



教育部 高职高专 规划教材

现代模具设计

● 刘 洁 主编



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

现代模具设计

刘 洁 主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

现代模具设计/刘洁主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 5

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-7052-7

I. 现… II. 刘… III. 模具-设计-高等学校: 技术学院-教材 IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 046389 号

教育部高职高专规划教材

现代模具设计

刘 洁 主编

责任编辑: 高 钰

文字编辑: 廉 静

责任校对: 陈 静 周梦华

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社

教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 19¼ 字数 475 千字

2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7052-7

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

模具是生产中应用极为广泛的基础工艺装备。在电子电器、仪表通讯、交通运输、航空航天以及家电和轻工等行业中,60%~80%的零件都要依靠模具成形。利用模具进行生产的产品所表现出来的精度高、一致性好、效率高、消耗低等一系列优点,是其他加工方法所不能比拟的。模具生产技术的高低,已成为衡量一个国家产品制造水平的重要标志。

本书以模具设计原理为主线,对传统的教学内容和课程体系进行了重组和整合,从生产实际出发,将冲压工艺、塑料成型工艺、压铸工艺及其模具设计的内容有机结合起来;叙述上力求系统,理论的引用以能说明成形工艺的共性问题为限;内容安排上注重了工艺原理的实际应用,充实了大量现代模具设计与制造方面的先进技术,增加了与模具生产技术紧密结合的实例,以适应培养生产一线技术应用型人才的需要。

本书取材精炼,说理深入浅出,教材内容与相关实践性环节配合默契、联系紧密。

全书共分十章,主要内容有冲压工艺及模具、压铸工艺及模具、塑料成型工艺及模具三个方面的知识。其中第一章至第六章主要包括冲压成形基础知识以及冲裁、弯曲、拉深、成形等冲压工艺方案的选择、各种冲压工艺的变形分析及模具设计的基本要点。第七章至第九章主要介绍了塑料成型基础知识以及塑料模具的结构设计及计算方法,系统地介绍了注射模、压缩模、压注模以及塑料挤出成型及模具设计方法,对塑件、常用塑料及塑料成型工艺也做了详细介绍。第十章的压铸模部分扼要介绍了压铸成形工艺及压铸模具设计。

本书由刘洁主编,王德俊、赵华、段维峰任副主编,张元国、翟德梅、崔国英、孟令先任编委。本书由罗大金教授主审。各章编写的具体分工如下:第一章由段维峰编写,第二章、第九章的第二节由刘洁编写,第三章及第九章的第四节由张元国编写,第四章、第五章及第九章的第一节由赵华编写,第六章及第九章的第三节由孟令先编写,第七章及第八章的第五节由王德俊编写,第八章的第一、二、三、四、六节由崔国英编写,第十章及第八章的第七节由翟德梅编写。全书由刘洁负责统稿。

本书可供高职高专院校模具设计与制造、机械制造及自动化、机电一体化、数控技术及应用等专业师生作教材;也可供工厂企业、科研院所等有关的工程技术人员参考。

需特别说明的是,本书在编写过程中得到有关企业、科研院所、兄弟院校的大力支持和帮助,书中选用了部分图书、期刊上的论述和一些企业生产中的图、表等精彩资料,编者在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平有限,时间仓促,书中难免有错误和欠妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2005年4月

目 录

第一章 冲压模具设计基础	1
第一节 概述	1
一、冲压的概念、特点及应用	1
二、冲压的基本类型	1
三、冲压技术的发展方向	4
第二节 冲压模具设计基础	4
一、冲压成形理论基础	4
二、冲压用材料	21
三、冲压设备的选择	25
第二章 冲裁工艺及模具设计	35
第一节 概述	35
一、冲裁过程分析	35
二、冲裁力与凸模行程曲线	36
三、冲裁件的断面特征	36
四、影响冲裁件断面质量的因素	37
第二节 冲裁模具间隙	38
一、间隙对冲裁的影响	38
二、间隙值的确定	39
第三节 凸模与凹模刃口尺寸的计算	40
一、刃口尺寸计算原则	40
二、刃口尺寸计算方法	41
第四节 冲裁力和冲裁功	47
一、冲裁力的计算	47
二、影响冲裁力的因素	47
三、冲裁功的计算	48
四、冲裁过程其他力的计算	49
第五节 精密冲裁	50
一、精密冲裁的特点	50
二、精密冲裁的类型及其特征	52
第六节 冲裁模具设计	54
一、冲裁模具设计要素	55
二、冲裁模具的类型	56
三、冲裁模具结构设计	56
四、冲裁模具主要零部件的设计	67
第三章 弯曲工艺及模具设计	83

第一节 概述	83
一、弯曲变形过程	83
二、弯曲变形区的应力与应变状态	84
第二节 弯曲回弹分析	86
一、弯曲回弹现象	86
二、影响弯曲回弹的因素	86
三、减小弯曲回弹的措施	88
第三节 弯曲件精度分析	90
一、V 形件弯曲	90
二、U 形件弯曲	90
三、提高弯曲件精度的措施	91
第四节 弯曲件工艺分析	91
一、最小弯曲半径	91
二、弯曲件形状与尺寸的对称性	91
三、弯曲件的直边高度	92
四、弯曲件的孔边距离	92
五、弯曲件的工艺孔、槽及缺口	93
第五节 弯曲模设计	94
一、弯曲模设计要点	94
二、典型弯曲模结构	94
三、弯曲件的工序安排	105
四、弯曲模主要零部件工作尺寸的确定	106
第四章 拉深	110
第一节 概述	110
一、拉深变形过程	110
二、应力、应变分析	111
第二节 圆筒形零件拉深工艺及模具设计	112
一、圆筒形零件的拉深特点	112
二、拉深件的修边余量	112
三、变形程度和拉深系数	112
四、拉深次数的确定	113
五、毛坯尺寸的确定	114
六、起皱、拉裂及其防止措施	116
第三节 带凸缘圆筒形零件的拉深	117
第四节 盒形零件的拉深	119
一、变形特点	119
二、毛坯形状和尺寸的确定	120
三、盒形件初次拉深成形极限	120
第五节 其他零件的拉深方法	121
一、阶梯形件的拉深	121

二、锥形件的拉深·····	121
三、半球形件的拉深·····	122
四、抛物面零件的拉深·····	122
第六节 拉深模具设计·····	123
一、拉深模典型结构·····	123
二、拉深模压边装置·····	126
三、拉深模工作部分设计·····	128
第五章 其他成形工艺及模具设计·····	131
第一节 胀形·····	131
一、空心毛坯胀形·····	131
二、起伏成形·····	133
第二节 缩口·····	134
一、缩口与拉深的区别·····	134
二、缩口变形程度·····	135
三、缩口模具结构·····	135
第三节 翻边·····	136
一、圆孔翻边·····	136
二、外缘翻边·····	137
三、翻边模具结构设计·····	138
第四节 整形与校平·····	139
一、校平·····	139
二、整形·····	140
第五节 旋压·····	140
一、普通旋压·····	140
二、强力旋压·····	141
第六章 多工位级进模设计·····	142
第一节 概述·····	142
一、级进模的类型·····	142
二、级进模的设计要求·····	143
第二节 级进模的排样设计·····	144
一、排样设计原则·····	144
二、载体设计·····	144
三、工位设计·····	148
第三节 级进模主要零部件的设计·····	149
一、凸模·····	150
二、凹模·····	151
三、导正与定位装置·····	151
四、导向托料装置·····	154
五、卸料装置·····	154
六、限位装置·····	155

七、换向装置·····	156
八、调节机构·····	157
九、模架·····	158
十、自动送料装置·····	158
第四节 级进模的典型结构·····	162
第七章 塑料成型基础知识 ·····	168
第一节 概述·····	168
一、塑料的组成与分类·····	168
二、热塑性塑料的工艺性能·····	170
三、热固性塑料的工艺性能·····	173
第二节 塑件的工艺性·····	175
一、塑件的尺寸、公差、表面质量·····	175
二、塑件的几何形状·····	177
三、带嵌件的塑件设计·····	182
第三节 塑料模的分类和基本结构·····	184
一、塑料模的分类·····	184
二、塑料模的基本结构·····	186
第四节 塑料模分型面的选择·····	188
一、分型面的基本形式·····	188
二、分型面选择的一般原则·····	188
第八章 塑料注射成型模具设计 ·····	191
第一节 概述·····	191
第二节 塑料注射模具的分类及典型结构·····	191
一、注射模的分类·····	192
二、注射模的典型结构·····	195
第三节 浇注系统的设计·····	195
一、浇注系统的组成·····	196
二、浇注系统设计的基本原则·····	197
三、热流道浇注系统的设计·····	198
四、排气系统的设计·····	203
第四节 推出机构设计·····	204
一、推出机构的组成·····	204
二、推出机构的分类·····	204
三、推出机构的导向与复位·····	205
四、带螺纹塑件的脱模机构·····	205
第五节 抽芯机构的设计·····	207
一、斜导柱抽芯机构·····	207
二、斜滑块抽芯机构·····	215
三、其他形式的抽芯机构·····	218
第六节 模具结构及成型零件的设计·····	220

一、成型零件的结构设计·····	220
二、成型零件的主要尺寸计算·····	226
三、合模导向机构的设计·····	234
四、支撑零件的设计·····	237
第七节 热固性塑料注射模具设计·····	238
一、热固性塑料注射模结构·····	238
二、模具主要结构设计要求·····	239
三、浇注系统的设计·····	240
第九章 其他塑料成型模具设计·····	241
第一节 概述·····	241
一、压缩成型·····	241
二、压注成型·····	241
三、挤出成型·····	241
第二节 塑料压缩成型模具·····	242
一、压缩成型工艺原理·····	242
二、压缩成型工艺条件·····	242
三、压缩模的结构及类型·····	243
四、压缩成型过程及其特点·····	248
五、压缩成型模具设计·····	249
第三节 塑料压注模具·····	255
一、压注模的结构·····	256
二、压注模的类型·····	256
三、压注模结构设计·····	259
第四节 塑料挤出成型·····	263
一、塑料挤出成型模具结构·····	263
二、塑料挤出成型机头类型及设计原则·····	263
三、管材挤出成型·····	264
四、异型材的挤出成型·····	265
第十章 压铸工艺与模具设计·····	267
第一节 概述·····	267
一、压铸的应用·····	267
二、压铸成形的特点·····	267
第二节 压铸模具设计·····	268
一、压铸模的基本结构与设计原则·····	268
二、分型面的选择·····	270
三、浇注系统设计·····	274
四、排溢系统设计·····	283
五、压铸模零部件设计·····	287
参考文献·····	297

第一章 冲压模具设计基础

第一节 概 述

冲压成形是塑性加工的基本方法之一，它主要用于加工板料零件，所以也叫板料冲压。冲压加工的应用范围十分广泛，不仅可以加工金属板料，而且还可以加工非金属板料。本书介绍的冲压加工主要是金属板料的冲压加工。由于冲压加工通常是在室温下进行的，不需要加热，故又称为冷冲压。

一、冲压的概念、特点及应用

1. 冲压的概念

冲压是通过模具对毛坯施加外力，使之产生塑性变形或分离，从而获得一定尺寸、形状和性能的工件的加工方法。

2. 冲压加工的特点

冲压加工不需要加热，也不像金属切削加工时切掉大量的碎屑，因而它是一种节能省材的加工方法；很多冲压制件所用的毛坯是冶金厂大量生产的轧制钢板和钢带，原材料来源途径广且价格低；冲压件的质量主要靠模具保证，容易获得质量好且稳定的冲压制品。与其他加工方法相比，冲压加工概括起来有如下特点。

① 在设备和模具的作用下，能得到其他加工方法不易得到的形状复杂、精度一致的制件。

② 操作简便，生产效率高，适合批量生产，易于实现机械化和自动化。

③ 冲压生产的材料利用率高，模具寿命较高，故而极大地降低了冲压件的生产成本。

④ 冲压件的尺寸稳定、精度高、互换性好。

但是，冲压加工在生产中也有其局限性。一方面，在冲压加工时产生振动和噪声，其主要原因是冲压设备落后。另一方面，冲压加工所使用的模具往往具有专一性，有时一个复杂零件需要数套模具才能加工成形，且模具精度高，导致模具制造费用较高，只有在大批量生产时，冲压加工的优越性才能得到充分体现。

3. 冲压加工的应用

由于冲压加工具有效率高、成本低、质量稳定等一系列优点，因此在汽车、拖拉机、电机、电器、国防工业以及日常生活用品等行业得到了广泛应用。如在飞机、导弹、各种枪弹的生产中，冲压件占有相当大的比例。随着工业产品的不断发展和生产技术的不断提高，冲压加工将起到越来越重要的作用。

二、冲压的基本类型

冲压加工概括起来可以分为分离工序和成形工序两大类。

分离工序是将冲压件沿一定的轮廓线与板料分离。其特点是沿一定边界的材料被破坏而使板料的一部分与另一部分分开，如落料、冲孔、切边等。

成形工序是在板料不被破坏的条件下,使板料产生塑性变形而形成所需形状与尺寸的工件。其特点是通过塑性变形得到所需的零件,如弯曲、拉深等。

常用冲压加工的基本类型见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 材料的分离工序及应用模具

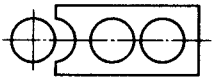
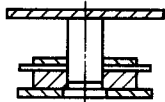
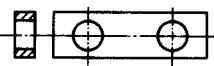
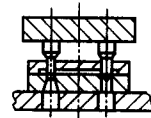
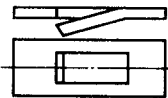
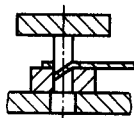
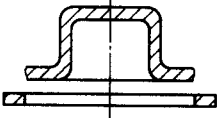
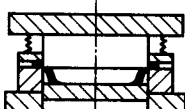
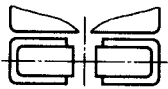
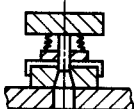
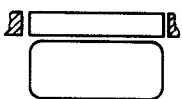
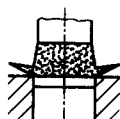
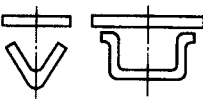
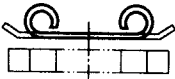
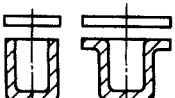
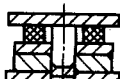
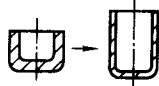
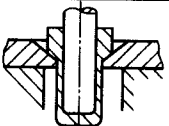
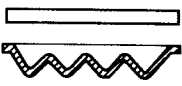
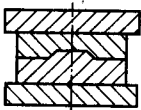
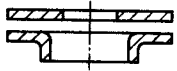
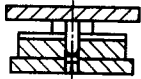
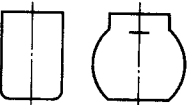
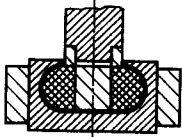
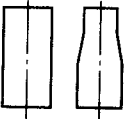
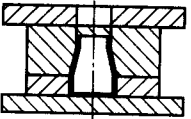
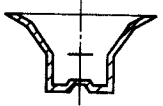
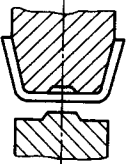
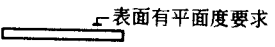
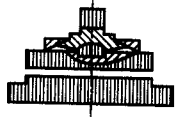
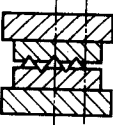
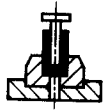
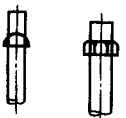
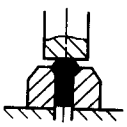
工序名称	工序简图	工序特征	模具简图
落料		用落料模沿封闭轮廓冲裁板料或条料,冲掉部分是制件	
冲孔		用冲孔模沿封闭轮廓冲裁工件或毛坯,冲掉部分是废料	
切口		用切口模将部分材料切开,但并不使它完全分离,切开部分材料发生弯曲	
切边		用切边模将坯件边缘的多余材料冲切下来	
剖切		用剖切模将坯件弯曲件或拉深件剖成两部分或几部分	
整修		用整修模去掉坯件外缘或内孔的余量,以得到光滑的断面和精确的尺寸	

表 1-2 材料的成形工序及所用模具

工序名称	工序简图	工序特征	模具简图
弯曲		用弯曲模将平板毛坯(或丝料、杆件毛坯)压弯成一定尺寸和角度,或将已弯件作进一步弯曲	
卷边		用卷边模将条料端部按一定半径卷成圆形	
拉深		用拉深模将平板毛坯拉深成空心件,或使空心毛坯作进一步变形	

续表

工序名称	工序简图	工序特征	模具简图
变薄拉深		用变薄拉深模减小空心毛坯的直径与壁厚,以得到底厚大于壁厚的空心制件	
起伏成形		用成形模使平板毛坯或制件产生局部拉深变形,以得到起伏不平的制件	
翻边		用翻边模在有孔或无孔的板件或空心件上,翻出直径更大而成一定角度的直壁	
胀形		从空心件内部施加径向压力,使局部直径胀大	
缩口		在空心件外部施加压力,使局部直径缩小	
整形 (立体)		用整形模将弯件或拉深件不准确的地方压成准确形状	
整形 (校平)		将零件不平的表面压平	
压印		用压印模使材料局部转移,以得到凹凸不平的浮雕花纹或标记	
冷挤压		用冷挤模使金属沿凸、凹模间隙流动,从而使厚毛坯转变为薄壁空心件或横截面小的制品	
顶镦		用顶镦模使金属体积重新分布及转移,以得到头部比(坯件)杆部粗大的制件	

三、冲压技术的发展方向

随着科学技术的不断进步和工业生产的迅速发展, 冲压技术的发展也日新月异。冲压技术在 21 世纪的最新发展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、计算机技术结合, 对复杂曲面零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上升到优化设计, 缩短了模具设计与制造周期, 节省了昂贵的多次试模费用。

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。现在已经能够实现利用高速冲床和多工位精密级进模实现单级自动, 冲压的速度可达每分钟几百次甚至上千次。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、最后检验可全部由计算机控制, 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模具, 如精密冲裁、液压拉深、电磁成形和超塑成形等。

⑥ 与材料科学相结合, 不断改进板料性能, 以提高其成形能力和使用效果。

第二节 冲压模具设计基础

设计冲压模具, 首先, 要了解金属塑性变形的基本规律, 掌握冲压成形中的变形趋向性及其控制措施。在冲压成形过程中, 坯料的各个部分在同一模具的作用下, 可能发生不同形式的变形, 即具有不同的变形趋向性。在判断坯料各部分是否变形、以什么方式变形的基础上, 通过正确的模具设计来保证预期的变形, 从而获得合格的冲压制件。

其次, 要研究冲压用材料及其冲压性能。先进的冲压工艺及模具设计, 只有采用性能良好的冲压材料, 才能成形出高质量的冲压件。因此, 在冲压模具设计中, 了解材料的冲压性能, 并懂得合理选用冲压材料, 是非常必要的。

最后, 正确选择冲压设备。冲压加工是将模具安装在冲压设备上生产, 因而模具的设计要与冲压设备的类型和规格相匹配, 否则就不能正常工作。正确选择冲压设备, 关系到冲压加工的正常进行、冲压件的质量、生产效率、模具寿命、安全生产等一系列重要问题。

一、冲压成形理论基础

1. 金属的塑性与变形抗力

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较低的变形抗力, 以便获得理想的冲压制件。

(1) 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,

也会表现出不同的塑性。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条件下,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,有可能产生极大的塑性变形。塑性指标是衡量金属在一定条件下塑性高低的数量指标。它以材料开始破坏时的变形量来表示,可借助于各种实验方法测定。

常用的塑性指标是拉伸实验所得的延伸率 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,还有弯曲试验、锻粗试验等也可以测定塑性指标。需要指出,各种试验方法都是相对于特定的状况、在一定的变形条件下,承受的塑性变形能力。它们用来说明,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,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,但它的变形抗力却很高。

(3) 影响塑性和变形抗力的主要因素

影响塑性和变形抗力的因素主要有两大类:一是金属本身的化学成分、金相组织等内部因素;二是变形速度、变形温度等外部条件。

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,还含有硅、锰、铬、镍、钨等。在各类钢中还含有杂质元素,如磷、硫等。

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,使塑性降低、变形抗力增加。含碳量越高,碳钢的塑性就越差。

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。主要表现为塑性降低、变形抗力提高。这是由于合金元素溶入固溶体,使铁原子的晶格发生畸变;合金元素还与钢中的碳形成硬而脆的碳化物(如碳化铬、碳化钨等);这些都造成钢的抗力提高、塑性降低。

杂质元素对钢的塑性一般都产生不利的影响。碳溶入铁素体后,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,与铁形成塑性较低的易溶共晶体 FeS ,热加工时出现热脆开裂的现象。钢中溶解的氢会引起氢脆现

象,使钢的塑性大大降低。

② 组织的影响。由于组织的不同,钢的塑性和变形抗力差别很大。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。

组织的细化有利于提高金属的塑性,但同时也提高了变形抗力。这是因为在一定的体积内,细晶粒的数量比粗晶粒的数量要多,塑性变形时有利于滑移的晶粒就较多,另外,晶粒越细,晶界面越曲折,越不利于微裂纹的传播,这些都有利于提高金属的塑性变形能力。另一方面,组织细化,晶粒就多,晶界也越多,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更大的外力,从而提高了塑性变形抗力。

③ 变形温度的影响。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。这种现象可以从以下几个方面进行解释。

第一,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,从而使金属的塑性增加,变形抗力降低。

第二,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。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,提高了金属的塑性。

第三,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。这种塑性变形的的方法称为热塑性,也称扩散塑性。在高温下,热塑性作用大为加强,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。

第四,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,上述一般结论并不能概括各种材料的塑性和变形抗力随温度变化的情况。可能在温度升高过程中的某些温度区间内,往往由于过剩相的析出或相变等原因,使金属的塑性降低。

④ 变形速度的影响。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。变形速度对塑性和变形抗力的影响是多方面的。

一方面,变形速度大,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),使变形金属的温度升高(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。对大型复杂零件的成形,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。

2. 加工硬化与硬化曲线

(1) 加工硬化

在冲压生产中, 金属材料的塑性变形过程通常是在常温下进行的。随着变形程度的增大, 硬度、强度 (屈服点 σ_s 和抗拉强度 σ_b 等) 和变形抗力随之增加, 同时其塑性指标 (伸长率 δ 、断面收缩率 Ψ 和冲击韧性等) 下降, 这种现象称为加工硬化。

金属材料的组成成分、金相组织和变形条件 (变形温度、变形速度、变形程度) 等对加工硬化影响很大。由于加工硬化, 金属材料在塑性成形过程中的变形抗力不断增加, 对冲压成形产生较大的影响。例如在胀形工艺中, 板材的加工硬化能够减少过大的局部集中变形, 使变形趋向均匀, 增大成形极限; 而在内孔翻边工序中, 翻边前冲孔边缘部分材料的加工硬化, 容易导致翻边时产生开裂, 降低了成形极限。因此, 在对变形材料进行力学分析, 确定各种工艺参数和处理生产实际问题时, 必须了解材料的硬化现象, 并掌握其规律。

(2) 硬化曲线

金属材料在塑性变形时, 变形抗力随变形程度的增加而变化的规律, 可用硬化曲线来表示。硬化曲线可以通过拉伸等试验方法求得。

冲压生产中所用的硬化曲线, 一般情况下指的是真实应力曲线, 也称实际应力曲线。实际应力曲线与材料力学中所学的工程应力曲线 (也称假象应力曲线) 是有所区别的。假象应力曲线的应力指标是采用假象应力来表示的, 即应力是按各加载瞬间的载荷 P 除以变形前试样的原始截面积 F_0 计算的 ($\sigma = P/F_0$)。没有考虑变形过程中试样截面积的变化, 显然是不准确的; 而实际应力曲线的应力指标是采用真实应力来表示的, 即应力是按各加载瞬间的载荷 P 除以该瞬间试样的截面积 F 来进行计算的 ($\sigma = P/F$)。实际应力曲线与假象应力曲线如图 1-1 所示。从图中可以看出, 实际应力曲线能真实地反映变形材料的加工硬化现象。

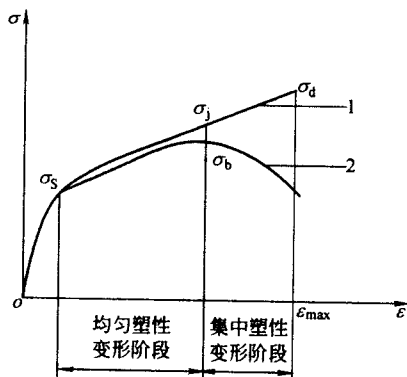


图 1-1 金属的应力-应变曲线

1—实际应力曲线; 2—假象应力曲线

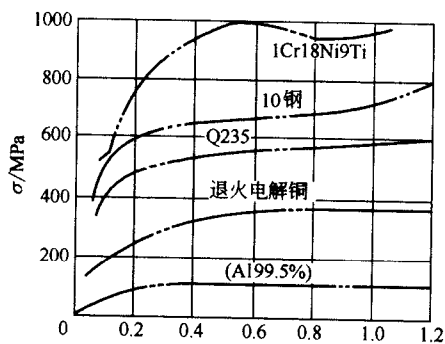


图 1-2 不同材料的硬化曲线

图 1-2 所示为用试验方法求得的几种金属在室温下的硬化曲线。从曲线的变化规律可以看出, 几乎所有的硬化曲线都具有一个共同的特点, 即在塑性变形的开始阶段, 随变形程度的增大, 实际应力增加很快; 当变形程度达到某些值以后, 变形继续增加, 对应的实际应力并没有明显的增加。也就是说, 材料的硬化强度 $d\sigma/d\varepsilon$ (或称硬化模数) 逐渐降低。

为了实际应用的需要, 必须把硬化曲线用数学式子表示出来, 但是通过试验求硬化曲线的数学表达式的工作非常复杂。由图 1-2 可知, 不同的材料, 其硬化曲线差别很大, 而且实