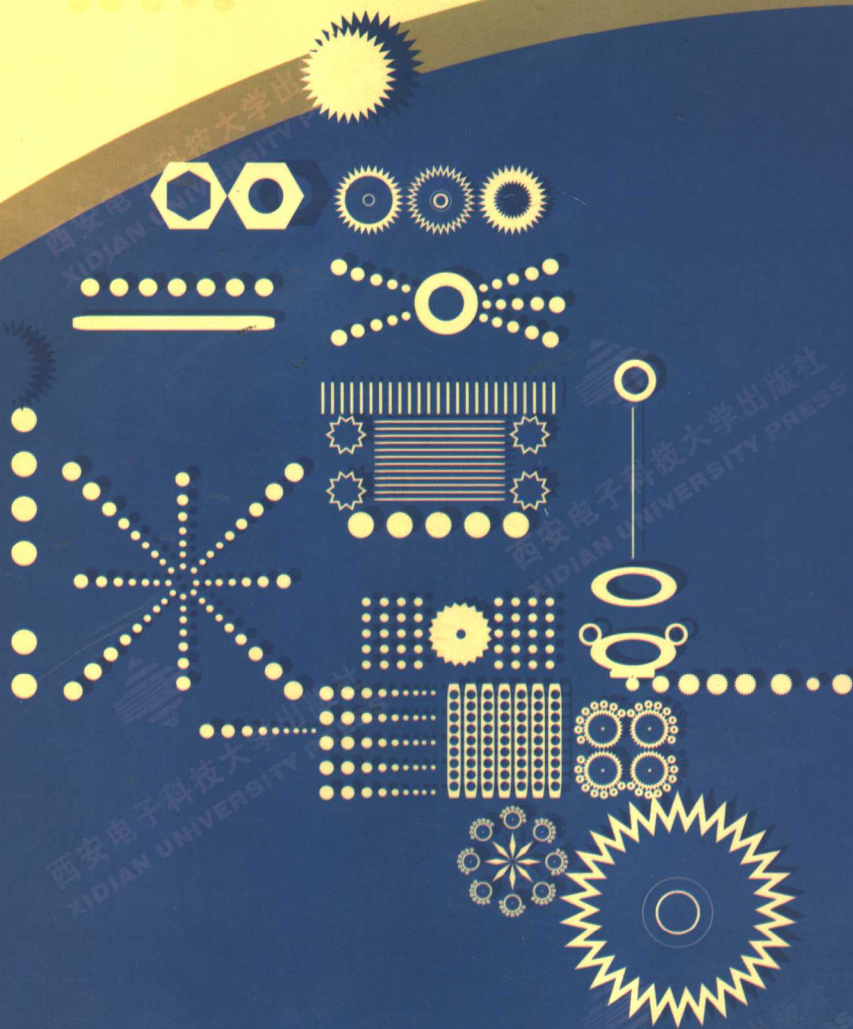


面向
21
世纪

中国高等职业技术教育研究会推荐
机电类专业高职高专规划教材

模具设计

曾霞文 主编
刘 航 主审



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

内 容 简 介

本书分为冲模设计与塑料模设计两个部分,共6章。本书介绍了冲压工艺及模具设计、塑料注射成型工艺及模具设计的要点,对冲压及塑料成型设备也作了简要介绍。

本书注重理论与生产实际的结合,主要章节都有实例分析,尽可能地满足了学生在较短时间内掌握模具设计的要求。

本书内容安排深入浅出,语言通俗易懂,可作为高职高专机电类非模具专业或模具专业的教学用书,也可供其他相关专业以及有关工程技术人员参考。

★本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

模具设计/曾霞文主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2006.8

面向21世纪机电类专业高职高专规划教材

ISBN 7-5606-1714-X

I. 模… II. 曾… III. 模具—设计—高等学校:技术学校—教材 IV. TG76

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第079272号

策 划 马乐惠

责任编辑 王 瑛 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com>

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 14.375

字 数 335千字

印 数 1~4000册

定 价 18.00元

ISBN 7-5606-1714-X/TG·0009

XDUP 2006001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

序

进入 21 世纪以来,随着高等教育大众化步伐的加快,高等职业教育呈现出快速发展的形势。党和国家高度重视高等职业教育的改革和发展,出台了一系列相关的法律、法规、文件等,规范、推动了高等职业教育健康有序的发展。同时,社会对高等职业教育的认识在不断加强,高等技术应用型人才及其培养的重要性也正在被越来越多的人所认同。目前,高等职业教育在学校数、招生数和毕业生数等方面均占据了高等教育的半壁江山,成为高等教育的重要组成部分,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着极其重要的作用。

在高等职业教育大发展的同时,必须重视内涵建设,不断深化教育教学改革。根据市场和社会的需要,不断更新教学内容,编写具有鲜明特色的教材是其必要任务之一。

为配合教育部实施紧缺人才工程,解决当前机电类精品高职高专教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会在前两轮联合策划、组织编写了“计算机、通信电子及机电类专业”系列高职高专教材共 100 余种的基础上,又联合策划、组织编写了“数控、模具及汽车类专业”系列高职高专教材共 60 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取在教育部精品专业或示范性专业(数控、模具和汽车)的高职高专院校中公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材着力把握高职高专“重在技术能力培养”的原则,结合目标定位,注重在新颖性、实用性、可读性三个方面能有所突破,体现高职高专教材的特点。第一轮教材共 36 种,已于 2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材奖。第二轮教材共 60 余种,在 2004 年已全部出齐,且大都已重印,有的教材出版一年多的时间里已重印 4 次,反映了市场对优秀专业教材的需求。本轮教材预计 2006 年全部出齐,相信也会成为系列精品教材。

教材建设是高职高专院校基本建设的一项重要工作,多年来,各高职高专院校都十分重视教材建设,组织教师参加教材编写,为高职高专教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职高专教材的建设起步时间不长,还需要做艰苦的工作,我们殷切地希望广大从事高职高专教育的教师,在教书育人的同时,组织起来,共同努力,为不断推出有特色、高质量的高职高专教材作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

2005 年 10 月

李家亮

面向 21 世纪

机电类专业高职高专规划教材

编审专家委员会名单

主任：刘跃南（深圳职业技术学院教务长，教授）

副主任：方新（北京联合大学机电学院副院长，教授）

刘建超（成都航空职业技术学院机械工程系主任，副教授）

杨益明（南京交通职业技术学院汽车工程系主任，副教授）

数控及模具组：组长：刘建超（兼）（成员按姓氏笔画排列）

王怀明（北华航天工业学院机械工程系主任，教授）

孙燕华（无锡职业技术学院机械与汽车工程系主任，副教授）

皮智谋（湖南工业职业技术学院机械工程系副主任，副教授）

刘守义（深圳职业技术学院工业中心主任，副教授）

陈少艾（武汉船舶职业技术学院机电工程系主任，副教授）

陈洪涛（四川工程职业技术学院机电工程系副主任，副教授）

钟振龙（湖南铁道职业技术学院机电工程系主任，副教授）

唐健（重庆工业职业技术学院机械工程系主任，副教授）

戚长政（广东轻工职业技术学院机电工程系主任，教授）

谢永宏（深圳职业技术学院机电学院副院长，副教授）

汽车组：组长：杨益明（兼）（成员按姓氏笔画排列）

王世震（承德石油高等专科学校汽车工程系主任，教授）

刘锐（吉林交通职业技术学院汽车工程系主任，教授）

李春明（长春汽车工业高等专科学校汽车工程系副主任，教授）

汤定国（上海交通职业技术学院汽车工程系主任，高讲）

李祥峰（邢台职业技术学院汽车维修教研室主任，副教授）

陈文华（浙江交通职业技术学院汽车系主任，副教授）

徐生明（四川交通职业技术学院汽车系副主任，副教授）

韩梅（辽宁交通职业技术学院汽车系主任，副教授）

颜培钦（广东交通职业技术学院汽车机械系主任，副教授）

项目策划：马乐惠

策划：马武装 毛红兵 马晓娟

电子教案：马武装

前 言

目前我国在模具行业从业的人员有 600 多万,其中从事模具设计的人员(模具设计师)占 1/10,有 60 多万人。2005 年,劳动和社会保障部已将“模具设计师”列为新职业,相关的国家职业标准也正在开发中。

模具是机械、汽车、电子、通信、家电等工业产品的基础工艺装备,是一切制造之首。

本书是根据教育部高等职业教育机电类专业教学指导委员会制定的“模具设计”课程基本要求,由具有丰富教学经验及生产实际经验的双师型教师总结了近几年各职业院校的实际教学与教改经验编写而成的。

本书在内容上尽可能满足学生在较短时间内掌握模具设计的要求,既能使学生获得必要的模具设计的基础理论、基本知识和基本技能,又充分考虑了想从事模具设计职业的高职学生的实际情况与特点,对有关模具设计需要的相关知识进行必要的整合,并且在编写时积极体现“理论够用、能力为本,面向应用型人才培养”的思想,尽量减少理论分析、公式推导和计算难度,加大生产实例的篇幅。对某些问题,直接给出结论,忽略推导过程,重点介绍结论的实际意义和应用。

本书的内容由浅入深,由易到难,文字表述精简,多用图表来代替文字描述和进行归纳、对比。为了突出应用型人才的培养,主要章节都安排了设计实例。

本书可作为高职高专机电类非模具专业或模具专业的教学用书,也可供其他相关专业及有关工程技术人员参考。

本书由湖南工业职业技术学院曾霞文担任主编,湖南工业职业技术学院周华祥担任副主编,西安理工大学高等职业技术学院的刘航担任主审。

参与本书编写工作的还有:湖南工业职业技术学院的周理、李和平、孙晓能、朱爱元,长沙航空职业技术学院的周春华等。

由于编者水平有限,书中疏漏在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
2006 年 4 月

目 录

绪论	1
0.1 概述	1
0.2 模具生产技术的应用与发展	1
第 1 章 冲压基本知识	3
1.1 冲压概述	3
1.1.1 冲压的概念、特点及应用	3
1.1.2 冲压的基本工序	3
1.2 塑性变形基本知识	7
1.2.1 基本概念	7
1.2.2 基本原理	9
1.3 冲压材料	10
1.3.1 冲压成形性能	10
1.3.2 常用冲压材料及在图纸上的表示	12
1.4 曲柄压力机	13
1.4.1 工作原理及结构	13
1.4.2 技术参数及压力机的选择	19
小结	22
思考与练习题	22
第 2 章 冲压模具	23
2.1 冲模分类	23
2.2 冲裁模	23
2.2.1 典型结构	24
2.2.2 冲裁模间隙	29
2.2.3 排样与搭边	33
2.2.4 冲裁力与压力中心	37
2.3 弯曲模	40
2.3.1 典型结构	41
2.3.2 最小弯曲半径	45
2.3.3 回弹及其控制	47
2.3.4 偏移及其控制	51
2.3.5 翘曲与剖面畸变	53
2.3.6 毛坯尺寸的确定	53
2.3.7 弯曲力	55
2.4 拉深模	57
2.4.1 拉深成形过程	57
2.4.2 典型结构	58
2.4.3 拉深时的起皱与开裂	61

2.4.4 圆筒形件的拉深工艺计算	62
2.4.5 压边力、拉深力及压力机的选择	70
2.5 其它模具	73
2.5.1 翻边翻孔模具	73
2.5.2 胀形与起伏模具	78
小结	81
思考与练习题	81
第3章 冲压模具设计	84
3.1 冲模设计	84
3.1.1 冲模零件分类	84
3.1.2 冲模的标准化零件	85
3.1.3 冲模工作部分尺寸计算	95
3.1.4 冲模主要零部件的设计与选用	105
3.2 冲模寿命及材料的选用	116
3.2.1 对冲压模具工作零件材料的要求	116
3.2.2 冲压模具材料的种类与特性	117
3.3 冲模的安装、调整与冲压工作的安全措施	120
3.3.1 冲模安装的一般注意事项	121
3.3.2 冲模安装的一般程序	121
3.3.3 冲压工作的安全措施	123
小结	124
思考与练习题	124
第4章 冲压模具设计实例	125
4.1 冲压件的工艺性	125
4.1.1 冲裁件的工艺性	125
4.1.2 弯曲件的工艺性	127
4.1.3 拉深件的工艺性	130
4.2 模具设计的内容及程序	132
4.2.1 冷冲模工艺及模具设计的内容	132
4.2.2 制定冲压工艺的程序	132
4.2.3 模具设计的程序	133
4.3 实例分析	135
4.3.1 弯曲模实例分析	135
4.3.2 拉深件实例分析	142
小结	145
思考与练习题	145
第5章 塑料成型基本知识	147
5.1 塑料成型概述	147
5.1.1 塑料的基本知识及塑料制品工业的发展动向	147
5.1.2 塑料的分类及成型工艺性能	147
5.1.3 塑料制品成型的基本方法	150
5.2 塑料制品的设计	152

5.2.1 塑料制品的尺寸、精度及表面质量	152
5.2.2 塑料制品的结构	155
5.3 注射模用注射机的选用	159
小结	162
思考与练习题	162
第6章 注射模具设计	164
6.1 注射模的结构组成	164
6.2 普通浇注系统设计	165
6.2.1 主流道设计	165
6.2.2 冷料穴和拉料杆的设计	165
6.2.3 分流道设计	166
6.2.4 浇口设计	168
6.3 成型零件的设计	171
6.3.1 分型及排气	171
6.3.2 成型零件结构及其工作尺寸	174
6.4 导向和脱模机构	185
6.4.1 导向机构	185
6.4.2 脱模机构	186
6.5 模具的温度调节	189
6.5.1 冷却系统的设计	190
6.5.2 加热系统的设计	191
6.6 侧向分型模具的抽芯机构	192
6.6.1 抽芯机构的作用及类型	192
6.6.2 斜导柱抽芯的结构及原理	193
6.7 模架的选择	198
6.8 注射模典型图例	199
实例1: 双分型面的设计实例	199
实例2: 带有活动镶块的注射模实例	200
实例3: 侧向分型注射模实例	200
实例4: 带嵌件制品的注射模实例	201
6.9 塑料模具设计程序及实例	201
6.9.1 模具设计程序	201
6.9.2 实例分析	204
小结	206
思考与练习题	206
附录	208
参考文献	220

绪论

0.1 概 述

模具,是金属与非金属压力成型加工工艺系统的专业工艺装备(工装),是专用成型工具,也是专用技术产品。模具实现工业化和商品化生产,是制造业生产技术进步和水平的标志,是制造业现代化的工艺基础。

现代模具设计与制造技术,涉及机械工程、信息与电子工程、冶金与材料工程、工程管理等学科专业范围。

模具生产(设计与制造)技术的发展,大致可分为下列三个阶段:

(1)手工作坊制造阶段:主要依赖模具工人的手工技艺。手工作坊只能制造单工序冲模、胶木压模等简单模具。

(2)工业化生产阶段:采用通用切削机床和电火花机床,实现机械化、标准化生产技术。模具工作零件成型加工精度已可达 $0.0x\text{ mm}$ 级;其通用零部件已制定成标准,实现了批量生产,缩短了模具制造周期(一般为 $3\sim 4$ 个月)。此间,已能设计和制造中大型、较复杂、精度较高的各种类型的模具。

(3)现代化生产阶段:采用数控加工设备,在高度标准化的基础上,实现了模具CAD/CAE/CAM生产。模具工作零件成型加工精度已可达微米级;按模具大小和复杂程度,生产周期已达 $20\sim 90$ 天或更短。模具标准化,对只能进行单件生产的模具具有特殊的技术和经济意义。其内容包括:模具设计参数的规范化;通用零部件的标准化、参数化;系列化产品生产用模具的系统结构原型设计及其参数。这是实现模具CAD/CAE/CAM的必备条件。

高精、高效CNC机床加工的工艺,降低作业量,是提高模具工艺水平的关键技术;切削,耐高温,耐磨模具材料是提高模具使用性能的技术基础;单件生产过程的控制与管理理论、模式、方法,对模具企业具有特殊的技术、经济意义。

0.2 模具生产技术的应用与发展

模具应用广泛,现代制造业中的产品构件成型加工,几乎都需要使用模具来完成。如汽车生产用模具,主要需中大型板材成型冲模和中大型注射模、内衬件热压模、压铸模等;IT-通信-电子产品生产用模具,主要需塑料注射成型模具、发泡模、吹塑模、板材成型冲

模等；家用电器产品生产用模具，主要需塑料注射成型模具、发泡模、吹塑模、板材成型冲模等；电工-机械产品生产用模具，主要需中小型精密级进冲模与热固性精密塑料模，压铸模，精锻模，冷挤、冷锻模以及拉丝模等；航空(天)器-铁路机车、船舶-动力机械生产用模具，主要需热锻模、铸造用金属模等；建材-家具生产用模具，主要需金属与塑料型材挤出模、塑管与塑管接头注射模、陶瓷模(如砖模)、玻璃板等。

事实上，凡制造业发达的国家，模具市场均极为广阔；凡模具工业发达的国家，制造业也必定非常发达和繁荣，且拥有国内、国外两个市场。模具产业已成为国家高新技术产业的重要组成部分，是重要的、宝贵的技术资源。

目前，全球模具年销售总额为 600 余亿美元，亚洲约为 200 亿美元，其中日本达 100 多亿美元，我国仅为 40~50 亿美元，且年进口金额达 10~20 亿美元。我国模具生产能力与发达国家的差距可见一斑。

模具生产今后的发展应适应产品“交货期短”、“精度高”、“质量好”、“价格低”的要求。

未来 5~20 年的模具生产技术的发展趋势是：优化模具系统结构设计和型件的 CAD/CAE/CAM，并使之趋于智能化，提高型件成型加工工艺和模具标准化水平，提高模具制造精度与质量，降低型件表面研磨、抛光作业量和制造周期；研究、应用针对各种模具型件所采用的高性能、易切削的专用材料，以提高模具使用性能；为适应市场多样化和新产品试制，应用快速原型制造技术和快速制模技术，以快速制造成型冲模、塑料注射模或压铸模等等。

因此，未来几年我们的主要任务是：

(1) 研究开发三维(3D)的模具 CAD/CAE/CAM 系统，并形成拥有自主知识产权的软件体系。

(2) 研究模具设计、制造参数，通用、标准、参数化构件及由经验构成的专家系统，并使之形成模具 CAD/CAE/CAM 数据库。

(3) 建立模具企业生产管理系统软件的应用与开发体系。

(4) 研究、开发金属板材成型工艺过程模拟分析软件。

(5) 研究精密电火花加工工艺及其柔性制造单元。

(6) 研究数字化快速制造模具技术。

(7) 研究模具成型件材料的应用体系和模具用新材料。

第 1 章 冲压基本知识

1.1 冲 压 概 述

1.1.1 冲压的概念、特点及应用

1. 冲压的概念

冲压是在室温情况下,利用安装在压力机上的模具对被冲材料施加一定的压力,使之产生分离和塑性变形,从而获得所需要形状和尺寸的零件(也称制件)的一种加工方法。因为通常使用的材料为板料,故也常称为板料冲压。冲压生产中,模具、压力机、材料缺一不可,它们构成了冲压生产的三要素。

2. 冲压的特点及应用

与其它加工方法相比,冲压生产无论在技术方面还是经济方面都具有其特点:

(1) 冲压生产依靠冲模和冲压设备来完成加工,便于实现自动化,其生产率高,操作简便。对于普通压力机,每分钟可生产几件到几十件制件,而高速压力机每分钟可生产数百件甚至上千件制件。大批量生产时,成本较低。

(2) 冲压生产加工出来的制件尺寸稳定、精度较高、互换性好,用通俗的话来讲便是“一模一样”。

(3) 金属材料在压力机和模具的共同作用下,能获得其它加工方法难以加工或无法加工的、形状复杂的零件。

(4) 冲压是一种少、无切削的加工方法,可以获得合理的金属流线分布,材料利用率较高,零件强度、刚度好。

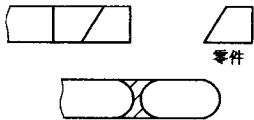
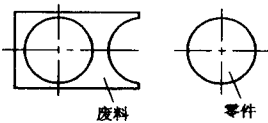
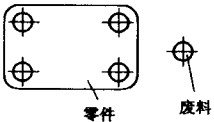
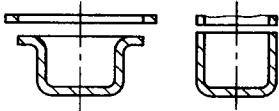
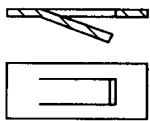
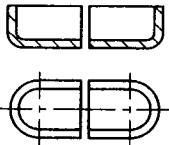
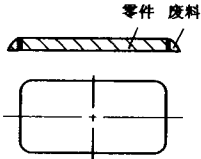
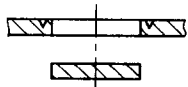
冲压在现代工业生产特别是批量生产中,应用非常广泛。在汽车、拖拉机、电器、电子、仪表、国防、航空航天以及日用品中随处可见到冲压产品,如不锈钢饭盒、搪瓷盆、高压锅、汽车覆盖件、冰箱门板、电子电器上的金属零件、枪炮弹壳等等。据不完全统计,冲压件在汽车、拖拉机行业中约占 60%,在电子工业中约占 85%,而在日用五金产品中约占 90%。可以这么说,一个国家模具工业发展的水平能反映出这个国家现代化、工业化发展的程度。

1.1.2 冲压的基本工序

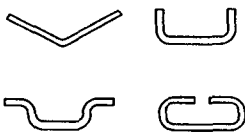
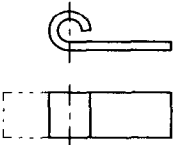
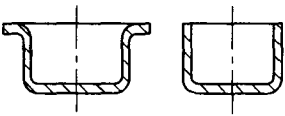
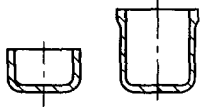
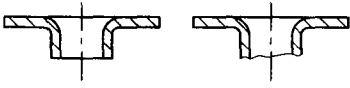
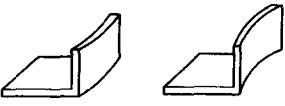
冲压加工的零件,由于其形状、尺寸、精度要求、生产批量、原材料性能等各不相同,因此生产中所采用的冲压工艺方法也是多种多样的,概括起来分为两大类,即分离工序和

成形工序。分离工序的目的，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，同时，冲压件分离断面的质量，也要满足一定的要求。成形工序的目的，是使冲压毛坯在不被破坏的条件下发生塑性变形，成为所要求的成品形状，同时也达到尺寸精度方面的要求。在实际生产中，一个零件的最终成形，往往可能有几个不同工序的组合。常见的冲压基本工序分类见表 1-1。

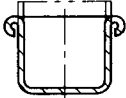
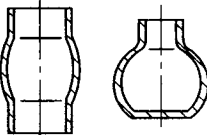
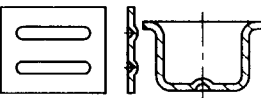
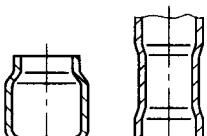
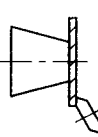
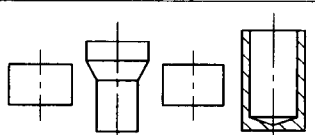
表 1-1 常见的冲压基本工序分类

冲压类别	序号	工序名称	工序简图	定义
分离工序	1	切断		将材料沿敞开的轮廓分离，被分离的材料成为零件或工序件的工序
	2	落料		将材料沿封闭的轮廓分离，封闭轮廓线以内的材料成为零件或工序件的工序
	3	冲孔		将材料沿封闭的轮廓分离，封闭轮廓线以外的材料成为零件或工序件的工序
	4	切边		切去成形制件不整齐的边缘材料的工序
	5	切舌		将材料沿敞开轮廓局部而不是完全分离的一种冲压工序
	6	剖切		将成形工序件一分为二的工序
	7	整修		沿外形或内形轮廓切去少量材料，从而降低边缘粗糙度和垂直度的一种冲压工序，一般也能同时提高尺寸精度
	8	精冲		利用有带齿压料板的精冲模使冲件整个断面全部或基本光洁的工序

续表(一)

冲压类别	序号	工序名称	工序简图	定义
成形 工序	9	弯曲		利用压力使材料产生塑性变形,从而获得一定曲率、一定角度的形状的制件的工序
	10	卷边		将工序件边缘卷成接近封闭圆形的工序
	11	拉弯		在拉力与弯矩共同作用下实现弯曲变形,使整个横断面全部受拉伸应力的一种冲压工序
	12	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的冲压工序
	13	拉深		将平板毛坯或工序件变为空心件,或者把空心件进一步改变形状和尺寸的一种冲压工序
	14	变薄拉深		将空心件进一步拉伸,使壁部变薄、高度增加的冲压工序
	15	翻孔		沿内孔周围将材料翻成侧立凸缘的冲压工序
	16	翻边		沿曲线将材料翻成侧立短边的工序

续表(二)

冲压类别	序号	工序名称	工序简图	定义
成形工序	17	卷缘		将空心件上口边缘卷成接近封闭圆形的一种冲压工序
	18	胀形		将空心件或管状件沿径向向外扩张的工序
	19	起伏		依靠材料的延伸使工序件形成局部凹陷或凸起的工序
	20	扩口		将空心件敞开处向外扩张的工序
	21	缩口		将空心件敞口处加压使其缩小的工序
	22	校平、整形		校平是提高局部或整体平面型零件平直度的工序；整形是依靠材料流动，少量改变工序件形状和尺寸，以保证工件精度的工序
	23	旋压		用旋轮使旋转状态下的坯料逐步成形为各种旋转体空心件的工序
	24	冷挤压		对模腔内的材料施加强大压力，使金属材料从凹模孔内或凸、凹模间隙挤出的工序

1.2 塑性变形基本知识

1.2.1 基本概念

1. 塑性变形

物体在外力的作用下产生变形，如果外力取消后，物体不能恢复到原始的形状与尺寸，则这样的变形称为塑性变形。

2. 塑性

物体具有塑性变形的能力称为塑性。塑性的大小可以用塑性指标来评定。如拉伸实验时塑性指标可用延伸率 δ 和断面收缩率 φ 来表示。

塑性不仅仅决定于变形物体的种类，并且与变形方式以及变形条件有关。如铅通常具有极好的塑性，但在三向等拉伸应力作用下，却像脆性材料一样破坏而不产生任何塑性变形；相反，极脆的大理石，在三向压应力作用下，却可能产生相当大的塑性变形，著名的卡尔曼试验证明了这一点。

3. 变形抗力

在一定的变形条件下，引起塑性变形的单位变形力称为变形抗力。变形抗力反映了材料塑性变形的难易程度。一般来说，塑性好，变形抗力低，对冲压变形是有利的，但不能说某种材料塑性好，变形抗力就一定低。如材料进行冷挤压时，在三向压应力的作用下表现出很好的塑性，但冷挤压力同样也很大。

影响塑性和变形抗力的因素很多，主要有金属成分的组织结构、变形时的应力状态、变形温度、变形速度和尺寸因素等。

4. 应力

在外力的作用下，物体内各质点之间会产生相互作用的力，我们叫它内力。单位面积上的内力就叫应力。应力有正应力与剪应力。正应力用 σ 表示，剪应力用 τ 表示。应力的单位一般用 MPa 表示。

5. 应变

当物体受外力和内力作用时，要发生变形，物体的变形用应变来表示。与应力一样，应变也有正应变与剪应变。正应变用 ε 表示，剪应变用 γ 表示。

6. 点的应力状态

为研究变形体各点的内力和变形状态，就必须研究各点的应力状态和应变状态，以及它们之间的关系。点的应力状态通过在该点所取的单元体上相互垂直的各个表面上的应力来表示，如图 1-1(a) 所示。一般可沿坐标方向将这些力分解为九个应力分量，其中包括三个正应力和六个剪应力，如图 1-1(b) 所示。

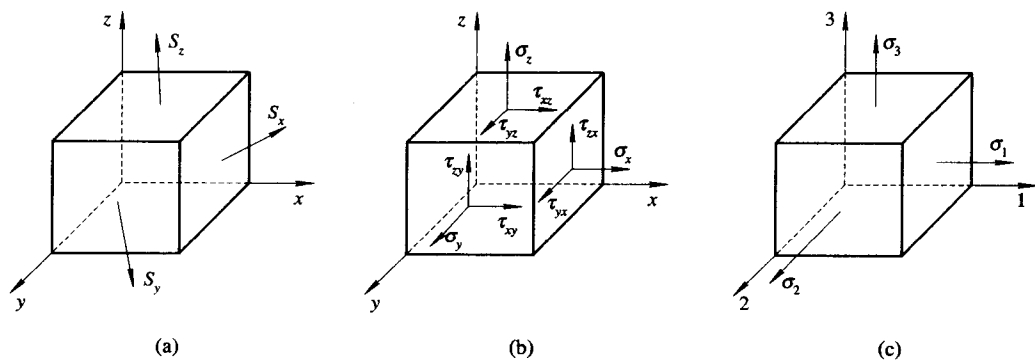


图 1-1 应力状态图

7. 主应力与主应力图

为了研究方便，使问题简化，我们可以找到这样一组坐标系，使得单元体各表面只出现正应力，而没有剪应力。如图 1-1(c)所示，这三个正应力就叫主应力，分别用 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 表示，并且规定： $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ，当应力 $\sigma_1 > 0$ 时，称拉应力，当力 $\sigma_1 < 0$ 时，称压应力。用主应力表示的点的应力状态的图形称为主应力图，其可能的主应力图有九种，如图 1-2 所示。其中图 1-2(a)所示为三向主应力图，图 1-2(b)所示为平面主应力图，图 1-2(c)所示为单向主应力图。

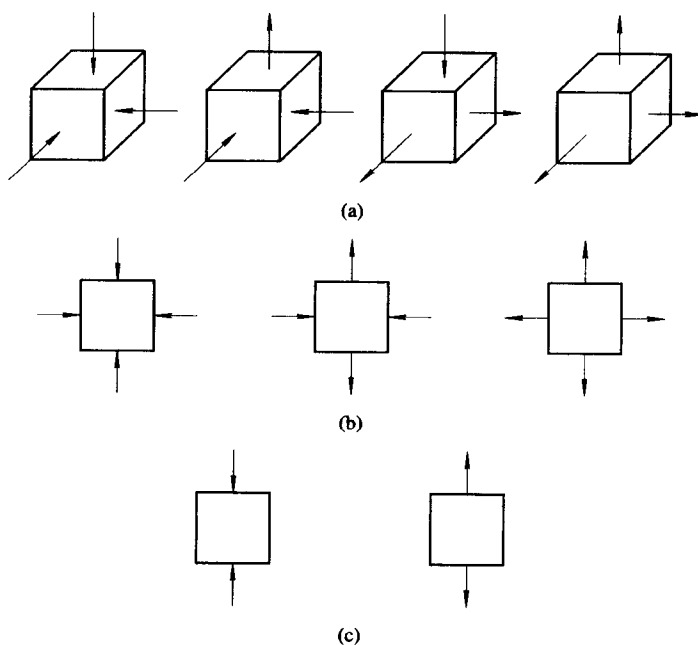


图 1-2 主应力状态图

经试验证明：应力状态对金属的塑性有很大的影响。其规律是：压应力的数目越多，数值越大，金属的塑性越好，而拉应力的数目越多，数值越大，金属的塑性就越差。不仅如此，主应力图对金属的变形抗力也是有影响的，在同号主应力图下引起变形，所需的变形抗力之值较大，而在异号主应力图下引起的变形所需的变形抗力之值就比较小。

8. 主应变与主应变图

点的应变状态通过单元体的变形(即应变)来表示,与应力状态相似,也可以用应变状态图来表示点的主应变状态,同样,也可以找到一组坐标系,使得单元体各表面只出现主应变分量 ϵ_1 、 ϵ_2 、 ϵ_3 而没切应变分量,如图 1-3(a)所示。一种应变状态只有一级主应变。其可能的主应变状态仅有三种,如图 1-3(b)所示。

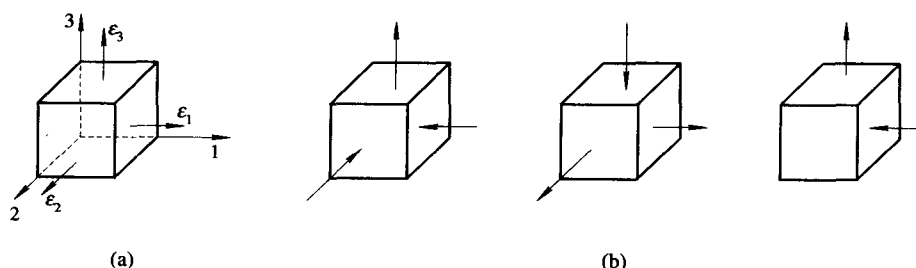


图 1-3 主应变状态图

应变状态对金属的塑性有很大的影响。同一种材料在同样的变形条件下,其应力状态虽然相同,但应变状态不同,其塑性也不一样。其规律是:压应变的成分越多,拉应变的成分越少,越有利于材料塑性的发挥;反之,越不利于材料塑性的发挥。这是因为材料的裂纹与缺陷在拉应变的方向易于暴露和扩展,沿着压应变的方向则不易暴露和发展。

1.2.2 基本原理

1. 体积不变

实践证明,在物体的塑性变形中,变形前的体积等于变形后的体积,这就是体积不变定律。它是以后我们进行变形工序中毛坯尺寸计算的依据。用公式可表示为

$$\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0 \quad (1-1)$$

由式(1-1)可知,主应变状态只可能存在三种状态,如图 1-3(b)所示。

2. 两个屈服准则(塑性条件)

当物体中某点处于单向应力状态时,只要该应力值达到材料的屈服极限,该点就开始屈服,由弹性状态进入塑性状态。可是对于复杂应力状态,就不能仅仅根据某一应力分量来判断某点是否已经屈服,而要同时考虑其它应力分量的作用,只有当各个应力分量之间符合一定关系时,该点才屈服。这种关系就称为屈服准则,或叫塑性条件。

1864 年法国工程师屈雷斯加(H. Tresca)认为:材料中最大剪应力达到一定值时就开始屈服,即屈雷斯加屈服准则,其数学表达式为

$$\tau_{\max} = \left| \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right| = \frac{\sigma_s}{2} \quad \text{或} \quad |\sigma_1 - \sigma_3| = \sigma_s \quad (1-2)$$

式中: σ_s 为材料的屈服极限。

1913 年德国学者密席斯(Von Mises)提出:在一定的变形条件下,无论变形物体所处的应力状态如何,只要其三个主应力组合满足以下条件,材料便开始屈服,即密席斯屈服准则,其数学表达式为

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_s^2 \quad (1-3)$$