

模具工培训教材

模具制造工艺

主编 潘宝权

参编 余俊雄 葛秀达 黎泽慧

主审 欧阳永红



机械工业出版社

本书较全面、系统地讲述了现代模具制造过程中常用方法的特点和加工工艺。全书主要内容有：模具的一般机械加工、精密加工、仿形加工、数控加工、反向工程、CAD/CAM、高速切削加工、电火花成形加工、电火花线切割加工、电铸成形、电解加工、电解磨削加工、化学加工、快速成形技术、超声波加工等加工方法。同时，还介绍了模具的加工质量分析、注塑模制造工艺、冷冲压模制造工艺以及高速连续级进模的装配特点等。

本书是从事模具设计、制造、维修的技能型紧缺人才的培训教材，可供高职高专、高级技校、中职及社会培训班学员使用，也可供从事模具设计、制造的技术人员参考、还可作为机械类其他专业选修教材。

图书在版编目（CIP）数据

模具制造工艺/潘宝权主编. —北京：机械工业出版社，2004.9
模具工培训教材

ISBN 7-111-15145-3

I. 模… II. 潘… III. 模具-制造-技术培训-教材 IV. TG766

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 085482 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：何月秋 责任编辑：何月秋 邓振飞

封面设计：鞠 杨 责任印制：

印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32·14.5 印张·355 千字

定价：24.80 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

前 言

改革开放以来，模具工业飞速发展，高素质的模具制造技能人才的需求越来越大，而模具制造技能人才的培养远远滞后于市场的需求，造成模具技能人才严重短缺。近几年来，全国各地的技工学校和职业院校都在开办模具设计与制造专业并大量招生，为解决模具制造技能人才短缺问题而努力。模具制造业是一个综合性较强的行业，涉及到传统的机械加工和现代数控机械加工、电加工、化学加工、电化学加工、超声波加工、激光加工等各个领域，要求模具工应具有综合的模具制造知识和操作技能，但目前适合模具工技能人才培养的教材极其匮乏，不少技工学校、职业院校和培训班还在借用大中专教材。为了适应模具技能人才的培养和提高模具工操作技能水平的需要，编者在众多教材的基础上，结合自己从事模具制造生产的实践经验和技工教育的特点，本着“实用、够用”的原则编写本书。

本书主要内容包括：模具的加工、加工的质量分析和模具制造工艺制订三部分，为了适应模具工业发展的需要，本书着重介绍了现代先进的模具加工工艺方法和精密模具的加工工艺方法；对模具零件的加工进行了较详细的工艺分析，介绍了如何根据不同的加工条件，制订不同的工艺方法和工艺路线；较详细地叙述了常用的冷冲压模和塑料

注射模的装配方法。本书内容力求适应技工培训教育的需要，符合生产实际，简明、通俗。

本书由广州市高级技工学校潘宝权主编，由广东省高级技工学校欧阳永红主审。全书共分五章，其中第一、四、五章和第三章第三、六、七、八节由潘宝权编写；第二章第一、二、三节由余俊雄编写，第四节由黎泽慧编写；第三章第一、二、四、五节由葛秀达编写。

在本书编写过程中，美捷时喷雾阀（集团）有限公司黄楚杰工程师为高速连续给进模装配提供了宝贵的资料 and 意见。广州市高级技工学校杨伟明老师为本书绘制了许多插图，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免会有错误和不妥之处，恳切希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 概 论	1
第一节 模具制造技术的现状与发展	1
一、模具制造工业在国民经济中的重要地位	1
二、我国模具的现状与发展	2
三、模具制造技术的发展趋势	5
第二节 模具制造的要求、特点及任务	8
一、模具制造的基本要求	8
二、模具制造的特点	9
三、模具制造工艺的任务	11
第三节 学习本课程的基本要求	12
第二章 模具的机械加工	13
第一节 模具的一般机械加工	13
一、车削加工	13
二、铣削加工	31
三、刨削和插削加工	50
第二节 模具的精密加工	56
一、坐标镗床加工	56
二、坐标磨床加工	68
三、模具的成形磨削加工	81
第三节 模具的仿形加工	118
一、仿形加工及其工作原理	118
二、仿形铣削切削运动	122

三、雕刻加工.....	126
第四节 模具的数控加工.....	129
一、数控加工的基本概念.....	129
二、数控加工机床的种类.....	131
三、加工程序编制的内容和步骤.....	132
四、数控加工的工艺处理.....	143
五、数控车削加工.....	156
六、数控铣削加工.....	167
七、加工中心加工.....	184
八、模具的反向工程.....	197
九、模具 CAD/CAM.....	201
十、模具高速切削加工.....	223
第三章 模具的特种加工.....	246
第一节 电火花成形加工.....	250
一、电火花成形机床的结构组成和加工原理.....	250
二、电火花加工工艺.....	267
三、影响电火花成形加工质量的因素.....	274
四、电火花加工用工夹具.....	279
第二节 电火花线切割加工.....	279
一、电火花线切割机床和加工原理.....	279
二、电火花线切割加工的特点和应用.....	283
三、电火花线切割加工的控制原理.....	284
四、电火花线切割的编程.....	287
五、线切割加工工艺.....	321
第三节 电铸成形.....	327
一、电铸成形的原理和特点.....	327
二、电铸模具的设计和制作.....	329

三、电铸成形工艺及其应用.....	333
第四节 电 解 加 工.....	335
一、电解加工的基本原理和特点.....	335
二、电解加工工艺及其应用.....	337
第五节 电解磨削加工.....	338
一、电解磨削的基本原理.....	338
二、电解磨削的特点.....	339
三、电解磨削在模具加工中的应用.....	340
第六节 化 学 加 工.....	341
一、化学加工的原理和特点.....	342
二、照相腐蚀的工艺过程.....	343
三、照相腐蚀对模具成形零件的要求.....	346
四、照相腐蚀的应用实例.....	347
第七节 超 声 波 加 工.....	349
一、超声波抛光加工机的结构组成和工作原理.....	349
二、超声波抛光加工的特点.....	353
三、抛光工艺.....	354
四、影响抛光效率的因素.....	354
五、影响抛光表面质量的因素.....	355
第八节 快速成形技术.....	355
一、快速成形方法.....	355
二、快速成形技术的特点和应用.....	359
第四章 模具的加工质量.....	361
第一节 模具的加工精度.....	361
一、影响模具零件制造精度的因素.....	362
二、提高模具加工精度的途径.....	376
第二节 模具加工的表面质量.....	378

一、表面质量.....	378
二、影响表面质量的因素及提高表面质量的途径.....	381
第五章 模具制造工艺	390
第一节 模具制造工艺路线	392
一、模具制造工艺路线的类别.....	392
二、模具零件加工的工艺分析.....	392
三、模具零件加工的工艺过程.....	394
四、模具制造工艺路线的编制.....	395
第二节 冷冲压模制造工艺	397
一、冲裁模制造的技术要求.....	397
二、零件加工的工艺过程.....	399
三、冷冲模的装配和调整.....	403
四、高速连续级进模.....	408
第三节 注塑模制造工艺	426
一、注塑模制造的技术要求.....	426
二、塑料模型腔零件加工的工艺分析.....	430
三、型腔零件加工的工艺过程.....	432
四、塑料模的装配与调试.....	436
第三节 注塑模制造工艺	426
一、注塑模制造的技术要求.....	426
二、塑料模型腔零件加工的工艺分析.....	430
三、型腔零件加工的工艺过程.....	432
四、塑料模的装配与调试.....	436
附录 《模具制造工艺》的培训要求与建议.....	450
参考文献	454

第一章 概 论

第一节 模具制造技术的现状与发展

一、模具制造工业在国民经济中的重要地位

模具在现代生产中,是生产各种工业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变形。例如,冲压件和锻件是通过冲压或锻造方式使金属材料在模具内发生塑性变形而获得的;金属压铸件、粉末冶金零件以及塑料、陶瓷、橡胶、玻璃等非金属制品,绝大部分也是用模具成形的。

由于模具成形具有优质、高效、省料和低成本等优点,在国民经济各个部门,尤其是在机械制造、汽车、家用电器、仪器仪表、石油化工、轻工用品等各工业部门得到了极其广泛的应用,占有十分重要的地位。据统计,利用模具制造的零件,在汽车、飞机、电机电器、仪器仪表等机电产品中占 70%;在电视机、录音机、计算机等电子产品中占 80%以上;在手表、洗衣机、电冰箱等轻工产品中占 85%以上。

随着社会经济的发展,工业产品的更新换代更为迅速,人们对工业产品的品种、数量、质量及款式的要求越来越高。为满足这个需要,世界上各工业发达国家都十分重视模具制造技术的开发,大力发展模具工业,积极采用先进技术和设备,提高模具制造水平,并取得了显著的经济效益。美国是世界上的超级经济大国,也是世界模具工业的领先国家。据统计,美国模具工业总产值达 300 亿美元;而日本模具工业产值也有 158 亿美元(1999 年),比起模具工业初期的 1957 年,产值增加了约 300 倍,成为日本经济能飞速发展,



并在国际市场占有一定优势的重要原因之一。在世界经济发达的国家，模具工业产值已远远超过机床制造业的工业产值。现在，大家都认识到，研究和发展模具制造技术对于促进国民经济的发展具有特别重要的意义。模具工业因其能促进工业产品生产的发展和质量的提高。并能获得极大的经济效益，而引起了各个国家的高度重视。在日本，模具被誉为：“进入富裕社会的原动力”，在德国则冠之以“金属加工业中的帝王”。可以断言，随着工业生产的迅速发展，模具制造工业在国民经济中的地位将会日益提高，模具制造技术也会不断发展，并在国民经济发展过程中发挥越来越重要的作用。

我国对模具工业的发展十分重视，十六大报告要求“……走出一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥的新兴工业化路子”。模具是工业生产的“效益放大器”，用模具生产的最终产品的价值，往往是模具自身价值的几十倍——甚至上百倍。国民经济的五大支柱产业——机械、电子、汽车、石化、建筑，都要求模具工业的发展与之相适应。模具制造水平的高低，已成为衡量一个国家产品制造水平高低的重要标志，在很大程度上决定着产品的质量、效益和新产品的开发能力。因此，振兴和发展模具工业，日益受到国家的重视和关注。国务院颁布的《关于当前产业政策要点的决定》，就把模具制造技术的发展作为机械行业的首要任务。把模具工业列为机械工业改造序列的第一位，生产和基本建设序列的第二位。

二、我国模具的现状与发展

我国模具工业发展迅速，据资料统计，我国拥有 18000 家模具生产企业，年产值大于 300 亿元，模具工业已初具规模，加入 WTO 后，机械制造业转移，中国已成为世界制造业大国，牵动了模具制造业质与量的高度需求。抢抓新一轮世界产业结构调整 and 制造业加快转移的有利时机，在国民经济中占有重要地位的模具制造业得到



迅速发展。统计显示,1996年至2001年,我国模具制造业年产值平均增长14%~15%;2002年,全国模具总产值突破330亿元人民币,位居世界第四位。在模具产品中,有些产品已接近或达到国际水平,在国家产业发展的政策引导下,预计十五期间,模具需求量每年仍以15%的增长幅度递增,这将形成一个巨大的市场需求。

目前,我国的模具制造技术已从过去只能制造简单模具发展到可以制造大型、精密、复杂、长寿命的模具。例如在冲压模具方面,我国设计和制造的电动机定转子硅钢片硬质合金多工位自动级进模,电子、电器行业用的50余工位的硬质合金多工位自动级进模等,都达到了国际同类模具产品的技术水平。凹模镶件的重复定位精度 $<0.005\text{mm}$,步距精度 $<0.005\text{mm}$,模具成形表面粗糙度达 $R_a 0.4\sim 0.1\mu\text{m}$,零件可以互换,模具寿命可达1亿冲次的级进冲裁和叠铆相结合的技术已在高速冲床上使用,且具有自动冲切、叠压、铆合、扭角、记数分组、安全保护功能。在塑料模具方面,能设计制造汽车保险杠及整体仪表盘大型注射模,大型彩色电视机、洗衣机和电冰箱等精密、大型注射模。例如天津市通信广播公司模具厂设计和制造的汽车后保险杠模具重达10余吨、模具尺寸精度可达 $10\mu\text{m}$ 、型腔表面粗糙度 $R_a=0.1\mu\text{m}$,型芯表面粗糙度 $R_a=3.2\mu\text{m}$,模具寿命达30万次以上,达到国际同类模具产品的技术水平。

1. 我国模具制造技术的主要进步

1) 研究开发了几十种模具新钢种及硬质合金新材料,并采用了一些热处理新工艺,使模具寿命得到延长。

2) 发展了一些多工位级进模和硬质合金模等新产品,并根据国内生产需要研制了一批精密塑料注射模。

3) 研究开发了一些新技术和新工艺,如三维曲面数控仿形加工、模具表面抛光、表面皮纹加工以及皮纹辗制技术、模具钢的超塑性成形技术和各种快速制模技术等。



4) 模具加工设备已得到较大的发展。国内已能批量生产精密坐标磨床、CNC 铣床、加工中心、CNC 电火花线切割机床以及高精度的电火花成形机床等，高速加工中心和五轴加工中心也开始进入市场。

5) 模具计算机辅助设计和辅助制造（模具 CAD/CAM）已在国内数十个单位得到开发应用。

2. 我国模具还需进口的原因

虽然我国模具制造技术已得到很大发展，但仍然不能满足国民经济高速发展的需要，还需花费大量资金向国外进口一些模具，其原因是：

1) 专业化和标准化程度低。模具标准化对模具行业带来的效益是巨大的，是现代模具工业发展的必备条件之一，目前，我国有冲压模、塑料模、压铸模和模具基础技术等 50 多项国家标准，近 300 个标准号。但总体来说，模具专业化程度小于 20%，而标准化程度也只有 30% 左右。

2) 模具品种少、效率低、经济效益也差，以塑料制品来说，模具满足率仅约 40%，仪器仪表行业，模具满足率仅为 60%。

3) 制造周期长，模具精度不高，制造技术落后，与模具制造业相适应的先进设备相对较少，仅以加工中心为例，2000 年我国需要加工中心量 2666 台，其中 80% 为进口。

4) 模具寿命短，新材料使用量仅约 10%，模具的热处理技术仍为薄弱环节。

3. 我国模具制造技术的发展方向

根据我国模具制造技术的发展现状及存在的问题，今后我国模具制造技术应朝着如下几方面进行发展：

1) 开发、发展精密、复杂、大型、长寿命的模具，以满足国内市场的需要。国家已分别规划在山东、广东、北京、上海等地有



关部门重点扶植发展热锻模、热铸模、塑料模、冷冲模、顶杆等，以便集中力量发展这些有影响的高水平模具及标准件。

2) 加速模具标准化和商品化，建设有特色的专业化模具标准件生产企业，组建区域模具钢及标准件市场，以提高模具质量、缩短模具制造周期。

3) 积极开发和推广应用模具 CAD/CAM 技术，提高模具制造过程的自动化程度。加快研究和自主开发三维 CAD/CAM /CAE 软件，同时搞好引进软件的二次开发，提高软件智能化、集成化程度。

4) 积极开发模具新品种、新工艺、新技术和新材料。开发高速切削、电火花镜面加工、激光加工、复合加工、超精加工等模具加工新技术。开发高性能的模具材料，推广应用新型模具钢。对国外引进的新钢种要作第二次研究，充分发挥其具有的优越性。进一步研究提高模具寿命的方法，建立正确选材用材的专家系统。

5) 发展模具加工成套设备，以满足高速发展的模具工业需要。结合市场结构调整，进一步研究快速技术 (RPM)，开发适合我国国情的高性能、低成本的快速成形制造设备并使之商品化。

6) 提高模具材料的热处理水平，扩大光亮淬火的适用范围。

7) 建立多个模具高级人才培养基地，提高劳动力素质，提高模具工业技术水平。

三、模具制造技术的发展趋势

1. 模具制造技术随制造业技术的发展而发展

(1) 模具制造技术随着制造设备水平的提高而提高 高精度、高效率是自动化机械必备的条件，也是机械制造业不断追求的目标。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、慢走线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，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) 模具制造技术随着模具新材料的应用而提高 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。必须有充足的、高质量的、品种系列齐全的模具用材料，模具工业才能赶上世界先进水平。目前我国模具的寿命仅为国外模具寿命的 $1/5 \sim 1/3$ ，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。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和高级模具材料。热处理是提高模具钢的强韧性和性能，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，即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) 模具制造技术随着标准化程度的提高而提高 模具标准化是代表模具工业与模具制造技术发展的重要标志，模具商业化程度是以标准化为前提的，标准的覆盖程度高，模具的商品化也大大提高，从而推动专业化生产，降低制造成本，缩短生产周期。提高标准化的内外质量，也促进了新材料的应用。

(4) 模具制造技术随着模具现代设计与制造技术的发展而提高 随着计算机技术的发展应用，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得到普遍的应用。特别是模具成形零件方面的软件，如 AutoCAD、MasterCAM、Unigraphics、Pro/Engineer、Moldflow 等，这些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，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初步模拟；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。今后，模具现代设计与制造技术必将大大推进模具的设计与制造水平。

2. 模具制造技术的发展趋势

随着社会经济的不断发展，工业产品的品种增加，产品更新换代加快，市场竞争日趋激烈。因而模具质量的提高和生产周期的缩短显得尤为重要。促使模具制造技术的发展出现以下趋势：

(1) 模具粗加工技术向高速加工发展 以高速铣削为代表的高速切削加工技术代表了模具零件外形表面粗加工发展的方向。高速铣削可以大大改善模具表面的质量状况，并大大提高加工效率和降低加工成本。例如：毛坯下料设备出现了高速锯床、阳极切割和激光切割等高速、高效率加工设备，还出现了高速磨削设备和强力磨削设备等。

(2) 成形表面的加工向精密、自动化方向发展 数控加工中心、数控电火花成形加工设备、计算机连续轨迹坐标磨床和配有 CNC 修整装备与精密测量装置的成形磨削加工设备等的推广使用，是提高模具制造技术水平的关键。

(3) 光整加工技术向自动化方向发展 当前模具成形表面的研磨、抛光等光整加工仍然以手工作业为主，不仅花费工时多，而且劳动强度大、表面质量低。工业发达国家正在研制由计算机控制、带有磨料磨损自动补偿装置的光整加工设备，可以对复杂型面的三维曲面进行光整加工，并开始在模具加工上使用，大大提高了光整加工的质量和效率。

(4) 反向制造工程制模技术的发展 以三坐标测量机和快速成形制造技术为代表的反向制造工程制模技术，是一种以复制为原理的制造技术。它是模具制造技术上的又一重大发展，对模具制造具



有重大的影响。这种技术特别适用于多品种、少批量、形状复杂的模具制造，对缩短模具制造周期，进而提高产品的市场竞争能力有重要意义。

(5) 模具 CAD/CAM/CAE 技术将有更快的发展 模具 CAD/CAM/CAE 技术在模具设计和制造上的优势越来越明显，它是模具技术的又一次革命，普及和提高 CAD/CAM/CAE 技术的应用是模具制造业发展的必然趋势。

第二节 模具制造的要求、特点及任务

一、模具制造的基本要求

在工业产品的生产中，应用模具的目的在于保证产品质量，提高生产率和降低成本等。为此，除了正确进行模具设计，采用合理的模具结构之外，还必须以先进的模具制造技术作为保证。制造模具时，不论采用哪一种方法都应满足以下几个基本要求：

1. 制造精度高

为了生产合格的产品和发挥模具的效能，所设计、制造的模具必须具有较高的精度。应该知道，模具精度主要是由制品精度和模具结构的要求来决定的。为了保证制品精度，模具的工作部分精度通常要比制品精度高 2~4 级；模具结构对上、下模之间配合有较高的要求，为此组成模具的零部件都必须有足够高的制造精度，否则将不可能生产出合格的制品。高精度的模具零件组成的模具，可以提高模具的使用寿命，提高生产率，降低使用成本。现实中产品零件对模具的精度和表面粗糙度要求越来越高，而加工精度主要取决于加工机床精度、加工工艺条件、测量手段和方法等。因此在模具生产中精密数控设备的使用越来越普遍，如精密平面和成形磨床、数控铣和加工中心、电火花和线切割、连续轨迹坐标磨床、三坐标测量机等，使模具加工向高技术密集型发展。



2. 使用寿命长

模具是比较昂贵的工艺装备，目前模具制造费约占产品成本的10%~30%，其使用寿命长短将直接影响产品的成本高低。因此，除了小批量生产和新产品试制等特殊情况下，一般都要求模具具有较长的使用寿命，在大批量生产的情况下，模具的使用寿命更加重要。这不仅促进了模具新材料的涌现，也给模具生产带来了新的要求。除模具的材料要求很高外，模具的硬度也要求很高。在生产实际中，热加工工艺的安排对保证模具质量、缩短制造周期影响很大。

3. 制造周期短

由于新产品更新换代的加快和市场竞争的日趋激烈，要求模具制造的周期越来越短。模具制造周期的长短主要取决于制模技术和生产管理水平的高低。为了满足生产的需要，提高产品的竞争能力，在保证质量的前提下，模具的生产管理、设计和工艺工作都要适应这一要求，提高标准化水平，尽量缩短模具制造周期。

4. 模具成本低

模具成本与模具结构的复杂程度、模具材料、制造精度要求及加工方法等有关。模具技术人员必须根据制品的要求合理设计和制订其加工工艺，尽量降低加工成本。

必须指出，上述四个指标是相互关联、相互影响的。片面追求模具精度和使用寿命必然会导致制造成本的增加。当然，只顾降低成本和缩短制造周期而忽视模具精度和使用寿命的做法也是不可取的。在设计与制造模具时，应根据实际情况作全面的考虑，即在保证制品质量的情况下，选择与制品生产量相适应的模具结构和制造方法，使模具成本降低到最低限度。

二、模具制造的特点

模具制造具有一般机械产品制造的共性，严格来说，模具制造