

高等学校教材

MUJU ZHIZAO GONGYI

模具制造工艺

祁红志 主编



化学工业出版社

高等学校教材

模具制造工艺

祁红志 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书共分为 12 章, 主要包括: 模具制造工艺规程; 模具材料及热处理; 模具零件的机械加工; 成形零件精密加工; 模具数控加工; 模具特种加工; 模具表面加工与处理技术; 模具快速成形加工; 其他模具制造新技术简介; 典型模具制造工艺; 典型模具的装配与调试。在内容上注重系统性、实用性和先进性。

本书可以作为大学本科材料成形及控制工程、机械制造及其自动化等专业的教材, 亦可作为高职高专相关专业的教材, 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/祁红志主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 4

高等学校教材

ISBN 978-7-122-04934-6

I. 模… II. 祁… III. 模具-制造-工艺-高等学校-教材 IV. TG760.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 027132 号

责任编辑: 杨 菁 程树珍

文字编辑: 项 激

责任校对: 李 林

装帧设计: 史利平

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19 字数 492 千字 2009 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 33.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是材料成型及控制工程专业的教材。在满足本专业的课程教学大纲要求的前提下, 兼顾其他相关专业选修课的需要, 亦可供有关工程技术人员参考。

本书针对培养应用型人才的要求, 突出应用性和针对性, 旨在使学生掌握模具制造的基本理论和常规工艺, 了解先进模具制造技术及其发展趋势, 本书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, 通过典型的工程实例和实用的工程方法, 来增强学生的工程化意识, 并使学生能间接地获取一定的工程经验。

本教材与以往同类教材相比有以下特点:

(1) 内容新 介绍近几年冷冲模、塑料模制造技术的最新变化, 充分反映模具标准化和专业化、加工设备数控化、设计制造智能化和自动化的发展趋势。

(2) 论述有详有简 常规机械加工从简, 数控加工、精密加工、特种加工、新工艺新技术详述。

(3) 内容丰富, 系统完整, 重点突出, 便于教学。

(4) 编入了许多取自生产实践的具有参考价值的实例。

书中各章后均附有一定量的习题, 供教学使用。

参加本书编写的有: 江苏工业学院祁红志 (编写第 1 章, 第 2 章, 第 5 章, 第 7 章, 第 11 章, 第 12 章) 朱小蓉 (编写第 6 章, 7.2.2), 施昱 (编写第 4 章) 常州工学院沈洪雷 (编写第 3 章, 第 8 章, 第 9 章, 第 10 章)。由祁红志担任主编, 沈洪雷、朱小蓉、施昱任副主编。全书由祁红志负责统稿和定稿。

本书在编写过程中, 得到了江苏工业学院的有关领导和同行们的大力支持和帮助, 在此表示衷心感谢。

限于作者的水平, 书中难免有不妥之处, 敬请专家、同仁和广大读者批评指正。

编者

2008 年 12 月

目 录

1 绪论	1	7.2 模具电火花线切割加工	145
1.1 模具制造技术的发展	1	7.3 模具电化学加工	156
1.2 模具的类型	5	7.4 模具超声波加工与激光加工	160
1.3 模具制造的特点及基本要求	6	8 模具表面加工与处理技术	164
1.4 模具的技术经济指标	7	8.1 模具表面光整加工	164
1.5 本课程的性质、任务和学习方法	10	8.2 电镀与化学镀技术	171
2 模具制造工艺规程	11	8.3 表面蚀刻技术	177
2.1 模具制造工艺规程编制	11	8.4 热扩渗技术	180
2.2 模具制造精度分析	42	8.5 高能束技术	185
2.3 模具机械加工表面质量	50	8.6 气相沉积技术	189
3 模具材料及热处理	59	9 模具快速成形加工	192
3.1 热处理的基本概念	59	9.1 模具快速成形加工的基本原理	192
3.2 模具材料的基本性能要求	62	9.2 快速成形加工的方法	193
3.3 模具常用钢及其化学成分	64	10 其他模具制造新技术简介	200
3.4 模具常用钢的热处理规范	72	10.1 并行工程	200
4 模具零件的机械加工	84	10.2 逆向工程	204
4.1 车削加工	84	10.3 网络化制造	208
4.2 铣削加工	86	11 典型模具制造工艺	211
4.3 刨削加工	86	11.1 模具常用零件制造工艺	211
4.4 钻削与铰削加工	87	11.2 冷冲模制造工艺	227
4.5 磨削加工	88	11.3 塑料模制造工艺	237
5 模具零件的精密加工	90	11.4 压铸模的制造	249
5.1 坐标镗床与坐标磨床加工	90	11.5 简易模具制造工艺	250
5.2 成形磨削	94	12 典型模具的装配与调试	255
5.3 雕刻加工	101	12.1 概述	255
6 模具数控加工	103	12.2 模具零件的固定方法	260
6.1 数控加工技术	103	12.3 间隙(壁厚)的控制方法	265
6.2 数控加工程序编制基础	106	12.4 冷冲模的装配	266
6.3 数控加工的程序编制	113	12.5 冲压模具的调试	280
6.4 计算机辅助制造	125	12.6 塑料模的装配	283
7 模具特种加工	131	12.7 塑料模具的试模	294
7.1 模具电火花成形加工	131	参考文献	300

1 绪 论

1.1 模具制造技术的发展

1.1.1 模具工业在现代化生产中的作用及地位

模具是制造业的重要基础工艺装备。它以其特定的形状通过一定的方式使原材料成形。用模具生产制件所达到的高精度、高复杂程度、高一致性、高生产率和低耗能、低耗材,使模具工业在制造业中的地位越来越重要。美国工业界认为“模具工业是美国工业的基石”;日本称模具工业为“进入富裕社会的原动力”;德国给模具工业冠以“金属加工业中的帝王”称号;新加坡则把模具工业作为“磁力工业”;国内也将模具工业称为“永不衰亡的工业”、“点铁成金的行业”、“无与伦比的效益放大器”等。可见,模具工业在世界各国经济发展中所具有的重要地位,模具技术已成为衡量一个国家产品制造水平的重要标志之一,没有高水平的模具就没有高水平的产品已成为共识。

近年来,全球制造业正以垂直整合的模式向亚太地区转移,我国正成为世界制造业的重要基地。作为产品制造的重要工艺装备,国民经济基础工业之一的模具工业将直面竞争的第一线。“十五”规划指出,模具是工业生产的基础工艺装备,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。模具因其生产效率高、产品质量好、材料消耗低、生产成本低而获得广泛应用,这是其他加工制造业所无法比拟的。模具是现代工业必不可少的工艺装备。据资料统计,利用模具制造的零件数量,在飞机、汽车、摩托车、拖拉机、电机、电器、仪器仪表等产品中占80%以上;在电脑、电视机、摄像机、照相机、录像机等电子产品中占85%以上;在电冰箱、洗衣机、空调、电风扇、自行车、手表等轻工业产品中占90%以上;在子弹、枪支等兵器产品中占95%以上。

我国加入WTO以后,各行业产品的品种和数量不断增加,换型加快,对产品质量、样式和外观也不断提出新要求,致使模具需求量增加,对模具的质量要求也越来越高,因此,迅速提高模具技术水平已成为当务之急。例如,日本汽车、计算机、电视机、手机等产品的品种、数量、质量在国际市场占有优势地位,其重要原因之一就是日本模具技术居于世界领先水平。从资料获悉,目前,美国、日本、德国等发达国家的模具总产值都已超过机床总产值。模具技术的进步极大地促进了工业产品的发展,模具是“效益放大器”,用模具生产的最终产品的价值将超过模具自身价格的几十倍乃至上百倍、上千倍。

1.1.2 我国模具技术的发展

模具属于边缘科学,它涉及机械设计制造、塑性加工、铸造、金属材料及其热处理、高分子材料、金属物理、凝固理论、粉末冶金、塑料、橡胶、玻璃等诸多学科、领域和行业。从起步到现在,我国模具工业经历了半个多世纪的发展,已有了较大的提高,与国外先进水平的差距正在进一步缩小。纵观我国的模具工业,既有高速发展的良好势头,又存在精度低、结构欠合理、寿命短等一系列不足,无法满足整个工业迅速发展的迫切要求。

中国虽然在很早以前就制造模具和使用模具,但一直未形成产业。由于长期以来模具制

造作为保证企业产品生产的手段被视为生产后方,因此发展缓慢。1984年成立了中国模具工业协会,1987年模具首次被列入机电产品目录,当时全国共有生产模具的厂点约6000家,总产值约30亿元。随着中国改革开放的日益深入,市场经济进程的加快,模具及其标准件、配套件作为产品,制造生产的企业大量出现,模具产业得到快速发展。在市场竞争中,企业的模具生产技术提高很快,规模不断发展。1988~1992年,国家在全国范围内组织了上百个模具企业和有关科研单位、大专院校,共同对模具关键技术进行攻关,取得了丰硕成果。这些成果主要有:冲压模具的设计制造技术、塑料模具的设计制造技术、铸压模具的设计制造技术、锻造模具的设计制造技术、模具表面处理技术、模具材料、模具计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)技术、模具标准件、模具加工关键设备、模具寿命研究等方面。由于这些成果的取得及推广应用,使中国模具技术前进了一大步。“七五”后期与“八五”期间,国家为模具工业加大了投入,分批分期改造了一批具有特色专长的专业模具厂和模具标准件厂,引进了一大批模具加工关键设备及精密塑料模、级进模、精冲模等设计制造技术。这对提高中国模具技术及生产水平起到了推动作用。同时,许多大专院校开始设立模具专业,由联邦德国和日本援建及中国自己投资兴办的模具技术培训中心也陆续建立,模具技术发展及技术工人的培养开始步入轨道。1989年,在华中理工大学成立了“塑性成形模拟及模具技术国家重点实验室”,其主要研究方向为模具CAD/CAE/CAM和新型模具材料。“八五”期间,国家对模具技术的发展采用“重点企业技术开发项目”的方式进行支持。“精密多工位级进模”、“大型复杂锻造模、压铸模”和“塑料注射模具设计制造技术”三个项目被列入“大型精密模具设计制造技术”国家重点项目,项目实施后都通过了鉴定,达到了目标,使中国模具设计制造技术又前进了一大步。

20世纪90年代以来,中国在汽车行业的模具设计制造中开始采用CAD/CAM技术。开发了汽车车身与覆盖件模具CAD/CAM软件系统,在模具和设计制造中得到了实际应用,取得显著效益。现在,又成功地开发出了汽车覆盖件模具的CAD/CAE系统,并达到了较高水平,在生产中得到应用,收到良好效果。由于CAD/CAE/CAM的应用,特别是20世纪80年代开始,中国许多模具制造厂从国外引进了许多软件,包括冲压模、级进模、塑料模、压铸模、橡胶模、玻璃模、挤压模等相应软件,使中国模具设计制造水平有很大提高,也产生了较大的经济技术效益和社会效益。但由于人才缺乏和基础工作较差,引进的软件未能很好应用及发挥其应有的效益的现象普遍存在,这是今后应十分重视和有待解决的问题。

现在,中国已能生产精度达到 $2\mu\text{m}$ 的多工位级进模,寿命可达2亿冲次以上。在大型塑料模具方面,中国已能生产34英寸大屏幕彩电和65英寸背投式电视的塑壳模具、10kg大容量洗衣机全套塑料件模具及汽车保险杠、整体仪表板等塑料模具。在精密塑料模具方面,中国已能生产照相机塑料件模具、多型腔小模数齿轮模具及精度达 $5\mu\text{m}$ 的2560腔塑封模具等。在大型精密复杂压铸模方面,国内已能生产自动扶梯整体踏板压铸模和汽车后桥齿轮箱压铸模及汽车发动机壳体的铸造模具。在汽车覆盖件模具方面,国内已能生产中高档新型轿车的部分覆盖件模具。子午线轮胎活络模具、铝合金和塑料门窗异形材挤出成形模、精铸或树脂快速成形拉延模等,也已达到相当高的水平,可与进口模具媲美。

目前,我国模具总量虽然已达到相当大的规模,模具水平也已有了很大提高,但设计制造水平在总体上要比德国、美国、日本、法国、意大利等工业发达国家落后许多,也要比加拿大、英国、西班牙、葡萄牙、韩国、新加坡等国落后。存在的问题和差距主要表现在下列5个方面。

(1) 总量供不应求,国内的模具自配率只有70%左右。其中中低档模具供过于求,中

高档模具自配率只有 50% 左右。

(2) 企业组织结构、产品结构、技术结构和进出口结构都不合理。我国模具生产厂点中多数是自产自配的工模具车间(分厂),自产自配比例高达 60% 左右,而国外 70% 以上是商品模具。国内专业模具厂大多数是“大而全”、“小而全”的组织形式,而国外则大多是“小而专”、“小而精”的组织形式。国内模具总量中,属大型、精密、复杂、长寿命模具的比例不足 30%,而国外则在 50% 以上。进出口之比 2004 年为 3.7 : 1,进出口相抵后的净进口达 13.2 亿美元,为净进口量最大的国家。

(3) 模具产品水平要比国际水平低许多,而许多模具的生产周期却要比国际水平长。产品水平低主要表现在模具的精度、型腔表面粗糙度、寿命及结构等方面。

(4) 开发能力较差,经济效益欠佳。我国模具企业技术人员比例低,水平也较低,不重视产品开发,在市场经济中常处于被动地位。我国模具企业每个职工平均每年创造模具产值约合 1 万美元左右,国外模具工业发达国家大多为 15 万~20 万美元,有的达到 25~30 万美元,随之而来的是我国模具企业经济效益差,大都微利,缺乏后劲。

(5) 与国际水平相比,模具企业的管理落后更甚于技术落后。技术落后易被发现,管理落后易被忽视。国内许多模具企业还沿用过去作坊式管理模式,真正实现现代化企业管理的还不多。造成上述差距的原因有很多,除了历史上长期以来未将模具作为产品而得到应有的重视,以及多数国有企业机制仍不能适应市场经济之外,还有下列几个主要原因:

① 人才严重不足,科研开发及技术攻关方面投入太少。模具行业是技术密集、资金密集、劳动密集的产业,随着时代的进步和技术的发展,能掌握和运用新技术的人才异常短缺,高级模具钳工及企业管理人才也非常紧缺。由于模具企业效益欠佳及对科研开发和技术攻关不够重视,因而总体来看,模具行业在科研开发和技术攻关方面投入太少,致使科技进步的步伐不大,进展不快。

② 工艺装备水平低,且配套性不好,利用率低。近年来我国机床行业进步较快,已能提供成套的高精度加工设备,但与国外装备相比,仍有较大差距。虽然国内许多企业已引进不少国外先进设备,但总的来看,装备水平仍比国外企业落后许多,特别是设备数控率和 CAD/CAM 应用覆盖率要比国外企业低得多。由于体制和资金等方面原因,引进设备不配套、设备与附配件不配套现象十分普遍,设备利用率低的问题长期得不到较好解决。

③ 专业化、标准化、商品化的程度低,模具企业之间协作差。由于长期以来受“大而全”、“小而全”影响,模具专业化生产水平低,专业化分工不细,商品化程度也低。目前国内每年生产的模具,商品模具只占 40% 左右,其余为自产自用。模具企业之间协作不好,难以完成较大规模的模具成套任务。与国际水平相比要落后许多。模具标准化水平低,模具标准件使用覆盖率低也对模具质量、成本有较大影响,特别是对模具制造周期有很大影响。

④ 模具材料及模具相关技术落后。模具材料性能、质量和品种问题往往会影响模具质量、寿命及成本,国产模具钢与国外进口钢相比有较大差距。塑料、板材、设备等性能差,也直接影响模具水平的提高。

1.1.3 模具技术的发展趋势

(1) 模具 CAD/CAE/CAM 正向集成化、三维化、智能化和网络化方向发展

① 模具软件功能集成化。模具软件功能的集成化要求软件的功能模块比较齐全,同时各功能模块采用同一数据模型,以实现信息的综合管理与共享,从而支持模具设计、制造、装配、检验、测试及生产管理的全过程,达到实现最佳效益的目的。集成化程度较高的软件还包括: Pro/E、UG 和 CATIA 等。

② 模具设计、分析及制造的三维化。传统的二维模具结构设计已越来越不适应现代化生产和集成化技术要求。模具设计、分析、制造的三维化、无纸化要求新一代模具软件以立体的、直观的感觉来设计模具,所采用的三维数字化模型能方便地用于产品结构的 CAE 分析、模具可制造性评价和数控加工、成形过程模拟及信息的管理与共享。

③ 模具软件应用的网络化趋势。随着模具在企业竞争、合作、生产和管理等方面的全球化、国际化,以及计算机软硬件技术的迅速发展,模具软件应用的网络化的发展趋势是使 CAD/CAE/CAM 技术跨地区、跨企业、跨院所在整个行业中推广,实现技术资源的重新整合,使虚拟设计、敏捷制造技术成为可能。

(2) 模具检测、加工设备向精密、高效和多功能方向发展

① 模具向着精密、复杂、大型的方向发展,对检测设备的要求越来越高。目前国内厂家使用较多的有意大利、美国、日本等国的高精度三坐标测量机,并具有数字化扫描功能。实现了从测量实物→建立数学模型→输出工程图纸→模具制造全过程,成功实现了逆向工程技术的开发和应用。

② 数控电火花加工机床。日本沙迪克公司采用直线电机伺服驱动的 AQ325L、AQ550LLS-WEDM 具有驱动反应快、传动及定位精度高、热变形小等优点。瑞士夏米尔公司的 NCEDM 具有 P-E3 自适应控制、PCE 能量控制及自动编程专家系统。另外有些 EDM 还采用了混粉加工工艺、微精加工脉冲电源及模糊控制 (FC) 等技术。

③ 高速铣削机床 (HSM)。铣削加工是型腔模具加工的重要手段。而高速铣削具有工件温升低、切削力小、加工平稳、加工质量好、加工效率高 (为普通铣削加工的 5~10 倍) 及可加工硬材料 ($<60\text{HRC}$) 等诸多优点,因而在模具加工中日益受到重视。HSM 主要用于大、中型模具加工,如汽车覆盖件模具、压铸模、大型塑料模等曲面加工。

④ 模具自动加工系统的研制和发展。随着各种新技术的迅速发展,国外已出现了模具自动加工系统,这也是我国长远发展的目标。模具自动加工系统应有如下特征:多台机床合理组合;配有随行定位夹具或定位盘;有完整的机具、刀具数控库;有完整的数控柔性同步系统;有质量监测控制系统。

(3) 快速经济制模技术的广泛应用 缩短产品开发周期是赢得市场竞争的有效手段之一。与传统模具加工技术相比,快速经济制模技术具有制模周期短、成本较低的特点,精度和寿命又能满足生产需求,是综合经济效益比较显著的模具制造技术。

快速原型制造 (RPM) 技术是集精密机械制造、计算机技术、NC 技术、激光成形技术和材料科学于一体的新技术,是当前最先进的零件及模具成形方法之一。RPM 技术可直接或间接用于模具制造,具有技术先进、成本较低、设计制造周期短、精度适中等特点。从模具的概念设计到制造完成仅为传统加工方法所需时间的 $1/3$ 和所需成本的 $1/4$ 左右。

现在是多品种、少批量生产的时代,这种生产方式占工业生产的比例达 75% 以上。一方面是制品使用周期短,品种更新快,另一方面制品的花样变化频繁,均要求模具的生产周期越快越好。因此,开发快速经济模具越来越引起人们的重视。例如,研制各种超塑性材料 (环氧、聚酯等) 制造 (或其中填充金属粉末、玻璃纤维等) 的简易模具、中、低熔点合金模具、喷涂成形模具、快速电铸模、陶瓷型精铸模、陶瓷型吸塑模、叠层模及快速原型制造模具等快速经济模具将进一步发展。快换模架、快换凸模等也将日益发展。另外,采用计算机控制和机械手操作的快速换模装置、快速试模技术也会得到发展和提高。

(4) 模具材料及表面处理技术的研究 因选材和用材不当,致使模具过早失效,大约占失效模具的 45% 以上。在整个模具价格构成中,材料所占比重不大,一般在 20%~30%,

因此,选用优质钢材和应用表面处理技术来提高模具的寿命就显得十分必要。对于模具钢来说,要采用电渣重熔工艺,努力提高钢的纯净度、等向性、致密度和均匀性,要研制更高性能或有特殊性能的模具钢,如采用粉末冶金工艺制造的粉末高速钢等。粉末高速钢解决了原来高速钢冶炼过程中产生的一次碳化物粗大和偏析,从而影响材质的问题,其碳化物微细,组织均匀,没有材料方向性,因此,它具有韧性高、磨削工艺性好、耐磨性高、长年使用尺寸稳定等特点,特别对形状复杂的冲件及高速冲压的模具,其优越性更加突出,是一种很有发展前途的钢材。模具钢品种规格多样化、产品精细化、制品化,尽量缩短供货时间亦是重要发展趋势。

热处理和表面处理是能否充分发挥模具钢材料性能的关键环节。模具热处理的主要趋势是:由渗入单一元素向多元素共渗、复合渗(如TD法)发展;由一般扩散向CVD、PVD、PCVD、离子渗入、离子注入等方向发展;可采用的镀膜有:TiC、TiN、TiCN、TiAlN、CrN、Cr₇C₃、W₂C等,同时热处理手段由大气热处理向真空热处理发展。另外,目前对激光强化、辉光离子氮化技术及电镀(刷镀)防腐强化等技术也日益受到重视。

(5) 模具研磨抛光将向自动化、智能化方向发展 模具表面的精加工是模具加工中未能很好解决的难题之一。模具表面的质量对模具使用寿命、制件外观质量等均有较大的影响,我国目前仍以手工研磨抛光为主,不仅效率低(约占整个模具制造周期的1/3),且工人劳动强度大,质量不稳定,制约了我国模具加工向更高层次发展。因此,研磨抛光的自动化、智能化是模具抛光的发展趋势。日本已研制了数控研磨机,可实现三维曲面模具研磨抛光的自动化、智能化。另外,由于模具型腔形状复杂,任何一种研磨抛光方法都有一定局限性,应发展特种研磨与抛光,如挤压珩磨、电化学抛光、超声波抛光以及复合抛光工艺与装备,以提高模具表面质量。

(6) 模具标准件的应用将日渐广泛 使用模具标准件不但能缩短模具制造周期,而且能提高模具质量和降低模具制造成本。因此,模具标准件的应用必将日渐广泛。为此,首先,要制订统一的国家标准,并严格按标准生产;其次,要逐步形成规模生产,提高标准件质量、降低成本;再次,是要进一步增加标准件规格品种,发展和完善联销网,保证供货迅速。

(7) 压铸模、挤压模及粉末锻模比例增加 随着汽车、车辆和电机等产品向轻量化发展,压铸模的比例将不断提高,对压铸模的寿命和复杂程度也将提出越来越高的要求。同时挤压模、粉末锻模比例也将有不同程度的增加,而且精度要求也越来越高。

(8) 模具工业新工艺、新理念和新模式 在成形(型)工艺方面,主要有冲压模具多功能复合化、超塑性成形(型)、塑性精密成形(型)技术、塑料模气体辅助注射技术及热流道技术、高压注射成形(型)技术等。另一方面,随着先进制造技术的不断发展和模具行业整体水平的提高,在模具行业出现了一些新的设计、生产、管理理念与模式。具体主要有:适应模具单件生产特点的柔性制造技术;创造最佳管理和效益的团队精神,精益生产;提高快速应变能力的并行工程、虚拟制造及全球敏捷制造、网络制造等新的生产理论;广泛采用标准件、通用件的分工协作生产模式;适应可持续发展和环保要求的绿色设计与制造等。

1.2 模具的类型

通常,模具按尺寸大小可分为大型、中型、小型模具;按生产批量可分为大量、成批和单件小批;按精度要求可分为高精度、中等精度和低精度。表1-1为按产品零件成形方法对

模具进行的分类。

由表 1-1 可知，按制品成型的方法和模具结构的不同，可将模具分为两大类：一类为贯通式模具，包括冲裁模、拉延模、拉拔模、挤压模、粉末合金压模等；另一类为型腔式模具，包括压弯模、锻模、压铸模、塑料注射模（注塑模）和压制模、玻璃模、橡胶模等。

表 1-1 模具的分类

类 别	成 形 方 法	成形加工材料	模 具 材 料
冲压模	冲裁 弯曲 拉伸 压缩	金属 金属 金属 金属	工具钢、硬质合金 工具钢、铸铁 工具钢、铸铁 工具钢、硬质合金
塑料模	压制成形 注射成形 挤出成形 吹塑成形 真空成形	热固性塑料 热塑性塑料 热塑性塑料 热塑性塑料 热塑性塑料	硬钢 硬钢 硬钢 硬钢、铸铁 铝
压铸模	压铸成形	低熔点合金：锌合金、铝、锡、铝合金、镁铜合金	耐热钢
锻模	模锻成形	金属	锻模钢
粉末冶金模	压力成形	金属	合金工具钢、硬质合金
陶瓷模	压力成形	陶瓷粉末	合金工具钢、硬质合金
橡胶模	压力成形 注射成形	橡胶 橡胶	钢 钢、铸铁、铝
玻璃模	压模 吹模	玻璃 玻璃	铸铁、耐热钢 铸铁
铸造模	砂型铸造 壳型铸造 失蜡铸造 压力铸造 金属铸造	砂 树脂、混合砂 石蜡、塑料 熔融合金、铝 熔融合金、铝	铝、钢、铸铁 铸铁、铸铜 钢 铸铁 铸铁

1.3 模具制造的特点及基本要求

1.3.1 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的特点。

- (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±0.011mm 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型面。
- (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造,往往比较困难,所以模具加工方法有别于一般机械加工。

(5) 生产周期短 由于产品更新换代的加快和市场竞争的日趋激烈,要求模具生产周期越来越短。模具的生产管理、设计和工艺工作都应该适应这一要求,要提高模具的设计、制造和标准化水平,以缩短制造周期。

(6) 成套性生产 当某个制件需要多副模具加工时,前一模具所制造的产品是后一模具的毛坯,模具之间相互牵连制约,只有最终制件合格,这一系列模具才算合格。在模具的生产和计划安排上必须充分考虑这一特点。

1.3.2 模具制造的基本要求

研究模具制造的过程,就是研究探讨模具制造的可能性和如何制造的问题,进而研究怎样以较低的成本、较短的周期制造较高质量模具的问题。成本、周期和质量是模具制造的主要技术经济指标。严格地讲,寻求这三个指标的最佳值,单从模具制造的角度考虑是不够的,应综合考虑设计、制造和使用这三个环节,三者要协调。“设计”除考虑满足使用功能外,还要充分考虑制造的可行性;“制造”要满足设计要求,同时也制约设计,并指导用户使用;设计与制造也要了解“使用”,使得设计在满足使用功能等前提下便于制造,为达到较好的技术经济指标奠定基础。

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。模具制造应满足以下基本要求。

(1) 制造精度高 模具精度主要是由其制品精度和模具结构的要求决定的。为了保证制品精度,模具工作部分的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,甚至会使模具损坏。

(2) 使用寿命长 模具是相对比较昂贵的工艺装备,其使用寿命长短将直接影响产品的成本。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。

(3) 制造周期短 模具制造周期的长短主要取决于设计上的模具标准化程度、制造技术和生产管理水平的高低。为了满足产品市场的需要,提高产品的竞争能力,必须在保证质量的前提下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、制造精度等的要求及加工方法有关。必须根据制品的要求合理设计和制订其加工工艺,以降低成本。

1.4 模具的技术经济指标

模具也是一种商品。模具的技术经济指标概括起来可以归纳为:模具的精度和刚度、模具的生产周期、模具的生产成本和模具的寿命 4 个基本方面。在模具生产过程的各个环节都应该根据客观生产对模具这 4 个方面的要求综合考虑。4 个指标是相互关联、相互影响的,而且影响因素也是多方面的。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。在设计与制造模具时,应根据实际情况全面考虑,即应在保证制品质量的前提下,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,求得最佳的经济效益。模具的技术经济指标是衡量一个国家、地区和企业模具生产技术水平的重要标志。

1.4.1 模具的精度和刚度

(1) 模具精度 为了生产合格的产品和发挥模具的效能,设计、制造的模具必须具有较高的精度。模具的精度主要体现在模具工作零件的精度和相关部位的配合精度上。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,如冲裁模刃口尺寸的精度要高于产品制件的精度。冲裁凸模和凹模间冲裁间隙的大小和均匀性也是主要的精度参数之一。平时测量出的精度都是在非工作状态下进行的(如冲裁间隙),即静态精度。而在工作状态时,受到工作条件的影响,其静态精度数值发生了变化,这时称为动态精度。这种动态冲裁间隙才是真正有实际意义的。一般模具的精度也应与产品制件的精度相协调,同时也受模具加工技术手段的制约。随着模具加工技术手段的进步,模具精度将会有大的提高,模具工作零件的互换性生产将成为现实。

影响模具精度的主要因素有以下几方面。

① 产品制件精度。产品制件的精度越高,模具工作零件的精度就越高。模具精度的高低不仅对产品制件的精度有直接影响,而且对模具的生产周期、生产成本都有很大的影响。

② 模具加工技术手段的水平。模具加工设备的加工精度、设备的自动化程度,是保证模具精度的基本条件。今后,模具精度将会更大程度地依赖模具加工技术手段的高低。

③ 模具装配钳工的技术水平。模具的最终精度很大程度依赖装配调试,模具光整表面的表面粗糙度要求主要依赖模具钳工来完成,因此模具钳工的技术水平是影响模具精度的重要因素。

④ 模具制造的生产方式和管理水平。模具工作刃口尺寸在模具设计和生产时,是采用“实配法”还是“分别制造法”是影响模具精度的重要方面。只有采用“分别制造法”才能满足模具高精度的要求和实现互换性生产。

(2) 模具刚度 对于高速冲压模、大型件冲压成形模、精密塑料模和大型塑料模,不仅要求精度高,还要求有良好的刚度。这类模具工作负荷较大,当出现较大的弹性变形时,不仅会影响模具的动态精度,而且关系到模具能否继续正常工作。因此在模具设计中,在满足强度要求的前提下,模具刚度也应得到保证,同时在制造时也要避免由于加工不当造成的附加变形。

1.4.2 模具的生产周期

模具的生产周期是从接受模具订货任务开始到模具试模鉴定后交付合格模具所用的时间。模具生产周期的长短主要取决于制模技术和生产管理水平的高低。当前,模具使用单位要求模具的生产周期越来越短,以满足市场竞争和更新换代的需要,因此,模具生产周期长短是衡量一个模具企业生产能力和技术水平的综合标志之一。

(1) 模具技术和生产的标准化程度 模具标准化程度是一个国家模具技术和生产发展到一定水平的产物。目前,我国模具技术的标准化已有良好的基础,有模具基础技术标准、各种模具设计标准、模具工艺标准、模具毛坯和半成品件标准以及模具检验和验收标准等。由于我国企业“小而全”和“大而全”的状况,使得模具标准件的商品化程度还不高,这是影响模具生产周期的重要因素。

(2) 模具企业的专门化程度 现代工业发展的趋势是企业分工越来越细。企业产品的专门化程度越高,越能提高产品的质量和经济效益,并有利于缩短产品生产周期。目前,我国

模具企业的专门化程度还较低,各模具企业只生产自己最擅长的模具类型,有明确和固定的服务范围,所以各模具企业只有互相配合、协作化生产,才能缩短模具生产周期。

(3) 模具生产技术手段的现代化 模具设计、生产、检测手段的现代化也是影响模具生产周期的因素之一。只有大力推广和普及模具 CAD/CAM 技术;促进模具加工向高效率发展,毛坯下料采用高速锯床、阳极切割和砂轮切割等高效设备,粗加工采用高速铣床、强力高速磨床,精密加工采用高精度的数控机床,如数控仿形铣床、数控光学曲线磨床、高精度数控电火花线切割机床、数控连续轨迹坐标磨床等;推广先进快速制模技术等,才能使模具生产技术手段提高到一个新水平。

(4) 模具生产的经营和管理水平 模具生产的经营和管理水平也是影响模具的生产周期的重要因素。管理上要讲效率,要研究模具企业生产的规律和特点,采用现代化的管理手段和制度管理企业。

1.4.3 模具的生产成本

模具生产成本是指企业为生产和销售模具所支付费用的总和。模具生产成本包括原材料费、外购件费、外协件费、设备折旧费、经营开支等。从性质上分,模具生产成本分为生产成本、非生产成本和生产外成本。这里所讲的模具生产成本是指与模具生产过程有直接关系的生产成本。

影响模具生产成本的主要因素有以下几方面。

(1) 模具结构的复杂程度和模具功能的高低 现代科学技术的发展使得模具向高精度和多功能、自动化方向发展,相应也使得模具生产成本提高。

(2) 模具精度的高低 模具的精度和刚度越高,模具的生产成本也越高。模具精度和刚度应该与产品制件的要求、生产批量的要求相适应。

(3) 模具材料的选择 在模具费用中,材料费在模具生产成本中约占 25%~30%,因模具工作零件材料类别的不同,材料费也相差较大。所以应该正确地选择模具材料,使模具工作零件的材料类别首先和要求的模具寿命相协调,同时应采取各种措施充分发挥材料的效能。

(4) 模具加工设备 模具加工设备向高效、高精度、高自动化、多功能方向发展,这使得模具成本也相应提高。但是,这些是维持和发展模具生产所必需的,所以应该充分发挥这些设备的效能,提高设备的使用效率。

(5) 模具的标准化程度和企业生产的专门化程度 这些都是制约模具成本和生产周期的重要因素,应通过模具工业体系的改革有计划、有步骤地解决。

1.4.4 模具寿命

模具的寿命是指模具在保证产品零件质量的前提下,所能加工制件的总数量,它包括工作面的多次修磨和易损件更换后的寿命。

模具寿命=工作面的一次寿命×修磨次数×易损件的更换次数

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%,其使用寿命的长短将直接影响产品的成本高低。在大批量生产的情况下,模具的使用寿命尤为重要。一般在模具设计阶段就应明确该模具所适用的生产批量类型或者模具生产制件的总次数,即模具的设计寿命。不同类型的模具正常损坏的形式也不一样,但总的来说,工作表面损坏的形式主要有摩擦损坏、塑性变形、开裂、疲劳损坏和啃伤等。

影响模具寿命的主要因素有如下几种。

(1) 模具结构 合理的模具结构有助于提高模具的承载能力,减轻模具承受的负荷水平。例如,模具可靠的导向机构,对于避免凸模和凹模间的互相啃伤是有帮助的。又如,承受高强度负荷的冷墩和冷挤压模具,对应力集中十分敏感,当承力件截面尺寸变化时,最容易由于应力集中而开裂。因此,对截面尺寸变化的处理是否合理,对模具寿命的影响较大。

(2) 模具材料 应根据产品零件生产批量的大小,选择模具材料。生产的批量越大,对模具的寿命要求也越高,所以应选择承载能力强、服役寿命长的高性能模具材料。另外,应注意模具材料的冶金质量可能造成的工艺缺陷及对工作时承载能力的影响,同时应采取必要的措施来弥补冶金质量的不足,以提高模具寿命。

(3) 模具加工质量 模具零件在机械加工、电火花加工以及锻造、预处理、淬火硬化、表面处理时的缺陷都会对模具的耐磨性、抗咬合能力、抗断裂能力产生显著的影响。例如,模具表面粗糙、残存的刀痕、电火花加工的显微裂纹、热处理时的表层增碳和脱碳等缺陷都会对模具的承载能力和寿命带来影响。

(4) 模具工作状态 模具工作时,使用设备的精度与刚度,润滑条件,被加工材料的预处理状态,模具的预热和冷却条件等都会对模具寿命产生影响。例如,薄料的精密冲裁对压力机的精度、刚度尤为敏感,所以必须选择高精度、高刚度的压力机,才能获得良好的效果。

1.5 本课程的性质、任务和学习方法

本课程为材料成形与控制工程专业的主要专业课之一。通过本课程的学习,使学生掌握模具制造的基本专业知识和常用工艺方法,了解和掌握先进模具制造技术,具有分析模具结构工艺性的能力,提高模具设计的综合水平,使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的能力。

由于现代工业生产和材料成形新技术的应用,对模具制造技术的要求越来越高。模具的制造方法已不再只是传统意义上的一般机械加工,而广泛采用了现代加工技术和现代管理模式。通过本课程的学习,要求学生掌握各种现代模具加工方法的基本原理、特点及加工工艺,掌握各种制造方法对模具结构的要求,以提高学生分析模具结构工艺性的能力。

由于模具制造工艺发展迅速,同时本课程的实践性很强,涉及的知识面较广,因此,学生在学习本课程时,除了应重视其中必要的工艺原理与特点等理论的学习外,还应密切关注模具制造的新发展,特别注意实践环节,尽可能参观有关展览及模具制造和使用工厂,认真参加现场教学和实验,以增加感性认识,提高动手能力。

思 考 题

- 1-1 我国模具工业的发展经历了哪几个阶段?
- 1-2 简述模具制造技术的发展趋势。
- 1-3 影响模具精度的主要因素有哪些?
- 1-4 模具寿命的含义是什么?

2 模具制造工艺规程

2.1 模具制造工艺规程编制

模具加工工艺规程是规定模具零部件机械加工工艺过程和操作方法等的工艺文件。模具生产工艺水平的高低及解决各种工艺问题的方法和手段都要通过机械加工工艺规程来体现,在很大程度上决定了能否高效、低成本地加工出合格产品。因此,编制模具加工工艺规程是一项十分重要的工作。

模具机械加工与其他机械产品的机械加工相比较,有其特殊性:模具一般是单件小批生产,模具标准件则是成批生产;成形零件加工精度较高;所采取的加工方法往往不同于一般机械加工方法。所以,模具加工工艺规程具有与其他机械产品同样的普遍性,同时还具有其特殊性。

2.1.1 基本概念

2.1.1.1 生产过程

制造模具时,将原材料转变为成品的全过程称为生产过程。具体地讲,模具制造是在一定的工艺条件下,改变模具材料的形状、尺寸和性质,使之成为符合设计要求的模具零件,再经装配、试模和修整而得到整副模具产品的过程。广义的模具制造过程包括生产技术准备、零件成形加工和模具装配等阶段。

(1) 生产技术准备 生产技术准备阶段的主要任务是分析模具图样,制订工艺规程;编制数控加工程序;设计和制造工装夹具;制订生产计划,制订并实施工具、材料、标准件等外购和零件外协加工计划。

(2) 零件成形加工 在模具加工中,加工的工艺方法非常多,基本可以概括为以下3种。

- ① 传统的切削加工,如车、钳、刨、铣、磨等。
- ② 非切削加工,如各种特种加工方法、冷挤压、铸造等。
- ③ 数控加工,如数控铣削、加工中心加工等。

零件成形加工按加工对象可以分为以下两种。

① 非成形零件加工,即模板类、结构件类零件加工。这些零件大多具有国家或行业标准,部分实现了标准化批量生产。在模具工艺规划中,根据设计的实际要求和企业的平衡生产选择外购或由本企业加工。

② 成形零件加工,即型腔类零件的加工。如注射模具的成形零件,一般结构比较复杂,精度要求高,有些模具型腔表面要求有纹饰图案。其加工过程主要由成形加工、热处理和表面加工等环节构成。特种加工、数控加工在模具成形零件加工中应用非常普遍。

(3) 模具装配 模具装配是根据模具装配图样要求的质量和精度,将加工好的零件组合在一起,构成一副完整模具的过程。除此之外,装配阶段的任务还有清洗、修配模具零件,试模及修整等。

2.1.1.2 工艺过程

在模具制造过程中，直接改变工件形状、尺寸、物理性质和装配等称为工艺过程。按照完成零件制造过程中采用的不同工艺方法，工艺过程可以分为铸造、锻造、冲压、焊接、热处理、机械加工、表面处理和装配等。以机械加工方法（主要是切削加工方法）直接改变毛坯的形状、尺寸和表面质量，使其成为合格零件的过程，称为机械加工工艺过程。规定模具零部件机械加工工艺过程和操作方法的工艺文件，即为模具机械加工工艺规程。

2.1.1.3 机械加工工艺过程

机械加工工艺过程是比较复杂的。在这个过程中，根据被加工零件的结构特点和技术要求，常需要采用各种不同的加工方法和设备，并通过这一系列加工步骤，才能将毛坯变成所需的零件。为了科学地研究工艺过程，必须深入分析工艺过程的组成。机械加工工艺过程是由一个或若干个工序组成，而工序又分为安装、工位、工步和走刀。

(1) 工序 一个或一组工人在同一个工作地点，对一个或同时对几个工件所连续完成的那一部分工艺过程称为工序。

工序不仅是组成工艺过程的基本单元，也是组织生产、核算成本和进行检验的基本单元。工序划分的基本依据是加工对象或加工地点是否变更，加工内容是否连续。工序的划分与生产批量、加工条件和零件结构特点有关。例如，图 2-1 所示的有肩导柱，如果数量很少或单件生产时，其工序的划分见表 2-1。

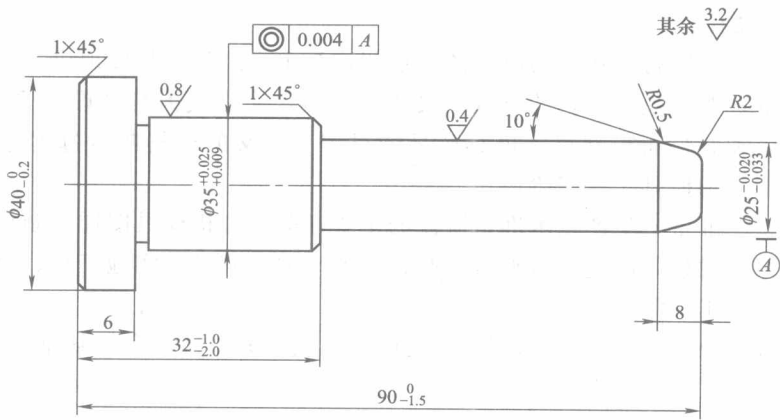


图 2-1 有肩导柱零件图

表 2-1 有肩导柱加工工艺过程

序 号	工 序	工 艺 要 求
1	锯	切割 φ40mm×94mm 棒料
2	车	车端面至长度 92mm，钻中心孔，掉头车端面，长度至 90mm，钻中心孔
3	车	车外圆“φ40×6”至尺寸要求；粗车外圆“φ25×58”，“φ35×26”留磨量，并倒角，切槽，10°角等
4	热	热处理 55~60HRC
5	车	研中心孔，调头研另一中心孔
6	磨	磨“φ35”，“φ25”至尺寸要求

而当批量生产时，各工序内容可划分得更细，例如，表 2-1 工序 3 中的倒角和切槽，都可在专用车床上进行，从而成为独立的工序。