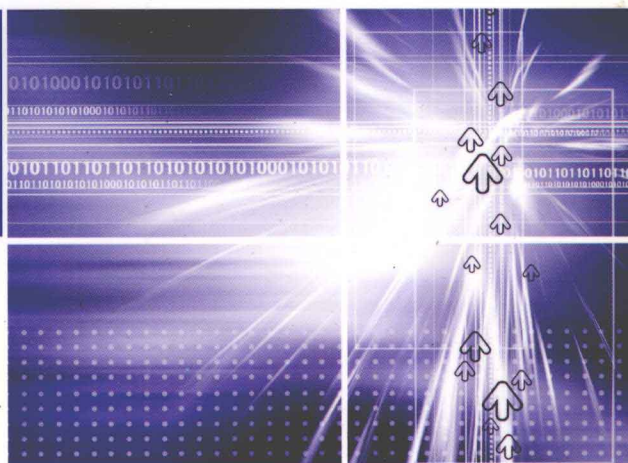




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



模具数控 加工技术

第2版

贾慈力 主编
阳 林 副主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

模具数控加工技术

第2版

主 编 贾慈力

副主编 阳 林

参 编 彭浩舸 顾雪艳 胡义刚 赵中华

主 审 秦鹏飞 魏 建



机械工业出版社

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材, 主要介绍数控加工技术的基本知识及其在模具加工中的应用。全书内容共分六章, 包括: 数控技术在模具加工中的应用、数控机床的基本结构、模具数控加工工艺基础、数控加工编程基础、模具数控加工编程实例、CAD/CAM 系统应用基础。

本书适于高等工科院校材料成形及控制工程专业本科教学使用, 亦可供高职高专及其他机械类专业教学参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

模具数控加工技术/贾慈力主编. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2011. 4

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-33680-8

I. ①模… II. ①贾… III. ①模具—数控机床—加工—高等学校—教材 IV. ①TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 036855 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: 冯春生 责任编辑: 冯春生 周璐婷

责任校对: 佟瑞鑫 封面设计: 张 静

责任印制: 杨 曦

北京鑫海金澳胶印有限公司印刷

2011 年 5 月第 2 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 8.25 印张 · 198 千字

标准书号 ISBN 978-7-111-33680-8

定价: 18.00 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

社服务中心 : (010) 88361066

网络服务

销售一部 : (010) 68326294 门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部 : (010) 88379649 教材网: <http://www.cmpedu.com>

读者购书热线 : (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

第 2 版前言

本书第 1 版作为普通高等教育材料成形及控制工程专业(模具方向)规划教材,在数十所工科院校的材料成形及控制工程专业特色课程教学中应用了六年。很多院校教师在数年采用本书教学后,提出了许多宝贵建议,同时数控加工技术及其在模具行业中的应用也有了更新的发展,据此情况,编者对本书做了修订。

本书在先进制造技术、计算机数控系统、数控编程技术等方面做了一些补充完善,内容编排考虑到材料成形及控制工程专业的课程基础和教学需求,以基本知识为主,叙述简明扼要。

全书内容分为六章,包括:数控技术在模具加工中的应用、数控机床的基本结构、模具数控加工工艺基础、数控加工编程基础、模具数控加工编程实例、CAD/CAM 系统应用基础。本书适于高等工科院校材料成形及控制工程专业本科教学使用,亦可供高职高专及其他机械类专业教学参考。

本书由上海工程技术大学贾慈力任主编并统稿,广东工业大学阳林任副主编,参加编写的人员有:阳林(第一章,第四章第一、二、六、七节)、贾慈力(第二章,第四章第三、四、五节)、湖南工程学院彭浩舸(第三章)、南京工程学院顾雪艳(第五章)、上海工程技术大学胡义刚(第六章第一节)、上海工程技术大学赵中华(第六章第二节)。

东华大学博士生导师秦鹏飞教授和上海市曙光学学者魏建教授担任本书主审,两位学者对本书提出了许多宝贵意见,在此感谢他们对本书的关爱和指导。

本书的编写和修订得到了机械工业出版社的大力支持,谨此表示衷心的感谢。

因编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

第 1 版前言

模具是现代产品生产中的重要工艺装备之一，小到螺钉，大到飞船，许多产品的生产都离不开模具，模具制造技术已成为衡量制造业发展水平的一个重要标志。随着科技进步和工业技术的发展，人们对产品的品种、款式、质量等要求越来越高，产品的生命周期也越来越短，这样便促使模具行业大量采用先进制造技术，其中，数控加工技术已成为广泛应用于模具制造的重要工艺技术。

我国将成为世界制造中心，需要大量的善于进行技术创新的应用型人才，同时教育也要不断地改革创新。在这样的形势背景下，机械工业出版社组织全国十多所工科院校，根据教育部 2003 年高等教育工作会议关于“改革、创新”的指示精神，对材料成形及控制工程专业的建设和教学改革进行了认真研讨，并为适应专业教育的教学改革新要求，统编了普通高等教育材料成形及控制工程专业(模具方向)规划教材，《模具数控加工技术》即为其中之一。

《模具数控加工技术》主要介绍数控加工技术的基本知识及其在模具加工中的应用。全书内容共分六章，包括：数控技术在模具加工中的应用、数控机床的基本结构、模具数控加工工艺基础、数控加工编程基础、模具数控加工编程实例、MasterCAM 应用基础。本书适于高等工科院校材料成形及控制工程专业教学使用，亦可供高职高专及其他机械类专业本科教学参考。

本书由上海工程技术大学贾慈力主编并统稿，广东工业大学阳林任副主编。参编人员有：阳林(第一章,第四章第一、二、六节)、贾慈力(第二章,第四章第三、四、五节)、湖南工程学院彭浩舸(第三章)、南京工程学院赵建峰(第五章)、上海工程技术大学胡义刚(第六章)。

本书主审由东华大学博士生导师秦鹏飞教授担任。秦鹏飞教授参与了本书从最初大纲的制定到最后定稿的整个编写过程，并提出了许多宝贵意见，在此感谢他对本书的关爱和指导。

本书的编写得到了机械工业出版社的大力支持，也得到了许多同志的鼎力相助，谨此表示衷心的感谢。

因编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第2版前言

第1版前言

第一章 数控技术在模具加工中的

应用 1

一、数控加工简介 1

二、数控加工的特点 1

三、数控加工的适用范围 2

四、数控机床在模具加工中的应用 2

五、模具加工技术的现状与发展趋势 ... 4

六、超精密加工技术和超高速加工技术在 模具加工中的应用 7

复习思考题 9

第二章 数控机床的基本结构 10

第一节 数控机床的组成及其工作

原理 10

一、数控机床的组成 10

二、数控机床的工作过程 11

第二节 数控机床的分类 12

一、按工艺用途分类 12

二、按运动方式分类 12

三、按执行机构的控制方式分类 13

第三节 计算机数控系统 13

一、系统组成 13

二、工作过程 14

三、主要功能 14

第四节 数控机床的伺服系统 16

一、伺服系统的技术要求 16

二、伺服系统的控制方式 16

三、伺服驱动部件 17

四、检测装置 18

第五节 数控机床的机械结构 20

一、数控机床的结构要求和特点 20

二、主传动系统 21

三、进给传动系统 22

四、数控车床的结构特点 24

五、数控铣床的结构特点 25

六、加工中心的结构特点 25

复习思考题 29

第三章 模具数控加工工艺基础 30

第一节 模具数控加工工艺特点 30

一、数控加工工艺的概念 30

二、数控加工工艺的特点 30

第二节 模具数控加工工艺设计 31

第三节 数控机床、刀具和夹具的

选择与使用 33

一、数控机床的合理使用 33

二、数控刀具选择 37

三、夹具的设计和使用 40

第四节 走刀路线与加工参数 41

一、走刀路线 41

二、切入点和切出点 42

三、加工参数的选择 43

第五节 数控加工工艺文件 44

复习思考题 45

第四章 数控加工编程基础 46

第一节 编程概述 46

一、手工编程 46

二、自动编程 47

第二节 数控程序指令代码及格式 ... 48



一、ISO 与 EIA 指令代码	48
二、坐标轴及运动方向的规定	48
三、指令代码	50
四、程序结构与格式	53
第三节 数控车床编程基础	54
一、数控车床的坐标系统	54
二、编程基础	54
第四节 数控铣床编程基础	60
一、数控铣床的坐标系统	60
二、编程基础	60
第五节 加工中心编程基础	63
一、加工中心的编程特点	63
二、编程基础	64
第六节 程序编制中的数值计算	68
一、直线和圆弧组成的零件轮廓的基点 计算	68
二、非圆曲线的节点计算	69
第七节 西门子 SINUMERIK 802D 系统简介	72
一、SINUMERIK 802D 的产品特点	72
二、工艺循环指令的应用	72
三、钻孔循环指令	73
复习思考题	75

第五章 模具数控加工编程实例	76
第一节 数控车床编程实例	76
一、圆形凸模零件车削	76
二、内孔零件车削	78
三、轴套类零件车削	81
第二节 数控铣床编程实例	85
一、凸模零件铣削	85
二、凹模零件铣削	87
第三节 加工中心编程实例	88
一、凹字模零件加工	88
二、凸轮零件加工	91
复习思考题	94
第六章 CAD/CAM 系统应用基础 ...	96
第一节 MasterCAM 应用基础	96
一、MasterCAM 绘图简介	96
二、MasterCAM 编程步骤	101
三、MasterCAM 编程实例	106
第二节 UG 应用基础	111
一、UG 简介	111
二、UG 编程步骤	112
三、编程实例分析	114
复习思考题	124
参考文献	126

第一章 数控技术在模具加工中的应用

随着工业产品不断向多样化和高性能化发展，产品生产厂家要求模具制造业在短时期内为新产品的开发和投产提供高精度的模具。模具制造业为了适应用户的这一要求，充分利用数控加工等先进制造技术，使模具加工技术由传统的手工操作进入到以数控加工为主的新阶段。

模具零件制造属于单件小批量生产方式，型腔、型芯的形状往往比较复杂，难以在短时间内自动完成，制造质量也不易保证。在数控技术出现之前，除了用于大批量生产的专门生产线具有较高的自动化程度外，各种零件的制造基本上由手工操作完成。此时零件一般由直线、圆弧等简单的几何元素构成。数控技术的产生和发展，为复杂曲线、曲面模具零件的单件小批量自动加工提供了极为有效的手段。

电子技术的飞速发展，促进了数控技术由硬件数控到计算机数控的发展，计算机为更有效地使用数控技术发挥了巨大的作用。利用计算机，进一步提高了数控加工的精度，而且不断拓宽了数控技术的应用领域，从复杂的几何造型系统到计算机辅助工艺规划、数控自动编程等。随着人们对数控加工研究的日臻完善，各种各样的 CAD/CAM 系统不断涌现，目前 CAD/CAM 系统及数控技术在模具加工领域中起着不可缺少的重要作用。

一、数控加工简介

数控技术，简称“数控”，英文为 Numerical Control (NC)，是指用数字、文字和符号组成的数字指令来实现一台或多台机械设备动作控制的技术。它所控制的通常是位置、角度、速度等机械量，以及与机械能量流向有关的开关量。数控的产生依赖于数据载体和二进制形式数据运算的出现。数控技术是与机床控制密切结合发展起来的。1952 年，第一台数控机床问世，成为世界机械工业史上一件划时代的事件，推动了自动化的发展。

现在，数控技术也叫计算机数控技术，它是采用计算机实现数字程序控制的技术。这种技术用计算机按事先存储的控制程序来执行对设备的控制功能。由于采用计算机替代原先用硬件逻辑电路组成的数控装置，使输入数据的存储、处理、运算、逻辑判断等各种控制机能均可以通过计算机软件来完成。

二、数控加工的特点

数控加工，也称为 NC 加工，是以数值、符号构成的信息控制机床，实现自动运转。数控加工经历了半个世纪的发展，已成为应用于当代各个制造领域的先进制造技术。数控加工的最大特征有两点：一是可以极大地提高精度，包括加工质量精度及加工时间误差精度；二是可以提高加工质量的重复精度，稳定加工质量，保持零件加工质量的一致性。也就是说，加工零件的质量及加工时间是由数控程序决定而不是由机床操作人员决定的。



数控加工具有如下优点:

- 1) 提高生产效率。
- 2) 不需要熟练的机床操作人员。
- 3) 可以提高加工精度, 并且保持加工质量一致。
- 4) 可以减少工装夹具。
- 5) 易于进行加工过程管理。
- 6) 可以减少检查工作量。
- 7) 可以降低废、次品率。
- 8) 便于设计变更, 加工设定柔性强。
- 9) 容易实现操作过程的自动化, 一人可以操作多台机床。
- 10) 操作简便, 可以极大地减轻体力劳动的强度。

随着制造设备数控化率的不断提高, 数控加工技术在我国已得到了日益广泛的应用。在模具行业, 掌握数控技术与否及加工过程中数控化率的高低, 已成为企业是否具有竞争力的象征。

三、数控加工的适用范围

数控加工的特点是加工的零件一致性好、质量稳定、加工精度高。但是, 数控加工设备昂贵, 加工准备周期长。因此, 数控加工有其一定的适用范围。

1) 多品种小批量零件。这是因为数控机床设备费用高昂, 与大批量生产采用的专用机床相比其效率还不够高。通常采用数控机床加工的合理生产批量在 10 ~ 100 件之间。

2) 结构比较复杂的零件。通常数控机床适宜于加工比较复杂, 在非数控机床上加工时需要有昂贵的工艺装备(工具、夹具、模具)的零件。

- 3) 需要频繁改型的零件。
- 4) 价格昂贵、不允许报废的关键零件。
- 5) 需要最少生产周期的急需零件。

推广数控机床的最大障碍是设备的初始投资大, 且系统本身比较复杂, 增加了维修困难与费用。同时, 数控机床加工需要编制程序, 当加工零件形状不太复杂时, 可以手工编程, 但易出错且速度慢; 当零件形状复杂时, 则必须使用自动编程系统, 这就需要配备专门的程序设计人员, 并对程序进行校验与试切削验证, 之后才能进行实际生产加工。

因此, 在决定选用数控加工时, 需要进行反复对比和仔细的经济分析, 使数控机床能发挥出其最好的经济效益。

四、数控机床在模具加工中的应用

模具作为现代工业生产的重要工艺装备之一, 对提高产品的产量和质量起着非常重要的作用。模具的设计和制造水平也常常反映一个国家的工业发展程度。模具生产一般具有以下特点:

(1) 模具型面复杂、不规则 有些产品如汽车覆盖件、飞机零件、玩具、家用电器等, 其表面形状是由多种曲面组合而成, 相应的模具型腔面、型芯也比较复杂, 甚至某些曲面必须用数学计算方法进行处理。



(2) 模具表面质量及尺寸精度要求高 一套模具通常由上模、下模和模架组成,有些还可能有多件拼合模块。上下模的组合、镶块与型面的配合、镶块之间的拼合等均要求有很高的加工精度和很低的表面粗糙度值。精密模具的尺寸精度往往要达到微米级。

(3) 生产批量小 模具是用于大批量生产的工艺装备,作为模具本身的产品数量是很少的,因此模具零件属于典型的单件小批量生产方式,很多情况下只生产一二套。

(4) 加工工序多 一套模具的制作总离不开车、铣、钻、镗、铰和攻螺纹等多种工序。

(5) 模具材料优异,硬度高、价格贵 模具多采用优质合金钢制造,特别是高寿命的模具,常采用 Cr12、CrWMn 等莱氏体材料制造,这类钢材从毛坯锻造、加工到热处理均有严格要求,因此加工工艺的编制就更加不容忽视。

过去模具零件的加工依赖于手工操作,制造的质量不易保证,也难以在短期内完成。目前模具加工广泛采用数控加工技术,从而为单件小批量的曲线、曲面模具自动加工提供了极为有效的手段。

由于采用了数控机床,模具零件的加工过程发生了很大的变化。例如模板的加工,过去采用手工划线、钻床钻孔、带锯加工矩形孔、立铣加工型孔、手工攻螺纹五道工序。改用数控机床加工后,则由数控机床定位钻孔,减少了手工划线工序,而且孔位精度也有了提高。如果使用加工中心,则一次装夹可完成所有的加工内容。由于减少了装夹和工序转移的等待时间,大幅度缩短了加工周期,同时也减少了多次装夹带来的孔位误差,提高了加工精度。

数控机床在模具加工中应用的方式主要有以下几种:

(1) 数控铣削加工 由于数控铣削加工具有生产效率较高,加工精度高,可以实现多轴联动,能加工复杂形状及加工的适应性强,只要改变加工程序就可以加工出不同形状的零件等特点,因而特别适合于单件或小批量生产的模具制造。数控铣削加工在模具制造行业的主要应用有:塑料注射模、塑料压制模、轻金属压铸模和锻模等具有复杂曲面及轮廓的型腔模加工。

(2) 数控电火花成形加工 数控电火花成形加工在模具制造中主要用于加工冲模、锻模、塑料模、拉深模、压铸模、挤压模、玻璃模、胶木模、陶土模、粉末冶金烧结模、花纹模等型腔及深槽、窄槽等部位。

(3) 数控电火花线切割加工 数控电火花线切割加工主要用于平面形状的金属模加工、立体形状的金属模加工、电火花成形加工用电极制作、试制品及零件加工、轮廓量规的加工、微细加工等。

(4) 数控车削加工 对于旋转类模具零件,一般采取数控车削加工,如车外圆、车孔、车平面、车锥面等。酒瓶、酒杯、保龄球、转向盘等模具,都可以采用数控车削加工。

(5) 数控磨削加工 它分为数控外圆磨削、数控坐标磨削、数控强力磨削和数控立式磨削,其中数控坐标磨削在磨具加工中主要应用于成形孔磨削、沉孔磨削、内腔底面磨削、凹球面磨削、二维轮廓磨削、三维轮廓磨削、成形磨削等。

另外还有其他的一些数控加工方式,如数控钻孔、数控冲孔等。所有这些数控加工方式,为模具提供了丰富的生产手段。总之,各种数控加工方法为模具加工提供了各种可供



选择的手段。随着数控技术的发展,越来越多的数控加工方法应用到模具制造中,使模具制造的前景更加广阔。

五、模具加工技术的现状与发展趋势

当前,我国工业生产的特点是产品品种多、更新快和市场竞争激烈,在这种情况下,用户对模具制造的要求是交货期短、精度高、质量好、价格低,模具技术的发展是与这些要求相适应的。

1. 在模具设计制造中将全面推广 CAD/CAM/CAE 技术

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的发展方向。现在,全面普及 CAD/CAM/CAE 技术的条件已基本成熟。随着微机软件的发展和进步,技术培训工作也日趋简化。在普及推广模具 CAD/CAM 技术的过程中,应抓住机遇,重点扶植国产模具软件的开发和应用;加大技术培训和技術服务的力度;进一步扩大 CAE 技术的应用范围。有条件的企业应积极做好模具 CAD/CAM 技术的深化应用工作,即开展企业信息化工程,可从 CAPP、PDM、CIMS、VR 逐步深化和提高。用于模具设计制造的计算机软件,将向智能化、集成化方向发展。

2. 快速原型制造(RPM)及相关技术将得到更好的发展

快速原型制造(RPM)技术是美国首先推出的。它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,是基于新颖的离散与堆积(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为一体的,被公认为是继 NC 技术之后的一次技术革命。

RPM 技术可直接或间接用于模具制造。首先是通过立体光固化(SLA)、叠层实体制(LOM)、激光选区烧结(SLS)、三维打印(3D-P)、熔融沉积成形(FDM)等不同方法得到制件原型。然后通过一些传统的快速制模方法,主要有精密铸造、粉末冶金、电铸和熔射(热喷涂)等,获得长寿命的金属模具或非金属的低寿命模具。用这种方法制模,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 和成本的 1/4 左右。因此,快速制模技术与快速原型制造技术的结合,将是传统快速制模技术进一步深入发展的方向。用 RPM 技术制造出原型后,或用实物,使用旋转铸造(用热硬化橡胶作模具)可快速、低成本地制造小批量零件,发展前景很好。

RPM 技术还可以解决石墨电极压力振动(研磨)成形法中母模(电极研具)制造困难的问题,使该法获得新生。青岛海尔模具有限公司还构建了基于 RE(逆向工程技术)/RPM 的模具并行开发系统,具有开发质量高、开发成本低及开发周期短等优点。

3. 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 ~ 100000 r/min,快速进给速度可达到 30 ~ 40 m/min,加速度可达 1g,换刀时间可提高到 1 ~ 2s。这样就大幅度提高了加工效率,并可获得 $Ra \leq 1 \mu\text{m}$ 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。

4. 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,已在我国 200 多家模具厂得到应用,取得了良好效果。该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,大大缩短了模具的研制、制造周期。有些快速扫描系统,可安装在已有的数控铣床及加工中心上,如用雷尼绍的 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 $3\text{m}/\text{min}$,大大缩短了模具制造周期。目前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。

5. 电火花铣削加工技术将得到发展

电火花铣削加工技术也称为电火花创成加工技术,这是一种替代传统的用成形电极加工型腔的新技术,它是由高速旋转的简单的管状电极作三维或二维轮廓加工(像数控铣一样),因此不再需要制造复杂的成形电极,这显然是电火花成形加工领域的重大发展。国外已有使用这种技术的机床在模具加工中进行应用,预计这一技术将得到发展。

6. 超精加工和复合加工将得到发展

目前航空航天等部门已应用纳米技术,这就要求必须要有超高精度的模具制造超高精度的零件。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。

7. 热流道技术将得到推广

由于采用热流道技术的模具可提高制件的生产率和质量,并能大幅度节省制件的原材料和节约能源,所以广泛应用这项技术是塑料模具的一大变革。国外热流道技术的发展很快,许多塑料模具厂生产的模具已有一半用上了热流道技术,有的厂甚至已达 80% 以上,效果十分明显。国内近几年来已开始推广应用,但总体还未达到 10%,仅个别企业达到 30% 左右。制定热流道元器件的国家标准,积极生产价廉高质量的元器件,是发展热流道技术的关键。

8. 气体辅助注射技术和高压注射成型等工艺将进一步发展

气体辅助注射成型是一种塑料成型的新工艺,它具有注射压力低、制品翘曲变形小、表面质量好以及易于成型壁厚差异较大的制品等优点,可在保证产品质量的前提下,大幅度降低成本。国外已比较成熟,国内目前在汽车和家电行业中正逐步推广使用。气体辅助注射成型包括塑料熔体注射和气体(一般均采用氮气)注射成型两部分,比传统的普通注射工艺有更多的工艺参数需要确定和控制,而且气体辅助注射常用于较复杂的大型制品,模具设计和控制的难度较大,因此,开发气体辅助成型流动分析软件,显得十分重要。

为了确保塑料件精度,将继续研究发展高压注射成型工艺与模具,以及注射压缩成型工艺与模具。在注射成型中,影响成型件精度的最大因素是成型收缩。高压注射成型可减



小收缩率,增加塑件尺寸的稳定性。模具要求刚性好、耐高压,特别是精密模具的型腔应淬火,浇注系统密封性好,模温能准确控制。注射压缩成型技术,是在模具预先半开模状态或者在锁模力保持中压或低压,模具在设定的打开量下,注射熔融树脂,然后以最大的锁模力进行压缩成型,其效果是:①成型件局部内应力小;②可得到缩孔少的厚壁成型件;③对于塑件狭窄的部件也可注入树脂;④用小注射力能得到优良制品。该类模具的理想模具结构是:①注射时树脂以低的流动阻力迅速充填型腔;②充填后能立刻遮断浇注系统部位;③压缩作用应仅限于型腔部位。

金属、陶瓷粉末注射成型工艺经过“七五”、“八五”技术攻关,“九五”开始产业化。该工艺适用于制造几何形状复杂、精密及具有特殊要求的小型零件(0.2~200g),生产效率高,易于实现大批量生产,配合这一工艺的模具将随该工艺的发展而发展。

9. 模具液压成形技术将进一步开拓应用

液压成形工艺是模具胀形技术采用的一种工艺手段,过去在带轮等类似的产品上得到广泛应用。目前该技术已拓展到汽车行业,在汽车零部件生产中采用的工艺过程是:利用管件或在两层钢板间,在密封的条件下,通过注入高压油,使其按模具的型腔压制所需形状的制件。该方法简化了模具结构和减少了副数,克服了在常规成形过程中材料严重变薄的状况,提高了产品质量,大幅度降低了生产成本。例如,上海大众汽车公司的B5车型副车架产品就是采用该工艺方法成形。

但由于成形工艺的限制,某些沿纵轴截面弯曲变化大的构件尚不适宜。另外,把成形介质(高压油)传输到板材或管件之间的引入问题,尚未得到满意的解决,因此有待进一步发展该工艺,在更多领域得到开拓应用。

10. 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。为了适应模具工业发展,模具标准化工作必将加强,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。

11. 优质材料及先进的表面处理技术将进一步受到重视

在整个模具价格构成中,材料所占比例不大,一般在10%~30%之间,因此选用优质钢材和应用相应的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,可采用电渣重熔工艺,努力提高钢的纯净度、等向性、致密度和均匀性,以及研制更高性能或具特殊性能的模具钢,如采用粉末冶金工艺制作的粉末高速钢等。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,是一种很有发展前途的钢材,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。这种钢材还适用于注射成型添加玻璃纤维或金属粉末的增强塑料的模具,如型腔、型芯、浇注系统等主要部件。另外,模具钢品种规格多样化,产品精料化、制品化,尽量缩短供货时间亦是重要的研究方向。

其他优质模具材料如硬质合金、陶瓷材料、复合材料等的扩大应用,也十分重要。模具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。模具热处理的发展方向是采用真空热处理。模具表面处理除完善普及常规表面处理方法,如渗碳、渗氮、渗硼、渗铬、渗钒外,应发展工艺先进的气相沉积(TiN、TiC等)、等离子喷涂等技术。



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应用,我国也已开始使用。预计今后将会得到较快发展。

12. 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、制件外观质量等方面均有较大的影响,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的发展。因此,研究抛光的自动化、智能化是重要的发展趋势。日本已研制了数控研磨机,可实现三维曲面模具的自动化研磨抛光。另外,由于模具型腔形状复杂,任何一种研磨抛光方法都具有一定的局限性。应注意发展特种研磨与抛光方法,如挤压研磨、电化学抛光、超声抛光以及复合抛光工艺与装备,以提高模具的表面质量。

13. 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具有如下特征:多台机床合理组合;配有随行定位夹具或定位置;有完整的机床、刀具数据库;有完整的数控柔性同步系统;有质量监测控制系统。

14. 虚拟技术将得到发展

计算机和网络的发展正使虚拟技术成为可能。虚拟技术可以形成虚拟空间环境,实现虚拟合作设计、制造,合作研究开发,以及建立虚拟企业。“九五”期间模具行业对此已开始探索,“十五”期间有所发展,日后将具有更广阔的发展空间。

15. 汽车车身模具将得到发展

随着汽车朝着轻量化、高速、舒适、风格化发展,汽车车身模具一方面要适应新型车身制造材料(如铝合金、塑料等),另一方面要向着大型化、复杂化和高精度方向发展。

为了更好地与车身生产相结合,模具生产部门除了模具设计制造外,还必须同时搞好开发、协调车身设计、样车制造、工艺设计等各个环节,因此就要求企业要具有较高的整体素质和综合水平。

六、超精密加工技术和超高速加工技术在模具加工中的应用

1. 超精密加工技术简介

超精密加工技术是 20 世纪 50 年代末、60 年代初为适应电子技术、计算机技术、宇航和激光等技术发展的需要而发展起来的一项新技术,是适应现代技术发展的一种机械加工工艺,综合应用了机械技术发展的新成果及现代电子技术、测量技术和计算机技术中先进的控制、测试手段等,使机械加工的精度得到进一步提高,使加工的极限精度向纳米和亚纳米精度发展。

超精密加工技术以高精度为目标,在不同的历史时期和不同的技术水平下,超精密加工有不同的定义。一般认为,加工精度可达亚微米级,表面粗糙度 Ra 值小于百分之几微米的为超精密加工;更严格地说,尺寸精度为 IT1(表面粗糙度 Ra 值为 $0.025\mu\text{m}$)或更高的为超精密加工技术。

实现超精密加工的主要条件包括以下诸方面的高新技术,即超精密加工机床与工装、



夹具,超精密刀具和磨料材料及刀具刃磨技术,超精密加工工艺,超精密加工环境控制与测控技术等。超精密机床是超精密加工最重要、最基本的加工设备,是实现超精密加工的物质基础。超精密机床技术是一项综合技术,包括关键单元部件技术、相关功能元件技术、计量与测试分析技术、运动控制技术和环境技术等。其关键部件是主轴及其驱动系统、导轨及其驱动系统、检测装置、微进给机构等。随着科学技术的发展,为适应纳米级精度的要求,超精密加工技术和超精密机床技术也在与时俱进,国内的研究和产业也要借鉴国外先进技术,为我国经济发展作贡献。

2. 超高速加工技术简介

20 世纪 20 年代,德国人 Saloman 最早提出超高速加工(High Speed Cutting,HSC)的概念,并于 1931 年申请了专利。20 世纪 50 年代末及 60 年代初,美国和日本开始涉足此领域,在此期间德国已针对不同的超高速切削加工过程及有效的机械结构进行了许多基础性研究工作。随着超高速加工主轴技术的发展,刀具切削速度得到很大提高,20 世纪 70 年代诞生了第一台 HSC 机床。真正将 HSC 技术应用于实践是在 20 世纪 80 年代初期,因飞机制造业为缩短加工时间以及对一些小型特殊零件的薄壁加工提出了快速铣削的要求。20 世纪 80 年代中期,机床制造商开始将 HSC 技术应用于机床制造中。根据 1996 年德国对 HSC 机床市场需求的预测,其年增长率将为 200% ~ 300%。如此高的增长率是缘于超高速加工使得产品的加工时间缩短、成本降低,并且加工质量得到很大提高,从而增加了产品的竞争力。

3. 应用

(1) 超精密加工技术的具体应用

1) 超精密切削。例如应用超精密金刚石刀具切削,可加工各种镜面,它成功地解决了高精度陀螺仪、激光反射镜和某些大型反射镜的加工。

2) 精密和超精密磨削研磨。例如解决了大规模集成电路基片的加工和高精度硬磁盘等的加工。

3) 精密特种加工。例如应用电子束和离子束加工,使美国超大规模集成电路线宽达到 $0.1\mu\text{m}$ 。

现在,超精密加工技术已成为尖端技术产品发展中不可缺少的关键加工手段,无论是军事工业还是民用工业都需要这种先进的加工技术。例如,惯性导航仪表的精密陀螺仪用空气轴承,陀螺仪框架和动压马达,导弹舵机、精密泵、伺服阀等高精度控制执行器零件,大规模集成电路制造装备,复印机的感光鼓、录像机的磁头、打印机的硒鼓、磁盘等高技术产品,激光核聚变用的光学镜、大型天体望远镜的反射镜、激光打印机用多面棱镜、高速摄影机和自动检测装备的扫描镜、激光加工机的多曲面反射镜等各种光学元件等,都需要超精密加工。从某种意义上说,超精密加工担负着支持最新科学技术进步的重要使命,也是衡量一个国家科学技术水平的重要标志之一。

(2) 超高速加工技术的具体应用 随着 HSC 技术研究的不断深入,特别是高速旋转主轴性能的提高及耐磨刀具的发展,HSC 技术在模具及成形制造中的应用越来越广泛。其应用范围主要有以下几个方面:

1) 工具钢及铸铁模具的直接加工,特别是半精加工及精加工。

2) 铜电极、石墨电极的高速加工。



3) 产品样件及铝制工件的高速加工。

HSC 技术的应用,使切削速度和进给速度大幅提高,不仅可以缩短模具机加工的时间,而且通过合理选择半精加工及精加工参数,可使表面加工质量及刀具寿命都有较大提高。实验结果表明,应用 HSC 技术后可使后续加工中手工研磨时间缩短近 80%,成本费用节约近 30%,加工表面精度达 $1\mu\text{m}$,刀具切削效率提高 100%。1996 年,汉诺威大学 IFW 研究所对约 300 个美国、日本、德国的企业进行了一次国际性调研,结果显示未来模具及成形制造技术发展趋势主要体现在两个方向,即 CAM 系统中数控编程技术和高速加工技术。

复习思考题

1. 简述数控加工技术的概念。
2. 数控机床在模具加工中的具体应用有哪些?
3. 未来模具加工技术的发展趋势是什么?
4. 简述超精密加工和超高速加工技术在模具加工中的具体应用。

第二章 数控机床的基本结构

数控机床是按输入的程序信息、用数字化信号对机床的运行及其加工过程进行控制的一种高效率、高柔性、高精度的自动化机床，综合了计算机及信息处理、自动控制及伺服驱动、检测监控及传感、网络通信、精密机械等多领域先进技术于一体。数控机床的加工工艺与普通机床基本相同，但由于采用了数控技术，因此数控机床可以加工普通机床难以加工或无法加工的复杂零件，尤其是复杂空间曲面，生产效率比普通机床提高数倍甚至数十倍。数控机床是按所编程序自动进行零件加工的，消除了操作者的人为误差，并且可以自动地进行检测及补偿，达到非常高的加工精度。现代模具制造业高精度、短周期、低成本的加工要求，促进了数控加工、计算机辅助制造等数控制造技术在模具制造中的广泛应用。

第一节 数控机床的组成及其工作原理

一、数控机床的组成

尽管数控机床的种类繁多、结构形式各异，但其基本组成部分及其工作原理是大致相同的。数控机床通常由控制介质、数控装置、伺服系统、机床本体、检测装置等部分组成，如图 2-1 所示。

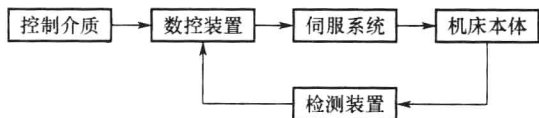


图 2-1 数控机床的基本组成

1. 控制介质

控制介质即信息载体。操作数控机床

时，人与机床之间必须建立某种联系，把零件加工信息传送到数控装置中去，这种联系物质就是控制介质。在控制介质中存储着零件加工过程中所需要全部数据和指令，包括工件相对于机床的坐标位置、刀具相对于工件的坐标和运动轨迹参数、主运动和进给运动参数、工艺路线和加工顺序、机床工作时的辅助动作及状态等信息。

常见的控制介质有穿孔纸带、穿孔卡、磁带、磁盘等，通过输入装置将控制介质中的数控加工信息传送给数控装置的内存存储器。较常用的输入方法是在操作面板上用手工直接将数控程序输入到数控装置中去。数控程序可由人工编制，也可由计算机辅助编程软件完成。随着 CAD/CAPP/CAM 及网络技术的发展，大量复杂模具的加工可以利用计算机进行设计与编程，并将程序和数据直接传送给数控装置。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心，主要由输入装置、控制运算器、输出装置等组成。控制介质上的信息经过输入装置识别与译码后，由控制运算器进行处理与运算，并产生相应的