



研究生用书

机械科学与工程研究生教学用书

先进加工过程技术

Advanced Machining Process Technology

宾鸿赞 汤漾平 编著

BOOKS FOR GRADUATE STUDENTS

华中科技大学出版社



研究生用书

机械科学与工程研究生教学用书

先进加工过程技术

Advanced Machining Process Technology

宾鸿赞 汤漾平 编著

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

先进加工过程技术/宾鸿赞 汤漾平 编著. —武汉:华中科技大学出版社,
2009年9月

ISBN 978-7-5609-4945-1

I. 机… II. ①宾… ②汤… III. 机械加工-生产过程-研究生-教材
IV. TG506

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 165106 号

先进加工过程技术

宾鸿赞 汤漾平 编著

策划编辑:万亚军

责任编辑:谢佩玲

责任校对:周娟

封面设计:刘卉

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录排:武汉兴明图文信息有限公司

印刷:华中科技大学印刷厂

开本:787 mm×960 mm 1/16

印张:32.5 插页:2

字数:590 000

版次:2009年9月第1版

印次:2009年9月第1次印刷

定价:49.80元

ISBN 978-7-5609-4945-1/TG·94

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

先进加工过程技术(AMPT, advanced machining process technology)涵盖被加工对象从设计图形至最终成品所涉及的先进机床技术、先进工夹具技术、先进加工工艺技术、先进检测技术等。本书立足于 21 世纪信息化的特点,构建了三种环境(现实环境、虚拟环境和虚/实集成环境)条件下先进加工过程技术的体系框架,论述了精密超精密加工、高速切削与高效磨削、特种加工、先进加工装备、直接金属分层制造、电子制造、微纳加工、生物制造、虚拟加工、加工过程信息及其处理、加工过程建模、复杂形状刀具磨削、船模曲面加工、大批量定制生产等方面的先进技术,并提出先进加工过程技术的评判标准与评判方法。

本书内容充实、新颖,理论联系实际,是机械工程学科研究生应读之书。同时本书内容深入浅出,适合于广大机械工程技术人员再学习之用,也可为致力于机械制造工程技术创新的同仁提供参考。

序

今天,我国的教育正处在一个大发展的崭新时期,高等教育已跨入“大众化”阶段,蓬蓬勃勃,生机无限。在高等教育中,研究生教育的发展尤为迅速。党的十七大报告提出,要“努力造就世界一流科学家和科技领军人才,注重培养一线的创新人才”,强调了在建设创新型国家中教育的优先发展地位。我们可以清楚知道,研究生教育是培养创新人才的主渠道,对走自主创新道路,建设创新型国家,具有重要的战略意义。

前事不忘,后事之师。历史经验已一而再、再而三地证明:一个国家的富强,一个民族的繁荣,最根本的是要依靠自己,要以自力更生、自主创新为主。《国际歌》讲得十分深刻,世界上从来就没有什么救世主,只有依靠自己救自己。寄希望于别人,期美好于外援,只是一种幼稚的幻想。内因是发展的决定性的因素。当然,我们绝不应该也绝不可能采取“闭关锁国”、自我封闭、固步自封的方式来谋求发展,重犯历史错误。外因始终是发展的必要条件。改革开放三十年所取得的辉煌成就,谱写的中华民族历史性跨越的壮丽史诗,就是铁证。正因为如此,我们清醒看到了,自助者人助天助,只有独立自主,自强不息,走以自主创新为主的发展道路,才有可能在向世界开放中,争取到更多的朋友,争取到更多的支持,充分利用好外部的各种有利条件,来扎扎实实地、而又尽可能快地发展自己。这一切的关键就在于,我们要有数量与质量足够的高级专门人才,特别是拔尖创新人才。何况,在科技高速发展与高度发达,而知识经济已初见端倪的今天,更加如此。人才、高级专门人才、拔尖创新人才、领导人才,是我们一切事业发展的基础。

“工欲善其事,必先利其器。”自古凡事皆然,教育也不例外。教学

用书是培育人才的基本条件之一。“巧妇难为无米之炊”。特别是在今天,学科的交叉及其发展越来越多越快,人才的知识基础及其要求越来越广越高,因此,我一贯赞成与支持出版研究生教学用书,供研究生自己主动地选用。早在1990年,《机械工程测试·信息·信号分析》出版时,我就为此书写了个“代序”,其中提出:

一个研究生应该博览群书,博采百家,思路开阔,有所创见。但这不等于他在一切方面均能如此,有所不为才能有所为。如果一个研究生的主要兴趣与工作不在某一特定方面,他也可选择一本有关这一特定方面的书作为了解与学习这方面知识的参考;如果一个研究生的主要兴趣与工作在这一特定方面,他更应选择一本有关的书作为主要的学习用书,寻觅主要学习线索,并缘此展开,博览群书。

这就是我赞成要为研究生编写系列的“机械科学与工程研究生教学用书”的主要原因。今天,我仍然如此来看。

还应提及一点,在教育界有人讲,要教学生“做中学”,这很有道理;但是,必须补充一句,“学中做”。既要在实践中学习,又要在实践中实践,学习与实践紧密结合,方为全面。重要的是,结合的关键在于引导学生思考、积极独立思考。我一贯认为,要造就一个人才,学习是基础,思考是关键,实践是根本,三者必须结合,缺一不可。当然,学生的层次不同,结合的方式、深度与广度就应不同,思考的深度也应不同。对研究生特别是对博士研究生,就必须是而且也应是“研中学,学中研”,就更须而且也更应是“研中思,思中研”,在研究这一实践中,甚至可以讲,研与学通过思考就是一回事了。正因为如此,“机械科学与工程研究生教学用书”就大有英雄用武之地,供学习之用,供研究之用,供思考之用。

在此,还应讲一点。作为一个研究生,来读“机械科学与工程研究生教学用书”中的某书或其他有关的书,有的书要精读,有的书可泛读。因为知识是基础,有知识不一定有力量,没有知识就一定没有力量,千万千万不要轻视知识。但是,对研究生特别是博士研究生而言,最为重

要的还不是知识本身这个形而下,而是以知识作为基础,努力来体悟知识所承载的思维、方法、原则与精神等内涵,体悟知识所蕴含的形而上,即《老子》所讲的不可道的“常道”,即思维能力的提高,即精神境界的升华。《庄子·天道》讲得多么好:“书不过语。语之所贵者意也,意有所随。意之所随者,不可以言传也。”这个“意”,就是知识所承载的内涵,就是孔子所讲的“一以贯之”的“一”,就是“道”,就是形而上。它比语言、比书本、比具体的知识,重要多了。当然,要能体悟出形而上,一定要有足够数量的知识作为必不可少的基础,一定要在读书去获得知识时,整体地读,重点地读,反复地读;整体地想,重点地想,反复地想。如同韩愈在《进学解》中所讲的那样,能“提其要”,“钩其玄”,这样,就可驾驭知识,发展知识,创新知识,而不是为知识所驾驭,为知识所奴役,成为计算机存储装置。

“机械科学与工程研究生教学用书”是“研究生教学用书”的延续和发展。“研究生教学用书”自从1990年问世以来,到今年已经历了不平凡的18个春秋,已出版了用书80多种,有5种已被教育部研究生工作办公室列入向全国推荐的研究生教材。为了满足当前的研究生教育培养创新人才的要求,华中科技大学出版社在已出版的机械类研究生教学用书的基础上进一步拓展,在全国范围内约请一大批著名专家,力争组织最好的作者队伍,有计划地出版“机械科学与工程研究生教学用书”系列教材。

唐代大文豪李白讲得十分正确:“人非尧舜,谁能尽善?”我始终认为,金无足赤,人无完人,文无完文,书无完书。这套“机械科学与工程研究生教学用书”更不会例外。本套书出版后,这套书如何?某本书如何?这样的或那样的错误、不妥、疏忽或不足,必然会有。但是,我们又必须积极、及时、认真而不断地加以改进,与时俱进,奋发前进。我们衷心希望与真挚感谢读者与专家不吝指教,及时批评。当局者迷,兼听则明;“嚶其鸣矣,求其友声。”这就是我们的肺腑之言。

当然,在这里,还应该深深感谢“机械科学与工程研究生教学用书”

的作者、审阅者、组织者与出版者(华中科技大学出版社的编辑、校对及其全体同志);深深感谢对本套研究生教材的一切关心者与支持者,没有他们,就决不会有今天的“机械科学与工程研究生教学用书”。让我们共同努力,深入贯彻落实科学发展观,建设创新型国家,为培养数以千万计高级人才、特别是一大批拔尖创新人才、领导人才,完成历史赋予研究生教育的重大任务而做出应有的贡献。

谨为之序。

中国科学院院士

丛书主编

杨占子

2008.9.14

(中秋笔)

前 言

本书为华中科技大学出版社“机械科学与工程研究生教学用书”之一,由华中科技大学宾鸿赞和汤漾平等编著,主要满足机械工程学科的硕士研究生课程教学、科学研究参考等需求。

全书分为3篇,即现实环境中的先进加工过程技术、虚拟环境中的先进加工过程技术、虚/实集成环境中的先进加工过程技术,反映了信息技术对传统制造技术的影响。

绪论中定义了先进加工过程技术的概念,论述了三种环境中的框架结构,归纳了全书的特点。

第1篇为现实环境中的先进加工过程技术,共六章。

第1章对精密超精密加工进行了论述,包括精密超精密切削与磨削的先进技术。

第2章阐述了高效切削加工的先进技术,对高速切削、磨削和缓进给磨削等进行了系统的论述。

第3章介绍了若干种特种加工技术,包括激光加工、电解加工、电火花加工以及高能束加工等方面的先进技术。

第4章介绍了先进加工装备技术,重点论述了复合加工机床、并联机床、可重构制造系统、先进刀具及其材料、机器视觉检测等先进装备技术。

第5章阐述了直接金属分层制造的相关技术及其影响因素。

第6章介绍了半导体芯片制造、计算机制造、微纳加工和生物制造技术等当今最技术密集领域的先进技术。

第2篇为虚拟环境中的先进加工过程技术,共三章。

第7章论述虚拟加工的相关技术,介绍了加工过程的几何仿真与物理仿真及其平台的建立。

第8章阐述加工过程信息及其处理,着重介绍了CAPP、信息融合与控制方面的技术。

第9章论述了加工过程的建模,分析了解析建模、信息建模的特点、现状及发展趋势。

第3篇为虚/实集成环境中的先进加工过程技术,共三章。

第10章论述了虚/实集成加工单元的构成,并通过复杂形状刀具磨削、船模

虚/实集成制造、网络化制造等实例加深学生对虚/实集成加工的理解。

第 11 章介绍了大批量定制生产,它是虚/实集成制造最完整的体现。

第 12 章提出了先进加工过程技术的评判指标,用自主创新程度、少或无缺陷、响应性、精益性、柔性及可持续性六个指标来衡量加工过程技术的先进性,体现了现实环境、虚拟环境以及虚/实集成环境下性能指标的要求。

全书在编著过程中注意将科学研究成果转化为教学内容,注意实例教学的方法,整体体系结构有所创新。

全书内容的结构框架由宾鸿赞提出并设计,各有关作者在编著过程中对内容作了一些调整。本书第 1 章、第 3 章和第 4 章由汤漾平撰写,其中 4.3 节由伍济钢撰写;第 2 章由鲍剑斌撰写;绪论,第 5、6、8、9、10、12 章由宾鸿赞撰写,其中 10.4 节和第 7 章由陈芳撰写;第 11 章由张芬撰写。全书最后由宾鸿赞统稿。

研究生王柱人在本书第 1 章至第 4 章的内容整理上做了大量工作,在此表示感谢。

本书的出版,要感谢华中科技大学研究生教育发展基金的大力支持,还要感谢华中科技大学出版社的热情支持与辛勤劳动。

书中若有不妥之处,敬请读者指正。

作 者

2008 年 8 月

目 录

绪论	(1)
----	-----

第 1 篇 现实环境中的先进加工过程技术

第 1 章 精密超精密加工	(6)
1.1 精密超精密加工概述	(6)
1.2 超精密切削	(12)
1.3 精密超精密磨削	(29)
1.4 精密研磨和抛光	(51)
第 2 章 高速切削与高效磨削	(63)
2.1 高速切削	(63)
2.2 高效磨削	(103)
第 3 章 特种加工过程技术	(119)
3.1 电火花加工	(119)
3.2 电解加工	(135)
3.3 激光加工	(146)
3.4 高能束加工	(155)
第 4 章 先进加工装备技术	(164)
4.1 精密高效数控机床及新型机床结构	(164)
4.2 可重构机床与可重构制造系统	(173)
4.3 机器视觉检测及装备	(192)
第 5 章 直接金属分层制造	(206)
5.1 分层制造技术	(206)
5.2 直接激光制造工艺	(226)
5.3 等离子熔射与分层制造复合技术	(230)
5.4 分层金属直接制造过程的影响因素分析	(234)

第 6 章 最技术密集领域的先进加工过程技术	(239)
6.1 半导体制造	(239)
6.2 计算机制造	(250)
6.3 微纳加工	(262)
6.4 生物制造过程技术	(290)

第 2 篇 虚拟环境中的先进加工过程技术

第 7 章 虚拟加工	(300)
7.1 虚拟加工系统的体系结构及特点	(301)
7.2 虚拟加工环境	(303)
7.3 加工过程的几何仿真	(309)
7.4 加工过程的物理仿真	(320)
7.5 检测、评价和优化	(325)
第 8 章 加工过程信息及其处理	(332)
8.1 加工过程的信息化问题	(332)
8.2 加工过程的信息	(333)
8.3 信息融合与监测	(364)
第 9 章 加工过程建模	(379)
9.1 加工过程建模与信息模型	(379)
9.2 加工过程的系统辨识建模	(388)
9.3 加工过程的时序建模法	(395)
9.4 加工过程建模的进展	(406)

第 3 篇 虚/实集成环境中的先进加工过程技术

第 10 章 虚/实集成加工单元	(416)
10.1 虚/实集成加工单元的构建	(416)
10.2 刀具磨削、分层制造的虚/实集成单元	(419)
10.3 船模曲面的虚/实集成铣削	(424)
10.4 基于网络的虚/实集成——网络化制造	(441)

第 11 章 大批量定制生产	(453)
11.1 大批量定制生产模式概述	(453)
11.2 大批量定制的分类	(457)
11.3 大批量定制的技术体系	(458)
11.4 大批量定制的基本原理	(460)
11.5 大批量定制的开发设计技术	(462)
11.6 大批量定制的管理技术	(477)
11.7 大批量定制的制造技术	(481)
第 12 章 先进加工过程技术的评判	(486)
12.1 评判指标	(486)
12.2 科技创新的内涵与类型	(486)
12.3 加工过程技术中的创新分类	(487)
12.4 加工过程技术的先进性指标	(492)
12.5 综合评判	(500)
参考文献	(502)

绪 论

在我国机械制造行业中,由于受苏联技术体系的影响,“加工工艺”一词应用广泛。概括地讲,所谓加工工艺包含了加工方法与加工路线两方面的内容。例如,机床主轴的加工工艺,既要研究锻造、车削、热处理、磨削等加工方法,又要研究从毛坯下料到主轴成品所经历的每一步骤的顺序,称之为加工路线,或称之为加工工艺过程。

20 世纪 50 年代,第一台 NC 机床诞生,机械制造开始了数字化制造的萌芽。随着微型计算机的迅猛发展,CAD/CAM 的实现,20 世纪 90 年代初又出现了分层制造的突破性创新,人们不得不从新的角度审视、分析加工过程。数字化制造已经为人们提出许多新的有待探讨的课题,本书的撰写,其目的也就是想解决这些问题之一二。

先进制造技术(AMT, advanced manufacturing technology)和先进制造过程(AMP, advanced manufacturing process)的提出,较好地满足了现代制造企业的技术创新、管理创新的要求,也符合 21 世纪信息化、知识型环境的发展需要。

AMT,如 CAD、CAM、CAT(computer aided training)等是企业进步的技术推力,新的 AMT 的出现与应用,将进一步解放生产力,推动制造业的进步。

AMP,如 MRP(manufacturing resource planning)、JIT、EDI(electronic data interchange)等是从管理层面拉动制造企业进步的。

AMP 与 AMT 密切相关。虽然企业采用 MRP、JIT 时,并不要求制造技术有特定内涵,也不要求任一制造技术的变化,即 MRP、JIT 等 AMP 即使在传统制造技术环境中也能应用。可是,一旦采用了 AMT,就要求 AMP 进行相应的变化与完善。

现代制造企业的技术进步,体现为 AMT 和 AMP 的同时应用。很明显,在同时应用 AMT 和 AMP 时,有大量电子信息、数据要进行传输、交换,因此,电子数据交换(EDI)过程成为关键,而 EDI 是保障众多技术与过程成功实现的使能器。一个先进制造企业要进行企业内、外两方面的通信。内部通信指企业各部门之间、企业职工之间的通信,它促进了企业内思路的传播与应用,为新技术、新过程的产生、应用、传播构建了环境;外部通信指企业与外单位、顾客、供应商之间的相互对话,包括环境扫视、企业之间信息交换、超越管理的活动等。所有这些活动,都要求 EDI 过程应具有规范性、准确性、鲁棒性。

在本书的编著过程中,作者力求体现出以下特色。

(1) 三种环境的体系结构。计算机在机械加工中的广泛应用,为传统的加工环境增添了一种虚拟环境,利用这个环境,可以进行加工过程分析、仿真、研制新工艺、开发新装备,大大地节省了传统加工中的试切、试制时间,节约了大量资源,为传统加工技术的信息化改造提供了一种平台。但是,仿真是指在计算机上对现实环境的模仿,没有现实环境中的先进加工过程技术,仿真就会成为无源之水、无本之木,探讨、发展现实环境中的先进加工过程技术是加速加工过程技术进步的原动力,而虚/实集成环境的建立,可以将现实环境和虚拟环境有机地统一起来,真正实现“所见即所得”的效果。对加工过程技术的创新、改进、完善提供了一个新型平台,为传统的加工过程技术信息化改造提供了一种手段和方法。

(2) 被有些学者称之为“先进数字化制造(ADM, advanced digital manufacturing)”的分层制造是20世纪的一项突破性制造技术创新,它改变了传统制造哲理,用分层制造替代整体制造,用2D制造替代3D制造,具有强大的生命力。目前,分层制造已用来直接制造金属零件,并广泛应用于航空、航天、医疗、国防等领域;用激光、等离子束、电子束作为能源的相应商品系统已问世。因此,熟悉、掌握进而开发新型分层制造技术是当代机械制造技术人才应该具备的能力,本书对这方面进行了系统的介绍。

(3) 内容力求新颖性。全书在内容组织上,注意反映当代最新颖、最先进的加工过程技术,在精密超精密加工、高效切(磨)削加工、特种加工、最新工艺装备等方面充分体现了高新技术进步的成果。在当代最技术密集领域(半导体制造、计算机制造、微纳加工、生物制造)中,为读者提供了一些全新的加工过程技术,使传统制造从只制造死物向可以制造活物方向发展,为人类造福,“用喷墨打印机打印出人工器官”的想法将变成现实。

(4) 强调自主创新。我国已是世界上的制造大国,但还不是制造强国。大力加强科技创新,研制出具有中国自主知识产权的技术与装备,应成为每一个工程技术人员追求的目标。本书强调科技创新意识,并以华中科技大学相关的科研成果作为实例证实科技创新的必要性、重要性。将科研成果转化为教学内容,可以提高教学的学术水平,可以促进科研工作向纵深发展。

教师要教好这门课程,需要拓宽自己的知识面,并要深入机械工程实际。学生若学好这门课程,能得到百科全书式的教育,有助于在机械领域从事专业工作,有助于开拓学术视野,有助于激发科技创新意识。

在将我国由制造大国建成制造强国的过程中,如果本书能起到催化剂作用,作者的劳动付出就是物有所值了。

