

钣金冲压工艺手册

《钣金冲压工艺手册》编委会 编著

国防工业出版社

板金冲压工艺手册

《板金冲压工艺手册》编委会 编著

国防工业出版社

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)

新华书店经售

北京昌平长城印刷厂印

787×1092 1/16 印张 76¼ 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 —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_B 或 ε_B —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)	e_r, e_θ, e_t —径向, 切(周)向, 厚向实际应变
p —压强	e_r, e_θ, e_t —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)
$\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_t$ —径向, 切(周)力, 厚向应力	ε_l —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_b —假象极限应力	γ —剪应变(角)
σ_B —实际极限应力	$e_{r,p}$ —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_t —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 液压胀形试验.....	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	

-81)	107	1.4.6.1 标准橡皮的选用	168
1.3.6.12 电镀锡薄钢板和钢带 (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、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 (GBn167-82)	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)	125	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 (YB628-73)	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 凹模承受的劈裂力的计算	166	1.5.6.4 润滑油脂	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 铜及铜合金的热处理	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 选择	225	1.8.11 冲压生产场地	303
1.7.1 定义与范围	225	1.8.12 冲压生产的方式	306
1.7.2 一般冲模的典型结构	225	1.8.13 设备数量的计算和冲压工时 定额	306
1.7.2.1 冲裁模	225	1.8.13.1 设备数量的计算方法	306
1.7.2.2 弯曲模	232	1.8.13.2 冲压工时定额	308
1.7.2.3 压延模	232	1.8.14 冲压机械化与自动化	317
1.7.3 冷冲模标准模架	235	1.8.14.1 实现冲压机械化与自动化的措施	317
1.7.3.1 冷冲模滑动导向模架	235	1.8.14.2 冲压机械化装置应用示例	318
1.7.3.2 冷冲模滚动导向模架	269	1.8.15 冲压生产线	323
1.7.3.3 冷冲模模架技术条件	275	1.8.15.1 冲压自动化方式的选择	323
1.7.4 一般冲模零件的材料	276	1.8.15.2 冲压生产线的特点	324
1.8 通用机械压力机及冲压机械 化与自动化	278	1.8.16 冲压用通用工业机器人	324
1.8.1 内容与范围	278	1.8.16.1 冲压用通用工业机器人的类型	324
1.8.2 通用锻压设备的型号表示方法 及含义	278	1.8.16.2 冲压用工业机器人的动作及特点	325
1.8.3 机械压力机的分类和特点	280	1.8.16.3 采用工业机器人的冲压生产线 示例	330
1.8.4 机械压力机的主要参数和特性	282	1.8.16.4 冲压用工业机器人的选择	333
1.8.4.1 曲柄压力机的主要参数	282		
1.8.4.2 曲柄压力机的主要参数与模具的 关系	283		
1.8.4.3 曲轴压力机的许可压力和行程的 关系	283		
1.8.4.4 曲柄压力机的公称压力	285		
1.8.5 压力机的选择原则	286		
1.8.6 根据生产批量选择压力机的形式	286		
1.8.7 根据冲压工艺的特点选择压力 机的形式	287		
1.8.7.1 冲压工艺对压力机的要求	287		
1.8.7.2 压延压力机的特性	288		
1.8.7.3 精压机的特性	289		
1.8.7.4 精密冲裁压力机的特性	290		
		2. 冲压工艺	
		2.1 下料	339
		2.1.1 定义与范围	339
		2.1.2 下料的依据	339
		2.1.3 下料工艺余量	339
		2.1.4 材料定额与材料利用率	339
		2.1.4.1 板材	339
		2.1.4.2 型材	341
		2.1.4.3 管材	342
		2.1.4.4 材料利用率	343
		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 刚模压弯回弹角	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	455
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	516
2.4.3.2 杯形件极限压延系数 m_b 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	549
		2.7.6 对毛料的要求	549

2.8 缩口	550	2.10.6 压印件质量问题	629
2.8.1 定义和分类	550	2.11 局部成形	631
2.8.2 缩口方法	550	2.11.1 定义与范围	631
2.8.2.1 模压缩口	550	2.11.2 板材的压窝	631
2.8.2.2 旋压缩口	551	2.11.2.1 最大压窝高度	633
2.8.2.3 冲击缩口	551	2.11.2.2 压窝所需的力	636
2.8.2.4 热缩口	551	2.11.3 板材的压埂(加强槽)	636
2.8.3 缩口工艺参数	553	2.11.4 型材的下陷	639
2.8.3.1 缩口变形程度	553	2.11.4.1 直线零件简单下陷的成形	640
2.8.3.2 缩口毛料高度的计算	555	2.11.4.2 成形极限	641
2.8.3.3 缩口力的计算	555	2.11.4.3 通用下陷模	645
2.8.3.4 缩口参数	556	2.11.4.4 压制下陷中的常见故障	649
2.9 冷挤压	558	2.11.4.5 其它下陷的成形	649
2.9.1 冷挤压方法及分类	558	2.11.4.6 压下陷所需的力	650
2.9.2 冷挤压用材料	559	2.11.4.7 工艺上应注意的几个问题	650
2.9.3 冷挤压件的工艺性	560	2.12 校形	652
2.9.3.1 冷挤压件的一般工艺要求	560	2.12.1 定义与范围	652
2.9.3.2 冷挤压件的尺寸精度及表面粗糙度	563	2.12.2 常用的校形方法	652
2.9.3.3 冷挤压件图的内容	567	2.12.2.1 机械校形	652
2.9.4 冷挤压毛坯	568	2.12.2.2 热校形	660
2.9.4.1 毛坯的形状和尺寸	568	2.12.2.3 手工校形	660
2.9.4.2 毛坯的制备	570	2.12.3 板金零件校形的基本要求	663
2.9.4.3 毛坯的软化处理	572	2.12.4 辅助设备与工具	664
2.9.4.4 毛坯的表面处理与润滑	572	2.12.4.1 辅助设备	664
2.9.5 冷挤压变形程度与挤压力	578	2.12.4.2 校形工具	673
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	3. 板金工艺	
2.9.6 冷挤压模具设计	592	3.1 旋压	677
2.9.6.1 模具的基本设计要求与典型形式	592	3.1.1 定义与范围	677
2.9.6.2 工作部分的设计	595	3.1.2 普遍旋压	677
2.9.6.3 冷挤压模主要零部件结构	612	3.1.2.1 分类与应用	677
2.9.7 冷挤压模具材料及热处理	614	3.1.2.2 毛料材料要求与尺寸	679
2.9.8 冷挤压件质量分析	615	3.1.2.3 工艺条件	679
2.10 压印	623	3.1.2.4 工艺装备	683
2.10.1 定义与范围	623	3.1.2.5 旋压力	686
2.10.2 压印的工艺设计	626	3.1.2.6 工件质量	687
2.10.2.1 一般工艺步骤	626	3.1.2.7 特殊旋压方式	688
2.10.2.2 压印件的尺寸、精度和表面粗糙度	626	3.1.3 剪切旋压	688
2.10.2.3 压印压力	626	3.1.3.1 分类与应用	688
2.10.3 压印中的润滑	628	3.1.3.2 毛料材料与尺寸	689
2.10.4 压印模设计	628	3.1.3.3 工艺条件	692
2.10.5 设备选择	628	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 弯管带退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 剖面尺寸收缩的核算	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-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 润滑剂和抗氧化涂料	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	3.11.4.1 铺铅皮法确定展开样板	987
3.9.6 零件的质量控制	920	3.11.4.2 几何作图法	988
3.9.6.1 表面粗糙度的变化	920	3.11.5 落压工艺	988
3.9.6.2 外形精度与尺寸的变化	921	3.11.5.1 落压成型的方法	988
3.9.6.3 残余应力与组织结构的变化	922	3.11.5.2 中间退火的确定	990
3.9.6.4 机械性能的变化	923	3.11.6 落压模	990
3.9.7 喷前要求和喷后处理	926	3.11.6.1 落压模种类和结构	990
3.9.7.1 喷前要求	926	3.11.6.2 落压模的制造	992
3.9.7.2 喷后处理	927	3.11.7 钛和镁合金板的落压成形	1000
3.9.8 预应力夹具	927	3.11.7.1 钛合金板零件落压成型的基本 要求	1000
3.9.8.1 横向施加预弯的夹具	927	3.11.7.2 自阻加热工作电压 V 的确定	1001
3.9.8.2 纵向施加预弯的夹具	928	3.11.7.3 加热夹具	1001
3.9.8.3 局部施加预弯的夹具	929	3.11.7.4 保温和测温装置	1002
3.9.9 喷丸成形机	929	3.11.7.5 钛合金落压成形用保护涂料及 润滑涂料	1003
3.9.9.1 气动式喷丸成形机	929	3.11.7.6 镁合金落压成形	1003
3.9.9.2 离心式喷丸成形机	932	3.12 辅助加工	1004
3.9.9.3 真空喷丸装置	933	3.12.1 定义与范围	1004
3.9.9.4 旋片喷丸工具	934	3.12.2 板金零件的修边、钻孔及其 工具设备	1004
3.9.10 弹丸	936	3.12.2.1 板材零件的修边	1004
3.10 高能率成形	940	3.12.2.2 型材零件的修边	1009
3.10.1 定义与范围	940	3.12.2.3 板金零件的钻孔	1012
3.10.2 爆炸成形	941	3.12.3 板金冲压零件去毛刺	1013
3.10.2.1 爆炸成形的原理	941	3.12.3.1 板金件去毛刺	1013
3.10.2.2 进行爆炸成形的条件	942	3.12.3.2 冲压件和小板金件去毛刺	1013
3.10.2.3 炸药	944	3.12.4 零件打标记	1015
3.10.2.4 安全问题	945	4. 产品检验与协调	
3.10.2.5 工艺参数选择	945	4.1 表面质量控制	1019
3.10.2.6 爆炸成形件的质量	946	4.1.1 定义与范围	1019
3.10.2.7 模具材料	949	4.1.2 术语	1019
3.10.2.8 爆炸成形设备	949	4.1.2.1 一般术语	1019
3.10.2.9 爆炸胀形	955	4.1.2.2 表面缺陷术语	1020
3.10.2.10 爆炸成形工艺参数实例	958	4.1.3 表面质量标准	1022
3.10.3 液电成形	976	4.1.3.1 一般标准	1022
3.10.3.1 电极形式和放电法	977	4.1.3.2 特殊标准	1024
3.10.3.2 液电成形设备	978	4.1.3.3 板金零件边缘要求	1025
3.10.4 电磁成形	978	4.1.4 板金零件的表面保护	1026
3.10.4.1 线圈与集磁器	979	4.1.4.1 铝合金优质表面板金零件的表面 保护	1026
3.10.4.2 成形方法	980	4.1.4.2 中等质量表面铝合金板金零件的表面 保护	1027
3.10.4.3 电磁成形设备	983	4.1.4.3 镁合金板金零件的表面保护	1027
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		

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、量具控制	1034	4.2.6.7 型材下陷允许偏差	1045
4.1.6.2 材料控制	1034	4.2.6.8 型材弯曲部分的偏差	1046
4.1.6.3 工艺控制	1034	4.2.6.9 型材拉弯允许的尺寸变化	1046
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 加强窝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