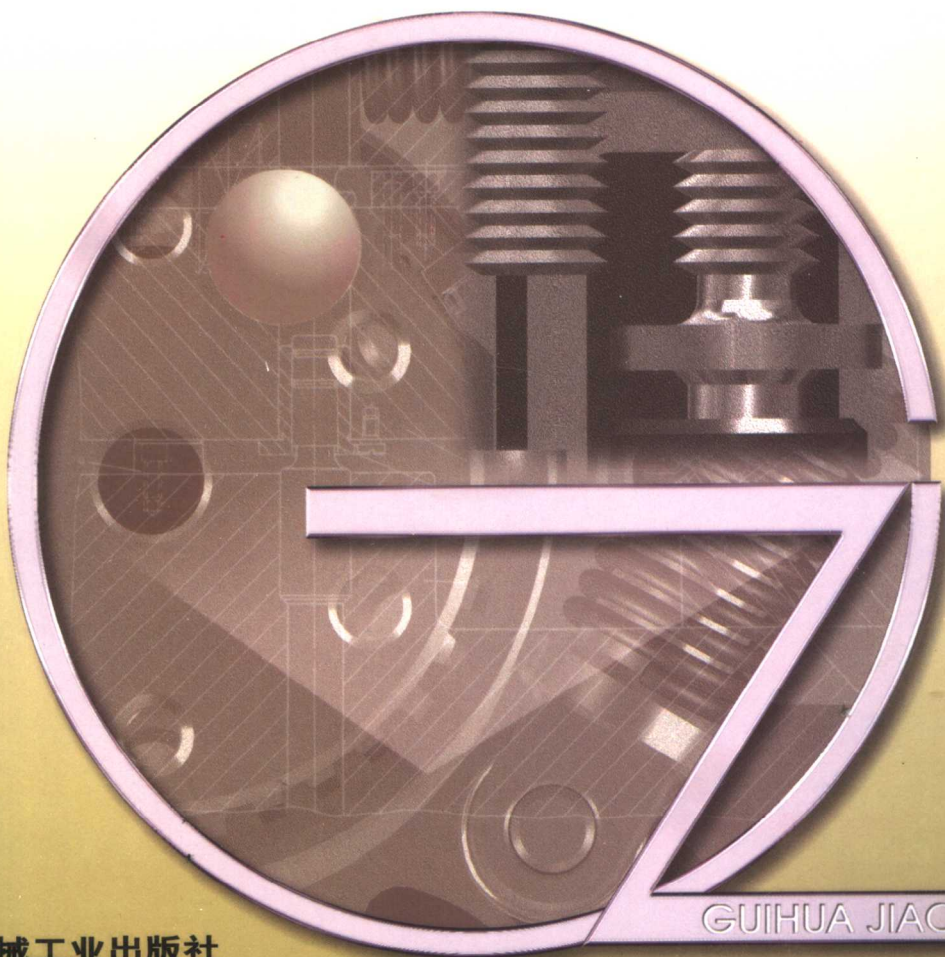




教育部职业教育与成人教育司推荐教材
模具专业教学用书

冲压模具及设备

教育部机械职业教育教学指导委员会 组编
中国机械工业教育协会
主编 徐政坤



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

GUIHUA JIAOCAI

gz



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
模具专业教学用书

冲压·模具及设备

教育部机械职业教育教学指导委员会 组编
中国机械工业教育协会

主 编 徐政坤
副主编 刘长伟 张永江
参 编 张磊明 文 珩
宁同海 宋 斌
主 审 张 华



机械工业出版社

本书共分十章,主要介绍了冲压成形理论基础,五种基本冲压工序(冲裁、弯曲、拉深、成形、挤压)的工艺及模具设计方法,常用冲压设备的原理、结构、使用与维护,冲模材料、寿命、安全措施及冲压工艺过程的制定等。

本书以培养技术应用能力为主线,将冲压成形原理、冲压工艺与模具设计、冲压成形设备等三门关联课程的内容进行了有机的融合,并选编了较多的应用实例和习题,突出了应用性、实用性、综合性和先进性,体系新颖。

本书主要作为五年制、三年制高职高专各类院校模具设计与制造专业及机械、机电类各相关专业的教材,也可供从事模具设计与制造的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

冲压模具及设备/徐政坤主编. —北京:机械工业出版社, 2005.1
模具专业教学用书
ISBN 7-111-15467-3

I. 冲… II. 徐… III. 冲模—高等学校:技术学校—教材
IV. TG385.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第107913号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王世刚 责任编辑:汪光灿 版式设计:冉晓华
汪光灿

责任校对:樊钟英 封面设计:姚毅 责任印制:李妍
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年1月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·25.75印张·638千字

定价:35.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

机电类高等职业技术教育教材建设 领导小组人员名单

顾问：郝广发

组长：杨黎明

成员：刘亚琴 李超群 惠新才 王世刚
姜立增 李向东 刘大康 鲍风雨
储克森 薛 涛

模具设计与制造专业教材编审委员会

刘大康 戴 勇 刘 航 虞学军 武友德
甄瑞林 胡占军 夏江梅 史铁梁 范建蓓
彭 雁 徐政坤 张 华 殷 钺 窦君英
杨善义 赵国增 夏 暎 汪光灿

前 言

本书是根据教育部“关于加强高职高专教材建设的若干意见”、机械工业教育发展中心“关于组织编写五年制高职教育专业教材编写的通知”及全国机械职业教育模具设计与制造专业教学指导委员会制定的“冲压模具及设备”课程基本要求和教材编写大纲,遵循“理论联系实际,体现应用性、实用性、综合性和先进性,激发创新”的原则,在总结近几年各院校模具专业教改经验的基础上编写的。本书的主要特点是:

1. 根据从事冲压成形工艺及模具设计的工程技术应用性人才的实际要求,理论以“必需、够用”为度,着眼于解决现场实际问题,同时融合相关知识为一体,突出综合素质的培养,并注意加强专业知识的广度,积极吸纳新技术,体现了应用性、实用性、综合性和先进性。

2. 将冲压成形原理、冲压工艺与模具设计、冲压成形设备等三门关联课程的内容进行了有机的融合;采用通俗易懂的文字和丰富的图表,在简要介绍冲压成形基本理论的基础上,较为详细地介绍了各类冲压成形工艺及模具的设计与计算基本方法;讲述了常用冲压设备的类型、结构、选择、使用与维护等方面的基本知识;客观分析了冲压工艺、冲压模具、冲压设备、冲压材料及冲压件质量与经济性的关系,体系新颖。

3. 各章均选编了较多的应用实例和习题,重点章节精选了综合应用实例和大型连续作业,实用性和可操作性强,便于教学和自学。

本书可作为高职高专各类院校模具设计与制造专业及机械、机电类各相关专业的教材,也可供从事模具设计与制造的工程技术人员参考。

本书由张家界航空工业职业技术学院徐政坤任主编,西安理工大学高等技术学院刘长伟及辽宁机电职业技术学院张永江任副主编,福建信息职业技术学院张华主审。全书共十章,第一章、第四章(不包括第九、十节)、第十章由徐政坤编写;第二章由张家界航空工业职业技术学院宋斌编写;第三章、第四章(第九、十节)由刘长伟编写;第五章由深圳信息职业技术学院张磊明编写;第六章由重庆工业职业技术学院文刚编写;第七章由河北机电职业技术学院宁同海编写;第八章、第九章由张永江编写。

由于编者水平有限,书中错误和缺点在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2004年6月

目 录

前言	
第一章 冲压概述	1
思考练习题	8
第二章 冲压成形的理论基础	9
第一节 金属塑性变形概述	9
第二节 塑性变形时的应力与应变	13
第三节 加工硬化与硬化曲线	19
第四节 冲压成形中的变形趋向性及其控制	21
第五节 冲压材料及其冲压成形性能	23
思考练习题	32
第三章 通用冲压设备	33
第一节 冲压设备的分类及型号	33
第二节 曲柄压力机	35
第三节 液压机	72
思考练习题	81
第四章 冲裁	83
第一节 冲裁变形过程分析	83
第二节 冲裁件的工艺性	88
第三节 冲裁间隙	90
第四节 凸、凹模刃口尺寸的确定	95
第五节 排样	101
第六节 冲压力与压力中心的计算	109
第七节 冲裁模的典型结构	115
第八节 冲裁模主要零部件的设计与选用	133
第九节 精密冲裁与精冲压力机	162
第十节 简易冲裁模	183
第十一节 冲裁模设计步骤及实例	187
思考练习题	197
第五章 弯曲	199
第一节 弯曲变形过程分析	199
第二节 弯曲件的质量问题及控制	202
第三节 弯曲件的工艺性	212
第四节 弯曲件的展开尺寸计算	215
第五节 弯曲力的计算	217
第六节 弯曲件的工序安排	219
第七节 弯曲模设计	220
第八节 弯曲模设计实例	233
第六章 拉深	238
第一节 拉深变形过程分析	238
第二节 拉深件的工艺性	243
第三节 旋转体拉深件坯料尺寸的确定	245
第四节 圆筒形件的拉深工艺计算	250
第五节 拉深力、压料力与拉深压力机	256
第六节 其他形状零件的拉深	269
第七节 拉深工艺的辅助工序	288
第八节 拉深模设计	290
第九节 其他拉深方法	297
第十节 拉深模设计实例	301
思考练习题	305
第七章 成形	307
第一节 胀形	307
第二节 翻孔与翻边	316
第三节 缩口	323
第四节 校平与整形	329
思考练习题	332
第八章 冷挤压	333
第一节 冷挤压概述	333
第二节 冷挤压的变形程度	336
第三节 冷挤压材料与坯料准备	338
第四节 冷挤压力与冷挤压压力机	342
第五节 冷挤压工艺方案的确定	353
第六节 冷挤压模具设计	362
思考练习题	370
第九章 冲压模具的寿命、材料及安全措施	372
第一节 冲压模具寿命	372
第二节 冲压模具材料	376
第三节 冲模的安全措施	381
思考练习题	384
第十章 冲压工艺过程的制定	385
第一节 冲压工艺过程制定的步骤及方法	385
第二节 冲压工艺过程制定实例	394
思考练习题	405
参考文献	406

第一章 冲压概述

学习目的：掌握冲压的概念、特点及应用，熟悉冲压的基本工序及模具基本结构，了解冲压技术的现状、发展方向及冲压设计一般程序，注意本课程的特点与学习方法。

学习重点：冲压的概念、特点及应用，冲压的基本工序及模具基本结构。

一、冲压的概念、特点及应用

冲压是利用安装在冲压设备（主要是压力机）上的模具对材料施加压力，使其产生分离或塑性变形，从而获得所需零件（俗称冲压件或冲件）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成所需零件，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之一，是一种材料成形工程技术。

冲压所使用的模具称为冲压模具，简称冲模。冲模是将材料（金属或非金属）批量加工成所需冲件的专用工具。冲模在冲压中至关重要，没有符合要求的冲模，批量冲压生产就难以进行；没有先进的冲模，先进的冲压工艺就无法实现。

冲压工艺与模具、冲压设备以及冲压材料构成冲压加工的三要素，它们之间的相互关系如图 1-1 所示。

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都具有许多独特的优点。主要表现在：

1) 冲压加工的生产效率高，且操作方便，易于实现机械化与自动化。这是因为冲压是依靠冲模和冲压设备来完成加工，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千次以上，而且每次冲压行程就可能得到一个或多个冲件。

2) 冲压时由模具保证了冲压件的尺寸与形状精度，且一般不破坏冲压材料的表面质量，而模具的寿命一般较长，所以冲压件的质量稳定，互换性好，具有“一模一样”的特征。

3) 冲压可加工出尺寸范围较大、形状较复杂的零件，如小到钟表的秒针，大到汽车纵梁、覆盖件等，加上冲压时材料的冷变形硬化效应，冲压件的强度和刚度均较高。

4) 冲压一般没有切屑碎料生成，材料的消耗较少，且不需其他加热设备，因而是一种省料、节能的加工方法，冲压件的成本较低。

但是，冲压加工所使用的模具一般具有专用性，有时一个复杂零件需要数套模具才能加工成形，且模具制造的精度高，技术要求高，是技术密集型产品。所以，只有在冲压件生产批量较大的情况下，冲压加工的优点才能充分体现，从而获得较好的经济效益。

冲压在现代工业生产中，尤其是大批量生产中应用十分广泛。相当多的工业部门越来越多地采用冲压方法加工产品零部件，如汽车、农机、仪器、仪表、电子、航空、航天、家电

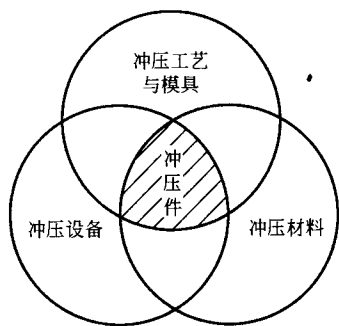


图 1-1 冲压加工的要素

及轻工等行业。在这些工业部门中，冲压件所占的比重都相当大，少则 60% 以上，多则 90% 以上。不少过去用锻造、铸造和切削加工方法制造的零件，现在大多数也被质量小、刚度好的冲压件所代替。因此可以说，如果生产中不广泛采用冲压工艺，许多工业部门要提高生产效率和产品质量、降低生产成本、加速产品更新换代等都是难以实现的。

二、冲压的基本工序及模具

由于冲压加工的零件种类繁多，各类零件的形状、尺寸和精度要求又各不相同，因而生产中采用的冲压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：分离工序是指使坯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；成形工序是指使坯料在不破裂的条件下产生塑性变形而获得一定形状和尺寸的冲压件的工序。

上述两类工序，按基本变形方式不同又可分为冲裁、弯曲、拉深、成形和冷挤压五种基本工序，每种基本工序还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 和表 1-2。

表 1-1 分离工序

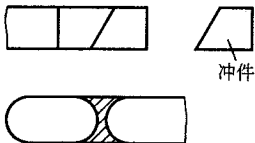
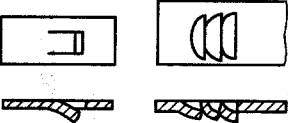
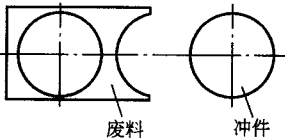
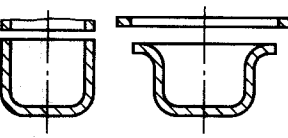
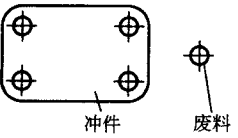
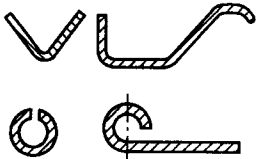
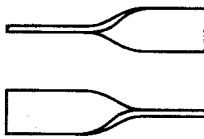
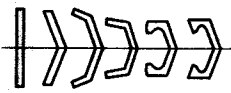
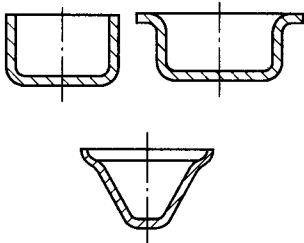
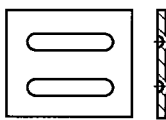
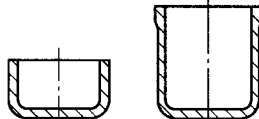
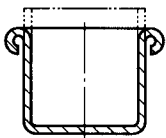
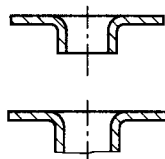
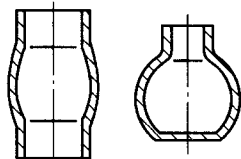
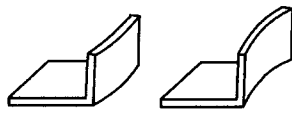
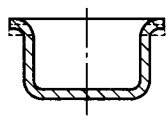
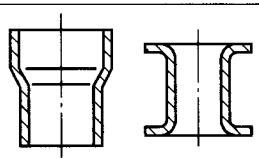
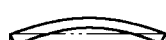
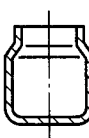
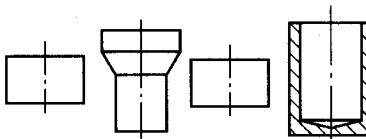
工序名称	简 图	特 点	工序名称	简 图	特 点
切 断		用剪刀或冲模切断板料，切断线不封闭	切 口		在坯料上沿不封闭线冲出缺口，切口部分发生弯曲
冲 裁		用冲模沿封闭线冲切板料，冲下来的部分为冲件	冲 裁		将工件的边缘部分切除
冲 孔		用冲模沿封闭线冲切板料，冲下来的部分为废料	剖 切		把工件切开成两个或多个零件

表 1-2 成形工序

工序名称	简 图	特 点	工序名称	简 图	特 点
弯 曲		将板料沿直线弯成一定的角度和曲率	扭 弯		把工件的一部分相对另一部分扭转成一定角度
拉 弯		在拉力和弯矩共同作用下实现弯曲变形	滚 弯		通过一系列轧辊把平板卷料辊弯成复杂形状

(续)

工序名称		简 图		特 点		工序名称		简 图		特 点	
拉 探	拉 探			把平板坯料制成开口空心件，壁厚基本不变		起伏	卷 缘			依靠材料的伸长变形使工件形成局部凹陷或凸起	
	变薄拉深			把空心件进一步拉深成侧壁比底部薄的零件						把空心件的口部卷成接近封闭的圆形	
成 形	翻 孔			沿工件上孔的边缘翻出竖立边缘		胀 形	整 形			将空心件或管状件沿径向向外扩张，形成局部直径较大的零件	
	翻 边			沿工件的外缘翻起弧形的竖立边缘						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	
	扩 口			把空心件的口部扩大		校 平	冷 挤 压			将有拱弯或翘曲的平板形件压平，以提高其平面度	
	缩 口			把空心件的口部缩小						将放在模腔内的坯料从凹模孔或凸、凹模间隙中挤出，以获得实心或空心件	

在实际生产中, 当冲压件的生产批量较大、尺寸较小而公差要求较小时, 若用分散的单一工序来冲压是不经济的, 甚至也难以达到要求, 这时在工艺上多采用工序集中的方案, 即把两种或两种以上的单一工序集中在一副模具内完成, 称为组合工序。根据工序组合的方法不同, 又可将其分为复合、级进和复合-级进三种组合方式, 其中:

复合冲压——在压力机的一次工作行程中, 在模具的同一工位上同时完成两种或两种以上不同工序的一种组合方式。

级进冲压——在压力机的一次工作行程中, 按照一定的顺序在同一模具的不同工位上完

成两种或两种以上工序的一种组合方式。

复合—级进冲压——在一副冲模上包含复合和级进两种方式的组合工序。

冲模的结构类型也很多，按工序性质通常可分为冲裁模、弯曲模、拉深模、成形模和挤压模等；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，都可看成是由上模和下模两部分组成，上模被紧固在压力机滑块上，可随滑块作上、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。工作时，坯料在下模面上通过定位零件定位，压力机滑块带动上模下压，在模具工作零件（即凸模、凹模）的作用下，坯料便产生分离或塑性变形，从而获得所需形状与尺寸的冲件。上模回升时，模具的卸料与出件装置将冲件或废料从凸、凹模上卸下或推（顶）出来，以便进行下一次冲压循环。图 1-2 为几种常见冲模的结构简图，其中凸模 1 和凹模 5 是工作零件，定位板 3 和挡料销 4 是定位零件，卸料板 2、推件杆 6、压料板（顶件板）7 等构成模具卸料与出件装置，其余是模具的支承与固定零件。

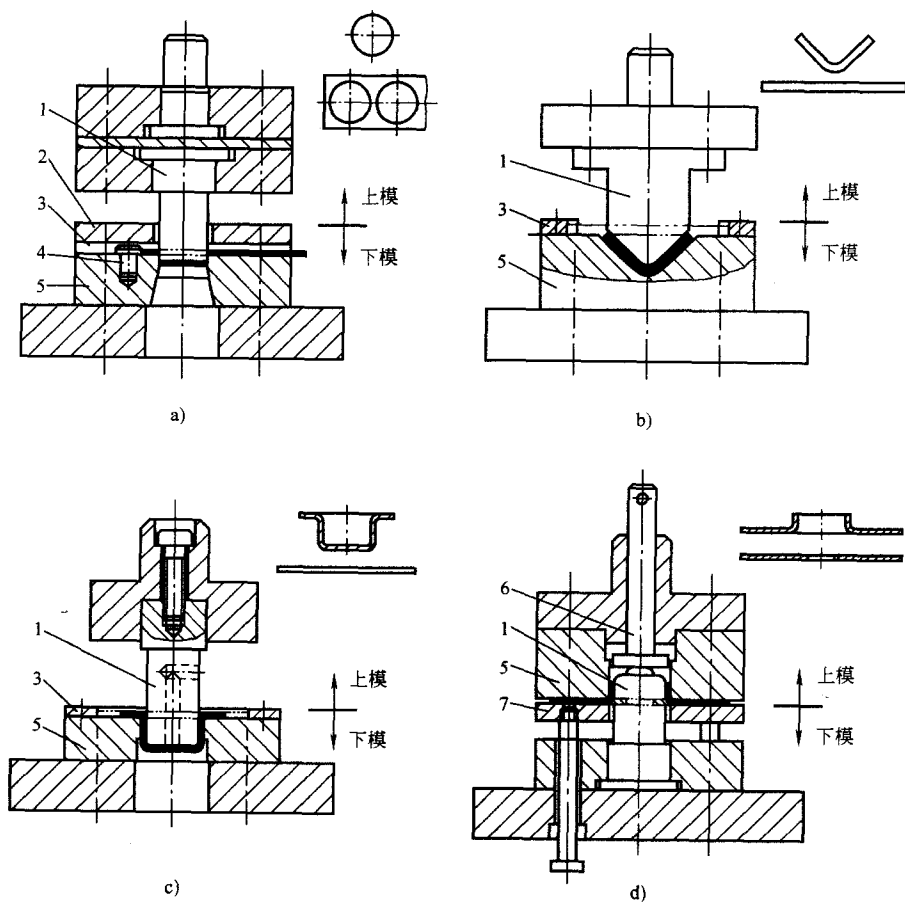


图 1-2 几种常见冲模的结构简图

a) 冲裁模（落料模） b) 弯曲模 c) 拉深模 d) 成形模（翻孔模）

1—凸模 2—卸料板 3—定位板 4—挡料销 5—凹模 6—推件杆 7—压料板

三、冲压技术的现状及发展方向

随着科学技术的不断进步和工业生产的迅速发展，许多新技术、新工艺、新设备、新材

料不断涌现,因而促进了冲压技术的不断革新和发展。其主要表现和发展方向如下:

1. 冲压成形理论及冲压工艺方面

冲压成形理论的研究是提高冲压技术的基础。目前,国内外对冲压成形理论的研究非常重视,在材料冲压性能研究、冲压成形过程应力应变分析、板料变形规律研究及坯料与模具之间的相互作用研究等方面均取得了较大的进展。特别是随着计算机技术的飞跃发展和塑性变形理论的进一步完善,近年来国内外已开始应用塑性成形过程的计算机模拟技术,即利用有限元(FEM)等数值分析方法模拟金属的塑性成形过程,根据分析结果,设计人员可预测某一工艺方案成形的可行性及可能出现的质量问题,并通过在计算机上选择修改相关参数,来实现工艺及模具的优化设计。这样既节省了昂贵的试模费用,也缩短了制模周期。

研究推广能提高劳动生产率及产品质量、降低成本和扩大冲压工艺应用范围的各种冲压新工艺,也是冲压技术的发展方向之一。目前,国内外相继涌现出了精密冲压工艺、软模成形工艺、高能高速成形工艺、超塑性成形工艺及无模多点成形工艺等精密、高效、经济的冲压新工艺。其中,精密冲裁是提高冲裁件质量的有效方法,它扩大了冲压加工范围,目前精密冲裁加工零件的厚度可达25mm,精度可达IT6~7级;用液体、橡胶、聚氨酯等作柔性凸模或凹模来代替刚性凸模或凹模的软模成形工艺,能加工出用普通加工方法难以加工的材料和复杂形状的零件,在特定生产条件下具有明显的经济效益;采用爆炸等高能高效成形方法对于加工各种尺寸大、形状复杂、批量小、强度高和精度要求较高的板料零件,具有很重要的实用意义;利用金属材料的超塑性进行超塑性成形,可以用一次成形代替多道普通的冲压成形工序,这对于加工形状复杂和大型板料零件具有突出的优越性;无模多点成形工艺是用高度可调的凸模群体代替传统模具进行板料曲面成形的一种先进工艺技术,它以CAD/CAM/CAT技术为主要手段,能快速经济地实现三维曲面的自动化成形。我国已自主设计制造了具有国际领先水平的无模多点成形设备,解决了多点压机成形法,从而可随意改变变形路径与受力状态,提高了材料的成形极限,同时利用反复成形技术可消除材料内残余应力,实现无回弹成形。

2. 冲模设计与制造方面

冲模是实现冲压生产的基本条件。在冲模的设计和制造上,目前正朝着以下两方面发展:一方面,为了适应高速、自动、精密、安全等大批量现代生产的需要,冲模正向高效率、高精度、高寿命及多工位、多功能方向发展,与此相适应的新型模具材料及其热处理技术,各种高效、精密、数控、自动化的模具加工机床和检测设备以及模具CAD/CAM技术也正在迅速发展;另一方面,为了适应产品更新换代和试制或小批量生产的需要,锌基合金冲模、聚氨酯橡胶冲模、薄板冲模、钢带冲模、组合冲模等各种简易冲模及其制造技术也得到了迅速发展。

精密、高效的多工位及多功能级进模和大型复杂的汽车覆盖件冲模代表了现代冲模的技术水平。目前,50个工位以上的级进模进距精度可达 $2\mu\text{m}$,多功能级进模不仅可以完成冲压全过程,还可完成焊接、装配等工序。我国已能自行设计制造出达到国际水平的精密多工位级进冲模,如某机电一体化的铁芯精密自动化多功能级进模,其主要零件的制造精度达 $2\sim 5\mu\text{m}$,进距精度 $2\sim 3\mu\text{m}$,总寿命达1亿次。我国主要汽车模具企业,已能生产成套轿车覆盖件模具,在设计制造方法、手段方面已基本达到了国际水平,模具结构、功能方面也接近国际水平,但在制造质量、精度、制造周期和成本方面与国外相比还存在一定差距。

模具材料及热处理与表面处理工艺对模具加工质量和寿命的影响很大,世界各主要工业国在此方面的研究取得了较大进展,开发了许多新的钢种,其硬度可达 58~70HRC,而变形只为普通工具钢的 $1/2 \sim 1/5$ 。如火焰淬火钢可局部硬化,且无脱碳;我国研制的 65Nb、LD 和 CD 等新钢种,具有热加工性能好、热处理变形小、抗冲击性能佳等特点。与此同时,还发展了一些新的热处理和表面处理工艺,主要有气体软氮化、离子氮化、渗硼、表面涂镀、化学气相沉积(CVD)、物理气相沉积(PVD)、激光表面处理等。这些方法能提高模具工作表面的耐磨性、硬度和耐蚀性,使模具寿命大大延长。

模具制造技术现代化是模具工业发展的基础。计算机技术、信息技术、自动化技术等先进技术正在不断向传统制造技术渗透、交叉、融合形成了现代模具制造技术。其中高速铣削加工、电火花铣削加工、慢走丝线切割加工、精密磨削及抛光技术、数控测量等代表了现代冲模制造的技术水平。此外,激光快速成形技术(RPM)与树脂浇注技术在快速经济制模技术中得到了成功的应用。如清华大学开发研制的“M—RPMS—II 型多功能快速原型制造系统”是我国自主知识产权的世界唯一拥有两种快速成形工艺(分层实体制造—SSM 和熔融挤压成形—MEM)的系统,它基于“模块化技术集成”之概念而设计和制造,具有较好的价格性能比。一汽模具制造公司在以 CAD/CAM 加工的主模型为基础,采用瑞士汽巴精化的高强度树脂浇注成形的树脂冲模应用在国产轿车试制中,具有制造精度较高、周期短、费用低等特点,达到了 20 世纪 90 年代国际水平,为我国轿车试制和小批量生产开辟了新的途径。

模具 CAD/CAE/CAM 技术是改造传统模具生产方式的关键技术,它以计算机软件的形式为用户提供一种有效的辅助工具,使工程技术人员能借助计算机对产品、模具结构、成形工艺、数控加工及成本等进行设计和优化,从而显著缩短模具设计与制造周期,降低生产成本,提高产品质量。随着功能强大的专业软件和高效集成制造设备的出现,以三维造型为基础、基于并行工程(CE)的模具 CAD/CAE/CAM 技术正成为发展方向,它能实现制造和装配的设计、成形过程的模拟和数控加工过程的仿真,还可对模具可制造性进行评价,使模具设计与制造一体化、智能化。

3. 冲压设备与冲压生产自动化方面

性能良好的冲压设备是提高冲压生产技术水平的基本条件,高精度、高寿命、高效率的冲模需要高精度、高自动化的冲压设备相匹配。为了满足大批量高速生产的需要,目前冲压设备也由单工位、单功能、低速压力机朝着多工位、多功能、高速和数控方向发展,加之机械手乃至机器人的大量使用,使冲压生产效率得到大幅度提高,各式各样的冲压自动线和高速自动压力机纷纷投入使用。如在数控四边折弯机中送入板料毛坯后,在计算机程序控制下便可依次完成四边弯曲,从而大幅度提高精度和生产率;在高速自动压力机上冲压电动机定、转子冲片时,一分钟可冲几百片,并能自动叠成定、转子铁芯,生产效率比普通压力机提高几十倍,材料利用率高达 97%;标称压力为 250kN 的高速压力机的滑块行程次数已达 2000 次/min 以上。在多功能压力机方面,日本会田公司生产的 2000kN“冲压中心”采用 CNC 控制,只需 5min 时间就可完成自动换模、换料和调整工艺参数等工作;美国惠特尼(Whitney)公司生产的 CNC 金属板材加工中心,生产能力为普通压力机的 4~10 倍,并能进行冲孔、分段冲裁、弯曲和拉深等多种作业。

近年来,为了适应市场的激烈竞争,对产品质量的要求越来越高,且其更新换代的周期

大为缩短。冲压生产为适应这一新的要求,开发了多种适合不同批量生产的工艺、设备和模具。其中,无需设计专用模具、性能先进的转塔数控多工位压力机、激光切割和成形机、CNC 万能折弯机等新设备已投入使用。特别是近几年来在国外已经发展起来、国内亦开始使用的冲压柔性制造单元(FMC)和冲压柔性制造系统(FMS)代表了冲压生产新的发展趋势。FMS 系统以数控冲压设备为主体,包括板料、模具、冲压件分类存放系统、自动上料与下料系统,生产过程完全由计算机控制,车间实现 24h 无人控制生产。同时,根据不同使用要求,可以完成各种冲压工序,甚至焊接、装配等工序,更换新产品方便迅速,冲压件精度也高。

4. 冲模标准化及专业化生产方面

模具的标准化及专业化生产,已得到模具行业的广泛重视。因为冲模属单件小批量生产,冲模零件既具有一定的复杂性和精密性,又具有一定的结构典型性。因此,只有实现了冲模的标准化,才能使冲模和冲模零件的生产实现专业化、商品化,从而降低模具成本,提高模具质量和缩短制造周期。目前,国外先进工业国家模具标准化生产程度已达 70%~80%,模具厂只需设计制造工作零件,大部分模具零件均从标准件厂购买,使生产效率大幅度提高。模具制造厂专业化程度越来越高,分工越来越细,如目前有模架厂、顶杆厂、热处理厂等,甚至某些模具厂仅专业化制造某类产品的冲裁模或弯曲模,这样更有利于制造水平的提高和制造周期的缩短。我国冲模标准化与专业生产近年来也有较大进展,除反映在标准件专业化生产厂家有较多增加外,标准件品种也有扩展,精度亦有提高。但总体情况还满足不了模具工业发展的要求,主要体现在标准化程度还不高(一般在 40% 以下),标准件的品种和规格较少,大多数标准件厂家未形成规模化生产,标准件质量也还存在较多问题。另外,标准件生产的销售、供货、服务等都还有待于进一步提高。

四、冲压设计的一般程序

冲压设计包括冲压工艺设计、冲压设备选用及冲压模具设计等。为了使冲压设计最大限度地适合于生产实际,保证冲压出质量与尺寸精度均满足图样要求的产品零件,既要做到技术上先进可行,又要在经济上合理,因此在冲压设计过程中,要考虑多方面的问题。概括起来包括以下主要内容:

- 1) 产品零件的质量及尺寸精度要求。
- 2) 产品零件对冲压加工的适应性。
- 3) 产品零件的生产批量。
- 4) 冲压设备条件。
- 5) 模具制造条件及技术水平。
- 6) 冲压原材料性能、规格及供应状况。
- 7) 操作方便与安全生产。
- 8) 企业管理水平。

由于冲压设计涉及的问题较多,因此在具体进行冲压工艺设计时,应该综合考虑各方面的因素,通过认真的分析比较,最终确定出最佳设计方案。

冲压设计一般按以下工作程序进行:

- 1) 收集冲压设计必需的原始资料。冲压设计的原始资料主要包括产品零件图样(或样件)及技术要求、产品零件的生产批量、车间冲压设备及模具制造条件、有关冲模标准化资

料等。

2) 分析产品零件的冲压工艺性, 如了解零件的功用及使用要求、分析零件对冲压方法的适用性及经济性等。

3) 确定冲压工艺方案, 如确定冲压加工的方法、加工工序的顺序及组合方式等。

4) 确定模具结构方案, 如确定冲模的类型、操作定位方式、卸料出件方式、模架类型等。

5) 进行有关工艺计算, 如计算坯料尺寸、排样、材料利用率、工序尺寸、模具工作部分尺寸、冲压力及压力中心等。

6) 选择冲压设备, 如选择冲压设备的类型及规格。

7) 编写冲压工艺过程卡, 如编写冲压工艺过程卡片或冲压工序卡。

8) 进行模具的总体设计, 如设计模具总装结构草图。

9) 进行模具的主要零部件设计, 如设计或选用模具零部件。

10) 校核冲压设备, 如校核冲压设备的装模尺寸及操作的安全性。

11) 绘制模具总装图和零件图, 如绘制完整的模具总装图及非标准模具零件图。

12) 校核模具图样, 如全面审核模具图样。

13) 编写设计说明书。

应当说明的是, 上述冲压设计的工作程序并非一成不变, 在某些情况下需要交叉进行, 因此设计过程要视具体情况灵活掌握。

五、本课程的学习要求与学习方法

本课程融合了冲压成形原理、冲压工艺与冲模设计、冲压成形设备等主要内容, 是模具设计与制造专业的一门主干专业课。通过本课程的学习, 应初步掌握冲压工艺过程设计及模具设计的基本方法, 合理选择、使用和维护冲压设备, 具有设计中等复杂程度冲压件的冲压工艺及模具的能力, 并能应用相关知识分析解决冲压生产中常见的产品质量及模具方面的技术问题, 并了解冲压新工艺、新模具、新设备及冲压技术的发展动向。

冲压模具及设备是一门实践性和实用性很强的学科, 它以金属学与热处理、塑性力学、金属塑性成形原理以及许多技术基础学科为基础, 与模具制造技术紧密相关, 因此学习时不但要注意系统学好本学科的基础理论知识, 而且要密切联系生产实际, 认真参加实验、实训、课程设计等实践性教学环节, 同时还要注意沟通与基础学科和相关学科知识间的联系, 培养综合运用所学知识分析解决实际问题的能力。

思考练习题

- 1-1 什么是冲压? 它与其他加工方法相比有什么特点?
- 1-2 为何冲压加工的优越性只有在批量生产的情况下才能得到充分体现?
- 1-3 冲压工序可分为哪两大类? 它们的主要区别和特点是什么?
- 1-4 简述冲压技术的发展趋势。

第二章 冲压成形的理论基础

学习目的：熟悉金属塑性变形的性质、影响因素、变形规律及冲压变形趋向性的控制，初步掌握冲压材料的成形性能、性能试验方法、冲压对材料的基本要求及材料的选用原则。

学习重点：影响金属塑性的因素，塑性变形时应力应变关系，硬化与卸载规律，变形趋向性及控制，材料的冲压性能及选用。

冲压成形是金属塑性加工的主要方法之一，冲压成形的理论是建立在金属塑性变形理论的基础之上。因此，要掌握冲压成形的加工技术，就必须对金属的塑性变形性质、规律及材料的冲压成形性能等有充分的认识。

第一节 金属塑性变形概述

一、塑性变形的物理概念

在金属物体中，原子之间作用着相当大的力，足以抵抗重力的作用，所以在没有其他外力作用的条件下，物体将保持自有的形状和尺寸。当物体受到外力作用之后，物体的形状和尺寸将发生变化，这种现象称为变形。变形的实质就是物体内部原子间的距离产生变化。

若作用于物体的外力除去以后，由外力引起的变形随之消失，物体能完全恢复成原有的形状和尺寸，这样的变形称为弹性变形。

若作用于物体的外力除去以后，物体并不能完全恢复到原有的形状和尺寸，这样的变形称为塑性变形。

塑性变形和弹性变形一样，它们都是在变形体不破坏的条件下进行的，或是在变形体局部区域不破坏的条件下进行的（即连续性不破坏）。

金属材料在外力作用下，既能产生弹性变形，又能从弹性变形发展到塑性变形，是一种具有弹塑性的工程材料。

二、塑性与变形抗力

所谓塑性，是指物体在外力的作用下产生永久变形而不破坏其完整性的能力。塑性不仅与物体材料的种类有关，还与变形方式和变形条件有关。例如，在通常情况下，铅具有很好的塑性，但在三向等拉应力的作用下，却会像脆性材料一样破裂，不产生任何塑性变形。又如，极脆的大理石，若给予三向压力作用，则可能产生较大的塑性变形。这两个例子充分说明：材料的塑性并非某种物质固定不变的性质，而是与材料种类、变形方式及变形条件有关。

金属塑性的高低通常用塑性指标来衡量。塑性指标是以材料开始破坏时的变形量表示，它可借助于各种试验方法测定。目前应用广泛的是拉伸试验，对应于拉伸试验的塑性指标通常是断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。除此以外，还有爱力克辛试验、弯曲试验（测定板料胀

形和弯曲时的塑性变形能力)和锻造试验(测定材料锻造时的塑性变形能力)。需要指出的是,各种试验方法都是相对于特定的受力状况和变形条件的,由此测定的塑性指标仅具有相对的比较意义。一种金属的塑性比另一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,而在什么样的变形条件下塑性差,这都是相对某种特定的受力状况和变形条件下而言的。

所谓变形抗力,是指在一定的变形条件(加载状况、变形温度及速度)下,引起物体塑性变形的单位变形力。变形抗力反映了物体在外力作用下抵抗塑性变形的能力。

塑性和变形抗力是两个不同的概念。通常说某种材料的塑性好坏是指受力后临近破坏时的变形程度的大小,而变形抗力是从力的角度反映塑性变形的难易程度。如奥氏体不锈钢允许的塑性变形程度大,说明它的塑性好;但其变形抗力也大,说明它需要较大的外力才能产生塑性变形。

三、塑性变形对金属组织和性能的影响

金属受外力作用产生塑性变形后,不仅形状和尺寸发生变化,而且其内部组织和性能也将发生变化,这些变化可以归纳为以下四个方面:

(1) 形成了纤维组织 多晶体经塑性变形后,各晶粒会沿变形方向伸长。当变形程度很大时,多晶体晶粒便显著地沿变形方向被拉长,于是便形成了金属的纤维组织。形成的纤维组织会使变形抗力增加,且会产生明显的各向异性(即板平面内不同方向的性能有所差异,一般顺纤维方向的力学性能高于垂直纤维方向的力学性能)。

(2) 形成了亚组织 在金属塑性变形过程中,当变形很小时,晶粒内部位错分布相对比较均匀。随着变形程度的增加,由于位错的运动和相互作用,使位错呈不均匀分布,一些位错互相纠缠在一起,形成位错缠结。继续变形时,在纠缠处的位错愈来愈多,愈来愈密。密集的位错纠结在晶粒内围成细小的粒状组织称为胞状组织或亚组织。亚组织的内部是低位错密度区域,其边界则是高位错密度区域。亚组织的形成使得位错运动更加困难,导致变形抗力的增加。

(3) 产生了内应力 由于变形过程中每个晶粒都有不同程度的变形,为了保持金属晶体的完整性,必然会在不同变形程度的晶粒之间和每个晶粒内部造成一些自相平衡的内应力,即所谓附加应力。变形终止后,附加应力遗留在金属中变成残余应力。内应力的存在,将导致金属的开裂和变形抗力的增加。

(4) 产生了加工硬化 随着变形程度的增加,金属的强度、硬度和变形抗力逐渐提高,而塑性和韧性逐渐降低(见图2-1),这种现象称为加工硬化或应变刚现象。造成加工硬化的根本原因是变形时位错运动受阻和位错密度不断增大。

金属的加工硬化在生产中具有很大的实际意义。例如,它可作为强化金属的重要手段,特别是热处理无法强化的金属材料(如纯金属、多数铜合金和镍铬不锈钢等),只能用加工硬化的方法来强化;冶金厂生产的成品材料中有“硬”、“半硬”等状态,就是经过冷轧或冷拉等方法加工硬化的。但加工硬化也有不利的一面,例如,由于塑性降低,可能给金属材料进一

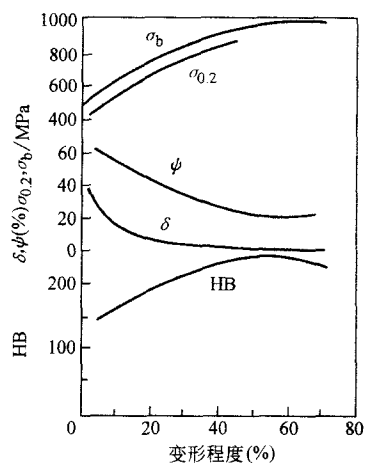


图2-1 $w_c=0.3\%$ 的碳钢冷轧后力学性能的变化

步成形带来困难；某些物理、化学性能变差，也会影响一些零件的使用。要解决这些问题，可采用一定的热处理工序。

四、影响金属塑性的因素

前述已知，金属的塑性不是固定不变的，影响因素很多，除了金属本身的内在因素（晶格类型、化学成分和金相组织等）以外，其外部因素——变形方式（应力与应变状态）、变形条件（变形温度与变形速度）的影响也很大。从冲压工艺的角度出发，加工材料给定之后，往往着重于外部条件的研究，以便创造条件，充分发挥材料的变形潜力，尽可能地减少冲压工序次数，提高经济效益。

(1) 金属的成分和组织结构 组成金属的晶格类型，杂质的性质、数量及分布情况，晶粒大小、形状及晶界强度等不同，金属的塑性就不同。一般来说，组成金属的元素越少（如纯金属和固溶体）、晶粒愈细小、组织分布愈均匀，则金属的塑性愈好。

(2) 变形时的应力状态 因为金属的塑性变形主要依靠晶面的滑移作用，而金属变形时的破坏则是由于晶内滑移面上裂纹的扩展以及晶间变位时结合面的破坏造成的。压应力有利于封闭裂纹，阻止其继续扩展，有利于增加晶间结合力，抑制晶间变位，减小晶间破坏的倾向。所以，金属变形时，压应力的成分愈多，金属愈不易破坏，其可塑性也就愈好。与此相反，拉应力则易于扩展材料的裂纹与缺陷，所以拉应力的成分愈大，愈不利于金属可塑性的发挥。

(3) 变形温度 变形温度对金属的塑性有重大影响。就大多数金属而言，其总的趋势是：随着温度的升高，塑性增加，变形抗力降低（金属的软化）。温度增高能使金属软化的原因是：随着温度的增加，金属组织发生了回复与再结晶；滑移所需临界切应力降低，使滑移系增加；产生了新的变形方式——热塑性变形（扩散塑性）等。

值得指出的是，加热软化趋势并不是绝对的。有些金属在温升过程中的某些区间，由于过剩相的析出或相变等原因，可能会使金属的塑性降低和变形抗力增加。如碳钢加热到 200~400℃ 之间时，因为时效作用（夹杂物以沉淀的形式在晶界滑移面上析出）使塑性降低，变形抗力增加，脆性增大，这个温度范围称为蓝脆区。而在 800~950℃ 范围内，又会出现热脆，使塑性降低，原因是铁与硫形成的化合物 FeS 几乎不溶于固体铁中，形成低熔点的共晶体（ $\text{Fe} + \text{FeS} + \text{FeO}$ ），如果处在晶粒边界的共晶体熔化，就会破坏晶粒间的结合。因此，选择变形温度时，碳钢应避免蓝脆区和热脆区。

在冲压工艺中，有时也采用加热冲裁或加热成型的方法来提高材料塑性和降低变形抗力，以增加变形程度和减小冲压力。有些工序（如差温拉深）中还采用局部冷却的方法，以增强变形区的变形抗力，提高坯料危险断面的强度，从而达到延缓破坏、增大变形程度的目的。

(4) 变形速度 变形速度是指单位时间内应变的变化量，但在冲压生产中不便控制和计量，故以压力机滑块的移动速度来近似反映金属的变形速度。变形速度对金属塑性的影响比较复杂。一方面，增加变形速度，由于要驱使数目更多的位错同时运动，且要求位错运动的速度增大，而断裂抗力基本没有变化，从而导致金属的塑性降低；另一方面，增加变形速度，由于塑性变形功转变为热能的热效应显著，引起金属温度的升高，从而降低变形抗力，提高塑性。对大多数金属来说，塑性随变形速度变化的一般趋势如图 2-2 所示。

目前，常规冲压使用的压力机工作速度较低，对金属塑性变形的影响不大。而考虑速度