

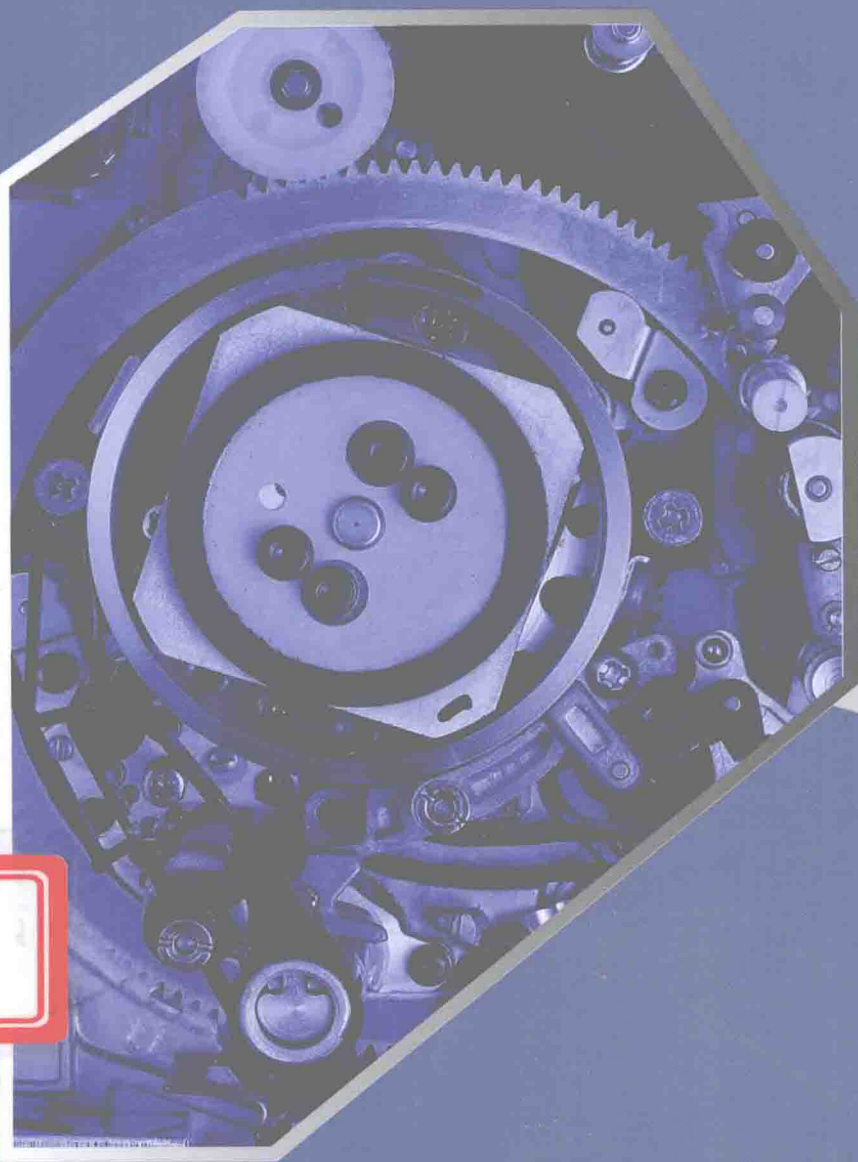


全国高职高专教育“十一五”规划教材

机 · 械 · 制 · 造 · 系 · 列

先进制造技术

李宗义 黄建明 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

全国高职高专教育“十一五”规划教材

机械制造系列

先进制造技术

Xianjin Zhizao Jishu

李宗义 黄建明 编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书以培养高等职业学校机电工程技术类专业应用型人才为目标,系统介绍先进制造技术的各类适用技术,有利于拓宽学生知识面,培养学生的创新能力,是综合性、实用型教材。

全书共8章,包括绪论、快速原形制造技术、虚拟制造技术、制造自动化技术、先进制造模式、先进加工技术、微米/纳米技术及现代新技术。

本书既可作为高等职业学校机电工程技术类专业的教学用书,也可作为相关岗位培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术/李宗义 黄建明编. —北京:高等教育出版社,2010.8

ISBN 978-7-04-030196-0

I. ①先… II. ①李…②黄… III. ①机械制造工艺-高等学校:技术学校-教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第150416号

策划编辑 罗德春 责任编辑 查成东 封面设计 张雨薇
版式设计 余 杨 责任校对 杨雪莲 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 9.75
字 数 240 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010年8月第1版
印 次 2010年8月第1次印刷
定 价 16.30元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 30196-00

前 言

本书主要以高等职业学校机电工程技术类专业应用型人才为培养目标,从先进设计技术、先进制造工艺、制造自动化技术、先进制造模式以及新兴技术等方面,系统介绍快速原形制造技术、虚拟制造技术、制造自动化技术、先进制造模式、先进加工技术、微米/纳米技术及现代新技术,阐述了每项技术的基本概念、关键技术和应用领域等,拓宽学生的知识面,增强对学生创新能力的培养。

本书内容新颖、实用,突出高职教育的实用性和应用性,力求做到深入浅出、图文并茂,知识性与通俗性的统一。

本书具有以下主要特点:

- 1) 注重系统性和完整性,章节之间既有联系又相对独立,方便教学。
- 2) 注重工程实用,介绍典型的、适用的先进制造技术。
- 3) 配以典型应用案例,便于理解,加强参考性。
- 4) 部分章节链接相关背景知识,拓宽学生的知识面。

本书教学共需 50 学时左右,学时分配可参考表 0-1。

表 0-1 学时分配参考

章 节	学 时 数
第 1 章 绪论	4
第 2 章 快速原形制造技术	4
第 3 章 虚拟制造技术	6
第 4 章 制造自动化技术	8
第 5 章 先进制造模式	8
第 6 章 先进加工技术	8
第 7 章 微米/纳米技术	4
第 8 章 现代新技术	8
合 计	50

本书由甘肃机电职业技术学院李宗义编写第 1、2、5、7 章及其他章部分内容,由黄建明编写第 3、4、6、8 章等。

本书由河南机电高等专科学校杨占尧教授审阅,对书稿提出了许多宝贵意见。在收集资料和编写的过程中,也得到了不少单位及老师的支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,错误和不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者
2010 年 7 月

目 录

第 1 章 绪论	1	5.6 绿色制造	81
1.1 制造业概述	1	第 6 章 先进加工技术	86
1.2 先进制造技术概述	4	6.1 电加工	87
1.3 先进制造技术的发展趋势	7	6.2 激光加工	94
第 2 章 快速原形制造技术	9	6.3 电子束加工	97
2.1 快速原形制造技术概述	9	6.4 离子束加工	100
2.2 快速成形工艺	11	6.5 电解磨削	102
2.3 快速原形制造的应用	14	6.6 超声加工	103
第 3 章 虚拟制造技术	20	6.7 振动切削	104
3.1 虚拟制造概述	20	6.8 高速加工	106
3.2 虚拟制造系统	22	第 7 章 微米/纳米技术	110
3.3 虚拟制造的应用	27	7.1 微米技术	110
第 4 章 制造自动化技术	32	7.2 纳米技术	113
4.1 数控技术	32	7.3 纳米技术的发展	118
4.2 计算机辅助设计与制造	41	第 8 章 现代新技术	121
4.3 工业机器人	47	8.1 生物技术	121
4.4 柔性制造技术	53	8.2 新能源技术	125
第 5 章 先进制造模式	63	8.3 绿色照明技术	136
5.1 计算机集成制造技术	63	8.4 新材料技术	139
5.2 并行工程	68	8.5 海洋技术	145
5.3 敏捷制造技术	72	8.6 低碳技术	148
5.4 精益生产	77	参考文献	151
5.5 智能制造	79		

第1章



绪 论

学习目标:

初步了解制造业的概念、作用及发展趋势,了解先进制造技术的提出背景、概念,理解先进制造技术的体系结构、特点及其今后的发展趋势。

伴随着社会技术经济条件的变化以及制造业自身的成长,尤其是在现代经济信息化、全球化条件下,人们更为关注与各国经济发展紧密联系的先进制造技术的发展。

1.1 制造业概述

制造业是人类社会赖以生存的基础产业。历史上,制造业打造了工业革命以来世界经济的基础;现实中,制造业是国家综合竞争力的重要支柱。

1.1.1 制造业的发展

人类最早的制造活动可以追溯到新石器时代,当时人们利用石器作为劳动工具,制作生活和生产用品,制造技术处于一种萌芽阶段。到了青铜器和铁器时代,为了满足以农业为主的自然经济的需要,出现了诸如纺织、冶炼和锻造等较为原始的制造活动。

制造(manufacturing)是一种将物料、能量、资金、人力、信息等有关资源,按照社会的需求转变为新的、有更高应用价值的有形物质产品和无形软件、服务等产品资源的行为和过程。

国际生产工程研究学会(CIRP)的定义为:“制造是一个涉及制造业中产品设计、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”。

制造过程是指产品设计、生产、使用、维修、报废、回收等的全过程,也称为产品生命周期。制造过程及其所涉及的硬件(包括人员、生产设备、材料、能源和各种辅助装置)以及有关的软件(包括制造理论、制造工艺、制造方法和制造信息等),组成了一个具有特定功能的有机整体,称之为制造系统(manufacturing system)。

制造业(manufacture)是将制造资源(物料、能源、设备、工具、资金、信息、人力等)利用制造

技术,通过制造过程,转化为供人们使用或利用的工业品或生活消费品的行业,也可以说是所有与制造活动有关的实体或企业机构的总称。

社会的进步和发展是伴随着制造业的革新和发展而进行的。每一个社会发展阶段都会出现与之相匹配的加工制造技术。社会各时期制造业的发展进程,见表 1-1。

表 1-1 社会各时期制造业的发展进程

时期	工具	制造特征对象	制造模式
农业社会	石器、铜器、铁器	自然界地表的天然物质资源	手工制造
工业社会	机器	地下的石油、矿产资源、生活生产用品	机器制造、机械化流水线制造、自动化制造
信息社会	计算机新技术	1. 有形资源 分子、原子、纳米级物质 2. 无形资源 信息、知识	现代制造、柔性制造 集成制造、敏捷制造 智能制造、纳米制造 生物制造

近代制造模式演变,如图 1-1 所示。

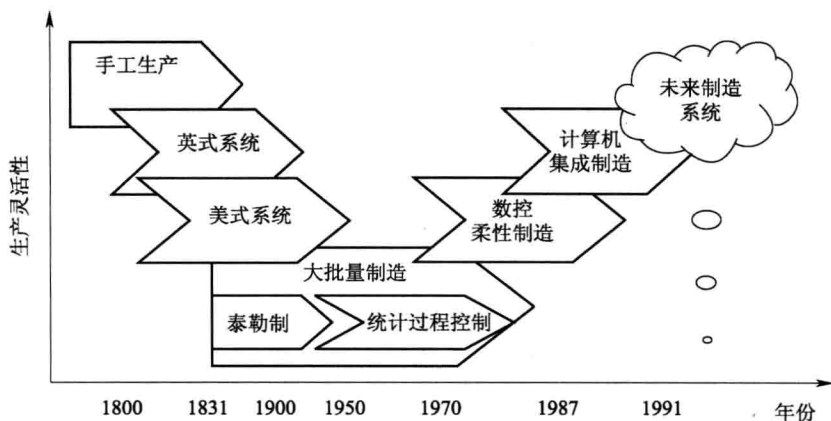


图 1-1 近代制造模式演变

1.1.2 制造业的作用

20 世纪,制造业生产的众多新型机电产品对人们的生产、生活方式都产生了重大影响。

瑞士是一个仅有 700 多万人口的小国,但瑞士人均国民生产总值却排世界前列,这应该主要归功于瑞士十分发达的制造业。瑞士精密机械产品的出口量是我国的 8 倍,瑞士手表世界第一,连小小的军刀,也风靡全世界。

20 世纪 70 年代,美国不重视制造业,把制造业称为“夕阳工业”,结果导致美国 80 年代的经

济衰退。而同时期日本非常重视制造业,特别重视汽车制造业和微电子制造业,结果日本的汽车和家用电器占领了全世界的市场,尤其是大举进入了美国市场。

统计表明,在工业化国家中约70%的社会财富是由制造业创造的,约45%的国民经济收入也来自于制造业,如美国68%的社会财富就来自于制造业。综观世界各国的发展历程,可以发现:如果一个国家的制造业发达,它的经济必然强大,国家的综合实力也得以提升。人类社会的发展史,特别是近几十年世界经济的发展状况就是有力的证明。

总之,无论科学技术怎样发展,信息和知识的力量如何强大,其绝大多数价值最终是通过制造业贡献于社会的。值得注意的是,在更高的社会发展阶段,对于基础产业的依赖性将更为突出,信息社会和知识社会的高度发展更离不开制造业的支撑。

1.1.3 制造业的发展趋势

科技的进步和制造业的发展相互促进,是推动社会发展的主要动力。从科学发现到技术发明需要一个较长的孕育过程,列举几例见表1-2。

表 1-2 从科学发现到技术发明

科学发现	年份	技术发明	年份	孕育时间/年
电磁感应原理	1831	发电机	1872	41
内燃机原理	1862	汽油内燃机	1883	21
电磁波通信原理	1895	公众广播电台	1921	26
喷气推进原理	1906	喷气发动机	1935	29
雷达原理	1925	雷达	1935	10
青霉素原理	1928	青霉素	1943	15
铀核裂变	1938	原子弹	1945	7
发现半导体	1948	半导体收音机	1954	6
集成电路设计思想	1952	单片集成电路	1959	7
光纤通信原理	1966	光纤电缆	1970	4
无线移动通信设想	1974	蜂窝移动电话	1978	4
多媒体设想	1987	多媒体电脑	1991	4
新一代设计芯片	20世纪90年代	新一代芯片	90年代	1.5

随着计算机、微电子、信息和自动化技术的迅速发展,给制造业在产品设计与工艺与装备、生产管理和企业经营带来了重大变革,先后诞生了一系列新制造技术和新制造模式,见表1-3。

表 1-3 新制造技术和新制造模式名称及其英文缩写

名称	英文缩写	名称	英文缩写	名称	英文缩写
数控	NC	柔性制造系统	FMS	生产数据交换标准	STEP
加工中心	MC	准时生产	JIT	智能制造技术	IMT
计算机数控	CNC	管理信息系统	MIS	精良生产	LP
计算机辅助制造	CAM	并行工程	CE	按类个别生产	OKP
工业机器人	IR	成组技术	GT	按订单生产	MTO
计算机辅助工艺	CAPP	质量功能配置	QFD	快速原形	RP
计算机辅助调度	CAPS	面向 x 设计		快速制造	RM
计算机辅助检测	CAI	物料需求计划	MRP	敏捷制造	AM
计算机辅助工程	CAE	制造资源计划	MRPII	虚拟制造	VM
计算机辅助装配规划	CAAP	企业资源计划	ERP	计算机集成制造	CIM
柔性制造单元	FMC	产品数据管理	PDM	计算机集成制造系统	CIMS
柔性制造线	FML	初始图形交换系统	IGES		

在新材料方面,随着高强质轻合金、工程塑料、复合材料、陶瓷材料、新型合金等材料的应用,使产品用材有了显著变化,又促进了新加工工艺和成形方法的发展,出现了多种精密加工、复合加工、特种加工、材料改性等新工艺,提高了加工质量和效率。加工装备走向一机多能、粗精加工一体化、加工检测集成、人机一体化,出现了智能化加工单元。

专家预测,纳米时代和生物时代即将到来,以分子、原子等为对象的纳米制造和以基因技术为核心的生物制药闪亮登场,制造的主要对象将扩大到基因资源和微观领域的各种资源。预言称,将用纳米科技“营造自然界尚不存在的新的物质体系”,将用基因技术“重塑世界”。

总之,现代制造将以先进制造技术为主要支撑,以资源和资源转换为对象,以现代制造科学与技术为基础,以制造系统为载体,以信息化、网络化、生态化和全球化为环境和背景,追求社会经济的持续快速发展。

1.2 先进制造技术概述

1.2.1 背景

20 世纪 70 年代,美国一批学者基于错误认识提出美国已进入“后工业化社会”,强调制造业是“夕阳工业”,认为应将经济重心由制造业转向纯高科技产业及服务业等第三产业。许多学者也只重视理论成果,不重视实际应用,造成所谓“美国发明,日本发财”。美国政府发展战略对产业技术不予支持,使美国制造业衰退,产品的市场竞争力下降,贸易逆差剧增,原来美国占绝对优势的许多产品,都在竞争中败给日本,日本商品占领了美国市场。美国商品在来自日本的高质

量、高科技产品以及其他亚洲和拉美国家廉价制造品的夹击下,生存空间不断萎缩,引起学术界、企业界和政治界人士的普遍重视,纷纷要求政府出面组织、协调和支持产业技术的发展,重振美国经济。为此,政府和企业界花费数百万美元,组织大量专家、学者进行调查研究。研究结果简单明了,如麻省理工学院(MIT)的调查结论为:“一个国家要生活得好,必须生产得好”和“振兴美国经济的出路在于振兴美国的制造业”。调查结果使大家认识到:“经济的竞争归根到底是制造技术和制造能力的竞争”。观念转变后,美国政府立即采取一系列措施,展开先进制造技术的研究,成立了8个国家级制造研究中心,开展大规模“21世纪制造企业战略”研究,取得了很好的效果。很快使汽车产量超过日本,重新占领欧美市场。与此同时,日本、欧洲各国、澳大利亚等工业发达国家也相继展开各自国家先进制造技术的理论和应用研究,把先进制造技术的研究和发展推向高潮。

先进制造技术(advanced manufacturing technology, AMT)是传统制造技术、信息技术、计算机技术、自动化技术与管理科学等多学科先进技术的综合,并应用于制造工程之中所形成的一个学科体系。

AMT是在传统制造技术基础上不断吸收机械、电子、信息、材料、能源和现代管理等方面的成果,并将其综合应用于产品设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务的制造全过程,能实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产,提高市场的适应能力和竞争能力,以期取得理想的技术经济效益。因此,AMT呈现出精密化、柔性化、网络化、虚拟化、智能化、清洁化、集成化、全球化等特点。

在以知识为基础、以创新为动力的新经济体系中,制造业正面临着严峻的挑战与机遇。因此,研究和推广应用先进制造技术无疑是十分重要的。

1.2.2 体系结构

1994年初,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,包括面向制造的设计技术群和制造工艺技术群;
- 2) 支撑技术群;
- 3) 制造基础设施环境(制造技术环境)。

FCCSET提出的先进制造技术的体系结构及主要内容,如图1-2所示。

1.2.3 涵盖领域

先进制造技术横跨多个学科,并组成一个有机整体,大致可以分为以下几个方面:

1. 现代设计技术

现代设计技术分并行设计、系统设计、功能设计、模块化设计、价值工程、质量功能配置、模糊设计、工业造型设计、绿色设计、面向对象的设计、反求工程、计算机辅助设计技术、性能优良设计基础技术、竞争优势创建技术、全寿命周期设计、设计试验技术等。

2. 先进制造工艺

先进制造工艺分精密洁净铸造成形工艺、精确高效塑性成形工艺、优质高效焊接及切割技术、优质低耗洁净热处理技术、高效高精机械加工工艺、现代特种加工工艺、新型材料成形与加工工艺、优质清洁表面工程技术、快速原形制造技术、虚拟制造技术等。

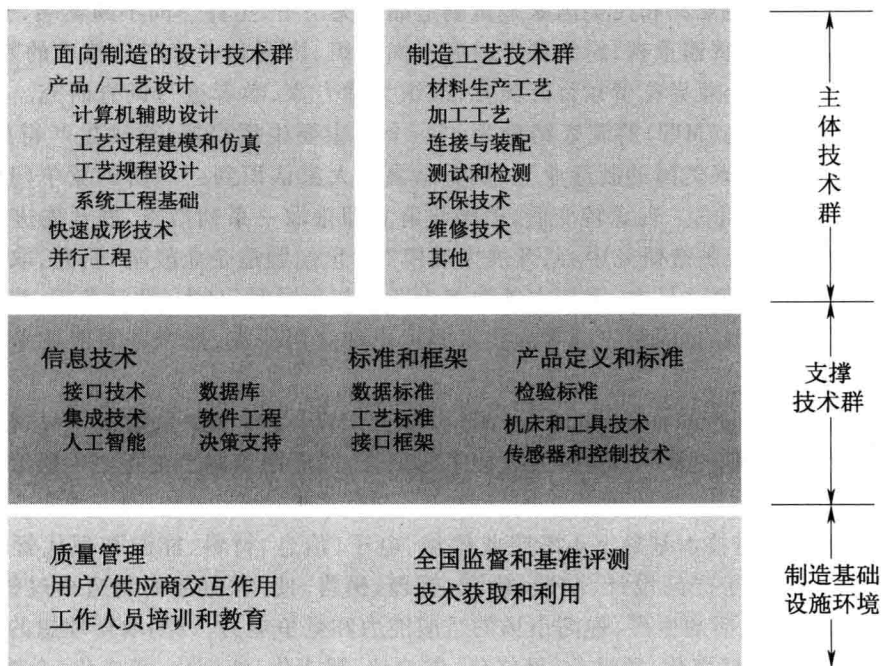


图 1-2 先进制造技术的体系结构

3. 制造自动化技术

制造自动化技术分数控技术、工业机器人、柔性制造系统 FMS、计算机集成制造系统 CIMS、传感技术、自动检测及信号识别技术、过程设备工况监测与控制等。

4. 先进制造模式和管理技术

先进制造模式分计算机集成制造技术、并行工程、敏捷制造技术、精益生产、智能制造、绿色制造等，管理技术分物料需求计划和制造资源计划、企业资源规划、准时生产等。

1.2.4 特点与作用

1. 特点

先进制造技术与传统制造技术比较，具有以下特点：

1) 传统制造技术一般都效率低，资源消耗较多，对环境污染较大，经济和社会综合成本高等；先进制造技术本质上就是为了克服传统制造技术的不足而发展的，其基础是优质、高效、低耗、无污染的加工工艺。

2) 先进制造技术覆盖了从产品设计，加工制造到产品销售、使用、维修和回收的整个过程，研究的范围更为广泛。而传统制造技术一般是局限于加工制造过程的工艺方法，只能驾驭生产过程中的物质流、能量流和信息流的系统过程。

3) 制造向超微细领域扩展，例如微型机械、微米/纳米加工的发展要求用更新、更广的知识来解决这一领域的新课题。而传统制造技术难以或无法解决。

4) 先进制造技术的各专业、学科、技术之间不断交叉、融合，形成了综合、集成的新技术。而

传统制造技术的学科、专业单一,界限分明。

5) 制造国际化是 21 世纪制造技术发展的必然趋势。例如基于虚拟制造技术的虚拟公司就可以实现制造企业在全球范围内的重组和集成。而传统制造企业无法实现国际化。

6) 制造技术与生产管理的统一。制造技术的改进带动了管理模式的改进,而先进的管理模式推动了制造技术的应用。

7) 先进制造技术特别强调人的主体作用,强调人、技术与管理三者的有机结合。

总之,先进制造技术具有精密化、柔性化、网络化、虚拟化、智能化、清洁化、集成化、全球化等特点。

2. 作用

1999 年, CIRP 在其报告中指出:在国家生产力的构成中,制造技术的作用一般占 55% ~ 65%。

1998 年爆发的东南亚经济危机,从另一个侧面反映了一个国家发展制造业的重要性。一个国家如果把经济的基础放在股票、旅游、金融、房地产、服务业上,而无自己的制造业,这个国家的经济就容易形成泡沫经济。

高质量、高水平的制造业必然要以先进的制造技术做后盾。世界上各个工业化国家经济上的竞争主要是制造技术的竞争。亚洲部分国家(如日本、韩国等)的发展在很大程度上就是因其重视制造技术,通过制造技术形成产品,依靠产品占领世界市场,从而实现经济乃至国力的迅速崛起。因此,在许多国家的科技发展计划中,先进制造技术都被列为优先发展的科技。

我国在“十五”规划中就确定了八个最具战略影响的领域:信息技术、生物技术、材料技术、先进制造与自动化技术、资源环境技术、航空航天技术、能源技术、先进防御技术,其中,先进制造与自动化技术又是实现各种高新技术的保障技术。

1.3 先进制造技术的发展趋势

归纳先进制造技术的发展趋势,大致有以下几个方面:

1. 先进制造技术向超精微细领域扩展

微型机械、纳米测量、微米/纳米加工制造的发展使制造工程科学的内容和范围进一步扩大,要求用更新、更广的知识来解决这一领域的新课题。

2. 制造过程的集成化

产品的加工、检测、物流、装配过程走向一体化;计算机辅助设计、计算机辅助工程、计算机辅助制造的出现,使设计、制造成为一体;精密成形技术的发展,使热加工可直接提供接近最终形状、尺寸的零件,它与磨削加工相结合,有可能覆盖大部分零件的加工,淡化了冷热加工的界限;机器人加工工作站及柔性制造系统的出现,使加工过程、检测过程、物流过程融为一体;现代制造系统使得自动化技术与传统工艺密不可分;很多新型材料的配制与成形是同时完成的,很难划清材料应用与制造技术的界限。这种趋势表现在生产上是专业车间的概念逐渐淡化,将多种不同专业的技术集成在一台设备、一条生产线、一个工段或车间里的生产方式逐渐增多。

3. 制造科学与制造技术、生产管理的融合

制造科学是对制造系统和制造过程知识的系统描述。它包括制造系统和制造过程的数学描述、仿真和优化,设计理论与方法以及相关的机构运动学和动力学、结构强度、摩擦学等。事实证明,技术和管理是制造系统的两个轮子,由生产模式结合在一起,推动着制造系统向前运动。在计算机集成制造系统、敏捷制造、虚拟制造等模式中,管理策略和方法是这些新生产模式的灵魂。

4. 绿色制造将成为制造业的重要特征

绿色制造是一种现代制造模式,其目标是使产品从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理的整个生命周期中,对环境的负面影响最小、资源利用率最高,并使企业经济效益和社会效益最高。环境与资源的约束使绿色制造业显得越来越重要,它是 21 世纪制造业的重要特征,并将获得快速的发展。主要体现在绿色产品设计技术、绿色制造技术、产品的回收和循环再制造。

5. 虚拟现实技术在制造业中获得越来越多的应用

虚拟现实技术主要包括虚拟制造技术和虚拟企业两个部分。虚拟制造技术将从根本上改变了设计、试制、修改设计、组织生产的传统制造模式。在虚拟制造环境中可以用虚拟的产品原型代替真实样品进行试验,对其性能和可制造性进行预测和评价,从而缩短产品的设计与制造周期,降低产品的开发成本,提高系统快速响应市场变化的能力。

虚拟企业则是为了快速响应某一市场需求,通过信息高速公路,将产品涉及的不同企业临时组建成为一个没有围墙、超越空间约束、靠计算机网络联系、统一指挥的合作经济实体。

6. 制造全球化

先进制造技术的竞争正在导致制造业在全球范围内的重新分布和组合,新的制造模式将不断出现,更加强调实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产。随着制造产品、市场的国际化及全球通信网络的建立,国际竞争与协作氛围的形成,21 世纪制造国际化是发展的必然趋势。



思考题

- 1-1 什么是制造、制造系统、制造技术及制造业?
- 1-2 简述制造业的发展阶段及其特点。
- 1-3 简述制造业的发展趋势,结合自己的认识,谈谈对制造业发展的展望。
- 1-4 什么是先进制造技术?其特点有哪些?
- 1-5 先进制造技术可以分为哪些方面?
- 1-6 先进制造技术的发展趋势是什么?先进制造技术的出现与发展对社会进步有哪些积极影响?



快速原形制造技术

学习目标:

初步了解快速原形制造技术的概念,理解快速原形工艺的原理、特点,了解快速原形制造的应用。

20世纪80年代后期出现的快速原形制造(rapid prototyping manufactureing, RPM)技术,被认为是制造技术领域的一次重大突破。RPM可以自动、直接、快速、精确地将设计思想转化为具有一定功能的原形,有效地缩短了产品的研究开发周期,以便在最短的时间内推出适应市场变化的新产品,在市场竞争中赢得先机。

2.1 快速原形制造技术概述

企业的核心竞争能力取决于产品创新的速度和制造技术的柔性。在许多情况下,人们需要(或希望)能快速制造出产品的物理原形(样机、样件),以便征求包括客户在内的各方面意见,通过反复修改,在短期内形成能投放市场的定形产品,从而加快市场的响应能力,缩短产品的上市周期。但用传统方法制作产品原形时,通常需使用多种机床设备和工模具,成本高,周期长。由于客户在时间和品种上需求的多样性与多变性,使得企业在产品开发中必须具有足够的柔性,而大多数企业由于缺乏原形制作能力而造成产品设计不合理或上市太慢,错过大好的市场机遇。

2.1.1 RP 起源

1892年,Blather主张用分层方法制作三维地图模型。分层制造三维物体的思想雏形可追溯到4000年前,中国出土的鲁漆器,用黏结剂把丝、麻黏结起来铺敷在底胎上,待漆干后挖去底胎成形。考古也发现古埃及人在公元前就已将木材切成板后重新铺叠翻成叠合材料,类似现代的胶合板。

1979年,东京大学的川威雄教授利用分层技术制造了金属冲裁模、成形模和注塑模。20世纪70年代末到80年代初,美国3M公司的Alan J. Hebert(1978年)、日本的小玉秀一(1980年)、美国的Charles W. Hull(1982年)和日本的丸谷洋二(1983年)各自独立地提出了RP的概

念,即利用连续层的选区固化制作实体的新思想。而美国的 Charles W. Hull 则完成了第一个 RP 系统——Stereolithography Apparatus,并于 1984 年获得专利,这是 RP 发展的一个里程碑,随后许多快速成形的概念、技术及相应的成形机才得以相继出现。

随着各种新型快速原形制造技术的出现,“rapid prototyping”一词已无法充分表达出各种成形系统、成形材料及成形工艺等所包含的内容。对 RP 的定义也是多种多样的,针对 RP 原意及现今技术的发展,本书对该词作如下定义:

1) 针对工程领域而言,其广义上的定义为:通过概念性的具备基本功能的模型快速表达出设计者意图的工程方法。

2) 针对制造技术而言,其狭义上的定义为:一种根据 CAD 信息数据把成形材料层层叠加来制造零件的工艺过程。

快速原形(rapid prototyping, RP)技术综合机械、电子、光学、材料等学科,它涉及 CAD/CAM 技术、数据处理技术、CNC 技术、测试传感技术、激光技术等多种机械电子技术、材料技术和计算机软件技术,是各种高技术的综合应用,已成为先进制造技术群的重要组成部分。而且它必将对制造企业的模型、原形及成形件的制造方式产生更为深远的影响。

2.1.2 RP 零件图形处理过程

快速原形制造的计算机系统只接受三维 CAD 模型,进行切片处理。三维 CAD 模型的获取方式有:在 PC 或图形工作站上用三维软件 Pro/E、UG、CATIA 等设计制作,或将已有产品的三视图转换成三维 CAD 模型,或用扫描机对已有的零件实样进行扫描。其具体处理过程为:

1. 三维模型的近似处理

产品零件上往往有一些不规则的自由曲面,在制作快速原形前必须对其进行近似处理,才有可能获取确切的截面轮廓。在目前的快速原形系统中,最常见的近似处理方法是使用 STL 文件格式进行数据转换,将三维实体表面用一系列相连的小三角形逼近自由曲面,得到 STL 格式的三维近似模型文件。典型的 STL 文件,如图 2-1 所示。

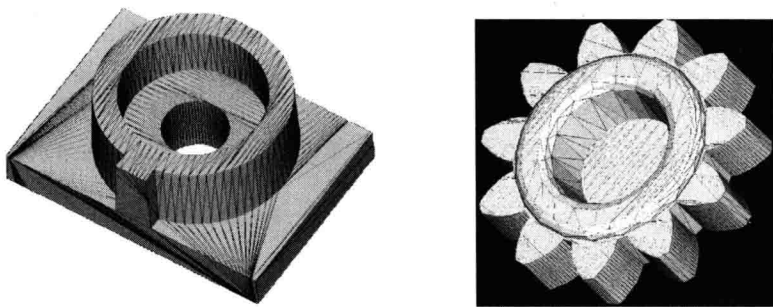


图 2-1 典型的 STL 文件

2. 三维模型的切片处理

STL 文件切片处理,如图 2-2 所示。

由于快速原形制造是按一层层截面轮廓来进行加工的,因此加工前必须从三维模型上沿成形的高度方向每隔一定的间隔进行切片处理,以获取截面的轮廓。间隔的大小根据待成形零件

的精度和生产率要求选定。间隔越小,精度越高,但成形时间越长。间隔选取的范围为 0.05 ~ 0.5 mm,常用的是 0.1 mm 左右。

无论零件形状多么复杂,对每一层来说只是简单的平面矢量扫描组,轮廓线代表了片层的边界。

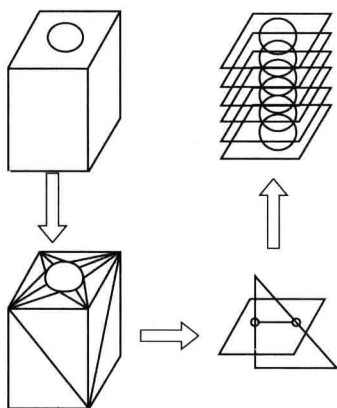


图 2-2 STL 文件切片处理

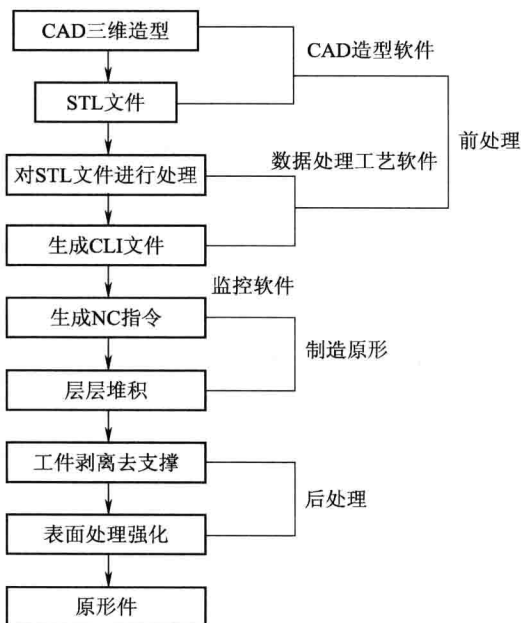


图 2-3 原形制作流程

根据具体工艺要求,将其按一定厚度分层,即将其离散为一系列二维层面,将这些离散信息同加工参数结合,驱动成形机顺序加工各单元层面。原形制作流程,如图 2-3 所示。

2.2 快速成形工艺

快速成形技术经过 20 年左右的发展,其工艺已经逐步完善,发展了许多成熟的加工工艺及成形系统。RP 系统可分为两大类:基于激光或其他光源的成形技术,如立体光造型、叠层实体制造、选择性激光烧结、形状沉积制造(shape deposition manufacturing, SDM)等;基于喷射的成形技术,如熔融沉积制造、三维印刷制造等。

2.2.1 立体光造型工艺

立体光造型工艺(stereolithography apparatus, SLA)是基于液态光敏树脂的光聚合原理工作的。这种液态材料在一定波长和强度的紫外光(如 $\lambda = 325 \text{ nm}$)的照射下能迅速发生光聚合反应,分子量急剧增大,材料也就从液态转变成固态。SLA 技术成形原理,如图 2-4 所示。

液槽中盛满液态光固化树脂,具有一定波长和强度的紫外激光光束在偏转镜作用下能在液态表面上扫描,扫描的轨迹及光线的有无均由计算机控制,光点打到的地方,液体就固化。

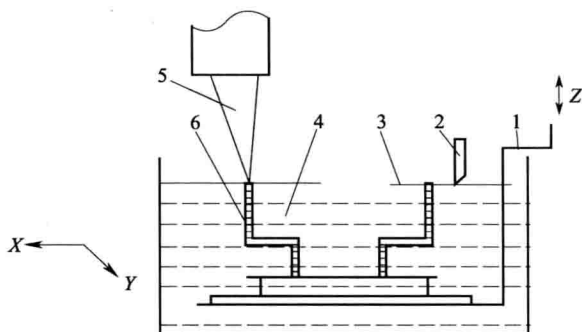


图 2-4 SLA 技术成形原理

1—升降台;2—刮平器;3—液面;4—光敏树脂;5—紫外激光;6—成形零件

成形开始时,工作平台在液面下一个确定的深度,聚焦后的光斑由计算机控制在液面上按加工零件各分层截面的形状对液态光敏树脂逐点扫描,被光照射到的薄层树脂发生聚合反应,从而形成一个固化的层面。当一层扫描完成后,未被照射的地方仍是液态树脂。然后升降台带动平台再下降一层高度,已成形的层面上又布满一层树脂,刮平器将粘度较大的树脂液面刮平,然后再进行下一层的扫描,新固化的一层牢固地粘在前一层上,如此重复直到整个零件制造完毕,得到一个三维实体模型。

截层厚度为 0.04 ~ 0.07 mm,可控精度为 0.1 mm。

立体光造型工艺用于小件制作,表面质量好,精度较高,需要支撑结构,材料有污染。

2.2.2 叠层实体制造工艺

叠层实体制造工艺(laminated object manufacturing, LOM)采用薄片材料,如纸、塑料薄膜等,材料表面事先涂覆上一层热熔胶。LOM 成形原理,如图 2-5 所示。

加工时,热压辊热压片材,使之与下面已成形的工件粘接;用 CO₂ 激光器在刚粘接的新层上切割出零件截面轮廓和工件外框,并在截面轮廓与工件外框之间多余的区域内切割出上下对齐的网格;激光切割完成后,工作台带动已成形的工件下降,与带状片材(料带)分离。

送料机构转动收料轴和送料轴,带动料带移动使新层移到加工区域,工作台上升到加工平面,热压辊热压,工件的层数增加一层,高度增加一个料厚,再在新层上切割截面轮廓。如此反复直至零件的所有截面粘接、切割完,得到分层制造的实体零件。

截层厚度为 0.07 ~ 0.15 mm,精度与切割材质

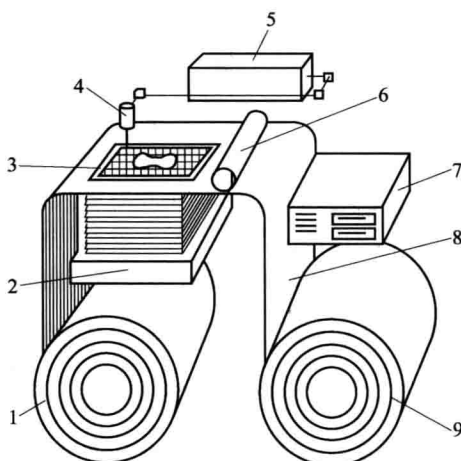


图 2-5 LOM 成形原理

1—收纸辊;2—升降工作台;3—加工平面;
4—定位装置(切割头);5—激光器;6—热压辊;
7—计算机;8—箔材带;9—展开辊