



“十三五”国家重点出版物出版规划项目

现代机械工程系列精品教材

普通高等教育“十一五”国家级规划教材



Die Manufacturing Technology

模具制造工艺

第②版

付建军 © 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十三五”国家重点出版物出版规划项目
现
普通高等

教材

模具制造工艺

第2版

主 编 付建军
副主编 吴江柳 韩 飞
参 编 黄诗君 罗 锋 石健滨
沈耀仁 陈久川 于 杰
李 飞 刘新宇 张丽桃
主 审 成凤文

字印书第
书 章

机械工业出版社

本书较系统地介绍了模具制造工艺, 主要包括: 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、快速成型技术及其在模具制造中的应用、其他模具制造新技术简介、典型模具制造工艺以及典型模具的装配与调试。本书在内容上注重模具制造知识的系统性、实用性和先进性。

本书所举的例子和加工方法主要取自工程实际, 以增强读者的工程化意识, 并间接获得一定的工程经验。

本书在第1版的基础上增加了三维视图、动画和视频图像, 以便更好地帮助读者理解和掌握本书内容。

本书可作为高等工科院校本科和专科的材料成型及控制工程专业的教材, 内容上兼顾其他相关专业选修课需要, 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/付建军主编. —2版. —北京: 机械工业出版社, 2017.3
普通高等教育“十一五”国家级规划教材 “十三五”国家重点出版物
出版规划项目 现代机械工程系列精品教材
ISBN 978-7-111-56401-0

I. ①模… II. ①付… III. ①模具-制造-生产工艺-高等学校-教材
IV. ①TG760.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 059664 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 安桂芳 任正一

责任校对: 潘蕊 封面设计: 张静

责任印制: 李昂

三河市宏达印刷有限公司印刷

2017 年 6 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14.5 印张·353 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-56401-0

定价: 38.00 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

封面防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

第2版前言

本书是在普通高等教育“十一五”国家级规划教材《模具制造工艺》基础上修订的。本书第1版自2004年出版以来,得到广大读者的认可和好评,后经多次重印,总发行量近五万册。为了使教材内容跟上模具制造业快速发展的步伐,反映当前模具制造的最新技术,适应高校转型发展的需求,贯彻近几年来颁布的现行国家标准,特对第1版进行修订。

本次修订保持了第1版应用性、针对性、实用性强的特色,着力突出新技术、新工艺、新国标,内容编排面向读者和工程实际。

1. 加强了现代加工方法的内容

将淘汰或基本淘汰的加工方法去除,如插削加工,增加了模具数控加工、模具特种加工、快速成型技术在模具制造中的应用以及其他模具制造新技术介绍等内容。

2. 重点、难点内容配有三维图和动画

为了提高教学质量,适应读者个性化和随时性学习的需要,针对重点和难点内容制作了三维图及仿真动画,读者只需用手机扫描二维码,即可浏览,使枯燥的制造工艺过程和理论阐述变得形象、直观、易于理解。

3. 图例选择源于工程实际

为了培养学生分析实际工艺的能力,进一步强化工程意识,帮助读者解决工程实际问题,书中所选择的图例多源于工程实际。另外,增加了章后思考题中工程实例的比例。

4. 采用现行国家标准

书中涉及的计量单位、名词术语,图样中标注的表面粗糙度、几何公差、极限与配合等,均符合国家标准要求。

本书可作为高等工科院校材料成型及控制工程专业及近机类专业教材,也可供相关工程技术人员参考。

本次修订工作分工如下:第一章、第二章由北华航天工业学院付建军编写;第三章由北华航天工业学院陈久川、上海工程技术大学沈耀仁编写;第四章由北华航天工业学院于杰编写;第五章由广东工业大学黄诗君编写;第六章由北华航天工业学院李飞、刘新宇、黑龙江工程学院石健滨编写;第七章由北华航天工业学院张丽桃编写;第八章由哈尔滨工业大学(威海)韩飞编写;第九章由北华航天工业学院罗锋编写;书中三维图和仿真动画由北华航天工业学院郭亮制作;全书新国标使用由北华航天工业学院杨墨审核。

本次修订由北华航天工业学院付建军担任主编,哈尔滨工业大学(威海)韩飞和上海工程技术大学吴江柳担任副主编;北华航天工业学院成凤文教授主审。

感谢北华航天工业学院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。在本书修订过程中,参考了其他院校的相关教材,在此深表谢意。

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,以便改正。

编者

第1版前言

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型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、合理设计模具的能力,培养学生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。

本书是材料成型及控制工程专业(模具方向)的教材,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做了较全面的介绍,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、理念做了介绍。

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际,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。

本书第一章、第二章、第七章由北华航天工业学院付建军编写;第三章由上海工程技术大学沈耀仁编写;第四章由上海工程技术大学吴江柳编写;第五章由广东工业大学黄诗君编写;第六章由黑龙江工程学院石健滨编写;第八章由哈尔滨工业大学(威海)韩飞编写;第九章由北华航天工业学院罗锋编写。全书由付建军担任主编,吴江柳和韩飞担任副主编,上海工程技术大学焦馥杰教授、北京理工大学庞思勤教授主审。

感谢北华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

第2版前言

第1版前言

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 4

思考题 4

第二章 模具机械加工的基本理论 5

第一节 模具制造工艺规程编制 5

一、基本概念 5

二、工艺规程制订的原则和步骤 7

三、产品图样的工艺分析 8

四、毛坯设计 9

五、定位基准的选择 11

六、零件工艺路线分析与拟定 14

七、加工余量与工序尺寸的确定 16

八、工艺装备的选择 19

第二节 模具制造精度分析 20

一、概述 20

二、影响零件制造精度的因素 21

第三节 模具机械加工表面质量 24

一、模具零件表面质量 24

二、影响表面质量的因素及改善途径 26

第四节 模具的技术经济分析 31

一、模具的生产周期 31

二、模具的生产成本 31

三、模具寿命 32

思考题 33

第三章 模具机械加工 34

第一节 普通机床加工 34

一、车削加工 34

二、铣削加工 35

三、刨削加工 36

四、磨削加工 36

第二节 高速铣削加工 37

一、高速铣削的特点 37

二、刀具技术 38

三、高速铣削路径规划 39

四、加工实例 41

第三节 模具的精密加工（机械切削部分） 42

一、坐标镗床加工 42

二、坐标磨床加工 43

三、坐标尺寸换算 44

第四节 模具的成形磨削 44

一、概述 44

二、成形砂轮磨削法 45

三、夹具磨削法 46

四、成形磨削工艺尺寸的换算 49

思考题 50

第四章 模具数控加工 51

第一节 数控加工技术 51

一、数控加工基本概念 51

二、数控机床的工作原理与分类 52

三、数控加工的特点与应用 54

第二节 数控加工程序编制基础 57

一、程序编制的基本步骤 57

二、数控机床的坐标系 58

三、数控程序的指令代码 63

四、数控加工程序的结构与格式 69

五、手工编程与自动编程 71

第三节 数控加工的程序编制 75

一、数控铣削加工 75

二、加工中心切削加工 84

第四节 计算机辅助制造（CAM） 92

一、CAM技术的应用情况 92

二、模具CAM技术的应用实例 93

思考题 96

第五章 模具特种加工 101

第一节 模具电火花成形加工 101

一、模具电火花成形加工的基本原理 101

二、模具电火花成形加工的特点及应用		一、AM 的主要概念	155
范围	102	二、AM 的基本特点	156
三、电火花成形加工机床	103	三、AM 企业的主要特征	156
四、影响电火花成形加工速度的基本		第四节 精益生产	157
因素	106	第五节 绿色制造	158
五、电火花穿孔、型腔加工	107	一、绿色制造的提出及可持续发展制造	
第二节 模具电火花线切割加工	116	战略	158
一、电火花线切割加工的原理和特点	116	二、绿色产品	159
二、电火花线切割机床的组成及分类	117	三、绿色制造	159
三、数字程序编制	118	思考题	160
四、模具电火花线切割加工工艺	124	第八章 典型模具制造工艺	161
第三节 模具电化学加工	127	第一节 模架制造工艺	161
一、电化学加工的基本原理及其应用		一、上、下模座的加工	161
范围	127	二、导柱、导套的加工	163
二、模具电解加工	128	三、模架的技术要求及装配	166
三、模具电铸成形	131	第二节 冷冲模制造工艺	168
第四节 模具超声波加工与激光加工	132	一、凸模、凹模的结构特点和技术	
一、模具的超声波加工	132	要求	168
二、激光加工	133	二、冲裁模凸模的制造工艺过程	169
思考题	134	三、冲裁模凹模的制造工艺过程	173
第六章 快速成型技术及其在模具制造		四、冷冲模结构的工艺性	179
中的应用	136	第三节 锻模制造工艺	182
第一节 快速成型技术	136	一、锻模的结构特点和技术要求	182
一、快速成型技术概述	136	二、锻模加工工艺过程	184
二、典型快速成型工艺	137	第四节 塑料模制造工艺	185
第二节 快速成型在模具制造中的应用	141	一、塑料模制造技术要求	185
一、直接制模	141	二、塑料模型腔制造工艺	186
二、间接制模	142	第五节 压铸模制造工艺	190
三、快速制造模具实例	143	一、压铸模的技术要求	190
思考题	147	二、压铸模的制造	190
第七章 其他模具制造新技术简介	148	第六节 简易模具制造工艺	192
第一节 并行工程	148	一、低熔点合金模具	192
一、并行工程的产生	149	二、锌基合金模具	194
二、市场竞争对并行工程的总体需求	150	思考题	195
三、并行工程的核心内容	150	第九章 典型模具的装配与调试	197
第二节 逆向工程	151	第一节 概述	197
一、逆向工程的产生	151	一、模具装配的特点和内容	197
二、逆向工程的应用	151	二、模具装配精度要求	197
三、数据采集	152	三、模具装配的工艺方法	198
四、CAD 模型建模的基本方法	153	第二节 模具零件的固定方法	199
五、模具逆向工程应用实例	153	一、紧固件法	199
第三节 敏捷制造	155	二、压入法	199
		三、铆接法	200

四、热套法	200	三、级进模的装配	211
五、焊接法	200	第五节 塑料模的装配	215
六、低熔点合金法	200	一、塑料模的装配顺序	215
七、粘接法	201	二、组件的装配	216
第三节 间隙(壁厚)的控制方法	204	三、塑料模总装配	220
第四节 冷冲模的装配	206	思考题	223
一、冲裁模的装配	206	参考文献	224
二、复合模的装配	209		

绪 论

第一章

第一节 模具制造技术的发展

在现代制造业生产中，**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、陶瓷制品等行业中得到了广泛的应用。它已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，特别是在制造精密、复杂、大型、长寿命模具技术的发展方面，现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，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、快速成型技术的发展及应用为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，拥有职工数十万人，每年能生产上百万套模具。随着社会的发展，市场的需要，将会有更多的优秀专业技术人员加入到模具制造的队伍中来。为了尽快发展我国的模具工业，国家采取了许多具体措施，争取在较短的时间内，使模具生产基本适应各行业产品发展的需要。尤其是近些年来，国家有关部门对模具工业更加重视，给专业模具厂投资，支持其进行技术改造，并将模具列为国家规划重点科研攻关项目，选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。通过这一系列措施的实施，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。

科技的进步与发展，使各学科之间相互促进和相互依赖的关系越来越密切。模具制造技术的发展也离不开与其相关技术的发展，主要表现在：

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、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、快速成型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、制造一体化技术的发展。

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。目前材料研究生产部门还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,以提高我国生产模具的平均使用寿命。

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,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. 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 40% 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、外部质量,也促进了新型材料的应用。随着我国加入世界贸易组织,模具标准化程度的提高有着更加深远的意义。

4. 模具计算机辅助设计和辅助制造(模具 CAD/CAM)

随着计算机技术的发展,模具计算机辅助设计和辅助制造(模具 CAD/CAM)技术也随之快速发展,从而大大促进了模具制造技术不断改进。我国的模具设计与制造正朝着数字化方向迈进,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。计算机辅助设计和制造,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和制造质量。

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,不得不从国外高价引进。

应该看到,我国模具工业要想在尽可能短的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,这就决定了模具制造工艺的特点。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,而且要求加工表面质量好。一般来说,模具工作部分的制造极限偏差都应控制在 $\pm 0.01\text{mm}$ 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 Ra 小于 $0.8\mu\text{m}$ 。

(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的,若用传统的机械加工方法制造,往往十分困难,所以模具加工方法有别于一般机械加工。

(5) **生产周期短** 由于新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。必须提高模具的现代设计、制造水平和标准化水平,以缩短制造周期,提高质量,降低成本。

(6) **要求成套性生产** 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。因此,在模具的生产和计划安排上必须充分考虑这一特点。

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。但是,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** 模具精度主要是由其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,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外,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设计的复杂程度、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要求,合理设计和制订其加工工艺,降低成本。

需要指出的是,上述四项指标是相互关联、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,应根据实际情况做出全面的考虑,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,使模具制造周期短、成本低。

第三节 本课程的性质、任务和学习方法

本课程为材料成型及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,从而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。

由于现代工业生产的发展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过去意义上的传统的一般机械加工,而是广泛采用电火花成形、数控线切割、电化学加工、超声波加工、激光加工以及成形磨削、数控仿形以及快速成型等现代加工技术。

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、材料的要求,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,除了重视其中必要的工艺原理与特点等理论学习外,还应密切关注现代模具制造的新发展和新动向,特别注意实践环节,尽可能多地去参观有关展览及模具厂,认真参加现场教学和相关实验,以增加感性认识,提高动手能力。

思考题

1. 简述模具制造在现代制造业生产中起到的作用。
2. 为什么说模具制造技术的发展离不开相关技术的发展?
3. 与一般机械产品生产相比,模具生产具有哪些特殊性?
4. 本课程的性质、学习任务是什么?
5. 学习本课程应注意哪些方面的问题?

模具机械加工的基本理论

第一节 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，模具加工工艺规程的编制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，其特殊性是：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，形状也千差万别，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。

一、基本概念

1. 模具生产过程与工艺过程

(1) 生产过程 生产过程是将原材料或半成品转变成成为成品的各有关劳动过程的总和。一般模具产品的生产过程主要包括：

1) 生产技术准备过程：这个过程主要是完成模具产品投入生产前的各项生产和技术准备工作。如模具产品的实验研究和设计，工艺设计和专用工艺装备的设计与制造；各种生产资料的准备以及生产组织等方面的准备工作。

2) 毛坯的制造过程：如铸造、锻造和冲压等。

3) 零件的各种加工过程：如模具的机械加工、焊接、热处理和其他表面处理等。

4) 产品的装配过程：包括部装、总装、检验试模和油封等。

5) 各种生产服务活动：如生产中原材料、半成品、标准件、外购件和工具的准备、供应、运输、保管以及产品的包装和发运等。

现代模具工业的发展趋势是自动化、专业化生产，这使得模具生产过程变得比较简单，有利于保证质量、提高效率和降低成本。如模具零件毛坯的生产，由专业化的毛坯生产工厂来承担。模具上的导柱、导套、顶杆等零件和模架，由专业化的标准件厂来完成。这既有利于模具上各种零件质量的保证，也利于降低成本。对于专业化零部件制造厂和模具制造厂都是有利的。

(2) 工艺过程 在模具产品的生产过程中，对于那些使原材料成为成品的直接有关的过程，如毛坯制造、机械加工、热处理和装配等，称为工艺过程。用机械加工的方法，直接改变毛坯的形状、尺寸和表面质量，使之成为产品零件的那部分工艺过程，称为模具机械加工工艺过程。将合理的机械加工工艺过程确定后，以文字和图表形式作为加工的技术文件，

即为模具机械加工工艺规程。

2. 模具机械加工工艺过程的组成

模具加工工艺过程是由若干个按顺序排列的工序组成,而每一个工序又可依次细分为安装、工位、工步和走刀。

(1) 工序 工序是工艺过程的基本单元。工序是指一个(或一组)工人,在一个固定的工作地点(如机床或钳工台等),对一个(或同时几个)工件所连续完成的那部分工艺过程。

划分工序的主要依据是,零件在加工过程中工作地点、加工对象是否改变以及加工是否连续完成。如果不能满足其中一个条件,则不属于同一工序,而需要构成另一个工序。

(2) 工步与走刀 在一个工序内,往往需要采用不同的刀具和切削用量,对不同的表面进行加工。为了便于分析和描述工序的内容,工序还可进一步划分为工步。当加工表面、切削工具和切削用量中的转速与进给量均不变时,所完成的那部分工序称为工步。

在一个工步内由于被加工表面需切除的金属层较厚,需要分几次切削,则每进行一次切削就是一次走刀。走刀是工步的一部分,一个工步可包括一次或多次走刀。

(3) 安装与工位 工件在加工之前,在机床或夹具上先占据一个正确的位置,这就是定位。工件定位后再予以夹紧的过程称为装夹。工件经一次装夹后所完成的那一部分工序称为安装。在一个工序内,工件的加工可能只需一次装夹,也可能需要几次装夹。工件在加工过程中应尽量减少装夹次数,因为多进行一次装夹就可能多产生一次误差,而且增加了装夹工件的辅助时间。

为了减少工件安装的次数,常采用各种回转工作台、回转夹具或移位夹具,使工件在一次安装中先后处于几个不同位置进行加工。此时,工件在机床上占据的每一个加工位置称为工位。

3. 生产纲领与生产类型

(1) 生产纲领 工厂制造产品(或零件)的年产量,称为生产纲领。在制订工艺规程时,一般按产品(或零件)的生产纲领来确定生产类型。

零件的生产纲领可按式计算:

$$N = Qn(1+a+b)$$

式中 N ——零件的生产纲领;

Q ——产品的生产纲领;

n ——每台产品中该零件的数量;

a ——该零件的备品率;

b ——该零件的废品率。

(2) 生产类型 根据产品的生产纲领的大小和品种的多少,模具制造业的生产类型主要可分为:单件生产和成批生产(模具制造业中很少出现特大批量生产的情况)。

1) 单件生产。生产的产品品种较多,每种产品的产量很少,同一个工作地点的加工对象经常改变,且很少重复生产。如新产品试制用的各种模具和大型模具等都属于单件生产。

2) 成批生产。产品的品种不是很多,但每种产品均有一定的数量。工作地点的加工对象周期性地更换,这种生产称为成批生产。例如,模具中常用的标准模板、模座、导柱、导套等零件及标准模架等,多属于成批生产。

同一产品（或零件）每批投入生产的数量称为批量。根据产品的特征和批量的大小，成批生产可分为小批生产、中批生产和大批生产。不同的生产类型，所考虑的工艺装备、对工人的技术要求、工时定额、零件的互换性等都不相同。

二、工艺规程制订的原则和步骤

1. 工艺规程的作用

工艺规程是记述由毛坯加工成为零件的一种工艺文件，它简要地规定了零件的加工顺序、选用机床、工具、工序的技术要求及必要的操作方法等。因此，**工艺规程具有指导生产和组织工艺准备的作用，是生产中必不可少的技术文件。**

2. 制订工艺规程的原则

制订工艺规程的原则是在一定的生产条件下，**所编制的工艺规程能以最少的劳动量和最低的费用，可靠地加工出符合图样及技术要求的零件。**工艺规程首先要保证产品质量，同时要争取最好的经济效益。在制订工艺规程时，要体现以下三个方面的要求：

1) 技术上的先进性。在制订工艺规程时，要了解国内外本行业工艺技术的发展。通过必要的工艺实验，优先采用先进工艺和工艺装备，同时，还要充分利用现有生产条件。

2) 经济上的合理性。在一定的生产条件下，可能会出现多个能保证工件技术要求的工艺方案。此时，应全面考虑，并通过核算或评比，选择经济上最合理的方案，使产品的成本最低。

3) 有良好的劳动条件。制订工艺规程时，要注意保证工人具有良好、安全的劳动条件，通过机械化、自动化等途径，把工人从笨重的体力劳动中解放出来，尽量减少环境对人体的侵害。

制订工艺规程时，工艺人员必须认真研究原始资料，如产品图样、生产纲领、毛坯资料及生产条件的状况等，参照同行业工艺技术的发展，综合本部门的生产实践经验和现有条件，进行工艺文件的编制。

3. 制订工艺规程的步骤

编制工艺规程，一般可按以下步骤进行：

- 1) 对产品装配图和零件图的分析与工艺审查。
- 2) 确定生产类型。
- 3) 确定毛坯的种类和尺寸。
- 4) 选择定位基准和主要表面的加工方法，拟订零件加工工艺路线。
- 5) 确定各工序余量，计算工序尺寸、公差，提出其技术要求。
- 6) 确定机床、工艺装备、切削用量及时间定额。
- 7) 填写工艺文件。

4. 工艺文件及应用

将工艺规程的内容，填入一定格式的卡片，即为生产准备和施工依据的技术文件，称为工艺文件。在我国，各企业机械加工工艺规程表格不尽一致，但是其基本内容是相同的，常见的有以下几种：

(1) 工艺过程综合卡片 这种卡片主要列出了整个零件加工所经过的工艺路线（包括毛坯、机械加工和热处理等），它是制订其他工艺文件的基础，也是生产技术准备、编制作

业计划和组织生产的依据。在单件小批生产中，一般简单零件只编制工艺过程综合卡片，作为工艺指导文件。

(2) 工艺卡片 这种卡片是**以工序为单位，详细说明整个工艺过程的工艺文件。**它不仅标出工序顺序、工序内容，同时对主要工序还表示出工步内容、工位及必要的加工简图或加工说明。此外，还包括零件的工艺特性（材料、质量、加工表面及其精度和表面粗糙度要求等）、毛坯性质和生产纲领。在成批生产中，广泛采取这种卡片。对单件小批生产中的某些重要零件也要制订工艺卡片。

(3) 工序卡片 工序卡片是**在工艺卡片的基础上分别为每一个工序制订的，是用来具体指导工人进行操作的一种工艺文件。**工序卡片中详细记载了该工序加工所必需的工艺资料，如定位基准、安装方法、机床、工艺装备、工序尺寸及公差、切削用量及工时定额等。在大批量生产中，广泛采用这种卡片。在中、小批生产中，对个别重要工序有时也编制工序卡片。

三、产品图样的工艺分析

模具零件图是制订工艺规程最主要的原始资料。在制订工艺时，必须首先对零件加以认真分析。为了更深刻地理解零件结构上的特征和主要技术要求，通常还要研究模具的总装图、部件装配图及验收标准，从中了解零件的功用和相关零件间的配合，以及主要技术要求制订的依据，以便从加工制造的角度来分析零件的工艺性是否良好，为合理制订工艺规程做好必要的准备。

1. 零件结构的工艺分析

零件结构的工艺性，是指所设计的零件在满足使用要求的前提下制造的可行性和经济性。零件结构的工艺性好，是指零件的结构形状在满足使用要求的前提下，按现有的生产条件能用较经济的方法方便地加工出来。

模具零件的结构，由于使用要求不同而具有各种形状和尺寸。但是，如果从形体上加以分析，各种零件都是由一些基本的表面和特殊表面组成的。基本表面有内、外圆柱表面，圆锥表面和平面等，特殊表面主要有螺旋面、渐开线形表面及其他一些成形表面等。

在研究具体零件的结构特点时，首先要分析该零件是由哪些表面组成的，因为表面形状是选择加工方法的基本因素。例如，外圆表面一般是由车削和磨削加工出来，内孔则多通过钻、扩、铰、镗和磨削等加工方法获得。除表面形状外，表面尺寸对工艺也有重要的影响，以内孔为例，大孔与小孔、深孔与浅孔在工艺上均有不同的特点。

在分析零件的结构时，不仅要注意零件的各个构成表面本身的特征，而且要注意这些表面的不同组合，正是这些不同的组合才形成零件结构上的特点。例如，以内、外圆为主的表面，既可组成盘、环类零件，也可构成套筒类零件。对于套筒类零件，既可是一般的轴套，也可以是形状复杂的薄壁套筒。上述不同结构的零件在工艺上往往有着较大的差异。在模具制造中，通常还是按照零件结构和加工工艺过程的相似性，将各种零件大致分为轴类零件、套类零件、板类零件和腔类零件。

2. 零件的技术要求分析

零件的技术要求包括下列几个方面：①主要加工表面的尺寸精度；②主要加工表面的几何形状精度；③主要加工表面之间的相互位置精度；④零件表面质量；⑤零件材料、热处理

要求及其他要求。这些要求对制订工艺方案有重要的影响。

根据零件结构特点,在认真分析了零件主要表面的技术要求之后,对零件加工工艺即可有一个初步的轮廓。

首先,根据零件主要表面的精度和表面质量的要求,初步确定为达到这些要求所需的最终加工方法,然后再确定相应的中间工序及粗加工工序所需的加工方法。例如,对于孔径不大的 IT7 级精度的内孔,最终加工方法为精铰时,则在精铰孔之前,通常要经过钻孔、扩孔和粗铰孔等加工工序。

加工表面之间的相对位置要求,包括表面之间的尺寸联系和相对位置精度。认真分析零件图上尺寸的标注及主要表面的位置精度,即可初步确定各加工表面的加工顺序。

零件的热处理要求影响加工方法和加工余量的选择,对零件加工工艺路线的安排也有一定的影响。例如,要求渗碳、淬火的零件,热处理后一般变形较大。对于零件上精度要求较高的表面,工艺上要安排精加工工序(多为磨削加工),而且要适当加大精加工的工序加工余量。

在研究零件图时,如发现图样上的视图、尺寸标注、技术要求有错误或遗漏、或结构工艺性不好时,应提出修改意见。但修改时必须征得设计人员的同意,并经过一定的审批手续。必要时,与设计者协商改进,以确保在保证产品功用的前提下,更容易将其制造出来。

四、毛坯设计

毛坯是根据零件所要求的形状、工艺尺寸等而制成的供进一步加工用的生产对象。模具零件的毛坯设计是否合理,对于模具零件加工的工艺性以及模具质量和寿命都有很大的影响。在毛坯设计中,首先考虑的是毛坯的形式,决定毛坯形式时主要考虑以下两个方面:

(1) 模具材料的类别 在模具设计中规定的模具材料类别,可以作为确定毛坯形式的选择依据。例如,精密冲裁模的上、下模座多为铸钢材料,大型覆盖件拉深模的凸模、凹模和压边圈零件为合金铸铁时,这类零件的毛坯形式必然为铸件。又如,非标准模架的上、下模座材料多为 45 钢,毛坯形式应该是厚钢板的原型材。对于模具结构中的工作零件,如精密冲裁模和重载冲压模的工作零件,多为高碳高合金工具钢,毛坯形式应该为锻造件。对于高寿命冲裁模的工作零件,材料多为硬质合金材料,毛坯形式为粉末冶金件。对于模具结构中的一般结构件,则多选择原型材毛坯形式。

(2) 模具零件几何形状特征和尺寸关系 当模具零件的不同外形表面尺寸相差较大时,如大型凸缘式模柄零件,为了节省原材料和减少机械加工工作量,应该选择锻件毛坯形式。

模具零件的毛坯形式主要分为原型材、锻造件、铸造件和半成品件四种。

1. 原型材

原型材是指利用冶金材料厂提供的各种截面的棒料、丝料、板料或其他形状截面的型材,经过下料以后直接送往加工车间进行表面加工的毛坯。

2. 锻件

经原型材下料,再通过锻造获得合理的几何形状和尺寸的坯料,称为锻件毛坯。

(1) 锻造的目的 模具零件毛坯的材质状态如何,对于模具加工的质量和模具寿命都有较大的影响。特别是模具中的工作零件,大量使用高碳高铬工具钢,这类材料的冶金质量存在缺陷,如存在大量共晶网状碳化物,这种碳化物很硬也很脆,而且分布不均匀,降低了