

国家“十一五”应用型人才培养规划教材



附课件

先进制造技术

(第2版)

X I A N J I N Z H I Z A O J I S H U

刘忠伟 主 编
周育才 李文元 副主编
邓英剑 主 审



国防工业出版社
National Defense Industry Press

国家“十一五”应用型人才培养规划教材

先进制造技术

	刘忠伟	主 编
周育才	李文元	副主编
	邓英剑	主 审

江苏工业学院图书馆
藏书章

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

先进制造技术在传统制造技术的基础上融合了计算机技术、信息技术、自动控制技术及现代管理理念等,所涉及的内容非常广泛,学科跨度大。本书围绕先进制造技术的各主题,系统地介绍了各先进制造技术的基本知识、关键技术及其在实际中的应用等。

全书共分7章,主要包括:先进制造技术的概念、体系结构及发展趋势;柔性制造系统(FMS)技术;计算机集成制造系统(CIMS)技术;快速原型制造技术;工业机器人;并行工程、敏捷制造、智能制造、绿色制造、虚拟制造、精良生产等先进制造生产模式;非传统加工技术、纳米级加工技术、超精密加工技术等其他先进制造技术。

本书可作为高等院校机械工程及自动化专业教材,也适用于与制造工程领域相关的其他专业,也可作为制造行业的工程技术人员、管理人员阅读参考之用。

图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术 / 刘忠伟主编. —北京:国防工业出版社, 2007.9 重印
国家“十一五”应用型人才培养规划教材
ISBN 978-7-118-04673-1

I. 先... II. 刘... III. 机械制造工艺 IV. TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第084990号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100044)

四季青印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 12 1/4 字数 285 千字

2007年9月第2次印刷 印数 4001—7000册 定价 27.00元(含光盘)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474

发行业务:(010)68472764

前 言

先进制造技术是制造业不断吸收信息技术及现代化管理等方面的成果,并将其综合应用于产品设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务乃至回收的制造全过程,以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活生产,提高对动态多变的产品市场的适应能力和竞争能力的制造技术的总称。先进制造技术是发展国民经济的重要基础技术之一,对我国的制造业发展有着举足轻重的作用。

本书共分7章,主要包括:先进制造技术的概念、体系结构及发展趋势;柔性制造系统(FMS)技术;计算机集成制造系统(CIMS)技术;快速原型制造技术;工业机器人;并行工程、敏捷制造、智能制造、绿色制造、虚拟制造、精良生产等先进制造生产模式;非传统加工技术、纳米级加工技术、超精密加工技术等其他先进制造技术。各章节既有联系,又有一定的独立性。

本书力求语言简练,条理清晰,深入浅出,尽可能做到理论性与实用性相结合。各章均给出了一些应用实例。

本书可作为高等院校机械工程及自动化专业教材,也适用于与制造工程领域相关的其他专业,也可作为制造行业的工程技术人员、管理人员阅读参考之用。

本书由湖南工业大学刘忠伟任主编,周育才、李文元任副主编,邓英剑任主审。第1章、第4章、第5章、第7章由刘忠伟编写,第2章由周育才编写,第3章由李文元编写,6.1节至6.3节由陈义庄编写,6.4节由高延涛编写,6.5节、6.6节由朱冬葵编写。全书由刘忠伟统稿,由邓英剑审阅,并对初稿提出了许多宝贵意见,在此谨表谢意。

湖南工程学院的邓奕副教授也对本书提出了许多宝贵的意见和建议,同时本书得到了国防工业出版社大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于先进制造技术所涉及的内容极其广泛、学科跨度大,发展迅猛,加之编者资料与水平有限,书中难免会存在一些错误与不足之处,敬请专家及读者批评指正。

编者

2006年6月

目 录

第1章 先进制造技术概述	1	4.4 快速原型制造技术的发展趋势	85
1.1 制造技术的基本概念与发展概况	1	复习思考题	87
1.2 先进制造技术的内涵及特点	6	第5章 工业机器人	88
1.3 先进制造技术的体系结构及分类	8	5.1 概述	88
1.4 先进制造技术发展趋势	10	5.2 工业机器人的机械结构	94
复习思考题	14	5.3 工业机器人的驱动系统	97
第2章 柔性制造系统技术	15	5.4 工业机器人的控制系统与编程	101
2.1 柔性制造系统技术概述	15	5.5 工业机器人用传感器	108
2.2 FMS 的加工系统	18	5.6 工业机器人的应用	112
2.3 FMS 的物料运储系统	25	5.7 工业机器人技术的发展趋势	118
2.4 FMS 的刀具管理系统	32	复习思考题	119
2.5 FMS 的控制系统	39	第6章 先进制造生产模式	121
2.6 FMS 的应用实例	40	6.1 并行工程技术	121
复习思考题	44	6.2 敏捷制造	128
第3章 计算机集成制造系统 (CIMS) 技术	45	6.3 智能制造	133
3.1 CIMS 的基本概念及其发展概况	45	6.4 绿色制造	136
3.2 CIMS 的基本组成、体系结构及其关键技术	48	6.5 虚拟制造	148
3.3 CIMS 工程的设计与实施	57	6.6 精良生产	156
3.4 CIMS 应用实例	60	复习思考题	162
复习思考题	65	第7章 其他先进制造技术	163
第4章 快速原型制造技术	66	7.1 非传统加工技术	163
4.1 概述	66	7.2 生物制造	176
4.2 快速原型制造技术的工艺方法	68	7.3 纳米级加工技术	178
4.3 快速原型制造技术的应用	79	7.4 高速切削技术	180
		7.5 超精密加工技术	185
		复习思考题	191
		参考文献	192

第1章 先进制造技术概述

原国务委员宋健 1995 年 4 月在接见先进制造技术专家时,对于发展先进制造技术给予了高度的重视。宋健指出:“先进制造技术是一个国家、一个民族赖以繁荣昌盛的重要手段”,“如果制造技术不发达,这个国家、民族就不可能富裕”,“因此,我国相当长的时间内,发展制造技术是至关重要的”。中国机械工程学会理事长、中国科学院院长路甬祥院长在 2002 年中国机械工程学会年会主旨报告中说:“制造业,特别是装备制造业的整体能力和水平将决定各国的经济实力、国防实力、综合国力和在全球经济中的竞争与合作能力,决定着一个国家,特别是发展中国家实现现代化和民族复兴的进程。作为刚刚进入工业化中期的发展中国家,我们必须清醒地认识到全面提高制造业、特别是装备制造业整体能力和综合竞争能力对全自身发展的重要性。因此我们必须以坚韧不拔的精神,持之以恒地开拓出一条通往制造强国之路。”他还说:“没有强大的制造业,一个国家将无法实现经济快速、健康稳定的发展,劳动就业问题将日趋突显,人民生活难以普遍提高,国家稳定和安全将受到威胁,信息化、现代化将失去坚实基础。制造业对于一个国家现代化建设具有不可替代的重要地位和作用。”

1.1 制造技术的基本概念与发展概况

1. 制造技术的基本概念

制造(Manufacturing)是人类按照所需目的、运用主观掌握的知识和技能借助于手工或可以利用的客观物质工具,采用有效的方法,将原材料转化为最终物质产品,并投放市场的全过程。因此,制造不仅指单独的加工过程,还要包括市场调研和预测、产品设计、选材和工艺设计、生产加工、质量保证、生产过程管理、营销、售后服务等产品生命周期内一系列相互联系的活动。

制造业是所有与制造有关的企业机构的总体,它是将制造资源(物料、能源、设备、工具、资金、技术、信息和人力等)通过制造过程,转化为可供人们使用与利用的工业品与生活消费品的行业,它涉及到国民经济的许多部门,是国民经济和综合国力的支柱产业。它一方面创造价值,生产物质财富和新的知识,另一方面为国民经济各个部门包括国防和科学技术的进步与发展提供先进的手段和装备。在工业化国家中,约有 1/4 的人口从事各种形式的制造活动,在非制造业部门中,约有半数人的工作性质与制造业密切相关。纵观世界各国,如果一个国家的制造业发达,它的经济必然强大。大多数国家和地区的经济腾飞,制造业功不可没,如日本、新加坡、韩国、台湾、香港等。

制造技术(Manufacturing Technology)是完成制造活动所需的一切手段的总和,是将原材料和其他生产要素经济合理地转化为可直接使用的具有较高附加值的成品/半成品和技术服务的技术群。健康发达的高质量制造业必然有先进的制造技术作为后盾。

2. 传统制造业及其技术的发展

人类文明的发展与制造业的进步密切相关。在石器时代,人类利用天然石料制作劳动工具,以采集利用自然资源作为主要生活手段。到青铜器、铁器时代,人们开始采矿、冶炼铸锻工具、织布、打造工具,满足以农业为主的自然经济的需求,采取的是作坊式手工业的生产方式。生产用的原动力主要是人力,局部利用水力和风力。直到1765年,瓦特发明了蒸汽机,纺织业、机器制造业才取得革命性的变化,引发了第一次工业革命,近代工业化大生产开始出现。1820年,奥斯特发现电磁效应,安培提出电流相互作用定律,1831年法拉第提出电磁感应定律,1864年麦克斯韦尔电磁场理论的建立,为发电机、电动机的发明奠定了科学基础,从而迎来电气化时代。以电作为动力源,改变了机器的结构,也开拓了机电制造技术的新局面。

19世纪末20世纪初,内燃机的发明,自动机床、自动线的相继问世以及产品部件化、部件标准化和科学管理思想的提出,掀起了制造业革命的新浪潮。20世纪中期,电力技术和计算机技术的迅猛发展及其在制造领域所产生的强大的辐射效应,更是极大地促进了制造模式的演变和产品设计制造工艺的紧密结合,也推动了制造系统的发展和管理方式的变革。同时,制造技术的新发展也为现代制造科学的形成创造了条件。回顾制造技术的发展,从蒸汽机出现到今天,主要经历了三个发展阶段。

1) 用机器代替手工,从作坊形成工厂

18世纪后半叶,以蒸汽机和工具机的发明为特征的产业革命,揭开了近代工业的历史,促成了制造企业的雏形——工场式生产的出现,标志着制造业已完成从手工业作坊式生产到以机械加工和分工原则为中心的工厂生产的艰难转变。20世纪初,各种金属切削加工工艺方法陆续形成,近代制造技术已成体系。它产生于英国,在19世纪先后传到法国、德国和美国,并在美国首先形成了小型的机械工厂,使这些国家的经济得到了发展,国力大大增强。

2) 从单件生产方式发展成大量生产方式

推动这种根本变革的是两位美国人:泰勒和福特。泰勒首先提出了以劳动分工和计件工资制为基础的科学管理,成为制造工程科学的奠基人。福特首先推行所有零件都按照一定的公差要求来加工(零件互换技术),1913年建立了具有划时代意义的汽车装配生产线,实现了以刚性自动化为特征的大量生产方式,它对社会结构、劳动分工、教育制度和经济发展都产生了重大影响。20世纪50年代发展到了顶峰,产生了工业技术的革命和创新,传统制造业及其大工业体系也随之建立和逐渐成熟。近代传统制造工业技术体系形成,其特点是以机械——电力技术为核心的各类技术相互联结和依存的制造工业技术体系。

3) 柔性化、集成化、智能化和网络化的现代制造技术

由于传统制造是以机械——电力技术为核心的各类技术相互联结和依存的制造工业技术体系,其支撑技术的发展决定了传统制造业的生产和技术有如下特点:

(1) 单件小作坊式生产加高度的个人制造技巧,大量的机械化刚性规模生产加一体化的组织生产模式,再加细化的专业分工。

(2) 制造技术的界限分明及其专业的相互独立。

(3) 制造技术一般仅指加工制造的工艺方法,即制造全过程中某一段环节的技术

方法。

(4) 制造技术一般只能控制生产过程中的物料流和能量流。机械加工工艺系统输入的是材料或坯料及相应的刀具、量具、夹具体、润滑油、切削液和其他辅助物料等,经过输送、装夹、加工和检验等过程,最后输出半成品或成品。整个加工过程是物料的输入和输出的动态过程。这种以加工设备和加工工艺为中心,以有形的物质为对象,用以改变物料的形态和地点变化的运动过程被称为物料流;机械加工过程的各种运动,特别是物料的运动、材料的加工变形均需要能量来维持,这种能量的消耗、转换、传递的过程称为能量流。

另外,在后面章节中还会提到另一个概念——信息流。为保证机械加工过程的正常进行,必须集成各方面的信息,包括加工任务、加工方法、刀具状态、工件要求、质量指标、切削参数等。所有这些信息构成了机械加工过程的信息系统,这个系统不断地和机械加工过程的各种状态进行信息交换,从而有效地控制机械加工过程,以保证机械加工的效率和产品质量。这种信息在机械加工系统中的作用过程称为信息流。

(5) 制造技术与制造生产管理的分离。

3. 现代制造及其技术的发展

自然科学的进步促进了新技术的发展和传统技术的革新、发展及完善,产生了新材料技术(新冶炼技术、新合金材料、高分子材料、无机非金属材料、复合材料等),新切削加工技术(数控机床、新刀具、超高速和精密加工),大型发电和传输技术,核能技术,微电子技术(集成电路、计算机、电视、广播和雷达),自动化技术,激光技术,生物技术和系统工程技术。

人类社会在跨入 20 世纪后,物质需求不断提高,在科学和技术进步的同时,受地球有限资源和环境条件的约束,随着全球市场的逐渐形成,世界范围的竞争日益加剧,日益提高的生活质量要求与世界能源的减少和人口增长的矛盾更加突出。因此,社会发展对其经济支撑行业——制造业及其技术体系提出了更高的要求,要求制造业具有更加快速和灵活的市场响应、更高的产品质量、更低的成本和能源消耗以及良好的环保特性。这一需求促使传统制造业在 20 世纪开始了又一次新的革命性的变化和进步,传统制造开始向现代制造发展。现代制造及其技术的形成和发展特点如下:

(1) 在市场需求不断变化的驱动下,制造的生产规模沿着以下方向发展:小批量→少品种大批量→多品种变批量。

(2) 在科技高速发展的推动下,制造业的资源配置呈现出从劳动密集型→设备密集型→信息密集型→知识密集型变化。

(3) 生产方式上,其发展过程是:手工→机械化→单机自动化→刚性流水自动线→柔性自动线→智能自动化。

(4) 在制造技术和工艺方法上,现代制造在发展中,其特征表现为:重视必不可少的辅助工序,如加工前后处理;重视工艺装备,使制造技术成为集工艺方法、工艺装备和工艺材料为一体的成套技术;重视物流、检验、包装及储藏,使制造技术成为覆盖加工全过程(设计、生产准备、加工制造、销售和维修,甚至再生回收)的综合技术,不断发展优质、高效、低耗的工艺及加工方法,以取代落后工艺;不断吸收微电子、计算机和自动化等高新技术成果,形成计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)、计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)、计算机辅助工艺规划(Computer Aided Processing Planning,

CAPP)、计算机辅助测试(Computer Aided Testing, CAT)、计算机辅助工程(Computer Aided Engineering, CAE)、数字控制技术(Numerical Control, NC)、计算机数字控制(Computer Numerical Control, CNC)、计算机管理信息系统(Management Information System, MIS)、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)、计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)、智能制造技术(Intelligent Manufacturing Technology, IMT)、智能制造计划(Intelligent Manufacturing System, IMS)等一系列现代制造技术,并实现上述技术的局部或系统集成,形成从单机到自动生产线等不同档次的自动化制造系统。

(5) 引入工业工程和并行工程(Concurrent Engineering, CE)概念,强调系统化及其技术和管理的集成,将技术和管理有机地结合在一起;引入先进的管理模式,使制造技术及制造过程成为覆盖整个产品生命周期,包含物质流、能量流和信息流的系统工程。

4. 先进制造技术产生的背景

20 世纪 80 年代末,国际上提出了先进制造技术(Advanced Manufacturing Technology, AMT)的新概念。

AMT 最早源于美国。美国制造业在第二次世界大战及稍后时期得到了空前的发展,形成了一支强大的研究开发力量,成为当时制造业的霸主,制造业可以说是美国经济的主要支柱,因为美国财富的 68% 来源于制造业。战后国际环境发生了很大的变化,军事对峙和显示实力刺激制造业发展的背景减弱了。由于美国长期受强调基础研究的影响,忽视制造技术的发展,到 20 世纪 70 年代日本和德国经济恢复时,美国制造业遇到了强有力的挑战,汽车业、家用电器业、机床业、半导体业、应用电子工业、钢铁业的霸主地位相继退位,连优势最为明显的航天、航空业也遇到了强有力的竞争,出口产品的竞争力大大落后于日本和德国,对外贸易逆差与日俱增,经济滞胀,发展缓慢。而日本在过去几十年内不断地主动采用制造新技术,已使其制造业成为公认的世界领袖。20 世纪 80 年代初期,美国一批有识之士相继发表言论,对美国制造业的衰退进行了反思,强调了制造技术与国民经济及国力的至关重要的相依关系,强调了制造技术的重要性。在此背景下,克林顿政府上台后,相继提出了两个颇有号召力的口号:“为美国的利益发展技术”、“技术是经济的发动机”,强调了具有明确的社会经济目标的关键技术的重要性,制定了国家关键技术计划,并对其技术政策做了重大调整。美国先进制造技术也就是在这样一个社会经济背景下出台了。此后,AMT 在诸多国家和地区得到广泛的应用。

5. 先进制造技术在我国的发展状况

先进制造技术在中国政府的关怀下得到快速发展和重大突破。具体表现在以下 10 个方面。

1) 计算机辅助设计(CAD)技术普及化

CAD 技术的普及提高了中国企业的设计水平和产品开发能力。以三维 CAD 和产品数据管理(PDM)为重点的技术,在软件市场和企业应用方面都相当活跃。在三维 CAD 软件开发上,主要表现为:新一代三维 CAD 软件及 CAD/CAM 系统纷纷上市,建立了 2D 和 3D 统一模型,软件的集成性得到提高与改善,软件的专业化和本地化得到加强。

到 1999 年底,CAD 技术的应用已经遍及中国 29 个省市的各个行业,有 10 万家企业应用。

2) 快速原型制造技术由起步迈向成熟,应用初具规模

快速原型制造(Rapid Prototype Manufacturing, RPM)技术是一项国外在 20 世纪 80 年代中期才发展起来的高新技术,包括一切由 CAD 模型直接驱动的快速制造任意复杂形状三维实体的技术总称。

中国从 20 世纪 90 年代期间起步,并取得了突破性的进展。目前已掌握了四种最主要的 RPM 技术,即立体光刻(SLA)、叠层实体制造(LOM)、选择性激光烧结(SLS)、熔融沉积造型(FDM)技术,同时在工艺、装备、材料方面齐头并进。采用上述技术的设备国内都已商品化生产,投放国内市场并有少量出口。目前中国拥有的 RPM 设备从 20 多台发展到约 200 台,其中有 50% 是中国自己制造的。

3) 精密成型与加工技术水平显著提高,在汽车零部件、重大装配制造中获得广泛应用

精密成型与加工技术是指机械零部件从毛坯成型、零件加工到装配成为产品的全过程中,采用近净成型(Near Net Shape Process)、近无缺陷成型、越精密、超高速等多种先进技术,使制造过程精密、高效、低耗以获得高精度、高质量产品的综合集成技术。

在精密加工方面:通过超精密车床的研究开发,一种最小分辨力(最小脉冲当量)为 5nm、主轴精度为 50nm、定位精度小于 $0.1\mu\text{m}/100\text{mm}$ 、主轴最大回转直径为 800mm 的超精密车床已经问世。另外,针对谐振腔体加工、复印鼓加工、球面加工的需要还开发了专用超精密车床等。

在精密成型方面:攻克了采用铜金属型进行球墨铸铁铸件精密铸造的难关,开发了汽车球铁薄型件金属型铸造工艺与成套装备,并已用于汽车齿轮等零件毛坯制造;在对汽车覆盖件冲压成型过程仿真技术及相关成套技术系统研究基础上,建立了中国具有自主知识产权的汽车覆盖件 CAD/CAE/CAM 一体化技术,并解决了柳州微型汽车厂、长沙梅花车身厂覆盖件冲压时起皱与拉裂等生产难题。

4) 热加工工艺模拟优化技术取得重要进展,使材料热加工由“技艺”走向“科学”

热加工工艺模拟优化技术(以下简称模拟优化)以材料热加工过程的精确数学、物理建模为基础,以数值模拟及相应的精确测试为手段,能够在计算机逼真的拟实环境中动态模拟热加工过程,预测材料经过成型、改性制成零件毛坯后的组织性能质量,特别是能找出易发缺陷的成因及消除方法,通过在虚拟条件下工艺参数的反复比较,得出最优工艺方案,通过模拟优化,可以确保关键大件一次制造成功;对于大批量生产的毛坯件,可以减小试模次数,直至确保一次试模成功。

5) 激光加工在基础研究和技术开发方面有实质性进展,产业应用获得经济效益

在应用基础研究方面:大功率 CO_2 及 YAG 激光三维焊接和切割机理与技术研究已取得重要进展,一是建立了大功率激光光束的传输与聚焦理论及加工用激光光束质量的评定方法;二是建立了具有真正实用价值的激光三维加工数控自动编程。

在技术开发方面:通过对大功率激光光束光斑诊断技术的研究,已开发出大功率激光光束光斑诊断仪样机,可对连续大功率激光光束和聚焦光斑的功率密度分布进行测量;在激光熔敷技术方面解决了两个关键技术:一是研制出采用载气送粉和同轴保护气的自汇聚三维随动熔敷加工头;二是设计制作了以高精车为主体的光束成型系统,从而使该技术真正走向工业应用。

6) 数控技术取得重要进展,国内市场占有率有所提高

中国在数控机床共性关键技术攻关、数控机床开发、数控系统和普及型数控机床产业化工程研究、传统装备的数控化改造等方面取得了进展,在一些基础技术和关键技术上有重大突破。

7) 现场总线智能仪表研究开发获重要进展,应用已有一定的基础

基于计算机及数字通信技术的工业控制通信网络技术,即现场总线技术,以及相关的设备及系统技术获得飞速发展,这是未来工业自动化技术和自动化控制技术的重要发展方向。

8) 微型机械研究进展迅速,标志着先进制造技术正向微观领域扩展

微型机械研究泛指尺寸范围为毫米、微米或纳米级,集微结构、微传感器、微执行器和微控制器为一体的微机电系统。

9) 现代集成制造系统研究和应用取得突破,在国际上占有一席之地

10) 新生产模式的研究和实践具有特色,推动了中国制造业的技术进步和管理现代化

20 世纪 90 年代,中国在汽车制造业中首先推广精良生产。通过精简机构、减少管理层次、组织团队、消除企业中存在的各种浪费现象,显著提高了企业的经营效益。随着 Internet 的普及应用,众多高等院校将敏捷制造作为研究方向,并结合中国制造业的实际情况进行了有益的探索和实践。

1.2 先进制造技术的内涵及特点

1. 先进制造技术的定义

先进制造技术是为了适应时代要求,提高竞争能力,对制造技术不断优化及推陈出新而形成的。先进制造技术作为一个专有名词提出后,至今没有一个明确的、公认的定义。经过近来对发展先进制造技术方面开展的工作,通过对其特征的分析研究,可以认为:“先进制造技术是制造业不断吸收信息技术及现代化管理等方面的成果,并将其综合应用于产品设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务乃至回收的制造全过程,以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活生产,提高对动态多变的产品市场的适应能力和竞争能力的制造技术的总称”。

2. 先进制造技术的内涵及技术构成

先进制造技术的内涵是“使原材料成为产品而采用的一系列先进技术”,其外延则是一个不断发展更新的技术体系,不是固定模式,它具有动态性和相对性。因此,不能简单地理解为就是 CAD、CAM、FMS、CIMS 等各项具体的技术。

先进制造技术在不同发展水平的国家和同一国家的不同发展阶段,有不同的技术内涵和构成。对我国而言,它是一个多层次的技术群。先进制造技术的内涵和层次及其技术构成如图 1-1 所示。

1) 基础技术

第一层次是优质、高效、低耗、清洁基础制造技术。铸造、锻压、焊接、热处理、表面保护、机械加工等基础工艺至今仍是生产中大量采用、经济适用的技术,这些基础工艺经过

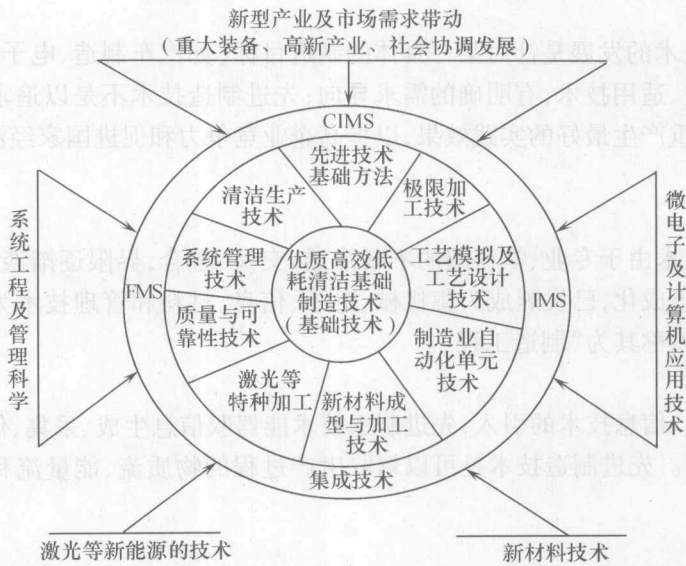


图 1-1 先进制造技术的内涵、层次及其技术构成

优化而形成的优质、高效、低耗、清洁基础制造技术是先进制造技术的核心及重要组成部分。这些基础技术主要有精密下料、精密成型、精密加工、精密测量、毛坯强韧化、精密热处理、优质高效连接技术、功能性防护涂层等。

2) 新型的制造单元技术

第二个层次是新型的先进制造单元技术。这是在市场需求的带动下，制造技术与电子、信息、新材料、新能源、环境科学、系统工程、现代管理等高新技术结合而形成的崭新的制造技术，如制造业自动化单元技术、极限加工技术、质量与可靠性技术、系统管理技术、CAD/CAM、清洁生产技术、新材料成型与加工技术、激光与高密度能源加工技术、工艺模拟及工艺设计优化技术等。

3) 集成技术

第三个层次是先进制造集成技术。这是应用信息、计算机和系统管理技术对上述两个层次的技术局部或系统集成而形成的先进制造技术的高级阶段，如 FMS、CIMS、IMS 等。

以上三个层次都是先进制造技术的组成部分，但其中每一个层次都不等于先进制造技术的全部。

3. 先进制造技术的特点

1) 先进性

先进制造技术的核心和基础是经过优化的先进工艺（优质、高效、低耗、清洁工艺），它从传统制造工艺发展起来，并与新技术实现了局部或系统集成。

2) 广泛性

先进制造技术不是单独分割在制造过程的某一环节，而是将其综合运用于制造的全过程，它覆盖了产品设计、生产设备、加工制造、销售使用、维修服务，甚至回收再生的整个过程。

3) 实用性

先进制造技术的发展是针对某一具体的制造目标(如汽车制造、电子工业)的需求而发展起来的先进、适用技术,有明确的需求导向;先进制造技术不是以追求技术的高新度为目的,而是注重产生最好的实践效果,以提高企业竞争力和促进国家经济增长和综合实力为目标。

4) 集成性

先进制造技术由于专业、学科间的不断渗透、交叉、融合,界限逐渐淡化甚至消失,技术趋于系统化、集成化,已发展成为集机械、电子、信息、材料和管理技术为一体的新兴交叉学科,因此可以称其为“制造工程”。

5) 系统性

随着微电子、信息技术的引入,先进制造技术能驾驭信息生成、采集、传递、反馈、调整的信息流动过程。先进制造技术是可以驾驭生产过程的物质流、能量流和信息流的系统工程。

6) 动态性

它不断地吸收各种高新技术成果,将其渗透到企业生产的所有领域和产品寿命循环的全过程,实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产。

1.3 先进制造技术的体系结构及分类

1. 先进制造技术的体系结构

1994年,美国联邦科学、工程和技术协调委员会(FCCSET)下属的工业和技术委员会先进制造技术工作组提出,将先进制造技术分为三个技术群:①主体技术群;②支撑技术群;③制造技术环境。这三个技术群相互联系、相互促进,组成一个完整的体系,每个部分均不可缺少,否则就很难发挥预期的整体功能效益。图1-2给出了先进制造技术的体系结构。

2. 先进制造技术的分类

先进制造技术已不是一般单指加工过程的工艺方法,而是横跨多个学科,包含了从产品设计、加工制造到产品销售、用户服务等整个产品生命周期全过程的所有相关技术,涉及到设计、工艺、加工自动化、管理以及特种加工等多个领域。将目前各国掌握的制造技术系统化,对先进制造技术的研究分为下述四大领域。

1) 现代设计技术

(1) 计算机辅助设计技术:包括有限元法;优化设计;反求工程技术;模糊智能CAD;工程数据库等。

(2) 性能优良设计基础技术:包括可靠性设计;安全性设计;动态分析与设计;防断裂设计;疲劳设计;防腐蚀设计;减摩和耐磨损设计;健壮设计;耐环境设计;维修性设计和维修性保障设计;测试性设计;人机工程设计等。

(3) 竞争优势创建技术:包括快速响应设计;智能设计;仿真与虚拟设计;工业设计;价值工程设计;模块化设计等。

(4) 全寿命周期设计技术:包括并行设计;面向制造的设计;全寿命周期设计。



图 1-2 先进制造技术的体系结构

(5) 可持续性发展产品设计技术:主要有绿色设计。

(6) 设计试验技术:包括产品可靠性试验;产品环保性能试验与控制、仿真试验与虚拟试验。

2) 先进制造工艺技术

(1) 精密洁净铸造成型工艺:包括外热冲天炉熔炼、处理、保护成套技术;钢液精炼与保护技术;近代化学固化砂铸造工艺;高效金属型铸造工艺与设备;气化膜铸造工艺与设备;铸造成型工艺模拟和工艺 CAD。

(2) 精确高效塑性成型工艺:包括热锻生产线成套技术;精密辊锻和楔横轧技术;大型覆盖件冲压成套技术;精密冲裁工艺;超塑和等温成型工艺;锻造成型模拟和工艺 CAD 等。

(3) 优质高效焊接及切割技术:包括新型焊接电源及控制技术;激光焊接技术;优质高效低稀释率堆焊技术;精密焊接技术;焊接机器人;现代切割技术;焊接过程的模拟仿真与专家系统。

(4) 优质低耗洁净热处理技术:包括可控气氛热处理;真空热处理;离子热处理;激光表面合金化;可控冷却。

(5) 高效高精机械加工工艺:包括精密加工和超精密加工;高速磨削;变速切削;复杂型面的数控加工;游离磨料的高效加工等。

(6) 现代特种加工工艺:包括激光加工;复合加工;微细加工和纳米技术;水力加工等。

(7) 新型材料成型与加工工艺:包括新型材料的铸造成型;新型材料的塑性成型;新型材料的焊接;新型材料的热处理;新型材料的机械加工。

(8) 优质清洁表面工程新技术:包括化学镀非晶态技术;新型节能表面涂装技术;铝及铝合金表面强化处理技术;超声速喷涂技术;热喷涂激光表面重熔复合处理技术;等离子化学气相沉积技术;离子辅助沉积技术。

(9) 快速模具制造技术:包括锻模 CAD/CAM 一体化技术;快速原型制造技术等。

3) 制造自动化技术

制造自动化是指用机电设备工具取代或放大人的体力,甚至取代和延伸人的部分智力,自动完成特定的作业,包括物料的存储、运输、加工、装配和检验等各个生产环节的自动化。制造自动化技术涉及到数控技术、工业机器人技术和柔性制造技术,是机械制造业最重要的基础技术之一。

(1) 数控技术:包括数控装置;送给系统和主轴系统;数控机床的程序编制。

(2) 工业机器人:包括机器人操作机;机器人控制系统;机器人传感器;机器人生产线总体控制。

(3) 柔性制造系统(FMS):包括 FMS 的加工系统;FMS 的物流系统;FMS 的调度与控制;FMS 的故障诊断。

(4) 自动检测及信号识别技术:包括自动检测 CAT;信号识别系统;数据获取;数据处理;特征提取;识别。

(5) 过程设备工况监测与控制:包括过程监视控制系统;在线反馈质量控制。

4) 系统管理技术

(1) 先进制造生产模式:包括现代集成制造系统(CIMS)、敏捷制造系统(AMS)、智能制造系统(IMS)、精良生产(LP)以及并行工程(CE)等先进的生产组织管理和控制方法。

(2) 集成管理技术:包括并行工程;物料需求计划(Material Requirement Planning, MRP)与准时制生产(Just In Time, JIT)的集成——生产组织方法;基于作业的成本管理(ABC);现代质量保障体系;现代管理信息系统;生产率工程;制造资源的快速有效集成。

(3) 生产组织方法:包括虚拟公司理论与组织;企业组织结构的变革;以人为本的团队建设;企业重组工程。

上述先进制造技术的主要内容将在本书的相关章节中论述。由于篇幅所限,先进设计技术、先进制造工艺技术请参阅其他有关文献和书籍,本书不再详述。

1.4 先进制造技术发展趋势

随着以信息技术为代表的高新技术的不断发展和市场需求的个性化与多样化,未来制造业发展的重要特征是全球化、网络化、虚拟化,未来先进制造技术发展的总趋势是向精密化、柔性化、虚拟化、网络化、智能化、敏捷化、清洁化、集成化及管理创新的方向发展。

1. 传统制造技术向高效化、敏捷化、清洁化方向发展

1) 向高效化方向发展

机械加工、铸造、锻压、焊接、热处理与表面改性等传统工艺技术在相当长的时间内仍将是量大面广、经济实用的制造技术,对其加以优化和革新具有重大技术经济效益。随着精度补偿、应用软件、传感器、自动控制、新材料和机电一体化等技术的发展,工艺装备在数控化的基础上进一步向生产自动化、作业柔性化、控制智能化方向发展。例如,焊接生

产已由单机控制发展到专机群控,进而发展到柔性生产及车间集中控制、大型焊接成套设备、多自由度焊接机器人和焊接工程专家系统;新一代装备制造技术也在不断发展,多轴联动加工中心、装配作业集成机床、虚拟轴机床、快速成型机等新型加工设备不断涌现;与工艺和装备发展相匹配的计量测试技术、工况监测与故障诊断技术、装配技术、质量保证技术等也不断取得新的进展。

2) 向敏捷化方向发展

进入 20 世纪 90 年代以来,世界经济表现为竞争全球化、贸易自由化、需求多样化,产品生产朝多品种、小批量方向发展,从而对制造企业快速响应市场和产品一次制造成功的要求日益提高。基于此,现代的产品设计正由手工绘图方式向计算机自动绘图方式方向发展,由满足单个构件要求的设计向对整个制造系统功能的综合设计、将设计与制造及相关因素进行系统综合的并行设计、基于网络的远程设计方向发展。面向制造、面向装配、面向检测的设计将利用并行工程的原理和方法,从设计一开始就考虑到从产品概念设计到报废处理的全生命周期的有关问题;在计算机建模仿真基础上扩展的虚拟制造技术,在产品设计阶段就适时地、并行地、协同地“虚拟”出产品未来的制造全过程及其产品性能、可制造性等相关因素,从而更经济、更快捷、更柔性地组织生产和优化布局,以达到缩短产品开发周期、降低生产成本、提高生产效率、完善产品设计质量的目的。因此,可以预测,面向并行工程的设计、虚拟制造的设计、全寿命周期设计、CAD/CAM/CAPP 一体化技术等敏捷设计制造技术与系统将在今后若干年内得到长足发展。

3) 向清洁化方向发展

保护环境、节约资源已成为全球密切关注的焦点,为此发达国家正积极倡导“绿色制造”和“清洁生产”,大力研究开发生态安全型、资源节约型制造技术。因此,发达国家正在大力发展清洁绿色的精密成型与加工制造技术,能实现少甚至无切削的塑性成型技术、“干净”成型技术、粉末冶金技术等将成为 21 世纪优先发展的制造技术。随着可持续发展思想的深入人心,发达国家正通过立法的、经济的、政策的、舆论的手段加强对制造业的环境监督与安全保护,对制造企业废弃物的排放标准日趋严格,制造工艺安全标准也不断提高。

2. 先进制造技术向精密化、多样化、复合化方向发展

进入 21 世纪,先进制造技术正以迅猛的步伐,逐步、全面地改变着传统制造技术的面貌和旧的制造模式。发达国家 AMT 的发展,具有以下比较明显的发展趋势。

1) 向精密化方向发展

加工技术向高精度发展是制造技术的一个重要发展方向。精密加工和超精密加工、微型机械的微细和超微细加工等精密工程是当今也是未来制造技术的基础,其中纳米级的超精密加工技术和微型机械技术被认为是 21 世纪的核心技术和关键技术。

精密、超精密加工主要包括四个领域。

(1) 超精密切削加工。国外采用金刚石刀具已成功地实现了纳米级极薄层的稳定切削。

(2) 超精密磨削加工和研磨加工。国外用精密砂带加工出的磁盘其表面粗糙度可达 9nm。

(3) 超精密特种加工技术。发达国家的电子束、离子束刻蚀法已加工出精度为

2.5nm、表面粗糙度 4.5 nm 以下的大规模集成电路芯片。

(4) 超精密加工装备制造技术。目前加工圆度在 10nm、表面粗糙度在 3nm 以内的超精密加工机床已经问世并用于生产。

微细、超微细加工是一种特殊的精密加工,不仅加工精度极高,而且加工尺寸细微,主要工艺方法有光刻、刻蚀、沉积、外延生长等。微型机械是机械技术与电子技术在 $\mu\text{m}/\text{nm}$ 级水平上相融合的产物。据专家预测,21 世纪将是微型机械、微电子和微型机器人的时代。美国采用半导体微细加工工艺已在硅片上加工出纳米级微型静电电机和微流量控制泵,可注入人体血管的医用微型机器人和其他试验、演示用微型机器人也已诞生。

2) 向多样化方向发展

为适应制造业对新型或特种功能材料以及精密、细小、大型、复杂零件的需要,发达国家正大力研究与开发各种原理不同、方法各异的加工与成型方法,如超硬/超脆材料的高能束流加工、复合材料的水射流切割、陶瓷材料的微波能加工、超塑性材料的等温锻造、高温超导材料的粉末成型、复杂精密零件的电铸加工、大型板状零件的等离子体加工以及特殊环境和极限条件下的真空焊接、水下切割、爆炸成型等。据统计,目前在机械制造中采用的成型工艺已达 500 种以上,特种成型工艺也有百余种。

3) 向复合化方向发展

由于材料加工难度越来越大,工件形状越来越复杂,加工质量要求越来越高,国外正在研究多种能量的复合加工方法以及常规加工与特种加工的组合加工工艺。如在切削区引入声、光、电、磁等能量后,可以形成超声振动切削、激光辅助切削、导电加热切削、磁性切削等复合加工工艺。不同的特种加工工艺也可以相互组合,扬长避短,如对陶瓷、人造金刚石等超硬、脆件材料加工方法的研究带动了电火花与电化学复合加工、电火花与超声波复合加工、电解复合抛光等多种能量复合加工技术的发展。还出现了激光退火或真空镀膜与离子注入相结合、塑性成型与扩散连接相结合、化学热处理与电镀相结合等组合化工艺。目前,两种能量的复合工艺已得到广泛应用,而多种能量的复合加工工艺也正在探索之中。

利用特种加工易于实现自动化、自适应控制的特点,将特种加工技术和信息技术相结合,不断发展高精度、高效率的超大型、超微型、超精密特种加工机床和加工中心。例如,激光加工中心能将切割、打孔、焊接、表面处理等不同加工工序集成在一起,能加工多种材料和多种规格、形状的零件,并能实现多维度的智能化控制。

3. 制造系统向柔性化、集成化、智能化、全球化方向发展

1) 向柔性化方向发展

制造业自动化水平是制造技术先进性的主要标志之一,不断提高制造业自动化程度是工业先进国家追求的目标,随着制造业生产规模向“小批量→少品种大批量→多品种变批量”的演进,发达国家制造业自动化系统也相应地从 20 世纪 70 年代以前刚性连接的自动线和自动化单机发展到 20 世纪 80 年代的计算机数控(CNC)、柔性生产线和柔性制造系统(FMS)以及 20 世纪 80 年代中期以后的计算机集成制造系统(CIMS),并正向更高水平的智能制造系统(IMS)和全球敏捷制造系统推进。总之,制造业自动化系统正沿着数控化→柔性化→集成化→智能化→全球化之螺旋式阶梯攀缘而上,柔性化程度越来越高。