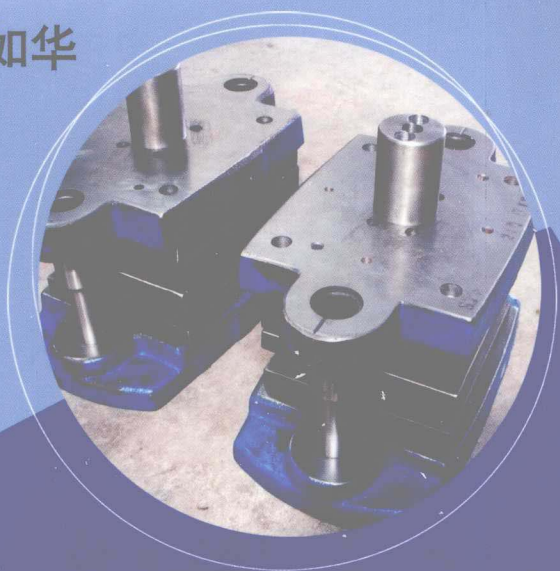




21世纪高等职业教育精品规划教材

冲压工艺与模具设计

◎ 主编 赵向阳 章跃荣 张如华

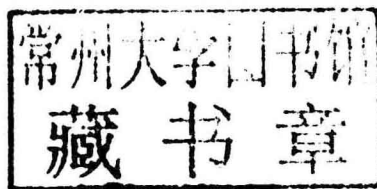


哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

21 世纪高等职业教育精品规划教材

冲压工艺与模具设计

主 编 赵向阳 章跃荣 张如华
副主编 付荣利 赵 昌 李仕平
参 编 陈伍华 邹晓晖 熊 伟 闵旭光



内容提要

本书对以板料为加工对象的冲压工艺基本方法与冲模设计基础知识作了系统论述。全书分为9章,第1章讲述与冲压相关的金属塑性成形原理、常用板料、常用冲压设备;第2、3、4、5章分别讲述冲裁、弯曲、拉深和常用成形(胀形、翻边、扩口、缩口)工序的工艺设计;第6章讲述冲压工艺过程设计;第7章讲述冲模结构设计;第8章专门讲述多工位级进模设计;第9章讲述特种冲压模具。章后附录部分介绍本课程应开设的实验和课程设计,各章之后均列有习题。

本书主要可作为高等职业院校材料成型及控制工程(塑性成形工艺及设备方向)专业、数控技术与现代模具设计(模具设计与制造)专业教材,也可供从事板料冲压行业的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

冲压工艺与模具设计/赵向阳等主编;—哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2010.2
ISBN 978-7-81133-645-0

I. ①冲… II. 赵… III. ①冲压-工艺②冲
模-设计 IV. ①TG38

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第022616号

出版发行:哈尔滨工程大学出版社

社 址:哈尔滨市南岗区东大直街124号

邮 编:150001

发行电话:0451-82519328

传 真:0451-82519699

经 销:新华书店

印 刷:北京市通州京华印刷制版厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:20.5印张

字 数:551千字

版 次:2010年2月第1版

印 次:2010年2月第1次印刷

定 价:37.00元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

网上书店: www.kejibook.com

对本书内容有任何疑问及建议,请与本书责编联系。邮箱: jixie_book@sina.com

出版说明

近年来,我国的高等职业教育事业实现了跨越式发展,为社会主义现代化建设事业培养了大批急需的各类人才,在提高劳动者的素质、建设社会主义精神文明、促进社会进步和经济发展方面发挥了重要的作用。

随着我国科技的发展和经济的腾飞,高技能人才的缺乏逐渐成为影响社会快速、健康发展的瓶颈。高等职业院校作为培养各类高素质人才的重要基地,必然要对教育教学制度进行改革,以转变教育思想和教育观念为先导,以促进就业为目标,实行多样、灵活、开放的人才培养模式,把教育教学与生产实践、社会服务、技术推广结合起来,逐步形成适应我国社会主义现代化建设需要的高等职业教育思想和教育理念。

要加快高等职业教育改革和发展的步伐,就必须对课程体系和教学模式等问题进行探索。在这个过程中,教材的建设与改革无疑起着至关重要的基础性作用,高质量的教材是培养高素质人才的保证。高等职业教育教材作为知识的载体和教学的基本工具,直接关系到高等职业教育能否为社会培养并输送符合要求的高技能人才。

为推动高等职业教育教材的建设,加快高等职业教育改革和发展的步伐,我们精心组织了一批具有丰富教学和科研经验的教师,针对高等职业院校的教学特点,编写了《21世纪高等职业教育精品规划教材》,旨在使学生在具有必备的基础理论知识和专业知识的基础上,重点掌握从事本专业领域实际工作的基本能力和基本技能,致力于培养基础理论知识适度、技术应用能力强、知识面宽、素质高的应用型人才。

本系列教材非常注重培养学生的实践技能,力避传统教材“全而深”的教学模式,将“教、学、做”有机地融为一体,在教给学生知识的同时,强化对学生实际操作能力的培养。在编写过程中,教材力求从实际应用的需要出发,尽量减少枯燥、实用性不强的理论灌输,充分体现出“以行业为导向,以能力为本位,以学生为中心”的特色,更具有实用性和前瞻性,与就业市场结合更为紧密。

本系列教材的编写力求突破陈旧的教育理念,采用了“以案例导入教学”的编写模式。在对某一理论进行讲解的同时,紧密结合实际,援引大量鲜明、实用的案例进行分析说明,以达到编写高质量教材的目标。这些精心设计的案例不但可以方便教师授课,同时又可以启发学生思考,加快对学生实践能力的培养,改革人才的培养模式。

本系列教材可供高等职业院校、成人高校及各类培训学校相关专业使用。在编写过程中,得到了许多教师的大力支持,在此特向他们致以衷心的感谢,同时也对所有参与本系列教材出版工作的人员表示感谢!

哈尔滨工程大学出版社

前 言

冲压是一种以板料为加工对象，兼具优质、高效和经济性的先进工艺方法，在制造业许多领域得到了广泛应用。无论是在汽车、飞机、火车，还是在电子、电器、日用器皿、玩具等行业产品中都可可见到大量冲压制件。从某种意义上说，冲压技术的应用保证了国民经济正常、快速的发展。

冲压模具是确保冲压制件质量和生产效率的重要工艺装备。随着国民经济的发展和各种新产品的问世，冲压模具及其他种类模具的需要量不断增加，社会需要大量模具设计与制造专业人才。除了大多数本科院校开设有相关的专业外，还有很多的职业院校、职业培训学校都设置了该类专业。

高质量的教材是培养合格人才的基本保证。目前有关冲压工艺与模具设计的教材和书籍很多，但由于编（著）者对教学的侧重点、培养目标、课程体系等的理解有所不同，各种教材在内容上存在一些差异。本教材尽量吸纳各种版本教材的优点，并融合了编者长期从事该专业教育与实践的经验。

本教材突出专业基础理论知识、技术基础知识和专业知识的讲解，注重学生专业能力和业务能力的培养。专业基础理论知识按“必需、够用”的原则进行了整合。其中专业知识的掌握和专业能力的培养是本教材的重点。教材选取了大量的典型实例进行剖析，这些实例贴近生产实际具有很强的“针对性”和“实用性”，避免了一般教材“理论偏多、实践不足”的弊端。本教材各章均附有习题，附录中提供了设计题和实例，方便实践学习。

本书由赵向阳、章跃荣、张如华任主编，付荣利、赵昌、李仕平任副主编。具体编写分工如下：第1、3、4章由张如华、赵向阳共同编写，第2、6章由赵向阳编写，第9章由章跃荣编写，第5章、第8章由付荣利编写，第7章及附录由赵昌编写，陈伍华协助编写第2章，邹晓晖、熊伟协助编写第5、9章。闵旭光负责本书部分内容的资料搜集工作，王师绘制了部分立体插图。广东省佛山市顺德乐星金属制品有限公司为本书提供了不少典型实例，在此表示衷心感谢。

因时间仓促，编者专业水平有限，书中可能存在一些疏漏和不足，欢迎广大师生和读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 综 论	1
1.1 冲压的定义	1
1.2 冲压工序的分类	1
1.3 冲压工艺的特点及应用	4
1.4 冲压变形的理论基础	5
1.5 冲压用板料	20
1.6 冲压设备	30
第2章 冲 裁	41
2.1 冲裁变形	41
2.2 冲裁件的质量及其影响因素	44
2.3 冲裁力和压力中心	47
2.4 冲裁间隙	50
2.5 冲裁模工作部分尺寸计算	54
2.6 冲裁件的排样	59
2.7 冲裁工艺设计	66
2.8 精密冲裁简介	74
2.9 半精密冲裁和整修	76
第3章 弯 曲	81
3.1 弯曲变形分析	81
3.2 弯曲力	83
3.3 弯曲件坯料展开	84
3.4 弯曲件的质量分析及控制	87
3.5 弯曲工艺设计	93
3.6 弯曲模工作部分设计	98
第4章 拉 深	103
4.1 筒形件的拉深变形分析	103

4.2 筒形件拉深的质量分析及控制	113
4.3 压边方式设计	115
4.4 拉深力与拉深功	119
4.5 筒形件拉深模工作部分设计	121
4.6 拉深件的坯料尺寸与工序件尺寸	126
4.7 有凸缘筒形件与阶梯筒形件的拉深	127
4.8 曲面旋转体制件的拉深	134
4.9 盒形件的拉深	139
4.10 非旋转体曲面制件拉深成形的特点	148
4.11 拉深的辅助工序	149
4.12 拉深工艺设计	152
第5章 其他冲压成形方法	157
5.1 胀形	157
5.2 翻边	163
5.3 扩口	169
5.4 缩口	171
第6章 冲压工艺过程设计	177
6.1 冲压工艺过程设计步骤	177
6.2 冲压工艺方案的确定	178
6.3 冲压工艺过程设计实例	186
第7章 冲模结构设计	195
7.1 冲模分类	195
7.2 冲模的基本结构类型	196
7.3 冲模零件与模具材料	217
7.4 冲模总体设计要点	248
第8章 多工位级进模设计	255
8.1 多工位级进模的特点与分类	255
8.2 多工位级进冲压条料排样	258
8.3 多工位级进模结构设计	272
8.4 多工位级进模典型结构	283
8.5 多工位级进模的自动送料及安全检测装置简介	291

第 9 章 特种冲压模具介绍	294
9.1 低熔点合金冲模	294
9.2 聚氨酯橡胶冲模	299
9.3 薄板冲模	304
附录 课程实验与课程设计	307
参考文献	320

综 论

1.1 冲压的定义

冲压是利用模具在冲压设备上对材料施加压力，使其产生分离或变形，从而获得所需形状、尺寸和性能的制件的一种加工方法。冲压加工的对象一般为金属板料（或带料）、薄壁管、薄型材等，板厚方向的变形一般不考虑，因此也称为板料冲压，且通常是在室温状态下进行（不用加热，处于再结晶温度以下），故也称为冷冲压。

锻造和冲压合称为锻压，锻造加工的对象一般为金属棒料（或锭料），必须考虑长、宽、高 3 个方向的变形，且通常是在再结晶温度以上进行，故常称为热锻。基于通常要施加一定的压力才能完成加工的共性，锻造、冲压与轧制、挤压、拉拔等总称为金属压力加工；金属压力加工迫使加工对象发生塑性变形，既改变了尺寸、形状，又改善了性能，故还称为塑性加工。20 世纪后期以来，业内又将塑性加工称为塑性成形。

冲压生产中，合理的冲压成形工艺、先进的冲压模具、高效的冲压设备是构成冲压加工的 3 个基本要素。所谓冲模就是加压将被加工对象分离、成形或接合而得到制件的一种特殊工艺装备。没有设计和制造水平均很先进的冲压模具，先进的冲压工艺就无法实现。

1.2 冲压工序的分类

冲压加工因制件形状、尺寸、内外在质量、批量的不同，所采用的冲压工序也不同。冲压工艺的基本工序可以分为分离工序与成形工序两大类。分离工序的目的是将坯料（工序件或半成品）沿一定的轮廓相互分离；成形工序的目的是在材料不被破坏的前提下使坯料（工序件或半成品）发生塑性变形，成为所需制件。各工序简介见表 1-1 及表 1-2。

表 1-1 冲压工艺中的分离工序

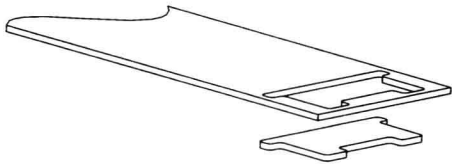
工序名称	示 意 图	说 明
落 料		分离轮廓为封闭曲线，轮廓内为制件，轮廓外为废料。用于加工各种形状的平板型制件

表 1-1 (续)

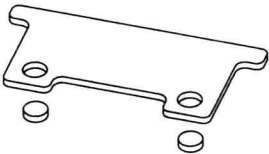
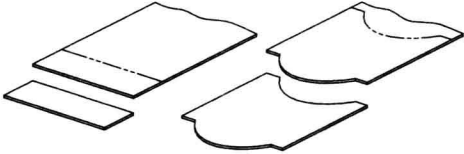
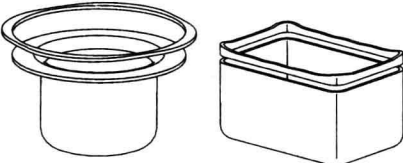
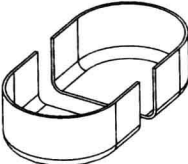
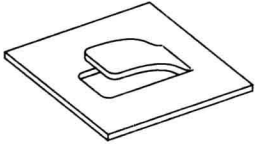
工序名称	示意图	说明
冲孔		分离轮廓为封闭曲线, 轮廓内为废料, 轮廓外为制件。用于在制件上加工各种形状的孔 落料与冲孔合称为冲裁
切断 (剪切)		分离轮廓为不封闭曲/直线。用于将板料裁切成长条或加工成形状简单的平板型制件
修边 (切边)		在工序件(半成品)的曲、平面上沿内、外轮廓修切, 以获得规则整齐的棱边、光洁的剪切面和较高的尺寸精度
剖切		将整体成形得到的工序件(半成品)切开出数个制件。多用于不对称制件成组、成形之后的分离
切口		将制件沿不封闭的轮廓部分地分离, 并使部分板料产生弯曲变形

表 1-2 冲压工艺中的成形工序

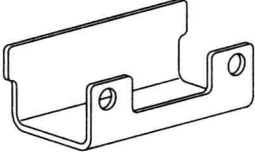
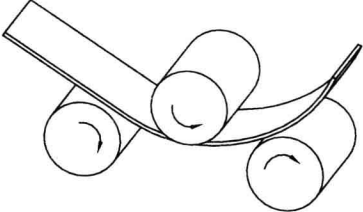
工序名称	示意图	说明
弯曲 (压弯)		将坯料(型材、工序件、半成品)沿直线压弯成具有一定曲率和角度的制件
辊弯		沿直线用辊子(2~4个)实现板料的逐步弯曲变形。一般用卷板机完成

表 1-2 (续一)

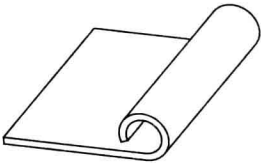
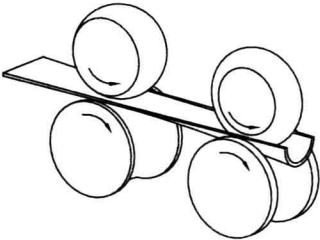
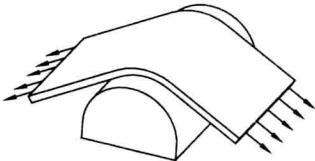
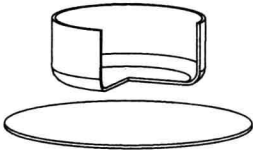
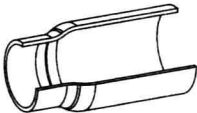
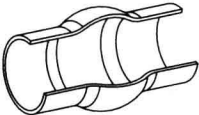
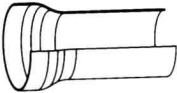
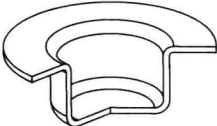
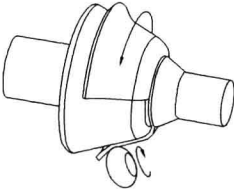
工序名称	示 意 图	说 明
卷 弯		把板料端部卷成接近封闭的圆筒状
辊 形 (纵向辊弯)		用多对成形辊, 沿纵向使带料逐渐弯曲变形
拉 弯		在施加拉力的条件下实现弯曲变形
扭 曲		将工序件(半成品)的一部分相对于另一部分在某个面上扭转一定角度
拉 深		变形区在一拉一压的应力作用下, 使板料(浅的空心坯)成形为空心件(深的空心件), 而壁厚基本不变。用于将板料外缘全部(部分)转移到制件侧壁, 使板料成形为皿状制件
翻 边		沿封闭(不封闭)的轮廓曲线将板料的平面(曲面)边缘部分翻成竖直边缘
缩 口		将空心(管状)工序件或半成品的某个端部的径向尺寸减小

表 1-2（续二）

工序名称	示意图	说明
胀形		使板料（空心工序件或半成品）的局部变薄，从而使其表面积增大
扩口		将空心（管状）工序件或半成品的某个端部的径向尺寸扩大
整形		对坯料（工序件、半成品）的局部（整体）施加法向接触压力，以提高制件尺寸精度或获得清晰的过渡形状
旋压		在坯料旋转的同时，用一定形状的辊轮施加压力使坯料的局部变形逐步扩展到整体，达到使坯料全部成形的目的。多用于回转体制件的成形

冲压工序中除直线切断、辊弯、扭曲等少数工序外一般均需要专用模具。

冲压生产除了基本工序外，还涉及其他工序，如接合工序（如铆接等）、装配工序、修饰包装工序，等等，由于篇幅所限，本书不作展开。

1.3 冲压工艺的特点及应用

与其他加工方法相比，冲压加工无论在技术方面还是在经济方面，都具有许多独特的优点。

从技术先进性方面看，冲压工艺可以得到壁薄、形状复杂、表面质量好、刚性好、质量轻的零件，且制件的精度由模具保证，具有“一模一样”的特征，所以零件互换性好，品质稳定。

从经济合理性方面看，冲压是一种少、无切屑的加工方法之一，通过合理设计、优化排样，冲压工艺可以获得很高的材料利用率；且既不需像切削加工那样在把金属切成碎屑时消耗大量的能量，也不需像锻造那样需耗能对坯料加热；操作比较简单，从而对操作工技术要求低，易实现自动化，手工操作生产效率为每分钟几件至几十件，自动化生产可达每分钟千件以上。

冲压工艺存在的不足之处有，对于批量较小的制件，模具费用使得成本明显增高，所以一般要有经济批量；同时，模具需要一个生产准备周期。冲压工艺尤其是冲裁存在较大的噪声和振动，劳动保护措施不到位时，还存在安全隐患。

总体上看，冲压是一种制件质量较好、生产效率高、成本低、其他加工方法无法替代的加工工艺，在机械、车辆、电机、电器、仪器仪表、农机、轻工、日用品、航空航天、电子、通

信、船舶、铁道、兵器等制造业中获得了十分广泛的应用，表 1-3 为部分产品中冲压加工零件所占比例。图 1-1 所示为捷达轿车车身部分的冲压制件。

表 1-3 各类产品中冲压加工零件所占比例

产品	汽车	仪器仪表	电子	电机电器	家用电器	自行车、手表
比例/%	60~70	60~70	>85	70~80	~90	>80

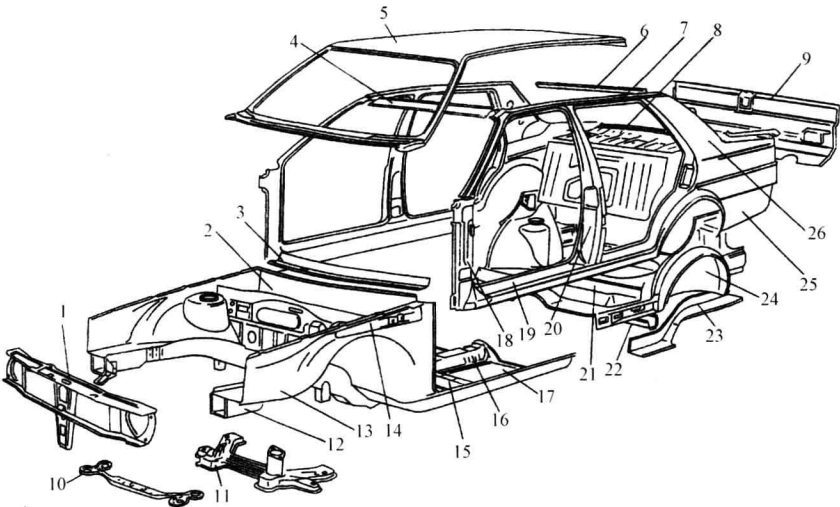


图 1-1 捷达轿车车身结构示意图

- 1—散热器框架；2—前围板；3—前风窗下横梁；4—前风窗上横梁；5—顶盖；6—后风窗上横梁；7—上边梁；8—后风窗下横梁；9—后围板；10—前横梁；11—副车架；12—前纵梁；13—挡泥板；14—挡泥板加强撑；15—前座椅横梁；16—地板通道；17—前地板；18—前立柱；19—门槛；20—中立柱；21—后地板；22—地板后横梁；23—后纵梁；24—后轮罩；25—后翼子板；26—后立柱

1.4 冲压变形的理论基础

1.4.1 金属塑性变形的概念

在外力作用下，固体材料发生形状和尺寸变化的现象称为变形，使物体产生变形的外力称为变形力。变形力去除后，能恢复原状的变形称为弹性变形；变形力去除后，不能恢复原状的变形称为塑性变形。

金属材料在变形力的作用下，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。从微观结构上看，弹性变形阶段，金属体受力较小，金属体内部原子的间距有微小的改变，从而引起了尺寸和形状的变化，变形力去除后，原子回到原来的稳定平衡位置，该金属体就完全恢复了原来的形状和尺寸。当金属体受力较大，迫使原子偏离原来的稳定平衡位置，而达到邻近的稳定平衡位置，变形力去除后，原子就不再回到其原来位置，而是停留在邻近的稳定平衡位置上，变形就成为不可恢复的永久变形，这就是金属的塑性变形。

所有的固态金属都是晶体，各种固态金属的晶体结构并不完全相同。工业应用的金属中，

除少数具有复杂的晶体结构外,最常见的金属晶体结构有面心立方结构、体心立方结构和密排六方结构。

晶体中由原子组成的平面称为晶面,由原子组成的直线称为晶向,每种晶格不同晶面上的原子密度和不同晶向的原子间距是不同的。

单晶体的塑性变形主要通过滑移和孪生两种方式进行,最常见的方式为滑移,即晶体一部分沿一定的晶面和晶向相对于另一部分产生滑移,这一晶面和晶向称为滑移面和滑移方向。一般来说,滑移面总是原子排列最密的面,滑移方向总是原子排列最密的方向。因为沿着原子分布最密的面和方向,滑移阻力最小。一种滑移面及其面上的一个滑移方向组成一个滑移系。每一个滑移系表示晶体在产生滑移时可能采取的空间位向。当其他条件相同时,金属晶体的滑移系愈多,则滑移时可能出现的滑移位向愈多,塑性就愈好。一般说来,面心立方和体心立方金属的滑移系较多,比密排六方金属的塑性好。

若晶体结构理想的话,全部原子都是规则地排列在晶体的格点上,然而实际晶体总是存在着各种缺陷,引起晶格的畸变以及原子排列的不规则,最明显的是多晶体。这些缺陷包括位错、晶界、空位、间隙原子和异质原子等。研究表明,有些缺陷对金属塑性变形有很大的影响,如晶体的滑移变形就是在剪应力的作用下通过滑移面上的位错运动进行的。一个位错移到晶体表面形成一个原子间距的滑移量。同一个滑移面上许多位错移到晶体表面便形成明显的滑移线。许多滑移线在一起形成滑移带。这种滑移带常可在拉伸变形后的金属试样上观察到。

工业上用于塑性成形的金属都是多晶体,组成多晶体的各晶粒类似于单晶体,它们的大小、形状、位向不同,晶粒之间又有晶界相连,因而多晶体的变形比单晶体要复杂得多。

多晶体的变形,就其中每个晶粒的变形来讲,不外乎滑移和孪生两种晶内变形方式。但就总体而言,多晶体内还存在着晶粒之间的相对滑动和转动。这种晶粒之间的变形称为晶间变形,所以多晶体的变形是晶内变形和晶间变形综合作用的结果。

由于晶粒是靠原子间的吸引力和晶粒间的机械连锁力互相联结的,因此,晶间变形比较困难。晶粒间的滑动即使非常微小,也容易引起晶界处的结构破损,从而导致金属的断裂。晶粒间的转动过程相当复杂,这是由于多晶体中不同位向的各个晶粒既有向有利于晶内滑移的方向转动的趋势,又有受到相互牵制的缘故。晶粒转动的现象在粗晶粒的板料冲压成形后可以观察到,这就是冲压件表面显出凹凸不平的所谓“橘皮”现象。

多晶体的塑性变形还受到晶界的影响。晶界内晶格畸变更甚,晶界的存在使多晶体的强度、硬度比单晶体高。多晶体内晶粒愈细,晶界区所占比率也就愈大,金属的强度、硬度也就愈高。此外,晶粒愈细,变形愈易分散在许多晶粒内进行,因此变形更为均匀,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、硬度高,而且塑性也较好的原因。

在金属塑性变形过程中,金属的性能和组织都可能发生变化。其中最重要的是加工硬化,随着变形程度的增加,变形阻力增大,强度和硬度升高,而塑性、韧性下降。同时,由于变形不均匀,晶粒内部和晶粒之间会存在不同的内应力。变形后作为残余应力,保留在金属内部,致使经冷变形后的零件在放置一段时间后,可能自动发生变形甚至开裂。金属塑性变形后的性能变化是其组织发生变化的结果。多晶体变形时各晶粒沿其变形最大的方向伸长,在变形程度很大时,则显著伸长,使得晶界过剩相沿主变形方向呈条状分布,形成热处理也改变不了的纤维组织。晶内变形会使晶粒破碎,形成许多小晶粒,即亚晶粒。晶间变形则在晶界造成许多破坏。另外,在变形程度很大时,多晶体内各个晶粒的位向会因滑移面的转向而逐渐趋向一致,形成变形结构。由于变形结构的形成,使轧制后的板料出现各向异性,即使退火,一般也难以消除。用这种材料经冲压变形得到的制件厚薄不均,口沿不齐,典型表现是在拉深成形的筒形

制件口部形成凸耳。由此可见,金属塑性变形过程中的这些变化对冲压成形工艺有相当大的影响。

1.4.2 金属塑性及变形抗力的影响因素

1. 塑性与变形抗力的概念

(1) 塑性 塑性是指金属材料在外力作用下产生永久变形而其完整性不被破坏的能力。塑性可用材料在不被破坏条件下能获得的塑性变形的最大值来评定。同一种材料,在不同的变形条件下,其塑性是不一样的。

影响金属塑性的因素包括两个方面:金属本身的晶格类型、化学成分和金相组织等;变形时的外部条件,如变形温度、变形速度以及变形方式等。

(2) 变形抗力 变形抗力一般来说反映了金属在外力作用下抵抗塑性变形的能力(参见1.4.3)。

影响变形抗力的因素,也包括金属的内部性质和变形条件(即变形温度、变形速度和变形程度)两个方面。

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以后临近破坏时的变形程度的大小,而不是指变形抗力的大小。如奥氏体不锈钢允许的变形程度大,称为塑性好,但其变形抗力也大,需要较大的外力才能产生塑性变形。由此可见,变形抗力是从力的角度反映塑性变形的难易程度。

2. 金属塑性和变形抗力的影响因素

充分利用金属的塑性并用较小的变形力获得所需的工件,是冲压生产所需要解决的重要问题。影响金属塑性和变形抗力的因素很多,这里主要讨论金属化学成分与组织、变形温度、变形速度的影响。

(1) 化学成分与组织 在碳钢中,Fe和C是基本元素。在合金钢中,除了Fe和C以外,还包含有Si、Mn、Cr、Ni、W等合金元素。表1-4列出了几种主要元素对08钢冲压性能的影响。

表 1-4 几种主要元素对 08 钢冲压性能的影响

元 素	对 冲 压 性 能 的 影 响
C	增加 Fe_3C 的数量,提高钢板的抗拉强度和屈服强度,降低塑性,使冲压性能恶化,特别是当 Fe_3C 出现于晶界时,对冲压性能的不利影响更大
Si	溶于铁素体中,强化作用很大,增加强度,降低塑性。含量愈低愈好,深拉深钢板不能用 Si 脱氧
Mn	直接影响不大,和 S 形成 MnS 夹杂物,其数量和形态对冲压性能有影响
P	显著地增加强度和脆性,并有偏析倾向,易于形成带状组织,对冲压性能不利
S	硫化物数量、形态和分布对冲压性能有很大影响,数量多、呈细长条状分布的硫化物对冲压不利
Al	是镇静钢的最终脱氧剂,可与 N 形成氮化铝,显著降低钢板的“应变时效”倾向,容易得到“饼形”铁素体晶粒,改善冲压性能。钢中 Al 的最佳含量为 0.03%~0.05%

注:沸腾钢板平整后存放一段时间,拉伸曲线上会重新出现屈服伸长的现象,称为应变时效。

金属材料的组织状态和其化学成分有密切关系,但并不完全由化学成分所决定,它还和制造工艺(如冶炼、浇铸、锻轧、热处理)有关。由于以上原因,金属材料的组织很不相同,除

了基体金属的晶体结构存在不同以外,还有晶粒的大小以及单相组织和多相组织的差别等。这些组织上的差异对材料的塑性和变形抗力的影响也不能忽视。

如前所述,基体为面心立方晶格(Al、Cu、 γ -Fe、Ni)塑性最好;体心立方晶格(α -Fe、Cr、W、Mo)塑性次之;密排立方晶格(Mg、Zn、Cd、 α -Ti)塑性较差。

另外,晶粒的细化有利于提高金属的塑性,但也使其变形抗力提高。从冲压成形角度来看,晶粒度过小和过大都不利,等轴的或饼状的6级晶粒度比较理想。

单相组织要比多相组织塑性好,变形抗力小。这是由于合金为多相组织时,各相性能往往存在很大差别,使变形不均匀,塑性降低。若硬而脆的第二相呈网状分布于塑性相的晶界上,则整体塑性大大下降。若硬而脆的第二相呈弥散质点,均匀分布于基体相晶粒内,则阻碍晶内滑移变形,显著提高变形能力。

(2) 变形温度 变形温度对金属的塑性变形有很大影响。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。其主要原因如下:

1) 随着温度的升高,发生了回复与再结晶。回复使变形金属得到一定程度的软化,再结晶则完全消除了加工硬化效应,使金属的塑性显著提高,变形抗力显著降低。

2) 温度升高,临界剪应力降低,滑移系增加。由于温度升高,原子的热运动加强,原子间的结合力变弱,使临界剪应力降低。同时,在高温时还可能出现新的滑移系。多晶体滑移系的增加,大大提高了金属的塑性。

3) 新的塑性变形方式——热塑性的产生。温度升高时,原子的热运动加剧,晶格中的原子处于一种不稳定的状态。此时,若晶体受到外力的作用,原子就会沿着应力梯度方向,由一个平衡位置转移到另一个平衡位置(并不是沿着一定的晶面和晶向),使金属产生塑性变形,这种塑性变形方式称为热塑性。热塑性不同于滑移和孪生,它是金属在高温下塑性变形时新增加的一种变形方式,因而降低了变形抗力,增加了塑性。温度愈高,热塑性愈大。但温度低于回复温度时,热塑性的作用不显著。

4) 温度升高导致晶界的切变抗力显著降低,晶界易于滑动;又由于扩散作用的加强,及时消除了晶界滑动所引起的微裂纹。这一切使得金属在高温下具有良好的塑性和低的变形抗力。

在板料成形中,必要时可对板料加热,增加变形程度,降低变形抗力,提高制件的成形准确度,但往往对制件表面造成不利影响。

值得指出的是,金属加热软化的趋势并不是绝对的。在加热过程的某些温度区间,往往由于过剩相的析出或相变等原因出现脆性区,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滑移面上析出)使塑性降低,变形抗力增加,这个温度范围称为蓝脆区。这时钢的性能变坏,易于脆断,断口呈蓝色。在800~950℃范围内,又会出现热脆,使塑性降低。因此,选择变形温度时,碳钢应避免蓝脆区和热脆区。

总之,为了提高材料的变形程度,减小变形力,在决定变形温度时,必须根据材料的温度—力学性能曲线合理选用,充分考虑加热对材料产生的不利影响(如晶间腐蚀、氢脆、氧化、脱碳等),避免盲目性。

(3) 变形速度 所谓变形速度是指单位时间内应变的变化量,金属的变形速度在很大程度上是随塑性成形设备的加载速度变化的。变形速度对塑性变形的影响是多方面的。

一方面,在高速情况下,要驱使更多的位错更快地运动,使金属晶体的临界剪应力升高,变形抗力增加;同时,由于多晶体的塑性变形机理复杂,塑性变形的扩展需要一定的时间,难

以在瞬间完成,这也使得金属的变形抗力增加,塑性降低。另一方面,由于变形速度大,变形体吸收的变形能迅即转化为热能,使变形体温度升高,这种温度效应一般来说有使金属软化的效果。这两方面的影响在高速变形条件下,又随金属的种类和变形温度的不同而有所变化,情况十分复杂,需要具体问题具体分析。

目前,常规冲压使用的压力机工作速度较低,对金属塑性变形性能的影响不大,而考虑速度因素,主要基于零件的尺寸和形状。对于小零件的冲压工序,可不必考虑速度因素。对于大型复杂零件的成形,宜用低速。因为大尺寸复杂零件成形时,各部分的变形极不均匀,易于局部拉裂和起皱,为了便于塑性变形的扩展,有利于金属的流动,以采用低速压力机或液压机为宜。

另外,对于不锈钢、耐热合金、钛合金等对变形速度比较敏感的材料,也宜低速成形,加载速度可控制在 0.25m/s 以下。

3. 应力应变状态对金属塑性和变形抗力的影响

冲压成形时,外力通过模具作用于板料毛坯,使之产生塑性变形,同时在毛坯内部引起反抗变形的内力。在一般情况下,毛坯变形区内各处的应力和应变都不尽相同。为了了解毛坯的变形规律,就必须研究坯料内各点的应力状态和应变状态以及它们之间的关系。

(1) 点的应力状态 模具对材料施加的外力引起材料内产生内力,一极小面积上的内力 ΔF 与内力作用面积 ΔA 比值的极限称为全应力 S 。

$$S = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{dF}{dA}$$

全应力 S 可以分解成两个分量,垂直于作用面的叫做正应力,用 σ 表示;平行于作用面的叫做剪应力,用 τ 表示。

坯料内每一点上的受力情况,通常称为点的应力状态。一点的应力状态是通过在该点周围截取的微小六面体——单元体上各个互相垂直面上的应力来表示的,一般可沿坐标方向将这些应力分解成 9 个应力分量,即 3 个正应力和 6 个剪应力 [图 1-2 (a)]。但是,由于其中 3 对剪应力是相等的 ($\tau_{xy} = \tau_{yx}$, $\tau_{yz} = \tau_{zy}$, $\tau_{zx} = \tau_{xz}$),实际上只需要 6 个应力分量,即 3 个正应力和 3 个剪应力,就可以确定该点的应力状态。

必须说明的是,图 1-2 (a) 中的坐标系 x 、 y 、 z 的方向是任意的,若坐标系选取的方向不同,那么,虽然该点的应力状态没有改变,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。不过,这些属于不同坐标系的应力分量之间是可以利用一定的线性关系来换算的。这种关系符合数学上张量的特性,所以点的应力状态可以用张量表示,叫做应力张量。

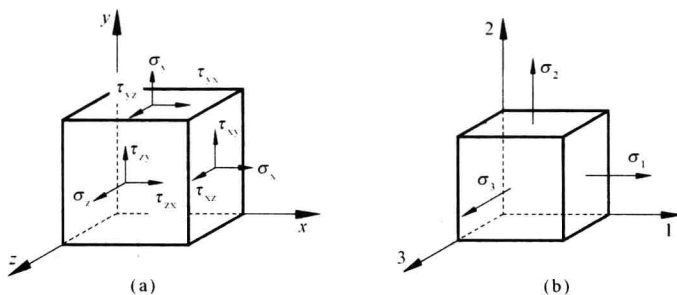


图 1-2 点的应力状态

(a) 任意坐标系; (b) 主轴坐标系

对任何一种应力状态来说,总存在这样一组坐标系,使得单元体表面上只出现正应力,而