

高等院校模具课系列教材

冲压工艺 模具设计

主编 ◆ 王桂英 主审 ◆ 刘全坤

CHONGYA GONGYI
YU MOJU SHEJI



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

高等院校模具课系列教材

冲压工艺与模具设计

主 编 王桂英

副主编 贾全义 王春香 张桂侠

参 编 俞 蓓 潘祖聪

主 审 刘全坤

合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

冲压工艺与模具设计/王桂英主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2010.9

ISBN 978-7-5650-0273-1

I. ①冲… II. ①王… 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 173260 号

冲压工艺与模具设计

主编 王桂英

责任编辑 汤礼广

出版 合肥工业大学出版社

地址 合肥市屯溪路 193 号

邮编 230009

电话 总编室:0551-2903038

发行部:0551-2903198

网 址 www.hfutpress.com.cn

E-mail press@hfutpress.com.cn

版 次 2010 年 9 月第 1 版

印 次 2010 年 9 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 21

字 数 482 千字

印 刷 安徽江淮印务有限责任公司

发 行 全国新华书店

ISBN 978-7-5650-0273-1

定价: 36.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换

前 言

随着国民经济的迅速发展,冷冲压模具在机械制造、电子电器及日常生活中占有越来越重要的地位。冷冲压模具已经发展成为一门产业,并促进了其他行业的发展与进步。

本书是根据全国机械职业教育模具设计与制造专业教学指导编写委员会制定的“冲压模具及设备”课程基本要求,并遵循“理论联系实际,体现应用性、实用性、综合性和先进性,激发创新”的原则,在总结近几年模具专业教改经验及生产实践的基础上编写的。本书的主要特点有:

(1)根据社会对从事冲压成形工艺及模具设计的工程技术应用型人才的实际要求,讲解理论以“必需、够用”为度,着眼于解决现场实际问题。同时融合相关知识为一体,突出综合素质的培养,并注意加强专业知识的广度,积极吸纳新技术、新工艺。

(2)将冲压成形原理、冲压工艺与模具设计、冲压成形设备等三门课程的内容进行了提炼和有机的融合,其中基础理论部分较全面、工艺部分简明扼要,内容编排深入浅出,语言叙述通俗易懂。

(3)各章均选编了较多的应用实例和习题,重点章节精选了在生产中得到综合应用的实例和大型连续作业,实用性和可操作性强,便于教学和自学。

本书可作为高等院校模具设计与制造专业及机械、机电类各相关专业的教材,也可供从事模具设计与制造的工程技术人员参考。

本书由安徽机电职业技术学院王桂英担任主编,合肥工业大学刘全坤教授担任主审。全书共七章。第一章由安徽国防科技职业学院张桂侠编写;第二章由安徽机电职业技术学院王春香编写;前言、第三章、第七章由安徽机电职业技术学院王桂英编写;第四章由淮南联合大学贾全义编写;第五章由安徽机电职业技术学院俞蓓编写;第六章由安徽水利水电职业技术学院潘祖聪编写。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中错误和缺点在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者



目 录

绪 论	(1)
第一章 冲压基础知识	(7)
第一节 塑性变形知识	(7)
第二节 冲压材料及其冲压成形性能	(12)
第三节 冲压设备	(14)
第二章 冲裁工艺及模具设计	(24)
第一节 冲裁变形过程及质量分析	(24)
第二节 冲裁间隙	(27)
第三节 冲裁模刃口尺寸的计算	(34)
第四节 冲裁件的工艺性	(41)
第五节 排样	(44)
第六节 冲压力与压力中心的确定	(52)
第七节 冲裁模分类及典型结构分析	(59)
第八节 冲裁模主要零部件设计与选用	(74)
第九节 精密冲裁简介	(109)
第十节 其他冲裁模	(122)
第十一节 冲裁模设计步骤及实例	(132)
第三章 弯曲工艺及模具设计	(145)
第一节 弯曲变形过程分析	(146)
第二节 弯曲件的质量问题及控制	(149)
第三节 弯曲件的坯料尺寸计算	(161)
第四节 弯曲力的计算	(163)
第五节 弯曲件工艺性及工序安排	(166)
第六节 弯曲模设计	(171)
第七节 弯曲模设计步骤及实例	(185)



第四章 拉深工艺及模具设计	(192)
第一节 拉深工艺及质量分析	(192)
第二节 拉深件的工艺性	(197)
第三节 旋转体拉深件坯料尺寸的确定	(198)
第四节 圆筒形拉深件的拉深工艺计算	(202)
第五节 其他形状零件的拉深	(206)
第六节 拉深力、压边力的计算与压力机的选用	(222)
第七节 拉深模设计	(227)
第八节 拉深的辅助工序	(233)
第九节 其他拉深方法简介	(236)
第十节 拉深模设计步骤及实例	(240)
第五章 其他成形方法	(246)
第一节 胀形	(246)
第二节 翻孔与翻边	(256)
第三节 缩口	(267)
第四节 旋压	(272)
第五节 校平与整形	(276)
第六节 冷挤压	(280)
第六章 冲压模具的寿命、材料及安全措施	(288)
第一节 冲压模具寿命	(288)
第二节 冲压模具材料	(297)
第三节 冲压操作的安全措施	(301)
第七章 冲压工艺过程的制订	(304)
第一节 冲压工艺过程制订的步骤及方法	(304)
第二节 冲压工艺过程制订实例	(311)
本书参考文献	(330)



绪 论

【内容提要】 本章主要介绍冲压模具设计与制造的基础概念。内容涉及冲压和冲模的概念、冲压工序和冲模分类；冲压加工的特点与应用；冲压技术的现状和发展方向；学习本课程的要求和方法。

【目标要求】 了解冲压和冲模概念、冲压工序和冲模分类；掌握冲压加工的特点与应用；熟悉冲压技术的现状和发展方向。

一、冲压内涵

1. 冲压的概念

冲压就是在常温下,利用安装在压力机或其他相关设备上的冲压模具,对材料施加压力,使其产生塑性变形或断裂分离,从而获得一定形状、尺寸、精度零件的一种加工方法。冲压加工的对象一般是板料,所以,冲压又叫做板料冲压;又由于冲压是在常温下进行的,所以又称冷冲压。冲压不仅可以加工金属板料,而且还可以加工非金属板料。

冲压模具是实现冲压生产的工艺装备,是一种专用工具。

要实现冲压加工,一般要具备三个条件,简称冲压三要素。冲压加工的三要素是:合理的冲压工艺、先进的模具和高效的冲压设备。冲压加工的三要素是决定冲压质量、精度和生产效率的关键因素,三者之间是不可分割的,先进的模具只有配备先进的压力机和优质的材料,才能充分发挥作用,做出一流产品,取得高的经济效益。

冲压生产在电子产品、汽车、仪器仪表、家用电器、生活用品等行业应用非常广泛。

2. 冲压工序的分类

冲压工序按其变形性质可以分为分离工序与成形工序两大类,每一类中又包括许多不同的工序,见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 分离工序

工序名称	工序简图	特点及应用范围
落料		将材料沿封闭轮廓分离,被分离下来的部分大多是平板形的工件或工序件
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



(续表)

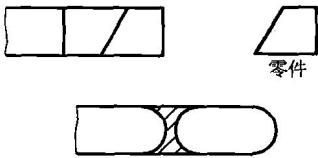
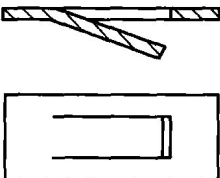
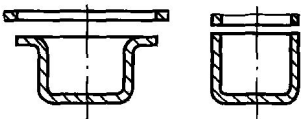
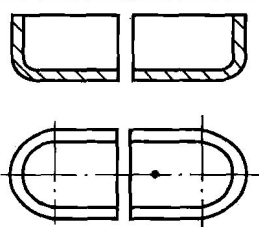
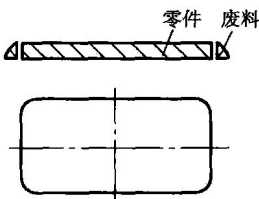
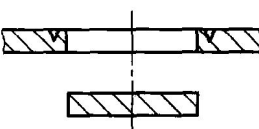
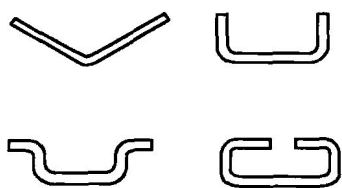
工序名称	工序简图	特点及应用范围
切断	 零件	将材料沿敞开轮廓分离,被分离的材料成为工件或工序件
切舌		将材料沿敞开轮廓局部而不是完全分离,并使被局部分离的部分达到工件所要求的一定位置,不再位于分离前所处的平面上
切边		利用冲模修切成形工序件的边缘,使之具有一定直径,一定高度或一定形状
剖切		用剖切模将成形工序件一分为几,主要用于不对称零件的成双或成组冲压成形之后的分离
整修	 零件 废料	沿外形或内形轮廓切去少量材料,从而降低断面粗糙度,提高断面垂直度和工件尺寸精度
精冲		用精冲模冲出尺寸精度高,断面光洁且垂直的零件

表 1-2 成形工序

工序名称	工序简图	特点及应用范围
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



(续表)

工序名称	工序简图	特点及应用范围
卷 边		将工序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,或把开口空心工序件进一步改变形状和尺寸成为开口空心件
变薄拉深		将拉深后的空心工序件进一步拉深,使其侧壁减薄,高度增大,以获得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
卷 缘		将空心件上口边缘卷成接近封闭圆形,用于加工类似牙杯的零件
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



(续表)

工序名称	工序简图	特点及应用范围
起伏		依靠材料的伸长变形使工序件形成局部凹陷或凸起
扩口		将空心工序件或管状件敞开处向外扩张,形成口部直径较大的零件
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
校平整形		校平是将有拱弯或翘曲的平板形零件压平,以提高其平直度;整形是依靠材料的局部变形,少量改变工序件形状和尺寸,以保证工件的精度
旋压		用旋轮使在旋转状态下的坯料逐步成形为各种旋转体空心件

分离工序是指冲压成形时,变形材料内部的应力超过强度极限 σ_b ,使材料产生断裂而产生分离,从而成形零件。分离工序主要有冲裁和剪裁等。

成形工序是指冲压成形时,变形材料内部应力超过屈服极限 σ_s ,但未达到强度极限 σ_b ,使材料产生塑性变形,从而成形零件。成形工序主要有弯曲、拉深、翻边等。

上述两类工序是冲压生产的基本工序,在实际生产中,仅靠这些基本工序,往往是不能满足生产需要的,要把两个或两个以上的独立基本工序组合起来灵活运用,进行设计。

二、冲压加工的特点与应用

1. 特点

冲压加工是依靠压力机和模具完成加工的,与切削加工、铸造加工等加工方法相比较,



有很多优点而应用广泛。冲压生产过程的主要特点如下:

- (1) 依靠冲模和冲压设备完成加工,便于实现自动化,生产率很高,操作简便。
- (2) 冲压所获得的零件一般无需进行切削加工,故节省能源和原材料。
- (3) 冲件的尺寸公差由冲模保证,故冲压产品尺寸稳定,互换性好。
- (4) 冲压件在成形过程中发生了塑性变形,所以制件的强度高、刚度好。
- (5) 冲压加工可以加工形状复杂的零件。
- (6) 冲压模具制造精度要求高、制造复杂、周期长、制造费用昂贵,小批量生产受到限制。

2. 应用

全世界的钢材中,有 60%~70% 是板材,其中大部分是经过冲压制成的成品。汽车、农机的车身、底盘、油箱、散热器片等 75%~80% 是冲压件。在电子产品中接线端子、引线框架、插头弹片等 80%~85% 是冲压件。机电产品中的电机、电器的铁芯硅钢片等都是冲压加工的。另外在仪器仪表、家用电器、自行车、办公机械、生活器皿、钟表等产品中,也都有大量冲压件。冲压加工范围大到汽车的纵梁、覆盖件,小到钟表的秒针。

目前全世界模具年产值约为 600~650 亿美元,日、美等工业发达国家的模具工业产值已超过机床工业,我国模具工业产值也接近了机床工业产值。在模具工业的总产值中,冲压模具约占 40%~50%。

三、我国冲压技术的现状和发展方向

1. 冲压技术现状

目前,我国模具在寿命、效率、加工精度、生产周期等方面与先进工业发达国家的模具相比差距都相当大。主要原因是我国的冲压基础理论及成形工艺落后、模具标准化程度低、模具设计方法和手段与模具制造技术落后、模具专业化水平低等。

2. 冲压技术发展方向

我国的模具工业已初具规模,取得了很大的成就。到目前为止,我国已经制定了模具国家标准 50 多项,近 300 多个标准号。许多研究机构和大专院校都在进行模具技术的开发和研究工作,并取得了一大批科研成果。在模具 CAD/CAM/CAE 技术、模具的电加工和数控技术、快速成形与快速制模技术、新型模具材料等方面取得了显著进步;在提高模具质量和缩短模具制造周期等方面也有很大的进展。在模具结构、精度和寿命方面,目前,我国已经可以制造具有自动冲切、叠压、铆合、计数、分组和安全保护等多功能的模具,生产的硬质合金级进模的步距精度可达 $2\mu\text{m}$,寿命达到 1 亿次以上。

随着我国计算机技术和制造技术的迅速发展,冲压模具设计与制造技术正由手工设计、依靠人的经验和常规机械加工技术转向以计算机辅助设计(CAD/三维软件)、数控加工(CNC)的计算机辅助设计与制造(三维造型/CAM)技术转变。目前,CAD/CAE/CAM、UG、Pro/E、SolidWorks、SolidCAM 等软件,在我国模具工业中的应用已经相当广泛。

虽然我国的模具工业和技术在过去的十多年得到了快速发展,但未来中国模具工业和技术仍须大力发展和改进,主要发展方向包括:

(1) 全面推广应用 CAD/CAM/CAE 技术。由于产品的更新换代日趋频繁,产品精度越来越高,形状千奇百怪,对模具的要求也越来越高。实践证明,模具 CAD/CAM/CAE 技术能够最大限度地满足产品对模具的要求。

(2) 不断提高模具的标准化程度。为了适应模具生产的需要,缩短模具制造周期,降低



模具制造成本,模具标准化工作十分重要。

(3)模具制造技术的高效、快速、精密化。随着模具制造技术的发展,许多新的加工技术、加工设备不断出现,模具制造手段越来越丰富,越来越先进。

(4)逆向工程技术。采用逆向工程技术,可以快速、准确地把复杂的实物复制出来,同时,通过实物进行复制来制造模具。这样就大大缩短了模具的研制制造周期。

(5)模具生产的自动化、智能化。缩短模具的制造周期,提高模具的制造精度,进行自动化、智能化生产是模具加工的必然趋势。

四、课程学习要求和学习方法

学生学完“冲压工艺与模具设计”课程之后,应初步掌握冷冲压成形的基本原理;掌握冲压工艺过程设计和模具设计的基本方法;具有设计一般复杂程度冲压件的工艺过程和一般复杂程度模具的能力;能够运用已学习的基本知识,分析和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和设计一般的自动送料和自动出件装置;了解冲压成形新工艺、新模具及其发展动向。

由于冲压工艺与模具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知识。



第一章 冲压基础知识

【内容提要】 本章主要介绍冲压模具设计与制造的基础知识。内容涉及冲压成形基本原理和规律;冲压成形性能及常见冲压材料;常见冲压设备及工作原理、选用原则。

【目标要求】 掌握材料塑性变形时应力应变关系、体积不变条件、硬化规律、卸载弹性恢复规律和反载软化现象等冲压成形基本规律;了解冲压成形性能与机械性能关系,认识常见冲压材料;认识常见冲压设备,掌握选用冲压设备的原则。

第一节 塑性变形知识

一、主应力和主应变

1. 主应力

物体的变形都是施加于物体的外力所引起的内力或由内力直接作用的结果。作用在物体单位面积上的内力叫作应力。物体内每一点上的受力情况,称为点的应力状态。由于施加于物体的外力的作用状况、物体的尺寸千差万别,物体各点的应力与应变也各不相同。

为了研究物体内每一点的受力情况,假想把物体切成无数个极其微小的六面体,称为单元体。一个单元体可以代表物体的一个质点。再根据单元体的平衡条件列出平衡微分方程,然后考虑其必要的条件设法求解。在变形物体上的任意点取一个单元体(如图 1-1a 所示),取单元体的六个相互垂直的表面作为微分面(其上有着大小不同、方向不同的全应力)设为 S_x, S_y, S_z 。其中每一个全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(如图 1-1b 所示)。如果这三个微分面上的应力为已知,则该单元体任意方向上的应力都可以通过静力平衡方程求得。因此,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,只需知道九个应力分量即可。又由于所取单元体处于平衡状态,故绕单元体各轴的合力矩必须等于零,即

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

为了保持单元体的平衡,切应力总是成对出现,它们大小相等,分别作用在两个相互正交的微分面内,其方向共同指向或背离两微分面的交线。因此,为了表示一点的应力状态,实际上只需要知道六个分量:三个正应力和三个切应力。

任何一种应力状态总存在这样一组坐标系,使单元体各表面上只出现正应力而不出现切应力,如图 1-1c 所示,则该坐标系中的正应力即为主应力,一般按其代数值大小依次用 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 表示,且 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$;带正号的主应力表示拉应力,带负号的主应力表示压应力。

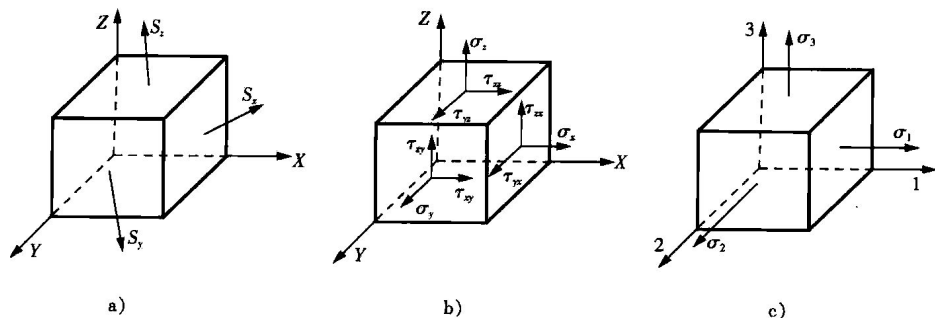


图 1-1 点的应力状态

对于任意一点的应力状态,一定有(也只有)一组相互垂直的三个主应力,在三个主应力中,如果有两个为零,则该点的应力状态为单向应力状态;如果有一个为零,则该点的应力状态为两向应力状态,又称为平面应力状态;如果三个主应力均不为零,则该点的应力状态为三向应力状态。

以主应力表示的应力状态称为主应力状态,以主应力表示其应力个数及其符号的简图称为主应力状态图。可能出现的主应力状态图共有九种(如图 1-2 所示)。

2. 主应变

根据塑性变形的特点可知,塑性变形时物体的体积不发生变化。所以,塑性变形时,在三向主应力状态下,产生的主应变状态图只可能有三类:①具有一个正应变及两个负应变;②具有一个负应变及两个正应变;③一个主应变为零,另外两个应变值大小相等符号相反(如图 1-3 所示)。

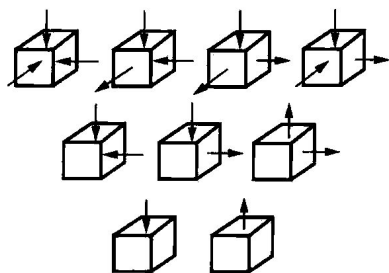


图 1-2 主应力图

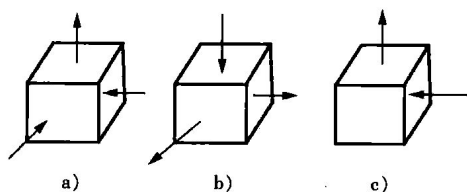


图 1-3 主应变图

二、塑性的知识

1. 塑性

塑性是指固体材料在外力作用下发生塑性变形,而不破坏其完整性的能力。塑性不仅取决于变形物体的种类,而且与变形方式(应力和应变状态)和变形条件(变形温度和变形速度)有关。

2. 塑性变形

塑性变形的物理概念是在外力作用下,金属产生形状与尺寸的变化称为变形,它分为弹性变形和塑性变形。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,原子排列畸变消失和金属完全恢复了自己的原始形状和尺寸,则这样的变形称为弹性变形。假若除



去外力,金属的形状和尺寸都发生了永久改变。这种在外力作用下产生不可恢复的永久变形称为塑性变形。

塑性变形的特点:

(1)塑性变形遵守最小阻力定律。最小阻力定律——在塑性变形过程中,外力破坏了金属的整体而强制金属发生流动,当金属有几个质点或每个质点有几个移动方向的可能时,它总是在阻力最小的地方且沿阻力最小的方向移动(弱区先变形)。

(2)塑性变形的同时,伴随有弹性变形。当外力去除后,弹性变形进行弹性回复。

(3)物体在发生塑性变形的前后,体积不发生变化。

(4)塑性变形是不可逆的。

3. 塑性指标

为了衡量金属塑性的高低,需要一种数量上的指标来表示,即塑性指标。塑性指标是以金属材料开始破坏时的塑性变形量来表示,并可以通过各种试验方法求得,各种试验方法都有其特定的受力状况和变形条件,所以塑性指标仅具有相对的意义。常用的塑性指标有伸长率和断面收缩率。伸长率与断面收缩率越高,则金属塑性越好。

4. 变形抗力

变形金属抵抗塑性变形的力称为变形抗力。变形抗力提高,意味着要使金属产生塑性变形必须要加大外力。变形抗力反映了使材料产生变形的难易程度。变形抗力和变形力数值相等,方向相反,一般以作用在金属和工具接触面上的平均单位面积上的变形力表示其大小。

影响金属变形抗力的主要因素:

(1)化学成分的影响。纯度越高,变形抗力越小。不同牌号的合金,组织状态不同,变形抗力值也不同。

(2)合金元素、杂质元素对变形抗力的影响。一般合金、杂质含量越高,变形抗力越大。

(3)变形温度对变形抗力的影响。温度升高,金属原子间结合力降低,变形抗力降低。

(4)变形程度对变形抗力的影响。随着变形程度的增加,只要回复和再结晶来不及发生,都会必然产生加工硬化,提高变形抗力。其提高的幅度与材料的硬化率有关。

三、影响金属塑性的因素

影响金属材料塑性变形的因素有两方面,一是金属材料本身的内部因素,如:晶格类型、化学成分和金相组织等;二是金属发生塑性变形的条件,有变形温度、变形速度和应力状态等。

1. 内部因素

多晶体金属本身的塑性受下列因素影响:晶界强度、晶粒大小、化学成分、组织均匀性以及可能发生滑移系统的数量等。一般说来,组成金属的元素越少,塑性越好;滑移系统数量越多、力学性能越一致、晶界强度越大,塑性越好。

2. 外部因素

(1)变形温度 金属材料的塑性与变形温度有着非常大的关系,不同的金属在不同的温度条件下所表现出的塑性状态也不一样。一般的规律是,随着变形温度的升高塑性会提高。

(2)应力状态 金属在塑性变形时应力状态非常复杂,应力状态对塑性的影响也很大。一般,主应力状态对塑性的影响是:压应力个数越多、数值越大,则塑性越好;相反,拉应力个数越多、数值越大,则塑性越差。主应力对金属塑性影响的排列顺序如图 1-4 所示。

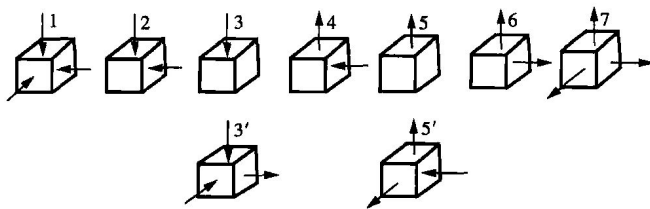


图 1-4 主应力对金属塑性影响的排列顺序

(3) 变形速度 变形速度是指单位时间内应变的变化量。变形速度对金属和合金的塑性和变形抗力的影响是一个十分复杂的问题,随着变形速度的增加,既有使金属的塑性降低和变形抗力增加的一面,又有作用相反的一面。而且不同学者的研究结果出入很大,难以提供确切的资料,一般凭生产经验而定。

(4) 尺寸因素 同一种材料在其他条件相同时,尺寸越大,组织和化学成分越不一致,杂质成分及分布越不均匀,应力分布越不均匀,塑性越差。

四、硬化现象与硬化曲线

1. 加工硬化

金属变形过程中随着塑性变形程度的增加,其变形抗力增加,硬度提高,而塑性和塑性指标降低,这种现象称为加工硬化。材料的加工硬化对塑性变形的影响很大,材料在发生加工硬化以后,不仅使所需的变形力增加,而且还限制了材料的进一步变形,甚至要在后续成形工序前增加退火工序。但加工硬化也有其有利的一面,可以利用它来提高冲压件的强度和刚度。因此,在处理冲压生产实际问题时,必须研究和掌握材料硬化和硬化规律以及它们对冲压工艺的影响,具体问题具体分析。

2. 真实应力、真实应变的概念

在材料力学中应力 σ 是用载荷 F 与试棒初始截面积 A_0 的比值来表示的,即 $\sigma = F/A_0$ 。这种应力表示方法有其不合理性,因为拉伸试验中试棒的截面积在不断减小,真正的应力应该是该瞬间的载荷与该瞬间试棒的截面积之比,这个应力称为真实应力,而前者称为名义应力。在塑性加工中由于塑性变形量很大,都应用真实应力来表示,显然,同一载荷下材料的真实应力是大于名义应力的。

3. 真实应力—应变曲线

真实应力—应变曲线又称加工硬化曲线,就是表示材料变形抗力与变形程度的关系曲线。冲压生产中常用指数曲线来表示。

$$\sigma = C\epsilon^n$$

式中: C ——与材料性能有关的系数, MPa;

n ——硬化指数。

不同的 C 和 n 值的硬化曲线如图 1-5 所示。 C 和 n 的数值取决于材料的种类和性能,也可通过拉伸试验获得。 n 值是表示材料在变形时硬化性能的重要指标。 n 值越大,表示变形过程中,材料的变形抗力随变形程度的增加而迅速增长,同时不易出现局部的集中变形和破坏,有利于增大伸长类零件成形时变形极限,所以对板料的成形性能有着



重要的影响。

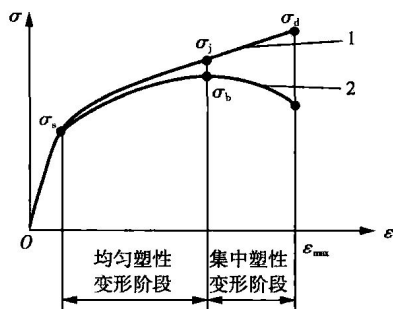


图 1-5 金属的应力—应变曲线

1—真实应力应变曲线 2—假想应力应变曲线

五、卸载规律和反载软化现象

1. 加载—卸载规律

拉伸实际应力曲线所代表的是单向拉伸加载时材料的拉应力与拉应变之间的关系。如果加载以后卸载,这时应力与应变之间的变化规律是怎样的呢?由图 1-6 可知,拉伸变形在弹性范围内,应力与应变是直线关系,在弹性变形范围内卸载,应力、应变仍然按照同一直线回到原点 O ,没有残余变形;如果将试样拉伸至超过屈服点 A ,例如到达 B 点(ϵ_B, σ_B),再逐渐减少拉力,这时应力应变的关系则沿 BC 逐渐降低,直至载荷为零,而不再沿 BAO 路线返回。卸载直线 BC 正好与加载时弹性变形的直线段相平行,于是加载时的总应变 ϵ_B 就会在卸载后一部分(ϵ_t)因弹性回复而消失,另一部分(ϵ_s)仍然保留下来成为永久变形,即 $\epsilon_B = \epsilon_t + \epsilon_s$ 。

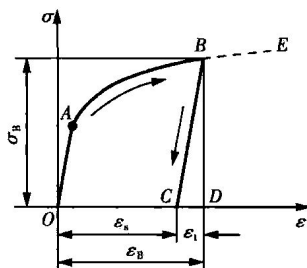


图 1-6 拉伸—卸载实际应力曲线

弹性回复的应变量为: $\epsilon_t = \frac{\sigma_B}{E}$

式中: E ——材料的弹性模量。

该式对我们考虑板料成形时的回弹很有意义。

2. 卸载—重新加载应力应变规律

卸载后重新加载,随拉力的加大,应力应变的关系将沿直线 CB 逐渐上升,到达 B 点应力 σ_B 时,材料又开始屈服;随后应力应变关系继续沿着加载曲线 BE 变化,如图 1-6 中虚线所示。所以 σ_B 又可理解为材料在变形程度为 ϵ_B 时的屈服点,进而可以认为在塑性变形阶段,实际应力曲线上每一点的应力值都可理解为材料在相应的变形程度下的屈服点。

3. 卸载—反向加载应力应变规律

卸载后反向加载,即将试样先拉伸然后改为压缩,其应力应变关系将沿曲线 $OABCA'E'$ 变化(图 1-7)。反向加载使材料屈服以后,应力应变之间基本上按照加载时的曲线规律变化。但反向加载时材料的屈服应力 σ_s' 较拉伸时的屈服应力 σ_s 有所降低,出现所谓反载软化现象。反向加载屈服应力的降低量视材料种类及正向加载的变形程度而异。关于反载软化