

冲压工艺 与模具设计

实用技术

郑家贤 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

冲压工艺与模具设计实用技术

郑家贤 编著

机械工业出版社

本书是作者在中国科学院研究生学习及此后的工作期间对冲压工艺理论的研究、工艺参数的确定,模具结构的设计等方面实践经验的总结。同时也收集了国内外文献资料中较新的内容,经综合整理,汇编而成一部内容新颖,实用性强、集系统工艺理论、试验结果、数据曲线、模具结构、经验公式和图表为一体的技术性图书。具有理论系统完整、清晰明了、使用方便、数据实用可靠等特点。从事冲压工作的科技人员和模具设计及制作人员,可从中获得提高冲件精度、改善冲件质量、提高模具寿命等实用性的帮助和指导。可供从事冲压理论研究、工艺分析、模具设计人员以及冲压模具车间加工调试之用;也可作为高等院校机电专业、模具设计和制造专业学生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

冲压工艺与模具设计实用技术/郑家贤编著. —北京:
机械工业出版社, 2005.1
ISBN 7-111-15503-3

I. 冲... II. 郑... III. ①冲压-工艺②冲模-设计
IV.TG38

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第109871号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:刘彩英

封面设计:解辰 责任印制:李妍

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005年1月第1版第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·31.25印张·3插页·753千字

0001-4000册

定价:60.00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、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

板料冲压是金属塑性加工的一种基本方法。它用以生产各种板料零件,具有生产效率高、尺寸精度好、重量轻、成本低、并易于实现机械化和自动化等特点。在现代汽车、拖拉机、电器电机、电子、仪表、日用生活用品、航空航天以及国防工业等各个工业部门中均占有愈来愈重要的地位,冲压加工已在国民经济各部门得到广泛的应用。

随着科学技术的不断发展,加工技术不断深化,加工件的精度日趋提高。近年来,模具的制造也得到长足的进步。至今,我国模具制造行业的产值已超过机床工业。有关板料冲压技术方面的问题愈来愈为人们所关注,相应的冲压工艺理论的研究及冲压加工机理的探讨也随之不断深化,如何从冲压工序基本应力与变形状态的分析着手,改善冲件的质量精度,并提高模具的使用寿命也就显得愈为重要。

鉴于这些情况,特将本人在中国科学院研究生学习期间的研究成果与系统试验数据及在中科院工作期间的科研生产和此后为某些企业的冲压生产实践与咨询服务过程中所面对的具体事例,从探讨各个工序的变形机理着手,针对工艺理论问题的具体分析,经整理和汇总,并在大量收集国内外文献的基础上,汇编成这份实用性强、内容新颖,集数据、工艺理论曲线、经验公式和图表为一体的资料,具有系统完整、清晰明了、使用方便和数据可靠等特点。书中所列的各冲压工序多为在生产实践过程中的具体问题的基本分析。其中冲裁和拉深两章所列的图表、数据则大多为本人所作的系统试验的结果。成书的目的是想通过对冲压工序的基本分析,把有效地解决冲压生产的实践问题的方法介绍给广大的同行。书中内容既有充分的理论依据,又有科研生产的实际验证,伴之对冲压加工的基本分析方法,这对改善冲件质量,提高冲件精度,特别是对提高模具寿命均起到了很好的效果。可供从事冷冲压理论研究、工艺分析、模具设计人员以及冲压、模具车间加工调试之用,也可作为高等院校机电类专业、模具设计和制造专业学生全面了解冲压加工的实质、系统掌握模具设计基本理论的参考用书。

本人在研究生学习期间,得到学术导师——中国科学院院士张作梅教授的悉心教诲。长期以来曾多次得到中国模具技术协会名誉理事长张鼎承高级工程师的热忱指导与帮助,在此谨致以诚挚的谢意。

作者才疏学浅、缺乏经验,书中一定有不少错误和不当之处。恳请广大的同行、学者和专家不吝赐教,诚挚希望能得到诸位同行的批评指正。

郑家贤

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 定义、优越性	1
第二节 冲压的主要工序	2
第三节 冲压件的精度	2
第四节 冲压变形中的应力状态	5
第五节 冲压变形中的应力与 变形特点	6
第六节 各种冲压成形方法的力学特点 与分类	8
第七节 冲压成形中的成形极限及变形 趋向性	14
第八节 冲压时塑性变形对金属性能 的影响	14
第九节 金属板料的冲压性能及 试验方法	17
第十节 冲压成形性与材料特性	18
第十一节 材料的冲压工艺性	22
第十二节 板料的冲压性能试验 —— 拉伸试验	23
第十三节 板料的冲压性能试验 —— 剪切试验	28
第十四节 板料的冲压性能试验 —— 杯突试验	29
第十五节 板料的冲压性能试验 —— 最大拉深变形程度法 (L.D.R 法)	30
第十六节 板料的冲压性能试验 —— 锥形件拉深试验法	32
第十七节 板料的冲压性能试验 —— 拉深力对比试验法 (TZP) 法	34
第十八节 板料的冲压性能试验 ——	

弯曲试验	35
------------	----

第十九节 板料的冲压性能试验 ——	
-------------------	--

网格试验	36
------------	----

第二章 模具	38
--------------	----

第一节 模具的作用及基本要求	38
第二节 冲模的分类	39
第三节 模具零件的分类	40
第四节 模具设计的一般步骤	40
第五节 模具结构形式的选用	44
第六节 模具的标准化问题	46
第七节 导向模具	47
第八节 工作零件	54
第九节 定位零件	71
第十节 卸料及压料零件	89
第十一节 导向零件	99
第十二节 支持及夹持零件	107
第十三节 模具零件的技术要求	134
第十四节 模具零件的表面粗糙度和 配合要求	135
第十五节 模具的闭合高度	137
第十六节 模具寿命	137
第十七节 模具材料的选用	146
第十八节 模具零件热处理工序说明 ..	155

第三章 冲裁	166
--------------	-----

第一节 冲裁变形过程	166
第二节 剪切力(冲裁力)-行程曲线 ..	169
第三节 冲裁力和冲裁功	175
第四节 斜刃模具和阶梯凸模的冲裁 ..	177
第五节 侧向力	179
第六节 推件力和卸料力	180
第七节 压力中心	183
第八节 冲裁间隙	187

第九节 冲裁模具工作部分尺寸的选取	192	第十二节 弯曲模工作部分的尺寸 与公差	275
第十节 冲裁件的切口断面质量	193	第十三节 弯曲凸、凹模的结构尺寸	276
第十一节 冲裁件的弯弯程度	195	第十四节 弯曲模结构的设计特点	279
第十二节 冲件的毛刺	196	第五章 拉深	282
第十三节 高速冲裁	198	第一节 拉深变形过程	282
第十四节 冲裁件的形状和尺寸偏差 及其控制	200	第二节 拉深力的计算	285
第十五节 冲裁件的尺寸精度	201	第三节 拉深件毛坯尺寸的确定	291
第十六节 冲裁工作的材料利用率	202	第四节 拉深系数	299
第十七节 冲裁搭边	203	第五节 多次拉深	309
第十八节 冲孔模工作部分尺寸 的选取	205	第六节 拉深凸模和凹模的结构型式	311
第十九节 小孔的冲制	208	第七节 拉深模具工作部分尺寸 的选取	313
第二十节 非金属材料的裁切	209	第八节 拉深凸模和凹模的圆角半径	315
第二十一节 少、无废料冲裁	214	第九节 拉深模具的间隙	321
第二十二节 普通冲裁和精密冲裁 的比较	215	第十节 起皱和压边	324
第二十三节 光洁冲裁	217	第十一节 带凸缘圆筒形零件的拉深	330
第二十四节 负间隙冲裁	219	第十二节 阶梯形零件的拉深	336
第二十五节 往复冲裁	221	第十三节 锥形零件的拉深	337
第二十六节 对向凹模冲裁	223	第十四节 球形零件的拉深	341
第二十七节 精密冲裁	224	第十五节 反拉深	345
第二十八节 整修	236	第十六节 变薄拉深	347
第二十九节 冲裁模的设计要点	243	第十七节 矩形盒状零件的拉深	350
第四章 弯曲	247	第十八节 带料的连续拉深	367
第一节 弯曲变形	247	第十九节 复杂曲面零件的拉深	375
第二节 中性层	249	第二十节 特种拉深成形	387
第三节 弯曲毛坯展开尺寸的计算	251	第二十一节 拉深工作的附加工序	397
第四节 最小相对弯曲半径	252	第二十二节 拉深模的设计要点	403
第五节 翘曲	256	第六章 翻边	405
第六节 弯曲回弹	258	第一节 翻边概述	405
第七节 V形件的弯曲过程及其回弹	261	第二节 圆孔翻边	406
第八节 U形件的弯曲过程及其回弹	266	第三节 非圆孔翻边	415
第九节 减小弯曲回弹的措施	270	第四节 伸长类平面翻边(外缘翻边)	416
第十节 弯曲力的计算	271	第五节 伸长类曲面翻边	418
第十一节 弯曲凸模与凹模之间 的间隙	274	第六节 压缩类平面翻边	419
		第七节 变薄翻边	421
		第八节 翻边凸模的结构形状与尺寸	422

第九节 缩口.....	424	第十节 模具设计的基本要求	470
第七章 胀形	429	附录	471
第一节 胀形过程的分析	429	附录 1 冲压设备的选择	471
第二节 胀形的成形极限	431	附录 2 机械压力机和液压机的比较	474
第三节 胀形时成形条件的影响	433	附录 3 机械压力机的精度对模具的影响	475
第四节 起伏成形	436	附录 4 防止冲压事故的安全装置	478
第五节 凸肚	439	附录 5 模具设计时须考虑的安全措施	479
第六节 扩口	445	附录 6 螺钉旋进的最小深度	482
第七节 拉形	449	附录 7 容纳螺钉、螺栓用的埋头孔的直径与尺寸	482
第八章 立体压制	451	附录 8 装配卸料螺钉用有关孔的尺寸	483
第一节 概论	451	附录 9 螺钉的许用负荷	484
第二节 校平	453	附录 10 铸铁底座用弹顶器安装螺孔的承受力	484
第三节 整形	454	附录 11 材料的力学性能	485
第四节 精压	455	参考文献	489
第五节 压印与压花	457		
第六节 镦粗	458		
第七节 顶镦	464		
第八节 立体成形	465		
第九节 挤压	466		

第一章 概 述

第一节 定义、优越性

冷冲压也称板料冲压，是塑性加工的一种基本方法。一般是以金属板料为原材料（也有采用金属管料和非金属材料的），利用压力机上的模具作往复运动，在常温下对金属板料施加压力，使金属板料内部产生变形的内力。当内力的作用达到一定的数值时，板料毛坯或毛坯的某个部分便产生与内力的作用性质相对应的变形，使板料分离（或局部分离）或产生塑性变形，从而获得所需尺寸及形状的零件。

冷冲压的优点如下。

一、技术上

1) 在材料消耗不大的前提下，制造出的零件重量轻、刚度好、精度高。由于在冲压过程中材料的表面不受破坏，使得制件的表面质量较好，外观光滑美观。并且经过塑性变形后，金属内部的组织得到改善，机械强度有所提高。

2) 在压力机的简单冲击作用下，一次工序即可完成由其他加工方法所不能或难以制造完成的较复杂形状零件的加工。

3) 制件的精度较高，且能保证零件尺寸的均一性和互换性。不需进一步的机械加工即可以满足一般的装配和使用要求。

二、经济上

1) 原材料是冶金厂大量生产的廉价的轧制板材或带材。

2) 采用适当的冲压工艺后，可大量节约金属材料，可以实现少切屑和无切屑的加工方法。材料利用率一般可达75%~85%，因而制件的成本相应地比较低。

3) 节省能源。冲压时可不需加热，也不像切削加工那样将金属切成碎屑而需要消耗很大的能量。

4) 生产率高。每分钟一台冲压设备可生产零件从几件到几十件。目前的高速冲床生产率则每分钟高达数百件甚至一千件以上。

5) 操作简单，便于组织生产。在大批量的生产中，易于实现机械化和自动化，进一步提高劳动生产率。

6) 对操作人员的技术要求不高。当生产发展需要时，用短期培训的方法即可解决操作人员不足的矛盾。

冷冲压也有其不足之处，主要缺点为：

1) 需要有专用的模具，其制造周期长、费用高。因此，在生产批量小时，经济上不合

适。

2) 需要有制作精度较高、相适应于冲压工艺要求(满足相应的应力状态、符合一定的变形要求)的模具。因此,有时不能制造出精度要求极高的制件。

第二节 冲压的主要工序

按照不同的生产特点,冲压工艺方法也是多种多样的。概括起来可以分为分离工序和成形工序两大类。分离工序是指使板料按一定的轮廓线分离而获得一定形状、尺寸和切断面质量的冲压件;成形工序则是指坯料在不破裂的条件下产生塑性变形而获得一定形状和尺寸的冲压件的工序。

上述两类工序按冲压方式的不同又可分成很多基本工序,见图1-1。有时也有将其中的某些工序进行组合与装配,见图1-2。

第三节 冲压件的精度

采用普通的模具进行冲压时,冲压件一般能达到的尺寸精度为

冲裁	IT11~IT12级
光洁冲裁	IT9~IT11级
精密冲裁	IT6~IT8级
整修	IT6~IT7级
冲孔	IT11级
压弯	IT11~IT12级
筒形拉深件的高度	IT11~IT12级
带凸缘拉深件的高度	IT9~IT11级
拉深件的直径	IT9~IT11级
拉深件的厚度	IT11~IT12级
冷挤压	IT9级
立体成形(敞开式模具)	IT12~13级
(封闭式模具)	
轴向尺寸	IT10~IT11级
径向尺寸	IT7~IT8级

与其他几种加工方法所得到的零件尺寸精度的比较列于表 1-1。

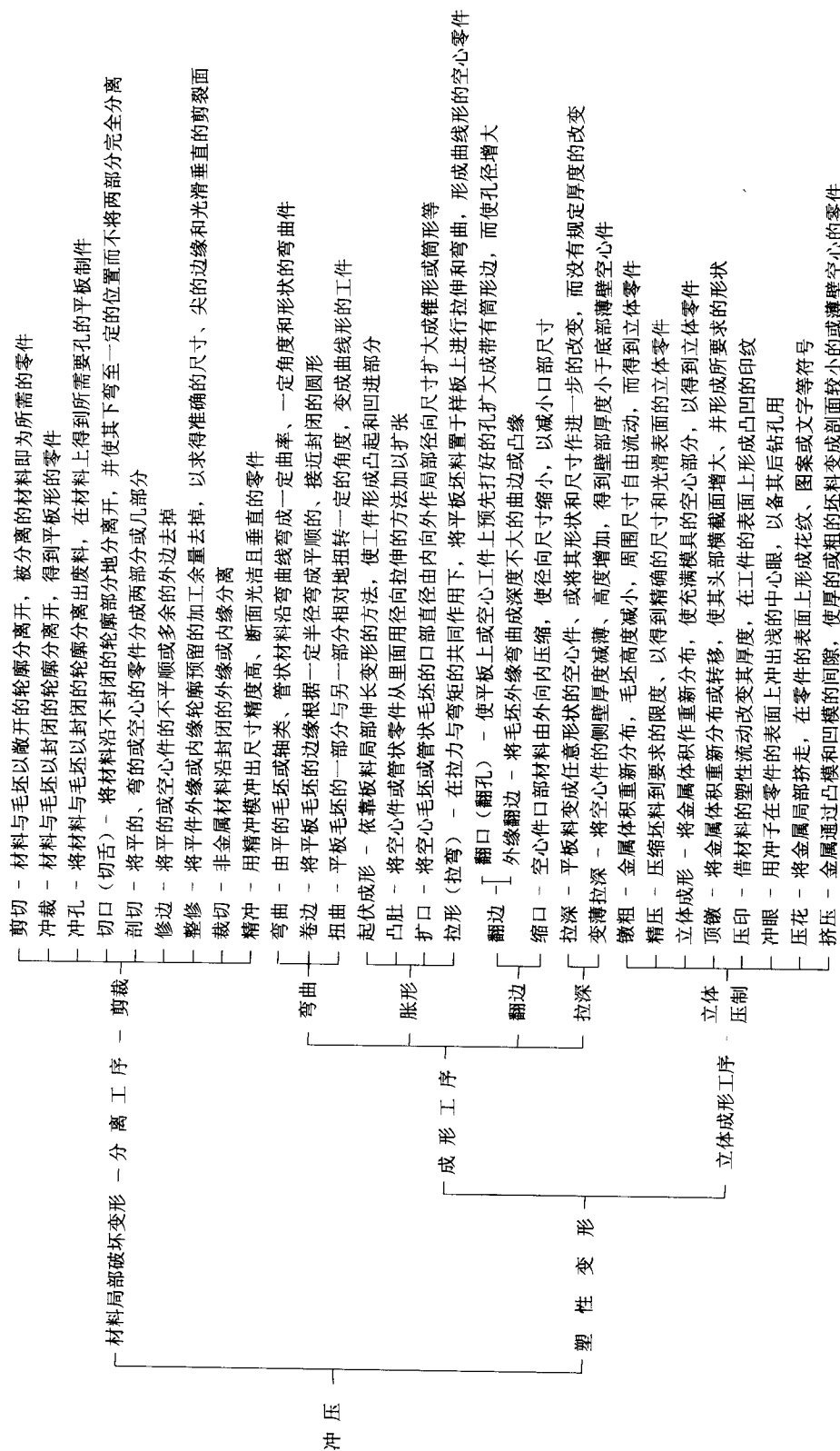


图 1-1 冷冲压的主要工序 (一)

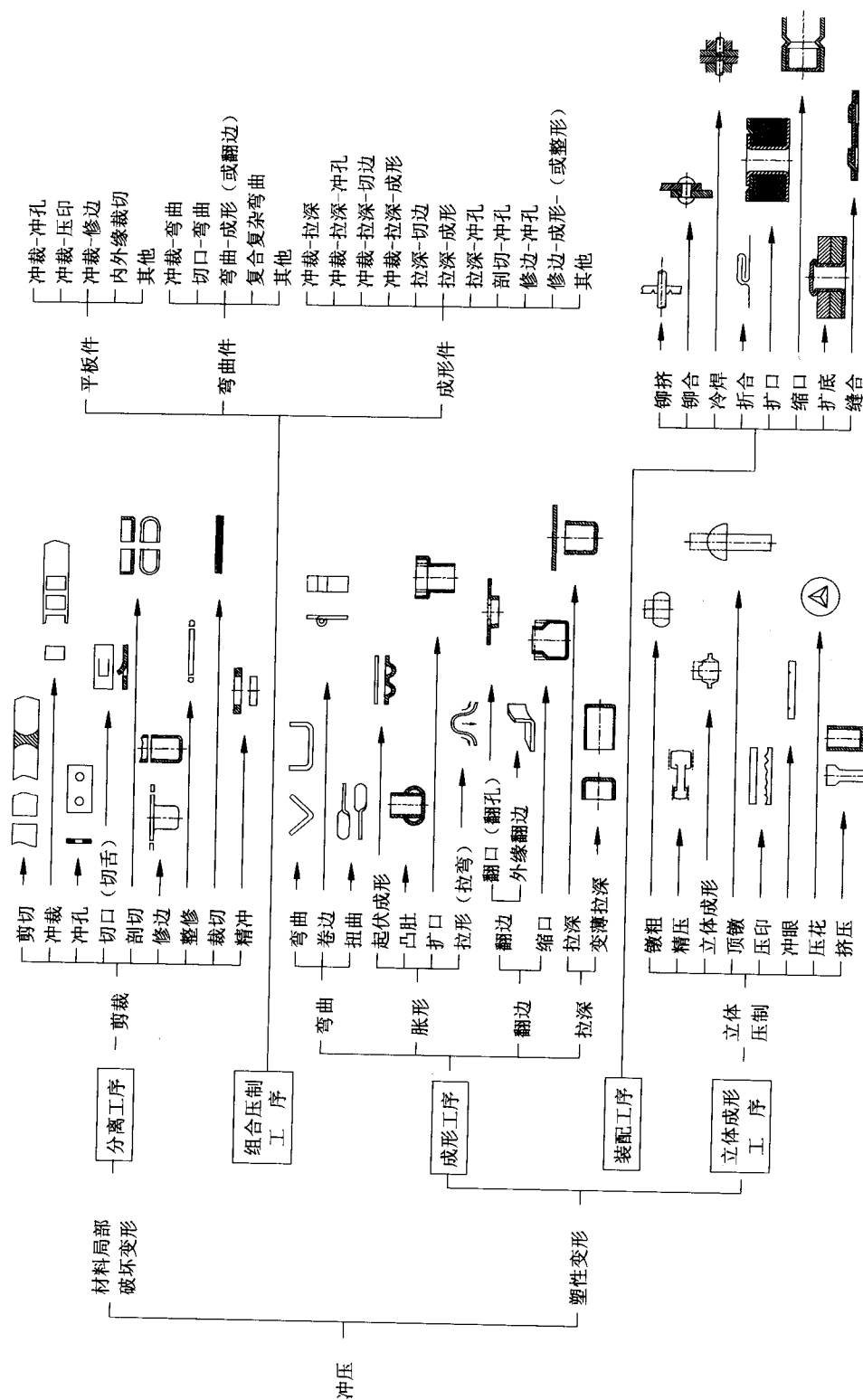


图 1-2 冷冲压的主要工序 (二)

表 1-1 各种加工方法尺寸精度之比较

相应于 50mm 时之尺寸公差	0.011	0.016	0.025	0.039	0.062	0.10	0.16	0.25	0.39	0.62	1.0	1.6
ISO 等级	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
加工方法												
热锻				----	----	----	----					
温锻			----	----	----							
冷锻		----	----	----	----	----						
轧制（厚度）			----	----	----	----						
精密轧制（厚度）	----	----	----	----	----							
精密压印（厚度）		----	----	----	----	----						
拉深						----	----	----				
变薄拉深	----					----						
管、线拉拔					----	----	----					
剪切				----	----	----	----	----				
精密剪切	----	----	----	----	----							
旋转锻造			----	----	----	----	----					
车削		----	----	----	----	----						
圆筒研磨	----	----	----	----								

第四节 冲压变形中的应力状态

在各种冲压过程中，板料毛坯的塑性变形都是模具对毛坯施加的外力所引起的内力或由内力直接作用的结果。一定的力的作用方式和力的大小都对应着一定的变形。

冲压过程中变形毛坯内各点的变形和受力情况是各不相同的。在连续介质中，一个点的应力状态可以用三个正应力和六个切应力来确定（图1-3a）。由于力的平衡，其中三对切应力是相等的。即

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}, \quad \tau_{yz} = \tau_{zy}, \quad \tau_{zx} = \tau_{xz}$$

因此，一点的应力状态用应力张量来表示时，可以写成

$$(T_{\sigma}) = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \cdot & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \cdot & \cdot & \sigma_z \end{bmatrix}$$

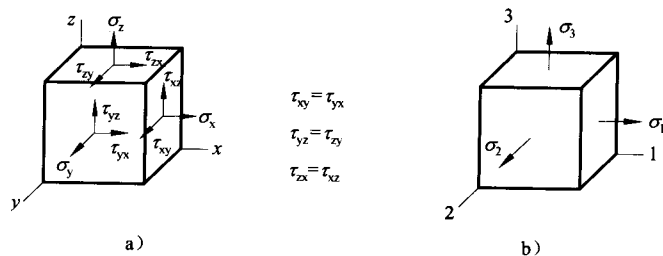


图 1-3 点的应力状态

a) 任意坐标系 b) 主轴坐标系

这时，一点的应力状态共有六个变量，其表现形式显得比较复杂，同时，也不易看出其应力状态的本质。由于一点的应力状态可以呈现出许多不同的形式，各应力分量值可随所选的坐标而改变。由塑性力学的分析可知，一点的应力状态也可以用三个主应力 σ_1 、 σ_2 及 σ_3 来表示（图 1-3b）。用应力张量来表示时，即

$$(T_\sigma) = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ \cdot & \sigma_2 & 0 \\ \cdot & \cdot & \sigma_3 \end{bmatrix}$$

对于各种各样的应力状态，这时可以简单地归纳成如图 1-4 所示的九种形式。同时，利用主应力来分析冲压过程中毛坯内应力的作用特点及其分布规律时，又带来了很多方便的地方。

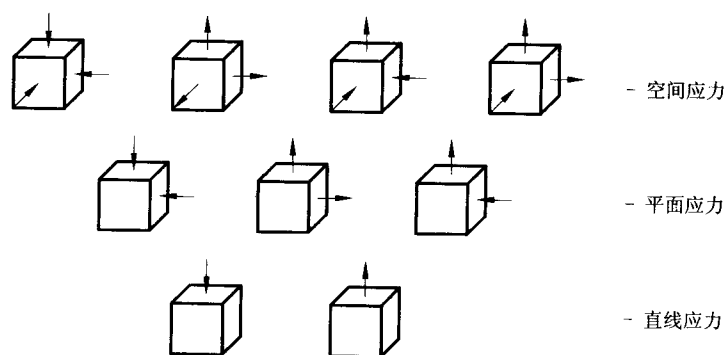


图 1-4 主应力图

应力状态对材料的塑性性能以及变形抗力的大小都有很明显的影响。在主应力图中，拉应力的数目愈多，塑性降低也就愈快。对于上述九种型式的应力状态来说，三向拉应力状态的塑性最小；而三向压应力状态的塑性则为最大。至于应力状态对变形抗力的影响，则是同号主应力的变形抗力要比异号的来得大。因而，上述九种型式的主应力状态图按其塑性和变形抗力影响的顺序来排列时，可以列成如图 1-5 所示的情况。图中，P 前的数字代表塑性的顺序；F 前的数字则代表变形抗力的顺序。数字愈大，表示塑性或变形抗力愈大。

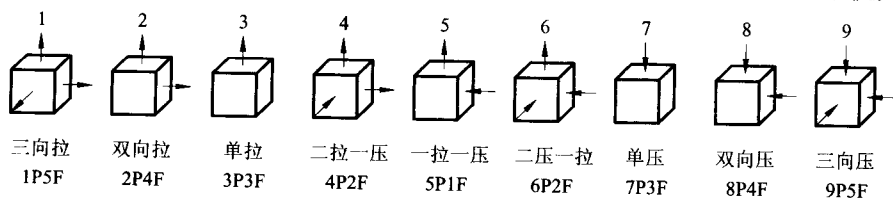


图 1-5 按塑性和变形抗力影响顺序排列的主应力状态图

第五节 冲压变形中的应力与变形特点

观察了解金属材料的塑性变形过程，最简单、最基本的方法是采用处于单向受拉应力

状态的拉伸试验。但是绝大多数冲压成形过程毛坯的塑性变形区都不是处于单向受拉或单向受压的应力状态，而是受到二向或三向的应力作用。在单向受拉或单向受压时的应力与应变关系可以用硬化曲线或硬化曲线的数学表达式 $\sigma=C\varepsilon^n$ 来表示。但在受到二向以上的应力作用时的复杂应力状态下，处于塑性变形状态的毛坯变形区内应力与应变关系是相当复杂的。目前常用的有全应变理论和增量理论两种应力与应变关系。

全应变理论的应力与应变关系表达式为

$$\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\sigma_1 - \sigma_2} = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}{\sigma_2 - \sigma_3} = \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{\sigma_3 - \sigma_1} = \text{常数}$$

上式也可改写成

$$\frac{\varepsilon_1}{\sigma_1 - \sigma_m} = \frac{\varepsilon_2}{\sigma_2 - \sigma_m} = \frac{\varepsilon_3}{\sigma_3 - \sigma_m} = \text{常数}$$

式中 σ_m —— 平均应力。其数值表示应力状态中三向均匀受拉或三向均匀受压成分的大小，即

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

增量理论的应力与应变关系表达式为

$$\frac{d\varepsilon_1 - d\varepsilon_2}{\sigma_1 - \sigma_2} = \frac{d\varepsilon_2 - d\varepsilon_3}{\sigma_2 - \sigma_3} = \frac{d\varepsilon_3 - d\varepsilon_1}{\sigma_3 - \sigma_1} = \text{常数}$$

上式也可改写成

$$\frac{d\varepsilon_1}{\sigma_1 - \sigma_2} = \frac{d\varepsilon_2}{\sigma_2 - \sigma_3} = \frac{d\varepsilon_3}{\sigma_3 - \sigma_1} = \text{常数}$$

全应变理论仅仅表示塑性变形終了时的主应变与主应力之间的关系，它不能反映出变形过程中应力与应变的变化过程所产生的影响。增量理论则表示在塑性变形的某一个瞬间应变增量与主应力之间的关系，经过积分便可以把变形过程的特点反映出来，所以它更接近于实际的情况。假如塑性变形过程中的主应力方向不变，而且各应力间的比例也保持不变，全应变理论和增量理论的计算结果是一致的，所以在这种情况下完全可以应用全应变理论。此外，在单调的塑性变形过程中也可以应用全应变理论。增量理论在计算上引起的困难很大，尤其是在冷变形硬化时，计算就更为复杂。

上述四个表达式是对冲压加工各种工艺参数进行计算的基础。同时，它也可以在不进行详细的理论分析与计算的条件下，利用它们对某些冲压成形过程中毛坯的变形和应力的性质作出大致的分析和判断。从中可以对冲压变形过程中毛坯上某些特定的、有代表性的位置上金属的变形性质和应力状态作出定性的分析。其结果如下：

1) 当 $\sigma_2 - \sigma_m = 0$ 时，必定有 $\varepsilon_2 = 0$ 。按照体积不变的条件， $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0$ ，则 $\varepsilon_1 = -\varepsilon_3$ 。即在主应力与平均应力相等的方向上不产生塑性变形，而另外两个方向上的塑性变形在数量上相等，而方向相反。这种变形通常称为平面变形。由此还可以得出一个在实践中常常

用到的重要结论：在平面变形时，必定有 $\sigma_2 = \sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$ （此式的另一种形式为 $\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ ）。

宽板弯曲时，在宽度方向的变形为 0，即属于这种情况。

2) 当 $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_m$ 时， $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0$ 。也就是说，当三个主应力相等时，毛坯受三向等拉或三向等压的应力状态作用。此时，毛坯不产生任何塑性变形，而仅有弹性变形存在。

3) 当 $\sigma_1 > 0$ ，而 $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ 时，毛坯受到单向拉应力的作用。由于 $\sigma_1 - \sigma_m = \sigma_1 - \frac{\sigma_1}{3} > 0$ ，故 $\varepsilon_1 = -2\varepsilon_2 = -2\varepsilon_3 > 0$ 。也就是说，在单向受拉时，在拉应力的作用方向上为伸长变形，其余两个方向上产生数量相同的压缩变形，且伸长变形为压缩变形的二倍。

当 $\sigma_3 < 0$ ，而 $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$ 时，毛坯受到单向压应力的作用。由于 $\sigma_3 - \sigma_m = \sigma_3 - \frac{\sigma_3}{3} < 0$ ，故 $-\varepsilon_3 = 2\varepsilon_1 = 2\varepsilon_2$ ，且 $\varepsilon_3 < 0$ 。也即在单向受压时，在压应力作用方向上为压缩变形，其值为另两个方向上伸长变形的二倍。

翻边、缩口等冲压过程中毛坯边缘的变形就属于上述两种情况。

4) 当 $\sigma_1 = \sigma_2 > 0$ 、且 $\sigma_3 = 0$ 时， $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = -\frac{1}{2}\varepsilon_3$ 。也即当毛坯受二向等拉时，在拉应力作用方向上为伸长变形，而在另一个没有主应力作用的方向上为压缩变形，其值为每个伸长变形的二倍。

平板毛坯胀形时的中心部位就属于这种情况。

5) 当 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 > 0$ 时，在最大拉应力 σ_1 方向上的变形一定是伸长变形，而在最小拉应力方向上的变形则一定是压缩变形。

利用这个分析结果，可以判断在两向受拉应力作用的胀形变形时，在拉应力作用方向上的变形是伸长变形；而在最小主应力作用的厚度方向上的变形则是压缩变形，它引起了毛坯厚度的变薄。

6) 当 $\sigma_3 < \sigma_2 < \sigma_1 < 0$ 时，在绝对值最大的压应力 σ_3 方向上的变形一定是压缩变形；而绝对值最小的压应力 σ_1 方向上的变形则一定为伸长变形。

第六节 各种冲压成形方法的力学特点与分类

一、板料冲压成形工艺的分类

板料冲压成形工艺的分类方法应该能够明确地反映出每一种类型成形工艺的共性。并在此基础上提供可能用共同的观点和方法分析、研究和解决每一类成形工艺中的各种实际问题的条件。只有能够充分地反映出变形毛坯的受力与变形的分类方法，才可能真正具有实用的意义。

各种冲压成形过程就是毛坯变形区在力的作用下产生变形的过程。毛坯变形区的受力和变形特点是决定各种冲压变形根本性质的主要依据，可以把所有的冲压变形方式按

毛坯变形区的应力状态和变形特点从变形力学理论角度归纳成四种情况：

(1) 变形区受两向拉应力的作用 —— 局部胀形、内孔翻边（翻口）、空心毛坯胀形。

1) $\sigma_r > \sigma_\theta > 0$, 且 $\sigma_t = 0$

2) $\sigma_\theta > \sigma_r > 0$, 且 $\sigma_t = 0$

(2) 变形区受两向压应力的作用 —— 缩口。

1) $\sigma_r < \sigma_\theta < 0$, 且 $\sigma_t = 0$

2) $\sigma_\theta < \sigma_r < 0$, 且 $\sigma_t = 0$

(3) 变形区受异号应力的作用，且拉应力的绝对值大于压应力的绝对值 —— 扩口。

1) $\sigma_r > 0 > \sigma_\theta$, $\sigma_t = 0$, $|\sigma_r| > |\sigma_\theta|$

2) $\sigma_\theta > 0 > \sigma_r$, $\sigma_t = 0$, $|\sigma_\theta| > |\sigma_r|$

(4) 变形区受异号应力的作用，且压应力的绝对值大于拉应力的绝对值 —— 拉深。

1) $\sigma_r > 0 > \sigma_\theta$, $\sigma_t = 0$, $|\sigma_\theta| > |\sigma_r|$

2) $\sigma_\theta > 0 > \sigma_r$, $\sigma_t = 0$, $|\sigma_r| > |\sigma_\theta|$

由此可以看出，整个的冲压变形按变形区的应力状态和变形特点可以分为两大类，即

1) 伸长类变形 —— 变形区内的拉应力的绝对值为最大。

2) 压缩类变形 —— 变形区内的压应力的绝对值为最大。

二、冲压应力图和变形图

冲压成形的变形情况比较复杂，在同一变形区域内往往存在有多种性质的变形。根据应变状态的不同，可以归纳为六种具有单一性质的基本变形形式。各种冲压工艺的应力与变形区域如图 1-6、图 1-7 表 1-2 所示。

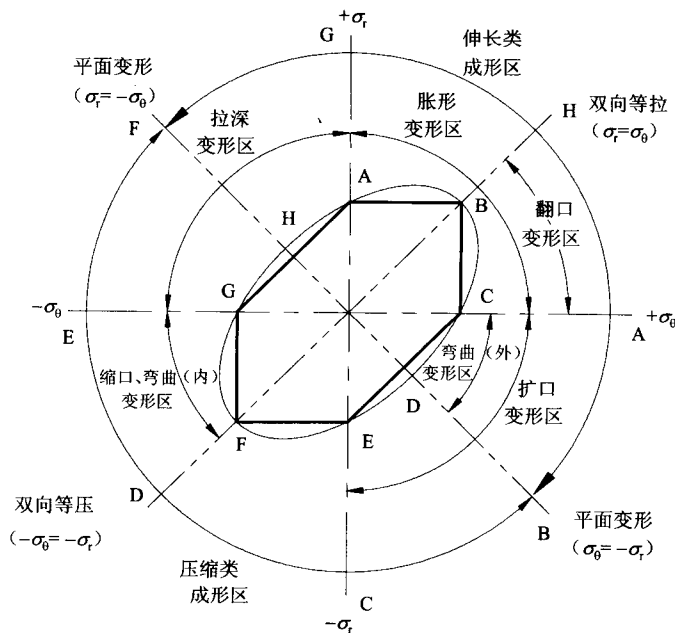


图 1-6 冲压应力图

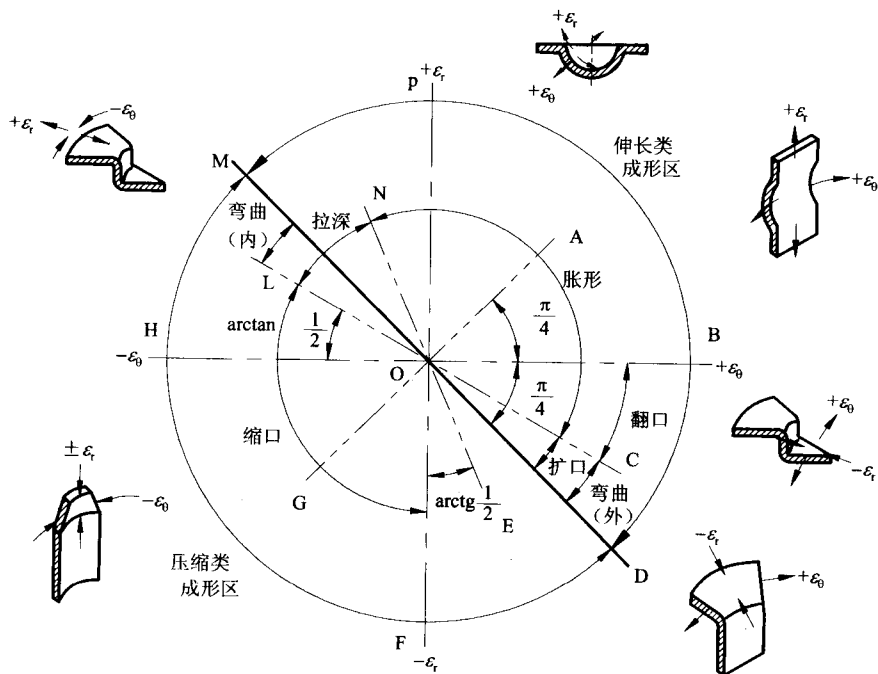


图 1-7 冲压变形图

表 1-2 各种冲压工艺的应力状态和变形状态区域

变形区受力情况	应力状态	冲压应力图所在区域	冲压变形图所在区域	相应的冲压工序
两向拉应力	$\sigma_r > \sigma_\theta > 0$ $\sigma_t = 0$	A O H	A O C	翻口
	$\sigma_\theta > \sigma_r > 0$ $\sigma_t = 0$	G O H	A O N	胀形
两向压应力	$\sigma_r < \sigma_\theta < 0$ $\sigma_t = 0$	C O D	G O E	缩口
	$\sigma_\theta < \sigma_r < 0$ $\sigma_t = 0$	D O E	G O L	缩口
异号应力	$\sigma_r > 0 > \sigma_\theta$ $\sigma_t = 0, \sigma_r > \sigma_\theta $	G O F	M O N	拉深(凸缘以外的其他部分)
	$\sigma_\theta > 0 > \sigma_r$ $\sigma_t = 0, \sigma_\theta > \sigma_r $	A O B	C O D	扩口、弯曲(外)
异号应力	$\sigma_r > 0 > \sigma_\theta$ $\sigma_t = 0, \sigma_\theta > \sigma_r $	E O F	M O L	拉深(凸缘部分)弯曲(内)
	$\sigma_\theta > 0 > \sigma_r$ $\sigma_t = 0, \sigma_r > \sigma_\theta $	B O C	D O E	扩口