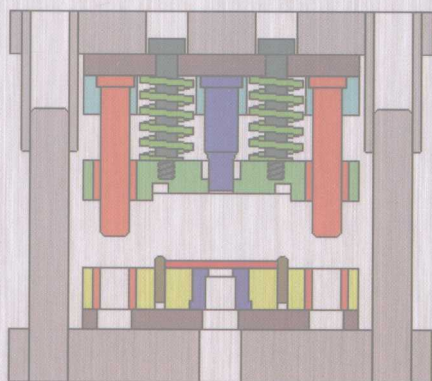
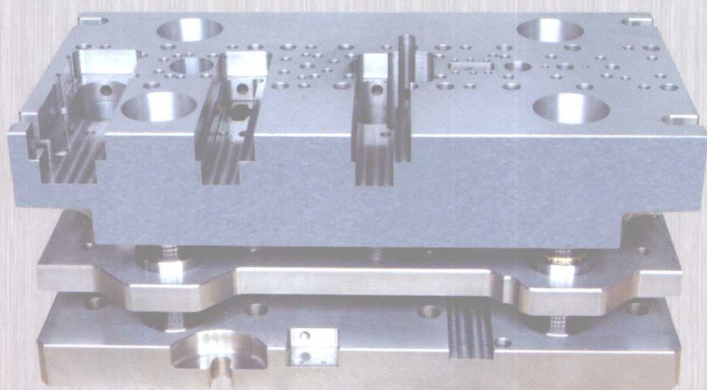


高等学校材料成形类专业规划教材

模具制造技术

MUJU ZHIZAO JISHU

● 吕琳 主编



化学工业出版社

高等学校材料成形类专业规划教材

模具制造技术

吕 琳 主编
邓 明 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书对各种模具制造方法的基本原理、特点和加工工艺作了全面、系统的介绍,内容包括模具的机械加工、数控加工、电火花加工、电化学加工、其他模具制造技术、典型模具的加工工艺等,同时还介绍了模具装配工艺等,内容丰富,实践性强。

本书适合普通高校应用型本科、专科学生材料成形及控制工程专业作为教材使用,也可供其他相关专业学生选修课使用,或作为从事模具设计、制造的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

模具制造技术/吕琳主编. —北京:化学工业出版社,
2009.1
高等学校材料成形类专业规划教材
ISBN 978-7-122-04602-4

I. 模… II. 吕… III. 模具-制造-高等学校-教材
IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 006339 号

责任编辑:陶艳玲

文字编辑:闫 敏

责任校对:宋 玮

装帧设计:周 遥

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:化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 17 字数 443 千字 2009 年 4 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:29.00 元

版权所有 违者必究

前 言

模具制造技术是材料成形及控制工程专业的一门很重要的专业课。《模具制造技术》是根据社会对模具专业人才的需要和模具专业教学的要求编写的。本书在内容编排上考虑了以下几方面：根据应用型本科教学的特点、专业培养目标和教学要求安排内容；培养学生掌握模具制造的基础理论知识和让学生了解先进模具制造技术及发展趋势；讲清重点内容，并以点带面；使学生对模具制造方法有更全面的了解，具有分析模具结构工艺性、提高合理设计模具的能力；文字上力求深入浅出，通俗易懂，图文并茂，便于学生阅读理解。

本书主要介绍模具的机械加工、数控加工、电火花加工、电化学加工及其他模具制造技术，同时也较全面地介绍了模具的装配工艺，力求反映模具制造技术的新工艺及新技术在模具制造中的应用。从实际出发突出实用性，内容比较全面。

本书可作为材料成形及控制工程专业的专业课教材，也可供其他相关专业学生选修课使用，或供从事模具设计、制造的技术人员参考。

本书由重庆工学院吕琳担任主编，重庆工学院邓明教授主审。全书内容中，绪论、第一、三、四、六章由吕琳编写，第五、七章由重庆工学院文俐编写，第二章由重庆工业职业技术学院唐健编写。全书内容由吕琳负责统稿。本书还得到重庆工学院教材建设基金资助，在此还特别要感谢所引用文献的作者。

由于编写时间仓促和编者水平有限，书中难免存在不妥之处，敬盼读者批评指正。

编 者

2009年1月

目 录

绪论	1		
一、模具工业及其发展	1	四、模具制造的主要加工方法	4
二、本课程的性质、任务及要求	3	思考题与习题	7
三、模具制造的特点	4		
第一章 模具的机械加工	8		
第一节 一般机械加工	8	一、坐标镗床加工	19
一、车削加工	8	二、坐标磨床加工	23
二、铣削加工	9	三、成形磨削	24
三、刨削和插削加工	13	第三节 模具典型零件的机械加工工艺	26
四、磨削加工	14	思考题与习题	39
第二节 模具的精密加工	19		
第二章 模具数控加工	40		
第一节 程序设计的基本知识	40	一、加工中心	66
一、数控技术中的常用术语	40	二、加工中心编程基础	70
二、编制程序时的工艺指令	44	三、基本编程方法	71
三、编制程序时的工艺处理	44	四、加工中心编程要点	73
第二节 数控铣床的编程	47	第四节 CAM 数控加工工艺	74
一、数控铣床编程基础	47	一、CAM 数控加工基础知识	74
二、基本编程方法	49	二、CAM 数控加工工艺	77
三、数控铣床编程要点及举例	65	三、数控编程的误差控制	79
第三节 加工中心的编程	66	思考题与习题	83
第三章 模具的电火花加工	85		
第一节 概述	85	六、电火花加工在模具制造中的应用	103
一、电火花加工的基本原理及特点	85	第三节 电火花线切割	121
二、电火花加工的机理	87	一、电火花线切割概述	121
三、电火花加工常用参数及选择	89	二、电火花线切割加工的基本规律	122
第二节 电火花成形加工	91	三、电火花线切割机床本体	127
一、电火花成形加工的基本规律	91	四、脉冲电源	129
二、电火花成形加工设备的组成	95	五、数控线切割编程	131
三、脉冲电源	96	六、线切割自动编程简介	139
四、放电自动进给机构	100	七、线切割加工工艺	140
五、工作液系统	101	思考题与习题	144
第四章 模具的电化学加工	146		
第一节 电化学加工原理及分类	146	二、电化学加工分类	146
一、电化学加工基本原理	146	第二节 电解加工	147

一、电解加工的基本原理	147	三、电解磨削在模具加工中的应用	154
二、电解加工主要特点	147	第四节 电铸加工	155
三、电解加工的工艺规律	148	一、电铸加工原理和特点	155
第三节 电解磨削	153	二、电铸的基本设备	156
一、电解磨削的基本原理	153	三、电铸加工工艺过程	156
二、电解磨削的特点	153	思考题与习题	160
第五章 其他模具制造技术	161		
第一节 快速成形及快速制模技术	161	六、合成树脂模具的制造	189
一、引言	161	第五节 模具高速切削技术	190
二、快速模具制造工艺	162	一、高速切削技术的概念和特点	190
第二节 模具的超声加工	175	二、高速切削的技术系统	191
一、超声加工的原理及特点	175	三、高速切削的在线检测技术	192
二、超声加工的基本工艺规律	176	四、高速切削在模具制造中的应用	193
三、超声加工在模具制造中的应用	177	第六节 三维数字化检测及逆向工程	193
第三节 模具的激光加工	178	一、三维坐标测量系统	194
一、激光加工的原理与特点	178	二、逆向工程及其在模具制造上的应用	197
二、激光加工在模具制造上的应用	178	第七节 模具的网络化制造技术	199
第四节 模具工作零件的其他成形技术	180	一、模具网络化制造的优点及存在的问题	199
一、挤压成形	180	二、模具网络化制造的条件和关键技术	200
二、超塑成形	184	思考题与习题	200
三、铸造成形	185		
四、钎铜合金模具	187		
五、陶瓷型铸造	187		
第六章 典型模具加工工艺	201		
第一节 冲模的加工方法选择	201	第二节 塑料模的加工方法选择	211
一、非圆形凸模工作表面的加工	201	一、塑料模型腔的加工	211
二、非圆形凹模型孔的加工	201	二、型腔的抛光	214
三、凸模和凹模的加工工艺实例	207	思考题与习题	215
四、冷冲模结构的工艺性分析	209		
第七章 模具的装配	216		
第一节 冷冲模的装配	216	二、总装	249
一、装配要求	216	第三节 其他模具装配	255
二、凸、凹模间隙的调整	230	一、锻模装配	255
三、总装	230	二、压铸模装配	258
第二节 塑料模的装配	238	思考题与习题	263
一、装配要求	239		
参考文献	264		

绪 论

一、模具工业及其发展

1. 模具工业在国民经济中的地位

模具是制造业的一种基本工艺装备,在机械、电子、轻工、汽车、纺织、航空、航天等工业领域里,日益成为使用最广泛的主要工艺装备,它承担了这些工业领域中 60%~90% 的产品的零件、组件和部件的生产加工。用模具生产制件所表现出来的高精度、高复杂程度、高一致性、高生产率和低消耗,是其他加工制造方法所不能比拟的。模具生产技术水平的高低,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。

模具工业是国民经济的基础工业,是国际上公认的关键工业。模具制造的重要性还体现在市场需求上,仅以汽车、摩托车行业的模具市场为例。汽车、摩托车行业是模具最大的市场,在工业发达的国家,这一市场占整个模具市场一半左右。汽车基本车型不断增加,一个型号的汽车所需模具达几千副,价值上亿元。汽车换型时约有 80% 的模具需要更换。中国摩托车产量位居世界第一,据统计,我国摩托车共有 14 种排量、80 多个车型、1000 多个型号。单辆摩托车约有零件 2000 种,其中一半以上需要模具生产。一个型号的摩托车生产需 1000 副模具,总价值为 1000 多万元。其他的行业,如电子、通信、家电及建筑等,也存在巨大的模具市场。

2. 我国模具技术的现状及发展趋势

我国模具工业从起步到现在,历经半个多世纪,近几年来,我国模具技术有了很大发展,模具水平有了较大提高。大型、精密、复杂、高效和长寿命模具又上了新台阶。我国主要汽车模具企业,已能生产部分轿车覆盖件模具。体现高水平制造技术的多工位级进模,已从电机、电铁芯片模具,扩大到接插件、电子零件、汽车零件、空调器散热片等家电零件模具上。塑料模已能生产 48in(1in=0.0254m) 大屏幕彩电塑壳模具、大容量洗衣机全套塑料模具及汽车保险杠和整体仪表板等塑料模具。塑料模热流道技术更趋成熟,气体辅助注射技术已开始采用。压铸模方面已能生产自动扶梯整体梯级压铸模及汽车后桥齿轮箱压铸模等。模具质量、模具寿命明显提高,模具交货期较前缩短。模具 CAD/CAM/CAE 技术相当广泛地得到应用,并开发出了自主知识产权的模具 CAD/CAE 软件。电加工在模具制造技术发展上发挥了重要作用。模具加工机床品种增多,水平明显提高。快速经济制模技术得到了进一步发展,尤其这一领域的高新技术快速原型制造(RPM)技术发展很快,国内已有多家单位自行开发出达到国际水平的相关设备。模具标准件应用更加广泛,品种有所扩展。模具材料方面,由于对模具寿命的重视,优质模具钢的应用有较大进展。正由于模具行业的技术进步,模具水平得以提高,模具国产化取得了可喜的成就。历年来进口模具不断增长的势头有所控制,模具出口量稳步增长。

模具技术有以下的发展趋势。

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

模具 CAD/CAM/CAE 技术,是模具技术发展的一个重要里程碑。实践证明,模具 CAD/CAM/CAE 技术是模具设计制造技术的发展方向,模具和工件的检测数字化、模具软

件功能集成化、模具设计、分析及制造的三维化、模具产业的逆向工程以及模具软件应用的网络化是主趋势。

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分析、模具可制造性评价和数控加工、成形过程模拟(CAE)及信息的管理与共享。值得强调的是,模具数字化不是孤立的计算机辅助功能或数控技术的集合,其关键是它们与人工智能的有机集成,其不仅可以整理知识、保存知识,还可以挖掘知识、繁衍知识。新一代的模具数字化将是一个集工程师的智慧和经验、计算机的硬件和软件、数值模拟和数控技术、工艺及工程管理于一体的模具优化的开发、设计和认证的系统工程。

(2) 模具制造向精密、高效、复合和多功能方向发展

精密数控电火花加工机床(电火花成形机床、快走丝线切割和慢走丝线切割机床)不断在加工效率、精度和复合加工上取得突破,国外已经将电火花铣削用于模具加工。加工精度误差小于 $1\mu\text{m}$ 的超精加工技术和集电、化学、超声波、激光等技术综合在一起的复合加工将得到发展。

国外近年来发展的高速铣削技术和机床(HSM)开始在国内应用,将大幅提高加工效率。

模具抛光的自动化、智能化也是发展趋势之一,日本已研制了数控研磨机,可实现三维曲面模具的自动化研磨抛光。此外,特种研磨方法如挤压研磨、电化学抛光、超声抛光等也应是发展趋势。其他方面技术,如采用氮气弹簧压边、卸料、快速换模技术、冲压单元组合技术、刃口堆焊技术及实型铸造冲模刃口镶块技术等。

(3) 快速经济制模技术得到应用

快速制模主要从以下四个方面加快制模速度:一是提高加工速度,如高速铣削;二是基于快速原型的快速制模技术;三是选择易切削模具材料(如铝合金)来加快制模速度;四是采用复合加工、多轴加工提高加工效率。

快速原型制造(RPM)技术是伴随着计算机技术、激光成形技术和新材料技术的发展而产生的,是一种全新的制造技术,是基于新颖的离散/堆积(即材料累加)成形思想,根据零件CAD模型,快速自动完成复杂的三维实体(模型)制造。RPM技术是集精密机械制造、计算机、NC技术、激光成形技术和材料科学最新发展的高科技技术,被公认为是继NC技术之后的又一次技术革命。

(4) 特种加工技术有了进一步的发展

电火花加工向着精密化、细微化方向发展。在简化电极准备、简化编程和操作、提高加工速度,以及不断降低设备制造成本上也做了大量研究工作和实践。

其他机械特种加工(如磨料流动加工、喷水加工、低应力磨削、超声波加工等)和热特种加工(如电子束加工、电火花磨削、激光加工、等离子束加工等)已经进入实用阶段,在各自的特殊加工领域发挥着重要作用。

(5) 高速铣削加工将得到更广泛的应用

国外近年来发展的高速铣削加工,主轴转速可达 $40000\sim 100000\text{r/min}$,快速进给速度可达到 $30\sim 40\text{r/min}$,加速度可达 $1g$,换刀时间可提高到 $1\sim 2\text{s}$ 。这样就大幅度提高了加工效率,并可获得 $R_a\leq 1\mu\text{m}$ 的加工表面粗糙度。另外,还可加工硬度达60HRC的模块,形成了对电火花成形加工的挑战。高速切削加工与传统切削加工相比还具有温升低(加工工件只升高 3°C)、热变形小等优点。目前它已向更高的敏捷化、智能化、集成化方向发展。高速铣削必须与相应的软件、加工工艺、刀具及其夹紧头相配合。高速铣削加工技术的发展,促进了模具加工技术的发展,特别是对汽车、家电行业中大型型腔模具制造注入了新的

活力。

(6) 模具高速扫描及数字化系统将在逆向工程中发挥更大作用

高速扫描机和模具扫描系统提供了从模型或实物扫描到加工出期望的模型所需的诸多功能,大大缩短了模具的在研制造周期。有些快速扫描系统,可快速安装在已有的数控铣床及加工中心上,用雷尼绍的 SP2-1 扫描测头实现快速数据采集,采集的数据通过软件可自动生成各种不同数控系统的加工程序及不同格式的 CAD 数据,用于模具制造业的“逆向工程”。高速扫描机扫描速度最高可达 3m/min,大大缩短了模具制造周期。由于模具扫描系统已在汽车、摩托车、家电等行业得到成功应用,逆向工程和并行工程将在今后的模具生产中发挥越来越重要的作用。

(7) 超精加工和复合加工将得到发展

航空、航天等部门的超高精度的零件必须要有超高精度的模具制造。随着模具向精密化和大型化方向发展,加工精度超过 $1\mu\text{m}$ 的超精加工技术和集电、化学、超声波、激光等技术综合在一起的复合加工将得到发展。兼备两种以上工艺特点的复合加工技术在今后的模具制造中将有广阔的前景。

(8) 模具标准化程度将不断提高

我国模具标准化程度正在不断提高,估计目前我国模具标准件使用覆盖率已达到 30% 左右。国外发达国家一般为 80% 左右。为了适应模具工业的发展,模具标准化工作必须加强,模具标准化程度将进一步提高,模具标准件生产也必将得到发展。

(9) 模具材料及表面处理技术发展迅速

在模具材料方面,一大批专用于不同成形工艺的模具材料相继问世并投入使用。在模具表面处理方面,其主要趋势是: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;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。

由于铝合金材料重量轻、切削性能好、热导率和电导率高、焊接性能优良,用它作模具材料可缩短制模周期和降低模具成本,且用于塑料模可有 10 万次以上寿命,因此用铝合金进行高速切削来制作快速经济模具已在世界上得到较为广泛的使用,我国也已开始使用。预计今后将会得到较快发展。

二、本课程的性质、任务及要求

为了适应我国国民经济发展的需要,发展我国的模具制造工业,需要培养大量的不同层次的模具制造专业人才。“模具制造技术”是为培养模具设计及制造专业人才而设置的专业课程之一。

在学习本课程前,学生已修完了“金属工艺学”等课程,并开始学习“冲压工艺”、“锻压工艺”及“塑料成形工艺”等有关课程,对模具设计已有初步了解。本课程的课堂理论教学以及实践教学环节的配合,使学生掌握基本的理论知识,初步具有分析和解决模具制造工艺技术问题的能力,有自学工艺理论和新工艺、新技术的能力。

由于工业生产的发展和金属成形新技术的应用,对模具制造技术要求越来越高,使之趋于复杂化和多样化。模具的制造方法已不再是传统的一般机械加工,而是广泛采用电火花技术、数控技术、电化学加工、超声波加工及快速原型等现代加工技术。通过对本课程的学习,要求学生掌握各种现代模具加工方法的基本原理、特点、工艺及应用,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。

具体有以下几点要求。

- ① 熟悉模具零件机械加工、特种加工方法的基本原理、特点及应用。
- ② 掌握模具零件制造工艺的基本理论, 注重基本理论的应用。
- ③ 掌握典型零件制造工艺及典型模具装配工艺过程。
- ④ 具有制定中等复杂程度的典型模具零件机械加工工艺规程的能力。
- ⑤ 了解现代模具制造技术的特点与应用。

“模具制造技术”是一门实践性很强的课程, 涉及的知识面很广, 因此, 学生在学习本课程时, 不仅要掌握本课程必要的基础理论知识, 还应密切关注模具制造的新发展, 特别注意实践环节。在处理技术问题时一定要理论联系实际, 特别注意实践环节, 应认真参加现场教学和实验, 以增加感性认识。

三、模具制造的特点

模具制造也属于机械制造的研究范畴, 它具有一般机械产品的共性, 同时又具有其特殊性。与一般机械制造相比, 通常模具制造难度很大, 主要有以下几方面的特点。

(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要好。一般来说, 模具工作部分的制造公差都应控制在 $-0.1 \sim -0.01\text{mm}$ 以内, 有的甚至要求在微米级范围内; 模具加工后的表面不仅不容许有任何缺陷, 而且工作部分的表面粗糙度都要求小于 $0.8\mu\text{m}$ 。

(2) 形状复杂

模具工作部分一般都是二维或三维的复杂曲面, 而不是一般加工的简单几何体。

(3) 材料硬度高

模具实际上相当于一种机械加工工具, 其硬度要求较高, 一般都是用淬火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, 往往感到十分困难。

(4) 单件生产

通常, 生产某一个制品, 一般只需要一两副模具, 所以模具制造一般都是单件生产。每制造一副模具, 都必须从设计开始, 大约需要一个月或几个月才能完成, 设计、制造周期都比较长。

四、模具制造的主要加工方法

目前, 有各种各样的工艺及由这些工艺组合起来的新工艺来制造模具。这些工艺得以发展是由模具本身的复杂性和被加工材料的力学性能决定的。另外, 为了提高生产自动化, 加速模具制造速度和提高模具制造质量, 又出现了一些新工艺和新设备。

1. 机械加工

大约有 90% 的模具主要由铣削、车削、磨削等机加工方法来完成。它们主要用于模具辅助零件的最终加工以及模具工作零件的预加工和最终加工。主要如下。

(1) 切削加工及高速铣削技术

传统的机加工手段如车削、铣削、刨削、钻削等无一例外地都用于模具加工。利用主模型或靠模的仿形加工方法也常常用于制造模具。近年来, 随着 CAD/CAM 技术和数控技术的迅速发展, 模具制造行业大量引进自动化数控机床, 其中尤以数控铣床、数控铣削加工中心为最多。这是因为型腔模具往往带有大量的自由曲面, 传统的手工制作已经无法满足需要, 而三轴或多轴联动的数控铣床却可以最大程度地解决这方面的难题。所以, 数控铣削加工及其编程技术也自然成为模具先进制造技术的重点, 并出现了数控机床的多轴联动、功能

固化和快速装夹以及车铣复合等趋势。

高速铣削具有工件温升低（约为 3°C ）、热变形小、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，在加工模具型腔时，与传统的加工方法相比，其效率提高 4~5 倍）及可加工硬质材料（ $<60\text{HRC}$ ）等诸多优点，因而在模具加工中日益受到重视。高速铣削机床（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，其加工精度可达 0.01mm 。国外高速加工机床主轴最高转速已超过 100000r/min ，快速进给速度可达 $50\sim120\text{m/min}$ ，换刀时间可提高到 $1\sim2\text{s}$ 。日本东芝公司的 F-MACH442 型高速铣削机床为龙门式结构，采用东芝 888 数控系统，具有工艺数据库，主轴采用空气静压轴承，最大转速为 60000r/min ，主轴回转精度 $0.07\mu\text{m}$ ，由于振动小，刀具寿命可延长 10 倍。所使用的刀具包括镶有可转位刀片的立铣刀和球头铣刀。这类刀具以瑞典 Sandvik 公司和美国 Kennametal 公司的产品最为有名，我国也开始使用这类产品。高速铣削技术的进一步完善和推广应用是模具制造近年来的一个重点。

（2）磨削加工及多轴联动坐标磨

成形磨削是工作型面精加工的一种传统方法，具有高精度、高效率的优点。在模具制造中，成形磨削主要用于精加工直纹曲面凸模、拼块凹模及电火花加工用的电极等零件。

成形磨削可在成形磨床或平面磨床上进行。在成形磨床上进行成形磨削时，工件装夹在万能夹具上，夹具可以调节在不同的位置，因而能加工出平面、斜面和圆柱面，若将万能夹具与成形砂轮配合使用，则可加工出复杂的曲面；在平面磨床上，利用夹具或成形砂轮也可进行成形磨削，以此为基体的数控成形磨床则可加工出高精度、复杂的工件。

日本公司开发的 FSK-6300 六轴四联动数控坐标磨床具有精度高（定位精度为 0.001mm ，轮廓精度为 $0.0025\text{mm}/\phi100\text{mm}$ ）的优点，Z 轴既可参与联动也可独立控制，使其对连续的内外柱面、锥面、环面、底平面连续加工；机床配有高精度自旋转台（回转精度 $0.5\mu\text{m}$ ，转速 $0\sim750\text{r/min}$ ），其气动磨头的转速可达 200000r/min ，并具有砂轮磨损自动补偿功能。

（3）研磨及抛光

经机加工的工件表面，无论其表面粗糙度大小如何，都必须进行再次抛光。对于粗糙表面的修平有三种方法：一种是去除材料；另一种是重新配置材料；还有一种是增添材料。传统典型的抛光方法是从型腔侧壁上去除材料以平整表面。

模具的研磨抛光目前仍以手动为主或借助电动或气动设备手动抛光，效率低、劳动强度大、质量不稳定。我国已经进口可实现三维曲面模具自动研抛的数控研磨机。自行研制仿人智能自动抛光技术也取得了成果，但应用较少。今后模具研磨将向着特种化、复合化、自动化、智能化方向发展，如挤压研磨、激光研磨和研抛、电火花抛光、电化学抛光、超声抛光以及复合抛光技术与工艺装备。

2. 模具的电加工

模具的电加工技术主要指电火花线切割、电火花成形、电火花穿孔和电解加工等，其中电火花加工在模具制造中具有重要地位和不可替代的作用。其中以电火花线切割和型腔电火花成形为主。

（1）电火花线切割加工

电火花线切割加工是利用火花放电使金属熔化或汽化，并把熔化或汽化了的金属去除掉，从而实现各种形状金属零件的加工。电火花线切割用于加工精密细小、形状复杂、材料特殊的冲模零件，解决了许多机械加工困难或根本无法解决的加工问题；愈是形状复杂、精密细小的冲模，特别是硬质合金模具，其经济效果愈显著。

慢走丝线切割加工是近年来的主要发展热点。随着无电解脉冲电源、优化能量脉冲电源、去离子水对离子的控制以及一系列精密加工技术的开发应用,使慢走丝线切割加工的发展达到了一个新的阶段。瑞士阿奇公司的慢走丝线切割机床能获得轮廓精度 $1.5\mu\text{m}$ 及 $R_a0.1\mu\text{m}$ 的加工质量,能适合精密冲模的加工。随着国产化的实现,这类机床的价格正在快速降低并逐渐广为应用。

(2) 型腔电火花成形加工

型腔电火花成形加工是一种复制成形加工工艺,它是利用火花放电方法,将工具电极的形状复印在模具坯件上而形成型腔。电极可由车、铣、刨、磨、冷热成形、火焰喷涂或电解沉积等方法获得。型腔电火花加工工艺在当今模具制造业已占据不容忽视的位置,用它可以在钢块及烧结金属中加工出用常规方法无法加工或很难加工的形状复杂、尺寸精细的工件,正确选择和使用电极可使模具制造费用比常规方法低 40%。近年来,数控电火花加工技术可以用标准的铜管电极,应用 CAD/CAM 技术完成二维或三维型面加工,不需要制造成形电极,大大简化了电极的准备,在高精度微细加工方面,这种方式具有良好的发展前景。

(3) 电解加工

电解加工是基于电解作用原理(电化学阳极溶解)将工具阴极的形状复印在模具坯件上来加工模具型腔的。即将作为阳极的工件和作为阴极的成形工具插入电解液,在电流的作用下,阳极和阴极之间发生电荷和材料的交换,其结果使工件溶解。利用这种方法,还可将工件表面的部分区域覆盖保护层,只对另外部分进行氧化而去除该部分的材料。

电解加工除了能进行尺寸加工外,还可用于电解抛光、电解去毛刺等工艺。

3. 化学腐蚀加工

化学腐蚀加工的原理是基于金属在酸、碱、盐溶液中的可溶性,即金属材料由于其材料微观区域之间的能差或材料与腐蚀溶剂之间的能差而发生溶解。金属原子释放电子后以离子形式从金属晶格中逸出,自由离子和腐蚀溶液中存在的阴离子及阳离子结合而消失。去除的金属离子与阴离子结合成为不溶性金属盐,这种不溶性金属盐必须用过滤或离心的办法从腐蚀溶液中分离出来。

4. 其他特种加工方法

(1) 机械特种加工

在一般用金属切削刀具难以加工的场合,采用机械特种加工,借助水、磨料、超声波、热能等对工件进行精密加工。

最新开发的三维切割方法可用于对零件进行精加工以及对钛合金、碳纤维成形工件进行加工。磨料水喷射加工可以胜任精密切割,加工工件无毛刺,这对于氧-乙炔、激光束加工是无法实现的,其次水喷射加工的另一个优点可以触及其他工具不易达到的地方。

磨料流动加工是由高分子聚合物、添加剂、磨料混合而成的黏性材料,在一定的压力和流速下,迫使黏性磨料通过工件加工表面,由于磨料颗粒的磨削作用,从而对工件加工。这项技术已经成熟地应用于液压、气动元件阀体的交叉孔去毛刺、倒圆和挤压模具内腔抛光,表面粗糙度达到 $R_a0.04\sim0.05\mu\text{m}$ 。

超声波特种加工使刀具产生振动振幅,通过传递,液体磨料颗粒得到能量,撞击工件,实现加工。这种技术应用还不广泛,国外正在对超声波磨料加工展开研究。特别对回转式超声波研究,使深钻孔加工质量明显提高,多年来美国一直在进行超声波辅助金刚石刀具加工的研究,日本也正在进行超声波辅助磨削技术的开发。

(2) 热特种加工

它们是电子束加工、电火花磨削、激光加工、等离子束加工等加工方法,用于打孔、成

形、磨削、车削、切割、划线等加工范畴。

5. 铸造法制模

模具常用铸造工艺可分为三种类型，即砂型铸造、陶瓷铸造及实型铸造。具体使用哪一种类型取决于模具的尺寸、精度、所需的复制性以及要达到的表面质量。用浇注法制造模具的最大优点是浇注完后几乎可以马上使用，后续加工量很少。

(1) 砂型铸造

这种工艺主要用于制造达到 3t 以上的模具。为了达到所要求的尺寸精度，还需要对型腔进行切削加工。

(2) 陶瓷铸造

陶瓷铸造工艺可用来制造对精密表面的复制性要求较高的模具或型腔嵌件。这种工艺可以形象、逼真地复制像木纹、皮革织物等表面结构。

(3) 实型铸造

汽车覆盖件冲模的大型铸件普遍采用泡沫塑料实型铸造法。所谓塑料泡沫实型铸造法，是用发泡聚苯乙烯作模型，埋入铸造型砂中间，并依照此模型浇铁水，使其燃烧汽化掉，从而获得铸件的方法，因此也称消失铸造法。

6. 塑性挤压法制模

(1) 热压印法

热压印法是将模块加热到锻造温度后，用预先准备好的模芯压入模块而挤压出型槽的方法。

(2) 冷挤压法

挤压模头具有要成形零件的外部形状，经过淬火、抛光，然后在连续增加的压力作用下，以 0.1~10mm/min 的速度强行挤入较软的退火钢块，这样在钢块中就形成了挤压模头复制的凹模型。型腔冷挤压的形式有开式挤压和闭式挤压两种。

7. 快速原型和快速制模 (RPM/RMT) 技术

快速原型法是一种基于离散和堆积原理的崭新制造技术。它将零件的 CAD 模型按一定的方式离散，成为可加工的离散面、离散线和离散点，而后采用物理或化学手段，将这些离散的面、线段和点堆积而形成零件的整体形状，具体的方法是，依据零件的三维 CAD 模型，经过格式转换后，对其分层切片，得到各层截面的轮廓形状，然后用激光束选择性地固化一层层的液态光敏树脂，或切割一层层的纸或金属箔片，或烧结一层层的粉末材料，以及用喷射源选择性地喷射一层层的黏结剂或热熔性材料，形成各截面的轮廓形状，再逐步叠加成三维立体零件。

思考题与习题

1. 我国模具制造技术的发展方向是什么？
2. 模具制造的特点是什么？
3. 试述模具制造的工艺过程和制造的主要加工方法。
4. 本课程的性质、学习任务是什么？

第一章 模具的机械加工

第一节 一般机械加工

模具是由许多零件组成的，模具零件的形状多种多样，而且精度要求高，因此，在加工过程中，往往需要采用其他工艺方法（如特种加工等）加工，但仍然有很多工序需要由机械加工来完成。所以，一般机械加工仍然是模具制造中不可缺少的基本手段。

一、车削加工

在车床上利用工件的旋转运动和刀具的移动，进行切削加工的方法，称为车削加工。车床的种类很多，其中卧式车床的通用性好，应用最为广泛。在模具制造中卧式车床主要用于加工圆凸模、圆凹模、导柱、导套、顶杆、型芯、模柄及圆柱销、挡销、限位钉、拉杆等零件。

车削加工主要用来加工各种回转表面以及回转体的端面，还可进行切断、切槽、车螺纹、钻孔、铰孔、镗孔及滚花等工作，车削加工的基本内容见图 1-1。根据工件的使用要求，工件的加工可经过粗车、半精车和精车等工序达到要求。由于模具零件的精度要求，其车削工艺一般可分为粗车、半精车和精车三道工序，或车削是外旋转表面加工的中间工序。精车的尺寸精度可达 IT6~IT8，表面粗糙度为 $R_a 1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。

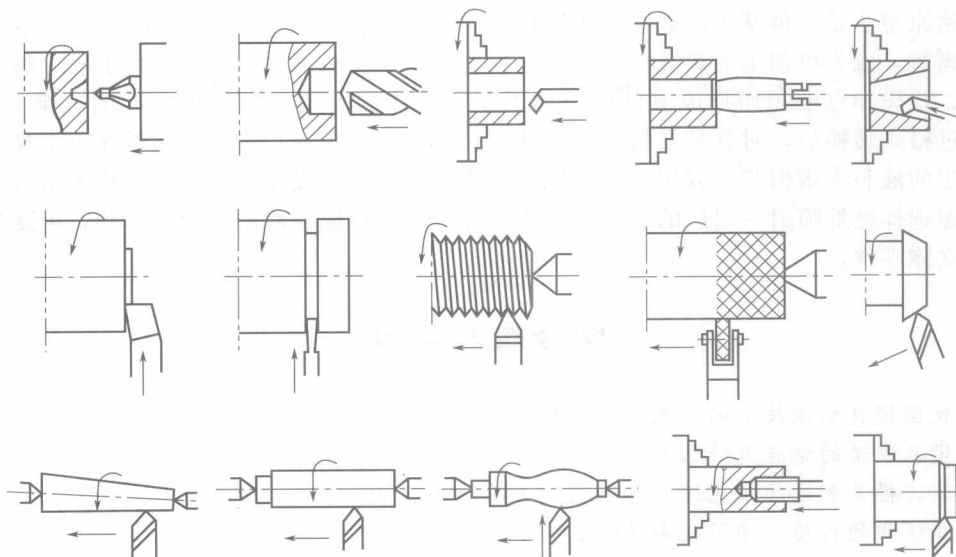


图 1-1 卧式车床所能加工的典型表面

在普通车床上，阶台的同轴度、端面对轴线的垂直度等都容易保证，但是对一些阶台比较多、位置尺寸要求严格或形状精度要求较高的模具零件，如球面、特形面等，在通用车床

上就不易保证了,这时可采用数控车床加工。

除此之外,还常常用到一些特殊的车削加工。

1. 对拼式型腔的加工

在模具设计中,为了便于取出工件,往往把型腔设计成对拼式,即型腔的形状由两个半片或多个镶件组成。这种情况在注射模、吹塑模、压铸模、玻璃模和胀形模等模具中都比较常见。加工对拼式型腔时,为了保证型腔尺寸的准确性,通常应预先将各镶件间的接合面磨平,互相间用工艺销钉固定,组成一个整体后才进行车削(具体方法见第三节)。

2. 多型腔模具的加工

对于多型腔模具,如果其型腔的形状适合于车削加工,则可利用辅助顶尖校正型腔中心,并逐个车出。图 1-2 所示为四型腔塑料模的动模。车削加工前,先按图加工工件的外形,并在四个型腔的中心上打样冲眼或中心孔。车削时,把工件初步装夹在车床卡盘上,将辅助顶尖一端顶住样冲眼或中心孔,另一端顶在车床尾座上,用手转动车头,以千分表校正辅助顶尖外圆,调整工件位置,使辅助顶尖的外圆校正为止,如图 1-3 所示。车完一个型腔后,用同样的方法校正另一个型腔中心,进行车削。

辅助顶尖的结构如图 1-4 所示,要求 16mm 与 10mm 的外圆保持同心。

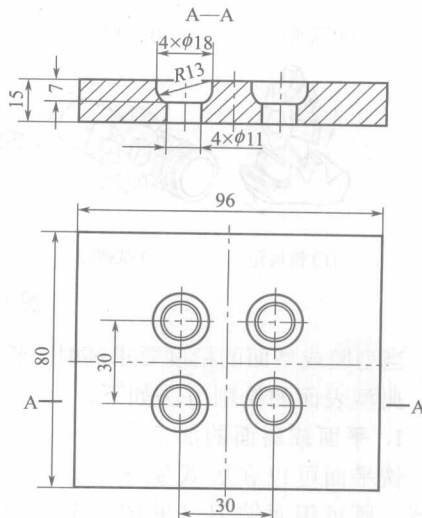


图 1-2 四型腔塑料模的动模

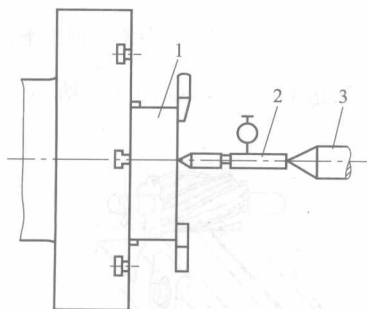


图 1-3 用辅助顶尖找正中心

1—坯料; 2—辅助顶尖; 3—车床尾座

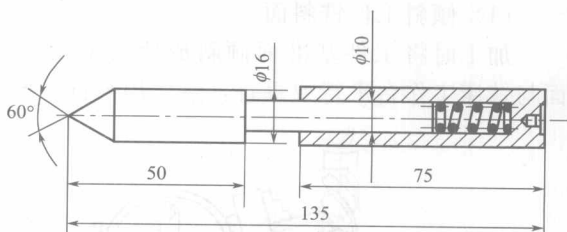


图 1-4 辅助顶尖结构

二、铣削加工

铣削加工是在铣床上使用旋转多刃刀具,对工件进行切削加工的方法。铣削加工范围很广,如图 1-5 所示,用不同类型的铣刀,可进行平面、台阶面、沟槽、切断和成形表面等加工,在模具成形面加工中应用很广。此外,在铣床上还可以安装孔加工刀具,如钻头、铰刀、镗刀来加工工件上的孔。

在模具零件的铣削加工中,应用最广的是立式铣床和万能工具铣床,主要加工对象是各种模具的型腔和型面,其加工精度可达 IT10,表面粗糙度为 $R_a 1.6\mu\text{m}$ 。若选用高速、小用量铣削,则工件精度可达 IT8,表面粗糙度为 $R_a 0.8\mu\text{m}$ 。铣削后,经钳工修光即可得到所要求的型

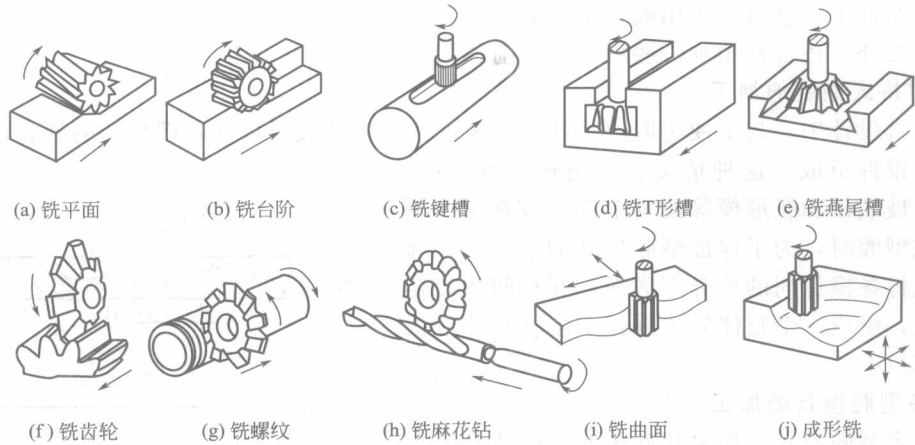


图 1-5 常用铣削加工方式

腔。当型腔或型面的精度要求高时，铣削后需用成形磨削或电火花加工等方法进行精加工。
典型表面的铣削方法如下。

1. 平面或斜面的加工

铣平面可以在卧式铣床上进行，也可在立式铣床上进行，既可用面铣刀（见图 1-6），也可用圆柱铣刀，甚至用立铣刀等。

2. 铣斜面

铣削斜面实质上也是铣削平面，只是需要把工件或铣刀倾斜一个角度，或者采用角度铣刀铣削。

(1) 倾斜工件铣斜面

加工时将工件基准面倾斜成所需的角度，使被加工面与铣床工作台平行或垂直，然后用与铣平面相同的方法进行加工，如图 1-7 所示。

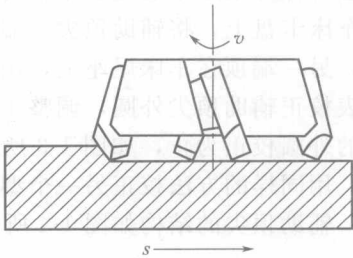


图 1-6 端铣刀加工平面

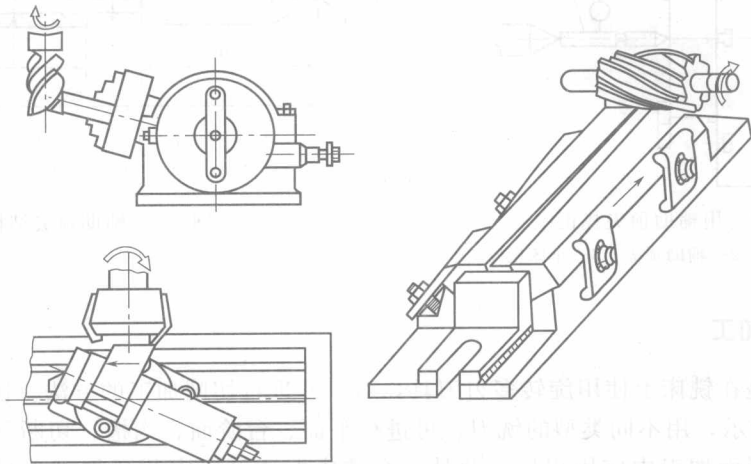


图 1-7 工件倾斜铣斜面

(2) 倾斜铣刀铣斜面

用端铣刀铣斜面如图 1-8 所示，在立铣头的主轴上装端铣刀，立铣头的主轴倾斜了一个角度，那么端铣刀也随之倾斜了一个相同的角度。倾斜角度的大小根据工件加工表面而定。

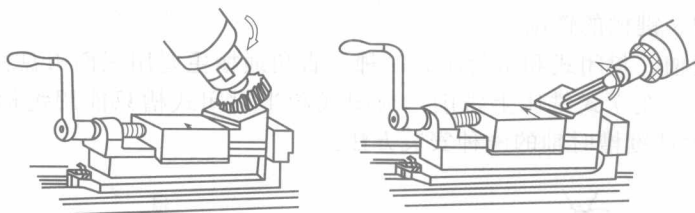


图 1-8 立铣头倾斜铣斜面

(3) 用角度铣刀铣斜面

图 1-9 所示是角度铣刀铣斜面的工作情况。角度铣刀只适用于铣削标准角度 (30° 、 45° 、 60° 等) 的斜面和宽度较窄的斜面。当工件上有两个斜面时, 可用两把角度铣刀组合起来铣削, 以提高生产率。

使用端铣刀加工平面或斜面时, 生产效率高, 因此, 这种加工方法在模具零件的平面或斜面加工中得到广泛的应用。

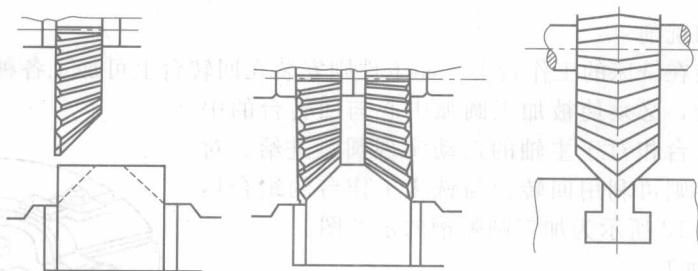


图 1-9 用角度铣刀铣斜面

3. 铣台阶与沟槽

(1) 台阶的铣削

在模具制造中, 有些有台阶及沟槽的零件, 可以采用铣削加工。用卧式铣床铣台阶如图 1-10 所示, 尺寸不大的台阶可用三面刃铣刀, 尺寸较大的用组合铣刀铣削。台阶的铣削也可以在立式铣床上加工。在立式铣床上加工时常采用直径较大的立铣刀。

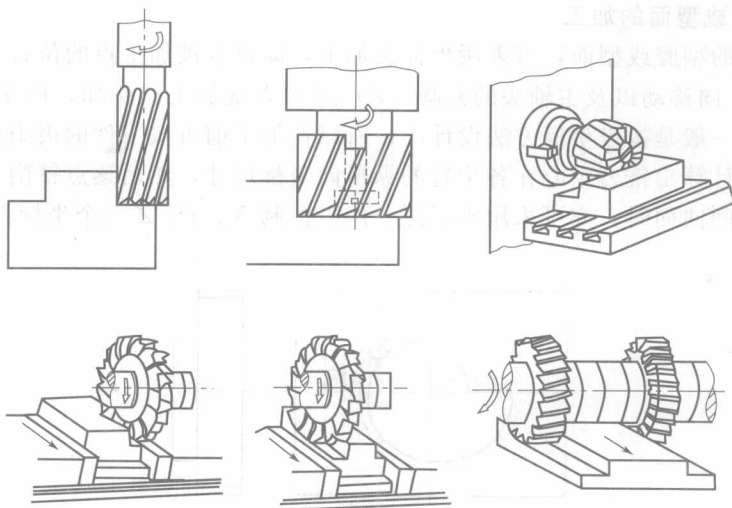


图 1-10 铣台阶