



- 国家级职业教育培训规划教材
- 劳动保障部培训就业司推荐

G

GUOJIAJI ZHIYE JIAOYU PEIXUN GUIHUA JIAOCAI

金蓝领技师教育培训教材

JINLANLING
JISHI JIAOYU
PEIXUN JIAOCAI

数控技术/模具设计与制造

先进制造技术

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

AODONG HE SHEHUI BAOZHANGBU

JIAOCAI BANGONGSHI

ZUZHI BIANXIE



中国劳动社会保障出版社



■ 国家级职业教育培训规划教材

■ 劳动保障部培训就业司推荐

G

GUOJIAJI ZHIYE JIAOYU PEIXUN GUIHUA JIAOCAI

数控技术/模具设计与制造

金蓝领技师教育培训教材

JISHI JIAOYU
PEIXUN JIAOCAI

数控技术/模具设计与制造

先进制造技术

主编 陆素梅 副主编 吴宝伟 夏冬青
主审 傅水根

ADDONGHESHIMENGJIAOSHANGJIAN

JIAOCAI BANGONGSHI



中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术/陆素梅主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2007

金蓝领技师教育培训教材

ISBN 978 - 7 - 5045 - 6631 - 7

I. 先… II. 陆… III. 机械制造工艺-技术培训-教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 136458 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 张梦欣

*

北京乾沅印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.5 印张 241 千字

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

定价: 19.00 元

读者服务部电话: 010 - 64929211

发行部电话: 010 - 64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010 - 64954652

为贯彻落实《中共中央办公厅国务院办公厅关于进一步加强高技能人才工作的意见》（中办发〔2006〕15号）和《高技能人才培养体系建设“十一五”规划纲要（2006—2010年）》（劳社部发〔2007〕10号），满足技师学院的教学要求，劳动和社会保障部教材办公室组织一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的双师型教师与行业、企业一线专家，在充分调研的基础上，共同研究、开发技师学院数控技术、模具设计与制造、电气自动化专业课程，并编写了23门主干课程的教材。

在教材的编写过程中，我们努力做到以下几点：

1. 从企业生产实际中选取针对性强的课题，在对课题进行统筹安排的前提下，采用任务驱动编写思路组织课题训练内容与相关知识，模拟展现企业的生产过程。
2. 分别参照国家职业标准数控车工（技师）、数控铣工（技师）、加工中心操作工（技师）、维修电工（技师）、二级模具设计师的要求，确定相关教材内容的广度和深度，便于鉴定考核工作的顺利开展。
3. 根据企业、行业发展需要，较多编入新技术、新工艺、新设备、新材料的内容，以适应现代行业、企业发展的需要，保证教材的先进性。
4. 采用以图代文的表现形式，精彩展现教材内容，降低学生的学习难度，激发学习兴趣。

在上述教材的编写过程中，得到有关省市教育部门、劳动和社会保障部门、技师学院、高职院校以及相关行业、企业的大力支持，教材的诸位主编、参编、主审等做了大量的工作，在此我们表示衷心的感谢！同时，恳切希望广大读者对教材提出宝贵的意见和建议，以便修订时加以完善。

劳动和社会保障部教材办公室

2007年6月

本书为国家级职业教育培训规划教材，由劳动保障部培训就业司推荐。

本书根据劳动和社会保障部颁发的金蓝领技师教育培训教学计划和教学大纲，由劳动和社会保障部教材办公室组织编写。主要内容包括先进制造技术概述、先进制造工艺技术、制造自动化技术、先进生产制造模式。

本书为金蓝领技师教育培训数控技术/模具设计与制造专业教材，也可作为企业技师培训教材和自学用书。

本书由陆素梅主编，吴宝伟、夏冬青任副主编，傅水根主审。

目 录

第一章 先进制造技术概述

- § 1.1 先进制造技术的概念与特点 /1
- § 1.2 先进制造技术的应用 /2
- § 1.3 先进制造技术的分类 /9

第二章 先进制造工艺技术

- § 2.1 材料受迫成形技术 /25
- § 2.2 超精密加工技术 /36
- § 2.3 高速加工技术 /48
- § 2.4 快速原型制造技术 /58
- § 2.5 微细加工技术 /66
- § 2.6 表面工程技术 /72
- § 2.7 现代特种加工技术 /82

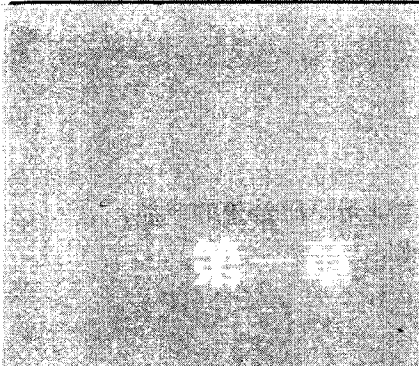
第三章 制造自动化技术

- § 3.1 机床数控技术 /99
- § 3.2 工业机器人 /117
- § 3.3 柔性制造技术 /124

第四章 先进生产制造模式

- § 4.1 计算机集成制造 /135
- § 4.2 并行工程 /139
- § 4.3 精益生产 /145
- § 4.4 敏捷制造 /152
- § 4.5 智能制造系统 /156

参考文献 /161



§ 1.1 先进制造技术的概念与特点

一、先进制造技术的概念

先进制造技术（Advanced Manufacturing Technology, AMT）是以提高制造企业综合效益为目的，以人为主体的，以计算机技术为支柱，综合利用信息、材料、能源、环保等高新技术以及现代系统管理技术，对传统制造过程中与产品在整个寿命周期中的使用、维护、回收利用等有关环节进行研究并改造的所有适用技术的总称。AMT 这一全新概念的提出，立即受到世界各国政府、企业界和学术界的高度重视，并称之为面向 21 世纪的技术。因为先进制造技术的主要特征是强调实用性，它以提高企业综合经济效益为目的，所以被认为是提高制造业竞争能力的主要手段，对促进整个国民经济的发展有着不可估量的影响。

二、先进制造技术的特点

由以上定义可以看出，先进制造技术具有如下特点：

1. 先进制造技术贯穿了从产品设计、加工制造到产品销售及使用维修等全过程，成为“市场—产品设计—制造—市场”的大系统。而传统制造技术一般单指加工过程。
2. 先进制造技术充分应用计算机技术、传感技术、自动化技术、新材料技术、管理技术等最新成果，各专业、学科间不断交叉、融合，其界限逐渐淡化甚至消失。
3. 先进制造技术是技术、组织与管理的有机集成，特别重视制造过程组织和管理体制的简化及合理化。先进制造技术又可看做是硬件、软件、人才和支持网络（技术的与社会的）的综合与统一。
4. 先进制造技术并不追求高度自动化或计算机化，而是通过强调以人为中心，实现自主和自律的统一，最大限度地发挥人的积极性、创造性和相互协调性。
5. 先进制造技术是一个高度开放、具有高度自组织能力的系统，通过大力协作，充分、合理地利用全球资源，不断生产出最具竞争力的产品。

6. 先进制造技术的目的在于能够以最低的成本、最快的速度提供用户所希望的产品，实现优质、高效、低耗、清洁、灵活生产，并取得理想的技术经济效益。

与传统制造技术比较，先进制造技术具有如下特征，见表 1—1—1。

表 1—1—1 先进制造技术与传统制造技术的比较

	先进制造技术	传统制造技术
系统性	能驾驭生产过程 物质流、信息流和能量流	仅驾驭生产过程 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	仅指将原材料变为成品的加工 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，相互间 界限分明
动态性	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	—

§ 1.2 先进制造技术的应用

先进制造技术在各领域广泛应用，比如在高速列车上的应用涉及多个学科，如轮轨系统动力学、城市轨道交通、机车车辆检测、故障诊断及控制技术、牵引自动化技术等，如图 1—2—1 所示。飞机制造技术正沿着生产工艺依赖经验型向工艺模拟、仿真、实时监控、智能化制造方向发展；零件加工成形连接技术正朝着增量成形、高速切削、高能束加工、精密成形等低应力、小变形、低能耗、长寿命结构制造方向发展；从单个零件制造向整体结构制造技术及近无余量制造技术发展；从手工劳动、半机械化、机械化向数控化、柔性化、自动化技术方向发展；从一般铝合金结构的制造向以钛合金为代表的高性能轻合金结构、复合材料结构制造技术方向发展；向材料制备与构件成形同时制造发展；向信息化、数字化及设



图 1—2—1 高速列车

计/制造一体化方向发展。现代飞机制造技术正处在一个新的变革时代,它将为新一代飞机研制提供更为先进的技术,如图 1—2—2 所示为采用现代飞机制造技术研制的大型客机。再如在生产加工方面,可以借助激光测头扫描工艺品,进行激光数字采集和加工。如图 1—2—3 和图 1—2—4 所示。



图 1—2—2 大型客机

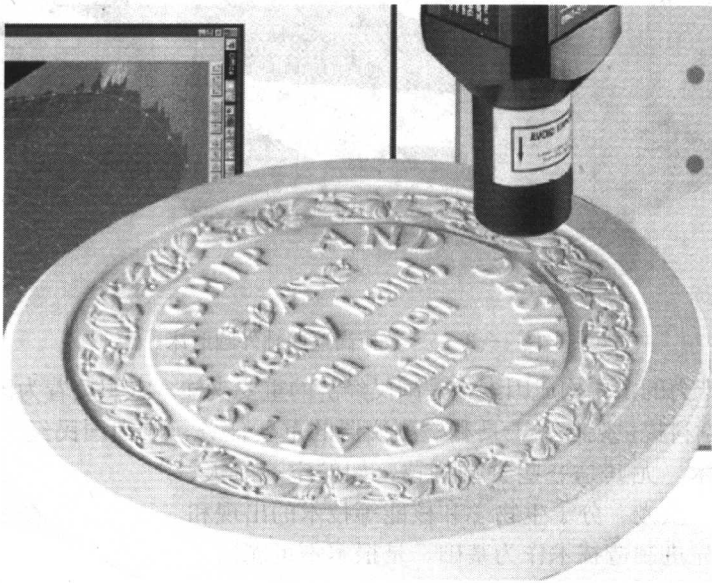


图 1—2—3 借助激光测头扫描工艺品

如图 1—2—5 所示是湖南大学研制的数控高速曲轴外圆磨床,采用原装进口计算机及交流伺服驱动系统控制机床各运动轴,配备径向、轴向在线自动测量仪和砂轮自动平衡系统及消空程和防碰撞装置,并可采用光栅尺实现全闭环控制。跟刀架采用伺服电动机自动跟刀。砂轮采用金刚石滚轮修整或金刚刀修整,具有砂轮磨损补偿和自动修整补偿功能。机床采用全封闭结构,外形美观大方,工作安全可靠。

近十年来,由于先进制造技术在产品设计技术、先进制造工艺和设备、制造业自动化以及制造系统管理及集成方面取得了突破性发展,为制造企业提升国际竞争力作出了贡献。先

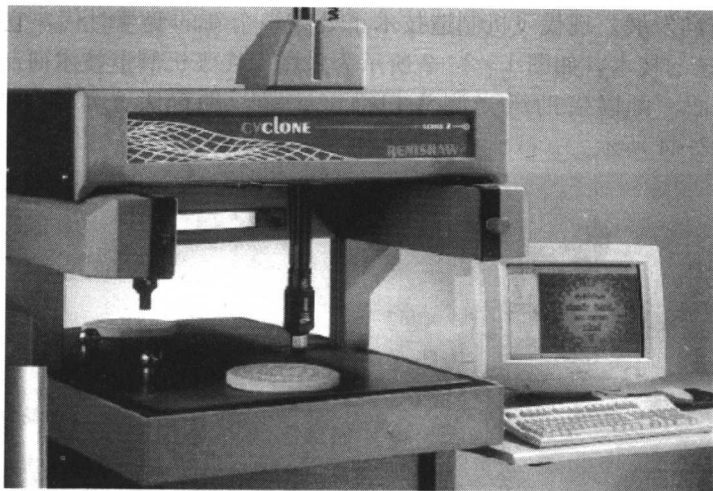


图 1—2—4 激光数字化仪

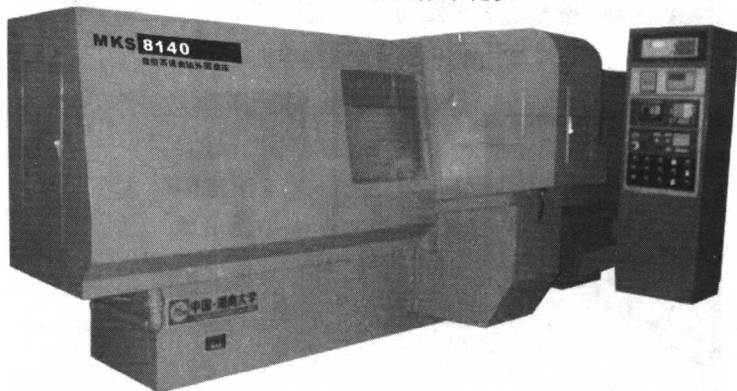


图 1—2—5 数控高速曲轴外圆磨床

进制造技术是生产力的主要构成因素，是国民经济的重要支柱。它担负着为国民经济各部门和科学技术的各个学科提供装备、工具和检测仪器的重要任务，成为国民经济和科学技术赖以生存和发展的技术。尤其是一些尖端科技，如航空、航天、微电子、光电子、激光、分子生物学和核能等技术的出现和发展，如果没有先进制造技术作为基础，是根本不可能的。

现在先进制造技术的应用，主要可以归纳为以下 10 个方面：

一、计算机辅助设计/计算机辅助制造/计算机辅助工程 CAD/CAM/CAE（见图 1—2—6）

模具 CAD/CAM/CAE 系统的集成关键是建立单一的图形数据库，在 CAD、CAM、CAE 各单元之间实现数据的自

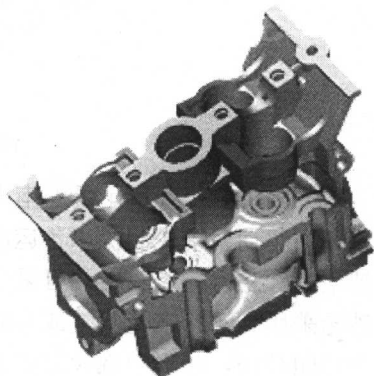


图 1—2—6 Pro/ENGINEER 软件的集成制造技术

动传递与转换,使 CAM、CAE 阶段完全吸收 CAD 阶段的三维图形,减少中间建模的时间和误差;借助计算机对模具性能、模具结构、加工精度、金属液体在模具中的流动情况及模具工作过程中的温度分布情况等进行反复修改和优化,将问题发现于正式生产前,大大缩短了模具制造时间,提高了模具加工精度。

二、快速原型制造 (RPM) (见图 1—2—7、图 1—2—8 和图 1—2—9)

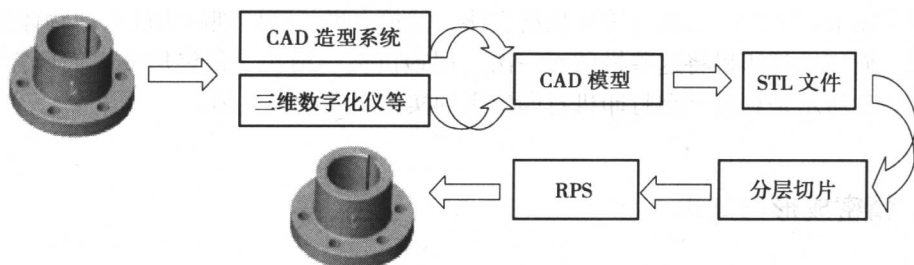


图 1—2—7 RPM 技术的基本原理

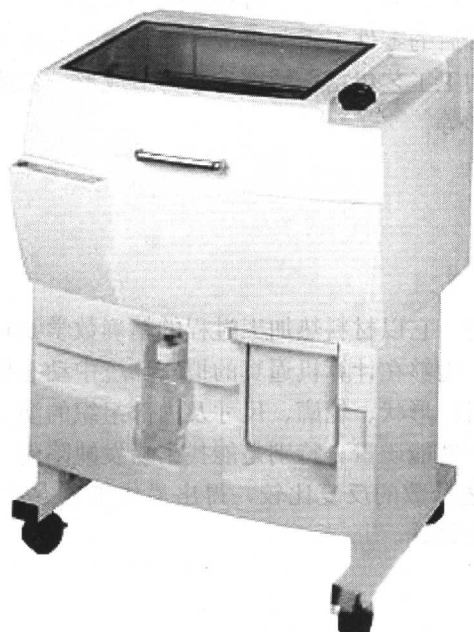


图 1—2—8 三维打印机

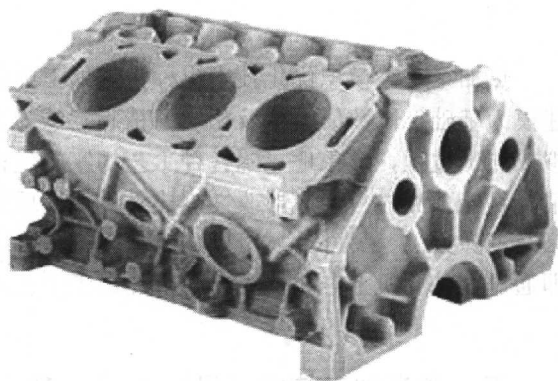


图 1—2—9 三维打印机打印出的实体—发动机机体

RPM 技术是在现代 CAD/CAM 技术、激光技术、计算机数控技术、精密伺服驱动技术以及新材料技术的基础上集成发展起来的。RPM 技术的基本原理是:将计算机内的三维 CAD 数据模型进行分层切片,得到各层截面的轮廓数据,计算机据此信息控制激光器(或喷嘴)有选择性地烧结一层接一层的粉末材料(或固化一层又一层的液态光敏树脂,或切割

一层又一层的片状材料,或喷射一层又一层的热熔材料或黏合剂),形成一系列具有一个微小厚度的片状实体,再采用熔结、聚合、黏结等手段使其逐层堆积成一体,便可以快速制造出所设计的新产品样件、模型或模具。不同类型的 RPM 系统所用的成型材料不同,系统的工作原理也有所不同,但其基本原理都是一样的,那就是“分层制造、逐层叠加”。当然,整个过程是在计算机的控制下由 RPM 系统自动完成的。

三维打印机通常被称为“快速成型机”。它通过对计算机中三维软件的识别,进行 STL(三角网格式)转换,再结合切层软件确定摆放方位和切层路径,并进行切层工作和相关支撑材料的构造,最后使用喷头将固态的线型成型材料加热成半熔融状态之后挤出来,和支撑材料自下而上,一次一层地构筑成最终实体。简单点说,可以理解为软件把物体分成若干个横截面,而三维打印机将这些横截面一次一层地沉淀、堆积,最终形成人们所需的实体。如图 1—2—9 所示是利用三维打印机打印出来的实体—发动机机体。

三、精密成形与加工

在传统的“材料去除”工艺中,要切除大量的材料,才能形成满足形状、精度和表面粗糙度要求的零件。这种成形过程要消耗大量能源和材料。为了消除“材料去除”工艺的这些缺陷,大力发展了各种少、无切削加工工艺,使成形后的零件不需要再进行加工或只要很少的切削加工就可得到最终产品。常见的少、无切削加工工艺包括:精密洁净铸造成形、精确金属塑性成形、粉末锻造成形和高分子材料注射成形等。

四、热加工工艺模拟优化技术

热加工工艺模拟优化技术也称为热加工虚拟制造,它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,形象地显示各种工艺的实施过程及材料形状、轮廓、尺寸及内部组织的演变情况,能预测材料经成形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。另外,还可以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,即通过在计算机上修改构思,实现热加工工艺的优化设计。

五、激光加工技术(见图 1—2—10)

激光熔覆与合金化技术是利用自动送粉器将合金粉末同步送到激光熔池中,使合金粉末与金属基体同时熔化,形成金属覆盖层的工艺过程。与传统的热喷焊或者堆焊工艺相比,激光熔覆层变形小,应力低,对基体的稀释率低,组织致密,微观缺陷少,结合强度高,熔覆层的尺寸大小和位置可以精确控制,特别是熔覆层的成分可以根据工况的需求方便调节,因

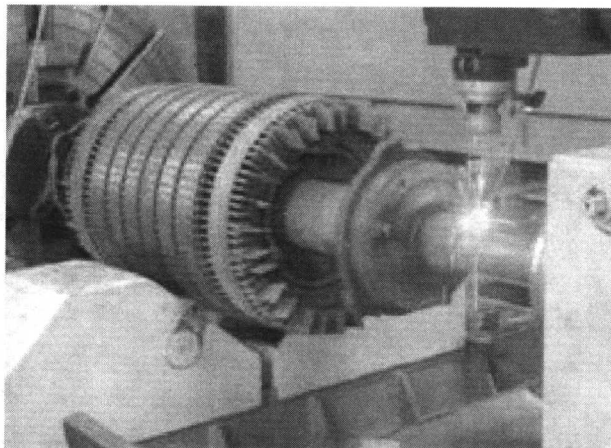


图 1—2—10 电机转子轴颈修复、激光熔覆

此，非常适合于一些工件的表面强化与修复。

激光熔覆与合金化技术可对各种大型轴类零件如电动机与发电机组转子、各种模具、轧辊、大型曲轴与连杆等零件进行表面强化与修复，还可以对铝合金、铜合金工件进行激光熔覆。

六、数控机床技术（见图 1—2—11）

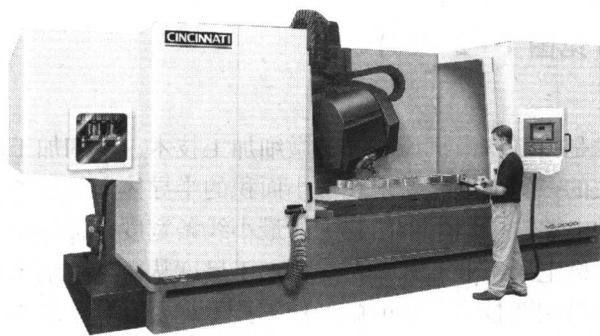


图 1—2—11 V5 五轴联动加工中心

数控加工中心正朝着五轴控制的方向发展。五轴联动加工中心有高效率、高精度的特点，工件一次装夹就可完成五面体的加工。如果配置上五轴联动的高档数控系统，还可以对复杂的空间曲面进行高精度加工，更能够适宜像汽车零部件、飞机结构件等现代模具的加工。

七、现场总线技术（见图 1—2—12）

现场总线（Fieldbus）是近年来迅速发展起来的一种工业数据总线，它主要解决工业现场的智能化仪器仪表、控制器、执行机构等现场设备间的数字通信以及这些现场控制设备和



图 1—2—12 美国哈斯公司加工中心生产线

高级控制系统之间的信息传递问题。由于现场总线简单、可靠、经济实用等一系列突出的优点，因而受到了许多标准团体和计算机厂商的高度重视。

八、微型机械（见图 1—2—13）

微型机械加工技术是指制作微机械装置的微细加工技术。微细加工的出现和发展是与大规模集成电路密切相关的，集成电路要求在微小面积的半导体上能容纳更多的电子元件，以形成功能复杂而完善的电路。电路微细图案中的最小线条宽度是提高集成电路集成度的关键技术标志。微细加工对微电子工业而言，是一种加工尺度从微米到纳米量级的制造微小尺寸元器件或薄膜图形的先进制造技术。目前微型加工技术主要有基于从半导体集成电路微细加工工艺中发展起来的硅平面加工和体加工工艺，20 世纪 80 年代中期以后在 LIGA 加工（微型铸模电镀工艺）、准 LIGA 加工、超微细加工、微细电火花加工（EDM）、等离子束加工、电子束加工、快速原型制造（RPM）以及键合技术等微细加工工艺方面取得相当大的进展。

极端严格的机床导轨加工技术使机床达到了非常高的工作精度和稳定性，带有自动定位的卡盘实现了严格的定位精度。精密的主轴可以保证长期持久的准确性，可在任意角度进行多种操作，提供多种功能的高精度铣床。

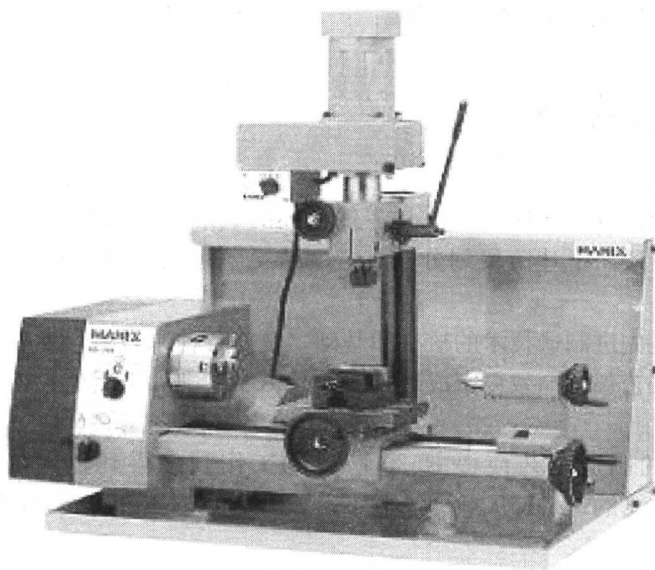


图 1—2—13 微型超精密加工机床

九、计算机集成制造 (CIMS)

集成制造是将制造企业的全部生产经营活动,即从市场分析、产品设计、生产规划、制造、质量保证、经营管理至产品售后服务等,通过数据驱动形成一个有机整体,以获得一个高效益、高柔性、智能化的大系统。

十、制造分散网络化模式

将产品制造中的产品开发、市场营销、加工制造、装配调试等方面,利用不同地区的资源和优势,将它们分散在不同地点,通过企业内部网络和国际互联网加以连接,实现文件、数据、图像和声音的同时传送,各企业间的刀具和夹具的管理,零件图纸数控程序的编制方法、管理和分配,以及数控机床使用等进行统一管理的制造模式。

该制造模式可以根据目标和环境的变化进行组合,动态地调整组织结构,实时地进行资产重组,实现社会资源的优化。

§ 1.3 先进制造技术的分类

根据先进制造技术在实际生产中的应用情况的不同,可以将其分为先进制造工艺技术、

制造自动化技术和先进生产制造模式三种。

一、先进制造工艺技术

传统机械制造工艺分为三个阶段，一是零件毛坯的成形准备阶段，二是机械切削加工阶段，三是改性处理阶段。上述阶段划分在先进制造工艺领域逐渐模糊、交叉，甚至合而为一。

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。先进制造工艺包括高效精密成形技术、高精度切削加工工艺、特种加工以及改性技术等内容。

ATI 依靠先进的制造工艺使得 R520 芯片的工作频率得到很大的提高，16 管线的 X1800XT 在对抗 24 线的 7800GTX 时丝毫不落下风，而且在部分项目中优势明显，如图 1—3—1 所示。

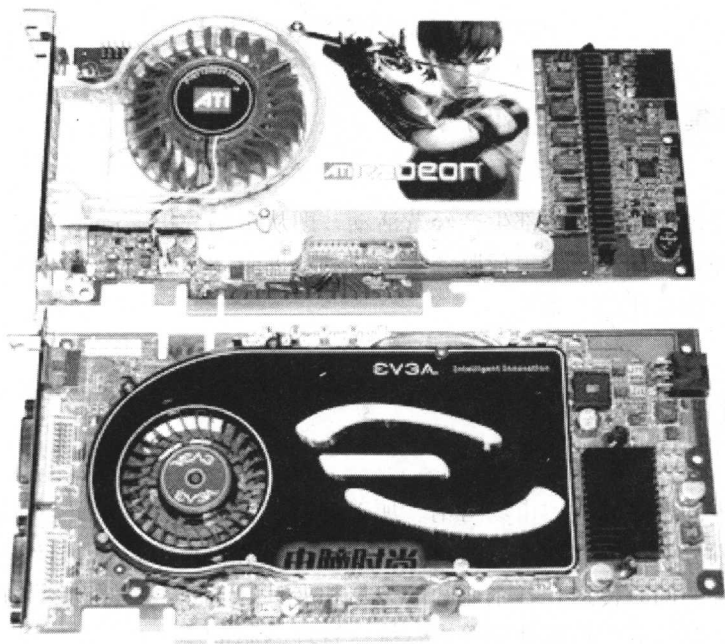


图 1—3—1 ATI 高端显卡 R520 芯片

航空工业飞机的铝合金零件、薄层腹板件等直接高速切削加工，不再铆接；汽车制造高速加工中心将柔性生产线效率提高到组合机床生产线水平；模具制造对淬硬钢模具型腔直接加工，省略电加工和手工研磨等工序。如图 1—3—2 所示为 DIC—45/5 轴精密高速轮廓加工机床。

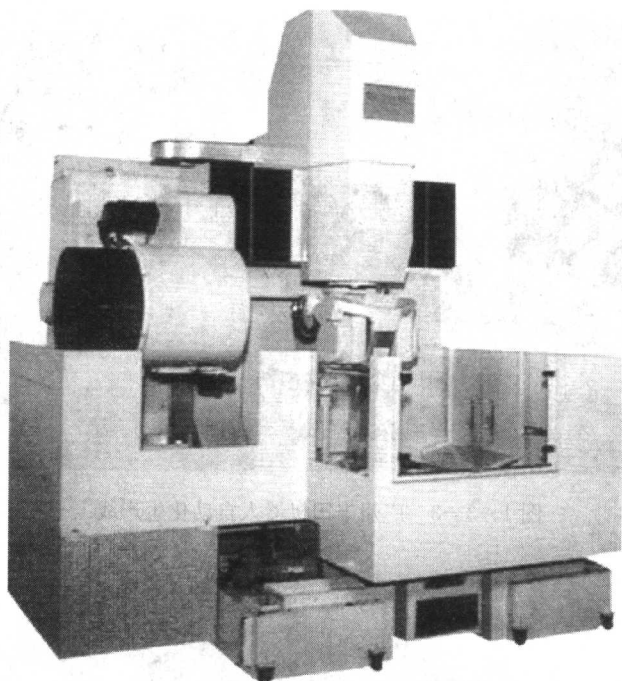


图 1—3—2 DIC—45/5 轴精密高速轮廓加工机床

二、制造自动化技术

制造自动化是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数控技术、工业机器人技术、柔性制造技术、传感技术、自动检测技术和信号处理等内容。其目的在于减轻操作者的劳动强度，提高生产效率，减少在制品数量，节省能源消耗及降低生产成本。

广州丰田是丰田汽车最现代化的工厂，其中冲压、焊接、涂装均采用全自动生产线，如图 1—3—3 所示，其使用各种类型的机器人达 400 台，有效保证了丰田汽车的制造品质和生产效率。

典型的柔性制造系统一般由 3 个子系统组成，如图 1—3—4 所示。它们是加工系统、物流系统、控制与管理系统，其组成框图如图 1—3—5 所示。3 个子系统的有机结合构成了一个制造系统的能量流（通过制造工艺改变工件的形状和尺寸）、物流（主要指工件流和刀具流）和信息流（制造过程的信息和数据处理）。