

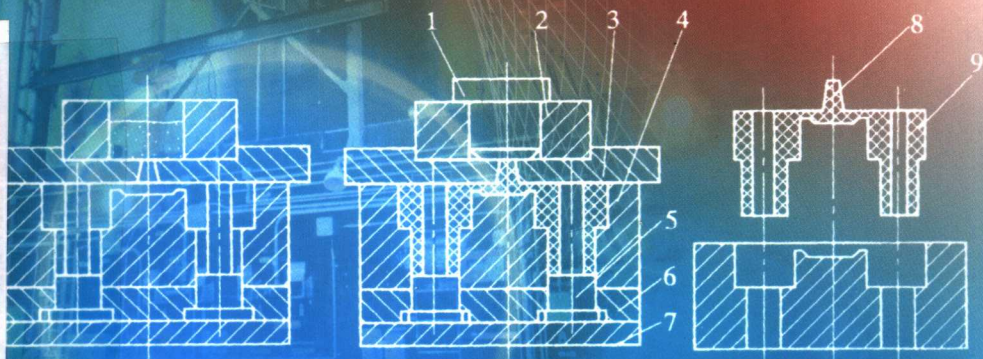


面向 21 世纪全国高职高专机电类规划教材

模具设计与制造

MOJU SHEJI YU ZHIZAO

谢昱北 主 编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

G26
1

面向 21 世纪全国高职高专机电类规划教材

模具设计与制造

谢昱北 主编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书对冲压模具、塑料模具的设计与制造进行了讲解。较为详细地描述了冲裁工艺和模具设计的基本要素；扼要描述了弯曲、拉深等其他成形工艺的特点和模具结构；简明实用地介绍了塑料的特性，并以注射成型工艺为例详细描述了塑料成型工艺和模具设计的要领，最后对模具制造和装配过程进行了简要的介绍。本书对部分模具设计过程给出实例以供参考，并附有思考题。

本书可作为高职、高专及成人院校机械设计与制造专业教学用书，也可供从事产品设计、技术开发的工程设计人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

模具设计与制造/谢昱北主编. —北京: 北京大学出版社, 2005.8
(面向 21 世纪全国高职高专机电类规划教材)

ISBN 7-301-08844-2

I. 模… II. 谢… III. ①模具—设计—高等学校—教材②模具—制造—高等学校—教材 IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 031074 号

书 名: 模具设计与制造

著作责任者: 谢昱北 主编

责任编辑: 吕冬明

标准书号: ISBN 7-301-08844-2/TI·0006

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765013

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn>

电子信箱: xxjs@pup.pku.edu.cn

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×980 毫米 16 开本 17.5 印张 380 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 28.00 元

前 言

本书是高职高专机电专业的机械设计与制造专业教材。根据高职教育的特点与基本要求,本书较为详细地描述了冲裁工艺和模具设计的基本要素;扼要描述了弯曲、拉深等其他成形工艺的特点和模具结构;简明实用地介绍了塑料的特性,并以注射成型工艺为例详细描述了塑料成型工艺和模具设计的要领。最后对模具制造和装配过程进行了简要的介绍。为了使模具设计内容完整而统一,在介绍模具设计时,以生产实践中常用的材料和成形手段作为主线展开,用生产中典型的实例,详尽地叙述了常用模具的典型知识、设计方法及成形设备的选用。本书以模具设计为主,并简要介绍了模具制造和装配工艺。机械制造工艺的其他相关内容可以从《机械制造基础》或类似课程得到。本书对部分模具设计过程给出实例以供参考,并附有思考题。

全书分为8章。第1章介绍冷冲压成形工艺、材料及成形设备;第2章介绍冲裁工艺与模具设计;第3章介绍拉深和弯曲工艺与模具结构;第4章介绍其他常用冲压成形工艺与模具结构;第5章介绍塑料成型工艺的基本方法、高分子材料及成型设备;第6章介绍塑料注射成型工艺与模具设计;第7章介绍模具制造工艺过程;第8章介绍模具装配工艺过程。

本书由谢昱北主编并负责统稿。另外,许翼、郭康平、鲍丽勇、李笑迪、陈宇等也参加了本书的编写。

本书可作为高职、高专及成人院校机械制造非模具专业教学用书,也可供从事产品设计、技术开发的工程设计人员参考。

本书作为一种教材,广泛吸取了国内众多专家学者的研究成果,编写的主要参考书目附后,未及一一注明,在此谨表谢意,并请谅解。由于成书时间仓促,同时限于水平,本书存在着种种不足和缺点,恳切希望得到大家的批评指正。

编 者

2005年4月

目 录

第 1 章 冲压模具设计基础.....	1
1.1 冲压成形特点和基本工序.....	1
1.1.1 冲压成形特点.....	1
1.1.2 冲压成形的基本工序.....	1
1.2 冲压成形的基本理论.....	3
1.2.1 塑性力学基础.....	3
1.2.2 金属塑性变形的基本规律.....	6
1.3 冲压材料的选用.....	8
1.3.1 常用冲压材料的基本要求.....	8
1.3.2 常用冲压材料.....	9
1.4 冲模材料的选用.....	11
1.4.1 冲模材料的要求和选用原则.....	11
1.4.2 冲模常见材料及热处理要求.....	12
1.5 冲压常用设备.....	14
1.5.1 压力机的分类和型号.....	14
1.5.2 常用机械压力机的典型结构.....	16
1.5.3 曲柄压力机.....	18
1.5.4 冲压设备的选择.....	21
1.6 思考题.....	23
第 2 章 冲裁工艺与模具设计.....	24
2.1 冲裁工艺.....	24
2.1.1 冲裁过程及断面特征.....	24
2.1.2 冲裁间隙.....	26
2.1.3 冲裁件的工艺性.....	30
2.1.4 冲裁件的排样.....	34
2.1.5 凸、凹模刃口尺寸的计算.....	41
2.1.6 冲裁力及相关计算.....	47

2.2	冲裁模的基本类型与结构	52
2.2.1	冲裁模的组成	52
2.2.2	单工序冲裁模	53
2.2.3	级进冲模	57
2.2.4	复合冲模	60
2.3	冲模零部件的结构设计	62
2.3.1	凸模的结构设计	62
2.3.2	凹模的结构设计	66
2.3.3	定位零件	70
2.3.4	卸料装置	76
2.3.5	固定零件	78
2.4	冲模的设计步骤及实例	81
2.4.1	冲模的设计步骤	81
2.4.2	冲裁模设计实例	84
2.5	思考题	90
第3章	拉深、弯曲工艺及模具	92
3.1	弯曲成形工艺与模具	92
3.1.1	弯曲的类型	92
3.1.2	弯曲变形过程分析	93
3.1.3	典型弯曲模结构	95
3.2	拉深成形工艺与模具	103
3.2.1	拉深工艺概述	103
3.2.2	拉深件的工艺性	104
3.2.3	拉深变形过程分析	105
3.2.4	拉深件的主要工艺问题	109
3.2.5	典型拉深模结构	110
3.3	思考题	116
第4章	其他冷冲压工艺及模具	117
4.1	胀形	117
4.1.1	胀形变形的特点	117
4.1.2	平板坯料的起伏成型	117
4.1.3	空心坯料的胀形	120
4.1.4	胀形模设计要点	123

4.1.5 胀形模设计实例.....	123
4.2 缩口.....	125
4.2.1 缩口变形程度.....	126
4.2.2 缩口工艺计算.....	127
4.2.3 缩口模设计实例.....	128
4.3 翻边.....	130
4.3.1 内孔翻边.....	130
4.3.2 外缘翻边.....	133
4.3.3 翻边模结构.....	135
4.4 思考题.....	137
第5章 塑料模具设计基础.....	138
5.1 塑料概述.....	138
5.1.1 塑料的组成、分类与应用.....	138
5.1.2 常用塑料的性能和用途.....	141
5.2 塑料的成型工艺.....	146
5.2.1 注射成型工艺.....	146
5.2.2 挤出成型工艺.....	151
5.2.3 压缩成型工艺.....	153
5.2.4 压注成型工艺.....	156
5.3 塑料的成型工艺特性.....	158
5.4 塑料制品的结构工艺性.....	161
5.4.1 塑料制品的几何结构设计.....	161
5.4.2 塑料制品的尺寸、精度和表面粗糙度.....	169
5.4.3 塑料制品螺纹与齿轮设计.....	170
5.4.4 塑料制品金属嵌件设计.....	173
5.5 塑料成型设备.....	174
5.5.1 塑料注射机.....	174
5.5.2 其他塑料成型设备.....	178
5.6 思考题.....	178
第6章 注射模具设计.....	180
6.1 注射模概述.....	180
6.1.1 注射模的分类及典型结构.....	180
6.1.2 单分型面注射模的组成和工作过程.....	184

6.1.3	注射模具设计步骤.....	186
6.2	塑件在模具中的位置.....	190
6.2.1	型腔数量和排列方式.....	190
6.2.2	分型面的概念和设计.....	192
6.3	成型零部件的设计.....	194
6.3.1	成型零部件的结构设计.....	194
6.3.2	成型零部件工作尺寸的计算.....	201
6.3.3	模具型腔侧壁和底板厚度的设计.....	204
6.4	浇注系统设计.....	205
6.4.1	浇注系统的组成及设计原则.....	205
6.4.2	主流道和分流道设计.....	208
6.4.3	浇口设计.....	211
6.4.4	冷料穴和拉料杆设计.....	219
6.4.5	热流道浇注系统.....	220
6.4.6	排气系统设计.....	221
6.5	推出机构设计.....	222
6.5.1	推出力的计算.....	222
6.5.2	推出机构的分类和设计的要求.....	223
6.5.3	简单推出机构.....	224
6.5.4	推出机构的导向与复位.....	228
6.6	侧向分型与抽芯机构设计.....	229
6.6.1	概述.....	229
6.6.2	斜导柱侧向抽芯机构.....	230
6.6.3	楔滑块侧向抽芯机构.....	235
6.7	加热与冷却系统设计.....	236
6.7.1	概述.....	236
6.7.2	冷却系统设计.....	236
6.7.3	加热系统设计.....	239
6.8	结构零件的设计.....	240
6.8.1	合模导向装置的设计.....	240
6.8.2	支承零件的设计.....	244
6.8.3	模具零件的标准化.....	246
6.9	思考题.....	247

第7章 模具制造工艺	249
7.1 模具的生产过程及特点.....	249
7.1.1 模具的生产过程.....	249
7.1.2 模具的生产及工艺特点.....	252
7.2 模具制造工艺.....	254
7.2.1 模具制造机床与工装.....	254
7.3 思考题.....	255
第8章 模具装配工艺	256
8.1 模具装配与装配方法.....	256
8.1.1 模具装配及其技术要求.....	256
8.1.2 模具装配方法.....	257
8.2 模具零件的连接方法.....	260
8.3 模具间隙的控制方法.....	262
8.4 模具装配实例.....	263
8.4.1 冲裁模实例.....	263
8.4.2 注射模实例.....	264
8.5 思考题.....	266
参考文献	267

第 1 章 冲压模具设计基础

1.1 冲压成形特点和基本工序

冲压成形是指利用模具在压力机上对板料金属（或非金属）加压，使其产生分离或塑性变形，从而得到具有一定形状、尺寸和性能要求的零件的加工方法，它属于塑性成形的加工方法。由于该加工方法是在常温下进行，可称为冷冲压；又因其加工对象多为板料，也称为板料冲压。冲压所使用的成形工具为冷冲压模，简称冲模。一般一个冲压零件需要用几副模具才能加工成形，所以冲模设计是实现冷冲压工艺的核心。

1.1.1 冲压成形特点

冲压成形作为一种加工工艺，特别适合大批量生产，与其他工艺方法相比有如下优点：

- (1) 可以得到形状复杂、用其他加工方法难以得到的零件；
- (2) 尺寸精度主要由模具保证，加工出的零件质量稳定，一致性好；
- (3) 利用金属材料的塑性变形而产生的冷作硬化效应，可以提高零件的强度和刚度；
- (4) 材料的利用率高，属于少、无切屑加工；
- (5) 加工操作和设备比较简单，生产效率高，零件成本低。

但冲压加工中所用的模具结构一般比较复杂，生产周期较长、成本较高，在单件、小批量生产中受到一定限制。近年来由于简单冲模、组合冲模、锌基合金冲模的发展，促进了采用冲压工艺的单件、小批量零件生产的发展。

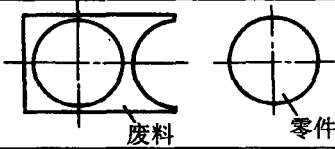
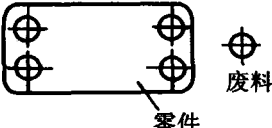
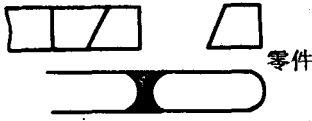

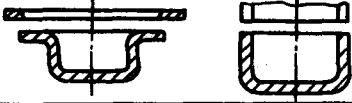

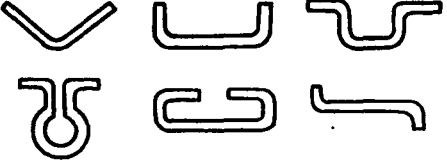
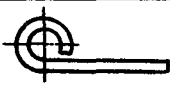
1.1.2 冲压成形的基本工序

冲压加工的零件种类繁多，对零件的形状、尺寸、精度的要求也各有不同，从而冲压成形的方法是多种多样的。但是根据材料的变形特点可分为分离工序和成形工序最基本的两大类。




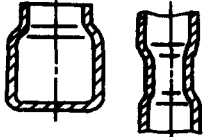
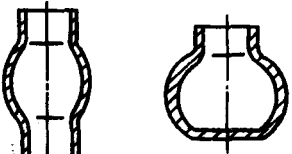

分离工序是指在冲压成形时，变形材料内部的应力超过强度极限 σ_b ，使材料发生断裂而产生分离，此时板料按一定的轮廓线分离而获得一定的形状、尺寸和切断面质量的冲压

件。成形工序是指在冲压成形时，变形材料内部应力超过屈服极限 σ_s ，但未达到强度极限 σ_b ，使材料产生塑性变形，同时获得一定形状和尺寸的零件。常用的分离和成形工序参见表 1.1。

表 1.1 冲压成形基本工序

工序名称		简图	特点
分离工序	落料		用冲模沿封闭轮廓线冲裁板料，冲下的部分为所需零件，其余部分为废料
	冲孔		用冲模沿封闭轮廓线冲裁板料，冲下的部分为废料，封闭曲线以外的部分为所需零件
	切断		用剪刀或冲模将板料沿敞开轮廓线切断，多用于加工形状简单的平板零件
	切口		在板料上将部分材料沿不封闭的曲线冲出缺口，切开部分发生弯曲
	切边		将已成形零件边缘的多余材料修切整齐或切成一定的形状
	剖切		将冲压加工的半成品零件切开成为两个或多个零件，多用于零件的成双或成组冲压成形之后
成形工序	弯曲		将板材沿直线弯折成各种形状，可以加工形状复杂的零件
	卷圆		将板材的端部卷成接近封闭的圆头，用于加工类似铰链的零件

(续表)

工序名称	简图	特点
成形工序		将板材毛坯制成各种开口空心制件, 可用于加工汽车车身覆盖件
		在预先冲好制件的板材半成品上冲出竖立的边缘
		将板材半成品的边缘按曲线或圆弧翻出竖立成一定角度的直边
		在空心毛坯或管装毛坯的某个部位上使其径向尺寸减少
		在双向拉应力作用下的变形, 可以成形各种空间曲面形状 of 零件
		在板料毛坯或零件的表面上用局部成形的方法加工出各种形状的凸起与凹陷

1.2 冲压成形的基本理论

在冲压件的成形过程中, 板料实际上发生的是塑性变形过程。塑性是指固体材料在外力作用下发生永久变形而不破坏其完整性的能力。材料的塑性是塑性加工的基础。本节对冲压成形的相关理论做简要描述。

1.2.1 塑性力学基础

1. 应力-应变曲线和加工硬化现象

图 1.1 是低碳钢拉伸试验得到的应力-应变曲线。材料在应力达到屈服极限 σ_s 后开始

塑性变形, 之前应力不太增大也能产生较大的变形。图中出现的平台现象称为屈服, 经过这一屈服平台后, 应变又开始随着应力的增大而增大(图中 cGb 段曲线)。如果在变形的中途(如 G 点处)卸载, 应力和应变会沿 GH 直线返回, 使弹性变形(HJ)回复而保留其塑性变形(OH)。若对试件重新加载, 曲线则从 H 点出发沿着 HG 直线回升进行弹性变形, 直到 G 点又重新开始屈服, 以后的应力应变仍然按 GbK 曲线变化。于是 G 点处应力是试件重新加载时的屈服应力; G 点成为新的屈服点。重复上述卸载和加载过程, 重新加载时的屈服应力会由于变形的逐次增大而不断地沿 Gb 曲线提高, 这表明材料在逐渐硬化(σ_b 为抗拉强度极限)。金属变形过程中随着塑性变形程度的增加, 其变形抗力(即每一瞬间的屈服强度 σ_s)增加, 硬度提高, 而塑性和塑性指标降低, 这种现象称为加工硬化, 该变形过程由于在常温下进行, 所以又称冷作硬化。材料的加工硬化对塑性变形的影响很大, 材料在发生加工硬化以后, 不仅使所需的变形力增加, 而且还限制了材料的进一步变形。甚至要在后续成形工序前增加退火工序。但加工硬化也有其有利的一面, 例如汽车冲压件利用塑性变形来提高其强度和刚度, 枪弹弹壳和火炮药筒利用冲压后材料强度提高这一特性使弹壳顺利抽出等。

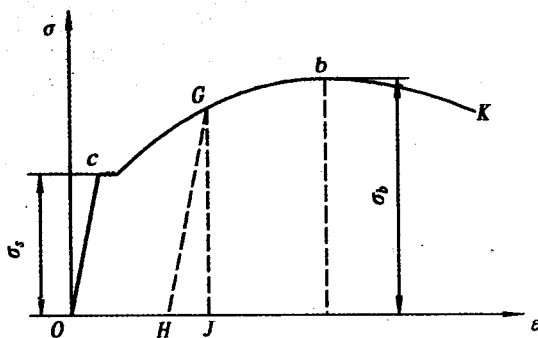


图 1.1 低碳钢拉深应力-应变曲线

上述曲线的应力是用载荷 F 与试棒初始截面 A_0 的比值来表示的。这种应力表示方法有其不合理性, 因为拉伸试验中试棒的截面积在不断减小, 所以真实应力应该是该瞬间的载荷与该瞬间试棒的截面积之比, 这个应力称为真实应力, 而前者称为名义应力。在塑性加工中由于塑性变形量很大, 都应用真实应力来表示。同一载荷下材料的真实应力是大于名义应力的。

用应变和真实应力制成的真实应力-应变曲线, 又称加工硬化曲线,

表示材料变形抗力与变形程度的关系曲线。冲压生产中应力-应变曲线常用指数曲线, 表示如下:

$$\sigma = C\varepsilon^n \quad (1.1)$$

式中: C ——与材料性能有关的系数, MPa;

n ——硬化指数。

不同的 C 和 n 值的硬化曲线如图 1.2 所示。 C 和 n 的数值取决于材料的种类和性能, 其数值见表 1.2 所示, 也可通过拉伸试验获得。 n 值是表示材料在变形时硬化性能的重要指标, n 值越大, 表示变形过程中, 材料的变形抗力随变形程度的增加而迅速增长, 同时不

易出现局部的集中变形和破坏,有利于增大伸长类零件成形时的变形极限,所以 n 值对板材的成形性能有着重要影响。

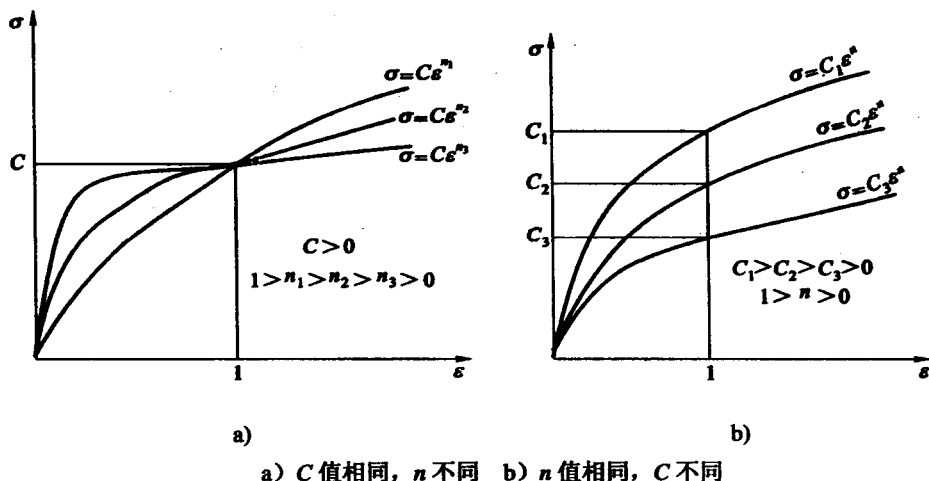


图 1.2 C 、 n 值对指数曲线的影响

表 1.2 各种材料的 C 和 n 值 (MPa)

材 料	C	n
软钢	710~750	0.19~0.22
黄铜 H62	990	0.46
磷青铜	1 100	0.22
磷青铜 (低温退火)	890	0.52
纯铜	420~460	0.27~0.34
硬铝合金	320~380	0.12~0.13
纯铝	160~210	0.25~0.27

注: 图中数据均由退火材料在室温和低变形速度试验得到。

2. 点的应力状态

金属在塑性变形时应力状态非常复杂,通常是在变形物体中取出一个微小正六面体(即所谓单元体),用该单元体上相互垂直的三个面上的九个应力分量来表示其所受的应力,这种图称为应力状态图。已知该九个应力分量,则过此点任意切面上的应力都可求得。所受应力包括正应力、剪应力两种。如果六面体上只有正应力而无切应力,则此应力状态图称为主应力图,三个正应力为主应力,并规定拉应力取正,压应力取负,且 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ 。根据

主应力方向及组合的不同,主应力图共有 9 种,如图 1.3 所示。应力状态对塑性的影响很大,主应力图中压应力个数越多、数值越大,则塑性越好。例如,如图 1.3 所示的主应力图中第 1 种塑性最好,第 7 种塑性最差。若三个主应力的数值都相等,即 $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$,称为球应力状态。深水中的微小物体所处的应力状态就是这样一种应力状态,习惯上常将三向等压应力称为静水压力。在静水压作用下的金属塑性将提高,静水压越大,塑性提高越多,这种现象称为静水压效应。静水压效应对塑性加工很有利,应尽量利用它。

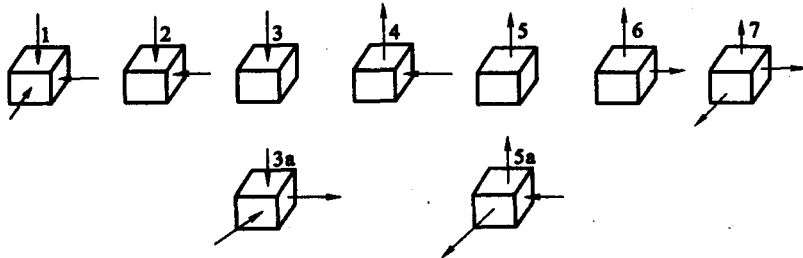


图 1.3 9 种主应力状态

1.2.2 金属塑性变形的基本规律

1. 金属屈服条件

材料受单向拉伸时,单向拉伸应力达到材料的屈服极限,该质点即行屈服;多向应力状态时,当各应力分量之间符合一定的关系时,质点进入塑性状态。这种关系叫做屈服条件,或屈服准则,也称塑性条件或塑性方程。满足屈服条件表明材料处于塑性状态。

目前在工程上常用的屈服条件可表示如下:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \beta \sigma_s \quad (1.2)$$

式中: σ_1 、 σ_3 、 σ_s ——最大主应力、最小主应力和屈服应力;

β ——应力状态系数,其值在 1~1.155 之间。

当 $\sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$ 时, $\beta = 1.155$; 当 $\sigma_2 = \sigma_1$ 或 $\sigma_2 = \sigma_3$ 时, $\beta = 1$ 。一般近似取 $\beta = 1.1$ 。

2. 应力应变关系

弹性变形阶段应力与应变之间的关系是线性的、可逆的,与加载历史无关;而塑性变形阶段的应力与应变之间的关系则是非线性的、不可逆的,与加载历史有关。所以,应变不仅与应力大小有关,而且还与加载历史有着密切的关系。

目前常用的塑性变形时应力与应变关系主要有两类:一类简称增量理论,它着眼于每一加载瞬间,认为应力状态确定的不是塑性应变分量的全量而是它的瞬时增量;另一类简

称**全量理论**，它认为在简单加载（即在塑性变形发展的过程中，只加载，不卸载，各应力分量一直按同一比例系数增长，又称**比例加载**）条件下，应力状态可确定塑性应变分量。为了便于理解和比较，在此仅介绍全量理论。

全量理论认为在简单加载条件下，塑性变形的每一瞬间，主应变差与主应力差成比例。其公式如下：

$$\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\sigma_1 - \sigma_2} = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}{\sigma_2 - \sigma_3} = \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{\sigma_3 - \sigma_1} = \psi \quad (1.3)$$

式中： σ_1 、 σ_2 、 σ_3 ——主应力；

ε_1 、 ε_2 、 ε_3 ——主应变；

ψ ——非负比例系数，是一个与材料性质和变形程度有关的函数，而与变形体所处的应力状态无关。

了解塑性变形时应力应变关系有助于分析冲压成形时板材的应力与应变。通过对塑性变形时应力应变关系的分析，可得出以下结论：

(1) 应力分量与应变分量符号不一定一致，即拉应力不一定对应拉应变，压应力不一定对应压应变；

(2) 某方向应力为零其应变不一定为零；

(3) 在任何一种应力状态下，应力分量的大小次序与应变分量的大小次序是相对应的，即 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ，则有 $\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$ ；

(4) 若有两个应力分量相等，则对应的应变分量也相等，即若 $\sigma_1 = \sigma_2$ ，则有 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ 。

3. 反载软化现象

如果卸载后反向加载，由拉伸改为压缩，应力与应变的关系又会产生什么样的变化呢？试验表明，反向加载时，材料的屈服应力（ σ_s' ）较拉伸时的屈服应力（ σ_s ）有所降低，如图 1.4 所示，出现所谓反载软化现象。反向加载时屈服应力的降低量，视材料的种类及正向加载的变形程度不同而异。关于反载软化现象，有人认为可能是因为正向加载时材料中的残余应力引起的。反向加载，材料屈服后，应力应变之间基本上按照加载时的曲线规律变化。

4. 最小阻力定律

在塑性变形中，内部各质点产生了位移，通常称为**金属的流动**。当金属质点有向几个方向移动的可能时，它向阻力最小的方向移动。换句话说，在冲压加工中，板料在变形过程中总是沿着阻力最小的方向发展，这就是塑性变形中的**最小阻力定律**。例如，将一块方形板料拉深成圆筒形件，当凸模将板料拉入凹模时，距凸模中心愈远的地方（即方形料的对角线处），流动阻力愈大，愈不易向凹模洞口流动，拉深变形后，凸缘形成弧状而不是直线边，如图 1.5 所示。最小阻力定律说明了在冲压生产中金属板料流动的趋势，控制金

属流动就可控制变形的趋向性。影响金属流动的因素主要是材料本身的特性和应力状态，而应力状态与冲压工序的性质、工艺参数和模具结构参数（如凸模、凹模工作部分的圆角半径，摩擦和间隙等）有关。

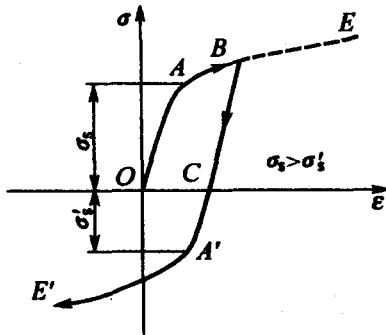


图 1.4 反载软化曲线

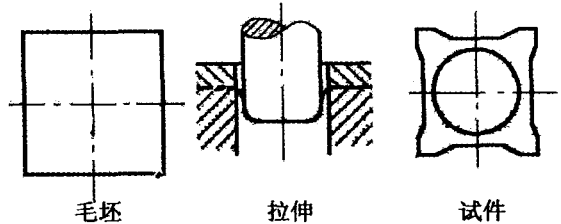


图 1.5 方板拉深试验——最小力定律试验

冲压成形需要正确控制金属流动，方法有开流和限流。开流就是在需要金属流动的地方减少阻力，使其顺利流动，达到成形目的。当某处需要金属流入而不能流入时，该局部就会发生变薄，甚至板料断裂。限流就是在不需要金属流动的地方增大阻力，限制金属流入。当某处不需要金属流入而流入金属时，多余的金属就会使该处产生起皱。具体控制金属流动的措施，有改变凸模与凹模工作部分的圆角半径以及改变摩擦、间隙、应力性质等。加大圆角半径和间隙，减小摩擦，均能起到开流作用；反之则起限流作用。

5. 体积不变定律

实践证明：金属塑性变形时，发生形状的变化，而体积变化很小，一般可以忽略不计称为体积不变定律。即可以认为：

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0 \quad (1.4)$$

因而，塑性变形时只可能存在三向应力状态和平面应力状态，而不能存在单向应力状态，同时在平面应力状态下，不为零的两个主应力大小相等，方向相反。

1.3 冲压材料的选用

1.3.1 常用冲压材料的基本要求

冲压工艺适用于多种金属材料及非金属材料。在金属材料中有钢、铜、铝、镁、镍、