



2006-2007

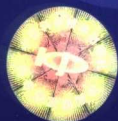
机械工程

学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN MECHANICAL ENGINEERING

中国科学技术协会 主编

中国机械工程学会 编著



 中国科学技术出版社



2006-2007

机械工程

学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN MECHANICAL ENGINEERING

中国科学技术协会 主编

中国机械工程学会 编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

2006—2007 机械工程学科发展报告/中国科学技术协会主编;
中国机械工程学会编著. —北京:中国科学技术出版社,2007.3
ISBN 978-7-5046-4521-0

I. 2... II. ①中... ②中... III. 机械工程—研究报告—
中国—2006—2007 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 024242 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志,未贴防伪标志的为盗版图书。

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62103210 传真:010-62183872

<http://www.kjpbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:9.75 字数:235 千字

2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:26.00 元

ISBN 978-7-5046-4521-0/TH·45

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

2006—2007
机械工程学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN MECHANICAL ENGINEERING

专 家 组

组长 宋天虎

成员 (按姓氏笔画排序)

丁 汉 王立鼎 王至尧 朱森第 刘光复
孙立宁 柳百成 钟群鹏 蔡玉麟 颜永年

学术秘书 陈超志

序

基于我国经济社会发展和国际社会竞争态势的客观要求,党中央、国务院做出增强自主创新能力、建设创新型国家的战略部署,这是综合分析我国所处历史阶段和世界发展大势做出的重大战略决策。学科创立、成长和发展,是科学技术创新发展的科学基础,是科学知识体系化的象征,是创新型国家建设的重要方面,是国家科技竞争力的标志。在科学技术繁荣、发展的过程中,传统的自然科学学科得以不断深入发展,新兴学科不断产生,学科间的相互渗透、相互融合的趋势不断增强;边缘学科、交叉学科纷纷涌现,新的分支学科不断衍生,科学与技术趋向综合化、整体化。及时总结、报告自然科学的学科最新研究进展,对广大科技工作者跟踪、了解、把握学科的发展动态,深入开展学科研究,推进学科交叉、融合与渗透,推动多学科协调发展,促进原始创新能力的提升,建设创新型国家具有非常重要的意义。为此,中国科协在连续4年编制《学科发展蓝皮书》基础上,自2006年开始启动学科发展研究及发布活动。

按照统一要求,中国力学学会、中国化学会、中国地理学会等30个全国学会申请承担了2006年相应30个一级学科发展研究任务,并编撰出版30本相应学科发展报告。在此基础上,中国科协学会学术部组织有关专家编撰了全面反映这30个一级学科的总报告——《学科发展报告综合卷(2006—2007)》。

中国科协是中国科学技术工作者的群众组织,是国家推动科学技术事业发展的重要力量,开展学术交流、活跃学术思想、促进学科发展、推动自主创新是其肩负的重要任务之一。开展学科发展研究及学科发展报告发布活动,是贯彻落实科技兴国战略和可持续发展战略,弘扬科学精神,繁荣学术思想,展示学科发展风貌,拓宽学术交流渠道,更好地履行中国科协职责的一项重要举措。这套由31卷、近800余万字构成的系列学科发展报告(2006—2007),对本学科近两年来国内外科学前沿发展情况进行跟踪,回顾总结,并科学评价了近年来学科的新进展、新成果、新见解、新观点、新方法、新技术等,体现了学科发展研究的前沿性;报告根据本学科的发展现状、动态、趋势以及国际比较和

战略需求,展望了本学科的发展前景,提出了本学科发展的对策和建议,体现了学科发展研究的前瞻性;报告由本学科领域首席科学家牵头、相关学术领域的专家学者参加研究,集中了本学科专家学者的智慧和学术上的真知灼见,突出了学科发展研究的学术性。这是参与这些研究的全国学会和科学家、科技专家劳动智慧的结晶,也是他们学术风尚和科学责任的体现。

希望中国科协所属全国学会坚持不懈地开展学科发展研究和发布活动,持之以恒地出版学科发展报告,充分体现中国科协“三服务、一加强”(为经济社会发展服务,为提高全民科学素质服务,为科学技术工作者服务,加强自身建设)的工作方针,不断提升中国科协和全国学会的学术建设能力,增强其在推动学科发展、促进自主创新中的作用。

A stylized, handwritten signature in black ink, likely belonging to Shi Dongsheng, positioned above the date.

2007年2月

前 言

《2006—2007 机械工程学科发展报告》是根据中国科协学会部科协学发[2006]96号《关于开展学科发展研究的通知》的要求,在组织“机械工程学科发展研究”基础上编写的。

“机械工程学科发展研究”是中国科协“学科发展研究”项目的子项目。根据中国科协要求,遵照全国科技大会和《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》精神,以及我国机械工程学科和制造业的发展情况,中国机械工程学会组织相关领域的知名专家,重点对建设社会主义和谐社会具有重要作用的机械工程的六个热点问题和前沿领域,即数字制造、智能制造、精密制造、绿色制造、微纳制造和生物制造进行了深入探讨,在充分占有资料和掌握信息的基础上,编写该学科发展报告。

这六个专题分别由各自领域的知名专家牵头,他们是:

数字制造专题:“973”计划数字制造专题首席科学家、上海交通大学丁汉教授;

智能制造专题:哈尔滨工业大学孙立宁教授;

精密制造专题:中国工程院院士、中国机械工程学会特邀理事、《中国机械工程》编委会主任、清华大学柳百成教授;

绿色制造专题:中国机械工程学会理事、合肥工业大学刘光复教授;

微纳制造专题:中国科学院院士、中国机械工程学会特邀理事、微纳米制造技术分会主任委员、大连理工大学王立鼎教授;

生物制造专题:中国机械工程学会常务理事、生物制造工程分会主任委员、中国航天科技集团王至尧研究员。

在专题报告基础上,又组织专家进行了多次研讨,并由本会会刊《中国机械工程》原主编蔡玉麟编审执笔,编写综合报告。编写过程中,清华大学柳百成教授、颜永年教授、雒建斌教授,机械科学研究院李新亚研究员、屈贤明研究员、王金友研究员、刘红旗研究员,华中科技大学宾鸿赞教授、吴波教授,中国机械工程学会第八届副理事长、中国机械工业联合会执行副会长朱森第高级工程师等提出了许多宝贵意见,在此一并表示诚挚的谢意!

本报告可供从事机械工程及相关领域教学、科研工作者了解学科发展、确定研究方向,以及政府、行业组织制定有关政策、规划、计划时参考。

由于项目研究时间较紧,我们对项目研究的要求与精神领会不够深刻,水平有限,不当之处,敬请批评指正。

中国机械工程学会

2006年12月

目 录

序	韩启德
前言	中国机械工程学会

综合报告

机械工程学科发展现状与前景展望	(3)
一、机械工程学科发展概述	(3)
二、近年我国机械工程学科的发展	(4)
三、当前机械工程学科发展的国内外比较	(13)
四、我国机械工程学科前景的展望	(18)
五、结束语	(22)
参考文献	(22)

专题报告

数字制造领域科学技术发展研究	(27)
智能制造领域科学技术发展研究	(47)
精密制造领域科学技术发展研究	(64)
微纳制造领域科学技术发展研究	(85)
生物制造领域科学技术发展研究	(101)
绿色制造领域科学技术发展研究	(124)

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Advances in Mechanical Engineering	(141)
--	-------

Reports on Special Topics

A Survey on Digital Manufacturing	(143)
Development in Intelligent Manufacturing	(143)
Trend of Precision Manufacturing Science and Technology	(144)
Development and Trend of Micro/Nano Manufacturing Science and Technology	(145)
Development in Biomanufacturing	(145)
Development in Green Manufacturing	(146)

综合报告

机械工程学科发展现状与前景展望

一、机械工程学科发展概述

作为最古老的学科之一,机械工程走过了漫长的岁月。18~19 世纪机械工程逐渐形成其理论基础,并逐渐成为现代经济主要支撑的工程技术之一。20 世纪是机械工程学科快速发展的世纪:40~50 年代,在美国出现的计算机技术,以及随后不断涌现的高新技术(如激光技术、网络技术、生物技术、纳米技术等),逐渐融入机械工程之后,使机械工程学科“旧貌换新颜”;在面向经济建设的过程中,市场驱动为机械工程学科的发展增添了巨大的活力;而在科学技术与经济、社会以及自然界的协调发展中,机械工程学科的发展才渐入佳境。

(1)机械制造技术的突破性创新。在传统的机械工程领域(宏观环境下),20 世纪机械制造技术的标志性创新有二:①20 世纪 50 年代在美国出现的数控加工技术是传统的机械工程技术 with 计算机技术结合的开端,它将传统的由工人、机械模板、行程开关产生的加工信息数字化,即用数字代码形式的信息(程序指令)控制按给定的工作程序、运动速度和轨迹进行自动加工,实现了制造技术质的飞跃(机械从“手”的延伸进入到“脑”的延伸)。由此演绎出一系列的现代制造模式:NC、DNC、CNC、CAD/CAM、MC、FMC、FMS、CIMS^[1],将机械工程的信息化、自动化不断演进为智能化(由智能制造单元到智能制造系统,再逐渐走向自组织、自适应、自成形,直至全球制造系统的智能集成)。同时,将机械制造向精密化方向不断推进。②20 世纪 80~90 年代在美国、日本几乎同时出现的快速成形制造技术,是机械工程、计算机技术、信息技术、材料科学技术、激光技术、化工技术等多学科综合的突破性创新,在制造理念(直接从计算机模型产生三维物体,零件是从小到大生长成的)、制造手段(采用黏结、熔接、聚合作用或化学反应等手段)、制造过程(用二维的方法制作出一系列薄片,然后堆叠成三维的零件)、制造周期(省去模具制造、机械加工等过程要消耗的大量时间)等方面都有革命性的突破,不仅使得“一天制造”成为可能^[1-2],而且为探寻生物界的奥秘(如生物制造等)提供了技术支持。

(2)机械制造理论的突破性创新。1959 年美国物理学家、诺贝尔物理学奖得主 R. Frynmam 提出微型机械的设想,但真正被提上日程还是在 20 世纪 80 年代末期。1987 年美国 NSF 启动了第一个微型机电系统(MEMS)计划;日本 1991 年开始实施微型机械技术大型研究开发计划。虽然最早的微机械结构是由电器工程师做出的,然而只有在机械、物理、化学、生物等领域的研究人员都加入后,MEMS 才有了更快的发展。当微型器件和系统的尺寸在微米和纳米量级时,有些宏观规律已不再适用,微型机械技术的发展必然伴随着机械制造理论的重大创新,其基础理论主要涉及微纳尺度及界面物理理想的探讨,研究内容主要有材料的微纳尺度力学性能、微摩擦学、微运动学、微动力学(固态、液

态)、微静电力学、微传热学、微电磁学、微光学、微换能理论、计算机辅助微器件设计与仿真、微结构优化设计、器件可靠性等。

(3)机械制造系统的突破性创新。20 世纪 60 年代美国开始计算机网络技术的研究,到 80 年代进入商业应用。20 世纪 90 年代初,在经济全球化巨大需求的驱动下,在成熟的管理技术(如日本的 TQC、JIT、LP,前苏联的 GT,美国的 MIS、PDM、MRP II、BPR、ERP、SCM 和 process science 等)和网络技术的强大支撑下,美国提出动态联盟、虚拟企业的新战略,即以全球性的分布式网络化制造模式,快速响应市场需求,实现资源的全球最优配置;通过虚拟价值链快速满足顾客价值最大化的根本需求。机械制造系统不再是单个企业与长期合作的有限供应商的稳态组合,而是无国界的、多企业的、短期的、最优的动态系统。这一机械制造系统突破性创新的实现机理不同于机械制造技术与机械制造理论创新,不仅是基于多学科技术的融合,而且是基于制造技术与管理思想的融合,更是机械工程学科与经济的结合。

(4)机械制造哲理的突破性创新。机械制造哲理的突破性创新主要表现在两个方面:①随着世界经济的不断发展,经济总量(与对环境的危害程度正相关)和知识总量(与保护环境知识的成熟程度正相关)达到一定程度后,人们必然会关注科技、经济、社会与环境的均衡发展。1992 年 6 月 3 日~6 月 14 日在里约热内卢举行的联合国环境与发展会议,将可持续发展作为一种发展战略正式提出后,即为国际社会广泛接受。这一战略的实施意味着人类对传统发展模式的反思和对变革的呼唤,意味着人类需要重新认识和调整人与自我、人与人、人与社会、人与自然的关系^[3]。毋庸置疑,这一战略必然会对机械工程的发展产生重大影响——以节能、节约资源、低排放、低(零)污染为重要目标的绿色制造、循环经济悄然兴起。20 世纪 90 年代以来,绿色制造及其相关问题的研究在欧盟、美国、澳大利亚、日本等发达国家非常活跃,并取得了比较成功的应用;②2004 年 9 月召开的中国共产党十六届四中全会明确提出“构建社会主义和谐社会”。对和谐发展环境下的机械制造的研究在我国随之兴起。自然界是由自然环境和生活在其中的生物种群及其生物链组成的,将制造系统还原为一个复杂的社会、经济、科技、人文系统,并实现其与自然界的和谐相处、和谐发展^[4],是实现机械制造哲理突破性创新的关键。

综上所述,经过 20 世纪的快速发展,机械工程学科以趋于成熟的学科体系进入了 21 世纪。科学技术如何在新世纪对经济建设和社会建设作出更大贡献?世界各国都十分关注。在这一历史时期,机械工程学界的重大使命就是大力提高自主创新能力^[5],在吸纳世界先进制造技术最新成就的基础上,以可持续的和谐发展方向,加快我国机械工程学科的发展,为中华民族的复兴和构建社会主义的和谐社会作出应有的贡献!

二、近年我国机械工程学科的发展

观察学科发展历程须从推动学科前进的动因着眼,即从科学技术自身的发展规律、社会需求、与自然界和谐三大视角去观察。

(一)三大视角:机械工程学科发展的动力机制

1. 综合集成——面向科学技术

综合—专业分化—再综合的反复循环,是知识积聚合理的和必经的过程。19世纪,机械工程的知识总量还很有限,在欧洲只是民用工程的一个分支,19世纪下半叶才逐渐成为一门独立的学科。进入20世纪,随着机械工程知识总量的增长,机械工程开始分解,陆续出现专业化的分支学科。到了20世纪中期,专业分化达到最高峰,随后,综合化成为机械工程发展的大趋势^[6]。当今,综合集成创新仍是技术创新的重要方式^[7]。机械工程技术与计算机技术、网络技术的综合,是当前处理机械工程信息流的主体性综合技术。在此基础上,与力学、数学、材料学、管理学、信息论、系统论、控制论、人工智能的进一步综合便出现了数字化、智能化、敏捷化的发展趋势;与微观理论的综合出现了微型化;与生物学、医学的综合出现了生命化;与环境科学与资源科学的综合出现了生态化。

2. 市场驱动——面向经济建设

1985年3月13日中共中央颁布了《关于科学技术体制改革的决定》,确定了“经济建设必须依靠科学技术,科学技术工作必须面向经济建设”的战略方针,以解决科技工作中存在的科技与经济脱节的问题,进而加快了经济的发展。随后,在我国市场经济运行机制不断完善的前提下,在不断提高满足市场需求能力的过程中,机械工程学科的发展逐渐接近国际先进水平:个性化需求推动了柔性化的发展;高质量、高功能、低消耗、低成本需求推动了精密化的发展;快速响应市场变化的需求带动了敏捷化的发展;全球资源优化配置的需求促进了网络化的发展。

3. 和谐发展——面向自然环境

1992年6月在巴西里约热内卢召开的环境和发展首脑会议一结束,我国政府立即行动起来,1992年7月国务院环境保护委员会决定组织编制《中国21世纪议程》。1994年3月25日国务院讨论通过了《中国21世纪议程》,即《中国21世纪人口、环境与发展白皮书》。随后,绿色制造的研究在我国启动,借鉴国际先进经验,以“环境友好性”为内核对机械制造业进行了全方位的技术提升。

2006年10月8日~10月11日在北京举行中国共产党十六届六中全会审议通过了《中共中央关于构建社会主义和谐社会若干重大问题的决定》。在这一大背景下,我国机械工程界积极探索,认真思考和谐发展下的机械制造,力求将环境友好性提升至在探索自然界奥秘的基础上融入自然界。

综上所述,在 market 需求的驱动下,在计算机技术(数字技术)、网络技术等多学科综合集成的支持下,在人类与自然界的和谐发展中,机械工程已经向数字化、智能化、精密化、微型化、生命化、生态化方向发展。

(二)六大趋势:我国机械工程学科发展的时代潮流

1. 数字化

在构成制造系统的物质、能量和信息三大要素中,信息这一要素正在成为制约现代制

造系统的主导因素。数字化就是指以数字计算机为工具,科学地处理机械制造信息的一种行为状态。

数字化技术是指以计算机硬件、软件、信息存储、通信协议、周边设备和互联网络等为技术手段,以信息科学为理论基础,包括信息的数字表达、收集、处理、存贮、传递、传感、仿真、控制、物化、集成和联网等领域的科学技术集合。数字化的本质是将先进的计算模型、计算方法和计算工具应用于制造工程,使得制造装备的行为规律、制造过程中的物理作用机理、制造工艺优化、产品质量控制等研究建立在科学计算基础上。

数字化制造技术包括 CAD/CAM、CNC、FMC、FMS、CAI、MIS、MRP II、ERP、PDM、VM、web-M 等。

数字化革新了传统制造的科学基础,产生了一系列的基础理论和关键技术问题,如产品信息的数字化表示、制造过程的建模与仿真、数字样机技术、开放式数字控制技术等。上述概念用于产品设计和制造过程,形成数字产品、数字制造装备、数字制造技术等研究领域。

数字化技术和高新化的制造技术不断融合,形成了数字制造使能技术群。

(1)以 QFD、CAD、DFX、VM、RP、CAPP、CAE、CAM 以及成形和加工工艺仿真等为代表的面向产品开发、仿真为主的数字制造技术群。

(2)由 NC、NGC、MC、CNC、DNC、FMC、PFMC、FMS、PFMS、无图纸制造和机器人、物流系统等组成的面向加工控制和物流控制的数字制造技术群。

(3)以 IGES、STEP、MRP II、ERP、MIS、MES、PDM、TDM、工程数据库、因特网等为主体的面向生产管理的数字制造技术群。

(4)以网络制造、客户关系管理、供应链管理为代表的面向企业间协作和联盟为主的数字制造技术群。

目前,在产品数字表达方面,研究最多的模型有几何模型、物理模型、知识模型和样机模型,其中几何模型和知识模型多是静态描述性模型,主要用于产品的设计与制造;而物理模型、样机模型是动态仿真模型,它们面向产品的性能分析。获取产品几何信息数字化模型的主要手段包括 CAD、逆向工程以及集成两者的混合方法。数字样机(digital muck-up)技术是数字产品开发的一个重要研究内容。它通过对分布在不同地区、不同领域的多维、多层次信息进行数字化建模,研究设计过程中的产品状态信息数字化和可视化技术、多约束分析与求解方法,实现对产品性能的预测与评价。随着 CAE、计算多体力学等技术的发展,数字样机技术的应用研究已初步具备条件。

我国在数字化制造技术和数字化制造装备方面具有一定的研究基础并取得很大进展。

(1)在 CAD 技术方面,我国工程设计单位 CAD 普及率已接近 100%,机械行业骨干企业 CAD 普及率已达到 80%,并且开发出具有自主知识产权的软件系统。

(2)在数控机床共性技术和关键技术研究上取得了重大突破;数控系统解决了多坐标联动、远程数据传输及控制等技术难题;自主开发了数控龙门加工中心、五轴联动数控加工机床及一大批专门化高性能机床和成套生产线;功能部件基本满足经济型和中低档数控机床配套;产品质量和可靠性不断提高。

(3)Chinanet 网络已于 1994 年在我国建成。全国 40 多万个制造企业在走向市场、参与竞争的过程中,对数字制造技术的需求日益迫切,目前已构建了一批网络化制造应用示范平台。

(4)在快速成形工艺与装备、并联机构机床、产品快速开发集成环境等方面先后有所突破,为我国数字制造技术向纵深发展创造了条件。

近年来,我国政府启动了一批重大项目和重点项目,针对先进制造技术、重大装备等前沿领域开展专项研究。这些计划的实施为数字制造的研究积累了较好的基础。但是,目前在数字装备和数字制造的基础科学技术问题方面缺乏系统深入的多学科交叉研究。

2. 智能化

21 世纪,基于知识的产品设计、制造和管理将成为知识经济的重要组成部分,是制造科学和技术最重要和最基本的特征之一。智能化正是在这一背景下提出并得到了学术界和工业界的广泛关注。智能制造(IM)是美国首先提出的。它的特征是:在制造工业的各个环节以高度柔性 with 高度集成的方式,通过计算机和模拟人类专家的智能活动,进行分析、判断、推理、构思和决策,旨在取代或延伸制造环境中人的部分脑力劳动,并对人类专家的制造智能进行收集、存储、完善、共享、继承与发展。智能制造的目的是:通过集成知识工程、制造软件系统、机器人视觉和机器人控制来对制造工人的技能与人类专家知识进行建模,以使智能机器能够在没有人干预的情况下进行小批量生产。智能制造技术的主要研究内容如下。

(1)智能制造理论及系统设计技术。产品日趋个性化、多样化,产品生命周期日益缩短,更新速度日益加快,使得制造企业的生产方式已由面向产品的生产逐渐转变为面向顾客的生产,制造系统的运行环境越来越充满了不确定性,使得传统的分级递阶制造控制系统(hierarchical manufacturing control system)难以胜任。因此,对复杂、频繁的变化和扰动的处理是目前制造控制系统必须考虑的一个关键问题。作为复杂巨型系统,制造控制系统对自动化理论提出了更高的要求。近年来对分布式人工智能的基础性研究及其在制造系统控制中的应用研究的初步进展表明,分布式多智能体系统以其反应能力和能动能力成为替代传统分级递阶控制结构的富有活力的选择。

(2)智能设计理论、方法及系统。利用图像分析和处理以及智能模式识别技术实现工程图由光栅图到矢量图的智能识别;利用模式识别技术实现由零件的平面投影图到三维立体图的智能三维建模;利用模糊技术和神经网络技术进行产品的可靠性分析、优化设计及设计效果的综合评判;对产品进行基于专家系统与神经网络结合的智能 CAD 造型、有限元分析与虚拟制造。

(3)智能机器人及智能机械。第三代智能型机器人不仅具有感知功能,还具有一定的决策和规划能力。它能根据人的命令或按照所处的环境,自行做出决策,规划动作,即按任务编程。同时它具有由多种外部传感器组成的感觉系统,并拥有自己的知识库及多信息处理系统。随着计算机技术、模糊控制技术、专家系统技术、人工神经网络技术和智能工程技术等高新技术的不断发展,将进一步提高工业机器人学习知识和运用知识解决问题的能力。

(4)智能调度。为解决日益复杂的调度问题,需解决调度系统的结构问题;调度问题的知识表示及有效的求解策略;调度知识获取问题以及有效的调度优化算法的研究。

(5)智能加工、智能检测与控制。利用各种计算智能技术对加工状态(如刀具磨/破损状态)进行实时识别,并对非正常状态进行自适应控制与决策,实现加工状态智能检测、预测与监控;在优化(或约束)目标下,对切削参数进行自学习、自组织或自适应控制,实现加工过程智能控制与优化;利用智能工业机器人实现产品的装配与包装、材料搬运、表面喷涂、焊接、高压水切割等。在产品的在线智能测量方面:利用机器模拟人的视觉功能,采用CCD照相机摄取检测图像并转化为数字信号,再采用先进的计算机硬件与软件技术对图像数字信号进行处理,得到所需要的各种目标图像的特征值,并由此实现模式识别、坐标计算、灰度分布图等多种功能,非接触、快速、高精度地测量产品的几何参数如尺寸精度、形位公差、表面粗糙度等,实现大批量生产过程中的产品在线测量、抽样检查、工况辨识和质量控制。

20世纪80年代末我国将“智能模拟”列入国家科技发展规划的主要课题,已在专家系统、模式识别、机器人方面取得了一批成果。此后,科技部正式提出“工业智能工程”,智能制造是该项工程中的重要内容。1993年,中国国家自然科学基金会重点项目“智能制造技术基础的研究”获准设立,1994年开始实施,由华中科技大学、南京航空航天大学、西安交通大学和清华大学联合承担。研究内容为智能制造基础理论、智能化单元技术(智能设计、智能工艺规划、智能制造、智能数控技术、智能质量保证等)、智能机器(智能机器人、智能加工中心)等。至今,已取得了可喜的研究成果。国际作业已开展,如中、日、韩三方在“智能机器人”领域开展共同合作研究。

3. 精密化

机械工程的精密化是沿着两个方向展开的,即从加工源头(毛坯)着力的精密成形技术和针对毛坯的精密、超精密加工技术。

我国机械工程的精密制造技术发展很快,创新能力得到了提高,已经拥有一批具有自主知识产权的成果。

(1)轻金属精密成形制造技术。采用冷芯盒、砂芯组、锆砂生产铸铝发动机缸体缸盖;成功地开发了流动控制成形(FCF)成套技术;应用阻尼式流动控制成形与模具技术,用于成形安全气囊壳体等多层薄壁结构件;应用背压式流动控制成形与模具技术,用于成形车用涡旋式空调压缩机部件。镁合金零件在汽车、摩托车和3C产业中已经开始获得应用。在铝、镁合金汽车覆盖件冲压成形工艺与模具技术、低成本钛合金汽车零部件近净成形精密制造技术及装备、半固态镁合金零件近/净成形成套技术及装备的研究与应用方面都取得了可喜的成果。

(2)优质、高效精密成形制造技术。研究局部加载和等温约束复合成形等新技术,解决了航空复杂锻件的精确成形、组织和流线控制等关键问题,先后研制成功武器装备上的关键零部件。在钛合金大型结构件等温锻造技术研究方面,研制成功飞机的钛合金框侧部件等温锻件,并已形成了批量生产的能力。在轿车工业中还有很多材料精确成形新工艺,如用精确锻造成形技术生产凸轮轴等零件液压胀型技术、半固态成形、三维挤压法等。

摩擦压力焊新技术近来备受人们关注。近年来,许多单位在高性能铝合金薄壁件内高压成形技术和薄壁管数控弯曲精确成形技术研究方面取得了重要进展,可望在先进武器装备重要构件上实现应用。

(3)激光加工成形制造技术。激光-电弧复合热源焊接技术已在高等院校和研究单位开展研究,但是复合的效果、焊接机理研究不够深入,主要在一些典型零部件上示范应用。采用快速凝固激光熔覆表面加工制造技术,在钛合金、镍基高温合金及铝合金等零件表面上制备出了性能优异的快速凝固多功能涂层材料,在表面制造科学、涂层技术及其超常摩擦学理论研究与应用等方面取得了可喜进展。

(4)高效精密加工制造技术。主要进展有两方面:①数控柔性加工技术已成为主流加工模式。我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要突破。开发出以PC机为平台的数控系统;数控系统的平均无故障时间(MTBF)达到15 000 h以上;解决了多坐标联动、远程数据传输及远程控制、诊断等技术难题。目前已成长起武汉华中数控、广州数控等数控系统专业生产企业,初步形成了一定的规模和品牌。国内主要机床生产单位积极开发适销对路的普及型数控机床产品,逐步成为我国数控机床产业化的主力军。中高档数控机床的开发也取得了较大的进展,自主开发了包括龙门式数控加工中心、五轴联动数控龙门铣床、五轴联动加工中心以及一大批专门化高性能机床和成套生产线等。②以高速、高效为先导的高效加工技术日趋深化应用。高速、高效的数控机床基础理论研究有了大幅度的提高,加工中心的主轴最高转速普遍由6 000 r/min提高到8 000 r/min,最高可达12 000 r/min,数控车床主轴最高转速提高至4 000~6 000 r/min;快移速度则由24 m/min提高到32~48 m/min;加工中心的自动换刀时间由2.5~5 s减少至1.5~3 s。

高速切削材料也有很大的发展,成功地研发了陶瓷刀具材料、复合涂层硬质合金刀具材料和PCBN刀具材料。山东大学还系统地研究了 Al_2O_3 基陶瓷刀具在高速硬切削时的切削力、刀具磨损和破损、加工表面质量以及刀具几何形状等变化规律及优化编程技术。

在高速磨削方面,砂轮线速度已普遍由30~35 m/s提升至45~50 m/s,湖南大学国家高效磨削工程技术研究中心已生产出砂轮线速度为60~120 m/s的高速磨床,并正在研究砂轮线速度达150~200 m/s的超高速磨削工艺,砂轮使用寿命提高8.5倍,单位时间内单位宽度砂轮的材料切除率 Z_w 由普通磨削速度的 $10 \text{ mm}^3/(\text{mm}\cdot\text{s})$ 提高到60~200 $\text{mm}^3/(\text{mm}\cdot\text{s})$,可为大批量生产过程带来很大的效益。

高效加工除应用高速切削/磨削来提高材料切除率和采取快移速度和快速交换刀具、工件等来减少辅助时间外,还对高效切削/磨削方法、完全加工技术、可重构加工技术三方面的高效加工技术进行了研究和推广应用。

(5)超精密加工技术。超精密加工技术是指对近净成形预加工的零件通过精细的机械、电子、激光、声波和化学等一种或多种能量的综合作用,使被加工表面的精度达到亚微米级以上的制造技术。国内有不少单位进行超精密加工技术的研究。已研发出主轴径跳精度优于0.05 μm 的主轴单元、运动直线度优于0.1 $\mu\text{m}/200 \text{ mm}$ 的导轨运动副和测量