

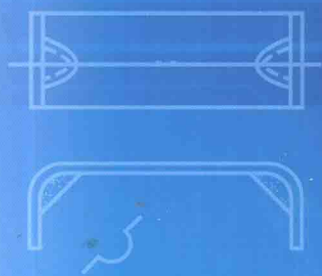


普通高等教育规划教材

模具技术

第二版

杨永平 主 编
王旭飞 孟欣 副主编



MUJU JISHU



化学工业出版社

模具技术

第二版

杨永平 主 编
王旭飞 孟欣 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

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。全书共分十四章,内容包括冲压工艺及冲压模、冲裁工艺及冲裁模、弯曲工艺及弯曲模、拉深工艺及拉深模、典型冲压模具结构图例、塑料模具、热塑性塑料注射模、热固性塑料模具、其他成型模具、冷挤压工艺、冷挤压模具、铝型材挤压模具简介、压力铸造与模具、模具技术的新发展等。各章均附有习题和思考题。便于读者学习,书后还有必要的附录。

本书根据高等院校机电类工科教学的特点,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。并注意与机械类各专业的联系,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。

本书既可以作为高等院校机械、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。

图书在版编目(CIP)数据

模具技术/杨永平主编. —2版. —北京:化学工业出版社, 2011.7

普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-122-11357-3

I. 模… II. 杨… III. 模具-高等学校-教材 IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 095678 号

责任编辑:高钰

文字编辑:张绪瑞

责任校对:蒋宇

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张20 字数512千字 2011年8月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:36.00元

版权所有 违者必究

前 言

本书系统地介绍了冲压模具、塑料模具、挤压模具、铝型材模具、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，并结合模具的各种应用场合分析了成型工艺与模具的关系，还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。

编者充分体现高等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，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。并注意与机械类专业的联系，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，是本书的主要特色。

本书既可以作为高等院校机械、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。

本书由杨永平主编，王旭飞、孟欣任副主编，刘琛教授主审。全书共分十四章，其中第一章由武得钰编写，第二章由吴克刚编写，第三章由李志锋编写，第四章至第六章由王旭飞编写，第七章由郭从盛编写，第八章由张军峰编写，第十章至第十三章由杨永平编写，第九章和第十四章由孟欣编写。全书由杨永平统稿。

在编写过程中，尽管我们尽心尽力，但由于学术水平有限，教材中难免存在缺点，恳请广大读者批评指正。

编 者

2011 年 4 月

目 录

第一章 冲压工艺及冲压模	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	8
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	10
复习思考题	10
第二章 冲裁工艺及冲裁模	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	12
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	14
一、力的计算	14
二、卸料力、推件力和顶件力的计算	14
三、压力机吨位选择	15
四、压力中心的确定	15
第四节 排样与搭边	16
一、排样	16
二、搭边	17
第五节 冲裁件的结构工艺性	19
第六节 整修和精密冲裁	20
一、整修	20
二、精密冲裁	20
第七节 冲裁模的类型及典型结构	23
一、冲裁模具分类	23
二、典型冲裁模具	23
第八节 冲裁模的部件及零件	30
一、工作零件	31
二、定位零件	38
三、卸料与出料装置	44
四、模架	50
五、连接与固定件	53
复习思考题	53
第三章 弯曲工艺及弯曲模	55
第一节 弯曲变形	55
一、板料的弯曲过程	55
二、弯曲变形的特点	56
三、变形区和应力应变状态	57
第二节 最小相对弯曲半径	58
第三节 弯曲件的回弹	60
一、弯曲件回弹现象	60
二、影响回弹的因素	60
三、回弹量的确定	61
四、减少回弹的措施	61
第四节 弯曲件的工艺性	63
一、弯曲件的结构与尺寸	63
二、弯曲件的精度	65
第五节 弯曲件的展开尺寸计算	65
一、有圆角半径弯曲件展开长度计算 ($r > 0.5t$)	66

二、无圆角半径或圆角半径 $r < 0.5t$ 的 弯曲件	66	第八节 凸、凹模工作部分的尺寸与公差 ...	71
三、铰链弯曲件展开长度计算	66	第九节 弯曲模的典型结构及弯曲模具中 主要零部件制造工艺过程示例	72
四、棒料弯曲件展开长度计算	67	一、V形件弯曲模	72
第六节 弯曲力的计算	68	二、L形件弯曲模	72
一、自由弯曲力	68	三、U形件弯曲模	72
二、校正弯曲力	68	四、帽罩形件弯曲模	73
三、顶件力或压料力	69	五、Z形件弯曲模	74
四、弯曲时压力机压力的确定	69	六、冲孔、落料和弯曲的二工位级进模 ...	75
第七节 弯曲模工作部分设计	69	七、弯曲模具中主要零部件制造工艺 过程	75
一、凸、凹模的圆角半径及凹模的深度 ...	69	复习思考题	75
二、凸、凹模间隙	70		
第四章 拉深工艺及拉深模	77		
第一节 拉深工艺分析	78	四、凹模和凸模的尺寸及其公差	93
一、拉深变形过程及特点	78	第五节 拉深件的起皱及防止措施	94
二、拉深过程中的应力与应变	79	一、压边装置	94
三、拉深时的起皱、厚度变化及硬化	81	二、压边装置的形式	94
四、多次拉深	82	第六节 拉深力和压边力	97
五、拉深件的工艺性	82	一、拉深力	97
第二节 圆筒形零件拉深的工艺计算	84	二、压边力	98
一、毛料尺寸的计算	84	三、压力机公称压力的确定	98
二、拉深系数和拉深次数	85	第七节 拉深模典型结构	98
三、圆筒形件各次拉深工序尺寸的计算 ...	87	一、首次拉深模	98
第三节 凹模和凸模的圆角半径	90	二、以后各次拉深模	99
一、凹模的圆角半径	90	三、落料拉深模	100
二、凸模圆角半径	90	第八节 带凸缘筒形件的拉深	100
第四节 凸、凹模的结构	91	一、小凸缘件的拉深	101
一、不用压边圈的拉深模	91	二、宽凸缘件的拉深	101
二、带压边圈的拉深模结构	91	复习思考题	102
三、凸、凹模间隙	91		
第五章 典型冲压模具结构图例	104		
一、弹性卸料落料模	104	六、落料、拉深、冲孔复合模	105
二、冲侧孔模	104	七、冲孔、翻边复合模	106
三、冲孔模	105	八、落料、拉深复合模	106
四、一模多件套筒式冲模	105	九、二次拉深模	106
五、转动轴弯曲模	105		
第六章 塑料模具基础	108		
第一节 概述	108	第二节 塑料制品的成型工艺	112
一、塑料的组成	108	一、注射成型工艺及特点	112
二、塑料的分类	109	二、压塑成型工艺及特点	113
三、塑料的主要性能	109	三、压注成型工艺及特点	114
四、塑料在工业中的应用	111	四、挤出成型工艺及特点	115

五、吹塑成型工艺及特点	115	复习思考题	116
第七章 热塑性塑料注射模	117		
第一节 概述	117	一、概述	129
一、注射模的基本组成	117	二、普通浇注系统	129
二、注射成型模分类	118	三、无流道浇注系统	133
第二节 注射模与注射机的关系	120	四、排气孔道的设置	135
一、最大注射量	120	第五节 脱模机构	136
二、锁模力	120	一、简单脱模机构	136
三、注射压力	121	二、二次脱模机构	137
四、注射速率	121	三、螺纹制品的脱模	138
五、模具在注射机上的安装	121	第六节 抽芯机构	139
六、其他尺寸	121	一、抽芯机构的类型	139
第三节 成型零件	123	二、抽芯机构参数的确定	141
一、成型零件的性能	123	第七节 模具温度调节系统	141
二、成型零件的结构	123	一、概述	141
三、型腔和布局	124	二、模具的冷却装置	142
四、分型面选择	126	三、模具的加热装置	142
五、成型零件的其他设计原则	128	复习思考题	143
第四节 浇注系统与排气系统	128		
第八章 热固性塑料模具	144		
第一节 压塑模	144	三、压注模的分类	152
一、概述	144	四、压注模典型结构实例	153
二、压塑模与压力机的关系	147	第三节 热固性塑料注射模	154
三、压塑模结构实例	149	一、概述	154
第二节 压注模	151	二、热固性塑料注射模的特点	155
一、压注成型工艺特点	151	复习思考题	156
二、压注模的结构	152		
第九章 其他成型模具	157		
第一节 吹塑成型模具	157	二、真空成型模具设计要点	162
一、概述	157	第三节 压缩空气成型模具	162
二、吹塑成型工艺	157	一、压缩空气成型工艺及模具结构	162
三、吹塑成型模具设计要点	157	二、压缩空气成型模具设计要点	163
第二节 真空成型模具	160	复习思考题	164
一、概述	160		
第十章 冷挤压工艺基础	165		
第一节 冷挤压基础知识	165	一、设备的分类、特点和应用范围	168
一、冷挤压的基本类型	165	二、压力机能力的选择方法	168
二、冷挤压常用材料	165	三、压力机的基本参数	169
三、冷挤压材料软化处理	165	第三节 冷挤压工艺	172
四、冷挤压材料的润滑处理	166	一、冷挤压工艺方案	172
第二节 冷挤压设备	167	二、冷挤压的基本工艺过程	173

第四节 冷挤压工艺对零件的要求	173
一、冷挤压零件的分类	173
二、挤压件图	175
三、加工余量与基准	182
四、挤压件技术条件	183
五、典型挤压件的工艺方案	184

第五节 典型零件工艺设计示例	194
一、挤压工艺性分析	194
二、挤压件设计	194
三、工艺计算	196
四、工序设计	196
复习思考题	198

第十一章 冷挤压模具

第一节 冷挤压模具简介	199
一、冷挤压工艺对模具的要求	199
二、冷挤压模具的特点	199
三、冷挤压模具分类	199
四、冷挤压模具零件	201
第二节 冷挤压模具实例之一：杆形件挤压成形模具	202
一、杆形件挤压成形模具的结构特点	202
二、杆形件正挤压模具	203
三、复杂头部长杆形件的挤镦联合成形模具	204
四、具有型孔杆形件的挤镦成形模具	208
第三节 冷挤压模具实例之二：冲挤成形模具	209
一、冲挤成形模具的结构特点	209
二、浅杯形件的冲挤成形模具	210
三、杆形件的冲挤成形模具	211
第四节 冷挤压模具实例之三：杯形件反挤压模具	212
一、杯形件反挤压模具的基本类型	212
二、浅杯形件反挤压模具	213
三、杯形件反挤压模具	214
四、凸形件反挤压模具	215
五、深孔筒形件反挤压模具	216
第五节 冷挤压模具实例之四：空心件正挤压模具	216
一、深孔筒形件的正挤压模具	216
二、具有梯形孔筒形件的正挤压模具	217
三、带凸缘空心圆筒件的正挤压模具	219

四、具有贯穿槽口零件的正挤压模具	220
第六节 冷挤压模具实例之五：阶梯形件冷挤压模具	222
一、一端带孔阶梯形件的冷挤压模具	222
二、复杂阶梯形件冷挤压模具	223
三、阶梯形空心件的正挤压模具	224
第七节 冷挤压模具实例之六：凸缘件冷挤压模具	226
一、凸缘件成形模具的设计要点	226
二、凸缘类深孔筒形件的挤镦成形模具	227
三、宽大凸缘件的多次成形模具	229
第八节 冷挤压模具实例之七：扁平件冷挤压模具	230
一、细小深孔扁平零件的冷挤压模具	230
二、浅锥形孔扁平件冷挤压模具	232
三、浅孔扁平件冲挤成形模具	233
第九节 冷挤压模具制造特点及工艺过程	234
一、冷挤压模具加工技术要求	234
二、凸、凹模加工要点	236
三、冷挤压模制造特点	236
第十节 模具失效与提高模具使用寿命的途径	237
一、检查模具失效的方法	237
二、影响模具早期失效的原因	238
三、提高挤压模具的工作寿命	241
复习思考题	246

第十二章 铝型材挤压模具简介

第一节 概述	247
一、铝型材挤压模具技术发展概况	247
二、工模具在铝型材挤压中的重要作用	248
三、几种典型挤压铝合金及其特性	249
四、铝合金型材挤压的工艺流程	253
第二节 型材挤压模具的分类及组装方式	255
一、型材挤压模具的分类	255
二、型材挤压模具的组装方式	256
第三节 型材模具的典型结构要素及外形标准化	259

一、挤压模结构要素	259	一、型材挤压模具对制模技术的要求	263
二、模具的外形尺寸及其标准化	261	二、型材挤压模具的制造方法及主要设备	264
第四节 型材挤压模具的加工特点及其对制模技术的要求	263	复习思考题	274
第十三章 压力铸造与工艺	275		
第一节 压铸的基本原理	275	五、铝合金和锡合金	282
一、热压室压铸的基本原理	275	第五节 压铸机和压铸模	282
二、冷压室压铸的基本原理	275	一、压铸机的分类	282
第二节 压铸成型的特点	276	二、国产压铸机代号和压铸机参数	283
一、压铸成型的优点	276	三、压铸机的基本机构	283
二、压铸成型的缺点	277	四、压铸机的选用	285
第三节 压铸件的结构工艺性	277	第六节 压铸模结构及加工要点	286
一、压铸件结构上的要求	277	一、压铸模结构组成	286
二、压铸件的尺寸精度	279	二、压铸模结构特点	286
第四节 压铸合金及其性能	281	第七节 压铸模结构图例	289
一、锌合金	281	一、几种类型的压铸模结构	289
二、铝合金	281	二、压铸模制造技术要求	291
三、镁合金	281	三、压铸模零件的制造举例	291
四、铜合金	282	复习思考题	292
第十四章 模具技术的新发展	293		
第一节 概述	293	四、CAD/CAE/CAM 技术在模具开发中的发展趋势	299
一、模具工业发展状况	294	第三节 其他新型技术在模具加工中的应用	300
二、模具技术的发展趋势	295	一、快速模具制造	300
第二节 CAD/CAE/CAM 技术在模具工业中的应用	297	二、自动化加工技术	302
一、模具 CAD/CAE/CAM 的应用现状	297	三、逆向工程技术	302
二、我国 CAD/CAE/CAM 技术存在的主要问题	297	四、表面处理技术	304
三、CAD/CAE/CAM 技术在模具开发过程中的应用	298	五、虚拟技术	307
		六、信息化管理技术	309
		复习思考题	311
参考文献	312		

第一章 冲压工艺及冲压模

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经济方面有许多独特的优点，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、拉深模和成形模等；按工序的组合方式分有单工序模、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、下往复运动，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

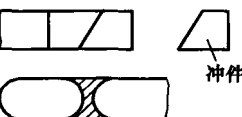
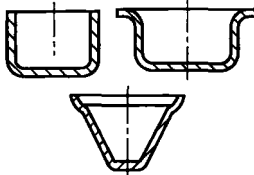
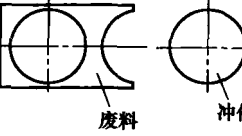
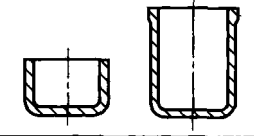
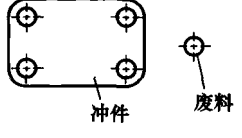
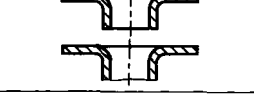
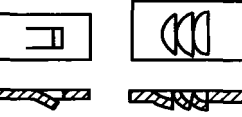
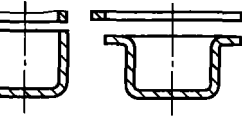
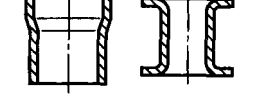
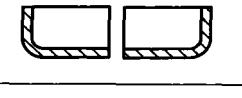
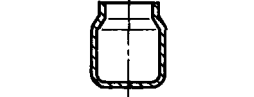
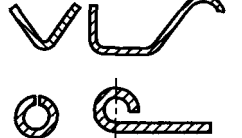
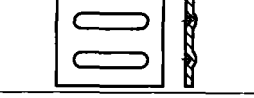
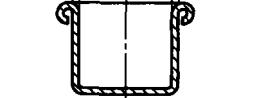
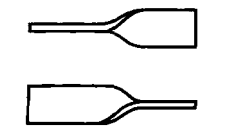
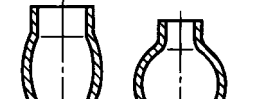
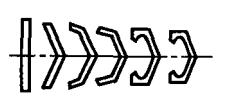
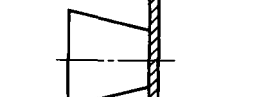
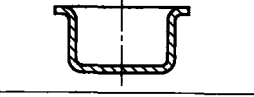
由于冲压加工的零件种类繁多，各类零件的形状、尺寸和精度要求各不相同，因而冲压加工中采用的工艺方法也是多种多样的，概括起来可分为分离工序和成形工序两大类。

分离工序：冲压时工件与板料沿要求的轮廓线相互分离。

成形工序：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。

分离工序和成形工序按基本变形方式不同又分为冲裁、弯曲、拉深和成形四种基本工序，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	切断 	用剪刀或冲模切断板料, 切断线不封闭	拉深	拉深 	把平板坯料制成开口空心件, 壁厚基本不变
	落料 	用冲模沿封闭线冲切板料, 冲下来的部分为冲件		变薄拉深 	把空心件进一步拉深成侧壁比底部薄的零件
	冲孔 	用冲模沿封闭线冲切板料, 冲下来的部分为废料	成形	翻孔 	沿工件上孔的边缘翻出竖立边缘
	切口 	在坯料上沿不封闭线冲出缺口, 切口部分发生弯曲		翻边 	沿工件的外缘翻起弧形的竖立边缘
	切边 	将工件的边缘部分切除		扩口 	把空心件的口部扩大
	剖切 	把工件切开成两个或多个零件		缩口 	把空心件的口部缩小
弯曲	弯曲 	将板料沿直线弯成一定的角度和曲率		起伏 	依靠材料的伸长变形使工件形成局部凹陷或凸起
	拉弯 	在拉力和弯矩共同作用下实现弯曲变形	成形	卷缘 	把空心件的口部卷成接近封闭的圆形
	扭弯 	把工件的一部分相对另一部分扭转成一定角度		胀形 	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
	滚弯 	通过一系列轧辊把平板卷弯成复杂形状		旋压 	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
				整形 	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
				校平 	将有拱弯或翘曲的平板形件压平, 以提高其平面度

第二节 板材塑性变形及其基本规律

板材冲压成形时,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,要掌握冲压成形的加工技术,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 是低碳钢拉深试验下的应力-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形影响很大,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。

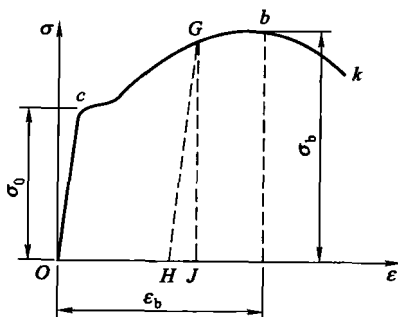


图 1-1 低碳钢拉深试验下的应力-应变曲线

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们表示出来。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。

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的影响。

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

$$\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0$$

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，这九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。

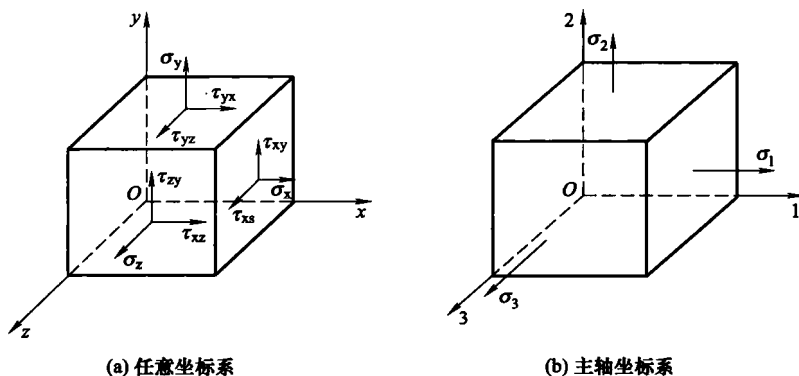


图 1-2 点的应力状态

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。把决定物体内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,而要同时考虑其他应力分量的作用。只有当各个应力分量之间符合一定的关系时,该点才开始屈服。

法国工程师屈雷斯加(H·Trensch)在1864年通过对金属挤压的研究认为:材料中最大剪应力达到一定值时就开始屈服,称为屈雷斯加屈服准则,这就是最大剪应力理论,其数学表达式为

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

最大剪应力理论虽然形式与试验结果基本相符,用于分析板料成形问题也有足够精度,但只考虑最大剪应力的作用(在三个主应力中忽略了 σ_2 的作用),理论上有些欠缺。

德国学者米席斯(Von Mises)1913年在对屈雷斯加条件加以修正的基础提出:当某点的等效应力达到一定值时,材料就开始屈服。这个准则称为米席斯屈服准则,数学表达式为

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

实际上,米席斯屈服准则与屈雷斯加屈服准则之间差别很小,如果将式(1-2)中消去 σ_2 ,可得

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \beta \sigma_s \quad (1-4)$$

式中 β ——与中间应力 σ_2 有关的系数,其范围为1~1.155。具体取值见表1-2。

表 1-2 β 值

中间应力	β	应力状态	应用举例
$\sigma_2 = \sigma_1$ 或 $\sigma_2 = \sigma_3$	1.0	单向拉压、双向等拉压	软凸模胀形、外缘翻边
$\sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$	1.155	平面应变状态	宽板弯曲
应力分量未知时	1.1	其他应力状态	缩口、拉深

米席斯屈服准则与屈雷斯加屈服准则是塑性力学和金属塑性成形原理的理论基础,对冲压变形理论也有重要指导意义。

六、应力-应变关系

物体弹性变形时,其变形可以恢复,变形过程是可逆的,与物体的加载过程无关,应力和应变之间的关系可以通过广义虎克定律来表示。但物体进入塑性变形以后,其应力和应变之间的关系就不同了。

弹性变形阶段:应力与应变之间的关系是线性的、可逆的,与加载历史无关。

塑性变形阶段:应力与应变之间的关系则是非线性的、不可逆的,与加载历史有关。

为了建立物体受力与变形之间的关系,不考虑整个变形过程,而取加载过程中某个微量时间间隔 dt 来研究。因此出现了应力与应变增量之间的关系式,称为增量理论,其表达式为

$$\frac{d\epsilon_1 - d\epsilon_2}{\sigma_1 - \sigma_2} = \frac{d\epsilon_2 - d\epsilon_3}{\sigma_2 - \sigma_3} = \frac{d\epsilon_3 - d\epsilon_1}{\sigma_3 - \sigma_1} = \text{常数} \quad (1-5)$$

式中 $d\epsilon_1, d\epsilon_2, d\epsilon_3$ ——主应变增量。

增量理论在计算上引起的困难很大,尤其材料有冷作硬化时,计算就更复杂了。为了简化计算,在简单加载时,可得出全量理论,其表达式为

$$\frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{\sigma_1 - \sigma_2} = \frac{\epsilon_2 - \epsilon_3}{\sigma_2 - \sigma_3} = \frac{\epsilon_3 - \epsilon_1}{\sigma_3 - \sigma_1} = \text{常数} \quad (1-6)$$

在板料成形中,要严格满足简单加载条件是不现实的。实践证明:工程问题的分析计

算，只要近似满足简单加载条件，使用全量理论是容许的，这将大大简化分析计算过程。

分析应力和应变之间关系时应注意以下几点。

① 应力分量与应变分量符号不一定一致，即拉应力不一定对应拉应变，压应力不一定对应压应变。

② 某方向应力为零其应变不一定为零。

③ 在任何一种应力状态下，应力分量的大小与应变分量的大小次序是相对应的，即

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3, \text{ 则有 } \epsilon_1 > \epsilon_2 > \epsilon_3$$

④ 若有两个应力分量相等，则对应的应变分量也相等，即若 $\sigma_1 = \sigma_2$ ，则有 $\epsilon_1 = \epsilon_2$ 。

第三节 冲压工艺对材料的要求

一、工艺对材料的要求

冲压加工中所用的材料是冲压生产的要素之一。要形成高质量的冲压件，除了先进的冲压工艺与模具技术以外，就是采用性能良好的材料。因此，在冲压加工中，掌握如何合理选用材料，并了解材料的冲压成形性能是非常必要的。

材料对各种冲压成形方法的适应能力称为材料的冲压成形性能。冲压成形性能好，加工时便于冲压成形，生产效率高，冲压件的质量高，且模具的损耗小，不易出废品。

选择冲压材料时，不仅要满足冲压件的使用要求，而且要满足冲压工艺的要求和后续加工的要求，冲压工艺对材料的基本要求主要有以下几个方面。

① 首先要满足冲压件的使用要求：强度、刚度、导电性、导热性、重要性、耐腐蚀等。

② 要具有良好的冲压成形性能。对于成形工序，材料应具有良好的塑性，屈强比和屈弹比小，板厚方向性系数大，板平面方向性系数小；对于分离工序，只要求材料有一定的塑性，对材料的其他成形性能指标没有严格的要求。

③ 满足冲压工艺条件应具有良好的塑性和表面质量，材料的厚度公差应符合国家标准。

二、材料的规格和种类

冲压生产中最常用的材料是金属材料，有时也用非金属材料。常用的材料见表 1-3。材料的牌号、规格和性能可查阅有关设计资料 and 标准。

表 1-3 冲压生产中常用材料

冲压用板料	黑色金属	碳素结构钢板,如 Q234
		优质碳素结构钢板,如 08F
		低合金结构钢板,如 Q345、Q295
		电工硅钢板,如 D12、D41
		不锈钢板,如 1Cr18Ni9Ti
		其他
	有色金属	纯铜板,如 T1、T2
		黄铜板,如 H62、H68
		铝板,如 1050A(23)、1035(L4)
		钛合金板
		镍铜合金板
		其他
	非金属	绝缘胶木板
		纸板
		橡胶板
		有机玻璃层压板
		纤维板
		毛毡

第四节 常用冲压设备

冲压加工是将模具安装在冲压设备上进行的, 冲压模具的设计要与冲压设备的类型和主要规格相匹配, 否则就不能进行正常的冲压生产。正确选择冲压设备, 可以保证冲压设备的安全使用和冲压工艺的顺利实施, 满足冲压件的质量要求以及生产效率、模具寿命等方面的要求。

一、冲压设备的分类及代号

1. 冲压设备的分类

- ① 按驱动滑块的动力种类可分为: 机械的、液压的、气动的。
- ② 按滑块的数量可分为: 单动的、双动的、三动的。
- ③ 按滑块驱动机构可分为: 曲柄式、肘杆式、摩擦式。
- ④ 按连杆数目可分为: 单连杆、双连杆、四连杆。
- ⑤ 按机身结构可分为: 开式、闭式; 单拉、双拉; 可倾、不可倾。

2. 冲压设备的类别和代号

(1) 锻压机床类别

我国锻压机械的分类和代号为:

J——机械压力机;

D——锻机;

Y——液压压力机;

Q——剪切机;

Z——自动压力机;

W——弯曲校压机;

C——锤;

T——其他。

(2) 代号说明

压力机的代号用汉语拼音字母和数字表示, 以 JA23-63A 为例:

J——压力机类别;

A——变型设计代码;

2——压力机的列别;

3——压力机的级别;

63——公称压力;

A——改进设计号;

JA23-63A 表示 63t 开式双柱可倾式第二种改进型压力机。

(3) 压力机的名词解释

① 开式压力机: 操作者可从压力机的前面、左面或右面三个方向接近工作台, 因而操作比较方便。

② 闭式压力机: 只能从前后方向接近工作台, 床身左右是封闭的。

③ 单点压力机: 压力机的滑块由一个连杆带动。

④ 双点压力机: 用两个偏心齿轮和两个连杆来传动。

- ⑤ 四点压力机：对于工作台左右前后都较宽大的压力机，四根连杆带动。
- ⑥ 单动压力机：只有一个滑块。
- ⑦ 双动压力机：有内、外两个滑块，外滑块用于压边，内滑块用于拉深。
- ⑧ 上传动压力机：传动机构设在工作台的上面。
- ⑨ 下传动压力机：传动机构设在工作台的下面。
- ⑩ 可倾压力机：床身可以在一定角度范围内向后倾斜。

二、偏心冲床

偏心冲床也称开式压力机，其工作结构是曲柄连杆机构，由偏心轴、连杆和滑块一起组成曲柄连杆机构，其中连杆长度可调节，适合不同装模高度。

1. 偏心冲床的工作原理

电动机转动由小齿轮传动使飞轮转动。踏下踏板后，离合器闭合，偏心轴旋转（由连杆带动滑块产生上下往复运动。当制动器制动时，偏心轴停止转动，滑块也停止上下运动。）

2. 偏心冲床行程调节原理

为了适应不同模具的高度及对冲压行程的要求，偏心冲床的行程可在一定范围内调整，其调整机构如图 1-3 所示。在偏心轴销 1 上套有一个偏心套 3，偏心套上的嵌牙与固定在轴端的结合套 4 上的嵌牙相结合，连杆 2 自由地套在偏心套上。这样，轴销的圆周运动便通过偏心套而变成连杆的上下运动。其运动距离（即行程）是偏心套中心与主轴中心之间距离的两倍。当松开螺母 5，使结合套的嵌牙与偏心套嵌牙脱开时，转动便可改变偏心套中心与主轴中心的距离，因而可使滑块行程在一定范围内进行调整。

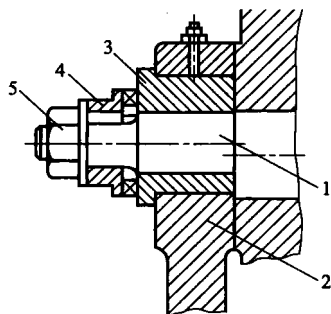


图 1-3 偏心冲床行程调节机构
1—偏心轴销；2—连杆；3—偏心套；
4—结合套；5—螺母

三、曲轴冲床

曲轴冲床也称闭式曲柄压力机，工作原理是：当离合器闭合时，曲轴转动，连杆跟着曲轴的转动带动导轨中的滑块产生上下运动；当制动器制动时，离合器离开，曲轴停止转动，滑块也停止上下运动。工作机构为曲柄连杆机构（由曲轴、连杆、滑块等主要零件组成），制动系统有离合器、制动器，支承部件有床身工作台，辅助系统有润滑系统、保护装置、气垫等。

曲轴冲床行程较大，它的行程等于曲轴偏心距的两倍，行程不能调整。曲轴冲床在床身内有很多个轴承对称地支持着曲轴等部件，冲床所受负荷较均匀，故可以做成较大吨位的压力机。

四、曲柄压力机的主要技术参数

曲柄压力机的主要技术参数反映压力机的工艺能力、所能加工零件的尺寸范围以及生产率等指标。根据冲压工艺性质、冲压件批量大小、模具尺寸精度、变形力大小、设备情况等确定。压力机选用包括选择压力机类型，确定压力机的主要技术参数。

(1) 公称压力（吨位）指滑块离下死点前某一特定距离（此特定距离称为公称压力行程、额定压力行程或名义压力行程）或曲柄旋转到离下死点前某一特定角度（此特定角度称为公称压力角、额定压力角或名义压力角），滑块上所容许承受的最大作用力。一般用 P 表示。

(2) 滑块行程指滑块从上死点到下死点所经过的距离，用 S 表示。它的大小随工艺用途和公称压力的不同而不同。例如 JA23-63 压力机为 100mm。对曲柄压力机，滑块行程