

256

• 国家级重点教材 •

冲压工艺与模具设计

成 虹 主编



A0946325

电子科技大学出版社

内 容 提 要

本书系统讲述了冲压工艺与模具设计的基本原理、基本方法、基本经验和一些最新成果。全书共八章,主要内容是冲压变形的基本概念;冲裁、弯曲、拉深等冲压基本工序的冲压工艺与模具设计;多工位精密级进模冲压工艺与模具设计;另外还介绍了冲压工艺规程的编制、汽车覆盖零件的成形工艺及模具、简易冲压模具的结构与设计方法。

本书在编写时,以技术应用为出发点,做到理论少而精,重点突出应用能力的培养,实用性较强;内容讲述通俗易懂,由浅入深,便于自学。本书适用于高等专科学校、高等职业技术学院、工程技术学院及成人高校模具专业、机械专业使用,亦可供从事模具设计和制造的工程技术人员和自学者参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

冲压工艺与模具设计/成虹主编;徐家祥编. —成都:
电子科技大学出版社,2000. 11
ISBN 7-81065-589-2

I. 冲... II. ①成...②徐... 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(2000)第 83472 号

冲压工艺与模具设计

成 虹 徐家祥

出 版:电子科技大学出版社(成都建设北路二段四号,邮编:610054)
责任编辑:周 岚
发 行:新华书店经销
印 刷:成都市新都华兴印务公司
开 本:787×1092 1/16 印张 21 字数 504 千字
版 次:2000 年 11 月第一版
印 次:2000 年 11 月第一次印刷
书 号:ISBN 7-81065-589-2/TG·2
印 数:1-4000 册
定 价:26.00 元

出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作,根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》,我们组织各有关高等学校、中等专业学校、出版社、各专业教学指导委员会,在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上,根据当代电子信息科学技术的发展和面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的要求,编制了《1996~2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报,经各学校、出版社推荐,由各专业教学指导委员会评选,并由我部教材办协商各专指委、出版社后,审核确定的。本轮规划教材的编制,注意了将教学改革力度较大、有创新精神、特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需、尚无正式教材的选题优先列入规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时,选择了一批对学科发展具有重要意义,反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划,以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验,这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足,希望使用教材的学校、教师、同学和广大读者积极提出批评和建议,以不断提高教材的编写、出版质量,共同为电子信息类专业教材建设服务。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材按电子工业部的《1996~2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》，由电子机械专业教学指导委员会编审、推荐出版。本教材被国家教育部列为“九五”国家重点规划教材。本教材由成都电子机械高等专科学校成虹担任主编，主审卢险峰教授(南昌大学)，责任编辑丁振明。

本教材的参考学时数为 100 学时。其主要特色是在阐明冲压工艺的基础上，详细叙述了正确设计冲压工艺和冲压模具结构的基本方法。客观地分析冲压工艺、冲模结构、冲压设备、冲压材料、冲压件质量和冲压件经济性的关系。主要介绍了冲裁工艺及冲裁模具设计、弯曲工艺及弯曲模具设计、拉深工艺及拉深模具设计；并根据冲压技术的发展，在传统内容的基础上增加了多工位精密级进模的设计与制造；适当地引入了汽车覆盖零件的成形方法。全书在内容上，各章相互独立又相互联系；语言上，简明精练通俗易懂；技术上，既有理论分析又结合生产实际选编了各种典型结构，加强了实用性。

本教材由成虹编写第一、二、三、五、六、七章；徐家祥编写第四、八章。本书除请卢险峰教授主审外，还经李学锋(成都航空职业技术学院)认真审阅，焦根昌为本书的出版做了许多工作，在此表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

2000 年 6 月

目 录

绪 论	1
第一章 冲压变形的基本原理	5
第一节 金属塑性变形的基本概念	5
第二节 金属塑性变形的力学基础	10
第三节 冲压成形时变形毛坯的力学特点与分类	19
第四节 板料冲压成形性能及冲压材料	25
习题与思考题一	34
第二章 冲裁工艺及冲裁模设计	35
第一节 冲裁变形分析	36
第二节 冲裁模具间隙	40
第三节 凸模与凹模刃口尺寸的计算	45
第四节 冲裁力和压力中心的计算	49
第五节 排样设计	52
第六节 冲裁工艺设计	57
第七节 冲裁模的结构设计	66
第八节 冲裁模主要零部件的结构设计与标准选用	74
第九节 精密冲裁工艺与模具简介	90
习题与思考题二	107
第三章 弯曲工艺与弯曲模具设计	109
第一节 弯曲变形分析	109
第二节 弯曲件的弹性回跳	114
第三节 弯曲成形工艺设计	118
第四节 弯曲模的典型结构	128
第五节 弯曲模主要工作零件结构参数的确定	135
习题与思考题三	138
第四章 拉深工艺与拉深模具设计	140
第一节 拉深变形过程分析	141
第二节 直壁旋转体零件拉深工艺设计	149
第三节 非直壁旋转体零件拉深成形特点	165
第四节 盒形件拉深	171
第五节 拉深成形模具设计	178

第六节 拉深工艺设计.....	189
第七节 其它拉深法.....	196
习题与思考题四.....	200
第五章 其它成形工艺及模具设计	202
第一节 缩 口.....	202
第二节 翻 边.....	206
第三节 胀 形.....	211
第四节 大型覆盖零件的成形.....	217
习题与思考题五.....	230
第六章 冲压工艺规程的编制.....	232
第一节 冲压工艺规程编制的主要内容和步骤.....	232
第二节 编制冷冲压工艺规程的实例.....	239
习题与思考题六.....	243
第七章 多工位精密自动级进模设计	244
第一节 概 述.....	244
第二节 多工位精密级进模的排样设计.....	245
第三节 多工位精密级进模主要零部件的设计.....	254
第四节 多工位精密级进模的安全保护.....	272
第五节 多工位精密级进模自动送料装置.....	277
第六节 多工位精密级进模的典型结构.....	286
习题与思考题七.....	298
第八章 特种冲压模具设计	300
第一节 锌基合金模具.....	300
第二节 聚氨脂橡胶模.....	305
第三节 通用冲模和组合冲模.....	310
习题与思考题八.....	314
附 录	315
附录 A 冲压常用材料的性能和规格.....	315
附录 B 几种主要冲压设备的规格.....	319
附录 C 金属冲压件未注公差尺寸的极限偏差	321
附录 D 冲压模零件常用公差、配合及表面粗糙度	322
附录 E 中外主要模具用材料对照表.....	323
参考文献	325

绪 论

冲压加工是利用安装在压力机上的模具,对在模具里的板料施加变形力,使板料在模具里产生变形,从而获得一定形状、尺寸和性能的产品零件的生产技术。由于冲压加工经常在材料的冷状态下进行,因此也称冷冲压。冷冲压是金属压力加工方法之一,它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专用工具。

一、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,与其它加工方法相比,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,所以质量稳定,互换性好。
- (2)由于利用模具加工,所以可获得其它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)对于普通压力机每分钟可生产几十件,而高速压力机每分钟可生产几百上千件。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、日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的小零件,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。

二、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 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,并转化成所要求制件形状,如表 2 所示。

三、冲压技术的发展

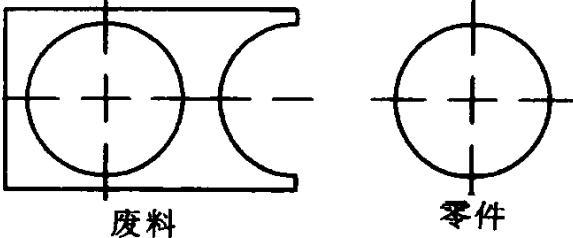
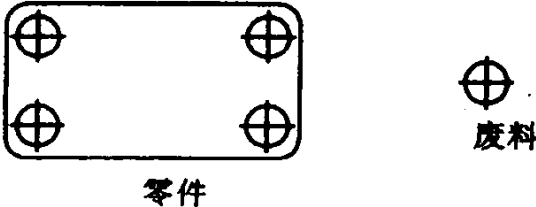
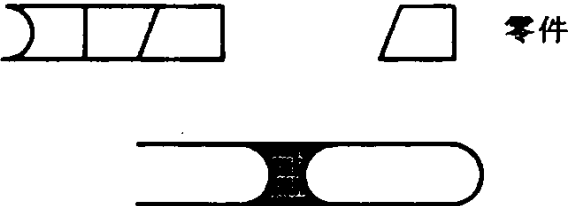
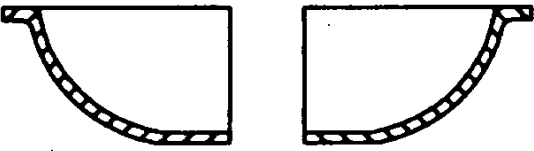
随着科学技术的不断进步和工业生产的迅速发展,冲压工艺和冲模技术也在不断地革新和发展。冲压加工技术在 21 世纪发展方向和动向,主要有以下几个方面:

(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/CAE/CAM 一体化。

(3)冲压生产的自动化。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

表 1 分离工序

工序名称	简 图	特点及应用范围
落 料		用冲模沿封闭轮廓曲线冲切,冲下部分是零件,用于制造各种形状的平板零件
冲 孔		用冲模沿封闭轮廓曲线冲切,冲下部分是废料
切 断		用剪刀或冲模沿不封闭曲线切断,多用于加工形状简单的平板零件
切 边		将成形零件的边缘修切整齐或切成一定形状
剖 切		把冲压加工后的半成品切开成为两个或数个零件,多用于不对称零件的成双或成组冲压成形之后

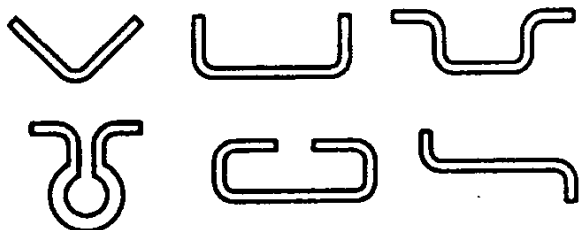
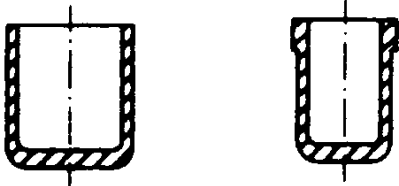
展。现已经实现了利用高速冲床和多工位精密级进模实现单机自动,冲压的速度可达每分钟几百上千次。大型零件的生产已实现了多机联合生产线,从板料的送进到冲压加工、最后检验可全由计算机控制,极大地减轻了工人的劳动强度,提高了生产率。目前已逐渐向无人化生产形成的柔性冲压加工中心发展。

(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。

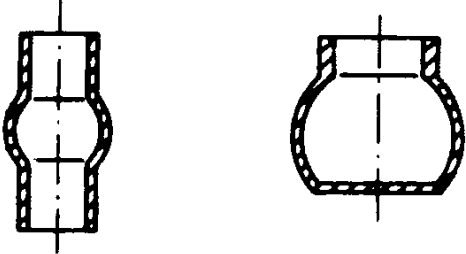
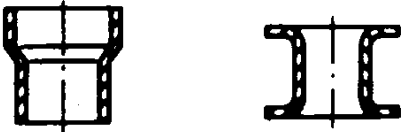
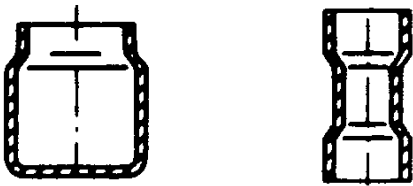
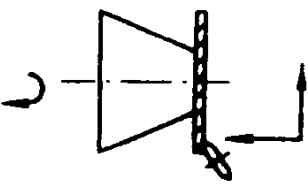
(5)推广和发展冲压新工艺和新技术。如精密冲裁、液压拉深、电磁成形、超塑性成形等。

(6)与材料科学结合,不断改进板料性能,以提高其成形能力和使用效果。

表 2 成形工序

工序名称	简 图	特点及应用范围
弯 曲		把板材沿直线弯成各种形状,可以加工形状较复杂的零件
卷 圆		把板材端部卷成接近封闭的圆头,用以加工类似铰链的零件
扭 曲		把冲裁后的半成品扭转成一定角度
拉 深		把板材毛坯成形制成各种空心的零件
变薄拉深		把拉深加工后的空心半成品进一步加工成为底部厚度大于侧壁厚度的零件
翻 孔		在预先冲孔的板材半成品上或未经冲孔的板料冲制成竖立的边缘
翻 边		把板材半成品的边缘按曲线或圆弧形成竖立的边缘
拉 弯		在拉力与弯矩共同作用下实现弯曲变形,可得精度较好的零件

续表 2

工序名称	简 图	特点及应用范围
胀 形		在双向拉应力作用下实现的变形,可以成形各种空间曲面形状的零件
起 伏		在板材毛坯或零件的表面上用局部成形的方法制成各种形状的突起与凹陷
扩 口		在空心毛坯或管状毛坯的某个部位上使其径向尺寸扩大的变形方法
缩 口		在空心毛坯或管状毛坯的某个部位上使其径向尺寸减小的变形方法
旋 压		在旋转状态下用辊轮使毛坯逐步变形的的方法
校 形		为了提高已成形零件的尺寸精度或获得较小的圆角半径而采用的成形方法

冲压工艺及模具设计是属应用技术科学,是一门实践性很强的课程。对初学者来说,应首先对冲压生产现场有初步感性知识,才能在学习时联系生产实际,容易引起兴趣和加深理解。通过本课程的学习和课程设计的练习,将使学生初步掌握分析、制订冲压工艺方案和设计冲压模具的方法,具有设计较为复杂的冲压工艺及模具的能力。

第一章 冲压变形的基本原理

第一节 金属塑性变形的基本概念

冲压成形是以金属板料为加工对象,在外力作用下使其发生塑性变形或分离而成形为制件的一种金属加工方法。要掌握冲压成形加工技术,首先必须了解金属的塑性变形和塑性。

一、塑性变形的物理概念

在金属材料中,原子之间作用着相当大的力,足以抵抗重力的作用,所以在没有其它外力作用的条件下,物体将保持自有的形状和尺寸。当金属受到外力作用之后,物体的形状和尺寸将发生变化即变形,变形的实质就是原子间的距离产生变化。

假如作用于物体的外力去除后,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去除后,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。

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,或在变形体中局部区域不破坏的条件下进行的(即连续性不破坏)。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。

二、塑性变形的基本形式

金属塑性变形过程非常复杂,原子离开平衡位置而产生的变形,主要有滑移和孪动两种形式。

(一)滑 移

当作用在晶体上的剪切应力达到一定数值后,晶体一部分沿一定的晶面和晶向相对另一部分产生滑移。这一晶面和晶向称为滑移面和滑移方向。如图 1-1 所示为晶格滑移的示意图。

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。各种晶格,其滑移面与滑移方向的数量如图 1-2 与表 1-1 所示。

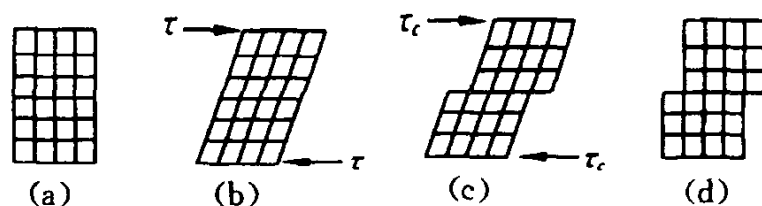


图 1-1 晶格的滑移过程

(a)滑移前 (b)弹性变形 (c)弹性+塑性变形 (d)塑性变形

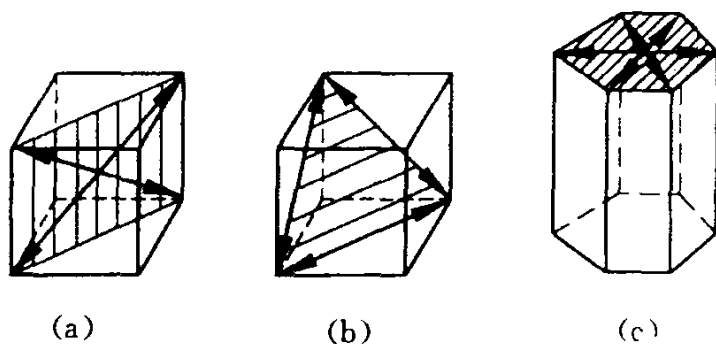


图 1-2 各种晶格的滑移面与滑移方向

(a)体心立方晶格 (b)面心立方晶格 (c)密排六方晶格

表 1-1 常见金属晶格结构及其滑移系

晶格种类	滑移面的数量	滑移方向的数量	滑移系总数
体心立方晶格	6	2	$6 \times 2 = 12$
面心立方晶格	4	3	$4 \times 3 = 12$
密排六方晶格	1	3	$1 \times 3 = 3$

(二) 孪 动

孪动也是在一定的剪应力作用下,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,与未变形部分以孪动面对称,如图 1-3 所示。

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方式,主要是滑移的作用;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,晶体方发生孪动。

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由多个晶粒组成的集合体,即多晶体。多晶体的变形基本形式仍是滑移和孪动,但在变形过程中,多晶体变形受到晶粒位向的影响和晶界的阻碍,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。当多晶体变形时所受的应力状态为压应力时,增加了

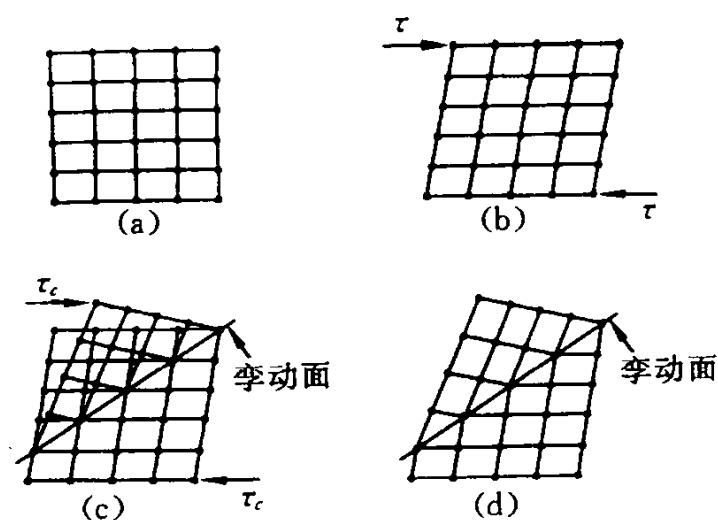


图 1-3 单晶体的滑移过程

(a)滑移前 (b)弹性变形 (c)滑移发生 (d)永久变形

晶间变位困难,使脆性材料的晶内变形发生,结果增加了脆性材料的可塑性。

三、金属的塑性与变形抗力

塑性成形是以塑性为依据,在外力的作用下进行的。从成形工艺的角度,人们总是希望变形金属具有较高的塑性和低的变形抗力。下面就塑性和变形抗力的概念作一简要介绍。

(一) 塑性

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,也会表现不同的塑性。例如,在通常情况下,铅具有极好的塑性,但在三向等拉应力的作用下,却像脆性材料一样地破坏,而不产生任何塑性变形。反之,极脆的大理石,在三向压应力作用下,有可能产生较大的塑性变形。

塑性指标是衡量金属在一定条件下塑性高低的数量指标。它是以材料开始破坏时的塑性变形量来表示,它可借助于各种实验方法测定。

常用的塑性指标,是拉伸试验所得的延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 。它们的定义分别为

$$\delta = \frac{L_k - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-1)$$

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中, L_0 、 F_0 分别为拉伸试样原始标距长度(mm)和原始横截面积(mm^2), L_k 、 F_k 分别为试样断裂后标距长度(mm)和断裂处最小横截面积(mm^2)。

除了拉伸试验外,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)和墩粗试验(测定材料锻造时的塑性变形能力)等。需要指出,各种试验方法都是相对于特定的状况和变形条件下,承受的塑性变形能力。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。

(二) 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。只有在单向均匀拉伸(或压缩)时,它才等于所考虑材料在一定变形温度、变形速度和变形程度下的流动应力。

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。

四、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,一是变形金属本身的晶格类型、化学成分和金相组织等内部性质;其二是变形时的外部条件,如变形温度、变形速度和变形形式等。

(一)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有硅、锰、铬、镍、钨等。在各类钢中还含有些杂质,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。渗碳体对基体的塑性变形起阻碍作用,降低塑性,抗力提高。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(α -Fe 和 γ -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,造成组织的多相性等,这些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的现象。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粒的数目要多,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、浇铸、锻轧、热处理等都影响着金属的塑性和变形抗力。

(二)变形温度对塑性和变形抗力的影响

变形温度对金属和合金的塑性有很大的影响。就多数金属和合金而言,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,使临界剪应力降低。温度升高,不同滑移系的临界剪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。在高温下,热塑性作用大为增加,使金属的塑性提高,变形抗力降低。但在回复温度以下,热塑性对金属变形的作用不明显。

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。

由于金属和合金的种类繁多,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)。碳钢的延伸率 δ 和抗拉强度 σ 与温度 T 的关系如图1-4所示。

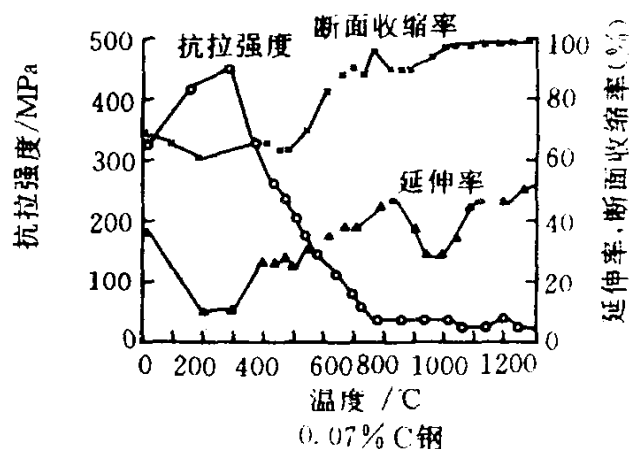


图 1-4 碳钢拉伸特性随温度的变化

(三)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内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。变形速度对塑性变形的影响是多方面的。

一方面,变形速度大时,要同时驱使更多的位错更快地运动,金属晶体的临界剪应力将提高,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。根据虎克定律,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。

另一方面,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。

目前,常规的冲压设备工作速度都比较低,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,速度主要从生产效率来考虑。

第二节 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

$$\sigma = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F} = \frac{dP}{dF} \quad (1-3)$$

式中, ΔP 为极小面积 ΔF 上的总内力,应力的单位用 MPa 计量。

在金属塑性变形过程中,力以不同的方向作用于金属,并产生复杂的应力应变状态。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工件内的应力应变状态十分重要。

一、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。毛坯内每一点受力情况,称为一点的应力状态。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。

(一) 一点的应力状态

设 P 为受力物体中任意一点。围绕 P 用微分面切取一个正六面体,其棱边分别与三坐标轴平行,并处于平衡状态。作用在各微分面上的力沿坐标轴分解为三个分量,并分别除以所作用的微分面积,就可确定各微分面上的三个应力分量:一个正应力和两个剪应力。三个微分面上共有九个应力分量,如图 1-5 所示。因此,一点的应力状态可用九个应力分量(三个正应力,六个剪应力)来表示。由于单元体处于静力平衡状态,根据剪应力互等定理,其中三对剪应力是相等的($\tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}, \tau_{zx} = \tau_{xz}$)。实际上只需要六个应力分量,即三个正应力和三个剪应力就可确定该点的应力状态。

必须指出,图 1-5(a)中的坐标系 x, y, z 的方向是任意的,如果坐标系统选取的方向不

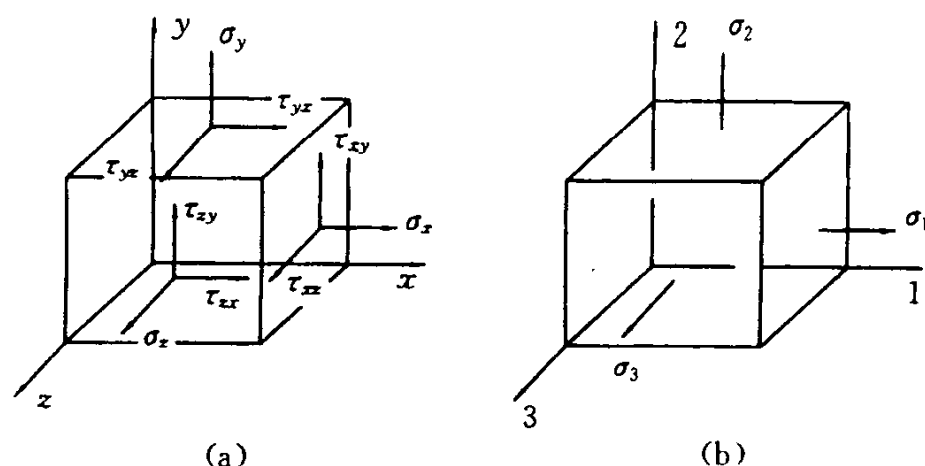


图 1-5 一点的应力状态

(a)任意坐标系 (b)主轴坐标系

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九个应力分量就会与原来的数值不同。不过,对任何一种应力状态来说,总存在这样一组坐标系,使得微元体表面只有正应力,剪应力为零,如图 1-5(b)所示。这种情况的正应力称为主应力,主应力所作用的面和作用的方向分别称为主平面和主方向。主应力一般按代数数值的大小依次用 σ_1 、 σ_2 和 σ_3 表示,即 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ 。带正号为拉应力,带负号为压应力。

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。主应力状态图共有九种,如图 1-6 所示。主应力状态图虽然只有九种,但主应力的数值可以是任意的。

在一般情况下,微元体的三个主方向都有应力,这种应力状态称为三向应力状态。但在板料成形时,厚度方向的应力与其它两个方向的应力比较,往往可以忽略不计,因而,可以把厚向应力看作零,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的计算简单,这就为研究板料冲压成形问题提供了方便。

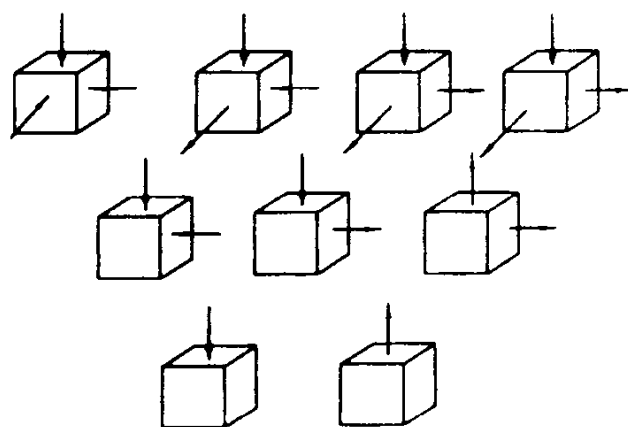


图 1-6 九种主应力图

如果三个主应力大小都相等,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。静水压力的大小对极限塑性应变值有很大的影响,静水压力越大,金属材料能充分发挥其塑性。

单元体上三个正应力的平均值称为平均应力,用 σ_m 表示。平均应力的大小取决于该点的应力状态,而与坐标轴的选取无关,即