构特点

结 构 特 点	备 注
(1) 工件的内外形复合在一起同时冲击，模具的制造精度既决定了工件的精度，且易保证工件内外形的相对位置；	(1) 冲制的工作的精度比连续模高；
(2) 冲裁时毛料被卸料板压紧，冲裁的工作较平整，无须再校平；	(2) 宜用于要求平整的工作；
(3) 工件的内外形复合在一起，模具的结构较紧凑，外形尺寸较小	(3) 当工作细窄时，必须注意核算凸凹模的强度；
	(4) 宜于冲薄料($t \geq 0.05\text{mm}$)，软料如铝锡以及脆性易裂的材料等

(4) 开式冲孔落料连续模的典型结构见图4，其结构特征见表4。

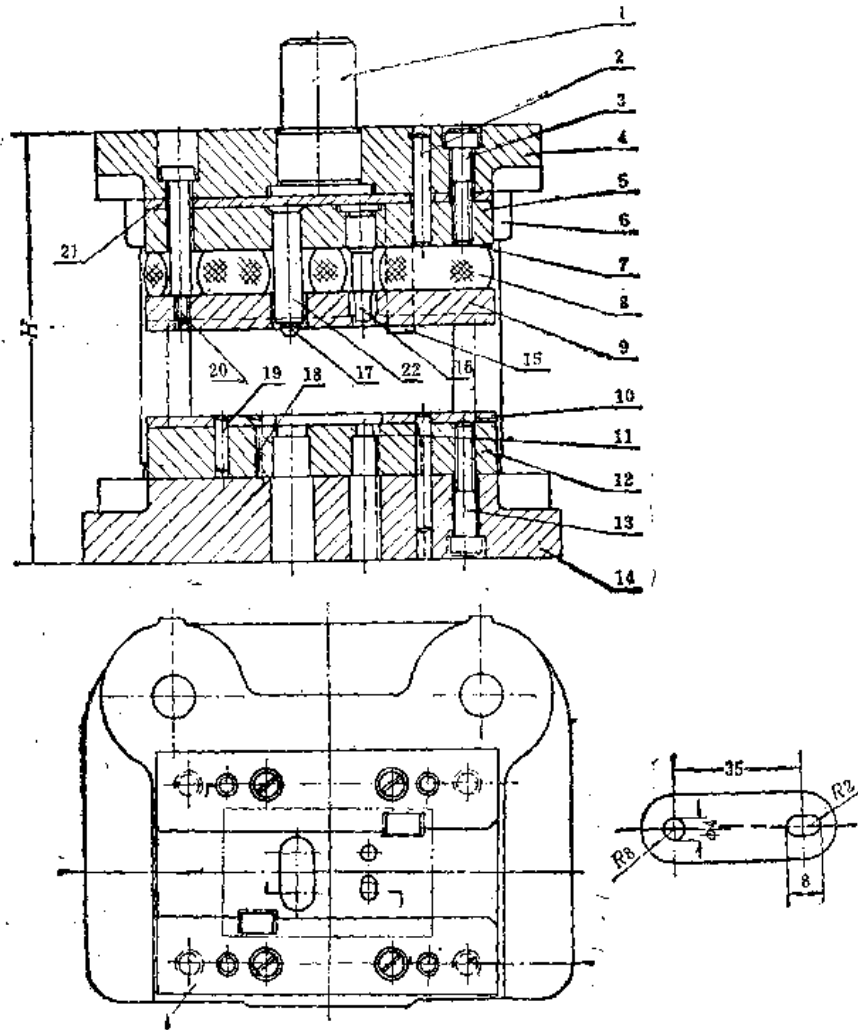


图4

1—模柄；2, 11, 19—圆柱销；3, 13, 18, 20—螺钉；4—上模板；5—固定板；6—导套；7—导柱；8—橡皮；9—卸料板；10—导料板；12—凹模；14—下模板；15—定距刀；16—凸模；17—准销；21—垫板；22—凸模。

表4. 开式冲孔落料连续模结构特点

结 构 特 点	备 注
1. 卸料装置为橡皮或弹簧的弹性结构； 2. 冲裁时，条料敞开地放在凹模上，操作视线良好； 3. 冲裁时，条料被卸料板和凹模压紧，冲出的工件平整且精度高； 4. 工件的内孔和外形分步冲出，条料靠挡料销、定距刀和准销等定位，工件内、外形相对位置的准确度取决于定位的准确度； 5. 因冲孔与落料在不同的工位上进行，模具结构不如复合模紧凑，尺寸较大	1. 当冲制的工件的材料较厚时，需注意核算顶件力； 2. 适用于厚度为2mm以下的材料的冲裁件； 3. 工作的内孔与外形的相对位置精度较复合模差； 4. 可以冲制较细窄的工件

(5) 闭式冲孔落料连续模的典型结构见图5，其结构特征见表5。

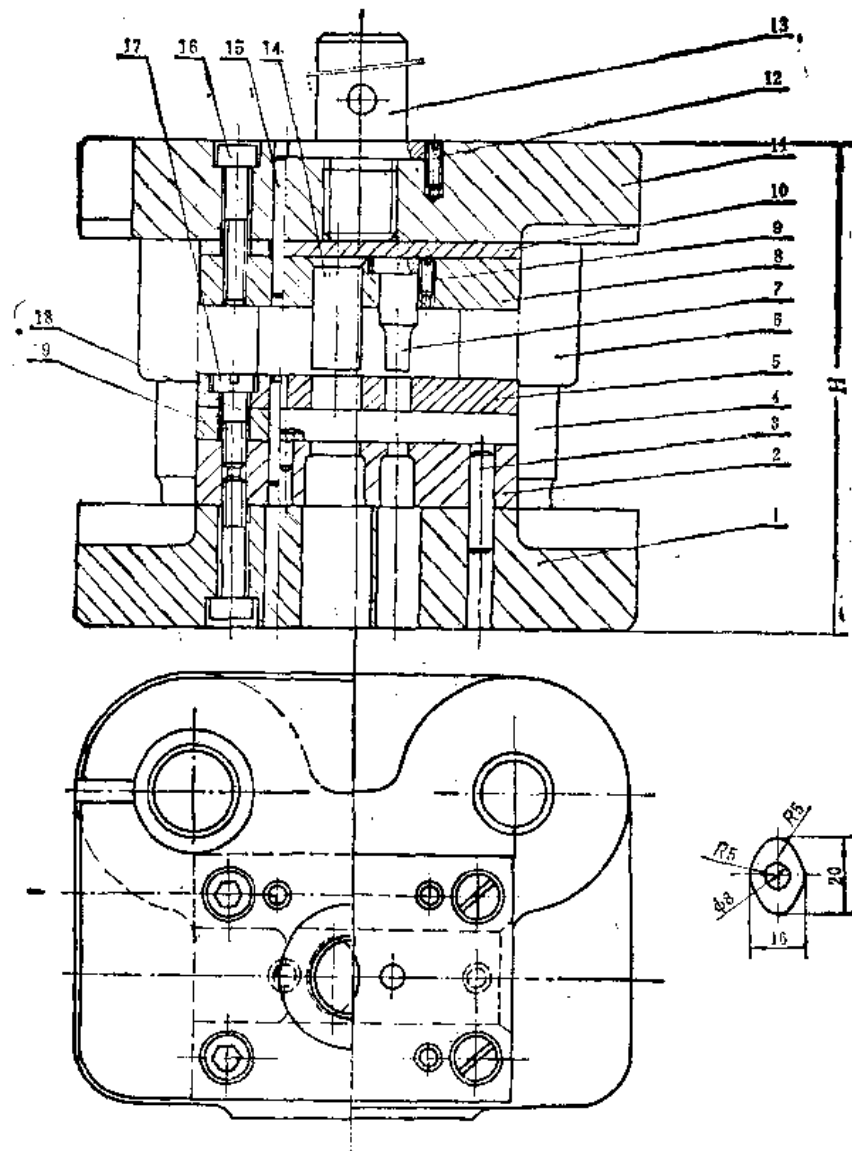


图5

1—下模板；2—凹模；3,15—圆柱销；4—导柱；5—卸料板；6—导套；7—圆形凸模；
8—固定板；9,12,16,17—螺钉；10—垫板；11—上模板；13—模柄；14—凸模；18—
固定挡料销；19—导料板。

表5. 闭式冲孔落料连续模的结构特点

结 构 特 点	备 注
<ol style="list-style-type: none"> 1. 固定卸料板安装在凹模上，冲裁时条料被卸料板盖住，视线不好； 2. 工件的内孔和外形分步冲击，条料靠导料板、挡料销、定距刀和准销等定位，工件的内、外形相对位置的准确度取决于定位的准确度； 3. 无条料压紧装置； 4. 模具的结构尺寸较复合模大 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 当工件的材料厚度小于0.8mm时不宜选用； 2. 工件内孔与外形的相对位置精度比复合模差； 3. 冲制出的工件不够平整，必要时需校平； 4. 用于对安全有要求的场合

(6) 非金属材料冲裁模的典型结构见图 6，其结构特征见表 6。

主要用于毛毡、皮革、石棉、橡皮板、石棉橡胶板、纸板、纸胶板、海绵橡皮、棉布纺织品等非金属材料的冲裁。

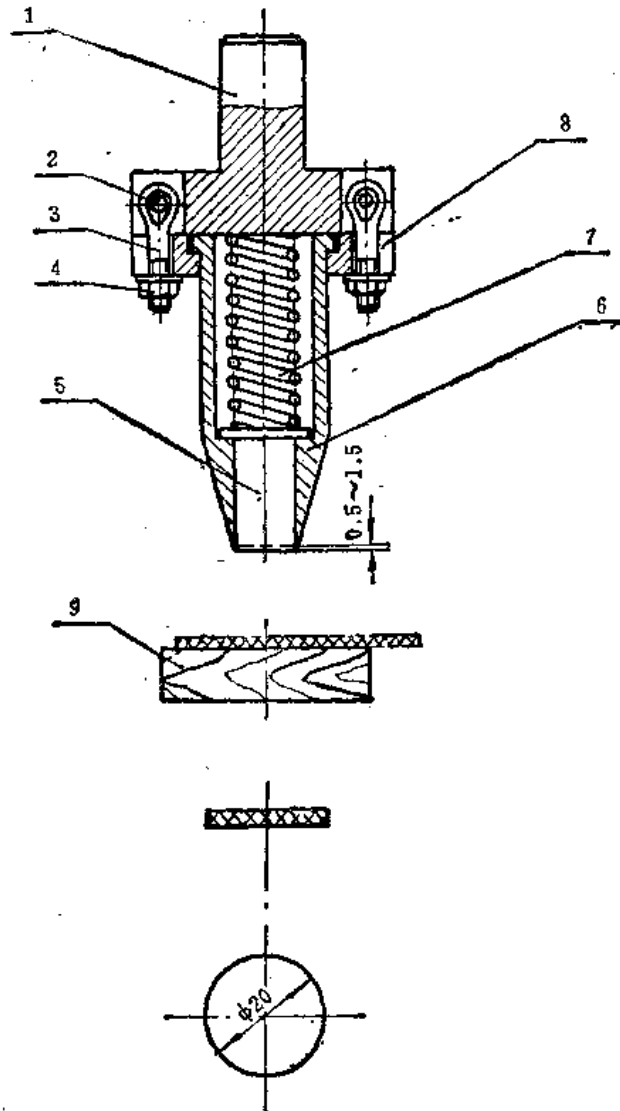


图 6

1—上模座；2—轴；3—回转螺栓；4—螺帽；5—顶杆；6—冲头；7—弹簧；
8—固定板；9—下模。

表 6. 非金属材料落料模的结构特点

结 构 特 点	备 注
1. 上模冲头的刃口是带 α 角的尖刃； 2. 冲头的内壁为直壁，内装顶杆器，在外壁上制斜角； 3. 尖刃易损坏，模具设计考虑装拆方便，便于制造和维护刃口； 4. 下模是木板、铅板、硬纸板或硬橡皮等平垫板，按被冲裁材料强度、硬度和产量选定	(1) α 角的选择 ^① ： 皮革、毛毡、棉绸纺织品、各种人造纤维布、塑料薄膜、人造革、橡胶板、软纸等软质材料， α 为 $12^\circ \sim 16^\circ$ ； 纸板、马粪纸、石棉纸， α 为 $14^\circ \sim 18^\circ$ ； 石棉橡胶板、纸胶板， α 为 $20^\circ \sim 25^\circ$ 。 (2) 适用于中、小批量简单零件的冲裁

①《冷压冲模设计》，第四机械工业部标准化研究所。

(7) 非金属材料冲孔落料复合模的典型结构见图7，其结构特征见表7。

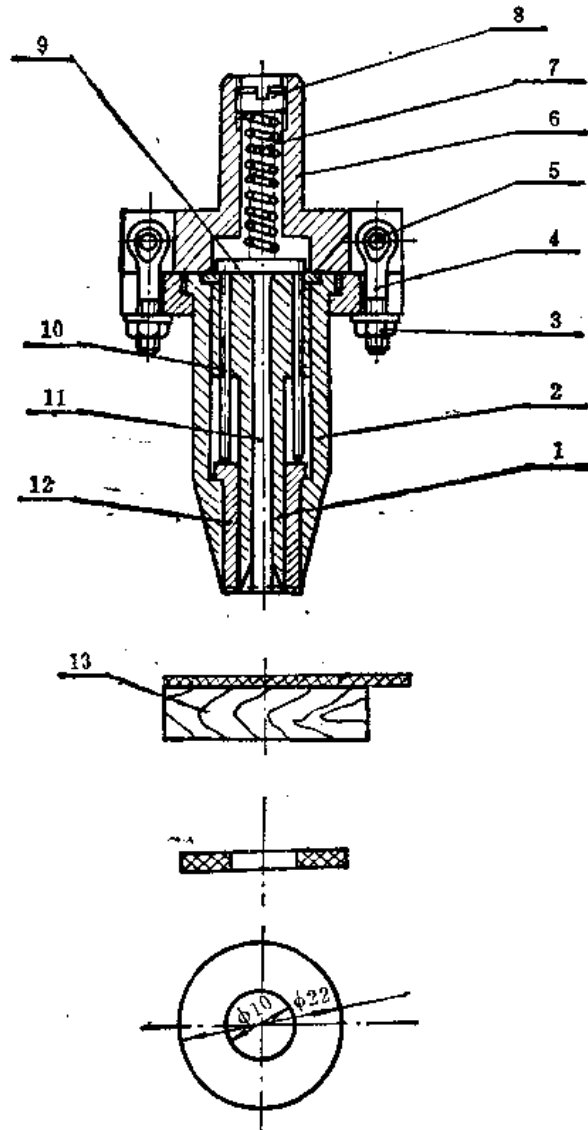


图7

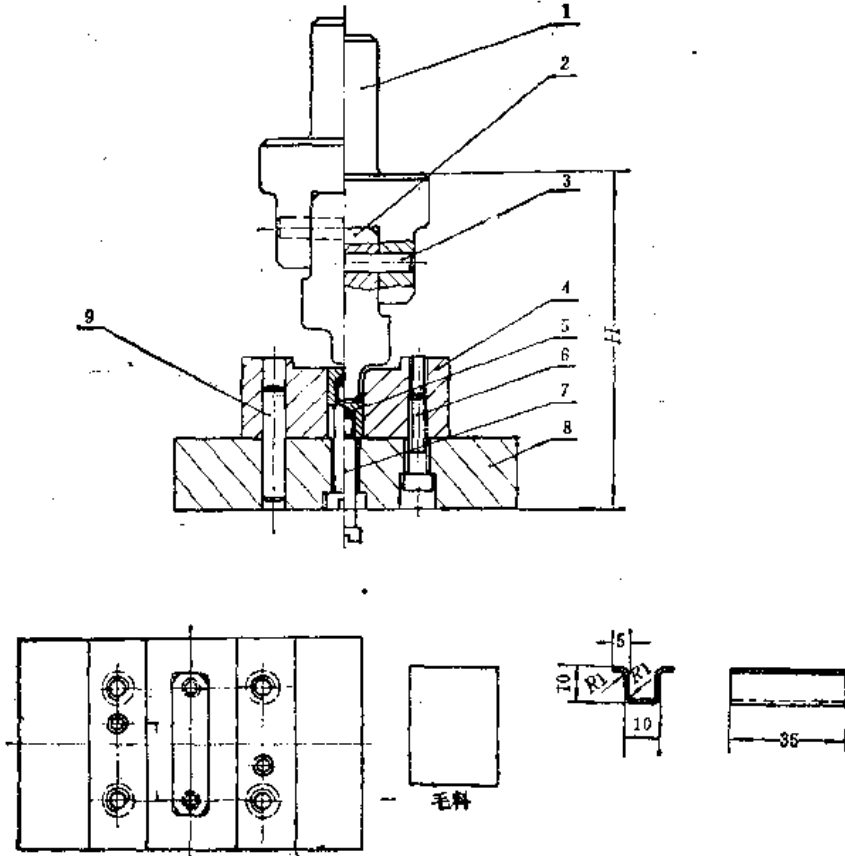
1-内冲头；2-外冲头；3-螺帽；4-回转螺栓；5-轴；6-上模座；
7-弹簧；8-螺塞；9-顶板；10,11-顶杆；12-顶件器；13-下模。

表7. 非金属材料冲孔落料复合模的结构特点

结 构 特 点	备 注
<ul style="list-style-type: none"> •1. 冲孔及落料的冲头的刃口均为带α角的尖刃； 2. 冲孔冲头的外壁为直壁，内壁上制斜角，落料冲头的内壁为直壁，外壁上制斜角； 3. 尖刃易损坏，模具设计考虑装拆方便，便于制造和维护刃口； 4. 下模是木板、铅板、硬纸板或硬橡皮等平垫板，按被冲裁材料强度、硬度和产量选定 	<ul style="list-style-type: none"> 1. α角的选择： 同表7的(1)项 2. 适用于中、小批量简单零件的冲裁

1.7.2.2 弯曲模

一般弯曲模的典型结构见图，其结构特征见表。



1-模柄；2-凸模；3,9-圆柱销；4-凹模；5-顶件板；6,7-螺钉；8-下模板。

弯曲模的结构特点表

结 构 特 点	备 注
1. 图示是模柄形式的弯曲模； 2. 顶件器稍高于凹模，以保证凸模与顶件器在折弯开始就将毛料压紧，以防窜动	1. 图示是常用的小工件弯曲模，展开料以外形定位。当工件的底平面上有孔时，也可以在顶件板上装定位销定位； 2. 在弯曲行程终了时，应将工件压紧，进行校正

1.7.2.3 压延模

(1) 首次压延模的典型结构见图 1，其结构特征见表 1。

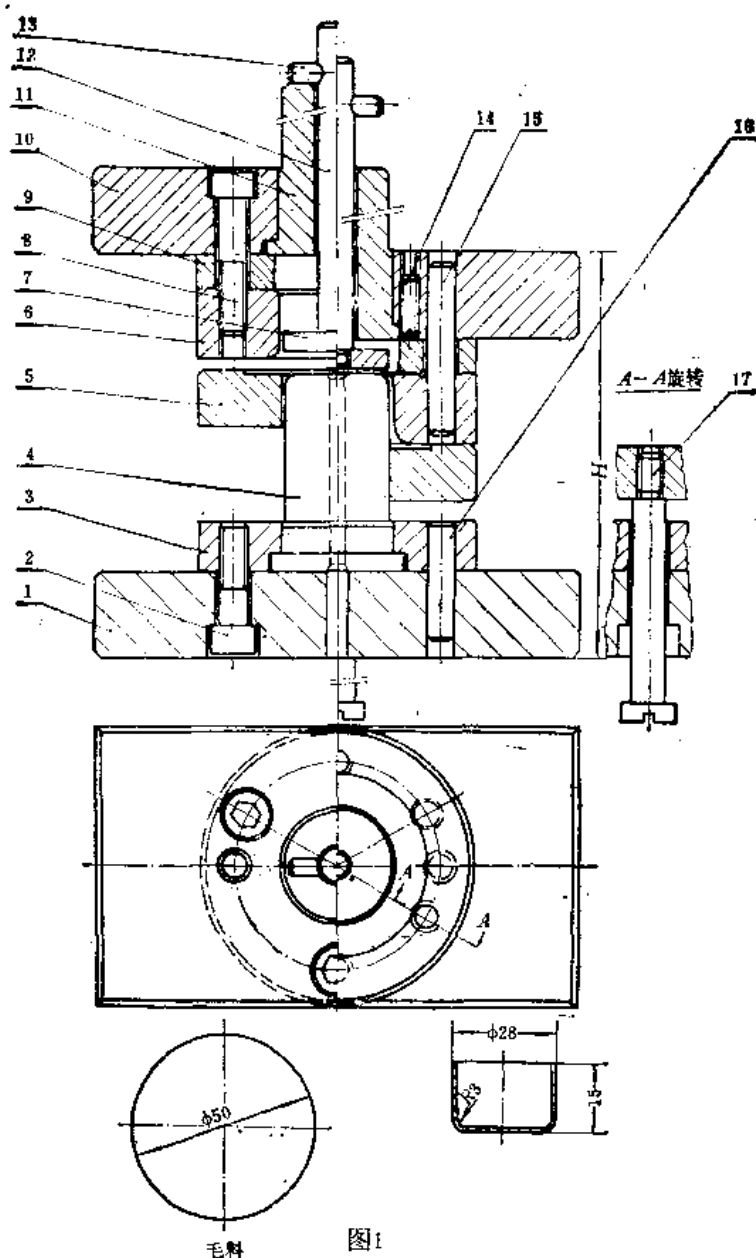


图1

1-下模板；2,8,14,17-螺钉；3-固定板；4-凸模；5-压边圈；6-凹模；7-顶件板；9-垫板；10-上模板；11-模柄；12-顶杆；13,15,16-圆柱销。

表1. 首次压延模结构特点

结 构 特 点	备 注
<ol style="list-style-type: none"> 1. 压边圈主要用于防皱，应保证压边圈能将毛料压紧在凹模上； 2. 压延终了，工件可能箍在凸模上或卡在凹模中，故压边圈须能卸件，而凹模内也需有顶件装置； 2. 压边圈上装定料板或定料销； 4. 凸模上的通气孔保证卸件顺利和工件底部平整 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 图1所示为需要压边圈的首次压延模结构； 2. 压延时，材料在压边圈和凹模的压紧状态下流动，故压边圈工作表面及凹模的压料面需耐磨且光洁； 3. 当材料薄或产量大时应有导柱导套以保证间隙均匀，产品质量稳定

(2) 后次压延模的典型结构见图2，其结构特征见表2。

(3) 复合压延模。

用于落料、压延的复合工序的压延模典型结构见图3，其结构特征见表3。

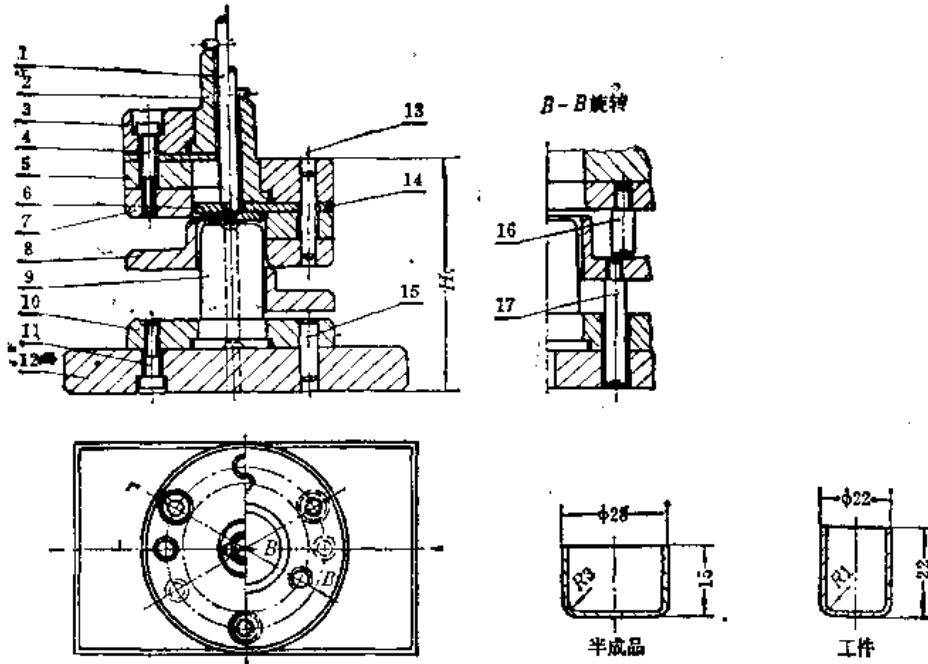


图2

1-顶杆; 2-模柄; 3-上模板; 4,11-螺钉; 5,14-垫板; 6-顶板; 7-凹模; 8-定料圈; 9-凸模;
10-固定板; 12-下模板; 13,15-圆柱销; 16,17-无头螺钉。

表2. 后次压延模结构特点

结构特点	备注
1. 可定位外形的压边圈, 同时用于卸件, 凹模内装顶件器防止工件卡在凹模内; 2. 压边圈用三个圆头螺钉做支柱, 保持压边圈与凹模间的合理间隙; 3. 凸模上的通气孔保证卸件顺利和工作底部平整	当材料薄或产量大时, 应有导柱导套, 以保证间隙均匀, 产品质量稳定

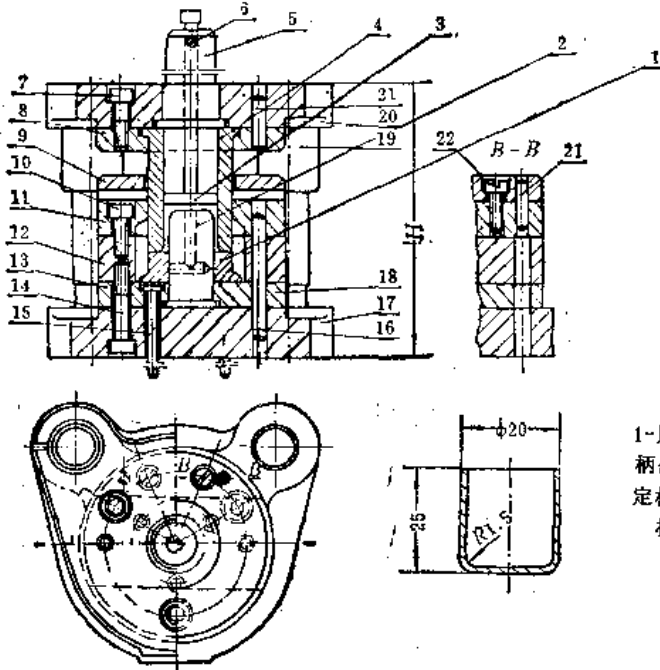


图3

1-压边圈; 2-凸模; 3-顶板; 4-凸凹模; 5-模柄; 6, 15-顶杆; 7,10,14,22-螺钉; 8,13-固定板; 9-卸料板; 11-凹模; 12-垫块; 16,21-圆柱销; 18-导柱; 19-导套; 20-上模板。

表3. 复合压延模结构特点

结 构 特 点	备 注
1. 结构紧凑, 生产效率高; 2. 压延的凹模也是落料的凸模, 磨刃后将会改变压延凹模的深度和圆角	当工件小且压延系数较大时, 凸凹模的壁厚较薄, 应注意核算其强度

1.7.3 冷冲模标准模架

1.7.3.1 冷冲模滑动导向模架

(1) A型对角导柱模架 (GB2851.1—81) 见图1和表1。

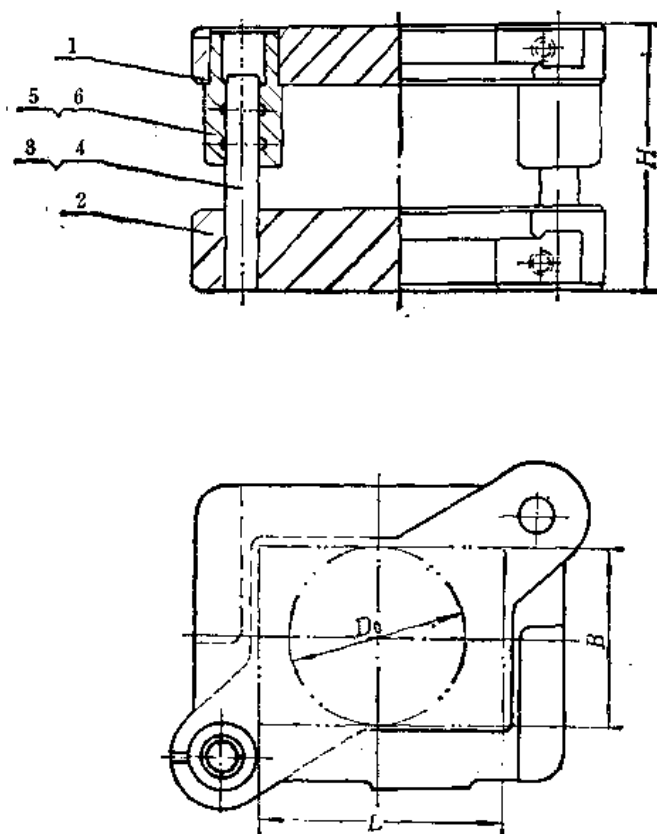


图1

标记示例:

凹模洞界 $L=200\text{mm}$, $B=125\text{mm}$, 闭合高度 $H=170\sim 205\text{mm}$, 材料为HT20-40, I级精度的A型对角导柱模架:

模架A200×125×170~205 I GB2851.1—81·HT20-40

表1. A型对角导柱模架 (GB2851.1-81)

(mm)

凹模周界			闭合高度 H		零件件号、名称及标准编号					
					1	2	3	4	5	6
					上模座 GB2855.1-81	下模座 GB2855.2-81	导柱 GB2861.1-81	导套 GB2861.6-81		
L	B	D ₀	最小	最大	数 量					
					1	1	1	1	1	1
规格										
63	50		100	115	63×50×20	63×50×25	80	90	60×18	60×18
			110	125			100	100		
			110	130	63×50×25	63×50×30	100	100	65×23	65×23
			120	140			110	110		
63	63		100	115	63×63×20	63×63×25	16×90	18×90	60×18	60×18
			110	125			100	100		
			110	130	63×63×25	63×63×30	100	100	65×23	65×23
			120	140			110	110		
80	63		110	130	80×63×25	80×63×30	100	100	65×23	65×23
			130	150			120	120		
			120	145	80×63×30	80×63×40	110	110	70×28	70×28
			140	165			130	130		
100			110	130	100×63×25	100×63×30	18×100	20×100	65×23	65×23
			130	150			120	120		
			120	145	100×63×30	100×63×40	110	110	70×28	70×28
			140	165			130	130		
80	80		110	130	80×80×25	80×80×30	100	100	65×23	65×23
			130	150			120	120		
			120	145	80×80×30	80×80×40	110	110	70×28	70×28
			140	165			130	130		
100			110	130	100×80×25	100×80×30	20×100	22×100	65×23	65×23
			130	150			120	120		
			120	145	100×80×30	100×80×40	110	110	70×28	70×28
			140	165			130	130		
125	80		110	130	125×80×25	125×80×30	100	100	65×23	65×23
			130	150			120	120		
			120	145	125×80×30	125×80×40	110	110	70×28	70×28
			140	165			130	130		

(续)

凹模周界			闭合高度 H		零件件号、名称及标准编号					
					1	2	3	4	5	6
					上模座 GB2855.1-81	下模座 GB2855.2-81	导柱 GB2861.1-81	导套 GB2861.6-81		
L	B	D_0	最小	最大	数 量					
					1	1	1	1	1	1
规 格										
(140)	80	—	120	150	(140)×80×30	(140)×80×35	110	110	80×28	80×28
			140	165			130	130		
			140	170	(140)×80×35	(140)×80×45	22×130	25×130	22×80×33	25×80×33
			160	190			150	150		
100	100	—	110	130	100×100×25	100×100×30	100	100	65×23	65×23
			130	150			120	120		
			120	145	100×100×30	100×100×40	20×110	22×110	20×70×28	22×70×28
			140	165			130	130		
125	—	—	120	150	125×100×30	125×100×35	110	110	80×28	80×28
			140	165			130	130		
			140	170	125×100×35	125×100×45	130	130	80×33	80×33
			160	190			150	150		
(140)	100	—	120	150	(140)×100×30	(140)×100×35	22×110	25×110	22×80×28	25×80×28
			140	165			130	130		
			140	170	(140)×100×35	(140)×100×45	130	130	80×33	80×33
			160	190			150	150		
160	—	—	140	170	160×100×35	160×100×40	130	130	85×33	85×33
			160	190			150	150		
			160	195	160×100×40	160×100×50	150	150	90×38	90×38
			190	225			180	180		
200	—	—	140	170	200×100×35	200×100×40	25×130	28×130	25×85×33	28×85×33
			160	190			150	150		
			160	195	200×100×40	200×100×50	150	150	90×38	90×38
			190	225			180	180		
125	125	125	120	150	125×125×30	125×125×35	110	110	80×28	80×28
			140	165			130	130		
			140	170	125×125×35	125×125×45	22×130	25×130	22×85×33	25×85×33
			160	190			150	150		

(续)

凹模周界			闭合高度 <i>H</i>		零件件号、名称及标准编号					
					1	2	3	4	5	6
					上模座 GB2855.1-81	下模座 GB2855.2-81	导柱 GB2861.1-81	导套 GB2861.6-81		
<i>L</i>	<i>B</i>	<i>D</i> ₀	最小	最大	数 量					
					1	1	1	1	1	1
规 格										
(140)			140	170	(140)×125×35	(140)×125×40	130	130	85×33	85×33
			160	190			150	150		
			160	195	(140)×125×40	(140)×125×50	150	150	90×38	90×38
			190	225			180	180		
160	125		140	170	160×125×35	160×125×40	130	130	85×33	85×33
			160	190			150	150		
			170	205	160×125×40	160×125×50	160	160	95×38	95×38
			190	225			180	180		
200			140	170	200×125×35	200×125×40	130	130	85×33	85×33
			160	190			150	150		
			170	205	200×125×40	200×125×50	160	160	95×38	95×38
			190	225			180	180		
250			160	200	250×125×40	250×125×45	150	150	100×38	100×38
			180	220			170	170		
			190	235	250×125×45	250×125×55	180	180	110×43	110×43
			210	255			200	200		
(140)		(140)	140	170	(140)×(140)×35	(140)×(140)×40	130	130	85×33	85×33
			160	190			150	150		
			170	205	(140)×(140)×40	(140)×(140)×50	160	160	95×38	95×38
			190	225			180	180		
160		(140)	140	170	160×(140)×35	160×(140)×40	130	130	85×33	85×33
			160	190			150	150		
			170	205	160×(140)×40	160×(140)×50	160	160	95×38	95×38
			190	225			180	180		
200		(140)	160	200	200×(140)×40	200×(140)×45	150	150	100×38	100×38
			180	220			170	170		
			190	235	200×(140)×45	200×(140)×55	180	180	110×43	110×43
			210	255			200	200		

(续)

凹模周界			周合高度		零件件号、名称及标准编号					
					1	2	3	4	5	6
			H		上模座 GB2855.1-81	下模座 GB2855.2-81	导柱 GB2861.1-81	导套 GB2861.6-81		
L	B	D ₀	最小	最大	数 量					
					1	1	1	1	1	1
规 格										
250	(140)	—	160	200	250×(140)×40	250(140)×45	150	150	100×38	100×38
			180	220			170	170		
			190	235	250×(140)×45	250×(140)×55	180	180	110×43	110×43
			210	255			200	200		
160	160	—	160	200	160×160×40	160×160×45	28×150	32×150	28×100×38	32×100×38
			180	220			170	170		
			190	235	160×160×45	160×160×55	180	180	110×43	110×43
			210	255			200	200		
200	160	—	160	200	200×160×40	200×160×45	150	150	100×38	100×38
			180	220			170	170		
			190	235	200×160×45	200×160×55	180	180	110×43	110×43
			210	255			200	200		
250	(280)	—	170	210	250×160×45	250×160×50	160	160	105×43	105×43
			200	240			190	190		
			200	245	250×160×50	250×160×60	190	190	115×48	115×48
			220	265			210	210		
(280)	(280)	—	170	210	(280)×160×45	(280)×160×50	160	160	105×43	105×43
			200	240			190	190		
			200	245	(280)×160×50	(280)×160×60	190	190	115×48	115×48
			220	265			210	210		
200	200	—	170	210	200×200×45	200×200×50	32×160	35×160	32×105×43	35×105×43
			200	240			190	190		
			200	245	200×200×50	200×200×60	190	190	115×48	115×48
			220	265			210	210		
250	—	—	170	210	250×200×45	250×200×50	160	160	105×43	105×43
			200	240			190	190		
			200	245	250×200×50	250×200×60	190	190	115×48	115×48
			220	265			210	210		

(续)

凹模周界			闭合高度 H		零件件号、名称及标准编号					
					1	2	3	4	5	6
					上模座 GB2855.1-81	下模座 GB2855.2-81	导柱 GB2861.1-81	导套 GB2861.6-81		
L	B	D ₀	最小	最大	数 量					
					1	1	1	1	1	1
					规 格					
(280)	200		190	230	(280) × 200 × 45	(280) × 200 × 55	180	180	115 × 43	115 × 43
			220	260			210	210		
			210	255	(280) × 200 × 50	(280) × 200 × 65	200	200	125 × 48	125 × 48
			240	285			230	230		
315			190	230	315 × 200 × 45	315 × 200 × 55	180	180	115 × 43	115 × 43
			220	260			210	210		
			210	255	315 × 200 × 50	315 × 200 × 65	200	200	125 × 48	125 × 48
			240	285			230	230		
250	250		190	230	250 × 250 × 45	250 × 250 × 55	180	180	115 × 43	115 × 43
			220	260			210	210		
			210	255	250 × 250 × 50	250 × 250 × 65	200	200	125 × 48	125 × 48
			240	285			230	230		
(280)	250		190	230	(280) × 250 × 45	(280) × 250 × 55	180	180	115 × 43	115 × 43
			220	260			210	210		
			210	255	(280) × 250 × 50	(280) × 250 × 65	200	200	125 × 48	125 × 48
			240	285			230	230		
315			215	250	315 × 250 × 50	315 × 250 × 60	200	200	125 × 48	125 × 48
			245	280			230	230		
			245	290	315 × 250 × 55	315 × 250 × 70	230	230	140 × 53	140 × 53
			275	320			260	260		
400			215	250	400 × 250 × 50	400 × 250 × 60	200	200	125 × 48	125 × 48
			245	280			230	230		
			245	290	400 × 250 × 55	400 × 250 × 70	230	230	140 × 53	140 × 53
			275	320			260	260		
(280)	(280)	(280)	215	250	(280) × (280) × 50	(280) × (280) × 60	200	200	125 × 48	125 × 48
			245	280			230	230		
			245	290	(280) × (280) × 55	(280) × (280) × 70	230	230	140 × 53	140 × 53
			275	320			260	260		

(续)

凹模周界			闭合高度 <i>H</i>		零件件号、名称及标准编号								
					1	2	3	4	5	6			
					上模座 GB2855.1—81	下模座 GB2855.2—81	导柱 GB2861.1—81	导套 GB2861.6—81					
					数 量								
<i>L</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	最小	最大	1	1	1	1	1	1			
规 格													
315	(280)		215	250	315 × (280) × 50	315 × (280) × 60	200	200	125 × 48	125 × 48			
			245	280			230	230					
			245	290	315 × (280) × 55	315 × (280) × 70	230	230	140 × 53	140 × 53			
			275	320			260	260					
			400			215	250	400 × (280) × 50	400 × (280) × 60	40 × 200	45 × 200	40 × 125	45 × 125
						245	280			230	230		
						245	290	400 × (280) × 55	400 × (280) × 70	230	230	140 × 53	140 × 53
						275	320			260	260		
315	315		215	250	315 × 315 × 50	315 × 315 × 60	200	200	125 × 48	125 × 48			
			245	280			230	230					
			245	290	315 × 315 × 55	315 × 315 × 70	230	230	140 × 53	140 × 53			
			275	320			260	260					
			400	315		245	290	400 × 315 × 55	400 × 315 × 65	230	230	140 × 53	140 × 53
						275	315			260	260		
						275	320	400 × 315 × 60	400 × 315 × 75	260	260	150 × 58	150 × 58
						305	350			290	290		
500			245	290	500 × 315 × 55	500 × 315 × 65	45 × 230	50 × 230	45 × 140	50 × 140			
			275	315			260	260					
			275	320	500 × 315 × 60	500 × 315 × 75	260	260	150 × 58	150 × 58			
			305	350			290	290					
400	400		245	290	400 × 400 × 55	400 × 400 × 65	230	230	140 × 53	140 × 53			
			275	315			260	260					
			275	320	400 × 400 × 60	400 × 400 × 75	260	260	150 × 58	150 × 58			
			305	350			290	290					
			630			240	280	630 × 400 × 55	630 × 400 × 65	220	220	150 × 53	150 × 53
270	305	50 × 250				55 × 250	50 × 160			55 × 160			
270	310	630 × 400 × 65				630 × 400 × 80		250	250		160 × 63	160 × 63	
300	340						280	280					

凹模周界		闭合高度 H		零件件号、名称及标准编号						
				1	2	3	4	5	6	
				上模座 GB2855.1-81	下模座 GB2855.2-81	导柱 GB2861.1-81		导套 GB2861.6-81		
				数 量						
L	B	D_0	最小	最大	1	1	1	1	1	
规 格										
500	500	500	260	300	500×500×55	500×500×65	240	240	150×53	150×53
			290	325			270	270		
			290	330	500×500×65	500×500×80	50×	55×	50×	55×
			320	360			300	300	160×63	160×63

注：1. 括号内的尺寸是可能不采用。
2. 技术条件按GB 2854-81的规定。

(2) B型对角导柱模架(GB2851.2-81) 见图2和表2。

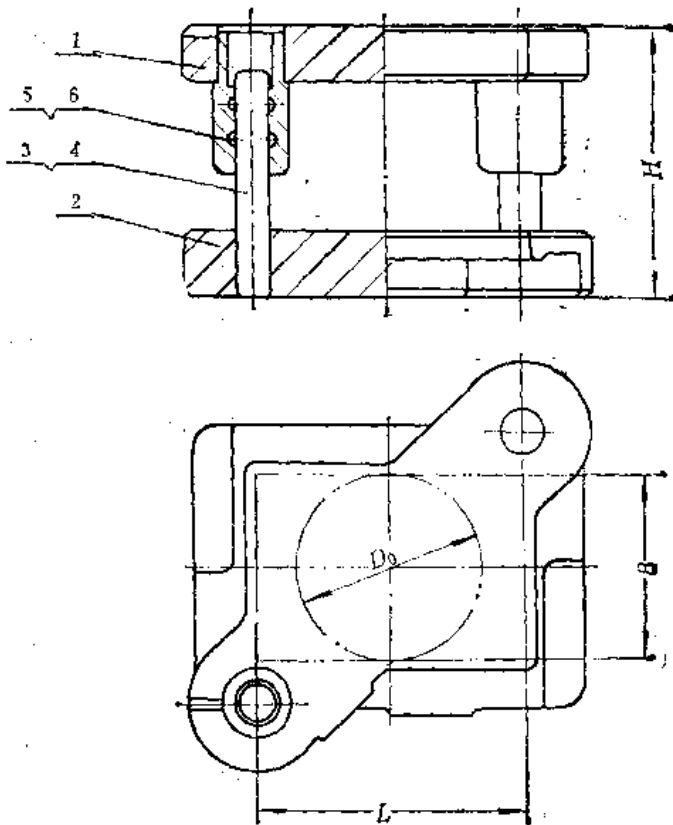


图2

标记示例:

凹模周界 $L=200\text{mm}$, $B=125\text{mm}$, 闭合高度 $H=170\sim 205\text{mm}$, 材料为HT20-40, I级精度的B型对角导柱模架:

模架B200×125×170~205 I GB2851.2-81·HT20-40

表2. B型对角导柱模架(GB2851.2—81)

(mm)

凹模周界			闭合高度 H		零件件号、名称及标准编号					
					1	2	3	4	5	6
					上模座 GB2855.3—81	下模座 GB2855.4—81	导柱 GB2861.1—81	导套 GB2861.6—81		
L	B	D_0	最小	最大	数 量					
					1	1	1	1	1	1
规 格										
63	50		100	115	63×50×20	63×50×25	90	90	60×18	60×18
			110	125			100	100		
			110	130	63×50×25	63×50×30	100	100	65×23	65×23
			120	140			110	110		
63	63		100	115	63×63×20	63×63×25	18×90	18×90	16×60×18	18×60×18
			110	125			100	100		
			110	130	63×63×25	63×63×30	100	100	65×23	65×23
			120	140			110	110		
80	63		110	130	80×63×25	80×63×30	100	100	65×23	65×23
			130	150			120	120		
			120	145	80×63×30	80×63×40	110	110	70×28	70×28
			140	165			130	130		
100			110	130	100×63×25	100×63×30	18×100	20×100	18×65×23	20×65×23
			130	150			120	120		
			120	145	100×63×30	100×63×40	110	110	70×28	70×28
			140	165			130	130		
80	80		110	130	80×80×25	80×80×30	100	100	65×23	65×23
			130	150			120	120		
			120	145	80×80×30	80×80×40	110	110	70×28	70×28
			140	165			130	130		
100	80		110	130	100×80×25	100×80×30	100	100	65×23	65×23
			130	150			120	120		
			120	145	100×80×30	100×80×40	20×110	22×110	20×70×28	22×70×28
			140	165			130	130		
125			110	130	125×80×25	125×80×30	100	100	65×23	65×23
			130	150			120	120		
			120	145	125×80×30	125×80×40	110	110	70×28	70×28
			140	165			130	130		

(续)

四模周界			闭合高度 H		零件件号, 名称及标准编号					
					1	2	3	4	5	6
					上模座 GB2855.3-81	下模座 GB2855.4-81	导柱 GB2861.1-81	导套 GB2861.6-81		
L	B	D ₀	最小	最大	数 量					
					1	1	1	1	1	1
规 格										
(140)	80		120	150	(140) × 80 × 30	(140) × 80 × 35	110	110	80 × 28	80 × 28
			140	165			22 ×	25 ×		
			140	170	(140) × 80 × 35	(140) × 80 × 45	130	130	80 × 33	80 × 33
			160	190			150	150		
100		100	110	130	100 × 100 × 25	100 × 100 × 30	100	100	65 × 23	65 × 23
			130	150			20 ×	22 ×		
			120	145	100 × 100 × 30	100 × 100 × 40	110	110	70 × 28	70 × 28
			140	165			130	130		
125			120	150	125 × 100 × 30	125 × 100 × 35	110	110	80 × 28	80 × 28
			140	165			130	130		
			140	170	125 × 100 × 35	125 × 100 × 45	130	130	80 × 33	80 × 33
			160	190			150	150		
(140)	100		120	150	(140) × 100 × 30	(140) × 100 × 35	110	110	80 × 28	80 × 28
			140	165			22 ×	25 ×		
			140	170	(140) × 100 × 35	(140) × 100 × 45	130	130	80 × 33	80 × 33
			160	190			150	150		
160			140	170	160 × 100 × 35	160 × 100 × 40	130	130	85 × 33	85 × 33
			160	190			150	150		
			160	195	160 × 100 × 40	160 × 100 × 50	150	150	90 × 38	90 × 38
			190	225			180	180		
200			140	170	200 × 100 × 35	200 × 100 × 40	130	130	85 × 33	85 × 33
			160	190			25 ×	28 ×		
			160	195	200 × 100 × 40	200 × 100 × 50	150	150	90 × 38	90 × 38
			190	225			180	180		
125	125	125	120	150	125 × 125 × 30	125 × 125 × 35	110	110	80 × 28	80 × 28
			140	165			22 ×	25 ×		
			140	170	125 × 125 × 35	125 × 125 × 45	130	130	85 × 33	85 × 33
			160	190			150	150		

(续)

凹模周界			闭合高度 <i>H</i>		零件件号、名称及标准编号							
					1	2	3	4	5	6		
			<i>L</i>	<i>B</i>	<i>D₀</i>	最小	最大	1	1	1	1	1
					上模座 GB2855.3-81		下模座 GB2855.4-81		导柱 GB2861.1-81		导套 GB2861.6-81	
					数 量							
					规 格							
(140)			140	170	(140)×125×35	(140)×125×40	130	130	85×33	85×33		
			160	190			150	150				
			160	195	(140)×125×40	(140)×125×50	150	150	90×38	90×38		
			190	225			180	180				
160		125	140	170	160×125×35	160×125×40	130	130	85×33	85×33		
			160	190			150	150				
			170	205	160×125×40	160×125×50	25×	28×	25×	28×		
			190	225			160	160	95×38	95×38		
200		125	140	170	200×125×35	200×125×40	130	130	85×33	85×33		
			160	190			150	150				
			170	205	200×125×40	200×125×50	160	160	95×38	95×38		
			190	225			180	180				
250		125	160	200	250×125×40	250×125×45	150	150	100×38	100×38		
			180	220			170	170				
			190	235	250×125×45	250×125×55	28×	32×	28×	32×		
			210	255			180	180	110×43	110×43		
						200	200					
(140)			140	170	(140)×(140)×35	(140)×(140)×40	130	130	85×33	85×33		
			160	190			150	150				
			170	205	(140)×(140)×40	(140)×(140)×50	160	160	95×38	95×38		
			190	225			180	180				
160		(140)	140	170	160×(140)×35	160×(140)×40	25×	28×	25×	28×		
			160	190			130	130	85×33	85×33		
			170	205	160×(140)×40	160×(140)×50	150	150	95×38	95×38		
			190	225			160	160				
200		(140)	160	200	200×(140)×40	200×(140)×45	150	150	100×38	100×38		
			180	220			170	170				
			190	235	200×(140)×45	200×(140)×55	28×	32×	28×	32×		
			210	255			180	180	110×43	110×43		
						200	200					

凹模周界			零件序号、名称及标准编号							
			闭合高度		1	2	3	4	5	6
			H		上模座 GB2855.3—81	下模座 GB2855.4—81	导柱 GB2861.1—81	导套 GB2861.6—81		
L	B	D ₀	最小 最大		数 量					
			1	1	1	1	1	1	1	
			规			格				
250	(140)	—	160	200	250 × (140) × 40	250 × (140) × 45	150	150	100 × 38	100 × 38
			180	220			170	170		
			190	235	250 × (140) × 45	250 × (140) × 55	180	180	110 × 43	110 × 43
			210	255			200	200		
160	160	—	160	200	160 × 160 × 40	160 × 160 × 45	150	150	100 × 38	100 × 38
			180	220			170	170		
			190	235	160 × 160 × 45	160 × 160 × 55	28 × 180	32 × 180	28 × 110 × 43	32 × 110 × 43
			210	255			200	200		
200	160	—	160	200	200 × 160 × 40	200 × 160 × 45	150	150	100 × 38	100 × 38
			180	220			170	170		
			190	235	200 × 160 × 45	200 × 160 × 55	180	180	110 × 43	110 × 43
			210	255			200	200		
250	160	—	170	210	250 × 160 × 45	250 × 160 × 50	160	160	105 × 43	105 × 43
			200	240			190	190		
			200	245	250 × 160 × 50	250 × 160 × 60	190	190	115 × 48	115 × 48
			220	265			210	210		
(280)	160	—	170	210	(280) × 160 × 45	(280) × 160 × 50	32 × 160	35 × 160	32 × 105 × 43	35 × 105 × 43
			200	240			190	190		
			200	245	(280) × 160 × 50	(280) × 160 × 60	190	190	115 × 48	115 × 48
			220	265			210	210		

注：1. 括号内的尺寸尽可能不采用。
2. 技术条件按GB 2854—81的规定。

(3) 后侧导柱模架(GB2851.3—81) 见图3和表3。

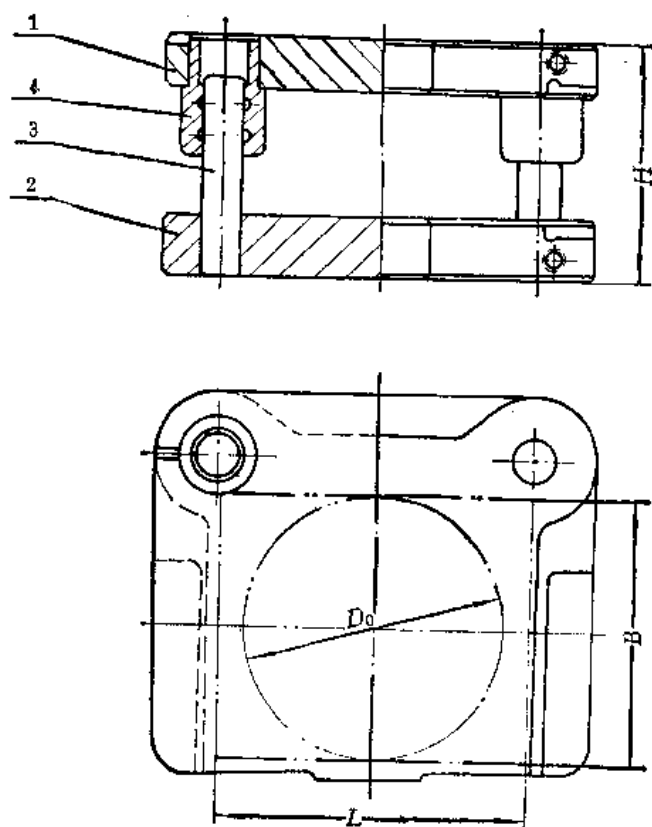


图3

标记示例:

凹模周界 $L=200\text{mm}$ 、 $B=125\text{mm}$ 、闭合高度 $H=170\sim 205\text{mm}$ 、材料为HT20-40、I级精度的后侧导柱模架:

模架 $200\times 125\times 170\sim 205$ I GB2851.3—81·HT20-40

表3. 后侧导柱模架(GB2851.3—81)

(mm)

凹模周界			闭合高度 <i>H</i>		零件件号、名称及标准编号					
					1	2	3	4		
					上模座 GB2855.5—81	下模座 GB2855.6—81	导柱 GB2861.1—81	导套 GB2861.6—81		
<i>L</i>	<i>B</i>	<i>D₀</i>	最小	最大	数		量			
					1	1	2	2		
					规格					
63	50	—	100	115	63×50×20	63×50×25	16×	90	60×18	
			110	125				100		
			110	130	63×50×25	63×50×30		100		65×23
			120	140				110		
63	63	—	100	115	63×63×20	63×63×25	16×	90	60×18	
			110	125				100		
			110	130	63×63×25	63×63×30		100		65×23
			120	140				110		
80	63	—	110	130	80×63×25	80×63×30	18×	100	65×23	
			130	150				120		
			120	145	80×63×30	80×63×40		110		70×28
			140	165				130		
100	—	—	110	130	100×63×25	100×63×30	18×	100	65×23	
			130	150				120		
			120	145	100×63×30	100×63×40		110		70×28
			140	165				130		
80	80	—	110	130	80×80×25	80×80×30	20×	100	65×23	
			130	150				120		
			120	145	80×80×30	80×80×40		110		70×28
			140	165				130		
100	80	—	110	130	100×80×25	100×80×30	20×	100	65×23	
			130	150				120		
			120	145	100×80×30	100×80×40		110		70×28
			140	165				130		
125	—	—	110	130	125×80×25	125×80×30	—	100	65×23	
			130	150				120		
			120	145	125×80×30	125×80×40		110		70×28
			140	165				130		

(续)

凹模周界			闭合高度 H		零件件号、名称及标准编号			
					1	2	3	4
L	B	D_0	最小	最大	上模座 GB2855.5—81	下模座 GB2855.6—81	导柱 GB2861.1—81	导套 GB2861.6—81
					数		量	
				1	1	2	3	
				规		格		
(140)	80	—	120	150	(140) × 80 × 30	(140) × 80 × 35	110	80 × 28
			140	165			130	
			140	170	(140) × 80 × 35	(140) × 80 × 45	22 × 130	22 × 80 × 33
			160	190			150	
100	100	—	119	130	100 × 100 × 25	100 × 100 × 30	100	20 × 65 × 23
			130	150	100 × 100 × 30	100 × 100 × 40	20 × 120	
			120	145			100 × 100 × 30	100 × 100 × 40
			140	165	130			
125	—	—	120	150	125 × 100 × 30	125 × 100 × 35	110	80 × 28
			140	165			130	
			140	170	125 × 100 × 35	125 × 100 × 45	130	80 × 33
			160	190			22 × 150	
(140)	100	—	120	150	(140) × 100 × 30	(140) × 100 × 35	22 × 110	22 × 80 × 28
			140	165			130	
			140	170	(140) × 100 × 35	(140) × 100 × 45	130	80 × 33
			160	190			150	
160	—	—	140	170	160 × 100 × 35	160 × 100 × 40	130	85 × 33
			160	190			150	
			160	195	160 × 100 × 40	160 × 100 × 50	150	25 × 90 × 38
			190	225			180	
200	—	—	140	170	200 × 100 × 35	200 × 100 × 40	25 × 130	25 × 85 × 33
			160	190			150	
			160	195	200 × 100 × 40	200 × 100 × 50	150	90 × 38
			190	225			180	
125	125	125	120	150	125 × 125 × 30	125 × 125 × 35	110	80 × 23
			140	165			22 × 130	
			140	170	125 × 125 × 35	125 × 125 × 45	130	22 × 85 × 33
			160	190			150	

(续)

凹模周界			闭合高度 <i>H</i>		零件序号、名称及标准编号			
					1	2	3	4
<i>L</i>	<i>B</i>	<i>D</i> ₀	最小	最大	上模座 GB2855.5—81	下模座 GB2855.6—81	导柱 GB2861.1—81	导套 GB2861.6—81
					数		量	
				1	1	2	2	
				规格				
(140)			140	170	(140) × 125 × 35	(140) × 125 × 40	130	85 × 33
			160	190			150	
			160	195	(140) × 125 × 40	(140) × 125 × 50	150	90 × 36
			190	225			180	
160			140	170	160 × 125 × 35	160 × 125 × 40	130	85 × 33
			180	190			150	
			170	205	160 × 125 × 40	160 × 125 × 50	25 × 160	25 ×
			190	225			180	95 × 38
200	125		140	170	200 × 125 × 35	200 × 125 × 40	130	85 × 33
			160	190			150	
			170	205	200 × 125 × 40	200 × 125 × 50	180	95 × 38
			190	225			180	
250			160	200	250 × 125 × 40	250 × 125 × 45	150	100 × 38
			180	220			170	
			190	235	250 × 125 × 45	250 × 125 × 55	28 × 180	28 ×
			210	255			200	110 × 43
(140)		(140)	140	170	(140) × (140) × 35	(140) × (140) × 40	130	85 × 33
			160	190			150	
			170	205	(140) × (140) × 40	(140) × (140) × 50	160	95 × 38
			190	225			180	
160	(140)		140	170	160 × (140) × 35	160 × (140) × 40	25 × 130	25 ×
			160	190			150	85 × 33
			170	205	160 × (140) × 40	160 × (140) × 50	160	95 × 38
			190	225			180	
200			160	200	200 × (140) × 40	200 × (140) × 45	150	100 × 38
			180	220			170	
			190	235	200 × (140) × 45	200 × (140) × 55	28 × 180	28 ×
			210	255			200	110 × 43

(续)

凹模周界			闭合高度 H		零件件号、名称及标准编号				
					1	2	3	4	
					上模座 GB2855.5—81	下模座 GB2855.6—81	导柱 GB2861.1—81	导套 GB2861.6—81	
					数 量				
L	B	D_0	最小	最大	1	1	2	2	
					规 格				
250	(140)	—	160	200	$250 \times (140) \times 40$	$250 \times (140) \times 45$	28 ×	150	100 × 38
			180	220				170	
			190	235	$250 \times (140) \times 45$	$250 \times (140) \times 55$		180	110 × 43
			210	255				200	
160	160	—	160	200	$160 \times 160 \times 40$	$160 \times 160 \times 45$	28 ×	150	100 × 38
			180	220				170	
			190	235	$160 \times 160 \times 45$	$160 \times 160 \times 55$		180	110 × 43
			210	255				200	
200	160	—	160	200	$200 \times 160 \times 40$	$200 \times 160 \times 45$	32 ×	150	100 × 38
			180	220				170	
			190	235	$200 \times 160 \times 45$	$200 \times 160 \times 55$		180	110 × 43
			210	255				200	
250	—	—	170	210	$250 \times 160 \times 45$	$250 \times 160 \times 50$	32 ×	160	105 × 43
			200	240				190	
			200	245	$250 \times 160 \times 50$	$250 \times 160 \times 60$		190	115 × 48
			220	265				210	
(280)	—	—	170	210	$(280) \times 160 \times 45$	$(280) \times 160 \times 50$	32 ×	160	105 × 43
			200	240				190	
			200	245	$(280) \times 160 \times 50$	$(280) \times 160 \times 60$		190	115 × 48
			220	265				210	
200	200	—	170	210	$200 \times 200 \times 45$	$200 \times 200 \times 50$	32 ×	160	105 × 43
			200	240				190	
			200	245	$200 \times 200 \times 50$	$200 \times 200 \times 60$		190	115 × 48
			220	265				210	
250	—	—	170	210	$250 \times 200 \times 45$	$250 \times 200 \times 50$	32 ×	160	105 × 43
			200	240				190	
			200	245	$250 \times 200 \times 50$	$250 \times 200 \times 60$		190	115 × 48
			220	265				210	

(续)

凹模周界			两合高度 <i>H</i>		零件序号、名称及标准编号			
					1	2	3	4
					上模座 GB2855.5—81	下模座 GB2855.6—81	导柱 GB2861.1—81	导套 GB2861.6—81
					数		量	
<i>L</i>	<i>B</i>	<i>D₀</i>	最小	最大	1	1	2	2
					规格			
(280)	200	—	190	230	(280) × 200 × 45	(280) × 200 × 55	180	115 × 43
			220	260				
			210	255	(280) × 200 × 50	(280) × 200 × 65	200	125 × 48
			240	285			230	
315	—	—	190	230	315 × 200 × 45	315 × 200 × 55	180	115 × 43
			220	260			210	
			210	255	315 × 200 × 50	315 × 200 × 65	200	125 × 48
			240	285			230	
250	250	—	190	230	250 × 250 × 45	250 × 250 × 55	35 × 180	35 × 115 × 43
			220	260			210	
			210	255	250 × 250 × 50	250 × 250 × 65	200	125 × 48
			240	285			230	
(280)	—	—	190	230	(280) × 250 × 45	(280) × 250 × 55	180	115 × 43
			220	260			210	
			210	255	(280) × 250 × 50	(280) × 250 × 65	200	125 × 48
			240	285			230	
315	250	—	215	250	315 × 250 × 50	315 × 250 × 60	200	125 × 48
			245	280			230	
			245	290	315 × 250 × 55	315 × 250 × 70	230	140 × 53
			275	320			260	
400	—	—	215	250	400 × 250 × 50	400 × 250 × 60	200	125 × 48
			245	280			230	
			245	290	400 × 250 × 55	400 × 250 × 70	230	140 × 53
			275	320			260	
(280)	(280)	(280)	215	250	(280) × (280) × 50	(280) × (280) × 60	200	125 × 48
			245	280			230	
			245	290	(280) × (280) × 55	(280) × (280) × 70	230	140 × 53
			275	320			260	

(续)

凹模周界					零件号、名称及标准编号					
					1	2	3	4		
H					上模座 GB2855.5—81	下模座 GB2855.6—81	导柱 GB2861.1—81	导套 GB2861.6—81		
					数 量					
L	B	D_0	最小	最大	1	1	2	2		
					规 格					
315	(280)	—	215	250	$315 \times (280) \times 50$	$315 \times (280) \times 60$	40 ×	200	40 ×	
			245	280				230		125 × 48
			245	290	$315 \times (280) \times 55$	$315 \times (280) \times 70$		230		140 × 53
			275	320				260		
400	(280)	—	215	250	$400 \times (280) \times 50$	$400 \times (280) \times 60$	200	125 × 48		
			245	280			230			
			245	290	$400 \times (280) \times 55$	$400 \times (280) \times 70$	230	140 × 53		
			275	320			260			

注：1. 括号内的尺寸尽可能不采用。
2. 技术条件按GB2854—81的规定。

(4) 后侧导柱窄形模架(GB2851.4—81) 见图4和表4。

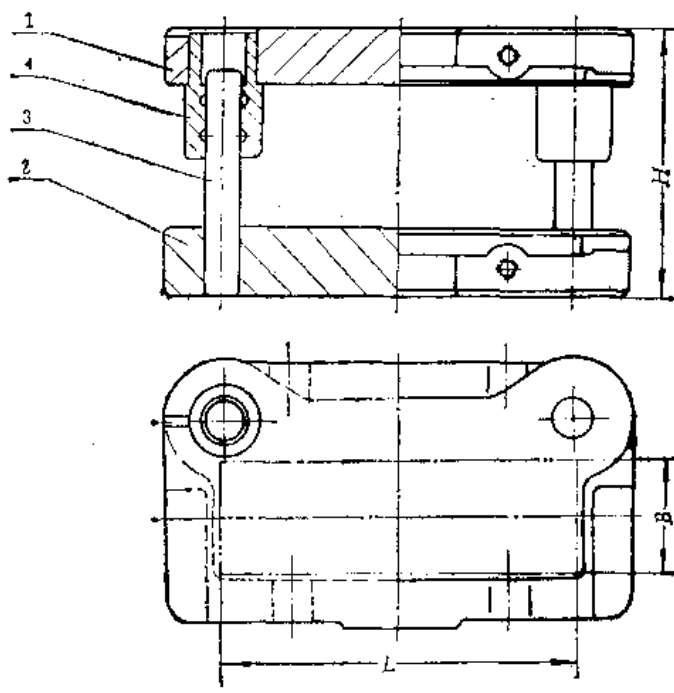


图4

标记示例：

凹模周界 $L=355\text{mm}$ ， $B=125\text{mm}$ ，闭合高度 $H=200\sim 245\text{mm}$ ，材料为HT20-40，I级精度的后侧导柱窄形模架，

模架 $355 \times 125 \times 200\sim 245$ I GB2851.4—81·HT20-40

表4. 后侧导柱窄形模架 (GB2851.4—81) (mm)

凹模周界		闭合高度 <i>H</i>		零件件号、名称及标准编号				
				1	2	3	4	
				上模座 GB 2855.7—81	下模座 GB 2855.8—81	导柱 GB 2861.1—81	导套 GB 2861.6—81	
<i>L</i>	<i>B</i>	最小	最大	数 量				
				1	1	2	2	
				规 格				
250	80	170	210	250×80×45	250×80×50	32×160	32×105×43	
		200	240			32×190		
315		170	210	315×80×45	315×80×50	35×160	35×105×43	
		200	240			35×190		
315	100	200	245	315×100×45	315×100×55	35×190	35×115×43	
		220	265			35×210		
400		200	245	400×100×50	400×100×60	40×190	40×115×48	
		220	265			40×210		
355	125	200	245	355×125×50	355×125×60	40×190		40×115×48
		220	265			40×210		
500		210	255	500×125×50	500×125×65	45×200	45×125×48	
		240	285			45×230		
450	(140)	210	255	450×(140)×50	450×(140)×65	45×200		45×125×48
		240	285			45×230		
500		210	255	560×(140)×50	560×(140)×65	45×200	45×125×48	
		240	285			45×230		
500	160	245	290	500×160×55	500×160×70	50×230		50×140×53
		275	320			50×260		
710		245	290	710×160×55	710×160×70	50×230	50×140×53	
		275	320			50×260		
630	200	275	320	630×200×60	630×200×75	55×250		55×160×58
		305	350			55×280		
800		275	320	800×200×60	800×200×75	55×250	55×160×58	
		305	350			55×280		

注: 1. 括号内的尺寸尽可能不采用。
2. 技术条件按GB2854—81的规定。

(5) 中间导柱模架(GB2851.5—81) 见图5和表5。

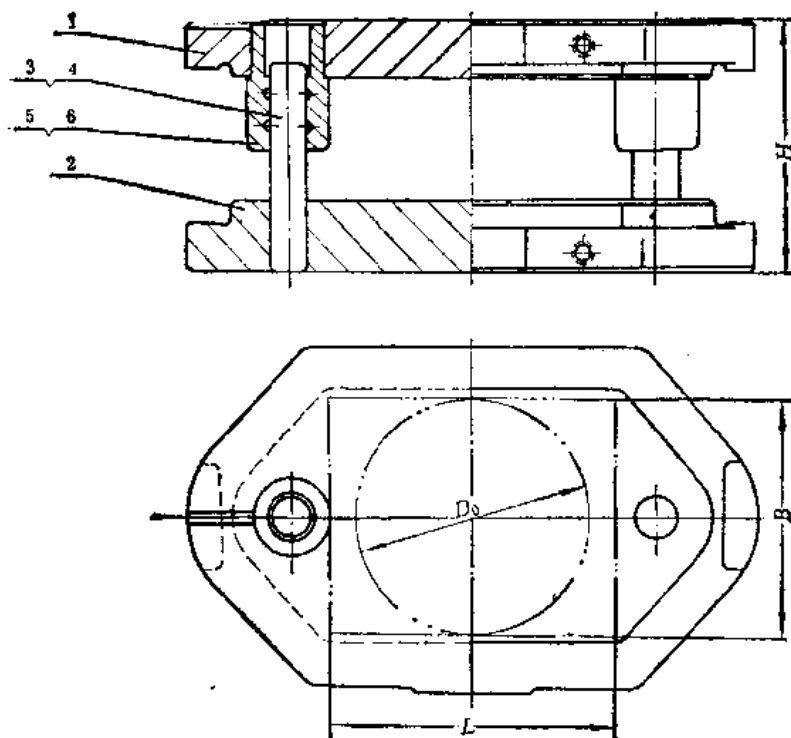


图5

标记示例:

凹模周界 $L=250\text{mm}$, $B=200\text{mm}$, 闭合高度 $H=200\sim 245\text{mm}$, 材料为HT20-40, I级精度的中间导柱模架,

模架 $250\times 200\times 200\sim 245$; GB2851.5—81·HT20-40

表5. 中间导柱模架 (GB2851.5—81)

(mm)

凹模周界				闭合高度 <i>H</i>		零件件号、名称及标准编号					
						1	2	3	4	5	6
				上模座 GB2855.9—81		下模座 GB2855.10—81		导柱 GB2861.1—81		导套 GB2861.6—81	
<i>L</i>	<i>B</i>	<i>D₀</i>	最小	最大	数		量				
					1	1	1	1	1	1	
					视		格				
63	50	—	100	115	63×50×20	63×50×25	90	90	60×18	60×18	
			110	125			100	100			
			110	130	63×50×25	63×50×30	100	100	65×23	65×23	
			120	140			110	110			
63	63	—	100	115	63×63×20	63×63×25	16×90	18×90	16×60×18	18×60×18	
			110	125			100	100			
			110	130	63×63×25	63×63×30	100	100	65×23	65×23	
			120	140			110	110			
80	63	—	110	130	80×63×25	80×63×30	100	100	65×23	65×23	
			130	150			120	120			
			120	145	80×63×30	80×63×40	110	110	70×28	70×28	
			140	165			130	130			
100	—	—	110	130	100×63×25	100×63×30	18×100	20×100	18×65×23	20×65×23	
			130	150			120	120			
			120	145	100×63×30	100×63×40	110	110	70×28	70×28	
			140	165			130	130			
80	80	—	110	130	80×80×25	80×80×30	100	100	65×23	65×23	
			130	150			120	120			
			120	145	80×80×30	80×80×40	110	110	70×28	70×28	
			140	165			130	130			
100	80	—	110	130	100×80×25	100×80×30	100	100	65×23	65×23	
			130	150			120	120			
			120	145	100×80×30	100×80×40	20×110	22×110	20×70×28	22×70×28	
			140	165			130	130			
125	—	—	110	130	125×80×25	125×80×30	100	100	65×23	65×23	
			130	150			120	120			
			120	145	125×80×30	125×80×40	110	110	70×28	70×28	
			140	165			130	130			

(续)

凹模周界			闭合高度 <i>H</i>		零件件号、名称及标准编号					
					1	2	3	4	5	6
					上模座 GB2855.9-81	下模座 GB2855.10-81	导柱 GB2861.1-81	导套 GB2861.6-81		
<i>L</i>	<i>B</i>	<i>D_c</i>	最小	最大	规 格					
					1	1	1	1	1	1
(140)	80	—	120	150	(140)×80×30	(140)×80×35	110	110	80×28	80×28
			140	165			130	130		
			140	170	(140)×80×35	(140)×80×45	22×	25×	22×	25×
			160	190			130	130	80×33	80×33
100	100	—	110	130	100×100×25	100×100×30	100	100	65×23	65×23
			130	150	100×100×30	100×100×40	120	120	70×28	70×28
			120	145			20×	22×		
			140	165	110	110	130	130		
125	—	—	120	150	125×100×30	125×100×35	110	110	80×28	80×28
			140	165	125×100×35	125×100×45	130	130	80×33	80×33
			140	170			130	130		
			160	190	150	150				
(140)	100	—	120	150	(140)×100×30	(140)×100×35	22×	25×	22×	25×
			140	165			110	110	80×28	80×28
			140	170	(140)×100×35	(140)×100×45	130	130	80×33	80×33
			160	190			150	150		
160	—	—	140	170	160×100×35	160×100×40	130	130	85×33	85×33
			160	190	160×100×40	160×100×50	150	150	90×38	90×38
			160	195			150	150		
			190	225	180	180				
200	—	—	140	170	200×100×35	200×100×40	25×	28×	25×	28×
			160	190	200×100×40	200×100×50	130	130	85×33	85×33
			160	195			150	150		
			190	225	180	180				
125	125	125	120	150	125×125×3	125×125×35	110	110	80×28	80×28
			140	165	125×125×35	125×125×45	130	130	85×33	85×33
			140	170			22×	25×		
			160	190	130	130	150	150		

(续)

凹模周界			闭合高度 <i>H</i>		零件件号、名称及标准编号					
					1	2	3	4	5	6
					上模座 GB2855.9-81	下模座 GB2855.10-81	导柱 GB2861.1-81	导套 GB2861.6-81		
					数 量					
<i>L</i>	<i>B</i>	<i>D₀</i>	最小	最大	1	1	1	1	1	
规 格										
140			140	170	(140) × 125 × 35	(140) × 125 × 40	130	130	85 × 33	85 × 33
			160	190			150	150		
			160	195	(140) × 125 × 40	(140) × 125 × 50	150	150	90 × 38	90 × 38
			190	225			180	180		
160			140	170	160 × 125 × 35	160 × 125 × 40	130	130	85 × 33	85 × 33
			160	190			150	150		
			170	205	160 × 125 × 40	160 × 125 × 50	25 × 160	28 × 160	25 × 95 × 38	28 × 95 × 38
			190	225			180	180		
200			140	170	200 × 125 × 35	200 × 125 × 40	130	130	85 × 33	85 × 33
			160	190			150	150		
			170	205	200 × 125 × 40	200 × 125 × 50	160	160	95 × 38	95 × 38
			190	225			180	180		
250			160	200	250 × 125 × 40	250 × 125 × 45	150	150	100 × 38	100 × 38
			180	220			170	170		
			190	235	250 × 125 × 45	250 × 125 × 55	28 × 180	32 × 180	28 × 110 × 43	32 × 110 × 43
			210	255			200	200		
(140)		(140)	140	170	(140) × (140) × 35	(140) × (140) × 40	130	130	85 × 33	85 × 33
			160	190			150	150		
			170	205	(140) × (140) × 40	(140) × (140) × 50	160	160	95 × 38	95 × 38
			190	225			180	180		
160		(140)	140	170	160 × (140) × 35	160 × (140) × 40	25 × 130	28 × 130	25 × 85 × 33	28 × 85 × 33
			160	190			150	150		
			170	205	160 × (140) × 40	160 × (140) × 50	160	160	95 × 38	95 × 38
			190	225			180	180		
200		(140)	160	200	200 × (140) × 40	200 × (140) × 45	150	150	100 × 38	100 × 38
			180	220			170	170		
			190	235	200 × (140) × 45	200 × (140) × 55	28 × 180	32 × 180	28 × 110 × 43	32 × 110 × 43
			210	255			200	200		

(续)

凹模周界			闭合高度 H		零件件号、名称及标准编号					
					1	2	3	4	5	6
					上模座 GB2855.9—81	下模座 GB2855.10—81	导柱 GB2861.1—81	导套 GB2861.6—81		
L	B	D_0	最小	最大	数 量					
					1	1	1	1	1	1
					规 格					
250	(140)	—	160	200	250 × (140) × 40	250 × (140) × 45	150	150	100 × 38	100 × 38
			180	220			170	170		
			190	235	250 × (140) × 45	250 × (140) × 55	180	180	110 × 43	110 × 43
			210	255			200	200		
160	160	—	160	200	160 × 160 × 40	160 × 160 × 45	150	150	100 × 38	100 × 38
			180	220			170	170		
			190	235	160 × 160 × 45	160 × 160 × 55	28 × 180	32 × 180	28 × 110 × 43	32 × 110 × 43
			210	255			200	200		
200	160	—	160	200	200 × 160 × 40	200 × 160 × 45	150	150	100 × 38	100 × 38
			180	220			170	170		
			190	235	200 × 160 × 45	200 × 160 × 55	180	180	110 × 43	110 × 43
			210	255			200	200		
250	(280)	—	170	210	250 × 160 × 45	250 × 160 × 50	160	160	105 × 43	105 × 43
			200	240			190	190		
			200	245	250 × 160 × 50	250 × 160 × 60	190	190	115 × 48	115 × 48
			220	265			210	210		
(280)	(280)	—	170	210	(280) × 160 × 45	(280) × 160 × 50	160	160	105 × 43	105 × 43
			200	240			190	190		
			200	245	(280) × 160 × 50	(280) × 160 × 60	190	190	115 × 48	115 × 48
			220	265			210	210		
200	200	—	170	210	200 × 200 × 45	200 × 200 × 50	32 × 160	35 × 160	32 × 105 × 43	35 × 105 × 43
			200	240			190	190		
			200	245	200 × 200 × 50	200 × 200 × 60	190	190	115 × 48	115 × 48
			220	265			210	210		
250	—	—	170	210	250 × 200 × 45	250 × 200 × 50	160	160	105 × 43	105 × 43
			200	240			190	190		
			200	245	250 × 200 × 50	250 × 200 × 60	190	190	115 × 48	115 × 48
			220	265			210	210		

(续)

凹模周界			闭合高度 <i>H</i>		零件件号、名称及标准编号					
					1	2	3	4	5	6
			上模座 GB2855.9-81		下模座 GB2855.10-81		导柱 GB2861.1-81		导套 GB2861.6-81	
<i>L</i>	<i>B</i>	<i>D</i> ₀	最小	最大	数 量					
					1	1	1	1	1	1
					规 格					
(280)	200	—	190	230	(280) × 200 × 45	(280) × 200 × 55	180	180	115 × 43	115 × 43
			220	260			210	210		
			210	255	(280) × 200 × 50	(280) × 200 × 65	200	200	125 × 48	125 × 48
			240	285			230	230		
315	—	—	190	230	315 × 200 × 45	315 × 200 × 55	180	180	115 × 43	115 × 43
			220	260			210	210		
			210	255	315 × 200 × 50	315 × 200 × 65	200	200	125 × 48	125 × 48
			240	285			230	230		
250	250	—	190	230	250 × 250 × 45	250 × 250 × 55	35 × 180	40 × 180	35 × 115 × 43	40 × 115 × 43
			220	260			210	210		
			210	255	250 × 250 × 50	250 × 250 × 65	200	200	125 × 48	125 × 48
			240	285			230	230		
(280)	250	—	190	230	(280) × 250 × 45	(280) × 250 × 55	180	180	115 × 43	115 × 43
			220	260			210	210		
			210	255	(280) × 250 × 50	(280) × 250 × 65	200	200	125 × 48	125 × 48
			240	285			230	230		
315	—	—	215	250	315 × 250 × 50	315 × 250 × 60	200	200	125 × 48	125 × 48
			245	280			230	230		
			245	290	315 × 250 × 65	315 × 250 × 70	230	230	140 × 53	140 × 53
			275	320			260	260		
400	—	—	215	250	400 × 250 × 50	400 × 250 × 60	200	200	125 × 48	125 × 48
			245	280			230	230		
			245	290	400 × 250 × 55	400 × 250 × 70	40 × 230	45 × 230	40 × 140 × 53	45 × 140 × 53
			275	320			260	260		
(280)	(280)	(280)	215	250	(280) × (280) × 50	(280) × (280) × 60	200	200	125 × 48	125 × 48
			245	280			230	230		
			245	290	(280) × (280) × 55	(280) × (280) × 70	230	230	140 × 53	140 × 53
			275	320			260	260		

(续)

凹模周界			闭合高度		零件件号、名称及标准编号					
					1	2	3	4	5	6
			H		上模座 GB2855.9—81	下模座 GB2855.10—81	导柱 GB2861.1—81		导套 GB2861.6—81	
					数 量					
L	B	D ₀	最小	最大	1	1	1	1	1	1
规格										
315	(280)		215	250	315×(280)×50	315×(280)×60	200	200	125×48	125×48
			245	280			230	230		
			245	290	315×(280)×55	315×(280)×70	230	230	140×53	140×53
			275	320			260	260		
400	(280)		215	250	400×(280)×50	400×(280)×60	40×200	45×200	40×125×48	45×125×48
			245	280			230	230		
			245	290	400×(280)×55	400×(280)×70	230	230	140×53	140×53
			275	320			260	260		
315	315		215	250	315×315×50	315×315×60	200	200	125×48	125×48
			245	280			230	230		
			245	290	315×315×55	315×315×70	230	230	140×53	140×53
			275	320			260	260		
400	315		245	290	400×315×55	400×315×65	230	230	140×53	140×53
			275	315			260	260		
			275	320	400×315×60	400×315×75	260	260	150×58	150×58
			305	350			290	290		
500			245	290	500×315×55	500×315×65	45×230	50×230	45×140×53	50×140×53
			275	315			260	260		
			275	320	500×315×60	500×315×75	260	260	150×58	150×58
			305	350			290	290		
400	400		245	290	400×400×55	400×400×65	230	230	140×53	140×53
			275	315			260	260		
			275	320	400×400×60	400×400×75	260	260	150×58	150×58
			305	350			290	290		
630			240	280	630×400×55	630×400×65	220	220	150×53	150×53
			270	305			250	250		
			270	310	630×400×65	630×400×80	50×250	55×250	50×160×63	55×160×63
			300	340			280	280		

凹模周界					零件件号、名称及标准编号							
					1	2	3	4	5	6		
H					上模座 GB2855.9—81		下模座 GB2855.10—81		导柱 GB2861.1—81		导套 GB2861.6—81	
					数量						1	1
L	B	D_0	最小	最大	规格							
500	500	500	260	300	500×500×55	500×500×55	240	240	150×53	150×53		
			290	325			270	270				
			290	330	500×500×65	500×500×80	270	270	160×63	160×63		
			320	360			300	300				

注：1. 括号内的尺寸尽可能不采用。

2. 技术条件按GB2854—81的规定。

(6) 中间导柱圆形模架(GB2851.6—81) 见图6和表6。

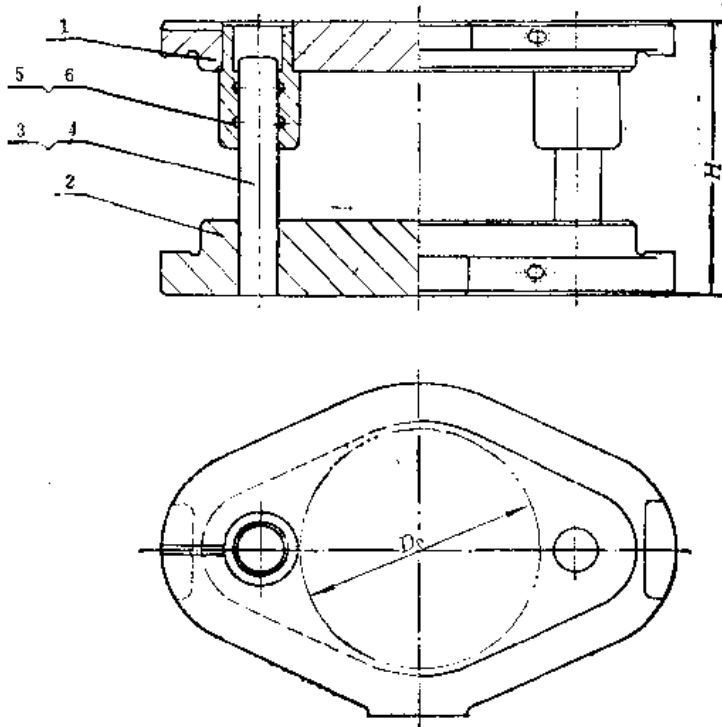


图6

标记示例，

凹模周界 $D_0=200\text{mm}$ ，闭合高度 $H=200\sim 245\text{mm}$ ，材料为HT20-40。

I级精度的中间导柱圆形模架。

模架200×200~245 I GB2851.6—81·HT20-40

表6. 中间导柱圆形模架 (GB2851.6—81)

(mm)

凹模 周界	闭合高度 <i>H</i>		零件件号、名称及标准编号					
			1	2	3	4	5	6
			上模座 GB2855.11—81	下模座 GB2855.12—81	导柱 GB2861.1—81	导套 GB2861.6—8		
		数 量						
<i>D</i> ₀	最小	最大	1	1	1	1	1	1
			规 格					
63	100	115	63×20	63×25	90	90	60×18	60×18
	110	125			100	100		
	110	130	63×25	63×30	16×100	18×100	16×65×23	18×65×23
	120	140			110	110		
80	110	130	80×25	80×30	100	100	65×23	65×23
	130	150			120	120		
	120	145	80×30	80×40	110	110	70×28	70×28
	140	165			130	130		
100	110	130	100×25	100×30	20×100	22×100	20×65×23	22×65×23
	130	150			120	120		
	120	145	100×30	100×40	110	110	70×28	70×28
	140	165			130	130		
125	120	150	125×30	125×35	110	110	80×28	80×28
	140	165			130	130		
	140	170	125×35	125×45	22×130	25×130	22×85×33	25×85×33
	160	190			150	150		
(140)	140	170	(140)×35	(140)×40	130	130	85×33	85×33
	160	190			150	150		
	170	205	(140)×40	(140)×50	25×160	28×160	25×95×38	28×95×38
	190	225			180	180		
160	180	200	160×40	160×45	150	150	100×38	100×38
	180	220			170	170		
	190	235	160×45	160×55	28×180	32×180	28×110×43	32×110×43
	210	255			200	200		
200	170	210	200×45	200×50	160	160	105×43	105×43
	200	240			190	190		
	200	245	200×50	200×60	32×190	35×190	32×115×48	35×115×48
	220	265			210	210		

(续)

凹模 周界	闭合高度 H		零件序号、名称及标准编号					
			1	2	3	4	5	6
			上模座 GB2855.11-81	下模座 GB2855.12-81	导柱 GB2861.1-81		导套 GB2861.6-81	
D_0	最小	最大	数 量					
			1	1	1	1	1	1
规 格								
250	190	230	250×45	250×55	180	180	115×43	115×43
	220	260			210	210		
	210	255	250×50	250×65	35× 200	40× 200	35× 125×48	40× 125×48
	240	285			230	230		
(280)	215	250	(280)×50	(280)×60	200	200	125×48	125×48
	245	280			230	230		
	245	290	(280)×55	(280)×70	40× 230	45× 230	40× 140×53	45× 140×53
	275	320			260	260		
315	215	250	315×50	315×60	200	200	125×48	125×48
	245	280			230	230		
	245	290	315×55	315×70	230	230	140×53	140×53
	275	320			260	260		
400	245	290	400×55	400×65	45× 230	50× 230	140×53	140×53
	275	315			260	260		
	275	330	400×60	400×75	260	260	150×58	150×58
	305	350			290	290		
500	260	300	500×55	500×65	240	240	150×53	150×53
	290	325			270	270		
	290	330	500×65	500×80	50× 270	55× 270	50× 160×63	55× 160×63
	320	360			300	300		
630	270	310	630×60	630×70	250	250	160×58	160×58
	300	340			280	280		
	310	350	630×75	630×90	55× 290	60× 290	55× 170×73	60× 170×73
	340	380			320	320		

注: 1. 括号内的尺寸尽可能不采用。
2. 技术条件按GB 2854-81的规定。

(7) 四导柱模架(GB2851.7—81) 见图7和表7。

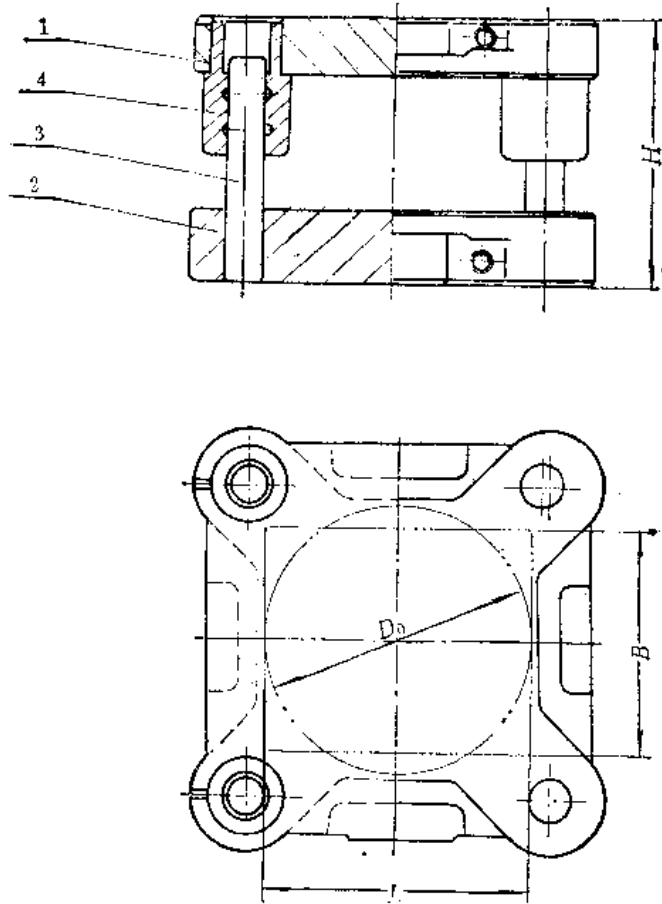


图7

标记示例:

四模周界 $L=250\text{mm}$, $B=200\text{mm}$, 闭合高度 $H=200\sim 245\text{mm}$. 材料为HT20-40. 1级精度的四导柱模架.

模架 $250\times 200\times 200\sim 245$ I GB2851.7—81·HT20-40

表7. 四导柱模架 (GB2851.7—81)

(mm)

凹模周界			闭合高度 <i>H</i>		零件件号、名称及标准编号						
					1	2	3	4			
<i>L</i>	<i>B</i>	<i>D₀</i>	最小	最大	上模座 GB2855.13—81	下模座 GB2855.14—81	导柱 GB2861.1—81	导套 GB2861.6—81			
					数 量						
					1	1	4	4			
					规 格						
160	(140)	180	140	170	160×(140)×35	160×(140)×40	25×	130	85×33		
			160	190				150			
			170	205	160×(140)×40	160×(140)×50		160	25×		
			190	225				180		95×38	
		200	200	160	200	200×(140)×40	200×(140)×45	28×	150	100×38	
				180	220				170		
				190	235	200×(140)×45	200×(140)×55		180	110×43	
				210	255				200		
160	200	200	160	200	200×160×40	200×160×45	28×	150	100×38		
			180	220				170			
			190	235	200×160×45	200×160×55		180	110×43		
			210	255				200			
		250	250	170	210	250×160×45	250×160×50	32×	160	105×43	
				200	240				190		
				200	245	250×160×50	250×160×60		190	115×48	
				220	265				210		
(280)	200	250	170	210	250×200×45	250×200×50	32×	160	105×43		
			200	240				190			
			200	245	250×200×50	250×200×60		190	115×48		
			220	265				210			
		(280)	250	(280)	190	230	(280)×200×45	(280)×200×55	35×	180	115×43
					220	260				210	
					210	255	(280)×200×50	(280)×200×65		200	125×48
					240	285				230	
250	(280)	250	190	230	(280)×250×45	(280)×250×55	35×	180	115×43		
			220	260				210			
			210	255	(280)×250×50	(280)×250×65		200	125×48		
			240	285				230			

(续)

凹模周界			闭合高度 H		零件件号、名称及标准编号			
					1	2	3	4
L	B	D_0	最小	最大	上模座 GB2855.13-81	下模座 GB2855.14-81	导柱 GB2861.1-81	导套 GB2861.6-81
					数 量			
					1	1	4	4
					规 格			
315	250	—	215	250	315 × 250 × 50	315 × 250 × 60	200	125 × 48
			245	280			230	
			245	290	315 × 250 × 55	315 × 250 × 70	230	140 × 53
			275	320			260	
400	250	—	215	250	400 × 250 × 50	400 × 250 × 60	200	125 × 48
			245	280			230	
			245	290	400 × 250 × 55	400 × 250 × 70	230	140 × 53
			275	320			260	
315	315	—	215	250	315 × (280) × 50	315 × (280) × 60	40 × 200	40 × 125 × 48
			245	280			230	
			245	290	315 × (280) × 55	315 × (280) × 70	230	140 × 53
			275	320			260	
400	(280)	—	215	250	400 × (280) × 50	400 × (280) × 60	200	125 × 48
			245	280			230	
			245	290	400 × (280) × 55	400 × (280) × 70	230	140 × 53
			275	320			260	
500	—	—	245	290	500 × (280) × 55	500 × (280) × 65	230	140 × 53
			275	315			260	
			275	320	500 × (280) × 60	500 × (280) × 75	260	150 × 58
			305	350			290	
400	315	—	245	290	400 × 315 × 55	400 × 315 × 65	230	140 × 53
			275	315			45 × 260	
			275	320	400 × 315 × 60	400 × 315 × 75	260	150 × 58
			305	350			290	
500	315	—	245	290	500 × 315 × 55	500 × 315 × 65	230	140 × 53
			275	315			260	
			275	320	500 × 315 × 60	500 × 315 × 75	260	150 × 58
			305	350			290	

(续)

凹模周界			闭合高度 H		零件件号、名称及标准编号			
					1	2	3	4
L	B	D_0	最小	最大	上模座 GB2355.13—81	下模座 GB2355.14—81	导柱 GB2861.1—81	导套 GB2361.6—81
					数 量			
					1	1	4	4
规 格								
630	315		260	300	630 × 315 × 55	630 × 315 × 65	240	150 × 53
			290	325			270	
			290	330	630 × 315 × 65	630 × 315 × 80	270	160 × 63
			320	360			300	
500	400		260	300	500 × 400 × 55	500 × 400 × 65	240	150 × 53
			290	325			270	
			290	330	500 × 400 × 65	500 × 400 × 80	50 × 270	50 × 160 × 63
			320	360			300	
630	400		260	300	630 × 400 × 55	630 × 400 × 65	240	150 × 53
			290	325			270	
			290	330	630 × 400 × 65	630 × 400 × 80	270	160 × 63
			320	360			300	

注：1. 括号内的尺寸尽可能不采用。

2. 技术条件按GB2354—81的规定。

1.7.3.2 冷冲模滚动导向模架

(I) 对角导柱模架 (GB2852.1—81) 见图1和表1。

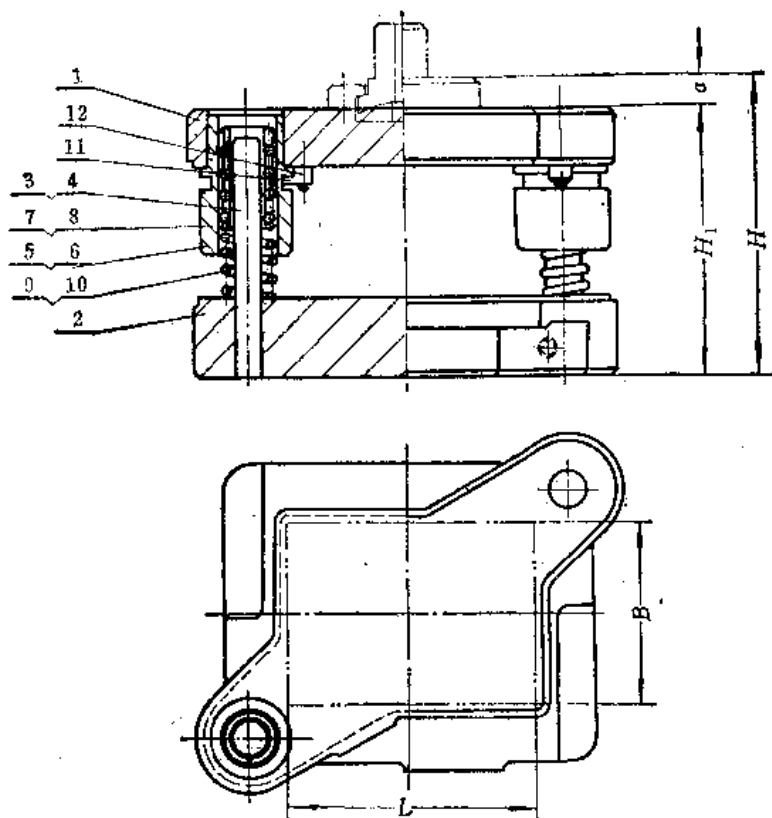


图1

标记示例:

凹模周界 $L=200\text{mm}$, $B=160\text{mm}$, 闭合高度 $H_1=220\text{mm}$, 材料为ZG45,
01级精度的对角导柱模架:

模架200×160×220 01 GB2851.1—81·ZG45

(10.10)

表1. 对角导柱模架(GB2852.1-81)

四模周界		设计最大 闭合高度 H	零件号、名称及标准编号													
L	B	S	H ₁	a	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
					上模座 GB2852.1-81	下模座 GB2852.2-81	导柱 GB2861.3-81	导套 GB2861.8-81	铜球保持圈 GB2861.10-81	弹簧 GR2861.11-81	压板GB 2861.16 70-76 -81	螺钉GB 2861.16 70-76 -81				
					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4或6
80	63				80×63×35	80×63×40	18×160	20×160	18×100×33	20×100×33	18×23.5×64	20×25.5×64	22×72	24×72	24×72	14×15
100	80	80	165	15	100×80×35	100×80×40	20×160	22×160	20×100×33	22×100×33	20×25.5×64	22×27.5×64	24×72	26×72	26×72	
125	100				125×100×35	125×100×45	22×160	25×160	22×100×33	25×100×33	22×27.5×64	25×30.5×64	26×62	28×65	28×65	
(140)	125				(140)×125×40	(140)×125×45	160	160	100×38	100×38	32.5×64	35.5×64	30×65	32×62	32×62	
100	200	100	200	15~20			195	195	120×38	120×38	32.5×76	35.5×76	1.6X	1.6X		
160	(140)	80	165	15	160×(140)×40	160×(140)×50	26X	26X	28X	28X	25X	28X	30×87	32×86	32×86	
200	160	100	200		200×160×45	200×160×55	190	190	105×38	105×38	32.5×64	35.5×76	30×65	32×62	32×62	
120	220	120	220	15~20			195	195	125×43	125×43	35.5×76	39.5×76	32×77	37×78	37×78	
250	200	100	260		250×200×50	250×200×60	215	215	145×43	145×43	35.5×84	39.5×84	32×77	37×78	2X	
120	230	120	230				195	195	120×48	120×48	39.5×76	42.5×76	37×79	40×78	40×78	
							215	215	150×48	150×48	39.5×84	42.5×84	37×87	40×88	40×88	

①最大行程系指该模架许可的最大冲压行程。
 注：1. 括号内的尺寸尽可能不采用。 2. 件号11、件号12的数量：L小于、等于140mm为4件，L大于140mm为6件。 3. 技术条件按GB2854-81的规定。

(2) 中间导柱模架 (GB2852.2—81) 见图2和表2。

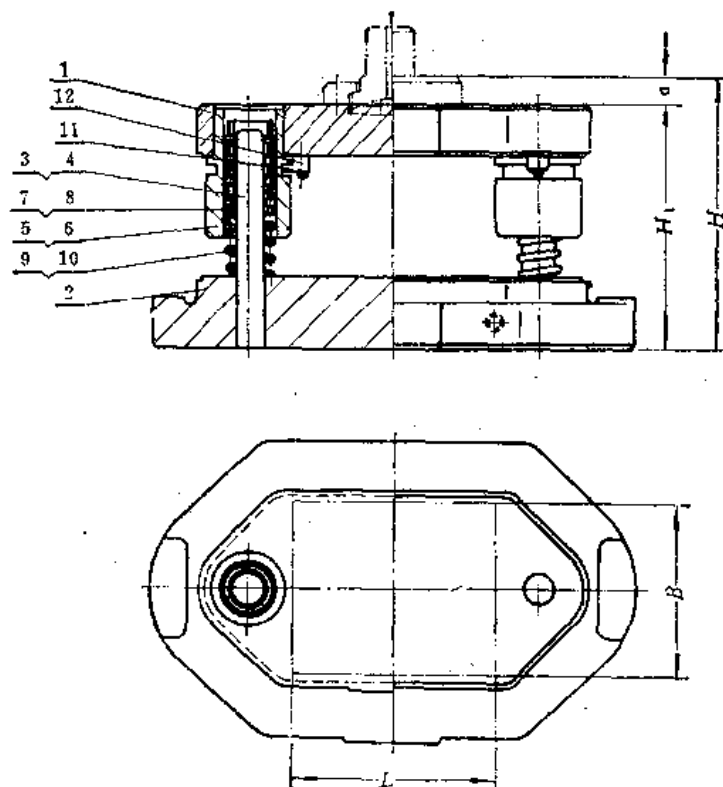


图2

标记示例,

凹模周界 $L=200\text{mm}$, $B=160\text{mm}$, 闭合高度 $H_1=220\text{mm}$, 材料为ZG45,
01精度的中间导柱模架,

模架200×160×220 01 GB 2852.2—81-ZG45

表2. 中间导柱模架 (GB2852.2-81) (mm)

四模界限	最大行程①	设计最大符合高度 H	零件号、名称及标准编号											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
L	B	S	H ₁	α	上模座 GB2856.3-81	下模座 GB2856.4-81	导柱 GB2861.3-81	导套 GB2861.8-81	钢球保持圈 GB2861.10-81	弹簧 GB2861.11-81	压板 GB2861.16-81	螺钉 GB70-76		
80	63				80×63×35	18×160	20×160	18×100×33	18×23.5×64	20×25.5×64	22×72	24×72	14×15 M5×14	
100	80	80	165	15	100×80×35	20×160	22×160	22×100×33	20×25.5×64	22×72	24×72	26×72		
125	100				125×100×35	22×160	25×160	25×100×33	22×27.5×64	25×30.5×64	26×62	30×65	30×65	
(140)	125				(140)×125×40	160	160	100×38	32.5×64	35.5×64	30×65	32×62		
		100/200		15~20		195	195	120×38	32.5×76	35.5×76	1.6×	32×86		
160	(140)	80	165	15	160×(140)×40	25×198	155	105×38	35×198	35.5×64	30×65	32×62		
		100/200			160×(140)×50	190	190	125×38	32.5×76	35.5×76	30×79	32×77	16×20 M6×16	
200	160				200×160×45	195	195	125×43	35.5×76	38.5×76				
		120/220		15~20		215	215	145×43	35.5×84	39.5×84	2×			
250	200				250×200×50	195	195	120×48	39.5×76	42.5×76	37×79	40×78		
		120/230				215	215	150×48	39.5×84	42.5×84	37×87	40×88		

①最大行程系指该模架许可的最大冲压行程。
 注：1. 括号内的尺寸尽可能不采用。 2. 件号11、件号12的数量：L小于、等于140mm为4件，L大于140mm为6件。 3. 技术条件按GB2854-81的规定。

(3) 四导柱模架 (GB2852.3-81) 见图3和表3。

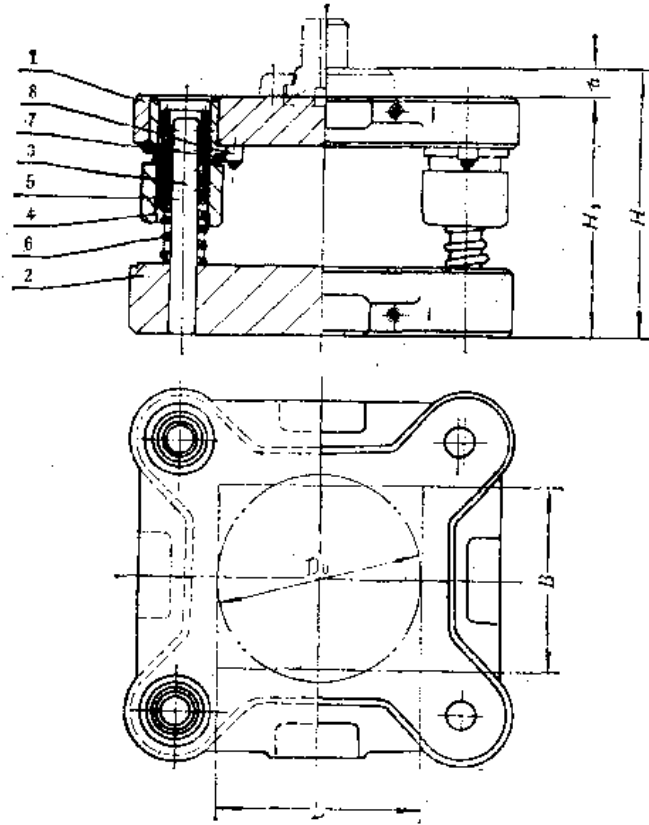


图3

标记示例:

凹模周界 $L=200\text{mm}$, $B=160\text{mm}$, 闭合高度 $H_1=220\text{mm}$, 材料为ZG45 01精度的四导柱模架,

模架200×160×220 01 GB2852.3-81·ZG45

(mm)

表3. 四导柱模架 (GB2852.3-81)

		零件号、名称及标准编号							
1	2	3	4	5	6	7	8		
上模座 GB2856.5-81	下模座 GB2856.6-81	导柱 GB2861.3-81	导套 GB2861.8-81	钢球保持圈 GB2861.10-81	垫簧 GB2861.11-81	压板 GB2861.16-81	螺钉 GB70-76		
L	B	H ₁	S	D ₀	设计最大闭合高度H	最大行程①	四导柱模架		
(140)		165	80	(140)	15				
	125	200	100	(140) × 125 × 45	15~20				
160		165	80	160 × 125 × 45	15				
		200	100	160 × 125 × 45	15~20				
	160	165	80	160 × (140) × 45	15				
	(140)	200	100	160 × (140) × 50					
200		220	120	200 × (140) × 45					
		200	100	200 × (140) × 55					
		220	120	200 × 160 × 45					
250	160	200	100	250 × 160 × 50	15~20				
		230	120	250 × 160 × 60					
		200	100	250 × 200 × 50					
	200	230	120	250 × 200 × 60					
(380)		200	100	(280) × 200 × 50					
		230	120	(280) × 200 × 60					

①最大行程系指该模架许可的最大冲行程。
注：1. 括号内的尺寸尽可能不采用。 2. 作号7、件号3的数量：L小于140mm为8件，L大于140mm为12件。 3. 技术条件按GB2854-81的规定。

1.7.3.3 冷冲模模架技术条件

(摘自GB2854-81)

(1) 组成模架的零件, 必须符合相应的标准要求和条件规定。

(2) 装入模架的每对导柱和导套(包括可卸导柱和导套) 装配前需经选择配合, 配合要求应符合表1规定。

表1. 导柱和导套的配合要求

(mm)

配合形式	导柱直径	配合精度		配合后的过盈
		H6/h5	H7/h6	
		配合后的间隙值		
滑动配合	≤18	0.003~0.010	0.005~0.015	—
	>18~28	0.004~0.011	0.006~0.018	
	>28~50	0.005~0.013	0.007~0.022	
	>50~80	0.006~0.015	0.008~0.025	
	>80~100	0.008~0.018	0.009~0.028	
滚动配合	>18~35	—	—	0.01~0.02

(3) 装配成套的滑动导向模架, 按表2技术指标分级, 装配成套的滚动导向模架, 按表3技术指标分级。任何一级模架必须同时符合A、B、C三项技术指标, 不符合表2、表3精度规定的模架, 不予列入等级标准。

表2. 滑动导向模架分级技术指标

项	检查项目	被测尺寸 (mm)	精度等级		
			I级	II级	III级
			公差等级		
A	上模座上平面对下模座下平面的平行度	≤400	6	7	8
		>400	7	8	9
B	导柱轴心线对下模座下平面的垂直度	≤160	4	5	6
		>160	5	6	7
C	导套孔轴心线对上模座上平面的垂直度	≤160	4	5	6
		>160	5	6	7

注: 1. 被测尺寸是指: A、上模座的最大长度尺寸或最大宽度尺寸;

B、下模座上平面的导柱高度;

C、导套孔延长芯棒的高度。

2. 公差等级: 按GB1184-80《形状和位置公差未注公差的规定》。

I级精度的模架必须符合导套、导柱配合精度为H6/h5时, 按表1给定的配合间隙值。

II级精度的模架必须符合导套、导柱配合精度为H7/h6时, 按表1给定的配合间隙值。

表3. 滚动导向模架分级技术指标

项	检查项目	被测尺寸 (mm)	精度等级	
			0级	0I级
			公差等级	
A	上模座上平面对下模座下平面的平行度	≤400		5
		>400	5	6
B	导柱轴心线对下模座下平面的垂直度	≤160	3	4
		>160	4	5
C	导套孔轴心线对上模座上平面的垂直度	≤160	3	4
		>160	4	5

注1. 被测尺寸是指: A、上模座的最大长度尺寸或最大宽度尺寸;

B、下模座上平面的导柱高度;

C、导套孔延长芯棒的高度。

2. 公差等级: 按GB1184—80。

(4) 装配后的模架, 其上模座沿导柱上、下移动应平稳和无滞住现象。

(5) 装配后的模架, 其导柱固定端端面应低于下模座底面 0.5~1mm, 选用直导套时, 导套固定端端面应低于上模座上平面1~2mm。

1.7.4 一般冲模零件的材料

一般冲模的凸凹模材料按表1选用, 其它主要零件的材料按表2选用。

表1. 凸、凹模材料的选用

模具类型	零件名称	材料	热处理硬度(HRC)	
			凸模	凹模
冲裁模	(1) 形状简单, 冲裁的材料厚度小于3mm的凸模、凸凹模及镶件	T8A, T10A	58~62	60~64
	(2) 冲薄材料的凸模、凹模及凸凹模	T8A, T10A	58~62	60~64
	(3) 板模的凸模和凹模	T8A, T10A	58~62	60~64
	(4) 形状复杂的凸模、凸凹模及镶件, 冲裁厚度小于3mm的凸模、凹模、凸凹模及镶件	CrWMn, Cr12MoV 9Mn2V, Cr6WV Cr4W2MoV GCr15 Cr2Mn2SiWMoV	58~62	62~64
	(5) 要求高度耐磨的凸模、凹模和凸凹模及镶件, 大量生产用的凸模、凹模和凸凹模及镶件	Cr12MoV GCr15	58~62	62~64

(续)

模具类型	零件名称	材 料	热处理硬度(HRC)	
			凸 模	凹 模
弯曲模	(1) 一般弯曲模的凸模、凹模和镶件	T8A, T10A	55~60	
	(2) 要求高度耐磨的凸模、凹模和镶件, 形状复杂的凸模、凹模和镶件, 大量生产的凸模、凹模和镶件	CrWMn, Cr12MoV 9Mn2V, Cr5WV, Cr4W2MoV, GCr15, Cr2Mn2SiWMoV	60~64	
	(3) 加热弯曲的凸模和凹模	5CrNiMo, 5CrNiTi, 4Cr5MoSiV, 4Cr5Mo2SiV, 4Cr5MoSiVl	56~60	
压延模	(1) 一般压延模的凸模和凹模	T8A, T10A	58~62	60~64
	(2) 大量生产与要求耐磨的凸模和凹模	Cr12MoV, CrW2MoV Cr2Mn2SiWMoV, GCr15	58~62	
	(3) 加热压延的凸模和凹模	5CrNiMo, 5CrNiTi, 4Cr5MoSiV, 4Cr5Mo2SiV, 4Cr5MoSiVl	56~60	

表2. 冲模主要零件的材料选用

零件名称	材 料	热处理硬度 (HRC)
上、下模板	HT20-40, 2G35, A3, A5, 45	
导柱	20	渗碳淬火60~64
	T8A, T10A	60~64
垫板, 定位板	45	43~48
	T8A	55~60
固定板, 中垫板, 卸料板, 承料板	A3, A5	
导料板	A3, A5	
	45	43~48
	T8A	55~60
模柄	A3, A5	
顶板	45	40~45
顶杆	45	40~45
挡料销	45	40~45
定距刀, 切刀	T8A	58~62
准销	45	40~45
斜楔, 滑块, 导向块	T8A, T10A	58~62
压延模压边圈	T8A	58~62

1.8 通用机械压力机及冲压 机械化与自动化

1.8.1 内容与范围

本章包括：锻压机械型号的含义；机械压力机的技术参数和特性；通用机械压力机的选择；冲压生产的方式；冲压机械化与自动化。

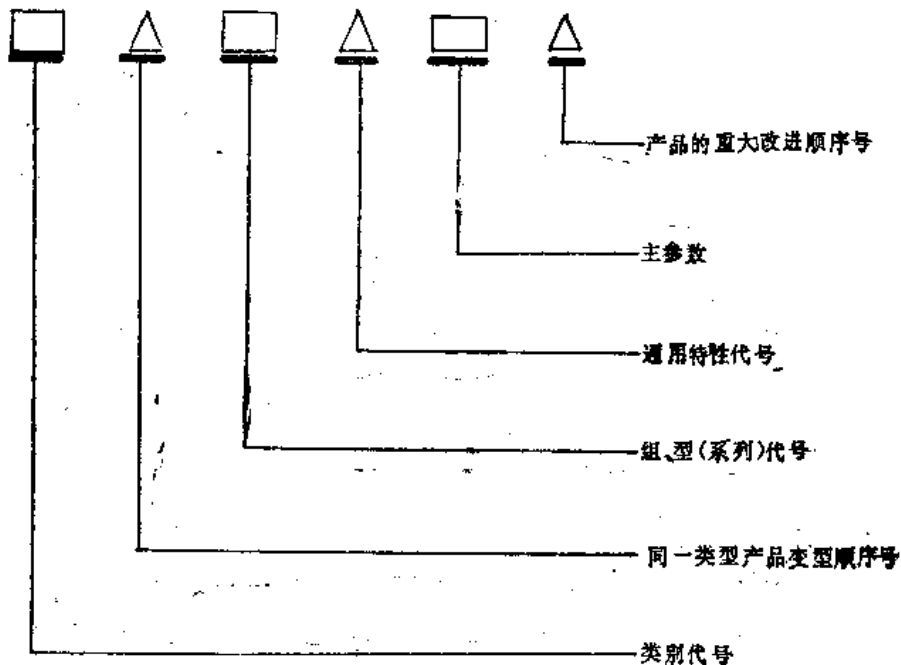
本章不包括成形板金零件的特殊专用设备。常用剪切设备见 2.1.6.14。其他专用成形设备请参阅第 3 篇各章。

1.8.2 通用锻压设备的型号表示方法及含义

(摘自 JB/GQ2003-84)

(1) 通用锻压设备的型号

通用锻压设备的型号表示方法见下图，型号代表了设备的名称、主参数、结构特征和工艺用途。



(2) 通用锻压设备的类别代号

通用锻压设备的类别代号见表1。

(3) 机械压力机和液压机的组、型(系列)代号

冲压车间常用的机械压力机、液压机的组、型(系列)代号分别见表2、3。

表1. 通用锻压设备的类别代号

类别	机械压力机	液压机	线材成型机	锤	锻机	剪切机	弯曲校正机	其它
字母代号	J	Y	Z	C	D	Q	W	T

表2. 机械压力机的组、型(系列)代号

组	手动压力机									单柱压力机									开式压力机										
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
机械压力机名称		齿条式压力机	螺旋式压力机	杠杆式压力机	台式压力机						单柱固定台压力机	单柱活动台压力机	单柱柱形台压力机								开式固定台压力机	开式活动台压力机	开式可倾台压力机	开式转台压力机	开式双点压力机			开式柱形台压力机	开式底传动压力机
组	闭式压力机									拉深压力机 ^①									其它压力机										
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
机械压力机名称	闭式单点压力机	闭式单点切边压力机	闭式侧滑块压力机			闭式双点压力机	闭式双点切边压力机		闭式四点压力机	闭式单点单动拉深压力机	闭式双点单动拉深压力机	开式双动拉深压力机	底传动双动拉深压力机	闭式单点双动拉深压力机	闭式双点双动拉深压力机	闭式四点双动拉深压力机	闭式三点双动拉深压力机			分度台压力机	冲模回转头压力机		底传动精密压力机	精密冲裁压力机					

①拉深一词在本书术语中称为压延, 在涉及设备之处仍沿用拉深一词, 以便与机械部所定机械压力机的名称一致。

表3. 液压机的组、型(系列)代号

组	手动液压机									冲压液压机										
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
液压机名称					手动液压机						单臂冲压液压机			单动厚板冲压液压机	双动厚板拉深液压机		精密冲裁液压机	单动薄板冲压液压机	双动薄板拉深液压机	橡胶囊冲压液压机

(续)

组	一般用途液压机										校正、压装液压机									
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
液压机名称	单柱液压机	双柱液压机	四柱液压机	四柱上移式液压机			切边液压机					单柱校正液压机	双柱校正压装液压机	四柱校正液压机						

(4) 同一型号锻压设备的变型顺序号

同一型号的锻压设备,若其主参数相同,而基本参数与原型有较大差别,并按新设备重新试制和鉴定的设备称为变型设备,按变型的先后顺序分别用 A、B、C……表示。基本参数略有改进的设备不属变型设备。

(5) 锻压设备的通用特性代号

锻压设备的通用特性代号见表 4。

表 4. 锻压设备的通用特性代号

锻压设备的通用特性	自动	半自动	数控	液压	缠绕结构	高速	精密	长行程或长杆	冷挤压
字母代号	Z	B	K	Y	R	G	M	C	L

(6) 锻压设备的重大改进顺序号

锻压设备的性能及结构有重大改进,并按新设备重新试制和鉴定的设备作为有重大改进的设备。按其改进的先后顺序,分别用 A、B、C……表示。仅局部改进,结构性能变化不大的,不属重大改进设备。

(7) 锻压设备的型号及含义示例

型号: JH21-10A

含义: 经过八次变型,第一次改进的 10t[⊖] (100kN) 开式固定台压力机。

型号: YA28-400A

含义: 经过第一次变型、第一次改进的 400t (4000kN) 双动薄板拉深液压机。

型号: J21G-25

含义: 25t (250kN) 高速开式固定台压力机。

1.8.3 机械压力机的分类和特点

根据传动方式的不同,压力机可以分为机械压力机、液压机、电磁压力机、气动压力机等几种。其中机械压力机在冲压车间使用最多。机械压力机的分类和特点见表。

⊖ 锻压设备的压力,国标中仍用“t”来衡量,故本书未予换算,只是在括号中标出相应的法定计量单位值,本章中均作此处理。

机械压力机的分类及特点表

序号	分类方法	类别	特点及说明
1	按床身形式	开式	单柱 开式压力机床身为C型,床身背部无开口为单柱,刚度大,牢固。机床前面及左右开敞,操作方便,便于自动送料
		双柱 床身背部有开口,机床除前面,左右开敞外,背部开口处也可卸料,便于采用自动送料,卸料装置	
		可倾 床身由上部和基座两部分用螺栓连接而成,床身上部可向后倾斜,便于自动卸料,刚度较差	
		闭式 床身为闭式框架结构,两侧封闭,刚度大,机床仅前后开敞,有的两侧有局部开口,便于工作台移出和自动送料	
		卧式 床身卧置,因而机床高度较低。某些挤压机及专用压力机采用这种结构形式	
2	按驱动方式	手动脚踏压力机 手动压力机有螺杆式,齿条式,杠杆式等。脚踏压力机,一般为踏板杠杆式,结构简单,生产率低,适于小零件的小批量冲压和校正工作	
		摩擦压力机 有无盘、单盘、双盘、三盘等形式,常用双盘式。结构简单,超负荷时不致损坏机件,适于小零件的小批量冲压和校形,用测压模辅助垫板的方法,可进行较深压延	
		曲柄压力机 机械压力机的主要形式	
3	按曲柄形式	曲拐轴式压力机 又称偏心冲床,单柱压力机。曲拐轴由主轴及与其有偏心距的偏心轴销组成,支承在床身的一边,结构简单,行程较小,生产率高,适于中、小零件冲裁、浅压延	
		曲轴式压力机 又称曲轴冲床,双柱压力机。偏心距固定,行程不能改变。通过升降工作台或装在连杆上的偏心套筒也可调节行程。曲轴支承在床身两边,机床受负荷均匀,压力及行程较大	
		偏心齿轮式压力机 以偏心齿轮代替曲轴,受力情况较曲轴好,刚度大,中型、重型压力机常采用此形式	
4	按滑块的作用	单动压力机 仅有一个滑块,适宜冲裁,冲压等工艺	
		双动压力机 有内外两个滑块,内滑块进行压延,外滑块压紧毛料,适宜压延工艺。有的内外滑块可连动,作单动压力机用	
		三动压力机 除内外滑块外,下面还有一个下滑块,可完成方向相反的压延工作	
5	按连杆的数目	单连杆(单点)压力机 滑块由一个连杆带动,一般均为较小型的压力机	
		双连杆(双点)压力机 滑块由两个连杆带动,因而运动平稳、精度高,一般为中型压力机	
		四连杆(四点)压力机 滑块由两对连杆带动,运动平稳,一般为大型压力机	
6	按工作台的特点	固定工作台压力机 工作台位置不能变动,机床刚度较好	
		可倾工作台压力机 工作台位置可以随床身上部向后倾斜 $10^{\circ} \sim 45^{\circ}$,便于自动收集零件	
		升降台压力机 工作台可以上下升降,增大了机床的最大闭合高度,使用灵活性大,机床刚度差,一般为小型压力机	
		可移动台压力机 工作台可以前后或左右移动,便于安装模具。一般为中、大型压力机	
		回转台 工作台可以回转,一般为小型压力机	

序号/分类方法	类别	特点及说明	
7	按用途	普通压力机	适用于各种冲压工艺方法的通用压力机
		精密冲裁压力机	除主滑块外, 还有压边和反压装置, 其压力可分别调整, 床身刚度大, 精度高, 使冲压零件质量高, 模具寿命长
		挤压机	在滑块的工作行程中, 可以得到很大的能量, 机床刚度好, 在工作行程中滑块速度变化平稳, 压出的零件精度高, 质量好
		多工位自动压力机	主滑块上装有多个可调封闭高度的小滑块, 分别作用于不同工位, 每一工序有顶出装置, 能按一定顺序自动完成落料, 压延等多道工序, 每一个行程可冲压一个零件, 送料机构与主轴, 主滑块保持同步
		高速压力机	有上下传动两种形式, 是高效率、高精度的自动化冲压设备, 适于冲裁, 系零件的大批量生产
		数控冲模回转头压力机	是数控单机冲压设备, 在回转头中有多个冲模, 可在毛料上冲出不同形状和尺寸的孔及压槽

1.8.4 机械压力机的主要参数和特性

1.8.4.1 曲柄压力机的主要参数

曲柄压力机的主要参数见表。

曲柄压力机的主要参数表

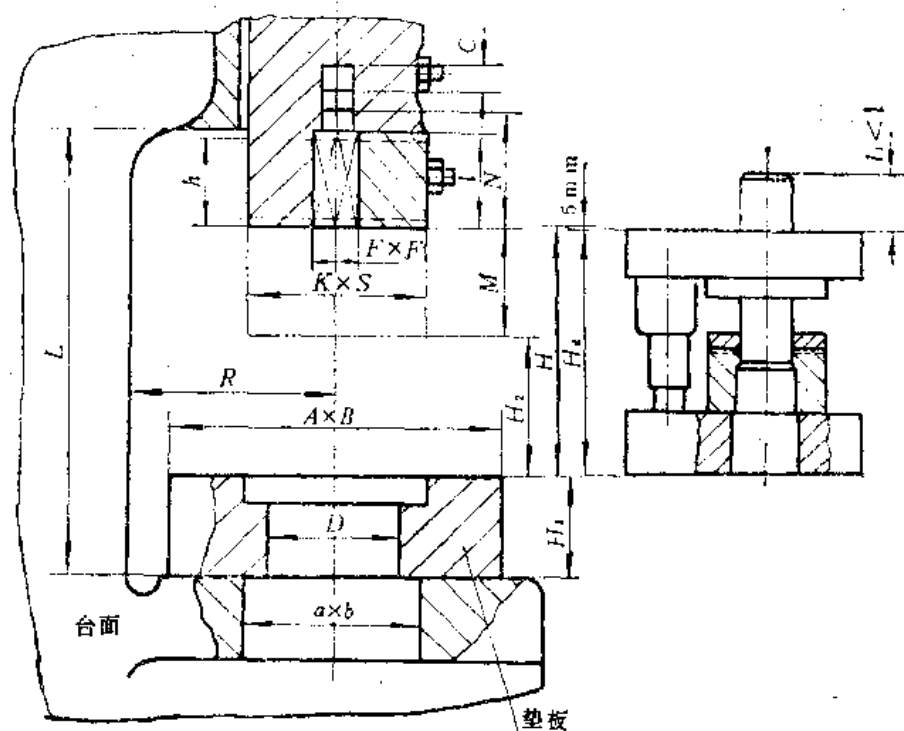
符 号	主 要 参 数	单位符号
P	公称压力	t(N)
h_0	公称压力行程	mm
	气垫压紧力	t(N)
h	滑块行程	mm
n	滑块行程次数	min^{-1}
H	最大闭合高度(当压力机在最大行程及最短的连杆长度时, 由垫板到滑块下止点之间的距离)	mm
M	连杆调节长度	mm
H_2	最小闭合高度(H-M)	mm
L	台面到导轨底面间的距离	mm
N	顶件横梁到滑块下表面间的距离	mm
C	顶件横梁行程	mm
$A \times B$	工作台板尺寸	mm
$a \times b$	工作台孔尺寸	mm
H_1	工作台垫板厚度	mm
$K \times S$	滑块底面尺寸	mm

(续)

符 号	主 要 参 数	单 位 符 号
R	滑块中心到床身的距离	mm
D	垫板孔直径	mm
$F \times F$	模柄孔尺寸	mm
l	模柄孔深度	mm

1.8.4.2 曲柄压力机的主要参数与模具的关系

曲柄压力机的主要参数及其与模具的关系见图(1)。



模具的封闭高度 (H_4)，即模具在最低工作位置时的高度，应介于压力机的最大闭合高度 (H) 和最小闭合高度 (H_2) 之间。为确保安全，防止压坏模具，应按下式选取闭合高度：

$$H - 5\text{mm} \geq H_4 \geq H - M + 10\text{mm}$$

式中 M ——连杆调节长度。

1.8.4.3 曲轴压力机的许可压力和行程的关系

曲轴压力机从下止点到上止点的工作行程中能承受的压力变化曲线见图 1(2)，可见在行程的中间点的压力约为公称压力的40~50%。

图 2 中(a)、(b)、(c) 分别为冲裁、有整形的弯曲及压延过程的变形力、行程曲线与曲轴压力机的许可曲线的关系。

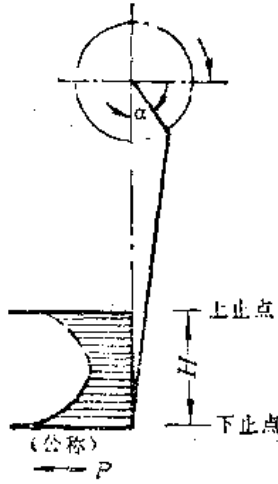


图1

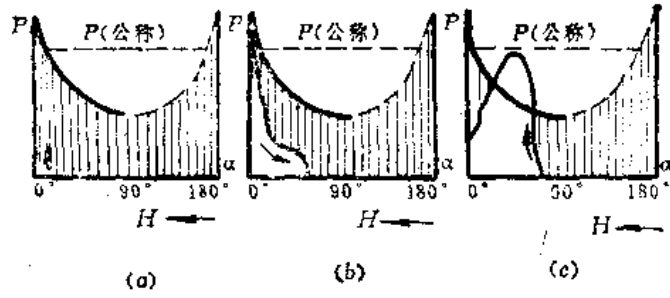


图2

由图中可知，冲裁和弯曲过程的变形力曲线没有超出压力机的许可压力的曲线，而压延过程曲线则已超出该范围，此时压力机产生显著的过载，将使压力机受到损坏。由此可知，用于压延工序时，曲轴压力机的公称压力应予减低，最大压延力可以按以下方法考虑。

在深压延时，为 $(0.5 \sim 0.6)P$

在浅压延时，为 $(0.7 \sim 0.8)P$

此处 P ——压力机的公称压力。

图 3 (a) 中 (a) 为曲轴压力机的原理图，图 (b) 为曲轴压力机的许可压力曲线。一般对于单面传动的曲轴压力机，取其曲轴转角 $\alpha = 20^\circ \sim 30^\circ$ 时产生的压力为公称压力，

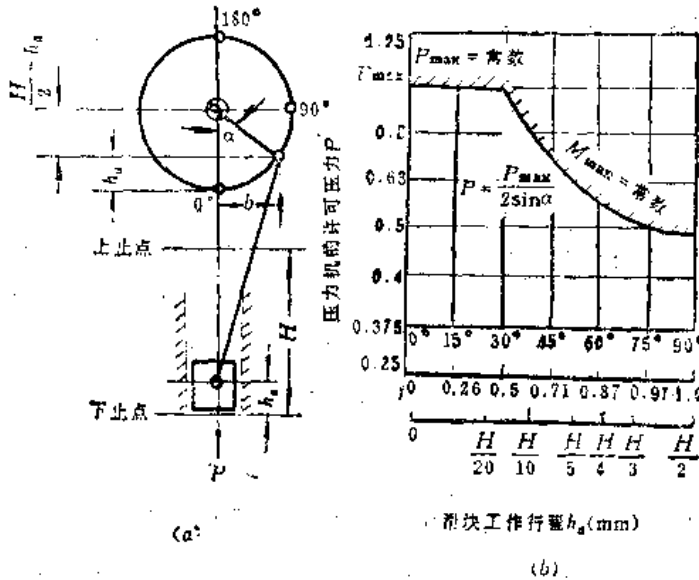


图3

此转角时的行程为公称压力行程(h_s)。

$$h_s = 0.05 \sim 0.07H$$

扭矩 (M) 由下式决定：

$$M = P \cdot \frac{H}{2} \sin \alpha = P \cdot b$$

式中 $b = \sqrt{(H - h_*) h_*}$

由齿轮强度所决定的最大扭矩 M_{max} 等于

(当 $\sin \alpha = 0.5$)

$$M_{max} = 0.25 P_{max} H$$

国产压力机的公称压力行程, 可由产品目录或机床说明书中查到。国外机械压力机的公称压力行程, 及产生公称压力时曲轴的转角可由表查到。

国外压力机的公称压力行程及其曲轴转角表^{〔2〕}

国名	压力机的类型	公称压力行程(h_*) (mm)	产生公称压力时的曲轴转角(α) (°)
美国	开式压力机	0.8~6.4	
	闭式压力机	6.4~12.7	
日本	一般压力机	3~13	
	大扭矩压力机	15~25	
德国	冲压压力机		0~30
	一般压力机		30
苏联	通用压力机		10~30
	双动压力机		10~20

1.8.4.4 曲柄压力机的公称压力

曲柄压力机的公称压力可在产品目录或机床说明书中查到, 在缺乏数据或改装旧压力机时, 可由曲轴强度计算出来, 曲轴强度和曲轴直径 (D) 有关, 因此可用下式来估算。

$$P = CD^3$$

式中 P ——压力机的公称压力, t(N);

C ——冲压力系数 (查表)。

冲压力系数表^{〔5〕}

压力机类型	单柱压力机	开式双柱压力机	闭式单点压力机	闭式双点压力机	双动压力机
冲压力系数, C	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.8	0.6~1.2	0.5~0.7

1.8.5 压力机的选择原则

选择压力机的型号时，要考虑到下列情况，经过综合分析、比较来确定。

(1) 生产批量和工艺要求

根据零件的生产批量和工艺要求选择压力机的形式，见1.8.6、1.8.7、1.8.8、1.8.9。

(2) 滑块行程

压力机的滑块行程距离应满足工艺要求，对于需要较大行程的冲压工序，如压延、深弯曲等，应事先对所需要的行程进行估算，冲压零件所需要的行程应小于压力机滑块的行程。对于压延零件，可按下式估算。

$$h \geq 2.5h_{w,p}$$

式中 h ——压力机的滑块行程 (mm)；

$h_{w,p}$ ——零件的压延高度 (mm)。

(3) 模具的几何尺寸

正常情况下，工作台的台面尺寸应比模具尺寸大 50~70mm，并应保证模具紧固于工作台面及滑块上。

模具的封闭高度应介于压力机的最大封闭高度与最小封闭高度之间(见1.8.4.2)。否则模具将被损坏。

(4) 送、卸料及出件装置

所采用的送、卸料及出件装置应与压力机的床身形式及工作台面相适应。

在采用漏件冲压时，工作台面上的孔应保证零件能自由漏下。

此外，还应考虑压力机能否安装必备的附属装置，如压延用的缓冲器等。

(5) 压力机的公称压力

压力机的公称压力应稍大于冲压零件所需要的变形力(见1.8.8.1)。

(6) 压力机的有效功

在冲压大型零件或厚板冲裁时，应核算压力机的有效功。冲压零件所需的变形功应小于压力机的有效功(见1.8.8.2)。

(7) 生产率

压力机的转速应保证足够高的生产率。生产批量大时，选用每分钟行程次数高的压力机或高速压力机，见1.8.7.6。

(8) 安全

压力机应有可靠的防超载的保险装置和保护操作者安全的措施。

在选压力机时，主要选择的技术参数是：压力、功、行程距离、闭合高度和台面尺寸。

1.8.6 根据生产批量选择压力机的形式

根据零件的尺寸大小及年产量确定生产车间的规模并选择相应的设备。一般机械制造业如汽车、拖拉机、家用电器等行业的板金冲压零件按尺寸大小分类，见表1。由各

类板金冲压零件的年产量来确定生产批量、生产特征及所采用的设备类型，见表2。

表1. 零件按尺寸大小分类⁽⁴⁾

零件类型	原材料厚度 (mm)	零件的平面 概略面积 (m ²)	零件大概 重量 (kg)
大零件及特大零件			
薄板零件	<4	2.5~8.0	4~30
厚板零件	≥4	2.5~10.0	4~150
中等零件			
薄板零件	<4	≤0.6	0.3~3.5
厚板零件	≥4		1.5~5
小零件及特小零件			
薄板零件及厚 板零件	—	≤0.2	≤1.5

表2. 冲压生产的典型批量及设备⁽⁴⁾

类型特征	生 产 方 式				
	大量生产	大批生产	中批生产	小批生产	单件生产
生产特征	连续流水生产	大批量流水生产	中批量流水生产	成组冲压	
设备类型	机械化和自动化流水生产线，专用自动机和自动压力机	可调的机械化和自动化流水生产线，自动压力机	流水生产线，通用压力机，半自动机	通用压力机	拉深压力机和弯板压力机，探幼剪和滚剪机，中小型通用压力机
概 略 年 产 量 (千件)					
特大零件及大零件	≥400	≥50	≥10		几件，几十件，几百件
中等零件	≥800	≥100	≥20	≥1	
小零件及特小零件	≥2000	≥200	≥50		

1.8.7 根据冲压工艺的特点选择压力机的形式

1.8.7.1 冲压工艺对压力机的要求

各种冲压工艺所需要的冲压变形力和功是不相同的，因此对压力机的要求也不同。

各种冲压工艺的变形力和行程关系的典型曲线见图1⁽⁶⁾。图中：*a*线为冲裁的变形力与行程曲线关系，由图可见其加工时行程短，加工结束时加工力在瞬间内消除；*b*线为V形弯曲的变形力与行程的曲线，其加工行程较长，在下止点还存在变形力。为了提高加工精度，要在下止点将毛料铰校，压力在下止点急剧增大（*c*线），其大小是原变形力的三至五倍；深压延的曲线如*d*线，其行程大，在下止点仍存在缓冲力或压料力（双动压力机），毛料的铰校情况和弯曲加工时一样，压力在下止点急剧上升。

压缩加工的变形力与行程的曲线如*e*线和*f*线。*e*线是冷挤压线，加工行程相当长，比其他加工的退料力大；*f*线是压印或精压，加工行程非常小，不需要很大的退料力。两者共同的特点是，在下止点所需的变形力大，就零件的大小（加工面的大小）而言，

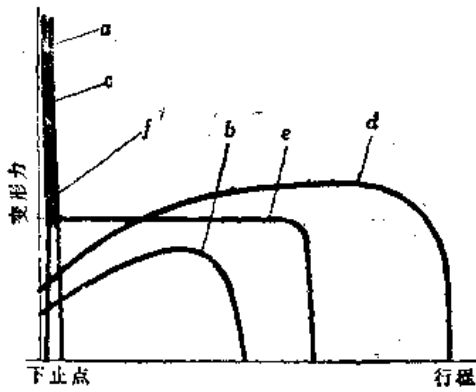


图1

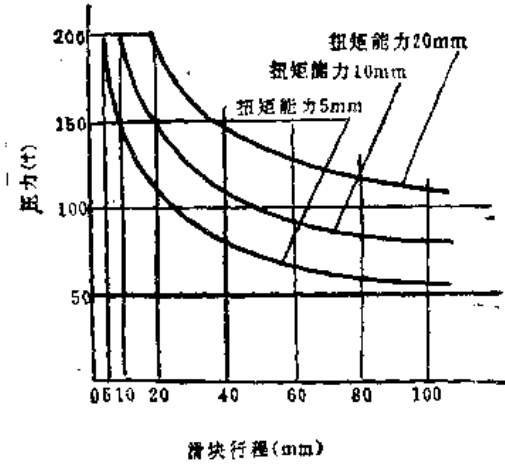


图2

变形力要比其它加工大得多。

图2中三条曲线分别为三台曲柄压力机的压力与行程的曲线关系，其公称压力都是200t (2000kN)，但是其扭矩能力分别为20、10、5mm。

选择压力机时，冲压零件的变形力、行程曲线与压力机的许可压力曲线应很好地配合，若配合得不好，所选压力机不是过大（不经济）就是不能工作或作业性能不好。

将图1和图2进行比较后可知，对于冲裁用压力机，其扭矩能力可以小；用于深压延的压力机，其扭矩能力必须大些。扭矩能力大时，离合器、齿轮、曲轴等动力的传动部分也大，因此压力机的体积增大，造价提高。

此外，在扭矩能力相同，而行程不同时，驱动轴的实际回转力随着行程的增大而增大。

所以，行程短、扭矩能力小的冲裁用的压力机和行程大、扭矩能力大的压延压力机，尽管公称压力相同，压力机的大小和价格却不一样，由此可知为什么选择压力机时要考虑冲压工艺的特点。

通用压力机，如单（双）柱固定台（可倾台）压力机、闭式单（双、四）点压力机等，其技术参数，如扭矩能力、公称压力、行程、每分钟行程次数等都是按各种冲压加工工艺大体上相适应来确定的，所以专用于某种作业时，生产性能必然不如专用压力机。为了最好地满足工艺要求和合理地利用设备，在生产批量大时，应尽量选用适应冲压工艺特点的专用压力机如压延压力机、精压机等，在1.8.7.2至1.8.7.6分别叙述了它们的特性。

1.8.7.2 压延压力机的特性

闭式压延压力机有单动、双动、三动，单点、双点、四点以及上传动和上传动等形式。

双（三）动压延压力机有两个上滑块，压延用内滑块，压边用外滑块。国产双动压力机的公称压力按内滑块的公称压力标定；国外双动压力机的公称压力一般按内、外滑块公称压力之和标定。内滑块由曲柄连杆机构驱动；外滑块由曲轴凸轮机构、带侧滑块的曲柄连杆机构、或多连杆机构驱动。外滑块通常有四个加力点，便于调整作用于毛料

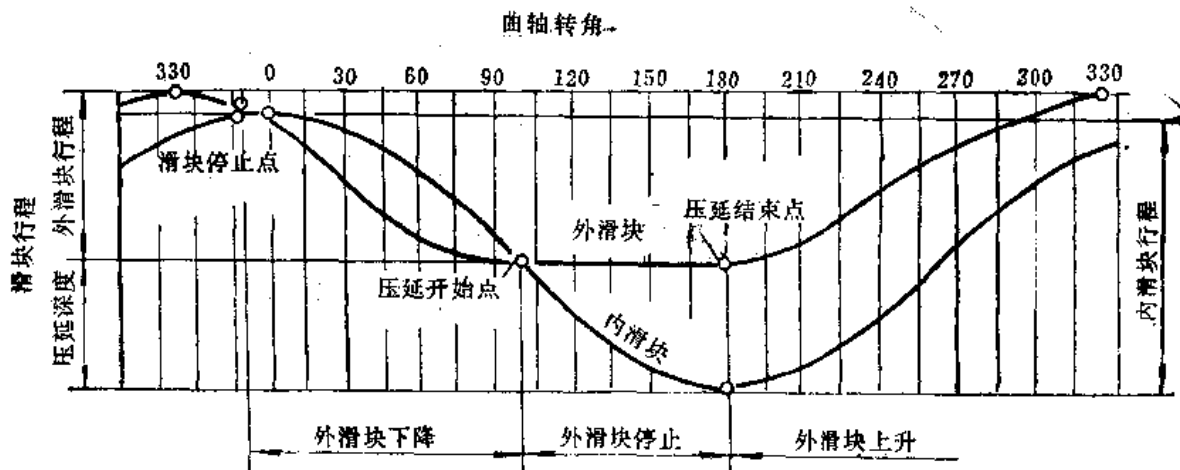
周边的压边力，借以控制压延时金属均匀流动，以适应不同形状零件的压延成形要求，所以双动压力机特别适合于复杂零件的压延。

一般双动压力机外滑块压力为内滑块压力的40~60%，外滑块压力小的适于薄板压延，内、外滑块压力为1:1的，可满足高强度合金钢板的需要。

闭式上传动双动压延压力机适于大、中型深压延零件；闭式下传动型适于中、小零件的深压延。

三动压延压力机的结构与工作原理和双动压力机相同，仅在底座增设了一个与上滑块运动相反的下滑块，增加了使用的灵活性，但结构较复杂。

双动、三动压延压力机的上滑块的内、外滑块的运动曲线见图。



单动拉深压力机的结构简单，可实现滑块的快速下降-慢速压延-快速回程，因此生产率高，但压边力不能调节，仅用于简单的浅压延零件。

拉深压力机均备有缓冲器（气垫或液压气垫），在压延过程中压边，防止零件起皱，还可顶料（或零件）及对零件底部进行局部成形。压力机配备了缓冲器可扩大使用范围，如通用压力机装了缓冲器可进行深压延；双动压力机装了缓冲器可以作三动压力机用。

1.8.7.3 精压机的特性

冷精压，压印工艺的特点是零件变形量小精度高，工序要求的行程小（一般压印仅1~3mm），冲压力大。

精压工艺对精压机的要求如下：

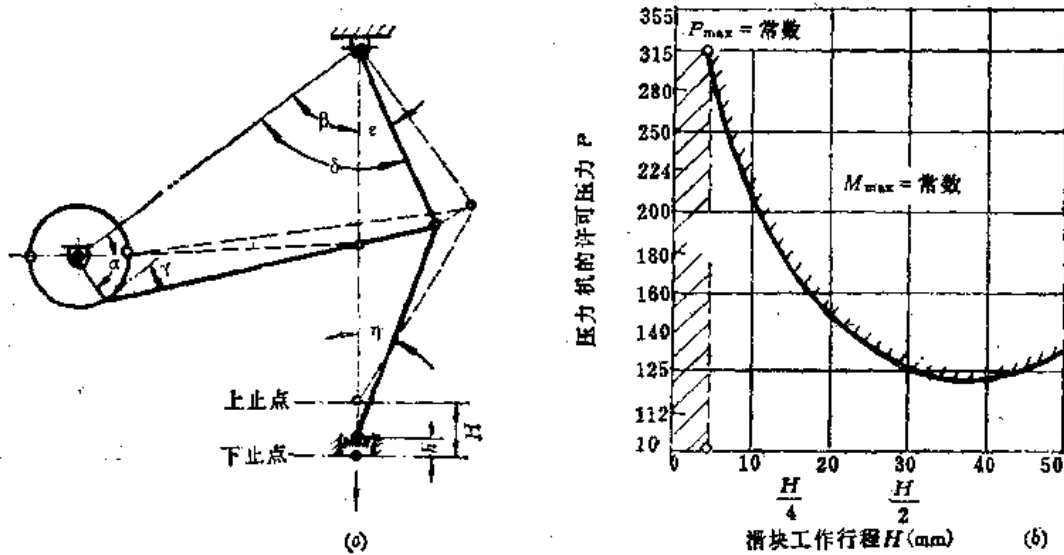
- (1) 刚度大，以保证零件的精度要求。
- (2) 工作速度平缓，零件的加压时间长，便于零件的金属流动。
- (3) 具有灵敏可靠的装模高度调整装置，以便迅速、准确调整，保证精压件的精度。
- (4) 具有顶件装置，以便把零件从模具中顶出。

精压机是一种肘杆式压力机，机床刚度好；到达下止点的滑块速度与行程、每分钟行程次数相同的曲柄压力机相比，是曲柄压力机的 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}$ ，因此能延长加压时间，起到保压的作用，从而提高了零件精度。

为了使肘杆式压力机在接近下止点时产生与曲柄压力机相同的压力，曲轴的回转力只需曲柄压力机的 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{5}$ ，所以精压机的体积小，价格也较便宜。

采用精压机压印成形后的精度，在厚度方向一般可达 $\pm 0.1\text{mm}$ ，最高可达 0.05mm 左右，精压成形后的零件尺寸精度可达 0.05mm 以下，而且表面光滑，粗糙度可达 $Ra = 0.4\mu\text{m}$ 以下。

如图(1)所示为肘杆式压力机的原理图(图a)及许可压力的曲线图(图b)。



滑块的许可压力由下式决定：

$$P = \frac{M_{\max} \cdot \sin(\delta + \gamma) \cdot \cos \eta}{\gamma \cdot \sin(\eta + e) \cdot \sin(\alpha - \gamma)} \quad (1)$$

曲轴肘杆压力机的有效功(A)由下式决定：

$$A = P_{\max} \cdot h_s$$

上两式中 M_{\max} ——最大扭矩；

P_{\max} ——公称压力；

h_s ——公称压力行程。

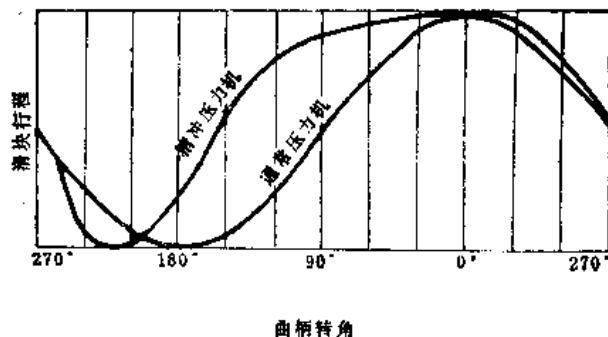
在生产量小的情况下，也可采用普通机械压力机、液压机等设备完成压印、精压工序。

1.8.7.4 精密冲裁压力机的特性

用普通冲裁方法所得到的冲裁零件的尺寸精度一般在IT10~IT11等级以下，其粗糙度在 $Ra = 12.5 \sim 6.3\mu\text{m}$ 左右，而且断面只有 $\frac{1}{3}$ 的光带，其余是粗糙的撕裂面，并微带斜度，这种方法仅适于要求一般的冲裁零件。对要求高的零件，如钟表、照相及精密仪表零件，因其尺寸精度、断面粗糙度和几何形状都要求很高，用普通压力机冲裁后，还要经铣削、磨削加工，若采用精密冲裁(简称精冲)，只需一道工序即可，而且零件的整个料厚均是光洁、平直的剪切断面，粗糙度达 $Ra = 6.3 \sim 3.2\mu\text{m}$ ，因此可节约工时与费用，降低成本，提高零件质量。

精冲压力机和普通压力机相比，其特点如下：

- (1) 主滑块的冲裁力、压边滑块的压料力和反压装置的顶件力，都可单独调整。
- (2) 机床精度高、刚性好，一般采用四柱式框架结构和有预应力的滚动导轨。
- (3) 精冲的冲裁速度为 $3\sim 15\text{mm/s}$ ，比普通压力机低 $\frac{1}{3}\sim\frac{1}{2}$ ，但空程和回程速度高。精冲压力机滑块运动曲线见图。



(4) 有封闭高度调节机构，调节精度 $\pm 0.01\text{mm}$ ，以保证冲压零件的质量和提高了模具寿命。

(5) 滑块的导轨能保证上、下模在同一中心线上运动，即使在很大的偏心载荷下，仍能保持良好的同心度。

(6) 精冲压力机还有可靠的超负荷保险装置，并能实现操纵自动化。

机械传动的精冲压力机，一般为中、小型压力机，由无级调速电机、皮带轮、离合器、蜗杆与齿轮副带动偏心轴转动，然后通过一副对称布置的双肘杆机构驱动滑块。为使上止点位置准确，消除各联接环节的间隙，都采用下传动结构。压边和反压装置由液压驱动。机床可靠性好，容易维护，但结构复杂、滑块运动中有侧向力，随运动副的磨损，滑块的上止点位置不稳定，导向精度变坏。

液压传动的精冲压力机，结构简单，滑块没有侧向力，导向精度稳定，但维护较复杂。

在零件生产量少时，也可采用普通压力机安装带有液压装置的专用模具，进行精冲。

1.8.7.5 金属冷挤压机的特性

冷挤压机对挤压零件的质量、模具寿命都有很大影响，所以在选择压力机时，应满足下列要求：

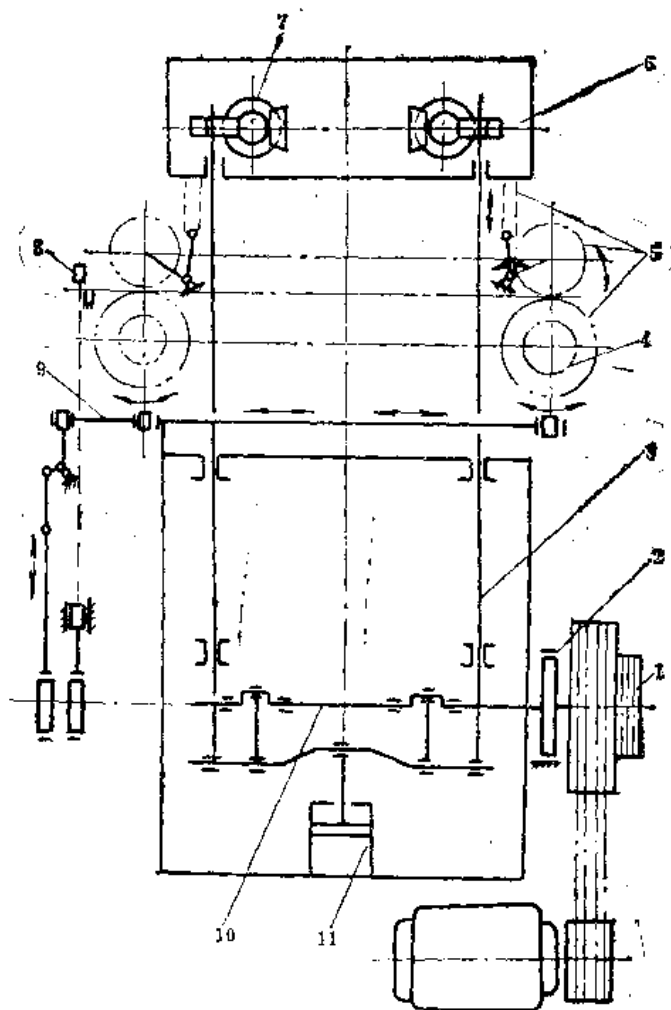
- (1) 压力机要有足够大的能量。因为冷挤压需要的挤压力要比一般冷冲压工艺所需的变形力大得多，冷挤压机利用飞轮储存能量。
- (2) 压力机应有很高的刚度和强度。
- (3) 压力机的速度要合适，一般控制在 $100\sim 400\text{mm/s}$ 为宜。
- (4) 压力机的行程要大。
- (5) 压力机的导向必需精确，一般要求滑块行程要能调节在 0.05mm 以下。
- (6) 压力机一般应设有顶出装置，并有足够的顶出力。一般顶料力为公称压力的 $10\sim 20\%$ 。

J87 系列金属挤压机由电动机经三角皮带及三级齿轮减速，使装置在左右偏心齿轮上的连杆带动滑块作垂直方向的往复运动，所有传动零件都装在床身下部，并装有下顶料机构。J88系列肘杆式金属挤压机，是下传动式由偏心轴-肘杆系统-滑块构成工作机构。其特点是，床身不受拉力，刚性好，冲击小，滑块速度变化较平稳可靠，结构紧凑，体积小，重量轻。可适用于多种挤压工艺，床身有卧式及立式两种形式。

此外，也可采用普通压力机进行冷挤压。液压机的行程较大，在整个行程中可以得到相同的压力，挤压速度和行程都容易控制，适于作为冷挤压设备。

1.8.7.6 高速压力机的特性

高速压力机是高效率、高精度的自动化冲压设备，主要用于冲孔、落料等工序，如生产电动机的定、转子叶片等。有上传动、下传动两种形式。一般100t (1000kN) 以下的为下传动式，其重心低、振动小、稳定性好。下传动式高速压力机的原理见图(3)。



1—离合器；2—制动器；3—拉杆；4—超越离合器；5—辊式送料装置；6—滑块；7—封闭高度调节机构；8—废料剪；9—辊式送料的传动机构；10—曲轴；11—平衡缸。

较大吨位的高速压力机为上传动式。为了减少振动，运动部分采取了以下平衡措施：

- (1) 在行程次数为 500min^{-1} 以下时, 用平衡缸, 曲柄上用平衡块;
- (2) 在行程次数在 500min^{-1} 以上时, 设副滑块。

1.8.8 选择普通机械压力机的规格

对于中、小型工厂, 或多品种中、小批量生产时, 使用得最多的是普通机械压力机, 在选择规格时应按1.8.8.1节及1.8.8.2节考虑。

1.8.8.1 根据冲压变形力选择压力机

(1) 施力行程 (压力机对毛料施加压力的距离) 与压力机行程相比甚小 (小于5%) 时, 压力机的选择应符合下式。

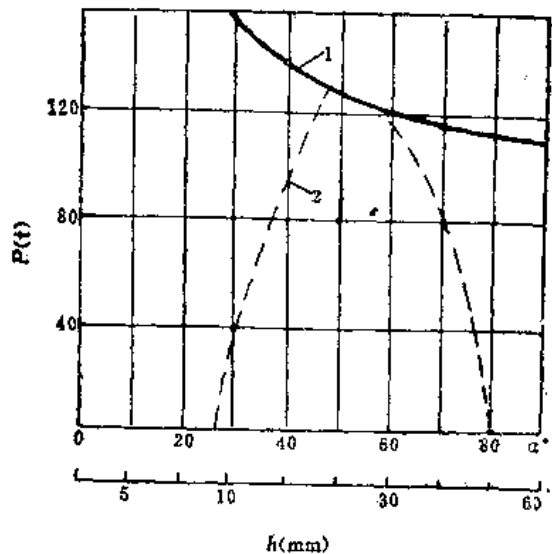
$$P \geq 1.3 \sum F$$

式中 P ——压力机的公称压力;

$\sum F$ ——冲压变形力、推(顶)件力、压缩卸料板、缓冲器、弹簧等所需力的总和。普通的落料、冲孔、浅压延、浅翻边等工序都可按此法选择设备。

国产的曲柄压力机的公称压力是按公比为 $5\sqrt{10} \approx 1.6$ 或 $10\sqrt{10} \approx 1.25$ 的等比级数分级排列的, 如4、6.3、10、16、25、40、63、80、100、125、160、200、250、315、400t……(40、63、100、160、250、400、630、800、1000、1250、1600、2000、2500、3150、4000 kN……)。所以按上式计算出所需公称压力后, 还应按以上标准选择适当的规格。

(2) 施力行程占压力机全行程的比例较大 (超过5%) 时, 所选定压力机的许可压力曲线在曲轴全部转角 ($\alpha = 0^\circ \sim 180^\circ$) 中应大于冲压变形力的曲线。下图即是一例^[7]。



1—压力机的允许压力曲线; 2—变形力曲线。

压力机的许可压力曲线可在机床说明书中查到。冲压变形力的曲线应根据所完成的冲压工序的变形力、行程曲线画出, 如果是复合模, 则可以把几个工序的变形力的曲线相加起来, 然后再进行比较。

压延、弯曲、成形、用斜刃冲模落料及包括成形模的多工序的复合模等, 均可按此法进行设备的选择。

1.8.8.2 根据冲压变形功选择压力机

仅根据变形力选择压力机是不够的，因为压力机可能出现以下过载情况：

- (1) 压力过载，功率未过载；
- (2) 压力、功率同时过载；
- (3) 功率过载，压力未过载。

以上情况都会使压力机受到不同程度的损坏。

压力机的压力受曲轴、齿轮传动的强度限制，而功率受到飞轮质量的动能、电动机的功率及其允许的过载程度的限制。当计算的冲裁力超过压力机的许可压力时，可以采用斜刃口冲裁等方法降低冲裁力，但冲裁功反会增大，所以应根据冲压所需的变形力和变形功两者来选择压力机。冲压零件所需的变形功 (A) 一定要小于压力机的每次行程的总功 (A_p)，如下式：

$$A < A_p$$

A_p 的数值可按以下方法计算：

压力机以单行程工作时，且其速度可以降低20%的条件下，则飞轮的有效能量（压力机的有效功）近似地等于：

$$A_p = 0.28GD^2n^2, \text{ mJ} \quad (1)$$

而在压力机连续工作（自动进料），速度可降低10%的条件下，则有效功为：

$$A_p = 0.15GD^2n^2, \text{ mJ} \quad (2)$$

式中 G ——压力机飞轮的重量，kg；

D ——压力机飞轮的直径，m；

n ——压力机飞轮的转速， min^{-1} 。

因此在连续动作的压力机上所完成的有效功的数值差不多比以单行程工作的同一压力机减少一半。

1.8.8.3 计算加工所需的变形力和变形功

计算加工所需变形力和变形功的公式很多，但是为了选择压力机只需要按以下简单的公式进行计算。若要进行较精确的计算，请参阅2.2，2.3和2.4章的相应计算式。

(i) 冲裁所需的压力及功

冲裁所需的冲裁力按下式计算：

$$P = Clt\tau$$

冲裁所需的冲裁功按下式计算：

$$A = Ptf$$

式中 P ——冲裁力，N；

C ——根据刃口圆角、间隙大小的变化等取系数 $C = 1.1 \sim 1.3$ ；

l ——剪断部分的周长，mm；

t ——毛料厚度，mm；

r ——板料的抗剪强度, Pa;

A ——冲裁功, mJ;

f ——切入率, 间隙小时取0.6~0.8, 大时取0.25~0.5。

(2) V型弯曲所需要的压力及功

V型弯曲加工中的自由弯曲和校正弯曲的情况大不相同, 而且弯曲半径也不同。在自由弯曲时弯曲半径 $r=1.4t$, 弯曲力由下式求得:

$$P=C \cdot \frac{\sigma_s b t^2}{W} \quad (3)$$

式中 P ——弯曲力, N;

C ——弯曲加工系数 ($W=8t$ 时, 取1.3左右);

σ_s ——材料的抗拉强度, Pa;

b ——材料的宽度, mm;

t ——材料的厚度, mm;

W ——凹模口的宽度 (槽宽以 $W=8t$ 为标准), mm。

为了防止回弹, 校正弯曲时的压力可按式 (4) 求得; 功可按式 (5) 求得。

$$P=(1\sim 2) W b \sigma_s \quad (4)$$

式中 P ——弯曲力, N;

σ_s ——材料的屈服应力, Pa;

$$A=Phk \quad (5)$$

式中 P ——弯曲力, N;

h ——加工行程 (当弯曲半径小时, $h=W/2$), mm;

k ——系数 (取0.63);

(3) U型弯曲加工所需要的压力及功

计算U型弯曲加工的压力采用下式计算:

$$P_1=\frac{C}{3} b t \sigma_s \quad (6)$$

$$C=1\sim 2$$

校正弯曲时采用上述自由弯曲值的1.25~1.3倍, 即:

$$P_2=(1.25\sim 1.3) P_1 \quad (7)$$

(4) 圆筒压延所需要的压力及功

圆筒压延所需要的最大压力按下式计算:

$$P_{\max}=k_1 \pi d_s t \sigma_s \quad (8)$$

式中 d_s ——压延凸模直径, mm。

k_1 是系数。当压延系数为0.55, $t/D \times 100 \approx 1.2$ 的标准情况下, k_1 取0.80。压延系数越大, $t/D \times 100$ 越大, k_1 值则取小些为好。

使用缓冲装置时, 应在此值上加上缓冲压力。

在压力 P 的作用下, 从压延开始到结束都消耗功来考虑, 则所需最大功 A_{\max} 可按下式求得:

$$A_{max} = Cph \quad (9)$$

式中 P ——压延力, N;

h ——压延深度, mm。

C 是系数。压延系数采用0.55时, C 取0.8; 当压延系数为0.65时, C 取0.74左右。

防皱压力的计算

单动压力机压延时, 压料所需的防皱压力 P_N 按下式求得:

$$P_N = F \cdot P_0 \quad (10)$$

式中 F ——压料面积, mm^2 ;

P_0 ——平均单位压料力, Pa;

一般钢板的每单位面积的压料力 P_0 是 $(2 \sim 3) \times 10^6 \text{Pa}$, 不锈钢是 $(3 \sim 5) \times 10^6 \text{Pa}$ 。

1.8.9 选择压力机的精度和刚度

压力机的静精度是指压力机在不承受负荷时的精度, 由制造的机械加工精度和整修装配调整精度决定。它包括以下几个内容:

- (1) 工作台垫板和滑块下面的平直度;
- (2) 滑块下面和工作台上面的平行度;
- (3) 滑块的运动方向和工作台上面的垂直度;
- (4) 模柄安装孔和滑块下面的垂直度;
- (5) 综合间隙。

国产一般精度压力机的主要精度指标见表。

一般精度压力机的主要精度指标表^{〔3〕}

滑块底平面与工作台面的 平行度允差 (mm)		滑块运动方向与台面的 垂直度允差 (mm)	
在300mm长度内	0.03~0.04	在150mm长度内	$\geq 0.03 \sim 0.04$

动精度是指压力机在承受负荷时(进行加工时)的精度。压力机加负荷后, 会产生床身伸长, 工作台出现挠度等不良影响, 其影响程度就是动精度。决定动精度的是压力机的刚度。目前, 压力机的刚度还很难用数字表示, 其大小与下列因素有关:

(1) 压力机的刚度

目前还不能用数字来比较压力机的刚度大小, 日本吉田弘美等主张笼统地把刚度好的压力机叫A级, 刚度一般的叫B级。

一般, 公称压力、工作台面积和行程长度等主要参数大致相同的压力机中, 重量大的刚度好。如用一台公称压力100t刚度B级的压力机来进行只需要50t压力的冲压加工时, 则100t刚度B级的压力机对冲压件可以达到等于或大于用50t A级刚度压力机的刚度效果。所以在进行精度要求较高的冲压加工时, 若缺少刚度好的压力机, 可以采用较大吨位的压力机来冲压较小的零件。

(2) 床身形式

一般门型框架的床身比C型框架的刚度好；拉紧式装配框架的床身比未拉紧式装配框架好；拉紧式整体框架比普通整体门型框架刚性好。

(3) 曲轴中心到工作台垫板的距离

曲轴中心到工作台垫板的距离短的压力机比距离长的刚性好。

(4) 滑块面积

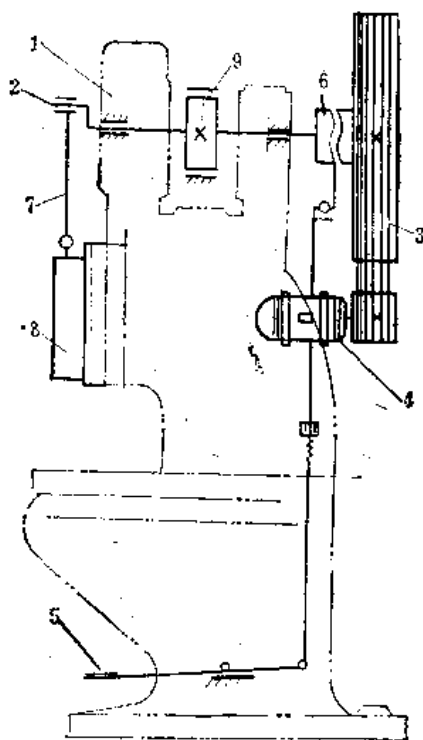
滑块面积小的比滑块面积大的刚性好。

压力机的精度直接影响模具寿命及加工精度。选择压力机，特别是进行精密加工的压力机时不仅要注意其静精度，还应注意其动精度，因为采用动精度不好的压力机进行加工与采用静精度不好的压力机的效果是一样的。

1.8.10 普通机械压力机的技术参数和工作台面尺寸

1.8.10.1 单柱固定台压力机

单柱固定台压力机又称曲拐轴式压力机和偏心冲床，其传动原理见图。



1—床身；2—曲拐轴；3—飞轮；4—电动机；5—脚踏操纵系统；6—离合器；7—连杆；8—滑块；9—制动器。

曲拐轴2的右端装有飞轮3，飞轮由电动机4通过减速齿轮传动，并通过和脚踏操纵系统5相连的离合器6的操纵和曲拐轴脱离与结合。当离合器结合时，曲拐轴与飞轮一起旋转，位于曲拐轴前端的连杆7也被带动，而连杆7与滑块8铰接。由于连杆的运动，滑块即跟随作上下往复运动。当离合器脱离时，曲拐轴即停止运动，并由制动器9使其停止在上止点的位置。

单柱固定台压力机的主要参数见表

单柱固定台压力机的主要参数表

公称压力 (t) (kN)		滑块行程 (mm)	行程次数 (min ⁻¹)	最大封闭高度 (mm)	连杆调节量 (mm)	滑块中心到机身距离 (mm)	工作台尺寸 (mm) (长×宽)
100	1000	20~100	65	320	85	325	600×800
250	2500	120	37	450	80	325	1100×630
400	4000	200	25	550	140	520	1600×1000

1.8.10.2 开式可倾台压力机

开式可倾台压力机是一种曲轴式压力机，其典型外型如图1，工作台可随床身一起向后倾斜。开式可倾台压力机的主要参数如表所示。

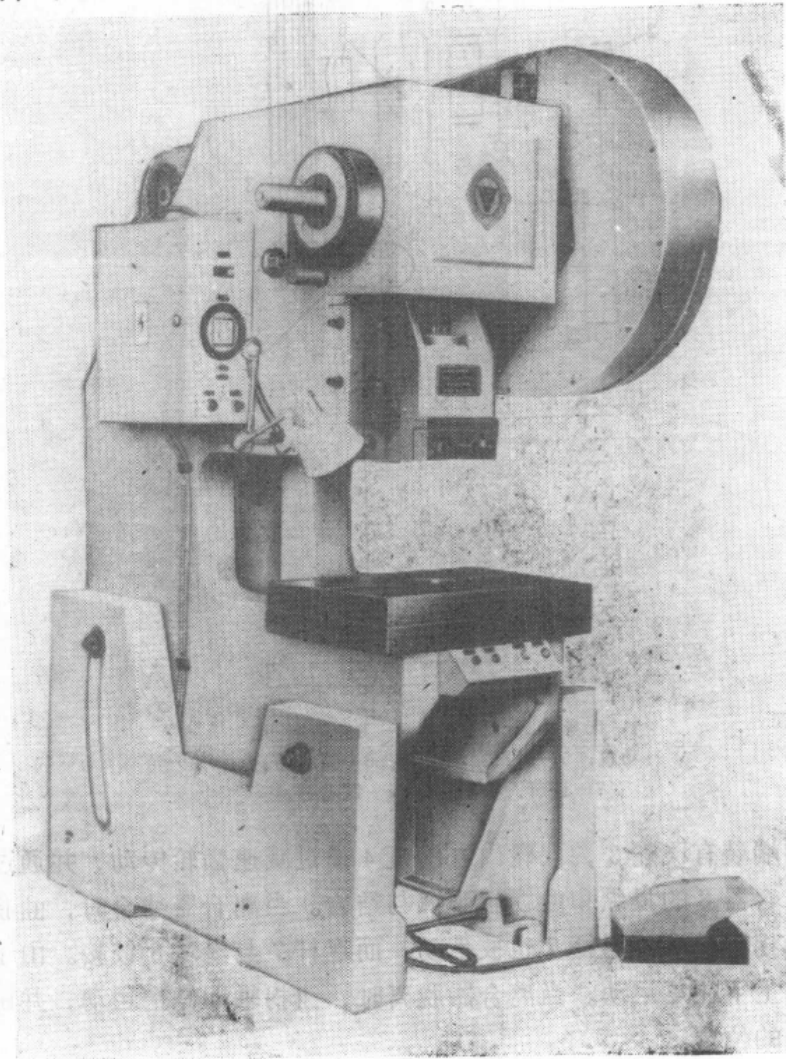


图1

表1. 开式可倾台压力机的主要参数

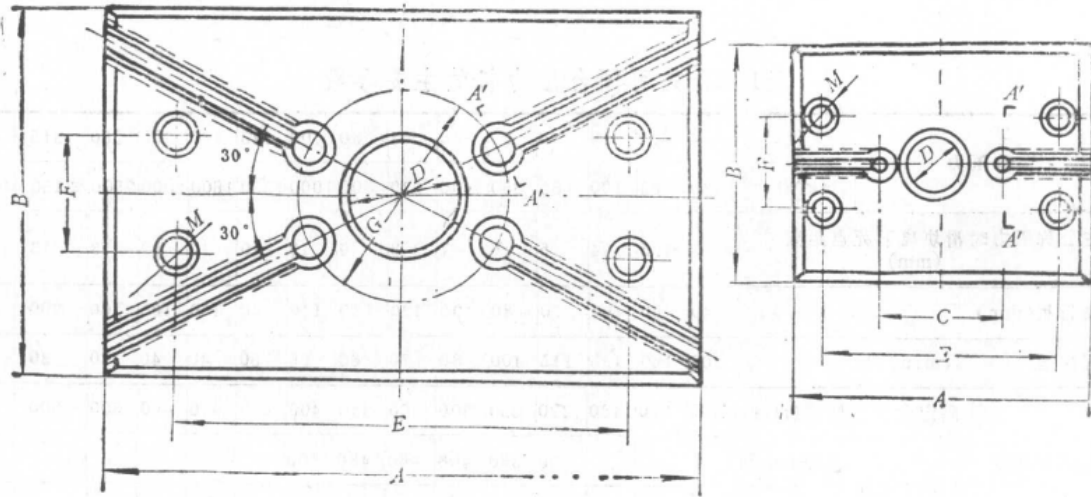
公称压力	(t)	4	6.3	10	16	25	40	63	80	100	125	160	200	250	315	400
	(kN)	40	63	100	160	250	400	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
发生公称压力时滑块离下死点距离 (mm)		3	3.5	4	5	6	7	8	9	10	10	12	12	13	13	15
滑块行程 (mm)		40	50	60	70	80	100	120	130	140	140	160	160	200	200	250
行程次数 (min ⁻¹)		200	160	135	115	100	80	70	60	60	50	40	40	30	30	25
最大封闭高度	固定台和可倾式 (mm)	160	170	180	220	250	300	360	380	400	430	450	450	500	500	550
	活动台位置	最低 (mm)				300	360	400	460	480	500					
		最高 (mm)				160	180	200	220	240	260					
封闭高度调节量 (mm)		35	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130	150	150	170
滑块中心到床身距离 (mm)		100	110	120	160	190	220	260	290	320	350	380	380	425	425	480
工作台尺寸	左右 (mm)	280	315	360	450	560	630	710	800	900	970	1120	1120	1250	1250	1400
	前后 (mm)	180	200	240	300	360	420	480	540	600	650	710	710	800	800	900
工作台孔尺寸	左右 (mm)	130	150	180	220	260	300	340	380	420	460	530	530	650	650	700
	前后 (mm)	60	70	90	110	130	150	180	210	230	250	300	300	350	350	400
	直径 (mm)	100	110	130	160	180	200	230	260	300	340	400	400	460	460	530
立柱间距离 (mm)		130	150	180	220	260	300	340	380	420	460	530	530	650	650	700
活动台压力机滑块中心到床身 紧固工作台平面距离 (mm)					150	180	210	250	270	300						
模柄孔尺寸 (直径×深度) (mm)		φ30×50			φ50×70			φ60×75			φ70×80		T型槽			
工作台板厚度 (mm)		35	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130	150	150	170
倾斜角 (可倾式工作台压力机) (°)		30	30	30	30	30	30	30	30	25	25	25				

机床的工作台面尺寸及槽、孔分布可查机床说明书。以下列举JD23-20B型开式可倾台压力机的工作台垫板尺寸如表2及图2。

表2. JD23-20B型压力机的工作台垫板尺寸

(mm)

代 号	垫 板 尺 寸							T 型 槽 尺 寸						
	A	B	C	D	E	F	G	M	T	b	c	d	h	f
尺 寸	630	420	240	130	540	210	240	M16	18	30	14	φ34	16	1.5



A' - A'

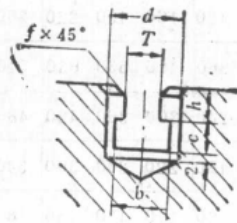


图2

1.8.10.3 闭式单点单动压力机

闭式单点单动机械压力机的典型外形如图1所示，其主要参数见表1。

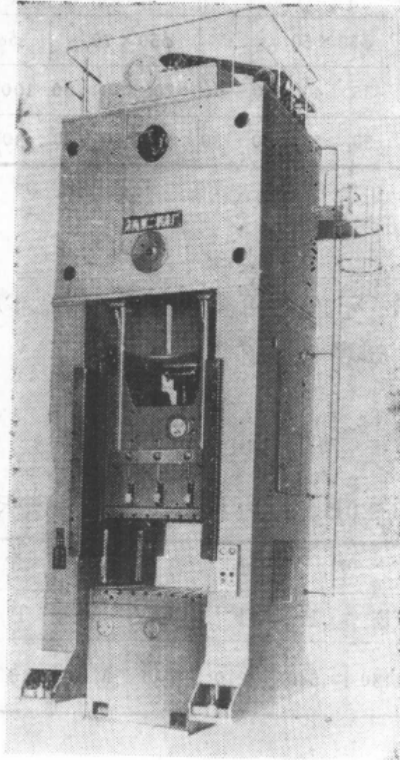


图1

表1. 闭式单点单动机械压力机主要参数

公称压力	(t)	160	250	315	400	630	800	1000	1250
	(kN)	1600	2500	3150	4000	6300	8000	10000	12500
公称压力行程(mm)		10.4	10.4	10.5	13.2	13	13	13	14
滑块行程长度(mm)		250	315	315	400	400	500	500	500
滑块行程次数(min ⁻¹)		20	20	20	20	12	10	10	10
最大装模高度(mm)		450	490	490	550	700	700	850	830
装模高度调节量(mm)		200	200	200	250	250	315	400	250
导轨间距离 (mm)		690	810	910		1400	1680	1680	1520
滑块底面前后尺寸 (mm)		700	850	960		1400	1500	1500	1560
工作台垫板尺寸	前后 (mm)	800	900	1100	1200	1500	1600	1600	1900
	左右 (mm)	800	900	1100	1240	1500	1900	1900	1800
主电机功率 (kW)			30	30	40	55	75		100
气垫个数 (个)		1	1	1	1	1	1	1	1
气垫单个退出力/压紧力	(t)	4/25	7/40	7.6/50	7.6/50	15/100	18/125	/160	25/200
	(MN)	0.04 0.25	0.07 0.4	0.07 0.15	0.076 0.5	0.15 1	0.18 1.25	/1.6	0.25 2

闭式单点单动压力机滑块T型槽、打杆孔的分布形式图见图2及图3。

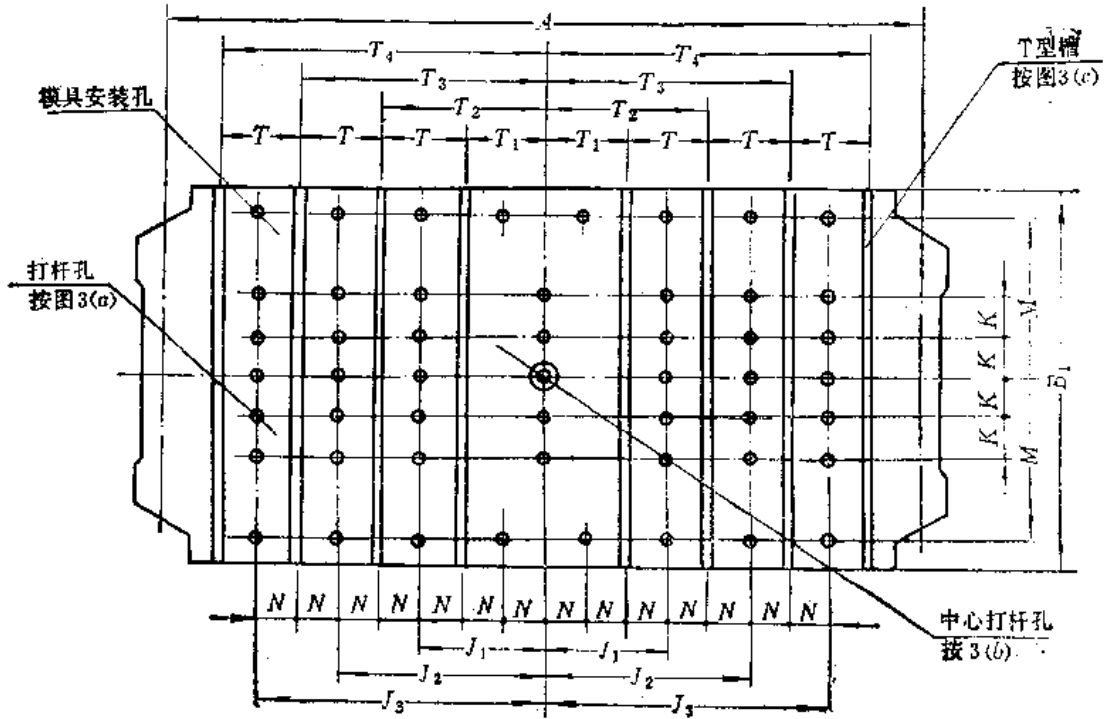


图2

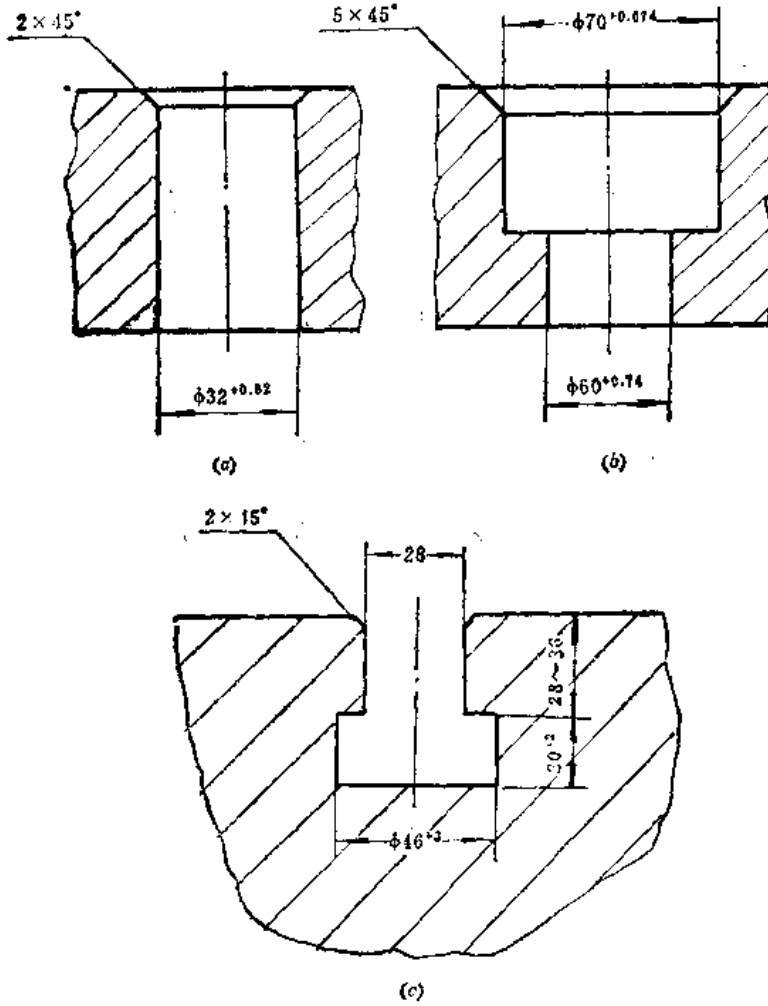


图3

其尺寸数据见表2。

表2. 闭式单点单动压力机滑块T型槽、打杆孔的分布尺寸

公称压力	左 右 方 向										前后方向			打杆孔直径	模具安装孔直径					
	A		N		J ₁ ~J ₃			T		T ₁ ~T ₄		T型槽数	模具安装孔数			B ₁		K		M
	基本尺寸	公差	基本尺寸	公差	基本尺寸	公差	起止数	基本尺寸	公差	基本尺寸	公差					基本尺寸	公差	基本尺寸	公差	
(t)	(kN)	(mm)						(mm)				(mm)	(mm)							
160	1600	880			J ₁ =225					T ₁ =150				100						
250	2500	1080			J ₂ =375			150		T ₂ =300				900		150				
315	3150	1200	±4	±0.5	J ₃ =525	±0.75		±0.5		T ₃ =450	±0.75			1020	±4	±0.5		32	26	
400	4000	1330								T ₄ =600				1150						

400t (4000kN) 以下的单点单动压力机工作台以 * 型分布形式如图4及表3。

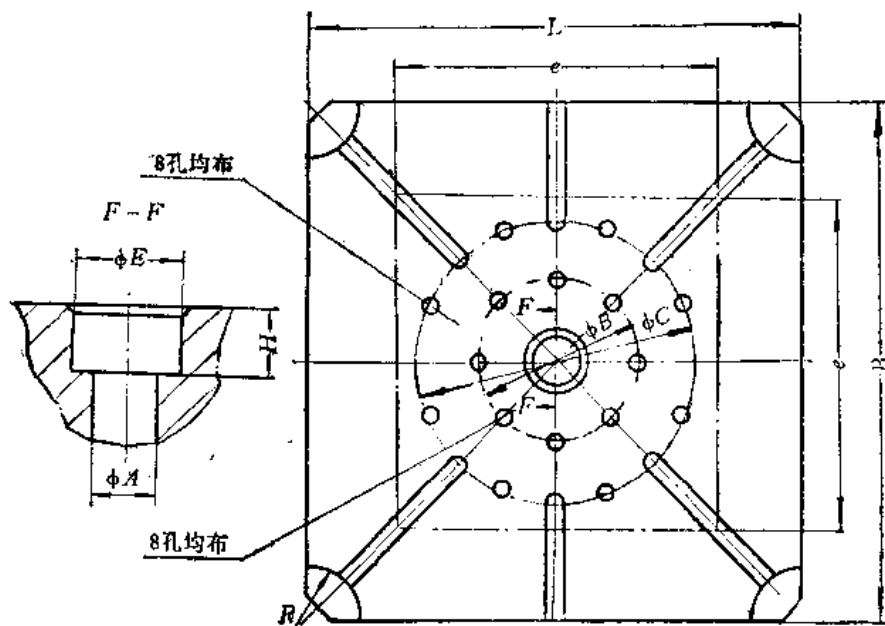


图4

表3. 400t以下单点单动压力机工作台尺寸

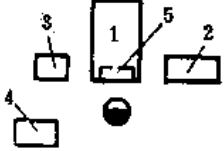
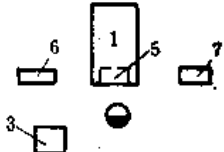
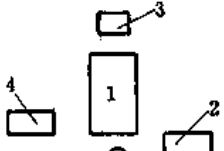
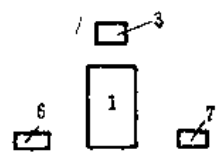
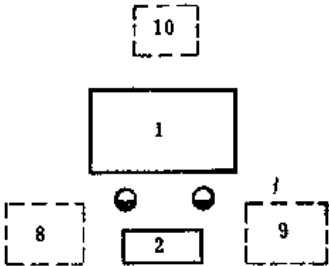
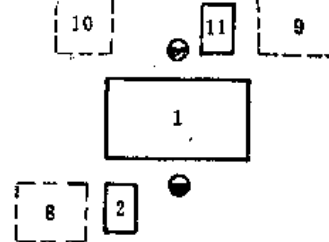
公称压力		$L \geq$	B	e	ϕA	ϕB	ϕC	ϕE	R	H
(t)	(kN)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
160	1600	800	800	550	80	150	300	100	80	设计 规定
250	2500	1000	1000	650						
315	3150	1120	1120	690	80	250	400	140		
400	4000	1250	1250	840						

1.8.11 冲压生产场地

所选用的设备形式、生产批量和毛料及零件的运送形式不同，冲压生产场地的布置也不同。机械压力机的典型工作地点的平面布置见表1，冲压自动线的典型布置及特点见表2。

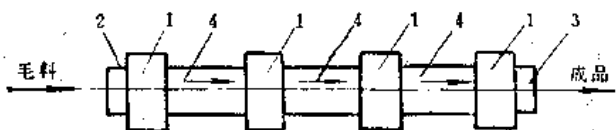

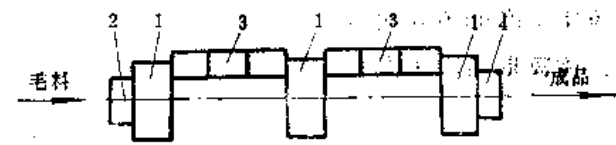
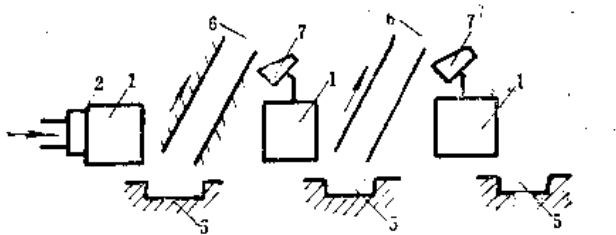
单台机械压力机的生产面积可按表3估算。

表1. 机械压力机工作地点的平面布置

序号	压力机型式	毛料种类	送料及冲压方法	工作地点布置
1	单柱固定台、开式固定台压力机	条料	用手送料 (漏料冲压)	
		卷料	自动送料 (漏料冲压)	
2	开式可倾压力机	条料	用手送料 (反顶冲压)	
		卷料	自动送料 (反顶冲压)	
3	闭式双点和四点压力机	板料和大的单块毛料	用手送料 (反顶冲压)	
		板料和大的单块毛料	用手送料 (反顶冲压)	

简图符号：1—压力机；2—毛料放置台；3—成品收集箱；4—废料箱；5—接应箱（在压力机工作台下）；6—装卷料的卷轮；7—装废料的卷轮；8—毛料放置处；9—成品放置处；10—废料放置处；11—成品放置台；
 ●—操作者位置。

表2. 冲压自动线的典型布置及特点

类型	特点	说明及布置示意图
直流型自动线	在不同的时间内完成毛料的加工和传送，因此受制于毛料的生产率，生产方法有以下几种	<p>贯通式布置：布置紧凑；传送路程短；常用于大型薄板零件冲压自动线</p> 
		<p>并列式布置：调整灵活；传送路程长；占地面积大</p> 
转子型自动线	毛料的加工和传送复合进行，生产率很高，故很适用性较广，直工按连不分动的工序系统，两种	<p>刚性连系的自动线：工序间半成品储备，各台设备规格同步，其故障用于大、中型零件生产</p> 
		<p>柔性连系的自动线：工序间半成品储备，故对个别设备故障，可短时无需全线停车，而用于小型零件生产</p> 

示意图符号：1—压力机；2—送料机构；3—出件机构；4—传送装置；5—储料器；6—叶片式提升机构；7—料斗。

表3. 单台机械压力机的生产面积

压力机类型	公 称 压 力		单 台 压 力 机 生 产 面 积
	(t)	(kN)	
单 双 点 压 力 机	10~25	100~250	8~20
	30~63	300~630	22~30
	80~125	800~1250	32~35
	160~315	1600~3150	40~45
	400~630	4000~6300	50~70
	800~1000	8000~10000	80~90

(续)

压力机类型	公 称 压 力		单台压力机生产面积 (m ²)
	(t)	(kN)	
带的单点 自动送料 压力机	≤25	≤250	20~25
	40~63	400~630	30~35
	100~160	1000~1600	45~50
多 工 位 自 动 压 力 机	≤40	≤400	25~30
	63~400	630~4000	40~50
	630~1000	6300~10000	60~70
	2000~3000	20000~30000	120~150

1.8.12 冲压生产的方式

冲压生产的方式可由零件的年产量而定, 见 1.8.6 表 2, 在生产中合理的冲压批量见表。该数据适合于汽车、拖拉机、家用电器等制造行业。

合理的冲压批量表⁽¹⁾

设 备	当一种零件年产量(千件)如下时, 概略合理冲压批量(千件)							
	25	50	100	200	400	800	1600	3200
薄板冲压线(压力机):								
大型	5~7	6~8	8~12	10~15	14~20			
中型	9~11	12~14	16~20	22~25	30~40			
厚板冲压线(压力机):								
专用	4~6	5~8	7~12	10~15	—			
大型		8~10	12~15	16~18				
中型	5~7	8~9	10~12	14~16	18~20			
通用曲柄压力机, 压力 ≤160t(1600kN)	8~10	12~14	18~20	23~25	40~45	50~55	—	—
带自动送料: ≤160t (1600kN)			50~60	70~80	100~110	140~150	180~200	240~260
多工位自动压力机	—	—	50~60	70~80	95~110	130~150	180~200	240~280
多工位自动压力机			40~60	55~65	75~85	100~115	135~155	185~200

1.8.13 设备数量的计算和冲压工时定额

1.8.13.1 设备数量的计算方法

(1) 年时基数

设备日历年时基数即全年工作日数(一般为306天)与一昼夜工作小时的乘积。

设备年时基数(S)即设备全年实际工作小时数。是在设备日历年时基数内除去必要的全年时间损失, 如设备维修、准备与终结时间等。冷冲压车间的压力机、液压机、剪切机的年时基数可采用表1的数值。

(2) 设备的劳动量与负荷率

表1. 冷冲压车间的压力机、液压机和剪切机的年时基数

工作制度	各班工作小时数 (h)	设备日历年时基数 (h)	设备年时基数 (h)
一班制	8	2448	2400
二班制	8, 8	4896	4700
三班制	8, 8, 7	7038	6000

设备的全年劳动量(L)即全年需在某型设备上生产的零件的劳动量总和,可按式进行计算。

$$L = T_w \times n, \text{ h}$$

式中 T_w ——零件的单件工时;

n ——零件的数量。

也可以从用设备上全年生产的冲压件的冲次数 n ,及平均每冲次的工时定额 T_r ,计算出设备全年劳动量,如下式。

$$L = T_r \times n_r, \text{ h}$$

(3) 设备数量的计算

设备的数量可以由设备的全年劳动量、及设计年时基数进行计算,如下式。

$$E_s = \frac{L}{S}, \text{ 台}$$

在实际工作中,选择设备数量时要考虑设备负荷率(F),它是设备计算数值与实际采用数值之比,以百分数的形式表示,如下式。

$$F = \frac{E_s}{E_r}$$

式中 E_r ——设备的采用值,台;

F ——设备的负荷率;

E_s ——设备的计算值。

各类压力机的负荷率(F)的数值可按表2选取。

表2. 各类压力机的负荷率

压力机的类型	压力机的负荷率 (%)
冲裁、冲压自动线	10~90
大型、中型冲压自动线	75~85
大型、中型压力机	80~90
小型压力机	90~95
多工位压力机	75~85
自动压力机	75~85

在实际工作中,按下式来计算设备的采用台数。

$$E_s = \frac{L}{S \times F}, \text{ 台}$$

1.8.13.2 冲压工时定额

冲压工时定额是在采用正确的生产组织,合理的选用设备,并吸收操作者的生产经验的情况下,完成冲压工作所需要的时间。冲压工时定额随工艺方法和生产技术的改进,生产组织水平的提高,和工人技术水平的提高而改变。

(1) 冲压工时定额的计算法

单件零件的冲压工时 ($T_{\text{单}}$) 由作业时间 ($T_{\text{作}}$) 和附加时间 (K) 组成,见下式。

$$T_{\text{单}} = T_{\text{作}} + K$$

作业时间 ($T_{\text{作}}$) 由压力机的机动时间 ($T_{\text{机}}$) 和单件零件的辅助时间 ($\frac{T_{\text{辅}}}{m}$) 组成,

可由下式表示。

$$T_{\text{作}} = T_{\text{机}} + \frac{T_{\text{辅}}}{m}$$

式中 $T_{\text{作}}$ ——单件零件的作业时间, min;

$T_{\text{机}}$ ——单件零件的机动时间, min;

$T_{\text{辅}}$ ——一批零件的(准备、终结时间,如装卸模具等)辅助时间, min;

m ——一批零件的件数。

附加时间 (K) 包括工作地管理和休息与自然需要的时间,附加时间可按作业时间的百分比选取,小于100t(1000kN)的压力机其值是6%,100~300t(1000~3000kN)是10%,超过300t(3000kN)的取14%。

所以单件工时定额可由下式表示。

$$T_{\text{单}} = (T_{\text{机}} + \frac{T_{\text{辅}}}{m}) + K \quad (1a)$$

机动时间决定于压力机的每分钟行程次数 (n)。

当压力机自动工作时:

$$T_{\text{机}} = \frac{1}{n} \quad (3)$$

当压力机单动工作时:

$$T_{\text{机}} = \frac{k}{n} \quad (4)$$

式中 k 为系数,考虑到由于开动压力机而损失的机动时间,与传动离合器的形式有关,查表1得到。

(2) 冲压工时定额

以下各表中的冲压工时定额供使用时结合实际情况参考使用。

用单个毛料在一般模具上冲裁、打孔、弯曲和压延的作业时间见表2。作业时间的

表1. 在单动行程工作时的k值

传动离合器的形式	k
单卡爪的	1.5
双卡爪的	1.25
三卡爪的	1.17
四卡爪的	1.12
摩擦式的	1.02

表2. 用单个毛料在一般模具上冲裁、打孔、弯曲和压延的作业时间⁽⁹⁾ (min)

在模具内的定位型式	压力机每分钟行程数	用手装						用夹子装					
		出件方法											
		推下			拿下			推下			拿下		
		零件尺寸 (mm)											
		50×50	100×100	200×200	50×50	100×100	200×200	50×50	100×100	200×200	50×50	100×100	200×200
定位槽或定位板	150	0.021	0.026	0.030	0.023	0.029	0.037	0.022	0.029	0.034	0.026	0.033	0.041
	120	0.022	0.027	0.031	0.024	0.030	0.038	0.023	0.030	0.035	0.027	0.034	0.042
	100	0.024	0.029	0.033	0.026	0.032	0.040	0.025	0.032	0.038	0.029	0.036	0.044
	80	0.027	0.032	0.036	0.029	0.035	0.043	0.028	0.035	0.040	0.032	0.039	0.047
	60	0.031	0.036	0.040	0.033	0.039	0.047	0.032	0.039	0.044	0.036	0.043	0.050
	40	0.039	0.044	0.048	0.041	0.047	0.055	0.038	0.047	0.052	0.044	0.051	0.068
	20	—	0.069	0.073	—	0.072	0.080	—	0.072	0.077	—	0.076	0.083
10	—	0.119	0.123	—	0.122	0.130	—	0.122	0.127	—	0.125	0.133	
档料销	150	0.036	0.043	0.050	0.042	0.049	0.051	0.040	0.048	0.056	0.045	0.054	0.066
	120	0.037	0.044	0.051	0.043	0.050	0.052	0.041	0.049	0.057	0.047	0.055	0.067
	100	0.039	0.046	0.053	0.045	0.052	0.054	0.043	0.051	0.059	0.049	0.057	0.069
	80	0.042	0.049	0.056	0.048	0.055	0.057	0.046	0.054	0.062	0.052	0.060	0.072
	60	0.046	0.053	0.060	0.052	0.059	0.071	0.056	0.058	0.066	0.056	0.064	0.076
	40	0.054	0.061	0.068	0.060	0.067	0.079	0.058	0.066	0.074	0.064	0.072	0.084
	20	—	0.086	0.093	0.082	0.104	0.117	—	0.091	0.099	—	0.097	0.109
10	—	0.136	0.143	0.142	0.154	0.167	—	0.141	0.149	—	0.147	0.159	

内容包括用手或夹子取、放毛料，开动压力机，冲压。

压力机的台时及工时的概略数据见表3。

面积在0.5m²以下的零件采用每分钟行程次数不同的压力机时，每小时生产率见表4。

压力机的滑块在每一行程所耗时间见表5。

装有档料装置的单排简单模上用条料冲裁零件的作业时间见表6。

(min)

表3. 压力机台时及工时的概略数据⁽²⁾

压力机型式	公称压力		每分钟行程次数 min ⁻¹		1000个零件的全部工序所消耗的压力机台时及工时																								
	(t)	(kN)	带料的送料										转 盘 式 送料	零 件 面 积 (mm ²)															
			条料长度(mm)					送料进距(mm)						5000	10000	20000	40000	60000	10000	20000	40000	50000							
			500~750		1000~1500			50		100		200											50		100		200		
			50	100	50	100	200	50	100	200	50	100											200						
单柱固定台 压力机, 曲 柄压力机	5	50	120	0.14	0.14	0.36	0.42	0.49	0.33	0.39	0.46	0.21	0.55	0.59	0.65	0.74	0.82	0.66	0.71	0.73	—	—							
	15	150	100	0.17	0.19	0.40	0.46	0.53	0.37	0.43	0.50	0.24	0.59	0.63	0.73	0.80	0.88	0.71	0.76	0.88	1.2	1.32							
	25	250	90	0.19	0.21	0.44	0.50	0.57	0.41	0.47	0.54	0.26	0.61	0.65	0.76	0.85	0.92	0.73	0.78	0.91	1.28	1.38							
	35	350	70	—	—	—	0.54	0.61	—	0.49	0.56	—	—	0.73	0.82	0.91	1.06	—	0.88	0.98	1.66	1.57							
	45	450	50	—	—	—	0.58	0.66	—	0.53	0.60	—	—	0.88	0.97	1.07	1.18	—	0.06	1.17	1.6	—							
双动压力机	60	600	40	—	—	—	0.62	0.69	—	0.57	0.64	—	—	—	—	1.18	1.22	—	—	—	1.7	1.83							
	30	300	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.87	0.90	0.99	1.15	1.24	1.05	1.08	1.19	1.73	1.86							
摩擦及杠杆 压力机	30	300	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.92	1.02	1.18	1.25	—	—	1.22	1.77	1.88							
	25	250	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.88	0.93	1.03	1.20	1.26	1.06	1.12	1.24	1.8	—							

注: 本表适用于大批生产前条件, 表中数据必须加大50~80%。

表4. 压力机的每小时生产率⁽³⁾

(个)

每分钟行程数	零件面积 (m ²)								
	<0.1			0.1~0.25		0.25~0.5		>0.5	
	工 作 方 法								
	"漏件"	去件	去零件及废料	去件	去零件及废料	去件	去零件及废料	去件	去零件及废料
130	1440	990	925	815	745	—	—	—	—
100	1375	955	900	790	725	570	490	435	355
75	1280	910	860	760	700	555	475	425	350
60	1215	875	830	735	680	545	470	420	345
45	1145	840	795	710	655	530	455	410	340
35	1030	785	745	670	620	505	440	385	330
30	925	720	690	625	580	480	420	455	370
25	855	680	650	590	550	460	405	455	370
20				550	515	435	385	455	370
17				505	485	605	510	455	370
12				720	720	575	490	440	355
10				600	600	530	490	440	355
8				450	480	480	480	440	355
6				360	360	360	360	360	350
4				240	240	240	240	240	240

注：粗线以下数据是由两个或更多的工人照应压力机。

表5. 压力机的滑块在每一行程中所耗时间⁽³⁾

(min)

滑块每分钟的行程数	每一行程的时间	滑块每分钟的行程数	每一行程的时间	滑块每分钟的行程数	每一行程的时间	滑块每分钟的行程数	每一行程的时间
1	1.00	14	0.071	30	0.033	71~80	0.013
2	0.500	15	0.067	33	0.030	81~85	0.012
3	0.333	16	0.063	35	0.029	86~95	0.011
4	0.250	17	0.059	37	0.027	96~110	0.010
5	0.200	18	0.056	40	0.025	111~120	0.009
6	0.167	19	0.053	43	0.023	120~130	0.008
7	0.143	20	0.050	45	0.022	140~150	0.007
8	0.125	21	0.047	48	0.021	160~170	0.006
9	0.110	22	0.046	50	0.020	180~200	0.005
10	0.100	23	0.044	55	0.018	201~250	0.004
11	0.091	24	0.042	60	0.017	251~300	0.003
12	0.083	25	0.040	65	0.015	300~400	0.0025
13	0.077	27	0.037	70	0.014	400~500	0.002

表6. 装档料装置的单排简单模用条料冲裁零件的作业时间⁽⁸⁾ (min)

条料宽度 (mm)	压力机每分 钟的行程数	冲 压 进 距 (mm)							
		10	20	40	60	80	100	150	200
40	150	0.013	0.015	0.017	—	—	—	—	—
	120	0.014	0.016	0.018	—	—	—	—	—
	100	0.016	0.018	0.020	—	—	—	—	—
	80	0.018	0.021	0.023	—	—	—	—	—
	60	0.023	0.025	0.027	—	—	—	—	—
80	150	0.017	0.019	0.021	0.023	—	—	—	—
	120	0.018	0.020	0.022	0.024	0.027	—	—	—
	100	0.020	0.022	0.024	0.026	0.029	—	—	—
	80	0.023	0.025	0.027	0.029	0.032	—	—	—
	60	0.027	0.029	0.031	0.033	0.036	—	—	—
160	40	0.035	0.037	0.039	0.041	0.044	—	—	—
	120	—	0.025	0.027	0.030	0.033	0.036	—	—
	100	—	0.027	0.029	0.032	0.035	0.038	0.044	—
	80	—	0.030	0.032	0.035	0.038	0.041	0.047	0.053
	60	—	0.034	0.036	0.039	0.042	0.045	0.051	0.057
40	—	0.042	0.044	0.047	0.050	0.053	0.059	0.065	0.085
	—	0.066	0.069	0.072	0.075	0.078	0.084	0.090	—

注：1. 条料长度为1m。2. 工作内容：取条料；装条料；开动压力机；冲压；条料推动一个进距；去废料。

重新安装和调整模具的时间见表7。

表7. 重新安装和调整模具的时间⁽⁸⁾ (min)

模具形式(构造)	下 模 板 面 积 (m ²)										
	0.05	0.15	0.25	0.5	0.75	1.2	1.5	2.0	3.0	5.0	7.0
无顶件装置	18	21	24	27	40	—	—	—	—	—	—
	22	28	35	45	53	80	120	160	225	255	290
有板状顶件装置	22	25	27	32	43	—	—	—	—	—	—
	25	34	40	53	63	—	—	—	—	—	—
有弹簧或橡皮缓冲器	27	29	32	35	53	—	—	—	—	—	—
	33	41	52	66	85	113	155	200	265	330	350
有气动缓冲器	37	42	55	65	76	—	—	—	—	—	—
	42	48	62	85	108	133	185	230	315	390	410

注：上面数字是用有模柄的模具的安装和调整时间，下面的是用无模柄的模具的安装和调整时间。

有导柱的模具的安装、调整及拆卸时间见表8。

表8. 有导柱模具的安装、调整及拆卸时间^{〔8〕}

工作 内 容	公称压力		模具尺寸(mm)	螺 栓 数 目		
	(t)	(kN)		2	4	8
				时 间 (min)		
安 装, 调 整, 试 冲	30	300	350×200×100	2.8	3.1	3.7
	80	800	200×100×50	3.1	3.5	3.5
	80	800	500×400×50	3.8	4.2	4.7
	120	1200	350×200×100	3.5	3.9	4.3
	120	1200	300×400×200	4.1	4.6	5.0
	120	1200	750×400×350	6.5	6.9	7.3
拆 卸	30	300	350×200×100	0.9	1.1	1.3
	80	800	200×100×50	1.2	1.4	1.8
	80	800	500×400×50	1.4	1.7	2.1
	120	1200	350×200×100	2.0	2.4	2.7
	120	1200	500×400×200	2.3	2.8	3.2
	120	1200	750×400×350	3.5	4.2	4.5

在各种生产规模时, 单台通用压力机上冲压的平均生产定额见表9。

表9. 在单台通用压力机上冲压的平均生产定额^{〔4〕}

(t)	(kN)	工作台尺寸 (mm)	生 产 规 模							
			小批和单件生产		成批生产		大批生产		大量生产	
			下 列 条 件 的 平 均 生 产 率 (件/小时)							
			用条料 生产时	用单件 毛坯时	用条料 生产时	用单件 毛坯时	用条料 生产时	用单件 毛坯时	用条料 生产时	用单件 毛坯时
≤25	≤250	450×300	750	700	850	800	1000	900	1200	1000
≤50	≤500	600×400	700	600	800	700	950	800	1100	900
100	1000	850×650	600	500	700	600	800	700	900	800
160~250	1300~2500	900×900	500	450	600	500	700	600	750	650
315~400	3150~4000	1000×1000	350	300	400	300	500	350	550	400
330	6300	1250×1250	300	250	350	300	400	350	450	400
800~1000	8000~10000	1500×1500	250	200	325	275	375	325	425	375
1600	16000	1800×1800	—	—	300	250	350	300	400	350

注: 本定额为不采用机械化装置。采用机械化装置时, 上述定额乘以1.25~1.35的系数。

自动化冲压时, 设备的行程次数平均利用系数见表10。

在冲压生产线上冲压大型、特大型及中型薄板零件的平均生产定额见表11。

冲压大型、特大型及中型厚板零件的平均生产定额见表12。

调整大型和中型冲压生产线的时间定额(换模具、调整、试冲压、检查、更换及调整机械化装置见表13。

表10. 自动化冲压时设备的行程次数平均利用系数^[4]

设 备	公 称 压 力		各 种 原 材 料 的 平 均 系 数					
	(t)	(kN)	宽卷材 宽 800~2000 (mm)	卷 材 宽 400~700 (mm)	带 料 宽 100~300 (mm)	带 料 宽 ≤100 (mm)	条 料	单件毛料
开式单点压力机								
100	100	1000	—	—	0.85	0.90	0.75	0.70
>100	>100	>1000	—	—	0.80	—	0.70	0.65
多滑块自动压力机			—	—	—	0.85	—	0.80
多工位自动压力机								
≤250	≤250	≤2500	—	—	0.75	0.80	—	0.70
≤1000	≤1000	≤10000	—	0.75	0.75	—	—	0.70
≤3000	≤3000	≤30000	—	0.70	—	—	—	0.65
闭式单点压力机								
≤250	≤250	≤2500	—	—	0.75	—	0.70	0.65
≤800	≤800	≤8000	—	0.70	0.75	—	0.70	0.65
多点压力机								
≤1000	≤1000	≤10000	0.75	0.80	—	—	—	0.70
自动线			0.75	0.80	0.80	0.85	0.80	0.70

表11. 在冲压生产线上冲压大型、特大型及中型薄板零件的平均生产定额^[4]

生 产 线 组 成						生 产 规 模		
端头的双动压力机			线上的单动压力机			成批生产	大批生产	大量生产
公称 压 力 (t)	工 作 台 尺 寸 (mm) ≤	公称 压 力 (t) ≤	工 作 台 尺 寸 (mm) ≤	公称 压 力 (MN) ≤	工 作 台 尺 寸 (mm) ≤	平 均 生 产 率(件/小时)		
大 型 冲 压 线								
1600~2000	16~20	4500×2500	1000~1200	10~12	4500×2500	150	200	240
1000	10	3500×2300	500	5	3600×2300	220	290	340
630	6.3	2800×1900	400~500	4~5	2800×1900	320	400	450
中 型 冲 压 线								
500	5	2500×1400	500	5	2500×1400	380	440	490
315	3.15	2500×1400	160~250	1.6~2.5	2000×1250	450	500	550
—	—	—	250	2.5	900×900	650	650	700

表12. 冲压大型、特大型及中型厚板零件的平均生产定额⁽¹⁾

生 产 线 组 成			生 产 规 模		
单 动 压 力 机			成 批 生 产	大 批 生 产	大 量 生 产
公称压力(t)	(kN)	工作台尺寸(mm)≤	平 均 生 产 率 ^① (件/小时)		
专 用 生 产 线					
3150~6300	31500~63000	9000×2000~12000×2200	150	180	—
2000~3150	20000~31500	7000×1800~8000×2000	180	220	—
1250~1600	12500~16000	5000×1800	250	300	—
大 型 冲 压 线					
800~1000	8000~10000	4000×1500	280	320	350
500	5000	2800×1400	320	360	400
1600	16000	1800×1800	270	320	350
1250	12500	1600×1600	280	330	360
800~1000	8000~10000	1500×1500	300	350	400
中 型 冲 压 线					
250	2500	2000×1250	400	450	500
500~630	5000~6300	1250×1250~1500×1500	325	375	425
315~400	3150~4000	1000×1000	350	400	450
250	2500	900×900	450	500	550

①在自动线上冲压零件时, 生产率为端部压力机行程次数的70~75%。

表13. 调整大型和中型冲压线的时间定额(换模具、调整、试冲压、检查、更换及调整机械化装置)⁽¹⁾

生 产 线 组 成						按生产线的压力机数调整一次的平均时间(h)								
端头的双动压力机		线上的单动压力机				工作台形式	调 整 工 人 数							
公称 压力 (t)≤	工作 台 尺寸 (mm)≤	公称 压力 (t)≤	工作 台 尺寸 (mm)≤	公称 压力 (t)≤	工作 台 尺寸 (mm)≤		2		4		6		8	
							2	4	2	4	2	4	2	4
1900~2000	10~20	4500×2500	1000~1200	10~12	4500×2500	固定式 向前伸出的	—	4	—	7	5	—	7	6
							4	2.5	6	3.5	2.5	5	3.5	3
1300	10	3500×2300	500	5	3500×2300	固定式 伸出式: 向前 向一面	6	3.5	—	5	3.5	7	5.5	4
							3	1.75	4.5	2.5	2	3.5	3	2.5
						2	1.3	3	1.75	1.5	2.5	2	1.75	
						固定式, 装有拉 出系统 更换模 具的机 构 向二面 伸出的	1.25	1	1.75	1.25	1	1.5	1.25	1

(续)

生 产 线 组 成						按生产线的压力机数调整一次的平均时间(h)											
端头的双动压力机			线上的单动压力机			工作台形式	2		4		6		8				
公称 (t) ≤	压力 (MN) ≤	工作台 尺寸 (mm) ≤	公称 (t) ≤	压力 (MN) ≤	工作台 尺寸		调 整 工 人 数										
							2	4	2	4	2	4	6	4	6	8	
630	6.3	2500× 1400	500	5	2800× 1400	固定式 向二面 伸出的 固定式 拉紧系 统有 更换模 具的机 构	4	2.5	6	3.5	2.5	5	3.5	3			
															1	0.75	1.5
315	31.5	2500× 1400	315	3.15	2500× 1400	向一面 伸出的 固定式	1.75	1.25	2.5	1.5	1.25	2.25	1.75	1.5			
			3500~ 6300	35~63	12000× 2200										3	2	4
			2000~ 3150	20~ 31.5	8000× 2000	向前伸 出的	6	6	—								
			1250~ 1600	12.5~ 16	5000× 1800	固定式 向前伸 出的	5	4	6	5	—						
					1800× 1800	固定式 向前伸 出的	3	4	4	3	6	5	4	—			
			800~ 1000	8~10	1500× 1500	固定式	2.5	—	3	2.5	3.5	3	2.5	—			
			500~ 630	5~6.3	900× 900		3	—	4	3	6	4.5	3.5	—			
			250	2.5			2.5	—	3.5	2.75	5	4	3	—			
							1.75	—	2.5	1.5	3	2	1.5	3			

调整下料设备、单台压力机、自动压力机及其它设备的时间定额见表14。

表14. 调整下料设备、单台压力机、自动压力机及其他设备的时间定额⁽⁴⁾

(换工具、调整、试冲压、检查、更换及调整机械化装置)

设 备	公 称 压 力		按调整工人数的平均调整时间(h)		
	(t)	(kN)	1	2	4
自动线: 用宽卷材冲裁毛料 将宽卷材切成矩形和梯形毛料 剪床: 剪板机 多圆盘剪床 双点及四点冲裁压力机	630	6300	—	4	3
			—	2	—
			0.5	0.3	
			—	1.5	—
多工位自动压力机	工位数 2000~3150(7~9) ≤1000 (8~10) ≤100 (8~11)	20000~31500 ≤10000 ≤1000	—	—	6
			—	—	4
			—	6	—
			—	2	—

(续)

设备	公称压力		按调整工人数的平均调整时间(h)		
	(t)	(kN)	1	2	4
多滑块自动压力机 单点压力机	≤1600	≤16000	6	4	—
	800~1000	8000~10000		3	
	500~630	5000~6300	—	2	
	250	2500	1.75	1.5	
	100	1000	1	1.25	
自动送料的单点压力机	≤800	≤8000	—	0.6	—
	630	6300		4	
	250	2500	2.5	3.5	
	100	1000	2	2	
自动送料的多点压力机, 压力有专用调整装置的自 动压力机	800	8000	—	1.5	—
	—	—		5	
	—	—	—	6	

生产线和各种压力机概略的调整时间定额见表15。

大、中、小型压力机的生产班、组的调整时间定额见表16。

表15. 概略的调整时间定额⁽⁴⁾

生产线类型	当规定在生产线上的零件数如下时, 总的调整时间(设备工作的实际年时基数的%)		生产线类型	当规定在生产线上的零件数如下时, 总的调整时间(设备工作的实际年时基数的%)	
	≤10	>10		≤10	>10
由没有伸出工作台的压力机组成的大型冲压线	15~20	20~30	剪床:	—	5
			剪板机	—	10
专用生产线	20~25	30~35	多圆盘剪床	—	10
由有伸出工作台的压力机组成的大型冲压线	5~10	10~15	冲裁压力机	5	10
			多工位自动压力机	10~20	15~25
中型冲压线	5~10	10~15	单点压力机	5	10
			多滑块自动压力机	15	20
用宽卷材生产毛坯的自动线	—	10	自动送料的多点压力机	10	15
			有专用调整装置的自动压力机	15	20

表16. 生产班、组的调整时间定额⁽⁴⁾ (总调整时间的%)

设备	生产方式		设备	生产方式	
	大量和大批生产	成批生产		大量和大批生产	成批生产
生产线与压力机: 大型冲压	20~40	50~100	中型冲压	30~60	100
			小型压力机	100	100

1.8.14 冲压机械化与自动化

1.8.14.1 实现冲压机械化与自动化的措施

冲压机械化与自动化可以从以下方面实现:

(1) 毛料的运输和检验;

- (2) 条料、卷料及单个毛料在冲压过程中的送料；
- (3) 从模具中取出零件和排除废料；
- (4) 零件在工序间的传递；
- (5) 记录冲压的零件数；
- (6) 零件的分类及检验，废品的收集；
- (7) 零件的收集、堆放及运输；
- (8) 废料的收集、运输及处理；
- (9) 生产安全和产品质量的监控。

1.8.14.2 冲压机械化装置应用示例

(1) 条料、卷料的送料

图1为装在压力机滑块及工作台上的钩形送料机构^[9]，用于卷料或条料的进给。

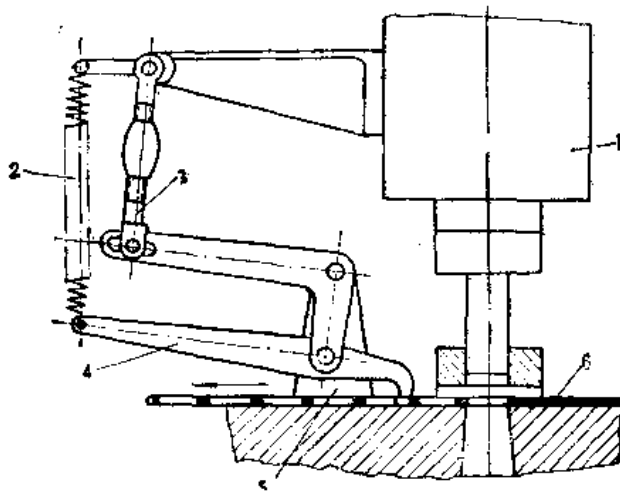


图1

1—压力机的滑块；2—回位弹簧；3—调节杆；4—送料钩；
5—固定支架；6—卷料或条料。

(2) 单个大毛料的上料

图2是单个大毛料的上料装置^[9]。放毛料的台面下部吊在弹簧上，弹簧的力量恰使上层的毛料总位于一个水平面内。

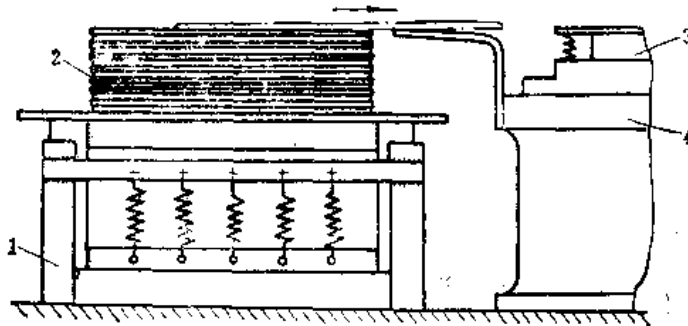


图2

1—上料装置；2—毛料；3—模具；4—压力机的工作台。

(3) 单个小毛料的上料

图3为在冲孔模上用装料匣进行自动上料的机构^[9]，通过后倾的工作台分别收集零件及废料。

(4) 气压吹件器

气压吹件器是用压缩空气(0.39~0.78MPa)由模具工作区吹出零件的装置^[10]，如图4所示。通过管接头1进入压气装置的上腔2内。装在压力机工作轴上的偏心凸轮3压在销子4上，使活瓣5向下，因而使压缩空气由上腔2进入下腔6内，再通过轴塞7的孔由管道通到喷嘴。当偏心凸轮3的凸出部分离开活瓣的销子4时，弹簧使活瓣回到原来位置，停止压缩空气进入。气压吹件器的结构简单、便于安装，但噪声大，零件吹出后其方向不容易控制。

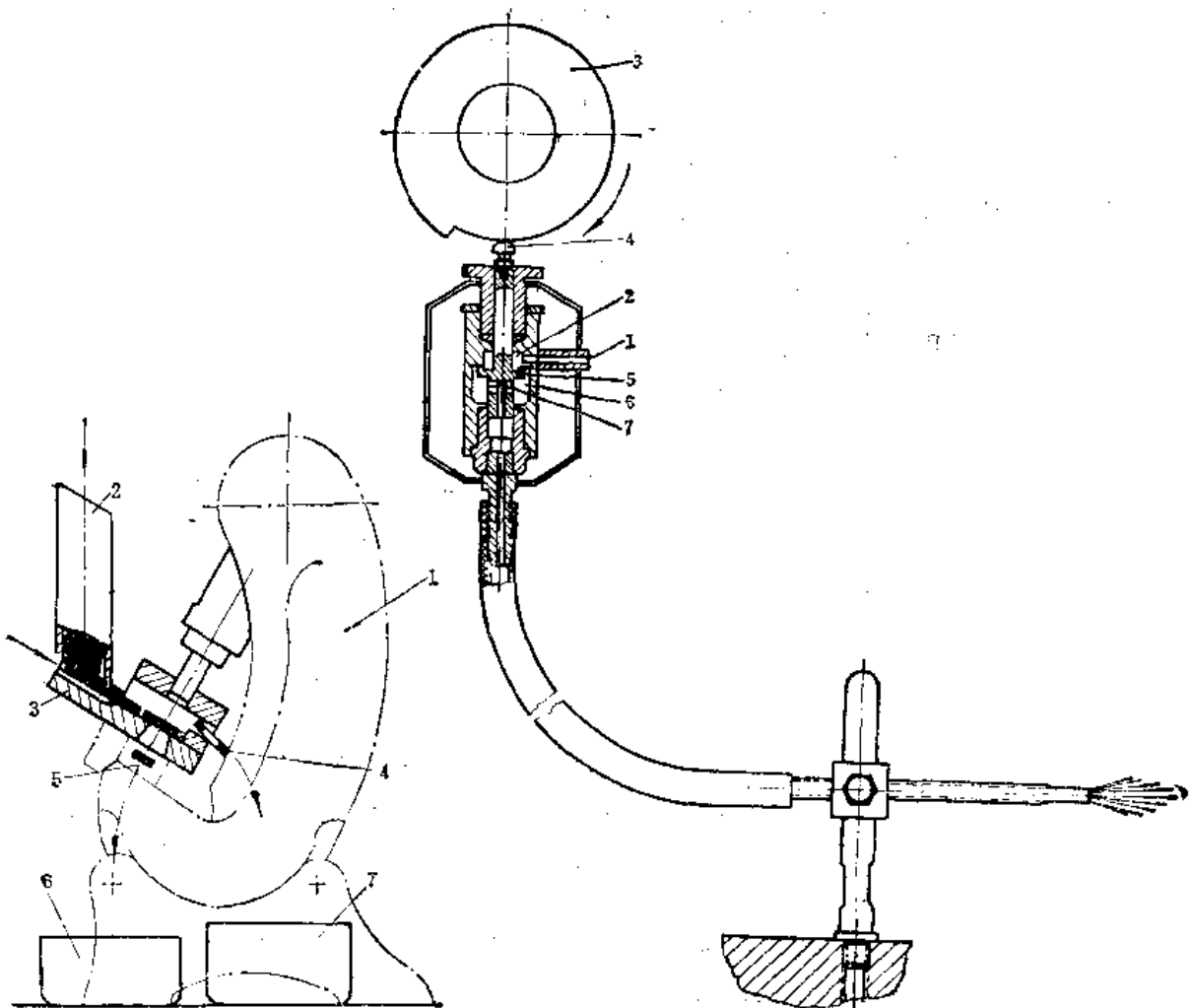


图3

1—压力机；2—装料匣；3—模具；4—零件；5—废料；6—装料箱；7—零件收集箱。

图4

1—管接头；2—上腔；3—偏心凸轮；4—销子；5—活瓣；6—下腔；7—柱塞。

(5) 用机器人取零件

用通用工业机器人从模具中取出零件，可以和上料同时进行^[11]。如图5所示，机器

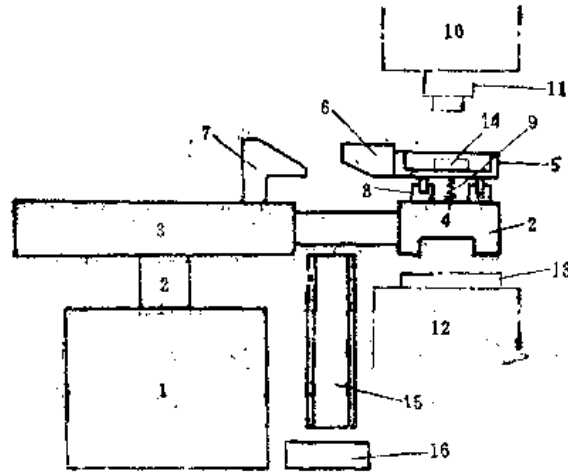


图5

- 1—机器人的底座；2—回转轴；3—气缸；4—机器人的手；5—托盘；6—从动杆；7—凸轮；8—支座；9—弹簧；10—拼块；11—上模；12—下模；13—毛料；14—零件；15—滑槽；16—零件收集箱。

人的手上装有盛零件的托盘5，另一端处装有弹簧9，平时托盘保持水平状态，当托盘盛上零件后，随活塞杆后退，其上固定的从动杆6与固定在气缸筒上的凸轮7相撞，使托盘以支座8为中心转动，零件即滑下并经滑槽15流入零件收集箱16。

(6) 高速冲裁的出件装置

机械出件装置的噪声较小。图6所示出件装置^[12]，适于在高速冲裁小零件时出件。毛料1经压力机的导向装置进入料槽2到止动块3处进入模腔。冲头7向下冲裁零件后，即带着被冲零件5返回。零件到卸料板6处时，冲头由零件孔中脱开，此时和上模板10连接在一起的锁销拨动杠杆13，使其转动，杠杆即撞击推件器15，使其弹簧压缩，推件销16即将零件抛到模腔旁的滑槽内。

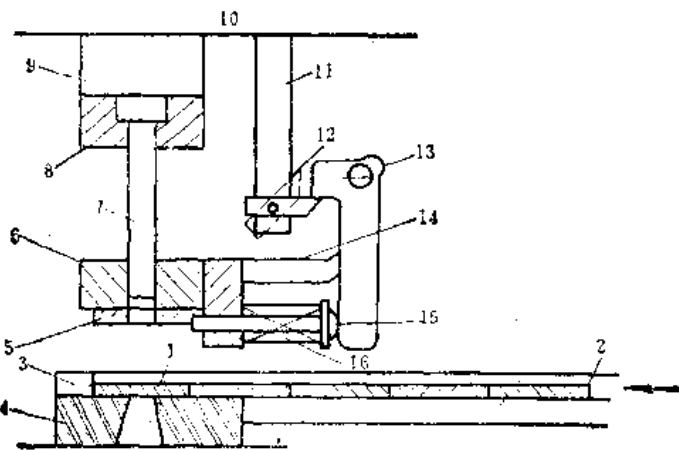


图6

- 1—毛料；2—进料槽；3—定位板；4—下模；5—零件；6—卸料板；7—冲头；8—冲头座；9—垫板；10—上模板；11—锁销支撑；12—锁销；13—杠杆；14—杠杆止动杆；15—推件器；16—推件销。

(7) 杠杆式出件装置

图7所示为一种带平托架的杠杆出件装置^[10]，用于排除在冲压后留于上模内的零

件。托架3由杠杆1来带动，杠杆与上模（或冲头）2铰接。当冲头向上时，托架移动到模具的工作区域内，接住由上模顶下来的零件5。当冲头向下时，托架带着零件沿靠模板4（板状凸轮）移动，到达靠模板的端头时，托架转动使零件滑入收集箱内（在卸去零件时，托架的位置如虚线所示）。

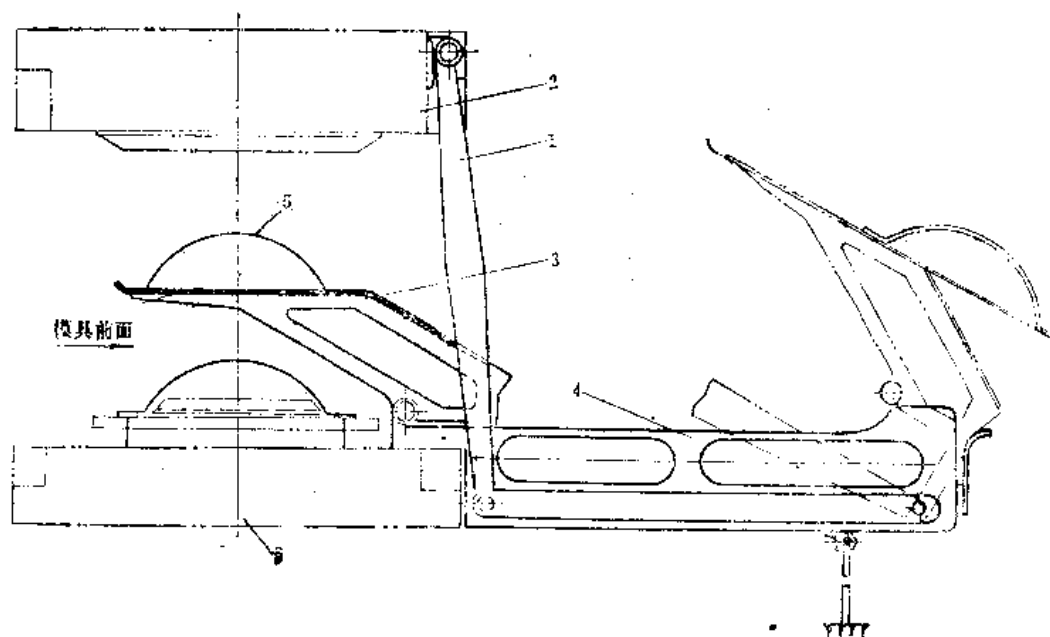


图7

1—杠杆；2—上模；3—托架；4—靠模板；5—零件；6—下模。

(8) 杠杆式出件装置

图8所示为一种可调节的杠杆式出件装置^[11]。滑块1的侧面安装着支架2，其齿条3和齿件4咬合，齿件和拉杆5都连在同一个可移动的板6上，通过手柄7可以使齿件与齿条咬合并卡紧，也可使其脱离咬合。拉杆的另一端与杠杆8相连。托盘11安装在托座上，而托座在支架（导轨）12上，可借助滚轴13移动。托座下面固定着导轨14，与杠杆8连在一起的杠杆9的滚轮10可在这导轨中移动。当滑块上升时，拉杆5也随之同时上升并带动杠杆8、9转动，进而使托盘进入上、下模之间。被上模带着一起上升的零件脱离上模后，即落在托盘上。当滑块下降时，托盘即退到模具之外，取出零件。

整个装置的位置，可以通过移动定位板15进行调节，托盘的倾斜度可以通过销子16进行调节。

(9) 铁磁性冲压零件的出件装置

图9所示为一套铁磁性冲压零件的出件装置^[11]（图示为滑块上升时的状态）。滑块1的侧面固定着支架8，其上安装的齿条9和齿轮10咬合，齿轮和皮带轮12同轴，在轴14上装有随动皮带轮15，两皮带轮带动皮带18运动；台车21带动托盘20前、后移动和有电磁体的台车17协调动作，两台车分别沿22和13运行。当滑块上升时，齿条与小齿轮带动皮带轮向左旋转，托盘进入压力机，随上模带起的零件落在托盘上。当滑块下降时，皮带向右旋转，滑块在下止点时，托盘与台车17上的电磁体恰好处在上、下对准的位置，因此托盘上的零件被电磁体吸引。滑块再向上时，托盘移向压力机工作区，电磁体移到接件盘19的上方，这时已去磁性的零件经导向落下去到接件盘19。

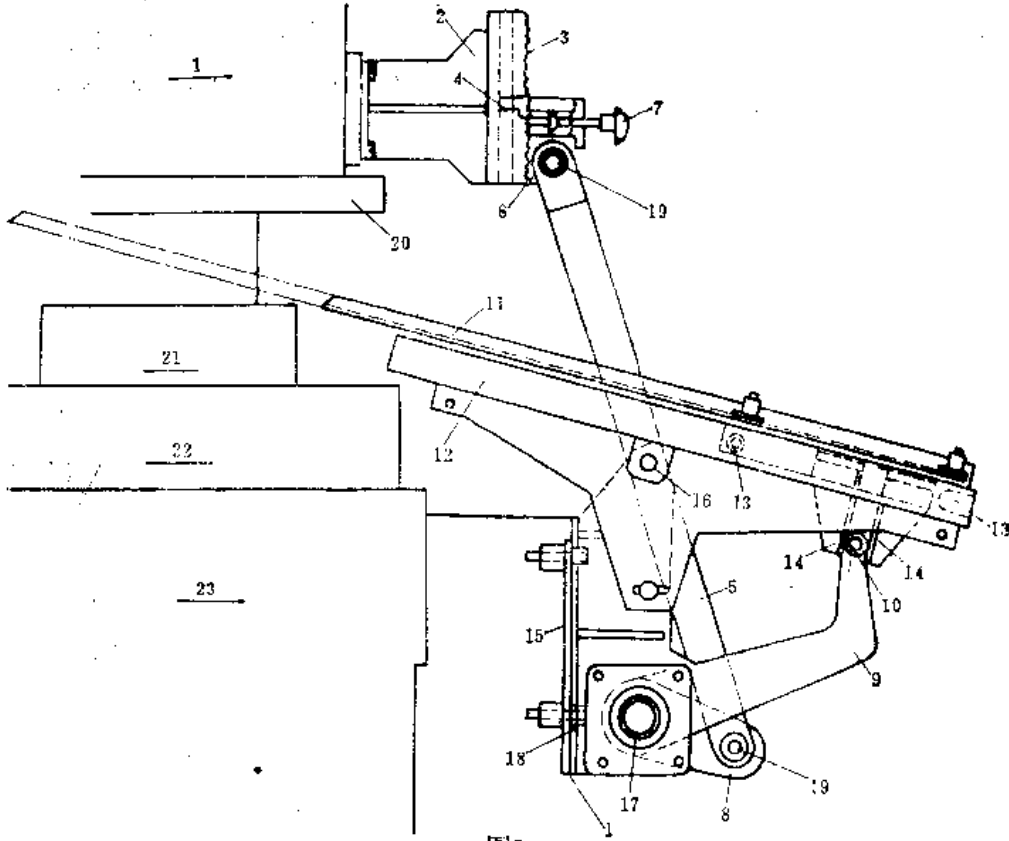


图8

- 1—滑块；2—支架；3—齿条（支架上）；4—齿件；5—拉杆；6—可移动板；7—手柄；8、9—杠杆；10—滚轮；11—托盘；12—支架；13—滚轴；14—导轨；15—定位板；16—销子；17—驱动轴；18—调节螺栓；19—轴销；20—上模；21—下模；22—垫板；23—床身底座。

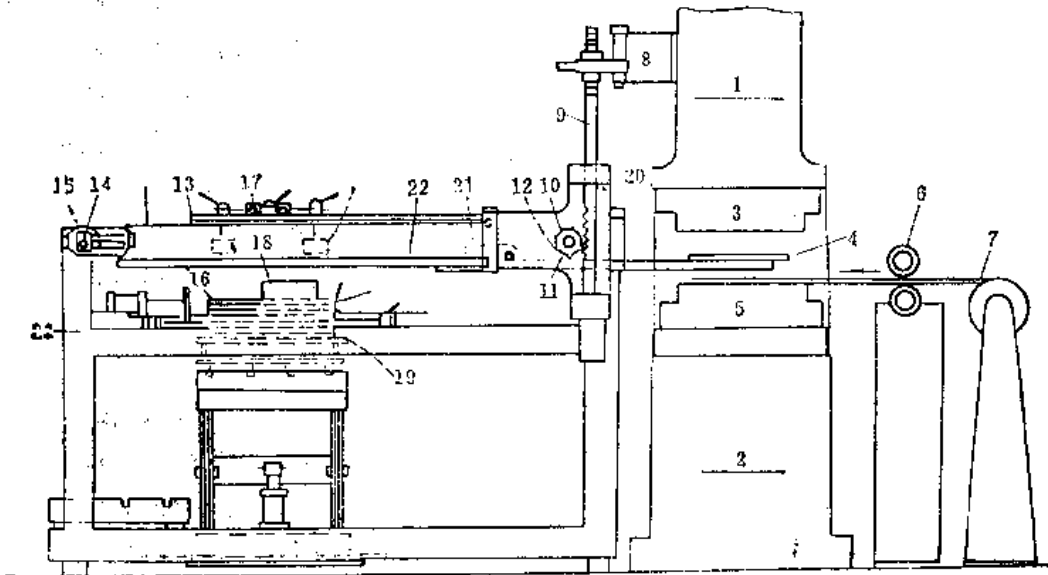


图9

- 1—滑块；2—压力机底座；3—上模；4—零件；5—下模；6—进给滚轮；7—送料；8—支架；9—齿条；10—齿轮；11—轴；12—皮带轮；13—轨道；14—轴；15—皮带轮；16—导板；17—有电磁体的台车；18—皮带；19—接件盘；20—托盘；21—台车；22—轨道；23—出件装置的机架。

(10) 零件翻转器

经双动压力机压延后的零件，一般需要将零件翻转 180° ，然后送到单动压力机进行修边、翻边等工序。这种工序间的传递，可以采用零件翻转器^{〔3〕}。先用翻转器将零件翻身，再由传送带和上料装置把它送入下一台压力机。图10为翻转器的典型结构，其中图(a)为真空吸盘式翻转器，图(b)为板式翻转器。

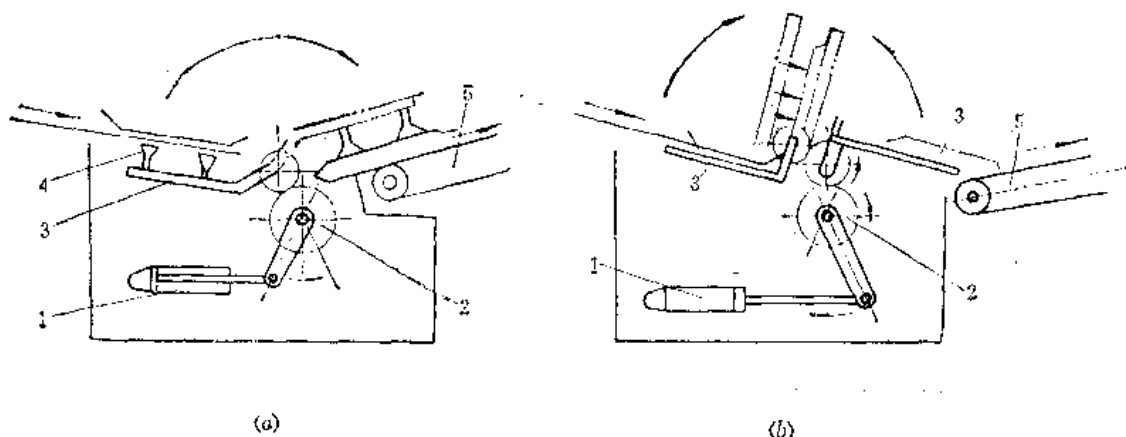


图10

1—气缸；2—齿轮；3—翻转板；4—真空吸盘；5—传送带。

1.8.15 冲压生产线

1.8.15.1 冲压自动化方式的选择

根据零件的几何尺寸、工艺特点、生产批量、安全生产、投资、综合经济效益等因素选择冲压生产线。

(1) 小零件的自动化生产

采用高速压力机或普通压力机，用条料、卷料生产，也可采用单台压力机用普通工业机器人上料、取件，组成单机自动化生产。

(2) 多工序的中、小零件的大批生产

采用多工位自动压力机，能在一次行程中完成多种工序，如落料、冲孔、压延、弯曲、切边、校整，并能自动送料及进行工序间传递。一般工位间的距离小于600mm，特别适合于圆形及方形的中、小零件的生产。

(3) 仪表板类的冲压零件的生产

仪表板类的冲压零件适于采用数控多工位回转头压力机，可以在毛料上冲出不同形状和尺寸的孔、压槽及下陷等，实现单机自动生产。

(4) 大、中零件的冲压生产

大、中零件的冲压生产，可以根据生产批量，采用各种形式的冲压生产线。利用现有设备进行技术改造，组成适于中、小零件的生产线是一种经济的措施。

1.8.15.2 冲压生产线的特点

冲压生产线有以下几种形式：冲压流水线，半机械化生产线，机械化（半自动化）生产线，自动化生产线，柔性自动线等。冲压生产线的特点见表。

各种冲压生产线的特点表

生产线类型	压力机		自动化程度					全线操作		生产率 (件/小时)	特点					适用范围	
	双动 (次/分)	单动 (次/分)	布置 形式	上料 方式	取件 装置	翻转 机构	传输 方式	操作 人数 (人)	生产 适应性		生产 线调整	工人 劳动强度	工人 技术等级	生产 安全	建线 费用		
冲压 流水线	5~7	10~12	并列	手工	手工	手工	皮带机	非同 步流 水	15~30	<400	强	容 易	大	高	差	少	生产批 量较小 的冲压 生产
半机械 化生产线	5~7	10~12	并列 或 贯通	手工	专用 机械手	手工	皮带机	非同 步流 水	13~15	400	较强	较 易	大	高	较差	较少	适于中 等批量 的冲压 生产
机械化 (半自 动化) 生产线	10~12	12~15	贯通	上料 器	手工 (自动)	翻转 器	输送 器	间歇 同步 流水	5~7	400~ 600	差	周 期 长, 费 用 多	低	低	安全	多	生产率 较高, 生产 于中 等批 量冲 压生 产
自动化 生产线	>12	15~18	贯通	上料 器	自动	翻转 器	输送 器	自动 连续 同步 流水	1~3	800~ 720	差	周 期 长, 用 多	低	低	安全	较多	单件 产品 量大 于万 件才 经济
柔性 自动生 产线			并列 或 贯通	机 器 人	翻 转 器 (机 器 人)	1皮 带机 2机 器人 3CNC 传 送 装 置	自动 连续 同步 流水	很少			最强	周 期 短 调 整 方 便	低	低	安全	较少	适于 多品 种自 动生 产, 经济 性好

1.8.16 冲压用通用工业机器人

1.8.16.1 冲压用通用工业机器人的类型

冲压作业是高速、重复的简单动作，因此所用机器人的结构简单，价格较低，多采用第一代的机器人，即只有手的机器人，国内也称为机械手。

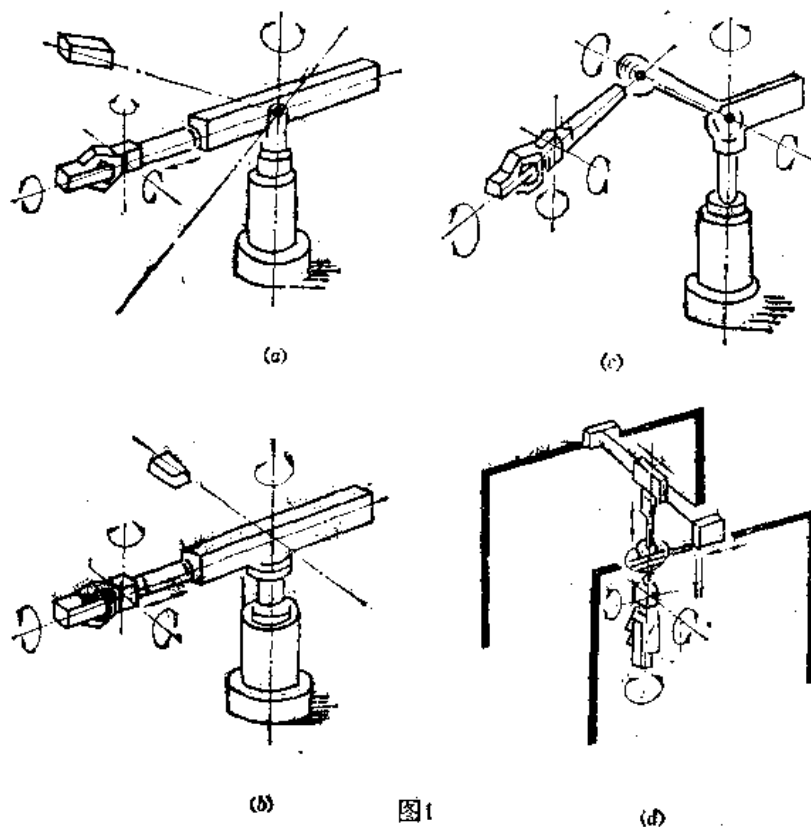
冲压作业采用的机器人的种类见表（摘自日本JIS-BOB-1979）。

冲压作业采用的机器人的种类和定义表

名称	手动操作器	固定程序机器人	可变程序机器人	示教再现机器人	数控机器人	智能机器人
定义	由人操纵的只有手的机器人	按照预先设定的顺序、条件与位置逐个进行动作的装置, 设定的信息不容易改变	按照预先设定的顺序、条件与位置逐个进行动作的装置, 设定的信息容易改变	由人事先进行示教, 存储其作业顺序、位置及信息, 根据要求读出并进行作业的操作	把作业顺序、位置及信息编成数字指令, 按指令进行作业的操作器	能用感觉和识别功能做决策的机器人
应用	结构简单适用于单一品种的大批量冲压生产	采用凸轮和继电器控制故结构简单, 价格较低, 适于单一产品的大批量冲压生产	采用插销板、穿孔带、穿孔卡编程, 通用性大, 适于多品种的中、小批量的冲压生产, 应用广泛	信息存储及读出容易, 便于工人操作, 适于多品种、中、小批量的冲压生产, 通用性大, 应用广泛	通用性大适用于柔性冲压生产线, 应用广泛	通用性大, 价格昂贵, 目前仅在研制阶段拟用于无人工厂

1.8.16.2 冲压用工业机器人的动作及特点

通用工业机器人的手臂动作是它的主要运动, 手臂运动形式有极坐标式、圆柱坐标式、关节式、直角坐标式等, 如图1所示。



各种坐标形式的工业机器人的动作特点及在冲压行业的应用情况见表1。

冲压作业用工业机器人的控制、驱动、抓取机构的特点如下。

(1) 控制方式

冲压作业的动作, 如给压力机上料、出件及工序间传递多属于简单的点位作业, 采用点位方式控制即可满足要求。点位方式 (PTP) 即机器人的手臂在空间描绘出的路径是由有限的点构成。在一个作业周期内所给定的点, 一般最多约200个, 如 Verstran 型

表1. 各种坐标形式的工业机器人的特点及在冲压行业的应用情况

坐标形式	极坐标式(如图1a)	圆柱坐标式(如图1b)	关节式(如图1c)	直角坐标式(如图1d)
手臂的动作	前后伸缩, 绕垂直轴回转, 上下摆动	前后伸缩, 绕垂直轴回转, 上下平移	类似人手, 能自如地工作, 如增加关节可实现多自由度	前后伸缩, 左右移动, 上下移动
结构	简单	简单	复杂	较复杂
占地面积	小	小	小	较大
占用空间	少	少	较少	很多
活动范围	大	大	很大	较大
对产品变更的适应性	较大	较大	很大	小
抓物特点	能抓地面上的物体	不能抓地面上的物体, 抓取的物体作上下平移	能抓靠近机座的物体, 能绕过障碍抓取物体; 能在窄小空间工作	能抓并列排列的两排机床上的物体
国外使用情况	冲压作业部分采用这种形式	冲压作业主要采用这种形式, 用于单台压力机或冲压生产线	先进的冲压生产线已应用	用于给两排压力机上料, 出件及做工序间传递

机器人从传送带抓起汽车的点焊部件(重约6.8kg)回转180°送到压力机上。这一作业循环只需十几个点位。Verstran机器人每小时可加工500至700多个这样的部件。

(2) 驱动方式

冲压作业的载荷较轻, 动作速度快, 采用压缩空气驱动就能满足要求, 因此机器人的结构简单、价格便宜、无爆炸及着火的危险, 可以在恶劣的环境下工作。抓重一般不大于30kg, 在抓重大的场合, 可采用液压驱动, 有时为发挥各种驱动的特长, 采用液、电、气混合式驱动。

(3) 抓取机构

工业机器人的抓取机构又称手部, 是直接抓取和握取(或吸附)零件、专用工具进行操作的部件。它具有仿人手动作的功能, 安装在机器人的臂部前端。

根据被抓取零件的形状、尺寸、重量、材料性质及被抓取部位的不同, 选用不同类型的手, 大型零件需选用多个吸盘, 其布局应合理, 应确保零件在传送过程中的平衡及平稳。

冲压作业常用的手爪形式有真空吸盘式(真空泵式吸盘、气流负压式吸盘), 电磁式吸盘、握持式手爪。冲压机器人常用的手爪形式及特点见表2。典型的真空泵式真空吸

表2. 冲压机器人常用的手爪形式及特点

手爪类型	被抓物体的特点	吸附(抓取)的特点	使用特点
真空吸盘式	平板类或弧形壳体零件	用真空泵将橡皮碗内的空气抽掉, 形成真空以吸附零件, 如吸盘之控制阀将吸盘与大气相通即放下零件	吸力大, 吸料可靠但需真空泵, 空气滤清器等真空设备成本较高, 吸盘较重
		利用拉瓦尔喷管原理制成喷嘴, 压缩空气由喷嘴高速流过使橡皮碗形成负压以吸附零件, 如切断气源零件因自重落下	吸力较小, 但结构简单, 成本低噪声较大, 使用较多

(续)

手爪类型	被抓物体的特点	吸附(抓取)的特点	使用特点
电磁吸盘式	带铁磁性的零件	手的前端装有电磁铁, 通过磁场吸力把铁磁性物质的零件, 如钢铁件吸住, 切断电流则放下零件	(1) 被吸零件留有剩磁, 不宜用于不允许有剩磁的零件, 如仪表零件; (2) 钢铁等铁磁性物质在 723°C 时磁性消失, 故电磁吸盘不能用于吸附高温零件; (3) 结构简单, 成本低
握持式	具有一定高度的立体零件如拉深件	由手爪和传力机构组成	

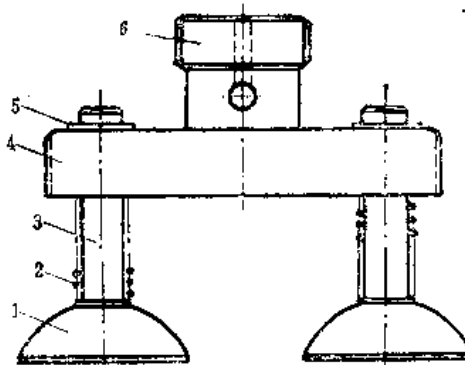


图2

1—真空吸盘; 2—弹簧; 3—滑动轴;
4—主体机架; 5—制动环; 6—安装轴。

盘见图 2, 其技术参数见表 3, 典型的负压式真空吸盘见图 3, 其技术参数见表 4。典型的电磁吸盘见图 4, 其技术参数见表 5。典型的握持式手爪见图 5, 其技术参数见表 6。

表 3. 真空泵式真空吸盘的技术参数⁽¹⁴⁾

动作速度	手指	开闭	0.3s	动力源	气压		备 注
	手腕	上下旋转	180°/s		有 无 感觉	有	
动作距离	手指	开闭	无	抓取重量	5kg		
	手腕	上下旋转	0°~180°	尺寸	根据工件而定		
				重量			

(1) 臂的前后行程为700mm;
(2) 在 700mm 内各有三点定位, 挡块能自由移动;
(3) 通向真空装置的真空源装在机器人的手内;
(4) 控制方式为用程序插销板作固定程序控制;
(5) 动作距离为: 上下 130mm 左右 220°, 动作速度为: 上下 150mm/s; 左右 120°/s;
(6) 日本冈村制造厂制造

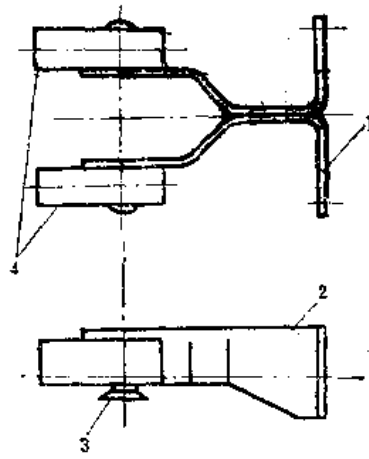


图3

1—安装面；2—托架；3—真空吸盘；
4—扮丘里座。

表4. 负压式真空吸盘的技术参数⁽¹⁾

动作	手指	开闭	无	动力源	气 压		备 注	(1) 这种手爪主要用于搬运板材，但工件较重，因此用了两个真空吸盘； (2) 扮丘里座是利用负压的一种方式，与真空泵相比，其优点是能用一个大气压吸附，装置主体轻而小，两个吸盘中万一落掉一个，留下的一个吸盘的吸力不变； (3) 日本启爱社制造
	速度	手腕 上下 旋转	可任意给定		有无感觉	无		
动作 距离	手指	开闭	无	抓取重量	根据零件而定			
	手腕	上下 旋转	可任意给定	尺 寸	可任意设计			
				重 量	2.5kg			

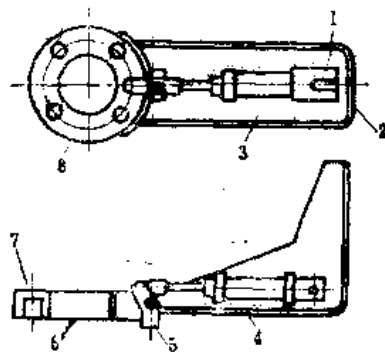


图4

1—气缸棒；2—安装面；3—主体；4—
松开气缸；5—松开杆；6—夹持面；
7—磁铁（4个）。

表5. 电磁式吸盘技术参数⁽¹⁴⁾

动作速度	手指	开闭	无	动力源	气压	备	(1) 吸附时利用磁铁的吸附力, 松开时通过气缸使臂动作, 从磁铁上取下零件; (2) 这种手爪主要用于搬运板材(图示为松开状态); (3) 日本启菱社制造
	手腕	上下旋转	可任意给定	有无感觉	无		
动作距离	手指	开闭	无	抓取重量	根据零件而定	注	
	手腕	上下旋转	可任意设计	尺寸重量	4.8kg		

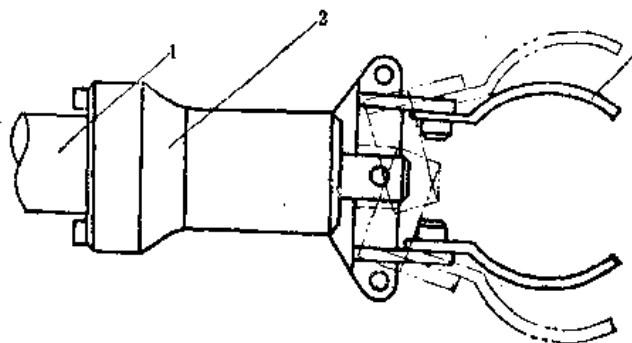


图5

1—臂; 2—爪开闭用气缸; 3—爪。

表6. 握持式手爪的技术参数⁽¹⁴⁾

动作速度	手指	开闭	0.5s	动力源	气压	备	(1) 这是搬运压延和点焊焊接件等较轻零件用的高速手爪; (2) 用弹簧的回弹力夹紧, 用气缸的推力松开; (3) 臂部的动作距离为: 上下50mm左右90°, 其动作速度为: 上下50mm/0.5s左右90°/s; (4) 日本协丰制造厂制造
	手腕	上下旋转	任意	有无感觉	无		
动作距离	手指	开闭	45°	抓取重量	2kg	注	
	手腕	上下旋转	可任意设计	尺寸重量	可任意设计 60kg (整个机械手)		

气流负压式吸盘的结构见图6，压缩空气（0.39MPa）经过管道4进入喷嘴体3，随着喷嘴孔道截面积减少，而使气流速度逐渐增大，但气流达到最小截面又突然增大时，空气扩散的速度最大，因此在喷嘴出口处由于高速气流喷射而形成低压空间，致使橡皮碗内的空气被高速喷射气流不断卷走，皮碗1内形成负压，将毛料或零件吸住。如切断电源，负压即消失，毛料或零件由于自重而落下。

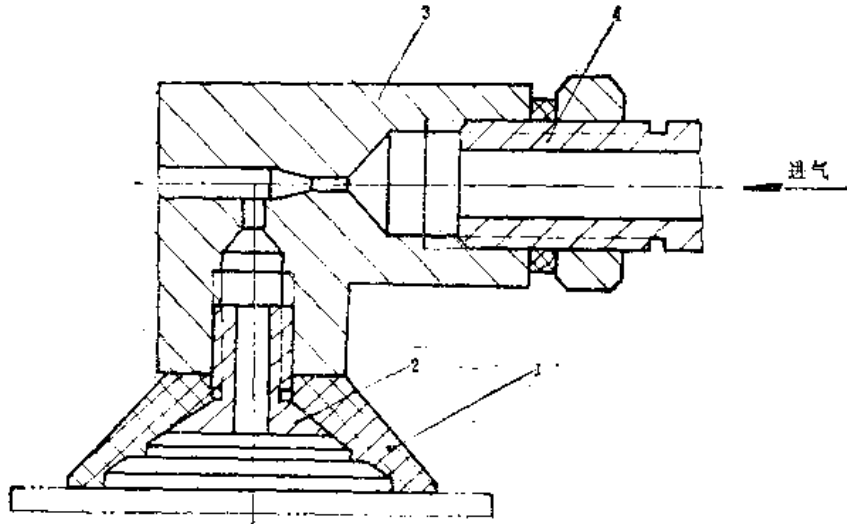


图6

1—橡皮皮碗；2—通气螺钉；3—喷嘴体；4—气管。

1.8.16.3 采用工业机器人的冲压生产线示例

采用工业机器人可以组成各种自动线和柔性加工生产线，本节仅以日本神钢电机公司应用的几个生产线作为示例。

(1) 由一台压力机组成的生产线

图1的冲压自动线是采用一台开式压力机及SR-10型工业机器人组成^[15]。当备用叠式储料架5将毛料移到一定位置，上料装置7即提升毛料并定位。机器人的手爪3抓取毛料送进模具，并定位。手爪4把冲压好的零件送到零件收集架6，上述动作可以自动地重复进行。

图2为齿轮冲压自动生产线^[16]，由一台四柱式压力机，一台SR-10型工业机器人，一台倒棱机及辅助装置组成。机器人2的手爪3抓取由上料装置5供给的圆形毛料送到压力机的下模上并定位，手爪4把冲压好的零件取出送到零件收集箱6。当一批齿轮冲压完毕，将它们重新放在上料装置上，把机器人的手臂换成便于倒角工序的单个手臂，其工作过程与冲压工序相似，最后把齿轮送进倒角机旁的零件收集台7。

(2) 由两台压力机组成的生产线

图3是由毛料储存器、两台开式压力机，一台SR-10型工业机器人和零件传送带组成的生产线。机器人的两个手爪同时工作，抓取1号压力机上的零件送到2号压力机；抓取2号压力机上的零件放到传送带。

(3) 由三台压力机组成的生产线

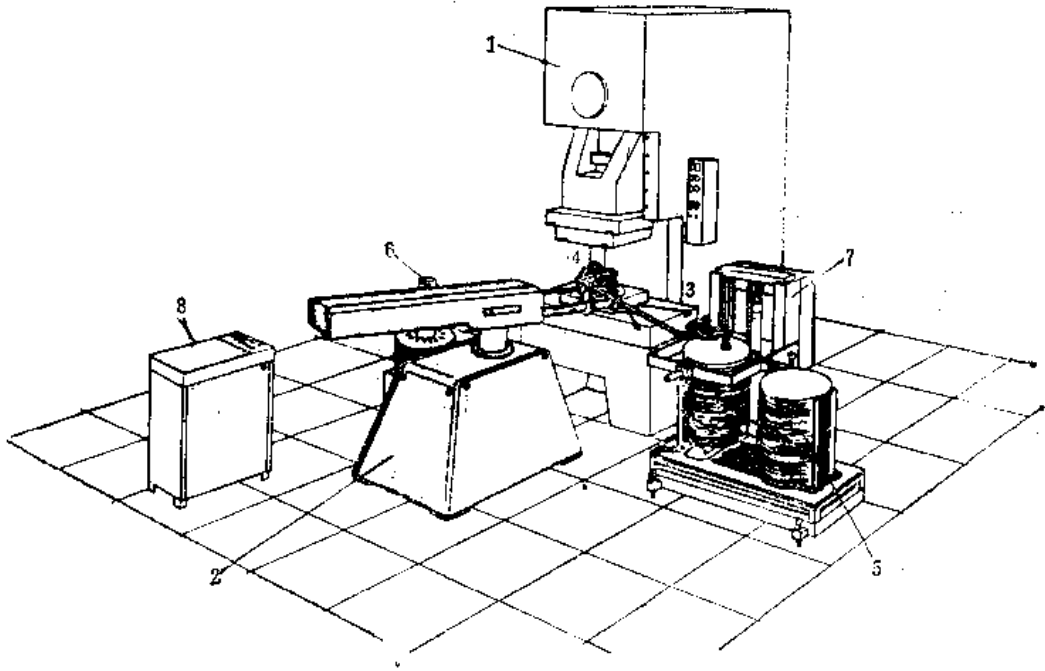


图1

1—压力机；2—工业机器人；3—手爪1；4—手爪2；5—毛料储存架；6—零件收集架；7—上料装置；8—控制台。

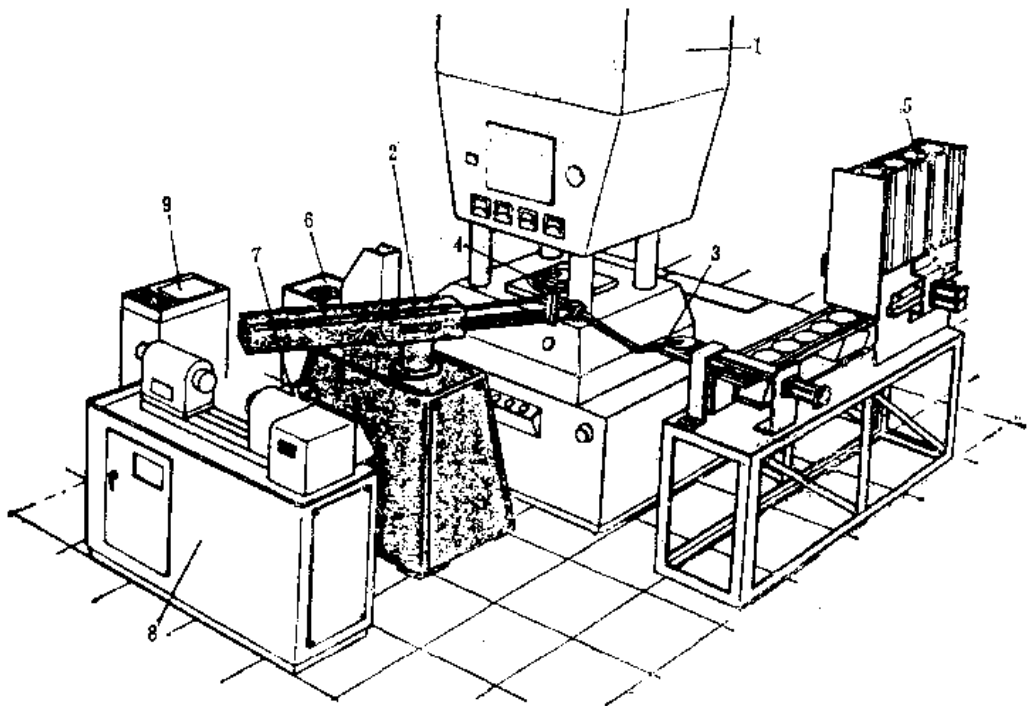


图2

1—压力机；2—机器人；3—手爪；4—手爪；5—上料装置；6—零件收集箱；7—零件收集台；8—倒角机；9—控制台。

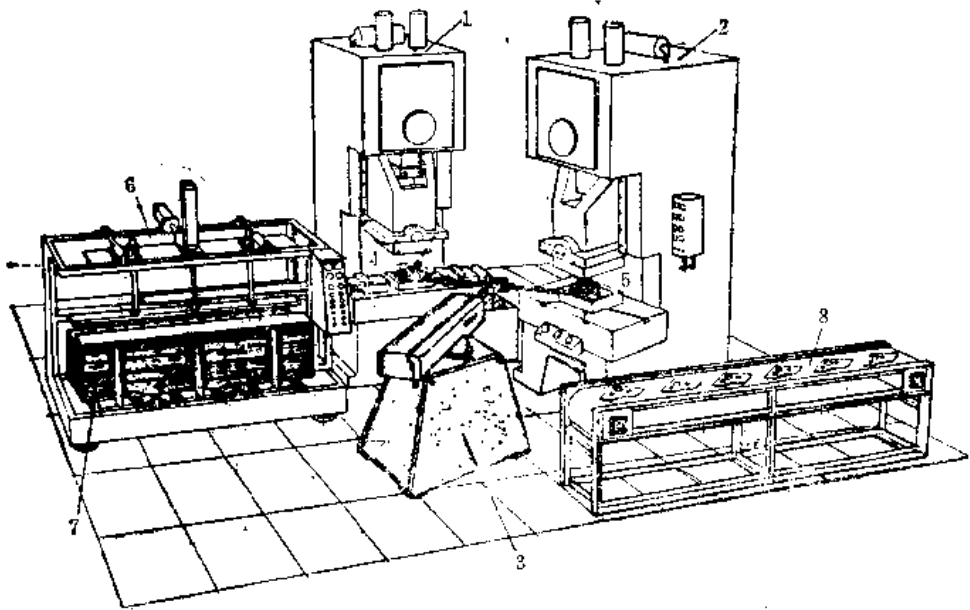


图3

1—1号压力机；2—2号压力机；3—工业机器人；4—手爪1；5—手爪2；6—储料器；7—毛料；8—传送带。

图4为钢板冲裁与成形生产线^[12]。采用三台开式压力机、两台SR-10型工业机器人，三台传送装置。工作顺序如下：1号机器人抓取在1号传送装置上的毛料，送到1号压力机定位和弯曲，同时手爪2抓取完成了一次弯曲工序的零件，送到2号传送装置。2号机器人也同样进行工作，最后将冲完孔的零件送到3号传送装置。

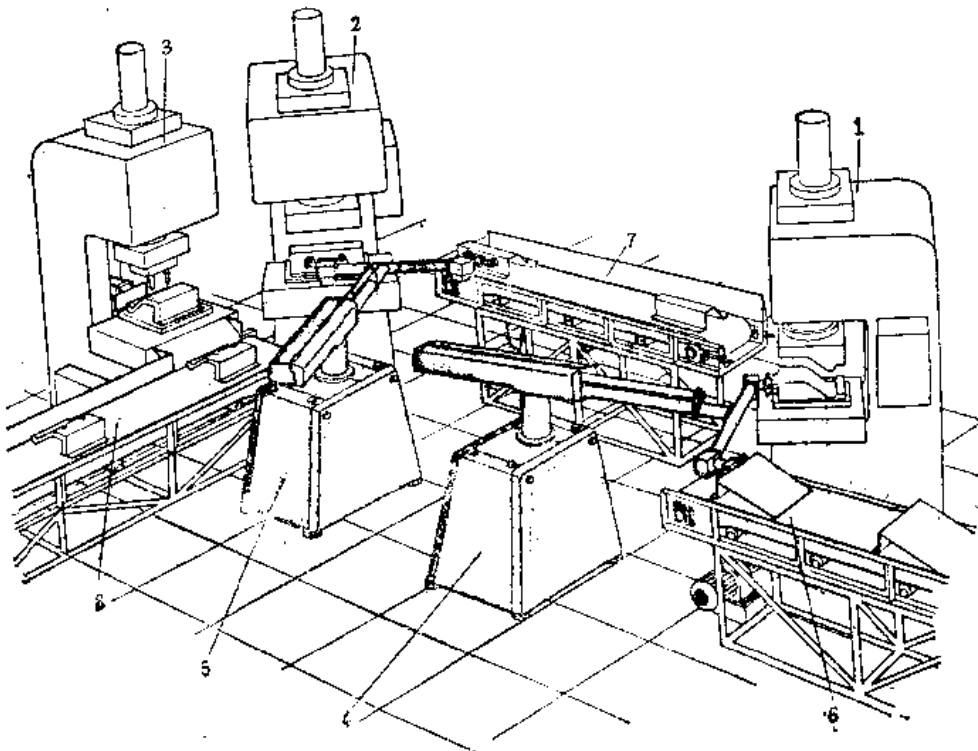


图4

1—1号压力机；2—2号压力机；3—3号压力机；4—1号机器人；5—2号机器人；6—1号传送装置；7—2号传送装置；8—3号传送装置。

1.8.16.4 冲压用工业机器人的选择

适于冲压作业的通用机器人的类型很多,表中仅列举了一些有代表性的工业机器人的技术性能。虽然工业机器人已商品化,但使用工厂也可结合实际需要制造简单的工业机器人。

常用工业机器人的技术性能表

型 号	Verstran	Uniman	Autohand AH ₃	传送装置 RBM-20	ROKS	Serie 10	SR 10	A5	ZHS -R002	
自 由 度	5	5	4	4	3	4	4	4	5	
运 动 距 离	上下(mm)	762	760	150	200	90	50	300	300	150
	前后(mm)	762	760	350	200	25	300	500	1200	(横移500) 500
	旋转(°)	240	240	120	180	90	200	240	270	270
	旋转(°)	±180	180	—	—	—	270°	180°	90°或 180°	270°(绕z轴) 360°(绕x轴)
	上 下	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	回转(°)	±180	180	180	180	—	—	—	—	—
速 度	指开闭(°)	34	24	30	按设计	30	—	—	—	—
	上下(mm/s)	914	900	500	200	90	125	300	700	—
	前后(mm/s)	914	900	1000	200	800	400	500	700	500
旋转(°/s)	90	90	90	90	90	140	90	90	—	
驱动力	液压	液压	气动	液压	液压	气动	气动	气动	气动	
控制方式	示教再现	示教再现	简易型	简易型	简易型	点位	点位	点位	点位	
存储方式	PTP电位计 CP磁带	PTP磁鼓 CP磁带	插销板	插销板	固定程序	气 阀 控制器	插销板	凸轮 转鼓	RAM	
给定存储容量	PTP 各轴8点	PTP 30个指令	20	47	—	—	18	30	—	
抓取重量(kg)	34	30	5	2	3	4.5	10	5	3	
定位精度(mm)	±3.2	±2.5	±0.1	±3	±0.5	±0.075	±0.5	±0.15	±0.5	
寿 命	400,000h	3000h	—	—	200,000h	2000万次	—	>10, 000h	—	
制造单位	川崎重工 (日本)	不二越 (日本)	会田铁工所 (日本)	东芝精机 (日本)	川口铁工 (日本)	Autoplace Mich (美国)	神钢电机 (日本)	—	大连组合机 床研究所	

选定工业机器人之前要作周密地调查,可从以下方面进行分析。

(1) 产品情况

零件的材料、形状、几何尺寸、工艺规程、在每台压力机上冲压零件的项数、零件的年产量及生产批量。

(2) 选择机器人的型号和规格

机器人的抓取重量、运动范围、控制方式、定位精度都应满足冲压作业的要求,运动速度应满足生产率的要求,此外还要选择合适的手爪。

(3) 配置辅助装置

考虑是否需要配置毛料的传送装置, 储存装置, 零件的分选、传送、储存装置, 成品是否需要排列整齐, 废料的收集和运送装置, 安全装置。以上装置能否改为通用装置。

(4) 技术力量

调整、维护生产线及工业机器人的技术力量, 选用有些型号的工业机器人还需具备编制程序的技术力量。

(5) 经济效益

要精确计算出工业机器人的经济效益是很复杂的, 要考虑工厂规模、产品情况、价格浮动等因素。国外趋向用简单的近似算法, 简捷地评价投资效果。英国提出一种以投资回收期为评价的指标, 虽不能全面估价投资效果, 但在一般情况下是可用的, 其计算公式^①如下。

$$P = \frac{I}{K(L-E) + q(KL+Z)}$$

式中 P ——投资回收期, σ ;

I ——采用工业机器人的一次投资总额;

K ——每天几个工作班次;

L ——每一工作班每一年的利润;

E ——每一工作班每一年的维持费;

q ——机器人的生产率, 比人快用正值, 比人慢用负值;

Z ——机器人的配套设备, 每年折旧费。

生产某些小型冲压零件时, 有时手工操作比机器人操作的速度还要快, 但是冲压工人长期在高噪声中从事简单、重复、高速的危险作业, 容易出工伤事故, 因此选用机器人不仅只为了提高产品的质量和生产率, 也为了保证人身安全。在对生产率进行分析时应考虑到综合的经济效益。

参 考 资 料

- (1) В. П. Романовский, справочник по холодной штамповке, 1979.
- (2) 华中工学院等五院(校)《机械传动及曲柄压力机》编写组编, 《机械传动及曲柄压力机》(上册), 人民教育出版社, 1977年。
- (3) 彭建声, 《冷冲压技术问答》(上册), 机械工业出版社, 1981年。
- (4) А. М. Мансуров著, 辛宗仁 彭洪鉴译校, 《机械制造工厂和车间设计手册》第三册, 《金属压力加工和焊接生产车间设计》, 机械工业出版社, 1982年。
- (5) (日)吉田弘美等著, 第一汽车制造厂车身分厂技术科译, 李硕本 康达昌校, 《冲压技术100例》, 吉林人民出版社, 1978年。
- (6) 机械工程手册、电机工程手册编辑委员会, 《机械工程手册》第41篇 机械工业出版社, 1978年。
- (7) 哈尔滨工业大学压力加工教研室《板料冲压》, 中国工业出版社, 1962年。
- (8) В. П. Романовский著, 迟家骏译《冷压手册》, 中国工业出版社, 1965年。
- (9) В. Т. Мешерлив著, 梁炳文、唐荣铸译, 《钣的压制法图解》, 龙门联合书局, 1953年。
- (10) 马洛夫, 普列伊斯基合著 梁炳文译《冲压工作的机械化与自动化》, 机械工业出版社, 1958年。

^①蔡鹤皋, 吴林等著, 《世界工业机器人发展新动向》, 航天工业部七〇七研究所, 1985。

- [11] 中村朝幸、香本 薫、プレス加工におけるワークの搬入、搬出装置、金属プレス 1979。
- [12] American Machinist, June 1972.
- [13] 《冲压机械化与自动化》编写组编《冲压机械化与自动化》，机械工业出版社，1981年。
- [14] (日)加藤一郎编著，上海交通大学机械手及机器人研究室译，《机械手图册》，上海科学技术出版社，1979年。
- [15] 日本神钢电机，产品样本。
- [16] 天津大学《工业机械手设计基础》编写组，《工业机械手设计基础》，天津科学技术出版社，1980年。
- [17] (日)合田周平，木下源一郎合著，王律柔译，《机器人技术》，科学出版社，1983年。
- [18] H. J 瓦尔奈克R. D施拉夫特著，《欧美日工业机械人》，第一机械工业部情报所译印，1974年。
- [19] 彭建声，《冷冲压技术问答》(下册)，机械工业出版社，1984年。
- [20] 何德善，《曲柄压力机》，机械工业出版社，1981年。
- [21] 松野建一等著，陈文丽、刘景顺译，《新冲压技术100例》，吉林人民出版社，1982年。

2 冲压工艺

2.1 下料

2.1.1 定义与范围

下料是指用各种切割工艺来制造各种板金件（包括板材、管型和型材制成的）的毛料、展开料和平板零件的方法。本章包括除冲裁以外的各种下料工艺和设备。关于毛料、展开料和平板零件的公差见4.2章。

2.1.2 下料的依据

- (1) 零件图：按图纸尺寸或通过计算得到的展开尺寸，制造和检验零件或展开件。
- (2) 外形样板[⊖]：对无弯边零件，可直接利用外形样板的轮廓来制造和检验零件。
- (3) 展开样板：有弯边或单曲度零件通过计算且能精确展开的，应制造展开样板作为制造和验收展开件的依据。
- (4) 毛料样板：当零件不能精确展开时，应制作毛料样板作为下料依据，这样既能保证零件顺利成形，减少剪切工作，又可节约原材料。
- (5) 交接状态文件：按规定的要求加工一定尺寸的条料、块料、圆料、工艺孔及工艺余量等。

对于一种零件其下料依据通常只能有一种，不能同时具有两种以上的下料依据。特殊情况允许用局部样板下料。

2.1.3 下料工艺余量

由于装配和成形的需要，在展开料上要求放大一些尺寸，这部分材料叫工艺余量。装配需要的叫装配工艺余量，成形需要的叫成形工艺余量。工艺余量的大小建议按2, 3, 5, 10mm数据选用。

以下两种情况不留工艺余量：

- (1) 按毛料样板下料的（工艺余量已包括在毛料样板内）。
- (2) 按尺寸下料的（工艺余量已包括在尺寸内）。

2.1.4 材料定额与材料利用率⁽¹⁾

制造单个零件所需消耗原材料的标准数量叫零件原材料消耗工艺定额，简称材料定额。板金零件的原材料不同其定额计算方法也不同。

2.1.4.1 板 材

(i) 单件毛料

$$C_s = \frac{L_s B_s \gamma}{10^6} + g_0$$

[⊖]无弯边的外形样板有的厂也称为展开样板。

式中 C_s ——材料定额, kg;

L_s ——零件毛料消耗长度, mm, 毛料计算可参考有关成形章节, 然后加上下料余量 ΔL (见表);

B_s ——零件毛料消耗宽度, mm, 按有关章节计算后加上下料余量 ΔB (见表);

t ——材料厚度, mm;

γ ——材料密度, g/cm³;

g_0 ——均摊到零件上的材料不成倍性损耗量, kg, 按下式计算

$$g_0 = \frac{W_s - \Sigma g_m}{n}$$

式中 W_s ——一张板材重量, kg;

Σg_m ——一张板材可制零件毛料重量之和, kg;

n ——一张板材可制零件数量, 个。

下料余量参数 $\Delta L, \Delta B$

(mm)

下料设备	材料厚度	下料余量	说明
龙门剪床	≤ 6 > 6	0.5~2 3~5	长度大于5m的超硬铝板适当增加
铣切 成叠下料 单件下料		按铣刀直径加2 按展开样板加4	
滚剪		3~4	
锯切	见 2.1.4.3表1		
等离子切割	≤ 50 > 50	5~6 6~8	
氧气切割	3~25 26~50 51~100 105~200 >200	8.5~10 10~12 12~16 16~20 20~30	包括切口宽度与修整边缘的总和
冲裁	见2.2.8.2的搭边值		
激光切割	≤ 5	1	

(2) 单一品种料

$$C_s = \frac{W_s}{n}$$

(3) 成组套裁, 多种零件联合下料:

$$(C_s)_n = W_s \cdot \frac{g_n}{\Sigma g}$$

式中 $(C_s)_n$ ——第 n 种零件材料定额, kg;

g_n ——第 n 种零件的净重, kg;

Σg ——一张板材所制全部零件净重之和, kg。

2.1.4.2 型 材

计算公式:
$$C_s = W \cdot \frac{L_s}{1000}$$

式中 C_s ——材料定额, kg;

W —— m 长的重量, kg (查找有关金属材料重量手册);

L_s ——毛料总长度 (mm)。

L_s 的计算公式如下:

$$L_s = L + H + 2(C_{01} + J + L_1 + L_2) + \frac{L_0}{n}$$

式中

L ——零件长度, mm;

H ——切口宽度, mm见表;

C_{01} ——修正毛料端头的损耗量, mm见表;

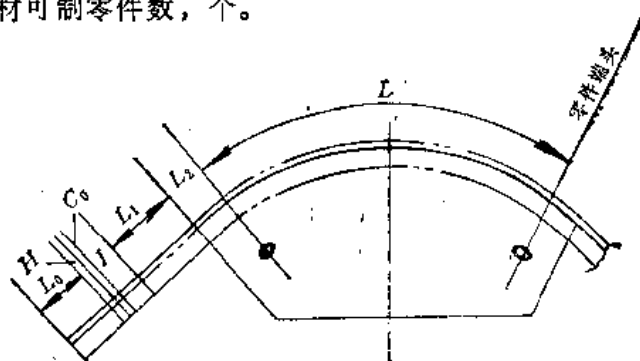
J ——夹头量, 毫米见表;

L_1 ——夹头口至模具边缘距离, mm见表;

L_2 ——零件边缘至模具边缘距离, mm见表;

L_0 ——剩余量, mm;

n ——整根型材可制零件数, 个。



型材毛料所需工艺余量表

名 称	留量(mm)
切口宽度 H	3~4
修正端头的损耗量 C_{01}	1.5~2
夹头量 J	50~90
钳口至模具边缘距离 L_1	60~100
零件边缘至模具边缘距离 L_2	40~50

当由整材切割成组毛料进行加工时, 毛料总长度按下式计算:

$$L_s = L + H + 2C_{01} + 2\left(\frac{J + L_1 + L_2}{n_s}\right) + \frac{L_0}{n_s \cdot m}$$

式中 n_s ——每组毛料可制零件数量 (个);
 m ——整材切成成组毛料数量 (根);
 L —— n_s 个零件的长度和。

2.1.4.3 管 材

管子毛料长度按下式计算:

$$L_s = L + H_0 + L_k + L_u + L_0$$

或

$$L_s = L + \Sigma i$$

式中 L_s ——管子毛料长度, mm;

L ——管子零件展开长度, mm;

H_0 ——切口宽度, mm, 见表1;

L_k ——扩口、平端面留量, mm, 见表2;

L_u ——弯曲留量, mm (包括构成弯曲力臂的用量、机床夹持量、木塞用量等);

见表3;

表1. 切口宽度(H_0) (mm)

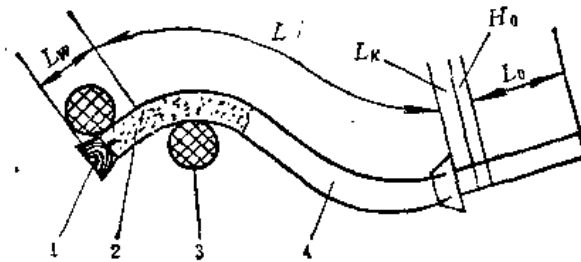
管子 外径	不同切割方式所需切口宽度			
	切 刀	圆 片 锯	弓 形 锯	薄 片 砂 轮
≤ 60	3	4	4	2~3
> 60	3	5~8	5~8	4~5

表2. 扩口平端面留量 L_k (mm)

管子外径	扩口平端面
≤ 30	3~4
> 30	4~6

L_0 ——材料不成倍性的损耗, mm, 一根管料的边余料;

Σi ——留量和损耗量总和, mm。



1—木塞; 2—填充物; 3—橡皮轮; 4—零件。

表3. 弯曲留量 L_0 (mm)

加工形式	管子外径	弯曲留量	
		I类零件	II类零件
机床上弯曲		40~60	100~120
无填料弯曲	≤ 8		10
	> 8		30
有填料弯曲	≤ 10	30	50
	$> 10 \sim 25$	50	80
	$> 25 \sim 38$	60	100
	$> 38 \sim 45$	80	150
	> 45	100	200

注: I类零件具有1~2个弯曲半径, 在端头具有直线段的简单形状。

II类零件具有两个以上的弯曲半径(包括端头弯曲)的复杂形状。

材料不成倍性的损耗量 L_0 , 可按展开长度3~5%计算。

毛料长度确定后, 即可计算定额

$$C_s = W \frac{L_s}{1000}$$

或

$$C_s = W \frac{L + \sum i}{1000}$$

或

$$C_s = \frac{\pi t (D_m - t) \gamma L_s}{10^6}$$

式中 C_s ——材料定额, kg;

W ——一米长度的重量kg;

D_m ——管材的直径, mm;

t ——壁厚, mm;

γ ——比重, g/cm³。

2.1.4.4 材料利用率

$$\text{原材料利用率} = \frac{\text{单件毛料重量}}{\text{零件材料定额}} \times 100\%$$

$$\text{该批(组)原材料利用率} = \frac{\text{毛料总重量}}{\text{原材料总重量}} \times 100\%$$

$$\text{企业原材料总利用率} = \frac{\text{零件(产品)净重}}{\text{零件(产品)原材料定额}} \times 100\%$$

零件净重不包括表面处理和涂层的重量。

此外尚有条料和板料的利用率:

$$\text{条料利用率} \quad \eta_1 = \frac{F_0 \cdot n}{b \cdot l} \times 100\%$$

式中 F_0 ——冲裁件单个有效面积(包括冲出的小孔面积);

n ——条料上实际冲制零件数;

b ——条料宽度;

l ——条料长度。

$$\text{板料利用率} \quad \eta_s = \frac{F_0 \cdot N}{B \cdot L} \times 100\%$$

式中 N ——整张板料实际冲制零件数；
 B ——板料宽度；
 L ——板料长度；
 F_0 ——同前。

2.1.5 板料排样

排样是指零件或毛料在条料、带料或板料上的布置方法。在条料、带料上的排样见 2.2.2。

2.1.5.1 板料排样原则⁽²⁾

- (1) 剪裁窄条料时，应沿板的顺长方向进行以减少条料端头的废料损失。
- (2) 尽量排成宽条料，以减少剪裁次数和冲压时的送料进距，一般也减少端头废料损失。
- (3) 剪裁大型单个毛料时，应用组合排样法以尽量提高材料利用率。
- (4) 大工件在大量生产中，尽量订制尺寸与毛料成倍数关系的特种板材。
- (5) 小工件在大量生产中，应以冷轧带料代替板料。
- (6) 条料长度必须控制，一般应为进距的倍数加搭边值，以避免较大的端头废料损失。
- (7) 应尽量采用侧压板送料，尽量不用定距刀送料，以减少搭边和条料的宽度。
- (8) 在必要的情况下，提请设计部门局部修改毛料尺寸，能极大地提高材料利用率。

2.1.5.2 单一条料的排样⁽³⁾

单一条料在整张板料上的排样有纵裁，横裁和联合裁三种，如图 1 所示。何种排样合理应通过计算材料利用率来确定。

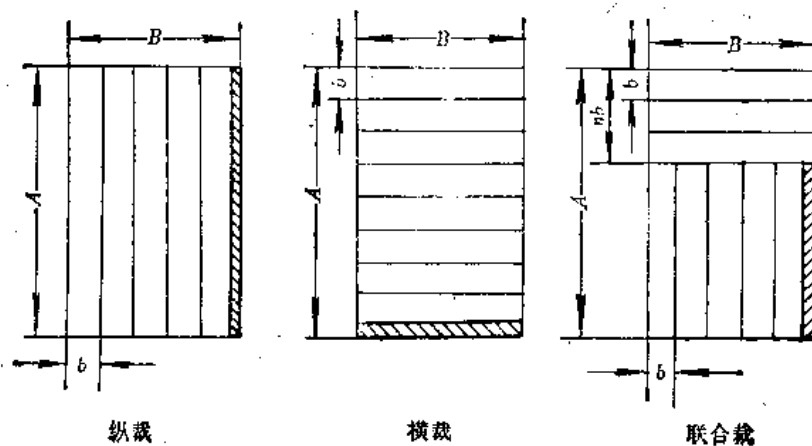


图1

〔例〕：确定图2所示条料在2000×1000板材上的合理排样。

方案一：纵裁

$$\text{条料数 } m = \frac{B}{b} = \frac{1000}{177} = 5 \text{ (条)}$$

$$\text{每条件数 } n = \frac{L-a}{h} = \frac{2000-3.2}{23.2} = 86 \text{ (件)}$$

$$\text{整张板可得件数 } N = m \cdot n = 5 \times 86 = 430 \text{ (件)}$$

板料利用率：

$$\eta_s = \frac{F_0 \cdot N}{B \cdot L} = \frac{3457 \times 430}{1000 \times 2000} = 74.3\%$$

方案二：横裁

$$\text{条料数 } m = \frac{L}{b} = \frac{2000}{177} = 11 \text{ (条)}$$

$$\text{每条件数 } n = \frac{B-a}{h} = \frac{1000-3.2}{23.2} = 43 \text{ (件)}$$

$$\text{总件数 } N = m \cdot n = 11 \times 43 = 473 \text{ (件)}$$

$$\text{板料利率 } \eta_s = \frac{F_0 \cdot N}{B \cdot L} = \frac{3457 \times 473}{2000 \times 1000} = 81.8\%$$

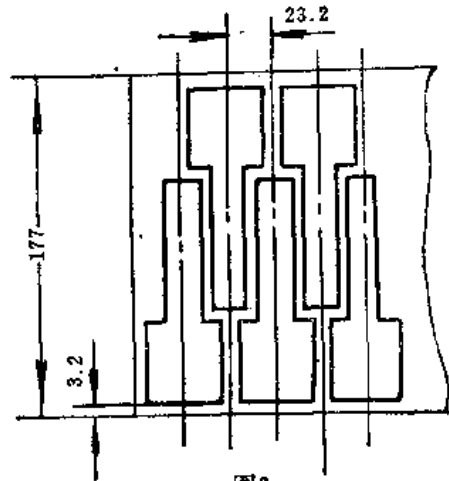


图2

所以横裁比纵裁好。对于联合裁，因组合情况较多，故需反复计算才能找到最佳值。单一矩形块料排样亦可按此方法处理。

2.1.5.3 两个矩形件合理排样举例^{〔2〕}

〔例一〕：图1是两个矩形件的组合排样图，零件A共需12个，零件B共需6个，共用7张板料即可裁出。前5张板料如图1(b)所示裁剪，第6张，第7张板料就要按图1(a)组合套裁，如将第6张裁成两个件A，则剩下的第7张板材就裁不了6个B件，故不合理。

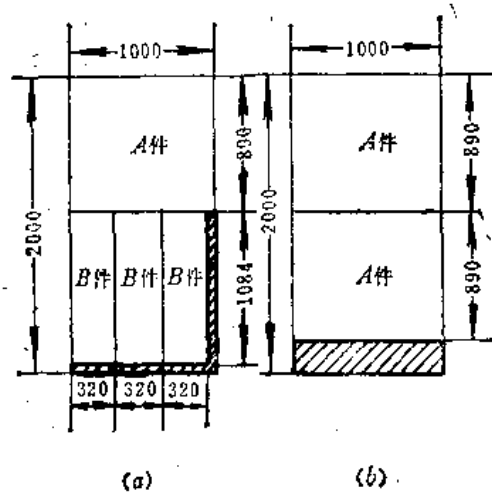
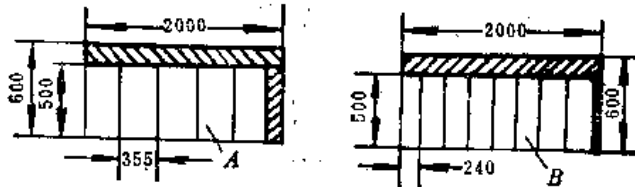


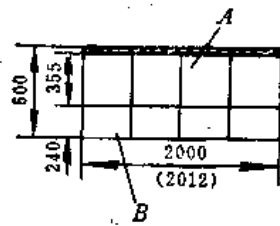
图1

〔例二〕：图 2 是利用板材长度正差的组合排样。2(a) 是不合理的排样，两张板材只能裁 8 个件 B，5 个件 A；2(b) 是合理的排样，在两张板材上可同时获得 8 个件 A 和件 B。

〔例三〕：图 3 是利用零件尺寸和板料长度的倍数关系的排样，这样可利用非倍数的余料剪裁零件 2，而不能采用全部纵裁零件 1 的条料的排样。



(a)



(b) 图2

(a) 不合理排样；(b) 合理排样。

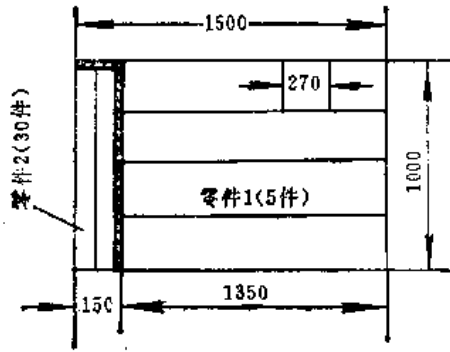


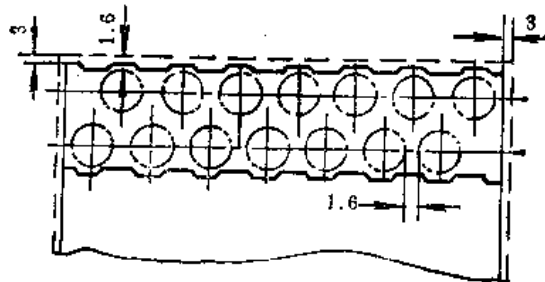
图3

2.1.5.4 多矩形排样

在矩形数量不太多的情况下，可用列表法算出各种排样情况下的材料利用率，从而找出最佳排样方案。当矩形数目较多时，计算则难以进行。目前已研究出一种 $P \cdot B \cdot M$ 方法，即通过配对和矩阵运算来找出最佳排样。如有 n 个矩形板，则可配出 $\frac{n}{2}$ 个对子，每个对子的余料作为矩阵的一个元素，以总的余料最少时为最终目标。通过计算机即可找出最佳排样方案，详细方法见参考资料〔1〕。

2.1.5.5 花边条料下料举例〔2〕

在专业化的大量生产中（如制造罐头），可以采用冲切花边条料的方法来提高材料利用率，一般可节约 3~6% 的金属材料。如图所示为双行排样的花边条料，该条料由特种冲剪床加工，在此机床上连续完成下面两个工序：



1. 利用自锁滚剪剪出纵向条料。
2. 利用冲裁模冲出花边条料。

2.1.6 常用下料方法

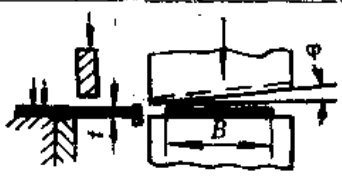
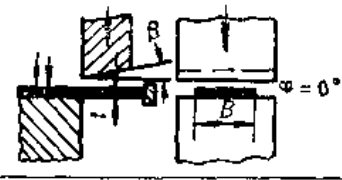
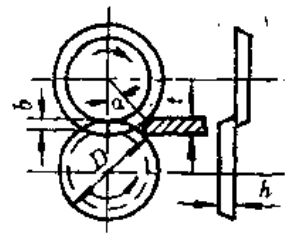
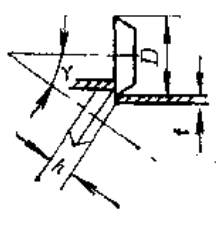
2.1.6.1 剪切下料

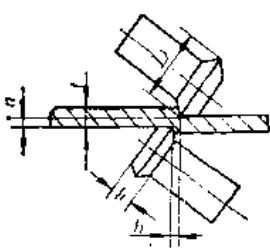
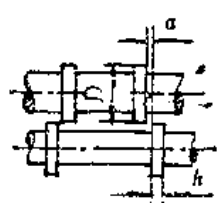
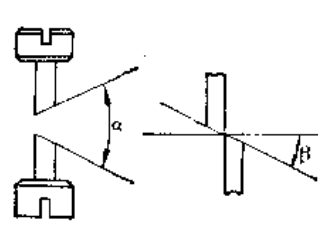
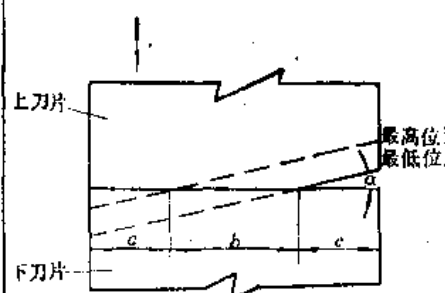
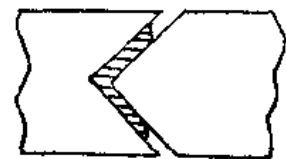
剪切是用剪切设备将板料、卷料或型材等的原材料剪切分离出来的加工方法，它可以得到各种直线或曲线形状的毛料。

2.1.6.1.1 各类剪切方法及剪切力

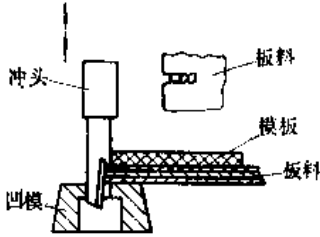
常用的剪切方法及其剪切力的计算见表。

各类剪切方法及剪切力计算公式表

剪切形式	简 图	剪刀的工作部分	主要用途	剪切力(N)
龙门剪 及杠杆剪		交角 φ 。 对于斜口剪 $\varphi=2^\circ\sim 6^\circ$ 。 对于杠杆剪 $\varphi=7^\circ\sim 12^\circ$ 。 后角 $\beta=6^\circ\sim 15^\circ$ 。 为了刃磨简便，可用 $\beta=0^\circ$ 的数值。 剪刀间的间隙见2.1.6.1.2节表。	将板料裁成条料或单个毛料。能裁的材料厚度在40mm以下（视剪床型号而定）。	$p=0.65 \frac{t^2 \cdot r}{\text{tg}\varphi}$ (斜口)
				
直滚剪 (圆刀剪， 两轴平行)		咬角 $\alpha < 14^\circ$ 。 重迭高度 $b=(0.2\sim 0.3)t$ 。 剪盘尺寸： 对于厚料($t > 10\text{mm}$) $D=(25\sim 30)t$ ， $h=50\sim 90\text{mm}$ ； 对于薄料($t < 3\text{mm}$) $D=(35\sim 50)t$ ， $h=20\sim 25\text{mm}$ 。	将板料裁成条料，或由板边向内裁圆形毛料。能裁的材料厚度在30mm以下（用不同型号的圆盘剪）。	$p=0.65 \frac{hn \cdot t}{\text{tg}\alpha} \cdot r$ $\text{tg}\alpha = \left[\left(\frac{D}{D-t-6} \right)^2 - 1 \right]^{1/2}$ h_n —见2.1.6.1.3节表
圆盘剪 (下剪盘是斜的)		斜角 $\gamma=30^\circ\sim 40^\circ$ 。 剪盘尺寸： 对于厚料($t > 10\text{mm}$) $D=20t$ ， $h=50\sim 80\text{mm}$ ； 对于薄料($t < 3\text{mm}$) $D=28t$ ， $h=15\sim 20\text{mm}$ 。	裁条料和圆形及环状毛料。能裁的材料厚度在30mm以下（用不同型号的圆盘剪）。	同上

剪切形式	简图	剪刀的工作部分	主要用途	剪切力(N)
斜滚剪 (斜刃)		间隙 $a \leq 0.2t$ 间隙 $b \leq 0.3t$ 剪盘尺寸: 对于厚料 ($t > 10\text{mm}$) $D = 12t$, $h = 40 \sim 60\text{mm}$ 对于薄料 ($t < 5\text{mm}$) $D = 20t$, $h = 10 \sim 15\text{mm}$	裁半径不大的圆形、环状及曲线毛料。后刃面①呈曲线状，故材料可以很容易地转动。所裁的材料厚度在20mm以下精度±2	同 上
多用自锁滚剪 (多盘圆轴平行)		切削角 90° 剪盘尺寸: $D = 40 \sim 125t$, $h = 15 \sim 30\text{mm}$ 重叠高度 b 由 $-0.5t$ 到 $+0.5t$ 间隙 $a = 0.1 \sim 0.2t$	同时裁几条料，或将条料和带料修成一定的宽度。所裁的材料厚度在10mm以下(用不同形式的圆盘剪)，效率高，精度高	同 上
振动剪		$\alpha = 24^\circ \sim 30^\circ$ $\beta = 6^\circ \sim 7^\circ$ 剪刃行程 $2 \sim 3$ 重叠量 $0.2 \sim 1.0$ 剪刀间隙 $6 \sim 7\%t$	按样板或划线剪切小半径曲线轮廓的毛料	同斜口剪
压力剪		剪刀总长 $300 \sim 600$ 工作长度 $b = \frac{1}{2}$ 总长 $\alpha = 10^\circ \sim 15^\circ$	主要用于剪切较厚的钢板，一般为4~8mm厚，能剪一定的曲线外形	同斜口剪
型钢剪			用来剪断各种规格的等边角材，不等边角材，丁字型角材等	$p = 1.3F\tau$ F 为剪断面积 (mm^2)

(续)

剪切形式	简 图	剪刀的工作部分	主要用途	剪切力(N)
蚕食冲剪		冲头直径 $\phi 8$ 、 $\phi 25$ 。 冲头在凹模内的最小长度1.5~2	主要用于黑色板材曲线外形的仿形下料。由于生产效率不高，适用于单件或小批量生产	同上

注： τ 为材料抗剪强度，常用材料的数值见1.3章，对金属材料也可按下式近似计算

$$\tau \approx \frac{\sigma_s}{1.3} (\text{MPa})$$

2.1.6.1.2 龙门剪床剪刀间的合理间隙值

合理的间隙值见表。

龙门剪床剪刀的合理间隙

(mm)

材料厚度 (mm)	软 钢	硬铝、不锈钢、黄铜	铝
0.25	0.050-0.025-0.050	0.050-0.025-0.050	0.050-0.025-0.050
0.5	0.075-0.050-0.075	0.050-0.025-0.050	0.050-0.025-0.050
1.0	0.075-0.050-0.075	0.050-0.025-0.050	0.050-0.025-0.050
1.5	0.125-0.075-0.125	0.050-0.025-0.050	0.125-0.075-0.125
2.5	0.150-0.100-0.150	0.050-0.025-0.050	0.200-0.150-0.200
3.0	0.200-0.150-0.200	—	0.200-0.150-0.200
5.0	0.350-0.300-0.350	—	0.200-0.150-0.200
8.0	0.525-0.475-0.525	—	0.200-0.150-0.200

注：表中的数值第一、第三项为刀片两端间隙值，第二项为刀片中部间隙值。

2.1.6.1.3 刀刃挤入材料的相对深度

材料发生剪裂纹时，凸模（或刀刃）挤入材料的相对深度C值列于下表。

相对深度C值

材 料	材 料 厚 度 (mm)			
	<1	1~2	2~4	>4
软钢 $\tau=245\sim 343\text{MPa}$ $\sigma_s=249\sim 392\text{MPa}$	0.75~0.7	0.7~0.65	0.65~0.56	0.5~0.4
中等 硬度钢 $\tau=343\sim 490\text{MPa}$ $\sigma_s=392\sim 539\text{MPa}$	0.65~0.6	0.6~0.55	0.65~0.48	0.45~0.35
硬钢 $\tau=490\sim 686\text{MPa}$ $\sigma_s=539\sim 735\text{MPa}$	0.5~0.45	0.45~0.4	0.4~0.35	0.35~0.2
紫铜、铝(退火)	0.8~0.75	0.75~0.7	0.7~0.6	0.65~0.5
非金属材料	均为1.0			

相对深度 $C = h_s/t$ 。 h_s 为挤入的绝对深度。

2.1.6.1.4 常用剪切设备技术规格

龙门剪板机的技术规格见表1，滚剪机的技术规格见表2，自锁多条板料滚剪机的技术规格见表3，振动剪床的技术规格见表4，型材剪切机的技术规格见表5，蚕食冲剪机的技术规格见表6。

表1. 龙门剪板机技术规格

型 号	剪板长度 (mm)	后挡板可调距离 (mm)	最大板厚 (mm)	最小板厚 (mm)	板材强度极限 σ_b (MPa)	上刃斜角 φ	行程次数 /min	电功率 (kW)	外形尺寸 (mm)		
									前后	左右	高
Q11-3×1800	1800	/	3	0.6	490	2°20'	38	5.5	1900	2080	1600
苏C237A	2550	730	3.5	/	490	2°30'	40	7	1700	3200	1700
Q11-4×2000	2000	25~500	4	0.8	392	2°					
Q11-6×2500	2500	/	6	/	490	2°30'	36	7.5	2260	3610	2120
Q12-6×2500	2500	/	6	0.5	490	1°50'	40	7.5	1897	3523	1400
Q11-6.3×2000	2000	500	6.3	/	490	2°	40	7.5	1765	3175	1530
Q91-6.3×3200	3200	500	6.3	0.6	490	1°30'	30	22	2705	5100	2690
苏H406A	5000	0~1000	6.3	/	686	1°30'	25	20	3450	7400	2500
Q11-7×2000	2000	/	7	/	392	2°47'	50	22	2075	3375	1500
Q11-7×7000	7000	1500	7	/	510	1°30'	20	28	3950	10000	2850
QC12Y-10×2500	2500	/	10	0.5	490	1°30'	20	12.5	1760	3420	2030
Q11-13×2500	2500	/	13	1	490	1°30'	10	15	3595	3595	2170
QC12Y-16×2500	2500	/	16	1	490	2°	12	22	2400	3400	2000
Q12Y-20×4000A	4000	850	20	1	490	2°20'	6	40	2350	5026	2671

表2. 常用滚剪床技术规格

规格	型号	H-451	H-451 AC	C-151	Q23-2.5 ×1500	Q23-3 ×1000	Q23-4 ×1000	QD-4 ×1700	QZ-1.5 ×300
最大剪板厚 (mm)		3.2	3	2.5 ^① 1.5 ^②	0.5~2.5 φ300~	0.5~3 φ400~	1~4 φ350~	0.3~4 φ1700	0.5~1.5 φ300
最大加工尺寸 (mm)		φ2100	1550	1550	φ1000	φ1500	φ1000	φ1700	φ300
工件送进速度 (m/min)		3.7, 7	3, 4.5, 8	3, 4.7, 8.4	2.65, 4.24, 6.6	2.65, 4.3, 5.6, 7.6	2.65, 4.3, 6.6		
刀具直径 (mm)		φ115	φ50	φ50	φ70	φ60	φ80	φ50	φ50
刀具倾斜角 (°)		下刃45°	45°	45°	45°	45°	0°	0°	下刃45°上刃0°
材料强度极限 (MPa)		≤441	≤392	≤441	≤441	≤441	≤441		≤441
上刀垂直调整行程 (mm)		25	20	25	/	/	/		
上刀在45°方向可调 (mm)		/	15	15	/	/	/		
板料直线剪切宽度 (mm)				1550	120~720	150~1200	150~750		
电机功率 (kW)		1.7		2.5	1.5	1.5	2.2		
外形尺寸	前后 (mm)	680		800	900	690	900		
	左右 (mm)	3890		2500	3360	4700	3520		
	高 (mm)	1560		1550	1350	1750	1600		
备 注		圆盘剪 (苏制)	斜滚剪 (苏制)	斜滚剪 (苏制)	斜滚剪	斜滚剪	直滚剪	定位直滚剪	自动圆盘剪

①退火铝合金板；②淬火时效铝合金板。

表3. 自锁多条板料滚剪床技术规格

规格	型号	JDZ-82	Q18-0.8×1000
可剪条数 (条)		12	7
可剪最大厚度 (mm)		0.6	0.8
可剪最小厚度 (mm)		0.04	0.06
材料强度极限 (MPa)		980	490
可剪条料宽 (mm)		5~290	40~1000
条宽误差 (mm)		0.05	/
条料不直度 (mm/m)		<0.25	/
刀盘直径 (mm)		/	176
剪切线速度 (m/min)		/	60
台面有效宽度 (mm)		400	/
电机功率 (kW)		2.2	3
外形尺寸(长×宽×高)(mm)		1160×900×1305	1835×1590×1150

表4. 振动剪床技术规格

型 号	Q21-5A, P5/2(英) (Q21-5)	仿美P9	Q21-10	台 式
最大剪切板厚 (mm)	5	9	边缘10, 内孔 8	1.5
最大冲切板厚 (mm)	2		边缘无孔内切4, 有孔内切 6	
可剪最大板料宽度 (mm)	1050	1500	1350	200
材料强度极限 (MPa)	≤441	≤490	≤441	≤441
最大成形板厚 (mm)	3		仿形与坐标 冲切厚: 5	
最大压筋板厚 (mm)	3	剪切角度10°	4	
最大弯折板厚 (mm)	2		3	
剪切通风窗厚 (mm)	3		4	
圆形 最大剪切直径(mm)	φ1040	φ2000		
剪切 最小剪切直径(mm)	φ40		φ56	
行程次数 (1/min)	1400, 2800	2000, 2000	400~1300	1400
行程长度 (mm)	1.7, 3.5	/	10	2, 3
电机功率 (kW)	1.5	5.5	4	0.4
外廓尺寸	长 (mm)	2040	3240	500
	宽 (mm)	680	850	250
	高 (mm)	1620	1600	1980

表5. 型材剪切机床技术规格

型号: Q34-16A(联合型)	被剪料强度极限: 441(MPa)
剪板厚度: 16(mm)	冲头喉口深度: 450(mm)
冲孔: 最大直径/最大厚度 φ25/16(mm)	平剪刀片长度: 300(mm)
冲头行程: 25(mm)	平剪刀片行程: 50(mm)
	型剪刀片行程: 28(mm)

被剪料最大尺寸(mm):						剪切次数(1/min): 23
板料	圆钢	方钢	等边角钢	不等边角钢	丁字钢	电机总功率(kW): 5.5
16	φ38	35×35	100×100 ×10	100× 75×10	80×80 ×9	外形尺寸(mm): 1780×900×2068(高)

表6. 蚕食冲剪机技术规格

形	式	落 地 式	手 提 式	
型	号	Q21-4 (仿苏H533)	JJC-1.3	JH3.2
最大冲切剪切厚度	(mm)	0.5~4	1.3	3.2
耗料宽度	(mm)	8	5	8
冲切速度	(m/min)		1.2	0.6
冲切次数	(1/min)	800, 1200	1800	900
板材强度极限	(MPa)	441	392	392
行程调整量	(mm)	7	最小半径: 15	
冲头直径	(mm)	φ8	宽 5	φ8
冲头喉口深度	(mm)	1050	/	/
电机功率	(kW)	2.2	0.23	0.68
外形尺寸	(mm)	1870×630×1895		

2.1.6.2 铣切下料

铣切下料是利用高速旋转的铣刀沿一定的曲线铣出毛料外形。它适用于曲线外形和孔口较多的大中型铝合金零件的下料。

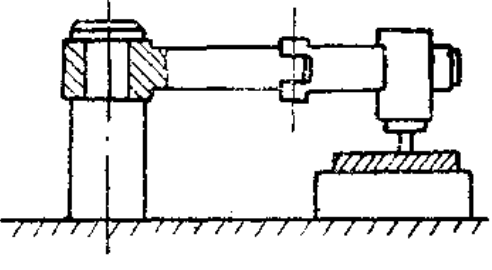
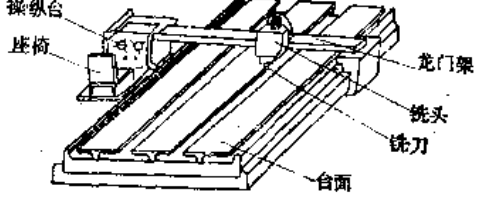
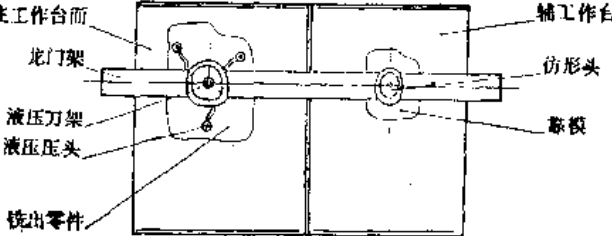
2.1.6.2.1 各类铣切方法

各类铣切下料方法见表。

各类铣切下料方法

所用设备	简 图	特 点	主要用途
板 金 立 铣 床	<p>1—铣刀; 2—靠柱; 3—弓形夹; 4—铣切样板; 5—毛料; 6—台面; 7—夹头; 8—螺帽; 9—主轴</p>	<p>工件和样板动, 铣刀轴不动; 靠柱与铣刀直径均为φ8mm, 故铣出的零件毛料与样板外形一致, 铣切精度±0.5mm, 手工操作送料</p>	<p>尺寸在500×800(mm)以下的曲线零件毛料下料及在毛料上开孔</p>

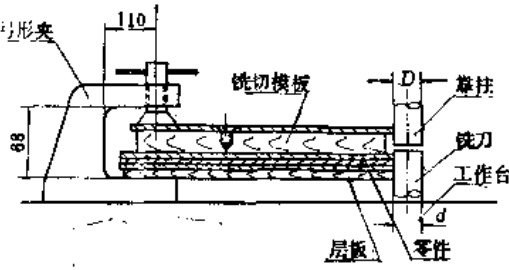
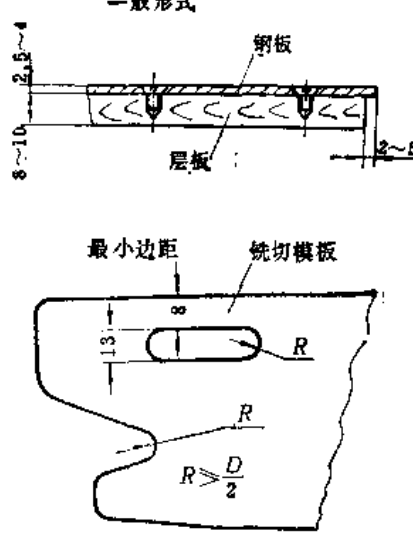
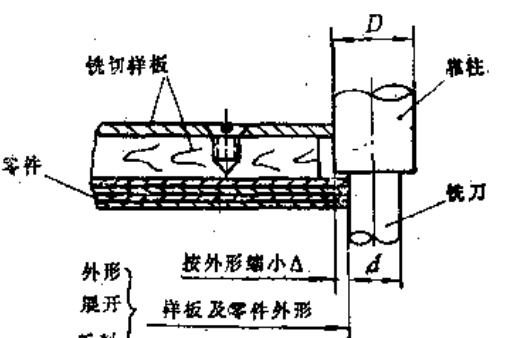
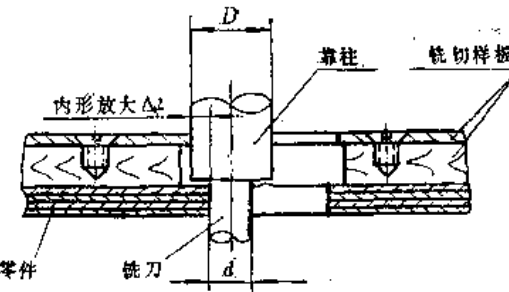
(续)

所用设备	简 图	特 点	主要用途
回臂铣钻床		<p>工件和样板不动，铣刀走动，靠柱比铣刀直径大，故铣出的毛料比样板大，可钻制工艺孔，手工操作走刀</p>	<p>尺寸在1000×1000 (mm) 以上的曲线毛料下料及开孔，钻工艺孔等</p>
龙门靠模铣床		<p>为回臂铣床之改进型，用机械操作代替手工操作，但一般不能钻孔</p>	<p>尺寸在1000×1000 (mm) 以上的曲线毛料下料，开孔和成组铣切</p>
双台跟踪仿形铣床		<p>为龙门靠模铣床之改进型，自动化程度高，铣切精度高，达±0.3mm</p>	<p>同上</p>
数控下料板铣床		<p>由计算机实施自动化走刀，并有自动压料和吸屑装置，精度可达0.02mm，编程需人工，有待改进</p>	<p>同上</p>

2.1.6.2.2 铣切用样板

在铣切下料加工过程中，起靠模作用的工艺装备叫铣切样板。铣切样板的种类、形式见表。

铣切样板的种类和技术要求

种类	使用情况与缩放值	结构形式	制造依据
<p>板立用切样板</p>	 <p>缩放值 $\Delta = \frac{1}{2}(D-d) = 0$</p>	<p>一般形式</p> 	<p>外形样板</p>
<p>龙门铣(含臂)铣切样板</p>	<p>铣外形</p>  <p>外形展开毛料 } 按外形缩小Δ 样板及零件外形</p> <p>铣内孔</p>  <p>缩放值 $\Delta = \frac{1}{2}(D-d)$</p>	<p>试制和小批生产可用3.5~5mm厚的硬铝板，硬聚氯乙烯板等，所有工艺孔均应物上钻套。大尺寸铣切样板可用淬火钢条镶拼式，以减轻重量和节约钢材 大型铣切样板还应开出必要的减轻孔</p>	<p>展开样板</p> <p>毛料样板</p>

2.1.6.2.3 铣切靠柱与靠套

靠柱用于板金立铣，根据零件所需加放余量数值换用不同规格尺寸的靠柱，靠柱直径建议按表1中的数值系列化。

表1. 靠柱直径系列尺寸 D (mm)

余量	0	0.5	1	2	3	5	10
D	8	9	10	12	14	18	28

靠套用于回臂铣、龙门铣，根据零件所需加放余量多少来选择不同规格尺寸的靠套。图示是生产上已使用的一种靠套，建议选用表2数列。

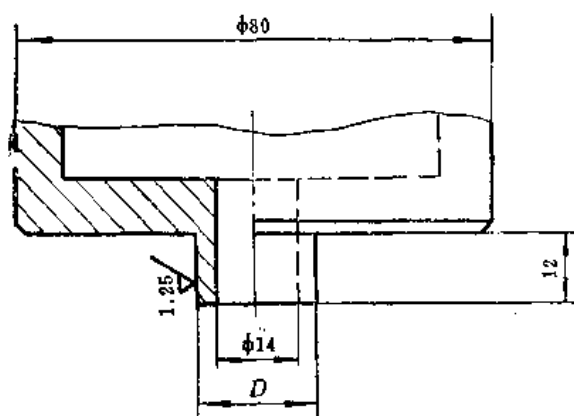


表2. 靠套直径 D 的系列尺寸 (mm)

余量	0	0.5	1	2	3
D	19	20	21	23	25

2.1.6.2.4 导板与凸头

对凸出的尖角或 $R \leq 8$ 的圆角，在龙门铣或回臂铣床上铣切时，将加工不出来，为此应在铣切样板上加装导板或制出凸头，才能铣出尖角，如图1、2所示。

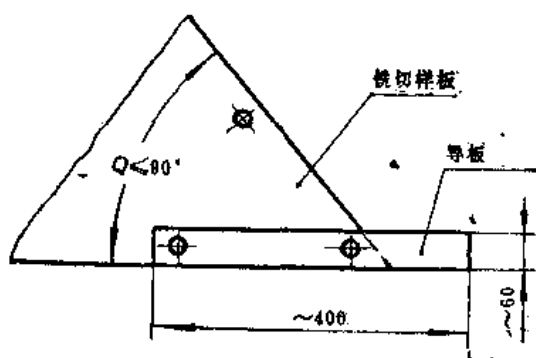


图1

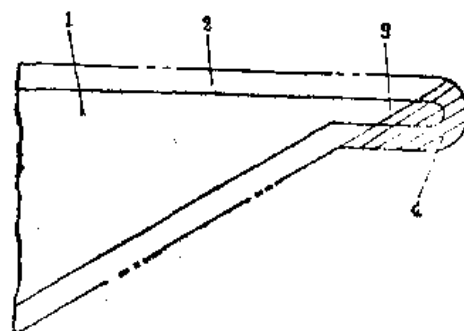


图2

导板材料为3~5mm厚钢板，导板插销孔径 $\phi 8\text{mm}$ ，在样板对应处安装 $\phi 8$ 衬套。

采用凸头比采用导板在操作上要方便些，但会给零件带来多余的耳子，增加了手工剪切和锉修的工作量。因此料厚大于1.5mm时，尽量不采用凸头的形式。

凸头尺寸应按下面两个方面考虑：

(1) 长度以能制出尖角为准；

(2) 宽度要保证使用的强度、刚度，最小不得小于30mm；但又不能太大，要使多余的耳子尽量小，以减少手工剪切的工作量。

2.1.6.2.5 铣刀

铣切铝合金材料的铣刀为双刃大螺旋角高速铣刀，外径为 $\phi 8$ ，通常用于板金立铣和龙门铣、回臂铣。苏联铣刀有LY 1 2铣刀和LC 4铣刀；前者螺旋角为 20° ，前后角也是 20° ；后者螺旋角为 30° ，前后角为 15° 。国产铣刀还分硬料刀和软料刀，其区别也在螺旋角上。

2.1.6.2.6 等宽窄条毛料的铣切及特种铣切样板

等宽窄长零件的下料要设计出特殊铣切样板并结合在靠柱上另加靠圈的方法，经二次装夹和铣切来完成，其工作原理如图1所示。

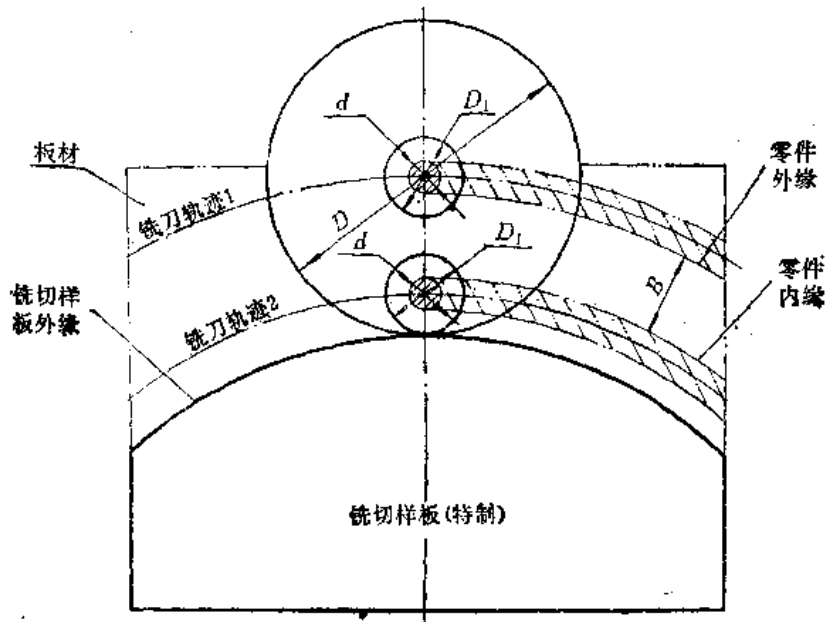


图1

这里的轨迹1，是将靠圈 D 装在靠柱上后，铣出零件外缘时铣刀所走轨迹；轨迹2是将靠圈 D 取下，仅用靠柱铣出零件内缘时铣刀所走轨迹。

靠圈的直径 D 按下式计算：

$$D = D_1 + 2d + 2B + \Delta/2$$

式中 D_1 ——铣床靠柱或靠套直径；

d ——铣刀直径；

B ——零件宽度；

Δ ——宽度 B 的上下偏差之和，即公差带宽度。 Δ 可查板金零件的公差表。

特制铣切样板主要是为区别普通铣切样板而言,这种样板的设计制造需注意以下两点:

(1) 按展开样板或毛料样板外缘缩小 ($D/2-d/2$) 后,作为特制铣切样板外缘,而且仅须制出外缘。 D 、 d 分别为靠圈及铣刀直径。

(2) 铣切样板两端按模线样板两端各延长 50~80mm,以利于装夹零件毛料及铣切的延伸,如图 2 所示。

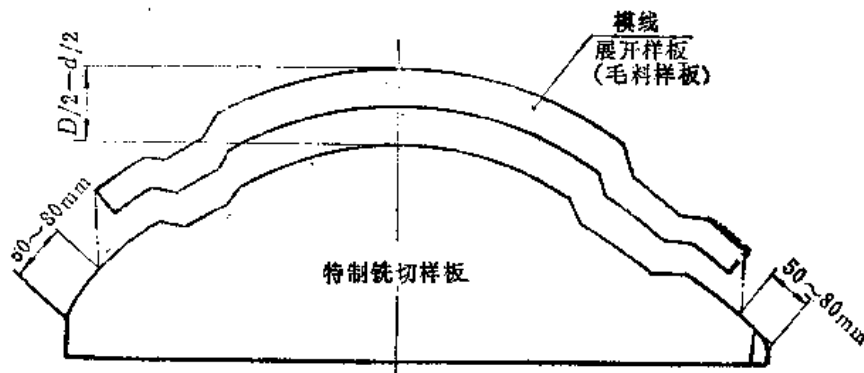


图2

此方法一般用于特别细长零件,对窄而不太长的零件可用冲切的方法,也可分二次装夹铣切完成。对于不等宽的窄长零件可分别制出几个靠圈和特制样板来加工,但宽度变化不宜多于两种规格,否则应另想办法。

2.1.6.2.7 成组下料和成组铣切样板

成组下料是在整张板材上,按具体生产条件进行组合排样和成叠铣切。它是节约原材料和提高加工工效的先进方法。目前有如下三种:

(1) 组合排样单个铣切

是将同种材料同一厚度的大、中、小型毛料,在整张板料上作最优排列。排列时以形状相似的毛料进行组合较好,在坐标板上排出各种组合形式,同时考虑产品数量、配套组别、工艺间隙(毛料外廓之间必须留有大于铣刀直径的间隙)等,以确定最优方案,如图 1 所示。然后划出各个毛料的外形线,用龙门剪或滚剪剪切。由于滚剪精度低,外形达不到要求,所以剪好的毛料应按产品图号分别叠在一起(总厚度 $\leq 12\text{mm}$),最后逐个图号进行成叠铣切。组合好的排样应拍照留底或编入工艺规程中,便于下次生产时安排使用。

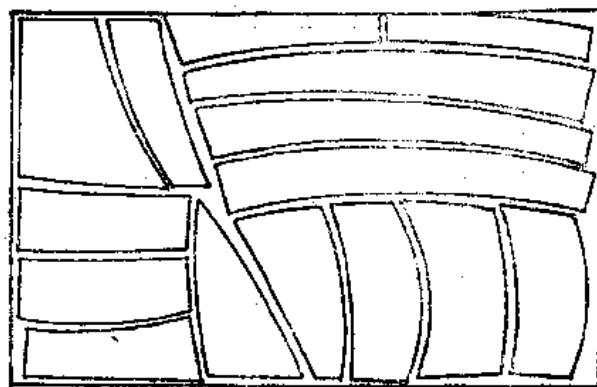


图1

(2) 组合排样成组仿形铣切^{〔5〕}

是将成组的毛料集中在一张板料上,由大型铣床依据“成组铣切样板”进行成叠的铣切加工。它较前面的方法减少了划线、滚剪、校平等工序,因而工效可提高一倍以上,是大批生产中较为先进的下料方法。

采用该种工艺方法必须具备大台面(或双台面)仿形铣床,以便在辅助台面上固定

靠模，在主工作台上固定板料。主要工艺装备是成组铣切样板，它起着靠模的作用，其结构见图2。

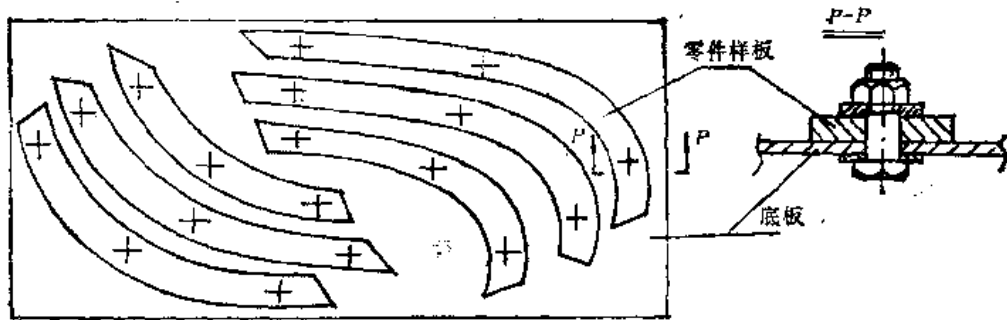


图2

成组铣切样板是由各个零件的铣切样板按成组排样的要求，固定在底板上构成的。使用时只需将底板四周压紧或用磁力吸盘吸牢，使所有的零件样板相应固定，仿形头紧靠样板边缘依次行走，主工作台的铣刀就相应地铣出成叠的毛料。

(3) 组合排样成组数控铣切^{〔8〕}

下料时先制出展开样板或毛料样板，在绘图机上将样板排列好，使之达到最经济的排样布局，通过扫描将状态读入计算机内，然后由计算机自动控制下料。该种工艺应具备数控龙门式大台面铣床，下料铝板可叠成12.7mm厚，走刀速度为1.65m/min。采用这种下料方法，不但材料的利用率高，而且下料速度也快，一次可以成组完成一批料的下料，又不需特制成组铣切样板，是目前最先进的下料方法。

2.1.6.2.8 常用铣切设备及其技术规格

板金立铣技术规格见表1，回臂铣钻床和龙门靠模板金铣床的技术规格见表2，仿形铣床与数控铣床的技术规格见表3。

表1. 板金立铣技术规格

型 号	H4-003	苏ДФ-97	H4-004 (ДФ-98A)	HOFA(瑞士)	
铣切最大厚度 (mm)	15	15		4	
主轴行程 (mm)	90	90	90	140	
主轴转速 (r/min)	17800	16000	8500	17300	
主轴进刀速度 (mm/min)	250	250	250	主轴最大倾角±45°	
主轴快速进刀 (mm/min)	880	1200	880	靠模滚柱数16个	
靠柱、铣刀直径 (mm)	φ8	φ8	靠模滚子φ60	靠模滚柱和铣刀直径范围 (φ3~φ18)	
工作台尺寸 (mm)	1200×1000	1200×1000	1200×1000	700×750	
电机总功率 (kW)	5.5	5.5	5.5	5	
外形尺寸	前后 (mm)	1270	1540	1270	1160
	左右 (mm)	1035	1040	1035	750
	高 (mm)	1635	1320	1160	1740

表2. 回臂铣钻床和龙门靠模板金铣床技术规格

名称	回臂铣钻床		龙门靠模板金铣床
型号	H5-1, OC-86(苏)	OC-8 (苏)	LBX-1
铣切最大厚度(mm)	12	12	12
铣切最大尺寸(mm)	4000×1200	3100×1100	8000×1600
铣头、钻头主轴转速(r/min)	6000~12000	300~2000	12000
铣刀最大直径(mm)	φ8	φ8	φ8
靠套直径(mm)	φ19	φ22	φ19
铣头、钻头主轴锥孔	莫氏2*		龙门架行程: 8000(mm) 龙门架速度, 手摇每转157mm 电动1300(mm/min) 铣头横向行程: 1610(mm) 铣头纵向速度, 手摇每转235mm
最大钻孔直径(mm)	φ8		
最大钻孔深度(mm)	25		
铣头最大垂直行程(mm)	80		
钻头最大垂直行程(mm)	100		
机床摇臂数(个)	2		
每一摇臂的节数(节)	3		
摇臂伸出量(mm)	350~2900	2900	
摇臂最大回转角(°)	210		
压缩气压力(MPa)	0.5~0.6		
电机功率(kW)	7.5		总功率33
外形尺寸(mm)	6650×3100×1750		9000×3100×2000

表3. 仿形铣床与数控铣床技术规格

名称	双台面双坐标液压仿形铣床		数控下料板金铣床
型号	F2X-1		B ₁ -135
铣切最大厚度(mm)	20		12
加工零件最大尺寸	长形零件(mm)	4500×1300×20	7000×1500
	圆形零件(mm)	φ1500	
加工精度(mm)	±0.3		0.02
零件断面粗糙度(μm)	Ra12.5~Ra3.2		
仿形速度范围(m/min)	1.5~3.8		铣头横向进给速度0~1000mm/min
外圆弧最小铣切半径(mm)	R3		龙门架进给速度0~1000mm/min
内圆弧最小铣切半径(mm)	R6		R4
加工零件最小尺寸(内外圆)(mm)	φ200		
铣头刀具卡套直径(mm)	φ12, φ16		铣刀直径φ8
铣头转速(r/min)	12000		12000

(续)

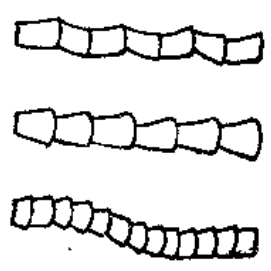
名 称	双台面双坐标液压仿形铣床	数控下料板金铣床
工作台面积(mm)	6000×1800	
中频发电机组功率(kW)	30	
铣头电机功率(kW)	4.5	3
气动机构最小风压(MPa)	0.4	使用电子计算机型号KXZ-2133
仿形仪型号	FXY-01	
直流电磁吸力盘吸力(N)	1000	
机床外形尺寸(mm)	7000×2500×6000(高)	

2.1.6.3 锯切下料

2.1.6.3.1 锯切方法

常用锯切方法见表。

各类锯切方法

所用设备	技 术 要 求		主要用途
高速圆盘锯床	切削速度 $\geq 1700\text{m/min}$, 锯片尺寸 $\phi 200 \times 32 \times 1.5$, 齿数104, 侧面向心角 $15' \sim 20'$, 前角 8° , 后角 45°		铝、铜等有色金属导管下料
低速圆盘锯床	切削速度 $\leq 31\text{m/min}$, 进给量 $\leq 0.4\text{m/min}$, 应有液冷装置		型钢、方钢、圆钢下料
砂轮锯切机	配用砂轮片规格 型号: G46ZY1XPB 尺寸: $\phi 300 \times 32 \times 2$ 速度: 2810r/min	型号: G80ZY1SPB 尺寸: $\phi 200 \times 32 \times 1$ 速度: 2810r/min	碳钢管、不锈钢管下料; 型钢材成形后切割 Φ
		型号: G80ZY1SPB 尺寸: $\phi 200 \times 32 \times 1$ 速度: 2810r/min	小尺寸的有色和黑色导管成形后切割
金属带锯床	锯条齿形 钢、黄铜、非金属 铝 钢、不锈钢、管材		板、管、型材均可加工, 一般用于条料的切断, 余量切割及样板边缘粗加工等

(续)

所用设备	技 术 要 求					主要用途	
弓形摆锯	用专用锯条, 带液冷装置					型材、棒材、管子等	
	锯条齿距	钢	$\sigma_s < 700\text{MPa}$	直径 < 30	齿/英寸		6~8
			$\sigma_s > 700\text{MPa}$	直径 > 33	齿/英寸		4
	薄壁管子 黄铜、铜 硬青铜				齿/英寸		10
				齿/英寸	4		
				齿/英寸	10~12		

①采用砂轮切削钢材时, 产生的过热会引起马氏体转变, 使钢出现硬性和脆性, 边缘易出现裂纹, 电镀中易氢脆, 如有应力腐蚀还会加速裂纹扩展, 所以采用该工艺时必须特别注意, 为减少过热, 宜用小切削量, 多用冷却液^[8]。

2.1.6.3.2 常用锯切设备及技术规格

低速圆锯床的规格见表1, 金属带锯的规格见表2, 弓形摆锯与电锯的规格见表3。

表1. 低速圆锯床

型 号	G607(金属)			
最大圆锯片直径(mm)	710			
圆锯片厚度(mm)	6.5			
锯割材料断面形状	圆	方	工字	槽形
最大尺寸(mm)	52~240	220	50	40
锯刀最大移动量(mm)	360~380			
锯刀快速前行速度(m/min)	1.5~2			
锯刀快速退回速度(m/min)	2.5~3			
主轴转速(r/min)	4.75, 6.75, 9.5, 13.5			
锯刀进给量(mm/min)	25~400			
锯切精度(mm)	±0.5			
冷却方式	液 冷			
配用圆锯片前角(°)	10~20			
配用圆锯片后角(°)	16			
电机总功率(kW)	7.125			
外形尺寸(mm)	2350×1300×1800			

表2. 金属带锯

型 号	G5020, G5120(金属)
最大锯料厚度(mm)	250
机床开口高度(mm)	250
喉口深度(mm)	420
切削速度(m/min)	15~850
锯带长度(mm)	3250
锯带厚度(mm)	0.6
锯带宽度(mm)	3, 4, 6, 8, 10, 12
最小圆孔半径(mm)	5, 8, 15, 22, 35, 75
工作台尺寸(mm)	620×620
工作台右倾度(°)	30
工作台前、后、左倾度(°)	10
电机总容量(kW)	1.2
外形尺寸(mm)	1197×870×1955

表3. 弓形摆锯与电锯

型 号		G72-1	IIQZ-3(手握电锯)
锯条长度(mm)		450	80
锯条厚度(mm)		2	1
切 最 大 材 尺 寸	圆料	锯割角为90°(mm)	A3钢: 3
	方料	锯割角为45°(mm)	最小半径: 50
	工字钢	锯割角为90°(mm)	
	槽钢	锯割角为45°(mm)	
锯弓往复次数(1/min)		75.97	1500
电机功率(kW)		1.7	0.23
外形尺寸(mm)		1557×1065×1280	

2.1.6.3.3 金属带锯齿数、速度和宽度的选用⁽²⁾

金属带锯的齿数、速度和宽度按表1, 2, 3选用。

表1. 锯条齿数的选用

工件材料		锯条每英寸齿数	齿形
钢	厚度>8mm	10~14	一般标准
	厚度<8mm	23	
黄铜、青铜		6~8	一般标准
铝、铝合金		4	

注：锯薄料时，应保证至少有2个齿同时与材料接触。

表2. 锯条线速度的选用

工件材料	碳钢, 不锈钢	工具钢, 合金钢	铸铁, 黄铜	钢锌合金	铝合金
速度(m/min)	10~15	20~25	30~35	50~200	200~710

表3. 锯条宽度与锯切半径 (mm)

锯条宽度	1.5	2	3	5	6	10	13	16	19	25
锯切半径	0	1.5	3	8	16	37	65	95	136	182

2.1.6.4. 氧气切割下料

氧气切割广泛用于钢板、钢管、钢锭及钛板的下料，它可以手工切割，也可以自动切割。对大尺寸和较大厚度的曲线形的黑色毛料，将喷嘴与靠模仿形机床组合，则为靠模仿形自动气割机；与数控机床组合，则为数控气割机。选用不同喷嘴，还可使用廉价的气源，如液化石油气，天然气等来代替乙炔。用超音速喷嘴氧气切割，其切割速度将显著提高，且切口粗糙度明显下降。超音速喷嘴的切口粗糙度一般可达 $Ra12.5\mu m$ ，热影响区宽度小于或等于 $1mm^{(9)}$ ，图示是超音速喷嘴的示意图。

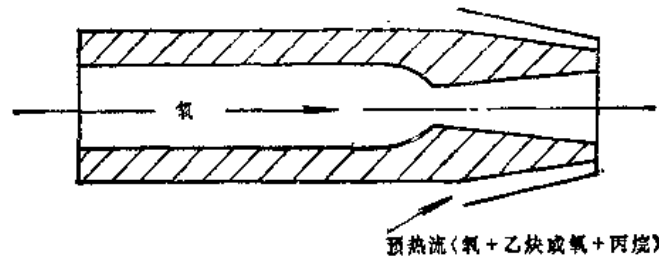


表1列出了采用超音速喷嘴的工艺参数值。

在氧气切割前，板料需经化学除锈，去除表面氧化皮，否则易回火而影响切割质量。表2列出了一种国产仿形气割机的简要技术规格。

表1. 采用超音速喷嘴的工艺参数⁽⁹⁾

喷嘴喉部直径 (mm)	钢板厚度 (mm)	切割氧压力 (MPa)	燃气压力 (MPa)	切割速度 (mm/min)
0.7	<5	0.75~0.8	0.02~0.04	1100
	5~10			1100~850
	10~20			850~600
1.0	20~40	0.75~0.8		650~450
	40~60			450~380
1.5	60~100	0.7~0.75		430~270
2.0	100~150	0.7		380~250
	150~200			250~170

表2. 仿形气割机

型 号	CGZ-150
气割钢板厚度(mm)	5~50
气割速度(mm/min)	50~750
气割圆周最大直径(mm)	φ600
气割直线长度(mm)	1200
气割正方形最大尺寸(mm)	500×500
气割长方形尺寸(mm)	400×900, 450×750

2.1.7 特种切割下料方法

2.1.7.1 等离子切割下料

等离子切割是利用气体在压缩电弧中电离后,经“热收缩效应”和“电磁效应”而产生一束高温、高能、高集中而稳定的等离子弧流作为热源和吹力源,对材料进行局部熔化和吹渣而切割。等离子弧流的温度可达1~4万度,所以其熔深很大,同时吹力也很强,是切割高熔点、高导热、高硬度、大厚度和难熔金属等材料的先进下料方法。

一般切割材料有铝、铜、铸铁、不锈钢、高合金钢等。板材厚度以5~100mm为宜,以180mm为限。表1~3为切割一些金属材料的工艺参数值;表4为国产一种型号的等离子切割机的技术规格;表5为质量情况及缺点。

表1. 铝合金板材

工件厚度 (mm)	喷嘴孔径 (mm)	空载电压 (V)	工作电压 (V)	工作电流 (A)	功率 (kW)	切割速度 (M/h)	气体流量(L/h)		含H ₂ 量 (%)
							N ₂	H ₂	
30	3.5	380	120~150	250~300	30~40	30~40	2300~2500	1230~1540	32~38
50	3.5~4	380	130~150	320~350	50~53	20~30	2500~2580	1520~1600	36~38
80	4~4.5	380	150~180	350~360	52~56	18~20	2510~2640	1300~1400	33~37
100	4.5~5	380	160~180	400~410	64~74	15~17	2700~2880	1300~1400	32~33

表2. 不锈钢、黄铜 (0), (10)

材料	板厚 (mm)	空载电压 (V)	工作电压 (V)	切割电流 (A)	气体流量 (L/min)	切割速度 (m/h)	喷嘴至 工件距离 (mm)	喷嘴孔径 (mm)	电极直径 (mm)
不锈钢	6	270	115	170	40	60	6	3.2	5
	12	265	150	180	28	60	8	3.2	5
	18	285	150	160	26	/	7	3.2	5
	22	250	150	170	25	100	8	3.2	5
	50	270	150	200	25	35	7	3.5	5.5
黄铜	60	360	175	260	38	10	10	4	5

表3. 防弹钢板(HF548)

厚度(mm)	切割速度(mm/min)	氮气流量(L/h)	电压(V)	电流(A)
10	2000~2200	102	120	250
16	1000~1500	154.38	130	250
25	600~1000	118.9	140	325

表4. 等离子切割设备

型 号	LG-400-1
工作电压V	100~150
引弧电流A	30~50
电极直径mm	φ5.5
自动切割速度m/h	3~150
切割厚度 不锈钢、铝、不锈钢mm 紫铜mm	80 50
引弧气体流量	0.4
切割(主电弧)气体流量 ^① m ³ /h	~3
气体及成份 ^②	工业纯氮99.9%
冷却水流量 L/min	3以上
切割圆直径mm	120以上
自动切炬位置调节范围	切缝左右方向mm 260 切缝高低方向mm 150 沿切缝垂直面 的侧面倾斜角 向内、向外各10°

①气体进气压力为0.2~0.3(MPa);

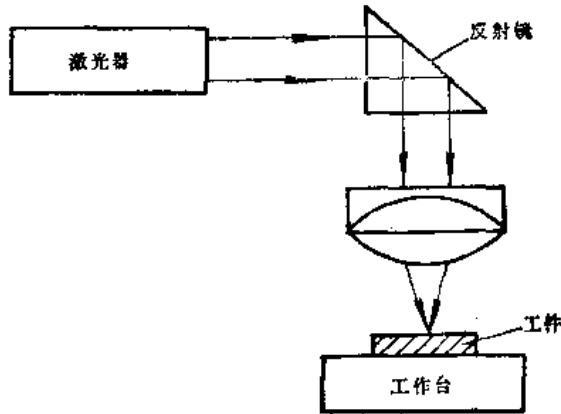
②若提高效果,可用工业氢气或氩氢气。

表5. 等离子切割的质量情况

精度(对划线)	±1.5mm
切口粗糙度	Ra≤12.5μm
热影响区	~2mm
缺 点	1. 割缝端面不平,上大小小呈V形; 2. 有热辐射,紫外线辐射,高频电场,噪音,有害气体; 3. 电极有放射性元素; 4. 投资大

2.1.7.2 激光切割下料

激光下料是利用激光器作热源的一种无接触切割技术，具有切割速度快，热影响区小，精度高，噪音小等特点。它能适应多品种的小批量生产，能切割加工形状复杂、大型的平面零件及小坡度的空间曲面零件，更适用于其它方法难以切割的材料加工。它不仅能减轻劳动强度，缩短生产周期，而且能节省材料，节省模具。激光切割示意图见图。



激光下料的切缝很小，只有0.1~0.5mm，热影响区只有1mm，故工件变形很小，且切口处无硬化层及显微裂纹，使被加工材料的机械性能基本不变。

激光下料适合于切割不锈钢、钛合金、合金结构钢和普通钢，也能切割非金属材料，详见表1[⊖]。

表1. 几种典型材料的激光切割参数

材 料	厚度(mm)	切速(m/min)	辅助气体及压力(MPa)
30CrMnSiA	1.5	2	O ₂ 0.12
	2	1.5	O ₂ 0.12
	2.5	1.3	O ₂ 0.15
	3	1.2	O ₂ 0.15
	4	1	O ₂ 0.2
	5	0.6	O ₂ 0.2~0.24
20号钢	6	0.5	O ₂ 0.25
	2	1.4	O ₂ 0.12
2Cr13Ni4Mn9	4	1	O ₂ 0.15~0.2
	1.5	1.5~1.7	O ₂ 0.11~0.12
1Cr18Ni9Ti	1.2	1.6~2	O ₂ 0.11~0.12
钛合金(TC1)	0.8	1.3	压缩空气 0.12
聚氯乙烯板	4	1.7	“ 0.15
松木板	5	2.1	“ “
五层胶木板	5	2.1	“ “
七层胶木板	1.2	0.6	“ “
有机玻璃	10	1.2	“ “

注：切割不同的材料，应选择不同的辅助气体。切割金属时，喷氧(反应气体)；切割非金属时，吹喷惰性气体、氮或压缩空气。与激光同轴吹进的氧气产生氧化反应，放出大量热量，促使钢板熔化。温度陡然上升，提高了切割速度，同时可以清除切缝中的残留物，加深切割深度，缩小切缝宽度，减小热影响区，并可冷却、保护透镜，排除在高温下产生的等离子层对激光的反射，有利于激光切割继续进行。

[⊖]本表摘自峨眉机械厂编“激光切割在飞机制造中的应用”。

激光器主要有红宝石、钕玻璃、钇铝石榴石、二氧化碳、氮氛气体等激光器。其中气体激光器结构简单、输出单位能量的成本比固体激光器低，故是目前应用最为广泛的一类激光器。SJ-2400数控激光切割机就是以CO₂多模电激励封离式激光器为能源的，该机切割几种典型材料的参数见表1。

铝、铜、银等材料对激光的反射能力很强，切割效率甚差，故不适用。激光切割机的主要技术规格见表2。

表2. 数控激光切割机

型	号	SJ-2400
加工板料尺寸(mm)		2300×1300
加工钢板厚 (mm)		6
零件加工精度		0.5mm/1000mm
切缝宽度 (mm)		0.2~0.4
断面光度		Ra25μm(▽3)
激光器种类		电激励封离式CO ₂ 激光器
输出功率 (W)		500~600
冷却方式		水冷
最佳工作电流(mA)		40~45
总气压 (MPa)		0.8
工作气体		CO ₂ :N ₂ :H ₂ =1:2:8
工作台行程X(mm)		2400
工作台行程Y(mm)		1400
工作台尺寸 (mm)		2500×1600
Z轴自动调节距离(mm)		180
进给速度 (m/min)		0.05~0.1; 0.1~1; 0.2~2; 0.4~4
输入方式		8位纸带,光电阅读,200行/秒
耗 电 量	激光电源(kVA)	6
	数控箱 (kW)	2
	制冷 (kW)	5.5
	油泵电机 (kW)	7.5
	水泵电机 (kW)	0.4
聚焦透镜		单晶砷化镓,焦距f=80cm
机床外形尺寸(mm)		16000×4000×2500

2.1.7.3 几种热切割方法的选用与比较^{(11) (12)}

几种热切割方法的优缺点比较见表。

几种热切割方法的比较表

方 法	优 点	缺 点
气割	切口质量很好 切割厚度可达3.2m	只能切割结构钢、低合金钢,不能切割厚度小于5mm的板材
等离子切割	切割速度高 可切各种金属 切口质量较好	只能切厚度5~150mm以内的板材 投资大、污染环境 切口不平呈V形

(续)

方 法	优 点	缺 点
激光切割	应用范围广 热影响区小 能量传递无接触 能切有镀层工件 可切20mm以内厚度的木材、塑料	投资大 只能切厚度在5mm以内的金属材料 不能切割铜、铝
电弧切割	能切割各种导体及矿物质型非导体(如水泥、砖头、陶瓷等)	切口质量差 热影响区大

2.1.7.4 电火花线切割下料

线切割加工是把工件和电极丝(钼丝、铜丝)各作为一极,并保持一定距离,在有足够高的电压时形成一火花隙,对工件进行电蚀切割的加工方法。切除的材料由工作液冲走。

线切割的加工质量与一般效率见表1,加工工艺的一般规律见表2,电极丝和工作液见表3,表4,典型设备见表5。

表1. 质量与效率⁽¹⁸⁾

材 料	切口粗糙度	加工精度	生产率(mm ³ /min)	缺 点
一般钢件	Ra6.3μm	<±0.01	80~100(最优情况)	会改变材料的表面性质
碳素工具钢	Ra3.2μm		20	
硬质合金	Ra1.6μm		10~15	

表2. 线切割一般规律⁽⁷⁾

内 容	规 律
提高生产率的途径	<ol style="list-style-type: none"> 1. 增大脉冲电压幅值—明显提高生产率,但粗糙度有所增加; 2. 增加脉冲宽度—可提高生产率,但粗糙度显著增加; 3. 提高走丝速度—生产率相应提高,但丝速应与工件厚度、电极丝直径相匹配,否则会造成振动和断丝; 4. 减少脉冲间隔时间—能较大幅度提高生产率,且粗糙度无明显增加; 5. 适当增大脉冲电源功率; 6. 合理选择电极丝的材料、直径和均匀性; 7. 采用能改善电极状态的工作液
保证加工精度的措施	<ol style="list-style-type: none"> 1. 保持恒定的放电间隙(为此要求脉冲电源电压波动愈小愈好); 2. 电极丝和工作台的垂直度要好; 3. 减少电极丝的振动; 4. 提高机床的制造精度

表3. 常用电极丝及其加工性能^[7]

电极丝材料	加工特点	适用范围
黄铜丝	生产率较高, 加工过程稳定, 很少发生粘住现象, 抗拉强度低, 易断	特别适合于加工淬火钢, 直径 $\phi 0.2 \sim \phi 0.3$ mm
钨丝	生产率高, 但火花放电后质脆易断	较少在生产上采用
钼丝	生产率不及前两种, 但抗拉强度很高, 不易断	目前生产上广泛采用直径 $\phi 0.06 \sim 0.3$ mm

表4. 常用工作液^[7]

工作液种类	生产厂	备注
南大皂化液 DX-1皂化液 NL防锈皂化液 煤油 去离子水	上海油脂化工厂 北京油脂化工厂 苏州炭黑厂	稀释比1:10 用于靠模机床

表5. 电火花线切割机床的技术规格

型 号	D6720G	DK6740
加工最大工件(mm)	280×240×60	500×320×100
最大生产率(mm^2/min)	40	80~100
加工精度(mm)	0.02~0.05	精圆度0.01
粗糙度(μm)	Ra=1.6	Ra=1.6
钼丝直径(mm)	/	$\phi 0.12 \sim 0.3$
金属丝移动速度(m/s)	7~10	0.6~13.6
冷却泵电机		AOB~12电泵
控制装置	光电跟踪	数控, HTL型固体组件, 型号SK--3207
手轮每转一格工作台移动(mm)	/	0.01

2.1.7.5 高压水切割下料

将压力为3000~4000大气压的水, 集中在一个可控的针状喷嘴上喷射出来, 利用其巨大的动能来切割各种材料的工艺方法叫高压水切割, 如图1所示。

对碳纤维、硼纤维等复合材料和其他有机复合材料的下料、修边目前都只能用水割来完成。水泥制品和个别金属加工件也能采用水割, 也可用于汽车、建筑和食品工业中。

高压水切割时, 无热影响区和粉尘, 切口性能也不会降低, 故对材料性能和环境无影响; 喷射流对夹具的作用力很小, 也不需刀具, 使用是比较方便的, 整套切割设备投资较大, 但低于激光切割设备。

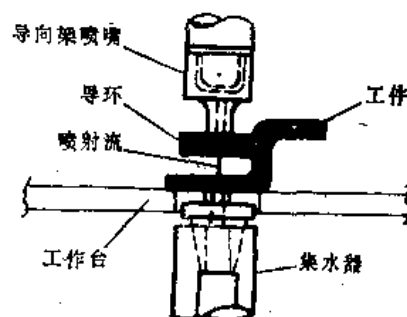


图1(14)

切割常用材料的厚度和工艺参数见表1[⊖]。

表1. 高压水切割工艺参数

材 料	厚度(mm)	压力(MPa)	喷嘴直径(mm)	切割速度(m/min)
碳/石墨复合材料	2.1	376.2	0.23	0.15
泡沫塑料	100	376.2	0.13	0.5
光滑纸	0.15	274.6	0.13	300
玻璃纤维塑料	1.6	343.2	0.13	1.8
增强橡皮	1.3	343.2	0.15	7.5
不锈钢	0.76	377.6	0.36	0.076
陶瓷	32	343.2	0.13	6
石棉	4.8	377.6	0.3	0.3
A·B·S塑料	2.5	343.2	0.13	2.2
开弗勒复合材料 (Kevlar)	3.2	343.2	0.15	4.5

喷嘴材料有碳化钨、金刚石、蓝宝石、红宝石等。其中以金刚石效果最好、寿命最长，但价格昂贵，故一般均采用蓝宝石。

纯粹的水割有下列三点不足之处：

- (1) 不能切割更硬的材料，如硬的岩石、金属、高强度化合物等。
- (2) 需要较大的功率。
- (3) 个别情况下会出现分层和条痕。

为了提高喷水切割的能力，就要使用磨料。磨料喷射水切割系统的核心部分就是一个小的磨料喷射喷嘴，如图2所示。

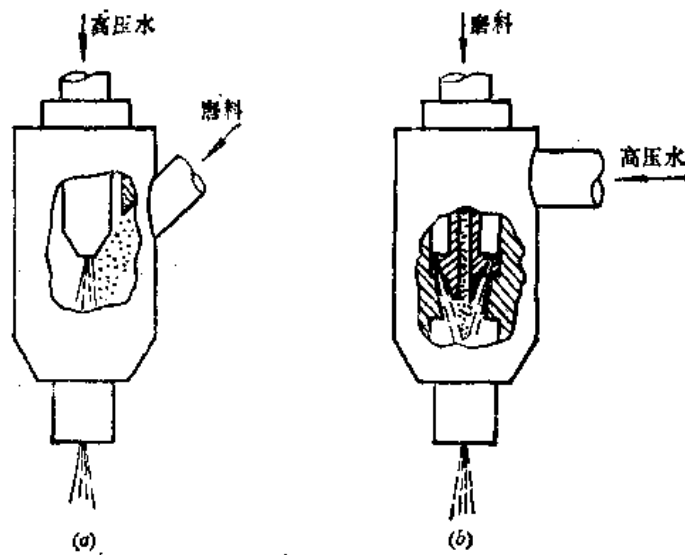


图2

水被加压到413.4MPa，经过蓝宝石喷嘴后形成一束高速的喷射流，它与磨料在混合器内发生能量交换，再从加速喷嘴中喷出，得到一束高速的磨料流，并由它来执行其

[⊖]摘自美国流体系统公司切割试验报告

切割任务。该方法能切割任何材料，可降低所需功率，因无分层现象而减少条纹痕迹。

表2是磨料喷射水切割一些材料的厚度和工艺参数。

表2. 磨料喷射水切割工艺参数⁽¹⁵⁾

种类	材 料	最大厚度 (mm)	工 艺 参 数					
			磨料名称	磨料流量	压力(MPa)	切割速度	切割次数	功率
混凝土	混凝土	355	16°石榴石	4.3kg/min	241.2	76mm/min	3	
	钢筋混凝土 (钢筋φ18mm)	355		水流量 13.6L/min		25.4mm/ min	1	5000HP
岩 石	花岗岩	305						
	玄武岩	305						
	石英岩	305						
	大理石	203						
	耐火砖	38						
金	不锈钢 ^{15-5pH} ^{170-4pH}	127		1.36kg/min	206.8	152mm/min	1	45HP
	中碳钢	≤114		"	206.8	203mm/min	1	45HP
	工具钢	≤76		"	203.8	38mm/min	1	"
属	铝合金 (7075-T5)	152	二氧化硅砂	"		25.4mm/ min	1	20HP
	钛合金	50						
	铸 铁	≤76						
	硅 钢	≤114						
	碳化钨	12.7	需硬磨料和更高的压力					
	青铜、铝、紫铜	100						
	陶 瓷	氧化铝	25.4					
瓷 砖		12.7						
氧化铝蜂窝		25.4						
氧化铝泡沫		25.4						
复合 材料	凯芙拉-铝 (装甲钢板)	63.5				≤304mm/ min	1	22HP
	玻璃纤维	50						
	石 墨	50						
玻 璃	单 层	50		0.45kg/min		508mm/min	1	10HP
	多层(每层厚 1.6mm)	25层		0.45kg/min		152mm/min	1	10HP
	层压玻璃	76						
	飞机风挡玻璃	38						

注:●1. 表中所列最大厚度不代表最大切割厚度的极限值。

2. 厚度减小,切割速度可提高。

表3列出了两种型号的水割设备的技术规格[⊖]。

表3. 水割设备技术规格

型 号	G-408-8	401
工作尺寸(高×宽×深)(mm)	1016×1067×915	臂长4400
摆 动	X方向	±65°无级调速
	Y方向	±15°步进7.5°/次
间 隙(mm)	0.2	大臂转角185° 小臂转角120°
外形尺寸(高×宽×深)(mm)	2363×1067×3049	
机 重(kg)	409	
高压泵压力(MPa)	392.3	392.3
喷嘴直径(mm)	0.08~0.46	0.076~0.381
特 征	通用式, 用于下料, 手工送料	单臂关节式, 万能靠模切割零件
最大高度(m)		3.81
配用泵站(该泵站可单独与其中一个型号配合, 也可同时与二个型号配合使用)		
高压泵型号		11X-2
增压器数量(个)		2
增压比		20:7
出口流量(L/min)		4.7
出口压力(MPa)		392.3
电机功率(HP)		60
油泵流量(L/min)		118

2.1.8 非金属材料下料

2.1.8.1 剪切下料

大部分非金属的板料、带料均可用剪床下料, 但对剪床有特殊要求, 见表。

剪切非金属材料的要求⁽¹⁶⁾

设 备	应 用 范 围	要 求
冷 剪	热固和热塑性塑料	1. 上、下刀刃平行; 2. 刀刃间隙0.01~0.03mm; 3. 上刃前角3°~5°, 后角8°~10°; 4. 刃口锋利并带压板
	层压塑料和其他脆性塑料	1. 上、下刃口平行; 2. 上刃前角3°~4°, 后角6°~15°; 3. 刃口锋利并带压板
热 剪	电工纸板、压纸板、漆布、2mm以下的纤维板	1. 刀与刀的重迭值不大于1~1.5mm; 2. 刀片直径≥(60~80)t (t为料厚); 3. 间隙为0

注: 1. 在剪切包箱塑料时, 箔层应朝向下刃。2. 用斜口剪床剪切层压塑料和其他脆性材料时, 在表面可能出现不允许的“杉针形”缺陷, 因此, 这类材料必须用平口剪床。3. 对料厚在0.8~3mm的各类塑料板, 冷剪可得光滑切口; 料厚3~9mm时则要热剪才能得到光滑切口; 料厚大于9mm不宜剪切⁽¹⁶⁾。

[⊖]本表摘自美国流体系统公司产品资料。

2.1.8.2 铣切下料

当料厚大于2.5mm时,可用铣切方法进行直线或曲线下料,具体设备和参数见表。

铣切下料加工方法及参数^{〔10〕}

材 料	加 工 方 法
硬聚氯乙烯、有机玻璃、夹布胶木板	设备:板金立铣或龙门板金铣 参数:同铝合金材料见2.1.6.2节
层压塑料	设备:专用圆盘铣 参数:刃齿每齿铺开0.5~0.8mm以上,铣刀带退屑槽
玻璃布塑料	设备:圆盘铣 参数:刀片必须用硬质合金 铣切速度200~600m/min 进给速度0.03~0.1毫米/齿

2.1.8.3 锯切下料

仅在板厚大于2.5mm时才采用锯切下料,常用非金属材料的锯切方法见表。

锯切下料加工方法及参数^{〔10〕〔8〕}

材 料	加 工 方 法
胶纸板、夹布胶木	设备:圆盘锯 参数:直径100~400mm,齿数20~70,镶高速钢或硬质合金刀片 切削速度 600~1000m/min 进给速度 0.07~0.3毫米/齿
有机玻璃、硬聚氯乙烯塑料和其他热塑性塑料	设备:木工带锯、木工圆盘锯 参数:切削速度 15~35m/s 进给速度 1~2m/min 锯口宽度约为锯片厚度的2倍
夹布胶木、石棉布塑料、石棉纸塑料、云母板、玻璃布塑料	设备:金刚砂轮 参数:砂轮片直径300~400mm砂轮片厚2~5mm 切削速度 3000~3600m/min 进给速度0.01~0.6m/min

2.1.8.4 高压水切割下料

见2.1.7.5节,适用于有机复合材料。

2.1.8.5 激光切割下料

见2.1.7.2节,适用于木材、有机玻璃和塑料板等。

2.1.9 下料工艺方案选择与下料工艺规程

2.1.9.1 下料工艺方案的选择

为了组织和指导生产，以及产品的验收和交接，必须编制下料工艺规程。在编制下料工艺规程之前，应首先确定下料工艺方案，下表列出了各类加工方法及其选择。

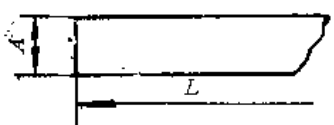
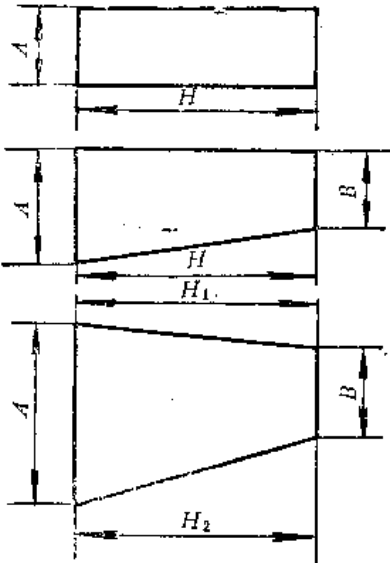
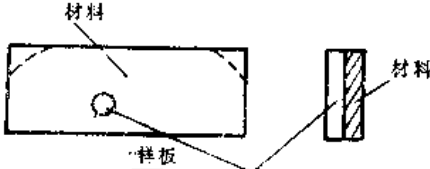
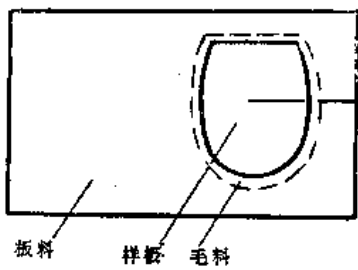
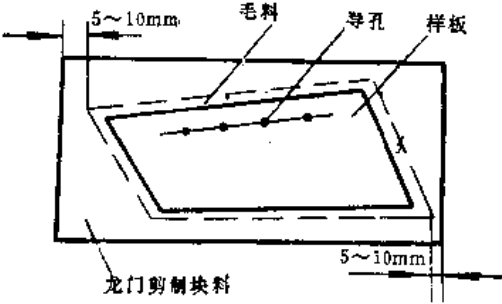
各类加工方法及其选择表

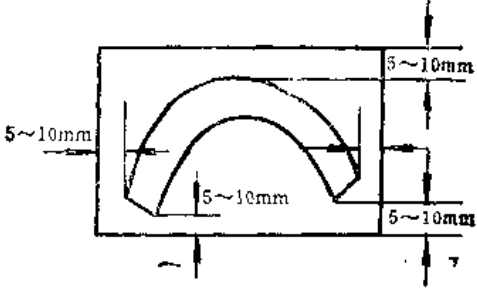
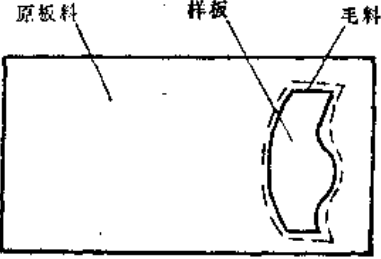
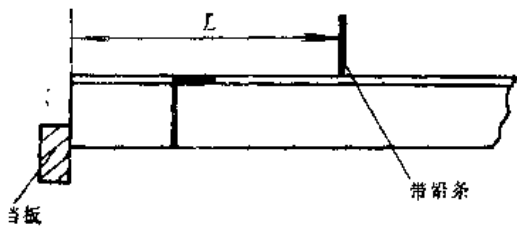
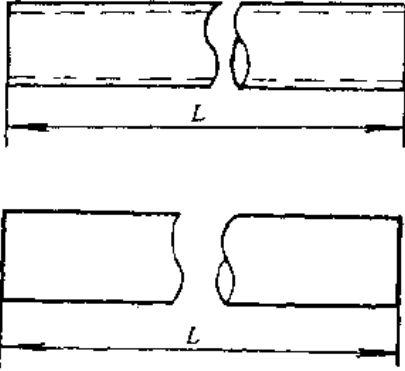
加工内容		加工方法	工艺准备	
条料、块料、梯形料等直线形外缘		1. 龙门剪床剪切 2. 要求精确的条料可用多用自锁滚剪 3. 料厚大于9mm的非金属板，采用锯切		
曲线形、混合形内外缘的板材(mm)	$t \leq 10$ 的铝合金及非金属	$\leq 500 \times 800$	板金立铣床铣切、斜滚剪剪切、振动剪切	预订1:1铣切样板
		$\geq 800 \times 800$	龙门型铣床或回臂铣钻床铣切、滚剪、振动剪剪切等	预订带缩放尺寸的铣切样板
	黑色金属	$t \leq 5$	激光切割、高压水切割、金属带锯、蚕食冲剪、斜滚剪、压力剪、振动剪	
		$t > 5$ 的碳钢、钛合金、低合金钢	氧气切割、振动剪($< 9\text{mm}$)铣床铣切	
		$t > 5$ 的不锈钢、钛合金、高合金钢	等离子切割、仿形铣切	预订仿形靠模
	洋火钢硬质合金		线切割	预先编程
	铝、铜	$t > 5$	等离子切割、金属铣床、金属带锯	
非金属材料		复合材料	高压水切割	预制靠模或切割样板
	其他	木工带锯、圆锯、专用圆盘铣、金刚砂轮等		
型材		金属带锯、砂轮锯、型材剪床、冲模冲裁、低速圆盘锯、弓形摆锯	配通用切断模	
管材		高速圆盘锯、砂轮锯、金属带锯		
产量大、要求高的小型零件或毛料		冲模裁切	预订电磁模或薄板模或聚氨酯冲模	
各类工艺孔(mm)	$t \leq 5$	直径 $\phi 8$ 以下：台钻、闸压床、气动打孔机和回臂铣钻床加工 直径 $\phi 8$ 以上：先钻 $\phi 2.7$ 中心孔，然后冲制孔位公差 $\leq \pm 0.2$ ；钻模、专用样板	配备通用平口冲模预订钻模、专用样板	
	$t > 5$	钻、绞、镗、线切割、金属铣床	视具体要求而定	

2.1.9.2 下料工艺规程

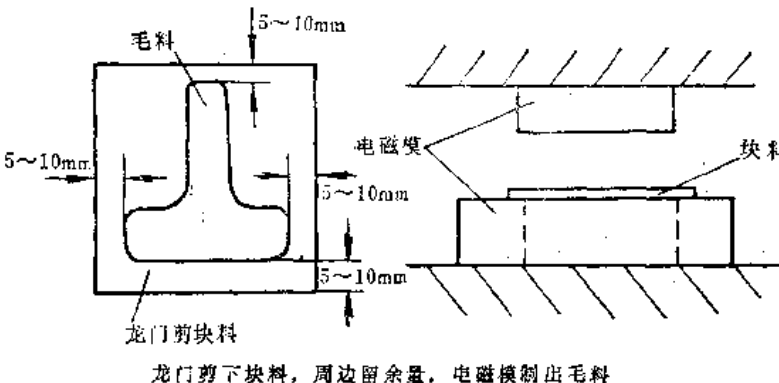
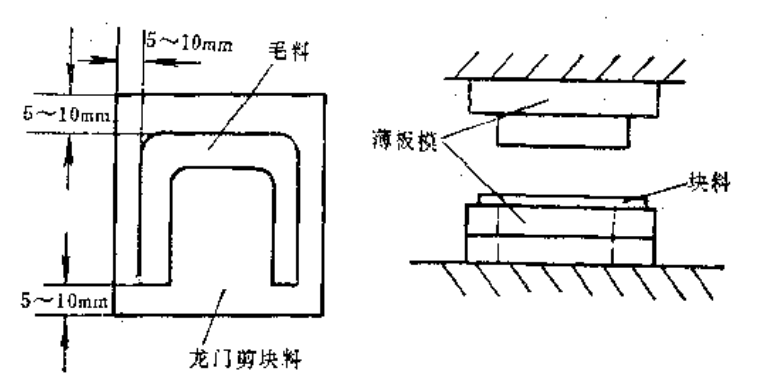
为了减少工艺规程编写的工作量，缩短生产准备周期，可采用典型下料工艺规程，工人根据代号即可自行操作。典型化可有多种方法，如按成组技术的要求则应将板件进行分类编组，每组给一个标准的工艺规程；也可按工序典型化的要求进行编写。

典型工艺规程举例

典型 工艺 规程 编号	典型工艺规程 名称	内 容 (草图)	设备、工具
1	按尺寸下条料	 <p>在龙门剪床上剪切</p>	龙门剪床, 卷尺
2	按尺寸下块料	 <p>在龙门剪床上剪切</p>	龙门剪床, 卷尺
3	按样板下块料 并剪修	 <p>在龙门剪床上剪切, 按样板修剪</p>	龙门剪床 卷尺 样板
4	滚剪块料	 <p>在原板料上按样板划出外形线, 四周留出余量滚剪</p>	样 板 滚 剪 机 铅 笔
5	回臂铣下块料	 <p>按样板划线, 在四周留出余量, 剪切块料, 经OC-86铣, 钻出毛料</p>	龙门剪床 回臂铣床 钻床 台 样 板 回臂铣 样板 弓形 夹 压板、螺钉

典型工艺规程号	典型工艺规程名称	内 容 (草 图)	设备、工具
6	龙门剪—板金立铣下块料	 <p>按样板裁出块料(周边应有5~10mm的余量),在板金立铣床上用靠模样板铣出毛料。</p>	龙门剪床 板金立铣床 样板 靠模样板 弓形夹 形铣刀
7	按样板滚剪 铣切下块料	 <p>按样板划线滚剪毛料,然后在板金立铣上精铣外形。</p>	滚剪机 板金立铣床 样板 板金靠模样板 铣刀 铣铅 刀笔
8	型材带锯下料	 <p>调整挡销 带锯锯切</p>	带锯 锯条 卷尺
9	管材、棒材锯 切下料	 <p>按尺寸划线 锯切下料</p>	锯床 条锯 砂轮 卷尺

(续)

典型 工艺 规程 编号	典型工艺规程 名称	内 容 (草 图)	设备、工具
10	电磁模下料	 <p>龙门剪下块料, 周边留余量, 电磁模制出毛料</p>	龙门剪床 卷尺 电磁模 冲床
11	薄板模下料		龙门剪床 卷尺 薄板模 冲床

表列是有色板金件典型下料工艺规程举例,基本上是按分组的方法制定的。

也可将上述典型工艺规程输入微机。使用微机编制工艺规程可以大大提高工艺规程的编写效率和质量。

2.1.10 钛合金、镁合金和LC4材料对下料的特殊要求

在工艺方案选择与工艺规程编制中,要特别注意钛合金、镁合金和LC4材料的特殊要求,否则将造成零件的成批报废或重大技安事故。

2.1.10.1 钛合金材料的特殊要求

加工、检验钛合金材料的所有工、夹、刀、量具、严禁带有铝、锌、铅、锡、镉等金属,下料车间尤应注意与铝材隔离。

厚度在4.8mm以下的钛板,可以冷剪,但刀片间隙应在0.05~0.1mm之间。

钛合金板材钻孔要用高速钢钻头,其总厚度小于或等于6.4mm者,转速1200r/min。厚度在6.4mm以上者,转速为400r/min。钛合金不能用板金铣床铣切下料。

2.1.10.2 镁合金材料的特殊要求

在室温下,当材料厚度小于或等于1.5mm时,可以用剪切和冲裁的方法下料,但需留一定的加工余量(见表),以防止微裂纹产生。边缘经打磨后达到零件尺寸要求。

		打磨余量值 (mm)							
料厚	0.6	1.0	1.5	2	3	4	5	8	10
余量	0.1	0.2	0.3	0.4	0.7	1.3	1.8	2.5	3.6

在室温下,当材料厚度大于1.5mm时,只能用锯切、铣切或加热冲裁的方法下料。

在龙门剪床上剪镁合金板材时,刀具的几何尺寸和刀具的间隙值应遵照有关规定。

严禁镁合金与硝酸盐、镁屑和水接触,否则将会引起燃烧和爆炸,各类镁合金材料严禁熔切下料。在加工过程中不允许用润滑油和冷却液,加工好的零件注意防水、防尘,严禁放在地上,并按有关规定及时进行表面保护。此外镁合金还禁止与钢、铜、铅、银、镍和石墨铅笔接触,下料中只能用红蓝铅笔划线或用龙胆紫标记。

2.1.10.3 LC4超硬铝材料的特殊要求

对LC4M状态的材料无特殊要求,但对LC4CS状态的材料则有如下要求:

- (1) 在室温下,当料厚大于2.5mm时,不允许剪切、冲裁、只能铣切和锯切下料。
- (2) 下陷区不允许钻孔。
- (3) 板材和型材的边缘断面粗糙度不大于 $Ra6.3\mu m$,音速区零件 $Ra\leq 3.2\mu m$ 。

参 考 资 料

- [1] 《机械工业产品原材料消耗工艺定额工作手册》,国防工业出版社,1964年。
- [2] 罗曼诺夫斯基著,梁炳文、迟家骏译,《冷压手册》,中国工业出版社,1965年。
- [3] 万战胜等编,《冲压模具设计》,中国铁道出版社,1983年。
- [4] 精密机械(日),1977年2月,P.16。
- [5] 《航空工艺技术》,1979年8期。
- [6] 《航空制造工程》,1985年6期,P.10。
- [7] 《模具制造手册》,机械工业出版社,1982年。
- [8] 林德宽著,《航空非金属材料施工法及应用》,国防工业出版社,1962年。
- [9] 《化工与通用机械》,1977年5期。
- [10] 《焊接》,1970年2期。
- [11] 《国外机械工业》,1981年4期。
- [12] 《机械工人》,1981年10期。
- [13] 《电加工》,1976年1期。
- [14] 《国外机加技术》,1984年2期。
- [15] Mechanical Engineering, March 1984, P. 60。
- [16] 鲍勃雷宁著《非金属材料冲压工艺学》,国防工业出版社,1965年。

2.2 冲 裁

2.2.1 定义与范围

冲裁是一种板金的分离工序，包括冲孔和裁件，即切出内形和外形，它们都用模具完成。冲裁轮廓包括封闭的（如完整的孔和切出整个外形的裁件）和不封闭的（如切边和条料的切断）两种形式。因用于冲孔和裁件的模具构造基本相同，在本章中除特指内容外，对两种加工都适用。

本章将介绍排样；模具构造和具体设计要领及数据；为选用机床所必要的对冲裁力、功和功率的计算；精密冲裁与橡皮冲裁（特种冲裁工艺）；夹模与板模（简易模具形式）。本章还将介绍对非金属材料冲裁用的冲切模和钢带模，以及为提高冲裁质量用的整修模具；还附带介绍质量和润滑问题。

2.2.2 排 样

小批钣金件生产，成本取决于模具费用；大量生产的成本，决定于材料费用；中批生产，材料费用一般也占较大的比重。故对材料的充分和有效利用，是钣金生产的一项重要经济指标。工艺人员应当与产品设计人员配合，研究如何在不影响使用要求的条件下，争取采用无废料或少废料的排样方法。

2.2.2.1 无废料排样

无废料排样，是指除板料边缘外，中间无废料的排样方法，如图1~图5，是简单几何形状本身可以作出这种安排的例子。有些复杂形状，如作出适当安排，也可以达到这个目的；如图6(a)是一般带搭边的冲裁方法，如果用图6(b)的无搭边无废料排样方法，可以大大节约材料。

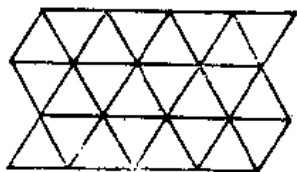


图1

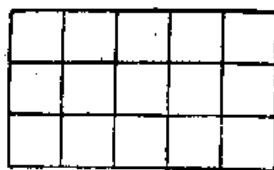


图2

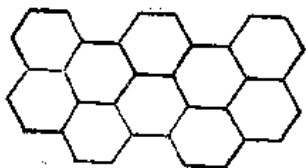


图3

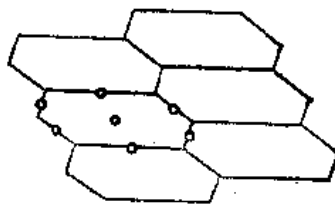


图4

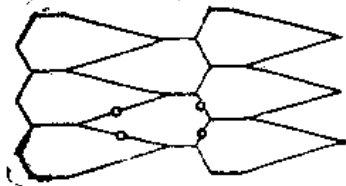
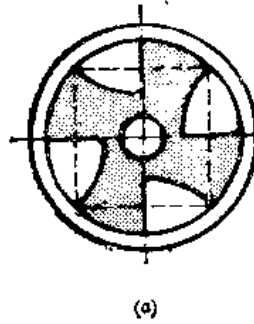
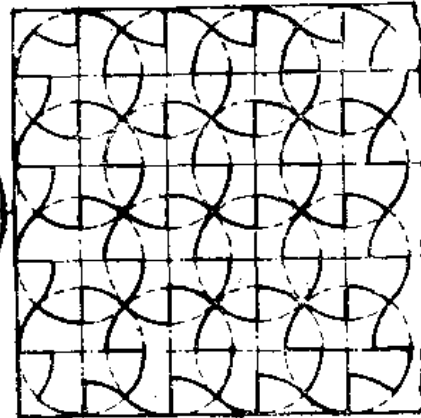


图5



(a)



(b)

图6

2.2.2.2 无搭边少废料排样

同一种形状的零件，不同的排样方法，如图1，(a)~(c)，有不同的材料利用率，以无搭边排样，如图1(d)所示，最为节约。各种方式的废料率见表。

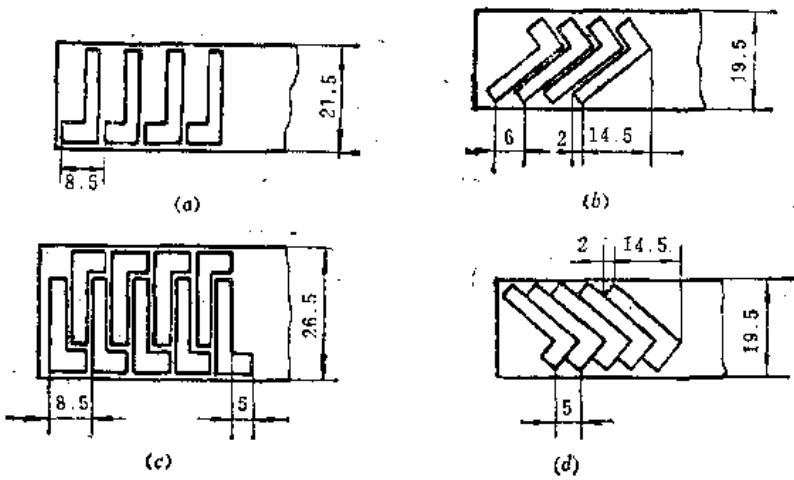


图1

几种排样方式的废料率^{〔1〕}

图	比 较	每米个数	废料率, %
1(a)	差	116	61.04
1(b)	较好	163	39.06
1(c)	更好	231	37.00
1(d)	最好	244	22.30

图2是用无搭边的单凸、凹模冲裁模具原理图，图3是用双凸、凹模连续冲裁原理图。

有些零件形状略加改变，就可以大大节约材料，如由图4(a)改成图4(b)，可节约材料55.5%。图5(a)所示排样方法，每 2m^2 板料只生产36个零件，改成图5(b)所示形状和排样方法后，每 2m^2 可生产63个零件。

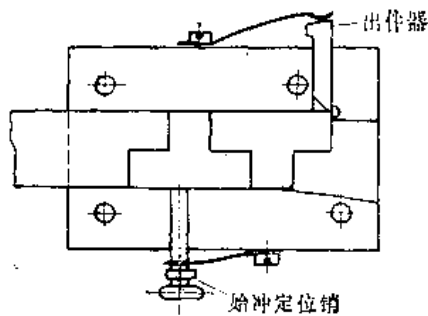


图2

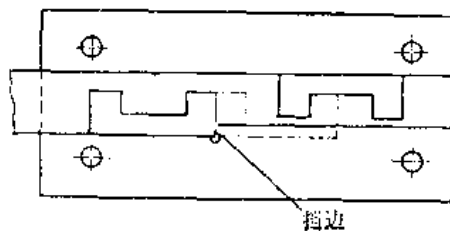
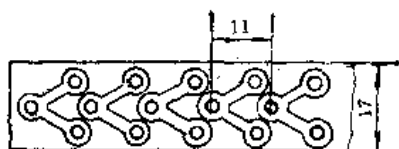
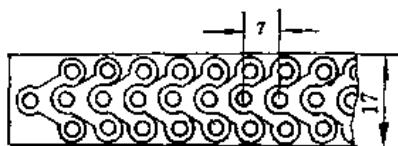


图3



(a)

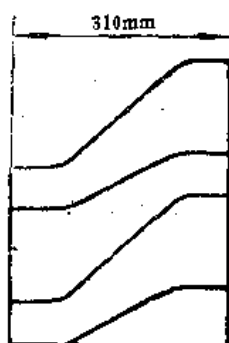


(b)

图4



(a)



(b)

图5

2.2.2.3 废料利用的排样

冲裁废料往往可以将其作为小零件加以利用，而且往往可以用连续冲裁方法，将基本零件与利废零件，同时冲裁出来。图1所示，是基本零件呈外圆内方，利废零件呈外方内圆的垫圈形状，也可以将大小零件都作成内外都是圆形的垫圈，图示的材料节约为23.5%，模具费用节约为50%。图2是将废料作为两种垫圈，使材料利用率增加了40.6%，生产费用降低了30%^[1]。

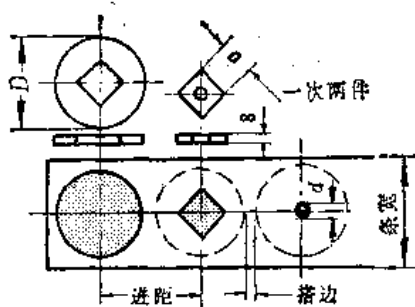


图1

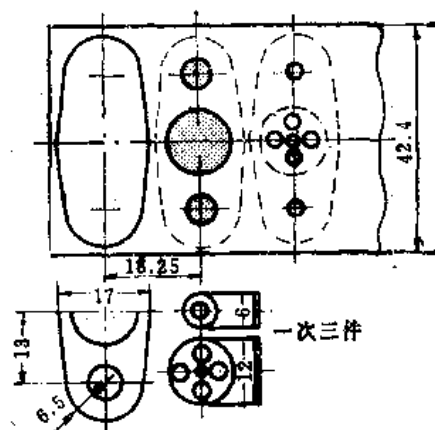


图2

2.2.3 冲裁模工作部分

2.2.3.1 间 隙

对于冲裁模，间隙指凸模刃口与凹模刃口之间的距离 z ，即所谓单边间隙。有人将圆形凸模与凹模洞口直径之差，叫做双边间隙。对不规则形状的冲裁件与不封闭的冲裁，双边间隙没有什么实用意义，且容易引起混乱。在本书中，所有间隙都指单边间隙而言，以 z 表示。在应用中，又常用 z 与厚度 t 之比来表示，所谓相对间隙，以 $C_s = z/t$ 来表示。

根据理论计算和实验结果^{〔2〕}， $C_s = 17\%$ 时，脱料力与推件力等于零，这对模具寿命和冲裁的顺利进行，都是有利的。故如果裁件精度不高时，最好采用 $C_s = (17 \pm 3)\%$ 的大间隙，进行冲裁。

为了不使冲裁件产生塑性弯曲，即挠曲，可选用合理的上限值，这样既可以减小冲裁力、脱料力和顶件力，又可以延长模具寿命。合理间隙上限值为^{〔2〕}：

$$(C_s)_v = \frac{1}{12k} \quad (1)$$

使冲裁件或冲孔达到最好精度的间隙，是合理间隙的下限值，即：

$$(C_s)_L = \frac{1}{2}(C_s)_v = \frac{1}{24k} \quad (2)$$

上两式中的 K 值，可用以下的近似式^{〔2〕}：

$$K \approx 0.6 \sim 0.7(1 + \epsilon_B) \quad (3)$$

对硬料用0.6，对软料用0.7。式中 ϵ_B 是细颈点实际应变。由式(1)和(2)计算的各种材料合理间隙上限值 $(C_s)_v$ 和下限值 $(C_s)_L$ 见表1。如已知某种材料的 ϵ_B 值，可以由式(1)、(2)和(3)计算出更切合实际的 $(C_s)_v$ 和 $(C_s)_L$ 值。

间隙大于 $C_s = 20\%$ 不再有什么好处，对韧性材料反而会增加脱料和推件力，恶化冲裁件质量。间隙小于 $(C_s)_L$ 对提高冲裁件和冲孔质量，也一般不再有什么优点，反而会显著提高冲裁力和脱料力，缩短模具寿命。

表1. 各种材料的合理间隙上限值 $(C_x)_U$ 和下限值 $(C_x)_L$

材 料	ϵ_B	$(C_x)_U$	$(C_x)_L$	材 料	ϵ_B	$(C_x)_U$	$(C_x)_L$
08号钢	0.227	0.104	0.052	LF2M	0.16	0.103	0.052
10号钢	0.23	0.104	0.052	LC4M	0.12	0.106	0.053
20号钢	0.18	0.109	0.055	LF3	0.3	0.10	0.05
LY12CO	0.13	0.123	0.062	LF5	0.27	0.10	0.05
LY12MO	0.13	0.106	0.053	7075铝	0.142	0.122	0.061
LY11CO	0.15	0.12	0.06	30CrMnSi	0.14	0.122	0.061
LF21M	0.21	0.10	0.05	1Cr18Ni9Ti	0.34	0.10	0.05

一般作业, 可采用表2的数值。

表2. 一般作业用 C_x 值⁽³⁾

材 料	C_x (%)	材 料	C_x (%)
纯 铁	6~9	磷 青 铜	6~10
软 钢	6~9	硬 铝	6~10
硬 钢	8~12	软 铝	5~8
砂 钢	7~11	硬与软铝合金	6~10
不 锈 钢	7~11	铝	6~9
软与硬铜	6~10	玻莫(透磁)合金	5~8
软与硬黄铜	6~10		

考虑材料厚度因素时, 采用表3的 C_x 值⁽³⁾。

考虑凸, 凹模制造公差的最大最小间隙, 见下面2.2.6表1和表2。

表3. 考虑板料厚度的 C_x 值

材 料	厚 度 (mm)					
	1以下	1~2	2~3	3~6	5~7	7~10
软钢(10号钢, 20号钢) 铜, 软黄铜, 硬铝 软与硬铝合金	5	6	7	8	9	10
中硬钢(25号钢~40号钢) 硬黄铜, 硅钢, 不锈钢	6	7	8	9	10	11
硬钢(40号钢~60号钢)	7	8	9	10	11	12

对于胶纸板和胶布板:

厚度1mm以下, $(C_x)_{min}=1\%$, $(C_x)_{max}=2\%$

厚度2mm以下, $(C_x)_{min}=3\%$, $(C_x)_{max}=5\%$

厚度5mm以下, $(C_x)_{min}=5\%$, $(C_x)_{max}=6\%$

对于纸, 纸板与云母, $(C_x)_{min}=1\%$, $(C_x)_{max}=2\%$

2.2.3.2 模 具

2.2.3.2.1 凹模洞口形式

冲裁凹模工作部分有图示四种形式。

图(a)所示形式的优点是刃边坚固,修磨不影响洞口尺寸;缺点是洞内积存废料或零件,提高推件力,对细凸模不利。在使用顶件装置及精密冲裁中,应采用这种形式。直筒部分高度 h ,视工件厚度与大小而异,介于3~12mm之间,为了便于落料,下面锥形斜度 $\alpha_1=3^\circ\sim 5^\circ$

图(b)所示形式的斜角 α_2 ,使废料很容易推落。 α_2 值视板料厚度而定,

t 在1mm以下, $\alpha_2=0^\circ 30'$

t 由1到3mm, $\alpha_2=1^\circ$

t 在3mm以上, $\alpha_2=1^\circ 30'$

由于 α_2 小,修磨使洞口直径的增加有限,例如 α_2 为 $30'$ 时,磨去0.1mm,直径增加0.0017mm; $\alpha_2=1^\circ$ 时,磨去0.1mm直径增加0.0034mm。重磨8~10次,直径总增加量为0.04~0.06mm,这在大多数1T8、1T9级精度的工件,是可以允许的。由于不积件,磨损小,模具寿命反而大于图(a)所示形式,当 $\alpha_2=30'$ 时,寿命可延长18~40%^[1]。

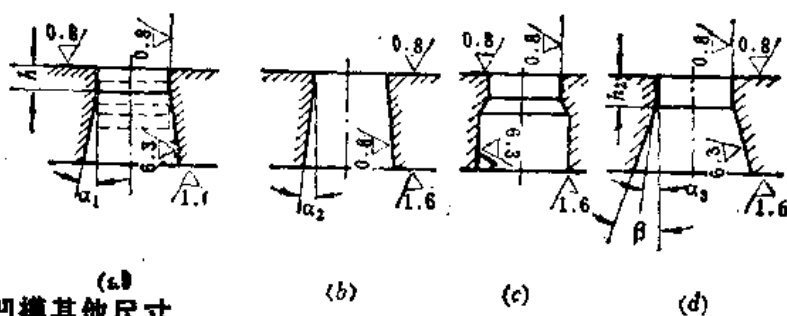
图(c)多用于冲圆孔。

图(d)是图(b)的改型,这里只对高 h_2 的部分要求较精确的角度 $\alpha_3=0^\circ 30'\sim 1^\circ 30'$,具体数值与 α_2 按上面根据 t 的规定相同。 β 角可近似取 $3^\circ\sim 5^\circ$,以利出料。 h_2 值按以下规定:

t 在0.5mm以下 $h_2=3\sim 5\text{mm}$

t 由0.5到1mm $h_2=5\sim 8\text{mm}$

t 在1mm以上 $h_2=8\sim 10\text{mm}$



2.2.3.2.2 凹模其他尺寸

设 b 为工件垂直于进料方向的最大尺寸, H 为凹模厚度,两者可按以下关系规定,

$15\text{mm}<b<50\text{mm}$ 时, $H\approx(0.5\sim 0.35)b$;

$b=50\sim 100\text{mm}$ 时, $H\approx(0.35\sim 0.22)b$;

$b=100\sim 200\text{mm}$ 时, $H\approx(0.22\sim 0.18)b$;

$b>200\text{mm}$ 时, $H\approx(0.18\sim 0.12)b$ 。

当板料厚度小于0.8mm时, H 可减小15~25%,当厚度在3mm以上时, H 增加15~

25%。

凹模的宽度 $B \approx b + (2.5 \sim 4)H$ 。

2.2.3.2.3 压入式凹模

用于大量圆形小件和小孔的冲裁和冲孔，凹模压入凹模夹板内，便于更换。

图1是带凸缘压入式凹模，图2是不带凸缘的压入式凹模，这两种都有广泛应用。

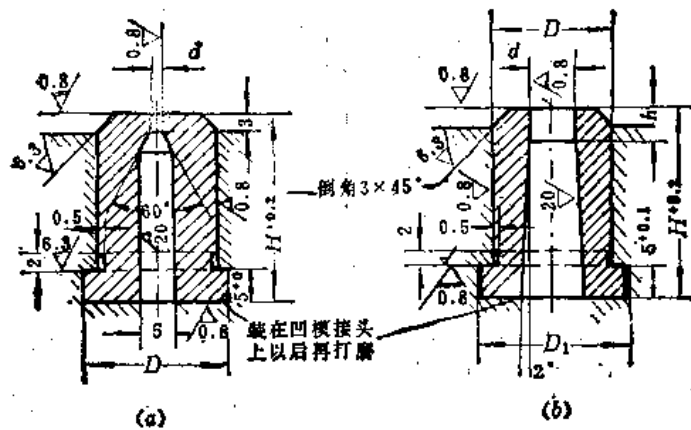


图1

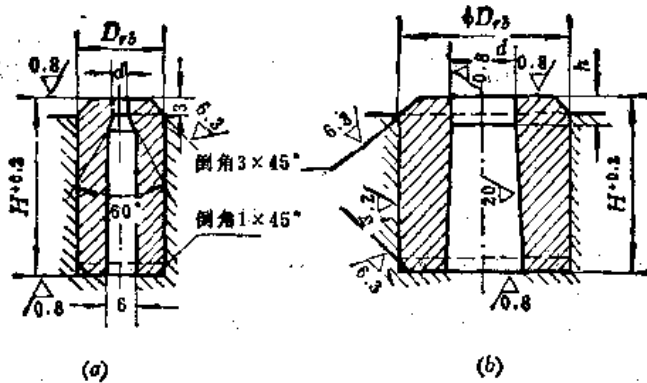


图2

图3是锥形压入式凹模，可以有更大的箍紧力，用于直径15~100mm的冲裁件，外侧斜角为 $5^\circ \sim 10^\circ$ 。

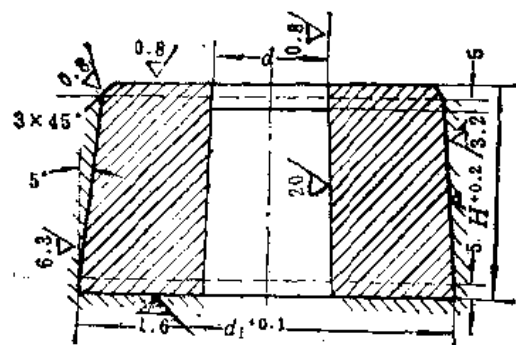


图3

图4(a)和(b)是快装卸型凹模。

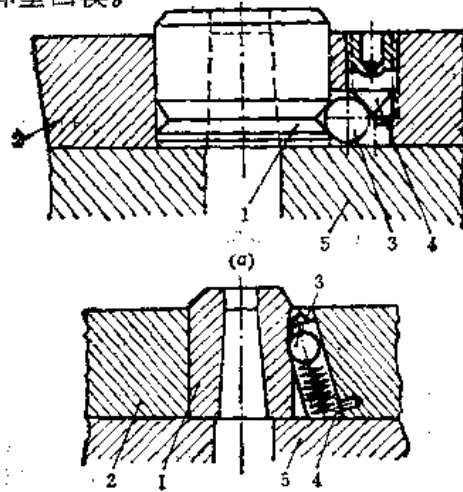


图4

1—凹模；2—凹模夹板；3—钢珠；4—螺钉或弹簧；5—模板。

这些用凹模夹板固定的凹模，优点是：(1) 用模具钢少；(2) 固定容易可靠；(3) 凹模更换容易，代价小；(4) 由于没有螺钉等孔洞和急剧转拆，在热处理中不发生裂纹，变形小。

2.2.3.2.4 镶拼凹模

镶拼模(又叫组合模)一般用于轮廓复杂的工件和孔型的冲裁，以便于制造，磨削，淬火和更换。设计时应注意：

- (1) 为了避免毛刺过大，不要在角落和曲缘部分对接。
- (2) 各镶块应有足够的面积来固定，以免在冲压中游离。
- (3) 对于连续模，每个工位作成一块。

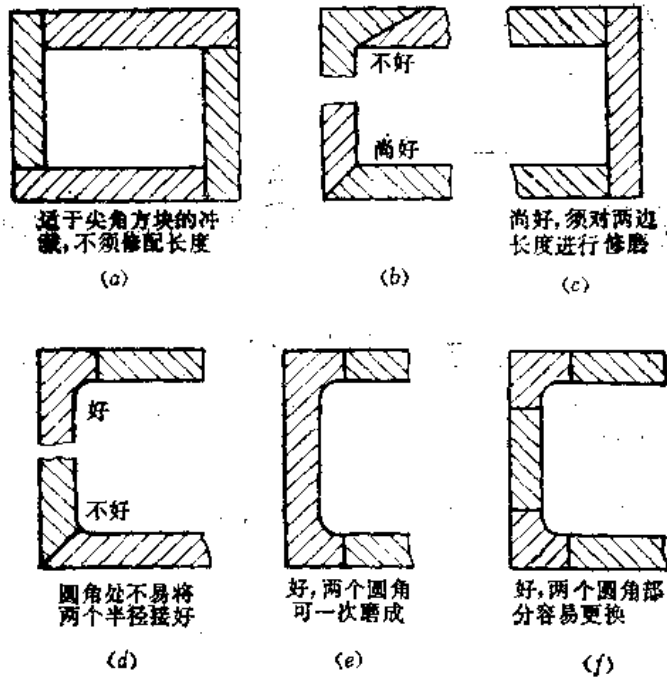


图1

图1是对不同镶拼方法的评价,图2是转子冲裁凹模的镶拼形式,图3是连续模的拼接例子。图4和图5是既可以用于凹模,也可以用于凸模的拼接例子。图6是一个冲裁凹模的正确拼接和固定方法。注意各镶块非工作部分之间,应有间隙,以免影响工作部分的紧密对接,有些小镶块由于受两边镶块的限制,不会转动,可不要销钉,但对于大镶块,应有两个销钉和足够数量的紧固螺栓。

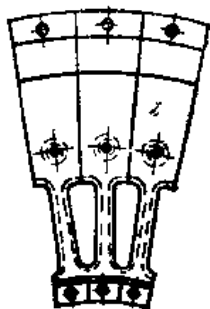


图2

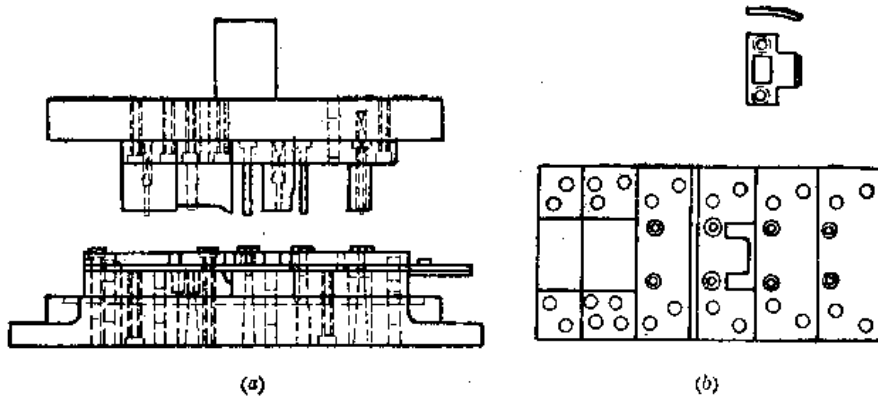


图3

(a) 连续冲裁模, (b) 凹模平视图。

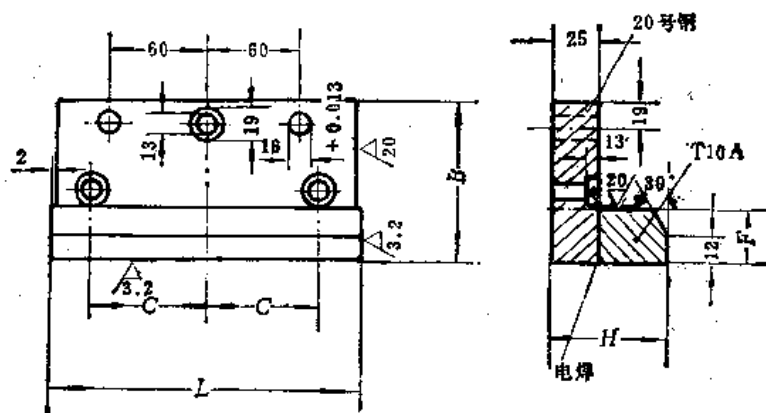


图4

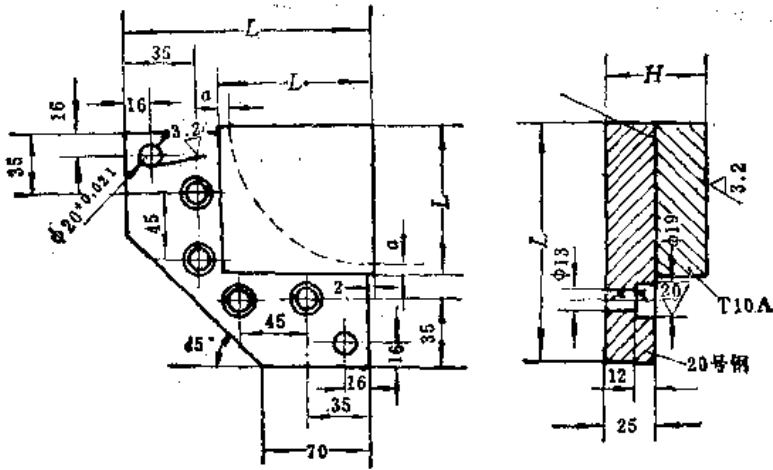


图5

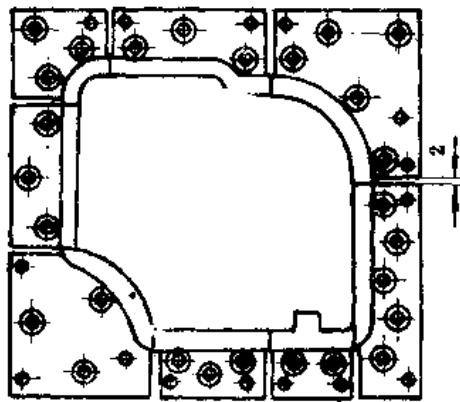


图6

2.2.3.2.5 凸模

凸模是冲裁模的一个重要工作部分，视尺寸大小和使用要求，有以下几种常用形式。

图 1 (a)，圆形，可以更换，直径 d 介于 3 到 12mm 之间，用于孔径接近或略大于板厚的冲孔工作，便于更换。

图 1 (b)，圆形，可以更换，直径 d 介于 12 到 70mm 之间，用于冲裁和冲孔。端头加工见放大图。

图 2 (a)和(b)是组合式凸模，用于对厚度在 2mm 以下的板料冲大孔的工作，孔径在 50 到 250mm 之间，工作部分可以更换，节约模具钢。

图 3，圆形，有铆头，可以更换，直径在 1 和 25mm 之间。在薄板上用于间距近的多孔冲孔工作。

图 4(a)所示凸模，用于直径小而长的场合，是组合型，1 为加强套管（见图 4b），2 为承轴（见图 4c），3 为凸模（见图 4d），冲直径 0.8 到 12mm 的孔用，便于更换。

图 5(a)，快装卸型凸模，凸模 1 用滚珠 3 和螺钉 4 装在凸模夹板 2 上。用于对厚 3mm 以上的板料冲直径 3 到 30mm 的孔用。

图 5(b)，另一种快装卸型凸模，凸模 1 由滚珠 3 固定在凸模夹板 2 上，滚珠用弹簧 4

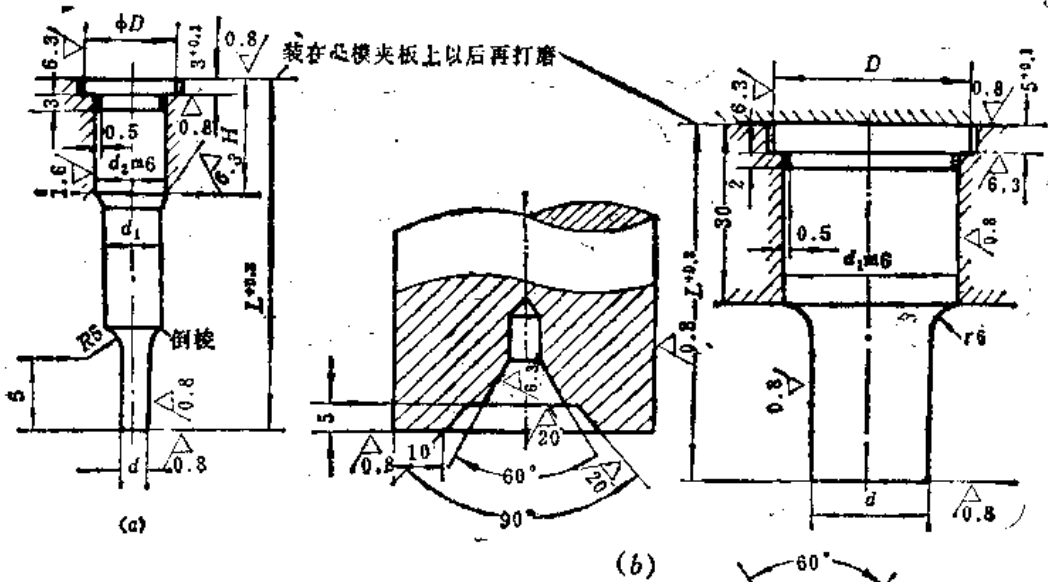
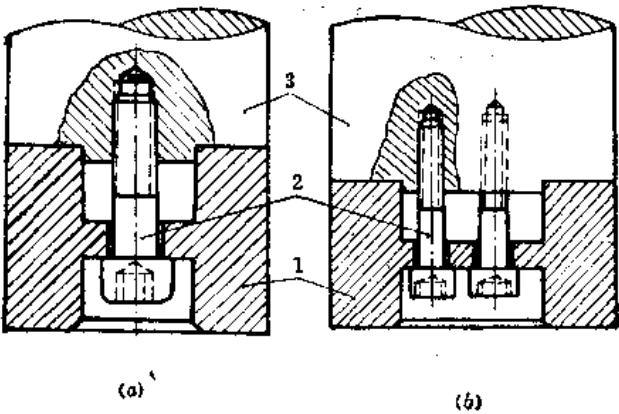


图1



(a)

(b)

1—凸模; 2—螺柱; 3—接头。

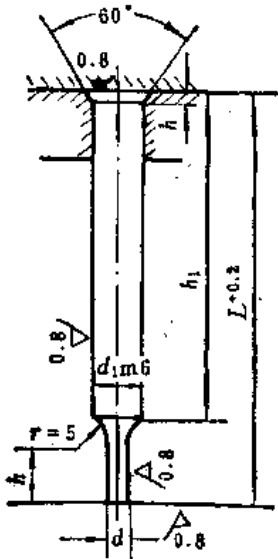


图3

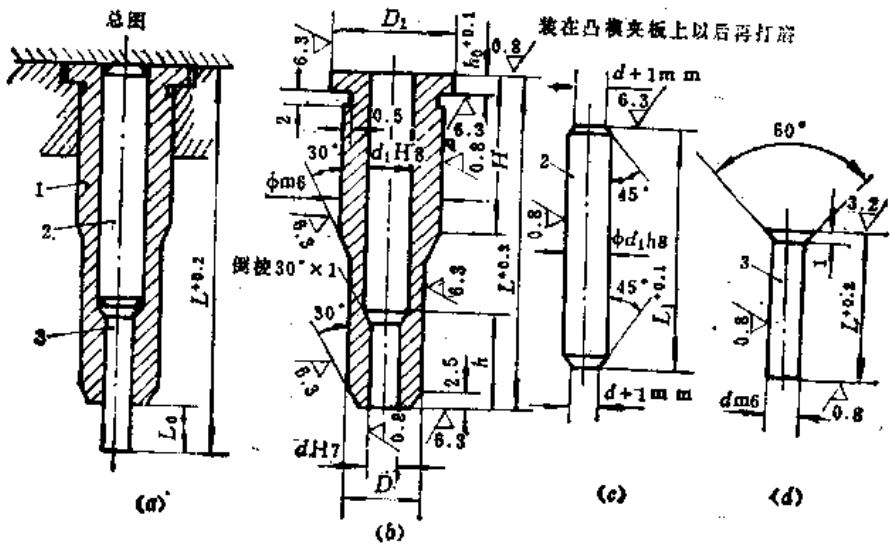


图4

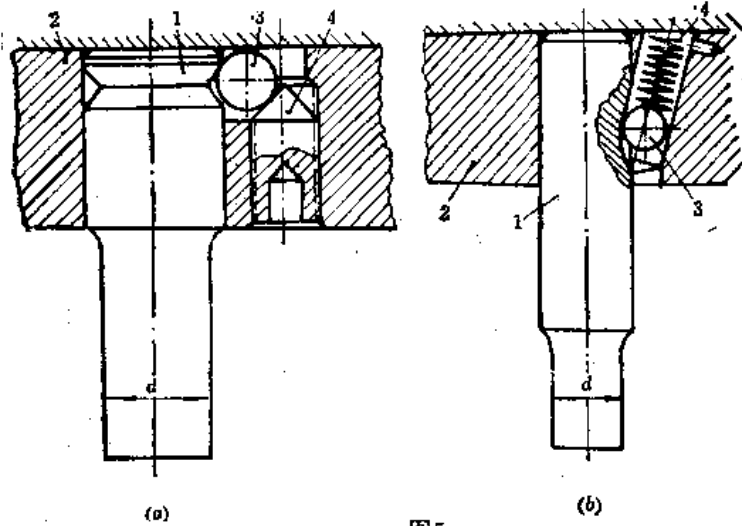


图5

1—凸模；2—凸模夹板；3—钢珠；4—螺钉或弹簧。

支持，对厚度在3mm以下的板料冲直径3到30mm的孔用。

以上各种形式，对冲裁和冲孔都适用^{〔4〕}。2.2.3.2.4节的镶拼方法及要领，对凸模也适用。只是凹模的镶块固定部分位于工作部分之外，凸模镶块的固定部分位于工作部分之内。

凸模长度由以下经验公式确定（图6）：

$$L = H_1 + H_2 + H_3 + (10 \sim 20) \text{mm}$$

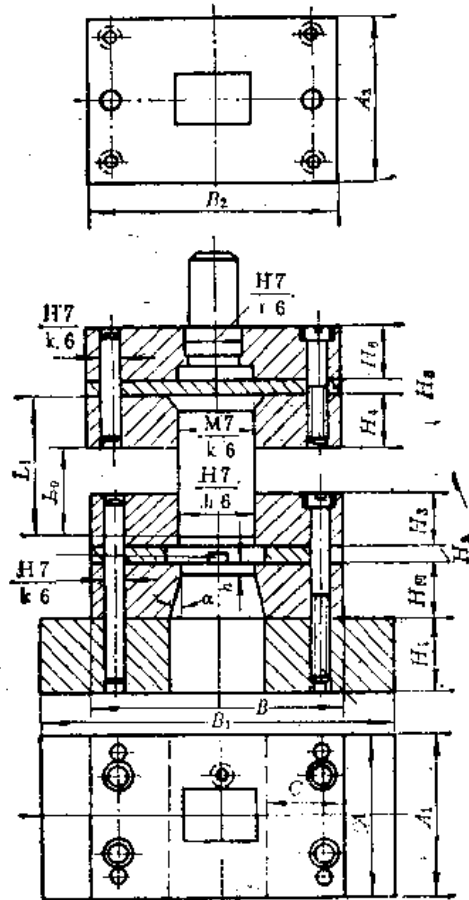


图6

2.2.4 斜 刃 模

在凸模或凹模上作成斜刃，可以减小冲裁力，用吨位小的冲床，冲出用平刃不能胜任的裁件或孔。

图1(a)和(b)是在凹模上作出凹进或凸出的斜刃，可冲出平的裁件和翘曲的孔型。用图1(c)和(d)斜刃凸模，可冲出平的孔型和翘曲的废料。图1(e)所示的斜刃凸模，孔与裁件都是平的，但凸模受侧力大，很少用来冲裁，多用来开不落料的半孔(气眼)。

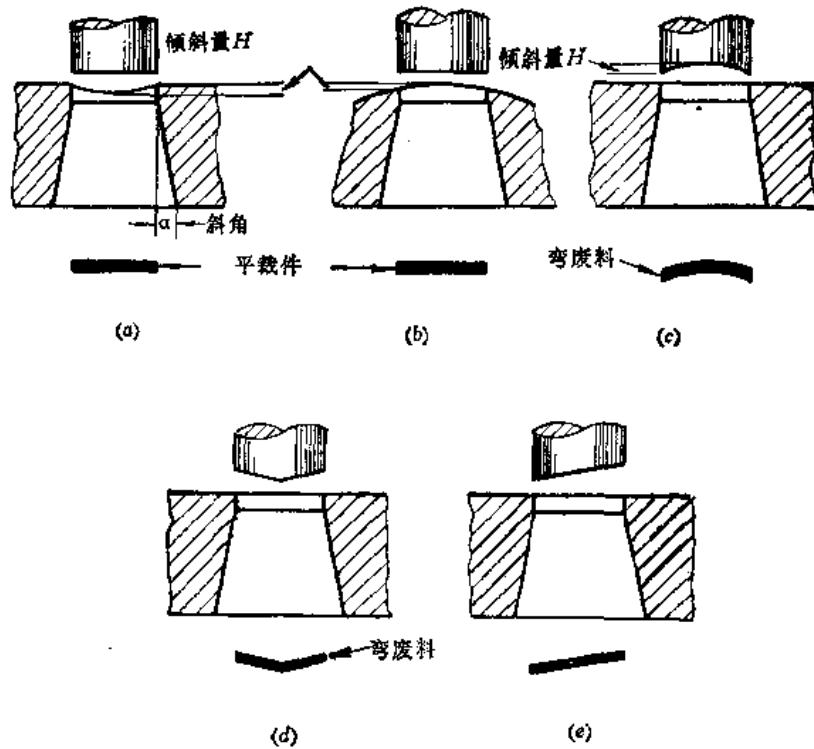


图1

(a) 凹模凹进；(b) 凹模凸出；(c) 凸模凹进；(d) 凸模对称凸出；(e) 凸模不对称倾斜。

许用的最大倾斜量如表所示：

板料厚度, mm	1.25以下	1.25~2.4	2.5~3	3.1~3.74	3.75~4.5	4.75以上
最大倾斜量, mm	3	3.7	4.5	5.7	7.5	11~12.7

冲裁矩形件时，如果凹模作成向下凹进的倾斜角，应从外向内逐渐倾斜到中心；四角仍是平的，使板料得到支持，如图2所示。

用斜刃模的冲裁（冲孔）力计算式，见2.2.8.1节表2。

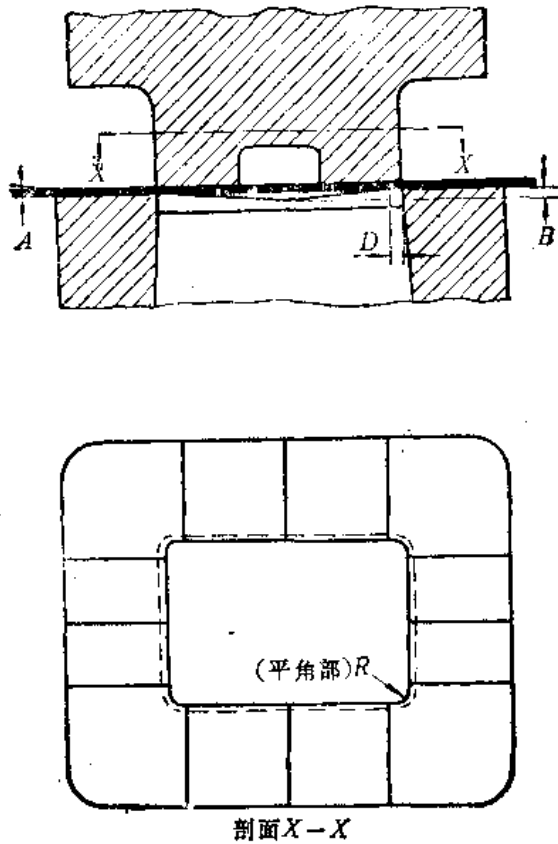


图2

2.2.5 冲裁件(以下简称裁件)与冲孔的尺寸偏差

裁件偏差 (δ_1) 与冲孔偏差 (δ_2) 受以下因素的影响:

材料愈软, 偏差绝对值愈小, 裁件尺寸愈与模具尺寸一致。

绝对偏差随裁件尺寸的增加而增加, 相对偏差随之而减小。

影响偏差的最大因素是间隙。一般当相对间隙 $C_s = 1/24k$ 时, 偏差最小 (见2.2.3.1节)。

表1是各种材料裁件最大偏差的绝对值 δ_1 及其占凹模直径 d_s 的百分率。表2是各种材料冲孔最大偏差 δ_2 与裁件最大偏差 δ_1 的比较表, 供一般参考。

由于冲裁和冲孔带来的偏差, 使裁件与冲孔的精度等级, 总是大大低于模具加工精度。

表3是钢裁件与冲孔一般能得到的精度等级。

表1. 各种材料最大裁件偏差 δ_1 及其占 d_s 的百分率⁽⁴⁾

材料	t (mm)	$d_s = 60\text{mm}$											
		$z = -0.06\text{mm}$		$z = 0.025\text{mm}$		$z = 0.315\text{mm}$		$z = 0.615\text{mm}$		$z = 0.025\text{mm}$		$z = 0.315\text{mm}$	
		δ_1 (mm)	δ_1 (% d_s)	δ_1 (mm)	δ_1 (% d_s)	δ_1 (mm)	δ_1 (% d_s)	δ_1 (mm)	δ_1 (% d_s)	δ_1 (mm)	δ_1 (% d_s)	δ_1 (mm)	δ_1 (% d_s)
钢	0.6	0.070	0.116	0.036	0.060	-0.090	0.150	—	—	—	—	—	—
	1.0	0.046	0.076	0.035	0.058	-0.070	0.116	-0.885	1.47	0.016	0.053	0.045	0.149
	2.2	0.024	0.038	0.030	0.050	-0.054	0.089	-0.074	0.123	0.014	0.046	-0.030	0.099
黄铜	0.7	0.040	0.066	0.032	0.053	-0.060	0.100	—	—	0.028	0.094	—	—
	1.5	0.036	0.060	0.026	0.043	-0.036	0.060	—	—	0.022	0.074	-0.030	0.099
	2.15	0.032	0.053	0.030	0.050	-0.050	0.080	-0.050	0.080	0.020	0.066	-0.028	0.094
	3.2	0.020	0.050	0.025	0.040	-0.035	0.058	-0.085	0.108	0.014	0.046	-0.022	0.074
软铝	1.0	0.025	0.041	0.010	0.017	-0.062	0.103	—	—	0.010	0.033	-0.048	0.158
	2.0	0.010	0.016	0.005	0.008	-0.035	0.060	-0.054	0.090	0.009	0.030	-0.030	0.099
	2.9	0.006	0.010	0.005	0.008	-0.086	0.040	-0.030	0.050	0.004	0.013	-0.022	0.073
硬铝	0.5	0.055	0.091	0.015	0.025	-0.463	0.770	—	—	0.018	0.059	-0.275	0.908
	1.25	0.023	0.038	0.010	0.017	-0.073	0.121	-0.605	1.005	0.012	0.040	-0.030	0.099
	2.75	0.015	0.025	0.010	0.017	-0.040	0.080	-0.068	0.110	0.006	0.020	-0.020	0.066
软铝 拉铝	1.0	0.040	0.066	0.021	0.035	-0.041	0.068	-0.036	0.060	0.014	0.046	-0.032	0.106
	2.0	0.014	0.023	0.010	0.018	-0.034	0.056	-0.055	0.091	0.010	0.033	-0.022	0.073
	2.9	0.011	0.018	0.008	0.013	-0.032	0.054	-0.045	0.075	0.006	0.006	-0.016	0.053
硬铝 拉铝	1.0	0.056	0.093	0.030	0.050	-0.042	0.070	-0.078	0.129	0.020	0.066	-0.032	0.106
	2.85	0.049	0.081	0.032	0.053	-0.039	0.050	-0.104	0.173	0.014	0.046	-0.026	0.086

表2. 各种材料冲孔最大偏差 δ_2 与裁件最大偏差 δ_1 比较表⁽⁴⁾

材料	t (mm)	孔径 $d=30\text{mm}$				裁件直径 $d=30\text{mm}$			
		$z=0.02 \sim 0.31\text{mm}$							
		δ_2 (mm)		δ_2 (% d_s)		δ_1 (mm)		δ_1 (% d_s)	
		由	到	由	到	由	到	由	到
钢	0.6	-0.01	+0.02	0.033	0.066	+0.01	—	0.033	—
钢	1.0	-0.024	+0.02	0.08	0.066	+0.02	-0.04	0.066	0.132
钢	2.2	-0.03	+0.044	0.03	0.147	+0.02	-0.022	0.066	0.074
钢	3.2	-0.04	+0.08	0.132	0.264	+0.018	-0.032	0.06	0.106
黄铜	0.7	-0.015	+0.04	0.05	0.132	+0.028	—	0.094	—
黄铜	1.0	-0.03	+0.02	0.099	0.056	+0.026	-0.07	0.086	0.232
黄铜	1.5	-0.045	+0.024	0.149	0.083	+0.022	-0.03	0.073	0.099

表3. 钢裁件和冲孔一般可得到的精度等级IT(%)

凸、凹模制造精度等级	钢板厚度 t (mm)											
	0.5	0.8	1.0	1.5	2	3	4	5	6	8	10	12
IT7	9	9	11	11	12	—	—	—	—	—	—	—
IT8	—	11	12	12	14	14	14	—	—	—	—	—
IT9	—	—	—	14	14	14	14	14	15	15	15	15

注：裁件根据扩张部分，冲孔根据收缩部分。

2.2.6 裁件与冲孔凸、凹模的制造公差

裁件尺寸主要由凹模口尺寸确定。冲孔尺寸主要由凸模直径确定。规定凸、凹模制造公差时，应保证有合理的间隙。

凸、凹模制造公差与间隙、工件尺寸及其公差有关，如图(1)，图(2)所示。

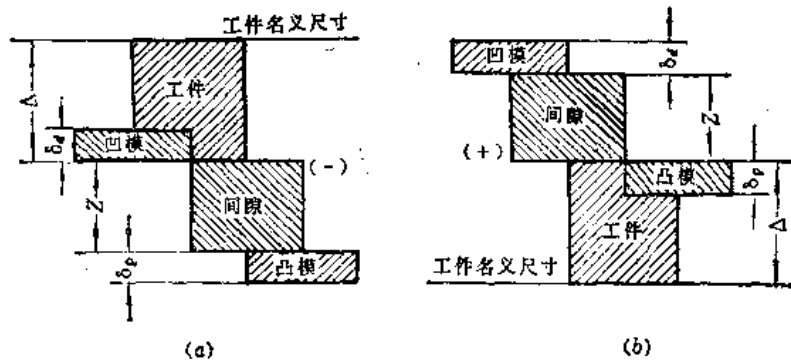


图1

(a) 裁件; (b) 冲孔。

由图1, (a)和(b), 可写出凸、凹模尺寸 D_p 和 D_d 的公式如下。裁件时:

$$D_d = (D_T - \Delta)^{+ \delta_d} \quad (1)$$

$$D_p = (D_T - \Delta - z_{\min}) - \delta_p \quad (2)$$

冲孔时

$$d_p = (d_T + \Delta) - \delta_p \quad (3)$$

$$d_d = (d_T + \Delta + z_{\min}) + \delta_d \quad (4)$$

式中 D_p 、 D_d 、 d_p 、 d_d ——裁件与冲孔用凸、凹模的直径;

D_T 、 d_T ——裁件和冲孔的工件名义尺寸;

z_{\min} ——应保证的最小间隙;

Δ ——工件公差 (裁件外径或孔的内径), 是工件图上规定值;

δ_p ——凸模制造公差;

δ_d ——凹模制造公差。

凹模与凸模的制造公差的总和, 不能大于间隙的公差, 即

$$\delta_p + \delta_d \leq (z_{\max} - z_{\min}) \quad (5)$$

又

$$\delta_p \approx 0.5 \delta_d \quad (6)$$

表列数据是考虑凹模制造公差 (δ_d 为正值), 凸模制造公差 (δ_p 为负值), 最大间隙 z_{max} 和最小间隙 z_{min} 的推荐值。制造公差增加间隙值, 故比一般靠修配规定的间隙要小些。

[例题]: 冲外径 $D_f=60\text{mm}$, 内径 $d_f=30\text{mm}$ 的垫圈 (图 2), 厚度 $t=2.2\text{mm}$; 用中等硬度的钢板, 工件公差按 1T9 级精度。

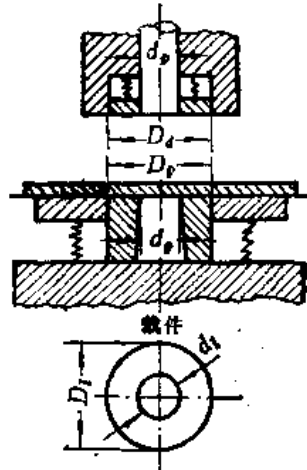


图2

解: 按规定, $\Delta_{D_0}=0.40\text{mm}$, $\Delta_{d_0}=0.28\text{mm}$ 。由 2.2.7 表, 对于厚度为 2.2mm 的板料 (取最近的上限值数值为 2.5mm), 就 60 和 30mm 的尺寸查出 δ_d 和 δ_p , 得

$$D_d = (60 - 0.40)^{+0.12} = 59.60^{+0.12}\text{mm};$$

$$D_p = (60 - 0.40 - 0.12)_{-0.074} = 59.48_{-0.074}\text{mm}。$$

$$d_d = (30 + 0.28)_{-0.062} = 30.28_{-0.062}\text{mm};$$

$$d_p = (30 + 0.28 + 0.15)^{+0.084} = 30.43^{+0.084}\text{mm}。$$

有时为了在加工中便于测量和判读, 可将一些尺寸写成以 5 为进位的读数。例如

$$\begin{array}{l} D_p = 59.50_{-0.08}^{+0.07} \\ d_d = 30.45_{-0.02} \end{array}, \quad \begin{array}{l} d_p = 30.30_{-0.07}^{+0.02} \end{array} \text{ 等等。}$$

对于大的裁件和冲孔, 特别是对于薄料, 由于凸、凹模公差值大, 而许可的 $z_{max} - z_{min}$ 差值很小, 两者不可能兼顾。在这种情况下, 裁件时只将凹模按公差要求加工后, 将凸模根据间隙要求按凹模进行修配。冲孔时, 将凸模按公差进行加工后, 将凹模根据间隙要求按凸模进行修配。对于公差要求不严格的裁件和冲孔, 可根据加工的方便, 先加工凸模或凹模, 将凹模或凸模按间隙进行修配。

2.2.7 模具功能参数

这些包括使板料或条料的进出与定位等有关的几何参数。

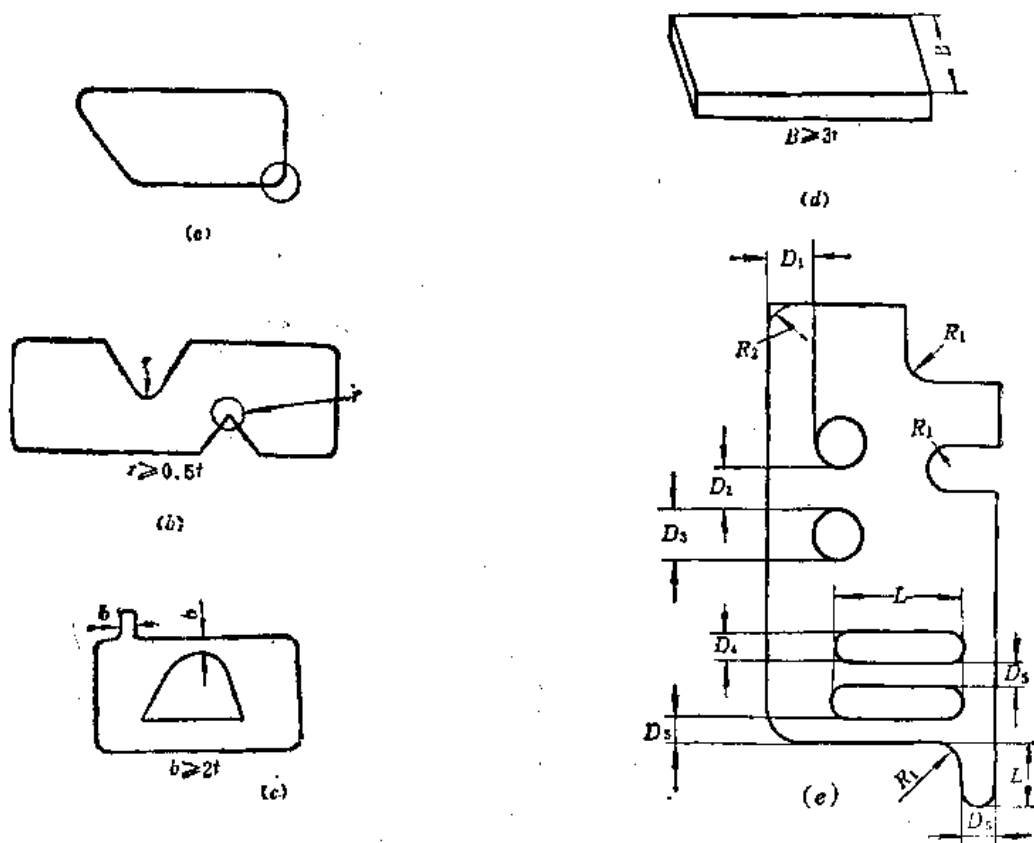
统一考虑的 Z_{min} , Z_{max} , δ_z 和 δ_f 值, 用于圆截件和冲孔

材料厚度 t (mm)	冲孔 (冲孔) 名义尺寸 (mm)															
	1~10				10~50				50~180				180~500			
	Z_{min}	Z_{max}	δ_z	δ_f	Z_{min}	Z_{max}	δ_z	δ_f	Z_{min}	Z_{max}	δ_z	δ_f	Z_{min}	Z_{max}	δ_z	δ_f
0.15	0.0025	0.016	0.015	0.010	0.0025	0.015	0.015	0.010	0.0025	0.015	0.020	0.010	0.0025	0.015	0.020	0.015
0.25	0.0025	0.015	0.015	0.010	0.0025	0.0175	0.020	0.010	0.0025	0.0175	0.025	0.010	0.0025	0.015	0.020	0.015
0.35	0.0025	0.0175	0.020	0.010	0.0050	0.0225	0.020	0.015	0.005	0.025	0.025	0.015	0.0075	0.020	0.020	0.015
0.50	0.0075	0.025	0.020	0.015	0.0075	0.0275	0.025	0.015	0.0075	0.0325	0.030	0.020	0.0075	0.030	0.020	0.020
0.60	0.010	0.030	0.025	0.015	0.010	0.0325	0.030	0.015	0.010	0.0375	0.035	0.020	0.010	0.040	0.025	0.025
0.80	0.0175	0.040	0.030	0.015	0.015	0.0425	0.035	0.020	0.015	0.045	0.045	0.025	0.0125	0.055	0.030	0.030
1.00	0.025	0.050	0.030	0.020	0.020	0.0525	0.040	0.025	0.0175	0.0575	0.050	0.030	0.015	0.065	0.035	0.035
1.20	0.0325	0.060	0.035	0.020	0.025	0.0625	0.050	0.025	0.0225	0.0675	0.060	0.030	0.020	0.075	0.040	0.040
1.50	0.045	0.075	0.040	0.020	0.0375	0.080	0.055	0.030	0.030	0.085	0.070	0.040	0.025	0.090	0.045	0.045
1.80	0.060	0.095	0.045	0.025	0.050	0.1025	0.070	0.035	0.0425	0.110	0.080	0.045	0.0325	0.115	0.110	0.055
2.00	0.065	0.1025	0.050	0.025	0.0575	0.115	0.075	0.040	0.045	0.120	0.100	0.050	0.035	0.125	0.120	0.065
2.50	0.085	0.130	0.060	0.030	0.075	0.145	0.080	0.050	0.060	0.150	0.120	0.060	0.045	0.150	0.140	0.070
2.80	0.100	0.150	0.065	0.035	0.080	0.160	0.105	0.055	0.065	0.170	0.140	0.070	0.050	0.175	0.165	0.085
3.00	0.110	0.165	0.070	0.040	0.080	0.175	0.110	0.060	0.075	0.185	0.145	0.075	0.060	0.195	0.180	0.090
3.50	0.135	0.200	0.085	0.045	0.115	0.205	0.120	0.060	0.100	0.220	0.160	0.080	0.085	0.230	0.190	0.100
4.00	0.150	0.225	0.100	0.050	0.135	0.230	0.125	0.065	0.120	0.250	0.170	0.090	0.100	0.265	0.220	0.110
5.00	0.200	0.285	0.110	0.060	0.1875	0.300	0.150	0.075	0.175	0.325	0.200	0.100	0.160	0.335	0.230	0.120
6.00	0.245	0.340	0.125	0.065	0.230	0.355	0.165	0.085	0.225	0.395	0.225	0.115	0.225	0.415	0.250	0.130
8.00	0.345	0.480	0.150	0.080	0.335	0.495	0.200	0.100	0.335	0.485	0.265	0.135	0.310	0.560	0.330	0.170
10.00	0.450	0.625	0.230	0.120	0.450	0.650	0.260	0.140	0.425	0.675	0.330	0.170	0.400	0.700	0.400	0.200
12.00	0.565	0.765	0.260	0.140	0.540	0.700	0.330	0.170	0.515	0.940	0.400	0.200	0.490	0.840	0.460	0.240
15.00	—	—	—	—	0.775	1.025	0.400	0.200	0.700	1.050	0.460	0.240	0.875	1.075	0.530	0.270
18.00	—	—	—	—	0.900	1.225	0.430	0.220	0.875	1.250	0.500	0.250	0.850	1.275	0.560	0.290
22.00	—	—	—	—	1.225	1.575	0.460	0.240	1.175	1.575	0.530	0.270	1.130	1.600	0.600	0.300
26.00	—	—	—	—	1.475	1.850	0.500	0.250	1.425	1.850	0.560	0.290	1.400	1.875	0.630	0.320

注: 该表是按模具工作部分7级精度和工作13级以下精度制订的, 使用时应注意不使截件凹痕与冲孔凸缘的公差超过工件公差的25%, 如表列数值超过此数时, 应酌量减小。

2.2.7.1 零件工艺性

零件尽量避免有尖角，除在使用上要求有尖角（如飞机蒙皮）外，应尽量倒圆，这对模具淬火和寿命也有利，如图(a)和(b)所示。短的突出窄条宽度 $b \geq 2t$ (图c)，长的窄条宽度 $B \geq 3t$ (图d)。一般可采用图(e)的规定。

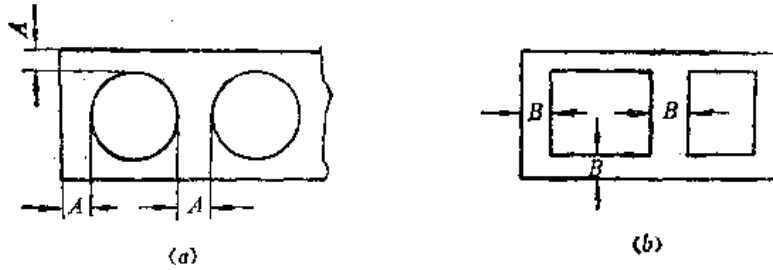


板件推荐的最小尺寸 (见图e)

		冲 裁	
R_1		推荐 4mm 或 $2t$	
R_2		$2t_{\min}$	
D_1	t	有色金属	黑色金属
或	1.59以下	3	3
D_2	1.6~9.7	3或 $1.5t$ 用大数	$2t$
D_3	除合金钢用 $3(\min)$ 外, 其余 $1.0t$ 或 $2(\min)$		
D_4	t	宽	
或	0.8以下	1.53	
D_5	0.85~3.18	$2t$	
	3.2~9.7	$2.5t$	

2.2.7.2 搭 边

零件的工艺性,要求对搭边的最小宽度作出规定(如上节图c)。对一般裁件或冲孔,可按图1(a)和(b)的规定。孔离弯边的距离按图2的规定。对不同材料的搭边要求,见表1。表2是对软钢板推荐的搭边。



板厚	A_{min}	板厚	B_{min}
1.55mm以下	3.1mm	2.3mm以下	4.6mm
1.55mm以上	$2t$	2.3mm以上	$2t$

图1
(a) 圆孔; (b) 矩形孔。

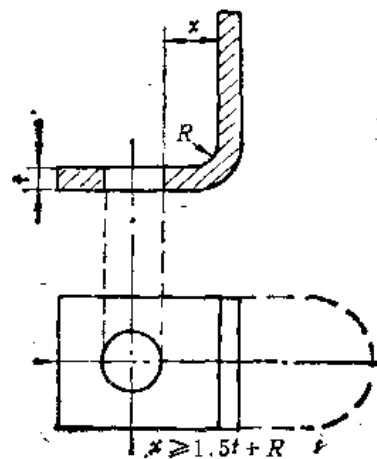


图2 先冲孔后弯曲的孔与弯边距离

表1. 最小搭边宽度 (参见图1)

材 料	裁件之间或沿边搭边长度等于或小于 $2t$			裁件之间或沿边搭边长度大于 $2t$		
	板厚 t (mm)	裁件到边 (mm)	同一行裁 件间 (mm)	板厚 t (mm)	裁件到边 (mm)	同一行裁 件间 (mm)
布, 纸	全部	2.4~4.0	2.4~4.0	全部	2.4~4.0	2.4~4.0
毡, 皮, 软橡皮	1.6以下 1.6以上	1.6 t	1.6 t	1.6以下 1.6以上	1.6 t	1.6 t
硬橡皮, 赛璐珞	全部	$0.4t^{\text{①}}$ 或 1 (min)	$0.4t^{\text{①}}$ 或 1 (min)	全部	$0.4t^{\text{①}}$ 或 1 (min)	$0.4t^{\text{①}}$ 或 1 (min)

(续)

材 料	裁件之间或沿边搭边长度等于或小于 $2t$			裁件之间或沿边搭边长度大于 $2t$			
	板厚 t (mm)	裁件到边 (mm)	同一行裁 件间 (mm)	板厚 t (mm)	裁件到边 (mm)	同一行裁件 间 (mm)	
一 般 金 属	标准条料	0.5以下 0.55~1.4 1.4以上	1.27 1.0 0.7 t	1.27 1.0 0.7 t	1.1以下 1.1以上	1.27 0.9 t	1.27 0.9 t
	特宽料和冲裁 后软弱的废料条	1.07以下 1.07以上	1.53 1.4 t	1.27 1.2 t	0.85以下 0.85以上	1.53 1.8 t	1.27 1.6 t
	送入模具两次的板料	1.07以下 1.1~1.4 1.4以上	1.53 1.4 t 1.4 t	1.27 ^① 1.0 0.7 t	0.85以下 0.86~1.1 1.1以上	1.53 1.8 t 1.8 t	1.27 ^① 1.0 0.9 t
	送进两次, 第一排和第 二排交错	1.07以下 1.07以上	1.53 1.4 t	1.27 ^① 1.4 t ^②	0.85以下 0.85以上	1.53 1.8 t	1.27 ^① 1.8 t ^②
云母, 胶合云母板, 酚纤 维, 帆布	全部	0.6 t ^③ 或 1.53(min)	0.6 t ^③ 或 1.53(min)	全部	0.6 t ^③ 或 1.53(min)	0.6 t ^③ 或 1.53(min)	
透磁合金	全部	1.53	1.53	全部	t ^③	t ^③	
压纸板, 绝缘纤维板, 石棉板	0.8以下 0.8以上	1.6 2 t	1.6 2 t	0.8以下 0.8以上	1.6 2 t	1.6 2 t	
硅钢, 弹簧钢, 不锈钢	1.07以下 1.07以上	1.53(min) 1.4 t	1.53(min) 1.4 t	0.85以下 0.85以上	1.53(min) 1.8 t	1.53(min) 1.8 t	
硫化纤维板	全部	0.8 t ^③ 或 2(min)	0.8 t ^③ 或 2(min)	全部	0.8 t ^③ 或 2(min)	0.8 t ^③ 或 2(min)	

① 在第一行和第二行的裁件之间可用1.53mm。

② 在同一行的裁件之间及第一行和第二行裁件之间可用的搭边。

③ 当裁件边与板边平行, 或裁件之间的搭边大于厚度的4倍时, 可用1.8 t 的搭边。

对于其他材料, 可用以下数值乘表2的 α_1 和 α 值, 作为推荐值:

中等硬度的钢	0.9
硬 钢	0.8
硬黄铜与轧制青铜	1~1.1
杜拉铝	1~1.2
软 黄 铜	1.2
铝	1.3~1.4
非金属 (皮, 纸, 硬纸板等)	1.5~2

对于在旁边有压板及用侧刃准确进料的模具, 可以用比表2小20~25%的数值。

以上指一般民用板金件要求而言。在飞机工业中, 较大的板金件的内孔与外形不一定要求用工具模加工, 有的用简易板模冲裁, 有的还要求给其他加工方法如铣切留有余地, 要求的圆角与搭边等更大一些。一般建议:

1. 毛料 (展开) 与平板零件的尖角, 如图3(a)所示, 按以下尺寸倒圆:

凹入处, $R=5\text{mm}$, 凸起处, $R_1=6\text{mm}$ 。

2. 圆孔到不需要进一步成形的零件外边之间的边距, 不应小于 $4t$, 如图3(b)所示。

表2. 软钢板搭边 a 与 a_1 值⁽¹⁾

板料厚度, mm	圆件及有 $r > 2t$ 圆角的工件		有 $l \leq 50\text{mm}$ 直边部分的工件		有 $l > 50\text{mm}$ 的直边部分或有 $r \leq 2t$ 圆角的工件	
	裁件间, a_1	沿边, a	裁件间, a_1	沿边, a	工件间, a_1	沿边, a
0.25以下	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0
0.25~0.5	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5
0.5~0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	1.8	2.0
0.8~1.2	0.8	1.0	1.2	1.5	1.5	1.8
1.2~1.6	1.0	1.2	1.5	1.8	1.8	2.0
1.6~2.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.0	2.2
2.0~2.5	1.5	1.8	2.0	2.2	2.2	2.5
2.5~3.0	1.8	2.2	2.2	2.5	2.5	2.8
3.0~3.5	2.2	2.5	2.5	2.8	2.8	3.2
3.5~4.0	2.5	2.8	2.8	3.2	3.2	3.5
4.0~5.0	3.0	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5
5.0~12	$0.6t$	$0.7t$	$0.7t$	$0.8t$	$0.8t$	$0.8t$

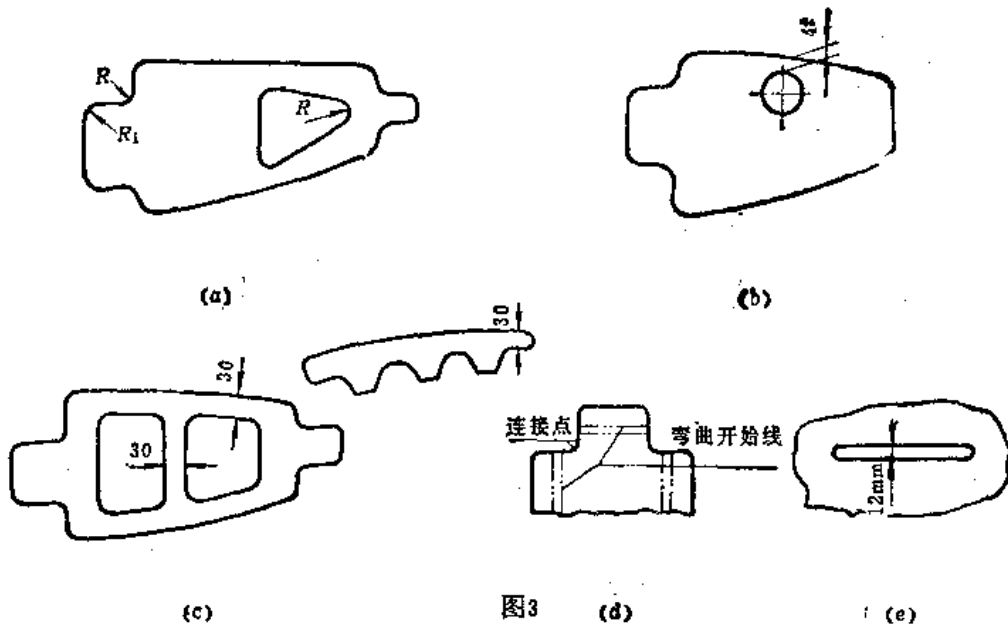


图3

3. 特种形状的孔与不需要进一步成形的零件到外边的边距, 不小于30mm, 如图3(c)所示。

4. 切割线上的圆弧连接点, 不超出弯曲起始线之外, 如图3(d)。

5. 在橡皮成形的零件上, 应预先考虑螺栓孔, 作成形时定位用。螺栓孔不少于两个, 直径为5.2mm; 在图纸附注中注明。

6. 槽缝及不规则孔的最小宽度, 不小于12mm, 如图3(e)。

2.2.7.3 条料宽度与导轨间宽度

排样方式与搭边宽度确定以后, 即可以根据确定条料或卷料的宽度。条料的名义宽度 B 与导轨间宽度 B_0 的数值, 可用下式确定:

一边用侧压时 (条料贴另一边前进):

$$B = D + 2a + \Delta_1, \quad B_0 = B + b_0 = D + 2a + \Delta_1 + b_0 \quad (1)$$

无侧压时:

$$B = D + 2(a + \Delta_1) + b_0, \quad B_0 = B + b_0 = D + 2(a + \Delta_1 + b_0) \quad (2)$$

式中 D ——裁件与进料方向垂直的最大尺寸;

a ——最小的沿边搭边 (由2.2.8.2节表2查得);

Δ_1 ——条料负公差, 由表1查得;

b_0 ——导轨与条料最大可能宽度之间的保证间隙, 由表2查得。

表1. 用剪床裁长2m以下的条料宽度最小公差⁽¹⁾

板料厚度 t (mm)	剪裁条料宽度 (mm)			
	25	50	100	200
	宽度最小公差			
0.5以下	±0.3	±0.3	±0.4	±0.5
1	±0.4	±0.4	±0.5	±0.6
2	±0.5	±0.5	±0.6	±0.7
3	±0.6	±0.6	±0.7	±0.7
4	—	±0.8	±0.8	±1.0
5	—	—	±1.0	±1.3
6	—	—	±1.3	±1.5

注: 剪裁条料时, 两边可能的不平行程度, 不能超过公差范围。

表2. 保证间隙 b_0 的数值⁽¹⁾

(mm)

条料宽度 (mm)	条料或卷料的导向方式		
	不压侧边 ^①	对排不压侧边 ^②	压侧边
100以下	0.5~1.0	2	5
100以上	1.0~1.5	3	8

①对较厚板料用较大值。

②例如2.2.2.2节图1(c)的排样。

2.2.7.4 模具其他尺寸

凹模与卸料板之间的空间 (图1) H 与 h 的尺寸见表1, 凸模与卸料板之间的单边间隙见表2。

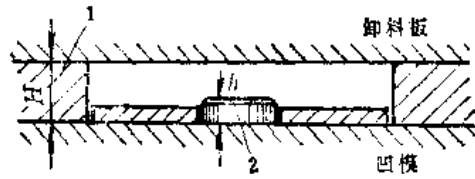


图1

1—导轨；2—挡料销。

表1. 导轨厚度H与固定挡料销高度h^{〔0〕}

板料厚度 t (mm)	h (mm)	厚 度 H			
		固 定 挡 料 销		有刃的或伸缩式挡料销	
		模 具 长 度		模 具 长 度	
		200mm以下	200mm以上	200mm以下	200mm以上
0.3~1	2	6	8	4	5
1~2	3	8	10	5	6
2~3	4	10	12	6	8
3~4	4	12	15	8	10
4~5	5	15	16	10	12

表2. 凸模与固定卸料板间的单边间隙^{〔6〕} (mm)

板料厚度t(mm)	0.2 以下	0.2~0.5	0.5~1	1~3	3~5	5~8	8~10	10~15
用导柱时	0.1	0.2	0.5	1	2	3	4	5
用卸料板导向时与凸模的配合	d	d	d ₁	d ₁	d _{0.4}	d _{0.4}	d _{0.4}	d _{0.4}

图2所示的定料销工作部分尺寸见表3。

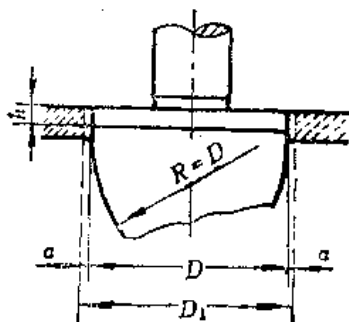


图2

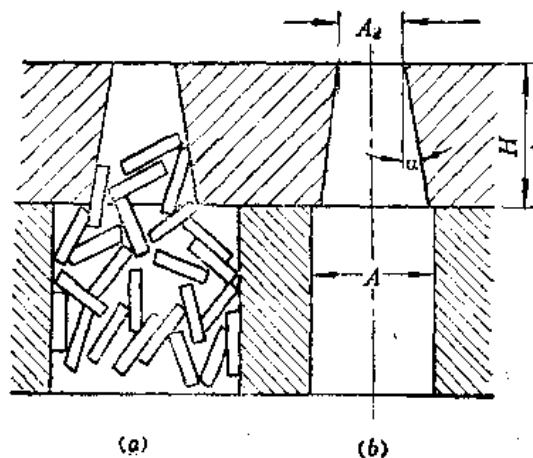


图3

表3. 定料销工作部分^[6]

板料厚度 t (mm)	h	$2a = D_1 - D$ (mm)
1以下	0.5	0.1
1~2	0.5	0.15
2~3	0.5	0.2
3~5	0.5	0.25

下模板的落料孔, 对于小直径冲孔和裁件, 直径 A 并不是越大越好, 太大反而会使落件沿一边下滑, 没有冲力, 由于油泥粘粘, 横竖杂乱地堵塞, 影响落料, 损坏模具(图3a), 正确尺寸如图3(b)所示。 $A_s < 5\text{mm}$ 时, $A = A_s + x$ 。 $A_s > 5\text{mm}$ 时, $A = A_s + 2x$ 。 x 值见表4。

表4. 冲小孔时, 确定落料孔的 x 值

凹模厚度 H , mm	10以下	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35
x (当 $\alpha = 20' \sim 1'$), mm	1.2	1.4	1.6	1.9	2.1	2.4

凹模与凸模夹板, 卸料板及其他模具上的螺栓与销孔之间, 以及孔心与板边之间的最小距离, 见图4, 其数值见表5与表6。

图5是凸模夹板厚度与板料厚度的推荐参考关系。

其他模具零件尺寸与配合, 可参考图6。

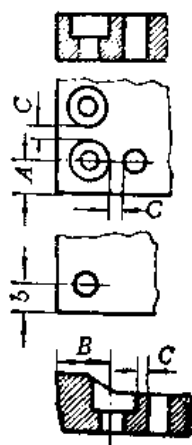


图4

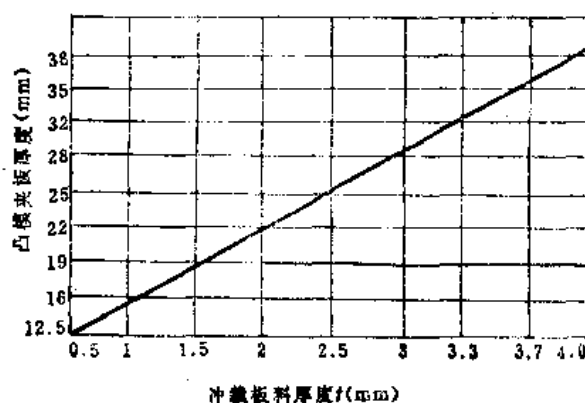
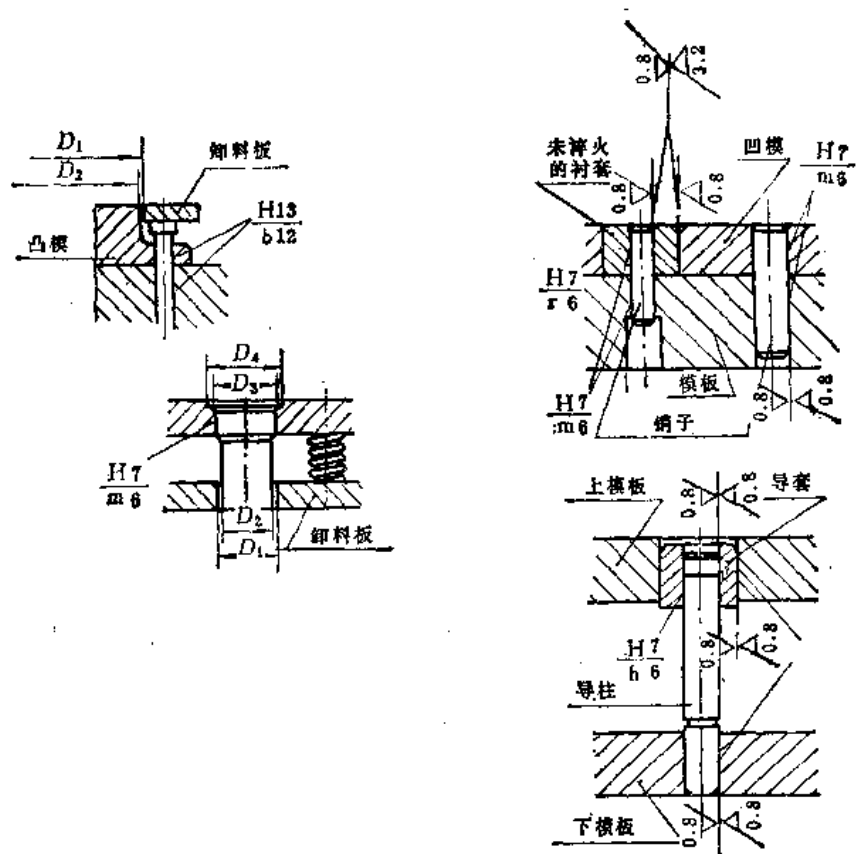


图5



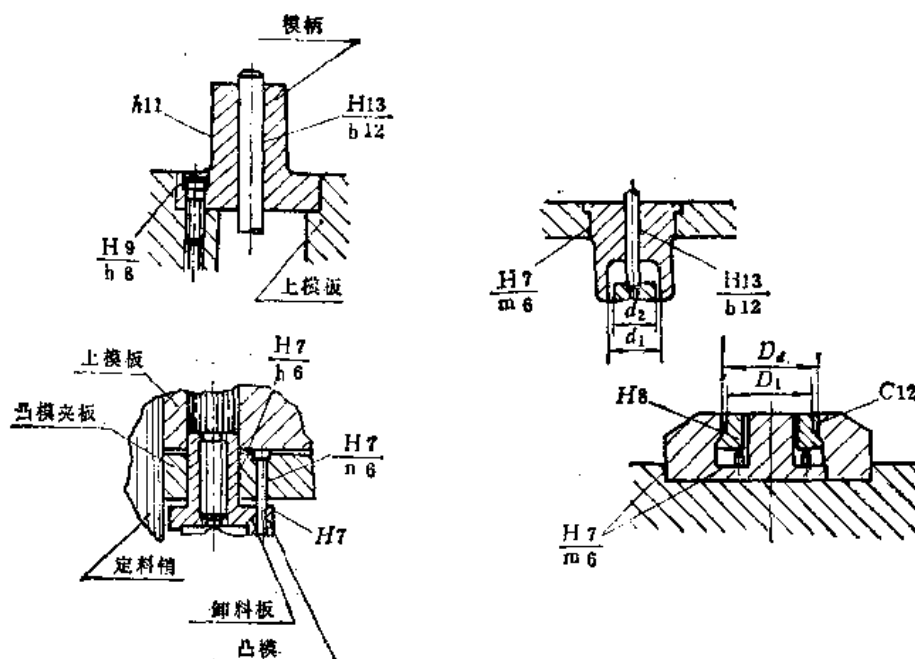
图

表5. 螺栓孔距⁽⁶⁾ (mm)

尺寸	螺 栓 孔	M8	M10	M12	M16	M20	M22	C
A	对淬火零件	12	14	16	20	25	27	5
A	对未淬火零件	10	11	13	16	20	22	3
B	对淬火零件	14	17	19	24	28	32	5

表6. 销孔距⁽⁶⁾ (mm)

销子直径 (mm)	3	4	5	6	8	10	13	16	20	25
对淬火零件	6	7	8	9	11	12	15	16	20	25
对未淬火零件	4	4.5	5	6	7	8	10	13	16	20



6

2.2.8 力、功与功率的计算

2.2.8.1 冲裁（冲孔）力⁽²⁾

单位冲裁力按下式：

$$\tau = k\sigma_s \quad (1)$$

式中 σ_s 是假象极限应力。 k 值按下式计算：

$$k = 0.6 \sim 0.7(1 + \varepsilon_s - C_s) \quad (2)$$

式中 ε_s 是拉伸试件细颈刚出现时的实际应变，其值即等于应变刚指数 n （见1、2章）。 C_s 是相对间隙。系数 $0.6 \sim 0.7$ 根据材料性质来选。脆性及应变刚趋向大的材料用 0.6 ，软的及应变刚趋向小的用 0.7 。

冲裁力按下式计算

$$F = Lt\tau \quad (3)$$

式中 L ——冲裁轮廓长度；

t ——板料厚度。

当缺少 ε_s 数据， C_s 值不明确时， τ 值可由表1查得，用斜刃模的冲裁力计算式见表2。

表1. 各种材料的抗剪强度 τ 和抗拉强度 σ_s (7) (kgf/mm²)

材 料	抗剪强度 τ		抗拉强度 σ_s	
	软	硬	软	硬
铅	2~3	—	2.5~4	—
锡	3~4	—	4~5	—
砷	7~11	13~16	8~12	17~22
铋	22	38	28	48
铟	12	20	15	25
铜	18~22	25~30	22~28	30~40
黄铜	22~30	35~40	28~35	40~60
青铜	32~40	40~60	40~50	50~75
铜镍锌合金	28~36	45~56	35~45	55~70
铁板	32	40	—	45
深压延铁板	30~35	—	32~38	—
钨钼	45~50	55~60	—	60~70
钢0.1% C	25	32	32	40
钢0.2% C	32	40	40	50
钢0.3% C	38	48	45	60
钢0.4% C	45	56	56	72
钢0.6% C	56	72	72	90
钢0.8% C	72	90	90	110
钢1.0% C	80	105	100	130
硅 钢 板	45	56	55	65
不 锈 钢 板	52	56	65~70	—
线	25	—	44~50	57~63

注：本表所列抗剪强度 τ ，只适用于冲裁，不能作其他应力应变关系计算用。1kgf/mm²=9.8N/mm²。

表2. 斜刃冲裁力计算式 (7)

冲 裁 情 况	2.2.4节图1	冲裁力近似计算式
一 般 情 况	(a)	$F = Ltrk$
	(b)	L 在200mm以下
	(c)	$H = t$ 时, $k = 0.4 \sim 0.5$
	(d)	$H = 2t$ 时, $k = 0.2 \sim 0.4$
	其他斜刃形状	

冲裁情况	2.2.4节图1	冲裁力近似计算式
长方形冲裁 (相对的两个边 b 有斜刃)	(a)	$H > t$ 时, $F = 2t\tau (a + b - \frac{t}{2H})$;
	(b)	$H = t$ 时, $F = 2t\tau(a + b/2)$
正方形冲裁 (4边都是斜刃)	(c)	$F = \frac{4t^2\tau}{\text{tg}\varphi}$
圆形冲裁 (相对的两边有斜刃)	(a)	$H = t$ 时,
	(d)	$F = \frac{2}{3} \pi d t \tau$
	(c)	
长方形切口 (一边 b 有斜刃)	(e)	$H > t$ 时, $F = t\tau (a + b - \frac{t}{H})$;
		$H = t$ 时, $F = t\tau(a + b)$

注: H ——斜刃高度(倾斜量);
 d ——直径;
 k ——系数;

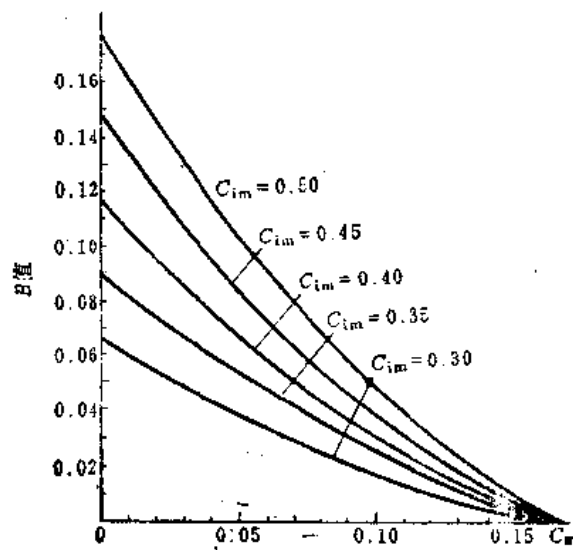
φ ——倾斜角度;
 a, b ——矩形的长边和短边长度(b 边有斜刃);
 τ ——抗剪强度查表1.

2.2.8.2 脱料力

用固定或弹簧作动的活动式卸料板, 将冲孔的工件或冲裁废料由凸模上脱下来的力叫脱料力。脱料力 $T_{..}$ 与相对间隙 C_r , 凸模楔入材料(即与凸模紧密贴合产生摩擦力)的深度, 以其占板料厚度的百分数 C_{im} 表示之), 摩擦系数 f , 搭边宽度 b , 和冲孔半径 R , 弹性模数 E 等有关, 即

$$T_{..} = 5.03 B \frac{E f b t^2}{R + 13b}, \text{ kgf} \quad (1)$$

B 值由图查得⁽²⁾ (1kgf=9.8N)。



B 值与 C_r 和 C_{im} 的关系曲线

冲裁时凸模楔入材料相对深度 C_{im} 〔4〕

材 料	退 火 的		冷 作 硬 化 的	
	$C_{im}, \%$		$C_{im}, \%$	
	$t < 2\text{mm}$	$t > 2\text{mm}$	$t < 2\text{mm}$	$t > 2\text{mm}$
酸洗钢	60	—	50	—
08号钢	60	55	50	—
10号钢, 15号钢	55	50	50	50
20号钢, A1钢, A2钢	55	50	50	50
25号钢, A3钢	50	50	50	45
30号钢, A4号钢	50	50	50	45
35号钢, A5号钢	50	45	45	45
40号钢, 45号钢, 50号钢	45	65	45	40
H62, H68黄铜	65	—	50	—
L3, L5铝	70	—	55	—
T1, T2紫铜	65	—	50	—
锌	50	—	45	—
LY12, LY2铝	—	—	45	—
铅	80	65	—	—

上式搭边 b 在 $b/d < 30\%$ 的范围内(d 为冲孔直径); 将实值代入; 当 $b/d \geq 30\%$ 以后, 脱料力一般不再增加, 有的反而降低。故在 $b/d \geq 30\%$ 的范围内, 一律采用固定值 $b = 30\%d$ 代入上式, 计算 $T_{..}$ 值。

相对楔入深度 C_{im} 可查本节表。

为了近似估算, 脱料力可用占冲裁力的百分比表示〔4〕, 以下数据, 适用于厚4mm以下的板料:

钢	占最大冲裁力的0.5~8.1%
黄铜	1.0~3.8%
退火的软铝	0.4~6.9%
冷作硬化的铝	1.4~5.8%
退火的软杜拉铝	1.1~6.9%
冷作硬化的杜拉铝	1.4~7.9%
特硬铝	1.1%以下

对以上数值, 用合理间隙的上限值时取最小的百分比, 用合理间隙的下限值时取最大的百分比 (见2.2.3.1)。

在生产中有用脱料钩在条料的两侧脱料的, 等于在条料的两侧用集中力脱料, 即点脱料力 $T_{..s}$, 其值与用卸料板脱料力 $T_{..}$ 的关系为:

$$T_{..s} = \left(\frac{0.002R^3}{t^2b} + 1 \right) T_{..}, \text{ kgf} \quad (2)$$

式中 R 为冲孔半径, b 为搭边宽度(1kgf=9.8N)。

以上都指冲裁圆孔而言, 对于矩形孔, 其脱料力要小的多, 方形孔的脱料力只有其内切圆脱料力的20%左右。长矩形孔也可用其内切圆的脱料力进行估算, 除细槽外, 一般可认为即等于其内切圆的脱料力〔2〕。

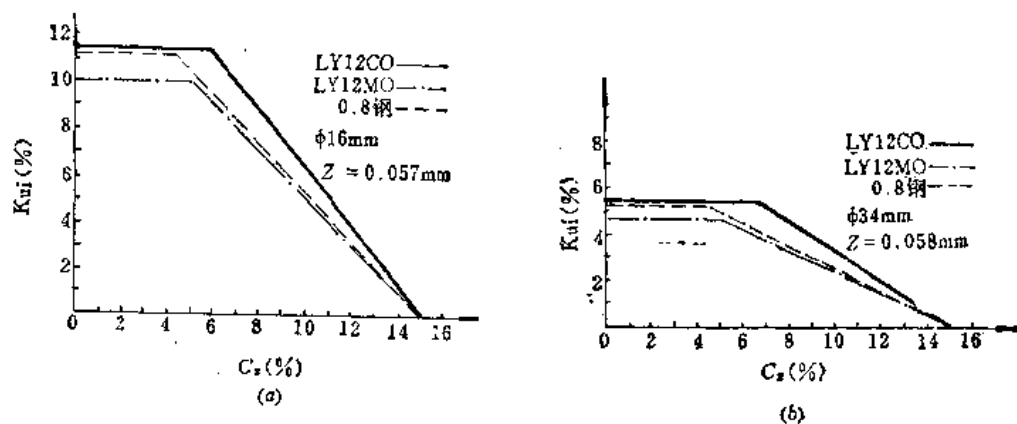
2.2.8.3 推(顶)件力

推件由凸模完成,顶件由顶件器完成。推件力一般以其占冲裁力的百分比 k_{vt} 来表示,其影响参数有凸模相对楔入深度 C_{1m} (2.2.9.2节表)。相对间隙 C_r 和摩擦系数 f 。设一般 $f=0.15$,在 $k_{vt}-C_r$ 坐标上,于 $C_r=(C_r)_L$ 处(见2.2.3.1节),用下式求出一个 k_{vt} 值,就可以作出整个求 k_{vt} 值的曲线:

$$k_{vt} = \frac{5.4C_{1m}}{kd} [1 - 6(C_r)_L] = \frac{5.4C_{1m}}{kd} \left(1 - \frac{1}{4k}\right)$$

k 值见2.2.8.1节。图(a)和图(b)是对三种材料和两种直径所作的求 k_{vt} 值的曲线^[2]。

为了方便,对厚4mm以下的板料和合理间隙,可用以下的推件力数据^[4]。



求 K_{vt} 的曲线

钢	占最大冲裁力的1.0~6.3%
黄铜	0.6~3.1%
退火的软铝	占最大冲裁力的0.9~4.0%
冷作硬化的铝	占最大冲裁力的1.1~4.3%
退火的软杜拉铝	占最大冲裁力的0.8~4.1%
冷作硬化的杜拉铝	占最大冲裁力的1.2~5.3%
特硬铝	占最大冲裁力的7.1%以下

用上限(U)合理间隙时取最小值,用下限(L)合理间隙时取最大值(见2.2.3.1节)。

顶件力比推件力大40~60%。间隙大时用上限60%。间隙小时用下限40%。这都指合理间隙范围而言。

在小孔落料冲裁中,推件力会大于冲裁力,因推 n 个零件的推件力,等于推一件的 n 倍。

2.2.8.4 凸模力与压力中心

这里凸模力指在冲裁中凸模施加的最大力而言。除冲裁力外,一般可加上脱料力,将两者之和作为凸模力。推件是在冲断以后进行的,与冲裁力不是同时发生,不应加在一起。这指落件冲裁而言。

对于有顶件装置的冲裁，在冲裁开始就受到顶件器的反作用力。这样，凸模力是冲裁力，脱料力与顶件器反力及推件的总和 P_p 。

选冲床吨位 P 时，应将最大的凸模力再乘以安全系数1.3，即 $P=1.3P_p$ 。

求压力中心，对直线段是很简单的，直线段的中点就是该线段的重心。问题在于求弧线段的重心。

由图 (a)，弧长 $S_1=r_1\theta_1$ ，其弧心 O_1 的坐标是 (x_1, y_1) 。弧在 x 坐标上的投影长 h_{1x} ，在 y 坐标上的投影长 h_{1y} 。则 S_1 的重心坐标是⁽¹⁾：

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= x_1 + \frac{r_1 h_{1x}}{S_1} \\ Y_1 &= y_1 + \frac{r_1 h_{1y}}{S_1} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

S_2 的重心坐标是：

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= x_2 - \frac{r_2 h_{2x}}{S_2} \\ Y_2 &= y_2 + \frac{r_2 h_{2y}}{S_2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

如果 $\theta_1=\theta_2=90^\circ$ ，则上式变为：

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= x_1 + \frac{2r_1}{\pi} \\ Y_1 &= y_1 + \frac{2r_1}{\pi} \\ X_2 &= x_2 - \frac{2r_2}{\pi} \\ Y_2 &= y_2 + \frac{2r_2}{\pi} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

以上 rh/s 项的正负号是这样规定的：相对某坐标轴说，如弧心在弧段之内，用正号，弧心在弧段之外用负号。

在坐标轴上投影高度 h 是以弧两端点在坐标轴的投影之差计算的。如图 (b) 所示， r_1 的弧在 y 轴上投影 $h_{1y}=0$ ，在 x 轴上投影 $h_{1x}=2r$ 。故其重心为

$$X_1 = x_1, \quad Y_1 = y_1 + \frac{2r_1}{\pi}$$

$$r_2 \text{弧: } X_2 = x_2, \quad Y_2 = y_2 - \frac{2r_2}{\pi}$$

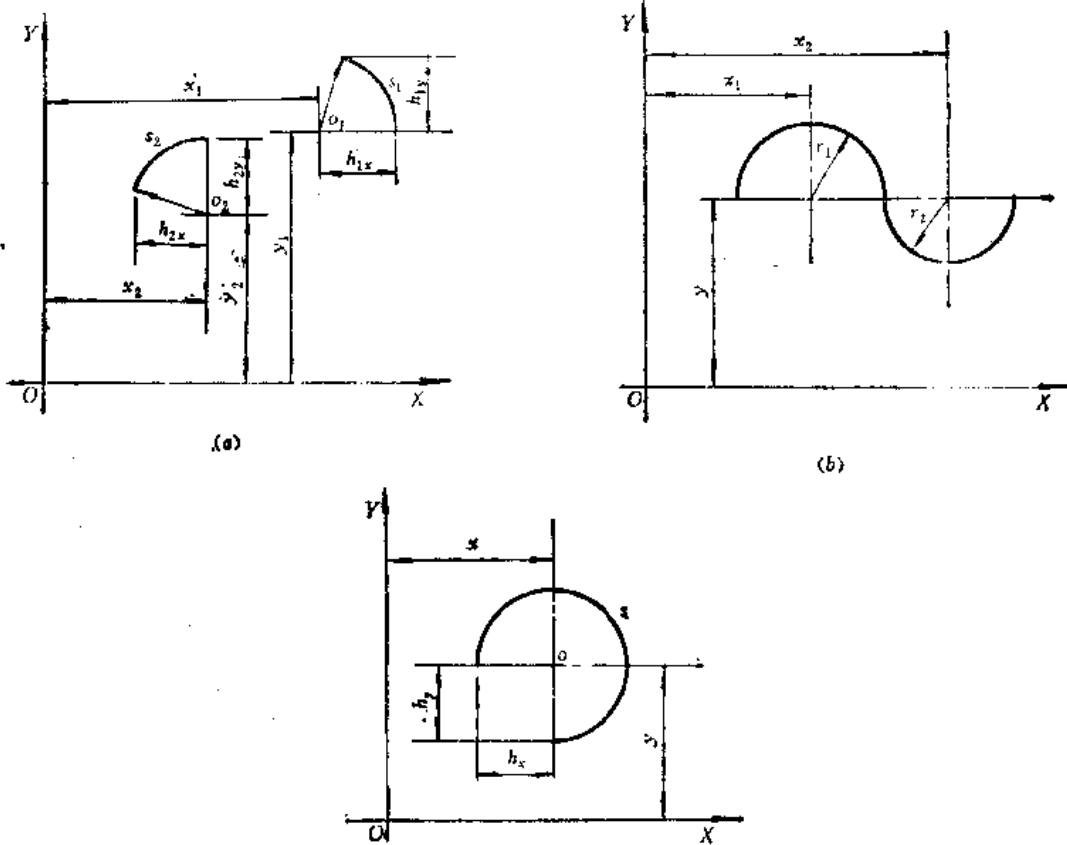
对于图 (c) 的圆弧，在 y 轴上投影为 $h_y=r$ ，在 x 轴上投影为 $h_x=r$ 。故其重心距为：

$$X = x + \frac{r h_x}{s} = x + \frac{2r}{3\pi}$$

$$Y = y + \frac{r h_y}{s} = y + \frac{2r}{3\pi}$$

如果是整圆, $h^* = h, = 0$ 。则圆心坐标 x, y 即是重心坐标。

关于冲裁全部轮廓压力中心的计算, 见 1.4.2 节。



2.2.8.5 冲裁功与功率

冲裁厚度为 t mm 的板料, 冲裁功为

$$A = \frac{\lambda F t}{1000} \quad (\text{kgf} \cdot \text{m}) \quad (1)$$

式中 λ 是考虑凸模楔入板料深度的系数。当 $t < 2$ mm 时, 取 $\lambda = 0.75 - 0.55$, $t = 2 - 4$ mm 时, $\lambda = 0.55 - 0.45$; $t = 4$ mm 以上时, $\lambda = 0.45 - 0.30$ 。

如每分钟冲裁 n 次, 注意到一个千瓦 (kW) 为 $6.12 \times 10^3 \text{ kgf} \cdot \text{m}/\text{min}$, 则凸模功率为:

$$N_s = \frac{A n}{6.12 \times 10^3} \quad (\text{kW}) \quad (2)$$

冲床功率应为:

$$N_m = \frac{\alpha_s N_s}{\eta} = \frac{\alpha_s A n}{6.12 \times 10^3 \eta} \quad (\text{kW}) \quad (3)$$

式中 α_s 是一个考虑变形速度、最大载荷的持续时间等工作情况的系数, 一般取 $\alpha_s = 1.1 \sim 1.4$ 。

η 是冲床平均效率, 对于一般偏心与曲轴冲床, $\eta = 0.5 \sim 0.7$ 。

马达应有的功率为:

$$N_p = \frac{N_m}{\eta_s} = \frac{\alpha_s A n}{60 \times 102 \eta \eta_s} \quad (\text{kW}) \quad (4)$$

式中 η_n 是各个传动环节的总效率。皮带传动效率 $\eta_1=0.95\sim 0.97$ ，每个轴承 $\eta_2=0.98$ ，每对圆柱齿轮 $\eta_3=0.95\sim 0.96$ ，即

$$\eta_n = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdots$$

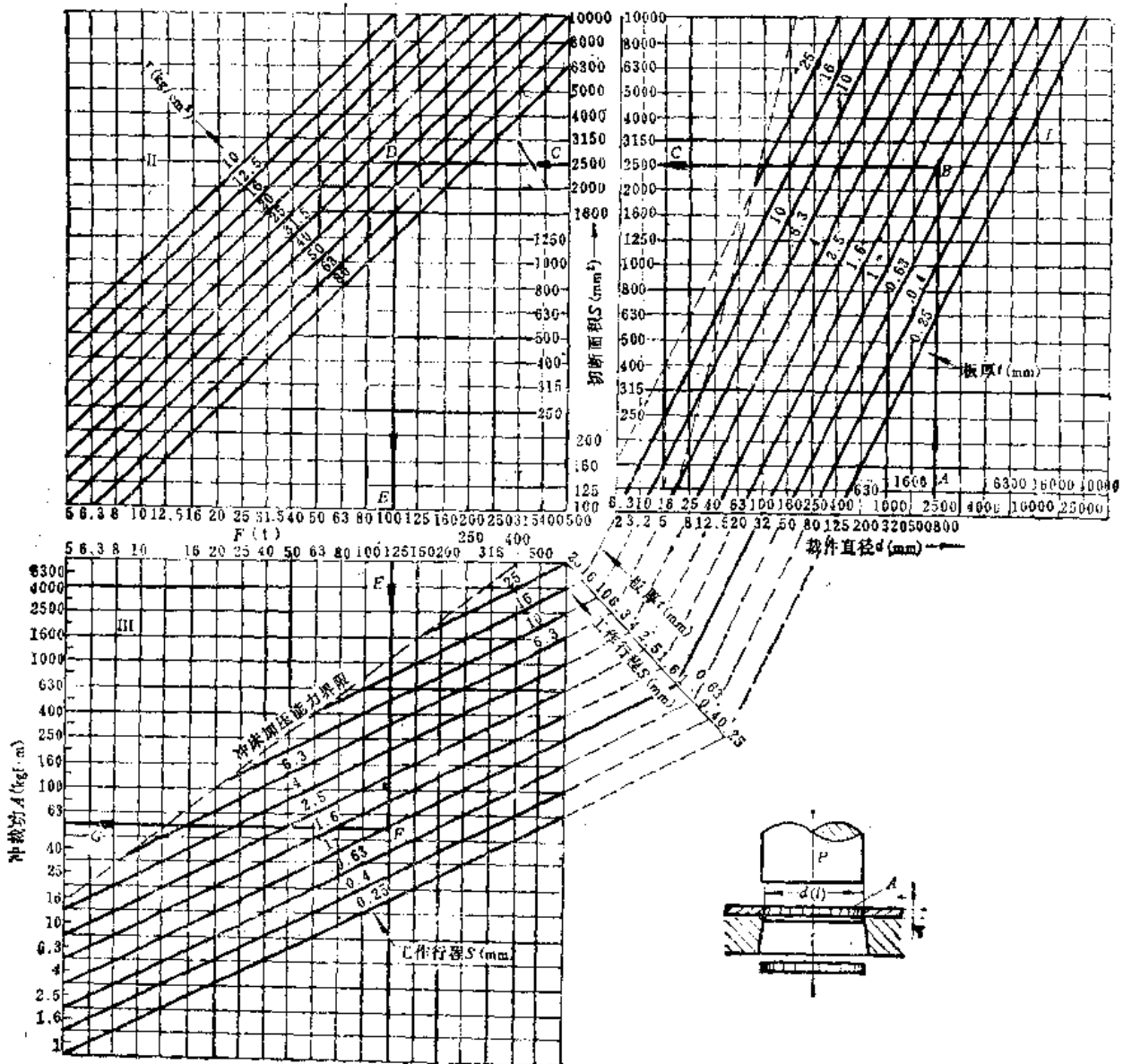
有飞轮时，用下式：

$$N_x = \frac{\alpha \cdot A_s \cdot k}{60 \times 102 \eta_n} \quad (5)$$

式中 $k=t_1/t_2$ ， t_1 是冲床有载时间， t_2 是空转时间，一般 $t_1 < t_2$ ，故 $k < 1$ 。

2.2.8.6 冲裁力与功的图算法

冲裁力 F 与功 A ，可以用查列线图的方法直接得到。兹举例说明列线图的应用（用于圆件与孔）^{〔2〕}。



求冲裁力与功的列线图

注：1. 本列线图是按修正系数 $\lambda=0.63$ 绘制的。用其他系数时，可用 $\lambda/0.63$ 乘本图查得的 A 值。2. 工作行程指受力行程，可设等于板料厚度。

〔例〕：设冲裁直径为 $d=800\text{mm}$ （冲裁轮廓长 $l=2500\text{mm}$ ），板厚 1mm ，抗剪强度 $\tau=40\text{kgf/mm}^2$ ，求冲裁力 F 与冲裁功 A 。

由图右边I区表示直径 $d=800\text{mm}$ 的A点向上作垂线，与板厚 $t=1\text{mm}$ 的B点相交。由B点向左在极坐标轴上得C点，求得断面面积为 $S=2500\text{mm}^2$ 。

将C点移至左边II区，继续用水平线向左，与表示抗剪强度 $\tau=40\text{kgf/mm}^2$ 的斜线交于D点，该点的水平坐标E读出冲裁力 $F=100\text{t}$ 。

将E点向下移至III区，与表示工作行程 s （等于厚度）为 1mm 的斜线交于F点，向左与竖坐标交于G点，求得冲裁功为 $A=63\text{公斤力}\cdot\text{米}$ 。这里取修正系数 $\lambda=0.63$ 。如采用其他 λ 值，也可以用比例方法得到相应的 A 值。

2.2.9 精密冲裁(简称精冲)

2.2.9.1 用突齿压板的精密冲裁

图1和表1，是推荐的突齿尺寸。图2是推荐的突起峰尖到孔边的距离。表2是各种钢材的精密冲裁适用性、模具磨损与一般冲裁的比较，以及修磨前可冲裁的工件数量。图3~图6是精密冲裁模的一些尺寸要求。图7是突齿压板精密冲裁的工序示意图。

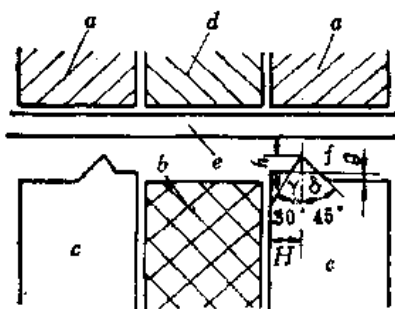


图1 用突齿夹板的精冲模

a—凹模；b—凸模；c—压板；d—反压器；e—板料；f—突齿。

表1. 突齿尺寸(图1,2)

推荐者	板料	突齿尺寸(mm)		
		g	h	i
Bosch和 Stager	板厚 $t=1\sim 4$	0.05~	0.2 t	(0.66~0.75) t
	板厚 $t\geq 4$	0.08~0.1	0.17 t	0.6 t
Guidi	材料韧性 大	0~0.05	(1/3) t	($h+0.5$)~
	小		(1/5) t	4/3($h-1$)

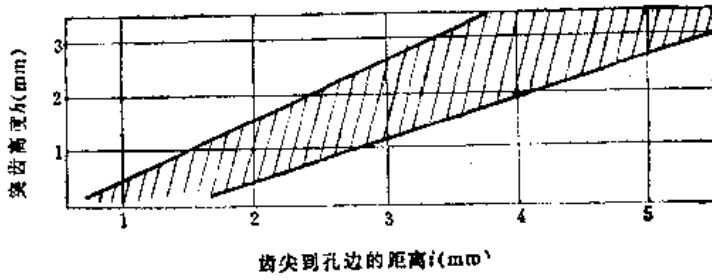


图2

表2. 各种钢材的精冲适用性

状态	含碳量 (%)	精冲适用性	模具磨损	修磨前的冲裁次数	
				凸模	凹模
软, 半硬	0.1	最好	普通	20000~40000	30000~100000
软, 半硬	0.1	良好	普通	15000~30000	45000~75000
退火, 热轧	0.35	良好	多少增加	15000~30000	40000~80000
退火, 热轧	0.45	良好	多少增加	15000~30000	40000~80000
退火, 热轧	0.60	良好	增加	10000~25000	30000~80000
退火, 热轧	0.70	良好	增加	10000~25000	30000~60000
退火, 热轧	1.0	中等	增加	6000~20000	20000~50000

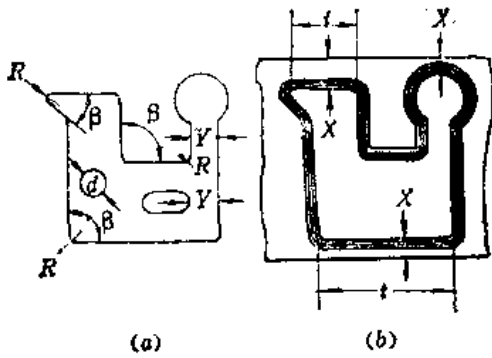


图3

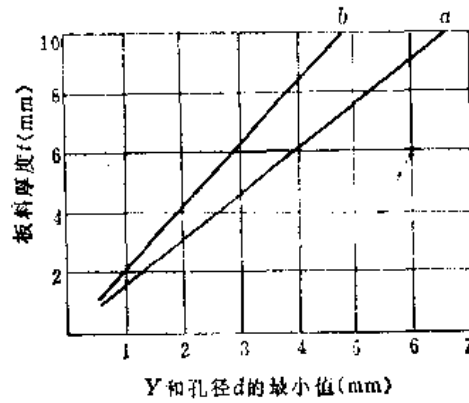


图4

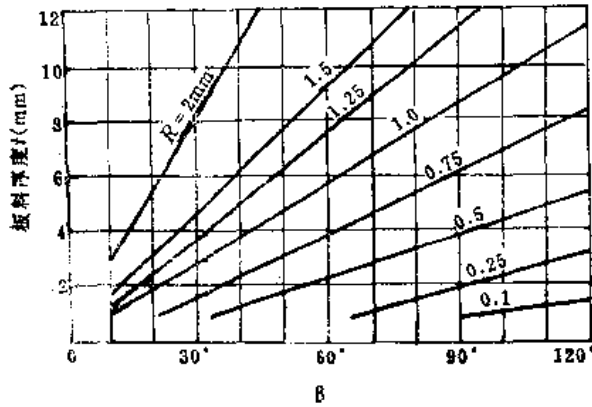


图5

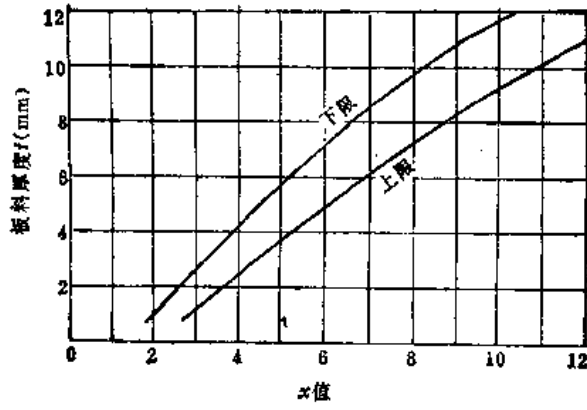


图6

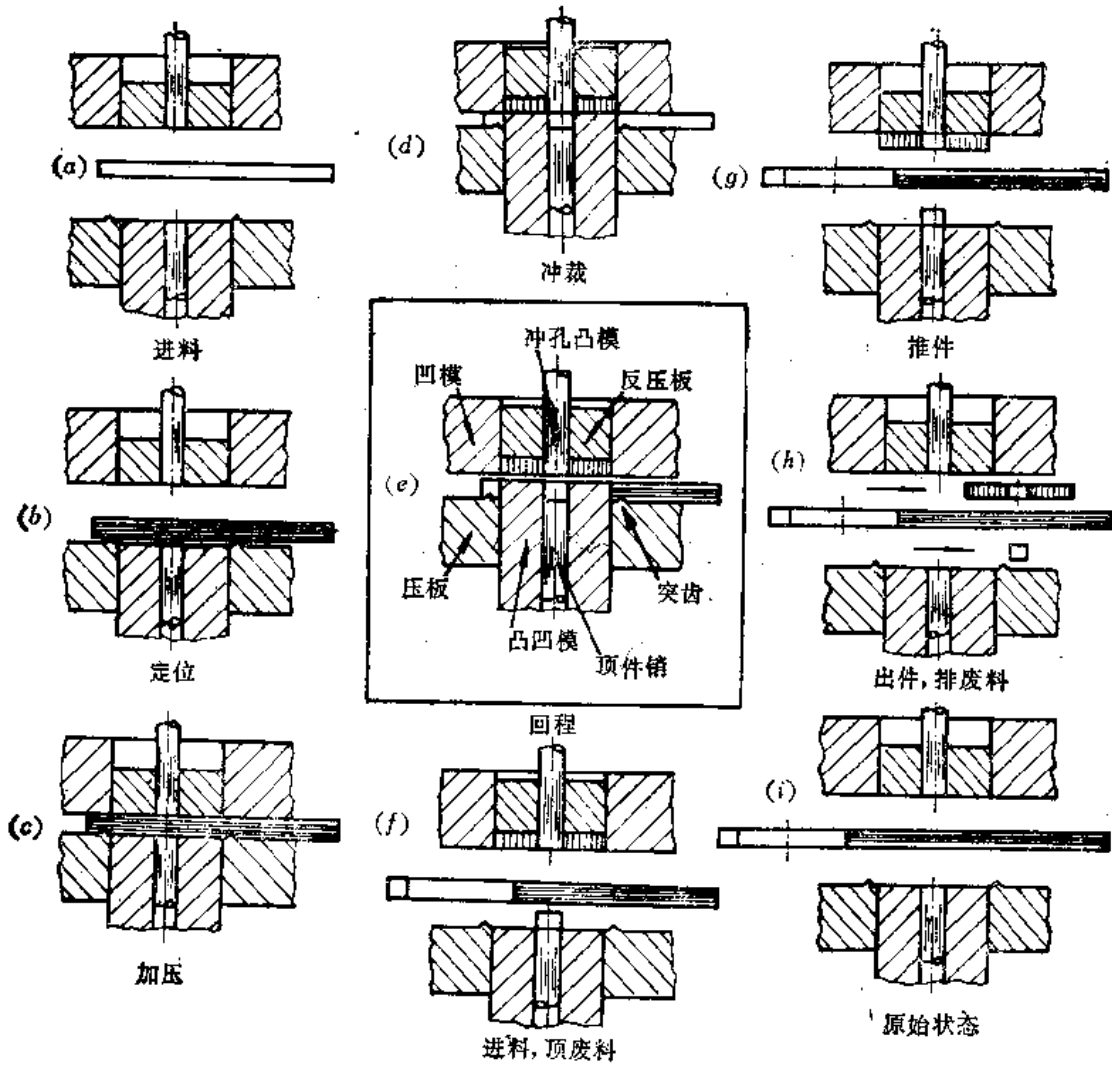


图7 用突齿压拔的精密冲裁过程

2.2.9.2 圆刃精密冲裁

将凸或凹模的刃边倒圆，减小间隙，可以得到精冲效果。图1是对凹模刃倒圆，进行冲裁；图2是对凸模刃倒圆进行冲孔。所裁的件有锥度，图3是偏斜量 δ 与凹模圆角半径的关系。下表是对几种材料推荐的圆角半径。图4是裁件毛刺高度与凹模刃圆角半径的关系⁽³⁾。图5是冲孔毛刺高度与凸模刃圆角半径的关系。

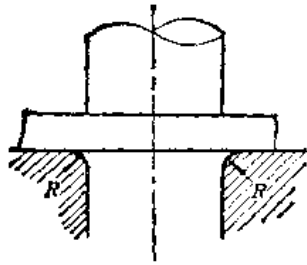


图1

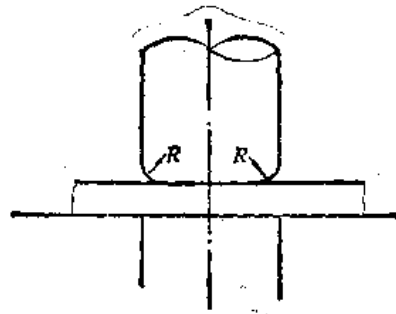


图2

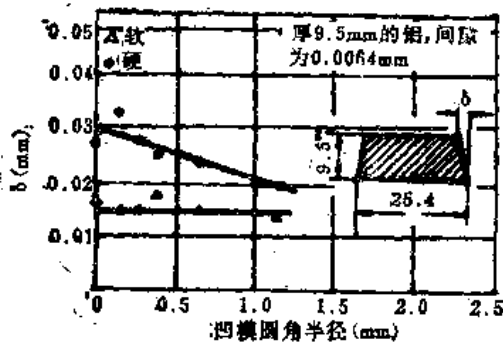


图3

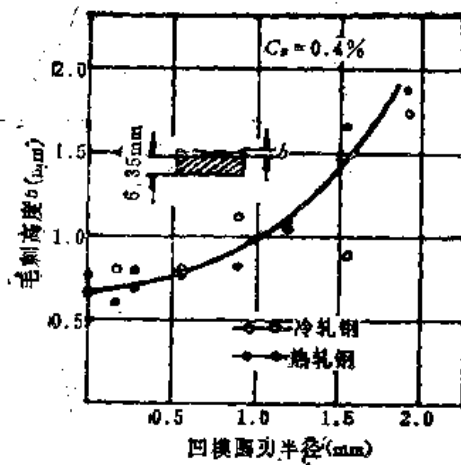


图4

圆刃半径 $R^{(3)}$

(mm)

板厚(mm)	圆刃半径 $R^{(3)}$ (mm)			
材料	1	2	3	4
铝	0.25		0.25	0.50
铜	0.25		0.50	(1.00)
软钢	0.25	0.50	(0.10)	
黄铜	(0.25)		(0.10)	
不锈钢	(0.25)	(0.25)	(0.10)	

注：括弧内数值仅供参考。

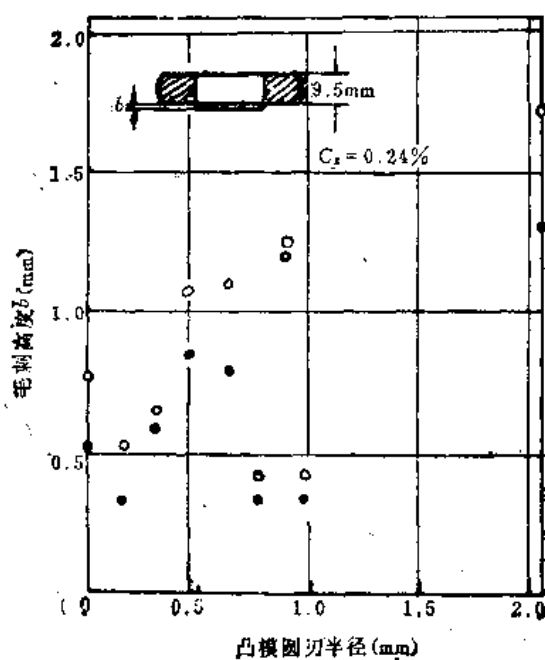


图5 冲孔

2.2.10 用橡皮的冲裁

用有容框的橡皮压制，既可以成形，也可以冲裁，或两者同时进行，多用于飞机生产。可以对厚2mm的铝板和1mm以下的LY12铝合金板和钢板进行有效冲裁。对长直边或曲边，可冲裁1.2mm的LY12板，可冲裁的最小孔径或槽口宽度约为50mm；这乃对压强为 $19.8 \times 10^{-4} \text{N/mm}^2$ (2kgf/mm^2)的普通橡皮压床而言。

为了对板边进行有效压边，板边到刃口之间的边距至少为40mm，当在一块板料上同时裁几块毛料时，模块之间至少相距30~75mm。

可以直接在钢模块上制出刃口，如图1和图2所示。也可以在垫板上摆上刃模（图3），或在非金属模块上镶上有刃的钢板（图4）。刃边作出 $3^\circ \sim 6^\circ$ 的斜度，以利冲裁。楔环（图1），压板（图3）。凹模又加高刃口高度（图4），都是为了更有效的利用橡皮压力。

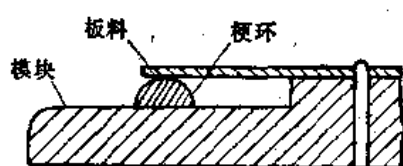


图1

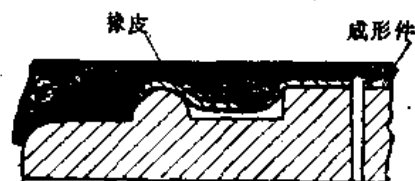


图2

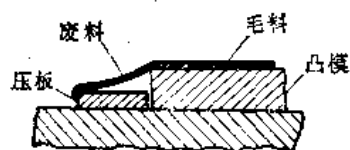


图3



图4

压板（图3）一般宽12.5mm，厚3.2mm，梗环是焊上去的 $\phi 4\sim 5$ mm的棒。压板的形状，或梗环不需要完全按照模块形状，可做得简单些。必要时用销子将板料在模块上定位。垫板最好是通用的。

常常用橡皮在成形零件外形的同时，冲裁出内边的减重孔。孔的大小应满足以下条件：

$$\frac{\pi}{4}d^2p > \pi dt\tau, \text{ 或 } dp > 4t\tau$$

- 式中 a ——孔径；
 p ——橡皮单位压力， kgf/mm^2 ；
 t ——板料厚度， mm ；
 τ ——板料抗剪强度， kgf/mm^2 。

裁件时对凹槽（如图2）或压板（图3）宽度的要求，也可以根据橡皮单位压力，板料厚度和抗剪强度，进行类似的计算。

如果凸模刃口有1mm的直壁部分，下面可做出 $\alpha=8^\circ\sim 12^\circ$ 的较大斜度（图5），凸模高度视板料厚度而定，介于6~13mm之间，一般为10mm。橡皮厚度应为凸模高度的4~5倍。

图5是用橡皮裁件的过程。

图6是用橡皮冲孔的过程。

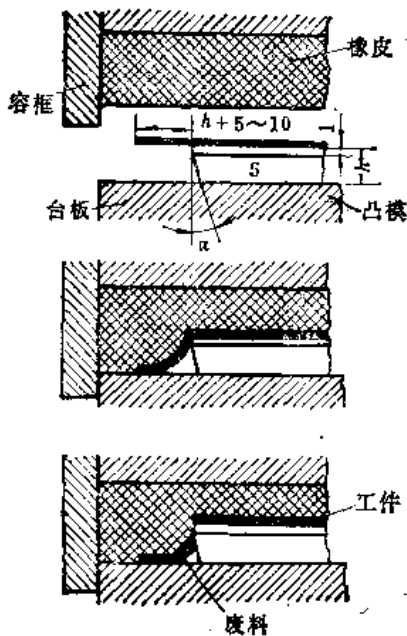


图5

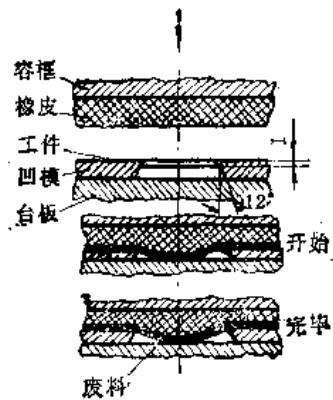


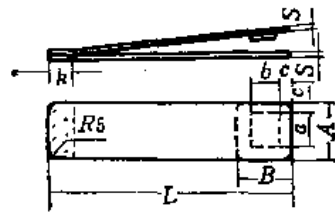
图6

2.2.11 夹模与板模

夹模和板模是小批生产用的简易模。夹模的推荐尺寸见表。

夹模尺寸^(mm)

(mm)



零件		凹模		模架		架		
宽度, a	长度, b	宽度, A	长度, B	长度, L	宽度, C	凹模厚度 S_{min}	凸模厚度 S_{1min}	点焊宽度 k
10	25	50	60	125	20	1	1	20
	35		75	150				
	85		125	200				
25	25	75	75	150	25	1.5	1.5	30
	50		100	200				
	75		125	250				
	100		150	300				
50	50	100	100	200	50	2	1.5	30
	75		125	250				
	100		150	300				
	150		200	350				
75	75	125	125	250	50	2.5	1.5	30
	100		150	300				
	150		200	350				
50	50	150	150	300	50	2.5	1.5	30
	100		200	350				
	150		250	400				
	200		300	500				
100	100	200	200	350	50	2.5	1.5	30
	150		250	400				
	200		300	500				
	300		400	600				
200	200	300	300	500	50	2.5	1.5	30
	300		400	600				
	400		500	750				
300	300	420	420	600	60	3	2	40
	400		520	750				
	500		620	850				
400	400	540	540	750	70	3	2	40
	500		640	850				
	600		740	1000				
					80			

(续)

零件		凹模		模架				
宽度, a	长度, b	宽度, A	长度, B	长度, L	宽度, C	凹模厚度 S_{\min}	凸模厚度 $S_{j\min}$	点焊宽度 k
500	500	660	660	850	80	3		50
	600		760	1 000				
	700		860	1 100				
600	600	780	780	1 000	90			
	700		880	1 100				
	800		980	1 200				
700	700	900	900	1 100	100	3.5	2	
	800		1 000	1 200				
	900		1 100	1 400				
800	800	1 000	1 000	1 200				
	900		1 100	1 400				
	1 000		1 200	1 500				

夹模的夹角一般为 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 。凸模与凹模之间的间隙采用工具模较大的合理间隙。凸模可以铆或点焊到底板上(图1,2),凹模形式如图(3)所示。

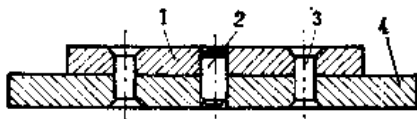


图1

1—凸模; 2—定位销; 3—铆钉; 4—凸模垫板。

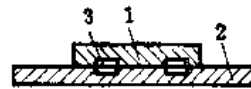


图2

1—凸模; 2—凸模垫板; 3—焊点。

凹模口直壁高 h 为(图3):

板料厚度 t , mm	0.5~1	1~2	2~3
高度 h , mm	0.5	0.8	1

为了减小冲裁力,对裁件也可以在凹模上作出斜刃(见2.2.5节)。也可用双轴辊冲裁工件(图4)。

为了在裁件上同时冲出内孔,可采用复合夹模,如图5所示的例子。

上述用夹模冲裁的方法,由于凸模和凹模开始接触时,成一定角度,且由于夹模刚度小,裁件比较粗糙。有吨位足够大的冲床时,可用板模进行冲裁,或同时冲裁一组板件,如图6和图7所示。这种板模也可以冲裁质量高的板件,只是生产率较低。夹模是不再修磨的,板模可以有次数不多的重磨。但对中小批生产,都是一种易行的加工方法。

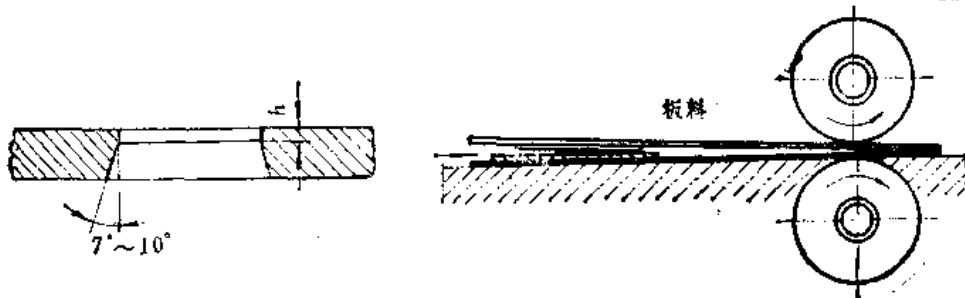


图3

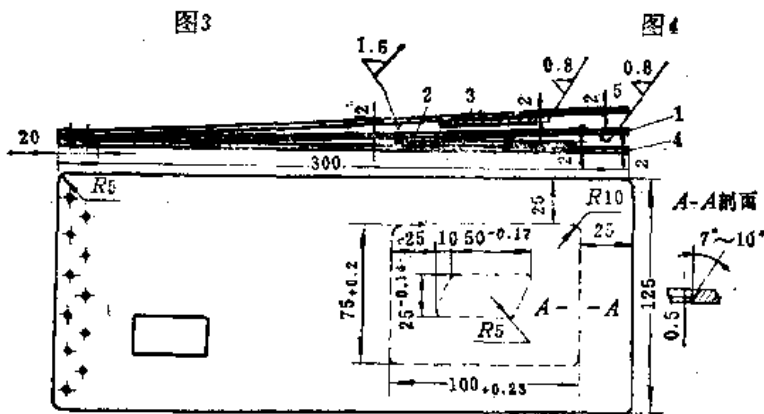


图5

1—凹模；2—凸凹模；3—凸模；4—凸凹模底板；5—凸模底板。

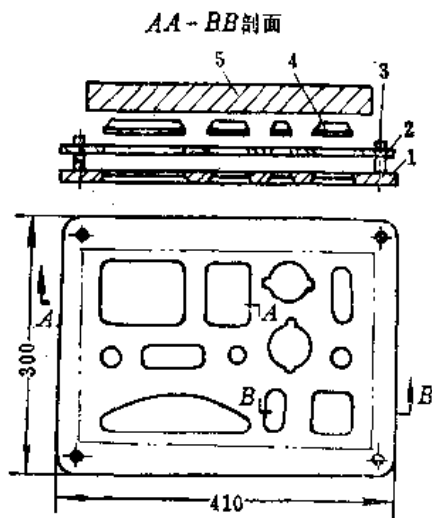


图6 凸模随废料一起落下的多孔冲孔板模

1—凹模；2—卸料和凸模导板；3—导销；4—凸模；5—模板。

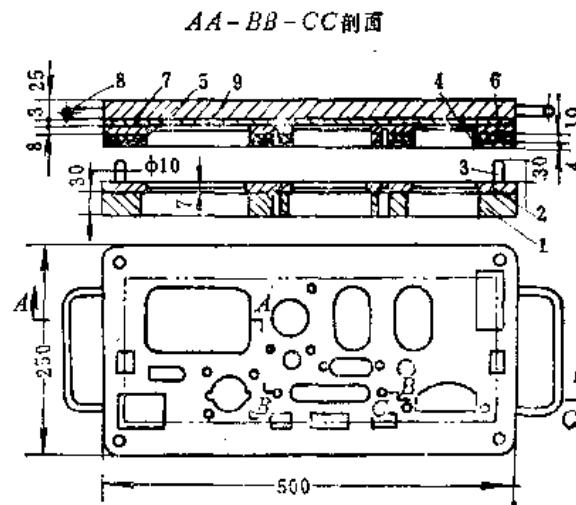


图7 成组裁件和冲孔板模

1—下模板；2—凹模；3—导销；4—卸料板；5—橡皮；6—凸模夹板；7—垫板；8—手柄；9—上模板。

夹模一般裁厚1mm以下的钢板，2.5mm以下的有色金属。板模可裁3mm以下的有色金属。夹模和板模不适于冲小孔。最小孔径为15mm。卸料用的橡皮，应比凹模和凸模的厚度高出1.5~2mm。模具可全用20号钢制成。凸模和凹模要渗碳和淬火处理。对于小批有色金属及软钢板，凹模可不经过热处理。经热处理的凸、凹模可冲裁5000~10000件，然后修磨。

2.2.12 冲切模和钢带模

用双刃裁件叫剪，用单刃裁件叫切。冲切模就是用单刃裁件的模具，主要用于非金属板料的裁件和冲孔。

冲切刃是斜的，也有对普通冲裁模形式，只将裁件凹模作出尖刃，如图1所示，严格地说，这是普通模具，而不是冲切模。冲切模一般如图2和3所示。图2用来切件，图3是切件和冲孔复合模。

刃的斜度 α 对纸和皮革为 $16^\circ\sim 20^\circ$ ，对硬橡胶为 $8^\circ\sim 12^\circ$ 。为了不用时保护刃口，并使切件平整，顶件器应突出刃口之外 $0.5\sim 1.5\text{mm}$ 。

对于复杂轮廓的冲切，将一边磨出刃口的钢带，用定位块和胶固定在底板上。图(4)是在钢带两边贴橡皮卸料块的形式，多用于冲切包装用纸匣及特形卡片。

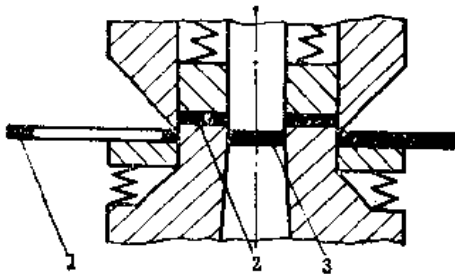


图1

1—废条料；2—工件；3—废料。

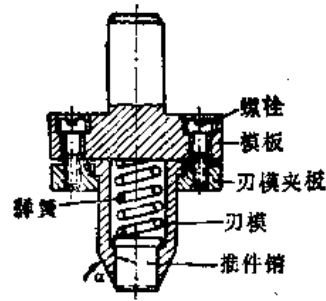


图2

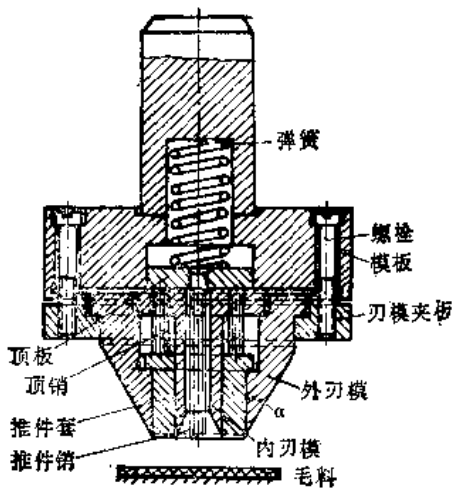


图3

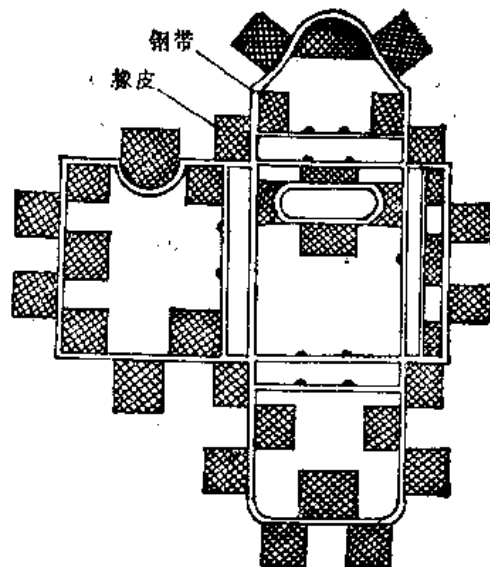


图4

一般将非金属板料放在平的硬木垫板上，用冲切模进行冲切。如果冲切模行程控制准确，也可以用钢垫板，如大量生产中用的纸匣机（用钢带模）就是这样。我们的试验结果说明，每1cm长度的钢带，裁纸所需要的压力，随纸的软硬厚薄变化不大。最薄的软纸1cm长度也需 $350\text{N}(35\text{kgf})$ 以上的压力，对强而厚的牛皮纸，1cm也不过 $800\text{N}(80\text{kgf})$ 。

2.2.13 刮边整修

这是一种用冲裁模刮边的整修方法。分外缘和内缘整修两种。

2.2.13.1 外缘的整修

外缘整修又分凸模小于凹模(图1a)和凸模大于凹模(图1b)两种形式。

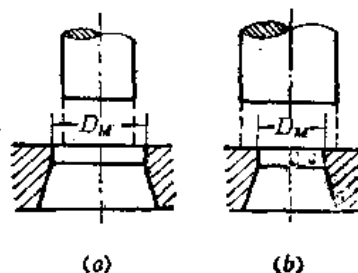


图1

2.2.13.1.1 凸模小于凹模的整修

凹模口尺寸与要求的工件尺寸同,凸模尺寸较小,间隙不超过 $0.025\sim 0.04\text{mm}$,切屑形状如图2(c)所示,图2示出了刮边过程。

工件整修分单级与多级两种。后者用于精度要求高,厚度在 3mm 以上的钢件与黄铜件(图3)。

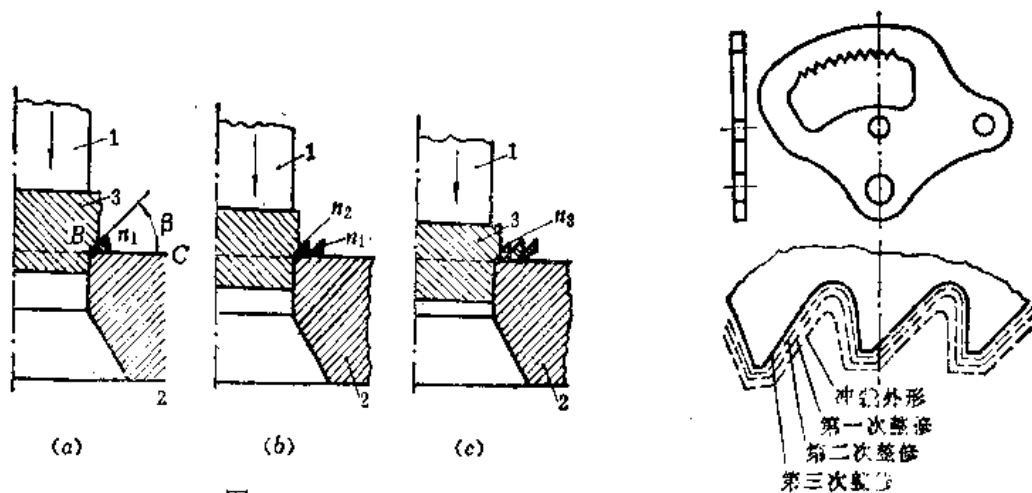


图2

1—凸模; 2—凹模; 3—工件。

图3

要整修掉的宽度,应等单边间隙 z ,再加上本来多出的毛边宽度 y (图4)。总整修留量(单边) Δ 之值为:

$$\Delta = z + y \quad (1)$$

冲裁毛料用的模具尺寸应为:

$$D_s = D_t + 2y \quad (2)$$

$$D_s = D_t + 2(y + z) = D_t + 2\Delta \quad (3)$$

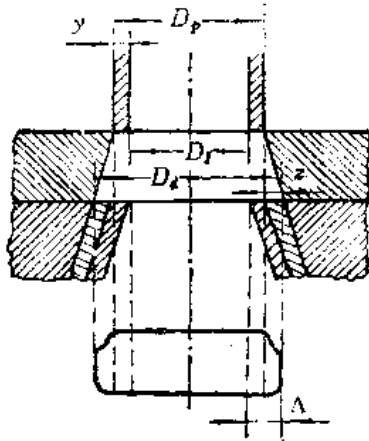


图4

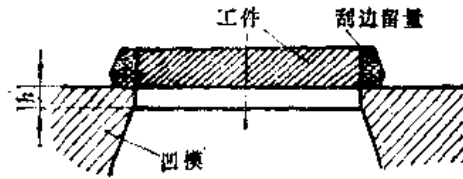


图5

式中 D_r ——整修后的工件名义尺寸；
 D_p ——冲裁毛料用的凸模尺寸；
 D_d ——冲裁毛料用的凹模尺寸。

毛边 y (单边)的数值，可由表1查得。

整修时，将毛料尺寸较大的一面朝下放在凹模上(图5)。为使工件得到光滑整齐的整修面，凹模的筒形部分高度 h 约为6~8mm。

整修力为：

$$F' = u[2\Delta + (0.15 \sim 0.20)f]\tau \quad (4)$$

式中 u ——整修的周长；
 τ ——抗剪强度。

表1. 毛边 y 值^[4]

工件厚度 t (mm)	软钢, 黄铜		中硬钢		硬钢	
	单边毛边宽度 y (mm)					
	最 小	最 大	最 小	最 大	最 小	最 大
0.5~1.6	0.05	0.075	0.075	0.10	0.075	0.125
1.6~3.0	0.075	0.10	0.10	0.125	0.10	0.15
3.0~4.0	0.10	0.125	0.125	0.15	0.125	0.175
4.0~5.0	0.125	0.15	0.15	0.175	0.15	0.20

- 注：1. 如果工件外形复杂(有急转折, 尖角), 或者长度超过20mm时, 毛边宽度照表列数值增加40~60%。
 2. 工件外形简单时, 采用最小的毛边; 复杂时采用最大的毛边。
 3. 如整修模用转盘送料装置时, 毛边数值应较表列数值增加50~70%。
 4. 如用多级整修时, 从第二次开始, 每次整修的毛边为表列数值的50~70%, 次数少用大值; 愈往后, 整修量愈小。

整修后工件可达到的精度, 以直径50mm的工件为例, 见表2的参考数据^[10]。

表 2

板料厚度 (mm)	整修工件精度(mm)
1 以下	±0.01~0.015
1~3	±0.025~0.03
3~5	±0.035~0.04

2.2.13.1.2 凸模大于凹模的整修

这实际上是将冲裁和整修结合在一起的精冲方法，使凸模直径比凹模大 $0.1\sim 0.2t$ 。冲裁到最后时，凸模离凹模面尚有 $0.2\sim 0.5\text{mm}$ 的距离，不使接触。开始是裁件过程，断开后是整修过程（图1）。

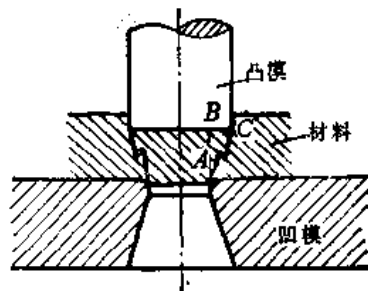


图1

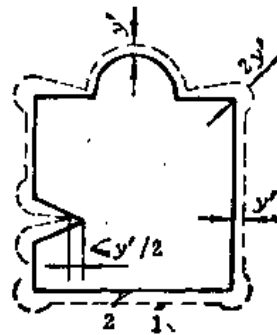


图2

【1—修整前；2—修整后。】

对于铝、黄铜和软钢，凸模大于凹模的单边差数 y' ，可采用以下数值：

$t=0.5\sim 1\text{mm}$	$y'=0.1\sim 0.15\text{mm}$
$t=1\sim 2\text{mm}$	$y'=0.15\sim 0.25\text{mm}$
$t=2\sim 3\text{mm}$	$y'=0.25\sim 0.35\text{mm}$
$t=3\sim 5.5\text{mm}$	$y'=0.35\sim 0.50\text{mm}$

外缘有急转弯时， y' 值应为以上数值的 $1.5\sim 2$ 倍；在凹进角，应减一半（图2）。用负间隙冲裁，抗剪强度 τ 比正常间隙大 $20\sim 50\%$ 。

2.2.13.2 内缘的整修

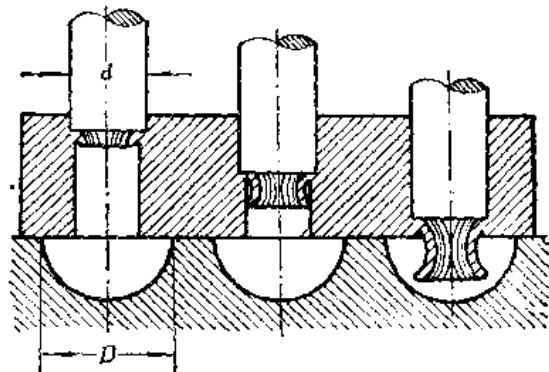
内缘即孔的整修又叫定径，是用凸模将粗糙的孔腔刮平，过程如图。凹模只是有一个有容废屑的窝和装定料销的钢板、窝径一般为孔径的 1.5 倍以上，即 $D\geq 1.5d$ ，板料愈厚， D 可以更大些。

刮去的毛边宽度 Δ' ，按下式规定^{〔2〕}：

$$\Delta' = 2.82x_1 + c \quad (1)$$

式中 x_1 是一个系数。对于厚度为 $0.5\sim 3.5\text{mm}$ 的板料，在先冲中心眼后钻孔的情形， $x_1=0.04\sim 0.06\text{mm}$ ；对于用冲孔模冲的孔， $x_1=0.02\sim 0.04\text{mm}$ 。

C 也是一个系数、与整修孔心到基准孔心或到基准边的距离 l 有关。到基准孔的距



离 $l=10\sim 40\text{mm}$ 时, $C=0.02\sim 0.04$; 到基准边距 $l=10\sim 40\text{mm}$ 时, $C=0.04\sim 0.08\text{mm}$ 。

这样, 对厚 3.5mm 以下的板料, 到基准孔距在 40mm 以下时, 两边的毛边总和 $2\Delta' = 0.1\sim 0.2\text{mm}$ 。整修时, 将孔有圆角的一面放在上边。

整修孔时, 应考虑整修后孔径的弹性收缩量。故凸模直径应为:

$$D_p = (D_t \pm \delta_p) + \lambda \quad (2)$$

式中 D_t 是工件名义直径, δ_p 是凸模制造公差, λ 是孔的收缩量。 λ 值为:

铝..... $\lambda=0.005\sim 0.010\text{mm}$

黄铜..... $\lambda=0.007\sim 0.012\text{mm}$

软钢..... $\lambda=0.008\sim 0.015\text{mm}$

孔整修精度可达 $0.01\sim 0.03\text{mm}$, 这个数字可以是孔距或孔径的误差。整修后孔壁有相当磨光的表面, 肉眼看不见加工痕迹。

2.2.14 冲裁质量, 模具磨损与润滑

2.2.14.1 冲裁质量

裁件的翘曲、裁件与冲孔的粗糙断面, 除用精密冲裁方法外, 都是不可避免的。在普通冲裁中, 这种缺陷是由于在裁断部分凸模和凹模力不在一条重合直线形成了弯矩, 及材料剪断时板平面内受到的拉应力造成的, 其主要原因是间隙。弯曲造成工件翘曲, 拉应力增加了断面的粗糙度。为了提高裁件与冲孔质量, 具体方法是:

1. 尽量用最小的合理间隙。
2. 用压板压紧凹模面上的板料, 不使翘曲。
3. 用强有力的顶件装置对裁件施加反力, 也是为了不使翘曲。
4. 减小搭边宽度, 以减小拉应力。太小时, 会将冲裁转变为整修, 即将剪断变为切削性质, 但这是不易做到的, 而且影响进料和模具寿命。
5. 用适当的润滑剂。

2. 2. 14. 2 模具磨损与润滑

间隙小对模具寿命不利，应视具体要求，采用适当大的间隙。

加快磨损和恶化工件质量的一大原因，是金属间的粘贴。粘贴的原因是^[2]：

1. 粘贴的基本原因，是金属间的附着力。
2. 无氧化、干净光洁的表面和相同的材料，容易造成分子间的吸附条件。
3. 高温，高压和塑性变形，会加强这种作用。

4. 强度小的金属，容易失去金属，贴到强度大的金属上；又基于高温是粘贴的有利条件，故金属粒总是容易贴到导热性差的金属上。模具材料与冲裁材料相比，总是强度大而导热性低，故总是强度小的冲裁材料贴在模具上。

粘贴后，使材料与模具间的摩擦变成了材料与材料之间的摩擦，大大提高了摩擦力和摩擦热，更加剧了粘贴并恶化了冲裁质量。

基于第二个理由，抛光的凸模不如车削的凸模。车削的凸模表面其脱料力比抛光的凸模表面的低，寿命比抛光的长。故冲裁模工作面并不是愈光洁愈好，尤其是在容易粘贴的情况下如此。对细凸模，由于热容量小，在冲裁中温度迅速升高，粘贴后脱料力大大增加，凸模一般是在脱料过程中被脱料力拉断的。凹模由于质量大，散热容易，且润滑剂汇集，温度升高不显著，故粘贴现象较小。为了避免同类材料之间的吸附作用，冲裁钢材时，对凸、凹模镀铬是一个减轻粘贴的方法。

冲裁对润滑剂的要求，降温比润滑本身的作用更大。用机油反而会提高脱料力，而切削用的冷却剂可使脱料力降低15~60%，减轻粘贴现象，提高模具寿命。也可以用水和一般润滑油之比为20:1的稀释润滑剂，进行冲裁，这样存留在工件上的残迹不显著，也便于清除。

关于磨损与润滑，另见1. 5. 4和1. 5. 6节。

参 考 资 料

- [1] E. Kaczmarek, Praktische Stanzerie, Springer-Verlag, 1954.
- [2] 梁炳文、朱平月、邢书刚，“冲裁力学与工艺的研究”，《锻压技术》，1982, NO. 4, NO. 5, NO. 6.
- [3] 最新プレス加工データブック，プレス技术第10卷第11号，1972.
- [4] 祖巴卓夫著，梁炳文译，《冷压技术》，龙门联合书局，1953年。
- [5] ASTE, Die Design Handbook, McGraw-Hill, 1955.
- [6] B. T. 麦舍林著，梁炳文译，《冷压手册》，国防工业出版社，1956年。
- [7] 吉田弘美等著，第一汽车厂译，《冲压技术100例》，吉林人民出版社，1977年。
- [8] Werkstatt und Betrieb, 1954, Nr. 2, P. 79.
- [9] Ю. М. Руднев, Листовые Штампы и Кондукторы для Замен Слесарных Работ, 1956.
- [10] 罗兹诺夫斯基著，梁炳文、迟家骥译，《冷压手册》，机械工业出版社，1979年。

2.3 弯 曲

2.3.1 定义与范围

板金的弯曲，是指改变板材或板件角度的工序而言，如由板材弯成V形、U形、波纹形等，也包括凸弯边的成形与卷边工作。凡用压弯、板弯通用机床及模具进行的弯曲、压弯和卷边工序，都属于本章讨论范围。模具可以是刚性的，也可以一部分是刚性，一部分是弹性材料，如橡胶，后者主要是作凹模用。

2.3.2 弯曲件展开长度

2.3.2.1 弯曲中性层位置

中性层半径 ρ 等于

$$\rho = \frac{R_e + R_i}{2} \beta = (R_i + 0.5t\beta)\beta \quad (1)$$

式中 R_e ——弯曲部分外半径；

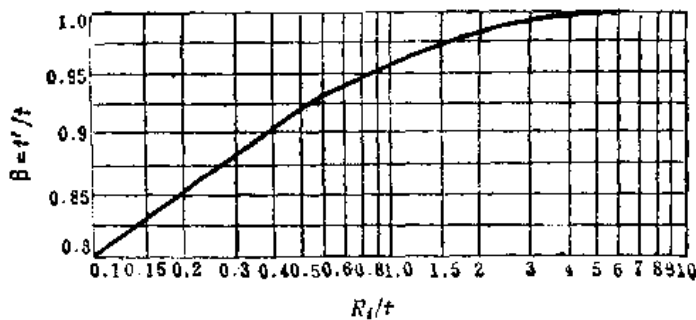
R_i ——弯曲部分内半径；

t ——板料原始厚度；

β ——变薄系数， $\beta = t'/t$ ；

t' ——变薄后的厚度。

对于10~20号钢板，变薄系数 β 与相对弯曲半径 R_i/t 的关系见图。



也可以用系数 x 来说明在弯曲中，中性层的位置，其值为：

$$x = (\rho - R_i)/t = 0.5\beta^2 - (1 - \beta)R_i/t \quad (2)$$

对于10~20号钢，90°弯角的 x 值见表。

10~20号钢板90°弯曲的 x 值⁽¹⁾

R_i/t	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
x	0.27	0.30	0.32	0.33	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.408

(续)

R_0/t	1.00	1.2	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	7.0	10.0
x	0.42	0.43	0.44	0.45	0.45	0.46	0.47	0.47	0.48	0.49	0.50

由表可知，当相对弯曲半径超过10时，中性层位置才位于板的中层，基本上看不出变化，一般滚弯成形大多如此。可认为中层即为中性层。

表中所列数据，对宽板弯曲适用（一般将宽度为厚度的三倍以上的板材叫宽板）。对于窄条料，表中 x 值对于 $R_0/t \geq 2$ 的情况，可作近似估算用。由于 x 值只与变薄系数 β 有关，对于任何材料，只要测量弯曲部分的厚度变化，就可以计算出 x 值。

2.3.2.2 卷边

卷边用于平板件边缘或筒形件边缘的加强。平板卷边前，先在板边按卷边半径压一段圆弧。由于在卷边中端头受压缩，外边有较大的摩擦力，结果剖面往往变厚，中性层向外移动，其位置为：

$$\rho = R_0 - yt$$

表中所列是10~20号钢的 ρ/t 和 y 近似值与相对弯曲半径 R_0/t 的关系， R_0 是外半径。

10~20号钢的 ρ/t 与 y 值⁽¹⁾

系数	相对弯曲半径 R_0/t								
	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2
ρ/t	1.2	1.38	1.56	1.74	1.92	2.11	2.3	2.5	2.7
y	0.4	0.42	0.44	0.46	0.48	0.49	0.5	0.5	0.5

只有当 $R_0 < 3.3t$ 时，卷边时才不会失稳，一般采用 $R_0 = (2 \sim 3.2)t$ 的数值。

以上指一次卷边成形而言（图1）。对于 $R_0 > 3.3t$ 的情况，为了避免一次卷边发生失稳，可以加直径等于卷边内径的心棒，或者采取两次弯曲和一次卷边的方法来完成，如图2所示。前两次弯曲用半径为 R_1 的凸模，最后对长度 l 进行卷边，该长度用卷边计算方法确定。

若要对弯曲件的展开长度进行精确计算，应当考虑中性层位置的变化。

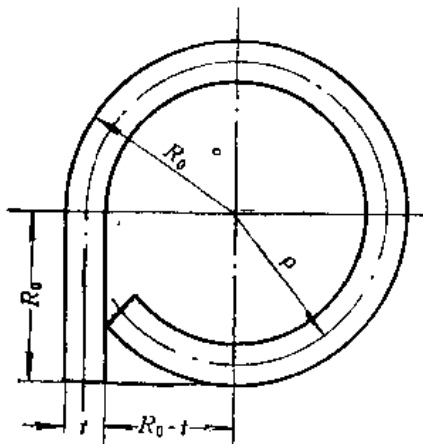


图1

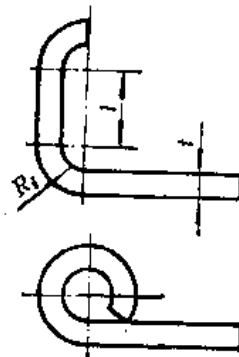


图2

2.3.2.3 展开长度的确定

首先将弯曲角度加以规定,⁰如图 1 所示, φ 可叫做弯曲角, 即板料经过弯曲偏离原来位置的角度, 亦即中心角; α 可叫做内弯角, 即两直边形成的小于 180° 的角度。两者互为补角:

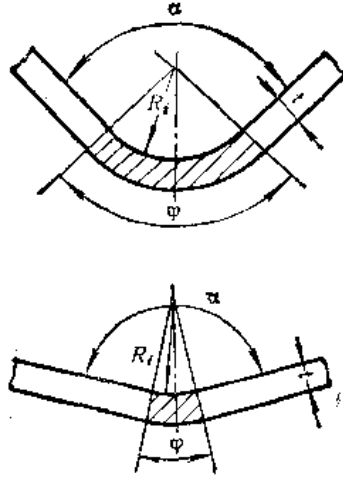


图1

$$\varphi = 180^\circ - \alpha$$

弯弧部分的长度为:

$$l_0 = \frac{\pi\varphi}{180^\circ} (R_i + xt) = 0.017\varphi(R_i + xt) \tag{1}$$

当 $\varphi = 90^\circ$ 时,

$$l_0 = \frac{\pi}{2} (R_i + xt) = 1.57(R_i + xt) \tag{2}$$

不同弯曲形状的展开毛料长度计算式见表 1。

表1. 弯曲件展开毛料长度计算式

弯曲形成	图 形	毛料长度计算公式
单 角		$L = l_1 + l_2 + l_0$ $= l_1 + l_2 + \frac{\pi}{2} (R_i + xt)$
U 形		$L = l_1 + l_2 + l_3 + \pi(R_i + xt)$ $= l_1 + l_2 + l_3 + 2l_0$

弯曲形成	图 形	毛料长度计算公式
凸缘双角 (两次成形)		$L = l_1 + 2l_2 + l_3 + l_4 + 2l_5 + 2l_0 + 2l_0 + 2l_0$ $= l_1 + 2l_2 + l_3 + l_4 + \pi(R_1 + x_1 t) + \pi(R_2 + x_2 t)$
半 圆 U 形		$L = 2l + 2l_0$ $= 2l + \pi(R_0 + xt)$
卷 边		$L = 1.5\pi\rho + 2R_0 - t$ $\rho = R_0 - yt$

注: 1. x 值见2.3.2.1表, y 值见2.3.2.2表,
2. l_0 值见表2.

〔例题1〕: 一个U形弯曲件, $l_1=l_2=40\text{mm}$, $l_3=30\text{mm}$, $R_1=1\text{mm}$, $t=2\text{mm}$, 求毛料长度。

解: 由表2查得 $l_0=2.76\text{mm}$, 故毛料长度为:

$$L = 2l_1 + l_3 + 2l_0 = 80 + 30 + 5.52 \approx 115.5\text{mm}$$

〔例题2〕: 用 $R_0=3\text{mm}$, $t=1.5\text{mm}$ 的材料卷边, 求中性层半径和展开长度。

解: 由2.3.2.2表, 当 $R_0/t=2.0$, 查得 $y=0.44$ 。故中性层半径为:

$$\rho = R_0 - yt = 3 - 0.44 \times 1.5 = 2.34\text{mm}$$

由表1的计算式, 展开长度为:

$$L = 1.5\pi\rho + 2R_0 - t = 11.0 + 6 - 1.5 = 15.5\text{mm}$$

还有用外形交插点作为计算展开长度的方法, 以图2为例, 其展开长度为:

$$L = l_1 + l_2 + l_3 - z_1 - z_2$$

式中 z_1 与 z_2 是与板料厚度 t 和各内弯曲半径 R_i 有关的数值, 可查表3。对于有任意 90° 弯

表2. 90° 弯曲弧中性层长度 $l_0 = \frac{\pi}{2}(R_0 + xt)$ (1)

(mm)

R_0 (mm)	材 料 厚 度 t (mm)										
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.3	1.5
0.2	0.39	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.75	0.83	0.93	0.98	1.08
0.3	0.55	0.61	0.67	0.73	0.78	0.83	0.93	1.03	1.13	1.16	1.25
0.4	0.70	0.77	0.83	0.89	0.95	1.00	1.11	1.21	1.30	1.35	1.46
0.5	0.86	0.93	1.00	1.06	1.12	1.17	1.28	1.38	1.48	1.54	1.63
0.6	1.02	1.09	1.16	1.22	1.28	1.34	1.45	1.56	1.66	1.71	1.81
0.8	1.33	1.41	1.47	1.54	1.61	1.67	1.78	1.90	2.00	2.06	2.16
1.0	1.65	1.73	1.79	1.86	1.93	1.99	2.11	2.23	2.35	2.40	2.51
1.5	2.43	2.51	2.58	2.65	2.73	2.79	2.93	3.06	3.17	3.23	3.35
2.0	3.22	3.30	3.37	3.44	3.52	3.59	3.73	3.86	3.99	4.05	4.17
2.5	4.01	4.08	4.16	4.23	4.30	4.37	4.52	4.66	4.79	4.85	4.99
3.0	4.79	4.87	4.95	5.02	5.09	5.16	5.31	5.45	5.59	5.66	5.78
3.5	5.58	5.65	5.73	5.80	5.88	5.95	6.10	6.24	6.38	6.45	6.59
4.4	6.36	6.44	6.51	6.60	6.66	6.74	6.88	7.03	7.17	7.24	7.38
4.5	7.15	7.23	7.30	7.38	7.45	7.52	7.67	7.82	7.96	8.03	8.18
5.0	7.93	8.01	8.09	8.16	8.24	8.31	8.46	8.62	8.75	8.82	8.97
6	9.50	9.58	9.66	9.73	9.81	9.90	10.03	10.18	10.32	10.40	10.54
7	11.07	11.15	11.23	11.31	11.38	11.45	11.61	11.50	11.90	11.97	12.12
8	12.64	12.72	12.80	12.88	12.95	13.03	13.20	13.33	13.47	13.55	13.69
9	14.22	14.29	14.37	14.45	14.53	14.60	14.75	14.90	15.05	15.12	15.27
10	15.79	15.87	15.94	16.02	16.10	16.17	16.32	16.50	16.62	16.69	16.84
11	17.38	17.44	17.51	17.59	17.67	17.75	17.90	18.04	18.19	18.27	18.41
12	18.93	19.01	19.09	19.16	19.24	19.32	19.47	19.62	19.77	19.84	19.99
13	20.50	20.58	20.66	20.73	20.81	20.89	21.04	21.19	21.34	21.41	21.56
14	22.07	22.15	22.23	22.31	22.38	22.46	22.61	22.76	22.91	22.99	23.13
15	23.63	23.70	23.77	23.84	23.90	24.03	24.18	24.33	24.48	24.57	24.70

(续)

R_t (mm)	材 料 厚 度 t (mm)							
	1.6	1.8	2	2.5	3	3.5	4	5
0.2	1.12	1.19	1.26	—	—	—	—	—
0.3	1.31	1.40	1.50	1.70	1.88	—	—	—
0.4	1.48	1.58	1.67	1.90	2.14	2.36	2.52	—
0.5	1.68	1.78	1.85	2.10	2.30	2.54	2.80	3.14
0.6	1.85	1.95	2.06	2.30	2.50	2.75	3.00	3.46
0.8	2.21	2.31	2.42	2.67	2.92	3.15	3.35	3.80
1.0	2.56	2.68	2.76	3.02	3.26	3.51	3.77	4.20
1.5	3.41	3.51	3.63	3.88	4.15	4.41	4.65	5.14
2.0	4.22	4.34	4.46	4.74	5.00	5.27	5.53	6.05
2.5	5.05	5.17	5.28	5.58	5.86	6.13	6.40	6.91
3.0	5.85	5.98	6.11	6.39	6.69	6.98	7.26	7.78
3.5	6.65	6.78	6.91	7.51	7.51	7.81	8.11	8.64
4.4	7.45	7.59	7.71	8.04	8.34	8.63	8.92	9.48
4.5	8.25	8.38	8.52	8.84	9.17	9.44	9.74	10.34
5.0	9.04	9.18	9.32	9.64	9.97	10.27	10.56	11.15
6	10.61	10.76	10.90	11.25	11.57	11.90	12.23	12.78
7	12.19	12.33	12.48	12.83	13.18	13.50	13.83	14.45
8	13.77	13.91	14.06	14.42	14.76	15.11	15.43	16.08
9	15.34	15.49	15.68	16.00	16.35	16.69	17.05	17.69
10	16.92	17.09	17.29	17.59	17.93	18.29	18.63	19.28
11	18.49	18.64	18.78	19.15	19.51	19.86	20.22	20.90
12	20.06	20.21	20.36	20.72	21.09	21.44	21.80	22.49
13	21.63	21.78	21.93	22.30	22.66	23.02	23.38	24.09
14	23.21	23.35	23.50	23.87	24.26	24.60	24.96	25.67
15	24.76	24.91	25.06	25.47	25.86	26.18	26.55	27.25

注：计算 l_0 值用的 x 值查表2.3.2.1。

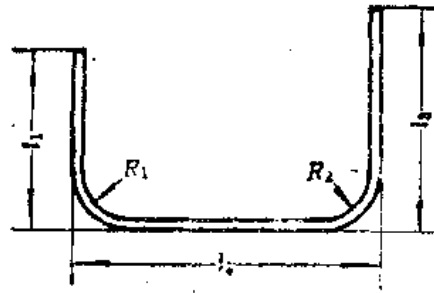


图2

表3. Z值^①

(mm)

R/t	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8	9	10
0.3	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.9	3.4	3.8	4.2	4.7
0.5	0.8	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	3.2	3.6	4.1	4.5	4.9
0.6	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.3	3.8	4.2	4.6	5.0
0.8	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.6	4.0	4.4	4.8	5.3
1	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.8	4.3	4.7	5.1	5.5
1.2	/	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	4.0	4.4	4.8	5.2	5.6
1.5	/	2.5	2.7	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.5	4.9	5.3	5.7	6.1
1.8	/	2.9	3.1	3.3	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.8	5.2	5.7	6.1	6.5
2	/	/	3.4	3.6	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	5.1	5.5	6.0	6.4	6.8
2.5	/	/	4.1	4.3	4.5	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.8	6.2	6.6	7.0	7.4
3	/	/	4.6	5.0	5.1	5.3	5.4	5.6	5.8	6.0	6.4	6.8	7.2	7.7	8.1
3.5	/	/	/	5.7	5.9	6.0	6.2	6.4	6.5	6.7	7.1	7.5	7.8	8.2	8.7
4	/	/	/	/	6.6	6.7	6.9	7.1	7.3	7.4	7.8	8.2	8.6	9.1	9.4
4.5	/	/	/	/	/	7.4	7.6	7.8	8.0	8.2	8.6	8.9	9.3	9.7	10.0
5	/	/	/	/	/	8.2	8.4	8.6	8.8	8.9	9.2	9.6	10.0	10.4	10.8
6	/	/	/	/	/	9.7	9.8	9.9	10.1	10.3	10.6	10.9	11.3	11.7	12.0
7	/	/	/	/	/	/	11.3	11.4	11.6	11.8	12.1	12.4	12.7	13.0	13.4
8	/	/	/	/	/	/	/	13.0	13.1	13.2	13.5	13.8	14.2	14.5	14.8
9	/	/	/	/	/	/	/	/	14.6	14.7	14.9	15.2	15.5	15.8	16.2
10	/	/	/	/	/	/	/	/	/	16.2	16.5	16.8	17.2	17.5	17.8

① 松陵机械厂钟祖华整理。

边数量的展开长度为：

$$L = \sum_1^n l - \sum_1^{n-1} z \quad (3)$$

以上都指 90° 的弯角而言，对于任意角度 α ，可按图3计算展开长度。

对软材料，可弯曲到使两边重叠（图4）。其展开长度为：

$$L = A + B - 0.43t$$

对于型材，在弯曲中剖面畸变和中性层的移动，与板料不完全一样。如直径为 d 的圆棒，当 $R_t = 1.5d$ 时，剖面基本没有畸变，仍呈圆形。当 $R_t < 1.5d$ 时，才变扁呈鸭梨形，中性层内移。U形件棒材弯曲的 x 值，见 2.3.2.1 表，视弯曲半径不同，介于 0.33~

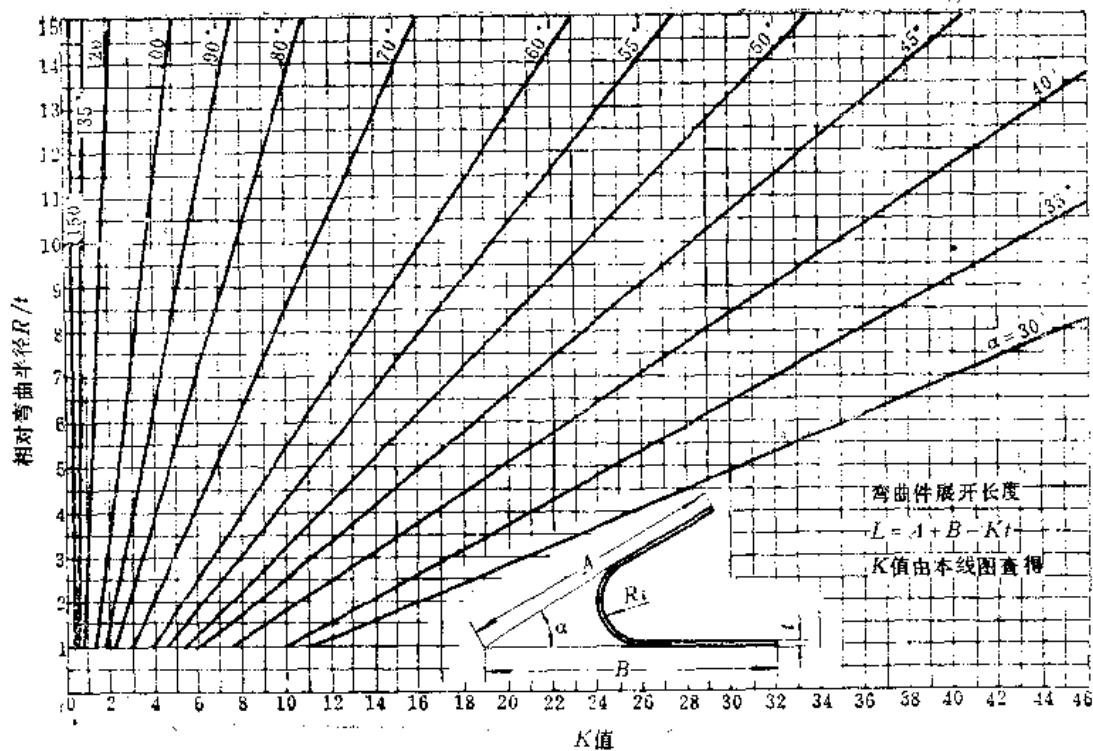


图3

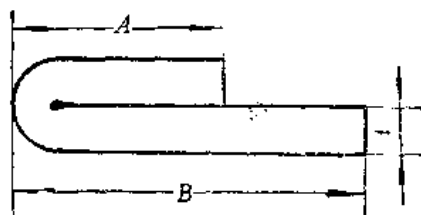


图4

0.4之间。

板弯件的长度计算，另见4.5.14节。

2.3.3 弯曲件工艺性

对于内弯角小于 60° 的弯曲，为了避免撕裂和畸变，应开止裂槽或切口。图1(b)和图1(d)是开止裂槽的情形，图1(c)是开止裂切口的情形。图1(e)和图1(f)是在复杂弯曲件上开止裂槽的情形，图1(g)和图1(h)是切口弯曲的情形。图1(i)是冲方孔后弯曲成形。

对剪裁的条料或毛料，剪裁边缘的硬度一般提高 $20\sim 30\%$ ，若不开止裂槽，比退火料更容易开裂。

切槽端头呈半圆形，半径最小为 $2t$ 。其深度，即半圆端到起始弯曲的距离为 $0.75\sim 1.5\text{mm}$ ，这样才可以在弯曲时不引起畸变，避免两个方向弯曲线交叉部分产生双曲度变形，如图2所示的 x 和 y 值。图中的 w 值是弯边宽度。对于橡皮成型，其最小值为：

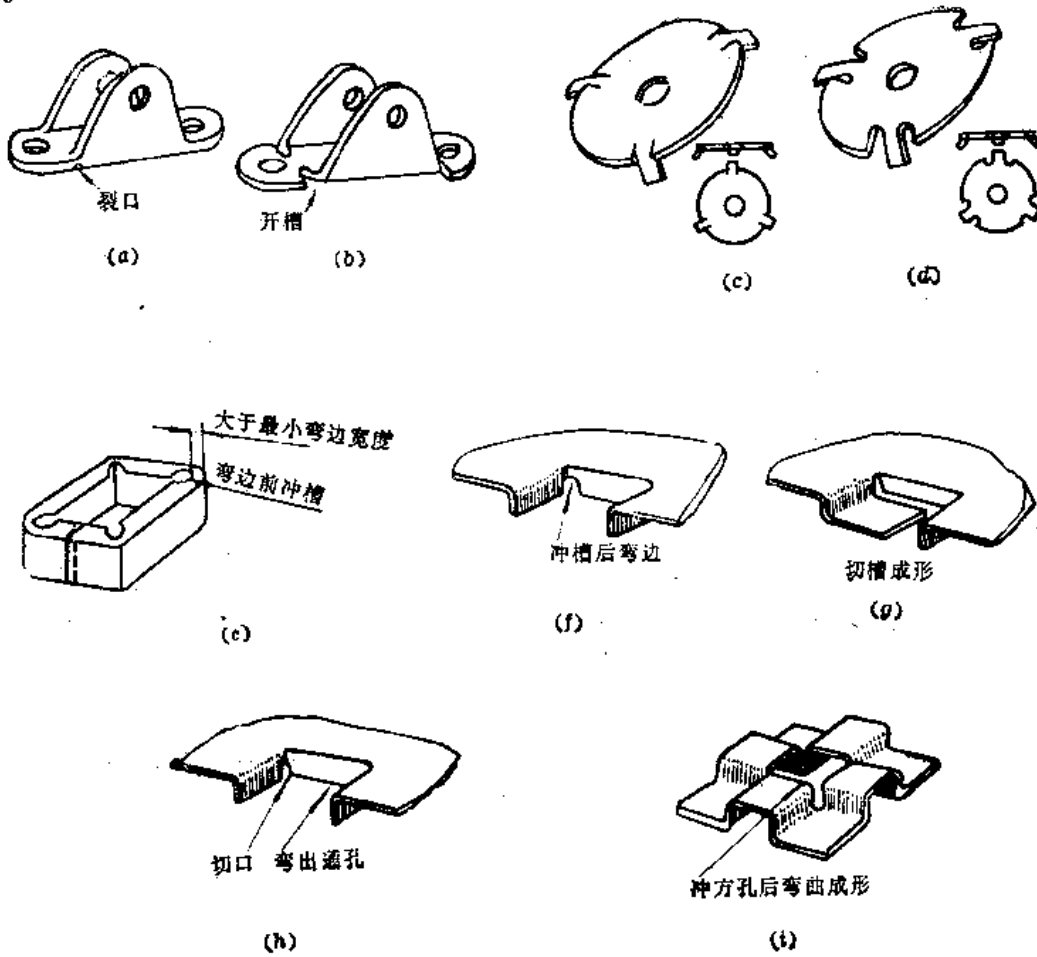


图1

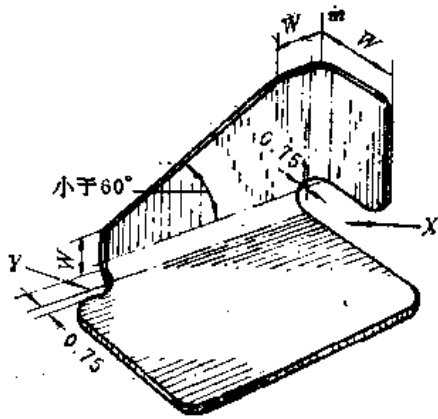


图2

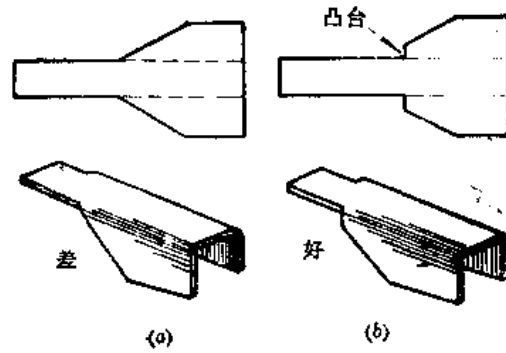


图3

退火杜拉铝

硬杜拉铝

退火不锈钢

1/4硬的不锈钢

$1.6 + 2.5t$

$3.2 + 4t$

$4.8 + 4.5t$

16

过小的弯边高度，不仅用橡皮难于成形，即使用硬模，也是不利的。故应避免用图

3(a)所示的设计形式,应改用图3(b)所示的设计。

一般弯角都呈圆形,如要得到较尖的弯角,可采用如图4所示的方法,将弯曲部分铣去 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 的厚度。

当弯边宽度小于 $3t$,而又要求得到较精密的弯曲件时,可采用如图5所示的压弯方法。图示1是凸模,工作面有个 3° 的倾角,使其在上死点位置(虚线)与凹模2之间有足够的间隙。便于进料和出件,这样可得到尺寸 A 精度高的零件(达到 $3 \sim 5\%t$ 的精度),由于压力大,回弹小,可得到准确的 90° 弯角。但高度 A 不能大于 $(25 \sim 30)t$,以免在压弯时失稳。

关于孔到弯曲线的最小间距,见2.2.8.2。

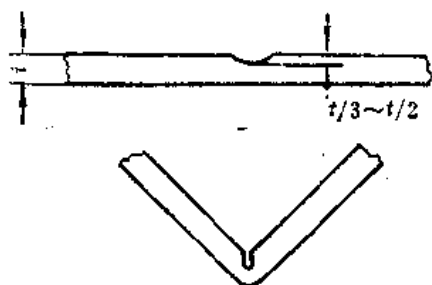


图4

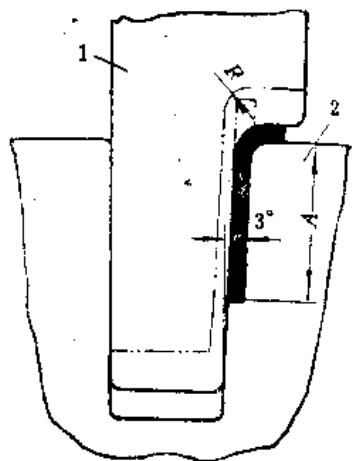


图5

1—凸模; 2—凹模。

2.3.4 最小弯曲半径

弯曲时,外层纤维受拉伸,相对弯曲半径愈小,拉伸变形愈大,其最大延伸率 ϵ 或剖面收缩率 ψ ,限制了许可的最小弯曲半径 $(R_i)_{\min}$ 。 R_i 为弯曲件内半径,亦即凸模圆角半径。

2.3.4.1 外层纤维的变形程度

外层纤维的延伸率和剖面收缩率分别为:

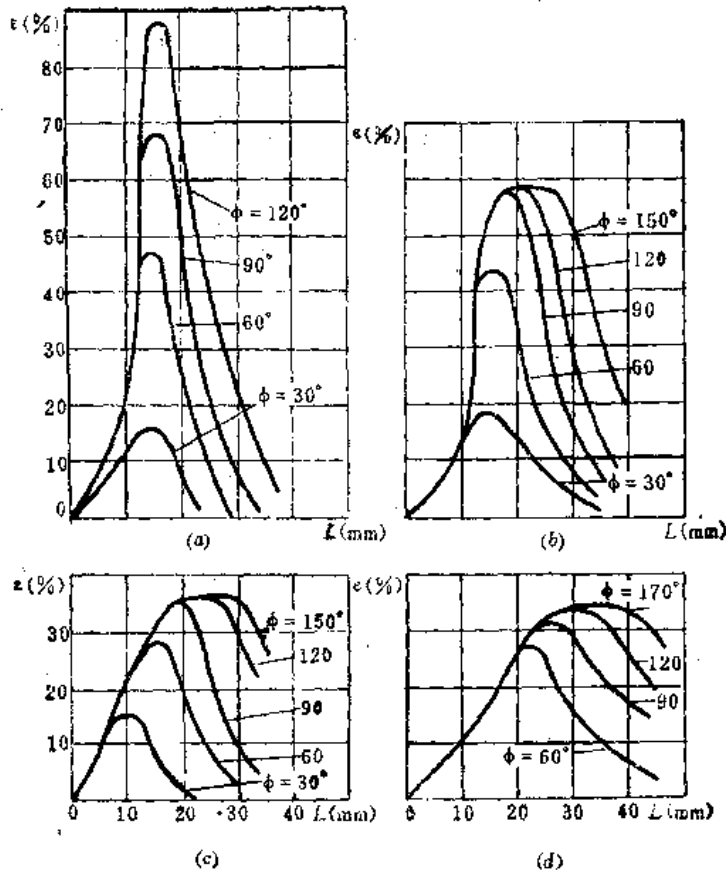
$$\epsilon = \frac{R_i/\beta t + 1}{R_i/t + \beta/2} - 1 \quad (1)$$

$$\psi = 1 - \frac{R_i/t + \beta/2}{R_i/\beta t + 1} \quad (2)$$

式中 β 为变薄系数,见2.3.2.1节。

表中列的是10~20号钢在 90° 弯曲中,对于相对宽度 $B/t > 3$ 的板条,外层纤维的延伸率 ϵ 与剖面收缩率 ψ 与相对弯曲半径 R_i/t 的关系值。

弯曲角度 φ 的大小,对外层延伸率有影响, φ 愈小,延伸率愈小,如图(a)~(d)所



(a) $r/t=0.37$; (b) $r/t=0.75$; (c) $r/t=1.5$; (d) $r/t=2.0$

示，参见2.3.2.3图1。图中 L 表示弯弧外层长度^[1]。

10~20钢90° 弯曲的 ϵ 与 ψ 值^[1]

应变	R_i/t						
	0.1*	0.25*	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
$\epsilon, \%$	120	88	61.3	38	21.6	14	11.5
$\psi, \%$	55	47	38	27.6	18	13	10.3

注：带星号的只是近似值，因这时变形性质已经发生变化。

2.3.4.2 板材最小弯曲半径

最小弯曲半径 R_i 与材料在拉伸实验中的剖面收缩率 ψ 有如下的关系。对于小变形，可近似表示为：

$$(R_i)_{\min} = \frac{1-2\psi_{\max}}{2\psi_{\max}} t, \text{mm} \tag{1}$$

对于大变形，可用以下更精确的公式：

$$(R_i)_{\min} = \frac{\beta+2\psi_{\max}-2}{2(1-\psi_{\max}-\beta)} \beta t, \text{mm} \tag{2}$$

式中 β —变薄系数，见2.3.2.1。

最小相对弯曲半径 $(R_i/t)_{\min}$ 与 ψ_{\max} 的关系见表1。

表1. $(R_i/t)_{\min}$ 与 ψ_{\max} 的关系^[1]

ψ , %	62	55	50	45	40	35	30	25	20	18	15	10.3	8.5	4.5
$(R_i/t)_{\min}$	0	0.1	0.2	0.3	0.43	0.62	0.85	1.15	1.7	2.0	2.5	4.0	5.0	10.0

当顺纹路弯曲时, 许用的收缩率 $\psi' = 0.7\psi_{\max}$ 。

表2所列的, 是各种材料在不同状态下的最小相对弯曲半径。

表2. 不同材料的 $(R_i/t)_{\min}$ 值^[1]

材 料	退火或正火状态		硬 化 状 态	
	弯 曲 方 向			
	横 纹	顺 纹	横 纹	顺 纹
铝			0.3	0.8
退火钢	0	0.3	1.0	2.0
H68黄铜			0.4	0.8
05, 08号钢			0.2	0.5
08~10号钢, T1, T2钢	0	0.4	0.4	0.8
15~20号钢, T3钢	0.1	0.5	0.5	1.0
25~30号钢, T4钢	0.2	0.6	0.6	1.2
35~40号钢, T5钢	0.3	0.8	0.8	1.5
45~50号钢, T6钢	0.5	1.0	1.0	1.7
55~60号钢, T7钢	0.7	1.3	1.3	2.0
1Cr18Ni9T不锈钢	1	2	3	4
软杜拉铝	1.0	1.5	1.5	2.5
硬杜拉铝	2.0	3.0	3.0	4.0
镁	MB3M	2	3	6
合金	MB8M	(300°C) 1.5	(300°C) 2	(冷态) 5
铝铜镁	LF2	0.8	1.2	1.5
合 金	LF5	1.3	1.8	2.0
钛	TC8	1.5	2	3
合 金	TC4	(300~400°C) 3	4	(冷态) 5
				6

- 注: 1. 最小弯曲半径只有结构有要求时才采用, 在其他情况下, 应采用较大些的数值。
 2. 弯曲线与纹路成个角度时, 视角度大小采用中间数值。
 3. 不退火的剪裁窄条件, 按硬化状态选最小弯曲半径。
 4. 对厚料(8~10mm以上), 采用较大的弯曲半径。
 5. 对于很宽的板(1000~2000mm)应使弯曲半径增加1.5~2倍, 以免材质及成形不均匀而破裂。

对于材质及状态不明的材料, 建议采用表3中的最小弯曲半径。

以上所提供的板材最小弯曲半径, 是一般工业上应用, 以不产生裂纹为准的数据。

表3. 一般用最小弯曲半径

材 料	$(R_t)_{\min}$
钢 $\sigma_s \geq 703 \text{N/mm}^2$	3t
商业黄铜, 软	2t
商业黄铜, 半硬	3.5t
紫 铜, 软	2t
紫 铜, 硬	1.1t
铝青铜, 退火	2t
铝青铜, 半硬	4t
铝青铜, 全硬	8t
钛青铜, 硬	15t
磷青铜, 弹簧	25t

对于一些受力件, 以及考虑使用安全性的构件, 所规定的最小弯曲半径要略为大些, 关于航空工业标准有关各种板材这方面的数据, 可参阅4. 5. 1节。

2.3.4.3 型材与管材最小弯曲半径

当 h 为型材高度, D 为管材直径时, 其最小弯曲半径见表。

型材与管材最小弯曲半径⁽¹⁾

	型 材	最 小 弯 曲 半 径	备 考
轧制型材	小 型	$(4 \sim 5)h$	对三轮滚弯机上弯曲适用。在自由状态下弯曲时最小弯曲半径将为 $(25 \sim 50)h$
	中 型	$(6 \sim 8)h$	
	大 型	$(8 \sim 10)h$	
板弯型材	对 称	$(8 \sim 10)h$	在专用型材弯曲机上弯曲
	不 对 称	$(20 \sim 25)h$	
管	$t=0.02D$	$4D$	适用于不用填料或芯子的弯曲。小于表列数值时, 应当用填料或芯子
	$t=0.05D$	$3.0D$	
	$t=0.1D$	$2D$	
	$t=0.15D$	$2D$	

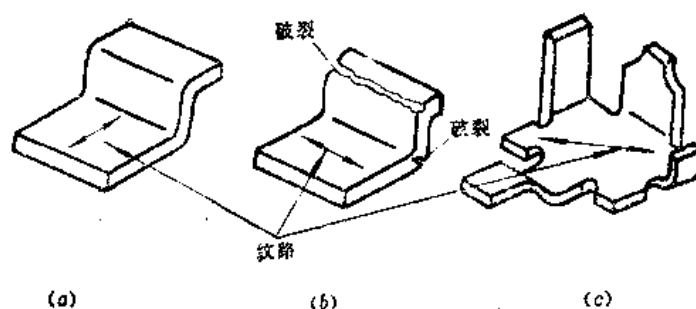
2.3.4.4 避免弯曲破裂的措施

在生产中, 应尽可能采用最小弯曲半径。如因受构造限制, 在制造中又会出现破裂的情况时, 可用以下几种措施, 减少甚至完全避免出现破裂情况。

如图(a)所示, 当弯曲线垂直轧压纹路时, 不易破坏, 而与纹路平行时(图b), 易发生破裂。当两个方向都有弯曲时(图c), 使弯曲线与纹路成 45° 的角度。

也可以采用分两次弯曲的方法, 第一次用大的 R_t/t 进行弯曲, 第二次再用最小的 R_t/t 进行弯曲。这样所以能够减少破裂机会, 是由于变形范围扩散了, 减少了弯弧中点的延伸率。

如果有条件, 对于铝合金板材先用液氮将铝合金材料冷却, 再在 100°C 的温度下弯曲, 也可以避免用最小弯曲半径时破裂。由于加热温度不高, 不影响铝合金性能。



2.3.4.5 管材弯曲用低熔点填料

管材，尤其是薄壁管，弯曲时在弯曲部分会变扁和起皱，在弯曲前在管子内加填充材料是一种常用的方法。表中列出了作填充材料用的熔点低于 100°C 的合金，其中尤其是冷却后略有膨胀的合金，使管材填充得更加充实。弯管后，将其置于沸水中，填充材料即可以自动流出弯管。

弯管用低熔点填料铋基合金^①

化学成分, %				熔点 $^{\circ}\text{C}$	机械性能			冷却时 膨胀 %
铋	锡	铅	镉		硬度HB	强度 kgf/cm^2	延伸率 %	
50	13.3	26.7	10	70	9	410		
50.3	12.5	26.9	10	70	9.2	421	18	+0.051

注: $1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 9.8\text{N}/\text{cm}^2$.

2.3.5 回 弹

弯曲回弹，是不能避免的必然现象。回弹角 $\Delta\alpha$ 的大小，与材料种类、软硬状态、纹路方向、模具几何参数、弯角大小、弯曲半径及材料厚度等有关。下面是刚模压弯和弹性凹模压弯的几种材料弯曲回弹值。由于影响回弹的因素很多，对一种具体情况，预估出很精确的回弹值是不可能的。但在大多数情况下，预估出近似的回弹值，并根据其修模（一般是减少模具角度或弯曲半径，或两者兼用，或采取其他对消回弹角的模具设计），即能满足技术要求。

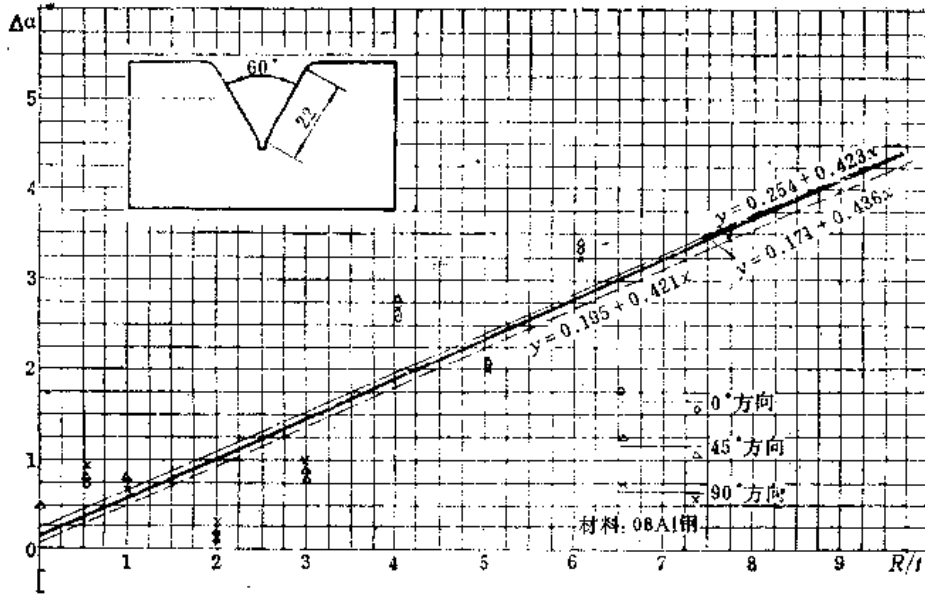
下面是刚模压弯和弹性凹模压弯回弹值数据。

2.3.5.1 刚模压弯回弹角^②

一般是给出回弹角 $\Delta\alpha$ 与相对弯曲半径 R/t 的关系曲线（都近似为直线）。图1(a)~图4(c)，是08Al钢，45号钢，30CrMnSi钢和1Cr18Ni9Ti不锈钢，弯曲 60° 、 90° 和 120° 的回弹角 $\Delta\alpha$ 与 R/t 的关系，都给出了纹路方向与板料对回弹角有显著影响的机械性能（亦即状态）。还给出了对回弹有影响的模具形状。偏离这些情况的其他具体情况，回弹角大小会有出入。尤其是材料状态不同，会有很大的不同。

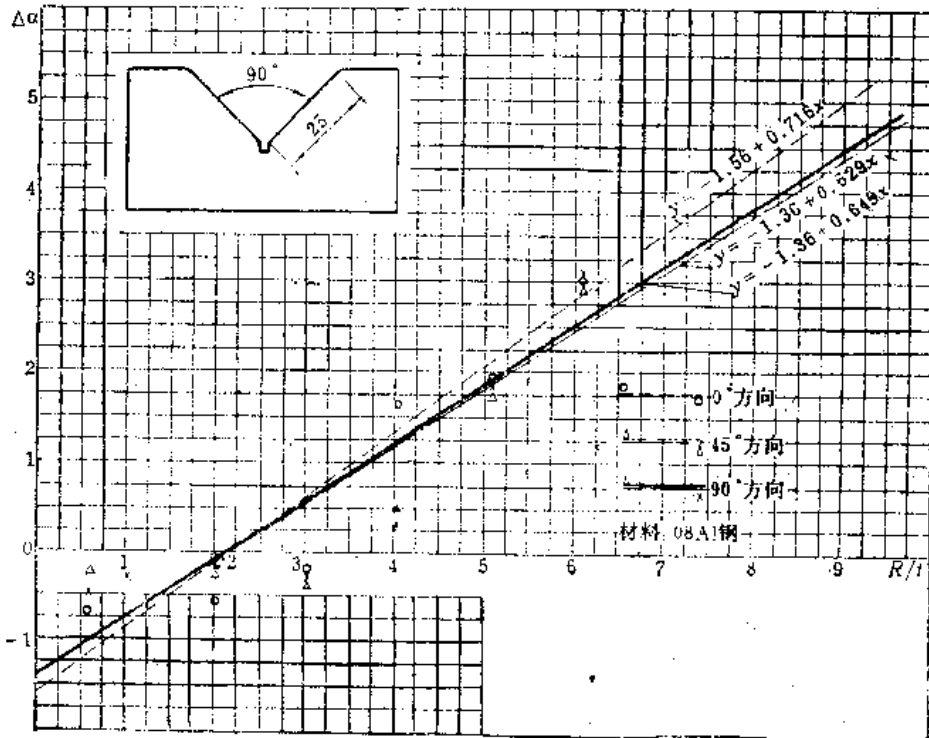
① 陈毓勋，《低熔点合金模具的配方与铸模方法》，南京航空学院，1983，10。

② 黎炳文，孙世长，徐亚光，蒋冬宾，《钣金弯曲回弹试验与验证试验报告》，北京航空学院，1985年1月。



材料: 08Al钢, $\sigma_{0.2}(\sigma_s) = 21.6 \text{ kgf/mm}^2$, $\sigma_B = 32.9 \text{ kgf/mm}^2$, $\delta = 42.2$
注: 本试验是用 $t = 0.985 \text{ mm}$, 改变凸模圆角半径得到的数据。

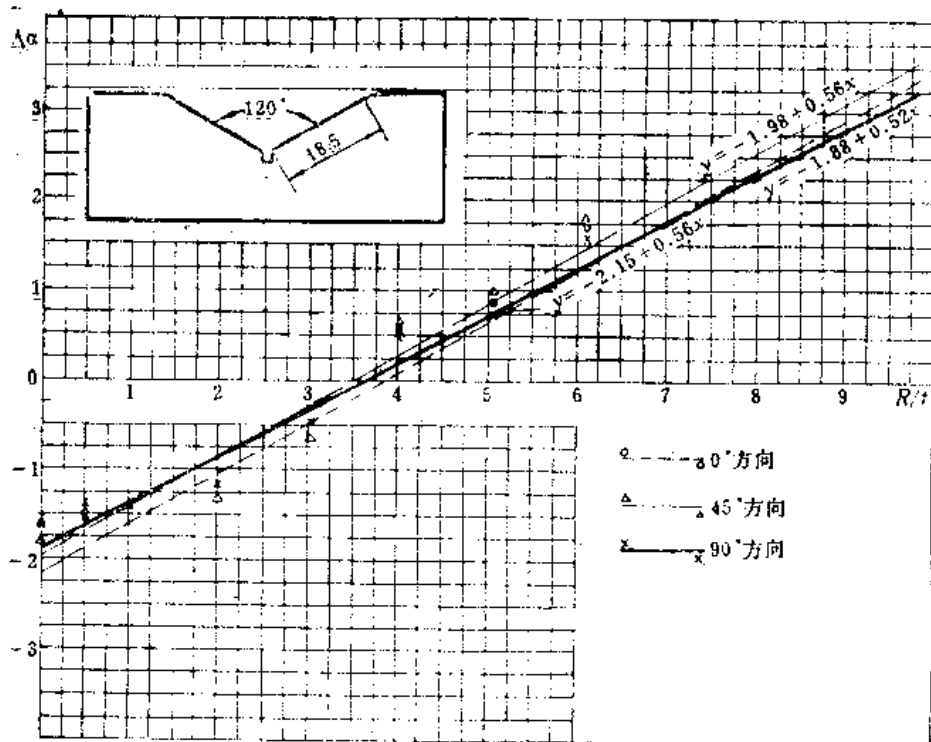
图1 (a)



材料: 08Al钢, $\sigma_{0.2}(\sigma_s) = 21.6 \text{ kgf/mm}^2$, $\sigma_B = 32.9 \text{ kgf/mm}^2$, $\delta = 42.2$

注: 本试验是用 $t = 0.985 \text{ mm}$, 改变凸模圆角半径得到的数据。

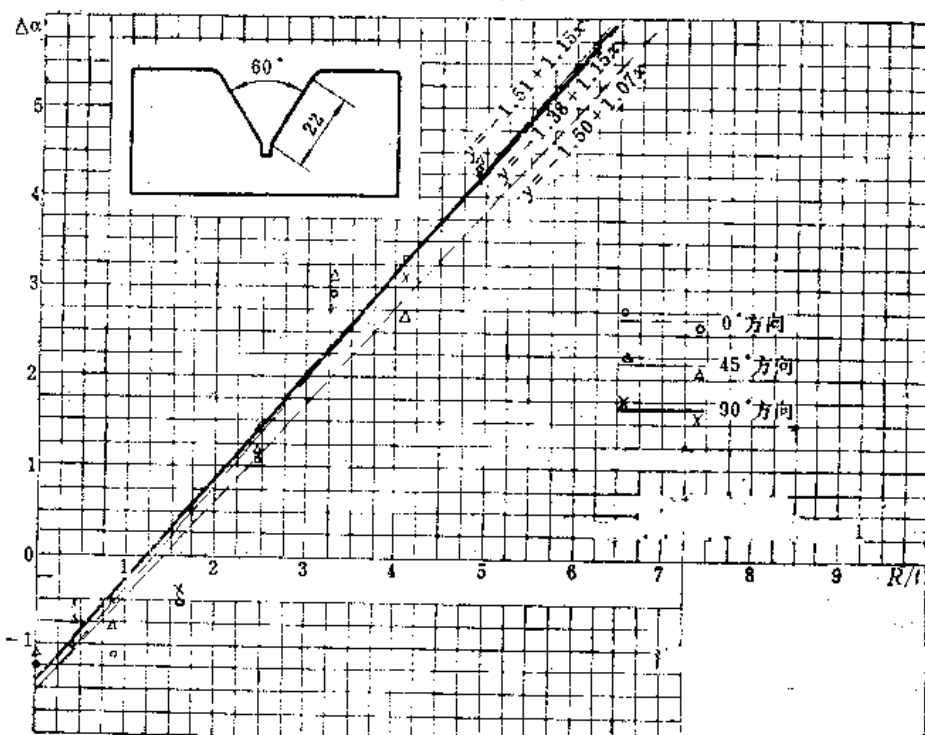
图1 (b)



材料: 08Al钢, $\sigma_{0.2}(\sigma_s) = 21.6 \text{ kgf/mm}^2$, $\sigma_B = 32.9 \text{ kgf/mm}^2$, $\delta = 42.2$

注: 本试验是用 $t = 0.985 \text{ mm}$, 改变凸模圆角半径得到的数据。

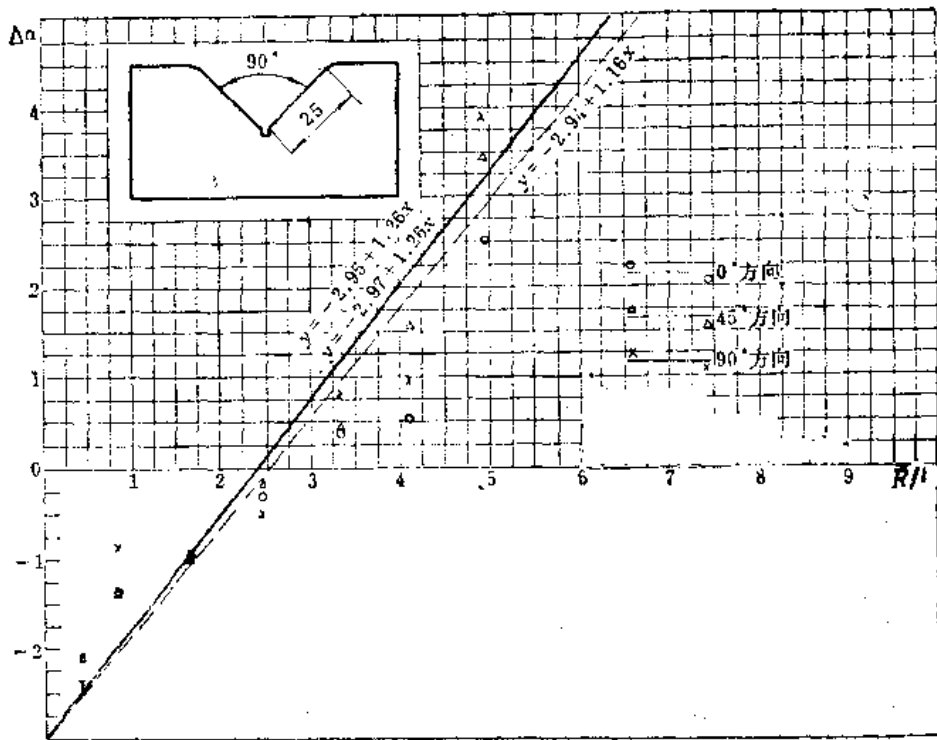
图1 (c)



材料: 45号钢, $\sigma_{0.2}(\sigma_s) = 39.6 \text{ kgf/mm}^2$, $\sigma_B = 50.2 \text{ kgf/mm}^2$, $\delta = 29.1$

注: 本试验是用 $t = 1.215 \text{ mm}$, 改变凸模圆角半径得到的数据。

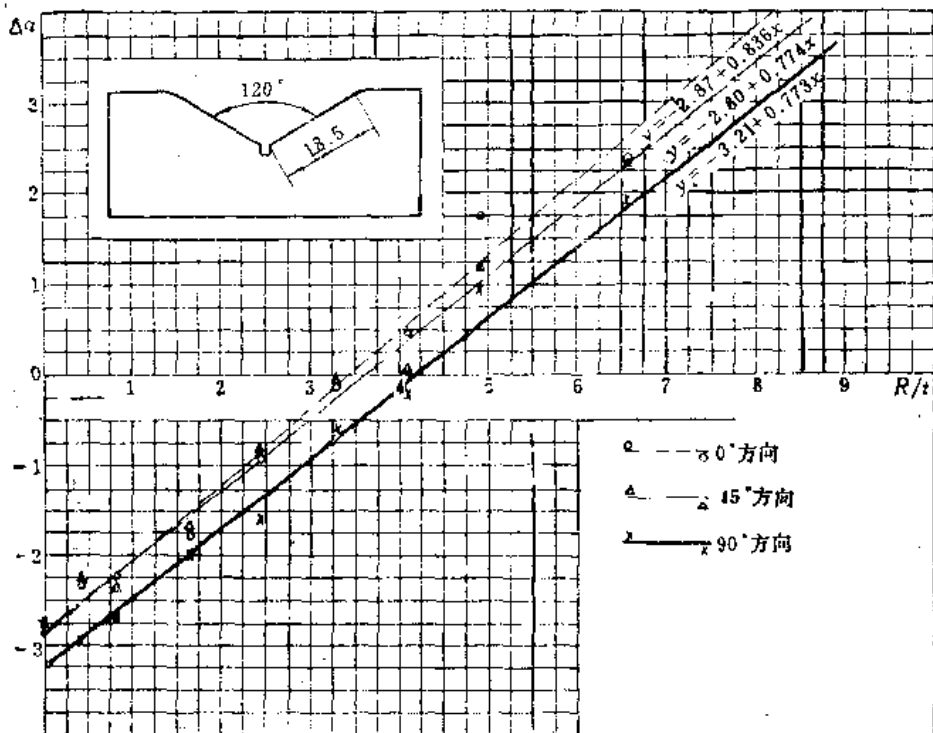
图2 (a)



材料: 45号钢, $\sigma_{0.2}(\sigma_s) = 39.6\text{kgf/mm}^2$, $\sigma_B = 50.2\text{kgf/mm}^2$, $\delta = 29.1$

注: 1. 45°方向与90°方向重合; 2. 本试验是用 $t=1.215\text{mm}$, 改变凸模圆角半径得到的数据。

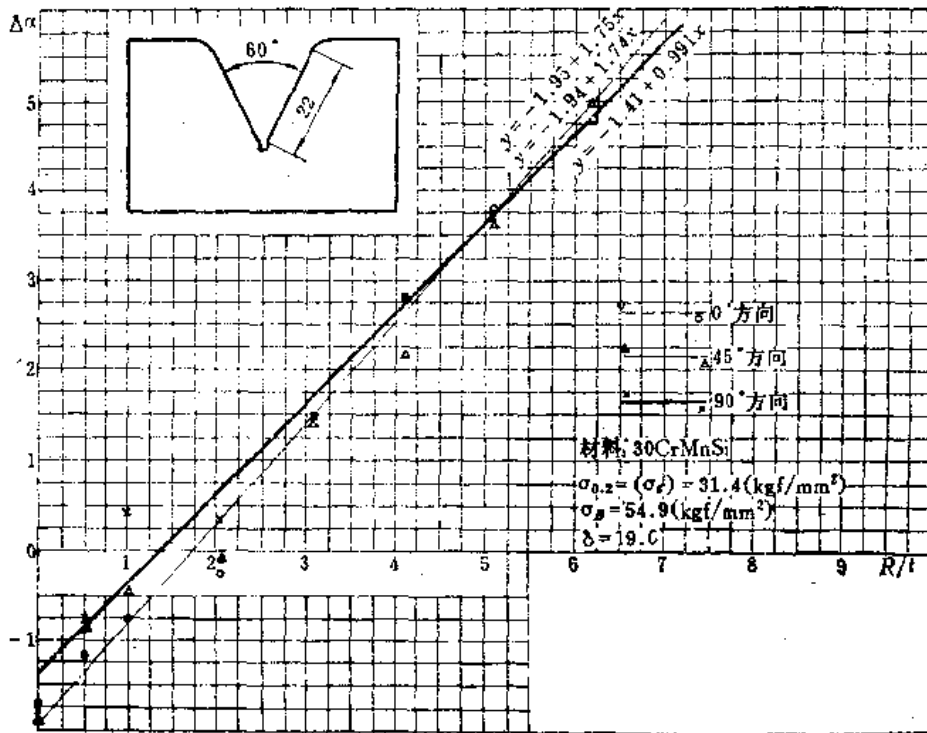
图2 (b)



材料: 45号钢, $\sigma_{0.2}(\sigma_s) = 39.6\text{kgf/mm}^2$, $\sigma_B = 50.2\text{kgf/mm}^2$, $\delta = 29.1$

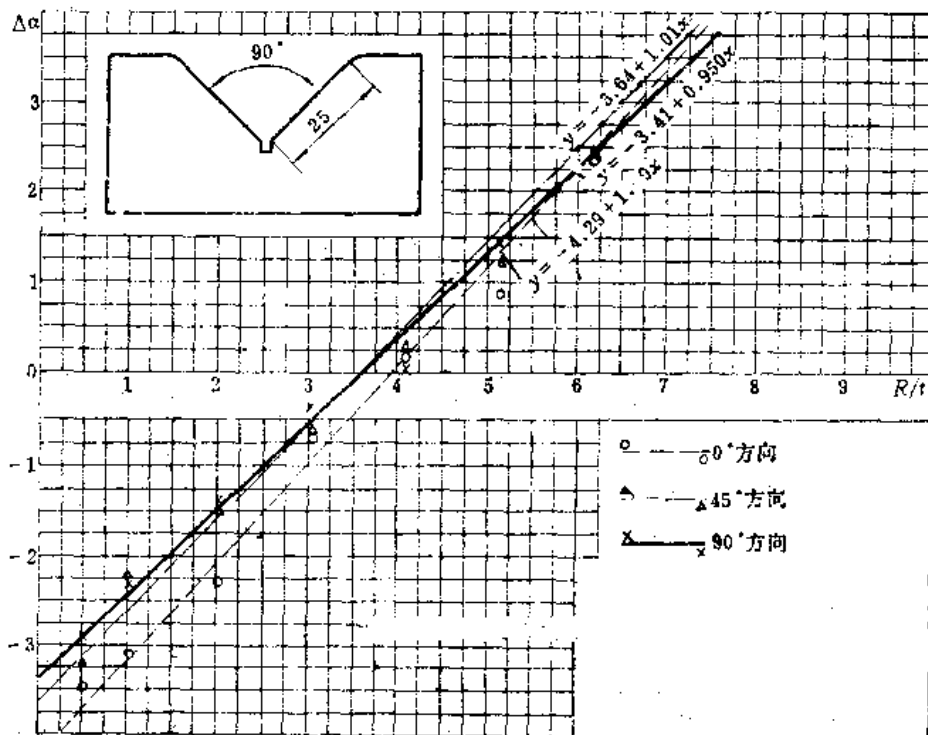
注: 本试验是用 $t=1.215\text{mm}$, 改变凸模圆角半径得到的数据。

图2 (c)



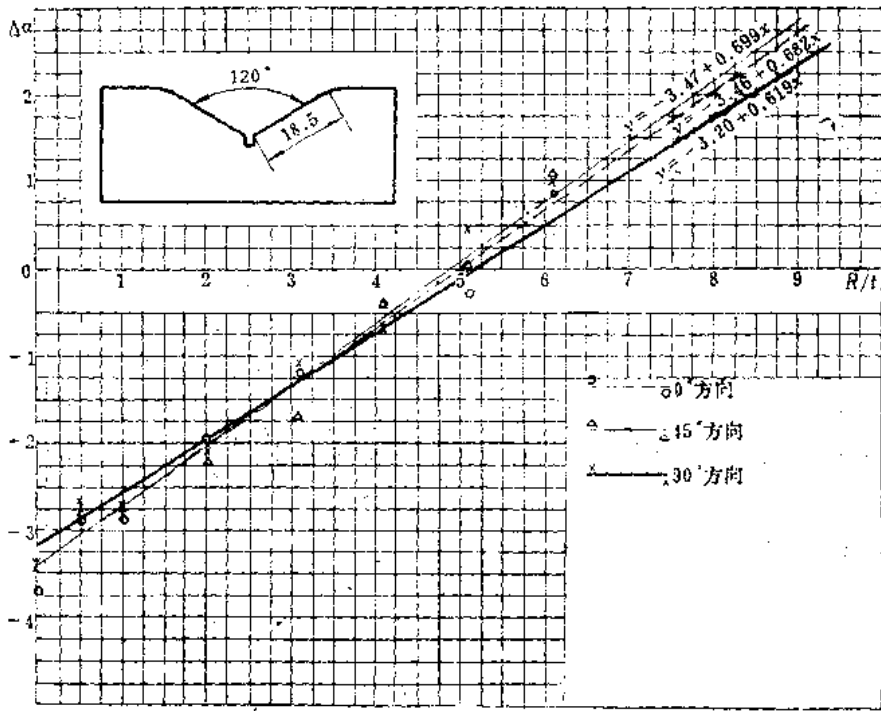
材料30CrMnSi, $\sigma_{0.2} (\sigma_s) = 31.4 \text{ kgf/mm}^2$, $\sigma_B = 54.9 \text{ kgf/mm}^2$, $\delta = 19.0$
 注: 1. 0°与45°重合; 2. 本试验是用 $t = 0.972 \text{ mm}$, 改变凸模圆角半径得到的数据。

图3 (a)



材料: 30CrMnSi, $\sigma_{0.2} (\sigma_s) = 31.4 \text{ kgf/mm}^2$, $\sigma_B = 54.8 \text{ kgf/mm}^2$, $\delta = 18.0$
 注: 本试验是用 $t = 0.972 \text{ mm}$, 改变凸模圆角半径得到的数据。

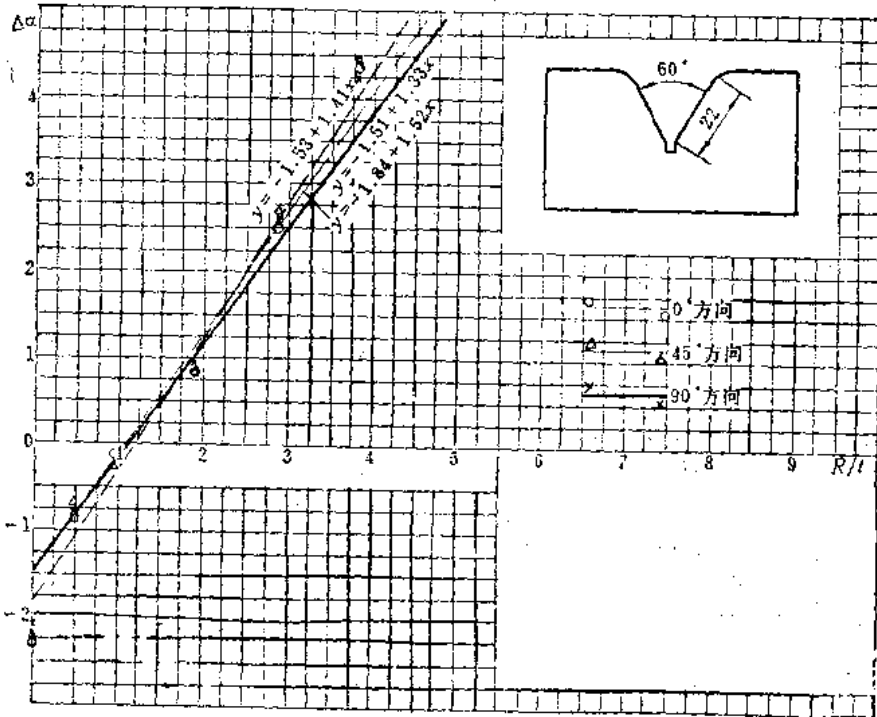
图3 (b)



材料: 30CrMnSi, $\sigma_{0.2}(\sigma_s) = 31.4 \text{ kgf/mm}^2$, $\sigma_B = 54.9 \text{ kgf/mm}^2$, $\delta = 19.0$

注: 本试验是用 $t = 0.072$, 改变凸模圆角半径得到的数据。

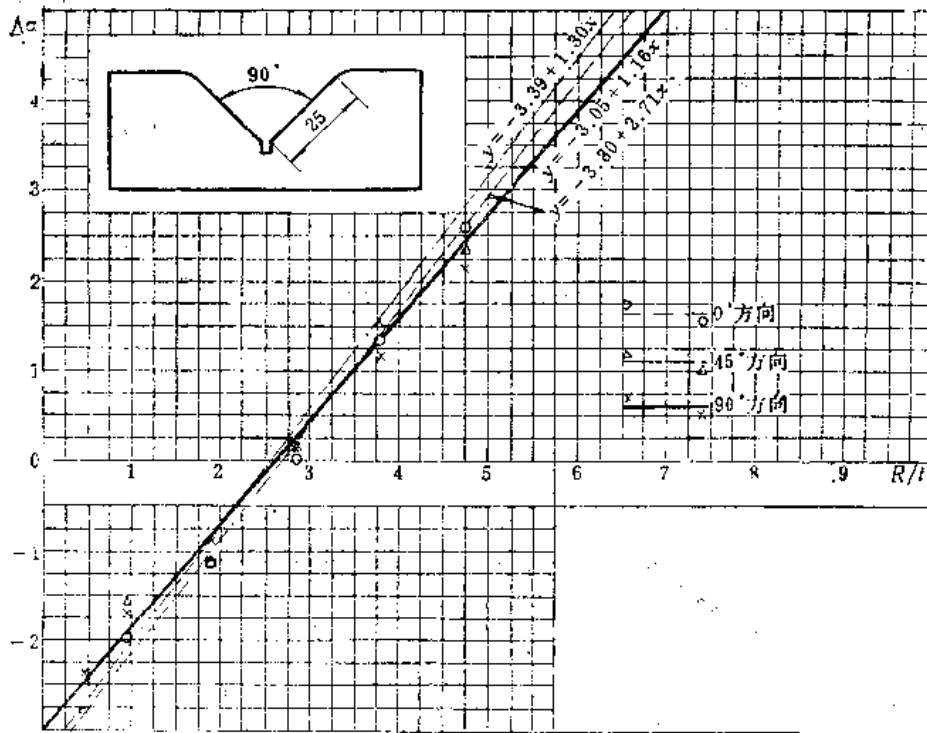
图3 (c)



材料: 1Cr18Ni9Ti, $\sigma_{0.2}(\sigma_s) = 27.3 \text{ kgf/mm}^2$, $\sigma_B = 62.3 \text{ kgf/mm}^2$, $\delta = 49.9$

注: 本试验是用 $t = 1.053 \text{ mm}$, 改变凸模圆角半径得到的数据。

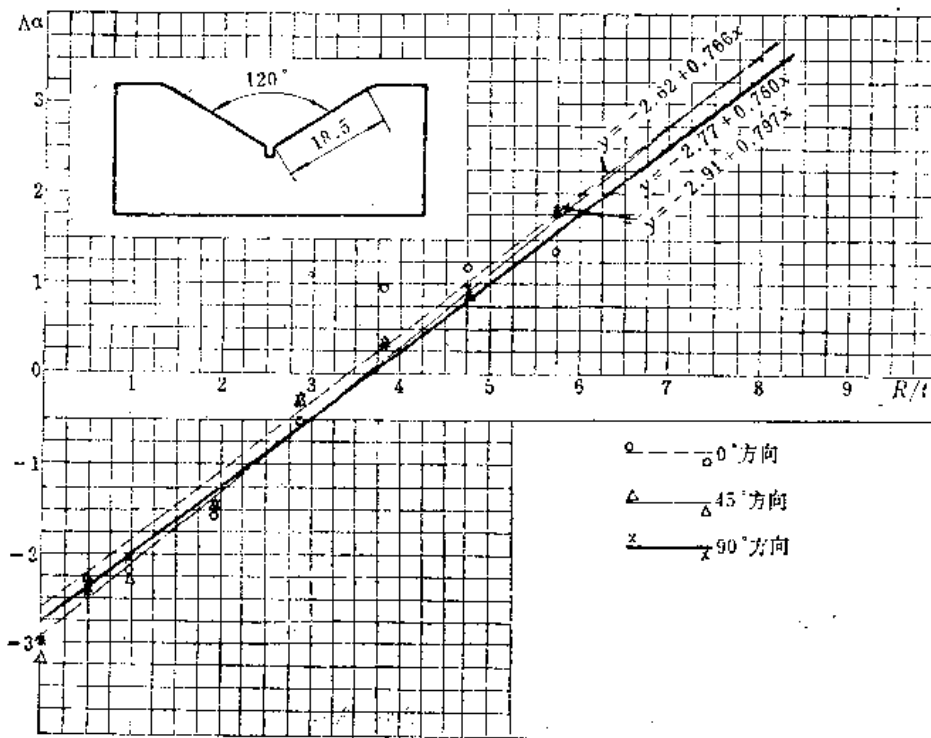
图4 (a)



材料: 1Cr18Ni9Ti, $\sigma_{0.2}(\sigma_s) = 27.3\text{kgf/mm}^2$, $\sigma_B = 62.8\text{kgf/mm}^2$, $\delta = 40.9$

注: 本试验是用 $t = 1.050\text{mm}$, 改变凸模圆角半径得到的数据。

图4 (b)



材料: 1Cr18Ni9Ti, $\sigma_{0.2}(\sigma_s) = 27.3\text{kgf/mm}^2$, $\sigma_B = 62.8\text{kgf/mm}^2$, $\delta = 49.9$

注: 本试验用 $t = 1.050\text{mm}$, 改变凸模圆角半径得到的数据。

图4 (c)

图5~图8是用相同的刚模,弯曲90°的回弹值;图5是国产材料LY12M的回弹值,图6是与之相近的美国材料2024的回弹值,图7是国产材料LC4M的回弹值,图8是与国产LC9相近的美国材料7075的回弹值。图5和图6之间的差别,主要是由于材料状态不同所致。

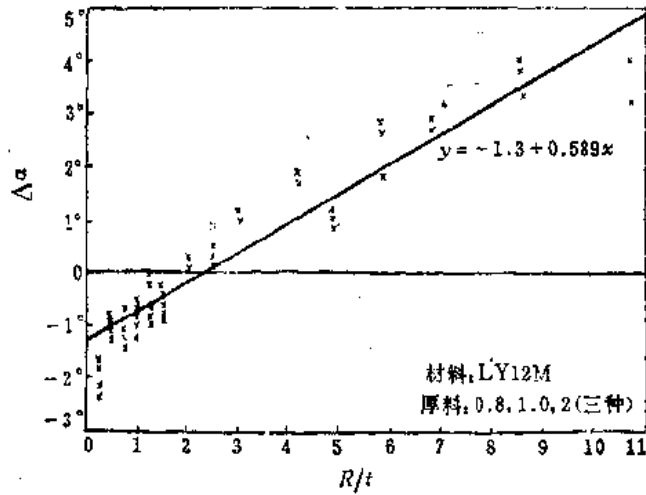


图5 硬模如图1(b)的90°弯角

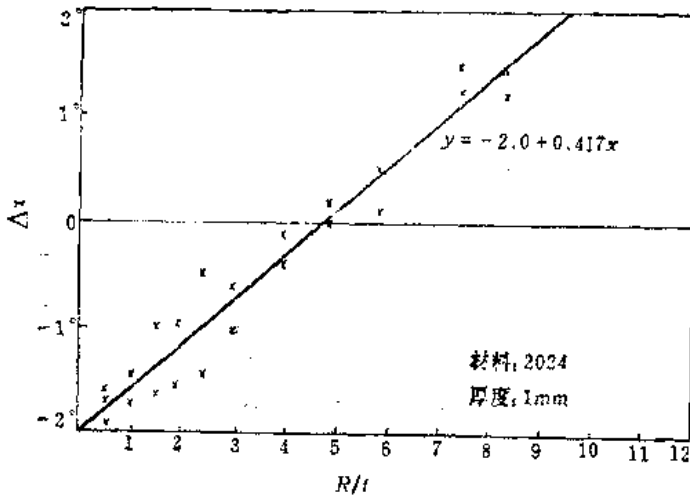
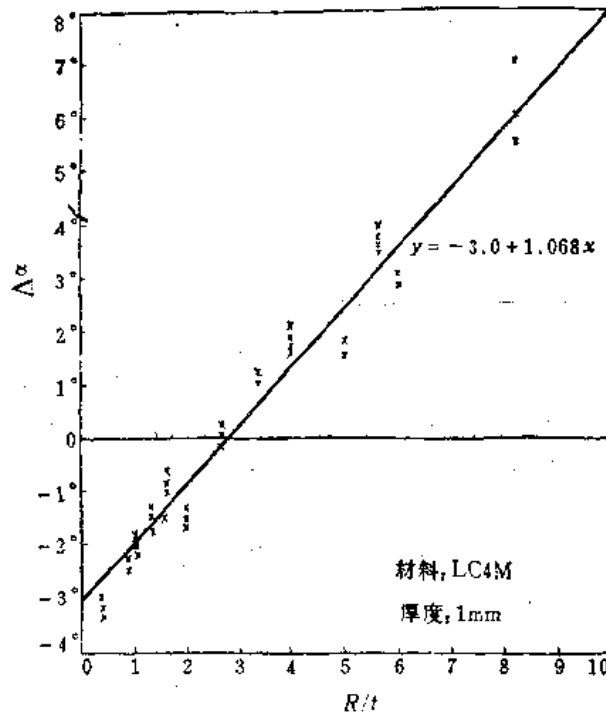
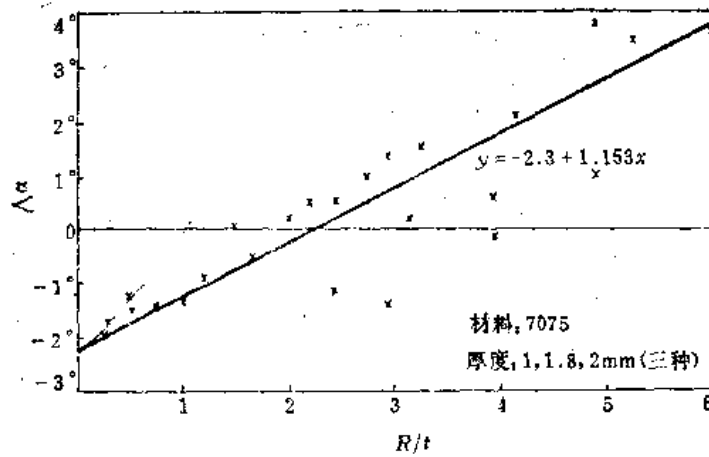


图6 硬模如图1(b)的90°弯角

图7 硬模如图1 (b) 的 90° 弯角图8 硬模如图1 (b) 的 90° 弯角

以上所有各图中，都有相应的实际试验点。

2.3.5.2 弹性凹模压弯回弹角⁽³⁾

这里介绍的，是凸模为刚性模，用聚胺酯作为通用凹模，如2.3.6.2节各图所示的，其弯曲回弹值比用刚性凹模更为稳定。数据以小于 90° 的闭斜角和大于 90° 的开斜角作为弯曲角度。例如闭斜角 10° ，表示含角为 80° 的弯角（见图）。

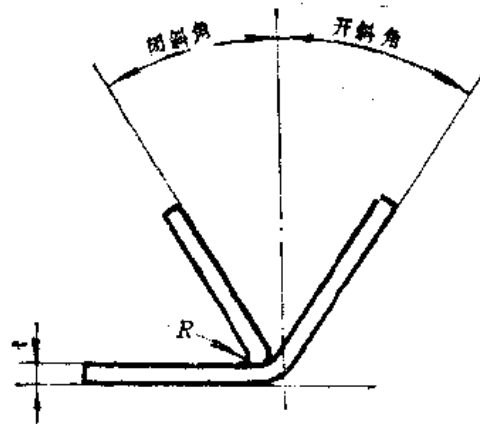


表1是24SO (相当国产的LY12M) 的回弹角, 亦适用于其他各种新淬火铝合金与退火的钢料。表2是24ST (相当国产的LY12C), 即固熔热处理的2024 (LY12) 铝合金回弹角, 亦适用于其他固熔处理的铝合金、钛和未退火的各种钢料。

表1. 24SO铝合金回弹值 (°)

弯角半径 (mm)	弯模半径 (mm)	闭斜角(°)			90°	开斜角(°)		
		30	20	10		10	20	30
厚度0.42mm								
0.8	0.8	1+	1+	1	1	1	1	1
1.6	1.6	4	3+	3+	3	2+	2+	2
2.4	2.4	5+	5	4+	4	3+	3	2+
3.2	3.2	6+	6	5+	5	4+	4	3+
4.0	3.6	8	7+	6+	6	5+	4+	4
4.8	4.4	6+	8	7+	6+	5+	5	4+
厚度0.66mm								
0.8	0.8	1+	1+	1	1	1	1	1
1.6	1.6	3+	3	2+	2+	2+	2	1+
2.4	2.4	4	3+	3+	3	2+	2+	2
3.2	3.2	6	5+	5	4+	4	3+	3
4.0	3.6	8	5+	5	4+	4	3+	3
4.8	4.4	6+	6	5+	5	4+	4	3+
厚度1.65mm								
1.6	1.6	2	1+	1+	1+	1+	1+	1
2.4	2.4	2+	2+	2+	2	1+	1+	1+
3.2	3.2	4	3+	3+	3	2+	2+	2
4.0	3.6	4+	4+	4	3+	3	2+	2+
4.8	4.4	5+	5	4+	4	3+	3	2+
5.6	5.2	6	5+	5	4+	4	3+	3

(续)

弯角半径 (mm)	弯模半径 (mm)	闭斜角 (°)			90°	开斜角 (°)		
		30	20	10		10	20	30
厚度1.63mm								
2.4	2.4	1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$	1	1	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$
3.2	3.2	3 $\frac{1}{4}$	3	3	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2	1 $\frac{1}{2}$
4.0	4.0	4	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3	2 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	2
4.8	4.8	4	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3	2 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	2
5.6	5.2	4 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	4	3 $\frac{1}{2}$	3	2 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{1}{2}$
6.4	6.0	4 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	4	3 $\frac{1}{2}$	3	2 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{1}{2}$

厚度2.0mm

3.2	3.2	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2	1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$
4.0	4.0	3 $\frac{1}{4}$	3	2 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{4}$	2	1 $\frac{1}{2}$
4.8	4.4	4	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{4}$	3	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2
5.6	5.2	4	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{4}$	3	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2
6.4	6.0	4 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{4}$	4	3 $\frac{1}{4}$	3	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$
7.2	6.8	4 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{4}$	4	3 $\frac{1}{4}$	3	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$

厚度2.7mm

4.8	4.8	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2	1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$
5.6	5.6	3 $\frac{1}{4}$	3	2 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{4}$	2	1 $\frac{1}{2}$
6.4	6.4	3 $\frac{1}{4}$	3	2 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{4}$	2	1 $\frac{1}{2}$
7.2	6.8	4	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{4}$	3	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2
8.0	7.5	4 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{4}$	4	3 $\frac{1}{4}$	3	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$
8.8	8.3	5 $\frac{1}{4}$	5	4 $\frac{1}{2}$	4	3 $\frac{1}{4}$	3	2 $\frac{1}{2}$

表2. 24ST铝合金回弹值

弯角半径 (mm)	弯模半径 (mm)	闭斜角 (°)			90°	开斜角 (°)		
		30	20	10		10	20	30
厚度0.42mm								
2.4	2.0	14	12 $\frac{1}{2}$	11 $\frac{1}{2}$	10 $\frac{1}{2}$	9 $\frac{1}{2}$	8 $\frac{1}{2}$	7
3.2	2.8	18	16 $\frac{1}{2}$	15	13 $\frac{1}{2}$	12	10 $\frac{1}{2}$	9
4.0	3.6	20 $\frac{1}{2}$	19	17 $\frac{1}{2}$	15 $\frac{1}{2}$	13 $\frac{1}{2}$	12	10 $\frac{1}{2}$
4.8	4.0	22 $\frac{1}{2}$	20 $\frac{1}{2}$	19	17	15	13 $\frac{1}{2}$	11 $\frac{1}{2}$
5.6	4.8	25 $\frac{1}{2}$	23 $\frac{1}{2}$	21	19	17	14 $\frac{1}{2}$	12 $\frac{1}{2}$
6.4	5.2	28	25 $\frac{1}{2}$	23 $\frac{1}{2}$	21	18 $\frac{1}{2}$	16 $\frac{1}{2}$	14

弯角半径 (mm)	弯模半径 (mm)	开斜角(°)			90°	开斜角(°)		
		30	20	10		10	20	30
厚度0.66mm								
3.2	2.8	14号	13号	12号	11	9号	8号	7号
4.0	3.6	16	14号	13号	12	10号	9号	8
4.8	4.0	17号	16	14号	13	11号	10	8号
5.6	4.8	18	16号	15	13号	12	10号	9
6.4	5.2	22	20号	18号	16号	14号	12号	11
厚度1.05mm								
4.0	3.6	13号	12号	11	10	9	7号	6号
4.8	4.4	13号	12号	11	10	9	7号	6号
5.6	4.8	16	14号	13号	12	10号	9号	8
6.4	5.6	16号	15	13号	12号	11	9号	8号
7.2	6.4	17号	16	14号	13	11号	10	8号
8.0	6.8	18	16号	15	13号	12	10号	9
厚度1.63mm								
4.8	4.4	10号	9号	9	8	7	6号	5号
5.6	5.2	12	11	10	9	8	7	6
6.4	5.6	12	11	10	9	8	7	6
7.2	6.4	13号	12号	11	10	9	7号	6号
8.0	7.2	14号	13号	12号	11	9	8号	7号
厚度2.0mm								
8.0	7.2	12号	11号	10号	9号	8号	7号	6号
8.8	8.0	13号	12号	11	10	9	7号	6号
9.6	8.8	13号	12号	11号	10号	9	8	6号
11.0	9.9	15号	14号	13	11号	10号	9号	7号
12.7	11.0	16	14号	13号	12	10号	9号	8
厚度2.7mm								
10.4	9.1	13号	12号	11	10	9	7号	6号
11.9	10.7	13号	12号	11	10	9	7号	6号
13.5	11.9	14号	13号	12号	11	9号	8号	7号
15.1	13.1	16	14号	13号	12	10号	9号	8
16.7	14.4	17号	16	14号	13	11号	10	8号

为了对消回弹而修正成形模外形线时，在实用上，将表1和表2的数据按表3加以修正，表中列出了美国牌号，括弧内是相应的我国牌号。O相当于我国的M状态，ST相当于C状态。

表3. 回弹角修正值

材 料	厚度 (mm)	回 弹 角 修 正 值
24SO和ST (LY12)	≤ 1.8	表上数值减去1°
75SO和ST (LC9)	≤ 1.8	用表上数值
61SO (LD2)	≤ 1.8	SO表上数值减去1°
61ST	≤ 1.8	SO表上数值加上2°
24SO和ST	≥ 2.0	表上数值的 $\frac{1}{2}$
75SO和ST	≥ 2.0	(表上数值加1°)的 $\frac{1}{2}$
61SO	≥ 2.0	SO表上数值减去1°
61ST	≥ 2.0	SO表上数值加上2°

注：对于材料受拉伸的凹弯边，其回弹角度为上述数值的 $\frac{1}{2}$ 。

2.3.5.3 最大弯曲半径

为了不使弯曲后的板件，回弹后完全恢复平直，也有个最大弯曲半径 r_{max} 的限制。只有用小于 r_{max} 的半径进行弯曲，才能够得到回弹后仍呈曲形的弯曲件，其值为：

$$r_{max} = \frac{Et}{2\sigma_s}$$

式中 σ_s ——材料的屈服应力。

少量板金在运输中常有捲成卷的情形，为了使卷料能够自动还原到平直状态，捲板半径应大于 r_{max} 值。

2.3.6 弯 曲 模

2.3.6.1 刚性模具

这里模具构造参数包括凹模圆角半径，凹模工作部分深度和间隙等。常用弯曲模是V形和U形弯曲模，如图1所示。

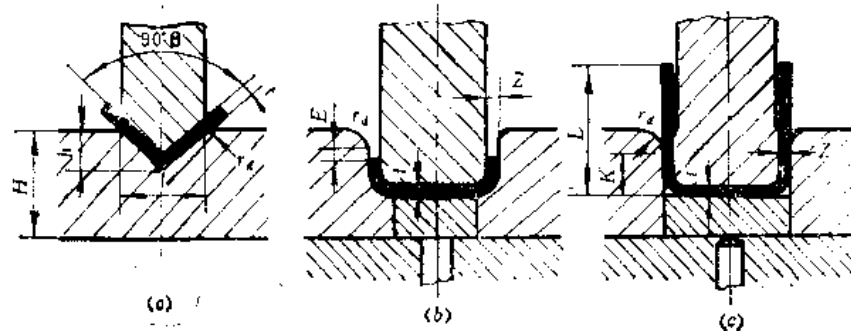


图1

对于小零件,凹模圆角半径可取等于 $r_d = (2 \sim 3)t$ 。对于 U 形弯曲模,最小间隙取:

$$Z_{\min} = t_{\max}$$

最大为

$$Z_{\max} = t_{\max} + nt$$

这里 t_{\max} 是考虑板材厚度公差的最大许用厚度, n 是一个系数,可查下表。

模具几何参数(图1)^[1]

尺 寸	板 料 厚 度 (mm)								
	1以下	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~10
r_d	3	5	7	9	10	11	12	13	15
h	4	7	11	15	18	22	25	28	32~36
H	20	30	40	45	55	65	70	80	90
E	3	4	5	6	8	10	15	20	25
边长 l (mm)	凹 模 深 度 K (mm)								
25~50	15	20	25	25	—	—	—	—	—
50~75	20	25	30	30	35	35	—	—	—
75~100	25	30	35	35	40	40	40	40	—
100~150	30	35	40	40	50	50	50	50	60
150~200	40	45	55	55	60	65	65	65	80
边长 l (mm)	系 数 η								
25以下	0.10	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05
25~50	0.15	0.10	0.10	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06
50~100	0.18	0.15	0.15	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08
100~200	0.20	0.18	0.18	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10

应注意, U形弯曲模左右两边的凹模圆角半径应当保持一致,不然弯曲件就不易保持对称。凹模两边最好用一块料做好圆角后截成两边的凹模。

表中 K 值是许用最小深度,如果冲床行程大,最好采用比表列 K 值更大的深度。

对于 U 形件,如图纸给出外形宽度尺寸 B_0 和公差 $\pm \Delta$,则凹模口宽度为 $B_d = B_0 + \delta_d$,凸模尺寸按间隙做出。如果图纸给出零件内形宽度 B_i 和公差 $\pm \Delta$,凸模尺寸为 $B_c = B_i - \delta_c$,凹模尺寸按间隙做出。这里 δ_d 和 δ_c 分别为凹模和凸模的制造公差。

对于尺寸精度要求高的弯曲件,如图 2 中的尺寸 A, B, C 。可用图示方法进行精密弯曲。这样对展开长度和弯曲时对毛料的定位要求也提高了。展开长度要经过试验作最后确定。

为了使毛料定位,在弯曲过程中不会偏移,对 U 形件一类零件,往往可以用弹簧压板将毛料牢靠地夹在凸模与压板之间。弯曲后,压板又起出件作用。对于 V 形件弯曲,可在凸模圆角部分装两三个定位销(图 3),其尖端突出 $0.3 \sim 0.4$ mm。这种定位方法适用于厚 1 mm 以上的板件,凹模开口宽度不超过板料厚度 6~8 倍的情况。

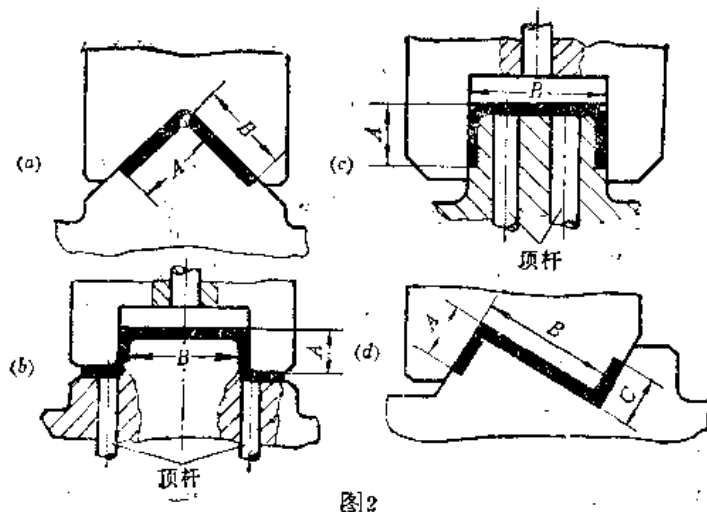


图2

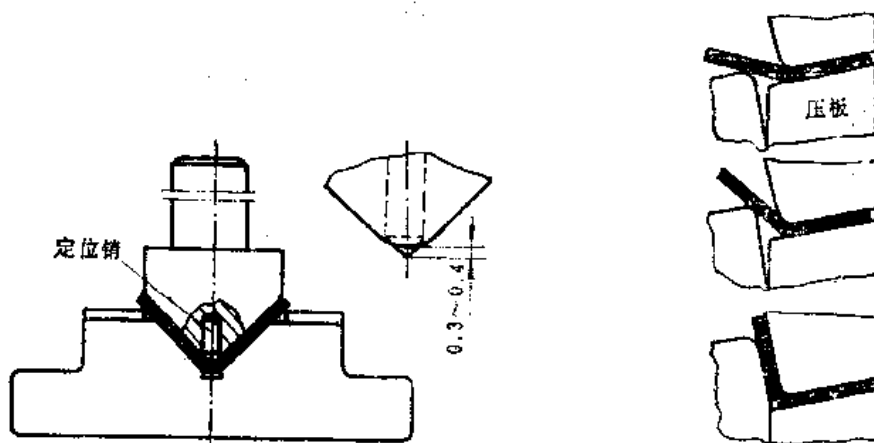


图3

图4

V形件弯曲,也可以采用压板,来提高定位精度,其方式如图4所示。

2.3.6.2 橡胶模具

用橡胶作为凹模的弯曲工艺,特别是自聚胺酯橡胶应用以来,日益得到广泛使用。这一方面是大大简化和节约了模具制造费用,又避免了板料的擦伤,不破坏表面涂层,减少了材料的变薄,大大提高了零件质量。

橡皮可以用几层橡胶板叠起来使用(图1)。图2是对预成形的毛料,用机械加工好的橡胶凹模进行特形件的弯曲。

用肖氏硬度80~96的橡胶,可对2mm以下的不锈钢和3mm以下的铝合金板进行成形。

图3是只用橡胶块作为凹模的情形,图4和图1一样,是将橡胶装在刚性支承内弯曲的情形。对于像图1所示的橡胶容框,橡胶与容框之间,沿侧壁留出0.5mm的间隙。

图5是在槽形钢容器内置中空橡胶作为凹模,进行V形弯曲的情形。

图6是用图5相同的装置,进行U形弯曲的情形。这时凸模宽度加上板料的两倍厚度,不能超过橡胶宽度的50%。设 b 为凸模宽度, t 为板料厚度,橡胶宽度 B 最好为:

$$B = 16(b + 2t)$$

在U形弯曲中(图6),在橡胶与板料平底部分之间,最好垫一块钢板,以提高弯曲

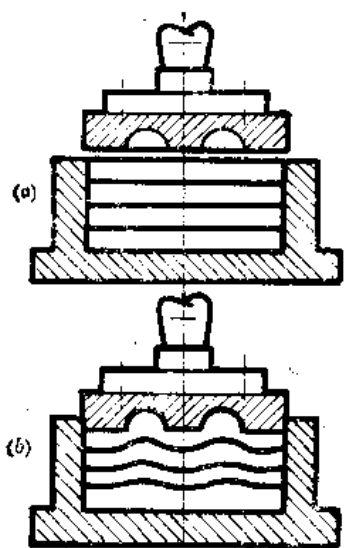


图1

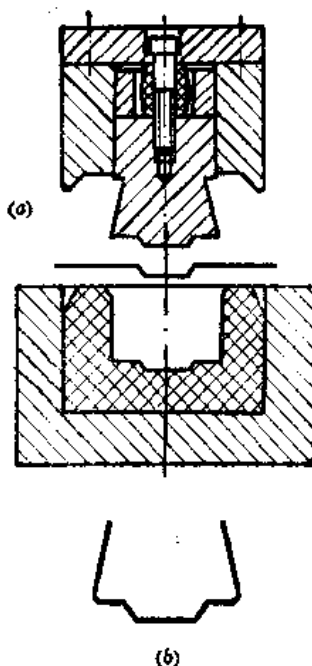


图2

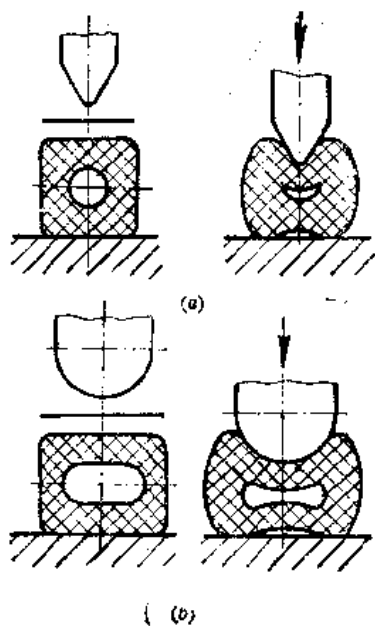


图3

(a) V形件; (b) U形件。

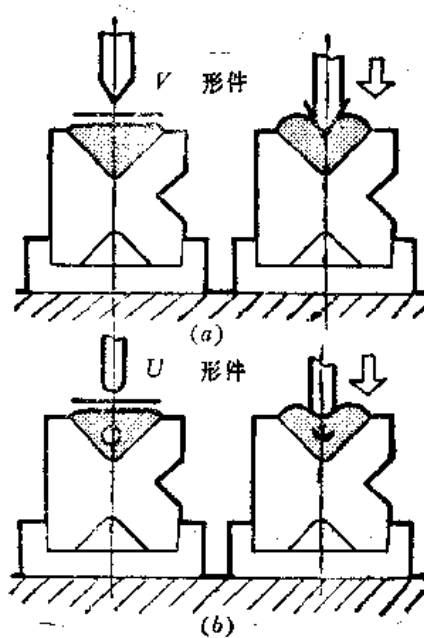


图4

(a) V形件; (b) U形件。

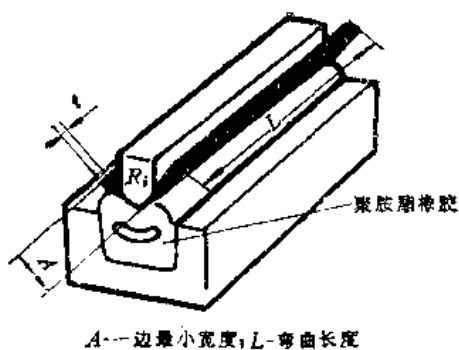


图5

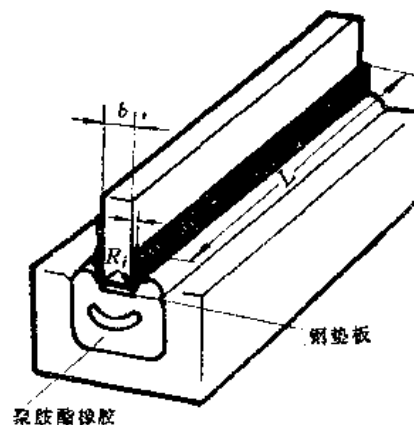


图6

精度。

用橡胶作凹模，只对凸模角度和弯曲半径作相应的修正，很容易对消回弹效应（见2.3.5.2节）。

2.3.7 弯曲力与弯矩

弯曲力，功与功率，一般是不大的。但在使用弹簧或橡皮压板时，往往需要计算弯曲力与弯矩。

2.3.7.1 弯曲力

常见的几种弯曲形式所需要的弯曲力，如表1所列。

表1. 弯曲力⁽¹⁾

弯曲形式	原理图	弯曲力, kgf
单角自由弯曲		$P = \frac{Bt^3}{1} \sigma_B n \approx Bt\sigma_B k_1$
用压板的U形弯曲		$P = 2Bt\sigma_B k_2 + P_0$ $\approx 2.5Bt\sigma_B k_2$ $P_2 = (2 \sim 4) Bt\sigma_B k_2$

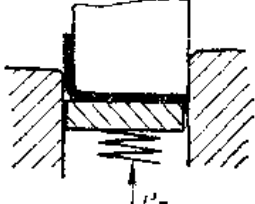

弯曲形式	原理图	弯曲力, kgf
用压板的单角弯曲		$P = Bt\sigma_B k_2 + P_n$ $\approx 1.25 Bt\sigma_B k_2$
硬模弯曲: 不精压		$P = \frac{Bt^2}{r+t} \sigma_B$ $P_n = pF$
精压		
符 号	P_n —精压力, kg·f; P_n —压板力, kgf, 约等于弯曲力的25~30%, 可更高些, 达50~60%; $n=1.8$, 考虑强化; B —弯板宽度(弯曲线长度), mm; l —支点间距离, mm; $n=1.8$, 考虑硬化的系数; r —凸模圆角半径; p —单位精压力, kgf/mm ² , 查表4; F —凸模下的精压面积, mm ² ; k_1 —系数, 查表2; k_2 —系数, 查表3.	

表2. 系数 k_1

材 料	l/t值					
	8	10	15	20	25	30
10~15号钢, 黄铜, 软铝	0.23	0.18	0.12	0.09	0.073	0.06
20~25号钢, 硬化铝	0.21	0.17	0.11	0.086	0.070	0.057
30~40号钢, 杜拉铝	0.20	0.16	0.10	0.08	0.065	0.053

表3. 系数 k_2

r_n/t	r_p/l					附 注
	0.5	1	2	3	5	
1	0.27	0.21	0.16	0.13	—	r_n —凹模圆角半径; r_p —凸模圆角半径.
2	0.22	0.18	0.14	0.115	0.10	
3	0.18	0.15	0.125	0.10	0.08	
5	0.14	0.12	0.10	0.09	0.07	

表4. 小零件校形精压力 (p) (kgf/mm²)

材 料	板 料 厚 度, mm			
	1以下	1~2	2~5	5~10
铝	1~1.5	1.5~2.0	2~3	3~4
黄铜	1.5~2.0	2.0~3.0	3~4	4~6
10~20号钢	2.0~3.0	3.0~4.0	4~6	6~8
25~35号钢	3.0~4.0	4.0~5.0	5~7	7~10

在V形自由弯曲中, 最好取 $l=(15\sim 20)t$ 。

卷边力(2.3.2.2节图1)为:

$$P=2R_0Bp$$

式中 B 为卷边宽度, mm; p 为单位宽度压力, 对于黄铜板, $p=5\sim 7\text{kgf/mm}^2$, 对于软钢板, $p=7\sim 10\text{kgf/mm}^2$ 。

2.3.7.2 弯 矩

单角弯曲:

$$M=pl/4, \quad l=2(r+t)$$

半圆U形弯曲:

$$M=pl/4, \quad l=2(r+1.2t)$$

U形弯曲:

$$2M=pl, \quad l=r+1.2t$$

弯曲力 p 值用2.3.7.1节表1的公式计算。

2.3.7.3 橡胶凹模弯曲力

对于2.3.6.2节图5所示的橡胶凹模进行V形弯曲, 当中空的聚胺酯橡胶剖面尺寸为 $50\times 50\text{mm}$, 弯曲长度 $L=1\text{m}$, 对于抗拉强度为 450N/mm^2 的材料, 其弯曲所需冲床压力见表1。其他抗拉强度的材料和弯曲长度所需压力, 按比例增减⁽¹⁾。

表1. V形弯曲所需压力(2.3.6.2节图5)(kN)

	0.8	100	60	50	45														
	1	155	95	70	65	50	35												
	1.5	360	220	155	120	95	85	70											
板 料 厚 度 (mm)	2		380	250	220	170	145	120	95										
	3				550	380	310	280	240	200	180								
	4							480	420	360	320	290	260						
	5								570	500	440	410	370	340					
	6									720	650	580	530	450	440				
	7										890	780	720	660	600	560			
	8												940	840	790	730	690		
	A	4	6	8	10	12	15	18	20	24	27	28	32	34	380	41	44		
R_t	由 到	0.7 1	1 1.5	1.5 2	2 2.5	2.5 3	3 4	4 5	5 6	6 7	7 7.5	7.5 8	8 9	9 10	10 10.5	10.5 11	11 12		

用中空的聚胺酯橡胶作为凹模进行U形弯曲, 见2.3.6.2节图6。当橡胶剖面为 $50\times 50\text{mm}$, 弯曲长度 $L=1\text{m}$, 材料抗拉强度为 450N/mm^2 时所需弯曲压力查表2⁽²⁾。

表2. U形弯曲所需压力(2.3.6.2节图6)

板料厚度 <i>t</i> (mm)	0.63	0.88	1.0	1.25	1.5	1.75	2.5	3.0	4.0
压力 (kN)	220	300	320	380	430	500	650	780	1000

2.3.8 型材可能承受的最大弯矩估算式

如图1所示三种常见的型材, 其在弯曲成形及使用中所能承受的最大弯矩(亦即破坏弯矩), 可用下式估算之^[3]:

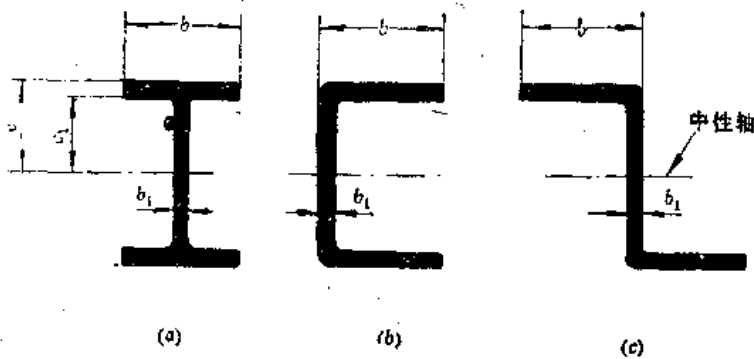


图1

$$M_s = bc^2D - (c_1)^2(b-b_1) \left(\frac{Ac_1}{c} + B \right), \text{ kgf}\cdot\text{cm}$$

式中*b*, *b*₁, *c*, *c*₁是如图1所示的几何参数, *A*, *B*, *D*是材料常数, 如下表所列的, 是几种常用材料的常数。

使用以上公式和表列数据的优点是不必计算惯性矩和考虑应力分布状态, 但受这样的限制, 凸缘和腹板是等厚或近似等厚的。

几种材料的常数*A*, *B*, *D* (kgf/cm²)^[3]

材 料	A	B	D	
铝 合 金	2014-T6 (LD10)	373	4360	4740
	7075-T6 (LC9)	472	4570	5050
	6061-T6 (LD2)	281	2530	2810
	2024-T3 (LY12)	703	4360	5060
不 锈 钢	1Cr18Ni9T, 1/4硬	2440	5420	7850
	1Cr18Ni9T, 1/2硬	1458	8020	9470
	1Cr18Ni9T, 全硬	2160	10130	12230
	17-7PH	1364	10200	11560

(续)

材 料		A	B	D
$^{30}\text{CrMo}$ $^{35}\text{CrMo}$	9850 kgf/cm ²	935	3720	9550
	11250kgf/cm ²	752	10500	11230
	12650 kgf/cm ²	703	11960	12660
	正火的	985	5060	6050
铁	纯铁板	513	5130	5650
	5Al-2.5Sn	232	7740	7950
	6Al-4V(退火的)	472	8450	8900
	6Al-4V	472	10200	10660

注: kgf/cm² = 9.8N/cm²; T6—固溶处理后人工时效; T3—固溶处理后自然时效。

【例题】: 图2所示是7075-T6工字型材, 试估算其可以承受的最大弯矩。

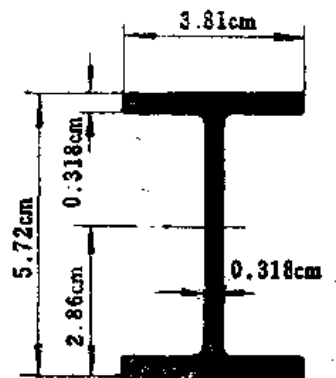


图2

解: 由表查得 $A=472$, $B=4570$, $D=5050$ 。代入公式, 得

$$M_s = 3.81 \times 2.86^2 \times 5050 - 2.54^2 (3.81 - 0.318) \left(\frac{472 \times 2.54}{2.86} + 4570 \right)$$

$$= 45000 \text{ kgf} \cdot \text{cm} (440000 \text{ N} \cdot \text{cm}).$$

参 考 资 料

- (1) В. П. Романовский, Справочник по Холодной Штамповке, 1979.
- (2) G. Yaxley, J. Taylor, Metalworking Production, May, 1979, P. 151.
- (3) J. A. Martinelli, Machine Design, July 20, 1967.

2.4 压 延[●]

2.4.1 定义与范围

压延从变形性质而言,是指一面受压缩,另一面延伸的一般变形方式。材料只靠拉伸变形,其变形程度是很小的,但在—面加压,往往可以使另一面产生很可观的延伸,故压延成了成形的一种重要手段。在板金中,压延专指将平板料成形为空心件的工序而言,其成形是靠凸缘产生的切向压缩,使径向产生很大的延伸而完成的,直接由径向拉伸造成的延伸,是微不足道的。无凸模压延,是完全靠切向压缩,在不存在径向拉伸的情况下,用来成形深压延件。

压延包括简单的杯形件压延,各种由母线旋转形成的轴对称阶梯形及锥形压延件,以及各种不规则压延件如方匣、矩形匣以及其他更不规则的匣形件压延。这些都是平均厚度变化不大的普通压延。还有使壁部挤薄的变薄压延,简称挤延;为了防皱及减小回弹,对边缘加拉力的拉伸压延,简称拉延。以所用模具而言,有全用刚性凸、凹模的压延方法,也有用单刚性模的压延,如用橡皮或液压装置,作为通用的凸模或凹模。

兹对三种形式相似而变形机理不同的成形过程,作出以下的定义:

1. 压延可一直进行到凸缘完全不存在的杯形件,叫普通压延成形。有进行到底的可能性而不进行到底,仍留有凸缘的,也属于普通压延成形(因两者的极限压延系数是相同的)。

2. 不能压延到底,即未达到最大载荷(在这种载荷下会破裂)便完成变形过程的浅压延件,一般叫宽凸缘压延,其压延系数小于普通压延的极限压延系数。

3. 不论普通压延或宽凸缘压延,在压延过程中,毛料外边部或多或少地向内流动。如果压延系数更小,即毛料直径与凸模直径之比更大,凸模压向毛料时,毛料外边根本不移动,完全靠内部材料的变薄形成窝或梗的,叫局部成形。虽然所用模具与压延相似,但成形机理基本不同,不属本章范围,另见2.11章。

2.4.2 毛料展开

制订压延工序时,首先确定出所用的毛料形状和尺寸。包括杯形件在内的旋转体压延件,其毛料可用计算方法,查图及查表等方法求得;一般矩形件可用作图方法求得;更复杂的形状,可用滑移线法,电模拟法及等位线自动绘图方法等求得。

2.4.2.1 求旋转体压延件毛料的计算方法

对任何形状的旋转体压延件,其毛料半径可用下式求得⁽¹⁾

$$R = 1.414 \sqrt{\sum x_i^2 + \sum (\pm r_i h_i)} \quad (1)$$

[●]国标称“拉深”,也有称“引伸”等的,主编认为用“压延”这一名词能更确切地表达变形机理,尊重主编意见,本手册中采用“压延”这一名词。——编辑注

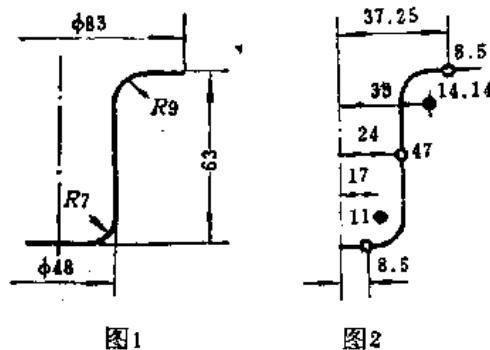
式中 l ——横的、竖的与斜的直线长度和弧线长度；
 x ——直线重心和弧线弧心到旋转轴的垂直距离；
 r ——圆弧半径；
 h ——圆弧在对称轴上的投影长度。

式中 rh 是圆弧的更正值。对凸出弧（弧心在线内）前面用正号；对凹进弧（弧心在线外）前面用负号。

当所有圆弧都是四分之一圆时， $h=r$ ，上式变为：

$$R=1.414\sqrt{\sum xl+\sum(\pm r^2)} \quad (2)$$

〔例〕：图 1 是压延件图纸尺寸，图 2 是将直线段长度集中到重心，弧线段长度集中到弧心，及重心和弧心到旋转距离的简化图。这里更正值都是 r^2 。因得



$$\begin{aligned} R &= 1.414\sqrt{\sum xl+\sum(\pm r^2)} \\ &= 1.414\sqrt{8.5 \times 17 + 17 \times 11 + 24 \times 47 + 33 \times 14.14 + 37.25 \times 8.5 + 7^2 - 9^2} \\ &= 66.5 \end{aligned}$$

2.4.2.2 求旋转体压延件毛料的图算法

图算法^{〔1〕}是将有圆弧部分的压延件母线，简化成完全由直线段组成，没有弧线段的母线，条件是表面积保持不变。简化时，各线段的 x 向位置及它们的方向不变，只改变其 y 向的长度，即各线段的高度 h 。对于与任意方向 α 的线段相连接的竖直线如图 2(a) 中的高度 h_1 和 h_2 ，简化后变为图 2(b) 中的 h_1' 和 h_2' ，其值为：

$$h' = h - r[A \pm B(r/x)] \quad (1)$$

式中 r ——圆弧半径；
 x ——竖线段到旋转轴的垂直距离；
 A, B ——两个常数，由图 1 根据 α 值查得， A 总是正号，对凸出弧（弧心在线内） B 为正号，对凹进弧（弧心在线外） B 为负号。

对于常见的如图 3(a) 所示的凸缘压延件，简化成如图 3(b) 所示的形状时，简化高度为：

$$h' = h - (r_1 + r_2) \left[0.43 + 0.07 \left(-\frac{r_1 - r_2}{x} \right) \right] \quad (2)$$

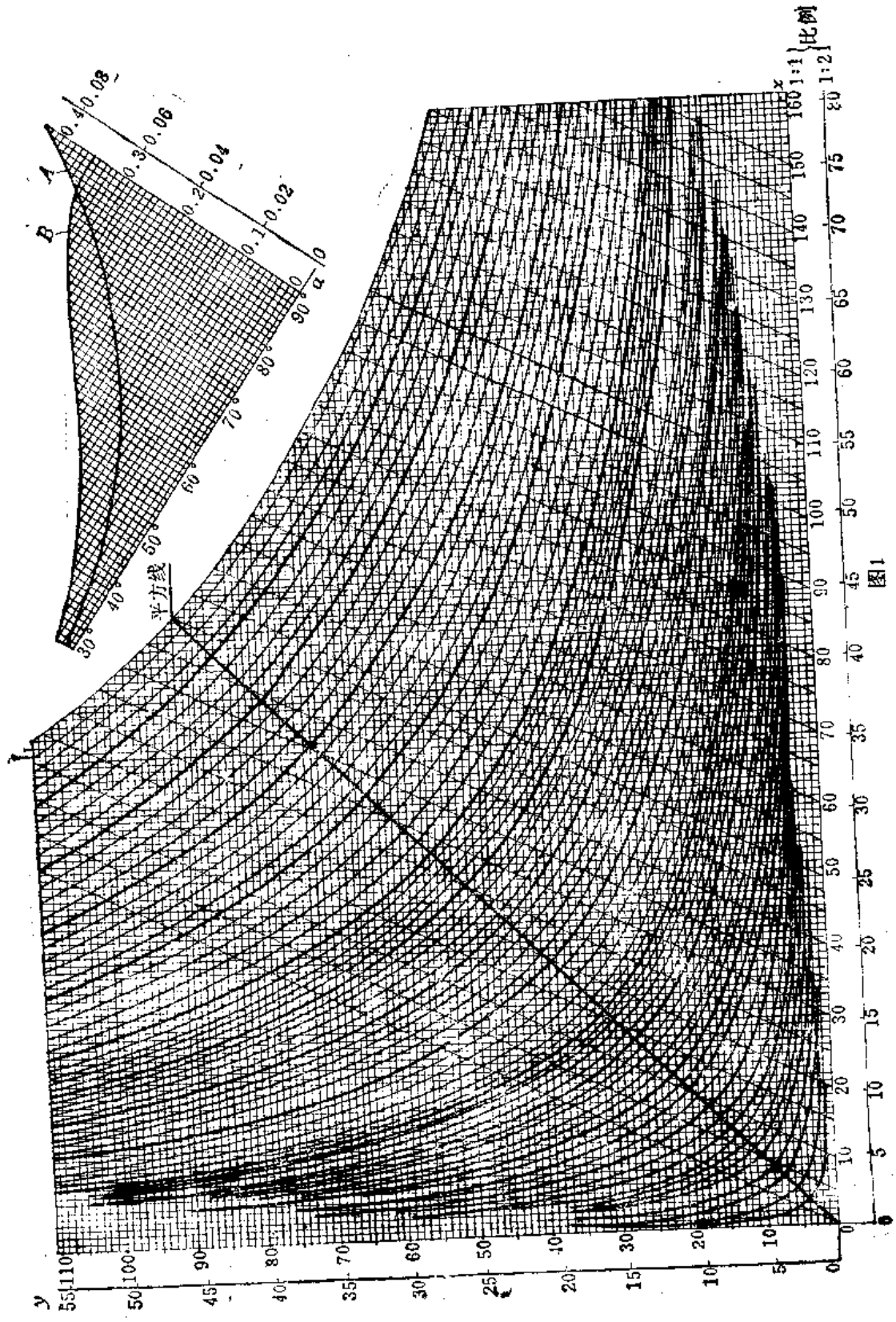


图1

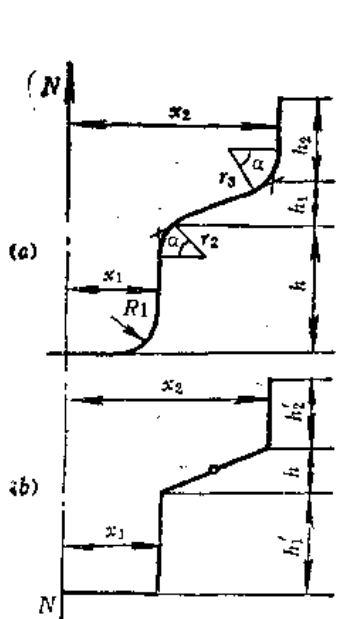


图2

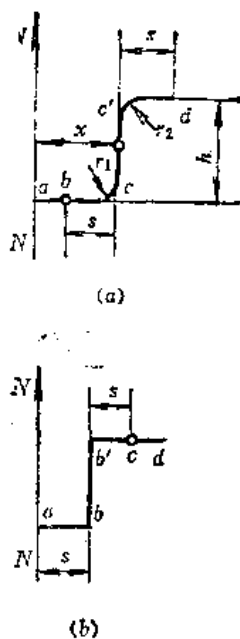


图3

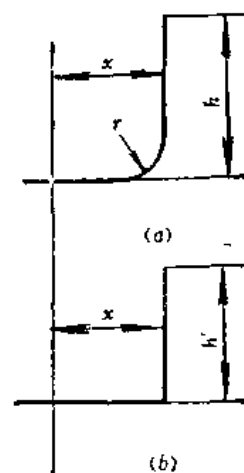


图4

式中 $(r_2 - r_1)/x$ 一项往往很小, 可以忽略, 则

$$h' = h - 0.43(r_1 + r_2) \quad (3)$$

当 $r_1 \approx r_2 \approx r$ 时,

$$h' = h - 0.86r \quad (4)$$

式 (2) r_1 与 r_2 的正负号, 也是以凸出弧为正, 凹进弧为负来规定的。

对于无凸缘的杯形件 (图4a和4b), 简化后的高度为:

$$h' = h - r[0.43 + 0.07(r/x)] \quad (5)$$

对于多阶台压延件, 可以依次用式 (2) 和 (5), 求出各阶台的折合高度。

[例 1]: 将图5(a) 所示的杯形件, 简化成图5(b) 所示的形状后, 简化高度 h' 为:

$$\begin{aligned} h' &= h - r[0.43 + 0.07(r/x)] \\ &= 20 - 5[0.43 + 0.07(5/15)] = 17.8 \end{aligned}$$

在图 1 上, 将在 $x=20$ 处的高度 17.8 (即 y 值), 沿双曲线向右拉到与 x 坐标 20 处的斜线相交, 得高度 13.3, 故毛料半径为 $20 + 13.3 = 33.3$ 。

[例 2]: 2.4.2.1 节图 1 所示的零件形状, 可简化成如图 6 所示, 简化后的高度 h' 为:

$$\begin{aligned} h' &= h - (r_2 + r_1)[0.43 + 0.07(\frac{r_1 - r_2}{x})] \\ &= 63 - (9 + 7)[0.43 + 0.07(\frac{7 - 9}{24})] \\ &= 56.3 \end{aligned}$$

在图 1 上, 将在 $x=24$ 处的高度 56.3 (即 y 值) 向右沿双曲线拉到与 x 坐标 41.5 处的斜线相交, 得交点高度 25。故毛料半径为 $41.5 + 25 = 66.5$ 。

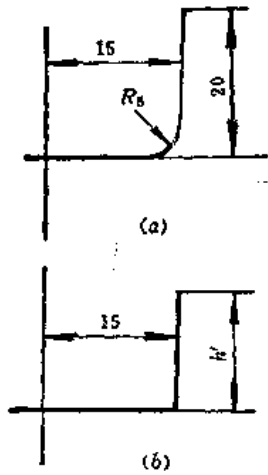


图5

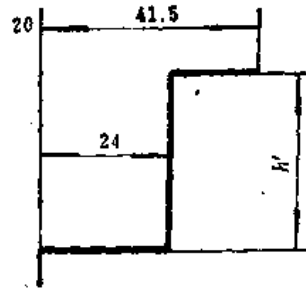


图6

2.4.2.3 由表直接查出压延系数后算出毛料直径

压延系数是指旋转体压延件毛料直径 D 与压延件最小筒形部分直径 d 的比值而言，它是制订压延工序和模具设计的一个重要参数。我国，日本，德，俄等国通常采用比值 $d/D=m$ 作为压延系数。

英、美、法等国多采用比值 $D/d=\beta=1/m$ ， β 可叫做压延比。

对于图1和图2所示的杯形件及凸缘压延件，可根据零件图纸所给尺寸，按表1，表2直接查出压延系数 m 值，即可以计算出毛料直径 $D=d/m$ 。



图1

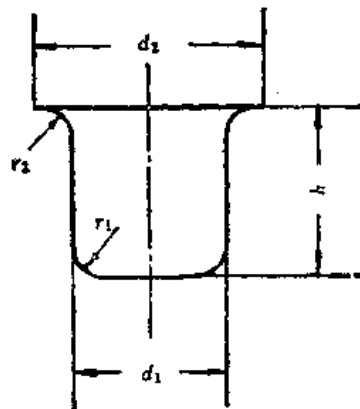


图2

表1. 杯形件(图1)的压延系数 m 值⁽¹⁴⁾

h/d	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	0.9	
r/d	0	0.277	0.286	0.296	0.307	0.319	0.333	0.349	0.368	0.389	0.415	0.447	0.467
	0.1	0.279	0.288	0.298	0.310	0.323	0.337	0.353	0.372	0.395	0.422	0.456	0.475
	0.2	0.281	0.291	0.301	0.312	0.325	0.340	0.357	0.377	0.400	0.429	0.465	0.485
	0.3	0.284	0.293	0.303	0.315	0.329	0.344	0.362	0.383	0.407	0.437	0.476	0.497
	0.4	0.286	0.296	0.307	0.319	0.333	0.349	0.367	0.389	0.415	0.447	0.487	0.511
	0.5	0.289	0.299	0.310	0.322	0.337	0.354	0.373	0.395	0.422	0.456	0.500	0.525
r/d	0.8	0.7	0.6	0.5	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15	0.1	
r/d	0	0.489	0.513	0.542	0.577	0.598	0.620	0.644	0.673	0.707	0.746	0.791	0.844
	0.1	0.498	0.525	0.557	0.594	0.617	0.642	0.671	0.703	0.740	0.786	0.839	0.904
	0.2	0.510	0.537	0.573	0.615	0.640	0.667	0.701	0.738	0.782	0.835	0.899	
	0.3	0.523	0.556	0.594	0.640	0.668	0.700	0.738	0.782	0.834			
	0.4	0.540	0.576	0.617	0.670	0.703	0.741	0.784					
	0.5	0.558	0.596	0.644	0.707	0.744							

只求 m 值时, 可直接从表 1 和表 2 用心算补插出相当准确的 m 值, 因为 m 值一般只取两位数。但当用 m 值进一步计算毛料直径时, 就需要求出相当准确的三位数 m 值。当 h/d_1 、 d_2/d_1 和 $(r_1+r_2)/d_1$ 的实给数值与表列相近数值之差分别为 $\Delta(h/d_1)$ 、 $\Delta(d_2/d_1)$ 和 $\Delta(r_1+r_2)/d_1$ 时, 可对表列相近值 m_0 作如下更正, 求出准确的 m 值。对于凸缘杯形件:

$$m = m_0 - K_1 \Delta(h/d_1) - K_2 \Delta(d_2/d_1) \Delta(d_2/d_1) + K_3 \Delta(r_1+r_2)/d_1 + K_4 \Delta n \quad (1)$$

式中各 K 值为相应的修正系数。

由于表 2 严格地讲只适用于 $r_1=r_2$ 的情况, 当 $r_1 \neq r_2$ 时, 即有差数 $\Delta n = r_2/r_1 - 1$ 。

对于筒形件:

$$m = m_0 - K_1 \Delta(h/d_1) + K_3 \Delta(r_1/d_1) \quad (2)$$

式 (1) 和 (2) 的系数 K_1 、 K_2 和 K_3 可由表 3 查得, K_4 可由表 4 查得。这些系数可以更方便地由图 3 和图 4 查得。

由表 4 可知, 当 Δn 即 $r_2/r_1 - 1 < 0.15$ 时, 更正值 $K_4 \Delta n$ 最大只有 1%, 可以忽略不计。

表 1~表 4, 式 (1) 和式 (2) 还可以用来在压延件设计时对一些几何参数作必要的更改; 例如当原设的凸缘杯形件 $m=0.5$, 一次不能成形, 须将其增加到 0.52, 如果增加圆角半径可以解决问题, 可用增加 $(r_1+r_2)/d_1$ 的方法使 m 由 0.5 增加到 0.52。

表2. 凸缘杯形件(图2)的

d_2/d_1	$\frac{r_1+r_2}{d_1}$	h/d_1										
		3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
1.1	0	0.275	0.284	0.293	0.304	0.316	0.329	0.345	0.362	0.383	0.408	0.438
	0.2	0.279	0.288	0.299	0.310	0.322	0.335	0.352	0.371	0.394	0.420	0.453
	0.4	0.283	0.292	0.303	0.314	0.328	0.343	0.359	0.380	0.403	0.433	0.470
	0.6	0.287	0.297	0.308	0.319	0.333	0.350	0.368	0.390	0.416	0.447	0.489
1.2	0	0.273	0.282	0.291	0.301	0.313	0.325	0.340	0.357	0.377	0.400	0.428
	0.2	0.276	0.285	0.295	0.306	0.317	0.331	0.347	0.365	0.386	0.412	0.442
	0.4	0.280	0.289	0.299	0.311	0.324	0.338	0.354	0.373	0.396	0.424	0.458
	0.6	0.284	0.293	0.304	0.316	0.329	0.344	0.362	0.383	0.408	0.438	0.476
1.3	0	0.270	0.279	0.287	0.297	0.309	0.321	0.336	0.352	0.370	0.392	0.419
	0.2	0.273	0.282	0.292	0.302	0.313	0.327	0.342	0.359	0.379	0.403	0.432
	0.4	0.277	0.287	0.296	0.307	0.319	0.333	0.349	0.368	0.389	0.415	0.447
	0.6	0.281	0.291	0.300	0.313	0.325	0.339	0.357	0.376	0.399	0.428	0.463
1.4	0	0.268	0.275	0.284	0.294	0.305	0.317	0.330	0.346	0.364	0.385	0.408
	0.2	0.271	0.279	0.288	0.299	0.310	0.322	0.336	0.353	0.372	0.395	0.422
	0.4	0.274	0.283	0.293	0.304	0.316	0.328	0.344	0.361	0.382	0.406	0.434
	0.6	0.278	0.287	0.297	0.308	0.320	0.334	0.351	0.369	0.391	0.417	0.450
1.5	0	0.265	0.273	0.282	0.291	0.301	0.313	0.325	0.339	0.356	0.376	0.400
	0.2	0.268	0.276	0.285	0.295	0.306	0.318	0.331	0.347	0.365	0.386	0.411
	0.4	0.272	0.280	0.289	0.299	0.311	0.323	0.338	0.355	0.374	0.396	0.424
	0.6	0.275	0.284	0.293	0.304	0.315	0.329	0.344	0.362	0.383	0.408	0.438
1.6	0	0.262	0.269	0.278	0.287	0.297	0.308	0.320	0.335	0.349	0.368	0.390
	0.2	0.265	0.273	0.282	0.291	0.301	0.313	0.326	0.341	0.358	0.377	0.401
	0.4	0.269	0.277	0.286	0.296	0.307	0.319	0.332	0.347	0.365	0.387	0.413
	0.6	0.272	0.280	0.289	0.299	0.311	0.324	0.338	0.355	0.374	0.397	0.425
1.7	0	0.259	0.267	0.275	0.283	0.292	0.303	0.315	0.328	0.343	0.360	0.381
	0.2	0.262	0.269	0.278	0.287	0.296	0.307	0.320	0.334	0.350	0.369	0.391
	0.4	0.265	0.273	0.281	0.291	0.301	0.314	0.326	0.341	0.358	0.378	0.401
	0.6	0.270	0.277	0.286	0.295	0.306	0.318	0.332	0.348	0.366	0.387	0.413
1.8	0	0.256	0.263	0.271	0.279	0.288	0.298	0.310	0.323	0.337	0.353	0.372
	0.2	0.259	0.266	0.274	0.283	0.293	0.303	0.314	0.327	0.343	0.360	0.381
	0.4	0.262	0.270	0.278	0.287	0.297	0.308	0.320	0.334	0.350	0.369	0.391
	0.6	0.265	0.273	0.282	0.292	0.302	0.313	0.326	0.341	0.357	0.377	0.402
1.9	0	0.253	0.260	0.267	0.275	0.283	0.293	0.304	0.317	0.330	0.345	0.363
	0.2	0.255	0.263	0.271	0.279	0.288	0.299	0.310	0.322	0.336	0.352	0.370
	0.4	0.259	0.266	0.274	0.282	0.292	0.303	0.314	0.327	0.343	0.360	0.380
	0.6	0.262	0.270	0.278	0.287	0.297	0.308	0.319	0.333	0.350	0.368	0.389
2.0	0	0.250	0.257	0.264	0.271	0.279	0.289	0.299	0.310	0.323	0.337	0.353
	0.2	0.253	0.260	0.267	0.275	0.284	0.294	0.304	0.315	0.328	0.343	0.361
	0.4	0.255	0.262	0.270	0.278	0.287	0.298	0.309	0.321	0.335	0.351	0.369
	0.6	0.258	0.265	0.273	0.282	0.292	0.302	0.314	0.327	0.341	0.358	0.379
2.0	0.8	0.262	0.269	0.277	0.286	0.296	0.307	0.319	0.333	0.349	0.367	0.388

表3. 系数 K_a, K_b 和 K_r ⁽¹⁴⁾

m	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
K_a	0	0.002	0.016	0.054	0.128	0.250	0.432	0.686	1.024	1.46	2.0
K_b	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.216	0.343	0.512	0.729	1
K_r	0	0.001	0.007	0.023	0.055	0.108	0.186	0.295	0.440	0.627	0.859

表4. 系数 K_c ⁽¹⁴⁾

$\frac{r_1}{d_1}$	m										
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0.1	可忽略的情况		0.002	0.005	0.010	0.0173	0.027	0.041	0.058	0.08	
0.2			0.004	0.010	0.0187	0.0322	0.0512	0.0764			
0.4			0.007	0.0162	0.0316	0.0547	0.0868				
0.6			0.008	0.0199	0.0388	0.0671	不存在的情况				
0.8			0.009	0.0213	0.0416						

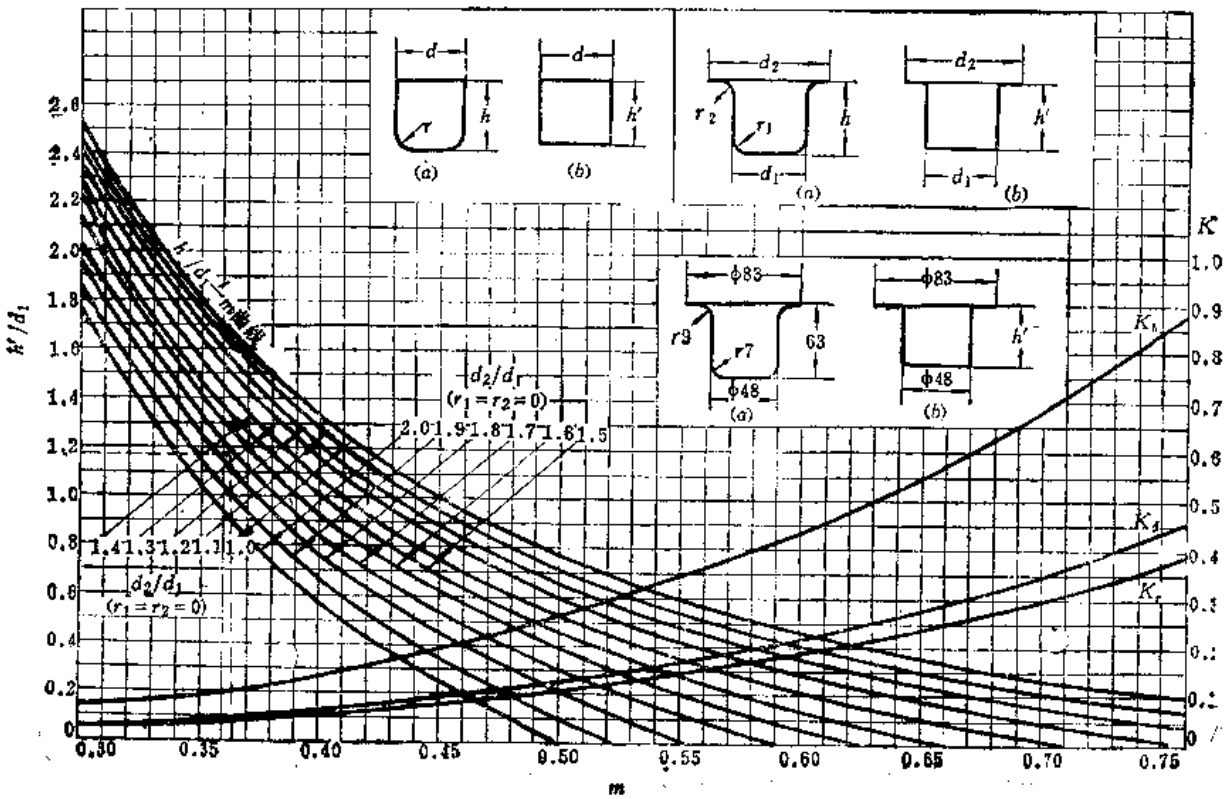


图3

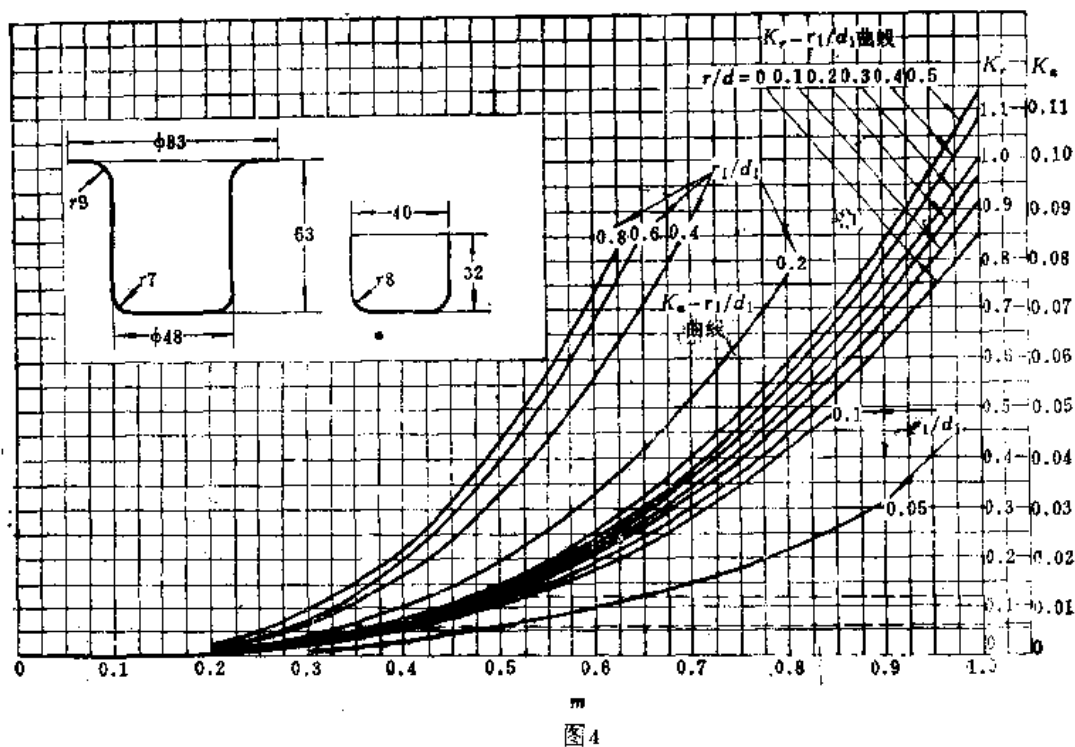


图4

〔例1〕：试用本节方法，求2.4.2.1节图1所示零件的 m 值。

解：该零件的几何参数计算值列如下表：

参 数	实 值	暂取值(取 $m_0=0.369$)	增 量
h/d_1	$63/48=1.323$	1.2	$\Delta(h/d_1)=0.123$
d_2/d_1	$83/48=1.73$	1.7	$\Delta(d_2/d_1)=0.03$
$(r_1+r_2)/d_1$	$(9+7)/48=0.333$	0.2	$\Delta\left(\frac{r_1+r_2}{d_1}\right)=0.133$
r_2/r_1	$9/7=1.286$	1	$\Delta n=1.286-1=0.286$

以上暂取值是使各 Δ 值都是正值的情况（也可以取其他的 m_0 值， Δ 值有正有负，最后结果相同）由表3和表4或曲线图3和图4，查得：

$$K_1=0.015; K_2=0.0505; K_3=0.046; K_4=0.006$$

将以上各值代入式(1)，得

$$m=0.369-0.105 \times 0.123-0.0505 \times 1.7 \times 0.03 \\ +0.046 \times 0.133+0.006 \times 0.286=0.361$$

因而求得毛料直径 $D=48 \div 0.361=133\text{mm}$ 。这与2.4.2.2节计算结果完全相同。

〔例2〕：由某一零件图知 $m=0.5$ ，不能一次压延成形，须将其增加到0.52。应使 $(r_1+r_2)/d_1$ 增加多少，才可以达到这个目的？

解：由图3查得，当 $m=0.5$ 时， $K_3=0.108$ ，这里 $\Delta m=0.02$ ，因而

$$0.02=0.108 \Delta(r_1+r_2)/d_1$$

$$\Delta(r_1+r_2)/d_1=0.185$$

却须使 (r_1+r_2) 增加 $0.185d_1$ 的数值。如果圆角半径不能增加太多,可再考虑改变 h , d_2 和 d_1 的数值,使其总和达到 $\Delta m=0.02$ 的目的。

2.4.2.4 将凸缘件折合为筒形件求 m 值的方法^[14]

图示线图,由左边的一组曲线,可以直接根据筒形件的 h/d 和 r/d 值,查出其 m 值。利用右边的一组曲线,可以将凸缘件根据 r_2/d_1 和 d_2/d_1 值,查出将凸缘件进一步压延成筒形件时所增加的零件相对高度 $\Delta h/d_1$,再根据新的相对高度 $(\Delta h+h_2)/d_1$,即 h_1/d_1 ,由左边的一组曲线查出 m 值。

[例]:试求出图上所示零件的压延系数 m 和毛料直径 D 。

解:这里 $d_2/d_1=94/70=1.343$; $r_2/d_1=8/70=0.114$ 。由右边曲线查得 $\Delta h/d_1=0.155$ 。这样折合的筒形件相对高度为:

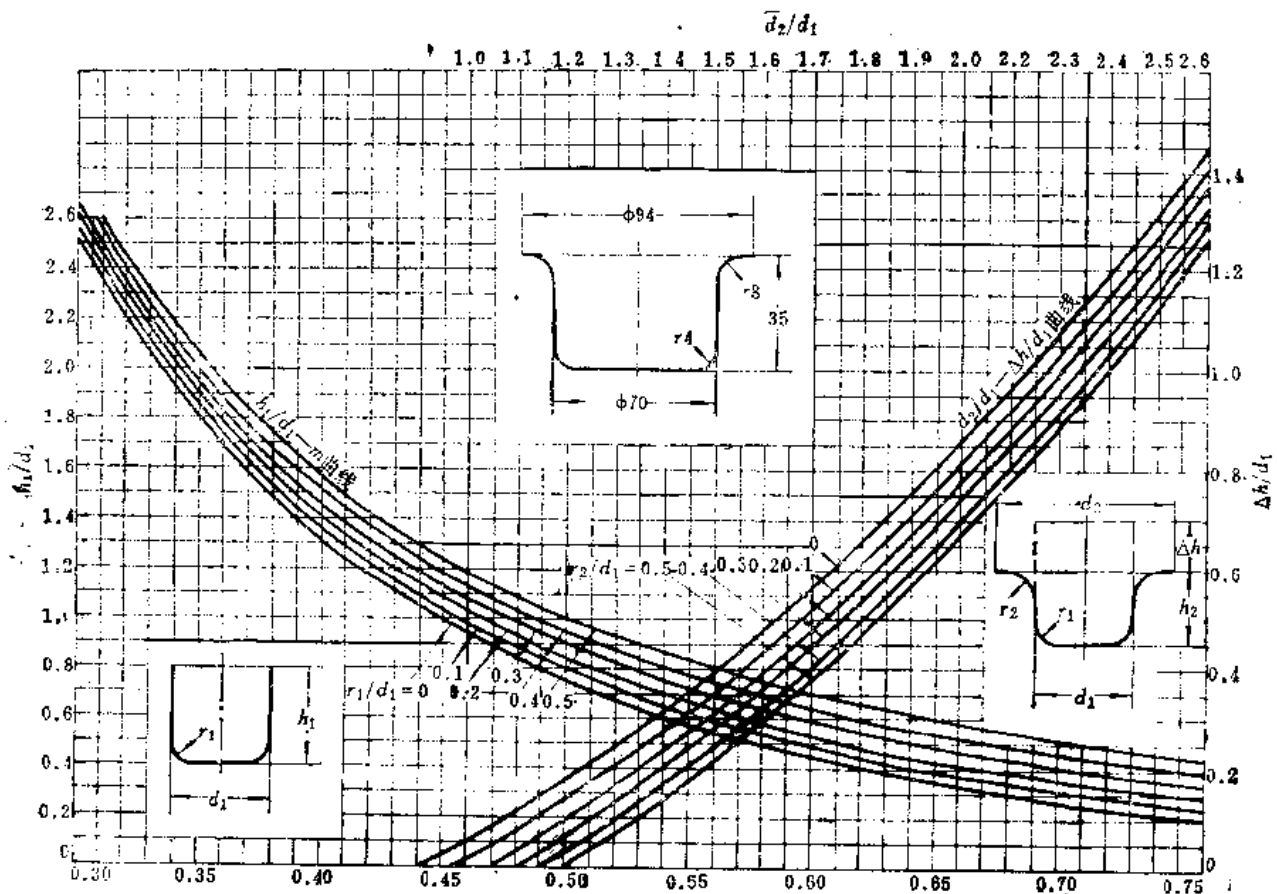
$$h/d_1+\Delta h/d_1=35/70+0.155=0.655$$

又

$$r_1/d_1=4/70=0.057$$

由左边的 h_1/d_1-m 曲线查得 $m=0.532$ 。故毛料直径为

$$D=70/0.532=131.6\text{mm}$$



2.4.2.5 盒形件毛料的作图展开法

盒形件包括方形与矩形压延件。对于用一道压延工序可以成形的盒形件，可以用作图法求出毛料外形。

图1所示， $ABCD$ 表示一个矩形件的平底部分。设零件的底部圆角半径为 r ，壁部不包括圆角的直壁部分高度为 h 。则零件直边部分按弯曲展开后的宽度为： $h+1.57r$ 。

拐角部分按2.4.2.1~2.4.2.3节的方法，求得展开后的毛料半径为 R 。

由于材料的转移，实际毛料外形应是光滑过渡的，可用以下方法作出毛料外形：

1. 找出 ab 和 cd 的中点 e 和 f 。通过 e 和 f 点作圆弧的切线 gh 和 ij 。这可能有三种情况⁽²⁾：这些切线可能重合（图2），向外相交（图3），向内相交（图4）。

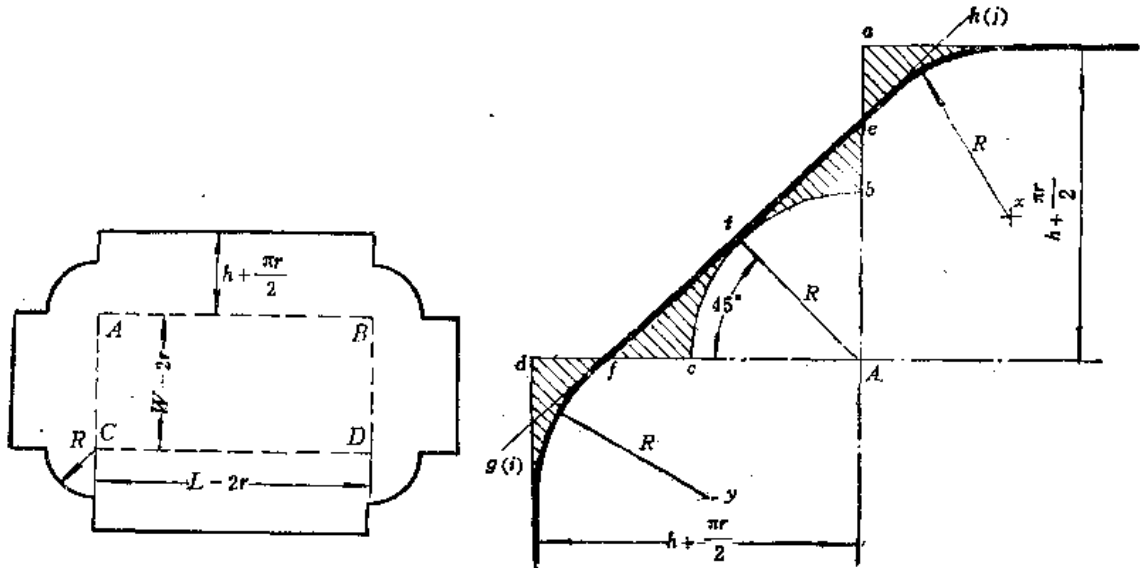
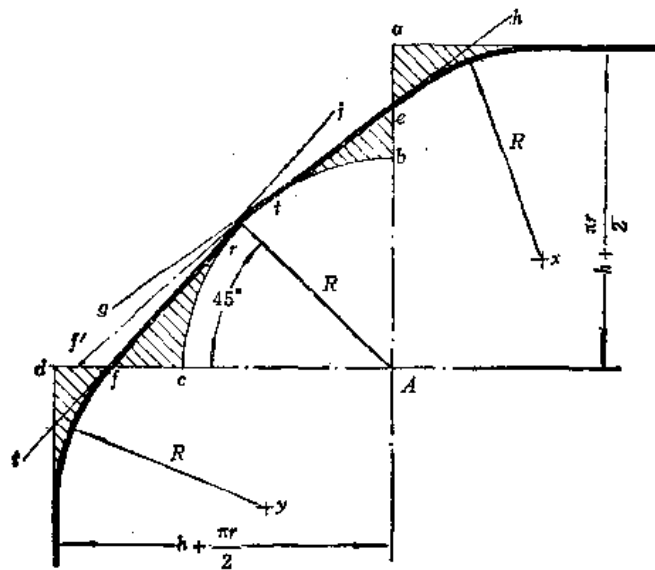


图1

图2 $R=0.54(h+1.57r)$ 的情况图3 $R>0.54(h+1.57r)$ 的情况

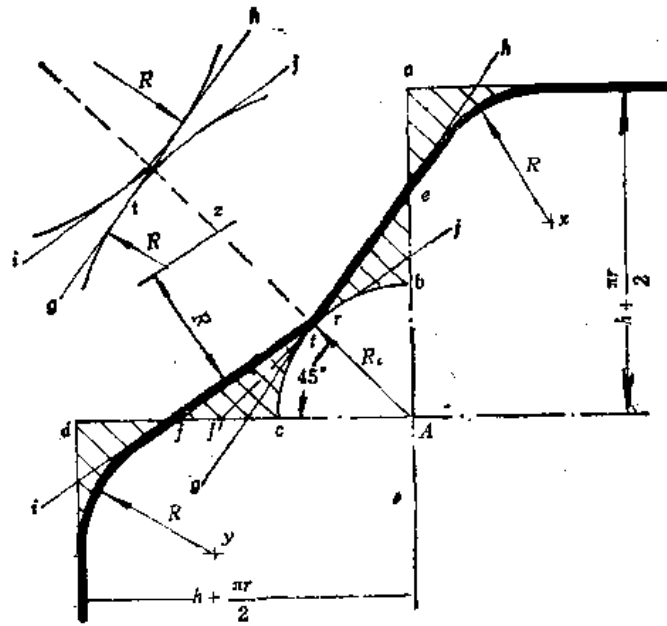


图4 $R < 0.54(h + 1.57r)$ 的情况

2. 用半径 R 作弧使与外形直边和切线 gh 及 ij 相切。

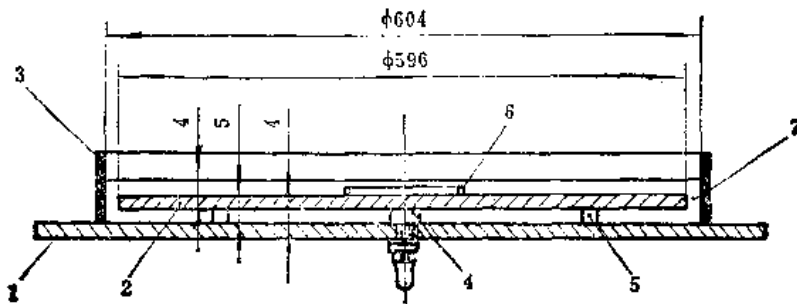
3. 当切线 gh 和 ij 在未与圆弧相切以前便相交时 (图4), 外面还应以 R 为半径作一个光滑过渡的小圆段。

2.4.2.6 不规则压延件的展开毛料

不规则压延件指既非圆形又非矩形的不规则形状, 对于一次压延可以成形的不规则形状, 可以用 2.4.2.5 节光滑过渡方法, 使去掉部分与补贴部分面积基本相等, 就可以用作所需要的毛料外形。

对于一次不能成形, 或形状过于复杂, 以及圆弧以外的其他曲线形状如椭圆形等, 就难以用作图法求毛料。这样可用以下方法确定毛料外形。

2.4.2.6.1 电模拟法^[3]



1—下玻璃板; 2—上玻璃板; 3—塑料圈; 4—下电极; 5—支撑圆柱; 6—平面金属丝模型;
7—导电液。

由于压延件毛料合理外形与无限大平面电场中等位线重合, 故可以利用如图示装置, 用电模拟法求任意形状的毛料外形。导电液是含 1~8% 硫酸铜的水溶液, 在圆玻璃板 2 上面及下面, 液体深度约为 4mm。用铜丝 6 弯成压延件 (即凹模口) 形状作为一个电

极，电压为36V左右。测量时，用两个镀铜的缝衣针，一个固定在毛料外形的一个已知点，通过微电表与另一活动探针相连，将电表指针调零。移动活动探针，保持电表指针指零。则活动探针沿模拟零件外形绕一周所形成的轨迹，即是所求的毛料外形。对称形状如矩形件，只测量四分之一周就够了。一般不超过十分钟。

2.4.2.6.2 用计算机自动绘制毛料外形的等位线和等温线模拟法

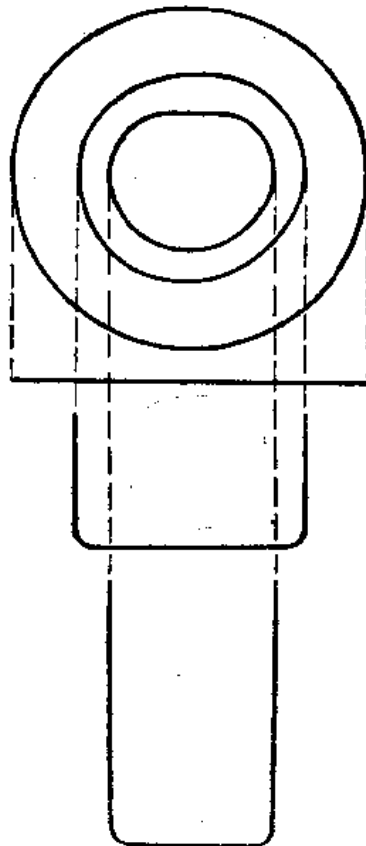
根据流体力学关于汇的理论，可以利用编好的程序，用计算机自动绘图系统，直接绘出准确光滑的压延件毛料外形。

现在已编有用Fortran和Basic语言的EPLAM程序^[4]，使用时将该程序存入计算机系统。对于任何不规则形状的压延件，只要输入必要的几何参数，就可以绘出所要求的合理毛料外形。例如对于矩形件，这些参数是长度、宽度和拐角半径；对于三角形可以是三个高度或其他尺寸参数；对半圆头矩形是长度和半圆头半径；对椭圆形是两个半轴。对所有这些形状还要求有一个外形的已知点，该点可以根据零件曲率最大点的展开长度来确定。

此外还有热传导模拟法，可以不用已知点，更准确地自动绘制出毛料外形，见文献[5]。

2.4.2.6.3 不规则深压延件过渡形状

一次不能压延成形的不规则深压延件，各道过渡形状，亦即各道工序所用凸模和凹模的合理形状，可用上述几种模拟方法，用计算机自动绘制出来。如图示，是两道工序完成的不规则深压延件。其第一道和第二道形状，也就是电模拟与流体模拟的等压线和热传导模拟的等温线，可以用计算机自动地绘制出来。



2.4.3 旋转体的压延系数

压延系数 m 是确定压延工作的主要参数，一般都是用旋转体特别是杯形件来测试，确定各种材料的压延系数。不论是杯形件的深压延，还是台阶形的旋转体压延件，其压延系数都是指最小筒形部分直径与毛料直径之比而言。当该比值 m 很小，不能一次压延成形时，应采用多道压延工序，每次系数为 $m_1, m_2, m_3 \dots m_n$ ，应使 $m = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \dots m_n$ 。计算时应采用筒形部分的平均厚度直径。

2.4.3.1 杯形件压延系数的推荐值

对于供深压延用的钢（8号，10号与15号软钢），软黄铜等适宜于深压延的板料，可采用表1的数据^[6]。

表1. 杯形件压延系数

压延系数	相对毛料厚度 (t/D_0), %				
	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5	0.5~0.2	0.2~0.06
m_1	0.46~0.50	0.50~0.53	0.53~0.56	0.56~0.58	0.58~0.60
m_2	0.70~0.72	0.72~0.74	0.74~0.76	0.76~0.78	0.78~0.80
m_3	0.72~0.74	0.74~0.78	0.76~0.78	0.78~0.80	0.80~0.82
m_4	0.74~0.76	0.76~0.78	0.78~0.80	0.80~0.82	0.82~0.84

表中 t 为板料厚度， D_0 为毛料直径。当在第一次压延中凹模圆角半径足够大和厚向异性指数 $\bar{r} = 1.5 \sim 1.7$ 时，用表中下限值；当 $\bar{r} \approx 1.0 \sim 1.2$ 时，用上限值。

图1是深压延钢的第一次压延比 ($\beta_1 = 1/m_1$) 与厚向异性指数 \bar{r} 和相对厚度 t/D_0 的关系曲线^[6]。

图2是深压延钢的第一次压延系数 m_1 与厚向异性指数 \bar{r} 和相对厚度 t/D_0 的关系曲线^[6]。该图也可以用表2来表示。

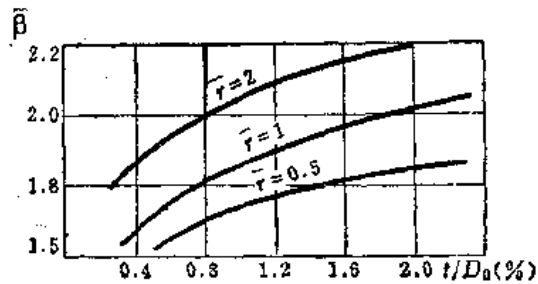


图1

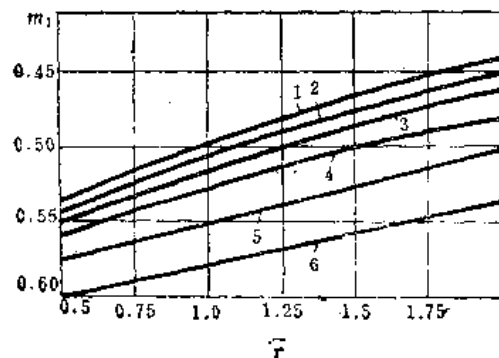


图2

表2. 深压延钢的第一次压延 m_1 值

编 号	t/D_0	厚向异性指数 r			
		1	1.5	1.7	2
1	0.024	0.50	0.47	0.45	0.44
2	0.26	0.51	0.48	0.46	0.45
3	0.016	0.52	0.49	0.47	0.46
4	0.012	0.53	0.50	0.49	0.48
5	0.008	0.55	0.52	0.51	0.50
6	0.044	0.58	0.56	0.54	0.54

图2和表2的 m_1 值也可用下式表示:

$$m_1 = A - B\bar{r}$$

式中 A 和 B 是与 t/D_0 有关的常数:

t/D_0	0.024	0.020	0.016	0.012	0.008	0.004
A	0.56	0.57	0.574	0.58	0.59	0.62
B	0.06	0.058	0.056	0.05	0.05	0.04

表1所列数据,稍加修正,即可用于其他材料,例如对于20~25号钢,酸洗钢,铝和硬化的黄铜等,应对表列数字增加0.015~0.02。在工序间进行退火处理时,退火后的 m_1 值要减小0.03~0.05。

对1Cr18Ni9T不锈钢板压延时,工序间应当淬火。

以上指加工条件如润滑情况等正常或良好时所采用的 m_1 值,当加工条件较差时,应对表1所列数字酌加0.02~0.04。

2.4.3.2 杯形件极限压延系数 m_1 的计算值

当板料的应变刚指数 n (即 e_n)和厚向异性指数 r 为已知数时,一次压延的极限即最小压延系数 m_1 可用计算方法得到^{(7)、(10)}。对于有线性应力应变关系的材料,即

$$\sigma = \sigma_0 + D\epsilon$$

其极限压延系数为:

$$m_1 = 0.433(1 - \epsilon_n) - \frac{0.775\sqrt{k_r}}{\sqrt{1 + \epsilon_n}} + 0.85 + \epsilon \quad (1)$$

式中 ϵ_n ——细颈点的实际延伸率,亦即应变刚指数 n 值;

k_r ——考虑到厚向异性指数 r 的修正系数,

$$K_r = \frac{1+r}{\sqrt{1+2r}};$$

ϵ ——与压延系数有关的修正值;当由上式求出 m_1 后,再由表查出 ϵ 予以修正,即得 m_1 的最后结果。一般是不须修正的;

D ——应变刚系数。

修正值 ε

m	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
ε	0.15	0.07	0.01	0	0

当材料的应力应变关系为幂次式时，即

$$\sigma_t = A\varepsilon^n$$

则极限压延系数为：

$$m_s = 0.85 - \frac{1}{2}(1+n) \frac{1}{1+n} (0.697 \sqrt{\frac{1}{k_r}})^{\frac{1}{1+n}} + \varepsilon \quad (2)$$

只要应力应变关系选择适当，用以上公式求 m_s ，与实验值相较，误差一般不超过 5%。

2.4.4 旋转体压延件压延次数与高度的估算

2.4.4.1 压延次数

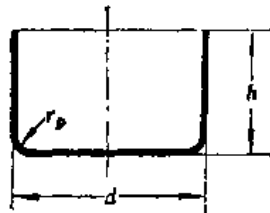
当旋转体压延件毛料直径由 2.4.2 节的几种方法求得以后，总压延系数 m 即可确定。再根据材料由 2.4.3 节查得各次压延系数 m_s 值，即可以确定压延次数，应使

$$m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdots m_n \geq m$$

对于杯形件(见图)，可以直接估算出大约的压延次数：

比值 h/d	大约压延次数
0.7 以上	1
0.7~1.5	2
1.5~3	3
3~4.7	4

这里 d 为平均直径， h 如图示。



2.4.4.2 压延件高度

杯形件在多次压延中，每次压延所能达到的相对高度 h/d (图 1) 如表 1 所列。

对于软钢 ($\sigma_B = 28 \sim 42 \text{ kgf/mm}^2$) 及压延性能相当的其他材料相对压延高度 h/d 与相对凸缘直径 d_f/d 和相对厚度 t/D_0 的关系(图 2)，列于表 2。

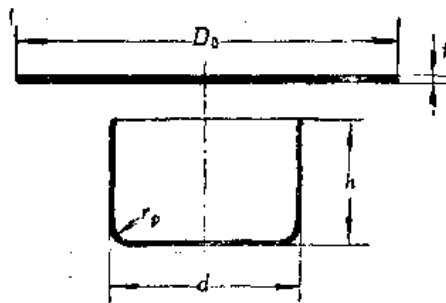


图1

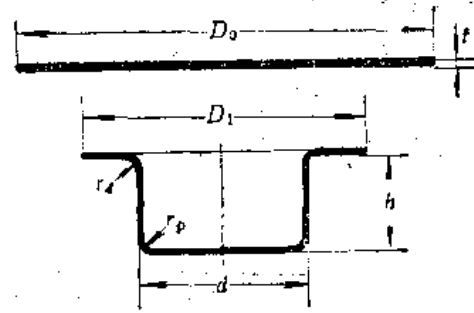


图2

表1. 每次压延的相对高度 $h/d^{(8)}$

工 序	相对厚度 $t/D_0, \%$					
	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15~0.08
1	0.94~0.77	0.84~0.65	0.70~0.57	0.62~0.5	0.52~0.45	0.46~0.38
2	1.88~1.64	1.60~1.32	1.36~1.1	1.13~0.94	0.96~0.83	0.9~0.7
3	3.50~2.70	2.80~2.20	2.3~1.8	1.9~1.5	1.6~1.3	1.3~1.1
4	5.60~4.30	4.30~3.50	3.6~2.9	2.9~2.4	2.4~2.0	2.0~1.6
5	8.80~6.60	6.60~5.10	5.2~4.1	4.1~3.3	3.3~2.7	2.7~2.0
附 注	当 $t/D_0=2\sim1.5\%$ 时, $r_p=3t$ 当 $t/D_0=0.15\sim0.08\%$ 时, $r_p=15t$ h/D_0 的上限值与大的 r_p 值对应					

表2 钢板($\sigma_B=28\sim42\text{kgf/mm}^2$)凸缘压延件的相对高度 $h/d^{(8)}$

凸缘相对直径 d_f/d	相对厚度 $t/D_0, \%$				
	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15
1.1以下	0.90~0.75	0.82~0.65	0.70~0.57	0.62~0.50	0.52~0.45
1.3以下	0.80~0.65	0.72~0.56	0.60~0.50	0.53~0.45	0.47~0.40
1.5以下	0.70~0.58	0.63~0.50	0.53~0.45	0.48~0.40	0.42~0.35
1.8以下	0.58~0.48	0.53~0.42	0.44~0.37	0.39~0.34	0.35~0.29
2.0以下	0.51~0.42	0.46~0.36	0.38~0.32	0.34~0.29	0.30~0.25
2.2以下	0.45~0.35	0.40~0.31	0.33~0.27	0.29~0.25	0.26~0.22
2.5以下	0.35~0.28	0.32~0.25	0.27~0.22	0.23~0.19	0.21~0.17
2.8以下	0.27~0.22	0.24~0.19	0.21~0.17	0.18~0.15	0.16~0.13
3.0以下	0.22~0.18	0.20~0.16	0.17~0.14	0.15~0.12	0.13~0.10
注	$t/D_0=2\sim1.5\%$ 时, $r_p=(10\sim12)t$, $t/D_0=0.3\sim0.15\%$ 时, $r_p=(20\sim25)t$, r_p 大时, h/d 亦大.				

2.4.4.3 压延系数给定后凸缘件的几何关系

以上主要是根据压延件几何关系求压延系数 m 。对于一定材料说，其许可的最小压延系数 m 值是一定的，为了充分利用这个 m 值，即材料的压延性能，往往可以将压延件的几何尺寸作某些调整来达到这个目的。图1，图2和图3就是当 m 值一定，各种几何尺寸应遵循的关系^[16]。

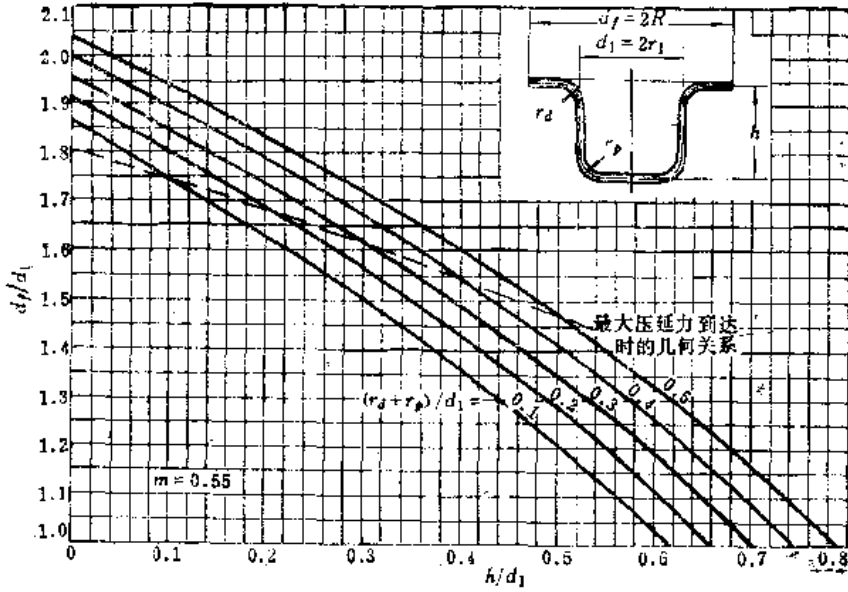


图1

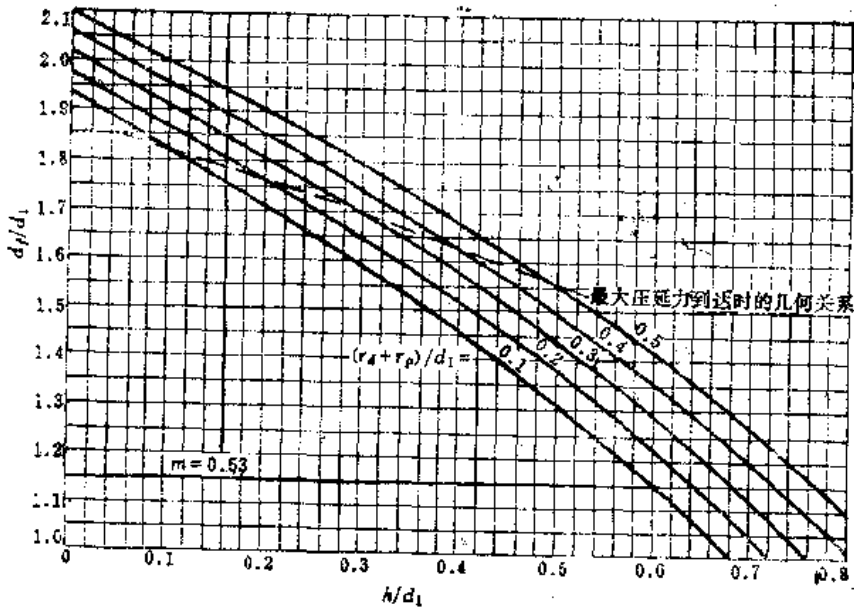


图2

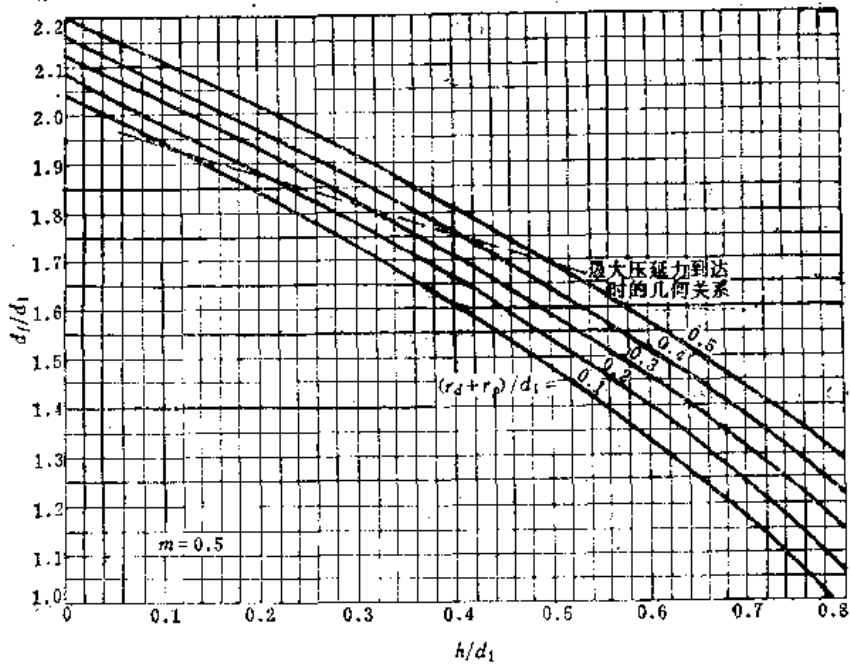


图3

2.4.5 矩形压延件的成形极限与压延次数

2.4.5.1 一次压延成形的极限

矩形件的压延极限，可以对以下几种情况作出相应的估算^[2]：

1. 接近筒形或方形的椭圆杯与近于方形的盒，如果其毛料面积不超过凸模剖面积的四倍时，可一次压延成形。

2. 对于长宽比介于1到9的矩形盒，其一次可成形的毛料与凸模剖面积之比要比方盒的大些，当长宽比为3时，面积比达最大值4.5；长宽比再增加时，面积比又有所减小。

3. 当方盒的拐角半径 r 相当小时，压延深度可达到宽度的80%。

4. 如第2条指出的，矩形盒可达到比方盒更大的深度。设最大深度为 h ，长度为 l ，宽度为 w ，以百分数表示的 h/w 有以下的近似关系^[2]：

$$\frac{h}{w} = C \sqrt{\frac{l}{w}}, \quad \%$$

式中 C 是个常数，对于钢、铜和黄铜为80，对于韧性铝合金为70~75。上式适用的最大 l/w 为3。例如当 $l/w=1$ 时， $h/w=80\%$ 。

对于 $l/w > 3$ 的情况，一次成形的 $h/w \approx 135\%$ 。

5. 还可以作这样的保险估算，一次可压延的深度为拐角半径 r 的4~6倍。如果拐角半径大于12.5mm时，应保持 $h=4r$ 不变。

6. 将第5条具体化，可选用以下数据：

r_0 (mm)	h (mm)
2.3~4.6	24
4.8~9.0	37
9.0~12.5	50
12.5~18.0	74

2.4.5.2 压延次数及各次压延参数

对于铝, 根据 h/r_0 比值, 所需压延次数可参考表1^[2]。

表1. 铝盒形件压延次数

基本 h/r_0	许用范围		压延次数
	最小	最大	
6		7	1
12	7	13	2
17	13	18	3
22	18	24	4

当需要两次或更多次的压延时, 前后两次压延的尺寸可这样规定: 设 $r_{0,2}$ 为下一次或最后一次压延的拐角半径, l_2 和 w_2 为其长度和宽度, 则前次压延的长度 $l_1=3r_{0,2}+l_2$, 宽度为 $w_1=3r_{0,2}+w_2$; 这只适用于 $r_{0,2}<12.5\text{mm}$ 的情况。当所有 r_0 大于12.5mm时, 都采用 $r_0=12.5\text{mm}$ 的固定数值。前次压延的拐角半径可等于下次(或最后一次)压延拐角半径的四到五倍, 即 $r_{0,1}=(4\sim 5)r_{0,2}$ 。两个拐角半径不同心(图1), 两个轮廓间应有足够的宽度 X , 满足成形要求; 由于 $r_{0,1}$ 大, 材料便于由拐角部分向直边部分流动。如按图2所示, 拐角部分材料受压缩程度大, 则提高了变形程度和成形难度。

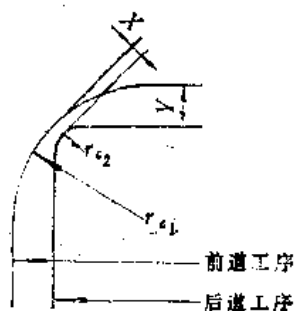


图1

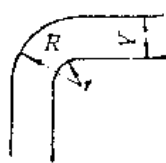


图2

矩形件各次压延系数, 都是根据拐角部分按筒形件的计算方法得到的, 即 $m_n = (r_{0,n-1})_{\text{外}} / (r_{0,n})_{\text{内}}$, 可采用表2的数据^[9]。

表2. 矩形件压延系数

材 料	第一次压延 m_1	以后各次压延
08 [#] 钢, 酸洗钢	0.25~0.40	0.40~0.55
30CrMnSi	0.45~0.48	0.55~0.80
62与68黄铜, 紫铜, 锌黄铜	0.20~0.30	0.30~0.45
铝	0.30~0.35	0.40~0.45
LY12M, LF2M, LF31M	0.35~0.40	0.45~0.55

注: 凸、凹模圆角半径正常和润滑良好时用较小值

2.4.6 压边与压延梗

2.4.6.1 压 边 圈

杯形件是否使用压边圈, 视相对厚度 t/d_0 与压延系数而定, 如表1所列⁽⁸⁾。

表1. 压边圈选用依据

压延方式	相对厚度 t/D_0 %	压 延 系 数	
		m_1	m_n
用压边圈	2~0.05	0.46~0.6	0.70~0.8
不用压边圈	>3~10	0.60~0.8	0.78~0.9

对于多次压延, 不用压边圈的压延系数可采用表2所列的数据⁽⁹⁾, 各次压延系数小于表列值时, 即需采用压边圈。

表2. 多次压延不用压边圈的压延系数

相对厚度 t/D_0 , %	各 次 压 延 系 数					
	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6
1.5	0.65	0.80	0.84	0.87	0.90	—
2.0	0.60	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90
2.5	0.55	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90
3.0	0.53	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90
3以上	0.50	0.70	0.75	0.78	0.82	0.85

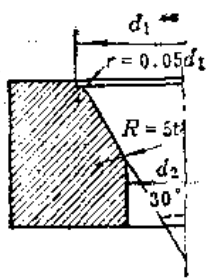


图1

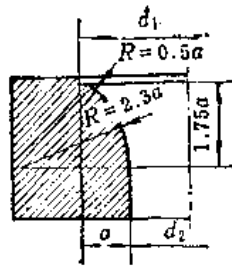


图2

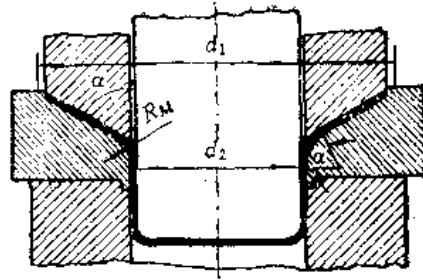


图3

当使用锥形(图1)和渐开线形(图2)的凹模口时。由于在压延中凸缘部分受到凹模壁的支持,不容易失稳。不使用压边圈的范围,可以扩大。当锥形凹模的锥度为 60° ,上口直径为 d_1 ,下口为 d_2 ,表3所列的,是不用压边圈可以得到的最小压延系数⁽⁹⁾。

表3. 锥形凹模不用压边圈的压延系数

d_2/d_1	相 对 厚 度 $t/D, \%$				
	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
0.6	0.50	0.52	0.54	0.56	0.58
0.7	0.53	0.60	0.62	0.64	0.66
0.8	0.66	0.68	0.70	0.72	0.75

附注: d_1 为锥口上面直径, d_2 为其下面直径

当压延系数小于表3所列数字时,应当用压边圈,如图3所示。在双动冲床上,先由锥形压边圈成形锥形凸缘,接着由凸模继续压延,这样一次可得到的压延系数为 $m=0.42\sim 0.46$ 。而不是一般的 $0.52\sim 0.56$ 。

2.4.6.2 压 边 力

当由上节几何关系,确定用压边圈时,单位压边力可用下式估算:

$$q = \frac{\sigma_s + \sigma_B}{200}, \text{ kgf/mm}^2 \quad (1)$$

或

$$q = \frac{\sigma_B}{150}, \text{ kgf/mm}^2 \quad (2)$$

式中 σ_s ——屈服应力;

σ_B ——极限强度。

也可以根据不同材料,参考表列的数据来确定。

单位压边力

材 料	压边力 (kgf/mm ²)
铝	0.03~0.07
铝合金	0.14~0.17
铜	0.08~0.14
黄铜	0.11~0.21
软钢	0.16~0.35
不锈钢	0.70

注: 1kgf/mm² = 9.8N/mm²

总的压边力等于:

$$Q = \frac{\pi}{4} (D_0^2 - (d_s + 2r_s)^2) q, \text{ kgf} \quad (3)$$

式中 D_0 ——毛料直径; d_s ——凹模口直径;

r_s ——凹模圆角半径。

对于软钢, 可用沙夫曼的以下准确公式:

$$Q = 0.15 \left(\frac{D_0}{d_s} - 1.2 \right) \frac{D_0^2}{t}, \text{ kgf} \quad (4)$$

对于凸缘压延件, Q 值应增加26~30%, 以便得到平的凸缘。

筒形件多次压延中, 各次压延的压边力为:

$$Q_n = \frac{\pi}{4} (d_{s,n-1}^2 - (d_s + 2r_{s,n})^2) q, \text{ kgf} \quad (5)$$

式中 $r_{s,n}$ —— n 次压延的凹模圆角半径。

2.4.6.3 矩形及不规则零件的压边与压延埂

非圆形件在压延中, 各部分的径向拉力与切向压力都不均匀。由于拉力不够, 成形后回弹量大; 由于切向压缩, 又容易失稳起皱。实际上, 只由于不均匀的径向拉力, 就会产生皱纹。因此往往需要在拉力小的凸缘部分作出加拉埂。埂的形状一般有两种, 一种是装在凹模面或压边圈上(图1), 一种是将凹模口上作出凸台(图2), 以前者用的较

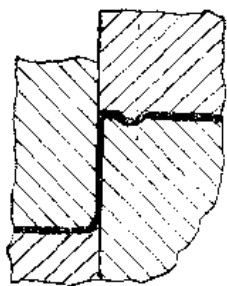


图1

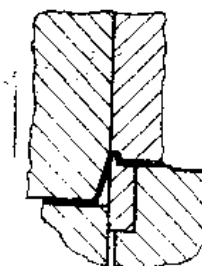


图2

多。一条埂不够时，还可以用两条平行的埂，以加大拉力。但一条埂每边要增加切边留量30~40mm，两条增加留量60~70mm，三条要增加留量80~100mm；但考虑到这些三要用子大零件如汽车钣金件的成形，为了顺利成形和零件质量的要求，目前还只有用埂加拉的方法。为了控制拉力在成形中的变化，减少切边留量和提高成形质量，可采用凸轮或油缸控制拉力的办法，如图3和图4所示。

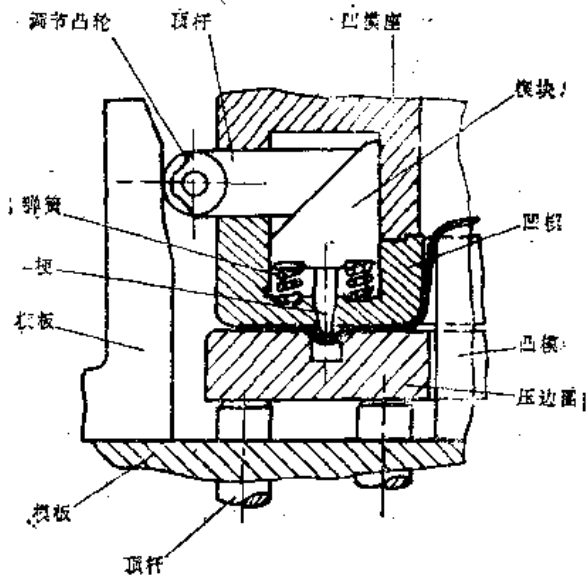


图3 凸轮控制

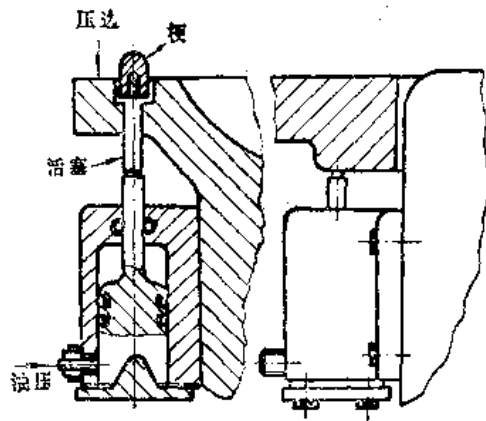


图4 液压控制

设 h_0 为埂的突出高度， r_0 为埂圆头半径， r_1 为压边圈开槽圆角半径(图5)，对于半硬化的厚1mm的铝板，通过埂后，铝板所受的拉力如图6~图9所示^[8]。由这些图，至少可以根据所需要的拉力大小，选用埂的几何尺寸，一般是 h_0 愈低，各个半径愈大，拉力愈小。

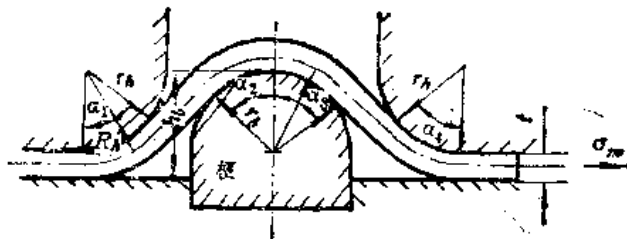


图5

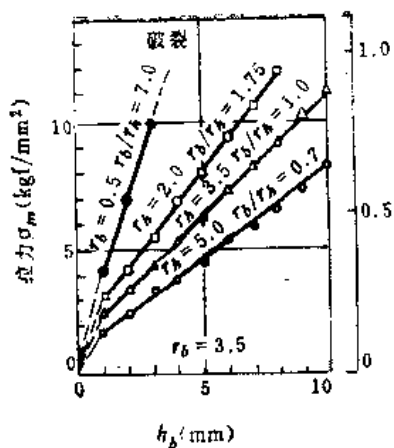


图6

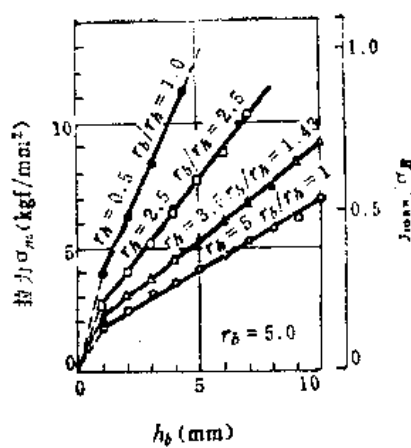


图7

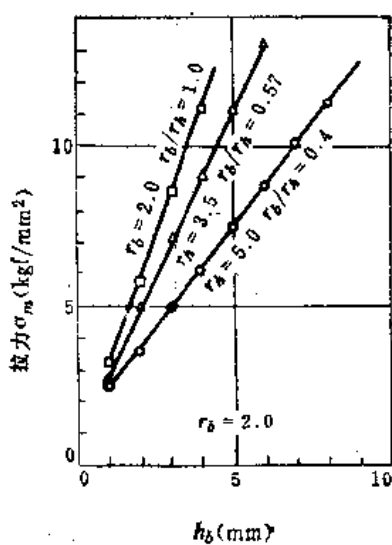


图8

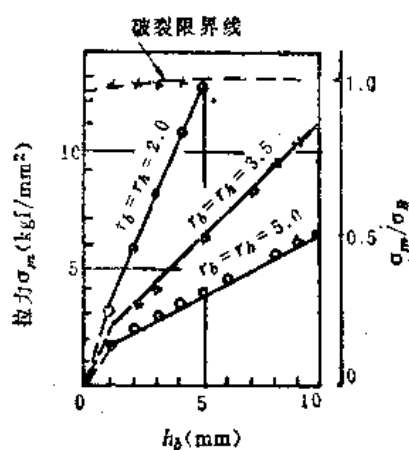


图9

2.4.7 模具圆角半径

压延凹模与凸模的圆角半径，都是工艺上的重要参数。半径小板料会破裂。太大会产生内皱。图1是选择凹模半径的参考资料。图2是选择凸模半径的参考资料⁽⁸⁾。

还可以根据材料种类和厚度，规定凹模圆角半径 r_d ⁽⁹⁾：

钢：
 $t < 3\text{mm}$ ， $r_d = (10 \sim 6)t$ ；
 $t = 3 \sim 6\text{mm}$ ， $r_d = (6 \sim 4)t$ ；
 $t = 6 \sim 20\text{mm}$ ， $r_d = (4 \sim 2)t$ 。

铝，黄铜，紫铜： $t < 3\text{mm}$ ， $r_d = (8 \sim 5)t$ ；
 $t = 3 \sim 6\text{mm}$ ， $r_d = (5 \sim 3)t$ ；
 $t = 6 \sim 20\text{mm}$ ， $r_d = (3 \sim 1.5)t$ 。

根据这些数据确定 r_d 时，在第一次压延和用比较薄的板料时，应取近于上限值；在以后各次压延和用比较厚的板料时，应取近于下限值。

至于凸模圆角半径 r_c ，尽可能取与 r_d 相等或略为小些的数值。在最末一次压延中，

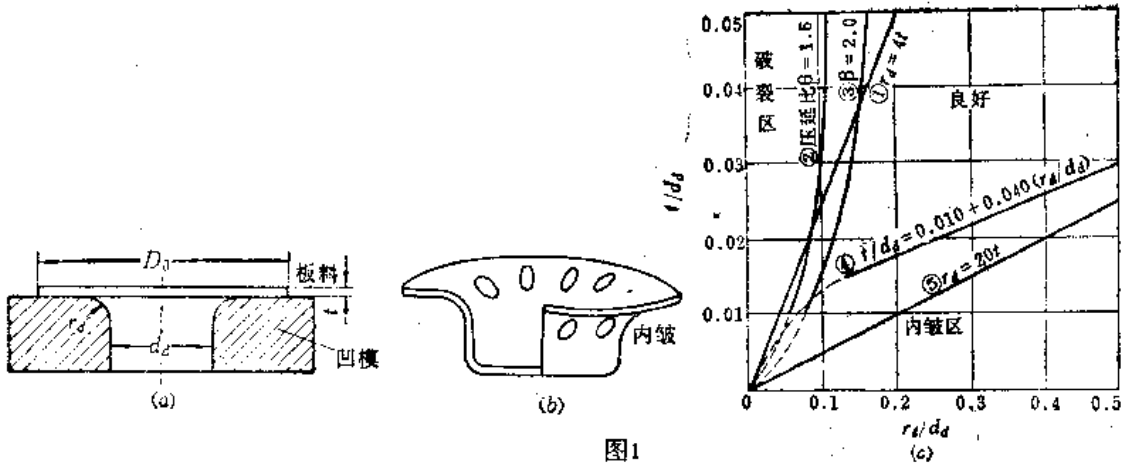


图1

- ① 直线近似破裂界线
- ②, ③ 由关系式 $r_a/d_a = 0.8 \sqrt{\beta - 1} \sqrt{t/d_a}$ 作的破裂界线 (kaczmarek); β 为压延比 (1/m)
- ④ 直线近似内皱界限 (适用于 $r_a/d_a > 0.1$) (宫川)
- ⑤ 直线近似内皱界限 (Sacks)

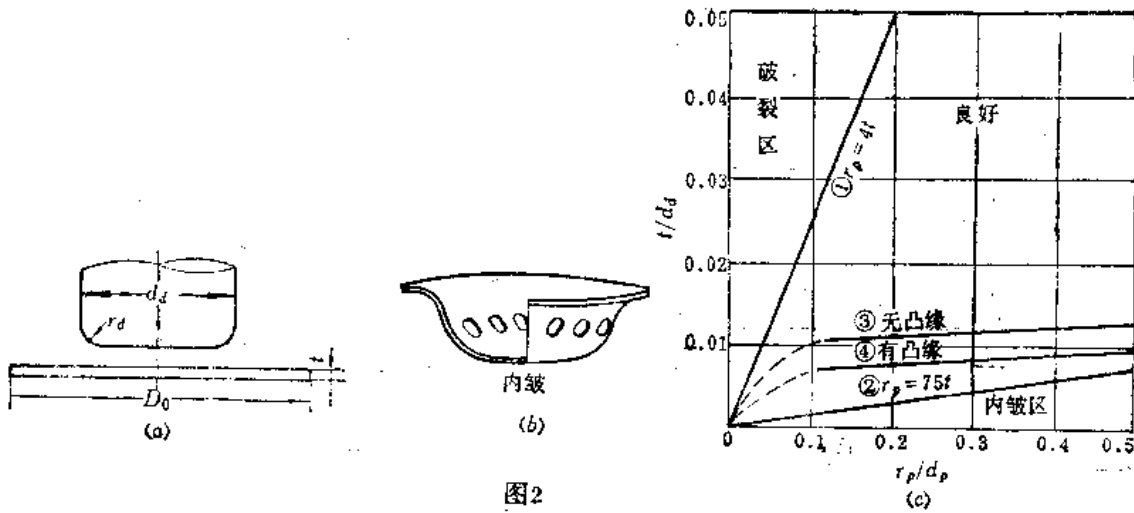


图2

- ① 直线近似破裂界限
- ② 直线近似内皱界限 (Schroeder和 Hazlett)
- ③ 直线近似内皱界限 (无凸缘的杯形件) (宫川)
- ④ 直线近似内皱界限 (有凸缘的压延件) (宫川)

取等于成品的圆角半径, 但对厚 6mm 以下的板料, 其值不得小于 $3 \sim 2t$; 对于厚 6 ~ 20mm 的板料, 其值不得小于 $2 \sim 1.5t$ 。

在多次压延中, 压延力随次数的增加而递减。r, 也可以越来越小。例如对于钢, $r_1 = (10 \sim 6)t$ 。当 $t = 1\text{mm}$ 时, 第一次压延用 $r_{11} = 9 \sim 10\text{mm}$, 第二次压延用 $r_{12} = 7 \sim 8\text{mm}$, 第三次压延用 $r_{13} = 5 \sim 6\text{mm}$ 。

压延矩形件时, r_1 和 r_2 主要由工件的圆角来确定。

为了减小材料在凸模圆角部分的变薄量, 凸模与凹模圆角的弧心位置, 可按图 3 的安排来确定: 二次凹模圆角的弧心, 应位于一次杯形之外约 3mm, 如图示 A 点位置。一次凸模圆角弧心应略位于二次杯形之内, 如图示 B 点位置。最后两次压延的凸模圆角弧心应差不多位于同一竖线上。如 C 点位置, 以保持底部为平面。

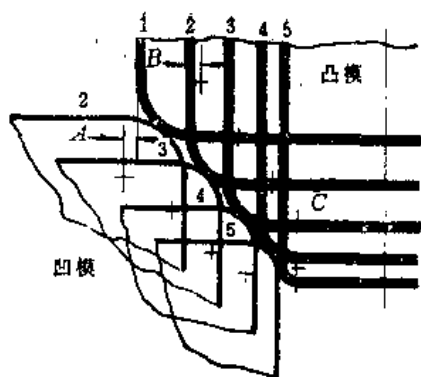


图3

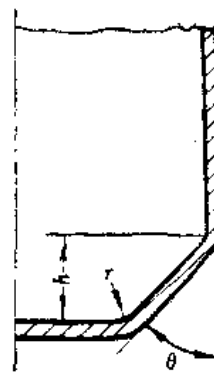


图4

在多次压延中，为了减少材料绕凹模圆角部分的反复弯曲变形程度，便于材料的流动，除最后一次压延外，以前各次压延凸模可以作出斜角如图4所示。对于厚0.80mm以下的板料， $\theta=30^\circ$ ；对于厚0.80~1.5mm的板料， $\theta=40^\circ$ ；对于厚1.5mm以上的板料， $\theta=45^\circ$ ；过渡半径 $r \approx 0.3h$ 。

2.4.8 间隙与通气孔

凸模与凹模之间的单边间隙，可采用表1的数据。这是名义尺寸，由于凸模是负公差，凹模是正公差，实际间隙比表列数值要大些。

表1. 凸模与凹模的间隙^{〔6〕}

板料厚度 t , mm	第一次压延	后续压延	校形压延 ^①
0.40以下	$(1.07 \sim 1.09)t$	$(1.08 \sim 1.1)t$	$(1.04 \sim 1.05)t$
0.40~1.3	$(1.08 \sim 1.1)t$	$(1.09 \sim 1.12)t$	$(1.05 \sim 1.06)t$
1.3~3.5	$(1.1 \sim 1.12)t$	$(1.12 \sim 1.14)t$	$(1.07 \sim 1.09)t$
3.5 以上	$(1.12 \sim 1.14)t$	$(1.15 \sim 1.2)t$	$(1.08 \sim 1.1)t$

①用于对直径或壁厚要求高的直壁零件，或者为了改进表面质量。

知道板料厚度为正公差 (+) 和零件精度要求时，对筒形件压延，可采用表2的间隙值。

表2. 凸模与凹模的间隙^{〔6〕}

工 序	压延件精度等级	
	1T8 和1T9 级	1T11, 1T12和1T13级
第一次压延	$Z = t + \delta + a$	$Z = t + \delta + (1.5 \sim 2)a$
中间压延工序	$Z = t + \delta + 2a$	$Z = t + \delta + (2.5 \sim 3)a$
最后一次压延	$Z = t + \delta$	$Z = t + \delta + 2a$

注：括弧内下限值用于相当厚的材料，上限值用于相当薄 ($t/D_0 = 1 \sim 0.2\%$) 的材料。

凸模及凹模上的气孔,是为了便于脱件。只当用一个气孔时,表4是推荐的气孔直径。对于非圆形件,可用两个或更多的气孔。应将气孔开在容易清理的位置,以免被润滑剂和脏物堵塞。

表2中的 α 值可查表3。

表3. α 值

厚度 t , mm	0.2	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
α 值, mm	0.05	0.10	0.12	0.15	0.17	0.19	0.21	0.22	0.25	0.30	0.35	0.40

表4. 气孔直径⁽²⁾

凸模直径 (mm)	气孔直径 (mm)
50以下	4.5
50~100	6
100~200	8
200 以上	9

2.4.9 凸、凹模的制造公差, 粗糙度

压延凸、凹模的制造公差, 视工件与其他机器零件的配合而定, 由以下方法确定。

1. 杯形件的外径与其他机件配合, 一般在零件图上注明外廓尺寸(图1):

$$d_s = (D - \Delta) + s_s \tag{1}$$

$$d_s = (D - \Delta - 2z) - s_s \tag{2}$$

2. 杯形件的内径与其他机件配合。一般在零件图上注明内径尺寸(图2):

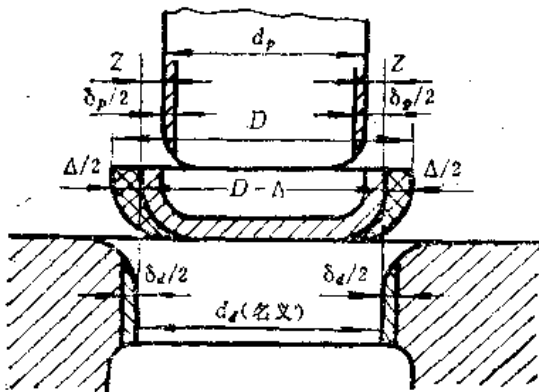


图1 外径配合

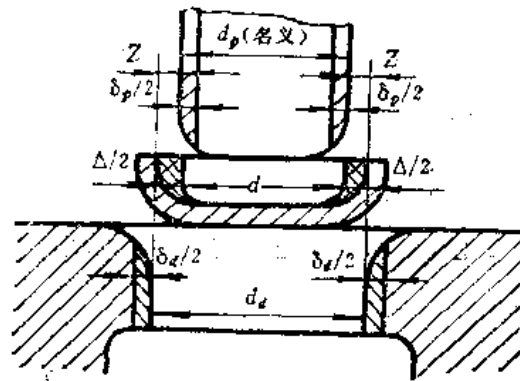


图2 内径配合

$$d_s = (d + 2z) + s_s \tag{3}$$

$$d_s = d - s_s \tag{4}$$

上述式中 d_s, d_s ——凸模与凹模加工后的凸模与凹模直径;

D ——杯形件名义外径;

d ——杯形件名义内径;

Δ ——杯形件尺寸公差;

z ——凸、凹模间单边间隙；

δ_p, δ_d ——凸、凹模制造公差。

对凸、凹模制造公差 δ_p 和 δ_d 的确定,由板料厚度公差而定。对于没有进行精轧的薄钢板, δ_p 与 δ_d 可选用下表的数据^[6]。对精轧的薄板,将表列 δ_p 与 δ_d 值减小20~25%。

由于压延模间隙大,形状简单时都可以将凸模与凹模按计算好的公差分别加工,不象冲裁模那样,往往需要进行修配。

凹模粗糙度越低越好,如 $Ra0.8, Ra0.4$ 。凸模粗糙度可以比凹模高一两级,因凸模与材料的摩擦力,有助于成形,减少危险断面破裂机会。对软材料进行压延时,凸模上的环形加工痕迹,容易引起材料破裂。最好对凸模在顺直方向进行磨削。

压延非精轧薄钢板的凸、凹模制造公差

材料厚度 (mm)	压延件名义直径(mm)					
	10~50		50~200		200~500	
	$+\delta_d$	$-\delta_p$	$+\delta_d$	$-\delta_p$	$+\delta_d$	$-\delta_p$
0.25	0.02	0.010	0.03	0.015	0.03	0.015
0.25	0.03	0.020	0.04	0.02	0.04	0.025
0.50	0.04	0.030	0.05	0.03	0.05	0.035
0.60	0.05	0.035	0.05	0.04	0.06	0.040
0.80	0.07	0.040	0.08	0.05	0.08	0.060
1.00	0.08	0.050	0.09	0.06	0.10	0.070
1.20	0.09	0.060	0.10	0.07	0.12	0.080
1.50	0.11	0.070	0.12	0.08	0.14	0.090
2.00	0.13	0.085	0.15	0.10	0.17	0.12
2.50	0.15	0.100	0.18	0.12	0.20	0.14

2.4.10 压延速度

压延速度大时,尤其对于尺寸大的复杂形状,由于应力容易集中,往往是不利的,但在这方面还难以找出精确的对应关系。表中所列的数据,是在实用中对不同材料可以不同材料可采用的压延速度

材 料	冲床上压延速度 (mm/s)	
	单 动	双 动
铝	900	500
铝合金	—	150~200
黄铜	1000	500
铜	750	430
钢	300	180~250
不锈钢	—	100~150

采用的压延速度^{〔6〕}。

所谓压延速度，系指压延过程开始的凸模（或冲床滑块）下降速度，可由下式求得：

$$V = R \frac{\pi n}{30} \sin \alpha \approx 0.105 n \sqrt{h(H-h)}, \text{ mm/s}$$

式中 H ——冲床行程，mm；

h ——开始变形后的工作行程，mm；

$\sin \alpha = h \sqrt{H-h}$ ， α ——曲轴转角。

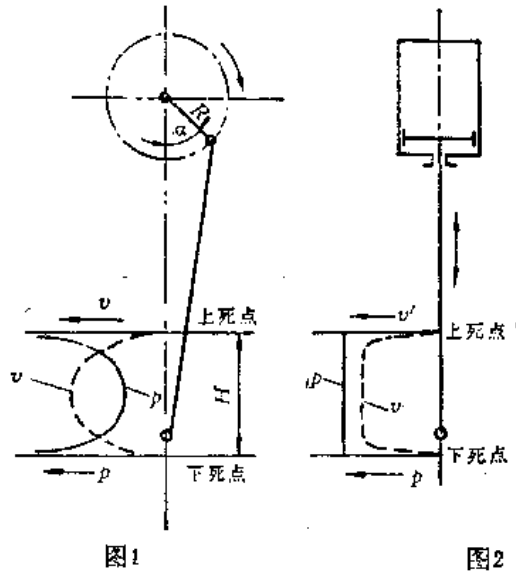


图1

图2

图1是曲轴冲床的速度与力的变化情形；图2是液压机的速度与压力，基本是常数。故液压机对压延是比较理想的。

现代大型压延冲床在开始压延时，如 $n=12\sim 18\text{r/min}$ ，压延速度为 $300\sim 500\text{mm/s}$ ；对于小型冲床，如 $n=80\sim 150\text{r/min}$ ， $V=500\sim 700\text{mm/s}$ 。压延钛及其合金时，压延速度取等于钢压延速度的 $50\sim 70\%$ 。

2.4.11 压延力，功与功率的计算

2.4.11.1 压延力

压延力可用理论分析求得为^{〔10〕}

$$P_1 = \pi d_1 t \sigma_s c, \text{ N} \quad (1)$$

式中 d_1 ——第一次压延的筒形件壁部平均直径；

c ——与材料细颈点应变 ϵ_B （或应变刚指数 n ）和压延系数有关的常数，即

$$c = 178 (1 - \epsilon_B^2) (-\ln m)$$

不同材料和不同压延系数的 c 值见表。

计算压延力用的常数C值⁽¹⁰⁾

材 料	ϵ_B	m												
		0.5	0.55	0.575	0.60	0.625	0.65	0.675	0.700	0.725	0.750	0.775	0.80	
LF21M	0.24	1.16	1.0	0.93	0.86	0.79	0.72	0.66	0.60	0.54	0.48	0.43	0.37	
LF2M	0.17	1.2	1.03	0.96	0.88	0.81	0.74	0.68	0.62	0.56	0.50	0.44	0.39	
LY12M	0.13	1.21	1.05	0.97	0.89	0.82	0.75	0.69	0.63	0.56	0.50	0.45	0.39	
16号钢	0.25	1.15	1.0	0.92	0.85	0.79	0.72	0.66	0.60	0.54	0.48	0.43	0.37	
30CrMnSi	0.14	1.21	1.04	0.97	0.89	0.82	0.75	0.69	0.62	0.56	0.50	0.45	0.39	
1Cr18Ni9F	0.29	1.13	0.98	0.90	0.83	0.77	0.70	0.64	0.58	0.524	0.47	0.42	0.364	

以后各次压延中，只要在上式代入相应的直径 d 与该次的压延系数 m ，就可以求出该次的压延力。

选用冲床吨位时，要加上压边力 Q ，并乘以安全系数 1.3，即

$$P = 1.3(P_1 + Q), \text{ N} \quad (2)$$

以上指筒形件而言。对于矩形件，拐角部分按筒形件压延计算，直边部分的弯曲力按 2.3.7.1 节求弯曲力的方法计算。也可以由下式计算矩形件压延力⁽¹¹⁾：

$$P = t\sigma_s(2\pi rC_1 + LC_2), \text{ N} \quad (3)$$

式中 r ——矩形匣拐角半径，mm；

L ——矩形匣直边总长度，mm；

C_1 ——常数，对于很浅的匣取等于 0.5，对于匣深度为 r 的 5 或 6 倍时，取等于 2；

C_2 ——常数，对于凹模圆角半径和间隙都较大又无压边时，取等于 0.2，当情况相同而有约等于 $P/3$ 的压边力时，取等于 0.3，当压边力很大，材料流动阻力大时，取等于 1。

2.4.11.2 压 延 功

在冲裁中，选用冲床主要看吨位，因冲裁功往往是较小的。压延则不然，由于工作行程大，往往是由冲床功率来确定能否满足工作要求的。

计算压延功 A 时，要采用平均力 \bar{P} ，即

$$A = \frac{\bar{P} \cdot h}{1000} = \frac{ePh}{1000}, \text{ N} \cdot \text{m}$$

式中 h ——压延深度，mm；

\bar{P} ——由 2.4.11.1 节求得的最大成形力，N；

e ——经验系数，与压延力曲线性质有关，可根据压延系数由表查得。

经验系数 e ⁽¹²⁾

m	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
e	0.80	0.77	0.74	0.70	0.67	0.64

2.4.11.3 压延功率

如冲床每分钟转数为 n ，则压延所需功率为：

$$N = \frac{An}{6.12 \times 10^3}, \text{ kW} \quad (1)$$

冲床飞轮应储存的功率为：

$$N_p = \frac{\sigma_0 N}{\eta}, \text{ kW} \quad (2)$$

式中 η ——冲床效率，约等于0.5~0.7；
 σ_0 ——不均匀载荷系数，约为1.1~1.4。

马达的近似功率，可由下式计算：

$$N_M = \frac{N_p}{\eta' 1.36}, \text{ kW} \quad (3)$$

式中 η' 为各个传动环节的总效率。

关于功率的计算，可参阅2.2.9.5节。

2.4.12 连续压延

当零件需要多次压延成形时，可考虑采用在条料上进行连续压延的方法，以降低生产成本。对连续成形进行选择时，应考虑以下三个条件：

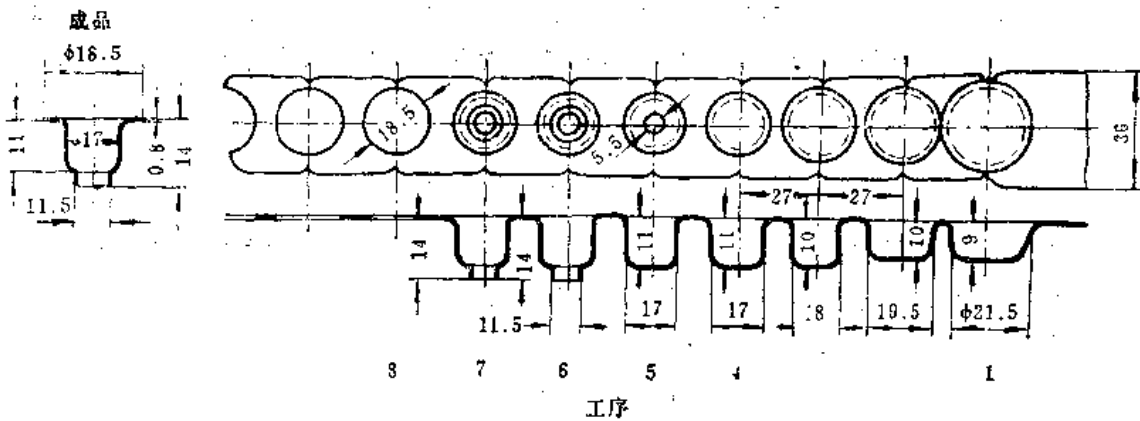


图1

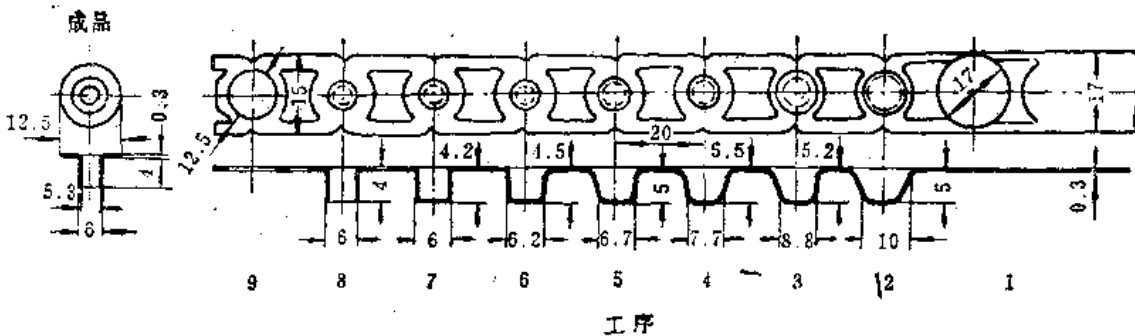


图2

1. 由于料太薄，难以定位，或太厚存在需要对条料进行校直的情况，不宜用连续成形方法。

2. 模具尺寸不太大，条料不太长，在冲床容量范围之内。

3. 冲床有够用的吨位和功率。

有两种连续压延方式：在整体条料上进行连续压延（图1），在冲槽的条料上进行连续压延（图2）。

在整体条料上进行连续压延，用于对塑性材料，厚度比较大和凸缘比较小的小压延件，一般介于以下范围以内：

$$t \geq 0.05d, d_f = (1.1 \sim 1.2)d$$

式中 d_f ——凸缘直径；

d ——成品零件直径。

冲槽后连续压延用于由比较薄的材料压延宽凸缘零件用，适用范围是：

$$t < 0.05d, d_f > 1.2d$$

用整体条料压延，材料比较节约，但只适用于小筒形件的生产。冲槽压延方法材料利用率差些，但更为通用，用来生产筒形件，锥形件，矩形件及复杂形状的零件。

对毛料尺寸的计算，应当用厚度的平均直径和圆角半径。

对冲槽条料计算零件毛料时，方法和单个压延求毛料方法一样，即根据平均厚度，使毛料面积与零件面积相等。图3是宽凸缘零件的连续压延，面积和凸缘直径保持不变的情形。

在整体条料上进行压延时，要考虑材料的变薄。对于单排压延，变薄系数 $\alpha = 0.96 \sim 0.98$ ；对于多排压延， $\alpha = 0.92 \sim 0.95$ 。在第一次压延时，成形的尺寸应比成品零件所需尺寸略为大一点，即使毛料比计算值大出 $8 \sim 10\%$ 。

连续压延的排样方法根据切口及整体条件压延的情况，有以下五种方式。

1. 单向切口（图4）：

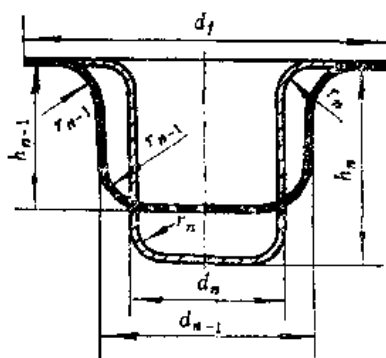


图3

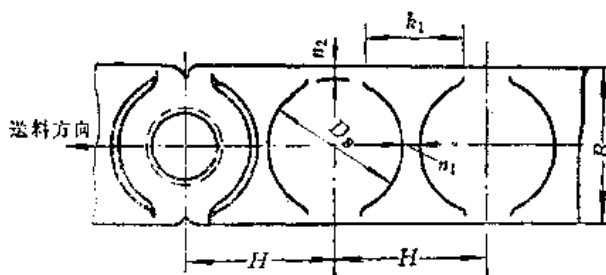


图4

$$B = d_0 + b + 2n_2 = D_B + 2n_2, \text{ mm}$$

$$H = D_B + n_1, \text{ mm}$$

$$k_1 = (0.5 - 0.7)D_B, \text{ mm}$$

2. 左右和上下双向切口（图5）：

$$D_B = d_0 + b$$

$$B = D_B + 4n_2$$

3. 冲槽压延 (图 6):

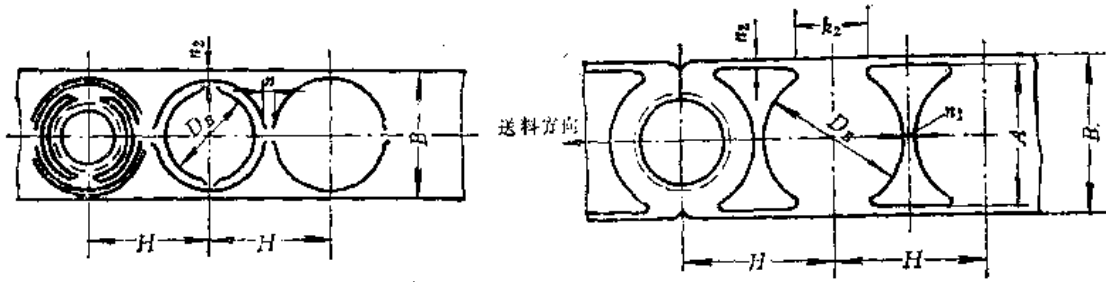


图5

图6

$$B = (1 \sim 1.05)(d_0 + b) + 2n_2 = A + 2n_2, \text{ mm}$$

$$H = D_B + n_1, \text{ mm}$$

$$K_2 = (0.25 \sim 0.35)D_B, \text{ mm}$$

4. 在侧边切口, 中间冲槽 (图 7):

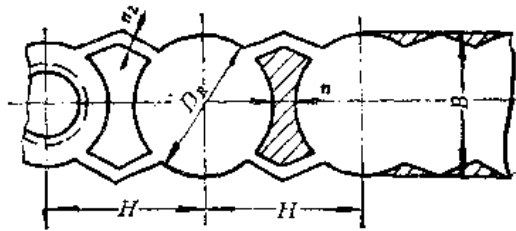


图7

$$B = D_B = d_0 + b, \text{ mm}$$

5. 在整体条料上进行单排压延 (图1):

$$B = d'_0 + 2n_2 = 1.1d_0 + 2n_2, \text{ mm}$$

$$H = 1.1d_0 + n_1, \text{ mm}$$

- 以上各式中
- d_0 ——计算的毛料直径, mm;
 - d'_0 ——考虑变薄及加大的毛料直径, mm;
 - b ——修边留量, mm;
 - D_B ——考虑修边留量的毛料直径, mm。
 - n_1 ——送料方向的搭边宽度, mm;
 - n_2 ——两边的搭边宽度, mm。

修边留量 b 见表 1。

用条料连续压延的搭边数值见表 2。

连续压延由于半成形件本身有定位作用, 故很少用侧刃(又叫定距刀)定位。使用侧刃时, 条料宽度应加上侧刃切去的留量, 其值见表 3。

毛料尺寸和条料宽度确定以后, 就可以确定压延次数与各次压延直径。第一次压延的压延系数见表 4。

表1. b 值⁽⁶⁾

(mm)

毛料计算直径 d_0	条 料 厚 度										
	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0
10以下	1.2	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	—	—	—	—	—
10~30	1.2	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	3.0	—	—	—
30~60	1.2	1.5	1.8	2.0	2.3	2.5	2.8	3.0	3.5	4	5
60以上	—	—	2.0	2.2	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5	6

表2. 连续压延的搭边数值⁽⁶⁾

(mm)

毛料尺寸 D_B	零件间搭边 n	外 侧 搭 边	
		整体条料 n_1	切口或冲槽 n_2
10以下	1.0~1.5	1.0~1.5	1.5~2.0
10~30	1.5~2.0	1.5~2.0	2.0~2.5
30以上	2.0~2.5	2.0~2.5	2.5~3.0

表3. 侧刃切去宽度⁽⁶⁾

(mm)

材 料 厚 度	侧刃切去宽度
0.5以下	0.6~1.0
0.5~1.5	1.0~1.5
1.5~2.5	1.5~2.0
2.5~3.5	2.0~2.5

表4. 第一次压延系数⁽⁶⁾

d_f/d_1	相对厚度 l/d_0 (%)		
	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5
1.1以下	0.50	0.53	0.55
1.5	0.56	0.58	0.59
2.0	0.62	0.64	0.66
2.5	0.68	0.70	0.73

第一次压延(切口)可得到的深度,可查表5。

第一次压延以后,是一个直径为 d_1 的凸缘件,在以后压延中,该凸缘部分不再参与变形,以后各次的压延系数将是 $m_n = d_n/d_{n-1}$ 。 m_n 值见表6。

在整体条料上压延时,在条料边上容易起皱,其压延系数应取比切口压延略为大—

表5. 切口压延(图5)第一次可得到的相对深度 h/d_1 (%)

d_f/d_1	相对厚度 t/D_0 (%)		
	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5
1.1	0.75	0.65	0.56
1.5	0.58	0.50	0.45
2.0	0.42	0.36	0.32
2.5	0.28	0.25	0.22

表6. 切口压延的后续压延系数 (%)

m_n	毛料相对厚度 t/d_0 (%)		
	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5
m_2	0.73	0.75	0.76
m_3	0.75	0.78	0.79
m_4	0.78	0.80	0.82
m_5	0.80	0.82	0.84

些的数值。对于10号钢，用整体条料连续压延的压延系数可采用表7的数值。

表7. 在10号钢整体条料上压延的各次压延的压延系数 (%)

m_n	毛料相对厚度 t/D_0 (%)		
	2.0以上	2.0~1.0	1.0~0.5
m_2	0.80	0.82	0.85
m_3	0.82	0.84	0.87
m_4	0.85	0.87	0.90
m_5	0.87	0.89	0.92

在连续压延中，要逐渐减小圆角半径，使变形更均匀化。并根据面积不变条件，仔细计算各次压延深度。各次模具圆角半径可采用表8的数值。

表8. 连续压延各次凸、凹模圆角半径 r_n 的数值 (%)

工 序	毛料相对厚度 t/D_0 (%)		
	2.0以上	2.0~1.0	1.0~0.5
第一次压延	$(3\sim4)t$	$(4\sim5)t$	$(5\sim6)t$
后续压延	$(0.6\sim0.7)r_{n-1}$	$(0.65\sim0.7)r_{n-1}$	$(0.7\sim0.8)r_{n-1}$

对于小压延件，自第二次起，凹模圆角半径可保持不变，最后进行校形，可使圆角半径减小到只有校形前的50~20%。

对于中等尺寸的零件，凸模圆角半径可保持不变，而对于小零件，可采用比凹模圆

角半径大一些的数值。

在第一次压延时，开始就应当有压边；在以后各次压延中，只是在行程终了时才需要压边，以便将凸缘压平整。

2.4.13 宽凸缘压延

这里只对三种情况，作出以下的定义：

1. 用一般对杯形件进行压延的模具，如宽凸缘压延的定义见2.4.1节。

杯形件宽凸缘压延深度 h 是很小的，根据分析⁽¹⁰⁾可用下式表示：

$$h = \frac{CR_0}{m} \left(1 - \frac{R}{R_0} \right)$$

式中 R_0 ——毛料半径；

R ——在压延中 R_0 向内缩小的半径；

C ——系数，对钢可取 $C=0.5$ ，对铝及润滑不良的钢可取 $C=0.3$ 。

m 值接近临界值（即实用上最小的压延系数） m_c 时， $(R/R_0)_c \approx 0.9$ 。

当 m 比 m_c 小得多，即达到局部成形与宽凸缘压延的界限时， $R/R_0=1$ 。在这个界限的 m 值视材料强度性能，即极限强度 σ_b 与屈服强度 σ_s 之比和润滑情况，即摩擦系数 μ 而异，见下表。

局部成形的界限 m 值⁽¹⁰⁾

$\mu \backslash \sigma_b/\sigma_s$	3	2.5	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
0.10	0.353	0.369	0.391	0.405	0.418	0.436	0.460	0.487
0.15	0.370	0.387	0.410	0.422	0.430	0.457	0.475	0.510

当 m 值达到局部成形的界限时， $h=0$ 。但实际零件可看到这时 $h \neq 0$ 。不过这时成形的高度，完全是因材料被拉薄形成的。是局部成形性质。按一般压延成形的标准，即成形前后面积不变的条件。应当是 $h=0$ 。

2.4.14 橡皮与液囊压延

2.4.14.1 橡皮压延

橡皮既可以用作凸模，也可以用作凹模进行压延，而以作为凹模压延的情况居多。用橡皮作凸模，只适宜于用便宜材料如木料和锌合金铸造凹模，进行浅的压延成形。

用橡皮容框和摆在平台上的硬性凸模，不用压边装置进行浅压延（属于 *Guerin process* 成形方法），压延深度不大。深压延多用有压边圈的橡皮凹模压延方法（图1），压边力通过液压装置，是可以控制的。

橡皮压延要求的橡皮性能大致如下：

抗拉强度， kgf/cm^2

50~55

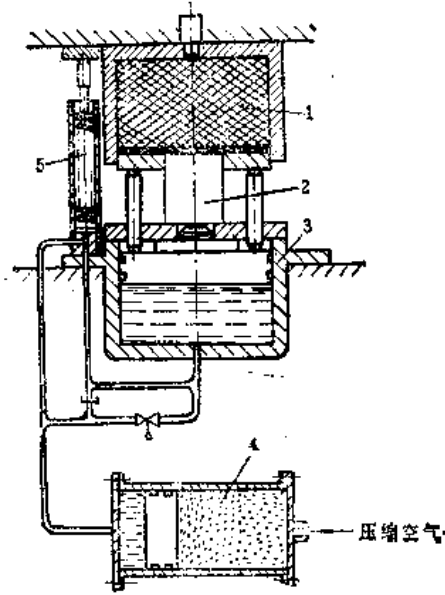


图1

1—橡皮；2—凸模；3—抽缸；4—气缸；
5—控制阀。

延伸率, %	600~700
永久延伸率, %	25~30
在 100kgf/cm ² 下的压缩量, %	50~70
肖氏硬度	70

用一般液压机和橡皮容框进行浅压延, 对铝及铝合金, 单位压力约为 60~85kgf/cm²。

用自动控制压边的橡皮凹模深压延装置, 压力较高, 到压延终了时可达 300~500 kgf/cm²。这种专用压床吨位由一千吨到三千吨不等, 压延件直径由 400~700mm。

橡皮压力视压延系数和材料相对厚度而定。对于铝合金, 可参考表 1。

表1. 铝合金橡皮凹模压延的最大压力^[6] (kgf/cm²)

压延系数 m	板料相对厚度 t/D_0 (%)			
	1.30	1.00	0.66	0.40
0.60	260	280	320	360
0.54	280	300	340	380
0.44	300	320	350	400

注: 1kgf/cm² ≈ 10N/cm²。

压延矩形件, 为了使零件贴模, 使用较高的压力, 对铝可达 500kgf/cm²。

所需压床吨位为:

$$P = qF, \text{ kgf}$$

式中 F ——橡皮面积, mm²;

q ——橡皮压力, kgf/cm^2 。

由于在压延中, 橡皮将板料紧压在凸模端部和圆角部分, 减小了压延件的变薄量, 保护了危险断面, 因而可得到比硬模具更小的压延系数。

表 2 所列数据是几种材料的极限压延系数和可得到的最大深度。压力为 400kgf/cm^2 , 凸模圆角半径为 $r_s = 4t$ 。

表 2. 橡皮压延筒形件极限压延系数⁽⁶⁾

材 料	极限压延系数 m	最大压延深度 h	最小厚度 t/D_0 (%)	凸缘最小圆角半径
L2, LF21	0.45	$1.0d$	1%, 不小于 0.4	$1.5t$
LF2, LY12, LD10	0.50	$0.75d$	同上	$(2\sim 3)t$
08号钢	0.50	$0.75d$	0.5%, 不小于 0.2	$4t$
1Cr18Ni9T	0.65	$0.33d$	同上	$8t$

符号: D_0 ——毛料直径; d ——压延件直径。

表 3 所列的, 是用橡皮凹模压延筒形件时, 凸模许可的最小圆角半径。

表 3. 橡皮凹模压延筒形件的凸模最小圆角半径, 压力 400kgf/cm^2 ⁽⁶⁾

压延系数 m	压延深度 h	凸模最小圆角半径			
		L2, LF2, LF21	LY12, LD10	08号钢	1Cr18Ni9T
0.70	$0.25d$	$1t$	$2t$	$0.5t$	$2t$
0.60	$0.50d$	$2t$	$3t$	$1.0t$	—
0.50	$0.75d$	$3t$	$4t$	$2.0t$	—
0.45	$1.00d$	$4t$	—	—	—

注: $1\text{kgf/cm}^2 \approx 10\text{N/cm}^2$ 。

用这种方法可以压延锥形件, 其小端与大端直径 d_1 和 d_2 的比值应为:

$$d_1/d_2 \geq 1/(1+0.2t)$$

对于铝:

$$d_1/d_2 \geq 1/(1+0.12t)$$

用 400kgf/cm^2 的压力压延矩形件时, 设宽度为 B , 拐角半径 r 与矩形件高度 h 的关系如下⁽⁶⁾:

高度 h , mm	拐角半径 r
≤ 100	$0.25B$
110~125	$0.20B$
135~150	$0.17B$

矩形件和方形件可压延的最大深度对于钢为 $h=3r$, 对于铝 $h \approx 3.5r$ 。

近来广泛采用聚胺酯橡胶代替橡皮, 弹性大, 耐磨性好, 硬度高达肖氏 98。图 2 和图 3 是用其作凸模压延高度不大的杯形件的过程。也可以用其当凹模进行压延。

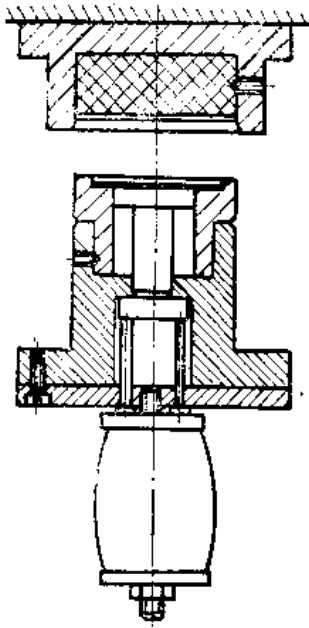


图2

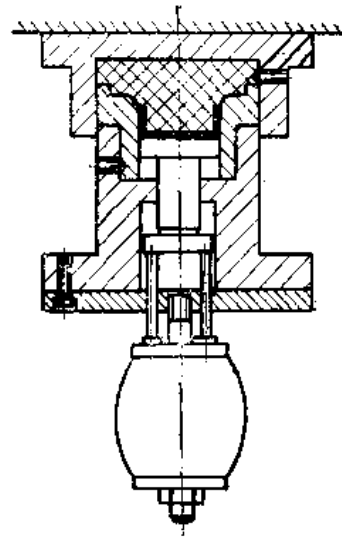


图3

表4 是用聚胺酯橡胶凹模进行压延的工艺参数。

表4. 用聚胺酯压延的工艺参数^[12]

材 料	最大深度 h/d	极限压延系数 m_s	毛料厚度(mm)	凸缘最小半径(mm)
LF21	1.00	0.45	4.0	2
LY12M	0.75	0.50	1.0	3
08号钢	0.70	0.50	0.5	4
1Cr18Ni9T	0.53	0.65	0.5	8

用聚胺酯压延时，板料接触金属的一面可以涂润滑剂，而接触聚胺酯的一面要保持干燥和干净。

2.4.14.2 液囊压延成形

用橡皮囊内装液体的方法，代替完全由橡皮填充的橡皮容框，是板金成形工艺的一个重大进展。用橡皮囊作为凹模压延时，由于压力分布更为均匀。橡皮囊寿命与板金变形程度，都进一步提高了。简单形状的零件，一次压延可代替硬模压延2~3次，对于复杂形状可代替普通压延4~5次。甚至可成形一些用普通压延方法不能成形的零件，如零件侧壁有起伏花样的零件。零件的厚度变化较小，这对一些零件如钢盔，就可以一次成形出厚度变化满足要求的零件来。

普通硬模压延比较困难的零件，用橡皮或橡皮囊压延，则更为合适。如图所示的零件，是根据普通压延适用性大小排列的，所要求的压边力，也一个比一个大。而对于橡皮与橡皮囊作为凹模压延时，则相反，适用性大小完全颠倒过来了。

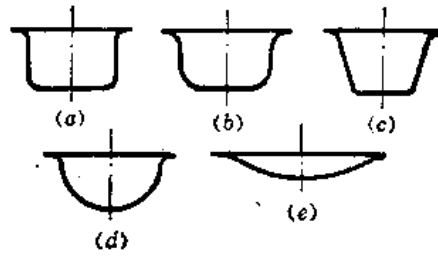


图1

图2 (a)~图2 (d), 是用橡皮囊当作凹模进行压延的过程, 压力在压延过程中可以精密控制。图2(e) 是将橡皮囊当作凸模压延的情形。图2(f) 是将橡皮囊当作橡皮容框那样进行压延的情形。

用液囊作为凸模压延 (图2e), 为了得到所要求底部圆角半径 r , 最后阶段所要求的压力为:

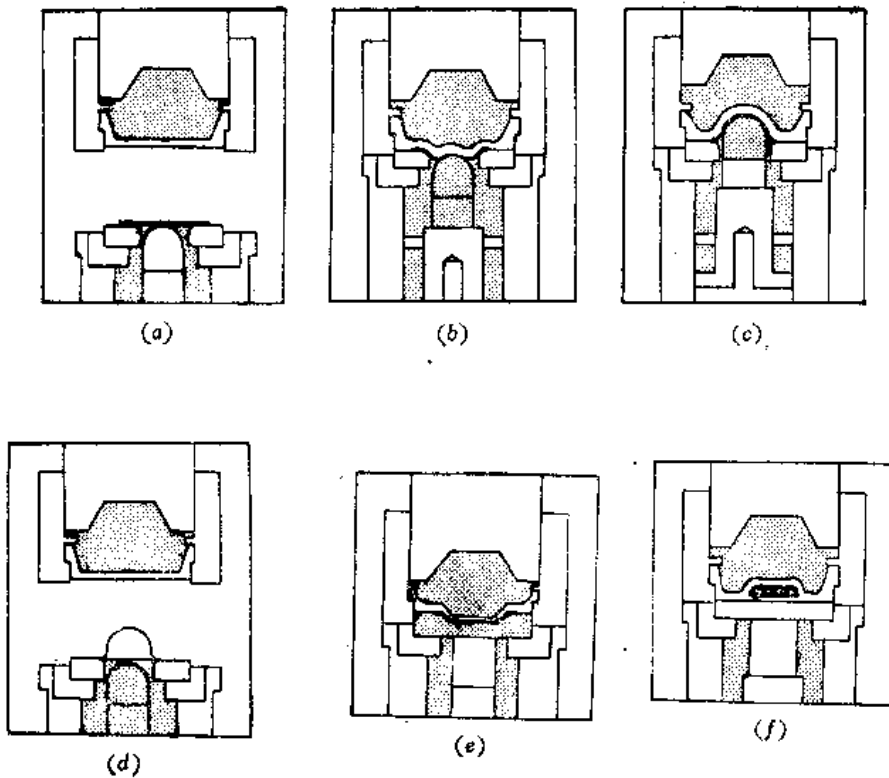


图2

$$q = t\sigma_B / r, \text{ kgf/mm}^2 \quad (1)$$

压延球形件所需要的压力为:

$$q = 3.2t\sigma_B / d_s, \text{ kgf/mm}^2 \quad (2)$$

式中 d_s ——凹模直径;

σ_B ——极限强度。

用橡皮囊作为凸模的压延方法, 由于零件底部变薄量大, 较少采用, 一般用于浅的复杂压延件。

用橡皮囊作为凹模压延时, 其高压除用高压泵和增压器造成高的初压外, 还由于凸

模顶入橡皮囊容框，可形成高达 1000kgf/cm^2 的高压，并可以通过阀门控制压力。所要求的压力，是随压延过程逐步提高的，以逐步减小凸缘圆角半径到零件要求的数值。表中所列数据是用橡皮囊作为凹模的压延系数。

橡皮囊凹模的压延系数⁽⁸⁾

材 料	$m=d/D_0$	
	极限值 m_{z}	常用值
杜拉铝	0.43	0.46
铜	0.42	0.45
铝	0.41	0.44
不锈钢	0.41	0.43
10号钢和20号钢	0.42	0.45

目前国内用这种橡皮囊机床，可对厚10mm以下，直径200~500mm的板料，压延各种形状的板金件。

图3是橡皮囊压延机床的示意图。

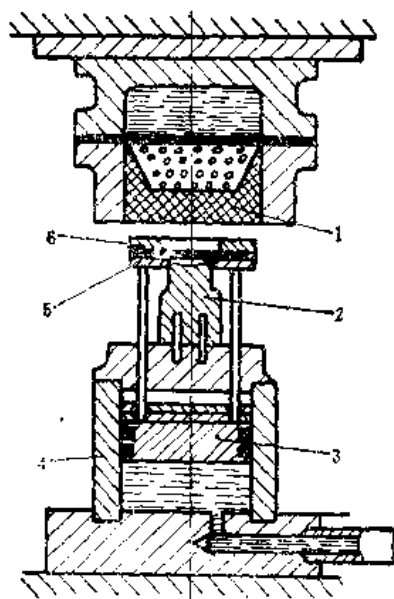


图3

1—橡皮囊；2—凸模；3—活塞；4—油缸；5—压边圈；6—压边圈(可不要)。

图4 (a)~(c) 是所谓液压机械深压延或叫液垫压延装置原理图。这里只利用一张橡皮膜，主要是利用可控制的液压力成形的。在一次成形中，可得到比值 $h/d=1.5\sim 1.6$ 的杯形件。这是在一般工具模的凹模内充以液体，由于在凹模圆角部分的板料在液压作用下离开凹模，消除了摩擦力，压延系数可减小到 $m=0.36\sim 0.37$ 。

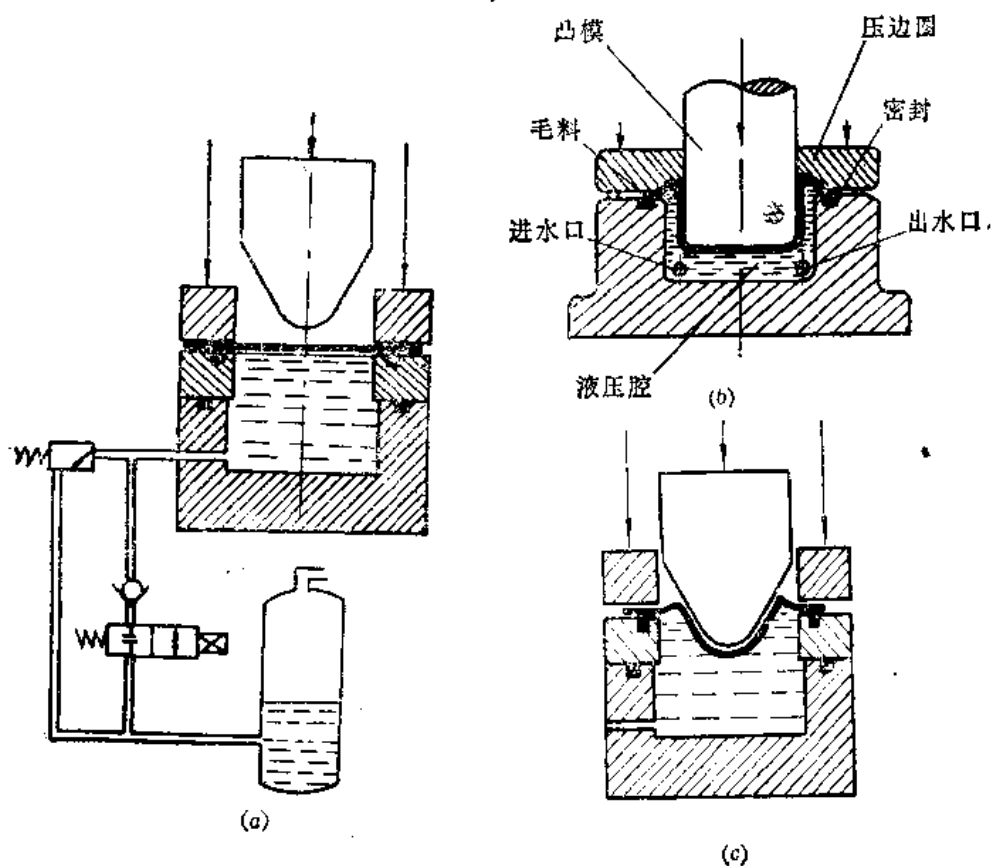


图4

2.4.15 其他压延方法

2.4.15.1 凹模加热和凸模冷却的压延方法

压延时，如对凸缘部分加热，降低其变形抵抗力，对危险断面部分冷却，提高其抗拉强度，很明显会大大提高压延变形程度。这可以通过对凹模和压边圈用加热元件加热，对凸模内孔通冷水的方法来实现，如图1所示。

图2是低碳钢在温度 $-18\sim 52^{\circ}\text{C}$ 范围内，抗拉强度的变化情形^[12]。由此可知，降低凸模温度与提高凹模和压边圈温度的效果，是基本相同的。

在压延中，金属变形及摩擦热，会将材料温度提高到 $66\sim 93^{\circ}\text{C}$ ，仅仅对凸模用自来水冷却就可以使软钢的压延系数 m 减小 $0.03\sim 0.05$ 。而对凸模冷却，是比较容易实现的。如对凹模和压边圈加热，更可以大大地减小 m 值。

还可以使压边圈的压力，和凸模力以脉冲形式对毛料间断地加压，就更可以减小 m 值，其过程如图3所示。不加压边力时，凸缘可以自由起皱，因而有助于凸缘部分材料的内流，同时由于没有摩擦力，又大大减轻了变形阻力。第一阶段压边圈不对凸缘加压，任其起皱，对凸模加压，使其产生压延作用(图3a)。接着凸模放松，压边圈对凸缘加压，将其压平(图3b)。然后压边圈放松，凸模加压(图3c)，又将深度增加一点，如此循环不已。由于每次皱纹高度不大，很容易压平。将这种脉冲加压方法与对凹模和压边圈加热，对凸模冷却的方法结合起来，可使压延系数减小到 0.2 以下。

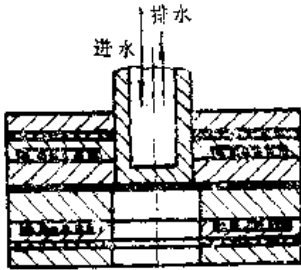


图1

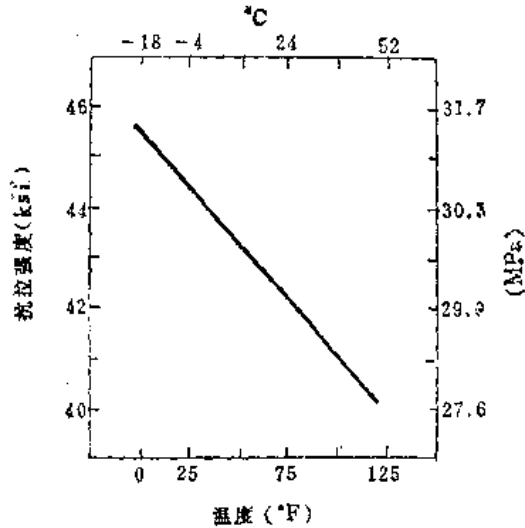


图2

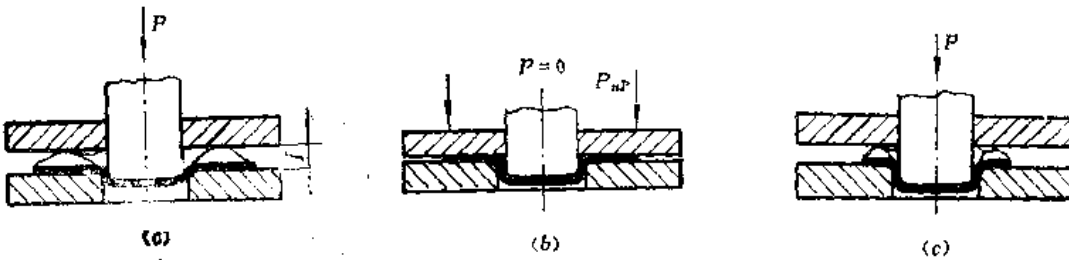


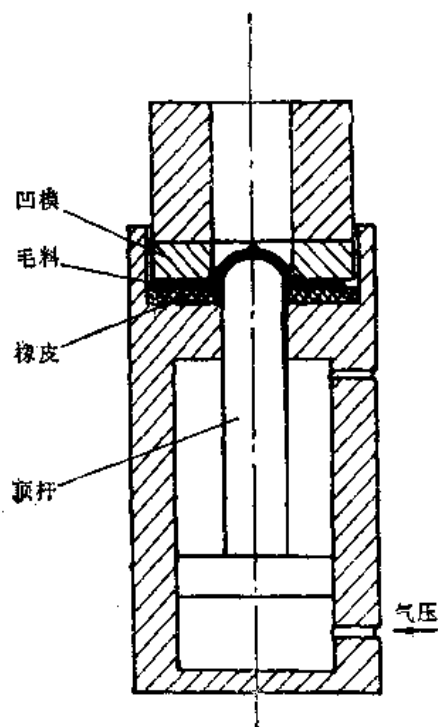
图3

2.4.15.2 无凸模压延

这种压延如图所示。顶杆在气压作用下，略具凸模作用，但其成形，主要是由于在凹模的不断打击下，由橡皮环的摩擦力，将板料压入凹模的。也可以不用顶杆，完全靠橡皮的作用成形。这样板料只存在环向压力，不存在径向拉力，故不存在危险断面，可以成形很深的空心件，其极限只受材料硬化程度的限制。例如对于铝及变形铝合金，可得到小至0.155~0.125的 m 值，即相当普通压延四次的变形程度。 m 值愈小，凹模的打击次数亦愈多。

材料和橡皮垫与模具的接触面，摩擦系数愈小愈好，橡皮与板料之间的摩擦系数越大越好。橡皮与模具接触面可涂以70%松香与30%蓖麻油的混合润滑剂；材料与凹模的接触面可涂以50%松香与50%蓖麻油的混合润滑剂；而在橡皮与板料之间，可涂以松香粉以提高摩擦力。

太软的橡皮不能形成带动板料流动的力量，故应当用较硬的橡皮。为了不使橡皮很快磨损，其单位压力不能超过6~7kgf/mm²。压延厚度小于0.5mm的板料时，表面会产生不大的皱纹，可用常规压延方法最后予以校形，或按图示方法，加一顶杆，使略具凸模作用。



2.4.16 变薄压延

变薄压延又叫挤延，是将空心件壁挤薄，增加空心件深度的成形方法，在弹壳制造中，有广泛的应用。近年来由于筒装饮料业的发展，使该项工艺在民用工业中，也日益受到重视。

挤延一般是在第一道工序中将平板毛料压延成杯形件。接着凸模继续前进通过挤延模将壁部挤薄。可以连续通过几个挤薄凹模将零件制成所要求的壁厚和深度（图1）。第一道压延一般不用压延圈，凹模采用图2的形状。

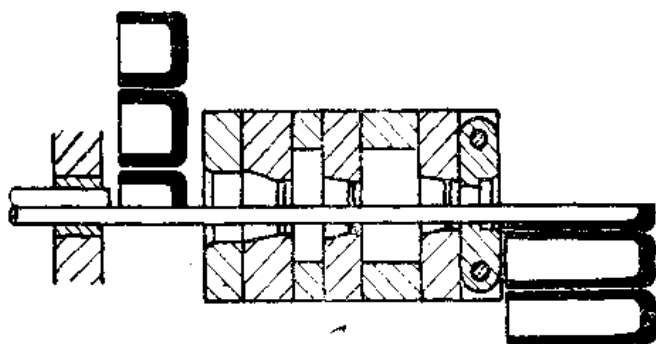


图1

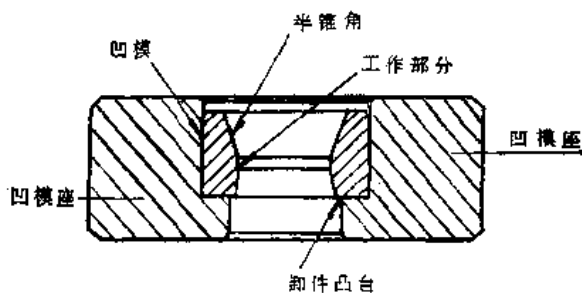


图2

也可以将预先压延好的杯形件，用自动进料装置，依次进入多层挤延模。图 1 是庄杯形半成品，通过三重挤延凹模，制最后形状的。

对毛料及挤薄率，可根据图 3 作如下计算。

设 $\beta = d_0/d$ 为挤薄比，则毛料厚度应为：

$$t_0 = \frac{4dl}{d_0^2 - d^2} = \frac{4lt}{(\beta^2 - 1)d} \quad (1)$$

厚度挤薄率为：

$$\begin{aligned} R &= \left(\frac{\pi d_0 t_0 - \pi d t}{\pi d_0 t_0} \right) \times 100 \\ &= \left(1 - \frac{t}{\beta t_0} \right) \times 100 \end{aligned} \quad (2)$$

或

$$R = \left[1 - \frac{(\beta^2 - 1)d}{4\beta l} \right] \times 100 \quad (3)$$

〔例题〕：设挤薄比为 2.2，零件长度与直径之比为 3:1，求挤薄率。

解：

$$R = \left[1 - \frac{(2.2^2 - 1) \times 1}{4 \times 2.2 \times 3} \right] \times 100 = 85.45\%$$

挤薄前的长度为： $l_0 = lt/t_0$

Siebel 给出了一个计算挤压力的公式为^{〔18〕}

$$P = A_2 \sigma_m \left[\left(1 + \frac{\mu}{2} \right) \ln \frac{A_1}{A_2} + \frac{2}{3} \alpha \right] \quad (4)$$

式中 P ——载荷，N；

A_1 ——进入挤延模以前的剖面积， mm^2 ；

A_2 ——离开挤延模后的剖面积， mm^2 ；

σ_m ——平均塑流应力， N/mm^2 ；

μ ——摩擦系数；

α ——凹模半锥角（图 3）。

如果半锥角为 10° ，摩擦系数设等于 0.06，则上式可写成带有安全系数 1.2 的以下形式：

$$P = 1.2 A_2 \sigma_m \ln \frac{A_1}{A_2}, \text{ N} \quad (5)$$

除非材料韧性特别大，一般钢的挤薄率限制在 10~12% 以内，对退火的铝合金，一次挤薄可得到 40% 的挤薄率。退火的 70/30 黄铜可达 60%。较硬的黄铜和退火的铜为 55%。

多次挤薄可达到更大的挤薄率，在中间退火前的总挤薄率为：

铜，黄铜与铝

$$R = 200 \sim 240\%$$

软钢

$$R = 170 \sim 200\%$$

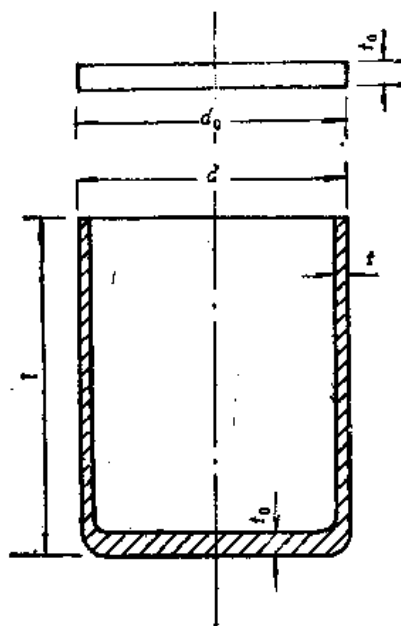


图3

达到以上挤薄率时，即应加退火工序。

一次通过几个挤薄凹模时，各个凹模之间的距离可这样规定：如果壳体壁厚为其直径的4%，两个凹模支承面之间的距离为壳体直径的1.25倍时，可允许下一个凹模的挤薄率为上一个凹模挤薄率的50%，如果间距为直径的2倍时，下一个凹模的挤薄率为上一个的75%。当壳体直径为壁厚的10倍时，间距为直径的1.5倍，下凹模的挤薄率可为上模的50%；间距为直径的3倍时，下模的挤薄率可为上模的75%^{〔2〕}。

参 考 资 料

- 〔1〕梁炳文，“求杯形压延件毛料外径的通式与双曲线图算法”，《锻压技术》，1981，NO. 6. Sheet Metal Ind. Vol. 45, No. 91, 1979.
- 〔2〕ASTE, Die Design Handbook, McGraw-Hill, 1955.
- 〔3〕张石桃、梁炳文，“求不规则压延件展开毛料的电模拟法”，《锻压技术》，1985，NO. 1.
- 〔4〕吕雪山、梁炳文，“求算不规则压延件毛料外形的流体模拟法”，《锻压技术》，1985，NO. 5.
- 〔5〕廖卫献、梁炳文，“求不规则压延件展开毛料的热传导模拟法”，《锻压技术》，1988，NO. 3.
- 〔6〕В. П. Романовский, Справочник по Холодной Штамповке, 1979.
- 〔7〕梁炳文、胡世光，《板料塑性成形理论》，机械工业出版社，1988年。
- 〔8〕最新プレス加工データブック，プレス技術，第10卷，第11号，1972.
- 〔9〕祖巴卓夫著，梁炳文译，《冷压技术》，龙门联合书局，1953年。
- 〔10〕梁炳文，“给定压延系数 m 时零件尺寸之间的关系”，《锻压技术》，1987，NO. 2.
- 〔11〕梁炳文，“板金压窝工艺的分析与试验研究”，《锻压技术》，1983，NO. 5, NO. 8.
- 〔12〕Sheet Metal Industries, June, 1979.
- 〔13〕Sheet Metal Industries, Feb, 1980.
- 〔14〕梁炳文，“求压延系数的图表法”，《锻压技术》，1986，№5.
- 〔15〕梁炳文，“压延系数给定后的杯形件几何关系”，《锻压技术》，1987，NO. 1.

2.5 翻 边

2.5.1 定义与范围

翻边是将孔或部分孔型的边翻出凸缘的成形工序。由于是通过材料的拉伸成形，故其成形主要受材料延伸率大小的限制。

在管壁上开孔后翻边，可用以连接支管，在板件上开孔后翻边是为了加强或连接用。在板件外缘的凹部弯边时，相当于部分孔型的翻边，其变形性质与孔的翻边相同。故也属于本章范围。

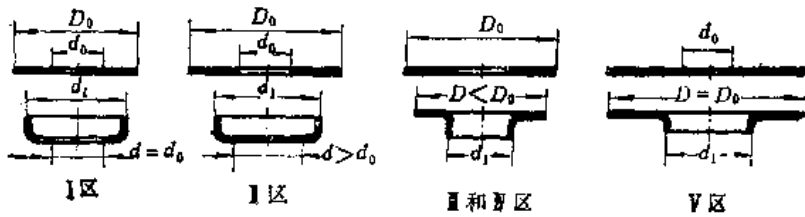
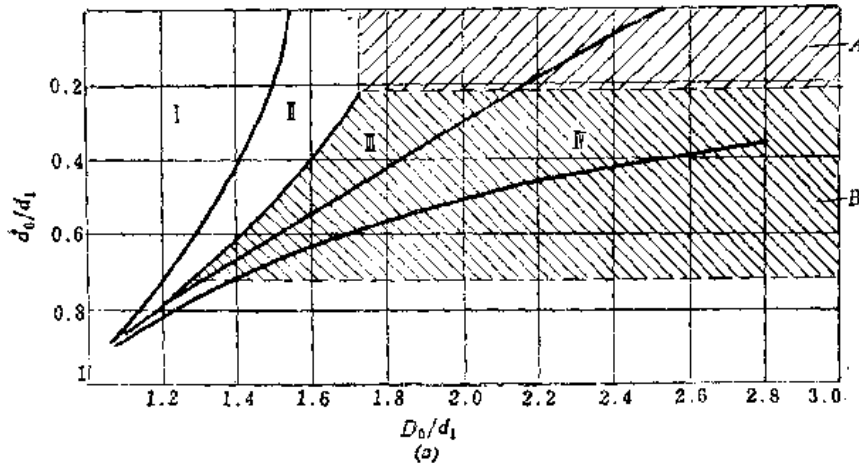
至于板件外凸部分的弯边，其变形性质与压延相同，见2.3和3.8章。

翻边有普通翻边与挤薄（变薄）翻边两种形式，后者是减小凸、凹模之间的间隙，翻边时对凸缘部分形成挤压作用，用来提高翻边件的竖边高度，多用于电气零件。

2.5.2 圆孔的翻边

圆孔的翻边乃是在预先打好孔的毛料上（有时也可不预先打孔），依靠材料的拉伸变形沿一定的曲线翻成竖边的冲压方法。

在预制冲孔的毛料上进行翻边，如图所示，用 $\frac{D_0}{d_1}$ 和 $\frac{d_0}{d_1}$ 相对值的不同组合来区分各种工艺情况^①。图（a）表示不同工艺情况所处的区域，图（b）为在不同的图区中，



(b)

环状毛料的翻边情况。图示的试验条件：材料为软钢；厚向异性指数 $r=1$ ； $d_1=100t$ ；模具圆角半径 $r_s=r_c=5t$ (r_s 为凹模圆角半径， r_c 为凸模圆角半径， t 为材料厚度)。

区域 I 为预制孔在翻边中没有变化，仅外缘翻边。区域 II 为预制孔在外缘翻边中直径增大 ($d>d_0$)。III 和 IV 区域为预制孔完全翻边的情况，此种情况，外缘直径减小。区域 V 为内孔翻边，毛料的外径不发生变化 ($D=D_0$)。

图表上方的 A 区为工艺过程不允许的区域，这个区域的成形会在竖边的边沿产生裂纹，有时裂纹会延伸到竖边的根部。

2.5.2.1 圆孔翻边的工艺性

1. 翻边工件边缘与平面间的圆角半径为：

厚度在 2mm 以下的材料 $r=(2\sim4)t$ ；

材料厚度在 2mm 以上的 $r=(1\sim2)t$ ；

螺纹的翻底孔 $r=(0.5\sim1.0)t$ ，但不小于 0.2mm。

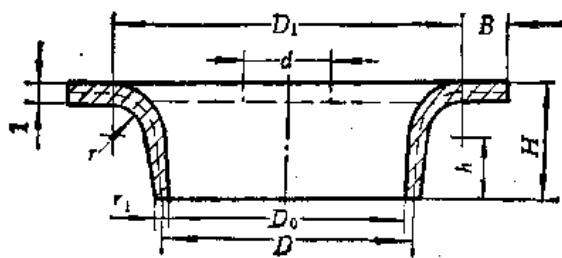
2. 最小翻边高度 H 为：

$$H \geq 1.5r$$

3. 翻边时凸缘的最小宽度 B 为：

$$B \geq H$$

式中 H ， B 见图。



4. 翻边的相对厚度：

当 $\frac{d}{t} > 1.7\sim 2$ 时，翻边有良好的圆筒壁；

当 $\frac{d}{t} < 1.7\sim 2$ 时，翻边时口部容易发生破裂。

5. 翻边孔的粗糙度将直接影响工件的质量，如果孔边有毛刺，则将会导致翻边口部的破裂。在一般情况下，毛刺应在翻边方向相反的一面。

2.5.2.2 孔的翻边系数

在圆孔的翻边中，毛料预制孔与翻边竖边的直径之比称为翻边系数 k ：

$$k = \frac{d}{D} \quad (1)$$

式中 d ——预制孔直径；

D ——翻边竖边直径（按中心层计算）。

用延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 可以近似地计算出翻边材料的翻边系数。

$$\delta = \frac{D-d}{d} = \frac{1-k}{k} \quad (2)$$

$$k = \frac{1}{1+\delta} = 1-\psi \quad (3)$$

翻边后边缘的最小厚度 t_1 为:

$$t_1 = t_0 \sqrt{k} \quad (4)$$

表1和表2为各种材料的翻边系数,其值与凸模的形状和孔边的质量有关,用切削加工的预制孔,可选用较小的 k 值;冲制的孔,选用较大的 k 值。

表1. 各种材料的第一次翻边系数

材 料	翻 边 系 数	
	k	k_{min}
白铁皮	0.70	0.65
软钢 $t=0.25\sim 2.0\text{mm}$	0.72	0.68
软钢 $t=2.0\sim 4.0\text{mm}$	0.78	0.75
黄铜H82 $t=0.5\sim 4\text{mm}$	0.68	0.62
铝 $t=0.5\sim 5.0\text{mm}$	0.70	0.64
硬铝合金	0.80	0.80
钛TA1 (冷态)	0.64~0.68	0.55
TA1 (加热300~400°C)	0.40~0.50	0.45
TA5 (冷态)	0.85~0.90	0.75
TA5 (加热500~600°C)	0.70~0.65	0.55

在竖边上允许有小裂纹时可用 k_{min} 值。翻边时预制孔有毛刺的一侧向着凸模。用冲模冲制的预制孔进行退火或者用切削加工的预制翻边底孔,用表中的翻边系数 k 值。如需多次翻边才能达到零件的尺寸要求时,则在每道工序间要进行退火处理(但不能引起晶粒粗化),除第一次翻边外的各次翻边系数应比表中的值大15~20%。

表2. 低碳钢的极限翻边系数

翻边凸 模形状	孔的加 工方法	材 料 相 对 厚 度 d/t										
		100	50	35	20	15	10	8	0.5	5	3	1
球 形	钻孔去毛刺	0.70	0.60	0.52	0.45	0.40	0.38	0.33	0.31	0.50	0.25	0.20
凸 模	冲孔模冲孔	0.75	0.65	0.57	0.52	0.48	0.45	0.44	0.43	0.42	0.42	—
圆 柱 形	钻孔去毛刺	0.80	0.70	0.60	0.50	0.45	0.42	0.40	0.37	0.35	0.30	0.25
凸 模	冲孔模冲孔	0.85	0.75	0.65	0.60	0.55	0.52	0.50	0.50	0.48	0.47	—

2.5.2.3 翻边底孔尺寸的确定

平板毛料上的圆孔翻边的几何尺寸,由毛料与工件在变形前后体积不变的关系确定。一般翻边的高度 H 在零件图上是已知的,在这种情况下,待翻边的孔径可以用简单弯曲的近似方法计算。

预制孔直径 d

$$d = D - 2(H - 0.43r - 0.72f) \quad (1)$$

翻边高度 H

$$H = \frac{D-d}{2} + 0.43r + 0.72f \quad (2)$$

如果凹模圆角半径很小,也可用下式计算预制孔直径和翻边高度 H 。

$$H = \frac{0.785(D^2 - d^2)}{\pi D} \quad (3)$$

或者查图1、图2及表1^[3]。

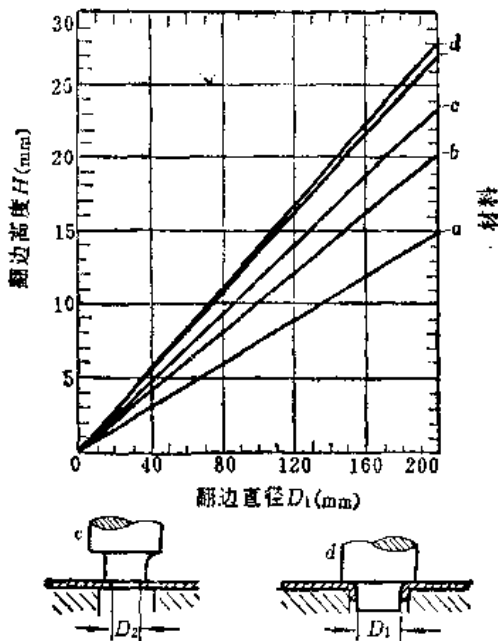


图1

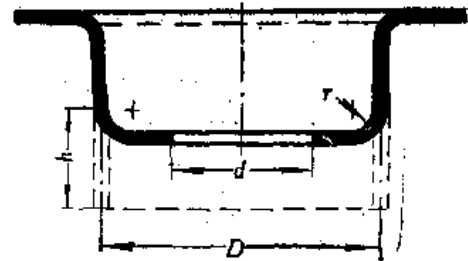


图2

表1. 适用材料

材 料	铝、镀锌 铁皮	深冲压钢板、 黄铜板	铜 锌白铜	软黄铜63	X12、CrNi18-8 黄铜72
延伸率	20%	30%	38%	45%	50%
孔 径	$D/1.2$	$D/1.3$	$D/1.38$	$D/1.45$	$D/1.5$

$$d = \sqrt{\frac{\pi DH}{0.785}} - D^2 \quad (4)$$

如果竖边较高，不能一次翻成，例如小孔翻边，应采用挤薄翻边的方法；对于大孔的翻边，则用压延、冲底孔再翻边的方法（见图2）。

预制压延-翻边的尺寸 H 和 d 的计算如下：

$$H = \frac{D-d}{2} + 0.57r$$

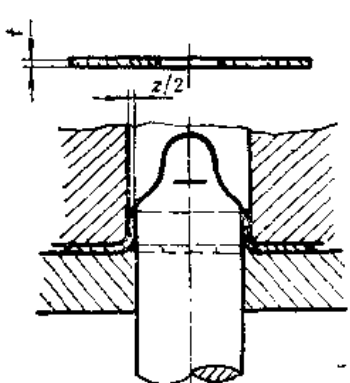
$$d = D + 1.14r - 2h$$

2.5.2.4 翻边凸、凹模之间的间隙

在翻边过程中，材料沿周向伸长，其厚度沿翻边的高度方向逐渐变薄，变薄量的计算按2.5.2.2节中式(2)。

翻边模凸、凹模之间的间隙 z 应小于原始材料厚度 t_0 。用平板毛料翻边时，模具工作部分的间隙值见表1；压延件作翻边毛料时，翻边模具之间的间隙见表2。

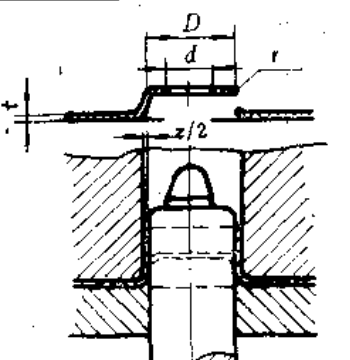
表1. 平板毛料翻边时凸凹模间的间隙面 (mm)



材料厚度 t_0	单面间隙 z
0.30	0.25
0.50	0.45
0.70	0.60
0.80	0.70
1.00	0.85
1.20	1.00
1.50	1.30
2.00	1.70

注：小孔翻边的单面间隙采用 $z/2=0.65t_0$ 。

表2. 以压延件为毛料翻边时凸、凹模间的间隙 (mm)



材料厚度 t_0	单面间隙 z
0.80	0.60
1.00	0.75
1.20	0.90
1.50	1.10
2.00	1.50

2.5.2.5 翻边力的计算

圆柱形凸模翻边力可按下式计算^[3]：

$$p = 1.1\pi t_0 \sigma_s (D-d)$$

式中 p ——翻边力，N；

t_0 ——材料厚度, mm;
 σ_s ——材料的屈服极限, N/mm^2 ;
 D ——翻边孔直径, mm;
 d ——预制孔直径, mm。

凸模的形状和凸凹模间的间隙, 对翻边力的大小有很大影响。用球形或锥形凸模翻边时, 翻边力要小于柱形凸模的翻边力。图1为不同凸模形状的翻边力。

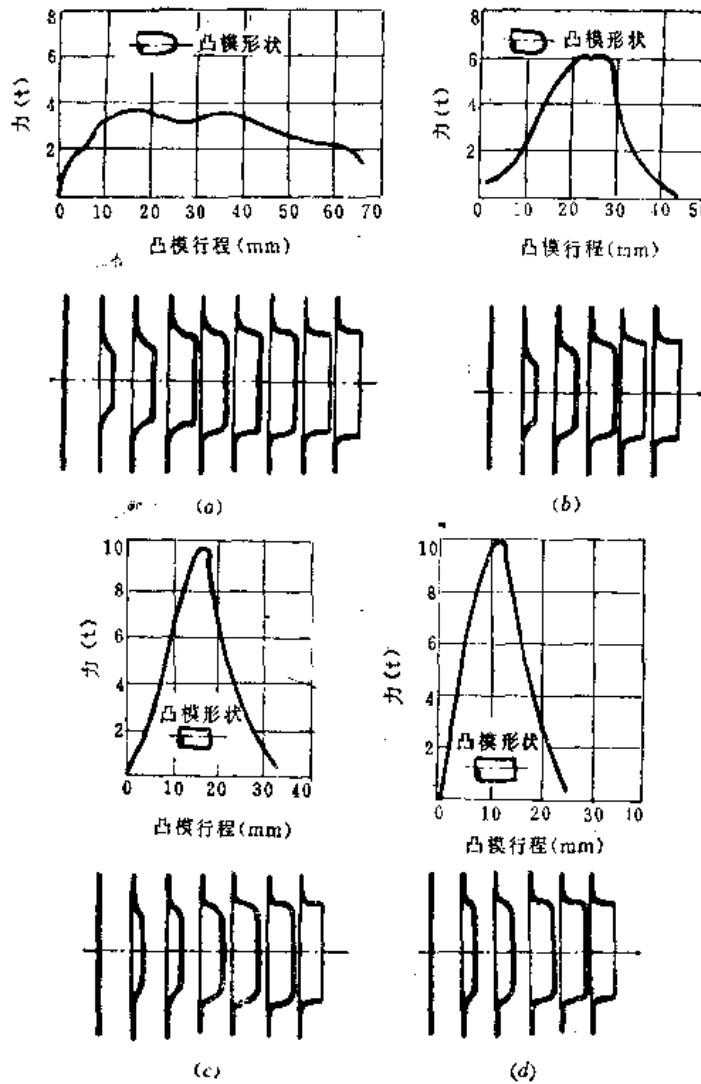


图1

(a) 抛物线形状凸模; (b) 球形凸模; (c) 大圆角的圆柱凸模; (d) 小圆角圆柱凸模。

图2是厚度为2.0mm的低碳钢, 使用各种形状的凸模所得翻边力的数值。用抛物线形凸模(图1(a))翻边得到最好的效果, 圆柱形凸模(图1(d))的效果最差。同时由实验点可以看出, 用大间隙($z=10t_0$)的翻边力比用小间隙($z=t_0$)的翻边力要低得多。试验的凸模直径为63mm, 翻边系数 $k_0=0.5$ 。

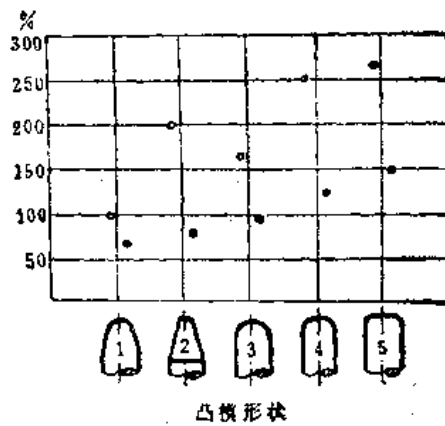


图2

2.5.2.6 翻边模

翻边模的结构与一般的压延模相似（见图1），所不同的是翻边凸模可采用各种不同的外形（见图2）。当翻边系数接近极限翻边系数 k_{min} 时，应采用抛物线形或锥形凸模。当翻边系数大时，可用圆柱形凸模，但凸模圆角半径值 $r_s \geq 4t_0$ 。

当压延-冲孔-翻边复合时（图3），即压延凸模又作翻边凸模时，其凸模圆角半径 r_s ，应尽可能采用最大数值，即

$$r_s = \frac{D-d-t_0}{2}$$

式中 D ——翻边孔直径，mm；
 d ——底孔（冲孔）直径，mm；
 t_0 ——材料厚度，mm。

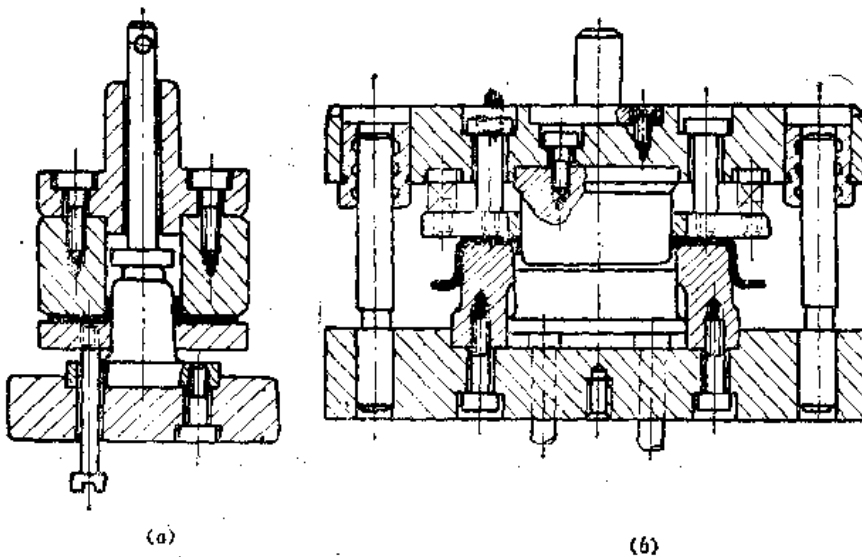


图1

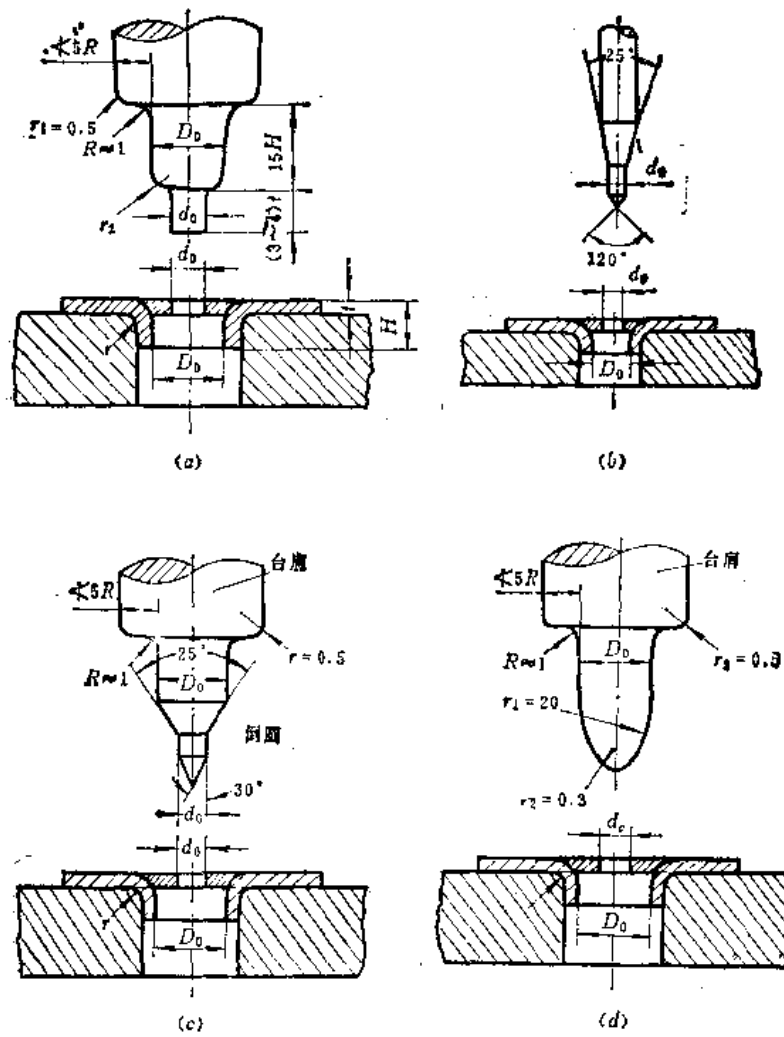


图2

- (a) 用于同时冲孔及翻制螺纹孔 (M5以下) 或光滑孔 ($D_0=4\text{mm}$ 以下) 的翻边;
 (b) 当要求有定位销时, 用于直径 $D_0=10\text{mm}$ 以上的翻边;
 (c) 当要求有定位销时, 用于直径 $D_0=10\text{mm}$ 以下的翻边;
 (d) 当不要求定位销时采用 (零件处于固定位置上)。

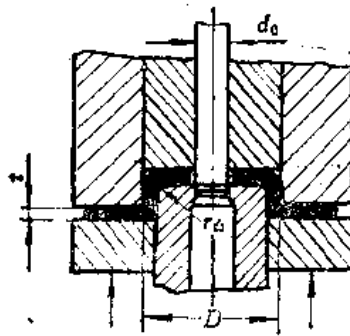
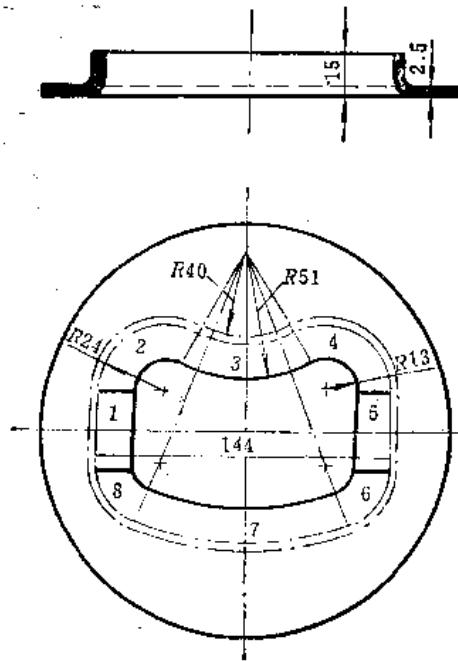


图3

2.5.3 非圆形孔的翻边

非圆形孔的翻边一般指非轴对称孔的翻边，多用于减轻重量和增加结构刚度。一般来说，这种翻边竖边高度不大，约为 $(4\sim6)t_0$ ，同时对精度也没有很高的要求。这种翻边一般有椭圆、矩形、内凹弧、外凸弧和直线部分组成(见图)。非圆形孔翻边的安排如下：



(1) 翻边预制孔的形状和尺寸，可根据开口的形状分段考虑。如图所示，可分为八个区段，2、4、6、7和8段可视为圆孔翻边，1和5段可看作简单弯曲，而内凹弧3近似压延的情况。因此，翻边前预制孔的形状和尺寸应分别按圆孔翻边、弯曲和压延计算。转角处翻边使竖边高度略为减低。为消除误差，转角处翻边的宽度应比直段部分的边宽增大5~10%。由理论计算得出孔的形状应适当加以修正，使各段连接处平滑过渡。

(2) 为了使拐角部分翻边后与直边部分平齐，它们之间有如下关系^[2]：

$$b_0 = (1.05 \sim 1.1)b$$

式中 b_0 ——拐角区毛料的悬空宽度；

b ——直边部分毛料的悬空宽度。

(3) 由于应变分散效应，在计算非圆孔翻边最小圆角部分的变形程度时，允许比相应圆孔的极限翻边系数小一些，一般非圆孔翻边系数 $k' = (0.85 \sim 0.9) k_0$ (k_0 圆孔的允许翻边系数)。

2.5.4 螺纹孔和变薄翻边

变薄翻边常用于薄板零件上加工小螺纹孔 ($\phi < 5\text{mm}$)，螺栓孔以及小轴承孔。为了保证有足够的强度，孔不能太浅。例如在低碳钢板或黄铜板上的螺纹孔，其螺纹长度应不小于直径的二分之一，铝板则不应小于三分之二。如果仅从螺纹强度来考虑，应增加板厚；但从零件使用角度来看，又不需要这样厚。因此，用翻边或变薄翻边是比较合理的。

2.5.4.1 预制孔直径, 翻边孔直径和翻边高度

(1) 翻边孔与板料厚度之比的相对直径与高度有以下关系^[1]:

$$\text{当 } D/t \geq 10 \text{ 时, } H \approx 0.15D;$$

$$D/t \leq 10 \text{ 时, } H \approx 0.3D$$

式中 D ——翻边孔直径;

t ——板料厚度;

H ——翻边后竖边高度。

(2) 翻边孔直径 D , 预制孔直径 d , 翻边后竖边高度 H 以及材料厚度有下列关系^[1]:

$$D = \sqrt{(d+t)^2 - 4(d+t)H}$$

为简化计算, 也可用以下简化公式计算:

$$D = d + t - 2H$$

一般来说 t/D 的值大, 则翻边后的竖边高度也大。在大多数情况下, 翻边后的竖边高度 H 可表示为:

$$H = (D_1 - d)/4$$

式中 D_1 表示凹模洞口的直径。

表 1 为翻边孔内径 D 与预制孔直径 d 之比。

表 1. D 与 d 的关系

材 料	D/d
铝 1××× 等级, 经热处理	2.3
黄铜 63% Cu, 37% Zn, 软	2.3
钢, 深压延级钢板	2.5
热轧钢板	2.4
锌 99.5%, 板料或带料	2.4

变薄翻边的竖边高度也可按下式计算^[1]:

$$H = H_0 + \frac{1}{2} \left(\frac{t_0}{z} - 1 \right) (H - h_s)$$

式中 H_0 ——普通翻边的竖边高度, mm;

z ——凸、凹模筒形部分之间的间隙, mm;

$$h_s = \frac{(z - t_1)}{t_0 - t_1} H_0, \text{ 不变薄部分的高度, mm.}$$

在大批生产中, 一般采用壁部变薄较小的变薄翻边, 厚度变化 (见图) 为:

$$\frac{d_3 - d_1}{2} = 0.65t_0$$

或

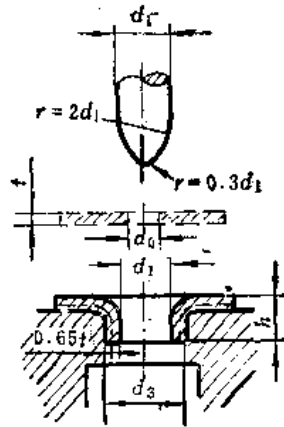
$$t_0 = 1.54t_1$$

毛料孔径为:

$$d_0 = 0.45d_1$$

或

$$k_0 = \frac{d_0}{d_1} = 0.45$$



在一般情况下, $d_3 \leq \frac{d_1 + d_3}{2}$, 或 $d_3 = d_1 + 1.3t_0$, 翻边高度 h (取决于翻边金属的体积) 通常为 $(2 \sim 2.5)t_0$ 。一次变薄翻边可达到的厚度为 $t_1 = (0.4 \sim 0.5)t_0$ 。

表1 为小孔变薄翻边后的壁厚变薄系数 ψ 。

表1. 小孔变薄翻边壁厚变薄系数 ψ

t/D	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65
ψ	0.71	0.63	0.58	0.535	0.50	0.47	0.445	0.425	0.41	0.40

表2 表示5mm以下的小孔翻边数据, 适用于低碳钢、黄铜、紫铜及铝。

表2. 小螺纹孔变薄翻边数据

螺纹直径 d_1	材料厚度 t_0	预制孔直径 d_0	翻边孔内径 d_1	翻边孔外径 d_3	翻边高度 h	相对厚度 t_0/d_1	变薄系数 ψ
M_2	0.8	0.8	1.6	2.3	1.6	0.50	0.45
	1.0			2.4	1.9	0.625	0.41
$M_{2.5}$	0.8	1.0	2.1	2.9	1.8	0.38	0.52
	1.0			3.0	2.0	0.475	0.48
	1.2			3.1	2.3	0.57	0.42

(续)

螺纹直径	材料厚度	预制孔直径	翻边孔内径	翻边孔外径	翻边高度	相对厚度	变薄系数
d_2	t_0	d_0	d_1	d_3	h	t_0/d_1	ψ
M_3	0.8	1.2	2.5	3.4	1.8	0.32	0.56
	1.0			3.5	2.1	0.40	0.50
	1.2			3.6	2.3	0.48	0.46
	1.5			3.7	2.7	0.6	0.41
M_4	1.0	1.5	3.3	4.5	2.2	0.30	0.58
	1.2			4.6	2.5	0.36	0.53
	1.5			4.7	3.0	0.455	0.47
	2.0			4.9	3.6	0.60	0.41
M_5	1.0	2.0	4.2	5.5	2.4	0.24	0.65
	1.2			5.6	2.7	0.285	0.59
	1.5			5.8	3.1	0.38	0.52
	2.0			6.0	3.8	0.745	0.46
	2.5			6.25	4.4	0.60	0.41

2.5.4.2 变薄翻边用模具

变薄翻边的凹模与一般翻边的凹模无多大差别。凸模决定了零件成形的成功与否以及一次翻边获得竖边高度的大小，如图1所示^[5]。凸模外径形状由直环 l 和斜角 α 和 β 组成。直环带 l 起挤压作用，其宽度为1mm。斜角 α 为 $10^\circ \sim 20^\circ$ ，起导向和挤压作用，斜角 β 为 $3^\circ \sim 7^\circ$ 之间。

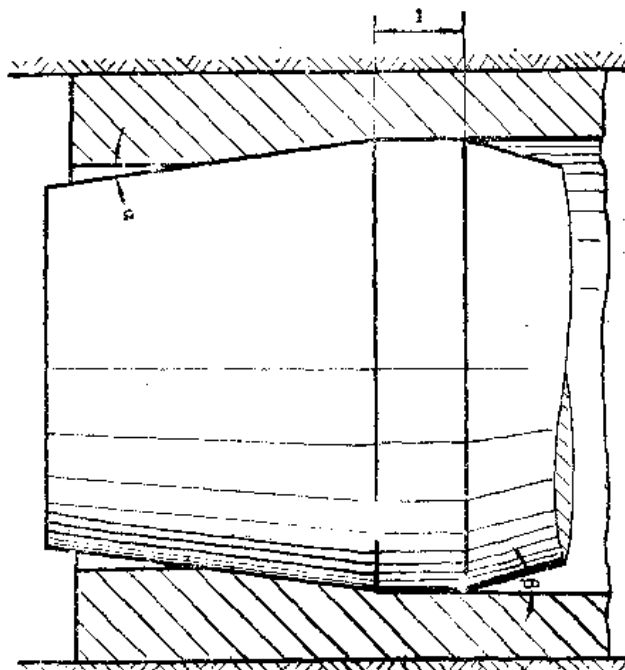


图1

如果变薄量一定，在选择直环带直径时，应满足以下关系：

$$l = \frac{t\sqrt{3}}{\mu} - 2\ln \frac{t_0}{t}$$

式中 t ——变薄后的壁厚；

t_0 ——变薄前的壁厚；

μ ——凸模与材料之间的摩擦系数。

如果摩擦系数 μ 没有确定时，可设其值为1。此时，凸模环 l 与凹模之间的间隙 z 应满足以下关系：

$$z \leq t_0 d_0 / (d_s - t_0)$$

式中 t_0 ——变薄前材料厚度；

d_0 ——翻边前的孔径；

d_s ——挤薄前翻边孔内径。

如果受到一次许可变薄量的限制，可进行多次变薄，每次都应满足以上的关系。这样，凸模可以制成如图2所示的形状，使直环带直径一个比一个大。但也常用图3所示的模具。

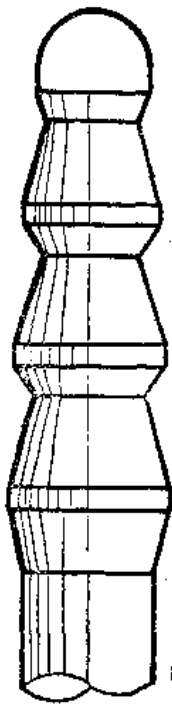
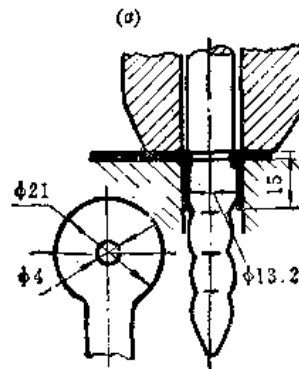
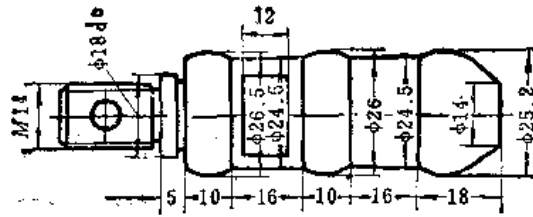


图2



(b)

图3

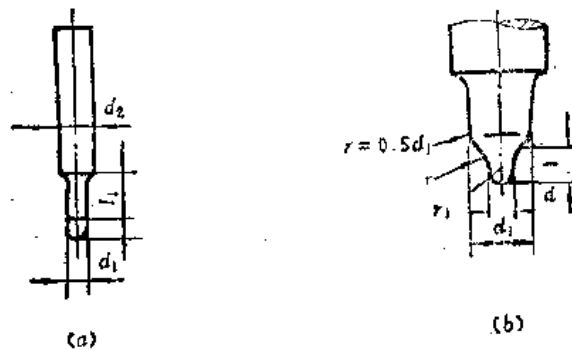
(a) 用于翻边内径为 $\phi 26.5$ 的凸模；

(b) 用于翻边内径为 $\phi 13.2$ 的凸模。

变薄翻边的凸、凹模尺寸也可根据经验数据确定，见表1及表2。

表1. 预制孔的翻边凸模尺寸

(mm)

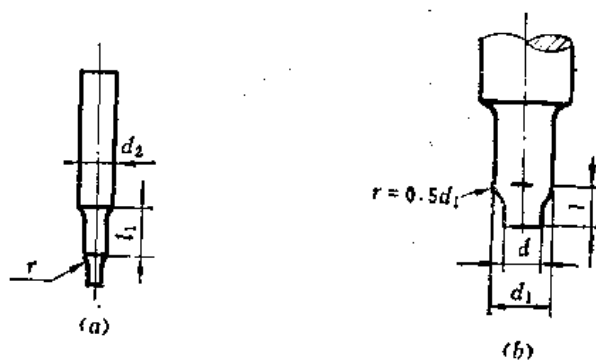


螺纹直径	d	d_1	d_2	l	l_1	r	r_1
M2	0.8	1.6	4	1.5	4.5	1	0.4
M2.5	1.0	2.1		2	5.5		0.5
M3	1.2	2.6	5	2.5	6.0	1.5	0.7
M4	1.6	3.3		3.5	6.5		0.9

当翻边孔 $d_1 < 6\text{mm}$ 时, $l = 8\text{mm}$; 当 $8 < d_1 < 12\text{mm}$ 时, $l = 10\text{mm}$ 。

表2. 不预先冲孔的翻边凸模尺寸

(mm)



螺纹直径	d	d_1	d_2	l	l_1	r
M2	0.8	1.6	4	1.5	4.5	1
M2.5	1.0	2.1		2.0	5.5	
M3	1.2	2.6	5	2.5	6.0	1.5
M4	1.6	3.3		3.5	6.5	

图4所示是各种不同形状的翻边凸模。

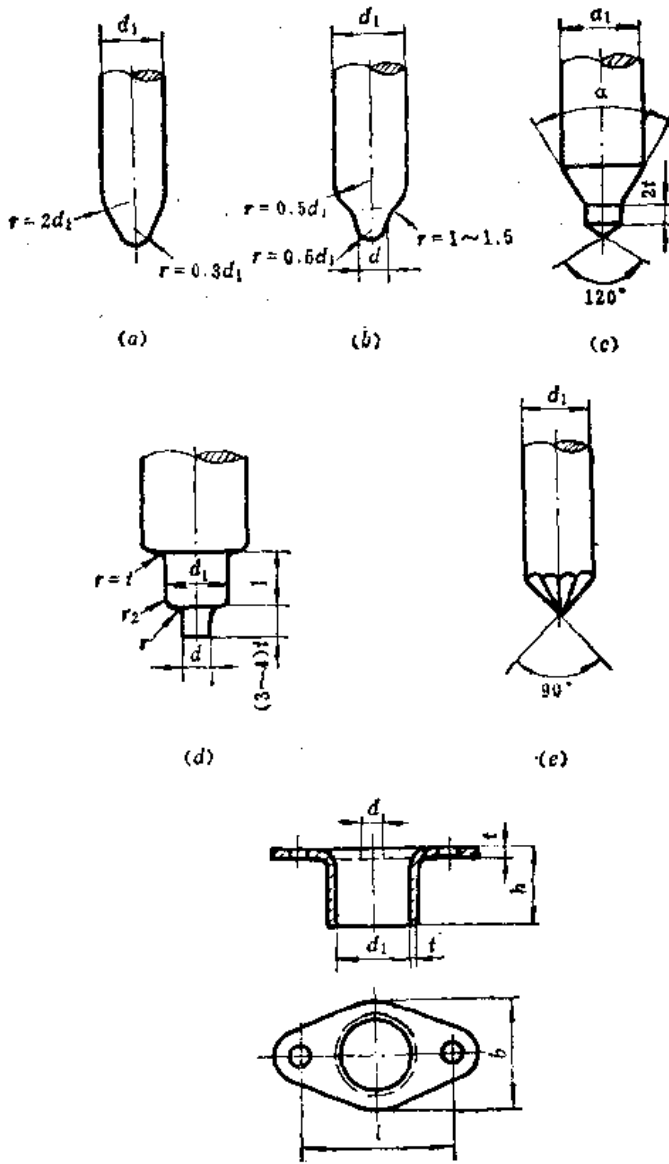


图4

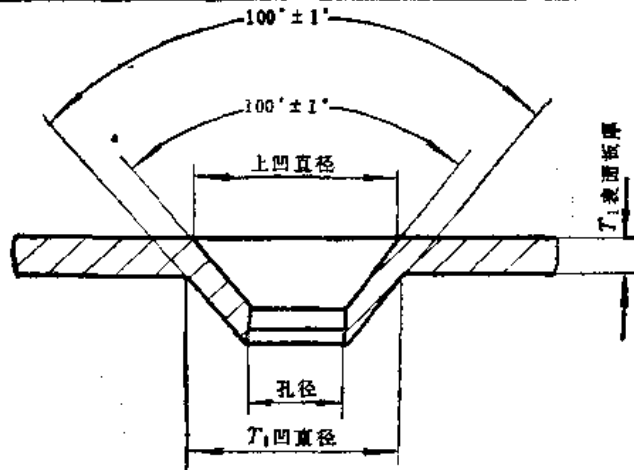
2.5.5 埋头窝和减重孔

2.5.5.1 埋头窝

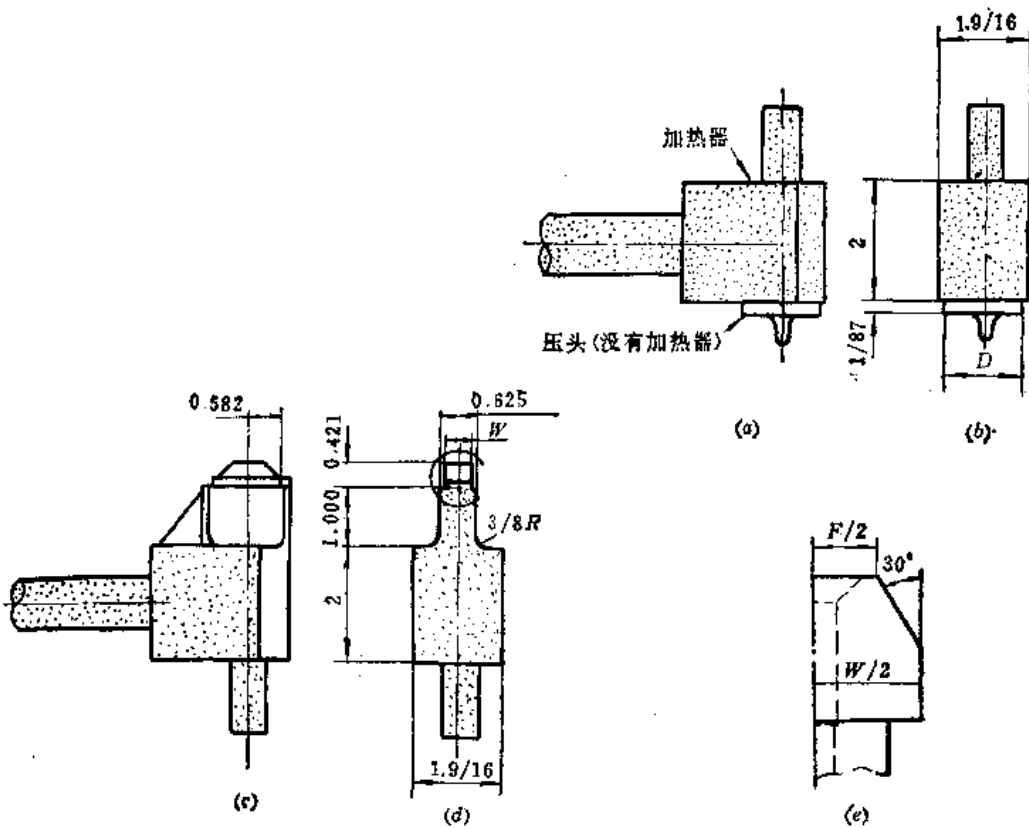
在一些外蒙皮（如飞行器、汽车等）需要光滑流线，则当采用埋头螺钉或铆钉连接时，如果外蒙皮的料厚大于钉头的高度，则可采用划窝方法加工埋头窝。如果外蒙皮厚度小于钉头的高度，此时多采用压窝的方法制作埋头窝。埋头窝的深度应等于或略大于钉头的高度。压制埋头窝的尺寸如表1所示。

一般来说，可以在冲床或压铆机上冲制埋头窝，而且可以将外蒙皮与内蒙皮夹在一起组合冲制。当在镁合金或钛合金板料上冲制埋头窝时，就必须用如图所示的加热工具来冲制埋头窝。

表1. 埋头窝的尺寸



螺钉尺寸	材料厚度(t)	埋头窝口部尺寸	
		上口直径 +0.02 +0.04	下口直径 +0.004 -0.002
8	0.063	0.332	0.345
10	0.071	0.385	0.398
1/4	0.080	0.506	0.525
5/16	0.090	0.632	0.651
3/8	0.100	0.760	0.779



2.5.5.2 减重孔

为了减轻薄板零件的重量及增加其刚度，常采用如图1和2所示的减重孔。

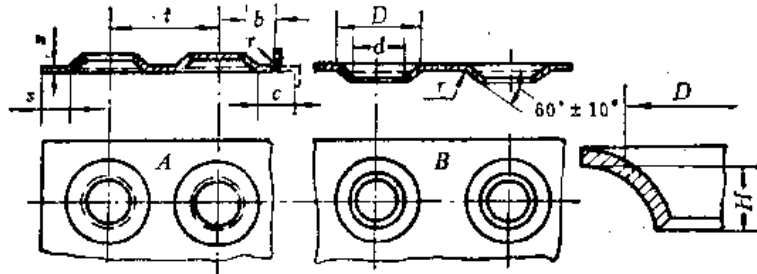


图1

图1所示的圆形减重孔的各尺寸参见表1。

表1. 铝合金与20钢板的圆形翻边与孔的尺寸 (mm)

$D-1.0$	d	t_0								i	t_0								i								
		0.5		0.6		0.8		1.0			1.2		1.5		1.8		2.0										
		r	H	r	H	r	H	r	H		r	H	r	H	r	H	r	H									
25	20	2.5			3	4			5										40								
30	25	2																		45							
35	30	1.7	4		4			4		4									50								
40	35	3		3				3		3									55								
45	40																		60								
53	45																		70								
58	50		5.5		5.5			5.5		5.5									75	7		7		7		75	
63	55																		80							80	
																			85							90	
																			95							95	
70	60																		100							100	
75	65																		105							105	
80	70					4	7	4	7										110							110	
90	80																		115	8		8		8		115	
100	90																		120							120	
115	100																		125							125	
125	110																		130							130	
135	120																		135							135	
155	140																		140							140	
175	160																		145	10.5		10.5		10.5		145	
195	180																		150							150	
215	200																		155							155	
																			160	6		6		6		160	
																			165							165	
																			170							170	
																			175							175	
																			180							180	
																			185							185	
																			190							190	
																			195							195	
																			200							200	
																			205							205	
																			210							210	
																			215							215	
																			220							220	
																			225							225	
																			230							230	
																			235							235	
																			240							240	
																			245							245	
																			250							250	

图2为橡皮压制60°翻边孔，其尺寸见表2；橡皮压制打孔翻边尺寸见表3。

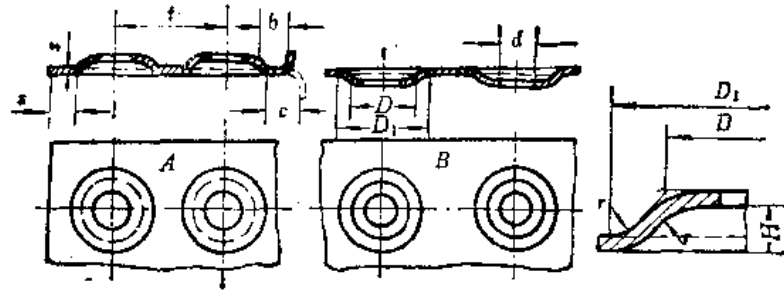


图2

表2. 铝镁合金板材橡皮压制60°翻边与孔的尺寸 (mm)

d(A ₀)	D	H	t _{min}	b _{min}	c _{min}	S								
						0.3	0.5	0.8	1	1.2	1.5	1.8	2	2.5
20	28	3.5±1	43	10	15									
25	33	3.5±1	48	10	15									
30	38	3.5±1	53	10	15									
35	43	3.5±1	58	10	15									
40	49	3.5±1	63	10	15									
45	56	5±1.5	71	10	15									
50	61	5±1.5	76	10	15			翻边应用范围						
55	66	5±1.5	86	15	25			翻边应用范围						
60	74	6±1.5	94	15	25									
65	79	6±1.5	99	15	25									
70	87	7±1.5	107	15	25				翻边应用范围					
80	97	7±1.5	117	15	25									
90	107	7±1.5	127	15	25									
100	122	9±2	142	20	35									
110	132	9±2	157	20	35									
120	142	9±2	167	20	35						翻边应用范围			
140	162	9±2	187	20	35									
160	182	10±2	207	20	35									
180	202	10±2	227	25	40									
200	222	10±2	247	25	40									
						1	2	3	3	4	5	6	6	8

注：表中粗线以内为应用范围，上限为必须界限，下限为推荐界限。

表3. 橡皮压制打孔翻边尺寸

(mm)

d(A ₅)	D	D ₁	t _{min}	H	b _{min}	c _{min}	S							
							0.3	0.5	0.8	1	1.2	1.5	1.8	2
20 25	24 31	28 37	33 43	2±1 3±1	10 10	15 15								
30 35	38 45	44 53	48 58	3±1 4±1	10 10	15 15								
40 45	50 55	58 65	63 74	4±1 5±1.5	10 10	15 15								
50 55	60 65	70 75	80 85	5±1.5 5±1.5	10 15	15 25			翻边应用范围					
60	72	84	96	6±1.5	15	25								
65 70	77 82	89 94	103 110	6±1.5 6±1.5	15 15	25 25								
80 90	94 106	108 122	128 145	7±1.5 8±2	15 15	25 25								
100	116	132	155	8±2	20	35			翻边应用范围					
110	128	146	169	9±2	20	35								
120 140	140 162	160 184	183 210	10±2 11±2	20 20	35 35								翻边应用范围
160 180 200	184 208 230	208 236 260	234 262 286	12±2 14±2 15±2	20 20 21	35 35 35								翻边应用范围
r							1	2	3	3	4	5	6	6
r ₁							2	3	5	6	7	9	11	12

2.5.6 曲线外形的凹弯边

在飞行器和汽车的结构中，连接内蒙皮的框肋零件常带有曲线外形的凹弯边，如下页图所示。用刚性模翻制凹弯边时，可采用2.5.2.2节中表1与表2的数据，但通常是在橡皮囊液压机上用橡皮压制而成。表1和2是在圆筒式橡皮囊液压机上得到的试验数据^{〔3〕}。

表2是在橡皮压制单位压力为40MPa时，凹翻边边高的极限值。

表3表示当橡皮压制单位压力在8~10MPa时，凹弯边的弯边高度极限值也可用材料的允许拉伸变形程度δ来控制凹弯边的成形极限。

$$\delta = \frac{b}{R-b} \%$$

式中 b——凹边毛料悬空段的宽度；

R——模具凹部的半径。

表4为各种材料凹弯边的允许变形程度δ值^{〔3〕}。

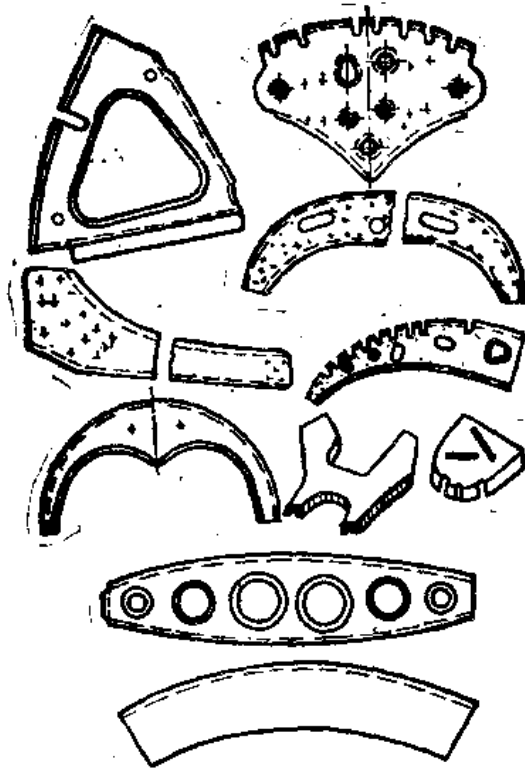


表1. 在圆筒式橡皮囊液压机上压制的凹弯边高度

模具半径		R_d (mm)			
材料牌号	厚(mm)	50	100	200	300
		容框压力 $q=20\text{MPa}$ 下的最大弯边高度 h (mm)			
LY12M	0.5	11.5	18	20	23
	1.2	12	16	28	28
	1.5	14.5	20.5	38	29
	2.5	16	23	44	32
LC4M	1.0	12	—	24	27
	1.5	13.5	—	28	29
		容框压力 $q=50\text{MPa}$ 下的最大弯边高度 h (mm)			
LY12M	0.5	11.5	16	24	33
	1.2	12	18	34	40
	1.5	15	20.5	38	45
	2.5	16	23	44	48
LC4M	1.0	12	15	32	40
	1.5	13.5	25	35	49

表2. 橡皮压制凹弯边的极限弯边高度

材 料		平面的弯边半径 R (mm)				
牌 号	厚度(mm)	50	100	200	500	1000
		弯边高度 H (mm)				
Д16М	0.5	9	15	24	50	80
	1.0	11	18	30	57	80
	1.5	12	21	34	65	80
	2.0	(13)	(23)	39	75	80
АМЦМ	0.5	11	18	24	55	80
	1.0	14	22	34	60	80
	1.5	17	27	40	70	80
	2.0	(20)	29	43	80	80
В95М	0.5	10	16	22	45	80
	1.0	13	20	30	50	80
	1.5	(16)	24	36	60	80
	2.0	(18)	28	40	70	80
20号钢	0.5	14	22	34	70	80
	1.0	18	29	43	80	80
	1.5	(19)	32	52	80	80
	2.0	(21)	(36)	59	80	80
1×18H9T	0.5	17	31	52	80	80
	1.0	(19)	34	60	80	80
	1.5	(20)	(38)	65	80	80
	2.0	(21)	(39)	68	80	80
12Г2А	0.5	11	20	32	65	80
	1.0	(14)	23	38	72	80
	1.5	(16)	27	43	80	80
	2.0	(29)	(29)	46	80	80

注：括号()内的数据需手工修整。

表3. 橡皮压制凹弯边弯边高度的极限值

(mm)

Д16AM, B95AM及 MA8M●										AMпAM及AMrAM									
对于略加修边的零件																			
厚度 S		0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	0.5 0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	
弯边半径 r		1.5	2	2.5	3	3.5	4.5	6	7.5	9	1	1	1	1.2	1.5	2	2.5	3	
弯边高度		内凹边的最小半径 R																	
H	公差																		
4	±0.5	60	60	50	50	—	—	—	—	—	30	30	20	—	—	—	—	—	
6		90	90	80	80	80	—	—	—	—	50	50	50	—	—	—	—	—	
8		120	110	100	100	90	80	—	—	—	80	75	70	65	60	—	—	—	
10	±1	150	140	130	120	110	90	—	—	100	90	80	70	65	—	—	—	—	
12		170	160	150	140	130	110	100	—	120	105	95	85	75	—	—	—	—	
15		210	200	180	170	160	140	140	—	140	120	105	100	90	85	—	—	—	
20		260	250	230	220	210	200	190	—	180	150	140	130	115	100	—	—	—	
25	±1.5	330	310	290	280	270	260	250	250	260	230	200	170	140	130	120	110	—	
30		450	430	400	360	350	330	320	320	340	300	270	240	180	170	160	150	—	
30		700	670	630	600	570	550	520	500	500	500	460	420	400	360	340	320	300	—
40		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

对于修过边的零件																		
H	公差																	
3	±0.5	20	—	—	—	—	—	—	—	—	15	—	—	—	—	—	—	—
4		30	25	—	—	—	—	—	—	20	15	—	—	—	—	—	—	—
5		40	35	30	—	—	—	—	—	25	20	20	—	—	—	—	—	—
6		55	50	45	40	—	—	—	—	35	30	30	25	—	—	—	—	—
8		70	60	55	50	45	—	—	—	40	35	35	30	30	—	—	—	—
10		80	70	60	55	55	55	—	—	50	40	40	35	35	35	—	—	—
12		90	80	75	70	70	70	70	—	60	50	50	45	45	45	40	40	—
15		110	100	90	85	80	80	80	80	70	60	60	55	55	55	55	55	55
20		140	130	120	120	115	110	110	110	110	90	85	80	75	70	70	70	70
25		170	165	150	140	135	130	130	130	130	130	120	110	100	90	90	90	90
30	240	230	220	220	200	180	180	180	180	200	160	140	130	120	120	120	120	
40	400	400	380	360	340	320	300	300	300	300	280	260	240	220	210	200	200	

● MA8M材料的零件是在加热到350℃时成形的。

表4. 不同材料的δ值

金属和合金的名称		边口允许拉伸变形程度δ	
		橡皮成形	模具成形
铝合金	L4M	25	30
	L4Y ₁	5	8
	LF21M	23	30
	LF21Y ₁	5	8
	LF2M	20	25
	LF2Y ₁	5	8
	LY12M	14	20
	LY12Y	6	8
	LY11M	14	20
	LY11Y	5	6

(续)

金属和合金的名称		边口允许拉伸变形程度 δ	
		橡皮成形	模具成形
黄 铜	H62软	30	40
	H62半硬	10	14
	H68软	35	45
	H68半硬	10	14
钢	10	—	38
	20	—	22
	1Cr18Ni9软	—	15
	1Cr18Ni9硬	—	40
	2Cr18Ni9	—	40

参 考 资 料

- [1] 罗曼诺夫斯基著, 梁炳文, 迟家骏译, 《罗氏冷压手册》, 机械工业出版社, 1979年。
 [2] 胡世光, 《板料冷压成形原理》, 国防工业出版社, 1979年。
 [3] Eugen Kacmarek, Praktische Stanzerei, Springer-Verlag 1954。
 [4] Machine Design, January 26, 1978。
 [5] 王孝培, 《冲压设计资料》, 机械工业出版社, 1983年。
 [6] U. S Patent 24, 213, 323。

2.6 胀形

2.6.1 定义与范围

胀形是利用压力将直径小的空心零件(一般由板料滚弯焊接而成)、管材、板材,由内向外膨胀成为直径较大的曲母线零件的一种加工方法,不规则形状的非旋转体零件有时也用胀形方法加工。

胀形件在飞机、仪器、仪表、民用产品等制造工业中广泛应用,橡皮模胀形与液压胀形比刚性模胀形更为优越,并易于发挥材料的成形性能,本章简要的提供了刚性模与弹性模胀形有关数据。

2.6.2 零件的胀形系数

零件的胀形系数是指胀形时,表征变形程度大小的数值。

胀形系数可由下式表示(参见2.6.6节):

$$K = D_{\max}/D_0 \quad (1)$$

式中 K ——胀形系数;

D_{\max} ——胀形后零件最大变形处的直径(mm);

D_0 ——胀形前该处的原始直径 (mm)。

胀形时的变形程度,常受材料的极限延伸率限制。胀形时零件最大变形处的切向应变 e_s 与胀形系数 K 之间的关系为:

$$e_s = \frac{D_{\max} - D_0}{D_0} = K - 1 \quad (2a)$$

或

$$K = 1 + e_s \quad (2b)$$

各种材料的极限胀形系数及延伸率数值,参见表。

极限胀形系数实验数值⁽¹⁾

材 料	厚 度(mm)	材料延伸率, δ (%)	极限胀形系数, K_{\max}
铝合金	0.5	25	1.25
纯 铝	1.0	28	1.28
	1.5	32	1.32
	2.0	32	1.32
低碳钢	0.5	20	1.20
	1.0	24	1.24
不锈钢板	0.5	28~32	1.28~1.32
	1.0	28~34	1.28~1.34

胀形后的零件壁厚变化可按塑性变形时体积基本不变原理计算。

凸形零件：

$$t_{\min} = t_0 \cdot \frac{D_0}{D_{\max}} = \frac{t_0}{K} \quad (3)$$

式中 t_0 ——毛料的原始厚度；

t_{\min} ——胀形后最大变形处的厚度。

凹形零件：

$$t_{\min} = t_0 \sqrt{\frac{D_0}{D_{\max}}} = \frac{t_0}{\sqrt{K}} \quad (4)$$

2.6.3 刚性模胀形法

2.6.3.1 刚性分瓣凸模的胀形

分块式刚性凸模胀形如图1所示，凸模由扇形块拼成，套在锥形芯轴2上，锥形芯轴的斜角 γ 一般选用 8° 、 10° 、 12° 、 15° ，当凸模向下滑动时，各个模块向外胀开，扩张毛料而成形。用这种方法成形，工件直径的回弹量便于用调整凸模扩张量的方法来补偿。

图2所示，为利用分块式刚性凸模胀形的一个实例。

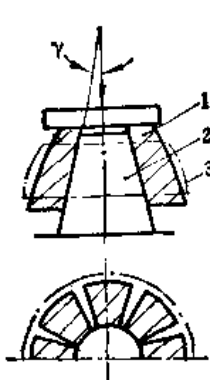


图1

- 1—凸模块；
2—锥形芯轴；
3—毛料。

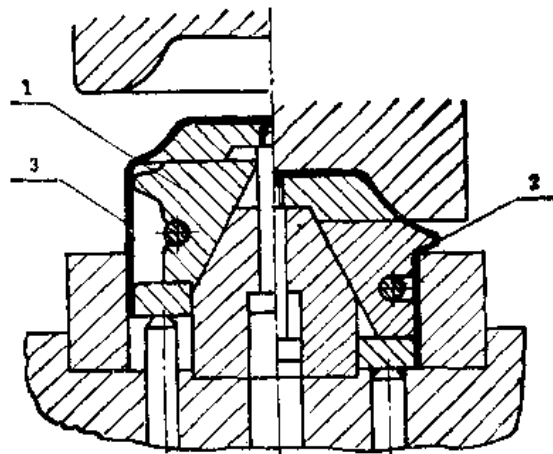


图2

- 1—凸模块；2—零件；3—毛料。

刚性分瓣凸模胀形时，凸模和毛料之间的摩擦力，使材料的变形不均匀，降低了胀形系数的极限值。除了与摩擦系数有关外，主要决定于毛料与每块凸模的包角 α 的大小，或凸模的分块数量，见图3，设凸模块数为 N 。

则 $\alpha = 2\pi/N$

实际生产中凸模分块数量多采用8至12块，模块的边缘应作成 $\gamma = (1.5 \sim 2)t$ 的圆角，见图4，这样成形的零件可避免有明显的棱角。

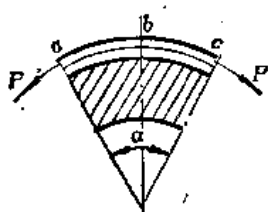


图3

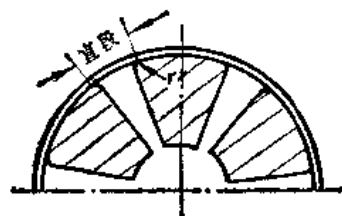


图4

2.6.3.2 刚性整体凸模胀形

图 1(a) 与 1(b) 表示采用刚性整体凸模作局部胀形的原理及典型零件。

图 2 所示, 用球头凸模 ($r = \frac{d}{2}$) 对低碳钢, 软铝等进行胀形时, 可能达到的极限深度为 $h \approx \frac{d}{3}$ 。用平头凸模胀形时可能达到的深度决定于凸模的圆角半径 r , 其大致数值见表。

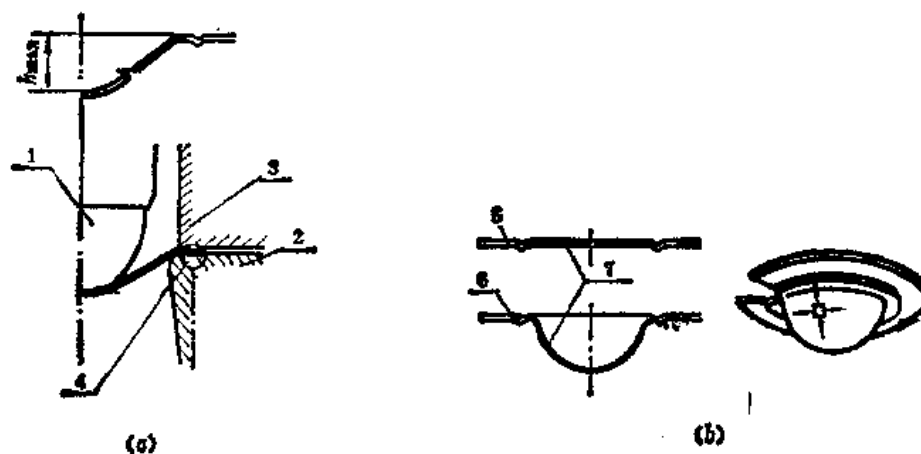


图1

1—凸模；2—凹模；3—压边圈；4—压延坯；
6—胀形前；6—胀形后；7—胀形变形部分。

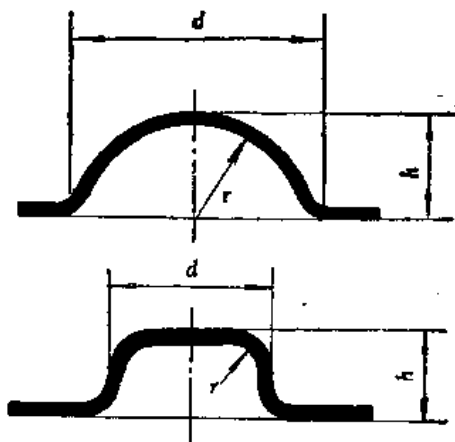


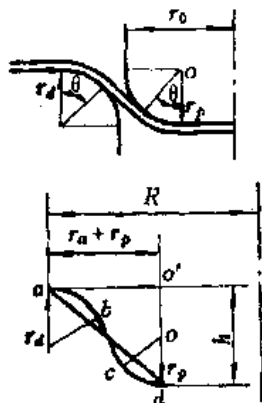
图2

平板毛坯胀形深度^[2]

软 钢	$h \leq (0.15 \sim 0.20)d$
铜	$h \leq (0.1 \sim 0.15)d$
黄铜	$h \leq (0.15 \sim 0.22)d$

2.6.3.3 平头凸模和圆头凸模胀形高度的估算式^[3]

设 r_0 、 r_p 和 r_s 都是模具半径及模具圆角半径加一半材料厚度的数值，间隙忽略不计，见图。



2.6.3.3.1 平头凸模胀形

一般取 $\theta \approx 60^\circ$ ， $r_s = 1.5r_p$ ，根据实验可令 $R = r_0 + \sqrt{G}r_s$ ，经过简化与推导求得可估算胀形高度 h 为：

$$h = 1.38R \sqrt{\frac{G(r_s + r_p)}{2r_0 - r_p + r_s}} \quad (1)$$

该式适用于 $r_p/r_0 \leq 0.2$ 的情况。式中

R ——塑性变形范围的半径见图；

G ——表示材料的机械性能， G 可用下式表示：

$$G = \frac{0.36}{1+\mu} (1-m+\epsilon_s)$$

2.6.3.3.2 圆头凸模胀形

取 $\theta \approx 45^\circ$ ，当 $r_0 = r_p$ ，根据实验可令 $R = r_0 + \sqrt{G}r_s$ ，圆头凸模胀形高度：

$$h = 1.23R \sqrt{G} \quad (2)$$

式中 R ——塑性变形范围的半径见图；

G ——表示胀形适用性的材料机械性能，

$$G = \frac{0.36}{1+\mu} (1-m+\epsilon_s)$$

m ——压延系数； ϵ_s ——极限延伸率。

G 、 m 、 ϵ_s 见表。

几种材料的 m 、 ϵ_B 与 G 值^(%)

材 料	$\mu=0.15$			$\mu=0.08$		
	LF21MO	LF12MO	LF12MO	30CrMnSi	10 号 钢	1Cr18Ni9T
m	0.55	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50
ϵ_B	0.24	0.17	0.13	0.14	0.25	0.28
G	0.216	0.194	0.182	0.213	0.250	0.263

平头凸模与圆头凸模胀形， μ 为摩擦系数，在一般润滑的情况下，对于钢 μ 可取0.08，铝合金可取 $\mu=0.15$ 。

2.6.4 橡皮模胀形法

图1、图2为用普通橡皮作凸模进行胀形。由于橡皮的使用寿命短，传递压力不如液压均匀，因此一般用于制造小尺寸零件。

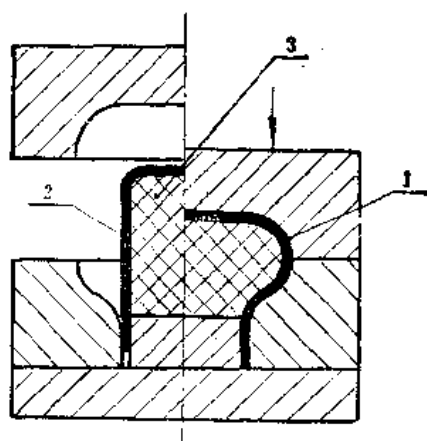


图1

1—零件；2—毛料；3—橡皮。

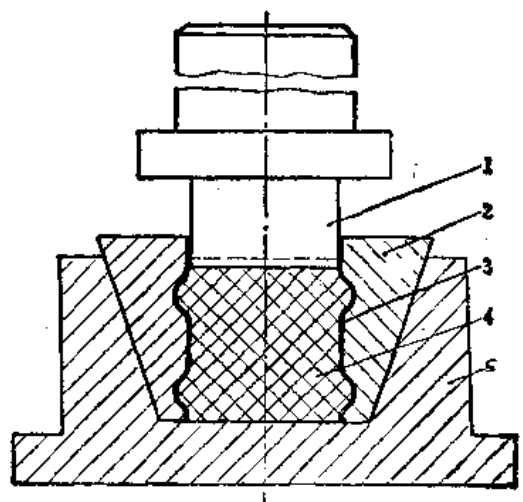


图2

1—凸模体；2—分块式凹模；
3—零件；4—橡皮；5—凹模座。

图3为使用聚氨酯橡胶棒的胀形模。图中零件是用聚氨酯橡胶成形自行车接头的例子，此零件用 $\phi 39 \times 2.5$ mm的管材，长100mm的毛坯。聚氨酯橡胶棒尺寸为 $\phi 32 \times 100$ mm，硬度为邵氏“75°”左右。用上下凸模同时作用于坯料和橡胶棒，凸模挤压橡胶棒，同时推动坯料流动，使零件成形。

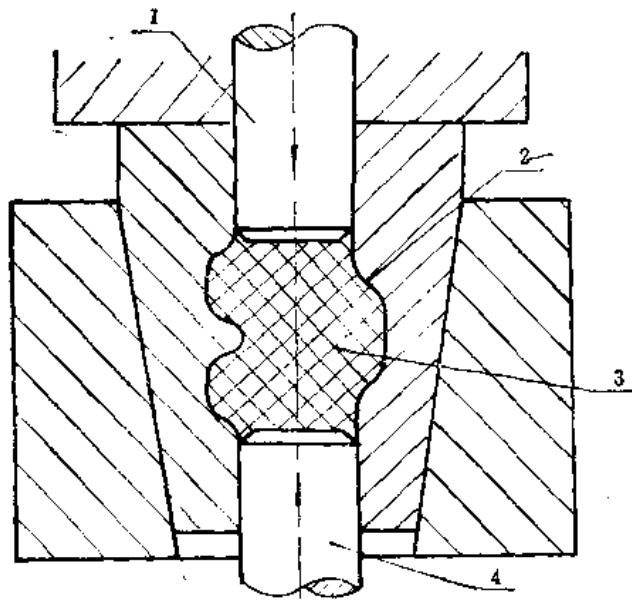


图3

1—上凸模；2—零件；3—橡胶棒；4—下凸模。

几种不同方法的橡皮胀形极限胀形系数 K_{max} 列于下表。

铝管毛坯胀形的极限胀形系数^[4]

胀形方法	极限胀形系数 K_{max}
用橡皮的简单胀形	1.2~1.25
用橡皮并对毛坯轴向加压的胀形	1.6~1.7
局部加热至200~250℃时胀形	2.0~2.1
加热至380℃用锥形凸模的端部胀形	~3.0

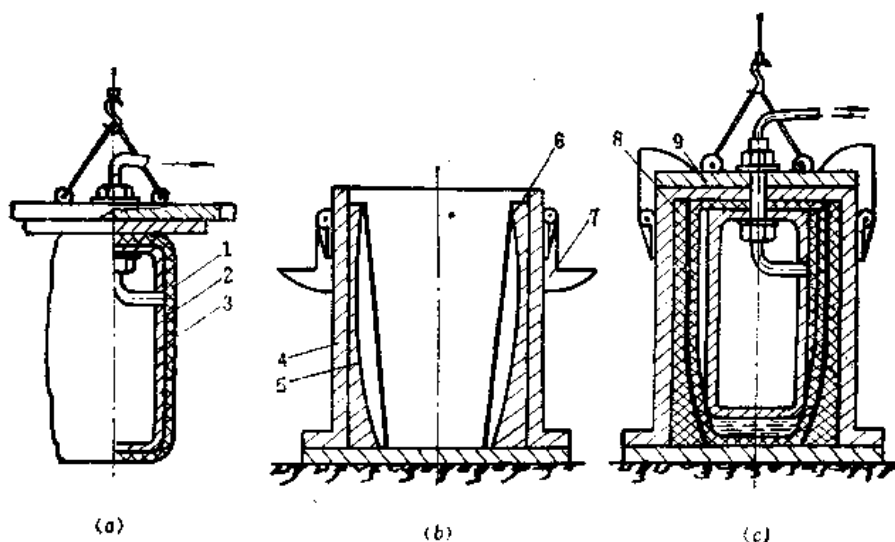
2.6.5 液压胀形

液压胀形的优点是胀形传力均匀，能使材料在最有利的情况下变形，并且工艺过程简便，成本低廉，零件表面光滑。

液压胀形适宜于中、大型工件成形，一般胀形直径可达200~1500mm左右。

2.6.5.1 橡皮囊液压胀形

如图a、b、c所示，对橡皮囊的内腔充液加压，橡皮使坯料与凹模贴紧，成形出所需零件。图中设备所用液压力约为2~3MPa，用橡皮囊液压胀形，密封问题较易解决，生产率较高，但橡皮囊使用寿命较短。



1—管子；2—凸模壳体；3—橡皮囊；4—金属外壳；
5—凹模；6—毛料；7—销钉；8—工件；9—盖板。

2.6.5.2 液压胀形

如图1所示,利用心杆两端的橡皮圈3和10保证密封,先将毛料6放入凹模5内,然后装入心杆,利用机械装置将盖板1锁紧于外壳上,再将作动筒2的上室通入压缩空气,推动活塞4和活塞杆8下行,使橡皮圈10压紧坯料的下端,同时压缩空气又推动作动筒的

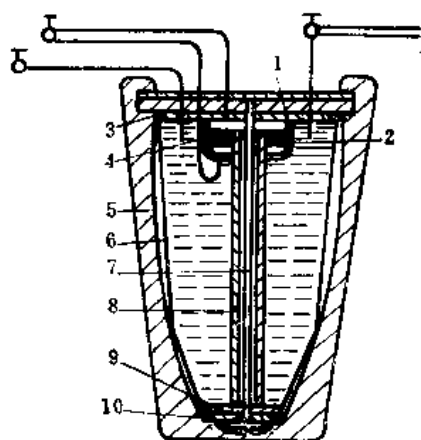


图1

1—盖板；2—作动筒；3—橡皮圈；4—
活塞；5—凹模；6—坯料；7—拉紧杆；
8—活塞杆；9—压板；10—橡皮圈。

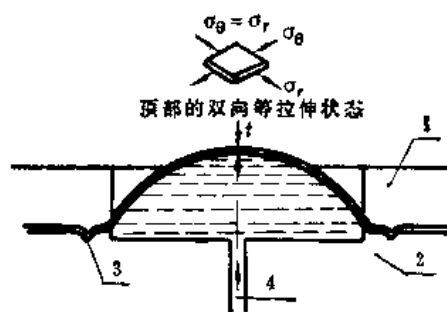


图2

1—凹模；2—压板；3—压延辊；4—油压。

顶盖上行,压缩橡皮圈3而使坯料的上端密封。胀形时坯料与凹模间的积水由专设孔道排出。设备所用压力一般为2~3MPa。

图2所示的液体胀形材料不受摩擦力的作用,用半圆埂把材料周边完全压紧。

图3所示为自行车上的多通管件的液压胀形,胀出端变薄量达10% (用直径42mm,壁厚2.3mm的管状毛料)。

图4所示为十字形管接头，用液压胀形时，胀出高度一般不超过管径的3倍，胀出端变薄量达20%（用直径40mm，壁厚2mm的管状毛坯）。

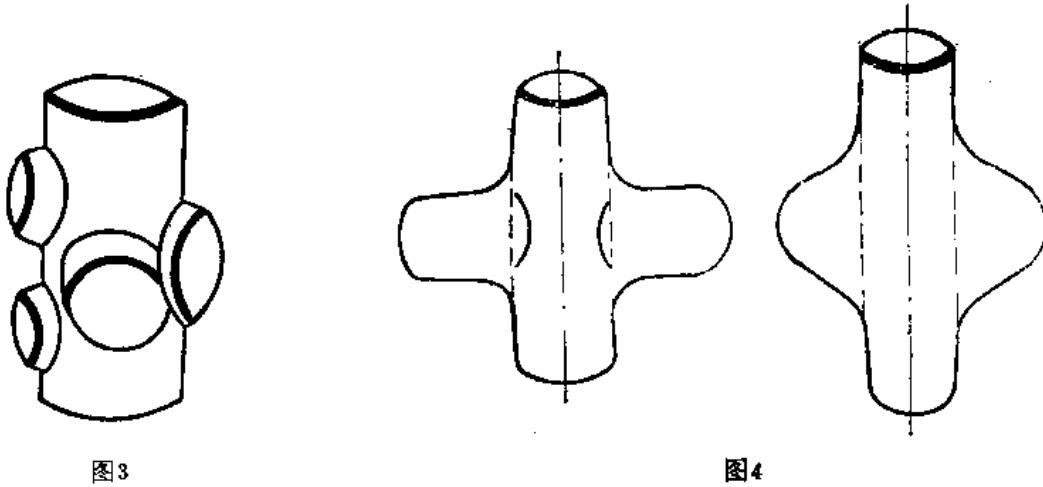


图5所示为复合胀形法（轴向加力的液压胀形）。用这种方法进行液压胀形，两端管壁厚的增加可达37%，胀出部分减薄22%，胀出直径与管径比可达2.3。

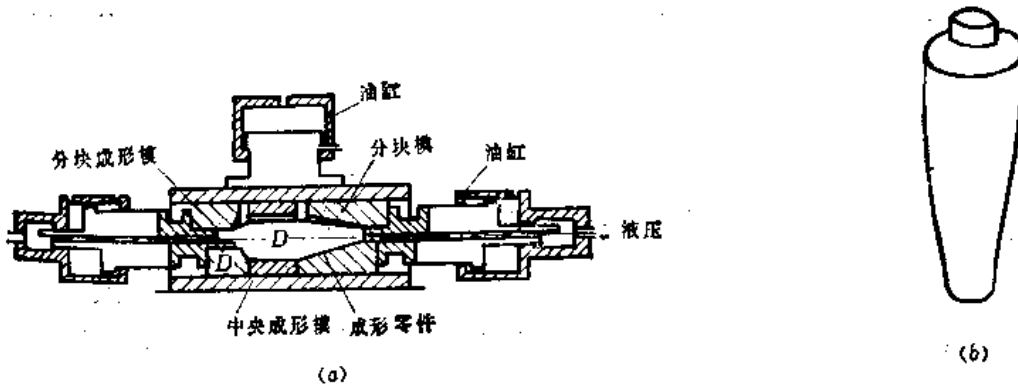


图5 (a) 轴向加力的液压胀形模；(b) 成形的零件(管子原始直径140mm，壁厚5.1mm)。

下表列出各种液压胀形的主要工艺特点。

各种液压胀形工艺特点^[5]

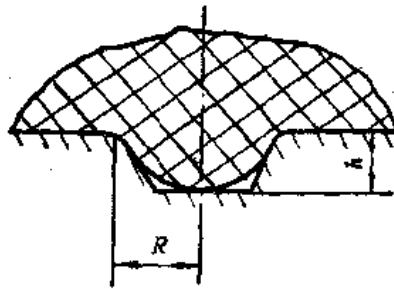
	加工时间 (s)	压力范围 (MPa)	成形特点	适用性	生产批量	密封	其他	设备费用
高速成形	液压凸模法	5~10×10 ³	变形程度小的简单件	中、小型，薄壁管	大	不要		中
	放电成形法	10~20×10 ⁻⁶	"	"	中	不要	补充电极	大
	爆炸成形法	(数十)×10 ⁻⁶	数千	"	特大件	小	不要	专用场地

(续)

		加工时间 (s)	压力范围 (MPa)	成形特点	适用性	生产 批量	密封	其他	设备 费用
慢速成形	静水压	1~数秒	2000~7000	"	薄壁管	小	要		小
	用增压器加压	1~数秒	3000~10000	可成形复杂零件	大、中、小径薄壁管	中	要		中
中等速度	利用机械储能	0.2~0.5	4000~50000	"	中、小直径中等壁厚管	大	要		小
	组合胀形法	0.5~1.0	3000~10000	特别复杂件	成形体积大	中	要		中

2.6.5.3 橡皮和液压胀形高度的估算式

橡皮和液压胀形, 相当于 $r_0=r_s$, 认为无摩擦的情况, 即 $G=0.36(1-m+\epsilon_s)$ 。胀形高度 h 按 $h=1.23R\sqrt{G}$ 估算 (式中: m ——压延系数; ϵ_s ——失稳前最大实际应变), 见图。



2.6.5.4 波纹管零件液压胀形

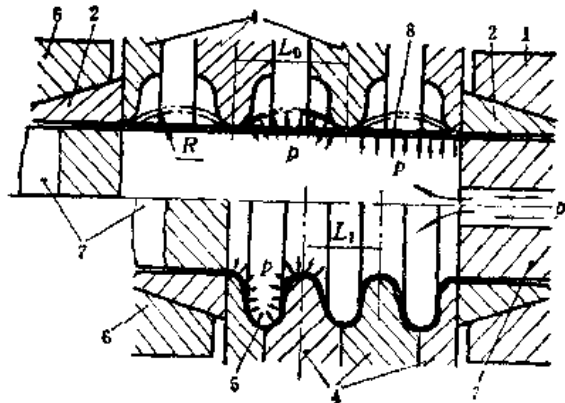
图所示为毛坯纵长能缩短的波纹管的液压胀形方法。波纹管的变形程度也用胀形系数 K 表示。

$$K = \frac{D}{d}$$

式中 D ——波纹管的外径, mm;
 d ——毛坯的外径, mm。

一般波纹管的胀形系数 K , 根据材料的可塑性, 其允许值为1.3~1.5。如果 $K > 1.5$ 时, 必须分几次胀形, 中间增加退火工序, 恢复材料的塑性。

波纹管胀形时, 首先将毛料在夹头2上夹紧, 套上半环凹模4, 半环凹模的位置按梳状板调整(梳状板图中未示)。在管子内通入液体, 胀成图中点划线所示的形



1—固定端头; 2—弹性夹头; 3—带管道的夹料心轴; 4—半环凹模; 5—零件; 6—可调端头; 7—盲夹料心轴; 8—毛料。

状。然后，去除梳状定位板，在保持压力的情况下，移动可动端头，挤紧半环凹模，使零件最后成形。半环凹模的步距 L_0 可根据波纹管母线的展开长度和毛坯的母线长度相等的原则初步估算，最后根据试验结果加以修正。

2.6.6 胀形最大应变与胀形力计算

胀形时，一般用胀形系数 $K = D_{max}/D_0$ (D_{max} 为变形量最大处的直径； D_0 为毛料直径)表示变形程度，故实际 K 只表示最大切向应变的大小，即

$$\epsilon_{\theta max} = \ln \frac{D_{max}}{D_0} = \ln K \tag{1}$$

胀形时其值不能超过材料的许用应变 ϵ_s ，即

$$\epsilon_{\theta max} = \ln \frac{D_{max}}{D_0} \leq \epsilon_s \tag{2}$$

LF2铝合金 $\phi 70 \times 1.5$ 的管子用不同的胀形方法，能得到的最大切向应变如下：

用液压胀形时，允许最大切向应变 $\epsilon_s = 0.16$ 。

分瓣凸模胀形时，由于摩擦力的作用，最大平均应变取决于模块瓣数和润滑条件，当分瓣为16块，良好润滑时， $\epsilon_s = 0.165$ 。

用橡胶胀形时，橡胶和毛坯间的摩擦力能推迟局部细颈的出现， $\epsilon_s = 0.21$ 。

用橡胶胀形同时轴向加压时，毛坯轴向收缩，向最大变形区补给材料，减少了该处的变薄， $\epsilon_s = 0.31$ 。

用传压介质改用小钢珠，同时轴向加压，并同时升高温度，提高材料的塑性，当加温 250°C 时， $\epsilon_s = 0.4$ 。

液压或橡胶胀形时，作用于管内壁上所需单位压力 P 可按如下方法估算：

1. 管状零件，见图1

$$P = \frac{2t_0}{D_{max}} \sigma_\theta \tag{1}$$

式中 t_0 ——毛坯壁厚。

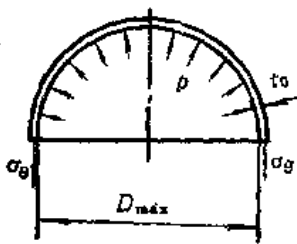


图1

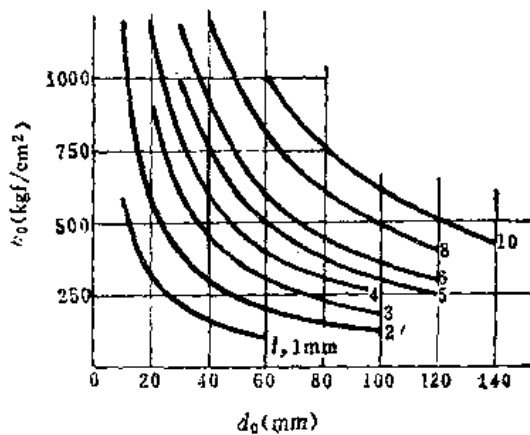


图2

$p_0 = \frac{2\sigma_\theta}{d_0} t$ ，胀形初压力， kgf/cm^2 ；

σ_θ —周向应力； t —壁厚； d_0 —管材内径。

2. 半球形零件:

$$P = \frac{2t_0}{R} \sigma_0 \quad (2)$$

式中 R ——球面半径;

σ_0 ——为不同变形程度 ε_0 下的实际应力, 见表。

图 2 所示, 是管材液压胀形初压数值曲线^[5]。

不同变形程度的实际应力^[3]

ε_0 (%)	σ_0 (MPa)		
	LF21M	20号钢	1Cr18Ni9Ti
4	135	480	650
6	142	540	720
8	149	600	800
10	154	650	880
12	159	690	950
14	164	740	1020
16	169	780	1100
18	174	820	1175
20	176	860	1250
22	183	880	1330

参 考 资 料

[1] 彭建声编,《冷冲压技术问答》上册,机械工业出版社,1981年。

[2] 李硕本主编《冲压工艺学》,机械工业出版社,1982年。

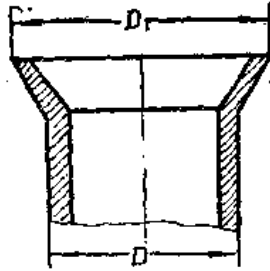
[3] 《锻压技术》,1983年 第5, 第6。

[4] 罗曼诺夫斯基著,梁炳文,迟家骏译,《冷压手册》,机械工业出版社,1979年。

[5] プレス技術,第17卷第7号(最近の技術動向と事例)。

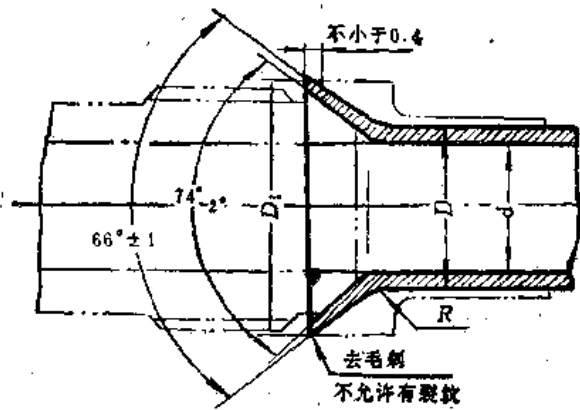
2.7 扩 口

为了保证薄壁导管的密封和刚性连接，将管端作成如图所示的喇叭口。喇叭口的制造工艺称为扩口。



2.7.1 扩口部分的基本要求

扩口部分的基本要求见图。



一般管端喇叭口的尺寸可按下表选用。

管端喇叭口的尺寸 (mm)

导管直径 d (内径)	管子外径 D	喇叭口直径 D_1	喇叭口半径 R
2	3	5.8	1
3	4	7.5	1
4	6	9.5	1
6	8	11.5	1
8	10	12.5	1.5
10	12	15	1.5
12	14	18.7	1.5

(续)

导管直径 d (内径)	管子外径 D	喇叭口直径 D_1	喇叭口半径 R
13	15	19	1.5
14	16	20.5	1.5
16	18	23.5	2
18	20	26.5	2
(22)	24~22	29	2
25	27~25	35	2.5
(28)	30~28	35	2.5
(30)	33~30	41	2.5
32	35~32	44	2.5
(35)	38~35	44	2.5
40	43~40	52	3
50	53~50	63	3
60	65~60	75	3
70	75~70	85	3
80	85~80	95	3

注：表中数据可用于LF2M, 20A, T3, 1Cr18Ni9Ti等管材。

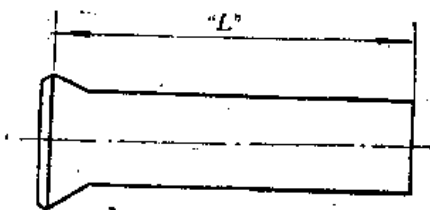
2.7.2 最小直段长度

管子装配的最小直段长度取决于管端加工形式、所用连接件形式以及工装要求。

2.7.2.1 单扩口管

管子一端单扩口的任何最小直段长度在采用美国标准时，应符合下表的规定。

单扩口端最小直段长度 (mm)



管子外径	采用AN818及MS20819连接件的最小 L 值	采用Roylyn连接件的最小 L 值
4.76	40.9	—
6.35	41.1	—
7.94	44.4	—
9.53	45.7	—

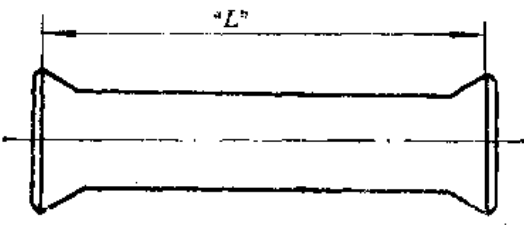
(续)

管子外径	采用AN818及MS20819连接件的最小L值	采用Roylyn连接件的最小L值
12.7	50.5	—
15.9	55.1	—
19.1	59.7	70.1
25.4	66.5	76.2
31.8	—	79.7
38.1	77.7	88.6
44.4	90.4	100.8
50.8	96.3	106.4
63.5	108.5	127.7

2.7.2.2 双扩口管

两端双扩口的任何直管，最小长度应符合下表的规定。

双扩口直管最小长度



管子外径	3.175	4.76	6.35	7.94	9.53
最小L值	70.6	73.4	73.7	90.4	78.2

直径由4~80mm，壁厚由0.5~2.5mm的LF2M，20A，1Cr18Ni9Ti以及紫铜管子均可以用来制喇叭口。扩口系数 D_1/D 不应超过1.4。

2.7.3 管端壁厚的计算

扩口部分壁厚由里向外线性变化，如图所示。管壁变薄与变形程度有关。

扩口后，喇叭口端部的壁厚可按下式计算

$$t = \frac{D-d}{2} \cdot \frac{D}{D_1} \quad (1)$$

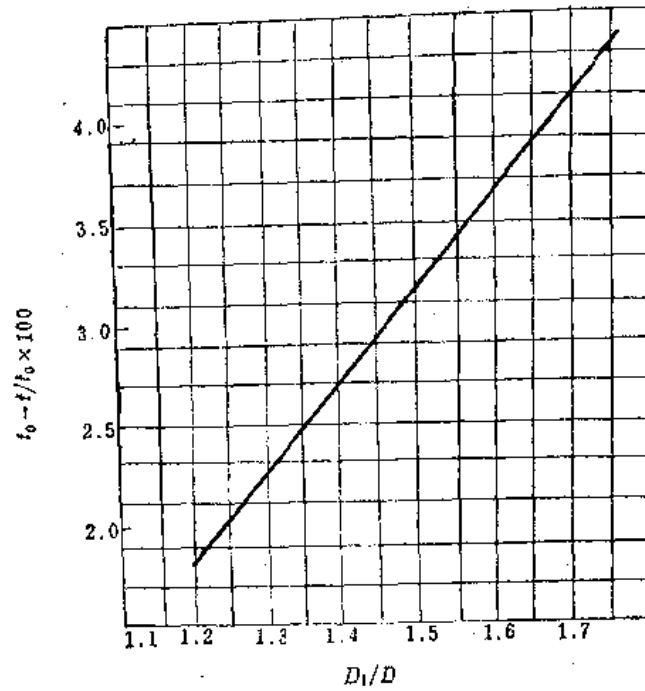
式中 t ——喇叭口端部的壁厚，mm；

D ——扩口前管子外径，mm；

d ——扩口前管子内径，mm；

D_1 ——扩口端头直径，mm。

用扩口模扩口时，扩口边沿厚度可按下式计算：



$$t = \frac{2t_0}{\frac{D_1}{D-t_0} \left(3 - \frac{D_1}{D-t_0} \right)} \quad (2)$$

式中 t_0 ——扩口前管壁厚度；
 D_1 ——扩口边沿直径；
 D ——扩口前管子外径。

2.7.4 扩口力

用扩口模扩口时，其扩口力可按下式计算：

$$P = \frac{\pi \sigma_0 t_0 (D+d)}{2} \quad (1)$$

式中 P ——扩口力，N；
 d ——管子内径，mm；
 D ——管子外径，mm；
 t_0 ——管子壁厚，mm；
 σ_0 ——材料补插屈服极限，MPa。

2.7.5 扩口用的工具和模具

2.7.5.1 扩口棒扩口

用扩口棒扩口时，多为管子夹在专用扩口夹具中，管子作旋转运动，扩口棒作往复送进的直线运动。扩口棒的基本形式有两种。

一、滚柱式

图1为两种典型的滚柱式扩口棒。扩口棒在管子的带动下，滚针或滚柱围绕各自轴线旋转，在送进中，使管子扩口。管子的转速分别为：1Cr18Ni9Ti用50~70r/min；LF2M和20钢管子选用360~500r/min。管径小，选用上限，管径大，选用下限。扩口棒送进速度约为50mm/min。可用机器油或工业凡士林作润滑剂。用滚柱（针）式扩口棒扩口其表面粗糙度可达 $Ra0.2\sim0.4\mu m$ 。

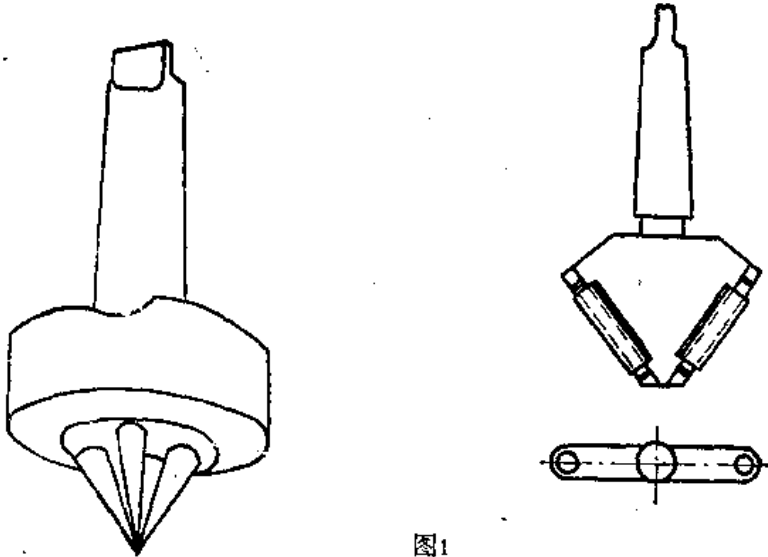


图1
(a) 滚针式扩口棒；(b) 滚柱式扩口棒。

二、滑动式扩口棒

图2为几种典型滑动式扩口棒。图2(b)所示扩口棒，可同时完成整修端面的工作，所以管坯端面不必预先整修。

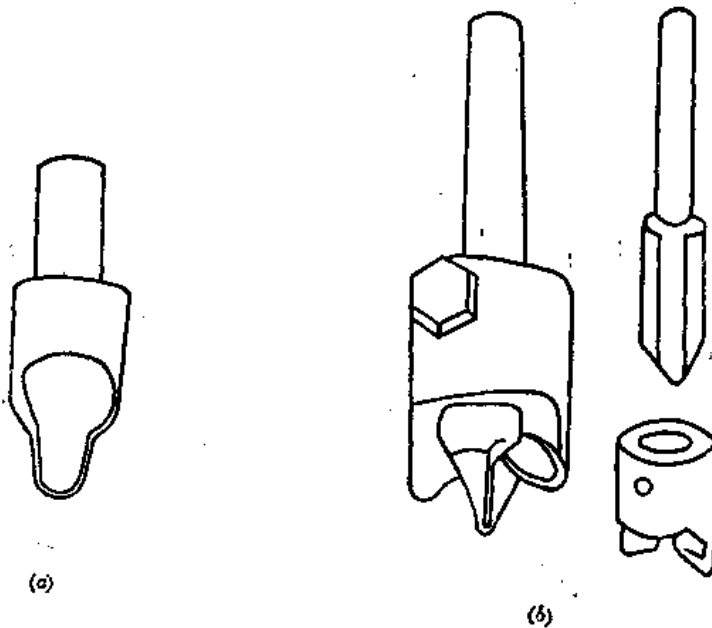


图2

(a) 按滑动摩擦原理工作的扩口棒；(b) 扩制LF2M与20钢的管口所用扩口棒。

滑动式扩口棒的主轴转速为：

1Cr18Ni9Ti (清漆润滑)

45~60r/min

LF2M (机器油润滑)

300~500r/min

采用滑动式扩口棒扩口，表面粗糙度 $Ra1.6\sim3.2\mu m$ 。

无论那种扩口棒，其工作角度均为 $74^{\circ}\pm 3'$ 。

2.7.5.2 扩口模

采用扩口模扩口的动力源可用冲床或其它打击工具（如铆枪）。图1为装在冲床上用的扩口模，图2为用专用夹具夹紧管子，用铆枪打击的扩口模。

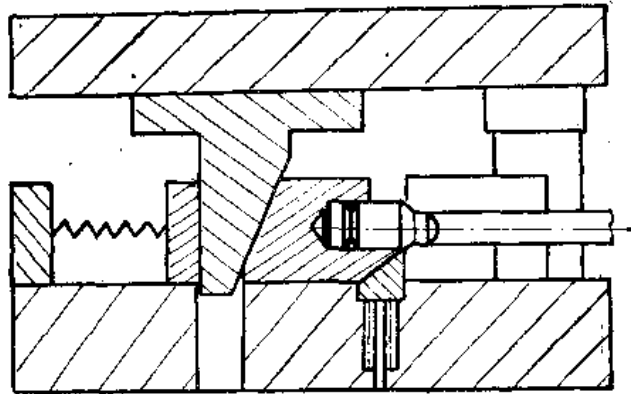


图1

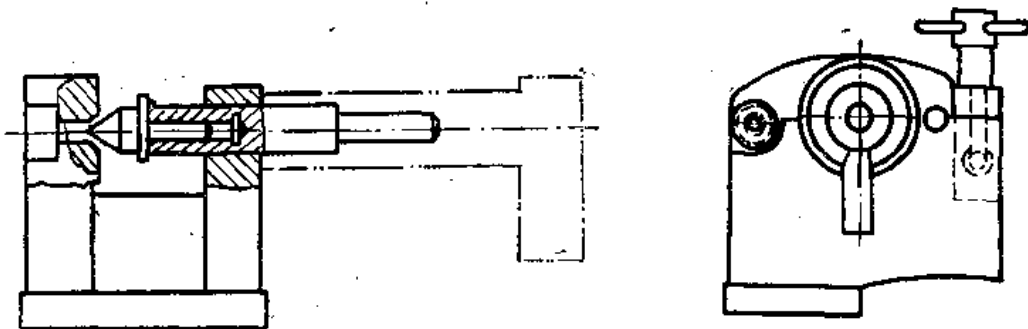


图2

无论是哪种方法，扩口模凸模或冲头的角度均取为 $74^{\circ}\pm 15'$ ，凹模角度取 $86^{\circ}\pm 15'$ ，凹模由锥形表面过渡到圆柱表面的圆角半径按表2.7.1制造。

2.7.6 对毛料的要求

1. LF2M, 20钢及1Cr18Ni9Ti均应在退火状态下扩口；
2. 20钢管应喷砂处理；
3. 管口应打光、无毛刺。

2.8 缩 口

2.8.1 定义和分类

在空心坯料或管状坯料的端部使其径向尺寸减小的成形方法称为缩口。

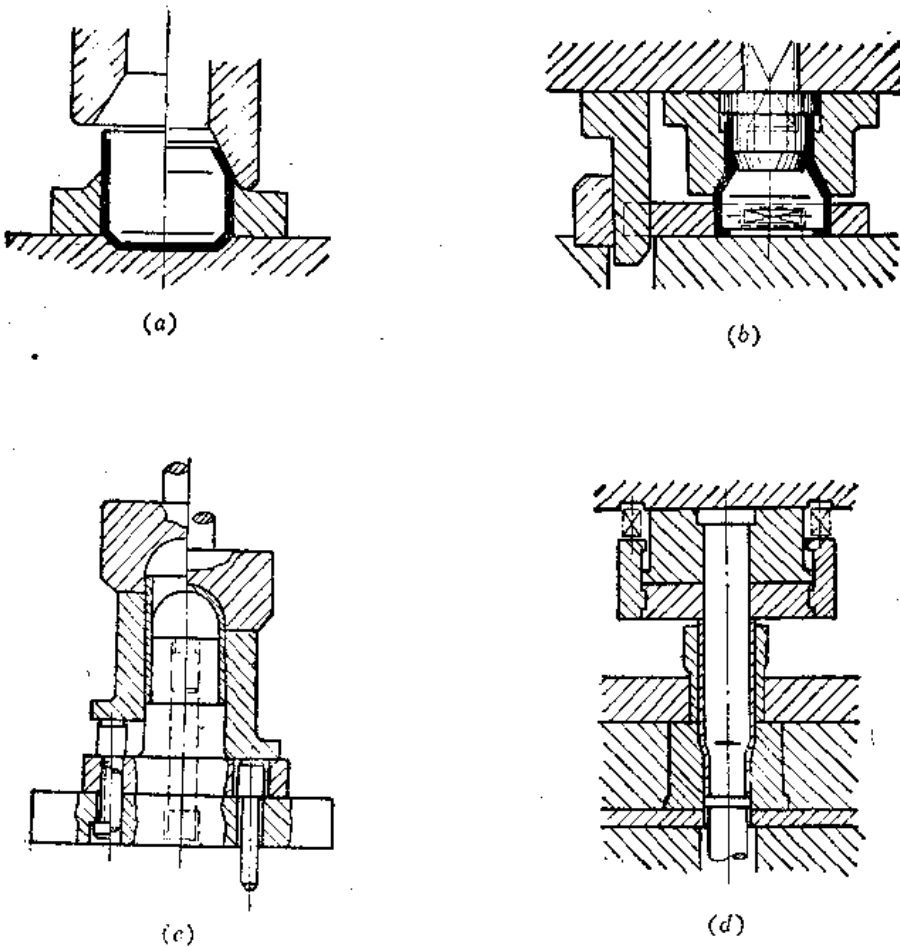
缩口部分的材料受到由外向内的压力产生压缩变形。

缩口按工艺方法分类有：模压缩口，旋压缩口和冲击缩口。按缩口时是否对工件加热又可分为常温缩口和加热缩口。

2.8.2 缩口方法

2.8.2.1 模压缩口

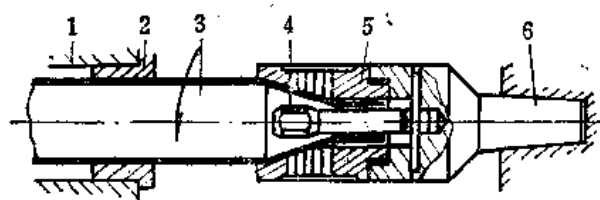
模压缩口使用专用的或通用的缩口模，通常是在冲床或液压机上进行。模具示例如图。



(a) 空心件简单缩口模；(b) 有夹紧装置的缩口模；(c) 有心棒的缩口模；(d) 管子缩口的通用模。

2.8.2.2 旋压缩口

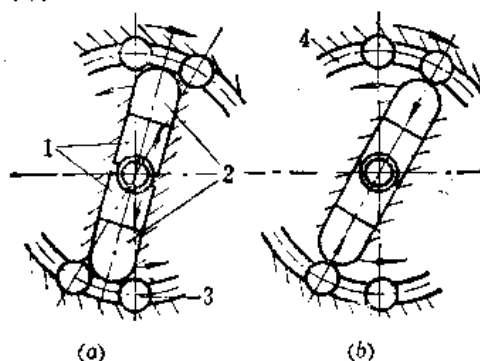
旋压缩口可在车床上进行。旋压缩口模示例见图⁽³⁾。当缩口模轴向送进时，旋转的工件在模内缩口成形。由于旋压缩口是逐渐进行的，大大减小了顶进缩口模所需的力及传力区产生皱褶的危险；摩擦产生的热有利于变形区材料的塑性变形，因而可提高每次缩口所能达到的变形程度。旋压时温度过高有使管子金属与模具粘结的危险，所以要用润滑油润滑并冷却。模具退出时，心轴还可用来校孔，因而不需另加校正工序。拉杆类零件用旋压缩口较适宜。



1—卡盘；2—夹模；3—管子；4—心轴；5—旋压模；6—尾座。

2.8.2.3 冲击缩口⁽³⁾

冲击缩口是在一种专用的冲击缩口机上进行的。其工作原理如图所示。它用两半分离式的凹模从径向反复对管件冲击，使管子缩口成形。在使用异形心棒的情况下，可使管子内径成形出其他非圆形状。



(a) 凹模张开状态；(b) 凹模闭合状态。
1—两半凹模；2—压块；3—滚柱；4—外环。

2.8.2.4 热缩口

管端缩口变形量大的零件，甚至要求封闭端口的零件，采用加热缩口法制造，可提高效率、降低成本。

2.8.2.4.1 火焰加热旋压缩口⁽⁴⁾

工作原理如图1所示。工件在车床卡盘中夹紧，低速旋转，同时用火焰加热工件端头至赤红（对钢件），然后增加转速，送进具有适当形状的旋轮使工件成形。

旋轮支持在滚针轴承上旋转，其后面有推力球轴承。需要用水来冷却旋轮。

管壁越厚需要的旋轮数越多。图例中是用两个旋轮。当管壁厚度与外径之比为1:16或更小时，用一个旋轮即可。

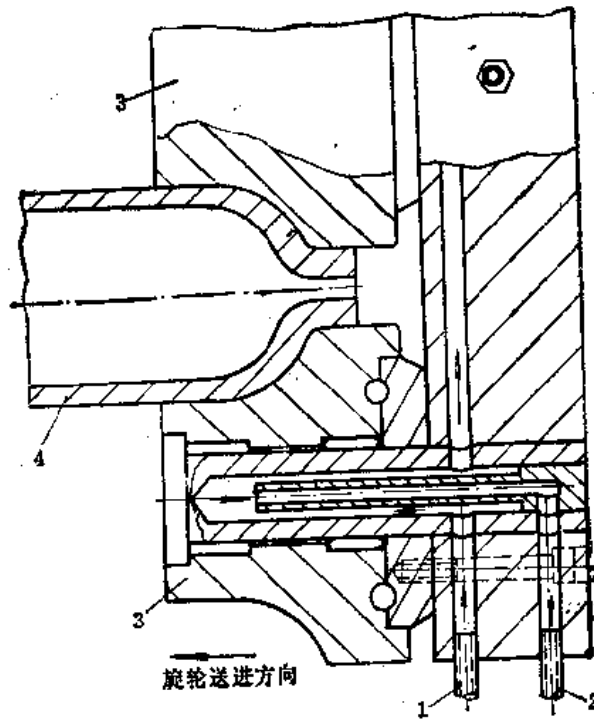


图1

1—冷却水入口；2—冷却水出口；
3—旋轮；4—工件。

用图2工序1的一对旋轮，将管坯缩口后，焊接端头，再用工序2的一对旋轮将工件旋成半球封闭端头。同理，用图3(a),(b)两组旋轮，可将工件旋成平面端头。用图3(c)所示旋轮可旋出工件的凹面端头。

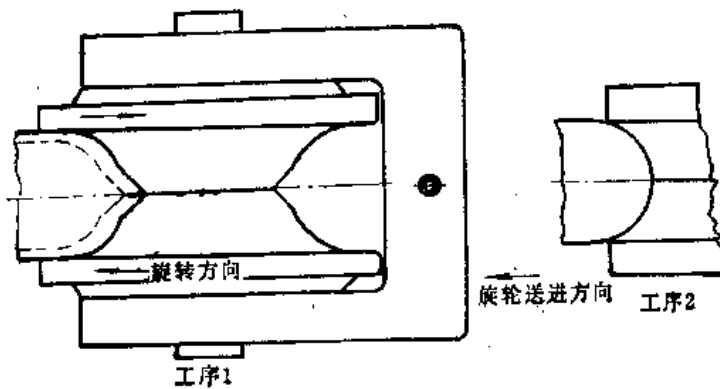


图2

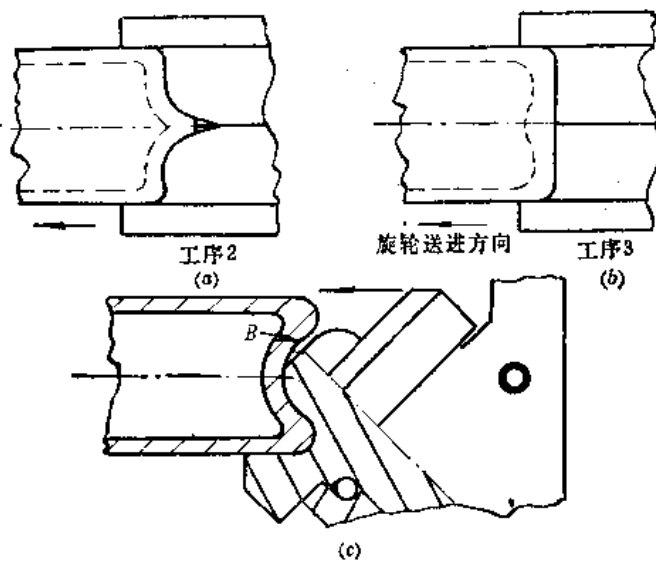
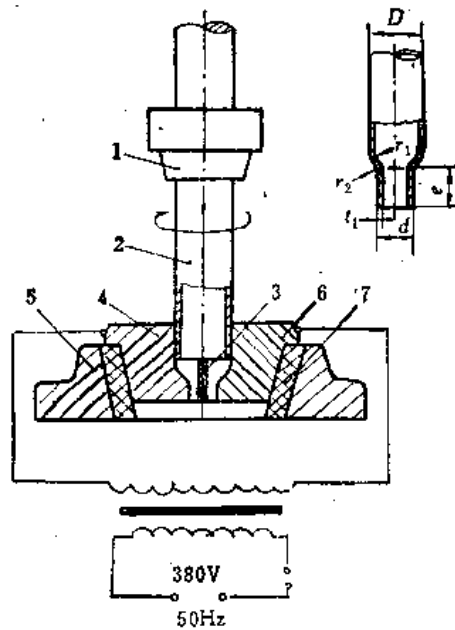


图3

2.8.2.4.2 工频加热缩口

工频加热缩口的原理如图所示^{〔2〕}。分为两半的缩口凹模4与6之间用绝缘片3隔开，凹模与底座5之间用绝缘环7隔开。当管坯2随夹具1旋转并轴向运动送入缩口模内时，管端部与模腔接触，强电流通过管坯端部使其温度升高达到金属的锻造温度。此时工件端部软化，稍加轴向送进力，管端即可按缩口模的型腔成形。

工频加热缩口时，工作电压一般不超过5V。



2.8.3 缩口工艺参数

2.8.3.1 缩口变形程度

2.8.3.1.1 缩口系数

生产上常用缩口系数表示管口缩径的变形程度，其值为管口缩径后与缩径前直径之比。

(1) 总的缩口系数

$$K_s = \frac{d_n}{d_0} \quad (1)$$

式中 K_s ——总的缩口系数；
 d_n ——第 n 次缩口后直径；
 d_0 ——毛料直径。

(2) 工序缩口系数 K_{s_i} ，用每一工序缩口后与缩口前的直径之比来表示，即：

$$k_{s_i} = \frac{d_i}{d_0} = \frac{d_2}{d_1} = \dots = \frac{d_n}{d_{i-1}} \quad (2)$$

常用材料的平均缩口系数 K_{s_i} 见表 1。

表 1. 平均缩口系数⁽¹⁾

材料名称	模 具 成 形		
	无 支 承	外 部 支 承	内 外 支 承
软 钢	0.70~0.75	0.55~0.60	0.30~0.35
黄铜H62, H68	0.65~0.70	0.50~0.55	0.27~0.32
铝	0.68~0.72	0.53~0.57	0.27~0.32
硬铝(退火)	0.73~0.80	0.60~0.63	0.35~0.40
硬铝(淬火)	0.75~0.80	0.68~0.72	0.40~0.43

缩口系数与模具的结构形式关系极大，还与材料的种类和厚度有关。材料厚度越小，缩口系数要相应增大。料厚小于1mm的缩口系数见表 2。

表 2. 薄料的缩口系数

材料名称	材料厚度 (mm)	
	~0.5	>0.5~1
黄 铜	0.85	0.80~0.70
软 钢	0.85	0.75

实际缩口的成败，还与润滑情况、毛料边缘的整齐程度、材料的机械性能以及模具的表面状况等工艺条件有关。

2.8.3.1.2 缩口次数

当工件的缩口系数小于表 1 和表 2 中所列数值时，就需进行多次缩口，缩口次数按下式计算：

$$n = \frac{\lg K_s}{\lg K_{s_i}}$$

一般对第一道工序及以后各道工序的缩口系数分别取：

$$k_1 = (0.9 \sim 0.95) k_s$$

$$k_n = (1.05 \sim 1.10) k_s$$

合理的缩口模锥角，其缩口系数可降低 10~15%，锥角一般取 45°，最好取 < 30°。

2.8.3.1.3 口部厚度

缩口的口部材料略有增厚，通常不予考虑，需精确计算时，口部厚度按下式计算：

$$t_1 = t_0 \sqrt{\frac{d_0}{d_1}} \quad (1)$$

$$t_n = t_{n-1} \sqrt{\frac{d_{n-1}}{d_n}} \quad (2)$$

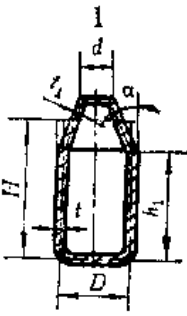
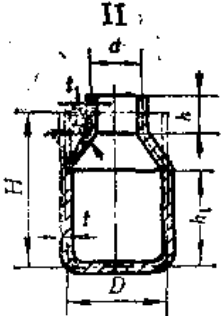
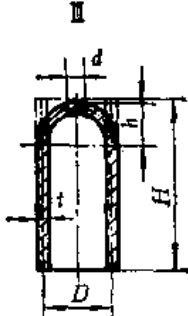
式中 t_1 ——第一次缩口后工件口部厚度；
 t_0 ——工件毛料的壁厚；
 d_0 ——工件毛料的直径；
 d_1 ——第一次缩口后工件口部直径；
 d_{n-1}, d_n ——分别为第 $(n-1)$ 次和第 n 次缩口后工件的口部直径；
 t_{n-1}, t_n ——分别为第 $(n-1)$ 次和第 n 次缩口后工件的口部壁厚。

在缩口后，由于材料的回弹，一般口部直径要比模具的基本尺寸大 $0.5 \sim 0.8\%$ 。所以，在设计模具时，可对口部的基本尺寸乘以 $(0.992 \sim 0.995)$ 作为实际标注尺寸。

2.8.3.2 缩口毛料高度的计算

缩口的毛料高度按下表的公式计算。

缩口毛料高度的计算公式

	I	II	III
			
I	$H = (1 \sim 1.05) \left[h_1 + \frac{D^2 - d^2}{8D \sin \alpha} \left(1 + \sqrt{\frac{D}{d}} \right) \right]$		
I	$H = (1 \sim 1.05) \left[h_1 + h \sqrt{\frac{d}{D}} + \frac{D^2 - d^2}{8D \sin \alpha} \left(1 + \sqrt{\frac{D}{d}} \right) \right]$		
I	$H = h_1 + t \left(1 + \sqrt{\frac{D}{d}} \right) \sqrt{D^2 - d^2}$		

2.8.3.3 缩口力的计算

无心棒的缩口模 (2.8.2.1图a) 按下式计算工件的缩口力。

$$P = (2.4 \sim 3.4) \pi t \sigma_s (D - d)$$

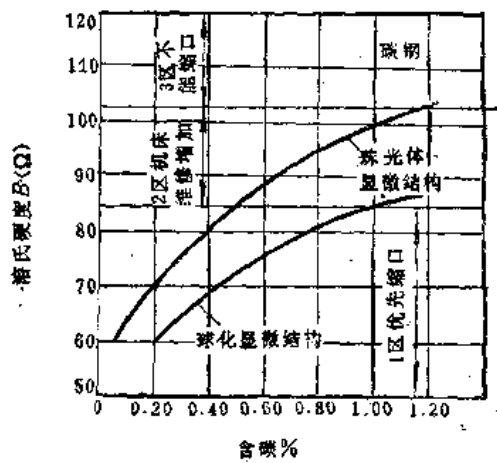
式中 P ——缩口力，N；

- t ——毛坯的壁厚, mm;
- σ_s ——材料抗拉强度, MPa;
- D ——毛料的直径 (按中心层), mm;
- d ——工件缩口部分的直径 (按中心层), mm。

2.8.3.4 缩口参数

缩口管坯最大直径目前可达355mm^{〔8〕}。

材料的硬度, 抗拉强度和剖面收缩率对缩口性能有明显的影响。显微组织的类型和均匀性也影响缩口, 下图所示为碳钢的显微组织、含碳量和硬度与缩口的关系, 可将缩口分成三个区域。



下表所列为不同材料缩口的最大面积缩减率。

冷冲压缩口的最大面积缩减率^{〔8〕}

材 料		面积缩减率 %	材 料		面积缩减率%
普通 碳钢 ^①	~1020	60	合 金	1100-O	70
	1020~1050	50		2024-O	20
	1050~1095	40		3003-O	70
合金 钢 ^②	0.20% C	50		5050-O	70
	0.40% C	40		5052-O	70
	0.60% C	20		6061-O	70
高速 工具 钢 ^③	各种级别的	20		其 他 合 金	7075-O
			铜合金 ^④		60~70
			A-286		60
不 锈 钢 ^⑤	300 系列 400 系列; 低碳的 高碳的	50 40 10	Cb-25Zr		60~70
			Hipernik		80
			Hipernom		80
			Inconel X-750		60
			Kovar	80	
			Vicalloy	50	

①低锰钢, 球化退火; ②球化退火; ③退火。

2.8.3.4.1 不用心棒的管子冲击缩口

不用心棒可以冲击缩口的管径限制为壁厚的30倍。外径大至管壁厚度70倍的管子也能缩口，但在这种情况下，缩口段的斜角必须小于 6° ，送进率必须小于 $380\text{mm}/\text{min}$ 。

无缝管和焊接管都可用于无心棒冲击缩口。无缝管常因有偏心等缺陷，在冲击时会造成较大的偏差。焊接管的壁厚一般比无缝管的均匀，内外径同轴度较好。然而由于焊缝区的金属不象管子的基本金属那样容易流动，冲击缩口后可能引起管子变形。如果焊缝区有缺陷或其金属比其余部分的材料硬，缩口时还可能产生裂纹。

低碳钢缩口时，在手工送进的情况下，冲击模的锥度不宜超过 8° 。对薄壁低碳钢管或塑性更好的管材如退火铜管缩口，只要压力和送进速度相应地降低，则锥度可大至 15° 。当锥度超过 15° 时，应该用机械或液压方法送进。

2.8.3.4.2 用心棒的管子冲击缩口

某些需要用心棒缩口以减小管子壁厚的加工，如果管子的最终壁厚不小于 0.64mm ，并且压缩下的金属厚度（管子加心棒）每一次都不大于管壁厚度10倍，是可以实现的。

在压缩外径时，心棒维持管子的内形，支承薄壁管子缩减其直径。

用硬心棒冲击缩口管子所能达到的公差见表。

外 径	公 差
6.4	± 0.076
12.7~25.4	± 0.127
50.8~76.2	± 0.178
76.2~114.2	± 0.25
>114.2	± 0.38

表中所列数据是用低碳钢试样所得，通常也可用于其它可缩口的金属。公差仅用于缩口工件的主要截面。公差数值是在送进率为 $1524\text{mm}/\text{min}$ 下得出，如果送进率减小到 $762\sim 1026\text{mm}/\text{min}$ ，公差值还可降低50%左右。

参 考 资 料

- (1) 王孝培主编，《冲压设计资料》，机械工业出版社，1983年。
- (2) 唐荣锡、陈鹤坤、陈孝戴编著，《飞机钣金工艺》，国防工业出版社，1983年。
- (3) Metals Handbook, 8th ed, V. 4 1969, P333~346.
- (4) Luther H Bobbitt, American Machinist/Metalworking Manufacturing, Sept. 3, 1962, P76~77.

2.9 冷 挤 压

2.9.1 冷挤压方法及分类

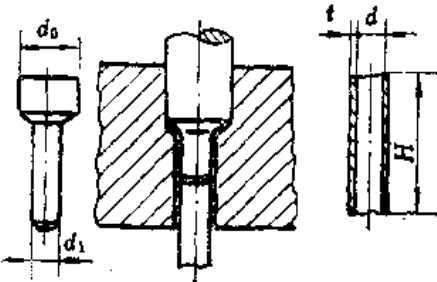
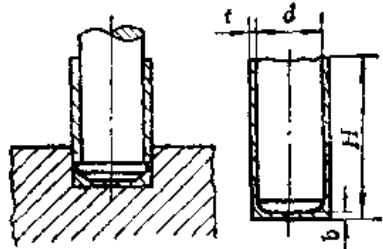
冷挤压是在室温下,毛坯不经加热放入凹模,利用凸模的压力使金属产生塑性变形,经过模孔或凸、凹模之间的缝隙挤出,从而获得一定形状、尺寸及性能的零件加工方法。

根据金属被挤出的方向,冷挤压可分为以下几种基本方式:

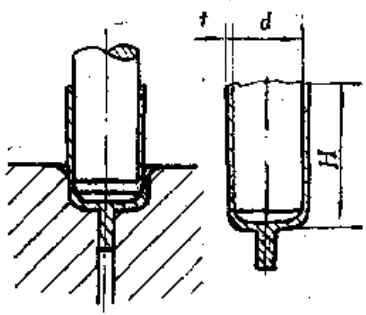
1. 正挤压——金属挤出方向和凸模运动方向一致;
2. 反挤压——金属挤出方向和凸模运动方向相反;
3. 复合挤压——金属的流动同时兼有正挤和反挤的特征;
4. 径向挤压——金属在垂直于加压方向的平面内作径向流动。

各种挤压方法的一般适用范围见表。

各种冷挤压方法的一般适用范围(1)、(2)

序号	名称	示意图	适用范围
1	正挤压		实心件及管状件。管状件数值范围如下。 最小内径 d 铝 1mm 紫铜及黄铜 2mm 最薄壁厚 t 铝 0.05mm 紫铜及黄铜 0.3mm 最大高度-直径比 H/d 铝 ≤ 60 紫铜及黄铜 ≤ 20
2	反挤压		各种断面形状的杯形件 最小内径 d 铝 3mm 紫铜及黄铜 5mm 最薄壁厚 t 铝 0.08mm 紫铜及黄铜 0.3mm 低碳钢 1.0mm 最小底厚 b 铝 $0.05d$ 低碳钢 $0.1d$ 硬质材料 $0.2d$ 最大高度-直径比 H/d 铝 $\leq 7\sim 10$ 紫铜及黄铜 $\leq 3\sim 4$ 低碳钢 ≤ 2.5 中碳钢或合金钢 $\leq 1\sim 2$

(续)

序号	名称	示意图	适用范围
3	复合挤压		复杂工件 最小内径 d 铝 3mm 紫铜及黄铜 5mm 最薄壁厚 t 铝 0.08mm 紫铜及黄铜 0.3mm 最大高度-直径比 H/d 铝 ≤ 8 紫铜及黄铜 $\leq 3\sim 4$ 低碳钢 ≤ 2.5

2.9.2 冷挤压用材料

目前常用的冷挤压材料见表。

常用冷挤压材料

	种类	材料牌号
1	铝及铝合金	L1~L5, LF2, LF5, LF21, LY11, LY12, LD5等
2	铜及铜合金	T1~T3, TU1, TU2, H62~H80, QS _n 6.5~0.16等
3	镁合金	MB1~MB5
4	镍及镍合金	N1~N6, NiCu70~30
5	电工纯铁	DT1, DT2
6	碳素钢	A1~A5, B1~B5, 08~55
7	合金结构钢	15Mn, 16Mn, 20Mn, 20MnV, 20MnB, 15Cr~40Cr, 12CrNi3A, 12CrNiTi, 18CrMnTi, 30CrMo, 30CrMnSi, 30CrMnSiA等
8	不锈钢	*0°Cr13, 1Cr13, 2Cr13, 1Cr18Ni9Ti等

此外, 钛及某些钛合金、坡莫合金等也可进行冷挤压加工。某些高强度材料, 如工具钢T8A、轴承钢GCr9、GCr15及高速钢W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2等也可在一定变形程度内进行冷挤压。

一般, 强度指标 σ_s , σ_b 越低, 塑性指标 δ , ψ 越高, 冷作硬化指数 n 越小的材料, 越有利于进行冷挤压。大部分材料在冷挤压前需经退火软化处理, 以便降低其硬度和变形抵抗力, 提高塑性。

上述性质与材料的化学成分、组织结构、热处理状态密切相关。例如, 纯铝、纯铜、纯镍等加工容易, 合金成分多的铝合金难于加工。黄铜的变形抵抗力相当于低碳钢, 含锌35%以上的黄铜加工极其困难。镇静钢, 特别是铝镇静钢一般比沸腾钢容易加工。钢中含碳量愈低, 愈适于冷挤压加工。锰、硅等元素含量偏高时, 挤压性能较差。目前, 含碳量在0.35%以下的碳钢, 及含锰15%、含硅0.3%、铬1.3%、铝0.5%、镍0.75%以下的低合金钢的挤压成形性能较好^{[2]、[8]}。含碳和硅量的变化将影响变形抗力和制件高度的精度, 因此制造精密零件时, 同批加工件的化学成分必须一致。

对于钢，特别是含碳量超过0.3%的钢，球状珠光体组织较理想。

材料中的硫、磷、铜使挤压性能降低。一般，希望这些夹杂物尽可能细小，且呈球状均匀分布。钢中的含硫量一般应控制在0.4~0.6%以下。

2.9.3 冷挤压件的工艺性

2.9.3.1 冷挤压件的一般工艺要求

(1) 尽可能提高冷挤压件横断面的对称性，与加压方向垂直的断面尽量取圆形。侧面应保持平直完整，避免有内锥、凸出或凹进的形状，如凸台、十字筋、环槽、径向孔或螺纹等。若零件上要求这些形状时，应采取加大余量或增设凸筋等，使其形状对称；或者用先挤压后切削加工（或焊接）的方法得到。

(2) 冷挤压件上应避免尖角，尽可能采用较大的圆角。反挤压时，圆角半径应比正挤压适当大些。有色金属挤压件的圆角半径可以略小。一般，材料越硬，零件形状越复杂，尺寸越大的，所需圆角半径也越大。零件图上未注明的圆角半径不应小于0.3mm。表1列出圆角半径的参考值。

表1. 圆角半径 r_1, r_2

(mm)

直径D或d, 高度H或h	外侧 r_1		内侧 r_2	
	普通	精密	普通	精密
~10	0.5~2.0	0.3~1.0	1.0~3.0	0.5~1.5
10~25	0.7~2.0	0.5~1.5	1.5~4.0	0.7~2.0
25~50	1.0~3.0	0.7~2.0	2.0~5.0	1.0~3.0
50~80	1.5~5.0	1.0~3.0	2.5~7.0	1.5~5.0
80~120	2.0~6.0	0.8~5.0	3.0~9.0	2.0~7.0
120~160	3.0~9.0	2.0~8.0	4.0~10.0	3.0~9.0

(3) 避免挤细小深孔。当零件上的孔径小于10mm，孔深大于直径的1.5倍，或挤压截面缩减率大于70%时，用冷挤压后钻孔的方法制孔较经济⁽⁴⁾。

(4) 尽量避免一次挤出台阶尺寸变化不大的零件。要求的阶梯形状，可在挤压后用切削加工完成，如图1和2，阶梯断面变化部位应设计成锥形过渡。表2列出锥角 α 的理想值。但对于变形抗力高的材料，从模具强度考虑， α 要取较大值。

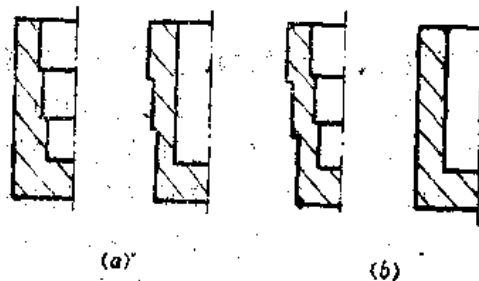


图1

(a) 尽量避免的；(b) 适宜的形状。

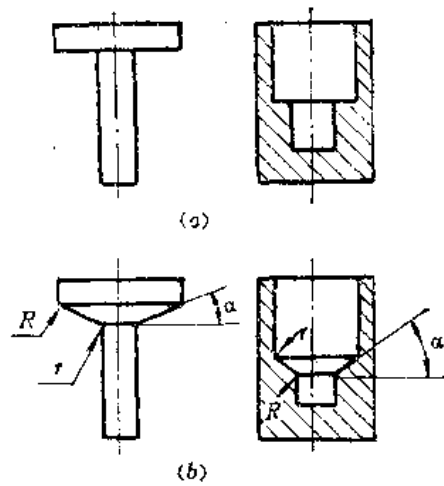


图2

(a)不合理的急剧过渡;
(b)合理的锥形过渡。

表2. 锥角的最佳值⁽¹⁾

断面缩减率 ^① e_r (%)	20	50	75	98
棒、管正挤压件	10°~20°	30°~45°	45°~60°	75°~90°
反挤压杯形件	60°~90°	60°~90°	75°~90°	75°~90°

① 见2.9.5.1节

(5) 形状要考虑到后续加工时的装卡和基准面；自动化加工时形状要便于夹持、插入、定位和取出。

冷挤压件的合理尺寸见表3及表4。图3所示为两种基本类型复合挤压件的形状，各尺寸参数可参照单独的正挤或反挤的尺寸进行选择。

表3. 反挤压件的合理尺寸 (2)、(4)~(6)

简图	尺寸参数	低碳钢	有色金属
	内孔直径 d	$\leq 0.86D$	$< 0.99D$ (纯铜 $t \geq 0.08\text{mm}$) $< 0.9D$ (硬铝、 黄铜)
	d_1	$\leq 0.86D$	"
	d_2	$\geq 0.55D$	$\geq 0.55D$
	壁厚 t	$\geq 1/15D$ (不 小于1mm)	$> 1/200D$ (纯铜) (不小于0.1mm) $> 1/20D$ (硬铝、 黄铜)(不小于 0.3mm)
	内孔深度 h	$\leq 3d$	$\leq (6 \sim 7)d$
	h_1	$\leq 3d_1$	$\leq 3d_1$
	h_2	$\leq d_2$	$\leq d_2$
	底部厚度 b	$\geq t$ 或 $\geq 1/10d$	$\geq 0.6t$
	孔底锥角 a	$0.5^\circ \sim 3^\circ$	$0^\circ \sim 2^\circ$
	过渡锥角 a_1	$15^\circ \sim 40^\circ$	$12^\circ \sim 25^\circ$
底部锥角 β	0.5°	0°	

简 图	尺寸参数	低 碳 钢	有 色 金 属
	凹角半径 r	$>0.5 \sim 1.0\text{mm}$ (低碳钢) $>1.0 \sim 1.5\text{mm}$ (低合金钢)	$>0.2 \sim 0.5\text{mm}$
	凸角半径 R	$>0.5 \sim 1.0\text{mm}$	$>0.5 \sim 1.0\text{mm}$

注：该表对应下列许用变形程度：钢70%，硬铝与黄铜80~82%，纯铝98%，小孔反挤30%。

表4. 正挤压件的合理尺寸(2)、(5)、(8)

简 图	尺寸参数	低 碳 钢	铝 及 铝 合 金
	圆锥角 θ	$120^\circ \sim 170^\circ$	$140^\circ \sim 170^\circ$
	顶锥角 β	0.5°	0°
	杆部直径 d	$\geq 0.45D$	$\geq 0.22D$
	压余厚度 b	$\geq 0.5d$	$\geq 0.5d$
	凹角半径 r	$0.5 \sim 1.0\text{mm}$	$0.2 \sim 0.5\text{mm}$
	凸角半径 R	$\geq 3\text{mm}$	$3 \sim 5\text{mm}$

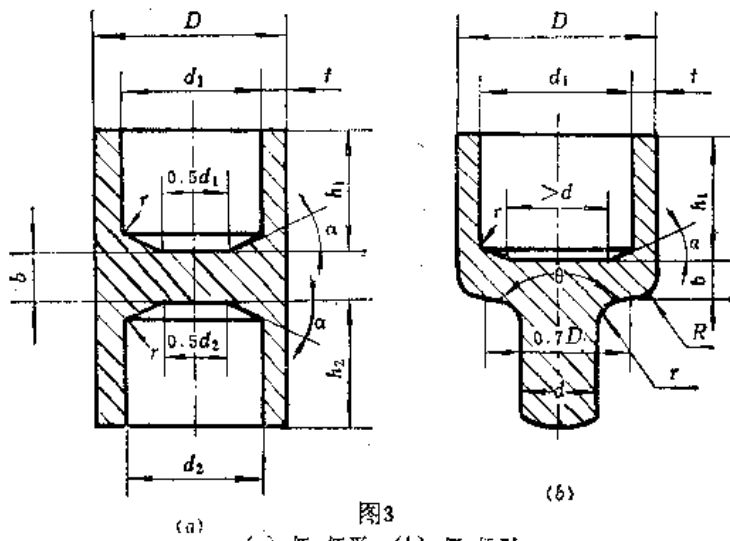


图3 (a) 杯-杯形；(b) 杯-杆形。

表中数值是理想变形条件下，一道成形工序的最小极限尺寸。超出表列数值时，应增加工序或考虑改变成形方法。

2.9.3.2 冷挤压件的尺寸精度及表面粗糙度

影响冷挤压件精度的主要因素有：

- (1) 工件尺寸的大小、形状及工艺性；
- (2) 模具的制造精度、材料及磨损情况；
- (3) 压力机的精度与刚性；
- (4) 挤压速度；
- (5) 毛坯的状态。挤压用的毛坯直径的偏差不应超过 $\pm 0.05\text{mm}$ ，上下端面必须平整。必须进行合适的软化处理、表面处理及润滑。

冷挤压件的精度与表面粗糙度，参见表1。

表1. 冷挤压件的精度及表面粗糙度^[4]

形 式	尺 寸 精 度	表 面 粗 糙 度 (μm)
一般零件的挤压	IT8级以上	Ra1.6~3.2(最小0.4~0.8)
模具型腔的挤压	IT7~IT8级	Ra0.4~0.8(最小0.2)

黑色金属正挤压实心件、反挤压件的尺寸偏差及镦挤件的轴径公差见表2~表5。表中列出了大批量生产中，正常的挤压工序及用附加精整工序时所能达到的精度范围。

表2. 正挤压实心件尺寸的极限偏差^{[4],[6]} (mm)

直 径 d			长 度 h	
基本尺寸	偏 差		基本尺寸	偏 差 w
	一 般 的	用附加整形工序的		
10~18	± 0.05	—	<100	0.02~0.16
18~30	± 0.07	± 0.052	100~200	0.05~0.25
30~50	± 0.08	± 0.062	200~500	0.10~0.50
50~80	± 0.10	± 0.074	500~700	0.20~1.50
80~100	± 0.12	± 0.087	700~1200	0.50~2.00

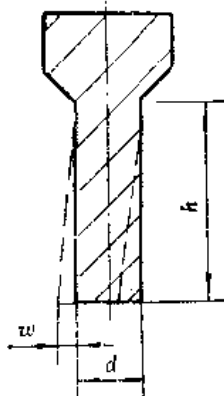
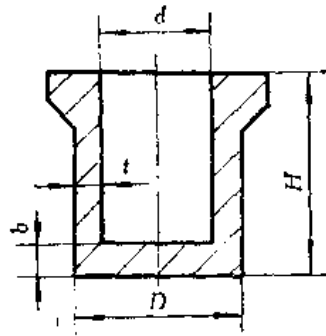


表3. 挤压件尺寸的极限偏差($H/D \leq 1.2$) (A), (B)

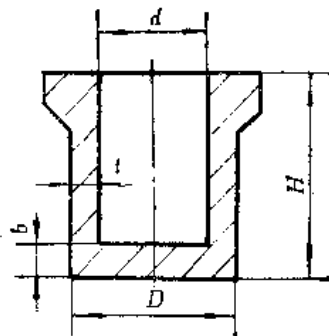
(mm)



外 径 D			内 径 d		
基本尺寸	偏 差		偏 差		
	一 般 的	用附加工序的	一 般 的	用附加工序的	
<10	±0.08	±0.05	±0.10	±0.05	
>10~30	±0.10	±0.06	±0.10~±0.20	±0.05~±0.10	
>30~40	±0.12	±0.07	±0.15~±0.25	±0.10~±0.15	
>40~50	±0.15	±0.10	±0.20~±0.25	±0.10~±0.15	
>50~60	±0.20	±0.12	±0.20~±0.30	±0.12~±0.20	
>60~70	±0.22	±0.15	±0.20~±0.30	±0.15~±0.25	
>70~80	±0.25	±0.17	±0.20~±0.35	±0.15~±0.25	
>80~90	±0.30	±0.20	±0.25~±0.40	±0.20~±0.30	
>90~100	±0.35	±0.22	±0.30~±0.45	±0.25~±0.35	
>100~120	±0.40	±0.25	±0.35~±0.50	±0.30~±0.40	
壁 厚 t			底 厚 b		
基本尺寸	偏 差		基本尺寸	偏 差	
	一 般 的	用附加工序的		一 般 的	用附加工序的
<2	±0.10	±0.05	<2	±0.15~±0.20	±0.10
>2~10	±0.15	±0.10	>2~10	±0.20~±0.30	±0.15
>10~15	±0.20	±0.15	>10~15	±0.25~±0.30	±0.20
			>15~25	±0.30~±0.40	±0.25
			>25~40	±0.40~±0.50	±0.35

表4. 反挤压件尺寸的极限偏差($H/D > 1.2$)^{(4), (6)}

(mm)



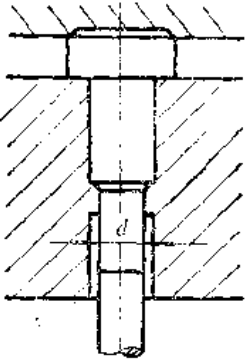
外 径 D			内 径 d			
基本尺寸	偏 差		基本尺寸	偏 差		
	一 般 的	用附加工序的		一 般 的	用附加工序的	
10	±0.1	±0.020	±0.05	±0.02		
>10~30		±0.020	±0.05~±0.07	±0.02~±0.04		
>30~40		±0.020	±0.08~±0.10	±0.02~±0.04		
>40~50		±0.025	±0.10~±0.12	±0.025~±0.04		
>50~60		±0.030	±0.12~±0.14	±0.03~±0.05		
>60~70		±0.2~±0.3	±0.035	±0.15~±0.18	±0.035~±0.05	
>70~80			±0.040	±0.18~±0.20	±0.04~±0.05	
>80~90			±0.050	±0.20~±0.24	±0.05~±0.08	
>90~100			±0.060	±0.25~±0.30	±0.06~±0.09	
>100~120		±0.3	±0.080	±0.30~±0.40	±0.08~±0.10	
>120~140	±0.4	±0.120	±0.40~±0.50	±0.10~±0.12		

壁 厚 t			底 厚 b		
基本尺寸	偏 差		基本尺寸	偏 差	
	一 般 的	用附加工序的		一 般 的	用附加工序的
<0.6	±0.05~±0.10	±0.020	<2	±0.15	±0.10
>0.6~1.2	±0.07~±0.10	±0.020	<2~10	±0.20~±0.30	±0.12
>1.2~2.0	±0.10~±0.12	±0.025	<10~15	±0.25~±0.35	±0.15
>2.0~3.5	±0.12~±0.15	±0.030	<15~25	±0.30~±0.40	±0.20
>3.5~6.0	±0.15~±0.20	±0.040	<25~40	±0.35~±0.50	±0.25
			<40~50	±0.40~±0.50	±0.30
			<50~70	±0.45~±0.60	±0.35

表5. 锻挤件的轴径公差 (4)

(mm)

轴 径 d	轴 径 公 差
>10~18	0.035
>18~30	0.050



黑色金属空心件的内、外径偏差采用外径的0.15~1.2%，圆度采用外径(或内径)的0.2~0.6%。

有色金属正、反挤压件的尺寸及偏差见表6及表7。

表6. 有色金属正挤压件的尺寸及极限偏差 (1), (4), (7)

(mm)

名 称	铅、锡、锌、铝	硬铝、铜、黄铜	偏 差
圆管直径	1~100	2~100	±(0.03~0.05)
矩形管断面	2×4~70×80	3×5~70×80	±(0.03~0.05)
壁厚	0.05~0.1以上	0.3~1.0(铜) 0.5~1.0(黄铜)	±(0.03~0.075)
凸缘厚度	0.2~0.5以上	≥壁厚	±(0.05~0.1)
工件长度直径比 H/d	≤60	≤40(硬铝) ≤20(铜及黄铜)	±(1~5)

注：工件的最大尺寸取决于压力机的最大行程和压力。

表7. 有色金属反挤压件的尺寸及极限偏差 (4), (7)

(mm)

名 称	铅、锡、锌、铝	硬铝、铜、黄铜	偏 差
圆管直径	3~150	5~70	±(0.03~0.05)
矩形管断面	3×4~70×80	4×5~20×40	±(0.03~0.05)
壁厚	0.08~0.23以上	0.5~1.0以上(铜) 1.0~1.0以上(黄铜)	±(0.03~0.075)
底厚	0.25~0.5以上	≥壁厚	±(0.1~0.2)
工件长度直径比 H/d	≤10(铅) ≤8(铝)	3~5	±(1~3)

注：工件的最大尺寸取决于压力机的最大行程和压力。

2.9.3.3 冷挤压件图的内容

冷挤压件图是适合于冷挤压的零件的图形。它是根据成品零件图，考虑到挤压工艺性和机械加工的工艺要求进行设计的。设计的基本原则是：(1) 形状易于挤压成形；(2) 保证模具受力均匀；(3) 尺寸在挤压成形加工的许可范围内。

挤压件图一般包含下列内容：

- (1) 挤压用材料；
- (2) 挤压和进一步加工的工艺基准；
- (3) 内、外圆角半径；
- (4) 切削加工余量和公差；
- (5) 表面粗糙度和形位公差；
- (6) 多余材料排出方式；
- (7) 主要技术条件等。

图1及图2为冷挤压件图的示例^{〔5〕}。

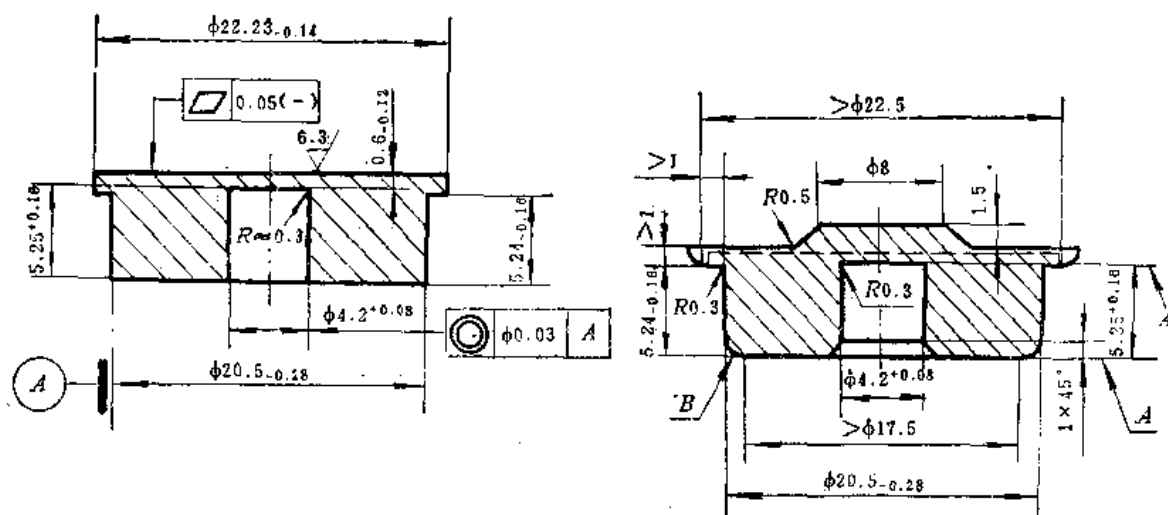


图1

图2

冷挤压件的技术条件主要有以下几方面：

- (1) 热处理及性能要求。

主要热处理有渗碳、淬火、淬火-时效（铝合金）及退火等。热处理后的性能要求，如强度、硬度、测试部位及取样数量等。

- (2) 对表面缺陷（包括材料本身的缺陷和挤压过程中产生的缺陷），挤压件图上应规定是否允许存在，允许存在的范围、程度和数量等。

- (3) 特殊要求，如规定晶粒度、压凹硬度和显微试验等。

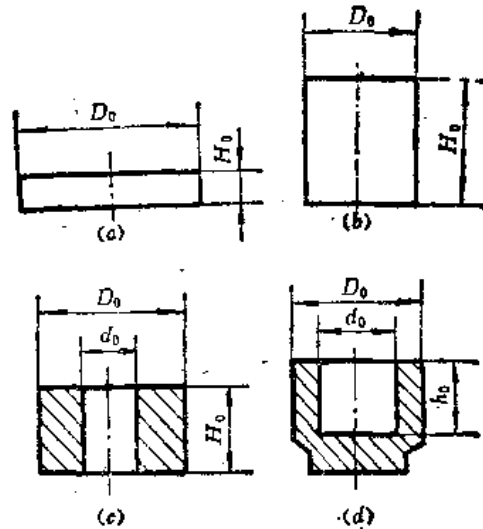
2.9.4 冷挤压毛坯

2.9.4.1 毛坯的形状和尺寸

2.9.4.1.1 毛坯形状

正挤压件的毛坯形状如图(a)~(d)所示。实心毛坯用于挤压实心件,空心毛坯用于挤压空心件。

反挤压的毛坯形状如图(a),(b)或(c)。



(a) 片状; (b) 圆柱形; (c) 管形; (d) 半球形。

2.9.4.1.2 毛坯尺寸计算

挤压件的毛坯尺寸,一般以制件体积为基础,根据体积相等的原则来计算,即

$$V_0 = V + V'$$

式中 V_0 ——毛坯所需体积, mm^3 ;

V ——挤压件体积, mm^3 ,由挤压件图确定;

V' ——修边体积, mm^3 , $V' \approx 3 \sim 5\% V_0$,旋转体的修边余量 ΔH 根据工件高度决定,见表1及2。

表1. 修边余量 ΔH (%)

(mm)

工件高度 h	10	10~20	20~30	30~40	40~60	60~80	80~100	>100
ΔH	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6% h

注: 1. 在作复合挤压时,因金属上下流动的不均, ΔH 应适当加大;

2. 矩形件,按上表的数值加倍。

表2. 大量生产铝质外壳时的修边余量 ΔH (mm)

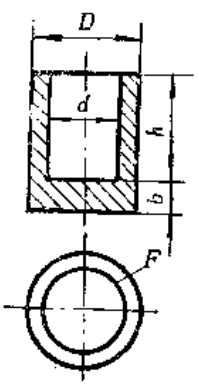
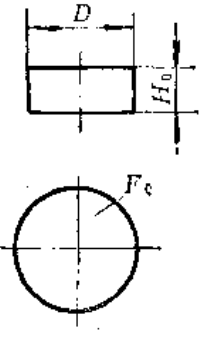
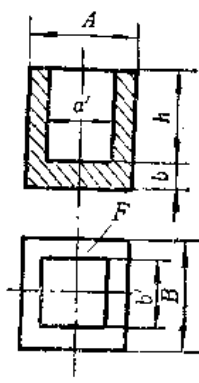
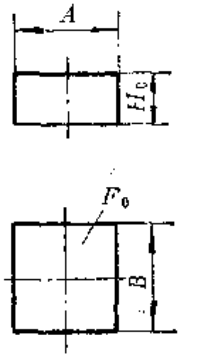
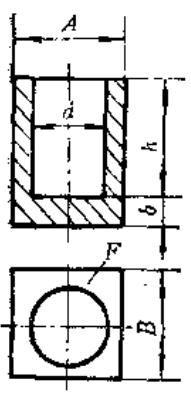
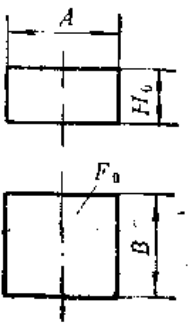
(mm)

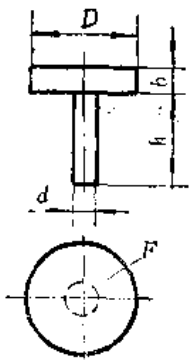
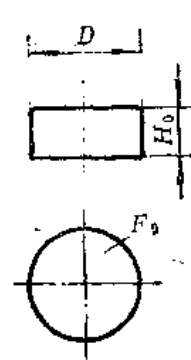
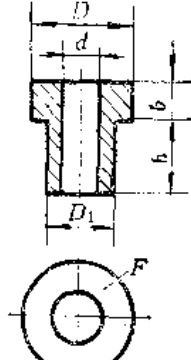
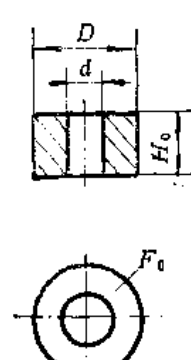
工件高度	15~20	20~50	50~100
ΔH	8~10	10~15	15~20

注: 适用于壁厚0.3~0.4mm的铝反挤压件。

凡需进行机械加工的面(或直径), 每面(或直径)通常留0.5mm左右的加工余量。
常见挤压件的毛坯厚度计算公式见表3。

表3. 各种形状毛坯厚度的计算式

挤压件形状	毛坯形状	毛坯厚度计算式
		$H_0 = b + h \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \right)$
		$H_0 = b + h \left(1 - \frac{a'^2}{AB} \right)$
		$H_0 = b + h \left(1 - 0.785 \frac{d^2}{AB} \right)$

挤压件形状	毛坯形状	毛坯厚度计算式
		$H_0 = b + h \frac{d^2}{D^2}$
		$H_0 = b + h \left(\frac{D_1^2 - d^2}{D^2 - d^2} \right)$

毛坯的外径，通常取为接近成品零件的直径。但为了便于将毛坯自由放入凹模型腔和避免毛坯的润滑被膜被擦落，毛坯直径一般比模具内径小0.1~0.2mm^{〔2〕}。当采用一道工序挤压简单形状零件时，毛坯的内、外径尺寸计算如下：

毛坯外径 D ：

正挤

$$D = D_1 - (0.1 \sim 0.3) \text{mm}$$

反挤

$$D = D_1 - (0.01 \sim 0.05) \text{mm} \quad (\text{适用于薄壁有色金属及硬质合金模具})$$

空心件毛坯内径 d ：

零件内孔要求不高时，

$$d = d_1 + (0.1 \sim 0.3) \text{mm}$$

零件内孔要求高时，

$$d = d_1 + (0.01 \sim 0.05) \text{mm}$$

式中 D_1 —凹模直径；

d_1 —零件内径。

当挤压件精度要求高时，或模具材料硬度高时，间隙取小值。

2.9.4.2 毛坯的制备

冷挤压原材料一般采用棒料、板料、线材及管材。常用的下料方法有锯切、车切、冲裁和剪切。

确定坯料形状与下料方法时,应考虑挤压件形状和尺寸关系、生产率及质量要求、设备条件、材料利用率,工序次数等,参看表1及表2。

表1. 挤压件形状与坯料形状的关系^[1]

挤压件形状		坯料形状
轮廓形状	尺寸比	
实心件	高度 H 大时	棒料或线材
	高度 H 小时	棒料或板材落料毛坯
	高度 H 大,壁薄且直径 D 大时	板材落料毛坯
空心件	高度 H 小,直径 D 小时	棒料
	直径 D 大时	棒料或板材落料毛坯

注: H —挤压件高度; D —挤压件最大外径。

表2. 毛坯下料方法比较^{[2],[4]}

加工方法		材料利用率 (%)	生产率	高度/直径	质量	备注
A	棒料车切 棒料车锯	70~90	低	$>1/4$	端面、尺寸、形状良好	去毛刺,按情况倒角
B	棒料剪切	95~100	高	$>1/2$	端面不平整	剪断后墩压,退火
C	板材落料	40~70	高	$<1/4$	断面质量差,采用负间隙 质量较好	根据具体情况去毛刺

圆棒料在挤压生产中应用最广。当毛坯的高径比 $H/D > 1$ 时,最宜采用高效、经济的剪切下料方法。但剪切的毛坯,在挤压前,要通过冷墩、校形等预成形工序,使端面平整、形状对称、尺寸准确。

当挤压件毛坯直径与标准棒料直径不一致时,或当毛坯的高径比较小时($H/D < 1/2$),可用小于挤压件直径的棒料,通过平行平板间的冷墩,预压成所需直径的毛坯。

冷墩的变形程度为

$$\varepsilon_1 = \frac{H-h}{H} \times 100\%$$

式中 H —毛坯初始高度;

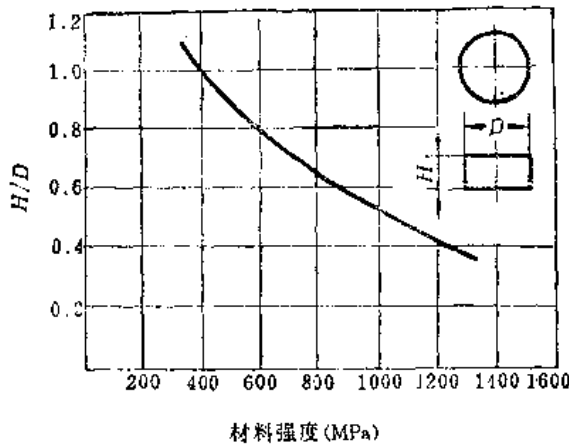
h —冷墩后的高度。

表3是硬铝和低碳钢在平板模间一次自由墩粗时的许用变形程度。

表3. 冷墩许用变形程度^[5]

材 料		许用变形程度 $\varepsilon_{P_{max}}$ (%)	最大初始硬度 HB_{max}
牌 号	状 态		
硬铝LY11	退 火	40~50	83~85
硬铝LY12	退 火	40~45	88~94
10号钢	冷 拔	75~80	224~229
20号钢	退 火	65~70	213

当用棒料剪切下料时，坯料的最小剪切长度取决于材料强度，见图。

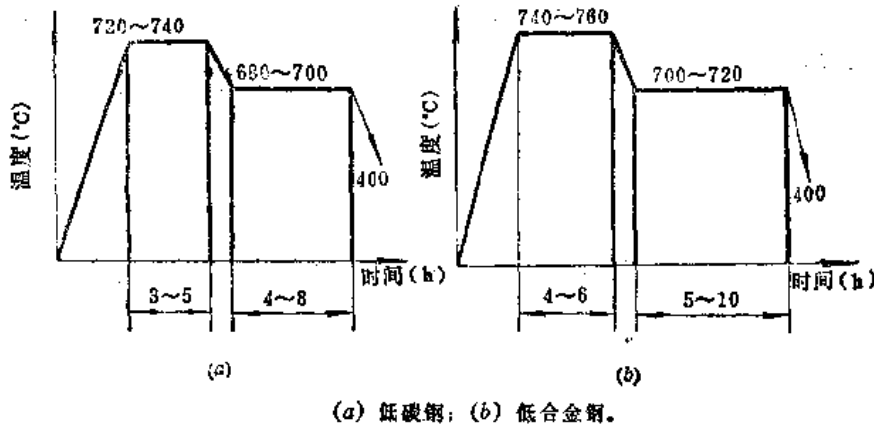


2.9.4.3 毛坯的软化处理

为了改善原材料的挤压性能，提高塑性，降低硬度和变形抵抗力，以及提高模具寿命，大部分坯料在挤压前需经软化处理（退火）。

多次挤压时，若变形程度很大，一般应安排工序间的中间退火。一般认为，挤压件若有一个表面的硬度超过 HB 90~100 时，便须在下道挤压工序之前重新进行软化处理。

挤压性能与金属的显微组织密切相关。对于钢来说，为了改善挤压性能，降低单位挤压力，和改善挤压后的变形性能、加工性能、热处理质量，一般采用球状化退火。碳钢和合金钢球化退火的标准工艺规范见图(2)-(3)。



2.9.4.4 毛坯的表面处理与润滑

变形程度小的自由挤压和减径挤压，多以植物油、矿物油、石蜡以及其它冲压工作油作液体润滑。当材料塑性流动大时，必须对冷挤压毛坯进行有效的表面被膜润滑处理。通常先对毛坯进行表面处理，使表面形成一层粘结牢固，呈多孔状，有相当高的吸附作用的膜层，作为润滑剂的保持层。常用的方法有磷酸盐处理，草酸盐处理，氧化处理，

钝化处理等；然后，再在处理过的表面上涂润滑剂，如，皂化液、硬脂酸锌、菜油等，使形成能在一定的温度和高压下保持良好润滑性能的牢固的润滑膜。

不同的挤压材料，采用不同的表面处理方法和润滑剂。几种材料的处理方法示例见表。

几种常用材料的冷挤压件表面处理与润滑^[4]

材 料	处理方法	所用化学药品	温度(°C)	时间 (min)	常用润滑剂
碳钢(50钢)	磷化处理	氧化锌(ZnO) 169g 磷酸(H ₃ PO ₄) 283g 硝酸(HNO ₃) 259g 水(H ₂ O) 289g	95~93	20~30	皂化液
不锈钢 (1Cr18Ni9Ti) (1Cr13)	草酸盐处理	草酸(H ₂ C ₂ O ₄) 50g 钼酸铵(NH ₄) ₂ MoO ₄ 30g 氯化钠(NaCl) 25g 氟化氢钠(NaHF ₂) 13g 亚硫酸钠(NaSO ₃) 3g 水(H ₂ O) 1L	90	15~20	氧化石蜡 85% 二硫化钼 15%
黄铜 (H62、H68)	钝化处理	铬酐200~300g/L 硫酸8~16g/L 硝酸30~50g/L	20	5~15	豆油 菜籽油
硬铝 (LY11、LY13)	氧化处理	工业氢氧化钠40~60g/L	50~70	1~5	豆油 菜籽油 蓖麻油

2.9.4.4.1 碳钢与合金钢的磷化-皂化处理

磷化，即磷酸盐处理，是将经过表面清洗的钢坯放入磷酸锰铁盐或磷酸二氢锌水溶液中，金属铁与磷酸相互作用后生成不溶于水的磷酸盐被膜，膜厚一般为10~15μm。处理程序见表1。

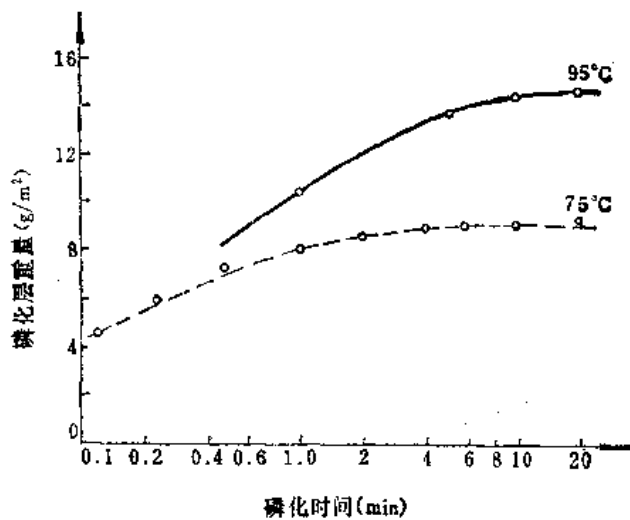
表1. 一般钢材的磷化-皂化处理法

工 序		处 理 液	处理温度(°C)	处理时间(min)
1	除 油	渗透性清洗剂，苛性钠	~90	1~5
2	水 洗	流动热水	80~100	15~20
3	酸 洗	硫酸、盐酸(10%水)	室温~50	10~15
4	水 洗	流动水	室温	1~2
5	中 和	碳酸钠中和液	35~50	2~3
6	水 洗	流动水	室温	1~2
7	磷 化	磷酸盐处理液	75~95	20~30
8	水 洗	流动水	室温	1~2
9	中 和	稀肥皂溶液	60~80	1~3
10	水 洗	流动水	室温	1~2
11	润 滑 处 理	皂化液	60~70	20~30
12	干 燥	热风(或利用皂化余热)	80~130	干透

另一种磷化处理液的配方是：

酸式磷酸锰	$XFe(H_2PO_4)_2 \cdot YMn(H_2PO_4)_2$	30~40g/L
硝酸锌	$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	60~80g/L
亚硝酸钠	$Na_2(HNO_3)$	2~4 g/L
总酸度		60~80点
游离酸度		3~5点
温度		70~80℃
时间		20~30min

磷酸膜的厚度（或重量）取决于毛坯在磷化槽中的处理时间和温度，见图。



毛坯经磷化处理后，要立即进行润滑处理，目前普遍采用皂化处理方法，利用硬脂酸钠或肥皂作为润滑剂，使与磷化层中的磷酸锌 $Zn_3(PO_4)_2$ 发生化学反应，生成金属皂皂化液配方如下：

配方一：每升水加5~9g硬脂酸钠($C_{17}H_{35}COONa$)。硬脂酸钠可按每升水加57g硬脂酸($C_{17}H_{35}COOH$)和8g氢氧化钠($NaOH$)，将二者在容器内加热到90℃以上，搅拌1~2h获得。

配方二：每升水加60~70g工业肥皂（含动植物脂肪84%）。

皂化后的润滑层厚度，视需要而定，一般反挤压比正挤压要厚一点；变形程度较大的中间工序要求稍厚，而最终成形工序不宜太厚，否则，零件表面可能出现麻坑或丝纹，并影响尺寸精度。由于干性润滑剂要滞留在模具角部，因此在难于正确成形时也可采用其它润滑剂。

表2列出生产中常见的磷化被膜处理质量问题及解决办法。

表2. 磷化被膜处理的质量问题及其解决办法^[6]

质量问题	产生原因	解决办法
磷化膜结晶粗大	1. 酸洗溶液浓度高; 2. 酸洗时间长; 3. 游离酸过高; 4. 磷化时间长	1. 控制磷化前的酸洗过程; 2. 调整总酸比; 3. 降低游离酸度
磷化膜不均匀	1. 磷化液使用时间过长; 2. 磷化时间短	1. 调整磷化溶液; 2. 保证磷化时间
局部没有磷化层	1. 清洗不良, 油液没有全部除掉; 2. 坯料之间相互接触压死; 3. 零件与挂具接触	1. 彻底清洗干净; 2. 小型零件磷化过程中加强抖动; 3. 设计专用挂具
坯料表面有附着物	1. 磷化溶液中存在过多的硫酸根 (SO_4^{--}) 和氯根 (Cl^-); 2. 磷化液使用时间过长; 3. 磷化液残渣过多	1. 去除过多沉淀和杂质; 2. 重新调整溶液; 3. 控制酸洗残液进入磷化槽, 加强中间的清洗
挤压时磷化膜脱落	1. 原有磷化膜未全部去除干净; 2. 磷化或皂液中有杂质	1. 重新磷化之前, 将挤压后残留的磷化层, 彻底除净; 2. 重新磷化; 3. 除去溶液中杂质
挤压时发生剧烈响声	1. 局部没有磷化膜; 2. 酸洗时间长, 坯料表面层产生氢脆现象; 3. 游离酸过高	1. 加强清洗、除油工序; 2. 控制酸洗时间; 3. 调整溶液

9.4.4.2 不锈钢的润滑处理^[1]

不锈钢 (1Cr18Ni9Ti) 及镍、铬含量较高的合金在磷酸液中不能生成所需的磷化膜层, 要用草酸盐处理, 使毛坯表面生成黄绿色的草酸亚铁 ($FeC_2O_4 \cdot 2H_2O$)。草酸盐被膜润滑处理程序见表。

不锈钢草酸盐被膜润滑处理法

工 序	处 理 液	处理温度 (°C)	处理时间 (min)
1 除 油	渗透性清洁剂, 苛性钠	~90	1~5
2 水 洗	流动热水	80~100	15~20
3 酸 洗	硫酸+硫酸亚铁+氟酸	室 温	10~15
4 水 洗	流动水	室 温	1~2
5 中 和	碳酸钠, 苛性钠中和液	35~50	2~3
6 水 洗	流动水	室 温	1~2
7 被膜处理	草酸盐处理液	~90	15~25
8 水 洗	流动水	室 温	1~2
9 润滑处理	润滑剂 (85%氯化石蜡, 15%二硫化钼)	50~80	1~3
10 干 燥	热 风	80~170	干 透

草酸盐处理液，见2.9.4.4表，也可采用如下配方：

草酸	$H_2C_2O_4$	37.5g
三硫酸二铁	$Fe_2(SO_4)_3$	8.7g
硫酸氢钠	$NaHSO_4$	3.75g
硫代硫酸钠	$Na_2S_2O_3$	1.2g
水		1L
处理时间		20~30min

先将草酸、三硫酸二铁与硫酸氢钠放入50~55℃的热水中，加热到65℃，再加入硫代硫酸钠，最后将毛坯放入进行处理。

用该配方的挤压力，约比2.9.4.4表中的配方大10~20%，但无毒，仍建议优先采用。

以上，对于钢材，在长行程的正挤压和齿形挤压时，用被膜润滑剂大多不能满足要求，这时可按要求的二硫化钨和石墨的微粒粉末厚度计算出的涂敷量，将其溶于挥发性溶剂中，用滚筒涂敷，效果良好^[4]。

2.9.4.4.3 有色金属的润滑处理

常用的有色金属冷挤压润滑剂，见表1。

表1. 有色金属冷挤压润滑剂^[4]

挤压材料	润滑剂成分	配制与使用方法	应用效果及说明
纯铝 L1	猪油 100%		(1) 涂擦不均匀，容易产生“流散”现象 (2) 与其他润滑剂比较，挤压力较大
	猪油 5% 甘油 5% 汽缸油 15% 四氯化碳 75%	猪油、甘油加热到200℃，然后冷却至40℃以下，倒入四氯化碳，搅拌均匀，最后倒入汽缸油	(1) 金属流动性较好 (2) 冷挤零件表面粗糙度可不大于Ra3.2μm
	猪油 25% 液体石蜡 30% 十二醇 10% 四氯化碳 35%	猪油加热至200℃，稍冷却后加入四氯化碳，搅拌均匀后加入十二醇，冷却后加入液体石蜡	(1) 冷挤时流动性和润滑性较好 (2) 冷挤零件表面粗糙度可达Ra0.8~3.2μm
	硬脂酸锌 (粉末状)	将已处理清洁的毛坯与粉状硬脂酸锌一起放入滚筒滚动一刻钟，使毛坯上牢固而均匀地粘上一层硬脂酸锌	(1) 冷挤压件壁厚均匀 (2) 流动性能好 (3) 卸料力小 (4) 冷挤压件粗糙度可达Ra0.8~3.2μm
	十四醇 80% 酒精 20%	两者按比例混合使用，但当气温低时，十四醇应稍加热，增加其流动性，使与酒精混合良好	较好
防锈铝 LF21 LF2	猪油 18% 汽缸油 22% 石蜡油 22% 十四醇 3% 四氯化碳 35%	猪油加热至200℃后加入少许四氯化碳，然后加入汽缸油及石蜡油，升温至250℃，稍冷却后，即可加入工业甘油与十四醇。当冷却至150℃时把剩余的四氯化碳全部加入	(1) 润滑性能较好 (2) 零件表面粗糙度可达Ra1.6μm

(续)

挤压材料	润滑剂成分	配制与使用方法	应用效果及说明
紫铜 T ₁ 、T ₂ 、 T ₃	猪油 13% 十四醇 3% 纯机油 84%	将猪油加热到200℃,几分钟后加入纯机油,两者搅拌均匀(约3分钟),最后加入十四醇	零件表面粗糙度可很低
黄铜 H62、H68	工业豆油 蓖麻油或透平油		效果良好
黄铜 H62、H68	硬脂酸锌 (粉末状)	敷上即可	效果较好,特别是正挤压空心件时,可以得到较好的表面质量,避免了内孔壁易出现的环状裂纹,挤压力稍有增加
	表面钝化处理,在黄铜表面形成钝化膜,作为润滑之用。具体过程是退火→酸洗→钝化→浸入润滑剂	钝化工艺流程:汽油除油→热水洗(60~120℃)→冷水冲洗→钝化(5~10秒)→冷水冲洗→热水洗→干燥 钝化配方: 酪酐200~250g/L 硫酸 8~16g/L 硝酸 30~50g/L 溶液温度20℃ 时间5~10秒	
锌铜合金	羊毛脂与工业汽油按1:1或1:1.5混合	先将羊毛脂在50~60℃的电炉中熔化,然后按上述比例与工业汽油混合而成	(1) 表面质量较好 (2) 具有保持热量的能力 (3) 对模具及制件均无腐蚀作用
镍 N1、N2	表面镀铜挤压,润滑剂可采用紫铜的润滑剂	按一般镀铜工艺,镀层厚0.01~0.015mm	效果较好

纯铝和防锈铝用羊毛脂、猪油、棕榈油、菜油尽可能薄地均匀涂敷,涂层厚10~40μm,或将硬脂酸锌的粉末溶于挥发性溶剂中,用滚筒涂敷,成形面优良。

对于铝合金,如LY11、LY12等硬铝及锻铝塑性较差的材料,在冷挤压过程中,内表面易产生裂纹,必须采取有效的润滑方法和优良的润滑剂,如氧化或磷化处理,再作皂化处理,或用工业菜油,见表2及2.9.4.4表。

表2. 铝合金磷酸盐被膜润滑处理法

工 序	处 理 液	处理温度 (℃)	处理时间 (min)
1 除 油	渗透性清洁剂	50~70	0.5
2 水 洗	流动水	室 温	1
3 酸 洗	硝酸、硝酸+氟酸	室 温	1
4 水 洗	流动水	室 温	1~2
5 被膜处理	氧化或磷化处理液	50~60	2~3
6 水 洗	流动水	室 温	1~2
7 润滑处理	皂化液或润滑剂	50~70	1~2
8 干 燥	热风	80~130	干透

磷化处理液配方:

磷酸二氢锌 $Zn(H_2PO_4)_2$

28g

磷酸 H_2PO_4 (75%)	3~5g
铬酐 CrO_3	10g
十二醇烷基硫酸钠 (湿润剂)	0.5g
水	1L

用磷化处理后加工业菜油的方法，表面粗糙度比常用的氧化处理的低，一般可降到 $Ra1.6\mu m$ 以下。

2.9.5 冷挤压变形程度与挤压力

2.9.5.1 变形程度的计算和许用变形程度

冷挤压的变形程度，是表示挤压时金属塑性变形量大小的指标，有三种表达方式：

断面缩减率：
$$\varepsilon_F = \frac{F_0 - F}{F_0} \times 100\%$$

挤压比：
$$r = \frac{F_0}{F}$$

对数变形程度：
$$\varphi = \ln \frac{F_0}{F}$$

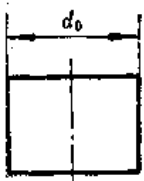
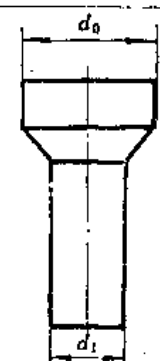
式中 F_0 ——冷挤压前毛坯的横断面积， mm^2 ；

F ——冷挤压后工件的横断面积， mm^2 。

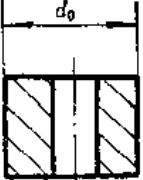
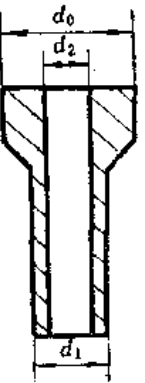

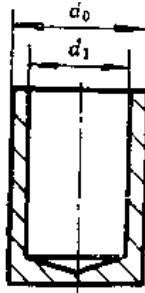
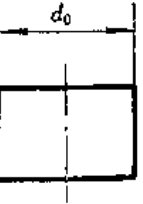
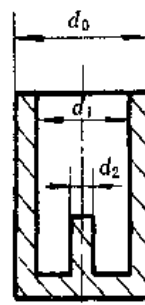
各种基本变形方式的变形程度计算公式见表 1。

一次挤压加工可能达到的最大变形程度称为许用变形程度。它取决于材料的塑性、硬度、润滑和模具材料等。冷挤压的变形程度越大，则变形抗力也越大。若单位挤压力超过模具所能承受的单位压力，模具就会损坏，所以冷挤压的许用变形程度实际上受模具强度与使用寿命的限制，取决于模具的许用单位挤压力。目前国内对于中、小型零件正常批量生产，许用单位挤压力一般取 $2000 \sim 2500 MPa$ ，一般条件下用小值，条件较好时用大值，最高不超过 $3000 MPa$ 。

表 1. 挤压变形程度计算公式

变形方式	毛坯尺寸	工件尺寸	计算公式		
			断面缩减率 ε_F	挤压比 r	对数变形程度 φ
正挤 实心 件			$\varepsilon_F = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_0^2}\right) \times 100\%$	$r = \left(\frac{d_0}{d_1}\right)^2$	$\varphi = \ln \frac{d_0^2}{d_1^2}$

(续)

变形方式	毛坯尺寸	工件尺寸	计算公式		
			断面缩减率 ε_F	挤压比 r	对数变形程度 φ
正挤空心件			$\varepsilon_F = \frac{d_0^2 - d_1^2}{d_0^2 - d_2^2} \times 100\%$	$r = \frac{d_0^2 - d_2^2}{d_1^2 - d_2^2}$	$\varphi = \ln \frac{d_0^2 - d_2^2}{d_1^2 - d_2^2}$
反挤筒形件			$\varepsilon_F = \frac{d_1^2}{d_0^2} \times 100\%$	$r = \frac{d_0^2}{d_0^2 - d_1^2}$	$\varphi = \ln \frac{d_0^2}{d_0^2 - d_1^2}$
反挤压带芯件			$\varepsilon_F = \frac{d_1^2 - d_2^2}{d_0^2} \times 100\%$	$r = \frac{d_0^2}{d_0^2 - d_1^2 + d_2^2}$	$\varphi = \ln \frac{d_0^2}{d_0^2 - d_1^2 + d_2^2}$

常用材料的许用变形程度参见表2，图1（黑色金属正挤压）及图2（黑色金属反挤压）。

表2. 常用材料的许用变形程度 ε_F (%)

(%)

材	料	正 挤	反 挤
优质碳素钢	10 钢	82~87	75~80
	15 钢	80~82	70~73
	35 钢	55~63	50
	45 钢	45~48	40
合金钢	15Cr, 16MnCr5	53~53	43~50
	34CrMo, 34CrMn4	50~60	40~45

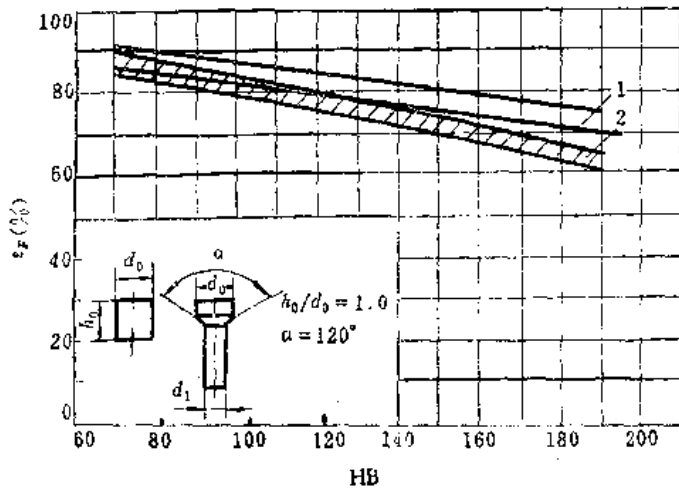
(续)

材 料		正 挤	反 挤
纯 铝		97~99	97~99
防锈铝	LF3 等	95~98	92~98
硬 铝	LY11, LY12 等	92~95	75~82
黄 铜	H62	75~87	75~78

注：低强度金属取上限，高强度金属取下限。

毛坯相对高度 h_0/d_0 与凹模锥角 α 对钢的许用变形程度有较大影响。一般，毛坯相对高度越大，正挤压许用变形程度越小；凹模锥角减小，有利于提高许用变形程度。因此，从图1查出数据后应进行修正，修正系数一般取0.7~1.1。

对于钢的反挤压，还须考虑最小许用变形程度。当 $h_0/d_0 < 1$ 时，随着毛坯相对高度减小，最大许用变形程度稍有提高，而最小许用变形程度有所降低。



退火后的钢材硬度	
钢 号	硬度 (HB)
纯 铁	70
10 钢	90
20 钢	110
45 钢	150
20Cr	140
40Cr	160
40MnB	170
GCr15	190

图1

1—许用单位挤压力2500MPa；2—许用单位挤压力2000MPa。

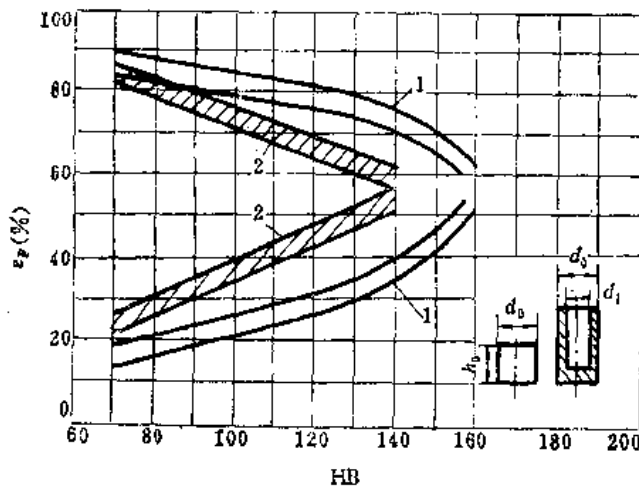


图2

1—许用单位压力为2500MPa；2—许用单位压力为2000MPa。

2.9.5.2 挤 压 力

2.9.5.2.1 正挤与反挤压力的确定

2.9.5.2.1.1 计算法

生产中常用下面的经验公式估算:

(1) 按单位挤压力估算

$$P = p \cdot F \quad (1)$$

式中 P ——挤压力, N;

p ——单位挤压力, MPa (各种材料的单位挤压力的经验数值列于表1);

F ——挤压凸模的加压面积, mm^2 (形状复杂的工件按加压方向的投影面积计算)。

表1. 单位挤压力的近似值^[6]

材 料	正 挤 压		反 挤 压	
	p (MPa)	ε_F (%)	p (MPa)	ε_F (%)
10 钢	1400~2000	50~80	1600~2200	40~75
30 钢	1600~2500	50~70	1800~2500	40~70
50 钢	2000~2500	40~60	2000~2500	30~60
纯 铝	600~800	97~99	~800	97~99
铝合金	800~1000	92~95	800~1200	75~32
黄 铜	800~1200	75~87	800~1200	75~78

(2) 按材料的变形抵抗力估算

$$P = CF\bar{\sigma} \quad (2)$$

式中 $\bar{\sigma}$ 是挤压材料的平均变形抗力, MPa, 如图1所示, 可按下式计算:

$$\bar{\sigma} = \sigma_0 + \frac{K\bar{\varphi}^n}{1+n} \quad (3)$$

式中, $\bar{\varphi}$ 代表挤压终了时的平均变形程度 (对数应变); K 和 n 分别为材料的强度系数和硬化指数。

$\bar{\sigma}$ 也可近似取为

$$\bar{\sigma} \approx \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{2} \quad (4)$$

σ_0 和 σ_1 可根据对数变形程度, 从材料的硬化曲线上查得, 见图2^[6]。

C 是约束系数, 表示对材料变形的约束程度, 与挤压方式, 毛坯和模具的几何形状, 润滑条件, 挤压变形程度等有关。一般挤压, 当模具角度和摩擦条件一定时, C 和对数变形程度 φ 或 $\ln r$ 大致保持线性关系。

图3^[6]是用圆柱形毛坯 ($H/D > 1/2$), 用直角凹模或平面凸模 (模具角度 $2\alpha = 180^\circ$), 在两种极端润滑条件下, 稳定挤压圆棒和圆筒形件的约束系数 C 的变化曲线。当 2α 不等于 180° 时, 须作如下修正:

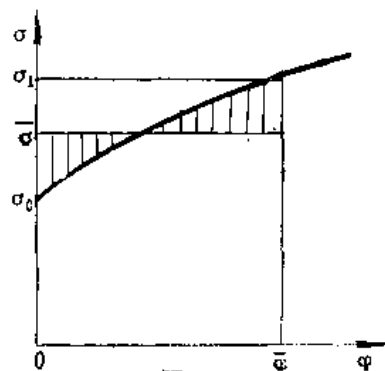


图1

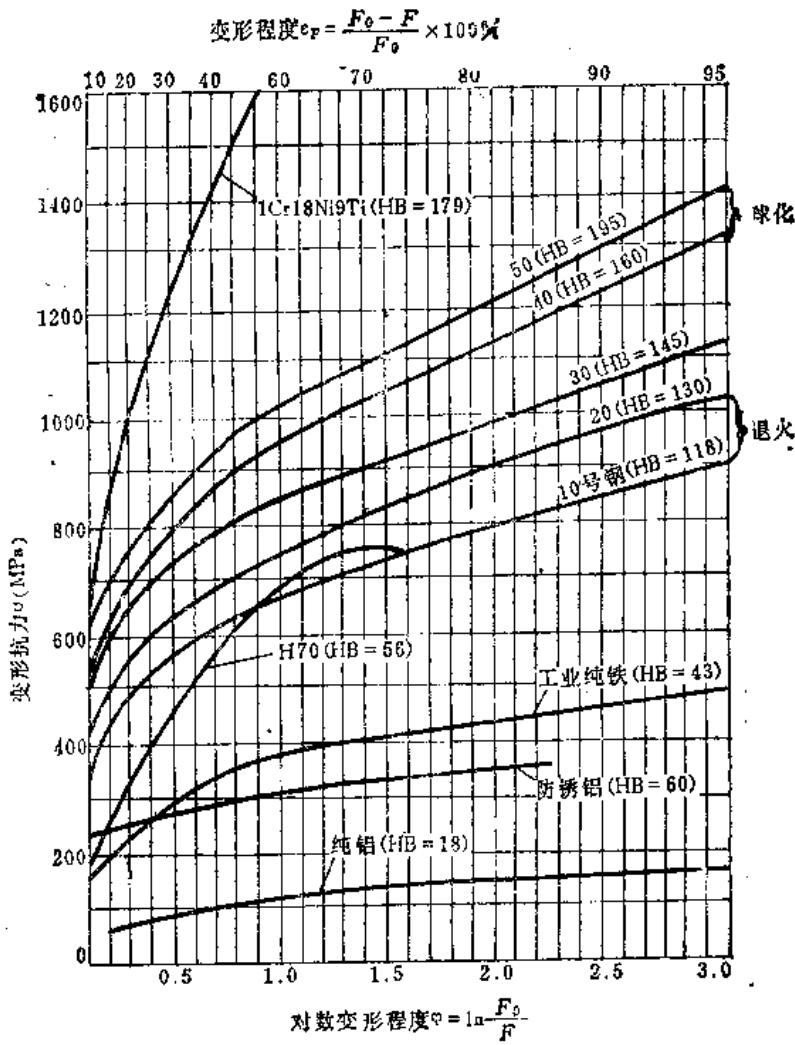


图2

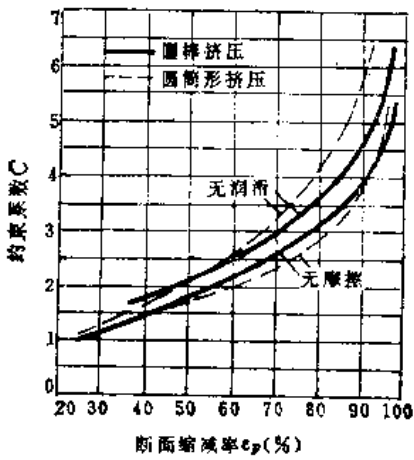


图3

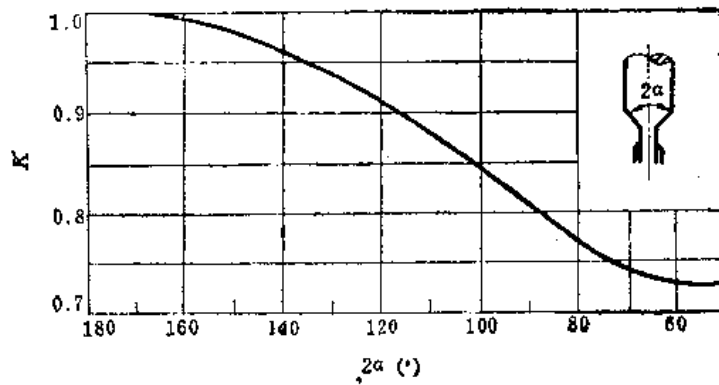


图4

$$P = KCF\sigma \quad (5)$$

式中 K 是修正系数。图4为 K 与正挤压凹模锥角 2α 的关系。图5表示反挤压凸模头部形状对最大单位挤压力的影响^[6]。

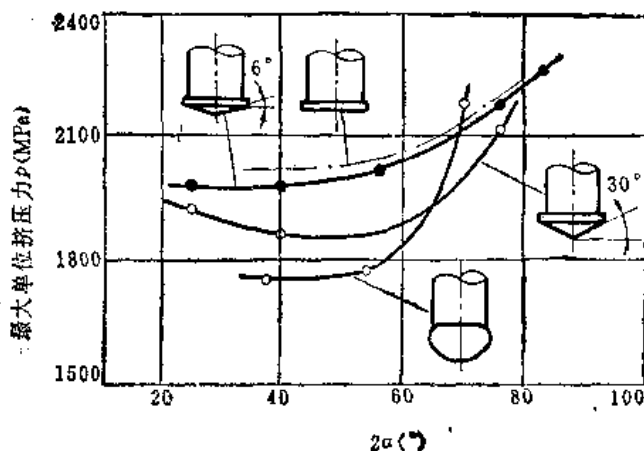


图5

挤压非圆形断面时,或凹模有几个模孔同时挤出时,断面总周长与其相同面积的圆形断面周长之比,称为断面周长比 U 。当 $U \approx 2$ 时,约束系数 C 比同样挤压比下的圆棒挤压时的值增大约10~20%; $U \approx 3$ 时,增大20~35%; $U \approx 5$ 时,增大50~120%^[2]。

(3) 按材料的初始抗拉强度或硬度估算

挤压力也可用材料的初始抗拉强度 σ_s 或硬度HB表示如下:

$$P = a + b\sigma_s \quad (6)$$

式中 a 和 b 为实验确定的系数。表2列出钢的反挤压圆筒件的 a 、 b 值^[6]。

表2. 钢材反挤压的 a 、 b 值

断面缩减率 ϵ_F (%)	40	60	75	84
a (kN)	420	650	780	700
b	1.0	1.5	2.2	2.6

注: $\sigma_s = 4500 \sim 6500 \text{ MPa}$ 。

2.9.5.2.1.2 图表法

图1~图3为联邦德国工程师协会VDE推荐的黑色金属实心件和空心件正挤压及反挤压的挤压力图算表^[3]。其中,图1用于正挤压实心件,图2用于正挤压空心件,图3用于反挤压。

图4和图5为国际冷锻协会ICFG推荐的正挤压实心件和反挤压的挤压力计算图表^[3] ^[4]。

图6~图11为我国常用钢材正挤压实心件和反挤压力计算图表^[4]。图6用于正挤压实心件,图7中 K_1 为正挤压凹模锥角修正系数,当 ϵ_F 大时取上限,小时取下限。图8中 K_2 为正挤压毛坯高度修正系数,图9用于反挤压,图10中 K_3 为反挤压凸模锥角修正系数,图11中 K_4 为反挤压毛坯高度修正系数。由图查出单位挤压力 p 及各项修正系数,则

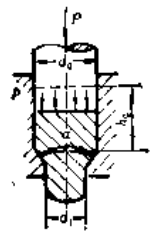
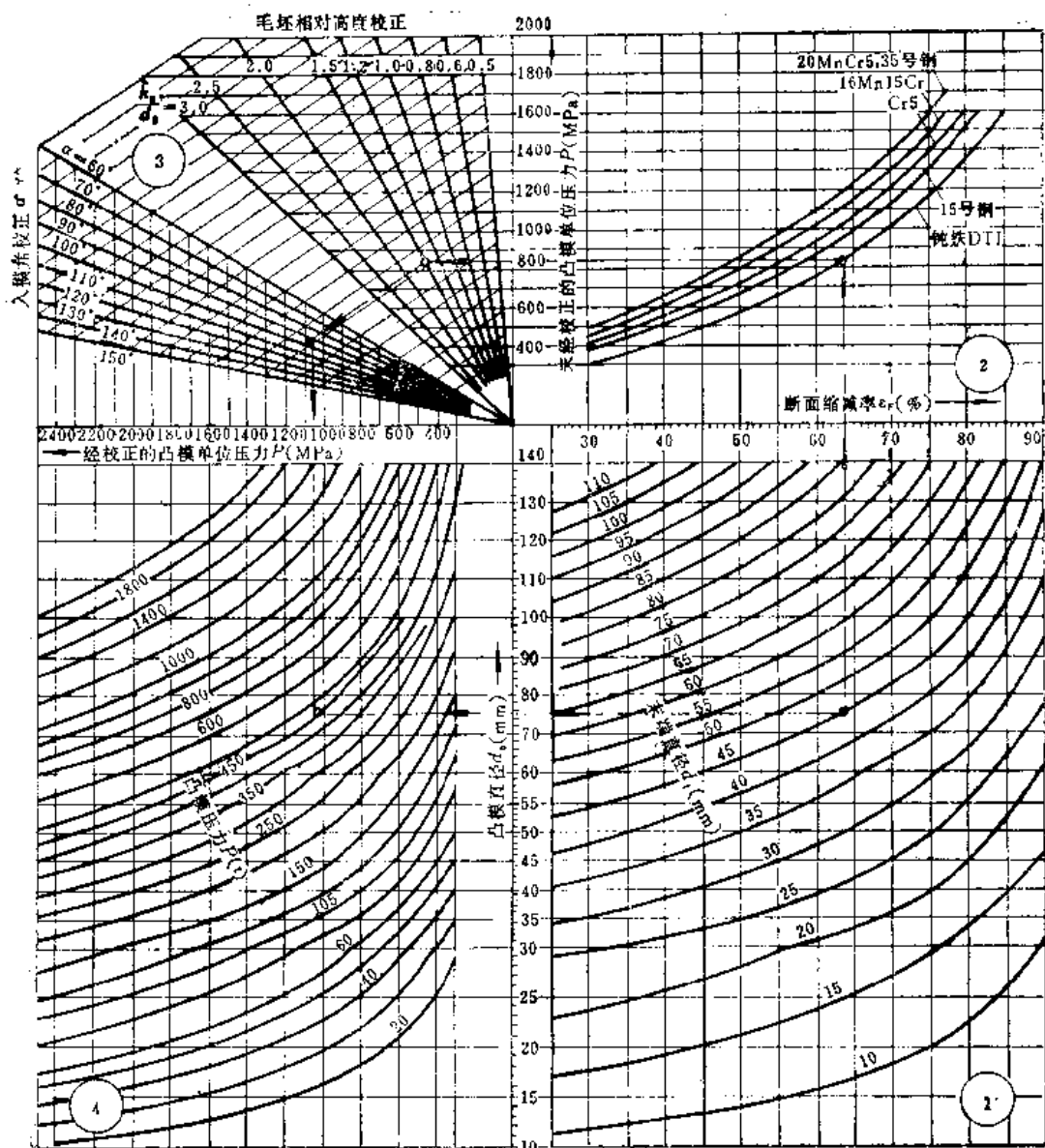
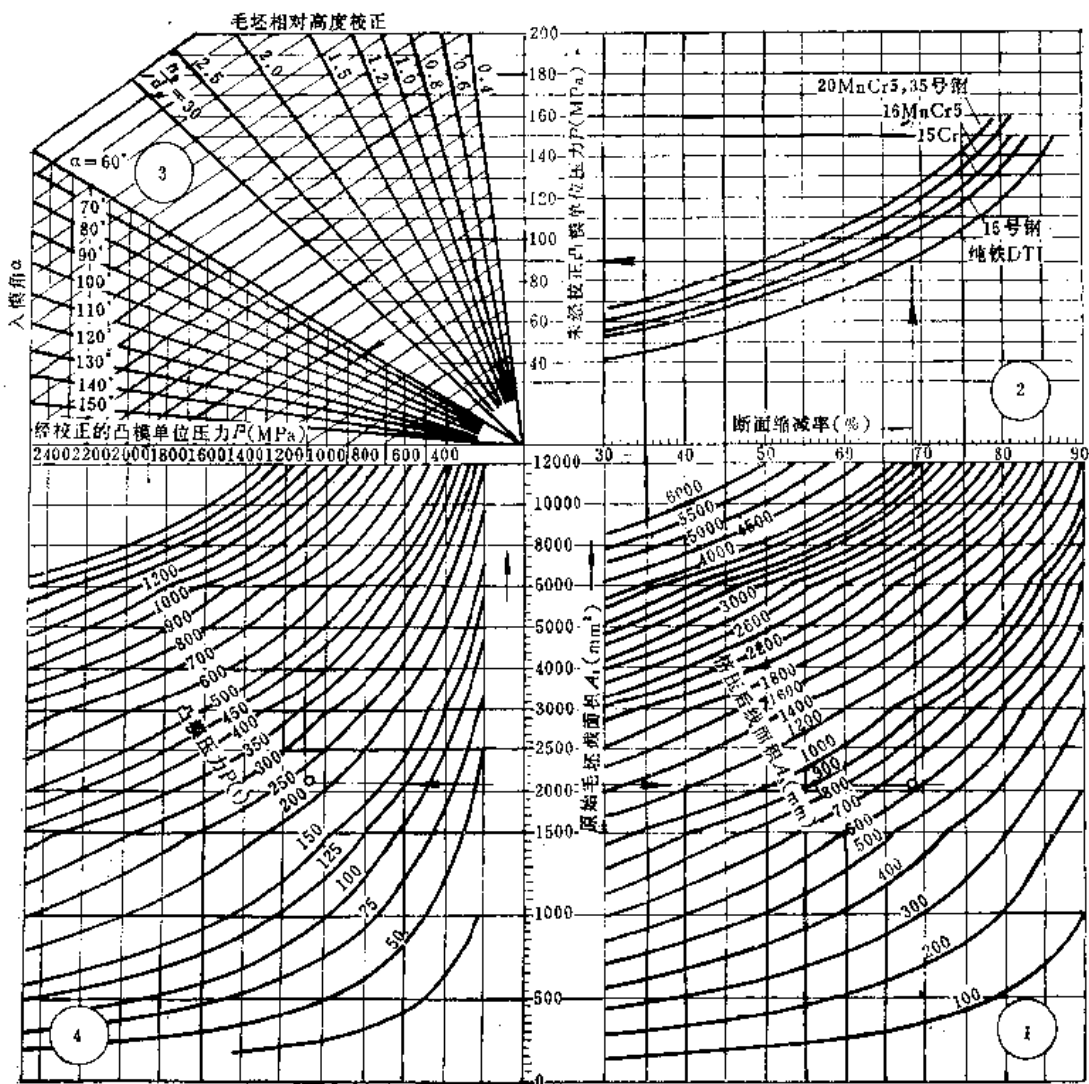


图1



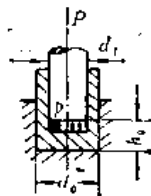
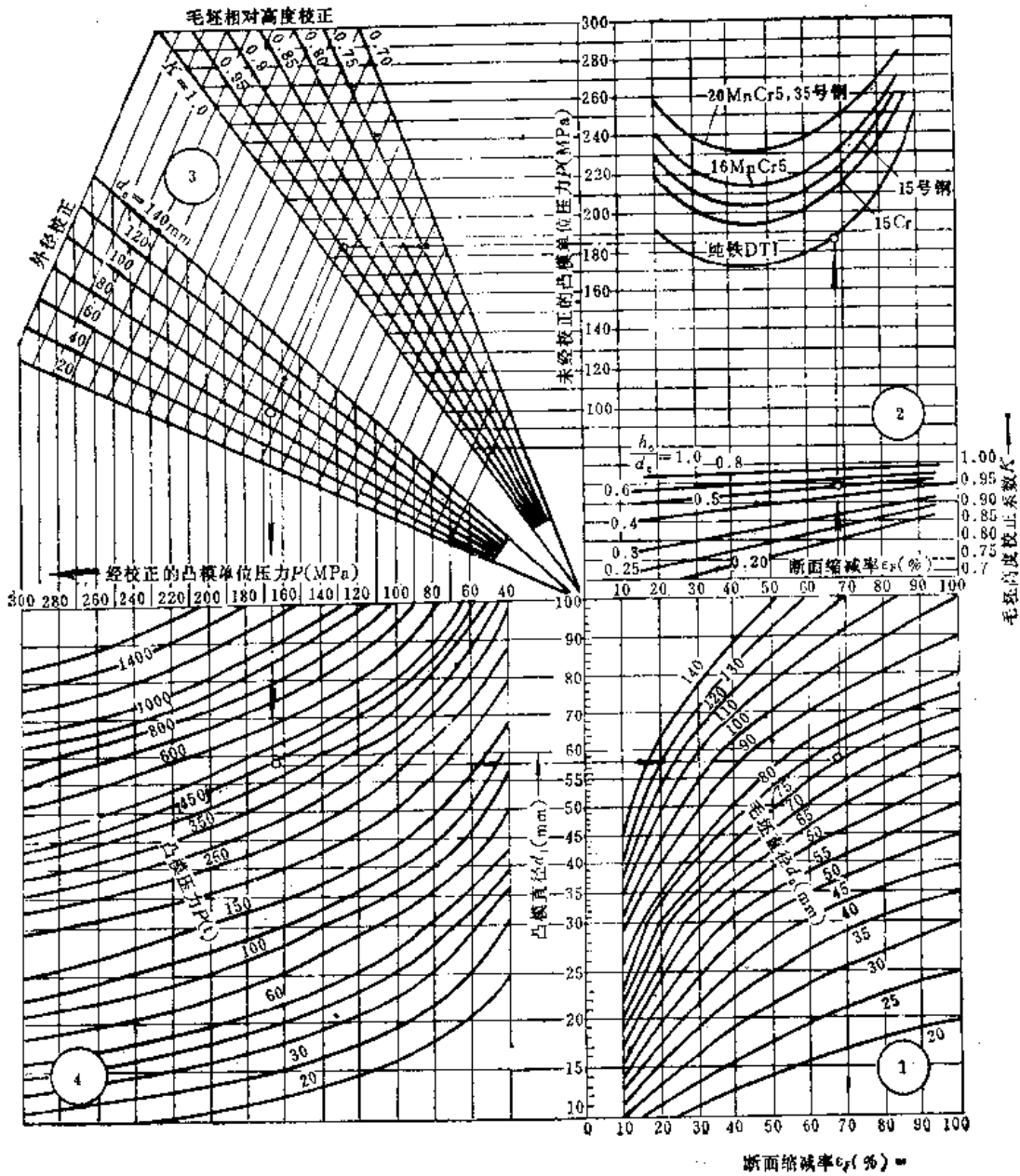


图3

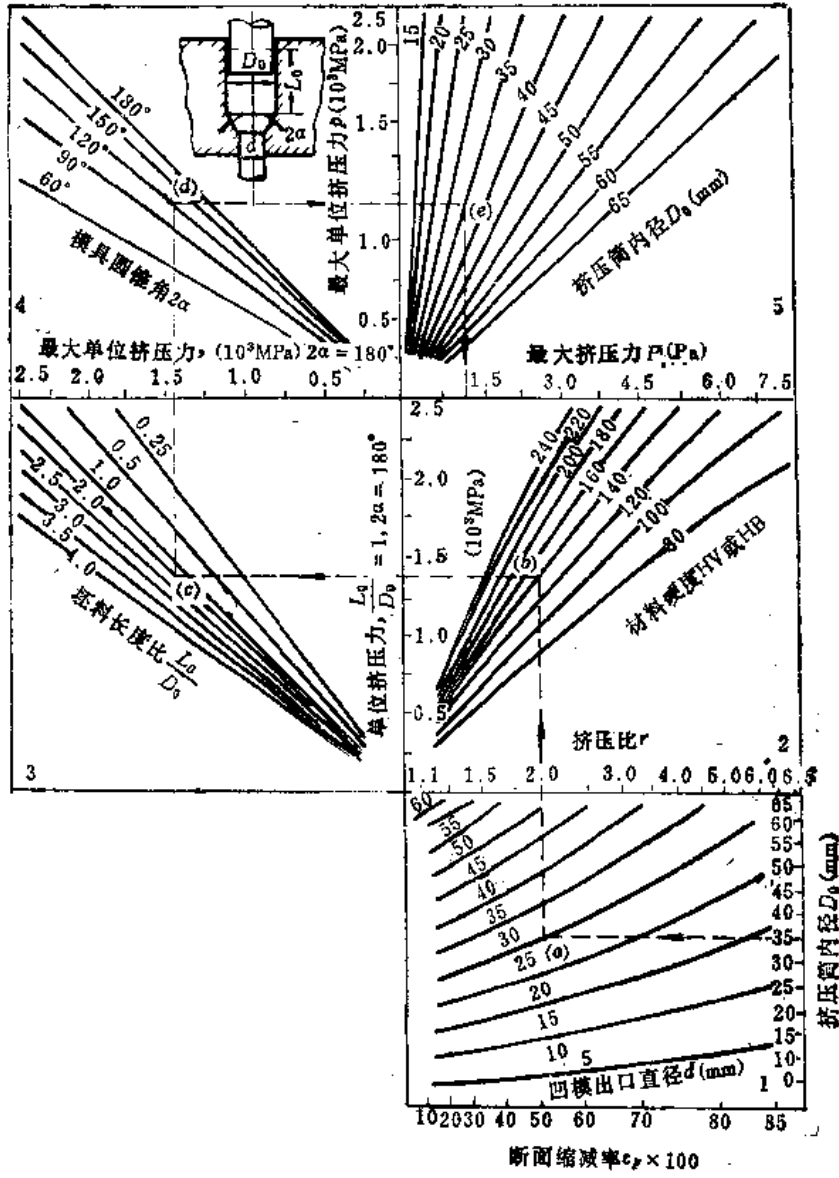


图4

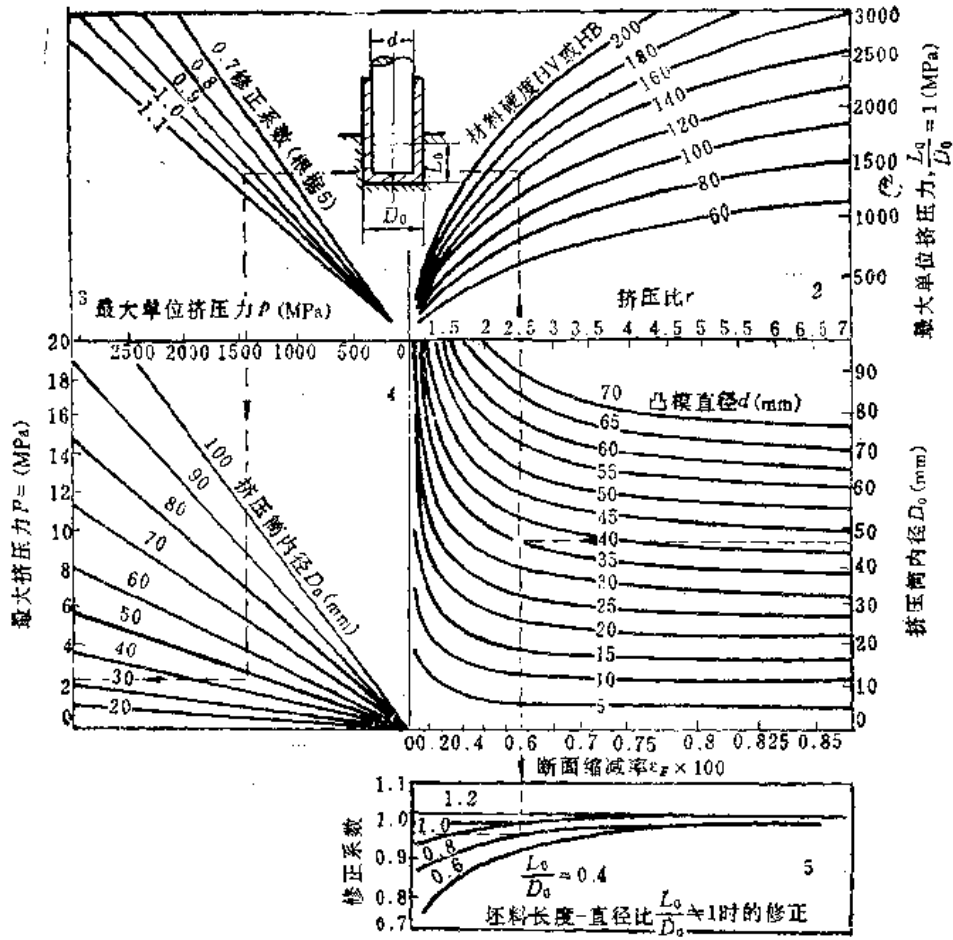


图5

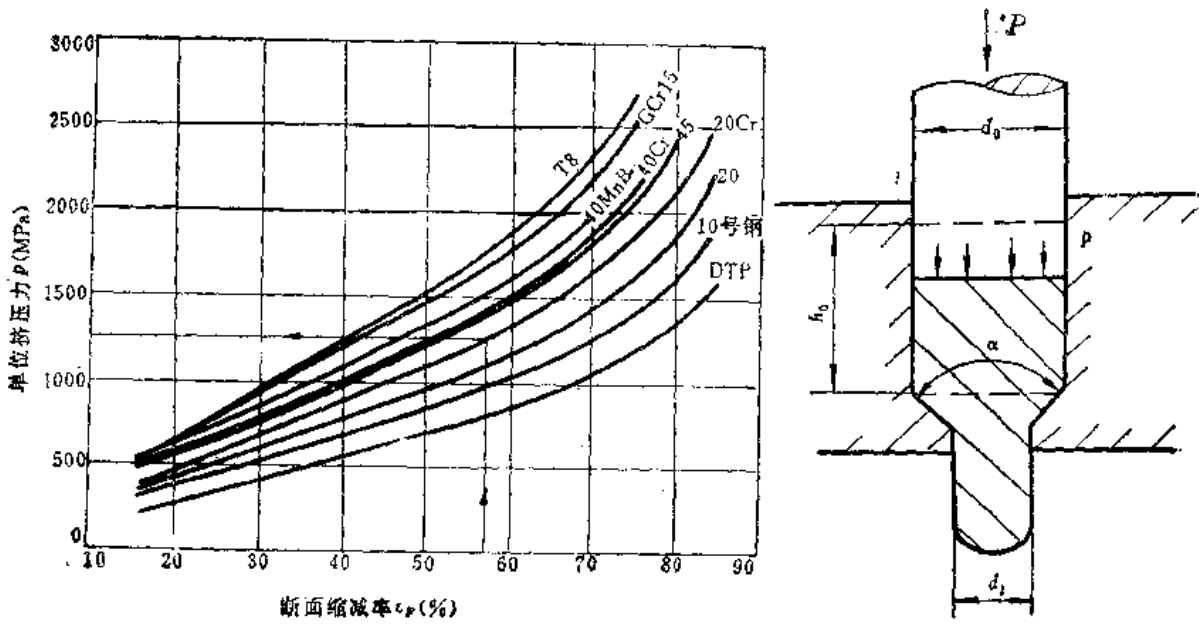


图6

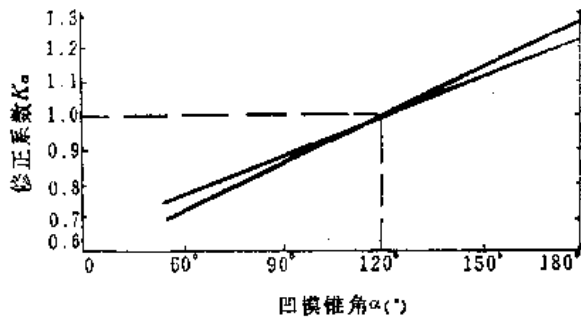


图7

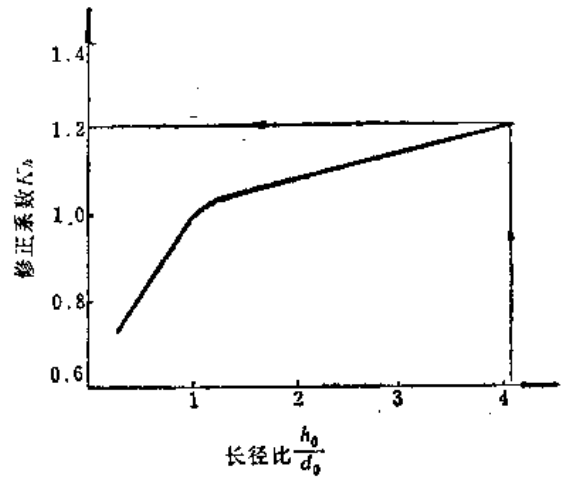


图8

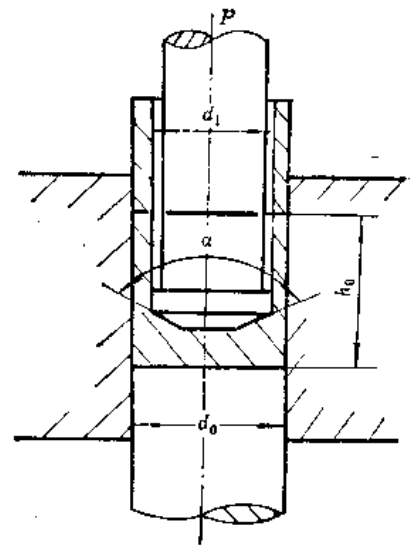
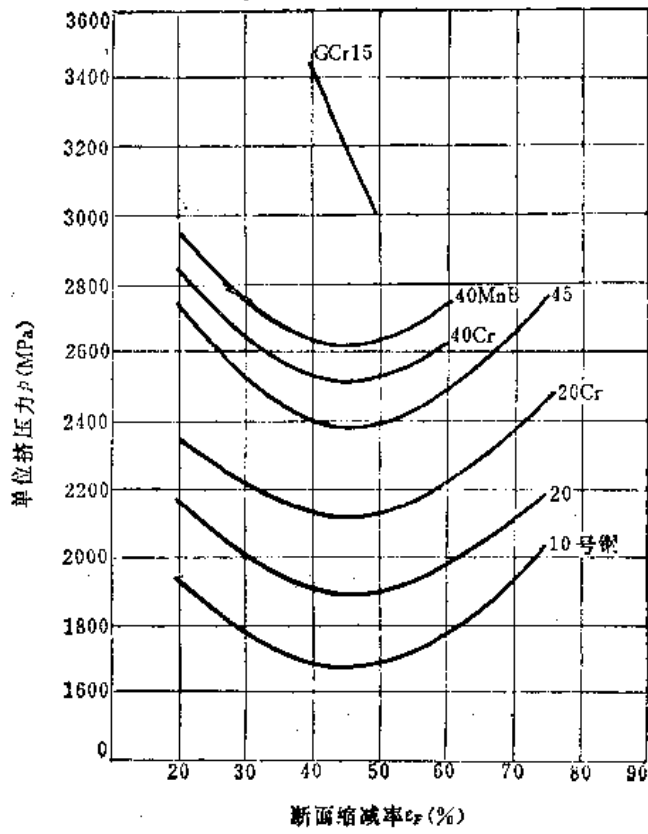


图9

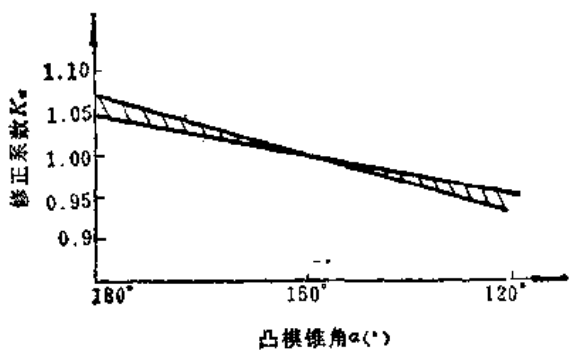


图10

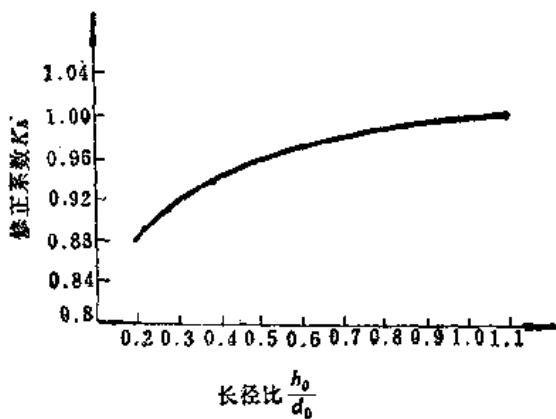


图11

总挤压力为:

$$P = K_a \cdot K_b \cdot p$$

这些图表都以影响挤压力的主要因素——变形程度（断面缩减率）及挤压材料的性能作为计算基础，并考虑了毛坯长径比 h_0/d_0 ，凹模（正挤压）和凸模（反挤压）锥角 α 的影响。

用这组图表计算时，毛坯应经软化退火处理，并在挤压前进行磷化-皂化润滑处理。

图12和图13分别为有色金属反挤压和正挤压单位挤压力 p 的计算图表^[6]。总挤压力 P ， N ，按下式计算：

$$P = pF$$

式中 p ——单位挤压力， MPa ，由图查出；

F ——凸模横断面面积， mm^2 。

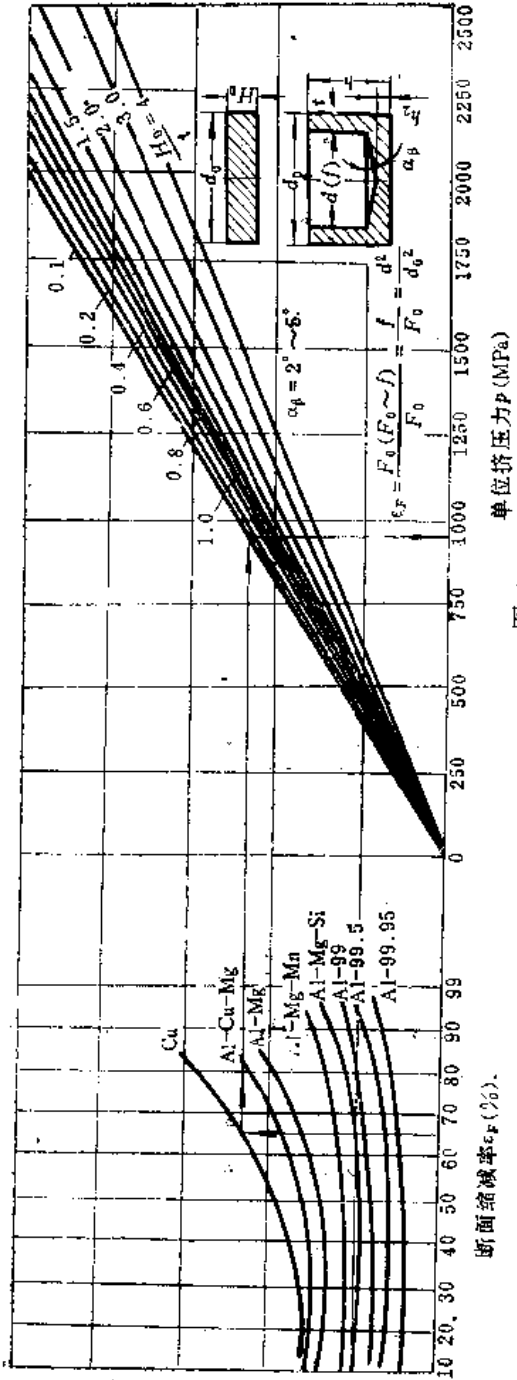
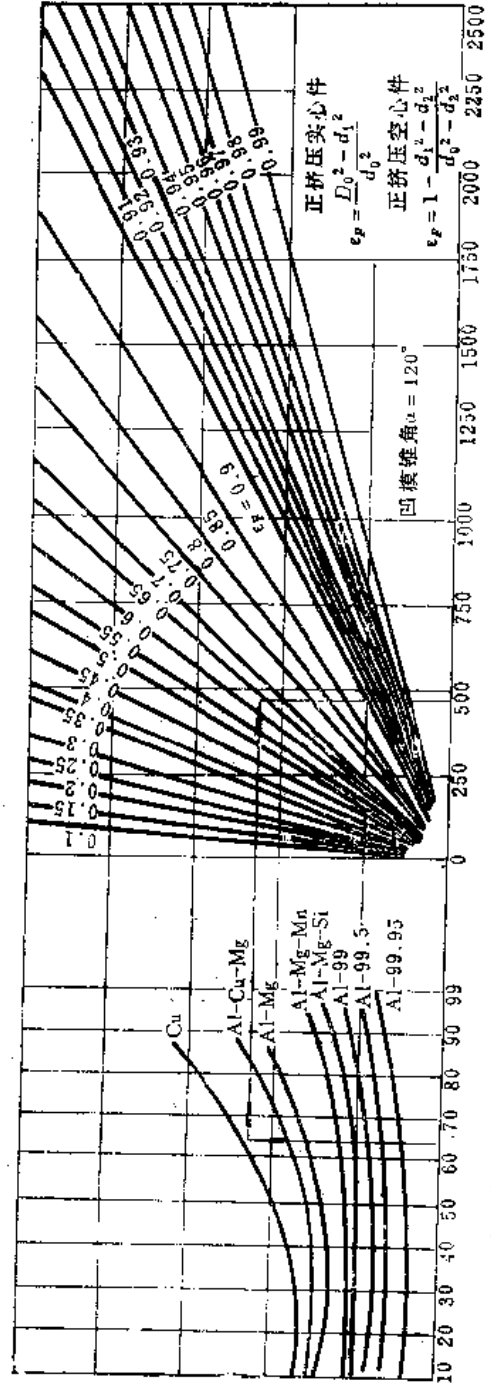


图12

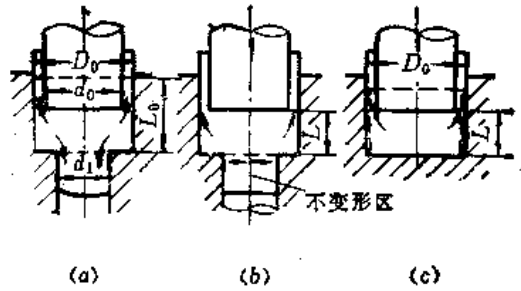


断面缩减率 ϵ_F (%)

图13 单位挤压力 P (MPa)

2.9.5.2.2 复合挤压力的确定

复合挤压的挤压力一般低于单独的正挤和反挤的压力。如图所示：当 $L_0 > D_0$ 时，材料从容易流出的方向，即约束系数 C 值低的方向挤出。因此，单位挤压力和单方向挤压时一样，可按其中变形程度较小的一种挤压方式计算；当 $L_0 < D_0$ ，材料同时从两个出口挤出时，见图 (a)，约束程度降低， C 值减小。 C 值可按式计算。



(a) 复合挤压；(b) 一方停止流动；
(c) 是与 (b) 相当的单向挤压。

$$C = 0.6 \frac{L}{D_0} + 0.15 + 1.55 \ln \left(\frac{R_s R_f - 1}{R_s + R_f - 2} \right)$$

式中， $R_s = D_0^2 / (D_0^2 - d_0^2)$ ；

$$R_f = D_0^2 / d_f^2。$$

将此分别与单独的正挤或反挤比较，取其中较小者。但当—个方向材料停止流动时，如图 (b)， $R_f = \infty$ ，则应按图 (c) 计算 C 值。

2.9.6 冷挤压模具设计

2.9.6.1 模具的基本设计要求与典型形式

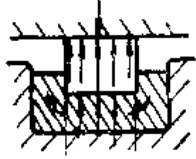
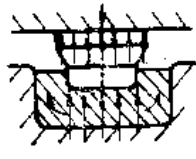
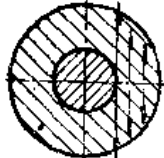

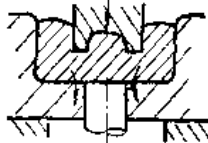

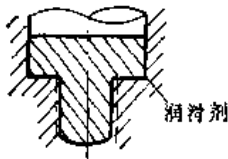
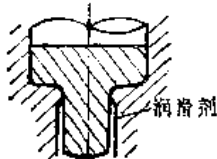
设计冷挤压模具时，除须考虑挤压件的结构特点、设备条件、生产规模、材料变形性能及零件的质量要求等外，还应注意下述几点：

- (1) 模具结构合理，具有足够的刚性和强度，使模架精度稳定。
- (2) 尽量降低模具工作部分的负载，提高其使用寿命，如表 1。

表 1. 降低模具工作部分负载的措施

项目	措 施	不 好 的 例 子	好 的 例 子
降低加工力	用中间退火降低坯料的变形抗力；工艺及模具设计上考虑降低对材料的约束及减少摩擦		

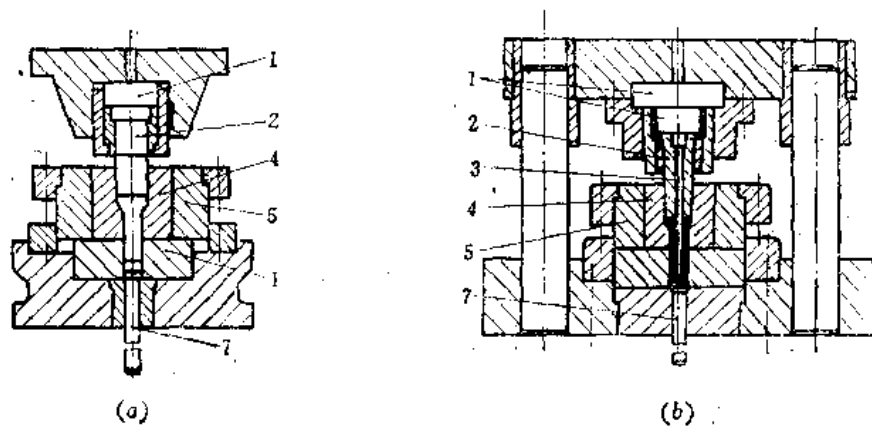
(续)

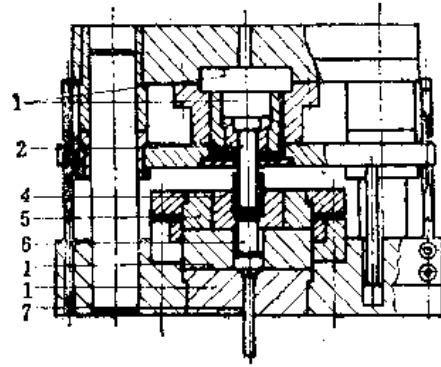
项目	措施	不好的例子	好的例子
载荷分散化	锐角改为圆角及增大接触面积		
应力分布均匀化	采用预应力结构	加工前  加工中	加工前  加工中
降低弯曲载荷	凸、凹模正确设计, 横截面作成对称形状; 减小加在凸起部分的横向力, 并使横向力对称平衡; 减小支承间距		
降低摩擦力	避免尖锐的内、外角, 防止润滑膜破坏, 减小材料与工具的接触面积	 润滑剂	 润滑剂

(3) 模具材料选用合理, 热处理规范正确。充分发挥材料的强度潜力。新制件开始挤压时, 从硬度较低的模具材料选用起, 如果模具由于磨损进入报废状态, 再改用较硬的材料。若采用预应力圈, 在材料硬度大时 (如 $HRC > 45$), 要特别注意防止产生爆炸性脆性破裂。

(4) 毛坯和工件进入方便, 便于实现机械化。

正挤压和反挤压模具的典型形式见图1。模具工作部分的典型结构见图2 (正挤压), 图3 (反挤压) 及图4 (复合挤压)。



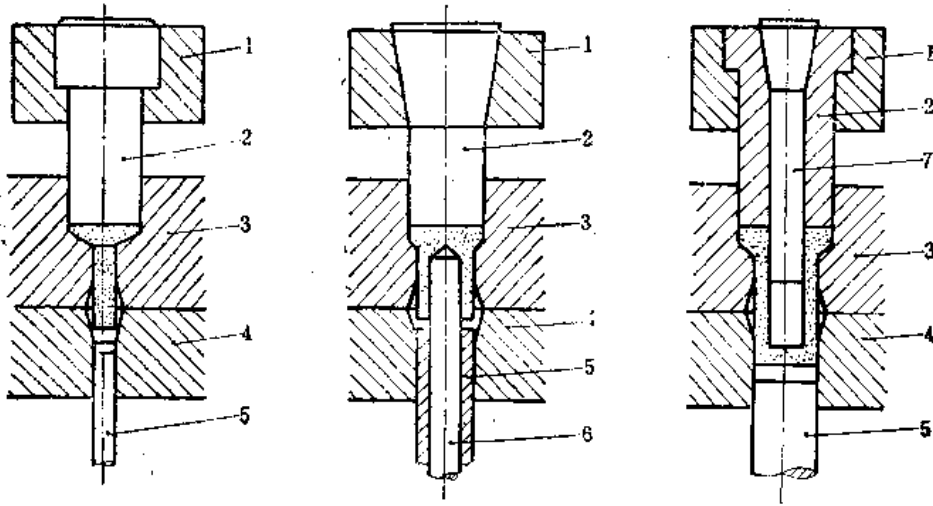


(c)

图1

(a) 实心件正挤压; (b) 空心件正挤压; (c) 圆筒件反挤压。

1—垫板; 2—凸模; 3—芯轴; 4—凹模; 5—应力圈; 6—对向凸模或顶杆; 7—顶筒。



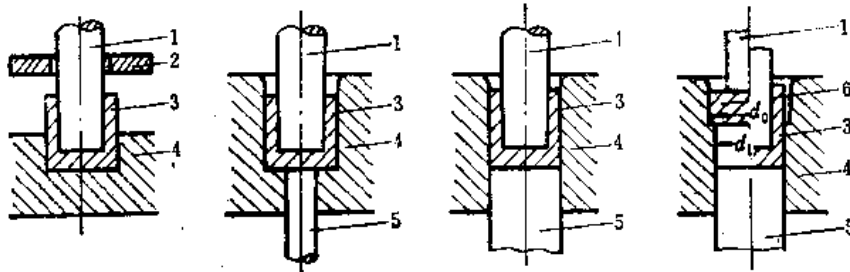
(a)

(b)

(c)

图2

1—压套; 2—凸模; 3—凹模; 4—支承; 5—顶杆(管); 6—下凸模; 7—芯杆。



(a)

(b)

(c)

(d)

图3

(a) 实心底模腔; (b) 阶梯形模腔; (c) 直筒式模腔; (d) 有减径作用的模腔。

1—凸模; 2—卸料板; 3—反挤压件; 4—凹模; 5—顶杆; 6—坯料。

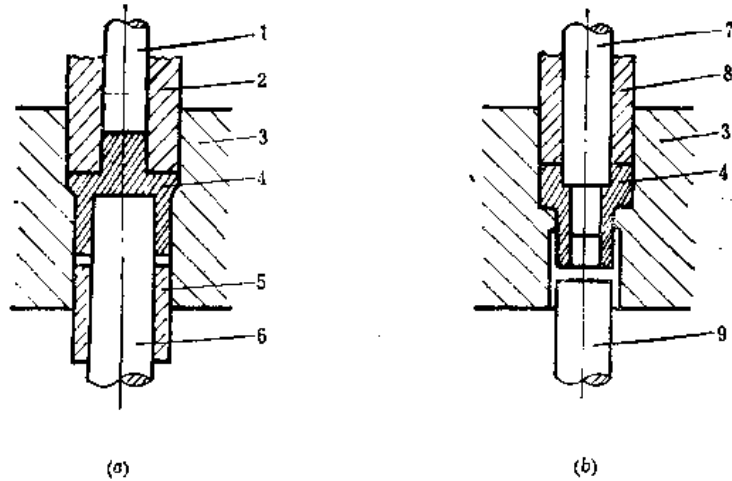


图4

1—中心顶杆；2—圆环形凸模；3—凹模；4—挤压件；
5—环形退料器；6—下凸模；7—凸模；8—封压环圈；9—顶杆。

2.9.6.2 工作部分的设计

2.9.6.2.1 反挤压模具设计

2.9.6.2.1.1 凸模

常用反挤压凸模形式见图1^[8]。图中 d = 挤压件内孔直径； $d_1 = d - (0.1 \sim 0.2) \text{mm}$ ； $d_2 \geq d$ ； $d_3 \geq 1.3d$ ； $R_2 = (0.2 \sim 0.4)d$ ； $\gamma = 15^\circ \sim 30^\circ$ ； L_1 = 挤压件内孔高度 + (3~5) mm； L_2 = 卸料板高度 + (10~15) mm； $L_3 \approx d_3$ 。

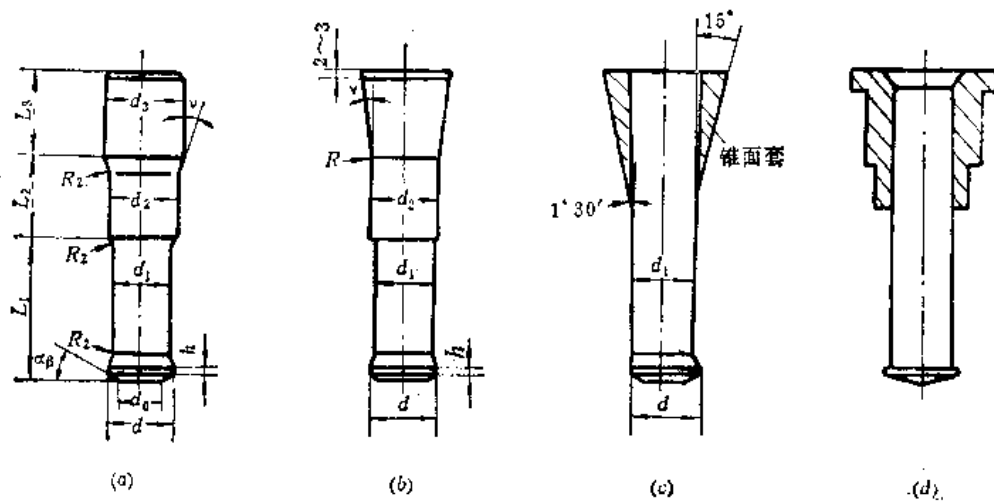


图1

反挤压凸模工作端的形状如图2所示^[4]。图2(a), (b), (c)用于黑色金属反挤压，图2(a)和(b)应用最广；图2(d), (e), (f)适用于有色金属反挤压，图2(e)对挤压薄壁零件有利。

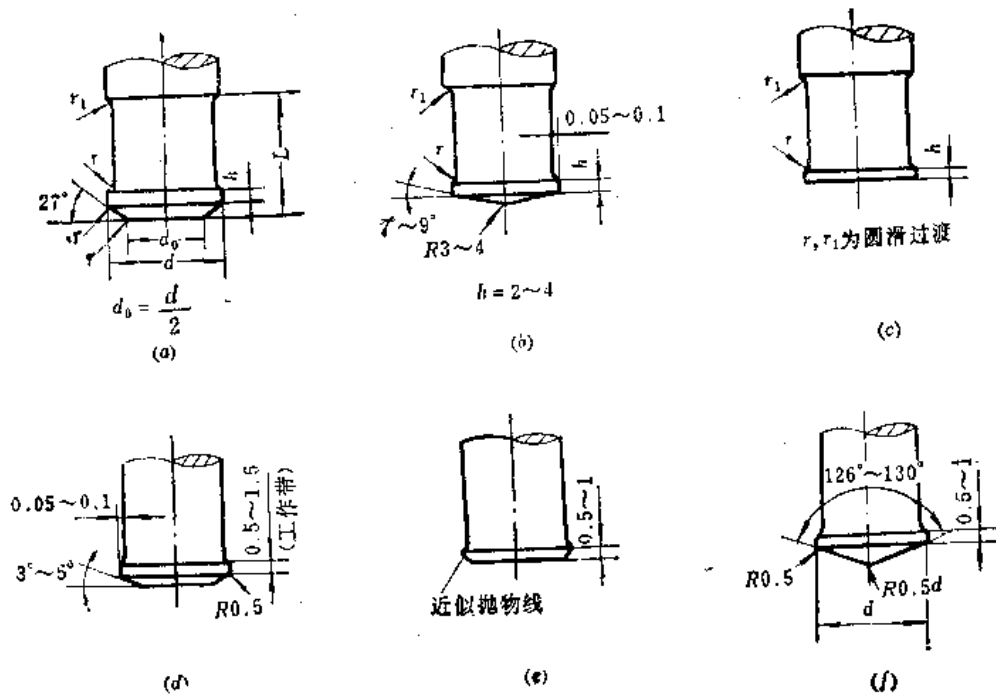
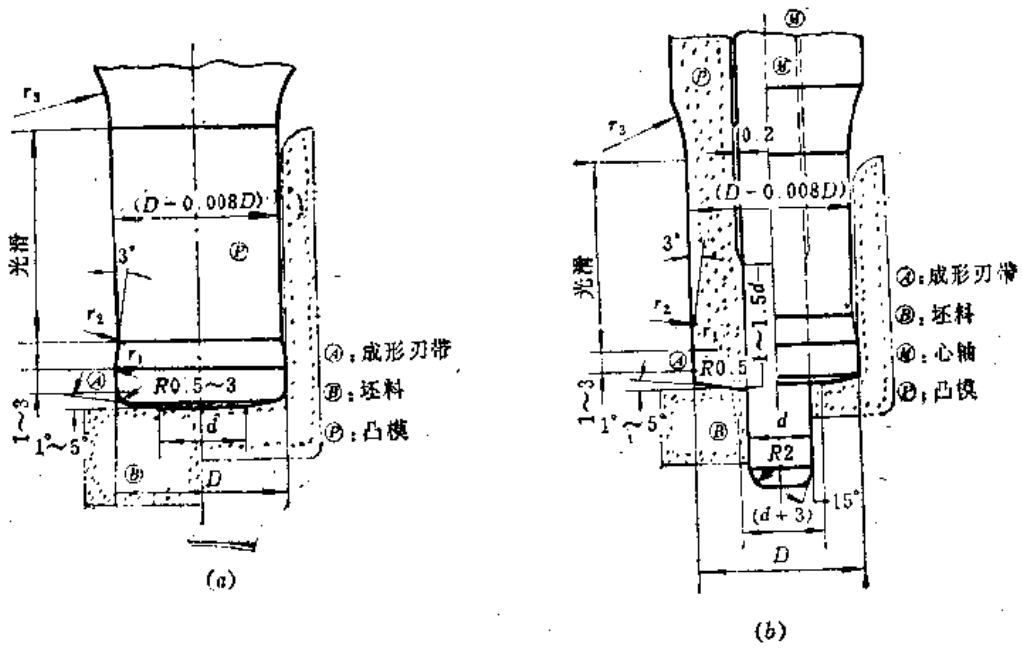


图2

反挤压凸模工作部分的尺寸，参见图3~图5⁽²⁾。



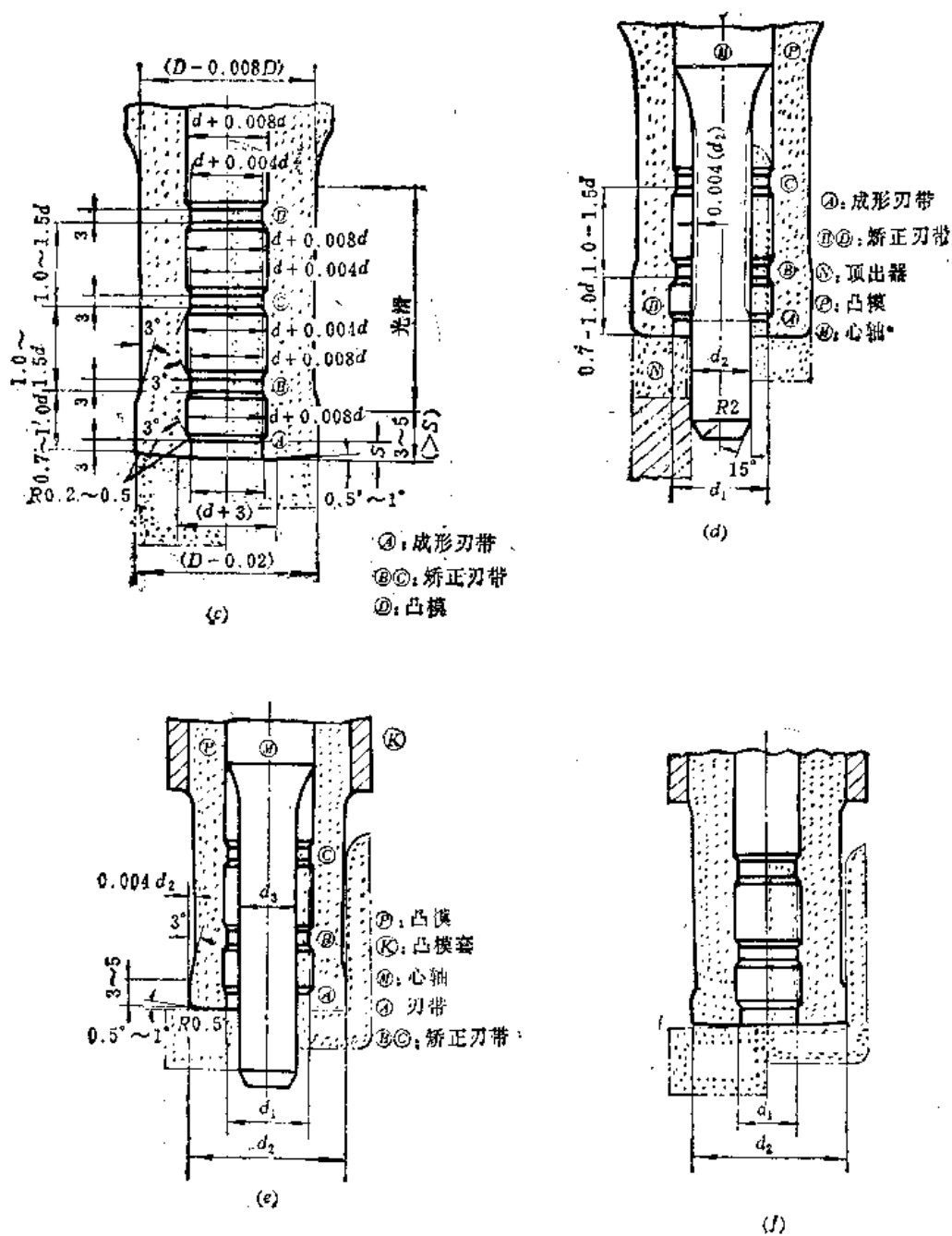


图3

(a) 带底件反挤凸模; (b) 带孔件反挤凸模; (c) 轴件反挤凸模;
(d) 空心轴件反挤凸模; (e) 带空心心轴件反挤凸模; (f) 带心轴件反挤凸模。

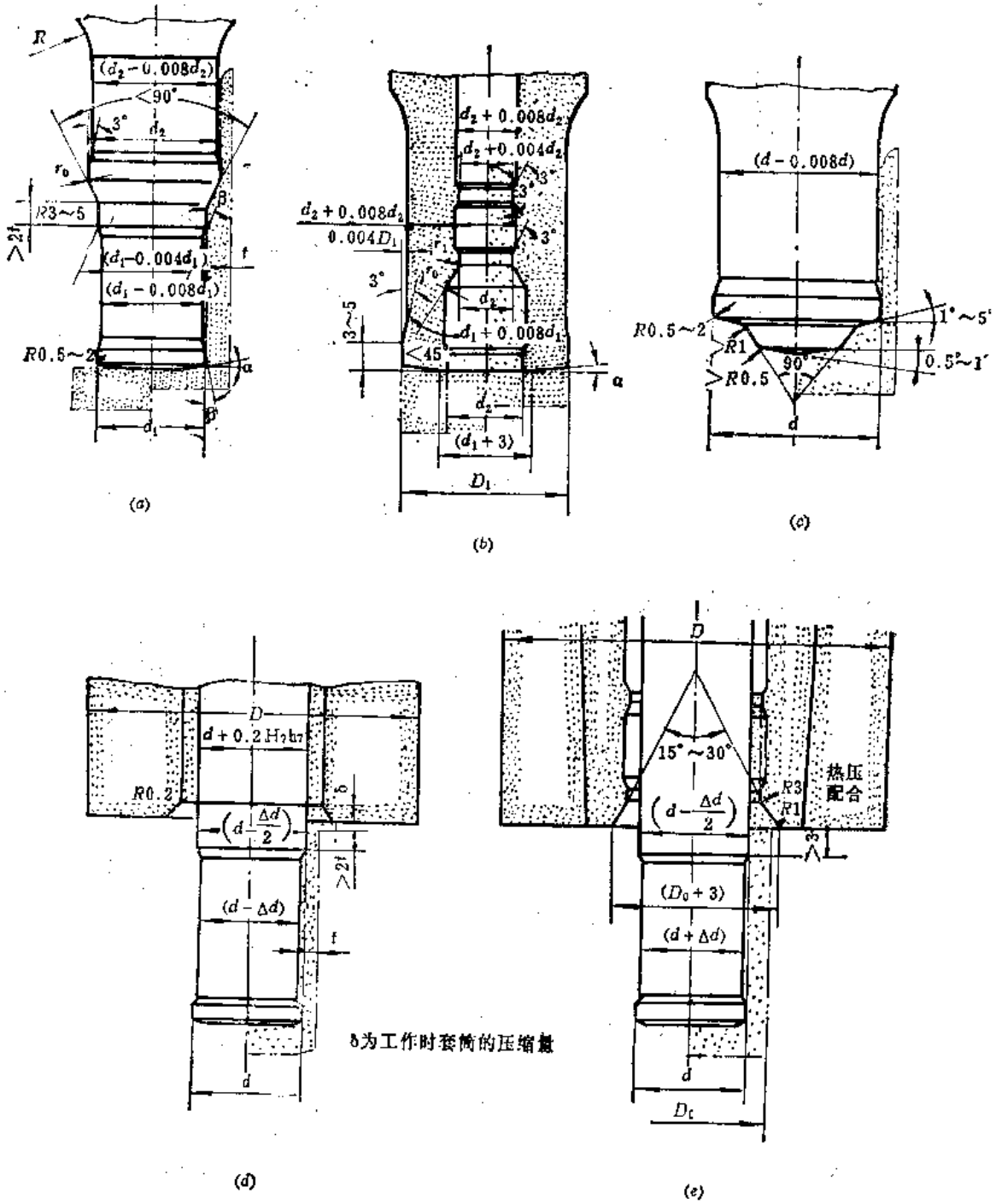


图4

(a) 阶梯孔反挤凸模; (b) 阶梯轴反挤凸模; (c) 阶梯孔凸模前端;
 (d) 反挤-墩粗凸模; (e) 外阶梯圆筒件反挤凸模。

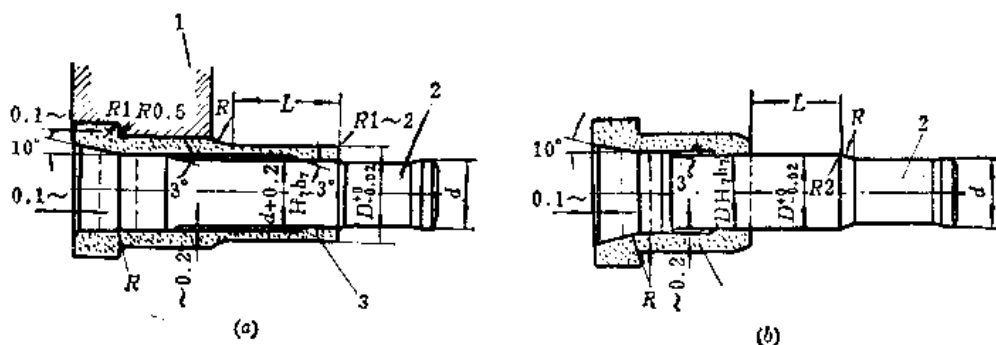


图6

1—凸模座；2—凸模；3—凸模套；
L—凹模滑动导向部分长度；D—凹模内径。

反挤压凸模的有效长度与直径之比 l/d ，见表⁽⁴⁾。

反挤压凸模的有效长径比

挤压材料	钢	黄铜	紫铜	纯铝
l/d	$\leq 2.5 \sim 3$	$\leq 4 \sim 5$	$\leq 5 \sim 6$	$\leq 7 \sim 10$

用于纯铝、紫铜等反挤压的细长凸模，可在凸模端作出对称的工艺槽，以增加抗弯稳定性。工艺槽形状如图6所示⁽⁴⁾。一般取槽宽 $0.3 \sim 0.8\text{mm}$ ，深 $0.3 \sim 0.6\text{mm}$ 。

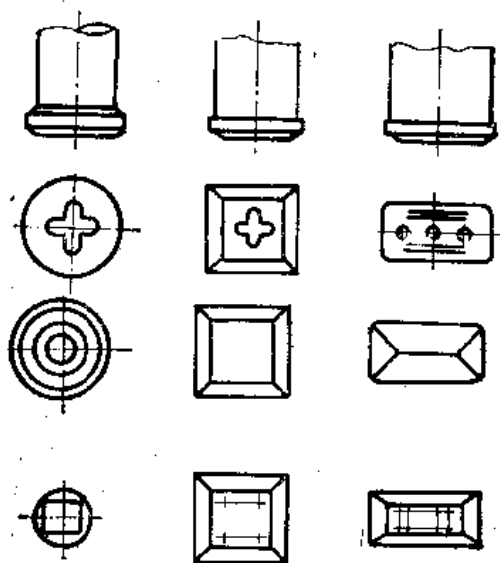


图6

2.9.6.2.1.2 凹模

图1为反挤压凹模的几种形式。图中 D 由挤压件外径确定， $h_1 = \text{毛坯高度} + r_f + (5 \sim 10)\text{mm}$ ， $h_2 = (0.7 \sim 1.0)D$ ， $\gamma = 1^\circ \sim 3^\circ$ 。

反挤压凹模工作部分的尺寸可参考图2~4⁽²⁾。其中图3为不同剖分情况，图4表示用来使挤压件挤压后不固紧在凸模上的凹槽尺寸。

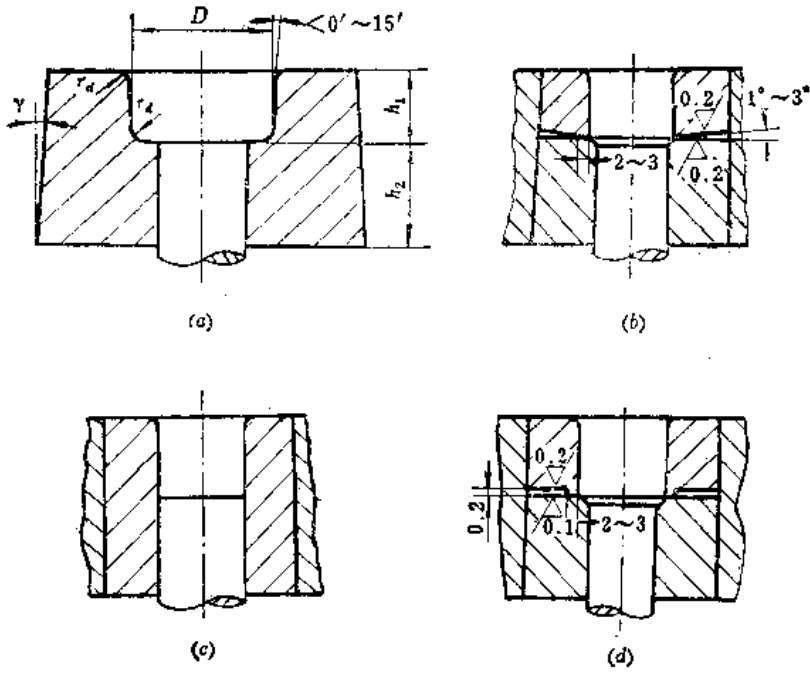


图1

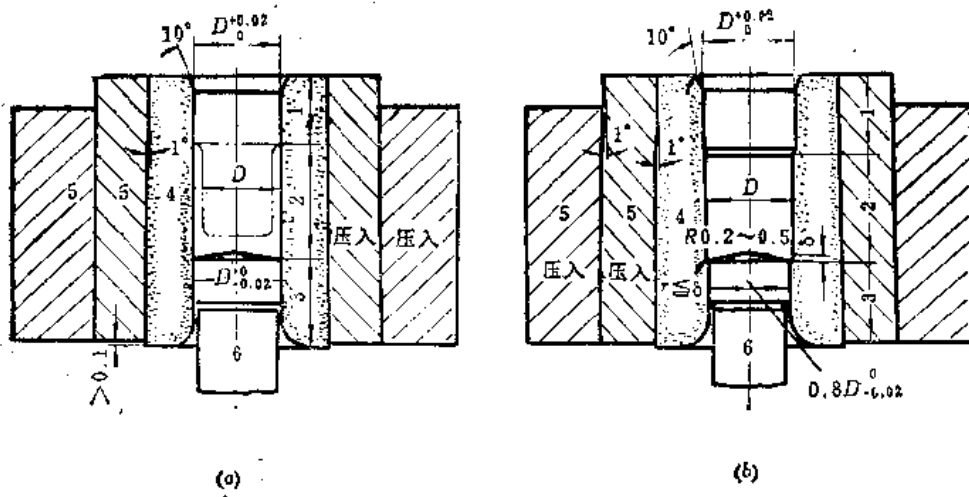


图2

(a) 直孔; (b) 阶梯孔。

1—凸模导向部分; 2—成形部分; 3—顶出部分; 4—凹模;
5—预应力圈; 6—顶杆, D —成形直径; D' —凸模套直径; δ —工作时顶杆的压缩量。

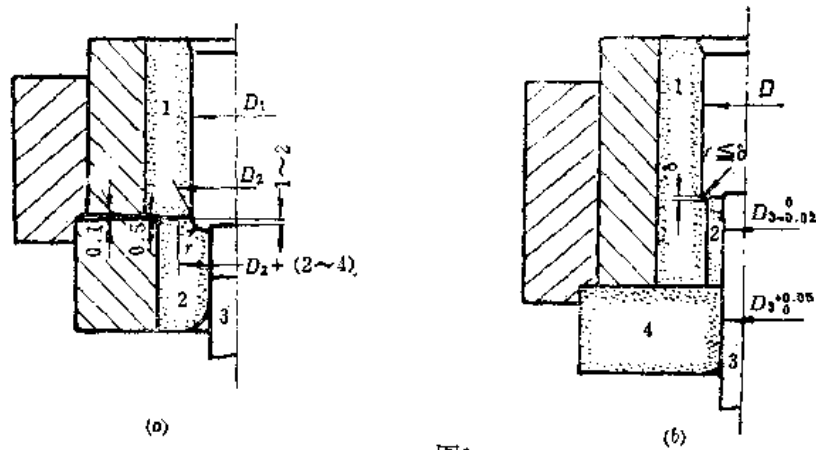


图3

(a) 横向剖分; D_1 —成形直径; D_2 —下部凹模入口直径 $= D_1 + \delta$; δ — D_1 工作时的变形量

(b) 纵向剖分; D —成形直径; δ — D_2 工作时的变形量

1—挤压筒; 2—凹模; 3—对向凸模; 4—凹模镶套; 5—垫板。

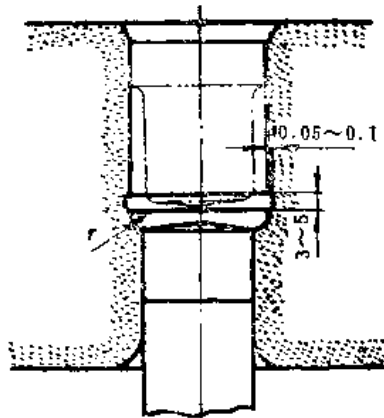


图4

2.9.6.2.2 正挤压模具设计

2.9.6.2.2.1 凸模

正挤压凸模的形式如图1所示^[9]。其中图1(a)和(b)用于实心件正挤压; 图1(c)用于纯铝空心件正挤压; 图1(d)和(e)用于较硬的材料, 特别是钢的空心件正挤压。图1(d)的心轴与孔之间采用间隙配合 H_7/h_9 , 挤压过程中, 心轴可随变形金属滑动, 从而可避免心轴在摩擦力作用下拉断; 图1(e)的心轴与孔之间采用过渡配合 H_7/K_9 , 挤压钢件时, 心轴直径取 $\geq 8 \sim 10$ mm。图中 d = 挤压件内孔直径 + (0.05~0.1)mm; D = 挤压件头部直径; $D' = (1.8 \sim 2)D$; $D_1 = (1.2 \sim 1.3)D$; $d_1 = d + 5$; L_1 = 毛坯高度 + 凹模刃带高度; L_2 = 毛坯变形长度 + 凹模导向部分高度; $r = (0.1 \sim 0.2)D$ 。

正挤压凸模工作部分尺寸, 参看图2。图3为带底容器正挤压用模具^[2]。

凸模的技术条件如下:

(1) 工作表面粗糙度 $Ra 0.4 \mu\text{m}$, 非工作表面粗糙度 $Ra 1.6 \mu\text{m}$, 不允许有擦伤和碰痕;

(2) 各外径的不同轴度不大于 0.01mm ;

(3) 支承端面对中心线的不垂直度不大于 $0.005 \sim 0.01 \text{mm}$;

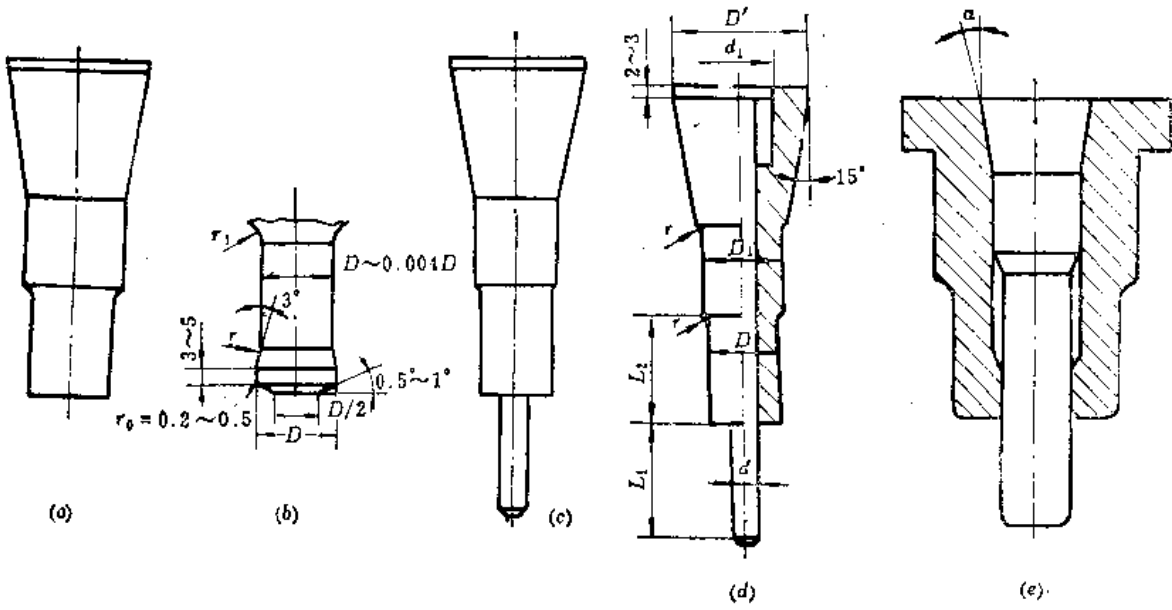


图1

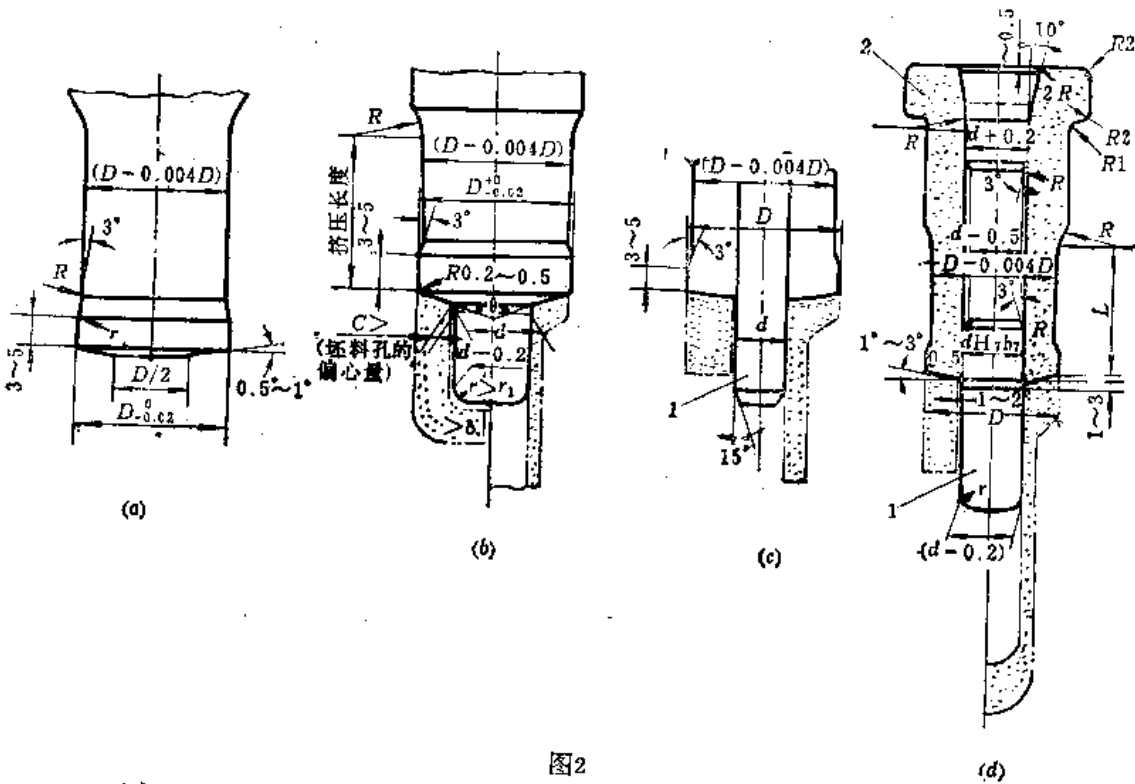


图2

(a) 轴件挤压用凸模; (b) 薄壁容器用凸模; (c) 挤管用凸模; (d) 薄壁容器用剖分凸模。
1—芯轴; 2—凸模套。

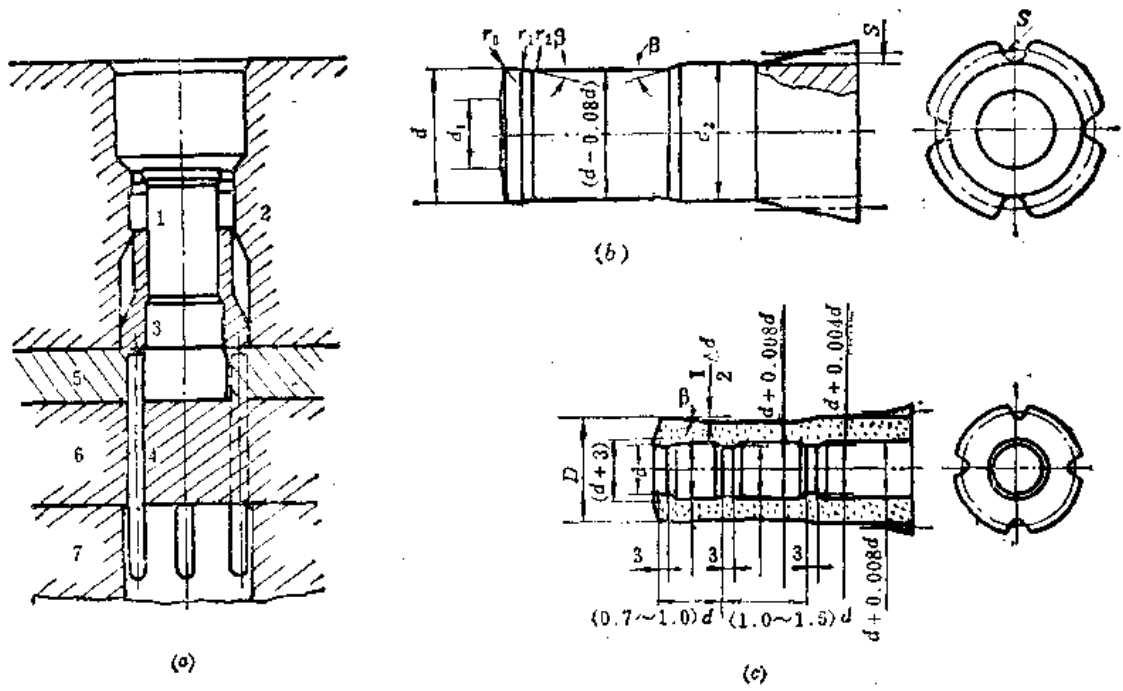


图3

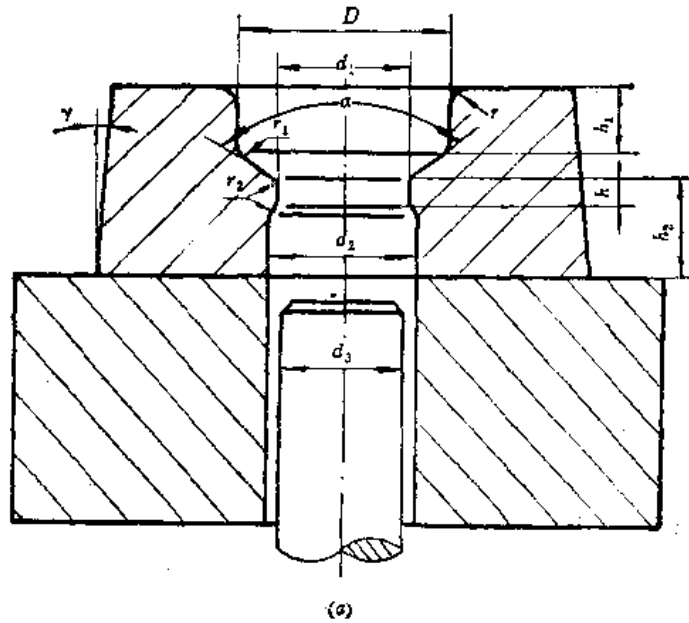
(a) 模具结构；(b) 对向凸模的形状尺寸；(c) 带轴杆容器的对向凸模。
 1—对向凸模；2—凹模；3—顶出环；4—顶销；
 5—凹模垫板；6—顶出器垫板；7—花键垫板。

(4) 支承端面不允许凹入，工作端面不允许有顶尖孔；

(5) 淬火和回火硬度 HRC61~63 (钢材挤压)，HRC58~62 (铝合金挤压)。

2.9.6.2.2.2 凹模

正挤压凹模常用的结构形式见图 1 (3)。凹模一般采用带预应力圈的剖分式结构。整



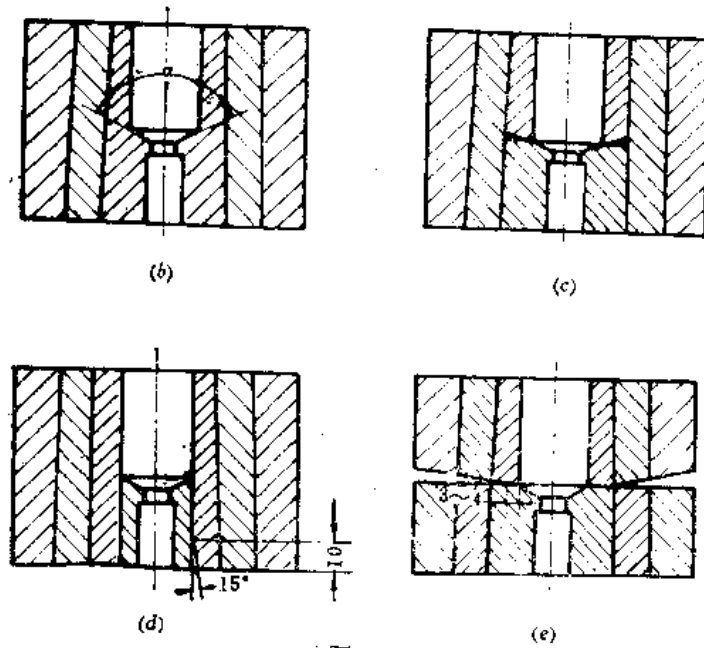


图1

体式凹模图 1 (a) 仅用于纯铝、紫铜等有色金属和简单形状的钢件试制。图中 D = 挤压件头部直径 + (0.15~0.2)mm; d_1 = 挤压件杆部直径; $d_2 = d_1 + (0.5 \sim 1.0)$ mm; $d_3 = d_1 - (0.2 \sim 1.0)$ mm; $r = 2 \sim 3$ mm; $r_1 > 2$ mm; $r_2 = 0.5 \sim 1.0$ mm; $h = 1.0 \sim 2.0$ mm (纯铝)、2.0~4.0mm (低碳钢)、1.0~3.0mm (硬铝、紫铜、黄铜); $h_1 =$ 毛坯高度 + $r + r_1 + (2 \sim 3)$ mm; $h_2 = h + (0.5 \sim 1.0)D$; $\gamma = 1.5^\circ \sim 3^\circ$ 。

正挤压凹模工作部分尺寸参见图 2 及图 3 (2)。图 3 为不同剖分情况。

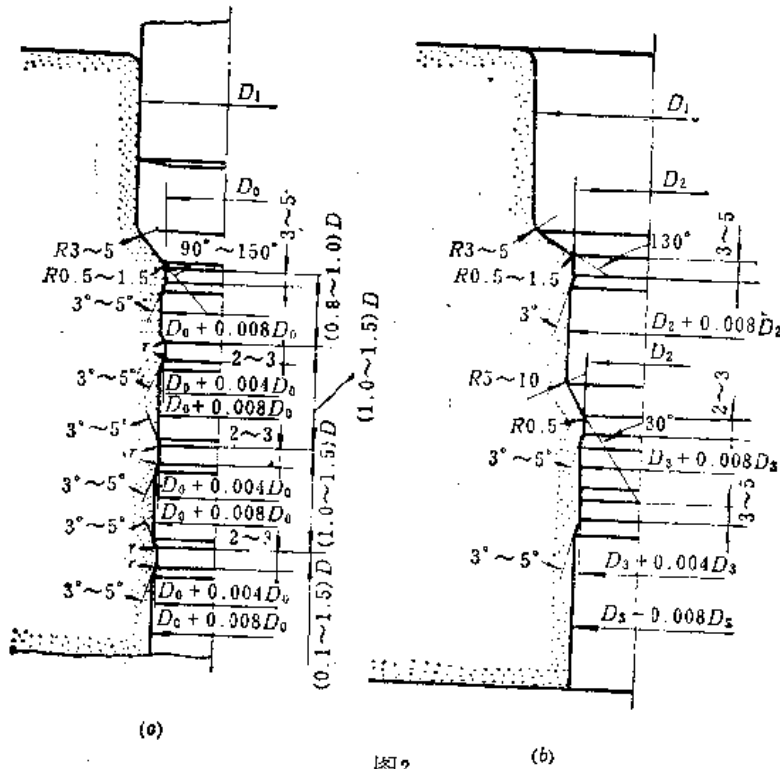


图2

(a) 直轴用凹模; (b) 阶梯轴用凹模。

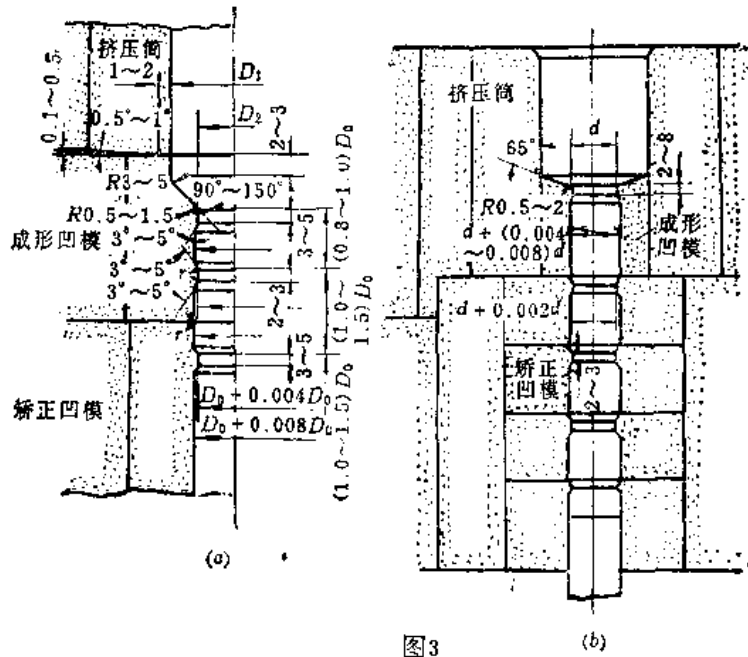


图3

(a) 横向剖分; (b) 纵向剖分。

2.9.6.2.3 复合挤压模具设计

图1为复合挤压模具典型结构^[2],其凸模和凹模的设计要领和正、反挤分别挤压时一样。一般,正挤压和反挤压的断面缩减率取得大致相同,图2为铝空心件正、反挤压模具^[2]。

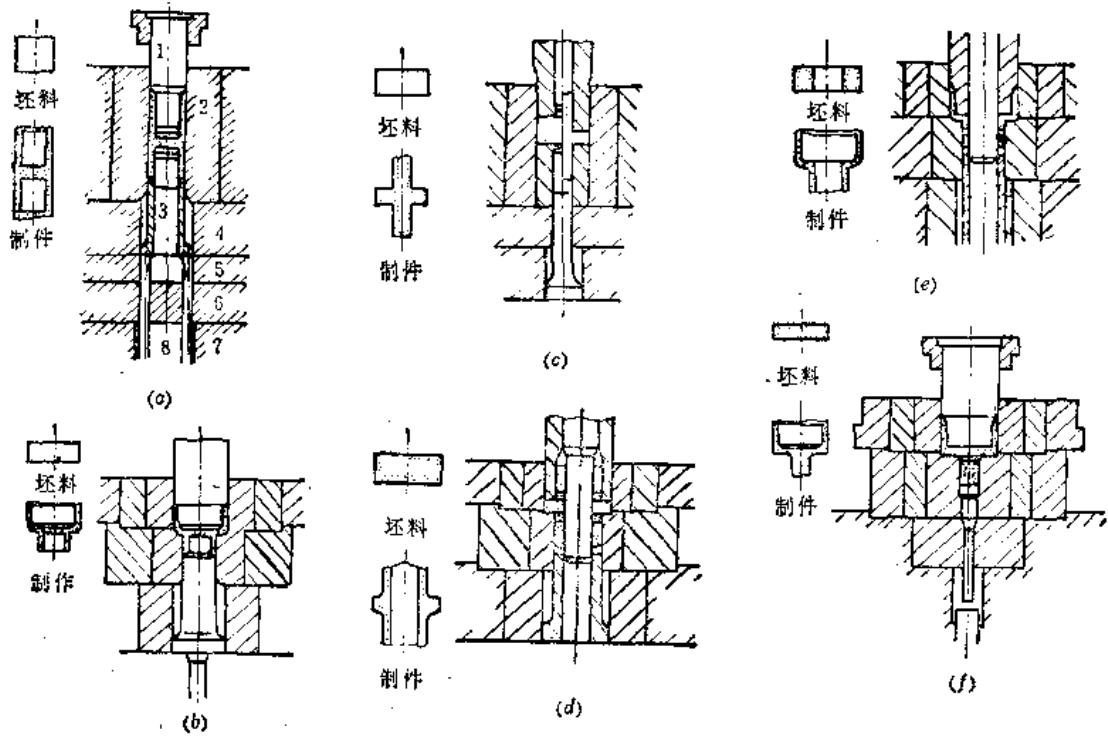


图1

- (a) 容器及其模具; (b) 异径容器及其模具;
- (c) 轴件及其模具; (d) 空心轴件及其模具;
- (e) 空心容器及其模具; (f) 带轴杆容器及其模具。
- 1—凸模; 2—凹模; 3—对向凸模; 4—顶出环;
- 5—对向凸模座; 6、7—垫板; 8—顶销。

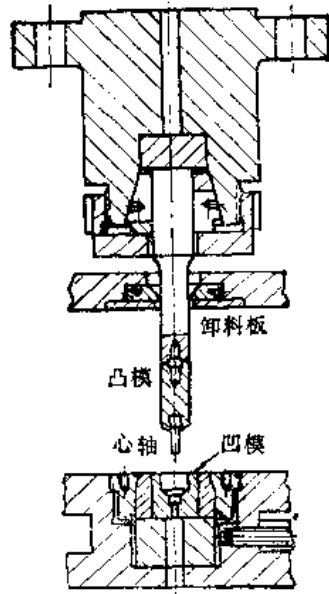


图2

2.9.6.2.4 凸、凹模工作部分尺寸计算

冷挤压凸、凹模工作部分尺寸的计算与拉深模类似，计算公式见表。

冷挤压凸、凹模工作部分尺寸计算公式⁽⁴⁾

尺寸基准	工件示意图	计算公式
要求外形尺寸的		$D_2 = (D - 0.75\Delta) + \delta_2$ $d_2 = (D - 0.75\Delta - 2t) - \delta_2$ $\delta_2 = \delta_1 = (0.1 \sim 0.2)\Delta$
要求内形尺寸的		$d_2 = (d + 0.5\Delta) - \delta_2$ $D_2 = (d + 0.5\Delta + 2t) + \delta_2$ $\delta_2 = \delta_1 = (0.1 \sim 0.2)\Delta$

注：D(或d)一挤压件基本尺寸；t一挤压件壁部厚度； D_2 一凹模尺寸； δ_2 一凹模制造公差； d_2 一凸模尺寸； δ_1 一凸模制造公差； Δ 一挤压件公差。

2.9.6.2.5 组合凹模设计

2.9.6.2.5.1 组合凹模形式的确定

组合凹模的形式及层数，根据挤压凹模内壁上的工作内压 p_4 确定，见表1。一般，挤压凹模工作内压 p_4 不等于单位挤压力 p ，即作用在凸模上的单位压力 p_1 ，可按 $p_4 = (0.7 \sim 0.8)p_1$ 估算。

表1. 组合凹模形式^{〔6〕}

单位压力 p_1 (MPa)	凹模形式	模具外径与内径之比 $d_2(d_3)/d_1$	各层应力圆直径 (mm)
≤ 1000	整体凹模	4	
1000~1600	二层组合 凹模	4~5	$d_2 = 0.9 \sqrt{d_1 d_3}$ 或 $d_2 = 2d_1$
1600~2500	三层组合 凹模	4~6	$d_2 = (1.58 \sim 1.82)d_1$ $d_3 = (2.49 \sim 3.24)d_1$
		6~8 (硬质合金镶块)	$d_2 = (2.2 \sim 2.3)d_1$ $d_3 = (4 \sim 4.5)d_1$

计算凹模侧壁上内压的简略计算式有：

$$\text{杆正挤压} \quad p_4 = K_1 \frac{p_1}{\varepsilon_p} - \sigma_s$$

$$\text{杆反挤压} \quad p_4 = K_2 \varepsilon_p p_1 + \sigma_s$$

$$\text{杆-杆复合挤压} \quad p_4 = K_1 p_1 - \sigma_s$$

$$\text{杯-杯复合挤压} \quad p_4 = K_2 \varepsilon_p p_1 + \sigma_s$$

$$\text{杯-杆复合挤压} \begin{cases} \text{当 } p_1 < p_0 \text{ 时, 与杆正挤同} \\ \text{当 } p_1 > p_0 \text{ 时, 与杯反挤同} \end{cases}$$

式中 ε_p ——断面缩减率，%；

σ_s ——材料屈服极限，MPa；

K_1, K_2 ——系数，查表2及3；

p_1, p_0 ——分别为单独正挤压和单独反挤压的单位挤压力，MPa。

表2. K_1 值^{〔6〕}

ε_p (%)	毛坯长径比 h_0/d_0		
	0.4	0.6	1.0
~26	0.8	0.6	0.4
35	0.9	0.7	0.5
50	0.8	0.8	0.7
65	1.2	0.9	0.9
80	1.2	1.2	1.0
~90	1.3	1.3	

表3. K_2 值^{〔6〕}

ε_p (%)	毛坯长径比 h_0/d_0		
	0.4	0.6	1.0
16	1.1	0.7	
36	0.8	1.2	0.8
31	1.3	1.0	0.9
64	0.9	0.85	0.95
77	1.0	1.0	1.0
85	1.0	1.0	1.2

2.9.6.2.5.2 组合凹模的设计

组合凹模，如图1（二层组合凹模压合）及图2（三层组合凹模压合）所示，各层直径比列于表1。

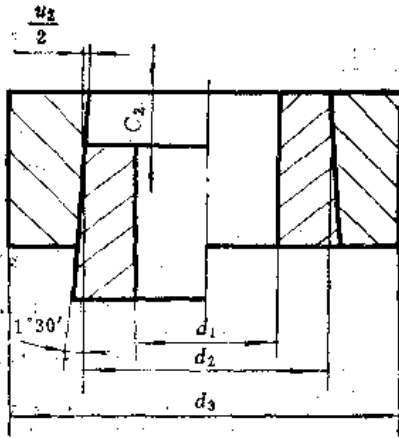


图1

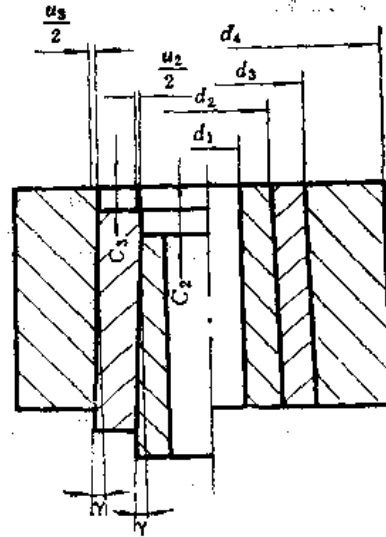


图2

表1. 二层组合凹模设计参数⁽⁴⁾

序号	d_3/d_1	d_2/d_1	β_2	δ_2
1	4	1.8	0.0083	0.16
2	5	2.0	0.0085	0.163
3	6	2.2	0.0088	0.166

二层组合凹模 d_2 处的径向过盈量 u_2 与轴向压合量 c_2 按下式计算：

$$u_2 = \beta_2 d_2 \text{ (mm)}$$

$$c_2 = \delta_2 d_2 \text{ (mm)}$$

$$c_2 = \frac{u_2}{2 \operatorname{tg} \gamma}$$

式中 d_2 、 β_2 、 δ_2 由表1或图3⁽³⁾查得。

三层组合凹模的径向过盈量与轴向压合量按下式计算：

$$u^2 = \beta_2 d_2 \text{ —— } d_2 \text{ 处径向过盈量；}$$

$$c_2 = \delta_2 d_2 \text{ —— } d_2 \text{ 处轴向压合量；}$$

$$u_3 = \beta_3 d_3 \text{ —— } d_3 \text{ 处径向过盈量；}$$

$$c_3 = \delta_3 d_3 \text{ —— } d_3 \text{ 处轴向压合量。}$$

$$\left(c_2 = \frac{u_2}{2 \operatorname{tg} \gamma}, c_3 = \frac{u_3}{2 \operatorname{tg} \gamma} \right)$$

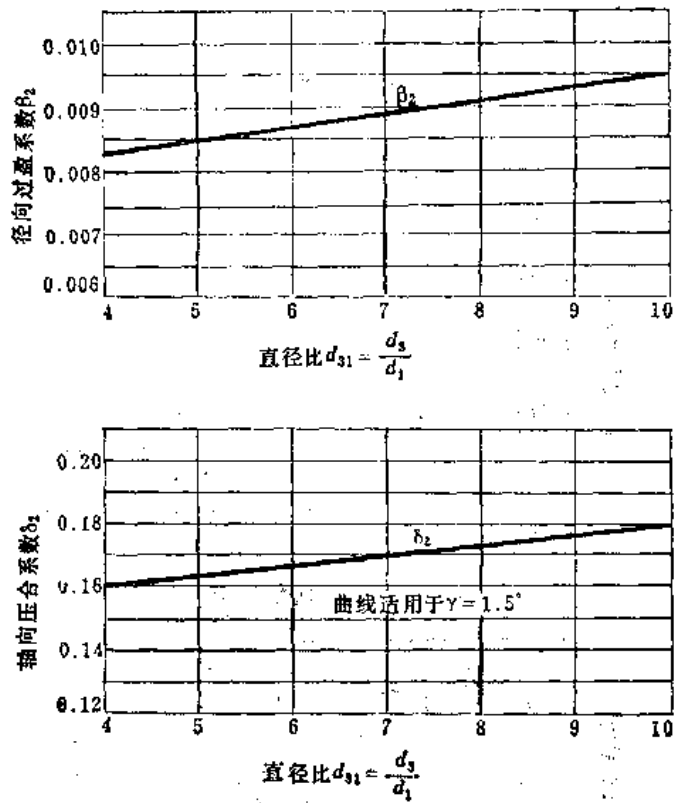


图3

式中 d_2 、 d_3 、 β_2 、 β_3 、 δ_2 、 δ_3 按表2或图4^{〔8〕}查得。各层之间的过盈量，亦可近似取配合直径的千分之四到千分之八。

多层组合凹模的另一种设计方法是假设各层直径按等比级数变化。各层加热压合的过盈量 u_n 按下式计算，

$$\frac{u_n}{d_n} = \frac{p_n}{mE}$$

式中 u_n ——直径 d_n 处的热压过盈量，mm；

p_n ——凹模侧壁所受的单位内压，MPa；

E ——应力圈材料的弹性模数，MPa；

m ——总层数，一般取 $m \leq 3$ 。

假设各层直径按等比级数变化，即

表2. 三层组合凹模设计参数

序号	d_3/d_1	d_2/d_1	d_1/d_1	β_2	δ_2	β_3	δ_3
1	4	2.49	1.58	0.0106	0.204	0.006	0.12
2	5	2.89	1.7	0.0105	0.20	0.0045	0.09
3	6	3.24	1.8	0.0102	0.195	0.0038	0.72

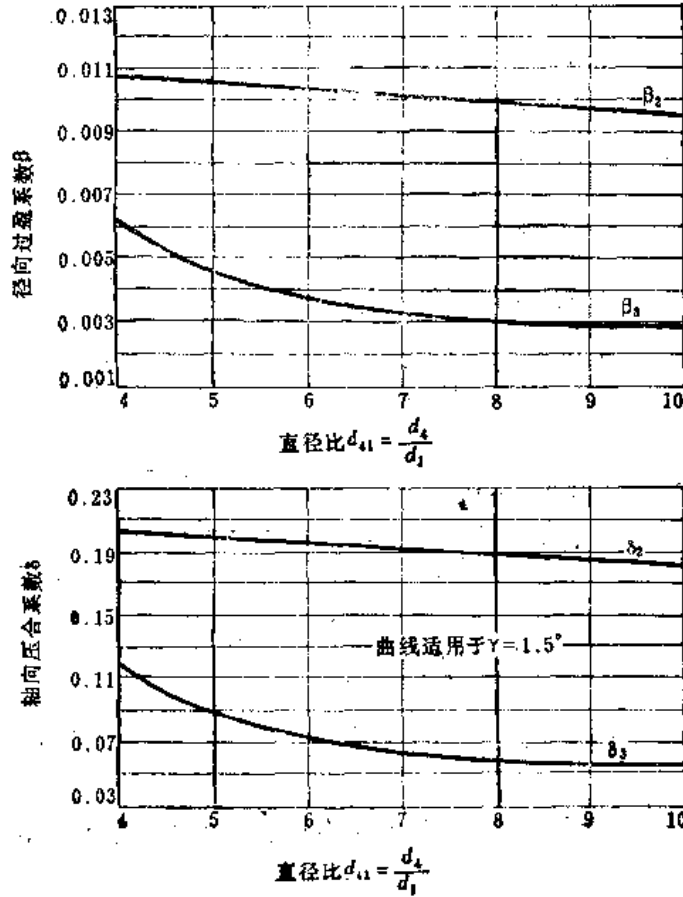


图4

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{d_3}{d_2} = \dots = k$$

凹模总的外径与内径之比 k 由图 5 确定。图中

$$\frac{p_1}{\tau_0} = \frac{\text{凹模的最大内压}}{\text{应力圈材料的最大许用剪切应力}}$$

采用硬质合金作内圈（凹模）时，应适当加大预应力圈的厚度，而合金内圈的厚度应尽可能小，其经济合理的最小壁厚为 $r_2 = (2.2 \sim 2.3)r_1$ 。

中、外层应力圈的高度通常比内圈小 1 ~ 2 mm。外圈的外形有时作成台阶或作出 10° 左右的锥度，见图 6。组合模的外径与模座之间采用二级精度第一种动配合。

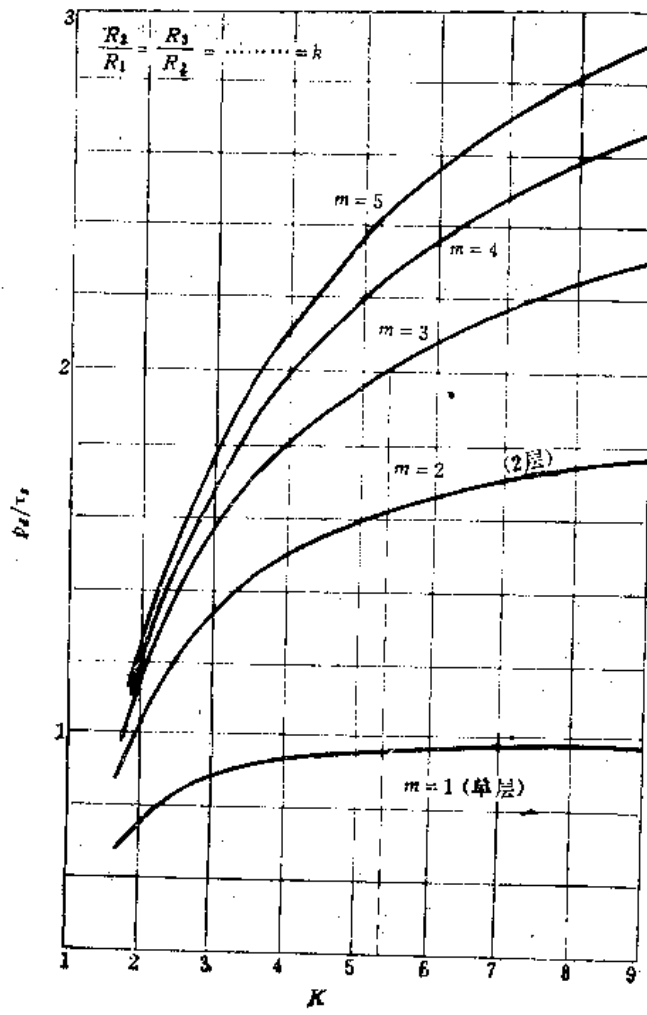


图5

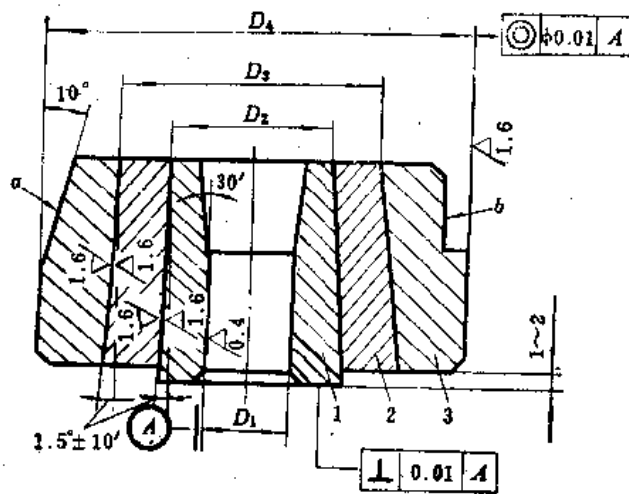


图6

2.9.6.3 冷挤压模主要零部件结构

2.9.6.3.1 模座

模座是连接工作部件与压力机的过渡零件，一般直接安装在压力机的滑块和垫板上。常见的模座形式如图1所示。其中图1(c)广泛用于中小型零件挤压模。图2为叠板式组合模座，具有较高的承载能力、强度和刚性。

模座的外廓尺寸应比压力机工作台面孔或垫板孔大 80~100mm，厚度通常不小于 40~60mm。

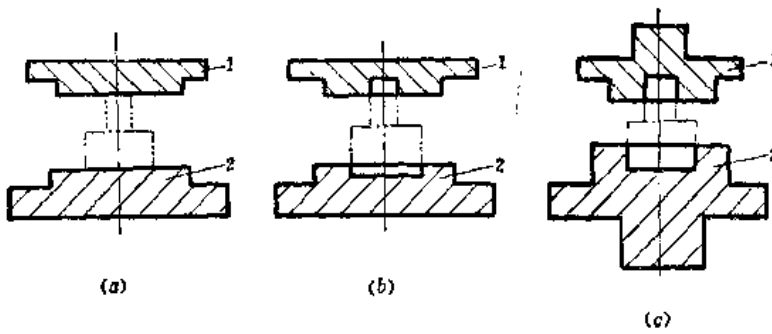


图1

(a) 平面状；(b) 带凹槽型；(c) 两端带凸台的凹槽型。
1—上模座；2—下模座。

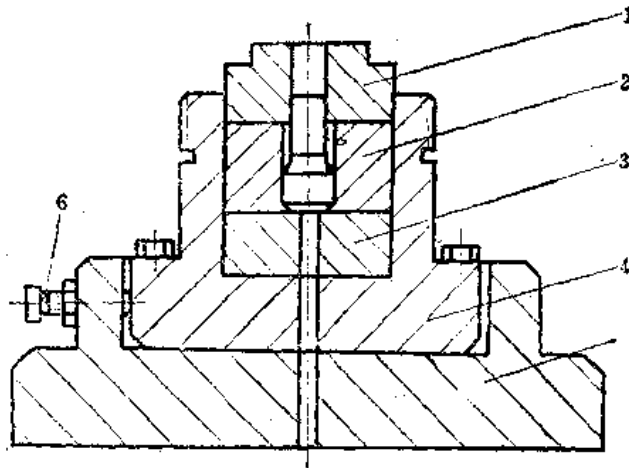
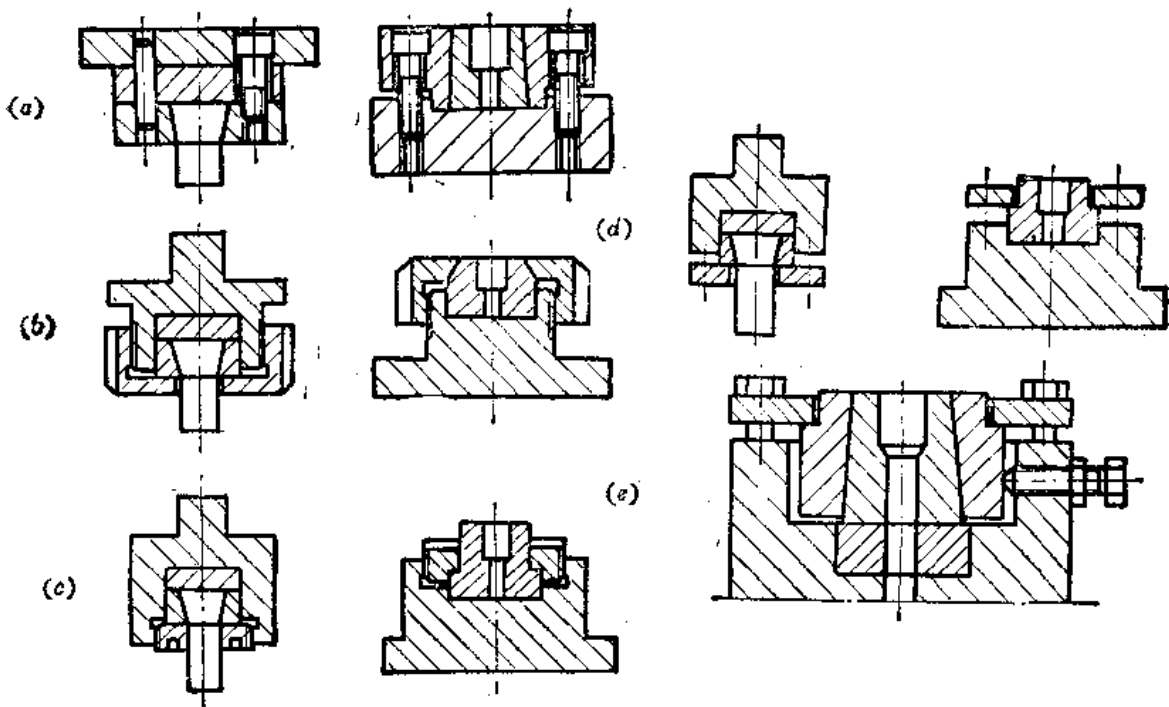


图2

1—凹模；2—支承；3—垫圈；4—模座；5—模板；6—调整螺栓。

2.9.6.3.2 凸、凹模的紧固方法

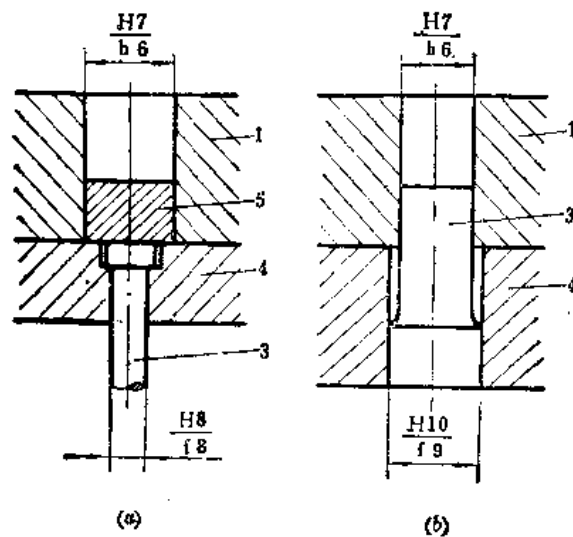
常见的几种凸、凹模紧固方法见图。

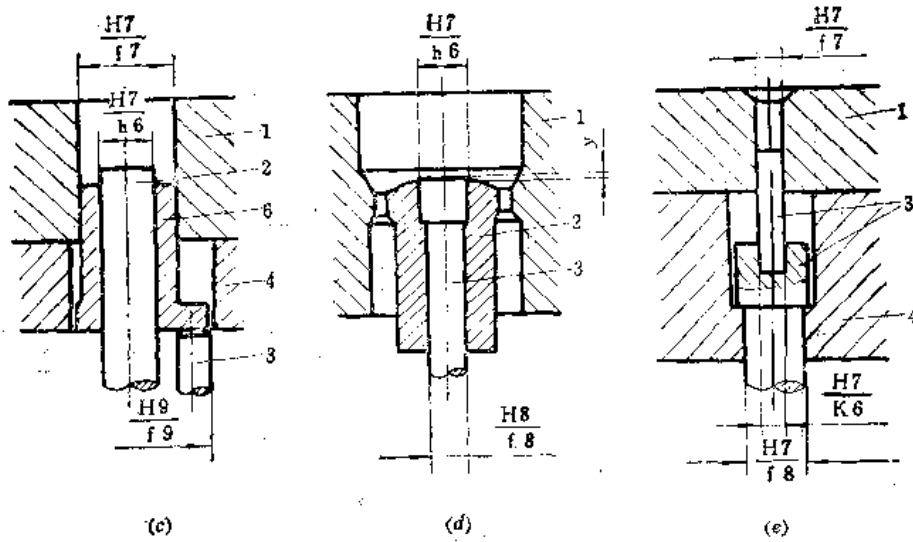


(a) 螺拴紧固; (b) 外螺帽紧固;
 (c) 内螺帽紧固; (d) 压板紧固;
 (e) 凹模水平调整。

2.9.6.3.3 顶件与卸料装置

顶件装置的几种基本结构形式见图, 卸料装置与一般冲压模具的卸料装置类似。





1—凹模；2—下凸模；3—顶杆；4—支承；5—退料块；6—环形退料器。

2.9.7 冷挤压模具材料及热处理

表1. 冷挤压模具零件的硬度要求

σ_s (MPa)	最大当量 直径 (mm)	凸 模		凹 模 HRC ^①	应力圈 HB	心 轴 HRC ^①	顶杆或 对向凸模 HRC ^①	垫 板		顶 销 HRC ^①
		正挤压 HRC ^①	反挤压 HRC ^①					HRC	HB	
2200	100		63~65	60~64		82~85 ^②	82~84			
2130		62~64	62~64							
2000	160	60~62	60~62	60~62		58~62	60~62			
	40									
1700	160							58~62		
	40							58~61		
1600	25	56~58								56~58
	250									
1400	160				470~530			50~54		
	40									
1200	250				440~510 ^③			40~44		
800	250				330~390					
	40									
700	250				270~330					
	100								270~330	

① 仅根据最大当量直径确定。最大当量直径即保证表中的强度时材料的最大直径。

② 适于一般用途。

③ 用于摩擦条件严格时。

冷挤压模具应具有高的强度、硬度、耐磨性，一定的韧性及耐热性能，以及良好的加工工艺性能。

选择模具材料的依据是挤压件的材料、变形程度、生产批量、模具材料的来源及锻造热处理生产条件等。一般要求是锻造比在6以上，碳化物偏析不大于3级，奥氏体晶粒度控制在10级左右^[3]。

冷挤压模具零件的硬度要求见表1^[3]。

目前常用的冷挤压模具材料主要有高碳高铬模具钢、高速钢、碳素工具钢及合金结构钢等，见表2。

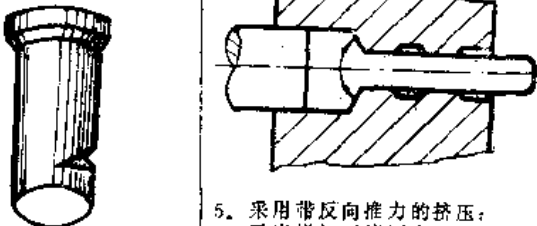
表2. 常用冷挤压模具材料

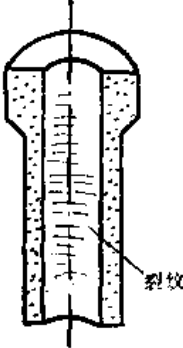
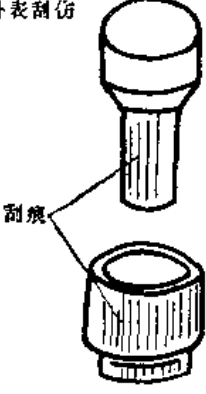
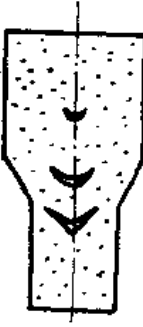
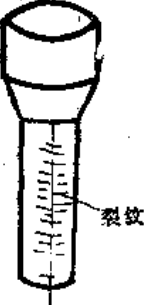
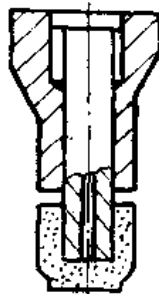
模具零件	挤压材料	模具材料牌号	硬度 HRC	备注
凸模		W18Cr4V, Cr12MoV, Cr12Mo, Cr12, GCr15, 6W6Mo5Cr4V2 9CrSi		
凹模	铜, 黄铜	Cr12Mo, Cr12MoV, CrWMn, YG20, YG25		
	铝, 紫铜	Cr12Mo, CrWMn, T10A, YG8, YG15		
	锌	Cr12Mo, Cr12MoV, CrWMn, YG20, YG25		
应力圈	中层	5CrNiMo, 40Cr 35CrMoA, 30CrMnSiA	42~48	反复使用时, 应进行200℃低温回火, 以消除内应力
	外层	5CrNiMo, 0CrNiMo 35CrMoA, 40Cr, 45	38~42	

2.9.8 冷挤压件质量分析

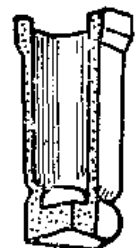
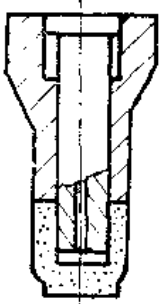
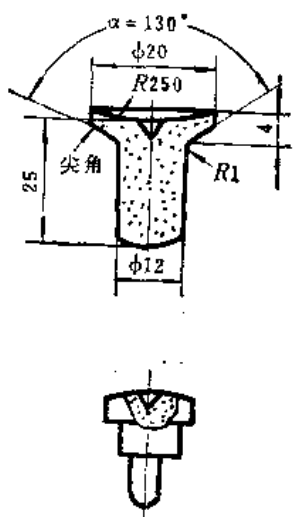
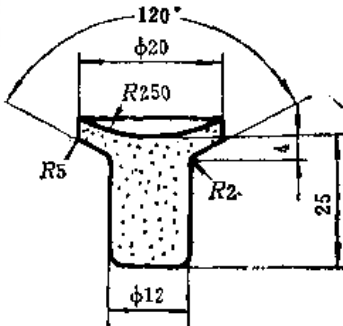
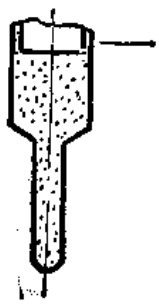
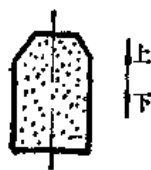
冷挤压件的常见质量问题, 产生原因及防止措施, 见表^[4]。

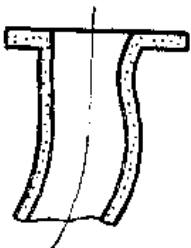
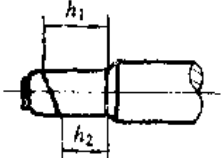
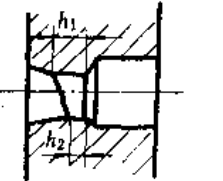
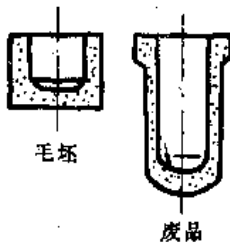
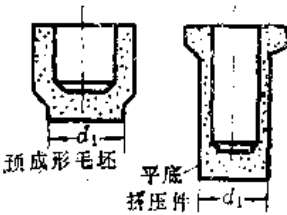
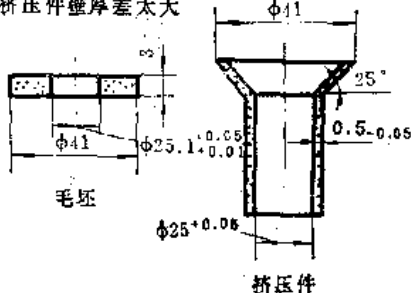
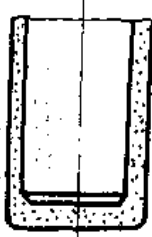
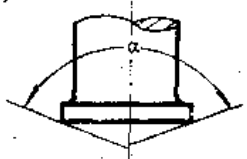
冷挤压件质量分析

序号	质量问题	原因分析	防止措施
1	正挤压件外表环形裂纹或鱼鳞状裂纹	在工件与凹模之间摩擦力的作用下, 金属外表层的流动速度比中心层快, 当中心层金属对外表金属产生的附加拉应力足够大时, 便使工件出现环形或鱼鳞状裂纹	<ol style="list-style-type: none"> 1. 选用良好的毛坯退火规范, 以提高金属的塑性或改用塑性较好的材料; 2. 改用润滑性能良好的表面处理与润滑; 3. 减小凹模锥角(α); 4. 采用两层工作带的正挤压凹模  <ol style="list-style-type: none"> 5. 采用带反向推力的挤压; 6. 适当增加正挤压变形程度

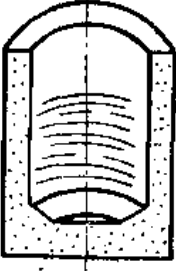
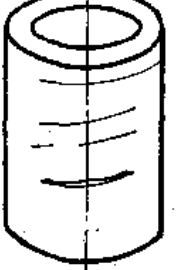
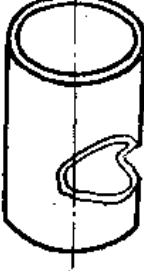

序号	质量问题	原因分析	防止措施
2	正挤压空心件内孔裂纹 	同上	1. 选用良好的毛坯退火规范, 以提高金属的塑性或改用塑性较好的材料; 2. 改用性能良好的表面处理与润滑 (在正挤30钢时, 在磷化后只用工业豆油润滑会出现内孔裂纹, 如果在磷化后用皂化润滑, 可以使裂纹消除); 3. 缩小毛坯孔径, 使毛坯内孔小于凸模心轴直径0.01mm
3	挤压件外表刮伤 	1. 模具硬度不够; 2. 毛坯表面处理及润滑不理想	1. 增加模具工作部分硬度; 2. 模具工作部分镀铬或氮化、渗碳等; 3. 改用性能良好的表面处理与润滑
4	挤压件内部裂纹 	挤压材料塑性低, 在一定断面缩减率时, 由于内部轴向拉应力的作用引起	减小凹模锥角, 或在挤出方向施加背压
5	正挤压空心件侧壁断裂 	凸模心轴露出凸模太长, 在正挤压前先产生变薄拉深而导致侧壁拉断 	减小心轴长度, 使心轴露出长度与毛坯孔的深浅相适应 (最多比毛坯孔深0.5mm)


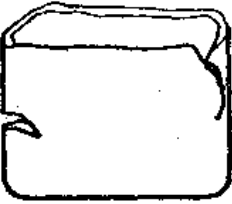
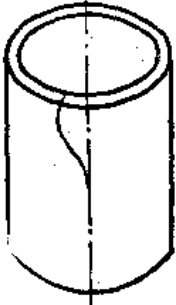
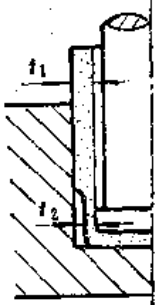
(续)

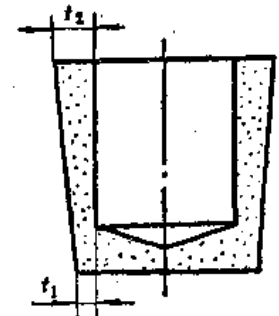

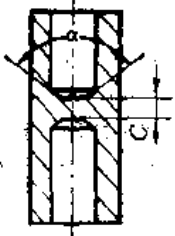
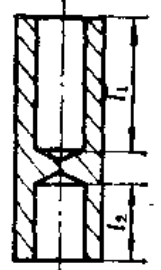
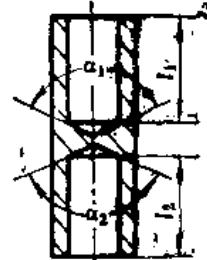
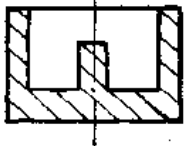

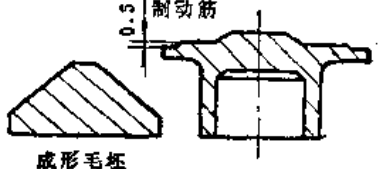
序号	质量问题	原因分析	防止措施
6	正挤压杯形件侧壁皱曲 	凸模心轴露出的长度不够 	增加心轴长度, 使心轴露出长度与毛坯的深浅相适应
7	正挤压件的头部缩孔 	当头部高度较小时, 由于摩擦的作用, 常使与凹模接触表面附近的金属不易流向中心, 而靠凸模中心附近的金属补充到中心部位, 导致头部中心缩孔	<ol style="list-style-type: none"> 1. 采用良好的表面处理与润滑; 2. 减小凹模工作带尺寸; 3. 减小凹模锥角α; 4. 增大凹模入口处圆角; 5. 降低凹模表面粗糙度, 适当提高凸模端面粗糙度; 6. 减小正挤压变形程度  <p>上图为LF6防锈铝正挤压件, 工件原来形状如左图, 经减小锥角α及加大凹模入口圆角后, 缩孔消除</p>
8	正挤压件端部毛刺 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 凸、凹模之间间隙太大; 2. 毛坯退火硬度太高, 金属流动阻力太大, 使金属反向上流入凸、凹模间隙, 形成毛刺 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 减小凸、凹模间隙; 2. 提高毛坯退火质量; 3. 必要时采用预成形毛坯, 如下图所示, 毛坯放入凹模中时应将倒角朝上 

序号	质量问题	原因分析	防止措施
9	<p>正挤压件的弯曲</p> 	<p>1. 模具工作部分形状不对称:</p>  <p>2. 润滑不均匀</p> 	<p>1. 修改模具工作部分; 2. 润滑均匀; 3. 在正挤压凹模下面加导向套(导向套孔直径比工件大0.02mm)。装导向套的细长挤压件不直度在100mm长度内可保证不大于0.03~0.04mm。</p>
10	<p>正挤压深孔底部不平,呈半球形</p> 	<p>正挤压时,底部金属参与变形而成半球状</p>	<p>采用预成形毛坯(见下图),可获得平底挤压件</p> 
11	<p>挤压件壁厚差太大</p>  <p>上图Al-Mn合金正挤压件要求壁厚公差0.05mm,但有时壁厚差达到0.20mm</p> 	<p>1. 由于毛坯退火不均匀,而形成严重的壁厚差; 2. 凸、凹模不同轴; 3. 模具无准确导向; 4. 反挤压件毛坯直径偏小,放在凹模腔内太松,引起零件偏心; 5. 反挤压凸模顶角太尖(α太小),亦易引起挤压件偏心;</p>  <p>6. 润滑剂过多,不均匀</p>	<p>1. 修改退火工艺规范。如左图Al-Mn合金正挤压件,将退火工艺改为两次高温(570°C)长时间(一次7h,另一次5h保温)退火,在其他条件不变的情况下,挤出的零件壁厚精度完全达到要求; 2. 修整凸、凹模的不同轴度; 3. 保证模具的导向装置有良好的导向精度; 4. 适当增大反挤压件毛坯直径,放在凹模腔内不宜太松; 5. 增大反挤压凸模顶角α; 6. 润滑剂涂刷适量,均匀</p>


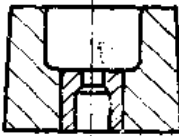
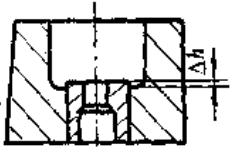
(续)

序号	质量问题	原因分析	防止措施
12	反挤压件内孔环状裂纹 	冷挤压低塑性材料时, 润滑不合理, 产生附加拉应力所致, 常出现于LY11和LY12硬铝合金挤压中	<ol style="list-style-type: none"> 1. 采取良好的毛坯表面处理与润滑; 2. 降低反挤压凸模表面粗糙度; 3. 采用最好的软化热处理规范, 提高材料塑性
13	反挤压件表面环状裂纹 	由于内外层金属流动速度不均匀, 引起附加拉应力造成	<ol style="list-style-type: none"> 1. 增大毛坯外径, 甚至使毛坯直径大于型腔孔径0.01~0.02mm; 2. 采用良好的毛坯表面处理与润滑; 3. 降低凹模型腔表面粗糙度; 4. 用最合适的软化处理规范, 提高材料塑性
14	反挤压薄壁件壁部缺口 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 凸、凹模之间间隙不均; 2. 上、下模不垂直度与不平行度过大; 3. 润滑剂涂刷过多; 4. 凸模长细比不当, 稳定性不好 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 调整凸、凹模之间间隙; 2. 调整上、下模的不垂直度和不平行度; 3. 减少润滑剂用量; 4. 凸模工作端加工出工艺槽, 见2.9.8.2.1.1图6
15	反挤压件单面起皱 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 凸、凹模之间间隙不均, 引起流动不均, 在金属流动快的一面易于起皱; 2. 润滑不均匀 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 调整凸、凹模之间的间隙; 2. 保证润滑均匀

序号	质量问题	原因分析	防止措施
16	矩形件长边上口开裂 	长边金属流得太快, 短边金属流得太慢, 形成两面受拉	1. 长边比短边少润滑; 2. 凸模各边工作圆角半径, 取成长边的小于短边的; 3. 凸模各边工作带, 取成长边的大于短边的; 4. 凸模工作端面锥角, 取成长边的大于短边的; 5. 凸凹模间隙, 取成长边的小于短边的
17	反挤压薄壁硬铝件 (LY12) 壁部开裂 	LY12塑性较差, 反挤时金属质点流动速度稍有差异便引起破裂	改用塑性较好的变形铝合金, 经时效处理后机械性能与硬铝LY12相同
18	挤压件放置一段时间后发现开裂 	筒壁内存在残余应力	对于黄铜、硬铝 (LY11, LY12)、奥氏体不锈钢 (如1Cr18Ni9Ti) 以及钛合金挤压件, 在挤压完后, 采用去除内应力的回火热处理工艺
19	反挤压件侧壁底部变薄 ($t_2 < t_1$) 	底部过薄, 挤压到最后没有足够的金属补充到侧壁	增加零件底部厚度

序号	质量问题	原因分析	防止措施
20	反挤压件上端壁厚大于下端(最多可达0.40mm) 	凹模型腔退模锥角太大	减小凹模型腔退模锥度, 甚至不用退模锥度
21	中部缩入现象 	1. 中间夹层高度C太薄; 2. 凸模无锥度	1. 增加夹层高度C; 2. 凸模改用锥度 
22	连皮位置不在中央 ($l_1 \neq l_2$) 	由于金属的惯性, 在立式压力机上挤压时, 金属总是向上流动比向下流动容易, 因而工件孔径高度总是上孔长, 下孔短 ($l_1 > l_2$)	1. 采用不同的上、下凸模锥角, 使 $\alpha_1 > \alpha_2$; 2. 上凸模做出肩部, 当金属向上流足 l_1 的尺寸后, 即受到凸模肩的限制, 使 $l_1 = l_2$; 3. 采用卧式挤压机 
23	冷挤压件部分尺寸未压足, 如: 1. 中心柱高度不足;  (1) 2. 下端杯形部分高度不足  (2)	金属变形时, 容易向阻力小的方向流动	1. 改变毛坯尺寸, 对于左图(1), 可采用成形毛坯挤压; 对于左图(2), 可用较高的毛坯(长径比大)进行挤压;  2. 对于左图(2), 可在法兰部分加制动筋; 3. 对于左图(2)的情况, 应保证毛坯良好退火热处理条件; 4. 在金属流动不足的部位, 使模具工作部分增加锥角或增大圆角。

(续)

序号	质量问题	原因分析	防止措施
24	挤压件底部出现台阶	由于凹模拼块在挤压受力时发生弹性压缩	将拼块高度酌量增高 Δh (如0. mm), 减低弹性压缩变形数值
	 <p data-bbox="309 546 496 577">正常产品 废品</p>		

参 考 资 料

- (1) Sessions, T. M. B., Cold Forging and Extrusion—Present Position and Future Prospects, Metallurgia, March, 1981.
- (2) 日本塑性加工学会, 江国屏等译, 《压力加工手册》机械工业出版社, 1984年。
- (3) 阮雷楠等, 《冷挤压技术》, 机械工业出版社, 1983年。
- (4) 王孝培, 《冷压设计资料》, 机械工业出版社, 1983年。
- (5) 杨长顺, 《冷挤压工艺实践》, 国防工业出版社, 1984年。
- (6) 最新プレス加工データブック, プレス技術, 第10巻第11号, 1979。
- (7) Романовский, В. П., Справочник по Холодной Штамповке, 1979。
- (8) 上海交大等, 《冷挤压工艺与模具图册》, 机械工业出版社, 1976年。
- (9) Zhou Xianbin et al. Filage Inverse d'Aciers mi-ders Résulfurés—Capacité de Déformation Résiduelle, Journées Métallurgiques d'Automne de la Société Française de Métallurgie, 1982。

2.10 压 印

2.10.1 定义与范围

压印是使毛坯的局部或全部表面受到压挤，产生塑性变形，改变厚度并充满模腔，形成凹凸花纹、沟槽或字符等的立体压制工艺方法。

大多数情况下，压印是在封闭模中和在室温下进行的，工件的全部表面都受到限制，见图1(a)。对于比较大的或特殊形状的工作，则采用敞开式压印，成形后常需要切边，见图1(b)。

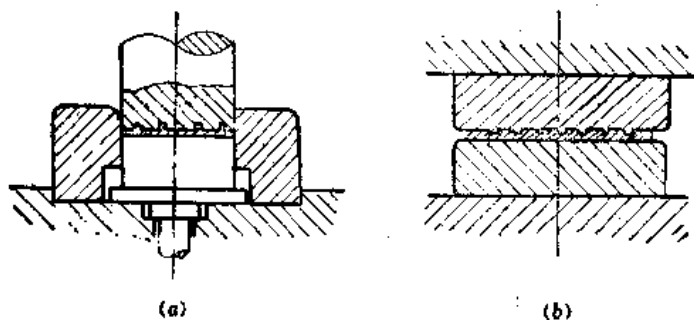


图1

(a)封闭式；(b)敞开式。

敞开式浅表压印也叫压花。压花时金属只有少量的转移。如，压制表面有复杂图案的零件，或要求外表美观的装饰性小零件，如硬币、纪念章、标牌、餐具及压制表面锯齿纹等，大多属于艺术压花。

图2表示滚轮压印或压花，用于拉链等小零件的大批量生产。毛坯为条料，滚轮既是压印模，又是曳料机构，可以连续工作，生产效率。

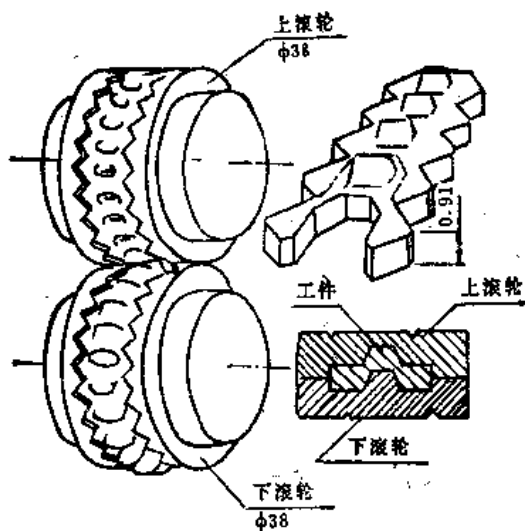


图2

根据变形的性质，压印有时也包括某些校正，压底，压边和清角等工作。用于校正尺寸，代替切削加工的校正压印，可大大节省材料和加工工时。如图3^[1]所示的车轮轮辋凸缘（材料：30号钢），锻造后用压印方法校正到最后尺寸，校正压印压力为1200t，不用润滑。

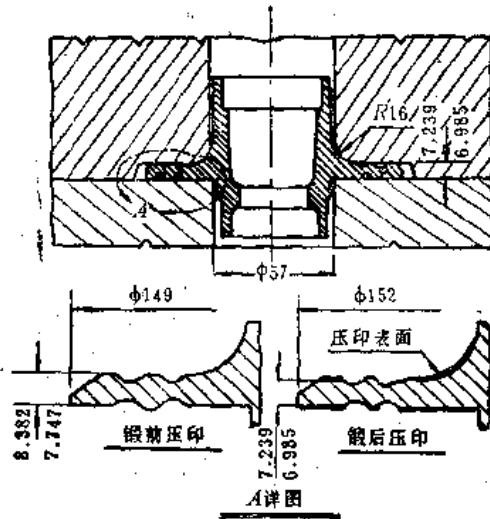


图3

飞机铝合金构件上的孔和槽周围的环沟压印(图4和图5)、马蹄形压印(图6)，板条边缘的直沟压印(图7)，孔边的平模压印(图8)，还有孔的倒角压印及胀孔压印等，都是为了提高构件的疲劳强度。

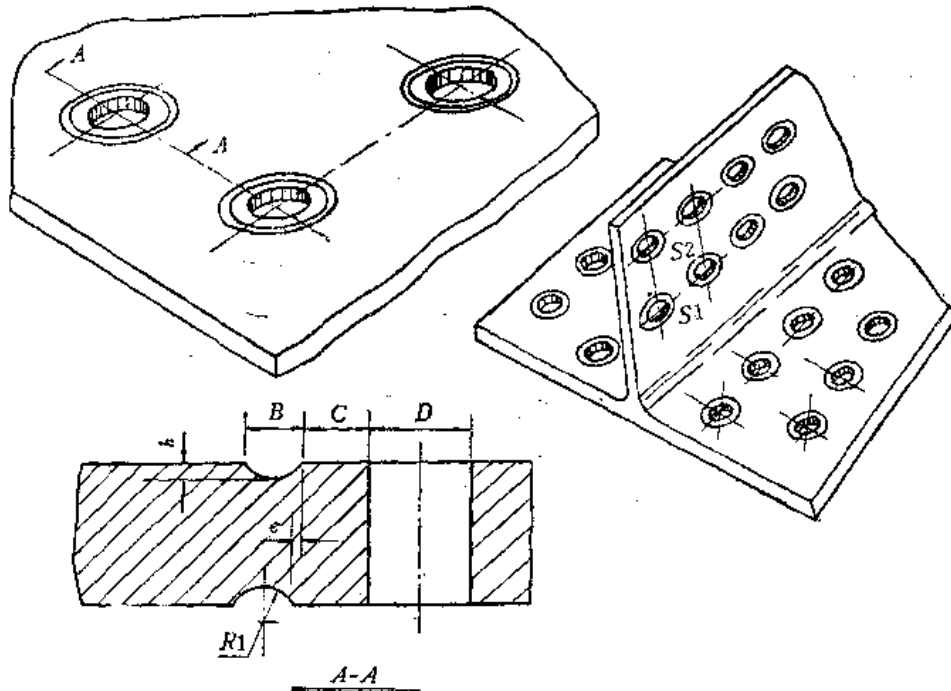


图4 圆孔环沟压印

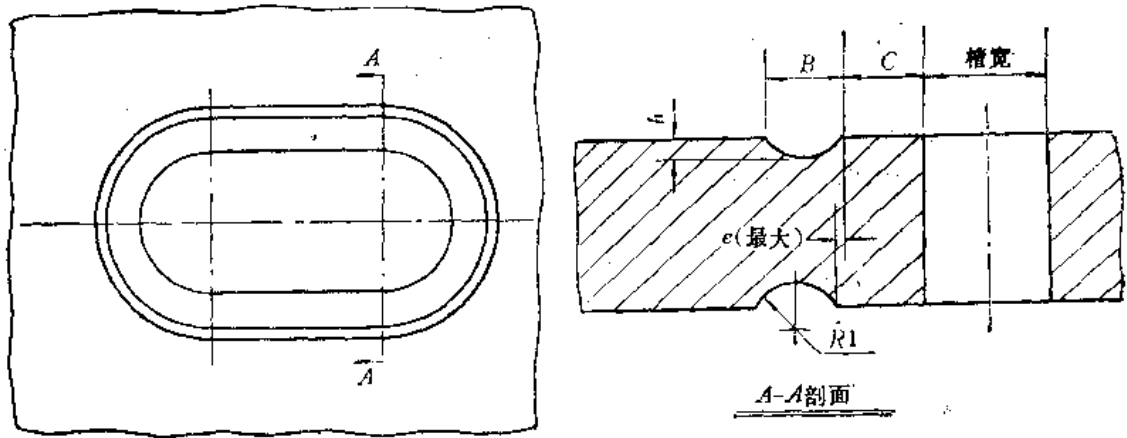


图5 槽孔环沟压印

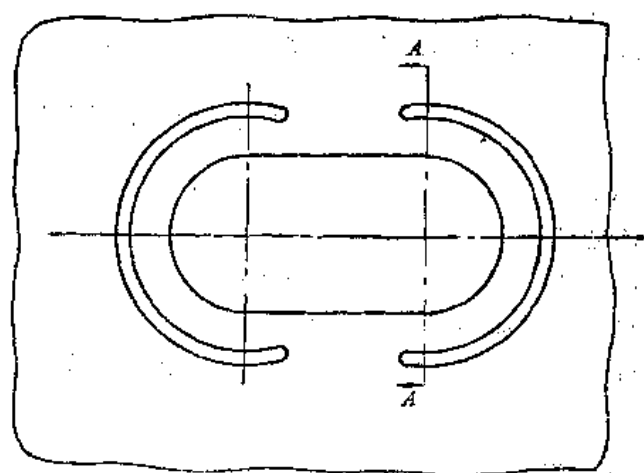


图6 槽孔马鞍形压印

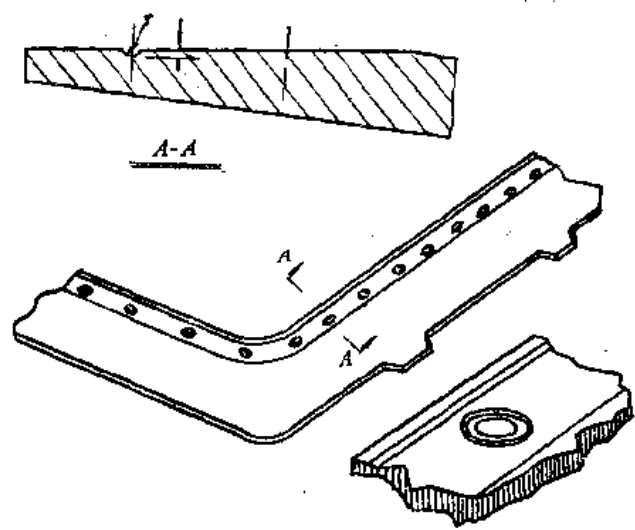


图7 直沟压印

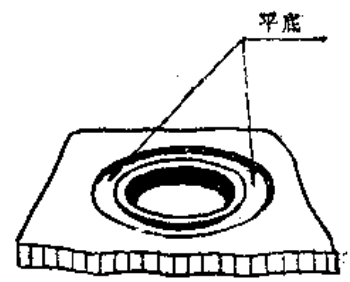


图8 平模压印

2.10.2 压印的工艺设计

2.10.2.1 一般工艺步骤

(1) 毛坯准备

在简单模中压印时, 金属的转移量不大, 为保证压印时毛坯与模具表面之间完全接触, 常须先通过锻、挤等其它工艺方法初步调整毛坯形状。

在连续模中, 压印一般安排在下料、压延、冲孔和弯曲等工序之后, 为最后成形工序。

压印之前, 材料有时需要退火, 以降低成形压力。

(2) 压印

毛坯在压印模中受压, 达材料的压缩屈服极限以上, 必要时保持一定时间。

所有为了提高零件疲劳强度的压印都必须在最后热处理和校形工序之后, 在室温下进行。

(3) 修边

当零件上有毛边(简单开敞模压印)或搭边(连续模压印)时, 压印后需要修边。

2.10.2.2 压印件的尺寸、精度和表面粗糙度

工件尺寸的限制主要在于设备的吨位及模具的强度。毛坯尺寸可根据体积不变原则确定。对于成形后需要切边的工件, 计算时要考虑加切边余量。

压印平面零件时, 需考虑毛坯、板料或条料的厚度公差。厚度偏厚(正公差), 可能导致压力机过载, 模具过早损坏; 厚度不足(负公差), 则可能影响压印质量, 导致局部花纹或字符等不清晰。因此, 有时需通过模中预压或预先轧制, 保证所需的毛坯厚度尺寸公差。

压印件厚度的精度可达到 $\pm 0.1\text{mm}$, 最高可达到 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

当工件表面要求有良好的粗糙度时, 模具及毛坯表面应有足够的粗糙度。毛坯需在压印前作退火、酸洗、喷砂等处理。如2.10.1图3所示的零件, 压印前喷砂清理, 表面粗糙度为 $Ra12.5\sim 25\mu\text{m}$, 压印后降低到 $Ra1.6\mu\text{m}$ 。不锈钢餐具等压印件的表面粗糙度, 有时可达 $Ra0.2\mu\text{m}$ 。

2.10.2.3 压印压力

压印时的单位压力通常取为材料压缩屈服极限的3~5倍以上。或者按下式估算压印压力:

$$P=q \cdot F$$

式中 P ——压印力, N;

F ——工件的水平投影面积, mm^2 ;

q ——单位压力, MPa (见表1)。

所需压力的数值, 常随材料厚度的减小和变形速度提高而急剧增加, 因此硬度低和应变硬化速率低的材料, 压印性能好。

飞机上的铝合金(如LY12、LC4等)板件上圆孔环沟压印所需的压印力可参考下

表1. 压印时的单位压力(2),(3)

材 料	厚度(mm)	用 途	单位压力 q (MPa)
黄铜板	<0.4	平面花纹	2700~3000
	<1.8	凸凹花纹	800~900
		敞开式压凸纹	200~500
不锈钢板	<3	压印餐具、花纹等	2500~3000
碳钢板		餐具、花纹等	2500~2700
银或镍板		钱币、奖章	1500~1800
金板	3	装饰品、奖章	1200~1500
钢		用淬得很硬的凸模在凹模上压制轮廓	1000~1100

式计算:

$$P = aD + b$$

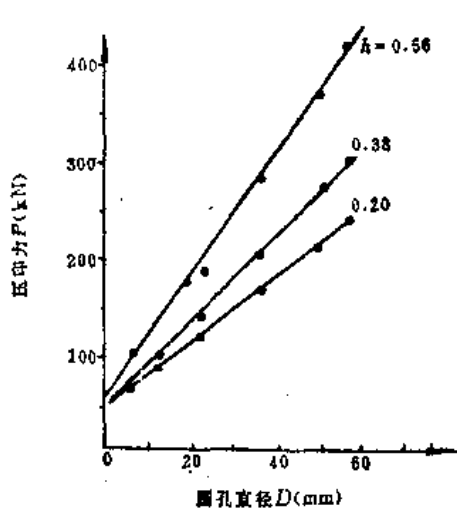
式中 P ——压印力, $\times 10^4 \text{N}$;

D ——圆孔直径, mm;

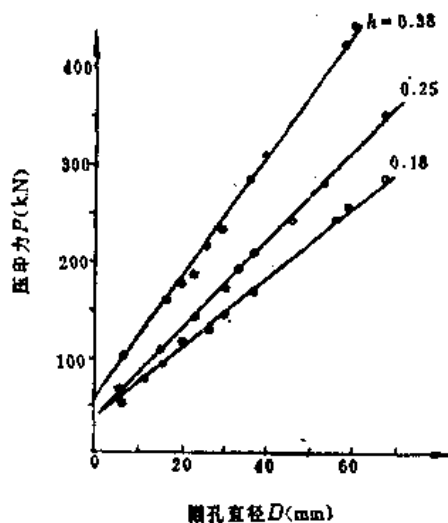
a 和 b 为常数。作为参考,可查表2。模压沟圆梗的型面半径为10mm。图示为相应的环沟压印力曲线。环沟尺寸见表3,符号如2.10.1图5所示。

表2. 计算环沟压印力的 a, b 值

材 料	常 数	环沟压印深度 h (mm)				
		0.18	0.20	0.25	0.38	0.56
包铝板	a		241.6		312.1	435.8
	b		3.9		3.7	5.0
非包铝板	a	248.5		312.5	427.2	
	b	3.6		4.0	5.5	



(a)



(b)

(a)包铝板; (b)非包铝板。

表3. 圆孔环沟压印尺寸

(mm)

材 料	h	B	C	e (最大)
非包铝板	0.18	1.22	2.40 ± 0.8	0.25
	0.25	1.40	2.40 ± 0.8	0.40
	0.38	1.70	2.40 ± 0.8	0.40
包铝板	0.20	1.30	2.40 ± 0.8	0.25
	0.38	1.70	2.40 ± 0.8	0.30
	0.56	2.00	2.40 ± 0.8	0.35

2.10.3 压印中的润滑

压印过程中应尽量不用或少用润滑剂，避免在工件表面上留下印痕。尤其在封闭模中压印时，润滑剂可能阻碍模具表面上的图案印到工件上。但当材料变形程度较大时，需要润滑，用以防止工件与模具粘结及减轻模具的磨损。是否润滑，视工件材料、尺寸大小及形状复杂程度而定。银质茶匙、纪念章等小零件不润滑；铜、铝及其合金、不锈钢、碳钢与合金钢等一般要润滑。

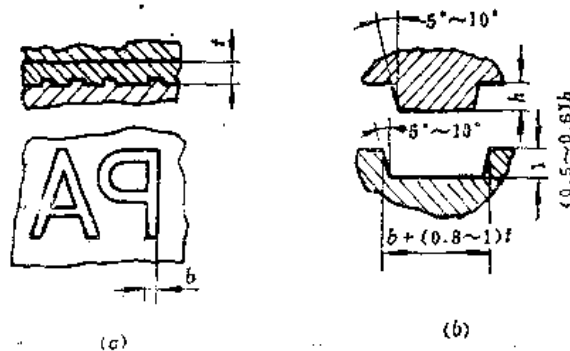
单纯为防止粘模与擦伤，可用50%的油精 (*Oleum Spirits*) 与50%的中等粘度机油的混合液；当金属流动很大，压力较高时要用深拉深润滑剂^[1]。

2.10.4 压印模设计

压印模有简单模和连续模两种。常用工具钢制造，淬火硬度HRC56~62。当工件材料为黄铜或某些有色金属时，凸模油淬到HRC60，凹模油淬到HRC58。若工件材料为冷轧钢板，生产批量较大，或为不锈钢，需要水淬到较高硬度。

压印模表面的花纹可用切削加工，也可用淬得很硬的凸模，直接在尚未淬火的凹模上压出形状。

压花模与敞开式压印模相仿。如压花深度 $h \leq (0.3 \sim 0.4)t$ ， t ——工件厚度，压花工作可在光面凹模或平板上进行；如 $h > 0.4t$ ，则需在凹模上作出与凸模相应的凹槽，尺寸如图所示。



2.10.5 设备选择

凡能提供足够压力的设备都可用于压印，如落锤、机械压力机及液压机等。

落锤广泛用于餐具工业，其打击能力取决于锤头重量和落下高度。锤头重量根据工件厚度和受压面积确定，见表。

气动落锤上压印餐具时所需的锤头重量⁽¹⁾

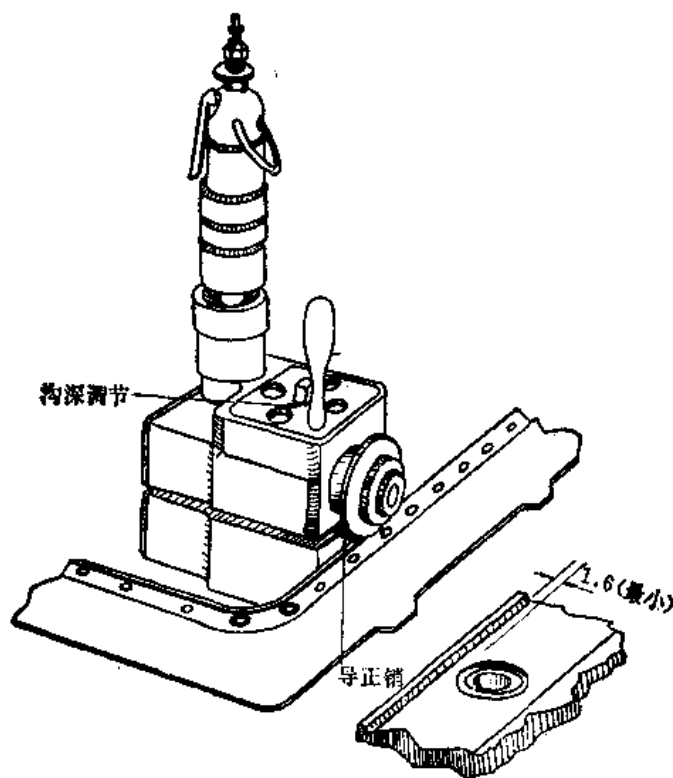
材料厚度(mm)	压印面积(cm ²)	锤头重量(kg)
1.2~2.0	~25	400
2.0~3.8	25~30	5000
≥3.8	>30	10000

落下高度取决于花纹的复杂程度。

小件压印多用偏心压力机。连续模压印一般在曲柄压力机上进行。在机械压力机上压印时，需防止过载。为此，应严格控制毛坯厚度，供料应准确可靠，防止一次送进多余的毛坯。

液压机主要用于校形工作及压印面积较大的工件。连续模压印也常在小吨位液压机上进行。

飞机制造中，常采用小型专用设备进行各种强化压印。板条边缘直沟压印装置举例见图。



2.10.6 压印件质量问题

压印件的质量要求取决于零件的用途。如装饰件，要求印纹清晰，表面光洁美观；结构件，要求尺寸精确；金、银等贵重金属的压印，则要求严格控制毛坯重量。压印常见故障见表。

压印质量问题和防止措施

序号	质量问题	原因分析	防止措施
1	压印图纹不清晰	1. 压力偏低; 2. 润滑剂过多	1. 增大压力; 2. 合理润滑, 消除过多的润滑剂
2	压印图纹有缺陷	模子表面不清洁, 粘有脏东西或异物	检查模具表面, 用吹气等办法清除表面污物, 清除模腔里的金属屑或残积润滑剂
3	压印形状错位	上下模位置不对	按技术条件规定调整上下模, 严格对中
4	模具破裂	过载	分析过载原因, 调整毛坯的形状和厚度, 消除飞边; 毛坯预先退火等

参 考 资 料

- (1) ASM, Metals Handbook, 8th ed, Vol. 4, 1961.
 (2) Kaczmarek, E., Praktische Stanzerei, Springer-Verlag, 1954.
 (3) Романовский, В. П., Справочник по Холодной Штамповке, 1979.

2.11 局部成形

2.11.1 定义与范围

局部成形是指在相对面积较大的毛料上某一局部产生塑性变形的工序。在变形过程中材料不向变形区外转移，外部材料也不进入变形区内。通常可归入局部成形的工序有板材起伏成形中的压窝、压埂、压印，管材的局部胀形，管端压埂以及板材与型材的下陷等等。

2.11.2 板材的压窝

压窝的成形方法通常有橡皮成形及硬模成形两种，前者详见3.8.3。硬模压窝原理见图1所示。

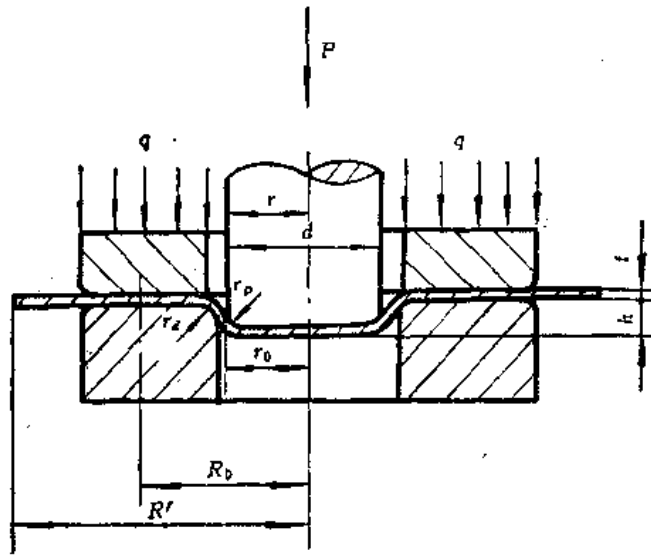


图1

在图1中， r_0 为凸模半径 r 加上板料厚度一半的数值，即 $r_0 = r + \frac{t}{2}$ 。 R_0 为塑性区半径， R' 为任意大的板料半径， r_s 及 r_0 分别为凸、凹模圆角半径， h 为压窝高度。 P 为压窝力， q 为单位压边力。

压窝时塑性变形范围限制在塑性区半径 R_0 之内。对于绝大多数金属材料，在典型圆形压窝时其塑性变形区约在压窝直径的2.5倍范围内。表1列出了当板材无限大时塑性区半径 R_0 与压窝半径 r_0 的比值。表2列出了保证是局部成形性质的最小板料相对半径值 R_0/r_0 ，当板料尺寸小于此值时，变形即由局部成形转变为宽凸缘压延性质。

表中 σ_s 为材料的假象极限强度， σ_0 为屈服点应力， μ 为摩擦系数。

当压窝中部有孔时，对于大多数金属材料，须保证孔径与压窝直径之比小于0.15，否则压窝即转变为翻边⁽²⁾。

表1. 无限大板材时 R_0/r_0 值⁽¹⁾

σ_s/σ_s		3	2.5	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
μ	0.10	2.27	2.09	1.87	1.76	1.65	1.53	1.40	1.25
	0.15	2.13	1.97	1.76	1.67	1.57	1.45	1.33	1.20

表2. 局部成形最小板料相对半径 R_0/r_0 值⁽¹⁾

σ_s/σ_s		3	2.5	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
μ	0.10	2.83	2.71	2.56	2.47	2.39	2.29	2.17	2.05
	0.15	2.70	2.58	2.44	2.37	2.33	2.19	2.10	1.96

压窝时, 切向应力 σ_θ 在塑性区半径 R_0 处达到最大值, 该处起皱可能性最大。无限大板 R_0 处 $\sigma_\theta = -0.575\sigma_s$, 小板 R_0 处 (即毛料边缘处) $\sigma_\theta = -1.15\sigma_s$, 即毛料减小时起皱趋势增大。必要时采用压边防皱, 单位压边力 q 按压延选取。

变形区各部分变薄情况如图 2。

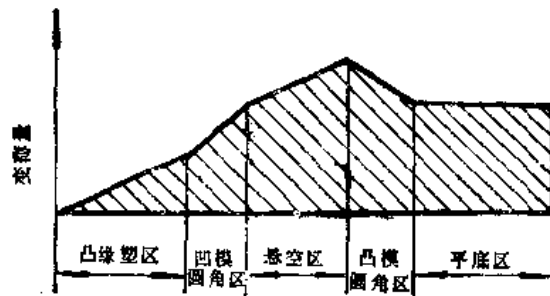


图2

飞机板件常用压窝来提高刚度, 其尺寸要素标准见4.5.3节。

生产中常用不压边的冲模压制HB0-13加强窝, 如图3, 模具简单, 也可得到较均匀的变形, 材料不易开裂。但材料较薄时有不大的皱纹, 零件翘曲变形也大, 需手工校正。当有多个压窝时手工校正量较大, 且不易保证压窝位置。因此当压窝较多, 或还带有弯边时, 应优先选用橡皮成形, 将压窝及弯边等同时压出, 零件质量较好, 且较平整, 孔位也正确。

冲制HB0-13加强窝时, 压窝中心应钻工具孔, 以保证孔位。当产品不允许有孔时, 只能划中心点定位, 孔位误差大, 一般可达2mm或更大些。

带压边的压窝冲模结构与一般压延模相同。

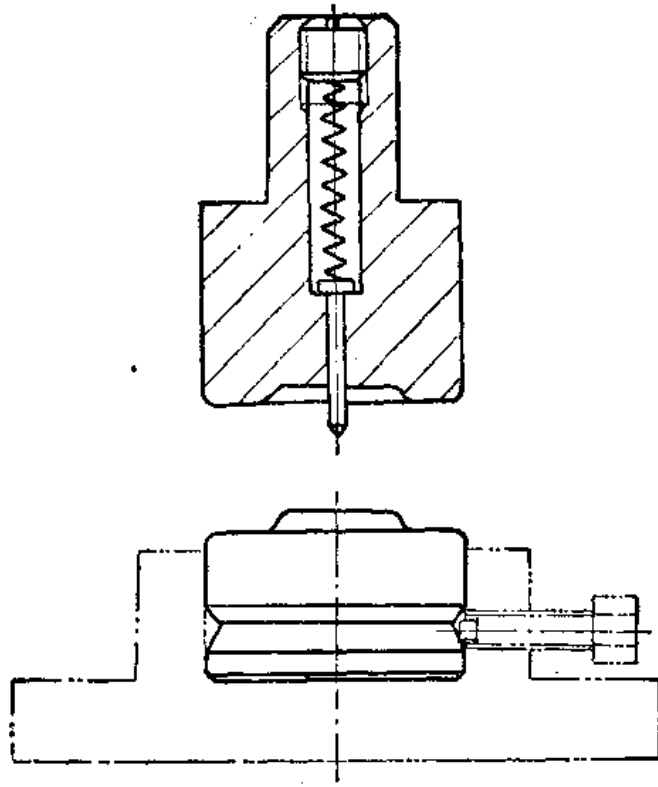


图3

2.11.2.1 最大压窝高度

所能得到的最大压窝高度取决于材料的塑性、压窝的几何形状及润滑条件。材料塑性不良，凸凹模圆角半径小，摩擦力大，引起变形不均，所能得到的压窝高度就小；反之，则可得到提高。例如采用球形冲模 ($r_p = \frac{d}{2}$) 对低碳钢、软铝等进行压窝能达到的极限高度为 $h \approx \frac{d}{3}$ [2]。用平头冲模压窝时能达到的高度决定于冲模的圆角半径，其大致数值见表1。

表1. 平头冲模压窝高度 [2]

材 料	h/d
软 钢	0.15~0.20
铝	0.10~0.15
黄 铜	0.15~0.22

另一些材料的试验数值列于表2。

表2. 压窝高度试验值($d=50\text{mm}, t=1\text{mm}$)⁽³⁾

材 料	h/d	
	$r_d=3t, r_p=4t$	$r_d=6t, r_p=10t$
LY12M	0.11	0.16
30CrMnSi	0.13	0.18
10钢	0.14	0.19
1Cr18Ni9Ti	0.15	0.26

表中各符号意义见2.11.2图1。

但最大 h/d 值是随直径 d 而变的,为了求更准确的 h 值,可按下列式计算:

$$h = N\beta R\sqrt{G} \quad (1)$$

式中 N 为与凸模形状有关的参数, β 为与凸凹模均有关的几何参数, G 与材料机械性能有关, R 为折合塑性区半径。各值求法如下:

N : 对于 $r_p/r_0 \leq 0.2$ 的平头凸模,取 $N=1.38$; 对于 $r_p/r_0 \geq 0.8$ 的圆头及球头凸模,取 $N=1.23$; 中间的情况按图1查得。

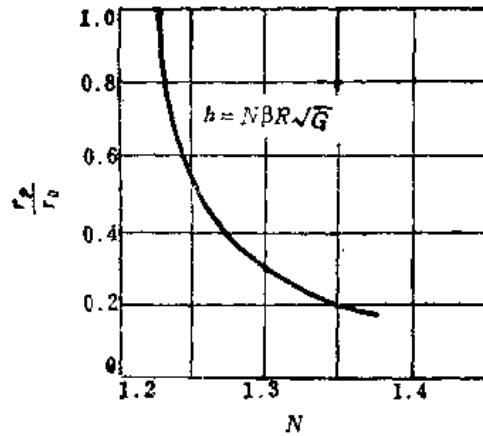


图1

β : 按下式计算:

$$\beta = \sqrt{\frac{r_p + r_d}{2r_0 - r_p + r_d}} \quad (2)$$

计算时 r_p 、 r_d 、 r_0 均应按板料中间层计算,即模具尺寸加半个料厚。根据 $\frac{r_p}{r_0}$ 及 $\frac{r_d}{r_p}$ 的值, β 亦可由图2查得。

G : 按下式计算:

$$G = \frac{0.36}{1 + \mu} (1 - m + e_m) \quad (3)$$

式中 0.36——由实验得到的系数;

μ ——摩擦系数,对于钢可取0.08~0.1,对于铝合金可取0.15;

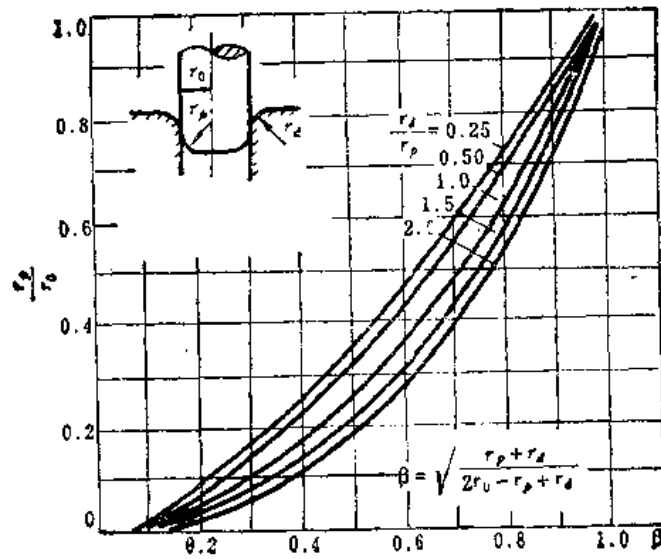


图2

m ——材料的极限压延系数；

ε_B ——细颈点的实际应变。

$\varepsilon_B = \ln(1 + e_s)$, e_s 为相应于假象极限强度 σ_s 时的假象应变。 e_s 及 e_s 反映出材料均匀变形的能力（一般材料手册中给出的延伸率是指拉断时的数值，还包括了细颈点后的集中变形，所以不能应用）。

R : 按下式计算：

$$R = r_0 + 2\varepsilon_B r_d \quad (4)$$

或

$$R = r_0 + \sqrt{G r_d} \quad (4a)$$

由公式可以算出 h/d 值随 d 的变化关系， d 增大时， h/d 减小，图 3 示出一例。

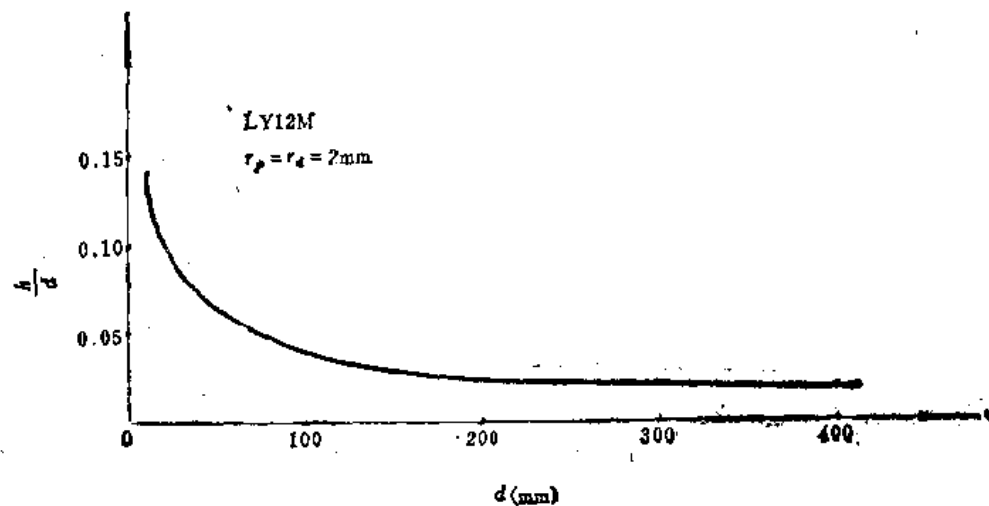


图3

几种材料的 m 、 ε_B 及 G 值见表 3。按它们计算的压窝高度值及试验值（括号内）见表 4。表中 1Cr18Ni9Ti 计算值误差较大，部分原因是材料性能波动较大，此外公式是

表3. 几种材料的 $m, \epsilon,$ 及 G 值⁽¹⁾

材 料	$\mu=0.15$			$\mu=0.08$		
	LF21MO	LF2MO	LY12MO	30CrMnSi	10钢	1Cr18Ni9Ti
m	0.55	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50
ϵ	0.24	0.17	0.13	0.14	0.25	0.20
G	0.216	0.194	0.182	0.213	0.260	0.203

表4. 压窝高度计算值与试验值(括号内)⁽¹⁾ $(r_0=24.5\text{mm}, t=1\text{mm})$

材 料	\sqrt{G}	$r_f=4.5\text{mm}$			$r_f=6.5\text{mm}$	
		$r_f(\text{mm})$			$r_f(\text{mm})$	
		3.5	6.5	8.5	10.5	24.5
		β				
		0.404	0.460	0.491	0.608	1.0
LF21MO	0.466	6.9 (7.0)	8.2 (7.9)	9.0 (8.9)	10 (10)	16 (17.4)
LF2MO	0.441	6.6 (6.6)	7.7 (7.5)	8.5 (8.6)	9.3 (9.1)	14.9 (13.4)
LY12MO	0.427	6.3 (6.2)	7.4 (7.3)	8.2 (8.2)	9.0 (9.0)	14.4 (14.1)
10号钢	0.500	7.5 (7.4)	8.9 (8.6)	9.8 (9.5)	10.8 (10.8)	17.3 (18.2)
30CrMnSi	0.462	6.9 (7.1)	8.2 (7.9)	9.0 (9.1)	10 (10.2)	15.9 (15.4)
1Cr18Ni9Ti	0.514		9.1 (11.6)			17.6 (23.1)

按凸模接触角为 60° 导出的,对1Cr18Ni9Ti此角度值偏小,也引起误差。

HB0-13-83(见4.5.3)的尺寸对于常用材料如LF2M、LF21M、LY12M、20号钢、30CrMnSi以及不锈钢1Cr18Ni9Ti等都是安全的。

2.11.2.2 压窝所需的力

压窝所需的力可按下式计算⁽²⁾：

$$P=K L t \sigma_s$$

式中 L ——压窝区周边长度；

t ——板料厚度；

σ_s ——材料的假象极限强度；

K ——考虑压窝程度大小的系数，一般取 $K=0.7\sim 1$ 。

2.11.3 板材的压埂(加强槽)

与压窝相似,压埂也是主要依靠变薄形成凸起的工艺过程。埂的两端即是压窝,中

间部分受力较为缓和。

板件常用压埂来提高刚度。板金零件的压埂尺寸要素见4.5.2节。

当压埂两端几何形状与中间部分相同时，允许的压埂高度按两端压窝计算；当两端有很大的过渡区，例如HB0-11-83，则允许的压埂高度取决于埂的中间部分，其数值与材料的塑性和埂的几何形状有关。对于软钢板，如压埂具有圆滑的过渡形状时，能达到的压埂高度为其宽度 B 的30%左右，即 $h/B \leq 0.3$ ⁽²⁾。

可以按变形区材料的延伸率来估算压埂的变形量。设变形区限制在埂的转角以内，变形是均匀的，可推得允许的最大变形量如下（见图1 (a) 和 (b)）。

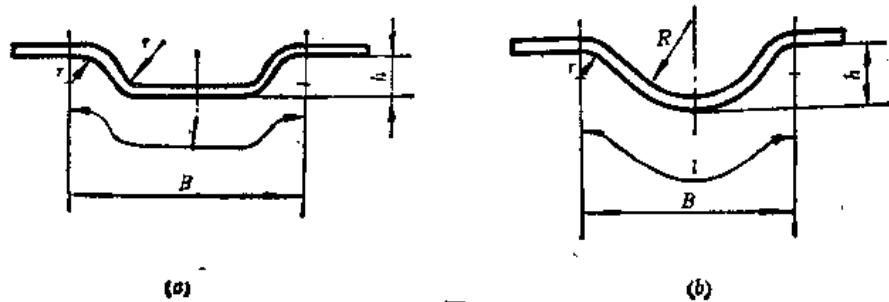


图1

$$e = \frac{l-B}{B} = (1+e_s) \frac{1}{1.155} - 1 \quad (1)$$

对于HB0-11-83的剖面形状（即图1b的形状），可进一步推得：

$$e = \frac{\alpha}{\sin \alpha} - 1 = (1+e_s) \frac{1}{1.155} - 1 \quad (2)$$

$$\frac{h}{B} = \frac{1 - \cos \alpha}{2 \sin \alpha} \quad (3)$$

如前所述， e_s 为对应于假象极限强度 σ_s 时的假象应变。

由式(2)可根据材料的 e_s 值算出 α 值，再代入(3)即可得到 $\frac{h}{B}$ 值。如给出 r 值，

由 α 值可推得 R 值，即得到允许压埂的剖面形状（按公式 $R = \frac{B}{2 \sin \alpha} - r$ ）。

为简单计，已知 e_s 时，剖面如图1(b)的压埂允许的 $\frac{h}{B}$ 值可按式(4)计算，其数值与按式(2)、(3)计算的相差不到5%：

$$\frac{h}{B} = 0.66e_s + 0.12 \quad (4)$$

按2.11.2.1表3的数据，对于图1(b)的剖面形状，计算的 $\frac{h}{B}$ 值列于下表。

计算的 $\frac{h}{B}$ 值

材 料	LF21M	LF2M	LY12M	30CrMnSi	1Cr18Ni9Ti	H62M	10钢
e_s	0.24	0.17	0.13	0.14	0.29	0.38	0.25
e_b	0.27	0.19	0.14	0.16	0.34	0.46	0.28
$\frac{\alpha}{\sin\alpha} = (1+e_b)^{\frac{1}{1.155}}$	1.23	1.16	1.12	1.14	1.29	1.39	1.24
α (弧度)	1.09	0.93	0.82	0.88	1.20	1.36	1.12
$\frac{h}{B} = \frac{1-\cos\alpha}{2\sin\alpha}$	0.30	0.26	0.22	0.24	0.34	0.40	0.31
$\frac{h}{B} = 0.86e_s + 0.12$	0.30	0.25	0.21	0.23	0.34	0.42	0.30

上述材料压制HB0-11-83都是安全的。

HB0-11-83加强槽的成形方法，绝大多数均采用橡皮成形。由于 HB0-11长度不标准（由产品设计员按需选取），所以没有标准的冲模。非标准的专用压埂冲模结构与压窝的相同，要保证零件平整时还需压边。在要求不严的场合可用滚筋机及冲剪机成形压埂见图 2、图 3，工具简单，通用性强。此时压埂两端是自由变形形成的，没有工具控制，尺寸不准确。此外，除平行于直线边缘的压埂可以用直边定位外，其它只可划线压制，埂的位置误差较大。

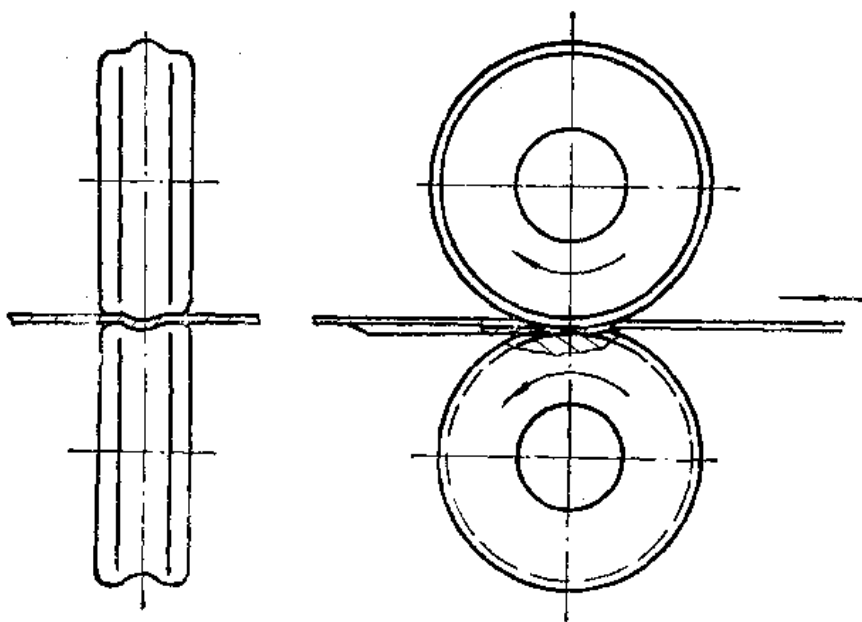


图2

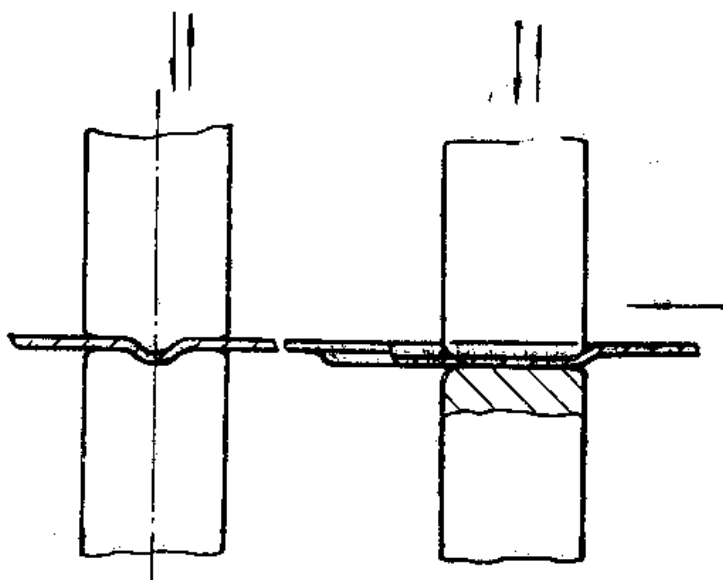


图3

用硬模冲制压埂所需冲力的计算公式与压窝的相同。

2.11.4 型材的下陷

型材下陷分类见图：



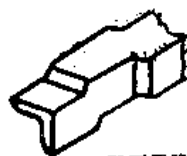
直下陷

(a)



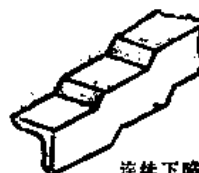
斜下陷

(b)



双而下陷

(c)



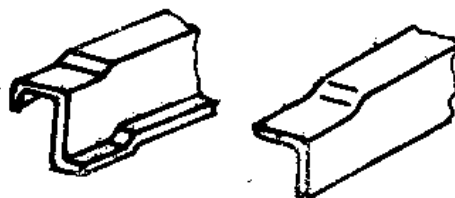
连续下陷

(d)



曲线零件下陷

(e)



板弯型材下陷

(f)

(1) 按零件形状分为:

直线零件下陷, 如图 (a), (b);

曲线零件下陷, 如图 (e)。

(2) 按下陷形式分为:

简单下陷或单面下陷 (直下陷与斜下陷), 如图 (a), (b);

复杂下陷 (双面下陷与小节距连续下陷), 如图 (c), (d)。

(3) 按下陷成型的方式分为: 型材的缘板下陷与缘板和腹板同时下陷两种。

型材的缘板制出下陷, 腹板则保持原有形状。这种形成下陷的方式仅用于部分板弯型材, 如图 (f)。

不同类型的下陷其工艺方法及工艺装备不同。为简化工艺方法, 减少专用工装, 产品设计上应考虑以下工艺要求:

(1) 下陷的几何尺寸应符合HB0-22-83挤压型材下陷标准(板弯型材下陷尚无标准, 有的工厂也按HB0-22-83执行)。

(2) 尽量采用直下陷, 避免斜下陷。必须采用斜下陷时, 下陷倾斜角 α 应符合HB0-22-83的要求, 且优先选用 15° 、 30° 、 45° 的数值。

(3) 连续下陷的区间距离应符合HB0-22-83的要求, 这样用通用下陷模即可压制。

(4) 最大下陷深度最好不超过8mm。

(5) 对T形、Z形等复杂断面型材, 应尽量避免侧面下陷。

(6) 双面下陷最好两下陷错开一段距离, 以便于压制(简单 Γ 型材同方向的双面下陷可在同一位置而不会引起困难)。

(7) 曲线零件应尽量避免下陷, 特别应避免复杂下陷。

挤压型材下陷(HB0-22-83)结构要素见4.5.10节。

2.11.4.1 直线零件简单下陷的成形

直线零件的简单下陷是生产中最常见的。挤压型材除少数外, 均用通用下陷模压制。其成形原理如图1所示, 型材在弯矩及剪力作用下形成下陷, 变形区限于下陷过渡区内。

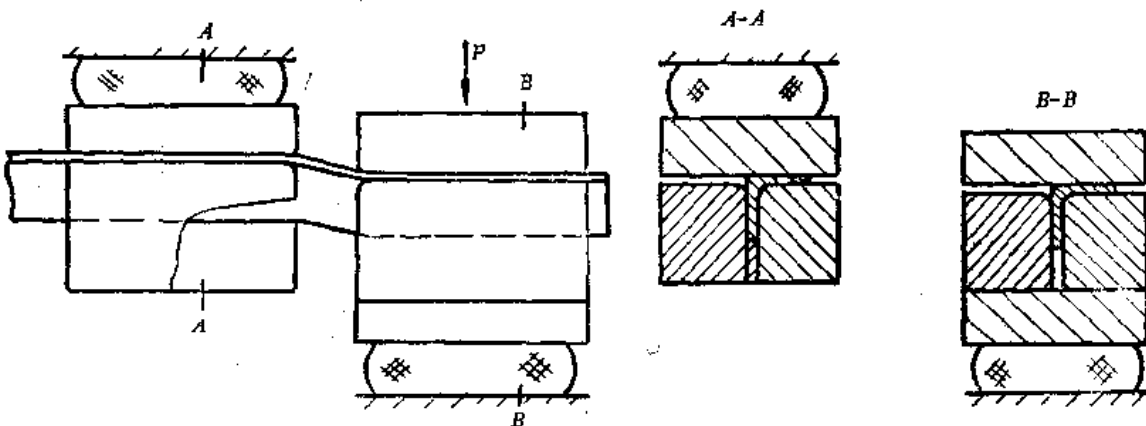


图1

板弯型材下陷的压制有两种形式: 第一种与上述挤压型材的相同; 第二种是型材的

(续)

下陷种类	XC110 -51		XC111 -53		XC111 -56		XC112 -1		XC113 -12		XC114 -6		XC114 -13		XC114 -14	
	直	斜	直	斜	直	斜	直	斜	直	斜	直	斜	直	斜	直	斜
≤1	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ
>1~1.5	CZ	M	CZ	M	M	M	CZ	M	CZ	M	CZ	M	CZ	M	CZ	M
>1.5~2	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
>2	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M

下陷种类	XC114 -18		XC114 -29		XC141 -2		XC141 -4		XC141 -5		XC141 -7		XC141 -10		XC611 -3	
	直	斜	直	斜	直	斜	直	斜	直	斜	直	斜	直	斜	直	斜
≤1	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ	CZ	M	CZ	M	CZ	CZ
>1~1.5	CZ	M	CZ	M	CZ	M	CZ	M	CZ	M	M	M	M	M	CZ	CZ
>1.5~2	M	M	M	M	CZ	M	CZ	M	M	M	M	M	M	M	CZ	M
>2	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M

① 南昌飞机制造公司胡千祥提供。

板弯型材下陷的成形极限，对于缘板、腹板均制下陷者可按挤压型材选取，条件相同时一般不会发生裂纹。当材料较薄，下陷深度较大时，下陷过渡区处的型材腹板面可能失稳起皱。

板弯型材仅在缘板上制出下陷时，成形极限受剖面畸变的限制。下陷时转角半径变小是允许的，但不允许出现折叠现象。图1中的Γ型材理论上可以得到的下陷深度为 $h=0.43 \times (R_1 - R_2)$ ，最大下陷深度为 $h_{max}=0.43R_1$ 。但因型材的两个弯边高度尺寸仍有一些变化，材料可向弯边方向转移少许，可得到的最大下陷深度比计算值略大。

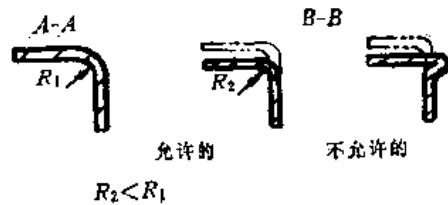


图1

图2示出了某厂对Z型材下陷尺寸的一些规定与限制。

Norwood对板弯角材下陷的成形界限给出了断裂界限及失稳界限两种(参见图3)^[4]。

断裂界限:

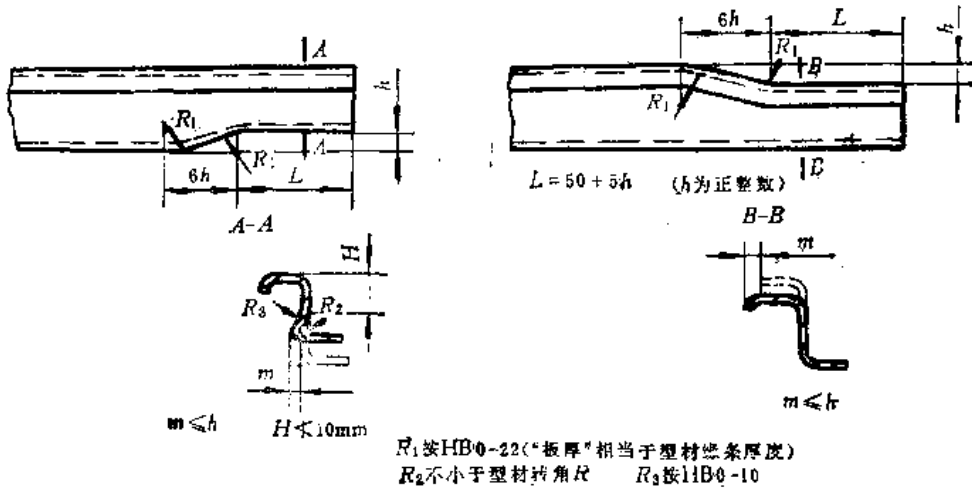


图2

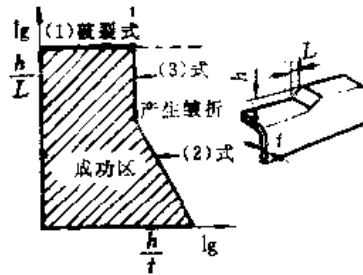
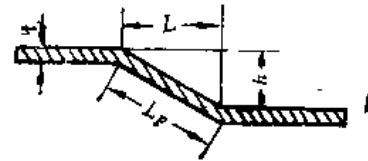


图3



$$\frac{h}{L} = \sqrt{\delta_s(\delta_s + 2)} \quad (1)$$

(下陷延伸率按 $\delta = \frac{L_p - L}{L} = \frac{\sqrt{h^2 + L^2}}{L} - 1$ 计算)

弹性弯曲失稳界限:

$$\frac{h}{L} = BE \frac{1}{(h/t)^2} \quad (2)$$

塑性弯曲失稳界限是 E 和 σ_{sv} 的函数

$$\frac{h}{t} = f\left(\frac{E}{\sigma_{sv}}\right) \quad (3)$$

- 式中 δ_s ——材料的破裂延伸率 \ominus ;
 E ——压缩材料时的纵弹性模量;
 B ——由工具约束和材料情况而定的系数;
 σ_{sv} ——弯曲失稳屈服应力。

(2)、(3) 式还可以写成:

\ominus Norwood 等人所说的 δ_s 系指标定距离为 0.02 英寸时的局部破裂延伸率而言。

$$\frac{h}{L} = \frac{E}{\sigma_{sv}} \left[\frac{0.0050625}{(h/t)^2} \right] \quad (2)'$$

$$\frac{h}{t} = \left(\frac{0.0118\delta_s}{\sigma_{sv}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (3)'$$

式中 δ_s ——对应于 σ_{sv} 的应变。

Norwood还给出了一些材料的成形界限数据，见表2。

表2. 角材下限成形界限⁽⁴⁾

材 料	界限比	破裂界限	h/t 及 L/t	弯曲失稳界限						
				h/L						
				0.05	0.10	0.20	0.30	0.50	1.00	2.00
高强度铝合金	1.60	1.50	h/t	8.70	6.10	4.30	3.53	2.75	2.40	—
2024软铝			L/t	174	61	22	12	6	2	—
时效硬化型镁合金	5.00	0.55	h/t	9.10	6.10	4.55	3.70	2.85	—	—
HM2-XA-T8			L/t	182	25	23	12	6	—	—
析出硬化型钛合金	1.44	0.80	h/t	3.55	2.50	1.78	1.45	1.15	—	—
(13V-11Cr-3Al)			L/t	71	71	25	9	2	—	—
钢工具钢	1.73	1.10	h/t	6.40	4.55	3.20	2.63	2.04	1.90	—
Vascojet 1000			L/t	128	46	16	9	4	2	—
12Cr%不锈钢	1.63	1.40	h/t	7.60	5.40	3.80	3.15	2.40	2.21	—
11SS 12MoV			L/t	152	54	19	11	5	2	—
析出硬化型奥氏体不锈钢	1.68	2.00	h/t	7.70	5.50	3.85	3.20	2.45	2.23	2.25
17-7Ph.			L/t	154	55	19	11	5	2	1
不锈钢	0.96	2.15	h/t	7.20	5.10	3.60	2.95	2.30	2.15	2.15
AM-350(17Cr4Ni3Mo)			L/t	144	51	18	10	5	2	1
析出硬化不锈钢	1.07	2.40	h/t	7.80	5.60	3.95	3.25	2.50	2.25	2.25
Ph. 15-7Mo			L/t	156	56	20	11	5	2	1
析出硬化不锈钢	0.79	2.90	h/t	8.00	5.85	4.10	3.35	2.62	2.30	2.30
A286(26Ni, 15Cr)			L/t	160	59	21	11	5	2	1
镍基超合金	1.22	1.80	h/t	7.70	5.50	3.85	3.20	2.45	2.23	—
Hastelloy X			L/t	154	55	19	11	5	2	—
镍基超合金	1.93	2.20	h/t	7.80	5.60	3.95	3.25	2.50	2.25	2.25
Inconel X			L/t	156	56	20	11	5	2	1
镍基超合金	1.20	1.75	h/t	7.30	5.20	3.70	3.00	2.33	2.17	—
René 41			L/t	146	52	19	10	5	2	—

(续)

材 料	界 限 比	破 裂 界 限	h/t 及 L/t	弯 曲 失 稳 界 限						
				h/L						
				0.05	0.10	0.20	0.30	0.50	1.00	2.00
钛基合金 J-1570	1.63	1.40	h/t	7.50	5.30	3.75	3.10	2.35	2.19	—
			L/t	150	53	19	10	5	2	—
铝合金 L-605	1.63	1.40	h/t	7.70	5.70	4.05	3.30	2.58	2.28	—
			L/t	158	57	20	11	5	2	—
铜 (0.5钛)	10.00	0.26	h/t	5.65	4.00	2.85	—	—	—	—
			L/t	113	40	14	—	—	—	—
钛 (10Mo-10Ti)	3.75	0.40	h/t	4.25	3.00	2.13	1.75	—	—	—
			L/t	85	30	11	5	—	—	—
铍	70.00	0.08	h/t	7.00	—	—	—	—	—	—
			L/t	140	—	—	—	—	—	—
铍	54.60	0.11	h/t	8.80	6.30	—	—	—	—	—
			L/t	176	63	—	—	—	—	—

最大下陷深度 h_{max} 的求法如下:

(1) 首先从给出的尺寸计算 L/t 的值。

(2) 比较该 L/t 的计算值和表中的 L/t 的界限值, 在前者比后者小的情况下, 以相当于破裂极限的 h/L 值乘以 L , 去决定可成形的 h_{max} 值。在前者比后者大的时候, 按弯曲失稳界限表用内插法求对应于 L/t 的 h/t 值, 将此 h/t 值乘以板料厚度 t 即得出 h_{max} 。

2.11.4.3 通用下陷模

压制直型材简单下陷的通用下陷模已制定了航空部标准, 它们是:

- (1) HB2949-77~HB2968-77——包括小号直下陷组合冲模模座、模块及垫板等。
- (2) HB2959-77~HB2968-77——包括大号直下陷组合冲模模座、模块及垫板等。
- (3) HB2969-77~HB2973-77——包括斜下陷组合冲模模座、模块及垫板等。模座适用于两种大小形式的模块。

这几种组合冲模性能如表 1、表 2。

表1. 大小两种直下陷组合冲模性能

型别	模座号	可更换模块、垫板		可压制的型材		压制型材极限尺寸 (mm)		压制下陷尺寸范围 (mm)		闭合高度 (mm)
		模块(种)	垫板(种)	种别(个)	型号(个)	高度 H	厚度 t	陷深 h	陷区长 L	
小号	$\frac{5400}{031}$	8	1	14	340	≤ 40	≤ 9	≤ 6	≤ 25	190
大号	$\frac{5400}{032}$	8	1	14	449	≤ 65	≤ 10	≤ 8	≤ 36	233

表2. 大小两种斜下陷组合冲模性能

型别	模座号	可更换模块、垫板		可压制的型材		压制型材极限尺寸 (mm)		压制下陷尺寸范围 (mm)		闭合高度 (mm)
		模块(种)	垫板(种)	种别(个)	型号(个)	高度H	厚度t	陷深h	陷区长L	
小号	540C 041	2	1	7	298	≤42	≤9	≤6	≤28	190
大号		2	1	9	413	≤70	≤12	≤6	≤28	215

直下陷组合冲模结构图见图1, 斜下陷组合冲模结构图见图2。

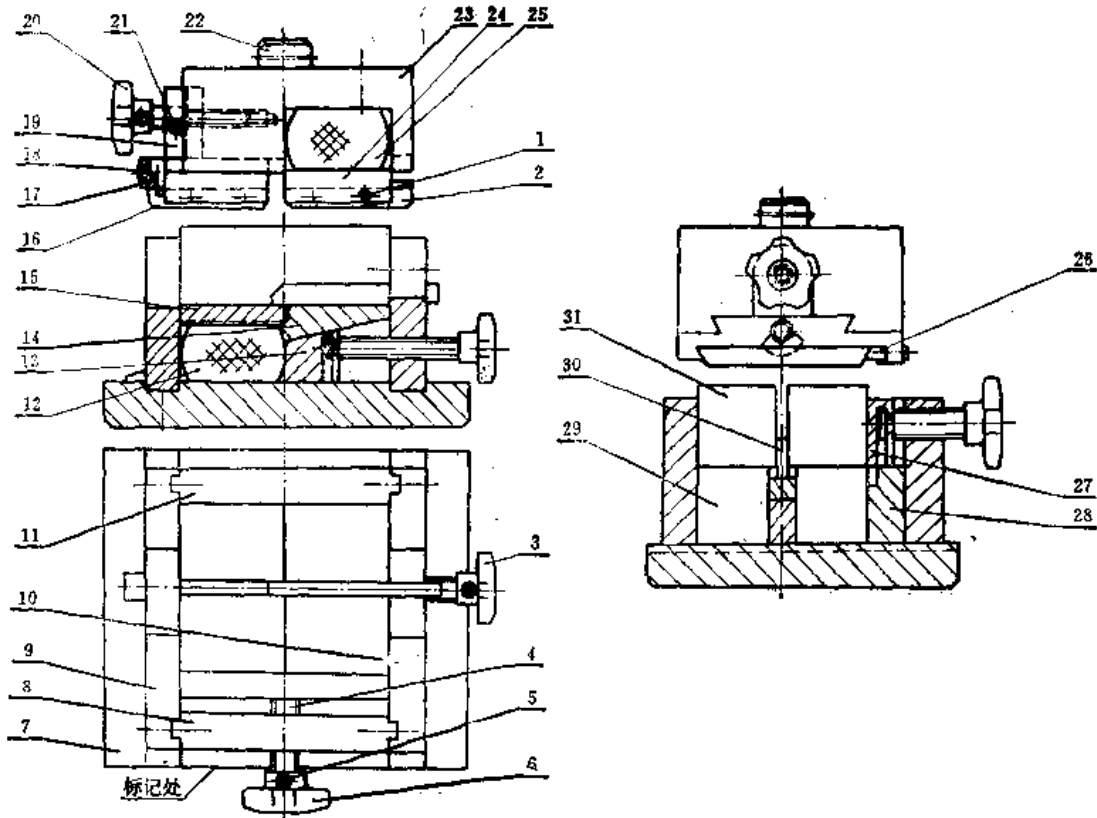


图1

1—螺钉； 2—上模块； 3—手柄； 4—圆柱销； 5—螺杆； 6—手柄； 7—下模板； 8、9、10、11—框板； 12—橡皮； 13—滑块； 14—滑块； 15—承压板； 16—上模块； 17—限位器； 18—螺栓； 19—导板； 20—手柄； 21—圆柱销； 22—模柄； 23—上模板； 24—模块； 25—橡皮； 26—压条； 27—压板； 28—垫板； 29—垫块； 30—垫板； 31—下模块。

通过模块及垫板的不同组合即可压制不同种类和型号型材的下陷。

组合下陷模的特点是：结构简单，安装与操作方便，通用性强。

模具在冲床上使用。调节冲床连杆改变冲床滑块在下死点的位置，即可调节下陷深度。下陷过渡区大小是通过改变上模块的横向位置来调节的，它通过转动上模座上的手柄来实现。转动下模座上的手柄可使模块压紧与松开，以进行压制或取放零件。

不同型号的型材需使用不同形式的模块。模块形式见图3（直下陷）及图4（斜下陷）。

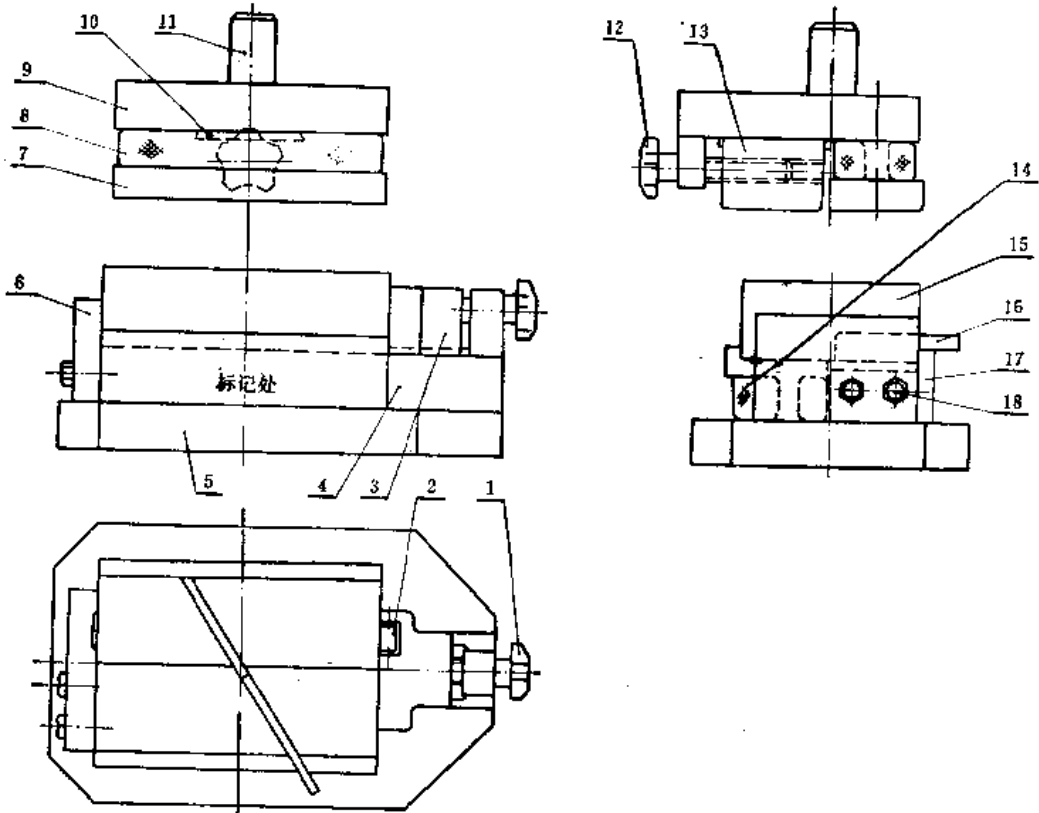


图2

1—手柄；2—滚棒；3—压块；4—支座；5—下模板；6—挡板；7—上压块；8—橡皮；
 9—上模板；10—导板；11—模柄；12—手柄；13—上模块；14—手柄；15—下模块；
 16—垫板；17—托块；18—螺栓。

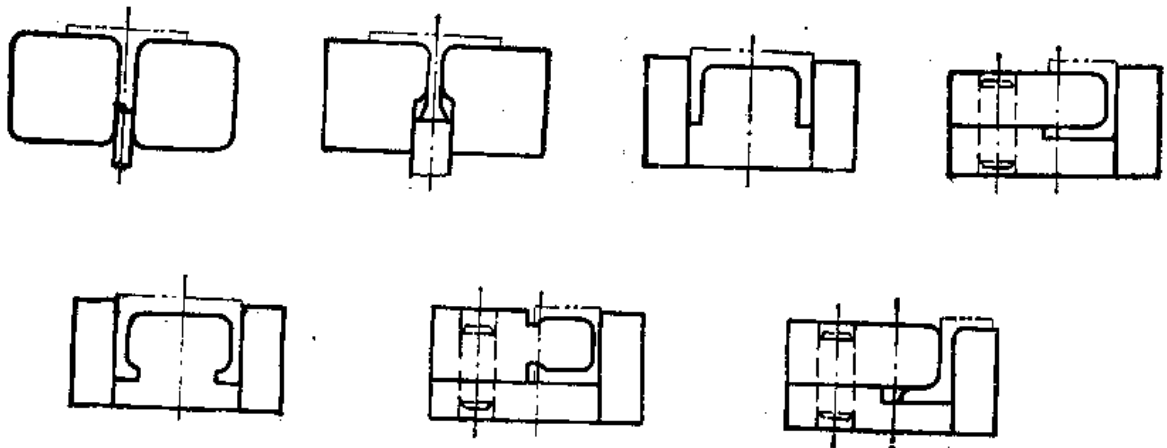


图3



图4

垫板结构如图5，前部有0.5~0.8mm的凸起，以保证压出的下陷棱线清晰，防止塌肩。使用时凸起尺寸可按实际情况修磨。通过下模座上滑块的移动可调节垫板的高度位置以适应不同高度的型材。

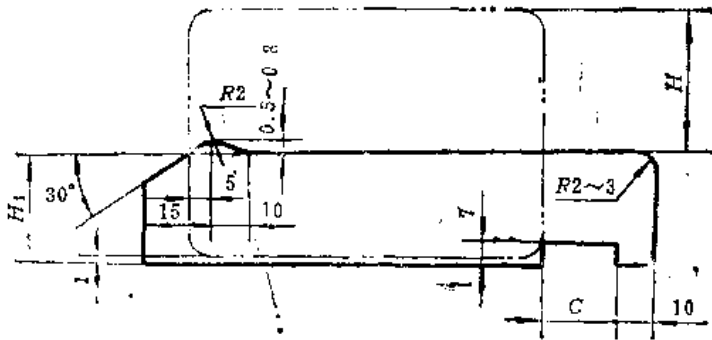


图5

板弯型材下陷的压制，角材可以利用挤压型材的模块，仅在缘板制出下陷时不使用垫板。其它断面形状的型材需制造专用块在组合模座上使用，或制造专用下陷模。图6所示为一种用于组合模座的Z型板弯型材下陷模块。

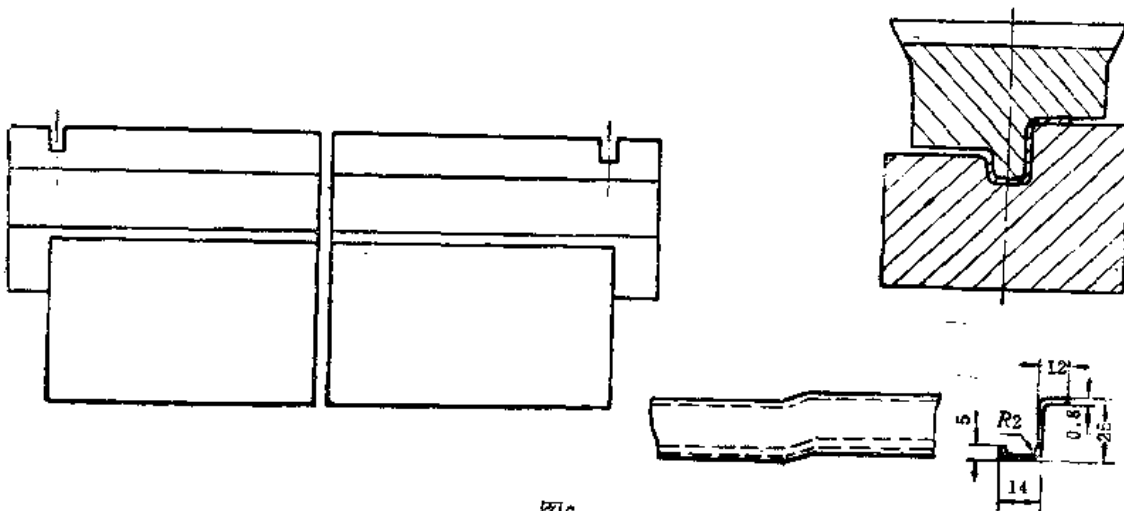





图6

2.11.4.4 压制下陷中的常见故障

压制下陷时,变形区受到强烈的弯矩及剪力,由于原材料质量不佳、几何尺寸控制不准、模具不良等原因,可能产生次品或废品。一些常见故障可能产生的原因及其防止措施见下表。

下陷常见故障分析及防止措施表

故障内容	原因分析	防止措施
1. 裂纹 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 下陷过渡区太小; 2. 转角半径太小; 3. 材料热处理状态不合适; 4. 材质不佳 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加大过渡区长度; 2. 加大转角半径; 3. 改变材料热处理状态; 4. 更换材料
2. 塌肩 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 放置槽深度大; 2. 模块腹板支持处圆角大; 3. 垫板位置不对 (偏后) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 调整放置槽深度; 2. 减小该圆角值; 3. 调整垫板位置
3. 翘头 	变形区回弹引起	将上模块制出 $2^{\circ}\sim 4^{\circ}$ 的回弹角
4. 腹板面凹凸不平	腹板夹持不良	<ol style="list-style-type: none"> 1. 选择合适的模块或厚度合适的垫板; 2. 改进操作,压紧模块; 3. 材料预校直
5. 腹板下部顶伤	<ol style="list-style-type: none"> 1. 模块腹板支持处圆角小; 2. 垫板位置不对 (偏前); 3. 放置槽深度小 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加大该圆角值; 2. 调整垫板位置; 3. 调整放置槽深度

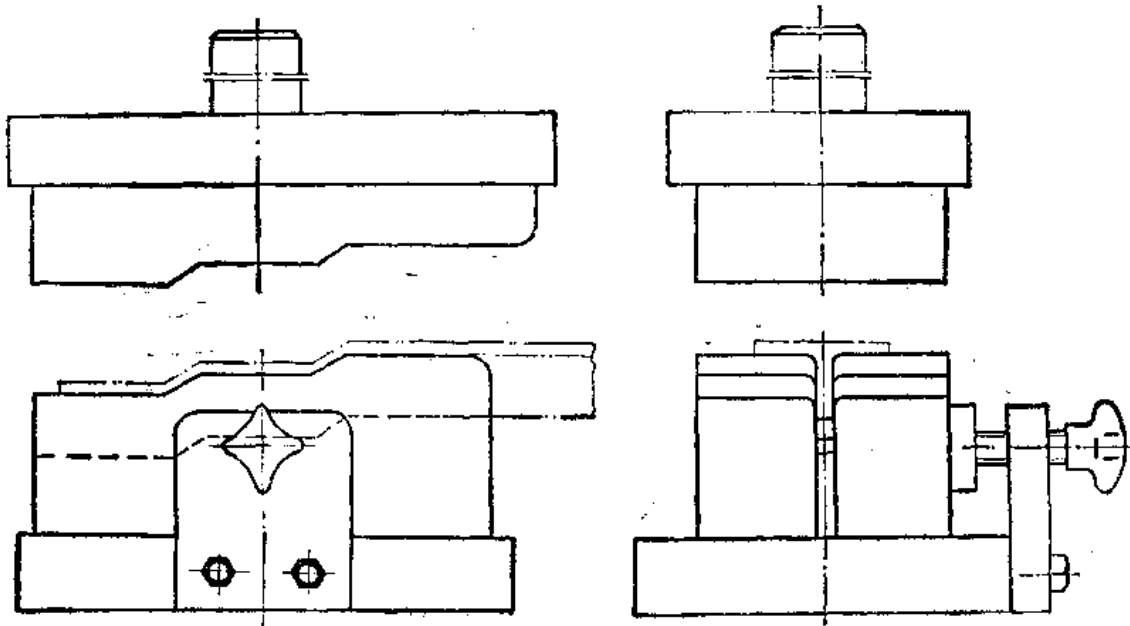
2.11.4.5 其它下陷的成形

曲线零件的下陷、双面下陷及小距离连续下陷等,需采用专用下陷模成形。模具结构形式一般有两种。一种是与通用下陷模相似的分块结构,由上模、下模、垫板(或与下模制成一整体)、夹紧装置等组成。通常采用硬式成形,即没有活动模块及橡皮压料等装置。这类模具多用于压制单面下陷,其典型结构如图所示。

另一种形式的专用下陷模为压模形式,常用以压制挤压型材的双面下陷以及板弯型材的下陷等。

模具材料在压制铝合金时用45号钢,压制钢型材时可用T8A。

模具上的下陷深度尺寸应比产品加大 $0.5\sim 1\text{ mm}$,以抵消零件的回弹。



上模通常设计得比下模稍长，并制出大圆角，以防碰伤零件。
专用下陷模使用的机床可以是冲床、液压机或摩擦压力机等。

2.11.4.6 压下陷所需的力

有橡皮压料的模具结构（如通用组合下陷模）所需压力可按下式计算：

$$P = A\sigma_s + Sp, \text{ N}$$

式中 A ——型材剖面面积， mm^2 ；
 σ_s ——材料假象极限强度， N/mm^2 ；
 S ——橡皮总面积， mm^2 ；
 p ——橡皮单位压力，可取为 3 MPa。

硬式下陷模可按校形力计算：

$$P = F \cdot p, \text{ N}$$

式中 F ——模具与型材接触的总面积， mm^2 ；
 p ——单位校形力（铝合金可取 50 MPa；软钢可取 100 MPa）。

2.11.4.7 工艺上应注意的几个问题

为保证产品质量，提高工效，工艺上应注意以下问题：

(1) 零件端头压制下陷时，长度会缩短，在用展开料成形的场合，应按表预留收缩量。

下陷长度收缩量表

(mm)

下陷深度 h	≤ 2	$> 2 \sim 4$	$> 4 \sim 6$
长度收缩量 Δ	≈ 0	0.1~0.3	0.5

(2) 长度很大的型材 ($L > 2m$) 在冲压下陷后再进行热处理, 会因热处理引起的长度尺寸变化使下陷位置超差, 应尽量在热处理时效期内压制下陷。

(3) 曲线零件的下陷, 在小批量生产中用手工成形曲度的场合, 应预冲下陷后再成形曲度。拉弯、滚弯件则应在成形曲度后再压制下陷; 为减少变形及校正量, 还应尽量在淬火时效期内成形及压下陷。

(4) 低塑性材料如镁合金、钛合金及超硬铝等, 按需要应加热压下陷。加热方式可用电炉, 但以自阻加热较为方便。

(5) 下陷不允许反复压制, 特别是低塑性材料以及在反复应力作用下易于裂纹的材料。在生产中, 通常下陷深度压制不足时, 允许再次压制达到深度; 深度超过时, 不允许再次压浅。同理, 当下陷位置压错时, 不允许压平后再重新压制。

(6) 铝合金零件都应在阳极化处理后安排一道检验工序, 检查下陷处有无裂纹。

参 考 资 料

- [1] 梁炳文, “板金压弯工艺的分析与试验研究”, 《锻压技术》, 1983, No.5, No.6.
- [2] 李硕本主编, 《冲压工艺学》, 机械工业出版社, 1982年.
- [3] 胡世光, 《板料冷压成形原理》, 国防工业出版社, 1979年.
- [4] 最新プレス加工データブック, 《プレス技術》, 1972年10月号临时增刊.

2.12 校形

2.12.1 定义与范围

校形是一种辅助成形工序，用以消除板金零件经过各种成形加工后几何形状与尺寸的缺陷，或经热处理后由于应力不均而产生的翘曲，使零件的形状和尺寸精度达到设计要求。

校形包括平板零件的校平、冲压成形件的整形和各类板金零件的校形。

2.12.2 常用的校形方法

常用的校形方法有机械校形、热校形和手工校形等三种。

2.12.2.1 机械校形

采用模具或专用设备对冲压件和板金件进行校形的的方法称为机械校形。机械校形分为模具校形和专用设备校形两种。

2.12.2.1.1 模具校形

对冲裁、弯曲、压延或采用其它方法成形的零件，若经过这些工序后其几何形状和尺寸精度不能达到设计要求的一般都须进行模具校形。根据工序性质的不同，模具校形又分为模具校平和模具整形。

2.12.2.1.1.1 模具校平

将不平的毛料或零件放在两个平滑的或带有齿形刻纹的表面之间加压校平，这样的工序称为模具校平。若零件的不平度有要求时都必须在冲裁、铣切工序后加以校平。尤其是用斜刃冲裁模下料的零件。

根据板料厚度的不同和零件表面平整度的要求，校平时可用平面校平模、尖齿校平模或平齿校平模。其应用范围见下页表。

平面校平模的单位校平压力较小，对回弹大强度高的材料制造的零件采用这种校平模往往得不到满意的效果。为避免受压力机台面和滑块的精度影响，一般都采用浮动式凸模或凹模结构的校平模。

齿形校平模是利用模具表面上下交错的齿形挤压入被校平零件或毛料表面层一定的深度，克服零件原来的翘曲现象，校平效果较好。适用于强度或硬度较高的材料。

图1所示为尖齿校平模的齿形⁽¹⁾，其平面形状有正方形或菱形。图2为平齿校平模的齿形⁽²⁾。

当零件表面不允许有压痕时，可采用一面是平板，而另一面是带齿的模板。

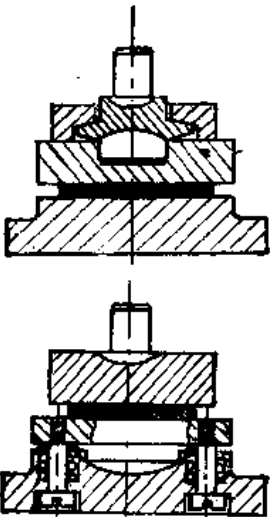
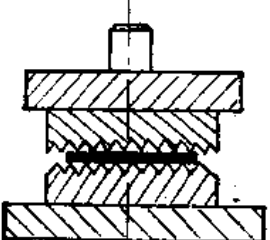
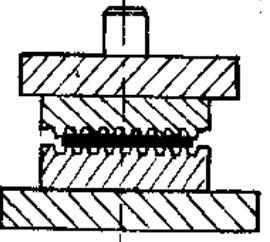
用模具校平时的校平力 P 决定于材料的机械性能、厚度和校平面积等因素，可按下列式概略计算：

$$P = p \cdot F, \text{ N}$$

式中 F ——校平零件的面积， mm^2 ；

p ——单位校平压力， MPa (铝合金 50MPa ，黄铜 80MPa ，软钢 100MPa)。

各种校平模的应用范围(1)

名称	简图	用途	单位校平压力 (MPa)
平面校平模		<p>用于薄料零件或表面不允许有压痕的较厚料且平直度要求不高的零件</p>	50~100
尖齿校平模		<p>用于料厚 $t \geq 3\text{mm}$ 和表面上允许有细痕的平直度要求较高的零件</p>	100~200
平齿校平模		<p>用于料厚 $t = 0.3 \sim 1.0\text{mm}$ 的铝、青铜、黄铜等板材制成的零件，且表面不允许有深压痕</p>	200~300

注：表中的上限值应用极限强度和硬度高的材料。

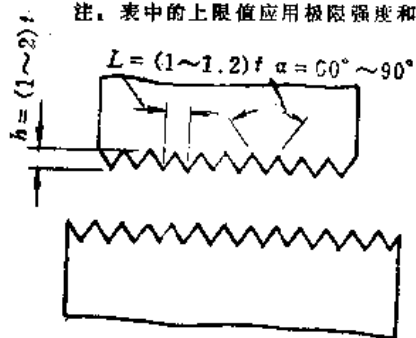


图1

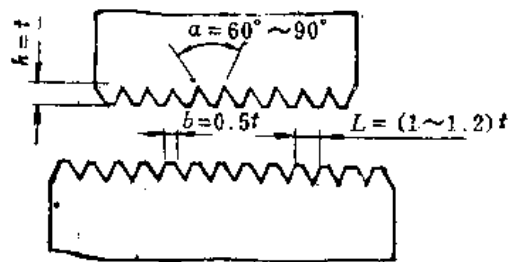
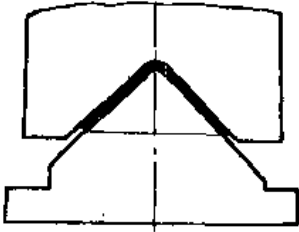
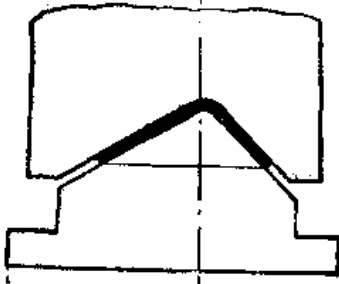
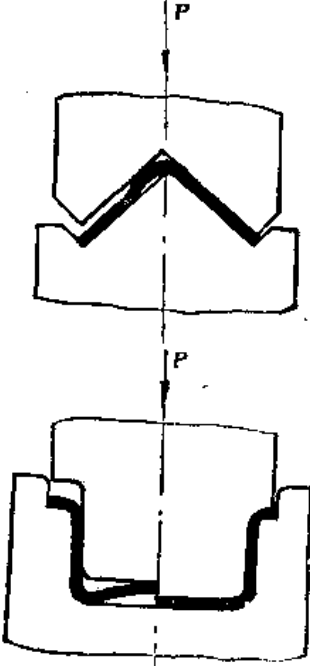
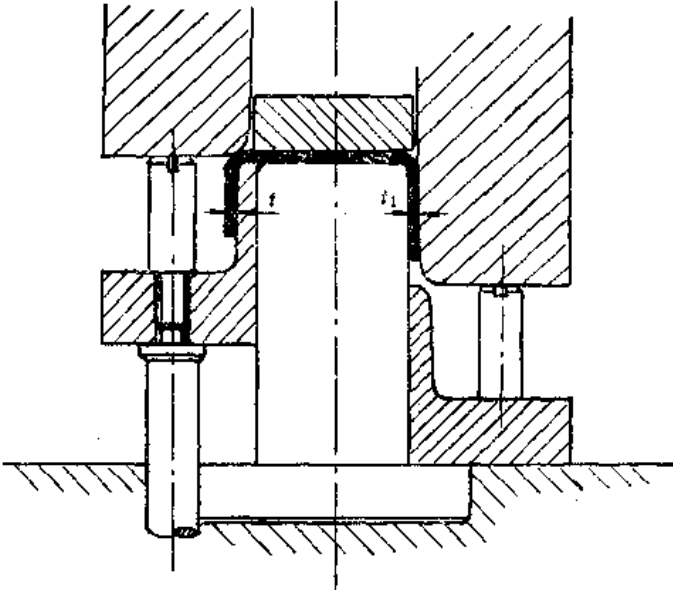
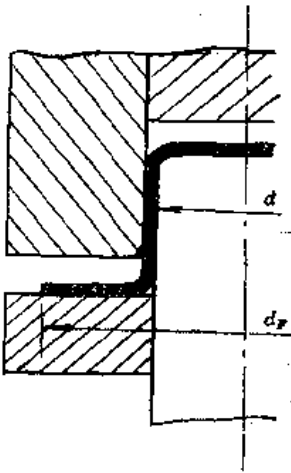
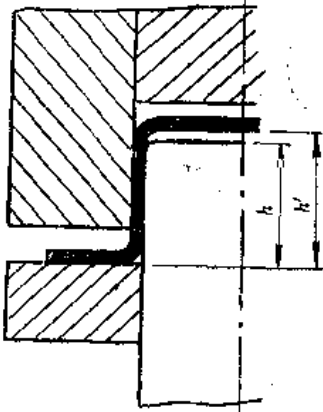


图2

2.12.2.1.1.2 模具整形

采用模具整形的方法可提高成形零件的形状和尺寸精度。弯曲、压延、旋压或采用表1。各类整形模的简图、特征及其用途^{〔8〕}

分类	整形方式	简图	特征与用途
弯	压	<p style="text-align: center;">对称弯曲件</p> 	<p>弯曲件两边整形面积相等</p>
	校	<p style="text-align: center;">不对称弯曲件</p> 	<p>两边的面积不等时，应使两侧向力的水平分力接近平衡，避免模具受侧向力的影响而损坏</p>
曲件	校		<p>校形部位的展开长度稍大于零件相应部位的长度，使弯边长度方向上产生压缩变形，使零件断面内各点形成三向受压的应力状态，使零件得到正确的形状。用于尺寸精度高的弯曲件，不宜用于宽度不等或带孔的零件</p>

分类	整形方式	简图	特征与用途
压	变薄拉校	 <p>A cross-sectional diagram showing a punch (top) and a die (bottom) forming a cylindrical part. The punch is positioned to draw the material into the die. Dimensions t and t_1 are indicated, representing the thickness of the material before and after the process.</p>	<p>取稍大的压延系数，把校形工序和最后一道工序结合在一起，以一道工序完成压延与校形。凸凹模间隙 $Z=(0.9\sim 0.95)t$</p> <p>适用于不带凸缘且侧壁精度高的压延件</p>
延	缩小凸缘直径的整形	 <p>A cross-sectional diagram showing a punch (top) and a die (bottom) forming a flange. The punch is positioned to reduce the diameter of the flange. Dimensions d and d_F are indicated, representing the original and final diameters of the flange.</p>	<p>整形时零件高度不变，靠缩小尺寸 d_F 补充圆角半径减小所需的材料，当 $d_F \geq (2\sim 2.5)d$ 时，靠侧壁和圆角处材料变形薄来实现。零件上整形部位受拉伸作用，整形精度高，但伸长量一般控制在 $2\sim 5\%$ 之间，防止零件破裂</p>
件	减小高度的整形	 <p>A cross-sectional diagram showing a punch (top) and a die (bottom) forming a flange. The punch is positioned to reduce the height of the flange. Dimensions h and h' are indicated, representing the original and final heights of the flange.</p>	<p>半成品高度 h' 大于零件高度 h，整形时侧壁受压缩作用，当 h' 过大时应防止因失稳和材料过剩使零件表面形成皱纹，降低零件质量</p>

(续)

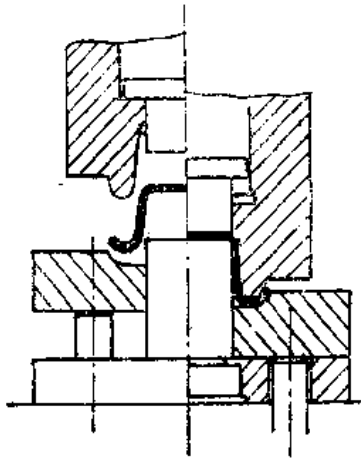
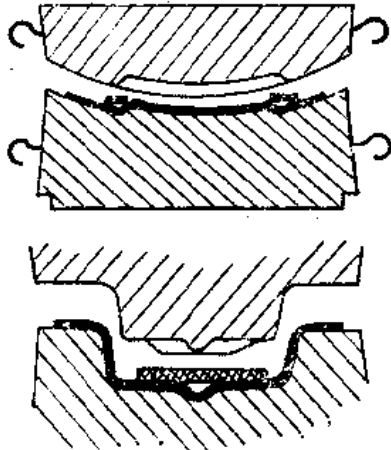
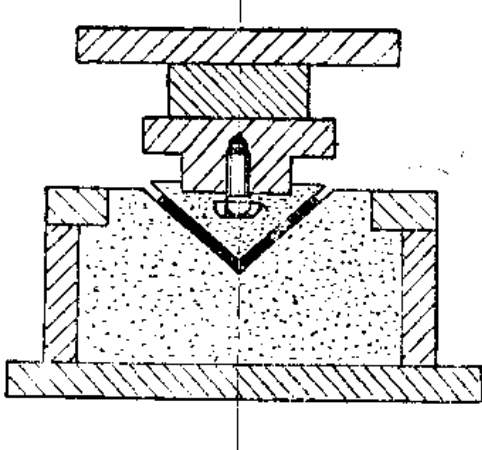
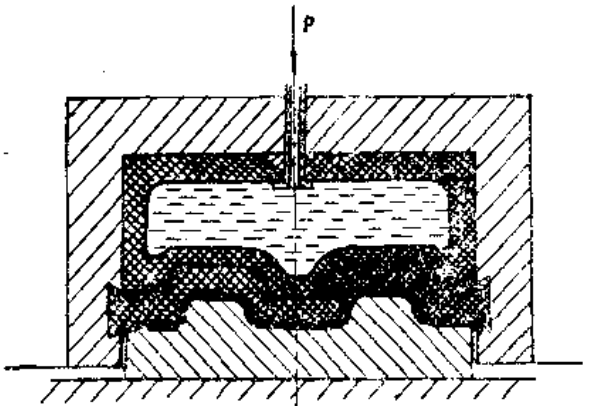
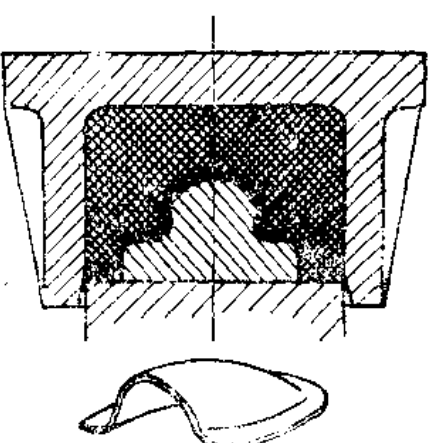
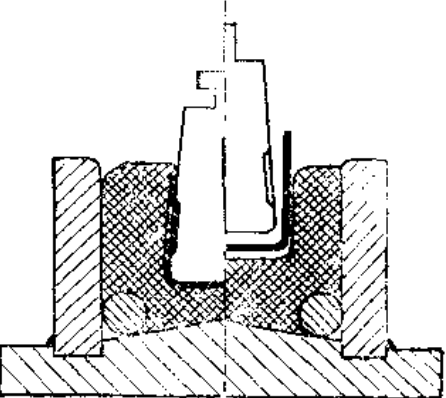
分类	整形方式	简图	特征与用途
压延件	压延切底校形		<p>利用带刃口的校形凸模，在切底时使零件底部同时使壁部拉伸而延角半处使壁厚增加，适用于大批生产。</p>
复杂成形件	垫橡皮块校形		<p>橡皮块垫在成形件的局部校形处，在凸模作用下该部位产生拉伸变形，使零件能更好地贴合凹模型面。适用于在液压机或锤上对带有圆角、加强埂和加强的零件的校形。</p>
型件	低熔点合金校形		<p>利用低熔点合金的膨胀，合金较软和铸模时间短等优点，对单、双曲度的型材的外形角度进行校形，使零件外形光滑，下陷清晰，贴胎效果显著，减轻手工校形量。</p>

表2. 常用的单模校形特征与应用范围

类型	简图	特点与用途
液压容框 ——刚性 下模校形		<p>在橡皮囊容框内充以单位压力为50MPa~100MPa的液体,迫使钣金零件靠合刚性下模。适用铝合金、黑色合金和不锈钢等材料成形的钣金件的校形,且零件高度 $H \leq 80 \sim 100\text{mm}$</p>
橡胶容框 ——刚性 下模校形		<p>以橡皮或聚氨酯橡胶为介质的通用容框往下撞击放在刚性下模上的钣金件,由于弹性介质的压缩产生50MPa~80MPa的单位压力,能使复杂形状的钣金件贴紧刚性模胎。校形零件高度 $H > 100\text{mm}$ 这种容框可安装于高能高速锤或板金落锤上</p>
刚性凸模 ——聚氨酯 橡胶垫凹 模校形		<p>凸模进入聚氨酯橡胶垫时使胶垫压缩,迫使薄缘蒙皮、弯曲件的角度或弯边上的压窝靠贴凸模。可用于闸压床或一般压力机上</p>

其它方法成形的零件在整形后零件精度可达IT8~IT9级,可获得较小的圆角半径, $r = (0.1 \sim 0.3)t$,并使零件的底部、壁部和凸缘等部分获得平整。

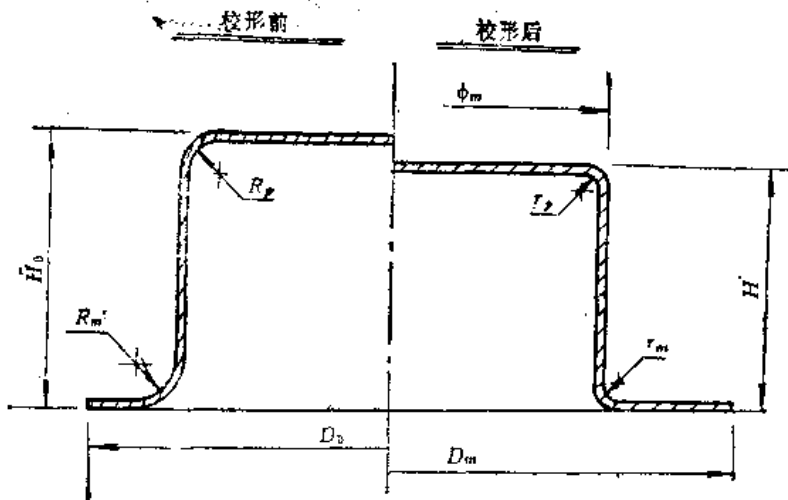
制订整形的工艺方案时,应根据零件的材料种类与状态、几何形状和尺寸精度的要

求正确地选定产生塑性变形的部位、变形量的大小及其整形力。表1所列为各类整形模的简图、特征及其用途。

在生产上大多采用通用性的聚氨酯橡胶、橡皮或橡皮囊内胎充以高压液体的容框为上模,刚性凸模为下模,也有以刚性凸模为上模,聚氨酯橡胶容框作下模的。单模校形钣金零件,这是由于容框内产生50MPa~100MPa的单位压力,使零件校形贴模度高,可获得满意的质量。表2为常用的单模校形的特征与应用范围。

整形用模具与一般成形模相似,但其工作部分的精度要求较高,粗糙度要求低,圆角半径和凸、凹模的间隙值都较小。

模具整形所需的校形力可视为如图所示的外圆角 R_m 减至 r_m ;内圆角 R_r 减至 r_r 所需的力。根据试验研究^①,当 $D_m/(\phi_m+2R_m)>1.22$ 时,圆角校形力可分别按下式计算:



外圆角校形力:

$$P_m = p_m \cdot t \cdot F, \text{ N} \quad (1)$$

内圆角校形力:

$$P_r = p_r \cdot t \cdot F, \text{ N} \quad (2)$$

式中 p_m ——外圆角单位校形压力(见表3), MPa;

p_r ——内圆角单位校形压力(见表3), MPa;

t ——校形零件的材料厚度, mm;

F ——校形面积, mm^2 。

表3. 圆角校形的单位压力

单位校形压力 ($t=1\text{mm}$) (MPa)	材 料	
	铝合金	钢
$p_m = p_r$	40~50	40~60

校形面积的计算可按表4。

^①梁炳文, 杨绪滨, 孙世长, 《钣金件圆角半径校形的试验研究》, 1985年。

表4. 不同形状校形件的面积计算式(mm^2)

圆角校形	任意形状的零件	圆形零件
外圆角校形	$F=L(R_m-r_m)$	$F=\pi(\phi_m+R_m)(R_m-r_m)$
内圆角校形	$F=L(R_p-r_p)$	$F=\pi(\phi_p-P_p)(R_p-r_p)$

表中 L ——校形零件的周长, mm.

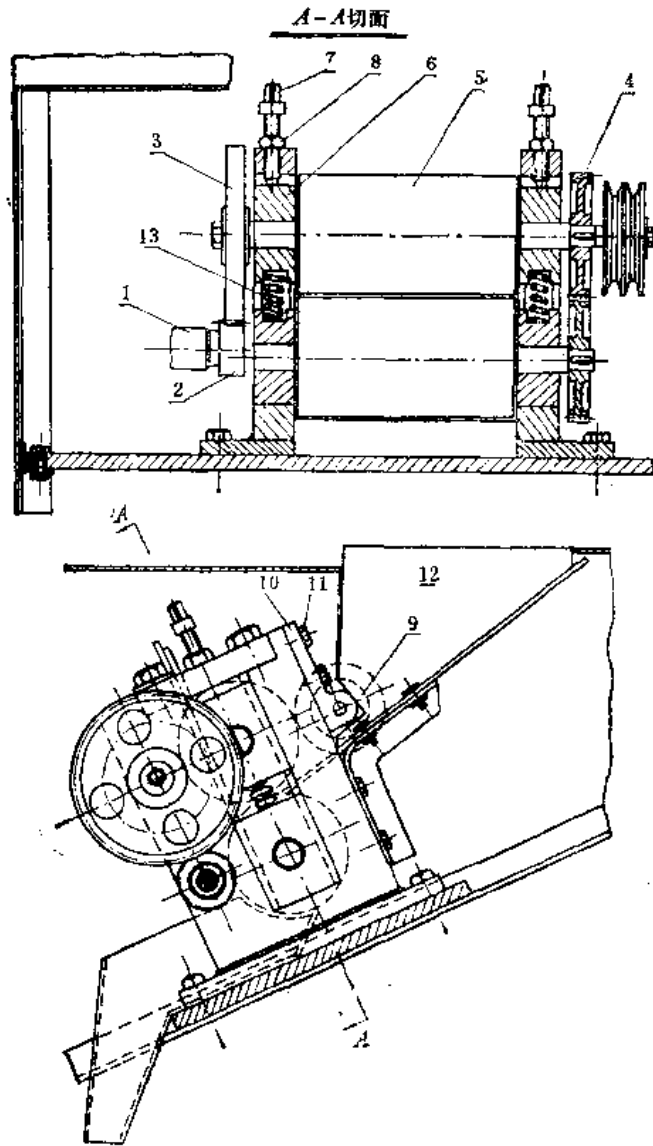
对强度 σ_b 小的, p_m 或 p_p 可取下限, 对 σ_b 大的则取上限值。

应当指出, 当 $D_m/(\phi_m+2R_m)<1.22$ 或凸、凹模之间的间隙接近材料厚度时都须提高校形力。

2.12.2.1.2 专用设备校形

2.12.2.1.2.1 校平机校平

小型冲裁件如垫圈等零件, 当生产批量大时采用如图所示的校平机进行滚轧校平。



1—电动机; 2、3—圆柱齿轮; 4—转动齿轮; 5—滚轴; 6—轴承座;
7—调节滚轴间隙螺钉; 8—保险螺母; 9—送料辊; 10—可调节送料辊的
支承; 11—螺钉; 12—料斗; 13—弹簧。

2.12.2.1.2.2 喷丸校形

喷丸校形是在喷丸机上利用喷丸成形原理校形, 详见3.9.5节。

2.12.2.2 热校形

对要求具有较高的平直度, 且尺寸较大的平板件和材料较厚, 尺寸精度较高的弯曲件或复杂的板金件可进行热校平和热校形。

热校平系指将需要校平的零件或毛料叠成一定高度, 用加压夹具压紧成平直状态, 然后放入加热炉里加热, 以达到校平的目的。加热温度决定于校平零件的材料, 对于铝合金加热温度为300~320℃; 黄铜H62为400~450℃^[8]。

板金零件的局部热校形, 是利用局部加热零件上校形部位, 使材料的屈服极限降低, 用手工敲修或模具压校的方法, 消除变形, 以达到靠贴模胎。热校形一般常用于黑色板金件的校形。

对铝合金LY16和LC4的板金零件的热校形需在固溶处理后人工时效或分级时效等状态下进行, 其加热温度范围和加热时间见表。对固溶处理后自然时效冷作硬化或半冷作硬化的LY12铝合金不宜采用热校形。

铝合金热校形的加热温度和时间表

合金牌号	状 态	加热温度范围(℃)	加热时间(h)
LY16	固溶处理人工	160~190	2
LC4	时效	120~150	1

表中加热时间包括二次以上加热时间的总和。

校形温度任一部位达到最高温度时应立即停止加热, 即可进行校形。若校形面上任何部位的温度低于规定的范围时, 应立即停止校形, 直到温度上升到规定的温度范围后再重新开始。

热校形前应清洗干净零件表面上的任何溶剂和挥发物, 并检查有无裂纹。

校形后应清除零件表面的污物, 然后对加热区和未加热区进行硬度试验, 其硬度降低值不得超过洛氏硬度2度。

除钢制的板金件外, 加热校形时不允许采用乙炔火焰来加热零件。

2.12.2.3 手工校形

手工校形是指借助于板金工具, 应用板料的“收”、“放”原理以手工方式来消除零件的凸起或扭翘现象。

手工校形的基本要领是对“收”、“放”操作方法的掌握、部位的选择及变形程度的控制。其基本规律是^[8]。

(1) 对平板件, 若中间凸起, 四周平整(即中间料“松”, 四周料“紧”), 可采用铝锤由里往外锤击, 锤“放”四周, 锤击点要均匀, 并且越往外越稠密, 力量也越重, 如图1(a)所示。

若周边扭翘成波浪状(即中间料“紧”、四周“松”), 此时, 应用橡皮板抽打使其缩

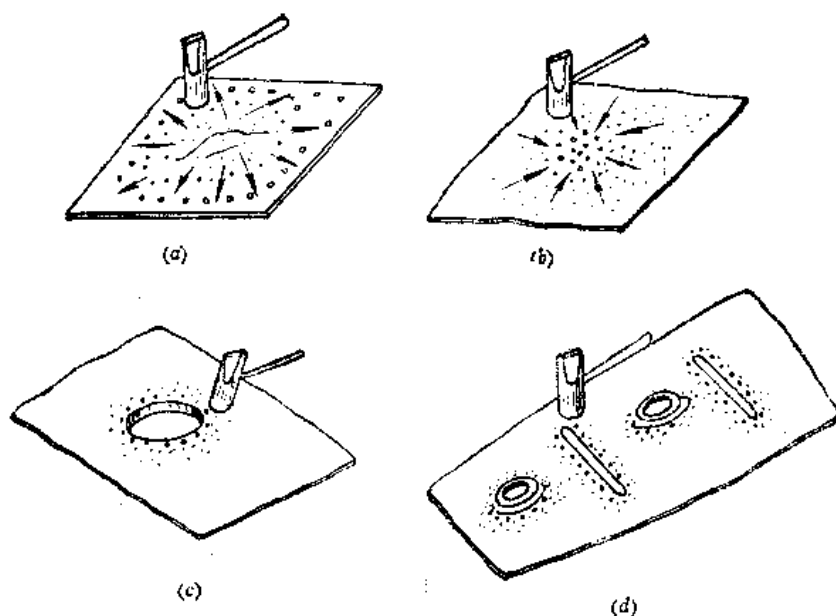


图1

边，或用折波钳（或缩边机）收缩周边，再用铝锤由外向内锤“放”中间，锤击点要均匀，且越向内越稠密，锤击力量也应越重，如图1(b)所示。

对带有加强窝（HB0-13-83）、弯边减轻孔（HB0-14-83）、直角减轻孔（HB0-16-83）和加强槽（HB0-11-83）等的隔板件，如果是在淬火前压制的，淬火后变形都较大，其校形原则是：

带弯边减轻孔和直角减轻孔的零件，孔周围“紧”，零件周边“松”而形成扭翘，校形时把零件放在模胎上，用铝锤均匀锤击孔的周围，直至孔周围的料“松”“紧”与周边一致为止，如图1(c)所示。

对加强窝和槽的零件校形除遵循上述原则外，不许在孔面或槽筋上锤击如图1(d)所示，否则会引起板材的松动。

(2) 对于蒙皮件，当蒙皮件放到模胎上时，若其两头翘起则表明中间料“紧”，此时，应滚辗或锤击中间部分，使其两头下去，如图2(a)所示。

若蒙皮中间靠胎而周边料“紧”，此时，应滚辗或锤击边缘使其边缘下去而靠胎，如图2(b)所示。

校形蒙皮时一般都用滚辗方法来放展料“紧”的部位，仅在区域很小或无法滚辗时才采用锤击。

(3) 框板件校形应根据腹板面和弯边的方向决定“收”或“放”的部位，见图3。

图3(a)是零件腹板向内弯。此时，应锤“放”腹板内缘，由中间向两端锤“放”，而锤击力越往外越轻，使两端向外弯而靠胎。如仅一端不靠胎，则只锤“放”不靠胎的一端即可。

图3(b)是腹板面向外弯，这时应锤击腹板面的外缘，由中间往两端锤“放”，使零件两端向里弯而靠胎。

图3(c)是零件腹板面扭曲，对靠胎处锤“放”弯边的边缘，使腹板两端悬空处下行而靠胎。若中间局部悬空，用铝锤向下敲击弯边，使板面靠胎。

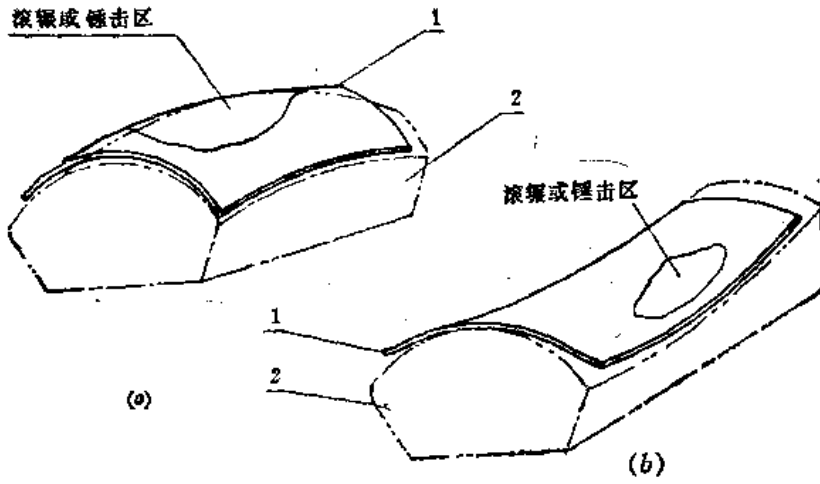


图2

1—蒙皮件； 2—模胎。

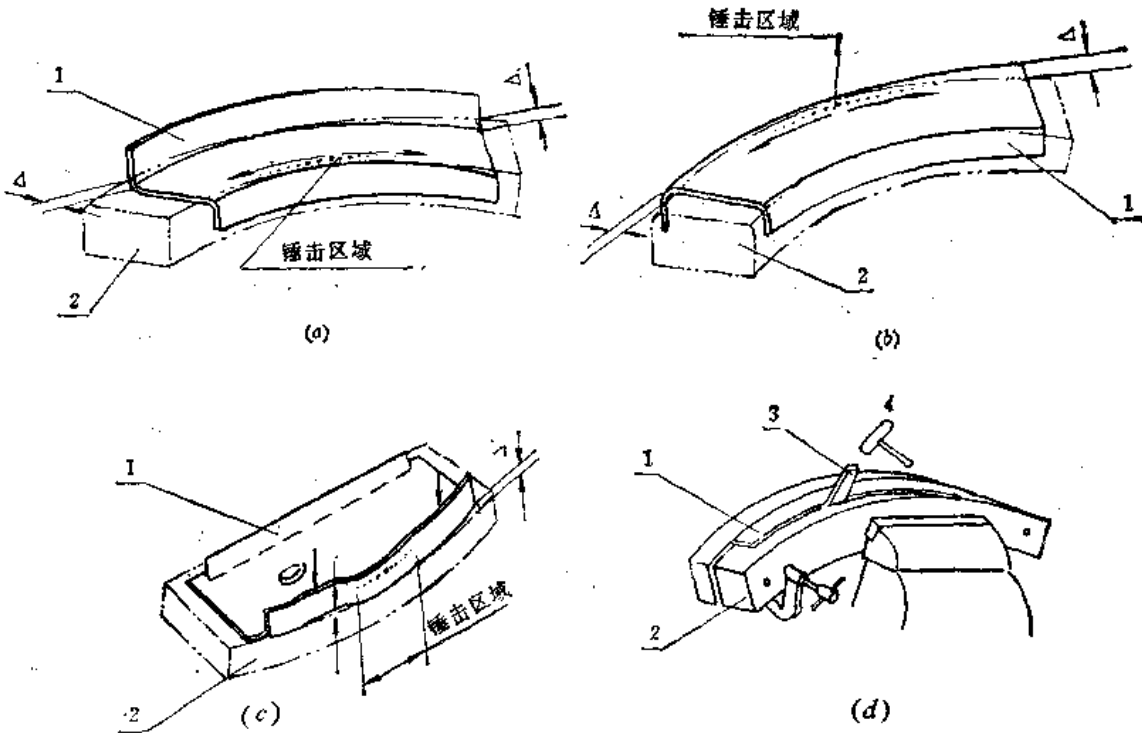


图3

1—框板零件； 2—型模； 3—顶板； 4—木锤。

图3 (d) 是框件角度的校形，对凸弯边（即“收”边弯曲）的弯边角度校形，可用顶板 3 顶靠边缘或用橡皮板缩边，使其角度靠胎。对凹弯边（即“放”边弯曲）的弯边角度应使用铝锤锤击弯边边缘，使其角度靠胎。

(4) 校形时须反复进行“收”与“放”时，应避免板料过度冷作硬化，否则极易开裂，表面质量恶化。合理的冷作硬化程度通常按经验确定，必要时采用中间退火方法消除冷作硬化。

2.12.3 板金零件校形的基本要求

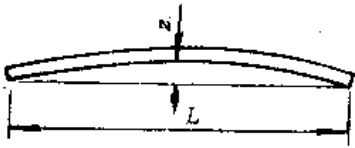
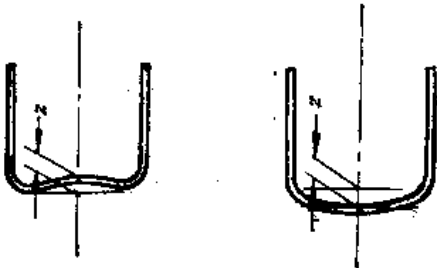
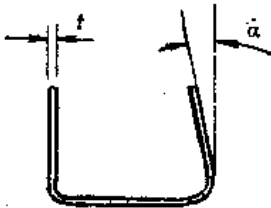
铝合金零件的校形须在退火状态或新淬火状态下固溶处理后两小时内进行。最大允许校形量，对厚度 $t \leq 3\text{mm}$ 的板材零件或挤压型材可在室温下按表1的范围和状态进行。

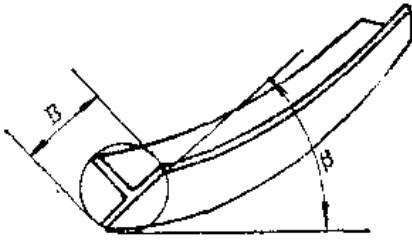
表1. 最大允许校形量

A. 弯边角度的校形			
厚度 (mm)	允许最大校形量		
	不包铝	包铝	
	所有铝合金在新淬火时效期内	所有铝合金在新淬火时效期内	
	LY12BCZ、LC4BCS	LY12CZ	LC4CS
<1.5	5°	8°	5°
1.5~3.0	3°	6°	3°

B. 下陷深度的校形			
<1.5	0.8	1.5	0.8
1.5~3.0	0.4	0.8	0.4

表2. 厚度超过3mm的零件最大允许校形量

零件变形状态	允许校形量	
	$z_{max} = \text{每米长有} 5\text{mm}$	
	$z_{max} = \text{每米长有} 0.25\text{mm}$	
	$t(\text{mm})$	$\alpha(^{\circ})$
	<5	3°
	>5	2°

零件变形状态	允许校形量	
	B(mm)	每米长度内扭转度(β)
	≤35	1°
	36~75	1/2°
	≥75	1/4°

行校形。

铝合金LY12和LC4在新淬火时效期内或LC4合金在淬火后进行分级时效制造的板金零件，其厚度超过3mm的，在室温下允许的最大校形量可按表2进行。

不论采取何种校形，对不均匀截面的零件，或校形前已开口、钻孔的零件都必须特别小心，而且在这些部位不允许用锤击进行校形。

零件不是在新淬火或退火状态的，都不允许顺纤维方向弯曲。

2.12.4 辅助设备与工具

2.12.4.1 辅助设备

常用的辅助设备有缩边、辗压、缩边-辗压混合和其它类型的校形设备。

2.12.4.1.1 缩边设备

常用的缩边机有SBJ-01和SBJ-02型。图1是SBJ-01型，主要用于蒙皮件、口盖和不带弯边的板金件。其缩边原理如图2所示。图2(a)是先把板料压出波纹，图2(b)为将波纹压平而产生微小的镦粗缩边。SBJ-01型缩边机的技术规格见表1。

图3是SBJ-02型缩边机，适用于料厚 $t \leq 3\text{mm}$ 的铝合金型材件和框肋件。图4表示此类缩边机所用模具的工作原理，图4(a)是模具的上、下斜块2将毛料4压紧，当上模往下冲击时两斜块向内滑动，使毛料产生微小的镦粗变形而收缩，如图4(b)所示。由于上、下模块的工作表面有齿纹使缩边后零件表面留有痕迹，因此零件须留有3~8mm的余量。SBJ-02型缩边机的主要技术规格见表2。

图5所示为BC2型无齿缩边机，其技术规格见表3。该设备采用机械液压传动机构和无齿收缩模具，靠上、下模块间的摩擦力使毛料产生微小的镦粗变形而收缩。图6所示为该机床使用的两种结构的无齿收缩模^{〔9〕}。图6(a)是楔块式结构，图6(b)是肋片摆动式结构，以肋片两端的滚动摩擦代替了图6(a)中楔块在斜面上的滑动摩擦，因而提高了模具的使用效率。BC2型缩边机对缩边零件表面无损伤，因此，可节省修边工序和余量。适用于平板零件和弯边的框板件的校形。

无齿收缩模块的技术要求是：摩擦系数 $f \geq 0.5$ ，斜角 $\alpha = 18^\circ \sim 22^\circ$ ，间距 $L = (4 \sim 5)t$ 。模块材料性能见表4。可选用热塑性工程塑料——聚砜为基体，混入重量比为40%、粒度为200目的氧化铝原料压制而成则可满足以上条件。

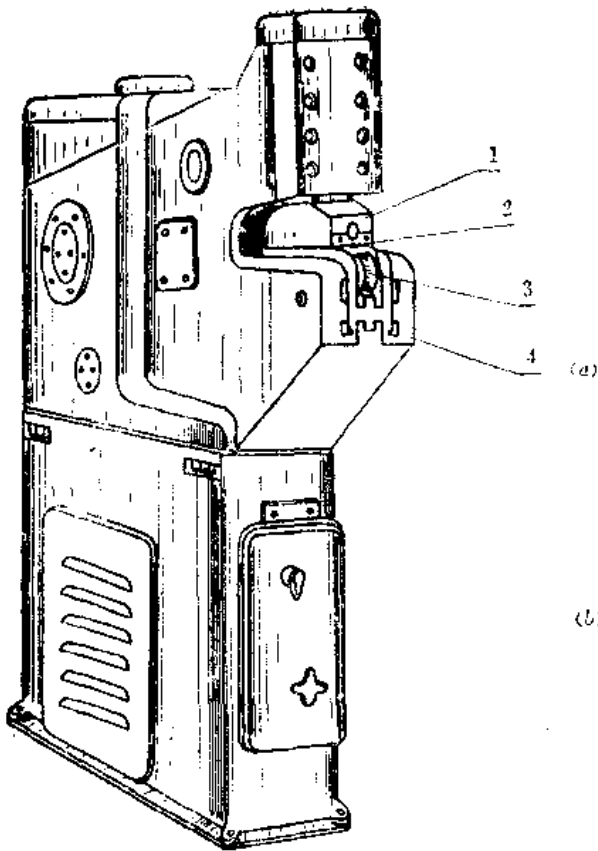


图1

1—活动钳口；2—舌杆；3—滚轮；4—下模。

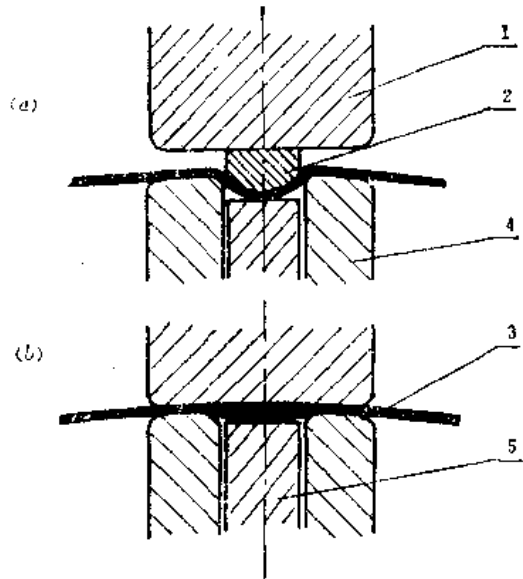


图2

1—活动钳口；2—舌杆；3—毛刺；
4—下模；5—滚轮。

表1. SBJ-01型缩边机主要技术规格①

技术性能	参 数
舌杆的往返次数	26 $\frac{1}{\text{min}}$
舌杆行程高度	22.5 mm
舌杆行程距离	300 mm
压紧板料压力	12 t
可收缩板料厚度	0.8~2.0mm

①《钣金冲压设备手册》，第三机械工业部第四规划设计院编。

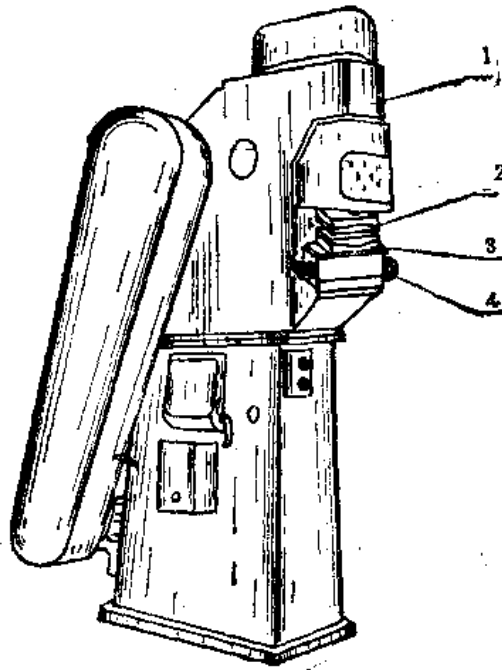


图3

1—缩边机；2—上收边模；3—下收边模；4—调节上下模间隙手轮。

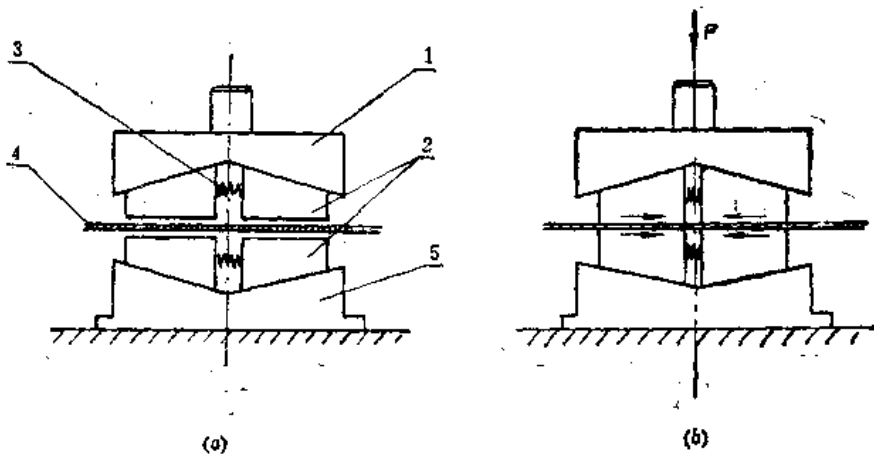


图4

1—上模座；2—上、下斜块；3—弹簧；4—毛料；5—下模座。

表2. SBJ-02型缩边机的主要技术规格①

技术性能	参 数
可加工软钢最大厚度	2 mm
可加工铝合金最大厚度	3 mm
活动冲头行程次数	170 min ⁻¹
活动冲头行程	6.4 mm

①《板金冲压设备手册》、第三机械工业部第四规划设计院编。

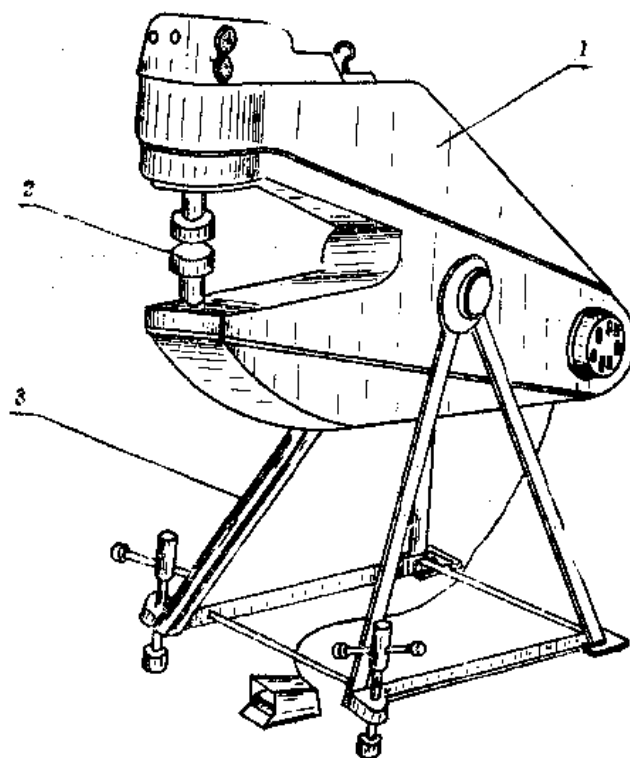


图5

1—床身；2—无齿收缩模；3—支架。

表3. BC2型无齿缩边机的主要规格

技术性能	参 数
可收缩板料厚度:	
有色合金	≤2mm
软钢	≤1.5mm
不锈钢	≤1.0mm
喉口深度	400mm
冲头行程	6mm
冲头工作吨位	3t
行程次数	238 1/min

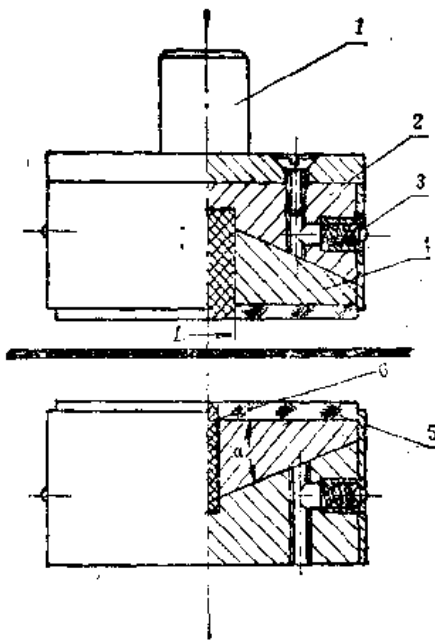


图6(a)

1—模柄；2—上、下模座；3—注油器；
4—收缩斜块；5—收缩块（聚硫）；
6—橡皮块。

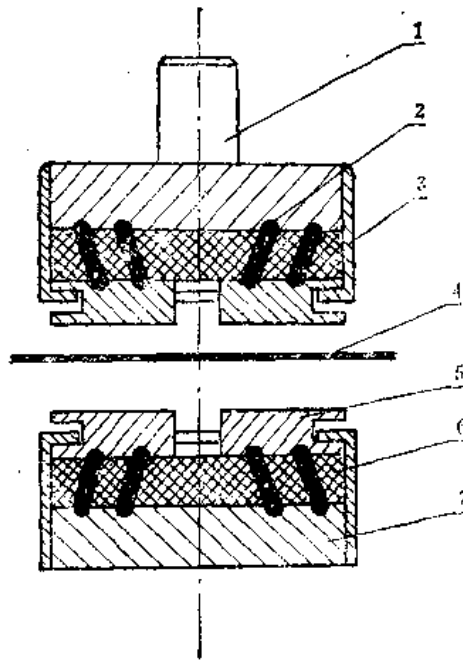


图6(b)

1—上模座；2—支撑肋片；3—壳体；4—毛刺；
5—收缩块；6—橡皮块；7—下模座。

表4. 收缩模块材料性能⁽⁵⁾

物理性能	参 数
静摩擦系数（铝合金件）	$\mu \geq 0.5$
抗压强度	$\sigma_p \geq 10^4 \text{ N/mm}^2$
热稳定性	在100℃范围内其机械性不降低。
硬度	$H_B = 10 \sim 15$

2.12.4.1.2 辗压设备

常用辗压设备有点击锤、辗边机和滚辗机等。

图1是空气式点击锤，其功能是将零件须校形部位的材料锤薄（即“放”料），起到消皱和辗光作用。可根据零件的料厚调节锤击力。常用点击锤的技术规格见表1。

图2是辗边机，适用于辗压角形和T字形截面的铝合金型材件（如翼肋、隔框缘条等），也可用于弯曲铝合金的狭窄板条。但主要是供对已弯曲的型材和板条的修整。该机床的主要技术规格见表2。

图3是滚辗机，用于滚辗蒙皮件与落压件翘曲变形须“放”料部位。可滚辗厚度 $t \leq 1\text{mm}$ 的低碳钢零件或 $t \leq 2\text{mm}$ 的铝合金零件。按料厚的不同可调节上下滚轮间的间隙。上滚轮一般采用平母线，下滚轮的外形按被滚辗零件的外形曲率来选择，对零件曲度较大的可采用平滚轮。滚轮表面的粗糙度应加工到 $Ra \leq 0.8\mu\text{m}$ 。

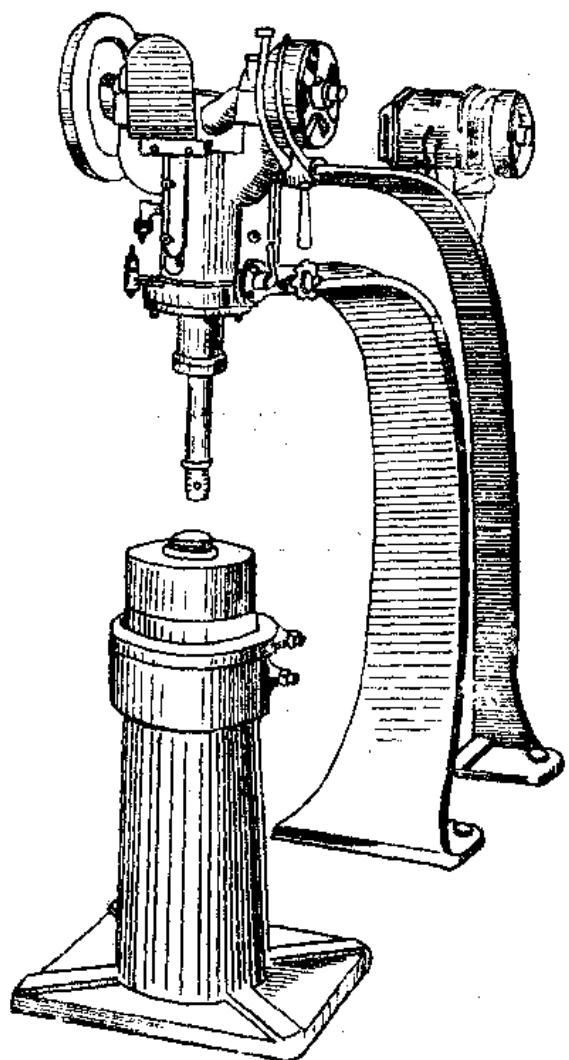


图1

表1. 点击锤主要技术规格①

技 术 指 标	型 号		
	M001	M002	M003
下击部分重量 (kg)	8	12	16
板料最大直径 (mm)	2100	2100	
板料最大厚度 (mm)			
硬钢	2	3	6
软钢	1	1.5	3
锤击次数 (min ⁻¹)	400	400	375
冲击行程 (mm)	80	80	130
锤头到锤身的外伸量 (mm)	1085	1085	1500

①《板金冲压设备手册》，第三机械工业部第四规划设计院编。

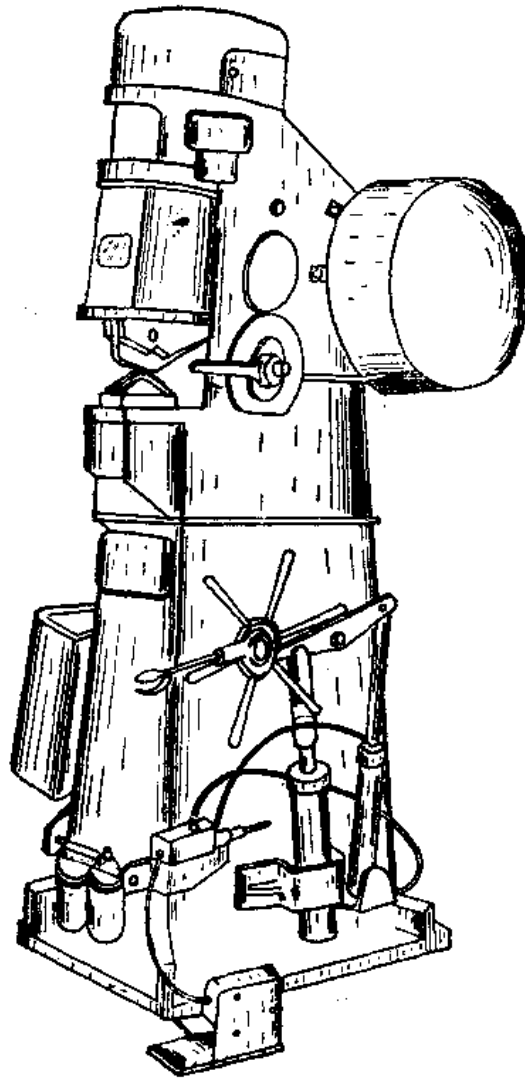


图2

表2. 辗边机主要技术规格①

技 术 指 标	参 数
加工型材缘条或板条的最大宽度	40 mm
加工型材缘条或板条的最大厚度	4 mm
滚块的最大压力	15 t
滚块工作行程打击次数	120min ⁻¹
每个行程打击后的最大压缩值	0.1 mm
气缸活塞行程	250 mm
液压缓冲器活塞行程	135 mm
滚块间隙的调整方式	手动或气动

①《钣金冲压设备手册》，第三机械工业部第四规划设计院编。

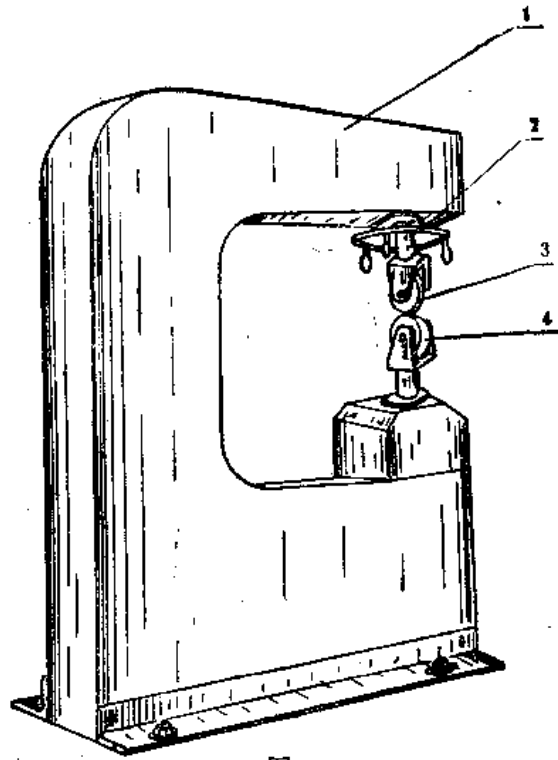
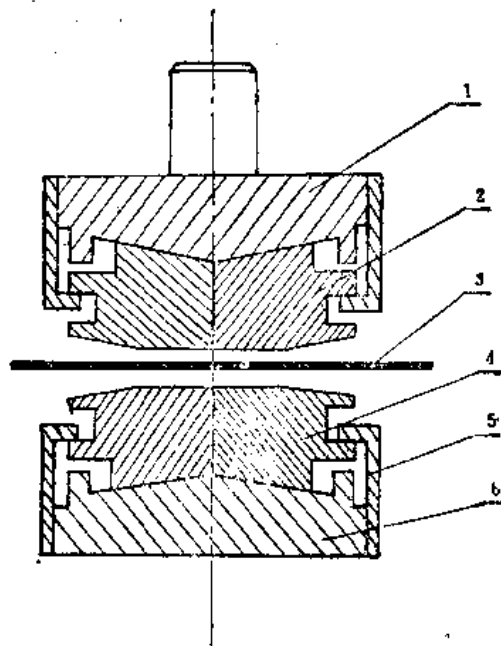


图3

1—床身；2—调节间隙的手轮；3—上滚轮；4—下滚轮。

2.12.4.1.3 缩边-辗边混合机床

这种机床具有缩边和辗边的功能，只要更换模具即可实现。美国的“艾尔可”型就是这类设备。图示是用于该机床的辗边模^[7]。当上、下楔块接触毛料时，将材料向外伸展，使其局部变薄，起到辗边作用。缩边模与2.12.4.1.1的图6(a)结构相似。这种设备适用于对零件较平部位的校形，亦用于板弯角材或条料收弯成弧形。模具除采用硬塑料板面的无齿模块外，同时加大了两滑块的接触，可提高收缩或辗压效率。



1—上模座；2—上楔块；3—毛料；4—下楔块；5—框架；6—下模座。

2.12.4.1.4 其它辅助设备

图1是美国哈弗公司生产的校形机[Ⓞ]，适用于框肋件在液压橡胶成形后校形零件的外形和角度。它是利用铅条6不断地抽打零件的弯边部位，逐步校形直至完全靠模。

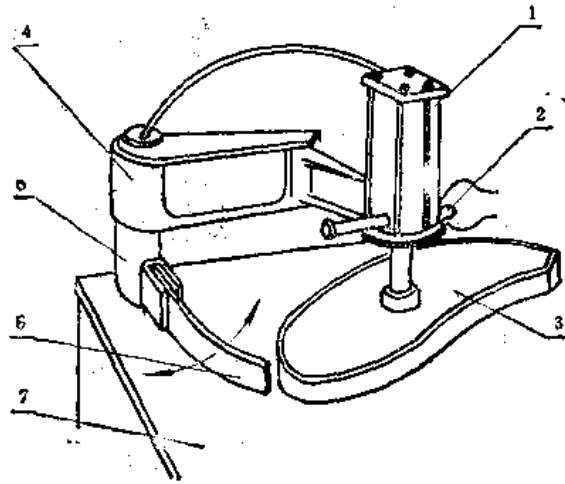


图1

1—气压作动筒；2—手柄；3—型胎和零件；4—伸缩摇臂；5—转动轴；6—铅条；7—工作台。

图2为校形角度用的修角机模架[Ⓟ]，装在类似于SBJ-02型缩边机的工作台面上，冲头1每分钟以1400次冲击零件， $\alpha=85^\circ\sim 105^\circ$ ，可根据零件角度调整。

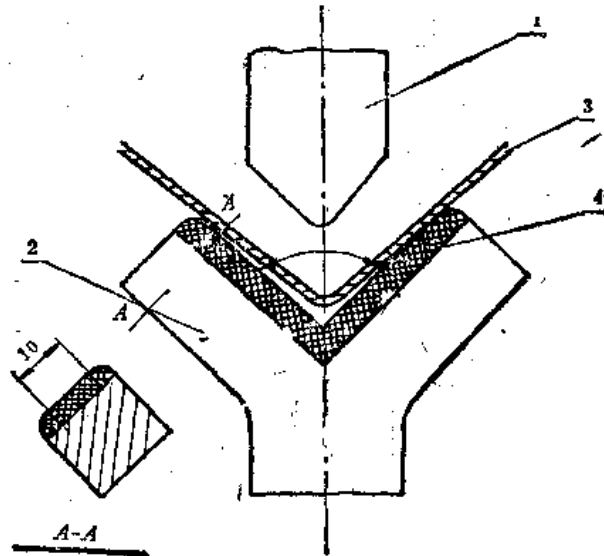


图2

1—冲头（夹布胶木）；2—模架；3—零件；4—尼龙块。

经试验证明采用聚氨酯橡胶容框装在高能高速锤上对复杂形的钣金件进行校形，可得到满意的效果。

图3是镁合金、钛合金平板件校形用的电加热校形平台，使用温度可达到 300°C 。利用接触传热将平板件加热到一定温度即可校平，或先把平板件放入加热炉内预先加热，然后再放在热平台上校平，以保证有足够的校平温度。

Ⓞ《伟建科技》1978年1期。

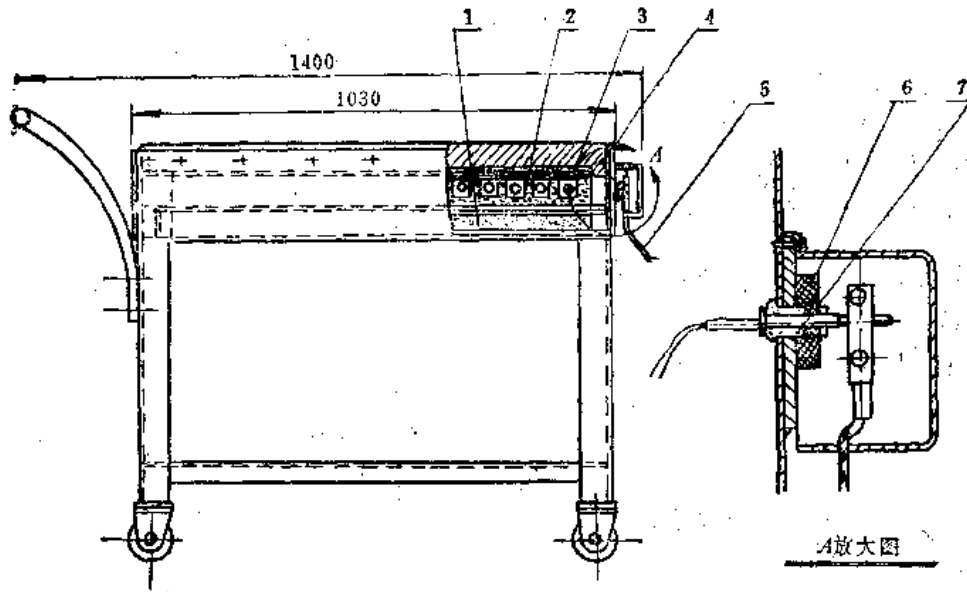


图3

1—石棉粉；2—耐火土盘；3—电阻丝；4—平台；5—电缆；6—石棉垫板；7—瓷管。

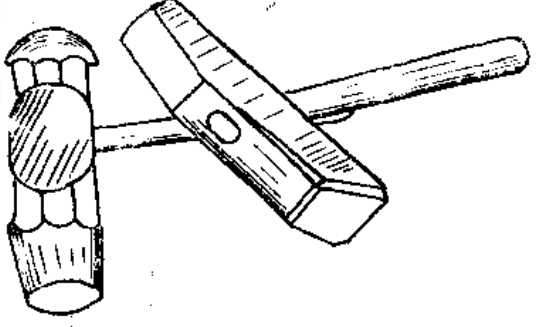

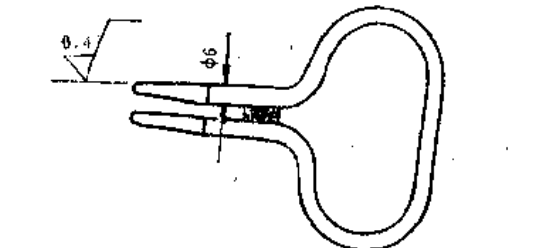
2.12.4.2 校形工具

钣金零件校形常用工具见表。

校形常用工具及其应用范围表

名称	简图	材料	应用范围及其特征
手		夹布胶木	用于锤击铝合金板金件校形，其校形面较大的部位
		硬铝	<ol style="list-style-type: none"> 1. 用于校形淬火后的铝合金板金件； 2. 锤端面研磨至 $Ra=0.1\sim 0.2\mu\text{m}$ 在IT4级精度的平台上涂以用汽油稀释的滑油，进行校形优质铝合金蒙皮件或整体壁板件，使校形板面光滑无痕迹； 3. 不允许用于校形软合金板金件
锤		夹布胶木	扁头部分用于校形铝合金板金件，其校形面狭窄的或需集中力量消除皱纹的部位。平头部分用于锤击校形面较大的部位
		硬铝	用于对料厚小于2.0mm的淬火铝合金板金件校形

(续)

名称	简 图	材料	应用范围及其特征
手锤		钢	用于对黑色和钛合金材料板金件的校形
胶皮板		中等硬度橡胶板	用于消平铝合金板金件上的皱纹和“收”料的部位
折波钳		A ₃ 钢棒	工作部分镀铬抛光。用于弯边进行局部“收”料时，用此工具先折出半锥形波纹，然后再用手锤修平，起到缩边作用

①硬度为80A的聚氨酯橡胶或70A的普通橡胶。

参 考 资 料

- (1) 机械工程手册机电工程手册委员会，《机械工程手册》第七卷，第41篇，机械工业出版社，1982年。
- (2) 《航空工艺装备设计手册—冷冲模设计》国防工业出版社，1977年。
- (3) 李颖本主编，《冲压工艺学》，机械工业出版社，1982年。
- (4) Ивж. А. А. Эжк “Вальцовочный Станок-автомат Для Рихтовки Шляб” Ленинград 1957.
- (5) 周德俊等编，《钣金技术》，国防工业出版社，1974年。
- (6) 欧阳祖行，邓宗彦等编著，《钣金设备设计》，国防工业出版社，1982年。
- (7) 格罗莫娃等著，《成批生产中板材和型材零件的制造》，国防工业出版社，1964年。
- (8) Finishing Sheet-Metal Parts 《Aircraft Production》，July, 1953.

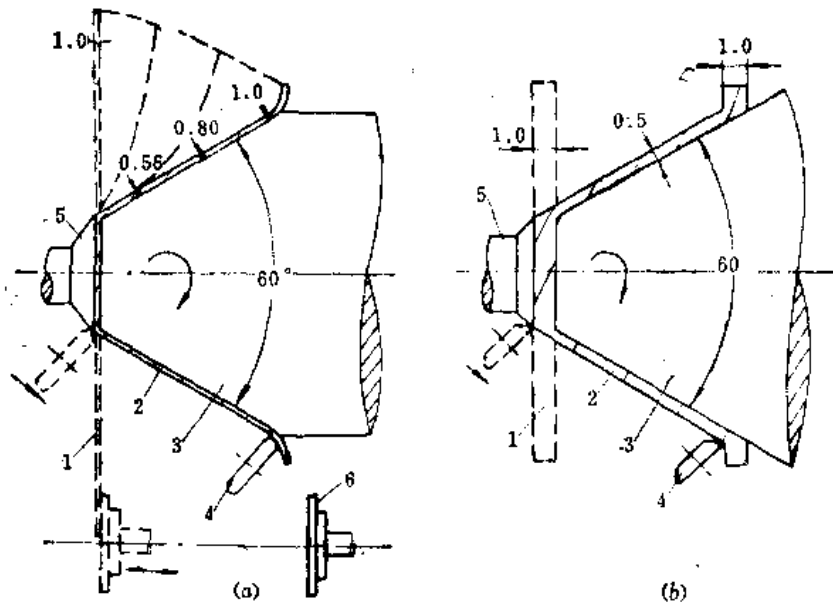
3
板金工艺

3.1 旋 压

3.1.1 定义与范围

旋压是一种金属回转加工工艺。在加工过程中，毛料随旋压模主动旋转或是旋压头绕毛料与旋压模主动旋转，旋压头相对芯模和毛料作进给运动，使毛料产生连续局部变形而获得所需空心回转体零件。

就毛料外形变化而言，普通旋压时毛料直径有显著扩大或缩小而壁厚只是随之作一些变化，如图(a) 示例；变薄旋压时毛料直径基本不变而壁厚显著减薄，如图(b) 示例。变薄旋压又包括剪切旋压（锥形及其它扩张形件变薄旋压）与筒形变薄旋压两大类。



1—毛料；2—工件；3—旋压模；4—旋轮；5—尾顶块；6—反推棍。

旋压机的动作原理与仿形车床相近似，包括单轮与多轮、卧式与立式、通用与专用等各种型别。

3.1.2 普通旋压

3.1.2.1 分类与应用

表1中列出了普通旋压可完成的各种工序。除了复杂型面的成形外，它还能完成一些切割与联接工作。

传统的手工旋压适于中、小批量及薄、软毛料，最大毛坯厚度参见表2。半自动或自动旋压则能用于中、大批量及厚、硬毛料。

在旋压卷边时毛料厚度与卷边梗直径的关系见表3。图1是通过两个工步进行卷边

表1. 普通旋压分类

	整件成形	局部成形			
缩径旋压	压延	收边	收颈	收口	压槽
扩径旋压		翻边	扩颈	扩口	压槽
其它	光整	卷边	制扁梗	咬接	压扁
	刮削	切割	分瓣	封口	滚丝

表2. 手工旋压最大毛料厚度⁽¹⁾

材 料	铝	紫 铜	软 钢	不 锈 钢
厚度(mm)	3~4	3	2	1.25

表3. 板厚与卷边梗直径关系⁽²⁾

毛料厚度(mm)	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0
圆梗直径(mm)	1.5~2.5	2.5~3.5	4~8	5~14	8~18	14~22	18~24	20~30

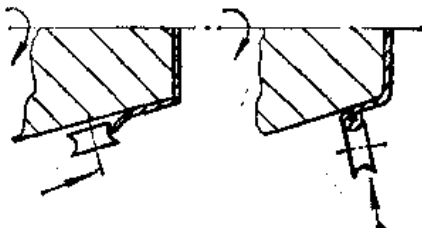


图1

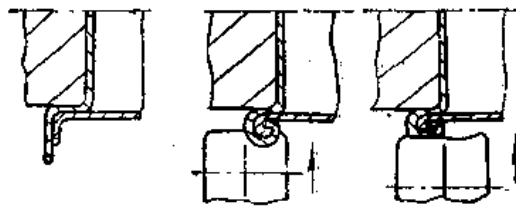


图2

的示例。图2是通过卷边伎两件毛料咬接以及进一步将其压扁的示例，此时毛料的厚度宜不大于2.5mm。在手工进行咬接时，铝料厚度宜不大于1mm，钢料厚度宜不大于0.7mm。

对于有色金属工件，在必要时可进行表面刮削，利用尖头擀棒将工件表层0.05~0.1mm刮去从而获得优质表面。图3则是用旋轮进行切边的示例。图4是用旋轮先将板材分劈，再进行校形制造皮带轮的示例。

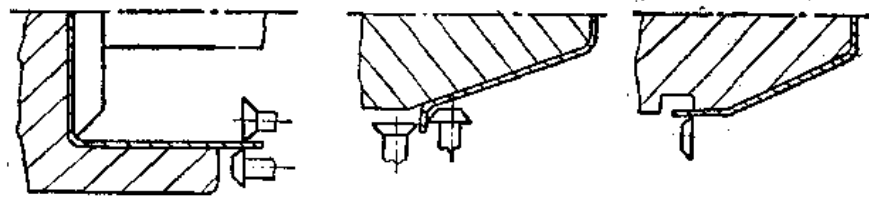
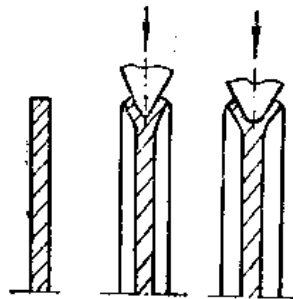


图3



(模具未示出)

图4

3.1.2.2 毛料材料要求与尺寸

普通旋压时应选用延性好，应变刚指数低，杂质少，组织均匀的材料。纯铝及LF21旋压性最优，LY12及低碳钢良好，LF3及LF6差。不锈钢最好进行加热旋压。

毛坯厚度的确定要考虑到普通旋压时的厚度变化，如压延旋压有时可局部减薄30~50%，旋压收颈有时可局部增厚100%。

毛料直径的确定可按2.4.2节进行计算并考虑厚度变化进行修正，最后通过试验确定。

3.1.2.3 工艺条件

3.1.2.3.1 成形极限与过渡形式

为避免毛料起皱与破裂，普通旋压常通过多道次过渡完成。软料手工旋压所需旋压工序参见表1。

相对厚度 t/D 小的空心件旋压宜先收边、后成形，如图1，以防起皱。

在半自动旋压机上旋杯形件时，对软料， $t/d > 0.03$ ， $\beta = D_0/d \leq 1.8 \sim 1.85$ 可以一道次成形，称为简单压延旋压⁽¹⁾。

在半自动旋压机上进行多道次压延旋压时可由一活动模板逐次移位来确定旋轮轨

表1. 手工压延旋压工序数^①

工件相对深度 h/d		<1	1~1.5	1.5~2.5	2.5~3.5	3.5~4.5	4.5~8.0
筒形件旋压系数 $\beta = D_0/d$		<2.23	2.23~2.45	2.45~3.16	3.16~3.87	3.87~4.36	4.36~5
旋压工序数	锥形、抛物线形	1	1	2	3	4	5
	筒形	1	2	3	4	5	6

表中： h —工件深度； d —工件小端直径； D_0 —毛料直径。

①本资料由沈阳飞机制造公司王蓬芝提供。

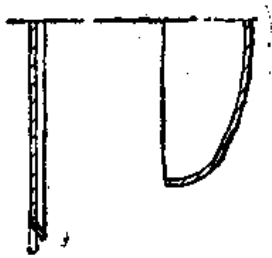


图1

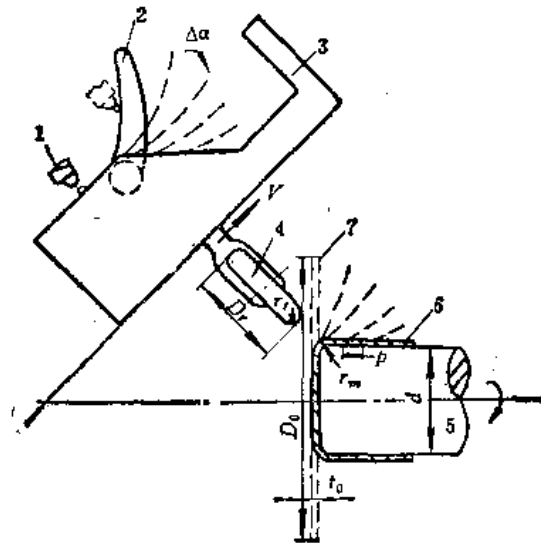


图2

1—仿形器；2—活动模板；3—固定模板；
4—旋轮；5—芯模；6—工件；7—毛料。

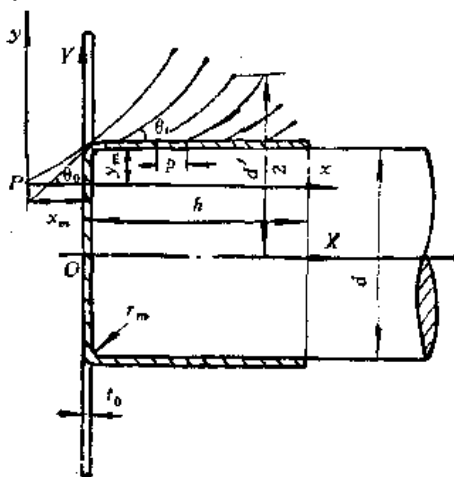


图3

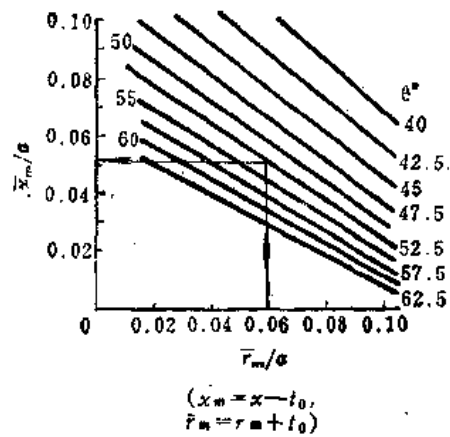


图4

迹,如图2。活动模板的型面宜采用渐开线,如图3并确定如下⁽²⁾。

先确定摆动中心 P 的坐标位置,取渐开线基圆半径 $a \approx 2(h+x_m-t_0)$,由图4按第一道次起旋点的仰角 $\theta_0 \approx 45^\circ \sim 60^\circ$ 查找 $(x_m-t_0)/a$ 的值。对 x_m 与 a 反复取值至以上关系适合。取 $y_m \approx 0.085a-t_0$ 。然后由表2查得渐开线型面的坐标值。这样确定的位置与型面可以大致保证随后道次的仰角 $\theta_i \approx 30^\circ$ 。

表2. 渐开线曲线坐标

r/a	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35
x/a	0.0489	0.0956	0.1400	0.1822	0.2222	0.2599	0.2954
y/a	0.0103	0.0202	0.0536	0.0823	0.1145	0.1497	0.1875
r/a	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7
x/a	0.3288	0.3699	0.3889	0.4158	0.4406	0.4632	0.4838
y/a	0.2277	0.2700	0.3141	0.3599	0.4072	0.4569	0.5058
r/a	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1	
x/a	0.5024	0.5189	0.5334	0.5460	0.5566	0.5653	
y/a	0.5568	0.6088	0.6617	0.7154	0.7698	0.8248	

收口时的过渡型面如图5。图5(a)的进给方向易使料拉薄,图5(b)的进给方向易使料增厚。也可采用二者复合的方式如图5(c)。

图6是收颈时的过渡型面。图6(a)正、反向进给都可。图6(b)毛料在A点已支靠芯模故宜反向进给以免倒流。

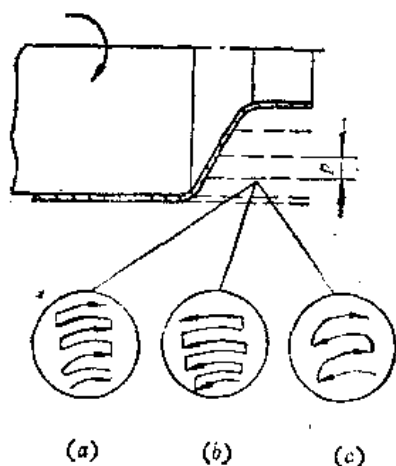


图5

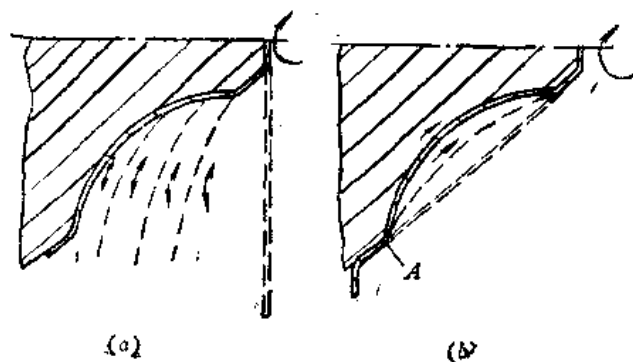


图6

在多道次旋压时,道次间距 p (参见图5)为重要参数。通常取3~6mm,过大易起皱。

图7所示是由预压延件分两次压槽成形皮带轮。压槽时施以附加压力 P 以减少槽底

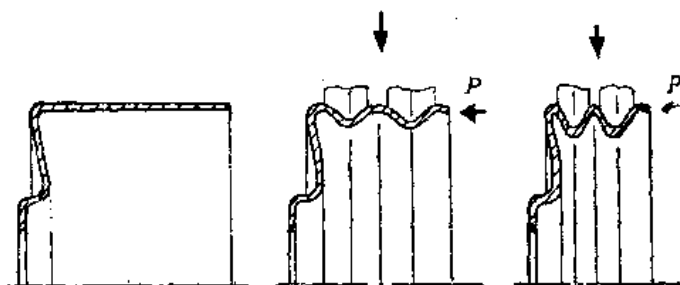


图7 (模具未示出)

局部减薄。成形时旋轮可沿轴向自由移动。

3.1.2.3.2 转速与进给比

铝板压延旋压时的转速可参考表1选择。也可先由表2选取不同材料的周向线速度 V_0 。(厚料、大件取小值)，再由

$$\omega = 1000V_0 / \pi D, \text{ r/min} \quad (1)$$

求得转速 ω 。式中 D ——旋压直径，mm。旋压收口时的转速参见表3。

表1. 铝板压延旋压转速⁽¹⁾

毛料直径 D_0 (mm)	<100	100~300		300~600		600~900	
毛坯厚度 t_0 (mm)	0.5~1.3	0.5~1.0	1.0~2.0	1.0~2.0	2~4.5	1.0~2.0	2.0~4.5
转速 ω (r/min)	1100~1800	850~1200	600~900	550~750	300~450	450~650	250~550

表2. 普通旋压成形周向线速度 V_0 经验值⁽²⁾

材 料	铝, 青铜	紫 铜	软 钢	不 锈 钢
周向线速度 V_0 (m/min)	200~1300	150~600	200~800	600~1000

表3. 旋压收口转速经验值⁽²⁾

毛料直径 D_0 (mm)	<50	50~100	100~200	200~300	300~400	400~500	500~700
转速 ω (r/min)	3000~3500	2000~3000	1500~2000	1200~1500	800~1200	600~800	300~600

以毫米每转为单位的进给比 f 过大易起皱，过小易拉薄，常用 $f \approx 0.3 \sim 3 \text{ mm/r}$ 。粗旋、软料取大值，复杂件及精旋取小值。

3.1.2.3.3 润滑、冷却、加热

旋压润滑剂的选择参见表1。旋厚、硬料，尤其是批量生产时需加机油，乳化液等进行冷却使模具温度平衡。

表1. 旋压润滑剂选择示例

旋 压 条 件		润 滑 剂 种 类
冷 旋	铝、铜、软钢 同上，工件表面有高要求	机油、乳化液等 肥皂、凡士林、白腊、动植物脂等
	钢 不锈钢	二硫化钼油剂 氯化石腊油剂
热 旋	<300	二硫化钼
	<500 >600℃ 钛	胶体石墨 玻璃润滑剂 可不加

当材料常温塑性差，工件外形复杂或旋压机能力不足时采用加热旋压，温度范围参见表2。

表2. 加热旋压温度范围⁽⁴⁾


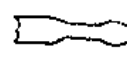
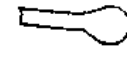


材 料	镍铬不锈钢	纯钛	TC-4	钨及其合金	钼及其合金	铌及其合金	钽及其合金	锆及其合金
加热温度 (°C)	600~750	≤535	535~870	760~1316	452~1066	400~620	482~649	320~360

3.1.2.4 工艺装备



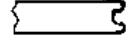
3.1.2.4.1 旋压工具

擀棒是手工旋压常用工具。其工作头的典型形式见表1。

表1. 擀棒头部典型形式及用途⁽⁶⁾

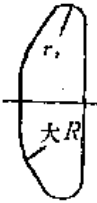
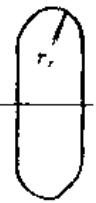




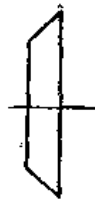
No.	工作头名称	简 图	用 途
1	钝 头		压延旋压用
2	舌 形		旋复杂形状用
3	鱼尾形		旋压扩口用
4	弯头形		旋压扩径用
5	球 形		精 整 用

(续)

No.	工作头名称	简 图	用 途
6	尖 头 形		切边、刮削用
7	特 形		型面成形用
8	槽 形		卷 边 用

采用旋轮可以减少与毛料的表面摩擦，其外形的典型形式见表2。

表2. 普通旋压旋轮典型形式

旋轮外形							
主要功用	简单压延旋压	多道次压延旋压	旋压收口		表面光整	旋压卷边	旋压切边

简单压延旋压时顶端圆角半径 r ，应大于 $5t$ 。多道次压延旋压及旋压收口时 r 的常用范围是 $6\sim 20\text{mm}$ ，小件取较小值。

旋轮外径 D 的常用范围是 $50\sim 250\text{mm}$ 。手工旋压，小件取较小值。

室温旋压时旋压头材料选择见表3，加热旋压时见表4。

表3. 室温普通旋压工具用料示例

工 具 材 料	功 能	作 用
工具钢及高速钢淬火、抛光	各种材料旋压、切割	抗压、耐磨
青铜、磷青铜	旋铜、不锈钢	减少表面摩擦
硬木、尼龙、竹	旋软料	减少工件表面硬化
夹布胶木	铝料最终修整及校形	

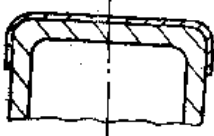
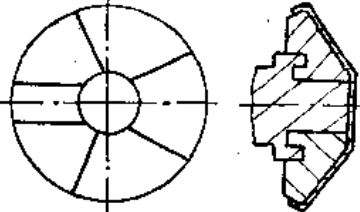

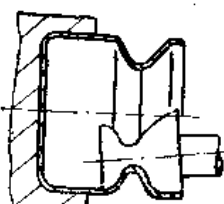

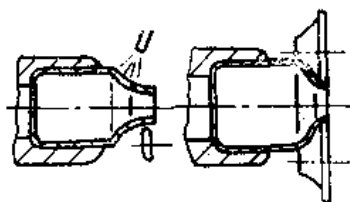
表4. 加热旋压旋轮用料示例

工 具 材 料	使 用 范 围
45钢 高速钢 热作工具钢3Cr2W8、5CrNiMo等 耐热合金及不锈钢	软料、小批量、小于300℃ <400℃ <500℃ <800℃

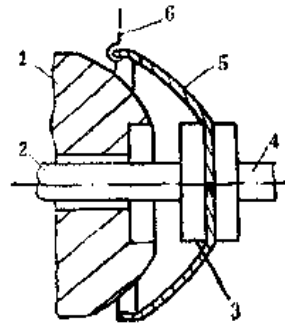
3.1.2.4.2 旋压模

旋压模的典型结构见表1。

表1. 旋压模典型结构

名 称	形 式	主 要 用 途
整 体 模		直径不变或单向增大的工件
分 瓣 模		工件母线中部带凹凸, 工件直径不大于250~350mm, 模具重量不大于50kg
分 段 模		工件母线中部带凹陷
局 部 模 (位 置 一 定)		局部成形
局 部 模 (随 动)		整体成形
空 气 模		过渡工序及对外形要求不高时 $\frac{d}{t} > 16$ 宜用双轮, $\frac{d}{t} < 16$ 可用 单轮

下图是大型零件普通旋压时便于脱卸取件的一种组合模具示例。



1—主体模；2—顶杆；
3—模块；4—尾顶杆；
5—工件；6—吊钩。

模具外型面尺寸取工件内形尺寸的中、下差，内型面尺寸则取工件外形尺寸的中、上差，经试旋后修回弹。

室温旋压时模具型面部分用料参见表2，加热旋压时参见3.1.2.4.1表4。

表2. 室温旋压模具用料示例

模 具 材 料	特 性	用 途
硬 木		普通旋压，软料、小批量
工程塑料（尼龙1010等）	回弹大	—— “ ——
夹布胶木	价 昂	—— “ ——
铸铝	轻、寿命短	—— “ ——
优质铸铁	要求表面无砂眼	软料、大件
球墨铸铁	—— “ ——	—— “ ——
结构钢（45等）	要求HRC≥30~35	软料、中、小批量
渗氮钢（18CrNiW等）	表层HRC50~55深0.3mm	软料、复杂件
冷作工具钢（T7A~T10A，CrWMn，Cr12MoV等）	HRC55以上	通用
轴承钢	同上	同上
轧辊钢	同上	同上

旋压模应有足够刚度和动平衡性能。

3.1.2.5 旋 压 力

旋压力指毛料对旋压头的作用力。

根据相似准则推导旋压力的方法如下⁽⁹⁾：

- 1) 令模拟件所有角度等于工件相应角度；
- 2) 令模拟件所有尺寸 l' 、进给比 f' 与工件相应尺寸 l 、进给比 f 保持一定比例关系

$$m_s = l/l' = f/f' \quad (1)$$

m_s 为几何相似系数。

- 3) 如取模拟件旋压时转速 ω' 与工件旋压时转速 ω 相等，则

$$m_s = \frac{v}{v'} = \frac{T}{T'} \quad (2)$$

式中 v 、 v' 为进给速度， T 、 T' 为旋压时间。

如取 $v=v'$ ，则 $T=T'$ ，

$$m_r = \omega' / \omega \quad (3)$$

4) 工件与模拟件材料的屈服极限的关系为

$$m_s = \sigma_s / \sigma_s' \quad (4)$$

m_s 为力学相似系数，在可能条件下取 $m_s=1$ 。

5) 由模拟件旋压测得的力 F' 和功 N' 可推算出工件旋压力 F 和功 N

$$F = F' m_s m_r^2 \quad (5)$$

$$N = N' m_s m_r^2 \quad (6)$$

〔例〕：已知工件毛坯厚度 $t_0=5.2\text{mm}$ ，毛坯直径 $D_0=260\text{mm}$ ，旋压转速 $\omega=100\text{r/min}$ ，进给速度 $v=24\text{mm/min}$ 。通过模拟试验求旋压力。

取几何相似系数 $m_r=4$ 。求得模拟件毛料厚度 $t_0'=5.2/4=1.3\text{mm}$ ，毛料直径 $D_0'=260/4=65\text{mm}$ 。取转速 $\omega'=\omega=100\text{r/min}$ ，则进给速度 $v'=24/4=6\text{mm/min}$ 。

由给定的材料机械性能数据求得 $m_s=\sigma_s/\sigma_s'=0.82$ ，则 $m_s m_r^2=0.82 \times 4^2=13.1$ 。

由模拟件旋压测力得径向力 $F_r'=2850\text{N}$ ，轴向力 $F_s'=2750\text{N}$ 。

按相似准则可推算出工件旋压时的径向力 $F_r=2850 \times 13.1=37335\text{N}$ ，轴向力 $F_s=2750 \times 13.1=36025\text{N}$ 。

旋压力加上油缸、导轨等部分的摩擦力为机床作用力。通常，某方向的机床作用力与相应旋压分力之比为 $1.1 \sim 1.4^{[4]}$ 。

粗略估算，旋 1mm 不锈钢需机床作用力 10kN ，旋 1mm 硬铝需机床作用力 3.5kN 。

3.1.2.6 工件质量

普通旋压件的直径公差：中小件，软料可达 $(0.1 \sim 0.2)\%D$ ；大件，硬料可达 $0.5\%D^{[3]}$ 。美国波音公司给出的参考数据见表，只要工件允许应尽量放宽。

普通旋压件直径公差表

(mm)

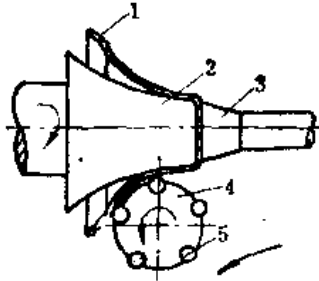
制件直径	一般要求	特殊要求
<610	$\pm 0.4 \sim 0.8$	$\pm 0.02 \sim 0.12$
610~915	$\pm 0.8 \sim 1.2$	$\pm 0.12 \sim 0.25$
915~1220	$\pm 1.2 \sim 1.6$	$\pm 0.25 \sim 0.38$
1220~1830	$\pm 1.6 \sim 2.4$	$\pm 0.38 \sim 0.50$
1830~2440	$\pm 2.4 \sim 3.2$	$\pm 0.50 \sim 0.63$
2440~3020	$\pm 3.2 \sim 4.0$	$\pm 0.63 \sim 0.76$
3020~5335	$\pm 4.0 \sim 4.8$	$\pm 0.76 \sim 1.01$
5335~8605	$\pm 4.8 \sim 7.9$	$\pm 1.01 \sim 1.27$
8605~7925	$\pm 7.9 \sim 12.7$	$\pm 1.27 \sim 1.52$

普通旋压件壁厚沿母线的不均度：较浅的可达 $\pm 10 \sim 20\%$ ，中等深度的可达 $\pm 20 \sim 30\%$ ，深的可达 $\pm 30\%$ 以上。

3.1.2.7 特殊旋压方式

3.1.2.7.1 卧式盘多轮旋压

工作方式见图。在转盘 4 上装有多个小旋轮 5。转盘一面进给，一面自转，小旋轮依次进入工作区，在瞬间可以有几个轮同时工作。

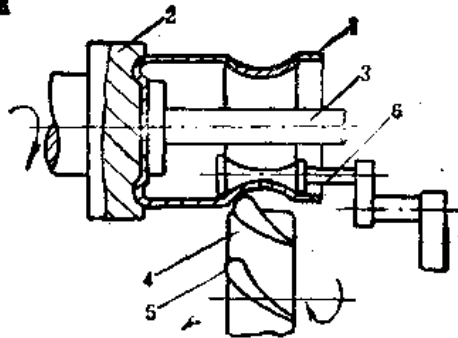


1—工件；2—模具；3—尾顶杆；4—转盘；5—旋轮。

这种方式利于消除折皱。压延比 β 在一次旋压中可达3.5，二次旋压可达5，宜于大批量生产。但工件局部变薄可达50%，表面还有波纹须经光整工序校平。

转盘的转速可取为主轴转速的百分之一左右。转盘直径可取工件大小端直径差的三分之一左右。小旋轮的直径高度比可取2~3，过大易产生折皱及底部拉断，过小易造成厚薄不均及壁部破裂。

3.1.2.7.2 立式盘多辊旋压



1—工件；2—模具；3—尾顶杆；4—转盘；
5—轧辊；6—内辊装置。

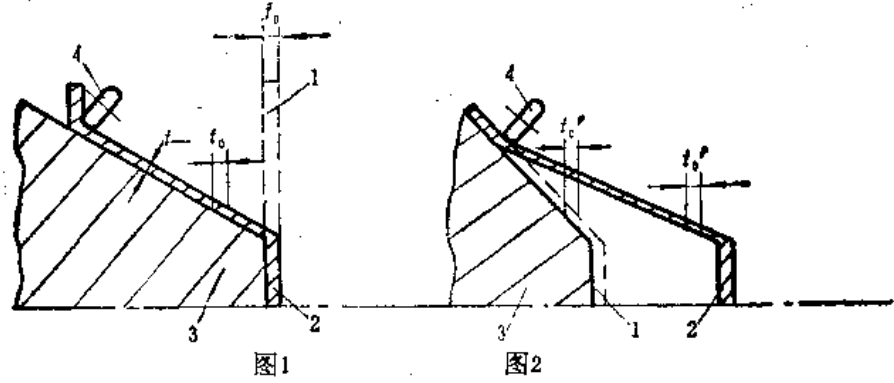
工作方式见上图。在转盘 4 上装有依次工作的几条型面渐增的轧辊，在转盘的一转中完成局部成形工作。宜于大批量生产。

3.1.3 剪切旋压

3.1.3.1 分类与应用

剪切旋压时，板坯或预制坯沿轴向逐层产生错移而轴向厚度基本不变。

图 1 为正旋压，毛料顺旋轮进给方向延伸；图 2 为反旋压，毛料逆旋轮进给方向延伸。后者不常用。



1—毛坯，2—工件，3—旋压模，4—旋轮。

剪切旋压和筒形变薄旋压可以获得高于普通旋压的尺寸精度与强度，能进行长而薄的整体空心件及一些难加工材料的成形。可用以取代传统工艺，能获得下表所示的技术经济效益。

采用剪切旋压与筒形变薄旋压可能获得的技术经济效益表

取代的传统工艺	效 益												
	节省原材料	节省加工工时	节省模具	节省生产准备周期	便于产品更新	节省大型设备投资	减少中间热处理	提高产品整体性	提高产品强度	减轻产品重量	提高产品精度	提高产品表面质量	
机械加工	✓	✓							✓	✓			
卷焊		✓						✓	✓	✓			
压延			✓	✓	✓	✓	✓				✓		
挤压			✓	✓	✓	✓	✓						
轧压						✓	✓						
普通旋压		✓									✓		

3.1.3.2 毛料材料与尺寸

可变薄旋压的材料包括所有可锻造、挤压的材料。材料的可旋性由极限减薄率

$$\psi_{t_{max}} = \frac{t_0 - t_{min}}{t_0} \% \quad (1)$$

或极限半锥角

$$\alpha_{min} = \sin^{-1}(1 - \psi_{t_{max}}) \quad (2)$$

来表征。当 $t_0 < 10\text{mm}$ 时

$$\psi_{t_{max}} \approx \frac{\psi}{0.17 + \psi} \quad (3)$$

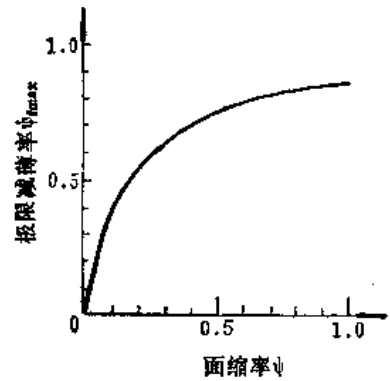


图1

如图1(3)，式中 ψ 为毛料的面缩率。

表1是一些板材 ($t < 10\text{mm}$) 的可旋性及其分等。表中带*的为美国 *S. Kalpakcioglu* 的数据。

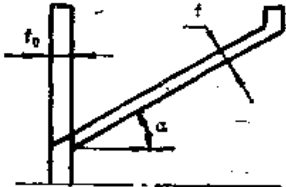
表1. 一些材料的剪切旋压可旋性^(4,5)

可旋性等级	铝 类			钢 类			铜 类		
	牌号	Ψ_{\max} (%)	α_{\min} (°)	牌号	Ψ_{\max} (%)	α_{\min} (°)	牌号	Ψ_{\max} (%)	α_{\min} (°)
优 $\Psi_{\max} > 74\%$ $\alpha_{\min} < 15^\circ$	LF21M	79	12	CK22	76	14	T2M	77	13
	*1100-0	85	8°30'	*15-7pH	80	10°24'			
	*1100H-14	80	11°30'	*17-7	78	12°24'			
	*6061-0	80	11°30'	*304	78	12°24'			
	*6061-T4	76	13°30'	*1020	75	14°30'			
良 $62\% < \Psi_{\max} \leq 74\%$ $22.5^\circ > \alpha_{\min} \geq 15^\circ$	LF2M	73	16	30CrMnSiM	62	22	H62M	71	17
	LC4M	69	18	*4130	71	16°50'			
	LF6M	63	21						
	LY12M	63	21						
	*6061-T6	71	16°50'						
中 $50\% < \Psi_{\max} \leq 62\%$ $30^\circ > \alpha_{\min} \geq 22.5^\circ$	LF12M	59	25	30CrMnSi 调质	56	26			
差 $29\% < \Psi_{\max} \leq 50\%$ $45^\circ > \alpha_{\min} \geq 30^\circ$	LD10M	51	30						
劣 $\Psi_{\max} \leq 29\%$ $\alpha_{\min} \geq 45^\circ$				*灰铸铁	0	0			

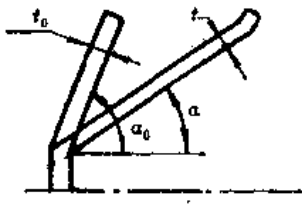
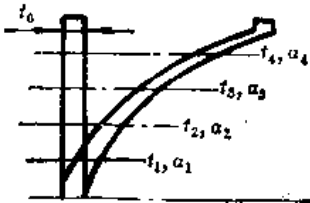
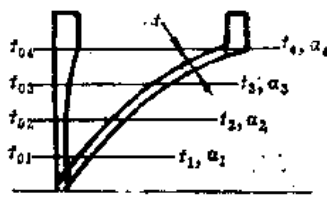
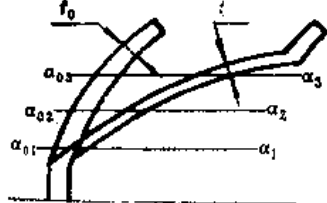
毛料制造方式包括压力加工、离心铸造、电渣熔炼、粉末压制及焊接，但焊缝要打平，不宜采用普通铸造。毛料热处理状态包括退火、调质、正火等，一般不采取淬火、时效状态。毛料内部不得有夹渣、分层、疏松等缺陷。对重要制件的毛坯应进行磁力探伤或X光检查。毛料表面不得有凹凸不平、裂纹、毛刺及严重划伤。对钛板等对表面缺陷敏感的材料应排除一切划伤。

剪切旋压毛料可为板料或预制件，其壁厚及预制半锥角可由正弦律计算，见表2。

表2. 剪切旋压毛坯尺寸计算

毛 料	工 件	简 图	正 弦 律 算 式
等厚板料	等厚锥形件		$t_0 = t / \sin \alpha$

(续)

毛料	工件	简图	正弦律算式
等厚锥形预制毛料	等厚锥形件		$t_0 = \frac{t \sin \alpha_0}{\sin \alpha}$
等厚板料	不等厚曲母线形件		$t_1 = t_0 \sin \alpha_1,$ $t_2 = t_0 \sin \alpha_2,$ ⋮ $t_n = t_0 \sin \alpha_n$
不等厚板料	等厚曲母线形件		$t_{01} = t / \sin \alpha_1,$ $t_{02} = t / \sin \alpha_2,$ ⋮ $t_{0n} = t / \sin \alpha_n$
等厚曲母线形毛料	等厚曲母线形件		$\sin \alpha_{01} = t_0 \sin \alpha_1 / t$ $\sin \alpha_{02} = t_0 \sin \alpha_2 / t$ ⋮ $\sin \alpha_{0n} = t_0 \sin \alpha_n / t$

曲母线工件需先分段，再逐段计算后相连接。

旋板料时，毛料外缘余量一般每边不小于 $(1 \sim 2) r_r$ ， r_r 为旋轮圆角半径。

旋制带厚凸缘工件时(如图 2)，毛料应留预制段⁽⁴⁾

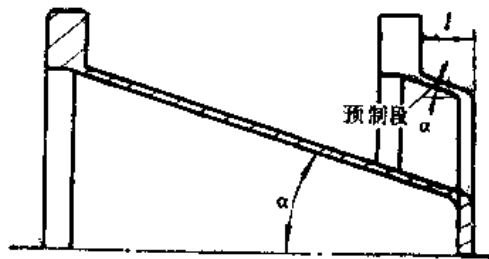


图2

$$l \geq (1 - \sin \alpha) r_r + (2 \sim 3) \text{ mm}$$

(4)

厚凸缘每侧需留补充机械加工余量不小于 $(3 \sim 8) \text{ mm}$ 。

3.1.3.3 工艺条件

3.1.3.3.1 减薄率 ψ

剪切旋压的一道次减薄率 ψ ，应不大于材料的极限减薄率 ψ_{max} ，否则就需进行中间退火及多道次剪切旋压。下表是美国寇梯斯莱脱(Curtiss Wright)公司的数据。

当进行多道次剪切旋压时，一般宜使前期道次的减薄率大于后期道次的减薄率。各道次半锥角 α 的变化宜不小于 5° 。

剪切旋压与筒形变薄旋压最大减薄率表^[60]

材料	牌号	锥形	半球形	筒形	材料	牌号	锥形	半球形	筒形	
钢	4130	75	50	75	铝	2014	50	40	70	
	6434	70	50	75		2024	50	/	70	
	4340	65	50	75		5256	50	35	75	
	DeAC	70	50	75		5086	65	50	60	
	Rene41	40	35	60		6061	75	50	75	
	A286	70	55	70		7075	65	50	75	
	Waspaloy	40	35	60		钛类 (热旋)	纯钛	45	—	65
	18%Ni	65	50	75			6-4	55	—	75
	321	75	50	75			B120VCA	30	—	30
	17-7ph	65	45	65			6-6-4	50	—	70
类	347	75	50	75	难熔 材料 (热旋)	钨	60	45	60	
	410	60	50	65		铍	35	—	—	
	H11	50	35	60		钼	45	—	—	

3.1.3.3.2 偏离率 Δ_i

实际工件的厚度 t_f 对接正弦律计算的厚度 t_s 的偏差称为偏离率

$$\Delta_i = \frac{t_f - t_s}{t_s} \%$$

Δ_i 为正值时称为正偏离或欠旋，为负值时称为负偏离或过旋。

Δ_i 的常用范围是 $|\Delta_i| \leq 5\%$ 。硬料及延性低的料宜取负值，厚料及预制坯宜取正值。 Δ_i 不适宜时带来的疵病见下表。

Δ_i 影响表

Δ_i 情况	工件形态	材料可旋性	工件精度	回弹	表面情况	旋压力
正偏离过度	凸缘前倾	↓	直径及厚度偏差均增大	↑	铝料内表面呈橘皮状	扭矩增大，工件易转动
负偏离过度	凸缘前或后倾，旋轮前隆起，反旋		直径精度略差			轴向与径向旋压分力增大

3.1.3.3.3 进给比 f 与周向线速度 V_0 。

剪切旋压时，沿工件母线进给比 f 为

$$f = \frac{v_s}{\omega \cdot n_r} \text{ mm/r}$$

式中

v_s ——旋轮沿工件母线进给速度 (mm/min);

ω ——主轴转速 (r/min);

n_r ——同步工作的旋轮数;

f 的常用范围是0.1~0.75mm/r，薄料取小值，厚料及旋轮顶端圆角半径大时取大值。 f 不适宜的影响见表1。

表1. 剪切旋压 f 的影响

f	材料可旋性	表面粗糙度	旋压力	工效	其它
过大	↓	↑	↑		有时机床共振
过小				↓	同上，有时爬行

变薄旋压周向线速度的常用值为 $V_0=50\sim300\text{m/min}$ ，厚、硬料，小件取低值，反之取高值。 V_0 不适宜的影响见表2。

表2. V_0 的影响

V_0	工件发热	工件表面状况	工效	其它
过大	↑	粘结倾向增大		有时机床共振
过小		波纹增大	↓	

剪切旋压时采用恒线速度，恒进给比可以提高变形均匀性，从而提高工件精度，降低粗糙度。

3.1.3.3.4 润滑、冷却、加热

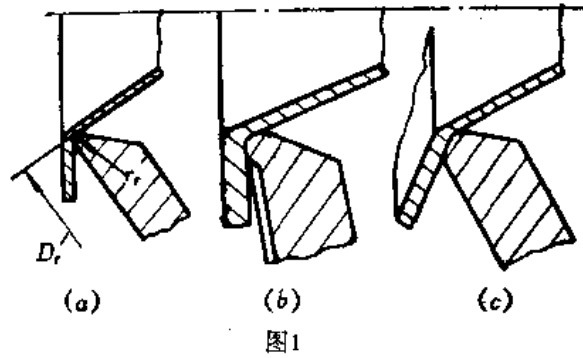
参见3.1.2.3.3 厚、硬料，中、小件变薄旋压时须加大冷却液供量，有时需达600 L/h。

3.1.3.4 工艺装备

3.1.3.4.1 旋轮

变薄旋压时旋轮与毛料间的单位接触压力可高达 $(1\sim3.5)\times 10^5\text{Pa}$ ，故旋轮一般须整体淬硬。冷旋时常用CrWMn, Cr12MoV, 9CrSi等合金工具钢以及高速钢，硬质合金等淬硬到HRC60~63。加热旋压时旋轮选材参见3.1.2.4.1表4。

剪切旋压旋轮的典型形式见图1。图1(c)为预制坯旋压。



旋轮外径的常用值是 $D_r = 150 \sim 350 \text{mm}$ 。 D_r 值增大有助于提高轴承寿命，改善工件直径精度但使旋轮成本增加，旋压力加大。一般，旋轮外径跳动量应不大于 $0.02 \sim 0.005 \text{mm}$ 。

旋轮顶端圆角半径 r_r 的选择见表 1，易粘附的材料取大值。 r_r 不适宜的影响见表 2。

表 1. 剪切旋压 r_r 选择⁽⁴⁾ (mm)

t_0 (mm)	ψ_r (%)			t_0 (mm)	ψ_r (%)		
	30	50	70		30	50	70
1~2	2~4	3~5	3~6	10~15	10~15	15~25	18~30
2~6	3~8	4~10	4~12	15~20	15~20	20~30	25~40
6~10	6~12	8~15	10~18	20~30	20~30	25~60	≥ 60

表 2. 剪切旋压 r_r 影响

r_r	工件形态	直径精度	表面情况	旋压力	其它
过大	凸缘倾倒	略降		略增	
过小			粗糙度增加以至形成切屑		

旋轮的不同安装形式见图 2。

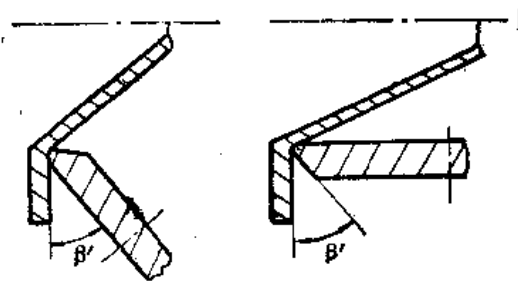


图 2

旋轮攻角 β 应不小于 $7^\circ \sim 20^\circ$ ，厚料、粘性料取大值。

3.1.3.4.2 旋压模

变薄旋压模具用料一般需为工具钢淬火 HRC50~55 以上，旋轮合金料则可采用优

质铸铁或结构钢，参见3.1.2.4.2表2及3.1.2.4.1表4。

模具工作型面部分应呈整体式，具有足够刚度。端面起旋处圆角半径 r_m 应不小于 $(0.5 \sim 1)t_0$ 。多道次剪切旋压时，模具端部尺寸应保持协调，如图1，其尺寸关系为

$$d_{m1} = d_{m0} + 2r_m(1 - \sin\alpha_{m1}) / \cos\alpha_{m1}$$

图2是旋带尖顶工件的定位装置示例。

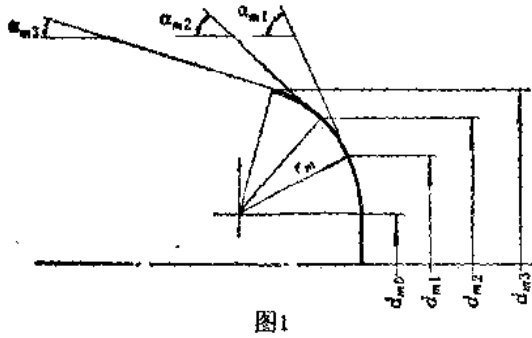


图1

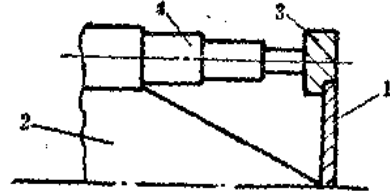


图2

1—毛料；2—芯模；3—定位盘；
4—作轴杆。

3.1.3.5 旋 压 力

剪切旋压力通常可按图1所示两种坐标分解为轴向力 F_x ，径向力 F_R ，周向力 F_θ 或进给力 F_f ，压紧力 F_p ，周向力 F_θ ，其中 $F_x \approx F_f$ ， $F_R \approx F_p$ 。

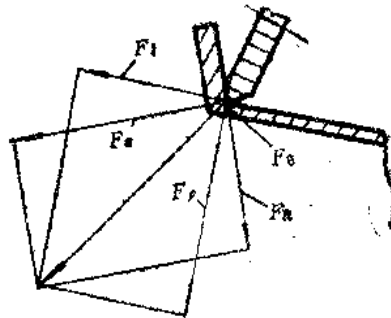


图1

三个分力之间的大小次序是：平板旋压时， $F_x > F_R \gg F_\theta$ ；预制坯旋压时， $F_x > F_R \gg F_\theta$ 。

平板剪切旋压可近似计算如下⁽⁷⁾：

$$\text{轴向力} \quad F_x \approx K_1 t_0 \sigma_0, \quad \text{N} \quad (1)$$

$$\text{径向力} \quad F_R \approx K_2 F_x, \quad \text{N} \quad (2)$$

$$\text{周向力} \quad F_\theta \approx K_3 t_0 \sigma_0, \quad \text{N} \quad (3)$$

$$\text{主轴功率} \quad N \approx K_4 F_\theta, \quad \text{kW} \quad (4)$$

式中 t_0 ——毛坯厚度 (mm)； σ_0 ——毛坯平均屈服极限(N/mm²)，求法见2.9.5.2。系数 K_1 可由式(5)~式(10)求得。

$$r_1 = r - f \cos\alpha \quad (5)$$

$$a^2 = 2r_1 f \cos\alpha \quad (6)$$

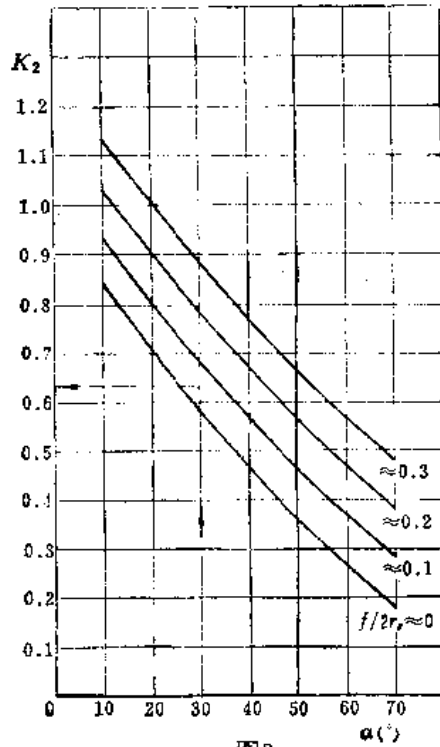


图2

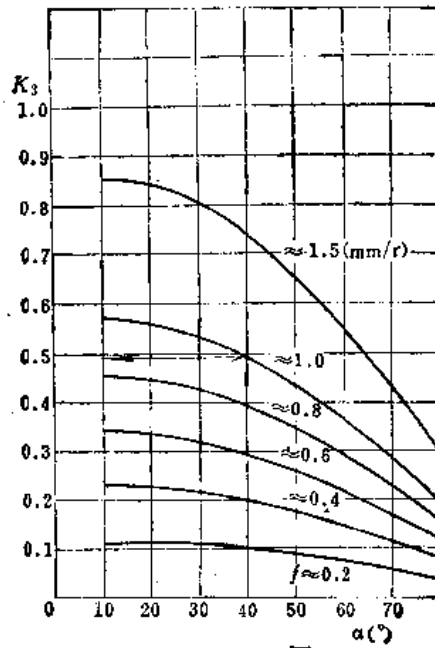


图3

$$b^2 = D_r (\sqrt{r_r^2 - (r_r \cos \beta)^2} - r_r \sin \beta) + a^2 \tag{7}$$

$$c = \frac{b^2}{a^2}$$

$$\theta = \frac{\pi}{180} \cos^{-1} \left[\frac{c - \sqrt{1 + \left(\frac{b}{R_0}\right)^2 (c-1)}}{c-1} \right] \tag{9}$$

$$K_1 = \frac{R\theta}{\sqrt{3}} \tag{10}$$

系数 K_2 、 K_3 、 K_4 可由图 2 ~ 图 4 查得。

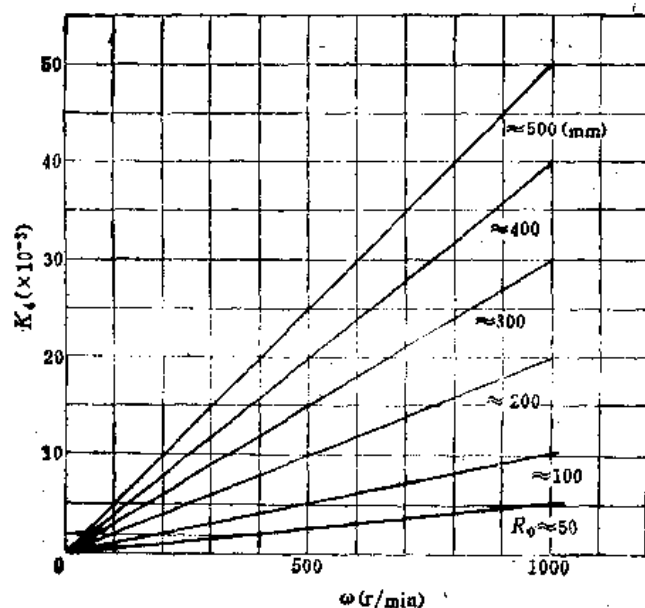


图4

[例]: 已知 $t_0=3\text{mm}$, $\sigma_0=200\text{N/mm}^2$, 半锥角 $\alpha=30^\circ$, 最大旋压半径 $R_0=50\text{mm}$, 沿工件母线进给比 $f=1\text{mm/r}$, 旋轮顶端圆角半径 $r_r=10\text{mm}$, 主轴转速 $\omega=400\text{r/min}$, 旋轮直径 $D_r=200\text{mm}$, 旋轮攻角 $\beta=20^\circ$, 求旋压力。由式(5)~式(11)求得 $r_1=9.13$, $a^2=17.3$, $b^2=420.27$, $c=24.3$, $\theta=0.325$, $K_1=9.4$ 。由图2按 α, f, r_r 查得 $K_2=0.63$ 。由图3按 α, f 查得 $K_3=0.49$ 。由图4按 ω, R_0 查得 $K_4=2 \times 10^{-3}$ 。于是可求得

$$F_r \approx 9.4 \times 3 \times 200 = 5640\text{N}$$

$$F_a \approx 0.63 \times 5640 = 3553\text{N}$$

$$F_\theta \approx 0.49 \times 3 \times 200 = 294\text{N}$$

$$N \approx 2 \times 10^{-3} \times 294 = 0.59\text{kW}$$

旋压分力亦可通过模拟试验, 按相似准则求得, 见3.1.3.5。唯剪切旋压时直径对力的影响小, 故可以主要考虑壁厚因素进行局部模拟。

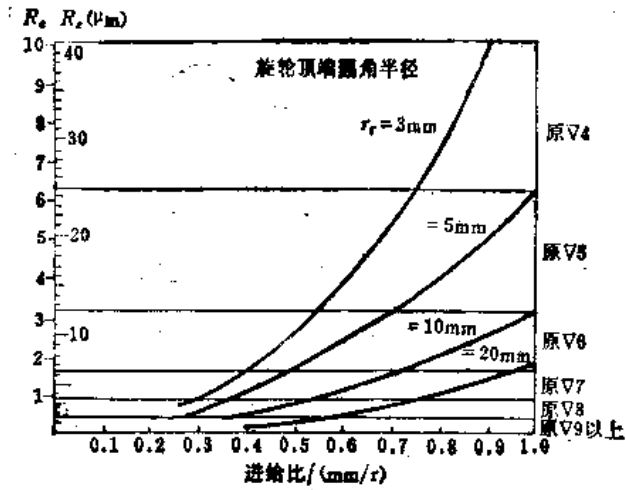
旋压分力乘以(1.1~1.4)为相应方向的机床作用力。粗略估算, 旋每毫米厚不锈钢需机床作用力16kN, 旋每mm硬铝需机床作用力5kN^[1]。

3.1.3.6 工件质量

剪切旋压与筒形变薄旋压件壁厚差一般可不大于0.05~0.10mm, 特殊要求时可不大于0.01mm。其直径精度随直径、壁厚、材料强度增大而下降。薄壁件剪切旋压后的直径精度与压延-校正件相当。

剪切旋压与筒形变薄旋压件的内表面粗糙度一般可与芯模外表面保持同一量级。其外表面粗糙度的理论值见图^[1]。当系统刚性不足, 运行不平稳时则会叠加一定量级的宏观波纹度。

剪切旋压与筒形变薄旋压后材料产生与减薄率相应的形变强化, 材料的比例极限、屈服极限、强度极限及硬度都得到提高, 延伸率、冲击韧性则有所下降, 金相组织细化。



表中列出了影响剪切旋压件几何精确度的要素。

剪切旋压件几何精确度影响要素^[4]

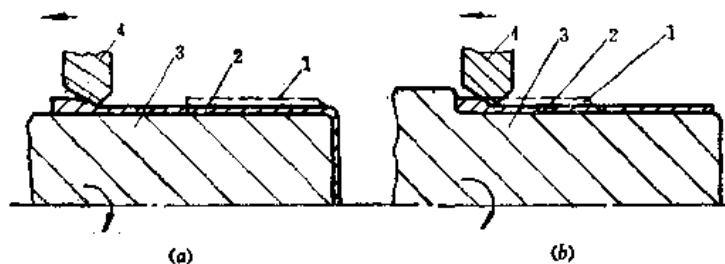
影响因素		工件质量					
		贴膜度	壁厚差	直线度	内表面粗糙度	外表面粗糙度	
工艺因素	旋压方向(正、反)	✓		✓			
	减薄率	✓					
	偏离率	✓	✓	✓	✓	✓	
	进给比	✓				✓	
	转速					✓	
	加热温度	✓	✓	✓	✓	✓	
	冷却润滑	✓			✓	✓	
工装因素	旋轮	圆角半径	✓		✓	✓	
		径向跳动量	✓	✓			
		表面粗糙度					✓
		旋轮直径	✓				✓
	芯模	径向跳动量	✓	✓	✓		
		表面粗糙度				✓	
毛坯因素	壁厚差	✓	✓	✓			
	材质均匀度	✓	✓	✓			
	热处理状态	✓	✓	✓			
	冷作硬化	✓					
	表面状况				✓	✓	

3.1.4 筒形变薄旋压

3.1.4.1 分类与应用

筒形变薄旋压时，筒形毛坯沿轴向变薄伸长而内径大体不变。

正旋压时材料延伸方向与旋轮进给方向相同，如图 (a)，反旋压时则相反，如图 (b)。前者常用于带底工件，后者常用于不带底的直筒，条件相同时一般正旋精度高于反旋。



1—毛料；2—工件；3—旋压模；4—旋轮。

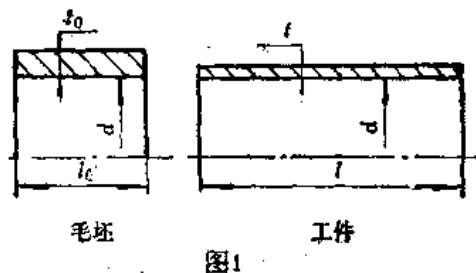
筒形变薄旋压还包括滚珠旋压；分层错距旋压；内旋压；附加张力旋压等方式。

筒形变薄旋压加工尺寸的范围可以大到：直径7~8m，壁厚70~80mm，长度30~40m；可以小到：直径3~5mm，壁厚0.1~0.2mm；长细比可达10~100。

3.1.4.2 毛料材料与尺寸

材料进行筒形变薄旋压不产生断裂的极限减薄率 ψ_{max} 与剪切旋压的大致相同。但材料过软时，易在旋轮前形成隆起、掉皮。

筒形变薄旋压毛坯必须为筒状。其壁厚及长度可由体积不变律计算，如图1



$$t_{max}l\left(d+\frac{t}{2}\right)=t_0l_0\left(d+\frac{t_0}{2}\right) \quad (1)$$

对于大直径薄壁件

$$t_{max}l \approx t_0l_0 \quad (2)$$

l_0 值应按旋压机能力及毛料供应尺寸等选择适宜。 t_0 过大，旋压与热处理道次增多，旋压力增大；过小则毛料增长，预加工困难增大。

如图2(a)，初旋时，终旋点距毛料端部应不小于 $(1.5\sim 6)t_0$ ，以后各道次旋时，终旋点距前一道次终旋点应不小于 $(1\sim 3)$ mm。如图2(b)当工件带厚凸缘时则非运动端每侧补充机械加工余量应不小于 $(1.5\sim 3)$ mm，运动端每侧余量应不小于 $(3\sim 8)$

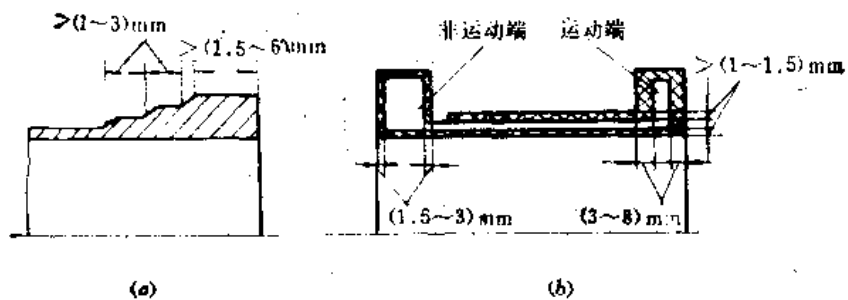


图2

mm。当工件内、外径均需补充机械加工时则每侧余量应不少于 $(1 \sim 1.5)$ mm 并相应计入毛料厚度。

正旋和反旋时毛坯起旋处的正确形状分别见图3(a)与3(b)。

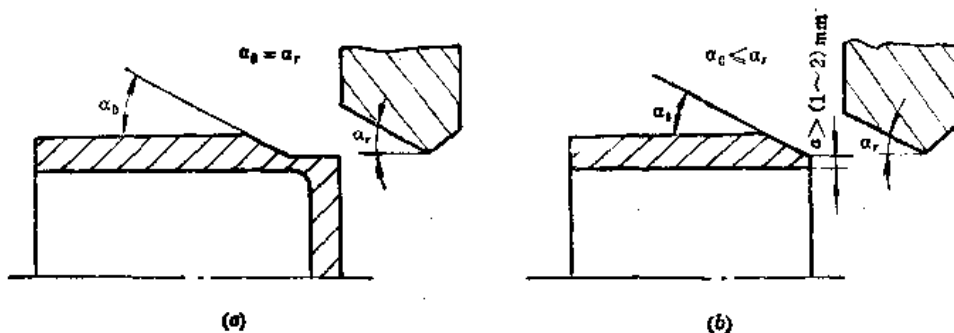


图3

筒形毛料需与旋压模保持适宜的径向间隙，中小件为 $0.05 \sim 0.20$ mm，大型薄料则需达 1 mm。间隙过大上料易偏心，工件精度差，间隙过小则影响装料。当如图4采用杯状毛料先剪切旋压，后进行筒形变薄旋压时，则毛料内径应比旋压模外径大 $(2 \sim 8)$ mm，毛料精度高，小件取小值。

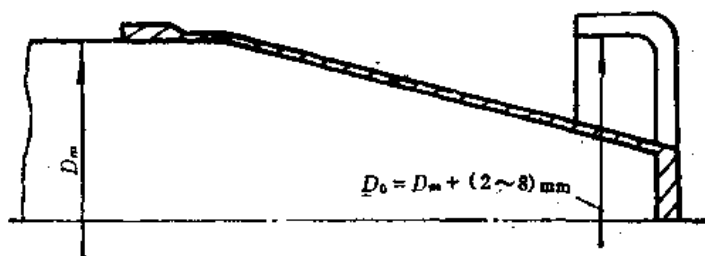


图4

3.1.4.3 工艺条件

3.1.4.3.1 减薄率 ψ 。

筒形变薄旋压的道次减薄率 ψ ，通常取 $15 \sim 35\%$ ，反旋、软料、旋轮不带引导段的取小值。 ψ 过大或过小的影响见表。

ψ 影响表

ψ	工件形态	直径精度	表面情况	旋压力	工效
过大	隆起、掉皮	↓	掉皮, 压伤表面	↑	
过小		↓			↓

总减薄率

$$\Sigma\psi_i = \psi_{i1} + (1 - \psi_{i1})\psi_{i2} + \dots$$

一般在 $\Sigma\psi$ 未达到极限值前不进行中间退火。

3.1.4.3.2 进给比 f 与周向线速度 V

V 的取值见3.1.3.3.3。正旋时 f 的常用范围是0.25~1.0mm/r, 厚料取大值; 反旋时为0.1~0.5mm/r, 软料取小值。进给比不适宜的影响见表。

 f 影响表

f	隆起	直径变化	直径精度	表面粗糙度	旋压力	工效
过大	↑	一般缩径, 软料反旋扩径	椭圆度大	↑	↑	
过小		扩径	喇叭口大			↓

多道次旋时常使前期道次 f 足够大, 以不扩径, 终旋 f 则略小以卸件。

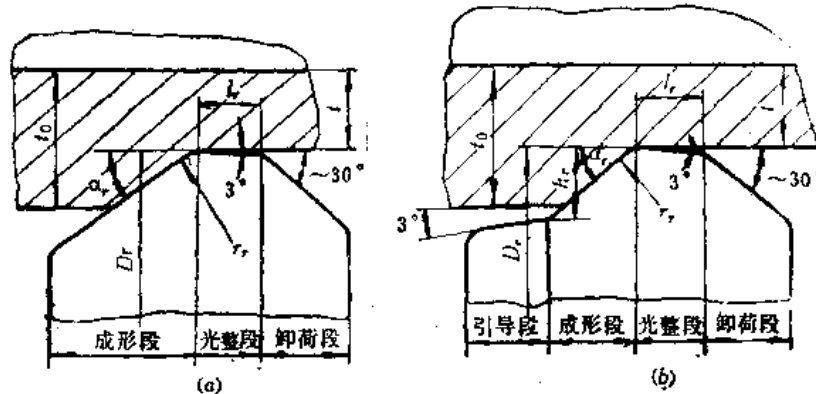
3.1.4.3.3 润滑、冷却与加热

同剪切旋压。

3.1.4.4 工艺装备

3.1.4.4.1 旋轮

典型形式见图。图(a)不带引导段, 用于硬料, 薄料; 图(b)带有可以限制隆起的引导段。



旋轮成形角 α 的选择, 在有压光段时见表1, 在无压光段时见表2。 α 不适宜的影响见表3。

旋轮顶端圆角半径 r , 在有压光段时可取

$$r \approx \sqrt{t_0} \quad (1)$$

表1. 有压光段时, α_r 常用值 ($^\circ$)⁽⁴⁾

毛料极限强度 σ_b (N/mm ²)	压下量 $t_0 - t$ (mm)			
	1~1.5	1.5~2.5	2.5~3.5	3.5~5.0
200~400	20~25	15~25	15~20	≤ 15
400~700	25~30	20~30	20~30	15~25
700~1000	30~25	25~30	25~30	20~30

表2. 无压光段时 α_r 常用值 ($^\circ$)⁽⁴⁾

毛料极限强度 σ_b (N/mm ²)	t_0 (mm)		
	2	4	6
200~400	25	20	15
400~700	30	25	20
700~1000	35	30	25

表3. α_r 影响

α_r	隆起	直径增减	直径精度	径向旋压力	轴向旋压力	其它
过大	↑		↓		↑	
过小		扩	↓	↑		

在无压光段时可取

$$r_r \approx (0.6 \sim 1.6)t_0 \quad (2)$$

硬料取小值。 r_r 不适宜的影响见表4。

表4. r_r 影响

r_r	直径增减	直径精度	表面粗糙度	旋压力
过大	扩径↑	↓		略↑
过小	缩径↑		↑	

引导段台阶高 h_r 的适宜值为

$$h_r \approx (1.1 \sim 1.3)(t_0 - t) \quad (3)$$

过大不能限制隆起, 过小摩擦加剧。

光整段长度 l_r 的适宜值为

$$l_r \geq (1 \sim 1.5)f$$

3.1.4.4.2 旋压模与尾顶块

如图1, 筒形旋压模的型面长度应包括三部分: L_1 ——工件要求长度; L_2 ——为脱卸工件需留出的部分; L_3 ——考虑工件额外伸长需留出的部分。

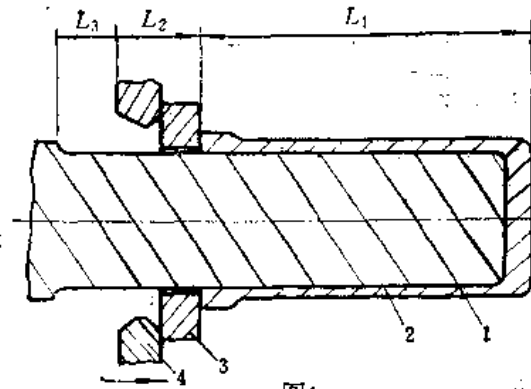


图1

1—滚压模；2—工件；3—脱卸环；4—脱卸头。

当工件旋压长度 l 为定值而毛坯偏厚 Δt_0 时则

$$l_3 \approx \frac{l_0 \Delta t_0}{t} \quad (1)$$

当 l 为定值而工件厚度偏薄 Δt 时，则

$$l_3 \approx -\frac{l \Delta t}{t_0} \quad (2)$$

〔例〕：已知毛料厚度 $t_0=2\text{mm}$ ，工件旋压段 $l=1000\text{mm}$ ，如工件实际厚度比名义值小 0.1mm ，则

$$l_3 \approx -\frac{1000 \times 0.1}{2} = -50\text{mm}$$

尾顶块的功能是防止工件在旋压过程中转动。图2是正旋时的几种典型形式。其中图2(c)所示尾顶块优于图2(a)及2(b)的，图2(d)和2(e)所示尾顶块用于管坯正旋。

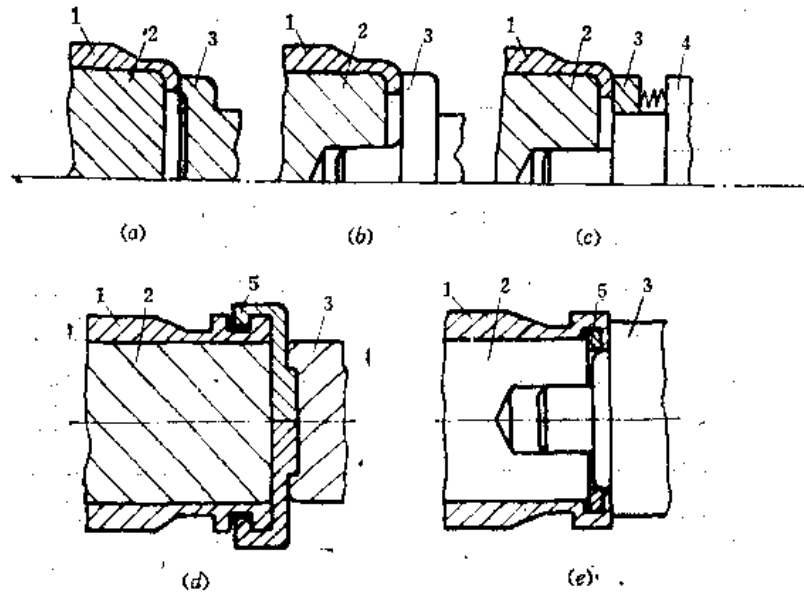


图2

1—毛料；2—旋压模；3—尾顶块；4—定心杆；5—半环。

3.1.4.5 旋 压 力

筒形变薄旋压各分力大小的顺序是 $F_r > F_a \gg F_t$ 。除可参照3.1.2.5通过模拟试验由相似准则推算外, 还可用计算法计算如下^[4]:

$$\text{径向分力} \quad F_r \approx K_1 \cdot K_2 t_0 \sigma_0, \text{ N} \quad (1)$$

$$\text{轴向分力} \quad F_a \approx K_1 \cdot K_3 t_0 \sigma_0, \text{ N} \quad (2)$$

$$\text{周向分力} \quad F_t \approx K_1 f t_0 \sigma_0, \text{ N} \quad (3)$$

$$\text{主轴功率} \quad N \approx K_4 F_t, \text{ kW} \quad (4)$$

式中 t_0 ——毛坯厚度(mm);

σ_0 ——毛料平均屈服极限(N/mm²), 求法见2.9.5.2;

f ——进给比(mm/r)。

系数 K_1 、 K_2 、 K_3 可分别由图1~图3查得。 K_4 可由3.1.3.5图4查得。图1中的 m 是摩擦因子, 在筒形变薄旋压的条件下大体在0.2~0.5范围内取值。

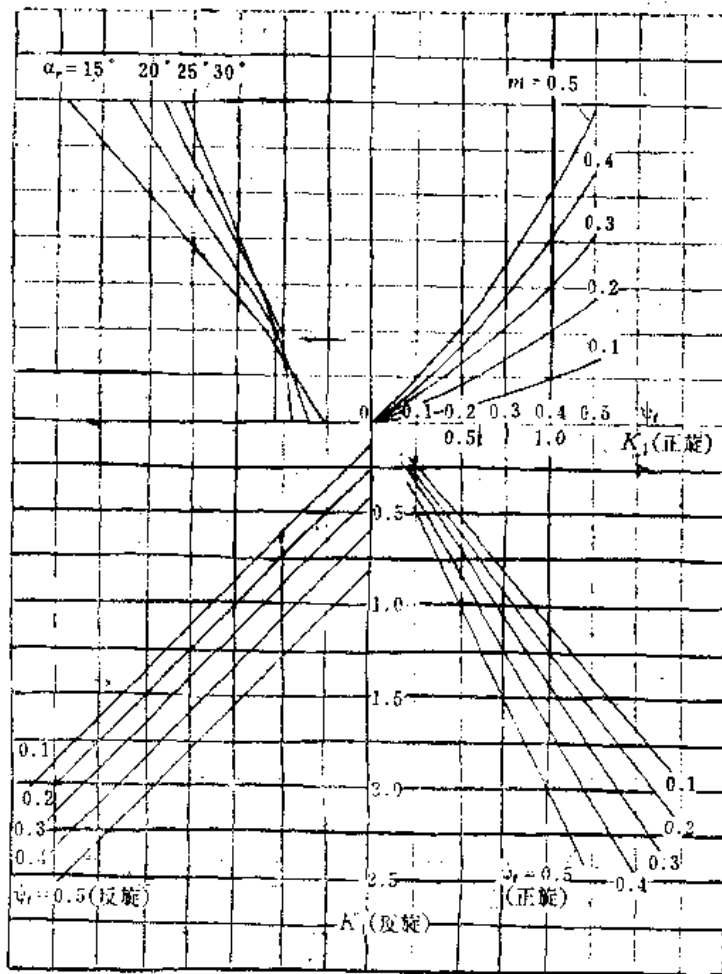


图1

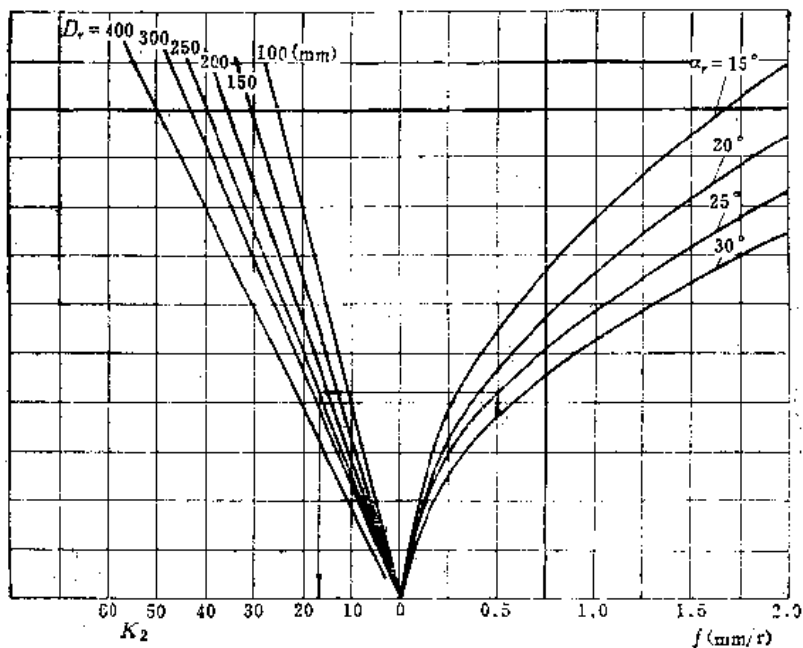


图2

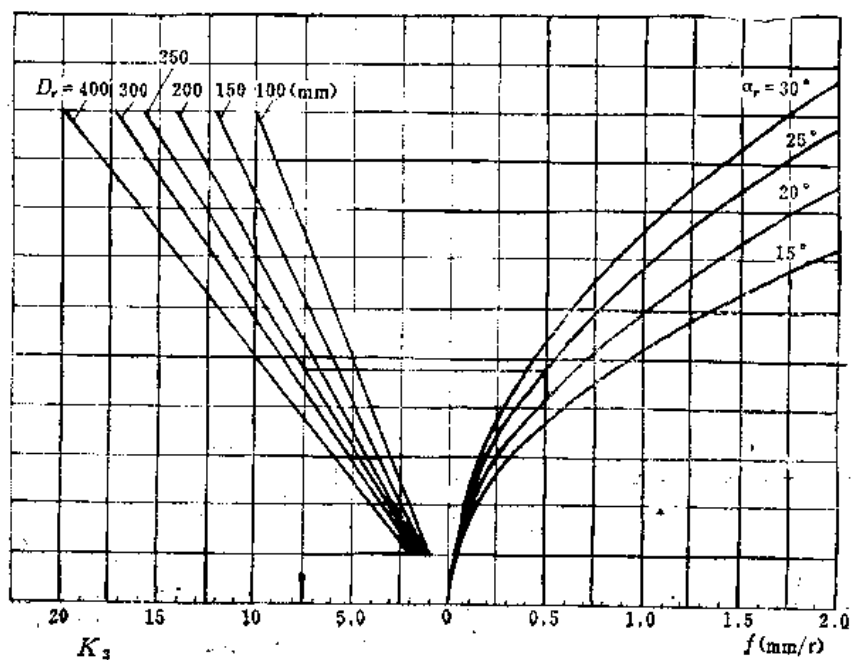


图3

〔例〕: 已知 $t_0=3\text{mm}$, $\sigma_0=400\text{N/mm}^2$, $f=0.5\text{mm/r}$, 减薄率 $\psi=20\%$, 工件半径 $R_0=32.5\text{mm}$, 主轴转速 $\omega=400\text{r/min}$, 旋轮直径 $D_v=250\text{mm}$, 旋轮成形角 $\alpha_r=25^\circ$, 正旋。求旋压力。

由图1, 按 ψ 、 m 、 α_r , 正旋查得 $K_1=0.6$ 。由图2, 按 f 、 α_r 、 D_v 查得 $K_2=17$ 。由图3, 按 f 、 α_r 、 D_v 查得 $K_3=7.5$ 。由3.1.3.5图4查得 $K_4=1.5 \times 10^{-3}$ 。

于是可求得

$$F_s = 0.6 \times 17 \times 3 \times 400 = 12240\text{N}$$

$$F_1 = 0.6 \times 7.5 \times 3 \times 400 = 5400 \text{ N}$$

$$F_2 = 0.6 \times 0.5 \times 3 \times 400 = 360 \text{ N}$$

$$N = 1.5 \times 10^{-3} \times 360 = 0.54 \text{ kW}$$

机床作用力与旋压分力的关系及其粗略估算同剪切旋压。

3.1.4.6 工件质量

筒形变薄旋压件的壁厚精度，表面粗糙度和组织性能变化大体同剪切旋压。

表1是西德MBB公司采用的筒形变薄旋压件精度表。

表1. 筒形变薄旋压件精度

(mm)

工件尺寸		公差				
内径	壁厚	内径公差 不大于	椭圆度 不大于	弯曲度 1m内不大于	壁厚差 每批不大于	壁厚差 每件不大于
≤150	<1.0	±0.10	0.05	0.20	0.02	0.02
	1.0~2.0	±0.10	0.05	0.15	0.03	0.02
	>2.0	±0.15	0.10	0.15	0.03	0.02
>150 ~250	<1.0	±0.10	0.10	0.35	0.03	0.02
	1.0~2.0	±0.15	0.12	0.25	0.03	0.02
	>2.0	±0.15	0.15	0.25	0.04	0.03
>250 ~400	<1.0	±0.20	0.20	0.45	0.03	0.02
	1.0~2.0	±0.25	0.25	0.45	0.03	0.02
	>2.0	±0.25	0.30	0.45	0.04	0.04
>400 ~600	<1.0	±0.25	0.35	0.45	0.03	0.03
	1.0~2.0	±0.30	0.40	0.50	0.04	0.03
	>2.0	±0.35	0.50	0.50	0.05	0.04

表2列出了影响筒形变薄旋压件几何精度的要素。

表2. 筒形变薄旋压件几何精度影响要素^[4]

影响因素	工件质量	内径精度	内径胀缩	壁厚差	直线度	内表面粗糙度	外表面粗糙度
	工艺因素	旋压方向(正、反)	✓	✓		✓	
	减薄率	✓	✓			✓	
	进给比	✓	✓				✓
	转速		✓				✓
	加热温度	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	冷却润滑		✓			✓	✓
	分层、螺距	✓	✓				
	旋轮—芯模间隙	✓	✓	✓			

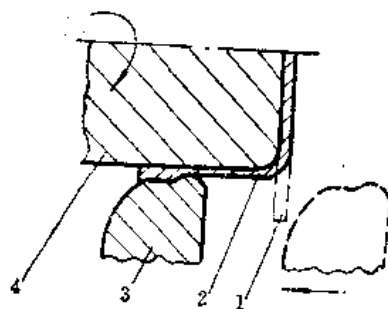
(续)

影响因素		工件质量					
		内径精度	内径胀缩	壁厚差	直线度	内表面粗糙度	外表面粗糙度
工装因素	旋	成形角	✓	✓			✓
		圆角半径		✓			✓
		压光角		✓			✓
		压光带长度		✓			✓
	轮	引导角	✓	✓			
		台阶高	✓	✓			
		旋轮直径		✓			✓
		径向跳动量	✓		✓	✓	
		表面粗糙度					✓
芯模	径向跳动量	✓		✓	✓		
	表面粗糙度					✓	
毛坯因素		壁厚差	✓		✓	✓	
		材质均匀度	✓		✓	✓	
		硬度		✓			
		热处理状态	✓	✓	✓	✓	
		内径差	✓			✓	
		冷作硬化		✓			
		毛料厚度	✓	✓			✓
		表面状况					✓

3.1.4.7 一些特殊旋压方式及特点

3.1.4.7.1 简单压延旋压与筒形变薄旋压复合

其工作原理见图，可以采用平板毛坯并在一道次中完成。它适于旋压系数 $\beta=$

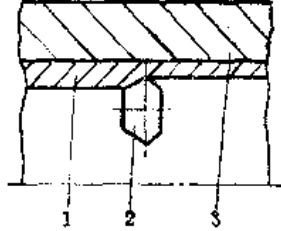


1—毛料；2—工件；3—旋轮；4—旋压模。

$\frac{D_0}{d} \leq 1.4$ 的铝板成形。但需采用带大圆弧及引导段与成形段的特殊旋轮。

3.1.4.7.2 内旋压

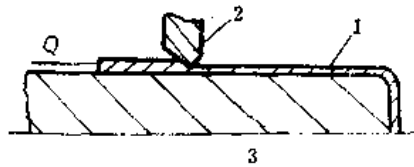
其工作原理见图，可以旋制内表面带环形筋及外表面要求高的大、中直径管件。



1—毛料；2—旋轮；3—旋压模。

3.1.4.7.3 张力旋压

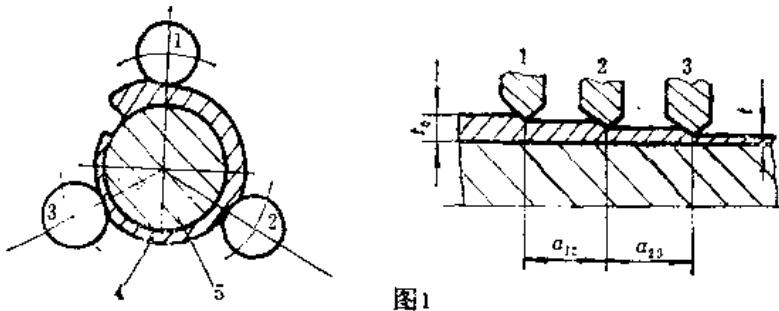
其工作原理见图，可以减少旋轮前材料隆起，提高极限减薄率和产品精度，但需采用特殊的保持张力Q稳定的装置。特别适于长细比大的管件旋压。



1—毛料；2—旋轮；3—旋压模。

3.1.4.7.4 分层错距旋压

其工作原理见图1，各旋轮在径向分层并在轴向错距。可以在一个道次中完成通常需要几个道次的工作，提高工效，提高直径精度并减少喇叭口长度。但旋压力与功率相应增大。毛坯起旋处应预制相应的台阶。



1, 2, 3—旋轮；4—工件；5—旋压模。

各旋轮压下量的分配应使各轮的旋压力大体相同。各旋轮型面参数的选择宜取

$$r_{r1} \geq r_{r2} \geq r_{r3} \tag{1}$$

$$a_{r1} \leq a_{r2} \leq a_{r3} \tag{2}$$

式中1、2、3为轮号，按先后工作顺序排列。

错距量 a 的选择应不使后轮的轨迹超越前轮

$$a \geq a' + a'' + a''' \quad (3)$$

式中 a' 为几何最小错距量, 可作放大图得出, 见图 2 示例。 a'' 为实际进给附加值。正旋时, 第 1、2 轮间及第 2、3 轮间的附加值分别为

$$a''_{23} = -\frac{f\psi_{12}}{N_r} \quad (4)$$

$$a''_{12} = -\frac{f(1-\psi_{12})\psi_{12}}{N_r} \quad (5)$$

式中 f ——进给比;
 ψ_i ——减薄率;
 N_r ——旋轮数。

反旋时的附加值为

$$a''_{12} = \frac{f}{(1-\psi_{12})N_r} \quad (6)$$

$$a''_{23} = \frac{f}{(1-\psi_{12})(1-\psi_{11})N_r} \quad (7)$$

a''' 为调整误差。

3.1.4.7.5 滚珠旋压^[8]

其工作原理见图 1, 包括正旋与反旋。一般用于旋制壁厚范围为 0.05~0.5mm 的薄壁管, 最小直径可达 2~3mm。

道次减薄率 ψ , 常用 20~25%。

进给比 f 取

$$f \leq [c(1-\psi_i)]^4, \text{ mm/r} \quad (1)$$

c 按表 1 选择

表 1. 系数 c

材料	LF21	LY12	45	10	1Cr18Ni9Ti
c	0.45	0.47	0.49	0.51	0.55

滚珠工作区入口处的成形角 α_{ri} 见图 2, 其适宜值由表 2 选择。

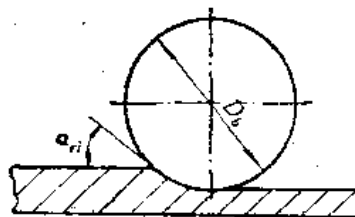


图 2

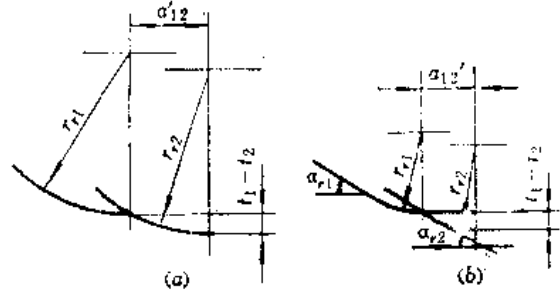


图 2

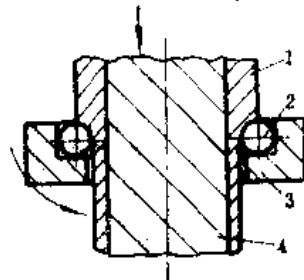


图 1

1—工件; 2—滚珠; 3—滚珠盘; 4—旋压模。

表2. α_{r_i} 适宜值

材 料	磷锡青铜 QSn6.5-1 QSn4-3	铝合金	铜及铜合金	1Cr18Ni9Ti	4Cr13
$\alpha_{r_i} (^{\circ})$	20~25	20~22	20~22	20~22	20~22

滚珠直径 D_s 由下式计算

$$D_s = \frac{2(t_0 - t)}{1 - \cos \alpha_{r_i}} \quad (2)$$

D_s 过小, 表面不光; 过大, 母线不直。旋压高精度管时, 同一盘滚珠直径差应不大于 0.002mm。

一盘滚珠的数量 n_s 要保证各滚珠的间隙 (见图 3):

$$Z_s \geq 0.0025D_s \quad (3)$$

$$n_s \leq \pi / \sin^{-1} \left(\frac{0.5D_s}{d + D_s} \right) \quad (4)$$

滚珠盘有可调与不可调式。前者见图 4 示例。

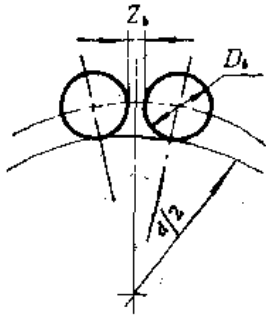


图3

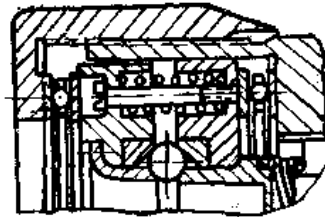


图4

3.1.5 旋压机床

旋压机床的分类见图 1。它通常包括主轴箱、旋轮座、尾座、床身等主要部件, 其主要运动为旋转运动和进给运动, 由主轴及旋轮座部分来完成。图 2 是双轮卧式旋压机 SY-6, 图 3 是三轮框架卧式旋压机 QX63-20, 图 4 是 25 t 四柱式立式旋压机的外观。

表 1 列出一些国产通用液压旋压机的主要性能参数, 其中 PX-1, PX350-1 主要用于普通旋压, SY-2A 则兼有单座标和双座标两套油压系统分别用于变薄和普通旋压, 其余主要用于变薄旋压。QX-3 兼有一对旋轮座供双轮旋压和一个框架供三轮旋压。25t 立式旋压机可兼供三轮旋压及滚珠旋压之用。除几种立式外均采用液压仿形。

表 2 列出几种国产普通旋压专用机床的主要性能规格, 其中 YJ 型主要用于铝制品行业, TY 型主要用于搪瓷品行业。图 5 和图 6 分别为 TY-1A 及 TY-2A 的顶视简图。

图 7 是用于大型封头旋压的专用旋压机。用可运动的内辊轮代替了大型芯模。

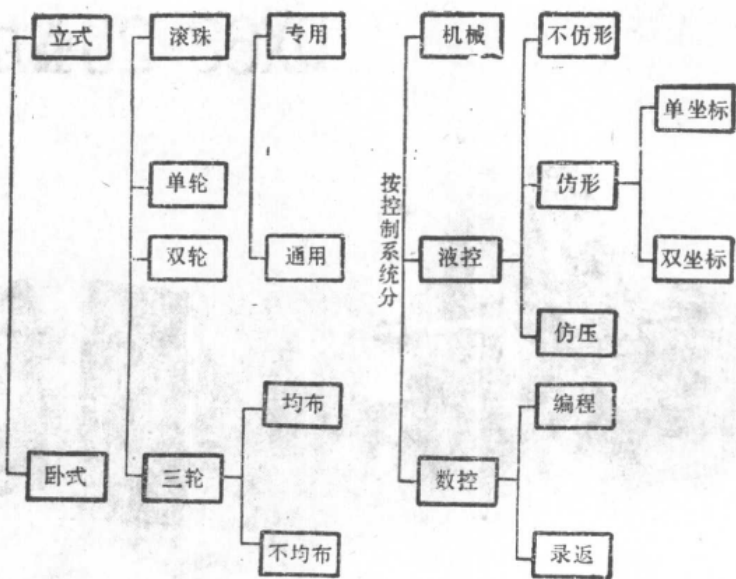


图1

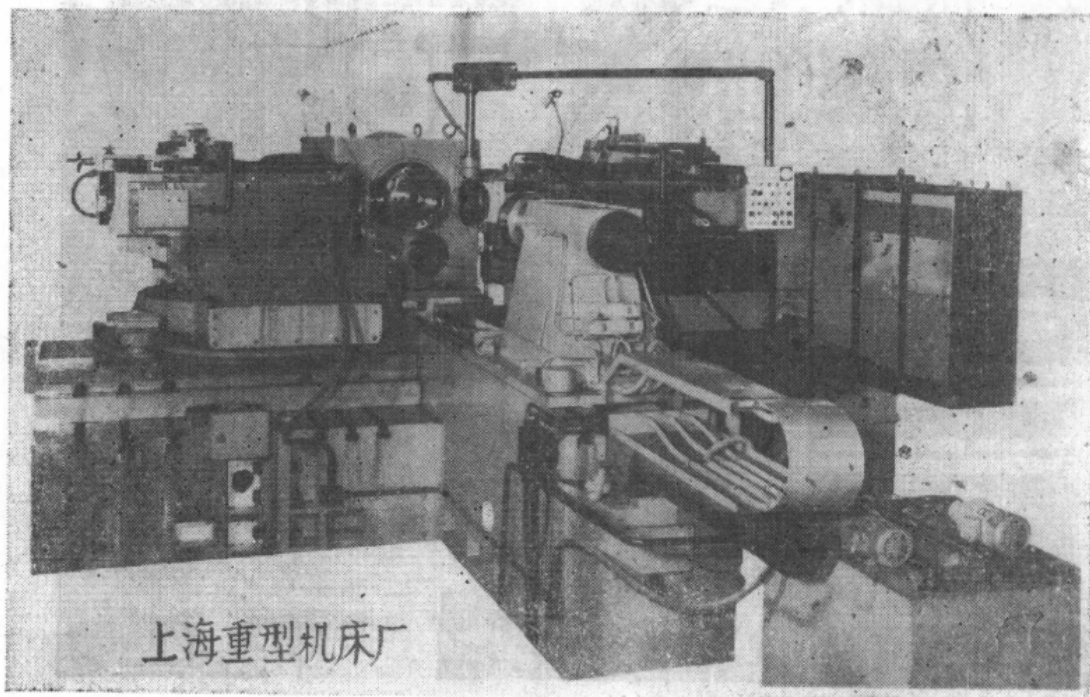


图2

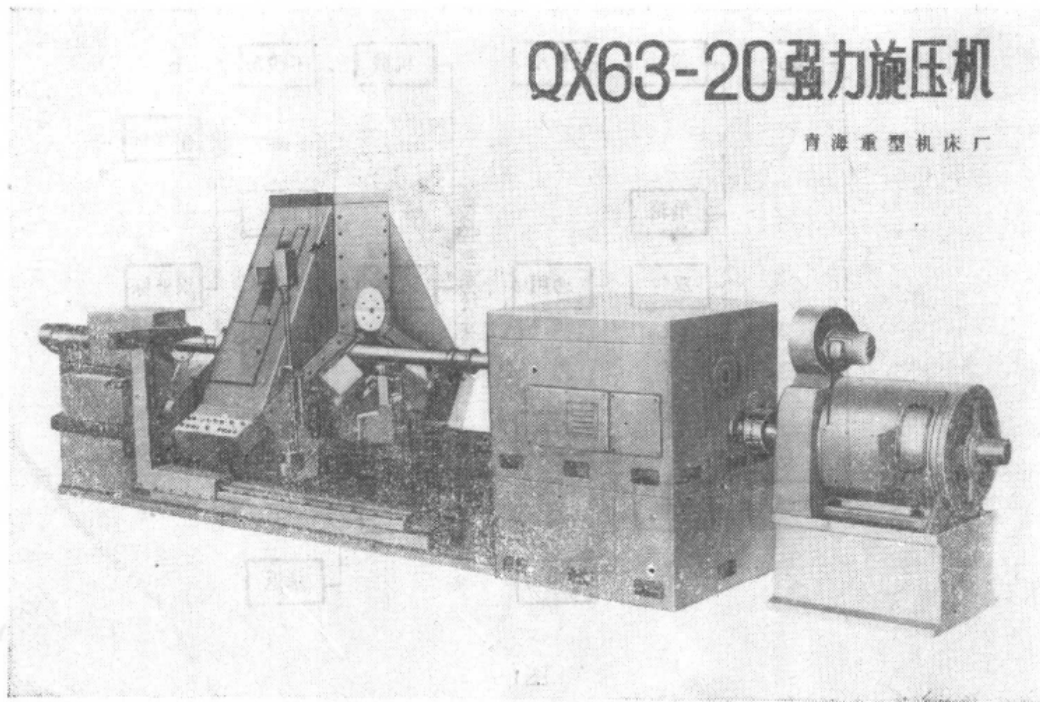


图3

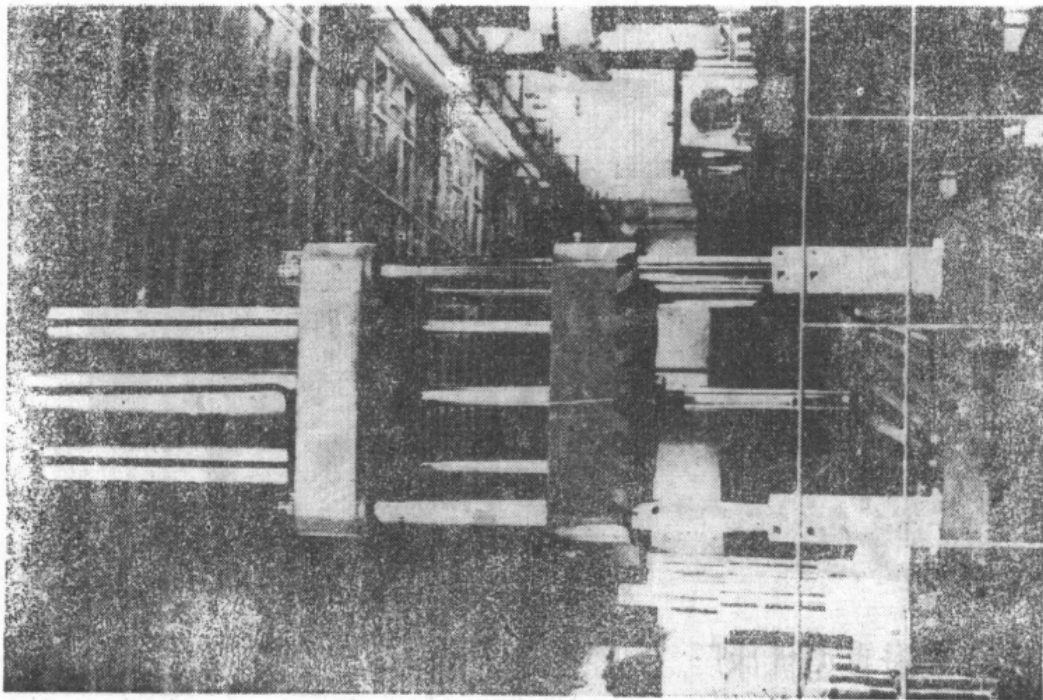


图4

表1. 一些国产通用液压旋压机主要性能规格

形 式		单 轮 卧 式			双 轮 卧 式				
型 号		PX-1	PX350-1	SY-2A	SY-3	SY-4	SY-6	XC450	WO29
中心高或工件半径(mm)		350	350	600	630	400	750	450	1250
中心距(mm)		1200	900	300/1300	200/2500	800/3000	300/2800	750/1680	
毛料 厚度 (mm)	铝	3		8		40	80		
	软钢	1		3					
	不锈钢				12	12	20		
主缸 压力 (kN)	纵	20		40	200	200	400	80	600
	横	20	15	25	200	200	400	60	600
	尾顶	10			150	150	280	40	600
油缸 行程 (mm)	纵	800	300	700	1200	2700	1400	1000	2700
	横	350	275	500	250	400	320	275	500
	尾顶								
	尾纵移								
	尾横移								
主 轴	转速 (r/min)	200/1120	200/1500	16/620	16/630	63/400	16/400	24/530	10/100
	挡次		无级					无级	无级
	功率 (kW)	5	10	10	75	55	125	22	320
外形尺寸m ³		2.73×1.68 ×1.34	2.2×1.6 ×2.0	5.00×2.75 ×2.05					
设计 单位	北京航空 工艺研究 所	沈阳东北 机器制造 厂	北京航空 工艺研究 所	北京航空 工艺研究 所	同左	同左	西安重型 机床研究 所	航天部, 武汉重型 机床厂 武汉重型 机床厂	
	瓦房店防 爆器材厂		瓦房店防 爆器材厂	上海重型 机床厂					
其它特征		手操纵	带靠模板 自动转 位,带反 推棍		压力同步	压力同步	位置同 步,主轴 恒线速	压力同 步,主轴 恒线速	
形 式		双 轮 卧 式		三 轮 卧 式		三 轮 立 式			
型 号		QX-3	QX-3	QX63-20	QX-2	240	SY-5	25	
中心高或工件半径(mm)		880	50/300	30/150	650/1000	30/120	50/110	7.5/30	
中心距(mm)		2000	8000	2000/3000	1100/2200	2200			
毛料 厚度 (mm)	铝	40	60		80	12			
	软钢	20			25				
	不锈钢	15	25	20		8	12		

(续)

形 式		双轮卧式	三轮卧式		三 轮 立 式			
型 号		QX-3	QX-3	QX63-20	QX-2	240	SY-5	25
主缸 压力 (kN)	纵	250	600	400	700	200	400	250
	横	300	600	200				
	尾顶	150						
油缸 行程 (mm)	纵	1100	6000	2000	1100	2000	2100	1200
	横	350	200	120	350			
	尾顶							
	尾纵移							
	尾横移							
主轴	转速 (r/min)	16/350	16/350	80/630		60/165		
	挡次	无级	无级	无级	无级			无级
	功率 (kW)	75	75	75	140	40		2.2
外廓尺寸(m ³)		17.2×5.8 ×2.2				3.2×2.7 ×6.8	3.5×3 ×6.8	
设计 制造 单位	有色金属 研究总院	同 左	青海重型 机床厂, 有色院, 兵器部 青海重型 机床厂	有色金属 研究总院	同 左	北京航空 工艺研究 所, 612 所	上海锻压 机床厂	
其它特征			三轮不对 称	可反旋跟 踪	主轴纵向 进给	不仿形	不仿形	不仿形

表2. 几种国产普旋专用机的主要性能规格

型 号	TY1A	TY2A	YJ-001	YJ-002	YJ-035
主要功能	收口, 切边, 卷边	扩径成形	切边, 卷圈, 卷方, 抛光	立式转盘多凸轮收口	收口, 滚丝, 切边
工作直径(mm)	80~400	14~400	160~340	140~260	114
主轴转速(r/min)	600, 800, 1000	600, 800, 1000	1800~2000	1800, 2000	1200
主轴功率(kW)	3	5.5	4	7.5	3
油泵功率(kW)	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
主要特征	主刀架机械靠模 卷边刀架调整范 围: 纵: 20mm 横: 150mm 切刀上下: 40mm	主刀架机械靠模 工件外形支架	有切边刀架 卷边刀架 抛光刀架 纵向下料及轴向 下料机械手 上料缸 尾顶缸 全自动工作	用偏心内胎 凸轮盘转速 10r/min 凸轮盘功率 1.5kW 凸轮数11个 第1~8收口用 第9挑筋用 第10翻边用 第11卷边用	主刀架机械靠模 有滚丝刀架 切边刀架 上、下料装置 经11~13道次收 口 全自动工作

(续)

型 号		TY1A	TY2A	YJ-001	YJ-002	YJ-035
主 刀 架	行程 (mm)	纵	200	250		100
		横	60	60		100
	纵向 速度 (mm/ sec)	慢	10~160	10~160		
		快	166	166		
尾 顶	行程(mm)	240	240			500
	顶力(kN)	0~7.3	0~7.3			
外形尺寸(m ³)		2×1.36×1.2	1.8×0.75×1.4	2.5×1.16×1.7		2.6×1×1.5
自重(t)		2.2	2.2	2.5		1.7
生产效率(个/min)		5~6	4~6		5	2~2.5
产品对象		痰盂等	痰盂, 便器, 提 环柄等	铝锅等	铝茶壶等	1kg背水壶
研制单位		石家庄红星机 械厂	同左	扬州机床厂	同左	同左

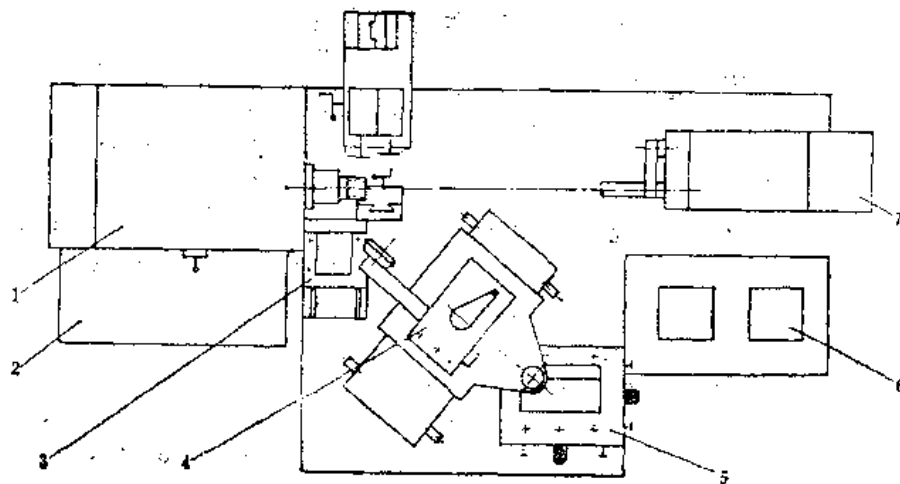


图5

1—主轴箱；2—控制台；3—接刀轮座；4—顶压刀架；5—靠模支架；6—泵站；7—尾架。

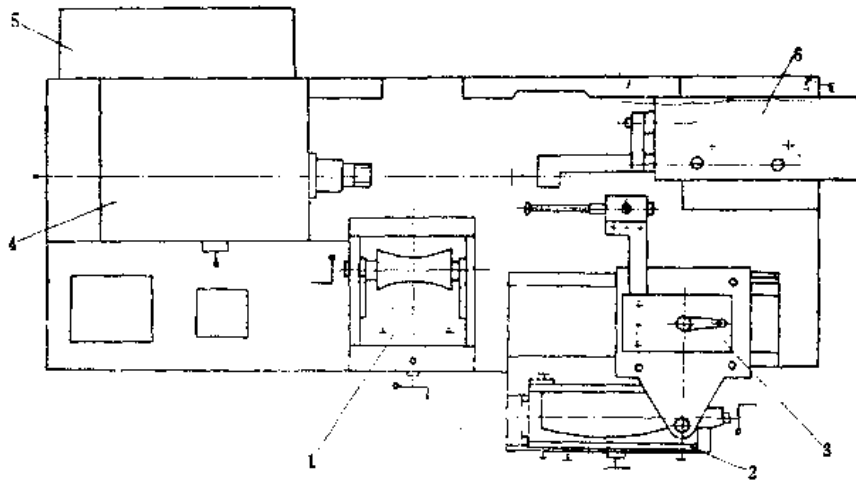


图6

1—拉挤葫芦支架；2—靠模支架；3—旋轮架；4—主轴箱；5—操纵台；6—尾座。

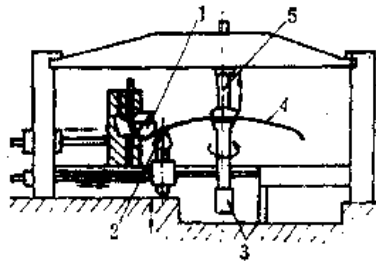


图7

1—外旋轮；2—内轮；3—支轴；
4—工件；5—毛料支撑轴。

参 考 资 料

- [1] 藤山益次郎，回轉塑性加工学，近代編集社，1981。
- [2] 日本塑性加工学会，スピニング 加工技術，日刊工業新聞社，1984。
- [3] В. П. Романовский, Справочник по холодной штамповке, л. 347-357 Госу. Нау. Техн. Изд. Москва, 1959.
- [4] 陈适先，贾文铨，赵洪文，曹庚顺，《强力旋压工艺及设备》，国防工业出版社，1986年。
- [5] F. Horner, J. A. Oates, Sheet Metal Work, Chap. 6 Saxton Pub. Co. 1955.
- [6] Рузанов Ф. И., Критерии выбора процессов ротационной обработки осесимметричных заготовок, КИИП 1972, №3.
- [7] 陈适先，《强力旋压及其应用》，国防工业出版社，1986年。
- [8] 兰书第，《薄壁管形零件的钢球旋压》，国防工业出版社，1976年。
- [9] E. G. Kegg, A Study of Sheet Spinnability of metals, Tran. of A. S. M. E. 61, nov.
- [10] J. Stewart, Basic data for Sheet forming, Machinery 63, oct, p. 100.

3.2 滚 弯

3.2.1 定义与范围

利用板料或型材作为毛料在滚弯机上弯曲成形称为滚弯。

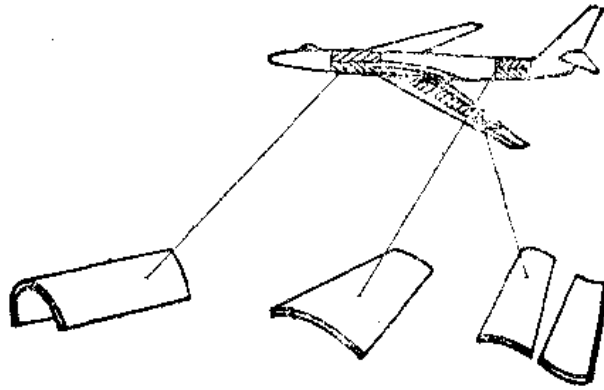
板料滚弯零件的外形有圆筒形的，圆锥形的与变曲率的；在厚度方面有等厚度的与变厚度的。这类零件的弯曲成形一般采用三轴滚弯机。滚弯过程有手工操纵的，也有采用靠模控制回弹量的。

型材滚弯零件的外形有等曲率与变曲率的两种。型材的剖面有角材、丁字形型材以及工字形型材等等。型材的毛坯有挤压的与板弯的两种。这类零件的弯曲成形一般采用四轮滚弯机。滚弯过程有手工操纵的，也有采用靠模控制回弹量的。

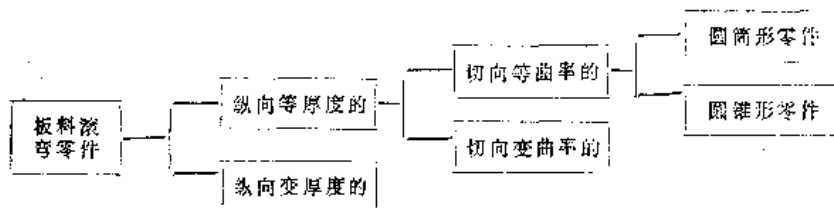
板料或型材滚弯零件在飞机、火车、雷达天线等结构中普遍作为结构零件。

3.2.2 板料滚弯零件分类及一般性问题

飞机的机身与机翼的蒙皮、油箱外壳等单曲度零件（见图）均采用板料在滚弯机内滚弯成形。板料滚弯零件的分类如表可列。



板料滚弯零件分类



板料滚弯过程的一般性问题

零件形状	一般性问题	示意图
圆筒形零件	<ol style="list-style-type: none"> 1. 控制回弹量 (滚轴中心距的确定); 2. 纵向很长的零件中部凸起 3. 纵向呈锥度 	
圆锥形零件	<ol style="list-style-type: none"> 1. 控制回弹量 (滚轴两端中心距的确定); 2. 消除扭曲畸变 	
变曲率零件	控制回弹量 (滚轴两端中心距或横梁、上滚轴下降值①的确定)	

①下降值在滚弯过程中是变量。

3.2.3 圆筒形零件的滚弯

3.2.3.1 上下滚轴中心距的确定

一般三轴滚弯机的滚轴中心距(Y_0)可按下式计算(图1):

$$Y_0 = \sqrt{(R_{n0} + t + R_2)^2 - a^2} - R_{n0} - R_1 \quad (1)$$

式中 R_{n0} ——滚弯零件内层纤维回弹前的曲率半径;

t ——零件厚度;

a ——下滚轴水平中心距;

R_1 ——上滚轴的半径;

R_2 ——下滚轴的半径。

对于KΓJI-2 (110t) 的板料靠模滚弯机, 横梁下降值(H_0)可按下式计算(图2):

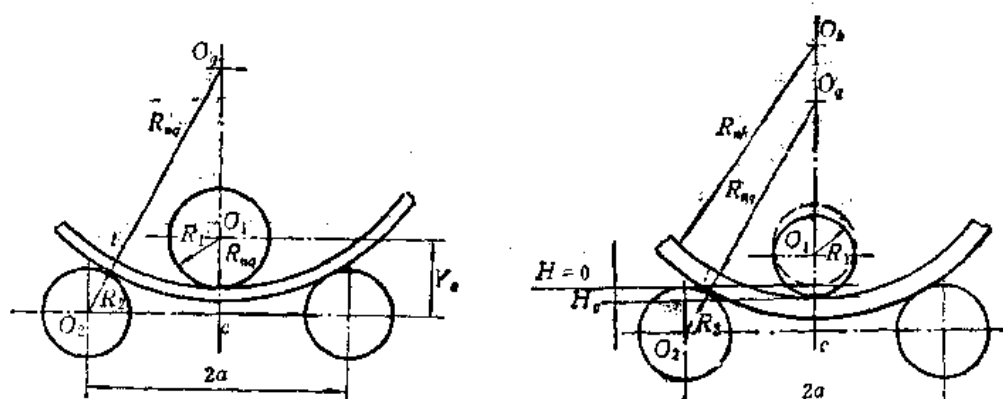
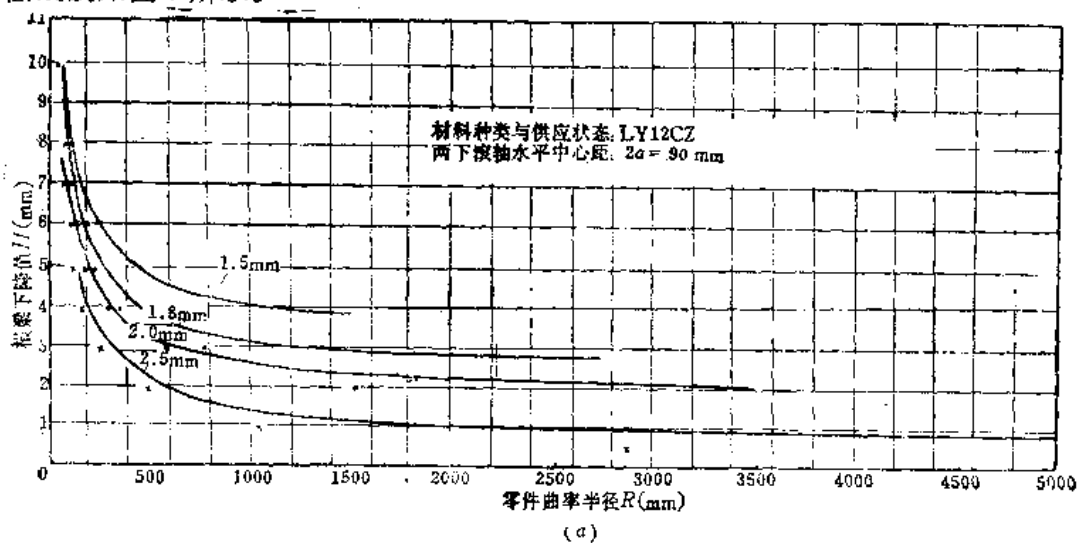


图1

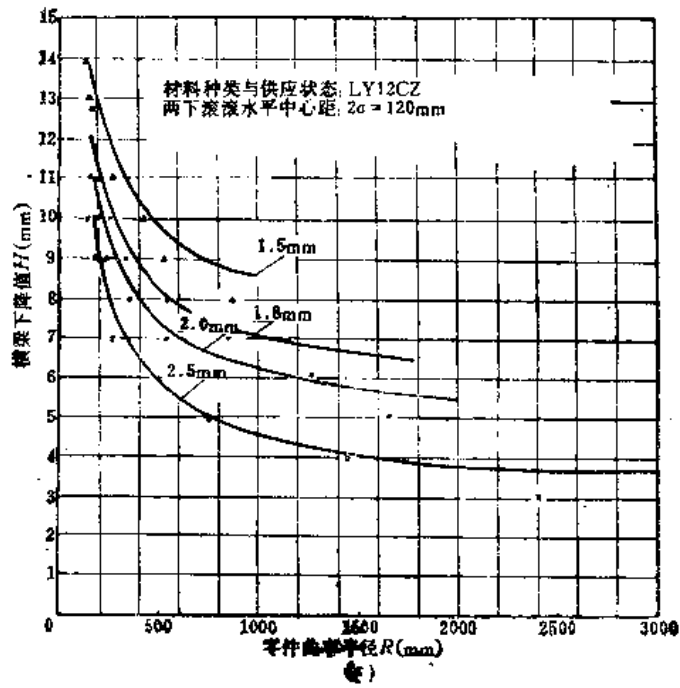
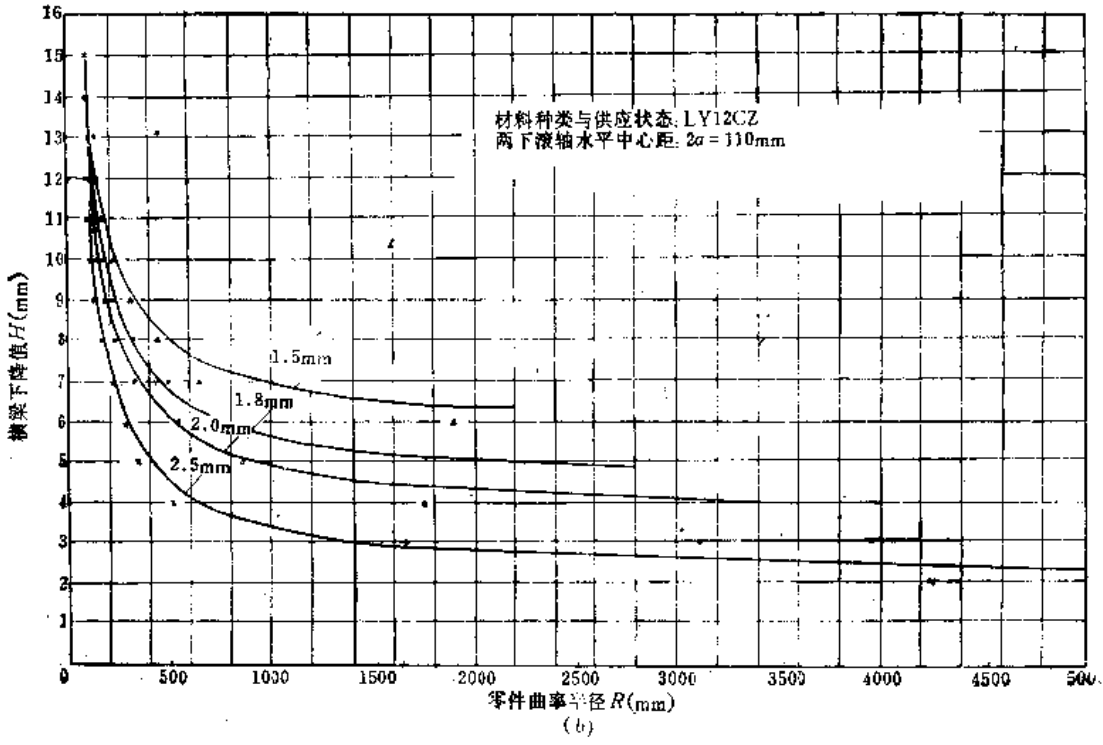
图2

$$H_0 = R_{n0} + R_2 - \sqrt{(R_{n0} + t + R_2)^2 - a^2} \quad (2)$$

该滚弯机: $R_1 = 30\text{mm}$; $R_2 = 40\text{mm}$; $2a$ 可取90、110、120、130mm。板料厚度较大时, $2a$ 值可选大些; 反之选小些。采用靠模滚弯零件时, $2a$ 值直接决定了横梁的最大下降值 H_{max} , 而后者与靠模型面的最大下降值 H_{tmax} 有关。 H_0-R (零件曲率半径)的曲线族如图3所示。



(a)



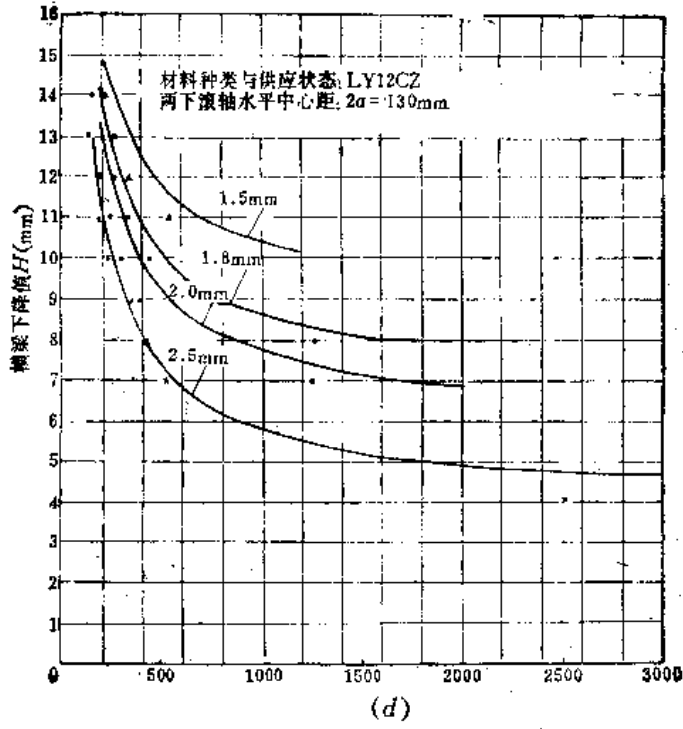


图3

对于弯曲半径较小的滚弯零件，滚弯之后随之少量的手工校形工作是必要的。滚弯后的零件应留有合理的校形余量，即每边约比样板（或卡板）略小 $\delta=2\sim 4\text{mm}$ （见图4）。对于相对弯曲半径较大的滚弯零件，滚弯后的曲率必须按外形检验标准进行检验，即对此类零件按要求在一定的外力（ P ）作用下能贴合卡板为准（见图4）。

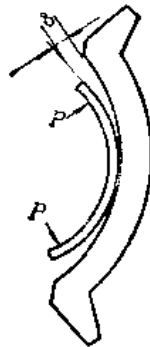
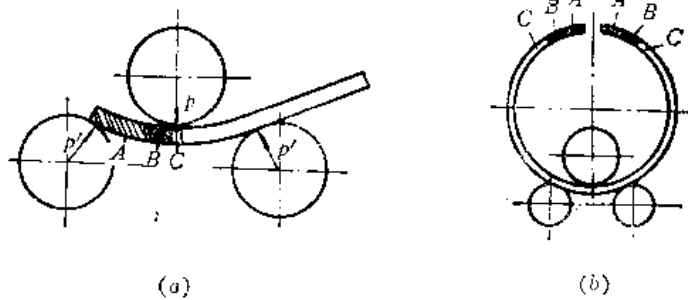


图4

3.2.3.2 直线段与非圆段的处理方法

对称的三轴滚弯所成形的零件，其两端会出现直线段A与非圆段B（见图）。

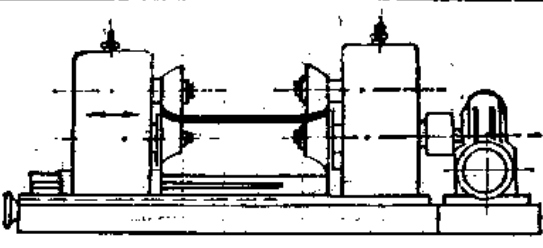
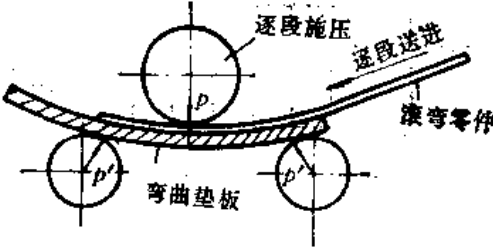
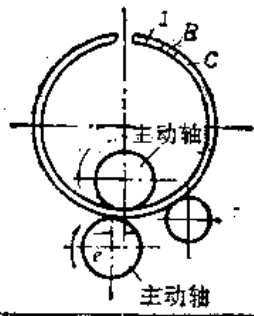


(a)

(b)

减小直线段与非圆段的方法如表1所列:

表1. 减小直线段与非圆段的方法

方 法	示 意 图	适用范围
采用预弯两端的滚轮式专用机床		1. 厚度较大; 2. 批量较大
采用弯曲垫板		厚度较大且纵向较长
采用非对称的滚弯机		曲率半径较大
组合滚弯, 成形后分开		1. 切向较短; 2. 厚度较薄

KΓJI-2与KΓJI-3的滚弯机下滚轴中心距 ($2a$)与板料的厚度 (t) 的关系见表2。

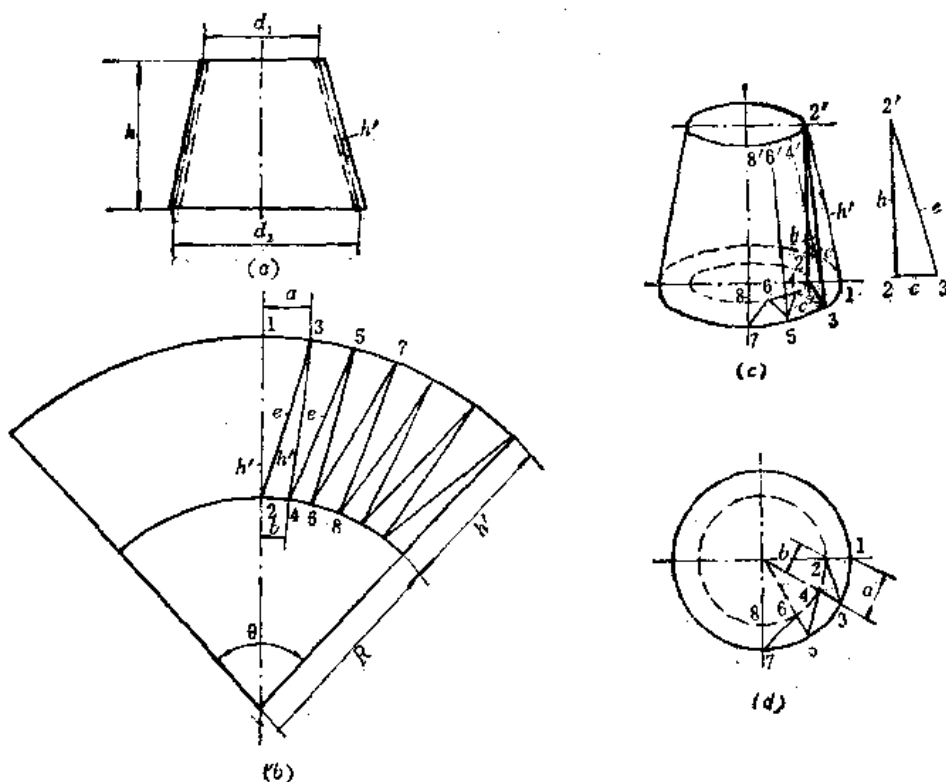
表2. 滚轴中心距($2a$)与板料厚度的关系 (mm)

板 料 厚 度	机 床 型 别	
	KΓJI-2	KΓJI-3
<2.5	90	210
2.5~3.0	90	210
3.0~4.0	90~110	210
4.0~6.0	110~120	210
6.0~12	—	210

3.2.4 圆锥形零件的滚弯

3.2.4.1 毛料展开方法

圆锥形零件的展开面呈扇形, 可按图中所示几何关系求得 h' 、 R 与 θ 值:



$$\begin{cases} h' = \sqrt{\left(\frac{d_2 - d_1}{2}\right)^2 + h^2} \\ R = \frac{d_1 h_1'}{d_2 - d_1} \\ \theta = \frac{\pi(d_2 - d_1)}{h'} \end{cases}$$

再按装配要求另加工艺余量。

当零件较长且顶部与根部直径相差较小时,可采用三角形作图法获得毛料的展开图。具体步骤如下:

(1) 由图(c)中的四分之一圆周作三等分。圆锥顶部的等分点为 $2'$ 、 $4'$ 、 $6'$ 、 $8'$;底部为 1 、 3 、 5 、 7 。

(2) 依次连接 $\overline{12}$ 、 $\overline{23}$ 、 \dots 、 $\overline{78}$ 等线段;其中 $\overline{12} = \overline{34} = \overline{56} = \overline{78}$; $\overline{23} = \overline{45} = \overline{67}$ 。

(3) 利用三角形作图法求线段 $\overline{2'3}$ 的长度 e 。作直角三角形 $\Delta 2'23$,其中 $\overline{2'2} = h$; $\overline{23} = c$,故可由直角三角形测得 $\overline{2'3}$ 的长度 e 。

(4) 作展开图。首先作线段 $\overline{12} = h'$ (图b), h' 值可由主视图测得或利用式(1)求得。而后以 2 点为圆心,以 e 为半径作圆弧;以 1 点为圆心,以 a 为半径(a 取自图d)作圆弧,两个圆弧的交点 3 即毛料外圆弧上的一点。然后以 3 点为圆心,以 h' 为半径作圆弧;以 2 点为圆心,以 b 为半径(b 取自图d)作圆弧,两个圆弧的交点 4 即毛料内圆弧上的一点。 \dots 依此类推,求出毛料外圆弧上各点。最后作一扇形板(其大小即为一个等分的扇形面积),按各等分点的位置翻板绘出各等分点间的内外圆弧,即得整个毛料展开图。

对于大型滚弯零件的毛料展开采用上述方法可以较迅速地获得较为准确的毛料外形，但等分间距不能太大，否则毛料尺寸的误差较大。

3.2.4.2 消除扭曲变形

圆锥形零件滚弯时易产生扭曲变形（见图1）。消除扭曲现象的可靠方法之一是上滚轴合理地倾斜，下滚轴平行，在滚弯过程中毛料采用分段-重叠滚弯成形法。图2所示为圆锥形零件分段-重叠滚弯方法的步骤：

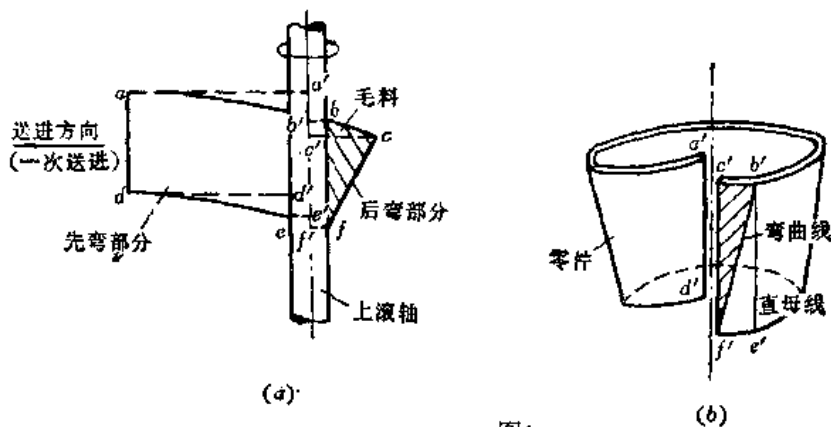


图1

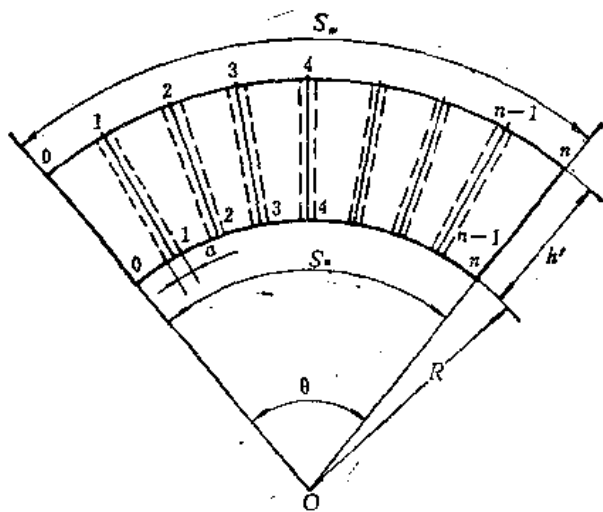


图2

(1) 将外圆弧 S_o 与内圆弧 S_i 的长度各分为间距相等的 n 个等分 1-2、2-3、……(n-1)-n 等。各等分的间距约为上滚轴直径的 1.5 倍。

(2) 滚弯之前可采用小型滚弯机预弯，手工成形或弯曲垫板预弯等方法成形两端。

(3) 滚弯时首先将上滚轴对准毛料上的等分线 1-1 施加弯曲力，而后在 0-0 至 2-2 两个区间内滚弯一次。提起上滚轴，转动毛料，使等分线 2-2 对准上滚轴的轴线。将上滚轴对准毛料上的等分线 2-2 施加弯曲力，而后在 1-1 至 3-3 两个区间内滚弯一次，…依此类

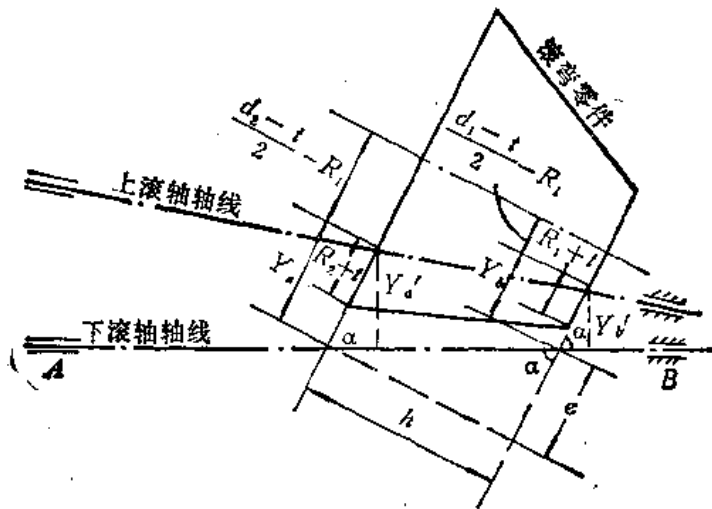
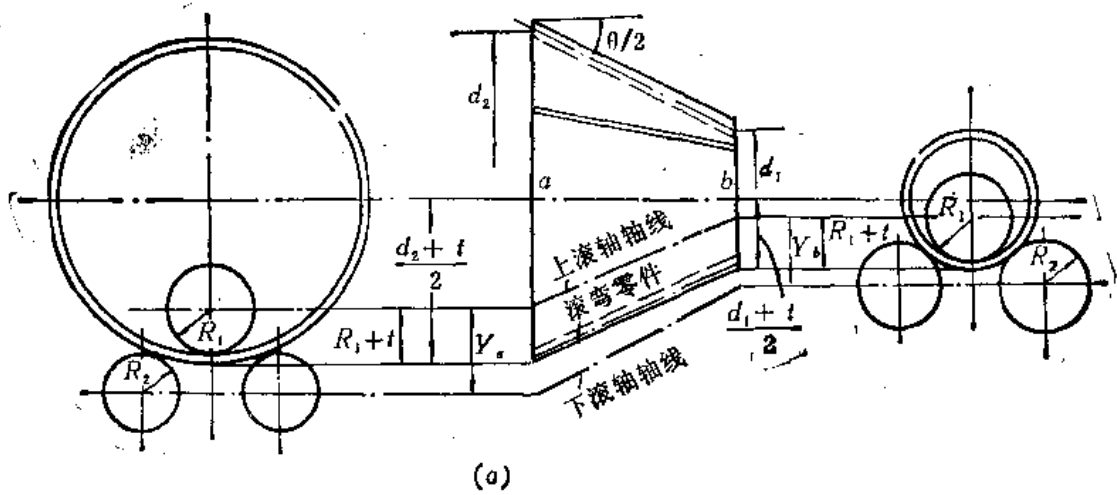
推。为便于观察区间等分线是否对准上滚轴的轴线，可在这些区间线的左右两边绘制辅助线（图中虚线）。每对辅助线的间距 a 约比上滚轴的直径大2 mm左右。

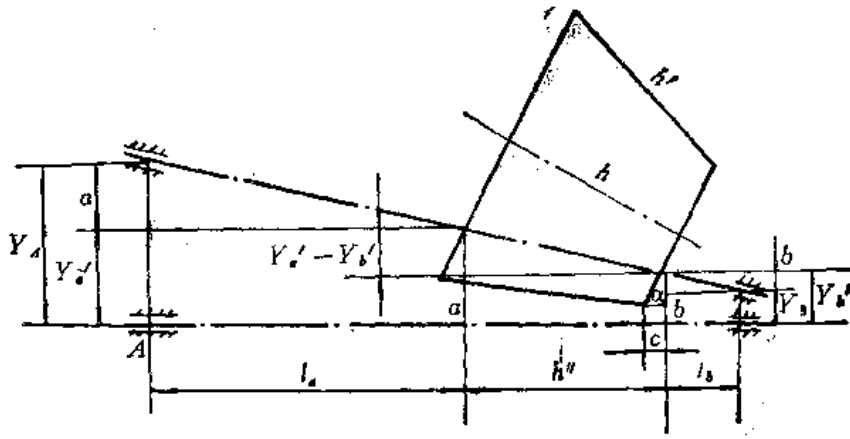
3.2.4.3 上下滚轴中心距的确定

对于大锥度的圆锥形零件，按图中所示的几何图形可得上下滚轴两端的垂直中心距 Y_A 与 Y_B 为，

$$\begin{cases} Y_A = Y_0 \sin \alpha + \frac{l_1(Y_0 - Y_1)}{h - (Y_0 - Y_1)} \\ Y_B = Y_1 \sin \alpha + \frac{l_2(Y_0 - Y_1)}{h - (Y_0 - Y_1)} \\ \alpha = \arctg \frac{2h}{d_2 - d_1 + 2(Y_0 - Y_1)} \end{cases} \quad (1)$$

按照圆筒形零件的计算方法求得底部与顶部内层纤维回弹前的曲率半径 $R_{1,1}$ 与 $R_{1,2}$ ，再利用3.2.3.1节式(1)求得上下滚轴的中心距 Y_0 与 Y_1 。





(c)

毛料距滚轴右端的位置由 $l_2 + c$ 而定, 其中

$$C = (R_1 + t) \cos \alpha \tag{2}$$

对于小锥度的圆锥形零件, 式(1) 可简化为:

$$\begin{cases} Y_A \approx Y_2 + \frac{l_2}{h} (Y_1 - Y_2) \\ Y_B \approx Y_1 - \frac{l_1}{h} (Y_1 - Y_2) \end{cases} \tag{3}$$

3.2.5 切向变曲率零件的滚弯

3.2.5.1 手工滚弯法

单件或小批量生产, 可采用手工操纵的方法滚弯切向变曲率的零件。

对于展向变曲率的机翼蒙皮(见图1), 按翼根与翼尖的翼弦等百分比线1-1', 2-2', ... n-n'等采用分段-重叠滚弯成形。

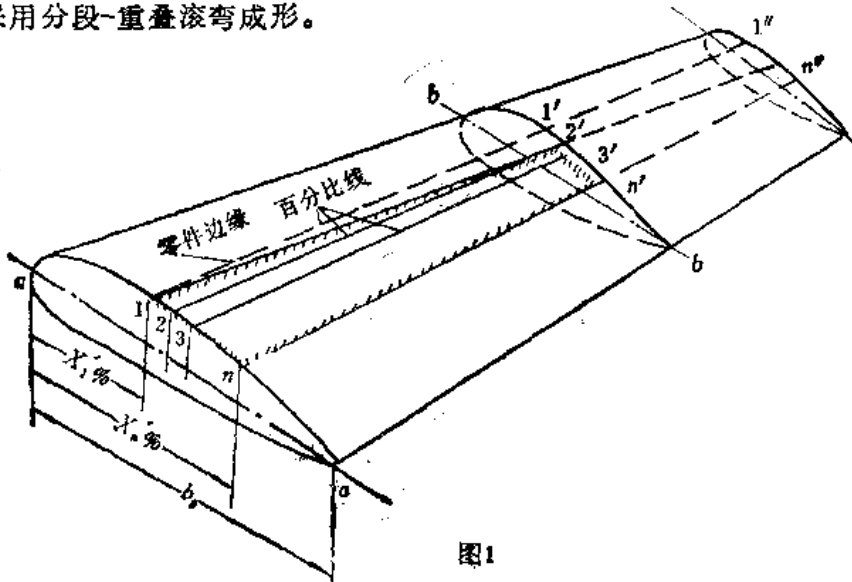


图1

滚弯之前, 毛料内表面上必须按样板划分百分比线(见图2)。滚弯的操作方法有两种:

(1) 逐段滚弯法。与 3.2.4.2 节所述的分段-重叠滚弯法相同。

(2) 逐遍滚弯法。

首先按各分段中曲率半径最大的半径 R_{12} 滚弯出圆弧 $1-1'$ (见图 3); 第二遍滚弯时上滚轴对准 2-3 段, 按 R_{23} ($< R_{12}$) 滚弯出半径为 R_{23} 的圆弧 $2-2'$; 依此类推, 直至最后按 $R_{(n-1)n}$ 滚弯出半径最小的 $(n-1)-n$ 段圆弧为止。

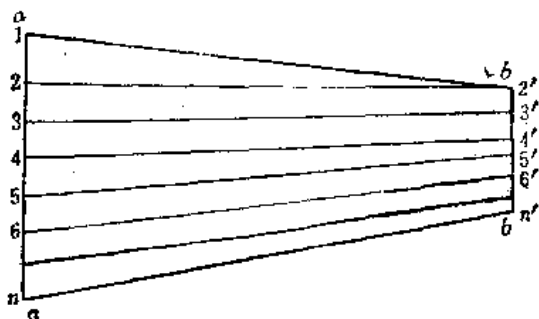


图2

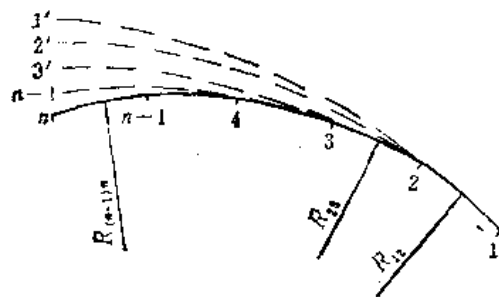


图3

毛料上各等百分比线上的距离可由样板划线测得。各段曲率半径的测量可采用半径仪。等百分比线的间距约为 5~10%。具体数据决定于蒙皮的厚度、长度以及翼型的变化。

滚轴两端中心距的计算方法与圆锥形零件类似。即利用半径仪从样板上测得 $a-a$ 与 $b-b$ 剖面 (见图 1) 上各段的内层纤维回弹后的曲率半径 R_{a1i} 与 $R_{a1i'}$ (见图 4), 再计算各段内层纤维回弹前的曲率半径 R_{a1i} 与 $R_{a1i'}$ 为:

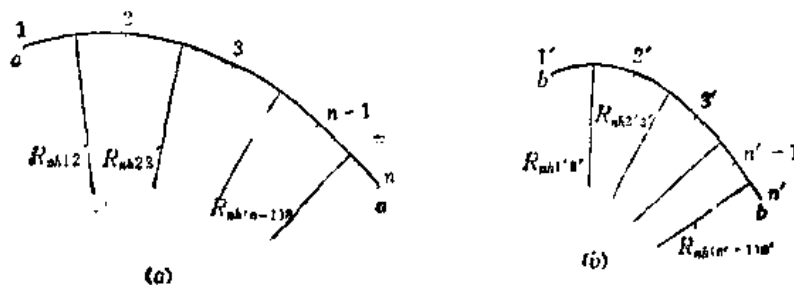


图4

$$\left. \begin{aligned} R_{a1i} &= \frac{R_{a1i}}{1.07 + 0.009 \frac{R_{a1i}}{t}} \\ (i=1, 2, 3, \dots, n-1; j=2, 3, 4, \dots, n) & \quad (1) \\ R_{a1i'} &= \frac{R_{a1i'}}{1.07 + 0.009 \frac{R_{a1i'}}{t}} \\ (i'=1', 2', 3', \dots, n'-1; j'=2', 3', 4', \dots, n') & \end{aligned} \right\}$$

利用式(1) 计算零件两端处上下滚轴在垂直方向的中心距 Y_{a1j} 与 $Y_{a1j'}$ 为:

$$\left\{ \begin{aligned} Y_{a1j} &= \sqrt{(R_{a1j} + t + R_2)^2 - a^2} - R_{a1j} + R_1 \\ Y_{a1j'} &= \sqrt{(R_{a1j'} + t + R_2)^2 - a^2} - R_{a1j'} + R_1 \end{aligned} \right. \quad (2)$$

滚轴两端的垂直中心距为:

$$\begin{cases} Y_{A'j} = Y_{Aj} + \frac{l_a}{h} (Y_{Aj} - Y_{B'j}) \\ Y_{B'j} = Y_{Bj} - \frac{l_b}{h} (Y_{Aj} - Y_{B'j}) \end{cases} \quad (3)$$

利用上式的计算值作为起始数据进行试滚弯而求得其试验值, 作为生产中参考。

3.2.5.2 靠模滚弯法

对于成批生产, 在 KГJI-2 型板料靠模滚弯机上利用靠模滚弯零件可以显著提高劳动生产率与零件质量。

3.2.5.2.1 靠模设计的原始依据

设计靠模的主要依据是:

- (1) 滚弯零件的几何形状与尺寸。
- (2) 靠模型面上滚柱的下降值与横梁下降值的比例 (对于 KГJI-2 型滚弯机为 1:2)。
- (3) 靠模的极限半径 (对于 KГJI-2 型滚弯机 $R_{max} = 125\text{mm}$; $R_{min} = 70\text{mm}$)。
- (4) 靠模的工作角度 α (对于 KГJI-2 型滚弯机可按 $\alpha = 0.396iB$ 进行计算)。
- (5) 滚弯机的横梁下降值 (H) ~ 零件曲率半径 (R) 回弹曲线族。

滚弯零件曲率半径的测量是采用半径仪 (见图 1) 直接测量外形检验样板的曲率半径。机翼上的蒙皮是变曲率的, 但可按等弧长分为若干区间, 将每一区间近似视为等曲率, 如图 1 所示。

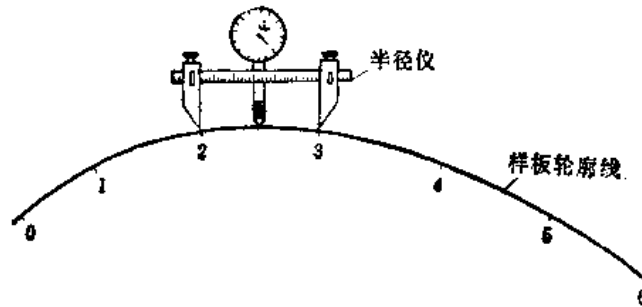


图1

KГJI-2 型滚弯机的靠模机构是盘状凸轮机构。靠模型面上任意一点的下降值与横梁下降值的比例为 1:2 (见图 2)。

靠模的射线半径有一定的极限范围。对于 KГJI-2 型的滚弯机的极限半径如上所述。靠模的整个轮廓线应处于极限半径范围内。

靠模的工作区域角度 (α) 与蒙皮零件的弧长 (B) 的对应关系可由图 3 的传动比求得。

靠模的转速为:

$$n_m = 0.207 \frac{Z_A}{Z_B} \cdot n_s$$

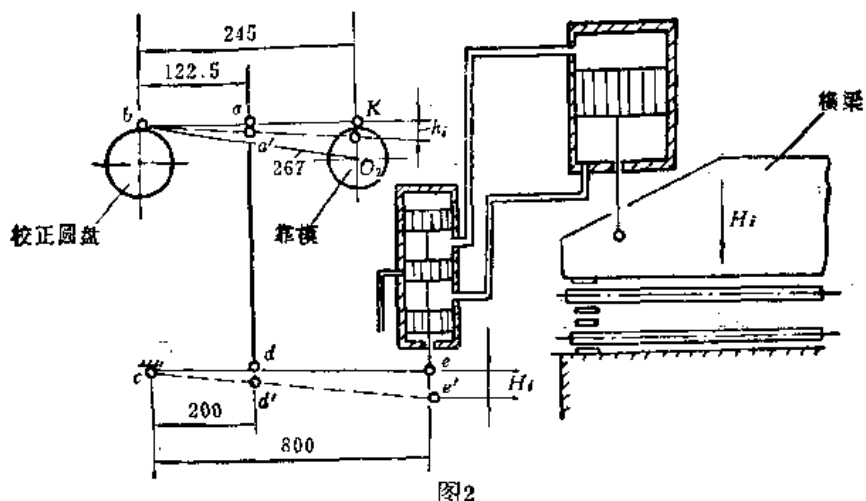


图2

式中 Z_A 与 Z_B ——挂轮 A 与 B 的齿数；

n_n ——靠模的转速；

n_s ——上滚轴的转速。

蒙皮零件的弧长 (B) 与上滚轴的直径 (D_s) 及其转速 (n_s) 存在下列关系：

$$B = \pi D_s n_s$$

由以上两式得：

$$n_n = \frac{0.207 Z_A}{\pi D_s Z_B} B$$

靠模工作区域的角度 α 为：

$$\alpha = \frac{0.207 \times 360^\circ}{\pi D_s} i B$$

式中

$$i = Z_A / Z_B$$

对于 KГЛ-2 型滚弯机, $D_s = 60 \text{ mm}$, 故得,

$$\alpha = 0.396 i B \quad (1)$$

当靠模的工作角度 $\alpha \approx 320^\circ$ 时, 零件弧长 (B) 与挂轮齿数比 (i) 的关系为,

$$320^\circ = 0.396 i B_{\alpha=320^\circ}$$

该滚弯机六种挂轮齿数 Z_A 及 Z_B 与零件弧长 $B_{\alpha=320^\circ}$ 的关系列入表中。

滚弯零件的弧长与挂轮齿数关系表

$\alpha = 320^\circ$ 时滚弯零件 对应的弧长 $B_{\alpha=320^\circ}$	挂轮齿数	
	Z_A	Z_B
346	70	30
539	60	40
662	55	45
938	45	55
1210	40	60
1880	30	70

图(1) 各分段的工作角度 α_i 可由下式求得:

$$\alpha_i = \frac{320^\circ}{B_s - 320} L_i \quad (2)$$

式中 L_i ——任一区间的弧长。

挂轮的齿数按滚弯零件的最大弧长选择。靠模的工作角度 α 按滚弯零件的最大弧长与挂轮的齿数按上式计算而得。工作角度过小会影响靠模的工作精度;过大则非工作区域的压力角就可能超过极限值而发生自锁作用。对于摆动从动件盘状凸轮机构推程允许的最大压力角为 45° ;回程的最大压力角为 80° 。靠模的工作角度以 $\alpha \approx 320^\circ$ 为宜。

滚弯机滚轴的尺寸与滚轴之间的相对位置对于靠模滚弯的效果有一定的影响,在滚弯之前必须加以调整与校正。调整方法如下:

- (1) 测定两根下滚轴的水平中心距 $2a$ 。
- (2) 测定三根滚轴的对称性(见图4)。

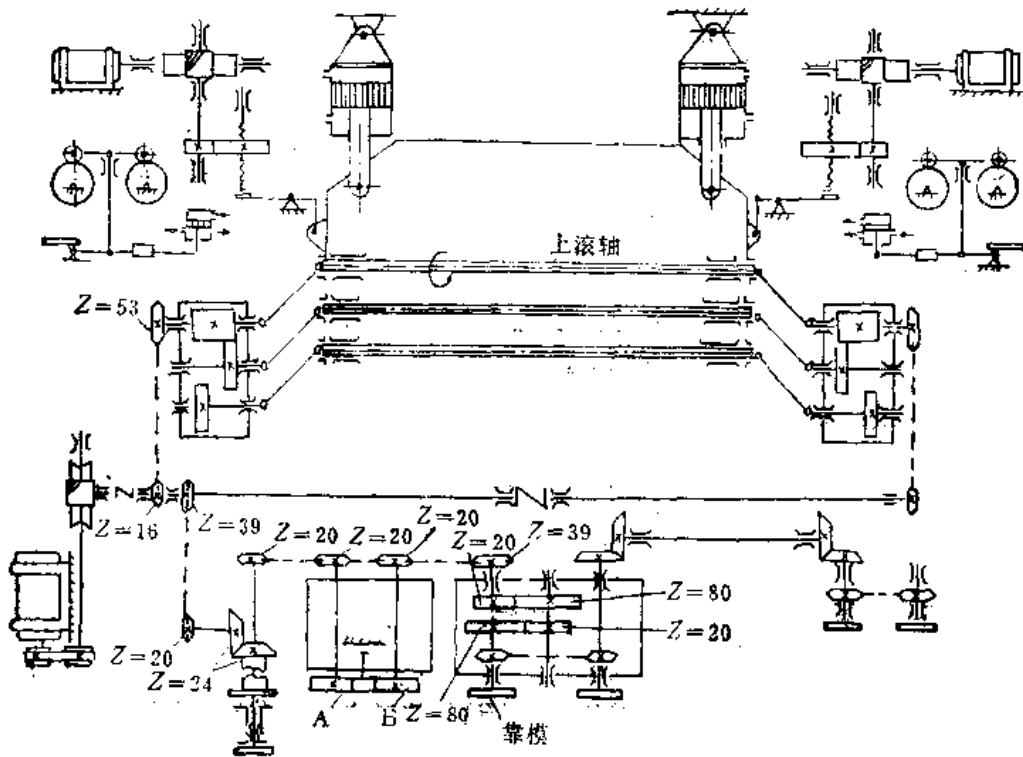


图3

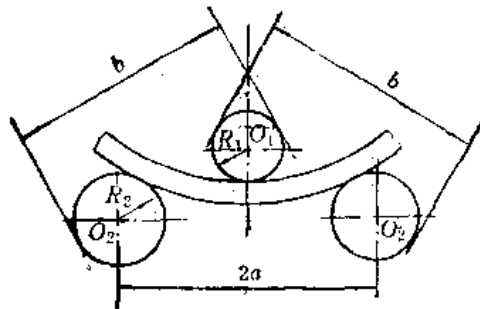


图4

(3) 校正横梁的下降值 (图 5), 使横梁下降标尺的零下读数等于塞尺的厚度 δ 。

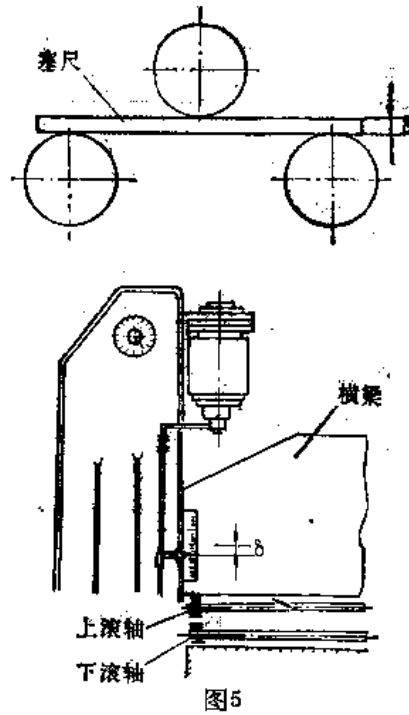
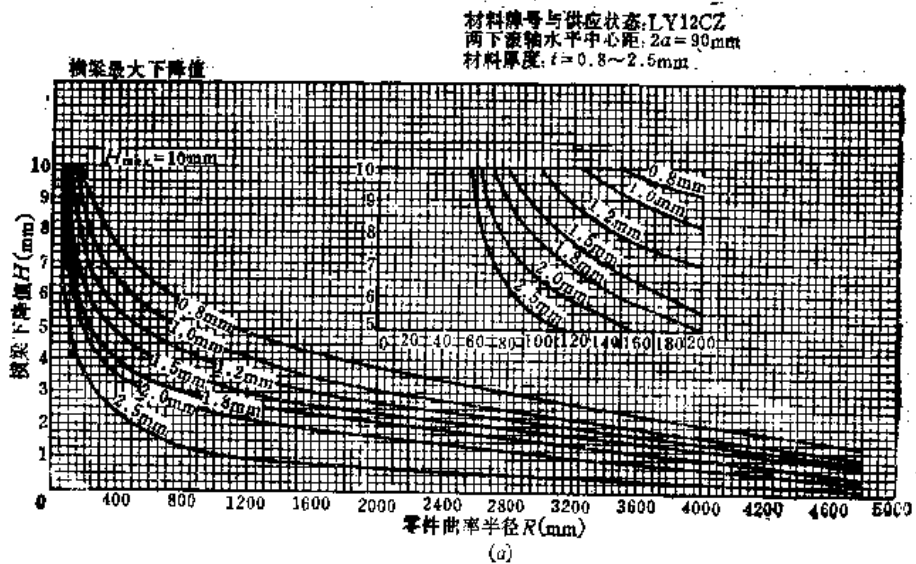
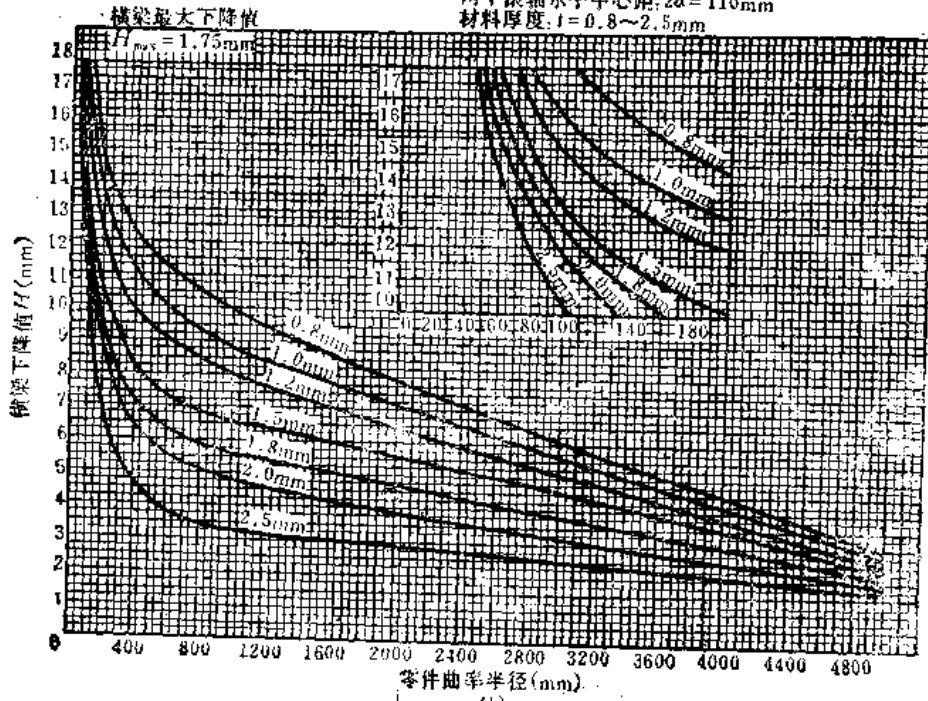


图5

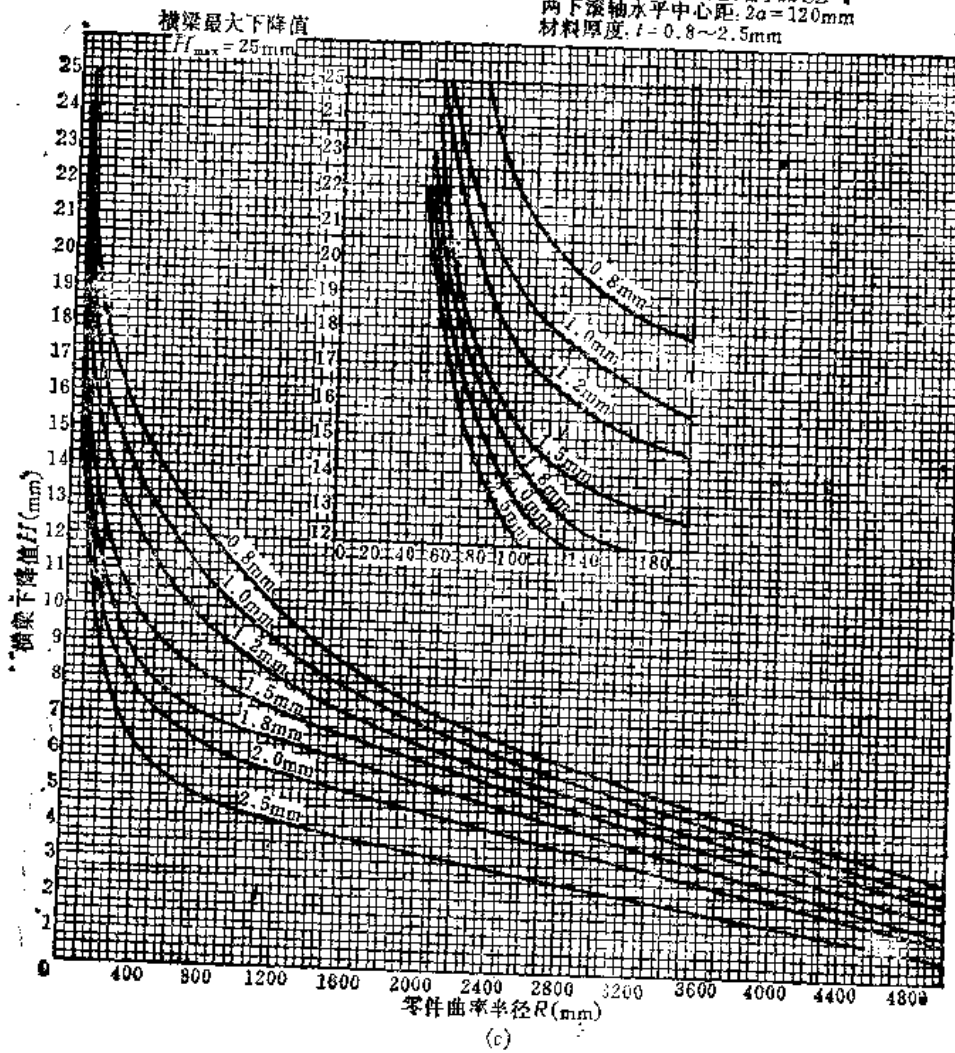
图 6 所示为硬铝 (LY12CZ) 在四种 $2a$ 值情况下所获得的回弹曲线族。可作为厚度在 2.5mm 以下蒙皮零件设计靠模时的原始依据之一。



材料牌号与供应状态: LY12CZ
 两下滚轴水平中心距: $2a=110\text{mm}$
 材料厚度: $t=0.8\sim 2.5\text{mm}$



材料牌号与供应状态: LY12CZ
 两下滚轴水平中心距: $2a=120\text{mm}$
 材料厚度: $t=0.8\sim 2.5\text{mm}$



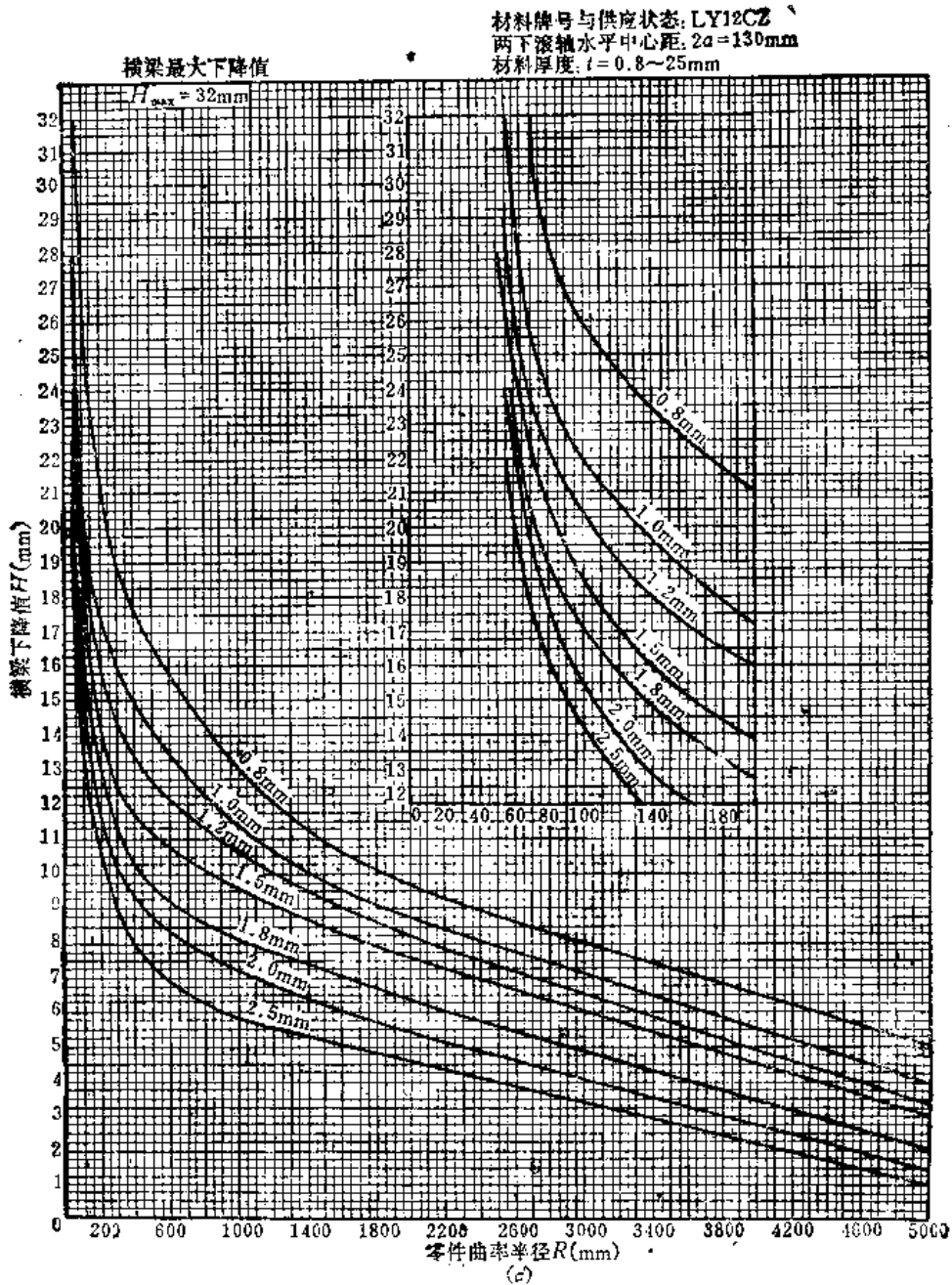


图6

(a) $2a=90\text{mm}$; (b) $2a=110\text{mm}$; (c) $2a=120\text{mm}$; (d) $2a=130\text{mm}$

3.2.5.2.2 靠模的设计步骤

RГJI-2型板料靠模机构属于摆动从动件盘状凸轮机构。令以前缘蒙皮(见图1)为例说明靠模的设计步骤。

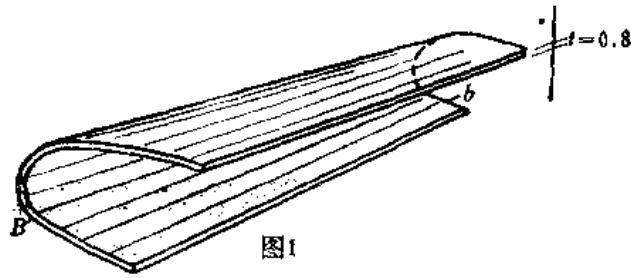
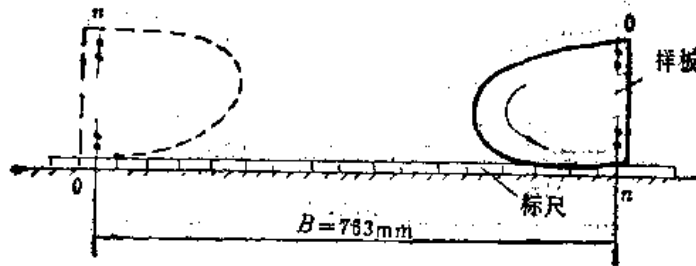
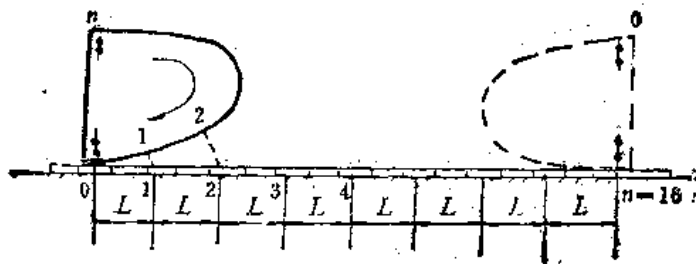


图1

(1) 按样板测得零件两端沿切向的总弧长 B 与 b (见图2)。样板在标尺上滚动而得零件切割线之间的总弧长 B 。例中 $B=763\text{mm}$ 。



(a)



(b)

图2

(2) 将总弧长 B 按弧长 L 分为 n 等分:

$$n = \frac{B}{L}$$

例中, 取 $L=48\text{mm}$, 使得 $n \approx 16$ 等分。 L 数值的选择必须保证所获得的曲率半径有一定的准确度。对于曲率半径较小的前缘蒙皮, 一般取 L 值小于 50mm , 反之可以适当取大一些 (例如取 100mm)。 L 值决定之后, 将标尺上的总弧长分好等分。然后将样板从左往右滚动, 将分段标在样板上, 并编号 $0, 1, 2, \dots, n$ (见图2b)。

(3) 利用半径仪测得样板各段的挠度 f_i (见图3), 由图中的几何关系可得:

$$R_{s,i}^2 = \left(\frac{l_i}{2}\right)^2 + (R_{s,i} - f_i)^2$$

由于蒙皮零件相对弯曲半径较大, 故 $R_{s,i} - l_i \approx R_{s,i}$, 且 $L \approx l_i$, 由上式可得:

$$R_{s,i} \approx \frac{l_i^2 + 4f_i^2}{8f_i} \approx \frac{l_i^2}{4f_i} \approx \frac{L_i^2}{8f_i} \quad (3)$$

式中 $R_{s,i}$ ——零件各段的曲率半径 (见图4)。

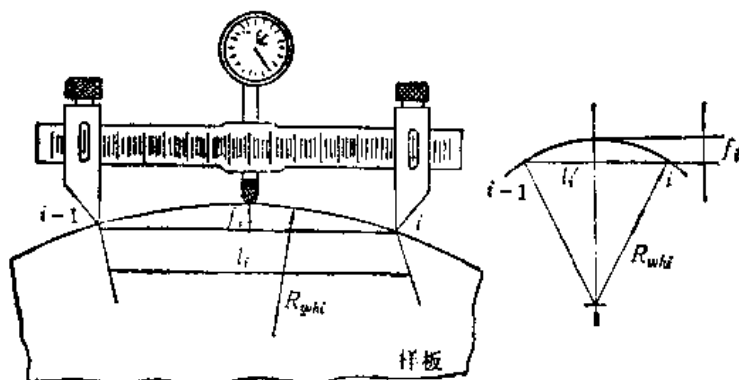


图3

例中，由于 L 取48mm，故得：

$$R_{whi} \approx \frac{288}{f_i}$$

将各等分的数据 f_i 与 R_{whi} 列入表1与表2内。

4. 求各分段的横梁下降值 H_i 及其最大值 $H_{i,max}$ 。由横梁下降值(H)-零件曲率半径(R)曲线图中在 $2a$ 值已定情况下，按各分段的 R_{whi} 查得所对应的横梁下降值 H_i 以及最大值 $H_{i,max}$ ，列入表1与表2内。例中 $2a=120\text{mm}$ ，故查得 $H_{i,max} > 25\text{mm} = H_{max}$ 。最大下降值的数据见表3。

当 $H_{i,max} > H_{max}$ 时，将引起两端三个轴承座互相碰撞而导致毁坏。当横梁下降值 H_i 趋近于 H_{max} 时，由于上下滚轴最小间隙 δ_{min} 的限制，所能滚弯蒙皮零件的厚度也受到一定限制(表3)。由表中可见，对于KГ.П-2型滚弯机，如果零件曲率半径较小，其厚度不宜超过5mm。

表1. 靠模射线半径计算数据表(靠翼根端)

(mm)

分段	f_i	R_{whi}	H_i	h_i	R_{wi}	R_{oi}	$\Sigma\alpha_i$
0~1	0.85	338	15.7	7.9	96.1	111.1	23.2°
1~2	0.87	331	15.75	7.9	96.1	111.1	46.4°
2~3	0.89	323	15.85	7.9	96.1	111.1	69.6°
3~4	1.22	236	17.05	8.5	95.5	110.5	92.8°
4~5	1.24	232	17.1	8.6	95.4	110.4	116°
5~6	1.12	257	16.7	8.4	95.6	110.6	139.2°
6~7	1.15	250	16.8	8.4	95.6	110.5	162.4°
7~8	1.19	242	16.95	8.5	95.5	110.5	185.6°
8~9	1.37	210	17.5	8.8	95.2	110.2	208.8°
9~10	2.93	98	22	11	93	108	232°
10~11	4.25	68	25 (>25)	12.5	91.5	106.5	255.2°
11~12	2.34	123	20.2	10.1	93.9	108.9	278.4°
12~13	0.84	342	15.6	7.8	96.2	111.2	302°
13~14	0	∞	0	0	104	119	—
14~15	0	∞	0	0	104	119	—
15~16	0	∞	0	0	104	119	—

表2. 靠模射线半径计算数据表(靠翼尖端)

(mm)

分段	f_t	R_{ait}	H_t	h_t	R_{mt}	R_{ct}	$\Sigma\alpha_t$
0~1	0.93	204	17.55	8.8	95.2	110.2	18.85°
1~2	0.93	204	17.55	8.8	95.2	110.2	37.7°
2~3	0.98	194	17.90	9	95	110	56.6°
3~4	0.76	250	16.80	8.4	95.6	110.6	75.4°
4~5	0.81	235	17.05	8.5	95.5	110.5	94.3°
5~6	0.83	229	17.15	8.6	95.4	110.4	113.1°
6~7	0.80	238	17.00	8.5	95.5	110.5	132°
7~8	1.13	168	18.45	9.2	94.8	109.8	150.8°
8~9	1.89	101	21.75	10.9	93.1	108.1	169.7°
9~10	2.85	67	25 (>25)	12.5	91.5	106.5	188.5°
10~11	2.58	73.6	25 (>25)	12.5	91.5	106.5	207.4°
11~12	1.40	136	19.55	10	94	109	226.2°
12~13	0.2	950	11.20	5.6	98.4	113.4	245°
13~14	0	∞	0	0	104	119	—
14~15	0	∞	0	0	104	119	—
15~16	0	∞	0	0	104	119	—

表3. 横梁在不同 $2a$ 值情况下允许的最大下降值

(mm)

$2a$	H_{max}	δ_{min}	简图
90	10	5.5	
110	17.5	6.0	
120	25	5.5	
130	32	5.5	
140	40	6.5	

例中 $2a=120\text{mm}$; 当 $R_{\text{ait}}=68\text{mm}$ 时, 由 $R-H$ 回弹曲线族查得 H_{imax} 显然超过 H_{max} (25mm), 因此分段(0-1)的横梁下降值仍取25mm, 此时滚弯后零件的曲率半径局部偏大可通过闸压方法加以补充成形。另一种方法是改变 $2a$ 值, 例如取 $2a=130\text{mm}$ 。对于滚弯机翼前缘蒙皮这种情况是经常发生的, 故例中横梁下降值的数值只能取 $H_{\text{imax}}=H_{\text{max}}=25\text{mm}$ 。

(5) 计算各分段的靠模型面下降值 h_t 及其最大值 h_{imax} 可按靠模型面下降值与横梁下降值的比例为1:2求得各分段的 $h_t=\frac{H_t}{2}$, 将数据列入表2内。表中

$$h_{\text{imax}} = \frac{H_{\text{imax}}}{2} = \frac{25}{2} = 12.5\text{mm}$$

(6) 计算靠模基圆半径 R_s 。取靠模的极限半径 R_{max} 与 R_{min} 的平均值与 $\frac{h_{i_{max}}}{2}$ 的和值作为绘制靠模的基圆半径。根据KΓΠ-2型滚弯机靠模的极限半径而得:

$$R_s = \frac{125+70}{2} + \frac{h_{i_{max}}}{2} = 97.5 + \frac{h_{i_{max}}}{2}$$

例中

$$R_s = 97.5 + \frac{12.5}{2} \approx 104\text{mm}$$

(7) 计算靠模型面各分点的射线半径 R_{mi} :

$$R_{mi} = R_s - h_i$$

例中蒙皮靠翼根端的靠模射线半径为:

$$R_{m_{i_0-1}} = 104 - 7.9 = 96.1\text{mm}$$

$$R_{m_{i_{10-11}}} = 104 - 12.5 = 91.5\text{mm}$$

将数据列入表1内。

(8) 计算滚柱中心在各等分点上的射线半径 R_{ci} :

$$R_{ci} = R_{mi} + \frac{d}{2}$$

式中 d 为靠模型面上滚柱的直径。对于KΓΠ-2型滚弯机的靠模机构 $d=30\text{mm}$ 。

例中,蒙皮靠翼根端的滚柱中心射线半径为:

$$R_{c_{i_0-1}} = 96.1 + 15 = 111.1\text{mm}$$

.....

$$R_{c_{i_{10-11}}} = 91.5 + 15 = 106.5\text{mm}$$

.....

将数据列入表1内。

(9) 计算靠模工作区域的角度 α_i° 。

例中,蒙皮靠翼根端总弧长为763mm,由于13-14段之后是直线段,不需要滚弯,故滚弯弧长仅有13段,其弧长为 $13 \times 48 = 624\text{mm}$ 。由3.2.5.2.1节可查得相应的挂

轮传动比为 $i = \frac{Z_A}{Z_B} = \frac{55}{45}$,代入3.2.5.2.1节式(1)而求得靠模工作角度(α°)为:

$$\alpha = 0.396 \times \frac{55}{45} \times 624 = 302^\circ$$

故每一等分的角度为:

$$\alpha_i = \frac{302^\circ}{13} \approx 23.2^\circ$$

例中,机翼前缘蒙皮是带锥度的。对于此类蒙皮零件沿展向各切向的弧长是变化的,如图4所示。例中靠翼尖端的总弧长为625mm。直线段除外,滚弯弧长为 $13 \times 39 =$

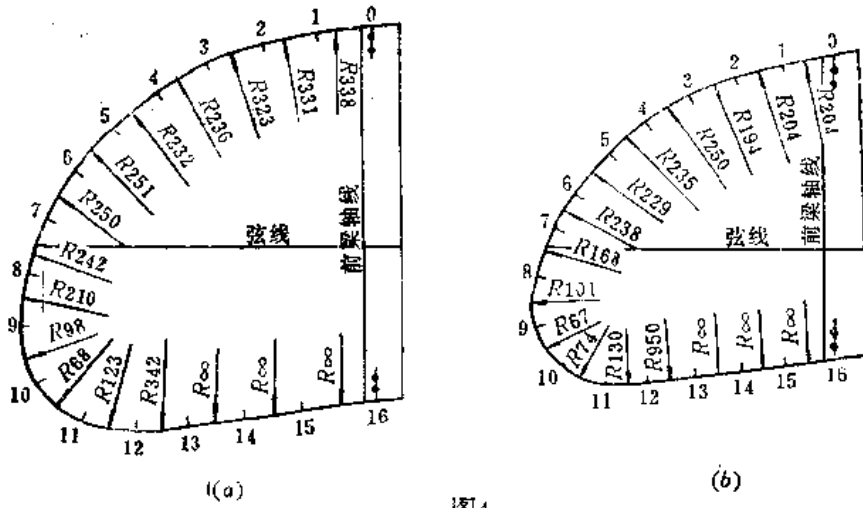


图4
(a) 靠翼根切面; (b) 靠翼尖切面。

507mm, 故靠模工作角度为:

$$\alpha = 0.396 \times \frac{55}{45} \times 507 = 245^\circ$$

每一等分的角度为:

$$\alpha_i = \frac{245^\circ}{13} = 18.95^\circ$$

图5(a)所示为例中机翼前缘蒙皮的展开毛料。靠模靠翼尖端进入工作区域之前有一个非工作角度, 其大小可由3.2.5.2.1式(1)计算:

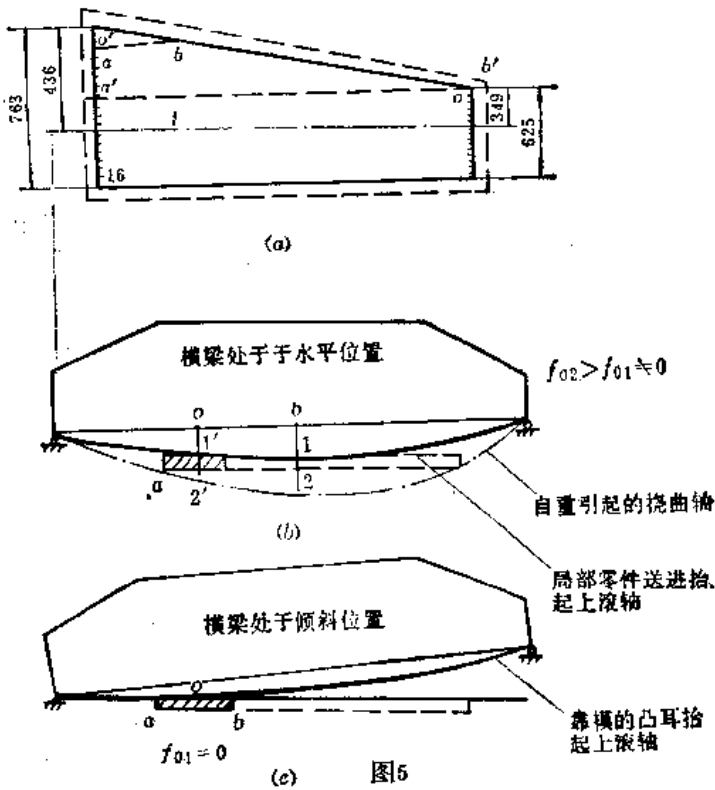


图5

$$\alpha = 0.396 \times \frac{55}{45} \times \overline{o'a'}$$

式中 $\overline{o'a'} = 436 - 349 = 87 \text{ mm}$, 故得:

$$\alpha = 0.396 \times \frac{55}{45} \times 87 = 42^\circ$$

(10) 划制靠模型面轮廓曲线。

今以本例说明靠模的绘制步骤 (见图 6):

(1) 以靠模旋转中心为圆心, 以摆动杆转动中心 b 至靠模旋转中心 o_2 的距离 $\overline{bo_2}$ 为半径作一辅助圆, $\overline{bo_2} = 267 \text{ mm}$ 。将辅助圆上的工作区域角度 $\alpha = 302^\circ$ 等分为 13 等分 (每等分的角度为 23.2°), 并在辅助圆上标上等分点 0、1、2……13。

(2) 以靠模旋转中心 o_2 为圆心, 以靠模极限半径 ($R_{m,x} = 125 \text{ mm}$ 与 $R_{m,n} = 70 \text{ mm}$) 为半径分别作圆。

(3) 以辅助圆上各等分点 0、1、2……13 为圆心, 以摆动杆 (两滚柱中心) 的长度 245 mm 为半径作一系列圆弧与靠模的极限圆周相交而得 $\widehat{0'-0''}$ 、 $\widehat{1'-1''}$ 、 $\widehat{2'-2''}$ …… $\widehat{13'-13''}$ 等弧。

(4) 以靠模旋转中心 o_2 为圆心, 以各等分段滚柱中心的射线半径 R_{oi} 为半径在相应的分段中作圆弧, 分别与 $\widehat{0'-0''}$ 、 $\widehat{1'-1''}$ 、 $\widehat{2'-2''}$ …… $\widehat{13'-13''}$ 等弧相交, 并光滑地连接交点而得各分段滚柱中心的弧线 $\widehat{0-1}$ 、 $\widehat{1-2}$ 、…… $\widehat{12-13}$ 。

(5) 将各圆弧的中点以及相邻分段在等分处半径差值的中点以光滑曲线连接起来, 如图 6(a) 中 11-12 段所示, 即得滚柱中心的运动轨迹。

(6) 在滚柱中心的运动轨迹上以滚柱半径 $\left(\frac{d}{2}\right)$ 作一系列圆弧, 其包络线即靠模的型面轮廓。

(7) 划制靠模工作区域的轮廓形状。

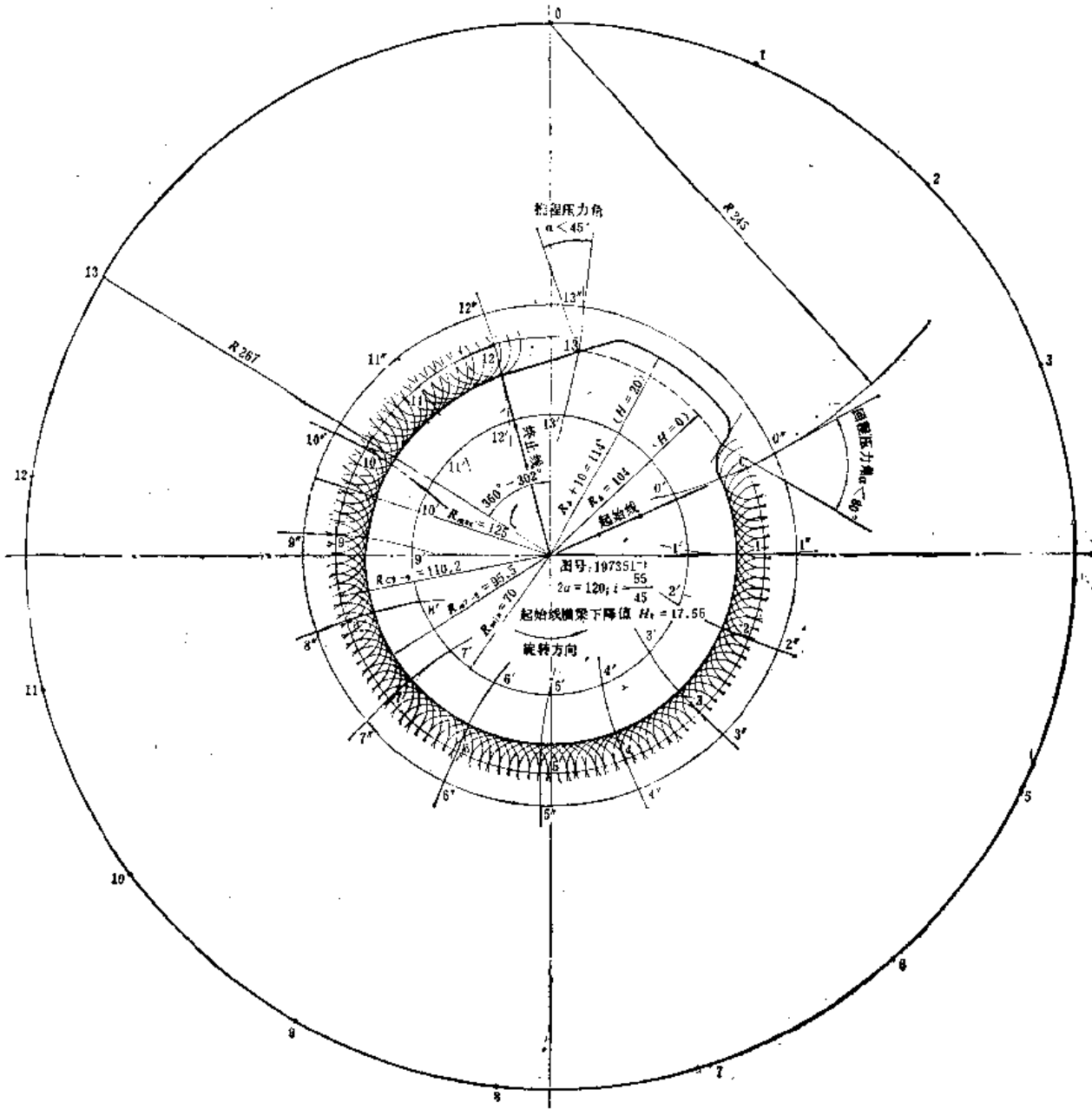
非工作区域的轮廓外形的压力角不允许超过极限值。此区域的轮廓尺寸应能使横梁上升到零上 20 mm 左右, 使毛料与零件便于送进与取出。

(8) 划制靠翼尖端靠模凸耳的形状与尺寸。

KFJI-2 型滚弯机不工作时, 上滚轴由于自重的作用而呈现一定的挠度, 其最大值约为 10 mm。对于带锥度的蒙皮零件, 由于毛料两端的宽度不同 (见图 5), 当靠翼根端的毛料开始滚弯时, 靠翼尖的毛料尚未进行滚弯。因此控制图 5(a) 中 $\triangle o'a'b'$ 部分的曲率半径, 消除上滚轴自重所引起的挠度对曲率半径的影响, 应在靠翼尖端的靠模上将进入工作区前的非工作区的 42° 范围内构成一凸耳 (见图 6b), 以便将横梁右端抬起 (见图 5c)。

3.2.5.2.3 靠模的制造与修正

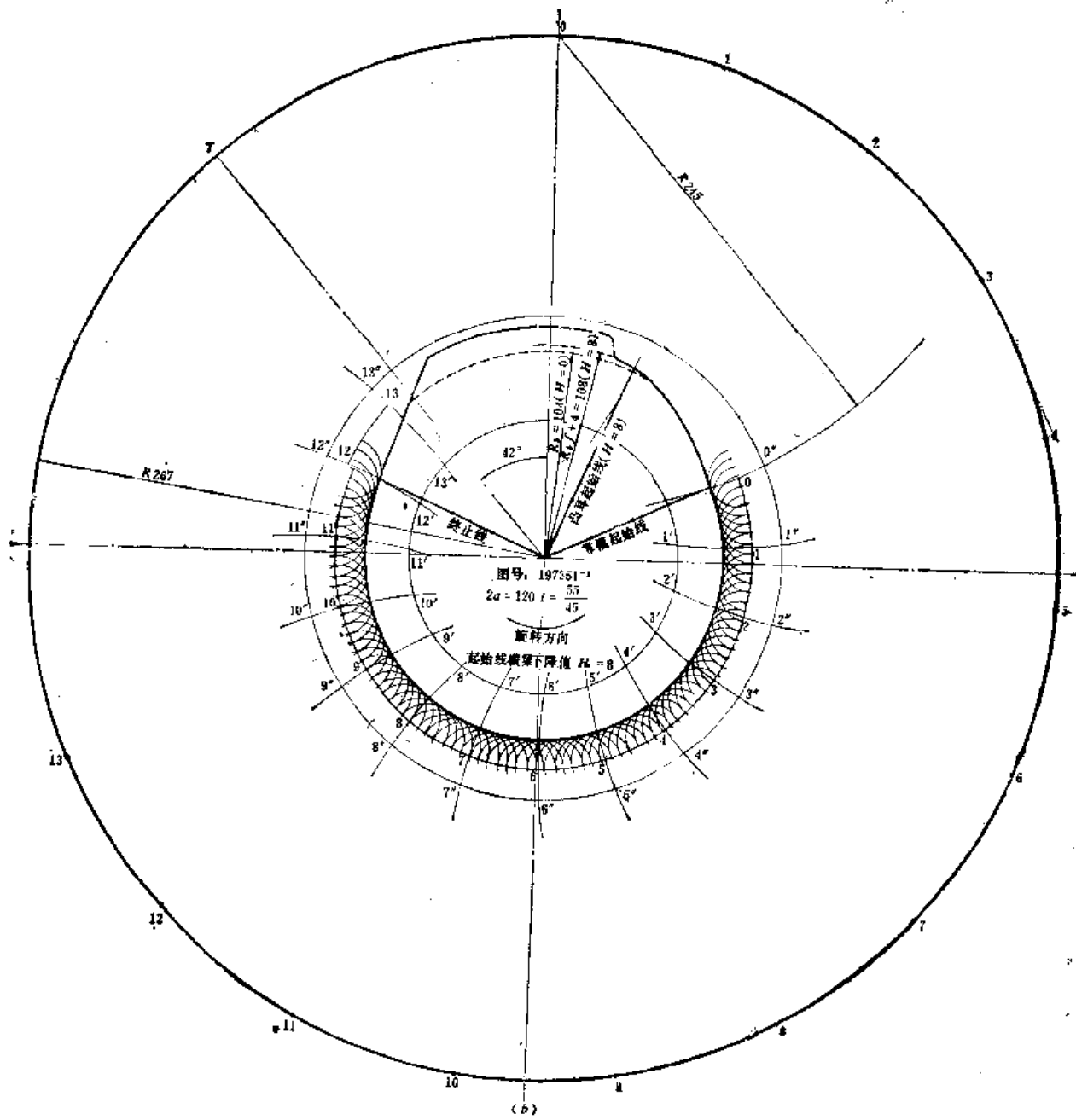
靠模轮廓线的划制首先在厚度约为 1.5 mm 的硬铅板上进行。将其作为样板在板金立铣床上加工靠模。靠模的材料可取厚度约为 5 mm 的硬铅板, 毛坯尺寸约为 250 mm。



(a)

推程压力角 α R_{max} R_{c8-9} R_{m1a} R_{m7-9} $R_{5+10}=114$ $R_6=104$ 图号: 197351

$2\alpha=120^\circ$, $i=\frac{55}{45}$ 起始线横梁下降值 $H_0=17.55$



(a) 靠翼根端的靠模;

(b) 靠翼尖端的靠模。

图6

为了保证绘制型面射线半径的准确性，在靠模毛坯中首先制出与 KГJI-2 型滚弯机上靠模安装轴相配合的孔，而后加入一定心件（见图1）。

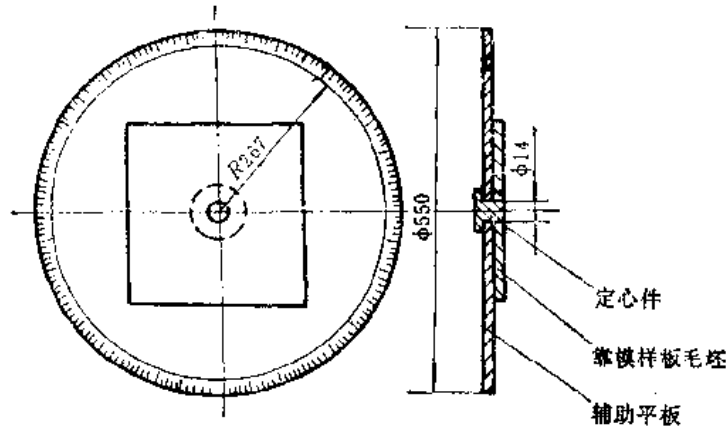


图1

靠模样板外形划制与修锉之后，在靠模毛坯中心制出 $\phi 14$ 的中心孔。用一直径为 $\phi 14$ 的螺栓将靠模样板与靠模毛坯固定起来（见图2），在板金立铣上加工靠模，然后按

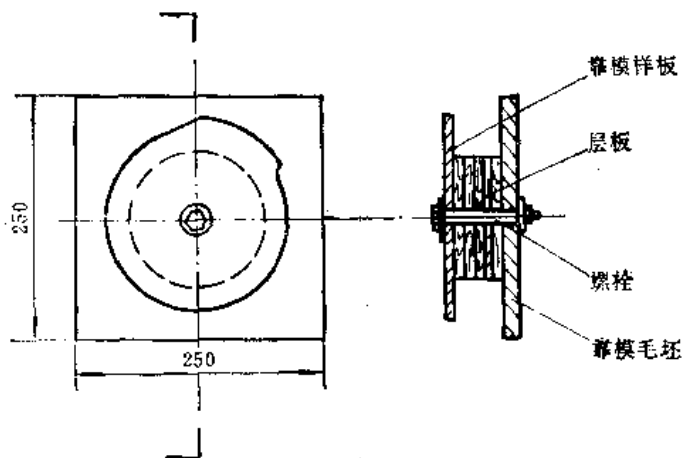


图2

靠模样板修锉靠模外形。

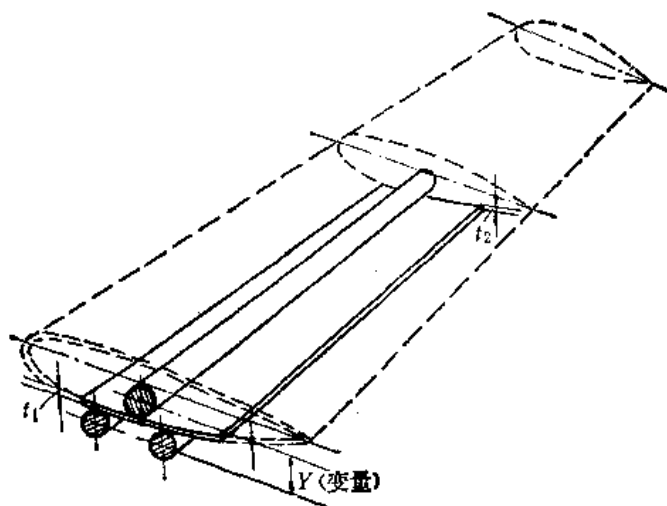
靠模表面上应打上下列标志：起始线、终止线、起始点的横梁下降值 H_0 、靠模旋转方向、两根下滚轴水平中心距 $2a$ 、挂轮齿数以及产品图号等等。

靠模在试滚弯时如果零件形状与样板或模胎有局部不符合，可以进行局部修正。当零件局部曲率半径偏大时，可将靠模局部修铣掉一部分，使零件曲率半径减小。反之，将靠模局部锤击展延后，再铣光滑。如果整个零件形状比样板或模胎处处曲率半径偏大或偏小，但形状与样板或模胎相似，即可调整靠模起始点的横梁下降值，直至使零件形状逼近样板或模胎的形状为止。

3.2.6 纵向变厚度-切向变曲率零件的滚弯

机翼蒙皮的厚度有的沿纵向（展向）是变厚度的（见图）。此类零件的滚弯方法与回弹量控制方法以及上下滚轴中心距的计算方法类似于等厚度切向变曲率零件。所不同的

是必须从设计图纸中获得两端的厚度 t_1 与 t_2 ，因此计算公式应改为下列形式。



各段内层纤维回弹前的曲率半径为：

$$\left\{ \begin{aligned} R_{n+1j} &= \frac{R_{n+1j}}{1.07 + 0.009 \frac{R_{n+1j}}{t_1}} \\ (i=1, 2, 3, \dots, n-1 \quad j=2, 3, 4, \dots, n) \\ R_{n+1'j'} &= \frac{R_{n+1'j'}}{1.07 + 0.009 \frac{R_{n+1'j'}}{t_2}} \\ (i'=1', 2', 3', \dots, n'-1; j'=2', 3', 4', \dots, n') \end{aligned} \right. \quad (1)$$

零件两端处上下滚轴在垂直方向的中心距为：

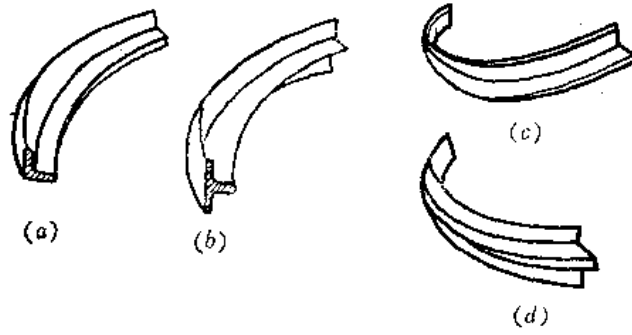
$$\left\{ \begin{aligned} Y_{n+1j} &= \sqrt{(R_{n+1j} + t_1 + R_2)^2 - a^2} - R_{n+1j} + R_1 \\ Y_{n+1'j'} &= \sqrt{(R_{n+1'j'} + t_2 + R_2)^2 - a^2} - R_{n+1'j'} + R_1 \end{aligned} \right. \quad (2)$$

最后利用3.2.5.1式(3) 计算上下滚轴在垂直方向的中心距 Y_{n+1j} 与 $Y_{n+1'j'}$ 的变化规律，以此值进行试滚弯，最后确定 Y_{n+1j} 与 $Y_{n+1'j'}$ 的试验值，供生产中参考。

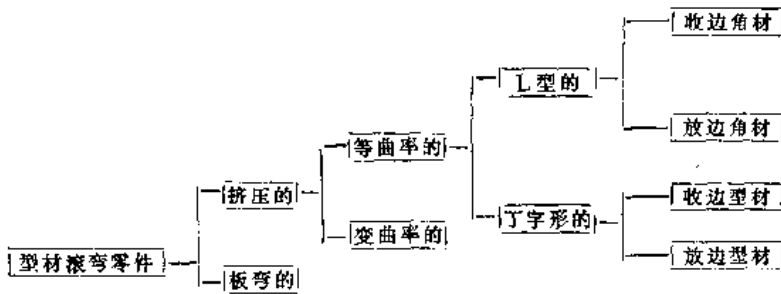
3.2.7 典型型材滚弯零件分类

飞机、火车、汽车以及雷达天线等骨架零件采用滚弯方法成形的可分为挤压型材与板弯型材两类。

滚弯的挤压型材可分为等曲率与变曲率的两种，剖面有角材与丁字形型材。与内蒙皮连接的是收边的（见图a与b）；与内蒙皮连接的是放边的（见图c与d）。

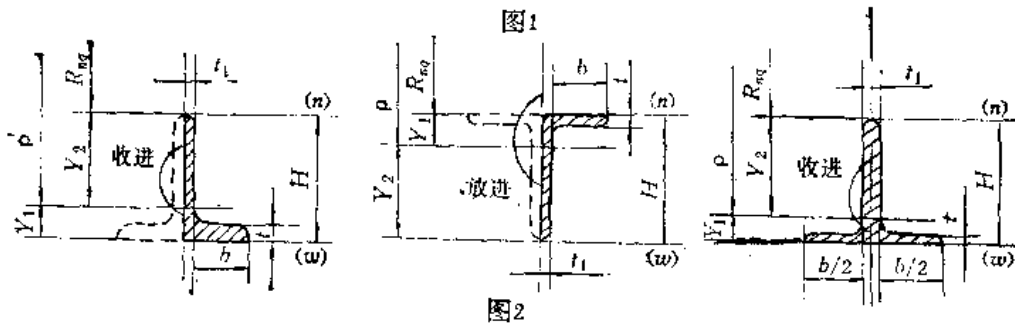
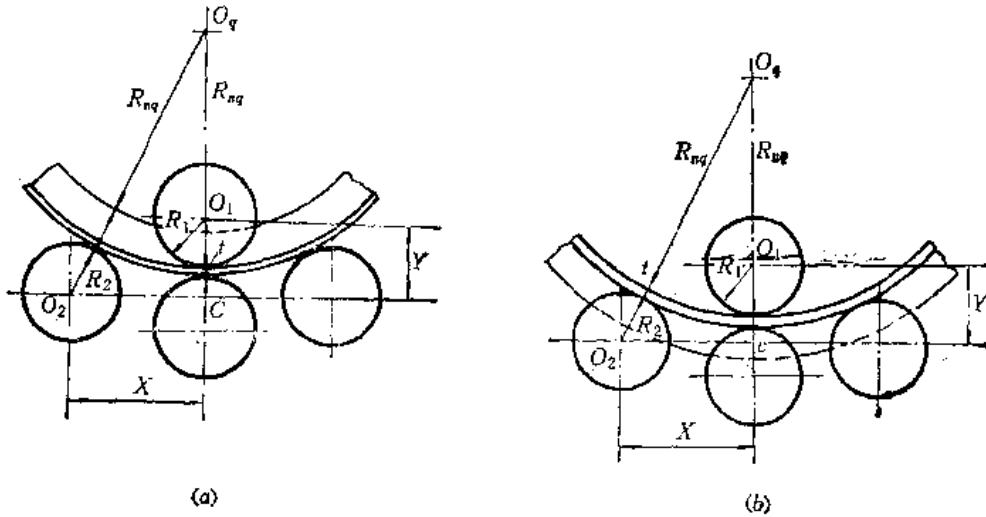


滚弯时型材的腹板刚度远大于缘板，是施加弯曲力的主要部位。
常见的型材分类如表所示：



3.2.8 等曲率型材零件的滚弯

零件的曲率半径主要决定于两个下弯曲滚轮之间的水平中心距 ($2x$) 以及上导轮与下弯曲滚轮的垂直中心距 Y (见图1a)。



对于角材与丁字形型材在放边与收边情况下, 确定形心位置 Y_1 与 Y_2 可采用下列统一图形尺寸(见图2)与计算式:

$$\begin{cases} Y_1 = \frac{t_1 H^2 + bt^2}{2F} \\ Y_2 = H - Y_1 \end{cases} \quad (1)$$

横剖面面积(F)可按下列统一表达式计算:

$$F = bt + Ht_1 \quad (2)$$

Y_1 、 Y_2 、 F 可按型材剖面代号查阅有关设计手册。

收边型材内层纤维回弹前的曲率半径 $R_{n,1}$ 可按下列近似公式计算:

$$\begin{cases} R_{n,1} = \frac{B + \sqrt{B^2 + 2Ay_2}}{A} \\ A = 2 \left(\frac{1}{R_{n,1}} + \frac{2\sigma_{0.2}}{HE} \right) \\ B = 1 - \frac{Ay_2}{2} - \frac{D}{E} \end{cases} \quad (3)$$

式中 $\sigma_{0.2}$ ——材料的屈服极限;

——塑性模量;

E ——弹性模量。

对于放边型材, 式中 Y_2 应改为 Y_1 。

对于收边型材, 滚轮的垂直中心距(图1a)为:

$$Y_0 = \sqrt{(R_{n,1} + H + R_2)^2 - X^2} - R_{n,1} - H + t + R_1 \quad (4)$$

式中 $2x \approx 300 \sim 700 \text{ mm}$ 。

对于放边型材, 上式可改为:

$$Y_0 = \sqrt{(R_{n,1} + t + R_2)^2 - X^2} - R_{n,1} + R_1 \quad (5)$$

对于硬铝(LY12M)的放边与收边挤压型材式(3)可简化为下列近似公式:

$$R_{n,1} = \frac{R_{n,1}}{1.038 + 0.00316 \frac{R_{n,1}}{H}} \quad (6)$$

对于板弯型材(LY12M)可得:

$$R_{n,1} = \frac{R_{n,1}}{1.02 + 0.00291 \frac{R_{n,1}}{H}} \quad (7)$$

由于型材的剖面形状与尺寸规格繁多, 故采用计算与少量试滚弯相结合的方法具有极大的实用意义。

3.2.9 板弯型材的滚弯

板弯型材的剖面常见的有 Γ 型与L型(见图1)。其外形有等曲率的、变曲率的、曲率中心同侧的与异侧的等等(见图2)。此类型材一般采用硬铝(LY12M)板料闸压或滚形

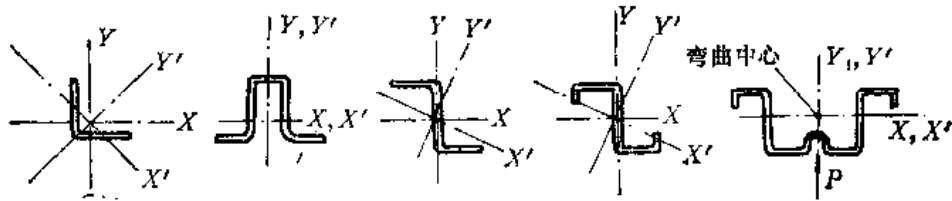


图1

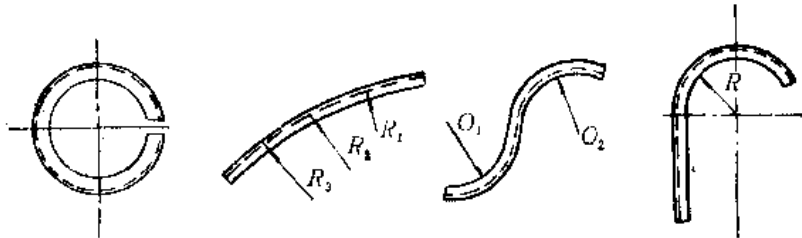


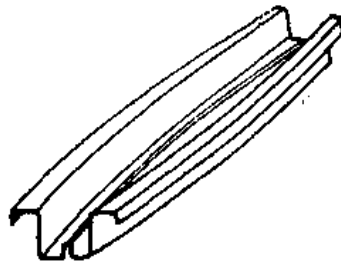
图2

而成。为防止Z型剖面滚弯时产生斜弯曲-扭转变形，一般采用组合滚弯法。

滚弯之前，毛料在闸压床上经过几道闸压弯曲成直型材（见图3a）或滚形。对于较长的型材闸压之后中剖的剖面宽度大于两端（见图3b），滚弯之前必须在滚弯机上利用滚轮预先加以校形。



(a)



(b)

图3

3.2.9.1 手工调整滚弯法

在滚弯过程中反复多次地调整弯曲滚轮的上升值以获得不同的型材曲率半径。此法适用于滚弯等曲率的型材零件，对于变曲率型材零件是不合适的，因为生产率太低，劳动强度很大。

板弯型材的滚弯零件与板料的滚弯零件一样，在弯曲滚轮上升值不变的情况下，滚弯一次与往复滚弯两次以上，由于滚弯次数不同所获得的曲率半径也不同。因此这种试验方法所获得的试验数据难以在生产中作为参考。

3.2.9.2 靠模滚弯法

这种方法适用于滚弯变曲率的型材零件。利用靠模装置与液压随动系统来控制弯曲

滚轮在滚弯过程中的上升值。生产实践证明，这种方法可以显著地提高劳动生产率，减小劳动强度，提高型材零件的成形质量。

为了利用XG-4型型材滚弯机滚弯变曲率的型材零件，可在机床上附加靠模机构。

XG-4型型材滚弯机的工作过程如图1所示。弯曲滚轮4的上升值是手轮操纵的，操纵原理如图2所示。当滚弯变曲率零件时，可转动手轮，通过电气-液压操纵系统使

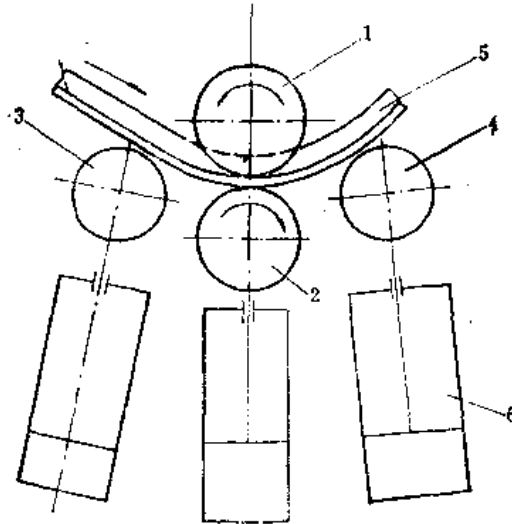


图1

1—上滚轮；2—下滚轮；3、4—弯曲滚轮；5—型材零件；6—油缸。

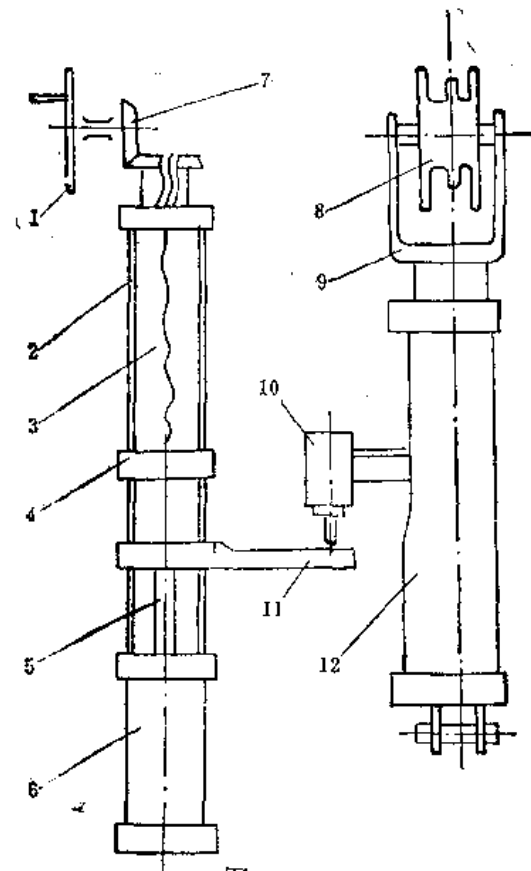


图2

1—手轮；2—油缸；3—丝杆；4—限位器；5—活塞杆；6—小油缸；7—斜齿
轮；8—弯曲滚轮；9—支架；10—随动阀；11—顶杆；12—作动筒。

弯曲滚轮上升到各种不同的高度，从而弯曲成不同曲率半径的等曲率零件。当滚弯变曲率型材零件时，弯曲滚轮必须随着型材零件的曲率半径变化而升降，可在机床上附加一靠模装置实现。靠模装置的工作原理如图3所示。顶杆9随着靠模转动射线半径 R_1 的不同而沿滑轨上下运动，而后通过随动阀11控制弯曲滚轮上下运动，以获得滚轮的上升值。

摩擦靠轮1的工作原理如图4所示。由于板弯型材零件剖面的高度较大，形状也较复杂，沿型材同一高度处上下滚轮的速度不同，因而引起型材零件与上下滚轮之间的相对运动。图5所示是常用的一种框类零件的剖面形状。在滚弯过程中上下滚轮的工作型

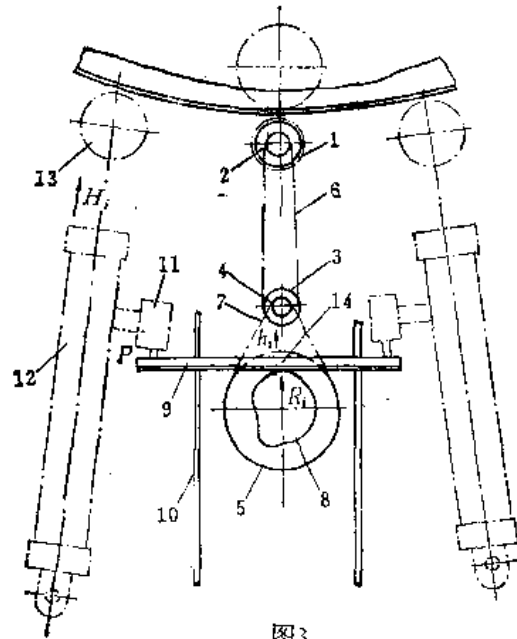


图3
1—摩擦靠轮；2,3,4,5—链轮；6,7—链条；8—靠模；9—顶杆；10—滑轨；
11—随动阀；12—弯曲油缸；13—弯曲滚轮。

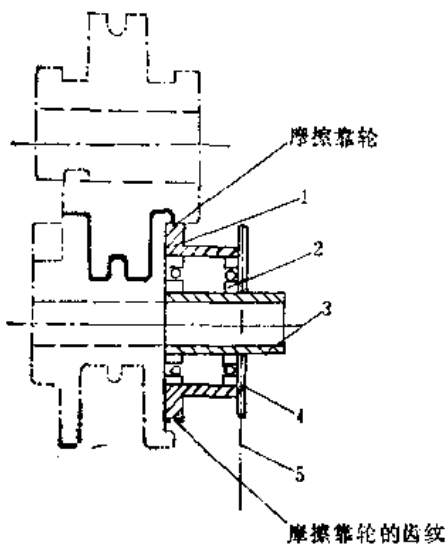


图4
1—摩擦靠轮；2—滚珠轴承；3—轴；
4—链轮；5—链条。

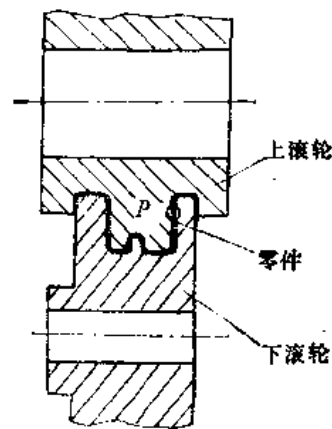


图5

面沿型材剖面高度各处的线速度都不相同。 P 点的左边与上滚轮接触, 右边与下滚轮接触, 上下滚轮在该点的线速度不同, 因此必然引起型材与滚轮之间的相对滑动, 使型材的位移量与弯曲滚轮升降值的关系不能协调。为建立型材位移量与弯曲滚轮升降值可靠的对应关系, 可在靠模装置中采用摩擦靠轮, 它仅套在下滚轴上, 与下滚轴转速无关。在滚弯过程中它紧紧地靠在型材零件的边缘上带动靠模转动(见图4), 型材零件的边缘相应地留有工艺余量, 成形后铣掉。

靠模设计的主要依据有:

- (1) 滚弯型材的几何形状与尺寸;
- (2) 靠模型面上升值与弯曲滚轮上升值的比例;
- (3) 靠模的基圆半径;
- (4) 靠模工作角度与零件位移量的关系;
- (5) 弯曲滚轮上升值(H)-滚弯零件曲率半径(R)的关系。

由图3所示的靠模装置可知, 随动系统保证了顶杆与随动阀11触头的接触点 P 与弯曲滚轮的上升值相等且同向。故得:

$$H_i = h_i$$

由此可见, 靠模型面上升值 h_i 与弯曲滚轮上升值 H_i 的比值为1:1,

靠模基准圆半径的确定方法是: 当弯曲滚轮上升高度为零时, 靠模所需的射线半径针对所附加靠模装置的结构尺寸取基准圆半径为 $r_0 = 152\text{mm}$ 。

根据XG-4型型材滚弯机下滚轴的直径与某一型材零件最大剖面的尺寸, 取摩擦靠轮的直径 $D_f = 235\text{mm}$ (周长为737mm), 链轮传动系统的传动比为 $i = 6.5:1$, 所以靠模转动一周所对应的型材零件位移量(L)为:

$$L = \pi D_f i = \pi \times 235 \times 6.5 = 4800\text{mm}$$

当靠模转动 1° 时, 型材零件的位移量 $L_{\alpha-1}$ 为:

$$L_{\alpha-1} = \frac{\pi D_f i}{360} = 13.35\text{mm}$$

由图6(a)所示的弯曲滚轮相对于上滚轮上升值的几何关系可知, 在弯曲之前($H=0$)上滚轮与弯曲滚轮的中心距 Y_0 为:

$$Y_0 = r_2 + h + r_1 \quad (1)$$

或

$$Y_0 = R_2 + t + r_1$$

型材弯曲之后, 上滚轮与弯曲滚轮的中心距减小为 Y (见图6b):

$$Y = \sqrt{(R_{\alpha} + t + R_2)^2 - X^2} - R_{\alpha} + r_1 \quad (2)$$

故得弯曲滚轮的上升值(H)为:

$$\begin{aligned} H &= K(Y_0 - Y) \\ &= K(R_{\alpha} + r_2 + h - \sqrt{(R_{\alpha} + t + R_2)^2 - X^2}) \end{aligned} \quad (3)$$

或

$$\begin{aligned} H &= K(Y_0 - Y) \\ &= K(R_{\alpha} + R_2 + t - \sqrt{(R_{\alpha} + t + R_2)^2 - X^2}) \end{aligned}$$

由于型材在闸压过程中弯曲处冷作硬化严重, 故理论推导的弯曲滚轮上升值的计算公式必须加以修正。根据实践, 上式的修正系数 K 约取0.675。

对于硬铝(LY12M)板料, 型材内层纤维回弹前的弯曲半径 R_{α} 可按3.2.8式

(7) 计算。式中的 H 即板弯型材剖面的高度 h (见图6b)。

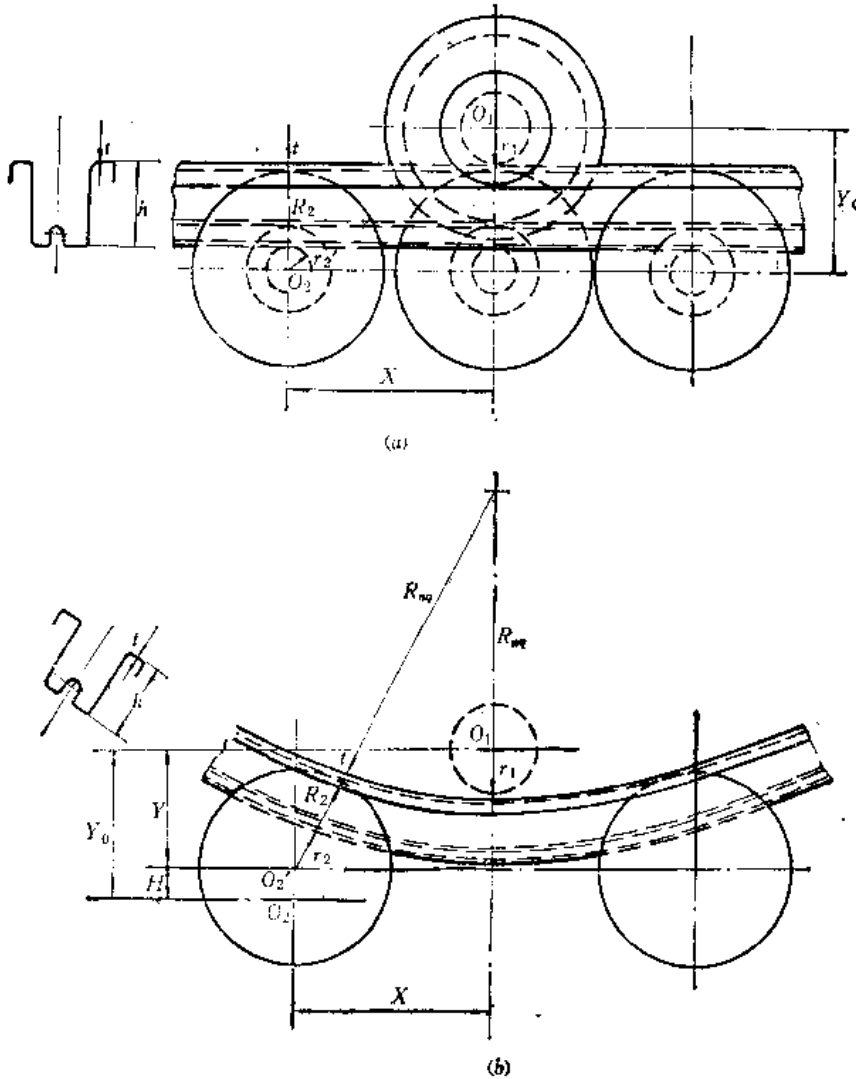


图6

由于型材剖面的形状与尺寸种类繁多,采用弯曲滚轮上升值与回弹半径的计算方法具有较大的实用意义。图7所示是利用3.2.8式(7)计算L形组合剖面板弯型材所获得的理论曲线与实验值的对比。该板弯型材的材料为LY12M t1.8,剖面高度 $h=60\text{mm}$ 。下滚轮的最小半径 $r_2=66.5\text{mm}$;弯曲滚轮的最大半径 $R_2=124.7\text{mm}$;弯曲滚轮水平中心距为 $2X=514\text{mm}$ 。计算值(H_c)与实验值(H_e)的数据如表(1)所列。由计算表中可知,按式(3)与3.2.8节式(7)所求得的弯曲滚轮上升值的计算误差不超过6%,且计算值一般略大于实验值,有利于型材的校形工作。

在型材剖面尺寸种类不多的情况下,也可通过工艺试验建立弯曲滚轮上升值(H)-零

件曲率半径 (R) 的回弹曲线 (见图8), 作为靠模设计的原始依据。

在XG-4型型材滚弯机上所附加的靠模设计步骤如下:

(1) 将零切样板按曲率半径的变化规律划分为若干区间 (曲率半径相近的划为同一区间) 1-2、2-3、……等 (见图9)。

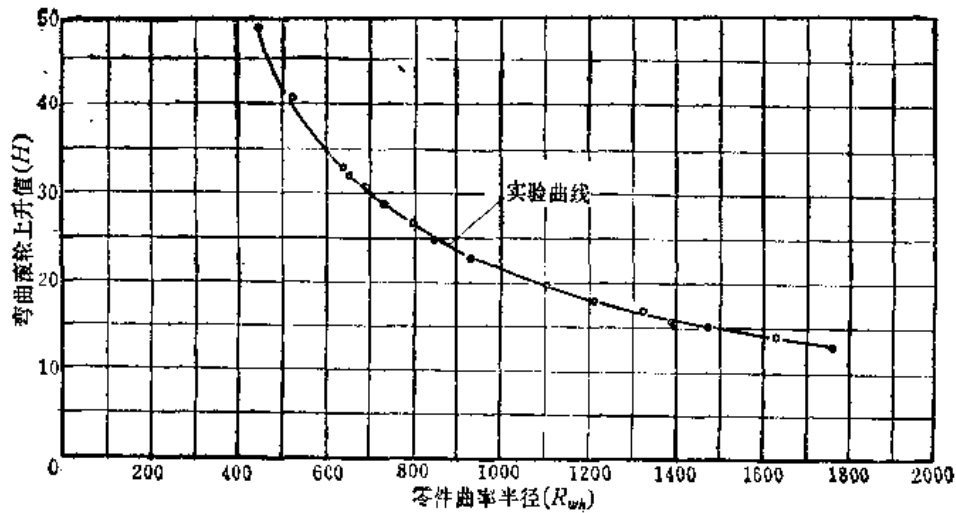


图7

表1. 弯曲滚轮上升值与回弹半径数据表

(mm)

试件编码	R_{w1}	R_{s1}	R_{s2}	H_0	H_s	误差 (%)
1	1760	1700	1540	12.85	13	-1.15
2	1630	1570	1435	13.5	14	-3.6
3	1470	1410	1295	14.85	15	-1
4	1390	1330	1226	15.6	16	-3.1
5	1320	1260	1165	16.2	17	-4.7
6	1210	1150	1070	18.2	18	+1.1
7	1100	1040	970	20.9	20	+4.5
8	930	870	820	24.3	23	+5.7
9	850	790	747	26.3	25	+5.2
10	790	730	692	28.4	27	+5.2
11	730	670	636	29.7	29	+2.4
12	680	620	591	31.7	31	+2.3
13	650	590	563	33.8	32	+5.8
14	635	575	549	34.4	33	+4.2
15	515	455	436	41.8	41	+1.96
16	445	385	371	47.9	49	-2.2

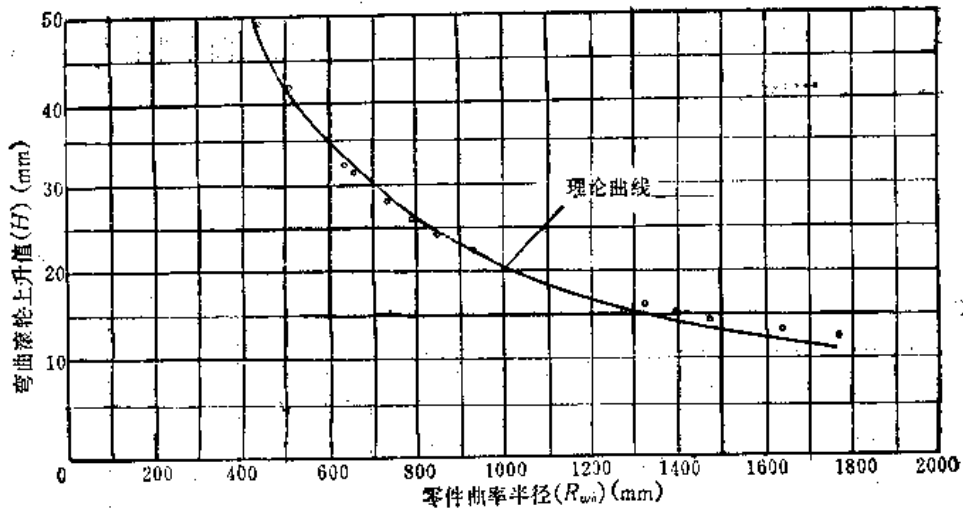


图8

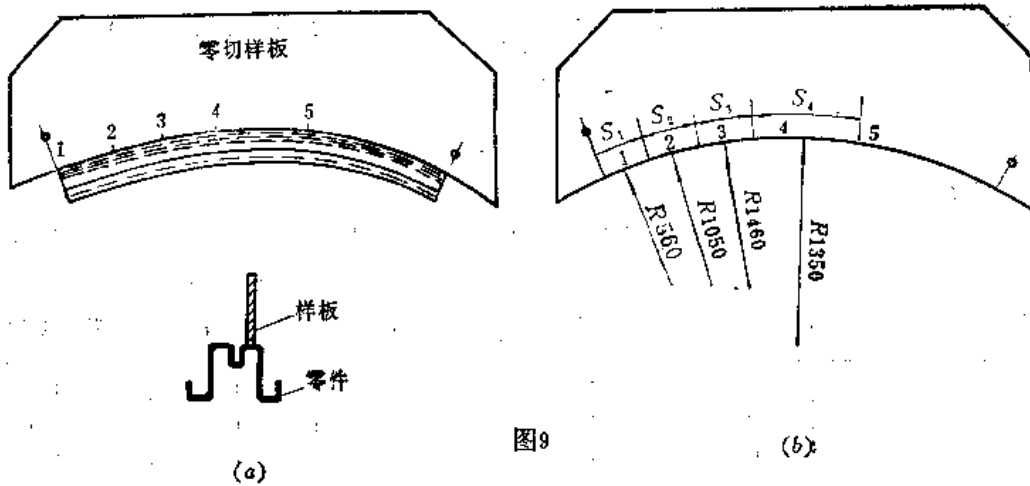


图9

(2) 利用卷尺测量各区间的弧长 S_1, S_2, \dots, S_i 等并将数据列入计算表 2 内。

(3) 利用半径板（绘有不同半径圆弧的平板）或半径仪测量零切样板各区间的曲率半径 R_{w1}, R_{w2}, \dots 等。

(4) 由计算公式 (3) 与 3.2.8 节式 (7) 计算或由回弹曲线查得已知各区间的曲率半径 R_{wi} 所对应的弯曲滚轮上升值 H_i 。

(5) 计算靠模上对应于零切样板各区间弧长 S_i 的工作角度 α_i 。靠轮对应于样板上的弧长 S'' 所走过的周长 S'' （见图 10）应为：

$$S'' = S' \frac{R''}{R_{wi}} = S' \frac{R_{wi} - h'}{R_{wi}}$$

例中 $h' = 50\text{mm}$ 。

表2. 靠模计算数据表

(mm)

区 间	$R_{\text{外}}$	S'	S''	H_i	r_i	α_i
1~2	560	90	82	37.5	189.5	6.15
2~3	1050	220	210	20.4	172.4	15.8
3~4	1460	430	415	15.3	167.3	31.1
4~5	1350	320	308	16.4	168.4	23.1
5~6	1240	170	163	17.6	169.6	12.2
6~7	1180	320	307	18.4	170.4	23
7~8	1060	230	219	20.3	172.4	15.4
8~9	960	150	142	22.2	174.2	10.7
9~10	1200	90	86	18.1	170.1	6.45
10~11	870	300	283	24.4	176.4	21.2
11~12	850	150	141	25	177	10.6

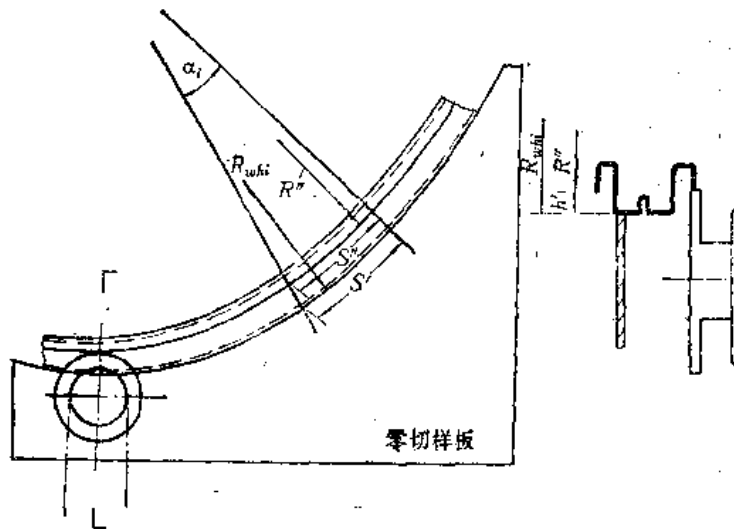


图10

因此，靠模对应于样板上各区间弧长的工作角度为：

$$\alpha_i = \frac{S''}{L_{i-1}} = \frac{S'(R_{\text{外}i} - k')}{13.35}$$

(6) 计算靠模各区间的射线半径。靠模各区间的射线半径 r_i 可按下列式计算：

$$r_i = r_0 + H_i$$

对于 XG-4 型型材滚弯机所附加靠模机构的结构尺寸，靠模基圆的半径取 $r_0 = 152 \text{ mm}$ 。

靠模的材料可采用厚度约为 5mm 的硬铝板料。绘制步骤如下 (图 11)：

- (1) 在铝板上首先绘制基准圆，半径取 r_0 。
- (2) 按计算数据表中的 α_i 与 r_i 绘制各区间的圆弧 (见图 a)。
- (3) 取各区间半径重叠处的中点 $1'$ 、 $2'$ 、……，而后用光滑曲线将各中点连接起来即成为靠模的初始型面 (见图 b)。

在批量不大时，靠模采用淬火状态的硬铝板制造便于修整外形。如果批量较大或同

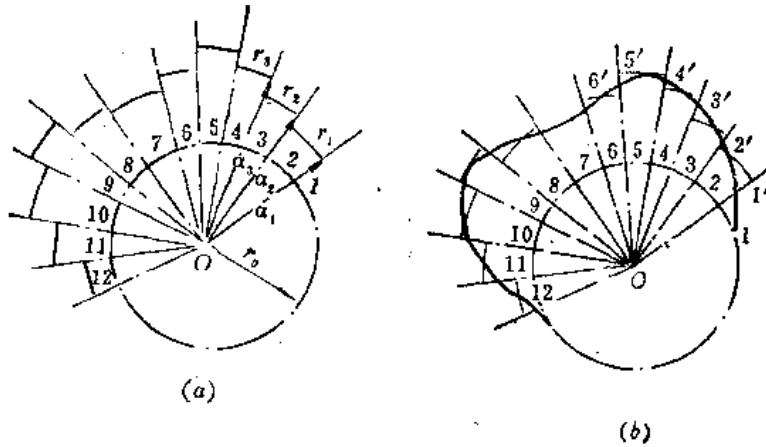


图11

一靠模可滚弯零件的数量较多时，靠模较易磨损，可改用钢板制造。

按照靠模的初始型面进行试滚弯，滚弯后按照型材零件回弹后曲率半径偏大或偏小修正初始型面，直至滚弯后的型材零件符合要求为止。

靠模须打下下列标志：起始线、终止线、弯曲滚轮起始高度，弯曲滚轮水平中心距、旋转方向、靠模机构传动比以及产品图号等。

3.2.10 型材滚弯过程的一般性问题

一般性问题	示意图	解决的方法
斜弯曲-扭转变形		<ol style="list-style-type: none"> 1. 增大导轮直径; 2. 减小弯曲滚轮中心距 (2X); 3. 弯曲滚轮两侧带侧挡

一般性问题	示意图	解决的方法
剖面角度的变化		<p>在滚弯过程中限制缘板变形</p>
腹板与缘板的错动		<p>上导轮的垫圈直径按下式计算： $d = (D - 2(H - S))^{0.2}$ $- S) ; \pm 0.1 \text{ mm}$</p>
腹板失稳起皱		<ol style="list-style-type: none"> 1. 控制上导轮垫圈的厚度； 2. 减小弯曲滚轮中心距(2X)
型材两端保留直线段(A)与非圆段(B)		<ol style="list-style-type: none"> 1. 减小上导轮与弯曲滚轮水平中心距； 2. 采用组合滚弯

3.2.11 型材滚形

细长的等剖面板弯直型材的快速成形方法之一是滚形。条料在滚形机内利用一系列成对的滚轮逐步地进行塑性变形而形成各种形状的剖面的过程称为滚形。这种直型材的滚形要求剖面的弯曲半径大于最小弯曲半径。滚形速度约每分钟10m。这种工艺方法能够成形的剖面形状与尺寸是多种多样的。这种型材采用滚形方法比在闸压床上成形具有下列优点：(1)沿纵向的剖面形状与尺寸比较一致；(2)因采用逐步成形法，冷作硬化程度减小且型材的局部变形量较小；(3)采用条料的成本低于板料。为保证型材剖面的质量以滚形代替闸压是目前直型材成形的发展方向。

型材滚形后一般需要通过滚弯或拉弯成形而制成各种弯曲零件。

滚形机（简称滚床）是由一系列的滚轴所组成的。这些滚轴上均安装有不同形状的滚轮。下滚轴是不可调的，上滚轴可在垂直方向上进行调节，以控制上下滚轮的中心距。条料每通过一对成形滚轮变形量逐步增加，直至形成所需要的形状。在滚床的出口端，型材必须进行“过成形”以补偿回弹量。当型材通过最后一对滚轮后必须再通过校形以消除成形过程中所引起的皱纹。滚轮设计的要点是确定其形状、尺寸与数量。对于剖面形状复杂的型材，滚轮的设计必须采用数学分析与试验相结合的方法以确定每对滚轮之间的流线公式。这些流线反映了各对滚轮之间型材变形量的分配与材料的性能。各对滚轮的形状可由这些流线获得。在流线公式中应考虑金属在滚形过程中横向的拉伸或压缩变形以及回弹量等等。

对于剖面由简单几何形状所组成的型材（见图1），可在剖面上先标出几个参考点 c 、 d 、 e 、 f 与 b 。从平板状条料到成形剖面之间这些参考点是沿直线（即流线）移动的。滚轮的形状即取自这些流线在上下滚轴轴线平面的截点。图中平板状条料与成形剖面的几何关系为： $c_1d_1=cd$ ， $d_1e_1=de$ ， $e_1f_1=ef$ ， $f_1b_1=fb$ 。滚轮的数量决定于型材的长度与滚形机滚轴的间距。对于图1中所示的型材，成形滚轮为6对。

对于剖面形状比较简单的工形型材（见图2），有的可以单根滚形而成（见图3与4），有的可以组合滚形而后切开（图5）。后者虽然可以防止型材剖面形状的畸变，但浪费材料。

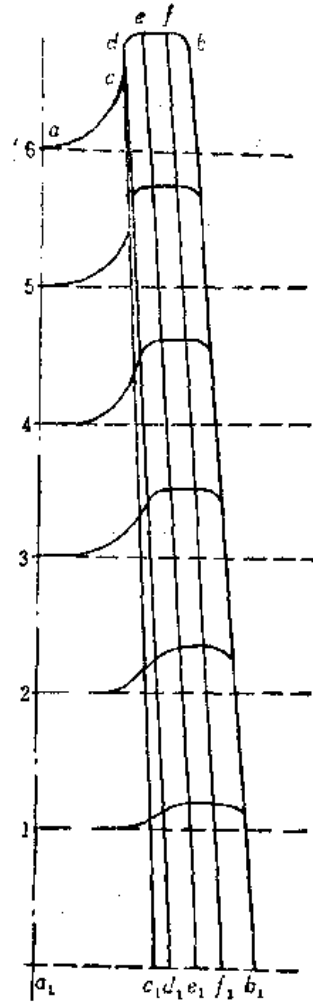


图1



图2

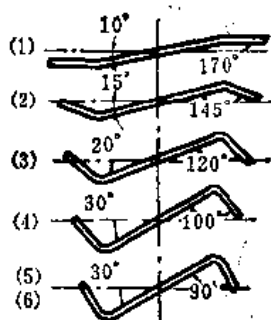


图3

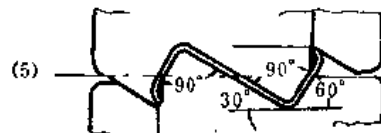
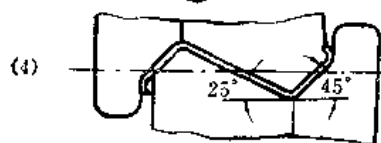
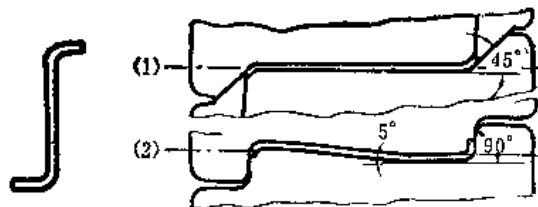
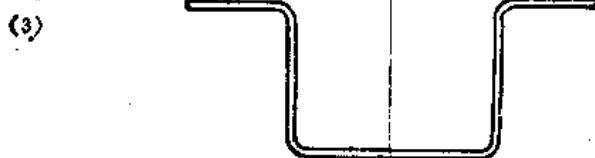
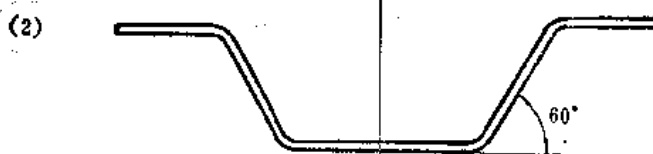
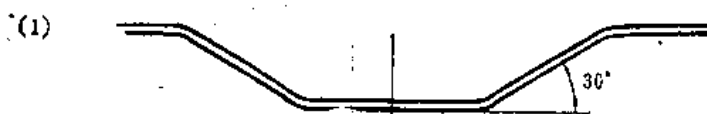


图4



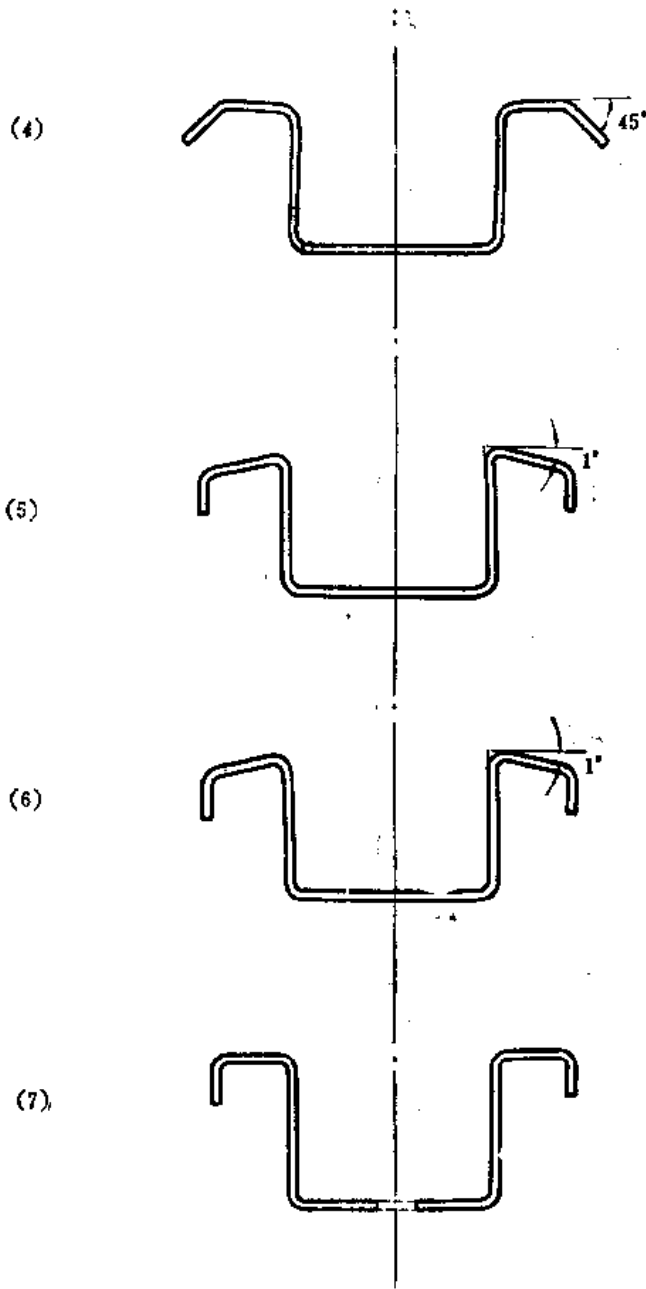


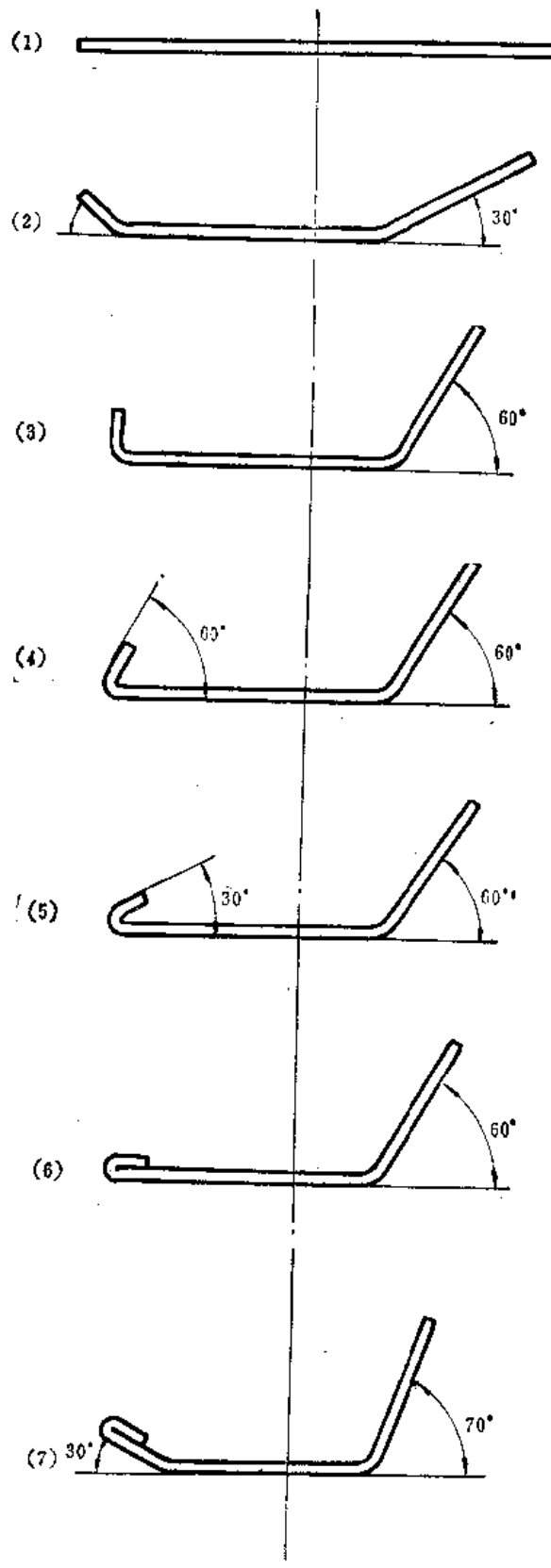
图5

此外，尚有许多剖面形状（决定于产品的特种需要）复杂的直型材（见图6），它们



图6

的滚形过程需要采用更多的滚轮才能逐步成形。图7所示为微型汽车流水槽弯曲件的直型材滚形过程。图8所示为该种汽车窗框型材的滚形过程。



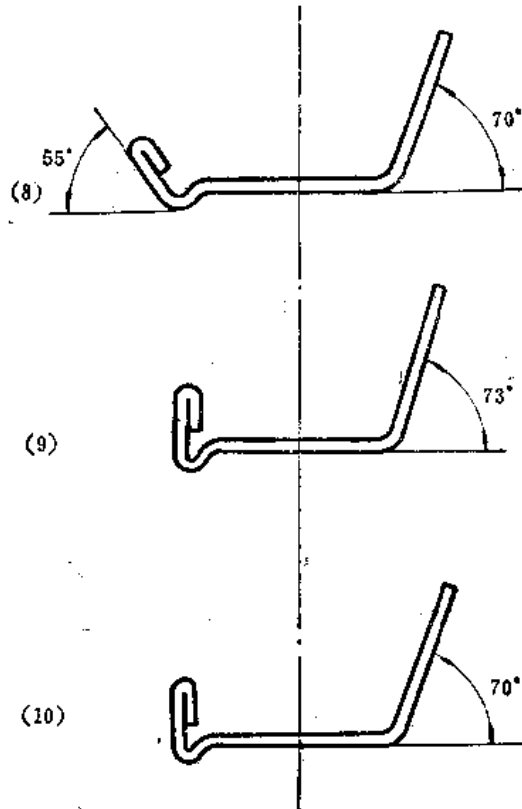
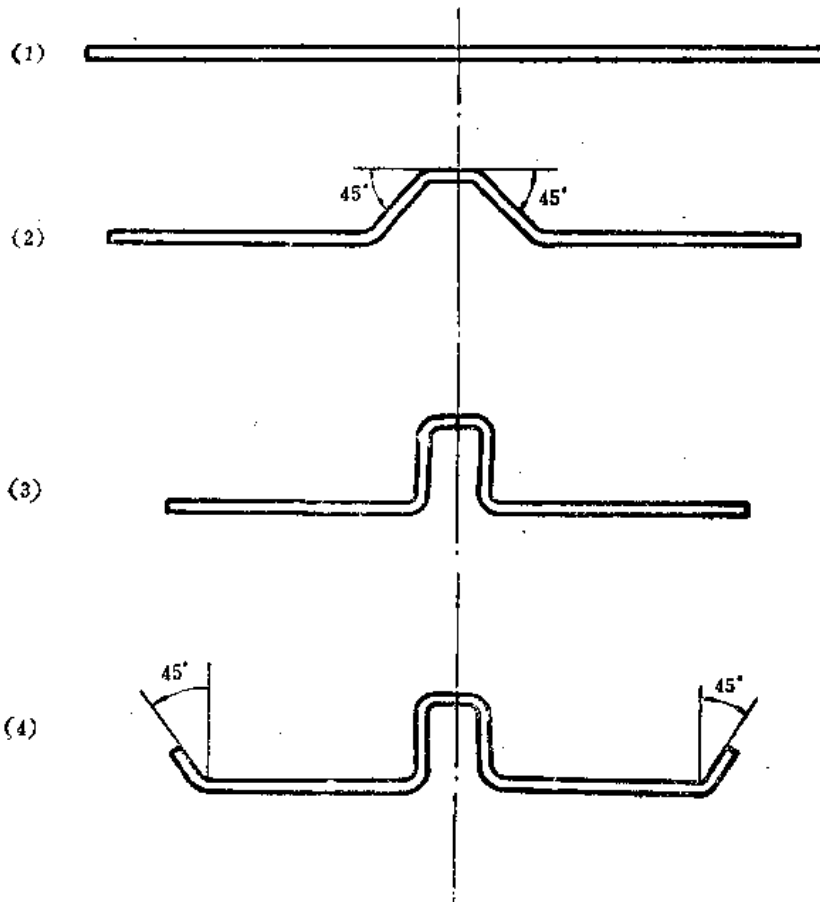
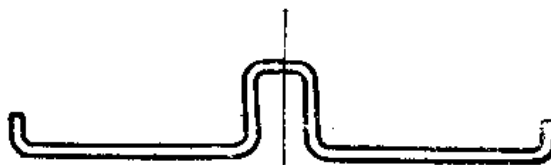


图7



(5)



(6)



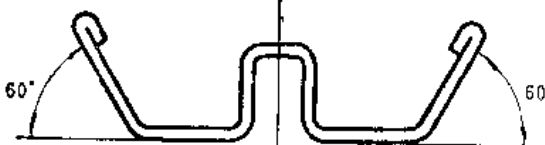
(7)



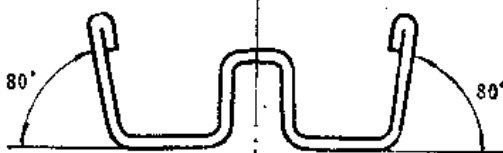
(8)



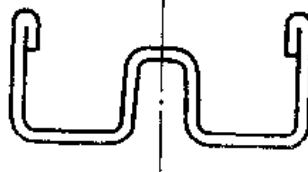
(9)



(10)



(11)



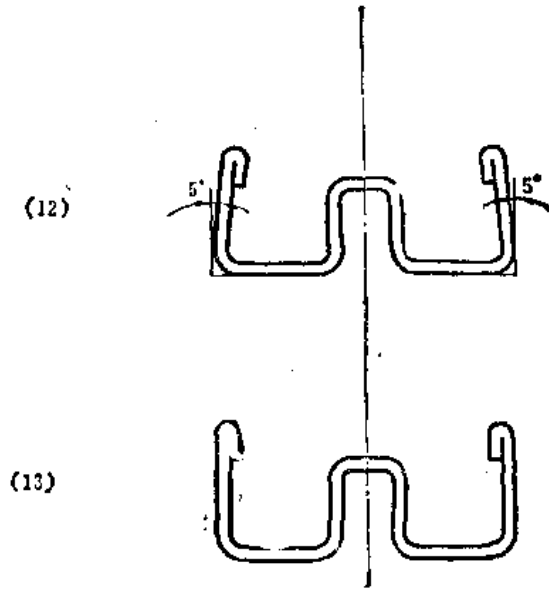
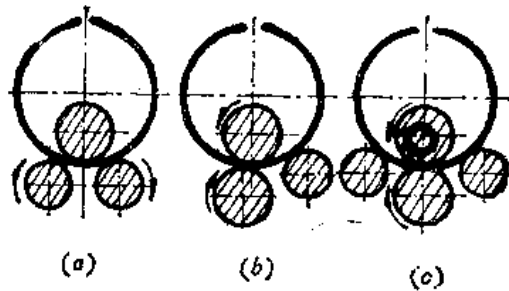


图8

3.2.12 板料滚弯机

滚弯板料零件的滚弯机按照滚轴数量与排列位置可分为三种类型：(1)对称三轴滚弯机；(2)不对称三轴滚弯机；(3)四轴滚弯机（见图 a, b, c）。各种板料滚弯机的技术性能如表所列。为适当无损弯曲成形的需要，目前尚出现一种二轴滚弯机。其上滚轴仍为钢轴，下滚轴工作面采用聚氨酯橡胶。



板料滚弯机的技术性能

机床型别	零件最大长度 (mm)	铝合金板料最 大厚度(mm)	最小弯曲半径 (mm)	上滚轴最大作 用力 (t)	上滚轴许 可倾斜度	靠模类型
KГJI-1M	3500	3.5	20	20	40'	机械
KГJI-2	5000	6	75	110	1°	液压
KГJI-3	7000	10	150	275	30'	无靠模

3.2.13 型材滚弯机

滚弯型材零件的滚弯机按滚轴所处的位置可分为水平轴式与垂直轴式两大类。前者主要用于弯曲小尺寸的型材，后者用于弯曲大型金属结构型材。各种滚弯机的技术性能如表中所列。

型材滚弯机的技术性能

机床型别	型材剖面最大高度与厚度 (mm)	最小弯曲半径 (mm)	弯曲轮最大作用力 (t)	导轨电动机功率 (kW)	液压泵电动机功率 (kW)
ΠΓ-2M	80×8	300	8.5	4.5	2.8
ΠΓ-3	100×20	250	12	7	4.5
ΠΓ-4	80	100	12	10	4.5+1.7+2.8

参 考 资 料

- (1) 李金荣, 张顺富, 陈毓助, “蒙皮摹模滚弯”, 《航空工艺》, 1974, 4。

3.3 绕弯

管材的弯曲，某些环形件及曲率变化很小的型材零件的弯曲，往往采用绕弯成形。

3.3.1 型材绕弯

型材的绕弯，就是用推力轮（或侧压块）将型材逐渐连续压入模具的空槽内使之成形的弯曲过程。因型材腹板在模槽内为刚性支持，故零件的起皱及剖面畸变、扭翘等现象可大为减少。在型材的绕弯过程中，采用可摆动的侧压头，同时能压校零件的剖面夹角及成形变倾角的零件。

因绕弯基本是纯弯曲，用此法制出的零件仍有较大的回弹，设计绕弯模具时，必须考虑修出回弹值。

3.3.1.1 型材绕弯的方式与选择

型材绕弯通常有如下两种方式（见图1）。

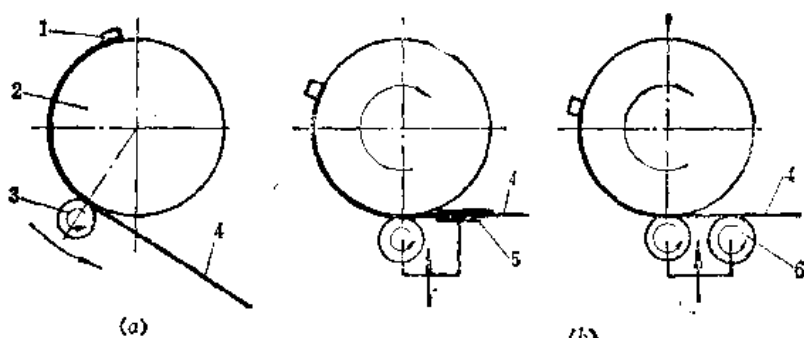


图1

(a) 侧压绕弯；(b) 回转牵引绕弯。

1—压紧块；2—绕弯模；3—侧压轮；4—工件；5—导向块；6—导向轮。

1. 侧压绕弯：通常用于刚度较小的零件，绕弯时模具不转动，侧压滚轮绕模具转动，将工件压入模槽。对小零件可手工绕弯。

2. 回转牵引绕弯：在绕弯过程中模具转动，侧压轮将工件推入模槽。一般采用导向块（或导向滚轮），因有导向装置的导向与支持，绕弯时零件剖面畸变小，可绕弯刚度较大的零件及变曲率、变倾角的零件如图2。

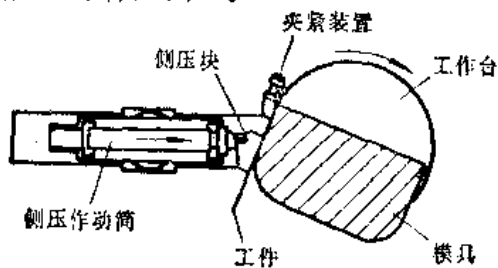


图2

绕弯、滚弯与拉弯三者比较见下表。

项 目	滚 弯	绕 弯	拉 弯
成形精度	有畸变、较差	较 好	最 好
成形变曲率零件	一般不能	能成形变曲率零件	能成形变曲率及复杂件
模具成本	成本低	较 高	最 高
成形零件直径	不限	受台面尺寸限制	受台面尺寸限制
成形变倾角零件	不能成形	能成形	能成形
节约原材料	中等	最 好	较 差

综合上表，绕弯用于产量较大的中等尺寸零件、特别是圆框形零件；拉弯用于变曲率，精度要求高的复杂件；滚弯用于试制及圆形简单件。

3.3.1.2 绕弯力矩及回弹量的计算

在选择或设计绕弯机时，须计算绕弯力矩；在设计绕弯模时，必须计算绕弯的回弹量。

绕弯力矩可按下式计算

$$M = \sigma_s \cdot S_s + \frac{D}{\rho} J_s \quad (1)$$

式中 σ_s ——零件材料的近似实际应力曲线的屈服极限（见表1）；

D ——材料的应变刚模量（见表1）；

S_s ——型材截面积对 x 轴的静矩（见表2）；

J_s ——型材截面对 x 轴惯性矩（见表2）。

表1. 常用材料的 σ_s 及 D 值⁽¹⁾

材 料 牌 号	$D, \text{N/mm}^2$	$\sigma_s, \text{N/mm}^2$
LF21M	131	103.5
LY12M	189	164.4
20号铝	468	383.8
30CrMnSi	700	602
1Cr18Ni9Ti	915	603.9

绕弯曲率的回弹值可按下式计算：

$$\Delta K = \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} = \frac{\sigma_s \cdot S_s}{E \cdot J_s} + \frac{D}{E \rho} \quad (2)$$

式中 ρ, ρ_0 ——回弹前及回弹后零件中性层（重心）处的曲率半径。

零件的角度回弹值可按下式计算

$$\Delta \alpha = \left(\frac{\sigma_s \cdot S_s}{E \cdot J_s} \rho + \frac{D}{E} \right) \alpha \quad (3)$$

表2. 常用型材截面的 S_x, J_x 值

截面形状	重心位置	J_x	S_x
	$y_1 = y_2 = \frac{H}{2}$	$\frac{1}{12} b H^3$	$\frac{1}{4} b H^2$
	$y_1 = y_2 = \frac{d}{2}$	$\frac{1}{64} \pi d^4$	$\frac{d^3}{6}$
	$y_1 = y_2 = \frac{1}{2}(d_0 + d)$	$\frac{1}{8} \pi d^3 + \pi d \delta$	$\delta d_{cp}^2 + \frac{1}{3} \delta^3$
	$y_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{aH^2 + bc^2}{aH + bc} \right)$ $y_2 = H - y_1$	$\frac{1}{3} (By_1^3 - bh^3 + \frac{1}{2}(a(y_2^2 + h^2) + ay_2^3))$	$B(y_1^2 - h^2)$
	$y_1 = \frac{aH^2 + B_1C^2 + b_1C_1(2H - C_1)}{2(aH + B_1C + b_1C_1)}$ $y_2 = H - y_1$	$\frac{1}{3} (By_1^3 - B_1h^3 + by_2^3 + b_1h_1^3)$	$\frac{1}{2} [a(h^2 + h_1^2) + B(y_1^2 - h^2) + b(y_2^2 - h_1^2)]$

式中 a ——零件在绕弯时回弹前的弯曲角,

计算出的 ΔK 、 $\Delta\alpha$ 值在模具设计时应加以补偿，通过试模后再作最后修正。

3.3.1.3 绕弯过程常见缺陷

1. 零件扭斜：弯曲不对称型材时容易出现扭斜（弯扭）。为便于绕弯成形，非对称的板弯型材可以组合成对称剖面工件进行绕弯，成形后切开；或在模具设计上将零件“套住”，限制零件的扭转及当零件绕弯到端头脱离导向装置时向下滑动（见图1）。

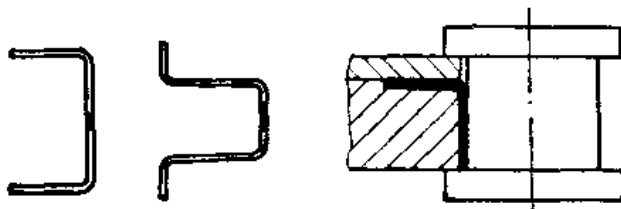


图1

2. 收边角材、槽型材缘板与腹板的错动（塌肩）：产生原因是绕弯模中模槽深度过大，型材腹板得不到可靠的支持。可加大绕弯模垫板尺寸加以克服，如图2。

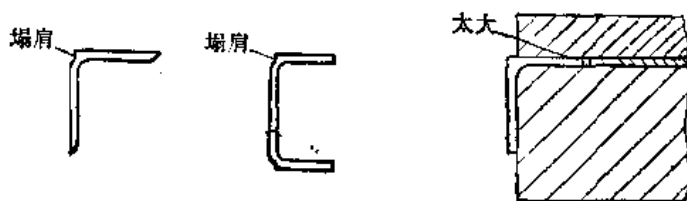


图2

3. 收边零件腹板内侧起皱：当零件的相对弯曲半径较小时，腹板内缘受压失稳而起皱，可采用以下措施加以克服：增长导向块尺寸，并将导向块做成封闭式的，尽量缩短毛坯进入绕弯模模槽前的“悬空”距离，使毛坯进入模槽前始终受到导向块的刚性约束，如图3；适当加大侧压力，辗压毛坯缘板使之变薄，从而减少了腹板内侧的收缩程度，避免起皱。

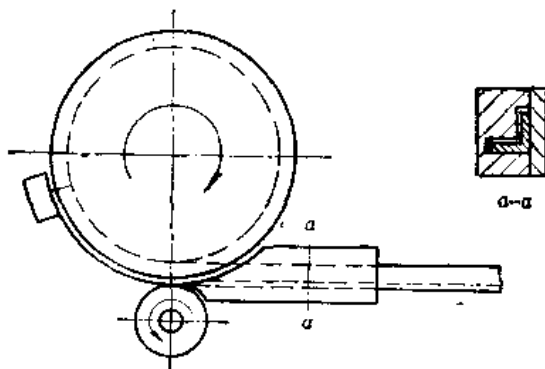


图3

4. 收边角材成形后腹板面挠曲（不在一平面上）：产生原因是侧压力过大，零件缘板过分辗薄，可减少侧压力加以克服。

5. 零件外缘开裂：绕弯基本上是一个纯弯曲过程，中性层外侧材料受拉。当相对弯曲半径过小，外侧纤维拉伸变形达到材料的极限延伸率时而产生破裂。绕弯时最外层纤维的延伸率为： $e_{max} = \frac{y}{\rho}$ ， ρ 为中性层的曲率半径； y 为型材剖面中性层到最外侧纤维的距离（见表2），计算出 e_{max} 应小于材料的极限延伸率。用上式可近似确定型材的最小弯曲半径。

6. 绕弯后零件开始端存在直线段，末端剖面畸变及开裂：“开始端”因弯不到而保持直线段，需用压模预成形。而工件末端绕弯时毛坯脱离导向轮（或导向块），工件无刚性约束而产生斜扭，同时只有侧压轮加载，弯曲力过大而产生端头裂开。可加长导向块长度加以改善及增加工艺余量，成形后将该段切除。

3.3.1.4 绕弯模与侧压装置

绕弯模：其截面形状应符合型材切面特点，模具材料可用铸铁、铸铝、钢板等材料制造。绕弯由角材、丁字型材、槽形、帽形型材等包角为 180° 的型材零件时，因工件绕弯后有较大的回弹，一般模具不需做成活动式的（如盖板可取下）零件成形后弹开即可从模具中取出。常用型材绕弯模剖面图见图1。

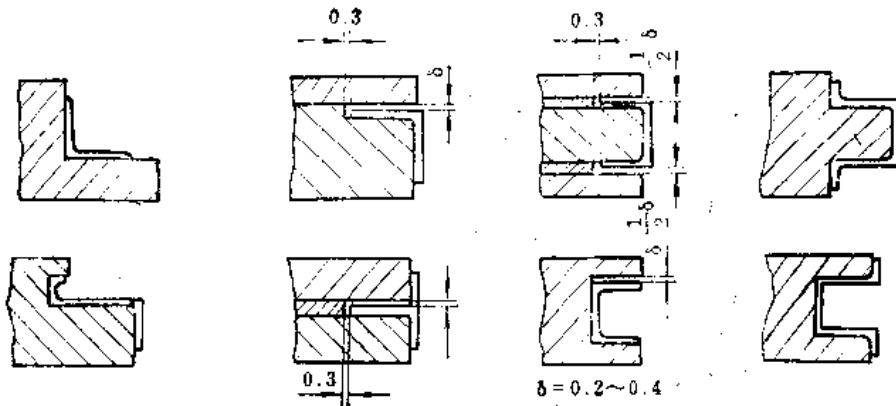


图1

侧压装置：侧压装置由侧压轮、导向轮（或导向块）组成。对空心型材，为防止侧压轮将零件压变形及剖面畸变，尚需加心棒支持。

侧压轮作用是校形，导向轮（导向块）起绕弯时施加弯曲力矩及导向作用。采用导向轮的优点是摩擦力小，不会划伤零件表面，但导向轮对型材的刚性约束作用不强，当材料脱离导向轮后（零件端头）即无导向。绕弯不对称剖面型材时，毛坯易产生扭转及内侧起皱等缺陷。采用导向块导向时，在绕弯过程中由于毛坯在进入绕弯模前，一直在导向块的刚性约束下，不易产生扭转及起皱等畸变。但导向块与零件之间的摩擦力大（滑动摩擦），对弯曲刚性大的零件时，若润滑不良易划伤表面。

侧压轮用工具钢制造，导向块可用工具钢、铸铁、青铜等耐磨材料制造。

对角材、扁钢、及中空零件进行绕弯时，侧压装置的结构见图2。帽形型材绕弯模的典型结构见图3。变倾角零件使用的可摆动的侧压轮见3.4.5.4节。

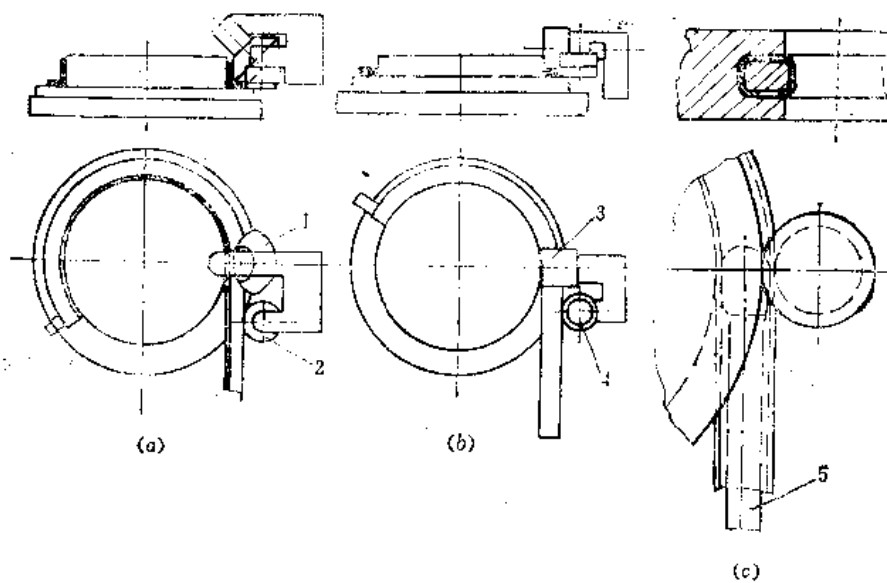


图2

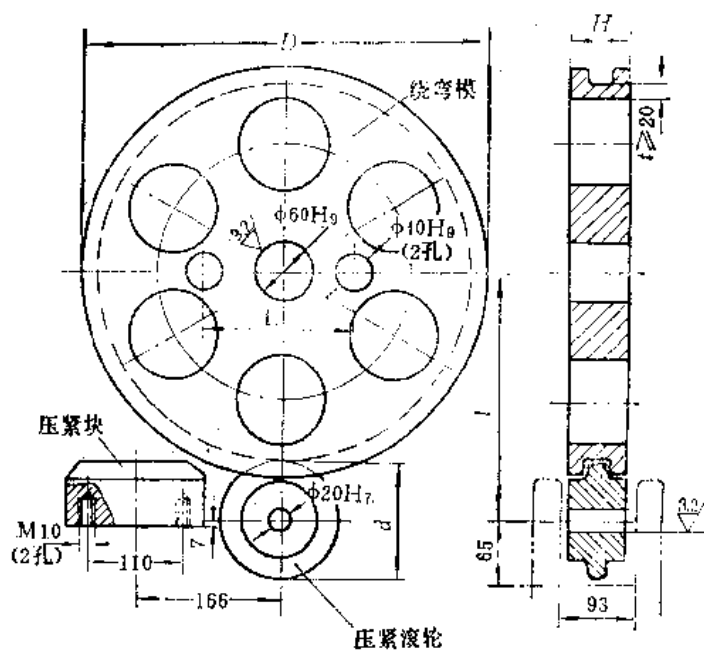


图3

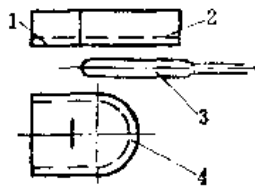
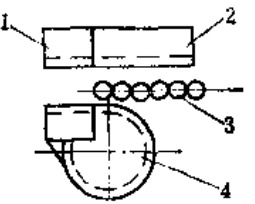
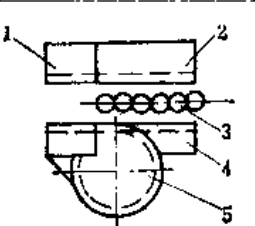
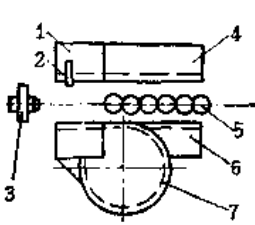
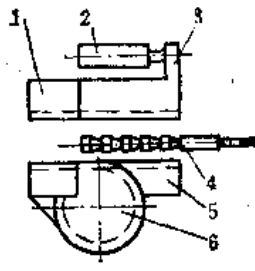
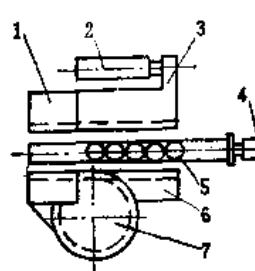
3.3.2 管子绕弯

3.3.2.1 管子绕弯方法和分类

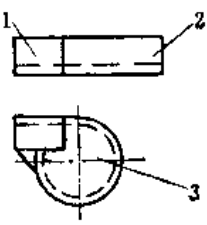
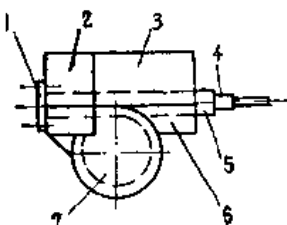
管子被夹紧在弯管模上，并与弯管模一起转动，当管子被拉过压块时，压块将管子绕弯在弯管模上，使管子弯曲成与弯管模一致的弯曲外形。

管子绕弯的分类见表。

管子绕弯的分类表(4)

类型代号	名称	简图	所需的弯管工具	弯管设备 选择
一	使用柱塞心棒(或弧式心棒)的绕弯法		1. 夹块; 2. 压块; 3. 柱塞心棒; 4. 弯管模	手动弯管机或 电动弯管机
二	使用单球、双球或多球心棒的绕弯法		1. 夹块; 2. 压块; 3. 多球心棒; 4. 弯管模	电动弯管机
三	使用多球心棒及防皱块的绕弯法		1. 夹块; 2. 压块; 3. 多球心棒; 4. 防皱块; 5. 弯管模	电动或液压弯管机
四	使用多球心棒、防皱块、夹紧筋和夹紧塞的绕弯法		1. 夹块; 2. 夹紧筋; 3. 夹紧塞; 4. 压块; 5. 多球心棒; 6. 防皱块; 7. 弯管模	大功率的电动 或液压弯管机
五	使用球窝联接的多球心棒及压块助力器的绕弯法		1. 夹块; 2. 压块助力器; 3. 压块; 4. 球窝联接的多球心棒; 5. 防皱块; 6. 弯管模	大功率的电动 或液压弯管机
六	顶推绕弯法		1. 夹块; 2. 压块助力器; 3. 压块; 4. 管端顶推助力器; 5. 心棒; 6. 防皱块; 7. 弯管模	大功率的电动 或液压弯管机

(续)

类型代号	名称	简图	所需的弯管工具	弯管设备选择
七	反变形绕弯法		1. 夹块; 2. 压块; 3. 弯管模	无心弯管机
八	使用液压鱼嘴式心棒及腰鼓形支撑体的绕弯法		1. 管端夹紧装置; 2. 夹块; 3. 压块; 4. 管端心棒筒体; 5. 鱼嘴心棒及腰鼓体; 6. 防皱块; 7. 弯管模	大功率的电动或液压弯管机

3.3.2.2 各类管子绕弯法的使用范围

3.3.2.2.1 单一绕弯

一根管子采用绕弯法只取一个弯的, 称单一绕弯。

单一绕弯最常用于气压管子, 因为大多数气压管子是焊接件, 其各部分之间的协调是个关键。若各部分采用单一绕弯, 利用钳焊夹具配焊可获得工艺补偿。将尺寸或角度上的积累误差降低到最小程度。

1. 0Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti、1Cr18Ni11Nb 退火状态不锈钢管的气压管子单一绕弯的使用范围见表 1。

〔例〕: 暖气管如图 1。材料为退火状态的 1Cr18Ni9Ti 不锈钢管, 其外径 D_0 为 56mm, 壁厚为 0.65mm。

选用何种绕弯法, 步骤如下:

第一步, 因是单一绕弯, 故在表 1 上选用;

第二步, 计算相对弯曲半径 $\bar{\rho} = \frac{\rho}{D_0} = \frac{56}{56} = 1$;

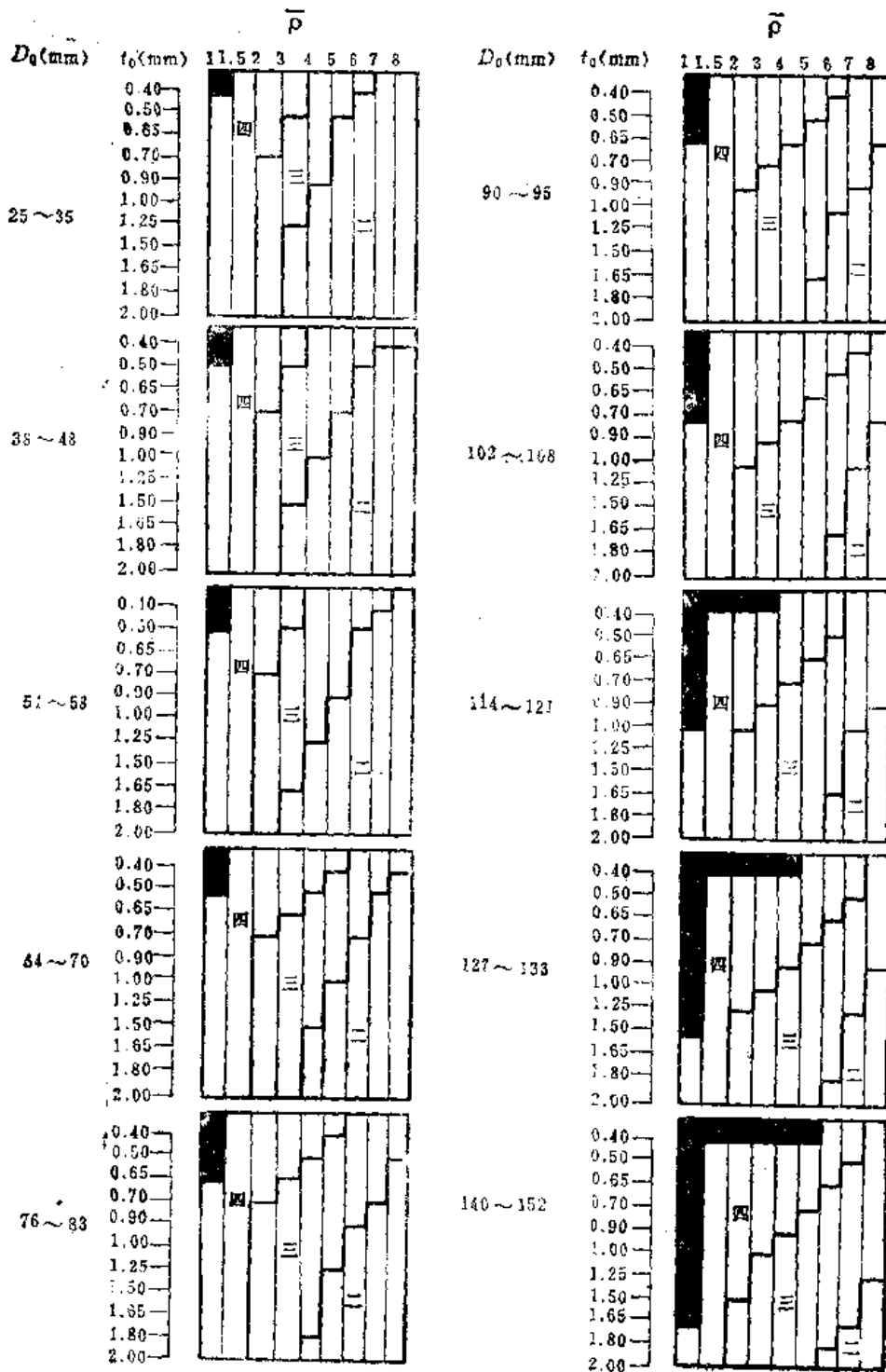
第三步, 按管外径 56mm, 壁厚 0.65mm, 在表 1 上找到能包含管外径 56mm 的尺寸段 51~58mm;

第四步, 在 51~58mm 尺寸段中找到壁厚 0.65mm 和 $\bar{\rho}$ 为 1 的, 横向纵向对应相交, 其交点所在区域 (除黑色区域外), 即为所选的第四种绕弯法。

本题 $\rho=56$ mm 为第四种绕弯法的最小弯曲半径。第二、三种绕弯法都无法达到。

2. 工业纯钛的气压管单一绕弯的使用范围见表 2。

表1. 0Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni11Nb 退火状态不锈钢
管单一绕弯使用范围



注: 1. D_0 为管子外径, t_0 为管子壁厚, ρ 为中性层弯曲半径, $\rho = \frac{D_0}{D_1}$;

2. 表内二、三、四代号表示使用的绕弯法种类见3.3.2.1表;

3. 外径小于25mm的管子尽量使用第一种绕弯法见3.3.2.1表;

4. 黑色区域为非正常使用范围;

5. 最小弯曲半径一般不用, 只有当结构上一定要选用时才用, 但生产成本将增加。

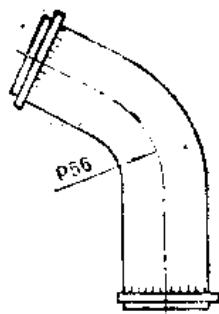
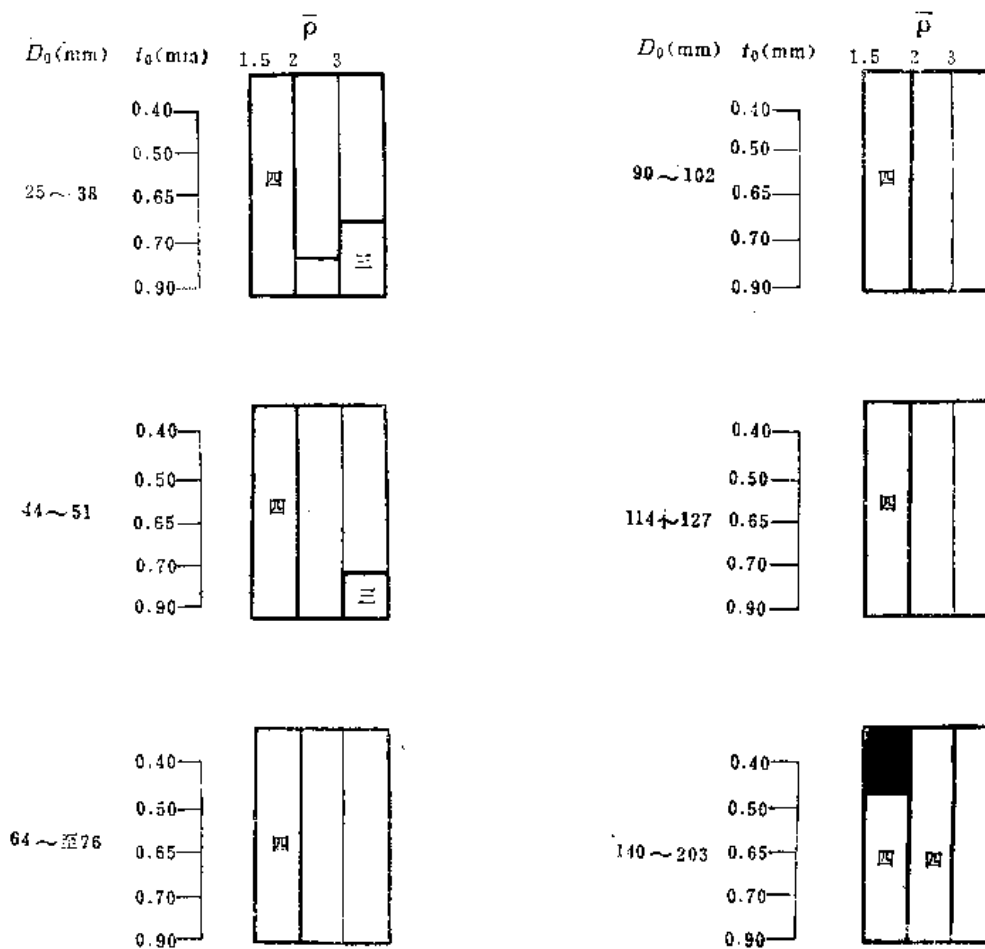


表2. 工业纯钛的气压管子单一绕弯的使用范围



注: 1. D_0 为管子外径, t_0 为管子壁厚, ρ 为中性层弯曲半径, $\bar{\rho} = \frac{\rho}{D_0}$;

2. 表内三、四代号表示使用的绕弯法种类见 3.3.2.1节表;

3. 外径小于25mm的管子尽量使用第一种绕弯法见 3.3.2.1节表;

4. 黑色区域为非正常使用范围;

5. 最小弯曲半径一般不用, 只有当结构上一定要选用时才用, 但生产成本将增加。

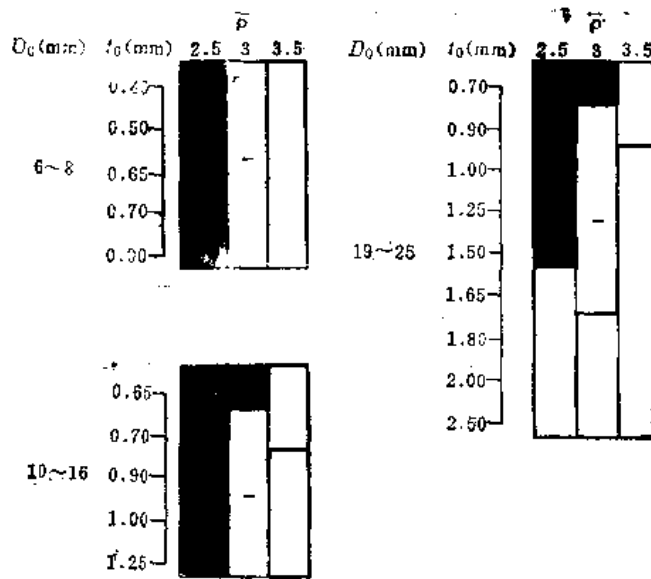
3.3.2.2.2 多次绕弯

一根管子采用绕弯法不限制在一个平面内的两次以上的弯曲, 其间直线长度不小于最小夹紧长度, 称之为多次绕弯。

多次绕弯最常用于液压管子和燃油管子。

1. 0Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti、1Cr18Ni11Nb 退火状态不锈钢管的液压管子多次绕弯的使用范围见3.3.2.2.1节表1。

表1. 1/8冷作状态的0Cr18Ni9不锈钢管的液压管子多次绕弯的使用范围



注: 1. D_0 为管子外径, t_0 为管子壁厚, $\bar{\rho}$ 为中性层弯曲半径, $\bar{\rho} = \frac{\rho}{D_0}$;

2. 表内一代号表示使用的绕弯法种类见3.3.2.1节表;
3. 黑色区域为非正常使用范围;
4. 最小弯曲半径一般不用, 只有当结构上一定要选用时才用, 但生产成本将增加。

2. 半冷作状态的0Cr18Ni9不锈钢管的液压管子多次绕弯的使用范围见表1。

3. LY12、LY16、LD2、LF2 退火状态铝合金的燃油管子多次绕弯的使用范围见表2。

〔例〕 燃油管如图。材料为退火状态的 LF2 铝合金, 其外径 D_0 为 38mm, 壁厚为 1mm。

选用何种绕弯法, 步骤如下:

第一步, ρ_1 和 ρ_2 之间的直线段100mm, 大于最小夹紧长度 ($2D_0=2 \times 38=76$ mm), 属于多次绕弯, 故在表2上选用;

第二步, 计算相对弯曲半径 $\bar{\rho} = \frac{\rho_1}{D_0} = \frac{76}{38} = 2$ 、 $\bar{\rho}_2 = \frac{\rho_2}{D_0} = \frac{114}{38} = 3$;

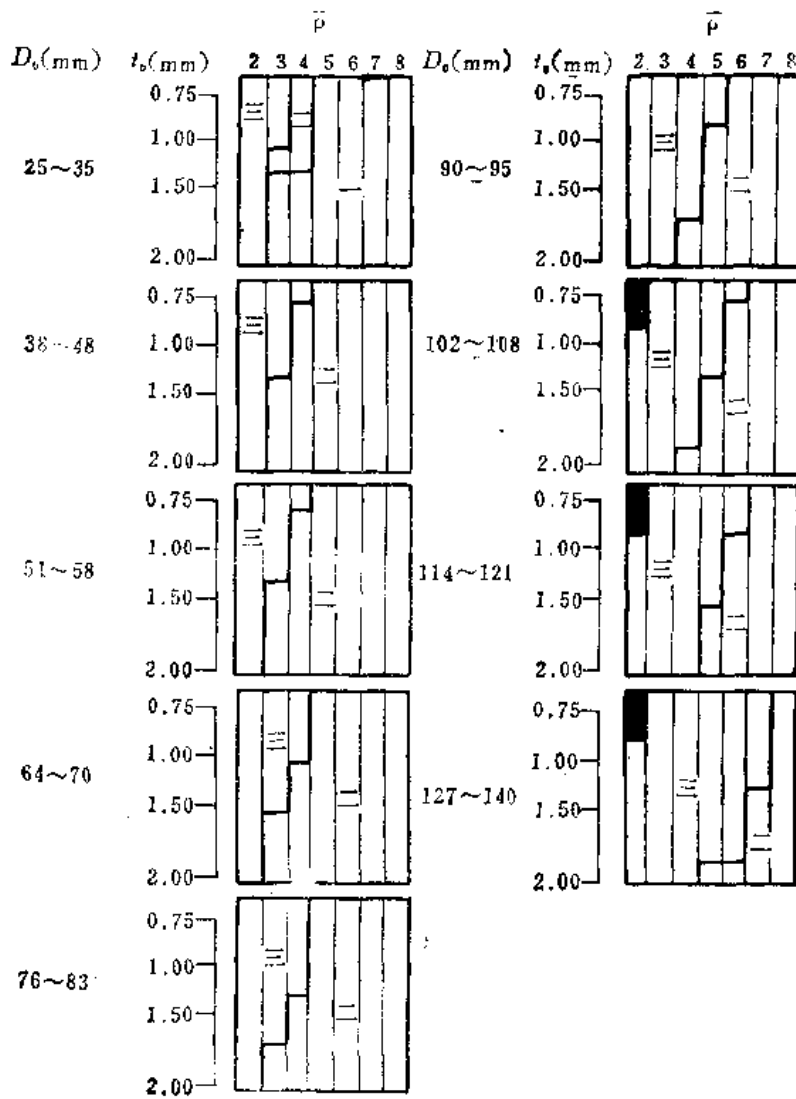
第三步, 按管外径38mm, 壁厚1mm, 在表2上找到能包含管外径38mm的尺寸段38~48mm;

第四步, 在38~48mm尺寸段中找到壁厚1mm和 $\bar{\rho}_1$ 为2、 $\bar{\rho}_2$ 为3的, 横向纵向对应相交, 其交点所在区域 (除黑色区域外), 即为所选的绕弯法——第三种绕弯法。

本题 ρ_1 76mm为第三种绕弯法的最小弯曲半径, ρ_2 114mm不是。第一、二种绕弯法都无法达到。

4. LY12、LF21、LD2 半冷作硬化状态铝合金的燃油管子多次绕弯的使用范围见表3。

表2. LY12、LY16、LLD2、LF2退火状态铝合金的燃油管子多次绕弯的使用范围



- 注. 1. D_o 为管子外径, t_o 为管子壁厚, ρ 为中性层弯曲半径, $\bar{\rho} = \frac{\rho}{D_o}$;
2. 表内一、二、三代号表示使用的绕弯法种类见3.3.2.1节表;
3. 外径小于25mm的管子尽量使用第一种绕弯法见3.3.2.1节表;
4. 黑色区域为非正常使用范围;
5. 最小弯曲半径一般不用, 只有当结构上一定要选用时才用, 但生产成本将增加.

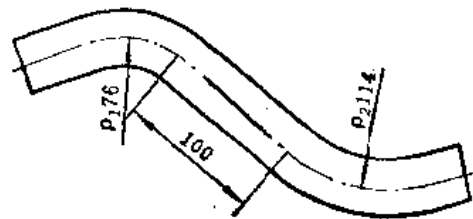
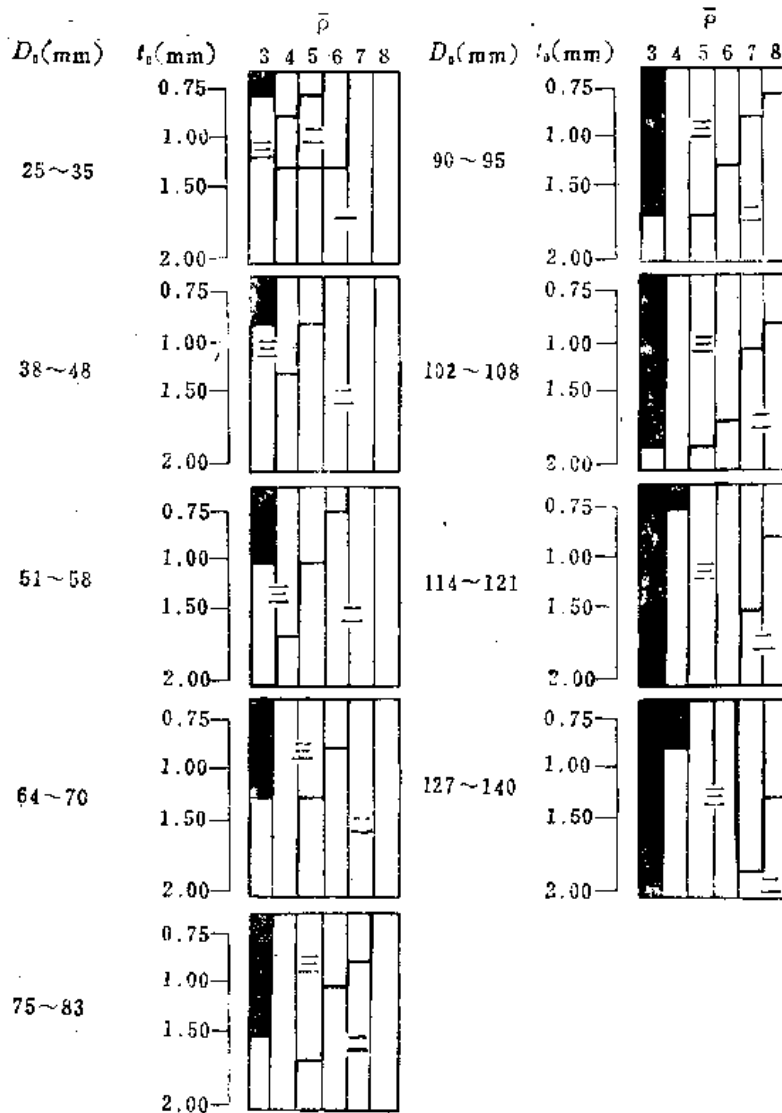


表3. LY12、LF21、LD2半冷作硬化状态铝合金的燃油管子多次绕弯的使用范围



注：1. D_0 为管子外径、 t_0 为管子壁厚、 ρ 为中性层弯曲半径、 $\bar{\rho} = \frac{\rho}{D_0}$ ；

2. 表内一、二、三代号表示使用的绕弯法种类见3.3.2.1表；

3. 外径小于25mm的管子尽量使用第一种绕弯法见3.3.2.1表；

4. 黑色区域为非正常使用范围；

5. 最小弯曲半径一般不用，只有当结构上一定要选用时才用，但生产成本将增加。

3.3.2.2.3 复合绕弯

一根管子采用绕弯法不限在一个平面内的两次以上弯曲，其间的直线长度小于最小夹紧长度，称之复合绕弯。

铝合金和厚壁不锈钢管的多次绕弯的标准夹紧长度为管外径的三倍 ($3D_0$)，最小夹紧长度为 $2D_0$ 。薄壁不锈钢管1Cr18Ni9Ti (退火) 和工业纯钛管多次绕弯的夹紧长度见表1、表2。

表1. 薄壁不锈钢管1Cr18Ni9Ti(退火)多次绕弯的夹紧长度 (mm)

管子规格		夹块长度			
		最小 $2D_0$		标准 $3D_0$	
外径 D_0	壁厚 t_0	最大弯角($^\circ$)	球式心棒长度	最大弯角($^\circ$)	球式心棒长度
38	0.41	35	$1D_0$	165	$2D_0$
	0.51	40	$1D_0$	165	$2D_0$
	0.64	45	$1D_0$	165	$2D_0$
51	0.41	30	$1D_0$	95	$2D_0$
	0.51	35	$1D_0$	100	$2D_0$
	0.64	40	$1D_0$	110	$2D_0$
64	0.41	不 用			
	0.51				
	0.64				
76	0.41	35	$1D_0$	90	$2D_0$
	0.51	40	$1D_0$	100	$2D_0$
	0.64	40	$1D_0$	105	$2D_0$
89	0.41	30	$1D_0$	80	$2D_0$
	0.51	35	$1D_0$	85	$2D_0$
	0.64	40	$1D_0$	95	$2D_0$
102	0.51	25	$1D_0$	80	$2D_0$
	0.64	30	$1D_0$	90	$2D_0$
	0.89	35	$1D_0$	95	$2D_0$
114	0.51	25	$1D_0$	60	$2D_0$
	0.64	30	$1D_0$	65	$2D_0$

表2. 工业纯钛管多次绕弯的夹紧长度

管子规格 (mm)		夹块长度 (mm)			
		最小 $2D_0$		标准 $3D_0$	
外径 D_0	壁厚 t_0	最大弯角($^\circ$)	球式心棒长度	最大弯角($^\circ$)	球式心棒长度
38	0.41	80	$1D_0$	110	$2D_0$
	0.51	85	$1D_0$	115	$2D_0$
	0.64	95	$1D_0$	120	$2D_0$
51	0.41	80	$1D_0$	110	$2D_0$
	0.51	85	$1D_0$	115	$2D_0$
	0.64	90	$1D_0$	120	$2D_0$

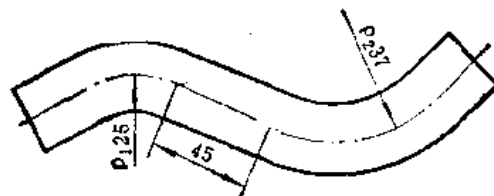
管子规格 (mm)		夹块长度 (mm)			
		最小 $2D_0$		标准 $3D_0$	
外径 D_0	壁厚 t_0	最大弯角 ($^\circ$)	球式心棒长度	最大弯角 ($^\circ$)	球式心棒长度
64	0.41	75	$1D_0$	105	$2D_0$
	0.51	80	$1D_0$	110	$2D_0$
	0.64	85	$1D_0$	115	$2D_0$
76	0.41	70	$1D_0$	100	$2D_0$
	0.51	75	$1D_0$	105	$2D_0$
	0.64	80	$1D_0$	110	$2D_0$
89	0.41	70	$1D_0$	100	$2D_0$
	0.51	75	$1D_0$	105	$2D_0$
	0.64	80	$1D_0$	110	$2D_0$
102	0.51	70	$1D_0$	100	$2D_0$
	0.64	75	$1D_0$	105	$2D_0$
114	0.51	65	$1D_0$	95	$2D_0$
	0.64	70	$1D_0$	100	$2D_0$

各种材料的液压、燃油管子复合绕弯的使用范围见表3。

表3. 各种材料的液压、燃油管子复合绕弯的使用范围

弯曲半径 ρ (mm)	同于单一绕弯
管子外径 D_0 (mm)	同于多次绕弯
管子壁厚 t_0 (mm)	同于多次绕弯
弯曲角度 ($^\circ$)	同于单一绕弯
夹紧长度 (mm)	展开长度与多次绕弯相当

〔例〕：液压管如图。材料为退火状态的1Cr18Ni9Ti不锈钢管，其外径 D_0 为25mm，壁厚为1mm。



选用何种绕弯法，步骤如下：

第一步，因 ρ_1 和 ρ_2 之间的直线段45mm小于最小夹紧长度（ $2D_0=2 \times 25\text{mm}$ ），故属于复合绕弯。根据表3规定最小弯曲半径同于单一绕弯，应在3.3.2.2.1节表1上选用；

$$\text{第二步，计算相对弯曲半径 } \bar{\rho}_1 = \frac{\rho}{D_0} = \frac{25}{25} = 1, \quad \bar{\rho}_2 = \frac{\rho_2}{D_0} = \frac{37}{25} = 1.5;$$

第三步，接管外径25mm，壁厚1mm，在3.3.2.2.1表1上找到能包含管外径25mm的尺寸段25~35mm；

第四步，在25~35mm尺寸段中找到壁厚1mm和 $\bar{\rho}_1$ 为1、 $\bar{\rho}_2$ 为1.5的，横向纵向对应相交，其交点所在区域（除黑色区域外），即为所选的绕弯法——第四种绕弯法。

本题 ρ_1 25mm为第四种绕弯法的最小弯曲半径。

3.3.2.2.4 第五、六、七、八种绕弯法的使用范围

第五至第八种绕弯法的使用范围见表。

第五至第八种绕弯法的使用范围表

绕弯法代号	五	六	七	八						
绕弯类别	单一、多次和复合绕弯均可	单一、多次和复合绕弯均可	单一、多次绕弯均可	单一绕弯						
弯曲半径 ρ (mm)	$\geq 1.5D_0$	$\geq 1D_0$	$R_i^{\text{①}} \geq 1.5D_0$	$\geq 2D_0$						
管子外径 D_0 (mm)	≤ 115		≤ 15	$D_0/S_0 > 50$						
管子壁厚 t_0 (mm)	≥ 0.5		$\frac{1}{6} > t_0/D_0 > \frac{1}{16}$	≥ 0.5						
弯曲角度(°)	≤ 180	≤ 90	> 180	> 180						
说 明	1. 所用的弯管工具必须比一般弯管用的要制得精确； 2. 弯管模槽沟磨损不宜超过0.025mm； 3. 槽深应等于管子外径的55%； 4. 槽宽应等于管子外径再加上壁厚的10%； 5. 夹块与弯管模要用键或销相互锁牢； 6. 压块槽沟应等于管子外径再加壁厚的15%； 7. 压块从端头到末端的宽度变化不应超过0.012mm； 8. 防皱块的槽沟应等于管子外径再加上壁厚的10%，并高度抛光； 9. 心棒与管壁的同隙不能超过管子壁厚的10%		1. 压块与弯管模槽沟中心应调至同一平面上，预变形必须加在管子弯曲的对称平面上，允许偏差0.15mm； 2. 压块压力必须调整适当，使预变形量达到预期效果（见下表） <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <thead> <tr> <th>弯曲半径 (mm)</th> <th>预变形量 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$R_i^{\text{①}} < 1.5D_0$</td> <td>$D_0 + 0.3$</td> </tr> <tr> <td>$R_i > 1.5D_0$</td> <td>$D_0 + 0.25$</td> </tr> </tbody> </table>	弯曲半径 (mm)	预变形量 (mm)	$R_i^{\text{①}} < 1.5D_0$	$D_0 + 0.3$	$R_i > 1.5D_0$	$D_0 + 0.25$	1. 机床主轴磨损应小于0.0125mm； 2. 压块与弯管模，以及压块与防皱块的两半模应合成整圆直径 D_0 ； 3. 心棒外径比管子内径小0.2mm； 4. 防皱块与弯管模结合处贴盖一层厚0.2mm的不锈钢片
弯曲半径 (mm)	预变形量 (mm)									
$R_i^{\text{①}} < 1.5D_0$	$D_0 + 0.3$									
$R_i > 1.5D_0$	$D_0 + 0.25$									

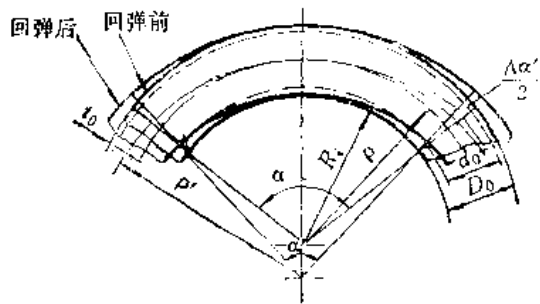
① R_i ：为管子内侧弯曲半径。

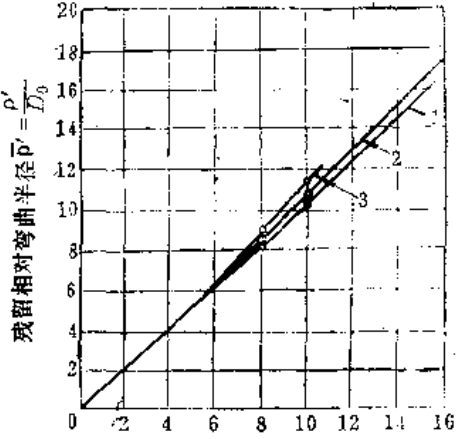
3.3.2.3 管子绕弯工艺参数

管子绕弯工艺参数的计算见表〔4〕、〔5〕。

管子绕弯工艺参数的计算表

工艺参数名称	计算公式	说明
外壁最小壁厚 t_{min} (mm)	$t_{min} = \frac{\bar{\rho}}{\bar{\rho} + K_s} \cdot t_0$	1. 适用于无芯、无顶推弯管； 2. 系数 $K_s = 0.5(1 - i_0)a_y$ ； 3. a_y 为技术条件允许的椭圆度 (%)，若用圆度公差代替， a_y 等于两倍圆度公差除以该截面的最大管子外径； 4. 有芯弯管比无芯弯管外壁减薄量大 20~30%； 5. $\bar{\rho} = \frac{\rho}{D_0}$
外壁减薄率 b	$b = \frac{t_0 - t_{min}}{t_0} \cdot 100\% = \frac{K_s}{\bar{\rho} + K_s} \cdot 100\%$	
回弹前最小相对弯曲半径 $\bar{\rho}_{min}$	1. 按外壁减薄率允许值 b 计算 $\bar{\rho}_{min} \geq \frac{K_s(1-b)}{b}$ 2. 按内壁不起皱条件计算 $\bar{\rho}_{min} \geq 6.5(1 - 9i_0) < 1$	1. 适用于无芯、无顶推弯管； 2. 必须同时满足左述两式； 3. 系数 K_s 同上； 4. 左述第 2 式适用于 $i_0 \geq 0.02$ ， $\bar{\rho} \geq 1$ ，当 $i_0 > 0.095$ 时，一般不考虑起皱因素； 5. $i_0 = \frac{t}{D_0}$
	或 1. 按给定许用的外壁最小壁厚计算 $\bar{\rho}_{min} = \frac{1 - i_0}{2(1 - \frac{i_{min}}{t_0})}$ 2. 按给定许用的内壁皱纹高度而定： 高压导管 (压力大于等于 800MPa，不允许皱纹存在) 低压、中压导管 (压力小于 800MPa) 允许有皱纹存在， 高度为 2% D_0 以下 间距为 (6~10) t_0 3. 按给定许用的圆度公差计算 $\bar{\rho}_{min} = \sqrt{\frac{(D_0 - t_0) (1 + \frac{\sqrt{3}}{F} \sigma_s - \Delta)}{24i_0^2 \Delta}}$	1. 适用于各种弯管； 2. 必须同时满足左述三式； 3. Δ 为圆度公差代号； 4. σ_s —— 屈服极限，MPa； 5. F —— 应变刚度模量，MPa



工艺参数名称	计算公式	说明						
回弹前弯曲半径 (即模具上的弯曲半径) ρ (mm)	$\rho = \frac{\rho'}{1 + 2m \frac{\sigma_s}{E}}$ <p>其中 $m = K_1 + \frac{K_0}{2\rho'}$</p>	<ol style="list-style-type: none"> 当 $\rho' \leq 10$, 可按下列经验公式确定: 弯合金钢管 $\rho \approx 0.94\rho'$ 弯碳钢管 $\rho \approx (0.96 \sim 0.98)\rho'$ 弯曲半径 ρ' 大时, 取较小值, 一般 $K_1 \leq 1.5$ 时, 可不考虑回弹; E——弹性模量, MPa; K_0, K_1: 见本表旋转力矩 M_T 计算说明栏中 左式适用于无顶推弯管。 						
回弹后相对弯曲半径 $\bar{\rho}'$	<ol style="list-style-type: none"> $\rho/D_0 > 5$, 考虑材料冷作硬化时 $\bar{\rho}' = \frac{\bar{\rho}}{1 - \frac{16\bar{\rho}(1+a)\sigma_s + \pi(1+a)^2 F}{2\pi}}$ $\rho/D_0 < 5$, 考虑材料冷作硬化时: $\bar{\rho}' = \frac{\bar{\rho}}{1 - \frac{16\sqrt{3}(1+a)\sigma_s \bar{\rho} + 2\pi(1+a)^2 F}{3\pi(1+a)^2 E}}$ 图解法 $\bar{\rho}'$ 与 $\bar{\rho}$ 的关系见右图 	<ol style="list-style-type: none"> $a = d_0/D_0$ $\bar{\rho} = \rho'/D_0$  <p>材料: 铝合金 $a = \frac{d_0}{D_0} = 0.5 \sim 0.9$</p> <p>1——无冷作硬化的直线弹性弯曲; 2——有冷作硬化的直线塑性弯曲; 3——有冷作硬化的立体塑性弯曲</p>						
回弹前弯曲角度 α (°)	$\alpha = \frac{\alpha'}{1 - 2m \frac{\sigma_s}{E}}$ <p>其中 $m = K_1 + \frac{K_0}{2\rho'}$</p>	<ol style="list-style-type: none"> α'——回弹后弯曲角; 当 $\rho' = 2.5 \sim 6$ 时, 可按下列经验公式: 初步确定回弹角 $\Delta\alpha'$, 然后通过试弯进行修正 $\alpha = \alpha' + \Delta\alpha'$ $\Delta\alpha' = \Delta\alpha_1' + 0.05\alpha'$ <table border="1" data-bbox="954 1570 1241 1715"> <tr> <td>D_0</td> <td>≤ 76</td> <td>83~108</td> </tr> <tr> <td>$\Delta\alpha_1'$</td> <td>2.5~3</td> <td>4~5</td> </tr> </table> <p>管材塑性较好时, $\Delta\alpha_1'$ 取较小值</p> <ol style="list-style-type: none"> 左式适用于无顶推弯管 	D_0	≤ 76	83~108	$\Delta\alpha_1'$	2.5~3	4~5
D_0	≤ 76	83~108						
$\Delta\alpha_1'$	2.5~3	4~5						

工艺参数名称	计算公式	说明												
回弹后的回弹角 $\Delta\alpha'$ (°)	<p>1. $\rho/D_0 > 5$, 考虑材料冷作硬化时</p> $\Delta\alpha' = \left[\frac{16\bar{\rho}(1+a)\sigma_s + \pi(1+a)^2 F}{2\pi(1+a^2)E} \right] \alpha'$ <p>2. $\rho/D_0 < 5$, 考虑材料冷作硬化时</p> $\Delta\alpha' = \left[\frac{16\sqrt{3}(1+a)\bar{\rho}\sigma_s + 2\pi(1+a)^2 F}{3\pi(1+a^2)E} \right] \alpha'$ <p>3. 图解法 $\Delta\alpha'$与α的关系见右图</p>	<p>材料: 铝合金 $\alpha = \frac{d_0}{D_0} = 0.9$, $\rho = 5$</p> <p>1——无冷作硬化的直线弹性弯曲; 2——有冷作硬化的直线弹性弯曲; 3——有冷作硬化的立体塑性弯曲</p>												
夹块夹紧力 P_1 (N)	$P_1 = \frac{M_T}{l_1}$ $l_1 = (1.5 \sim 2) D_0$	<p>1. M_T——旋转力矩, 见表后; 2. M_w——弯管力矩, 见表后; 3. 左式适用于无顶推弯管</p>												
压块压力 P_2 (N)	$P_2 = \frac{M_w}{l_2}$ $l_2 \approx 2D_0$													
旋转力矩 M_T (N·m)	$M_T = M_w + M_{f_m} + M_{f_n}$ <p>其中: 1. $M_w = \frac{M + M_0}{2}$</p> <p>2. M_{f_m} 滑块式压块时 $M_{f_m} = 0.1 \sim 0.15 M_w$ 固定式压块时 $M_{f_m} = 0.4 \sim 0.55 M_w$</p> <p>3. M_{f_n} 当 $i = 0.03 \sim 0.06$, $\bar{\rho} = 2 \sim 4$ 时 $M_{f_n} \approx 1.5 M_w$</p>	<p>1. M_w——弯管力矩, N·m M_{f_m}——压块摩擦力矩, N·m M_{f_n}——芯轴摩擦力矩, N·m M_0——始弯力矩, N·m $M_0 = K_1 W \sigma_s$ M——终弯力矩, N·m $M = (K_1 + \frac{K_0}{2\bar{\rho}}) W \sigma_s$ W——弯曲截面系数 mm^3 $W = \frac{\pi(D_0^4 - d_0^4)}{32D_0}$ K_0——强化系数, 见下表</p> <p>常用钢管的相对强化系数 K_0.</p>												
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>材料牌号</th> <th>K_0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni12Ti</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>10号钢, 15号钢, 20号钢</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>25号钢, A3 12Cr1MoV, 15CrMo</td> <td>11.6</td> </tr> <tr> <td>30号钢, 35号钢</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>15Cr, 20Cr, 20CrNi</td> <td>17.6</td> </tr> </tbody> </table>	材料牌号	K_0	1Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni12Ti	6	10号钢, 15号钢, 20号钢	10	25号钢, A3 12Cr1MoV, 15CrMo	11.6	30号钢, 35号钢	14	15Cr, 20Cr, 20CrNi	17.6
材料牌号	K_0													
1Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni12Ti	6													
10号钢, 15号钢, 20号钢	10													
25号钢, A3 12Cr1MoV, 15CrMo	11.6													
30号钢, 35号钢	14													
15Cr, 20Cr, 20CrNi	17.6													

(续)

工艺参数名称	计算公式	说明																
旋转力矩 M_T ($N \cdot m$)	或 1. $\rho/D_0 > 5$, 不考虑材料冷作硬化时, $M_w = \sigma_s d_{rj}^2 t_0$ 考虑材料冷作硬化时: $M_w = \sigma_s d_{rj}^2 t_0 + F \frac{d_{rj}^3 t_0 \pi}{8\rho}$ 2. $\rho/D_0 < 5$, 不考虑材料冷作硬化时: $M_w = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_s d_{rj}^2 t_0$ 考虑材料冷作硬化时: $M_w = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_s d_{rj}^2 t_0 + F \frac{d_{rj}^3 t_0 \pi}{6\rho}$ 3. M_{Tm} 和 M_{Tn} 同上	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>材料牌号</th> <th>K_0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\sigma_s \leq 800 \text{MPa}$ 高强合金钢</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>其余钢材按 $K_0 \approx 2.1/\delta_T$, δ_T 平均</td> <td>延伸率%</td> </tr> </tbody> </table> $K_1 \approx 1.275 \frac{D_0 - 2t_0}{D_0 - 3t_0}$ <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>t_0/D_0</th> <th>K_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$t \sim 0.05$</td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td>0.06~0.12</td> <td>1.4</td> </tr> <tr> <td>0.13~0.20</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>0.21~0.30</td> <td>1.6</td> </tr> </tbody> </table> <p>2. 左式适用于无顶推弯管</p> <p>1. $d_{rj} = \frac{1}{2}(D_0 + d_0)$</p>	材料牌号	K_0	$\sigma_s \leq 800 \text{MPa}$ 高强合金钢	20	其余钢材按 $K_0 \approx 2.1/\delta_T$, δ_T 平均	延伸率%	t_0/D_0	K_1	$t \sim 0.05$	1.3	0.06~0.12	1.4	0.13~0.20	1.5	0.21~0.30	1.6
	材料牌号	K_0																
$\sigma_s \leq 800 \text{MPa}$ 高强合金钢	20																	
其余钢材按 $K_0 \approx 2.1/\delta_T$, δ_T 平均	延伸率%																	
t_0/D_0	K_1																	
$t \sim 0.05$	1.3																	
0.06~0.12	1.4																	
0.13~0.20	1.5																	
0.21~0.30	1.6																	
弯管功率 N (W)	$N = \frac{M_T \omega}{9740\eta}$	1. M_T ——旋转力矩, $N \cdot m$; 2. ω ——弯曲速度, r/min ; 3. 弯管机的有效利用系数 η 约为 0.85																

3.3.2.4 弯管工具⁽⁴⁾

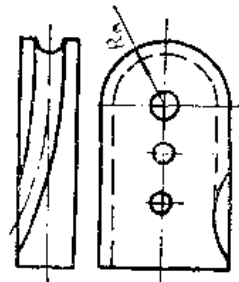
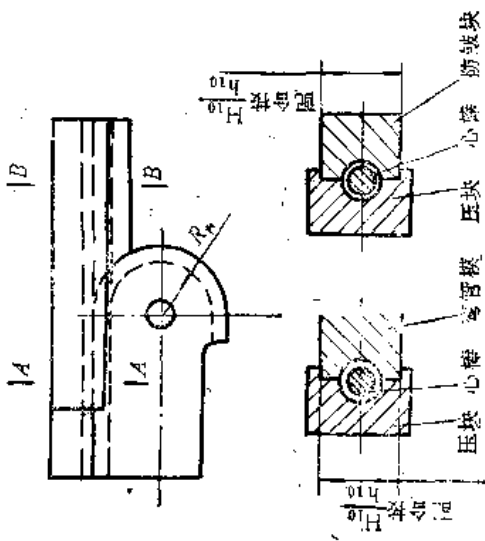
3.3.2.4.1 弯管模

常见弯管模的种类、应用范围及其要求见表。

弯管模种类表

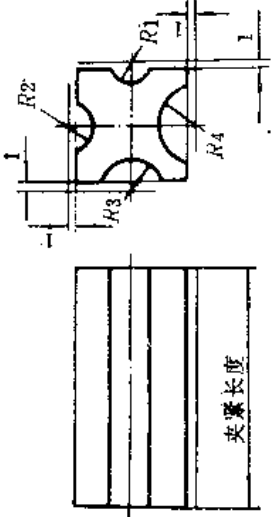
名称	简图	优点	缺点	适用范围		对弯管模的要求	材料
				弯曲角度	弯曲半径		
可卸式弯管模		1. 可以用多次的力弯紧管子 2. 可以弯紧多次的管子 3. 可以弯紧多次的管子 4. 可以弯紧多次的管子	对焊缝处(在圆弧形)的重叠处与管壁的过厚容易积存杂质	>180°	一般弯曲半径	1. 夹紧段取管子外径的两倍(2D ₀) 2. 根据夹紧力的需要可在夹紧段上增加一块 3. 管子直径, 或略大于它 4. 考虑弹性回跳, 回跳值采用固定数值补偿	45 (淬火) HRC38~43
整块式弯管模		不会损伤管子	1. 夹紧条件受到限制 2. 制造较困难	180°	小弯曲半径	1. 夹紧段取管子外径的两倍(2D ₀) 2. 管子直径, 或略大于它 3. 考虑弹性回跳, 回跳值采用固定数值补偿	45 (淬火) HRC38~43

(续)

名称	简图	优点	缺点	适用范围		对弯管模的要求	材料
				弯曲角度	弯曲半径		
螺旋式弯管模		1. 有独特的功能； 2. 不会损伤管子	1. 夹紧条件限制； 2. 制造困难	180°	可以弯不在一个平面内的弯曲管	1. 夹紧取管子外径的两倍(2D ₀)； 2. 弯管模槽沟直径可取管子直径；或略大于它； 3. 要考虑弹性回跳，回跳量用固定数值补偿	45号钢 (淬火 HRC38~43)
螺旋式弯管模		不会损伤管子	制造困难	180°	精度要求高的管子	1. 弯管模与压块要相互嵌合； 2. 弯管模上槽沟深度应等于管子外径的55%； 3. 槽沟内表面须磨光； 4. 槽沟内表面须磨光； 5. 配合处要进行氮化处理	合金钢

3.3.2.4.2 夹块
常用夹块的型式与要求见表。

夹块种类表

名称	简图	优缺点	适用范围	对夹块的要求	材料																											
普通夹块		<ol style="list-style-type: none"> 1. 制造容易; 2. 使用范围大; 3. 夹紧力较小 	普通管子弯曲	<p>1. 最小夹紧长度$2D_0$，根据需要可以加长。钢管弯曲时慎用夹紧长度如下表：</p> <table border="1" data-bbox="507 394 986 775"> <thead> <tr> <th>ρ</th> <th>t_0 (mm)</th> <th>夹紧长度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>< 0.90</td> <td>$4 \sim 5D_0$</td> </tr> <tr> <td>$1D_0$</td> <td>$0.90 \sim 1.65$</td> <td>$3 \sim 4D_0$</td> </tr> <tr> <td></td> <td>> 1.65</td> <td>$2 \sim 3D_0$</td> </tr> <tr> <td></td> <td>< 0.90</td> <td>$3 \sim 4D_0$</td> </tr> <tr> <td>$2D_0$</td> <td>$0.90 \sim 1.65$</td> <td>$2 \sim 3D_0$</td> </tr> <tr> <td></td> <td>> 1.65</td> <td>$1.5 \sim 2.5D_0$</td> </tr> <tr> <td></td> <td>< 1.65</td> <td>$2 \sim 3D_0$</td> </tr> <tr> <td>$3D_0$</td> <td>> 1.65</td> <td>$1 \sim 2D_0$</td> </tr> </tbody> </table> <p>2. 槽沟形状要制得精确，但粗糙度要求不高(3,2以下);</p> <p>3. 夹紧段是管子上要求粗糙度好的部位，槽内表面要研磨、抛光，故增长夹紧长度;</p> <p>4. 槽沟深度为 $\frac{D_0}{2} - 1$;</p> <p>5. 夹块的四个面上，可以设计制造四种规格槽沟</p>	ρ	t_0 (mm)	夹紧长度		< 0.90	$4 \sim 5D_0$	$1D_0$	$0.90 \sim 1.65$	$3 \sim 4D_0$		> 1.65	$2 \sim 3D_0$		< 0.90	$3 \sim 4D_0$	$2D_0$	$0.90 \sim 1.65$	$2 \sim 3D_0$		> 1.65	$1.5 \sim 2.5D_0$		< 1.65	$2 \sim 3D_0$	$3D_0$	> 1.65	$1 \sim 2D_0$	45号钢 (淬火 HRC45~50)
ρ	t_0 (mm)	夹紧长度																														
	< 0.90	$4 \sim 5D_0$																														
$1D_0$	$0.90 \sim 1.65$	$3 \sim 4D_0$																														
	> 1.65	$2 \sim 3D_0$																														
	< 0.90	$3 \sim 4D_0$																														
$2D_0$	$0.90 \sim 1.65$	$2 \sim 3D_0$																														
	> 1.65	$1.5 \sim 2.5D_0$																														
	< 1.65	$2 \sim 3D_0$																														
$3D_0$	> 1.65	$1 \sim 2D_0$																														

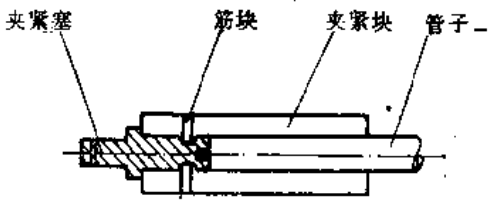
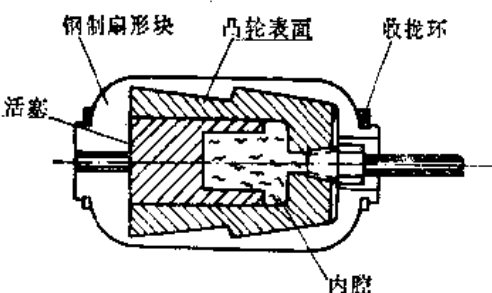
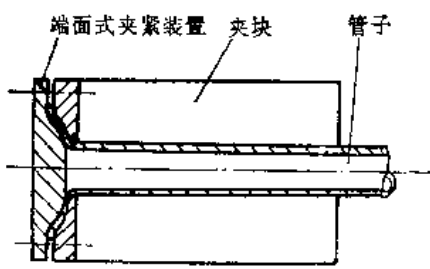
(续)

名称	高图	优缺点	适用范围	对夹块的要求	材料
带筋夹块		<p>1. 夹紧力大, 工作可靠;</p> <p>2. 夹紧段被筋压伤, 必须切除, 降低管材利用率;</p> <p>3. 使用范围受到限制;</p> <p>4. 制造困难。</p>	<p>薄壁管子(不锈钢管和钛管)</p>	<p>1. 夹紧段可以短些;</p> <p>2. 槽沟深度为 $\frac{D_0}{2} - 1$</p>	<p>45号钢 (淬火 HRC45~50)</p>
复合夹块		<p>1. 夹紧力大, 工作可靠;</p> <p>2. 制造困难;</p> <p>3. 能解决普通夹块不能完成的作用。</p>	<p>复合弯曲</p>	<p>1. 槽沟型面制造出来;</p> <p>2. 它实际上起到了弯曲段之间的定位作用, 则需与弯管模相协调, 位置的精确性要求;</p> <p>3. 夹紧段展开长度与多次弯曲选用普通夹块的夹紧长度相当;</p> <p>4. 槽沟深度 $\frac{D_0}{2} - 1$</p>	<p>45号钢(整体) (淬火 HRC45~50) 塑料(型面)</p>

3.3.2.4.3 夹紧塞

常用夹紧塞的结构与适用范围见表。

夹 紧 塞 种 类 表

名 称	简 图	适 用 范 围
沟槽式夹紧塞		<ol style="list-style-type: none"> 1. 与带筋夹块配套使用; 2. 薄壁管子的单一弯曲
扩张式夹紧塞		<ol style="list-style-type: none"> 1. 复合弯曲时, 整体式夹紧塞无法伸进去, 才采用它; 2. 薄壁管子的多次弯曲和复合弯曲
端面式夹紧装置		<ol style="list-style-type: none"> 1. 与普通夹块配套使用; 2. 薄壁管子的单一弯曲

3.3.2.4.4 压块

常用的压块见表。

压块种类表

名称	简图	适用范围	材料
静止压块		普通管子的弯曲	低碳钢 (表面硬化处理, 如渗碳) 中碳钢 (淬火 HRC45~50)
滑动压块		薄壁管子弯曲	工具钢(淬火 HRC55~60) 铝青铜
嵌镶压块		薄壁管子弯曲或弯曲表面粗糙度要求高者	基体为碳钢, 镶块为聚四氟乙烯

对压块的要求

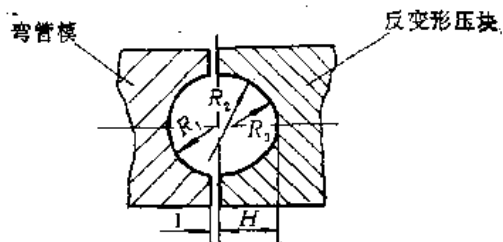
一般要求:

1. 选用弯曲半径和弯曲角度为最大时所需的最大夹紧长度:
2. 槽沟深度为 $\frac{D_0}{2} - t$;
3. 压块的厚度要均匀, 从一端到另一端厚度变化不大于 0.01mm;
4. 槽沟形状要制得精确, 并抛光(1,6以上),

特殊要求:

1. 静止压块的四个面上可设计制造四种规格的槽
2. 反变形绕弯压块之槽尺寸见右表⁽⁶⁾

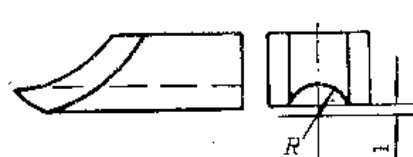
$\bar{\rho}$	R_1	R_2	R_3	H
1.5~2	$0.6D_0$	$0.95D_0$	$0.37D_0$	$0.56D_0$
2~3.5	$0.5D_0$	$1D_0$	$0.4D_0$	$0.545D_0$
≥ 3.5	$0.5D_0$	—	$0.5D_0$	$0.5D_0$



3.3.2.4.5 防皱块

防皱块的形式与要求见表。

防皱块种类表

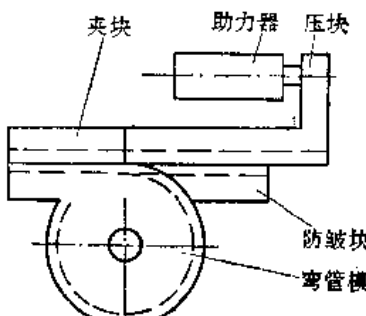
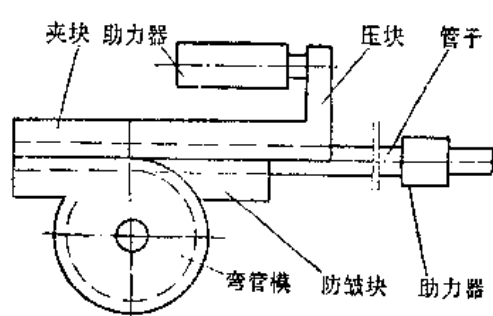
简图	适用范围	对防皱块的要求	材料
	$D_0 > 30\text{mm}$ $R_{\text{内}} \leq 2D_0$	1. 槽沟深度为 $\frac{D_0}{2} - 1$; 2. 槽沟表面硬而光(1.6以上)	工具钢(淬火HRC50~55); 轴承青铜(适用钢管) 铝青铜。

①R: 为管子内侧弯曲半径。

3.3.2.4.6 压块助力器和管端顶推助力器

常用的压块助力器和管端顶推助力器见表。

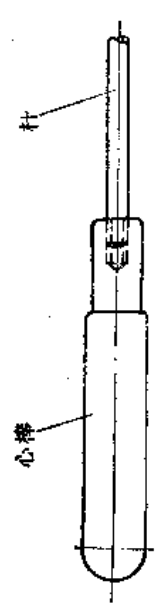
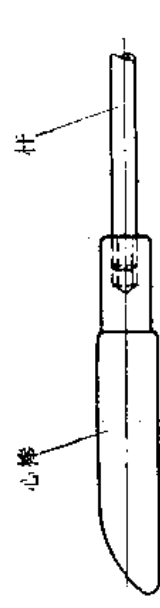

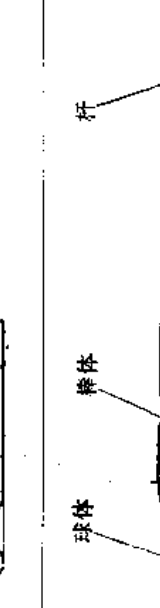
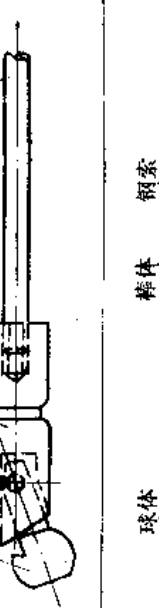
助力器种类表

名称	简图	优点	适用范围
压块助力器		1. 助力器使压块在弯曲过程中与管子一起沿纵向移动, 抵消绕弯时经常出现的阻力。改变管子剖面上的应力分布, 使中性层向弯曲的外侧移动, 从而减少外侧壁的变薄量; 2. 助力器可以防止管子在夹块内滑动, 从而减少夹块长度	这种装置可用于所有的绕弯, 但对第三、四、五、六种绕弯有特别重要意义。 $\rho_{\min} < 1.5D_0$ $D_0 < 200\text{mm}$ 最大弯曲角度 180°
管端顶推助力器		管端顶推助力器(一般不单独使用)与压块助力器配套使用时, 其作用更优于单独使用压块助力器	这种装置可用于第六种绕弯。 $\rho_{\min} = 1D_0$ $D_0 < 200\text{mm}$ 最大弯曲角度 90°

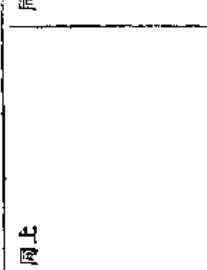

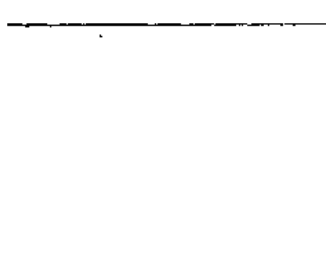
3.3.2.4.7 心棒

心棒种类及其应用范围和要求见表。

心棒种类表

心棒种类	简图	优缺点	适用范围	对心棒的要求	材料
柱塞式		<ol style="list-style-type: none"> 1. 制造容易; 2. 适用性大 	用于弯曲精度要求不高的	<ol style="list-style-type: none"> 1. 心棒直径近似地取 $d_0 - 0.12\text{mm}$ 2. 柱塞前端圆滑并粗糙度 0.4 以上 	<p>3Cr2W6V (淬火 HRC52~56)</p>
弧形式		<ol style="list-style-type: none"> 1. 制造容易; 2. 比柱塞心棒的支撑力大, 为改善在心胀稀切点处的局部平滑过渡的作用 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 用于小直径管子 ($D_0 < 36\text{mm}$) 的弯曲; 2. 弯曲半径在 $3D_0 \sim 5D_0$ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 心棒圆柱部位直径近似地取 $d_0 - 0.12\text{mm}$ 2. 圆弧半径略小于弯曲半径的名义尺寸, 粗糙度 0.4 以上 	<p>45号钢(淬火 HRC44~48) GCr15 (淬火 HBI79~20T) 铝青铜 (仅用于不锈钢管)</p>
球		管子弯曲切点前部比弧形心棒能产生更大的支撑力	可以在任意方向摆动, 用于单一、多次和复合弯曲	<ol style="list-style-type: none"> 1. 心棒杆直径近似地取 $d_0 - (0.12 \sim 0.18)\text{mm}$; 2. 球头直径为 $d_0 - (0.1 \sim 0.3)\text{mm}$; 3. 表面研磨并抛光, 粗糙度 0.4 以上 	
球			<ol style="list-style-type: none"> 1. 只能在一个平面内摆动, 用于单一和多弯曲; 2. 用于管子外径 $D_0 \leq 37\text{mm}$ 		
多球式		<ol style="list-style-type: none"> 1. 制造容易; 2. 绳索会拉长, 影响心棒的安装; 3. 绳索末端的结节连接强度不高, 容易拉断; 4. 心棒的支撑力较大 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 适用管子外径大于 28mm; 2. 弯曲半径 $P > 2D_0$ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 心棒的球体 (或球形体) 按它们的外径, 从小到大排列 (球体为起点); 2. 它们的外径差为 $0.05 \sim 0.1\text{mm}$; 3. 最大球体直径为 $d_0 - (0.1 \sim 0.5)\text{mm}$ 	与单球心棒选用材料相同

(续)

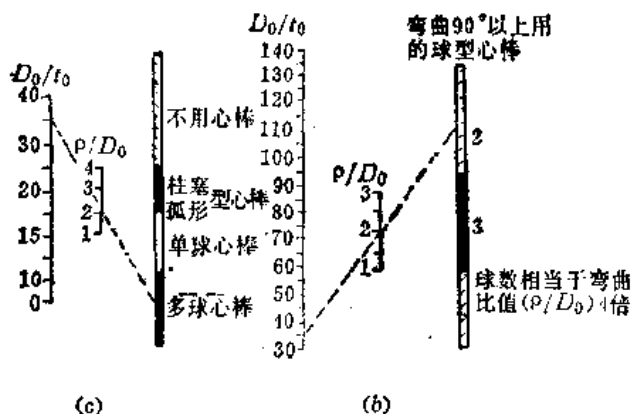
心棒种类	简图	优缺点	适用范围	对心棒的要求	材料
球	 <p>球形体 榫体 钢索</p>	<p>1. 心棒的支撑力较大; 2. 制造困难; 3. 钢索会拉长, 影响心棒的安装; 4. 钢索末端的销节连接强度不高, 容易拉断</p>	<p>1. 适用管子外径大于40毫米; 2. 弯曲半径$\rho \leq 2D_0$</p>	同上	同上
球	 <p>球形体 联杆 轴销 榫体 杆</p>	<p>1. 它的内部支撑作用没有球筒型多球心棒那样好; 2. 结构简单, 容易制造; 3. 心棒球数可以增加</p>	适用于单一或多次弯曲	与单球心棒的要求相同	
球	 <p>球形体 球头 球链 榫体 杆</p>	<p>1. 心棒可以任意方向摆动; 2. 它的内部支撑作用好; 3. 心棒的球数可以随意增减</p>	<p>1. 适用于薄壁管子的单一、多次和复合弯曲; 2. 弯曲半径$\rho \geq 1D_0$</p>		

3.3.2.5 心棒选用和弯曲前机床调整要点

3.3.2.5.1 心棒选用

心棒的选用按图⁽⁴⁾。

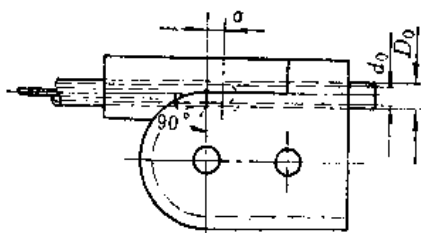
在图 (a) 的左方及中间尺上分别找到管子比值 D_0/t_0 和弯曲比值 ρ/D_0 的点, 将两点联一直线, 并延长交于右方尺上, 交点所在区域就是所选用的心棒种类。对于 D_0/t_0 大于 40 的管子, 弯曲一般需用多球心棒, 所以 D_0/t_0 大于 40 的部分图上不再表示。



若从图 (a) 上选定为多球心棒, 再从图 (b) 的左方及中间尺上找到管子比值 D_0/t_0 和弯曲比值 ρ/D_0 的点, 然后两点联一直线, 并延长交于右方尺上, 交点所在区域就是所选用的心棒球数。

3.3.2.5.2 柱式心棒的安装调整

1. 在整个弯曲过程中, 心棒轴线与切点垂线的夹角须保持 90° , 即固定心棒的尾杆要保持正确的位置, 如图。



2. 选用适当的心棒提前量见表。

心棒提前量表[⊖]

弯曲半径 R ;	$2D_0$	$2.5D_0$	$3D_0$	$3.5D_0$	$4D_0$
心棒提前量 a	$0.46d_0$	$0.48d_0$	$0.5d_0$	$0.55d_0$	$0.59d_0$

3. 心棒与管壁之间的总间隙 $(D_0 - d_0)$ 一般应保持在 0.1 到 0.3 mm 之间。

3.3.2.5.3 球式心棒的安装调整

1. 在整个弯曲过程中, 使心棒端头的球体摆动必须在弯曲平面内。

2. 调整心棒提前量, 先转动摇臂, 用目视观察心棒所形成的弧形是否与弯管模的弧面相吻合, 提前量在调试中最后确定。

3.3.2.5.4 弯管模的安装调整

[⊖]“管子机弯典型工艺规程规定”。南昌飞机制造公司杨平吉、钱永仁编。

用加热方法或调整主轴升降螺栓方法调整弯管模的高度，使之压块同心。

3.3.2.5.5 夹块的夹紧力调整

夹块对管子施加的夹紧力必须足够防止弯曲时管子的滑动，但也不能大到压瘪管子。带筋夹块用于薄壁不锈钢管和钛管时，夹块的力比由压块施加的力可稍为小些。弯曲铝管时，夹块的力要比压块的力大才行。

3.3.2.5.6 压块的压力调整

压块对管子施加的压力必须足够阻止管子弯曲时起皱，但是，不能大到引起过大的阻力。当薄壁不锈钢管和钛管弯曲时，压块力很关键。压力不足沿弯曲半径内侧会起皱，压力过大会压瘪。

3.3.2.5.7 弯曲速度调整

弯曲速度与管子材料和弯曲方法有关，除钛管以外，弯曲速度要尽可能选用快速弯曲。

3.3.2.5.8 弯曲角度调整

机床上的弯曲角度按标准实样，另加弹性回跳角。回跳角一般按试弯而定。

3.3.2.6 弯管主要设备

3.3.2.6.1 常规弯管机

常规弯管机见表(4)⊙。

常规弯管机表

名称 型号		手动弯管机	无心弯管机	有心弯管机	有心弯管机	电动弯管机	有心弯管机	有心弯管机	有心弯管机	液压弯管机
规格			268-7型	268-1型	W60-1型	W27-60型	YPB-1H	MD-2B	TTC-2M型	W27-168A型
技 术	可弯管径 (mm)	10~30	8~16	16~27	60 42	25~60	50.8	57 51	80	108
	可弯半径 (mm)		最大 100 最小 12	200 25	350 30	300 75	300	267	300 50	550 80
数 据	最大弯曲角度(°)	180	180	150	180	180	200	180	210	190
	最大可弯壁厚(mm)	1	≤1.5	1		3	2	3		7
据	弯曲速度(r/min)		1.5 2.5	3.5	1.52 2.44	1.092	2~4	2	3.8	1
	最大工艺力矩(N·m)				4.5×10 ³				8500	
弯曲方向		左右	左右	左右		左右		左右	左右	左右

⊙第三机械工业部第四设计院编印，飞机钣金冲压专用设备手册，1973。

(续)

规格	名称	手动弯管机	无心弯管机	有心弯管机	有心弯管机	电动弯管机	有心弯管机	有心弯管机	有心弯管机	液压弯管机
	型号		268-7型	268-1型	W60-1型	W27-60型	YPB-1H	MD-2B	TTC-2M型	W27-108A型
心棒	长度(mm)			1070	2×10 ³		1500	1200		4500
	作动筒拉力(N)				10 ⁴					
	作动筒行程(mm)				100					130
传动方式	主轴	手动	电动	电动	电动	电动		电动	液压	液压
	夹块	手动	手动	手动	手动	手动		手动	自动	液压
	心棒			液压				液压		液压
功率(kW)			1.5	1.5	3	4			7	10
重量(kg)		360	600	600		1000	800	9500	2400	7500
外形尺寸 长×宽×高 (mm)		3130 ×800 ×1055	2720×400 ×1360	1370×1540 ×980	2792×1208 ×1606	1775×1185 ×1120		1830×1200 ×1000	2000×880 ×1275	2010×5770 ×1400
说明			本机床采用无心弯管法, 适合弯直径小的管子(特别是锈钢管)。特点: 1. 免于划伤管子内壁; 2. 避免管子外壁变薄; 3. 避免管子内污染; 4. 能在管子基础上进行再弯更外形					本床是TTC-2型的改型机		本床可在冷态下采用心棒或棒子, 不用心棒不用弯曲管子, 适合复合弯管。全液传动, 换向时, 只需将压块拆到一侧, 方便

3.3.2.6.2 数控弯管机

对弯曲精度要求高的导管, 常规弯管机是难以达到的。因为它在弯管时需要根据钢丝工作实样经常对比正在弯曲的管子, 这样既费工时, 也往往不易保证质量。数控弯管机控制弯管程序有两种方法: 一种是利用步进器; 另一种利用穿孔带。利用这两种方法可以淘汰钢丝工作实样, 弯曲、送进、转角准确而稳定, 保证了导管的弯曲精度。生产中用的数控弯管机见表(6), (7)⊖。

⊖《新工艺新技术》, 国营红旗机械厂编。

《技术总结汇编》, 国营红旗机械厂编。

《SW-34数控弯管机说明书》, 国营洪都机械厂三研

数控弯管机表

名称 型号 规格		数控弯管机	数控弯管机	数控弯管机	数控弯管机			
		CNC型	W150型	S26-2型	SW-34型			
技 术 数 据	可弯管径 (mm)	铝管	38	34	10~32	22~34		
		钢管			10~25			
	可弯半径 (mm)	最大	203	150	150	150		
		最小			30	35		
	最大弯曲角度(°)		180	185	195	180		
	最大可弯壁厚(mm)				1			
	弯曲速度(m/min) (r/min)		直线送进8.255±0.254 (mm) 空间转角8±0.1° 弯曲6±0.1°	直线送进 6±0.25(mm) 空间转角6±0.1° 弯曲6±0.1°	直线送进 3.3±0.3(mm) 空间转角3±0.3° 弯曲3±0.3°	直线送进。 快2.5 慢0.6 空间转角1° 1/4 弯曲1° 1/4		
弯曲方向				左右	左右			
传 动 方 式	主轴	自动	自动	自动	自动			
	夹块	自动	自动	自动	自动			
	心棒	自动	自动	自动	自动			
管子毛料最大长度(m)		3.8	2.5	3	2			
说 明	<p>本机由VB-150 数控弯管机和 VECTORI 测量-编程机两部分组成。</p> <p>1. VB-150属于模块式数控弯管机没有自动换模机构。要求一管一模块化，多管一模块化；</p> <p>2. 弯管机的随机存储器上能存贮31个弯的管形数据，所以，可以连续弯曲31个弯；</p> <p>3. 机床的三个主要运动采用数值控制，并有编码器反馈信号，属闭环，点位系统；</p> <p>4. VECTORI测量-编程机，可按图纸尺寸输入管形数据，或按导管标准实样测取管形数据，也可按需修改管形数据，并经“回弹”补偿后，变成“弯管程序”输送给VB-150弯管机，实现数控弯管；</p> <p>5. 在VECTORI上测量获得的准确的管形数据，可用“穿孔纸带”保存数据。在弯管前将它调出，并经“回弹”补偿后，编成“弯管程序”，再加上自动检验-修正“弯管程序”完全可以弯出合格的导管。因此，从弯管角度来说，不需要保存大量的导管标准实样和检验夹具。这样，降低了生产费用，节省了厂房面积；</p>		<p>本机由W-150型数控弯管机和DGC-1型导管测量机两部分组成。再配CAD系统，就可以组成CAD/CAM系统，实现导管设计制造一体化</p>		<p>1. 本机只有数控弯管机部分；</p> <p>2. 本机属于模块式，有机械手换模机构，一次装模可换四只；</p> <p>3. 弯管程序采用步进器(步进电机)</p>		<p>1. 本机只有数控弯管机部分；</p> <p>2. 本机属于模块式有升降式(塔式)的换模机构，一次装模可换三只</p>	

(续)

名称 型号 规格	数控弯管机	数控弯管机	数控弯管机	数控弯管机
	CNC型	W150型	326-2型	SW-34型
说明	<p>6. VECTORI 具有编排弯管程序、显示、存贮等多种功能, 其适应性大, 操作方便, 特别适用于新机研制过程中“管形数据”经常变动的需要;</p> <p>7. VECTORI 编制弯管程序效率高, 同时可供五台 VB-150 弯管机的弯管程序, 适应批生产的需要</p>			

3.3.2.7 弯管润滑剂^[4]

润滑剂要具有适当的粘度, 对管材无腐蚀和易溶于有机溶剂。常用润滑剂见表。


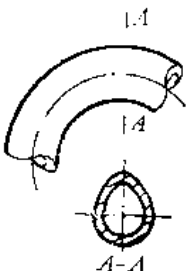
弯管常用润滑剂表

种类	肥皂水	机油	航空滑油	航空滑油80~60%和石蜡20~40%混合液	二硫化钼	尼龙-石墨覆盖层
适用范围	一般弯管时				大直径薄壁不锈钢管, 弯管时采用铝青铜心棒	各种合金的薄壁管, 采用高强度铝合金心棒弯管时

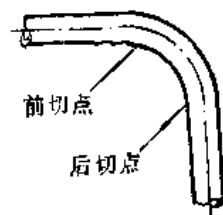
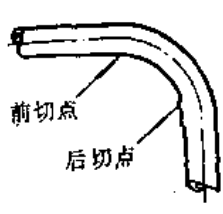



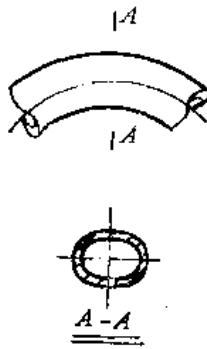

3.3.2.8 弯管常遇故障分析及排除方法

弯管时常遇故障分析及排除法见表。



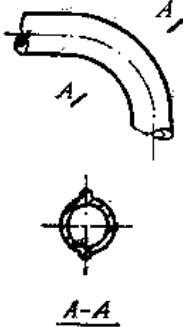
弯管时常遇故障分析及排除方法表^[4]

故障名称	简图	原因	排除方法
“鹅头”(弯曲部位胀大, 特别是弯曲终点外侧处产生凸起, 称鹅头, 管壁变薄, 相邻管壁塌陷)		<ol style="list-style-type: none"> 心棒安装提前量过大; 心棒头部与弯曲角不符 	<ol style="list-style-type: none"> 重新调整心棒的提前量; 更换心棒
“鸡颈”(反变形弯管终点外侧)		<ol style="list-style-type: none"> 反变形弯管时, 弯曲的终点处预变形量无法抵消掉, 小弯曲半径时, 问题更严重; 压块压力过大 	<ol style="list-style-type: none"> 选用带有由反变形曲线型面过渡到正圆弧的过渡区压块; 重新调整压块压力

(续)

故障名称	简 图	原 因	排除方法
“前皱纹”（前切点附近内侧严重皱纹）		心棒安装提前量过小，前切点处管壁得不到心棒支撑	重新调整心棒的提前量
“后皱纹”（后切点附近内侧严重皱纹）		1. 无防皱块； 2. 防皱块安装不当	1. 安装防皱块； 2. 重新调整防皱块
“全皱纹”（弯曲段内侧）		1. 心棒与管壁之间间隙过大； 2. 压块压力过小； 3. 压块尺寸不当	1. 更换心棒，使总间隙在0.1~0.3mm，或调整心棒提前量； 2. 重新调整压块压力； 3. 检查压块尺寸，返修
“波纹”（弯曲段外侧）		1. 心棒尺寸过小； 2. 心棒安装不当； 3. 润滑不良及机床震动	1. 更换心棒； 2. 重新调整安装心棒； 3. 加强弯管润滑，排除机床抖动
“凹坑”（夹紧段压出凹坑）		夹紧块施加的力太小，弯曲时管子滑动	重新调整夹紧力
“圆度”（弯曲段）		1. 心棒提前量过小，管壁得不到良好的支撑； 2. 心棒与管壁之间的间隙过大； 3. 夹紧块施加的力太小，弯曲时有滑动； 4. 心棒磨损； 5. 弧形心棒安装方向偏移； 6. 弯管模与压块型面错位	1. 重新调整心棒提前量； 2. 更换心棒，使总间隙保证在0.1~0.3mm； 3. 重新调整夹紧力； 4. 重新调整弧形心棒安装方向； 5. 调整弯管模与压块在同一水平面上
“凹痕”（弯曲段外侧）		压块施加的压力过大	重新调整压块压力

(续)

故障名称	简 图	原 因	排除方法
"裂口"(弯曲段外侧)		1. 压块施加的力过大; 2. 心棒与管壁之间的间隙过小, 摩擦力太大; 3. 心棒提前量过大; 4. 润滑不良; 5. 管材热处理不当	1. 重新调整压块压力; 2. 更换心棒, 使总间隙在0.1~0.3mm; 3. 加强润滑; 4. 重新调整心棒提前量; 5. 检查管材热处理状态、晶粒度, 否则重新热处理
"下陷"(弯曲段内侧起点处)		反变形弯管时, 弯曲的起点处顶变形量无法抵消掉, 小弯曲半径时问题更严重	无法排除, 限用 $R_s \geq 1.5D$
"鼓起"(沿弯曲中心线上管子的上面和下面)		管子外径超差, 不适应现有的弯管工具	更换管材
"变薄"(弯曲段外侧过度变薄)		1. 压块施加的压力过大; 2. 心棒提前量过大	1. 重新调整压块的压力; 2. 重新调整心棒的提前量
管子内壁划伤		1. 管子内壁清理不干净; 2. 心棒有毛刺、尖边; 3. 心棒硬度低、拉毛; 4. 润滑不良或润滑剂不干净	1. 清洗管子内壁; 2. 更换心棒; 3. 加强润滑或更换润滑剂
管子外表划伤、压伤		1. 夹紧块、压块施加的力过大; 2. 采用可卸式弯管模, 弯管工具安装对缝处错位; 3. 管子外表清理不干净; 4. 弯管工具工作表面清理不干净	1. 重新调整夹紧块、压块的压力, 或更换; 2. 采用整体式弯管模, 或对可卸式弯管模的镶块重新修磨, 重新安装调整弯管工具, 消除它们间的错位现象; 3. 对管子外表、弯管工具工作表面重新认真清理, 并加适当润滑剂

参 考 资 料

- (1) 胡世光,《板料冷成形原理》,国防工业出版社,1979年。
- (2) 谢联先主编,《机械制造者手册》第三卷,机械工业出版社,1960年。
- (3) 日本塑性加工学会编,江国屏等译,《压力加工手册》,机械工业出版社,1984年。
- (4) 林兆荣主编,《航空导管加工》,国防工业出版社,1979年。
- (5) 机械工程手册、电机工程手册编辑委员会编,《机械工程手册第7卷》,机械工业出版社,1982年。
- (6) 《航空工艺技术》,1981年第6期。
- (7) 《国际航空》,1979年第5期。

3.4 拉 弯

3.4.1 定义与机理

拉弯是在毛料弯曲的同时加以轴向拉力，改变毛料剖面内的应力分布情况，使之趋于均匀一致，以减少回弹和提高剖面尺寸精度。拉弯过程中，中性层一般不在零件范围内。弯曲和拉弯的本质区别如图1所示。

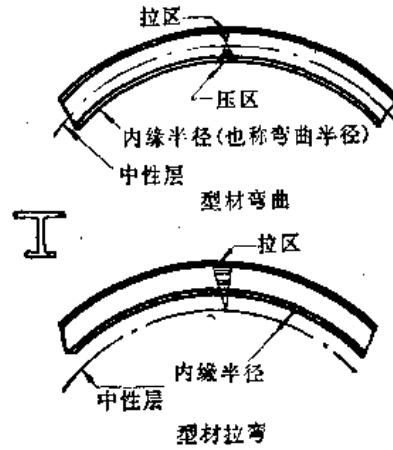


图1

拉弯零件按成形方向可分为“收边、放边”及横向拉弯三类。各类零件见图2。

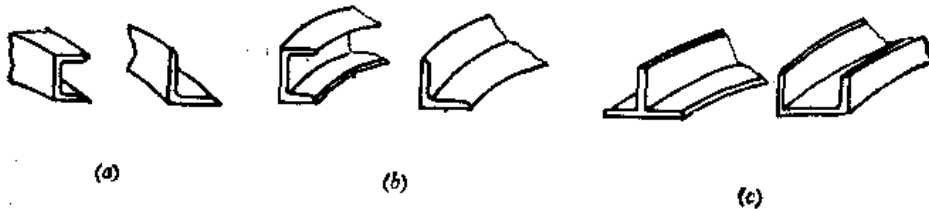


图2

(a) 放边件；(b) 收边件；(c) 横向拉弯件。

型材拉弯的加载方法常有以下三种：

1. 先弯曲，后施加轴向拉力($M-P$ 法)。
2. 先预拉后弯曲，最后补拉(P_A-M-P_B 法)。
3. 预拉后弯曲 (P_A-M 法)。

预拉在于使零件腹板在弯曲过程能顺利进入拉弯模模槽。故不加预拉力(或很小)，只能用于弯曲变形较小的零件或“二次拉弯”的拉校工序。 P_A-M 法用于相对弯曲半径较小的零件，或用于“二次拉弯”的第一次成形。 $M-P$ 法回弹最小， P_A-M 法回弹最大，此两种方法回弹量与拉力 P 关系见图3^[4]。

为了使整个毛料的剖面内应力尽量均匀，补拉时型材零件中部的最小必要拉伸量

为:

$$\delta_s = \alpha \frac{\sigma_s}{E} \quad \text{通常取1\%}$$

曲率回弹量为:

$$\Delta K = \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} = \frac{D}{\rho E} \quad (1)$$

式中 D ——材料的应变刚模量;

ρ, ρ_0 ——分别为回弹前后型材中性层处(即重心处)的曲率半径。

曲率半径的回弹量为:

$$\Delta \rho = \rho_0 - \rho = \frac{D}{E} \rho_0 = K \rho_0 \quad (2)$$

式中 K 值对铝合金退火料取 $0.05 \sim 0.06$, 新淬火状态取 $0.08 \sim 0.09$ 。

卸载后的角度回弹量为:

$$\Delta \alpha = \left[\frac{\sigma_s}{E} + \frac{D}{E} \left(1 + \frac{\sigma_s}{E} \right) \right] \alpha \quad (3)$$

式中 α 为零件弯曲角。

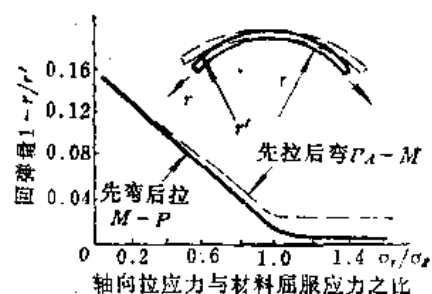


图3

3.4.2 型材拉弯过程及有关参数

生产中常用的拉弯方法有:一次拉弯法、二次拉弯法、加热拉弯、边拉边加侧压等四种。使用的机床有张臂式拉弯机及转台式拉弯机两种。

3.4.2.1 一次拉弯法

一次拉弯法的工艺过程为:预拉(预拉量为 $0.2 \sim 1\%$) → 弯曲零件至贴模(保持预拉力不变) → 补拉校正。由于一次拉弯回弹较大,故手工修整量较大,同时残余应力较大,通常用于弯曲程度较小,及剖面惯性矩小于 8cm^4 的中小型材零件。

一次拉弯的最小相对弯曲半径见表1。适用此表的材料为铝合金LY12及LC4在退火或新淬火状态。

表1. 一次拉弯最小弯曲半径 [2]

	弯曲角 $\alpha(^{\circ})$	30	60	90	120	150	180~220
	相对弯曲半径 ρ/H	10	15	23	27	34	38

一次拉弯补拉校正过程在型材零件自由段(靠近夹头处)的延伸率按表2选择(LY12, LC4)。

表2. 一次拉弯补拉延伸率〔2〕

$\alpha(^{\circ})$	δ	ρ/H								
			材 料	≥ 100	75	50	40	35	30	24
90			LY12	3.0	3.2	3.8	4.2	4.5	4.9	5.6
			LC4	1.5	2.6	2.8	3.0	3.1	3.3	4.4
120			LY12	3.5	3.9	4.4	4.8	5.2	5.6	—
			LC4	3.0	3.2	3.4	3.6	3.7	3.9	—
150			LY12	4.1	4.4	5.0	5.5	5.8	—	—
			LC4	3.8	3.7	4.0	4.2	4.4	—	—
180以上			LY12	4.7	5.0	5.7	6.1	—	—	—
			LC4	4.2	4.3	4.6	4.8	—	—	—

表中： α -弯曲角； δ -自由段延伸率； ρ/H 相对弯曲半径在生产中，推荐补拉量参数为4%（自由段）。

3.4.2.2 二次拉弯法

二次拉弯法工艺过程为：利用退火料预拉（预拉量0.2~1%）→弯曲零件至贴模（保持预拉力不变）→补拉校正→淬火→拉弯校正（新淬火状态）。二次拉弯法只适用于铝合金。

采用二次拉弯法的成形精度高，手工校形量少，残余应力少。对剖面惯性矩大（刚性大）的零件、弯曲程度大的零件、LC4零件，尽量采用二次拉弯。二次拉弯法使用的拉弯模，一般不修回弹。二次拉弯法第一次拉弯的工艺参数同一次拉弯法。为了延缓淬火后型材的硬化过程以便拉校及安排其它工序，淬火后的零件应立即放入冷冻间冷藏。

二次拉弯淬火，后的拉校工序，其零件自由段的延伸率由表1选取，该表适用材料为铝合金LY12及LC4。

表1. 淬火后的拉校延伸率〔2〕

$\alpha(^{\circ})$	δ	ρ/H						
			30~15	10	8	6	5	
90			1.3	1.7	1.8	2	2.4	
120			1.4	1.8	2.0	2.2	2.5	
150			1.5	1.9	2.1	2.3	2.6	
180			1.6	2.0	2.2	2.4	2.8	

表中： α -弯曲角； δ 延伸率； ρ/H 相对弯曲半径。

在生产中拉校延伸率亦可近似地取2~3%。

淬火时效开始硬化时间与温度关系见表2。

表2. 铝合金淬火后时效开始硬化时间

温度(°C)	淬火后开始硬化时间(h)	
	LY12	LC4
20	1	1
10	1.5	5.5
0	5.5	48

3.4.2.3 预拉力、补拉力、延伸率的计算

预拉力是为了消除毛料的扭曲,防止型材腹板弯曲时起皱而影响顺利进模。预拉力可按下列式计算:

$$P_A = F \cdot \sigma_s \quad (1)$$

式中 σ_s ——材料屈服强度,对铝合金而言 σ_s 取 $\sigma_{0.2}$;

F ——型材截面积。

补拉的目的在于减少回弹,可按下列式⁽³⁾计算:

$$P = \int \left[\sigma_s + \left(\frac{\sigma_s}{E} + \frac{y}{\rho} \right) D \right] b dy \quad (2)$$

式中 y ——任意一层纤维到中性层的距离;

b ——型材在 y 处的宽度;

ρ ——零件剖面中性层处的曲率半径,如图1所示。

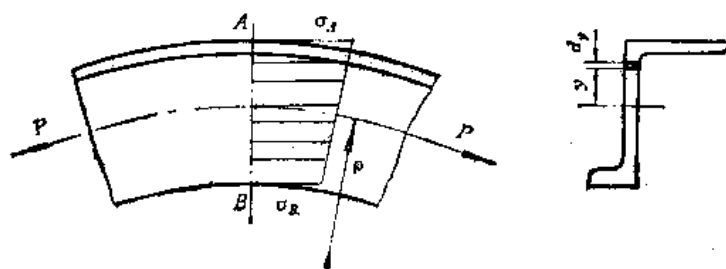


图1

考虑摩擦,型材自由段两端的总拉力为:

$$P_B = P \cdot e^{\frac{\mu \alpha}{2}} \quad (3)$$

式中 μ ——零件与模具的摩擦系数,取0.15;

α ——零件的弯曲角(以弧度表示)。

在实际生产中,补拉力往往按经验公式估算:

$$P_B = (0.7 \sim 0.9) \sigma_s \cdot F \quad (4)$$

二次拉弯法淬火后的拉校工序在于校正淬火变形,并使零件最终贴模,拉校力按下

式计算:

$$P_s = (1 \sim 1.5) \sigma_{0.2} \cdot F \cdot e^{\frac{\Delta \sigma}{2}} \quad (5)$$

式中 $\sigma_{0.2}$ ——材料在新淬火状态下的屈服强度。

拉板力亦可按如下近似公式估算:

$$P_s = (0.7 \sim 0.8) F \cdot \sigma_s \quad (6)$$

式中 σ_s ——新淬火状态下材料的抗张强度。

转台式拉弯机拉弯时拉力计算与张臂式拉弯机相同。弯曲过程侧压力与拉伸力的匹配影响因素较多, 尚无可靠的计算方法, 生产中通过试拉确定。

试拉时, 侧压力可按下式进行初步估算:

$$P_p = (0.3 \sim 0.5) F \cdot \sigma_s \quad (7)$$

采用侧压块时, P_p 可选上限值; 采用侧压滚轮时, P_p 可选下限值。

铝合金 LY12 及 LC4 材料的屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 及极限强度 σ_s 见下表。

LY12 及 LC4 的 $\sigma_{0.2}$ 及 σ_s 值

材料牌号	品种	热处理状态	$\sigma_{0.2}$ kg/mm ²	σ_s kg/mm ²
LY12	型材	退火的	10.6	24
		新淬火的	21.5	32
	板材	退火的	10	18.6
LC4	型材	退火的	14	28
		新淬火的	17	32
	板材	退火的	10.6	24

计算出的拉力往往误差较大, 在生产中由于机床、原材料截面尺寸及机械性能的变动、新淬火材料的机械性能随时间的不断强化, 及工件的几何和工艺特征 (如 ρ/H) 等的影响, 实际拉力与计算值往往会有较大的出入, 故需在试拉过程中加以调整。

对某些变曲率而局部曲率半径很小的零件, 预拉力 P_d 应随弯曲到曲率半径小处而相应减小 (甚至降到零), 否则零件会在该处拉断。

合理的拉力应保证工件弯曲时不起皱; 能顺利地进入拉弯模; 零件成形精度高; 回弹小; 截面积尺寸不超差以及材料的变形不超出临界变形, 以免产生粗晶。

所算出的拉力 (或侧压力) 与机床液压系统相应的表压关系如下:

$$\text{ПГР-6:} \quad p_s = \frac{P_s}{16.7} \text{ kPa}$$

$$\text{ПГР-7:} \quad p_s = \frac{P_s}{20.4} \text{ kPa}$$

$$p_s = \frac{P_s}{24} \text{ kPa}$$

$$\text{ПГР-8:} \quad p_s = \frac{P_s}{50} \text{ kPa}$$

$$\text{XLW-15:} \quad p_s = \frac{P_s}{11.5} \text{ kPa}$$

XL-1: 有拉伸量控制装置。预拉量及补拉量可直接输入, 数码管显示实际拉伸量。
拉力由电子秤直接显示。

$$p_s = \frac{P_s}{6.6} \text{ kPa}$$

XL-2: 回转台转动带动夹头拉伸时

$$p = \frac{P_s - 8600}{19.73} \text{ kPa}$$

回转台不动, 夹头静拉时

$$p_s = \frac{P_s + 1200}{18.5} \text{ kPa}$$

侧压力

$$p_r = \frac{P_r}{8.57} \text{ kPa}$$

以上各式 p 为压强; p_s 、 p_r 分别为拉力及侧压力, 单位为 N。

曲率半径 ρ 与弯曲角 α 的测量:

对等曲率半径的零件 ρ 与 α 可从设计图直接确定。对变曲率零件可用半径仪测量 (见图2):

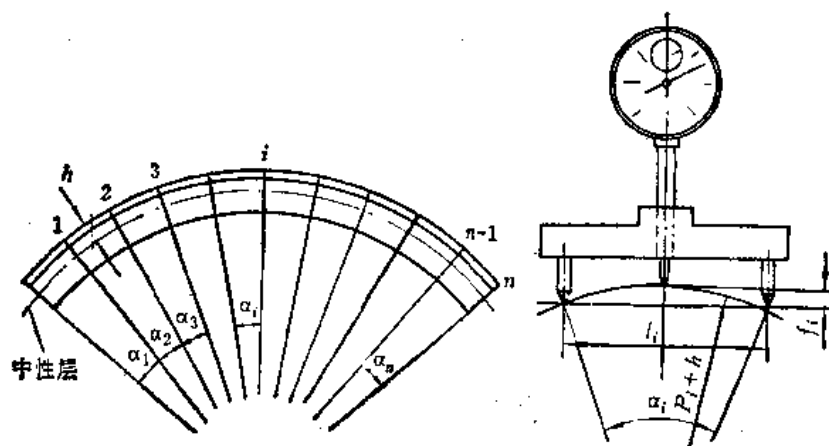


图2

1. 将零件沿长度方向分为 n 段 (每段取等弧长为 $l_i \approx 100\text{mm}$)
2. 利用半径仪测得各段的挠度 f_i , 并按下式求得各段的曲率半径 ρ_i

$$\rho_i = \frac{l_i^2}{8f_i} - h$$

式中 h ——零件剖面中性层到外侧的高度。

取其中 ρ_i 最小值作为计算拉力的 ρ 值。

3. 零件的弯曲角按下式计算:

$$\alpha_1 = \frac{l_1}{\rho_1} \approx \frac{8f_1}{l_1}$$

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \alpha_i = \sum_{i=1}^n \frac{8f_i}{l_i}$$

拉弯延伸率的估算:

用拉力控制拉弯过程, 其可靠性、零件成形精度及一致性, 均不如用延伸率控制拉弯过程。XL-1等转台拉弯机已装有延伸率控制装置。

第一次拉弯零件外侧总延伸率为:

$$\delta = \delta_0 + \delta_s + \delta_c$$

δ_0 为预拉伸量, 一般铝件取0.2~1%, 不锈钢等易起皱的薄件, 预拉伸量需加大到2~3%。

δ_s 为型材弯曲时外层纤维延伸率, $\delta_s = \frac{h}{\rho}$, h 为型材剖面中性层至型材最外层高度, ρ 为中性层的曲率半径。

δ_c 为补拉时在计算处的拉伸量。

一次拉弯: $\delta \leq 8 \sim 9\%$

淬火后拉伸校正延伸率一般应小于材料极限延伸率的60%。亦可取自由段延伸率为2~3%。

3.4.2.4 剖面尺寸收缩的核算

拉弯过程中, 由于轴向的拉伸导致剖面高度减小与厚度变薄。在拟定工艺过程时, 应按零件剖面尺寸的最大容差对型材最大拉伸处进行剖面收缩核算, 以避免尺寸超差或相应更改毛坯断面尺寸。

按体积不变条件可得出^①:

$$b = b_0 e^{-\frac{r}{1-r} \ln \frac{L}{L_0}} \quad (1)$$

$$t = t_0 e^{-\frac{r}{1-r} \ln \frac{L}{L_0}} \quad (2)$$

式中 b_0, b ——变形前后零件剖面高度;

t_0, t ——变形前后零件厚度;

L_0, L ——变形前后零件长度;

r ——该材料的厚向异性指数 (LY12取0.64);

e ——自然对数底数。

3.4.2.5 毛料长度的确定

生产中, 毛料尺寸可按下式确定:

^①赵洪桥等, “型材弹塑性拉弯工艺参数的确定”, 《松陵科技》, 5-1983。

$$L=l_1+2(r+l_2+l_3) \quad (1)$$

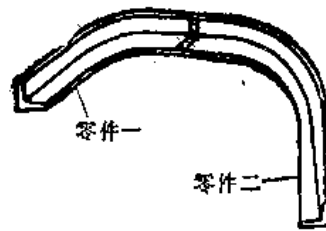
式中 l_1 ——零件展开长度（在拉弯模上量取）；

r ——模具端头圆角半径；

l_2 ——夹持余量（常取50mm）；

l_3 ——模具距夹头间的尺寸余量（常取25mm）。

为了节约原材料，对包角较小且短的零件可以组合进行拉弯（如图所示），成形后切开。切割余量取5~10mm。



3.4.3 几种特殊形状零件的拉弯法

3.4.3.1 曲率方向变化零件的拉弯

1. 用不带侧压装置的张臂式拉弯机拉弯。

先拉出第一个曲度，然后装上反向曲度模块，弯曲臂反转成形第二个曲度，最后补拉。如图1所示。

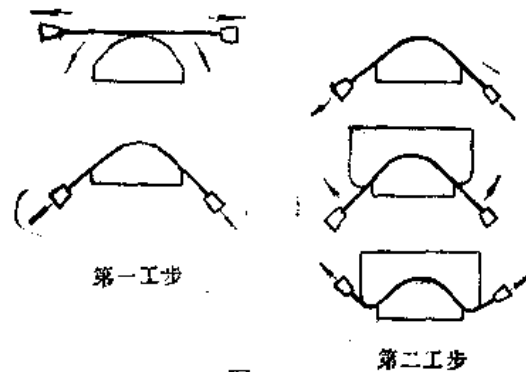


图1

2. 用ΠΓP-7类型带侧压装置的张臂式拉弯机拉制。

可用以下三种方法（见图2）：

图2(a)为先拉后弯，随后按辅助凸模用侧压缸压弯，最后拉校。

图2(b)为预拉，用侧压缸按辅助凸模弯曲，然后再按拉弯模弯曲，最后拉校。

图2(c)为先拉后弯，第一次拉校，凹模由侧压缸压紧毛料，在凹模上弯曲（反转张臂），最后拉校。

图2(a)法只能用于中部凹入较小的零件。

3. 用转台式拉弯机拉制。

可通过工作台的正反转，分两工步或三工步成形S形或W形工件如图3所示。

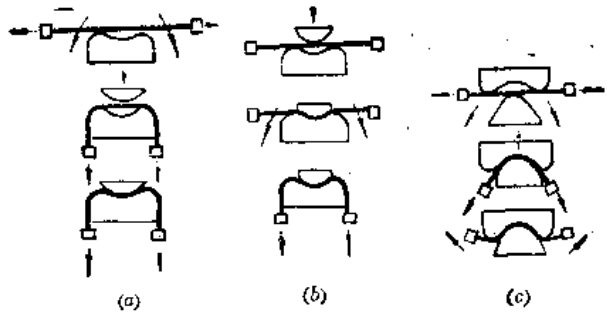


图2

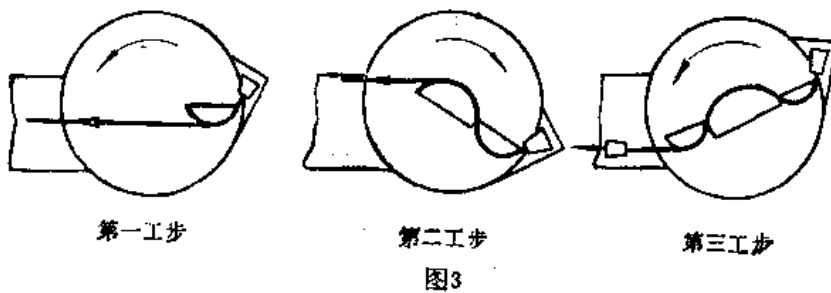



图3

3.4.3.2 变斜角零件的拉弯

拉弯件在使用张臂式拉弯机成形时，小于 3° 的斜角（或变斜角）可直接在拉弯过程中拉出（图1）。若斜角超过 3° 以上，为了保证质量，可在拉弯前按工件各处要求的不同斜角，预先分段用短弯曲模压制后再进行拉弯（图2）。其预制斜角在拉弯过程会有所改变，预制斜角可按表进行选择。

拉弯前预制斜角的选择表

	弯曲形式	收 边		放 边	
	零件要求斜角	开角 α_2	闭角 α_1	开角 α_2	闭角 α_1
	压床压制角度	偏小	偏大	偏大	偏小

预制斜角后，零件在拉弯过程中，在拉力作用下，一边拉弯，一边敲打零件缘板，使之靠胎，则效果更好。

对采用XL-1等转台拉弯机成形变斜角零件，因侧压滚轮（或侧压块）对工件缘板的压紧与“熨平”作用，可在弯曲的同时成形出零件的斜角，成形精度可达 $\pm 30'$ 。成形不同零件的侧压装置见图1和图2。

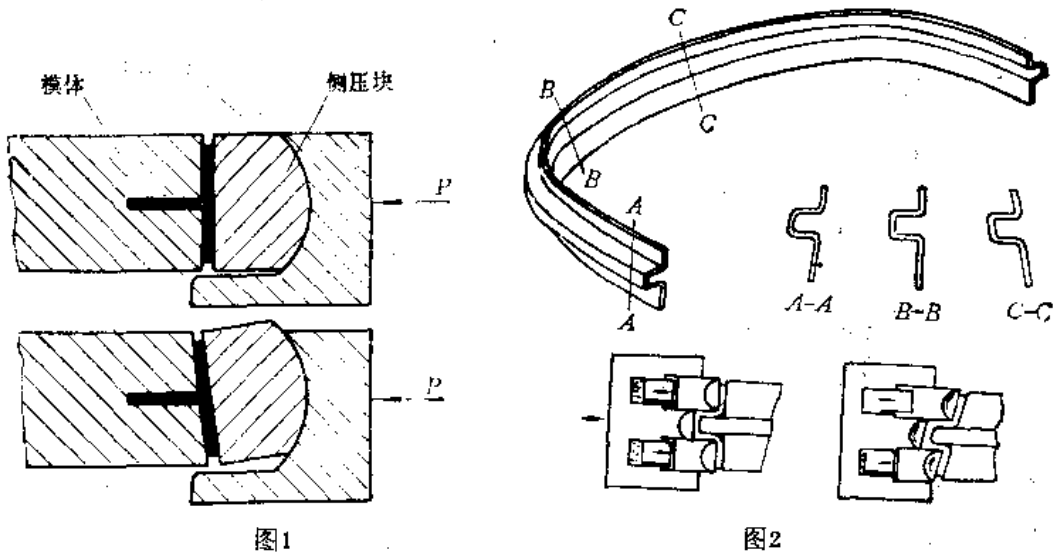


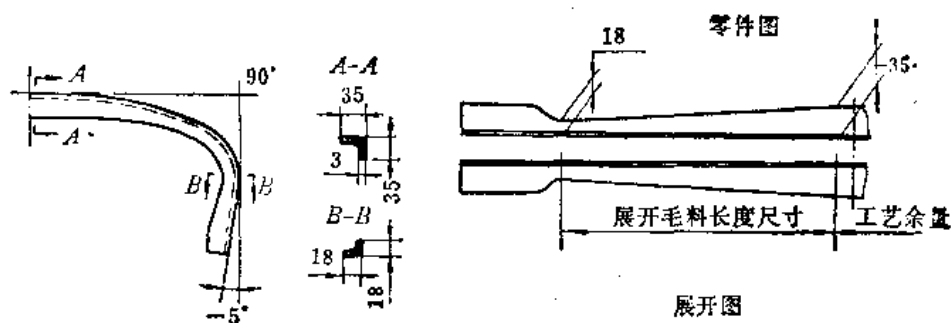
图1

图2

3.4.3.3 变切面型材的拉弯

拉弯件的毛料一般要求是等切面的，以免应力集中或各切面应力相差太大而拉断。零件外形、厚度、缺口等要在拉弯成形后再行铣切加工。但成形后零件的划线及铣切都较困难，而且铣切后还往往引起变形。因而对某些零件（如高度及厚度均匀过渡零件）尽可能采用先铣切后拉弯的工序安排。如图所示零件采用先铣切后拉弯，使工件的相对弯曲半径由1.5变为2.8，使拉弯能较顺利进行，并节约了铣切后的手工校形工序。先铣后拉弯的拉力计算可按最小切面进行。

若型材截面尺寸是均匀地由大变小，此类零件最好采用转台拉弯机控制。由小剖面端开始拉弯，开始用较小的拉力，随着剖面尺寸的增大而逐步加大拉力，直至最后成形。因侧压装置的压紧作用及零件与模具间的摩擦，最大的拉力传到小剖面处已经逐渐减少到不足以拉断工件。



3.4.3.4 具有下陷零件的拉弯

具有下陷的拉弯件，下陷的加工一般在拉弯后用专用下陷模压制。对板弯型材及较薄的挤压型材（厚度 $t \leq 2\text{mm}$ ）、下陷较浅的拉弯件（ $h \leq 1.6\text{mm}$ ），亦可在拉弯后（夹头未松开），在拉弯模上用压下陷块手工敲打或顶压出下陷（见图1）^[1]。这种拉弯模上装

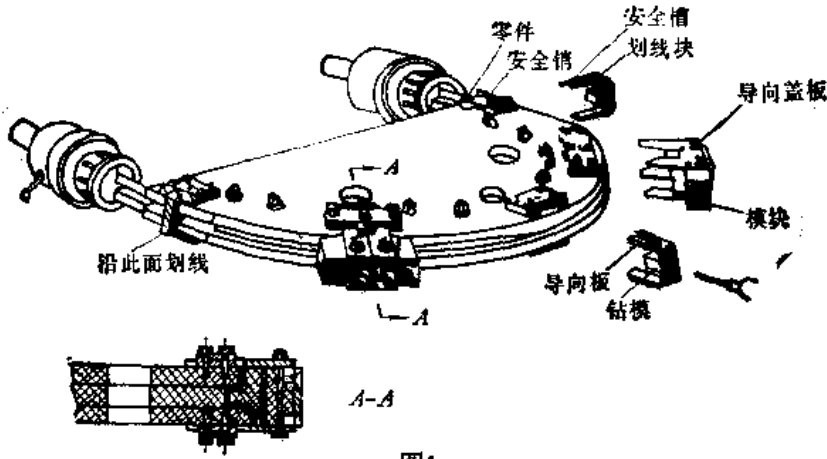


图1

有钻模块及划切割线模块，可用气钻钻孔及划线，以保证孔位及切割位置的正确性。

转台拉弯机可在拉弯的过程中，边弯曲边用侧压头压下陷，如图2所示。然后用销

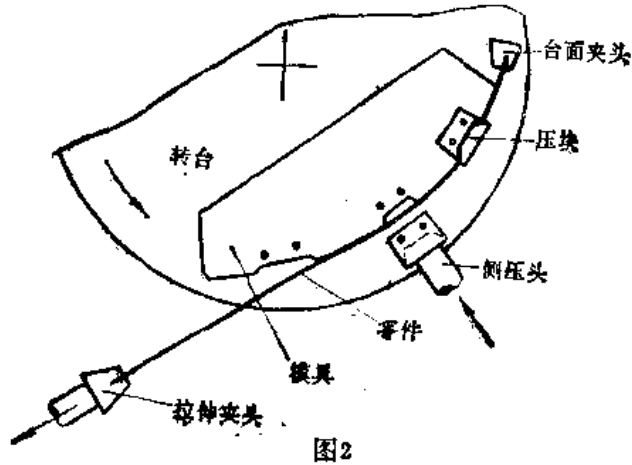


图2

钉将压块固定在模具上，以免转台继续转动时把已压出的下陷拉变形。

3.4.3.5 环形件、空间弯曲件的拉弯

环形件采用转台拉弯机进行拉弯，成形精度（直径、角度、平面度）较其它方法有很大提高，剖面畸变及扭转都大为降低，整修工时可以成倍地降低。

用转台拉弯机成形的各种不同断面的型材见图1。

制造环形件时，需注意以下几个方面：

1. 用侧压，以控制工件的外形及断面形状。
2. 必须准确地切割，以便得到准确的直径。
3. 已弯成螺旋形的零件，切割后最好能自动回弹成为一个无螺旋的平面环。

成形螺旋形零件时，主夹头工作方式有两种（见图2）。

主缸夹头轴线与水平线呈一夹角，弯曲过程中，主缸夹头上下位置不变（如图2(a)）。此方式当螺距较大时，切割后工件不能回弹成一平面环。

主缸夹头呈水平，弯曲过程中夹头上下位置随工作台的转动作相应的变化，使工件未弯曲部分始终呈水平（如图2(b)）。此方法拉制的零件在切割后能回跳为一平面环。为实

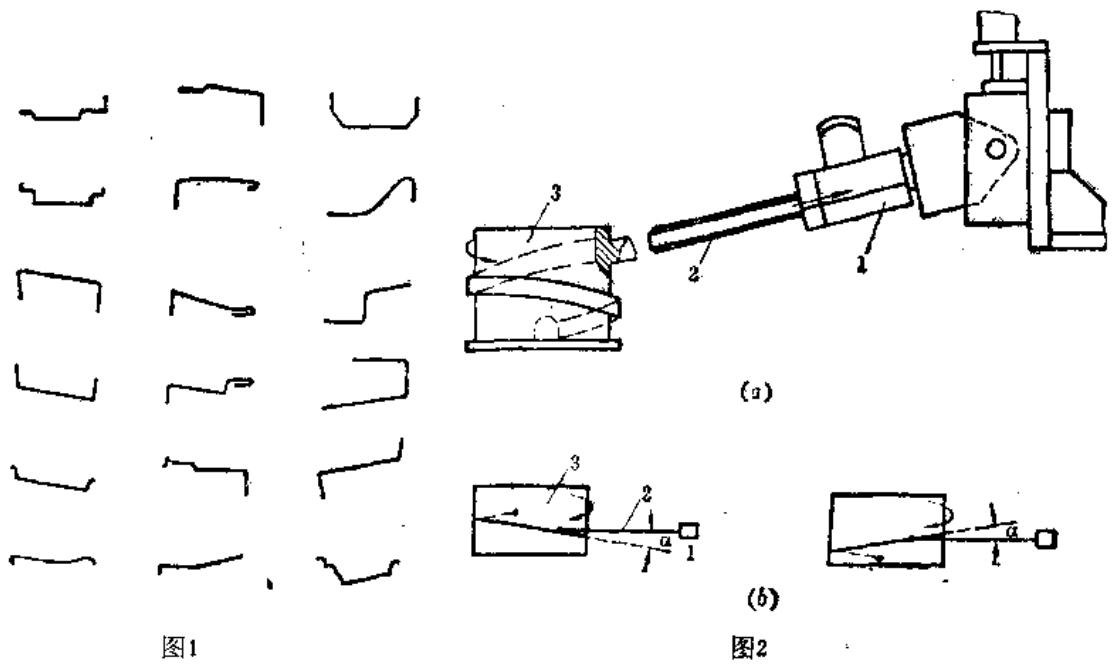


图1

图2

1—拉伸夹头；2—工件；3—拉弯模。

现以上运动，机床应有一套相应的随动机构。在无随动机构的一般转台拉弯机上，主缸夹头的垂直运动随台面的转动分段调整。

3.4.4 拉弯零件的缺陷及解决方法

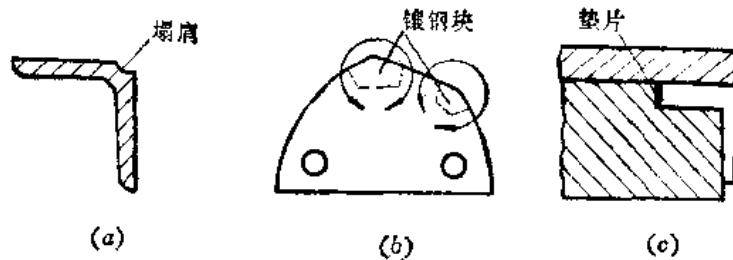
3.4.4.1 塌肩现象

收边拉弯件因零件腹板刚性大，拉弯时若腹板内侧无良好的支持，必然会产生腹板与缘板间的错动（即塌肩）。导致产生塌肩的原因通常为：

1. 拉弯模模槽深度过大。
2. 变曲率零件半径突变处局部曲率大，变形程度过大。
3. 拉伸量过大，腹板产生过量收缩，高度变小。

解决方法（见图）：

1. 生产时若发现拉弯模模槽过深，可在该处模槽底部垫适当厚度的垫片（如图(c)）或返修模具。但模槽过浅，零件在该处根部会产生凸出。
2. 适当控制拉伸量。
3. 铝模在曲率半径突变处易产生磨损，可在该位置局部镶钢块（如图(b)），模槽深度应比零件腹板高缩小 $0.5\sim 1\text{mm}$ 。



(a)

(b)

(c)

3.4.4.2 剖面收缩

拉弯零件拉伸量较大时,会产生剖面收缩(如图(1b)),会影响结构设计的配合、边距及强度。用带侧压的转台拉弯机成形时,通过侧压滚轮(或侧压块)的辗压作用,缩减率会适当减少。而在张臂式拉弯机上拉弯时,必须调整毛料的剖面尺寸加以克服。

图1(a)表示拉制几型材时拉弯模尺寸调整的方法。

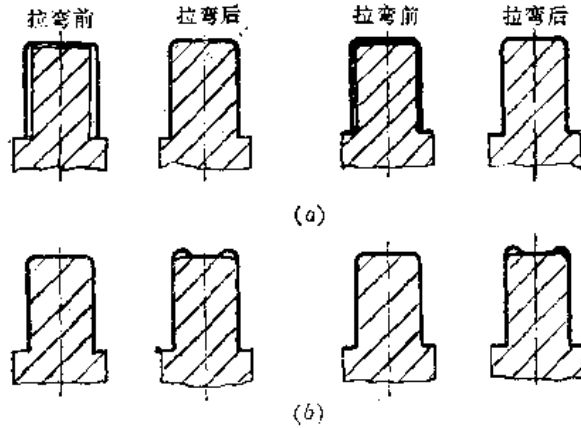


图1

最常用的几种挤压、板弯型材(如L、U、I、T、C、工等)的剖面收缩率随拉弯半径的变化关系见图2。

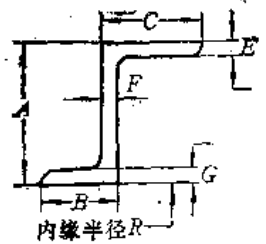
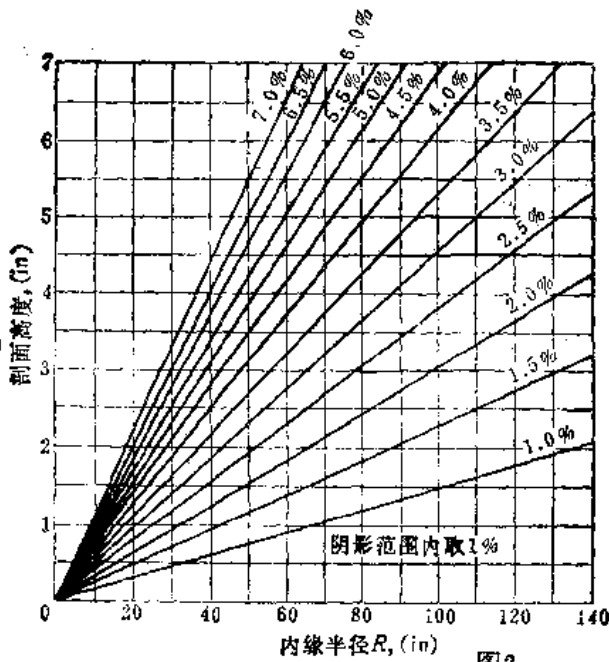


图2

根据名义尺寸计算缩减率,从原始最小尺寸减去缩减量得出成形后的最小尺寸。
 对于任一尺寸,计算缩减率不小于1%。
 尺寸E和F的变薄率直接取自上图。
 尺寸C的缩减率取用图值的 $\frac{1}{2}$ 。
 尺寸A的缩减率取用图值的 $\frac{1}{2}$ 。
 B和G的缩减率取为1%。

3.4.4.3 剖面挠曲及畸变

展边型材，横向弯曲的槽形型材，I形型材，中空异形型材及其它复杂剖面型材，在拉弯过程中会产生挠曲及剖面畸变（图1）。这种现象需用加蛇形垫块或充填低熔点合金、硫代硫酸钠等填充材料来克服。

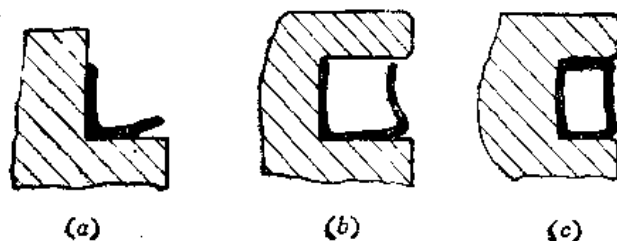


图1

蛇形块用锌合金、铝、聚氯乙烯塑料、硬木等制造，用铰链、细钢丝绳或橡皮绳串接，拉弯时垫在型材剖面内。蛇形块的使用及形式见图2和图3。

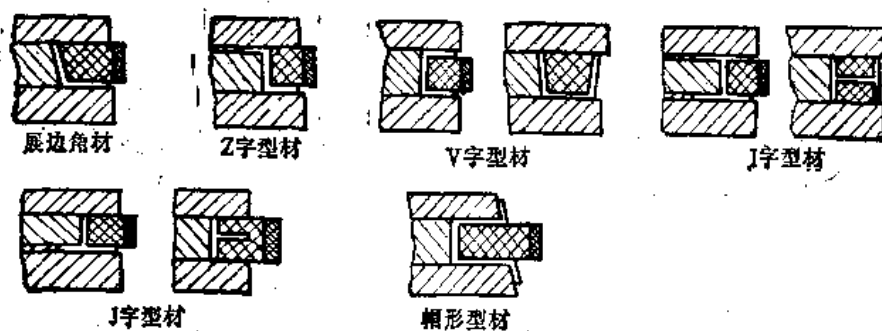


图2

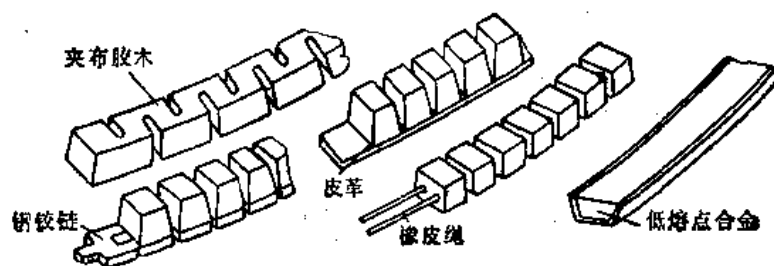


图3

充填用低熔点合金成分如下：

Bi——50% Pb——26.7% Sn——13.3% Cd——10%，熔点70℃，延伸率180%。

使用低熔点合金或硫代硫酸钠作填充料时，先将填充料熔化，再浇灌到需成形的毛料内，冷却后拉弯成形。填料可以加温熔化后回收。

采用带侧压的转台拉弯机时，可用侧压滚轮校形，除某些零件外，一般可不使用蛇形块。

3.4.5 拉弯模与拉伸夹头

3.4.5.1 拉弯模的典型结构

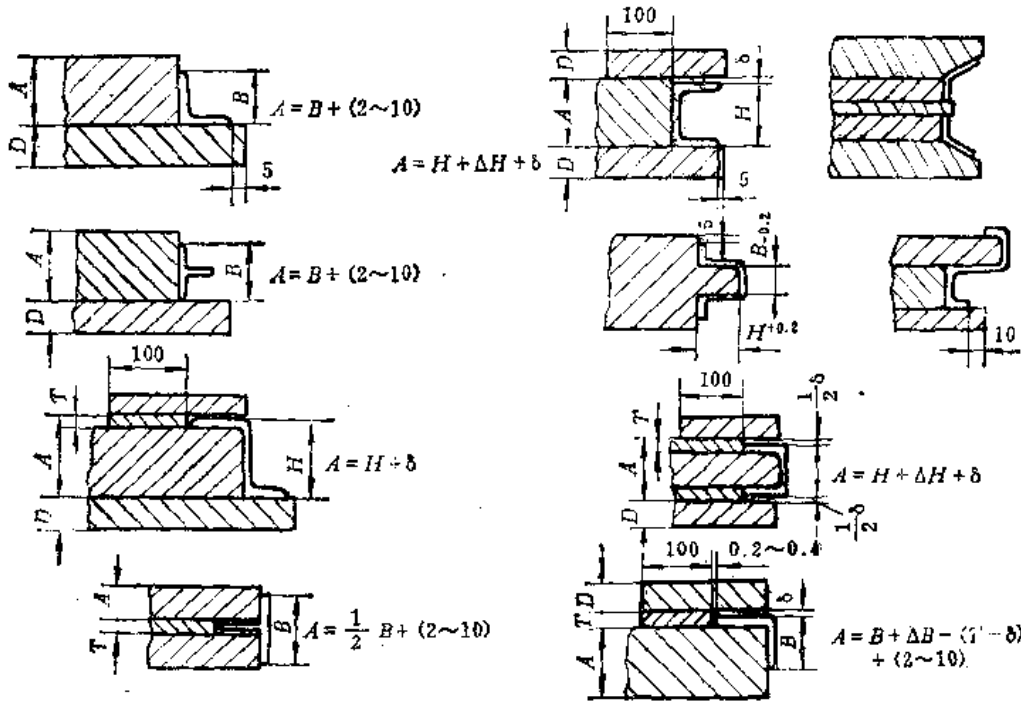
为了便于制造，拉弯模常由数层拼合，用螺栓及销钉连接而成。模体及盖板材料可由下表选取。

拉弯模材料表

使用条件	中批量拉弯铝合金零件	拉制铜件、厚型材、加热拉弯、大批量生产	试制或小批量
模具材料	厚铝板、铸铝、锌合金、精制层板	低碳钢板、铸铁	聚氯乙烯板、环氧树脂

拉弯模垫板受力较大，常用低碳钢板制造。

拉弯模的剖面形状应符合型材的剖面特点。工作间隙 δ 值取 $0.2\sim 0.5\text{ mm}$ ，底板及面板（盖板）厚 $D=15\sim 30\text{ mm}$ 。各类型材零件拉弯模的剖面尺寸见图。



模具工作表面粗糙度为 $\nabla Ra3.2$ ，拉弯模的有效工作长度应比零件切割长度每侧增加10mm，两端头圆角半径 R 不宜小于20mm。大型模具应装起重环。

3.4.5.2 ПГР-6、ПГР-7、XL-2、ПГР-8拉弯模典型结构

1. ПГР-6拉弯模

该拉弯机台面只有固定模具的螺栓孔而无承受压力的后侧挡块，为了保证工作时模具不产生移动及便于模具安装和定位准确，通常使用专门拉弯模模座，拉弯模直接装在模座上。ПГР-6拉弯模典型尺寸见图1。

L 按零件大小可选： $480^{+0.1}$ ， $720^{+0.1}$ ， $960^{+0.2}$ ， $1180^{+0.2}$ 。

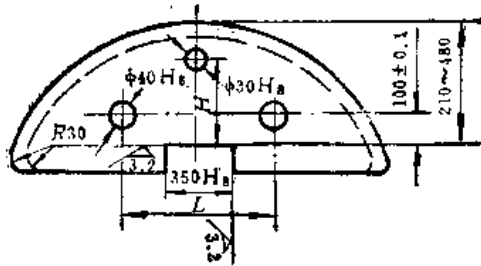


图1

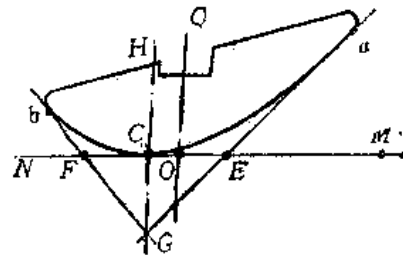


图2

H 值为: $100^{\pm 0.1}$, $150^{\pm 0.1}$, $200^{\pm 0.1}$, $250^{\pm 0.1}$, $300^{\pm 0.1}$, $350^{\pm 0.1}$, $400^{\pm 0.1}$ 。

$350H_8$ 缺口用于模具定位及承受压力,两个 $\phi 40H_8$ 销钉孔用以在拉弯时防止模具转动, $\phi 30H_8$ 孔用以压紧拉弯模,防止模具工作时抬头。

由于ПГР-6拉弯机只有一个弯曲作动筒,两张臂动作是同步的,故要求弯曲过程零件两端必须同时拉完。在模具设计时:对对称零件,只要零件的对称轴线与机床的中心线重合即可;对非对称零件,若拉弯模设计不当时,将导致零件一端先拉好,而另一端未拉完,再继续拉时,已拉好的一端会折断,机床亦会承受不应有的侧向有害载荷。故此类拉弯模应保证拉弯行程终了时,两端夹头处毛料都同时贴合模具端头并相切。

非对称件拉弯模中心线及缺口(底面)的确定方法如下(图2):

- ①由零件外形终点 a, b 作两切线交于 G 点;
- ②作 $\angle aGb$ 的平分线 GH ;
- ③作垂直于 GH 线并与零件外形相切切线,切点为 C ,切线交 aG 及 bG 于 E, F 两点;
- ④按下式求 EM 距离:

$$EM = \frac{(aE + 710)(MN - EF)}{aE + bF + 1420}$$

式中: $MN = 1035$ (拉弯机两臂铰接点距离);

- ⑤求 O 点: $EO = \frac{1}{2}MN - EM = 517.5 - EM$;

- ⑥过 O 点作 GH 线的平行线 OQ , OQ 即为拉弯模的中心线,模具缺口两侧与 OQ 线平行,缺口底面与 OQ 线垂直。

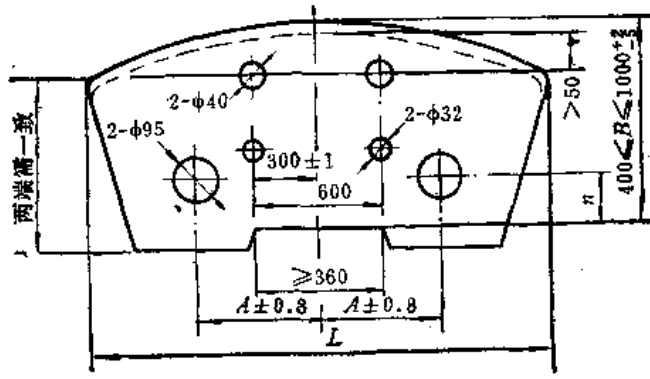
2. ПГР-7拉弯模

这种拉弯模用两个销孔($\phi 90$)防止模具转动并承受侧向压力;用螺栓压紧,不用专用模座。ПГР-7两张臂可单独操作个别动作,成形时可不考虑两夹头同时到位的问题。

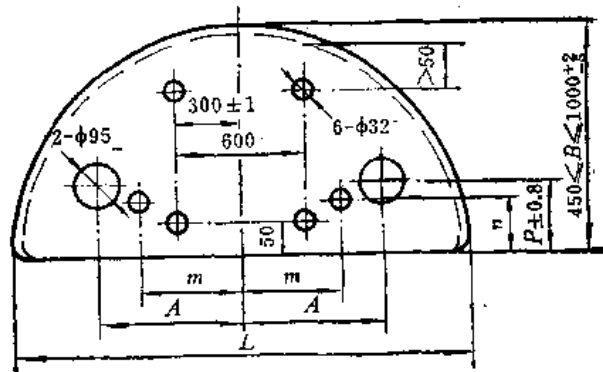
ПГР-7拉弯模的典型设计图见图3、图4。

图中 m, A, L 及 n, P, B 值分别见表1、表2。

图中 A, L 值按表3确定。



(a)



(b)

图3

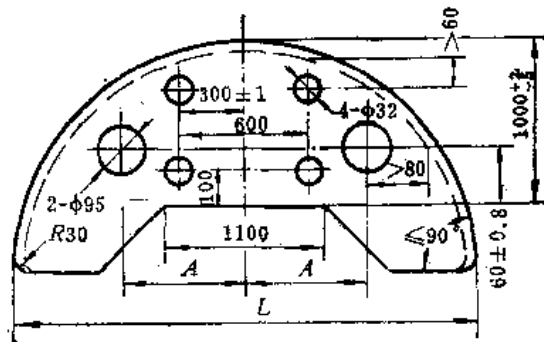


图4

表1. m, A, L 值的选择

$m \pm 3$			500	600	650
$A \pm 0.8$	400	500	600	700	700
L	1000~1200	1200~1400	1400~1600	1600~1800	>1800

表2. n, P, B 值的选择

$n \pm 1$			150	200	250	300	350	400	450	
$P \pm 0.8$	100	150	200	200	250	350	400	450	500	650
$B \pm \frac{2}{3}$	450	500	550	600	650	700	750	800	850	>850

表3. A, L 值的确定

(mm)

$A \pm 0.8$	>500	600	700
L	1400~1600	1600~2000	>2000

3. ПГР-8拉弯模

ПГР-8两张臂可单独动作, 典型设计图见图5。

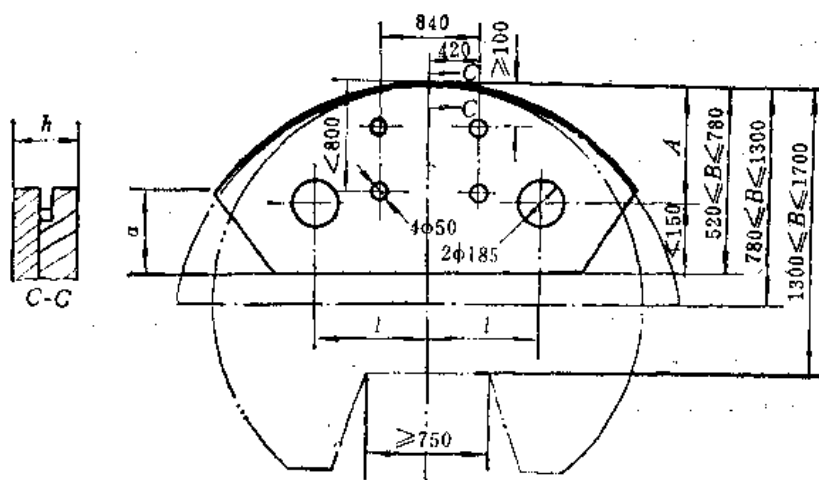


图5

尺寸 a 在拉弯模两侧需保持一致; 尺寸 h (模具厚度; 包括盖板) 当拉力达20吨时, 若拉弯模全靠主柱承力, $h \leq 150$, 4个 $\phi 50$ 孔位置在工作台T形槽上, 图示尺寸供选用时参考:

$$A = 220 + nt_2 \leq 1040 \text{ mm}$$

$$l = 280 + nt_1 \leq 840 \text{ mm}$$

t_1, t_2 台面螺孔间距; $t_1 = 140; t_2 = 130, n$ 间距数。

4. 包角大于 180° 的拉弯模

当拉弯件包角大于 180° 时, 或厚的收边型材拉弯后, 工件从拉弯模中卸下是很困难的。用敲的方法取件会引起工件变形, 故在ПГР-7、ПГР-8、XL-1等拉弯机工作台设有模具压紧作动筒, 每拉完一件, 用作动筒顶起模具盖板, 取下工件, 相应在拉弯模上开出作动筒活塞杆孔, ПГР-7及ПГР-8模体上开孔直径为260mm, 盖板开孔孔径 $\phi 160$, 孔中心线距拉伸轴线为540~1400mm。此类拉弯模的典型结构见图6⁽⁵⁾。

5. XL-2拉弯模

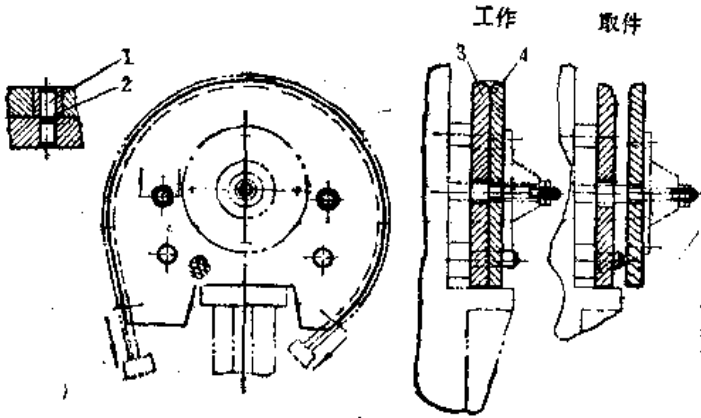


图6

1—销钉；2—导套；3—模体；4—盖板。

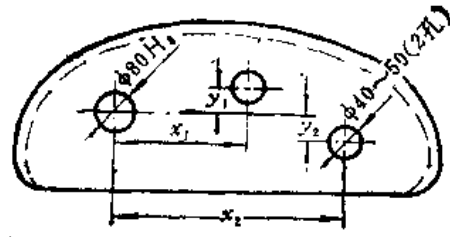


图7

该拉弯模用一个 $\phi 80H_8$ 销孔定位，按零件大小不同用一个或两个M36螺栓压紧（图7）。

当 x_1 或 x_2 取100mm的整倍数时， y_1, y_2 数值不限；相反 y_1, y_2 取100mm的整倍数时， x_1, x_2 数值不限。

3.4.5.3 拉弯夹头典型图

拉弯夹头要求夹紧牢靠，打开方便。设计时应注意使夹头的中心线与零件的剖面重心重合，以免拉弯时零件及夹头都受到有害的附加弯矩。目前拉弯机多用气动夹头，但拉弯后松开夹头困难，XL-1采用液动夹头，取件方便可靠。夹头材料用45号钢，淬火HRC40~45，拉钢等硬料用T8A，淬火HRC50~55。

1. ПГР-6 夹头典型图（图1）。

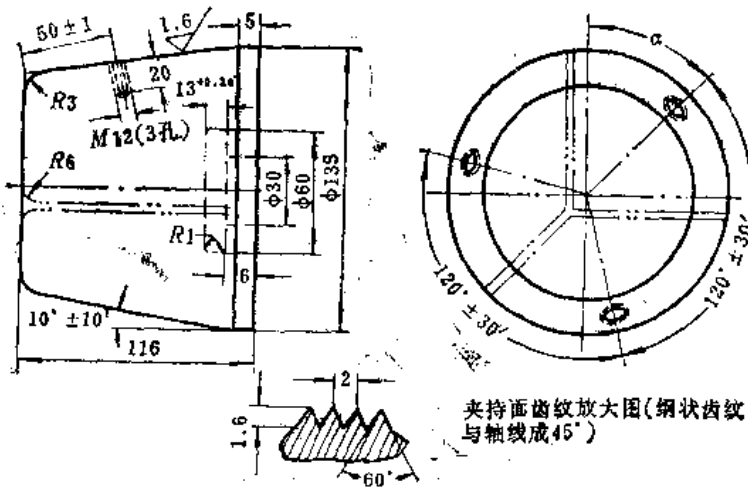


图1

2. XL-2, ПГР-7拉弯机夹头（图2）。
3. ПГР-8拉弯机夹头（图3和图4）。
4. “丰”“土”型材拉弯夹头。

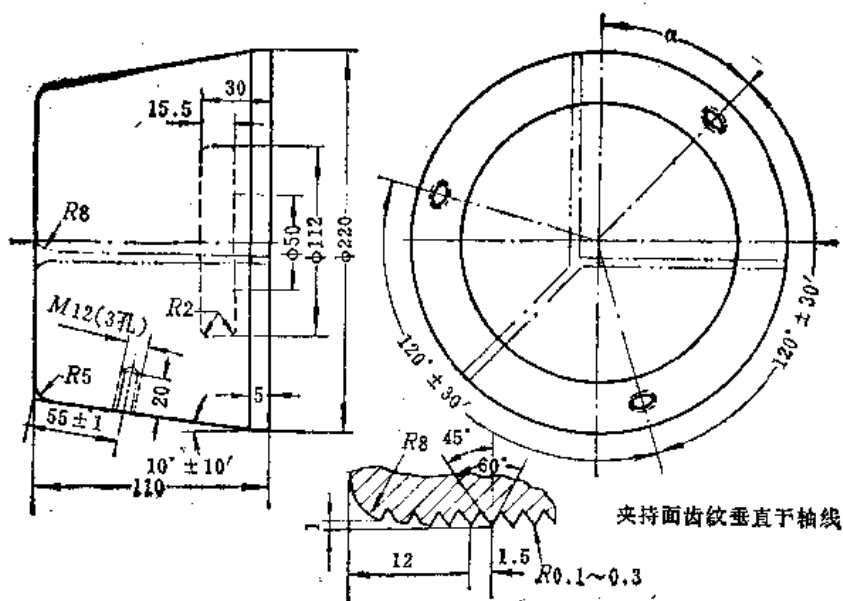


图2

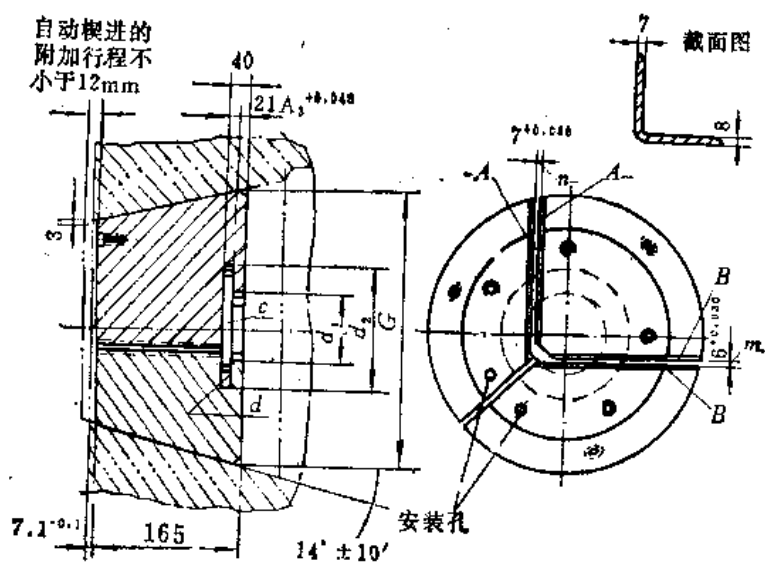


图3

A-A与B-B面的不平行度不大于0.035mm, C及D平面对中心线的垂直度不大于0.04mm, 当 $m=2$, $n=1$ 时, 锥面外径 $G=319.3h_B$, $d_1=82\text{mm}$, $d_2=162\text{mm}$.

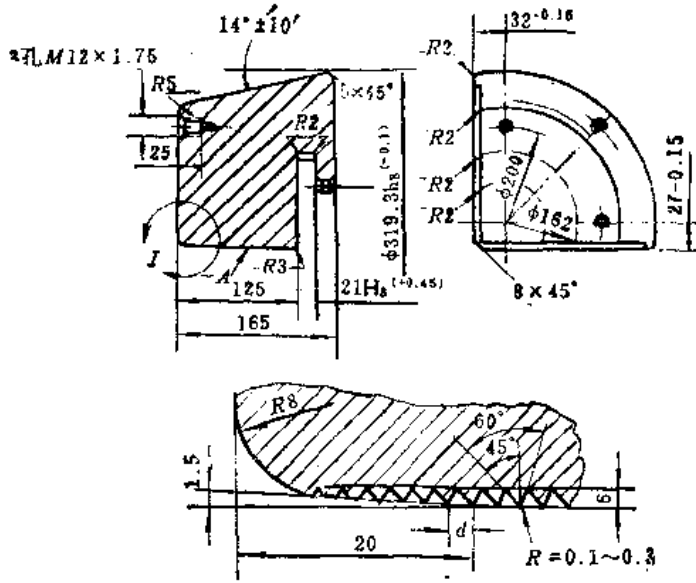


图4

此类零件难以像简单件那样各面都用齿块啮紧，需用填块充实型材，齿块夹紧外表面。齿块装于夹套内的通用卡爪上，并可根据需要而更换。通用卡爪及齿块见图5和图6。填块材料可用LY12CZ材料制造，填块厚度按型材内表面高的负差制造，以便顺利填入型材内；填块亦可分成两楔块，用斜面调节厚度。夹头的具体实例见图7。

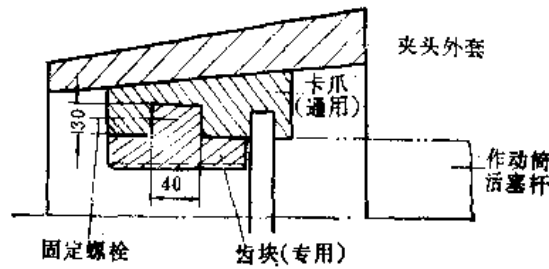


图5

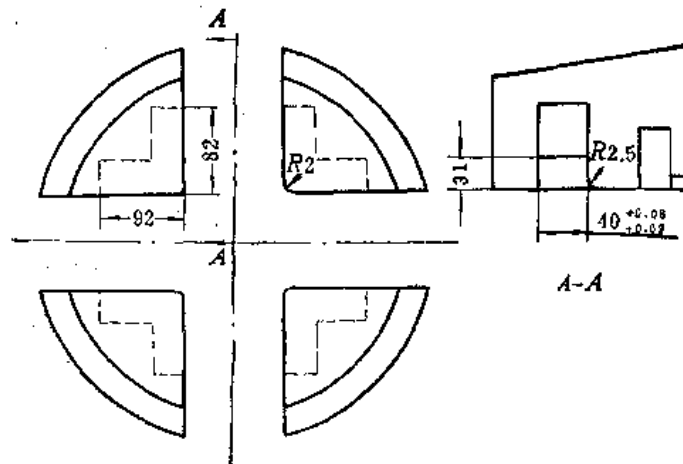


图6

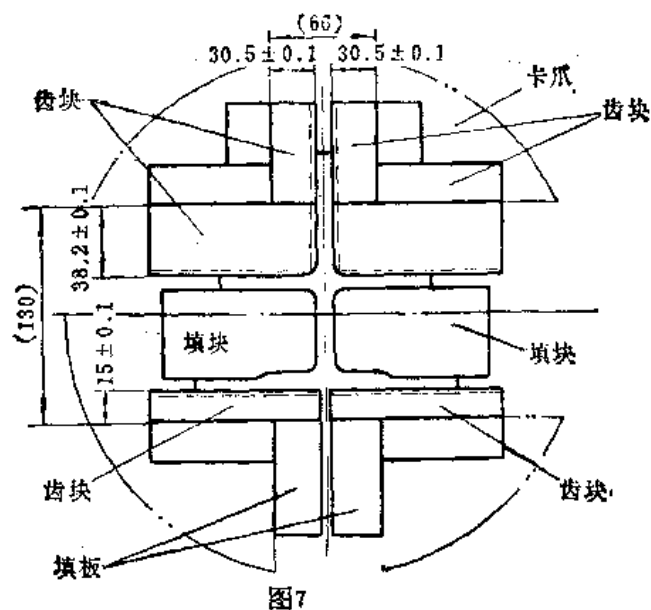


图7

3.4.5.4 转台拉弯机侧压滚轮设计

在拉弯过程中，侧压滚轮（或侧压块）应始终很好地压在型材表面上，以便成形出零件的斜角，即能够按型材表面自由摆动，故要求支架的支持面是弧形的；为了避免在工作中滚轮发生在垂直面内的上下移动，此弧面的圆心应在滚轮外表面的中点上。

侧压滚轮的长度应比被辗压型材缘板宽度大5~10mm，滚轮两端应倒圆角。工作时滚轮的中点应与被压型材缘板宽度的中点重合(图1(a))。两者相差较多时，因压力中心不对，侧压滚轮便不能均匀地压在缘板上而自动压向零件一侧(图1(b))。

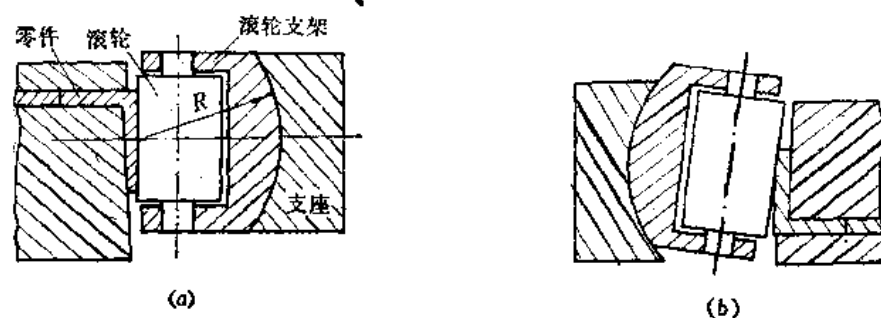


图1

XL-2等拉弯机的法向跟踪触头位于侧压滚轮的下方，拉弯模的厚度应考虑留出跟踪触头位置。

侧压滚轮材料用45号钢或T8A等材料制造，淬火硬化工作表面。侧压块采用工具钢或铝青铜制造。

侧压滚轮支架，滚轮轴及支座工作时承受较大的侧压力，设计时应考虑强度及刚性。

XL-2 支座与机床连接部分见图2。

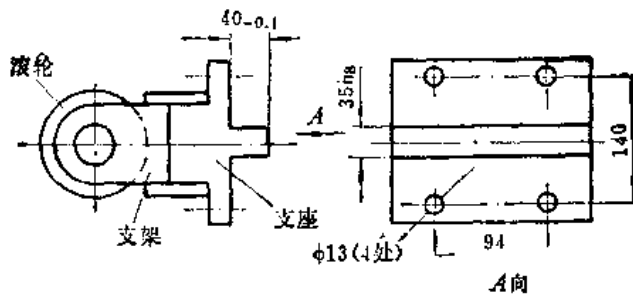
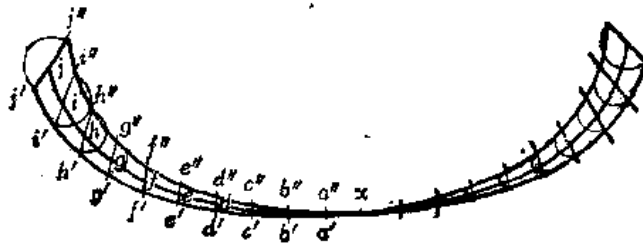


图2

3.4.6 回弹样板的制造

采用一次拉弯法或二次拉弯法拉制零件，回弹不能完全消除时，对等曲率（或由几段圆弧组成）零件的回弹样板可按3.4.1节式（1）~（3）计算其回弹量；对变曲率零件可按下列步骤制造回弹样板，用其将拉弯模修出回弹量（如图示）。

1. 按零件理论外形制造一未放回弹的拉弯模；
2. 用此模按计算好的工艺参数拉制一样件，拉弯时在零件及模具上划出型材未弯曲时与模具相切的切点 x 的位置线；
3. 取一适当大小的铝板，将零件理论外形及样件外形同时划在铝板上，切点 x 要对齐；
4. 在理论外形线及样件外形线上，以切点 x 为原点，向两侧各划出弦长10~15mm间距的各点 a 、 b 、 c 、 d ……及 a' 、 b' 、 c' 、 d' ……；连接 aa' 、 bb' 、……；并向 $a-a'$ 、 $b-b'$ ……方向作延长线；
5. 用分规以理论外形上各点 a 、 b 、 c ……为圆心，用理论外形与样件外形各相应点的差异（即 aa' 、 bb' ……）为半径在 $a'-a$ 、 $b-b'$ ……延长线上截得 a'' 、 b'' 、 c'' ……各点，各点圆滑相连即为回弹样板的外形。



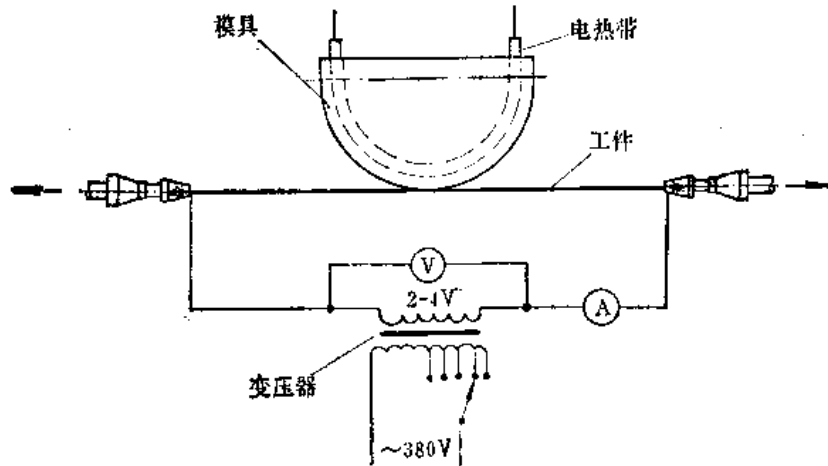
在生产时，所采用的拉弯工艺参数应与拉制样件时的参数相同。

3.4.7 加热拉弯

对钛合金及镁合金等在常温下塑性较差的零件及LC-4，LY12料相对弯曲半径小在常温难以成形的零件，可采用加热拉弯成形。

3.4.7.1 加热拉弯工艺规范及润滑剂

1. 加热方式：加热方式有两种。对普通热容量较小的一般型材用自阻法进行加温。夹头作为通电电极，用低压大电流直接流过型材，用工件本身电阻进行加温（如图示）。



此时拉弯夹头及拉弯模都需与拉弯机床身绝缘及绝热。拉弯模与床身可垫石棉板等绝缘材料。

对热容量较大零件亦可用电炉等对零件进行加温（如歼-6机座舱导轨），因零件热容量大，拉弯过程温度不致降低很多。

拉弯时拉弯模一般需加热，以提高成形精度。

2. 加温规范：镁合金加温温度 $250\sim 350^{\circ}\text{C}$ ，加热时间和电流密度与零件长度有关，三者关系见表1^[7]。镁合金拉弯时拉弯模加温到 $200\sim 250^{\circ}\text{C}$ 。

表1. 加热时间、电流密度与零件长度关系

型材长度 (m)	加热到 350°C 的时间 (s)					
	10	20	30	40	50	60
	所需的电流密度 (A/mm^2)					
1	32	23	18	15	14	13
2	32	34	25	20	17	15
3	—	45	32	22	19	17
4	—	—	50	30	22	20

钛合金加温温度见表2。钛合金拉弯时拉弯模加温到 $400\sim 450^{\circ}\text{C}$ 。钛合金拉弯时，在 $2\sim 3$ 分钟内升温到 $600\sim 650^{\circ}\text{C}$ ，由于镁合金与钛合金密度与比热的乘积相近，故可参考镁合金的电流密度规范、再通过试拉确定每一具体零件的总电流（用改变变压器输

表2. 钛合金加热拉弯的温度

材料牌号	加温温度 ($^{\circ}\text{C}$)
纯钛 (TA2, TA1 等)	$350\sim 400$
TC1, TC2, TA5	$550\sim 750$
TA6, TC3	$600\sim 750$

出电压的方法调整升温时间)。因钛合金电阻系数比镁合金及铝合金都高得多,加热时要求较高电压。

加热拉弯的加热变压器(钛、镁、铝型材通用)性能推荐如下:

输出电压: 4~20V、初级电压: 380V; 输出最大电流: 5,000A; 功率80~100kW。

3. 拉伸量: 加热拉弯只用一次拉弯, 自由段补拉量按表3选取。

表3. 加热拉弯补拉量^[7]

相对弯曲半径 ρ/H	相对延伸率%
10	4
20	3
≥ 30	2

工件夹好后通电升温, 温度达要求值后开始预拉, 弯曲, 贴模后保温(不断电, 保持轴向拉力), 最后断电取下工件。拉钛合金零件时要求弯曲速度低, 包覆速度为200mm/min。保温时间为5min, 以消除内应力克服回弹。加热拉弯的拉弯模不用修回弹。

4. 润滑剂: 拉弯时工件及模具需润滑。

拉制镁合金及铝合金温度不高, 常用润滑剂为水剂石墨或滑石粉。

拉制钛合金时涂润滑剂除了润滑外尚有保护零件减少氧化作用。润滑剂(涂料)根据不同的加温温度按表4选取。

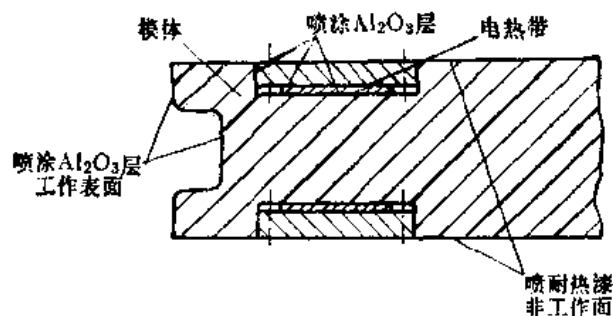
表4. 按不同温度选择润滑剂

涂料名称	典型材料和用途	使用温度、时间
Ti-1号涂料	用于TC1, TA1, TA2等钛合金热成形保护, 涂层具有润滑作用, 不粘模, 保护效果好, 属非自行脱落型涂料, 受热后涂层易于用酸洗除去	550~700°C 0.5~1h
Ti-2号涂料	用于TC4, TA7钛合金热成形保护, 涂层具有润滑作用, 不粘模, 保护效果好, 属非自行脱落型涂料, 受热后涂层易于用酸洗除去	800~1000°C 0.5~1h
Ti-3号涂料	涂层具有润滑作用, 用于与Ti-1, Ti-2号涂料配套, 作为面层涂料使用, 以增强涂层的润滑效果	

注: Ti-1, Ti-2, Ti-3涂料西安油漆总厂生产。

3.4.7.2 加热拉弯模及附属设备

加热拉弯拉弯模工作时要加温, 同时要求工作面及模槽拉弯时与零件绝缘, 拉弯模结构见图, 电热带用不锈钢制造, 模体材料用低碳钢。



非工作面要涂W61-31有机耐热烘漆[⊖]（工作温度700℃）。模具工作表面及模槽与加热带接触面要喷Al₂O₃绝缘层，厚度0.3mm。喷Al₂O₃层过程如下：模体清洗→吹砂→喷镀NiAl合金→等离子焰喷镀Al₂O₃绝缘层。

零件测温仪器要求反应速度快，使用方便。工作温度在500℃以下时，可用表面温度计进行工件测温（型号WREA-22M）。由于表面温度计反应速度较低（4s），使用时触头在加温过程始终要与工件表面贴紧。

控制钛合金零件要用手提光电测温仪测温（型号GD-1型，上海卫星仪表厂出产，非接触测温，精度高，反应速度快）。

3.4.8 拉弯机

拉弯机有张臂式及转台式两种。张臂式拉弯机操作方便，成形效率高，操作人员少；转台拉弯机成形精度高，可在拉弯同时成形出零件的倾角及可拉制环形件与某些空间弯曲零件等优点。

目前国产转台拉弯机除XL-2以外，都设有延伸量控制机构，除侧压头及主拉伸夹头有液压提升机构，在工作时高低可调外，主拉伸夹头并可沿其轴线（拉伸轴线）旋转。

常用拉弯机性能见表。

常用拉弯机的性能表

(mm)

参 数	型 号	ΠΓP-6	ΠΓP-7	ΠΓP-8	XLW-15	ZL-1	XL-1	XL-2	XL-2J
最大拉伸力		9t	25t	60t	15t	10t	12t	30t	35t
最小拉伸力		0t	2.5t	5t			0t		
最大毛料长度		5500	6000	9000	6000	3500	3000~3500	3200	
最小毛料长度		1000	1000	2000	800				
零件最大直径		1280(180°)	2800	3800	1800		1800	2300	2100
零件最小直径		600	800	1200	500		400	400	400
工作台尺寸				2500×2000	1600×650	φ1500			φ2100
最大侧压力			30t			5t	8t	12t	15t
补拉夹头上调整量						80	80	50	100
零件最大弯曲角		180°(200°)	220°	220°	205°	360°	360°	360°	360°
形 式		张臂式	张臂式	张臂式	张臂式	转台式	转台式	转台式	转台式

⊖ 西安油漆厂生产。

参 考 资 料

- (1) Hufford Machine Works Inc., Principle of Stretch-Wrap Forming.
- (2) А. Н. ГРОМОВА, изготовление деталей из листов и профилей при серийном производстве, 1960.
- (3) 胡世光,《板料冷压成形原理》,国防工业出版社,1979年。
- (4) 中川威雄等著,《板料冲压加工》,天津科学技术出版社,1981年。
- (5)《航空工艺装备设计手册——冷冲模设计》,国防工业出版社,1978年。

3.5 拉 形

3.5.1 定义与范围

拉形成形是通过拉形模对板料施加拉力，使板料产生不均匀拉应力和拉伸应变，随之板料与拉形模贴合面逐渐扩展，直至与拉形模型面完全贴合。

拉形适于制造材料具有一定塑性，表面积大，曲度变化缓和而光滑，质量要求高（外形准确、光滑流线、质量稳定）的双曲度蒙皮。拉形所使用的工艺装备和设备结构较简单，成本低，生产准备周期短，机动灵活性大。但拉形的材料利用率和生产效率都较低，对于外形复杂的零件，仍需辅以手工修整。是制造飞机（火箭和导弹）和汽车（小批量）双曲度蒙皮零件的有效方法。

3.5.2 拉形的成形过程与影响因素

3.5.2.1 拉形的成形过程

双曲度零件的拉形与型材的拉弯相似，但其变形过程却复杂得多。拉形的成形过程可分为弯曲-拉形-补拉三个阶段。

(1) 弯曲阶段：将板料按拉形模弯曲，并将板料两端放置在夹钳中夹紧。板料产生弯曲变形。薄板可用手工直接按拉形模弯曲，厚板需用滚弯机参照拉形模的横向弧度滚弯成形。

(2) 拉形阶段：当拉形模向上顶举时，拉形模背脊上最高点首先与板料接触，板料这个部位的单位作用力和拉应力最大。当拉应力大于其变形抵抗力和由于变形一致条件的限制所引起附加应力时，则产生局部拉形塑性变形，并促使板料与拉形模贴合面扩大。随着拉形模逐步上升，迫使板料局部拉形塑性变形按拉形模型面几何形状而扩展，直至与拉形模形面完全贴合。

(3) 补拉阶段：板料与拉形模型面完全贴合后，还要再使板料较均匀地产生约0.5%的拉伸变形。其目的是减少零件的回弹和残余应力，提高准确度和光滑流线。

3.5.2.2 摩擦对拉形的影响

(1) 面摩擦的影响：拉形成形中，板材受力区内横切面上单位作用力 q_t 、单位摩擦力 f_t 的分布见图1(a)，拉应力 σ_t 的分布见图1(b)所示。单位作用力 q_t 在背脊顶部最大，拉形模两侧 c 处以下较小。面摩擦力 F_t

$$F_t = Q_c \left(1 - \frac{1}{e^{\mu \beta l}} \right)$$

式中 Q_c —— c 点的作用力；

μ ——摩擦系数；

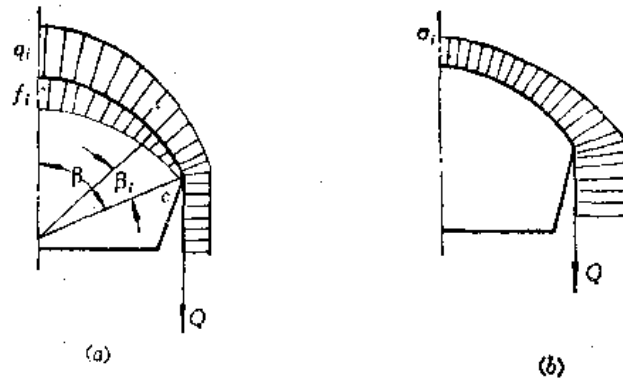


图1

β_i —— i 点的包角。

摩擦力 F_i 随着 β_i 的增加而增加。 c 点处, $\beta_i = 0, F_i = 0$; 背脊点处, $\beta_i = \beta$, 包角最大, 摩擦力也最大。单位摩擦力 $f_i = F_i / A_i$, 其中 A_i (i 点处受力区横切面宽度和单位长度的乘积) 也是随着 β_i 和贴合面 (受力区) 的扩展而变化。

摩擦力是阻止板料和拉形模相对运动的, 是阻碍板料产生拉形变形的力。所以使某点产生塑性变形的单位作用力必须克服 (即大于) 相应的变形抵抗力、附加应力和摩擦力。

当板料刚与拉形模接触时, 背脊部位的单位作用力最大, 而摩擦力却很小, 拉形塑性变形集中在背脊部位。随着贴合面的扩展, 背脊顶部的单位作用力增加不多, 而摩擦力大增, 变形抵抗力和附加应力也随变形量的增加而增加。拉形变形区扩展, 板料在拉形模的迫使下贴合面也逐渐扩展, 板料按拉形模的形面产生相应的拉形变形, 使其可能与拉形模形面完全贴合。

(2) 圆角摩擦的影响:

包角 β : 拉形模上零件边缘 c 点的法线与工作台主作用力 P 的交角。它取决于零件的弧度。

张紧角 θ : 夹钳拉力 Q 的法线与工作台主作用力 P 的交角。它取决于拉形机和拉形模的结构和它们的相对位置。

阻力角 α : 如图 2 所示。

$$\alpha = \theta - \beta$$

$$Q_c = Q \cdot \frac{1}{e^{\mu \alpha}}$$

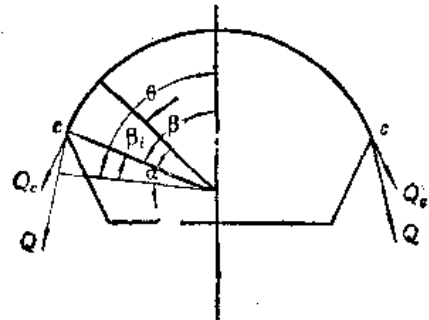


图2

拉形中由于拉形模两侧的圆角阻力和圆角引起的弯曲应力, 所以危险断面一般在拉形模两侧圆角或夹钳出口处。

拉形中若 $\alpha < 0^\circ$, 即板料与拉形模两侧 c 点不接触。由于各夹钳拉力不均, 悬空部分易产生棱子。所以拉形时要求 $\alpha \geq 0^\circ$ 。但 α 过大, 圆角摩擦力大, 不利于板料在拉形模型面部分的拉形变形。特别是在补拉时, 不利于使整个板料都产生一定的拉形塑性变形。合理的 α 为 $3^\circ \sim 5^\circ$ 。

摩擦力对拉形的影响很大, 直接影响板料的变形量和变形量分布。一般说板料与拉

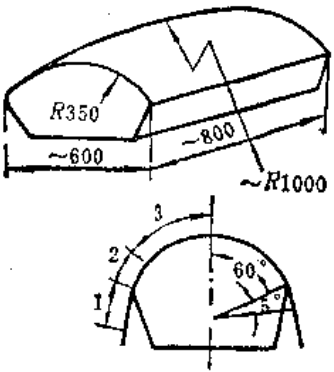
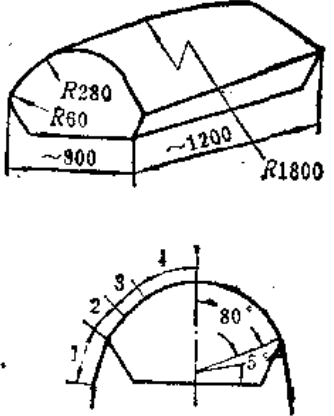
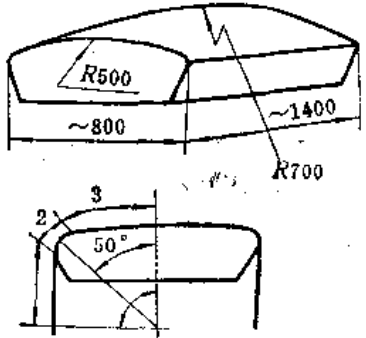
形模完全贴合，板料在拉形模型面各点的变形量主要取决于零件（即拉形模型面）的形状，而型面区和过渡区变形量的大小则取决于摩擦，详见 3.5.2.3 节。摩擦还影响极限拉形系数、拉形力和拉形件的质量（变薄、擦伤和划伤）、拉形模的结构和寿命。

拉形中应控制摩擦力，一般说板料传力区（如两侧圆角阻力区）摩擦力应尽量小，而变形集中的部位和马鞍形零件拉形时摩擦力则可大一点。

3.5.2.3 典型拉形零件各点的变形量

板材 LY12M-t1.0 不同形状零件各点拉形变形量如下表。

LY12M-t1.0 典型拉形零件各点的变形量表

零件(拉形模)几何外形示意图	最大变形切面上的变形量	危险断面的位置	拉形时应注意的问题
	1区—8% 2区—8.5% 3区—9%	一般在背脊顶峰处出现滑移线	拉形模上一般不涂润滑剂，左右两端面应均衡上升，使背脊左右端同时接触板料
	1区—9% 2区—8.5% 3区—6.5% 4区—5%	一般在夹钳钳口部位	拉形模上应涂润滑剂，钳口要调整好，不要有应力集中点，而且钳口的弧度尽可能和拉形模两侧一致
	1区—9% 2区—8% 3区—<3%	拉形模两侧圆角处	拉形模上一般应涂润滑剂，为进一步减少摩擦力可在拉形模两侧圆角部位加0.5~0.8mm涂油的薄胶皮，以减少摩擦系数

3.5.2.4 板材塑性指数 n 、 r 值对拉形的影响



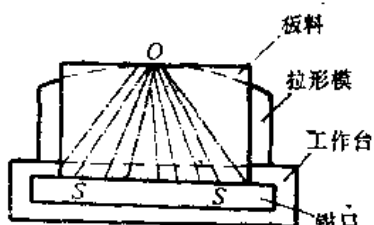
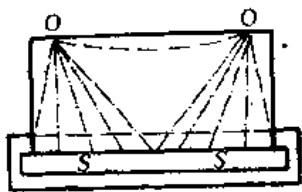
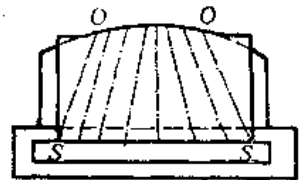
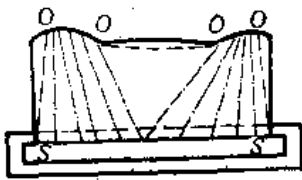
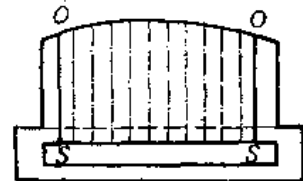
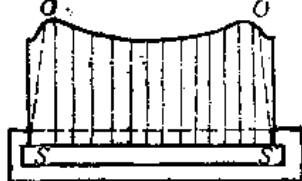
一般说 n 值大对拉形有利，而 r 值对拉形影响不大。

3.5.3 拉形件和拉形方法分类

3.5.3.1 按几何外形分类

拉形件按几何外形的分类见下表。

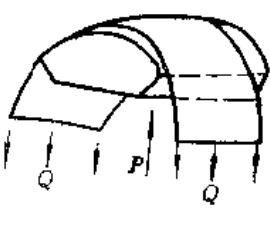
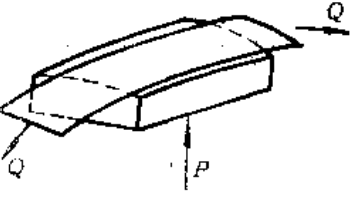
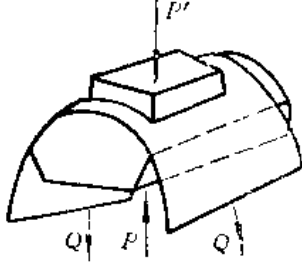
按几何外形分类表

		凸峰形 (又称凸形)		马鞍形 (又称凸凹形)	
几何外形	示意图				
	特点	1. 纵横曲率中心同侧 2. 回弹较小		1. 纵横曲率中心异侧 2. 回弹较大	
成形过程	单位作用力分布示意图	初始			
		中间			
		终结			
特点		初始板料与拉形模背脊中间一顶点先接触		初始板料与拉形模两端两顶点先接触，产生的弯曲促使板料背脊凹谷部位起皱，同时纵向产生一分力，使板料向背脊中间凹谷处产生滑动	
成形过程应注意的事项		1. 一般应涂润滑剂 2. 板料与拉形模内的初始接触点，应使终结时拉形模两侧与板料同时接触		1. 一般不涂润滑剂 2. 初始板料与拉形模两端同时接触 3. 增大纵向工艺余量，足以包住凸峰圆角 4. 拉形模背脊凹谷最低处制排气孔	

3.5.3.2 按拉形原理分类

按拉形原理分类见下表。

按拉形原理分类表

		横向拉形 (简单拉形)	纵向拉形 (拉伸拉形)	加上压装置拉形
工 作 原 理	示意图			
	特点	横向两侧夹钳不产生主动拉力	纵向两端夹钳能产生主动拉力	上压装置提供局部成形力并控制凸凹模相对运动, 结构上与拉形机可是一整体, 也可能是附加系统
适于加工零件的几何外形特点		纵向长度和挠度小的双曲面零件	纵向长度大曲率小, 横向包角 $< 90^\circ$ 的双曲面零件	有局部成形的凸凹槽等双曲面零件
典型工艺程序		弯曲 → 拉形 → 补拉 → 切割修整 → 验收	弯曲 → 预拉伸 → 拉形 → 拉伸 → 拉形 → 补拉 → 切割修整 → 验收	退火状态下弯曲 → 拉形 → 卸载荷 → 上压装置加压 (局部成形) → 淬火 → 拉形校形 → 上压装置加压局部成形校形 → 切割 → 修整 → 验收 (注意检查局部成形部位的板料变薄后的厚度)

3.5.3.3 双曲面整体壁板的成形[⊖]

双曲面整体壁板的型面加工和外形成形的制造顺序有两个方案。

3.5.3.3.1 先加工型面后成形双曲面外形

整体壁板型面加工出来后, 各切面不同部位的厚度和刚度差都很大, 用一般拉形方法成形, 几乎不可能, 即使拉形成形零件表面上将会出现严重的棱子, 型面几何尺寸也会发生变化。所以只能采用喷丸、爆炸和模内淬火等特种加工方法成形。

3.5.3.3.2 先成形双曲面外形后加工型面

先成形双曲面外形后, 目前在双曲度的板件上使用机械加工方法加工型面是有困难的。一般采用化学铣切加工方法。为了保证化学铣切质量, 其腐蚀厚度一般小于 5mm。所以它仅适于制造腐蚀厚度小于 5mm 的整体壁板和厚蒙皮。选用此方案时应注意:

(1) 毛料尺寸应是拉形机的规格和吨位所允许的。

(2) 板材晶粒要细, 组织结构要均匀, 夹杂要少, 不然化铣后的表面粗糙, 还会出现麻坑。

(3) 拉形成形工序的安排。对于淬火强化的铝合金, 在退火状态板料拉形成形应基本贴胎。新淬火状态下的拉形只起校形和减少零件残余应力的作用, 拉伸变形量为 1.0~

[⊖]李育本, “整体壁板制造”, 沈阳飞机制造公司。

2.0%，最大拉伸变形量 $\leq 3\%$ 。退火状态下每次拉形成形的最大拉伸变形量应小于该板料的临界变形量，以免淬火产生粗晶。

(4) 为了协调零件外形和型面的相对位置，要求拉形模、切钻样板和化铣样板的定位孔必须协调。定位孔一般为 $\phi 5.2\text{mm}$ 。

(5) 为了保证化铣整体壁板边缘不被腐蚀，供化铣加工的拉形件（半成品）四周需留20~50mm的化铣工艺余量。型面化铣后再加工边缘。

典型工艺程序：

- (1) 下料。
- (2) 滚弯出横向弧度。
- (3) 拉形成形。板料基本贴胎，每次最大拉伸量要小于其临界变形量。
- (4) 热处理——淬火。
- (5) 拉形校形，最大拉伸变形量小于3%。
- (6) 初步切割留出化铣工艺余量，并钻出定位孔。
- (7) 化学铣切。槽液成分和铝的含量，槽液温度和腐蚀时间等参数要严格控制。
- (8) 切割边缘。
- (9) 特种检查和检验。

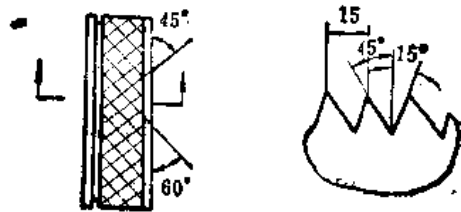
3.5.3.4 钛合金板材拉形

钛合金板材室温塑性差， n 值和 $\frac{\sigma_s}{\sigma_{0.2}}$ 值都较小，应力集中敏感，回弹量大，所以

拉形成形困难。拉形系数小的零件可采用冷拉形，拉形系数大的零件需采用热拉形。

3.5.3.4.1 冷拉形

板材拉伸方向和板材轧制纤维方向要保持一致，板材拉伸方向边缘光滑无毛刺，粗糙度 $Ra < 6.3\mu\text{m}$ ，拉形模采用铸钢，拉形模型面光滑，粗糙度应在 $3.2\mu\text{m} < Ra < 6.3\mu\text{m}$ 。钳口夹片齿形如图所示，表面硬度 $HR62\sim 65$ 。钳口出口圆角半径大于板材厚度的20倍，润滑剂可采用机油。操作技术要求高。拉形时，要求拉形模两端同时上升；补拉时，最好各处同时产生均匀变形，最小拉伸变形量应大于0.5%。最大变形量不要超过3%。钳口要调整合理，严防钳口处应力集中而造成断裂。



3.5.3.4.2 热拉形[⊖]

钛合金板材双曲度蒙皮零件，拉形系数大的需采用热拉形。除了冷拉形的技术要求外，对钛合金板材加热温度要严格控制，参见3.6节。

[⊖] 电阻加热拉形工艺研究，蒋毅，沈阳飞机制造公司。

常用的钛合金热拉形加热方法有两种:

(1) 石英灯红外辐射加热

钛合金板材加热采用石英灯装置, 它由一排辐射红外线石英灯管和反射罩组成。红外线辐射的范围应使加热钛板上所有成形部位的温度均匀并符合工艺规程的要求。

灯管的数量按成形面积定, 按拉形模外形均匀排列, 间距为70~80mm, 离钛板表面的距离一般为40~50mm。

反射罩是石英灯加热装置中的重要组件, 反射罩材料采用纯铝板(L4, $t=0.8\text{mm}$ 表面经白色氧化)。

(2) 电阻加热

电阻加热钛板拉形方法, 是行之有效的办法。为了钛板在拉形机上保持成形温度, 需实行不断电加热拉形。为此要解决钛板与拉形模、钛板与机床钳口的绝缘问题。因此拉形模一般采用绝缘隔热的磷酸耐热混凝土材料, 钳口片中垫薄胶木片和粗砂布绝缘。通电采用电极夹头, 其结构见图1所示。它的结构重量轻, 操作方便, 用拧紧螺栓(或气动装置)的方法夹紧钛板。

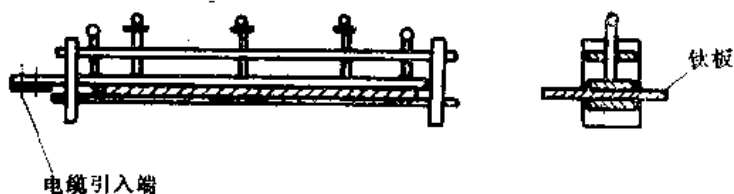


图1

某产品Tc1钛蒙皮零件成形, 毛料尺寸为: $1600 \times 460 \times 0.8(\text{mm})$, 加热面积较大, 需要较大的加热功率, 加热时间与升温速度见图2所示。

磷酸耐热混凝土的配方:

化学成分 SiO_2 Al_2O_3 Fe_2O_3 CaO MgO 灼碱

百分比% 17.00 81.00 14.00 1.0 微 1.20

拉形模结构见图3所示。在拉形模上需制出直径 $\phi 28$, $\phi 30\text{mm}$ 安装加热管用的孔, 拉形模制造依据为反模型, 具体尺寸(A, B, C, H, L)由零件确定。

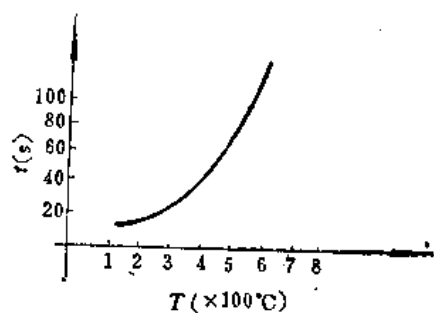


图2

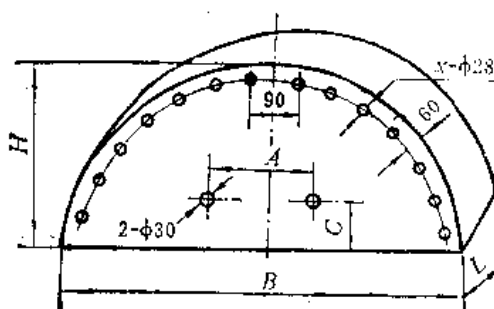


图3

电阻加热拉形工艺过程:

(1) 磷酸耐热混凝土制造的拉形模, 在使用前用加热管预热至 300°C , 这也可排除

拉形模内的附着水和结晶水。然后在拉形模表面涂胶质石墨作润滑剂。

(2) 切断预热拉形模的电源，然后将它放在拉形机上。

(3) 按拉形模调整机床台面和钳口角度，在钳口中放入胶木片和粗砂布。在适当地方放置电极夹头和红外线测温仪，红外线测温仪对准毛料中部，调整好焦距。

(4) 钛板放在电极夹头和钳口内夹紧，与拉形模保持一定距离。

(5) 电极夹头接上变压器。

(6) 通电加热钛板，红外线测温仪指示温度到600℃时，即可进行拉形。钛板拉形至与拉形模全部贴合为止。

(7) 贴胎后断电，保持数分钟卸载取下零件。

钛板热拉形，要求技术熟练，操作精心。成形后的零件要进行酸洗，除去表面上的润滑剂和氧化皮。

3.5.4 拉形工艺方法[⊖]

常见的拉形工艺方法见表。

拉形工艺方法表

序号	拉形工艺方法	特点	适用范围及条件
1	单层拉形	一张板料拉形	1. 一次拉形成形的零件； 2. 纵向拉形的零件； 3. 多道拉形工序的最后一道拉形工序
2	多层拉形	多张板料重叠起来拉形	1. 最终工序之前的各道拉形工序； 2. 其它成形(如落压)方法的预成形工序； 3. 满足设备技术规格
3	组合拉形	几个零件组合在一个拉形模上用一张板料同时成形	1. 零件材料的牌号和厚度必须相同； 2. 拉形模上各零件之间留出切削工艺余量 20~50mm 工艺余量与各零件型面要保持光滑流线
4	一次拉形	一次拉形就能达到零件外形技术要求	1. 零件的 $K_L < K_{max}$ ； 2. 纵向拉形的零件
5	多次拉形	两次或两次以上拉形才能达到零件外形技术要求	1. 零件的 $K_L \geq K_{max}$ ； 2. 局部成形复杂的零件，如带鼓包、加强槽等零件
6	联合拉形	用拉形和其它成形方法联合起来加工才能达到零件外形要求	零件外形很复杂，单靠拉形方法不能达到零件外形要求

3.5.5 拉形参数

3.5.5.1 板材热处理状态的选择

拉形板材的热处理状态要具有良好塑性。淬火强化铝合金，如LY12、LC4等板材，一次拉形成形和多工序的最后一道工序拉形成形，在新淬火状态下成形。多次拉形成形的铝合金零件，除最后一道拉形工序外，以前工序要保持退火状态，即拉形工序之间要

[⊖] 钣金工艺手册；西安飞机制造公司。

经过退火，恢复板材的塑性，最后一道拉形工序应在新淬火状态孕育期内进行。LY12、LC4等铝合金在室温下孕育期约40分钟。为了延长LY12、LC4等铝合金的孕育期，使淬火后能在较长的时间内保持良好塑性，可进行低温处理，即把它保存在低温箱内。在 $-15 \pm 5^\circ\text{C}$ 条件下，孕育期可达72小时。

3.5.5.2 毛料尺寸确定^{〔1〕}

毛料长度尺寸 L 的确定，见图1(a)

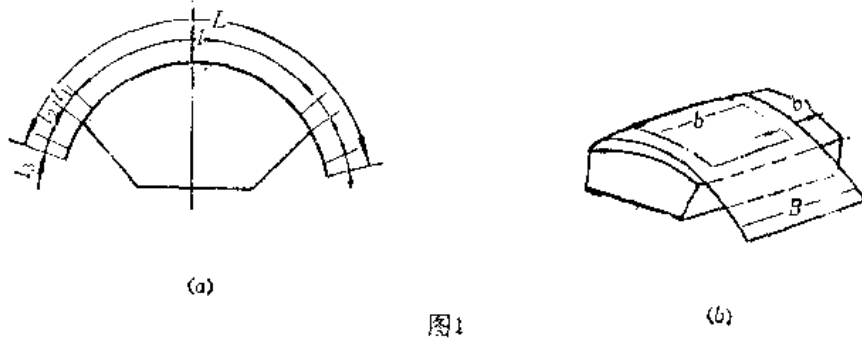


图1

$$L = l + 2(l_1 + l_2 + l_3) \quad (1)$$

式中 l ——零件最大截面处展开长度；

l_1 ——使用和制造车间需要的工艺余量，一般取20~50mm；

l_2 ——拉形模边缘至钳口悬空过渡的工艺余量，拉形次数多，板料塑性差，工艺余量可取大些，一般横向拉形取100~200mm。纵向拉形取100~300mm；

l_3 ——钳口夹紧部分的工艺余量，可取20~30mm。对于高强度薄钢板钳口夹紧板材需要对折，其工艺余量可取40~60mm。

确定 l_2 时还要考虑如下因素：

(1) 零件的几何形状和材料的应力分布及流动情况。

(2) 板料厚度。

纵向拉形还应考虑：

(1) 夹钳的弯曲半径与零件的最小弯曲半径的偏差 Δ 如图2所示。如果偏差仅限一端，纵向曲度又比较平坦时，可将 l_2 加长到 12Δ 。

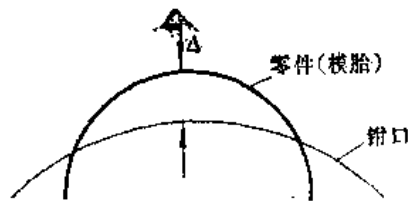


图2

(2) 纵向曲度大， l_2 不宜过长，过长会影响力的传递。

毛料宽度尺寸 B 的确定，见图1(b)。

$$B = b + 2b_1 \quad (2)$$

式中 b ——零件最大截面处展开宽度；

b_1 ——使用和制造车间的工艺余量，一般取20~50mm，对凸凹形零件，余量要包住两个凸峰圆角；

在纵向拉形时，要考虑横向收缩、热处理和表面处理的工艺余量。毛料需加宽，一般取 $b_1=30\sim 50\text{mm}$ 。

毛料尺寸和形状的确定，还要考虑下料方便和零件特殊形状的影响。所以，毛料形状一般选长方形和等腰梯形。

3.5.5.3 拉形力⁽¹⁾

(1) 横向拉形力 P (见图1) 可按下列式计算：

$$P=2Bt\sigma_s \sin\theta \quad (1)$$

式中 P ——拉形力，即工作台向上顶举的力；
 B ——毛料宽度；
 t ——毛料名义厚度；
 σ_s ——板料的强度极限。

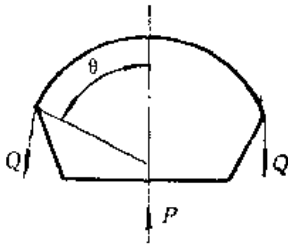


图1



图2

(2) 纵向拉伸力 Q 见图2 可按下列式计算：

$$Q=0.9Bt\sigma_s \quad (2)$$

式中 Q ——夹钳拉伸力。

选择拉形设备时，其吨位和加工尺寸应大于毛料成形所需吨位和尺寸。

3.5.5.4 拉形系数⁽¹⁾

拉形系数是指板料拉形后，零件延伸最大处的纤维长度 $l_{m \cdot x}$ 与其原长度 l_0 之比。

$$K_L = \frac{l_{m \cdot x}}{l_0} = \frac{l_0 + \Delta l}{l_0} = 1 + \delta$$

式中 $l_{m \cdot x}$ ——拉形后零件延伸最大处纤维长度；
 l_0 ——拉形前板料该处原始长度；
 Δl ——拉形后板料该处绝对伸长量；
 δ ——该处长度上的平均伸长率。

K_L 数值越大，表示零件需要的拉形变形量也越大。

在生产中为了简化计算，常用零件上的最大长度 $l_{m \cdot x}$ 与最小长度 $l_{m \cdot n}$ 之比，近似表示拉形系数。

即
$$K_z \approx \frac{l_{max}}{l_{min}}$$

l_{max} 和 l_{min} 的数值, 可以从拉形模或表面标准样件上直接量取。

3.5.5.5 极限拉形系数和拉形次数的确定

3.5.5.5.1 极限拉形系数⁽¹⁾

极限拉形系数是指在拉形时, 当板材濒于出现不允许的缺陷(破裂、严重滑移线、粗晶、桔皮等)时的拉形系数, 用 K_{max} 表示。

(1) 近似公式法

$$K_{max} = 1 + \frac{0.8\delta_i}{e^{\frac{\mu}{n}}}$$

式中 δ_i ——板材单向拉伸出现缺陷时的延伸率, 常用材料的 δ_i 延伸率见表1和表2;

μ ——板料与拉形模间的摩擦系数, 一般取0.15;

n ——应变刚指数;

e ——自然对数的底(2.718)。

由于以上参数都是变数, K_{max} 不易计算准确, 在实际生产中常由试验确定。

表1. 破裂延伸率

材料牌号	δ_p %	材料牌号	δ_p %
LY12M	14	30CrMnSiA	16
LY16M	15	1Cr18Ni9Ti	40
LC4M	14	1Cr18Ni11Si4AlTi(软)	30
LF3M	15	1Cr18Ni11Si4AlTi(冷作硬化)	10
LF6M	15	TB1	25
LF21M	22	TB2	15

表2. 严重滑移线和粗晶延伸率

材料 牌号	缺陷 延伸率	严重滑移线	粗晶	注
		δ %	δ %	
LF3M		4	6	
LY12M		5	6~7	
LY12C2		3	4	新淬火状态

(2) 统计试验数字法

以拉伸破裂作为极限拉伸系数指标时，铝合金LY12与LC4的 K_{max} 可以参见表3数据。

表3. LY12和LC4的 K_{max}

板材厚度(mm)	1	2	3	4
K_{max}	1.04~1.05	1.045~1.06	1.05~1.07	1.06~1.08

退火状态 K_{max} 取上限，新淬火状态 K_{max} 取下限。如LY12-t1.0板材，退火状态 K_{max} 取1.05，新淬火状态 K_{max} 取1.04。

以不允许严重滑移线和粗晶作为极限拉形系数。对于铝合金LF3与LY12-t1~1.5的 K_{max} 可参见表4数据。

表4. LF3和LY12 在严重滑移线和粗晶时的极限拉伸系数

缺陷	严重滑移线	粗晶(退火或淬火)
K_{max}	1.02~1.025	1.025~1.03

3.5.5.5.2 拉形次数的确定

日前在生产中，零件拉形次数一般根据零件形状复杂程度而定。 $K_L < K_{max}$ 时，原则上拉形一次； $K_L > K_{max}$ 时，原则上拉形两次或三次。

3.5.6 拉形质量

(1) 几何形状

由于拉形件的刚度小形状复杂，使用一般量具无法检查其几何形状，所以零件外形的准确度一般用与拉形模贴合间隙表示。一般要求贴胎间隙 $\leq 0.5 \sim 1.0\text{mm}$ 。对于刚度较大的($t \geq 3\text{mm}$)零件，用切面样板或检验夹具检查，歼击机容差为 $0.3 \sim 0.5\text{mm}$ ，大型客机和轰炸机容差为 $0.5 \sim 0.8\text{mm}$ 。

(2) 机械性能

正确选择热处理规范和拉形变形量，可达到产品图纸要求的机械性能。

零件上要有热处理工序检验标志。

(3) 变薄量

拉形板料一般都要产生变薄。拉形变形最大的地方变薄量也最大。具有局部变形的部位，也是变薄相对集中的地方。变薄后零件的实际厚度要大于允许的最小厚度。

(4) 滑移线、粗晶和桔皮[⊖]

这里的滑移线是指宏观滑移带，而不是微观晶粒变形的滑移线。轻微滑移线是指在距离一米之外看不清，且用手摸感不到的滑移带。轻微滑移线和包铝层粗晶对零件强度没有明显影响。严重滑移线、基体粗晶和桔皮，使零件疲劳强度显著下降。对于LY12M、LY16M、LF3等铝合金板材，经高温退火（超过再结晶温度）或淬火；在严重滑移线

[⊖] 吕克昕，孙启龙，“滑移线、粗晶和桔皮问题研究总结”，沈阳飞机制造公司。

区还会出现粗晶，其它区晶粒基本与原板料一样。这种粗晶板材经过一定拉伸变形，粗晶区将出现桔皮。如LY12M板材拉形变形量 $>7\%$ ；经过淬火晶粒变粗大后，拉伸变形量 $>4\%$ ，就可能出现严重滑移线或桔皮。

LY12M和LF3M板材采用一般的退火规范，其临界变形量分别为 7% 和 6% 。LF3M板材改变退火规范为：温度 340°C ，保温时间50分钟，或温度 360°C ，保温时间16分钟，零件变形量 $<6\%$ 可不出现严重滑移线、粗晶和桔皮等缺陷。所以控制板材晶粒大小、拉形量及选择合理的热处理规范，严重滑移线、粗晶和桔皮是可以控制的。

(5) 表面质量

拉形零件很多是飞机表面蒙皮，表面质量需严格控制，要光滑流线，不要有擦伤和划伤。然而拉形的零件与拉形模接触的面，易出现擦伤和划伤。为了减少零件表面擦（划）伤，金属拉形模表面粗糙度 $Ra < 6.3\mu\text{m}$ ；环氧或胶砂拉形模表面需涂机油润滑。若零件和拉形模接触的表面是飞机的外表面时（如进气道蒙皮），则在拉形模表面需蒙一层蜡布。同时零件搬运和存放需垫纸或涂专门塑料薄膜。

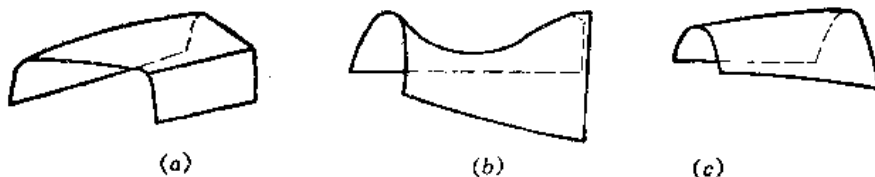
3.5.7 拉形模设计技术要求^[2]

3.5.7.1 制造依据

目前拉形模的制造依据，常用的有切面样板和反模型，数学模型正处在研究推广阶段。正在研制和试制多用切面样板、批生产多用反模型作拉形模的制造依据。如有协调要求则按有关规定选取制造依据，详见4.7节。

3.5.7.2 拉形模数量

研制和小批生产时，经常用一副拉形模辅以手加工，或在一副拉形模上拉形两次或多次。大批生产时，一般情况仍用一副拉形模。如果产量增加或严重影响产品质量，如图所示的零件，可增加过渡拉形模。



3.5.7.3 拉形模材料

选择拉形模材料，主要根据零件材料性质和厚度，批量和总产量。目前拉形模常用的材料有木质、环氧胶砂和金属材料。

零件形状简单（即 $K_z < K_{m.r}$ ），板材厚度小于 0.8mm 的零件。研制和小批量生产时可选用木质拉形模。

板材厚度小于 2.5mm 的零件，选用环氧胶砂拉形模。

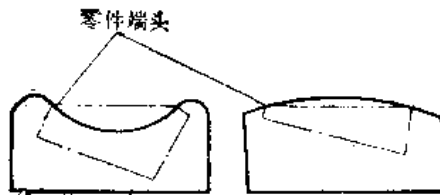
钛合金和高强度钢板材零件，拉形模的材料一般选用铸钢。如果采用锌合金作拉形模，拉形后的零件应及时进行酸洗处理，以防产生锌腐蚀。

3.5.7.4 拉形模结构

拉形模的高度、长度和宽度尺寸，取决于零件形状和拉形机型号。高度应保证拉形模具有足够的刚度，但过高，过渡工艺余量大，一般取 350~700mm。拉形模的长度和宽度参照切面样板和零件工艺余量确定。拉形模圆角半径 (r) 为 20~50mm。

马鞍形拉形模，在它凹谷最低处需制出排气孔，直径 $\phi 6 \sim 10\text{mm}$ 。拉形模底面要求平整。如果拉形模底面宽度大于拉形机工作台 50mm，或拉形模高度过低，在拉形机工作台上需增加垫块。

拉形模结构形式，目前常用的有实心结构和空心结构。木质和环氧胶砂拉形模，采用实心结构。钢骨架表面层环氧胶砂和金属拉形模大多采用空心结构，壁厚 50~100mm(马鞍形和锥形等双曲度拉形模，拉形模纵向两端连线和它底面要保持平行，见图所示。)

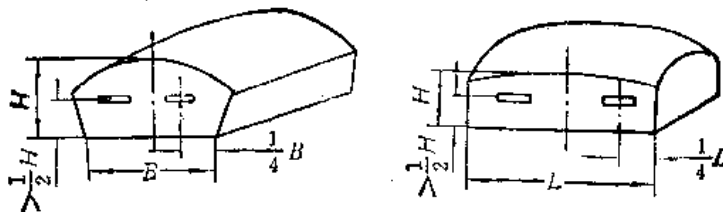


3.5.7.5 拉形模重量

拉形模重量一定要小于使用和制造单位的吊车吨位。否则，拉形模底部必须制成空心结构，或压缩拉形模高度以减轻重量。

3.5.7.6 拉形模吊环

拉形模上安装的吊环数目，主要与拉形模重量有关。小拉形模(长度 < 1m) 安装三个吊环，大拉形模安装四个吊环。横向拉形模的吊环放在模胎两端，纵向拉形模的吊环放在模胎两侧。吊环之间距离要均匀，高度位置应按图所示，设置在拉形模重心面之上。



(a) 横向拉形模。

(b) 纵向拉形模。

3.5.8 拉形设备

目前在生产中使用的拉形设备，可分为横向拉形机（台动式）和纵向拉形机（台钳双动式）两种。其主要性能见表。

拉形设备主要性能表

横 向 拉 形 机							
型 号	台面上升力		最大夹紧长度 (mm)	两排钳口间 距离 (mm)	工作台行程 (mm)	工作台最大倾 斜角 (°)	钳口在垂直面 内摆动角 (°)
	(t)	(kN)					
QI-3	360	3600	3000	600~1950	350	10	75
ML-2	900	9000	3500	1000~3500	600	10	60
Y3312 -0000	1000	10000	5380	1000~3500	600	10	向内75 向外10
沈飞	1500	15000	4000	1500~3200	450		
新阳	150	1500	1500	100~1000	300		

纵 向 拉 形 机								
型 号	零件最大尺寸 (mm)	钳口拉力		工作台升力		拉伸缸在 垂直面摆 动角 (°)	工作台 倾角 (°)	工作台 行 程 (mm)
		(t)	(kN)	(t)	(kN)			
PO-1M	7000×1500×2.5	100	1000	200	2000	90	10	500
PO-3M	7000×1800×6.0	270	2700	300	3000	40	5	450
ML-3	8000×2000×4.0	300	3000	450	4500	45	5	500

参 考 资 料

- 〔1〕胡世光，《板材冷压成形原理》，国防工业出版社，1979年。
- 〔2〕周德俊等编，《钣金技术》，国防工业出版社，1974年。

3.6 加热成形与校形

3.6.1 定义与范围

加热成形是利用金属在高温下强度降低，延伸率增加和塑性提高而进行冲压成形的一种工艺方法。

加热校形是利用金属在高温下的软化效应和高温下应力松弛的特性对已成形零件进行校正的一种工艺方法。

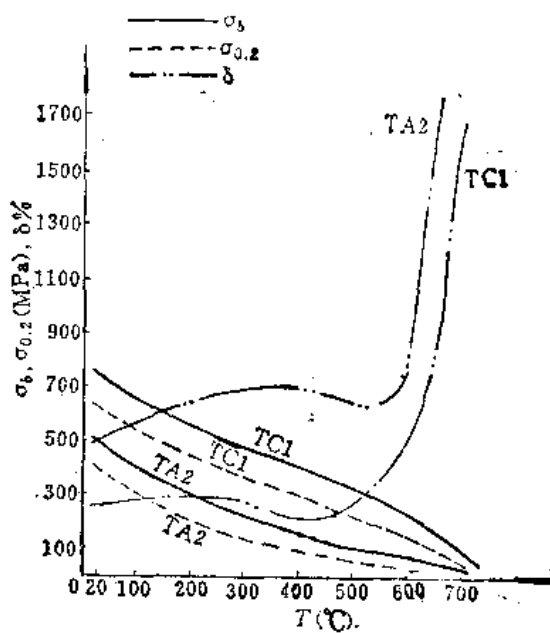
对于变形量不大的零件，热成形和热校形可同时进行；对于变形量大的零件，热成形和热校形需要分别进行：先用冷成形或热成形的方法制作零件，然后进行热校形。

通常，热成形零件的贴模精度比冷成形零件的可提高4~5倍，而热校形零件的贴模精度比热成形零件的又可提高4~5倍。经过热校形的零件，基本上不再需要进行手工修整。

本章着重介绍钛和钛合金以及镁合金等冷成形困难的金属板材的加热成形和校形。其它有色金属板材和黑色金属板材均可利用热成形和热校形来提高零件的贴模精度，以及降低成形设备所需的吨位（成形力）。

3.6.2 加热成形工艺参数的选择

加热成形过程中最主要的工艺参数是加热温度。至于加热成形时所需的压力，可按冷成形方法采用的公式进行计算，只是材料的极限强度应采用加热成形温度时材料的极限强度值。最佳热成形温度的确定，不仅要使材料具有足够的塑性，还必须考虑使成形



TA2、TC1机械性能与温度的关系

图1

后材料的回弹最小, 以及保持原始材料的机械性能。

(1) 常用TA2钛板和TC1钛合金板的机械性能随温度而变化的关系曲线见图1。常用MA1和MA8镁合金板的机械性能随温度变化的关系曲线见图2。碳钢板的机械性能随温度变化的关系曲线见图3^[8]。

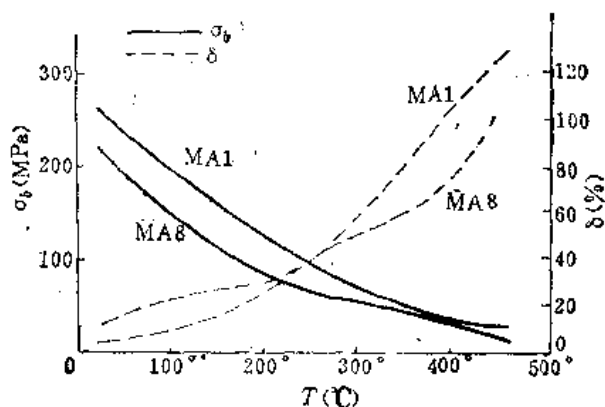


图2

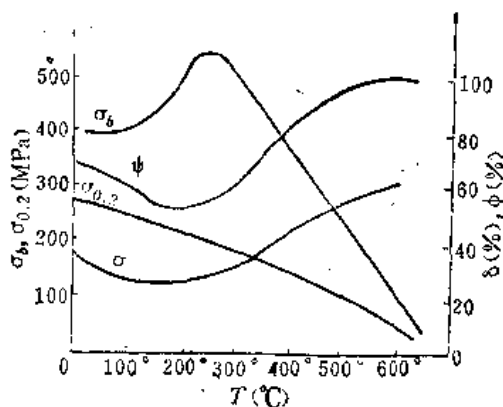


图3

(2) 钛和钛合金板的最佳热成形温度按表1选择。在满足零件技术要求的前提下, 原则上加热成形应在尽可能低的温度下进行。但是, 钛合金板应避免在287~454℃的温度下成形, 此时的钛合金呈低塑性状态。

表1. 钛和钛合金板的最佳热成形温度

材 料 牌 号	成形温度 (℃)	
工业纯钛	TA1, TA2, TA3	400~500
钛合金	TC1	500~650
	TC3, TC4, TA7	600~750

(3) 镁合金板的最佳热成形温度按表2选择。用MA1-M和MA8-M板成形一些小变形的简单零件时, 允许用较低的成形温度, 但不能低于230~250℃, 以防开裂。热成形温度若超过450℃, 将导致热脆性和急剧的破裂。

表2. 镁合金板的最佳成形温度

材 料 牌 号	成形温度(°C)
MA1-M	300~350
MA8-M	280~350
MA8-H	230~250

(4) 热成形过程中, 板材保温累计的最长时间不允许超过表3的规定。

表3. 加热成形时允许的最长保温时间

材 料	热成形温度(°C)	最长的累计保温时间(h)
工业纯钛 和 钛合金	204~538	4
	538~593	2
	593~649	1
镁合金	300	2~4
	320~350	1

注: 钛合金的最长累计保温时间包括热处理工序等一切热工序的保温时间。

3.6.3 加热校形工艺参数的选择

(1) 热校形的主要工艺参数为加热温度、施加的压力和保温保压的时间。钛与钛合金热校形的规范参见下表。角度校正, 温度取下限; 曲率校正, 温度取上限。

推荐的热校形规范

材 料 牌 号	校形温度(°C)	保持时间(min)	压 力
工业纯钛	500~600	5~15	保持模具合拢
TC1, TC2	550~650	5~15	保持模具合拢
TC3, TC4, TA7	650~750	5~15	保持模具合拢

(2) 热校形时, 采用不同的温度-时间组合可以获得相同的校形精度。通常, 校形温度增高(或降低) 50°C, 保持时间可缩短(或延长) 四倍。但是, 校形温度若过低, 虽延长保持时间也不可能获得要求的零件精度。同时, 保持时间过长, 生产效率很低。

3.6.4 加热方法

有三种形式:

(1) 直接式——毛料加热后放在冷的模具内成形。考虑到毛料在转移过程中温度要降低, 加热时温度应提高100~150°C。成形工序应在冲床和落锤上进行, 不宜在液压机上进行。

(2) 间接式——模具加热，毛料放在热模具上加热后成形。热成形和热校形往往结合一起进行，零件的贴模精度较高。

(3) 混合式——毛料和模具分别加热后成形。适用于蒙皮拉形、型材拉弯等工序。常用的加热方法和适用范围见下表。

常用的加热方法和适用范围

加热方法	加热对象	主要特点	适用工序
空气电炉	毛料 (任意形状)	设备通用，使用方便，价格便宜	中小型毛料的冲压、弯曲、压延、翻边等
自阻加热（直接在板料上通电）	等截面窄长毛料，不带孔，允许有些弧度	设备简单，加热迅速 (0.5~1min)	落压、闸压、蒙皮拉形、拉弯等
嵌埋电阻丝(带) (电阻加热)	模具	专用于模具的加热，模具结构较复杂	压延模、水泥或陶瓷的蒙皮拉形模及其它模具
电感应加热	等截面窄长型材 (或板料)	毛料通过感应圈连续地加热，速度较快	拉弯、滚弯、拉拔成型等
电加热管(包括注加热板)	模具	使用安全、方便	各种冲压模(包括金属的蒙皮拉形模、型材拉弯模等)
红外线辐射屏	毛料	加热较快，设备维护麻烦	落压、拉形
喷灯及火焰炬	毛料和零件的局部加热	使用灵活	旋压、手工修整
电热平台	模具	通用性好	橡皮成形等
热成形机	模具和毛料	设备费用昂贵，零件质量良好，适用于批生产	冲压弯曲、压延、翻边、校平等，尤其是热校形

3.6.5 成形设备

成形设备分专用成形设备、加热电炉和在传统的板金成形设备上添加加热装置。但是，后者必须采取隔热和冷却等措施，以防热传导和辐射对设备产生不良的影响。

3.6.5.1 专用成形设备

3.6.5.1.1 国内专用设备

RX-1和RX-2热压校形机主要用于热校形，或热成形兼热校形，它们的主要技术性能数据见表。图1为RX-1热压校形机的结构示意图。

RX-1 和 RX-2 机床的主要技术性能

性能参数	型 号	RX-1型		RX-2型
	形 式	C型床身， 单台	双台 双台	C型床身，下工作台 横动
工作台尺寸	(m)	0.6×0.76	1.3×0.76	0.9×1
垂直缸作用力 行程	(MN) (mm)	1	2 700	1 650

(续)

性能参数	型 号	RX-1型		RX-2 型
		(MN)	(mm)	(MN)
侧压缸 作用力 行程	(MN) (mm)	0.3	150	0.4 180
顶出缸 作用力 行程	(MN) (mm)	0.15	150	0.3 200
打料 力 行程	(kN) (mm)			41 200
工作台顶起 力 行程	(MN) (mm)			0.12 13
夹紧缸 作用力 行程	(MN) (mm)			0.02 195
工作台移动 力 行程	(MN) (mm)			0.02 1000
机床开口高度	(mm)	700		50~700
机床喉深	(mm)	600		1200
工作台最高加热温度	(°C)	800		850
加热到800°C时间	(h)	~2		~3
加热功率	(kW)	2×54	4×54	162
机床总功率	(kW)	113.5	227	195
机床总重量	(t)	~30		~35
机床外部尺寸	(m)	3.52×1.88×3.97		4.1×1.6×5.77

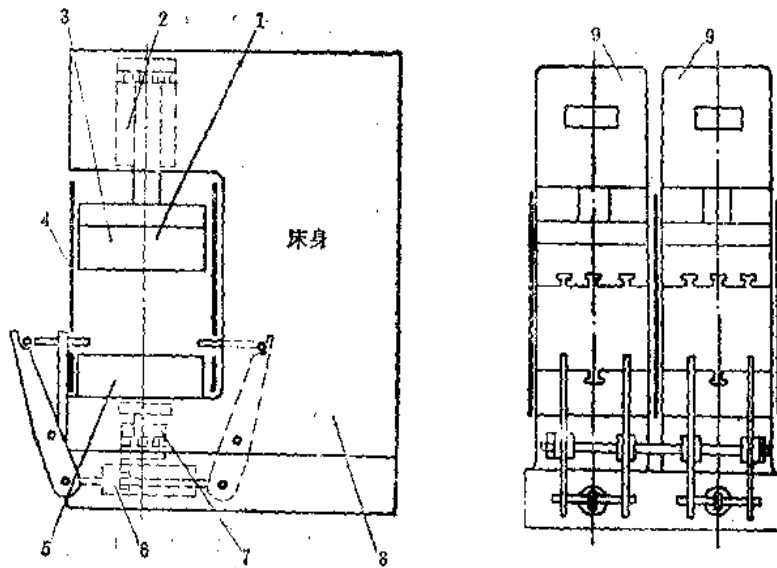


图1

1—锤头；2—垂直油缸；3—上电热工作台；4—门；5—下电热工作台；6—侧压油缸；7—顶出油缸；8—床身；9—单台。

(1) RX-1型机床可以单台使用或双台联动使用。双台联动使用时，工作台的长度增加一倍。机床电热平台台面T型槽、顶出孔和侧压杆的位置见图2。

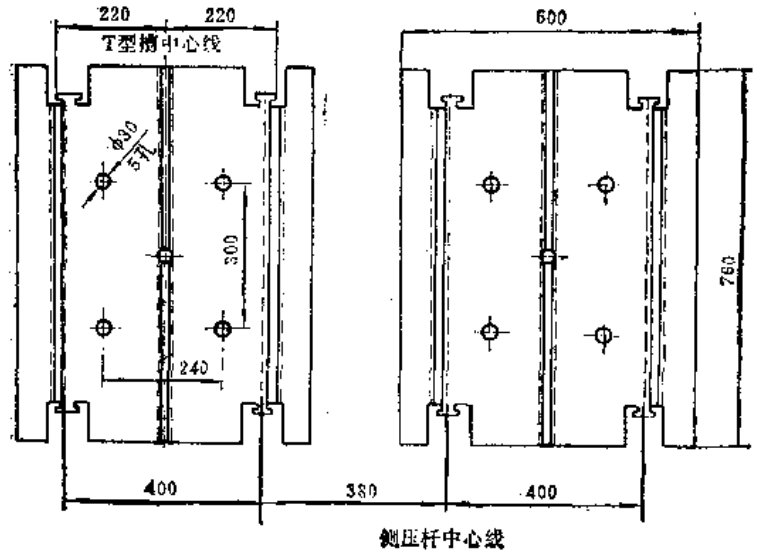


图2

(2) RX-2型机床仅能单台使用,但工作台的面积较大。工作台可以移动,增加了打料装置,操作方便。机床上工作台顶料孔与T形槽的布置见图3,下工作台顶料孔与T形槽的布置见图4,侧压缸的工作尺寸见图5。

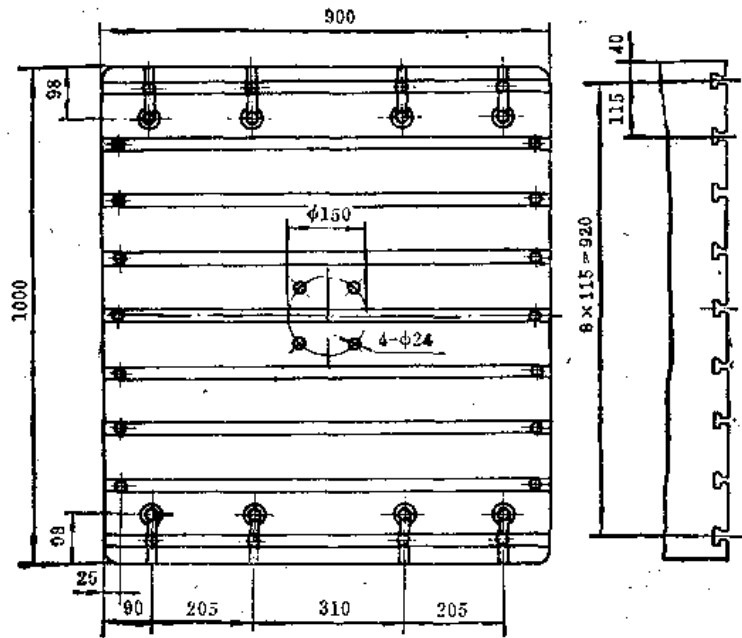


图3

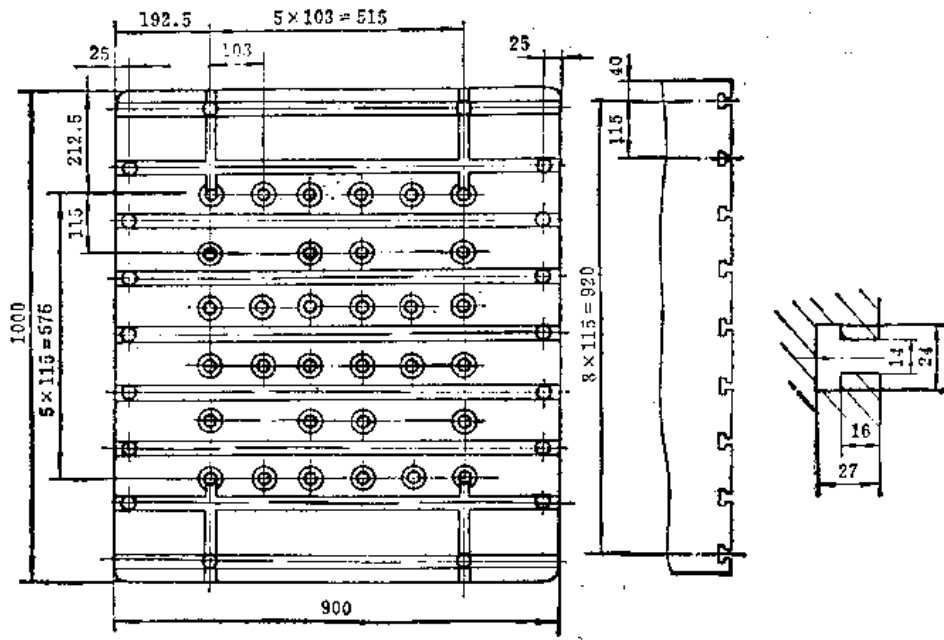


图4

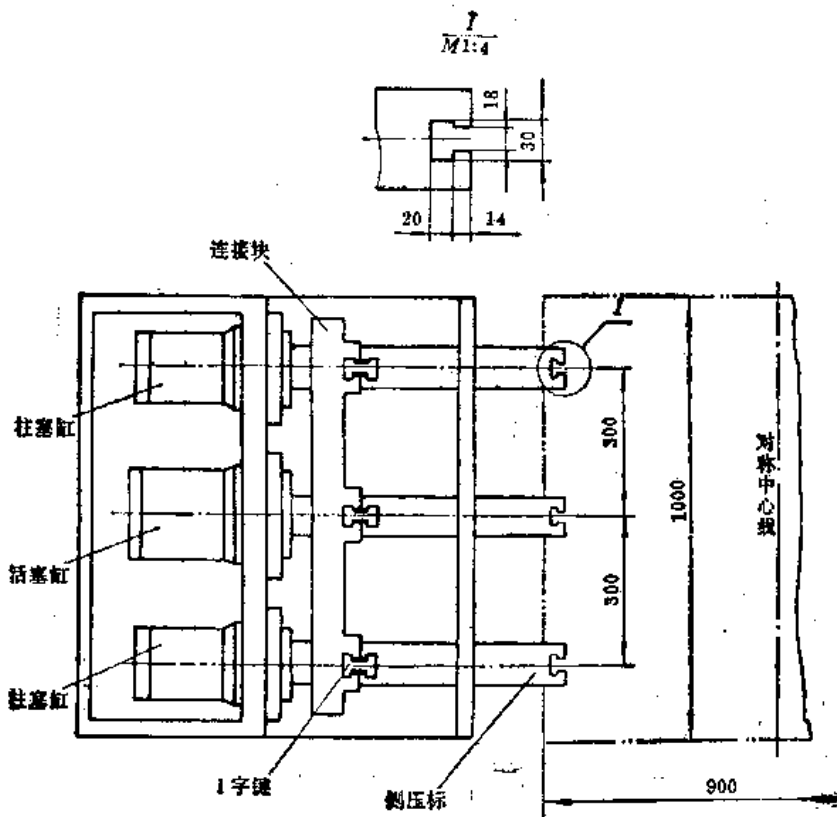


图5

3.6.5.1.2 国外专用设备举例

国外热成形的专用设备种类很多。表中列出了美国波音飞机公司采用的三种热校形机和西德 MBB公司采用的一种热校形机的主要技术性能参数^[6]。

几种国外热校形机的主要技术性能参数

型号		MURDOCK “C”形床身压床		CINCINNATI 1.5MN 压床	SHERIDANG- RAY 1.5MN压床 蚌壳式	西德 MBB Hot-sizing
性能参数	形式	“C”形床身, 下工作台移动		“C”形床身, 整体加热平台	盖子向后翻转, 向前夹紧	“C”形床身, 整体加热平台
		1MN	1.5MN			
工作台尺寸	左右(mm)	1220	1524	1524	1524	2400
	前后(mm)	1220	1220	1220	1220	1200
闭合高度	最大(mm)	508	508	762	203	
	最小(mm)	50.8	50.8	0	50.8	
压力	垂直(MN)	1	1.5	1.5	1.5	1
	水平(MN)	0.75	0.96	0.25	0.75	
	顶料(MN)			0.56(每个10kN)		
行程	垂直(mm)	457	457	762	152	
	水平(mm)	152	152	305	152	
	顶料(mm)			152		
移动力	(kN)	13.6	15	—	—	—
加热温度	(°C)	538~885		426~870	426~787	815

3.6.5.2 加热电炉

一般用通用电炉加热毛料和模具。也有用专用电炉的, 下表所列为两种专用电炉的技术性能参数^[6]。

两种国外专用电炉的技术性能参数

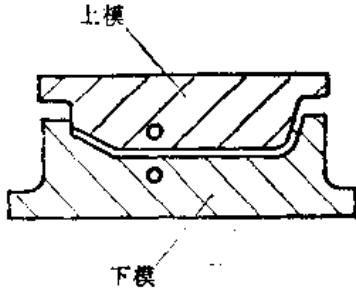

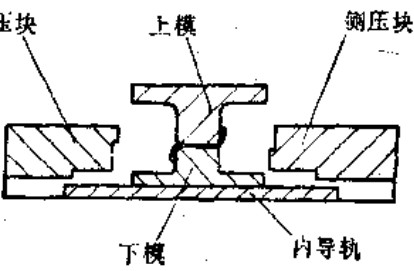
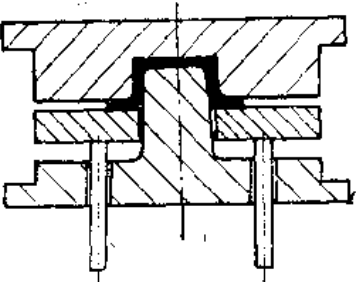
使用厂家		美国波音公司用的厂产品 LINDBERG		西德MBB公司 用的空气循环电炉
工作区	长	(mm)	4570	3000
	宽	(mm)	1270	1800
	高	(mm)	838	1500
加热温度	(°C)		538~815	800
最大负载量			0.293(kg/cm ²)	1500(kg)

3.6.6 成形模(或校形模)

3.6.6.1 模具种类

热成形模(或校形模)分为四种类型,典型结构如表所列。

热成形模或校形模的典型结构

模具分类	模具结构图	特点
垂直热校形模		<ol style="list-style-type: none"> 1. 成形或校形框板零件; 2. 机床垂直加载
侧压热校形模		<ol style="list-style-type: none"> 1. 校形型材零件; 2. 机床水平加载
垂直侧压热校形模		<ol style="list-style-type: none"> 1. 校形框板零件的翻边; 2. 机床垂直水平加载
加热压延模		<ol style="list-style-type: none"> 1. 成形或校形压延件; 2. 机床垂直加载

3.6.6.2 模具材料

(1) 加热模具的材料应具有良好的抗氧化性、热强度、热硬度、热稳定性,以及良好的加工性和价格便宜等,可根据具体情况进行选择。可供选用的模具材料及其比较情况见表。

模具材料及其比较

模具材料	适用范围	使用温度 (°C)	抗氧化性	热强度与 热硬度	加工性	成本	备注
碳素钢	型模	<550	差	差	好	低	
不锈钢	连接件	<700	好	差	较差	较高	
锻模钢	偶合模	<600	较好	较好	可	较高	
耐热合金钢	连接件	~750	好	好	较差	高	
高速钢	偶合模	~650	较好	好	可	较高	
合金工具钢	偶合模	<550	差	差	较好	较低	
中硅铝球墨铸铁	型模	~650	较好	可	较好	较低	耐热铸铁
陶瓷材料	大型蒙皮模	~1000	好	好	可	低	不能机械加工

(2) 对于工业纯钛和TC1钛合金在低于650°C以下的成形和校形工作，推荐采用中硅铝球墨铸铁。

(3) 为改善模具的抗氧化性，可在工作表面镀硬铬、喷涂Ni-Cr-B或陶瓷涂层。

3.6.6.3 模具设计

3.6.6.3.1 设计的一般原则

模具设计除参照冷成形模具设计的一般原则外，还应考虑以下几点。

(1) 一般不考虑回弹的修正量。但对某些外形和尺寸精度要求高的零件，必须考虑零件材料和模具材料的热膨胀系数不同造成的误差，应按“缩尺修正量”来设计模具尺寸。

(2) 设计压延模时应考虑材料的厚度公差以及工作状态下温度不一致引起的间隙变化，滑动面应留有0.5mm以上的单边间隙。

(3) 应注意凸、凹模温度的均匀，避免热膨胀量不一致而使型面的吻合性差。

(4) 应保证足够的热刚度，而又不使模具的重量过大。

(5) 应尽可能降低模具的总高度。一般应控制在100~300mm以内，以保证加热迅速和温度均匀。

(6) 设计垂直热校形模时，应尽量减小侧向力，避免零件在校形时出现水平位移，如图1所示。

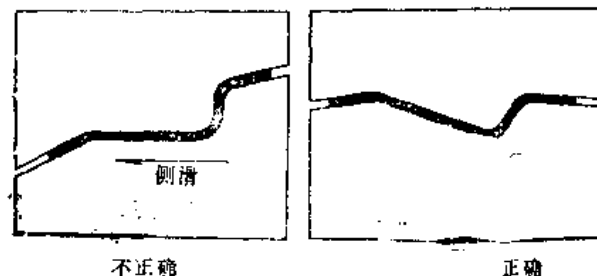


图1

(7) 设计侧压热校形模时，为避免模具在侧压力作用下产生“上翘”现象，固定侧压模块应比可动模块高5~10mm，见图2。

(8) 设计垂直一侧压热校形模时应使作用在零件上的水平压力相平衡，如图3所示。

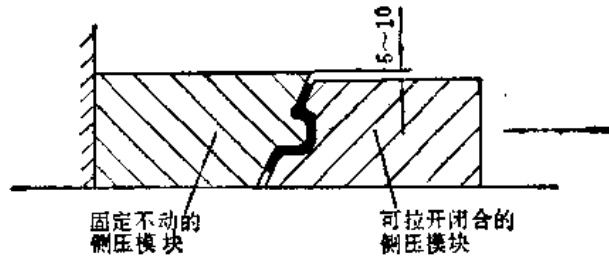


图2

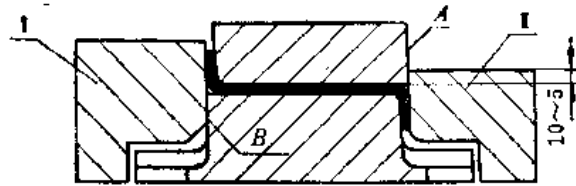


图3

图中上下模块非成形面A与B的尺寸应同零件对应边的外形尺寸一致，以保证侧压块I、II与零件贴合时，也同时与A、B面贴合。

3.6.6.3.2 缩尺系数的计算

(1) 当仅加热毛料、不加热模具时，模具的工作尺寸可按式确定：

$$L=l(1+\alpha) \tag{1}$$

式中 L ——模具工作部分的尺寸；

l ——零件的名义尺寸；

α ——修正系数，与零件材料的线膨胀系数有关，镁合金材料的 α 值见表1^[6]，钛合金材料的 α 值见表2^[7]。

表1. 镁合金材料的修正系数 α 值

加热温度(°C)	100	150	200	250	300	350	400
α	0.0030	0.0039	0.0051	0.0065	0.0080	0.0096	0.0110

表2. 钛合金材料的修正系数 α 值

材料	温度(°C)							
	100	200	300	400	500	600	700	800
TA2	0.00087	0.00176	0.00249	0.00330	0.00455	0.00528	—	—
TC1	0.00086	0.00178	0.00270	0.00364	0.00460	0.00552	0.00658	0.00768
TC3	0.00089	0.00184	0.00285	0.00388	0.00495	0.00606	0.00728	0.00840

(2) 当毛料和模具同时加热时，模具加热前（冷态）的尺寸按下式确定：

$$L=\beta l \tag{2}$$

式中 L ——模具加热前（冷态）的尺寸；

l ——零件的名义尺寸；

β ——修正系数，取决于零件材料和模具材料线膨胀系数的差值。镁合金材料用的 β 值见表3⁽⁶⁾，钛合金材料用的 β 值见表4⁽⁷⁾和表5⁽⁴⁾。

表3. 镁合金材料用的 β 修正系数值

模具材料	加热温度 (°C)	100	150	200	250	300	350
	铸 Al13		0.9989	0.9986	0.9980	0.9987	不用
二次硬铝		1.0002	1.0006	1.0007	0.0021	1.0026	1.0028
钢及铸铁		1.0013	1.0022	1.0029	1.0048	1.0062	1.0068

表4. 几种钛合金用的 β 修正系数值

零件材料	TA2, TC1				TC3			
	500	550	600	650	600	650	700	750
模具材料	修正系数 β							
1Cr18Ni9Ti	0.9956	0.9950	0.9945	0.9940	0.9951	0.9947	0.9943	0.9939
21Cr11Ni2.5W	0.9947	0.9942	0.9936	0.9928	0.9947	0.9935	0.9928	
中硅铝球墨铸铁	0.9975	0.9972	0.9969	0.9967	0.9975	0.9974	0.9972	

表5. 几种钛合金用的 β 修正系数值

零件材料	热成形温度 (°C)	模 具 材 料				
		ACI-HH2	Incoloy 802	HSV MEEHANITE	H-13	316 不锈钢
工业纯钛	593	0.9967	0.9956	0.9971	0.9973	0.9948
6Al-4V	704	0.9959	0.9948	0.9964		0.9937
8Al-1Mo-1V	788	0.9955	0.9943			

3.6.6.3.3 模具的定位

热校形模的型面如能确保模块定位准确，则不需采用模具定位件。

3.6.6.3.3.1⁽⁶⁾ 上下模的定位

热成形（或校形）模上下模之间的定位，在型面本身不能保证准确定位时，通常采用定位销或导向块定位。

(1) 定位销定位见图1。其结构尺寸和位置要求见图2和表。

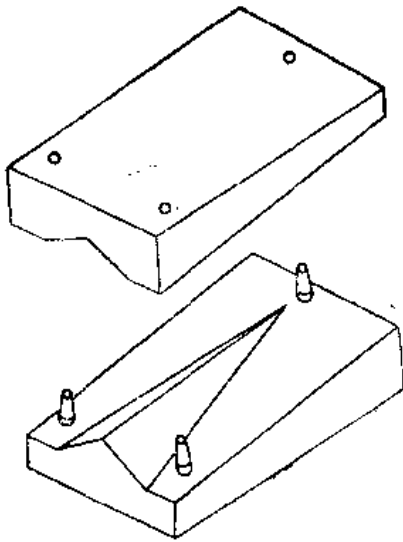


图1

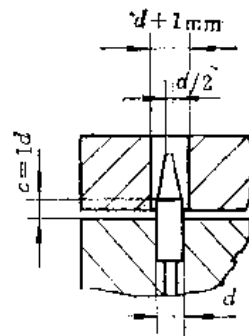


图2

定位销的要求

位 置	边 距	数 量	销子直径	销孔直径	材 料
装于下模零件 边缘线之外	距零件边缘线 10~15(mm)	2~4个	>10(mm)	比销子大 1(mm)	优质钢

(2) 导向块定位见图3。导向块应焊接在模具上，它和导槽之间的单面间隙取0.5mm。

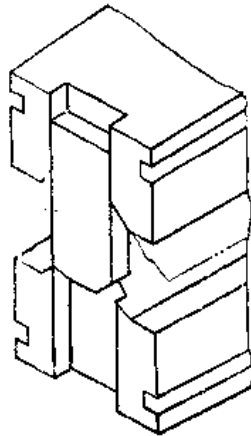


图3

3.6.6.3.3.2 侧压模块的定位

侧压模块需用导轨导向，以保证侧压模块之间、模块和下模之间相互吻合。由于外导轨侧压模比内导轨侧压模难制造，设计时应优先选用内导轨，见图1。但当有侧向分力时，应采用外导轨，见图2。

通常采用双导轨，但当尺寸较小或不便装双导轨时也可采用单导轨。双导轨之间的距离要适中，注意与下模的螺钉孔、侧压模块上的T型槽位置错开。导轨和侧压模块导槽间的间隙尺寸见图3。

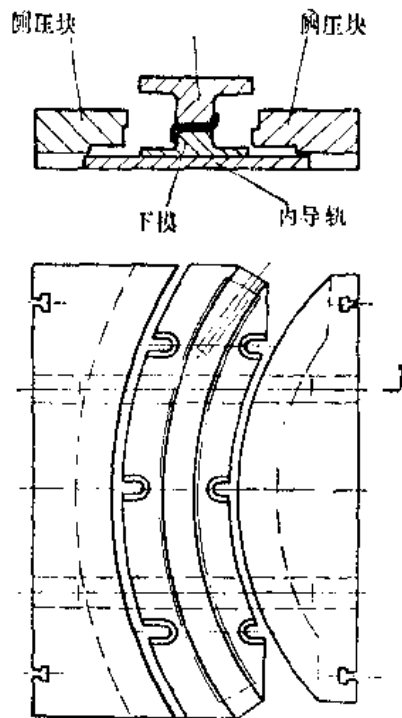


图1

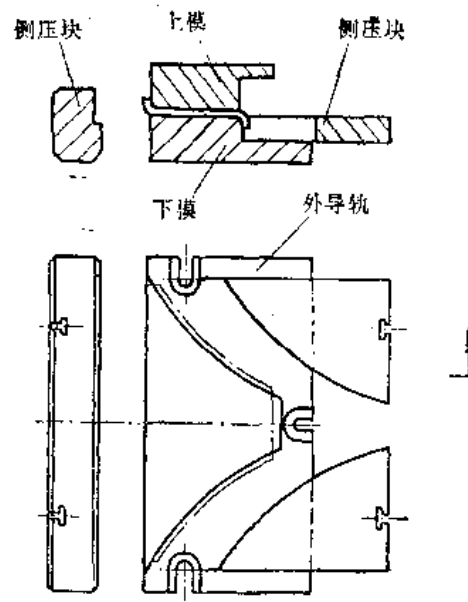


图2

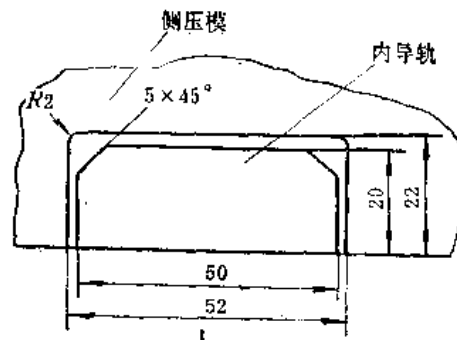


图3

3.6.6.3.4 零件在模具上的定位

零件在模具上的定位方式见表1。

表1. 零件在模具上的定位方式

定位方式	不用定位件	固定工具销	可卸工具销	定位块
使用条件	零件型面可保证准确定位	通常采用	拔去工具销后才能取下零件	较少采用

工具销的结构尺寸见表2。

表2. 工具销的结构尺寸

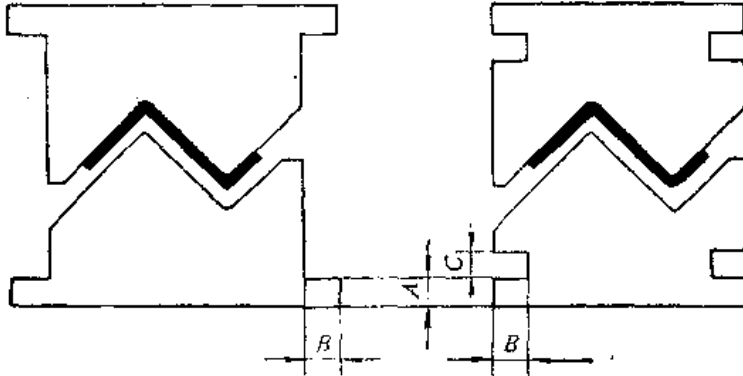
安放位置	结构形式	数量	销子直径	销孔直径	材料
下模	头部为锥形	通常2个	5(mm)	6(mm)	耐热合金钢

零件上的工具销孔，一个作成 $\phi 5.2\text{mm}$ 的圆孔，另一个作成长形孔，或剪成豁口。

3.6.6.3.5 模具在工作台上的固定

3.6.6.3.5.1 垂直热压模的固定

上、下模作出台阶或凹槽（见图），用螺钉和压板固定在加热平台上。



$A=15\sim30\text{mm}; B=20\sim30\text{mm}; C\geq 25\text{mm}.$

3.6.6.3.5.2 侧压模块的固定

使用工字键固定。模块上应制出T型槽，其尺寸见图1。RX-1机床T型槽的间距见图2。

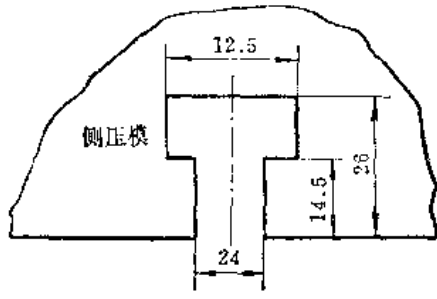


图1

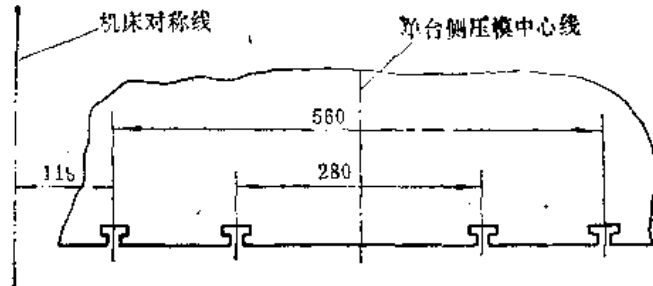
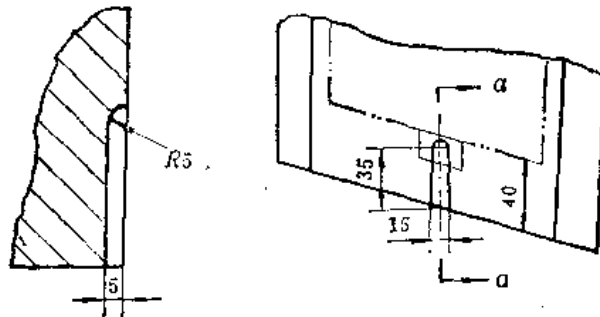


图2

3.6.6.3.6 其它要求

(1) 开取件槽。为在高温下迅速取出贴模的零件，又不使其变形，应在模具上制出取件槽，以便夹钳伸入。取件槽应位于模具端头零件边缘之外约5mm处，见图。



取件槽

(2) 上、下模中均制出热电偶孔。孔数取决于模具的大小和形状：小模具在中间制一孔；大模具或窄长模具在中间和端头各制一孔；对称模具在两边都制孔。孔的位置由零件尺寸和模具的外形决定，应尽量接近模具的工作面。孔的直径为5~12mm，视热电偶的大小而定。孔壁距模具工作面的距离为10mm，孔深应使热电偶的探头尽量接近零件的中心。

(3) 模具上制起吊孔，或装吊销、吊环。

3.6.7 毛料的制备

(1) 允许采用常规的下料、制孔和修边的方法制备钛合金和镁合金的毛料。也允许采用激光切割、线切割和高压水切割等方法制备。

(2) 用常规方法下料和制孔时，一般在冷态下进行。当镁合金板料厚度超过2mm、钛和钛合金板料厚度超过3.2mm时，下料和制孔必须在加热状态下进行。毛料加热温度：镁合金260~320℃；钛和钛合金300~400℃。

(3) 毛料边缘和孔边必须去毛刺和修光，修边的深度应是可见裂纹和切口表面粗糙度值的1.5倍。

(4) 展开料的边缘应按零件边缘的要求倒棱或修圆到 $R0.2\text{mm}$ 。有时，为保证下料后有足够的修边余量，展开料的下料尺寸应放大0.25mm。

(5) 毛料表面不允许有划伤和擦伤等缺陷。允许采用刮削和打磨等方法排除。

(6) 热成形、热校形和消除应力热处理前后，焊接之前，以及任何机械切削工序之后，毛料、半成品和零件均应进行清洗，以去除油脂、油、涂层、水和其它沾附物。

(7) 对于镁合金材料，严格禁止使用铜、铝、铅、锌、锡和镉及其合金制造的工具、量具、夹具和模具，以防外来金属的污染；对于钛与钛合金，也严格禁止使用与上述金属接触过的工具、量具、刀具、夹具、模具、砂布、砂子和弹丸等。允许用铝或锌基合金制造落锤模，但落压成形过程中，毛料或半成品在每次加热之前必须经过酸洗，以去除外来金属的污染。

(8) 镁合金在加工过程中容易发生腐蚀，禁止使用石墨铅笔在镁材上划线。镁板的清洗可采用香蕉水或汽油等溶剂，洗涤后用干净的布或棉纱头擦干，最好采用热风吹干，再涂上防护油，并且不得超过规定的存放期限。

(9) 钛材的清洗可使用金属洗涤剂，浸泡约20min后擦洗、再用热水和冷水冲洗，凉干。也可配制酸洗液进行清洗使表面更清洁。酸洗液配方见表1和表2。焊接前的钛材，推荐用表2配方清洗，除获清洁表面外还可去除铁的沾染。酸洗中除去除金属表面的污染之外，还可以去除表面的轻度划伤。一般允许从板材每面去除的厚度为 $0.076\text{mm}^{(2)}$ 。

表1. 钛板的酸洗配方之一

成 分	H ₂ SO ₄	NaF	NaNO ₃	H ₂ O
含量 g/L	180~200	40	40	余量

注：温度为40~50℃。

表2. 钛板的酸洗配方之二

成 分	HNO ₃	HF	H ₂ O
含量(%)	20	5	75

注：温度为室温，浸泡2~5min。

3.6.8 润滑剂和防氧化涂料

(1) 推荐用于各种镁合金热成形方法的润滑剂见表1。切割、冲裁、弯曲和冲制埋头窝等工序不用润滑剂。由于石墨和石墨润滑剂对镁合金会引起强烈的腐蚀，应在热压成形后的24h内清洗制件。

表1. 镁合金热成形用润滑剂

润 滑 剂	成 形 方 法	涂 敷 方 法
干的胶质石墨和片状石墨	压 延	热成形前撒在毛料表面
滑石粉	压延、橡皮压制、拉形	热压前撒在毛料表面
5~10%石墨或滑石粉+90~95%四氟化碳	压 延	加热前，喷在毛料表面
20%石墨+80%透平油	压延、落压、拉形	热压前、刷或抹在毛料表面
20%云母粉+80%透平油	压延、落压	同上
65%工业油脂+35%石蜡	温度不高(230~260°C) 浅压延	同上
40~50%滑石粉+50~60%石蜡		
20%石墨(或滑石粉)+80%耐热液体 KPII(MXII TY2022-49)	350°C压延、落压	同上
20%石墨(或滑石粉)+40%透平油 +40%耐热液体 KPII		

(2) 钛与钛合金热压成形(或校形)时，必须使用润滑剂、防氧化涂料和脱模剂，以防擦伤、粘模和氧化。常用的润滑剂、防氧化涂料和脱模剂及其使用范围见表2。

表2. 钛材使用的润滑剂和防氧化涂料

牌 号	用 途	使 用 范 围
So或S1胶质石墨水剂	润滑	≤700°C
Ti-1*	防氧化，并有一定润滑作用	≤700°C
Ti-2*	防氧化，并有一定润滑作用	>700~900°C
Ti-3*	脱模剂	≤900°C

Ti-3*涂料不能单独使用，必须在毛料清洗和涂润滑剂或防氧化涂料后再涂。

3.6.9 热处理

3.6.9.1 钛与钛合金

(1) 工业纯钛、TC1、TC2和TA7钛合金不能热处理强化，但可经中间退火恢复塑性，通过最后退火消除制件的残余应力。

(2) TC3和TC4钛合金可经固熔热处理（淬火和时效）强化，也能进行中间退火和最后退火，但淬火状态材料的成形性会稍好些。

(3) 钛与钛合金的热处理规范见表1。

表1. 钛与钛合金热处理规范

材料牌号	中间退火		最后退火		热处理形式	
	温度(°C)	时间(min)	温度(°C)	时间(min)	淬 火	时 效
工业纯钛	550~600	10~30	500	30~60	—	—
TC1 TC2	650~700	10~30	550~600	30~60	—	—
TA7	750~800	10~30	550~650	30~60	—	—
TC3, TC4	750~800	10~30	550~650	30~60	800~840°C水 中快冷	500°C, 2h
					950°C水冷	空冷

(4) 中间退火的允许次数，应由中间退火、最后退火、热成形和热校形使材料总的受热时间不超过2.5h来确定。

(5) 钛与钛合金的热成形温度高于或等于下列温度时，成形后的零件不必进行退火：

工业纯钛	482°C
TC3、TC4	619°C
其它钛合金	650°C

(6) 当热校形工序与最后退火工序结合进行时，应按最后退火的热处理规范(表1)确定加热温度和保温时间。

(7) 允许采用局部加热成形，如压下陷等。当保持加热温度的加热区超出了成形区25mm以外，并遍及制件整个截面时，成形后的零件不必进行退火。

3.6.9.2 镁合金

镁合金板材制件进行中间退火的规范如下：

冷作硬化料：加热至220~250°C，保温不超过30min，空冷。退火次数不限制。

退火料：加热至340~350°C，保温，空冷。保温时间与毛料截面有关，见下表。

镁合金退火料中间退火的保温时间

毛料厚度(mm)	<1.5	1.5~2.5	2.5~4.5	>4.5
保温时间(min)	25	30	40	60

3.6.10 去氧化膜

(1) 钛合金在热成形、热校形和热处理过程中, 表面生成氧化膜, 其颜色随温度而变化, 见表1。

表1. 钛合金在不同温度时氧化膜的颜色

加热温度(°C)	350~400	~450	500~550	600~650	700~800	>900
氧化膜颜色	淡稻草色	黄色	紫色	蓝色	灰色	棕色

(2) 钛合金氧化膜的厚度也随温度的增加而变厚, 变化情况见表2。

表2. 钛与钛合金氧化膜的数值

加热温度(°C)	650	700~750	800~850	900~950	1000
氧化膜厚度(mm)	0.002~0.005	0.005~0.0075	0.02~0.025	0.04~0.05	0.1

注: 在空气中放置30min生成的。

(3) 钛合金零件去氧化皮, 一般采用酸洗法。氧化皮较厚时采用碱洗-酸洗法, 其规范如下^①:

高温碱洗: 溶液	NaNO ₃	225g/L
	NaNH	750g/L
温度		250~300°C
时间		15 min
酸洗: 溶液	HNO ₃	400g/L
	HF	26~30g/L
	H ₂ O	574~570g/L
温度		30±2°C
时间		2~5 min

(4) 钛合金零件在去氧化膜工序中, 零件每个表面应去除的最小厚度, 见表3。

表3. 钛合金零件表面去除氧化膜的厚度 (mm)

零件 加热温度(°C)	累计时间 ^① (min)				
	<10	11~30	31~59	60~120	121~360
>482~593	只去氧化皮	0.0076	0.0127	0.0127	0.0127
>593~704	0.0076	0.0127	0.0254	0.0254	0.0508
>704~760	0.0127	0.0254	0.0254	0.0508	0.0762
>760~816	0.0254	0.0254	0.0508	0.0762	0.102

①零件加热过程(包括热处理)的累计时间。

(5) 钛合金在700℃以下经一次短时加热，表面氧化很轻，对冲压性能影响不大。一般经2~3次加热后才需去氧化膜，零件最终制成后，必须去氧化膜。

(6) 钛合金零件经去氧化膜清理后，不允许进行破坏零件表面质量的补充变形工序

参 考 资 料

- [1] 黄永坚，“钛和钛合金的热成形”，《航空工艺技术》，1983年第6期。
- [2] 《钛和钛合金的板金冲压成形》，国防工业出版社，1970年。
- [3] Ю. И. 达维多夫等著，《合金钢及合金的板料冲压》，国防工业出版社，1965年。
- [4] 黄永坚，“在RX-1型热校形机上制造钛板零件”，《航空工艺技术》，1976年第5期。
- [5] Forming of Titanium, MBB Military Aircraft Division, Augsburg Plant, 1984.
- [6] С. Я. 萨洛金著，《镁合金板料冲压工艺》，机械工业出版社，1958年。
- [7] 解志卿等，《钛板的高温机械性能与热成形工艺参数试验数据手册》，南京航空学院出版社，1985年1月。

3.7 超塑性成形

3.7.1 定义与功用

金属的超塑性,是指金属材料在特定条件下呈现的异常好的延伸性。所谓特定条件,包括金属的内在条件,如金属的成分、组织及转变能力(相变、再结晶及固溶度变化等),和外界条件,如变形温度与变形速度等。

超塑性通常也用拉伸时的延伸率表示。若延伸率超过100%(有认为要超过300%)^[1]不产生缩颈和断裂时,即称该金属呈现超塑性。

超塑性成形是利用金属的超塑性,对板材成形出零、部件的新兴的冲压工艺。

在稳定状态下,超塑性成形过程近似认为没有加工硬化现象,其变形应力与应变速度的关系为:

$$\sigma = K \dot{\epsilon}^m$$

式中 σ ——变形应力;
 $\dot{\epsilon}$ ——应变速度;
 m ——应变速度敏感性指数;
 K ——常数(近似)。

由于绝大多数超塑性金属的总延伸率随 m 值的增大而增大,故除 δ 值外,可用 m 值定义超塑性。具有超塑性的 m 值为:

$$0.3 \leq m < 0.9$$

超塑性的宏观特性包括:大变形;无缩颈;小应力;易成形。因此,超塑性成形具有如下优点:

- (1) 可一次成形出形状复杂的零件;
- (2) 可仅用半模成形;
- (3) 可采用较小吨位的设备;
- (4) 成形后的零件基本上没有残余应力;
- (5) 可增加结构设计的灵活性;
- (6) 为制造重量轻、成本低的高效结构提供了条件。

3.7.2 超塑性机理

主要有三种论点:

(1) 空位迁移-扩散蠕变理论

空位迁移指原子的迁移或原子的扩散,它已被用于解释蠕变变形;由于超塑性变形与蠕变变形有很多相似之处,因此认为在低应力下所引起的空位扩散,同样可解释超塑性变形机理。

(2) 晶界滑移理论

基于超塑性变形中晶粒形状和大小都没有显著变化,因此认为晶界好似晶体间的流

动层参与变形，晶粒则发生移动和转动，晶粒越小越接近于完全无序的或非晶体的流动状态。

(3) 位错运动理论

认为沿晶粒间的边界滑移受到晶界上突出物阻碍时，会产生局部应力集中，当应力超过一定值时就会产生位错的松弛应力，使晶界继续滑移。这些位错在穿过晶粒堆积到对面晶界前，直至堆积位错群的反应力阻止位错再发生，晶界滑移方停止。堆积群前面的位错可通过攀移到达晶界，并沿晶界运动直至消失，然后集中区域又产生新位错以补充缺位，使晶界滑移继续进行。这种位错的滑移、攀移和消失就造成了超塑性变形。

目前多认为超塑性是以晶界滑移为主，扩散、位错和晶界滑移三种机构综合作用的结果。

3.7.3 金属超塑性材料

根据变形特性，超塑性可分为微细晶粒超塑性（又称恒温超塑性、结构超塑性）、相变超塑性（又称变温超塑性、变态超塑性）等。微细晶粒超塑性研究得最多，超塑性一般指此类。一些微细晶粒超塑性合金及其特性见下表。

一些微细晶粒超塑性合金及其特性表

超塑性合金	延伸率(%)	超塑性温度(°C)
Zn-22Al (共析)	>1500	250~275
Pb-39Sn	1500~2000	25~170
Sn-Bi (共晶)	1950	20
Mg-6Zn-0.5Zr	1000	270~300
LY12		435
7075 铝合金		~480
7475 铝合金	>500	516
Al-33Cu-7Mg	>600	420~480
Al-6Cu-0.5Zr	2000	400~500
Al-8Zn-1Mg-0.5Zr	1100	535
Al-10.7Zn-0.9Mg-0.4Zr	1550	550
Al-25.2Cu-5.2Si	1310	500
Cu-10Al	600	700
Cu-0.5Al-4Fe	770	800
Ti-6Al-4V	>1000	927
Ti-5Al-2.5Sn	500	1000
Ti-11Sn-2.25Al-1Mo-0.5Zr-0.06Si	500	800
GCr15	540	700
45 钢	300	700
低合金钢	400	800~900
Fe-25Cr-6Ni	600	870~980

主要的几种超塑性合金：

(1) 锌铝合金

典型代表为Zn22Al，延伸率 $\delta > 1500\%$ ，超塑性温度 $t_s = 250 \sim 275^\circ\text{C}$ 。由于强度不高，虽研究很早并最先使用，但应用有限。

(2) 铝合金

已作为实用材料加以研究。在**高强铝合金**中目前研究得最多的是美国的7000系列，其典型代表为7475合金，成分为： $Zn 5.2 \sim 6.2\%$ ， $Mg 1.9 \sim 2.6\%$ ， $Cu 1.2 \sim 1.9\%$ ， $Fe > 0.12\%$ ， $Si > 0.10\%$ ， $Mn > 0.06\%$ ， $Cr 0.18 \sim 0.25\%$ ， $Ti > 0.06\%$ ，铝基。 $t_s = 516^\circ C$ ， $\delta > 500\%$ 。

(3) 钛合金

典型代表为Ti-6Al-4V (TC4)， $\delta > 1000\%$ ， $t_s = 927^\circ C$ ，为航空和宇航工业中的重要结构材料。

3.7.4 影响超塑性成形的因素

影响金属超塑性变形的因素有变形温度、应变速度、材料晶粒度。此外，应变硬化指数、晶粒形状因素、材料内应力以及表面应力等亦有一定影响。

3.7.4.1 变形温度的影响

超塑性变形温度 t_s 与材料熔点温度 t_m 的关系为：

$$t_s \geq (0.4 \sim 0.5)t_m \quad (\text{以绝对温度K计})$$

图1所示为Zn-22Al的 m 值、 δ 值与变形温度 t 的关系⁽²⁾。 t_c 为共析温度； v 为拉伸变形速度。

图2所示为Ti-6Al-4V变形温度对 σ_b 、 δ 值以及晶粒直径的影响⁽³⁾。

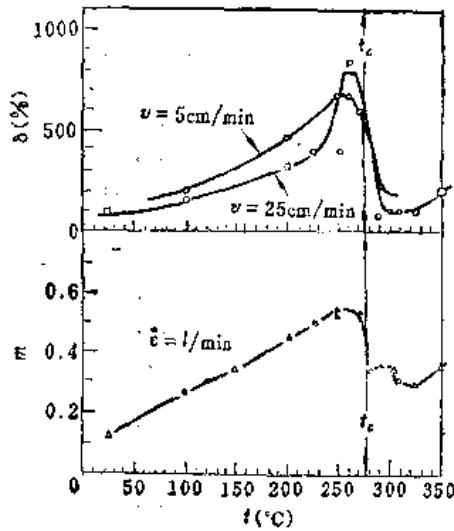


图1

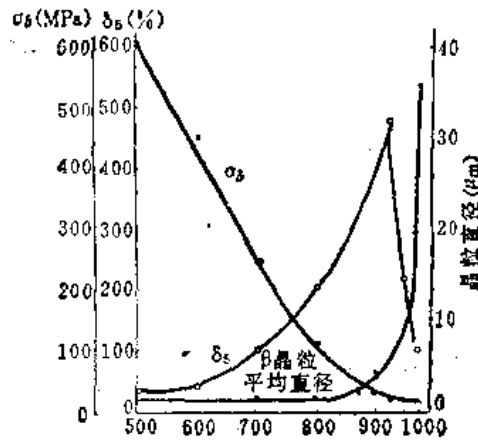


图2

3.7.4.2 应变速度的影响

应变速度 $\dot{\epsilon}$ ，即应变率，意为单位时间内所产生的应变：

$$\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt} = \frac{1}{l} \cdot \frac{dl}{dt} \quad (s^{-1} \text{ 或 } min^{-1})$$

式中 ϵ ——实际应变，%

l ——试样标距长度, mm;

t ——变形时间, s或min。

超塑性变形受应变速度影响很明显, 只是在一定的速度范围内才能实现。

图 1 所示为 Zn-22Al 的 $\dot{\epsilon}$ 对 m 值的影响⁽³⁾。

图 2 所示为 Ti-6Al-4V 的 $\dot{\epsilon}$ 和 m 值的关系⁽⁴⁾, 表中列出了具体数据, 试件是从同一板料上制取的。

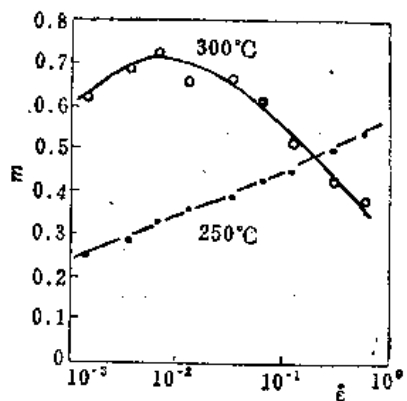


图1

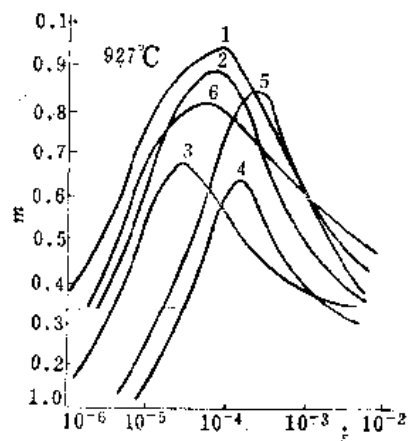


图2

(曲线标号与表内编号对应)

Ti-6Al-4V 的超塑性性能表⁽⁴⁾

№	取向	m_{max}	$\dot{\epsilon} \times 10^{-4} (s^{-1})$ (m_{max} 处)	σ (MPa) (m_{max} 处)
1	纵向	0.94	1.16	1.93
1	横向	0.93	0.64	1.24
2	纵向	0.90	0.88	2.76
2	横向	0.80	2.50	5.10
3	纵向	0.68	0.38	2.48
3	横向	0.58	0.24	1.79
4	纵向	0.64	1.74	8.00
4	横向	0.73	1.87	2.93
5	纵向	0.83	2.80	4.27
5	横向	0.71	4.20	6.41
6	纵向	0.83	0.64	1.38
6	横向	0.81	0.20	0.59

3.7.4.3 晶粒的影响

对微细晶粒超塑性材料的显微组织的要求:

(1) 小的晶粒度

一般要求晶粒直径为 $0.5 \sim 5 \mu m$, 不大于 $10 \mu m$;

(2) 等轴组织

要求有数量多而短的晶粒边界, 界面平坦, 易于流变;

(3) 双相

使第二相与母相相互牵制，以阻碍晶粒长大；

(4) 组织稳定

在变形过程中，晶粒长大缓慢，具有足够的变形时间。

图1所示为 Zn-22Al 的晶粒度对 $\dot{\epsilon}$ 与 m 值关系的影响^[6]。图2所示为 Ti-6Al-4V 的晶粒度对 σ - $\dot{\epsilon}$ 曲线以及对 m 值的影响^[6] (见3.7.4.2节图2与表)。

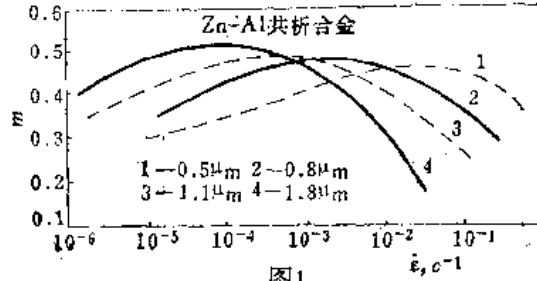


图1

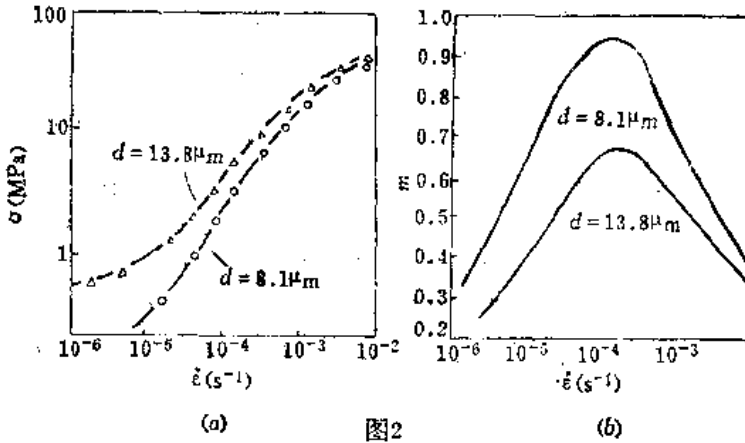


图2

3.7.5 超塑性成形方法

3.7.5.1 超塑性成形规范

成形规范包括成形温度、成形压力与应变速度。成形规范主要由两方面评定：(1) 零件形状与尺寸是否符合设计要求；(2) 材料变形后组织能否满足使用要求。

3.7.5.1.1 成形温度

几种超塑性合金的最佳成形温度见表。

几种超塑性合金的最佳成形温度表

超 塑 性 合 金	最佳成形温度(°C)
Zn-22Al	250
Al-6Cu-0.5Zr	430
LY12	435
7075 铝合金	~430
7475 铝合金	516
Ti-6Al-4V	927
Ti-5Al-4Mo-4Cr-2Sn-2Zr-Nb	820

3.7.5.1.2 成形压力

成形压力与零件的尺寸、形状及材料在超塑性温度下的强度密切相关，一般为十分之几MPa至几MPa。

下表列举了Ti-6Al-4V板材成形实例。

Ti-6Al-4V 超塑性成形压力试验数据表 [7]

零件形状	零件尺寸 (mm)	毛料厚度 (mm)	成形温度 (°C)	单位成形压力 (MPa)
球形	φ100	1	925	~0.4
圆筒形	φ100	1	900~925	<0.6
圆筒形	φ25	0.6	900~925	<0.8
盒形	100×150	1.2	900	<0.8

3.7.5.1.3 应变速度

$\dot{\epsilon}$ 值约(10^{-4} ~ 10^{-1}) min^{-1} ，成形时间数分钟至数十分钟不等。

3.7.5.2 超塑性成形的的基本方法

3.7.5.2.1 真空成形法

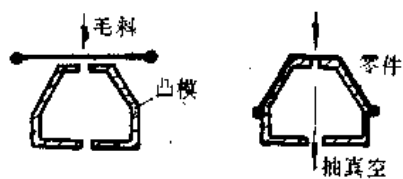
在模具的成形腔内抽真空，使处于超塑性状态下的毛料成形。该法又分为两种：

(1) 凸模真空成形法，见图1。

将模具成形内腔抽真空，加热到超塑性成形温度的毛料，即被吸附在具有零件内形的凸模上。

该法用来成形要求内侧尺寸准确的形状简单的零件。

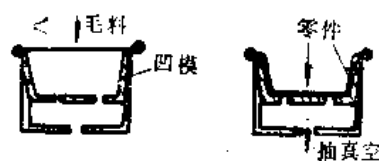
(2) 凹模真空成形法，见图2。



(a) (b)

图1

(a) 成形前 (b) 成形后



(a) (b)

图2

(a) 成形前 (b) 成形后

将模具成形内腔抽真空，毛料经加热到超塑性成形温度后，即被吸附在具有零件外形的凹模上。

该法用来成形要求外形尺寸准确的形状简单的零件。

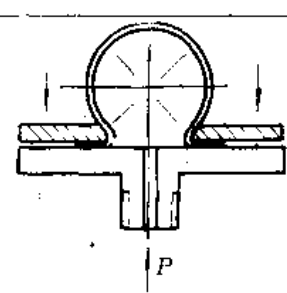
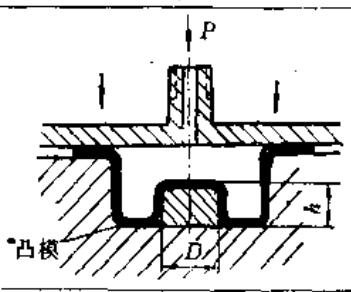
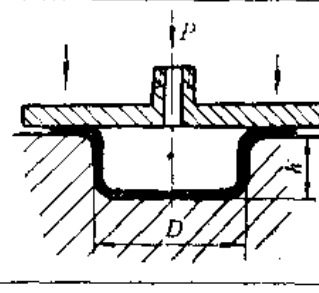
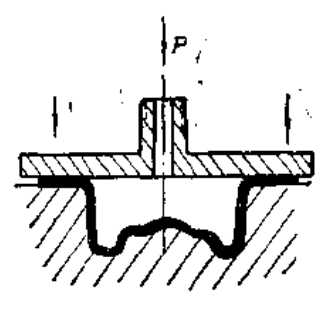
真空成形法由于成形压力小于0.1MPa，不适于成形毛料厚、形状复杂、曲率变化大的零件。

5.7.5.2.2 气压成形法

又称吹塑成形法，犹如制作玻璃瓶、塑料容器的方法。较之传统的胀形工艺具有只须用低能、低压即可成形出大变形量的复杂零件。

气压成形法又有多种，见表。

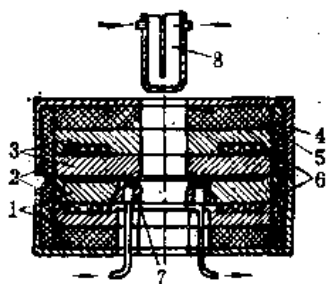
气压成形法分类表

方法	特 点	应 用	示 意 图
自由吹塑成形	(1) 不用模具或只用压边圈； (2) 毛料受气压作用自由延展胀形	实用价值不大	
凸模吹塑成形	(1) 成形前毛料外侧形成封闭的充压腔； (2) 毛料受气压作用逐渐与凸模型面贴合； (3) 零件内表面尺寸精度高、形状准确，相对深度较大，模具较易加工； (4) 毛料较大，脱模较难	用于制作内形要求准确，相对深度大于0.5的零件	
凹模吹塑成形	(1) 成形前毛料内侧形成封闭的充压腔； (2) 毛料受气压作用逐渐与凹模型面贴合； (3) 零件外表面尺寸精度高、形状准确，毛料节省，脱模较易； (4) 零件相对深度较小，模具加工较难	用于制作外形要求准确，相对深度不大于0.5的零件	
复合成形	四、凸模吹塑成形的结合	用于制作具有凸凹形状的零件	

此外，气压成形法也可同真空成形法结合使用。

3.7.5.2.3 横压成形法

又称偶合模成形法，对模成形法，见图。与传统的偶合模成形法的区别是，零件毛料处于超塑性状态，考虑热影响而对模具结构有特殊要求，模具加工困难。



1—凹模；2—钢壳体；3—压板；
4—陶瓷块；5—陶瓷块；
6—电阻丝；7—套管；8—
凸模。

3.7.5.3 气压成形的一般工艺步骤

(1) 原材料检查

除按常规方法复验外，应确认原材料满足超塑性成形要求的条件。

(2) 毛料制备

包括下料与表面清洗、除油。

毛料尺寸应等于零件最大投影面积的尺寸加上压边余量。

钛板超塑性成形若采用袋式气密方法，则毛料的制备应增加钛通气管的制备与氩弧焊接工序。

图1与图2为依靠焊接实现气密的毛料形式。

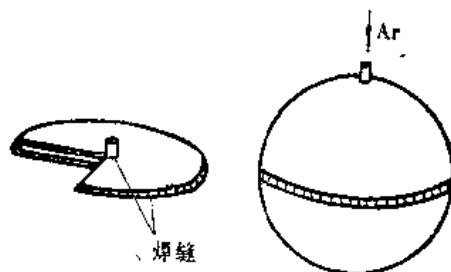


图1

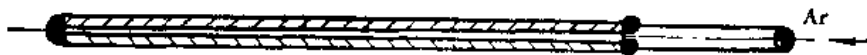


图2

(3) 模具与毛料加热

装毛料前模具必须彻底清理，随后与毛料一起加热到超塑性温度。

加热方式有：

专用机床，通过机床的电热平台加热模具与毛料；模具内装电热元件；电感器加热；电炉内加热。

(4) 充气与放气

一般通以压缩空气或氮气，钛合金成形时务必采用惰性气体（Ar气）。在取件前，先行卸压以确保操作安全。

(5) 取件

零件应冷却到较低温度或常温下取出，以免变形。

(6) 切除余料

一般用常规方法。对于钛合金等难切割件可采用线切割机切割、激光切割、高压水切割等法。

3.7.5.4 零件壁厚不均匀的控制方法

图1所示为不同的 $\frac{h}{D}$ 下圆筒形零件在超塑性成形后壁厚变化的典型数据^[3]。

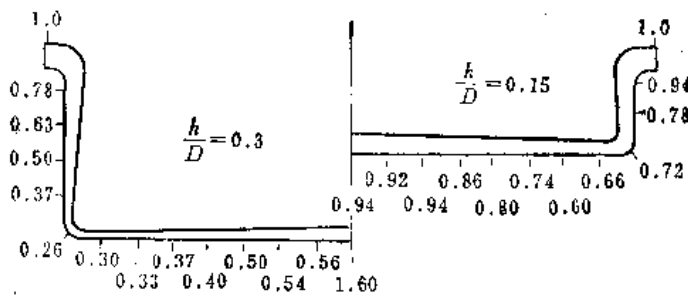


图1

控制零件壁厚变薄不均的途径有：控制变形速度分布；控制温度分布与控制摩擦力等。

具体方法有：

(1) 预反向成形法

图2为该法示意图。

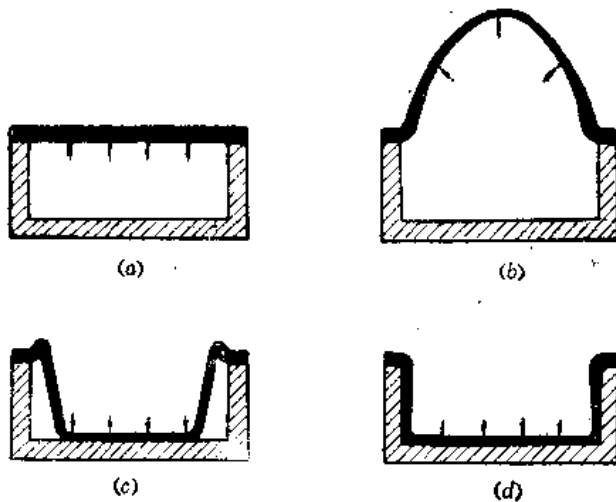


图3 为使用凸面冲头（反向凸模）的预反向成形法；图4 为使用凹面冲头（反向凹

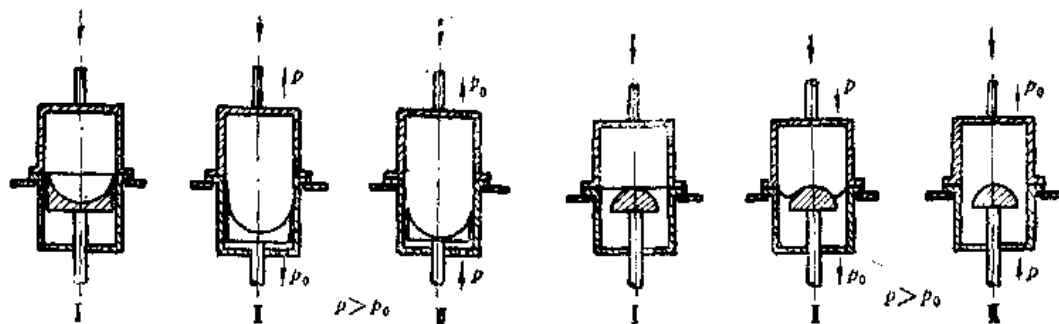


图3

图4

模)的方法。

该法可提高壁厚均匀性1.5~2.5倍,并可增加 h' (h/D)。

(2) 不均匀加热法(图5)

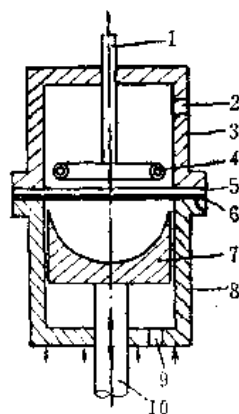


图5

1—感应圈导板; 2—压缩空气吸入口; 3—固定的盒盖; 4—感应圈; 5—加热板; 6—坯料; 7—半球模型; 8—可动盒盖; 9—排气口; 10—冲压管。

使易变薄处(比如半球件的顶部)温度降低而不易变形,壁厚处(如半球件的周边部分)加热充分、合理而易于变形,从而成形出厚度均匀的零件。

在毛料上有意涂敷厚薄不均的涂层,也可造成不均匀的温度场。

(3) 毛料预成形法

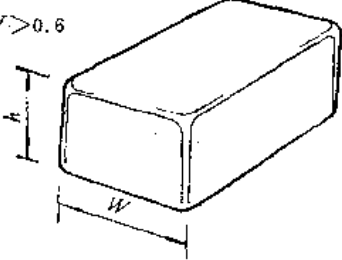
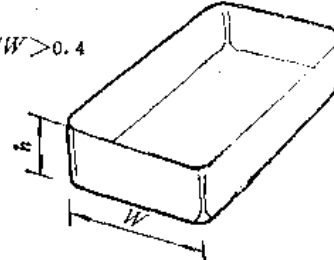
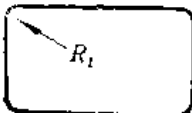
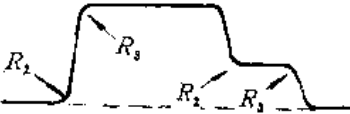
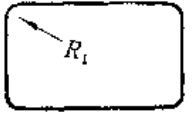
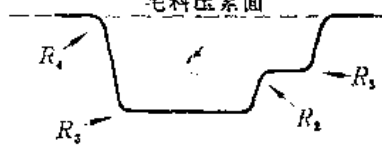
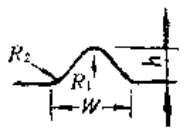
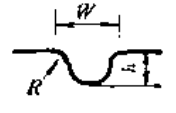
先用通常的常温成形或加热成形方法制作预成形件,再超塑性成形。

(5) 变厚度原材料

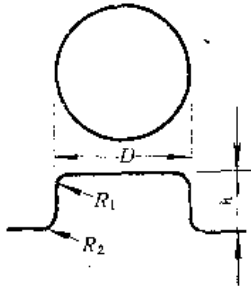
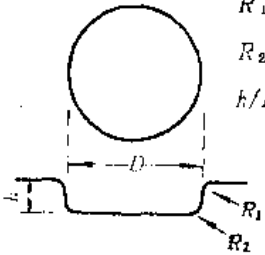
原材料预先轧制成变厚度的,但实现困难。

(6) 零件的合理设计,见下表。

Al-Cu-Zr合金 (SUPRAL) 零件的合理设计参数表^[9]

零件设计参数	凸模成形法	凹模成形法
极限高宽比	$h/W > 0.6$ 	$h/W > 0.4$ 
脱模斜角	$\leq 2^\circ$	$\leq 3^\circ$
公差 〔铸造模具公差为 ±0.005英寸/英寸 (±0.5%) 铸造后再机 械加工时, 铸造公差 可放宽〕	公差在零件内侧, 即与模具型面接触的一侧	公差在零件外侧, 即与模具型面接触的一侧
圆角半径 (a) 平面投影图上 圆角半径; (b) 剖视图上圆角 半径	 $R_1 \leq 5$ 倍 毛料厚度  毛料压紧面 $R_2 \leq 5$ 倍该处壁厚 $R_3 \leq 3$ 倍该处壁厚 所示全部半径在零件内侧, 即与 模具型面接触的一侧。 该处壁厚 \approx 毛料厚度 \times $\frac{\text{零件平面面积}}{\text{零件表面面积}}$; 当高宽比接近 0.6 时, R_3 要加大	 $R_1 \leq 15$ 倍 毛料厚度  毛料压紧面 $R_2 \leq 5$ 倍该处壁厚 $R_3 \leq 5$ 倍该处壁厚 $R_1 \leq 5$ 倍该处壁厚 所示全部半径在零件外侧, 即与 模具型面接触的一侧
凸埂与凹槽	 $R_1 \leq 3$ 倍该处壁厚 $R_2 \leq 5$ 倍该处壁厚 $h/W \geq 0.7$ 两埂之间距离应与凹模成形的极 限高宽比一致; 凸埂长度 $L \geq 2h$	 $W \leq 5$ 倍该处壁厚 $h/W \geq 0.4$ $R \leq 3$ 倍该处壁厚 凹槽长度 $L \geq 2h$

(续)

零件设计参数	凸模成形法	凹模成形法
圆梗与圆窝	 <p> $D \leq 10$ 倍该处壁厚 $R_1 \leq 3$ 倍该处壁厚 $R_2 \leq 5$ 倍该处壁厚 $h/D \geq 0.5$ </p>	 <p> $D \leq 10$ 倍该处壁厚 $R_1 \leq 3$ 倍该处壁厚 $R_2 \leq 5$ 倍该处壁厚 $h/D \geq 0.3$ </p>

零件设计不合理会造成局部变形过大，引起壁厚严重不均匀。

3.7.6 超塑性成形模具

3.7.6.1 模具材料

模具材料见表1与表2。

表1. 几种超塑性合金用的模具材料

超塑性合金	模具材料
Zn-22Al	A3、45号钢。小批量时也可采用耐热水泥、铸铝、铸铁、石墨、石膏、陶瓷、耐热塑料等
Al-6Cu-0.5Zr SUPRAL合金	砂型铸铝，混凝土、铸铁、低碳钢等
Ti-6Al-4V	22Cr4Ni9Mn，耐高温铸铁、K-3，超合金及其他耐热钢、碳/碳复合材料
IN-744 不锈钢	铸造陶瓷、超合金

表2. 国外高温成形用钢铁材料的基本性能 (10)

材料名称	最高工作温度(°C)	最高抗氧化温度(°C)	抗拉强度(MPa)	屈服强度(MPa)	热膨胀系数 $\times 10^{-6}$ (816°C时)	延伸率% (816°C时)	可加工性指标	主要元素
Inconel 600	1177	1177	172.4	96.49	9.0	46	0.23	Ni, Cr
Inconel 625	1177	1177	358.5	353.5	8.65	84	0.09	Ni, Cr
Inconel 800	1121	1121	171.0	97.86	10.1	91	0.23	Ni
RA333	1149	1149	262.0	210.2	9.5	/	0.12	Ni
Inconel 41	982	982	868.7	813.6	8.45	5	0.09	Ni
Alloy X	1093	1204	296.4	165.4	8.9	34	0.23	Ni
Incoloy 802	982	1149	317.1	179.3	9.95	13	0.23	Ni
H, S 1%V	927	982	68.94	48.25	7.45	11	0.5	珠光体

(续)

材料名称	最高工作温度(°C)	最高抗氧化温度(°C)	抗拉强度(MPa)	屈服强度(MPa)	热膨胀系数 $\times 10^{-6}$ (816°C时)	延伸率%(816°C时)	可加工性指标	主要元素
S 816 B	1093	1093	331.0	310.3	8.83	22	0.12	Co
Alloy 31	1093	1093	434.4	275.7	9.2	15	0.06	Co
Alloy 150	1204	1204	78.64	35.20	/	/	/	Co
Alloy 713C	982	1093	859.0	723.9	8.2	6	0.12	Ni

对于超塑性成形模具的材料一般要求:

- (1) 良好的抗蠕变性能;
- (2) 良好的抗氧化性能;
- (3) 良好的机械性能;
- (4) 可以锻造或铸造, 机械加工不困难;
- (5) 热膨胀系数与零件原材料的较接近;
- (6) 可焊接;
- (7) 对涂料不发生化学反应;
- (8) 价格适中。

锌铝合金、铝合金的超塑性成形温度低, 模具材料不难获得。钛合金与某些钢板等超塑性温度高, 模具材料则成为必须解决的一个关键。

一些陶瓷材料的高温抗氧化性能和抗腐蚀性能好, 工作温度高, 但收缩率大, 抗弯强度低是大的缺点, 尚不宜制造形状复杂和突变的模具。碳/碳复合材料虽已在海外实际应用, 但制造困难, 价格昂贵。

3.7.6.2 模具设计问题

3.7.6.2.1 气密形式

确保气密是气压成形所必需。气密形式有:

(1) 凸埂-凹槽密封(见图1), 或只用凸埂(图2), 亦可单靠平面压紧密封, 图3为加密封圈的平面密封形式。

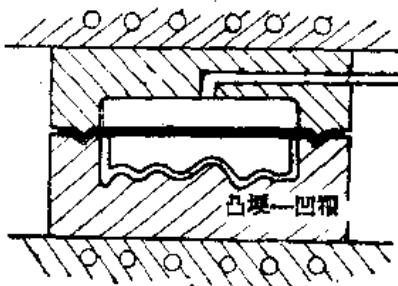


图1

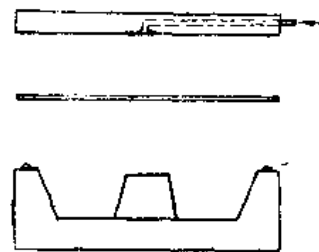


图2

施加的压紧力用以平衡气压成形时的气体压力并足以保证气密, 其值通过试验确定。

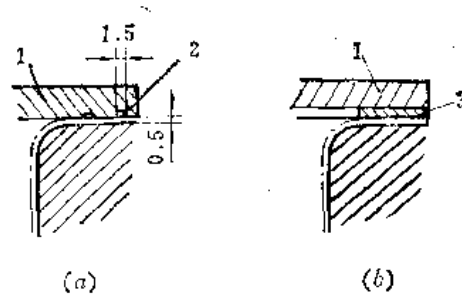


图3

1—压边圈；2—密封槽；3—密封圈。

(2) 密封袋密封，见3.7.5.3图1和图2。

模具设计时应保证气路通畅。

3.7.6.2.2 零件脱模方式

- (1) 采用组合模；
- (2) 采用顶件器（顶料板），

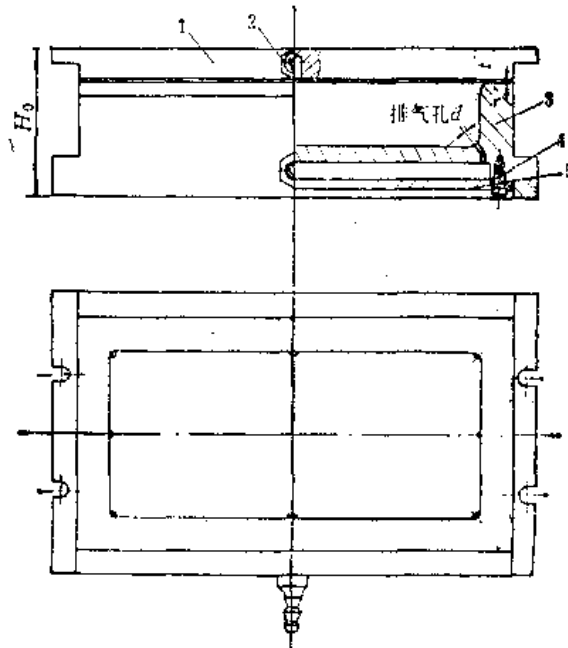
3.7.6.2.3 排气孔、槽

排气孔一般安排在成形过程毛料最后到达的部位；排气槽除槽口外应安排在非模具型面部位。

排气孔直径 $d \leq \frac{t}{2}$ ；

排气槽深度 $h = 0.15 \sim 0.2 \text{ mm}$ 。

图为气压成形模示意图，可见到排气孔位置。



1—上模；2—气嘴；3—下模；4—螺钉；5—盖板。

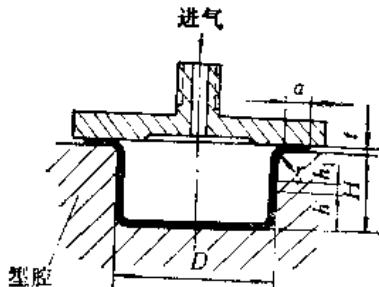
3.7.6.2.4 模具工作部分尺寸的确定

(1) 入口半径 r ，见3.7.6.2.3节图

以Zn-22Al合金气压成形模为例，供其它合金成形模设计参考。

$$r=(2\sim 5)t$$

(2) 无凸缘的零件其模具型腔深度 H ，见图1。



t —板厚
 a —压边夹持量

图1

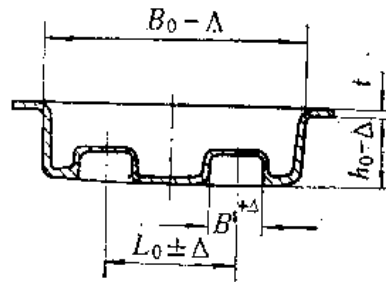


图2

$$H=r+h+h_1$$

式中 r ——模具入口半径；
 h ——无凸缘的零件高度；
 h_1 ——切边余量，一般为1.5~2mm。

(3) 模具型面尺寸的计算

以图2的零件为例：

模具型腔内形尺寸 B ：

$$B=(B_0+B_0 \cdot S - \frac{3}{4} \Delta)^{+ \delta}$$

式中 B_0 ——零件外形尺寸；
 S ——零件材料的收缩率；
 Δ ——零件公差；
 δ ——模具制造公差，一般取 $\Delta/4$ 。

模具内凸模（型芯）外形尺寸 B_1' ：

$$B_1'=(B'+B' \cdot S + \frac{3}{4} \Delta)^{- \delta}$$

式中 B' ——零件内形尺寸。

模具型腔深度尺寸 h ：

$$h=(h_0+h_0 \cdot S - \frac{1}{2} \Delta)^{- \delta}$$

式中 h_0 ——零件外形高度尺寸。

模具内型芯间的距离 L ：

$$L=(L_0+L_0 \cdot S)^{\pm \delta}$$

式中 L_0 ——零件加强槽间的距离。

3.7.7 超塑性成形设备

3.7.7.1 基本要求

- (1) 可加热 使用温度应满足超塑性合金成形温度的要求, 工作区温度均匀;
- (2) 可加压 施加的压力应满足气压成形时的气密要求, 应大于所需的成形压力;
- (3) 可抽真空;
- (4) 隔热保温效果良好;
- (5) 结构合理、功率适中、操作方便、维修容易;
- (6) 安全可靠。

3.7.7.2 基本组成部分

3.7.7.2.1 热源与控温系统

有下列几种加热方法:

- (1) 模具通过紧固件夹紧毛料后, 在电炉内加热 (图1)

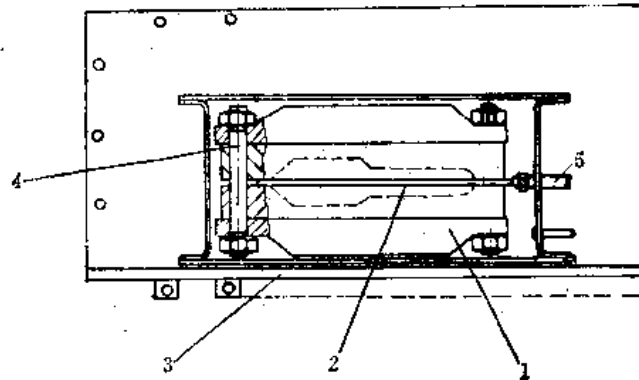


图1

- (2) 电炉式压床加热 (图2) (11)

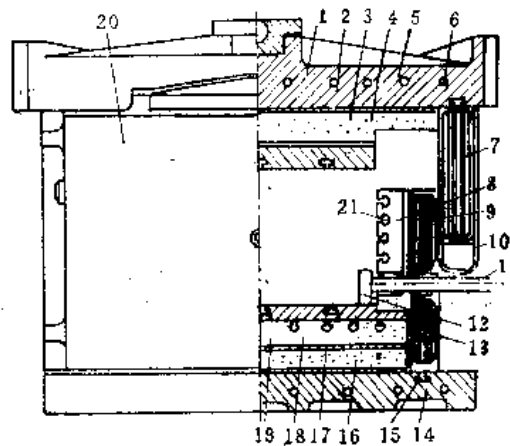


图2

1—上台面; 2—石棉板; 3—陶瓷垫板; 4—石棉板; 5—上耐热钢板; 6—冷却水管; 7—上隔热板; 8—侧加热板; 9—弹簧片; 10—下隔热板; 11—侧压柱; 12—侧压块; 13—硅酸铝纤维; 14—下台面; 15—T型块; 16—陶瓷垫板; 17—石棉板; 18—陶瓷加热平台; 19—下耐热钢板; 20—炉门; 21—电热元件。

(3) 电热平台式压床加热 (图3)

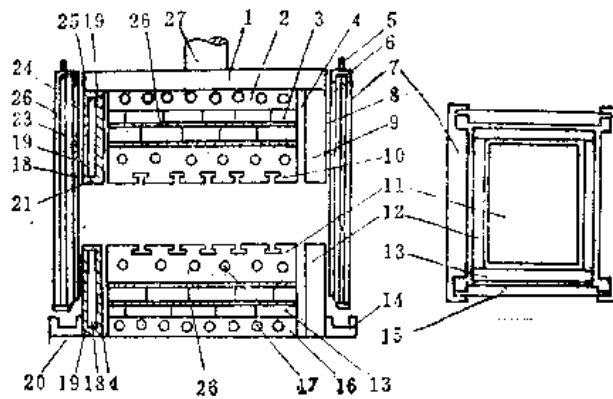


图3

1—上台面；2—上水冷却板；3—耐火砖；4—耐高温玻璃布；5—隔热门吊钩；
6—隔热门支架；7—前后隔热门；8—密封弹簧片；9—上保温板；10—上电热
平台；11—下电热平台；12—前后下保温板；13—左右下保温板；14—隔热门
密封槽；15—左右隔热门；16—电热元件；17—下水冷却板；18—保温板铸铁
架；19—矿渣棉；20—下台面；21—上保温板钢构架；22—不锈钢板；23—反
射板；24—金属盖板；25—玻璃布隔热棍；26—石棉板；27—油缸活塞杆。

(4) 感应圈感应加热 (图4)

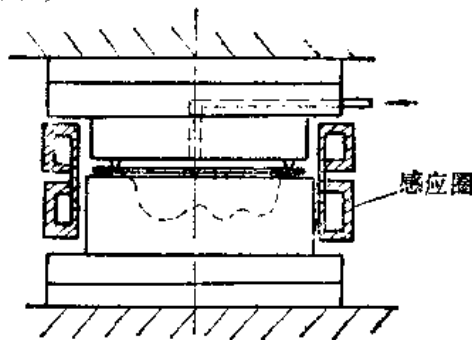
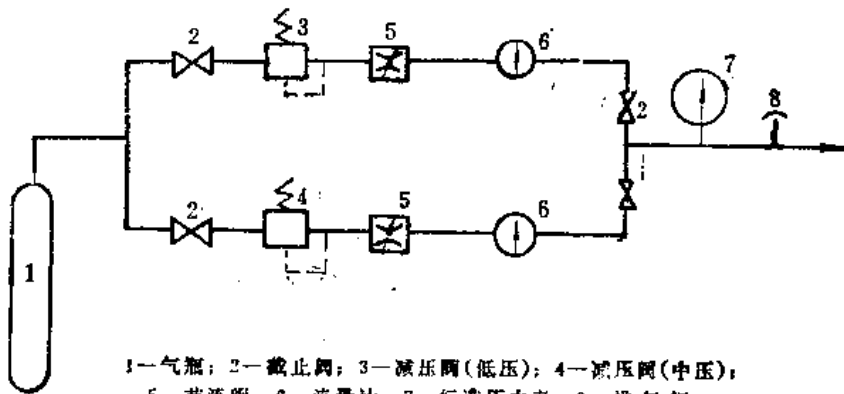


图4

3.7.7.2.2 加压与气源系统

加压一般采用压机类结构形式，可利用合适的普通液压机或设计制造专用机床。简易装置是用千斤顶加压，甚至用机械连接件压紧。

气压成形所需的气源系统如图所示。



1—气源；2—截止阀；3—减压阀(低压)；4—减压阀(中压)；
5—节流阀；6—流量计；7—标准压力表；8—排气阀。

3.7.8 超塑性成形与扩散连接组合工艺

目前主要应用于钛合金Ti-6Al-4V，而Ti-6Al-4V是航宇工业中使用最多、综合性能良好的中等强度结构钛合金。

3.7.8.1 组合工艺特点

Ti-6Al-4V在其最佳超塑性成形温度(927℃)下，亦可实现自身的两个或两个以上表面相互间的原子扩散焊接(扩散连接)。利用这一特性可将两个或两个以上的零件做成非机械连接的整体结构件。

扩散连接所需单位压力与扩散的时间有关，扩散的时间越长，单位压力越小。Ti-6Al-4V扩散连接所需的单位压力在2MPa以上，较单位成形压力大得多。

3.7.8.2 组合工艺结构的基本形式

可分为三种基本形式(图1)

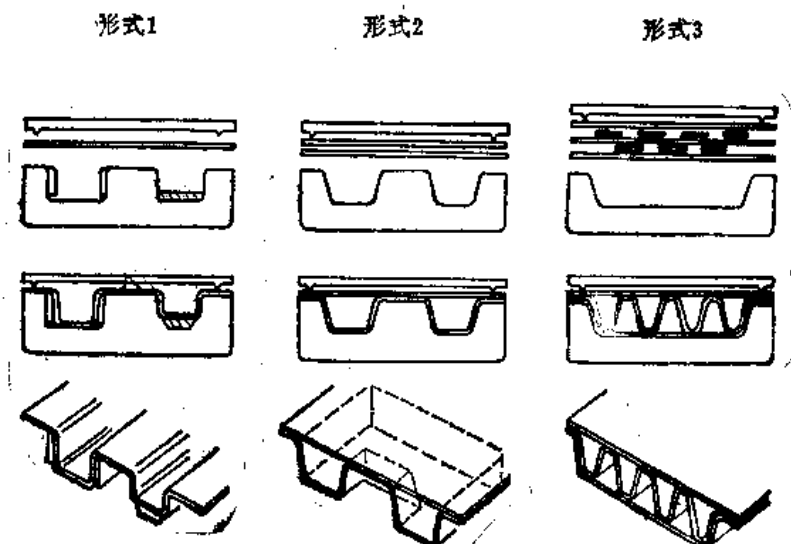


图1

(1) 局部加强结构

单块钛合金板超塑成形时，与预先放在模具内的钛合金件相接触而扩散连接。用该法可将附加板、垫板或其它加强件同零件扩散连接，使零件局部加强。

(2) 整体加强结构

用两块钛合金板，将待成形部位涂敷隔离剂，未涂隔离剂的部位先行扩散成一体，再使涂有隔离剂的部位成形，可制造帽形或波形等截面的整体加强构件。

(3) 夹层结构

用三块或四块钛合金板。在两个接触面上的一定部位涂敷隔离剂，先进行扩散连接随即超塑成形至最终构件。

图2为组合工艺过程示意图。

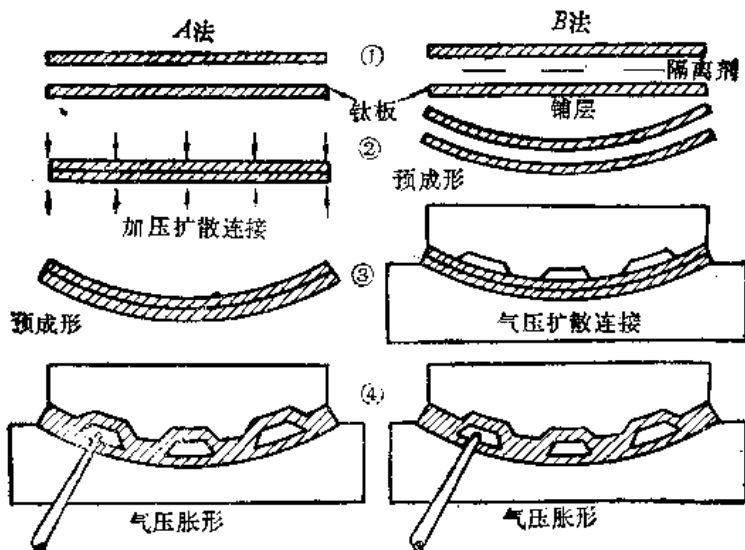


图2

图3为用四块钛板实现组合工艺的示意图。

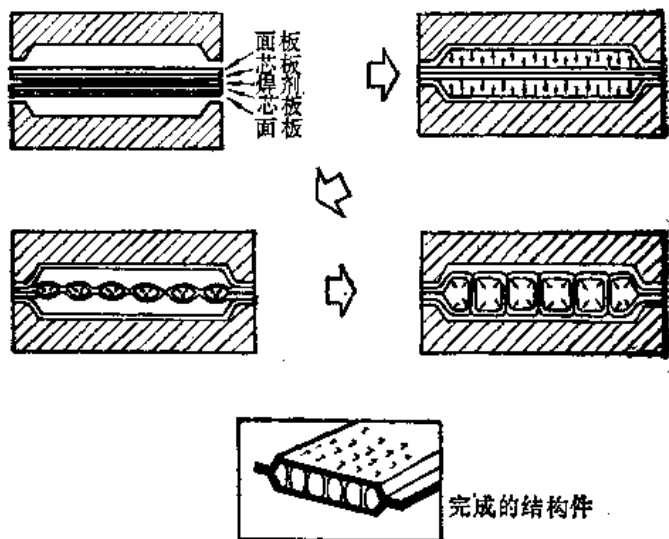


图3

图4为采用组合工艺的几种典型结构件。

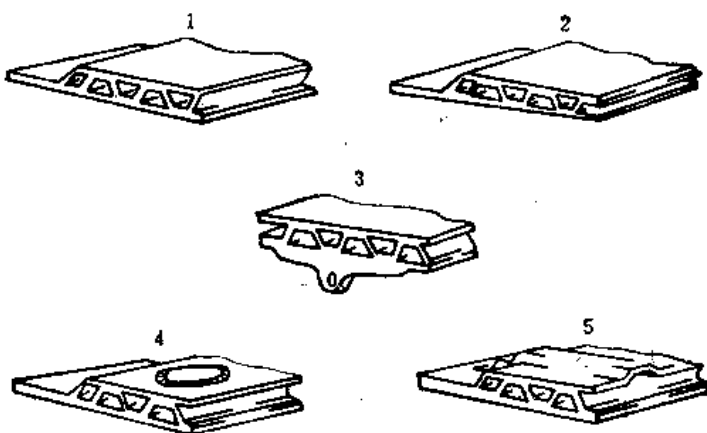


图4

1—波纹夹芯；2—带斜度；3—带接头；4—带贴片；5—带横向波骨。

3.7.8.3 隔离剂 (止焊剂)

采用合适的隔离剂是实现超塑性成形/扩散连接组合工艺的关键之一。

(1) 隔离剂材料

主要材料有: 石墨、氧化铝、氮化硼、钇和氧化钇等。以氧化钇较好
隔离剂的成分^[12]为:

丙烯酸塑模粉剂	50g;
乙酸丁酯	500mL;
丙酮	250mL;..
氧化钇	1000g。

(2) 隔离剂涂敷方法

可根据具体情况采用涂刷法、喷涂法或丝网漏印法等, 也可制成薄膜使用。

参 考 资 料

- [1] 后崎义博, 《压力机技术》, 第15卷, 第4号 (1977)。
- [2] 和泉修, 《金属材料》, 第16卷, 第8号 (1976)。
- [3] “TC4超塑性条件的初步研究”, 《航空材料》, 1978, No 1, P. 30.
- [4] Paton N.E., Trans. ASM. 10A Feb. (1979)。
- [5] Holt D.L., Trans. Met. Soc. AIME, Vol. 242, No 1 (1968)。
- [6] Holt D.L., Trans. Quarter, ASM. 59 (1968)。
- [7] 蕙有亲、林兆荣主编, 《钛板冲压成形技术》, 国防工业出版社, 1986年。
- [8] “结构合金超塑成形”, 《1982年国际讨论会论文集》, 1985。
- [9] Some guidelines for the design of components to be made in the Sup RAL alloys, Superform Metals Ltd, England, 81. 7.
- [10] AD845057.
- [11] 欧阳祖行等, 《钣金设备设计》, 国防工业出版社, 1982年。
- [12] 美专利4, 303, 570.

3.8 橡皮成形

3.8.1 定义与范围

橡皮成形是利用橡皮或液压橡皮囊作为弹性凹模（或凸模），使金属薄板按刚性凸模（或凹模）变形的一种成形方法。这里所说的橡皮包括各种类型的橡胶。

橡皮成形的分类和应用范围见下表。

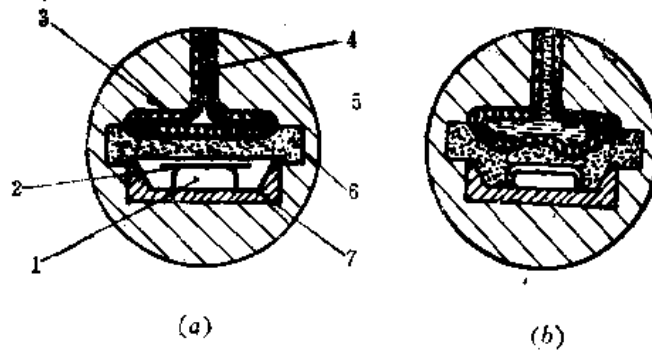
橡皮成形的分类和应用表

类	型	特 点	应用范围
液压橡皮囊成形	大台面橡皮成形机成形	工作台面积达 $1\sim 3\text{m}^2$ ，而且一般都有两个以上工作台轮流工作，可同时压制多种零件。各点成形压力基本上是均匀的，传压介质为液体，动力一般为液压泵，也可以用炸药	各种握板、肋板等零件，见3.8.3.1节图和3.8.3.2节图1、2、3、3.3节图1
	橡皮压延	见2.4.14节	锥形件、球形件、盒形件及不规则、不对称零件的压延，压延系数可达 $0.4\sim 0.45$
	胀形	见2.6.4节及2.6.5节	同左
橡皮垫成形	大台面橡皮垫成形机成形	成形中橡皮压力随橡皮硬度和压缩量而变，所以零件各处受力不一样，最大压力一般不超过 30MPa	主要用于钛合金热成形。在没有大台面橡皮囊液压机时可用橡皮垫成形机代替，但效果不如前者
	橡皮压延	见2.4.14节，但效果不如橡皮囊	同橡皮囊压延，但效果较差
	胀形	同橡皮囊胀形	同橡皮囊胀形
	闸压成形	以橡皮作为通用凹模在闸压床上对板材进行直线弯曲，详见2.3.6	用于直线型或纵向曲度很小的细长零件成形，特别适合于表面质量要求高的场合如飞机的机翼、尾翼的前缘

3.8.2 橡皮成形机

3.8.2.1 基本形式

各种压力机，主要是液压机，配上一个橡皮容框后都可用于橡皮成形，甚至机械冲床和落锤在保证不产生过大的偏心载荷的情况下，也可用于橡皮成形。本章所说的橡皮成形，除钛合金热成形外，都是指用大台面液压橡皮囊成形机成形。这类机床又分为框架式（如II307）和圆筒式两种，后者为钢丝缠绕结构，其结构重量和功率消耗都比同等吨位的框架式的小得多，但二者的工作原理是一样的，如图。



(a) 充压力油前 (b) 充压力油后
 1—成形模；2—毛料；3—橡皮囊；4—油液进出口；5—压力筒；6—橡皮外胎；7—可进出的活动工作台。

3.8.2.2 大台面液压橡皮囊成形机的技术参数

几种大台面液压橡皮囊成形机的主要参数见表。

液压橡皮囊成形机主要参数表

内 容	Y8	Y8	П307
总工作压力 (kN) (t)	60,000 6,000	80,000 8,000	96,000 9,600
最大单位成形压力(MPa)	50	100	40①
工作台尺寸, 长×宽(m ²)	2.0×0.64(垫板) 1.87×0.52(不垫)	1.2×0.64	1.2×2.0
工作台深度, (mm)	70(垫板) 110(不垫)	150	90
一个工作循环时间(s)	150	150	150
安装功率 (kW)	29	29	91.8
外廓尺寸, 长×宽×高 (m ³)	主 机 10.6×1.4×1.85	主 机 8.0×1.4×1.85	14.3×8.4×6.5
总重量 (kN) (t)	~300 ~30	~340 ~34	~2540 ~254

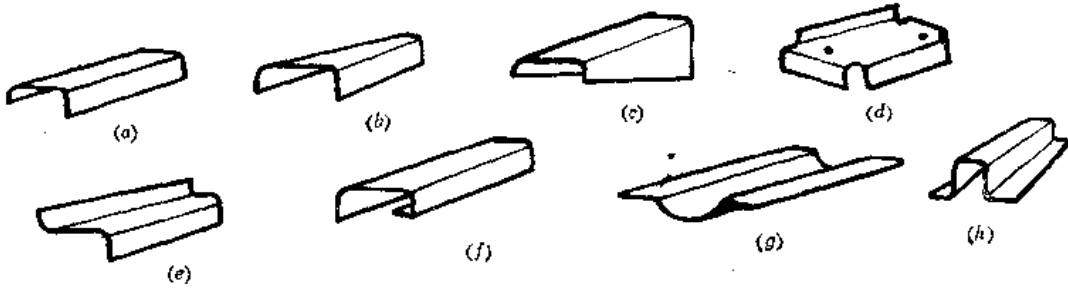
①П307设计单位压力为40MPa, 实际只能达到25~30MPa。

3.8.3 橡皮成形工艺

3.8.3.1 直弯边成形

3.8.3.1.1 典型零件

直弯边成形的典型零件如图所示, 直线弯边零件只有在下列情况下才适宜采用橡皮成形: (1) 用专用弯曲模在冲床上加工过于昂贵; (2) 用折边机或通用弯曲模不能保证尺寸精度。



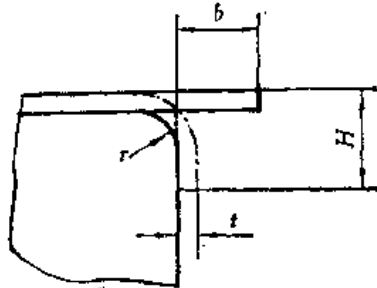
3.8.3.1.2 成形极限

顺利地成形需满足两个条件：(1) 不破裂：要求弯曲半径，即 $r/t \geq (r/t)_{min}$ ，数据见2.3.4节。(2) 压得动：一般要求

$$H/t \geq \sqrt{(\sigma_s + 0.133D)/q} \ominus$$

式中 σ_s ——屈服强度；
 D ——应变刚模量；
 q ——橡皮成形的单位压力。

对铝合金2024-0 当 $q=30\text{MPa}$ 时，可按 $b \geq 1.58 + 2.5t(\text{mm})$ 或 $H \geq 2 + 3.5t(\text{mm})$ 式中各符号的意义见图。

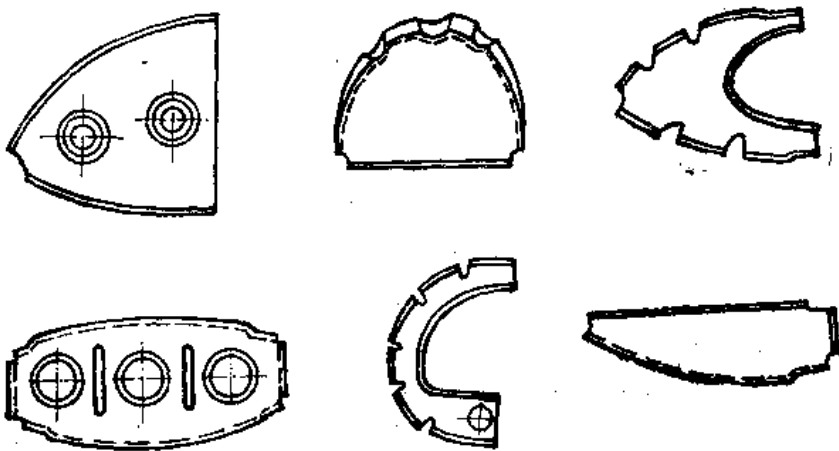


如果不能满足条件(2),可采取增加弯边高度，成形后再切去的办法，或者设法对变形区局部增压。

3.8.3.2 凸弯边成形

3.8.3.2.1 典型零件

橡皮成形凸弯边典型零件如图所示。



⊖ 《飞机零件钣金工艺》，南京航院，1973年。

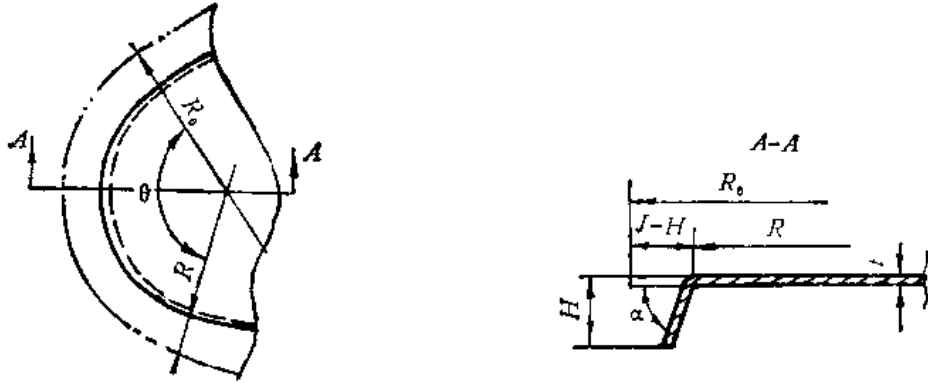
3.8.3.2.2 成形极限

3.8.3.2.2.1 定义

凸弯边成形极限是指弯边的皱纹高度不超过容许值时的极限变形程度,通常用 $K_t = (R_0 - R)/R_0 \approx H/(R+H) \approx H/R$ 近似地表达。它与四类因素有关:(1)材料(种类、状态、厚度);(2)成形条件(压力、橡皮硬度、成形方法、成形温度);(3)零件的形状、尺寸;(4)检验技术要求(容许的皱纹高度和不贴模度)。

和直线弯边一样,曲线弯边的相对弯边高度 H/t 也不能太小。

凸弯边成形结构参数见图。



3.8.3.2.2.2 凸弯边成形极限参数

凸弯边成形的极限值有很多图表和经验公式,较适用的经验公式推荐如下:

$$K_t = \frac{H}{R} = 0.185 K_A \sqrt[3]{\frac{t}{R} \cdot \frac{q}{\sigma_s}} \quad (1)$$

此式是在波纹残留高度为0.2mm时得出的。式中, K_A 对LY12M为 $2e^y$;对低碳钢为 $2e^{\frac{y}{2}}$;对1Cr18Ni9Ti为 $2e^{\frac{y}{3}}$, e 是自然对数的底。 y 为橡皮硬度指数, $y = (0.016A - 0.64)^{1.5}$; A = 橡皮的邵氏硬度;

$$K_t = \frac{H}{R} = K \left(\frac{t}{R} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{q}{\sigma_s} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\Delta}{0.2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

K 对低碳钢和不锈钢为1.3;对高强度铝合金如LC4M为1.4;对一般的铝合金如LF21M、LY12M、LF2M等为1.5。

Δ ——容许的皱纹高度, mm。

$$K_t = \frac{H}{R} = 0.545 \left(\frac{t}{R} \right)^{0.435} \quad (3)$$

此式适用于新淬火状态的LY12及 $q \approx 30\text{MPa}$ 。

采用表格和曲线来确定成形极限可能更为方便。当单位压力 $q=8\text{MPa}$ 时，可按 4.5.9.1 节表。当 $q=40\text{MPa}$ 时，橡皮压制凸、凹弯边成形极限可查下面的表：

$q=40\text{MPa}$ 时橡皮压制凸、凹弯边成形极限表 (mm)

材 料		平 面 的 弯 曲 半 径 R									
		凸 弯 边					凹 弯 边				
牌 号	厚度 t	50	100	200	500	1000	50	100	200	500	1000
		弯 边 高 度 H									
LY12M	0.5	5	7.5	11	20	35	9	15	24	50	80
	1.0	8.5	10	14	25	40	11	18	30	57	80
	1.5	(9)	(14.5)	18	30	42	12	21	34	65	80
	2.0	(10)	(14.5)	20	34	50	(13)	(23)	39	75	80
LF21M	0.5	6	9.5	15	27	43	11	18	24	55	80
	1.0	9	12	19	34	52	14	22	34	60	80
	1.5	(10)	14	22	40	60	17	27	40	70	80
	2.0	(11)	(16)	24	45	66	(20)	29	43	80	80
LC4M	0.5	4.5	7	10	20	36	10	16	22	45	80
	1.0	6	9	13	23	40	13	20	30	50	80
	1.5	7	11	15	27	43	(16)	24	36	60	80
	2.0	8	(12)	19	30	49	(18)	28	40	70	80
20	0.5	2.5	3.5	5	10	19	14	22	34	70	80
	1.0	(3.5)	5	7	11.5	21	18	29	43	80	80
	1.5	(4)	(6)	(9)	13.5	23	(19)	32	52	80	80
	2.0	(4.5)	(6.5)	(10)	16.5	25	(21)	(36)	59	80	80
1Cr18Ni-9Ti	0.5	2.5	4	5	6	8	17	31	52	80	80
	1.0	(4)	5	6	9	12	(19)	34	60	80	80
	1.5	(5)	(7)	9	13	15	(20)	(38)	65	80	80
	2.0	(6)	(8)	11	15	20	(21)	(39)	68	80	80

注：1. 括号内的尺寸需经手工修整才能达到；

2. 受机床结构限制，最大弯边不能超过80mm。

LY12M和LC4M凸弯边成形极限也可分别查图 1 和图 2。

提高单位成形压力 q 可以扩大凸弯边成形区，提高成形精度，减少手工修整量，这点可从凸弯边成形极限区域图 3 和单位压力对回弹的影响图 4 中看到。

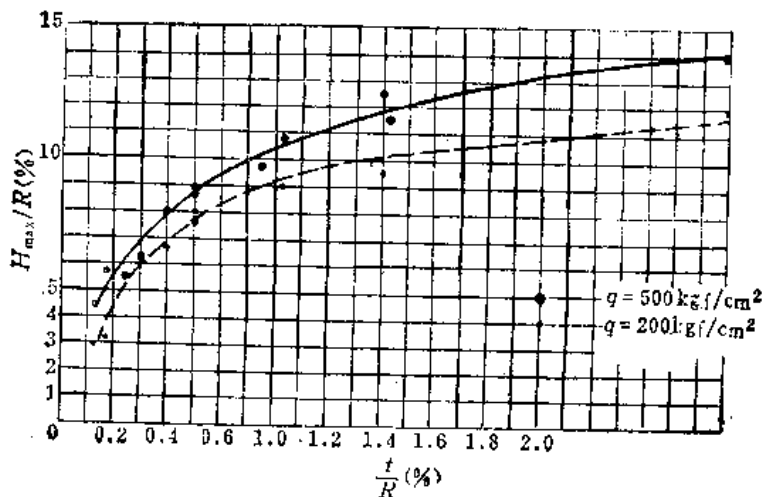


图1

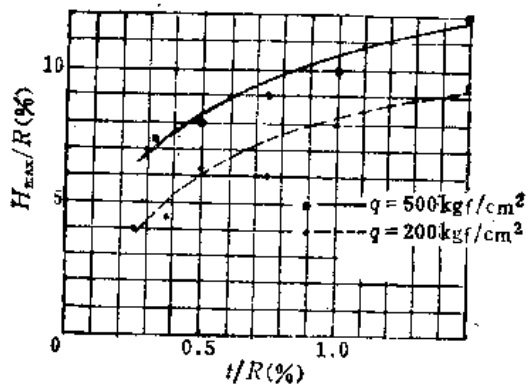


图2

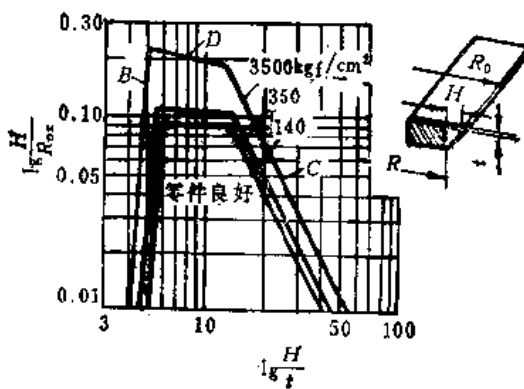


图3

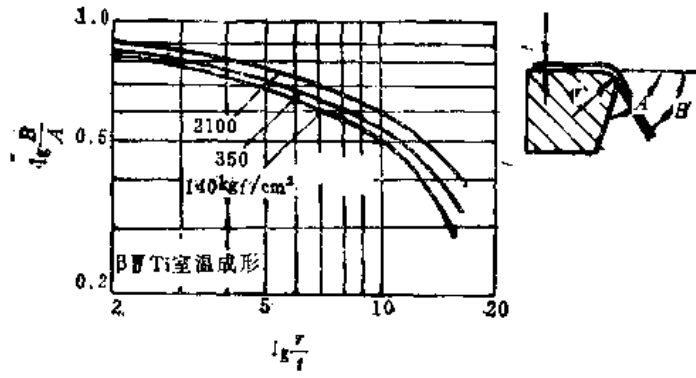
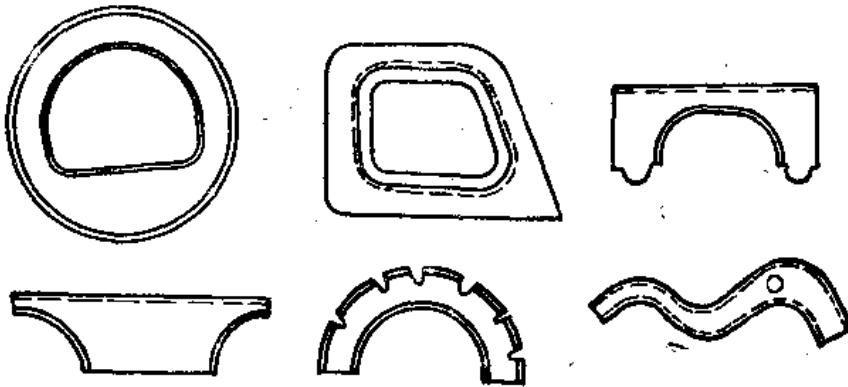


图4

3.8.3.3 凹弯边成形

3.8.3.3.1 典型零件

橡皮成形凹弯边典型零件见图。

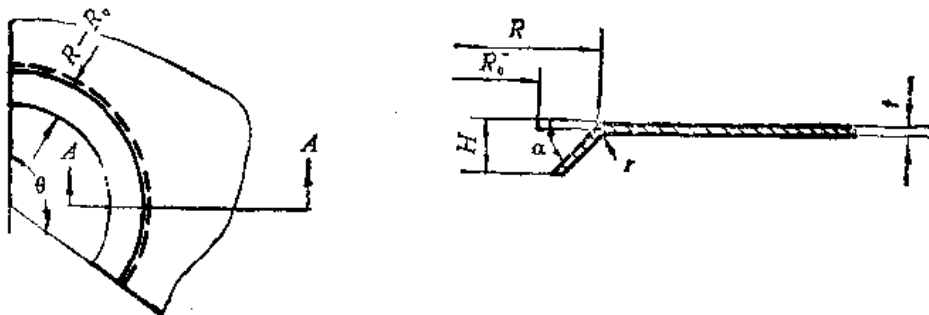


3.8.3.3.2 成形极限

3.8.3.3.2.1 定义

凹弯边成形极限是指弯边靠胎间隙不超过容许值（通常为0.3~0.6mm）且不产生破裂的变形程度。常用 $K_A = \frac{R-R_0}{R_0} \approx \frac{H}{R-H} \approx \frac{H}{R}$ 来表示。凹弯边成形的结构参数见图。

K_A 的极限值除和 K_r 极限值中的四类因素有关外,还和毛料边缘的粗糙度和冷硬程度有很大关系。



3.8.3.3.2.2 凹弯边成形极限参数

一、经验公式

表1. 橡皮成形凹弯边成形极限经验公式

材 料	成 形 极 限	成 形 条 件 和 应 用 范 围
LY12M, LC4M	$K_A < (0.15 \sim 0.2)$	在新淬火状态下成形, $\alpha = 90^\circ$
LY12M 退火或新淬火状态	当 $\frac{t}{R} < 0.005$ 时 $\frac{H}{R} \leq 27 \frac{t}{R}$ 当 $\frac{t}{R} > 0.005$ 时 $\frac{H}{R} \leq 0.13 + \frac{1.5t}{R}$	毛料边缘无毛刺, $\alpha = 90^\circ$
2024-0	$\frac{H}{R} \leq 0.2$	$t \leq 1.8\text{mm}$, 边缘无刀痕和毛刺
7075-0	$\frac{H}{R} \leq 0.16$	同 上
MB8	$K_A < (0.85 \sim 1.04)$	边缘用砂纸打光, 加温至 300°C
TA2, TA3	$K_A < (0.4 \sim 0.5)$	同 上
铝合金 不锈钢 钛合金	$R_{min} = \frac{H-J}{E} + (H-J)K_r$	边缘无刀痕和毛刺, 常温成形

注: J —回缩量 (Setback), $J = H - (R - R_0)$, mm;

K_r —半径系数, 见表2;

E —允许的弯边边缘单位伸长率, 见表3。

表2. 半径系数 K_r

扇 形 角 ($^\circ$)	弯 角 α ($^\circ$)								
	120	110	100	90	80	70	60	50	40
≤ 5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6~30	—	—	—	0.7	—	—	—	—	—
31~90	—	—	—	1.0	—	—	—	—	—
91~180	—	—	—	1.2	—	—	—	—	—
181~360	—	—	—	1.4	—	—	—	—	—
90	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5

表3. 允许的弯边边缘单位伸长率E

材 料	E			
	t < 1 (mm)	t = 1-2.2 (mm)	t = 2.3-2.5 (mm)	t = 3.2 (mm)
2014-0, 2024-0, 2219-0	0.18	0.22	0.23	0.26
2024-73	0.15	0.19	0.21	—
6061-0	0.24	0.29	0.31	0.35
6061-74	0.16	0.2	0.22	—
7075-0	0.15	0.18	0.19	0.22
301和302不锈钢(退火)	0.41	0.5	0.52	0.59
301和302不锈钢(淬硬)	0.19	0.25	0.27	—
321和347不锈钢	0.33	0.40	0.42	0.47
17-7PH(退火)	0.16	0.20	0.21	0.23
因康718 (A, ST)	0.24	0.30	0.31	0.35
AMS4902钛(室温)	0.16	0.20	0.21	0.23
DMS1536钛(室温)	0.12	0.15	0.15	0.17
DMS1992钛(室温)	0.07	0.08	0.1	—

二、凹弯边成形极限表

当单位压力 $q=8\text{MPa}$ 时, 常用铝合金的成形极限可按HB0-18-83, 见4.5.9.2节表。 $q=40\text{MPa}$ 时可查3.8.3.2.2.1节的表列成形极限。

三、凹弯边成形极限曲线

(1) LY12M凹弯边成形极限见图1⁽²⁾。

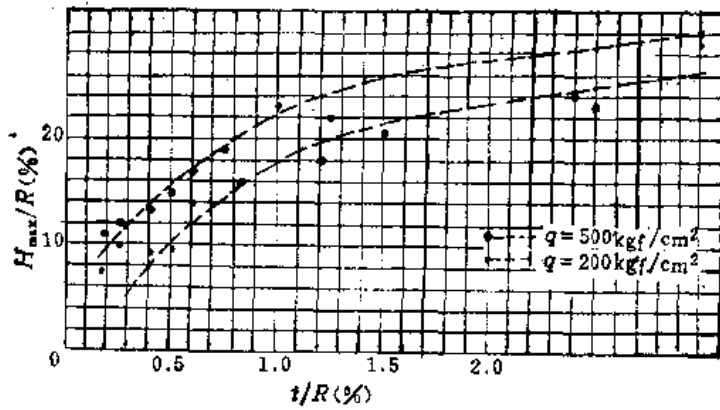


图1

(2) LC4M凹弯边成形极限见图2⁽³⁾。

(3) 2014-0, 2024-0, 2019-0, 6061-0凹弯边成形极限见图3。

(4) 2024-73, 6061-74, 7075-0, AMS4902钛凹弯边成形极限见图4。

(5) 退火300系列不锈钢凹弯边成形极限见图5。

(6) DMS1536钛凹弯边成形极限见图6。

(7) L70, L72, L73凹弯边成形极限见图7。

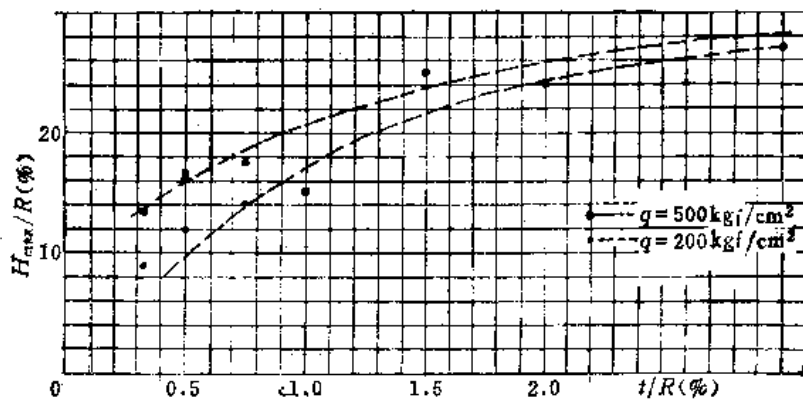


图2

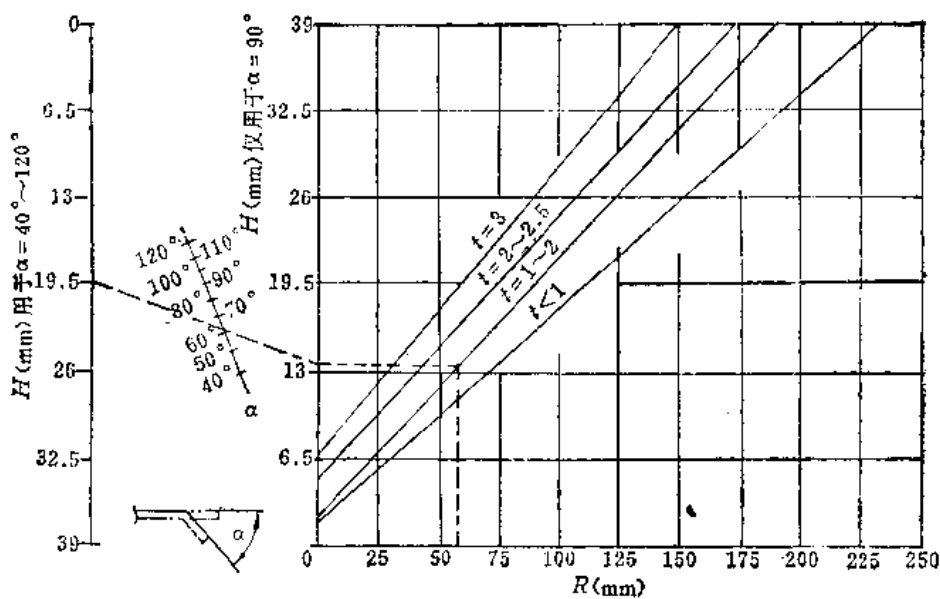


图3

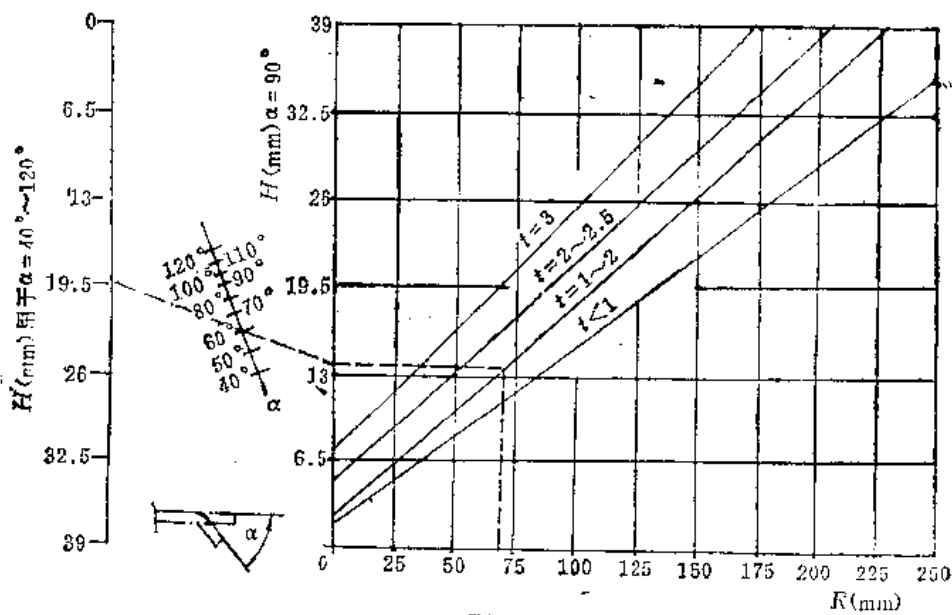


图4

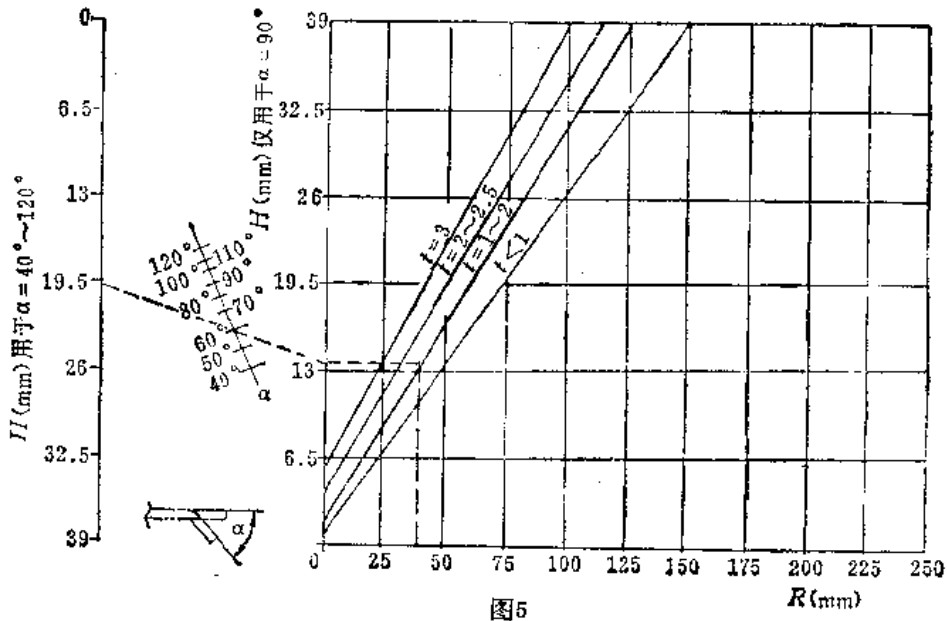


图5

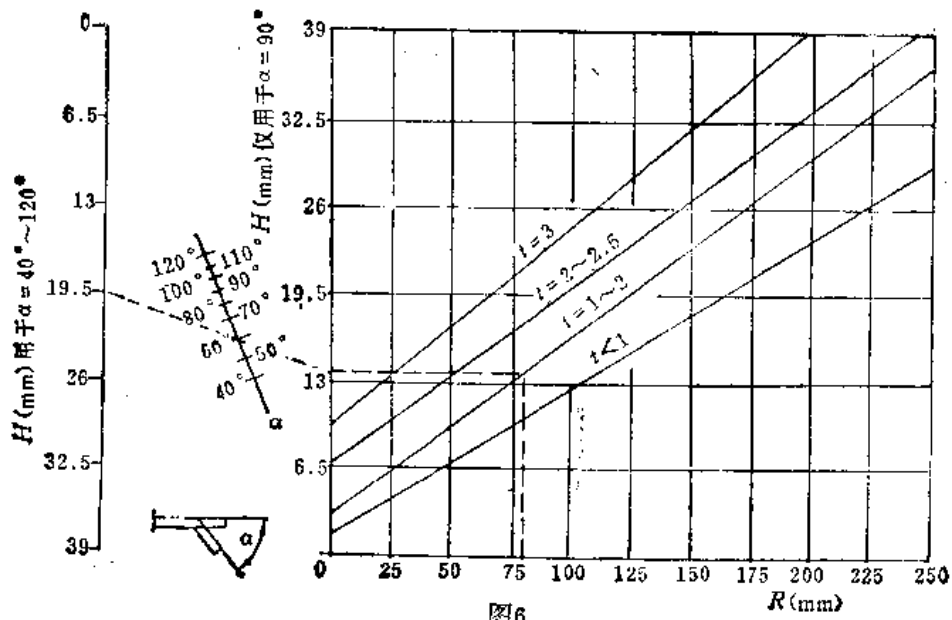


图6

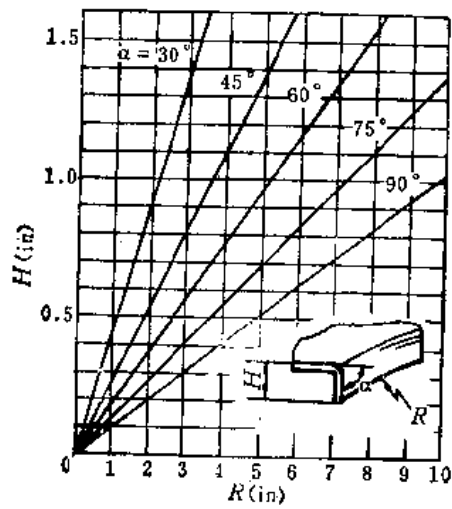


图7

3.8.3.4 其它结构要素的橡皮成形

其他结构要素的橡皮成形见表1~表3, 梗的尺寸见图。

表1. 其它结构要素的橡皮成形

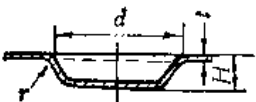
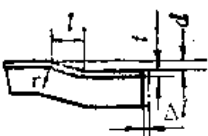
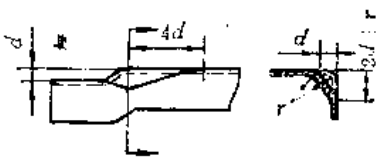

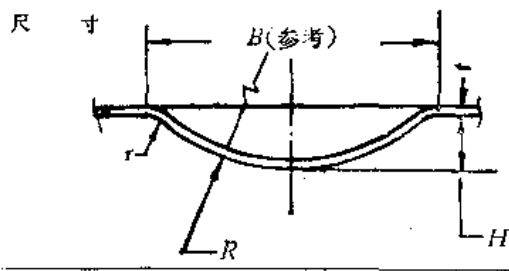
名称	成形极限	工艺指示
减轻孔	1. 见2.5.4.2节 2. HB0-14和HB0-160不存在破裂问题	1. 成形前毛料一般是退火状态, 只有当变形率很小(翻边系数 $K = \frac{d}{D} > 0.8$)才可考虑用硬料; 2. 预制孔边缘应光滑无毛刺, 无工具痕迹或伤痕; 3. 不推荐用橡皮进行成形、冲孔的复合工序; 4. 成形前不可在毛料的减轻孔中心钻工具孔
加强窝	1. 压不动问题, $q > \frac{4t\sigma_s}{d}$  2. 不破裂, 按以下尺寸比例: 对2024-0, 6061-0 $d:H:r \approx 1:0.2:0.3$ 对7075-0 $d:H:r \approx 1:0.2:0.6$ 3. HB0-13和HB0-161不存在破裂问题	1. 应尽量采用凹模成形; 2. 当边距较小时应采取的措施(如加压板, 放大毛料等)阻止窝周围材料流动, 以减少总的变形; 3. 较大的窝(特别是 $\frac{r}{d} < 0.02$ 时)应在模腔根部开排气孔(孔径 $\approx \phi 3$, 数量视 d 而定, $d < 150\text{mm}$ 时一个排气孔即可); 4. 加强窝中心不得钻孔
下陷	1. 弯曲半径 $r \geq$ 最小弯曲半径  2. 过渡区长度 l : 铝合金成形应遵照HB0-21-75或按以下关系式: 对退火的铝、钢和钛板: $l \geq 4d$ 或 $4t$, 取大数对热处理后的铝合金 $l \geq 6d$ 或 $6t$, 取大数	1. 为避免成形后手工修整, 可采用局部成形模块或将成形模下陷过渡区削磨  2. 对难成形的下陷(硬料或深下陷)如果平面上无配合关系, 可采用置换型下陷, 如图所示:  3. 下陷深度 $d \leq 3\text{mm}$ 时, 下陷引起的长度收缩量 Δl 通常不大于 0.5mm , $d > 3\text{mm}$ 时 $\Delta l \approx (0.2-0.3)d$, 展开料端头应按此放出收缩余量; 4. 下陷应一次成形, 不应反复压制; 5. 下陷区不允许打检验钢印
梗(加强筋)	1. HB0-11压梗通常都不能一次压制成形 2. 建议采用表2、表3和曲线图提供的数据设计压梗	1. 用凸模成形比用凹模成形的容许变形量大, 但零件变形也大, 应尽量采用凹模成形; 2. 在毛料和成形模之间垫1~2mm厚软橡皮进行预成形, 再在新淬火状态下成形, 可显著提高铝合金的变形程度; 3. 润滑在橡皮局部成形中只能加剧变形的不均匀性, 故不宜采用

表2. 一次压制成形的压梗

(mm)



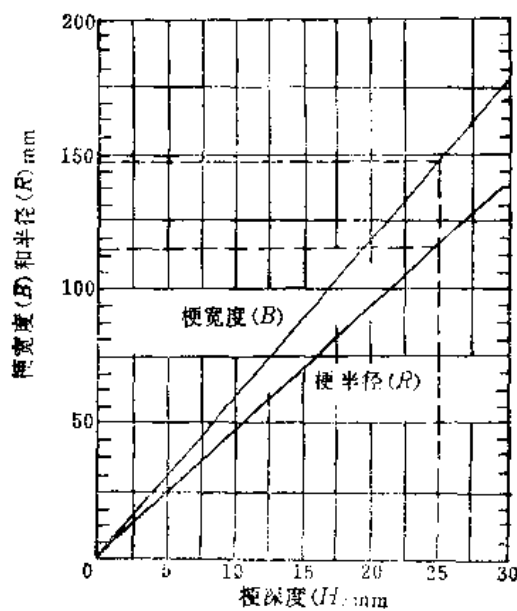
尺寸				厚度 (t)					
				退火的铝		退火的不锈钢		退火的钛	
$H_{-1.5}$	$R^{+1.1}$	B (参考)	r	$t_{最好}$	$t_{最大}$	$t_{最好}$	$t_{最大}$	$t_{最好}$	$t_{最大}$
6.35	24	37	6.35	1.0	3.2	1.27	2.54	1.0	1.6
7.9	32	46.5	6.35	1.27	3.2	1.6	3.2	1.0	1.6
8.65	38	55	6.35	1.6	3.2	2.0	3.2	1.6	2.54

表3. 两次压制成形的梗^①(仅用于铝合金)

(mm)

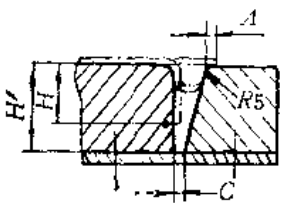
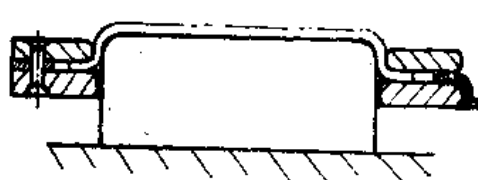
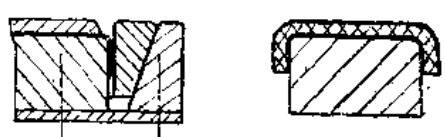
项目	尺寸						
$H_{-1.5}$	12.7	19	25.4	32	38	44.5	51
$R^{+2.7}$	28.5	47	64	82	100	117	135
B (参考)	54	81	108	135	162	189	216
$t_{最好}$	1.27	2.0	2.5	3.2	3.2	3.2	3.2
$t_{最大}$	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2

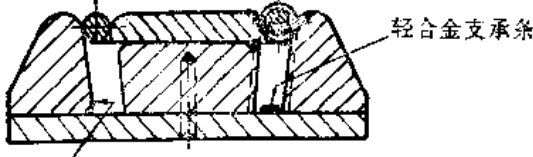
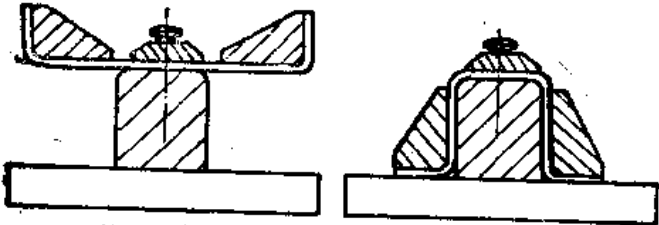
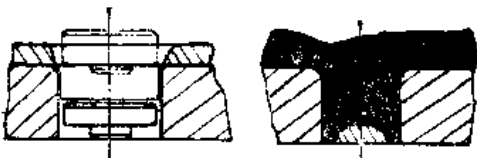
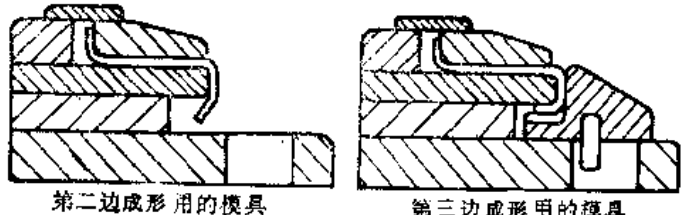
①在退火状态下作部分成形(平均变形量约10%)然后在新淬火状态下最后成形。



3.8.4 减少橡皮成形零件手工修整量

减少橡皮成形后手工修整量的措施表

方法	特 点	适用范围																								
(一) 铝合金新淬火料成形	<p>1. 工艺流程:</p> <p style="text-align: center;">↓人工时效↓</p> <p>副平板展开料→淬火→冷藏→校平→成形→校正→表面处理</p> <p>2. 主要工艺参数:</p> <p>① 冷藏温度: 经济冷藏温度为$-15 \pm 5^\circ\text{C}$, 最多冷藏时间为3~5天;</p> <p>② 采用多辊校平机的校平次数一般为一次, 特殊情况下亦不得超过两次;</p> <p>③ 淬火后零件在室温下的停留时间不得超过0.5~1h, 必须在此时间内完成全部成形、校正工序</p>	<p>1. 经过一次或两次压制就能完全成形, 不需要预先或随后进行手工成形的零件;</p> <p>2. 平面尺寸较大(100×100以上), 结构刚性差, 淬火后变形较大者</p>																								
(二) 减少回弹	<p>1. 橡皮成形中的回弹主要是角度回弹, 回弹量$\Delta\alpha$可按式计算</p> $\Delta\alpha = K_1 \left(\frac{3\sigma_s r}{E \cdot t} + \frac{D}{E} \right) \alpha' + K_2$ <p>式中: K_1为与成形压力有关的系数, 当压力为20~40MPa时, $K_1 = 1.065$; r为弯曲半径; E为弹性模量; D为应变刚模量; K_2为与变形率和变形方式有关的系数, 当变形率K_t或K_A小于2%时$K_2 = 0.5^\circ \sim 1^\circ$; $\alpha' = 180^\circ - \alpha$, 对LY12新淬火料, 当$\alpha = 90^\circ$时, 上式可简化为:</p> $\Delta\alpha \approx 0.9 \frac{r}{t} + 2.5$ <p>2. 在成形中增加弯边的径向拉力可有效的减小回弹</p> <p>3. 增加单位压力引起$\Delta\alpha$的减小量一般不超过$2^\circ \sim 3^\circ$</p> <p>4. 热成形基本可消除回弹</p>	<p>1. 根据计算值或实际回弹量在成形模上测出回弹角效果最好, 但这种成形模不能作为检验依据</p> <p>2. 用侧压板或加大毛坯尺寸使成形中产生拉力而有效的减小回弹的办法适用于凸曲线弯边</p> <p>3. 用刚性模块或4~12mm厚的聚氯乙烯板(P.V.C)按成形模热压成压盖进行精压, 适于凸凹曲线弯边</p> <p>4. 热成形适于钛合金、镁合金</p>																								
(三) 减少和降低皱纹	<p>1. 用侧压板阻止和延缓皱纹产生⁽³⁾</p>  <table border="1" style="margin-left: 100px;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="5">单位: mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>弯边高度H</td> <td>50</td> <td>40</td> <td>35</td> <td>30</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>搭接量A</td> <td>10</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>底部距离C</td> <td>15</td> <td>14</td> <td>13</td> <td>12</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table> <p>2. 用拉伸环(薄板压延模)限制皱纹高度</p>  <p>3. 用消皱块或塑料压盖作第二次精压</p> 		单位: mm					弯边高度H	50	40	35	30	20	搭接量A	10	9	8	7	5	底部距离C	15	14	13	12	10	<p>1. 用于$4\% < K_t < 10 \sim 20\%$的凸弯边成形</p> <p>2. 用于$10\% < K_t < 25\%$弯角$\alpha' = 90^\circ \pm 10^\circ$ H $\geq 20\text{mm}$</p> <p>3. 用于校平第一次成形时产生的正常皱纹</p>
	单位: mm																									
弯边高度H	50	40	35	30	20																					
搭接量A	10	9	8	7	5																					
底部距离C	15	14	13	12	10																					

方法	特 点	适用范围
(四) 用辅助模块增加成形精度 ⁽⁴⁾	1. 用滚棒 	1. 用于直弯边的下陷和角度校正;
	2. 用活动模块 	2. 用于有反向弯边的多次弯曲;
	3. 用芯模块和锥形垫 	3. 用于孔翻边;
	4. 用活动模块 	4. 用于“C”型弯边成形

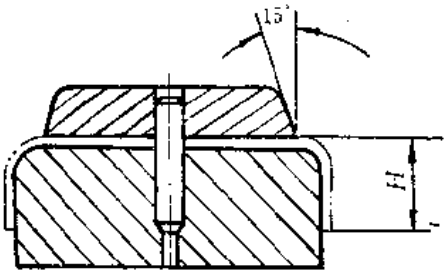
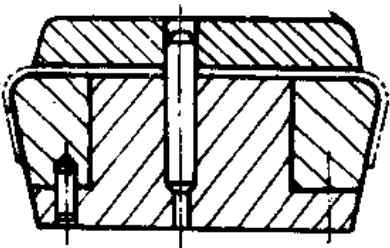
3.8.5 橡皮成形模

橡皮成形模的材料、结构和应用见下表。

橡皮成形模的结构和应用

材 料	应 用
1. 杂铝板 2. 低碳钢板 3. 锌合金、铸铝、铸钢、低熔点合金 4. 聚氟乙烯塑料板 (P, V, C) 5. 环氧树脂	1. 用于铝、镁等轻合金的成形模及各类成形模的压板 2. 用于钢、不锈钢、钛合金零件成形模或镶块、滑动模块 3. 用于用铸造方法制造的成形模, 产品材料厚度 > 3mm 或表面质量要求不高的零件 4. 用作压板或长度 < 500mm 的轻合金零件成形模 5. 用移形方法制造的, 圆角半径 $r > 3\text{mm}$ 的成形模

(续)

材 料	应 用
结 构	应 用
<p>1. 成形模本体</p> <p>①整体式</p>  <p>②可分解式</p>  <p>③成形模高度\approx零件最大弯边高度$+$(~ 10)mm ④工作面粗糙度不超过Ra3.2μm.</p> <p>2. 压板</p> <p>①用压板,一般厚度10\sim15mm</p> <p>②不用压板</p> <p>3. 销钉</p> <p>①固定于成形模本体 ②固定于压板 ③活动销钉(大头销钉)</p> <p>4. 切削线</p> <p>①划切削线 ②无划切削线</p> <p>5. 搬运装置: 在成形模和压板上制螺孔或圆孔,用可卸吊环或吊钩搬运</p>	<p>①用于非闭斜角或厚度小于0.8mm, 闭斜角不超过5°的成形模</p> <p>②闭斜角“Π”形或环状弯边</p> <p>③成形模最大高度受机床容程规格限制,通常不超过80\sim90mm.</p> <p>①固定毛料: 保护不需成形的部位; 担当成形任务(相当于凸模或凹模); 保护成形模本体薄弱的悬空部位; 保护成形模表面 ②无上列之任何需要时</p> <p>①一般情况 ②闭斜角零件 ③成形模与压板互为压板或闭斜角不用压板时, 塑料模不能采用, 除非镀钢衬套</p> <p>①按切面样板制造或移形塑造的成形模, 需按切削线加工和检验时 ②切削线不作为加工和检验依据时</p> <p>重量在20kg以上时应设置</p>

3.8.6 橡皮垫容框

3.8.6.1 容框材料和结构

容框选材和结构设计的基本要求是:

- (1) 应选用塑性良好的低碳钢, 不要采用铸铁。
- (2) 尽量采用环形等强度结构, 如图1。
- (3) 矩形容框宜采用焊接结构, 如图2。
- (4) 容框深度应按橡皮垫最大压缩量 f 确定(见图3):

$$h = 3f + (10 \sim 20) \text{mm}$$

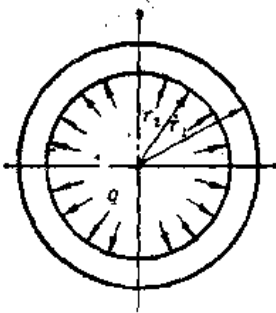


图1

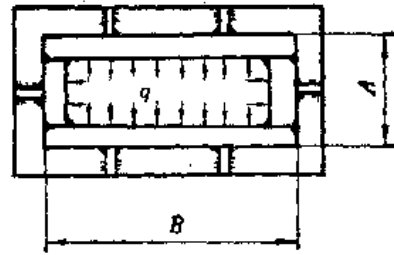


图2

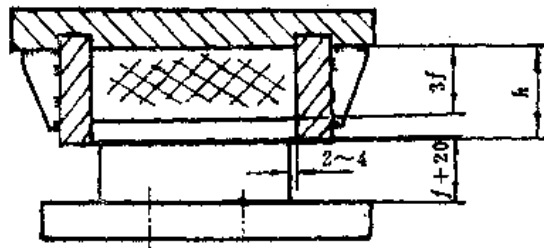


图3

3.8.6.2 橡皮容框的壁厚

(1) 环形容框：按厚壁容器计算：

$$\frac{2qr_1^2}{r_1^2 - r_2^2} \ll [\sigma] \quad (1)$$

式中 q ——按橡皮最大压缩量确定的单位压力，MPa；

r_2 ； r_1 ——环的内、外半径，mm；

$[\sigma]$ ——材料的拉伸许用应力，MPa。

(2) 矩形容框：按长边进行计算。将其视作一边固定，两边简支，第四边自由，受均布载荷 q 的板件^[4]。自由边中点的挠度 $y_{max} \ll (0.0003 \sim 0.0005)L$ 。

而
$$y_{max} = k \frac{qh^4}{E\delta^3}$$

取
$$y_{max} = k \frac{qh^4}{E\delta^3} \ll 0.0004L$$

于是
$$\delta \geq \sqrt[3]{\frac{kqh^4}{0.0004EL}} \quad (2)$$

式中 δ ——容框厚度；

k ——随 h/L 而变的系数，为安全计，可取其最大值1.4；

q ——容框内的橡皮单位压力，一般不超过50kgf/cm²；

h ——容框深度，由零件成形高度和橡皮的压缩量确定，通常取 $h=4f$ ， f 为橡皮的最大压缩量；

L ——容框长边的长度，根据成形零件的长度再放长约200毫米确定。

当 k 、 q 均取最大值， E 取 $2 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 时上式将简化为：

$$\delta \geq 0.4h \sqrt[3]{\frac{h}{L}} \text{ cm} \quad (3)$$

式中的单位均为 cm 。

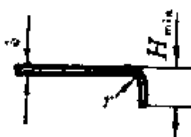
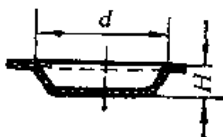
3.8.7 橡皮成形零件设计的工艺性

- (1) 零件尺寸不要超过液压机的工作范围，弯边高度一般不要超过 75mm ；
- (2) 弯边尽可能向一个方向，梗、加强窝、减轻孔等最好和弯边方向一致；
- (3) 弯边角度尽量用直角或开斜角，避免闭斜角和“C”形弯边；
- (4) 弯曲半径、凸曲线弯边、凹曲线弯边、梗、压窝等的尺寸都不要超过成形极限，必要时可采用在弯边上开切口或制刚皱(HB0-19-83, HB0-20-83见4.5.7节)；
- (5) 弯边不要搭接或对接；
- (6) 避免在弯边上开直径大于 $\phi 15$ 的孔，也不要再弯边上制梗、加强窝和孔；
- (7) 避免阶梯形的厚度变化；

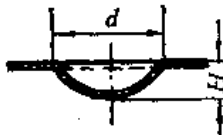
3.8.8 钛合金橡皮热成形

3.8.8.1 工艺参数(表1)

表1. 钛合金橡皮热成形工艺参数

项 目	材 料	常 温 $q=40\text{MPa}$	毛料加热至 300°C $q=7\text{MPa}$	毛料加热至 550°C $q=10\sim 12\text{MPa}$
90°弯边的最低高度 H_{\min} 	BT1 OT4-1 OT4, BT4	(14~15) t (15~16) t (18~18) t	(8~10) t (10~12) t (12~14) t	— — —
回弹角 $\Delta\alpha$ (当弯曲半径 $r=3t$ 时)	BT1 OT4-1 OT4, BT4	$7^\circ\sim 9^\circ$ $8^\circ\sim 12^\circ$ $12^\circ\sim 15^\circ$	$3^\circ\sim 4^\circ$ $6^\circ\sim 8^\circ$ $10^\circ\sim 12^\circ$	— — —
凸弯边不需手工修整的成形 极限 $K_s \approx \frac{H}{R}$	BT1 OT4-1 OT4, BT4	≤ 0.5 ≤ 0.4 ≤ 0.3	$1.0\sim 1.5$ ≤ 0.3 ≤ 0.5	$1.0\sim 1.5$ $0.8\sim 1.0$ $0.5\sim 1.0$
凹弯边成形极限 $K_s \approx \frac{H}{R}$	BT1 OT4-1 OT4, BT4	$0.6\sim 0.7$ $0.4\sim 0.62$ $0.25\sim 0.5$	$0.7\sim 0.8$ $0.7\sim 0.8$ —	— — $0.6\sim 0.7$
局部成形平面压坑 $\frac{H}{d}$ 值 	BT1 OT4-1 OT4, BT4	$0.22\sim 0.24$ $0.20\sim 0.22$ $0.1\sim 0.17$	> 0.3 > 0.3 —	— — $0.16\sim 0.22$

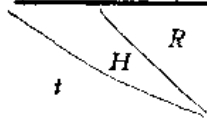
(续)

项 目	材 料	常 温 $q=40\text{MPa}$	毛料加热至 300°C $q=7\text{MPa}$	毛料加热至 550°C $q=10\sim 12\text{MPa}$
局部成形球面压坑 $\frac{H}{d}$ 值 	BT1	0.44~0.48	>0.5	—
	OT4-1	0.37~0.42	>0.5	—
	OT4, BT4	0.2~0.35	—	0.25~0.3

注：表列参数根据苏联ВИАМ生产说明书№642-60，表中材料BT1, BT1-1, OT4-1, OT4分别和我国的TA1, TA2, TC1, TC2相近。

凸曲线弯边若超过表中数值就要进行中间退火并进行手工修整，对BT1-1, OT4-1合金，其弯边高度见表2。在表列范围内压制时不会形成死皱。BT1-1成形温度为 $350\sim 400^{\circ}\text{C}$ ，OT4-1为 $500\sim 650^{\circ}\text{C}$ 。

表2. BT1-1, OT4-1不形成死皱的成形极限 (mm)

	75	100	150	200	300	400	500	600	800	1000
	0.8	12	13	15	17	22	26	28	36	40
1.0	12	14	16	18	24	28	34	38	45	45
1.2	—	15	18	20	26	32	39	44	50	55
1.5	—	—	20	22	28	36	42	48	55	65
1.8	—	—	21	24	30	40	48	55	65	75
2.0	—	—	22	26	34	44	52	60	75	85

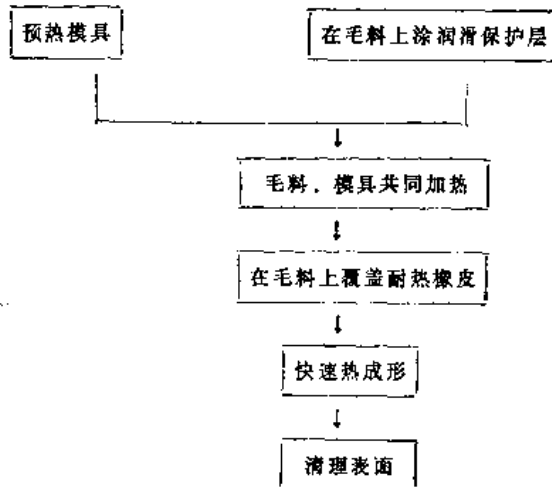
注：1. 符号 t 、 H 、 R 代表的意义见3.8.3.2.2.1节图；

2. 表列参数根据苏联ВИАМ生产说明书№642-60。

3.8.8.2 钛合金橡皮热成形工艺

3

3.8.8.2.1 典型工艺流程



3.8.8.2.2 成形设备

利用专用橡皮垫热成形机床，其结构和加热原理见图1和图2。在试制和小批量生产时也可用橡皮容框落锤。

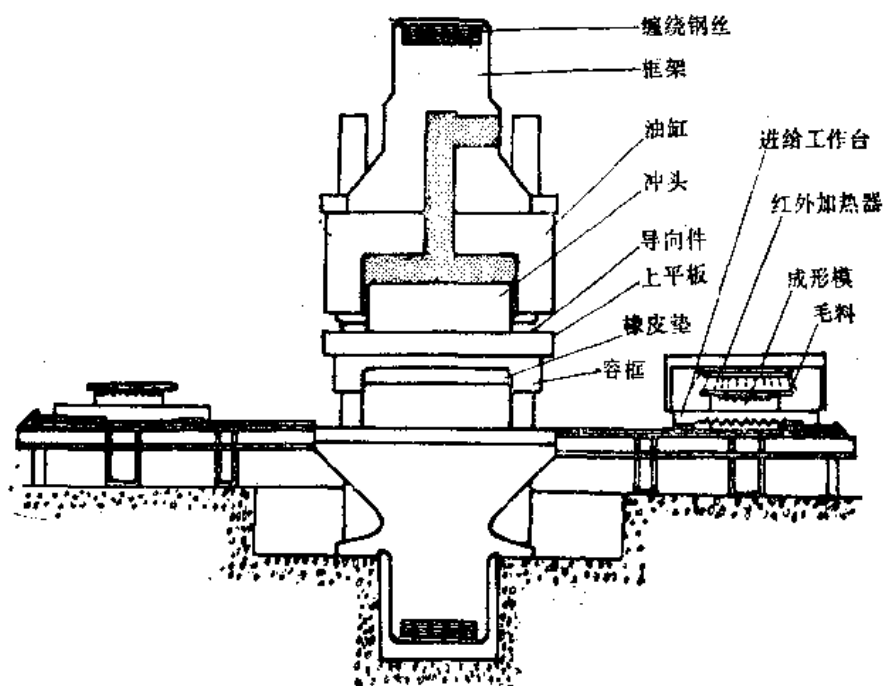


图1

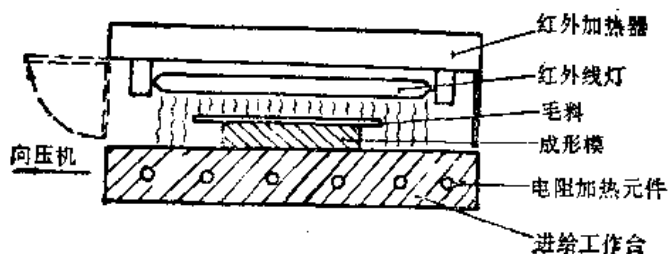


图2

3.8.8.2.3 成形模技术条件

- (1) 勿需考虑回弹；
- (2) 底面要平整、光滑，以提高加热效率，缩短加热时间；
- (3) 零件精度要求高或尺寸较大时 ($>300\text{mm}$)，模具应按缩比尺寸制造，缩比计算方法见3.8.8.3节。

3.8.8.2.4 加热方法

- (1) 模具主要靠电热平台从底部加热；
- (2) 毛料主要用红外加热器在容框外加热至略高于成形温度，成形时不再加热。

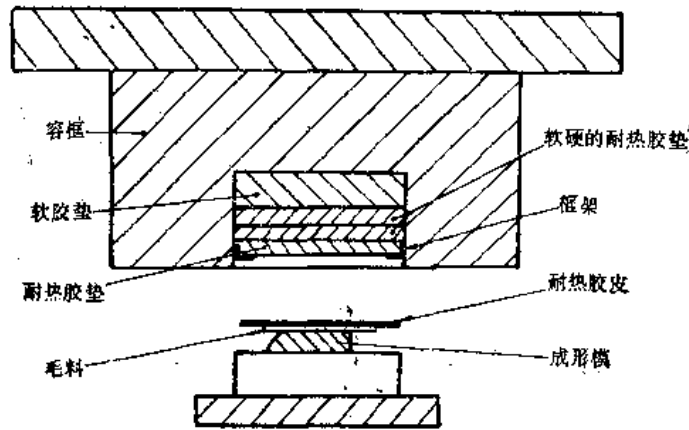
3.8.8.2.5 毛料准备

- (1) 毛料表面应清洁、无油污。注意不可用三氯乙烯除油。
- (2) 切割边缘应光滑，无刻痕和毛刺。

(3) 成形前要涂润滑保护剂, 如国产的石墨水剂Ti-1; Ti-3或滑石粉。润滑剂用前要预热至150~200℃。

3.8.8.2.6 覆盖橡皮

覆盖橡皮使用前应预热至200~300℃, 在模具、毛料加热后, 送进压机前迅速覆盖到毛料上。常用的耐热覆盖橡皮有: 氯丁橡胶, 用于毛料温度400℃以下; 丁烯橡胶, 用于毛料温度550℃以下, 也可以用硅橡胶。它们的硬度均为邵氏70~80度。为了延长橡皮垫容框的寿命, 橡皮垫的表面几层也是耐热橡皮并要求成形在尽可能短的时间内完成。模具-容框组合见图。



3.8.8.3. 橡皮热成形的计算

3.8.8.3.1 基本公式

(1) 安放毛料时, 模具定位销和毛料定位孔的中心距差 Δl_1

$$\Delta l_1 = (T_1 - T_0) \lambda_1 \cdot L_0 \quad (1)$$

式中 T_1 ——模具预热温度, ℃;

T_0 ——室温, ℃;

λ_1 ——模具材料线膨胀系数, 1/℃;

L_0 ——名义尺寸(中心距或外形), mm。

(2) 加热至最高成形温度时, 模具定位销和毛料定位孔的中心距差 Δl_2

$$\Delta l_2 = [(T_2 - T_0) \lambda_1 - (T_2' - T_0) \lambda_2] L_0 \quad (2)$$

式中 T_2 ——模具最高温度, ℃;

T_2' ——毛料最高温度, ℃;

λ_2 ——毛料材料线膨胀系数, 1/℃。

(3) 成形完毕, 卸件时零件尺寸和模具尺寸之差 Δl_3

$$\Delta l_3 = (T_3 - T_0) (\lambda_1 - \lambda_2) L_0 \quad (3)$$

式中 T_3 ——卸件时模具和零件的温度, ℃。

3.8.8.3.2 计算实例

若模具为孕育铸铁, 线膨胀系数 $\lambda_1 = 12.4 \times 10^{-6}/\text{℃}$, 预热至350℃, 然后放上冷毛坯(20℃) TC4, 其线热膨胀系数 $\lambda_2 = 9.3 \times 10^{-6}/\text{℃}$, 进行红外加热至570℃, 此时模

具温度上升到 380°C 进行成形,卸件时温度为 200°C ,定位孔距为 300mm ,求各阶段的尺寸差并确定模具定位销和毛料孔的尺寸。

解:①将冷毛料放于预热模具上时,孔距差

$$\Delta l_1 = (T_1 - T_0) \lambda_t \cdot L_0 = (350 - 20) \times 12.4 \times 10^{-6} \times 300 = 1.23\text{mm}$$

为了能将冷毛料放到预热的模具上,销钉孔距应增大 1.23mm ,或将一个销钉孔制成加大的长圆孔。

②升温至成形温度时的尺寸差

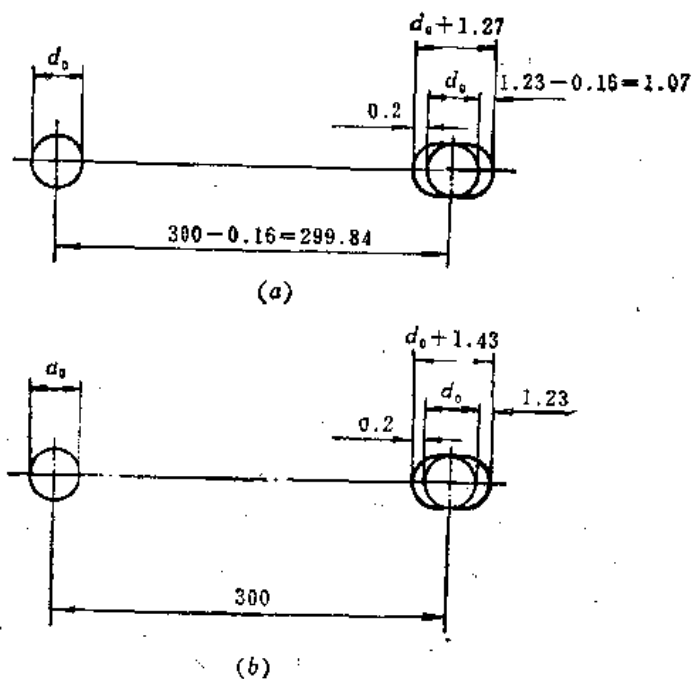
$$\begin{aligned} \Delta l_2 &= [(T_2 - T_0) \lambda_t - (T_2' - T_0) \lambda_r] L_0 \\ &= [(380 - 20) \times 12.4 \times 10^{-6} - (570 - 20) \times 9.3 \times 10^{-6}] \times 300 = 0.195\text{mm} \end{aligned}$$

在成形温度下,销钉距离短于孔距,故需将一个销钉孔向内扩大 0.195mm

③卸件时的尺寸差 Δl_3 等于模具制造时的缩小值,即:

$$\begin{aligned} \Delta l_3 &= (T_3 - T_0) (\lambda_t - \lambda_r) L_0 \\ &= (200 - 20) (12.4 - 9.3) \times 10^{-6} \times 300 = 0.16\text{mm} \end{aligned}$$

即在制造模具时,应将销钉中心距缩小 0.16mm ,但此差值很小,不超过容许误差,也可不予考虑。两种方案的区别如图所示。



(a) 模具按缩比尺寸制造; (b) 模具制造不考虑缩比。

参 考 资 料

- [1] 唐荣锡等著,《飞机钣金工艺》,国防工业出版社,1985年11月。
- [2] 胡世光著,《板料冷压成形原理》,国防工业出版社,1979年。
- [3] 周德俊等编,《钣金技术》,国防工业出版社,1974年。
- [4] 《机械设计手册》,化学工业出版社,1979年。

3.9 喷丸成形与校形

3.9.1 定义与范围

喷丸成形是利用高速金属弹丸流撞击金属板件的一个表面，使受喷表面的表层材料产生塑性变形，导致残余应力，逐步使零件达到外形曲率要求的一种成形方法。

喷丸成形包括自由状态下的喷丸成形和预弯（应力）状态下的喷丸成形。基于喷丸成形的原理，使用喷丸方法同样可以对板件、型材件和机械加工件进行校直和校形。

3.9.2 典型零件与工艺方法的选择


3.9.2.1 工艺方法

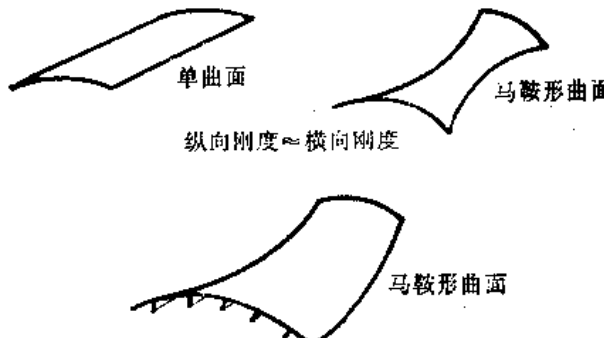

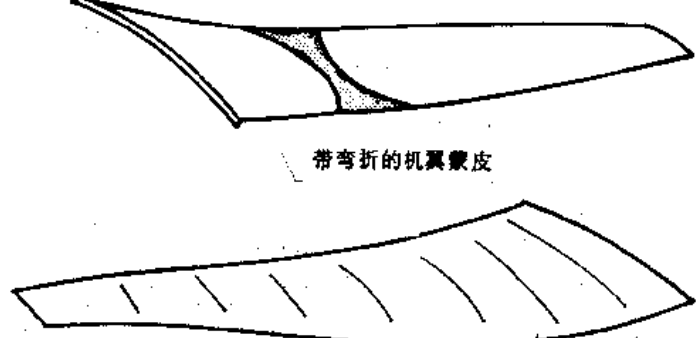
喷丸成形的工艺方法可以分为下列数种：

- (1) 按喷丸成形时工件所处的状态分
 - 自由状态喷丸成形
 - 预应力状态喷丸成形
- (2) 按喷丸的操作方式分
 - 全面喷丸
 - 选择喷丸
- (3) 按成形的效果分
 - 仅使用喷丸方法能成形的
 - 需与常规成形方法联合才能成形的
- (4) 按与喷丸强化的关系分
 - 先喷丸成形后喷丸强化
 - 喷丸成形与喷丸强化同时进行

上述各种喷丸成形方法的特点见下表。

喷丸成形工艺方法的选择

序号	推荐的方法	典型零件及成形方法的特点
1	自由状态全面喷丸成形	<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">等曲率筒形单曲面 等曲率或变曲率锥形单曲面</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 工件呈自由状态置于工作台上； 2. 对壁板的外表面进行全面喷丸； 3. 壁板沿横向和沿纵向的喷丸强度根据壁板上蒙皮厚度和外形曲率的变化而变化

序号	推荐的方法	典型零件及成形方法的特点
2	自由状态选择喷丸成形	<div style="text-align: center;">  <p>单曲面 马鞍形曲面</p> <p>纵向刚度 ≈ 横向刚度</p> <p>马鞍形曲面</p> </div> <ol style="list-style-type: none"> 1. 工件呈自由状态置于工作台上; 2. 对工件的外表面进行全面喷丸; 3. 对板件成形单曲率外形, 需沿纵向对板件未受喷的凹表面的两条长边进行喷丸, 以消除由全面喷丸方法在纵向产生的曲率, 见图1; 如果从两个表面剧烈地喷击两侧的长边, 则可以获得马鞍形的双曲率外形; 4. 对整体壁板件成形单曲率外形和马鞍形外形, 则需对中性轴一边的全部筋条表面进行喷丸, 见图2
3	预应力状态全面喷丸成形	<div style="text-align: center;">  <p>单曲面 单曲面 双向带筋单曲面整体壁板</p> </div> <p>工件的两向刚度差异很小时, 预应力喷丸成形的弦向曲率比自由状态喷丸成形的弦向曲率要大; 反之, 弦向曲率相同时, 预应力喷丸时工件两向刚度的差异可以更小些</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 工件呈弹性预弯状态夹于预弯夹具上; 2. 对工件的外表面进行全面喷丸; 3. 壁板横向和纵向的喷丸强度根据壁板上蒙皮厚度和外形曲率的变化而变化
4	预应力状态选择喷丸成形	<div style="text-align: center;">  <p>带弯折的机翼蒙皮</p> <p>翼根弦长加长的蒙皮</p> </div> <ol style="list-style-type: none"> 1. 先成形出横向的外形弧度; 2. 把工件夹在纵向预弯夹具上进行弹性预弯; 3. 喷击弯折中线两侧的三角区使材料延伸; 4. 有时为消除喷打弯折以后形成的球面外形, 需沿蒙皮两侧的长边再次进行喷丸

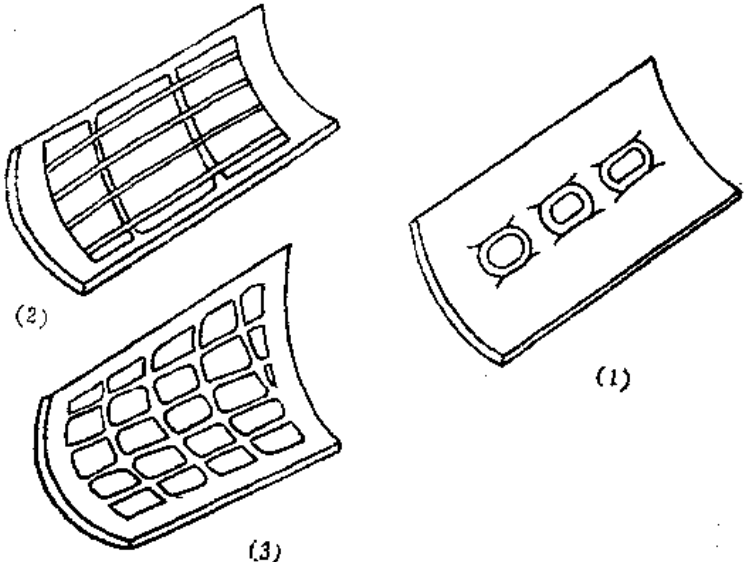
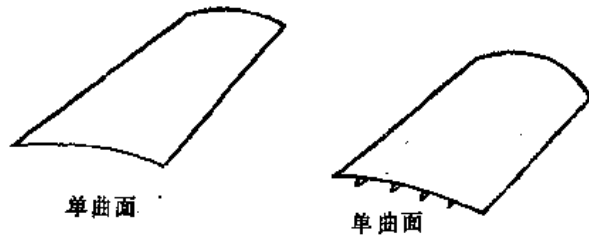
序号	推荐的方法	典型零件及成形方法的特点
5	喷丸与其它方法联合的成形	<div style="text-align: center;">  <p>(1) 有横向凸台，如开口周围；(2) 横向曲率很大，如机身盖板 (3) 横向有较高筋条，如纵横筋等高。</p> </div> <ol style="list-style-type: none"> 1. 喷丸与压弯的联合成形； 2. 喷丸与滚弯的联合成形； 3. 喷丸与增量成形的联合成形
6	喷丸成形与喷丸强化相结合	<div style="text-align: center;">  <p>单曲面 单曲面</p> <p>横向的外形曲率较小</p> </div> <ol style="list-style-type: none"> 1. 外表面应比内表面上的喷丸强度稍高； 2. 应把零件图上规定的喷丸强度值看作为喷丸时的最小强度值；最大强度值则取决于零件的成形要求，外形弧度和表面粗糙度，以及成形规范中允许的最大喷丸强度值等； 3. 首先要喷打外表面，弧度成形后再喷打内表面



图1

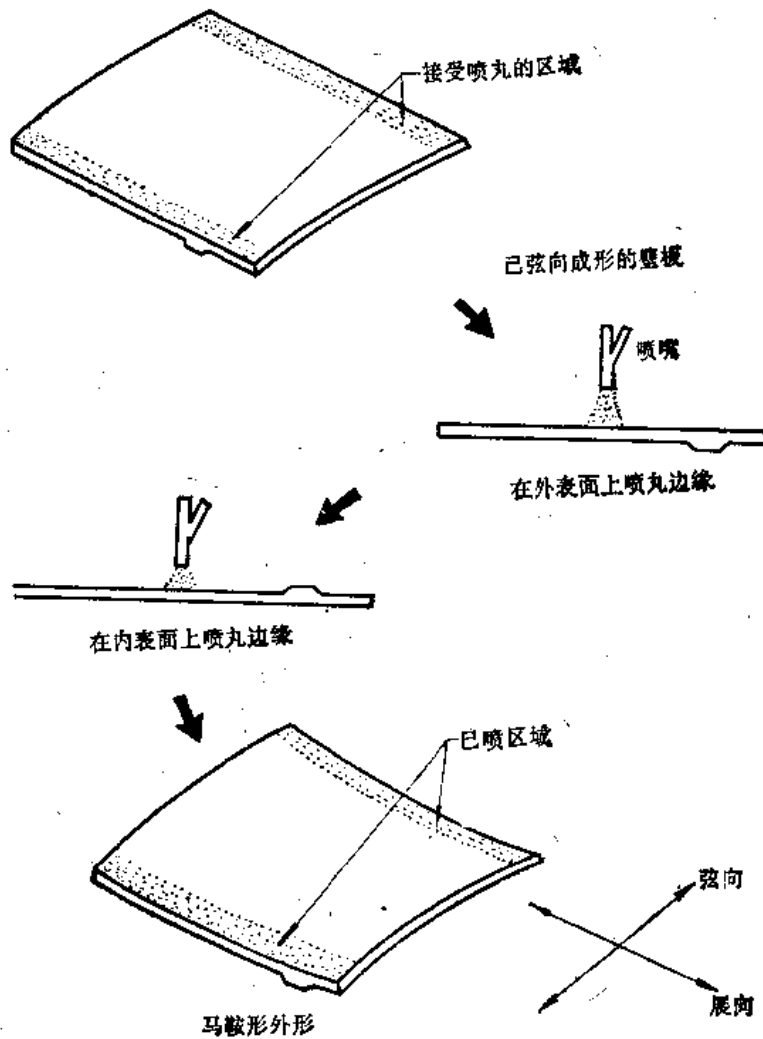


图2

3.9.2.2 典型零件

喷丸成形的典型零件是飞机整体壁板和整体厚蒙皮等外形变化平缓的大、中型蒙皮类板金件。适于加工的典型蒙皮零件见3.9.2.1节表。

喷丸成形是一种灵活性强的技术，如正确地选择喷丸工艺参数，合理地确定受喷区域，恰当地施加预弯，可以成形出各种形状复杂的板金件（见下图）。

毛斜形状	钣金件的外形										
条板											
平板											
圆形板											
环形板											
圆筒											
角弯条板											
角弯平板											
U形弯板											
带筋整体板											
特形整体板											

3.9.3 工艺参数的选择

3.9.3.1 喷丸成形工艺参数选择的原则

(1) 应以低覆盖率就能达到成形目的为原则来选择喷丸强度（弹速和弹丸尺寸）。覆盖率最好的选择范围是10~40%。

(2) 应使用大直径弹丸和低弹速进行喷丸，以使零件获得较低的表面粗糙度。通常，弹丸的直径在2~4.7mm之间，但落丸成形时弹丸直径可达6.5mm。

(3) 应尽可能采用自由状态喷丸成形，以节省使用预应力夹具的费用和工时。

(4) 预应力喷丸成形时，无需对预弯量进行精确的计算，因在喷丸操作中可以很方便地通过改变喷丸强度来补偿预弯量选择中的偏差。但预弯时板件最外层纤维的延伸量（计算公式见3.9.3.2.2节）不应超过弹性极限。常用材料弹性极限对应的延伸率数值见下表。在工件装夹方便的情况下应尽量选取预弯量大的数值，以充分发挥预应力喷丸成形的优点。

几种板材弹性极限对应的延伸率(%)

材 料	LY12CZ	LC4CS	TA2M	TC1M
弹性极限对应的延伸率	0.20	0.40	0.15	0.30

(5) 对于有强化要求的零件，如果喷丸成形工序在喷丸强化工序以前进行，喷丸成形时应给零件的外形弧度留出余量，以补偿喷丸强化时将对零件外形产生的变化。

(6) 通过试验件或试验零件的试验，一旦确立了合理的喷丸工艺参数，就应依此进行生产加工。由材质、板厚、机械加工和喷丸机等差异而引起制件外形曲率的波动，则应在喷丸成形以后，在喷丸机内或机外使用喷丸方法予以修整。

3.9.3.2 主要参数对极限成形半径的影响

3.9.3.2.1 自由状态喷丸成形

(1) 对于一定状态的金属板件，如果板厚远大于残余压缩应力层的深度 \ominus ，板件的极限成形半径可用下式进行估算^①：

$$R_{min} \approx K \frac{E \cdot t}{(1-\mu) D \cdot V \cdot \sin \alpha}$$

式中 K ——与板材性质和状态，以及弹丸材质有关的系数，由试验确定；

$R_{min} \ominus$ ——板件的极限成形半径；

^① 如残余压缩应力层的深度小于板厚的十分之一时， R_{min} 的误差小于4%。残余应力层的深度近似地与弹丸的直径相等，详见3.9.6.3节图2。

^② 板件的极限成形半径即板件在自由喷丸状态下的成形半径。

- E ——弹性模数;
- μ ——泊桑比;
- t ——板件厚度;
- D ——弹丸直径;
- α ——喷射角;
- V ——弹流速度。

气动喷丸机的弹流速度近似地与气压成正比;离心式抛丸机的弹流速度为叶轮圆周速度的1.3倍;落丸式机床的弹流速度则为自由落体的速度,与弹丸的下落高度有关。

(2) 对于气动式喷丸成形机,喷射距在50~200mm范围内变化,基本上不影响板件的极限成形半径,但喷射距加大将使板件的成形半径加大。

(3) 若以喷丸强度来表征弹速、弹丸直径和喷射角等参数所反映的弹流动量特性,2024-T3硬铝合金和Ti-6Al-4V钛合金板材试件的极限成形半径与喷丸强度之间的关系曲线见图1和图2。铝合金板试件的外廓尺寸为610×51mm,使用1.2mm不锈钢切割钢丝丸进行喷丸,沿试件的纵向测量弯曲半径。

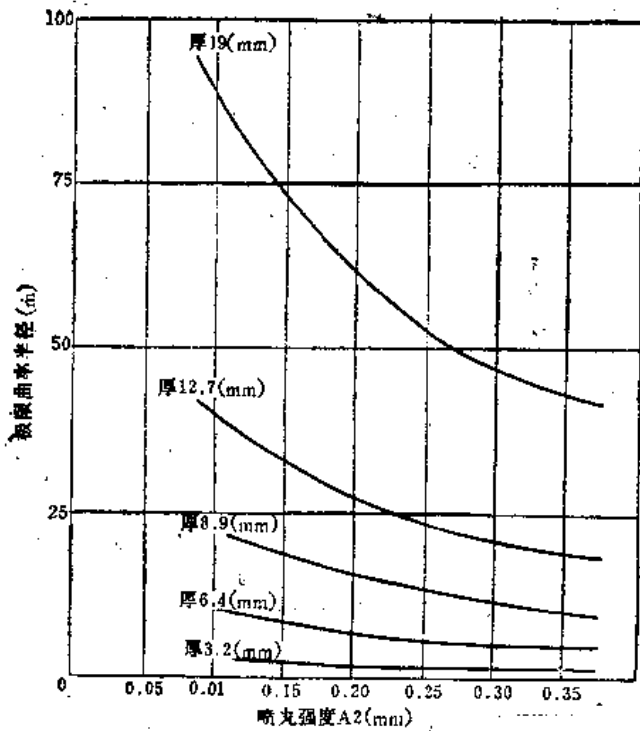


图1

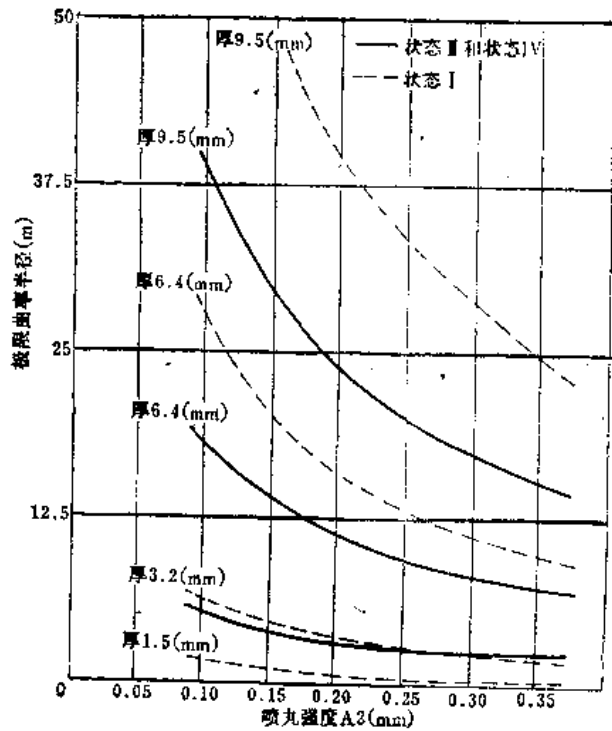


图2

状态 I——退火状态;状态 III和IV——淬火时效状态。

3.9.3.2.2 预应力状态喷丸成形

(1) 在相同的喷丸条件下, 预应力喷丸成形与自由状态喷丸成形相比较, 在施加预弯的方向上, 前者可使极限成形半径减少到后者的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$; 在与预弯相垂直的方向上, 前者也可使极限成形半径加大到 $3 \sim 4$ 倍。图1示出了弹性预弯量对LY12CZ硬铝合金板两个方向上极限成形半径的影响。试件尺寸为 $76 \times 76 \times 2\text{mm}$; 喷丸参数为: 气压 0.4MPa , 铸铁丸直径 $2 \sim 2.5\text{mm}$, 覆盖率 100% 。曲率仪的量距为 50mm 。

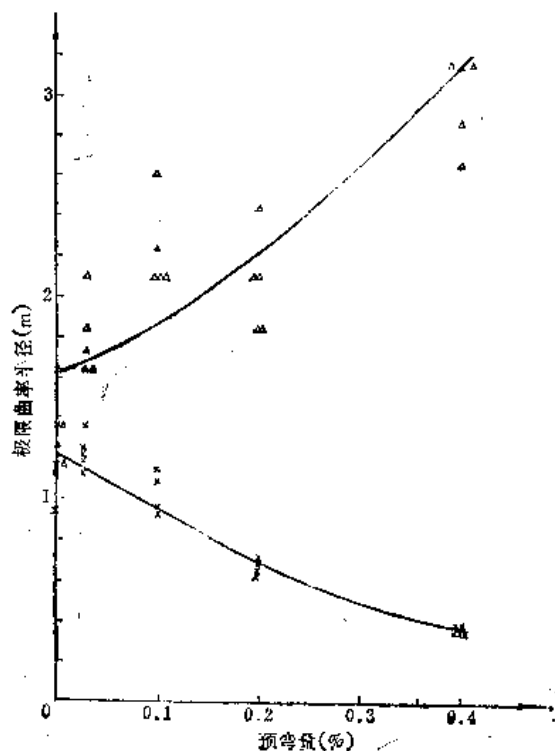


图1

×—预弯方向; Δ—与预弯方向垂直的方向。

(2) 在施加预弯的方向上, 同样可以近似地认为板件的极限成形半径与板厚的平方成正比, 与弹流速度、弹丸直径和喷射角的正弦成反比, 而且也与预弯量成反比。

(3) LY12CZ铝合金板的极限成形曲率与主要喷丸参数之间的关系可以用下列经验公式表达 (板厚为 2mm):

弹丸直径为 $0.3 \sim 0.5\text{mm}$ 时,

$$f = (7.3p + 19\varepsilon + 0.2) \pm 3.6 \quad (1)$$

弹丸直径为 $1 \sim 1.2\text{mm}$ 时,

$$f = (25p + 39.5\varepsilon - 4.4) \pm 3.3 \quad (2)$$

弹丸直径为 $2 \sim 2.5\text{mm}$ 时,

$$f = (75p + 65\varepsilon - 10.9) \pm 4 \quad (3)$$

式中 f ——用2号阿尔门量仪测出的试件弧高值, $\times 10^{-2}\text{mm}$;

p ——喷射气压, MPa ;

ε ——预弯量, 即试件外层纤维的相对延伸量, %。

ϵ 可按下列式计算:

$$\epsilon = t/2R_0 \times 100\% \quad (4)$$

式中 t 为板厚 (mm), R_0 为预弯半径 (mm)。

若将极限曲率 (弧高值) 换算成极限成形半径 R_{min} , 则以极限成形半径 R_{min} 表达的曲线图示于图 2 ~ 图 4 (换算时, $R_{min} = 15751 \times \frac{1}{f}$, 单位均为 mm)。

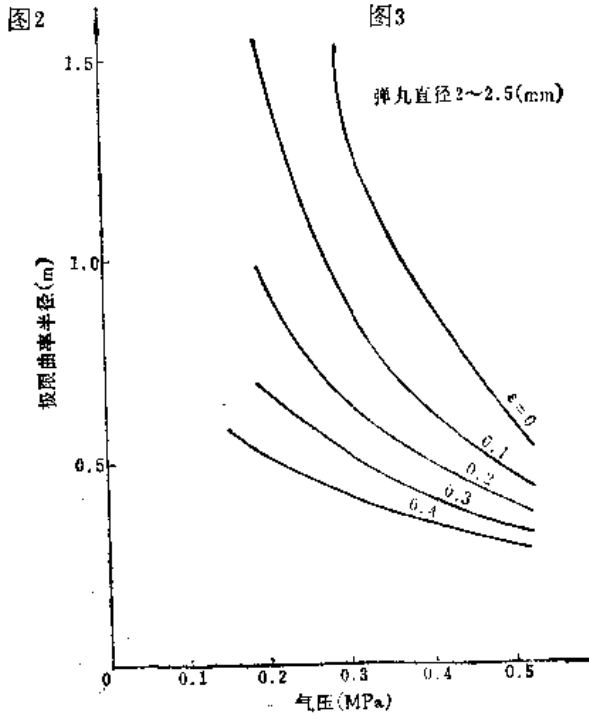
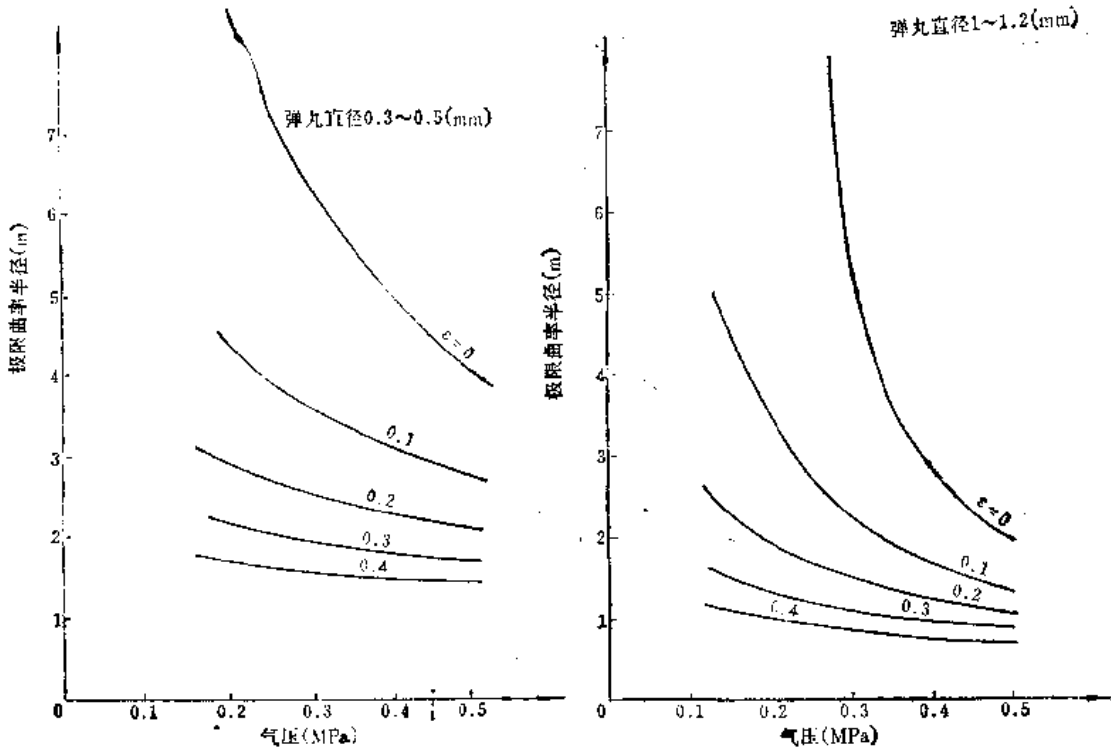


图 4

3.9.3.3 极限成形半径的限制

在生产条件下喷丸成形板件能得到的最小极限成形半径[⊖]取决于下列因素:

- (1) 喷丸成形机床的最大能力,即机床能够达到的最大喷丸强度;
- (2) 喷丸方法弯曲板件的最大能力。这种能力随压应力层深度相对板厚之比值的增加而增加,但此比值存在一个极大值。超过此极大值,板件将出现反向弯曲,使喷丸成形操作失去控制。

(3) 零件的质量要求。如对表面粗糙度和表面质量的要求,允许屈服强度降低的程度等。

3.9.3.4 喷丸送进方向和零件尺寸因素的影响

(1) 与喷丸送进方向(工件送进或弹流送进)相垂直的方向上,零件的成形半径总是比进给方向上的要小。

(2) 零件的外廓尺寸对成形半径有相当大的影响。在大的正方形板上,或在狭长零件的长度方向上,这种影响尤其显著(图1)。在同一喷丸条件下,大零件的成形半径会比小零件的大得多。

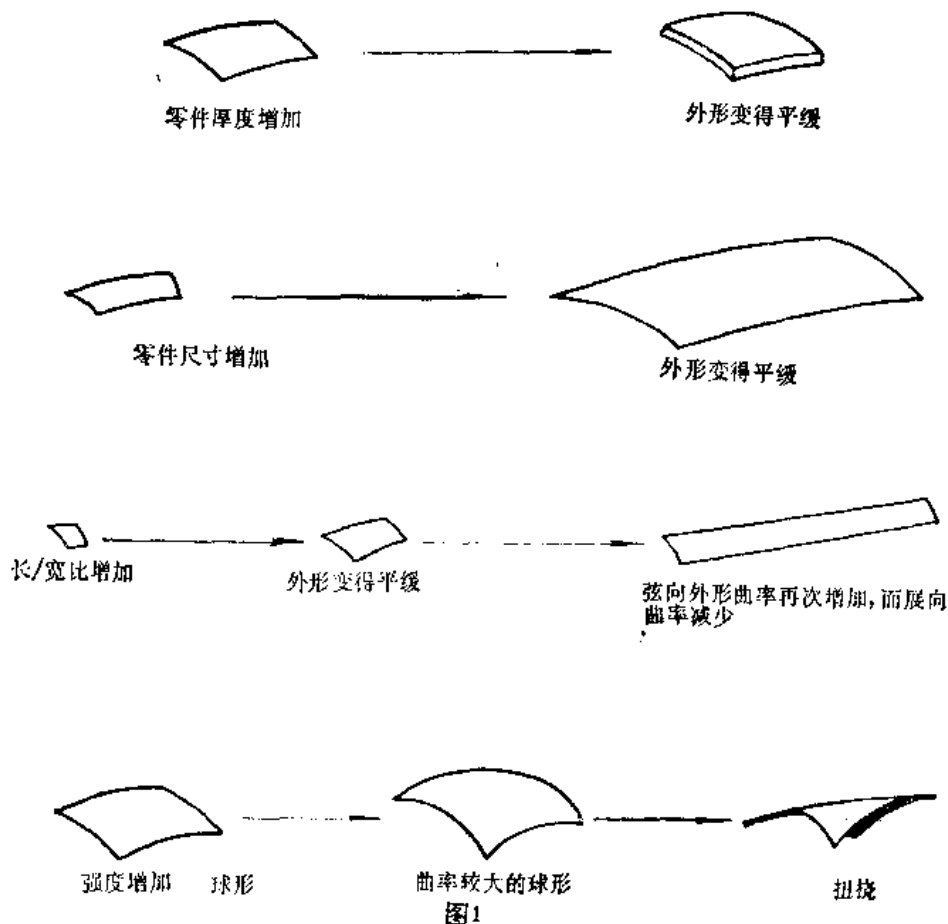


图1

[⊖] 由3.9.3.2.1节 R_{min} 公式可以看出,除时间以外的任何一组喷丸参数均对应着一个极限成形半径 R_{min} ,故在生产条件下存在一个最小的 R_{min} 值。

(3) 长/宽比值小的短板件与长/宽比值大的长板件相比较, 两者的横向成形半径很接近。图 2 示出了用 4.6mm 2024 铝合金宽板(610mm)进行喷丸试验的结果^[4]。试验的喷丸参数为: 铸钢丸直径 0.58mm, 叶轮直径 380mm, 叶轮转速 1900r/min, 弹流密度 76.2kg/m²。据此, 可以通过短试件的试验来确定长板件上的喷丸工艺参数。

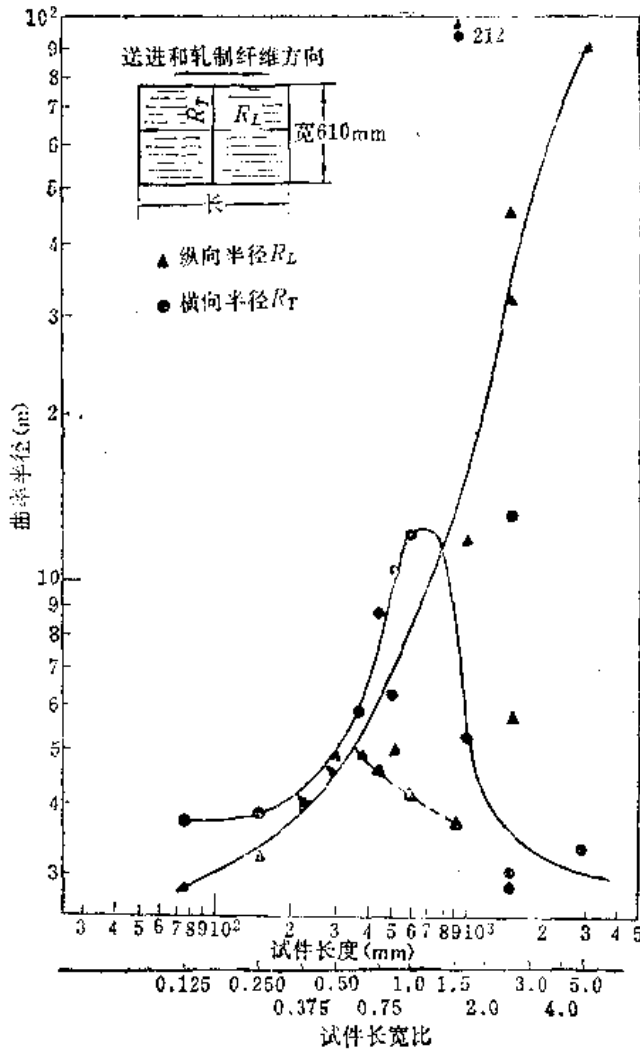


图2

3.9.4 马鞍形零件的数控喷丸成形^[5]

(1) 将马鞍形零件如机翼蒙皮成形时的变形区分为两部分: 材料沿展向的延伸变形和沿弦向的弯曲变形。展向延伸变形的延伸率 l 按下式计算:

$$l = h/R - h$$

式中 h ——弦向弧高;

R ——展向的弯曲半径 (图 1)。

(2) 按图 2 的系统图建立数控喷丸成形的工艺过程。

先依据机翼蒙皮表面的主尺寸 (立体数学模型), 制定蒙皮展向延伸率的模式和蒙皮弦向弯曲曲率的模式; 同时, 采用不同直径的弹丸喷丸不同厚度的各种铝合金板材试

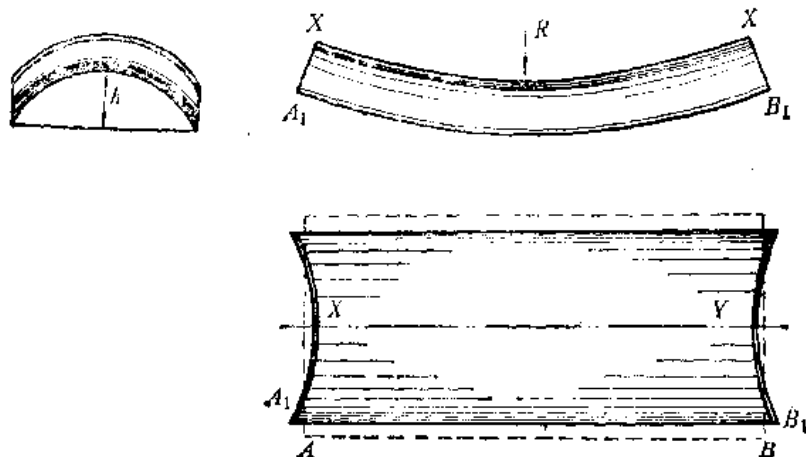


图1

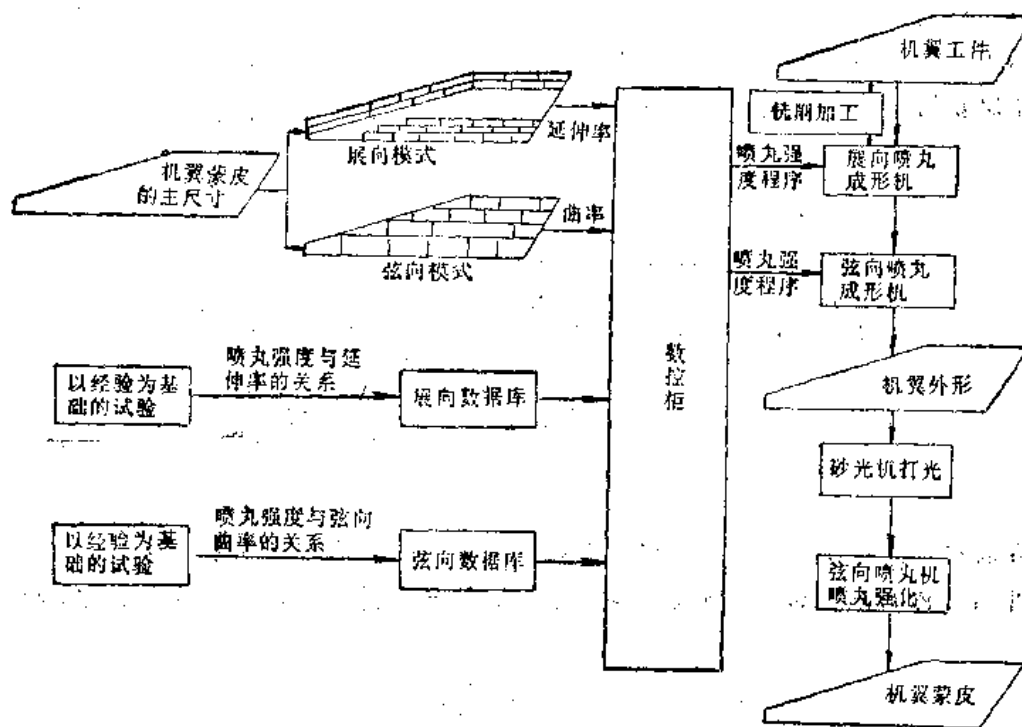


图2

件，建立喷丸强度与延伸率以及喷丸强度与弯曲曲率之间关系的数据库。然后，将这些信息输入数控柜，再由数控柜向喷丸成形机发出为成形马鞍形外形所需喷丸强度的指令，并自动控制 and 监测机床为成形零件所需的各项参数：叶轮的方位角、位置和转速，弹流量和工件的送进速度（五坐标数控）。如果喷丸成形后有打光和强化的后续工序，数据库的数据应计及这些后续工序对工件外形造成的影响而予以补偿。

(3) 使用两种数控喷丸成形机：展向喷丸成形机和弦向喷丸成形机。弦向喷丸成形机还兼做喷丸强化的工作。

3.9.5 喷丸校形

喷丸校形的原理与喷丸成形的原理相同。喷丸校形的方法与选择喷丸成形的的方法基本相同。校形时也可以使用预应力喷丸方法。

通常，校形时使用手工控制的、可携带的喷丸装置比较方便，但要求操作者具有较高的技术水平和熟练程度。

喷丸方法能够有效地修整有轻微翘曲的板金件、挤压型材件、整体壁板件和机械加工件等。喷丸时参数的选择取决于零件的刚性和零件的变形情况。

喷丸校形的典型示例如下：

(1) 平板件

通过喷打板件上已弯曲变形的凹面，可以很容易地消除小的弯曲变形。通过对板件上的凹坑或鼓包的凹面进行喷丸，也可以消除凹坑或鼓包，但凹坑的深度不应大于板厚的一半。如果凹坑较深，喷丸效果将适得其反。

(2) 不锈钢薄壁引射管零件

零件材料为 1Cr18Ni9Ti，壁厚 0.3mm，长 2~2.5m，零件的结构尺寸见图 1。冲压成形后工件的截面形状呈 ζ 形，点焊困难，点焊后截面形状无法保证。采用喷丸方法修整，不仅获得了圆形截面，而且开口处也合拢了，呈 \cup 形状；零件的长度方向不产生扭翘。

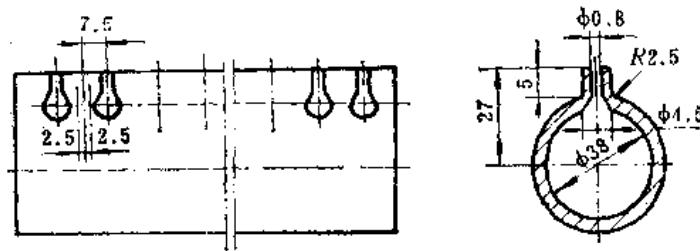


图1

喷丸前将工件套在心棒上，用弓形夹和垫条夹住工件开口的边缘（图 2）。修整时，喷击工件与心棒的贴合部位（如图中箭头所示），使此处材料延伸，直到零件截面均匀地

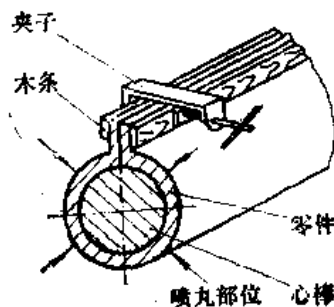


图2

贴合心棒为止。

(3) 挤压和板弯型材件

有选择地喷击型材的凸缘部分 (图 3), 能够校直简单剖面的型材零件, 这样的剖面如 Γ 形、 \perp 形、 E 形和 L 形。但对加强的剖面, 如 H 形和 I 形, 喷丸校直是很困难的。

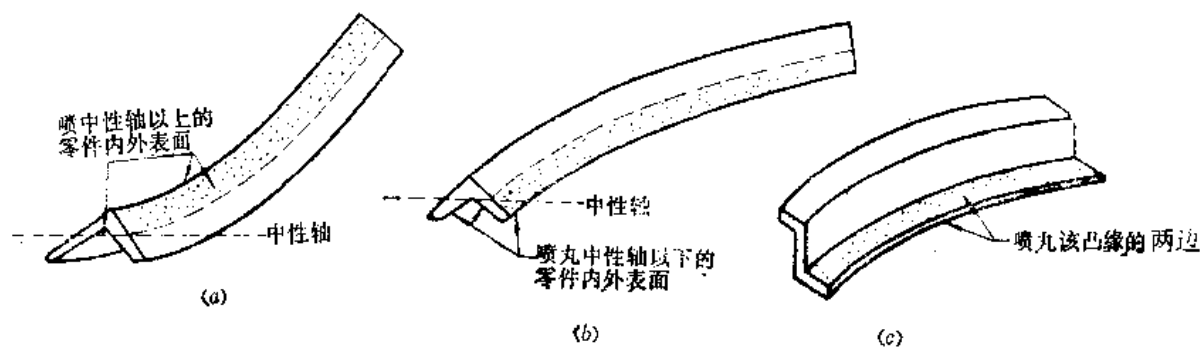


图3

(4) 板金件

用喷丸方法消除板金零件翘曲的程度, 主要取决于零件的形状。凡是结构刚度比较小的板金件, 喷丸修整的效果都比较好, 见图 4 (a)。对于复杂的板金件, 或形状简单而刚度很大的板金件, 喷丸修整就很困难 [图 4 (b)]。

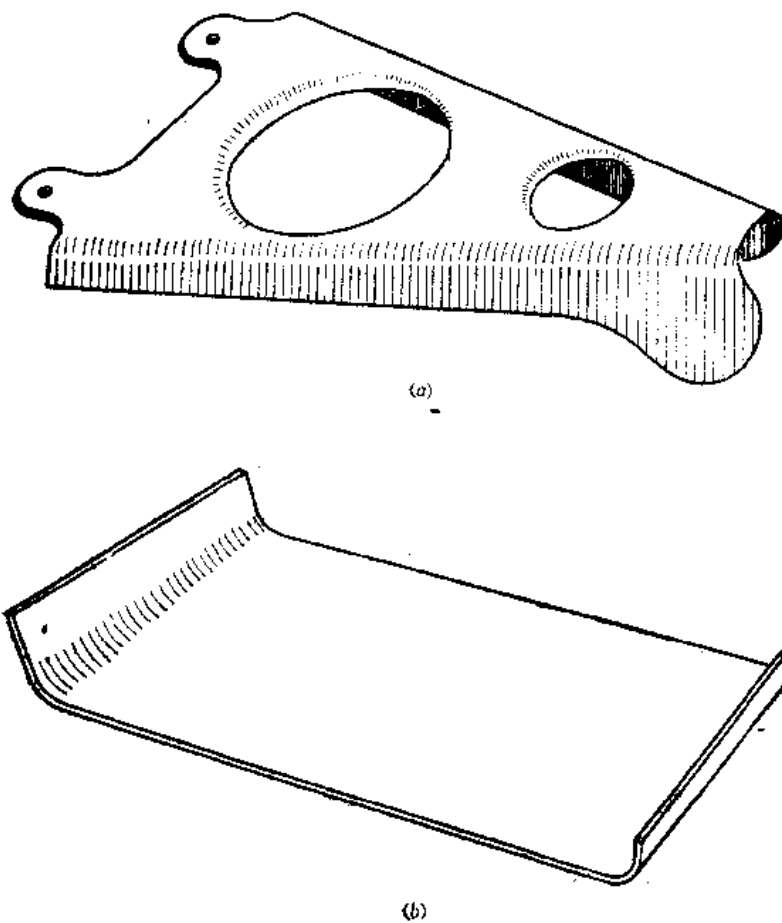


图4

(a) 刚度大, 只允许少量修整; (b) 刚度小, 容易修整。

(5) 机械加工件

喷丸修整带深槽的机械加工零件时应特别小心，一定要避免喷击内圆角处。因在槽的区域容易产生鼓包，产生后又不能再用喷丸方法加以消除。图5示出了喷丸机加零件槽形区域时可能出现的问题。

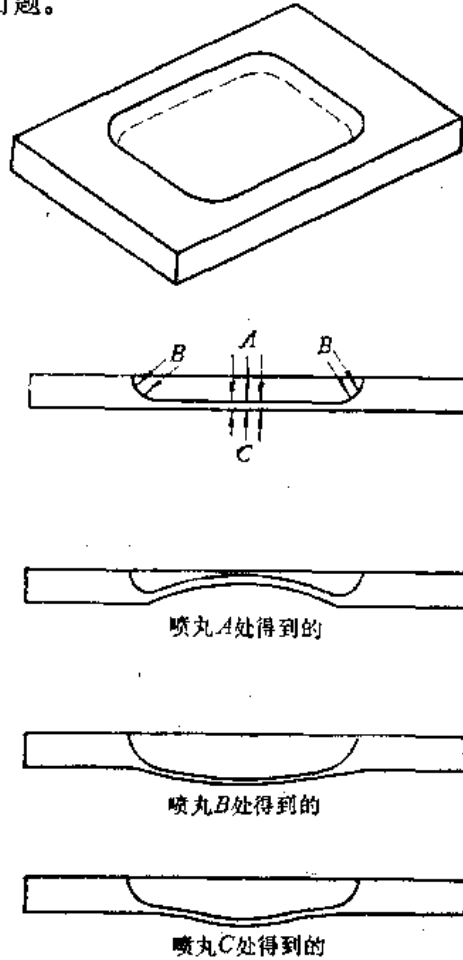


图5

(6) 机加后（成形前）的整体壁板件

机加后的整体壁板件的变形，常见的有三种情况（图6）：沿板宽方向向上或向下横向弯曲；沿长度方向向上或向下纵向弯曲；在平面内沿长度方向侧弯（马刀形弯曲）。

用喷丸方法校正第一种轻微的变形〔图6(a)和图6(b)〕是很方便的，喷丸壁板已变形的凹面，变形即可消除。对于第二种变形的上弯情况（图中未示出），可以利用喷丸成形的双向变形特性加以消除。至于第二种变形的下弯情况〔图6(c)〕，可采用成形马鞍形带筋整体壁板的选择喷丸方法，即对纵筋中性轴一边的全部表面进行喷丸，延伸筋条的上部，校正弯曲。

侧弯的校正是比较困难的。当有侧弯时，先要确定弯曲量和楔形喷丸区〔图6(d)〕。楔形区的楔入量约为壁板宽度的三分之二。然后对壁板的两边进行喷丸，楔形区中厚的部分要着重轮换地进行喷丸，以使楔形区边缘部位的材料延伸，校平壁板。

(7) 装配时的修整

在装配过程中，最后的修配工作可能很困难。在某些情况下，这种修配会引起很大

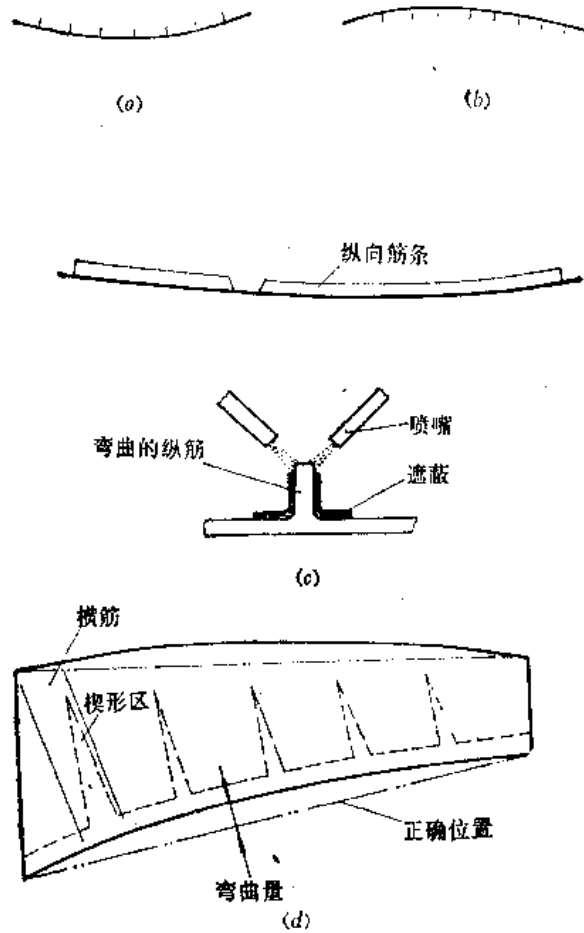


图6

(a) 横向上弯; (b) 横向下弯; (c) 纵向下弯; (d) 侧弯。

的铆接应力。有时，可以采用喷丸方法，既修整了板金零件的局部变形，又减少了装配中的铆接应力。

图7示出了装配时喷丸修整的情况，为把蒙皮与梁的凸缘配合好，需要喷丸机翼蒙

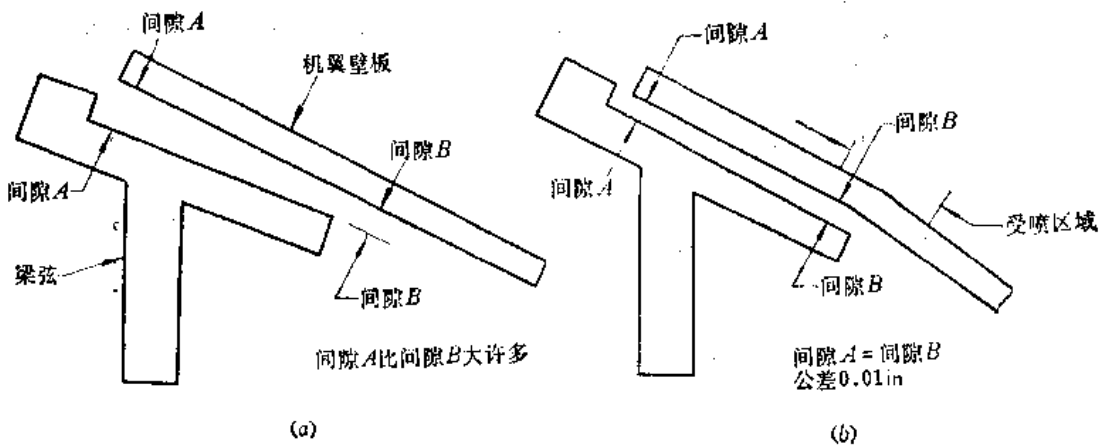


图7

(a) 喷丸前; (b) 喷丸后。

皮的边缘，使之弯曲，造成两个配合表面平行，以减少铆接应力。这种喷丸校形的操作是在装配型架上用手提式喷丸机完成的。

3.9.6 零件的质量控制

3.9.6.1 表面粗糙度的变化

喷丸后,零件表面形成特殊的微观几何形状,它是由弹丸撞击而形成的大量球面浅凹坑构成。通常,喷丸将增大零件的表面粗糙度。

(1) 受喷表面的粗糙度主要取决于喷丸强度。弹速增加,弹丸直径加大和垂直喷射都将增大表面粗糙度(见表1)^[1]。零件材料的硬度对受喷表面的粗糙度也会产生一定的影响,材料硬度越高,表面粗糙度值越低(见表2)^[2]。至于喷射时间对表面粗糙度的影响:饱和喷丸以前,表面粗糙度值急剧增大;饱和喷丸以后,表面粗糙度的变化很少。图所示为喷射时间对45号钢表面粗糙度的影响(喷射气压0.5MPa,弹丸直径0.6~1mm)^[3]

表1. 喷射气压和弹丸尺寸对LY12CZ铝板受喷表面粗糙度的影响 (μm)

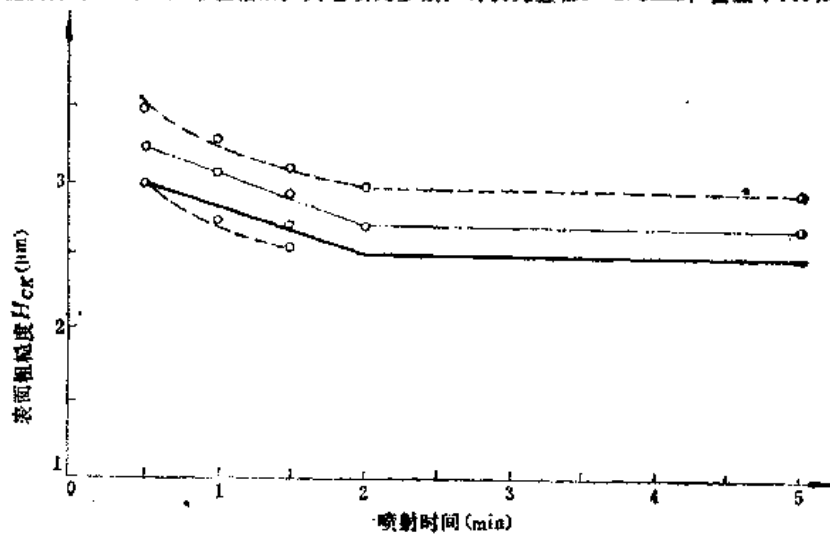
弹丸尺寸 (mm)	气压 (MPa)		0.2		0.3		0.4	
	表面粗糙度		H_{cp}	R_a	H_{cp}	R_a	H_{cp}	R_a
0.3~0.5			12.7	10	16.3	12.5	20.7	16
0.9~1.5			19.0	16	24.0	25	27.7	25
2~2.5			26.3	25	27.3	25	37.7	32

注:铝板表面粗糙度为 $R_a0.8\mu\text{m}$ 。

表2. 铝板硬度对喷丸表面粗糙度的影响, H_{cp} (μm)

材 料	喷射气压 (MPa)			
	0.2	0.3	0.4	0.5
LY12CZ, HB82.4	25.5	27.4	28.7	38
LC4CS, HB72.4	23.0	26.8	27.6	—

注:铝板表面粗糙度为 $R_a0.8\mu\text{m}$,带包铝层。其它喷丸参数:铸铁丸直径2~2.5mm;覆盖率100%。



(原始表面的 H_{cp} 值为 $0.87\sim1.13\mu\text{m}$)

(2) 喷丸成形零件的表面粗糙度也取决于零件本身的刚度和外形曲率：刚度大和曲率大的零件，表面粗糙度值大；反之则小。因为，刚度大和曲率大的零件所需的喷丸强度也大。

(3) 采用大弹丸和低弹速喷丸可获得较低的表面粗糙度值（就同一外形曲率而言），因为所形成的弹坑较浅。此外，采用预应力喷丸也可以降低零件的表面粗糙度值。

(4) 普通铝板的包铝层较软，打出的弹坑较大，喷后若不经砂光或喷漆，它的表面粗糙度值常超过设计要求（一般情况下，硬铝合金零件喷后的表面粗糙度约在 $Ra12.5\mu m$ 左右）。对于不涂漆的蒙皮，采用带硬包铝层的铝板（或铣去软包铝层的铝板），喷丸后表面粗糙度的等级可以提高一级。

3.9.6.2 外形精度与尺寸的变化

3.9.6.2.1 外形精度

喷丸成形零件的外形精度除取决于喷丸工艺参数之外，还受板材的材质不均、受喷前板件中的残余应力、受喷前板件的平整度不一致和喷丸成形机的稳定性等因素的影响。一般，按通过试验零件确立的喷丸工艺规范进行喷丸成形以后，尚需在喷丸成形机内、或机外用手提式喷丸机进行喷丸修整，方能满足蒙皮零件外形精度的要求。

3.9.6.2.2 尺寸变化

喷丸成形后，零件的长、宽、厚尺寸均会有所增加。对于喷丸成形零件，板厚尺寸的变化可以忽略不计。但用高的喷丸强度喷击长而薄的零件时，长、宽尺寸变化显著，必须予以考虑。通常，线性尺寸的增长率随着板厚的增加而减小，随着喷丸强度的提高而增加。图1和图2分别示出了7075-T651铝合金板和Ti-6Al-4V钛合金板线性尺寸的增长率与板厚和喷丸强度的关系^[2]。

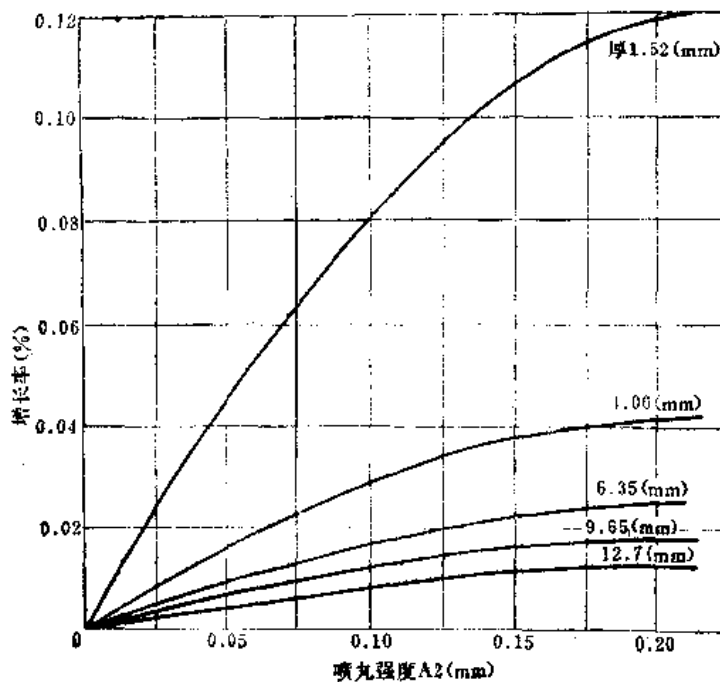


图1

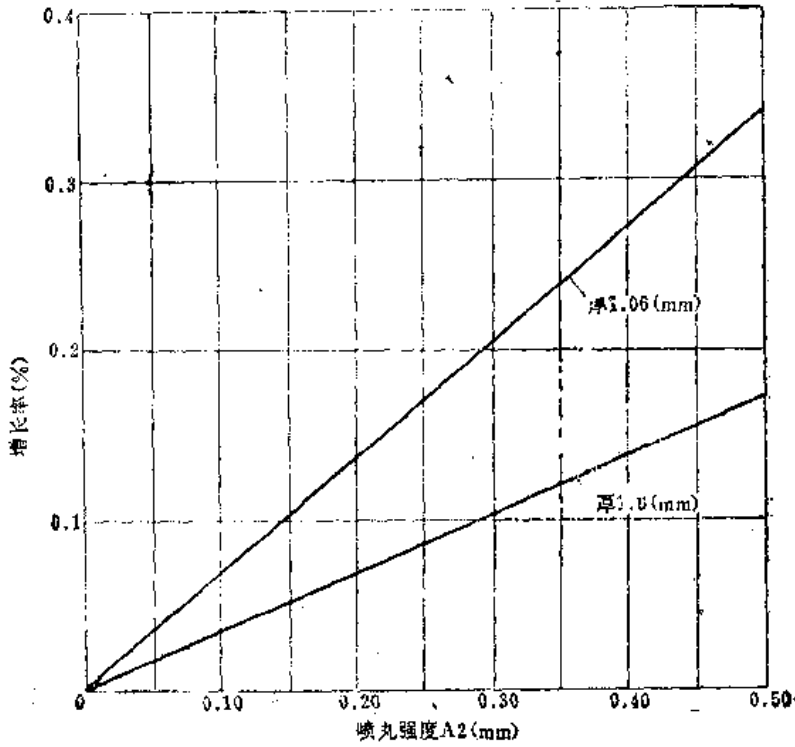


图2

3.9.6.3 残余应力与组织结构的变化

(1) 零件表面接受喷丸后，内部产生残余应力，如图1所示。

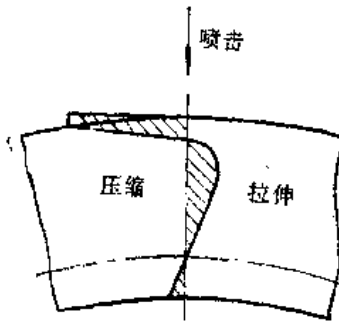


图1

残余应力的大小和残余压应力层的深度取决于受喷金属的屈服强度和喷丸参数。通常，受喷表层中残余压应力能达到屈服强度的一半或更高的应力水平；在大多数情况下，压应力层的深度约在0.13~0.76mm之间，详见图2。

(2) 受喷表层的材料组织结构发生变化（图3），改进了表层晶粒的形状和方位，从而提高了表面的显微硬度。

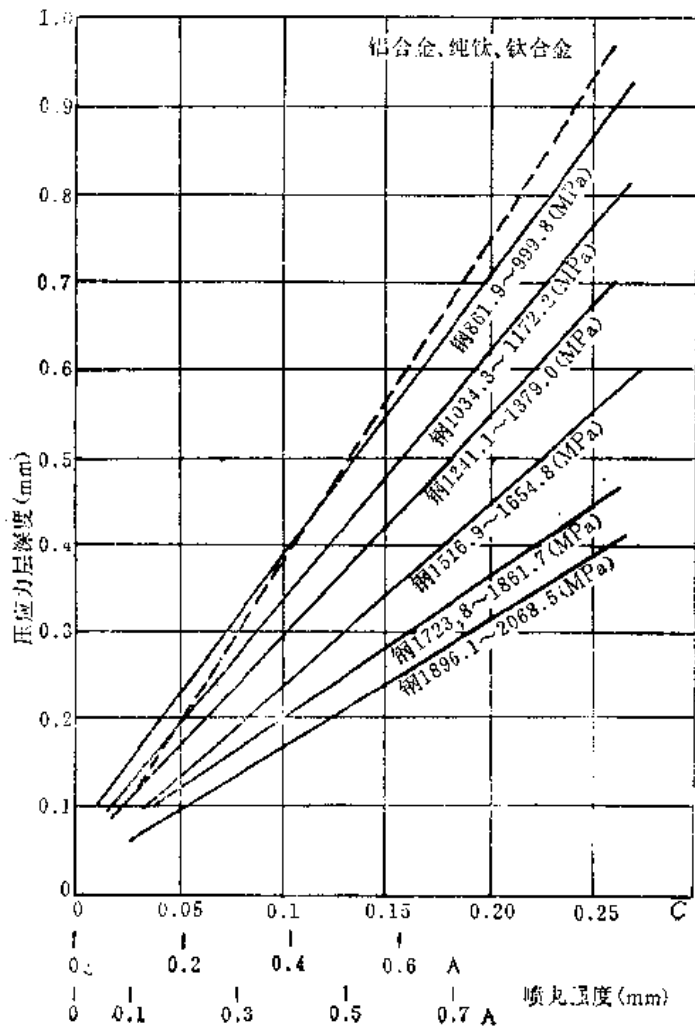


图2

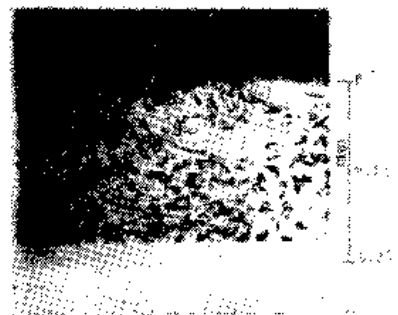


图3 (取纵向剖面, 放大200倍)

3.9.6.4 机械性能的变化

3.9.6.4.1 静强度

喷丸对材料的静强度影响甚小, 抗拉强度和延伸率的变化在 $\pm 1\%$ 左右, 表面硬度略有增高, 冲击韧性和屈服强度略有下降。

喷丸对硬铝合金板材屈服强度的影响见下表^[1]。屈服强度的降低值最多不超过5%。

喷丸对硬铝合金板屈服强度的影响

材料	板厚 (mm)	$\sigma_{0.2}$ 的 算术平均 值(MPa)	气压(MPa)									
			0 (未喷)		0.2		0.3		0.4		0.5	
			x_0	x_2	$\frac{x_2 - x_0}{x_0} \times 100\%$	x_3	$\frac{x_3 - x_0}{x_0} \times 100\%$	x_4	$\frac{x_4 - x_0}{x_0} \times 100\%$	x_5	$\frac{x_5 - x_0}{x_0} \times 100\%$	
LY12CZ	1.8	325	320	-1.54	313	-3.69	313	-3.69	309	-4.92		
	6	333			334	+0.3	327	-1.80	328	-1.50		
	10	348					341	-2.01	338	-2.89		
LC4CS	1.5	429	422	-1.63	431	+0.47	419	-2.23	423	-1.4		
	5	522			509	-2.49	506	-3.07	510	-2.3		

注: 用2~2.5mm直径的铸铁丸和200mm喷射距进行单面饱和喷丸。

通常，板越薄，喷丸强度越高，屈服强度降低越多。

3.9.6.4.2 疲劳强度

(1) 喷丸可以显著地提高零件的疲劳强度。通常，高应力水平工作零件的疲劳强度增加得少，低应力水平工作零件的疲劳强度增加得多。此外，承受弯曲或扭转循环载荷的零件，或具有表面应力集中的零件提高最显著。对于承受拉-拉或拉-压循环载荷的零件，喷丸则只能少量地增加疲劳强度。

对飞机整体壁板常用材料 LY12CZ 的试片进行喷丸前后对比的拉-拉疲劳试验表明^[3]，已喷和未喷光滑试件的 $S-N$ 曲线为交叉型(图1)，在最大应力小于150MPa时曲线几乎重合，即已喷试件和未喷试件的疲劳寿命无显著差别；高于此应力水平时差别逐渐加大，也就是喷丸试件的疲劳寿命比未喷试件的要高。图1所示 $S-N$ 曲线的试验条件为：应力比0.1；频率5300cyc/min；单面喷丸规范为：喷射气压0.35MPa；铸铁丸直径0.9~1.2mm；覆盖率100%。试验前全部试件经硫酸阳极化表面处理。

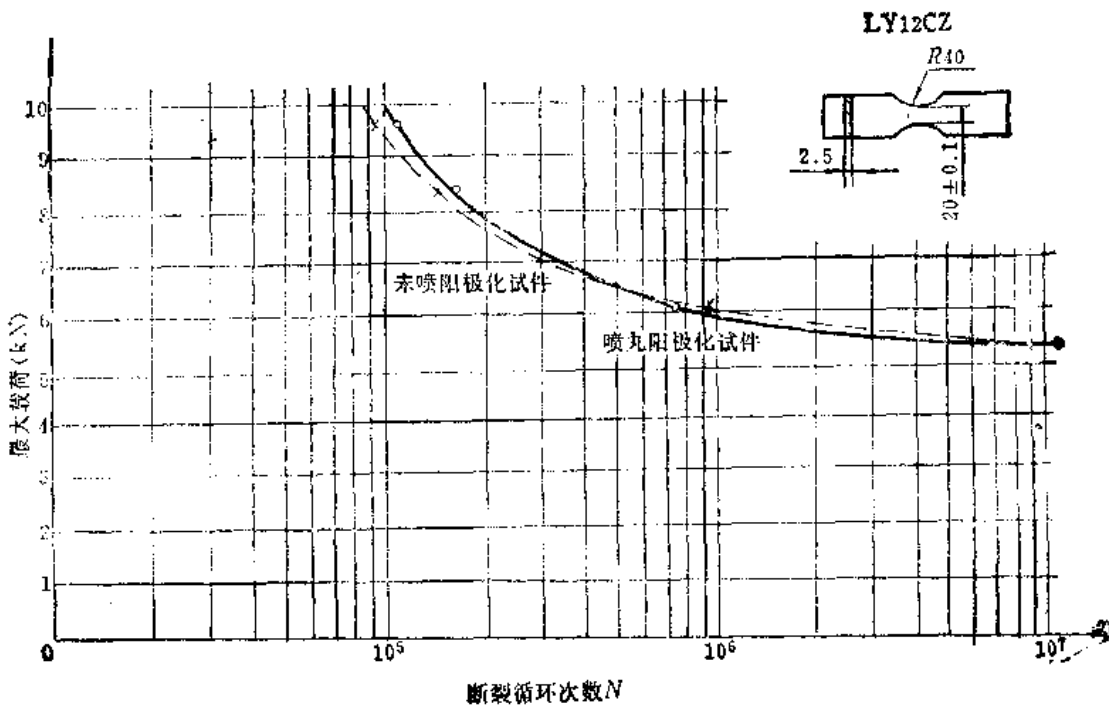


图1

(2) 喷丸可以显著提高具有表面应力集中零件的疲劳性能，如承受拉-拉循环载荷的整体壁板和整体厚蒙皮零件。

(3) 承受拉-拉或拉-压循环载荷的零件，如果具有非喷丸的孔(喷前或喷后钻制的孔，孔内壁又没有经过喷丸或其它方法强化时)和锐边，喷丸后反而导致疲劳强度降低。

在光滑试片上制孔后， 10^7 次循环的疲劳强度将降低约55%。制孔的喷丸试件的疲劳寿命，在高应力水平时将比制孔的未喷丸试件的疲劳寿命降低约30%；在低应力水平时两者的疲劳寿命则无显著的差异。图2示出了LY12CZ铝板带中心孔试片进行高频拉-拉疲劳试验，喷与未喷对比的 $S-N$ 曲线^[3]。试验条件为：应力比0.1；频率4000~5000cyc/min。单面喷丸规范：喷射气压0.3~0.35MPa；铸铁丸直径0.3~0.6mm；覆盖率100%。试件的制作是先喷丸，后铣外形和制孔。

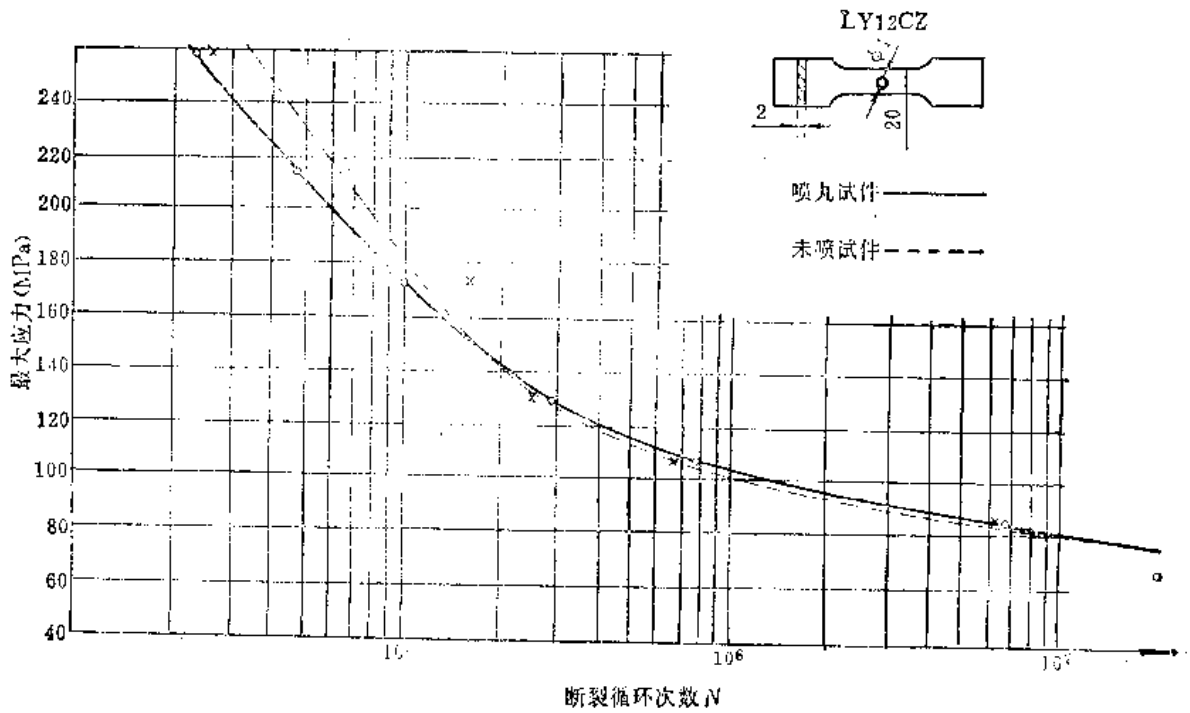


图2

(4) 在喷丸的壁板零件上制孔，按照使用状态用铆钉和螺钉连接，这时，它与未喷的带孔零件的疲劳性能无明显差别。图3示出了铆接和螺接试件中频拉-拉疲劳的 S-N 曲线^[1]。试验条件为：应力比0.2；频率600cyc/min。喷丸规范：喷射气压0.45~0.5 MPa；铸铁丸直径2~2.5mm；覆盖率100%。

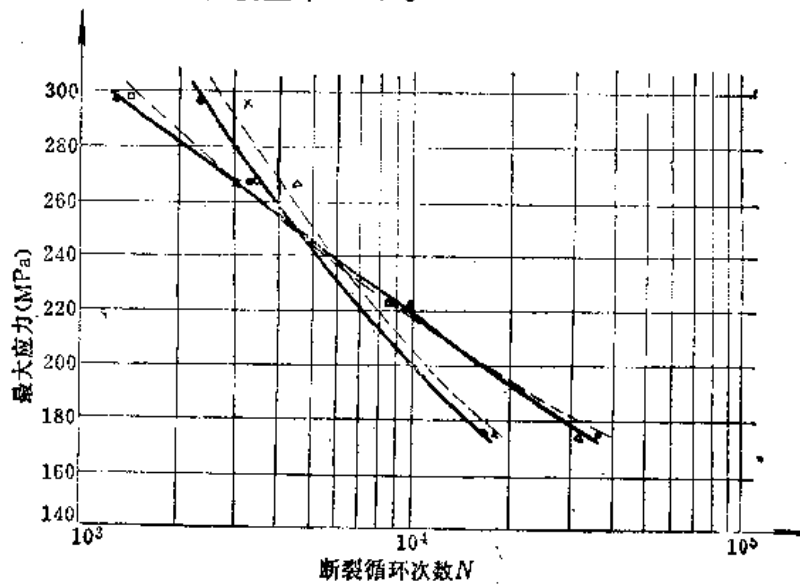
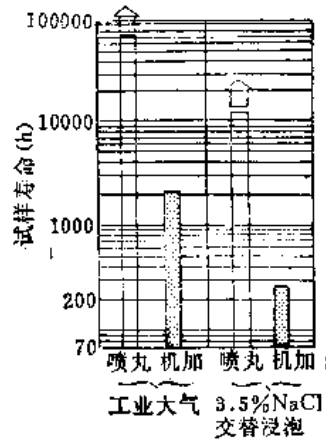


图3

- x ——— 铆接未喷丸件
- ——— 铆接喷丸件
- ——— 螺接未喷丸件
- △ ——— 螺接喷丸件

3.9.6.4.3 抗应力腐蚀性能

喷丸可以提高具有高持续装配应力或残余拉应力的铝、镁、钛和不锈钢等合金零件的抗应力腐蚀性能，以及腐蚀疲劳性能。图示为7075-T6铝合金的应力腐蚀破坏数据，加载应力等于75%的屈服强度⁽⁷⁾。



3.9.7 喷前要求和喷后处理

3.9.7.1 喷前要求

- (1) 壁板毛坯应经预拉伸处理，消除残余应力，以利于机械加工和成形。
- (2) 壁板毛坯应平整，无松边，无局部和大面积的松弛。
- (3) 壁板半成品应完成全部的机械加工和化铣工序，但紧固件的安装孔可以除外。允许留有用剪切方法可以去除的工艺余边，如耳片等。
- (4) 应完成为达到所要求机械性能而需的热处理。
- (5) 接受喷丸区域的表面粗糙度不应大于 $Ra6.3\mu m$ ，零件图上有特殊规定者除外。
- (6) 锐边和尖角应倒角或倒圆，半径大于 $0.5mm$ 。
- (7) 去除深度大于 $0.08mm$ 的全部凹痕、划伤与擦伤，但应保证零件图上规定的最小厚度。
- (8) 图纸或工艺文件要求对零件进行荧光检查或磁力探伤时，应放在喷丸前进行。检印应打在非喷表面上。
- (9) 应遮蔽工件表面上的下列部位以保证喷丸后这些表面无弹坑：检查孔的下陷区和下陷区周围至少 $16mm$ 以内的全部区域；“O”形密封圈的区域；以及图纸上规定不允许喷丸的区域。
- (10) 壁板半成品上接受喷丸的区域应无表面涂层、镀层、油脂以及腐蚀等。需要清洗的零件，应根据它的污染程度采取相应的方法去除。
- (11) 保持机上弹丸无油和无其它污物。定期检查机上弹丸尺寸的均匀程度，保证满足表中的规定⁽⁸⁾。检查时，选取有代表性的机上弹丸试样 $100g$ ，用振摆式筛选试验机（如常德仪器厂出厂的SSZ-A型自动控时震摆筛选机）筛分。当采用35目或更粗的筛网时，筛分时间为 $5min \pm 5s$ ；对比35目细的筛网，筛分时间为 $10min \pm 5s$ 。检查频率为机床累计工作八小时检查一次，或由质量控制部门确定。

装于喷丸机内的弹丸应保持的尺寸均匀度

铸 钢 丸		筛下物最多为15%的筛网号
弹 丸 号	名义尺寸 (mm)	
1870	4.75	8(2.36)
1570	4.00	10(2.00)
1320	3.35	12(1.70)
1110	2.80	14(1.40)
930	2.35	16(1.18)
780	2.00	18(1.00)
550	1.40	25(0.710)
460	1.18	30(0.600)
390	1.00	35(0.560)
330	0.85	40(0.425)
280	0.71	45(0.355)
230	0.61	50(0.300)

注：括号中数字为网眼尺寸，mm。

3.9.7.2 喷后处理

(1) 用不腐蚀、不划伤或其它不损伤表面的方法，从工件上去除所有的遮蔽物和弹丸。喷过的零件表面不应有深度超过0.06mm的凹痕、划伤和擦伤。

(2) 喷丸后若达不到图纸规定的表面粗糙度，允许打磨喷丸表面。但最大的打磨量不应导致去掉所有的喷丸痕迹，即在使用十倍放大镜检查时能看出弹坑的底部。表面光整加工以后，也可以使用着色法来检查是否留下了弹坑底部的痕迹。

(3) 允许使用珩磨、研磨、或手握的气动或电动的振动工具打磨喷丸表面。用振动工具打磨时，砂纸应涂上不粗于350[#]的氧化铝磨料，干湿用均可以。

(4) 喷后应用汽油或清洗剂等溶剂擦洗零件的表面，去除油污和涂料。

(5) 后续工序中，如阳极化和喷漆后烘干等，喷丸零件的加热不应超过下列温度：铝合金，120℃；钛合金，204℃；不锈钢，400℃。

(6) 喷丸强化后，禁止对零件进行校直、磨削、应力松弛或浸蚀(阳极化工序的浸蚀和去除铁沾染的浸蚀除外)等加工处理。

(7) 禁止在喷丸表面进行硬度试验。

(8) 工厂应根据气候和环境情况，规定有色金属零件喷丸后到阳极化前允许的时间间隔，以防铁沾染腐蚀。阳极化工序中的酸洗可以去除铝合金零件上的铁沾染。对于不进行阳极化保护的钛合金等有色金属零件，喷丸后的零件应浸泡在45~60%的硝酸溶液中约10~15min(总的浸泡时间不许超过45min)以清除铁沾染。

3.9.8 预应力夹具

预应力喷丸成形时需使用预弯夹具。有三种形式的预弯夹具：横向施加预弯的夹具，纵向施加预弯的夹具和局部施加预弯的夹子。

3.9.8.1 横向施加预弯的夹具

夹具的典型结构见图，由肋板(型面板)、底座和压紧夹子构成。各肋板的型面构



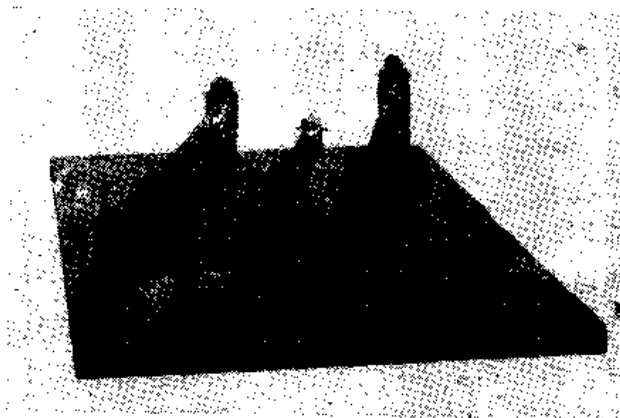
成夹具的外形，在横向对板件整体地施加预弯。这种夹具用于成形单曲率外形的蒙皮零件。

设计时应当满足：

- (1) 板件在夹具上预弯后，零件外形的等百分线应与夹具外形的等百分线重合；
- (2) 预弯后的板件从夹具上松开后，应能恢复到原来的平面状态；
- (3) 肋板的数量应足以保证喷丸成形后的零件外形不出现纵向的波浪形；
- (4) 装夹工件方便。同时，应保证处于机翼前缘方向的板件边缘部位得到充分的预弯（贴胎），而不是仍为直线段。装夹时，板件边缘处应加垫5~10mm厚的扁钢条，以防成形后零件的纵向边缘出现波浪形。

3.9.8.2 纵向施加预弯的夹具

夹具的典型结构见图，由中间垫板、两侧压板、中间底板和调节螺母组成。这种夹具仅适应于单面喷丸成形机翼整体壁板和整体厚蒙皮零件上弯折部位的马鞍形。

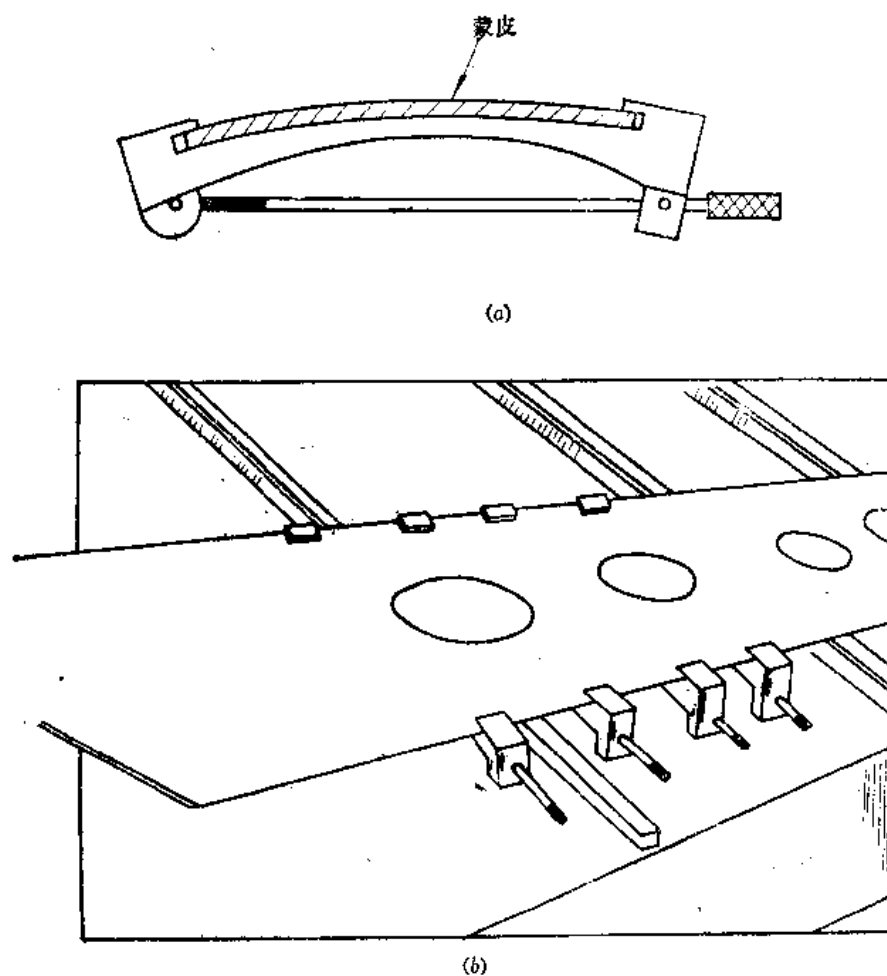


设计时应当满足：

- (1) 依据翼型曲率、壁板厚度和弯折角的大小来确定中间垫板与侧压板之间的间距。一般情况下，不应使工件三角区内材料的最大拉应变超过1%；
- (2) 压板的型面应取压板位置上该零件的弦向（横向）外形，中间垫板的型面则为两侧压板型面在正中间处的过渡型面。
- (3) 如果零件的弯折角较大，为了获得必要的延伸量，必须使用能从板件两侧喷击三角区的预弯夹具。

3.9.8.3 局部施加预弯的夹子

夹子的典型结构如图所示，结构很简单。这种夹子用于对板件局部地施加横向预弯。



(a) 预弯夹子； (b) 预弯方式。

3.9.9 喷丸成形机

3.9.9.1 气动式喷丸成形机

属重力引入式。弹丸依靠自重落入喷嘴内，压缩空气把弹丸加速喷出。国产PW-1型、PW-2型和172型三种喷丸成形机的结构原理分别示于图1、图2和图3，机床的主要技术性能见表。

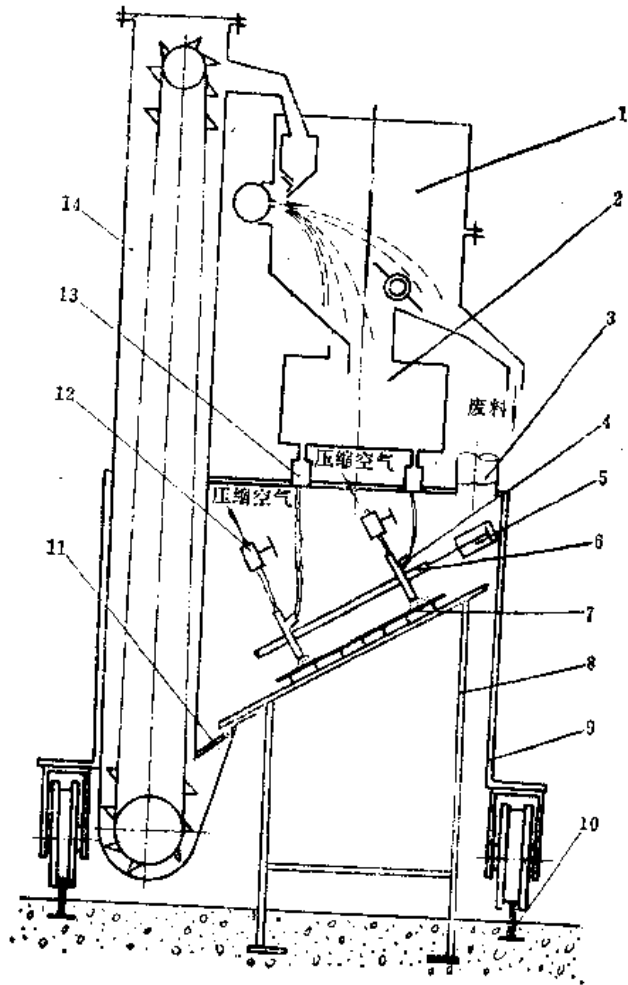


图1

1—风选分离器；2—储砂箱；3—吸尘管；4—喷嘴；5—气动动作筒；6—喷嘴架；7—工件；8—工作台；9—喷丸室；10—钢轨；11—筛网；12—气开关；13—弹丸开关；14—斗式提升机。

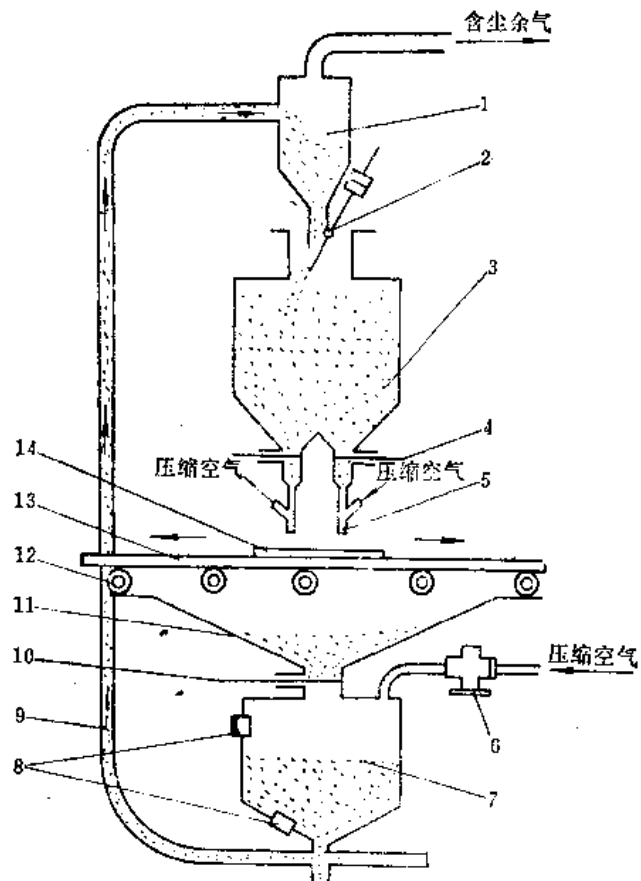


图2

1—分离器；2—闸门；3—储弹箱；4—储弹箱开关；5—喷嘴；6—二位三通电控截止气阀；7—弹丸发送罐；8—料位控制器；9—输弹管；10—发送罐插板开关；11—回收斗；12—主、从动滚棒；13—工作台；14—工件。

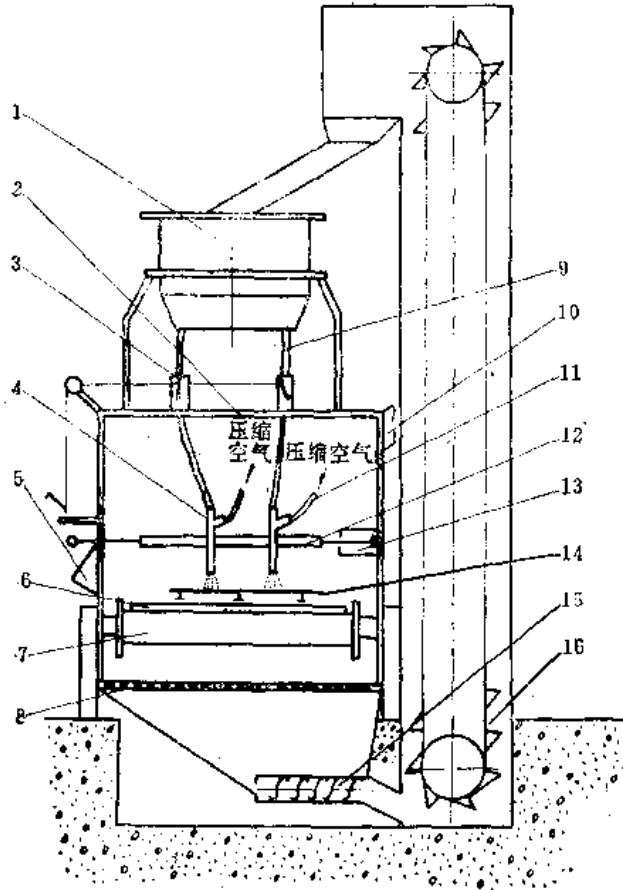


图3

1—储弹箱；2—喷丸室；3—弹丸开关；4—喷嘴；5—观察窗；6—胶皮包覆层；7—滚棒；8—粗筛网；9—输弹管；10—抽风管；11—进气管；12—摆动架；13—气缸；14—工件；15—螺旋输送机；16—提升机。

三种喷丸成形机的主要技术性能

技术参数	PW-1型	PW-2型	172型
工件的最大尺寸(长×宽)(m)	11×1.5	4×2.0	10×1.2
工作台倾斜角	30°	0°	0°
送进方式	喷丸室运动	工作台运动	工作台运动
送进速度(无级调节)(m/min)	0.1~6	0.2~3,快速6	0~1.5
喷嘴数量	2排12个	2排12个	2排12个
喷射气压(MPa)	0~0.5	0~0.5	0~0.5
提升弹丸的方式	斗式提升机	气力压送	斗式提升机
机床外廓尺寸(长×宽×高)(m)	13×2.1×6.2	11.4×3×2.6	24×2×6

3.9.9.2 离心式喷丸成形机

依靠高速旋转叶轮产生的离心力将弹丸抛出。它是喷丸成形大型飞机机翼壁板较理想的设备。美国叶轮抛丸设备公司(American wheelabrator & Equipment CO.)研制的这种机床,其外貌见图,主要技术性能见表。



离心式喷丸成形机的主要技术性能

工件的最大尺寸(长×宽)	~45×3	(m)
工件送进方式和速度	悬挂式, 0.3~4.9	(m/min)
工件送进距离	56	(m)
送进装置吊车(2台)	2×5	(t)
叶轮, 数量(置于工件两侧)	2×17	个
直径	380	(mm)
马达功率(单个)	11.4	(kW)
消耗弹丸量(单个)	227	(kg/min)
控制方式	单个或同时运转	

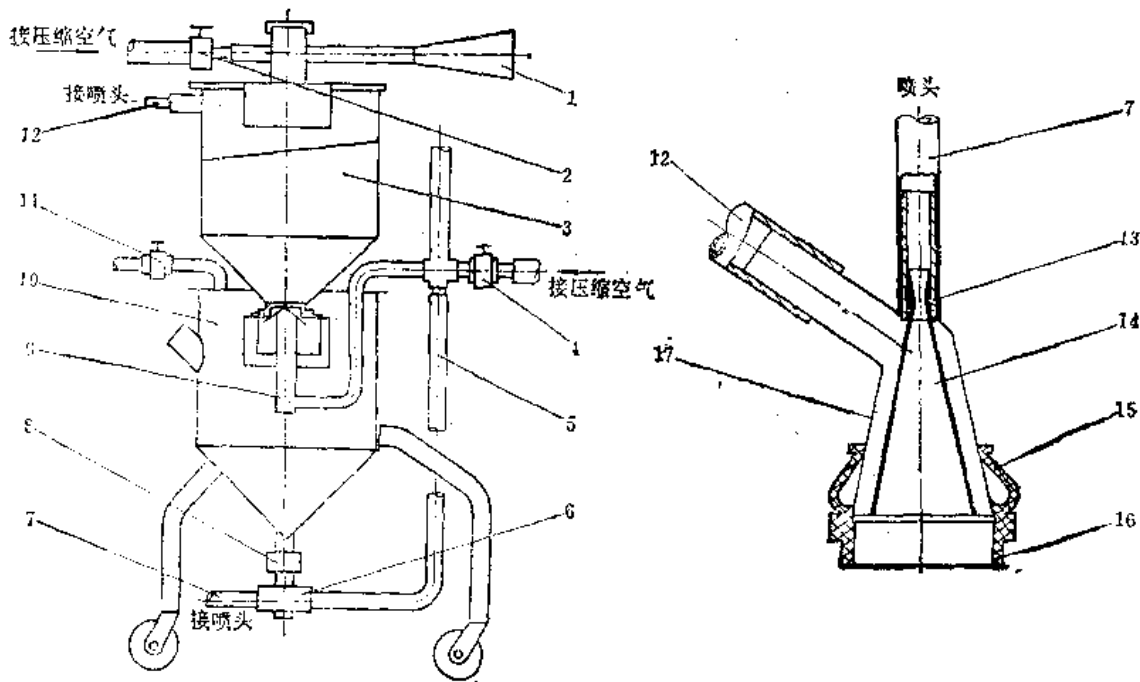
3.9.9.3 真空喷丸装置

由直压式喷丸器、真空回收弹丸的机构和除尘系统构成, 并组装在一辆可移动的小车上。

目前, 国内普遍使用的真空喷丸装置都是使用气体引射器产生真空气流, 但无除尘系统和消音装置。ZKPW-1型真空喷丸装置(又名手提式真空喷丸机)的结构原理见图, 其主要技术性能见表。

ZKPW-1 型真空喷丸装置的主要技术性能

工作气压	0~0.5	(MPa)
喷嘴直径	6; 8; 10	(mm)
弹丸直径	0.3~2.5	(mm)
储弹罐容量	120	(kg)
喷丸软管长度	7	(m)
气源管直径	38	(mm)
装置的外廓尺寸(长×宽×高)	1.21×0.70×1.32	(m)



1—引射器；2—引射器阀；3—回收室；4—进气阀；5—喷射气流连接管；6—混合室；7—喷丸软管；8—出弹阀；9—气动放料阀；10—储弹箱；11—放气阀；12—吸回软管；13—喷嘴；14—锥形喷管；15—弹性膨胀节；16—毛刷圈；17—喷头外壳。

3.9.9.4 旋片喷丸工具 (Rotopeen)

旋片喷丸工具是一种小型的手持喷丸工具，不仅能用于喷丸修整，还能用于强化孔的内壁，最小孔径可达 12.7mm。3M公司旋片喷丸工具的结构示于图 1，它的规格见

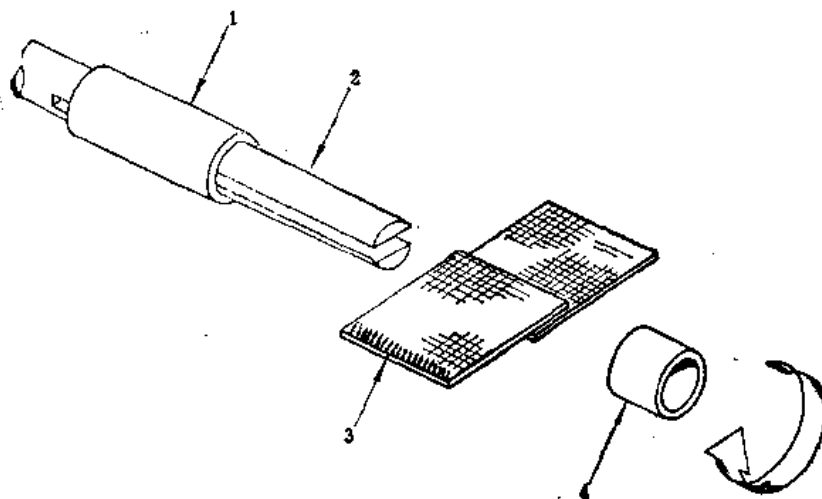


图1

1—聚乙烯套筒；2—心轴；3—旋片(在浸透树脂的布片上胶着碳化钨弹丸)；4—聚乙烯套筒。

表。

3M公司旋片喷丸工具的规格

(mm)

牌 号	弹丸尺寸与种类	可喷的最小孔径或最小圆角直径
1×2 (in)	S330, 碳化钨	32
9/16×1¼ (in)	S330, 碳化钨	19
9/16×1 (in)	S330, 碳化钨	12.7

使用这种工具喷打平面时, 心轴中可以夹持多对的布拍子。喷丸强度与心轴转速的关系见图2, 喷丸强度与喷丸时间的典型曲线见图3。

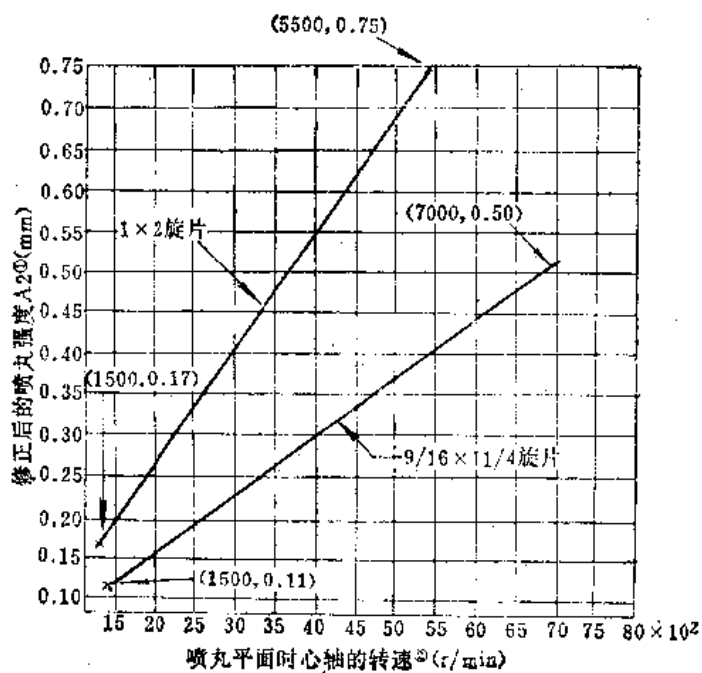


图2

- ① 等于在磁性夹持模块上喷丸标准试片后, 测出的弧高值乘以0.77;
 ② 喷打时的测定值。

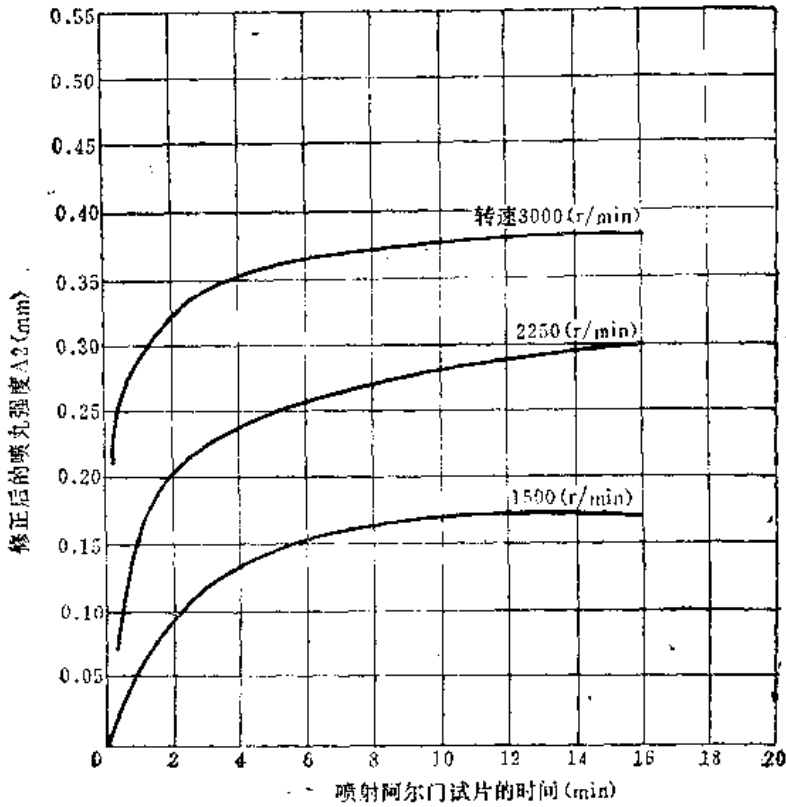


图3

注：只适用于1×2 in 的旋片喷丸工具，心轴到工作表面的距离为16mm。

3.9.10 弹 丸

喷丸成形时，建议使用铸钢丸或磨光钢球。喷丸铝、钛等有色金属零件时最好使用不锈钢丸。

钢丸的尺寸规格和技术要求如下：

(1) 铸钢丸的化学成分应符合表1要求：

表1. 铸钢丸的化学成分(%)⁽⁸⁾

碳	硅	锰	硫	磷
0.85~1.20	0.40~1.50	0.70~1.20	<0.05	<0.05

(2) 铸钢丸的尺寸规格及其筛分公差应符合表2中的规定⁽³⁾。畸形弹丸的比例不应大于表2中规定的个数，或其比例不超过10%。

畸形弹丸系指破碎的，有棱角的，有孔的，融熔的，椭球的(长短轴之比大于2:1)或两个连在一起的，如图1所示⁽³⁾。采用目视方法确定弹丸的形状。检查时，可使用一块具有正方形凹槽的平板，凹槽的外廓尺寸符合表2中规定的尺寸，凹槽的深度与弹丸的名义直径相等。将受检弹丸充满凹槽后，数出好弹丸和畸形弹丸的个数，并计算出百分比。

表2. 铸钢丸的尺寸及其筛分公差

弹丸号 No	名义尺寸 (mm)	全通过		筛上物小于5%		累计筛上物大于85%		累计筛上物大于 96%		畸形弹丸的限制	
		筛号	网眼尺寸 (mm)	筛号	网眼尺寸 (mm)	筛号	网眼尺寸 (mm)	筛号	网眼尺寸 (mm)	个数	正面积 (mm ²)
S1870	4.75	3号				4	4.75	5	4.06	2	25.4
S1570	4.00	4	4.75			5	4.00	6	3.35	2	25.4
S1320	3.35	5	4.00			6	3.35	7	2.80	4	25.4
S1110	2.80	6	3.35			7	2.80	8	2.36	4	25.1
S930	2.36	6	3.35			8	2.36	10	2.00	5	25.4
S780	2.00	7	2.80			10	2.00	12	1.70	5	25.4
S550	1.40	8	2.36	10	2.00	14	1.40	16	1.18	12	25.4
S460	1.18	10	2.00	12	1.70	16	1.18	18	1.00	15	25.4
S390	1.00	12	1.70	14	1.40	18	1.00	20	0.85	20	25.4
S330	0.85	14	1.40	16	1.18	20	0.85	25	0.71	20	12.7
S280	0.71	16	1.18	18	1.00	25	0.71	30	0.60	20	12.7

注：(1) 筛网应符合GB6004-85。

(2) 畸形弹丸个数由目视检查确定。试样应由完全充满本表规定面积上的一层弹丸构成。

用筛分试验检查弹丸的尺寸。建议使用SSZ-A型自动控制震摆筛选机，检验方法见3.9.7.1节中第11条。

(3) 弹丸的密度应大于 7g/cm^3 。可以使用置换法进行密度的测定，置换介质可用水或酒精；也可使用比色管精确地进行密度的测定。

(4) 弹丸的硬度应高于工件的硬度，一般选取HRC45~50。硬度检查应按冶标《金属维氏硬度试验法(YB53-64)》进行。但施加的测定载荷应能可靠地换算为HRC值。试样中浇灌的弹丸颗数不应少于100颗，任选20颗进行检查，测定位置在弹丸半径的一半处，硬度的平均值和17颗丸粒的硬度值均应在规定的范围内^②。

(5) 弹丸的寿命或抗破碎性除与化学成分和硬度有关外，还取决于弹丸的金相组织，以及弹丸中裂纹、空洞和缩孔的数量。

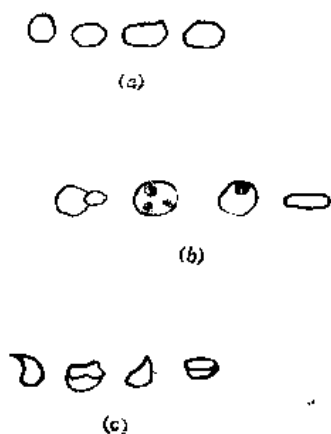


图1

(a)可以使用的；(b)不希望使用的；

(c)不允许使用的。

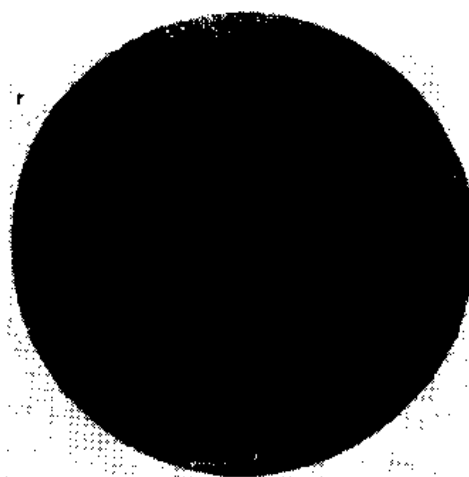


图2 (放大500倍)

铸钢丸的金相组织应由细粒碳化物均布的回火马氏体或回火屈氏体构成(图2)。网状碳化物不得大于3级。大块碳化物、粗大马氏体、变态生成物、表面脱碳和其它组织等都是不合格的。有上述缺陷的弹丸颗数超过了被检弹丸颗粒总数的15%，则认为这批弹丸的金相组织不合格⁽⁶⁾。放大500倍进行金相检查。

铸钢丸组织中的空洞是指其面积大于该丸粒截面积十分之一者，这样的丸粒数不应超过被检总颗数的10%；缩孔是指它覆盖的面积大于该颗粒截面的40%者，其颗数不超过被检总颗数的10%；裂纹是指长度大于宽度三倍的发纹构成的条带状不连续之裂纹群，而且群体长度大于弹丸直径四分之一者，其颗数不应超过被检总颗数的15%；拉口是指从弹丸表面开始的裂纹且已延伸到弹丸内部深达弹丸直径四分之一者，其颗数不应超过被检总颗数的15%。检查弹丸的空洞、缩孔、裂纹和拉口时放大十倍进行，被检总颗数至少为100颗⁽⁶⁾。

(6) 使用弹丸破碎试验机可以综合地检查弹丸的寿命，具有快速、准确和对比性直观的优点。它不仅能测量弹丸的韧性，而且还可以测定弹丸动能转换的效率，有助于使用者在较短的时间内正确地选择弹丸。图3示出了 Ervin 弹丸破碎试验机的结构原理。

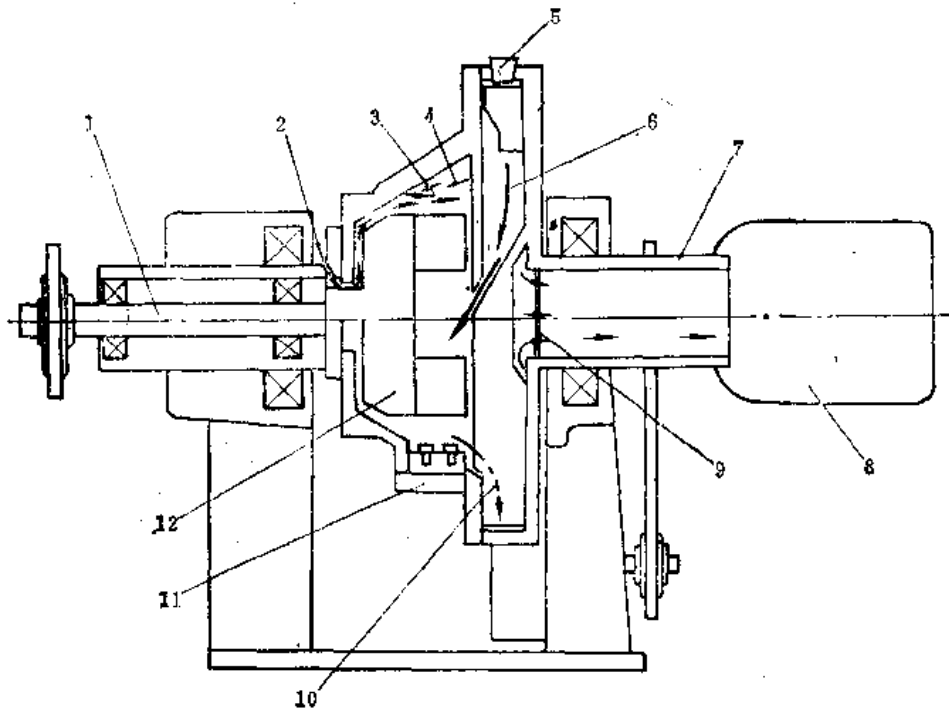


图3

- 1—高速抛头主轴，7000r/min；2—空气入口；3—砧座表面；4—气流；
5—装卸弹丸的进出口；6—弹丸样品返回抛头；7—砧座和循环装配件以
25n/min旋转；8—灰尘和细碎弹丸的收集袋；9—筛网；10—由循环装置
收集弹丸；11—喷丸强度附件；12—抛头。

参 考 资 料

- (1) 李国祥等编著,《喷丸成形》,国防工业出版社,1982年。
- (2) Shot Peening of Metal Parts, MIL-S-13165B, 1966.
- (3) Tentative Specification for Cast Steel Abrasives, SFSA 20T-66.
- (4) Shot Peen Forming of Wing Skins for the Boeing 747, ASM W72-31.4, May, 1972.
- (5) 美国专利 4,329,862, 1982.
- (6) 萨威林著,《喷弹硬化》,机械工业出版社,1961年。
- (7) Shot Peening Applications, Metal Improvement Company, Inc. Sixth Edition 1980.
- (8) Steel Grit, Shot, and Cut Wire Shot; and Iron Grit and Shot—Blast Cleaning and Peening, MIL-S-851C, 1972.

3.10 高能率成形

3.10.1 定义与范围

高能率成形是爆炸成形、液电成形和电磁成形等多种成形方法的总称，又称为高能高速成形或高速成形。它是利用炸药或电装置在极短的时间里释放出来的化学能或电能，通过介质使金属在极高的变形速度下成形的一种加工方法。

高速成形法与常规成形法的变形速度范围见表1，各种高能高速成形的特征和应用范围见表2。

表1. 几种常规成形法和高速成形法的变形速度范围^{〔1〕}

成形方法	速度范围	m/s		对数标尺		
		0.03	0.3	3	30	300
常规成形法	压弯机	—	—	—	—	—
	橡皮压力机	—	—	—	—	—
	液压机	—	—	—	—	—
	机械压力机	—	—	—	—	—
	落锤	—	—	—	—	—
高速成形法	高速锤	—	—	—	—	—
	低级炸药爆炸	—	—	—	—	—
	混合气体爆炸	—	—	—	—	—
	爆炸成形	—	—	—	—	—
	液电成形	—	—	—	—	—
	电磁成形	—	—	—	—	—

表2. 各种高能高速加工法的特征^{〔2〕}

名称	爆炸成形			高压气体活塞加工	放电成形		电磁成形	
	烈性炸药法	火药法	气体混合法	高压气体法	金属线爆炸法	火花放电法	高能方法	
能量特性	能量释放法	化学的爆轰	爆炸	燃烧	阀门开关	线的蒸发	介质离子化	磁场崩溃
	能量介质	水、空气	水、空气	气体	锤头活塞	水、空气	水、空气	空气
	压力波速度 (m/s)	1200~7000	200~300	200~300	1.5~60	6000	6000	3000~6000
	压力波时间 (s)	10 ⁻⁶	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶
适应	设备场所	远距离	分离	分离	无限制	分离	分离	分离
	成形直径 (m)	5	2	2	现在0.5 将来1	1.5 3	1 1.5	0.3 1.2
	形状变化	良好	良好	不坏	非常优秀	良好	良好	不坏
	应用	落料	胀形	胀形	压实	胀形	胀形	模锻
		精压	压实	压延	挤压	压延	压延	接合
适应	压实	校正	校正	锻造	校正	校正	收缩	
	切割			锻造				
	压印			锻造				
	扩展					扩展		
	折边、翻边							
	硬化							
包层								
校正								
压延								

(续)

名称	爆炸成形				高压气体活塞加工	放电成形		电磁成形	
	烈性炸药法	火药法	气体混合法	高压气体法	金属线爆炸法	火花放电法	高磁力法		
方法选择上的因素	主要优点	大件成品	小件成品	压力控制	精密锻造	再现性	操作容易	模 影	
	设备费	低~中	低	中	中~高	中~高	中~高	中~高	
	工具费	低	低~中	高	中	中	中	高	
	操作费	高	低~中	高	低	中	中	高	
	能量费	低~中	中~高	非常低	低	高	高	高	
	一道工序的时间	现在	长	中	长	少	长	中	中
		将来	中	中	长	非常短	短	非常短	短
安全程度	只有经过训练的人可操作		只有经过训练的人可操作		一般的注意 不要接近一切高电压的装置, 安全程度有限制				

3.10.2 爆炸成形

爆炸成形是利用炸药爆炸时所产生的高能冲击波, 通过不同介质使坯料产生塑性变形的一种加工方法。

3.10.2.1 爆炸成形的原理

在水井中爆炸成形球形件的原理及所用装置见图1。

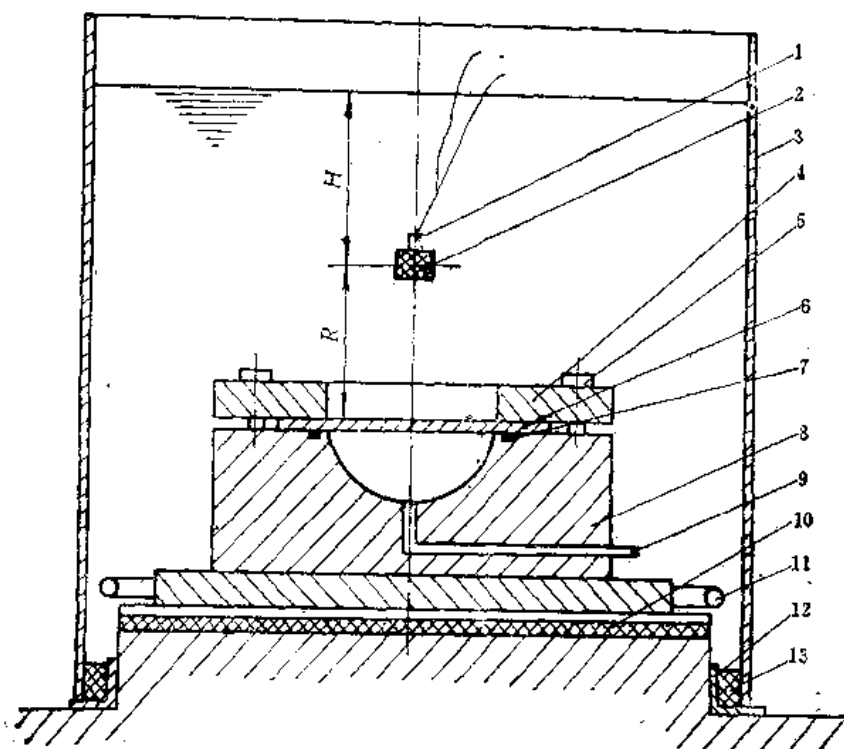


图1

- 1—电雷管; 2—炸药; 3—水管; 4—压边圈; 5—螺栓; 6—毛料; 7—密封;
8—凹模; 9—真空管道; 10—缓冲装置; 11—压缩空气管路; 12—垫环;
13—密封隔。

爆炸时，炸药的化学能在极短的时间里转化为周围介质（水、空气等）中的冲击波和高压气团，并以脉冲的形式作用于毛料，使其产生塑性变形。

一些材料在室温下的最佳变形速度范围见图2。

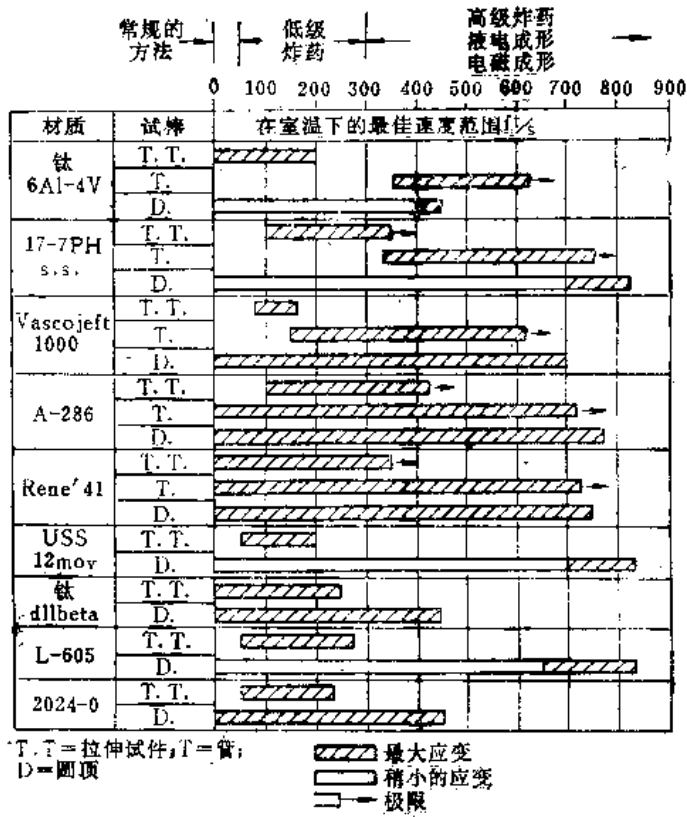


图2

3.10.2.2 进行爆炸成形的条件

爆炸成形系统由四个基本部分组成：1. 药包及起爆用品；2. 传递能量的介质及容器或爆炸环境；3. 模具；4. 毛料。

3.10.2.2.1 药包及起爆用品

最常用的炸药是TNT。其他如黑索金（RDX）、特屈儿、泰安（PETN）、硝酸炸药、塑性炸药也用于爆炸成形。

药包可分为：压装的、注装的和粉装的。同种炸药，不同的装药状态和装药密度，其发挥的效力也不同。

根据成形的需要，为了得到球面波、平面波或其他特定的冲击波波形，可以设计出不同的药包形状。塑性炸药则可以直接捏出各种形状的药包。

最常用的起爆用品是电雷管。在采用多药包成形时，可用导爆索连接各个药包。小药量成形可用一段导爆索当作药包使用。

3.10.2.2.2 传压介质及环境

爆炸成形一般在有限水域中进行。水的可压缩性小，传压效率高，因此用药量相应可减少。水的阻尼作用可减少爆炸声响及震动，还能保护毛料表面。

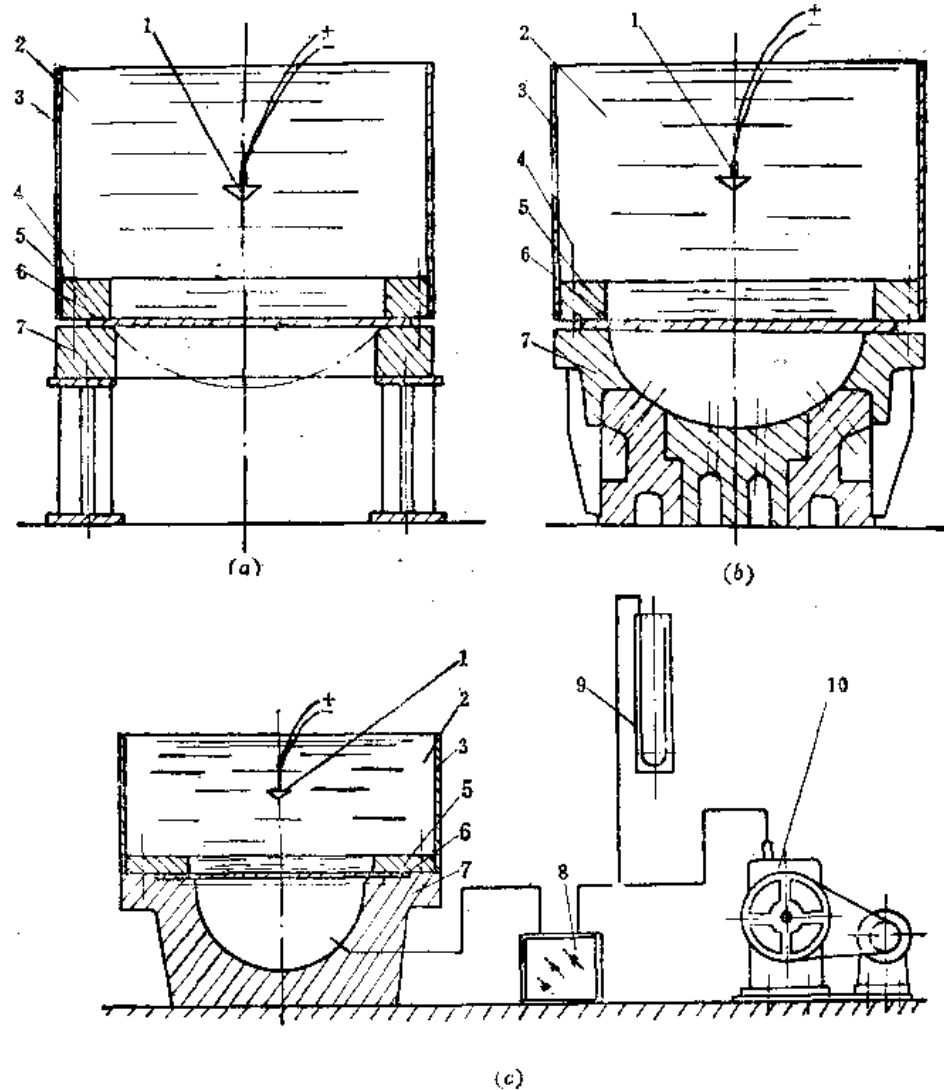
以空气作介质的爆炸成形，声响大，耗炸药量多，工件表面易烧伤或受损，因此，尽管操作简单方便，也很少采用。

对于非铝质零件，在特殊情况下，也可用砂作介质成形。

介质水盛于模具上的水帽或护筒内。批生产一般建有专用的水井，模具与药包全放在水井内。

3.10.2.2.3 模具

爆炸压延用的模具分为无底模和有底模两类(见图)。



(a) 无底模；(b) 自然排气有底模；(c) (抽真空)有底模。
 1—药包；2—水；3—水管；4—螺钉；5—压边圈；6—毛料；7—凹模；8—过滤器；9—真空计；10—真空泵。

无底模由控制成形的工艺参数来获得工件外形，易受偶然因素影响，只适用于要求不高、形状简单的零件。

有底模一般需要抽真空然后爆炸成形。只有经过特殊设计，具有足够自然排气孔的模具才可以不经抽真空而成形。

自然排气孔的大小及数量应根据模腔容积、毛料种类与厚度、模具强度等确定，孔

的直径一般小于毛料的厚度。

排气孔大小、数量与毛料的关系⁽⁴⁾

(mm)

零件尺寸及材料	排气孔直径	排气孔数(个)	在同一圆周上两孔间的距离	径向两排间的距离
$\phi 1210 \times 5$ 1Cr18Ni9Ti $\times 8$ L4-M	10	223	60~80	60~80
$\phi 1410 \times 5$ 1Cr18Ni9Ti	10	309	70~100	70~80
$\phi 1828 \times 10$ L2-M $\times 14$ L2-R	10	315	100~150	80~100

3.10.2.3 炸 药

爆炸成形常用高级炸药,典型的高级炸药是 TNT、泰安 (PETN); 在封闭爆炸模中则用低级炸药,低级炸药的一般例子是无烟火药和黑火药。高、低级炸药的比较见表1,高级炸药的效力和密度分别见表2和表3。

表1. 高级炸药和低级炸药特性的比较⁽⁶⁾

性 质	高级炸药	低级炸药
起爆方法	雷管	点火
转变时间	几微秒	几毫秒
转变速度	1800~8500m/s	0.15~1.5m/s
压 力	28000kgf/cm ²	2800kgf/cm ²

表2. 高级炸药的效力⁽⁶⁾

炸药种类	爆 破 试 验			弹道摆试验测定的相对功率(%TNT)
	碎砂试验(%TNT)	钢板凹痕试验(%TNT)	碎片试验(%TNT)	
TNT	100	100	100	100
C-3混合炸药	112	114	133	126
泰安(PETN)	129	127	—	145
黑索金(RDX)	124	131	—	150
特屈儿	114	—	121	128

表3. 炸药的密度值⁽⁵⁾

炸 药	结晶密度(g/cm ³)	注装密度(g/cm ³)	压装压力kgf/cm ²						
			210	350	700	1050	1400	2100	2800
TNT	1.654	1.56	1.34	1.40	1.47	1.515	1.55	1.59	1.63
PETN	1.765	—	1.37	1.575	1.638	—	1.71	1.725	1.74
特屈儿	1.73	1.62	1.40	1.47	1.57	1.63	1.67	1.71	1.73
RDX	1.816	—	1.46	1.52	1.60	1.65	1.68	1.70	1.71

3.10.2.4 安全问题

炸药、雷管等都属危险物品，其保存、使用和管理，应该分别按照有关规定的细则严格执行。

直接从事爆炸成形的操作人员及器材保管人员，应该具有有关爆炸用品的基本知识。只有受过严格的专业训练，经考核合格者，才能从事爆炸成形的有关工作。

爆炸成形的设施，包括室内爆炸设备、爆炸成形场地和炸药、雷管库等，一般都设在常规的生产车间之外，并按照要求彼此保持一定距离。

3.10.2.5 工艺参数选择

爆炸成形的工艺参数有：药包的形状(药形)、药包中心距毛坯的位置(药位)、炸药量(药量)、水深和模腔内的真空度等。

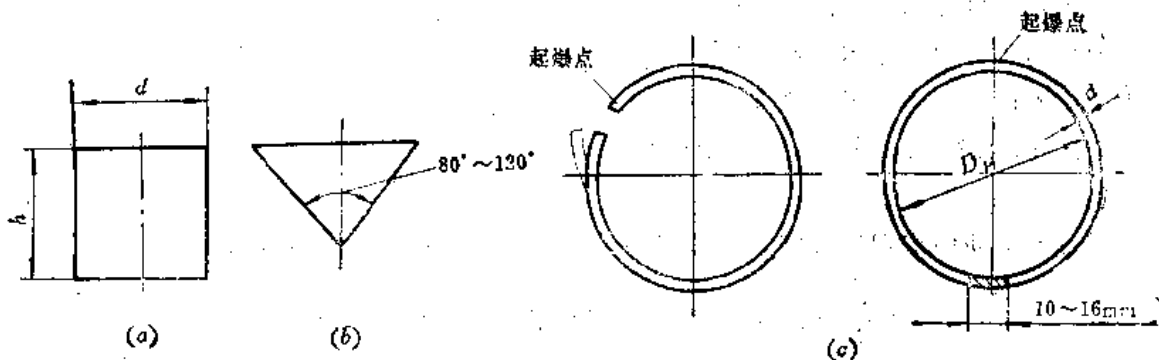
3.10.2.5.1 药形

药包形状决定了它所产生的冲击波波形，它是决定爆炸成形是否成功的重要因素之一。应该根据零件变形过程的特点，所要求的冲击波阵面形状来确定药形。药包形状选择见表1。

表1. 药包形状选择

零件特点	药包形状
球形，封头形零件	球形、短柱形、锥形
大型封头类零件	环形
大型浅底平面类零件	平板形、网格形
大型复杂零件	多点药包用导爆索串联

环形药包直径 D_n 一般取为模口直径的85%。环形药包可相对减少装药量，降低药位，有利于材料向模腔流动，并可减小工件的变薄量和提高贴模程度。环形药包最好在装药段中点起爆并在其相对端空一段不装炸药(如图(c)中右图所示)。



(a) 柱形药包； (b) 锥形药包； (c) 环形药包。

3.10.2.5.2 药位

药位对零件成形质量影响极大,是重要的工艺参数之一。药位是指药包中心距毛料的位置(3.10.2.1图1中的 R)。对于轴对称零件,药包也是轴对称的,其中心应与零件的对称轴重合。如偏置量过大,直接改变了对毛料载荷的大小和方向,会严重影响零件成形。药位过低导致毛料中心部位变形大,变薄量大;药位过高则需增加药量。

生产中常用相对药位(药位/凹模口直径, R/D)表示药包的位置。

短柱形、球形、锥形药包 $R/D=0.2\sim 0.5$

环形药包 $R/D=0.2\sim 0.3$

对于材料强度高、相对厚度大的毛料,药位取下限,反之取上限。

3.10.2.5.3 药量

在药形、药位一定的情况下,药量对作用在毛坯上的载荷大小起着决定性作用。

3.10.2.5.3.1 估算法

目前,尚无准确地计算药量的方法,只能估算。

球形药包在水下爆炸时,水中某点的压力随时间的变化可近似地用一指数式来表示:即

$$P = P_{\bullet} e^{-t/\theta} \quad (1)$$

式中 P_{\bullet} ——冲击波波头的最大(峰值)压力,MPa;

e ——自然指数;

t ——时间,s;

θ ——指数衰减的时间常数。

在自变量 $W^{1/3}/R$ 的有限范围内,爆炸产生的冲击波最大峰值压力 P_{\bullet} ,单位面积上冲量 I 和能量密度 E 可按下列近似式计算^[9]。在 R/r_0 (r_0 是球形药包半径) $=10\sim 100$ 之间(这个范围也差不多正是爆炸成形感兴趣的范围)时,这个公式计算与理论结果很符合^[9]。

$$P_{\bullet} = 5350(W^{1/3}/R)^{1.13}, \text{ (N/cm}^2\text{)} \quad (2)$$

$$I = 58.7 \times 10^{-2} W^{1/3} (W^{1/3}/R)^{0.89}, \text{ (N}\cdot\text{s/cm}^2\text{)} \quad (3)$$

$$E = 8.43 W^{1/3} (W^{1/3}/R)^{2.05}, \text{ (N}\cdot\text{m/cm}^2\text{)} \quad (4)$$

式中 W ——药量,kg;

R ——计算点距药包中心距离,m。

根据毛料的塑性变形功计算出所需的单位冲量或能量密度,进一步确定药量是比较合理的方法。但目前还没有可靠的求各种成形工艺所需功的计算方法。因此常用比较冲击波最大压力和成形所需静压力的间接方法来作粗略的估算。对于变形量较大的压延件,取 $P_{\bullet} = 10$ 倍静压力或 $P_{\bullet} \approx 100\text{MPa}$ 均可。为了可靠,可从偏小药量试验起,逐步达到合适药量。

在水介质中成形低碳钢封头形零件时,建议用下列公式估算药量^[9]。

$$\frac{y}{D} = 120(W/D^2 t)^{0.78} (D/R)^{0.74} \quad (5)$$

式中 y ——顶点挠度,mm;

D ——模口直径, mm;

W ——药量, g;

t ——毛料厚度, mm;

R ——药位, mm。

若采用砂介质时, 则上式变为:

$$\frac{y}{D} = 44.2(W/D^2t)^{0.74}(D/R)^{0.74} \quad (6)$$

当用锥形药包 $D/D_0 = 0.76 \sim 0.82$, $R_s = (4 \sim 8)t$, 其中 D_0 是毛料直径, R_s 是凹模圆角半径, 以水作介质时, 其误差不超过 $10 \sim 20\%$ 。

3.10.2.5.3.2 试凑法

它是根据已炸成的同类零件所用的药量, 按材料强度、厚度、及零件尺寸大小用能量准则进行估算, 然后通过试验再修正 (参阅 3.10.2.10)。

对于大体上几何相似, 尺寸上又不绝对成比例的零件, 在爆炸成形中, 只要边界条件大体一样, 对于薄料零件成形的炸药能量的利用率是相差很少的, 可以认为是一个常数。对于有底模成形, 有下列关系:

$$\frac{W}{\sigma t L^2} = \text{常数}$$

能量准则可简称为 2、4、8 准则。即如果零件尺寸不变, 厚度需放大一倍, 就需要二倍的药量; 如果零件厚度不变, 尺寸需放大一倍, 则需要 4 倍的药量; 如果零件尺寸和厚度都需放大一倍, 那么则需要 8 倍的药量。

对于大型零件, 可通过模拟试验来解决产品生产时的药量问题。模拟件的用药量可通过前述方法求得。

3.10.2.5.4 水深

药包中心距水面的距离称为水深。当其他参数不变时, 水深 H 值增大, 零件成形平滑度和质量将有所改善。但 H 值超过某一临界值后, 则其影响不大。薄板零件成形时, 临界水深凭经验一般取为 $(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2})$ 模口直径。

3.10.2.5.5 真空度

薄板用有底模爆炸压延时, 如果模腔内真空度不够高, 在毛料即将高速贴模时, 模腔内剩余空气被压缩。由于压力-温度效应, 空气会瞬时升至很高温度, 对模具和零件表面都会产生烧蚀作用。在毛料上载荷消失后, 压缩了的气体膨胀, 又会使零件反凸, 得不到要求的形状。试验表明, 模腔具有小于 5mm 水银柱高的真空度即可获得外形良好的零件。

3.10.2.6 爆炸成形件的质量

3.10.2.6.1 零件精度

有模腔成形的零件精度指零件尺寸、形状与模具的符合程度。零件精度与爆炸成形的工艺参数, 模具结构、材料等许多因素有关。例如, 制造发动机燃烧室时, 外径精度对小零件可达 0.05mm, 大型零件可达 0.25mm。发动机环形件 1m 直径的精度达到 0.25mm。

3.10.2.6.2 表面质量

零件的外表面质量与模腔的表面质量有极密切的关系。由于毛料高速贴模时的撞击作用，模具型腔面上的刀痕、缺陷都会反映到零件表面。因此，控制模具工作表面的粗糙度是十分必要的。药包参数、真空度等工艺参数控制不当，会使零件表面烧伤、出现橘皮状斑痕等缺陷。

3.10.2.6.3 变薄

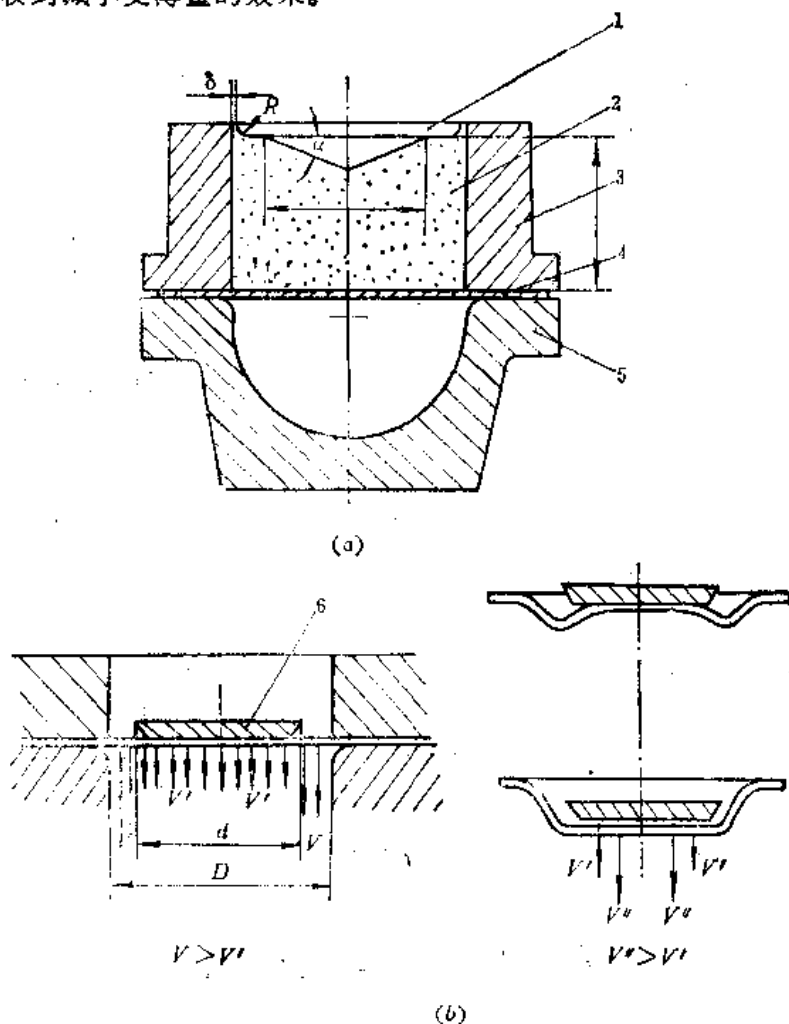
药包参数、压延系数、压边形式、凹模圆角等等因素都对工件材料局部变薄有影响，其中药包参数的影响最大。

减小零件变薄量的措施有：

(1) 水砂双重介质的锥形控制板法（图1）

(2) 塞垫法（图2）

(3) 砂垫法 在毛料的中央垫以砂袋或堆砂，加大该部分的质量，可降低该处质点的变形速度，收到减小变薄量的效果。



(a) 锥形控制板法的基本装置； (b) 塞垫的放置法。
1—控制板；2—细干砂；3—压边圈；4—毛料；5—凹模；6—垫板。

3.10.2.6.4 皱褶

爆炸压延件可能出现边皱和内皱，除了常规的消皱方法外，也可以用小药量多次成形法减少或消去皱褶。

3.10.2.7 模具材料

常用爆炸成形模材料见表1，爆炸压延模材料见表2。

表1. 常用爆炸成形模具材料的选用^{〔6〕}

模具材料	特点	适用范围
锻造合金钢	抗冲击负荷，尺寸稳定，成形零件精度高，表面质量好，寿命长，但加工困难，制造周期长，成本高	适用于形状非常复杂、尺寸精度要求高、厚度大、强度高，而尺寸不大的零件的成形与胀形，大批量生产
铸钢	基本同上项，但抗冲击能力稍差，成本也稍低于锻钢	适用于形状复杂，尺寸精度有一定要求的黑色金属或高强度的有色金属的成形与胀形，生产批量较大
球化铸铁	成本低，易于制造，能保证一定的成形尺寸精度，但抗冲击负荷能力差	适用于一定批量的黑色金属与有色金属零件的成形模
铝合金	可以反复熔铸，加工方便，制造周期短，成本低，但强度低，受冲击后尺寸容易变化，寿命不长	中小型零件，小装药量冲击负荷不大精度要求不严格的成形模，小批量、单件试制
水泥本体 玻璃钢或环氧树脂衬里	成本低，容易制造，不要求模具加工设备，但抗冲击能力差，寿命很低	适用于大型低强度厚度小的零件成形，小批量、单件试制

表2. 爆炸压延模的材料^{〔6〕}

模具材料	零件材料强度	被成形的材料的屈服强度(MPa)		
		>~210	>210~420	>420
零件总数				
1~10		环氧树脂	kirksite ^①	铸钢
10~20		kirksite	kirksite	铸钢
20~100		kirksite	铸钢	铸钢

① kirksite为美国常用的一种专门制造模具用的锌基合金。

球化铸铁成功地用于直径为1370mm的压延模。

环氧树脂敷面的混凝土模具，树脂敷层厚约25mm，用这种模具加工出直径1778mm的半球形件。

玻璃纤维敷面的钢筋混凝土模具制出直径达8~12m的封头形分瓣零件，模具重达数十吨。

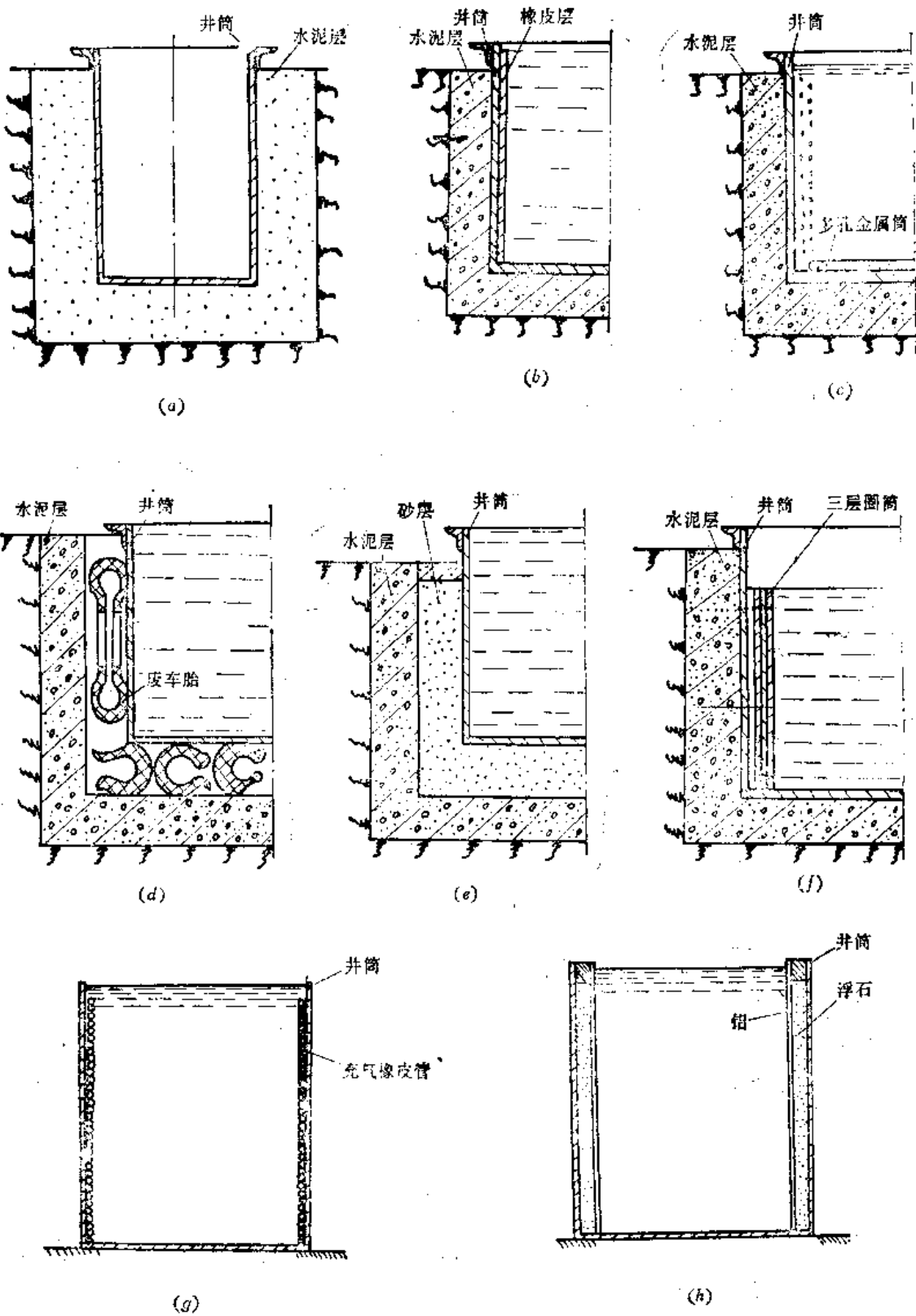
3.10.2.8 爆炸成形设备

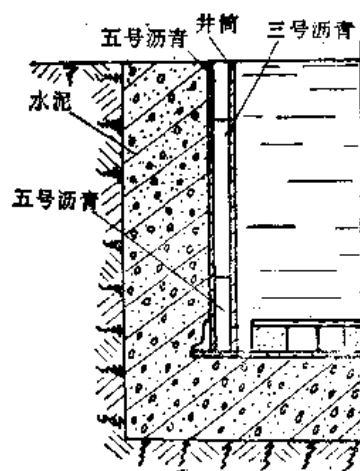
在爆炸成形的生产应用上，特别是在爆炸成形的机械化、机床化方面，我国有许多新的创造并取得一定效果。

爆炸成形常在水井中进行。其结构形式有多种，目的都在提高筒壁的承载能力。

3.10.2.8.1 爆炸水井^(9,15)

一般爆炸水井的结构形式如图所示。



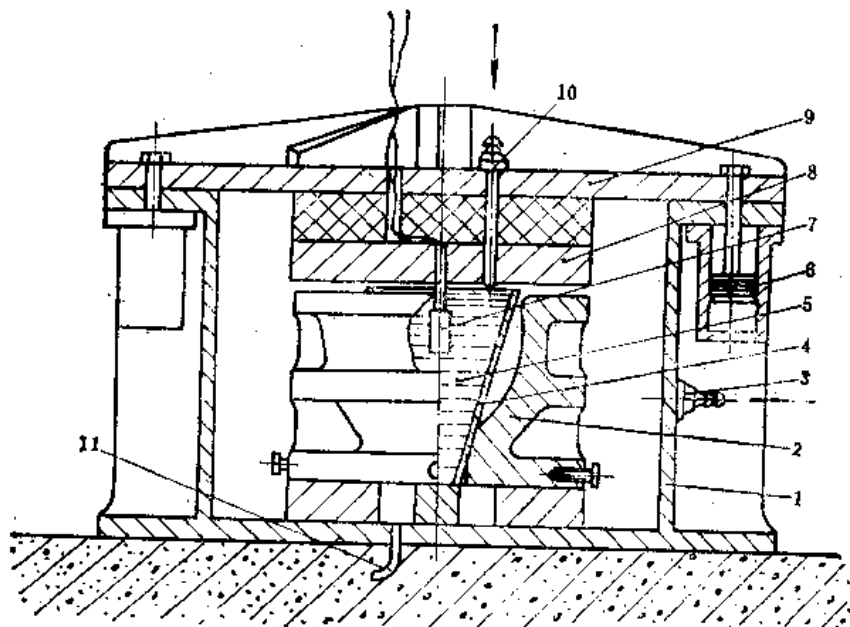


(f)

(a) 硬壁式；(b) 软橡皮护层式；(c) 气幕式；(d) 外层垫橡皮式；(e) 外层垫砂层式；
 (f) 多层卷筒式；(g) 带充气橡皮管衬里式；(h) 带浮石和铝衬里式；(i) 沥青夹层式。

3.10.2.8.2 真空箱半自动爆炸胀形装置⁽⁹⁾

真空箱半自动爆炸装置如图所示。



1—箱体；2—模具；3—抽气管嘴；4—毛刺；5—介质水；6—缓冲气缸；7—药包；8—反射板；9—箱盖；10—注水管嘴；11—排水管嘴。

3.10.2.8.3 室内爆炸井⁽⁹⁾

室内爆炸井的结构及基础见图1及图2。

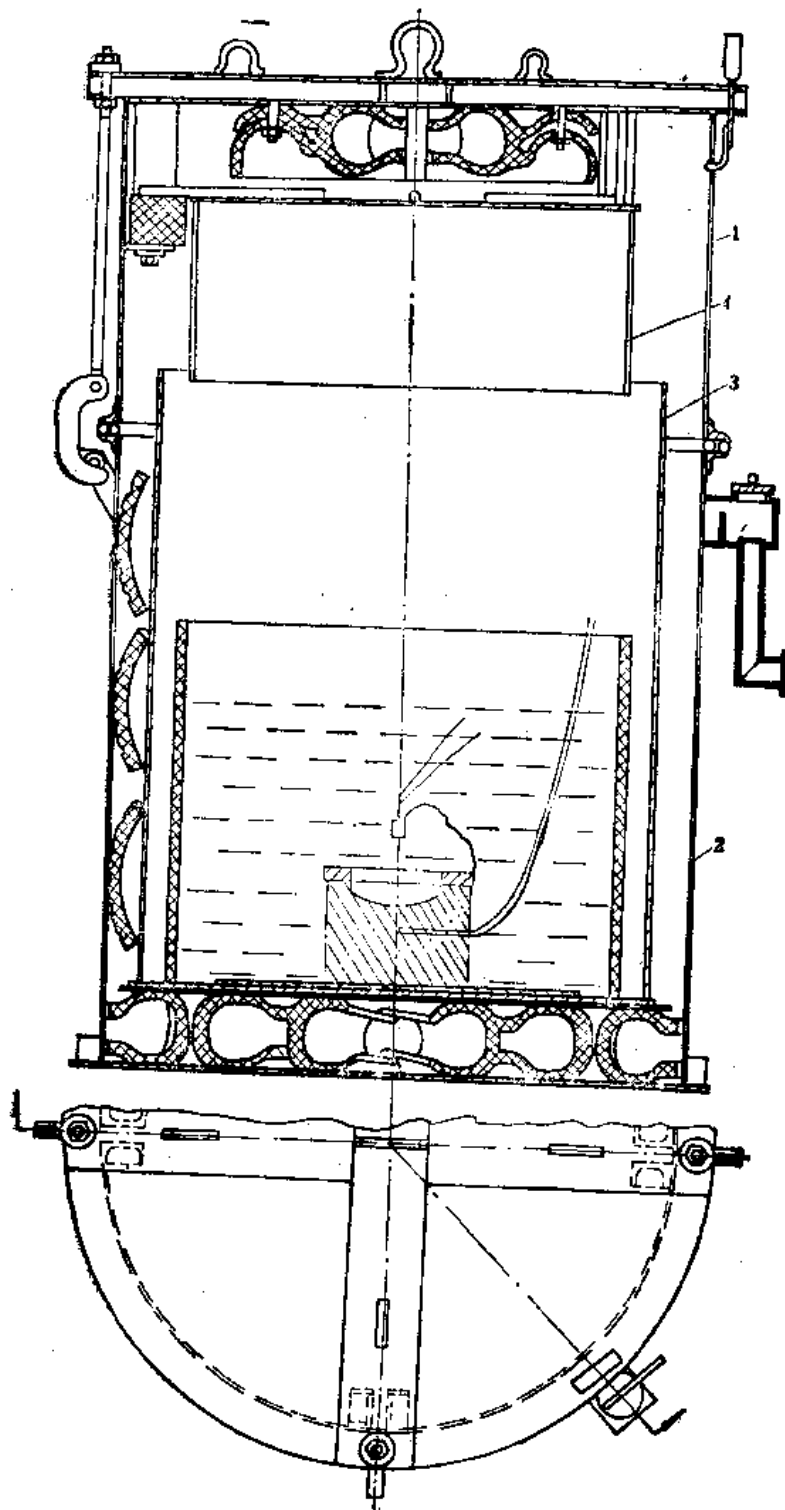


图1

1—箱盖；2—箱体；3—井筒；4—缓冲器筒。

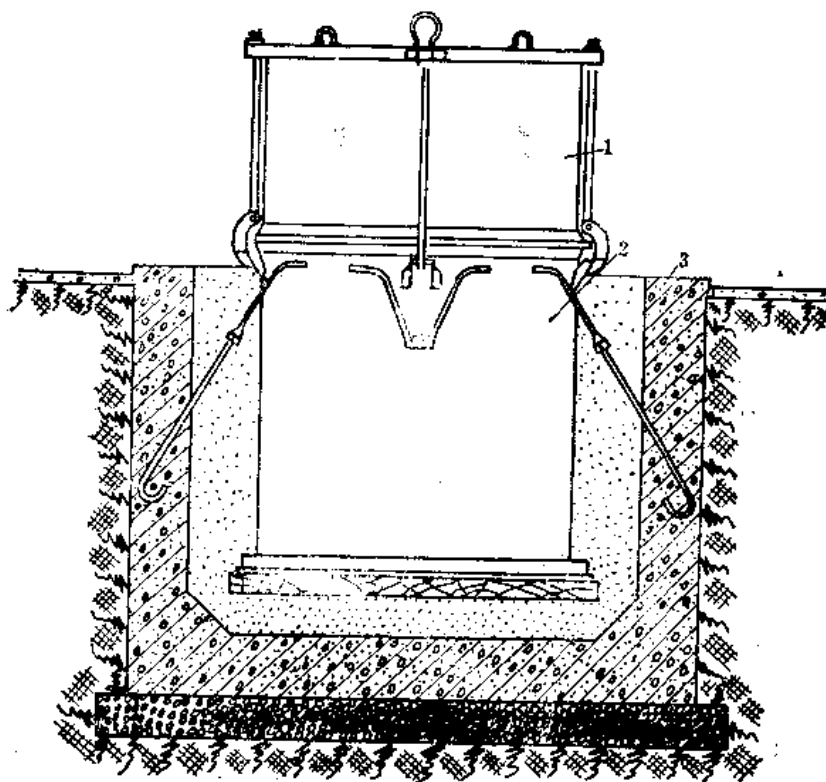


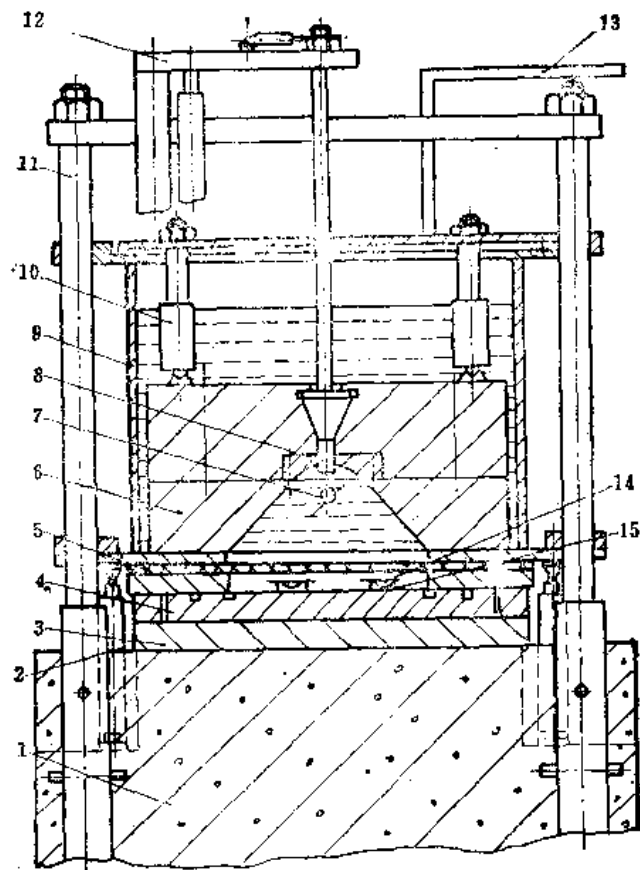
图2

1—箱盖； 2—箱体； 3—碗形基座。

爆炸井由室外移到室内，保证能在各种严酷的气候条件下使用，这种设施对那些冬天在户外无法操作的地区特别适宜。

3.10.2.8.4 封闭爆炸机床^[4]

图示为封闭式爆炸机床。



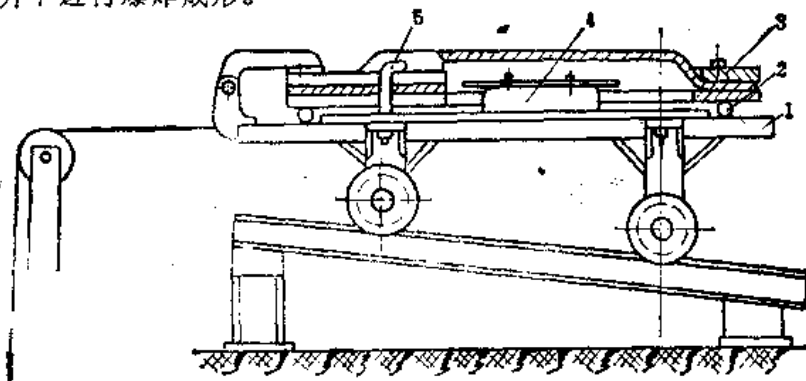
1—基础；2—顶起作动筒；3—底板；4—容框；5—密封橡皮；6—反射罩；7—炸药；8—药塞；9—井筒；10—缓释器；11—导柱；12—炸药架；13—排气管；14—工件；15—模具。

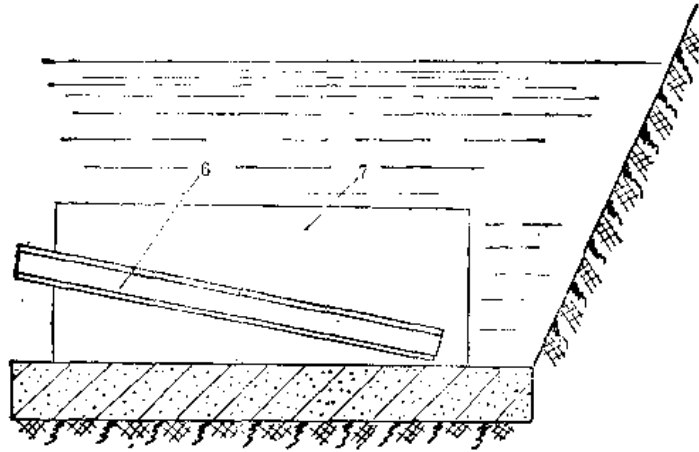
主要技术数据：

工作台面尺寸—— $\phi 1000\text{mm}$ ；井筒开启高度—— $0\sim 450\text{mm}$ ；
 模具的最大高度—— 150mm ；最大用药量—— 60g(TNT) ；
 最大峰值压力—— 300MPa ；运转周期—— 1.6min ；
 耗电功率—— 22kW ；结构重量—— 28t ；
 机床外廓尺寸——长 4600mm ，宽 3800mm ，高 3190mm ；
 基础尺寸——长 3000mm ，宽 3800mm ，厚 2550mm 。

3.10.2.8.5 爆炸橡皮容框^[12]

容框如小车形式，由钢丝绳带动沿轨道进出水井，停置在钢壳水泥平台上完成爆炸（见图）。主要用于爆炸橡皮成形，如卸去橡皮容框，在小车上放置一般爆炸模具，也可进入水井中进行爆炸成形。



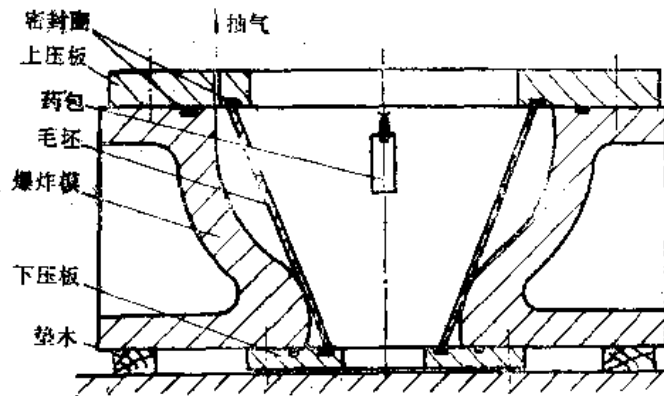


1—台面；2—密封圈；3—压板；4—模具；5—锁钩；6—钢轨；7—平台。

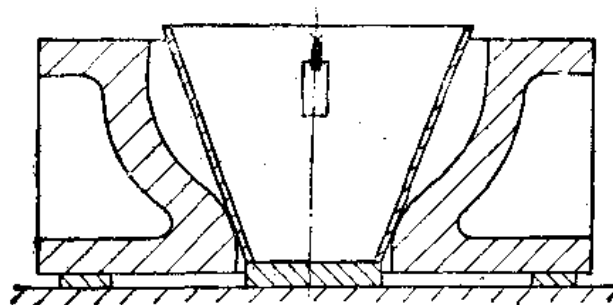
3.10.2.9 爆炸胀形

火箭发动机的壳体、喷气发动机和飞机的各种管、筒形件可以用爆炸胀形法制造。已加工的零件直径从几十毫米到一千多毫米，长度从100mm到3600mm。

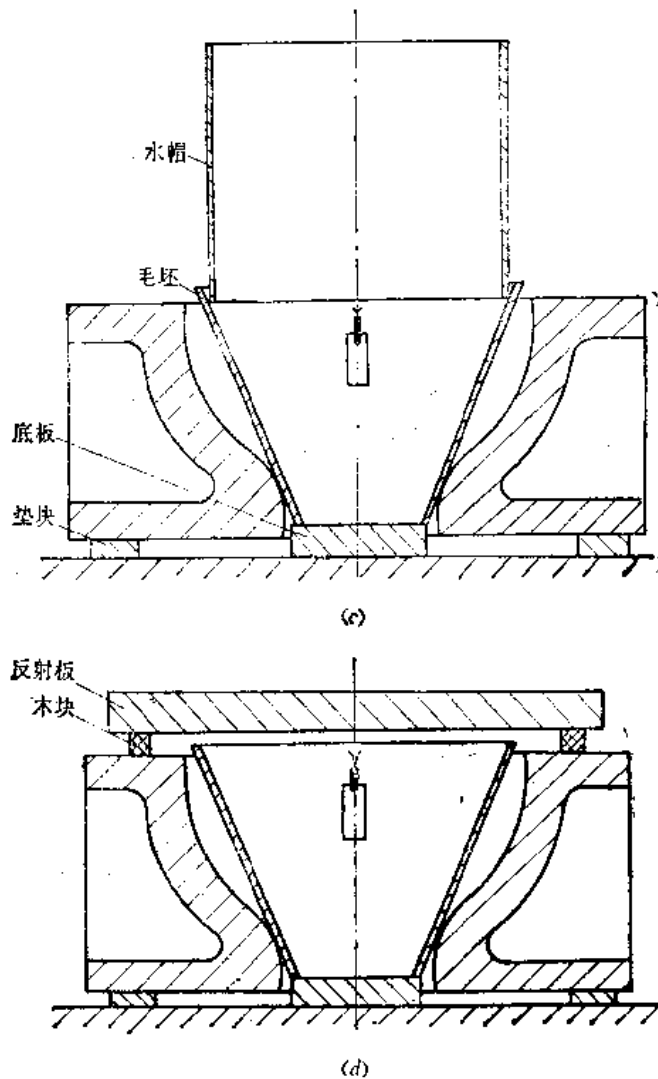
爆炸胀形中绝大部分是有模胀形。胀形模的形式如图所示。



(a)



(b)



(a) 抽真空的；(b) 自然排气的；(c) 加水帽的；(d) 加反射板的胀形模。

3.10.2.9.1 工艺参数

与常规胀形或爆炸压延相同部分参阅有关章节。

3.10.2.9.1.1 毛料

毛料胀形后变形最大处的延伸率 δ_s 应小于材料动载下的极限延伸率 δ_s 。

$$\delta_s = \frac{\phi - \phi_0}{\phi_0} \leq \delta_s$$

式中 ϕ_0 ——最大变形处的毛料初始直径；

ϕ ——最大变形处胀形后的直径。

δ_s 的资料目前较少。对于焊接毛料，有关经验数据见表1。

表1. δ_s 的经验数据⁽⁸⁾

材料名称	材料厚度(mm)	焊接方法与焊后热处理	δ_s (%)
1Cr18Ni9Ti	0.5~3.0(冷轧板)	I级自动氩弧焊, 焊后淬火处理	~40
08F	0.5~3.0(冷轧板)	I级自动氩弧焊, 焊后高温回火	~20
LF3-M	0.5~3.0	I级自动氩弧焊, 焊后退火	~20

表2. 爆炸超高压负载引起的各种材料硬化和延展性的变化 (2)

结晶构造	名称	负载压力 (K _s)	硬度HV	屈服应力 (kgf/mm ²)	抗拉强度 (kgf/mm ²)	延伸率(%)
体心立方金属 (b. c. c.)	阿姆柯工业纯铁 95	退火	64	13.6	21.8	68
		95	121	21.8	25.2	17
		220	250	75.8	86.4	16
	低碳钢 C0.17%	退火	85	24.6	40.7	25
95		160	43.5	50.6	10	
220		260	80.7	87.7	7	
银	退火	120	19.7	25.9	22	
	275	180	31.6	33.7	5	
钨(钨的旧名)	退火	68	18.5	30.9	25	
	250	115	33.0	35.8	5	
铁系面心立方 金属	奥氏体系锰钢	退火	205	40.7	94.1	60
		70	300	80.7	126.5	54
		140	380	87.7	129.0	40
		260	450	94.8	133.5	38
		330	520	104.0	143.8	28
		420	580	119.3	154.5	19
	奥氏体系不锈钢 Cr16~18% Ni6~18%	退火	165	25.3	75.8	78
		95	255	56.2	96.0	44
		250	330	75.2	108.0	48
		340	363	91.3	100.5	24
	(低温处理)	95	385	81.2	122.0	24
		退火	145	23.9	63.2	82
95		220	59.7	82.8	39	
250		305	75.8	96.0	37	
Cr18~20% Ni8~11%	340	325	80.7	92.0	21	
	95	340	73.0	105.4	28	
	(低温处理)	退火	145	32.3	63.2	63
	95	225	56.8	67.4	37	
Cr16~18% Ni10~14% Mo2~3%	250	310	86.4	91.3	12	
	340	335	83.4	89.2	9	
	95	200	50.6	67.4	46	
	(低温处理)	退火	50	7.3	22.5	55
面心立方金属	铜	220	96	33.0	34.4	
		350	109			
		425	132			
		消除应力	85	19.0	37.7	54
	220	125	45.3	47.1		
	550	192				
	Au-Ag17%	退火	60	5.8	17.6	40
340	108	14.6	22.8	6		
1100Al	退火		3.6	8.4	42	
	冲击硬化		10.5	11.7	24	
2024Al	固溶处理		30.9	49.2	24	
	冲击,时效处理		44.9	53.4	16	
Ni	退火	125	23.9	42.5	37	
	190	183	41.4	44.6	13	
	265	208	59.7	61.2	10	
	450	263	91.3	92.7	7	
蒙乃尔合金 Cu30%	退火	120	20.4	52.4	44	
	285	250	70.7	75.0	10	
密排六方金属	钛	退火		37.2	48.4	32
		冲击硬化		72.3	86.3	25

注: K_s—千巴。

3.10.2.9.1.2 药形、药位和药量 (实例可参阅3.10.2.10)

3.10.2.9.1.3 药量估算⁽⁴⁾

爆炸胀形药量是一个重要参数, 不仅与能否成形, 而且与模具寿命有关。

估算步骤如下

(a) 毛料由初始状态到贴模这一过程的变形功 A , 与成形所需炸药能量 Q 之间存在一定比例关系, 即

$$Q = A/\eta$$

η 为炸药能量利用率。

(b) 每公斤 TNT 炸药的能

$$q = 4.53 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

(c) 如果只考虑胀形件圆周方向的应力, 忽略母线方向的应力, 则毛料变形功 $A = \sigma \epsilon_s t A_0$ 。其中, σ 为材料的动载屈服强度; ϵ_s 为毛料在圆周方向的平均应变; A_0 为毛料的初始面积; t 为毛料的原始厚度, 由上可得:

$$\eta = \frac{\sigma \epsilon_s t A_0}{W q}$$

对于一般的锥形件胀形, 在下列条件下 $\eta = 0.13 \sim 0.15$ 。条件是: 材料为 08F 钢板; σ 取静载下的两倍; 介质用水, 模具抽真空加水帽; 炸药 TNT 粉装药包, 装药密度 1 g/cm^3 , 药粉颗粒度 $\leq 0.3 \text{ mm}$; 零件大端直径 210 mm , 厚度 $0.8, 1.2, 1.5, 3.0 \text{ mm}$ 。

对于不同形状零件, 可能有不同的 η 值, 这需要通过日常的生产与试验来积累数据。

(d) 相对以上参照基准, 必须是零件形状相似, 仅对其不同点如厚度, 材料, 介质, 边界条件等加以修正。

由试验及生产实践中整理出的结果如下:

- (1) 药量正比于材料厚度的一次方;
- (2) 在干砂中成形的药量为水中成形药量的 4 倍;
- (3) 加水帽抽真空成形药量约为在水井中成形药量的 1.1~1.2 倍;
- (4) 加反射板成形药量约为加水帽自然排气成形药量的 1.0~1.1 倍;
- (5) 不同材料的成形药量比例如下表。

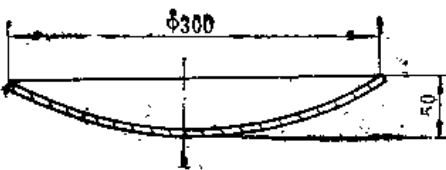
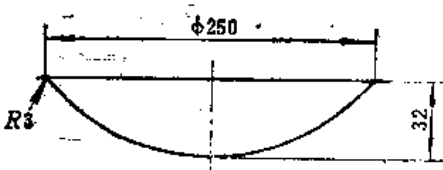
几种材料的成形药量关系⁽⁵⁾

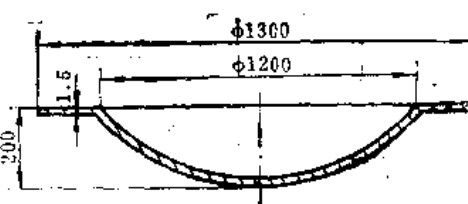
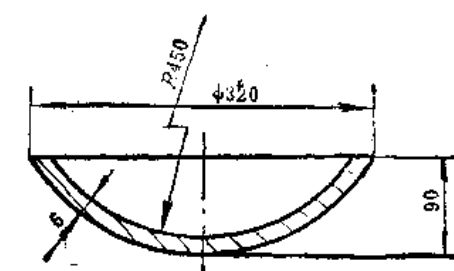
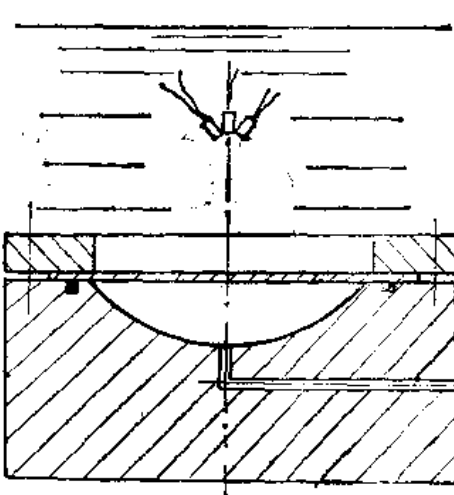
材 料	08F(高温回火)	1Cr18Ni9Ti (淬火)	1Cr21Ni5Ti (淬火)	LF3-M	LF6-M	25CrMnS.A
药量	1	1.2~1.3	1.5~1.6	0.5~0.55	0.9	1.5~1.6

3.10.2.10 爆炸成形工艺参数实例

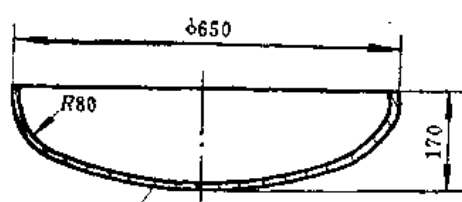
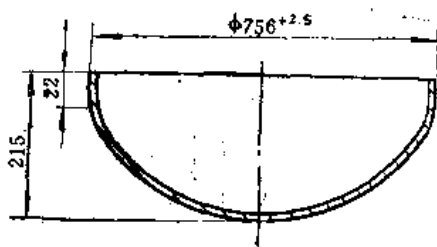
已经爆炸成形出的零件的工艺参数, 可作为选择同类型零件工艺参数时的重要参考。爆炸压延和爆炸胀形的一些工艺参数分别见表 1 及表 2。

表1. 各种不同规范零件爆炸压延工艺参数⁽⁴⁾

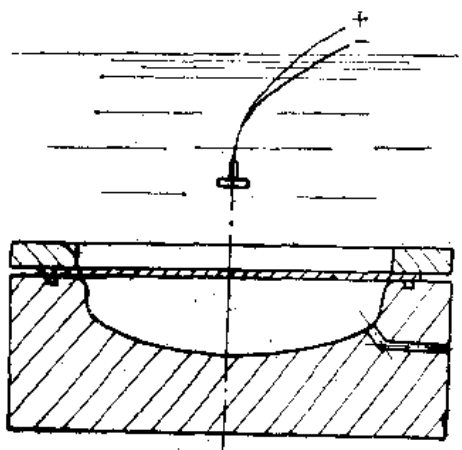
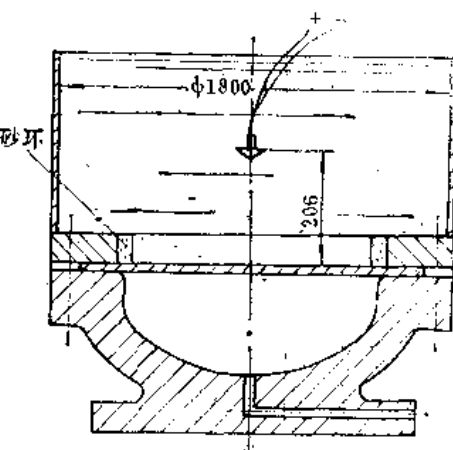
序 号	1	2
零件简图及技术要求		
材料牌号	LF2M厚1.5mm	LF21M厚1.5mm
毛料尺寸(mm)	φ350	
成形装置		
炸药种类	梯恩梯	梯恩梯
药 形	短柱形	短柱形
药位(mm)	200	两次成形, 第一次160, 第二次200
药量(g)	20	第一次20g; 第二次10g
真空度(毫米汞柱)	6	3
零件质量		贴模良好; 表面质量较好
出现问题及解决措施		内表面曾出现麻点, 垫一层2毫米橡皮消除此缺陷

序 号	3	4
零件简图及技术要求		
材料牌号	LY12M厚1.5mm	1Cr18Ni9Ti厚6mm
毛料尺寸 (mm)	$\phi 1540$	
成形装置		
药包参数	炸药种类 梯恩梯	梯恩梯
药 形	80°锥体	短柱形
药位 (mm)	两次成形。第一次500；第二次500	180~200
药量 (g)	第一次50g；第二次55g	三个药包每个75g
真空度(毫米汞柱)	5	0
零件质量	贴模良好，表面质量亦好	
出现问题及解决措施	曾出现桔皮状斑点(内外表面部有)，减少药量后消除	曾出现反凸，提高模腔真空后得到解决


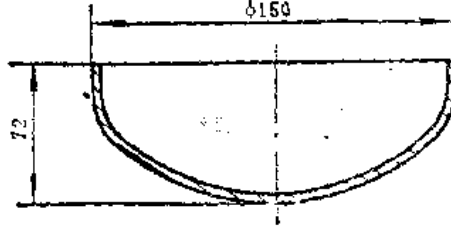
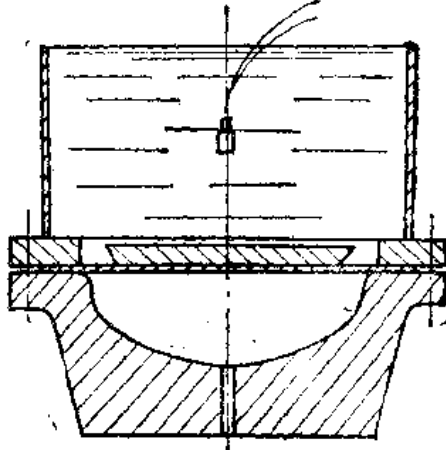
(续)

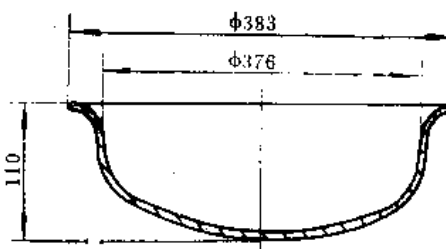
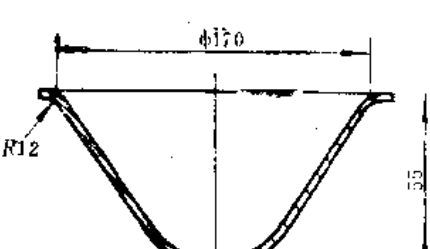
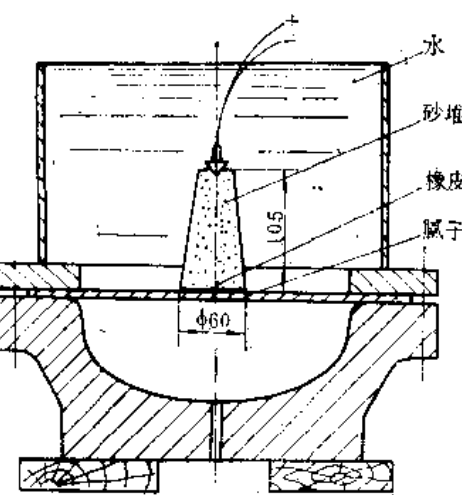
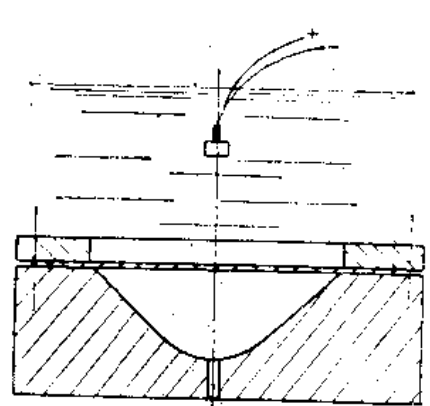
序 号	5	6
零件简图及技术要求	 <p>型面按样板</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 直径容差0.3mm; 2. 型面容差1mm 	

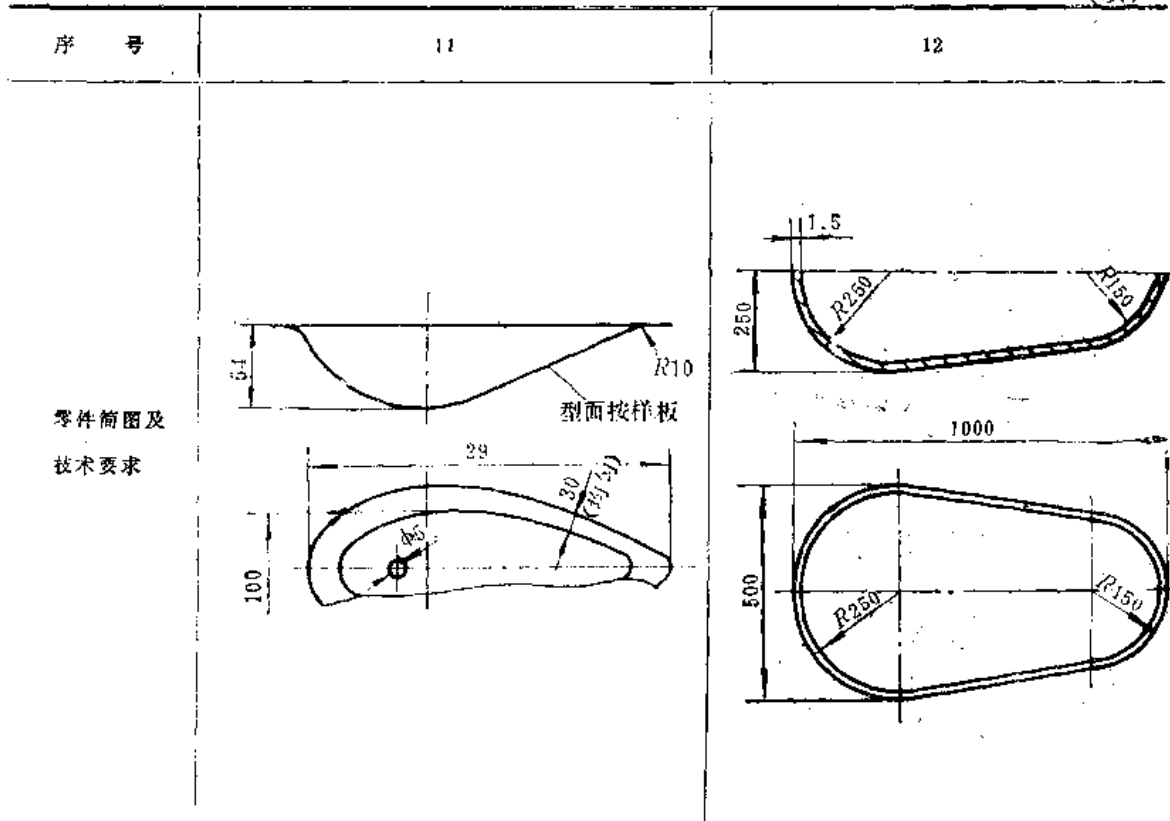
材料牌号	LF6-M厚3mm	25CrMnSiA厚8mm
毛料尺寸(mm)		

成形装置		
------	---	--

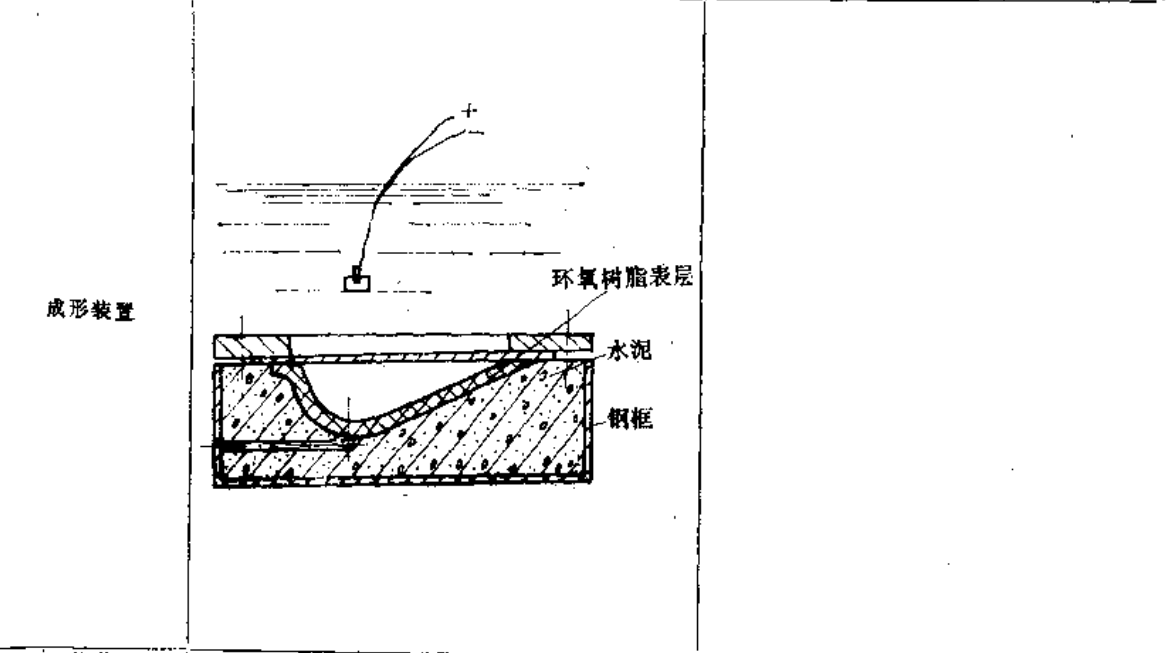
药包参数	炸药种类	梯恩梯	
	药 形	扇柱形 (φ75mm)	梯恩梯 90°~120°锥体
	药位 (mm)	420	206
真空度(毫米汞柱)	药量 (g)	200	1600
		3	6
零件质量	1. 直径偏差0.1~0.3mm; 2. 型面偏差<1mm; 3. 最大变薄量10%		
出现问题及解决措施			

序 号	7	8
零件简图及 技术要求	 <p style="text-align: center;">外形容差为0.2毫米</p>	
材料牌号 毛料尺寸(mm)	C20钢板厚3mm $\phi 1050$	08F厚2mm $\phi 250$
成形装置	两次成形	
药包参数	炸药种类 梯恩梯 药 形 短柱形 药位 (mm) 400 药量 (g) 第一次150g; 第二次160g	梯恩梯 短柱形 130 20
真空度(毫米汞柱)	5	5
零件质量	满足技术要求	用LY12M-Л1.83, $D=130$ 的塞垫成形, 最大变薄量为20%
出现问题及解决措施		变薄量过大(38%), 采用粗塞垫后解决

序 号	9	10
零件简图及技术要求	 <p>1. 允许变薄至0.55mm; 2. 外形容差1mm.</p>	
材料牌号	L4M厚1mm	LY12M厚1.5mm
毛料尺寸 (mm)	Φ530	Φ230
成形装置		
药包参数	炸药种类: 梯恩梯 药形: 120°锥体 药位 (mm): 105 药量 (g): 5.5 真空度 (毫米汞柱): 0.5	梯恩梯 短柱形 成形: 120; 校形: 90 成形: 15; 校形: 10 5
零件质量	1. 样板间隙≥0.36mm; 2. 直径偏差≥0.42mm; 3. 椭圆度为0.42mm; 4. 最大变薄21%	成形良好
出现问题及解决措施	未加砂堆前, 变薄量超差, 且零件与抽气孔对应的毛料处冲孔; 堆砂后克服上述缺陷	



材料牌号	LY12M厚1mm	1Cr18Ni9Ti厚1.5mm
毛料尺寸 (mm)		长轴方向, 1330~1250 短轴方向, 960~900

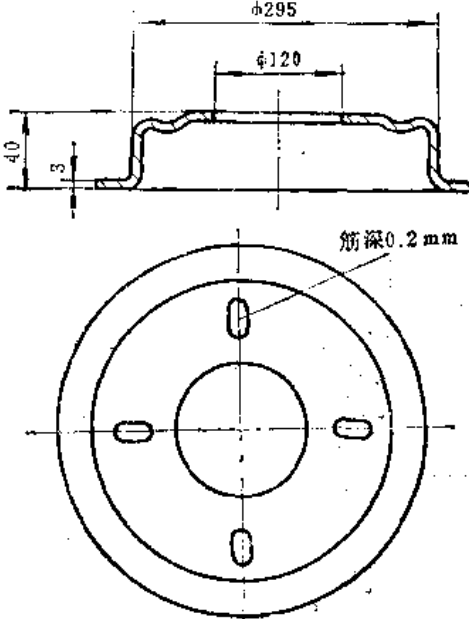
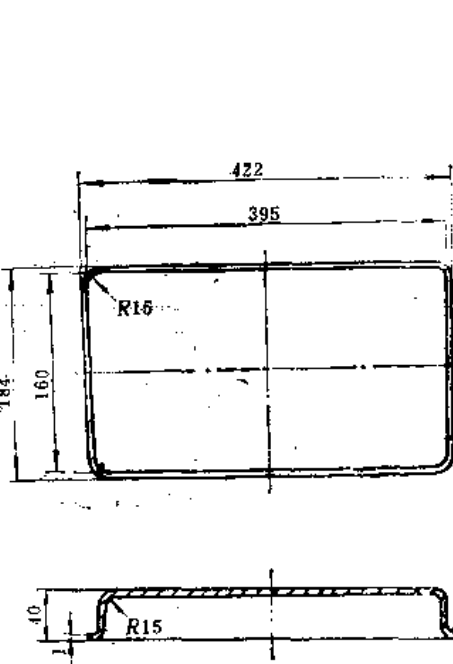
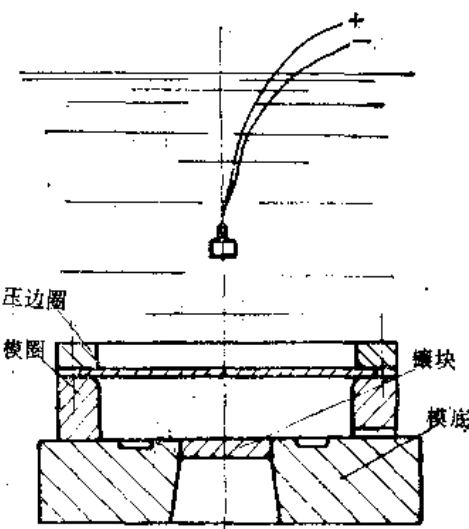


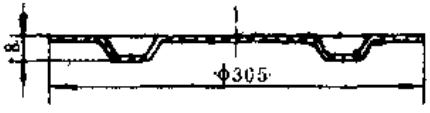
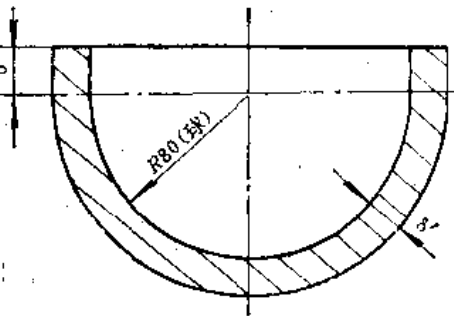
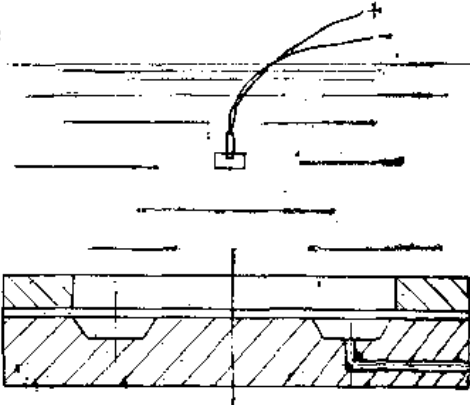
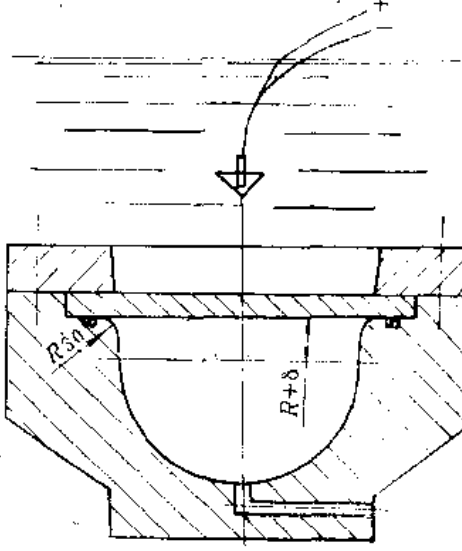
药包参数	炸药种类	梯恩梯	梯恩梯
	药形	短柱形	柱形
药位 (mm)	1.5		
药量 (g)	5		
真空度(毫米汞柱)	5		
零件质量	表面质量良好		0
出现问题及解决措施			

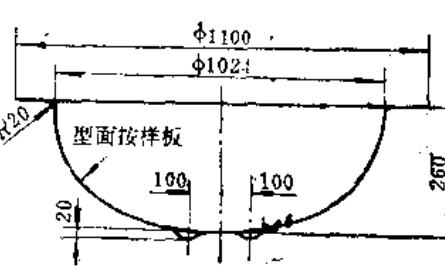
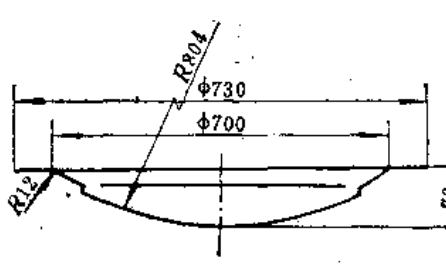
序 号	13	14
零件简图及技术要求		
材料牌号	10号钢板厚1mm	A3厚2mm
毛料尺寸(mm)	Φ288	Φ220

成形装置	<p>采用铸铁基体-环氧树脂模面的模具, 两次成形</p>	
------	-------------------------------	--

药包参数	炸药种类	梯恩梯	梯恩梯
	药 形	扁柱形	90°锥体
药位 (mm)	130		成形: 120; 校形: 120
药量 (g)	第一次20g; 第二次20g		成形、校形均为20g
真空度(毫米汞柱)	5		自然排气
零件质量	满足设计要求		表面质量及冲孔质量均好
出现问题及解决措施	经多次使用后, 发现环氧树脂模面已裂开		1. 易起死敏, 在加强压边圈刚度后获得解决; 2. 容易拉裂, 采用固定间隙压边圈后得以解决

序 号	15	16
零件简图及技术要求	 <p>筋深0.2mm</p> <p>1. 直径公差 ± 0.5 mm; 2. 椭圆度公差 ± 0.5 mm; 3. 同心度公差为 1.5 mm</p>	
材料牌号 毛料尺寸 (mm)	A3厚3mm	08F厚1mm 508×305
成形装置		<p>两次成形，第一次在毛料中同垫橡皮，校形时将橡皮取出</p>
药包种类 药形	梯恩梯 短柱形	梯恩梯 短柱形
药位 (mm)	成形, 70; 校形, 50	160
药量 (g)	成形, 74; 校形, 50	两个药包, 每个15克
真空度(毫米汞柱)		5
零件质量	贴模很好, 冲孔的边缘有圆角	满足设计要求
出现问题及解决措施		四角容易开裂, 经垫橡皮后已得到解决

序 号	17	18
零件简图及技术要求		
材料牌号	LY12C LY12M厚1mm	A3厚5, 8, 10mm
毛料尺寸(毫米)	φ362	φ266
成形装置		
炸药种类	梯恩梯	梯恩梯
药 形	短柱形	90°锥形
药位 (mm)	M料为198; T料为185	155
药量 (g)	M料为23g; T料为32g	δ=5英寸, W=300g; δ=8英寸, W=460g δ=10英寸, W=570g
真空度(毫米汞柱)	5	10~20
零件质量		贴模良好
出现问题及解决措施	因真空度低产生反凸, 当真空度提高时则可以解决	采取铸铁模时发现模具裂纹, 今后应采用锻钢模具

序 号	19	20
零件简图及技术要求		
材料牌号	LY12M厚1.5mm	LY12M厚1.5mm
毛料尺寸 (mm)	$\phi 1350$	$\phi 790$
成形装置		
药包参数	炸药种类 塑性炸药 药 形 成形: $\phi 60$ 扁柱形; 校形: 半球形 药位 (mm) 成形: 300; 校形: 40 药量 (g) 成形: 90g; 校形: 120g 真空度(毫米汞柱) 5 零件质量 完全贴模, 鼓包部位清晰 出现问题及解决措施	塑性炸药 半球形 150 60g 5 贴模良好, 符合技术要求

序 号	21	22																
零件简图及技术要求																		
材料牌号	LY12M厚1.5mm	1Cr18Ni9Ti厚3mm																
毛料尺寸 (mm)	$\phi 1380$	$\phi 950$																
成形装置		采用无凸缘压延																
药包参数	<table border="1"> <tr> <td>炸药种类</td> <td>塑性炸药</td> </tr> <tr> <td>药形</td> <td>$\phi 60$扁柱形</td> </tr> <tr> <td>药位 (mm)</td> <td>成形: 200; 校形: 150</td> </tr> <tr> <td>药量 (g)</td> <td>成形: 90g; 校形: 120g</td> </tr> </table>	炸药种类	塑性炸药	药形	$\phi 60$ 扁柱形	药位 (mm)	成形: 200; 校形: 150	药量 (g)	成形: 90g; 校形: 120g	<table border="1"> <tr> <td>炸药种类</td> <td>塑性炸药</td> </tr> <tr> <td>药形</td> <td>$\phi 100$扁柱形</td> </tr> <tr> <td>药位 (mm)</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>药量 (g)</td> <td>300</td> </tr> </table>	炸药种类	塑性炸药	药形	$\phi 100$ 扁柱形	药位 (mm)	400	药量 (g)	300
炸药种类	塑性炸药																	
药形	$\phi 60$ 扁柱形																	
药位 (mm)	成形: 200; 校形: 150																	
药量 (g)	成形: 90g; 校形: 120g																	
炸药种类	塑性炸药																	
药形	$\phi 100$ 扁柱形																	
药位 (mm)	400																	
药量 (g)	300																	
真空度(毫米汞柱)	5	5																
零件质量	贴模良好	一次完全贴模																
出现问题及解决措施	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在阴模凸缘圆角, 斜面, 底部圆角处均涂润滑油, 防止拉裂; 2. 在模具底部及斜面上各安排一个抽气孔, 防止真空度不高形成烧伤 	要留一些余量以切除端口部位																

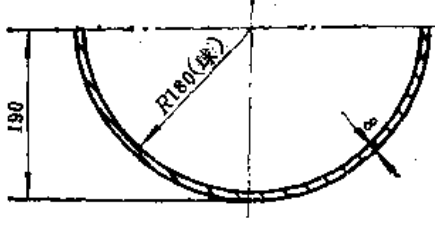
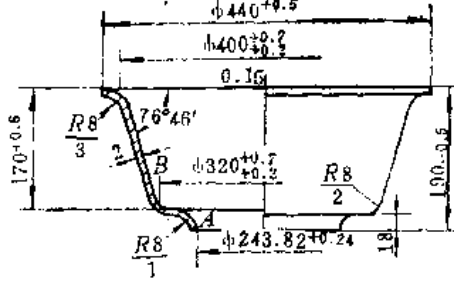
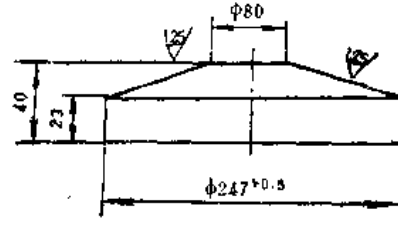
<p>序号</p>	<p>23</p>	<p>24</p>
<p>零件简图及技术要求</p>	 <p>1. 变薄量小于20% 2. 外形允差小于0.5mm.</p>	 <p>1. A面对B面的不同轴度<math><0.1\text{mm}</math>; 2. 零件表面局部不平度<math><0.2\text{mm}</math>; 3. 翻边处最小壁厚大于1mm.</math></math></p>
<p>材料牌号</p>	<p>Q23 低合金高强度钢</p>	<p>LF21M</p>
<p>毛料尺寸 (mm)</p>	<p>$\phi 570 \times 8$</p>	<p>$\phi 605 \times 2$</p>
<p>成形装置</p>		<p>第一次成形时, 模具上在翻边A处加 ~如附24-2粒料板</p> 
<p>药包参数</p>	<p>炸药种类 粉状梯恩梯 药形 球形药包 药位 (mm) 第一次成形 $H_1=260$; 第二次成形 $H_2=220$; 校形 $H_3=220$ 药量 (g) $W_1=605$; $W_2=560$; $W_3=400$ 真空度 (毫米汞柱) 1-3 零件质量 1. 零件经磁力探伤, 表面无任何裂纹 2. 变薄量小于20%</p>	<p>粉状梯恩梯 第一次成形, $\phi 50$的90°锥形 $\gamma=1.37$ 第二次成形, $\phi 50$扁柱药包 $\gamma=1.37$ 第一次成形, $H_1=240$; 第二次成形, 与型面平 $W_1=75\text{g}$; $W_2=20\text{g}$ 1-3 符合图纸要求 1. 第一次成形时要求贴模良好, 特别在 R_2 处, 以防第二次成形时 R_1 开裂; 2. 用LY12M成形时, 其他参数不变, $W_1=103$克即可</p>
<p>出现问题及解决措施</p>		

表2. 几种爆炸胀形零件的工艺参数⁽⁴⁾

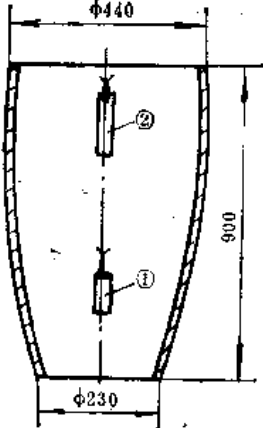
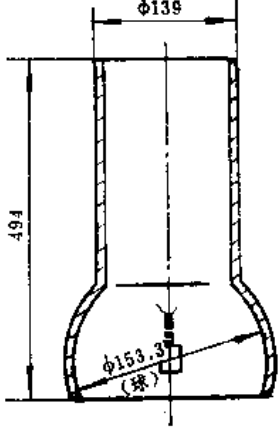
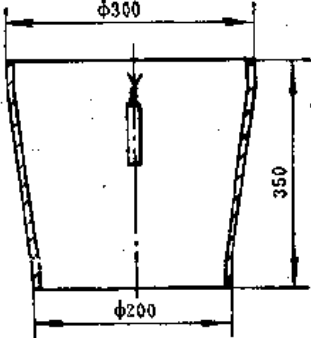
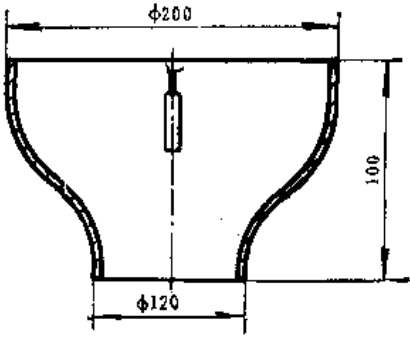
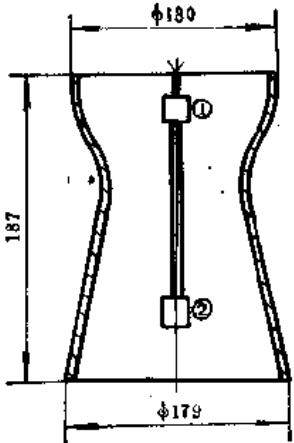
图 形			
材 料	LF21M 厚1.5mm	1Cr18Ni9Ti	10F 厚1.5mm
成形次数	2	2	1
药 量 (梯恩梯)	①5g ②10g	①2.5g ②2g	25~35g
药 位 (mm)	①距大端600 ②距大端160	①球心偏下10 ②球心	离底面120
药 形	φ6细长药柱	①φ14短柱 ②φ14短柱	φ20长柱
密 度	压装1.4	压装1.4	1.1~1.2
真空度	自然排气	自然排气	自然排气
介 质	水 (蘸满毛料)	水 (离药120mm) ↓	水 (水箱高280mm刚性底板)

图 形		
材 料	1Cr18Ni9Ti 厚1.0mm	08F 厚0.8mm
成形次序	1	2
药 量 (柳恩梯)	10~15g	①3.3g ②3.1g
药 位 (mm)	离底面40	①距上端21 ②距上端156
药 形	φ16柱形	等柱形
密 度	1.1~1.2	粉装1
真 空 度	自然排气	自然排气
介 质	水 (水帽高180mm刚性底板)	水 (水帽高100mm刚性底板)

(续)

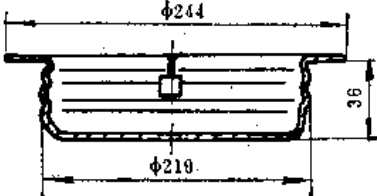
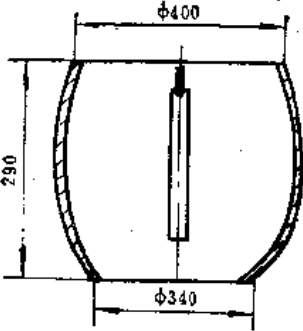
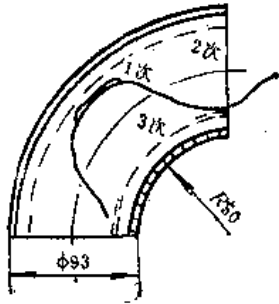
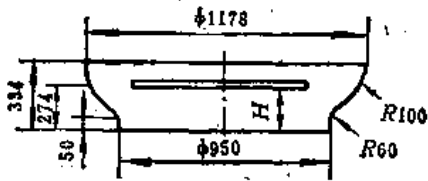
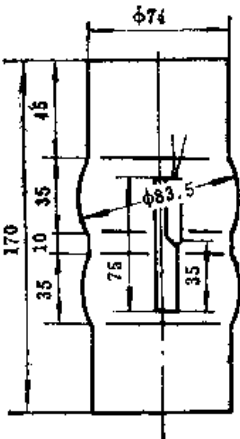
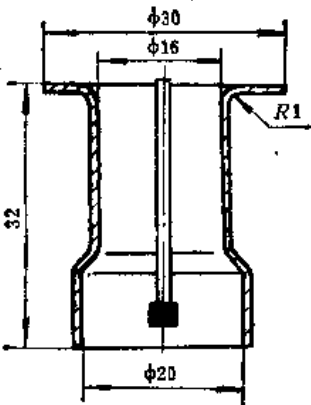
图形		
材 料	LF3M 厚1.2mm	1Cr18Ni9Ti 厚2.0mm
成形次数	1	1
药 量 (梯恩梯)	14克	70克
药 位 (mm)	零件中心	药包上端面距 零件上端50
药形	等柱形	$\phi 19$ 柱形
密 度	粉装1	粉装1
真空度	0~0.5mm汞高	0~3mm汞高
介 质	水 (水帽高200mm)	水 (水帽高350mm)

图 形		
材 料	1Cr18Ni9Ti 厚1.5mm	1Cr18Ni9Ti 厚0.6mm
成形次数	3	3
药 量 (梯恩梯)	第一次导爆索长 465 第二次导爆索长 300 第三次导爆索长 510	第一次导爆索环形φ500长3170 第二次导爆索环形φ700长2200 第三次导爆索环形φ700长2200
药 位	零件中心线	第一次 $H=280$ 第二次、第三次 $H=320$
药 形	弧 形	环 形
密 度		
真空度	自然排气	自然排气
介 质	水 (灌满毛料)	水 (水相高600~800)

(续)

图形		
材 料	1Cr18Ni9Ti 厚2.0mm	C20 厚1.5mm
成形次数	1	1
药 量 (梯恩梯)	导爆索, 图示	导爆索长 100
药 位 (mm)	图 示	图 示
药 形	直 线	直 线
密 度		
真空度	自然排气	自然排气
介 质	水	白 泥

3.10.3 液电成形^(9,2,10,11)

液电成形是利用在液体介质中高压放电时产生的高能冲击波，使毛料产生塑性变形的一种加工方法。液电成形又称放电成形。

液电成形的电能释放有两种形式：通过火花间隙（图1）或细导线（爆丝）释放电能（图2）。

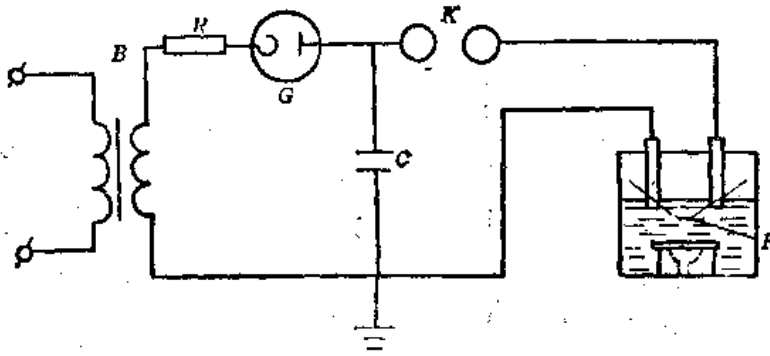


图 1

B—高压变压器；G—高压整流管；R—充电电阻；C—电容器组；K—辅助（空气）间隙；F—主（液体）间隙。

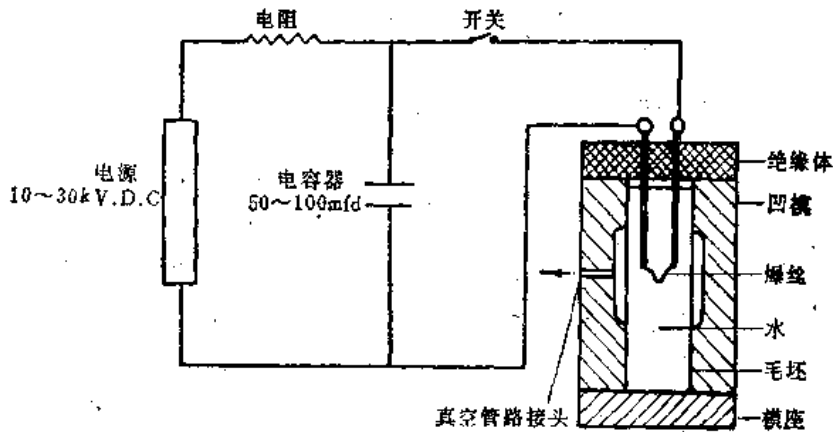


图 2

液电成形装置分为两个部分：

- (1) 充电回路：包括高压直流电源、充电电阻和电容器；
- (2) 放电回路：包括电容器、高压（空气）间隙开关和主放电间隙（或接爆丝）。

电容器能储存的最大电能 E 取决于其电容和充电电压。

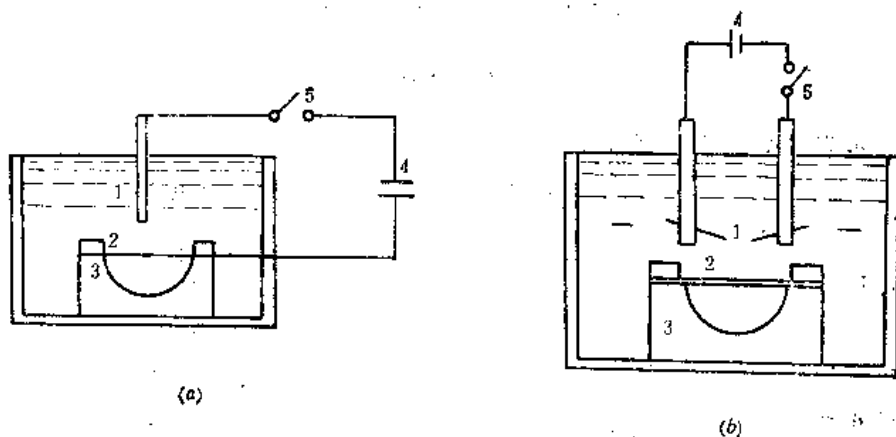
$$E = \frac{1}{2}CU^2$$

式中 E ——电容器贮能，J；
 C ——电容， μF ；
 U ——电压，kV。

由于功率=能量/时间，在电液成形中放电时间极短促，因此在主回路中产生了巨大的瞬时功率。但功率消耗量并不大(30kJ)，一次放电只耗电0.01kWh，平均每个零件放电数次即可成形，复杂零件才需多次放电。

3.10.3.1 电极形式和放电法

电极有单极式和双极式两种，如图1所示。



(a)

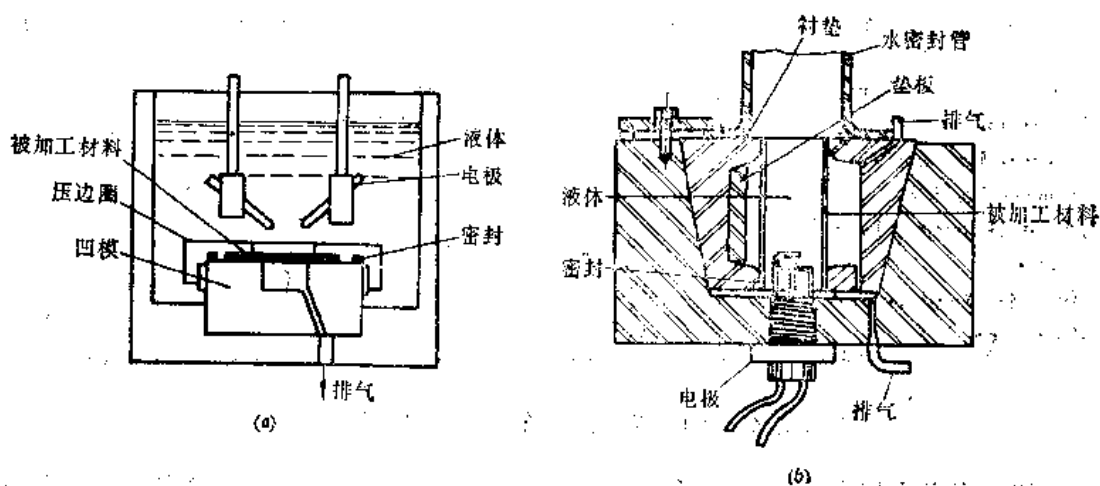
(b)

图 1

(a) 单极式电极；(b) 双极式电极。

1—电极；2—毛料(兼作电极)；3—模具；4—电容器；5—开关。

电极的配置有对向式和同轴式，如图2所示。



(a)

(b)

图2

(a) 对向式；(b) 同轴式。

除了间隙放电外，还有导线及金属粉末放电法(图3)。

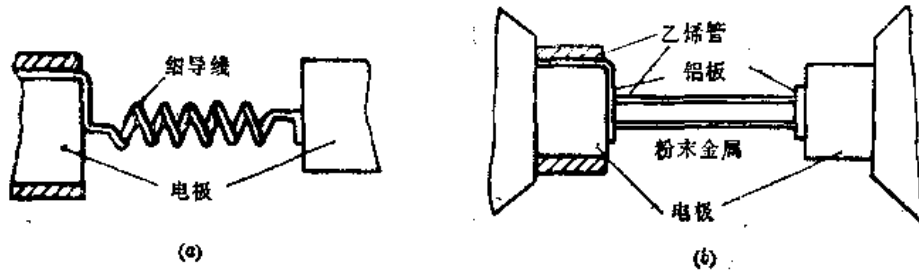


图3

(a) 导线放电法; (b) 粉末金属放电法。

3.10.3.2 液电成形设备

国产的液电成形设备主要参数如下:

主要参数	试验研究型	生产型
最大充电能量	26.25kJ	12.8kJ
最大充电电压	50kV	30kV
最大电容值	21.16 μ F	28.5 μ F
(放电)回路电感	0.82 μ H	<1 μ H
(放电)回路电阻	0.0272 Ω	0.02 Ω
最大电流	232kA	
最大电流上升速度	6.1 $\times 10^{10}$ A/s	
成形工件最大直径	140mm	200mm

下表为美国生产的放电成形机, 供参考。

美国各公司的放电成形机^[2]

公司名称	电压(kV)	能量(kJ)	充电时间(s)	形式
Cincinnati Shaper Corp.		24	18	立式
Electrohydraulic Corp.		121		立式
General Dynamica	(7.6)	48		立式
General Electric	(8.3)	15	30	卧式
Marshall Space Flight Center	35	27	5	卧式
Republic Aviation Corp.	30	240		
Robr Corp.	(18)	38		卧式
	(18)	155		
	(18.5)			

3.10.4 电磁成形^[9, 2, 13, 14, 15]

电磁成形是利用电流通过线圈产生的磁场, 其磁力作用于毛料使其产生塑性变形的一种加工方法。电磁成形又称磁脉冲成形。

它和液电成形一样, 是利用储存在电容器里的电能进行高速成形, 只不过在空气中装上线圈代替了水中的电极, 如图 1 所示。

电磁成形包括充电回路和放电回路。放电回路中开关接通后, 电容器中储存的电能

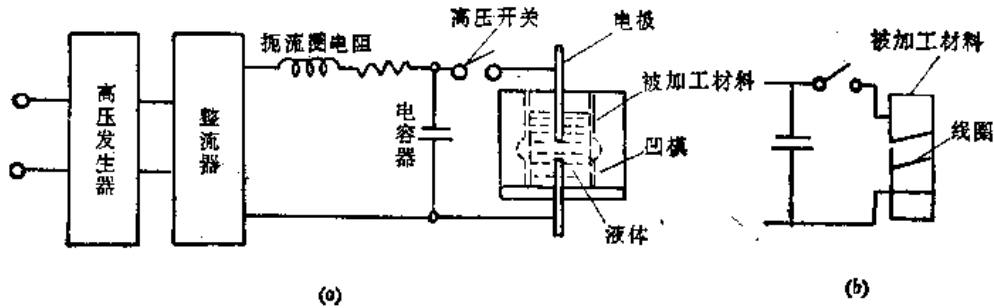


图1

(a) 液电加工；(b) 电磁加工。

形成一个强脉冲电流通过线圈，在它周围形成一个强磁场。如果线圈内有绝缘体，不改变磁场的分布(图2(a))；如果线圈内有一管状导体(毛料)，则线圈中的变动磁场，在导体中产生感应电流(图2(b))。在线圈磁场增强时，感应电流方向与圈线电流方向相反。这两种电流所产生的磁场相互作用的结果，使在管料与线圈之间的磁力线得到加强。毛料受到很大的电磁斥力作用，产生塑性变形而高速运动，如毛料内有模具，则毛料贴模成形。

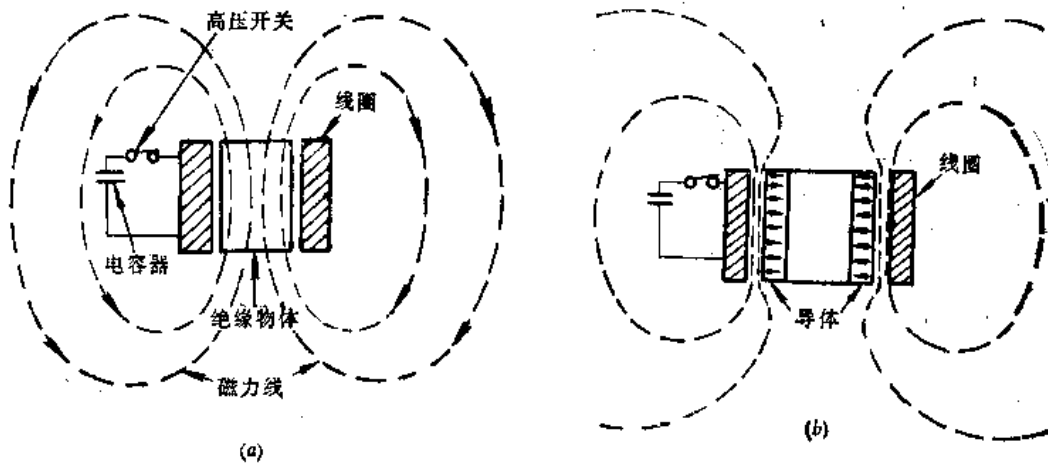


图2

3.10.4.1 线圈与集磁器

3.10.4.1.1 线圈

一次性线圈常用于单件生产或试验性工件。在使用时，把聚氯乙烯被覆铜线在材料上绕若干圈即成。成形时，由于磁场力和脉冲电流的作用，线圈被烧掉飞散。由于成本低，现在也用于小批量生产。

永久性线圈用于批生产。

永久性线圈要求具有能够承受成形时强大冲击力的机械强度，并具有对高压脉冲大电流的绝缘度。为此常把线圈用玻璃钢固定起来，进行绝缘和加强。

为了适应一定的加工范围，在线圈与工件间有较大间隙，使磁力线密度降低，不能产生大的力。因此，可将集磁器插入间隙。

3.10.4.1.2 集磁器

集磁器类似一个脉冲变压器的二次线圈。由线圈感应产生的二次电流在内表面产生的磁场对工件施以径向压力，使其成形。

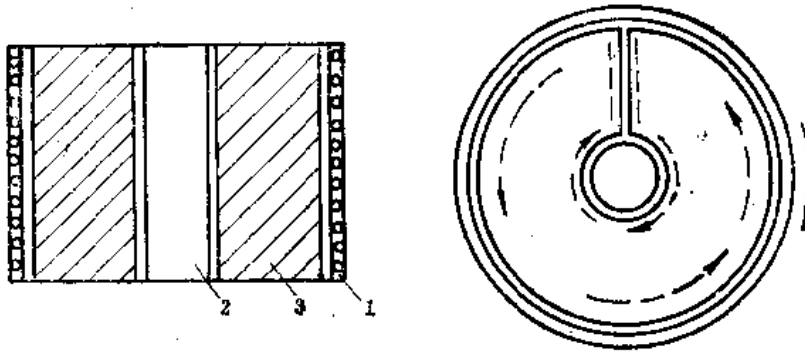


图1

1—线圈；2—工件；3—集磁器。

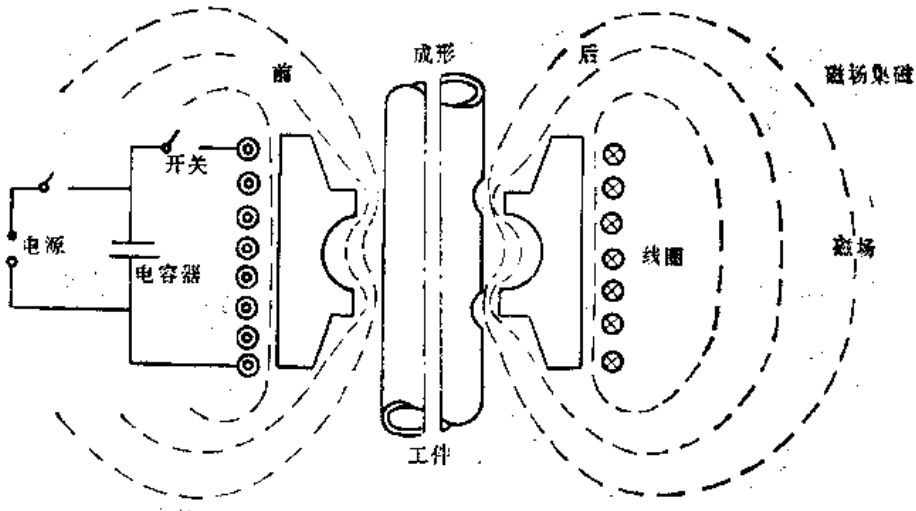
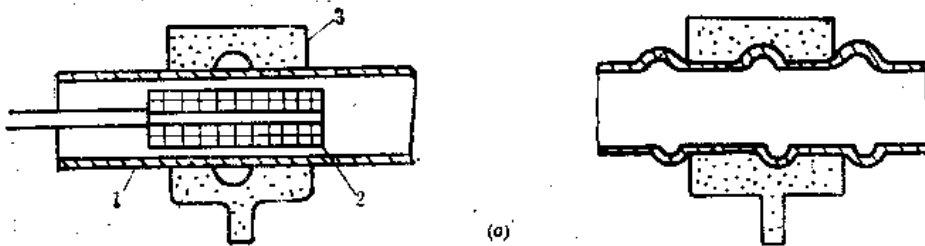


图2

集磁器一般用高导电率、强度高的材料如镀青铜或黄铜制成。根据工件的成形要求，集磁器可以设计成各种形状，以加强局部磁场，（如图2）使工件成形。

3.10.4.2 成形方法



(a)

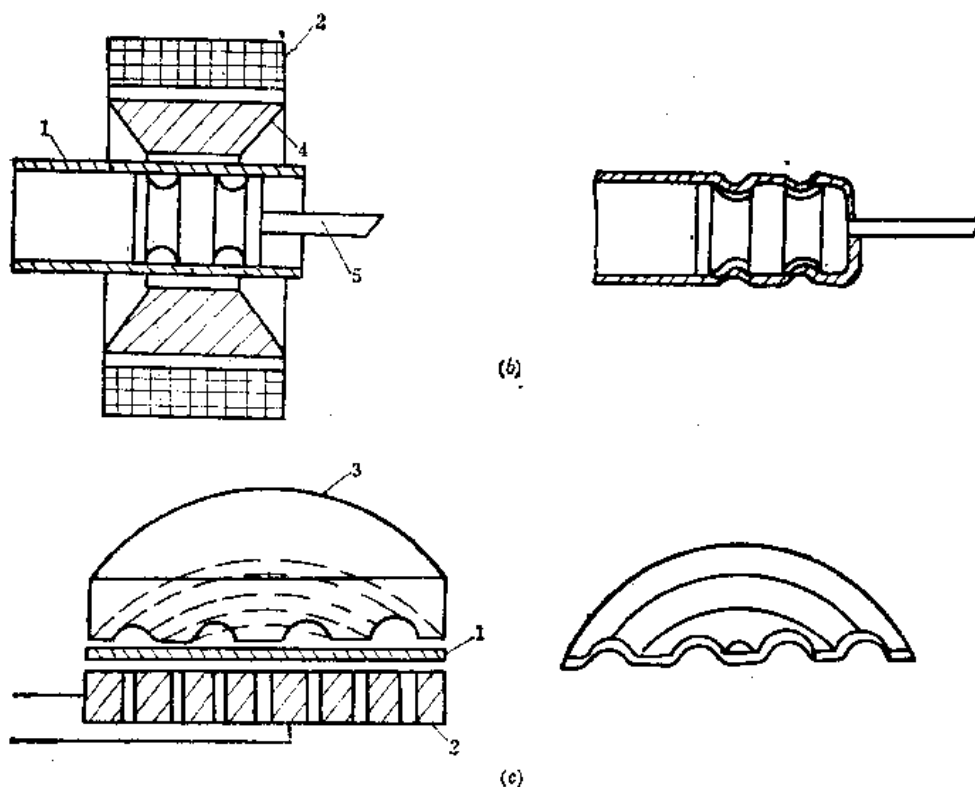


图1

(a) 胀形; (b) 缩形; (c) 平板加工。

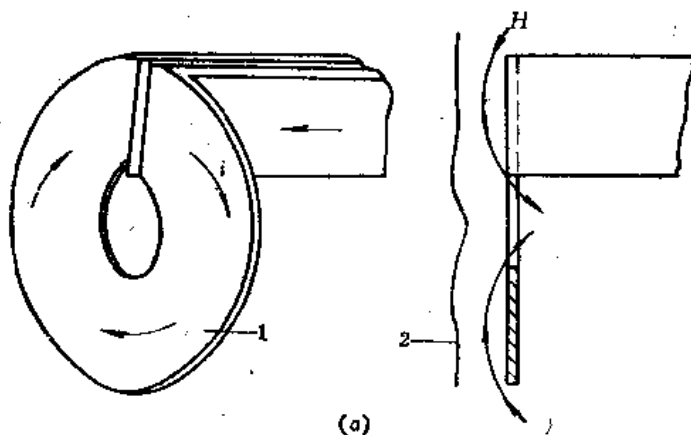
1—工件; 2—线圈; 3—模具; 4—集电器; 5—模具(接头)。

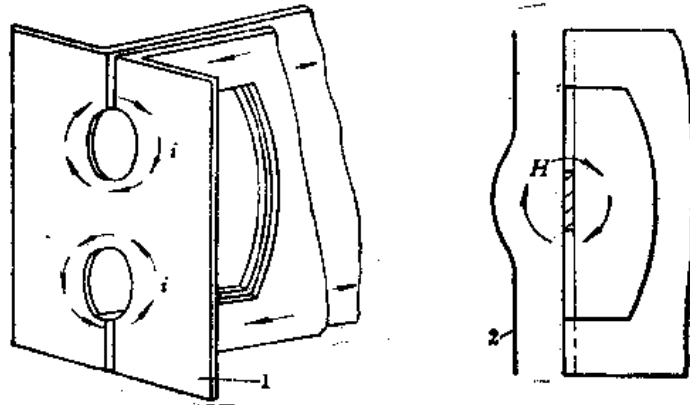
单匝线圈和加工波纹板的单匝线圈见图2。单匝线圈电感小, 要求通电回路电感更小, 才能得到比较实用的效率。

也可以采用电流直接通过工件的加工方法(图3)。

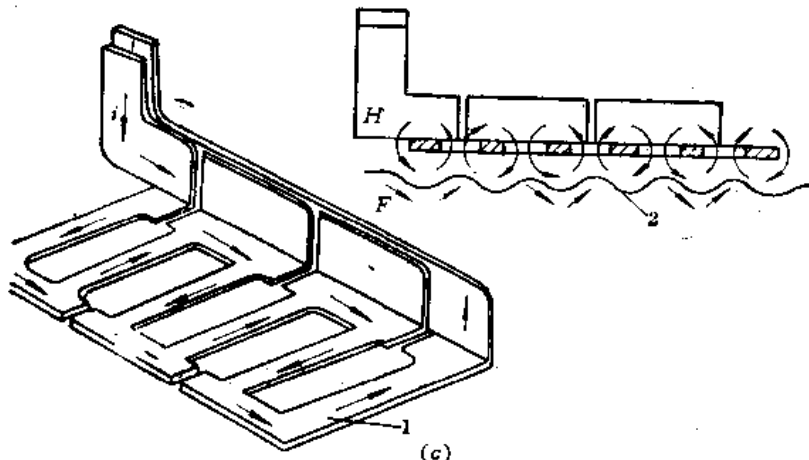
电磁成形除具有高速成形的一般特点外, 它还具有下述一些优点: 操作简单、生产率高, 使工件成本大幅度降低; 装置简化, 通过改变充电电压和电容值能精确控制能量和加工压力, 加工质量稳定; 便于实现机械化、自动化, 可组合入生产线。

电磁成形可用于冲孔、压延、局部成形、胀形、扩口、缩形(口)、校正和装配等工序。对管子和管接头、钢丝绳和其接头的连接装配特别适用, 目前已大量用于生产。





(b)



(c)

图2

(a) 单匝线圈; (b) 中心压力较大的单匝线圈; (c) 加工波纹板的单匝线圈。
1—线圈; 2—工件; i —电流; H —磁力线; F —材料流动方向。

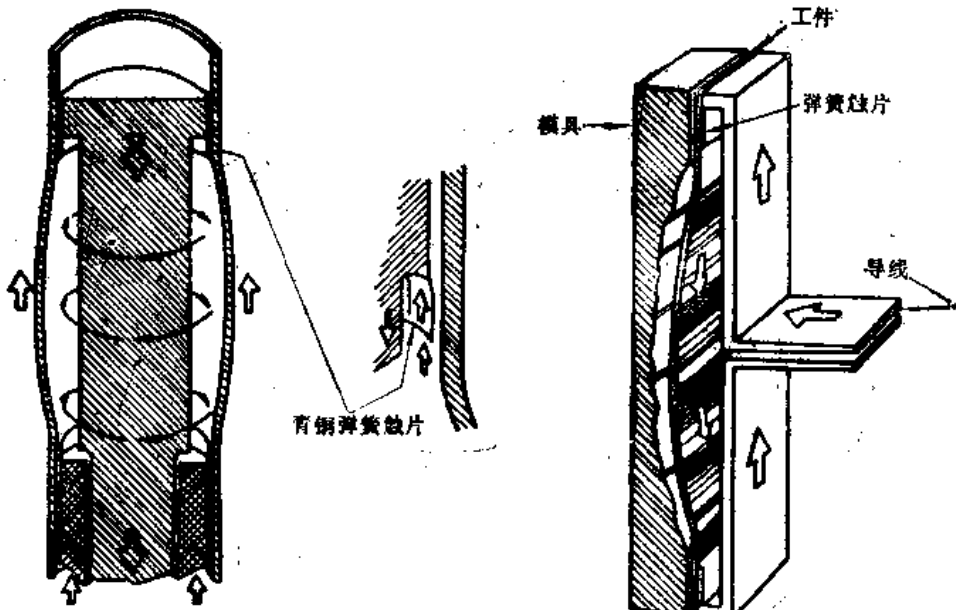


图3

3.10.4.3 电磁成形设备

国外已有定型设备。表1是苏联大型电磁成形设备的特性，表2是用于成形薄板的电磁成形设备技术数据。表3是美国麦克威尔公司的产品性能。

表1. 苏联大型电磁成形设备特性^[15]

型号	最大储能(kJ)	额定电压(kV)	生产率(h ⁻¹)	电容器型号	整流器数	重量kg	所需面积m ²	用途
МИУ-24	24	20	380	ИК25-12	1	2200	12	加工有色金属和低碳钢
МИУ-48	48	20	180	ИК25-12	2	4100	30	同上
МИУ-72	72	20	120	ИК25-12	3	5900	35	加工有色金属
МИУ-96	96	20	90	ИК25-12	4	7700	40	同上
МИУ-152	144	20	60	ИК25-12	6	10300	40	加工有色金属及其合金的大型零件
МИУ-240	240	20	36	ИК25-12	10	17000	80	同上

表2. 苏联薄板电磁成形设备技术数据^[15]

型别	设备型号	电容器型号	储能(kJ)	电压(kV)	固有频率(kHz)	生产率(h ⁻¹)	重量(kg)	外形尺寸(mm)
I	МИУ-0.6/20-1	ИК50-3	0.6	20	300	2400	250	1000×925×1130
	МИУ-0.9/20-1	ИК40-5	0.9	20	230	1600	250	1000×925×430
	МИУ-1.5/20-1	ИК30-8	1.5	20	180	1000	250	1000×925×430
	МИУ-2.4/20-1	ИК25-12	2.4	20	150	600	250	1000×925×430
II	МИУ-2.4/20-2	ИК50-3	2.4	20	220	600	600	1500×800×950
	МИУ-4/20-2	ИК40-5	4	20	170	360	600	1500×800×950
	МИУ-6/20-2	ИК30-8	6	20	130	240	600	1500×800×950
	МИУ-10/20-2	ИК25-12	9.6	20	110	150	600	1500×800×950
III	МИУ-9.6/20-3	ИК50-3	9.6	20	220	800	2700	2700×1700×1500
	МИУ-15/20-3	ИК40-5	15	20	170	500	2700	2700×1700×1500
	МИУ-26/20-3	ИК30-8	26	20	130	270	2700	2700×1700×1500
	МИУ-40/20-3	ИК25	40	20	110	180	2700	2700×1700×1500

表3. 美国麦克威尔公司电磁成型设备

性能	型号	7040	7080	7120	7160
最大储能(kJ)		4	8	12	16
在最大储能下的运转速率(min ⁻¹)		12	12	10	10
重量(kg)		738	894	960	1220

参 考 资 料

- (1) High-Velocity Forming of Metals, ASTM E, 1964, P16
- (2) 日本塑性加工学会编, 江国屏等译, 《压力加工手册》, 机械工业出版社, 1984年。
- (3) High Energy Rate Metal Forming, ASM.
- (4) 郑哲敏、杨振声等编著, 《爆炸加工》, 国防工业出版社, 1981年。
- (5) 宋秀娟、浩谦编, 《金属爆炸加工的理论和应用》, 中国建筑工业出版社, 1983年。
- (6) 李硕本主编, 《冲压工艺学》, 机械工业出版社, 1982年。
- (7) R. H. Cole, Underwater Explosions, Princeton University Press, Princeton, 1948.
- (8) W. ECKER, F. MÜLLER-AXT, 《宇宙航行》, 1964. 4.
- (9) 高能成形编写小组编, 《高能成形》, 国防工业出版社, 1969年。
- (10) H. A. J. Dennison, G. R. King, Tooling, June 1964, P51~63.
- (11) K. F. Smith, Machinery, Sept, 1964, P114~117.
- (12) 唐荣锡, 陈鹤龄, 陈孝斌编著, 《飞机钣金工艺》, 国防工业出版社, 1983年。
- (13) Welding and Metal Fabrication, March, 1969, P102~106.
- (14) H. P. Furth, R. W. Waniek, American Machinist/Metalworking Manufacturing, January 22, 1962, P92~95.
- (15) И. В. Белый, Л. Т. Хименко, Л. Д. Горкин Кузнечно-Штамповочное Производство, No. 7, 1984, P22~23.

3.11 落压成形

3.11.1 定义与特点

将毛料放入落锤模中，利用落锤锤头下行时产生巨大的冲击力使毛料按模具型面产生塑性变形。

落锤是一种构造简单、能量较大的压力机，落锤模构造简单，除凸模和凹模外，无任何附属机构。

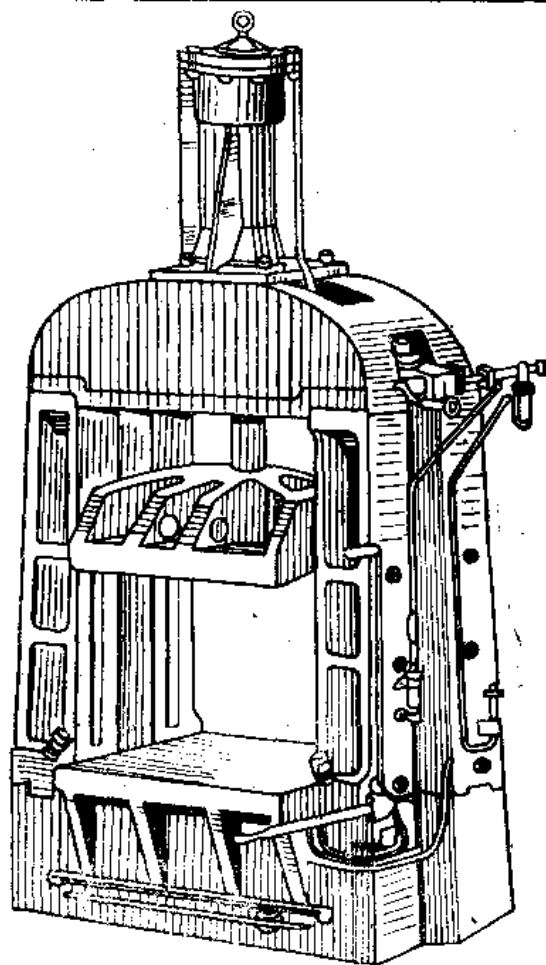
落压成形因可用逐次逼近的加工方式，因而能用简单的模具来成形外形复杂的零件。成形过程中毛料的变形情况较为复杂，而模具对它的约束又很差，零件易产生皱褶、破裂和位置错动等现象，所以必须随时穿插大量手工工作，以便控制材料的流动。

3.11.2 气动落锤

气动落锤是落压成形的主要设备，其主要技术性能见下表，结构见图。

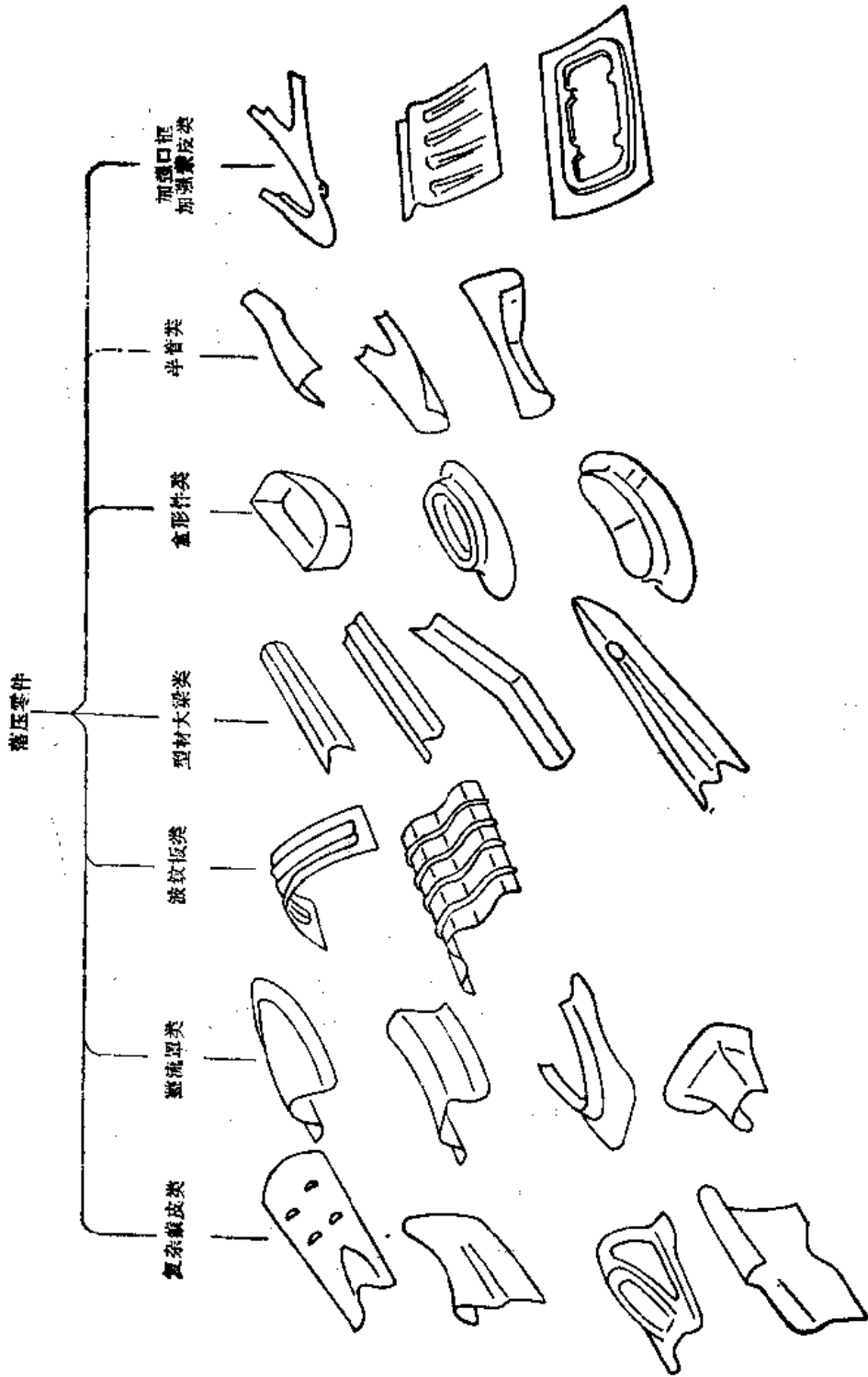
气动落锤技术性能表

型 别	工作台尺寸 长×宽 (mm)	锤头 最大 行程 (mm)	在5个大气压下		机床外形尺寸 长×宽×高 (mm)	最大锤 击速度 (m/s)	锤击次数 (1/min)
			气缸有效 提升力 (t)	全程锤击力 (t)			
МЛ-0.8	900×700	850	0.8	320~480	1800×1800×4200	4	30
МЛ-1.5	1200×900	1050	1.5	600~900	2200×1450×4735	4	30
МЛ-2	1200×1200	1100	2	800~1200	2200×1140×5135	5.5	25
МЛ-3	1700×1200	1200	3	1200~1800	2750×2160×5730	5	2.3
МЛ-5	3100×1800	1500	5	2000~2500	4450×3000×7500	5.5	1.6



3.11.3 典型的落压零件

适合落压成形的典型零件见图。

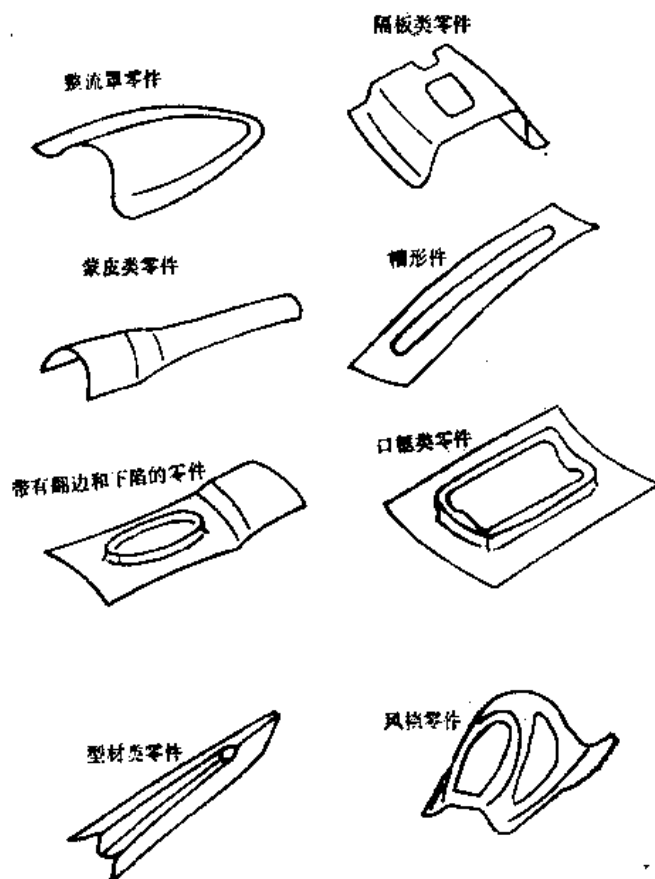


3.11.4 落压零件展开毛料形状和尺寸的确定

选用落压工艺成形的零件，一般外形较为复杂，零件的展开料多为近似形，经几次成形并做适当修正后，得到展开样板，按展开样板下料与成形，可得到无余量或在局部区域带少量余量的零件。为防止展开料在成形中的移动，在展开样板上必须制有定位孔。必须指出，展开料应用在落压成形工艺中，一般在批生产中使用。

3.11.4.1 铺铅皮法确定展开样板

铺铅皮法是生产中最常用的确定展开料形状和尺寸的方法。即用厚度为1mm的薄铅皮铺在模胎上成形，然后展开成平面形状，根据生产经验稍做修改即可。该方法适用于单曲度或同时在另一方向曲度不很大的零件，该零件在成形过程中，材料变形转移量小。适合于用这种方法确定展开样板的典型零件如图所示。



此法的优点有三：

- (1) 简单易行。
- (2) 在多数情况下，落压成形后可符合最后的零件外形公差。
- (3) 由于能得到准确的零件外形，该毛料尺寸最小，故零件成形精度较高。

3.11.4.2 几何作图法

落压零件的展开形状与尺寸均为几个典型几何图形展开的组合。其展开料作图步骤如下：

(1) 将零件分割成若干个简单的几何形状，按此，在一般冲压手册中查出各自的展开形状与尺寸。

(2) 将零件中的各展开形状与尺寸组合成零件的展开料的外形。

(3) 考虑落压零件在落压成形时通常伴随着手工敲打，金属在圆角处的转移是经常发生的，一般在成形数件后，应对展开样板的形状和尺寸作适当修改。

3.11.5 落压工艺

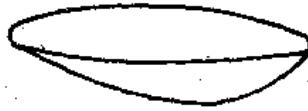
零件落压成形的主要障碍是起皱、过分变薄和破裂，故落压工艺应是以消除零件的起皱、防止过分变薄和破裂为目的。

3.11.5.1 落压成形的方法

3.11.5.1.1 预成形或辅助成形法

对零件局部变形较大之处，采用点击锤或收缩机等辅助设备进行预制或辅助成形，以改善落压件的过渡形状，提高零件成形的机械化程度。

如图所示的浅球形容器，采用收缩机将毛料边缘先行收缩，并用点击锤对毛料中部进行锤击“放料”，使其初步形成拱形，再进行落压。



3.11.5.1.2 依次成形法

加强板或管叉类零件，因其埂槽、鼓包或分叉较多，材料互相牵制，金属得不到转移，易产生裂纹、零件料厚变薄超差或材料重叠形成死皱，对这类零件采用划分区域依次成形。如图1所示为加强板件采用分区逐次成形。

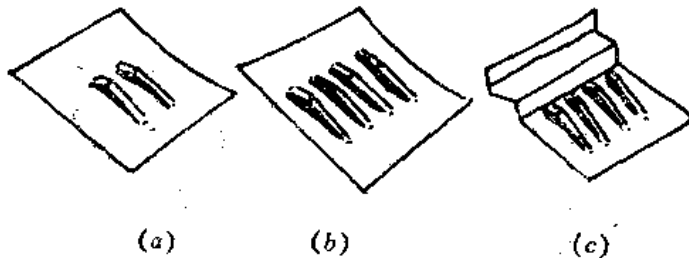


图1

零件分区逐次成形除采用过渡模外，也可利用垫橡皮的办法控制成形部位。对于局部凸起部分，垫橡皮促使毛料流动(材料转移)；对于马鞍形零件垫在易起皱部位，以防止起皱。垫橡皮方法如图2所示。

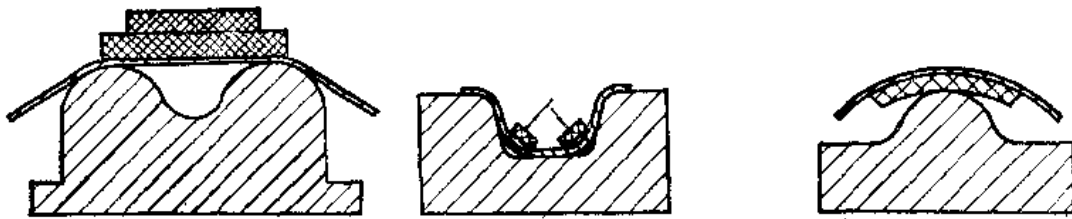
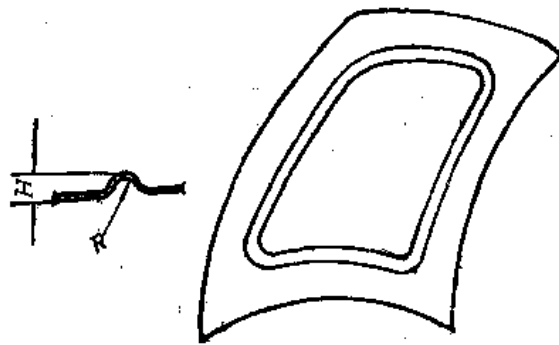


图2

3.11.5.1.3 梗槽防皱法

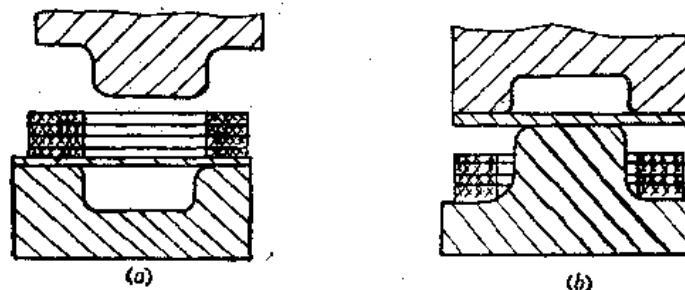
对于曲率半径较大的零件落压成形时，通常在落压模非工作面部分制出梗槽，可增加成形时的拉力，以防止零件起皱和提高成形精度。梗槽断面尺寸见图，半径 $R=(5\sim 10)t$ ，高度 $h=(5\sim 10)t$ ， t 为零件材料厚度。



3.11.5.1.4 垫层板逐次压延法

对于过深的零件和盆形类的落压件，为防止凸边起皱和底部圆角处破裂，通常在落锤模的下模上垫以层板，在成形过程中逐次掀掉垫板，以控制压延深度。





层板多采用木质材料，但对于落压件材料为LY12，厚度在1.5mm以上，其层板材料应为2~3mm的钢板。垫层板逐次压延落压法见图，图(a)为压延模，图(b)为压缩模。在使用压延模落压零件时，对零件的消皱带来了好处。应当指出，每减少一层板时，如发现工序件有皱纹，必须及时平皱，以免出现死折。



3.11.5.1.5 混合工艺法

对于结构复杂的零件，经常穿插着旋压、拉形和冲压等工艺。几种典型零件的混合工艺方法见表，其原则是能提高落压经济效益、机械化程度和零件质量。

几种常用的混合工艺落压表

典型图形	零件结构特点	综合工艺
	在腹板面上有减轻孔等	冲压(被压) →落压
	有较大比例的光滑曲面	拉形→落压
	在腹板面上(腹板面可稍有弧度)有翻边孔和特形孔	落压→冲压
	大型深压延件	落压→旋压

3.11.5.2 中间退火的确定

零件成形过程中是否需要中间退火,主要取决于金属材料内部应力的 大小 ,也就是说冷作硬化程度的大小。其原则是能够保证下一道落压中金属能充分的流动。中间退火次数由经验确定,次数过多,会造成材料晶粒粗大而降低了抗腐蚀能力。对铝合金材料的落压件退火次数以不超过三次为宜。

3.11.6 落压模

3.11.6.1 落压模种类和结构

常用落压模的种类及其应用范围见表。

落压模分类与应用范围表

种类	名称	应用范围
按成形方式	压延模	适用于压延深度较大的零件或按工厂工人传统生产习惯
	压缩模	适用于形状较复杂的零件或按工厂工人传统生产习惯
按落压模材料	铅锌模	一般铝合金零件
	锌锌模	厚度在1.5mm铝合金或厚度在0.5mm以下钢零件
	锌钢模	厚度在2.0mm以上细长的铝合金或厚度在0.5mm以上钢零件
	环氧树脂模	用于小批量生产的一般铝合金零件
	聚氨酯模	用于小批量生产的一般铝合金零件

不论落压形式或模具材料如何，模具结构总是相同的。图1是一般落压模的结构。落压模的设计要点如下：

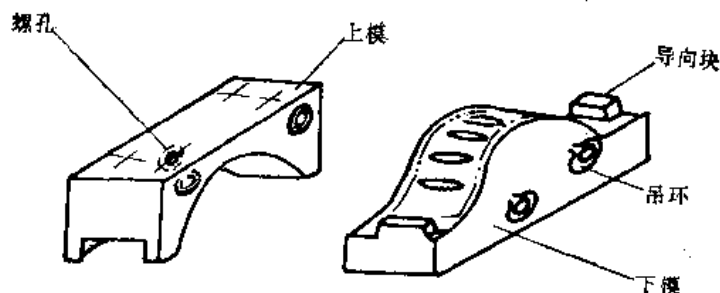


图1

- (1) 在上、下模体上适当位置分别安装3~4个吊环。
- (2) 在上、下模体上应有导向块，导向块应分布在落压模的长轴或对角线方向，其结构尺寸见图2。
- (3) 上模与锤头的连接螺帽应按样板确定，样板取自落锤，其固定形式见图3。
- (4) 上、下模对合加工并保证上下底面平行。

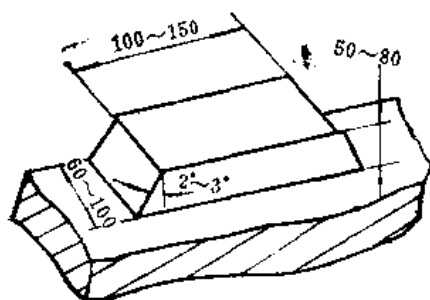


图2

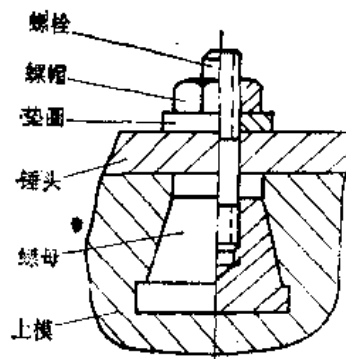
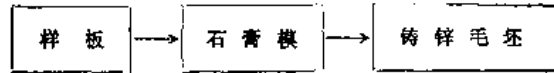


图3

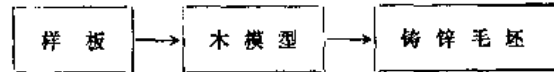
3.11.6.2 落压模的制造

3.11.6.2.1 锌下模制造

锌下模毛坯铸造过程如下：

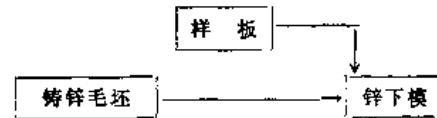


或

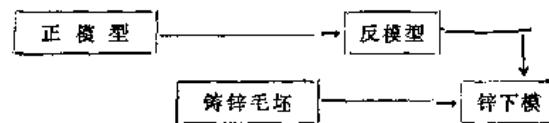


前者铸造毛坯余量较大，故钳工加工量大，但模型制造简单；后者按样板制造的木模型，样板与模型之间的间隙不应大于 0.5mm，这样，在铸造时，若操作得当，铸造毛坯余量较小。

锌下模制造过程如下：



或



前者制造用于一般协调要求的锌下模；后者用于制造协调要求较高的锌下模。正模型指一般金属或非金属的模型，也可以是标准样件。

锌合金的成分及机械性能见表 1。

表 1. 锌合金的成分及机械性能

合金名称	化学成分%				机械性能					温度℃		
	铝	铜	镁	锌	σ_b (MPa)	δ%	HB	抗压强度 (MPa)	比重	开始 结晶	最终 结晶	浇注温度
锌				100	20~30		30~50	250 ~450	6.9	419	419	450~460
AlI-13-1	11-13	1.5~2.0	0.1	余量	250 ~280	1~2	116 ~125	700 ~950	6.1	400	373	415~430
AlI-13-2	7.8	1.8~2.2	0.5	余量	200~230	0.3~0.5	110~125	700~950	6.2	395	378	415~425
AlI-13-3	10~12	1.5~2.9	0.3	余量	270~300	3	110~125	700~950	6.4	440	378	420~430

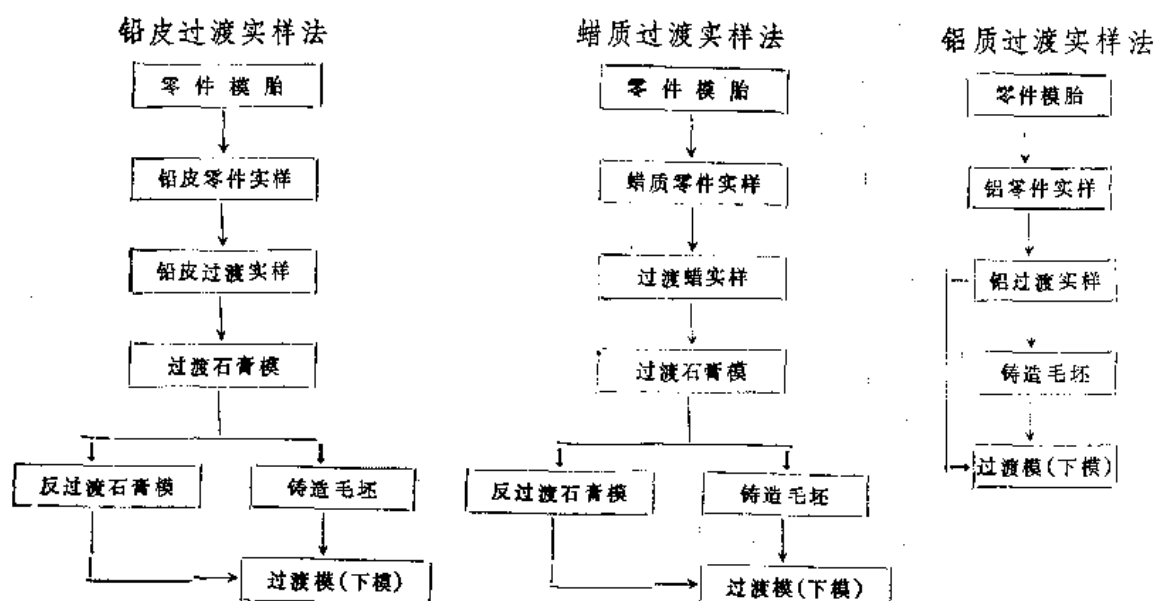
制造锌下模的辅助材料见表 2。

表2. 制造锌下模时常用辅助材料

名称	用途
石膏粉	制造石膏模
搽片, 酒精	石膏模脱模
滑石粉, 水玻璃	涂料
黑铅粉	脱模, 分型
红铅粉, 机油	钳工加工研合之用
铅皮	垫料厚
砂布	打磨模具
氯化铵, 氯化锌	精炼锌合金之用
型砂	铸造用
白泥	铸造用
木炭	烘干砂型
品紫	划线用
铅丝	堵铸件砂眼用

3.11.6.2.2 过渡模制造

过渡成形的次数和过渡形状的确, 一般与工人技术水平和手工敲修量的多少有关, 按经验确定。过渡模的制造过程有以下几种。



铝质过渡实样的材料应选择塑性好的铝板, 一般选择纯铝或 LF21 防锈铝板, 在制成实样后, 按需要将零件张开成过渡实样。

在制造石蜡质零件实样时, 用细纱布蒙在模胎上, 用融化了的石蜡浇在细纱布上, 得蜡零件实样。在制造过渡蜡实样时, 用热毛巾敷在蜡质零件实样上, 使其软化, 然后张开成所需的过渡实样。

3.11.6.2.3 聚氨酯落压模

上模采用聚醚型聚氨酯橡胶，下模采用聚酯型聚氨酯塑料。

3.11.6.2.3.1 聚醚型聚氨酯橡胶落压模上模制造

有关聚醚型聚氨酯橡胶性能见表1。

表1. 聚醚型聚氨酯橡胶性能

名 称	数 据
硬度(邵氏)	90~95
抗张强度(MPa)	2600~3200
伸长率(%)	400~600
抗撕裂(kgf)	70~90
冲击弹性(%)	25~30
脆性温度(°C)	-40~46
10%压缩率	50
20%压缩率	100
压缩永久变形(%)	
室温×72h 20%压缩率	16~30
固化收缩率(%) 120~130°C 固化	1.0~1.5
粘合性能	
抗剥离强度(MPa), 对钢、铝	900~1000
抗膨胀性能(%)	
机油(室温×144h) 体积	0.8
自来水(同上) 体积	3.05
热老化性能	
70°C×96h 抗张积计	1.28
100°C×72h 抗张积计	1.14
120°C×48h 抗张积计	0.95

聚醚型聚氨酯橡胶的原料见表2。

表2. 聚醚型聚氨酯橡胶原料

主 要 原 料	
预 聚 体	3,3-二氯4,4-二氨基甲烷(MOCA)
聚 丙 二 醇 醚	2,4-甲苯二异氰酸酯($\frac{2,4}{TDI}$)

一、配方计算

(1) 预聚体配方计算

100克聚丙二醇醚消耗2,4TDI量为:

$$(\text{羟值} + \text{酸值}) \times 0.155 = A$$

$$\text{水分含量} \times 9.7 = B$$

$A+B$ 即为100克聚丙二醇醚消耗TDI之理论量。

如果在预聚体中要求NCO (异氰酸酯基) 的含量为 $M\%$ 时, 需多加TDI量为 x , x 量按下式计算。

$$x = \frac{(100 + A + B) \times M / 100}{0.483 - M / 100}$$

生产中选 $M\% = 6\%$

(2) MOCA理论用量计算

MOCA理论用量 = 预聚体重量(克) $\times M\% \times 3.18$

羟值、酸值均为聚丙二醇醚生产单位提供。

二、配制过程

(1) 预聚体制备

聚丙二醇醚和过量的2,4-甲苯二异氰酸反应生成链端含异氰酸酯基的聚合物叫做预聚体。

用三口烧瓶称取一定量的聚丙二醇醚, 加热搅拌, 加热到 $35 \sim 45^\circ\text{C}$, 停止加热。加入 40°C 以下的液体状2,4-甲苯二异氰酸, 待自由升温停止后, 可在60分钟内逐渐加热到 $80 \sim 85^\circ\text{C}$ 下保温反应90分钟。结束后, 容器密闭, 在室温下放置一天后使用。

(2) 将预聚体与MOCA反应生成分子量更大的并且有一定支化和交联度的弹性体叫做硫化胶。

用三口烧瓶称取适量的预聚体, 加热搅拌, 加热到 $80 \sim 85^\circ\text{C}$, 真空脱气约 $10 \sim 15$ min, 至气泡基本脱尽为止。在搅拌下, 加入预先熔化的MOCA ($120 \sim 130^\circ\text{C}$), 混合 $1 \sim 2$ min以后, 即可浇注, 然后在 $120 \sim 130^\circ\text{C}$ 中硫化二小时以上。

若选择室温固化聚氨酯橡胶, 在硫化胶制备时加入一定量的催化剂, 如油酸或辛酸亚锡, 必要时, 加入少量的1,4-丁二醇。

三、聚氨酯橡胶上模浇注工艺

(1) 按加工好的金属下模, 在下模上垫出 $8 \sim 10$ mm厚度后直接浇铸出上模基体。或以加工下模用的反模型为上模基体的铸造模型, 在砂型上(指零件型面部位)垫出 $8 \sim 10$ mm厚度后浇铸出上模基体。在施工中皆要考虑浇注橡胶用的浇口、冒口。

(2) 对上模基体吹砂, 清理基体表面。

(3) 清理下模工作表面, 垫相当零件厚度的铅皮。

相当零件厚度 = 零件厚度 $t - 0.2 \sim 0.3$ mm, 用腻子刮平, 使表面呈流线状。

(4) 对下模表面涂刷脱模剂。

(5) 将吹砂处理后的上模基体预热到约 70°C , 合在下模上, 四周用石膏密封。

(6) 将配制好的聚氨酯液体注入模腔, 直至型面全部注满胶液为止。

(7) 将浇注好的上、下模一同进入烘箱硫化, 在 $100 \sim 110^\circ\text{C}$ 下保温 $2 \sim 4$ h。

- (8) 从烘箱中取出, 清理上、下模表面, 除去铅皮, 擦洗干净。
 (9) 检查上模有无空洞和气泡, 如发现, 应及时修补。
 (10) 试压、鉴定移交使用。

3.11.6.2.3.2 聚酯型聚氨酯塑料落压模的制造

聚酯型聚氨酯塑料主要原料见表1。

表1. 聚酯型聚氨酯塑料原料

主要原料	聚 酯 多 元 醇	乙二酸
		邻苯二甲酸酐
		乙二醇
		丙二醇
多苯基多亚甲基多异氰酸酯(PAPI)		

聚氨酯塑料是先由乙二酸、邻苯二甲酸酐、乙二醇、丙二醇等四种物料合成为聚酯多元醇, 然后将聚酯多元醇和PAPI调制成浇注料, 用以浇注落压模的覆面层, 经固化后, 即成所需塑料层。落压模的基体, 无论其上下模, 均采用锌合金制造。

聚酯多元醇有两种规格, 其技术指标见表2。

表2. 聚酯多元醇的技术指标

规格	1° 聚酯	2° 聚酯
羟值(氢氧化钾/聚酯)(mg/g)	170~200	170~200
酸值(氢氧化钾/聚酯)(mg/g)	5以下	5以下
水分(%)	0.4以下	0.2~0.3以下
粘度(Pa·s)	5~10	10~20

聚氨酯塑料技术性能见表3。

表3. 聚氨酯塑料技术性能

名 称	数 据
比重	1.29~1.20
硬度(HB)	5~25
静弯强度(MPa)	2400~12000
压缩强度(MPa)	3000~11000
冲击强度(MPa)	500~2400
拉伸强度(MPa)	2200~6800
伸长率(%)	2~200
粘合强度(kgf/cm ²) 剪切	
钢-钢	82.4

(续)

名 称	数 据
铝-铝	97.6
线收缩率(%)	1.70
线性膨胀系数($\times 10^{-3}$ 1/°C)(20~50°C)	16.5~17
吸水性能(自来水)	
24°C×144h重量增加(%)	0.67
体积增加(%)	0.87
33~35°C×144h重量增加(%)	1.46
体积增加(%)	1.45
耐油性能(20号机油)	
24°C×144h重量增加(%)	0.026
24°C×144h体积增加(%)	0.112
33~35°C×144h重量增加(%)	0.072
体积增加(%)	0.260

一、聚氨酯塑料配方选取与用料计算

按以下原则选取配方:

- (1) 选择配方主要考虑提高冲击韧性, 应选择支化度低, 苯酐含量少的聚酯多元醇。
- (2) 下模必须考虑有足够的硬度和机械强度, 因此要选用支化度高, 苯酐含量多的聚酯多元醇。
- (3) 在满足足够冲击韧性的前提下, 应具有良好的流动性, 因此要选用羟值较高的聚酯多元醇。

综合上述要求进行分析, 对于下模比较合适的配比是以2*聚酯多元醇为基体, 加入5%的1*聚酯多元醇。固化条件是在120°C下, 二小时为宜。

聚酯塑料的用料计算

以100克聚酯多元醇为基准

(1) 羟值和酸值需要的PAPI

$$W_1 = \frac{\text{羟值} + \text{酸值}}{1000} + \frac{\text{胺当量}}{56.1}$$

(2) 水分需要的PAPI量

$$W_2 = \text{水含量} \times \frac{\text{胺当量}}{9}$$

理论需要的PAPI总量

$$W = W_1 + W_2$$

二、聚酯塑料配制过程与下模制造工艺

配制过程:

称取一定量的聚酯多元醇加入三口瓶内,再称取计算量的PAPI备用。将聚酯多元醇搅拌,并加热到110~140℃,抽真空15~30min(余压在10mmHg以下),然后冷却到50~60℃,保温,将PAPI预热到30~50℃,加入到缓慢搅拌的聚酯多元醇中,继续搅拌3~10min,直到混匀为止。将浇注料浇入预热的模体中。模体在120℃下保持2h,使其固化成形。

羟值、混合聚酯多元醇的比例对材料的机械性能影响分别见表1和表2。

表1. 羟值对材料机械性能的影响

理论羟值	性能	硬度(HB)	静弯强度(MPa)	压缩强度(MPa)	冲击强度(MPa)
200		14.0	61	54	12
300		18.8	107	81	7.4

表2. 2*聚酯含量对材料机械性能的影响

性能	2*聚酯比例(重量计)	100	95	90	80	0
硬度HB		13.3	16.0	14.4	13.9	5.1
静弯强度(MPa)		29	85	74	53	1.4
压缩强度(MPa)		39	79	69	60	8.3
冲击强度(J/cm ²)		21.2	7.3	8.9	15.3	17.4

从表1可明显看出,羟值的提高,导致硬度、静弯强度和压缩强度的显著增加,而冲击强度下降。

从表2可明显看出,混合聚酯多元醇在硬度、静弯强度和压缩强度都较单一的聚酯多元醇高,而冲击性能较低。2*聚酯在95%时,冲击性能最低,而其它性能是最高的。随着2*聚酯比例的减少,冲击性能逐渐提高,而其它性能则逐渐降低。

聚酯型聚氨酯塑料下模制造工艺:

整个制造情况与聚醚型聚氨酯橡胶落压模大致相同。所不同的是:

(1) 主要用于下模,对于落压较厚材料或钢件时,则可用于上下模。

(2) 塑造依据,在考虑垫零件厚度的前提下,上模按下模塑造;下模按反模型塑造,反模型的制造依据按具体情况确定。

(3) 对于聚酯型聚氨酯塑料下模的金属基体,可按样板制造的石膏模或木模型制造砂型,进行铸造。

3.11.6.2.4 低熔点合金材料的落压模

该材料落压模的特点是工艺简单,模具制造周期短,模具材料可重复使用。

模具材料成分如下表。

低熔点合金材料成分表

材料成分%			抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)	硬度 (HIB)	熔点 (°C)	浇铸温度 (°C)	冷凝时情况
铋	锡	锑						
58	42		72	22.8	20.4	138	170	膨胀
15	78	7	106		29.7	199~219		收缩

工艺方法:

(1) 按配比数值,按金属元素的熔点自低到高或自高到低逐次投料进行熔化,然后浇注在铁模中,凝成低熔点合金块。

(2) 用零件实样(实样材料可为铝或钢)放在砂上。按零件大小,用铸造砂箱套上,修好实样周围的型砂。

(3) 将低熔点合金块放入电炉内熔化,熔化温度要高于浇铸温度,然后倒入浇包,使金属熔液温度降至浇铸温度时进行浇铸。浇铸温度一般高于熔点30~50°C。

(4) 清理模具表面,此时不取下实样,翻箱,清理实样表面。

(5) 放铸造砂箱,套在已铸好的下模上,按上述方法浇铸上模。

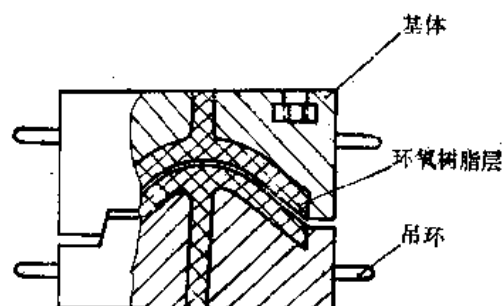
(6) 打开模具,清理表面,取出实样。

(7) 试压验收。

如在低熔点合金落压模的易损处镶以钢块,模具使用寿命可提高十余倍。

3.11.6.2.5 环氧树脂落压模

环氧树脂落压模的特点是采用塑造法,模具制造周期较短,成本也较低。环氧树脂模具结构见图。



3.11.6.2.5.1 环氧树脂落压模的配方

生产中常用的环氧树脂落压模的材料配方按表1进行,机械性能见表2。

表1. 环氧树脂落压模的配方(%)

名称	邻苯二甲酸二丁酯	环氧树脂	聚硫橡胶	间苯二胺	氧化铝粉	石英粉
配料比(重量)	20	100	20	14	100	60

表2. 环氧树脂机械性能

名 称	抗冲击强度(J/cm ²)	抗压强度 (MPa)	抗弯强度(MPa)	硬度 (HB)
数 据	120	109	68	16.3

3.11.6.2.5.2 环氧树脂落压模制造工艺

- (1) 将称取的环氧树脂加温至 100 ± 5 ℃
- (2) 将邻苯二甲酸二丁酯加入树脂中, 同时继续加温搅拌均匀。
- (3) 将聚硫橡胶加入树脂中加温搅拌均匀。
- (4) 将所称取的填料在 100 ℃中干燥2h。
- (5) 干燥后的填料与达到 100 ℃的树脂液体混合, 并仔细搅拌均匀, 不允许有未浸透树脂的填料存在。
- (6) 将称取的间苯二胺压成粉末, 加温至熔化, 但温度不允许超过 80 ℃。
- (7) 待树脂混合物温度降至 $60 \sim 65$ ℃时方可进行混合, 并需仔细搅拌均匀, 搅拌时间不少于 10 min。
- (8) 各组分均已混合时, 停止搅拌, 将混合物静止停放一段时间后方可浇注, 以便排除混合物中气体, 停放时间不少于 5 min。
- (9) 将金属基体吹砂去除氧化膜。
- (10) 浇注分为二次。第一次浇注, 将配制的混合物降温至 50 ℃后, 涂敷在制造依据上, 厚度为 $4 \sim 5$ mm。或用环氧树脂粘 $2 \sim 3$ 层玻璃布于制造依据上, 在常温下固化 48 h。第二次浇注温度为 $65 \sim 70$ ℃。

在浇注时, 应将混合物慢慢注入模具浇口内, 同时注意清除没有浸透树脂的混合物。

- (11) 工作面有凸梗和弯边尖角部位, 为提高其强度, 在浇注前, 在制造依据的凸梗及弯边尖角处, 刷上一层环氧树脂胶, 并粘上 $3 \sim 4$ 层玻璃布。在室温下静放 $4 \sim 8$ h后再浇注混合物。

环氧树脂落压模硬化处理按以下热处理条件进行:

升温 40 ℃, 保持 1 h; 至 60 ℃保持 1 h; 至 80 ℃保持 1 h; 至 100 ℃保持 1 h; 至 120 ℃保持 6 h, 随炉降温至室温。保温时温度波动量不超过 ± 5 ℃。

3.11.7 钛和镁合金板的落压成形

3.11.7.1 钛合金板零件落压成形的基本要求

由于钛合金材料在常温状态下成形性能较差, 落压成形必须在加热状态下进行。钛合金材料的电阻率很高, 通常采用低电压、大电流直接通过钛板的自阻加热方式, 使钛板在极短的时间内达到成形温度, 立即落压成形。

铅、锌对钛合金材料均有污染, 故在钛合金成形时禁止采用铅锌模。塑料模不适合用于热成形, 也不能采用。在生产中, 一般选用中硅钼球墨铸铁、H11合金钢作为模具材料。由于自阻加热, 零件与模具接触的时间较短, 对选用一般钢模时, 必须在模具工作面上涂以保护涂料, 防止氧化。在成形时, 金属模具应涂以氧化铝绝缘层, 防止电短

路。

对于TA2、TC1钛板成形温度均在550℃至700℃之间。

3.11.7.2 自阻加热工作电压 V 的确定⁽¹⁾

工作电压 V 按下式计算

$$V = \sqrt{\frac{R}{0.24} \left[\frac{T_{\max} \cdot K A}{1 - e^{-\frac{K A}{C G} t}} + H_m \right]}$$

式中 T_{\max} ——材料达到热平衡时温度，即为成形之温度；

K ——散热系数，取 $K = 8.4 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{C}$ ；

A ——毛料散热面积， m^2 ；

G ——钛板重量， g ；

C ——钛板的平均比热， $C = 0.508 \text{ J/g} \cdot \text{C}$ ；

t ——加热时间， s ；

R ——钛板电阻， Ω 。

$$R = P_m \frac{L}{b \delta}, \Omega$$

式中 $P_m = 1.57, \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ；

L ——钛板通过电流部分长度；

b ——钛板宽度；

δ ——钛板厚度；

H_m ——模具吸收的热量。

$$H_m = \frac{T_{m1} - T_{m0} \cdot e^{-\frac{K_m \cdot A_m}{C_m \cdot G_m} t_1}}{1 - e^{-\frac{K_m \cdot A_m}{C_m \cdot G_m} t_1}} \cdot K_m A_m$$

式中 T_{m1} ——模具上下表面在零件成形时温度的平均值；

T_{m0} ——模具预热温度，一般为80~150℃；

A_m ——模具散热面积， m^2 ；

K_m ——散热系数，取 $K = 8.4 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{C}$ ；

G_m ——模具重量， g ；

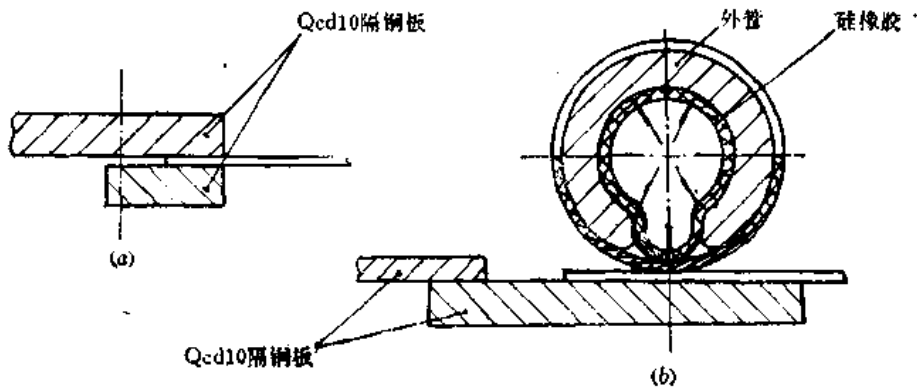
C_m ——模具平均比热， $\text{J/g} \cdot \text{C}$ ；

t_1 ——模具加热时间， s 。

为了使毛料受热均匀，对于大零件可分2至3档升压。

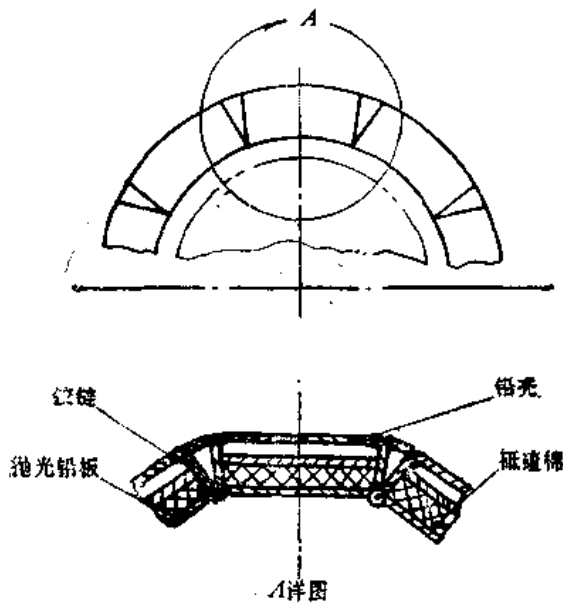
3.11.7.3 加热夹具

加热夹具可分为硬式夹料导电和气囊夹料导电。图(a)为硬式夹料加热，利用螺栓、凸轮转动或作动筒等结构方式来夹紧毛料。图(b)为气囊式加热夹具。



3.11.7.4 保温和测温装置

在落压成形时，为保持一定温度必须安有保温装置。保温是利用矿渣棉隔热和抛光铝板等组成的热反射罩，保温装置与模具保持一定距离。良好的保温条件使升温迅速，热损耗少，毛料温度场均匀。反射罩应能自由的推入模具内，落压之前应能退出。保温反射罩的结构如图所示。



常用的测温装置有以下几种：

- (1) 用0.5mm直径的固定或活动热电偶测温。
- (2) 红外线测温仪测温，反应时间不超过1秒。
- (3) 光电测温仪测温，使用方便、可靠、价廉。目前国产光电测温仪反应时间不超过1s。测温误差为， $200\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ； $400\sim 900\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ； $800\sim 1300\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 三种。

3.11.7.5 钛合金落压成形用保护涂料及润滑涂料

钛合金热成形时,若不对金属表面进行保护,钛板表面会吸收氧、氢、氮,使材料表面产生化学反应,形成化合物,影响其强度、韧性、热稳定性,降低了材料的塑性和疲劳等性能。故在成形前在钛板上施上一层涂料进行保护。涂料规格见表。

钛板成形时用的保护和润滑涂料表

名 称	用 途	使用温度(°C)	使用时间(h)
Ti-1号涂料	用于TC1、TA1、TA2热成形	550~700	0.1~1
Ti-2号涂料	用于TC4、TA7热成形	800~1000	0.5~1
Ti-3号涂料	具有润滑作用,用于涂上Ti-1号或Ti-2号后,再涂上Ti-3号涂料		
石墨涂剂	起润滑作用,涂上Ti-1号或Ti-2号后,再涂上石墨涂剂		

在落压成形后必须清除涂料层,去除涂层方法如下:

先碱洗零件,然后将零件浸入酸液中2~3 min,最后用清水冲洗。也可使用单一酸洗法,但时间要延长至15 min。

碱液配方:

NaOH 50% (按重量),余量为水,煮沸后将零件放入1~2 h。

酸液配方:

HF 8 ml、HNO₃ 30ml、水 52ml。

3.11.7.6 镁合金落压成形

镁板零件的落压成形除需在加热状态下进行外,其过程与一般落压成形大致相同,同样可以用垫板和橡皮块做辅助成形介质,也可以利用辅助设备(点击锤和收缩机等)成形和手工辅助成形。应该指出,镁板在加热状态下,强度很低,成形中锤击应轻,只有在成形接近最后形状时,才允许较重的校形锤击。为防止产生应力裂纹,最后必须热校形。

镁合金电阻较小,故不适合采用自助加热方法。一般采用电炉加热或红外线照屏加热。在成形时模具也需加热,加热方法是通过装在落压模的上、下模中的电热管实现。

MB8镁板加热温度在300~350°C范围,保温时间不可超过1 h,时间过长造成镁板晶粒急剧增大。落压模的加热温度应在250~320°C范围内,模具材料一般选用铸铁。

参 考 资 料

(1) "钛蒙皮的加热拉型成形",《航空工艺技术》,1982年,第8期。

3.12 辅助加工

3.12.1 定义与范围

辅助加工系指板材和型材的塑性成形工序以外的加工工序，它使制成的板金零件完全符合设计要求和装配需要的一种辅助工序。

零件在成形校形后所进行的切割余量、修整边缘、开口、钻孔、去毛刺、打标记和热处理等均属于辅助加工范围。

零件在成形过程中的表面保护，零件板面缺陷的排除和热处理、表面处理等辅助工序分别在4.1.4节、4.1.5节和1.6节中阐述。

3.12.2 板金零件的修边、钻孔及其工具设备

板金零件的修边系指切割多余毛料和修整零件边缘，使之符合设计要求。零件的修边工作通常是在成形、淬火和校形之后进行。根据板金零件的不同类型，其修边可归纳为板材零件的修边和型材零件的修边两种。

3.12.2.1 板材零件的修边

由板材制造的蒙皮件、落压件、液压成形件和其它复杂的板金件，其外形余量的切割、开口和钻孔工作基本相同。板制零件的余量包括零件装配余量和制造工艺余量，前者由装配车间提出要求，后者随零件成形方法的不同而定。

零件工艺余量的切割一般按划线进行，对于研制件或小批量生产件，在蒙皮按模胎校形贴合后，按模胎上的切割线在蒙皮上划线。其划线的方法可按图1所示采用划规将模胎的切割线划到蒙皮件毛料上。对于批量生产的，切割线的划制是采用划线样板，即把成形靠胎的蒙皮放在模胎上，然后再放上划线样板，用划针按样板轮廓划到蒙皮上。这种划线简单，效率高。划线样板的制造方法与零件相似，在模胎上垫以蒙皮厚度，再按模胎切割线切割而成。

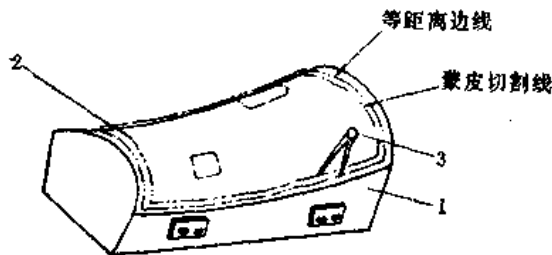


图1

1—模胎； 2—蒙皮件； 3—划规。

划线后通常用手工剪切和机床铣切来切割去余量。切割方法根据板金件的料厚，修边精度和车间的设备条件等因素决定。零件切割外形精度要求不高的，通常使用手剪、风动剪和圆滚剪等工具和设备进行手工剪切。图2是风动直剪刀，适宜切割板料零件的

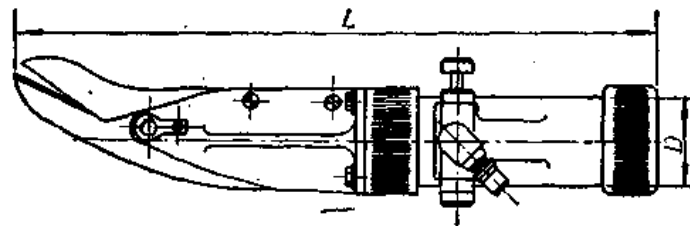


图2

余量, 对铝合金件可剪切厚度2~4mm。其规格性能见表1。

表1. 风动直剪刀规格性能⁽¹⁾

基本尺寸		技术性能					
L (mm)	D (mm)	单位工作压力 (MPa)	剪切铝合金厚度 (mm)	一次剪切时间 (s)	一次剪切长度 (mm)	重量 (kg)	活塞直径 (mm)
309	42	0.5	2	0.64	18	0.8	36
465	66	0.5	4	1	17	2.4	60

图3是板金车间常用的风动振动剪, 剪切速度快, 效率高, 可剪直线和曲线, 剪切曲线时最小剪切半径为R20mm。技术性能见表2。

表2. 风动振动剪技术性能⁽²⁾

单位工作压力 (MPa)	空转振动频率 (min ⁻¹)	空转耗气量 (m ³ /min)	负荷排气量 (m ³ /min)	功率 (HP)	剪切厚度 (mm)		重量 (kg)
					钢	铝	
0.5	2000	0.47	0.41	0.25~0.26	2	2	2.1

当剪切不同材料厚度时, 应合理调节上、下刀片的间隙, 料厚与间隙的关系见表3。

表3. 板料厚度与间隙的关系⁽³⁾

(mm)

板材厚度	推荐间隙	示意图	
0.4	0.025~0.076		
0.5~0.8	0.076~0.127		
1.0~1.3	0.203~0.254		
1.6~2	0.3~0.38		

图4是风动冲切剪。冲切工作是由凸模和凹模完成。可以剪切直线和曲线, 不受蒙皮与板材尺寸的限制。适用于较大蒙皮和板材件的粗切余料和开口盖孔。技术性能见表4。凸模1系采用W18Cr4V制造, 凹模3用CrMn制造, 凸模的形状与尺寸见图5。这种冲切剪切料呈月牙形, 有一条宽度为月牙形的材料被切掉, 故材料利用率不高。

表4. 风动冲切剪技术性能〔3〕

工作压力 (MPa)	空载冲切 频率 (min ⁻¹)	空转耗气量 (m ³ /min)	负荷耗气量 (m ³ /min)	功率 (HP)	冲切厚度(mm)		冲切 速度 (m/min)	最小冲 切半径 (mm)	重量(kg)
					铝	45钢			
0.5	2200	0.25	0.13	~0.12	0.8~1.2	0.9	3.05	25	1

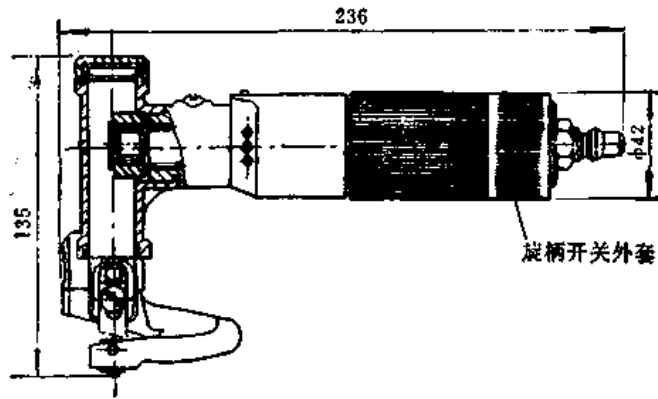


图3

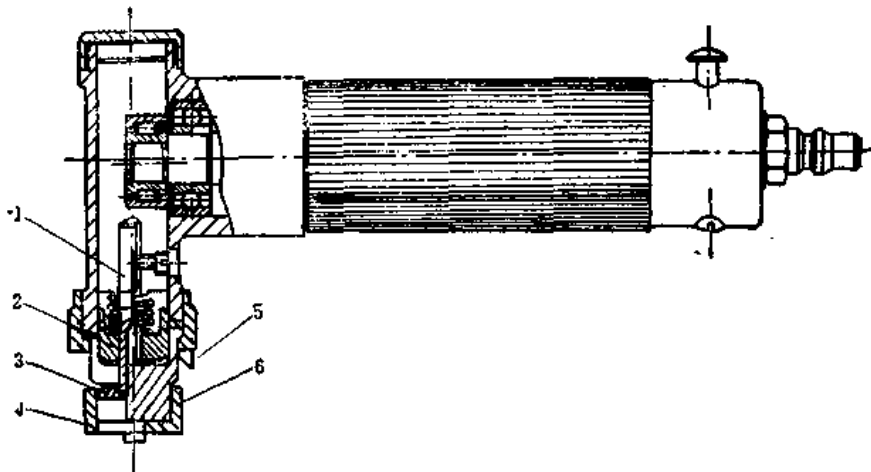


图4

1—凸模；2—导套；3—凹模；4—模座；5—指针；6—销。

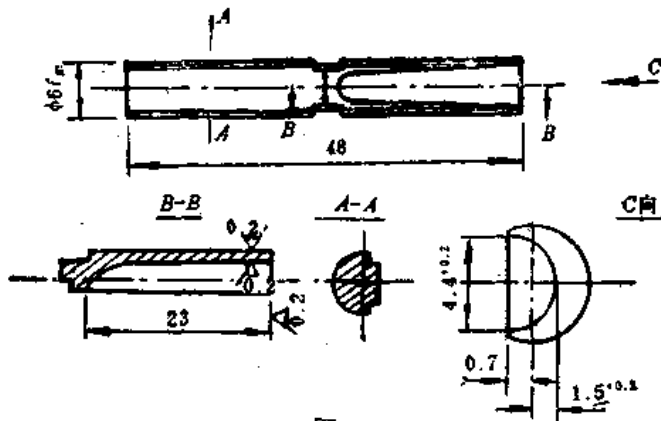


图5

图6是切割余量用的风动锯，靠锯条的往复直线运动完成余量的切割，适用于厚板料的切割。其技术性能见表5。风动锯的锯条按照锯割不同的材料，选用不同形式的锯齿。锯条尺寸及锯齿形式见表6。按不同的锯割材料，可选用0~3档速度。

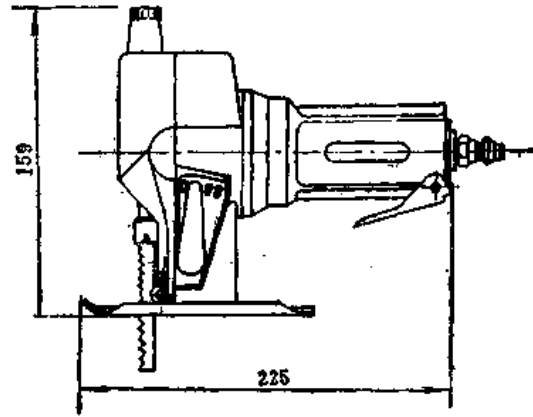


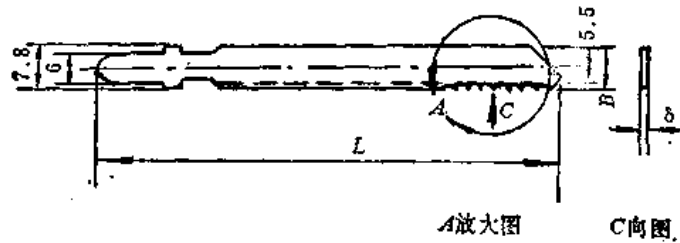
图6

表5. 风动锯的技术性能⁽³⁾

使用气压 (MPa)	空载行程次数 (min ⁻¹)	空载耗气量 (m ³ /min)	重 量 (kg)	最大切割厚度(mm)			
				软钢	有色金属	软金属	塑料
0.5~0.8	2700	0.35	2.2	6	15	20	30

表6. 锯条尺寸及锯齿形式⁽³⁾

(mm)



被加工 材料	基本尺寸			锯 齿 形 式			锯条材料
	L	B	δ	形 式	A放大图	C向图	
铝合金	76.5	7.5	1.1	A型、间开式			W18Cr4V
钢	76.5	7.5	1	波浪式			
塑料、 夹布层板	100	7.7	1.2	B型、间开式			T8A
木材	100	7	1.5	光刃式			

对于切割外形精度要求高的蒙皮件，尤其是厚的板材制成的零件可采用专用机床铣切。图7是蒙皮铣切机的示意图，可铣切蒙皮外形余量、边缘斜面和中间口盖等。

对蒙皮件或板件边缘的修整状态及其加工方案可按表7进行。

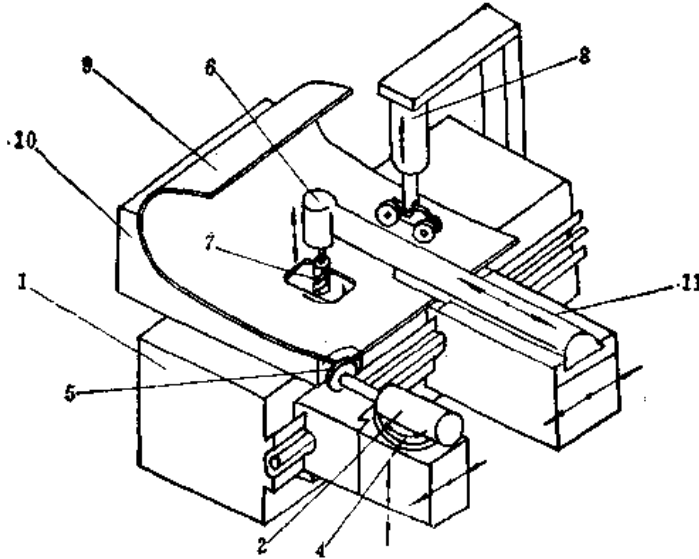


图7

- 1—床身；2—卧铣头；3—刀架；4—回转盘；5—端铣刀；
6—立铣头；7—棒铣刀；8—压紧装置；9—蒙皮；10—模胎；
11—立铣刀架。

表7. 蒙皮件边缘的加工方案

边缘状态	加工方案
	<p>在普通立铣床上加工，铣切时板料用压板压紧，每铣一段距离将板料挪动一次</p>
	<p>用上述方法铣切，但必须将板料垫斜，使其加工面保持水平位置。 对曲率较大的蒙皮，其边缘斜角可用风动铣进行手工铣切，亦可用斜角铣切机铣切，图8是这类设备的示意图①</p>
	<p>用锉刀手工修整</p>

①《工艺试验成果汇编》，820902，国营峨嵋机械厂工艺研究所。

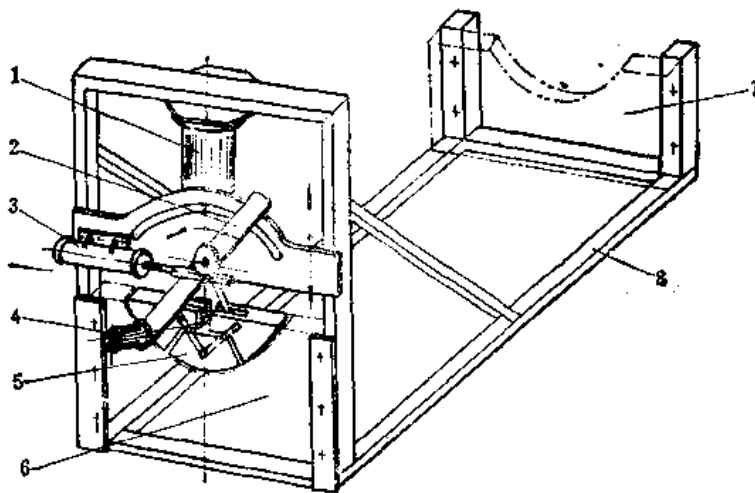


图8

1—压紧机构作动筒；2—摇臂；3—摇臂作动筒；4—铣切动力头；
5—压紧机构；6—前托板；7—后托板；8—框架。

3.12.2.2 型材零件的修边

对长度在500 mm以下的短型材和大于500mm的直型材，一般都采用无余量生产。对于框肋的缘条、弯曲的长桁和双曲度不规则的型材其余量的切割均在校形靠胎后按外形样板、检验模或划线切割样板进行划线，用手锯、圆盘锯或带锯切割。

图1是板弯型材采用的专用滚切滚轮将“几”剖面的型材切开成两个“L”型材，其剪切余量不应小于4mm。图2是板弯型材在板金立铣床上铣切边缘的示意图。

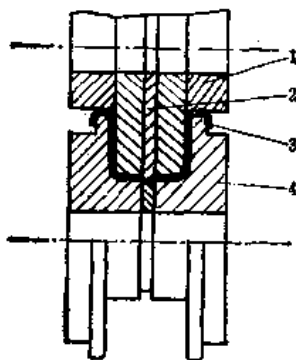


图1

1—上滚轮；2—切刀；3—板弯型材；
4—下滚轮。

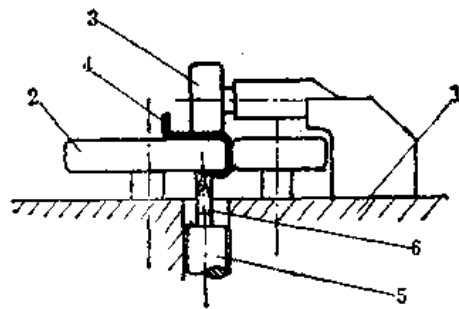


图2

1—立铣台面；2—夹具导轮；3—靠轮；
4—型材件；5—立铣主轴；6—立铣刀。

图3为型材件边缘典型的分类图。图3(a)所示的长桁件和梁缘件其边缘的铣切一般是在立铣床或回臂铣床上按样板靠铣。图4是在回臂铣床上铣切3(a)类零件的通用夹具。这种夹具只要按不同的型材更换铣切样板1和垫块3即可进行铣切。铣切样板是按型材件边缘外形采用精制层板制造的。图5是用于铣切如图3(b)类的单曲度型材件的通用夹具。件2是通用模座，可按需要调整位置并用螺栓固定在底座1上，被铣切的型材件5用铣切样板4和压板3压紧，该夹具可同时铣切两个零件。

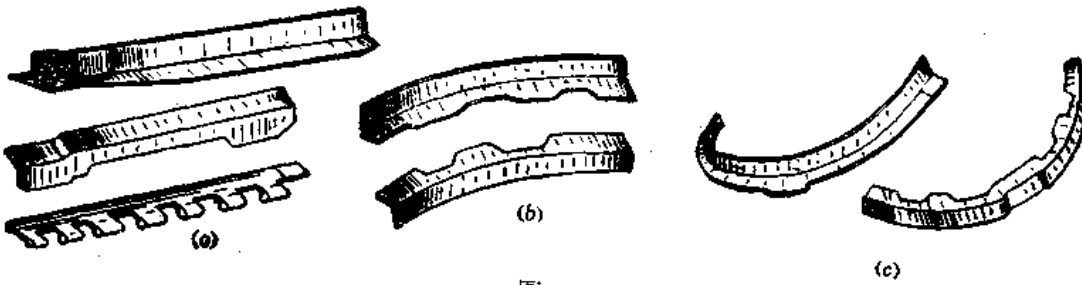


图3

(a) 直长桁件和梁缘件类；(b) 单曲度长桁件和梁缘件类；(c) 框肋件类。

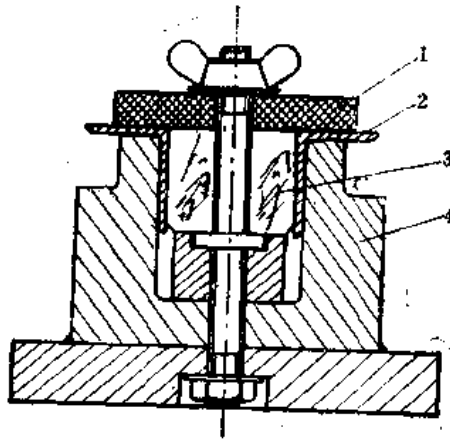


图4

1—铁切样板；2—型件件；3—垫块；4—通用夹具。

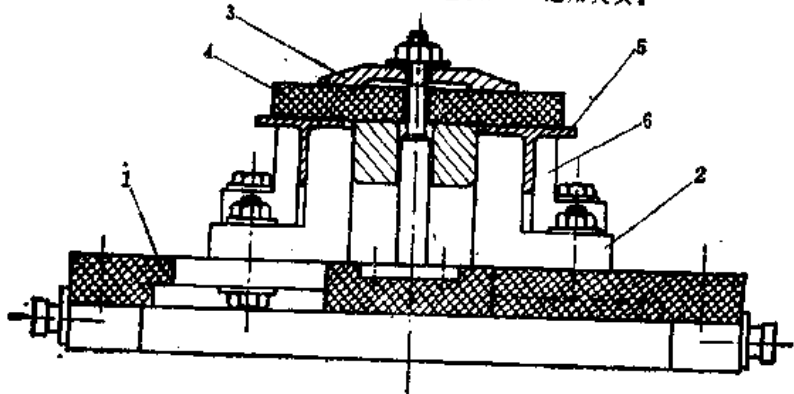


图5

1—通用底座；2—可调节的模座；3—压板；4—铁切样板；5—被铁切的型材；6—模座。

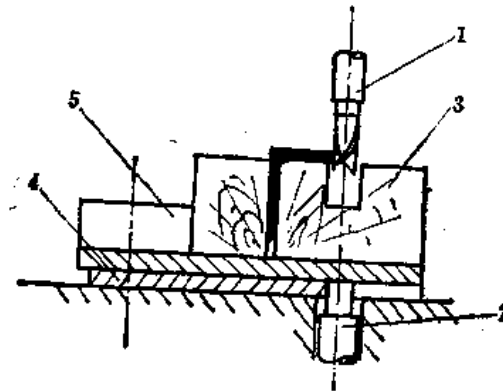


图6

1—铣刀；2—靠梯；3—模胎；4—外形样板；5—压紧机构。

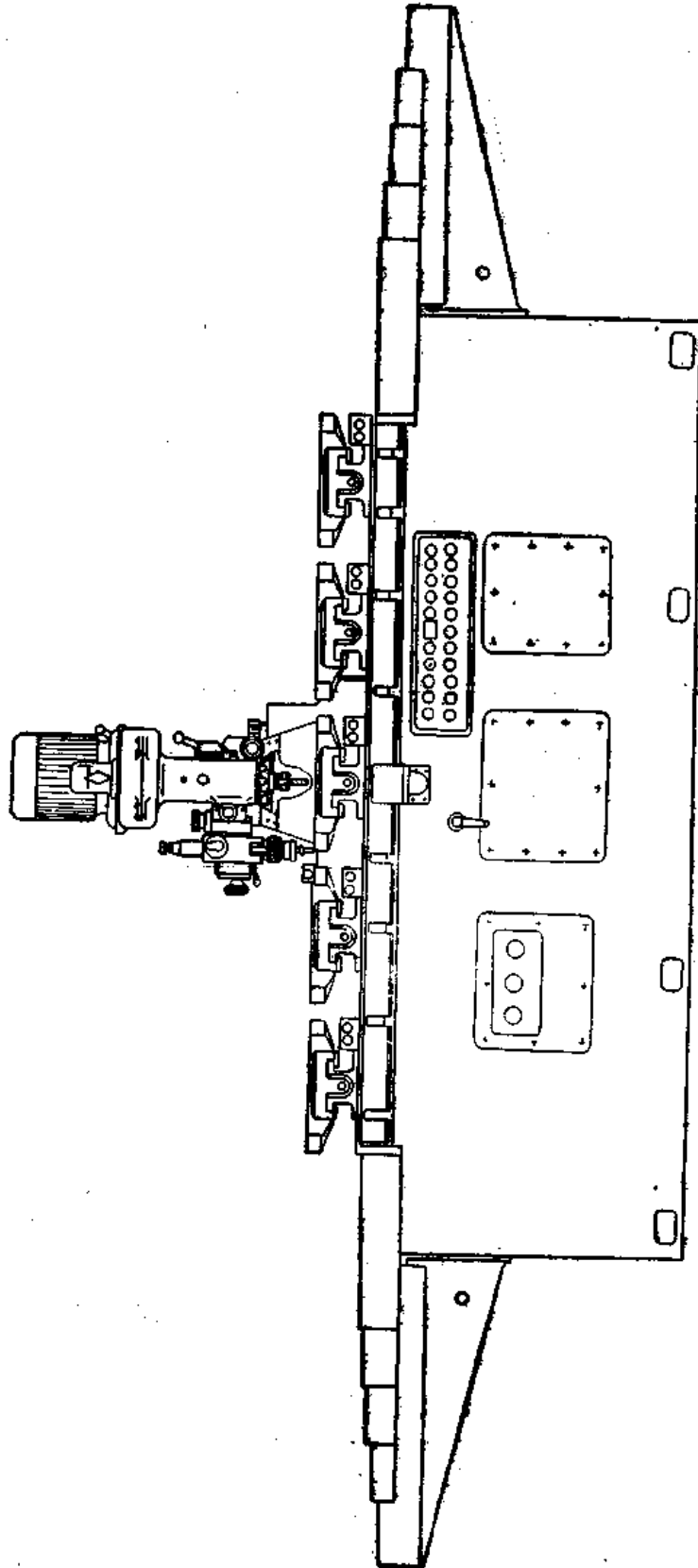


图 7

对于图3 (c)类的翼肋型材,其平腹板面的边缘外形铣切可在板金立铣床上按图6所示进行铣切。也可以按切钻样板划线后,在普通立铣床上用手工送进铣切。

飞机工厂型材车间采用如图7的QH₁-006型型材仿形铣床来铣切截面不大于60×60×6mm,长度不大于2000mm的角材和T型型材件的边缘直线、折线、曲线、变截面和各种缺口等工序。用样板液压仿形,勿需铣切前的划线和铣切后的修锉、去毛刺等工序。且在铣切过程减少零件的装夹次数,故生产效率高。铣零件的精度可达±0.1mm,铣出的外形曲线光滑。QH₁-006型材仿形铣的主要规格见表。靠模板的尺寸如图8所示。

QH₁-006型铣床主要技术指标表

主要技术指标	数 据
工作台面积(长×宽)	400×2200 mm
工作台纵向行程	2000mm
工作台T型槽(个数×宽度×距离)	3×18H9×80 mm
工作台纵向进给量范围	20~2000mm/min
工作台纵向快速移动量	300 mm/min
主轴转速范围(3级)	4200~7000 r.p.m.
主轴套筒伸出量	50 mm
铣头体前后移动量	110 mm
仿形箱移动量(前后×左右×上下)	50×50×50 mm

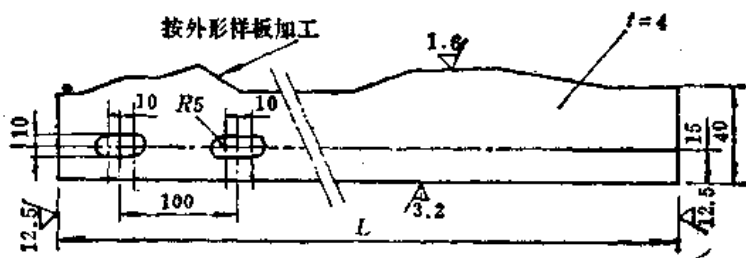


图 8

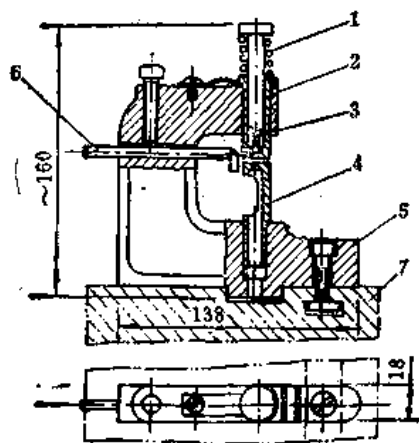
3.12.2.3 板金零件的钻孔

板金零件按成形和装配工艺的需要,须钻制各种工艺孔(工具孔、销钉孔、定位孔、装配孔和导孔等)。这些工艺孔应尽可能在下料时钻出,有关下料时钻孔的工序在2.1.6.2.节和2.1.9.1节中已阐述。

双曲度的蒙皮件、型材件以及弯边曲度较大且成形后尚需手工修整的或者弯边高度大于25mm的液压成形件,这些零件的导孔都必须在成形后钻制。至于零件平面上的定位孔、装配孔如果位置要求准确的一般也须在成形后钻出。

板件工艺孔的钻制,对平面上的孔均按钻孔样板在台钻上钻出。为避免样板中孔的磨损,一般都在钻孔样板上装有活动钻套,也可在台钻上加装活动钻套。对曲线上的孔按切钻样板用风钻钻出。

对于直的和单曲度的型材件上的钻孔工序是在可移动工作台的台钻上钻出,在批量生产中可采用如图所示的通用冲孔模进行冲孔。冲孔模按外形样板安装在通用底座7上,



1—弹簧；2—脱件器；3—冲孔凸模；
4—冲孔凹模；5—模架；6—定位杆；
7—通用模座。

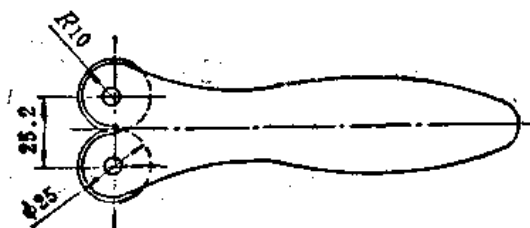
底座固定在台面尺寸较大的闸压床上，这样一次能冲数十个孔，生产率高，但孔的边缘较粗糙。对双曲率的型材件按切钻样板用风钻钻出。

3.12.3 板金冲压零件去毛刺

板金零件都是由铝合金、钛合金、镁合金和优质钢料经剪裁、铣切、冲裁等工艺方法下料，其边缘都会产生毛刺，所有形成的毛刺都必须清除。

3.12.3.1 板金件去毛刺

在实际生产中去毛刺的方法有：振动去毛刺、滚筒去毛刺和砂带去毛刺等方法。但 these 方法都由于会划伤板面，破坏包铝层或产生热变形等而不适用于板金零件。在生产中仍用锉刀、刮刀、具有硬质合金的刮刀和砂布等工具来清除板材和型材件的毛刺。图示为常用的去毛刺刮刀之一。对黑色金属的板金件可用每分钟转速不超过18000的手持风动砂轮或锉刀来消除。



3.12.3.2 冲压件和小板金件去毛刺

冲压件和小板金件去毛刺一般可采用振动去毛刺、滚筒去毛刺和滑动去毛刺等方法。

振动去毛刺是将一定比例的零件与磨料放在容器内，依靠容器的周期振动，使零件和磨料产生环状螺旋运动，而相互摩擦。此时磨料对零件进行均匀加工而去掉毛刺。图

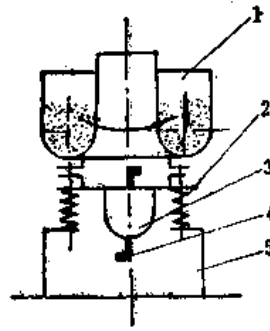


图1

1—容器；2—弹簧；3—电动机；4—偏心块；5—底座。

1为立式振动去毛刺机的示意图，当偏心角等于 90° 时，加工效率高，质量也好。零件和磨料装在容器内的高度以 $\frac{2}{3}$ 为佳，过少则加工效果就不明显。

振动去毛刺所用磨料见表。

振动去毛刺用的磨料成分表

磨料类型	材料成份	适用范围
陶瓷磨料	矾土和二氧化硅混合物烧结而成，加20%的金刚砂（按重量） 形状有规则和不规则两种。前者可根据需要制成三棱形、圆柱形、梅花形、多边形和球形等，后者可用度陶瓷破碎	适用于一般黑色的冲压件与小板金件 不规则形状磨料适用于粗加工
有机磨料	由锯木屑、糠壳等材料组成，也可单独使用 磨料应干燥无油污	适用于铝合金冲压件及薄片易变形的零件
金属磨块	用冲孔、切边和冲槽等工序的边角余料	适用于形状复杂的零件

振动去毛刺磨料选择的原則：

- (1) 对加工易变形的零件，磨料的大小一般选择10mm以下的块状；
- (2) 对空心的和带槽的零件，应选择二种规格的磨料，一种尺寸应比孔槽大，另一种应小于孔槽尺寸的 $\frac{1}{3}$ 以下，这样以便振动时能畅行于孔槽之内；
- (3) 为降低零件表面粗糙度，要加锯木屑、玉米棒、糠壳，碎皮革和毡屑之类的有机磨料。

图2所示的滚筒去毛刺机是冲压车间常用去毛刺设备之一，其磨料介质系采用有机

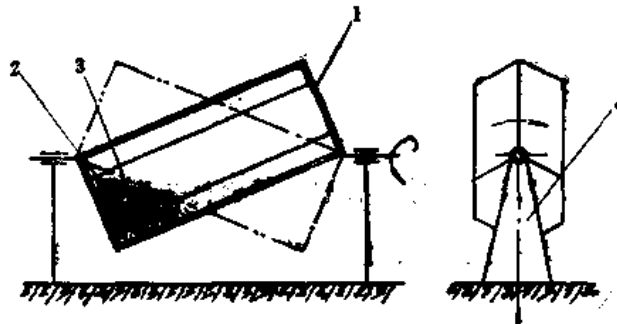


图2

1—滚筒；2—零件；3—磨料；4—支架。

磨料，磨料介质与零件之比应保持 3:1(按体积)，总装载量应当为滚筒容量的 $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ 。其效果较振动去毛刺差，这种方法仅适用于有色金属冲压件和小型板金件。

3.12.4 零件打标记

为便于零件的装配，所有板金件在完成最后一道工序时都必须打标记，即标明零件的图号和批号。

板金零件的标记的应用范围见表。

板金零件打标记种类与应用范围表

标 记 种 类	适 用 范 围
用钢字来标记零件图号的永久性标记； 用电化学腐蚀法标记	适用于材料厚度大于 0.8mm 的铝合金板金件和钢件
用特种墨水来标记零件的图号(即漆印)	适用于 $t \leq 0.8\text{mm}$ 以下的铝合金零件。应在零件表面处理后进行，无表面处理的零件，应在最后调交检验前进行
挂标签方式来标记零件图号	用于小型零件，这时可标记面积小到安排不下钢印字迹

零件打标记的要求：

- (1) 标记的位置应标在装配后可显目的部位。
- (2) 对接触气流的蒙皮表面、口盖的外表面和客舱的内表面都不允许打标记；此时，应将标记打在它们的背面。
- (3) 所有标记都必须均匀一致，字迹清楚，对于钢印标记刻迹应有一定深度，字体高度不小于 4 mm。
- (4) 对敏感性强的材料（如钛合金、镁合金的板金件）都不允许用钢印标记，只能用漆印来标记。

打标记是手工在零件标记部位逐字打印。在批量生产时可用气动式或机械式打印装置进行标记。

参 考 资 料

- (1) 《风动工具》，HB2544-76。
- (2) 《风动工具》，HB2545-76。
- (3) 赵立群主编，《飞机铆接装配工艺手册》，国防工业出版社，1985年。

4 产品检验与协调



4.1 表面质量控制

4.1.1 定义与范围

表面质量隶属于表面完整性的范畴。

板金零件表面状态的优劣直接影响到产品的使用性能和商品价值。表面质量控制是为了生产出表面受控制的结构完整的零件。

4.1.2 术 语

4.1.2.1 一般术语

(1) 包覆：在零件板材的一面或两面，管材的内、外表面，有一层冶金结合的包覆层。施加该包覆层是为了防止腐蚀，保持表面外观等。

(2) 不包覆：沿整个厚度方向具有均匀化学成分的板材，管材。

(3) 基体：包覆材料中被包覆的主体部分。

(4) 缺陷：偏离理想状态的任何情况。一种缺陷能否被验收取决于该缺陷的类型，严重程度及范围的大小。

(5) 穿透包覆：该术语规定了基体材料已裸露，因而裸露部位已无包覆层。

(6) 优质表面：板金零件的整个表面在各方面都是高水平的，这种表面适用于飞机的外表零件和外蒙皮。

(7) 中等质量表面：具有这种表面的板金零件的整个表面质量稍次于“优质表面”。这种表面适用于飞机的经阳极化并涂有色漆的外表零件和外蒙皮。

(8) 边缘：两个相邻平面或平面的交线，如图1。

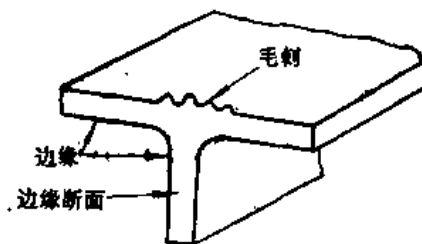


图1

(9) 尖锐边缘：没有可见毛刺的正常边缘，如图2所示。



图2

(10)去毛刺后的倒角或倒角边缘：见图3。

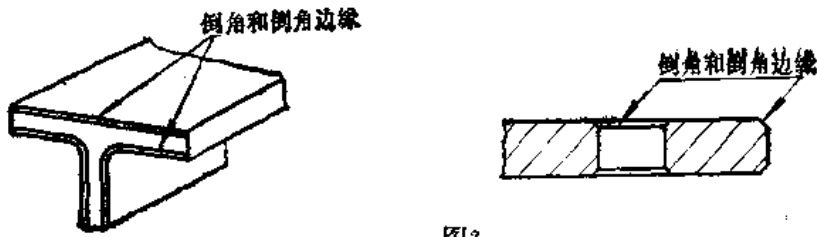


图3

4.1.2.2 表面缺陷术语

(1) 划伤：使连续表面分离的一条狭窄的开裂。它可能穿透或未穿透包覆层，如图1所示。

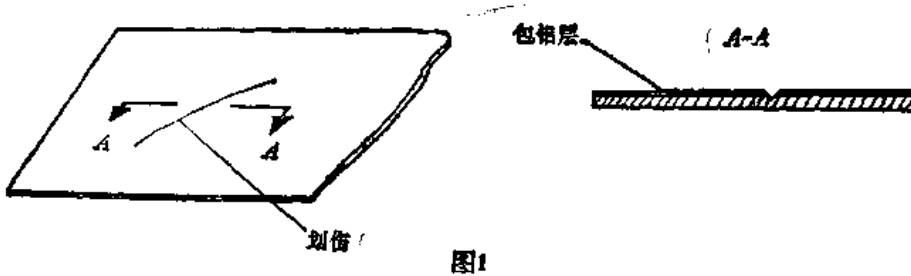


图1

(2) 表面划伤：是一种仅目视能看到的，无触感或触感不明显的划伤，如图2所示。

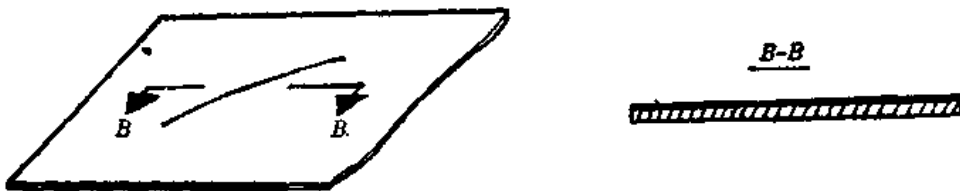


图2

(3) 严重划伤：在宽度或深度方面超过本节(1)中的任何一种表面开裂。其实质要比划伤严重得多，如图3所示。

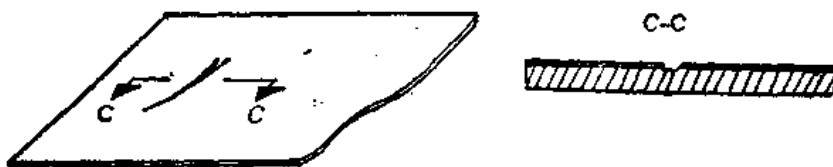


图3

(4) 擦伤：擦伤实际上是由板材表面的擦痕和划痕构成。其结果可能从很轻微的外观损伤到严重损坏基体材料的穿透包覆层的严重的开裂，如图4所示。

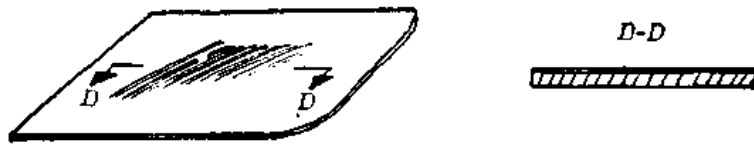


图4

(5) 麻点：麻点可能是由滚轧时外来异物（滚轧后已不存在）或由于腐蚀而产生的一种具有明显轮廓的凹坑，如图5所示。

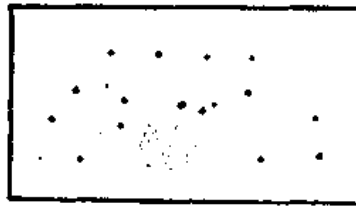


图5

(6) 气泡：气泡能在板材的基体材料中形成，也能在基体和包覆层之间的结合面中形成。前者为基体气泡图6 (a)，后者为结合气泡图6 (b)。



图6

(7) 热处理斑痕：外观为褐色、晕光、不规则的区域。在斑痕中会发现擦伤，它是由热处理淬火变形相互接触而造成的。

(8) 油斑：是润滑油在板材表面不完全燃烧而产生的斑痕，这种斑痕通常能用涂漆来覆盖或利用升高温度到足以能燃烧掉这些斑痕。

(9) 水斑痕：通常是一种白色或灰色的区域，它是由板材表面在限定的空气空间连续地接触水分而形成的表面浸蚀，对材料的外观存在严重有害的影响。这种斑痕通常不能用涂漆的方法来覆盖。

(10) 马蹄折痕：薄板及薄板零件在搬运过程中，因失稳而产生的局部性的马蹄形折痕。这种折痕呈现一条明亮的条纹，折痕区出现一些毗连的不平区域。

(11) 橘皮状：是一种与橘子皮外观相似的粗糙表面，通常在板材变形时或变形后经退火产生晶粒粗大而形成的。

(12) 叠层：在复杂零件成形过程中（或手工修整中），包覆层或基体材料堆叠在一起，形成表面平整，内部残存裂隙的缺陷，如图7所示。

(13) 金属轧入：金属碎渣，破裂物轧入板材表面的缺陷，如图 8 所示。

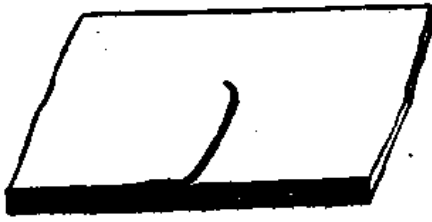


图 7

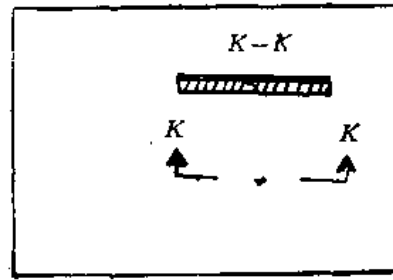


图 8

(14) 滑移线：在拉伸矫直或其它类似的成形中，由于变形不均匀而在表面形成的明暗相间的对角线条纹，这些条纹表示材料的局部变薄。

(15) 彗星尾：它是由于很细的抛光剂颗粒或附在板材上的其它材料造成的。当抛光轮通过该区域时，就产生一种与彗星尾相似的对包覆层的较轻的破坏。

(16) 缝纫线：当抛光轮上的布或线松弛时，轮子在板材表面运转振动，留下了一些轻微类似于缝纫机缝纫线那样的损伤，如图 9 所示。

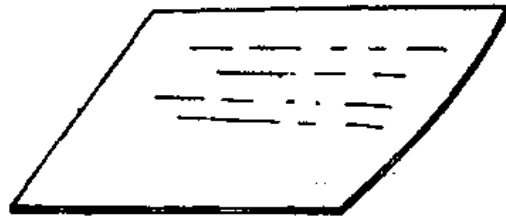


图 9

(17) 毛刺：超出成形边缘正常表面范围之外的突出的那一部分金属，如图 10 所示。

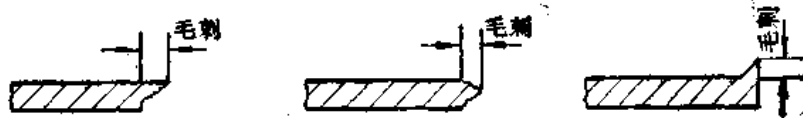


图 10

4.1.3 表面质量标准

4.1.3.1 一般标准

除了对于具有更高或偏低要求的按有关的专门工艺技术文件的要求执行外，一般钣金零件的表面质量标准按冶金工业部标准 (YB)，或国家标准 (GB) 的有关条款执行。常用标准见表。

常用钣金零件材料标准对照表

材 料	材 料 名 称	标 准
铝及铝合金	工业纯铝板	YB606-66
	防锈铝板	YB606-66
	硬铝板	YB607-66
	超硬铝板	YB607-66
	铝及铝合金薄壁管	YB611-66
	铝及铝合金挤压厚壁管	YB612-66
	铝及铝合金挤压型材	YB615-66
	工业用铝箔	YB621-66
	超硬铝合金板	Q/Q107-78
	LY12合金特薄板	Q/Q118-81
	铝合金箔	Q/Q701-75
镁合金	变形镁合金板	Q/Q628-73
铜及铜合金	黄铜管	YB448-71
	挤压铝青铜管	YB449-71
	黄铜线	YB452-64
	锡青铜线	YB454-64
	黄铜板和带	YB460-71
	紫铜带	YB464-64
	铜及铜合金毛细管	YB569-75
	紫铜线	YB724-70
钛及钛合金	钛及钛合金板	YB762-70 宝松 1-79
结构钢合金钢及不锈钢	高温合金	YB639-67
	镀锌钢板	YB180-63
	GC-11	Q/6S9-68
	优质碳素结构钢板	GB710-65
	航空用合金结构钢板	YB540-65
	航空用不锈钢冷轧薄钢板	YB677-71
	冷轧不锈钢带	YB532-65
	碳素结构钢冷轧钢带	YB207-65
	弹簧和工具钢冷轧钢带	YB208-63
	航空用不锈钢管	YB678-71
	航空用结构薄壁无缝钢管	松鞍79-1 YB680-71
	低碳结构钢丝	GB344-64
	中碳结构钢丝	GB345-64
	合金弹簧钢丝	YB249-64
	不锈钢酸钢丝	YB252-79
	铅钒弹簧钢丝	YB285-64

4.1.3.2 特殊标准

4.1.3.2.1 优质表面的包铝板金零件

(1) 除以下各条外，一般应符合冶金工业部标准 YB607-66 中规定的优质板有关条款的要求。

(2) 在室内最小50烛光或室外自然光线条件下，从距离1.8m~2.1m的位置目视检查时，其缺陷的存在不影响零件的整体外观。

(3) 表面缺陷所占的面积不超过零件总面积的1%。

(4) 不存在任何穿透包铝层的划伤和擦伤。

(5) 划伤深度大于0.02mm，而不超过包铝层名义厚度 $\frac{1}{2}$ 的时候，零件角0.5m长允许最多一处，其长度不得超过25mm，任何0.4m²范围内总划伤长度不得超过50mm。

(6) 深度大于包铝层名义厚度 $\frac{1}{2}$ 且不穿透包铝层的划伤，每平方米不得超过一处；长度为13mm，而整个面积的划伤总长度不超过50mm。

(7) 不存在明显损伤板材整个外观的热处理擦伤。

(8) 运输和磨损擦伤不能接收。

(9) 使板材厚度的减少量低于板材的标准偏差的任何麻点不能接收。

(10) 任何穿透包铝层的麻点不能接收。

(11) 从1.8~2.1m的距离观察时，每1.2×1.2m²的面积范围内，不得超过3个麻点。其中允许一个最大直径为4mm的麻点，剩下2个是较小直径的。长度至7m的每块板材最多15个麻点，以后角长度增加0.5m增加一个麻点。

(12) 基体气泡不能接收。

(13) 一般不允许存在热处理斑痕。但对于宽度大于或等于2m的板材允许有3处热处理斑痕。尺寸最大为76×76mm²，最小间距为0.6m。

(14) 如果从数量或尺寸大小上，油斑损伤整个零件的外观，则不能接收。但对于“M”状态料来说，在加工过程中，如果油斑被去除掉的话，是可以接收的。

(15) 水斑痕不允许存在。

(16) 具有明亮条纹的“CZ, CS”状态包铝零件上的马蹄折痕不能接收。若这种痕迹可以用涂覆掩盖，并不产生一个不平的区域的话，对于“M”状态的材料可以接收。

(17) 对于极轻微的橘皮状表面，从1.8~2.1m的距离观察时，若光线在其表面未产生散射现象，可以接收。

(18) 叠层不能接收。

(19) 从1.8m的推荐距离观察时，若彗星尾和缝纫线不损伤零件整体的外观，可以接收。

(20) 不损伤整体外观，而无触感的滑移线可以接收。

4.1.3.2.2 中等质量表面包铝板金零件

() 除以下各条要求外，一般应符合冶金工业部标准 YB607-66 中规定的结构板的有关条款要求。

(2) 按第4.1.3.2.1节的(2)内容执行。

- (3) 不穿透包铝层的热处理擦伤和运输擦伤可以接收。
- (4) 任何穿透包铝层的麻点不可接收。
- (5) 按第4.1.3.2.1节之(11)内容执行。
- (6) 按第4.1.3.2.1节之(12)内容执行。
- (7) 轻微的热处理斑痕, 油斑, 水斑痕可以接收。
- (8) 对于仅仅可见的马蹄折痕可以接收。
- (9) 若表面未出现破损的橘皮状表面可以接收。
- (10) 叠层不可接收。
- (11) 彗星尾和缝纫线可以接收。
- (12) 存在滑移线可以接收。

4.1.3.2.3 不包铝的铝合金钣金零件

- (1) 一般应符合冶金工业部标准YB606-66中有关条款的要求。
- (2) 对于蒙皮和外表零件, 按第4.1.3.2.1节之(2)内容执行。
- (3) 表面缺陷所占的面积不得超过零件总面积的2%。

4.1.3.3 钣金零件边缘要求

4.1.3.3.1 钣金零件边缘的一般要求

(1) 对于零件在成形前的毛料边缘的毛刺不得大于0.2mm。无余量的毛料(展开料)应符合第(2)条的要求。

(2) 如果没有其它的规定, 对于材料厚度超过1.0mm的零件, 无论在哪个正常表面上的毛刺不得超过0.07mm; 对于材料厚度小于或等于1.0mm的零件, 均不得超过0.10mm。

(3) 如果没有规定倒角尺寸或倒圆半径时, 对于材料厚度等于或小于2.0mm的板材上的紧固件孔, 当毛刺超过第(2)条的规定时, 边缘因去毛刺而被倒角或倒圆, 其倒角尺寸或倒圆半径不得超过板材厚度的10%。其余边缘上的倒角尺寸或倒圆半径最大不超过0.2mm, 对于这样的边缘只进行感观检验就可以了。

(4) 边缘上有“V”型工具痕迹时(见图1), 用目视或用指甲划过这一痕迹能感觉到它的明显存在时, 则必须去除。去除后的边缘公差要求应符合文件规定的偏差要求。

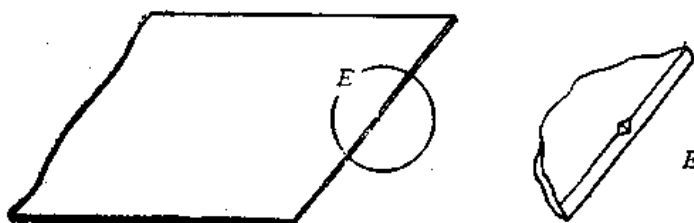


图1

(5) 由于去除毛刺而损伤了包铝层, 被损伤的部位不应延伸到离开零件被去除毛刺边缘的0.8mm范围之外, 见图2所示。

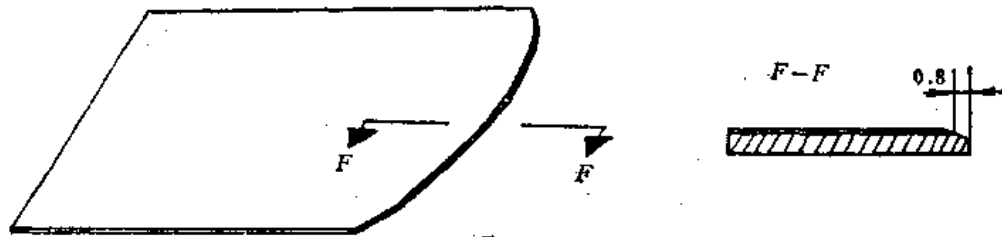


图2

(6) 如果没有其它专门规定, 对于厚度小于或等于 6.0mm 的板金零件和挤压型材零件的边缘断面, 除 LC4, LC9 为 $Ra6.3$ 之外, 其它材料为 $6.3\mu\text{m} < Ra \leq 12.5\mu\text{m}$ 。

4.1.3.3.2 碳钢, 结构钢和不锈钢

如果零件符合下列条件时, 在零件毛料边缘上允许有最大为 0.3mm 的毛刺。

(1) 在图样上有在边缘制倒角或倒圆的要求或规定。

(2) 零件的下道工序要进行焊接或机械加工者。对于焊接件, 其毛刺的存在不应影响焊接间隙要求。

4.1.3.3.3 钛合金板金零件边缘要求

除非另有其它的规定, 钛合金零件的边缘应按第 4.1.3.3.1 节的 (2) 条和 (3) 条要求去毛刺。按第 4.1.3.3.1 节第 (4) 条要求去除工具痕迹。

4.1.3.3.4 音速区板金零件边缘要求

如果图样上说明某一零件是处于音速区, 其边缘加工应更细致些, 无可见毛刺。应遵守下列规定:

(1) 铝合金板金零件

LC4, LC9 铝合金挤压型材零件断面其粗糙度最低 $Ra 3.2\mu\text{m}$, 其它铝合金板金零件的边缘断面粗糙度 $3.2\mu\text{m} < Ra \leq 6.3\mu\text{m}$ 。

(2) 碳钢, 结构钢和不锈钢板金零件

允许用普通下料方法切割, 但边缘加工更细致些, 无可见毛刺。

4.1.4 板金零件的表面保护

4.1.4.1 铝合金优质表面板金零件的表面保护

4.1.4.1.1 涂敷保护

(1) 贴敷胶粘电缆纸

这种保护纸是用 K17 电缆纸上均匀涂上两种专用胶液, 然后将胶纸贴是无油污的铝板上。

这种保护纸在整个零件加工过程中, 只要不影响操作, 应尽可能保持着。

(2) 贴防腐可剥聚乙烯薄膜。在零件加工过程中, 若不影响操作, 应尽可能保持着。若薄膜损坏, 需立即重新贴好。

(3) 喷涂碱性可剥性涂层, 对于每道加工操作后为保护优质表面都可以随时喷涂。

4.1.4.1.2 板金零件加工过程中的保护

(1) 在处理未施加保护涂敷层的优质表面板材, 半成品和成品零件时, 应戴清洁柔

软的手套。

(2) 工作台要保持清洁。

(3) 在加工过程中, 尽可能带保护层加工。若确实影响加工或保护层不起任何保护作用的情况下, 应去除保护层。加工操作完成后, 应立即恢复保护层。

(4) 在加工过程中, 半成品零件的放置应仔细用中性牛皮纸或塑料布隔开。

(5) 板金校正平台应保持清洁, 在校平零件平面部分时, 禁止零件表面与平台面的相对旋转和摩擦。

(6) 在半成品零件校形时, 应在平台上与零件接触部位垫上中性牛皮纸, 塑料纸或玻璃纸进行修整。

(7) 零件和毛料在手工清洗过程中应使用棉纱布加上干净的清洗剂进行擦洗。

(8) 在整个加工操作过程中, 半成品边缘的毛刺必须清除干净, 以防损伤相邻零件或毛料的表面。

4.1.4.1.3 运输存放过程的保护

(1) 搬运零件, 原材料时, 要使用无摩擦的纤维板, 胶合板, 酚醛板或包装纸。必须从料架上提起板料, 严禁滑, 拖板料和零件。

(2) 搬运大型零件时, 应尽可能使用垫块, 支撑架或专用搬运架, 以防表面损伤。

(3) 使用适当形式的运输夹具、托架、三角架, 料箱, 垂直架来运输。在运输时, 板料和零件要予以支撑, 保护和捆扎。

(4) 对于厚度等于, 小于0.8mm的薄板在加工前需翻面时, 一定要用专用翻转设备翻面, 不得几个人抬起任意翻面而产生折痕和损伤。

(5) 优质表面零件的毛料和其它毛料在库房应分开保管。

(6) 化学处理设备附近不得贮存原材料及零件。

(7) 所有板材和零件表面要保持干燥, 无污物, 金属屑等。

4.1.4.2 中等质量表面铝合金板金零件的表面保护

根据各种机型的要求和生产条件的限制可按第4.1.4.1节中的部分内容施加保护措施。

4.1.4.3 镁合金板金零件的表面保护

(1) 在加工镁合金板金零件过程中, 应戴上清洁手套, 以防腐蚀。

(2) 镁板边缘不允许有毛刺, 以防损伤板面及氧化膜。

(3) 镁板零件及毛料上划线不准使用石墨铅笔, 可使用红蓝铅笔划线。

(4) 对于需去掉氧化膜加工的零件, 在毛料去掉氧化膜十昼夜内必须完成加工, 而重新制氧化膜。

(5) 对于具有氧化膜的零件, 在整个加工过程中不得损坏氧化膜。若有损伤, 必须在十日内补上。在气候潮湿的地区, 工序间可油封处理。

(6) 零件氧化处理后应在24h内涂底漆和面漆。

(7) 在利用铅锌模落压加工零件时, 在铅模的一面应用保护纸加以保护, 以防表面粘铅腐蚀。

- (3) 镁板和镁合金零件不得置于潮湿的含大量水分的环境内。
- (9) 加工后的零件或半成品应用包装纸和塑料袋（含干燥剂）进行包装。

4.1.4.4 管制零件的表面保护

- (1) 管端头用堵塞堵紧，并用布胶带固定。
- (2) 管端头用聚氨基甲酸酯泡沫塑料带或 6mm 厚的聚氯乙烯软垫包装端头并用布胶带固定。
- (3) 用纱布带，防湿纸，布胶带封闭波纹管，凸缘管端头。
- (4) 当一种导管的数量达到表 1 数值时，用布胶带捆扎成组，见图 1 所示。

表 1. 导管捆扎规格

管子外径 (mm)	每捆根数 (根)
≤100	≤10
100~200	≤5
>200	

- (5) 管子的装载见图 2 和图 3 所示。

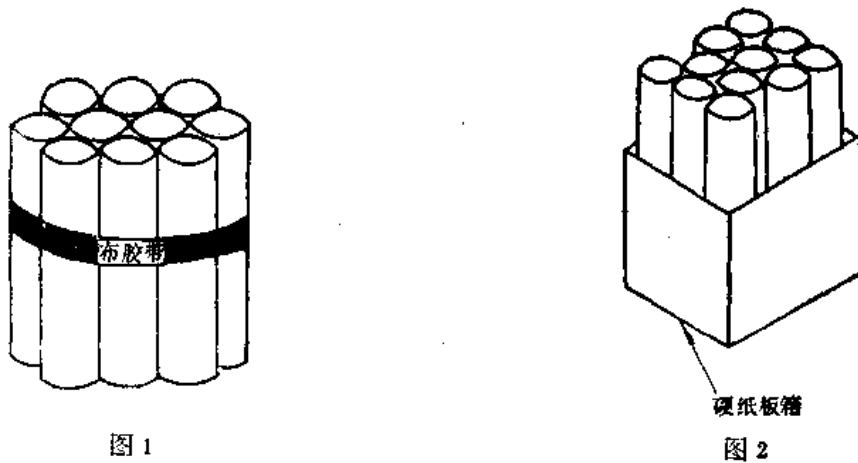


图 1

图 2

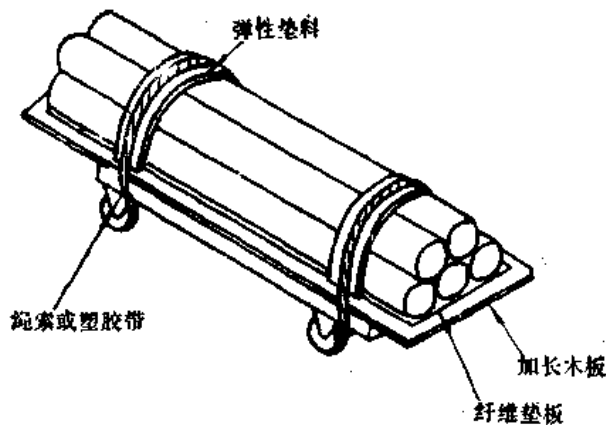


图 3

表2. 导管捆扎规格

导管外径 (mm)	每捆根数 (根)
≤50	≤10
50~150	≤5

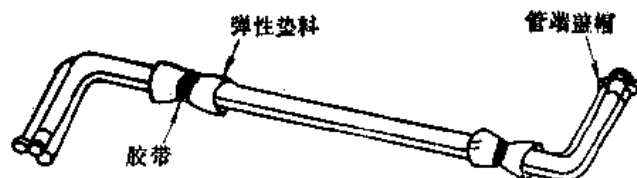


图4

(6) 氧气, 燃油或液压系统的导管和组合件按表2的要求, 用12.5mm厚的聚酯泡沫塑料带和6mm的聚乙烯软垫捆扎, 并用胶带固定, 如图4所示。

(7) 当导管的一端抬起时, 应在另一端与接触面之间设置软垫。

(8) 导管在箱中包装时, 箱底应设置软垫(毡, 泡沫塑料等)和夹持器。

(9) 在管制零件加工过程中应注意润滑和不要损伤导管的表面。

4.1.4.5 不锈钢钣金零件加工过程中的表面保护

(1) 不锈钢零件在加工前施加保护膜, 加工完成后用弱碱去除。施加保护膜的方法见下表。

不锈钢零件保护膜的规格表⁽¹⁾

保护方法	粘接方法		主要树脂名称	膜厚	粘着力
涂饰法	常干法		聚氯乙烯 丙烯酸	40μm	弱
	烘干法 (100~200°C)		聚氯乙烯 丙烯酸	40μm	中
粘着膜法	粘着剂粘结型		聚氯乙烯 聚乙烯	70~150μm	弱—强
	热融粘型 (70~130°C)	单层	变性聚乙烯 变性聚丙烯	70~100μm	中
		多层	聚乙烯+变性 链烯烃	70~100μm	中

(2) 不锈钢零件表面可采用干膜润滑处理, 使钢板表面形成2~3μm的干燥润滑膜, 使用后用弱碱液去除。

(3) 钢板零件在操作过程中, 应注意保护表面。工作台上要设置塑料, 橡皮类罩布。不许拉, 抛零件。

4.1.5 铝合金钣金零件外表面的修复

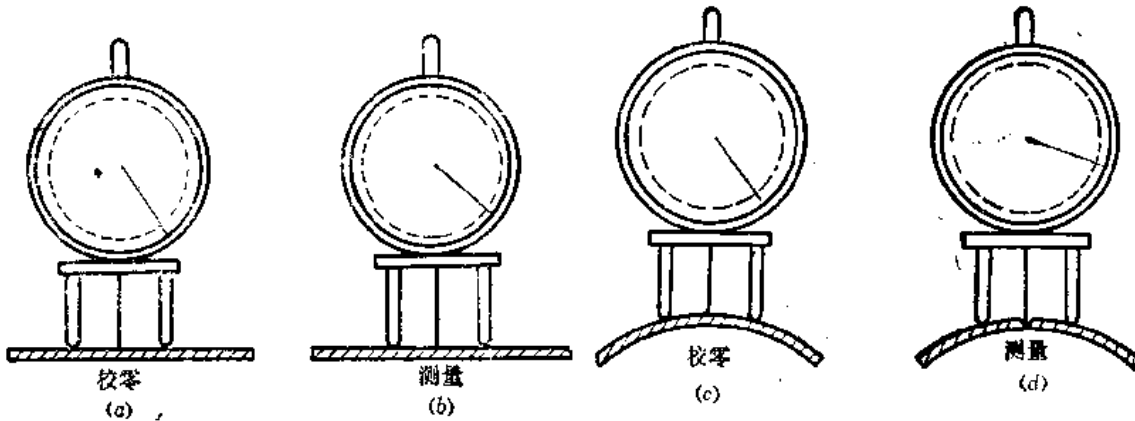
4.1.5.1 铝合金钣金零件表面缺陷的检测方法

4.1.5.1.1 缺陷长度，宽度，面积及分布的检测

- (1) 目视（也可用10倍以下放大镜）。
- (2) 用适当刻度的非金属硬直尺或软尺测量。

4.1.5.1.2 缺陷深度的检测

- (1) 目视（也可用10倍以下的放大镜）。
- (2) 使用受控制的百分表测量（见图）。



(3) 如果经过第(1)、(2)条的方法进行测量后仍感到有疑义的话,可使用聚氯乙烯醇测量法, AC纸测量法及双管显微镜进行检查。

4.1.5.1.3 聚氯乙烯醇填料测量缺陷深度

- (1) 用聚乙烯醇（白色，粒状，无毒，无味）加入适量的水搅拌成糊状，密封保存；
- (2) 将配好的聚乙烯醇糊状液体均匀地涂在所需要测量的缺陷部位，随后在涂层上贴上适当宽度的纸条；
- (3) 室温固化一小时（随温度提高，固化时间可相应缩短）；
- (4) 固化后，揭下涂片，用锋利的刀子切成断面切片；
- (5) 用显微镜测量缺陷的深度。

4.1.5.1.4 AC纸填料测量缺陷的深度

- (1) 用乙酸纤维和丙酮溶液溶成稀糊状液体，摊在平底玻璃容器内。使其厚度在0.3~0.5mm之内，干后揭起备用（即AC纸）；
- (2) 将损伤处用丙酮清洗干净。将AC纸剪成条料，在损伤处涂一点丙酮，然后将AC纸敷在上面。用软橡皮或手指压实，使AC纸充满损伤内部。固化几分钟后揭起AC纸；

3. 制成切片，在显微镜下测量深度。

4.1.5.1.5 双管显微镜测量损伤深度

对于较小的零件，可利用双管显微镜测量损伤深度。

4.1.5.1.6 损伤是否穿透包铝层的检测

检测方法的步骤如下:

(1) 检测溶液配制:

硝酸钾 (KNO₃) 200g
苛性钠 (NaOH) 100g
水 (H₂O) 配制一升溶液所需的水

(2) 去污溶液配制:

硝酸 (40°Be~42°Be) 一份
水 二~三份

(3) 用无水清洗剂擦洗铝板面上要试验的部位;

(4) 将一小滴检测溶液 (见第 1 条) 滴在伤痕部位, 让其反应五分钟;

注: 1. 鉴于检测溶液对铝合金腐蚀性很强, 所以要使用尽可能少的溶液。

2. 若将检测溶液滴在伤痕部位后, 反应过快并可以得出检测结论时, 应立即用水冲洗干净。

(5) 用水冲洗伤痕部位, 并使其干燥;

注: 要确实冲掉所有的检测溶液。

(6) 如果伤痕底部留有一处黑色残痕, 则表示包铝层已被穿透。如果伤痕中仅留一处稍带白色的残痕, 则表示包铝层未穿透;

注: 对于检测 LC4 合金的损伤时, 其颜色变化不十分明显。建议同已知划伤而穿透包铝层的标准试片进行对比。

(7) 在检查时, 光线要充足, 可使用放大镜和小型手电筒;

(8) 用一滴或两滴去污溶液 (见第 2 条) 钝化试验部位;

(9) 用水彻底冲洗并干燥。

4.1.5.2 铝合金蒙皮的修复方法

各种类型的蒙皮零件表面损伤的修复方法及适用范围见下表。

表面损伤的修复方法表

损伤的类型	零件及表面处理	修复方法
未穿透包铝层的单条划伤	未经阳极化	抛光法; 消除反差法
	经阳极化	抛光法; 去毛刺法经阳极化表面修复区反差消除法
穿透包铝层的单条划伤	经阳极化的或未经阳极化的	抛光法 经阳极化表面修复区反差消除法
较轻微的划伤和擦伤	未阳极化	抛光法; 消除反差法
深划伤和工具痕	所有蒙皮和机翼壁板	融合法
不包覆铝合金的所有损伤	未阳极化	融合法; 抛光法消除反差法
色斑和变色	未阳极化的包覆或不包覆铝合金	化学还原清除法

4.1.5.2.1 修复方法一——抛光法

- (1) 用汽油将损伤部位表面清洗干净；
- (2) 用去毛刺工具（毛刺刮板），以凡士林作润滑剂去除损伤边缘的毛刺；
- (3) 用汽油清洗干净损伤部位，并用细棉纱布轻轻地擦干净；
- (4) 用专用打磨工具，以润滑油或凡士林作润滑剂，仔细打磨损伤部位，弥合损伤的痕迹。其目的是使损伤部位附近的包铝层辗回到损伤部位之中，使由损伤部位到周围表面形成一个平滑的过渡。如有必要，在操作过程中可在零件背面加以支撑；
- (5) 遮掩弥合区两侧的区域。用400[#]粒度和600[#]粒度的砂纸砂光，直至弥合痕被去除为止；
- (6) 用脱脂棉或细棉纱布沾上汽油，擦净修复部位；
- (7) 用毡垫（或包上脱脂纱布），涂上研磨膏对修复部位进行手工或机械抛光。特别注意最后结束抛光时，必须用手工方法沿板材的纤维方向进行再一次抛光；
- (8) 用干净的细棉纱布沾上汽油去除残留的研磨膏和润滑油；
- (9) 若修复部位与周围表面相比显得过分光亮和不协调，则按修复方法四再进行修复。

4.1.5.2.2 修复方法二——融合法

- (1) 用干净的细棉纱布沾上汽油，清洗干净损伤部位；
- (2) 遮盖该损伤两侧的区域，以致使修复宽度限制在最小范围内；
- (3) 根据损伤的具体情况，选择粒度适宜的240[#]、180[#]、150[#]、120[#]、100[#]、W40、W10氧化铝砂纸，由粗到细，涂润滑油沿损伤方向仔细打磨，直至损伤痕迹消失为止；
- (4) 按第4.1.5.2.1节之(6)清洗；
- (5) 按第4.1.5.2.1节之(7)抛光；
- (6) 按第4.1.5.2.1节之(8)清洗；
- (7) 若需要的话，执行第4.1.5.2.1节之(9)的内容。

4.1.5.2.3 修复方法三——抛光法

- (1) 按第4.1.5.2.1节之(1)的要求清洗；
- (2) 用脱脂棉（或包上脱脂棉的毡块）对损伤部位进行抛光，直至损伤的痕迹消失为止，抛光的方向应顺着板材表面的纤维方向；
- (3) 执行第4.1.5.2.1节之(8)的要求；
- (4) 若有必要，按第4.1.5.2.1节之(9)的要求执行。

4.1.5.2.4 修复方法四——消除反差法

- (1) 用细棉纱沾上汽油将要修复部位仔细清洗干净；
- (2) 用毡垫或氧化铝砂纸（布）W10沾上润滑剂进行极轻微的擦拭，以减少修复部位的光泽，擦拭方向应顺着板材的纤维方向；
- (3) 若执行第(2)条后，局部又显得粗糙，即可用脱脂棉沾上研磨膏进行局部的沿板材纤维方向进行仔细抛光；
- (4) 经过第(2)条和第(3)条周而复始地调合，以达到修复部位与周围表面的较完美的调合；
- (5) 按第4.1.5.2.1节之(6)要求执行。

4.1.5.2.5 修复方法五——去毛刺法

对于经阳极化蒙皮上的未穿透包铝层的划伤，用细砂布沿划伤方向轻轻地砂光边缘毛刺即可。

4.1.5.2.6 修复方法六——经阳极化表面修复区反差消除法

(1) 切一条铅皮，用专用小刀在铅皮上开一个切口。然后，将铅带放在修复区部位上，使修复区暴露出来；

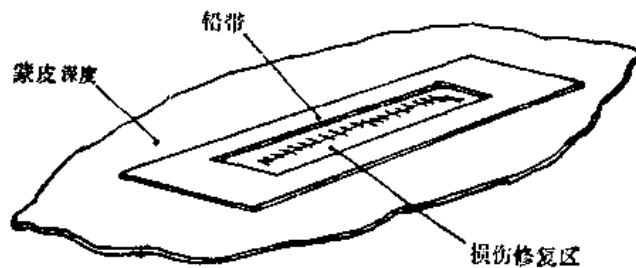
(2) 用适宜的贴敷料将铅带贴敷起来，见图；

(3) 用10%的NaOH溶液腐蚀暴露区，直到表面看起来均匀为止；

(4) 用一块抹布抹去腐蚀溶液，然后用硝酸溶液中和表面，最后冲洗和擦干；

注：苛性钠溶液：在水中加10%重量的NaOH。

硝酸溶液：在水中加10%容积的HNO₃。



(5) 用湿布加少量研磨粉横过修复的长度方向轻轻地擦拭区域，直到显示近似经阳极化的表面；

(6) 用水清洗干净，并确实擦干。

4.1.5.2.7 零件边缘的修理方法

(1) 可使用切削工具手工去除毛刺。例如锉刀，刮刀，钻头或类似的工具等。

(2) 用240#粒度或更细的砂布，砂纸手工去除毛刺和打光。

注：去毛刺时，应该沿一个方向去除，不要交叉往来。

(3) 滚筒去毛刺仅用于黑色金属及挤压型材零件。

(4) 可用有动力装置的砂轮或铣刀去除各种金属材料的毛刺。

注：1. 使用有动力装置的工具去除各种淬火后零件毛刺时，压力和速度不应过大，不要长期停留在一个位置上打磨，否则会使淬火时效的零件产生过热而软化。在打磨时，零件被打磨处的温度不得超过用手不能触摸温度（60℃）、“M”状态的退火材料除外。

2. 去除毛刺后的毛料或零件，必须清洗干净。

4.1.5.3 修复表面的保护

4.1.5.3.1 表面未经任何处理的铝合金零件

(1) 去除未穿透包铝层的划伤和擦伤的修复，不要求特殊的保护方法。

(2) 去除穿透包铝层的划伤和擦伤修复区要求涂阿洛丁（ALODINE）1000，1200加以保护。

(3) 不包覆铝合金零件的修复区，不要求特殊的保护方法。

4.1.5.3.2 表面经阳极化的铝合金零件

其所有修复区均涂阿洛丁1000，1200加以保护。

4.1.5.3.3 经阳极化并涂漆的铝合金零件

这类零件表面修复区，要求先涂阿洛丁1000或1200。然后按要求涂漆。

4.1.6 控制

4.1.6.1 工、量具控制

- (1) 百分表，精度0.01mm。
- (2) 毛刺刮板，自制。
- (3) 手工打磨工具，自制。

4.1.6.2 材料控制

- (1) 航空洗涤汽油。
- (2) 凡士林，工业用。
- (3) 润滑油，HJ-5，HJ-7。五号，七号高速机械油，GB486-63。
- (4) RXF氧化铝研磨膏，*W*40，*W*28，*W*14，*W*10或粒度相当的同类产品。
- (5) 氧化铝砂纸（布）*W*40，*W*20，*W*10，*W*5，*W*7，240*，180*，150*，120*，100*。
- (6) 漂白细纱布，商用。
- (7) 毡块。
- (8) 卷尺。
- (9) 直尺。

4.1.6.3 工艺控制

(1) 上述的修复方法是对板金零件外表面局部的，个别的，少量的缺陷而言。这些缺陷在数量上和所占的面积上与整个零件表面相比是很小的。

(2) 缺陷修复后，其修复区的深度和宽度必须保持在能融合缺陷，消除零件缺口效应，以达到平滑过渡的最小程度。

(3) 缺陷修复后，其修复部位表面应具有与周围表面相近似的光洁度。

4.1.6.4 操作人员的控制

- (1) 参加铝合金板金零件表面缺陷修复的操作人员必须经专门培训并持有合格证。
- (2) 每个操作人员应按本章规定的方法进行操作。

参 考 资 料

- (1) 吉田弘美等著，《冲压技术100例》，吉林人民出版社，1977年。

4.2 板金工艺通用技术检验条件

4.2.1 定义与范围

板金零件加工质量应满足产品设计所规定的质量要求。而技术检验条件是保证产品质量的基本条件，板金零件按技术检验条件进行验收。

本章所属的各类板金零件加工质量要求的通用技术条件既适用于一般民用，也适用于各种飞行器板金零件的加工工艺。

4.2.2 平板件和毛料的加工偏差

(1) 毛料相对于毛料样板或规定的毛料尺寸的偏差允许值为：

当 $L \leq 500\text{mm}$ 时，为 $\pm 5\text{mm}$ 。

当 $L > 500\text{mm}$ 时，为 $\pm \frac{1}{2}\text{mm}$ 。

(2) 用于板弯型材毛料的宽度的偏差允许值为 $\pm 0.5\text{mm}$ ，且应保持平行。

(3) 展开毛料相对于展开样板的偏差允许值为 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

(4) 内部结构平板零件相对于产品图纸规定的尺寸偏差，其允许值见表1。

表1. 平板件的尺寸偏差

(mm)

基本尺寸	3~10	10~80	80~250	250~500	500~1000	>1000
允许偏差	± 0.3	± 0.6	± 1.0	± 1.25	± 1.8	± 2.5

(5) 板金零件斜角（见图1）的允许偏差见表2。

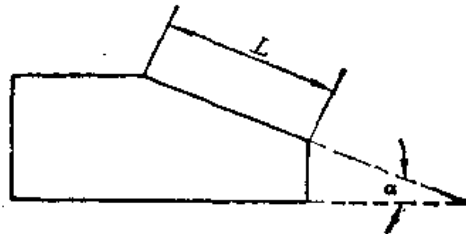


图1

表2. 斜角允许偏差

角度短边长度 L (mm)	角度 α 之偏差
≤ 10	$\pm 1'30''$
10~50	$\pm 1''$
50~120	$\pm 30''$
120~400	$\pm 15''$
> 400	$\pm 10''$

(6) 按尺寸制造的平板零件的转角圆弧 (R) 与倒角宽度 (C) 的偏差 (见图2), 允许偏差值见表 3。

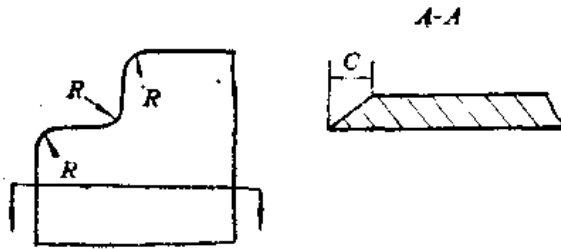


图2

表3. 圆弧与倒角的偏差值

圆弧 (R) 或宽度 (C) 的公称尺寸 (mm)	0.5~3	3~6	6~30	30~120
偏差值	±0.5	±1.0	±2.0	±3.0

(7) 用冲切模冲切的零件倒圆半径见图 3, 其允许偏差见表 4。



图3

表4. 冲切零件的允许倒圆半径偏差 (mm)

板料厚度 t	倒圆半径 R 偏差
$t \leq 1.0$	0.5
$t > 1.0$	1.0
$t > 2.0$	1.5
$t > 3.0$	$= 0.75t$

(8) 当采用铣切方法时, 板料的允许倒圆半径见图 4。外圆 (R_1) 允许制成不大于 5.6mm 的圆角, 内圆 (R_2) 允许制成不大于 4.0mm 的圆角 (蒙皮零件或图纸上另有要求的零件除外)。

(9) 如图 5 所示, 垫圈的偏心度 (A) 允许为其边宽 (B) 的 4~6% 见表 5。

$$B = \frac{D-d}{2}$$

$$A = B \cdot (4 \sim 6\%)$$

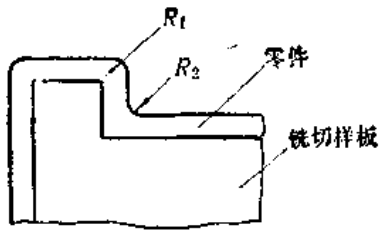


图4

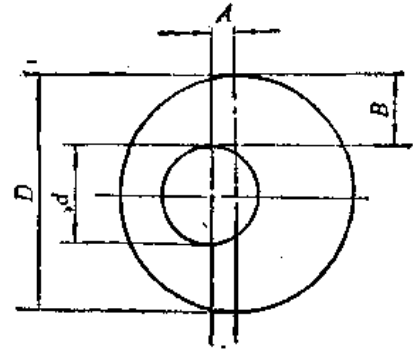


图5

表5. 垫圈偏心度A的允许值

尺寸B	≤10	10~30	>30
偏心度A	6%	5%	4%

(10) 平板零件的不平度相对于测量平台或相应的检测基准的不贴合度（波深）的允许偏差见表6。

表6. 平板零件不平度允许值

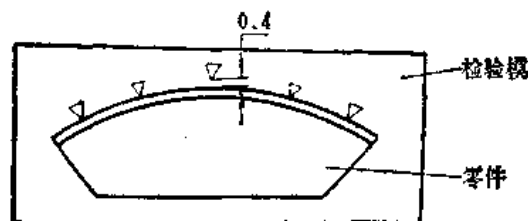
零件长度	<1m	≥1m
不平度	1.5mm	2.0mm

4.2.3 板弯零件的允许偏差

4.2.3.1 板件凸弯边与凹弯边的外形偏差

对于外形为曲线的弯边，并与理论外形有关的零件，其最大允许偏差为：

(1) 零件相对于检验模的最大允许间隙为0.4mm，如图。



(2) 按外形样板制造和检验的零件，其外形最大允许偏差为-0.4mm；按型胎制造和检验的零件，其外形最大允许偏差为0.4mm；无配合关系的零件的弯边，其外形最大允许偏差为±0.8mm。

4.2.3.2 加强窝与减轻孔类零件的偏差

对于HBO-13-83, HBO-14-83, HBO-15-83, 及其它类型零件的变形部分的偏差规定如下 (见图1和图2):

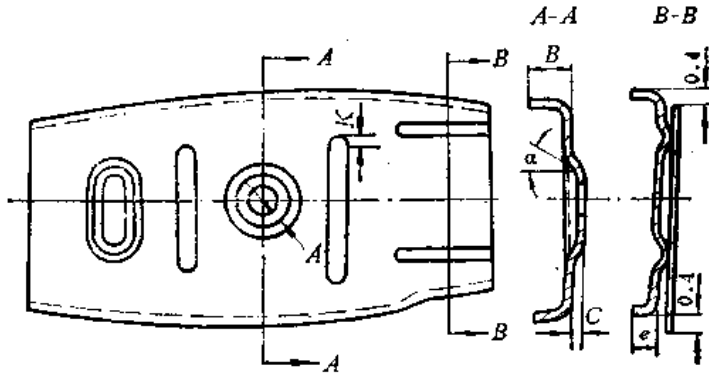


图1

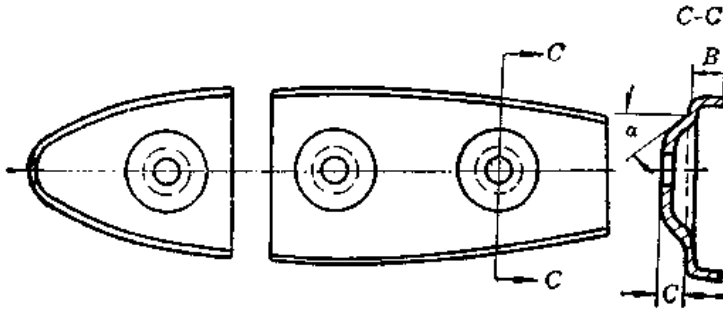
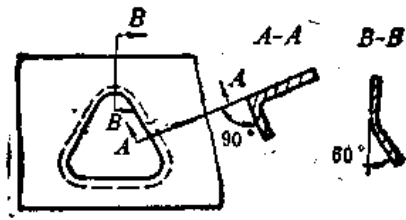


图2

- (1) 凸边高度“C”的偏差为 $\pm 1.0\text{mm}$ 。
- (2) 斜角“ α ”的偏差为 $\pm 10^\circ$ 。
- (3) 凸边收缩“ A ”
当 $D \leq 100\text{mm}$ 时, 为 $\pm 1.5\text{mm}$;
 $D = 101 \sim 150\text{mm}$ 时, 为 $\pm 2.0\text{mm}$;
 $D > 150\text{mm}$ 时, 为 $\pm 3.0\text{mm}$ 。
- (4) 弯边高度“ B ”为 $\pm 1.5\text{mm}$ 。
- (5) 凸边的椭圆度为 3.0mm 。
- (6) 纵向加强槽下陷处的弯边高度“ e ”为 $\pm 1.5\text{mm}$ 。
- (7) 加强槽深度为 $\pm 1.5\text{mm}$ 。
- (8) 允许修整成形模的加强槽端头“ K ”为加强槽深度的 $6 \sim 7$ 倍。

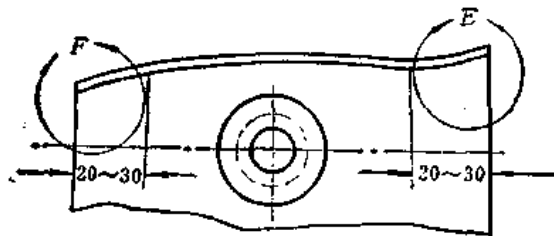
4.2.3.3 翻边孔

零件上的翻边孔，其直边部分应制成 90° ，为避免开裂，圆角部分允许制成 60° （见图）。



4.2.3.4 弯边端头的弯曲半径

如果在压制弯边的过程中端头容易产生裂纹，则允许零件在长 $20\sim 30\text{mm}$ 的“E”及“F”处的弯曲半径增加到图纸上所规定的基本尺寸的1.5倍（见图）。



4.2.3.5 板弯型材拉弯后截面变化

板弯型材经拉弯后，其横截面允许有如表所列的变化。

板弯型材拉弯允许的截面变化表

型材类别	型材尺寸	
	高与宽	厚
板弯型材	3%	6%

4.2.3.6 弯曲半径偏差

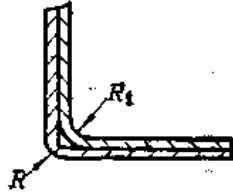
弯曲半径的偏差见下表。

弯曲半径R	1~5	5~10	10~50	>50
半径偏差	± 0.8	± 1.0	± 1.5	± 2.0

注：弯曲半径系指零件内面

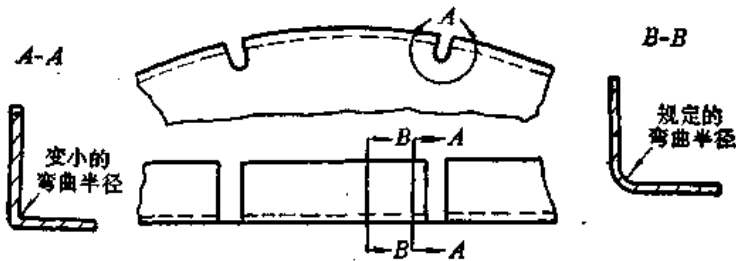
4.2.3.7 配合板件的弯曲半径偏差

有配合要求的板件，为达到两个零件之间的良好配合，外件内半径 R 应取下偏差，内件内半径 R_t 应取上偏差（见图）。



4.2.3.8 带有缺口的弯边弯曲半径偏差

在液压机或冲床上成形的零件，其端头或缺口处的部分弧段弯曲半径（如图A处所示），允许小于图纸规定的值，最小值按4.2.3.6节表的规定。



4.2.3.9 弯边斜角偏差

(1) 与外形有关的弯边斜角：

弯边高度 $\leq 20\text{mm}$ 时，为 $\pm 1^\circ$ 。

弯边高度 $> 20\text{mm}$ 时，为 $\pm 30'$ 。

(2) 与外形无关的加强弯边而又不会与相邻的零件发生干扰时，为 $\pm 3^\circ$ 。

4.2.3.10 下陷偏差

(1) 当下陷深度 $\leq 1.5\text{mm}$ 时，为 $+0.3\text{mm}$ ；

当下陷深度 $> 1.5\text{mm}$ 时，为 $+0.5\text{mm}$ 。

(2) 下陷长度 e 为 $+1.0\text{mm}$ ，过渡区 e_1 为 $\pm 1.0\text{mm}$ 。

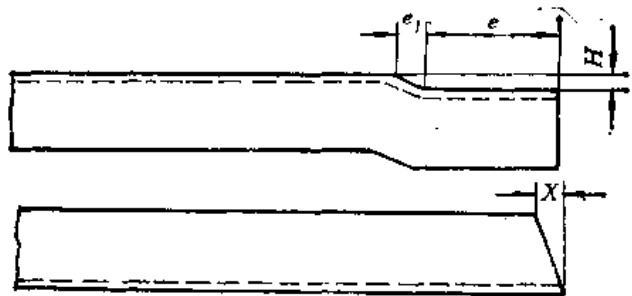


图1

(3) 下陷区域变薄量应不超过材料公称厚度的10%加材料厚度负公差的绝对值。

(4) 零件端头的收缩偏差 $X \leq -\frac{H}{2}$ (如图1)。

(5) 由于下陷区域产生收缩变形，其弯曲半径可以小于4.2.3.6节表中规定的最小值，但在下陷区域不应产生皱折或裂纹，对此部位应进行渗透检查 (见图2)。

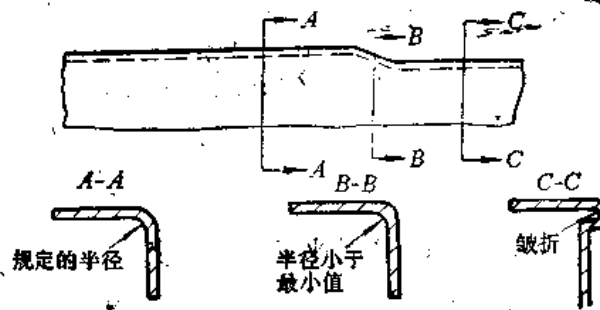
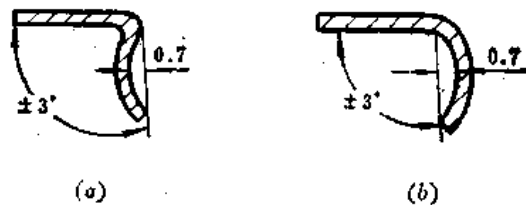


图2

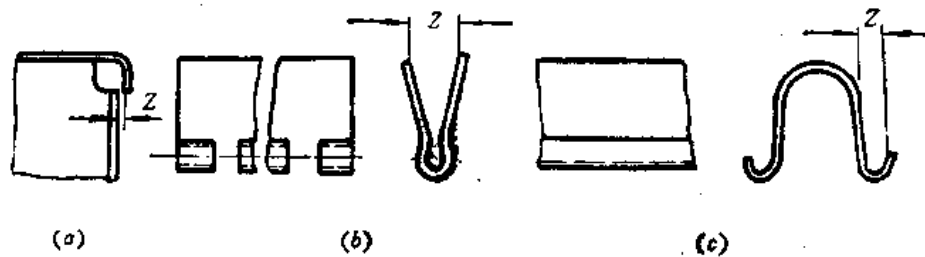
4.2.3.11 加强弯边的内外隆起

非连接关系无外形要求的加强弯边，其隆起高度或凹陷深度的允许值为0.7mm，但图纸另有注明或手工成形的零件除外 (见图a和b)。



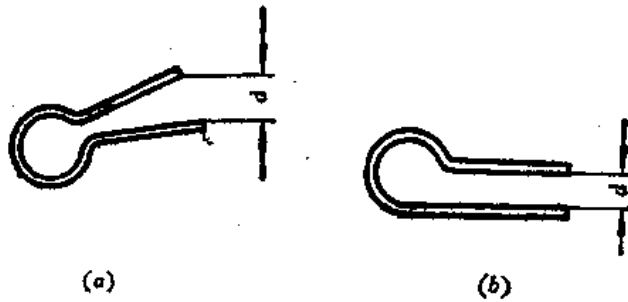
4.2.3.12 搭边间隙

在成形封闭形和搭边类零件时，在两个互相搭接的弯边处必须留有 $Z=0.3\sim 0.5\text{mm}$ 的间隙 (见图)。



4.2.3.13 板弯铰链和卡箍的允许开口尺寸

板状铰链和卡箍的最大开口尺寸“ d ”为2.0mm (见图)。



4.2.3.14 零件平面的不平度

零件平面的不平度每米长范围内允许为1.0mm；焊接件允许为0.5mm。弯边不应有影响焊接的波纹，其检验方法按4.2.12.2节。

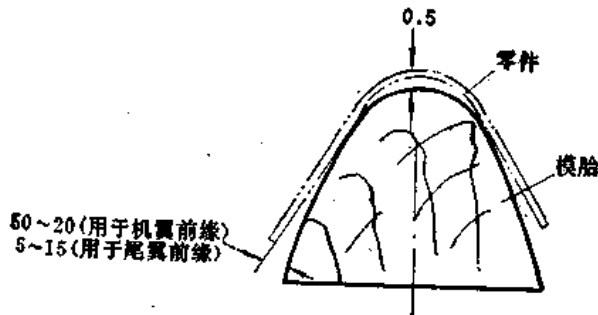
4.2.4 蒙皮零件允许偏差

4.2.4.1 单曲和双曲度蒙皮与切面样板或模胎的允许间隙

以切面样板或模胎为制造和检验依据的单曲度和双曲度蒙皮零件，按4.2.12.2节施加定量压力时，零件相对于制造或检验依据的不贴合间隙不应超过0.5mm。

4.2.4.2 前缘蒙皮和模胎与样板的允许间隙

前缘蒙皮类零件按模胎和木样板配合检查，并按4.2.12.2节施加定量压力，零件允许与模胎和木样板的不贴合间隙为0.5mm，同时该类零件按模胎检查，在自由状态应符合如图所示的要求，零件外形应保持光滑流线。

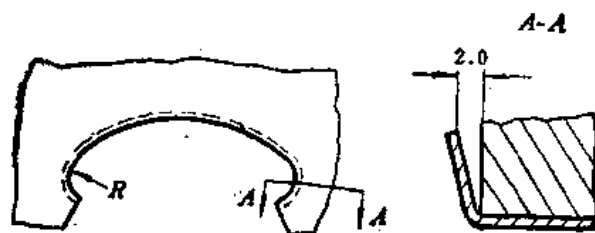


4.2.4.3 大蒙皮与模胎的允许间隙

超过3000×1000mm的大尺寸蒙皮零件，按4.2.12节施加定量压力检查与其模胎不贴合间隙不应超过1.0mm；如施加压力后其间隙转移到另一处时，该处再施加等量压力其间隙仍不应超过1.0mm，而且材料无明显牵动，保持零件外形光滑流线。

4.2.4.4 蒙皮翻边圆角与模胎的允许间隙

蒙皮零件的加强边在平面弯曲半径“R”小于或等于50mm,弯边高度小于或等于8mm时,若该零件既无装配要求,又不与其它零件发生干扰,则“R”区域允许与模胎的不贴合间隙可为2.0mm。



4.2.4.5 鼓形件的收边

当成形极限超过材料允许极限时,经中间退火仍然满足不了成形的要求,允许用SBJ-01型收缩机收边,零件表面除按4.2.11.1节要求外并允许有不明显的机械印痕。

4.2.4.6 蒙皮倒角、弯曲半径和下陷的偏差

- (1) 蒙皮制倒角的偏差按4.2.2节中(5)规定。
- (2) 弯曲半径的偏差按4.2.3.6节、4.2.3.7节和4.2.3.8节规定。
- (3) 下陷偏差按4.2.3.10节规定。

4.2.5 立体零件允许偏差

4.2.5.1 立体零件与模胎或检验模的允许间隙

采用落压、旋压、爆炸等工艺方法成形的立体零件按4.2.12.2节施加定量压力检查与其模胎或检验模的不贴合间隙为0.5mm;无配合关系的部位为1.0mm;波纹板或加强板之类零件的凸梗,若无配合关系时按模具成形后保持光滑不做具体检查。

4.2.5.2 油箱零件的加强槽和翻边孔

油箱类零件的加强槽及翻边孔的转接半径按模具成形后不做详细检查,但翻边孔直径必须符合产品图纸的要求。

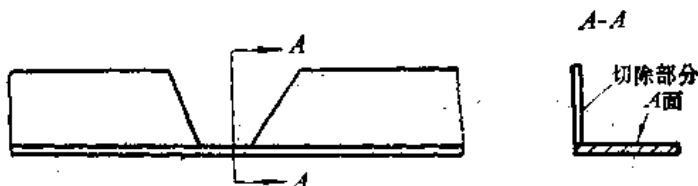
4.2.5.3 立体件的弯曲半径和下陷偏差

- (1) 弯曲半径的偏差按4.2.3.6节、4.2.3.7节和4.2.3.8节的规定。
- (2) 下陷偏差按4.2.3.10节的规定。

4.2.6 挤压型材零件的偏差

4.2.6.1 型材长度、端头、缺口和切边的偏差

- (1) 零件的长度相对于样板或图纸尺寸的偏差为 $\pm 1.0\text{mm}$ 。
- (2) 零件端头的偏斜差允许在长度偏差范围内。
- (3) 零件上的缺口，切边（包括冲、铣）公差按H13级偏差要求。但对于如图所示的情况，应保证切剖面不高于“A”面。



4.2.6.2 型材零件的外形偏差

零件按样板或检验模检查，并按4.2.12.2节施加定量压力，与理论外形相结合的或有协调要求的型材的外形偏差为 0.3mm ，非理论外形无协调要求的外形偏差为 0.5mm 。

4.2.6.3 型材不平度偏差

零件的不平度按4.2.12.2节施加定量压力，相对于测量平台或相应的测量基准的不贴合度为 0.7mm 。

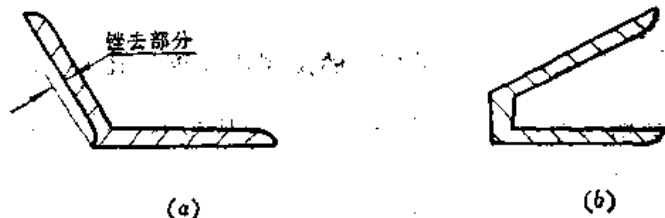
4.2.6.4 型材斜角偏差

- (1) 不与外缘相结合的零件或型材的一面与外形相结合而另一面无装配要求的零件为 $\pm 1^\circ$ 。
- (2) 与外缘相结合的零件或有装配要求的零件为 $\pm 30'$ 。

4.2.6.5 型材零件压制斜角

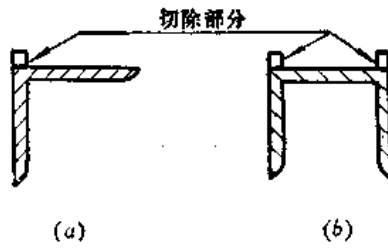
(1) 在压制开斜角零件时，在横切面上的缘条尖角凸起部分需锉平（见图a），但锉平后必须保证材料的最小厚度。当锉去凸棱后而影响孔距时，工艺规程应按有关规定注明排除方法，若不需锉平，图纸应予以注明。

(2) 在压制闭斜角零件时，在横切面上允许有凹下（见图b）。



4.2.6.6 挤压型材的滚弯

在挤压型材的外角处不允许有滚弯时产生的凸起部分，其凸起部分应去除，见图(a)和(b)。



4.2.6.7 型材下陷允许偏差

4.2.6.7.1 常见型材下陷类型和偏差要求

常见型材下陷类型和偏差要求按下表确定。

常见型材下陷类型和偏差要求表

类型	名称	简图	下陷偏差要求
I	端头下陷		按4.2.6.7.2节中(1)、(3)、(4)、(5)、(6)规定
II	中间下陷		按4.2.6.7.2节中(2)、(3)、(4)、(5)、(6)规定
III	阶梯下陷		按4.2.6.7.2节中(2)、(3)、(4)、(5)、(6)规定

注：凡 l 距 l_1 在200mm以上时，按外形偏差要求。

4.2.6.7.2 型材下陷偏差要求

(1) I类端头下陷深度偏差：

$h \leq 2.0\text{mm}$ 时， $+0.15\text{mm}$ ；

$2.0 < h \leq 6.0\text{mm}$ 时， $+0.20\text{mm}$ ；

$h > 6.0\text{mm}$ 时， $+0.30\text{mm}$ 。

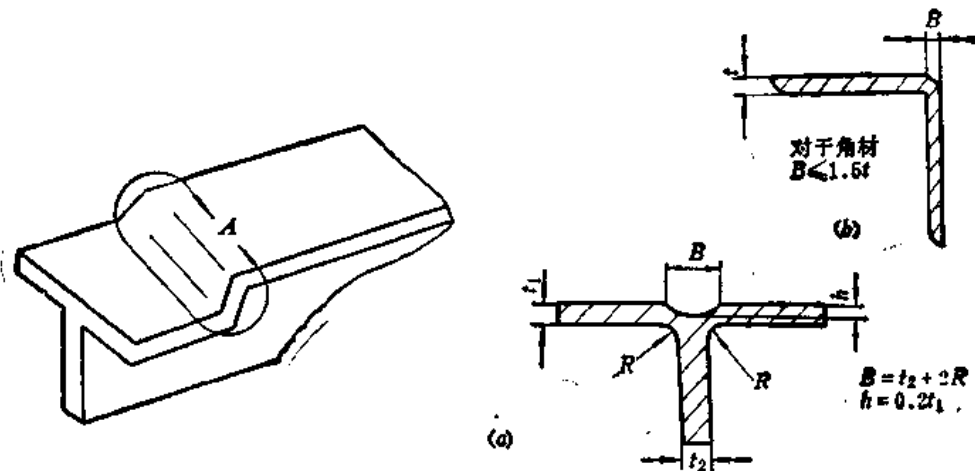
(2) II、III类中间或阶梯下陷深度偏差：

$h \leq 3.5\text{mm}$ 时， $\pm 0.1\text{mm}$ ；

$h > 3.5\text{mm}$ 时， $\pm 0.2\text{mm}$ 。

(3) 下陷区“ l ”的偏差为 $+1.0\text{mm}$ 。

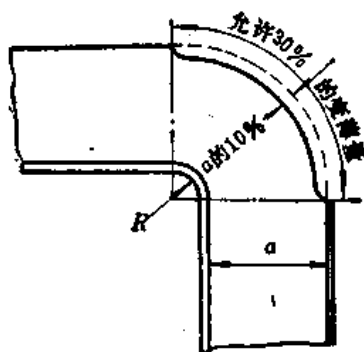
- (4) 过渡区 l_1 的偏差:
 $h \leq 2.0\text{mm}$ 时, $\pm 1.0\text{mm}$;
 $h > 2.0\text{mm}$ 时, $\pm 2.0\text{mm}$ 。
- (5) 下陷弯曲半径“ R ”不做检查, 按模具自然成形。
- (6) 挤压型材在压制下陷时或改变角度时, 在“ A ”区允许出现凹陷 (见图 a 和 b)。



4.2.6.8 型材弯曲部分的偏差

当型材弯曲半径“ R ”小于或等于被拉伸缘条宽度 a 的5倍时 (见图), 其弯曲区允许,

- (1) 材料的变薄量为材料公称厚度的30%。
- (2) 缘条宽度 a 的减小量为10%, 适用于压弯、滚弯以及在收边机和放边机上成形的挤压型材零件。



4.2.6.9 型材拉弯允许的尺寸变化

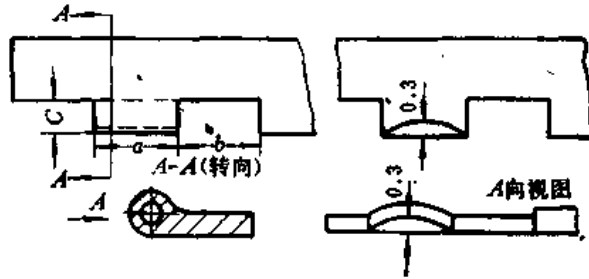
经拉弯后的型材, 在横切面尺寸的变化不得超过表中的规定。

型材拉弯后允许的尺寸变化表

型材类别	型材的尺寸	
	高和宽	厚
挤压型材	4%	6%

4.2.6.10 铰链零件的偏差

由挤压型材或板材制成的铰链零件的允许偏差 (见图):



- (1) 长度为 $\pm 1.0\text{mm}$ 。
- (2) 缺口长度“ b ”为 $+0.2\text{mm}$ 。
- (3) 缺口深度“ c ”为 $\pm 0.3\text{mm}$ 。
- (4) 链环长度“ a ”为 -0.4mm 。
- (5) 链环的积累间隙在全长内为 1.0mm 。
- (6) 链环的凸缘挠度, 在冲压平面的链环全长内为 0.3mm 。
- (7) 凸缘在型材平面内的直线度 (按棱线检查) 为 0.5mm 。
- (8) 带有间隙的在全长范围内铰链平面直线度为 1.0mm 。
- (9) 心棒孔与轴线的偏移量在 $\pm 0.3\text{mm}$ 范围内 (适用于 $3\sim 5\text{mm}$ 的直径)。
- (10) 由挤压型材制造的铰链, 其心棒孔直径偏差为 $\pm 0.1\text{mm}$, 由板材制造的铰链为 $+0.4\text{mm}$ 。

4.2.7 焊接半管零件的允许偏差

- (1) 板制的半管零件按模胎检查, 在对接处按4.2.12.2节施加定量压力, 其不贴合同隙允许 0.5mm , 其它部位允许为 1.0mm ; 对缝间隙为 0.5mm 。
- (2) 用板材制造的焊接半管零件, 按焊接夹具或标准实样用比较的方法进行检查。
- (3) 按夹具检查, 与托板不贴合同隙允许为 2.0mm 。
- (4) 管子长度相对夹具端面定位器的允许偏差为 1.5mm 。
- (5) 管子中间个别托板与零件之间的间隙, 在不影响焊接或不与相邻零件发生干扰时, 可不做检查, 但必须在工艺文件中说明。
- (6) 焊接半管零件由于焊接时的扭曲而引起的凸起或凹陷的表面不平度为 2.0mm , 但要光滑平顺。

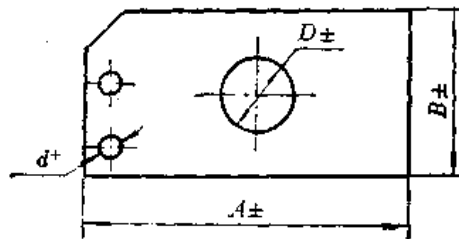
4.2.8 边缘切割允许偏差

- (1) 展开料的切割偏差按4.2.2节(3)规定执行。
- (2) 零件相对于模胎切割线的允许偏差:
有余量边缘为 $\pm 1.0\text{mm}$ 。
无余量边缘为 $\pm 0.5\text{mm}$ 。
- (3) 板弯零件的弯边高度允许偏差为 $\pm 1.5\text{mm}$ 。

- (4) 加强弯边和用通用弯曲模在闸压床上弯曲的板制型材零件的允许偏差为 ± 1.0 mm。
- (5) 油箱类零件, 无余量的翻边孔其高度允许偏差为 ± 0.5 mm。
- (6) 凡按展开样板或展开试制成的蒙皮类零件, 成形后允许与模胎线不吻合, 以展开样板或展开试件为准, 模胎线仅供成形时定位用。

4.2.9 制孔的允许偏差

- (1) 孔相对于样板和图纸的允许偏差:
装配孔、定位孔为 0.2 mm, 成形后的装配孔为 0.3 mm。
导孔、工具孔、销钉孔为 0.5 mm。
- (2) 孔的直径允许偏差:
导孔、装配孔、工具孔、销钉孔的孔径为 $+0.2$ mm。
用模具冲切的孔按 H_{13} 级精度检查。
- (3) 在成形过程中允许将零件上的销钉孔、工具孔、止裂孔的孔径扩大, 其扩大值应在 1.0 mm范围内。
- (4) 弯边上的导孔的偏移不应超过弯边高度偏差, 而且应与弯边高度公差符号相同, 允许个别的孔偏离该排孔的中心连线达 ± 0.5 mm。
- (5) 当零件上的孔按图纸尺寸制造时, 若无特殊要求, 则其孔距偏差按表4.2.2节(4)规定值, 如与最小边距有矛盾时, 应首先保证其最小边距。
- (6) 用冲切模、冲孔模和用样板铣切的结构件或标准件上的孔时, 其孔径允许偏差值应符合所规定的精度等级, 而且可负可正。但对装螺栓、仪器、拉杆通口、导管或支臂的通过孔, 除应符合规定的精度等级外, 只能是正差(见图)。



4.2.10 零件材料的允许变薄量

- (1) 如果图纸上没有另外规定, 由于成形而引起的材料局部变薄量, 允许不超过材料名义厚度 t_n 的20%加上材料厚度的负公差 Δ 的绝对值。即变薄处的最小材料厚度为:

$$t_{\min} = t_n - (0.20t_n + |\Delta|)$$

例如 LY12M $t=1.5$, 板差为 0.1 mm,

$$\begin{aligned} \text{则} \quad t_{\min} &= 1.5 - (1.5 \times 0.20 + 0.1) \\ &= 1.5 - 0.4 = 1.1 \text{ mm} \end{aligned}$$

- (2) 如果图纸上没有另外规定时, 对落压、旋压、冲压(含多工序成形)的变形复杂的零件, 其局部变薄量, 允许不超过材料名义厚度 t_n 的30%加材料厚度的负公差 Δ 的

绝对值。即变薄处的最小材料厚度为：

$$t_{\min} = t_n - (0.30t_n + |\Delta|)$$

4.2.11 铝合金板制零件表面状态要求

4.2.11.1 包铝层零件允许划伤和擦伤的范围

(1) 蒙皮零件

正面：原则上按冶标“YB”要求，在没有穿透包铝层的擦伤和划伤时，距离零件1.8m处在正常的灯光条件下，垂直于零件表面方向观察时，允许以正常视力而不易辨认出明显的划伤或擦伤。

反面：按内部结构件要求。

(2) 内部构件

不穿透包铝层的各处划伤和擦伤区域的面积总和允许不超过零件总面积（单面）的20%。

当超过上述规定的擦伤和划伤时应进行修复。

(3) 优质板制成的蒙皮零件，其外表面须涂漆的，这类零件的表面质量按结构板的要求执行。

(4) 在结构件的表面上允许有材料厚度负偏差范围内的锤痕、收缩块痕、模具的冲压痕、金属表面的网纹和磨损等痕迹。

(5) 对于表面须涂漆的蒙皮类零件，如图纸或其它文件没有另外规定时，允许用光滑的金属锤校平，在其零件的表面允许有金属锤痕存在，但不允许有月牙坑，其不平度按4.2.2节中(10)要求。

(6) 零件表面的“桔皮”状按规定的标样进行鉴别验收。

(7) 板金零件的边缘状态应符合专用文件的规定。

4.2.11.2 无包铝层零件的划伤和擦伤

无包铝层零件的划伤或擦伤，其深度允许不超过板材负偏差之半或不超过0.06mm，两者应取最小值。

4.2.12 板金零件加压检验

板金零件与其检验依据的贴合程度可在加压条件下进行检验，其具体标准如下：

(1) 材料厚度小于1.0mm时，施加定量压力为15N，材料厚度等于或大于1.0mm时，施加定量压力为30N。

(2) 施加压力的间距为300mm；若其间距为150mm时，其压力为规定值的 $\frac{1}{2}$ ；间距为75mm时，压力为规定值的 $\frac{1}{4}$ ；总之，施加压力应保持等效作用。

(3) 施加压力必须是可控制的，用细砂袋、有刻度的弹簧加载装置或相类似的定量加压器，如果由于加压而导致对应的另一处超过偏差要求时，也可在对应处加等量的压力进行检查。

加压检查应注意:

- (1) 不应在一处加压而导致另一处对应点的误差积累。
- (2) 如果保持300mm间距或上面提到的等效作用, 可以施加任意数量的压力。

参 考 资 料

《航空工业检验员手册》, 国防工业出版社, 1978年。

4.3 钣金零件无损检验方法

4.3.1 定义与范围

不损伤被检验零件的物理检验法称为无损检验。它包括磁力探伤、超声波探伤、荧光探伤、着色探伤和X光探伤等五种检验方法，每种方法有一定的适用范围，对于铝合金原材料通常采用分光检验。

4.3.2 磁力探伤

磁力探伤是利用铁磁性材料的电磁感应或被磁化的物理现象，用磁粉吸附磁化零件的缺陷位置并使其显示出来的方法。

4.3.2.1 磁力探伤法可以发现的缺陷

这些缺陷有以下几种：

- (1) 和零件表面夹角不小于 20° 方向上的分层。
- (2) 金属拉制、轧制或锻造过程中由于气泡或夹杂在顺着金属纤维方向拉伸而形成的髮纹。
- (3) 白点，金属断面上由于轧制后，钢冷却时形成的椭圆小裂纹，进行机加后，部分暴露在表面上。
- (4) 锻造裂纹、模压裂纹、淬火裂纹、焊接裂纹和疲劳裂纹。
- (5) 未焊透部分。
- (6) 冷变形或装配时产生的裂纹。

4.3.2.2 磁力探伤对零件表面的要求

- (1) 零件检验前应清除油污、锈斑、金属屑、氧化皮及脏物。
- (2) 经过吹砂处理后的零件，砂粒应当全部清除干净。
- (3) 对于表面处理（镀层、发蓝、磷化等）的零件，保护层降低了检验灵敏度，探伤宜放在表面处理前，如果在表面处理后再探伤，无磁性的保护层厚度不应超过 $0.015\sim 0.03\text{mm}$ （镀铬层不超过 0.015mm ）。

4.3.3 超声波探伤

一般采用反射法，也称回声探伤法。自声源发出的超声振动，在某一均匀连续的介质内部传播过程中，如果遇到声阻抗不同的介质（即缺陷）界面时，即在该界面上引起反射。若遇到异质界面大至全部“遮住”入射声束时，则声波全部由该界面反射；若遇到的异质界面较小，这时除反射部分声能外，大部分声能将按发射方向沿直线传播，直至遇到探伤工件的底面后才发生反射。于是在工件内部形成由不同界面上反射声振动的时间差值及反射能量差值，据此确定缺陷在工件内部所处的部位及大小。

4.3.3.1 应用范围

超声波探伤主要用来检查形状不复杂的具有平行平面的型面,其粗糙度 $Ra \leq 1.60 \mu\text{m}$ 的任何一种材料制成的大型制件(如锻制型材等),可以发现其内部缺陷,如裂纹、分层、夹渣、松孔、粗晶区等。由于超声波穿透时有“盲区”(距上下表面层约为 $5 \sim 10 \text{mm}$,在此区内不能发现缺陷存在,故进行此种检查之毛坯应留有 $5 \sim 10 \text{mm}$ 的加工余量,因此通常超声波检查工序应放在机械加工之前进行。

4.3.3.2 超声波探伤注意事项

- (1) 缺陷与超声波射线束垂直或成不大角度。
- (2) 用纵波法有盲区,在上下盲区外的区域才能发现。
- (3) 探伤面要求光滑、平整,无毛刺、划伤、波纹等,粗糙度 Ra 不大于 $1.60 \mu\text{m}$ 无锈蚀,油污及脏物。

4.3.4 X光探伤

使用强大穿透力的射线,通过被检验工件后在荧光材料上激发出荧光。透过工件后的射线,由于材料因内部缺陷而厚薄不同,其强度衰减也不同,显出明暗不同的区域,即可显示出缺陷部位和严重程度。

4.3.4.1 应用范围

X光主要用于发现焊接缺陷(如裂纹、气泡、夹渣、未焊透等)和铸造缺陷(如裂纹、砂眼、气泡、夹渣和显微疏松等),也可用来检查钢索接头中钢索放进接头管的深度,软管装配位置,编织物端面和接管嘴和套管的间隙等。

4.3.4.2 工序安排

焊缝的探伤:为便于修补,通常在焊件热处理前进行X光检查。热处理后对于结构简单的制件(壁厚较薄,焊缝开敞)可用磁力探伤复查,对于结构比较复杂的制件则应进行第二次X光检查。

铸件的探伤:通常仅在毛坯状态进行X光检查(毛坯热处理后),机械加工后不再进行X光检查。

4.3.4.3 灵敏度

X光透照检查的灵敏度与被检查物体对射线的吸收特性,使用设备,器材,透照规范,操作技能等因素有关。通常用金属丝透度计来衡量X射线透照质量。在被检查的金属物体上放置直径大小不等的与被检查物体同材料的金属丝,透照底片上能发现的金属丝直径愈小,说明透照灵敏度愈高。把所能发现的最小金属丝直径与被检查的金属物体厚度的百分比称为金属丝透度计灵敏度,一般情况下,钢质件中金属丝透度计灵敏度在 $1 \sim 3\%$ 左右,轻金属在 $3 \sim 5\%$ 左右。实际发现缺陷的灵敏度比透度计灵敏度要低。

4.3.5 荧光探伤

荧光检验是利用某些物质在光的照射下,自己发光的物理现象,当被检验的零件沉浸于能渗透细小缺陷内部之液体——荧光液中,若表面有缺陷时,荧光液在毛细渗透下进入缺陷内部,经过清除零件表面多余的荧光液后,缺陷内部仍保留着已充满的荧光液,然后利用粒度极细的,干燥的氧化镁粉,薄薄地敷在零件表面上,使缺陷中的荧光液吸出表面,它在紫外线的照射下,激发出鲜明乳白色的辉光,从而显现出缺陷的几何形状和大小。

4.3.5.1 应用范围

它和磁力探伤法相比,在工艺上较为复杂,灵敏度较低,因此只适用于非铁磁性(逆磁性)材料,如有色金属及合金,陶瓷,不锈钢等制成零件的缺陷检验,用此法不能保证发现变形零件所特有的以下缺陷:

- (1) 由于变形(拉制、轧制、锻造、模锻)所产生的压折叠与锻折叠。
- (2) 充满锈蚀物的裂纹。

4.3.5.2 荧光液的配制和功能

煤油(2P-1)85%和滑油(MK-22)15%配制而成,它可以发现露于表面的宽度 $\geq 0.01\text{mm}$,深度 $\geq 0.03\sim 0.04\text{mm}$ 的裂纹和疏松,氧化夹杂,松孔等缺陷。

4.3.5.3 荧光探伤设备和材料

- (1) 紫外线灯——观察零件表面缺陷的光源。
- (2) 荧光液槽——用来沉浸被检零件。
- (3) 清洗槽——用来清洗被检零件表面多余荧光源。
- (4) 压缩空气管——吹干冲洗后零件表面水分。
- (5) 氧化镁粉。

4.3.5.4 对被检查零件的要求

- (1) 送检零件要求表面无油脂、金属屑、吹砂后的遗留物、漆层、锈蚀物等污物。
- (2) 毛坯状态的铸件在吹砂、氧化后进行检验,成品件在氧化、热处理、校正后进行检验。

4.3.6 着色探伤

着色探伤是一种发现表面缺陷的简便无损检验方法。这是利用毛细渗透和吸附现象,当液体与固体之间附着力即吸引力大于液体(渗透剂)本身的内聚力时,即在毛细管(相当于零件的缺陷裂纹处)引起渗透现象。也即渗透剂进入裂纹中。为了使缺陷显示出来,借助一种吸附力强,沸点低,挥发快的显色剂,其作用是使表面减压,使缺陷中渗透剂被吸收到表面显色剂上,从而发现缺陷的几何形状和大小,从显现的颜色深度还可定性地看出缺陷的深浅。

4.3.6.1 应用范围

此法适用于黑色、有色金属和部分非金属（如酚醛塑料、陶瓷）零件的表面缺陷的检验，它能发现露于零件表面的裂纹、疏松、折叠、分层、松孔，但不能保证发现以下几种情况的缺陷：

- (1) 由于变形产生的压折叠，锻折叠。
- (2) 充满非金属熔渣的裂纹。
- (3) 锈蚀物填充的裂纹。
- (4) 具有宽划道特点的裂纹。

其优点是：

- (1) 不需要复杂的设备。
- (2) 不受地点环境的限制，在缺乏水电的野外场地亦可进行。
- (3) 操作技术容易掌握，应用范围较广。
- (4) 灵敏度较高。

与荧光，磁力探伤相比，工艺较复杂，所以一般多用于局部检验。

4.3.6.2 灵敏度

在正确操作情况下，可发现宽0.001mm深0.01mm或宽0.004mm深0.01mm的裂纹（渗透剂的配比不同，灵敏度也不同）。

(1) 此方法对工艺要求较严格，这是影响灵敏度的重要因素，因此操作必须正确细心。

(2) 使用的渗透剂，显色剂，去色剂要保持纯度，避免混入杂质影响灵敏度。

对被检零件的要求：

零件要求洁净，无油污、漆层、锈蚀物，最好在酸洗氧化后进行检验。

4.3.7 各种无损探伤方法的性能比较

各种无损探伤方法的性能见表：

无损探伤方法性能比较

检验方法 项目	磁力探伤	超声波探伤	X光探伤 (200kV)	荧光探伤	着色探伤 (涂液法)
探伤应用范围	铁磁性金属工件 表面粗糙度 $R_a < 1.6\mu m$	简单形状的任何材料或工件 表面粗糙度 $R_a < 1.6\mu m$	金属或非金属材料，表面无特殊加工要求	各种金属工件 表面粗糙度 $R_a \leq 1.60\mu m$	金属或非金属材料，表面粗糙度 $R_a < 1.6\mu m$
探测厚度	原则上不限具体厚度，取决于磁化电流及磁场强度强弱	随材料不同而异（锻钢件可达1000mm以上）为现有探伤法中穿透最深者	65mm以下的钢材	不受厚度限制	不受厚度限制
缺陷部位	表面及近表面微小缺陷	任何部位的缺陷（近表面，内部，底部）	近表面及内部缺陷	表面微细缺陷（缺陷必须延伸到底部）	表面缺陷

(续)

检验方法 项目	磁力探伤	超声波探伤	X光探伤 (200kV)	荧光探伤	着色探伤 (涂液法)
检验灵敏度	取决于磁化方法, 磁化电流(交直流)及其大小缺陷, 槽伏深度, 磁粉粒度, 性能, 工件表面, 光洁度等许多因素	灵敏度高, 且不随工件厚度变化	可达厚度1%	低于其它方法可发现宽不小于0.01, 深0.03~0.04mm的缺陷	稍低于磁粉探伤, 可发现外表面缺陷
探伤结论	缺陷的位置、形状、长度	缺陷位置深度大小与分布情况	缺陷的位置、形状及大小分布情况	表面缺陷的位置、形状、长度	表面缺陷的位置、形状、长度
主要优点	灵敏度高, 速度快, 能直观缺陷, 操作方便, 设备简单	适用范围广泛, 灵敏度高, 对人体无害, 运用灵活, 即时可以得出结论	透视灵敏度高, 能保存永久性的缺陷记录, 不受材料形状限制	不受工件材料限制, 设备简单, 操作方便, 维护费用低廉	不需专门设备, 操作简单, 价廉, 不受工件材料限制
主要缺点	不能检验非磁性材料, 不能发现内部缺陷, 表面加工要求高, 难于确定缺陷深度	只能检验简单形状的工件, 表面要求高, 不能确定缺陷性质及准确的尺寸	费用高, 设备笨重, 不能发现发纹一类的线性缺陷透照厚度小	紫外线照射能产生臭氧, 损害眼睛, 只能发现露出表面的缺陷	灵敏度低速度慢, 表面光洁度要求高

4.3.8 铝合金分光检验

4.3.8.1 应用范围

利用交流电弧发生器打出电弧, 从看谱镜中观察光谱出现情况来鉴别材料的化学成分。铝合金材料品种繁多, 在生产中容易混料, 造成质量事故, 为了查明材料牌号, 常采用分光检验方法。

4.3.8.2 分光检验位置和表面要求

(1) 铝板: 对于包有纯铝层的铝板, 不能在纯铝层上进行检查, 必须除去纯铝层或在铝板断面中部进行检查。厚度小于1mm的铝板, 检查时应特别仔细, 最好除去纯铝层检查, 如不能除去纯铝层而在断面上检查时, 因纯铝参与燃烧而改变光谱情况, 此时应与已知试料相比较, 以免发生错误。

(2) 铝型材: 需将表面漆层、油垢清除, 一般选择较大平面或断面检查。

(3) 铝棒和铝块: 应选择平面而不选择棱角处。

(4) 对于能打硬度区别材料性质的(如LC4高强度铝合金)可以不用分光检验。

参 考 资 料

《航空工业检验员手册》, 国防工业出版社, 1978年。

4.4 硬度检验

4.4.1 定义与范围

通过硬度测定来区别金属的热处理状态或橡胶件、塑料件的力学性能的方法叫硬度检验。它适用于金属材料及半成品的入厂验收；最终热处理零件检验；化学热处理零件检验；橡胶和塑料及其制品的检验等。

当产品图纸无特殊规定时，下述零件和原材料不要求作硬度检验：

- (1) 所有的退火材料；
- (2) 处于新淬火状态和自然时期内的铝合金制品；
- (3) 所有状态的钛和钛合金；
- (4) 以固溶处理的镍基合金制品；
- (5) 以正火、奥氏体化和淬火、或固溶状态的钢制品；
- (6) 以固溶处理及淬火状态的镁合金制品；
- (7) 加工硬化的不锈钢管和不锈钢丝；
- (8) 可剥性垫片（层压板）及直径小于5 mm的管和棒；
- (9) 非结构用的装饰件和不能热处理的铝合金件；
- (10) 多孔材料和零件；
- (11) 除铍铜、磷青铜和离心浇铸的铝青铜外的各种铜和铜基合金。

4.4.2 常用的各类硬度及其测定方法

物体的硬度是通过硬度试验机来测定的。板金冲压件及其工艺装备常用硬度有布氏硬度 (HB)、洛氏硬度 (HR)、维氏硬度 (HV) 和克氏硬度 (HK)；橡胶件用邵尔硬度 (A) 表示。

一般的硬度试验无专门的温度要求，最好是在机械加工的表面上进行。正常的硬度试验表面粗糙度要求在Ra12.5 μ m以下，对表面硬度试验则要求Ra3.2 μ m以下；对图纸要求Ra1.6 μ m以下的表面，不得做硬度试验。

4.4.2.1 布氏硬度 (HB)

用一定的负荷将淬硬钢球压入金属表面并保持一定时间，以单位压痕球形面积上所承受的平均压应力 (kgf/mm²) 来表示其硬度值，根据负荷和压痕直径查表即可得到硬度值。

大多数金属材料其硬度和抗拉强度之间存在有较好的换算关系，布氏硬度和抗拉强度的经验关系如下^{〔2〕}：

碳钢	$\sigma_s = 0.36HB$
铬锰硅钢	$\sigma_s = 0.35HB$
铬钼钢	$\sigma_s = 0.33HB$
铬及铬镍钢	$\sigma_s = 0.34HB$

硬铝	$\sigma_s = 0.37HB$
黄铜	$\sigma_s = 0.53HB$
纯铜	$\sigma_s = 0.48HB$

布氏硬度测定时压痕附近的金属会发生冷变形硬化，为测量准确，对试样厚度、钢球直径、负荷大小都作了规定，见下表。

布氏硬度测量规范表

金属种类	布氏硬度 值范围 (HB)	试样厚度 (mm)	钢球直径 D (mm)	负 荷 (kgf)	负 荷 (kgf)	负 荷保持 时间 (s)
黑色金属	140~450	6~3	10.0	$P = 30D^2$	3000	10
		4~2	5.0		750	10
		<2	2.5		187.5	10
	<140	>6	10.0	$P = 10D^2$	1000	10
		6~3	5.0		250	10
		<3	2.5		62.5	10
有色金属	>130	6~3	10.0	$P = 30D^2$	3000	30
		4~2	5.0		750	30
		<2	2.5		187.5	30
	36~130	9~3	10.0	$P = 10D^2$	1000	30
		6~3	5.0		250	30
		<3	2.5		62.5	30
	8~35	>6	10.0	$P = 2.5D^2$	250	60
		6~3	5.0		62.5	60
		<3	2.5		15.6	60

4.4.2.2 洛氏硬度 (HR)

洛氏硬度是用 120° 的金刚石锥体，或直径为 1.588mm 的淬火钢球作为压印器，根据压痕深浅来判断其材料的硬度。洛氏硬度应用最广，常用标准洛氏硬度分为三种，采用金刚石压头的用 HRA 和 HRC 表示；采用钢球压头的用 HRB 表示，有关规范见表 1。

表 1. 洛氏硬度各标尺所加负荷及测量范围

标尺	所 加 负 荷 (kgf)			硬度值符号	硬度值 HR 测量范围	大致相当的维氏 硬度值, HV
	初 负 荷	主 负 荷	总 负 荷			
B	10	90	100	HRB	25~100	60~240
C	10	140	150	HRC	20~67	240~900
A	10	50	60	HRA	70~85	390~900

除以上三种外，洛氏标尺还有如下几种，见表 2。

总载荷为 15、30、45kgf 的洛氏硬度机称为轻型洛氏硬度机，所测得的硬度值又称为表面洛氏硬度值。金属材料的洛氏硬度与抗拉强度之间无经验公式，但可参见 4.4.10

表2. 其他洛氏标尺

标尺	硬度值符号	所用压头	所用总载荷 (kgf)	使用范围
E	HRE	1/8英寸的钢球	100	HRE 40~120
F	HRF	1/16英寸的钢球	60	HRF 60~100
H	HRH	1/8英寸的钢球	60	HRH 80~100
15N	HR ₁₅ N	圆锥形金刚石	15	最大 HR ₁₅ N90
15T	HR ₁₅ T	1/16英寸钢球	15	最大 HR ₁₅ T95
30N	HR ₃₀ N	圆锥形金刚石	30	最大 HR ₃₀ N80
30T	HR ₃₀ T	1/16英寸钢球	30	最大 HR ₃₀ T85
45N	HR ₄₅ N	圆锥形金刚石	45	最大 HR ₄₅ N70
45T	HR ₄₅ T	1/16英寸钢球	45	最大 HR ₄₅ T75

节和4.4.11节的换算表。

4.4.2.3 维氏硬度 (HV)

维氏硬度是用一个正四棱锥的金刚石压头,在一定负荷作用下,压入被试金属表面,并保持一定时间,测出两压痕对角线的平均长度,然后查表求得的。它主要用于测定零件的表面硬度,如脱碳层、渗碳层、氮化层等。维氏硬度的表示法是在符号HV后附以相应的试验负荷值,等号后面才是它的硬度值,如HV₃₀=375等。

维氏硬度对工件或试样的表面要求很高,表面粗糙度不大于 Ra0.32μm,并无油污,厚度不得小于其压痕对角线的1.5倍。如试样背面有变形痕迹或压痕形状不完整,则试验结果无效。

4.4.2.4 克氏硬度 (HK)

克氏硬度是用一个菱形断面的金刚石四角锥压头,在显微镜下测出其压痕对角线长度后,用查表法得到的硬度值。

金属材料用各种硬度值的相互换算见4.4.9节表1,表2。

4.4.2.5 邵尔硬度 (A)

邵尔硬度是用于橡胶及其制品的,测量时用外力将硬度计压针压在试样表面上,由硬度计指针直接指出硬度值。

4.4.3 硬度检验方法的选择原则和适用范围⁽¹⁾

(1) 硬度值在HB450(≈HRC47)以上的零件,应用洛氏硬度机。硬度值在HB450以下的零件,且其表面允许有较大的压痕,而几何形状又适合布氏硬度的,应使用布氏硬度试验机,否则应用洛氏硬度试验机。因用较大的负荷和较大的钢球直径,检验结果更为准确。

(2) 硬度值为 $HB=60\sim 230$ 的零件,若尺寸较小且不允许带有较大印痕,其几何形状又适合洛氏硬度机者,可采用洛氏硬度机B标尺。

(3) 对于硬度很高的金属或截面很小和表面层很薄的渗碳层、氰化层、渗氮层,金属镀层等,在布氏或洛氏硬度机上无法检验时,可用轻型洛氏硬度机打表面洛氏硬度($HR_{15}N$ 或 $HR_{30}N$,见表),或用维氏硬度机检验。

表面硬度检验表

表面层	深度 (mm)	采用方法
渗 碳	<0.8	HRA
	>0.8	HRC
渗 氮	<0.35	$HR_{15}N$
	>0.35	$HR_{30}N$
氰 化	0.3~0.6	$HR_{30}N$
	>0.6	HRA

(4) 下列薄料的硬度检验应采用轻型洛氏硬度机

料厚 $t<1mm$ 的铝合金、镁合金、镍基合金、正火钢;

$t<1.3mm$ 的冷作硬化或沉淀硬化的不锈钢;

$t<0.8mm$ 的热处理钢、可热处理不锈钢、铍铜;

$t<0.5mm$ 的磷青铜。

厚度极薄的材料(如箔片),则应打显微硬度,详见4.4.4节。

(5) 对于结构不一致的金属(如生铁),最好采用布氏硬度机,并用较大的钢球或采用HRB检验,不用带金刚石压头的各种硬度机。

(6) 由于其他原因无法在硬度机上测定硬度时,可用校准锉刀检验。

4.4.4 显微硬度检验

材料或零件的断面经磨片抛光,完全暴露其显微组织后,在高倍放大和微小载荷的情况下,测量其物体硬度的方法叫显微硬度检验。放大倍数一般在500倍左右,所加载荷为 $0.01\sim 9.8N$ 。常温用金刚石压头,以维氏和克氏为主;测量高温硬度($1600^{\circ}C$)用人造蓝宝石维氏压头;特殊用途的还有圆锥形、三角锥形和五角锥形的压头等。

在电子工业中,电子原件的厚度已达 $0.4\mu m$,因此显微硬度在质量管理上十分重要,在集成电路和通信仪器制造业上已成为必不可少的检测手段。

在机械制造行业中,显微硬度多用于铝合金硬阳极化膜和黑色金属化学表面处理层的硬度测量,以及原材料、半成品、成品和冷热加工中的故障分析。

显微硬度对环境要求十分严格:

(1) 室温在 $20\pm 5^{\circ}C$,室内相对湿度不大于65%。

(2) 无振动和清洁的环境。

(3) 周围应无腐蚀性气体。

4.4.5 热处理零件的硬度检验类别⁽⁴⁾

4.4.5.1 航空、航天工业最终热处理零件的硬度检验

航空、航天工业最终热处理零件硬度检验范围见下表。

最终热处理各类零件检验表 (HB5103-74)

类别	检 验 项 目	
	硬 度	机 械 性 能
I	100% 检验	100%从每个零件余料上截取试样
II	100% 检验	同熔炼号的每热处理炉抽查零件或试样
III	100% 检验	不检验
IV	100% 检验	不检验

无法检验硬度的 III、IV 类零件热处理后，每热处理炉或批从同熔炼号的零件或试样中取 1~2% (不少于 2 件) 进行检验硬度。

飞机工厂用变形铝合金、镁合金的板材和型材制造的热处理零件一般不分类检验，但均应检验过烧。变形铝合金硬度检验部分见 4.4.8 节。

4.4.5.2 航空、航天工业化学热处理零件的硬度检验

化学热处理各类零件的硬度检验见下表

化学热处理各类零件硬度检验表 (HB5103-74)

类 别	渗 碳、氮 化				氮 化				
	I _c	II _c	III _c	IV _c	I _N	II _N	III _N	IV _N	
检验	渗层硬度 (表面硬度)	100% 检验	100% 检验	100% 检验	10% 检验	100% 检验	100% 检验	100% 检验	10% 检验
项目	非渗层硬度 (中心硬度)	100% 检验	10% 检验	不检验	不检验	100% 检验	2% 检验	不检验	不检验

4.4.6 硬度检验的安排

硬度检验应安排在热加工 (热处理、热校形) 后, 和喷丸或表面处理工序之前进行。如零件无热处理、喷丸或表面处理工序, 则硬度检验应安排在每个零件最后一道工序之后进行。

对低合金钢和强度大于等于 1244N/mm^2 (HRC39.9) 的抗蚀钢, 应在热处理硬化后立即进行硬度检验。

4.4.7 硬度检验的抽样和判定

硬度检验有全数检验和抽样检验两种方案, 必须根据零件的重要程度和生产的稳定与否来确定。当生产不稳定时必须全数检验; 生产稳定和比较稳定时可采用抽样检验。

抽检数量应针对产品的重要性制订不同的标准，但质量判定一般应按下述原则执行。

检验硬度时应打3点或5点，重要零件应打2~3处，每处仍是3点或5点。

(1) 对一般零件，3点中有2点或5点中有3点的硬度符合要求，均认为合格。

(2) 对重要零件，当3点中有2点或5点中有3点超出规定，则应判废。

(3) 对重要零件，当3点中有1点或5点中有2点超出规定的 \pm HRC1或HB5，也应判废。

(4) 对特别重要的零件，任何一点均不允许超出规定的数值。

(5) 对热处理后成形的零件，其硬度超过最大硬度值时不应判废。除此以外的零件当其硬度大于规定的最大值时则应判废。

(6) 对热成形或热校形的铝合金零件，在经加热部位和未经加热部位都应作硬度检验，如加热区的硬度值与未加热区的硬度值的差异，大于2个HRB刻度单位时，则应判废。

(7) 对热成形或热校形的铝合金零件，如整个零件加热，则在加热前后均应对零件进行检验，如硬度值超过规定的范围则应判废。

4.4.8 变形铝合金硬度检验的有关规定

4.4.8.1 成形后淬火、时效的零件的硬度检验

(1) 厚度在1.2mm以下的零件，不作硬度检验。

(2) 厚度大于等于1.2mm的LC4和LY16的板材，型材零件应100%检验硬度；厚度大于等于1.2mm的LY11和LY12的板材、型材零件，可按批量大小从每批中抽检20~30%，但不得少于5件。对LY16材料，当已进行拉力试验时，可不作硬度检验。

(3) 厚度小于2.5mm的零件，硬度检验时不去包铝层。如有疑问时，可在指定的硬度检验的地方去包铝层。

(4) 厚度大于等于2.5mm的零件，必须在指定的硬度检验处去掉包铝层检查硬度。去包铝层深度应使材料的抗蚀性能不受影响，故在板材零件上打硬度时，包铝层打磨深度一般不超过料厚的10%，但不得少于2%，面积为10mm²。如在切割余料上打硬度，则不作规定，可完全去掉包铝层。

(5) 厚度大于等于5mm的零件，应尽量在断面上检验硬度。

(6) 人工时效的零件，在时效完之后就进行硬度检验；自然时效的零件，在淬火后24h可进行硬度检验，如不合格，则应在时效96h后再进行硬度检验。

4.4.8.2 用硬料加工的零件的硬度检验

凡采用淬火、时效的硬料加工的零件，当不打材料钢印时应100%的检验硬度，当打材料钢印时，可不检验硬度。

4.4.8.3 铝合金硬度检验合格值

淬火时效的铝合金零件硬度合格值见下表。

淬火时效的铝合金零件硬度合格值(无包铝层或已去包铝层)表

材料牌号	材料种类	σ_b (N/mm ²) ≥	HB ≥	HRB ≥
LY11	板材 ^①	352.8	96	56
	型材	352.8	96	56
LY12	板材 ^①	392	108	65
	型材	392	108	65
LY16	板材 ^①	372.4	100	60
	型材	325.5	92	54
LC4	板材	480.2	136	76
	型材	499.8	142	79

①对包铝板材, 如果未去包铝层检验硬度, LY11零件可降低到 HRB≥52; LY12和LY16零件可降低到 HRB≥54。

表中仅是一般要求, 对不同的产品和不同的使用条件, 应按各自的企标执行。

4.4.9 金属材料各种硬度值的相互换算

各种硬度换算见表1。

表1. 硬度换算表

洛氏			克氏 ①	布氏 10mm 钢球			维氏 硬度 值	洛氏			克氏 ①	布氏 10mm 钢球			维氏 硬度 值
1/8英寸 直径钢球	1/16英寸 直径钢球			1/8英寸 直径钢球	1/16英寸 直径钢球			1/8英寸 直径钢球	1/16英寸 直径钢球						
E 100kgf ②	B 100kgf ②	F 60kgf ②	500gm ②	1000kgf ②	500kgf ②	10kgf ②	E 100kgf ②	B 100kgf ②	F 60kgf ②	500gm ②	1000kgf ②	500kgf ②	10kgf ②		
	100.0		251	180		248	86.0	55.0	87.5		95.3				
	99.0		246	178		234	85.5	54.0	87.0	111	93.9	86	100		
	98.0		241	175			85.0	53.0	86.5		92.6	85			
	97.0		236	173			84.0	52.0	85.5	109	91.3		98		
	96.0		231	170		220	83.5	51.0	85.0		90.0	83			
	95.0		226	168			83.0	50.0	84.5	107	88.7		95		
112.0	94.0	109.5		166		209	82.5	49.0	84.0						
111.5	93.0	109.0	216	163			81.5	48.0	83.5	105			83		
111.0	92.0	108.5	211	161		198	81.0	47.0	82.5						
109.5	91.0	108.0	206	159			80.5	46.0	82.0	103		79	91		
108.5	90.0	107.5	201	157		188	80.0	45.0	81.5						
107.5	89.0	107.0	196	154			79.5	44.0	81.0	101		77	89		
107.0	88.0	106.5	192	152		179	79.0	43.0	80.5						
106.5	87.0	106.0	188	150			78.0	42.0	80.0	99		76	87		
106.0	86.0	105.0	184	148		171	77.5	41.0	79.5						
105.0	85.0	104.5	180	146			77.0	40.0	79.0	97		74	85		
104.5	84.0	104.0	176	144		164	76.0	39.0	78.5						
103.5	83.0	103.5	173	142			75.0	38.0	77.5	95			83		
103.0	82.0	103.0	170	140			74.5	37.0	77.0						
102.5	81.0	102.5		138		157	74.0	36.0	76.5	93			81		

(续)

洛 氏			克 氏 ①	布氏 10mm 钢 球			维 氏 硬 度 值	洛 氏			克 氏 ①	布氏 100mm 钢 球			维 氏 硬 度 值
1/3英寸 直径钢 球	1/16英寸直径 钢球			1000kgf ②	500kgf ②	10kgf ②		1/8英寸 直径 钢球	1/16英寸直径 钢球			1000kgf ②	500kgf ②	10kgf ②	
E 100kgf ②	B 100kgf	F 60kgf ②	500 gm ②	1000kgf ②	500kgf ②	10kgf ②	E 100kgf ②	B 100kgf	F 60kgf ②	500 gm ②	1000kgf ②	500kgf ②	10kgf ②		
102.0	80.0	102.0	164	136		151	73.5	35.0	76.0			70			
101.5	79.0	101.0	161	134			72.5	34.0	75.5	91			79		
100.5	78.0	100.5	158	132		145	72.0	33.0	74.5						
100.0	77.0	100.0	155	130			71.5	32.0	74.0	89			78		
99.5	76.0	99.5	152	128		140	71.0	31.0	73.5						
99.0	75.0	99.0	150	127			70.0	30.0	73.0	87		66	77		
98.5	74.0	98.5		125		135	68.5	28.0	72.0	85					
98.0	73.0	98.0		123			67.5	28.0	71.0						
97.0	72.0	97.0	143	121		130	66.5	24.0	70.0	82					
96.5	71.0	96.5		120			65.0	22.0	69.0						
96.0	70.0	96.0	139	118		126		20.0	68.0	79					
95.5	69.0	95.5		116				18.0	67.0						
95.0	68.0	95.0	135	115		122		16.0	66.0	76					
94.0	67.0	94.5		113				14.0	65.0						
93.5	66.0	93.5	131	111		119		12.0	65.0	73					
92.5	65.0	93.0		110				10.0	63.0						
91.5	64.0	92.5	127	108		115		8.0	61.5	71					
91.0	63.0	92.0		107	99			6.0	60.5						
90.5	62.0	91.5	124	105	97	112									
90.0	61.0	90.5		104	95										
89.0	60.0	90.0	120	102		108									
88.5	59.0	89.5		101	94										
88.0	58.0	89.0	117	99.4	92	106									
87.5	57.0	88.5		98.0	90										
86.5	56.0	88.0	114	96.6	88	103									

①仅供参考。

②这些仅为近似换算值。

钢的各种硬度值近似换算见表2。

表2. 钢的各种硬度值之间近似换算

洛 氏 标 尺					维 氏	克 氏
A	C	15N	30N	45N	DpH	500gf
85.6	68	93.2	84.4	75.4	940	910
85.0	67	92.9	83.6	74.2	900	895
84.5	66	92.5	82.8	73.3	865	870
83.9	65	92.2	81.9	72.0	832	846
83.4	64	91.8	81.1	71.0	800	822

(续)

洛 氏 标 尺					维 氏	克 氏
A	C	15N	30N	45N	DpH	500gf
82.8	63	91.4	80.1	69.9	772	799
82.3	62	91.1	79.3	68.8	746	776
81.8	61	90.7	78.4	67.7	720	754
81.2	60	90.2	77.5	66.6	691	732
80.7	59	89.8	76.6	65.5	674	710
80.1	58	89.3	75.7	64.3	655	690
79.6	57	88.9	74.8	63.2	633	670
79.0	56	88.3	73.9	62.0	613	650
78.5	55	87.9	73.0	60.9	595	650
78	54	87.4	72.0	59.8	577	612
77.5	53	86.9	71.2	58.6	560	594
77	52	86.4	70.2	57.4	544	576
76.5	51	85.9	69.4	56.1	528	558
76	50	85.5	68.5	55.0	513	542
75.5	49	85.0	67.6	53.8	498	526
74.5	48	84.5	66.7	52.5	484	510
74	47	83.9	65.8	51.4	471	495
73.5	46	83.5	64.8	50.3	458	480
73	45	83.0	64.0	49.0	446	466
72.5	44	82.5	63.1	47.8	434	452
72	43	82.0	62.2	46.7	423	438
71.5	42	81.5	61.3	45.5	412	426
71	41	80.9	60.4	44.3	402	414
70.5	40	80.4	59.5	43.1	392	402
70	39	79.9	58.6	41.9	382	391
69.5	38	79.4	57.7	40.8	372	380
69	37	78.8	56.8	39.6	362	370
68.5	36	78.3	55.9	38.4	354	360
68	35	77.7	55.0	37.2	345	351
67.5	34	77.2	54.2	36.1	336	342
67	33	76.6	53.3	34.9	327	334
66.5	32	76.1	52.1	33.7	318	326
66	31	75.6	51.3	32.5	310	318
65.5	30	75.0	50.4	31.3	302	311
65	29	74.5	49.5	30.1	294	304
64.5	28	73.9	48.6	28.9	286	297
64	27	73.3	47.7	27.8	279	290
63.5	26	72.8	46.8	26.7	272	284
63	25	72.2	45.9	25.9	266	278
62.5	24	71.6	45.0	24.3	260	272
62	23	71.0	44.0	23.1	254	266
61.5	22	70.5	43.2	22.0	248	261
61	21	69.9	42.3	20.7	243	256
60.5	20	69.4	41.5	19.6	238	251

4.4.10 黑色金属硬度、硬度与强度的换算值

表1. 黑色金属硬度及强度换算值 (GB1172-74)

洛氏	硬 度						抗拉强 度 (kgf/mm ²)	洛氏	硬 度						抗拉强 度 (kgf/mm ²)
	表面洛氏			维氏	布氏				表面洛氏			维氏	布氏		
	HR ₁₅ T	HR ₃₀ T	HR ₄₅ T	HV	HB ₁₀ D ²	d _{10, 2d₅} 4d _{2.5, 6} (mm)			HRB	HR ₁₅ T	HR ₃₀ T	HR ₄₅ T	HV	HB ₁₀ D ²	
100.0	91.5	81.7	71.7	233			80.3	80.0	85.9	68.9	51.0	146	133	3.06	50.8
99.5	91.3	81.4	71.2	230			79.3	79.5	85.8	68.6	50.5	145	132	3.07	50.3
99.0	91.2	81.0	70.7	227			78.3	79.0	85.7	68.2	50.0	143	130	3.09	49.8
98.5	91.1	80.7	70.2	225			77.3	78.5	85.5	67.9	49.5	142	129	3.10	49.4
98.0	90.9	80.4	69.6	222			76.3	78.0	85.4	67.6	49.0	140	128	3.11	48.9
97.5	90.8	80.1	69.1	219			75.4	77.5	85.2	67.3	48.5	139	127	3.13	48.5
97.0	90.6	79.8	68.6	216			74.4	77.0	85.1	67.0	47.9	138	126	3.14	48.0
96.5	90.5	79.4	68.1	214			73.5	76.5	85.0	66.6	47.4	136	125	3.15	47.6
96.0	90.4	79.1	67.6	211			72.6	76.0	84.8	66.3	46.9	135	124	3.16	47.2
95.5	90.2	78.8	67.1	208			71.7	75.5	84.7	66.0	46.4	134	123	3.18	46.8
95.0	90.1	78.5	66.5	206			70.8	75.0	84.5	65.7	45.9	132	122	3.19	46.4
94.5	89.9	78.2	66.0	203			70.0	74.5	84.4	65.4	45.4	131	121	3.20	46.0
94.0	89.8	77.8	65.5	201			69.1	74.0	84.3	65.1	44.8	130	120	3.21	45.6
93.5	89.7	77.5	65.0	199			68.3	73.5	84.1	64.7	44.3	129	119	3.23	45.2
93.0	89.5	77.2	64.5	196			67.5	73.0	84.0	64.4	43.8	128	118	3.24	44.9
92.5	89.4	76.9	64.0	194			66.7	72.5	83.9	64.1	43.3	126	117	3.25	44.5
92.0	89.3	76.6	63.4	191			65.9	72.0	83.7	63.8	42.8	125	116	3.27	44.2
91.5	89.1	76.2	62.9	189			65.1	71.5	83.6	63.5	42.3	124	115	3.28	43.9
91.0	89.0	75.9	62.4	187			64.4	71.0	83.4	63.1	41.7	123	115	3.29	43.5
90.5	88.8	75.6	61.9	185			63.6	70.5	83.3	62.8	41.2	122	114	3.30	43.2
90.0	88.7	75.3	61.4	183			62.9	70.0	83.2	62.5	40.7	121	113	3.31	42.9
89.5	88.6	75.0	60.9	180			62.1	69.5	83.0	62.2	40.2	120	112	3.32	42.6
89.0	88.4	74.6	60.3	178			61.4	69.0	82.9	61.9	39.7	119	112	3.33	42.3
88.5	88.3	74.3	59.8	176			60.7	68.5	82.7	61.5	39.2	118	111	3.34	42.0
88.0	88.1	74.0	59.3	174			60.1	68.0	82.6	61.2	38.6	117	110	3.35	41.8
87.5	88.0	73.7	58.8	172			59.4	67.5	82.5	60.9	38.1	116	110	3.36	41.5
87.0	87.9	73.4	58.3	170			58.7	67.0	82.3	60.6	37.6	115	109	3.37	41.2
86.5	87.7	73.0	57.8	168			58.1	66.5	82.2	60.3	37.1	115	108	3.38	41.0
86.0	87.6	72.7	57.2	166			57.5	66.0	82.1	59.9	36.6	114	108	3.39	40.7
85.5	87.5	72.4	56.7	165			56.8	65.5	81.9	59.6	36.1	113	107	3.40	40.5
85.0	87.3	72.1	56.2	163			56.2	65.0	81.8	59.3	35.5	112	107	3.40	40.3
84.5	87.2	71.8	55.7	161			55.6	64.5	81.6	59.0	35.0	111	106	3.41	40.0
84.0	87.0	71.4	55.2	159			55.0	64.0	81.5	58.7	34.5	110	106	3.42	39.8
83.5	86.9	71.1	54.7	157			54.5	63.5	81.4	58.3	34.0	110	105	3.43	39.6
83.0	86.8	70.8	54.1	156			53.9	63.0	81.2	58.0	33.5	109	105	3.43	39.4
82.5	86.6	70.5	53.6	154	140	2.98	53.4	62.5	81.1	57.7	32.9	108	104	3.44	39.2
82.0	86.5	70.2	53.1	152	138	3.00	52.8	62.0	80.9	57.4	32.4	108	104	3.45	39.0
81.5	86.3	69.8	52.6	151	137	3.01	52.3	61.5	80.8	57.1	31.9	107	103	3.46	38.8
81.0	86.2	69.5	52.1	149	136	3.02	51.8	61.0	80.7	56.7	31.4	106	103	3.46	38.6
80.5	86.1	69.2	51.6	148	134	3.05	51.3	60.5	80.5	56.4	30.9	105	102	3.47	38.5
								60.0	80.4	56.1	30.4	105	102	3.48	38.3

- 注: 1. 表中所列换算值适用于碳素钢和合金钢等钢种。
 2. 本表所列各个钢系的换算值, 适用于低碳钢。
 3. 表中所列换算值, 只有当试件组织均匀一致时, 才能得到较精确的结果。
 4. 表中所有数据乘以9.8后, 就是以N/mm²为单位的数值换算表。

52.5	77.1	87.1	70.9	57.6	551					190.6	192.0	189.3	195.1	190.3	193.0	192.1
52.0	76.9	86.8	70.4	57.1	543					168.1	188.7	186.1	191.8	187.0	188.4	188.5
51.5	76.6	86.6	70.0	56.5	534					184.1	184.5	183.0	185.6	183.6	186.0	185.1
51.0	76.3	86.3	69.5	55.9	525	2.73				180.3	182.1	179.9	185.4	180.4	182.7	181.7
50.5	76.1	86.0	69.1	55.3	517	2.75				176.7	178.7	176.9	182.3	177.3	179.5	178.5
50.0	75.8	85.7	68.6	54.7	509	2.77	174.4			173.1	175.8	173.9	179.3	174.2	176.5	175.3
49.5	75.5	85.5	68.2	54.2	501	2.79	171.4			169.8	173.0	172.8	176.2	171.2	173.5	172.2
49.0	75.3	85.2	67.7	53.6	493	2.81	168.6			170.2	169.8	168.2	173.3	168.3	170.7	169.2
48.5	75.0	84.9	67.3	53.0	485	2.83	165.8			167.5	166.9	165.4	170.4	165.4	167.9	166.3
48.0	74.7	84.6	66.8	52.4	478	2.85	163.1			164.9	164.0	162.6	167.6	162.7	165.2	163.5
47.5	74.5	84.3	66.4	51.8	470	2.87	160.6			162.2	161.2	159.9	164.8	160.0	162.5	160.8
47.0	74.2	84.0	65.9	51.2	463	2.89	158.1			159.7	158.4	157.3	162.0	157.3	160.0	158.1
46.5	73.9	83.7	65.5	50.7	456	2.91	155.6			157.2	155.7	154.7	159.3	154.7	157.5	155.5
46.0	73.7	83.5	65.0	50.1	449	2.93	153.3			154.7	153.1	152.2	156.7	152.2	155.0	152.9
45.5	73.4	83.2	64.6	49.5	443	2.95	151.0			152.2	150.5	149.7	154.1	149.8	152.6	150.4
45.0	73.2	82.9	64.1	48.9	436	2.97	148.8			149.5	148.0	147.2	151.6	147.4	150.2	148.0
44.5	72.9	82.6	63.6	48.3	429	2.99	146.6			147.5	145.5	144.8	149.1	145.0	147.8	145.7
44.0	72.6	82.3	63.2	47.7	423	3.01	144.5			145.2	143.1	142.5	146.7	142.7	145.5	143.4
43.5	72.4	82.0	62.7	47.1	417	3.03	142.5			142.9	140.8	140.2	144.3	140.5	143.2	141.1
43.0	72.1	81.7	62.3	46.5	411	3.05	140.5			140.7	138.5	137.9	142.0	138.4	140.9	138.9
42.5	71.8	81.4	61.8	45.9	405	3.07	138.6			138.5	136.2	135.7	139.7	136.2	138.5	136.8
42.0	71.6	81.1	61.3	45.4	399	3.08	136.7			136.4	134.0	133.6	137.5	134.2	136.2	134.7
41.5	71.3	80.8	60.8	44.8	393	3.11	134.8			133.3	131.9	131.5	135.3	132.2	133.9	132.7
41.0	71.1	80.5	60.4	44.2	388	3.13	133.1			132.2	129.8	129.4	133.1	130.2	131.5	130.7
40.5	70.8	80.2	60.0	43.6	382	3.15	131.3			130.2	127.7	127.1	131.0	128.3	130.1	128.7
40.0	70.5	79.9	59.5	43.0	377	3.17	128.6			128.2	125.7	125.4	129.0	126.4	126.7	126.8
39.5	70.3	79.6	59.0	42.4	372	3.19	127.9			126.2	123.8	123.5	127.0	124.6	124.3	125.0
39.0	70.0	79.3	58.6	41.8	367	3.21	126.3			124.3	121.9	121.6	125.0	122.8	121.8	123.2
38.5		79.0	58.1	41.2	362	3.24	124.6			122.5	120.0	119.7	123.1	121.1	119.3	121.4
38.0		78.7	57.6	40.6	357	3.26	123.1			120.6	118.2	117.9	121.2	119.4		119.7
37.5		78.4	57.2	40.0	352	3.28	121.5			118.8	116.5	116.2	119.4	117.7		118.0
37.0		78.1	56.7	39.4	347	3.30	120.0			117.1	114.8	114.4	117.6	116.1		116.3
36.5		77.8	56.2	38.8	342	3.32	118.5			115.3	113.1	112.8	115.8	114.6		114.7
36.0		77.5	55.8	38.2	338	3.43	117.0			113.6	111.5	111.1	114.1	113.0		113.1
35.5		77.2	55.3	37.6	333	3.37	115.6			112.0	109.9	109.5	112.5	111.5		110.9

(续)

硬 度				抗 拉 强 度 (kg/mm ²)								不 分 解 种			
洛 氏 HRC	表 面 洛 氏			维 氏 HV	布 氏		碳 钢	铸 钢	铸 铁	铸 铝	铸 铜		铸 锡	铸 铅	
	HRA	HR ₁₅ N	HR ₃₀ N		HR ₄₅ N	HB ₃₀ D ²						d ₁₀ , d ₅ 4d _{2.5} (mm)			
35.0	77.0	54.8	37.0	329	323	3.39	114.1	109.5	110.4	108.4	107.9	110.8	110.1	109.5	110.0
34.5	76.7	54.4	36.5	324	318	3.41	112.7	108.2	108.8	106.9	106.4	109.2	108.6	108.1	108.5
34.0	76.4	53.9	35.9	320	314	3.43	111.3	106.8	107.2	105.4	104.9	107.7	107.3	106.7	107.0
33.5	76.1	53.4	35.3	316	310	3.46	110.0	105.5	105.7	104.0	103.5	106.2	105.9	105.4	105.6
33.0	75.8	53.0	34.7	312	306	3.48	108.6	104.2	104.2	102.7	102.0	104.7	104.0	104.1	104.2
32.5	75.5	52.5	34.1	308	302	3.50	107.3	102.9	102.7	101.3	100.7	103.2	103.3	102.8	102.8
32.0	75.2	52.0	33.5	304	298	3.52	106.0	101.6	101.3	100.1	99.3	101.8	102.0	101.5	101.5
31.5	74.9	51.6	32.9	300	294	3.54	104.7	100.4	99.9	98.8	98.0	100.5	100.8	100.3	100.1
31.0	74.7	51.1	32.3	296	291	3.56	103.4	99.1	98.5	97.6	96.7	99.1	98.9	98.0	98.9
30.5	74.4	50.6	31.7	292	287	3.59	102.1	97.0	97.2	96.4	95.5	97.8	98.5	97.8	97.6
30.0	74.1	50.2	31.1	289	283	3.61	100.9	96.7	95.9	95.3	94.3	96.6	97.3	96.6	96.4
29.5	73.8	49.7	30.5	285	280	3.63	99.7	95.5	94.6	94.2	93.1	95.3	96.2	95.4	95.1
29.0	73.5	49.2	29.9	281	276	3.65	98.4	94.3	93.3	93.2	91.9	94.1	95.1	94.2	94.0
28.5	73.3	48.7	29.3	278	273	3.67	97.2	93.2	92.1	92.2	90.8	93.0	94.1	93.1	92.8
28.0	73.0	48.3	28.7	274	269	3.70	96.1	92.0	90.9	91.2	89.7	91.8	93.0	91.9	91.7
27.5	72.7	47.8	28.1	271	266	3.72	94.9	90.9	89.7	90.2	88.7	90.7	92.0	90.8	90.6
27.0	72.4	47.3	27.5	268	263	3.74	93.7	89.8	88.6	89.3	87.7	89.7	91.0	89.7	89.5
26.5	72.2	46.9	26.9	264	260	3.76	92.6	88.7	87.5	88.4	86.7	88.6	90.1	88.5	88.4
26.0	71.9	46.4	26.3	261	257	3.78	91.4	87.6	86.4	87.6	85.7	87.6	89.2	87.5	87.4
25.5	71.6	45.9	25.7	258	254	3.80	90.3	86.5	85.8	86.6	84.7	86.6	88.2	86.4	86.4
25.0	71.4	45.5	25.1	255	251	3.83	89.2	85.5	84.3	86.0	83.8	85.8	87.4	85.3	85.4
24.5	71.1	45.0	24.5	252	248	3.85	88.1	84.4	83.3	85.2	83.0	85.2	86.5	84.3	84.4
24.0	70.8	44.5	23.9	249	245	3.87	87.0	83.4	82.3	84.5	82.1	84.5	85.6	83.2	83.5
23.5	70.6	44.0	23.3	246	242	3.88	86.0	82.4	81.3	83.8	81.3	83.8	84.8	82.2	82.5
23.0	70.3	43.6	22.7	243	240	3.91	84.0	81.4	80.3	83.1	80.5	83.1	84.0	81.2	81.6
22.5	70.0	43.1	22.1	240	237	3.93	83.9	80.4	79.4	82.6	79.7	82.6	83.2	80.2	80.8
22.0	69.8	42.6	21.5	237	234	3.95	82.9	79.4	78.5	81.9	78.9	81.9	82.5	79.2	79.9
21.5	69.5	42.2	21.0	234	232	3.97	81.9	78.5	77.6	81.3	78.2	81.3	81.7	78.2	79.1
21.0	69.3	41.7	20.4	231	229	4.00	80.9	77.5	76.7	80.7	77.5	80.7	81.0	77.3	78.2
20.5	69.0	41.2	19.8	229	227	4.02	79.9	76.6	75.9	80.2	76.8	80.2	80.3	76.4	77.4

20.0	68.8	40.7	19.2	226	225	4.03	78.0	75.7	75.1	78.7	76.1	78.6	75.4	76.7
18.5	68.5	40.3	18.6	223	222	4.05	78.0	74.8	74.3	78.2	75.5	78.9	74.5	75.9
19.0	68.3	39.8	18.0	221	220	4.07	77.1	73.9	73.5	78.8	74.9	78.2	73.7	75.2
18.5	68.0	39.3	17.4	218	218	4.09	76.2	73.1	72.7	78.3	74.3	77.6	72.8	74.4
18.0	67.8	38.9	16.8	216	216	4.11	75.3	72.3	71.9	77.9	73.7	76.9	71.9	73.7
17.5	67.6	38.4	16.2	214	214	4.13	74.4	71.4	71.2	77.5	73.1	76.3	71.1	73.1
17.0	67.3	37.9	15.6	211	211	4.15	73.6	70.6	70.5	77.2	72.6	75.7	70.3	72.4

注：1. 本表适用于碳素钢、合金钢。

2. 本表所列各个钢系的换算值，对含碳量由低到高的钢种基本适用。

3. 表中所列换算值只有当试样组织均匀一致时，才能得到较精确的结果。

4. 表中不分钢种栏所列的强度值，适用于换算精度要求不高的一般钢种。

5. 表中洛氏硬度HRC17.0~19.5和HRC67.5~70.0区间，以及布氏硬度HB450~501区间的换算，分别超出金属洛氏硬度试验法（GB231-63）及金属布氏硬度试验法（GB230-63）所规定的范围，仅供参考。

6. 所有硬度与强度值乘以0.8后，就是以N/mm²为单位的数值换算表。

4.4.11 铝合金硬度、硬度与强度的换算值⁽⁵⁾

铝合金的换算值见表1。

表1. 铝合金硬度与强度换算值

布氏		维氏							表面洛氏			抗拉强度 σ_s (kgf/mm ²)			
P=10D ²		P=30D ²		HV	HRB	HRF	HR _{15T}	HR _{30T}	HR _{45T}	退火、淬火、人工时效			淬火自然时效		
HB	HB	HB	HB							LC4	LD5	LD10	LY11	LY12	LD5
55.0	4.670	—	—	56.1	—	52.5	62.3	17.6	—	20.7	20.8	20.7	—	—	
60.0	4.483	—	—	61.5	—	58.6	65.3	24.1	—	22.5	22.3	22.3	—	—	
65.0	4.316	—	—	66.9	6.9	64.2	68.4	30.0	—	25.2	25.1	25.2	—	—	
70.0	4.167	—	—	72.3	16.5	69.3	70.6	35.5	—	27.9	28.0	28.0	—	—	
75.0	4.032	—	—	77.7	25.1	73.8	72.8	40.3	6.7	30.2	30.6	30.3	—	—	
80.0	3.909	—	—	83.2	32.9	77.9	74.8	44.7	13.4	31.9	32.2	31.9	—	—	
85.0	3.797	—	—	88.6	39.5	81.4	76.5	48.4	19.2	33.2	33.3	33.0	—	—	
90.0	3.694	—	—	94.0	45.4	84.5	78.4	51.7	24.2	34.1	33.9	33.8	35.1	41.4	
95.0	3.599	—	—	99.4	50.7	87.3	79.4	54.7	28.8	34.9	34.5	34.6	37.9	43.3	
100.0	3.511	—	—	104.8	56.3	89.7	80.6	57.3	32.8	35.8	35.3	35.7	40.7	45.1	
105.0	3.429	—	—	110.2	59.3	91.8	81.6	59.5	36.2	37.0	36.6	37.0	43.5	47.0	
110.0	3.353	—	—	115.7	63.1	93.8	82.6	61.6	39.5	38.5	38.6	38.6	46.3	48.9	
115.0	3.281	—	—	121.1	66.3	95.5	83.5	63.5	42.3	40.3	41.3	40.5	49.1	50.8	
120.0	3.214	—	—	126.5	69.3	97.1	84.2	65.2	44.9	42.3	44.4	42.5	51.9	52.7	
125.0	3.151	—	—	131.9	72.2	98.6	85.0	66.8	47.4	44.4	47.6	44.4	54.6	54.6	
130.0	3.091	134.2	5.142	137.3	74.8	100.0	85.7	68.3	49.7	46.5	50.3	46.3	57.4	56.5	
135.0	3.035	139.3	5.054	142.7	77.3	101.3	86.3	69.6	51.8	48.4	51.9	48.3	60.2	—	
140.0	2.981	144.5	4.969	148.2	79.8	102.6	87.0	71.0	53.9	50.2	—	50.6	—	—	
145.0	2.931	149.6	4.889	153.6	81.9	103.7	87.5	72.2	55.7	51.9	—	53.8	—	—	
150.0	2.882	154.8	4.812	159.0	83.9	104.8	88.0	73.4	57.6	53.7	—	58.6	—	—	
155.0	2.837	159.9	4.739	164.4	85.8	105.8	88.5	74.4	59.2	55.9	—	—	—	—	
160.0	2.793	165.1	4.669	169.8	87.5	106.7	89.0	75.4	60.7	58.8	—	—	—	—	
165.0	2.751	170.2	4.603	175.2	89.6	107.8	89.5	76.6	62.5	62.5	—	—	—	—	
170.0	2.711	175.4	4.538	180.7	91.7	108.9	90.1	77.8	64.3	66.9	—	—	—	—	

注：所有数据乘以9.8后，就是以N/mm²为单位的数值换算表。

LY11、LY12淬火人工时效的换算值见表2。

表2. LY11、LY12淬火人工时效的硬度强度换算值

硬 度		抗拉强度 σ_s (kgf/mm ²)		
布 氏		退火、淬火、人工时效		
P=10D ²		P=30D ²		
HB	d10, 2d5 4d2.5mm	HB	d10, 2d5 4d2.5mm	
55.0	4.670	—	—	19.7
60.0	4.483	—	—	21.5
65.0	4.316	—	—	23.2
70.0	4.167	—	—	25.0
75.0	4.032	—	—	26.7
80.0	3.909	—	—	28.5
85.0	3.797	—	—	30.2
90.0	3.694	—	—	32.0
95.0	3.599	—	—	33.7
100.0	3.511	—	—	35.5
105.0	3.429	—	—	37.2
110.0	3.353	—	—	39.0
115.0	3.281	—	—	40.7
120.0	3.214	—	—	42.5
125.0	3.151	—	—	44.2
130.0	3.091	125.5	5.303	46.0
135.0	3.035	131.1	5.197	47.7
140.0	2.981	136.7	5.098	49.5
145.0	2.931	142.4	5.003	51.2
150.0	2.882	148.0	4.914	53.0
155.0	2.837	153.6	4.829	54.7
160.0	2.793	159.2	4.749	56.5

注：所有数据乘以9.8后，就是以N/mm²为单位的数值换算表。

参 考 资 料

- (1) 《航空工业检验员手册》，国防工业出版社，1978年。
- (2) 《玻璃钢》，1982年5期，P40。
- (3) 《国外计量》，1983年6期，P. 36。
- (4) 《机械制造》，1984年1期，P. 29~30。
- (5) 《计量技术》，1983年2期，P. 13~14。

4.5 板金零件常用结构要素标准


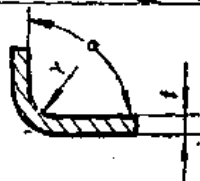
板金零件一些典型结构常用标准，包括板材最小弯曲半径，加强槽，加强窝，弯边减轻孔，直角减轻孔，开口弯边，皱纹弯边，板材零件下陷，橡胶压制凸凹弯边高度，挤压型材下陷，挤压型材倾斜角度极限值，长桁缺口，板金零件弯角处止裂孔，展开长度计算。

4.5.1 板材最小弯曲半径 (HB0-10-83)

表中所列数据是考虑了产品强度等使用要求的最小弯曲半径，对于破坏试验所得的最小半径见2.3章。

板材最小弯曲半径表

(mm)

材料牌号与状态	边缘状态	α 弯曲角度								
		150°	135°	120°	105°	90°	75°	60°	45°	30°
	边缘 									
最小弯曲半径 $r=it$										
LY12-M	修光	1.2 <i>t</i>	1.3 <i>t</i>	1.4 <i>t</i>	1.5 <i>t</i>	1.6 <i>t</i>	1.7 <i>t</i>	1.8 <i>t</i>	1.8 <i>t</i>	1.9 <i>t</i>
LC4-M	不修光	3 <i>t</i>	3.2 <i>t</i>	3.3 <i>t</i>	3.5 <i>t</i>	3.7 <i>t</i>	3.8 <i>t</i>	4 <i>t</i>	4.1 <i>t</i>	4.3 <i>t</i>
LY12-CZ	修光	1.8 <i>t</i>	1.8 <i>t</i>	2.1 <i>t</i>	2.2 <i>t</i>	2.3 <i>t</i>	2.4 <i>t</i>	2.5 <i>t</i>	2.5 <i>t</i>	2.5 <i>t</i>
	不修光	3.5 <i>t</i>	3.8 <i>t</i>	4.3 <i>t</i>	4.6 <i>t</i>	4.9 <i>t</i>	5 <i>t</i>	5 <i>t</i>	5 <i>t</i>	5 <i>t</i>
LC4-CZ	修光	2.8 <i>t</i>	3 <i>t</i>	3.2 <i>t</i>	3.3 <i>t</i>	3.5 <i>t</i>	3.7 <i>t</i>	3.8 <i>t</i>	3.9 <i>t</i>	4 <i>t</i>
	不修光	3.5 <i>t</i>	3.8 <i>t</i>	4.3 <i>t</i>	4.6 <i>t</i>	4.9 <i>t</i>	5 <i>t</i>	5 <i>t</i>	5 <i>t</i>	5 <i>t</i>
MB ₁ ①	修光	4 <i>t</i>	—	5 <i>t</i>	—	6 <i>t</i>	—	7 <i>t</i>	—	8 <i>t</i>
MB ₃ ①	修光	4 <i>t</i>	—	4 <i>t</i>	—	4 <i>t</i>	—	5 <i>t</i>	—	6 <i>t</i>
HPb59-1, H62, H63		0.8 <i>t</i>								
T ₂ , T ₃ , T ₄		0.5 <i>t</i>								
20 钢	修光	0.7 <i>t</i>	0.7 <i>t</i>	0.7 <i>t</i>	0.7 <i>t</i>	0.8 <i>t</i>	0.8 <i>t</i>	0.8 <i>t</i>	0.8 <i>t</i>	0.9 <i>t</i>
	不修光	0.7 <i>t</i>	1 <i>t</i>	1.3 <i>t</i>	1.6 <i>t</i>	1.8 <i>t</i>	2.1 <i>t</i>	2.4 <i>t</i>	2.7 <i>t</i>	3 <i>t</i>
30CrMnSiA	修光	0.7 <i>t</i>	0.8 <i>t</i>	0.8 <i>t</i>	0.9 <i>t</i>	0.9 <i>t</i>	1 <i>t</i>	1 <i>t</i>	1.1 <i>t</i>	1.2 <i>t</i>
	不修光	2.6 <i>t</i>	2.9 <i>t</i>	3.2 <i>t</i>	3.5 <i>t</i>	3.8 <i>t</i>	4 <i>t</i>	4.5 <i>t</i>	4.8 <i>t</i>	5.8 <i>t</i>
1Cr18Ni9Ti	修光	1 <i>t</i>								
Cr20Ni80Ti	不修光	1.1 <i>t</i>	1.2 <i>t</i>	1.3 <i>t</i>	1.4 <i>t</i>	1.4 <i>t</i>	1.5 <i>t</i>	1.5 <i>t</i>	1.5 <i>t</i>	1.5 <i>t</i>

①当弯曲角度为中间值时，其最小弯曲半径，应选靠近它的较大值。

表中*i*——系数，取决于材料性质，所给的弯曲半径值，LC₂铝合金为热弯曲的，其余均为冷弯曲的。

4.5.2 加强槽 (HB0-11-83)

对铝合金和镁合金钣金零件上制加强槽的形式和尺寸, 见图和表。

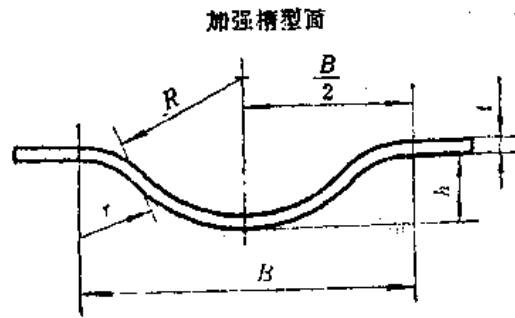


图1

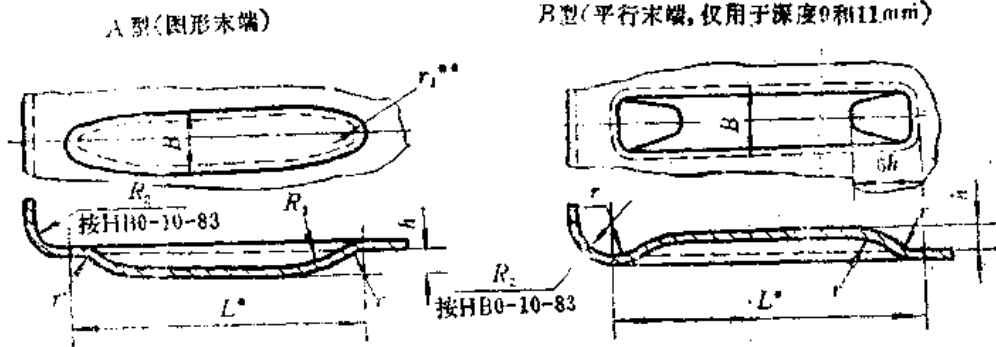


图2

图3

标记示例, A型序号4的加强槽 HB0-11-A4图2, 图3的在平面图中加强槽可制成曲线形。其相邻两个加强槽轴线间最小距离等于加强槽的宽度B。

加强槽尺寸表

(mm)

序号	t	h ±0.5	R±0.5 (用于模具)	r ±0.5	B ±1	R ₁ ±2
1	0.5~0.8	2	3.5	3	10	25
2	0.5~0.8	3	5.5	4	14.5	25
3	0.5~1.0	4	8	5	19.5	45
4	0.5~1.2	5	10.5	6	24.5	55
5	0.8~1.5	7	13.5	8	33	75
6	1.0~1.8	9	17	10	42	95
7	1.2~2.0	11	21.5	12	51	100

图中尺寸L*由设计员确定。

尺寸r₁**不规定。

推荐工艺方法

(1) 加强槽的制造, 必须在材料退火或新淬火状态下进行, 并采用硬模胎制造。对于表中序号 1、2、3 加强槽则采用滚轮制造。

(2) 当成形压力大于 15MPa 时, 则表中序号 4~7 加强槽可用橡胶模胎, 而不用硬模胎。

(3) 在加强槽范围内, 材料的变薄程度不作规定, 且不需检验。

(4) 用 MB8 板材制加强槽时, 应按相应的生产说明书将毛料预热到 350℃。

4.5.3 加强窝 (HB0-13-83)

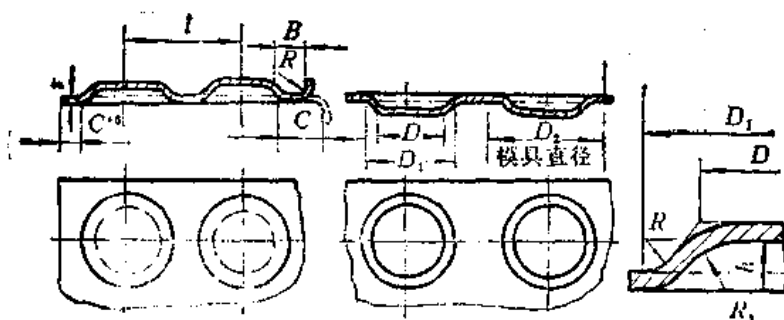
铝合金和 20 号钢的板金件加强窝尺寸见图和表。

加强窝尺寸表

(mm)

D	D ₁	D ₂	l 最小	h	R*, R ₁ *	最 小		t								
						B	C	0.3	0.5	0.8	1	1.2	1.5	2		
15	19	23	26	2	1	10	15									
18	22	26	28	2	1	10	15									
24	28	38	33	2	1	10	15									
31	37	47	43	3	1.5	10	15									
36	42	52	48	3	1.5	10	15									
43	51	63	58	4	2	10	15									
48	56	68	63	4	2	10	15									
55	65	79	74	5	2.5	15	25									
60	70	86	80	5	2.5	15	25			选						
65	75	91	85	5	2.5	15	25				用					
72	84	104	96	6	3	15	25					范				
77	89	113	103	6	3	20	35						围			
82	94	122	110	6	3	20	35									
94	108	144	128	7	3.5	20	35									
106	122	162	145	8	4	20	35									
116	132	172	155	8	4	20	35									
128	146	186	169	9	4.5	20	35									
140	160	200	183	10	5	25	40									
162	184	228	210	11	5.5	25	40									
184	208	252	234	12	6	25	40									
208	236	280	262	14	7	25	40									
230	260	304	286	15	7.5	25	40									

注: R*和R₁*表示用橡胶模压制时, R和R₁按板料厚度确定为R=3t; R₁=9t。



标记示例: $D=48$ 的加强窝, HB0-13-48.

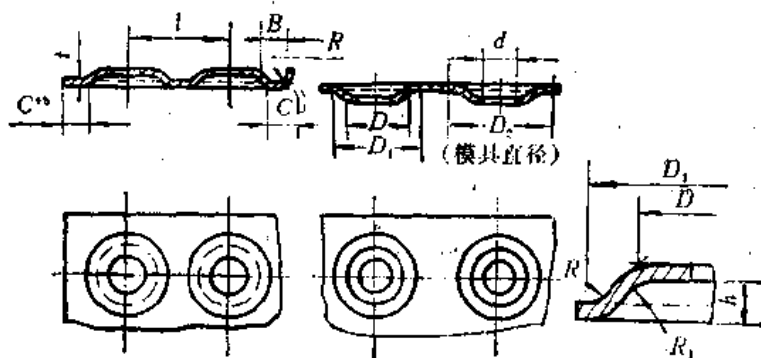
推荐选用在粗浅范围内的加强窝。当用橡胶模压制时, 上限必须按虚线选用, 下限仅为推荐。

一般公差按HB5800-82。

用橡胶模压制时, R 和 R_1 按板材厚度确定为 $R \sim 3t$, $R_1 = 9t$ 。

4.5.4 弯边减轻孔 (HB0-14-63)

铝合金和20号钢板金件的弯边减轻孔见图和表。



标记示例: $d=40$ 的减轻孔, HB0-14-40.

推荐选用在粗浅范围内的减轻孔, 当用橡胶模压制时, 上限必须按虚线选用, 下限仅为推荐。

一般公差按HB5800-82。

用橡胶模压制时, R 和 R_1 按板材厚度确定为: $R=3t$; $R_1=6t$ 。

弯边减轻孔尺寸表

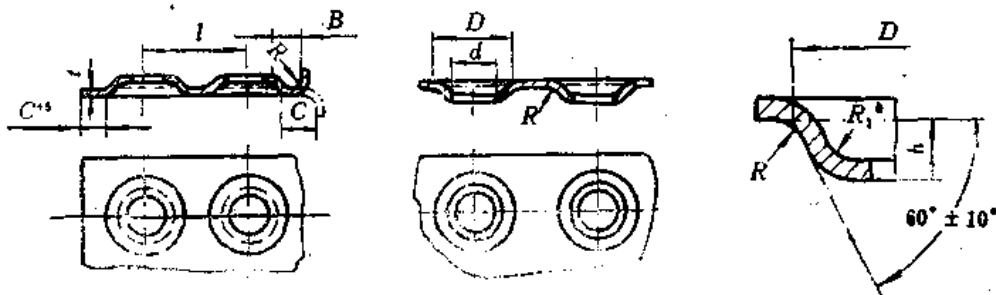
(mm)

d		D	D ₁	D ₂	l 最小	h	R*	最小		t						
弯边前	弯边后						R ₁ *	R	C	0.3	0.5	0.8	1	1.2	1.5	2
15	16	18	22	25	28	2	1	10	15							
20	21	24	28	38	33	2	1	10	15							
25	26	31	37	47	43	3	1.5	10	15							
30	32	36	42	52	48	3	1.5	10	15							
35	37	43	51	63	58	4	2	10	15							
40	42	48	56	68	63	4	2	10	15		适					
45	47	55	65	79	74	5	2.5	10	15							
50	53	60	70	86	80	5	2.5	10	15			用				
55	58	65	75	91	85	5	2.5	15	25							
60	63	72	84	104	96	6	3	15	25				范			
65	69	77	89	113	103	6	3	15	25							
70	74	82	94	122	110	6	3	15	25					围		
80	84	94	108	144	128	7	3.5	15	25							
90	94	106	122	162	145	8	4	15	25							
100	105	116	132	172	155	8	4	20	35							
110	115	128	146	186	169	9	4.5	20	35							
120	125	140	160	200	183	10	5	20	35							
140	146	162	184	228	210	11	5.5	20	35							
160	166	184	208	252	234	12	6	20	35							
180	187	208	236	280	262	14	7	20	35							
200	208	230	260	304	286	15	7.5	20	35							

注: R*和R₁*表示用橡胶模压制时, R和R₁按板料厚度确定为R=3t, R₁=9t.

4.5.5 用橡胶模压制的60°弯边减轻孔(HB0-15-83)

对铝合金和镁合金的板金件60°弯边减轻孔见图和表。



标记示例: d=30的减轻孔, HB0-15-30. d为弯边圆孔的直径.

60°弯边减轻孔尺寸表

(mm)

$d(H_{13})$	D	h	l 最小	最小		l										
				B	C	0.3	0.5	0.8	1	1.2	1.5	1.8	2	2.5		
20	28	3.5±1	43	10	15											
25	33	3.5±1	48	10	15											
30	38	3.5±1	53	10	15											
35	43	3.5±1	58	10	15											
40	48	3.5±1	63	10	15											
45	56	5±1.5	71	10	15											
50	61	5±1.5	76	10	15											
55	66	5±1.5	86	15	25											
60	74	6±1.5	94	15	25											
65	79	6±1.5	99	15	25				选							
70	87	7±1.5	107	15	25											
80	97	7±1.5	117	15	25					用						
90	107	7±1.5	127	15	25											
100	122	9±2	142	20	35							范				
110	132	9±2	157	20	35											
120	142	9±2	167	20	35								围			
140	162	9±2	187	20	35											
160	182	10±2	207	20	35											
180	202	10±2	227	25	40											
200	222	10±2	247	25	40											
R						1	2	3	3	4	5	6	6	8		

选用在粗线范围的减轻孔，其上限必须遵守，下限仅为推荐。
一般公差按HB5800-82。图中 R_1 由模具保证。

4.5.6 直角减轻孔 (HB0-16-83)

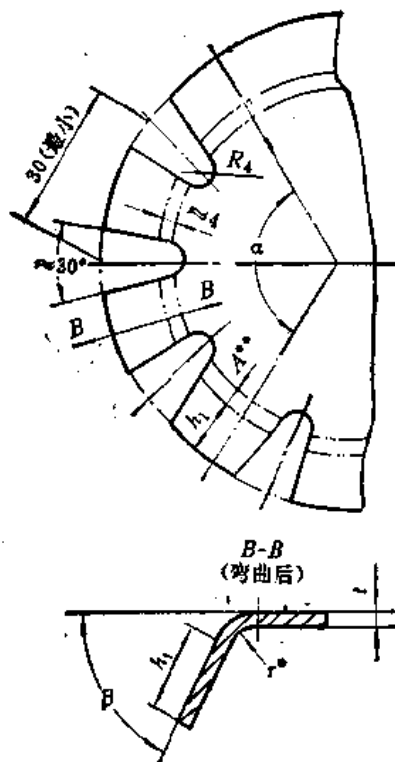
铝合金和20号钢板金件的直角减轻孔的尺寸见表和图。

一般公差按HB5800-82。图中15*是用橡胶模压制时的最小距离。

4.5.7 开口弯边和皱纹弯边

4.5.7.1 开口弯边 (HB0-19-83)

铝合金钣金零件上开口弯边的几何形状见图：



(1) 可在压力8MPa下和材料厚度至1.5mm时，所压制的不经手工修整的开口弯边。

(2) 开口弯边应用于凸弯边的局部，为了形成封闭弯边，半径可小于允许半径，或者用来代替皱纹弯边。

(3) 在 α 角度范围内，弯边上的切口数 n ，按公式 $n=0.03\alpha$ 确定，并化成整数。

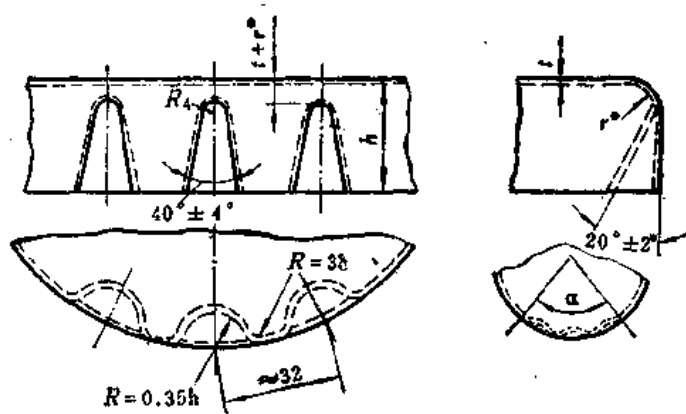
(4) 压制弯边和切口时，材料为新淬火或退火状态。

(5) 尺寸 h_1 和角度 β 由设计员确定。

(6) 一般公差按HB5800-82。图中弯曲半径 r^* 按HB0-10-83确定。展开长度 A^{**} 按HB0-45-83确定。

4.5.7.2 皱纹弯边 (HB0-20-83)

铝合金钣金零件上皱纹弯边的几何形状见图，此种弯边比HB0-17-83所规定的弯边高度较高，而不经手工校正，并能避免由模压边缘所产生的皱纹。



(1) 可在压力为8MPa下，材料厚度不大于1.2mm时，压制不经手工修整的皱纹弯边。

(2) 弯边高度由设计员确定。

(3) 在 α 角度范围内，弯边上的皱纹槽数 n 不决定于半径，而按公式 $n=0.04\alpha$ 确定，并化成整数。

(4) 压制弯边和皱纹槽时，材料为新淬火或退火状态。

(5) 用橡胶成形模压制皱纹槽前的毛料，应将准备弯曲部分的下陷处，在成形模内预先弯曲。

(6) 一般公差按HB5800-82。图中弯曲半径 r^* 按HB0-10-83确定。展开长度按HB0-45-83确定。

4.5.8 板材零件下陷 (HB0-21-83)

(1) 铝合金和镁合金板材零件下陷尺寸按图1和表1。

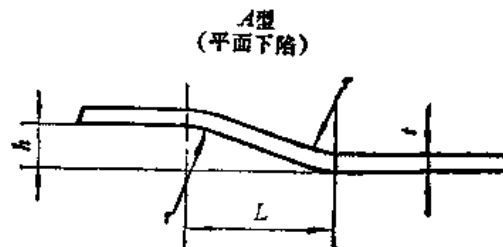


图1

标记示例：h=2；t=1.5的平面下陷，HB0-21-A2×1.5。

表1. 板材下陷尺寸

(mm)

板 材 下 陷 深 度 (h)		板 材 厚 度 t				
		~1	>1~2	>2~3	>3~4	>4~5
		模具半径 r ±0.5 (在零件上不检验)				
		2	3	4	6	8
基本尺寸	极限偏差	下陷区最小长度 L				
0.6, 0.8, 1	+0.2 0	4	5	6	—	—
1.2, 1.5		5	6	7	8	9
1.8, 2.0		5	6	8	9	10
2.5, 3.0		6	8	9	10	12
3.5, 4.0	+0.3 0	7	9	11	12	14
4.5, 5.6		8	10	12	14	16
7, 8		10	12	16	20	24
9, 10		12	14	18	22	26
11, 12		14	16	20	24	28

表1中所规定下陷区的最小长度L适用于LY12-CZ、LC4-M和MB8-M板材。

对于LY12-M应选取表中左邻一格的数值。

在MB8-M板材上压制下陷时，应将毛料预热至250~300℃。

对于未经热处理的LC4-CZ的板材，在厚度t不大于2mm时，下陷深度h不应超过2mm。

调整压制下陷的设备时，应考虑板材回弹率。

一次行程制成下陷，不允许反复压制下陷。

下陷15mm范围内 $h-h_1 \leq \pm 0.1\text{mm}$ 。

h_1 是离下陷区域15mm处的下陷深度(图2)。

零件下陷区内不允许打检印。

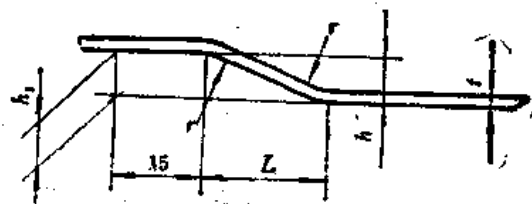


图2

(2) 零件侧面下陷见图3, 板材厚度 $t \leq 1\text{mm}$ 时, 侧面下陷尺寸见表2, $t \geq 1.2\text{mm}$, $h \geq 2\text{mm}$ 时见表3。

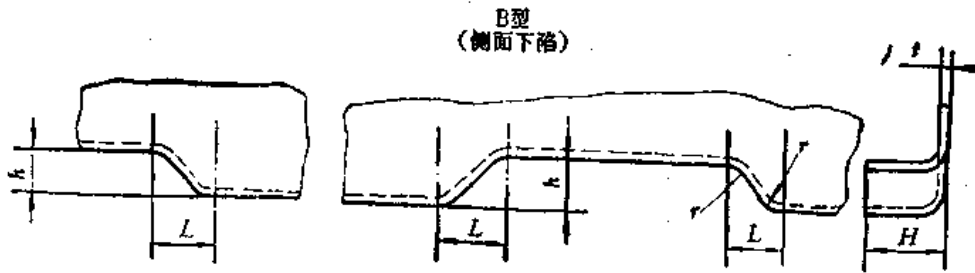


图3

标记示例: $h=2$; $t=0.8$ 的侧面下陷, HB0-B2 \times 0.8。

表2. 板材厚度 $t \leq 1\text{mm}$ 不经手工修整的侧面下陷

(mm)					
弯边高度H	~10	>10~12	>12~15	>15~20	>20~25
侧面下陷深度h不大于	2	1.8	1.5	1	0.5
下陷区最小长度L \pm 0.5	7.5	7	6	5	4.5
半径r \pm 0.5(在零件上不检验)	3				

表3. 板材厚度 $t \geq 1.2\text{mm}$, 下陷深度 $h \geq 2\text{mm}$, 需手工修整的侧面下陷

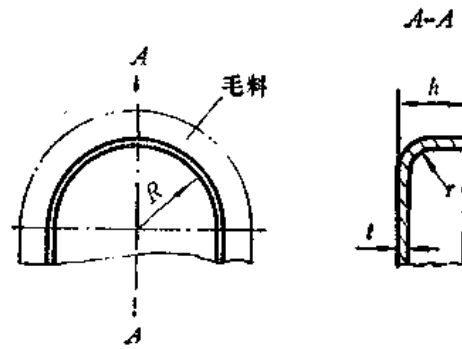
(mm)					
弯边高度H	~10	>10~12	>12~15	>15~20	>20~25
侧面下陷深度h不大于	4.5	4.3	4	3.5	3
下陷最小长度L \pm 1.5	7.5	7			
半径r \pm 0.5(在零件上不检验)	3				

零件侧面下陷是与弯边同时压制成形。

4.5.9 橡胶压制凸凹弯边高度

4.5.9.1 橡胶压制凸弯边的高度 (HB0-17-83)

如图所示的凸弯边高度见表。



标记示例， $h=8$ 的凸弯边高度，HB0-17-3。

橡胶压制凸弯边的高度尺寸表

(mm)

材 料		LY12-M, LC4-M, MB3-M									LF21-M, LF2-M								
厚 度 (t)		0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	0.5	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	
弯 曲 半 径 (r)		1.5	2	2.5	3	3.5	4.5	6	7.5	9	1.5	2	3	3.5	4.5	6	7.5	9	
弯 边 高 度		不经手工修整的凸弯边最小半径R值																	
h	极限偏差																		
3	±0.5	30	30								20	20							
4		70	60	50	50						50	50	40	40					
5		120	110	110	100	100					80	70	70	70	70				
6		200	180	170	160	150	150				120	110	100	90	80	80	90	80	
8		300	270	250	230	220	210	200			200	170	150	130	110	100	100	100	
10		450	400	360	320	300	280	260	240		280	240	200	170	160	160	150	150	
12	±1	600	550	420	390	360	340	330	320		360	300	260	240	220	220	210	210	
15			800	600	550	480	440	420	400	380		360	320	300	280	270	260	260	
20					1000	800	600	550	500	450			400	380	360	350	330	320	
25						1000	770	700	650	600				480	440	420	400	380	
30							1000	900	850	800					500	480	460	440	
40								1200	1150	1100						500	500	500	
		经手工修整的凸弯边最小半径R值																	
8	±1	60	50	40	40														
10		80	60	50	50	40													
12		100	80	60	60	50													
15		130	100	80	70	60													
20		180	130	100	85	70													
25		225	165	135	110	100	90	80											
30		260	200	160	130	110	100	90	80										
40		340	270	210	170	150	130	110	90										

当需要弯边高度大于本表中规定的尺寸时，则按HB0-19-83或HB0-20-83标准中的规定。

一般公差按HB5800-82。

推荐工艺方法：

(1) 在8MPa压力下对退火或新淬火状态的材料用橡胶压制凸弯边时，按相应的生产说明书进行压制；由 MB3-M 材料制造的零件应按相应的生产说明书将零件预热到 350℃ 再进行压制。

一般公差按HB5800-82。

推荐工艺方法：

(1) 在8MPa压力下对退火或新淬火状态的材料用橡胶压制凹弯边时，按相应的生产说明书进行。由MB8-M 材料制造的零件应按相应的生产说明书将零件预热到 350℃ 再进行压制。

(2) 当一定曲率半径的弯边高度超过上表规定的数值或所得弯边高度不够精确时，应进行两次压制，第二次压制前应经过热处理。

(3) 用成形模压制时，按相应指导性技术文件进行。

(4) 修光零件边缘的表面粗糙度Ra不大于 12.5μm。

4.5.10 挤压型材下陷 (HB0-22-83)

LY12、LC4和MB15 制造的所有形状的挤压型材的下陷形状和尺寸见图 1 和表。

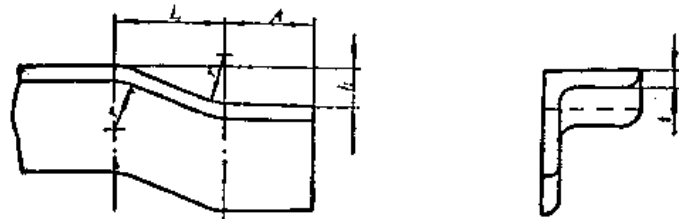


图1

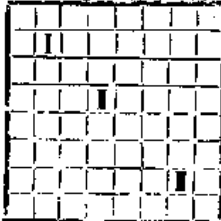
标记示例：h=3；t=5的下陷，HB0-22-3×5。

挤压型材下陷尺寸表

(mm)

型材下陷的深度 h	下陷深度偏差	型材线条厚度 t							下陷区最小长度偏差	
		~1	>1~1.5	>1.5~2	>2~3	>3~4	>4~6	>6~8		>8~10
		模具半径 r (在型材上不检验)								
		4.5±0.5	6±0.5	9±1	12±1	18±1	24±1	30±1		
下陷区最小长度 L										
0.6; 0.8; 1 1.2; 1.5	+0.2 0	6	8	10	13	16			+1 0	
1.8; 2		7	10	13	16	19	22	25		
2.5; 3		8	13	16	19	22	25	28		
3.5; 4		10	16	19	22	25	28	32		
4.5; 5.6	+0.3 0	13	19	22	25	28	32	36	+2 0	
7; 8		16	22	25	28	32	36	40		
9; 10		19	25	28	32	36	40	45		
11; 12		22	28	32	36	40	45	52		

区域示意图(供参考)



在上表各区域内压制下陷时，型材下陷区的材料状态的说明，
 在 I 区内，LY12-CZ、LC4-CZ 和 MB15 制的型材不预热；
 在 II 区内，LY12-CZ 制的型材不预热；
 在 III 区内，LC4-CZ 制的型材预热至 140±10℃；
 在 I、II 区内，MB15 制的型材预热至 250~300℃；
 在 IV 区内，LY12 和 LC4 制的型材仅在退火或新淬火状态下。

一次行程制成下陷，不允许反复压制下陷。

调整压制下陷的设备时，应考虑型材的回弹率。

斜下陷的倾斜角 α 应在 $45^\circ \sim 135^\circ$ 的范围内以 5° 的倍数选取，角度 α 在图纸上注明。

尺寸 A 由设计员确定，见图2。

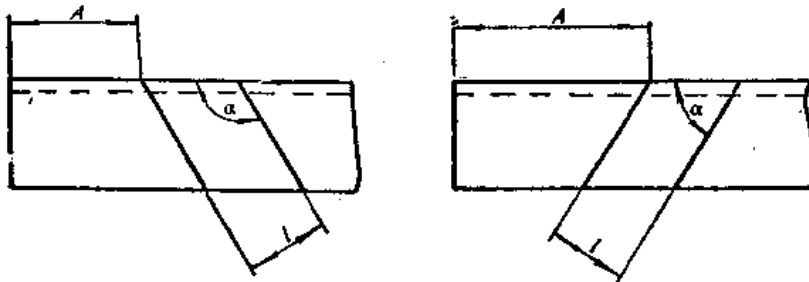


图2

连续压制下陷时，两下陷最小区间距离，当 $t < 4\text{mm}$ 时，应等于 50mm ；当 $t \geq 4\text{mm}$ 时，应等于 60mm 。打检印处与型材下陷区的距离不小于 30mm 。见图3。

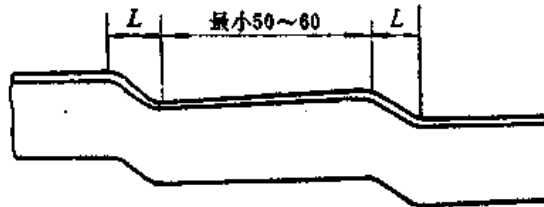


图3

压制下陷后型材缘条垂直度公差按图4所示。

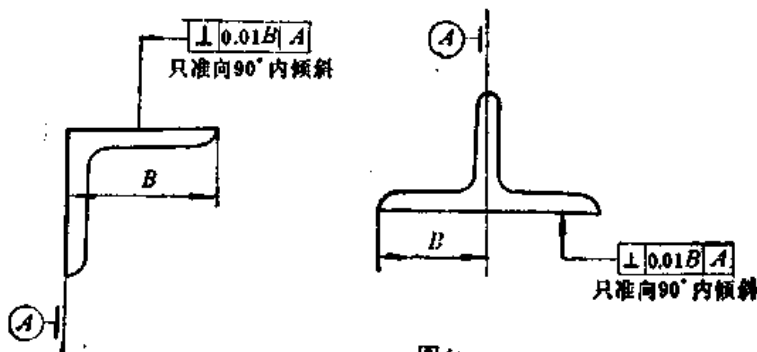


图4

在下陷区内不测量缘条垂直度。

下陷 15mm 范围内 $h-h_1 \leq +0.1\text{mm}$ ，见图5。

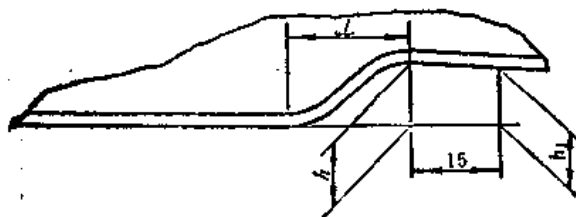


图5

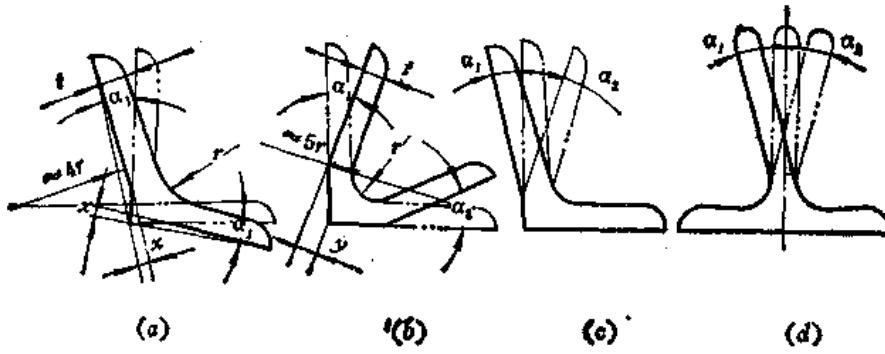
h_1 为离下陷区域15mm处的下陷深度。

4.5.11 挤压型材倾斜角度极限值 (HB0-35-83)

LY12、LC4及 MB15 制造的各种类型的挤压型材缘条的倾斜角度极限值，见图和表。

挤压型材倾斜角度极限值表 (mm)

材料牌号和状态	型材缘条的厚度 t (mm)	型材缘条单边的允许倾斜角度极限值		向外倾斜时直线度公差 x (mm)
		向外 α_1	向内 α_2	
LY12和LC4在刚淬火的状态	≤ 2	8°	10°	1.0
	$> 2 \sim 3$	7°	9°	
	$> 3 \sim 4$	$6^\circ 30'$	$8^\circ 30'$	
	$> 4 \sim 5$	$6^\circ 30'$	8°	
LY12-CZ不能热处理, LC4 压铸预热到 $140^\circ \pm 10^\circ\text{C}$	≤ 2	6°	$6^\circ 30'$	0.8
	$> 2 \sim 3$	5°	6°	
	$> 3 \sim 4$	4°	$5^\circ 30'$	
	$> 4 \sim 5$	$3^\circ 30'$	5°	
LC4不经预热的型材和压铸	≤ 2	$1^\circ 30'$	$1^\circ 30'$	0.3
	$> 2 \sim 3$	1°	$1^\circ 30'$	
	$> 3 \sim 4$	1°	1°	
	$> 4 \sim 5$	1°	1°	
MB15在人工时效状态不经预热	≤ 2	无倾斜	$7^\circ 30'$	1.0
	$> 2 \sim 3$		7°	
	$> 3 \sim 4$		$6^\circ 30'$	
	$> 4 \sim 5$		6°	
MB15在人工时效状态 230° $\pm 20^\circ\text{C}$ 范围内预热	≤ 2	$12^\circ 30'$	15°	0.5
	$> 2 \sim 3$	12°	14°	
	$> 3 \sim 4$	11°	13°	
	$> 4 \sim 5$	10°	12°	

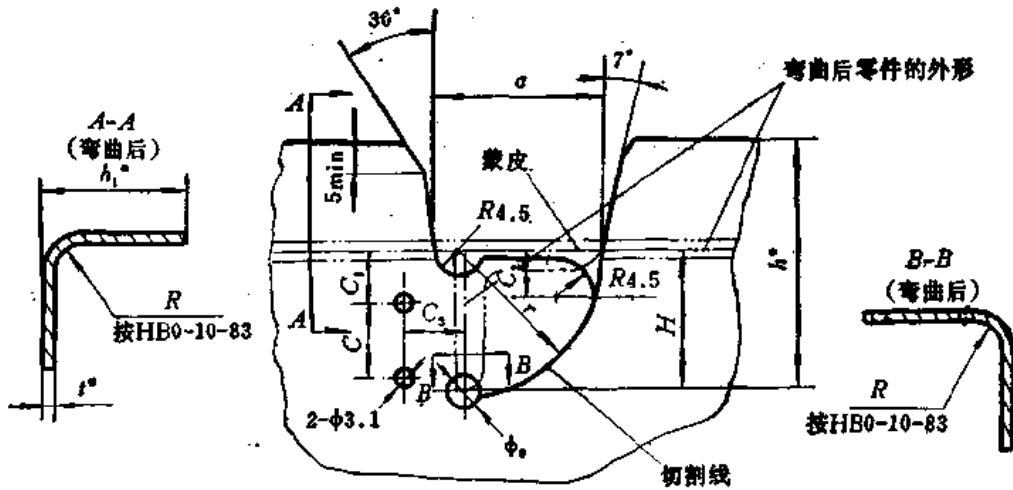


- (1) 当型材向内倾斜时, r 值不规定也不检查。
- (2) 当型材向外倾斜时, 在阳极化后要去掉凸出部分的 x 值, 并应在工作图上注明。

4.5.12 长桁缺口

4.5.12.1 角形型材桁条的缺口 (HB0-24-83)

如图所示的桁条缺口尺寸见表。



标记示例: 序号2的缺口, HB0-24-2。

角形型材桁条的缺口表 (mm)

序号	型材号			a	C	C_1	C_2	C_3	r	H	
	XC111	XC112	XC141								XC147
1	1, 3	1	2	1	20	10	5	5	9	14	14
2	4, 5, 6, 7, 10	3			23	10	7	6	9	17	17
3	11, 14, 15, 16, 17, 18, 19				29	15	8	7	14	23	23
4	25, 27, 28, 30, 32, 33				33	17	10	9	12	27	27
5	36, 37, 38, 39, 44				38	22	10	9	14	32	32

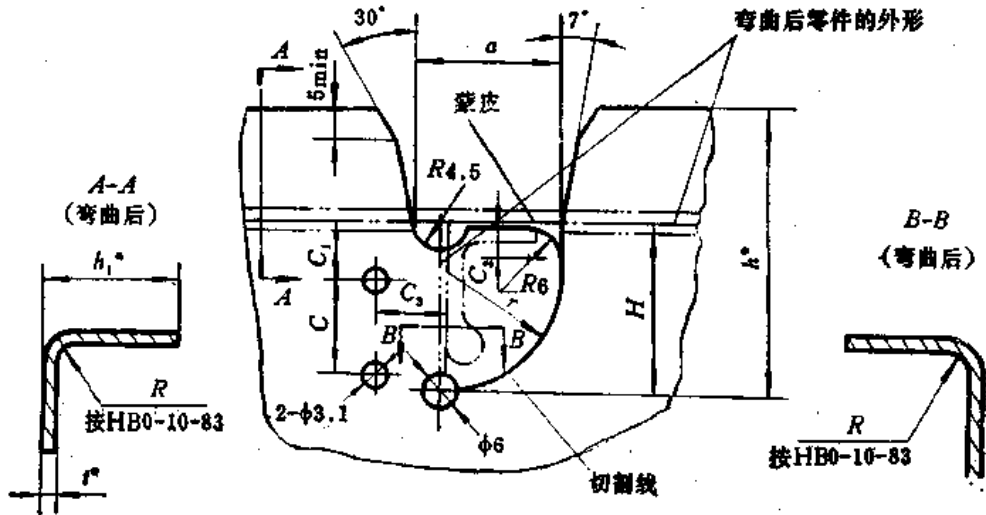
一般公差按HB5800-82。

缺口适用于材料厚度 $t \leq 2\text{mm}$ 。

图中尺寸 h^* 、 h_1^* 和 t^* 由设计员确定。

4.5.12.2 角形型材桁条的缺口 (HB0-25-83)

如图的缺口尺寸见表。



标记示例：序号2的缺口，HB0-25-2。

角形型材桁条的缺口表

(mm)

序号	型 材 号				a	C	C ₁	C ₂	C ₃	r	H
	XC113	XC114	XC141	XC147							
1		4, 6	5, 6, 7	3, 4	23	10	7	6	9	17	21.5
2	17	13, 15 16, 17	8, 10, 12	7, 8	28	12	10	7	12	22	28.5
3	23	27, 28, 30	14, 16, 17	11, 12	28	12	10	7	12	22	31.5

一般公差按HB5800-82。

缺口适用于材料厚度 $t \leq 2\text{mm}$ 。

图中尺寸 h^* 、 h_1^* 和 t^* 由设计员确定。

4.5.12.3 角形型材桁条的缺口 (HB0-26-83)

如图 1，图 2 所示缺口尺寸见表。

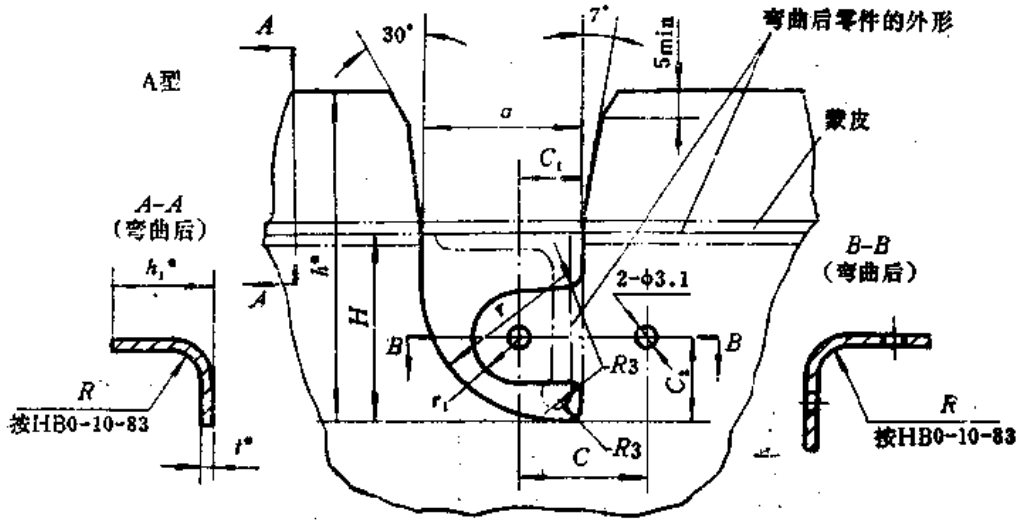


图1

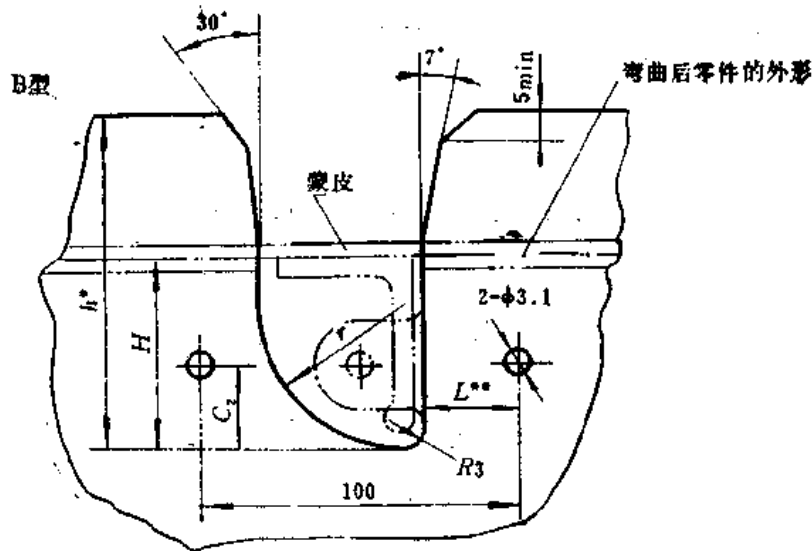


图2

图中：尺寸 h^* ， h_1^* 和 t^* 由设计员确定。

L^{**} 表中序号1至序号44的缺口，其尺寸 $L^{**}=30\text{mm}$ ；从序号45至序号51的缺口，其尺寸 $L^*=20\text{mm}$ 。

标记示例：序号2的缺口，A型HB0-26-A2，

B型HB0-26-B2。

一般公差按HB5800-82。

缺口适用于材料厚度 $t \leq 2\text{mm}$ 。

角形型材桁条的缺口表

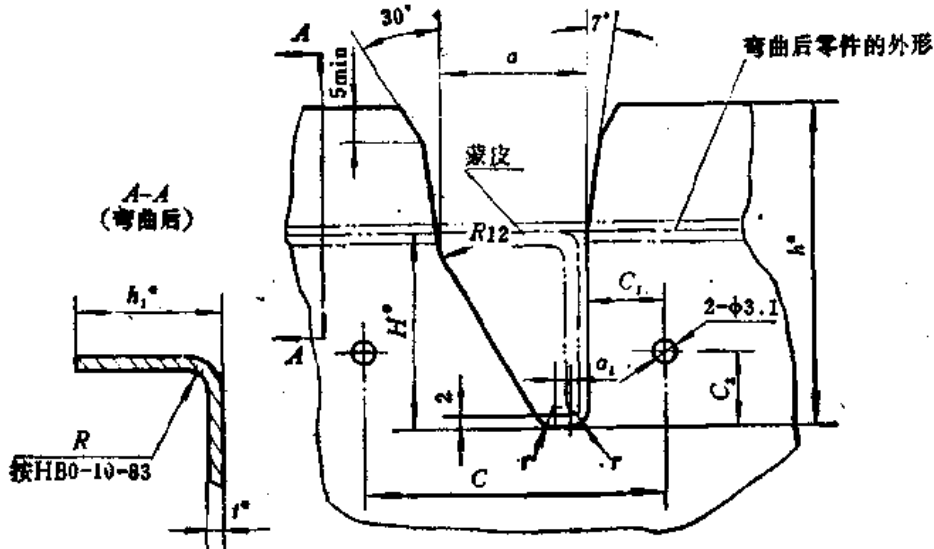
(mm)

序号	型 材 号										a	C	C ₁	C ₂	H	r	r ₁
	XC111	XC112	XC113	XC114	XC141	XC147	XC148	XC149	XC1410	XC1516							
1	1, 3	1			2	1					22	20	10	10	16	16	4
2			4	3							22	20	10	10	19	16	4
3					5	3					22	25	11	14	23	16	5
4					9						22	25	11	14	26	16	5
5	4, 5, 6, 7, 8, 10	3			4	2					24	25	11	12	19	18	5
6				4, 6, 7	6, 7	4					24	25	11	12	23	18	6
7			14	13, 14							24	25	11	12	23	18	5
8			40								25	25	10	22	41	19	10
9				15, 16, 17	10	7, 8					28	30	13	18	29	22	7
10			31, 32	27, 28, 36							28	30	13	18	35	22	7
11			41								28	30	13	18	41	22	7
12	11, 14, 15, 16, 17, 18, 19		12		8						30	30	14	14	24	24	5
13			23	29, 30, 31	14, 16, 17	11, 12			1		30	30	14	14	33	24	5
14				45							30	30	14	25	43	24	10
15				60, 61							30	30	14	25	53	24	10
16			17, 21	18, 19, 20, 22	12		XC148				32	30	14	18	30	24	8
17			36		19	13					32	30	14	18	38	24	8
18	25, 27, 28, 30, 32, 33				13						34	30	16	17	28	29	7
19			26	33, 35, 37	15, 18				2		34	30	16	17	35	29	7
20			42	43, 46, 47	20		XC149				34	30	16	28	43	28	12
21					22						34	30	16	28	53	28	12
22			71, 72								34	30	16	28	58	28	12
23			85								35	35	14	40	66	29	14
24				101							35	35	14	40	93	29	14
25				49							38	35	17	25	43	31	12
26			57								38	35	17	25	48	31	12

序号	型 号										a	C	C ₁	C ₂	H	r	r ₁
	XC111	XC112	XC113	XC114	XC141	XC147	XC148	XC149	XC1410	XC1516							
27				71							38	35	15	35	55	32	15
28					24						38	35	15	35	63	32	15
29				108							38	35	15	75	115	32	15
30	36, 37, 38, 39, 43, 44										40	35	20	18	35	34	6
31			43, 44, 45	51							40	35	20	18	43	34	6
32				59, 63, 64, 65, 67	21, 23						40	35	20	35	53	34	14
33			95		28						40	35	20	35	78	34	14
34				72							44	35	20	35	58	38	15
35			96								44	35	20	35	78	38	15
36					28						44	35	20	60	93	38	15
37				69							48	40	20	30	53	42	15
38			75								48	40	20	30	63	42	15
39	51, 52, 53, 55, 56										50	40	20	28	43	44	15
40			74								50	40	20	28	59	44	15
41				86, 87	25						50	40	20	40	68	44	20
42					27						50	40	20	40	78	44	20
43					29						50	40	20	65	103	44	20
44										2	54	40	20	25	38	48	12
45	58, 59									3	54	40	20	25	48	48	12
46				70							54	40	20	25	53	48	12
47			110								54	40	20	60	93	48	15
48	60, 61, 62, 63, 64									4	60	45	25	35	53	54	15
49			99, 100							5	60	45	25	35	78	54	15
50										1	64	50	25	13	28	58	7
51	66, 67										70	55	35	35	63	64	20

4.5.12.4 角形型材桁条的缺口(HB0-27-83)

如图的缺口尺寸见表。



标记示例：序号2的缺口，HB0-27-2。

角形型材桁条的缺口

(mm)

序号	型材号						a	a ₁	C	C ₁	C ₂	r
	XC111	XC112	XC113	XC114	XC141	XC147						
1	1,3	1		3	2,5,9	1,3	16	0	35	10	8	2
2	4,5,6,7,8,10	3	14	7,13,14	4,6,7	2,4	18	1	40	12	6	2.5
3	11,14,15,16,17,18,19		12	18,17,19,19,20,22,27,28,29,31,45,60,61	8,10,12,16,17,19	7,8	23	1.5	45	12	15	2.5
4	25,27,29,30,32,33		26,42,71,72,85	33,35,46,47,101	13,15,18,20,22		28	2	50	12	20	3
5	36,37,38,39,43,44		95	51,59,63,64,65,67	21,23,28		34	4	60	14	20	3
6	51,52,53,55,56			86,87	25,27,29		44	6	70	14	30	4

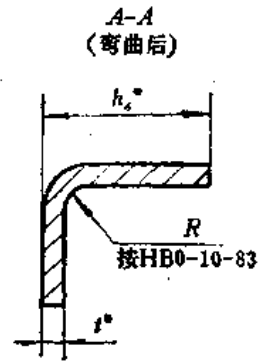
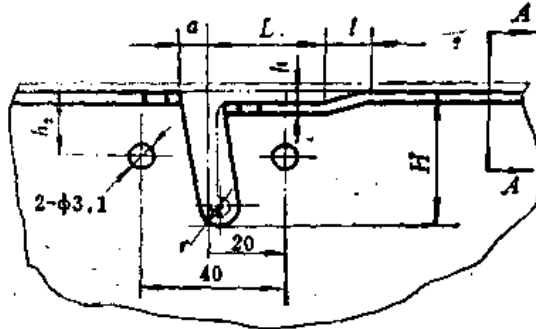
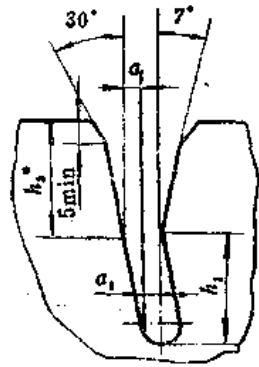
一般公差按HB5800-82。

缺口适用于材料厚度 $t \leq 2\text{mm}$ 。

图中尺寸 H^* 、 h^* 、 h_1^* 和 r^* 由设计员确定。 H 等于型材缘板的高度加2mm。

4.5.12.5 角形型材桁条的缺口(HB0-28-83)

如图所示的缺口尺寸见表。



标记示例：序号2的缺口 HB0-28-2

角形型材桁条的缺口表

(mm)

序号	型材号	H	h	h ₁	h ₂	a	a ₁	L	l	r
	XC141									
1	2	16	1	12.5	12	3	2.5	14	6	4.5
2	4	20	1	16.5	12	3	2.5	17	6	4.5
3	5	24	1	20.5	12	3	2.5	15	6	4.5
4	6	24	1.2	20	12	4	3.5	20	8	5
5	7	24	1.5	20	12	4	3.5	20	8	5
6	8	26	1.5	20	12	3	3	22	8	4.5
7	9	26	1.2	22	12	3	3.2	15	6	5
8	10	28	1.5	23.5	12	4	3.5	20	8	5.5
9	12	28	2	23	12	5	4	22	8	6
10	13	28	2.5	22	16	5	5	27	12	6
11	14, 16	32	1.5	27	16	5	5	22	8	6
12	15	32	1.6	26.4	16	5	4.8	27	8	6
13	17	32	2	27	16	5	4	22	8	6
14	18	35	2.5	29.5	16	5	4.5	27	12	6
15	19	38	2	33	16	5	4	22	8	6
16	20	44	2.5	38	16	5	5	27	12	6.5
17	21	50	2.5	44	20	7	5	32	12	8
18	22	54	3	47	20	8	6	27	12	8
19	23	54	4	45	20	7	8	32	16	8
20	24	64	3.5	56	20	9	7	30	12	9
21	25	68	5	57	20	9	10	42	16	9
22	26	78	4	69	20	11	8	32	16	10
23	27	78	6	65	20	10	12	42	16	10.5
24	28	93	4.5	83	25	12	9	37	16	11
25	29	103	5	92	25	14	10	42	16	12

图中尺寸 h^* , h_1^* 和 t^* 由设计员确定。

一般公差按HB5800-82。

缺口适用于材料厚度 $t \leq 2\text{mm}$ 。

4.5.12.6 丁字型材筋条的缺口(HB0-29-83)

图1所示为A型缺口, 图2为B型缺口, 其尺寸见表。

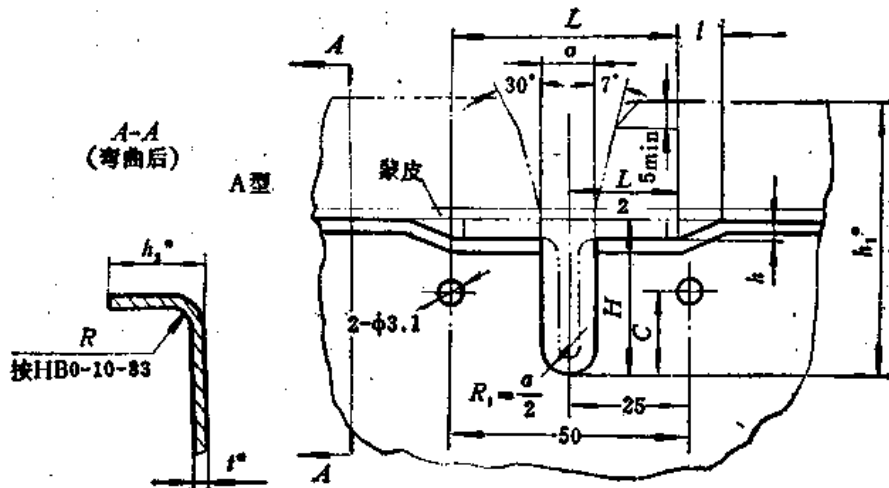


图1

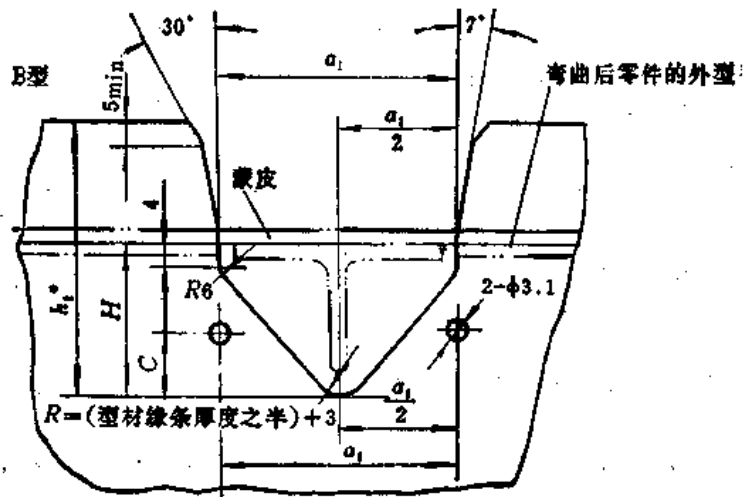


图2

标记示例: 序号2的缺口, A型HB0-29-A₂。

B型HB0-29-B₂。

丁字型材桁条缺口表

(mm)

序号	型材号						a	a ₁	L	l	H	h	C
	XC211	XC212	XC219	XC221	XC2112	XC2114							
1	1						32	30	8	18	1	8	
2	4	7					36	34	8	23	1.5	8	
3	13						36	34	8	28	1.5	15	
4	37						38	36	8	38	1.5	15	
5	14						42	40	8	28	1.5	15	
6		12					42	40	8	28	2	15	
7	6	8					44	42	8	23	2	8	
8	26						44	42	8	32	1.5	15	
9				4			46	44	8	28	1.5	15	
10	51						46	44	12	48	2.2	20	
11	21						54	52	8	28	1.5	15	
12	22						55	54	8	28	2	15	
13	23						56	54	8	28	2.5	15	
14		15					72	70	12	28	3	15	
15	38						42	40	16	38	4	15	
16		16					46	44	16	30	4.5	15	
17	29						46	44	8	33	1.5	15	
18		20					46	44	8	33	2	15	
19	39						46	44	12	38	2	15	
20		34					46	44	12	38	2.5	15	
21		76					48	46	16	78	5	40	
22		82					50	48	16	82	4	45	
23		22					52	50	16	33	6.5	15	
24	34						52	50	12	35	3	15	
25	46						52	50	12	43	3	20	
26	47						52	50	12	43	4	20	
27		47					56	54	16	43	6.5	20	
28		75					56	54	16	78	4	40	
29		83					56	54	16	105	4	50	
30		64					62	60	12	53	3	25	
31	28						64	62	12	32	3.5	15	
32		80					72	70	16	83	5	40	
33		52					82	80	16	44	4.5	20	
34		54					82	80	16	45	6.5	20	
35		66					82	80	16	52	4.5	25	
36						XC2114	42	40	16	38	5	15	
37		10					44	42	12	27	3.5	15	
38						XC2112	50	54	12	33	2.5	15	
39			XC219				66	64	16	83	6	40	
40		74					74	72	16	73	8	35	
41		18					78	74	12	30	2.5	15	
42				19			112	110	16	62	6	30	

一般公差按HB5800-82。

缺口适用于材料厚度 $t \leq 2\text{mm}$ 。

图中尺寸 h_1^* 、 h_2^* 和 t^* 由设计员确定。

4.5.12.7 槽形型材桁条的缺口(HB0-30-83)

如图所示的缺口尺寸见表。

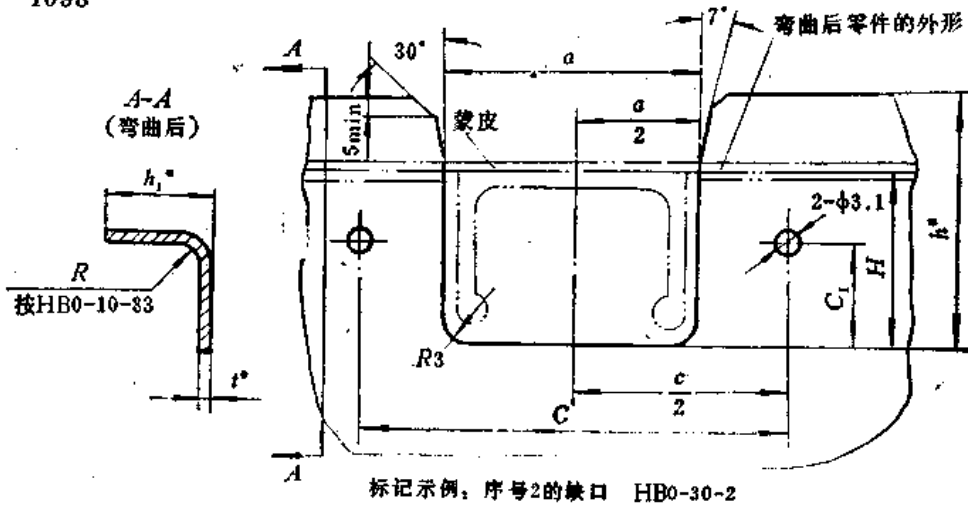
图中尺寸 h^* 、 h_1^* 和 t^* 由设计员确定。

一般公差按HB5800-82。缺口适用于材料厚度 $t \leq 2\text{mm}$ 。

槽形型材折条的缺口表

(mm)

序号	型 材 号									a	C	C ₁	H
	XC311	XC312	XC313	XC314	XC317	XC341	XC342	XC343	XC346				
1		4								25	50	5	15
2	6									30	60	10	18
3	9					2, 4, 5				30	60	15	24
4	11									30	60	15	28
5	12				XC317					38	65	10	20
6	13, 14					6				38	65	15	24
7	16, 17			1						38	65	15	28
8	18									40	70	15	24
9	21, 22, 23									46	80	15	22
10	25, 26					9				46	80	15	28
11	28					7, 8		1, 2, 3		46	80	15	35
12	32									52	85	15	28
13	31									52	85	20	42
14	33									56	90	15	24
15	35					10, 11, 12, 13			XC346	58	90	15	35
16							2			56	90	15	38
17								4		56	90	20	42
18							3			56	90	20	46
19	36									62	90	15	28
20	37									62	90	15	32
21			4							62	90	15	35
22	38									66	100	15	28
23						14				66	100	15	38
24				2						66	100	20	42
25	43									76	110	15	28
26	46									76	110	15	32
27	47									76	110	20	42
28	48									80	120	20	48
29	50									86	120	15	38
30	52									86	120	20	42



4.5.12.8 槽形型材桁条的缺口(HB0-31-83)

如图1为A型，图2为B型的缺口，其尺寸见表。

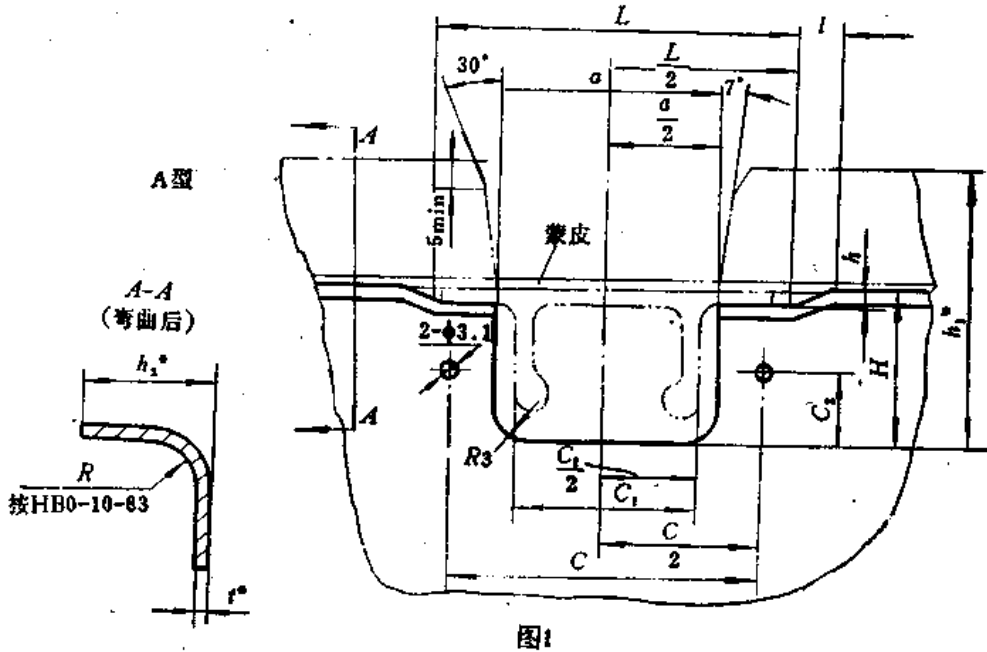


图1

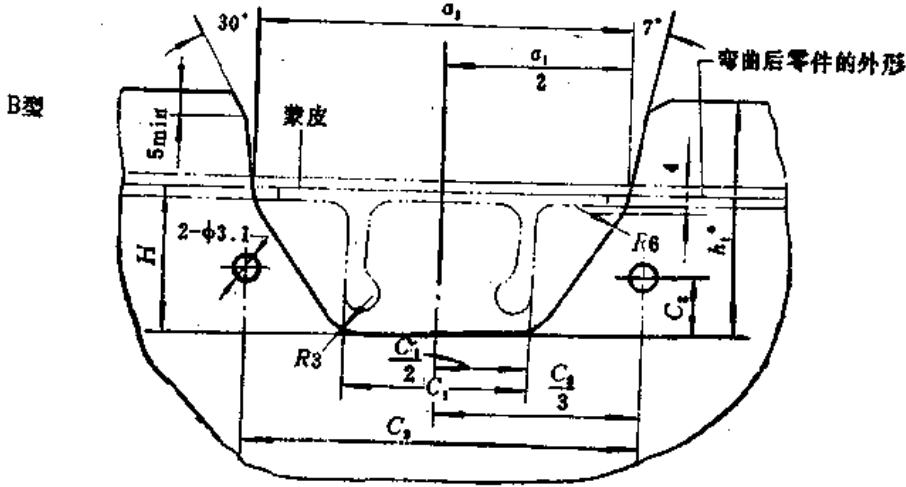


图2

标记示例：序号2的序号，A型HB0-31-A₂，B型HB0-31-B₂。

槽形型材桁条的缺口

(mm)

序号	型 材 号							a	a ₁	L	l	H	h	C	C ₁	C ₂	C ₃
	XC231	XC233	XC235	XC236	XC247	XC249	XC2410										
1	8						20	50	48	8	45	1.5	35	13	20	60	
2	16						26	64	62	16	65	5	50	20	30	75	
3	14						28	80	77	16	55	6	60	22	35	90	
4	22						28	82	80	12	90	3	60	22	35	90	
5	13						30	80	77	16	52	6	60	24	30	90	
6	18						30	80	77	16	73	6	60	24	30	90	
7	3						30	86	84	16	35	4	60	24	30	75	
8	19						30	84	82	16	73	8	60	24	30	95	
9	1						38	56	54	12	26	2.5	50	29	10	65	
10	2						38	54	51	12	30	2.5	60	31	15	65	
11	7						38	72	70	12	43	3	60	31	15	80	
12	4						40	76	74	12	38	3	60	34	15	85	
13	9						42	86	84	16	47	5	70	35	30	95	
14	21						42	98	96	16	75	9	70	35	30	110	
15	12						42	100	98	16	50	6	70	36	30	110	
16					1		46	76	73	8	23	1.5	65	39	10	85	
17					2		46	86	83	8	32	1.6	65	39	10	95	
18					3		46	86	83	8	32	2	65	39	10	95	
19		3					46	96	93	16	105	5	70	39	60	105	
20	20						52	106	104	16	73	6	80	46	35	115	
21	10						54	96	94	16	47	6.5	70	47	20	100	
22		2					56	120	118	16	93	4	80	49	50	130	
23	5						56	106	104	16	38	5	80	50	15	115	
24		1					66	98	96	12	44	2.3	90	60	15	105	
25						XC2410	66	116	114	16	43	4.5	90	60	15	125	
26	15						66	116	114	16	57	10	90	60	15	125	
27					1, 2, 3			86			32			39	10	95	
28		XC235						86			32			45	15	95	
29					4			116			37			39	15	125	
30			1, 2, 3					116			43			50	20	125	
31					5			116			43			60	20	125	
32					6			122			38			50	20	130	
33			4		7			122			43			50	20	130	

图中 尺寸 h_1^* ; h_2^* 和 t^* 由设计员确定。

一般公差按HB5800-82。

缺口适用于材料厚度 $t \leq 2\text{mm}$ 。

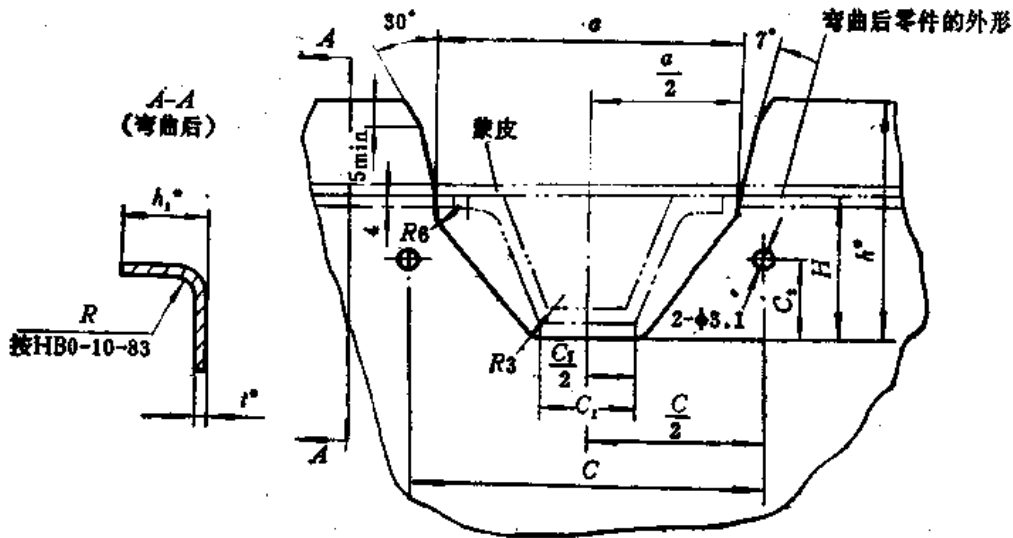
4.5.12.9 槽形型材桁条的缺口 (HB0-32-83)

如图所示缺口尺寸见表。

槽形型材桁条的缺口表

(mm)

序 号	型 材 号			a	H	C	C ₁	C ₂
	XC321	XC322	XC3218					
1	1			72	20	90	20	8
2	2,3	3		74	28	90	25	10
3	4,5			80	36	90	20	15
4		7		84	38	100	20	15
5	6,7			88	44	100	20	20
6	8			90	35	105	20	15
7	9			90	38	100	20	15
8		9		90	50	105	20	25
9	10			92	40	105	28	20
10	11			98	20	105	20	8
11	12			100	44	120	25	20
12	13			100	48	120	25	20
13	14			104	40	120	30	20
14	15			106	54	120	22	20
15	16			110	48	120	26	20
16	17			112	44	125	34	20
17	18			112	52	130	26	25
18	20			116	50	130	26	25
19	21,22			116	60	130	26	25
20			XC3218	116	60	130	54	25
21	23			128	68	140	25	30
22	24			126	74	140	25	30
23	25			130	60	150	26	30



标记示例。序号2的缺口，HB0-32-2。

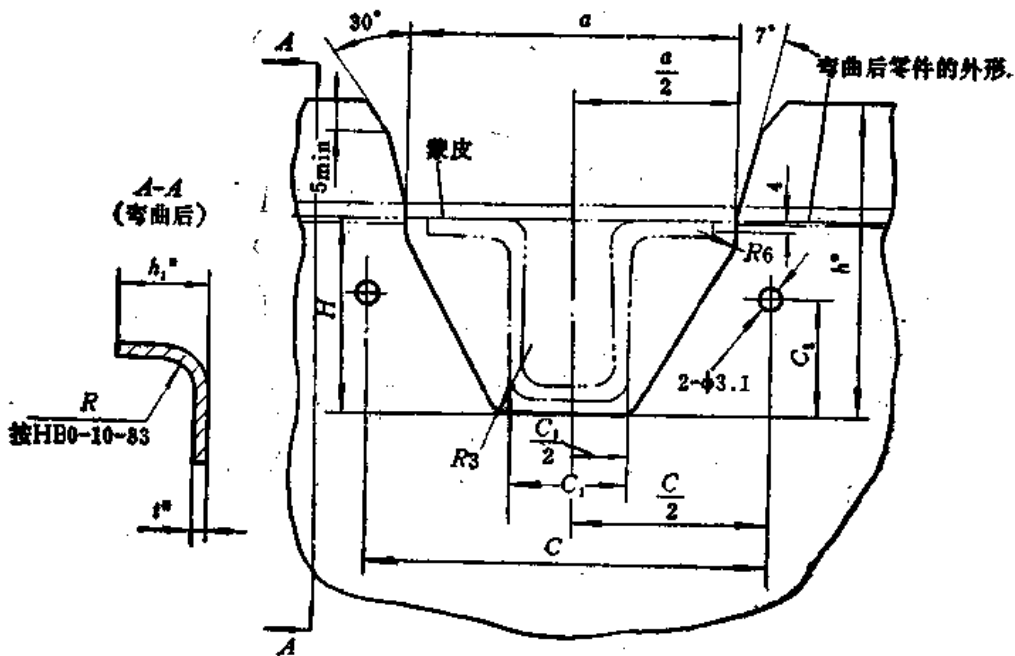
图中 尺寸 h^* 、 h_1^* 和 t^* 由设计员确定。

一般公差按HB5800-82。

缺口适用于材料厚度 $t \leq 2\text{mm}$ 。

4.5.12.10 槽形型材桁条的缺口(HB0-33-83)

如图所示的缺口尺寸见表。



标记示例。序号2的缺口，HB0-33-2。

槽形型材桁条的缺口表

(mm)

序号	型 材 号		a	H	C	C ₁	C ₂
	XC324	XC326					
1	2		52	15	70	28	8
2	3, 4, 5		60	38	80	23	15
3	7		65	32	85	30	15
4	8		75	17	100	34	10
5	9, 10		75	20	100	34	10
6		XC326	75	42	100	30	20
7	12		75	48	100	30	20
8	17, 18		100	32	125	50	15
9	14, 15, 16		100	44	125	50	20
10	19		124	44	150	50	20
11	20		176	48	200	100	20

一般公差按HB5800-82。缺口适用于材料厚度 $t \leq 2\text{mm}$ 。

图中 尺寸 h^* 、 h_1^* 和 t^* 由设计员确定。

4.5.12.11 Z字型材桁条的缺口(HB0-34-83)

如图1为A型，图2为B型的缺口，其尺寸见表。

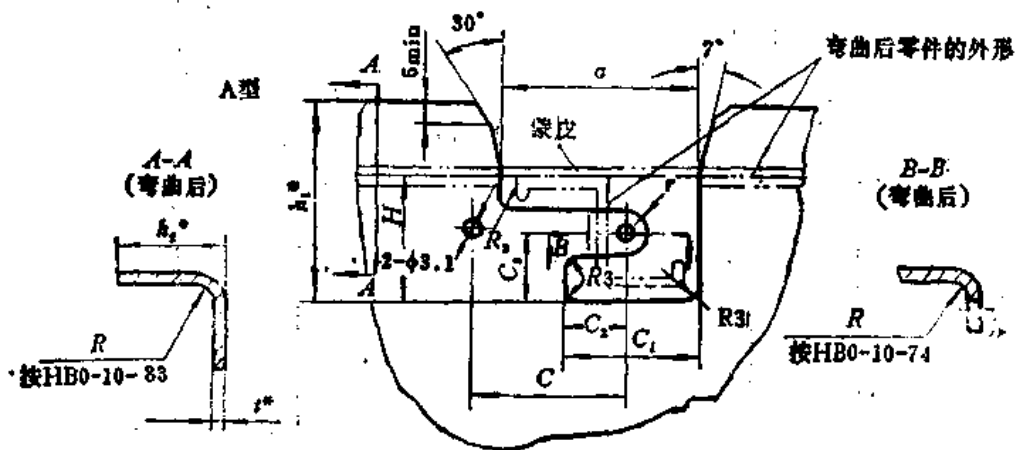


图1

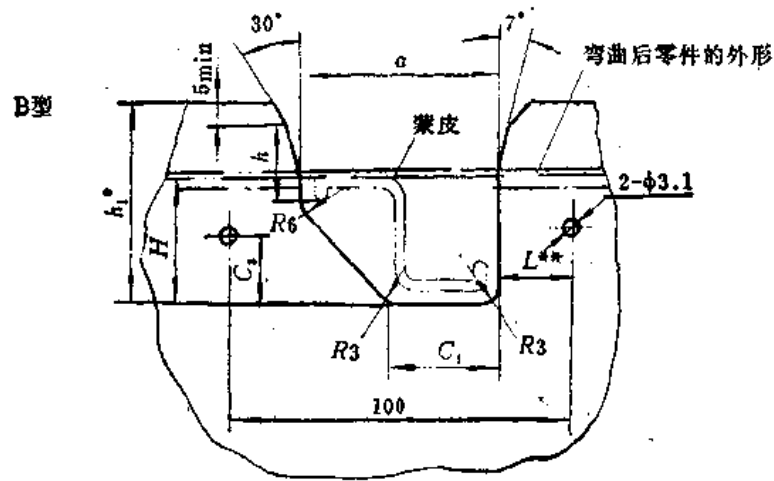


图2

标记示例：序号2的缺口，A型HB0-34-A2，
B型HB0-34-B2。

Z字型材桁条的缺口表

(mm)

序号	型 材 号					a	C	C ₁	C ₂	C ₃	H	h	r
	XC411	XC421	XC431	XC434	XC441								
1					1,2	32	35	22	11	10	19	3	4
2	7		3			32	35	26	12	20	35	3	7
3	2,3				3	36	40	24	13	10	23	5	4
4	1					36	40	25	14	8	16	3	3
5				XC434		36	35	32	11	30	53	4	15
6		2,3				40	40	27	13	15	28	3	6
7	13					42	40	28	13	30	53	3	12
8		4			4,6	44	50	30	18	12	28	6	6
9		12				45	45	29	13	33	53	3	10
10		15				45	45	29	13	33	63	3	10
11		8				46	45	29	13	24	43	3	10
12	5					50	50	32	19	14	28	3	6
13			1			50	50	33	17	11	21	3	4
14	12					52	50	34	17	25	47	3	10
15	6					52	55	34	19	18	34	3	7
16	11	11	4			52	50	36	18	23	43	3	10
17	8					52	50	34	20	19	37	3	7
18		6			7	54	60	34	20	15	33	6	7
19		16				54	55	34	18	36	68	3	12
20		17				54	55	34	18	36	73	3	12
21		7,9,10				54	55	34	17	23	42	3	11
22			2			60	50	49	20	16	31	3	7
23	16				8	66	65	40	20	19	39	7	8
24		13,14				72	70	44	25	27	53	5	12

一般公差按HB5800-82。

缺口适用于材料厚度 $t \leq 2\text{mm}$ 。

图中 尺寸 h_1^* ; h_2^* 和 t^* 由设计员确定。

L^{**} 从表中序号 1 至序号 11 的缺口, 其尺寸 $L^{**} = 30\text{mm}$, 从序号 12 至序号 24 的缺口, 其尺寸 $L^{**} = 20\text{mm}$ 。

4.5.13 板金零件弯角处止裂孔

对于各种材料和各种厚度的板金零件弯曲展开图中弯角处止裂孔的位置可按图 1。

如根据上述方法绘制止裂孔导致零件的弯边过短而不能保证铆钉, 螺钉或螺栓的边距时, 可按图 2 之形式设计。

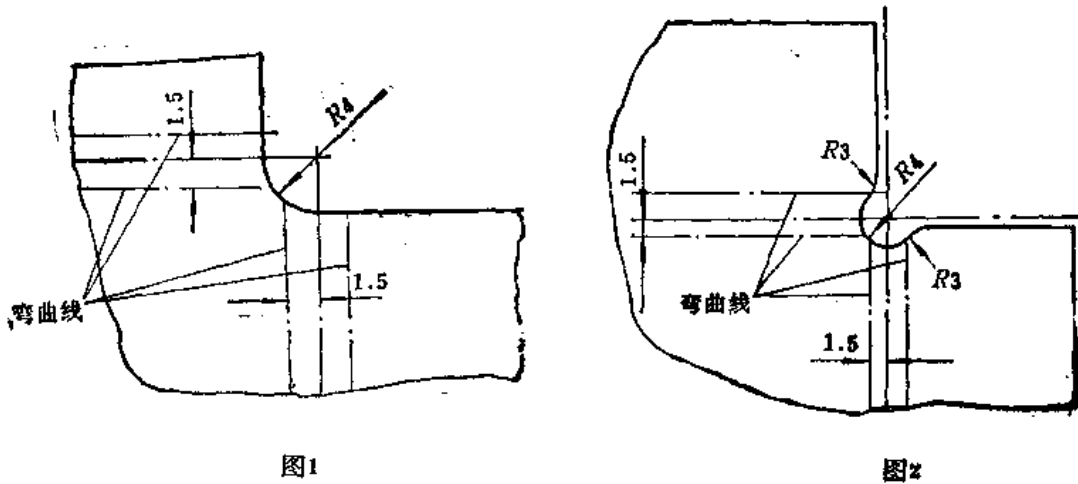
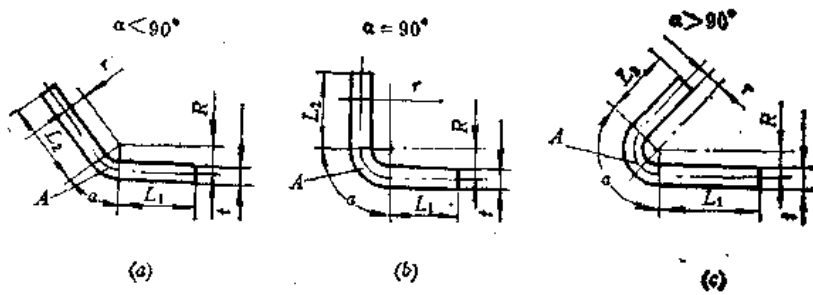


图1

图2

4.5.14 展开长度计算表(HB0-45-83)

如图所示展开件的展开长度按表。



展开长度 $L = L_1 + L_2 + A$

$$A = \pi (r + Kt) \frac{\alpha}{180^\circ}$$

式中 $K = \frac{R-r}{t}$

(mm)

展开长度计算表

t	0.3	0.5	0.8	1	1.2	1.5	1.8	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8	9	10
r	K																		
1	0.404	0.375	0.357	0.350	0.300	0.357	0.352	0.350	0.300	0.350	0.320	0.350	0.320	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350
2	0.446	0.415	0.387	0.367	0.367	0.375	0.367	0.362	0.355	0.350	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352
3	0.470	0.440	0.410	0.400	0.387	0.392	0.380	0.375	0.365	0.360	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352
4		0.460	0.430	0.415	0.404	0.392	0.380	0.387	0.375	0.367	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352
5		0.470	0.442	0.430	0.418	0.404	0.397	0.387	0.375	0.367	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352
6		0.480	0.455	0.440	0.430	0.415	0.404	0.400	0.385	0.375	0.362	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352	0.352
7			0.463	0.450	0.438	0.425	0.412	0.407	0.395	0.382	0.373	0.370	0.362	0.360	0.355	0.355	0.355	0.355	0.355
8			0.470	0.460	0.447	0.433	0.422	0.415	0.403	0.392	0.382	0.375	0.372	0.365	0.357	0.355	0.355	0.355	0.355
9			0.476	0.465	0.455	0.440	0.430	0.422	0.409	0.400	0.387	0.382	0.375	0.370	0.362	0.357	0.352	0.352	0.352
10				0.470	0.462	0.447	0.436	0.430	0.415	0.404	0.397	0.387	0.380	0.375	0.367	0.360	0.357	0.352	0.352
11				0.475	0.466	0.453	0.441	0.435	0.421	0.410	0.401	0.395	0.387	0.380	0.370	0.365	0.360	0.355	0.352
12				0.480	0.470	0.460	0.447	0.440	0.427	0.415	0.406	0.400	0.392	0.385	0.375	0.367	0.362	0.357	0.355
13				0.474	0.463	0.452	0.442	0.445	0.432	0.419	0.410	0.404	0.397	0.390	0.380	0.372	0.365	0.360	0.357
14				0.478	0.466	0.458	0.452	0.455	0.443	0.425	0.415	0.407	0.401	0.395	0.382	0.375	0.370	0.365	0.360
15					0.470	0.464	0.461	0.460	0.448	0.430	0.419	0.412	0.404	0.400	0.387	0.377	0.372	0.367	0.362
16	0.5				0.473	0.464	0.461	0.460	0.448	0.433	0.424	0.415	0.406	0.403	0.392	0.382	0.375	0.370	0.365
17		0.5			0.476	0.467	0.462	0.465	0.452	0.437	0.427	0.419	0.411	0.406	0.395	0.385	0.377	0.372	0.367
18			0.5		0.480	0.470	0.465	0.465	0.452	0.440	0.431	0.422	0.415	0.409	0.400	0.390	0.382	0.375	0.371
19				0.5		0.473	0.467	0.467	0.456	0.443	0.434	0.427	0.418	0.412	0.403	0.392	0.385	0.377	0.372
20					0.475	0.468	0.462	0.465	0.452	0.440	0.431	0.422	0.415	0.409	0.400	0.390	0.382	0.375	0.371
21				0.5		0.478	0.472	0.472	0.462	0.450	0.440	0.433	0.425	0.418	0.407	0.400	0.390	0.382	0.375
22					0.475	0.464	0.462	0.465	0.454	0.443	0.435	0.428	0.425	0.418	0.407	0.400	0.390	0.382	0.375
23					0.477	0.466	0.462	0.465	0.454	0.443	0.435	0.428	0.425	0.418	0.407	0.400	0.390	0.382	0.375
24				0.5		0.477	0.467	0.467	0.456	0.443	0.434	0.427	0.418	0.412	0.403	0.392	0.385	0.377	0.372
25					0.480	0.468	0.462	0.465	0.452	0.440	0.431	0.422	0.415	0.409	0.400	0.390	0.382	0.375	0.371
26					0.5		0.478	0.472	0.462	0.450	0.440	0.433	0.425	0.418	0.407	0.400	0.390	0.382	0.375
27					0.474	0.463	0.462	0.465	0.454	0.443	0.435	0.428	0.425	0.418	0.407	0.400	0.390	0.382	0.375
28					0.476	0.466	0.462	0.465	0.454	0.443	0.435	0.428	0.425	0.418	0.407	0.400	0.390	0.382	0.375
29					0.478	0.468	0.462	0.465	0.454	0.443	0.435	0.428	0.425	0.418	0.407	0.400	0.390	0.382	0.375
30					0.480	0.470	0.462	0.465	0.452	0.440	0.431	0.422	0.415	0.409	0.400	0.390	0.382	0.375	0.371

对于不同 r 及 t 值的 K 值,列于表内。例如: $t=5\text{mm}$, $r=10\text{mm}$, $\alpha=135^\circ$, 自表查得 $K=0.375$, 因此 $A=3.14(10+0.375\times 5)\frac{135^\circ}{180^\circ}=28.2\text{mm}$ 。

参 考 资 料

〔1〕中华人民共和国第三机械工业部筑标0类标准, 1983年。

4.6 模线样板

4.6.1 定义与范围

在飞机、导弹、汽车等产品制造过程中，为了确保其工艺协调，先按产品图纸以1:1的比例，用手工或数控绘图机在平板（明胶板、金属板或木质层板等）上画出精确地表达产品部件、组件及零件形状的特殊图样即模线。然后按模线用手工或数控加工取制零件和各种工艺装备的样板，再按样板制造产品零、部件。

根据产品的精度要求和经济性考虑，样板材料可采用钢板、铝板或木质层板等。

飞机、导弹和汽车等产品的钣金零件加工中有关的模线绘制、样板制造及其使用包括模线样板的品种、标记及公差均在本章范围内。

4.6.2 样板品种及其标记

4.6.2.1 样板的分类、名称、用途和特征

4.6.2.1.1 样板的分类、名称和基本用途

样板的分类、名称和基本用途见下表。

样板的分类、名称和基本用途表

样板分类	样板品种		基 本 用 途	
	样板名称	简称		
基本样板	外形检验样板	外检	1. 绘制结构模线； 2. 制造样板； 3. 保证飞机外形的几何协调	
	反外形检验样板	反外检	保证外检几何协调	
生产样板	外形样板	外形	制造成套零件样板、制造模具及检验零件	
	内形样板	内形	制造零件的成形模具。一般用外形样板代替内形样板	
	展开样板	展开	零件的下料及制造落料、冲切模	
	切面样板	切面外形样板	切外	制造和检验各种模具或零件
		反切面外形样板	反切外	
		切面内形样板	切内	
		反切面内形样板	反切内	
	钻孔样板	钻孔	钻(或冲)零件上的孔	
	夹具样板	夹具	制造安装标准样件或装配、检验夹具	
	表面标准样件样板	样件	制造表面标准样件	
机加样板	机加	加工和检验机加零件上与理论外形或结构协调的有关部分		
专用样板	专用	按工艺需要确定		
标准样板	与生产样板相同，选用范围由工厂按需要确定		制造和检修生产样板	

4.6.2.1.2 晒相图板

简称相板，为聚脂模线采用接触晒相法晒出的图板。作为样板的制造依据，或代替生产样板使用。

4.6.2.1.3 各种样板的喷漆颜色

同一产品的不同品种的样板和不同产品的同一品种的样板为便利生产过程中使用可以喷不同颜色的漆。通常钢制样板按下表规定喷漆。

钢制样板喷漆颜色表

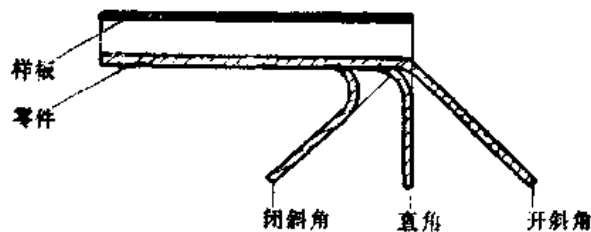
样 板 品 种	喷 漆 颜 色
外检、反外检及相板	正面浅蓝、浅灰或浅黄色，背面红色
夹具、样件样板	绿 色
其余生产样板	黑 色
标准样板	黄 色

4.6.2.1.4 各种生产样板的基本特征

4.6.2.1.4.1 外形样板

4.6.2.1.4.1.1 基本特征

表达零件结构平面（一般称为腹板面）的形状。对于无弯边部分，样板外缘取零件的外廓形状。对于零件有弯边部分，样板外缘取零件的外形交叉线所形成的轮廓形状（如图）。



4.6.2.1.4.1.2 几种典型零件外形样板的确定

“Z”形零件：外形交叉线不在同一平面，外形样板按图1确定。

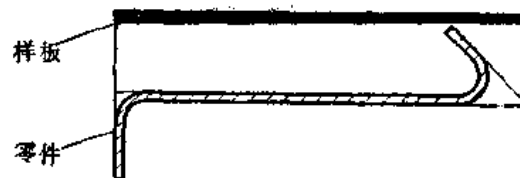


图1

腹板面有下陷的零件：外形样板取在零件的基准面上，零件下陷部分的样板外缘取到基准面与弯边外形的交叉线见图2。

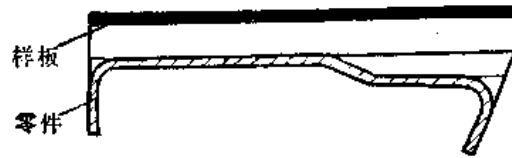


图2

标准挤压型材的零件：外形样板的宽度等于型材的标准宽度，不受斜角变化的影响见图3。

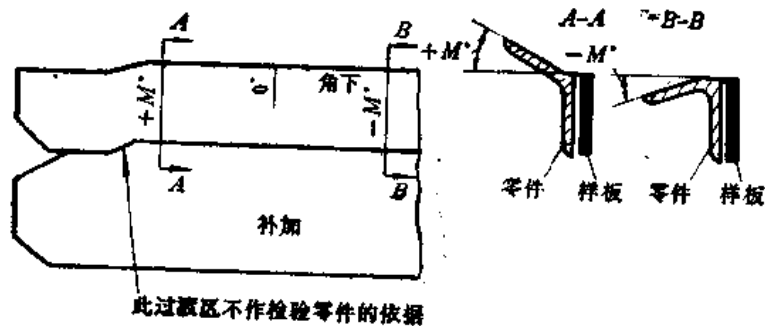


图3

包边零件：外形样板表示零件最外层包边的形状，并且画出包边结构示意图，如图4。

卷边零件：外形样板取到卷边外圆的切线，按图5确定。

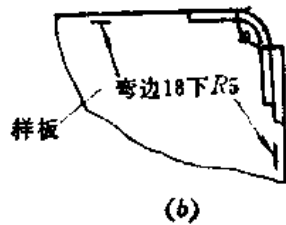
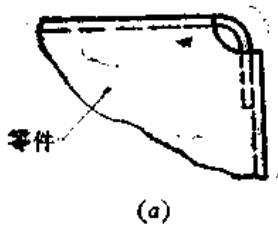


图4

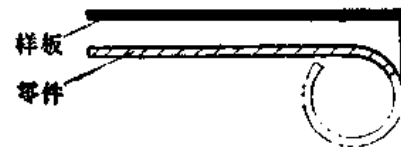


图5

4.6.2.1.4.2 内形样板

表达有弯边零件结构平面的形状。对于零件无弯边部分，样板外缘取零件的外廓形状。对于零件有弯边部分，样板外缘取零件的内形交叉线所形成的轮廓形状。

4.6.2.1.4.3 展开样板

表达有弯边的平面零件或单曲面零件展平后的形状。一般是按计算方法得出的。某些零件在制造中，由于工艺影响难以考虑周全，其展开样板有时需要工艺校正。

简单弯折零件当仅有展开样板时，需在展开样板上画出零件外形交叉线，并且在其内侧打出弯边标记(如图)，以便代替外形样板使用。



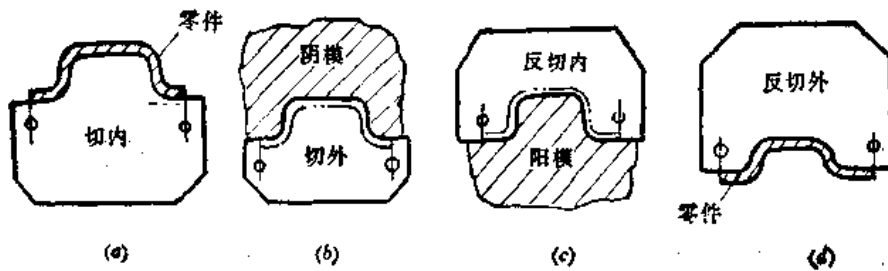
4.6.2.1.4.4 切面样板

4.6.2.1.4.4.1 基本特征

样板的工作边，表达该零件（或组合件）所取位置的切面形状。

4.6.2.1.4.4.2 切面样板四个品种的关系

切内样板加零件材料真实厚度等于切外样板；反切内样板减去零件材料真实厚度等于反切外样板见图。



所取的样板不分内外时，则可称为“切面样板”或“反切面样板”。

4.6.2.1.4.5 钻孔样板

一般用于平面零件的钻孔和冲孔。对弯曲型材零件，可用薄钢片制造。

4.6.2.1.4.6 夹具、样件样板

按工艺装备设计单位所提供的样板图或技术条件制造。

4.6.2.1.4.7 机械加工样板（后称机加样板）

按机械加工部门提出的样板申请单、技术条件（或样板图）制造。

4.6.2.1.4.8 专用样板

凡不能归属上述品种，而在生产中有专门用途的样板，统称专用样板。一般按有关单位提出的样板图或技术条件制造。

4.6.2.2 样板上的工艺孔

4.6.2.2.1 工艺孔的名称、标记和用途

工艺孔的名称、标记和用途见下表。

工艺孔名称标记和用途表

工艺孔名称	标记 ^①		用途
	I	II	
基准孔	JZ	基准	1. 作为外检样板在理论模线图板上的定位基准 2. 作为夹具、样件样板在模线图板或外检上的定位基准 3. 在制造外形对称的样板时, 用于翻转定位
安装孔	AZ	安装	1. 作为夹具、样件样板在工艺装备上的定位基准 2. 作为工艺装备设计和制造的转换基准 3. 作为样板组合使用的安装基准
定位孔	DW	定位	1. 制造装配夹具时, 用于确定装配定位销的位置 2. 装配组合件或部件时, 作为零件或组合件在装配夹具上的定位基准 3. 制造零件时, 作为零件在机床夹具上的定位基准
销钉孔	XD	销钉	1. 制造成形模时, 用于确定样板与模具的相对位置 2. 制造零件时, 用于确定零件展开毛料与模具的相对位置
工具孔	GJ ^②	工具	1. 制造模具时, 用于确定样板与模具的相对位置 2. 制造零件时, 用于确定零件在冲切模上的相对位置
装配孔	ZP	装配	装配组合件时, 用于确定零件相互装配位置
导孔	③		装配组合件、部件时, 作为零件之间导制各种连接孔(销钉孔、螺栓孔、托板螺母孔等)的依据
工序孔	GX	工序	制造成套样板时, 用于协调定位

①工艺孔的标记, 建议选用I组。

②钻在零件材料被冲掉部分的工具孔不打标记。

③导孔不打标记。

4.6.2.2.2 工艺孔的孔径和应用范围

孔径和应用范围按下表确定(画☆是指此孔允许钻在该品种的样板上)。

工艺孔孔径和应用范围表

工艺孔名称	公称孔径 mm	扩孔孔径 ②mm	外检样板	反外检样板	外形样板	内形样板	展开样板	切面样板	钻孔样板	夹具样板	样件样板	机加样板	专用样板	相板
基准孔	8		☆							☆	★	③	④	⑤
安装孔	8		☆					☆		☆	☆			
定位孔	5.2	8	☆		☆		☆			★				
销钉孔	5.2 2.7	8 6			☆	☆	☆		☆					
工具孔	2.7	6	☆		☆	☆	☆							
装配孔	2.7 ^①	6	☆		☆		☆		☆					
导孔	2.7 ^①	6			☆		☆		☆					
工序孔	2.7		☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	★	★			

①当零件上取装配孔、导孔的孔径小于2.7mm时, 样板上允许钻2.1的孔, 该孔扩孔孔径为5mm。

②按使用单位的技术要求确定是否扩孔。

③按需要选用工艺孔。



4.6.2.3 样板标记

样板标记主要用来配合样板工作边表达零件、组合件的几何形状，并用来表示样板的使用范围和关系。

4.6.2.3.1 样板的基本标记

表示样板基本特性的标记，称为样板的基本标记（见下表）。样板的基本标记打在样板的正面。

样板基本标记表

序号	名称	标记示例	说明	应用范围	例图编号
1	机型代号	歼6	样板用于歼6型机	按需要选用	
2	产品图号	J6-2013-0- $\frac{1}{2}$	本样板用于该图号的产品	各种样板	图7
3	样板简称	外形	本样板是外形样板	各种样板	图1
4	样板图号	$\frac{\times \times 395}{J6-51}$	本样板按该图号的样板图纸制造	夹具、样件、机加、专用样板	
5	切面编号	切面3 沿3肋 沿3框	表示本样板取制和使用的位置	切面、夹具、样件、机加、专用样板	图20
6	成套样板数量编号	$\frac{2-2/4}{3/4}$	分母“4”表示成套样板的总数量，分子的第一个数字“2”，表示本样板在成套样板中的次序，分子的第二个数字“2”表示本样板由两块组成（无第二个数字时，则表示该样板只是1块）	外形、内形、切面、样件、机加、专用等同图号的成套样板	图20
7	左右件	右示，左反（-1示，-2反）	零件、组合件和工艺装备为左右对称件，样板正面所示为右件（或-1零件），其左件（或-2零件）与之相反	各种样板	图1 图36
		左件（右件）	同图号的零件，组合件或工艺装备的左右件不对称，本样板为左件（右件），另有右件（左件）样板		图36
8	工号、日期、检印	工35 74.5.14 	本样板由“工35”号工人于1974年5月14日制造；并经“  ”号检验员检验合格	各种样板	
9	制造厂代号	××厂	本样板系由××厂制造	发往外厂的样板	

4.6.2.3.2 样板的专用标记

表示零件、组合件的几何形状和样板使用关系的标记，称为样板的专用标记。


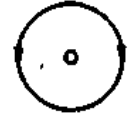

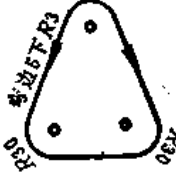
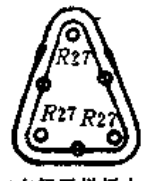
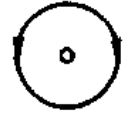

4.6.2.3.2.1 零件、组合件几何形状的标记



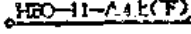
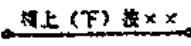
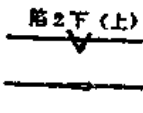


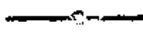

零件、组合件几何形状的标记见下表。

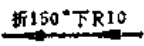
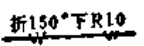
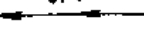
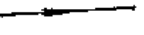

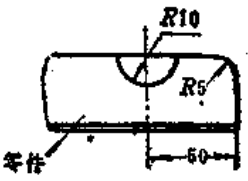
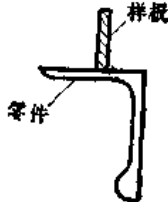
零件、组合件几何形状的标记表

序号	名称	标记示例	说 明	应用范围	例图编号
1	单弯边	弯边16上+5°R3 弯边斜16上 -10°R3	表示零件的弯边高度、弯边方向、弯边角度和弯曲内半径 “弯边16”——弯边高16mm (沿垂直于零件腹板平面方向度量) “上”——弯边在样板的正面一方 “+5°”——弯边角度为开斜角5° “R3”——弯边的弯曲内半径为3mm “斜”——弯边高度沿弯边斜面上外形交叉线的法线方向度量	外形、内形样板	图1 (图附于表后, 余同)
2	焊边	焊边18下(上)	表示该处是零件的焊接边, 焊缝形式按产品图纸规定 “焊边18”——焊边高18mm “下(上)”——焊边在样板的背面(正面)一方	外形、内形样板	图4
3	多次弯边	弯边18上+5°+ 5上-5°R3 [⊕]	表示零件的弯边形状, 多次弯边标记分别以各次单弯边标记表示, 其间以“+”号连接 “弯边18上+5°”——表示零件第一次弯边形状 “5上-5°”——表示零件第二次弯边形状 “R3”——为两次弯边的弯曲内半径	外形、内形样板	图2 图3
4	有变化的弯边	弯边15→30下R3	零件的弯边高度由15到30按箭头方向直线变化, 弯边方向向下, 弯边的弯曲内半径为3mm	外形、内形样板	图5
		弯边下(上)	零件弯边方向向下(上), 弯边形状需按其他样板或产品图纸确定		图5
		最大弯边30下R3	零件弯边方向向下, 弯边的弯曲内半径为3mm, 弯边的最大高度为30mm, 具体形状需根据产品图纸、其他样板或成形模确定		图6
		$\frac{\text{边界}}{\text{边界}R5^{\oplus}}}{R8}$	零件此处弯边高度突变或弯边次数有变化		图9
		R3→R10	零件弯边的弯曲内半径由R3沿箭头方向均匀变化到R10		图8
		$\frac{R10}{R1} \left \begin{array}{c} \text{转变} \\ \text{区} \end{array} \right. \frac{R15}{R2}$ (用于较短的转变区)	零件弯边高度变化的起止点和过渡区		图7
		$\left \begin{array}{c} \text{渐} \\ \text{转} \end{array} \right.$ (用于较长的转变区)			
		切边 R8 ^②	零件的弯边端头倒角R8		图12

序号	名称	标记示例	说 明	应用范围	例图编号
4	有变化的弯边		零件的弯边端头按箭头方向斜切20° 零件的弯边端头按箭头方向斜切，宽15mm，高10mm	外形、内形样板	图11
			零件弯边端头按箭头方向制出10°的斜下陷和切边		图18
			零件弯边上的下陷按箭头方向斜15°		图12
			"+1°"表示零件此处的弯边角度为开斜角1°。"0°"表示此处为直角弯边。"-1°"，"-1°30'"表示零件此处的弯边角度为闭斜角1°或1°30'		图1
			零件此处的弯边上有加强槽，加强槽的形状需按产品图纸或切面样板确定		图18
5	卷边	卷边前(后)12下(上)R10	表示零件该处有卷边。"前(后)12"表示卷边端头在卷边中心前(后)，距腹板面12mm。"下(上)R10"表示卷边方向向下(上)，弯曲半径10mm	外形、内形样板	图10
6	标准挤压型材的弯边	角下(上)	表示标准挤压型材零件此处有弯边，方向向下(上)。(适用于"U"、"Z"形型材的样板)	外形样板	图12
		角下+10°	表示标准挤压型材零件的弯边不是90°，"+10°"表示开斜角10°		图13
		角18上(下)	表示标准挤压型材零件加工后的弯边高度为18mm，方向向上(下)		图14
		凸缘下(上)	表示标准挤压型材零件的凸缘，方向向下(上)		图16
		T, T上(下), T上+5°, T下-5°	表示"T"形(或H、工形)标准挤压型材零件的样板上打此标记 "T"表示此处有缘条 "T上(下)"表示此处腹板向上(下) "T上+5°"表示型材断面缘条与腹板为开斜角5°(在打标记的一侧度量) "T下-5°"表示型材断面缘条与腹板为闭斜角5°		图15
7	圆通孔		零件上制φ25mm的通孔。样板上在通孔中心钻工具孔，画直径25mm的切割圆，并打孔径标记 当通孔直径小于10mm时，样板上只钻工具孔，并打孔径标记，如"φ9"	外形、内形、展开样板	

序号	名称	标记示例	说明	应用范围	例图编号
8	非圆形通孔	 <p>R10 R20</p>	<p>零件上制以二个圆弧(R40、R20)连接的通孔。样板上在R中心钻工具孔，画切割线，并打圆弧半径标记</p>	<p>外形、内形、展开样板</p>	
9	圆形弯边通孔	<p>$\phi 150$弯边6下 $+30^\circ R_3$</p>  <p>在外形、内形样板上</p>  <p>在展开样板上</p>	<p>零件上制$\phi 150$mm的弯边通孔。弯边形状按标记确定</p> <p>在外形、内形样板上，通孔中心钻工具孔，画直径150mm的圆形外形交叉线，并打通孔直径及弯边标记</p> <p>在展开样板上，除画直径150mm的外形交叉线和钻工具孔外，并画弯边展开的切割圆和打切割圆直径标记</p>	<p>外形、内形、展开样板</p>	图17
10	非圆形弯边通孔	<p>R30</p>  <p>在外形、内形样板上</p>  <p>在展开样板上</p>	<p>零件上制以三段圆弧(R30)连接起来的弯边通孔。弯边形状按标记确定</p> <p>在外形、内形样板上，通孔的R中心钻工具孔，画外形交叉线，并打圆弧半径及弯边标记</p> <p>在展开样板上，除画外形交叉线和钻工具孔外，并画出弯边展开边缘及打切割圆半径的标记</p>	<p>外形、内形、展开样板</p>	
11	标准直角减轻孔	<p>HB0-16-83上(下)</p>  <p>在外形、内形样板上</p>  <p>在展开样板上</p>	<p>零件上制HB0-16-83的标准直角减轻孔弯边向上(下)</p> <p>在外形、内形样板上，孔中心钻工具孔，画外形交叉线并打标记</p> <p>在展开样板上，除画外形交叉线及钻工具孔外，并画弯边展开的切割圆及打切割圆直径的标记</p>	<p>外形、内形、展开样板</p>	

序号	名称	标记示例	说明	应用范围	例图编号
12	标准减轻孔和加强窝	<p>HB0-14-83上(下)</p>  <p>HB0-13-83上(下)</p> 	<p>零件上制HB0-14-83标准减轻孔, 按缘向上(下)</p> <p>零件上制HB0-13-83标准加强窝, 按缘向上(下)</p> <p>样板上按HB0-14及HB0-13标准画两个同心圆, 钻工具孔ϕ, 并打标记</p>	外形、内形、展开样板	图18 图19
13	加强槽	<p>HB0-11-A4上(下)</p>  <p>槽上(下)长$\times\times$</p> 	<p>零件上制HB0-11-A4标准加强槽, 方向向上(下)</p> <p>零件上按$\times\times$制加强槽</p> <p>样板上画槽的中心线, 并打标记, 中心线两端钻$\phi 2.7$的孔, 表示槽的最大长度</p>	外形、内形、展开样板	图18
14	鼓包	凸(凹)	零件上此处有鼓包, 方向向上为“凸”, 向下为“凹”, 形状按产品图纸或切面样板确定	外形、内形、机加、专用样板	图20
15	斜角值	上+5°	零件或工艺装备以样板正面为准向上量, 斜角为开斜角5°	切面、夹具、机加、专用样板	图21
		上-5°	零件或工艺装备以样板正面为准向上量, 斜角为闭斜角5°		
16	下陷	<p>R2下(上)</p> 	<p>零件此处有标准下陷, 样板上的标记线表示零件弯折外形棱线, 零件之间的配合面在“∇”标记的一方</p> <p>“陷2下(上)”表示标记所在面比相邻面低(高)2mm, 此标记只打在非基准面上</p>	外形、内形样板	图22
		<p>R2FR2</p> 	零件此处有非标准下陷, “R2”为工具半径, 其它说明同上		图23
17	零件构造线	<p>A点线</p> 	表示零件表面上A点线的投影	外形、内形、样板、机加、专用样板	图24
			表示: 1. 零件切割线 2. 零件切割边缘线(一般近似法线方向画出) 3. 样板补加分界线	各种样板	图35 图25 图22
			零件在此处按箭头方向切割	切面、夹具、机加、专用样板	图26

序号	名称	标记示例	说明	应用范围	例图编号
17	零件构造线		零件在此处弯折150°, 方向向下, 弯曲内半径R10, 标记线为外形交叉线	外形、内形样板	图27
			表示零件弯曲中心线。其他说明同上。本标记用于仅有展开样板的情况	展开样板	图28
			零件在此处弯折, 方向向下, 弯折角度及弯曲内半径, 需按切面样板确定	外形、内形样板	
			零件外形交叉线和棱线	外形、内形、展开、机加、专用样板	图29 图30
			表示零件的边缘位置 箭头表示零件弯边的准确方向	切面、样板、机加、专用样板	图21
18	结构示意图		表示零件弯边上的切口形状和位置	各种样板	
			表示样板与零件的相对关系		

注: 零件无弯边部分, 样板上不打标记。

①零件第二次弯边的正面是第一次弯边正面的延续, 多次弯边依次类推。

②在有零件图、展开样板、专用样板或设计部门统一规定时, 在外形、内形样板上、零件弯边上的圆角“R”, 可以不表示。

③对于HB0-13标准, 当图纸规定不允许在零件上钻孔时, 则在展开样板上不钻工具孔。

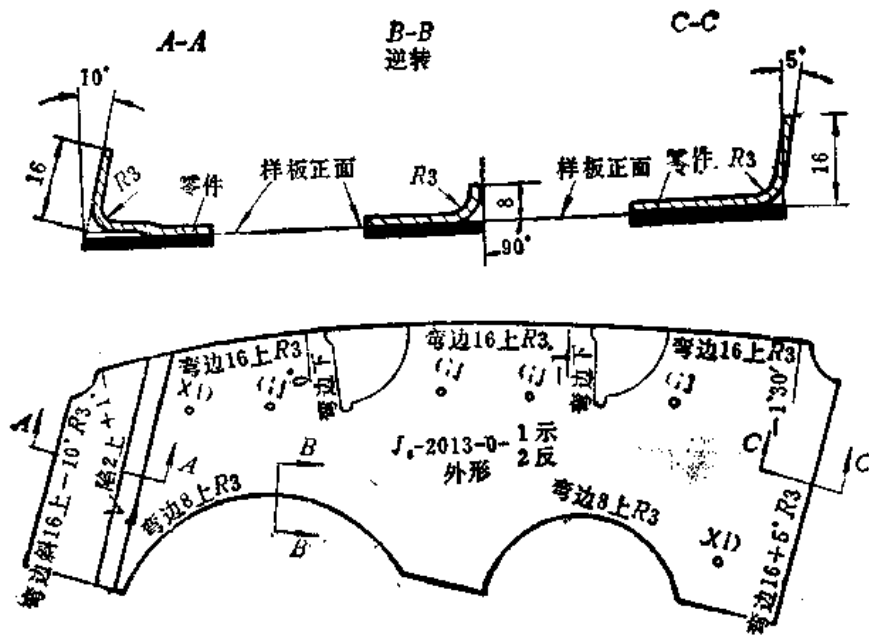


图1

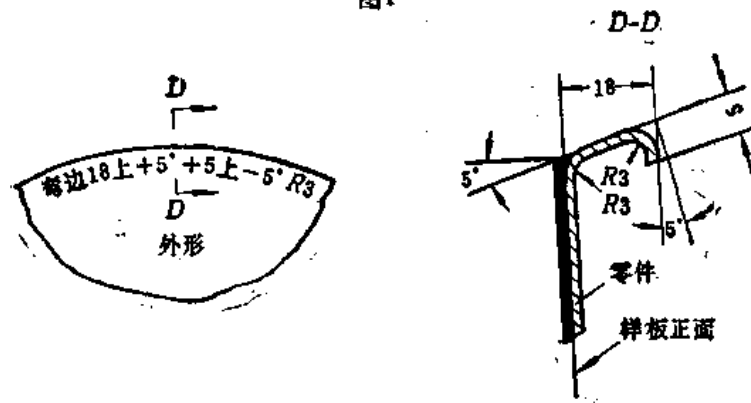
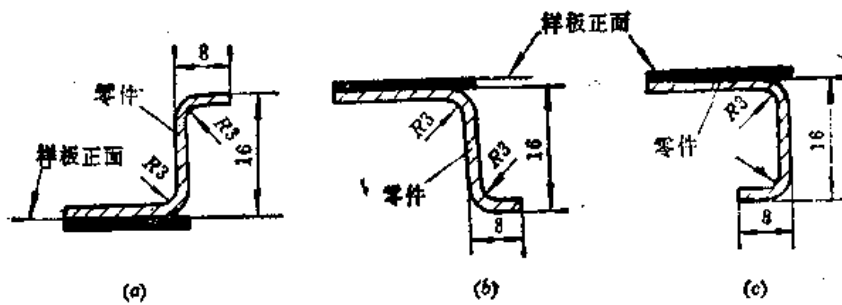


图2



标记: 弯边18上+8下R3

标记: 弯边16下+8上R3

标记: 弯边18下+8下R3

图3

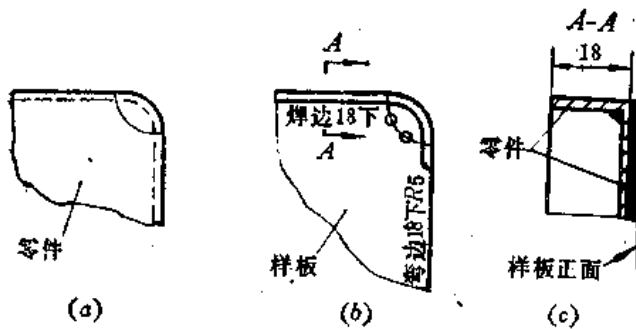


图4

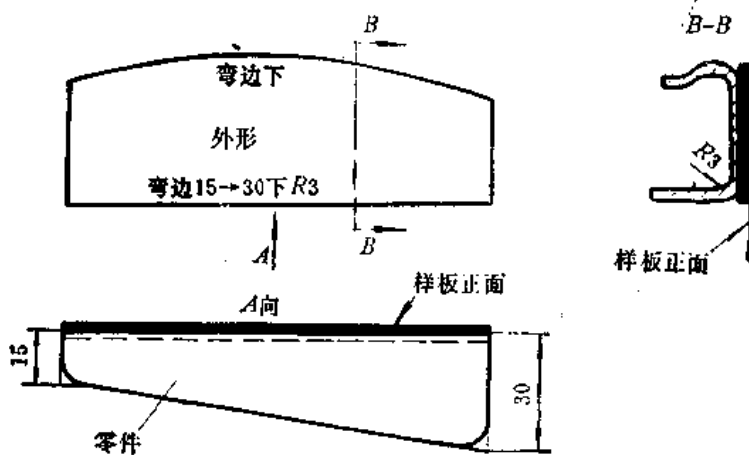


图5

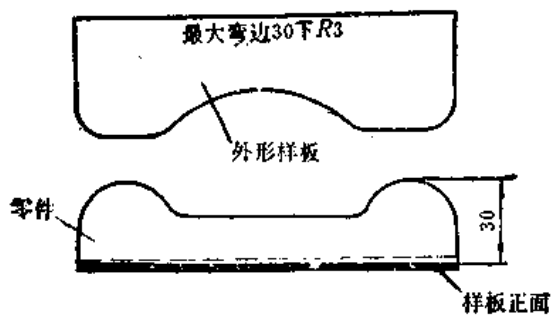


图6

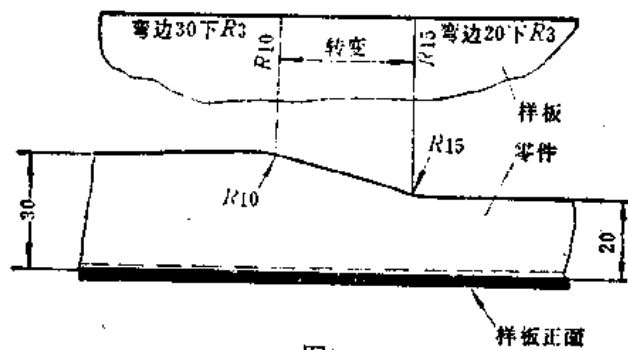


图7

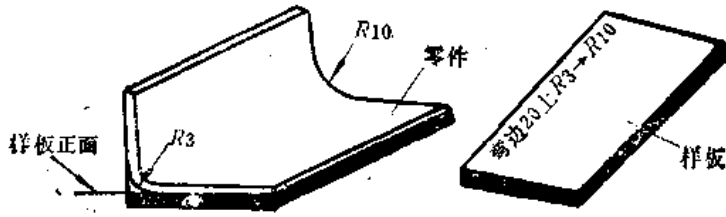


图8

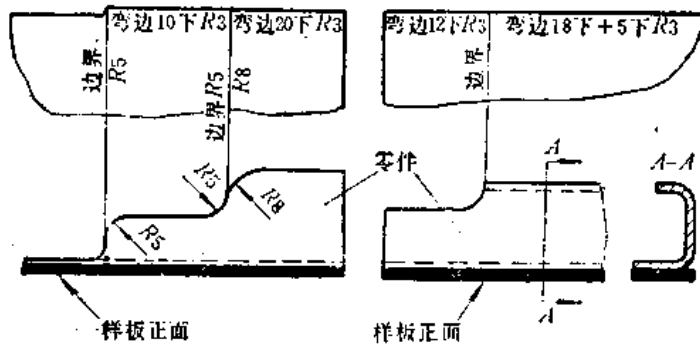


图9

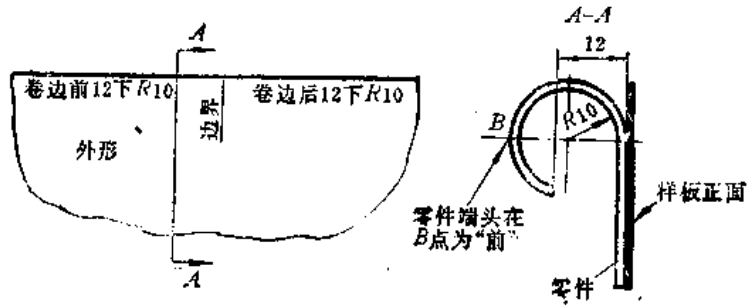
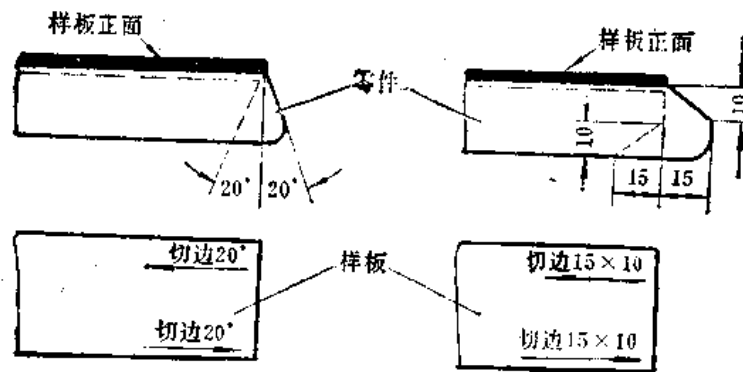


图10



(a)

(b)

图11

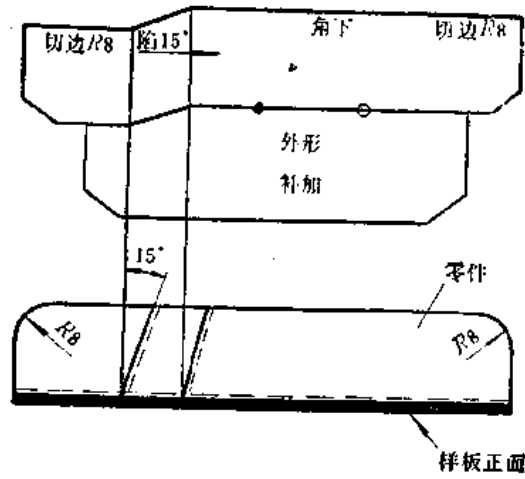


图12

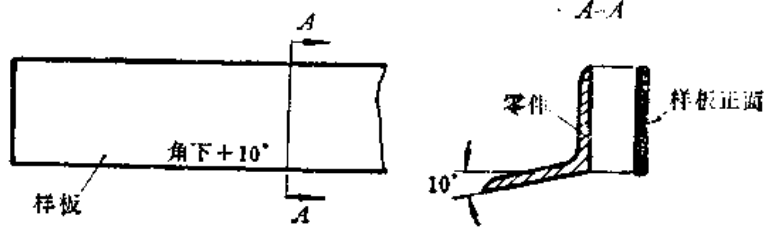


图13

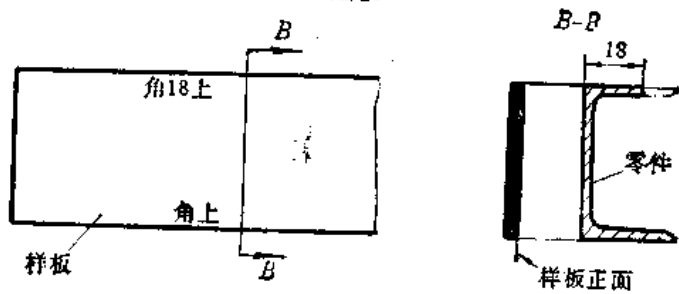
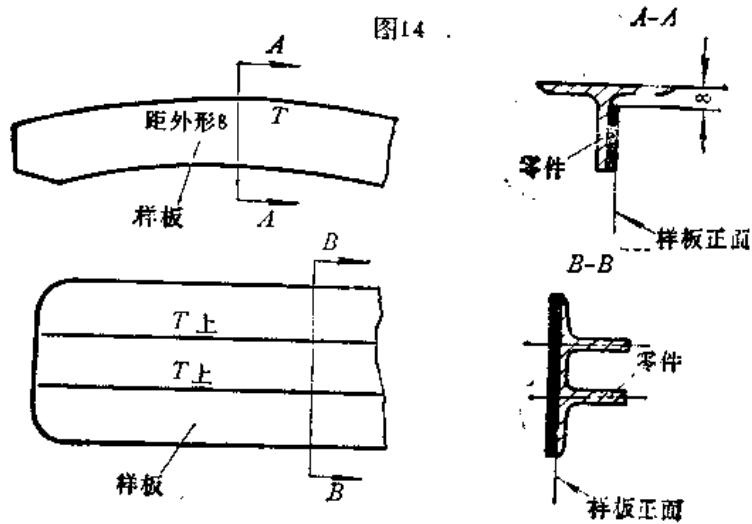


图14



图(a)

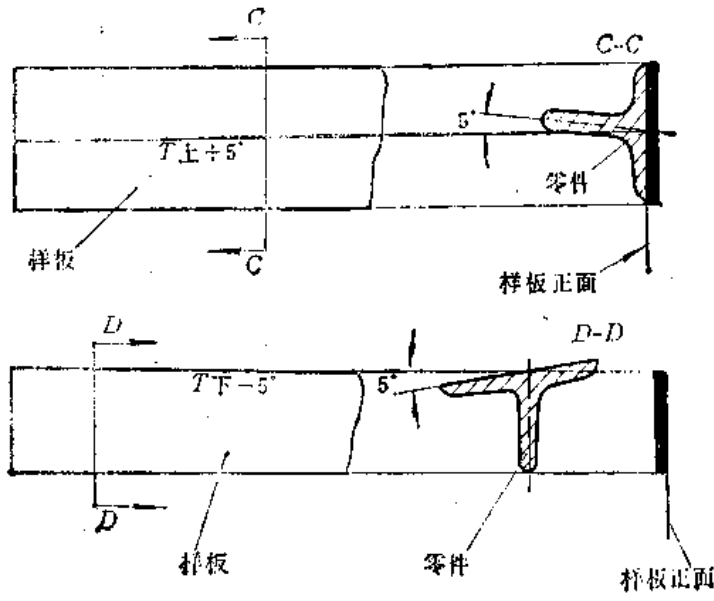


图15 (b)

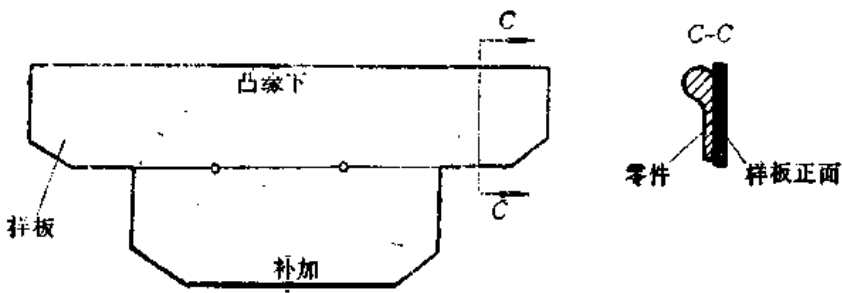


图16

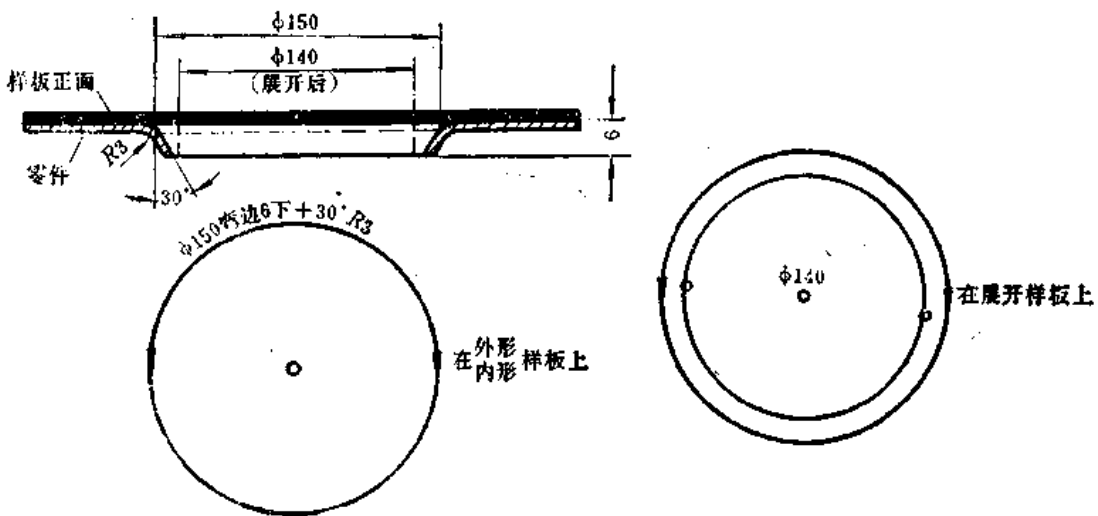


图17

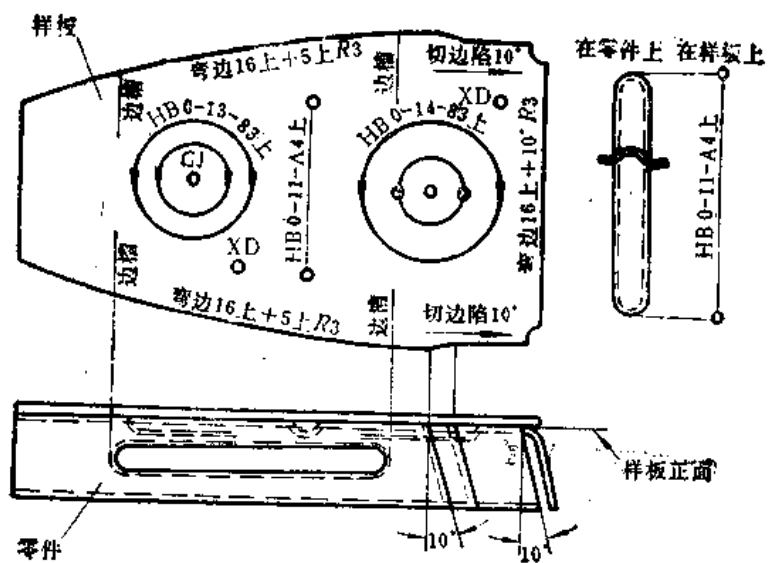


图18

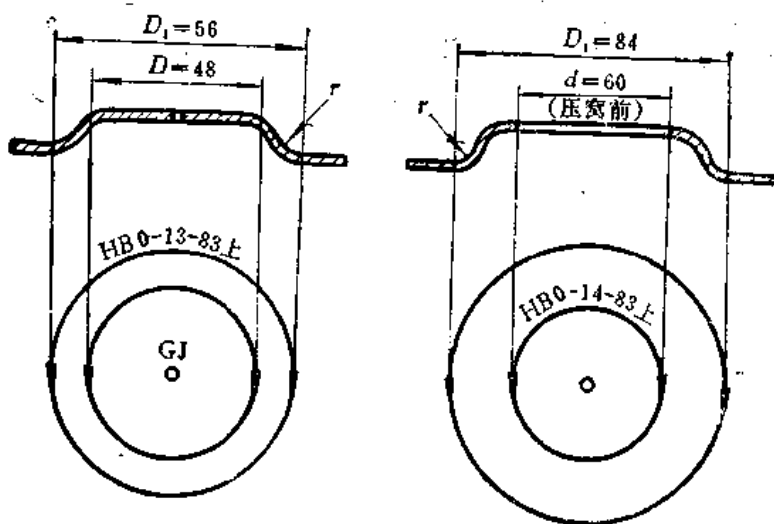


图19

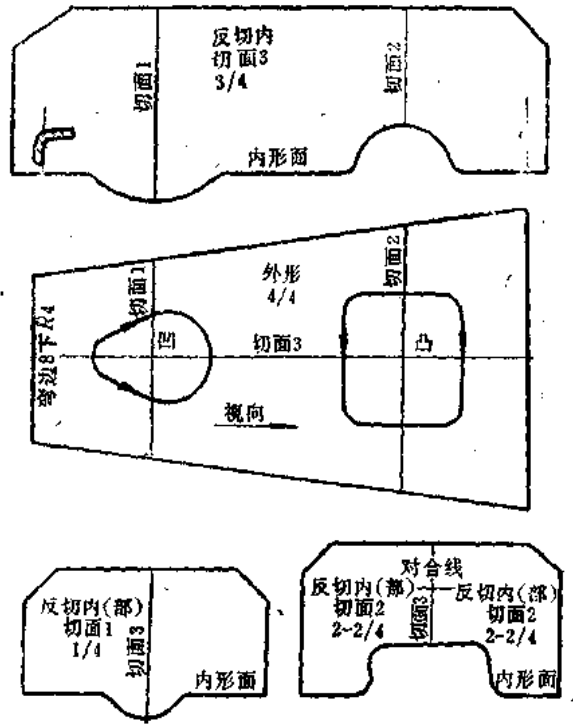


图20

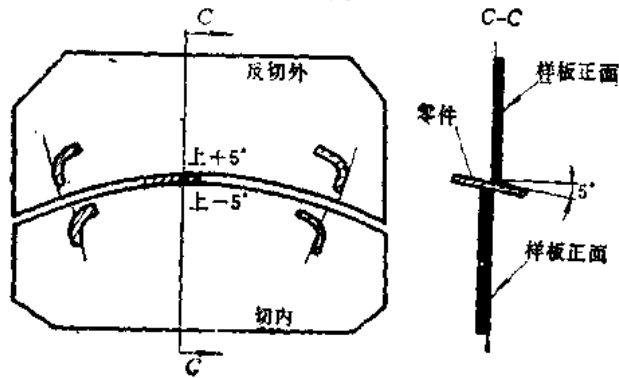


图21

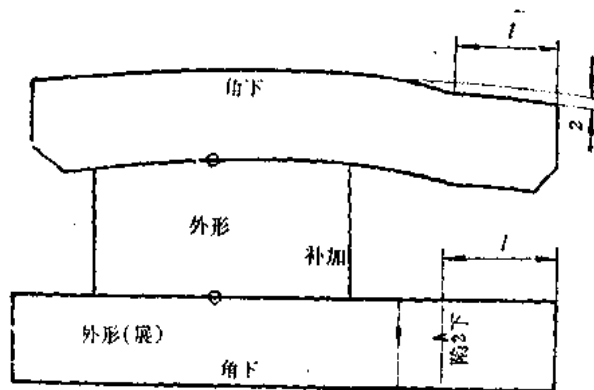


图22

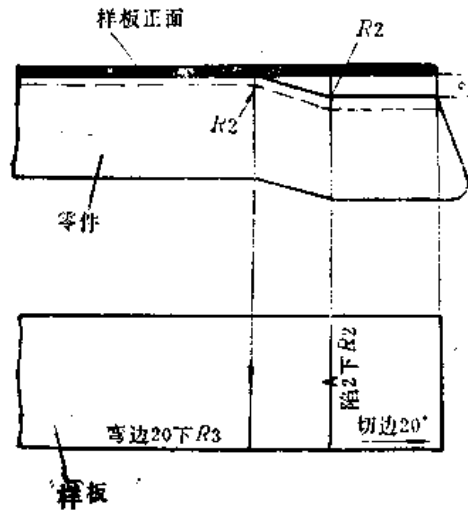


图23

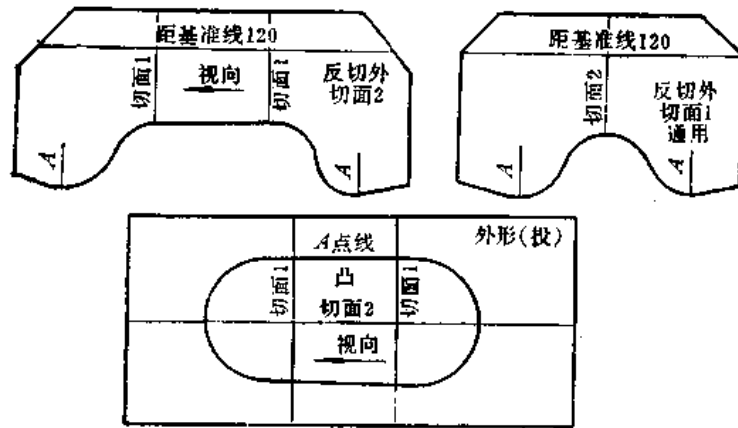


图24

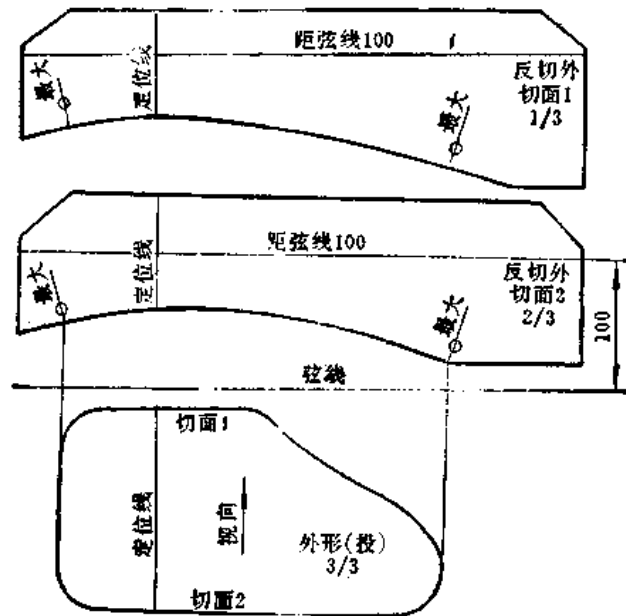


图25

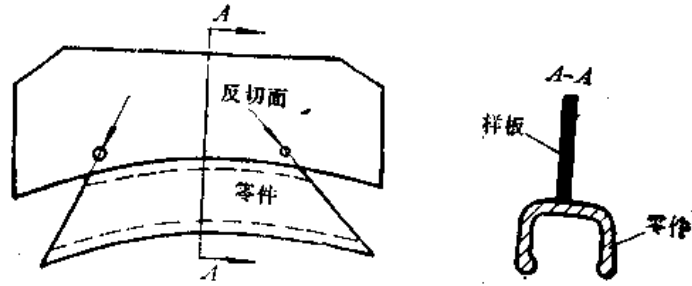


图26

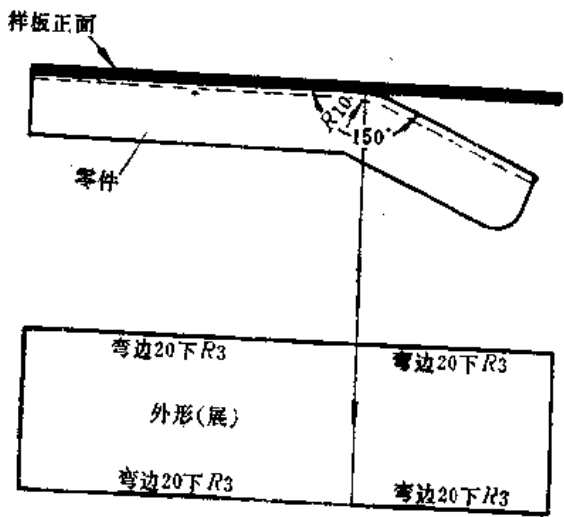


图27

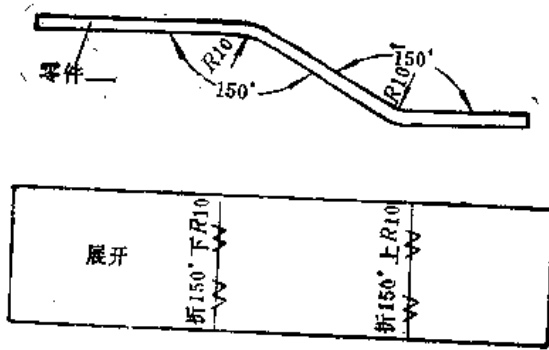


图28

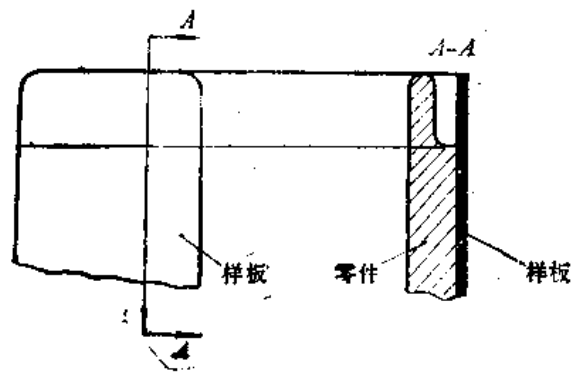


图29

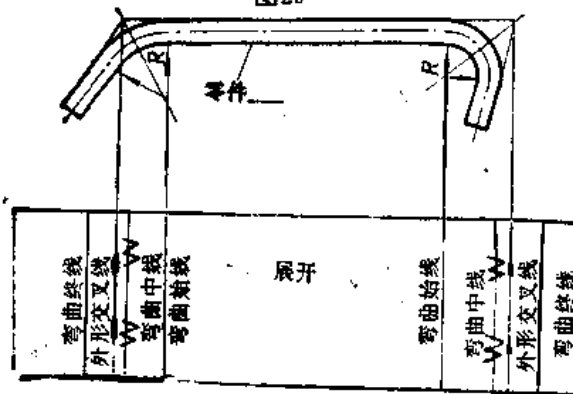


图30

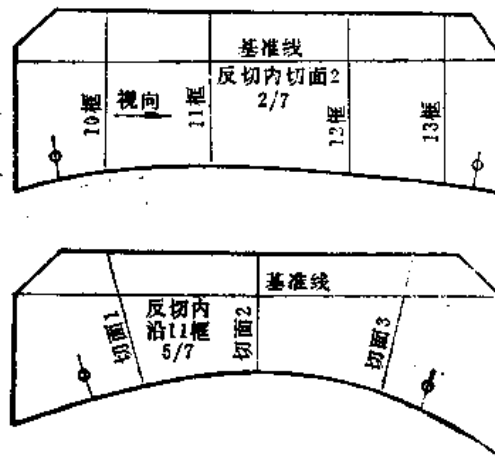
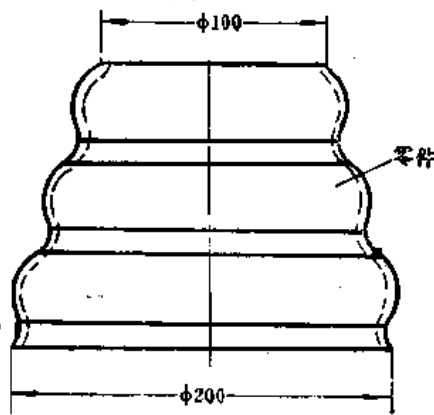


图31



(a)
图32

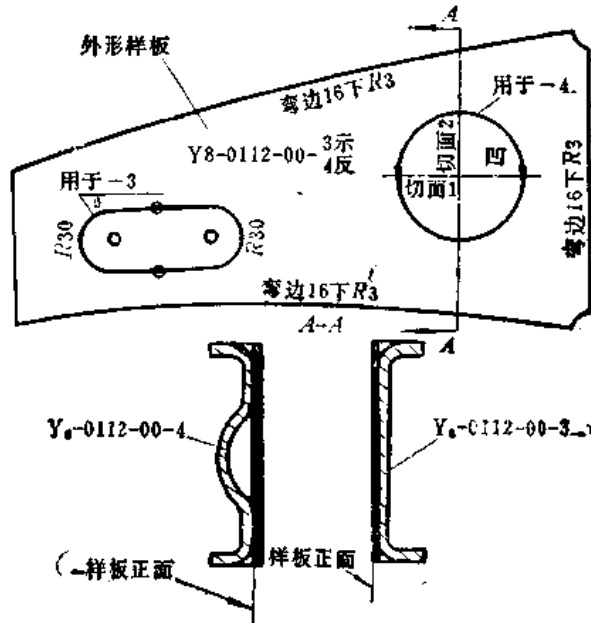


图35

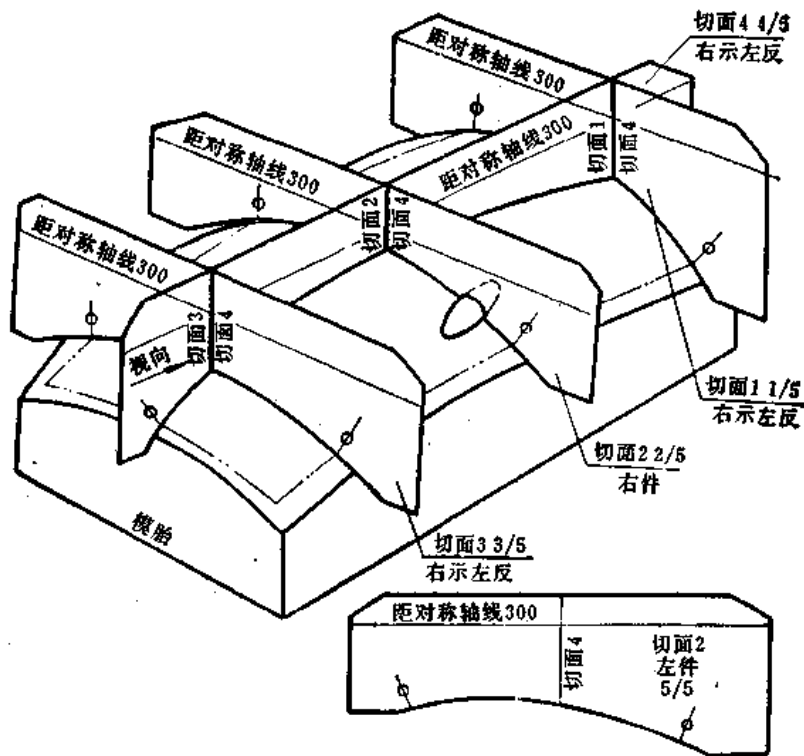


图36

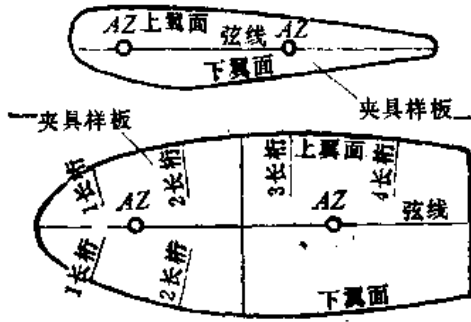


图37

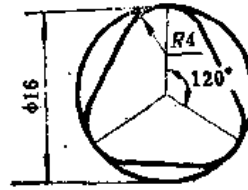


图38

4.6.2.3.2.2 样板使用关系标记

4.6.2.3.2.2.1 座标轴线标记

包括飞机轴线、对称轴线、水平基准线、弦线等。

4.6.2.3.2.2.2 结构轴线标记

包括框轴线、长桁轴线、肋轴线、大梁轴线、转动轴线、隔板轴线等。

4.6.2.3.2.2.3 样板使用关系线标记

样板使用关系线标记见下表。

样板使用关系线标记表

序号	名称	标记示例	说 明	应用范围	例图编号
1	使用基准	基准线	一般作为样板使用的水平基准	外形、内形、切面、夹具、样件、机加、专用样板	4.6.2.3.2.1节图31
		定位线	一般作为样板使用的垂直基准		4.6.2.3.2.1节图25
		基准边	样板此边作为样板使用的定位基准		4.6.2.3.2.1节图32
		内形面(外形面)	样板此边是零件的内表面(外形面), 作为样板使用的定位基准		4.6.2.3.2.1节图20
		距××线100	此线距××线为100mm		4.6.2.3.2.1节图25
		距中心线250 ^①	此线距中心线为250mm, 中心线位于箭头所指的一边		4.6.2.3.2.1节图32
2	使用位置	切面1 切面2! ^②	表示沿切面1或切面2(或沿××框轴线, ××肋轴线等)的切面样板使用位置。“!”表示沿箭头方向看到样板正面	外形、内形、切面、夹具、样件、机加、专用样板	4.6.2.3.2.1节图20 4.6.2.3.2.1节图25
		距离1600	表示一套平行使用的样板相对位置: (1)样板正面应朝同一方向 (2)从样板正面看, 最远的一块样板为“距离0”, 其它样板均以“距离0”为基准度量 (3)“距离1600”表示本样板位置与“距离0”样板相距1600mm		4.6.2.3.2.1节图33
3	使用方向	视向 ←	沿箭头方向看到样板正面	各种样板	4.6.2.3.2.1节图25 4.6.2.3.2.1节图31
4	对合线	对合线	两段样板之间相互定位, 标记打在对接处	各种样板	4.6.2.3.2.1节图20

①当样板旋转使用或一套样板有两个以上使用基准线时, 应在基准线上打箭头, 以明确相对位置。

②在成套切面样板中, 个别样板使用方向不一致时, 应在使用位置线上打箭头, 以明确使用方向。

4.6.2.3.2.3 特种说明标记

凡用表4.6.2.3.2.1、表4.6.2.3.2.2.3中的标记不能表达零件、组合件的几何形状和样板使用关系,以及其它特征时,在样板上可用文字说明,称为“特种说明”(见下表)。

特种说明标记表

序号	特种说明示例	说 明	应用范围	例图编号
1	距外形 s	样板该工作边与零件外形等距 8mm	外形样板	4.6.2.3.2.1节图15
2	$\phi 200$ ←---	沿箭头方向度量, 旋转体零件的外形(或内形)直径为 200mm	切面、夹具、 样件、机加、 专用样板	4.6.2.3.2.1节图 34
3	工作边 (非工作边) ↓	表示样板的工作边(或非工作边), 当工作边与非工作边不易区别时, 才打此标记	各种样板	
4	右件 (左件) ↓ (↓) 用于-3 (用于-4) ↓ (↓)	在标有“右示、左反”或“-3示、-4反”的样板上, 此处仅表示右件(左件)的形状	各种样板	4.6.2.3.2.1节图35
5	铣切区	表示零件加工的区域	机加、专用 样板	
6	××按××模胎协调	零件或工艺装备除按本样板加工外, ××部分还需按××图号工艺装备协调	各种样板	
7	××按图	零件××部分需按产品图纸制造	各种样板	
8	不带下陷	零件上有下陷, 但样板的工作边未示出下陷的形状	切面、样件、 专用样板	
9	(部)	样板仅表示零件的局部形状时, 在样板名称后加(部)字, 如“反切内(部)”样板	外形、内形、 展开、切面 样板	4.6.2.3.2.1节图20
10	(展)	表达弯折或单曲面零件展平后的形状(零件的弯边、下陷、加强槽等不予展开), 在样板名称后加(展)字, 如“外形(展)”样板	外形、内形 样板	4.6.2.3.2.1节图22
11	(投)	表达零件在样板基准面上的投影形状, 在样板名称后加(投)字, 如“外形(投)”样板 此种样板一般与切面样板成套使用。样板工作边所标注的零件弯边高度和斜角标记, 是在零件外形线的法平面内量取的	外形、内形 样板	4.6.2.3.2.1节图25
12	(辅)	当标准样板与相应的生产样板工作边不完全相同时, 在标准样板的名称后面加(辅)字, 如“反切内(辅)”样板。	用于与生产 样板工作边 不一致的标 准样板	
13	投影于××面	样板外形为零件(或组合件)在××平面上的投影形状。当投影面和使用水平基准面不一致时, 才用此标记	外形、内形、 夹具、样件、 专用、机加、 样板	
14	正面用于切面	表示样板正面与切面(切内或切外)样板对应使用。当样板正面与反切面(反切内或反切外)样板对应使用时, 不加说明	外形、内形、 样件、专用、 机加样板	

序号	特种说明示例	说 明	应用范围	例图编号
15	航 向 → 上翼面(下翼面) 上部(下部)	表示样板使用位置与飞机停机状态的关系	夹具、样件、 专用样板	4.6.2.3.2.1节图37
16	逆航向	表示样板正面为逆航向视图。样板正面为顺航向视图时，一般不打标记	夹具、样件、 专用样板	
17	旋转使用	样板以中心线定位，旋转使用	切面、夹具、 样件、机加、 专用样板	4.6.2.3.2.1节图34
18	第1(2)工序	表示样板使用先后次序		4.6.2.3.2.1节图 32
19	通用	按样板使用关系，样板在零件或其工艺装备的全部(或局部)工作面上通用		4.6.2.3.2.1节图24
20	取自××	表示本样板是按样件或模胎取制的	各种样板	
21	仅制3架 自1批1架起至2批8架止	表示本样板有效的批架次	各种样板	
22	补失	原样板丢失，此样板是补制的	各种样板	
23	补加	是样板的加强部分，可在上面钻工艺孔或打标记	各种样板	4.6.2.3.2.1节图16 4.6.2.3.2.1节图22
24	△①	样板存放的悬挂孔	各种样板	4.6.2.3.2.1节图38

①悬挂存放的样板上才冲吊挂孔。

4.6.3 模线样板公差

4.6.3.1 模线绘制公差

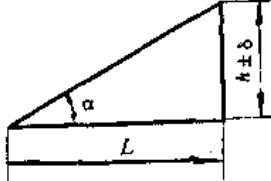
4.6.3.1.1 理论模线绘制公差

理论模线绘制公差见下表。

理论模线绘制公差表

序号	内 容	公差(mm)	检验工具
1	坐标网线距离(在1000mm内)	±0.10	检验尺
2	结构轴线的位置；间距 积累	±0.10 ±0.20	检验尺
3	坐标网线、坐标轴线和结构轴线的直线度； 直线长度 $L \leq 6000\text{mm}$ 直线长度 $L > 6000\text{mm}$	±0.10 ±0.15	3m长IT6平尺 用经纬仪或用细钢丝拉直检验
4	坐标网线，坐标轴线在图板对接处的阶差	0.10	20倍以上刻度放大镜
5	按坐标数据绘制理论外形 速度超过900km/h的飞机： 机翼和尾翼25%点以前 机身和发动机短舱 机翼和尾翼25%点以后 速度低于或等于900km/h的飞机： 机翼和尾翼 机身和发动机短舱	±0.10 ±0.15 ±0.15 ±0.20	检验尺、20倍以上刻度 放大镜及通用量具

(续)

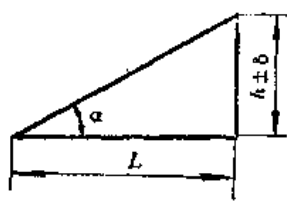
序号	内 容	公差(mm)	检验工具
6	理论外形线交点的协调 速度超过900km/h的飞机 速度低于或等于900km/h的飞机	0.10 0.20	检验尺、通用量具
7	坐标网线的线宽	0.05~0.10	20倍以上刻度放大镜
8	坐标轴线、结构轴线和外形线的线宽 用钢针画线 用墨水画线	0.10~0.20 0.20~0.30	20倍以上刻度放大镜
9	曲线的平滑度		目测
10	角度公差  当 $L \leq 1000\text{mm}$ 时, h 值 当 $L > 1000\text{mm}$ 时, h 值	± 0.10 ± 0.20	检验尺
11	模线图板上的字体	按GB126-74	

4.6.3.1.2 结构模线绘制公差

结构模线绘制公差见表。

结构模线绘制公差表

序号	内 容	公差(mm)	检验工具
1	按理论模线图板向结构模线图板上投线或描线 速度超过900km/h的飞机 速度低于或等于900km/h的飞机	± 0.10 ± 0.15	20倍以上刻度放大镜
2	结构轴线的位置 速度超过900km/h的飞机 速度低于或等于900km/h的飞机	± 0.15 ± 0.20	检验尺 通用量具
3	零件断面厚度线, 内形线和外形线的间距	± 0.15	20倍以上刻度放大镜
4	与理论外形和结构协调无关的零件外形线	± 0.30	通用量具
5	零件弯边的展开线	+0.30 0	通用量具
6	减轻孔、加强窝、加强槽和拉杆通孔的位置	± 0.50	通用量具
7	装配孔和导孔的位置 边距 间距	± 0.20 ± 0.50	通用量具
8	基准孔、安装孔的位置	± 0.10	检验尺
9	定位孔的位置	± 0.20	通用量具
10	零件外形线交点的协调	0.20	通用量具
11	结构模线的线宽 用钢针画线 用墨水画线	0.10~0.20 0.20~0.30	20倍以上刻度放大镜

序号	内 容	公差(mm)	检验工具
12	角度公差  当 $L \leq 1000\text{mm}$ 时, h 值 当 $L > 1000\text{mm}$ 时, h 值	± 0.10 ± 0.20	检验尺
13	横线图板上的字体	按GB136-74	

注1. 结构横线中, 按数据绘制理论外形时, 应按4.6.3.1.1节理论横线绘制公差表规定的公差值。

2. 坐标轴线与基准孔的允许偏差, 按4.6.3.2.3节样板的钻孔公差表中孔对线的偏差值。

4.6.3.2 样板制造公差

4.6.3.2.1 样板的外形公差

样板的外形公差根据飞机速度分为两组(见下表)。

第一组用于速度超过900km/h时的飞机。

第二组用于速度低于或等于900km/h时的飞机。

按机型(或部件)的气动力外形要求选用下表中的第一组或第二组。

样板外形公差表

公差(mm)	分 组	
	第 一 组	第 二 组
样板品种和加工依据		
外检、夹具、样件样板按模线①	0 -0.10	0 -0.20
外检、夹具、样件样板按坐标数据 机翼和尾翼 其余	± 0.05 ± 0.10	± 0.15
夹具、样件样板按外检外缘	± 0.10 0	± 0.20 0
其它样板②按模线③或外检外缘	0 -0.20	0 -0.25
其它样板按尺寸	± 0.20	± 0.25
其它样板按样板加减材料厚度④	+0.15 0	+0.20 0
正、反样板的间隙⑤	0~0.10	0~0.15
切面样板按样件、模胎取制间隙	0~0.20	0~0.30
展开样板按外形样板加展开尺寸	+0.30 0	+0.40 0
展开样板按展开件	± 0.20	± 0.30

样板品种和加工依据	公差 mm	分组	第 一 组		第 二 组	
			第 一 组	第 二 组	第 一 组	第 二 组
样板按直尺加工直线边			0~0.10		0~0.15	
样板交点的协调	外检样板 夹具样板 其余样板		0.10 0.15 0.20	0.20		
样板工作边复制	展开样板 其余样板		±0.10 ±0.05	±0.15 ±0.10		
样板工作边粗糙度			Ra=6.3μm		Ra=6.3μm	

①样板按模线加工，当工作边周长大于10m时，公差值的下偏差允许放大0.1mm。

检查样板外形对模线的偏差时，是从模线线条外缘量到样板边缘如图1(a)、(b)。

②表中其他样板系指外形、内形、展开、切面、钻孔、机加、专用样板。

③与理论外形或结构协调无关的样板边缘，公差值的下偏差允许放大0.1mm。

④样板按样板加减真实材料厚度制造时的公差方向，如图2(a)、(b)、(c)。

⑤正反样板的间隙公差，当工作边长度大于1.5m时，公差值放大0.05mm。

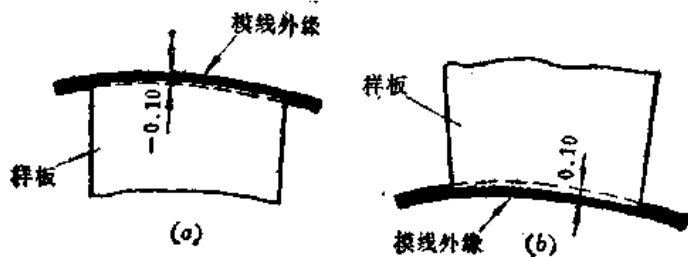


图1

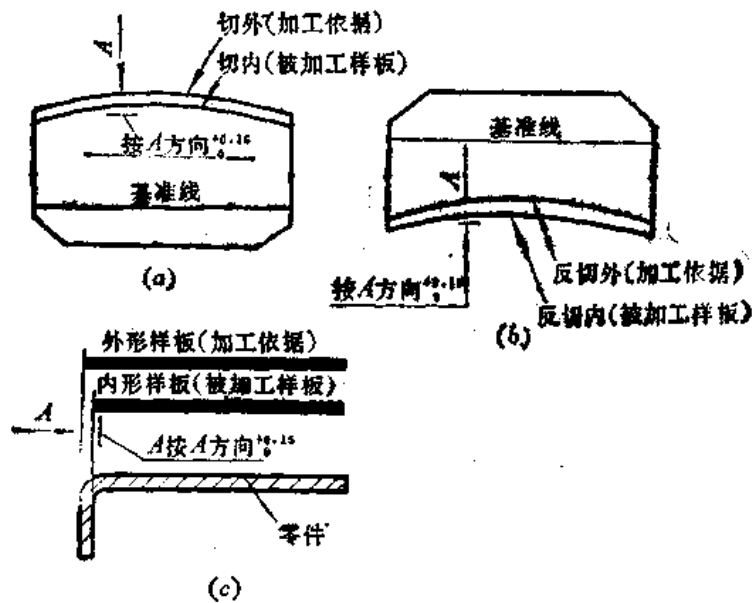


图2

4.6.3.2.2 样板的画线公差

样板的画线公差见表。

样板的划线公差表

项 目	名 称	公差(mm)
1	坐标轴线(对称轴线、水平基准线、弦线等)	±0.10
2	结构轴线(长桁轴线、肋轴线、框轴线、转动轴线、切面位置线等)	±0.20
3	零件构造线(斜角、缺口、减轻孔等)	±0.30
4	样板上线条宽度	0.15~0.25

4.6.3.2.3 样板的钻孔公差

样板的钻孔公差见表。

样板的钻孔公差表

工 艺 孔		孔 径 精 度 ^①		孔对线的偏差 ^② mm
名 称	标记	孔径精度	扩孔精度	
基准孔	JZ	$\phi 8H_8$		±0.10
安装孔	AZ	$\phi 8H_8$		±0.10
定位孔	DW	$\phi 5.2H_{11}^{\oplus}$	$\phi 8H_{11}$	±0.20
铆钉孔	XD	$\phi 5.2H_{11}$ $\phi 2.7H_{11}$	$\phi 8H_{11}$ $\phi 6H_{11}$	±0.50
工具孔	GJ	$\phi 2.7H_{11}$	$\phi 6H_{11}$	±0.20
装配孔	ZP	$\phi 2.7H_{11}^{\oplus}$	$\phi 6H_{11}$	±0.20
导 孔		$\phi 2.7H_{12}^{\oplus}$	$\phi 6D_7$	边距: ±0.30 间距: ±0.50
工序孔	GX	$\phi 2.7H_{11}$		

①样板经过使用磨损后,其工艺孔的孔径精度允许按制造精度降一级使用。

②定位孔的直径和孔径精度,允许按使用单位技术文件要求钻制。

③装配孔、导孔当孔径为2.1mm时,其孔径精度和扩孔精度级别不变。

④此项包括:按线钻孔的偏差、孔距偏差,以及孔与线的距离偏差。

参 考 资 料

航空工业部标准《模纹样板》HB240-74。

4.7 钣金零件的协调

4.7.1 钣金零件协调的基本概念

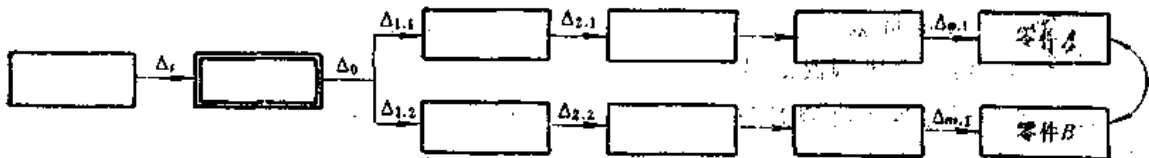
飞机等飞行器钣金零件的结构特点是，尺寸大、刚性小、外形复杂。采用一般的机械制造公差与配合方法和通用量具，不能保证互换与协调。所以，在飞机制造中，广泛地采用模线、样板、样件和CAD/CAM等协调方法。

4.7.1.1 互换与协调

互换指批生产中，同一种零件之间，在尺寸和形状方面的一致性。协调指相配合的两种零件，在尺寸和形状方面的一致性。互换以制造准确度体现，协调以协调准确度体现。在飞机钣金零件中，不要求完全互换，但要求完全协调。

4.7.1.2 协调路线

协调路线是一个部、组件的钣金零件制造过程中，部、组、零件与工艺装备尺寸和形状的传递路线。在传递过程中，每个环节误差的积累，构成了零件的制造误差与协调误差，协调路线如图。



零件A的制造误差

$$\begin{aligned}\Delta_A &= \Delta_t + \Delta_0 + \Delta_{1.1} + \Delta_{2.1} + \dots + \Delta_{n.1} \\ &= \Delta_t + \Delta_0 + \sum_{i=1}^n \Delta_{i.1}\end{aligned}\quad (1)$$

式中 Δ_t —— 理论误差。

零件B的制造误差

$$\begin{aligned}\Delta_B &= \Delta_t + \Delta_0 + \Delta_{1.2} + \Delta_{2.2} + \dots + \Delta_{n.2} \\ &= \Delta_t + \Delta_0 + \sum_{j=1}^n \Delta_{j.2}\end{aligned}\quad (2)$$

零件A与零件B的协调误差

$$\nabla_{\Sigma A_i} = \Delta_A - \Delta_B = \sum_{i=1}^n \Delta_{i,1} - \sum_{i=1}^n \Delta_{i,2} \quad (3)$$

4.7.1.3 协调误差的计算⁽¹⁾

(1) 极大极小法的计算公式:

$$(\nabla_{\Sigma})_{\pm} = \sum_{i=1}^n A_i (\Delta_i)_0 \pm \sum_{i=1}^n |A_i| \omega_i \quad (1)$$

(2) 概率法计算公式:

$$(\nabla_{\Sigma})_{\pm} = \sum_{i=1}^n A_i (\Delta_i)_0 \pm H \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2 \delta_i^2} \quad (2)$$

$$H = 1.8 - 0.8 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n A_i^2 \delta_i^2}{\sum_{i=1}^n |A_i| \delta_i}} \quad (3)$$

式中 A_i ——组成环传递系数, 在平面平行尺寸链中, 增环 $A_i = +1$, 减环 $A_i = -1$,
空间尺寸链时, A_i 为任意值;

Δ_i ——组成环误差, 见表;

$(\Delta_i)_0$ ——组成环误差带中点值;

ω_i ——组成环误差宽度之半;

δ_i ——组成环公差带宽度之半, 见上页表;

n ——组成环数目;

$(\nabla_{\Sigma})_{\pm}$ ——协调误差带上、下限。

极大极小法计算的协调误差, 只能对工艺过程进行定性分析, 依此分配给各工序的容差偏严, 使生产困难, 在 $n \geq 5$ 时不宜采用。按概率法计算的协调误差, 更接近于实际情况, 能经济合理地拟定协调路线和分配工艺容差。由于板金零件协调环节较多, 所以, 板金零件的协调误差, 按概率法计算。

高速飞机外形工艺容差分配表 (mm)

项 目	容 差 类 别	模 线 样 板										标准工装										
		检验图板		夹具样板		零 件 样 板				正反样板	成套样板		标准样件	反样件								
		对理论数据	稳定性 变形	基准孔对 基准轴线的	切 面	对数据	反切面	外形	内形	切 面	对检验图板 图线	对检验图板 图线	对检验图板 图线	反切面 内切面 外之厚	各 类 间 隙	夹 具 交 叉 点 差 切面 公差	夹 具 交 叉 点 差 切面 公差	零件 交 叉 点 差 切面 公差	夹具 样板 (反)	按反 按样 样件	按标 准样 件	
1	机翼 尾翼	±0.05	±0.01/1000	±0.1	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.15	±0.15	±0.1	±0.15	±0.15	±0.15	±0.0	±0.0	±0.0	±0.1	
		~±0.01			-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.00	-0.00	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
2	前机身 (包括座 舱盖)	±0.05	±0.1/1000	±0.1	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.15	±0.15	±0.1	±0.15	±0.15	±0.15	±0.15	±0.0	±0.0	±0.1	±0.1
		~±0.1			-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.00	-0.00	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.15	-0.15
3	后机身	±0.05	±0.1/1000	±0.1	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.15	±0.15	±0.0	±0.15	±0.15	±0.15	±0.15	±0.0	±0.0	±0.0	±0.1
		~±0.1			-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.00	-0.00	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.15	-0.15

(续)

项 目	容 差	零 件 组 合 件 部 件													
		橡胶零件		钣金零件				机加零件			铜焊零件		铆接骨架	具有气动力外缘的装配组合件	产品实际外形
		对反切面样板	对模胎	对反切面样板	对外形样板	对型胎	对检 验 模	对反切面样板	对反切面样板	对外形样板	对检验 夹具	对反切面样板	对反切面样板	对反切面样板	对反切面样板
1	机翼配翼	+0.0 -0.4	0~0.5 (压力不超过5kg)	+0.0 -0.3	+0.1 -0.3 (料厚小于1.5, 角度大于1.5, 角度±3J)	+0.3 -0.0	+0.0 -0.3	+0.0 -0.3	+0.0 -0.3 (角度±30')	+0.0 -0.3	+0.0 -0.3	+0.0 -0.3	+0.0 -0.3	0~0.5 0~0.6	前梁前 +0.4局部-1.0 (5处) -0.6 -1.2(3处)不小于150mm 前梁后 +0.5局部-1.0(17处) -0.8 -1.5(17处)不小于150mm
2	前机身(包括座舱盖)	+0.0 -0.5	同上	+0.0 -0.4	+0.1 -0.4 (角度容差同上)	+0.4 -0.0	+0.0 -0.4	+0.0 -0.4 (角度±30')	+0.0 -0.4	+0.0 -0.4	+0.0 -0.4	+0.0 -0.4	+0.0 -0.4	0~0.6 0~0.8	与卡板间隙 11框前1.0, 11框后1.2, 局部1.5, 不小于200mm长度上均匀过渡
3	后机身	+0.0 -0.5	同上	+0.0 -0.4	同上	+0.4 -0.0	+0.0 -0.4	+0.0 -0.4 (±30')	+0.0 -0.4	+0.0 -0.4	+0.0 -0.4	+0.0 -0.4	+0.0 -0.4	0~0.7 0~0.9	对卡板间隙为1.2, 每框上允许3处, 局部到1.7

① 标定量是检查胶板变形量的依据, 其本身的轮廓公差为±0.05。

② 样板外形对模线的误差, 是从模线宽外形(相对样板的外缘)到样板边缘测量的。

③ +0.15 -0.00 系指使料厚增加的方向。

4.7.1.4 超差率的计算

(1) 协调路线的组成环 $n \geq 5$ 个, 误差按正态分布, 如图 1。

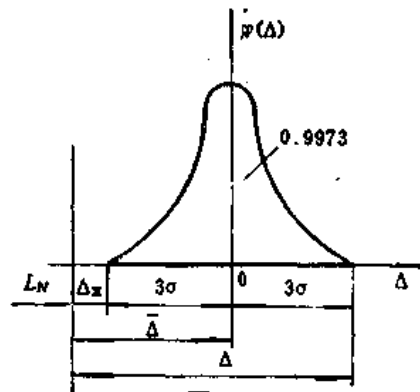


图1

正态分布概率密度函数曲线方程:

$$\phi(\Delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

上式积分, 为正态分布函数, 设 $Z = \frac{\Delta}{\sigma}$, 则上式变为

$$\phi(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (2)$$

为了简化计算, 函数 $\phi(Z)$ 的数值, 见表。

(2) 协调路线组成环小于 5 个, 误差按等腰三角形分布, 如图 2。

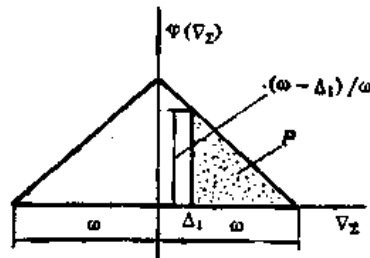


图2

超差危率公式:

$$P\{\Delta_1 < \Delta \leq \omega\} = \frac{1}{2} \left(\frac{\omega - \Delta_1}{\omega} \right)^2 \quad (3)$$

式中 Δ_1 ——剩余偶然误差;
 σ ——误差均方差;
 e ——自然对数基数;
 ω ——误差带宽度之半。

处在装配准确度范围以外的误差部分, 就是出现的超差面积积分所得的面积, 即超差危率。

正态分布函数 $\Phi(Z)$ 的积分值

$$\Phi(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^Z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

Z	$\Phi(Z)$	Z	$\Phi(Z)$	Z	$\Phi(Z)$	Z	$\Phi(Z)$
0.00	0.0000	0.60	0.2257	1.20	0.3849	1.80	0.4641
0.01	0.0040	0.61	0.2291	1.21	0.3869	1.81	0.4649
0.02	0.0080	0.62	0.2324	1.22	0.3888	1.82	0.4656
0.03	0.0120	0.63	0.2357	1.23	0.3907	1.83	0.4664
0.04	0.0160	0.64	0.2389	1.24	0.3925	1.84	0.4671
0.05	0.0199	0.65	0.2422	1.25	0.3944	1.85	0.4678
0.06	0.0239	0.66	0.2454	1.26	0.3962	1.86	0.4686
0.07	0.0279	0.67	0.2486	1.27	0.3980	1.87	0.4693
0.08	0.0319	0.68	0.2517	1.28	0.3997	1.88	0.4699
0.09	0.0359	0.69	0.2549	1.29	0.4015	1.89	0.4706
0.10	0.0398	0.70	0.2580	1.30	0.4032	1.90	0.4713
0.11	0.0438	0.71	0.2611	1.31	0.4049	1.91	0.4719
0.12	0.0478	0.72	0.2642	1.32	0.4066	1.92	0.4726
0.13	0.0517	0.73	0.2673	1.33	0.4082	1.93	0.4732
0.14	0.0557	0.74	0.2703	1.34	0.4094	1.94	0.4738
0.15	0.0596	0.75	0.2734	1.35	0.4115	1.95	0.4744
0.16	0.0636	0.76	0.2764	1.36	0.4131	1.96	0.4750
0.17	0.0675	0.77	0.2794	1.37	0.4147	1.97	0.4756
0.18	0.0714	0.78	0.2823	1.38	0.4162	1.98	0.4761
0.19	0.0753	0.79	0.2852	1.39	0.4177	1.99	0.4767
0.20	0.0793	0.80	0.2881	1.40	0.4192	2.00	0.4772
0.21	0.0832	0.81	0.2910	1.41	0.4207	2.02	0.4783
0.22	0.0871	0.82	0.2939	1.42	0.4222	2.04	0.4793
0.23	0.0910	0.83	0.2967	1.43	0.4236	2.06	0.4803
0.24	0.0948	0.84	0.2995	1.44	0.4251	2.08	0.4812
0.25	0.0987	0.85	0.3023	1.45	0.4265	2.10	0.4821
0.26	0.1026	0.86	0.3051	1.46	0.4279	2.12	0.4830
0.27	0.1064	0.87	0.3078	1.47	0.4292	2.14	0.4838
0.28	0.1103	0.88	0.3106	1.48	0.4306	2.16	0.4846
0.29	0.1141	0.89	0.3133	1.49	0.4319	2.18	0.4854
0.30	0.1179	0.90	0.3159	1.50	0.4332	2.20	0.4861
0.31	0.1217	0.91	0.3186	1.51	0.4345	2.22	0.4868
0.32	0.1255	0.92	0.3212	1.52	0.4357	2.24	0.4875
0.33	0.1293	0.93	0.3238	1.53	0.4370	2.26	0.4881
0.34	0.1331	0.94	0.3264	1.54	0.4382	2.28	0.4887
0.35	0.1368	0.95	0.3289	1.55	0.4394	2.30	0.4893
0.36	0.1406	0.96	0.3315	1.56	0.4406	2.32	0.4898
0.37	0.1443	0.97	0.3340	1.57	0.4418	2.34	0.4904
0.38	0.1480	0.98	0.3365	1.58	0.4429	2.36	0.4909
0.39	0.1517	0.99	0.3389	1.59	0.4441	2.38	0.4913
0.40	0.1554	1.00	0.3413	1.60	0.4452	2.40	0.4918
0.41	0.1591	1.01	0.3438	1.61	0.4463	2.42	0.4922
0.42	0.1628	1.02	0.3461	1.62	0.4474	2.44	0.4927
0.43	0.1664	1.03	0.3486	1.63	0.4484	2.46	0.4931
0.44	0.1700	1.04	0.3508	1.64	0.4495	2.48	0.4934
0.45	0.1736	1.05	0.3531	1.65	0.4505	2.50	0.4938
0.46	0.1772	1.06	0.3554	1.66	0.4515	2.60	0.4953
0.47	0.1808	1.07	0.3577	1.67	0.4525	2.70	0.4965
0.48	0.1844	1.08	0.3599	1.68	0.4535	2.80	0.4974
0.49	0.1879	1.09	0.3621	1.69	0.4545	2.90	0.4981
0.50	0.1915	1.10	0.3643	1.70	0.4554	3.00	0.49865
0.51	0.1950	1.11	0.3665	1.71	0.4564	3.20	0.49931
0.52	0.1985	1.12	0.3686	1.72	0.4573	3.40	0.49966
0.53	0.2019	1.13	0.3708	1.73	0.4582	3.60	0.499841
0.54	0.2054	1.14	0.3729	1.74	0.4591	3.80	0.499928
0.55	0.2088	1.15	0.3749	1.75	0.4599	4.00	0.499968
0.56	0.2123	1.16	0.3770	1.76	0.4608	4.50	0.499997
0.57	0.2157	1.17	0.3790	1.77	0.4616	5.00	0.4999997
0.58	0.2190	1.18	0.3810	1.78	0.4625	∞	0.50000
0.59	0.2240	1.19	0.3830	1.79	0.4633		

4.7.2 协调方案的制定

4.7.2.1 协调方案选择原则

(1) 根据飞机特点, 技术要求来选择: 就全机而言, 大、中型飞机, 由于尺寸大, 应选用模线样板-局部标准样件工作法。这种方法以模线样板工作法为主, 对一些外形复杂的部、组件, 采用局部标准样件工作法。小型战斗机, 由于尺寸小, 协调准确度要求高, 应选用模线样板-标准样件工作法。

(2) 根据生产特点、批量、产量来选择: 研制或试制生产阶段, 结构未定型应采用模线样板工作法, 个别复杂部件, 采用少量立体协调依据; 批生产阶段, 视产量、设备和传统经验而定, 或采用模线样板-局部标准样件工作法, 或采用模线样板-标准样件工作法。

(3) 一般而言, 门窗、座椅、超落架、机炮、发动机等部位的双曲面板金零件, 应采用标准样件工作法, 在样件上给出板金件外形。

4.7.2.2 协调路线制定步骤

拟定一个正确的协调路线, 应包括: 制定协调方案, 编制协调路线, 分配各组成环容差, 计算协调误差与超差危率。分析计算结果, 如协调误差大于装配误差, 则应按 4.7.2.3 节所述方法, 提高协调路线的准确度。

[例]: 制定如图 1 所示炮罩的协调路线

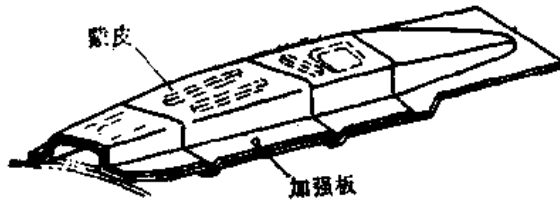


图1

(1) 制定协调方案: 由于炮罩是双曲面, 大面积配合的套合件, 所以采用总模型工作法。

(2) 编制协调路线, 如图 2。

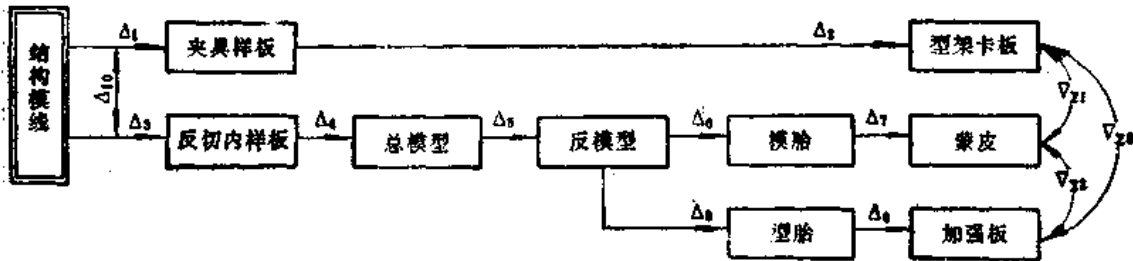


图2

这个协调路线有三个协调关系, 蒙皮与型架卡板, 蒙皮与加强板, 加强板与型架卡板。仅以蒙皮与型架卡板协调为例。

炮罩协调误差计算值表^①

Δ_i	项目 容差	A_i	$(\Delta_i)_0$	$A_i(\Delta_i)_0$	$ A_i \delta_i$	$A_i^2\delta_i^2$
Δ_1	+0.00 -0.10	+1	-0.050	-0.050	0.050	0.0025
Δ_2	+0.20 -0.00	+1	+0.100	+0.100	0.100	0.0100
Δ_3	+0.15 -0.00	-1	+0.075	-0.075	0.075	0.0056
Δ_4	+0.00 -0.15	-1	-0.075	+0.075	0.075	0.0056
Δ_5	+0.15 -0.00	-1	+0.075	-0.075	0.075	0.0056
Δ_6	+0.00 -0.20	-1	-0.100	+0.100	0.100	0.0100
Δ_7	+0.50 -0.00	-1	+0.250	-0.250	0.250	0.0625
Δ_{10}	± 0.10	-1	0	0	0.100	0.0100
Σ				-0.175	0.900	0.1084

①赵洪桥, 崔占斌, 飞机钣金零件的协调与准确度分析, 松嫩科技, 1984年3期。

协调误差尺寸链方程:

$$\Delta_{\Sigma 1} = \Delta_1 + \Delta_2 - \Delta_3 - \Delta_4 - \Delta_5 - \Delta_6 - \Delta_7 - \Delta_{10}$$

(3) 按4.7.1.3表节查组成环容差, 计算值见表。

(4) 计算协调误差与超差危率:

协调误差带上、下偏差值, 按4.7.1.3节(2)式和(3)式,

$$H = 1.8 - 0.8 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n A_i^2 \delta_i^2}{\sum_{i=1}^n |A_i| \delta_i}}$$

$$= 1.8 - 0.8 \times 0.329 / 0.9 = 1.507$$

$$(\nabla_{\Sigma 1})_{\pm} = \sum_{i=1}^n A_i (\Delta_i)_0 \pm H \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2 \delta_i^2}$$

$$= -0.175 \pm 1.507 \times 0.329 = \begin{matrix} +0.32 \text{ mm} \\ -0.67 \end{matrix}$$

协调误差与套合件的装配误差 $\pm 0.1 \text{ mm}$ 相比, 下限超差0.571mm, 必须计算超差危率。由于组成环是8个, 所以误差按正态分布, 如图3。

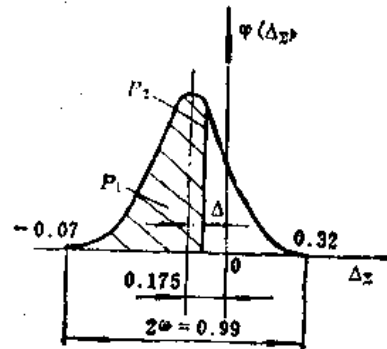


图3

由图中可知，超差危率 $P = P_1 + P_2$, $P_1 = 0.5$

求 P_2 :

$$\Delta = 0.175 - 0.1 = 0.075$$

$$Z = \frac{\Delta}{\sigma} = \frac{0.075}{0.495/3} = 0.454$$

查 4.7.1.4 表得 $P_2 = \phi(Z) = 0.17$

所以 $P\{-0.67 < \Delta \leq -0.1\} = 0.5 + 0.17 = 0.67$

(5) 提高协调准确度：超差危率为 67%，超差的原因不是因为协调误差超过了装配误差，而是由于组成环误差带的中点值不一致。将 Δ_1 的容差调整为 ± 0.1 mm，即将夹具样板容差的中点值向正向移动 0.3 mm。将 Δ_3 调整为 ± 0.1 mm，即将制造总模型的样板容差中点值向负方向移动 0.2 mm，这样 $(\nabla_{\Sigma})_0$ 变为 ± 0.1 mm，满足了装配准确度的要求。

4.7.2.3 提高协调路线准确度措施

(1) 缩短协调路线，减少组成环数；

如图 1 所示的协调路线，其协调误差带上、下偏差值

$$(\nabla_{\Sigma})_0 = \pm 0.52 \text{ mm}$$

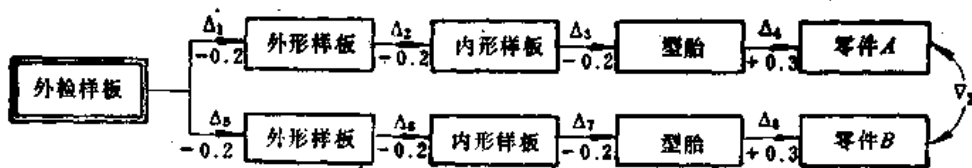


图1

装配件是套合形式，装配准确度 ± 0.1 mm，下限超差 38%，约 38% 的零件无法装配。

更改后的协调路线如图 2 所示，其协调误差带上、下偏差值变为

$$(\nabla_{\Sigma})_0 = \pm 0.1 \text{ mm}$$

以上分析说明组成环由 8 个变为 5 个，满足了装配要求。

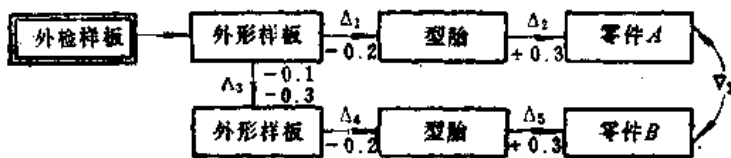


图2

(2) 调整容差带中点值

当协调误差小于装配误差，只是由于组成环容差带中点值不尽合理，造成上、下限超差时，只要移动个别组成环容差带的中点值，就能够满足要求。如图 3 所示协调路线，其协调误差带上、下偏差值

$$(\nabla_x)_0 = \pm 0.1 \text{ mm}$$

套合件装配准确度 $\pm 0.1 \text{ mm}$ ，下限超差 0.5mm，将 Δ_3 中点值往正向移动 0.2mm，

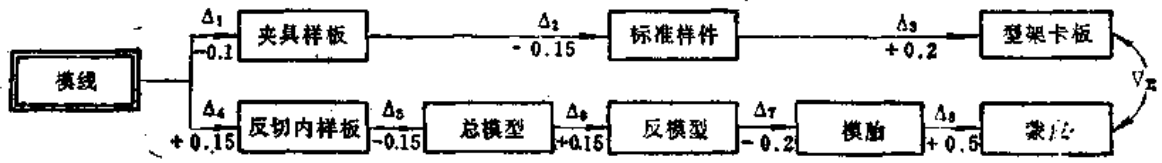


图3

Δ_3 中点值往负向移动 0.3mm，则变为：

$$(\nabla_x)_0 = \pm 0.1 \text{ mm}$$

满足了装配要求。

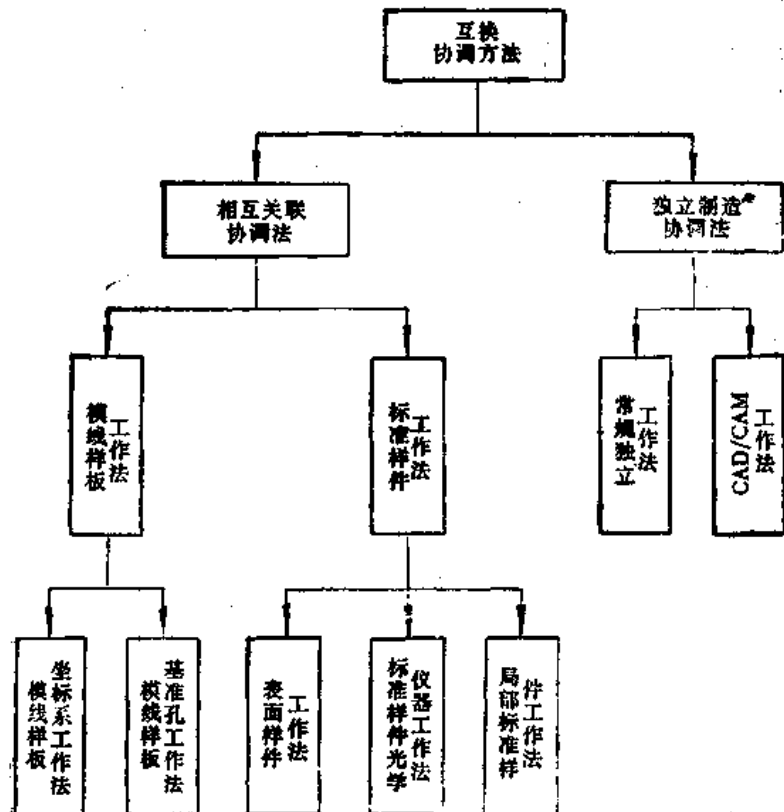
(3) 提高组成环准确度

当协调路线正确，容差分配合理，协调准确度仍不能满足装配准确度要求时，则应减小组成环的容差，特别是减小板金零件的容差更为有效。

4.7.3 板金零件协调方法

4.7.3.1 协调方法分类

(1) 按尺寸和形状传递方法，分为相互关联协调方法和独立制造协调方法，如图所示。



相互关联协调方法：是采用模线、样板、标准样件等标准工艺装备，通过模拟量几何尺寸的传递，保证零件与零件、零件与工艺装备、工艺装备与工艺装备之间的相互相协。

独立制造协调方法：是通过数学模型、计算机、数控机床，或常规机械加工方法，直接进行数值量传递，保证零件与零件、零件与工艺装备、工艺装备与工艺装备之间的协调。

(2) 按全机协调方案分：有模线样板工作法；模线样板-标准样件工作法；模线样板-局部标准样件工作法；CAD/CAM工作法。

(3) 板金零件的协调方法：通常有模线样板工作法；标准样件工作法；表面标准样件工作法；CAD/CAM工作法。

4.7.3.2 模线样板工作法

模线样板工作法是，以模线样板作为外形的协调依据，通过样板的基准孔和坐标设备来保证有关工艺装备外形的协调，用标准量规和标准平板做为部件对接接头的协调依据。协调路线如图1所示。

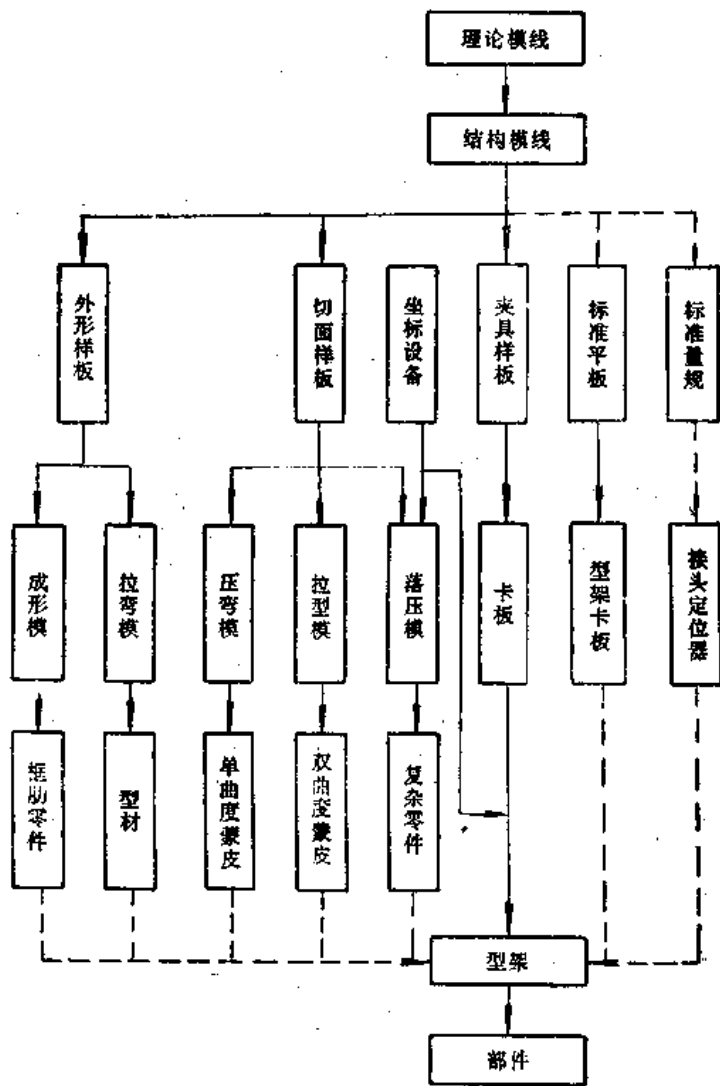


图1

模线样板工作法的优点是，样板结构简单，加工方便，成本低。工艺装备可以平行制造，缩短了生产准备周期。对控制切面的协调是有效的。

缺点是，对非控制切面流线区的制造误差大，不能满足大配合面的协调，协调误差受到基准孔转换误差和坐标系精度的影响，所以，协调准确度较低。适用于外形简单，准确度要求不高的飞机和部件。

〔例〕：某机机身第三段，双曲面蒙皮与内型板是采用模线样板工作法协调的⁽¹⁾协调路线如图2所示。

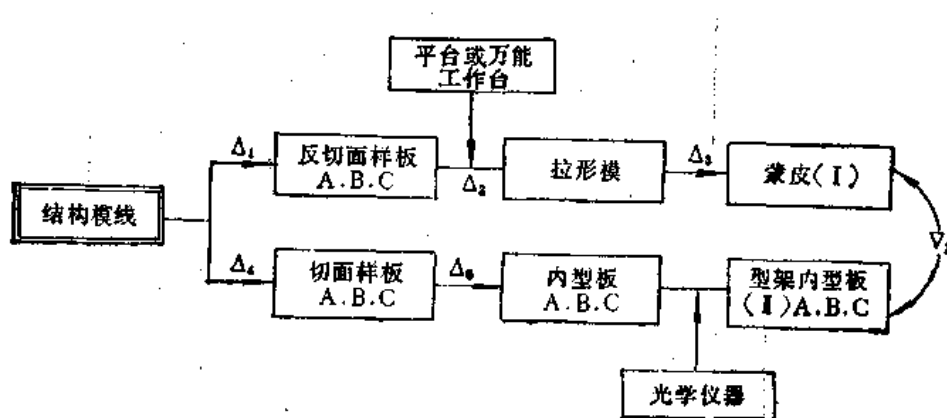


图2

协调误差带上、下偏差值

$$(\nabla_x)_{\pm} = \pm 0.69\text{mm}$$

一段蒙皮在型架上定位，协调误差在1mm范围之内，装配无困难。

4.7.3.3 标准样件工作法⁽²⁾

对钣金零件协调来讲，标准样件工作法又分为安装标准样件（简称标准样件）工作法和表面标准样件（又称表面样件）工作法。

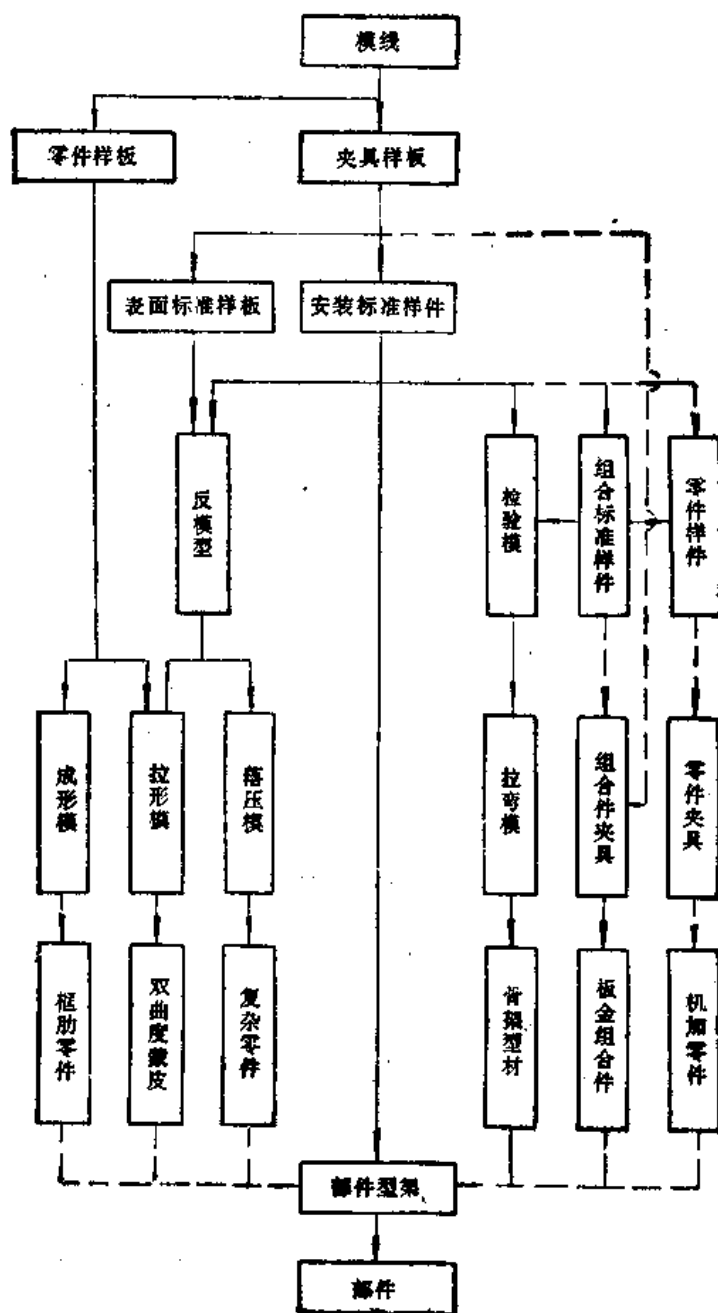
标准样件工作法协调路线如下图。

标准样件工作法优点：协调路线短，积累误差小，协调准确度高；对于解决形状复杂的部、组、零件的协调是有效的；便于工艺装备的制造、复制和检修。

缺点：不能平行制造工艺装备，生产准备周期长；对于钣金零件来讲，标准样件的工作面往往是不完整的，有的根本制造不出来，有的工艺装备太重，无法按标准样件制造；成本高。

适用于外形准确度要求高，批生产的小型战斗机。

标准样件工作法，分为模线样板-标准样件工作法和局部标准样件工作法。



4.7.3.3.1 模线样板-标准样件工作法⁽²⁾

这种方法指钣金零件工艺装备按模线样板制造，型架按标准样件制造，如图1所示

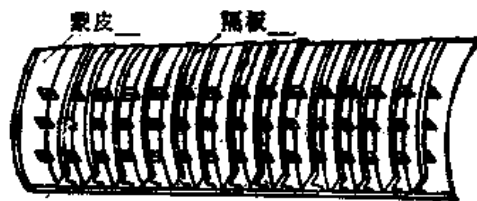


图1

某机前机身侧壁板的协调。

协调路线见图2，协调误差计算见表。

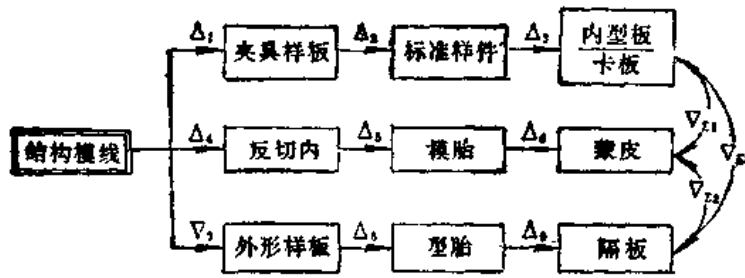


图2

前机身侧壁板协调误差计算值表

协调部位	协调误差尺寸链方程	协调误差偏差值 (mm)
蒙皮与卡板	$\nabla_{\Sigma 1} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 - \Delta_4 - \Delta_5 - \Delta_6$	$(\nabla_{\Sigma 1})_{\frac{+}{-}} = \begin{matrix} +0.34 \\ -0.53 \end{matrix}$
蒙皮与隔板	$\nabla_{\Sigma 2} = \Delta_4 + \Delta_5 + \Delta_6 - \Delta_7 - \Delta_8 - \Delta_9$	$(\nabla_{\Sigma 2})_{\frac{+}{-}} = \begin{matrix} +0.66 \\ -0.42 \end{matrix}$
隔板与内型板	$\nabla_{\Sigma 3} = -\Delta_1 - \Delta_2 - \Delta_3 + \Delta_7 + \Delta_8 + \Delta_9$	$(\nabla_{\Sigma 3})_{\frac{+}{-}} = \begin{matrix} +0.36 \\ -0.56 \end{matrix}$

4.7.3.3.2 组合式标准样件工作法

某机平尾整流罩，由蒙皮、隔板组成，蒙皮弯边与机身配合，端部与水平尾翼配合，如图1所示。

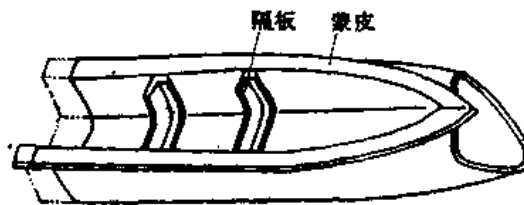


图1

协调路线及协调误差计算见图2及表。

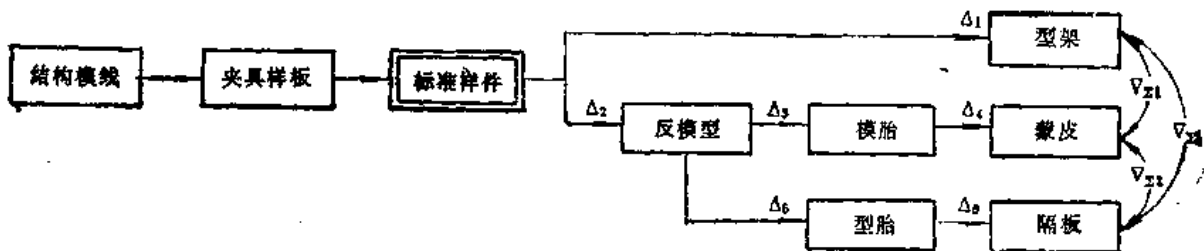


图2

平尾整流罩协调误差计算值表

协调部位	协调误差尺寸链方程	协调误差偏差带(mm)
蒙皮与卡板	$\nabla_{\Sigma 1} = \Delta_1 - \Delta_2 - \Delta_3 - \Delta_4$	$(\nabla_{\Sigma 1})_{\pm} = \begin{matrix} +0.22 \\ -0.54 \end{matrix}$
蒙皮与隔板	$\nabla_{\Sigma 2} = \Delta_3 + \Delta_4 - \Delta_5 - \Delta_6$	$(\nabla_{\Sigma 2})_{\pm} = \begin{matrix} +0.53 \\ -0.43 \end{matrix}$
隔板与卡板	$\nabla_{\Sigma 3} = \Delta_1 - \Delta_2 - \Delta_5 - \Delta_6$	$(\nabla_{\Sigma 3})_{\pm} = \begin{matrix} +0.99 \\ -0.01 \end{matrix}$

4.7.3.4 表面样件（总模型）工作法

表面标准样件，一般指外形完整，尺寸封闭的表面立体模型。总模型，一般指外形不完整尺寸不封闭的表面的立体模型。协调路线见4.7.3.3节图。

优点：蒙皮表面流线性好；蒙皮与骨架的协调性好；减少了标准样件。

缺点：协调路线长，积累误差大，容易产生不协调；表面样件是木基体，精度受环境影响，需经常返修。

4.7.3.4.1 总模型工作法

这种方法指蒙皮与内部板金件都按总模型协调。如图1某机机头罩，由内、内蒙皮，

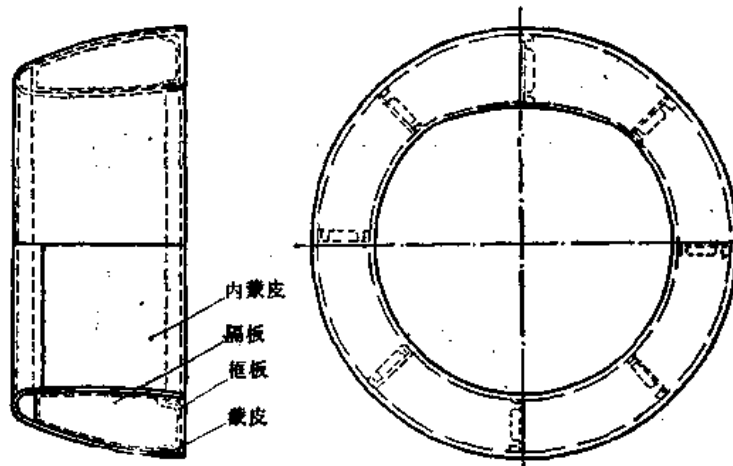


图1

隔板和框板组成。内蒙皮由 4 块组成，内蒙皮由 6 块组成，内、内蒙皮中间有隔板，后部有框板。

协调路线见图 2，协调误差计算值见表。

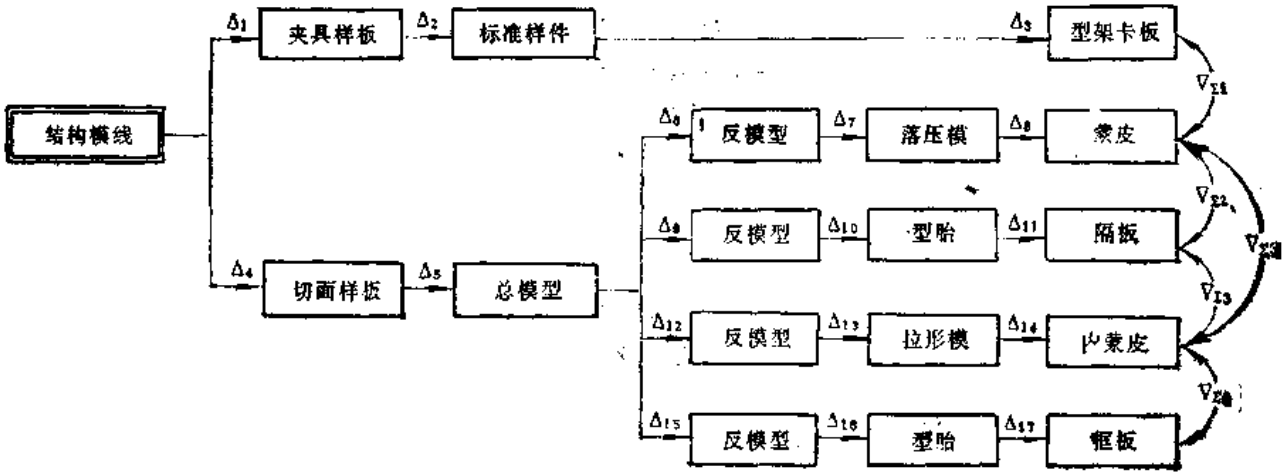


图2

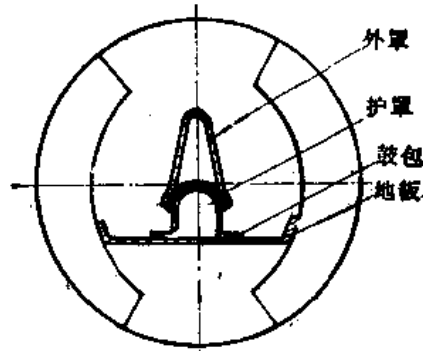
机头罩钣金零件协调误差计算值表

协调部位	协调误差尺寸链方程	协调误差偏差值(mm)
卡板与蒙皮	$V_{\Sigma 1} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 - \Delta_4 - \Delta_5 - \Delta_6 - \Delta_7 - \Delta_8$	$(V_{\Sigma 1})_x = \begin{matrix} +0.65 \\ -0.35 \end{matrix}$
蒙皮与隔板	$V_{\Sigma 2} = \Delta_6 + \Delta_7 + \Delta_8 - \Delta_9 - \Delta_{10} - \Delta_{11}$	$(V_{\Sigma 2})_x = \begin{matrix} +0.60 \\ -0.48 \end{matrix}$
隔板与内蒙皮	$V_{\Sigma 3} = \Delta_9 + \Delta_{10} + \Delta_{11} - \Delta_{12} - \Delta_{13} - \Delta_{14}$	$(V_{\Sigma 3})_x = \begin{matrix} +0.35 \\ -0.55 \end{matrix}$
框板与内蒙皮	$V_{\Sigma 4} = \Delta_{15} + \Delta_{16} + \Delta_{17} - \Delta_{12} - \Delta_{13} - \Delta_{14}$	$(V_{\Sigma 4})_x = \begin{matrix} +0.51 \\ -0.57 \end{matrix}$
蒙皮与内蒙皮	$V_{\Sigma 5} = \Delta_6 + \Delta_7 + \Delta_8 - \Delta_{12} - \Delta_{13} - \Delta_{14}$	$(V_{\Sigma 5})_x = \begin{matrix} +0.57 \\ -0.51 \end{matrix}$

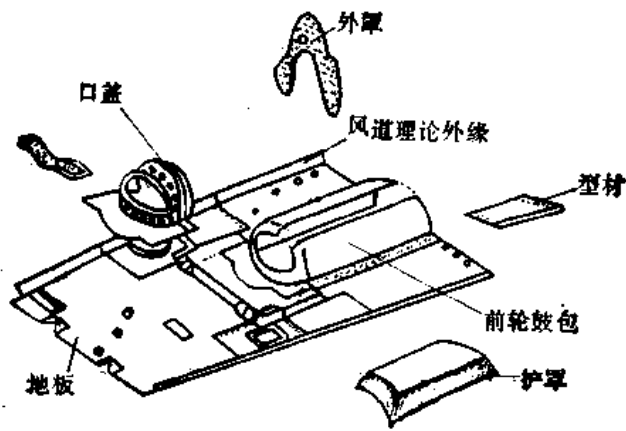
4.7.3.4.2 组合式总模型工作法

这种方法用于协调关系比较复杂的内部结构件。如图 1 所示的某机设备舱地板，由 17 个钣金件组成，地板上有前轮鼓包，鼓包上有作动筒护罩，鼓包前部有可拆卸的口盖。配合面较多，要求准确度较高，特别是设备舱地板，横跨飞机对称轴线，在左、右风道蒙皮之间，弯边高度 30mm，纵向长 1100mm，与沿纵向曲率变化很大的风道蒙皮配合。

组合式总模型由地板模型，鼓包模型，外罩模型风道镶块模型和作动筒支点组成，如图 2 所示，协调路线及协调误差计算，见图 3 及表。



(a)



(b)

图1

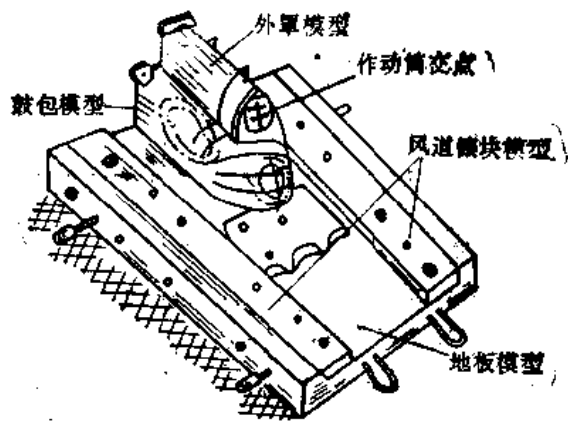


图2

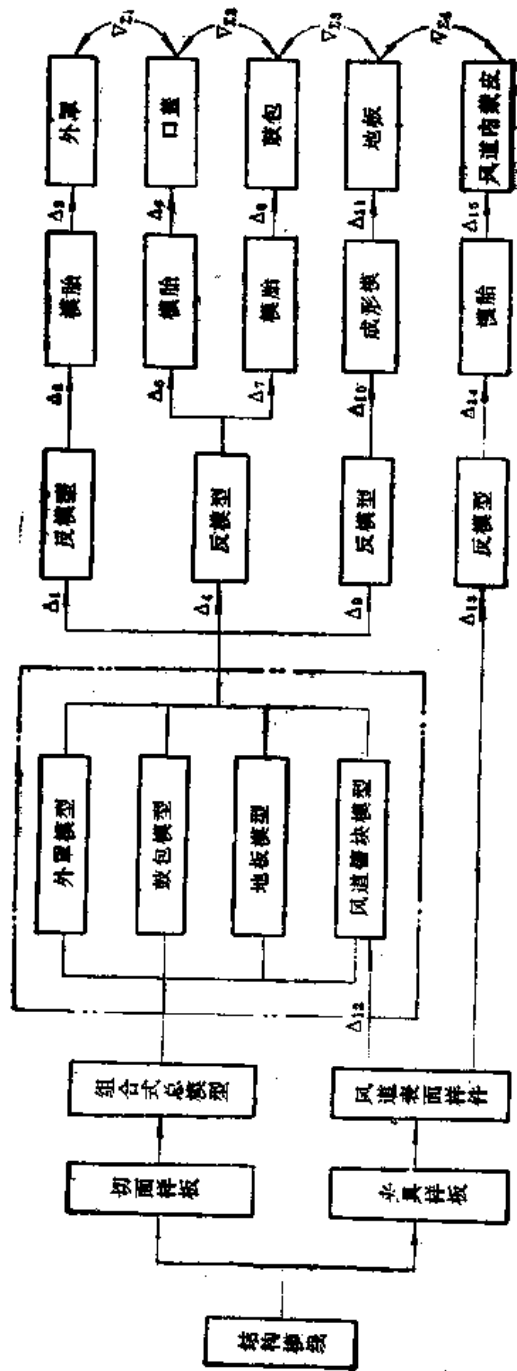


图3

设备舱地板板金件协调误差计算值表

协调部位	协调误差尺寸链方程	协调误差偏差值(mm)
外罩与口罩	$\nabla_{\Sigma 1} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 - \Delta_4 - \Delta_5 - \Delta_6$	$(\nabla_{\Sigma 1})_{\sigma}^2 = \pm 0.48$
口盖与鼓包	$\nabla_{\Sigma 2} = \Delta_5 + \Delta_6 - \Delta_7 - \Delta_8$	$(\nabla_{\Sigma 2})_{\sigma}^2 = \pm 0.35$
鼓包与地板	$\nabla_{\Sigma 3} = \Delta_4 + \Delta_7 + \Delta_8 - \Delta_9 - \Delta_{10} - \Delta_{11}$	$(\nabla_{\Sigma 3})_{\sigma}^2 = \pm 0.48$
地板与风道内蒙皮	$\nabla_{\Sigma 4} = \Delta_9 + \Delta_{10} + \Delta_{11} + \Delta_{12} - \Delta_{13} - \Delta_{14} - \Delta_{15}$	$(\nabla_{\Sigma 4})_{\sigma}^2 = \begin{matrix} +0.42 \\ -0.67 \end{matrix}$

4.7.3.4.3 镶块式表面样件工作法

〔例1〕：这种方法用于同时与两个段件协调的复杂零件，而这两个段件都有独立的立体协调依据。

某机机身前段的4根板金梁，长2000mm，弯边60mm，厚度2.5mm。梁的一侧与风道内壁配合，一侧与蒙皮内壁配合。

表面样件如图1所示，大梁镶块的制造是，首先按标准样件取制与大梁配合的型面，

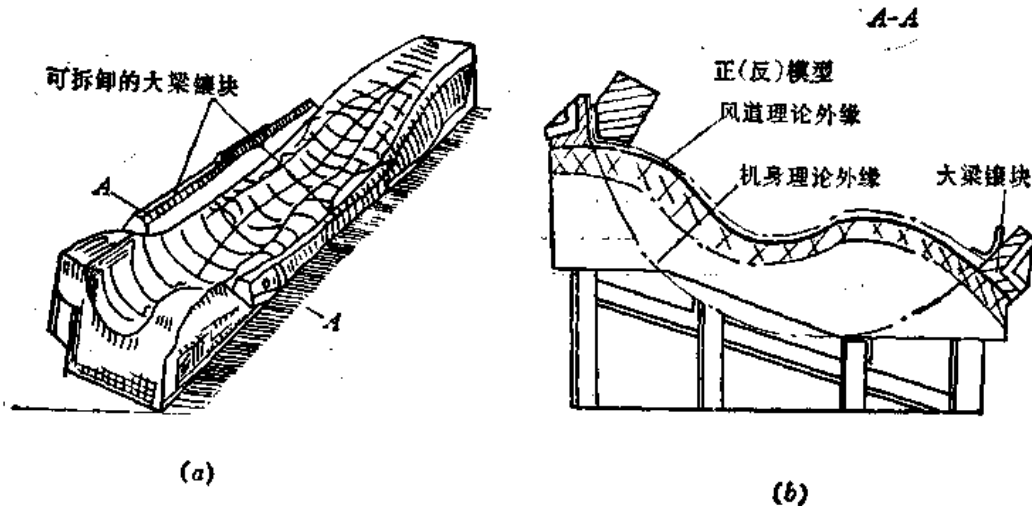


图1

然后按切面样板，将大梁镶块，镶在风道表面样件上，取制正（反）模型，协调大梁的落压模。

协调路线见图2，协调误差计算值见表1。

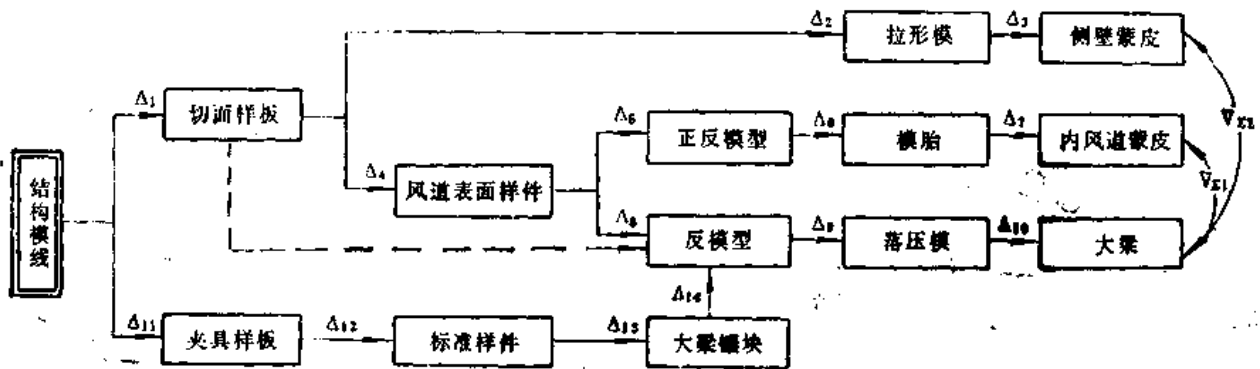


图2

表1. 机身前段风道板金件协调误差值表

协调部位	协调误差尺寸链方程	协调误差偏差值(mm)
梁与内风道蒙皮	$\nabla_{\Sigma 1} = \Delta_5 + \Delta_6 + \Delta_7 - \Delta_8 - \Delta_9 - \Delta_{10}$	$(\nabla_{\Sigma 1})_{\pm} = \pm 0.80$
梁与蒙侧壁皮	$\nabla_{\Sigma 2} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 - \Delta_4 - \Delta_{10} - \Delta_{11} - \Delta_{12} - \Delta_{13} - \Delta_{14}$	$(\nabla_{\Sigma 2})_{\pm} = \pm 0.71$

〔例2〕：这种方法也用于双曲面封闭形的盒形件，如某机发动机整流罩，由内、内蒙皮，加强板、通风管和法兰盘组成 如图3所示，内蒙皮是 0.3mm 钛板与加强板点

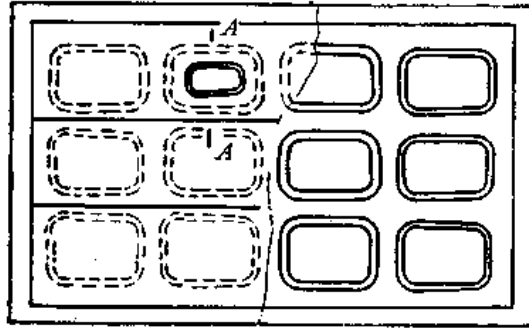


图3

焊连接，配合面大，配合间隙要求严格。

镶块情况如图4所示，其特点是根据需要，镶上需要协调零件的凸块，取制成形模

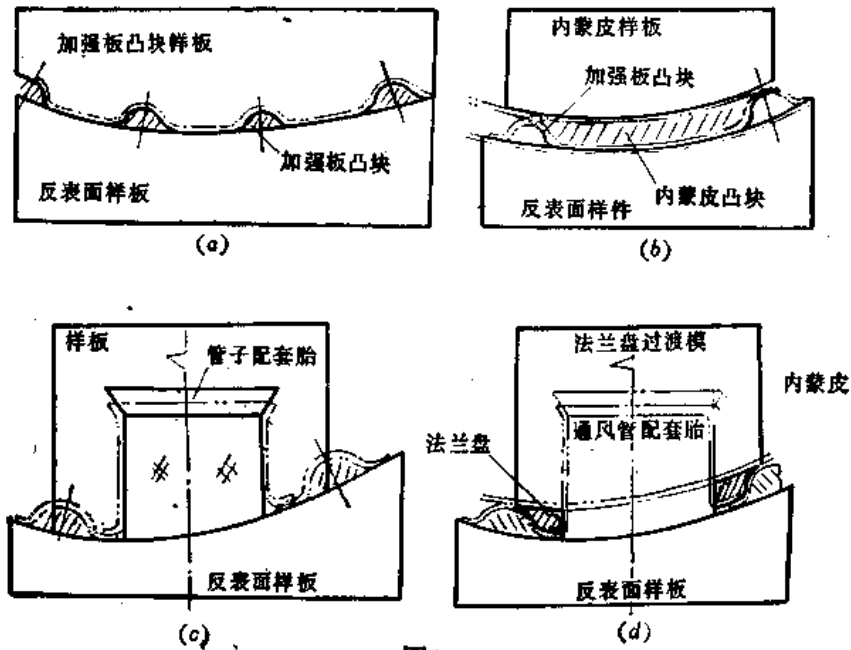


图4

或过渡模。用样板将加强板凸块，定位在反表面样件上，取制加强板的检验模，如图4(a)；在加强板凸块与反表面样件之间，垫内蒙皮凸块，取内蒙皮的成形模，如图4(b)；用样板将通风管配套胎、定位在反表面样件上，垫以料厚取通风管的成形模，如图4(c)；利用通风管配套胎和内蒙皮凸块，取法兰盘的过渡模，如图(4d)。

协调路线及协调误差计算见图5及表2。

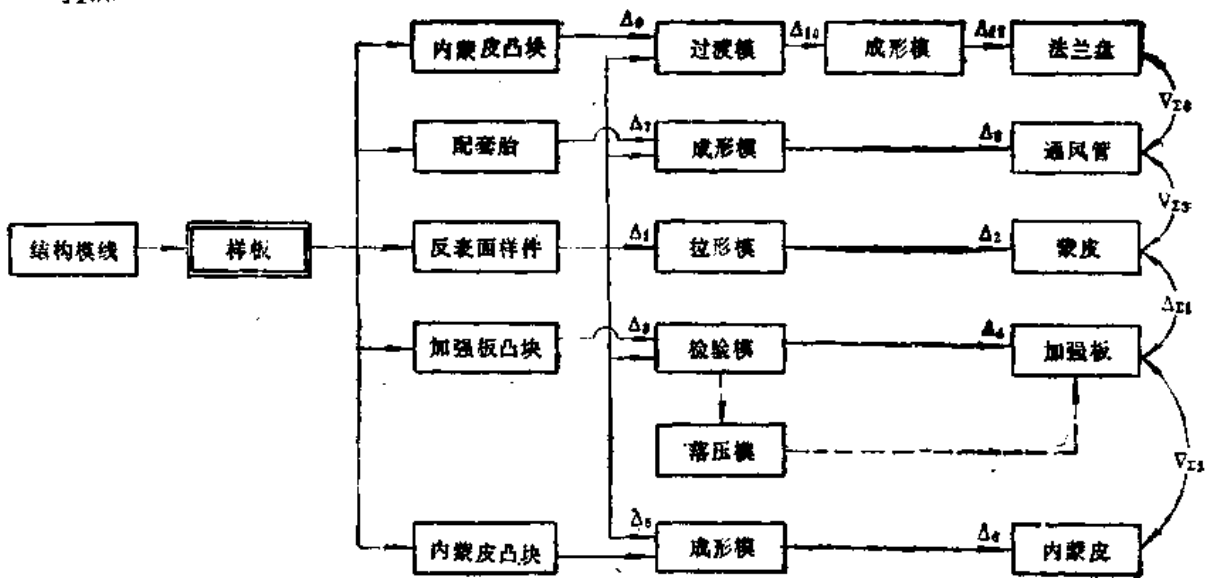


图5

表2. 发动机整流罩钣金件协调误差计算值表

协调部位	协调误差尺寸链方程	协调误差偏差值(mm)
蒙皮与加强板	$\nabla \Sigma_1 = \Delta_1 + \Delta_2 - \Delta_3 - \Delta_4$	$(\nabla \Sigma_1)_0 = \pm 0.52$
加强板与内蒙皮	$\nabla \Sigma_2 = \Delta_3 + \Delta_4 - \Delta_5 - \Delta_6$	$(\nabla \Sigma_2)_0 = \pm 0.52$
蒙皮与通风管	$\nabla \Sigma_3 = \Delta_1 + \Delta_2 - \Delta_7 - \Delta_8$	$(\nabla \Sigma_3)_0 = \pm 0.56$
法兰盘与通风管	$\nabla \Sigma_4 = \Delta_7 + \Delta_8 - \Delta_9 - \Delta_{10} - \Delta_{11}$	$(\nabla \Sigma_4)_0 = \pm 0.45$

4.7.3.4.4 组合式表面样件工作法⁽⁴⁾

这种方法用于形状复杂的双曲面封闭式的组合件的协调。如图1所示的某机主起落

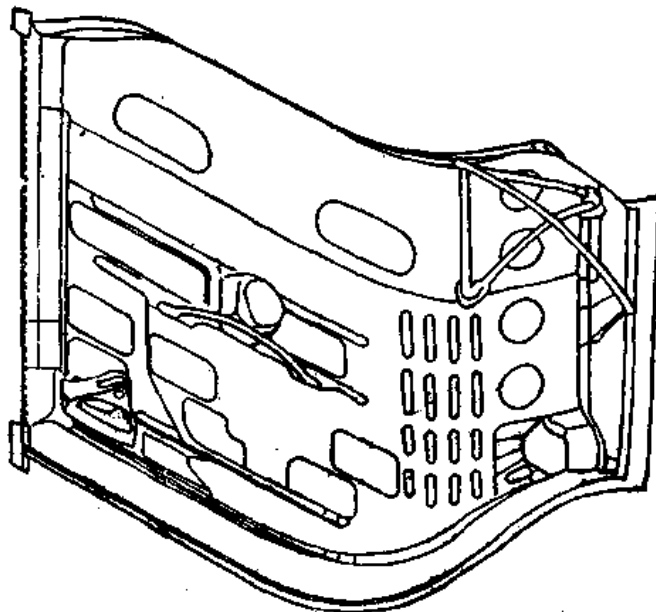


图1

架舱门，由内、外蒙皮和隔板组成。

组合式表面样件由外表面样件，内表面样件和结构模型组成，如图2所示。

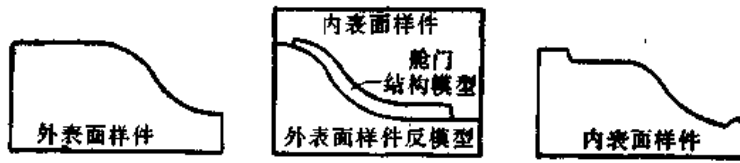


图2

外表面样件和结构模型，由切面样板组合固定后，填充石膏，流线加工而成。内表面样件的制造是，首先按外表面样件塑造过渡反模型，将结构模型固定在反模型上，再塑造内表面样件。这样可以保证内、外蒙皮与内部结构件三者之间的协调。

协调路线及协调误差的计算见图3及表。

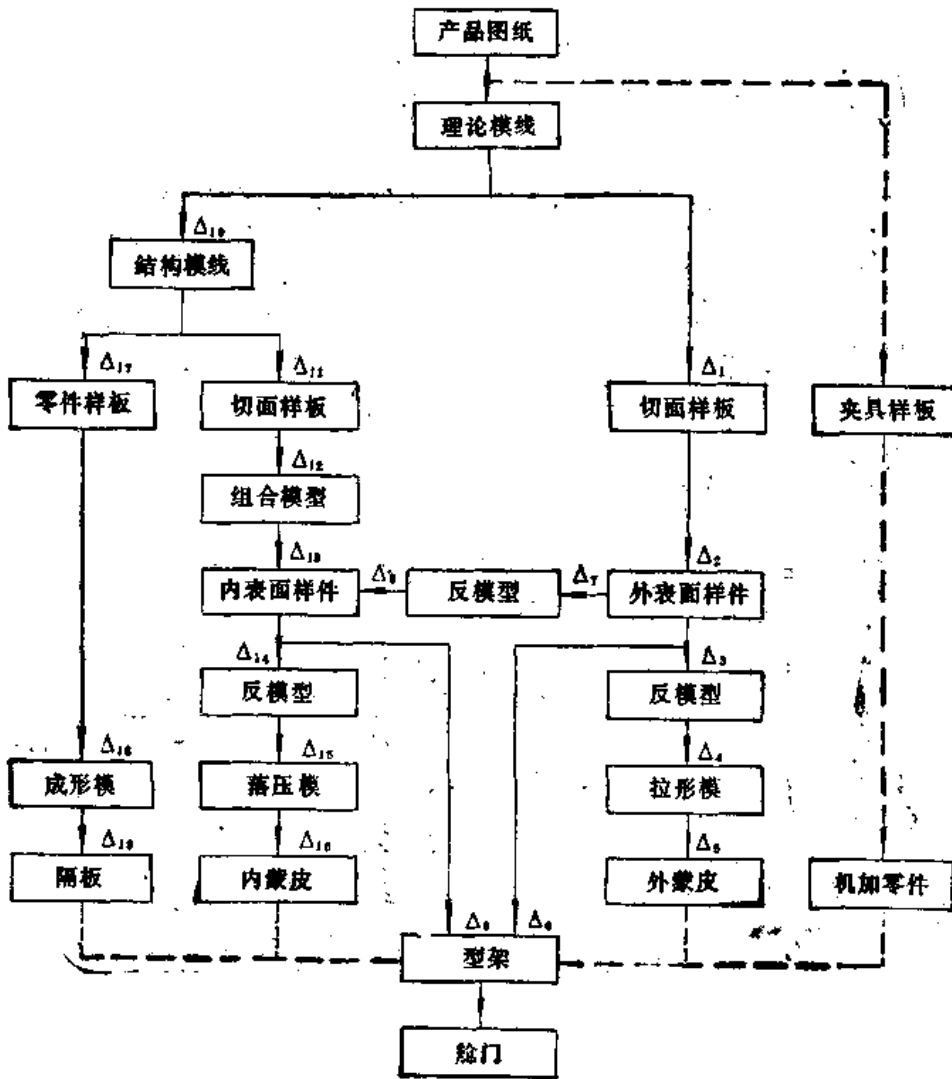


图3

主起舱门板金件协调误差计算值表

协调部位	协调误差尺寸链方程	协调误差偏差值(mm)
外蒙皮与卡板	$\nabla\Sigma_1 = \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 - \Delta_6$	$(\nabla\Sigma_1)_z = \begin{matrix} +0.55 \\ -0.20 \end{matrix}$
内蒙皮与内型板	$\nabla\Sigma_2 = -\Delta_3 + \Delta_{14} + \Delta_{15} + \Delta_{16}$	$(\nabla\Sigma_2)_z = \begin{matrix} +0.55 \\ -0.20 \end{matrix}$
隔板与卡板	$\nabla\Sigma_3 = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_6 - \Delta_{10} - \Delta_{17} - \Delta_{18} - \Delta_{19}$	$(\nabla\Sigma_3)_z = \begin{matrix} +0.35 \\ -0.25 \end{matrix}$
外蒙皮与隔板	$\nabla\Sigma_4 = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 - \Delta_{10} - \Delta_{17} - \Delta_{18} - \Delta_{19}$	$(\nabla\Sigma_4)_z = \begin{matrix} +0.75 \\ -0.45 \end{matrix}$

4.7.3.4.5 标准实样工作法

标准实样工作法，用于产品图纸难以全面完整地表达真实形状，无法用模线样板作为工艺装备最后制造依据的复杂板金零件。标准实样工作法分两种情况：一是用参考样板做参考实样，经鉴定合格后，作为标准实样；一是用样机上的零件作为标准参考实样。图1所示是某机后进气道防冰管，由进气道，防冰罩，防冰管组成。进气道和防冰罩

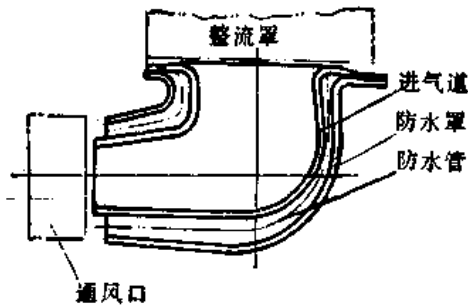


图1

分别由四块板金件焊接而成，防冰管由排成一圈的小管均布在进气道和防冰罩之间。进气道上部与整流罩连接，前部与发动机通风口配合，发动机工作时，由于热胀，保持0.5mm间隙，不工作时，保持1~3mm间隙。

协调路线如图2。制造过程如图3，进气道表面样件外形按进气道参考标准实样塑

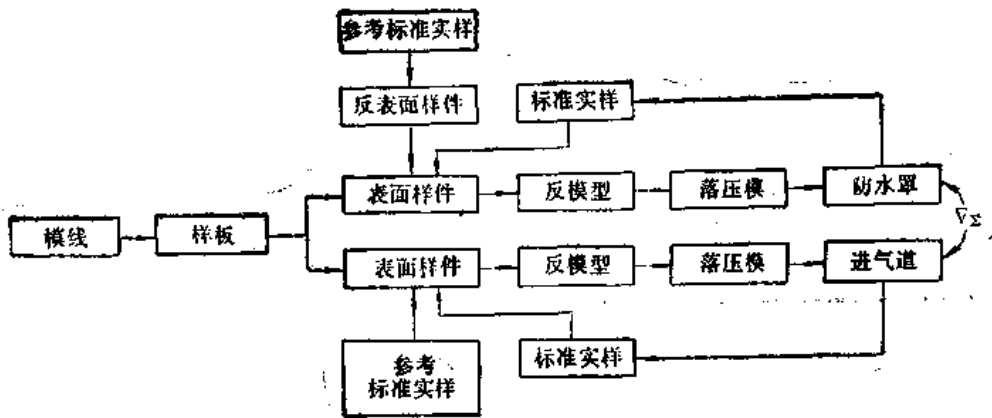


图2

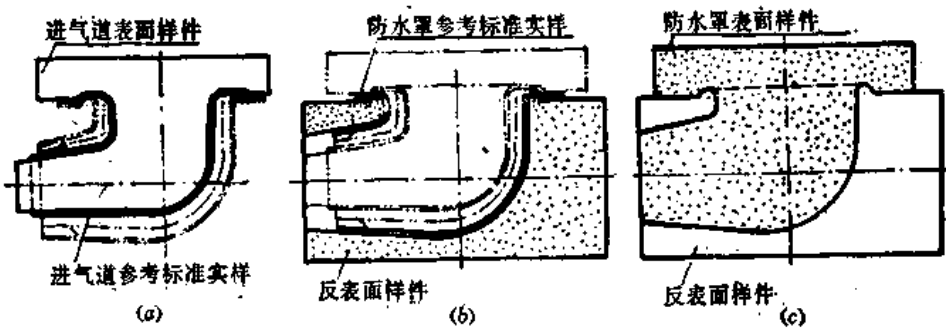


图3

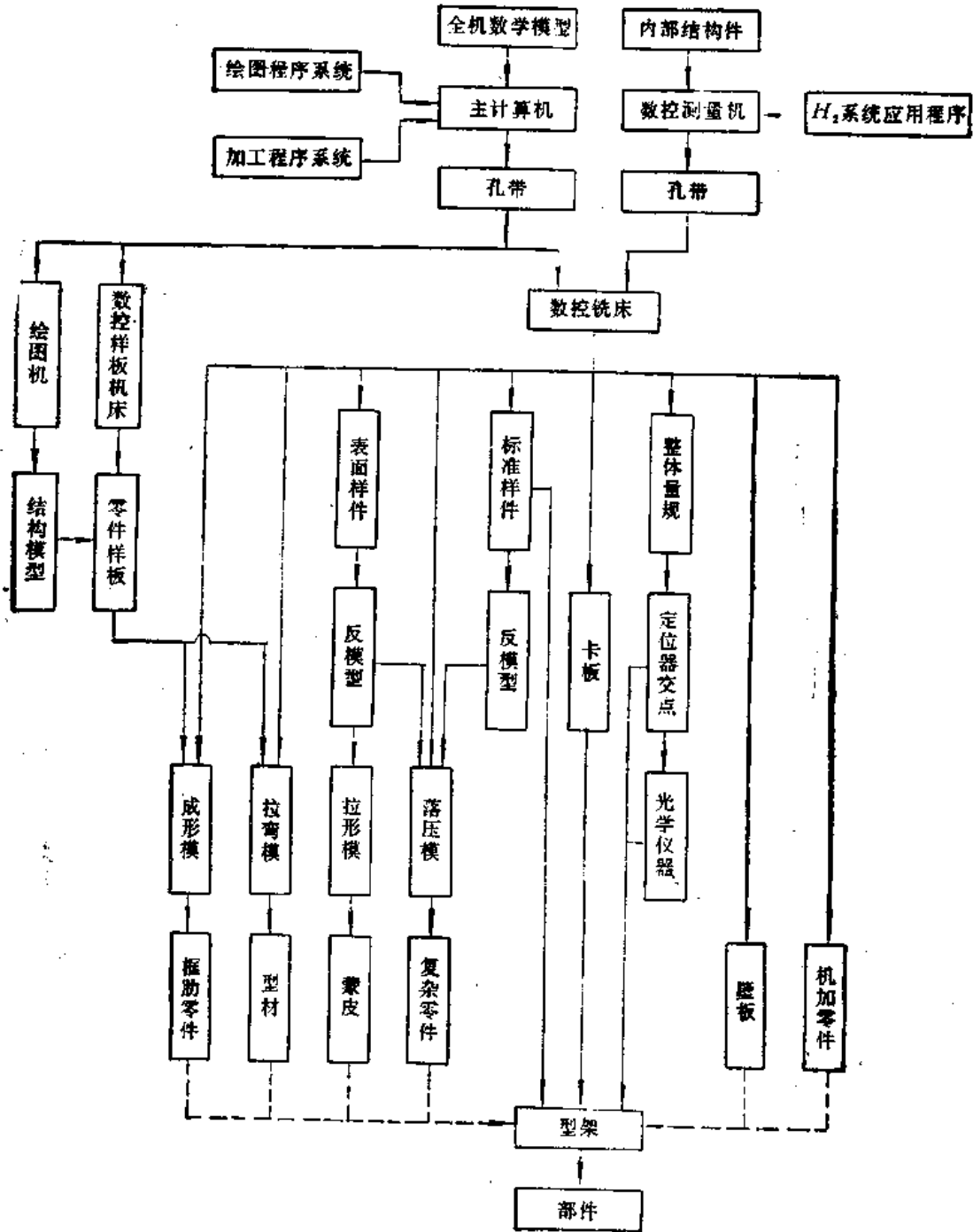
造，与整流罩对接部分，按样板制造，通过反模型协调落压模，制造进气道，组装合格后，定为标准实样，再按标准实样，修整表面样件，如图3(a)。防水罩的表面样件制造如图3(b)。两个表面样件制造好后，应对合协调配合面，如图3(c)。

表面样件和样板作为制造和复验钣金零件与工艺装备的依据，标准实样和样板作为表面样件复验和复制的依据。

4.7.3.5 CAD/CAM工作法⁽⁸⁾

计算机辅助设计和辅助制造，是以计算机为手段，数控机床为基础，以数学模型为依据在设计，生产准备、生产各环节直接进行数值量传递的加工与协调方法，称为CAD/CAM方法。

CAD/CAM协调路线如图，其特点是一方面采用了CAD/CAM技术，另一方面保留了模线样板等常规协调环节，在经济上不合理，技术上不必要的工艺装备采用常规方法协调。直线协调路线，属于数值量传递路线，折线前半部属于数值量传递；后半部属于模拟量传递。



4.7.3.5.1 钣金零件与机加零件的协调^①

某机两侧进气道，如图1 AA剖面，是内、外蒙皮与机械加工零件唇口套合结构件，BB剖面是内、外蒙皮与钣金零件隔板的套合结构件。

协调路线及协调误差计算见图2及表。

^① 葛占斌，李伟，“飞机套合件协调误差计算”，《松陵科技》，1984年2期。

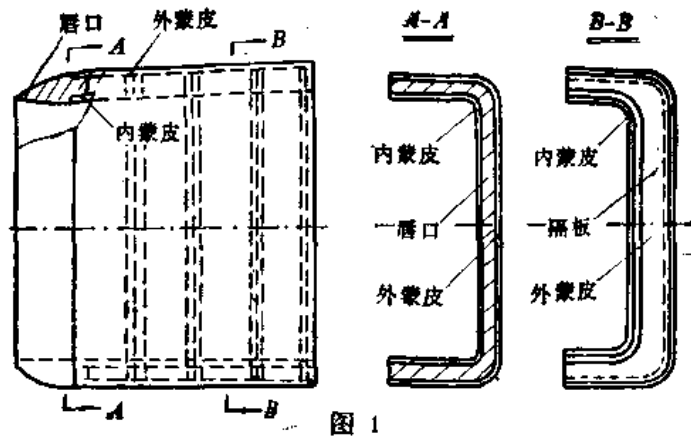


图 1

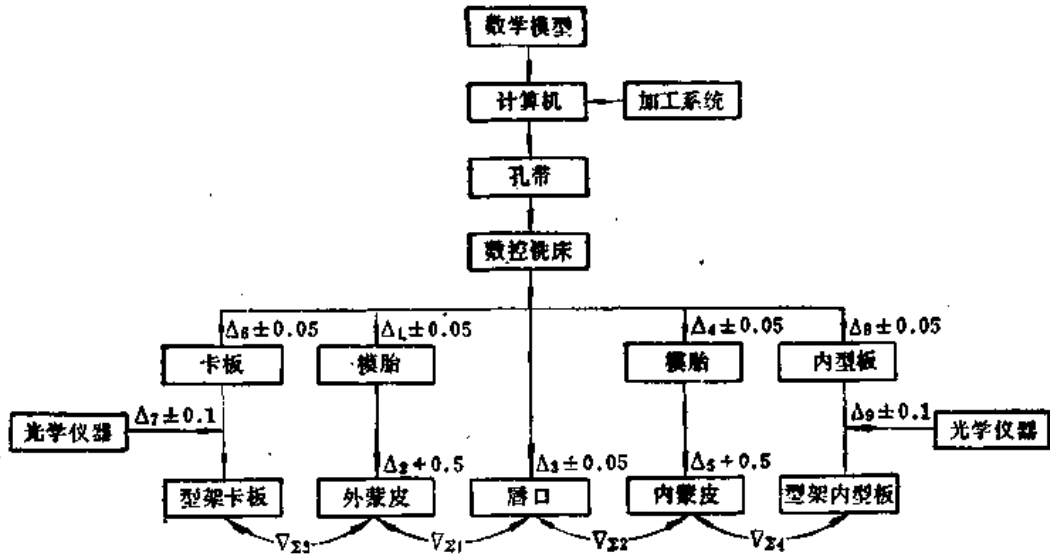


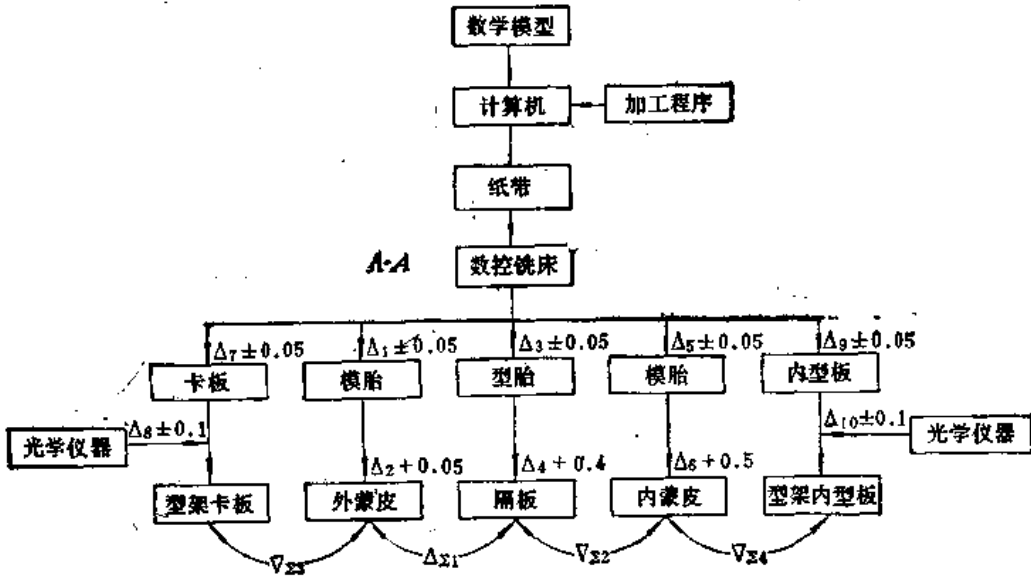
图 2

进气道板金件与机加件协调误差计算值表

协调部位	协调误差尺寸链方程	协调误差偏差值(mm)
外蒙皮与唇口	$\nabla_{\Sigma 1} = \Delta_1 + \Delta_2 - \Delta_3$	$(\nabla_{\Sigma 1})_{\pm} = \begin{matrix} +0.53 \\ -0.03 \end{matrix}$
唇口与内蒙皮	$\nabla_{\Sigma 2} = \Delta_3 - \Delta_4 - \Delta_5$	$(\nabla_{\Sigma 2})_{\pm} = \begin{matrix} +0.06 \\ -0.58 \end{matrix}$
外蒙皮与卡板	$\nabla_{\Sigma 3} = -\Delta_1 - \Delta_2 + \Delta_6 + \Delta_7$	$(\nabla_{\Sigma 3})_{\pm} = \begin{matrix} +0.31 \\ -0.11 \end{matrix}$
内蒙皮与内型板	$\nabla_{\Sigma 4} = \Delta_4 + \Delta_5 - \Delta_8 - \Delta_9$	$(\nabla_{\Sigma 4})_{\pm} = \begin{matrix} +0.61 \\ -0.11 \end{matrix}$

4.7.3.5.2 钣金零件与钣金零件的协调

4.7.3.5.1节图1 BB剖面,是由内、外蒙皮与隔板组成的钣金套合件。协调路线及协调误差计算见图及表。



进气道钣金件协调误差计算值表

协调部位	协调误差尺寸链方程	协调误差偏差值(mm)
外蒙皮与隔板	$\sqrt{\Sigma_1} = \Delta_1 + \Delta_2 - \Delta_3 - \Delta_4$	$(\sqrt{\Sigma_1})_{\pm} = \begin{matrix} +0.48 \\ -0.38 \end{matrix}$
内蒙皮与隔板	$\sqrt{\Sigma_2} = \Delta_3 + \Delta_4 - \Delta_5 - \Delta_6$	$(\sqrt{\Sigma_2})_{\pm} = \begin{matrix} +0.38 \\ -0.48 \end{matrix}$
外蒙皮与卡板	$\sqrt{\Sigma_3} = \Delta_1 + \Delta_8 - \Delta_7 - \Delta_2$	$(\sqrt{\Sigma_3})_{\pm} = \begin{matrix} +0.11 \\ -0.61 \end{matrix}$
内蒙皮与内型板	$\sqrt{\Sigma_4} = \Delta_6 + \Delta_9 - \Delta_5 - \Delta_{10}$	$(\sqrt{\Sigma_4})_{\pm} = \begin{matrix} +0.61 \\ -0.11 \end{matrix}$

不难看出, CAD/CAM 工作法, 对钣金零件协调准确度的提高不明显, 因为影响协调误差的主要因素是钣金零件的制造误差。

参 考 资 料

- (1) 程宝康, 《飞机制造准确度与公差分配》, 国防工业出版社, 1978年。
- (2) 飞机铆接装配工艺手册编辑组《飞机铆接装配工艺手册》, 国防工业出版社, 1984年9月。
- (3) 李致和, “道格拉斯公司飞机工艺装备点滴”, 《航空工艺技术》, 1982年12期。
- (4) 电子计算机和数控技术在飞机制造中的应用编辑组, 《电子计算机和数控技术在飞机制造中的应用》, 国防工业出版社, 1978年。

4.8 工艺方案的制定与技术经济分析

工艺工作是为了实现产品功能，创造经济效益，根据现有和可能提供的生产物质技术条件，人为地规定其应采用的手段（如设备、工具）和工艺流程，并有组织地实施。

工艺方案的制定和选择，是工艺工作中的重要一环。制定工艺方案与技术经济分析必须运用价值工程的原理，提出各种制造零件价值较高的方案。每种方案所使用的设备、工具和工艺流程各不相同。对可行的各种工艺方案进行技术经济分析，筛选出技术上先进，经济效益好，生产单位现有和可能提供的物质和技术条件允许的最佳方案。

4.8.1 工艺方案的制定

4.8.1.1 制定工艺方案的基本原则

制定工艺方案的基本原则是：

- (1) 保证产品质量。
- (2) 技术先进，尽量采用新技术成果。
- (3) 劳动生产效率高。
- (4) 满足使用寿命，经济上合理，加工成本低。
- (5) 改善劳动条件，生产安全，环境污染得到控制。
- (6) 生产准备周期短，生产周期满足要求。

4.8.1.2 制定工艺方案的依据

制定工艺方案的依据有：

(1) 零件的功能和结构。一般体现在图纸和技术条件中。制定工艺方案时根据产品（零件）图纸对其结构工艺性进行分析。零件工艺性差，必然使加工过程复杂化，甚至不可能加工出合格的产品，因此良好的工艺性是制定出最佳工艺方案的基础。产品技术条件反映了功能要求，产品质量必须保证它的实现。

(2) 零件的交接状态和协调要求。

(3) 总产量和批量。提出了总寿命和周期寿命的要求。

(4) 生产准备周期和生产周期。对工艺方案在时间上提出的要求。工艺装备的选择和生产效率应满足它们的要求。

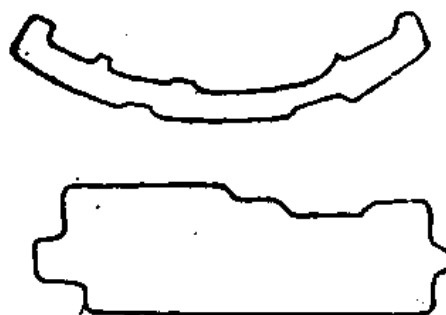
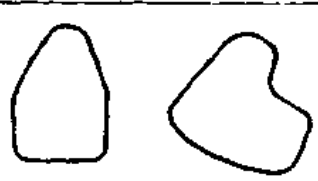

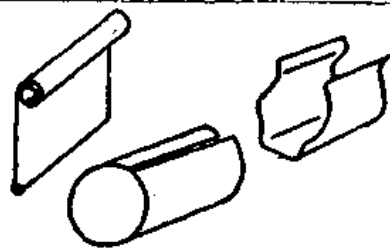
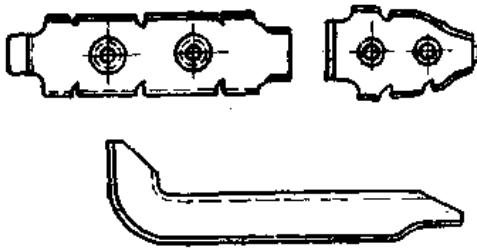
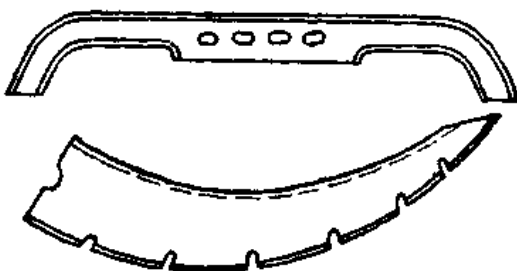
(5) 现有和可能提供（含外协加工）的具体生产物质和技术条件，如设备、动力、面积、技术人员和工人的实际技术水平，新技术应用状况，生产和技术管理等条件。

(6) 各种准确的经济和技术的原始资料。

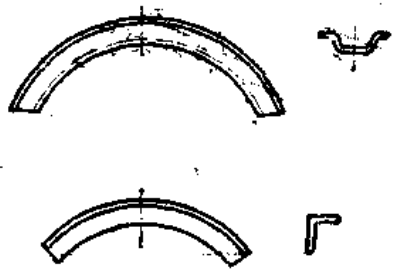
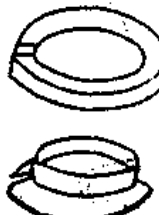


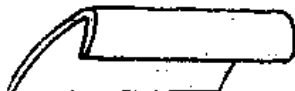
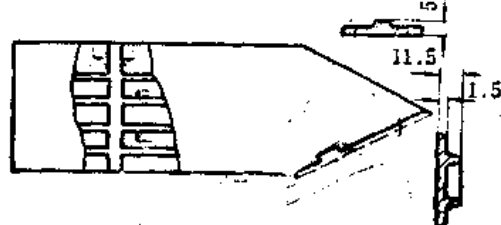
4.8.1.3 典型零件的工艺方案

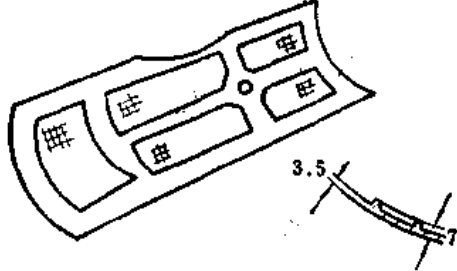
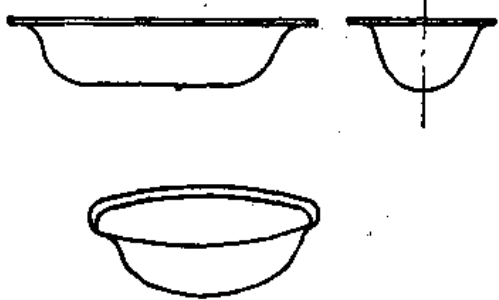


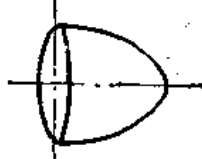
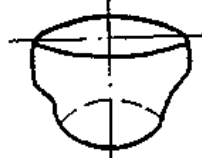

按产品结构，钣金零件按形状大致可归纳成以下几种典型零件，相应的各种可行的工艺方案见表。

典型零件与工艺方案表

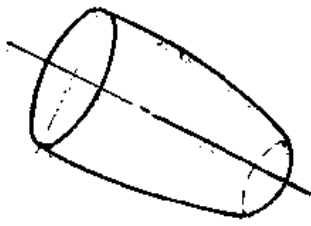
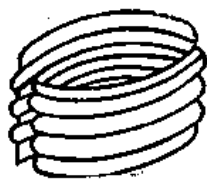

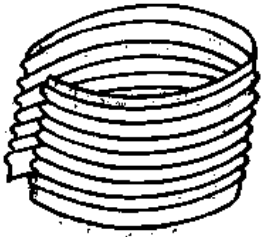
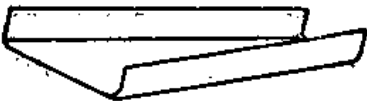
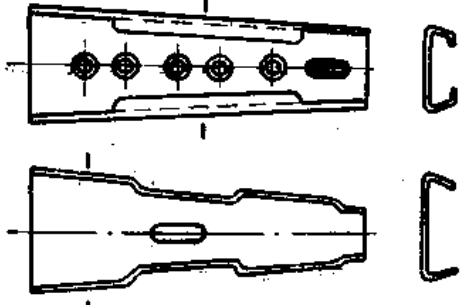
分类	型 别	典 型 零 件	尺寸与材料(mm)	可行工艺方案
干 板	大型曲线外形		1000 ~2800 $t \leq 1.0$ 铝、铜、铁	振动剪切 铣切 手工剪切
	小型曲线外形		100 ~300 $t \leq 1.0$ 铝、铜、铁	手工剪切 冲裁 铣切
小件弯曲	直线弯曲		$L \leq 500$ $B \leq 100$ $t \leq 1.0$ 铝、铜、铁	手工成形 弯曲模冲压 通用两压模成形
	曲线弯曲		$L \leq 200$ $B \leq 80$ $t \leq 1.0$ 铝、铜、铁	手工成形 弯曲模冲压
框 肋	中小尺寸框板件		$L = 470$ ~1130 $t = 0.6$ ~1.6 铝、铁	手工成形 橡皮成形 冲压成形
	大尺寸框板件		$L = 500$ ~1000 $t = 0.8$ ~1.5 铝	手工成形 橡皮成形

(续)

分类	型 别	典 型 零 件	尺寸与制 料(mm)	可行工艺方案
型材 (板弯曲折压型材)	曲线形		$L \leq 820$ 铝、钢	拉 弯 压 弯
	环形		$L > 1000$ 铝、钢	滚 弯 旋 弯
蒙 皮	单 曲 度		$L > 1000$ $B > 400$ 铝、钢 钛	滚 弯 压 弯
	双 曲 度		$L > 1200$ $B > 400$ $t \leq 4.0$ 铝、钢	手工滚弯 拉 形
	前 蒙 皮		$L > 500$ 铝	滚弯后刚压 刚压弯曲后 拉形
整体蒙 板	单 曲 度 蒙 板		$L > 500$ $B > 500$ 铝	滚弯成形 喷丸成形

分类	型别	典型零件	尺寸与材料(mm)	可行工艺方案
箱体壁板	双曲面壁板		$L > 1200$ $B > 400$ 铝	厚板拉形后, 化学铣切 内部肋格 数控铣切肋 格后喷丸成形
立体零件	带凸缘压延件		毛料尺寸 500×900 铝、钢 毛料尺寸 $D800$ 铝、钢	压延成形 落压成形 爆炸成形
旋转体	小型筒形件		$D \leq 20$ $t \leq 1.0$ 铝、钢	压延 旋压 冷挤压
	大型筒形件		$D \geq 500$ $t \leq 5$ 铝、钢	压延 变薄旋压 爆炸成形
	抛物形锥体		$D > 300$ 铝、钢	落压后旋压 变薄旋压
	喇叭形		$D > 400$ $t \leq 2.0$ 铝、钢	压延 爆炸胀形
半管	半管		毛料尺寸 400×500 $t \leq 1.5$ 铝、钢	落压成形 冲压成形

(续)

分类	型别	典型零件	尺寸与材料(mm)	可行工艺方案
曲母线筒体	曲线筒体		毛料 $L > 1000$ $B > 600$ $t \leq 2.0$ 铝	分半拉形后 焊接成筒体 板料卷曲焊 成筒体后液 压胀形
波形件	大波纹环形圈		$D > 400$ $t \leq 1.5$	落压成形 爆炸成形
	波纹板		毛料 $L > 300$ $B = 200$ ~ 1000 不锈钢	落压成形 爆炸成形
	密排小波纹圈		$D > 400$ $B = 200$ ~ 1000 $t = 0.3$ ~ 0.8 不锈钢	压波纹后 滚弯成形 液压胀形
梁及长桁	开式及 开大角梁		$L > 1000$ 铝、钢	手工成形 落压弯曲 弯板机弯曲
	闭角度大梁		$L > 1000$ $t \leq 3.0$ 铝、钢	手工成形 橡皮容框 网压成形

4.8.2 工艺方案的技术经济分析

制定的各种工艺方案，须要进行方案论证。首先作出技术评价，如实现功能的可行性、质量、安全等。在此基础上进一步作出经济评价。

4.8.2.1 工艺方案的经济核算

对工艺方案进行经济分析时，为了简化分析工作，与工艺方案无关的费用不考虑，只计算其工艺成本，即与工艺方案有关的费用总和。工艺成本中包含有：

- (1) 随产品数量的变动而成比例变化的费用，称可变费用。
- (2) 不随产量变化的费用，称不变费用。

可变费用包括如下项目：

- (1) 生产工人工资及附加工资。
- (2) 设备经营费，动力费。
- (3) 通用设备折旧费。
- (4) 通用工具折旧费。
- (5) 定额材料消耗和辅助材料消耗费。

不变费用包括如下项目：

- (1) 厂房和专用机床设备折旧费。
- (2) 专用工夹具折旧费。
- (3) 车间经费。
- (4) 企业管理费。

对某产品进行工艺方案对比时，包含的工艺成本项目只有在受工艺方案影响发生变化的情况下，才包括到工艺成本中去。如在比较同一种毛坯的工艺方案时，金属材料的费用可不列入工艺成本。

采用某一工艺方案所须的年度工艺成本，可按下列公式进行计算

$$C_n = E + DN$$

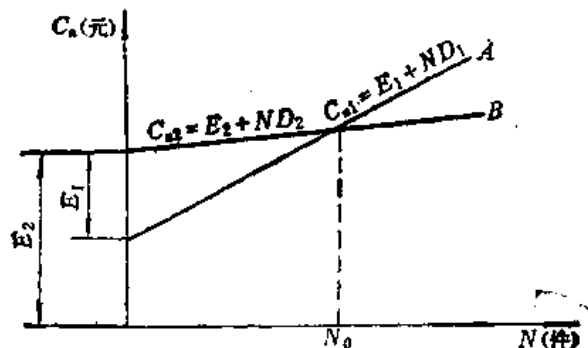
C_n ——工艺方案年度工艺成本（元/年）；

E ——是产品与产量无关的年度不变费用（元/年）；

D ——是工艺成本中单位产品的可变费用（元/件）；

N ——是采用该工艺方案生产的产品的年产量（件/年）。

对比某产品的两个工艺方案的工艺成本，可用图解法分析。设：两个工艺方案中 $E_2 > E_1$ ， $D_2 < D_1$ ，则两方案的年度工艺成本和生产量的关系如图。



图中 N_0 为两工艺方案工艺成本相等的年产量, 即 $N_0D_1 + E_1 = N_0D_2 + E_2$,

$$N_0 = \frac{E_1 - E_2}{D_2 - D_1}$$

若以方案A为基础方案, 方案B为对比方案, N_0 称为对比工艺方案的临界产量, 也可称为对比工艺方案的最小经济产量。当预计年产量小于 N_0 时, 采用工艺方案A较采用工艺方案B有利, 当预计年产量大于 N_0 时, 则采用B方案较A方案有利。

如有三种可供选择的方案, 则可能出现许多种情况, 在每种情况下, 一般都需要先计算出不同方案之间的临界产量, 然后根据预计产量来核定工艺成本较低的方案。

4.8.2.2 典型零件工艺方案经济评价

为了供选用方案时参考, 列举某厂生产零件的工时定额及生产加工费用作出《典型零件工艺方案技术经济评价表》以相对比较各个方案的经济性。

制作《典型零件工艺方案技术经济评价表》的条件是:

(1) 为简化成本核算, 采用制造工时费分配率。其中包括工人工资、设备使用和折旧费、车间管理经费等。未特殊注明的零件制造工时费分配率为1.6元/小时。工艺装备制造工时费分配率为2.23元/小时。

(2) 当年产量分几批完成时, 则应根据每年批次数追加准备工时。而表中是以每年产量投入四个批次计算。

(3) 工艺装备费用按使用三年折旧收回, 而通用模具(如通用闸压模)的费用不计成本。

典型零件工艺方案技术经济评价表

型别	线条	工艺方案	工 装	机 床	准备 工时 (min)	操作 工时 (min)	工装 费用 (元)	$C_0 - N E_1$
大中型曲线 下料	A	振动剪 下料	毛料 样板	振动 剪床	20	18		
	B	铣 切 下 料	铣切 样板	靠模 铣	60	6		
小型曲线 外形下料	A	手工剪切	—	—	45	15		
	B	铣 切	铣切 样板	板金 铣床	40	4	10	
	C	冲 裁	冲模	冲床	30	0.3	58	

类别	线条	工艺方案	工装	机床	准备工时 (min)	操作工时 (min)	工装费用 (元)	C_n-N 图
小件直线弯曲	A	手工成形	型胎	—	10	30	17	
	B	冲压成形	弯曲模	冲床	40	1	72	
	C	通用闭压模成形	通用闭压模	闭压床	30	10	35	
小件曲线弯曲	A	手工成形	型胎	—	10	30	10	
	B	冲压成形	弯曲模	冲床	30	1	80	
框肋中小成形件	A	手工成形	型胎	—	15	90	40	
	B	橡皮成形	压型模	橡皮压床	15	40	55	
	C	冲压成形	冲压弯曲模	冲床	30	2	109	
框肋大尺寸成形件	A	手工成形	型胎	—	30	240	76	
	B	橡皮成形	压型模	橡皮液压机	30	95	124	
曲线型材	A	拉弯及手工修正	拉弯模	拉弯机	40	50 [⊙]	150	
	B	压弯及手工修正	压弯模	液压机	45	35 [⊙]	243	

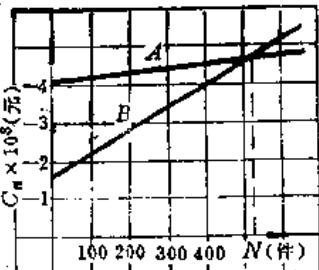
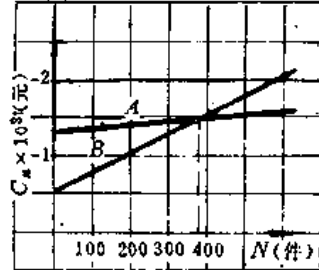
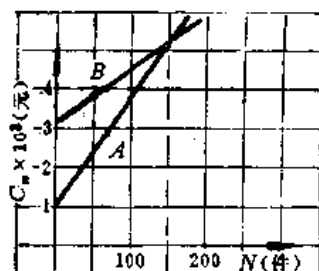
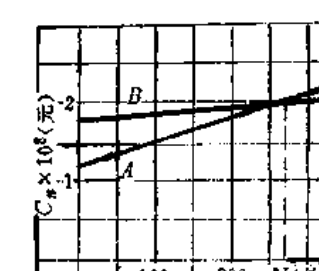
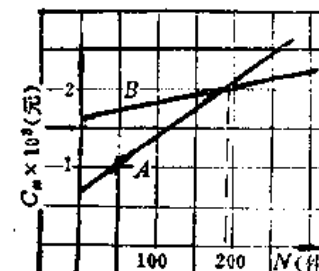
(续)

型别	线条	工艺方案	工装	机床	准备工时 (min)	操作工时 (min)	工装费用 (元)	C _n -N图
环型型材	A	滚弯	—	滚弯机	180	25	—	
	B	绕弯	绕弯模	绕弯机	30	10	85	
单曲面腹板	A	滚弯成形	切面样板	三轴滚床	60	45 ^②	—	
	B	压弯	压弯模	闸压床	60	20 ^②	280	
双曲面腹板	A	滚压机滚轮反复滚弯	检验模胎	手用滚压机	20	480	650	
	B	拉形	拉形模胎	拉形机	80	84 ^②	900	
前缘腹板	A	滚弯后闸压	通用闸压模 检验模	滚弯机 闸压床	100	230 ^②	260	
	B	闸压弯曲后拉形	通用闸压模 拉形模	闸压床 拉形机	180	75 ^②	540	
单曲面腹板	A	滚弯成形	检验模	滚弯机	40	1800	1000	
	B	喷丸成形	检验模 预应力夹具	喷丸成形机床	60	240 ^③	1300	

(续)

型别	线条	工艺方案	工装	机床	准备工时 (min)	操作工时 (min)	工装费用 (元)	C_n-N 图
双曲面壁板	A	厚板拉形后化铁内部肋格	拉形模	拉形机		360 [Ⓢ] 3600 [Ⓢ]	1250	
	B	数控铣切肋格后喷丸成形	检验模 预应力夹具	数控铣 喷丸机		300 [Ⓢ] 240 [Ⓢ]	1850	
立体零件	A	压延成形	压延模 1~2套	液压机	200	10 [Ⓢ]	3000	
	B	落压成形	铅锌模 1~2套	落锤	120	112 [Ⓢ]	800	
	C	爆炸成形	爆炸凹模	—	90	95	1200	
小型筒形件	A	压延	压延模 (三套)	冲床	120	3	800	
	B	旋压	旋压模	旋压床	30	35	100	
	C	冷挤压	冷挤压模	冲床	50	1	400	
大型筒形件	A	压延	压延模	1000T 液压机	1920	25 [Ⓢ]	2500	
	B	变薄旋压	旋压模	变薄 旋压床	880	480 [Ⓢ]	250	
	C	爆炸成形	爆炸模	—	480	3000	1200	
抛物形锥体	A	落压后旋压	铅锌模 (三套)	落锤 普通旋 压床	210	125 [Ⓢ]	1100	
	B	变薄旋压	旋压模 靠模板	变薄 旋压床	150	120 [Ⓢ]	400	

(续)

型别	线条	工艺方案	工装	机床	准备 工时 (min)	操作 工时 (min)	工装 费用 (元)	C*-N图
喇叭形旋转体	A	压延	压延模 (三套)	液压机	360	20 ^③	4000	
	B	爆炸胀形	胀形模	—	140	250	1500	
半管	A	落压成形	铅锌模	落锤	90	40 ^③	500	
	B	冲压成形	压型模	液压机	70	10 ^③	1300	
曲线筒体	A	分半拉形后 焊接成筒体	拉形模 焊接夹具	拉形机	150	450 ^③	800	
	B	板料卷曲焊成 锥体后液压胀形	液压 胀形模	胀形机	120	340 ^③	3100	
大波纹环形圈	A	落压成形	铅锌模 (二套)	落锤	200	35 ^③	1200	
	B	爆炸胀形	爆炸模	—	120	15	1700	
波纹板	A	落压成形	铅锌模	落锤	90	20	680	
	B	爆炸成形	爆炸模	—	120	10	1650	

(续)

型别	线条	工艺方案	工装	机床	准备工时 (min)	操作工时 (min)	工装费用 (元)	C_n-N 图
密排小波纹圆	A	压波纹后 滚弯成形	压型模 滚轮	闭压床 滚床	120	320 ^①	950	
	B	液压胀形	胀形模	胀形机	120	160 ^②	3500	
开式及开角度大梁	A	手工成形	—	—	50	240		
	B	闭压弯曲	—	闭压床	100	10 ^③		
	C	弯板机弯曲	—	弯板机	60	35 ^④		
闭角度大梁	A	手工成形	型胎	—	60	750	320	
	B	橡皮容框 闭压成形	闭压模 橡皮容框	闭压床	100	15 ^⑤	800	

- ①该类零件制造工时费分配率是2.90元/小时。
 ②该类零件制造工时费分配率是3.64元/小时。
 ③该工序制造工时费分配率是1.90元/小时。
 ④该工序制造工时费分配率是5.70元/小时。
 ⑤该工序制造工时费分配率是60元/小时。

4.8.3 工艺方案的选定

制定各种可行的工艺方案，并对每种方案进行技术经济分析的目的都是为了选定最佳的工艺方案。所以选定最佳的工艺方案既要发挥工艺技术人员积极性，还必须搞好“三结合”，以保证所选方案在生产中可行，技术上先进，经济效益好。

选定工艺方案考虑的主要因素有：

(1) 生产条件允许。这里的生产条件指：

生产管理方面。如国家统一规定的各种劳动、技安、环保和经济技术等方面的政策法规，工厂的生产、技术、质量和经营等方面的规章制度和实际管理水平，协作加工的能力和可能性。

生产物质方面。如厂房、设备、工艺装备、工具和检测手段等的技术性能，实际能

力和精度，原材料和辅助材料的质量和供应。

生产技术方面。科研力量，应变能力和生产准备能力，技术人员和工人的实际水平，工厂的生产习惯。

(2) 技术上先进。充分运用新技术成果，保证稳定（可靠）优质生产和劳动条件（即劳动环境、强度、安全、污染和保健）的不断改善。同时也应考虑继承性和质量成本，以防盲目追求新技术。对于新技术和新工艺关键课题，一定要经过方案论证，试验研究，试用并经鉴定合格后才可投入批生产。

(3) 经济效益好。即工艺方案的价值高，也就是说在满足产品基本功能（质量）的前提下，实施其工艺方案的总成本最低，以保证企业和社会的效益好。

(4) 生产的规模和性质。如产品研制和改进改型，成批和流水大量生产等。

附录

1. 力的单位换算表

	吨力 (tf)	英吨力 (tonf)	美吨力 (US tonf)	千克力 (kgf)	克力 (gf)	牛 (N)	达因 (dyne)	磅力 (lbf)	磅达 (pdl)	开度 (kip)
1吨力 (tf)	1	0.984	1.102	1×10^3	1×10^6	9.81×10^3	9.81×10^8	2205	7.09×10^4	2.205
1英吨力 (tonf)	1.016	1	1.12	1.016×10^3	1.016×10^6	9960	9960×10^5	2240	72100	2.240
1美吨力 (US tonf)	0.907	0.883	1	0.907×10^3	0.907×10^6	8.9×10^3	8.9×10^8	2000	64300	2
1千克力 (kgf)	1×10^{-3}	0.984×10^{-3}	0.1102×10^{-2}	1	10^3	9.81	9.81×10^5	2.205	70.9	2.205×10^{-3}
1克力 (gf)	1×10^{-6}	0.984×10^{-6}	0.1102×10^{-5}	10^{-3}	1	9.81×10^{-3}	981	2.205×10^{-3}	0.0709	2.205×10^{-6}
1牛 (N)	0.102×10^{-3}	0.1004×10^{-3}	0.1124×10^{-3}	0.102	102	1	10^5	0.225	7.23	0.225×10^{-3}
1达因 (dyne)	0.102×10^{-8}	0.1004×20^{-8}	0.1124×10^{-8}	0.102×10^{-5}	0.102×10^{-2}	10^{-6}	1	0.225×10^{-5}	7.23×10^{-6}	0.225×10^{-8}
1磅力 (lbf)	0.454×10^{-3}	0.446×10^{-3}	0.5×10^{-3}	0.454	454	4.45	4.45×10^5	1	32.2	0.001
1磅达 (pdl)	1.41×10^{-5}	1.388×10^{-5}	0.1554×10^{-4}	0.0141	14.1	0.1383	0.1383×10^5	0.0311	1	0.311×10^{-4}
1开度 (kip)	0.454	0.446	0.5	0.454×10^3	0.454×10^6	4.45	4.45×10^8	1000	32200	1

注：单位开度(kip)仅在美国使用

2. 压力单位换算

表1. 压力单位换算表之一

	千克力/米 ² (kgf/m ²)	千克力/厘米 ² (kgf/cm ²)	标准大气压 (atm)	达因/厘米 ² (dyne/cm ²)	帕: 牛/米 ² (Pa; Pascal; N/m ²)	牛/毫米 ² (N/mm ²)	百巴 (hbar)	磅达/英尺 ² (pdl/ft ²)	磅力/英寸 ² (lbf/in ²)	磅力/英尺 ² (lbf/ft ²)
1 千克力/米 ² (kgf/m ²)	1	1 × 10 ⁻⁴	9.68 × 10 ⁻⁵	98.1	9.81	9.81 × 10 ⁻⁶	9.81 × 10 ⁻⁷	6.59	0.001422	0.205
1 千克力/厘米 ² (kgf/cm ²)	1 × 10 ⁴	1	0.968	0.981 × 10 ⁶	9.81 × 10 ⁴	9.81 × 10 ⁻²	9.81 × 10 ⁻³	65900	14.22	2050
1 标准大气压 (atm)	1.033 × 10 ⁴	1.033	1	1.013 × 10 ⁶	101300	0.1013	1.013 × 10 ⁻²	68100	14.7	2120
1 达因/厘米 ² (dyne/cm ²)	0.0102	1.02 × 10 ⁻⁶	0.987 × 10 ⁻⁶	1	0.1	1 × 10 ⁻⁷	1 × 10 ⁻⁸	0.0672	1.45 × 10 ⁻⁶	0.209 × 10 ⁻²
1 帕 = 1 牛/米 ² (Pa; Pascal; N/m ²)	0.102	1.02 × 10 ⁻⁵	9.87 × 10 ⁻⁶	10	1	1 × 10 ⁻⁶	1 × 10 ⁻⁷	0.672	1.45 × 10 ⁻⁴	0.0209
1 牛/毫米 ² (N/mm ²)	1.02 × 10 ⁵	10.2	9.87	1 × 10 ⁷	1 × 10 ⁶	1	0.1	672000	145	20900
1 百巴 (hbar)	1.02 × 10 ⁶	102	98.7	1 × 10 ⁸	1 × 10 ⁷	10	1	0.672 × 10 ⁷	1450	209000
1 磅达/英尺 ² (pdl/ft ²)	0.152	1.518 × 10 ⁻⁵	0.1469 × 10 ⁻⁴	14.88	1.488	1.488 × 10 ⁻⁶	1.488 × 10 ⁻⁷	1	2.16 × 10 ⁻⁴	0.0311
1 磅力/英寸 ² (lbf/in ²)	0.703 × 10 ³	0.0703	0.068	6.89 × 10 ⁴	6.89 × 10 ³	6.89 × 10 ⁻³	6.89 × 10 ⁻⁴	4630	1	144
1 磅力/英尺 ² (lbf/ft ²)	4.88	4.88 × 10 ⁻⁴	4.73 × 10 ⁻⁴	479	47.9	4.79 × 10 ⁻⁵	4.79 × 10 ⁻⁶	32.2	6.94 × 10 ⁻³	1

注: 在德国和其他欧洲大陆一些国家, 常用符号KP代替kgf.

表2. 压力单位换算表之二

	千克/厘米 ² (kgf/cm ²)	达因/厘米 ² (dyne/cm ²)	帕, 牛/米 ² (Pa; N/m ²)	巴 (bar)	毫巴 (mbar)	标准大气压 (atm.)	英吨力/英寸 ² (tonf/in ²)	英吨力/英尺 ² (tonf/ft ²)	美吨力/英寸 ² (US tonf/in ²)	美吨力/英尺 ² (US tonf/ft ²)
1 千克/厘米 ² (kgf/cm ²)	1	0.98 × 10 ⁶	9.81 × 10 ⁴	0.981	981	0.968	6.95 × 10 ⁻³	0.914	7.11 × 10 ⁻³	1.024
1 达因/厘米 ² (dyne/cm ²)	1.02 × 10 ⁻⁶	1	0.1	1 × 10 ⁻⁶	0.001	0.987 × 10 ⁻⁶	6.47 × 10 ⁻⁹	0.932 × 10 ⁻⁶	7.25 × 10 ⁻⁹	1.044 × 10 ⁻⁶
1 帕 = 1 牛/米 ² (Pa; Pascal; N/m ²)	1.02 × 10 ⁻⁶	10	1	1 × 10 ⁻⁵	0.01	9.87 × 10 ⁻⁶	6.47 × 10 ⁻⁹	9.32 × 10 ⁻⁶	7.25 × 10 ⁻⁶	1.044 × 10 ⁻⁵
1 巴 (bar)	1.02	1 × 10 ⁶	1 × 10 ⁵	1	1000	0.987	6.47 × 10 ⁻³	0.932	7.25 × 10 ⁻³	1.044
1 毫巴 (mbar 或 mb)	1.02 × 10 ⁻³	1000	100	0.001	1	9.87 × 10 ⁻⁴	6.47 × 10 ⁻⁶	0.932 × 10 ⁻³	7.25 × 10 ⁻⁶	1.044 × 10 ⁻³
1 标准大气压 (atm)	1.033	1.013 × 10 ⁶	101300	1.013	1013	1	6.50 × 10 ⁻³	0.945	0.735 × 10 ⁻²	1.058
1 英吨力/英寸 ² (tonf/in ²)	157.5	1.544 × 10 ⁸	1.544 × 10 ⁷	0.1544 × 10 ³	0.1544 × 10 ³	152.4	1	144	1.12	161.3
1 英吨力/英尺 ² (tonf/ft ²)	1.084	1.073 × 10 ⁶	1.073 × 10 ⁵	1.073	1.073 × 10 ³	1.058	6.94 × 10 ⁻³	1	0.778 × 10 ⁻²	1.12
1 美吨力/英寸 ² (US tonf/in ²)	0.1406 × 10 ³	0.1379 × 10 ⁶	0.1379 × 10 ⁵	0.1379 × 10 ³	0.1379 × 10 ³	0.1361 × 10 ³	0.893	0.1283 × 10 ³	1	144
1 美吨力/英尺 ² (US tonf/ft ²)	0.976	0.958 × 10 ⁶	0.958 × 10 ⁵	0.958	0.958 × 10 ³	0.945	6.2 × 10 ⁻³	0.833	6.54 × 10 ⁻³	1

注: 1. 1mmHg真空度表示-1mmHg的表压。

2. 百分之一的真空度表示所用标准大气压的负百分之一的表压。

表3. 压力单位换算表之三

	千克力/厘米 ² (kgf/cm ²)	千克力/米 ² (kgf/m ²)	达因/厘米 ² (dyne/cm ²)	标准大气压 (atm)	帕, 牛/米 ² (Pa, N/m ²)	毫巴 (mbar)	磅力/英尺 ² (lbf/ft ²)	英寸水柱高 (in H ₂ O)	毫米汞柱高 (mmHg)	英寸汞柱高 (in Hg)
1 千克力/厘米 ² (kgf/cm ²)	1	1 × 10 ⁴	0.981 × 10 ⁸	0.968	98100	981	2050	0.394 × 10 ³	0.736 × 10 ³	29
1 千克力/米 ² (kgf/m ²)	1 × 10 ⁻⁴	1	98.1	0.968 × 10 ⁻⁴	9.81	0.0981	0.205	0.0394	0.0736	2.9 × 10 ⁻³
1 达因/厘米 ² (dyne/cm ²)	1.02 × 10 ⁻⁶	0.0102	1	9.87 × 10 ⁻⁷	0.1	0.001	2.09 × 10 ⁻³	4.01	7.5 × 10 ⁻⁴	2.9 × 10 ⁻⁵
1 标准大气压 (atm)	1.033	1.033 × 10 ⁴	0.1013	1	101300	1013	2120	0.407 × 10 ³	760	29.9
1 帕 = 1 牛/米 ² (Pa, N/m ²)	1.02 × 10 ⁻⁸	0.102	10	9.87 × 10 ⁻⁸	1	0.01	2.09 × 10 ⁻²	4.01 × 10 ⁻³	7.5 × 10 ⁻³	2.95 × 10 ⁻⁴
1 毫巴 (mbar)	1.02 × 10 ⁻³	10.2	1000	9.87 × 10 ⁻⁴	100	1	2.09	0.401	0.75	0.0295
1 磅力/英尺 ² (lbf/ft ²)	4.88 × 10 ⁻⁴	4.88	479	0.473 × 10 ⁻³	47.9	0.479	1	0.1922	0.359	0.01414
1 英寸水柱高 (in, H ₂ O)	2.54 × 10 ⁻³	25.4	2490	0.246 × 10 ⁻³	249	2.49	5.2	1	1.868	0.0736
1 毫米汞柱高 (mmHg)	0.136 × 10 ⁻²	13.6	1333	0.1316 × 10 ⁻²	133.3	1.333	2.78	0.535	1	0.0394
1 英寸汞柱高 (in, Hg)	0.0345	345	33900	0.0334	3390	33.9	70.7	13.6	25.4	1

注: 1 工程大气压 at. = 1 kgf/cm² = 1.033 × 10⁵ Pa.

3. 功、能及热量单位换算表之一

表1. 功、能及热量单位换算表之一

	焦 (J)	千瓦·时 (kW·h)	千克·米 (kgf·m)	厘米 ³ ·大气压 (cm ³ ·atm)	英尺 ³ ·大气压 (ft ³ ·atm)	英尺·磅达 (ft·pdl)	英尺·磅力 (ft·lbf)	马力·时 (Hp·h)	英马·时 (hp·h)	电子伏特 (eV)
1 焦(J)	1	2.78×10^{-7}	0.102	9.87	0.349×10^{-3}	23.7	0.738	3.75×10^{-7}	3.75×10^{-7}	0.624×10^{19}
1 千瓦·时 (kW·h)	3.6×10^6	1	3.67×10^3	3.55×10^7	1.255×10^3	8.54×10^7	2.66×10^6	1.36	1.341	2.25×10^{23}
1 千克·米 (kgf·m)	9.81	2.72×10^{-6}	1	96.8	3.42×10^{-3}	233	7.23	0.37×10^{-5}	3.65×10^{-6}	6.12×10^{19}
1 厘米 ³ ·大气压 (cm ³ ·atm)	0.1013	2.81×10^{-8}	0.01033	1	0.353×10^{-6}	2.4	0.0747	0.383×10^{-7}	3.77×10^{-8}	0.632×10^{18}
1 英尺 ³ ·大气压 (ft ³ ·atm)	2.87×10^3	0.797×10^{-3}	0.293×10^3	2.83×10^4	1	6.81×10^4	2.12×10^3	0.1084×10^{-2}	0.1069×10^{-2}	1.791×10^{22}
1 英尺·磅达 (ft·pdl)	0.0421	1.171×10^{-6}	4.3×10^{-3}	0.416	0.1469×10^{-4}	1	0.0311	0.1592×10^{-7}	1.57×10^{-9}	0.263×10^{18}
1 英尺·磅力 (ft·lbf)	1.366	3.77×10^{-7}	0.1383	13.38	0.473×10^{-2}	32.2	1	0.512×10^{-5}	5.05×10^{-7}	0.846×10^{19}
1 马力·时 (hp·h)	0.265×10^7	0.736	2.7×10^5	0.261×10^8	0.923×10^3	6.28×10^7	0.1953×10^7	1	0.986	0.1653×10^{26}
1 英马·时 (Hp·h)	2.68×10^8	0.746	2.74×10^5	2.65×10^7	0.956×10^3	6.37×10^7	1.98×10^6	1.014	1	0.1676×10^{26}
1 电子伏特 (eV)	1.602×10^{-19}	4.45×10^{-26}	0.1634×10^{-19}	1.581×10^{-18}	0.568×10^{-22}	0.38×10^{-17}	0.1182×10^{-18}	0.605×10^{-25}	0.597×10^{-25}	1

注: 1 焦=1 牛·米。

表2. 功、能及热量单位换算表之二

	焦 (J)	尔格 (erg)	千瓦·时 (kW·h)	千克力·米 (kgf·m)	升·大气压 (l·atm)	英尺·磅力 (ft·lbf)	马力·时 (Hp·h)	英马力·时 (hp·h)	卡 (cal)	英热单位 (Btu)
1 焦 (J)	1	1×10^7	2.78×10^{-7}	0.102	0.987×10^{-2}	0.738	3.78×10^{-7}	3.73×10^{-7}	0.239	9.47×10^{-4}
1 尔格 (erg)	1×10^{-7}	1	2.78×10^{-14}	0.102×10^{-7}	0.987×10^{-9}	0.738×10^{-7}	3.78×10^{-14}	3.73×10^{-14}	0.239×10^{-7}	9.47×10^{-11}
1 千瓦·时 (kW·h)	3.6×10^6	3.6×10^{13}	1	3.67×10^5	3.55×10^4	2.66×10^6	1.36	1.341	859500	3410
1 千克力·米 (kgf·m)	9.81	9.81×10^7	2.72×10^{-6}	1	0.0968	7.23	0.37×10^{-6}	3.65×10^{-6}	2.34	9.29×10^{-3}
1 升·大气压 (l·atm)	101.3	1.013×10^8	2.81×10^{-3}	10.33	1	74.7	0.383×10^{-4}	3.77×10^{-4}	24.2	0.096
1 英尺·磅力 (ft·lbf)	1.356	1.356×10^7	3.77×10^{-7}	0.1383	1.338×10^{-2}	1	0.512×10^{-6}	5.05×10^{-7}	0.324	1.285×10^{-3}
1 马力·时 (Hp·h)	0.265×10^7	0.265×10^{14}	0.736	2.7×10^3	0.261×10^5	0.1953×10^7	1	0.986	0.632×10^6	2.51×10^3
1 英马力·时 (hp·h)	2.68×10^6	2.68×10^{13}	0.746	2.74×10^3	2.65×10^4	1.98×10^6	1.014	1	641000	2540
1 卡 (cal)	4.18	4.18×10^7	1.163×10^{-6}	0.427	0.0413	3.09	0.1581×10^{-6}	1.56×10^{-6}	1	3.97×10^{-3}
1 英热单位 (Btu)	1055	1.055×10^{10}	2.93×10^{-4}	107.6	10.41	778	0.398×10^{-3}	3.93×10^{-4}	252	1

注: 1 尔格 = 1 达因·厘米。

4. 功率单位换算

功率单位换算表

	瓦 (W)	千瓦 (kW)	尔格/秒 (erg/s)	千克·米/秒 (kgf·m/s)	公制马力 (Hp)	英尺·磅力/秒 (ft·lbf/s)	英制马力 (hp)	卡/秒 (cal/s)	千卡/时 (kcal/h)	英热单位/时 (Btu/h)
1 瓦 (W)	1	1×10^{-3}	1×10^7	0.102	1.36×10^{-3}	0.738	1.341×10^{-3}	0.239	0.86	3.41
1 千瓦 (kW)	1×10^3	1	1×10^{10}	0.102×10^3	1.36	0.738×10^3	1.341	0.239×10^3	0.86×10^3	3.41×10^3
1 尔格/秒 (erg/s)	1×10^{-7}	1×10^{-10}	1	0.102×10^{-7}	1.36×10^{-10}	0.738×10^{-7}	1.341×10^{-10}	0.239×10^{-7}	0.86×10^{-7}	3.41×10^{-7}
1 千克·米/秒 (kgf·m/s)	0.81	9.81×10^{-2}	9.81×10^7	1	0.01333	7.23	0.01315	2.34	8.43	33.5
1 公制马力 (Hp)	735	0.735	0.735×10^{10}	75	1	542	0.986	175.7	632	2510
1 英尺·磅力/秒 (ft·lbf/s)	1.356	1.356	1.356×10^7	0.1383	1.843×10^{-3}	1	1.818×10^{-3}	0.324	1.166	4.63
1 英制马力 (hp)	746	0.746	0.746×10^{10}	76	1.014	550	1	178.1	641	2540
1 卡/秒 (cal/s)	4.19	4.19×10^{-3}	4.19×10^7	0.427	5.69×10^{-3}	3.09	5.61×10^{-3}	1	3.6	14.29
1 千卡/时 (kcal/h)	1.163	1.163×10^{-3}	1.163×10^7	0.1186	1.581×10^{-3}	0.858	1.56×10^{-3}	0.278	1	3.97
1 英热单位/时 (Btu/h)	0.293	0.293×10^{-3}	0.293×10^7	2.99×10^{-2}	3.98×10^{-4}	0.216	3.93×10^{-4}	0.07	0.252	1

注: 1 瓦 = 1 焦耳/秒 = 1 安培·伏特 = 1 米²·千克·秒⁻³。

5. 各种温度单位换算
各种温度单位换算表

已知 关系式 所求温度	摄氏温度 (°C)	绝对温度 (K)	华氏温度 (°F)	兰氏温度 (°R)	列氏温度 (°Reaumur)
摄氏温度 t°C	t	tK - 273.15	$\frac{5}{9}(t°F - 32)$	$\frac{5}{9}t°R - 273.15$	$\frac{5}{4}t°R$
绝对温度 tK	t°C + 273.15	t	$\frac{5}{9}(t°F + 459.67)$	$\frac{5}{9}t°R$	$\frac{5}{4}t°R + 273.15$
华氏温度 t°F	$\frac{9}{5}t°C + 32$	$\frac{9}{5}tK - 459.67$	t	t°R - 459.67	$\frac{9}{4}t°R + 32$
兰氏温度 t°R	$\frac{9}{5}t°C + 491.67$	$\frac{9}{5}tK$	t°F + 459.67	t	$\frac{9}{4}t°R + 491.67$
列氏温度 t°R	$\frac{4}{5}t°C$	$\frac{4}{5}tK - 218.52$	$\frac{4}{9}(t°F - 32)$	$\frac{4}{9}t°R - 218.52$	t

注：由于兰氏和列氏温度都用符号°R，使用时应注意。

6. 公差等级的应用

公差等级应用参考表

应用	IT 等级																			
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
块规	△	△	△																	
量规			△	△	△	△	△	△	△											
配合尺寸							△	△	△	△	△	△	△	△						
精密配合				△	△	△	△													
非配合														△	△	△	△	△	△	△
原材料										△	△	△	△	△	△					

7. 光洁度与表面粗糙度的关系

光洁度与表面粗糙度对应参考表

GB1031-83	Ra	0.012	0.025	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80	1.60	3.20	6.30	12.5	25	50	
GB1031-88	Ra	0.01	0.02	0.04	0.08	0.16	0.32	0.63	1.25	2.5	5	10	20	40	80
	等级	▽14	▽13	▽12	▽11	▽10	▽9	▽8	▽7	▽6	▽5	▽4	▽3	▽2	▽1

8. 我国新旧国标及OCT公差与配合对照表[⊖]

表1. 新公差等级与旧的及OCT精度等级对照表

我国新国标公差等级	5	6	6	7	7	8	~9	10	11	12	13	14	15	16
我国旧国标精度等级	1		2		3		4	5	6	7	8	9	10	
	轴	孔	轴	孔	轴	孔								
苏联OCT精度等级	1		2		3	3a	4	5	7	8	9			
	轴	孔	轴	孔								轴	孔	

⊖北京航空学院机械教研室。

表2. 基准轴与基孔制间隙配合中的轴(尺寸1~500mm)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT
与h ₆ 近似		d1	B ₁ , C ₁
1~3mm	与g6近似	db1	Д ₁
>3~500	与g5近似		
>315~360	与f5近似	dc1	X ₁
1~315 >360~500	与f6近似		
h6		d	B, C
与g6近似		db	Д
与f7近似		dc	X
与e8近似		dd	Л
与d8近似		de	Ш
与c8近似		df	TX
h7		d3	B _{2,3} , C _{2,3}
f8		dc3	X _{2,3}
介于h8与h9之间		d4	B ₃ , C ₃
与f9近似		dc4	X ₃
介于d9与d10之间		de4	Ш ₃
h10		d5	B _{3,4} , C _{3,4}
与h11近似		d6	B ₄ , C ₄
与d11近似		dc6	X ₄
≤10	与c11近似	dd6	Л ₄
>10~160	与b11近似		
>160~180	与c11近似		
>180~200	与b11近似		
>200~450	与c11近似		
>450~500	与c10近似		
≤10	与b11近似	de6	Ш ₄
>10~250	与a11近似		
>250~500	与b11近似		
介于h12与h13之间		d7	B ₅ , C ₅
≤6	与c12近似	dc7	X ₅
>6~18	与c13近似		
>18~225	与b12近似		

(续)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT
>225~280	介于b12与c13之间	dC7	X5
>280~315	介于b12与c12之间		
>315~500	与c12近似		

- 例: ①轴 $\phi 10\Delta_1 = \phi 10db1 \approx \phi 10g5$
 ②轴 $\phi 10B = \phi 10d = \phi 10h6$
 ③轴 $10\text{III} = \phi 10de \approx \phi 10d8$
 ④轴 $\phi 18\pi_4 = \phi 18dd6 \approx \phi 18b11$

表3. 基孔制过渡配合中的轴(尺寸1~500mm)

我国新标准		我国旧标准	苏联标准OCT
1~3mm	p5	ga1	Γ_1
>3~500	n5		
1~3mm	n5	gb1	T_1
>3~500	m5		
1~3mm	m4	gc1	H_1
>3~500	k5		
1~3mm	js5	gd1	Π_1
>3~50	j5		
>50~500	与js5近似		
1~3mm	p6	ga	Γ
>3~500	n6		
1~3mm	n6	gb	T
>3~500	与m6近似		
	与k6近似	gc	H
	js6	gd	Π
1~3mm	p7	ga3	$\Gamma_{2,3}$
>3~500	n7		
	m7	gb3	$T_{2,3}$
	k7	gc3	$H_{2,3}$
1~250	j7	gd3	$\Pi_{2,3}$
>250~500	js7		

- 例: ①轴 $\phi 3\Gamma_1 = \phi 3ga1 = \phi 3p5$
 ②轴 $\phi 18\Gamma_1 = \phi 18ga1 = \phi 18n5$
 ③轴 $\phi 10H = \phi 10gc \approx \phi 10k6$
 ④轴 $\phi 10T_{2,3} = \phi 10gb3 = \phi 10m7$

表4. 基孔制过盈配合中的轴(尺寸1~500mm)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT		
1~3mm	s6	jb1	Пp2 ₁		
>3~180	s5				
1~3mm	r6	jc1	Пp1 ₁		
>3~180	r5				
1~3	与u7近似	jd	Гp		
>3~18	与s7近似				
>18~24	与u7近似				
>24~50	与t7近似				
>50~100	与u6近似				
>100~140	与u5近似				
>140~160	与u6近似				
>160~180	与u5近似				
>180~225	与u6近似				
>225~310	与u5近似				
>310~315	与u6近似				
>315~500	与u5近似				
1~100	与r6近似			je	Пp
>100~500	与s6近似				
	与r6近似	jf	Лп		
	u8	jb3	Пp2 ₂		
	s7	jc3	Пp1 ₂		
>6~10	与zb9近似	ja4	ПP3 ₁		
>10~14	与zb8近似				
>14~18	与za8近似				
>18~24	与za9近似				
>24~30	与za8近似				
>30~50	与z8近似				
>50~65	与y9近似				
>65~80	与y8近似				
>80~120	与x9近似				
>120~140	与x8近似				

(续)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT
>140~160	与x7近似	ja4	ПP3 ₃
>160~180	与v9近似		
>180~225	与x7近似		
>225~250	与v9近似		
>250~355	与v8近似		
>355~400	与v9近似		
>400~500	与v8近似		
>6~14	与z9近似	jb4	ПP2 ₃
>14~18	与x8近似		
>18~24	与x9近似		
>24~40	与v9近似		
>40~60	与u9近似		
>60~500	与u8近似		
>3~6	与x9近似	jc4	ПP1 ₃
>6~18	与x8近似		
>18~24	与v9近似		
>24~40	与u9近似		
>40~65	与u8近似		
>65~100	与t9近似		
>100~120	与t8近似		
>120~140	与s9近似		
>140~450	与t7近似		
>450~500	与s9近似		
>10~30	与zc10近似	je8	ПP ₄
>30~50	与zc9近似		
>50~100	与zb9近似		
>100~120	与za9近似		

- 例：①轴 $\phi 10$ ПP2₃ = $\phi 10$ jb1 = $\phi 10s5$
 ②轴 $\phi 10$ ПP = $\phi 10$ je $\approx \phi 10r6$
 ③轴 $\phi 10$ ПP3₃ = $\phi 10$ ja4 $\approx \phi 10zb9$
 ④轴 $\phi 10$ ПP1₃ = $\phi 10$ jc4 $\approx \phi 10r6$

表5. 基准孔与基轴制间隙配合中的孔(尺寸1~500mm)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT
与H6近似		D1	A ₁ , C ₁
G6		Db1	Д ₁
1~250, >260~500	F7	Dc1	X ₁
>250~260	与F6近似		
H7		D	A, C
与G7近似		Db	Д
F8		Dc	X
1~120	与E8近似	Dd	Л
>120~500	介于E8, E9之间		
1~120	与D8近似	De	Ш
>120~500	介于D8, D9之间		
H8		D3	A _{2,3} , C _{2,3}
介于H8, H9之间		D4	A ₃ , C ₃
与F9近似		Dc4	X ₃
介于D9, D10之间		De4	Ш ₃
H10		D5	A _{3,4} , C _{3,4}
与H11近似		D6	A ₄ , C ₄
与D11近似		Dc6	X ₄
1~6	与C11近似	Dd6	π ₄
>6~18	介于B11, C11之间		
>18~180	与B11近似		
>180~200	介于B11, C11之间		
>200~500	与B11近似		
1~6	与B11近似	De6	Ш ₄
>6~18	介于A11, B11之间		
>18~225	与A11近似		
>225~280	与A9近似		
>280~315	与B12近似		
>315~400	与B11近似		
>400~500	与B10近似		

(续)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT
介于H12, H13之间		D7	A ₆ , C ₆
1~6	与C12近似	Dc7	X ₆
>6~250	与B12近似		
>250~500	与C12近似		

- 例: ①孔 $\phi 10A = \phi 10D = \phi 10H7$
 ②孔 $\phi 10C_1 = \phi 10D1 \approx \phi 10H6$
 ③孔 $\phi 10X = \phi 10Dc = \phi 10F8$
 ④孔 $\phi 10A_5 = \phi 10D7 = \phi 10H12 \sim H13$ (根据具体情况查公差表决定)

表6. 基轴制过渡配合中的孔(尺寸 1~500mm)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT
N6		Ga1	Γ_1
M6		Gb1	T_1
K6		Gc1	H_1
1~3	与Js6近似	Gd1	Π_1
>3~30	与J近似		
>30~500	与Js6近似		
与N7近似		Ga	Γ
1~3	与K7近似	Gb	T
>3~500	与M7近似		
1~3	与Js7近似	Gc	H
>3~500	与K7近似		
与J7近似		Gd	Π
N8		Ga3	Γ_{2*}
M8		Gb3	T_{2*}
K8		Gc3	H_{2*}
J8		Gd3	Π_{2*}

- 例: ①孔 $\phi 10\Gamma_1 = \phi 10Ga1 = \phi 10N6$
 ②孔 $\phi 10\Pi_1 = \phi 10Gd1 \approx \phi 10J$
 ③孔 $\phi 10H = \phi 10Gc \approx \phi 10K7$
 ④孔 $\phi 10T_{2*} = \phi 10Gb3 = \phi 10M8$

表7. 基轴制过盈配合中的孔(尺寸 1~500mm)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT
1~10	与S7近似	Jd	ГР
>10~500	与U7近似		
1~120	与R7近似	Je	ПР
>120~500	与R8近似		
与U8近似		Jb3	ПР _{2,а}

例: ①孔 $\phi 10$ ГР= $\phi 10$ Jd $\approx\phi 10$ S7②孔 $\phi 10$ ПР= $\phi 10$ Je $\approx\phi 10$ R7

表8. 基孔制间隙配合(尺寸 1~500mm)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT
H6/h5		D1/d1	A ₁ /C ₁
H6/g5		D1/db1	A ₁ /Д ₁
H6/f6		D1/dc1	A ₁ /X ₁
H7/h6		D/d	A/C
与H7/g6近似		D/db	A/Д
H7/f7		D/dc	A/X
1~6	与H7/e7近似	D/dd	A/Л
>6~50	与H7/e8近似		
与H7/d8近似		D/de	A/Ш
H7/c8		D/di	A/ТХ
H8/h7		D3/d3	A _{2,а} /C _{2,а}
H8/f8		D3/dc3	A _{2,а} /X _{2,а}
H9/h8		D4/d4	A ₃ /C ₃
与H9/f9近似		D4/dc4	A ₃ /X ₃
与H9/d9近似		D4/de4	A ₃ /Ш ₃
H10/h10		D5/d5	A _{3,а} /C _{3,а}
与H11/h11近似		D6/d6	A ₄ /C ₄
与H11/d11近似		D6/dc6	A ₄ /X ₄
1~10	与H11/c11近似	D6/dd6	A ₄ /Л ₄
>10~200	与H11/b11近似		
>200~450	与H11/c11近似		
>450~500	与H11/c10近似		

(续)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT
1~10	与H11/b11近似	D6/de6	A ₄ /III ₄
>10~250	与H11/a11近似		
>250~500	与H11/b11近似		
与H13/h12近似		D7/d7	A ₅ /C ₅
1~3	H13/C12	D7/dc7	A ₅ /X ₅
>3~6	与H13/c12近似		
>6~225	与H13/b12近似		
>225~250	与H13/c12近似		
>250~260	与H12/b12近似		
>260~315	与H13/c12近似		
>315~500	与H12/c12近似		

例: ① $\phi 10 \frac{A_1}{c_1} = \phi 10 \frac{D_1}{d_1} = \phi 10 \frac{H_6}{h_5}$

② $\phi 10 \frac{A_1}{j_1} = \phi 10 \frac{D}{d_d} \approx \phi 10 \frac{H_7}{e_8}$

表9. 基孔制过渡配合 (尺寸1~500mm)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT
1~3	H6/p5	D1/ga1	A ₁ /Γ ₁
>3~500	H6/n5		
1~3	H6/n5	D1/gb1	A ₁ /T ₁
>3~500	H6/m5		
1~3	H6/m4近似	D1/gc1	A ₁ /H ₁
>~500	H6/k5		
1~3	H6/js5	D1/gd1	A ₁ /Π ₁
>3~50	H6/j5		
>50~500	与H6/js5近似		
1~3	H7/p6	D/ga	A/Γ
>3~500	H7/n6		
1~3	H7/n6	D/gb	A/T
>3~500	H7/m6		
H7/k6		D/gc	A/H
H7/js6		D/gd	A/Π

(续)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT
1~3	H8/p7	D3/ga3	A _{2s} /T _{2s}
>3~500	H8/n7		
	H8/m7	D3/gb3	A _{2s} /T _{2s}
	H8/k7	D3/gc3	A _{2s} /H _{2s}
1~250	H8/j7	D3/gd3	A _{2s} /Π _{2s}
>250~500	H8/js7		

$$\text{例: } \textcircled{1} \phi 10 \frac{A_1}{T_1} = \phi 10 \frac{D1}{ga1} = \phi 10 \frac{H6}{n5}$$

$$\textcircled{2} \phi 3 \frac{A_1}{T_1} = \phi 3 \frac{D1}{gb1} = \phi 3 \frac{H6}{n5}$$

$$\textcircled{3} \phi 10 \frac{A}{T} = \phi 10 \frac{D}{gb} = \phi 10 \frac{H7}{m6}$$

$$\textcircled{4} \phi 3 \frac{A_{2s}}{T_{2s}} = \phi 3 \frac{D3}{ga3} = \phi \frac{H8}{p7}$$

表10. 基孔制过盈配合(尺寸1~500mm)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT
1~3	H6/s6	D1/jb1	A ₁ /Πp2 ₁
>3~180	H6/s5		
1~3	与H6/r6近似	D1/jc1	A ₁ /Πp1 ₁
>3~180	H6/r5		
1~3	与H7/u7近似	D/d	A/ΓP
>3~18	与H7/s7近似		
>18~24	与H7/u7近似		
>24~50	与H7/t7近似		
>50~100	与H7/u6近似		
>100~140	与H7/u5近似		
>140~160	与H7/u6近似		
>160~180	与H7/u5近似		
>180~225	与H7/u6近似		
>225~310	与H7/u5近似		
>310~315	与H7/u6近似		
>315~500	与H7/u5近似		

(续)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT
1~100	与H7/r6近似	D/jc	A/ПП
>100~500	与H7/s6近似		
与H7/r6近似		D/jf	A/ПЛ
与H8/u8近似		D3/jb3	A _{2a} /ПП2 _{2a}
与H8/s7近似		D3/jc3	A _{2a} /ПП/2 _a
>6~10	与H8/zb9近似	D4/ja4	A ₃ /ПП3 ₃
>10~14	与H8/zb8近似		
>14~18	与H8/za8近似		
>18~24	与H8/za9近似		
>24~30	与H8/za8近似		
>30~50	与H8/z8近似		
>50~65	与H8/y9近似		
>65~80	与H8/y8近似		
>80~120	与H8/x9近似		
>120~140	与H8/x8近似		
>140~160	与H8/x7近似		
>160~180	与H8/v9近似		
>180~225	与H8/x7近似		
>225~250	与H8/v9近似		
>250~355	与H8/v8近似		
>355~400	与H8/v9近似		
>400~500	与H8/v8近似		
>6~14	与H8/z9近似	D4/jb4	A ₃ /ПП2 ₃
>14~18	与H8/x8近似		
>18~24	与H8/x9近似		
>24~40	与H8/v9近似		
>40~80	与H8/u9近似		
>80~500	与H8/u8近似		
>3~6	与H8/x9近似	D4/jc4	A ₃ /ПП1 ₃
>6~18	与H8/x8近似		
>18~24	与H8/v9近似		
>24~40	与H8/u9近似		

(续)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT
>40~65	与H8/u8近似	D4/jc4	A ₃ /ΠP ₁
>65~100	与H8/t9近似		
>100~120	与H8/t8近似		
>120~140	与H8/s9近似		
>140~450	与H8/t7近似		
>450~500	与H8/s9近似		
>10~30	与H11/zc10近似	D6/je6	A4/ΠP ₁
>30~50	与H11/zc9近似		
>50~80	与H11/zb9近似		
>80~120	与H11/za9近似		

$$\text{例: } \textcircled{1} \phi 10 \frac{A_1}{\Pi P 1_t} = \phi 10 \frac{D_1}{j c 1} = \phi 10 \frac{H_6}{r_5}$$

$$\textcircled{2} \phi 10 \frac{A}{\Gamma P} = \phi 10 \frac{D}{j d} \approx \phi 10 \frac{H_7}{s_7}$$

$$\textcircled{3} \phi 20 \frac{A}{\Gamma P} = \phi 20 \frac{D}{j d} \approx \phi 20 \frac{H_7}{u_7}$$

$$\textcircled{4} \phi 10 \frac{A}{\Pi P} = \phi 10 \frac{D}{j e} \approx \phi 10 \frac{H_7}{r_6}$$

表11. 基轴制间隙配合 (尺寸 1~500mm)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT
H8/h5		D1/d1	C ₁ /B ₁
G6/h5		Db1/d1	Д ₁ /B ₁
1~250	F7/h5	Dc1/d1	X ₁ /B ₁
>250~280	与F6/h5近似		
>280~500	与F7/h5近似		
H7/h6		D/d	C/B
与G7/h6近似		Db/d	Д/B
与F8/h6近似		Dc/d	X/B
与E8/h6近似		Dd/d	Л/B
与D8/h6近似		De/d	Ш/B
H8/h7		D3/d3	C _{2.4} /B _{2.4}
H9/h8		D4/d4	C ₃ /B ₃
与F9/h9近似		Dc4/d4	X ₃ /B ₃

(续)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT
1~250	与D9/h9近似	Dc4/d4	III ₂ /B ₂
>250~260	与D9/h8近似		
>260~315	与D10/h8近似		
>315~360	与D9/h8近似		
>360~400	与D10/h8近似		
>400~500	与D9/h9近似		
H10/h10		D6/d5	C _{3s} /B _{3s}
与H11/h11近似		D6/d6	C ₄ /B ₄
与D11/h11近似		Dc6/d6	X ₄ /B ₄
1~6	与C11/h11近似	Dd6/d6	II ₄ /B ₄
>6~200	与B11/h11近似		
>200~450	与C11/h11近似		
>450~500	与C10/h11近似		
1~6	与B11/h11近似	De6/d6	III ₄ /B ₄
>6~250	与A11/h11近似		
>250~500	与B11/h11近似		
与H13/h12近似		D7/d7	C ₅ /B ₅
1~3	C12/h13	Dc7/d7	X ₅ /B ₅
>3~6	与C12/h13近似		
>6~225	与B12/h13近似		
>225~250	与C12/h13近似		
>250~260	与B12/h13近似		
>260~315	与C12/h13近似		
>315~500	与C12/h12近似		

$$\text{例: } \textcircled{1} \phi 10 \frac{C_1}{B_1} = \phi 10 \frac{D_1}{d_1} = \phi 10 \frac{H6}{h5}$$

$$\textcircled{2} \phi 10 \frac{X_1}{B_2} = \phi 10 \frac{Dc1}{d1} = \phi 10 \frac{F7}{h5}$$

$$\textcircled{3} \phi 10 \frac{II}{B} = \phi 10 \frac{Db}{d} \approx \phi 10 \frac{G7}{h6}$$

表12. 基轴制过渡配合 (尺寸1~500mm)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT
	N6/h5	Ga1/d1	Γ_1/B_1
	M6/h5	Gb1/d1	T_1/B_1
	K6/h5	Gc1/d1	H_1/B_1
1~3	与Js6/h5近似	Gd1/d1	Π_1/B_1
>3~30	J6/h5		
>30~500	Js6/h5		
	与N7/h6近似	Ga/d	Γ/B
1~3	K7/h6	Gb/d	T/B
>3~500	M7/h6		
1~3	与Js7/h6近似	Gc/d	H/B
>3~500	K7/h6		
	与J7/h6近似	Gd/d	Π/B
	N8/h7	Ga3/d3	$\Gamma_{2.2}/B_{2.2}$
	M8/h7	Gb3/d3	$T_{2.2}/B_{2.2}$
	K8/h7	Gc3/d3	$H_{2.2}/B_{2.2}$
1~6	Js8/h7	Gd3/d3	$\Pi_{2.2}/B_{2.2}$
>6~500	J8/h7		

$$\text{例: } \textcircled{1} \phi 10 \frac{\Gamma_1}{B_1} = \phi 10 \frac{Ga1}{d1} = \phi 10 \frac{N6}{h5}$$

$$\textcircled{2} \phi 10 \frac{\Gamma}{B} = \phi 10 \frac{Ga}{d} \approx \phi 10 \frac{N7}{h6}$$

$$\textcircled{3} \phi 10 \frac{\Pi_{2.2}}{B_{2.2}} = \phi 10 \frac{Gd3}{d3} = \phi 10 \frac{J8}{h7}$$

表13. 基轴制过盈配合 (尺寸 1~500mm)

我国新国标		我国旧国标	苏联标准OCT
1~10	与S7/h6近似	Jd/d	$\Gamma P/B$
>10~500	与U7/h6近似		
i~120	与R7/h6近似	Je/d	$\Pi P/B$
>120~500	与R8/h6近似		
	与U8/h7近似	Jb3/d3	$\Pi P_{2.2}/B_{2.2}$

$$\text{例: } \textcircled{1} \phi 10 \frac{\Gamma P}{B} = \phi 10 \frac{Jd}{d} \approx \phi 10 \frac{S7}{h6}$$

$$\textcircled{2} \phi 10 \frac{\Pi P}{B} = \phi 10 \frac{Je}{d} \approx \phi 10 \frac{R7}{h6}$$

关于新旧标准对照的说明

(1) 本资料是为了帮助设计人员将旧国标(GB159~174-59)标准和苏联标准(OCT制)的光滑圆柱公差与配合代号,转换成相当或近似的新国标(GB1800~1804-79)的代号。

(2) 本资料中所给出的新国标的公差和配合代号,如为“与...近似”时,则其极限偏差值或极限间隙和过盈值与旧国标或苏联标准的数值可能相差较大,有少数情况其差别会达到公差值的50~60%。未注明“与...近似”时,则其数值相差较小,在尺寸 $\leq 180\text{mm}$ 时,相差更小,甚至完全相同。

(3) 在重要的场合,特别是对于正式投产的关键零件,应用本资料时应慎重,最好查一下公差表,具体审核一下极限偏差或极限间隙和过盈值的变化,看能否满足要求。