

先进制造工艺技术

李长河 丁玉成 编著
卢秉恒 主审



科学出版社

先进制造工艺技术

李长河 丁玉成 编著

卢秉恒 主审

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以先进制造工艺为主线,汇集了编者多年来从事先进制造工艺的最新成就和经验,结合国家的重大需求及国内外先进制造工艺技术的发展趋势,在 973 计划项目(2009CB724202、2009CB724401)、国家自然科学基金项目(50875138)以及山东省自然科学基金重点项目(Z2008F11、ZR2009FZ007)的支持下开展的研究工作并参考国内外相关文献的基础上编写而成。本书主要内容包括先进制造工艺产生的背景及发展趋势、先进材料成形技术、快速成形制造技术、高效切削/磨削加工技术、精密/超精密加工技术、特种加工技术、微纳米制造技术和光电子制造技术等。

本书可作为高等院校机械类、近机械类各专业的本科生与研究生教材和参考书,同时也可供机械工程技术人員学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

先进制造工艺技术/李长河,丁玉成编著. —北京:科学出版社,2011
ISBN 978-7-03-030425-4

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 033660 号

责任编辑:毛莹 张丽花/责任校对:刘亚琦
责任印制:张克忠/封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencecp.com>

北京市农林印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 3 月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2011 年 3 月第一次印刷 印张:18

印数:1—3 500

字数:360 000

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

成形、改性与加工是先进制造工艺的主要工序,是将原材料制造加工成毛坯或零部件的过程。随着毛坯精密成形工艺的发展,零件成形的形状尺寸精度正从近净成形向净成形即近无余量成形方向发展。“毛坯”与“零件”的界限越来越小。在成形制造过程中,通过控制产品的内部组织结构而控制产品的性能,甚至可以制造出具有梯度组织结构和梯度功能的产品。成形制造科学与技术是制造科学技术的一个重要分支,其发展以满足国民经济发展对制造业的需求为目标,成为中国钢铁工业、能源工业、造船工业、航空航天工业、汽车工业、信息工业及重型装备制造业的基础。

快速成形技术获得零件(原型)的途径不同于传统的材料去除或材料变形方法,而是在计算机控制下,基于离散/堆积原理采用不同方法堆积材料最终完成零件的成形与制造的技术。快速成形技术涉及机械工程、自动控制、激光、计算机、材料等多个学科,是现代设计和制造技术的完美结合。近年来,该技术迅速在工业造型、制造、建筑、艺术、医学、航空、航天、考古和影视等领域得到较好的应用。

超高速加工技术是指采用超硬刀具和磨具,利用能可靠实现高速运动的高精度、高自动化和高柔性的制造设备,以提高切削速度来达到提高材料去除率、加工精度和加工质量的先进加工技术。超高速加工是制造科学的前沿。超高速加工时,工件材料将处于超常应变速率状态,在瞬间发生剧变,完全突破了传统切削理论和现有高速加工的概念。超高速加工的机理有待揭示,超高速加工能达到的极限、工艺参数的优化、刀具材料的选择有待正确的理论指导。

超精密加工技术目前已进入纳米加工时代,加工精度达 $0.025\mu\text{m}$,表面粗糙度达 $0.0045\mu\text{m}$ 。精切削加工技术由目前的红外波段向加工可见光波段或不可见紫外线和 X 射线波段趋近;超精密加工机床向多功能模块化方向发展;超精密加工材料由金属扩大到非金属。

采用新型能源及复合加工,解决新型材料的加工和表面改性难题。激光、电子束、离子束、分子束、等离子体、微波、超声波、电液、电磁、高压水射流等新型能源或能源载体的引入,形成了多种崭新的特种加工及高密度能切割、焊接、熔炼、锻压、热处理、表面保护等加工工艺或复合工艺。这些新工艺不仅提高了加工效率和质量,同时还解决了超硬材料、高分子材料、复合材料、工程陶瓷等新型材料的加工难题。

微型化已经从集成电路芯片拓展到其他多个应用领域,如纳米电子学、光电子

技术、新能源、高密度磁存储、微机电系统纳米材料、生物芯片、纳米技术等。这些领域都是当前热门的高科技领域。微纳米制造技术就是通过大规模平行过程和自组装的方式来集成具有从纳米尺度到微米尺度的功能器件和系统来实现对功能性微纳米产品的可控生产。无论是集成电路,还是微机电系统或纳米技术,其共同的特征是功能结构的尺寸在微米或纳米范围,因此可以统称为微纳米技术。微纳米技术依赖于微纳米尺度的功能结构与器件。实现功能结构微纳米化的基础是先进的微纳米制造技术。

光电子技术是由光子技术和电子技术相结合而形成的一门新技术,它是研究光与物质中的电子相互作用及其能量转换相关的技术,涉及光通信、光电显示、半导体照明、光存储、激光器等多个应用领域,是信息和通信产业的核心技术。光电子技术围绕着光信号的产生、传输、处理、接收和显示,涵盖了新材料(新型发光感光材料、非线性光学材料、衬底材料、传输材料和人工材料的微结构等)、微纳米加工和微纳机电器件以及系统集成等一系列从基础到应用的多个领域。光电子技术科学是光电信息产业的支柱与基础,涉及光电子学、光学、电子学、计算机、信息和通信技术 etc 等前沿学科理论,是多学科相互渗透、相互交叉而形成的高新技术学科。光电子学与光电子技术是伴随着微电子学与微电子技术、材料、物理、信息和通信工程等多个学科的发展而发展起来的,光电子学和光电子技术的快速发展和在众多领域的广泛应用,使其不断向其他学科领域渗透,同时也推动其他学科的迅猛发展。

本书第 1~6 章由青岛理工大学李长河教授编写,第 7、8 章由西安交通大学教授、青岛理工大学泰山学者丁玉成编写。全书由李长河教授统稿和定稿。另外,课题组的兰洪波老师以及研究生房赞、赵婷婷也参与了本书部分内容的编写工作。在本书编写过程中,得到了编者所在院校和科学出版社的大力支持,在此表示诚挚的感谢!

本书承蒙中国工程院院士、西安交通大学卢秉恒教授主审。卢院士对本书提出了许多宝贵的建议,在此表示衷心的感谢。

在本书编写过程中得到了许多专家、同仁的大力支持和帮助,并参考了许多教授、专家的有关文献,在此也一并向他们表示衷心的感谢。

由于编者的水平和时间有限,书中难免存在疏漏和不当之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
2010 年 11 月

目 录

前言

第 1 章 绪论 1

1.1 制造技术的发展及对国民经济的贡献 1

1.1.1 制造的相关概念 1

1.1.2 制造业发展的历程 2

1.1.3 制造业对国民经济发展的贡献 3

1.2 制造业的变革及面临的挑战 ... 6

1.2.1 制造业的变革 6

1.2.2 制造业面临的挑战 7

1.3 制造技术给制造业带来的变革 8

1.4 先进制造技术的提出和进展 ... 9

1.4.1 先进制造技术产生的背景 9

1.4.2 先进制造技术在我国的发展 10

1.5 先进制造技术的内涵和特点 12

1.5.1 先进制造技术的定义 12

1.5.2 先进制造技术的特点 12

1.6 先进制造技术的体系结构及分类 13

1.6.1 先进制造技术的体系结构 ... 13

1.6.2 先进制造技术的分类 13

1.7 先进制造技术的发展趋势 15

1.8 制造工艺的内涵及体系结构 17

1.8.1 制造工艺的定义 17

1.8.2 制造工艺的体系结构 17

1.9 先进制造工艺技术的发展趋势 19

参考文献 22

第 2 章 先进材料成形技术 24

2.1 概述 24

2.1.1 材料成形技术的内涵 24

2.1.2 材料成形技术的特点 24

2.1.3 近净成形技术 25

2.2 精密洁净铸造成形技术 25

2.2.1 熔模精密铸造 25

2.2.2 消失模精密铸造 26

2.2.3 金属型铸造 27

2.2.4 压力铸造 28

2.2.5 低压铸造 29

2.2.6 离心铸造 29

2.2.7 陶瓷型铸造 30

2.2.8 半固态铸造成形 31

2.3 精确高效材料塑性的成形技术 32

2.3.1 精密塑性成形方法的分类 ... 32

2.3.2 精密模锻 33

2.3.3 挤压成形 33

2.3.4 轧制成形 35

2.3.5 超塑性成形 36

2.3.6 无模多点成形 37

2.3.7 数控渐进成形 38

2.4 优质高效材料的连接技术·····	40	3.4 快速制模技术·····	70
2.4.1 连接技术分类·····	40	3.4.1 快速制模技术的内涵及 发展·····	70
2.4.2 激光焊接·····	40	3.4.2 用快速成形直接制造模具···	71
2.4.3 复合激光焊接技术·····	42	3.4.3 用快速成形间接制造模具···	71
2.4.4 电子束焊接技术·····	44	3.5 硅橡胶快速制模技术·····	72
2.4.5 扩散连接技术·····	45	3.6 金属电弧喷涂快速制模 技术·····	72
2.4.6 钎焊·····	47	3.6.1 金属电弧喷涂快速制模 技术的优点·····	73
2.5 优质低耗洁净材料的改性 技术·····	48	3.6.2 金属电弧喷涂快速制模 的关键技术·····	73
2.5.1 激光表面淬火·····	48	3.6.3 金属电弧喷涂快速制模 技术的主要研究内容·····	74
2.5.2 激光熔覆技术·····	49	3.6.4 金属电弧喷涂快速制模 技术的国内外发展现状·····	75
2.5.3 激光表面合金化·····	50	3.6.5 快速制模工艺的流程圖·····	76
2.5.4 激光表面毛化技术·····	51	3.7 精密铸造模具的快速制造 技术·····	78
2.6 非金属材料的成形技术·····	52	3.7.1 精密铸造模具快速制造 技术产生的背景·····	78
2.6.1 塑料成形·····	52	3.7.2 快速成形技术在快速 铸造中应用·····	79
2.6.2 橡胶成形·····	53	3.7.3 熔模精密铸造模具的 快速制造·····	79
2.6.3 陶瓷成形·····	54	3.7.4 砂型精密铸造模具的 快速制造·····	82
2.6.4 复合材料成形·····	54	3.7.5 消失铸造模具的快速 精密制造·····	82
参考文献·····	56	3.7.6 陶瓷型铸造模具的快 速精密制造·····	82
第3章 快速成形制造技术 ·····	58	3.8 模具电火花加工电极快速 制造·····	84
3.1 概述·····	58	参考文献·····	85
3.1.1 快速成形技术的内涵·····	58	第4章 高效切削/磨削加工技术 ·····	87
3.1.2 快速成形技术的发展·····	58	4.1 超高速加工技术概述·····	87
3.1.3 快速成形技术的应用领域···	60		
3.2 快速成形原理·····	60		
3.2.1 快速成形技术的原理·····	61		
3.2.2 快速成形技术的特点·····	62		
3.2.3 快速成形材料·····	62		
3.3 快速成形技术的工艺方法·····	63		
3.3.1 光固化立体成形·····	63		
3.3.2 选择性激光烧结工艺·····	66		
3.3.3 分层实体制造·····	67		
3.3.4 熔积成形·····	69		
3.3.5 三维印刷·····	69		

4.2 超高速切削加工技术	87	4.7.3 砂带磨削技术的应用	120
4.2.1 超高速切削加工技术的 特点及应用	87	4.8 难加工材料高效磨粒加工 技术	121
4.2.2 超高速切削的关键技术	89	4.8.1 硬脆材料延性域磨削技术 ...	121
4.2.3 超高速机床的发展现状	94	4.8.2 硬脆材料高效率端面磨削 技术	122
4.2.4 超高速切削加工技术的 研究热点	94	4.8.3 难加工材料自由磨粒加工 工艺	122
4.3 高效率磨削加工技术	95	4.8.4 石材的高效磨削技术	124
4.3.1 磨粒加工技术特点及 在国民经济中的作用	95	4.9 磨削加工数控化、自动化、 智能化及虚拟化	126
4.3.2 高效率磨削加工技术的 原理和方法	97	4.9.1 磨削加工数控化和 自动化	126
4.4 高速/超高速磨削加工技术 ...	97	4.9.2 磨削加工智能化	127
4.4.1 高速/超高速磨削技术的 发展	97	4.9.3 磨粒加工虚拟仿真	127
4.4.2 高速/超高速磨削技术的 特点	100	4.9.4 分子动力学仿真技术在磨粒 加工研究中的应用	128
4.4.3 高速/超高速磨削关键 技术	102	4.10 先进磨削加工工艺与 装备基础研究中存在 的问题与差距	129
4.4.4 超高速磨削的科学理论 问题与研究方向	110	4.11 高速/超高速磨削加工 工艺与装备研究热点	130
4.5 超高速磨削技术的工业 应用	110	参考文献	130
4.5.1 高效深切磨削	110	第5章 精密/超精密加工技术 ...	133
4.5.2 快速点磨削	111	5.1 精密/超精密加工技术的 内涵及特点	133
4.5.3 超高速外圆磨削	114	5.1.1 精密/超精密加工技术的 内涵	133
4.5.4 硬脆材料及难加工材料 超高速磨削	114	5.1.2 几个重要概念	133
4.6 强力磨削技术	115	5.1.3 精密/超精密加工的特点 ...	134
4.6.1 高速强力外圆磨削	115	5.1.4 精密/超精密加工的应用 ...	134
4.6.2 缓进给磨削	115	5.1.5 精密/超精密加工的方法 及其分类	135
4.6.3 高速重负荷荒磨	116	5.1.6 精密/超精密加工的关键 技术	139
4.7 砂带磨削技术	117		
4.7.1 砂带磨削技术的内涵及 特点	117		
4.7.2 砂带磨削的关键技术	118		

5.1.7 精密/超精密加工的发展趋势	141	6.1.2 特种加工的分类	167
5.2 金刚石刀具的超精密切削加工	141	6.2 电火花加工	168
5.3 精密/超精密砂轮磨削加工	141	6.2.1 电火花加工的机理	168
5.3.1 精密/超精密砂轮磨削机理	142	6.2.2 电火花加工的特点	169
5.3.2 电解在线修锐砂轮的超精密镜面磨削技术	142	6.2.3 电火花加工的应用	170
5.3.3 双端面精密磨削技术	144	6.3 电火花线切割加工	171
5.3.4 珩磨	145	6.3.1 电火花线切割加工的机理	171
5.4 精密/超精密砂带磨削	146	6.3.2 高、低速走丝电火花线切割加工的比较	172
5.5 精密/超精密游离磨料加工	146	6.3.3 电火花线切割加工的特点	173
5.5.1 研磨和抛光	146	6.3.4 电火花线切割加工的应用	174
5.5.2 磁力研磨	148	6.4 电解加工	175
5.5.3 磁力悬浮研磨	150	6.4.1 电解加工的工作原理	175
5.5.4 磁性流体研磨	151	6.4.2 电解加工的特点	175
5.5.5 磁流变抛光	152	6.4.3 电解加工的新技术	175
5.5.6 磨料流加工	154	6.4.4 电解加工的应用	176
5.5.7 弹性发射加工	155	6.5 超声波加工	176
5.5.8 浮动抛光	156	6.5.1 超声波加工的工作原理	176
5.5.9 动压浮起平面研磨	158	6.5.2 超声波加工的特点及应用	177
5.5.10 水合抛光	158	6.6 水射流切割加工	178
5.5.11 化学机械抛光	159	6.6.1 水射流切割加工的基本原理	178
5.5.12 砂轮约束磨粒喷射光整加工	161	6.6.2 水射流切割加工的特点	178
5.5.13 电泳磨削技术	164	6.6.3 水射流切割加工的应用	178
5.6 精密/超精密加工技术研究热点	164	6.7 磨料喷射加工	178
参考文献	165	6.7.1 磨料喷射加工的工作原理	178
第6章 特种加工技术	167	6.7.2 磨料喷射加工的装置	178
6.1 特种加工技术概述	167	6.7.3 磨料喷射加工的分类	179
6.1.1 特种加工的定义	167	6.7.4 磨料喷射加工的特点	179
		6.7.5 磨料喷射加工的应用	180
		6.8 激光加工	180

6.8.1 激光加工的工作原理	180	7.2.4 微细切削和特种加工技术 ...	236
6.8.2 激光加工的特点	181	7.3 Bottom-up 微纳米加工	
6.8.3 激光加工的应用	181	技术	242
6.9 电子束加工	182	7.3.1 自组装	242
6.9.1 电子束加工的工作原理 ...	182	7.3.2 外延生长	244
6.9.2 电子束加工的特点与		参考文献	248
应用	182		
6.10 离子束加工	183	第8章 光电子制造技术	250
6.10.1 离子束加工的工作原理 ...	183	8.1 光电子技术及其制造概述 ...	250
6.10.2 离子束加工的分类	183	8.1.1 光电子技术简介	250
6.10.3 离子束加工的特点及		8.1.2 光电子制造及其应用	251
应用	184	8.2 LED 及其制造技术	253
6.11 电解磨削	184	8.2.1 LED 概述	253
6.11.1 电解磨削的工作原理	184	8.2.2 LED 分类	254
6.11.2 电解磨削的特点	184	8.2.3 LED 的基本特性和	
6.11.3 电解磨削的应用	185	技术指标	255
6.12 超声-电火花复合加工	185	8.2.4 LED 的应用	257
6.13 电解-电火花复合加工	185	8.2.5 LED 的制造技术	258
6.14 超声-电解复合加工	186	8.3 激光器及其制造技术	265
6.15 特种加工技术的研究		8.3.1 激光器概述	265
热点	186	8.3.2 激光器的工作原理	265
参考文献	186	8.3.3 激光器的基本结构	266
第7章 微纳米制造技术	188	8.3.4 激光器的分类	267
7.1 微纳米制造技术概述	188	8.3.5 VCSEL 激光器的制造	269
7.1.1 微纳米制造技术基本概念 ...	188	8.4 微电子与光电子集成	
7.1.2 微纳米制造技术分类	190	技术	272
7.2 Top-down 微纳米加工		8.4.1 硅基光电子集成	272
技术	192	8.4.2 微电子与光电子混合	
7.2.1 光刻工艺	192	集成技术	274
7.2.2 刻蚀工艺	210	参考文献	278
7.2.3 复形工艺	225		

第 1 章 绪 论

1.1 制造技术的发展及对国民经济的贡献

1.1.1 制造的相关概念

1. 制造

制造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。所谓制造,是指人类按照市场需求,运用主观掌握的知识和技能,借助手工或可以利用的客观物质工具,采用有效的工艺方法和必要的能源,将原材料转化为最终物质产品并投放市场的全过程。

狭义的定义:指机电产品的机械加工工艺过程。

广义的定义:国际生产工程研究院(CIRP)1990 年给制造的广义定义是“制造是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”。

2. 制造技术

按照人们所需的目的,运用知识和技能,利用客观物质工具,将原材料物化为人类所需产品的工程技术,即使原材料成为产品而使用的一系列技术的总称。

3. 制造过程

产品的设计、生产、使用、维修、报废、回收等全过程,也称为产品生命周期。

4. 制造业

将制造资源(物料、能源、设备、工具、资金、技术、信息和人力等)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。

5. 机械制造系统

机械制造系统是制造业的基本组成实体,由完成机械制造过程所涉及的硬件(物料、设备、工具、能源等)、软件(制造理论、工艺、技术、信息和管理等)和人员(技术人员、操作工人、管理人员等)组成,通过制造过程将制造资源(原材料、能源等)转变为产品(包括半成品)的有机整体,称为机械制造系统。

机械制造系统的功能是将输入制造系统的资源(原材料、能源、信息、人力等)通过制造过程输出产品,其结构由硬件、软件和人员组成,并包括了市场分析、产品策划、开发设计、生产组织准备、原材料准备及储存、毛坯制造、零件加工、机器装配、质量检验,以及许多其他与之相关的各个环节的生产全过程。机械制造系统如图 1-1 所示,系统中的物料流、信息流和能量流之间是相互联系、互相影响的,是一个不可分割的整体。

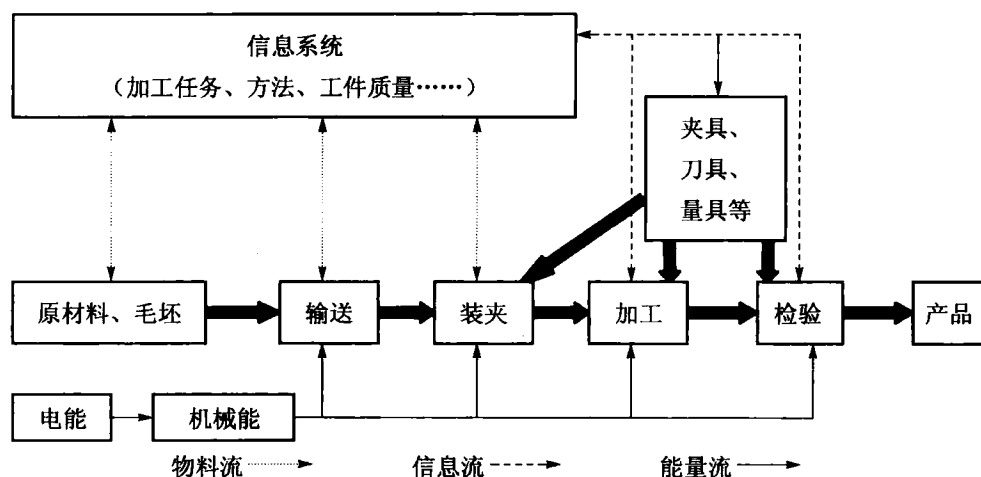


图 1-1 机械制造系统图

根据考察研究的对象不同,一个工厂、一个车间、一条生产线甚至一台机床,都可以看做是不同层次的机械制造系统。包括一台机床的机械制造系统是单级制造系统,包括多台机床的机械制造系统是多级制造系统。

1.1.2 制造业发展的历程

19 世纪末 20 世纪初,蒸汽机的发明,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,掀起制造业革命的新浪潮。20 世纪中期,电力电子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辐射效应,更是极大地促进了制造模式的演变和产品设计与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 世纪末,蒸汽机和工具机的发明标志着制造业已完成从手工生产到以机器加工生产方式的转变。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,但是机器(包括汽车)的生产方式是作坊式的单件生产。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,都产生了重大的影响。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的形成,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. 精密化、柔性化、网络化、虚拟化、智能化、绿色集成化、全球化的现代制造技术

随着电子、信息等高新技术的不断发展,市场需求个性化与多样化,现代制造技术发展向精密化、柔性化、网络化、虚拟化、智能化、绿色集成化、全球化的方向发展。现代制造技术的发展趋势大致有以下九个方面。

(1)信息技术、管理技术与工艺技术紧密结合,现代制造生产模式会获得不断发展。

(2)设计与手段更现代化。

(3)成型及制造技术精密化、制造过程实现低能耗。

(4)新型特种加工方法的形成。

(5)开发新一代超精密、超高速制造装备。

(6)加工工艺由技艺发展为工程科学。

(7)实施无污染绿色制造。

(8)制造业中广泛应用虚拟现实技术。

(9)制造以人为本。

1.1.3 制造业对国民经济发展的贡献

国民经济中的任何行业的发展,必须依靠机械制造业的支持并提供装备;在国民经济生产力构成中,制造技术的作用占60%以上。美国认为社会财富的来源机械制造业占68%;当今制造科学、信息科学、材料科学、生物科学等四大支柱科学相互依存,但后三种科学必须依靠制造科学才能形成产业和创造社会物质财富。而制造科学的发展也必须依靠信息、材料和生物科学的发展,机械制造业是任何其他高新技术实现工业价值的最佳集合点,如快速原型成形机、虚拟轴机床、智能结构与系统

等,已经远远超出了纯机械的范畴,而是集机械、电子、控制、计算机、材料等众多技术于一体的现代机械设备,并且体现了人文科学和个性化发展的内涵。

1. 国外制造业的发展及其启示

经济发达国家都把制造业作为本国的经济支柱,都十分重视制造业的发展,并且根据不同时期科技和经济的发展,不断摆正制造业在国民经济中的地位,不断调整制造业的发展战略和政策方针。为保证制造业工程研究的世界一流水平和世界一流制造业的地位,近年来,美国政府、大学研究所、公司企业等采取了一系列战略性措施,其中最重要的就是鼓励和支持大学和科研单位的科学技术向工业界的转化。为此,成立了“国家制造工程中心”(ERC)、“工业大学合作研究中心”(IVCRC)、“制造技术中心”(MTC)等,从而为确立美国在制造业的优势奠定了基础。日本经过过去几十年的努力,已经成为制造业的世界巨人。就金属切削机床而言,其产值几乎占全球产值的30%。日本制造业一直以来特别重视数控机床和数控技术的推广,近年来其数控机床占其机床总产量的70%以上,这主要得益于日本政府和工业界不断主动地采用新的制造技术。德国制造业的特长是革新与质量,德国企业能够根据用户的特殊需要,以市场能够接受的价格在最短的时间内向市场提供高质量的产品,这是通过生产过程的合理化而实现的。他们认为,产品的竞争力不是单纯通过降低成本,而更主要的是通过在今天和未来始终保持技术领先来实现的。为了保持一个国家在制造业的优势地位,依靠科技进步促进科研成果的转化是基本方针,注重先进制造技术的开拓和推广是根本途径,良好的组织结构和现代的管理思想是有力的组织保证。

2. 我国制造业的发展及其在国民经济中的地位

近年来我国机械工业获得迅速发展,现在中国已是一个制造大国:中国已能生产电脑、DVD、半导体、各种家电和电信设备等精密产品,并且价格低廉。2003年,据统计中国生产了世界上29%的彩色电视机,24%的洗衣机,16%的电冰箱,50%以上的空调机,70%的玩具,55%的照相机,30%的微波炉,42%的显示器,75%的钟表,50%的缝纫机,83%的小型拖拉机,40%的自行车,44%的摩托车。收录机年产量2.4亿台,占全球份额的70%;DVD机2000万台,占70%;电话机9600万台,占50%以上;微特电动机30亿台,占60%;一次性电池170亿只,占40%;人造金刚石微粉10亿克拉,占60%以上。中国生产的这些机电产品,已经销售到世界各国。我国汽车工业发展迅速,自1992年实施扩大开放政策以来,保持平均15%以上的年增长率。2002年和2003年的产量达到325.1万辆和444.39万辆。

中国制造业规模已达世界第四位,仅次于美国、日本和德国。钢铁、水泥、化纤、化肥、电视机、摩托车等年产量都是世界第一。但制造业大而不强,是制造大国而不是制造强国。例如,钢铁(年产量超过2亿吨),我们大量出口低价钢材而进口高附加

值的合金钢。机床也是出口廉价的简单机床,而进口昂贵的数控和精密机床。中国制造业的劳动生产率,仅是美国的 $1/25$,日本的 $1/26$ 。中国很多机械产品价格虽廉,但质量也低,突出的例子,如钻头,价格是国外的 $1/10$,而寿命也是国外的 $1/10$ 。在世界企业的 500 强中,中国的制造业仅有两家。

中国不仅不是一个制造强国,而且是一个制造水平很低的国家。由于中国劳动力工资很低,因而在中国大量生产的只是劳动密集型产品(很多还是外国品牌)。而高水平高质量的产品,如精密和数控机床、飞机、汽车、精密仪器、精密微电子设备,还都需要大量进口,一些重要精密尖端产品自己还不能生产,受制于外国。

在工业化过程当中,“中国制造”、“中国加工”走向了世界,从而为中国的经济带来了一个持续高速的增长。美国可以向全世界出售它的先进的技术和先进的设备、先进的创意。马克思当年说,资本家(现在的话就是企业家)率先创新是因为他能够获得超额利润。一个企业是这样,一个国家是这样,所以中国不得不创新。如果不创新的话,就依然是中国制造,依然是中国加工,所谓中国制造、中国加工就是技术是人家的,依然在一个极端的基层面的加工产业,而且用的是我们的原料、资源和环境。这样发展下去是非常被动的,创新少了,挣不到很大的利润,收获的只是低层次的,很薄的利润,而且我们的环境、我们的资源负担会很重。所以,转变经济发展方式的关键或者核心应该是提升我们的自主创新能力。从“中国制造”走向“中国创造”是转变经济发展方式中必须解决的问题,这也是温家宝总理反复强调必须要解决的问题。

3. 中国制造工业存在的问题

(1)机械工业产品落后,国外已是新的机电一体化产品,并且产品不断更新,而我国生产的往往是老的产品,产品更新很慢,而且很多高水平高质量的产品还不能制造。例如,精密超精密机床和高档数控机床、大飞机、精密仪器、精密微电子设备等还都需要大量进口,一些重要精密尖端产品自己不能生产,受制于外国。

(2)不掌握产品核心技术,引进的机电产品很多使用外国的专利(很多还是外国品牌),核心技术没有自己的知识产权,不仅要交专利费,并且不能修改和改进。

(3)机床装备数量虽多,但构成比十分落后。据 2002 年统计,我国机床拥有量 383 万台,居世界第一,但其中属于国际先进水平的仅占 1.5% ,属国内先进水平的也只占 9% ,设备总体构成比十分落后。

(4)制造技术工艺落后,加工精度低,工作效率和生产效率低。生产周期长,新产品试制周期长,流动资金占用多。

(5)管理落后,非生产人员比例大。以机床工业为例,1996 年我国机床工业员工共 36.9 万人,工业结构调整后,现今约 20 万人,仍居世界第一(美国 5.8 万人,德国

7 万人,日本 4 万人),机床工业员工人数虽多,但机床产量、产值、质量均远远落后于美、日、德等发达国家。据统计我国机械制造业的人均产值仅为美国的 1/25,日本的 1/26。

(6)研究费用及人力投入少,技术创新少。

现在世界制造工业竞争极为激烈,当前我们的任务应尽快努力,使中国早日从制造大国变为一个真正制造强国。为此必须做到以下几点。

① 研制并发展先进的高水平的产品,机电一体化的新产品。

② 使用先进的制造技术。近年来制造技术发展迅速,大量新技术被应用到制造业中,先进制造技术发展极为迅速,提高加工产品质量,提高加工效率。

③ 采用先进的管理技术。

④ 从思想上重视技术创新,掌握核心技术。

近年来机械工业技术水平提高迅速,竞争激烈。我们面临的形势是严峻的,亟须积极努力,加速发展先进制造技术,提高我国机械制造工业的技术水平。只有提高机械工业技术水平,才有可能将我国从一个制造大国转变成一个制造强国。下面简单介绍先进制造技术几个主要方面的发展情况。

1.2 制造业的变革及面临的挑战

制造技术的发展是由社会、政治、经济等多方面因素决定的。纵观近两百年制造业的发展历程,影响其发展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。

1.2.1 制造业的变革

两百年来,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→多品种变批量”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 世纪以来,信息技术、生物技术、新材料技术、能源与环境技术、航空航天技术和海洋开发技术等六大科学技术的迅猛发展与广泛应用,引起了整个世界制造业的巨大变革。与此同时,经济全球化趋势正不断加强,各个领域的技术交流、经贸交流日益扩大。这些进步、变革与发展,使当代制造业的生态环境、产业结构与发展模式等都发生了深刻变化。

1.2.2 制造业面临的挑战

科学发展观对制造业提出了新的要求,我国制造业正面临着新的发展机遇与挑战。

1. 制造业面临的是全球多样化、个性化的需求

21 世纪,全球市场需求的多样化趋势更加明显,制造业面临全球性多样化、个性化需求的挑战。目前,我国制造业正面临个性化、多样化需求和标准产品大量需求并存的局面。市场和国情要求一方面要努力满足用户个性化需求,主动推进生产方式向小批量多品种发展;另一方面,也继续通过大规模生产方式,高效低本地生产价廉物美的标准产品,满足国内外市场的需要。

2. 制造业面临的是全球市场的竞争与合作

21 世纪,世界制造业的全球市场竞争与合作将在三个层面展开:一是发达国家制造企业之间,围绕高端产品、尖端技术研发,以及全球市场战略布局的竞争与合作;二是制造业间上下游产业之间,如开发设计与生产之间、生产与营销之间、零部件与整机之间、品牌厂商与外包加工企业之间展开的产业链的全球合作,以及供应商、营销商之间的全球竞争与合作;三是世界主要制造中心,即各个产业生态圈或区域之间的竞争与合作。在这个全球市场竞争与合作的系统中,成员之间有着共生、共荣、竞争、合作等复杂的关系。以往那种企业之间的对抗性竞争被协同竞争所取代,用户、供应商、研发中心、制造商、经销商和服务商等具有互补性的企业间建立紧密合作,利益共享,风险共担,相互依赖,共同发展。彼此间通过竞争优选,不断降低成本,提高效率。产业链中的企业既合作又竞争,专业化、柔性化生产相统一,制造质量更高,制造成本更低,应变能力更强。

3. 信息与网络技术引起了产品制造过程和制造业的革命

信息这一要素正迅速成为现代制造系统的主导因素,并对制造业产生根本性的影响。从某种意义上来说,现代制造业也是信息产业,它加工、处理信息,将制造信息录制、物化在原材料和毛坯上,使之转化为产品。现代制造业,尤其对于高科技、深加工企业,其主要投入已不再是材料和能源,而是信息和知识;其所创造的社会财富实际上也是某种形式的信息,即产品信息和制造信息。未来的产品是基于机械电子一体化的信息和智能产品,未来的制造技术将向数字化、智能化、网络化发展,信息技术将贯穿整个制造业。

4. 物理、化学、生命科学与技术的新进展,为制造技术提供了前所未有的新材料与新工艺

近半个世纪以来,性能多样的金属材料、高等陶瓷、功能晶体、碳素材料和复合