

机械工程类精品教材

上海大学教材建设专项经费资助

Advanced Manufacturing Technology

先进制造技术

黄宗南 洪 跃 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

先进制造技术

黄宗南 洪 跃 编著

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书精选了先进制造技术中应用面较广的内容,并对其进行了有机的整合,使读者能够快速地了解 and 掌握先进制造技术的理念、特点以及工程应用。

全书共 8 章,其内容是面向 21 世纪数字制造所涉及的现代产品开发方法、现代工艺规划技术,计算机辅助制造技术,高速切削加工,特种加工技术、现代生产计划制定,柔性和智能制造系统方面的先进制造技术。本书不仅着重基础知识、应用技术和方法,而且还插入了先进制造技术应用实例和最新研究成果。

本书可供高等院校机械工程、工业工程、自动化、管理工程以及与制造相关的理工科专业作为本科生教材,也可作为工程人员、管理人员以及研究生的参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术/黄宗南,洪跃编著. —上海:上海交通大学出版社,2010

ISBN 978-7-313-06576-6

I. 先... II. ①黄... ②洪... III. 机械制造工艺 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 115944 号

先进制造技术

黄宗南 洪 跃 编著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

上海交大印务有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×960mm 1/16 印张:14 字数:261 千字

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

印数:1~3 030

ISBN 978-7-313-06576-6/TH 定价:25.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

制造技术的水准在某种意义上决定了整个国民经济发展的水平和国力。先进制造技术是传统制造技术与机械、电子、信息、材料、能源、管理等多领域的先进成果融合而成的高新技术,它代表着当今制造技术中的最高水平,已成为世界经济发展和满足人类日益增长需要的重要支撑。

为了促进我国制造业的快速发展,使中国早日成为世界制造强国,许多高校开设了“先进制造技术”课程。本书的特色是:精选了先进制造技术中应用面较广的内容,并对其进行了有机的组合,使读者能够快速地了解 and 掌握先进制造技术的理念、特点以及工程应用。

全书共 8 章。第 1 章主要讲解了先进制造的概念、特点和分类等。第 2 章至第 6 章的内容分别是:现代产品开发技术、现代工艺规划技术、计算机辅助制造技术、生产计划制定、柔性和智能制造技术,它们是数字制造(面向 21 世纪的先进生产模式)中的重要组成部分,并且在章节的顺序安排方面与数字制造的工作流程相同,知识上具有连贯性;此外,章节中的各单项技术也适用于接近或尚未达到数字制造程度的企业,这些高新技术在机械制造业中具有很宽的覆盖面。第 7 章至第 8 章的高速切削加工和特种加工(非切削加工)内容是非常实用的先进制造工艺技术,应用面广。为帮助读者更好地掌握先进制造技术,在内容上不仅着重基础知识、应用技术和方法,而且在相关章节中还插入了先进制造技术应用实例和最近研究成果。

全书由上海大学黄宗南、洪跃编写。黄宗南编写了第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 4 章、第 6 章和第 7 章。洪跃编写了第 5 章和第 8 章。全书由黄宗南统稿,上海大学阚树林教授审阅。

在教材的编写过程中,得到了许多国内外专家的指点和帮助,在此表示感谢!本书中部分资料和数据引用了参考文献中的内容,在此对所参阅资料的作者们深表感谢!

先进制造技术内容广泛、学科跨度大,恳求专家和广大读者提出宝贵意见,不吝指正。

编 者
2010 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 制造业的发展概况	1
1.2 先进制造技术的概念与特点	4
1.3 先进制造技术的体系与分类	6
第 2 章 现代产品开发设计技术	11
2.1 产品设计概述	11
2.2 数字化造型技术	19
2.3 仿真分析技术	35
2.4 仿真分析事例	43
第 3 章 现代工艺规划技术	46
3.1 计算机技术在工艺设计中应用	46
3.2 修订式 CAPP 系统	48
3.3 生成式 CAPP 系统	51
3.4 专家系统 CAPP	55
3.5 CAPP 技术的发展趋势	59
第 4 章 计算机辅助制造技术	71
4.1 计算机辅助制造的基本概念	71
4.2 数控加工程序编制	72
4.3 计算机辅助质量控制	87
4.4 加工过程监控	94
第 5 章 生产计划制定	99
5.1 概述	99
5.2 生产计划的制订	102
5.3 物料需求计划	121

5.4 企业资源计划	124
5.5 高级计划系统	125
第6章 柔性制造和智能制造系统	134
6.1 柔性制造系统的概述	134
6.2 柔性制造系统中的加工系统	139
6.3 柔性制造系统中的物流系统	144
6.4 柔性制造系统中的控制与管理系统	158
6.5 柔性制造系统实例	161
6.6 智能制造系统	163
第7章 高速加工技术	168
7.1 概述	168
7.2 高速切削刀具	172
7.3 高速切削加工机床	180
7.4 高速切削加工工艺	187
第8章 非传统加工技术	189
8.1 概述	189
8.2 电火花加工	191
8.3 电解加工	194
8.4 超声波加工	200
8.5 高能束加工	202
8.6 快速成型	207
参考文献	216

第1章 绪论

1.1 制造业的发展概况

在国民经济产业结构中通常有三大产业：第一产业为农业；第二产业为工业；第三产业为服务业。在工业中，又分制造业、建筑业、采掘业及电力、煤气、水的生产供应业等。目前，我国工业在国民经济中所占比例过半，其中制造业产值接近工业总产值的一半。制造业是国民经济的基础，它的发展对一个国家的经济、社会乃至文化的影响是十分巨大和深刻的。

1.1.1 制造和制造业

1. 制造的概念

制造(Manufacturing)是把原材料变换成所希望的有用产品，它是人类所有经济活动的基石，是人类历史发展和文明进步的动力。

制造这一术语在应用上有广义和狭义之分。狭义的制造(小制造)指加工，而广义的制造(大制造)包含了为加工而服务的设计、准备、计划、物流运输甚至供销及售后服务等过程。广义的制造与狭义的制造相比，制造的过程有了大大拓展。广义的制造不仅指具体的工艺过程，而且指包括市场分析、产品设计、计划控制、生产工艺过程、装配、质量检验、销售服务和管理等产品的整个生命周期的全过程。

国际生产工程学会 1990 年给“制造”下的定义是：制造是一个涉及制造工业中产品设计、物料选择、生产计划、生产过程、质量保证、经营管理、市场销售和服务的一系列相关活动和工作的总称。同样，它是一个广义的制造概念，先进制造技术中的制造概念也属于广义范畴。

根据制造的概念，制造的功能可从以下 3 个过程加以实现：

1) 制造工艺过程

制造过程必须将制造原材料经过一系列的转换使之成为产品，这些转换既可以是原材料在物理性质上的变化(例如：对原材料的切削加工)，也可以是原材料在化学性质上的变化。

2) 物料流动过程

制造过程总是伴随着物料的流动过程，包括物料的采购、存储、生产、装配、运

输、销售等一系列的活动。

3) 信息流动过程

制造过程中,除了物料的流动,还始终伴随着信息的流动。一方面,制造企业捕获原始的市场信息和技术信息,通过产品设计、工艺设计、加工制造等一系列活动形成市场需要的产品,在整个制造过程中同时伴随着产品信息的处理;另一方面,制造企业通过生产计划与控制手段管理整个生产过程,使制造过程能够顺利和协调地进行,因此,制造过程中还伴随着大量的管理信息和控制信息。

在上述3个过程中,工艺过程直接改变原材料的性质,物料流从“物”的方面完成制造的基本功能,信息流畅通、有序地流动,则保证生产的顺利进行。

2. 制造业

制造业是指将制造资源,包括物料、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和消费的产品行业。制造业涉及国民经济的许多部门,包括机械、电子、化工、轻工、食品、航天、军工等行业。作为国民经济的基础,制造业肩负着为国民经济各部门和国防建设提供技术设备,为人民的物质生活提供生活资料和财富的重任。

1.1.2 制造业的发展历程及新目标

1. 制造业的发展历程

制造技术是完成制造活动所需的一切手段的总和,它的发展是由社会、政治、经济等多方面因素决定的。纵观近200年制造业的发展历程,影响其发展的最主要的因素是技术的推动及市场的牵引。人类科学技术的每次革命,必然引起制造技术的不断发展,也推动了制造业的发展。另一方面,随着人类的不断进步,人类的需求不断产生变化,因而从另一方面推动了制造业的不断发展,促进了制造技术的不断进步。

如图1-1所示,近200年在市场需求不断变化的驱动下,制造业的生产规模沿着“小批量→少品种大批量→多品种小批量”的方向发展;在科技高速发展的推动下,制造业的资源配置沿着“劳动密集→设备密集→信息密集→知识密集”的方向发展;与之相适应,制造技术的生产方式沿着“手工→机械化→单机自动化→刚性流水自动化→柔性自动化→智能自动化”的方向发展。

20世纪末,以微电子、信息、新材料、系统科学等为代表的新一代工程科学与技术迅猛发展,及其在控制领域中的广泛渗透、应用和衍生,极大地拓展了制造活动的深度和广度,急剧地改变了现代制造业的设计方法、产品结构、生产方式、生产工艺和设备以及生产组织结构,产生一大批新的制造技术和制造模式。现代制造业已成为发展速度快、技术创新能力强、技术密集甚至是知识密集的部门。许多

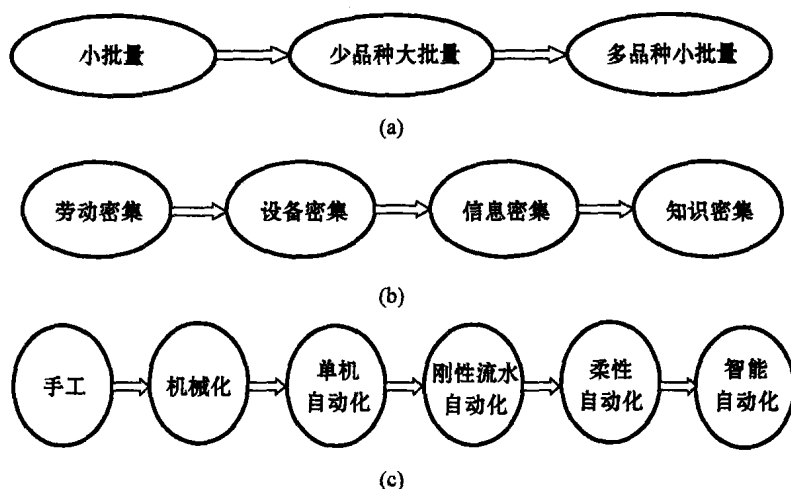


图 1-1 近 200 年的制造业发展历程

(a) 生产规模的变化; (b) 资源配置的变化; (c) 生产方式的变化

产品的技术含量和附加值增大,进入了高技术产品的行列。制造技术给制造业带来了重大变革,其主要特点是:常规制造工艺的优化;新型加工方法的发展;专业、学科间的界限逐渐淡化;工艺设计由经验走向定量分析;信息技术、管理技术与工艺技术紧密结合。

2. 制造业的发展新目标

步入 21 世纪后,社会与政治环境、市场需求、技术创新预示着制造业将发生巨大变化。因此制造业必须应对这些变化,制定新的目标,进行改革,以提高市场的竞争能力。

1) 打破传统经营面临的组织、地域及时间壁垒

制造者面对全球竞争将承受巨大的竞争压力。为此企业必须具有敏捷性,以保持对时间和技术的控制,把时间和技术视为对生产率的挑战,不管制造企业是合作企业的一部分,还是网络的一部分,他们都必须都是柔性的,具备自动运转的功能。

2) 制造全球化

随着世界自由贸易体制的进一步完善及全球通信网络的建立,国际经济技术合作交往日趋紧密,全球产业界进入了结构大调整的重要时期,世界正在形成一个统一的大市场,在全球范围内基于柔性、临时合作模式的格局正在逐步形成,企业必须适应这种模式,使制造走向全球化。

3) 可持续发展

随着人口的增长以及技术的不断开发,全球生态系统将受到严重的威胁。可

持续发展是把生产废弃物及产品对环境的影响减少到“接近于零”。开发不影响环境的、成本低且有竞争力的产品和工艺,尽可能利用回收材料做原料,在能源、材料和人才资源各方面不造成大的浪费。

4) 信息向知识的转变

制造业已基本上依赖信息技术,未来这种依赖的趋势将更趋强烈,包括信息的收集、贮存、分析、发布和应用。目前企业要做好的工作是:

(1) “及时”捕获、贮存数据和信息,并将其转化为有用的知识。

(2) 在任何地点、任何时间需要时,用户能用熟悉的语言和格式“及时”得到相关的有用知识。

5) 技术创新成为焦点

技术创新是企业发展的原动力和核心竞争力,企业是技术创新的主体和直接获益者。技术创新包括产品创新、过程创新、市场创新和管理创新。技术创新应该成为可学习和可管理的过程。培养员工的创新精神,营造有利于创新的文化和环境,制定符合企业发展要求的创新策略,建立鼓励创新的管理机制和创新能力评价体系是提高企业创新能力的关键。

1.2 先进制造技术的概念与特点

1.2.1 先进制造技术的提出背景及定义

先进制造技术(Advanced Manufacturing Technology, AMT)首先是由美国于20世纪80年代末提出来的。

以前,美国政府只对基础研究、卫生健康、国防技术等给予经费支持,而对产业技术不予支持,主张产业技术通过市场竞争,由企业自主发展。其结果导致了美国在经济上竞争力下降,贸易逆差剧增,日本家电、汽车大量涌入并占领了美国市场。20世纪80年代,美国政府开始认识到问题的严重性,于1988年开始投资进行大规模“21世纪制造企业战略”研究。其后不久便提出了先进制造技术发展目标,制定并实施了先进制造技术计划和制造技术中心计划。1992年克林顿政府上台后,又提出先进制造技术为国家关键技术,在1994年财政年度预算中拨款14亿美元支持先进制造技术。

“先进制造技术”这个专有名词一经提出,立即获得欧洲各国、日本及亚洲新兴工业化国家的响应。例如:日本于1995年1月正式启动为期19年,总投资40亿美元的智能制造系统。

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。它是一个相对的、动态的概念。先进制造技术作为一个专有名词提出后,虽然至今没有一个明确的、一致公认的定义,不过通常可以认为:先进制造技术是制造业不断吸收机械、电子、信息(计算机与通信、控制理论、人工智能等)、能源及现代系统管理等方面的成果,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,以期取得理想的技术经济效果的制造技术的总称。

1.2.2 先进制造技术的特点

先进制造技术最终的目标是要提高产品在动态多变的产品市场中的适应能力和竞争能力。为确保能对市场变化做出更敏捷的反应,以及对最佳技术经济效益的追求,提高企业的竞争力,先进制造技术比传统的制造技术更加重视技术与管理相结合,更加重视制造过程组织和管理体制的简化以及合理化。先进制造技术的主要特点概括如下:

1. 先进的综合性技术

先进制造技术不是一项具体的制造技术,而是利用系统工程思想和方法,将各种与制造相关的技术集成成一个整体,并贯穿到从市场分析、产品设计、加工制造、生产管理、市场营销、维修服务直至产品报废处理、回收再生的生产全过程。先进制造技术特别强调计算机技术、信息技术和现代管理技术在制造中的综合应用,特别强调人的主体作用,并强调人、技术、管理的有机结合。

2. 先进的动态发展技术

先进制造技术没有一个固定的模式。在实现规模、实现方法以及侧重点方面,先进制造技术要与企业的具体情况相结合,并与企业的周边环境相适应。同时,先进制造技术不是一成不变的,而是动态发展的,它要不断地吸收和利用各种高新技术成果,并将其渗透到制造系统的各个环节和制造活动的整个过程,使其不断趋于完善。

3. 先进的实用性技术

先进制造技术有明显的需求导向特征,不以追求技术高新度为目的,重在全面提高企业的竞争力,促进国家经济持续增长。先进制造技术坚持以顾客为核心,强调系统集成和整体优化,提倡合理的竞争与相互信任。

4. 面向全球竞争的技术

由于信息技术的飞速发展,使每个国家和每个企业都处在全球市场中。为了

赢得国际市场的竞争力,企业必须提高综合效益(包括经济效益、社会效益和生态环境效益)及对市场的快速反应能力,而采用先进制造技术是达到这一目标的重要途径。

5. 面向 21 世纪的技术

先进制造技术是制造技术发展的新阶段,它保留了传统制造技术中有效要素,吸收并充分利用了高新技术,使其产生了质的飞跃。先进制造技术强调环保技术,突出能源效益,重视产品的回收和再利用,符合可持续发展的战略。

与传统制造技术相比,先进制造技术具有如表 1-1 所示的特征。

表 1-1 先进制造技术与传统制造技术的比较

比较项目	先进制造技术	传统制造技术
系统性	能控制生产过程中的信息流、物质流和能量流	仅控制生产过程中的物质流和能量流
广泛性	贯穿从产品设计、加工制造到产品营销的整个过程	仅指将原材料变为产品的加工工艺
集成性	专业和学科不断渗透、交叉融合,其界限逐渐淡化甚至消失	学科专业单一、独立、界限分明
动态性	在不同时期、不同国家,其特点、重点、目标和内容不同	——
实用性	注重实践效果,促进经济增长,提高综合竞争力	——

1.3 先进制造技术的体系与分类

1.3.1 先进制造技术的体系结构

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的先进制造技术体系结构如图 1-2 所示,它由主体技术群、支撑技术群和制造技术环境组成,也被称为三位一体的体系结构。这种体系不是从技术学科内涵的角度来描绘先进制造技术,而是着重从宏观组成的角度来描绘先进制造技术的组成以及各个部分在制造技术发展过程中的作用。

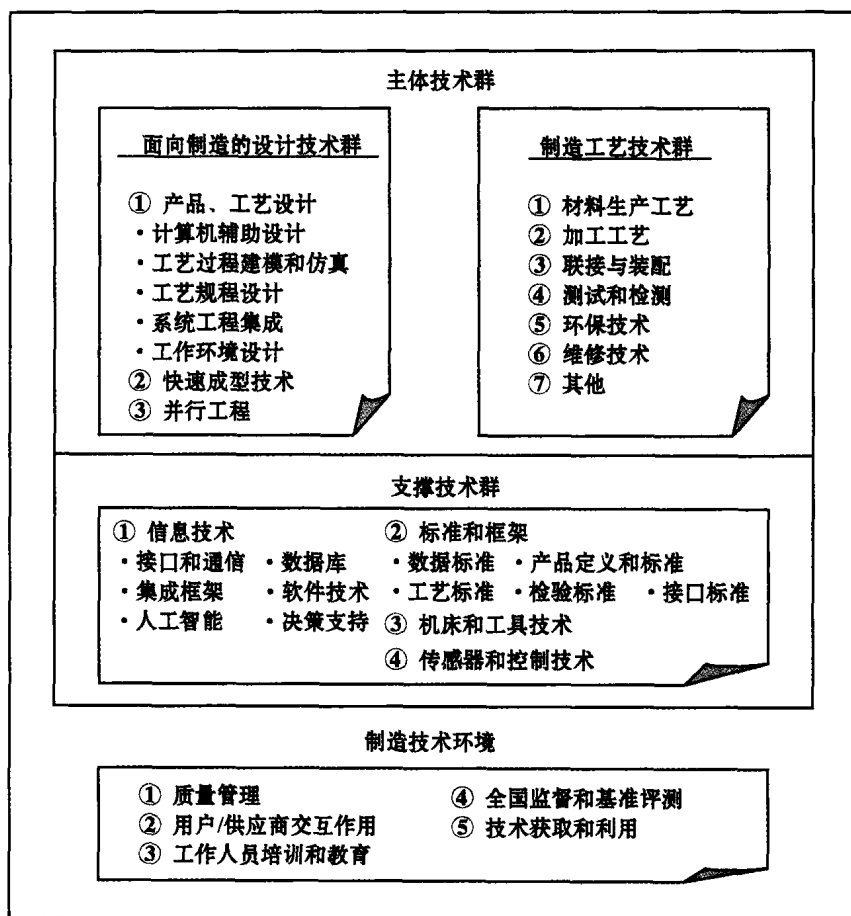


图 1-2 先进制造技术的体系结构

1.3.2 先进制造技术的分类

从先进制造技术的定义可知,先进制造技术包含产品生命周期全过程,并需要综合应用机械与电子技术、自动化技术、计算机技术、信息科学、管理科学,乃至社会科学等方面的知识,对传统的制造技术进行改进、充实并使其发展、创新。根据先进制造技术的功能和研究对象,可将先进制造技术归纳为如下 4 个大类,如图 1-3 所示,即:现代设计技术,先进制造工艺,加工自动化技术和现代系统管理技术。它们横跨多个学科,并组成一个有机整体。

1. 现代设计技术

设计技术是根据产品功能要求,应用现代技术和科学知识,制定设计方案并使

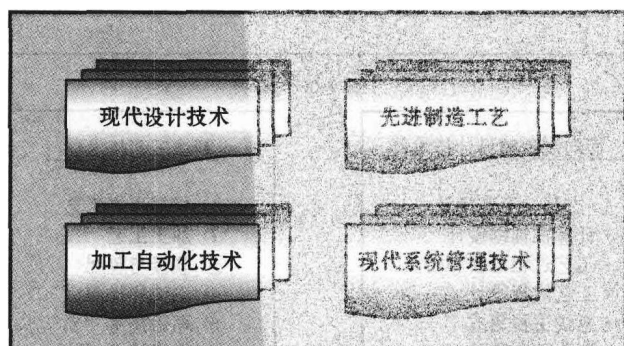


图 1-3 先进制造技术的分类

方案付诸实施的技术,其重要性在于使产品设计建立在科学的基础上,促使产品功能不断完善,促进产品质量不断提高,现代设计技术主要包含:

1) 计算机辅助设计技术

有限元法,优化设计,计算机辅助设计,反求工程技术,模糊智能 CAD。

2) 性能优良设计基础技术

可靠性设计,安全性设计,动态分析与设计,防断裂设计,健壮设计,耐环境设计,人机工程设计。

3) 竞争优势创建技术

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。

4) 全寿命周期设计

并行设计,面向制造的设计,全寿命周期设计。

5) 可持续性发展产品设计

主要有绿色设计。

6) 设计试验技术

产品可靠性试验,控制与仿真试验,虚拟实验。

2. 先进制造工艺

先进制造工艺是先进制造技术的核心和基础,是使各种原材料、半成品成为产品的方法和过程,主要包括以下几种技术:

1) 精密洁净铸造成形工艺

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。

2) 精确高效塑性成形工艺

热锻生产线成套技术,冷温成形成套技术,精密辊锻技术,大型覆盖件冲压成

套技术,精密冲裁工艺,超塑和等温成形工艺。

3) 优质高效焊接及切割技术

新型焊接电源及控制技术,激光焊接技术,精密焊接技术;焊接机器人,焊接过程的模拟技术。

4) 优质低耗洁净热处理技术

真空热处理,离子热处理,激光表面合金化处理,可控冷却技术。

5) 高效高精机械加工工艺

高速加工,超精密加工,变速切削,复杂型面的数控加工,游离磨料的高效加工。

6) 现代特种加工工艺

高能束加工,复合加工,微细加工和纳米技术。

7) 新型材料成形与加工工艺

新型材料的铸造成形,新型材料的塑性成形,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

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,离子化学气相沉积技术,等离子辅助沉积技术。

9) 快速模具制造技术

锻模 CAD/CAM 一体化技术,快速原型制造技术。

10) 拟实制造成形加工技术

材料热加工的拟实制造成形,机械加工的拟实制造技术,机械产品的拟实装配技术。

11) 自动化工艺准备技术

CAPP,CAM,加工工艺模拟技术。

3. 加工自动化技术

加工自动化是用机电设备来取代或增强人的体力,甚至取代和扩大人的部分智力,自动完成特定的作业。先进的加工自动化技术主要是:

1) 数控技术

数控装置,高效主轴和进给系统,优化数控程序的自动生成。

2) 工业机器人

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

优化的加工系统,优化的物流系统,优化的调度与控制,快速故障诊断及故障

排除。

4) 自动检测及信号识别技术

自动检测,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

过程监视控制系统,在线质量反馈控制,系统管理技术。

4. 现代系统管理技术

现代系统管理技术主要包含 3 方面内容:

1) 先进制造生产模式

精益生产,敏捷制造,分散网络化制造系统,智能制造,数字制造。

2) 集成管理技术

并行工程,MRP 与 JIT 的集成,基于作业的成本管理,现代质量保障体系,现代管理信息系统,制造资源的快速有效集成。

3) 生产组织方法

虚拟公司理论与组织,企业组织结构的变革,企业重组工程。

从上述的先进制造技术分类及内容可知,先进制造技术横跨多个学科,涉及的知识面和内容非常广泛,因此,在编写本书时,精选了先进制造技术中应用面较广的内容,并进行了整合,使读者能够在短期内了解掌握先进制造技术的理念和知识,并在实践中得到应用。本书的内容主要是面向 21 世纪数字制造所涉及的设计,工艺,加工,加工自动化和管理方面的先进制造技术。

第2章 现代产品开发设计技术

2.1 产品设计概述

从古到今,人类为了适应自然和改造自然,创造了许许多多的物质文明,可以说,人类文明的发展历史就是一部创造史。设计是一种创造性的活动,人们在创造社会文明的同时也促进了设计的发展。

设计涉及的内容和范围极为广泛,它包含了人类对自然科学和社会科学理解与实践的总和。“设计”一词,在英语中称“design”,按牛津词典的解释,设计是指为了完成某项工作而制定的一种计划和意图。美国著名科学家,诺贝尔奖获得者赫伯特·西蒙认为:设计是一种为使存在的环境变得美好的活动,设计好比是一种工具,通过它能使想法、技术生产可能性、市场需要和企业的经济资源转化成明确的、有用的结果和产品。欧洲学者认为:设计是一种解决问题的过程,设计是为了达到某种特定的要求或目的,借助某种正确的活动程序而制定的一种適切计划。总之,这些对设计定义的描述虽然有所差异,但从广义上来说,有着相同内涵的设计本质,因而对于当今的设计活动有着普遍的指导意义。

由于设计涉及各个领域,根据内容不同,一些专门的设计名称也就应运而生,如环境设计、室内设计、视觉传达设计、产品设计,等等。

产品设计涉及的内容很广,小到纽扣和笔,大到汽车、船舶和飞机等等,因此产品设计的复杂程度也大不相同,和产品设计相关的各门学科和领域相当广泛。可以说,产品设计是一门综合性交叉学科。

产品设计阶段要全面确定整个产品的结构和规格,具有“牵一发而动全局”的重要地位。工程研究与实践表明:整个产品生命周期约80%的费用是由产品设计阶段(从产品定义到制造之前)的工作所决定的,而这一阶段本身所需费用则占不到总费用的3%。人类的创造性活动在整个产品设计过程中最为活跃。

由于产品设计阶段的重要性,设计过程本质的研究受到了专家和工程人员的关注。在经历了长期的设计实践与研究之后,形成了若干设计思想流派,如欧洲学派、美国学派、苏联东欧学派、日本学派等。目前,这些设计思想正在逐渐相互渗透、相互融合,形成世界范围内普遍接受的设计思想,并影响着产品的设计和开发。