



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育机电类规划教材

SUXING CHENGXING GONGYI YU MUJU SHEJI

塑性成形工艺与 模具设计

第3版

高锦张 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育机电类规划教材

塑性成形工艺 与模具设计

第3版

主 编 高锦张
副主编 陈文琳 贾俐俐
参 编 袁国定 柯旭贵
主 审 吴公明 洪深泽



机械工业出版社

本书系统地介绍了金属塑性成形中的冲压工艺、热锻工艺和冷锻工艺的成形方法及模具设计,分别叙述了各类塑性成形工艺的特点、工序分类、工艺方案的制订、工艺力的计算、模具设计及设备的选用。并介绍了氮气弹簧技术在冲压工艺与模具设计中的应用。

本书可作为高等学校机械类、材料工程类专业本科及专科教材,也可供从事金属塑性成形生产和科研工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

塑性成形工艺与模具设计/高锦张主编. —3版. —北京:机械工业出版社, 2015.5

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 普通高等教育机电类规划教材

ISBN 978-7-111-49599-4

I. ①塑… II. ①高… III. ①金属压力加工-塑性变形-生产工艺-高等学校-教材②金属压力加工-模具-设计-高等学校-教材 IV. ①TG3

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第047457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:丁昕祯 责任编辑:丁昕祯

责任校对:纪敬 封面设计:张静

责任印制:李洋

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2015年6月第3版第1次印刷

184mm×260mm·27.75印张·668千字

标准书号:ISBN 978-7-111-49599-4

定价:57.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

普通高等教育机电类规划教材编审委员会

主 任：邱坤荣

副主任：黄鹤汀 左健民 章 跃 王晓天
周建方 沈世德

秘 书：周骥平

委 员：（排名不分先后）

周骥平	徐文宽	唐国兴	邓海平
戴国洪	李纪明	蒋同洋	鲁屏宇
葛士恩	赵连生	芮延年	王 萍
乔 斌	李建启	葛友华	

20 世纪末、21 世纪初，在社会主义经济建设、社会进步和科技飞速发展的推动下，在经济全球化、科技创新国际化、人才争夺白炽化的挑战下，我国高等教育迅猛发展，胜利跨入了高等教育大众化阶段，使高等教育理念、定位、目标和思路等发生了革命性变化，正在逐步形成以科学发展观和终身教育思想为指导的新的高等教育体系和人才培养工作体系。在这个过程中，一大批应用型本科院校和高等职业技术学院异军突起，超常发展，1999 年已见端倪。当时我们敏锐地感到，这批应用型本科院校的崛起，必须有相应的应用型本科教材来满足她的教学需求，否则就有可能使她回到老本科院校所走过的学术型办学路子。2000 年下半年，我们就和机械工业出版社、扬州大学工学院、南京工程学院、河海大学常州校区、淮海工学院、南通工学院、盐城工学院、淮阴工学院、常州工学院、江南大学等 12 所高校在南京工程学院开会，讨论策划编写出版机电类应用型本科系列教材问题，规划出版 38 种，并进行了分工，提出了明确的规范要求，得到江苏省各方面的支持和配合。2001 年 5 月开始出书，到 2004 年 7 月已出齐 38 种，还增加了 3 种急需的教材，总册数已达 45 万册。每种至少有 2 次以上印刷，最多的印刷了 5 次、发行量达 2.5 万册。据调查，用户反映良好，并反映这个系列教材基本上体现了我在序言中提出的四个特点，符合地方应用型工科本科院校的教学实际，较好地满足了一般应用型工科本科院校的教学需要。用户的评价使我们很高兴，但更是对我们的鞭策和鼓励，实际上这一轮机电类教材存在的问题还不少，需要改进的地方还很多。我们应当为过去取得的进步和成绩而高兴，同样，我们更应当为今后的进一步发展而正视自己，我们并不需要刻意去忧患，但确实存在值得忧患的现实而不去忧患，就很难有更美好的明天。我们应该以对国家、对人民、对社会、对受教育者高度负责的精神，在总结前一阶段经验教训的基础上，坚持以国家新时期教育方针和科学发展观为指导，坚持高标准、严要求，坚持“质量第一、多样发展、打造精品、服务教学”的方针，把下一轮机电类教材修订、编写、出版工作做大、做优、做精、做强，为建设有中国特色的高水平的地方工科应用型本科院校做出新的更大贡献。

一、坚持用科学发展观指导教材修订、编写和出版工作

应用型本科院校是我国高等教育在推进大众化过程中崛起的一种新的办学类型，它除应恪守大学教育的一般办学基准外，还应有自己的个性和特色，就是要在培养具有创新精神、创业意识和创造能力的工程、生产、管理、服务一线需要的高级技术应用型人才方面办出自己的特色和水平。应用型本科人才的培养既不能简单“克隆”现有的本科院校，也不能是原有专科培养体系的相似放大。应用型人才的培养，重点仍要思考如何与社会的需求对接。既要从学生的角度考虑，以人为本，把素质教育的思想贯穿教育教学的每一个环

节,实现人的全面发展;又要从经济建设的实际需求考虑,多类型、多样化地培养人才,但最根本的一条还是坚持面向工程实际,面向岗位实务,按照“本科学历+岗位技术”的双重标准,有针对性地进行人才培养。根据这样的要求,“强化理论基础,提升实践能力,突出创新精神,优化综合素质”应当是工作在一线的本科应用型人才的基本特征,也是本科应用型人才的总体质量要求。

培养应用型人才的关键在于建立应用型人才的培养模式。而培养模式的核心是课程体系与教学内容。应用型的人才培养必须依靠应用型的课程和内容,用学科型的教材难以保证培养目标的实现。课程体系与教学内容要与应用型的人才的知识、能力、素质结构相适应。在知识结构上,科学文化基础知识、专业基础知识、专业知识、相关学科知识四类知识在纵向上应向应用前沿拓展,在横向上应注重知识的交叉、联系和衔接。在能力结构上,要强化学生运用专业理论解决实际问题的实践能力、组织管理能力和社会活动能力,还要注重思维能力和创造能力的培养,使学生思路清晰、条理分明,有条不紊地处理头绪纷繁的各项工作,创造性地工作。能力培养要贯彻到教学的整个过程之中。如何引导学生去发现问题、分析问题和解决问题应成为我们应用型本科教学的根本。

探讨课程体系、教学内容和培养方法,还必须服从和服务于大学生全面素质的培养。要通过形成新的知识体系和能力延伸,以促进学生思想道德素质,文化素质,专业素质和身体、心理素质的全面提高。因此,要在素质教育的思想指导下,对原有的教学计划和课程设置进行新的调整和组合,使学生能够适应社会主义现代化建设的需要。我们强调培养“三创”人才,就应当用“三创教育”、人文教育与科学教育的融合等适应时代的教育理念,选择一些新的课程内容和新的教学形式来实现。

研究课程体系,必须看到经济全球化与我国加入世界贸易组织,以及高等教育的国际化对人才培养的影响。如果我们的课程内容缺乏国际性,那么我们所培养的人才就不可能具备参与国际事务、国际交流和国际竞争的能力。应当研究课程的国际性问题,增设具有国际意义的课程,加快与国外同类院校的课程接轨。要努力借鉴国外同类应用型本科院校的办学理念和培养模式、做法来优化我们的教学。

在教材编、修、审全过程中,必须始终坚持以人的全面发展为本,紧紧围绕培养目标和基本规格进行活生生的“人”的教育。一所大学使得师生获得自由的范围和程度,往往是这所大学成功和水平的标志。同样,我们修订和编写教材,提供教学用书,最终是为了把知识转化为能力和智慧,使学生获得谋生的手段和发展的能力。因此,在修订、编写教材过程中,必须始终把师生的需要和追求放在首位,努力提供教的方便和学的便捷,努力为教师和学生留下充分展示自己教和学的风格和特色的发展空间,使他们游刃有余,得心应手,还能激发他们的科学精神和创造热情,为教和学的持续发展服务。教师是课堂教学的组织者、合作者、引导者、参与者,而不应是教学的权威。教学过程是教师引导学生,和学生共同学习、共同发展的双向互促过程。因此,修订、编写教材对于主编和参加编写的教师来说,也是一个重新学习和思想水平、学术水平不断提高的过程,决不能丢失自我,决不能将“枷锁”转嫁别人,这里“关键在自己战胜自己”,关键在自己的理念、学识、经验和水平。

二、坚持质量第一,努力打造精品教材

教材是教学之本。大学教材不同于学术专著,它既是学术专著,又是教学经验之理性

总结,必须经得起实践和时间的考验。学术专著的错误充其量只会贻笑大方,而教材之错误则会贻害一代青年学子。有人说:“时间是真理之母”。时间是对我们所编写教材质量的最严厉的考官。目前,我们的教材才使用了几年,还很难说就是好教材,因为前一阶段主要是解决有无问题,用户还没有来得及去总结和反思,所以有的问题可能还没有来得及暴露。我们必须清醒地看到这一点。今后,更要坚持高标准、严要求,用航天人员“一丝不苟”“一秒不差”的精神严格要求自己,确保教材质量和特色。为此,必须采取以下措施:第一,高等教育的核心资源是一支优秀的教师队伍,必须重新明确主编和参加编写教师的标准和要求,实行主编招标和负责制,把好质量第一关;第二,教材要从一般工科本科应用型院校实际出发,强调实际、实用、实践,加强技能培养,突出工程实践,内容适度简练,跟踪科技前沿,合理反映时代要求,这就要求我们必须严格把好教材编写或修订计划的评审关,择优而用;第三,加强教材编写或修订的规范管理,确保参编、主编、主审以及交付出版社等各个环节的质量和要求,实行环节负责制和责任追究制;第四,确保出版质量;第五,建立教材评价制度,奖优罚劣。对经过实践使用,用户反映好的教材要进行修订再版,切实培育一批名师编写的精品教材。出版的精品教材必须和多媒体课件配套,并逐步建立在线学习网站。

三、坚持“立足江苏、面向全国、服务教学”的原则,努力扩大教材使用范围,不断提高社会效益

下一轮教材编写和修订工作,必须加快吸收有条件有积极性的外省市同类院校、民办本科院校、独立学院和有关企业参加,以集中更多的力量,建设好应用型本科教材。同时,要相应调整编审委员会的人员组成,特别要注意充实省内外的优秀的“双师型”教师和有关企业专家。

四、建立健全用户评价制度

要在使用这套教材的省市有关高校建立教材使用质量跟踪调查,并建立网站,以便快速、便捷、实时地听取各方面的意见,不断修改、充实和完善我们的教材编写和出版工作,实实在在地为教师和学生提供精品服务,实实在在地为培养高质量的应用型本科人才服务。同时也努力为造就一批工科应用型本科院校高素质高水平的教师提供优良服务。

本套教材的编审和出版一直得到机械工业出版社、江苏省教育厅及各主编、主审和参加编写高校的大力支持与配合,在此,一并表示衷心感谢。今后,我们应一如既往地更加紧密地合作,共同为工科应用型本科院校教材建设作出新的贡献,为培养高质量的应用型本科人才作出新的贡献,为建设有中国特色社会主义的应用型本科教育作出新的努力。

普通高等教育机械工程及自动化专业
机电类规划教材编审委员会

主任 教授 邱坤荣

前言

本教材为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在《塑性成形工艺与模具设计》(第2版)的基础上修订而成,主要适用于材料成形与控制工程专业、引导性机械工程及自动化专业、材料科学与工程专业对金属塑性加工课程的教学要求而编写的。

本教材将金属塑性成形的各类工艺包括冲压工艺与模具设计、热锻工艺与模具设计、冷锻工艺与模具设计及塑性成形设备等多门塑性成形工程方面的专业课程,整合成一门金属塑性加工的综合工艺课程,便于在新专业目录的培养计划中,有系统、有重点地介绍金属塑性成形的各类工艺及模具设计的基本知识。在编写过程中,注重概念、突出工艺分类、强调模具结构。内容处理注意宽、精、新的结合,注重塑性理论指导工艺设计的紧密关系。

本书按照金属塑性成形的二次塑性加工分类法,按**板料成形**、**热体积成形**、**冷体积成形**将内容分为三篇。第一篇介绍板料成形即冲压工艺与模具设计,全篇内容分为八章。第一章介绍冲压工艺的特点、分类、发展方向、冲压用材料及设备;第二、三、四章分别重点介绍冲裁、弯曲、拉深的工艺与模具设计;第五章到第七章介绍其他板料成形工艺与模具设计、多工位级进模设计及简易冲模设计;第八章着重介绍新兴的氮气弹簧技术在冲压工艺与模具设计中的应用。第二篇分六章介绍热体积成形即热锻工艺与模具设计。第九章介绍热锻工艺的特点、坯料的准备、加热规范与方法、热锻的温度范围及常见缺陷;第十、十一章重点介绍自由锻造工艺和锤上模锻工艺及模具设计;第十二、十三章介绍其他压力机模锻工艺及模具设计以及模锻件的后续处理工序;第十四章简要介绍各类特种模锻工艺。第三篇分六章介绍冷体积成形即冷锻工艺与模具设计。第十五章介绍冷锻的概念、特点及发展方向,第十六章介绍冷锻工艺的基本工序,第十七到第二十章分别介绍冷锻用原材料与制坯、冷锻力与压力机的选用、冷锻工艺过程设计、冷锻模具的结构设计,其中重点讲述冷挤压的工艺制订与模具设计。

绪论、第一章、第二章中的第一至八节、第八、十五、十六、十七、十八章由东南大学高锦张编写。第九、十、十一、十二、十三、十四章由合肥工业大学陈文琳编写;第二章的第九、十、十一节、第三、四、二十章由南京工程学院贾俐俐编写;第五章由江苏理工大学的袁国定编写;第六、七、十九章由南京工程学院柯旭贵编写。本教材由高锦张主编,陈文琳、贾俐俐任副主编,上海交通大学吴公明教授和合肥工业大学洪深泽教授担任主审。

本书在编写过程中,还得到了东南大学林萍华教授、许映秋教授、合肥工业大学刘全坤教授、北京农业大学郑智受教授的悉心指导和帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限,不当之处敬请读者提出宝贵意见。

编者

目 录

序

前言

绪论	1
----------	---

第一篇 冲压工艺与模具设计

第一章 冲压工艺概述	9
第一节 冲压工艺特点	9
第二节 冲压工艺分类	10
第三节 冲压技术的发展	13
第四节 冲压工艺用材料	15
第五节 冲压设备	19
思考与练习题	24
第二章 冲裁工艺与模具设计	25
第一节 冲裁工艺分析	25
第二节 冲裁件质量及影响因素	27
第三节 冲裁模间隙	29
第四节 凸、凹模刃口尺寸的计算	33
第五节 排样	37
第六节 冲裁工艺力的确定	42
第七节 冲裁工艺设计	45
第八节 冲裁模的类型与结构	49
第九节 冲模主要零件的设计及标准的选用	54
第十节 冲裁模结构设计	69
第十一节 精密冲裁工艺与模具设计	71
思考与练习题	77
第三章 弯曲工艺与模具设计	79
第一节 弯曲变形分析	79
第二节 宽板弯曲时的主应力值和应力中性层的位置	83
第三节 弯曲件应变中性层的位置及弯曲毛坯长度的计算	86

第四节 最小相对弯曲半径	88
第五节 弯曲力的计算	91
第六节 弯曲回弹	93
第七节 弯曲工艺设计	96
第八节 弯曲模的类型与结构	99
第九节 弯曲模工作部分的设计	104
思考与练习题	106
第四章 拉深工艺与模具设计	108
第一节 拉深变形过程分析	109
第二节 直壁旋转体零件拉深工艺计算	116
第三节 非直壁旋转体零件拉深成形方法	131
第四节 盒形件的拉深	134
第五节 拉深工艺设计	140
第六节 拉深模的类型与结构	147
第七节 拉深模工作部分的设计	150
第八节 其他拉深方法	154
思考与练习题	157
第五章 其他成形工艺与模具设计	159
第一节 翻边	159
第二节 缩口	167
第三节 旋压	169
第四节 胀形	172
第五节 大型覆盖件的成形	179
第六节 渐进成形	183
思考与练习题	188
第六章 多工位级进模设计	189
第一节 多工位级进模的排样设计	189
第二节 多工位级进模典型结构	200
第三节 多工位级进模主要零件设计	206
第四节 级进模的尺寸标注	220
思考与练习题	221
第七章 简易冲模设计	223
第一节 聚氨酯橡胶模	223
第二节 铋-锡低熔点合金模	227
第三节 锌基合金模	228
第四节 通用冲模与组合冲模	230
第五节 钢带冲模	232

思考与练习题	234
--------------	-----

第八章 氮气弹簧在冲压模具中的应用	235
--------------------------------	------------

第一节 氮气弹簧的作用与发展概况	235
第二节 氮气弹簧的设计原理与特性	236
第三节 氮气弹簧的结构与分析	239
第四节 氮气弹簧在冲压工艺和模具中的应用	242
思考与练习题	245

第二篇 热锻工艺与模具设计

第九章 热锻工艺概述	249
-------------------------	------------

第一节 热锻工艺特点	249
第二节 热锻原材料及下料方法	251
第三节 锻前加热的目的及方法	252
第四节 热锻温度范围的确定	255
第五节 钢在加热中的常见缺陷与加热规范的制订	257
思考与练习题	259

第十章 自由锻造工艺	260
-------------------------	------------

第一节 自由锻工序分类	260
第二节 自由锻基本工序分析	261
第三节 自由锻工艺规程制订	270
第四节 胎模锻造简介	277
思考与练习题	279

第十一章 锤上模锻工艺及模具设计	280
-------------------------------	------------

第一节 模锻件的分类	280
第二节 模锻件图的制订	281
第三节 终锻型腔的设计	284
第四节 预锻型腔的设计	288
第五节 其他型腔设计	295
第六节 毛坯体积计算与尺寸确定	300
第七节 锻锤吨位的确定	301
第八节 锻模的结构设计与锻模材料	301
思考与练习题	306

第十二章 压力机模锻工艺及模具设计	308
--------------------------------	------------

第一节 热模锻压力机模锻工艺及模具设计	308
第二节 摩擦压力机模锻工艺及模具设计	315
第三节 平锻机上模锻工艺及模具设计	320
思考与练习题	322

第十三章 模锻件的后续工序	323
第一节 锻件的切边和冲孔	323
第二节 锻件的校正	325
第三节 锻件的冷却与热处理	326
第四节 锻件的清理与检验	327
第五节 模具的检验、维修与使用寿命	328
第六节 模锻件缺陷及修正方法	329
思考与练习题	331
第十四章 特种模锻	332
第一节 辊锻	332
第二节 环形件辗压	335
第三节 斜轧和横轧	337
第四节 径向锻造	338
第五节 多向模锻	339
第六节 粉末锻造	341
第七节 电热墩锻	342
第八节 摆动辗压	343
第九节 液态模锻	344
思考与练习题	345
第三篇 冷锻工艺与模具设计	
第十五章 冷锻工艺概述	349
第一节 冷锻的定义	349
第二节 冷锻的特点	350
第三节 冷锻的发展	350
思考与练习题	352
第十六章 冷锻工艺的基本工序	353
第一节 墩锻	353
第二节 型锻与压印	355
第三节 挤压	357
第四节 模锻	364
思考与练习题	365
第十七章 冷锻用原材料与制坯	367
第一节 冷锻件用原材料	367
第二节 冷锻坯料的制备	369
第三节 冷锻毛坯的软化和表面处理与润滑	371
思考与练习题	373

第十八章 冷锻力的计算与压力机的选择	374
第一节 冷锻力的影响因素	374
第二节 冷锻力的计算	377
第三节 冷锻设备的选择	387
思考与练习题	388
第十九章 冷锻工艺过程的设计	390
第一节 适合于冷锻成形的零件	390
第二节 冷锻工艺方案的制订	393
第三节 不同冷锻工序的一次成形范围	393
第四节 中间工序设计要点	399
第五节 冷锻工序设计举例	401
思考与练习题	404
第二十章 冷锻模具设计	405
第一节 冷锻模的一般结构及特点	405
第二节 典型冷锻模介绍	407
第三节 模具工作零件的设计	412
第四节 预应力组合凹模的设计	416
第五节 卸件与顶出装置	419
第六节 导向装置	422
第七节 凸、凹模的紧固方法	424
第八节 压力垫板的设计	424
第九节 冷锻用模具材料及选用	425
思考与练习题	427
参考文献	428

绪 论

塑性成形是金属加工的方法之一。它是指金属材料在一定的外力作用下,利用金属的塑性而使其成形为具有一定的形状及一定的力学性能的加工方法,也称塑性加工或压力加工。

一、塑性成形工艺的特点及应用

塑性成形工艺与金属切削加工、铸造、焊接等加工工艺相比,具有以下几个方面的特点:

(1) 材料利用率高 金属塑性成形主要是依靠金属在塑性状态下的形状变化和体积转移来实现的,不产生切屑,材料利用率高,可以节约大量的金属材料。

(2) 力学性能好 金属塑性成形过程中,金属的内部组织得到改善,制件性能好。

(3) 尺寸精度高 金属塑性成形的很多工艺方法已经达到少、无切削加工的要求,如齿轮精锻、冷挤压花键工艺,其齿形精度高,可直接使用;精锻叶片的复杂曲面可达到只需磨削的程度。

(4) 生产效率高 金属塑性成形工艺适合于大批量生产,随着塑性成形工、模具的改进及设备机械化、自动化程度的提高,生产效率得到大幅度提高。如高速压力机的行程次数已经达到 1500~1800 次/min;在热模锻压力机上锻造一根汽车发动机用的六拐曲轴只需 40s;在双动拉深压力机上成形一个汽车覆盖件仅需几秒钟。

由于金属塑性成形工艺所具有的这些特点,使之在冶金、机械、航空、航天、船舶、军工、仪器、仪表、电器和日用五金等工业领域得到广泛应用,在国民经济中占有十分重要的地位。

二、塑性成形工艺的分类

金属塑性成形的种类很多,分类方法也很多。这里介绍按被加工对象性质进行分类的方法。

根据加工对象的属性可将塑性成形分成两大类:一是以生产原材料为主的加工,称为**一次塑性加工**;二是生产零件及其毛坯的加工,称为**二次塑性加工**。

按照塑性成形毛坯的特点,通常又将塑性成形分为体积成形(块料成形)和板料成形两大类,每类又包括多种加工方法,形成各自的工艺领域。

(一) 一次塑性加工

一次塑性加工可以分为轧制、挤压、拉拔等工艺,是冶金工业中生产型材、板材、线

材、管材等的加工方法。在成形过程中,变形区的形状不随变形的进行而变化,属于稳定变形过程,适合于连续大批量的生产。

(1) 轧制 轧制是使金属坯料在两个旋转轧辊间的特定空间内产生塑性变形,以获得一定截面形状并改变其性能的塑性成形方法。这是由大截面坯料变为小截面材料常用的加工方法。轧制可分纵轧(图0-1a)、横轧和斜轧,轧制可生产型材、板材和管材。

(2) 挤压 挤压是在大截面坯料的后端施加一定的压力,使金属坯料通过一定形状和尺寸的模孔使其产生塑性变形,以获得符合模孔截面形状的小截面坯料或零件的塑性成形方法。挤压又分正挤压(图0-1b)、反挤压和复合挤压等。一次塑性加工的挤压主要用来生产型材、管材等,其中铝型材的挤压近二十年以来得到了迅速发展。

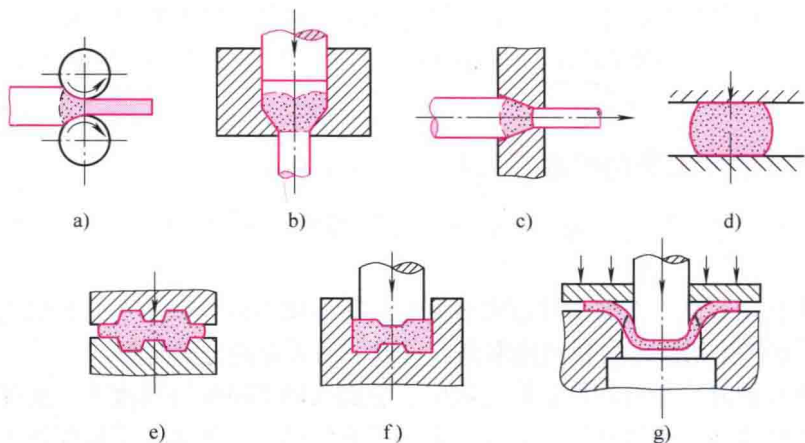


图0-1 金属塑性成形方法的种类

a) 轧制(纵轧) b) 挤压(正挤压) c) 拉拔 d) 自由锻(镦粗)
e) 开式模锻 f) 闭式模锻 g) 冲压(拉深)

(3) 拉拔 拉拔是在金属坯料的前端施加一定的拉力,将金属坯料通过一定形状、尺寸的模孔使其产生塑性变形,以获得与模孔形状、尺寸相同的小截面材料的塑性成形方法(图0-1c)。用拉拔方法可以获得各种截面的棒材、管材和线材。

(二) 二次塑性加工

塑性成形的二次塑性加工是机械制造业领域内生产零件或坯料的加工方法。二次塑性加工时,除大型锻件采用铸锭为原材料直接锻打成锻件外,一般都是以一次塑性加工获得的线、棒、管、板、型材为原材料进行再次塑性成形。它包括板料成形和体积成形两个部分。

(1) 板料成形 板料成形又称为冲压,这种成形方法多在常温下进行,所以又称为冷冲压或板料冲压。按其变形性质又可以进一步分为分离工序和成形工序。

分离工序是利用冲模在压力机外力的作用下,使板料分离出一定的形状和尺寸的工件的**冲压工序**。它包括落料、冲孔、切断、切边、剖切等工序。

成形工序是利用冲模在压力机外力的作用下,使板料产生塑性变形而得到要求的形状和尺寸的工件的**冲压工序**。包括弯曲、拉深(图0-1g)、翻边、胀形、扩口、缩口、旋压等工序。

(2) 体积成形 二次塑性加工的体积成形是**利用锻压设备及工、模具，对金属坯料(块料)进行体积重新分配的塑性变形，得到所需形状、尺寸及性能的制件**。它主要包括锻造、挤压两大类。前者在成形过程中，变形区的形状随变形的进行而发生改变，属于非稳定塑性变形；后者在变形的大部分阶段变形区的形状不随变形的进行而改变，属于稳定塑性变形。

1) 锻造。锻造通常分为**自由锻造**和**模锻**。自由锻(图0-1d)一般是在锻锤或水压机上，利用简单的工具将金属锭或块料锻成所需形状和尺寸的加工方法。自由锻时不使用专用模具，因而锻件的尺寸精度低，生产率也不高，主要用于单件、小批量生产及大锻件生产或冶金厂的开坯。模锻是在模锻锤或热模锻压力机等设备上利用模具来成形，又可以细分为开式模锻(图0-1e)和闭式模锻(图0-1f)。由于金属成形受模具控制，因此模锻件有相当精确的外形和尺寸，生产率也较高，适合于大批量生产。

2) 挤压。二次塑性加工的挤压主要用于挤压件的生产。因为挤压是在很高的三向压应力状态下的成形过程，因而允许采用很大的变形量，更适于低塑性材料成形。常温下的挤压称为冷挤压，冷挤压工艺具有优质(精度高、强度高)、高效、节材的优点，中、小型零件的冷挤压加工应用越来越广泛。

随着生产技术的发展，上述基本加工变形方式互相渗透，而产生新的组合加工变形方式。如锻造和纵轧组合的辊锻工艺，可生产各种变断面零件(如连杆等)；锻造和横轧组合的楔横轧工艺，可生产各种阶梯轴和锥形轴；锻造扩孔和横轧组合的辗环工艺，可生产各种环形件(如轴承环、火车轮箍、齿轮环等)；冲压和轧制组合的旋压工艺，可生产各种薄壁空心回转体零件；弯曲和轧制组合的辊弯工艺，可生产各种断面的冷弯型材及焊管等。

以上加工工艺说明，各种加工变形方式的互相渗透和适当组合，可开发出高效率的、新的塑性成形工艺方法。此外，随着技术的发展，也不断形成新的塑性加工方法。例如连铸连轧、液态模锻、等温锻造和超塑性成形等。所有这些都进一步扩大了塑性成形应用范围。

塑性加工中的体积成形按成形时工件的温度不同还可以分为**热锻、冷锻和温锻**三类。体积成形按温度分类见表0-1。

表 0-1 体积成形按温度分类

名 称	特 点	举 例
热锻	终锻温度高于再结晶温度的成形	自由锻、模锻、热挤压
冷锻	一般指在室温下的成形	冷挤压、冷锻锻
温锻	一般指在室温以上再结晶温度以下的成形	温挤压、温锻锻

三、塑性成形工艺与模具技术的发展趋势

迄今为止，塑性成形与模具技术取得了长足的进展，主要体现在以下几方面：①塑性成形的基础理论已基本形成；②以有限元为核心的塑性成形数值仿真技术日趋成熟，为人们认识成形过程的本质规律提供了新途径；③CAD、CAM 等技术的不断深入应用，使模具

质量提高、制造周期下降；④新的成形方法不断出现并得到成功应用。

塑性成形工艺及模具设计将沿着制件优质化、生产柔性化、工艺省力化，并向不断改善劳动环境及模具的数字化设计与制造技术等方面发展。

（一）制件优质化

它体现在两个方面，一是毛坯的尺寸精化，二是生产高性能材料的制件。为了实现锻件精化，需相应地发展精密剪切、精密制坯、少无氧化加热等技术，并提高压力机的刚度及改善模具的结构等。也可以采用温锻成形，然后在工件尺寸精度要求高的部位采用冷整形工艺的有效措施。与此同时，为了提高锻件的性能和满足特殊要求，对一些新材料，特别是塑性差的特种材料的锻造是今后研究的方向之一。

（二）生产柔性化

生产柔性化的目的是适应品种多变的需要。要求换模时间短，设备能做尽可能多的运动方式（多滑块多向滑动）；操作系统尽可能采用 CNC 及 PNC（示教再现式）控制。与此同时，应尽量采用“柔性”高的生产工艺，尽量采用少模、小模、无模成形工艺，像带自动换工具系统的自动自由锻造机、多向锻造机、环形件辗压工艺等都是些重要的发展方向。

（三）工艺省力化

变形力大是体积成形的一大缺点，这不仅相应地增加设备质量，也增大了初投资。近年来，回转成形工艺（辊锻、摆辗、楔横轧、径向锻造等）得到了很大发展，这是由于回转成形是以连续局部成形代替整体同时成形，因而变形力大幅度下降。

（四）改善劳动环境

锻造噪声大、震动大已成为公害，如何减震降噪已成为日益突出的问题。与此同时，为了减轻劳动强度，应逐步实现机械化，自动化，并尽量减少烟尘。

（五）模具的数字化技术

模具作为塑性成形加工的重要工艺装备，其设计与制造水平直接影响着机械、电子等众多领域产品的质量和生产效率。

目前在工业技术先进国家，数字化制造已经成为提高企业和产品竞争力的重要手段。制造业信息化是当今世界制造业发展的大趋势，是以信息化带动工业化战略的重要组成部分。作为制造业的重要组成部分，模具的数字化制造成为 21 世纪模具技术的核心。模具的数字化制造就是要实现设计数字化、加工数字化、管理数字化、服务咨询数字化等。数字化技术的应用，导致了制造信息的表示、存储、处理、传递等方法的深刻变革，使模具制造业逐步由传统的生产型向知识型模式转化。数字化设计、加工、分析技术以及数字化制造中的资源管理技术等构成了模具数字化制造的支撑技术。

（1）模具数字化设计技术 如何增强产品的市场竞争能力，提高产品质量、缩短开发周期已成为现代模具制造企业的追求目标。中国模具制造业已经历了以甩图板为目标的计算机辅助绘图历程，现在许多企业正在实施以建立全局产品模型为目标的三维设计与分析，这对增强企业的市场竞争力起到了积极的作用。但模具设计是一个知识驱动的创造性过程，它包含了对知识的继承、集成、创新和管理。随着世界制造业竞争的加剧，创新产品的开发已成为竞争的关键所在，而创新产品的竞争优势在于其所拥有的知识含量。随着智能技术的发展，如何将人类知识作为改造传统产业的原动力已成为重要的研究课题。在