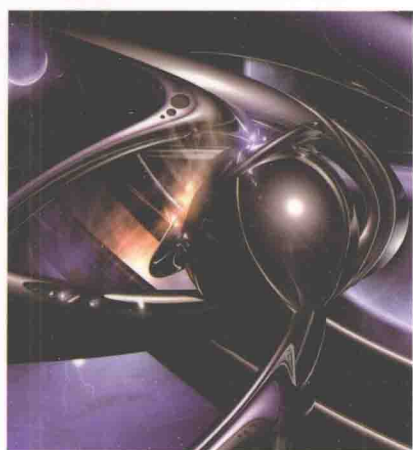


中国职业技术教育学会科研项目优秀成果

The Excellent Achievements in Scientific Research Project of The Chinese Society Vocational and Technical Education

高等职业教育模具设计与制造专业“双证课程”培养方案规划教材



冲压工艺编制 与模具设计制造

高等职业技术教育研究会 审定

杨占尧 主编

The Process Planning and Die Design
and Manufacture for Punching

- ◆ 工作过程导向 采用项目教学
- ◆ 精选教学载体 彰显工学结合
- ◆ 注重职业技能 满足岗位要求

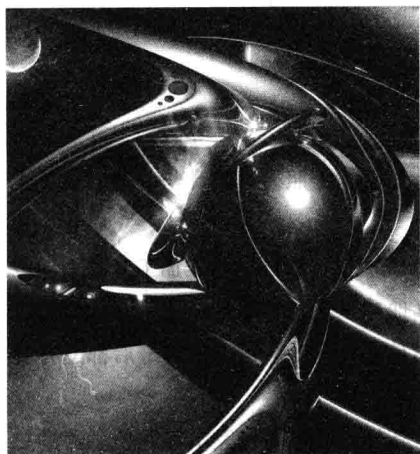


人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中国职业技术教育学会科研项目优秀成果

The Excellent Achievements in Scientific Research Project of The Chinese Society Vocational and Technical Education

高等职业教育模具设计与制造专业“双证课程”培养方案规划教材



冲压工艺编制 与模具设计制造

高等职业技术教育研究会 审定

杨占尧 主编

The Process Planning and Die Design
and Manufacture for Punching

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

冲压工艺编制与模具设计制造 / 杨占尧主编. — 北京: 人民邮电出版社, 2010.4

中国职业技术教育学会科研项目优秀成果. 高等职业教育模具设计与制造专业“双证课程”培养方案规划教材
ISBN 978-7-115-22064-6

I. ①冲… II. ①杨… III. ①冲压—工艺—高等学校: 技术学校—教材②冲模—设计—高等学校: 技术学校—教材③冲模—制模工艺—高等学校: 技术学校—教材
IV. ①TG38

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第011468号

内 容 提 要

本书以培养学生对冲压成形工艺的制订与模具设计制造能力为核心, 按照模具设计与制造的整个工作过程, 以几套典型模具为载体, 综合训练学生的应用能力。

本书内容以模具设计与制造技术为主线, 设置了 9 个综合性训练项目, 分别是冲压加工基础、冲裁工艺与模具设计、弯曲工艺与模具设计、拉深工艺及模具设计、其他冲压工艺与模具设计、多工位级进模具设计、冲压设备的选用与操作、冲压模具制造与装配和冲压模具课程设计。每个项目最后都配有实训与练习, 引导学生将所学知识与企业实际零距离对接。

本书可作为高等职业院校、五年制高职、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院模具及相关专业的教材, 也可作为从事模具设计与制造的工程技术人员的参考书。

中国职业技术教育学会科研项目优秀成果

高等职业教育模具设计与制造专业“双证课程”培养方案规划教材

冲压工艺编制与模具设计制造

-
- ◆ 审 定 高等职业技术教育研究会
 - 主 编 杨占尧
 - 责任编辑 李育民
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
 - 邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
 - 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
 - 北京华正印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
 - 印张: 18.75
 - 字数: 465 千字
 - 印数: 1—3 000 册
 - 2010 年 4 月第 1 版
 - 2010 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-22064-6

定价: 32.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

职业教育与职业资格证书推进策略与 “双证课程”的研究与实践课题组

组 长：

俞克新

副组长：

李维利 张宝忠 许 远 潘春燕

成 员：

林 平 周 虹 钟 健 赵 宇 李秀忠 冯建东 散晓燕 安宗权
黄军辉 赵 波 邓晓阳 牛宝林 吴新佳 韩志国 周明虎 顾 晔
吴晓苏 赵慧君 潘新文 李育民

课题鉴定专家：

李怀康 邓泽民 吕景泉 陈 敏 于洪文

高等职业教育模具设计与制造专业“双证课程” 培养方案规划教材编委会

主任：钟 健

副主任：赵 波 邓晓阳

委员：郑 金 黄义俊 夏晓峰 刘彦国 张信群 高显宏 周建安
杨占尧 顾 晔 周旭光 吕永峰 周一玮 贾俊良 陈万利 赵宏立
王雁彬 刘丽岩 王 梅 林宗良 牛荣华 朱 强

审稿委员会

主任：

副主任：

委员：范 军 刘洪贤 肖 龙 王广业 朱爱元 陈志明 王晓梅
杜文宁 章 飞 刘绪民 涂家海 陈志雄 张海筹 冯光林 刘绪民
丁立刚 胡彦辉 王锦红 王德山 张海军 罗正斌 刘晓军 张秀玲
袁小平 李 宏 张凤军 孙建香 陈晓罗 肖 龙 何 谦 周 玮
张瑞林 周 林 潘爱民

丛书出版前言

职业教育是现代国民教育体系的重要组成部分,在实施科教兴国战略和人才强国战略中具有特殊的重要地位。教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)中也明确提出,要推行“双证书”制度,强化学生职业能力的培养,使有职业资格证书专业的毕业生取得“双证书”。

为配合各高职院校积极实施“双证书”制度工作,推进示范校建设,中国高等职业技术教育研究会和人民邮电出版社在广泛调研的基础上,联合向中国职业技术教育学会申报了《职业教育与职业资格证书推进策略与“双证课程”的研究与实践》课题(中国职业技术教育学会科研规划项目,立项编号 225753)。此课题拟将职业教育的专业人才培养方案与职业资格认证紧密结合起来,使每个专业课程设置嵌入一个对应的证书,拟为一般高职院校提供一个可以参照的“双证课程”专业人才培养方案。该课题研究的对象包括数控加工操作、数控设备维修、模具设计与制造、机电一体化技术、汽车制造与装配技术、汽车检测与维修技术等多个专业。

该课题由教育部的权威专家牵头,邀请了中国职教界、人力资源和社会保障部及有关行业的专家,以及全国 50 多所高职高专机电类专业教学改革领先的学校,一起进行课题研究,目前已召开多次研讨会,将课题涉及的每个专业的人才培养方案按照“专业人才定位—对应职业资格证书—职业标准解读与工作过程分析—专业核心技能—专业人才培养方案—课程开发方案”的过程开发。即首先对各专业的工作岗位进行分析和分类,按照相应岗位职业资格证书的要求提取典型工作任务、典型产品或服务,进而分析得出专业核心技能、岗位核心技能,再将这些核心技能进行分解,进而推出各专业的专业核心课程与双证课程,最后开发出各专业的人才培养方案。

根据以上研究成果,课题组对专业课程对应的教材也做了全面系统的研究,开发的教材具有以下鲜明特色。

1. 注重专业整体策划。本套教材是根据课题的研究成果——专业人才培养方案开发的,每个专业各门课程的教材内容既相互独立,又有机衔接,整套教材具有一定的系统性与完整性。
2. 融通学历证书与职业资格证书。本套教材将各专业对应的职业资格证书的知识和能力要求都嵌入到各双证教材中,使学生在获得学历文凭的同时获得相关的国家职业资格证书。
3. 紧密结合当前教学改革趋势。本套教材紧扣教学改革的最新趋势,专业核心课程、“双证课程”按照工作过程导向及项目教学的思路编写,较好地满足了当前各高职高专院校的需求。
4. 免费为选用本套教材的老师提供相关专业的整体教学方案及相关教学资源。

我们希望通过本套教材,为各高职高专院校提供一个可实施的基于“双证书”的专业教学方案,也热切盼望各位关心高等职业教育的读者能够对本套教材的不当之处提出修改意见,共同探讨教学改革和教材编写等相关问题。来信请发至 panchunyan@ptpress.com.cn。

前言

进入 21 世纪,制造技术发展迅猛,模具技术作为现代制造技术的一个重要组成部分,对国民经济的发展起着越来越重要的作用。冲压加工具有生产率高、生产成本低、操作简单、适合大批量生产等优点,在机械、电子、航空、家电等领域得到越来越广泛的应用。

冲压模具是应用最广泛的模具品种之一,本书是模具设计与制造专业的一门核心专业技术课程。本书以工作过程系统化为导向,根据冲压模具设计与制造实际工作整合出相应的知识和技能,重构课程结构和知识序列,选择典型项目,精选项目载体,培养学生进行冲压工艺设计、典型冲压模具设计、冲压模具零件加工工艺设计以及冲压模具装调工作能力。

本书具有以下特点。

1. 特别重视对高等职业教育所面向的基本岗位分析。本书是在深度分析模具专业所面对的产业基础、发展导向和岗位特征的基础上编写而成的,充分体现高等职业教育的类型特色。
2. 以典型工作项目统领整个教学内容,以典型模具的设计工作过程为导向,通过案例引入、任务驱动,完成单个项目的训练。
3. 本书是在高职高专国家示范性专业建设成果和“双证课程”研究与实践的基础上编写的。内容强化职业技能和综合技能的培养,与职业技能鉴定相融合,在教学时,要求教师在“教中做”、学生在“做中学”,实现“教、学、做”合一。
4. 多方参与。充分利用各种资源,尤其是行业、企业的资源,在学校参与的基础上,着重行业、企业的参与。

本书的参考学时为 64~90 学时,各项目的参考学时参见下面的学时分配表。

项 目	项 目 内 容	学 时
项目一	冲压加工基础	3~4
项目二	冲裁工艺与模具设计	16~20
项目三	弯曲工艺与模具设计	10~14
项目四	拉深工艺及模具设计	10~14
项目五	其他冲压工艺与模具设计	4~8
项目六	多工位级进模具设计	4~8
项目七	冲压设备的选用与操作	4~6
项目八	冲压模具制造与装配	6~10
项目九	冲压模具课程设计	5~6
课时总计		64~90

全书由第五届高等教育国家级教学名师、河南机电高等专科学校杨占尧教授任主编并统稿,成都农业科技职业学院白柳副教授任副主编,参加本书编写的还有河南工业大学王高平,新沛高级技工学校平毅、索卫东、王晓波、李静、沈丽,贵州省电子信息技师学院邓小芳,潍坊职业学

院姜雪燕，新疆高等专科学校孙筱。在本书编写过程中，得到各个兄弟院校的大力支持，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，希望广大读者提出宝贵意见。我们的联系方式是
E-mail: yangzhanyaoyzy@126.com。

编者

2009年11月

目 录

项目一 冲压加工基础	1	调整	75
一、项目引入	1	实训与练习	76
二、相关知识	2	项目三 弯曲工艺与模具设计	78
(一) 冲压加工的分类、特点及应用	2	一、项目引入	78
(二) 板料塑性变形及其基本规律	4	二、相关知识	80
(三) 冲压常用材料	7	(一) 弯曲变形过程及特点	80
(四) 冲压模具常用材料	9	(二) 弯曲件质量分析	82
三、项目实施	11	(三) 弯曲件的工艺计算	89
项目二 冲裁工艺与模具设计	13	(四) 弯曲模的设计	92
一、项目引入	13	(五) 弯曲模的典型结构	101
二、相关知识	14	三、项目实施	109
(一) 冲裁概述	14	(一) 设计的前期准备	109
(二) 冲裁变形过程及断面特征	15	(二) 弯曲模总方案的确定	109
(三) 冲裁间隙	18	(三) 弯曲件展开长度计算	110
(四) 凸、凹模刃口尺寸的计算	21	(四) 弯曲零件设计计算	111
(五) 冲裁工艺的计算	25	(五) 弯曲模装配图的设计绘制	112
(六) 工件的排样与搭边	30	(六) 弯曲模零件图的设计绘制	114
(七) 冲裁工艺设计	36	(七) 编写、整理技术文件	118
(八) 冲裁模的典型结构	41	四、项目拓展——弯曲模的试模与调整	119
(九) 冲裁模零部件设计	49	实训与练习	120
三、项目实施	63	项目四 拉深工艺及模具设计	121
(一) 设计的前期准备	63	一、项目引入	121
(二) 紫铜板冲孔模总体方案的确定	64	二、相关知识	122
(三) 紫铜板冲孔工艺计算	66	(一) 圆筒形零件拉深工艺分析	122
(四) 紫铜板冲孔模装配图的设计绘制	68	(二) 圆筒形零件拉深的工艺计算	128
(五) 模零件图的设计绘制	69	(三) 拉深模工作部分设计	136
(六) 编写、整理技术文件	74	(四) 拉深模的典型结构	140
四、项目拓展——冲裁模的试模与调整		(五) 带凸缘筒形件的拉深	143
		(六) 阶梯形状零件的拉深	147

三、项目实施	149	(六) 模具主要零件设计	222
(一) 设计的前期准备	149	实训与练习	223
(二) 拉深模方案的确定	149	项目七 冲压设备的选用与操作	225
(三) 拉深模结构形式的确定	149	一、项目引入	225
(四) 拉深工艺计算	150	二、相关知识	226
(五) 拉深模零件的设计计算	151	(一) 通用压力机的工作原理和构成	226
(六) 压力机的选择	153	(二) 通用压力机的分类和表示方法	227
(七) 拉深模装配图的设计绘制	153	(三) 通用压力机的规格及选择	229
(八) 拉深模零件图的设计绘制	153	(四) 其他类型的通用压力机	233
(九) 编写、整理技术文件	158	(五) 压力机类型的选择	235
四、项目拓展——拉深模的试模与调整	159	(六) 液压机的用途和分类	237
实训与练习	160	(七) 液压机的优缺点	237
项目五 其他冲压工艺与模具设计	162	(八) 通用液压机的用途和技术参数	238
一、项目引入	162	(九) 冲压液压机	240
二、相关知识	163	(十) 双动拉深液压机	241
(一) 校形	163	(十一) 曲柄压力机的操作与维护	243
(二) 翻边	165	三、项目实施	245
(三) 胀形	172	(一) 紫铜板冲孔模(项目二所设计模具)的设备选用	245
(四) 缩口	176	(二) 支承板弯曲模(项目三所设计模具)的设备选用	247
三、项目实施	179	实训与练习	248
(一) 衬套翻边模设计	179	项目八 冲压模具制造与装配	250
(二) 罩盖胀形模设计	184	一、项目引入	250
实训与练习	184	二、相关知识	251
项目六 多工位级进模具设计	186	(一) 模具制造特点	251
一、项目引入	186	(二) 模具加工方法	252
二、相关知识	187	(三) 冲压模具装配基本知识	255
(一) 多工位级进模具的特点和分类	187	(四) 冲压模具安装与调试基本知识	256
(二) 多工位级进模具的排样设计	188	(五) 冲压模具零件加工特点	258
(三) 多工位级进模典型结构	202	(六) 冲裁模的制造与装配	259
(四) 多工位级进冲压模设计	206	(七) 弯曲模的制造与装配	271
三、相关实施	218	(八) 拉深模的制造与装配	272
(一) 冲压件工艺性分析	218		
(二) 冲压工艺方案的确定	219		
(三) 模具结构形式确定	219		
(四) 主要设计计算	219		
(五) 模具总体设计	221		

三、项目实施——落料冲孔复合模的	(一) 课程设计的内容及步骤·····	278
装配·····	(二) 课程设计应注意的问题·····	279
(一) 组件装配·····	(三) 冲压模具装配图设计·····	280
(二) 总装·····	(四) 编写设计计算说明书·····	281
(三) 检验·····	(五) 总结和答辩·····	282
(四) 试冲·····	(六) 考核方式及成绩评定·····	283
实训与练习·····	三、项目实施·····	284
项目九 冲压模具课程设计 ·····	参考文献 ·····	289
一、项目引入·····		
二、相关知识·····		

项目一

冲压加工基础

【能力目标】

能够针对不同的冲压制件区分其加工的工序

【知识目标】

- 掌握冲压加工与冲压模具的概念
- 熟悉冲压加工的基本工序
- 了解金属塑性变形的基本概念
- 了解金属塑性条件
- 熟悉冲压件与冲压模具常用材料

一、项目引入

在我们的日常生活中，经常遇到如图 1-1 所示的各种制件，它们与我们的生活息息相关。

以下制件是采用什么加工方法生产的？是采用什么材料生产的？要生产这些制件需要什么工具或模具？这些工具或模具是采用什么材料制造的？这些都是我们这门课程所要学习的，也是本项目所要告诉大家的。

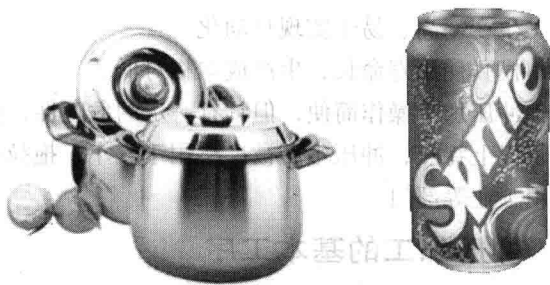
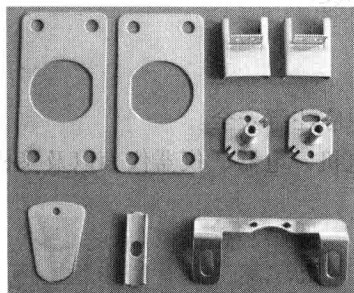


图 1-1 各种常见制品



图 1-1 各种常见制品（续）

二、相关知识

（一）冲压加工的分类、特点及应用

1. 冲压加工与冲压模具的概念

冲压加工是现代机械制造业中先进、高效的加工方法之一，它是在室温下，利用安装在压力机上的模具对材料施力，使其产生分离或塑性变形，从而获得所需零件的一种压力加工方法。由于冲压加工通常是在室温下进行的，所以常常称为冷冲压，又由于它的加工材料主要是板料，所以又称为板料加工。冲压不但可以加工金属材料，还可以加工非金属材料。

在冲压加工中，将材料加工成冲压零件（或半成品）的一种专用工艺装备，称为冲压模具或冷冲模。冲压模具在实现冲压加工中是必不可少的工艺装备，没有符合要求的冲压模具，冲压加工就无法进行；没有先进的冲压模具，先进的冲压工艺就无法实现。冲模设计是实现冷冲压加工的关键，一个冲压零件往往要用几副模具才能加工成形。

2. 冲压加工的特点

和其他的加工方法（如机械加工）相比，冲压成形具有以下一些特点。

- （1）可以获得其他加工方法不能或难以加工的形状复杂的零件，如汽车覆盖件、车门等。
- （2）由于尺寸精度主要由模具来保证，所以加工出的零件质量稳定，一致性好，具有“一模一样”的特征。
- （3）冲压加工是少无切削加工的一种，部分零件冲压直接成形，无需任何再加工，材料利用率高。
- （4）可以利用金属材料的塑性变形提高工件的强度、刚度。
- （5）生产率高、易于实现自动化。
- （6）模具使用寿命长，生产成本相对低。
- （7）冲压加工操作简便，但具有一定的危险性，生产中应注意安全。

基于以上特点，冲压生产被广泛用于汽车、拖拉机、电机、电器、仪器仪表以及飞机、国防、日用工业等部门。

3. 冲压加工的基本工序

由于冲压件的形状、尺寸和精度不同，因此，冲压所采用的工序种类各异。根据其变形特

点,可以分为以下两大类。

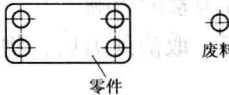
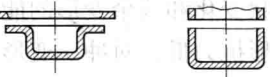
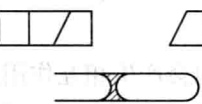
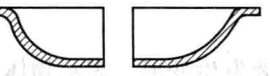
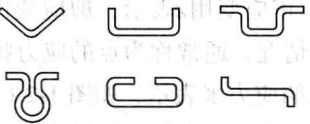
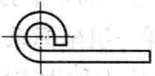
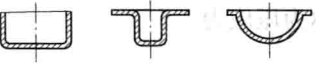
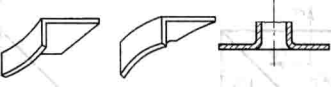
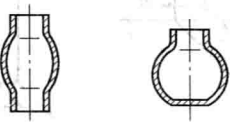
(1) 分离工序 使板料沿一定的轮廓线分离而获得一定形状、尺寸和断面质量的冲压件(俗称冲裁件)的工序。分离工序主要包括冲孔、落料、切边等工序。

(2) 成形工序 材料在不破裂的条件下产生塑性变形而获得一定形状、尺寸和精度的冲压件的加工工序。成形工序主要包括弯曲、拉深、翻边、胀形、缩口等。

常用的冲压工序见表 1-1。

表 1-1

常用的冲压工序

工序名称		简图	特点及应用范围
分离工序	落料		用冲模沿封闭轮廓线冲切, 冲下部分是零件
	冲孔		用冲模沿封闭轮廓线冲切, 冲下部分是废料
	切边		将成形零件的边缘修切整齐或切成一定形状
	切断		用剪刀或冲模沿不封闭线切断, 多用于加工形状简单的平板零件
	剖切		将冲压加工成的半成品切开成为两个或多个零件, 多用于不对称零件的成双或成组冲压成形之后
成形工序	弯曲		将板材沿直线弯成各种形状, 可以加工形状复杂的零件
	卷圆		将板材端部卷成接近封闭的圆头, 用于加工类似铰链的零件
	拉深		将板材毛坯拉成各种空心零件, 还可以加工汽车覆盖件
	翻边		将零件的孔边缘或外边缘翻出竖立成一定角度的直边
	胀形		在双向拉应力作用下的变形, 可成形各种空间曲面形状的零件
	起伏		在板材毛坯或零件的表面上用局部成形的方法制成各种形状的突起与凹陷

此外,为了提高劳动生产率,常将两个以上的基本工序合并成一个工序,如落料拉深、切断弯曲、冲孔翻边等,称为复合工序。在生产实际中,批量生产的绝大部分冲压零件是采用复合工序制造的。

(二) 板料塑性变形及其基本规律

冲压件的冲压成形过程,实质上是板料的塑性变形过程。关于塑性变形的理论,在有关塑性加工力学的著作中已有详尽、系统的论述,这里只对有关理论做简单描述,而不再做细致的讨论。

1. 金属塑性变形的基本概念

(1) 塑性 塑性是金属在外力作用下,能稳定地发生永久变形而不破坏其完整性的能力。它反映了金属的变形能力,是金属的一种重要的加工性能。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以用延伸率 δ 和断面收缩率 ϕ 来表示。金属的塑性不是固定不变的,它受金属的组织、变形温度、变形速度、制件尺寸等因素的影响。

(2) 塑性变形 物体在外力的作用下产生变形,取消外力后,物体不能恢复到原始的形状与尺寸,这样的变形称为塑性变形。

(3) 变形抗力 变形抗力是指金属抵抗形状变化和残余变形的能力。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。材料进行冷挤压时,在三向压应力作用下表现出很好的塑性,但冷挤压力同样也很大。

(4) 应力 在外力的作用下,物体各质点之间会产生相互作用的力,称为内力。单位面积上的内力叫做应力。应力有正应力和剪应力,正应力用 σ 表示,剪应力用 τ 表示。应力的单位一般用 MPa。

(5) 应变 当物体受外力和内力作用时,要发生变形。表示物体变形大小的物理量称为应变。与应力一样,应变也有正应变和剪应变。正应变用 ϵ 表示,剪应变用 γ 表示。

(6) 点的应力状态 材料内每一点的受力情况,通常称为点的应力状态。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 1-2 (a) 所示。一般可沿坐标方向将这些力分解为 9 个应力分量,其中包括 3 个正应力和 6 个剪应力,如图 1-2 (b) 所示。

(7) 主应力 任何一种应力状态,总是存在这样一组坐标系,使得单元体各表面只出现正应力,而没有剪应力,如图 1-2 (c) 所示。这 3 个正应力称为主应力,分别用 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 表示。当应力 $\sigma_1 > 0$ 时称为拉应力,当应力 $\sigma_1 < 0$ 时称为压应力。

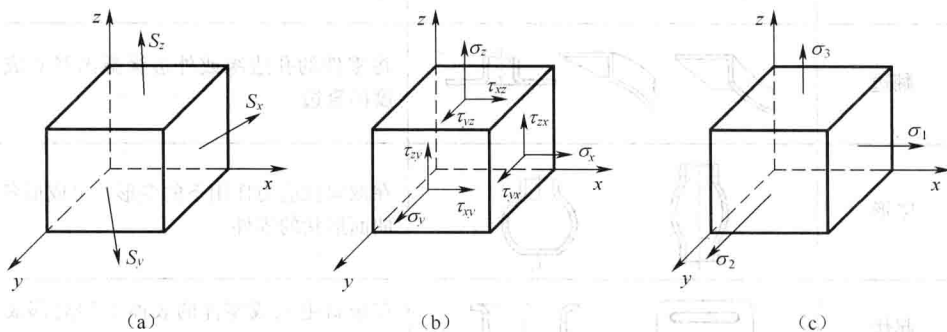


图 1-2 点的应力状态

实验证明, 应力状态对金属的塑性影响很大, 压应力的数目越多, 数值越大, 金属的塑性越好, 拉应力的数目越多, 数值越大, 金属的塑性就越差。

(8) 主应变与主应变图 变形体内存在应力必定伴随应变, 点的应变状态也是通过单元体来表示的。与应力状态相似, 点的应变状态也可以用应变状态图来表示, 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 而没有切应变分量, 如图 1-3 (a) 所示。一种应变状态只有一级主应变, 其可能的应变状态仅有 3 种, 如图 1-3 (b) 所示。

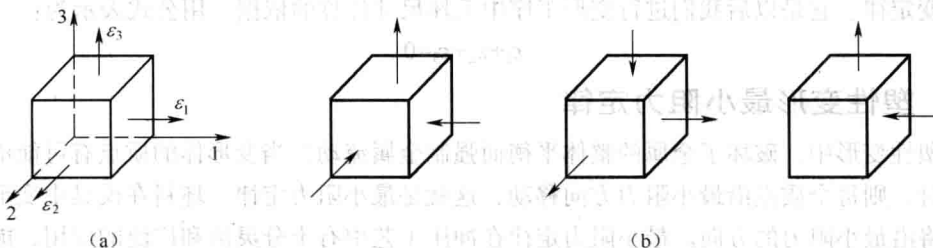


图 1-3 主应变状态图

应变状态对金属塑性有很大的影响。由实践可知, 单向压缩得到的变形程度比单向拉伸大得多, 三向压应力状态的挤压比二向压缩一向拉伸的拉丝能发挥更大的塑性。应力状态中的压应力个数多、压应力大, 则塑性好; 反之, 压应力个数少、压应力小, 甚至存在拉应力, 则塑性就差。这是因为在拉应变的方向材料的裂纹与缺陷易于暴露和发展, 沿着压应变的方向则不易暴露和发展。

2. 应力—应变曲线

图 1-4 是低碳钢拉伸试验下的应力—应变曲线。从图中可以看出, 材料在应力达到初始屈服极限 σ_0 时开始塑性变形, 此时, 在应力增加不大的情况下能产生较大的变形, 图上出现一个平台, 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 (如图中 cGb 曲线)。如果在变形中途 (如图中 G 处) 卸载, 应力应变将沿 GH 直线返回, 使弹性变形 (HJ) 恢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, 以后的应力应变就仍按 GbK 曲线变化。可见 G 点处应力是试样重新加载时的屈服应力。如果重复上述卸载、加载过程, 就会发现, 重新加载时的屈服应力由于变形的逐次增大而不断地沿 Gb 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, 在后次拉深之前一般要进行退火处理, 以消除前次拉深产生的加工硬化。但硬化有时也是有利的, 如在伸长类成形工艺中, 能减少过大的局部变形, 使变形趋向均匀。

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, 由于各种材料的硬化曲线具有不同的特点, 用同一个数学式精确地把它表示出来是不可能的, 目前常用的几种硬化曲线的数

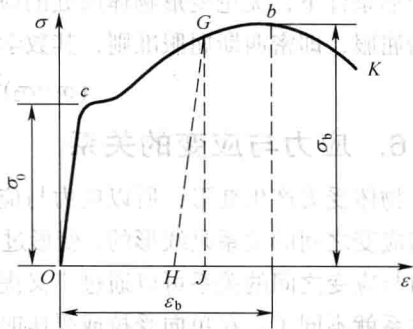


图 1-4 低碳钢拉伸试验下的应力—应变曲线

学表达式都是近似的。例如应力—应变曲线的线性表达式为:

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

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;

F ——硬化直线的斜率, 称为硬化模数, 它表示材料硬化强度的大小。

3. 塑性变形体积不变定律

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, 这就是金属塑性变形体积不变定律。它是以后我们进行变形工序中毛坯尺寸计算的依据。用公式表示为:

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0 \quad (1-2)$$

4. 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, 当变形体的质点有可能沿不同方向移动时, 则每个质点沿最小阻力方向移动, 这就是最小阻力定律。坯料在模具中变形, 其最大变形将沿最小阻力的方向。最小阻力定律在冲压工艺中有十分灵活和广泛的应用, 能正确指导冲压工艺及模具设计, 解决实际生产中出现的质量问题。

5. 塑性条件

所谓塑性条件就是在单向应力状态下, 如果拉伸或压缩应力达到材料的屈服点 σ_s 便可以屈服, 从弹性状态进入塑性状态。但对复杂应力状态就不能仅仅根据一个应力分量来判断一点是否已经屈服, 而要同时考虑各应力分量的综合作用。那么, 在复杂应力状态下, 各应力分量之间符合某种关系时, 才能同单向应力状态下确定的屈服点等效, 从而使物体从弹性状态进入塑性状态, 此时, 应力分量之间的这种关系就称为塑性条件, 或称为屈服准则。

塑性条件必须经过实验验证。经过实践考验并为大家公认的塑性条件有两种: 屈雷斯加 (H.Tresca) 屈服准则和密西斯 (Von Mises) 屈服准则。

(1) 屈雷斯加屈服准则 法国工程师屈雷斯加 (H.Tresca) 认为: 材料中最大剪应力 $\tau_{\max}$ 达到一定值时开始屈服, 即屈雷斯加屈服准则, 其数学表达式为:

$$\tau_{\max} = \left| \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right| = \frac{\sigma_s}{2} \quad (1-3)$$

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

式中: σ_s ——材料的屈服极限。

(2) 密西斯 (Von Mises) 屈服准则 1913 年德国学者密西斯 (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 3 个主应力满足以下条件, 材料便开始屈服, 即密西斯屈服准则, 其数学表达式为:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_s^2 \quad (1-5)$$

6. 应力与应变的关系

物体受力产生变形, 所以应力与应变之间一定存在某种关系。当物体产生弹性变形时, 应力与应变之间的关系是线形的、变形过程是可逆的, 其变形可以恢复, 与物体的加载过程无关, 应力与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后, 其应力与应变的关系就不同了。在单向受拉或受压时, 应力与应变关系可以用硬化曲线来表示, 然而在受到双向或三向应力作用时, 变形区的应力与应变关系相当复杂。研究表明, 简单加载 (加载过程