




普通高等教育“十五”国家级规划教材
(高职高专教育)

模具设计与制造系列

冲压工艺 与模具设计 (第二版)

成虹 主编

 高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材
(高职高专教育)

模具设计与制造系列
冲压工艺与模具设计

(第二版)

成虹 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育),是根据教育部《高职高专教育机械类专业人才培养目标及规格》的要求,在第一版的基础上修订的。本书紧密结合企业对模具专业人才知识、能力、素质的要求,结合高职高专制造类专业教学改革的需要,吸收高职高专院校模具设计与制造专业的教学改革和课程建设的成果,尽量反映作者长期从事教学所累积的经验与体会,精选内容。着力做到以培养学生从事实际工作的基本能力、基本技能和创新能力为目的,理论少而精,重点突出应用能力的培养和实用性,充分体现高职高专教育的特色。本书文字叙述通俗易懂,内容由浅入深,便于自学。

全书除绪论外共8章。主要内容有:冲压变形的基本原理;冲裁、弯曲、拉深、成形等板料冲压基本工序的工艺和模具设计;汽车覆盖件成形工艺和模具设计;多工位精密级进模冲压工艺和模具设计;冲压工艺规程的编制等。

本书可作为高职高专院校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院模具设计与制造专业、机械制造专业、机电一体化专业冲压模具设计课程的教材,亦可供从事模具设计与制造的工程技术人员和自学者参考。

图书在版编目(CIP)数据

冲压工艺与模具设计/成虹主编. —2版. —北京:

高等教育出版社, 2006.7

ISBN 7-04-019683-2

I. 冲... II. 成... III. ①冲压-工艺-高等学校:技术学校-教材②冲模-设计-高等学校:技术学校-教材 IV. TG38

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 060131 号

策划编辑 罗德春 责任编辑 陈大力 封面设计 于涛 责任绘图 朱静
版式设计 王莹 责任校对 杨雪莲 责任印制 韩刚

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京鑫丰华彩印有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 20.75
字 数 500 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>
版 次 2001年8月第1版
2006年7月第2版
印 次 2006年7月第1次印刷
定 价 29.00元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 19683-00

第二版前言

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育),是根据教育部《高职高专教育机械类专业人才培养目标及规格》的要求,在第一版基础上修订的。本书的教学参考时数为80~100学时。

本书是在原教育部高职高专规划教材《冲压工艺与模具设计》(高等教育出版社2002年出版)的基础上,吸收高职高专院校近年来模具设计与制造专业的教学改革和课程建设的成果;企业对模具专业人才在冲压技术领域的知识、能力、素质的要求和著作者从事教学所累积的经验与体会修编的。

原书为11章。成都电子机械高等专科学校成虹编写绪论、第2章和第9章;南京工程学院贾俐俐编写第1章、第4章和第7章;上海应用技术学院张今渡编写第3章、第10章和第11章;重庆工业高等专科学校肖大志编写第5章、第6章和第8章。

本书第二版全部由成虹修编完成。修订后全书除绪论外共8章,主要介绍板料冲压成形工艺与冲压模具设计。第1章介绍板料冲压成形的基本原理与特点。第2章至第4章重点介绍冲裁、弯曲、拉深等成形工艺的特点、工艺计算、模具设计。第5章简述其他的一些塑性成形方法,如翻边、缩口、胀形等。随着我国成为世界制造业中心,电子信息技术中的电子元器件和汽车零部件越来越多的成为中国制造。电子元器件的精密级进冲压技术、汽车覆盖零件的成形技术需要大量的应用性、技能型人才。为了满足人才培养的要求,修编后的教材第6章较详细地介绍汽车覆盖件成形工艺及模具设计。第7章详细的介绍多工位精密级进模的设计。第8章介绍冲压工艺规程的编制。

本次修订的原则是以培养学生从事实际工作的基本能力和基本技能为目的,理论知识以必需、够用为度,并使理论知识的传授与模具设计、制造的实践相结合。内容要少而精,因此总篇幅在第一版的基础上有所压缩。修订后本书主要有以下特点:

1. 本书力求在阐明冲压工艺的基础上,让学生掌握正确设计冲压工艺和冲压模具结构的基本方法;掌握冲压工艺、冲压模具、冲压设备、冲压材料、冲压件质量和冲压件经济性之间的关系。
2. 本版教材在保留原教材特色基础上,结合生产实际和现代冲压技术,又选编了一些典型设计案例,增强教材的实用性和先进性。
3. 每章附有习题和思考题,以引导思维、掌握要点、培养能力。
4. 修编后的本书,为了帮助学习者的自学,培养学习者的能力;并与同行交流教学经验,本书附有教(助)学光盘。作用在于增加学生、读者的感性认识,提高学习效果。光盘的内容有电子教案、习题与解答和动画演示等。

本书由成都航空职业技术学院李学锋教授主审。本书在编写过程中得到了高等教育出版社的大力支持和帮助,并参考了一些兄弟院校的反馈意见,在此表示诚挚的感谢。

由于作者水平有限,书中和教(助)学光盘中难免会有错误和不足之处,恳请读者批评指正。

作者

2006年02月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

绪论	1	4.6 拉深成形模具设计	179
0.1 冲压加工的特点及其应用	1	4.7 其他拉深法	187
0.2 冲压工艺的分类	2	习题与思考题	191
0.3 冲压技术的发展	4	第 5 章 其他成形工艺和模具设计	193
0.4 学习要求和学习方法	5	5.1 胀形	193
第 1 章 冲压变形的基本原理	6	5.2 翻边	200
1.1 金属塑性变形的基本概念	6	5.3 缩口	208
1.2 金属塑性变形的力学基础	10	习题与思考题	211
1.3 冲压成形时变形毛坯的力学特点与 分类	16	第 6 章 汽车覆盖件成形工艺和模具 设计	212
1.4 板料冲压成形性能及冲压材料	21	6.1 覆盖件的结构特征与成形特点	213
习题与思考题	27	6.2 覆盖件冲压成形工艺设计	216
第 2 章 冲裁工艺和冲裁模设计	28	6.3 覆盖件成形模具的典型结构和主要 零件的设计	225
2.1 冲裁变形分析	28	习题与思考题	239
2.2 冲裁模具的间隙	32	第 7 章 多工位精密级进模的设计	240
2.3 凸模与凹模刃口尺寸的计算	36	7.1 概述	240
2.4 冲裁力和压力中心的计算	42	7.2 多工位精密级进模的排样设计	241
2.5 排样设计	45	7.3 多工位精密级进模主要零部件的 设计	254
2.6 冲裁工艺设计	50	7.4 多工位精密级进模的安全保护	275
2.7 冲裁模的结构设计	56	7.5 多工位精密级进模自动送料装置	280
2.8 冲裁模主要零部件的结构设计与标 准的选用	66	7.6 多工位精密级进模的典型结构	287
2.9 精密冲裁工艺与精冲模具简介	85	习题与思考题	302
2.10 硬质合金冲裁模	100	第 8 章 冲压工艺规程的编制	304
习题与思考题	104	8.1 冲压工艺规程编制的主要内容和 步骤	304
第 3 章 弯曲工艺和弯曲模具设计	106	8.2 典型冲压件冲压工艺设计实例	310
3.1 弯曲变形过程分析	107	习题与思考题	317
3.2 弯曲卸载后弯曲件的回弹	111	附录 A 几种常用的冲压设备规格	318
3.3 弯曲成形工艺设计	117	附录 B 冲压模具零件的常用公差 配合及表面粗糙度	320
3.4 弯曲模的典型结构设计	128	附录 C 中外主要模具用材料对照表	321
习题与思考题	139	附录 D 冲压工艺与模具设计课程教学 指南	323
第 4 章 拉深工艺和拉深模具设计	141	参考文献	326
4.1 拉深变形过程分析	142		
4.2 直壁旋转体零件拉深工艺设计	150		
4.3 非直壁旋转体零件拉深成形特点	164		
4.4 盒形件拉深	168		
4.5 拉深工艺设计	174		

绪 论

冲压加工是利用安装在压力机上的模具,对放置在模具内的板料施加变形力,使板料在模具内产生变形,从而获得一定形状、尺寸和性能的产品零件的生产技术。由于冲压加工常在室温下进行,因此也称冷冲压。冲压成形是金属压力加工方法之一,是建立在金属塑性变形理论基础上的材料成形工程技术。冲压加工的原材料一般为板料或带料,故也称板料冲压。冲压工艺是指冲压加工的具体方法(各种冲压工序的总和)和技术经验;冲压模具是指将板料加工成冲压零件的特殊专用工具。

板料、模具和冲压设备是构成冲压加工的三个必备要素,如图 0.0.1 所示。

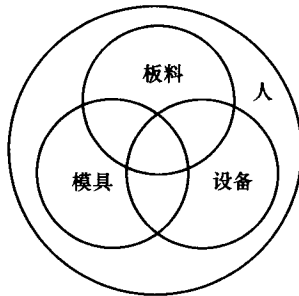


图 0.0.1 冲压加工的三个必备要素

0.1 冲压加工的特点及其应用

冲压生产靠模具和压力机完成加工过程,与其他加工方法相比,在技术和经济方面有如下特点:

(1) 冲压件的尺寸精度由模具来保证,具有一模一样的特征,所以质量稳定,互换性好。

(2) 由于利用模具加工,所以可获得其他加工方法所不能或难以制造的壁薄、重量轻、刚性好、表面质量高、形状复杂的零件。

(3) 冲压加工一般不需要加热毛坯,也不像切削加工那样,大量切削金属,所以它不但节能,而且节约金属。

(4) 普通压力机每分钟可生产几十件冲压件,而高速压力机每分钟可生产几百甚至上千件。所以它是一种高效率的加工方法。

由于冲压工艺具有上述突出的特点,因此在国民经济各个领域广泛应用。例如,航空航天、机械、电子信息、交通、兵器、家用电器及轻工等产业都有冲压加工。不但产业界广泛用到它,而且每一个人每天都直接与冲压产品发生联系。冲压可制造钟表及仪器中的小型精密零件,也可制造汽车、拖拉机的大型覆盖件。冲压材料可使用黑色金属、有色金属以及某些非金属材料。

冲压也存在一些缺点,主要表现在冲压加工时的噪声、振动两种公害。这些问题并不完全是

冲压工艺及模具本身带来的,而主要是由于传统的冲压设备落后所造成的。随着科学技术的进步,这两种公害一定会得到解决。

0.2 冲压工艺的分类

生产中为满足冲压零件形状、尺寸、精度、批量大小、原材料性能的要求,冲压加工的方法是多种多样的。但是,概括起来可以分为分离工序与成形工序两大类。分离工序又可分为落料、冲孔和剪切等,目的是在冲压过程中使冲压件与板料沿一定的轮廓线相互分离,如表 0.2.1 所示。成形工序可分为弯曲、拉深、翻孔、翻边、胀形、缩口等,目的是使冲压毛坯在不破坏的条件下发生塑性变形,并转化成所要求的制件形状,如表 0.2.2 所示。表 0.2.3 所示为立体塑性成形工序立体冲压。

表 0.2.1 分离工序

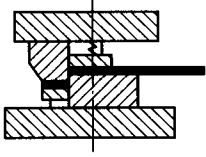
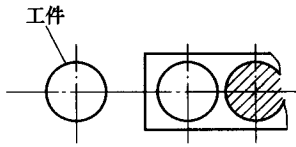
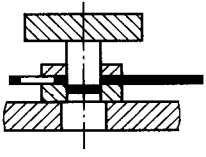
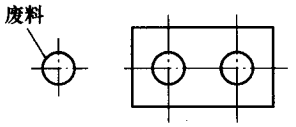
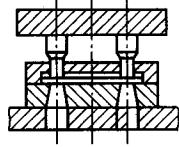
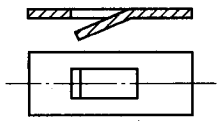
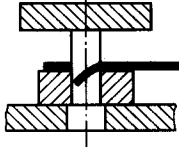
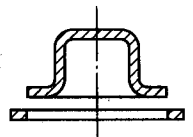
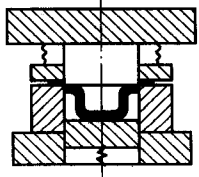
工序名称	工序简图	工序特征	模具简图
切断		用剪刀或模具切断板料,切断线不是封闭的	
落料		用模具沿封闭线冲切板料,冲下的部分为工件	
冲孔		用模具沿封闭线冲切板料,冲下的部分为废料	
切口		用模具将板料局部切开面不完全分离,切口部分材料发生弯曲	
切边		用模具将工件边缘多余的材料冲切下来	

表 0.2.2 成形工序

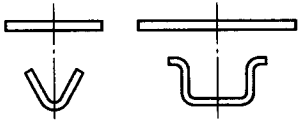
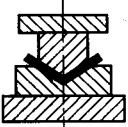
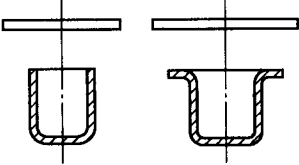
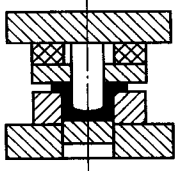

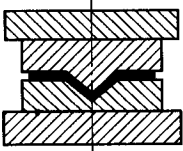
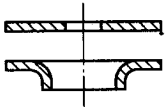
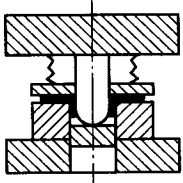
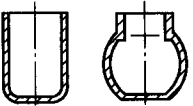
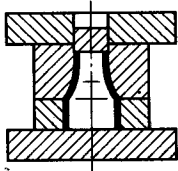
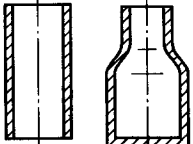
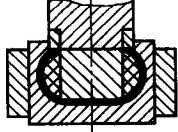
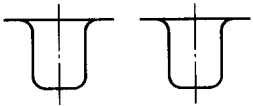
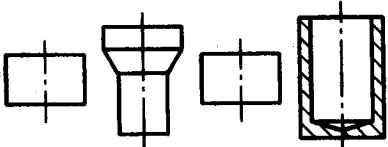
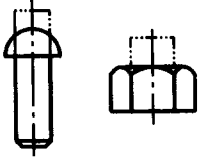
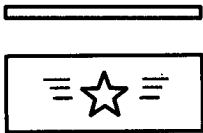
工序名称	工序简图	工序特征	模具简图
弯曲		用模具使板料弯成一定角度或一定形状	
拉深		用模具将板料压成任意形状的空心件	
起伏 (压肋)		用模具将板料局部拉伸成凸起和凹进形状	
翻边		用模具将板料上的孔或外缘翻成直壁	
缩口		用模具对空心件口部施加由外向内的径向压力,使局部直径缩小	
胀形		用模具对空心件加向外的径向力,使局部直径扩张	
整形		将工件不平的表面压平;将原先的弯曲件或拉深件压成正确形状	同拉深模具

表 0.2.3 立体冲压

工序名称	工序简图	特点及应用范围
冷挤压		<p>对放在模腔内的坯料施加强大压力,使冷态下的金属产生塑性变形,并将其从凹模孔或凸、凹模之间的间隙挤出,以获得空心件或横截面积较小的实心件</p>
冷墩		<p>用冷墩模使坯料产生轴向压缩,使其横截面积增大,从而获得螺钉、螺母类的零件</p>
压印		<p>压印是强行局部排挤材料,在工件表面形成浅凹花纹、图案、文字或符号,但在压印表面的背面并无对应于浅凹花纹的凸起</p>

0.3 冲压技术的发展

随着科学技术的不断进步和工业生产的迅速发展,冲压工艺和冲模技术也在不断地革新和发展。冲压加工技术在今后的发展方向和动向,主要有以下几个方面:

(1) 工艺分析计算的现代化。冲压技术与现代数学、计算机技术联姻,对复杂曲面零件(像汽车覆盖件)进行计算机模拟和有限元分析,达到预测某一工艺方案对零件成形的可能性与成形过程中将会发生的问题,供设计人员进行修改和选择。这种设计方法是将传统的经验设计升华为优化设计,缩短了模具设计与制造周期,节省了昂贵的模具试模费用等。

(2) 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,提高模具的质量,使模具设计与制造技术实现 CAD/CAM/CAE 一体化。

(3) 冲压生产的自动化。为了满足大批量生产的需要,冲压生产已向自动化、无人化方向发展。现已实现了利用高速冲床和多工位精密级进模实现单机自动冲压,其每分钟可冲压几百乃至上千次。大型零件的生产已实现了多机联合生产线,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并提高了生产效率。目前冲压生产已逐步向无人化生产形成的柔性冲压加工中心发展。

(4) 为适应市场经济需求,大批量与多品种小批量共存。发展适宜于小批量生产的各种简易模具、经济模具和标准化且容易变换的模具系统。

0.4 学习要求和学习方法

通过本课程的学习、课程设计和实验的训练,将使学生初步掌握冲压成形的基本原理;掌握冲压工艺过程和冲压模具设计的基本方法;具有拟定一般复杂程度冲压件的工艺过程和设计一般复杂程度冲压模具的能力;能够运用所学基本知识,分析和解决生产中常见的冲压产品质量、工艺及模具方面的技术问题;能够合理选用冲压设备和自动冲压的辅助设备;了解冲压成形新工艺、新模具结构及其冲压工艺的发展动向。

由于冲压工艺与模具设计属于应用技术科学,是一门实践性和应用性很强的课程,以金属学与热处理、机械设计基础、金属塑性成形原理以及许多其他技术学科为基础,与冲压设备、模具制造工艺密切联系,因此在学习本门课程时应注意与这些课程的衔接。对初学者来说,应首先对冲压生产现场有初步的感性知识,才能在学习时联系生产实际,从而对课程引起兴趣和加深理解。

第 1 章 冲压变形的基本原理

1.1 金属塑性变形的基本概念

金属在外力作用下产生形状和尺寸的变化称为变形,变形分为弹性变形和塑性变形。而冲压加工就是利用金属的塑性变形成形制件的一种金属加工方法。要掌握冲压成形加工技术,首先必须了解金属塑性变形的一些基本原理。

1.1.1 塑性变形的物理概念

所有的固体金属都是晶体,原子在晶体所占的空间内有序排列。在没有外力作用时,金属中原子处于稳定的平衡状态,金属物体具有自己的形状与尺寸。施加外力,就会破坏原子间原来的平衡状态,造成原子排列畸变(图 1.1.1)引起金属形状与尺寸的变化。假若除去外力,金属中原子立即恢复到原来稳定平衡的位置,原子排列畸变消失且金属完全恢复自己的原始形状和尺寸,则这样的变形称为弹性变形(图 1.1.1a)。增大外力,原子排列的畸变程度增加,移动距离有可能大于受力前的原子间距离,这时晶体中一部分原子相对于另一部分产生较大的错动(图 1.1.1c)。外力除去以后,原子间的距离虽然仍可恢复原状,但错动了的原子并不能再回到其原始位置(图 1.1.1d),金属的形状和尺寸也都发生了永久改变。这种在外力作用下产生的不可恢复的永久变形称为塑性变形。

受外力作用时,原子总是离开平衡位置而移动。因此,在塑性变形条件下,总变形既包括塑性变形,也包括除去外力后消失的弹性变形。

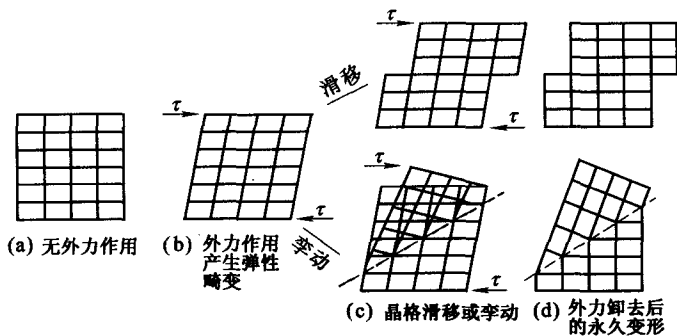


图 1.1.1 晶格畸变

1.1.2 塑性变形的的基本方式

金属塑性变形是金属在外力的作用下金属晶格先产生晶格畸变,外力继续增大时,产生晶格

错动,而这种错动通常在晶体中表现为滑移和孪动两种形式。

1. 滑移

当作用在晶体上的切应力达到一定数值后,晶体一部分沿一定的晶面,向着一定的方向,与另一部分之间作相对移动,这种现象叫滑移(图 1.1.1)。金属的滑移面,一般都是晶格中原子分布最密的面,滑移方向则是原子分布最密的结晶方向,因为沿着原子分布最密的面和方向滑移的阻力最小。金属晶格中,原子分布最密的晶面和结晶方向愈多,产生滑移的可能性愈大,金属的可塑性就愈好。晶格的滑移可通过位错理论来解释。滑移时并不需要整个滑移面上的全部原子一齐移动,而只是在位错中心附近的少数原子发生移动。

2. 孪动

孪动也是在一定的切应力作用下,晶体的一部分相对另一部分,沿着一定的晶面和方向发生转动的结果,已变形部分的晶体位向发生改变,与未变形部分以孪晶面对称(图 1.1.1)。

孪动与滑移的主要差别是:①滑移过程是渐进的,而孪动过程是突然发生的;②孪动时原子位置不会产生较大的错动,因此晶体取得较大塑性变形的的方式主要是滑移作用;③孪动后,晶体内部出现空隙,易于导致金属的破坏;④孪动所要求的临界切应力比滑移要求的临界切应力大得多,只有滑移过程很困难时,晶体才发生孪动。

3. 晶间变形

滑移和孪动都是发生在单个晶粒内部的变形,称为晶内变形。工业生产中实际使用的金属则是多晶体。多晶体中的每个单晶体(晶粒)要受到四周晶粒的牵制,变形不如自由单晶体单纯,可塑性也不易充分发挥,会造成变形不均匀。多晶体的变形方式除晶粒本身的滑移和孪动外,还有在外力作用下晶粒间发生的相对移动和转动而产生的变形,即晶间变形。凡是加强晶间结合力、减少晶间变形、有利于晶内发生变形的因素,均有利于晶体进行塑性变形。当多晶体间存有杂质时,会使晶间结合力降低,晶界变脆,不利于多晶体进行塑性变形;当多晶体的晶粒为均匀球状时,由于晶粒界面对于晶内变形的制约作用相对较小,也具有较好的可塑性。

1.1.3 金属的塑性与变形抗力

1. 塑性及塑性指标

所谓塑性,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。塑性不仅与材料本身的性质有关,还与变形方式和变形条件有关。所以,材料的塑性不是固定不变的,不同的材料在同一变形条件下会有不同的塑性,而同一种材料,在不同的变形条件下,会表现不同的塑性。塑性反映金属的变形能力,是金属的一种重要加工性能。

塑性指标是衡量金属在一定条件下塑性高低的数量指标。它是材料开始破坏时的塑性变形量来表示,可借助于一些试验方法测定。常用的塑性指标有:

拉伸试验所得的伸长率:

$$\delta = \frac{L_k - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1.1.1)$$

断面收缩率:

$$\psi = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100\% \quad (1.1.2)$$

式中, L_0 、 A_0 分别为拉伸试样原始标距长度(mm)和原始截面积(mm^2); L_k 、 A_k 分别为试样断裂后标距间长度(mm)和断裂处最小截面积(mm^2)。

除了拉伸试验外,还有艾利克森试验、弯曲试验(测定板料胀形和弯曲时的塑性变形能力)和镦粗试验(测定材料锻造时的塑性变形能力)等。需要指出,各种试验方法都是在特定的状况和变形条件下测定金属的塑性变形能力。它们说明在某种受力状况和变形条件下,这种金属的塑性比那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。

2. 变形抗力

塑性成形时,使金属发生变形的外力称为变形力,而金属抵抗变形的反作用力,称为变形抗力。变形力和变形抗力大小相等方向相反。变形抗力一般用单位接触面积上的反作用力来表示。在某种程度上,变形抗力反映了材料变形的难易程度。它的大小,不仅取决于材料的流动应力,而且还取决于塑性成形时的应力状态、摩擦条件以及变形体的几何尺寸等因素。

塑性和变形抗力是两个不同的概念,前者反映塑性变形的能力,后者反映塑性变形的难易程度,它们是两个独立的指标。人们常认为塑性好的材料,变形抗力低,塑性差的材料变形抗力高,但实际情况并非如此。如奥氏体不锈钢在室温下可经受很大的变形而不破坏,说明这种钢的塑性好,但变形抗力却很高。

1.1.4 影响金属塑性和变形抗力的主要因素

影响金属塑性和变形抗力的主要因素有两个方面,其一是变形金属本身的晶格类型、化学成分和组织状态等内在因素;其二是变形时的外部条件,如变形温度、变形速度和变形的力学状态等。因此,只要有合适的内、外部条件,就有可能改变金属的塑性行为。

1. 化学成分和组织对塑性和变形抗力的影响

化学成分和组织对塑性和变形抗力的影响非常明显也很复杂。下面以钢为例来说明。

(1) 化学成分的影响:在碳钢中,铁和碳是基本元素。在合金钢中,除了铁和碳外还包含硅、锰、铬、镍、钨等。在各类钢中还含有一些杂质,如磷、硫、氮、氢、氧等。

碳对钢的性能影响最大。碳能固溶到铁里形成铁素体和奥氏体固溶体。它们都具有良好的塑性和低的变形抗力。当碳的含量超过铁的溶碳能力,多余的碳便与铁形成具有很高的硬度而塑性几乎为零的渗碳体,对基体的塑性变形起阻碍作用,降低塑性,提高抗力。可见含碳量越高,碳钢的塑性成形性能就越差。

合金元素加入钢中,不仅改变了钢的使用性能,而且改变了钢的塑性成形性能,其主要的表现为:塑性降低,变形抗力提高。这是由于合金元素溶入固溶体($\alpha\text{-Fe}$ 和 $\gamma\text{-Fe}$),使铁原子的晶体点阵发生不同程度的畸变;合金元素与钢中的碳形成硬而脆的碳化物(碳化铬、碳化钨等);合金元素改变钢中相的组成,造成组织的多相等,都造成钢的抗力提高,塑性降低。

杂质元素对钢的塑性变形一般都有不利的影响。磷溶入铁素体后,使钢的强度、硬度显著增加,塑性、韧性明显降低。在低温时,造成钢的冷脆性。硫在钢中几乎不溶解,与铁形成塑性低的易溶共晶体 FeS ,热加工时出现热脆开裂现象。钢中溶氢,会引起氢脆现象,使钢的塑性大大降低。

(2) 组织的影响:钢在规定的化学成分内,由于组织的不同,塑性和变形抗力亦会有很大的

差别。单相组织比多相组织塑性好,抗力低。多相组织由于各相性能不同,使得变形不均匀,同时基本相往往被另一相机械地分割,故塑性降低,变形抗力提高。

晶粒的细化有利提高金属的塑性,但同时也提高了变形抗力。这是因为在一定的体积内细晶粒的数目比粗晶数目要多,塑性变形时有利于滑移的晶粒就较多,变形均匀地分散在更多的晶粒内,另外晶粒越细,晶界面越曲折,对微裂纹的传播越不利。这些都有利于提高金属的塑性变形能力。另一方面晶粒多,晶界也愈多,滑移变形时位错移动到晶界附近将会受到阻碍并堆积,若要位错穿过晶界则需要很大的外力,从而提高了塑性变形抗力。

另外钢的制造工艺,如冶炼、浇注、锻轧、热处理等都影响着金属的塑性和变形抗力。

2. 变形温度对塑性和变形抗力的影响

变形温度对金属及合金的塑性有很大的影响。就多数金属及合金而言,随着温度的升高,塑性增加,变形抗力降低。这种情况,可以从以下几个方面进行解释。

(1) 温度升高,发生回复和再结晶。回复使金属的加工硬化得到一定程度的消除,再结晶能完全消除加工硬化,从而使金属的塑性提高,变形抗力降低。

(2) 温度升高,原子热运动加剧,动能增大,原子间结合力减弱,使临界切应力降低,不同滑移系的临界切应力降低速度不一样。因此,在高温下可能出现新的滑移系。滑移系的增加,提高了变形金属的塑性。

(3) 温度升高,原子的热振动加剧,晶格中原子处于不稳定状态。此时,如晶体受到外力作用,原子就会沿应力场梯度方向,由一个平衡位置转移到另一个平衡位置,使金属产生塑性变形。这种塑性变形的方式称为热塑性,也称扩散塑性。

(4) 温度升高,晶界强度下降,使得晶界的滑移容易进行。同时,由于高温下扩散作用加强,使晶界滑移产生的缺陷得到愈合。

由于金属及合金的种类繁多,上述一般的结论并不能概括各种材料的塑性和变形抗力随温度的变化情况。可能在温升过程中的某些温度间,往往由于过剩相的析出或相变等原因,而使金属的塑性降低和变形抗力增加(也可能降低)。

3. 变形速度对塑性和变形抗力的影响

所谓变形速度是指单位时间变形物体应变的变化量,塑性成形设备的加载速度在一定程度上反映了金属的变形速度,它对塑性有两个方面的影响。

(1) 变形速度大时,要同时驱使更多的位错更快地运动,金属晶体的临界切应力将提高,使变形抗力增大;当变形速度大时,塑性变形来不及在整个变形体内均匀地扩展,此时,金属的变形主要表现为弹性变形。根据胡克定律,弹性变形量越大,则应力越大,变形抗力也就越大。另外,变形速度增加后,变形体没有足够的时间进行回复和再结晶,而使金属的变形抗力增加,塑性降低。

(2) 在高变形速度下,变形体吸收的变形能迅速地转化为热能(热效应),使变形体温升高(温度效应)。这种温度效应一般来说对塑性的增加是有利的。

常规的冲压设备工作速度都较低,对金属塑性变形的性能影响不大。考虑变形速度因素,主要基于零件的尺寸和形状。对大型复杂的零件成形,变形量大且极不均匀,易局部拉裂和起皱,为了便于塑性变形的扩展,有利于金属的流动,宜采用低速的压力机或液压机。小型零件的冲压,一般不考虑变形的速度对塑性和变形抗力的影响,主要从生产效率来考虑。

1.2 金属塑性变形的力学基础

金属板料冲压工艺的目的,是使毛坯的形状和尺寸发生变化并成为成品或半成品零件。在这个过程中毛坯的变形都是模具对毛坯施加外力所引起内力或由内力直接作用的结果。一定的力的作用方式和大小都对应着一定的变形,所以为了研究冲压时毛坯的变形性质和变形规律,为了控制变形的发展,首先必须了解金属塑性变形时力的作用性质和力的大小。

引起毛坯变形的内力有强弱之分,它的作用集度用应力表示。应力就是毛坯内单位面积上作用的内力。应力应理解为一极小面积上的内力与该面积比值的极限,即:

$$\sigma = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta S} = \frac{dF}{dS} \quad (1.2.1)$$

式中, ΔF 为极小面积 ΔS 上的总内力,应力的单位用 MPa 计量, $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ N/m}^2$ 。

在金属塑性变形过程中,塑性加工过程能否实现,加工过程效率、加工材料的利用率以及加工产品的质量都直接与应力和应变有关。因此,了解塑性加工过程中成形工件内各点的应力与应变状态,以及产生塑性变形时各应力之间的关系、应力与应变之间的关系是十分重要的。

1.2.1 一点的应力应变状态

板料冲压时,毛坯变形区内各点的受力和变形情况都是不同的。为了了解毛坯的变形规律,就必须研究变形体内各点的应力状态、应变状态以及产生变形时它们之间的关系。

1. 一点的应力状态

一点的应力状态是指通过变形体内某点的微元体所有截面上的应力的有无、大小、方向等情况。图 1.2.1a 所示受力物体中任意一点 Q ,用微分面切取一个正六面体,微六面体各面素与坐标平面平行,每个面素上的应力矢量可以分解为和坐标轴平行的 3 个分量:一个正应力和两个切应力。3 个微分面上共有 9 个应力分量,如图 1.2.1b 所示。因此,一点的应力状态可用 9 个应力分量(3 个正应力,6 个切应力)来表示。由于微元体处于平衡状态,没有转动,根据切应力互等定理: $\tau_{xy} = \tau_{yx}$, $\tau_{yz} = \tau_{zy}$, $\tau_{zx} = \tau_{xz}$,实际上只需要 6 个应力分量,即 3 个正应力和 3 个切应力就可以确定该点的应力状态。

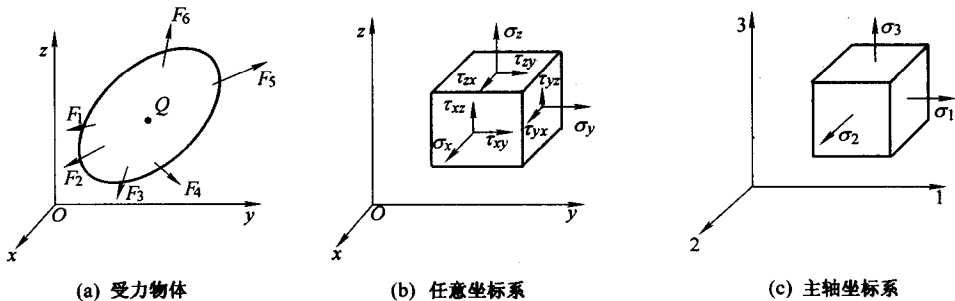


图 1.2.1 一点的应力状态

必须指出,图 1.2.1b 中的坐标系 x 、 y 、 z 的方向是任意的。如果坐标系选取的方向不同,那

么,虽然该点的应力状态并没有改变,但是用来表示该点应力状态的9个应力分量就会与原来的数值不同。可以证明,存在这样一组坐标系,使得微元体表面只有正应力,没有切应力。这样的坐标轴称为应力主轴。沿应力主轴作用的正应力称为主应力,主应力所作用的面及作用方向分别称为主平面和主方向(图1.2.1c)。它们一般按代数值的大小依次用 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 表示,即 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ 。以主应力表示点的应力状态称为主应力状态;定性说明一点应力作用情况的示意图,称为主应力状态图。主应力状态图共有9种,如图1.2.2所示。主应力状态图虽然只有9种,但主应力的数值可以是任意的。

在一般情况下,微元体的3个主方向都有应力,这种应力状态称为三向应力状态。但在板料冲压成形时,厚度方向的应力与其他两个方向的应力比较,往往可以忽略不计,因而,可以把厚度方向应力看作零,此时应力状态可视为平面应力状态。平面应力问题的分析计算比三向应力问题简单,这就为研究板料冲压成形问题提供了方便。

如果三个主应力大小相等,即 $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$,则称为球应力状态。深水中微小物体所处的就是这样一种应力状态(三向等压)。所以,习惯上常将三向等压应力称为静水压力。静水压力的大小对材料变形时的极限塑性应变值有很大的影响。静水压力越大,材料越能充分发挥其塑性。

除主平面不存在切应力外,微元体其他方向截面上都有切应力,在与主平面成 45° 角的截面上,切应力达到极大值,称为主切应力。当 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ 时,最大切应力为 $\tau_{\max} = \pm(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ 。最大切应力与材料的塑性变形的关系十分密切。

2. 一点的主应变状态

应力产生应变,应变也具有与应力相同的表现形式,单元体上的应变也有正应变与切应变,也可找到一组坐标轴,使单元体各表面上切应变为零,这一坐标轴称为应变主轴,沿应变主轴方向上的正应变为主应变,一般用 ϵ_1 、 ϵ_2 、 ϵ_3 表示。根据塑性变形时物体主要是发生形状的改变,体积变化很小,可忽略不计,即:

$$\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0 \quad (1.2.2)$$

该方程反映了三个主应变值之间的关系,并说明:

- (1) 塑性变形时,只有形状及尺寸的改变,而无体积的变化;
- (2) 不论应变状态如何,其中必有一个主应变的符号与其他两个主应变的符号相反,该主应变绝对值最大,称为最大主应变;
- (3) 当已知两个主应变的数值时,第三个主应变即可算出。

根据上述结论,对任何一种几何形状物体的塑性变形,其变形方式只有三种,与此相对应、可能的主应变状态图也只有三种,如图1.2.3所示。

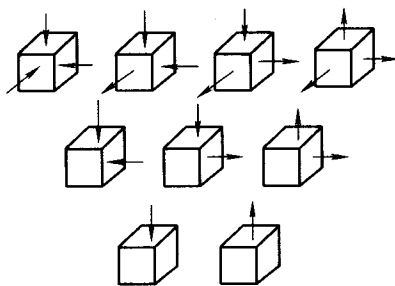


图 1.2.2 9种主应力状态图

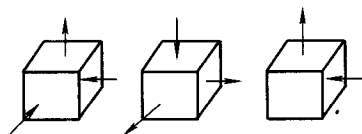


图 1.2.3 3种主应变状态图