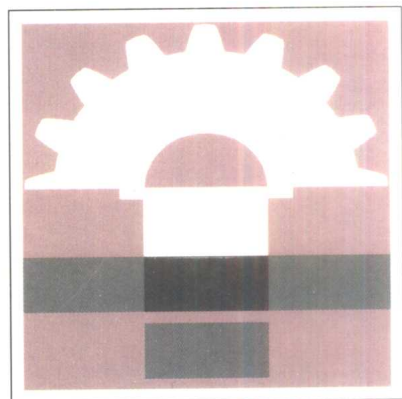




实用 冲压

技术手册



王孝培 主编



机械工业出版社
China Machine Press

实用冲压技术手册

王孝培 主编



机械工业出版社

本手册对冲压工艺及冲模设计作了系统的论述。全书共十二章,主要内容包
括冲裁、弯曲、拉深、成形、管材冲压、冲模结构及设计、冲压材料、模具材料
及热处理、压力机、冲压安全技术等。对非金属材料冲裁、精密冲裁、薄板成形
性能、大型覆盖件成形工艺及其模具、特种冲模、氮气弹簧技术的应用、冲模
CAD/CAM 等方面的内容也作了适量的介绍。还编入了冲压工艺及冲模设计典型
实例,以及必要的设计资料、模具标准件等方面的内容。全书内容丰富,重点突出,
实用性强,运用面广。

本手册可供从事冲压工艺及冲模设计的技术人员使用,也可供有关的科研人员
及大专院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

实用冲压技术手册/王孝培主编. — 北京: 机械工业出版社, 2001. 3

ISBN 7-111-08775-5

I. 实… II. 王… III. 冲压-技术手册 IV. TG38-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 08652 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 李铭杰 版式设计: 霍永明 责任校对: 魏俊云

封面设计: 姚毅 责任印制: 郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·30.75 印张·2 插页·804 千字

0 001—4 000 册

定价: 59.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

前 言

随着科学技术的进步和工业生产的迅速发展，冲压加工技术的应用愈来愈广泛，模具成形已成为当代工业生产的重要手段。为了能更好地适应冲压生产发展的需要，特编写了《实用冲压技术手册》一书，以期对读者有所助益。

本手册在分别讨论了冲裁、弯曲、拉深、成形等冲压变形机理、工艺特点、工艺计算等内容的基础上，还编入了“模具结构和设计”一章，系统地介绍了各类冲模的结构特点及其设计的原则和方法。考虑到当前的管材塑性成形所展示的广阔前景，特编入了管材常用的冲压技术，以便于推广应用，提高冲压生产水平。书中对冲压材料、模具材料及热处理、压力机及其冲压安全技术等方面的内容也作了全面的介绍。

本手册在编写上，注重理论联系实际，突出实用特点。引用理论以能说明冲压成形规律为限；所列各种计算公式、数据、图表资料着重于应用。在内容取材上尽量做到反映当今冲压成形工艺与模具的研究成果。在全书的编写中力求内容丰富、重点突出，深入浅出，通俗易懂，且配以实例，以便于读者自学、理解和掌握。

本手册共十二章，第一、二、六章由重庆大学王孝培编写；第七章由重庆工学院胡亚民编写；第四、八、九、十、十一章及附录由重庆大学何大钧编写；第三、五、十二章由重庆大学温彤编写。由王孝培主编，四川省机械设计院谢懿主审。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 概 论 1

第一节 冲压工序的分类 1

第二节 冲压成形的力学特点与分类 4

第三节 金属板材的冲压成形性能 6

一、板材拉伸试验 7

二、模拟试验 10

第四节 成形极限图 13

一、成形极限图(FLD)的制作 14

二、FLD在生产中的应用 15

第五节 冲压加工的经济性 15

一、冲压件的成本分析 16

二、降低制造成本的措施 16

三、技术经济分析 21

第二章 冲 裁 23

第一节 冲裁过程变形分析 23

一、冲裁过程 23

二、变形过程力学分析 24

第二节 冲裁间隙 25

一、间隙的影响 25

二、间隙的确定 27

第三节 冲裁力 30

一、冲裁力的计算 30

二、卸料力、推件力和顶件力 32

第四节 材料的经济利用 33

一、材料的利用率 33

二、排样方法 34

三、搭边及条料宽度 36

第五节 冲裁件的工艺性 38

一、冲裁件的形状和尺寸 38

二、冲裁件的精度与粗糙度 40

第六节 冲模刃口尺寸的计算 42

一、尺寸计算原则 42

二、尺寸计算方法 42

第七节 非金属材料冲裁 47

一、热塑性塑料板的剪切 47

二、酚醛树脂层压板的剪切 47

三、非金属材料冲裁模 50

第八节 精密冲裁方法 52

一、精密冲裁的几种工艺方法 52

二、精冲(齿圈压板冲裁) 53

第三章 弯 曲 61

第一节 弯曲变形的特点 61

第二节 弯曲件毛坯长度计算 63

一、应变中性层的确定 63

二、毛坯展开长度的计算 64

第三节 弯曲件的回弹 66

一、影响回弹的主要因素 66

二、回弹角的确定 67

第四节 弯曲件的工艺性 68

一、弯曲精度 68

二、最小弯曲半径 69

三、直边高度 71

四、孔边距 71

五、形状与尺寸的对称性 71

六、其他工艺性要求 71

第五节 弯曲力的计算 72

第六节 弯曲模工作部分的设计 73

一、凸、凹模的圆角半径与凹模的 深度 73

二、凸、凹模间隙 74

第七节 提高弯曲件质量的工艺措施 75

一、弯曲件的常见缺陷及解决办法 75

二、提高弯曲件质量的要点 78

第四章 拉 深 80

第一节 圆筒形件拉深变形分析 80

一、拉深过程 80

二、拉深过程的力学分析 81

三、起皱与拉裂 83

第二节 拉深件的工艺性	83	润滑)	158
一、拉深件的形状	83	一、退火	158
二、拉深件各部分尺寸比例	84	二、酸洗	159
三、拉深件的圆角半径	84	三、润滑	159
四、考虑拉深件厚度不均匀现象	85	第五章 成形	164
五、拉深件上的孔位布置	85	第一节 胀形	164
六、拉深件的尺寸精度	86	一、圆柱形空心坯料的胀形	164
第三节 圆筒形件的拉深工艺计算	86	二、起伏成形	167
一、毛坯尺寸计算	86	第二节 旋压	169
二、无凸缘圆筒形件的拉深	103	一、普通旋压	169
三、带凸缘筒形件的拉深	109	二、变薄旋压	171
第四节 阶梯圆筒形零件的拉深	117	第三节 翻边	173
一、拉深次数	117	一、翻孔	173
二、由大阶梯到小阶梯的拉深程序	118	二、外缘翻边	177
三、由小阶梯到大阶梯的拉深程序	118	三、变薄翻边	180
四、浅阶梯形件的成形	118	第四节 缩口与扩口	181
五、带锥形阶梯零件的拉深	118	一、缩口	181
第五节 锥形零件、球面零件及抛物面		二、扩口	184
零件的拉深	120	第五节 校平、整形与压印	185
一、锥形件的拉深	121	一、校平	185
二、球面零件的拉深	124	二、整形	186
三、抛物面零件的拉深	126	三、校平与整形力	187
第六节 盒形件的拉深	127	四、压印	187
一、低盒形件的拉深	127	第六节 覆盖件的成形	188
二、高盒形件的拉深	133	一、覆盖件成形特点	188
第七节 其他拉深方法	135	二、覆盖件常用材料及要求	189
一、变薄拉深	135	三、覆盖件成形工艺	189
二、温差拉深	140	四、覆盖件冲压成形性能、主要质量	
三、软模拉深	142	问题及解决办法	194
第八节 拉深模工作部分参数	145	第六章 管材冲压	198
一、圆角半径	145	第一节 管材剖切加工	198
二、间隙	147	一、管材切断	198
三、工作部分尺寸的确定	148	二、管材剖口	201
第九节 压边力、拉深力和拉深功	149	三、管材冲孔	203
一、压边力	149	第二节 管材弯曲	206
二、拉深力及拉深功	150	一、管材弯曲变形及最小弯曲半径	206
第十节 典型零件拉深工序安排	154	二、管材截面形状畸变及其防止	207
一、拉深件工序安排的一般规则	154	三、弯曲力矩的计算	210
二、阶梯形零件拉深的规则	157	第三节 管材翻卷成形	211
第十一节 拉深的辅助工序(退火;酸洗;		一、管材外翻卷成形	212

二、管材内翻卷成形	213	四、冲模设计应把保证人身安全放在	
第七章 模具结构及设计	216	首位	283
第一节 冲模及冲模零件的分类	216	五、冲模压力中心	284
一、冲模的分类	216	六、冲模闭合高度及冲模与压力机	
二、冲模零件的分类	218	尺寸的配合关系	285
第二节 冲模主要零件设计	219	七、模具总图的绘制及模具零件	
一、工作零件	219	图的测绘	286
二、定位零件	228	第八节 冲模 CAD/CAM	287
三、卸料、推件零件	234	一、概述	287
四、导向零件	240	二、冲模 CAD/CAM 系统的功能	
五、固定零件	242	内容	287
六、冲模零件的配合要求和		三、冲模 CAD/CAM 系统的硬件	
表面粗糙度	244	组成	288
第三节 复合模	247	四、冲模 CAD/CAM 系统的软件	
一、最小壁厚	247	组成	289
二、复合模正装和倒装的比较	248	五、冲模 CAD 系统结构	290
三、出件机构	249	六、冲模 CAD 系统的关键技术	291
四、复合模的典型结构	250	七、冲模 CAD/CAM 系统的	
第四节 级进模	254	基本流程	292
一、工序件携带方式	254	八、冲模 CAD/CAM 系统的模具	
二、工序安排的原则	254	结构设计	293
三、冲压工序顺序安排的原则	255	九、冲模 CAM	295
四、排样布局	256	十、HPC 冲裁模 CAD/CAM	
五、级进模的典型结构	256	系统	297
第五节 大型覆盖件成形模	260	第八章 冲压用材料	301
一、拉深模的典型结构	260	第一节 冲压用材料的标准	301
二、凸模、凹模及压边圈的结构		一、黑色金属	301
尺寸	261	二、有色金属	314
三、拉深肋(拉深槛)	262	三、非金属	326
第六节 特种冲模	263	第二节 冲压常用材料的化学成分和	
一、低熔点合金模具	263	力学性能	327
二、锌基合金模	265	一、黑色金属	327
三、聚氨酯橡胶模	267	二、有色金属	331
四、组合冲模	269	三、非金属	333
五、钢带模	276	第三节 冲压用新材料	334
六、钢板模	279	第四节 冲压用材料的合理选择	338
第七节 冲模设计要点	281	一、冲压用材料应具备的基本条件	338
一、冲模设计应具备的技术资料	281	二、冲压用材料的选择	338
二、冲模设计一般程序与内容	281	第五节 冲压用材料缺陷的检查	341
三、模具总体结构形式的确定	282	第六节 常用材料密度	341
		第七节 钢铁硬度和抗拉强度对照	342

第八节 常用金属材料中外牌号对照	344	六、SP 系列高速压力机	410
第九章 模具材料及热处理	354	七、脉冲星型(普尔萨型)超高速 精密压力机	410
第一节 冲压模具材料的选用原则	354	八、多工位自动传递压力机	411
第二节 模具材料	355	第三节 压力机的选择	412
一、常用优选模具钢	355	一、压力机类型的选择	412
二、模具钢的分类	357	二、压力机规格的确定	413
三、常用模具钢的化学成分及用途	358	第十一章 冲压安全技术	418
四、硬质合金及钢结硬质合金的化学 成分和力学性能	358	第一节 概述	418
五、有色金属及其合金	358	第二节 压力机安全装置及手工具	418
六、聚氨酯橡胶	363	一、压力机用安全装置的作用及功能	418
第三节 模具材料的选用	365	二、安全保护装置	419
一、常用冷作模具材料的性能比较	365	三、安全保护控制装置	422
二、冷作模具材料的选择	366	四、安全装置在压力机上安装时的 安全距离	423
三、采用新旧材料制造模具时的 模具寿命对比	370	五、手工具	425
第四节 冲模主要材料的许用应力	371	第三节 冲压模具安全技术	426
第五节 模具钢的锻造工艺	371	一、冲压模具安全技术措施	426
一、常用模具钢的锻造工艺规范	371	二、冲模安装、搬运和储藏的 安全技术	432
二、新型模具钢的锻造工艺规范	373	第四节 自动保护装置	435
三、新型模具钢的锻造特点和 工艺特性	373	一、装置	435
第六节 模具钢的热处理工艺	375	二、典型线路	441
一、常用冷冲、冷挤模具钢的热处理 工艺	375	第五节 冲压生产中的噪声及其控制	443
二、新型模具钢的热处理工艺	379	一、冲压生产中的噪声源	443
三、模具热处理常见缺陷及防止措施	387	二、噪声的危害及其允许标准	444
第七节 模具表面硬化技术	389	三、噪声的控制	445
第八节 国内外冷作模具钢钢号对照	395	第十二章 冲压工艺与模具设计 实例	448
第十章 压力机	398	第一节 冲压工艺与模具设计的内容及 步骤	448
第一节 常用压力机的分类及规格	398	第二节 冲压工艺与模具设计 实例	449
一、分类	398	一、摩托车侧盖前支承冲压工艺 设计	449
二、规格	400	二、微型汽车水泵叶轮冲压工艺与 模具设计	454
第二节 现代精密压力机	407	附 录	464
一、高速精密冲裁压力机	407	附录 A 力的单位换算表	464
二、数控冲切及步冲压力机	408	附录 B 压力的单位换算表	465
三、BEAT 系列高速压力机	408	附录 C 功率的单位换算表	466
四、A2 系列高速压力机	409		
五、BSTA 与 FP 系列高速 压力机	409		

附录 D 公差等级的应用参考表	467	数值表	469
附录 E 光洁度与表面粗糙度的关系 参考表	467	附录 H 我国新旧国标及原苏联公差与 配合对照表	469
附录 F 冲压基孔制极限 偏差表	467	附录 I 弹簧	469
附录 G 冲压基准件标准公差		附录 J 冲模模架标准	477
		参考文献	483

第一章 概 论

冲压加工技术应用范围十分广泛，在国民经济各工业部门中，几乎都有冲压加工或冲压产品的生产。如汽车、飞机、拖拉机、电机、电器、仪表、铁道、电信、化工以及轻工日用产品中均占有相当大的比重。

冲压生产主要是利用冲压设备和模具实现对金属材料（板材）的加工过程。所以冲压加工具有如下特点：

- 1) 生产率高、操作简单、容易实现机械化和自动化，特别适合于成批大量生产；
- 2) 冲压零件表面光洁，尺寸精度稳定，互换性好，成本低廉；
- 3) 在材料消耗不多的情况下，可以获得强度高、刚度大、而重量小的零件；
- 4) 可得到其他加工方法难以加工或无法加工的复杂形状零件。

由于冲压加工具有节材、节能和生产率高等突出特点，决定了冲压产品成本低廉，效益较好，因而冲压生产在制造行业中占有重要地位。

随着科学技术的进步和工业生产的迅速发展，模具已成为当代工业生产的重要手段，冲压生产和模具工业得到了世界各国的高度重视。

第一节 冲压工序的分类

冲压工艺根据通用的分类方法，可将冲压的基本工序分为材料的分离和成形两大类，每一类中又包括许多不同的工序。其具体的工序分类见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 分离工序

工 序	图 例	特点及应用范围
落料		用模具沿封闭线冲切板材，冲下的部分为工件，其余部分为废料
冲孔		用模具沿封闭线冲切板材，冲下的部分是废料
剪切		用剪刀或模具切断板材，切断线不封闭

1-1-1

(续)

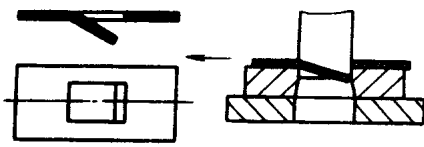
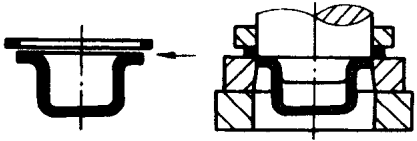
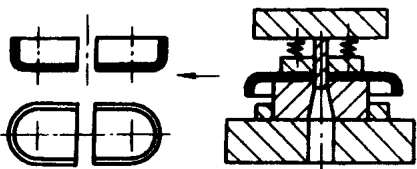
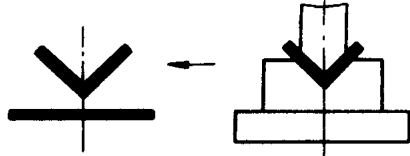
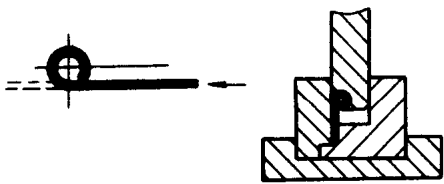
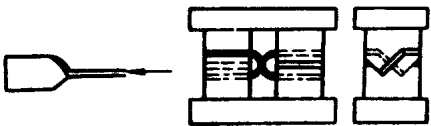
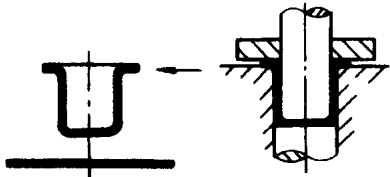
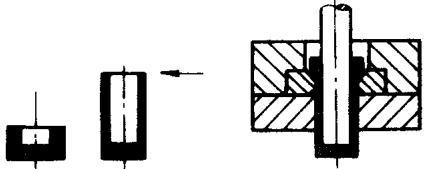
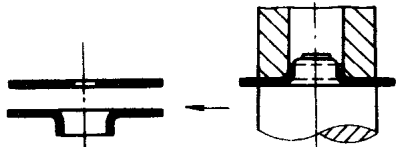
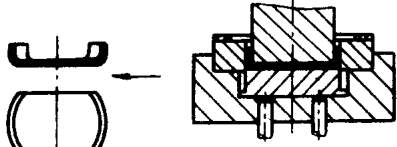
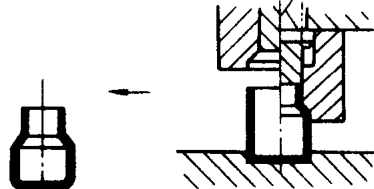
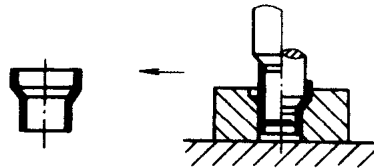
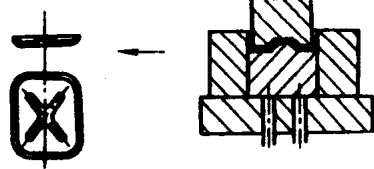
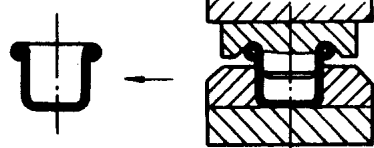
工序	图 例	特点及应用范围
切口		在坯料上将板材部分切开, 切口部分发生弯曲
切边		将拉深或成形后的半成品边缘部分的多余材料切掉
剖切		将半成品切开成两个或几个工件, 常用于成双冲压

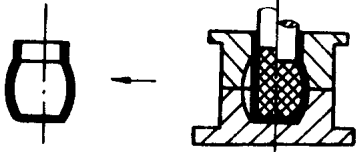
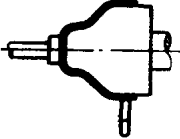
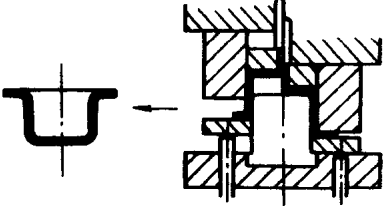
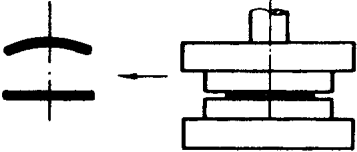
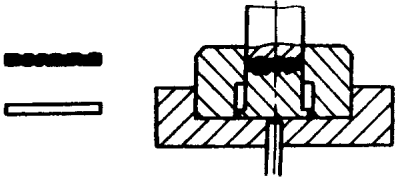
表 1-2 成形工序

工序	图 例	特点及应用范围
弯曲		用模具使材料弯曲成一定形状
卷圆		将板料端部卷圆
扭曲		将平板毛坯的一部分相对于另一部分扭转一个角度
拉深		将板料毛坯压制空心工件, 壁厚基本不变

(续)

工 序	图 例	特点及应用范围
变薄拉深		用减小壁厚, 增加工件高度的方法来改变空心件的尺寸, 得到要求的底厚、壁薄的工件
翻边		将板料或工件上有孔的边缘翻成竖立边缘
翻边		将工件的外缘翻起圆弧或曲线状的竖立边缘
缩口		将空心件的口部缩小
扩口		将空心件的口部扩大, 常用于管子
起伏		在板料或工件上压出肋条、花纹或文字, 在起伏处的整个厚度上都有变薄
卷边		将空心件的边缘卷成一定的形状

(续)

工 序	图 例	特点及应用范围
胀形		使空心件（或管料）的一部分沿径向扩张，呈凸肚形
旋压		利用辘棒或滚轮将板料毛坯辘压成一定形状（分变薄与不变薄两种）
整形		把形状不太准确的工件校正成形
校平		将毛坯或工件不平的面或弯曲予以压平
压印		改变工件厚度，在表面上压出文字或花纹

第二节 冲压成形的力学特点与分类

在冲压成形中，大多数情况下板材毛坯变形区都处于平面应力状态。一般在板料表面上不受法向外力作用，或者作用外力数值很小。因此，可以认为毛坯变形区产生塑性变形的应力是在板平面内相互垂直的两个主应力，除弯曲变形外，在大多数情况下都可以认为这两个主应力在厚度方向上的数值是不变的。如果板面内绝对值较大的主应力记为 σ_{ma} ，绝对值较小的主应力记为 σ_{mi} ，则比值 $\alpha = \sigma_{mi} / \sigma_{ma}$ 可表示板材冲压成形时的应力状态特点。 α 的变化范围是

$$-1 \leq \alpha \leq 1$$

根据 α 的取值及板面内的应力 σ_{ma} 是拉应力还是压应力，板材冲压成形时变形区的应力状态可概括为四种基本类型（图 1-1）：

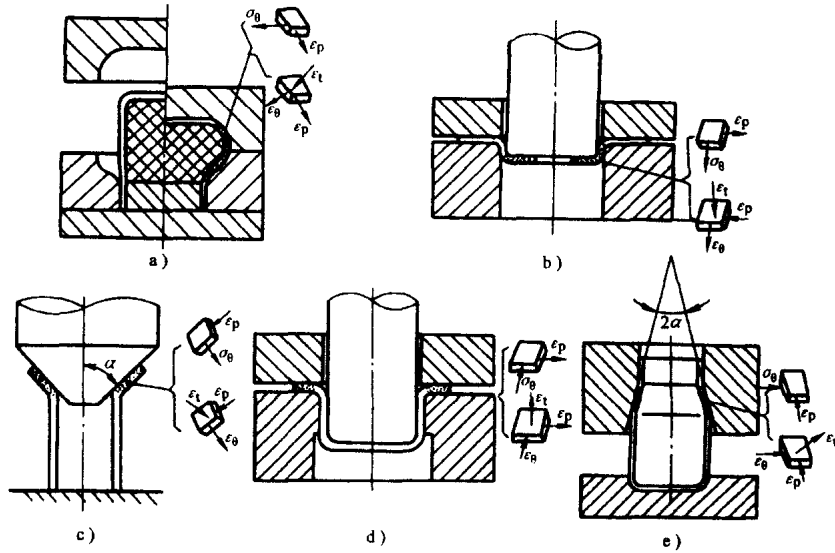


图 1-1 冲压成形基本应力应变状态及实例

a) 胀形 b) 翻孔 c) 扩口 d) 拉深 e) 缩口

- 1) 拉-拉 ($\alpha \geq 0, \sigma_{ma} > 0$), 如图 1-1a、b 所示的两种均为拉应力, 即胀形和翻孔工艺。
- 2) 拉-压 ($\alpha < 0, \sigma_{ma} > 0$), 如图 1-1c 所示的扩口变形, 且切向拉应力的绝对值大于压应力的绝对值。
- 3) 压-拉 ($\alpha < 0, \sigma_{ma} < 0$), 如图 1-1d 所示的拉深变形, 其压应力的绝对值大于拉应力的绝对值。
- 4) 压-压 ($\alpha \geq 0, \sigma_{ma} < 0$), 如图 1-1e 所示的缩口为两向压应力。

按塑性变形体积不变条件:

$$\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0$$

若以 ϵ_{ma} 、 ϵ_{mi} 分别表示板面内绝对值较大与较小的主应变; 其比值:

$$\beta = \epsilon_{mi} / \epsilon_{ma}$$

可用来表示板材成形时的应变状态特点, 其变化范围是:

$$-1 \leq \beta \leq 1$$

由于塑性变形时的三个正应变分量不可能全部是同号的, 并根据 ϵ_{ma} 与 ϵ_{mi} 的可能取值, 板材成形时的应变状态亦可划分为四种基本类型 (图 1-1):

- 1) 拉-拉 ($\beta \geq 0, \epsilon_{ma} > 0$) 胀形和翻孔变形, 为两向拉应力, 在变形中材料发生变薄现象。
- 2) 拉-压 ($\beta < 0, \epsilon_{ma} > 0$) 扩口变形, 如图所示, 板材厚度方向应变为负, 材料发生变薄现象。
- 3) 压-拉 ($\beta < 0, \epsilon_{ma} < 0$) 图示的拉深变形, 凸缘变形区压应力的绝对值大于拉应力, 此时, 材料发生变厚现象。
- 4) 压-压 ($\beta \geq 0, \epsilon_{ma} < 0$) 缩口为两向压应力, 材料厚度发生变厚。

由此可见, 各种冲压成形方法根据毛坯变形区的受力情况和变形特点, 从变形力学实质分析, 可分为伸长类成形和压缩类成形。 $\epsilon_{ma} > 0$ 时为伸长类成形; $\epsilon_{ma} < 0$ 时为压缩类成形。图 1-2 表示了板材成形时变形区可能出现的全部应力以及对应的应变状态。

伸长类成形时, 作用在坯料变形区的拉应力绝对值最大, 板料的成形主要靠材料的伸长与

厚度的减薄来实现。

压缩类成形时，作用于坯料变形区的压应力绝对值最大，板材成形主要靠材料的压缩变形和厚度的增加来实现。

通过各种成形方法进行分类，可以对同一类变形中的各种成形方法，用相同的观点和方法去分析和解决冲压成形中产生的各种实际问题。

但是，实际冲压生产中的成形是相当复杂的，有的可能存在两个以上不同性质的变形区（如曲面零件拉深）。对这样的成形方法，就不能简单确定为伸长类或压缩类成形，而是同一个毛坯上的不同变形区分别反映出不同的变形特点。这时，可将

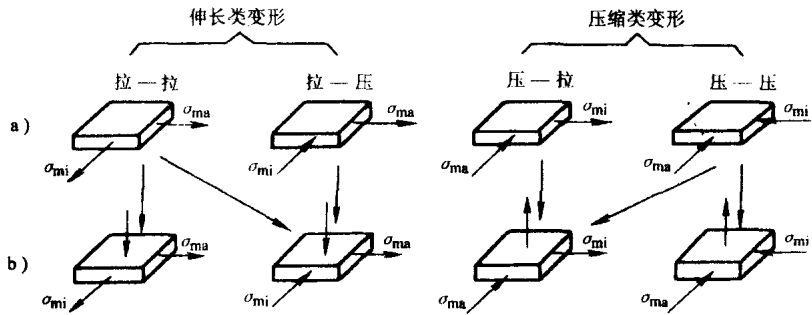


图 1-2 板材应力状态与应变状态及其对应关系

a) 板材的应力状态 b) 板材的应变状态

每个不同性质的变形区划分到不同类别的成形领域里。因此，对各种成形方法还可进一步分为：具有单一变形区的成形方法和具有多个变形区的成形方法。具有单一变形区的成形方法的变形性质与变形区的变形性质是一致的。具有多个变形区的冲压成形方法的性质，可分为三种情况来研究。第一种是以伸长类变形为主的，毛坯的变形区中伸长变形区出现的问题是主要的（如平板弯曲、锥形件拉深等），可以从伸长类变形的规律出发，研究和解决成形的问题；第二种是压缩类成形为主的，毛坯变形区中压缩类变形区出现的问题是主要的（如管材弯曲等），可以从压缩变形的规律出发研究和解决成形中的各种问题；第三种是兼有压缩类和伸长类变形特点的成形方法，不同的变形区出现的问题都是不容忽视的。由于冲压中出现的问题是两方面的，应该根据两种成形方法的不同特点采取必要的措施，解决两方面的问题。

第三节 金属板材的冲压成形性能

金属板材的成形性能是指板材对冲压成形工艺的适应能力。板材成形性能的好坏会直接影响到冲压工艺过程、生产率、产品质量和生产成本。板料的冲压成形性能好，对冲压成形方法的适应性就强，就可以采用简便工艺、高生产率设备、生产出优质低成本的冲压零件。

对冲压成形件来说，不产生破裂是基本前提，同时对它的表面质量和形状尺寸精度也有一定要求，故板料冲压成形性应包括：抗破裂性、贴模性和形状冻结性能等几个方面。

所谓冲压成形性就是板材可成形能力的总称，或者叫做广义的冲压成形性能。广义成形性能中的抗破裂性能，可视为狭义的冲压成形性能。板料在成形过程中，一是由于起皱、塌陷和鼓包等缺陷而不能与模具完全贴合；另一方面因为回弹，造成零件脱模后较大的形状和尺寸误差。通常将板材冲压成形中取得与模具形状一致的能力，称为贴模性；而把零件脱模后保持其既得形状和尺寸的能力，称为形状冻结性。

通常把材料开始出现破裂时的极限变形程度作为板料冲压成形性能的判定尺度。目前对抗破裂性的研究已取得了不少成果。根据把冲压成形基本工序依其变形区应力应变的特点分为伸长类（拉伸类）与压缩类两个基本类别的理论，可以把这种冲压成形的分类与冲压成形性能的

分类建立如表 1-3 所示的对应关系。

板料冲压成形的试验方法有多种,概括起来分为直接试验和间接试验两类。直接试验中板材的应力和变形情况与真实冲压基本相同,所得的结果也比较准确;而间接试验时板材的受力情况与变形特点却与实际冲压时有一定的差别。所以,所得的结果也只能间接地反映板材的冲压性能,有时还要借助于一定的分析方法才能做到。

常用的方法为:直接试验中的模拟试验和间接试验中的拉伸试验。

表 1-3 冲压成形性能的分类

冲压成形类别	成形性能类别	提高极限变形程度的措施
伸长类冲压成形(翻边、胀形等)	伸长类成形性能(翻边性能、胀形性能等)	1) 提高材料的塑性 2) 减少变形不均匀程度 3) 消除变形区局部硬化层和应力集中
压缩类冲压成形(拉深、缩口等)	压缩类成形性能(拉深性能、缩口性能等)	1) 降低变形区的变形抗力、摩擦阻力 2) 防止变形区的压缩失稳(起皱) 3) 提高传力区的承载能力
复合类冲压成形(弯曲、曲面零件拉深成形等)	复合类成形性能(弯曲性能等)	根据所述成形类别的主次,分别采取相应措施

一、板材拉伸试验

拉伸试验是评价板材的基本力学性能及成形性能的主要试验方法。由于简单可行,所以是目前普遍采用的一种方法。由单向拉伸试验所能获得的材料特性值如图 1-3 所示。

拉伸试验值与冲压成形性能有密切关系的几项主要性能参数如下:

(1) σ_s/σ_b σ_s/σ_b 称屈服比较小的屈服比几乎对所有的冲压成形都是有利的。

屈服比小,对压缩类成形工艺有利。拉深时,如果板材的屈服点 σ_s 低,材料起皱的趋势小,防止起皱所必需的压边力和摩擦损失也会降低,对提高极限变形程度有利。

例如,低碳钢的 $\frac{\sigma_s}{\sigma_b} \approx 0.57$ 时,极限拉深系数 $m = 0.48 \sim 0.5$

65Mn 的 $\frac{\sigma_s}{\sigma_b} \approx 0.61$ 时,极限拉深系数则为 $m = 0.68 \sim 0.7$

在伸长类成形工艺中,如胀形、拉型、拉弯、曲面形状的成形等,当 σ_s 低时,为消除零件的松弛等弊病和为使零件的形状和尺寸得到固定所需的拉力也小,所以成形工艺的稳定性高,不易出废品。

弯曲件所用板材的 σ_s 低时,卸载时的回弹变形也小,有利于提高零件精度。

可见屈服比对板材的冲压成形性能的影响是多方面的,而且也是很重要的。

(2) δ_u 与 δ δ_u 叫均匀伸长率,板材在拉力作用下开始产生局部集中变形(缩颈时)的伸长

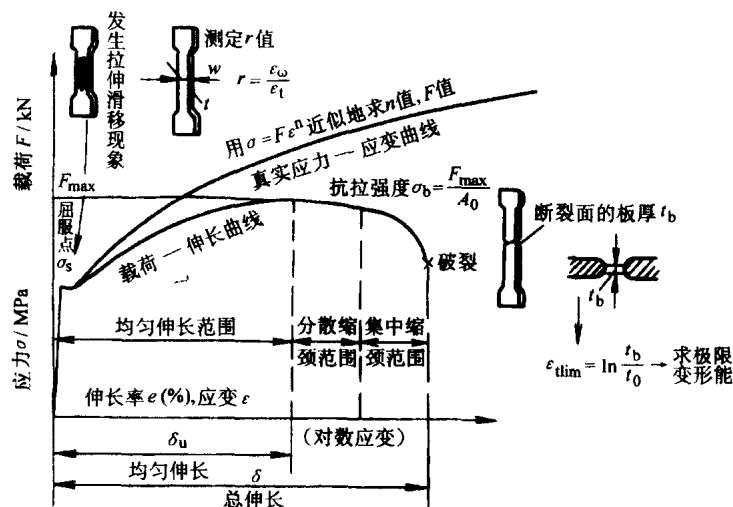


图 1-3 单向拉伸试验所得到的材料特性值示意图

率。 δ 称为总伸长率，是在拉伸中试样破坏时的伸长率。一般情况下，冲压成形性都在板材均匀变形范围内进行。所以 δ_0 表示板材产生均匀的或稳定的塑性变形的能力，它直接决定板材在伸长类变形中的成形性能。可以用 δ_0 间接表示伸长类变形的极限变形程度，如翻边系数、扩口系数、最小弯曲半径、胀形系数等。实验结果表明，大多数材料的翻边变形程度都与 δ_0 成正比例关系，具有很大胀形成分的复杂曲面拉深件用的钢板，要求具有很高的 δ_0 值。

(3) 硬化指数 n 硬化指数 n 也称 n 值，它表示在塑性变形中材料硬化的强度。 n 值大时，在伸长类变形过程中可以使变形均匀化，具有扩展变形区，减少毛坯的局部变薄和增大极限变形参数等作用。 n 值是评定板材成形性能的重要指标，可用幂次式近似表示为： $\sigma = F\epsilon^n$ 。式中指数 n 称为应变强化指数，它在数量上就等于单向拉伸时材料刚要出现颈缩时的实际应变。表 1-4 给出了几种常用金属板材的 n 值及 σ 值。

表 1-4 部分板材的 n 值和 σ 值

材 料	n 值	σ /MPa	材 料	n 值	σ /MPa
08F	0.185	708.76	T2	0.455	538.37
08Al (ZF)	0.252	553.47	H62	0.513	773.38
08Al (HF)	0.247	521.27	H68	0.435	759.12
08Al (Z)	0.233	507.73	QSn6.5-0.1	0.492	864.49
08Al (P)	0.25	613.13	Q235	0.236	630.27
10	0.215	583.84	SPCC (日本)	0.212	569.76
20	0.166	709.06	SPCD (日本)	0.249	497.63
LF2	0.164	165.64	1Cr18Ni9Ti	0.347	1093.61
2Al2M	0.192	366.29	1035M	0.286	112.43

(4) 厚向异性系数 r 值 r 值是评价板材拉深成形性能的一个重要材料参数。 r 值反映了板材在板平面方向和板厚方向由于各向异性而引起应变能力不一致的情况，它反映了板材在板平面内承受拉力或压力时抵抗变薄或变厚的能力，它是板材拉伸试验中宽度应变 ϵ_b 与厚度应变 ϵ_t 之比，即

$$r = \frac{\epsilon_b}{\epsilon_t} = \frac{\ln \frac{b}{b_0}}{\ln \frac{t}{t_0}}$$

式中 b_0 、 b 与 t_0 、 t 分别是变形前后试样的宽度与厚度。

当 $r=1$ 时，板宽与板厚间属各向同性。而 $r \neq 1$ 时，则为各向异性。 $r > 1$ 说明该板材的宽度方向比厚度方向更易变形。即 r 值大时，能使筒形件的拉深极限变形程度增大。用软钢、不锈钢、铝、黄铜等所做的试验也证明了拉深比与 r 值之间的关系（表 1-5）。

表 1-5 拉深比与 r 值间的关系

r 值	0.5	1	1.5	2
拉深比 $K = \frac{D}{d}$	2.12	2.18	2.25	2.5

由于板材轧制时的方向性，所以板材平面内各方向上的 r 值是不同的。因此，采用 r 值应取各个方向上的平均值。即