



普通高等教育规划教材

模具制造工艺

傅建军 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育规划教材

模具制造工艺

主 编 傅建军
副主编 吴江柳 韩 飞
参 编 黄诗君 罗 锋
石健滨 沈耀仁
主 审 焦馥杰



机械工业出版社

本书系统地介绍了模具制造工艺。主要内容包括模具机械加工的基本理论；模具机械加工；模具数控加工；模具特种加工；模具快速成形加工；其他模具加工新技术；典型模具制造工艺以及典型模具的装配与调试。本书在内容上注重系统性、实用性和先进性。

书中的例子和方法主要取自于工程实例和实际应用的工程方法，以增强读者的工程化意识，并间接获取一定的工程经验。

本书主要作为应用型本科和高等专科学校的材料成形及控制工程专业的教材，内容上兼顾其他相关专业学生选修课需要，并可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

模具制造工艺/傅建军主编. —北京: 机械工业出版社, 2004. 8
普通高等教育规划教材
ISBN 7-111-14592-5

I. 模… II. 傅… III. 模具-制造-工艺-高等学校-教材
IV. TG766

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 052301 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: 张祖凤

责任编辑: 倪少秋 版式设计: 张世琴 责任校对: 刘志文

封面设计: 陈 沛 责任印制: 洪汉军

北京中兴印刷有限公司印刷 · 新华书店北京发行所发行

2004 年 7 月第 1 版 · 第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5 · 7.625 印张 · 294 千字

定价: 19.50 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

封面无防伪标均为盗版

普通高等教育应用型人才培养规划教材 编审委员会名单

主 任：刘国荣 湖南工程学院

副主任：左健民 南京工程学院

陈力华 上海工程技术大学

鲍 泓 北京联合大学

王文斌 机械工业出版社

委 员：（按姓氏笔画排序）

刘向东 华北航天工业学院

任淑淳 上海应用技术学院

何一鸣 常州工学院

陈文哲 福建工程学院

陈 峻 扬州大学

苏 群 黑龙江工程学院

娄炳林 湖南工程学院

梁景凯 哈尔滨工业大学（威海）

童幸生 江汉大学

材料成形及控制工程专业教材编委会

主 任：计伟志 上海工程技术大学

副主任：李 尧 江汉大学

王卫卫 哈尔滨工业大学（威海）

委 员：（按姓氏笔画排序）

王高潮 南昌航空学院

邓 明 重庆工学院

齐晓杰 黑龙江工程学院

肖小亭 广东工业大学

李慕勤 佳木斯大学

张 旭 湖南工程学院

周述积 湖北汽车工业学院

侯英玮 大连铁道学院

胡礼木 陕西理工学院

胡成武 株洲工学院

施于庆 浙江科技学院

贾俐俐 南京工程学院

翁其金 福建工程学院

傅建军 华北航天工业学院

序

工程科学技术在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。随着知识经济时代的到来,科学技术突飞猛进,国际竞争日趋激烈。特别是随着经济全球化和我国加入 WTO,世界制造业将逐步向我国转移。有人认为,我国将成为世界的“制造中心”。有鉴于此,工程教育的发展也因此面临着新的机遇和挑战。

迄今为止,我国高等工程教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大的贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标排名世界第 36 位,与我国科技人员总数排名世界第一形成很大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员特别是工程应用型技术人才市场供给不足。在此形势下,国家教育部近年来批准组建了一批以培养工程应用型本科人才为主的高等院校,并于 2001、2002 年两次举办了“应用型本科人才培养模式研讨会”,对工程应用型本科教育的办学思想和发展定位作了初步探讨。本系列教材就是在这种形势下组织编写的,以适应经济、社会发展对工程教育的新要求,满足高素质、强能力的工程应用型本科人才培养的需要。

航天工程的先驱、美国加州理工学院的马·卡门教授有句名言:“科学家研究已有的世界,工程师创造未有的世界。”科学在于探索客观世界中存在的客观规律,所以科学强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学(包括自然科学、技术科学和社会科学)理论和技术手段去改造客观世界的实践活动,所以它强调综合,强调方案优缺点的比较并做出论证和判断。这就是科学与工程的主要不同之处。这也就要求我们对工程应用型人才的培养和对科学研究型人才的培养应实施不同的培养方案,采用不同的培养模式,采用具有不同特点的教材。然而,我国目前的工程教育没有注意到这一点,而是:①过分侧重工程科学(分析)方面,轻视了工程实际训练方面,重理论,轻实践,没有足够的工程实践训练,工程教育的“学术化”倾向形成了“课题训练”的偏软现象,导致学生动手能力差。②人才培养模式、规格比较单一,课程结构不合理,知识面过窄,导致知识结构单一,所学知识中有一些内容已陈旧,交叉学科、信息学科的内容知之甚少,人文社会科学知识薄弱,学生创新能力不强。③教材单一,注重工程的科学分析,轻视工程实践能力的培养;注重理论知识的传授,轻视学生个性特别是创新精神的培养;注重教材的系统性和完整性,造成课程方面的相互重复、脱节等现象;缺乏工程应用背景,存在内容陈旧的现象。④老师缺乏工程实践经验,自身缺乏“工程训



练”。⑤工程教育在实践中与经济、产业的联系不密切。要使我国工程教育适应经济、社会的发展,培养更多优秀的工程技术人才,我们必须努力改革。

组织编写本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,建设一套富有特色、有利于应用型人才培养的本科教材,满足工程应用型人才培养的要求。

本套系列教材的建设原则是:

1. 保证基础, 确保后劲

科技的发展,要求工程技术人员必须具备终生学习的能力。为此,从内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后具有较强的发展后劲。

2. 突出特色, 强化应用

围绕培养目标,以工程应用为背景,通过理论与工程实际相结合,构建工程应用型本科教育系列教材特色。本套系列教材的内容、结构遵循如下9字方针:知识新、结构新、重应用。教材内容的要求概括为:“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通教学内容的基础上,挑选出最基本的内容、方法及典型应用;“新”指在将本学科前沿的新进展和有关的技术进步新成果、新应用等纳入教学内容,以适应科学技术发展的需要。妥善处理好传统内容的继承与现代内容的引进。用现代的思想、观点和方法重新认识基础内容和引入现代科技的新内容,并将这些按新的教学系统重新组织;“广”指在保持本学科基本体系下,处理好与相邻以及交叉学科的关系;“用”指注重理论与实际融会贯通,特别是注入工程意识,包括经济、质量、环境等诸多因素对工程的影响。

3. 抓住重点、合理配套

工程应用型本科教育系列教材的重点是专业课(专业基础课、专业课)教材的建设,并做好与理论课教材建设同步的实践教材的建设,力争做好与之配套的电子教材的建设。

4. 精选编者, 确保质量

遴选一批既具有丰富的工程实践经验,又具有丰富的教学实践经验的教师担任编写任务,以确保教材质量。

我们相信,本套系列教材的出版,对我国工程应用型人才培养质量的提高,必将产生积极作用,会为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

机械工业出版社颇具魄力和眼光,高瞻远瞩,及时提出并组织编写这套系列教材,他们为编好这套系列教材做了认真细致的工作,并为该套系列教材的出版提供了许多有利的条件,在此深表衷心感谢!

编 委 会 主 任 刘国荣教授
湖南工程学院院长

前 言

本书是根据2003年1月在上海工程技术大学召开的普通高等教育应用型本科材料成形及控制工程专业规划教材建设研讨会的会议纪要,以及会后所审定的《模具制造工艺》教材编写大纲编写的。

本书在编写中根据应用型本科教育的特点、专业培养目标和教学要求确定内容安排,力求通过本课程的学习,使学生系统掌握模具制造的基本理论知识和常用工艺方法,了解先进模具制造技术及发展趋势,具有分析模具结构工艺性、提高合理设计模具的能力,培养学生具有较强的从事模具制造工艺技术工作和组织模具生产管理工作的能力。

本书是材料成形及控制工程专业(模具方向)的专业教材。内容上在满足课程教学大纲的前提下,兼顾其他相关专业学生选修课需要,并可供有关工程技术人员参考。

本书的主要内容是:模具机械加工的基本理论;模具机械加工;模具数控加工;模具特种加工;模具快速成形加工;其他模具加工新技术;典型模具制造工艺;典型模具的装配与调试。

本书以模具制造为主线,首先对模具机械加工的基本理论作了较全面的介绍,然后对模具的一般传统加工方法及现代先进加工方法在突出应用性的基础上予以讲述,使学生掌握当前国内外先进的模具制造工艺。本书还对目前正在发展之中的前沿制造技术及管理模式、理念作了介绍。

本书突出应用性和针对性,注重培养学生的实际工艺分析能力,使学生能通过正确地分析设计资料来选择工艺方法,确保加工的质量、效率和成本,同时从设计、设备、材料和工艺等全方位考虑问题,寻求工艺设计的整体优化。

本书注重实用性。书中所举示例和加工工艺主要取自于工程实例和实用的工程方法,以增强学生的工程化意识,并使学生能间接获取一定的工程经验。

书中各章后均附有一定量的思考题,供教学使用。

本书绪论、第一章、第六章由华北航天工业学院傅建军编写;第二章由上海工程技术大学沈耀仁编写;第三章由上海工程技术大学吴江柳编写;第四章由广东工业大学黄诗君编写;第五章由黑龙江工程学院石健滨编写;第七章由哈尔滨工业大学(威海)韩飞编写;第八章由华北航天工业学院罗锋编写。全



书由傅建军担任主编，吴江柳和韩飞担任副主编，上海工程技术大学焦馥杰教授主审。

感谢华北航天工业学院成凤文、张泽芹老师在本书编写过程中所做的资料搜集和整理工作。感谢为本书提供参考资料的各位编者。

由于编者水平有限，错误和不妥之处在所难免，敬请各位读者不吝赐教。

编 者

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 模具制造技术的发展	1
第二节 模具制造的特点及基本要求	3
第三节 本课程的性质、任务和学习方法	5
思考题	5
第二章 模具机械加工的基本理论	6
第一节 模具制造工艺规程编制	6
一、基本概念	6
二、工艺规程制订的原则和步骤	8
三、产品图样的工艺分析	9
四、毛坯设计	11
五、定位基准的选择	13
六、零件工艺路线分析与拟定	17
七、加工余量与工序尺寸的确定	20
八、工艺装备的选择	23
第二节 模具制造精度分析	24
一、概述	24
二、影响零件制造精度的因素	25
第三节 模具机械加工表面质量	30
一、模具零件表面质量	30
二、影响表面质量的因素及改善途径	32
第四节 模具的技术经济分析	37
一、模具的生产周期	38
二、模具的生产成本	38
三、模具寿命	39
思考题	40



第三章 模具机械加工	41
第一节 普通机床加工	41
一、车削加工	41
二、铣削加工	43
三、刨削加工	43
四、磨削加工	44
第二节 模具的仿形加工	45
一、仿形加工的控制方式及工作原理	45
二、仿形加工的优缺点	46
三、仿形车削与仿形铣削加工举例	46
第三节 模具的精密加工（机械切削部分）	46
一、坐标镗床加工	46
二、坐标磨床加工	48
三、坐标尺寸换算	49
第四节 模具的成形磨削	50
一、概述	50
二、成形砂轮磨削法	50
三、夹具磨削法	52
四、成形磨削工艺尺寸的换算	55
思考题	56
第四章 模具数控加工	57
第一节 数控加工技术	57
一、数控加工基本概念	57
二、数控机床的工作原理与分类	58
三、数控加工的特点与应用	59
第二节 数控加工程序编制基础	61
一、程序编制的基本步骤与方法	61
二、数控机床的坐标系	62
三、数控程序的指令代码	66
四、数控加工程序的结构与格式	71
五、手工编程与自动编程	73
第三节 数控加工的程序编制	76
一、数控铣削加工	76
二、加工中心切削加工	80
第四节 计算机辅助制造（CAM）	91



一、CAM 技术的应用情况·····	91
二、模具 CAM 技术的应用实例 ·····	92
思考题 ·····	96
第五章 模具特种加工 ·····	98
第一节 模具电火花成形加工 ·····	98
一、电火花加工的基本原理 ·····	98
二、模具电火花加工的特点及应用范围 ·····	100
三、电火花成形加工的设备 ·····	100
四、影响电火花加工速度的基本因素 ·····	103
五、电火花穿孔、型腔加工 ·····	105
第二节 模具电火花线切割加工 ·····	115
一、电火花线切割加工的原理和特点 ·····	115
二、电火花线切割机床 ·····	116
三、数字程序编制 ·····	117
四、模具电火花线切割加工工艺 ·····	120
第三节 模具电化学加工 ·····	123
一、电化学加工的基本原理及其应用范围 ·····	123
二、模具电解加工 ·····	124
三、模具电铸成形 ·····	128
第四节 模具超声波加工与激光加工 ·····	129
一、模具的超声波加工 ·····	129
二、激光加工 ·····	130
思考题 ·····	132
第六章 模具快速成形加工 ·····	133
第一节 快速成形加工的基本原理与特点 ·····	133
一、快速成形加工概述 ·····	133
二、快速成形加工的基本原理与基本过程 ·····	133
三、快速成形加工的特点 ·····	138
第二节 快速成形加工的方法 ·····	139
一、立体印刷成形 SLA ·····	139
二、层合实体制造 LOM ·····	140
三、选区激光烧结 SLS ·····	142
四、熔融沉积制造 FDM ·····	143
五、典型快速成形加工方法的比较与选用 ·····	144
六、快速成形加工对精度的影响 ·····	145



七、快速成形加工在模具制造中的应用	146
思考题	147
第七章 其他模具制造新技术简介	148
第一节 并行工程	149
一、并行工程的产生	149
二、市场竞争对并行工程的总体需求	150
三、并行工程的核心内容	151
第二节 逆向工程制造	151
一、逆向工程的产生	151
二、逆向工程的应用	152
三、数据采集	153
四、后处理及逆向工程技术在模具 制造中的应用	154
第三节 敏捷制造	154
一、AM 的主要概念	155
二、AM 的基本特点	156
三、AM 企业的主要特征	156
第四节 精益生产	157
第五节 绿色制造	158
一、绿色制造的提出及可持续发展制造战略 ..	158
二、绿色产品	159
三、绿色制造	159
思考题	160
第八章 典型模具制造工艺	161
第一节 模架制造	161
一、上下模座的加工	161
二、导柱、导套的加工	163
三、模架的技术要求及装配	166
第二节 冷冲模制造	168
一、凸模、凹模的结构特点和技术要求	168
二、冲裁模凸模的制造工艺过程	170
三、冲裁模凹模的制造工艺过程	173
四、冷冲模结构的工艺性	178
第三节 锻模制造工艺	182
一、锻模的结构特点和技术要求	182



二、锻模加工工艺流程	184
第四节 塑料模制造工艺	186
一、塑料模制造技术要求	186
二、塑料模型腔制造工艺	187
第五节 压铸模的制造	191
一、压铸模技术要求	191
二、压铸模的制造	192
第六节 简易模具制造工艺	193
一、低熔点合金模具	194
二、锌基合金模具	196
思考题	198
第九章 典型模具的装配与调试	199
第一节 概述	199
一、模具装配的特点和内容	199
二、装配精度要求	200
三、模具装配的工艺方法	200
第二节 模具零件的固定方法	201
一、紧固件法	201
二、压入法	202
三、铆接法	202
四、热套法	203
五、焊接法	203
六、低熔点合金法	203
七、粘接法	205
第三节 间隙(壁厚)的控制方法	208
第四节 冷冲模的装配	210
一、冲裁模的装配	211
二、复合模的装配	213
三、级进模的装配	215
第五节 塑料模的装配	219
一、塑料模的装配顺序	219
二、组件的装配	220
三、塑料模总装配	225
思考题	227
参考文献	228

第一章 绪 论

第一节 模具制造技术的发展

在现代工业生产中,模具是生产各种产品的重要工艺装备,它以其特定的形状通过一定的方式使原材料成形。采用模具生产零部件,具有生产效率高、质量好、成本低、节省能源和原材料等一系列优点,在铸造、锻造、冲压、塑料、橡胶、玻璃、粉末冶金、陶瓷制品等生产行业中得到了广泛的应用,成为当代工业生产的重要手段和工艺发展方向。模具工业对国民经济和社会的发展,起着越来越重要的作用。

模具工业的快速发展,不断对模具制造技术提出更高的要求。世界上一些工业发达国家,模具制造技术的发展非常迅速。模具制造水平的高低,已成为衡量一个国家机械制造水平的重要标志之一。为了适应工业生产对模具的需求,目前,在模具制造过程中采用了许多新工艺和先进加工设备,不仅改善了模具的加工质量,也提高了模具制造的机械化、自动化程度。同时,电子计算机的应用给模具设计和制造开辟了新的广阔前景。

近年来,我国的模具制造技术也有较大发展,从过去只能制造简单模具,发展到今天可以利用现代制造技术生产一些大型、精密、复杂、长寿命的模具。目前,全国已有模具生产厂家数千个,职工数十万人,每年能生产上百万套模具。为了尽快发展我国的模具工业,国家已采取了许多具体措施,如给专业模具厂投资以供进行技术改造,将模具列为国家规划重点科研攻关项目,派有关工程技术人员出国学习考察,引进国外模具先进技术,制订有关的模具标准等。通过这一系列的措施的实施,使得我国模具工业有了很大发展。并在某些技术方面有所突破。

在科学技术的发展过程中,各学科之间总是相互促进相互依赖的,模具制造技术的发展也离不开相关技术的发展,主要表现在以下几个方面。

1. 制造设备水平的提高促进模具制造技术发展

随着先进、精密和高自动化程度的模具加工设备的应用,如数控仿形铣床、数控加工中心、精密坐标磨床、连续轨迹数控坐标磨床、高精度低损耗数控电火花成形加工机床、慢走丝精密电火花线切割机床、精密电解加工机床、三坐标测



量仪、挤压研磨机、激光快速成形设备等模具加工和检测设备的应用,拓展了可进行机械加工模具的范围,提高了加工精度,降低了制件的表面粗糙度值,大大提高了加工效率,推进了模具设计制造一体化的发展。

2. 新材料的应用促进模具制造技术发展

模具材料是影响模具寿命、质量、生产效率和生产成本的重要因素。只有高质量的、品种齐全的模具材料,模具的质量才有可能真正提高。目前我国模具的平均寿命仅为国外模具平均寿命的 $1/5 \sim 1/3$,在造成这一差距的因素中,模具材料和热处理方面的影响占 60% 以上。经过多年努力,我国已经研究开发了几十种模具新钢种及硬质合金材料,实践证明,这些材料具有良好的使用效果。目前有关部门正在继续开发生产塑料模具钢、压铸模具钢、高强韧、高耐磨优质模具钢等。在实际生产中,为促进模具制造技术的提高,模具设计和制造者应大力推广应用新型模具材料,以提高我国模具平均使用寿命。

热处理是提高模具钢的强韧性和表面性能,发挥模具钢潜力的有效措施。为了提高模具基体的强度、刚度和韧性,应进一步完善和推广使用组织预处理、高淬低回、低淬低回、低温快速退火等热处理工艺;为使模具表面强化,既提高模具表面的强度、润滑性、耐蚀性,应推广化学热处理(氮化、硫化)、渗金属、化学沉积、电镀、涂层及电火花强化等技术。

3. 标准化程度的提高促进模具制造技术发展

模具的标准化是模具工业与模具技术发展的重要标志。到目前为止,我国已经制订了冲压模、塑料模、压铸模和模具基础技术等 50 多项国家标准,基本满足了国内模具生产技术发展的需要。产品的商品化程度是以标准化为前提的,随着标准的颁布实施,模具的商品化程度也大大提高,从“八五”期间的 20% 提高到目前的 30% 以上。商品化推动了专业化生产,降低了制造成本,缩短了制造周期,提高了标准件的内外质量,也促进了新型材料的应用。随着我国加入 WTO,模具标准化程度的提高有着更加深远的意义。

4. 计算机辅助模具设计和制造(模具 CAD/CAM)

模具 CAD/CAM 技术的发展极大地促进了模具制造技术的发展。我国的模具设计与制造正朝着数字化方向发展,国内外一些通用或专用软件已经得到了比较普遍的应用,特别是模具成形零件方面的软件,这种技术采用计算机辅助设计,进而将数据交换到加工制造设备上,实现计算机辅助制造,或将设计与制造连成一体实现所谓的设计制造一体化。计算机辅助设计制造不仅提高了设计速度,还可以实现模具工作状况的模拟;不仅可以依据设计模型进行自动加工程序的编制,还可以实现加工结束后的自动检测。实践证明,采用计算机辅助设计与制造技术大大缩短了模具的制造周期,提高了模具成形零件的设计制造质量。

尽管我国的模具工业发展较快,模具制造的水平也在逐步提高,但和工业发



达国家相比,仍存在较大差距,主要表现在模具品种少、精度差、寿命短、生产周期长、经济效益差、力量分散、管理水平低等方面。由于模具制造技术的相对落后,造成了模具供不应求的状况,远不能适应国民经济发展的需要,严重影响工业产品品种的发展和质量的提高。许多模具(尤其是精密、复杂、大型模具)由于国内制造水平的限制,不得不依赖进口。

应该看到,我国模具工业要想在短时间内赶上世界工业发达国家的水平,还要付出许多艰苦的努力。根据我国模具技术的发展现状及存在的问题,模具制造技术今后应朝着以下几个方面发展:

- 1) 模具制造技术向生产精密、高效、长寿命模具方向发展,以满足模具市场的需要。
- 2) 加速模具标准化和商品化进程,以提高模具质量,缩短模具制造周期。
- 3) 大力开发和推广模具 CAD/CAM 技术,以提高模具制造过程的自动化程度。
- 4) 积极开发模具制造的新工艺、新技术,以满足用户对模具的不同需求。
- 5) 发展模具专业化生产,以提高模具制造的反应灵活性并提高质量和效率。

第二节 模具制造的特点及基本要求

1. 模具制造的特点

模具生产具有一般机械产品生产的共性,同时又具有其特殊性。与一般机械制造相比,通常模具制造难度较大。作为一种专用工艺装备,模具生产和工艺主要有以下几个方面特点。

(1) 制造质量要求高 模具制造不仅要求加工精度高,而且还要求加工表面质量好。一般来说,模具工作部分的制造公差都应控制在 $\pm 0.01\text{mm}$ 以内,有的甚至要求在微米级范围内,模具加工后的表面缺陷要求非常严格,而且工作部分的表面粗糙度要求 $R_a < 0.8\mu\text{m}$ 。

(2) 形状复杂 模具的工作部分一般都是二维或三维的复杂曲面(尤其型腔模具),而不是一般机械加工的简单几何形面。

(3) 模具生产为单件、多品种生产 每副模具只能生产某一特定形状、尺寸和精度的制件。在制造工艺上尽量采用通用机床、通用刀量具和仪器,尽可能地减少专用工具的数量。在制造工序安排上要求工序相对集中,以保证模具加工的质量和进度,简化管理和减少工序周转时间。

(4) 材料硬度高 模具实际上是一种机械加工工具,其硬度要求较高,一般都是用淬火合金工具钢或硬质合金等材料制成,若用传统的机械加工方法制