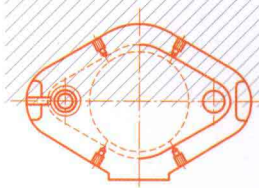


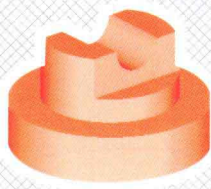
国家示范性高职院校建设规划教材



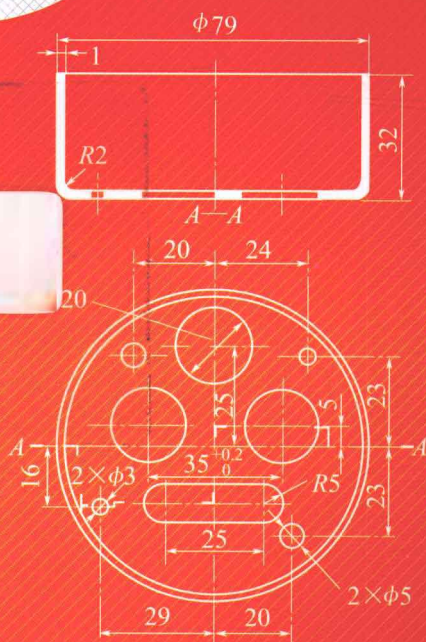
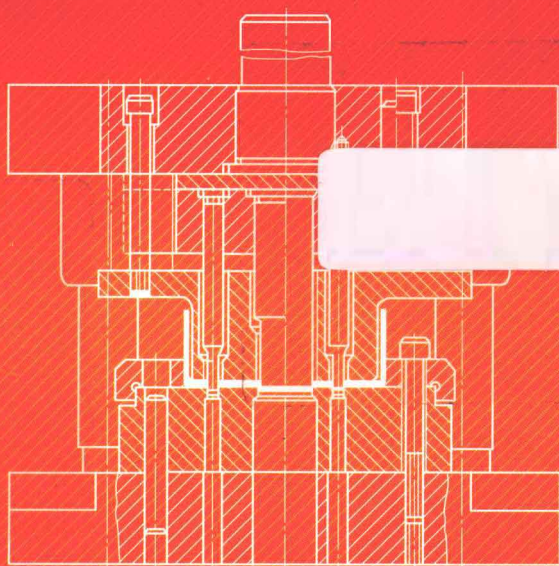
冲压成形工艺

与模具设计

陈传胜 主编 邹吉华 郑金 副主编



CHONGYA CHENGXING GONGYI
YU MUJU SHEJI



化学工业出版社

国家示范性高职院校建设规划教材

冲压成形工艺与模具设计

陈传胜 主编

邹吉华 郑金 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书共分7章,主要阐述了冲压成形基本原理与冲压设备、冲裁工艺及模具设计、弯曲工艺及模具设计和拉深工艺及模具设计,同时,还介绍了覆盖件成形工艺与模具设计、其他成形工艺与模具设计和冲压工艺过程设计等内容。每章前有学习目标,章后附有习题,便于指导学生学习 and 课后巩固。

本书可以作为高职学校模具专业核心课程教材,也可作为机械类各专业拓展课程教材,并可作为从事模具设计与制造领域工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

冲压成形工艺与模具设计/陈传胜主编. —北京:化学工业出版社, 2012.1

国家示范性高职院校建设规划教材

ISBN 978-7-122-12913-0

I. 冲… II. 陈… III. ①冲压-生产工艺-高等职业教育-教材②冲模-设计-高等职业教育-教材 IV. TG38

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第245085号

责任编辑:李娜

文字编辑:项激

责任校对:战河红

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张17 字数444千字 2012年4月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:32.00元

版权所有 违者必究

前 言

本书是根据现代模具工业对从业技术人员必须具备的冲压模具设计、冲压工艺制订的基本知识、技能、素质的要求,总结近几年各高职院校的实际教学与教改情况,由具有丰富专业教学经验及实践经验的双师素质教师编写。其特点如下。

1. 教材充分体现了“理论知识必需、够用为度,实践动手能力为本”的高技能技术应用的培养思想,对冲压工艺与模具设计的相关知识进行了适当的组合,减少了抽象的理论阐述,增加了工程实际案例,并兼顾了教材的深度与广度的有机结合。

2. 本书以模具设计为主线,简要介绍了塑性成型的基本理论、常用冲压材料的基本知识,详细介绍了冲压成形工艺分析与工艺制订、模具结构的分析与设计,并对汽车覆盖件模具设计等进行了比较详细的介绍。

3. 全书结构严谨,实用性强,语言简洁,表述准确,通俗易懂,并在各章节后面安排了一定量的习题,便于教学的组织与实施,也便于学生自学。

本书对冲压工艺与模具设计的基本问题作了系统论述,全书共分7章,主要内容包括冲压成形基本原理与冲压设备、冲裁工艺与模具设计、弯曲工艺与模具设计、拉深工艺与模具设计、覆盖件成形工艺与模具设计、其他成形工艺与模具设计、冲压工艺过程设计。

本书可作为三年制高职各类院校模具设计与制造及机电类相关专业的教材,也可以供从事模具设计与制造的工程技术人员参考。

本书由安徽职业技术学院陈传胜任主编,烟台工程职业技术学院邹吉华、江西机电职业技术学院郑金任副主编。绪论、第5章、第6章由邹吉华编写,第1章由广西工业职业技术学院徐华编写,第2章2.1~2.8节由郑金编写,第3章、第7章由烟台工程职业技术学院钟全雄编写,第2章2.9节、第4章及附录由陈传胜编写,全书由陈传胜统稿。

由于编者的水平有限,加之编写时间仓促,所以不妥之处在所难免,衷心希望广大读者及老师给予批评和指正,以便再版时逐渐完善。

编者
2011年11月

目 录

绪论	1
0.1 冷冲压加工的特点及其重要作用	1
0.2 冷冲压工序的分类	2
0.2.1 分离工序	2
0.2.2 成形工序	2
0.3 冲压技术的现状和发展趋势	4
0.3.1 冲压工艺方面	4
0.3.2 冲模设计与制造方面	4
0.3.3 冲压设备和冲压生产自动化方面	4
0.4 本课程的学习要求和学习方法	5
习题	5
第1章 冲压成形基本原理与冲压设备	6
1.1 金属塑性变形的基本概念	6
1.1.1 弹性变形与塑性变形	6
1.1.2 塑性变形的基本形式	6
1.1.3 金属的塑性与变形抗力	7
1.1.4 影响金属塑性的主要因素	8
1.2 金属塑性变形的力学基础	9
1.2.1 点的应力应变状态	9
1.2.2 屈服准则	13
1.2.3 塑性变形时的应力与应变关系	14
1.3 压力机	15
1.3.1 曲柄压力机的工作原理	15
1.3.2 压力机的型号和主要技术参数	16
1.3.3 压力机的操纵机构	18
1.3.4 机身	24
1.3.5 压力机的选择与使用	25
1.4 液压机	28
1.4.1 液压机的工作原理及特点	28
1.4.2 液压机的主要技术参数及型号	30
1.4.3 液压机的结构	31
1.5 其他类型冲压设备	34
1.5.1 双动拉深压力机	34
1.5.2 螺旋压力机	35
1.5.3 精冲压力机	39
习题	42
第2章 冲裁工艺与模具设计	43
2.1 冲裁工艺分析	43
2.1.1 冲裁过程	43
2.1.2 冲裁断面质量分析	45
2.2 冲裁力、卸料力及推件力的计算	46
2.2.1 冲裁力的计算	46
2.2.2 降低冲裁力的方法	46
2.2.3 卸料力、推件力和顶件力的计算	48
2.2.4 压力机公称压力的确定	49
2.2.5 压力中心的计算	50
2.3 冲裁模间隙	52
2.3.1 间隙对冲裁工艺的影响	52
2.3.2 合理间隙的选用	54
2.4 冲裁模工作部分的设计计算	56
2.4.1 冲裁模刃口尺寸的计算	56
2.4.2 计算举例	59
2.5 冲裁件的排样	61
2.5.1 材料利用率	61
2.5.2 排样方法	62
2.5.3 搭边、步距和料宽	65
2.6 冲裁工艺设计	68
2.6.1 冲裁件的工艺性	68
2.6.2 冲裁工艺方案的确定	70
2.7 冲裁模结构设计	72
2.7.1 冲裁模分类	72
2.7.2 冲裁模的典型结构	73
2.8 冲裁模的主要零部件结构设计与标准件选用	90
2.8.1 冲模零件的分类	90
2.8.2 成形零件的结构设计	91
2.9 精密冲裁工艺与模具设计简介	123
2.9.1 精密冲裁的原理与实现	123
2.9.2 精密冲裁件的工艺性	126
2.9.3 精密冲裁模的结构与设计要点	129

习题	135		
第3章 弯曲工艺与模具设计	137		
3.1 弯曲变形分析	138	3.4.1 最小相对弯曲半径 $r_{\min}/t$	144
3.1.1 弯曲变形过程	138	3.4.2 弯曲件的工艺性	145
3.1.2 弯曲变形的特点	138	3.4.3 弯曲件的工序安排	148
3.1.3 弯曲时的中性层	140	3.5 弯曲件的常见缺陷及其防止的工艺措施	149
3.2 弯曲力的计算	140	3.5.1 弯裂及其防止措施	149
3.2.1 自由弯曲力	140	3.5.2 截面畸变及其防止措施	152
3.2.2 校正弯曲力	140	3.5.3 翘曲及其防止措施	152
3.2.3 顶件力和压料力	140	3.5.4 弯曲回弹及其防止措施	152
3.3 弯曲件的毛坯长度计算	141	3.6 弯曲模工作部分的设计	158
3.3.1 中性层位置的确定	141	3.6.1 弯曲模工作部分的尺寸计算	158
3.3.2 $r > 0.5t$ 的弯曲件	141	3.6.2 弯曲模的典型结构	162
3.3.3 $r \leq 0.5t$ 的弯曲件	142	习题	170
3.3.4 铰链式弯曲件	143		
3.4 弯曲工艺设计	144		
第4章 拉深工艺与模具设计	172		
4.1 拉深变形分析	173	4.4.3 盒形件的拉深工艺	193
4.1.1 拉深变形过程及毛坯各部分的应力应变状态	173	4.5 拉深模结构设计	194
4.1.2 起皱与拉裂	175	4.5.1 拉深模工作部分的结构和尺寸	194
4.2 直壁旋转零件的拉深	177	4.5.2 典型拉深模具结构	198
4.2.1 毛坯尺寸计算	177	4.6 拉深工艺设计	201
4.2.2 无凸缘圆筒形件的拉深	180	4.6.1 拉深件的工艺性	201
4.2.3 带凸缘圆筒形件的拉深	183	4.6.2 压边形式与压边力	202
4.2.4 阶梯圆筒形零件的拉深	187	4.6.3 拉深力的计算及冲压设备的选用	204
4.3 其他旋转体零件的拉深	188	4.6.4 拉深工艺的辅助工序	205
4.3.1 球面零件的拉深	188	4.7 其他拉深方法简介	206
4.3.2 锥形零件的拉深	189	4.7.1 软模拉深	207
4.3.3 抛物面零件的拉深	190	4.7.2 变薄拉深	208
4.4 盒形件的拉深	190	4.8 拉深模具设计实例	209
4.4.1 矩形盒的拉深特点	190	习题	213
4.4.2 毛坯尺寸计算与形状设计	191		
第5章 覆盖件成形工艺与模具设计	214		
5.1 覆盖件成形特点及主要成形障碍	214	5.2.2 拉深工序的工艺处理	220
5.1.1 覆盖件简介	214	5.2.3 拉深和修边、翻边工序间的关系	223
5.1.2 对覆盖件的要求	214	5.3 覆盖件成形模具的结构设计	223
5.1.3 覆盖件成形特点	215	5.3.1 拉深模设计	223
5.1.4 覆盖件主要成形障碍	215	5.3.2 修边模设计	227
5.2 覆盖件冲压工艺要点	217	习题	229
5.2.1 确定冲压方向	217		
第6章 其他成形工艺与模具设计	230		
6.1 翻边	230	6.1.4 变薄翻边	236
6.1.1 圆孔翻边	231	6.2 胀形	237
6.1.2 外缘翻边	234	6.2.1 胀形变形分析	237
6.1.3 非圆孔翻边	235	6.2.2 胀形工艺与模具	237

6.3 缩口	240	6.3.2 缩口模结构	241
6.3.1 缩口的变形程度	240	习题	241
第7章 冲压工艺过程设计	243		
7.1 工艺设计的内容与步骤	243	7.2.1 冲压件的工艺分析	248
7.1.1 设计程序	243	7.2.2 工艺方案的分析和确定	249
7.1.2 工艺方案的确定	245	7.2.3 编制工艺卡片	250
7.2 典型冲压件工艺设计实例	248	习题	258
附录	259		
附录一 常用冲压设备的规格	259	表面粗糙度	260
附录二 冲压模具零件的常用公差配合及		附录三 冲压常用材料的性能和规格	261
参考文献	264		

绪 论

【学习目标】

- (1) 了解冲压技术的现状和发展趋势。
- (2) 掌握冲压的概念、特点及其应用。
- (3) 掌握冲压基本工序的分类。

0.1 冷冲压加工的特点及其重要作用

冲压是利用安装在压力机上的冲模对金属板料施加压力，使材料在冲模内产生分离或塑性变形，从而获得所需要零件的一种压力加工方法。由于它通常是在室温下进行加工，所以称为冷冲压。又因为冷冲压加工的原材料一般为板料，所以也称为板料冲压。冷冲压不但可以加工金属材料，还可以加工非金属材料。

冷冲压生产是利用冲模和冲压设备完成加工的，与其他加工方法相比，它具有如下优点：

① 冷冲压所用原材料多是表面质量好的板料或带料，冲件的尺寸精度由冲模来保证，所以产品尺寸稳定，互换性好。

② 冷冲压加工不像切削加工那样大量切除金属，因而节省能源、节省原材料。

③ 冷冲压生产便于实现自动化，生产率高，操作简便，对工人的技术等级要求也不高。普通压力机每分钟可生产几件到几十件冲压件，而高速冲床每分钟可生产数百件甚至上千件冲压件。

④ 可以获得其他加工方法所不能或难以制造的壁薄、重量轻、刚度好、表面质量高、形状复杂的零件，小到钟表的秒针，大到汽车纵梁、覆盖件等。

但是，冷冲压必须具备相应的冲模，而冲模制造的主要特征是单件小批量生产，精度高，技术要求高，是技术密集型产品。因而，在一般情况下，只有在产品生产批量大的情况下，才能获得较高的经济效益。

综上所述，冷冲压与其他加工方法相比，具有独到的特点，所以在国民经济各个领域中得到广泛应用。相当多的工业部门越来越多地采用冷冲压加工产品零部件，如汽车、拖拉机、电子、航空航天、交通、国防及日用品等行业。在这些工业部门中，冲压件所占的比重都相当大。不少过去用铸造、锻造、切削加工方法制造的零件，现在已被重量轻、刚度好的冲压件所代替。通过冲压加工制造，大大提高了生产率，降低了成本。可以说，如果在生产

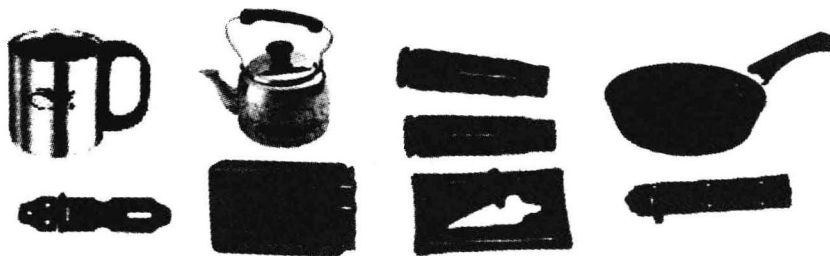


图 0-1 常见冲压成形件

中不广泛采用冲压工艺,许多工业部门的产品要提高生产率、提高质量、降低成本,进行产品的更新换代是很难实现的。如图 0-1 所示为常见冲压成形件。

当然,冷冲压加工也存在一些缺点,主要表现在模具加工成本高、冲压加工噪声大、易发生人身伤害事故等方面。随着科学技术的发展,这些缺点会逐渐得到解决。

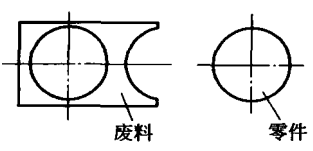
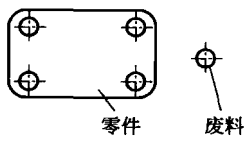
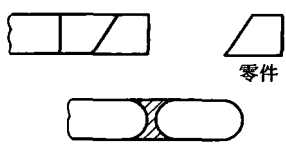
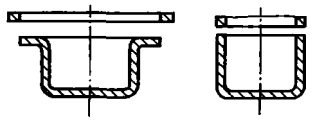
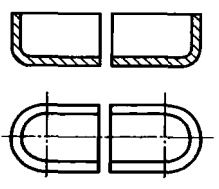
0.2 冷冲压工序的分类

冷冲压加工的零件,由于其形状、尺寸、精度要求、生产批量、原材料性能等各不相同,因此生产中所采用的冷冲压加工工序也是多种多样的。概括起来可以分为两大类,即分离工序和成形工序。

0.2.1 分离工序

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的工序,如表 0-1 所示。

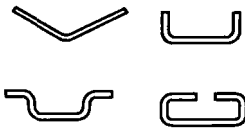
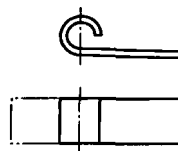
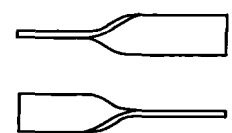
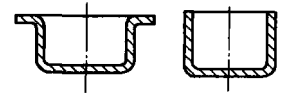
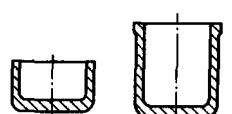
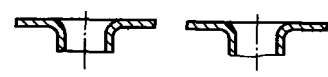
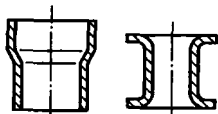
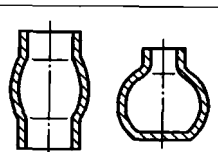
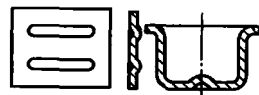
表 0-1 分离工序

工序名称	工序简图	工 序 特 征
落料		用冲模沿封闭轮廓曲线冲切,封闭线内是制件,封闭线外是废料。用于制造各种形状的平板零件
冲孔		将废料沿封闭轮廓从材料或工序件上分离下来,从而在材料或工序件上获得需要的孔
切断		将材料用剪刀或冲模沿敞开轮廓分离,被分离的材料成为工件或工序件。多用于加工形状简单的平板零件
切边		利用冲模修切成形工序件的边缘,使成形零件的边缘修切整齐或切成一定高度、一定形状
剖切		用剖切模将成形工序件一分为几,主要用于不对称零件的成双或成组冲压成形后的分离

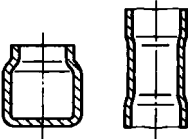
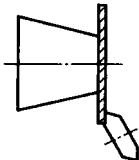
0.2.2 成形工序

成形工序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,如表 0-2 所示。

表 0-2 成形工序

工序名称	工序简图	工 序 特 征
弯曲		用弯曲模使材料产生塑性变形,从而弯成一定曲率、一定角度的零件。它可以加工各种复杂的弯曲件
卷边		将工件边缘卷成接近封闭圆形,用于加工类似铰链的零件
拉弯		在拉力与弯矩共同作用下实现弯曲变形,使坯料的整个弯曲横断面全部受拉应力作用,从而提高弯曲件精度
扭弯		将平直或局部平直工序件的一部分相对另一部分扭转一定角度
拉深		将平板形的坯料或工序件变为开口空心件,或把开口空心件进一步改变形状和尺寸
变薄拉深		将拉深后的空心工序件进一步拉深成为底部厚度大于侧壁的零件
翻孔		沿内孔周围将材料翻成竖边,其直径比原内孔大
翻边		沿外形曲线周围翻成侧立短边
扩口		将空心件或管状件口部向外扩张,形成口部直径较大的零件
胀形		将空心工序件或管状件沿径向往外扩张,形成局部直径较大的零件
起伏		在板材毛坯或零件的表面上用局部成型的方法制成各种形状的凸起与凹陷

续表

工序名称	工序简图	工 序 特 征
缩口缩径		将空心工序件或管状件口部或中部加压使其直径缩小,形成口部或中部直径较小的零件
旋压		用旋轮使旋转状态下的坯料逐步成形为各种旋转体空心件

在实际生产中,当生产批量大时,如果仅以表中所列的基本工序组成冲压工艺过程,则生产率可能很低,不能满足生产需要。因此,一般采用组合工序,即把两个以上的单独工序组合成一道工序,构成复合、级进、复合-级进工序。

上述冲压成形的分类方法比较直观、真实地反映出各类零件的实际成形过程和工艺特点,便于制订各类零件的冲压工艺并进行冲模设计,在实际生产中得到广泛的应用。

0.3 冲压技术的现状和发展趋势

近代工业的发展,对冲压提出了越来越高的要求,因而也促进了冲压技术的迅速发展。

0.3.1 冲压工艺方面

提高劳动生产率及产品质量,降低成本和扩大冲压工艺应用范围的各种冲压新工艺和新技术,是研究和发展的大方向。目前,精密冲裁、软模拉深、电磁成形、超塑性成形等在冲压生产中都已得到广泛应用。

0.3.2 冲模设计与制造方面

冲模是实现冲压生产的基本条件。在冲模的设计和制造上,目前正朝着以下两方面发展:一方面,为了适应高速、自动、精密、安全等大批量现代化生产的需要,冲模正向高效率、高寿命、自动化方向发展;另一方面,为了产品更新换代和试制或小批量生产的需要,锌基合金模、聚氨酯橡胶模、薄板冲模、钢带冲模、组合冲模等各种简易冲模及其制造工艺也得到迅速发展。模具的标准化和专业化生产,已得到模具行业的广泛重视,但总的来说,我国冲模的标准化和专业化水平还是比较低的。模具计算机辅助设计、制造与分析(CAD/CAM/CAE)的研究和应用,将极大地提高模具制造效率与模具的质量,使模具设计与制造技术实现CAD/CAM/CAE一体化。目前,模具设计与制造中常用的软件有AutoCAD、Pro-E、MasterCAM、UG、Cimatron、DellCAM、PressCAD、Moldflow和Solidwork。

0.3.3 冲压设备和冲压生产自动化方面

性能良好的冲压设备是提高冲压生产技术水平的基本条件。高精度、高寿命、高效率的冲模需要高精度、高自动化的压力机与之相匹配。目前,主要是从两方面予以研究和发展:一是对目前我国大量使用的普通冲压设备加以改进,即在普通压力机的基础上,加上送料装置和检测装置,以实现半自动化或全自动化生产,改进冲压设备结构,保证必要的刚度和精

度, 提高其工艺性能, 以提高冲压件精度, 延长冲模使用寿命; 二是积极发展高速压力机和多工位自动压力机, 开发数控压力机、冲压柔性制造系统 (FMS) 及各种专用压力机, 以满足大批量生产的需要。

为了满足大量生产的需要, 冲压生产已向自动化、无人化方向发展。现在已经利用高速冲床和多工位精密级进模实现了单机自动生产, 冲压的速度可达每分钟几百至上千次。大型零件的生产已经实现多机联合生产线, 从板料的送进到冲压加工、最后检验可全由计算机控制, 极大地减轻了工人的劳动强度, 提高了生产率。目前已逐渐向无人化生产形成的柔性冲压加工中心发展。

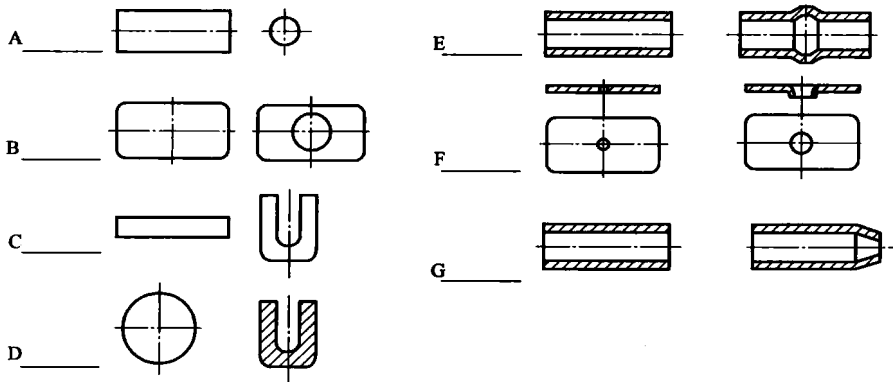
0.4 本课程的学习要求和学习方法

学生学完冲压工艺与冲模设计后, 应掌握冷冲压成形的基本原理; 掌握冲压工艺过程设计和冲模设计的基本方法; 具有设计比较复杂冲压件的工艺过程和冲模的能力; 能够运用已学习的基本知识, 分析和创造性地解决生产中常见的产品质量、工艺及模具方面的技术问题; 能够合理选用冲压设备; 了解冲压成形新工艺、新模具及其发展动向。

冲压工艺与冲模设计是一门实践性和实用性很强的学科, 而且它又是以金属学与热处理、塑性力学、金属塑性成形原理以及许多技术基础学科为基础, 与冲压设备、模具制造工艺学密切联系的, 因而在学习时必须注意理论联系实际, 认真参加实验、实习、设计等重要教学环节, 注意综合运用基础学科和相关学科的基本知识。

习 题

- 0-1 什么是冷冲压? 冷冲压与其他加工方法相比有何特点?
- 0-2 冷冲压基本工序可以分为哪几类?
- 0-3 简述分离工序和成形工序的概念, 各举几个生活中常见的属于这两类冲压工序产品的例子。
- 0-4 根据题 0-4 图所示冲压加工毛坯与制作, 写出工序名称。



题 0-4 图 冲压加工毛坯与制作

第 1 章 冲压成形基本原理与冲压设备

【学习目标】

- (1) 了解金属塑性变形的基本概念和力学基础。
- (2) 了解压力机、液压机的工作原理。
- (3) 掌握压力机、液压机的选用。
- (4) 了解双动拉深压力机、螺旋压力机和精冲压力机的结构。

本章主要针对金属塑性变形原理和冲压设备进行讲解，主要内容有：金属塑性变形的基本概念；金属塑性变形的力学基础；压力机（曲柄压力机）工作原理及选用；液压机工作原理及选用；其他类型冲压设备选用。

1.1 金属塑性变形的基本概念

1.1.1 弹性变形与塑性变形

在金属物体中，金属原子之间存在着相当大的引力，足以抵抗重力的作用，所以在没有其他外力作用的条件下，物体将保持原有的形状和尺寸。当物体受到外力作用之后，物体的形状和尺寸将发生变化，这种现象称为变形。变形的实质就是物体内部原子间产生相对位移。

若作用于物体的外力卸载后，由外力引起的变形随之消失，物体能完全恢复自己的原始形状和尺寸，这样的变形称为弹性变形；若作用于物体的外力卸载后，物体并不能完全恢复自己的原始形状和尺寸，这样的变形称为塑性变形（也称残余变形）。

塑性变形和弹性变形一样，它们都是在变形体不破坏的条件下进行的，或在变形体局部区域不破坏的条件下进行的（即连续性不被破坏）。

金属材料在外力作用下，既能产生弹性变形，又能从弹性变形发展到塑性变形，是一种具有弹塑性的工程材料。

1.1.2 塑性变形的基本形式

金属塑性变形过程非常复杂，但基本形式主要有滑移、孪动和晶间变形三种。

(1) 滑移

固体金属都是多晶体。滑移是指当作用在晶体上的切应力达到一定数值后，晶体的一部分沿一定的晶面和晶向相对晶体的另一部分产生了相对滑动。这里的晶面和晶向分别称为滑移面和滑移方向。如图 1-1 所示为晶体滑移过程示意图。

金属的滑移面一般都是晶格中原子排列最密的面，滑移方向则是原子排列最紧密的结晶方向，因为沿着原子排列最紧密的面和方向的滑移阻力是最小的。一个滑移面及其面上的一个滑移方向组成了一个滑移系。在其他条件相同的情况下，金属晶体的滑移系愈多愈好，因为在滑移时有可能出现的滑移位向就愈多，金属的塑性就愈好。

(2) 孪动

孪动是在一定的切应力作用下，晶体的一部分相对于另一部分沿着一定的晶面（孪动面）和晶向（孪动方向）发生转动的结果，其过程如图 1-2 所示。

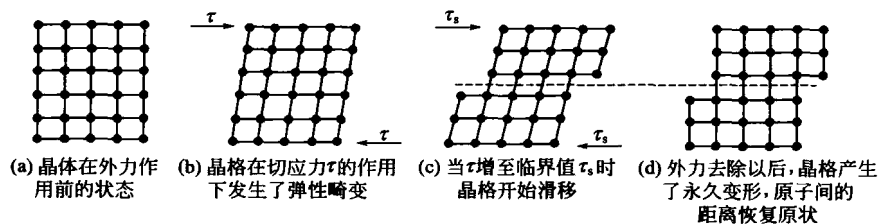


图 1-1 晶体的滑移过程

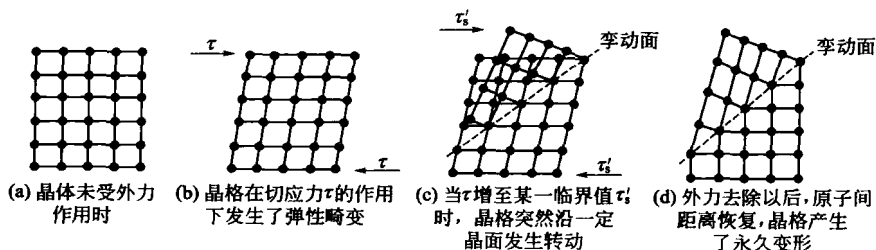


图 1-2 晶体的孪动过程

孪动与滑移的主要区别是: 首先, 滑移是平行移动, 它的过程是渐进的, 而孪动是转动, 它的过程是突发的; 其次, 孪动时原子相互间的位置不会产生较大的错动, 因此晶体取得较大塑性变形的方式主要是滑移; 最后, 孪动后晶体内部将出现空隙, 易于导致金属的破坏。

(3) 晶间变形

滑移和孪动这两种变形方式都是发生在单个晶体内部的, 称为晶粒内部变形 (简称晶内变形)。如今工业上使用的金属都是多晶体。组成多晶体的各晶粒类似于单晶体, 但由于各晶粒的大小、形状和位向都不一样, 晶粒之间又有晶界相连, 彼此间互相牵制, 所以多晶体的变形不如单晶体单纯, 塑性不易充分发挥。

多晶体在外力作用下除了每个晶粒会在自身的晶粒内部产生变形以外, 晶粒与晶粒之间也会相对移动或转动而产生变形, 这种晶粒之间的变形称为晶间变形。所以多晶体的变形从本质上来说是晶粒内变形和晶粒间变形综合作用的结果。

晶间变形将使晶粒间的界面受到破坏, 降低晶粒间互相嵌合的作用, 易导致金属的破坏。因此, 晶间变形所允许的变形量是有限的。凡是能加强晶间结合力、减小晶间变形和有利于晶粒内发生变形的因素, 均有利于多晶体进行塑性变形。如脆性材料的晶间结合力弱, 易产生晶间破坏, 所以塑性差; 韧性材料由于晶粒间结合力强, 不易产生晶间破坏, 所以塑性好; 组成多晶体的晶粒为均匀球状时, 晶界对晶粒内变形的制约作用相对减小, 因而具有较好的塑性; 当变形时所受应力状态为压应力时, 可使晶间变形困难, 而晶粒内变形易于产生, 因而可提高多晶体塑性变形的能力。

此外, 多晶体塑性变形还受到晶界的影响, 因晶界内晶格畸变更加严重, 晶界的存在可使多晶体的强度和硬度比单晶体高, 所以多晶体内的晶粒越细, 晶界区所占比例就越大, 金属的强度和硬度也就越高。而且晶粒越细, 变形越易分散在许多晶粒内进行, 因此变形更均匀, 不易造成应力集中而导致金属破坏, 这就是一般的细晶粒金属不仅强度和硬度高, 而且塑性也好的原因。

1.1.3 金属的塑性与变形抗力

金属的塑性, 是指金属在外力的作用下产生永久变形而不破坏其完整性的能力。塑性不

仅与物体材料的种类有关,还与变形方式和变形条件有关。例如,在通常情况下,铅具有很好的塑性,但在三向等拉应力的作用下,却会像脆性材料一样破裂,不产生任何塑性变形。又如,极脆的大理石,若给予三向压应力作用,则可能产生较大的塑性变形。这两个例子充分说明:材料的塑性并非某种物质固定不变的性质,而是与材料种类、变形方式及变形条件有关。

金属塑性的好坏,通常用塑性指标来衡量。塑性指标是以材料开始破坏时的变形量表示,它可借助于各种试验方法测定。目前应用广泛的是拉伸试验,对应于拉伸试验的塑性指标通常是断后伸长率 δ 和截面收缩率 ψ 。除此以外,还有爱力克辛试验、弯曲试验(测定板料胀形和弯曲时的塑性变形能力)和锻粗试验(测定材料锻造时的塑性变形能力)。需要指出的是,各种试验方法都是相对于特定的状况和变形条件的,由此测定的塑性指标仅具有相对的比较意义,它们说明在某种受力状况和变形条件下,这种金属的塑性比另一种金属的塑性高还是低,或者对某种金属来说,在什么样的变形条件下塑性好,而在什么样的变形条件下塑性差。

变形抗力,是指在一定的变形条件(加载状况、变形温度及速度)下,引起物体塑性变形的单位变形力。变形抗力反映了物体在外力作用下抵抗塑性变形的能力。塑性和变形抗力是两个不同的概念。通常说某种材料的塑性好坏是指受力后临近破坏时的变形程度的大小,而变形抗力是从力的角度反映塑性变形的难易程度。如奥氏体不锈钢允许的塑性变形程度大,说明它的塑性好,但其变形抗力也大,说明它需要较大的外力才能产生塑性变形。

1.1.4 影响金属塑性的主要因素

金属的塑性不是固定不变的。影响金属塑性的因素有很多,除了金属本身的内在因素(晶格类型、化学成分和金相组织等)以外,其外部因素——变形方式(应力与应变状态)、变形条件(变形温度与变形速度)的影响也很大。从冲压工艺的角度出发,材料给定之后,往往着重于外部条件的研究,以便创造条件,充分发挥材料的变形潜力,尽可能减少冲压次数,提高经济效益。

(1) 金属的成分和组织结构

组成金属的晶格类型,杂质的性质、数量及分布情况,晶粒大小、形状及晶界强度等不同,金属的塑性就不同。一般来说,组成金属的元素愈少(如纯金属和固溶体)、晶粒愈细小、组织分布愈均匀,则金属的塑性愈好。

(2) 变形时的应力状态

因为金属的塑性变形主要依靠晶体的滑移作用,而金属变形时的破坏则是由于晶内滑移面上裂纹的扩展以及晶间变形时的破坏造成的。压应力有利于封闭裂纹,阻止其继续扩展,有利于增加晶间结合力,抑制晶间变形,减小晶间破坏的倾向。所以,金属变形时,压应力的成分愈多,金属愈不易破坏,其可塑性也就愈好。与此相反,拉应力则易于扩展材料的裂纹与缺陷,所以拉应力的成分愈大,愈不利于金属塑性的发挥。

(3) 变形温度

变形温度对金属的塑性有重大影响。就大多数金属而言,其总的趋势是:随着温度的升高,塑性增加,变形抗力降低(金属的软化)。温度增高能使金属软化的原因是:随着温度的增加,金属组织发生了回复与再结晶,滑移所需临界切应力降低,使滑移系增加,产生了新的变形方式——热塑性变形(扩散塑性)等。

值得指出的是,加热软化趋势并不是绝对的。有些金属在温升过程中的某些区间,由于过剩相的析出或相变等原因,可能会使金属的塑性降低和变形抗力增加。如碳钢加热到200~400℃之间时,因为时效作用(夹杂物以沉淀的形式在晶界析出)使塑性降低,变形抗

力增加,脆性增大,这个温度范围称为蓝脆区。而在 $800\sim 950^{\circ}\text{C}$ 范围内,又会出现热脆,使塑性降低,原因是铁与硫形成的化合物 FeS 几乎不溶于固体铁中,形成低熔点的共晶体($\text{Fe}+\text{FeS}+\text{FeO}$),如果处在晶粒边界的共晶体熔化,就会破坏晶粒间的结合。因此,选择变形温度时,碳钢应避免蓝脆区和热脆区。

在冲压工艺中,有时也采用加热冲裁或加热成形的方法来提高材料塑性和降低变形抗力,以增加变形程度和减小冲压力。有些工序(如差温拉深)中还采用局部冷却的方法,以增强变形区的变形抗力,提高坯料危险断面的强度,从而达到延缓破坏、增大变形程度的目的。

(4) 变形速度

变形速度是指单位时间内应变的变化量,但在冲压生产中不便控制和计量,故以压力机滑块的移动速度来近似反映金属的变形速度。变形速度对金属塑性的影响比较复杂。一方面,增加变形速度,由于要驱使数目更多的位错同时运动,且要求位错运动的速度增大,容易引起位错塞积,从而导致金属的塑性降低;另一方面,增加变形速度,由于塑性变形功转变为热能的热效应显著,引起金属温度的升高,从而降低变形抗力,提高塑性。对大多数金属来说,塑性随变形速度变化的一般趋势如图1-3所示。

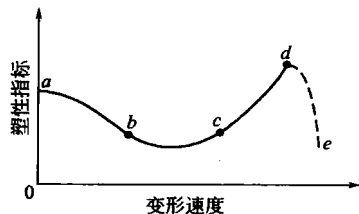


图 1-3 塑性随变形速度的变化趋势

目前,常规冲压使用的压力机工作速度较低,对金属塑性变形的影响不大。而考虑速度因素,主要基于冲压件的尺寸和形状:对于小型件的冲压,一般可以不考虑速度因素,只考虑设备的类型、标称压力和功率等;对于大型复杂件,由于冲压成形时坯料各部位的变形程度极不均匀,易造成局部拉裂或起皱,为了便于控制金属的流动情况,宜采用低速成形(如采用液压机或低速压力机冲压)。另外,对于加热成形工序,为了使坯料中的危险断面能及时冷却强化,宜用低速;对于变形速度比较敏感的材料(如不锈钢、耐热合金、钛合金等),也宜低速成形,其加载速度一般控制在 0.25m/s 以下。

(5) 尺寸因素

同一种材料,在其他条件相同的情况下,尺寸越大,塑性越差。这是因为材料尺寸越大,组织和化学成分越不一致,杂质分布越不均匀,应力分布也越不均匀。例如厚板冲裁,产生剪裂纹时凸模挤入板料的深度与板料厚度的比值(称为相对挤入深度)比薄板冲裁时小。

1.2 金属塑性变形的力学基础

在冲压过程中,材料的塑性变形都是模具对材料施加的外力所引起的内力或应力直接作用的结果。一定的力的作用方式和大小都对应着一定的变形,所以为了研究和分析金属材料的变形性质和变形规律,控制变形的发展,就必须了解材料内各点的应力与应变状态以及它们之间的相互关系。

1.2.1 点的应力应变状态

(1) 点的应力状态

在外力的作用下,引起材料内各质点间相互作用的内力产生一个变化量,该变化量称为内力。单位面积上内力的大小称为应力。材料内某一点的应力大小与分布称为该点的应力状态。

为了分析点的应力状态,通常是通过该点周围截取一个微小的正六面体(称为单元体),

一般情况下,该单元体上存在大小和方向都不同的应力,设为 S_x 、 S_y 、 S_z [见图 1-4(a)],其中每一个应力又可分解为平行于坐标轴的三个分量,即一个正应力和两个切应力 [见图 1-4(b)]。由此可见,无论变形体的受力状态如何,为了确定物体任意点的应力状态,只需知道 9 个应力分量 (3 个正应力, 6 个切应力) 即可。又由于所取单元体处于平衡状态,切应力所产生的力在单元体各轴上的力矩必定平衡,因此其中三对切应力应互等,即:

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

于是,要充分确定变形体内任意点的应力状态,实际上只需知道 6 个应力分量,即 3 个正应力和 3 个切应力就够了。

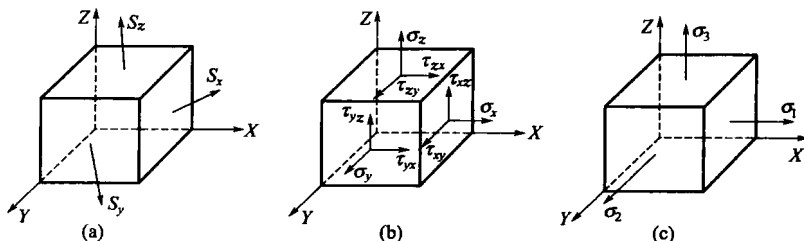


图 1-4 点的应力状态

必须指出,如果坐标系选取的方向不同,虽然该点的应力状态没有改变,但用来表示该点应力状态的各个应力分量就会与原来的数值不同。不过,这些属于不同坐标系的应力分量之间是可以换算的。

可以证明,对任何一种应力状态来说,总存在这样一组坐标系,使得单元体各表面上只有正应力,而没有切应力,如图 1-4(c) 所示。这时的三个坐标轴称为主轴,三个坐标轴的方向称为主方向,三个正应力称为主应力,三个主应力的作用平面称为主平面。主应力一般按其代数值大小依次用 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 表示,即 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ 。带正号的为拉应力,带负号的为压应力。以主应力表示点的应力状态称为主应力状态,表示主应力个数及其符号的简图称为主应力图。一个应力状态只有一级主应力状态,而主方向可通过对变形过程的分析确定或通过试验确定。用主应力来表示点的应力状态,可以大大简化分析、运算工作。

根据三个主应力的排列组合方式不同,可能出现的主应力图共有九种,即四种三向应力图 (又称立体主应力图),三种双向主应力图 (又称平面主应力图),两种单向主应力图 (又称线性主应力图),如图 1-5 所示。

在一般情况下,点的应力状态为三向应力状态。但在大多数平板材料成形中,其厚度方向的应力往往较其他两个方向的应力小得多,因此可把厚度方向的应力忽略不计,近似看成

平面应力状态。平面应力问题的分析计算比三向应力问题简单,这就为分析解决冲压成形问题提供了方便。

单元体上的三个主应力的平均值称为平均应力,用 σ_m 表示,则

$$\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3 \quad (1-1)$$

任何一种应力状态都可以分解成两种应力状态:一种是大小均等于平均应力 σ_m 的三向等应力状态 (又称为球应力状态);另一种是以各向主应力与 σ_m 差值为应力值构成的偏应力状态,如图 1-6

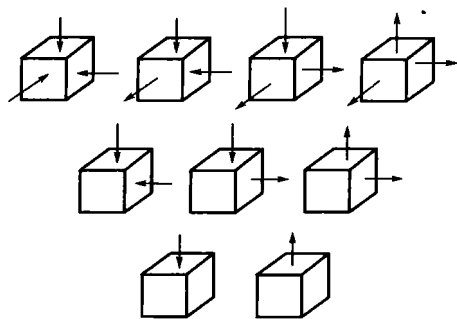


图 1-5 主应力图