

教育部 高职高专规划教材

技能型 **紧缺** 人才培养培训系列教材

模具技术基础

► 杨永平 主编 刘琛 主审



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

技能型紧缺人才培养培训系列教材

模具技术基础

杨永平 主编

刘 琛 主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

模具技术基础/杨永平主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 11

教育部高职高专规划教材

技能型紧缺人才培养培训系列教材

ISBN 7-5025-7952-4

I. 模… II. 杨… III. 模具-高等学校: 技术学校-教材 IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 141715 号

教育部高职高专规划教材
技能型紧缺人才培养培训系列教材

模具技术基础

杨永平 主编

刘 琛 主审

责任编辑: 高 钰 韩庆利

责任校对: 凌亚男

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

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

*

新华书店北京发行所经销
北京云浩印刷有限责任公司印刷
三河市海波装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 18½ 字数 467 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7952-4

定 价: 29.00 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

数控技术专业系列教材编委会

主 任

覃 岭

副主任

冯建雨 唐义锋 苑章义

编 委

(按姓氏汉语拼音排序)

常红梅	陈粟宋	程时甘	洪 凯
黄劲枝	孔 杰	龙光涛	麻 艳
毛卫秀	孙贵杰	吴新腾	徐建高
杨永平	尹玉珍	赵俊生	钟江鸿

内 容 简 介

本书系统地介绍了冲压模具、塑料模具、挤压模具、压铸模具等方面的知识,结合各种模具的典型实例进行结构、原理分析,并结合现代模具制造技术对模具的主要零部件制造工艺进行了分析。全书共分十三章,内容包括:冲压模具基础、冲裁及冲裁模、弯曲工艺及弯曲模、拉深工艺及拉深模、典型冲压模具结构及制造工艺分析、塑料模具基础、热塑性塑料注射模、热固性塑料模具、气压成型模具、冷挤压工艺基础、冷挤压模具、铝型材挤压模具、压铸模具等,并附有复习思考题。本书内容较多,各校可根据情况选学部分章节。

本书根据高等职业教育的特点,以培养技术应用能力为目标,深入浅出,图文并茂,选编了较多的应用实例。并注意与数控技术应用专业的联系,将现代模具制造技术融入各种模具之中,凸显了实用性和技能性。

本书主要作为高职高专数控技术专业及机械、机电类各相关专业的教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

目 录

第一章 冲压模具基础	1
第一节 冲压模具概述.....	1
一、冲压加工的特点.....	1
二、冲压模具的类型.....	1
三、冲压加工的基本工序.....	1
第二节 板材塑性变形及其基本规律.....	3
一、应力-应变曲线	3
二、塑性变形体积不变定律.....	3
三、塑性变形最小阻力定律.....	4
四、应力状态对金属塑性的影响.....	4
五、屈服条件.....	4
六、应力-应变关系	5
第三节 冲压工艺对材料的要求.....	6
一、工艺对材料的要求.....	6
二、材料的规格和种类.....	6
第四节 常用冲压设备.....	7
一、冲压设备的分类及代号.....	7
二、偏心冲床.....	7
三、曲轴冲床.....	8
四、曲柄压力机的主要技术参数.....	8
五、曲柄压力机的选用原则.....	9
复习思考题.....	9
第二章 冲裁及冲裁模	11
第一节 冲裁变形过程及其断面特征	11
一、冲裁的变形过程	11
二、冲裁的断面特征	11
第二节 冲裁间隙	12
一、间隙对冲裁件质量的影响	12
二、间隙值的确定	13
第三节 冲裁力	13
一、力的计算	13
二、卸料力、推件力和顶件力的计算	14
三、压力机吨位选择	14
四、压力中心的确定	15
第四节 排样与搭边	15
一、排样	15
二、搭边	17

第五节 冲裁件的结构工艺性	18
第六节 整修和精密冲裁	19
一、整修	19
二、精密冲裁	19
第七节 冲裁模的基本类型及典型结构	22
一、冲裁模分类	22
二、典型冲裁模结构分析	22
第八节 冲裁模的部件及零件	29
一、工作零件	29
二、定位零件	37
三、卸料与出料装置	43
四、模架	47
五、连接与固定件	50
复习思考题	51
第三章 弯曲工艺及弯曲模	52
第一节 弯曲变形过程及其特点	52
一、板料的弯曲过程	52
二、弯曲变形的特点	53
三、变形区和应力应变状态	53
第二节 最小弯曲半径	55
第三节 弯曲件的回弹	56
一、弯曲件回弹现象	56
二、影响回弹的因素	56
三、回弹量的确定	57
四、减少回弹的措施	57
第四节 弯曲件的工艺性	58
一、弯曲件的结构与尺寸	59
二、弯曲件的精度	60
第五节 弯曲件的展开尺寸计算	61
一、有圆角半径弯曲件展开长度计算 ($r > 0.5t$)	61
二、无圆角半径或圆角半径 $r < 0.5t$ 的弯曲件	62
三、铰链弯曲件展开长度计算	62
四、棒料弯曲件展开长度计算	62
第六节 弯曲力的计算	63
一、自由弯曲力	63
二、校正弯曲力	63
三、顶件力或压料力	63
四、弯曲时压力机压力的确定	63
第七节 弯曲模工作部分设计	64
一、凸、凹模的圆角半径及凹模的深度	64
二、凸、凹模间隙	64
第八节 凸、凹模工作部分的尺寸与公差	65

一、用外形尺寸标注的弯曲件	66
二、用内形尺寸标注的弯曲件	66
第九节 典型件的弯曲模结构	66
一、V形件弯曲模	66
二、L形件弯曲模	66
第十节 U形件弯曲模	67
第十一节 帽罩形件弯曲模	68
第十二节 Z形件弯曲模	69
第十三节 冲孔、落料和弯曲的二工位级进模	69
第十四节 弯曲模具中主要零部件制造工艺过程	70
复习思考题	70
第四章 拉深工艺及拉深模	71
第一节 拉深工艺分析	72
一、拉深变形过程及特点	72
二、拉深过程中的应力与应变	73
三、拉深时的起皱、厚度变化及硬化	74
四、多次拉深	76
五、拉深件的工艺性	76
第二节 圆筒形零件拉深的工艺计算	77
一、毛料尺寸的计算	77
二、拉深系数和拉深次数	79
三、圆筒形件各次拉深工序尺寸的计算	81
第三节 凹模和凸模的圆角半径	83
一、凹模的圆角半径	83
二、凸模圆角半径	84
第四节 凸、凹模的结构	84
一、不用压边圈的拉深模	84
二、带压边圈的拉深模结构	85
三、凸、凹模间隙	85
四、凹模和凸模的尺寸及其公差	87
第五节 拉深件的起皱及防止措施	88
一、压边装置	88
二、压边装置的形式	89
第六节 拉深力和压边力	90
一、拉深力	90
二、压边力	91
三、压力机公称压力的确定	91
第七节 拉深模典型结构	92
一、首次拉深模	92
二、以后各次拉深模	92
三、落料-拉深模	92
第八节 带凸缘筒形件的拉深	93

一、小凸缘件的拉深	93
二、宽凸缘件的拉深	94
复习思考题	95
第五章 典型冲压模具结构图例	96
一、弹性卸料落料模	96
二、冲侧孔模	96
三、冲孔模	97
四、一模多件套筒式冲模	97
五、转动轴弯曲模	98
六、落料、拉深、冲孔复合模	98
七、冲孔、翻边复合模	99
八、落料、拉深复合模	99
九、二次拉深模	100
第六章 塑料模具基础	101
第一节 塑料概述	101
一、塑料的组成及分类	101
二、塑料的主要性能	102
三、塑料在机械、电子工业中的应用	103
第二节 塑料制品的成型工艺	105
一、注射成型工艺及特点	105
二、压塑成型工艺及特点	105
三、压注成型工艺及特点	106
四、挤出成型工艺及特点	107
五、吹塑成型工艺及特点	108
复习思考题	108
第七章 热塑性塑料注射模	110
第一节 概述	110
一、注射模的基本组成	110
二、注射成型模分类	111
第二节 注射模与注射机的关系	113
一、最大注射量	113
二、锁模力	113
三、注射压力	114
四、注射速率	114
五、模具在注射机上的安装	114
六、其他尺寸	114
第三节 成型零件	116
一、成型零件应具备的性能	116
二、成型零件的结构	116
三、型腔和布局	117
四、分型面选择	118
五、成型零件的其他设计原则	121

第四节 浇注系统与排气系统	121
一、概述	121
二、普通浇注系统	122
三、无流道浇注系统	126
四、排气孔道的设置	127
第五节 脱模机构	128
一、简单脱模机构	128
二、二次脱模机构	129
三、螺纹制品的脱模	130
第六节 抽芯机构	131
一、抽芯机构的类型	131
二、抽芯机构参数的确定	132
第七节 模具温度调节系统	133
一、概述	133
二、模具的冷却装置	133
三、模具的加热装置	133
复习思考题	134
第八章 热固性塑料模具	135
第一节 压塑模	135
一、概述	135
二、压塑模与压力机的关系	138
三、压塑模结构实例	140
第二节 压注模	141
一、压注成型工艺特点	141
二、压注模的结构	142
三、压注模的分类	142
四、压注模典型结构实例	143
第三节 热固性塑料注射模	144
一、概述	144
二、热固性塑料注射模的特点	145
复习思考题	146
第九章 其他成型模具	147
第一节 吹塑成型模具	147
一、概述	147
二、吹塑成型工艺	147
三、吹塑成型模具设计要点	148
第二节 真空成型模具	150
一、概述	150
二、真空成型模具设计要点	151
第三节 压缩空气成型模具	152
一、压缩空气成型工艺及模具结构	152
二、压缩空气成型模具设计要点	153

复习思考题.....	153
第十章 冷挤压工艺基础	154
第一节 冷挤压基础知识.....	154
一、冷挤压的基本类型.....	154
二、冷挤压常用材料.....	154
三、冷挤压材料软化处理.....	154
四、冷挤压材料的润滑处理.....	155
第二节 冷挤压设备.....	156
一、设备的分类、特点和应用范围.....	156
二、压力机能力的选择方法.....	157
三、压力机的基本参数.....	158
第三节 冷挤压工艺.....	161
一、冷挤压工艺方案.....	161
二、冷挤压的基本工艺过程.....	161
第四节 冷挤压工艺对零件的要求.....	162
一、冷挤压零件的分类.....	162
二、挤压件图.....	163
三、加工余量与基准.....	171
四、挤压件技术条件.....	172
五、典型挤压件的工艺方案.....	173
第五节 典型零件工艺设计示例.....	182
一、挤压工艺性分析.....	182
二、挤压件设计.....	183
三、工艺计算.....	183
四、工序设计.....	184
复习思考题.....	185
第十一章 冷挤压模具	186
第一节 冷挤压模具简介.....	186
一、冷挤压工艺对模具的要求.....	186
二、冷挤压模具的特点.....	186
三、冷挤压模具分类.....	186
四、冷挤压模具零件.....	187
第二节 冷挤压模具实例之一：杆形件挤压成型模具.....	189
一、杆形件挤压成型模具的结构特点.....	189
二、杆形件正挤压模具.....	190
三、复杂头部长杆形件的挤镦联合成型模具.....	191
四、具有型孔杆形件的挤镦成型模具.....	195
第三节 冷挤压模具实例之二：冲挤成型模具.....	196
一、冲挤成型模具的结构特点.....	196
二、浅杯形件的冲挤成型模具.....	197
三、杆形件的冲挤成型模具.....	198
第四节 冷挤压模具实例之三：杯形件反挤压模具.....	199

一、杯形件反挤压模具的基本类型	199
二、浅杯形件反挤压模具	199
三、杯形件反挤压模具	201
四、凸形件反挤压模具	202
五、深孔筒形件反挤压模具	203
第五节 冷挤压模具实例之四：空心件正挤压模具	203
一、深孔筒形件的正挤压模具	203
二、具有梯形孔筒形件的正挤压模具	205
三、带凸缘空心圆筒件的正挤压模具	206
四、具有贯穿槽口零件的正挤压模具	207
第六节 冷挤压模具实例之五：阶梯形件冷挤压模具	209
一、一端带孔阶梯形件的冷挤压模具	209
二、复杂阶梯形件冷挤压模具	210
三、阶梯形空心件的正挤压模具	210
第七节 冷挤压模具实例之六：凸缘件冷挤压模具	212
一、凸缘件成型模具的设计要点	212
二、凸缘类深孔筒形件的墩挤成型模具	214
三、宽大凸缘件的多次成型模具	215
第八节 冷挤压模具实例之七：扁平件冷挤压模具	217
一、细小深孔扁平零件的冷挤压模具	217
二、浅锥形孔扁平件冷挤压模具	219
三、浅孔扁平件冲挤成型模具	220
第九节 冷挤压模具制造特点及工艺过程	221
一、冷挤压模具加工技术要求	221
二、凸、凹模加工要点	223
三、冷挤压模制造特点	223
第十节 模具失效与提高模具使用寿命的途径	224
一、检查模具失效的方法	224
二、影响模具早期失效的原因	225
三、提高挤压模具的工作寿命	227
复习思考题	232
第十二章 铝型材挤压模具简介	233
第一节 概述	233
一、铝型材挤压模具技术发展概况	233
二、工模具在铝型材挤压中的重要作用	234
三、几种典型挤压铝合金及其特性	235
四、铝合金型材挤压的工艺流程	239
第二节 型材挤压模具的分类及组装方式	241
一、型材挤压模具的分类	241
二、型材挤压模具的组装方式	242
第三节 型材模具的典型结构要素及外形标准化	244
一、挤压模结构要素	244

二、模具的外形尺寸及其标准化·····	246
第四节 型材挤压模具的加工特点及其对制模技术的要求·····	248
一、型材挤压模具对制模技术的要求·····	248
二、型材挤压模具的制造方法及主要设备·····	249
复习思考题·····	258
第十三章 压力铸造与模具 ·····	259
第一节 压铸的基本原理·····	259
一、热压室压铸的基本原理·····	259
二、冷压室压铸的基本原理·····	259
第二节 压铸成型的特点·····	260
一、压铸成型的优点·····	260
二、压铸成型的缺点·····	261
第三节 压铸件的结构工艺性·····	261
一、压铸件结构上的要求·····	261
二、压铸件的尺寸精度·····	263
第四节 压铸合金及其性能·····	264
一、锌合金·····	265
二、铝合金·····	265
三、镁合金·····	265
四、铜合金·····	265
五、铅合金和锡合金·····	266
第五节 压铸机和压铸模·····	266
一、压铸机的分类、代号和参数·····	266
二、国产压铸机代号和压铸机参数·····	266
三、压铸机的基本机构·····	267
四、压铸机的选用·····	269
第六节 压铸模结构及加工要点·····	270
一、压铸模结构组成·····	270
二、压铸模结构特点·····	270
第七节 压铸模结构图例·····	273
一、几种类型的压铸模结构·····	273
二、压铸模制造技术要求·····	276
三、压铸模零件的制造举例·····	276
复习思考题·····	277
参考文献 ·····	278

第一章 冲压模具基础

冲压是利用冲压模在冲压设备（如压力机）上对板料或热料施加压力，使其产生塑性变形或分离，从而获得所需形状和尺寸的零件的一种压力加工方法。冲压通常是在常温下对材料进行冷变形加工，且主要采用板料来加工所需零件，所以也叫冷冲压或板料冲压。冲压是材料压力加工或塑性加工的主要方法。

第一节 冲压模具概述

一、冲压加工的特点

冲压加工中所使用的模具称为冲压模具，简称冲模。冲模是将材料批量加工成所需零件的专用模具。没有模具就不能进行冲压加工。模具的质量、性能直接影响到冲压加工的生产性质和冲压加工的质量，具有极为重要的作用，可以说是冲压加工的生命。

冲压在现代工业生产中，尤其在大批量生产中应用十分广泛。与机械加工及塑性加工的其他方法相比，冲压加工无论在技术方面还是在经济方面都有许多独特的优点，主要表现在以下几个方面。

(1) 生产效率高 因为冲压是依靠冲模和冲压设备来进行加工，普通压力机的行程次数为每分钟几十次，高速压力机每分钟可达数百次甚至上千次，而且每个冲压行程都可能得到一个冲压零件，且操作方便，易于实现机械化与自动化。

(2) 冲压件质量稳定，互换性好 冲压加工中由模具保证冲压件的尺寸和形状精度，且一般不破坏冲压材料的表面质量，而且模具的寿命一般较长。

(3) 加工范围广 冲压可加工出尺寸范围较大，形状较复杂的零件。

(4) 节省材料 冲压时一般没有切屑碎料生成，材料的消耗较少。

冲压的主要缺点是模具的设计周期长，费用高。因此只适宜于大批大量的生产，在小批量生产中受到一定的限制。

二、冲压模具的类型

冲模的结构类型很多。通常按工序性质可分为冲裁模、弯曲模、拉深模和成型模等；按工序的组合方式可分为单工序模、复合模和级进模等。但不论何种类型的冲模，都是由上模和下模两部分组成。上模被固定在压力机冲头上，可随冲头作上、往复运动，是冲模的活动部分；下模被固定在压力机工作台或垫板上，是冲模的固定部分。

三、冲压加工的基本工序

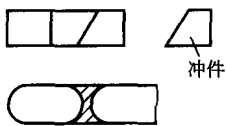
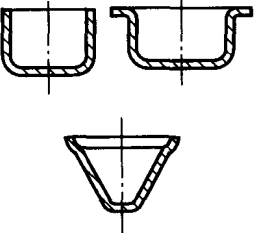
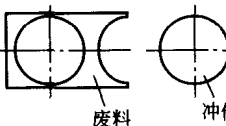
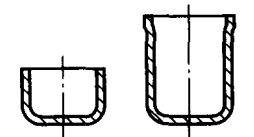
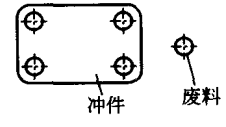
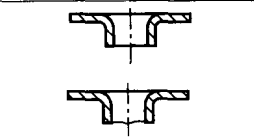
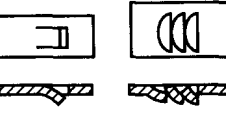
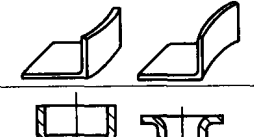
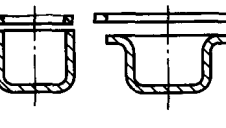
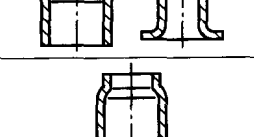
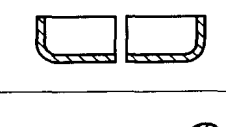
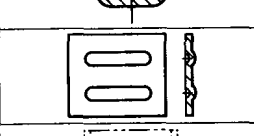
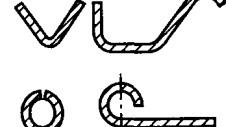
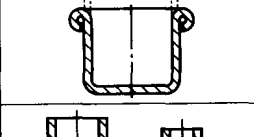
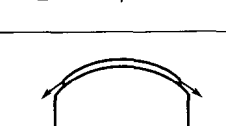
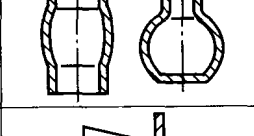
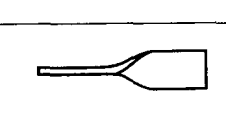
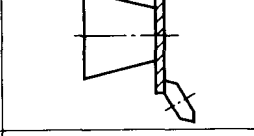
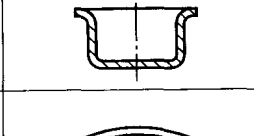
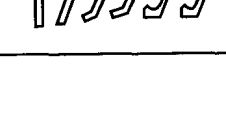
由于冲压加工的零件种类繁多，各类零件的形状、尺寸和精度要求各不相同，因而冲压加工中采用的工艺方法也是多种多样的，概括起来可分为分离工序和成型工序两大类。

分离工序：冲压时工件与板料沿要求的轮廓线相互分离的加工方法。

成型工序：坯料在不破坏的条件下发生塑性变形，获得所需形状、尺寸和精度的加工方法。

分离工序和成型工序按基本变形方式不同又分为冲裁、弯曲、拉深和成型四种基本工序，每种基本工序又包含有多种单一工序，冲压工序的具体分类及特点见表 1-1。

表 1-1 冲压工序的具体分类及特点

工序名称	简图	特点	工序名称	简图	特点
冲裁	 冲件	用剪刀或冲模切断板料, 切断线不封闭	拉深		把平板坯料制成开口空心件, 壁厚基本不变
	 废料 冲件	用冲模沿封闭线冲切板料, 冲下来的部分为冲件			把空心件进一步拉深成侧壁比底部薄的零件
	 冲件 废料	用冲模沿封闭线冲切板料, 冲下来的部分为废料			沿工件上孔的边缘翻出竖立边缘
		在坯料上沿不封闭线冲出缺口, 切口部分发生弯曲	成型		沿工件的外缘翻起弧形的竖立边缘
		将工件的边缘部分切除			把空心件的口部扩大
		把工件切开成两个或多个零件			把空心件的口部缩小
		将板料沿直线弯成一定的角度和曲率			依靠材料的伸长变形使工件形成局部凹陷或凸起
		在拉力和弯矩共同作用下实现弯曲变形			把空心件的口部卷成接近封闭的圆形
		把工件的一部分相对另一部分扭转成一定角度			将空心件或管状件沿径向往外扩张, 形成局部直径较大的零件
		通过一系列轧辊把平板卷料辊弯成复杂形状			用滚轮使旋转状态下的坯料逐步成形为各种旋转体空心件
					依靠材料的局部变形, 少量改变工件形状和尺寸, 以提高其精度
弯曲			整形		将有拱弯或翘曲的平板形件压平, 以提高其平面度
			校平		

第二节 板材塑性变形及其基本规律

板材冲压成型时,外力通过冲模或其他工具作用在板料上,使板料内部产生应力。由于外力的作用状况、板料的形状和冲模的尺寸各不相同,因而引起板料内各点的应力和应变也各不相同,因此,要掌握冲压成型的加工技术,就必须认识变形物体各点的应力状态、应变状态以及塑性变形时各应力之间的关系与应力、应变之间的关系。

一、应力-应变曲线

图 1-1 所示为低碳钢拉伸试验下的条件应力-应变曲线。从图中可看出,材料在应力达到初始屈服 σ_0 时开始塑性变形,此时在应力变化不大的情况下能产生较大的变形,图中有一个平台,这一现象称为屈服。经过一段屈服平台后,应力就开始随着应变的增大而上升。如果在变形中途卸载,应力、应变将直线返回,使弹性变形 (HJ) 回复而保留其塑性变形 (OH)。若对试件重新加载,这时曲线就由 H 出发,沿 HG 直线回升,进行弹性变形,直到 G 点才开始屈服,以后的应力、应变将仍按 cbk 曲线变化。G 点处应力是试样重新加载时的屈服应力。如果重复上述加载、卸载过程,会发现重新加载时的屈服应力由于变形次数的逐次增大而不断地沿 cb 曲线提高,这表明材料在逐渐硬化。材料的加工硬化对板料的成型影响很大,不仅使变形力增大,而且限制了毛料的进一步变形。例如拉深件进行多次拉深时,在后次拉深之前要进行退火处理以消除前次拉深产生的加工硬化。

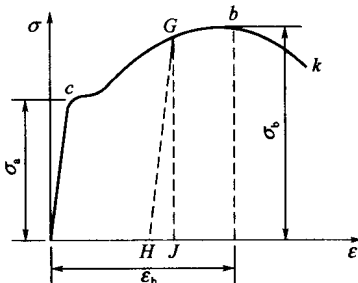


图 1-1 低碳钢拉伸试验下的应力-应变曲线

为了实用上的需要,必须把应力-应变曲线用数学式表示出来。但是,由于材料的硬化具有不同的特点,很难用一个数学式精确地把它表示出来。目前常用的几种硬化曲线的数学表达式基本上都是近似的。

1. 应力-应变曲线的线性表达式

$$\sigma = \sigma_0 + D\varepsilon \quad (1-1)$$

式中 σ_0 ——近似的屈服极限,也是硬化直线在纵坐标轴上的截距;

D ——硬化直线的斜率,称为硬化模数,它表示材料强度的大小;

ε ——应变。

2. 应力-应变曲线的幂函数表达式

$$\sigma = A\varepsilon^n$$

式中 A ——系数;

n ——硬化指数。

A 和 n 与材料的种类和性能有关,可通过拉深试验求得。硬化指数 n (又称 n 值) 是表明材料塑性变形时硬化性能的重要参数。 n 值大时,表明变形过程中材料的变形抗力随变形程度的增加而迅速增大,因而对板料的冲压性能及冲压件的质量都有较大影响。

二、塑性变形体积不变定律

实践证明,金属材料在塑性变形时,体积变化很小,可以忽略不计。

一般认为金属材料在塑性变形时体积不变,可证明满足

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0$$

这就是塑性变形时的体积不变定律,它反映了三个主应变之间的数值关系。

根据体积不变定律，可以得出以下结论。

① 塑性变形时物体只有形状和尺寸发生变化，体积则保持不变；

② 塑性变形时只可能有三向应变状态和平面应变状态，而不可能有单向应变状态，即上式中 $\epsilon_2 = \epsilon_3 = 0$ 时， ϵ_1 必然为零。在平面应变状态时（若 $\epsilon_3 = 0$ ），则另外两个应变绝对值必然相等，且符号相反。

③ 不论应变状态如何，其中必有一个主应变的符号与其他两个主应变的符号相反，这个主应变的绝对值最大，称为最大主应变。

三、塑性变形最小阻力定律

在塑性变形中，破坏了金属的整体平衡而强制金属流动，当变形的质点有可能沿不同方向移动时，则每个质点总是沿着最小阻力方向移动，这就是塑性变形最小阻力定律。

从塑性变形最小阻力定律可知，金属在模具中进行变形时，将沿最小阻力方向移动。如果受到模壁的阻止不能突破，必然向模具的间隙流动；如果有两个方向流动的可能时，则首先充满阻力最小的部分，然后再向阻力较大的方向流动。坯料在模具中变形，其最大变形将沿最小阻力的方向。

四、应力状态对金属塑性的影响

假设在变形物体内任意点取一个六面单元体，通常是围绕该点取出一个微小（正）六面体，用该单元体上三个相互垂直面上的九个应力分量来表示，其中包括三个正应力和六个剪应力。已知这九个应力分量，则过此点任意切面上的应力都可以确定。由于坐标轴所取的方位不同，这六个应力分量的大小也不一样，可以证明，对任何一种应力状态，总存在这样一组坐标系，使得单元体各表面上只有正应力而没有剪应力，如图 1-2 所示。这时三个坐标轴就称为主轴，三个坐标轴方向就称为主方向，而三个正应力就称为主应力，一般按其代数值大小依次为 σ_1 、 σ_2 和 σ_3 ，即 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ 。三个主应力的作用面称为主平面。

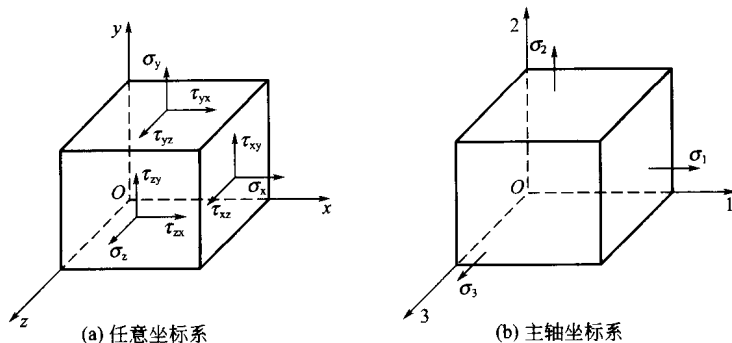


图 1-2 点的应力状态

在主应力中，压应力个数愈多，数值愈大 [即静水压力 $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ 愈大]，则金属的塑性愈高；反之，拉应力个数愈多，数值愈大，则金属的塑性愈低。

五、屈服条件

当物体中某点处于单向应力状态时，只要该点的应力达到材料的屈服极限，该点就进入塑性状态。决定物体内部质点由弹性状态向塑性状态过渡的条件称为屈服条件或塑性条件。金属由弹性变形过渡到塑性变形，主要取决于在一定变形条件（变形温度和变形速度）下金属的物理力学性质和所处的应力状态。一般来讲，在材料性质和变形条件一定的情况下，屈服条件主要决定于物体的应力状态。

对复杂的三向应力状态，就不能仅根据一个应力分量来判断该点是否已经屈服，而要同时考