



普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材
普通高等教育“十二五”规划教材



金属工艺学

主编 李长河 杨建军



科学出版社

普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材
普通高等教育“十二五”规划教材

金属工艺学

主 编 李长河 杨建军
副主编 刘琨明 张 霞 胡耀增

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是按照高等学校机械学科本科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求,结合教育部本科教学质量与教学改革工程“专业综合改革试点”项目、国家级特色专业、卓越系列教育培养计划、山东省名校建设工程,以及编者所在学校的教育教学改革、课程改革经验的基础上编写而成的普通高等教育教材。全书主要包括绪论、铸造、压力加工、焊接、切削加工等内容,每章后面附有习题与思考题。

本书在教学内容上可针对不同的专业进行取舍,理顺了与先导课程、后续课程之间相互支撑的关系,整合了课程体系中内容重叠的部分,落实了知识盲点的讲解。本书十分重视学生获取知识、分析问题及解决工程技术问题能力的培养,特别注重学生工程素质与创新能力的提高。为此,在本教材的编写内容上既理论密切联系生产实际,同时又介绍了机械制造的新技术、新工艺。

本书可作为高等学校机械类、近机类各专业的教材和参考书,也可作为高职类工院校及机械工程技术人员的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学/李长河,杨建军主编. —北京:科学出版社,2014.5

普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材·普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-040409-1

I. ①金… II. ①李… ②杨… III. ①金属加工-工艺学-高等学校-教材 IV. ①TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第072948号

责任编辑:邓静 张丽花 / 责任校对:郑金红

责任印制:闫磊 / 封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年5月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年5月第一次印刷 印张:13 1/2

字数:354 000

定价:33.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

“金属工艺学”是高等工科院校机械类、近机类各专业的一门重要的技术基础课程，是联系基础课、实践教学和专业课之间的纽带。“金属工艺学”课程是学生进入专业领域学习的先导课程之一，内容涉及机器制造的主要环节：毛坯生产（包括铸造、压力加工以及焊接等）和零件加工，是机械类专业建立机器制造相关知识与技能的基础平台。

本书是根据全国高等学校“金属工艺学”课程教学大纲要求，按照近几年来全国高等学校教学改革的有关精神，再结合编者多年教学实践，并在参考了国内外有关资料和书籍的基础上编写而成。全书突出体现了以下特点：

（1）紧密结合教学大纲，在内容上注重加强基础、突出能力的培养，做到系统性强、内容少而精。

（2）本书体现了机械制造理论与实践相结合，以毛坯/零件主要成形方法的基本原理和工艺特点为主线，全面讲述了材料成形方法的基本原理（热加工：铸造、压力加工、焊接；冷加工：切削加工）和工艺特点，以及典型表面加工分析、切削加工工艺基础、零件结构工艺性等内容。使学生能综合运用已学知识进行材料成形方法和加工方法的选择。

（3）既有传统机械制造的基础知识，又有新技术、新工艺在机械制造领域的应用和发展。

（4）为适应机械制造学科的进步和发展形势需要，各章内容贯穿了制造系统的思想，同时考虑到扩大知识面，适当加入了快速模具和快速铸造先进制造技术等反映国内外新成果、新技术的内容。

（5）全书采用最新国家标准及法定计量单位。

（6）为方便学生自学和进一步理解课程的主要内容，在各章后均编入了一定数量的习题与思考题，做到理论联系实际，学以致用。

本书由青岛理工大学李长河、杨建军担任主编，青岛理工大学刘琨明、青岛理工大学琴岛学院张霞、青岛理工大学临沂校区胡耀增任副主编。本书第1章由李长河编写，第2章由刘琨明编写，第3章由杨建军编写，第4章由张霞编写，第5章由李长河、胡耀增编写。全书由李长河统稿和定稿。

本书承蒙中国海洋大学刘贵杰教授主审。刘贵杰教授提出了许多宝贵的建议，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中得到了许多专家、同仁的大力支持和帮助，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。

本书的出版得到青岛理工大学和科学出版社的大力支持，在此表示衷心感谢！

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

编 者

2014年3月

目 录

前言

第 1 章 绪论 1

- 1.1 本课程的研究内容 1
- 1.2 制造技术的发展及对国民经济贡献 3
 - 1.2.1 制造的相关概念 3
 - 1.2.2 制造业发展的历程 4
 - 1.2.3 制造业对国民经济发展的贡献 5
- 1.3 制造业的变革及挑战 8
 - 1.3.1 制造业的变革 9
 - 1.3.2 制造业面临的挑战 9
- 1.4 制造技术给制造业带来的变革 10
- 1.5 金属工艺技术的发展趋势 11
- 1.6 制造企业对高层次复合型人才的需求 13
- 1.7 本课程学习的方法和要求 14

第 2 章 铸造 16

- 2.1 铸造工艺基础 16
 - 2.1.1 液态合金的充型 16
 - 2.1.2 铸件的凝固与收缩 19
 - 2.1.3 铸造内应力 21
 - 2.1.4 铸件的变形和裂纹 23
 - 2.1.5 铸件的质量控制 24
- 2.2 合金铸件的生产工艺 26
 - 2.2.1 铸铁件生产 26
 - 2.2.2 铸钢件生产 28
 - 2.2.3 铜、铝合金铸件生产 29
- 2.3 砂型铸造 32
 - 2.3.1 造型方法的选择 32
 - 2.3.2 浇注位置和分型面的选择 34
 - 2.3.3 工艺参数的选择 39
 - 2.3.4 铸造工艺图 40
 - 2.3.5 综合分析举例 40

2.4 近净成形精密铸造 42

- 2.4.1 熔模铸造 42
- 2.4.2 金属型铸造 43
- 2.4.3 压力铸造 44
- 2.4.4 低压铸造 45
- 2.4.5 离心铸造 45
- 2.4.6 其他特种铸造方法 46

2.5 砂型铸件的结构设计 49

- 2.5.1 铸件结构与铸造工艺的关系 49
- 2.5.2 铸件结构与合金铸造性能的关系 51

习题与思考题 53

第 3 章 压力加工 54

- 3.1 金属的塑性变形 54
 - 3.1.1 金属塑性变形的实质 54
 - 3.1.2 塑性变形对组织和性能的影响 56
 - 3.1.3 回复与再结晶 57
 - 3.1.4 金属的热加工 58
 - 3.1.5 金属的锻造性 59
- 3.2 自由锻 61
 - 3.2.1 自由锻工序 62
 - 3.2.2 自由锻工艺规程的制定 64
 - 3.2.3 自由锻锻件的结构工艺性 65
- 3.3 模锻 67
 - 3.3.1 锤上模锻 67
 - 3.3.2 压力机上模锻 73
 - 3.3.3 胎模锻 76
- 3.4 板料冲压 77
 - 3.4.1 分离工序 78
 - 3.4.2 成形工序 81
 - 3.4.3 冲模 84
- 3.5 近净成形压力加工 86
 - 3.5.1 精密模锻 86
 - 3.5.2 零件挤压 87
 - 3.5.3 零件轧制 88

3.5.4 超塑性成形	90	4.4.4 焊缝位置的布置	127
3.6 快速模具制造技术	90	习题与思考题	129
3.6.1 用快速原型直接制造模具	91	第5章 切削加工	133
3.6.2 用快速原型间接制造模具	91	5.1 切削加工基础	133
习题与思考题	93	5.1.1 金属切削基本理论	133
第4章 焊接	94	5.1.2 金属切削过程及主要物理现象	143
4.1 熔焊	95	5.1.3 金属切削机床的基本知识	157
4.1.1 焊接电弧	96	5.2 典型表面加工分析	162
4.1.2 焊条	97	5.2.1 外圆表面的加工	163
4.1.3 焊接的接头	99	5.2.2 内圆表面的加工	164
4.1.4 焊接应力与变形	102	5.2.3 平面的加工	165
4.1.5 其他熔焊方法简介	104	5.2.4 成形面的加工	166
4.2 压焊与钎焊	111	5.2.5 螺纹表面的加工	167
4.2.1 压焊	111	5.2.6 齿轮齿形的加工	170
4.2.2 钎焊	113	5.3 切削加工工艺基础	173
4.3 常用金属材料的焊接	113	5.3.1 机械加工工艺的基本知识	173
4.3.1 金属材料的焊接性	114	5.3.2 零件机械加工工艺的制定	178
4.3.2 碳钢的焊接	115	5.3.3 典型零件的加工工艺过程	188
4.3.3 合金钢的焊接	116	5.3.4 工艺过程的生产率和经济性	195
4.3.4 铸铁的焊补	117	5.4 零件结构工艺性	195
4.3.5 非铁合金材料及其合金的焊接	118	5.4.1 零件结构工艺性基础知识	195
4.4 焊接结构设计	121	5.4.2 零件结构的切削加工工艺性	197
4.4.1 焊接结构材料的选择	122	5.4.3 零件结构的装配工艺性	205
4.4.2 焊接方法的选择	123	习题与思考题	207
4.4.3 焊接接头的工艺设计	124	参考文献	210

第 1 章 绪 论

1.1 本课程的研究内容

“金属工艺学”课程是研究金属材料成形和零件加工方法的综合性技术基础课程，是现代工程材料和装备制造学科领域的重要组成部分，是高等工科教育的重要内容，是完成素质教育和应用基础型特色名校人才培养目标的重要课程。“金属工艺学”在专业培养目标中的定位是专业必修的基础课程，主要讲授各种材料成形方法本身的规律性及其在机械制造中的应用和相互联系，金属零件加工工艺过程和结构工艺性，常用金属材料的性能对加工工艺的影响，工艺方法的综合比较等。

“金属工艺学”课程的目标是通过课程学习，使学生了解材料成形工艺（热加工——铸造、压力加工、焊接；冷加工——切削加工）在机械制造中的作用，能综合运用已学过的知识进行材料成形方法和加工方法的选择。“金属工艺学”课程是学生进入专业领域学习的先导课程之一，内容涉及机器制造的主要环节：毛坯生产（包括铸造、压力加工以及焊接等）和零件加工，为机械类专业建立机器制造相关知识与技能的基础平台。课程主线与主要内容如图 1-1 所示。

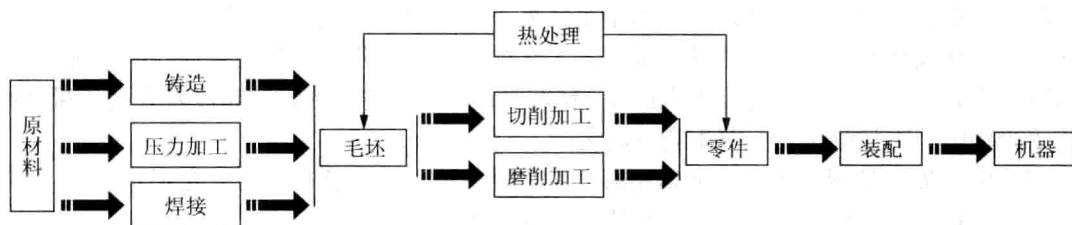


图 1-1 “金属工艺学”课程的主要研究内容

大部分机械零件由于形状复杂或者加工精度和表面质量要求较高，难以采用单一的方法直接生产，通常先用铸造、压力加工或焊接方法制成毛坯，再经过切削加工或者磨削加工的方法制成所需的零件。而且，为了易于进行切削/磨削加工和改善零件的某些性能，中间常需穿插不同的热处理工艺。最终将制成的各种零件经过装配、检验成为成品（机器）。

现代工业应用的机器设备，无论是航空航天、武器装备，还是机电产品，大多是由金属零件装配而成的，将金属材料或毛坯加工成合格的零件，再由零件装配成满足装配精度和使用要求的机器是机器设备的基本生产过程。

机械制造过程是指产品从原材料经加工后获得预定的形状和组织性能的过程，由于成形过程的不同，可分为热加工和冷加工。热加工是采用物理、化学等方法使材料转移、去除、结合或改性，从而高效、低耗、少无余量地制造优质半成品或精密零部件的加工方法，包括铸造、压力加工、焊接、热处理与表面处理等技术。冷加工是指原材料经去除加工获得预定形状与表面质量，传统的加工方法有切削、磨削加工等技术。热加工的研究重点是获得优质

高效成形与改性的基础理论和相应装备的关键技术,以及质量控制和工艺模拟等方面的研究。冷加工方面侧重于超高速、超精密方面的切削、磨削基础理论及关键技术的研究。

制造工艺主要包括热处理与表面改性、铸造、压力加工、焊接、切削、磨削等技术领域。

(1) 热处理是充分发挥金属材料潜力的实现机械产品使用性能的重要途径,通过热处理可以使材料或零件获得设计所要求的理想强度、韧性、疲劳、耐磨等综合力学性能及使用性能,从而保证零件的质量和可靠性。表面改性是利用激光、电子束、离子注入、化学气相沉积、物理气相沉积和化学电化学转化等特种物理、化学手段,通过改变构件表面化学成分及分布,达到改善构件力学性能或其他物理、化学性能的材料加工工艺。热处理与表面改性技术为用户提供热处理工艺、表面改性、材料热处理、典型零件热处理、装备及工艺材料、标准等方面的基础理论及关键技术。

(2) 铸造是熔炼金属,制造铸型,并将熔融金属在重力、压力、离心力或电磁力等外力场的作用下充满铸型,凝固后获得一定形状与性能铸件的生产过程,是生产金属零件和毛坯的主要形式之一,其实质是液态金属逐步冷却凝固而成形,也称金属液态成形。这种方法能够制成型状复杂,特别是具有复杂内腔的毛坯,而且铸件的大小几乎不受限制,重量可从几克到数百吨,壁厚可由 0.3mm 到 1m 以上。铸造常用的原材料来源广泛,价格低廉,所以铸件的成本也较低。因此,铸造在机器制造业中应用极为广泛。铸件在一般机器中占总质量的 40%~80%,但其制造成本只占机器总成本的 25%~30%。铸造生产也存在不足,液态成形给铸造带来某些缺点,铸造组织疏松、晶粒粗大,内部易产生缩孔、缩松、气孔等缺陷。因此,铸件的力学性能,特别是冲击韧性,比同样材料的锻件力学性能低;铸造工序多,且难以精确控制,使得铸件质量不够稳定,铸件的废品率较高;劳动强度比较大。

随着铸造技术的发展,铸造工艺的不足之处正不断得到克服。各种铸造新工艺及铸造机械化、自动化使铸件的质量、成品率提高,工人的劳动强度降低,劳动条件改善;某些新研制的铸造金属使铸件的力学性能大为提高。精密铸造工艺使铸件的尺寸精度及表面质量提高,成为“少切削、无切削工艺”的重要方法之一。

(3) 压力加工是利用外力使金属坯料产生塑性变形,从而获得具有一定形状、尺寸和机械性能的原材料、毛坯或零件的加工方法,又称金属塑性加工。

凡具有一定塑性的金属,如钢和大多数非铁合金材料及其合金等,均可在热态或冷态下进行压力加工。常用的压力加工方法有锻造、冲压、挤压、轧制和拉拔等。

① 锻造是指金属坯料在抵铁间或锻模模膛内受冲击力或压力而变形的加工方法。

② 冲压是指金属板料在冲模间受压产生分离或变形的加工方法。

③ 挤压是指金属坯料从挤压模的模孔中挤出而变形的加工方法。

④ 轧制是指金属坯料通过一对回转轧辊间的空隙而受压变形的加工方法。

⑤ 拉拔是指金属坯料从拉拔模的模孔中拉出而变形的加工方法。

(4) 焊接是一种永久性连接材料的工艺方法,是一种应用量大、应用面很广的共性工艺技术,焊接已经从一种传统的热加工工艺发展到集材料、冶金、结构、力学和电子等多门类科学为一体的工程工艺学科。焊接是在工业产品的制造过程中,将零件(或构件)连接起来最常采用的一种加工方法。据工业发达国家统计,每年仅需要进行焊接加工之后使用的钢材就占钢材总产量的 45%左右。我国也有 35%~45%的钢材要经过焊接才能变为工业的最终产品。焊接作为制造业的基础工艺与技术,为工业经济的发展作出了重要的贡献。

焊接方法的种类很多,通常按焊接过程的特点可分为三大类,即熔焊、压焊和钎焊。

① 熔焊：焊接过程中，将焊件接头加热至熔化状态，不施加压力完成焊接的方法。熔焊的加热速度快，加热温度高，接头部位经历熔化和结晶的过程。熔焊适合于各种金属和合金的焊接加工。

② 压焊：焊接过程中，必须对焊件施加压力（加热或不加热），以完成焊接的方法。压焊适合于各种金属材料及部分非金属材料的焊接加工。

③ 钎焊：采用熔点比母材低的金属材料作钎料，焊接时加热到高于钎料熔点、低于母材熔点的温度，利用液态钎料润湿母材，填充接头间隙并与母材相互扩散实现连接焊件的方法。在钎焊过程中，由于钎料的熔化与凝固会形成一个过渡连接层，所以钎焊不仅适合于同种材料的焊接加工，也适合于不同金属或异类材料的焊接加工。

（5）切削、磨削加工是利用切削工具和工件作相对运动，从毛坯上切去多余部分材料，以获得所需几何形状、尺寸精度和表面粗糙度的零件的加工过程。在现代机械制造中，除少数零件采用精密铸造、精密锻造以及粉末冶金和工程塑料压制等方法直接获得外，绝大多数的零件都要通过切削、磨削加工获得，以保证精度和表面粗糙度的要求。因此，切削、磨削加工在机械制造中占有十分重要的地位。切削、磨削加工在一般生产中占机械制造总工作量的40%~60%。切削、磨削加工的先进程度直接影响产品的质量和数量。

切削、磨削技术以高速、精密切削、磨削技术和装备为主，涉及材料、工艺、方法、设备、标准和安全等方面，既有基础理论研究，又有比较具体的切削、磨削方法和工艺参数。切削研究主要包括切削原理、工件材料、切削机床、切削刀具、切削工艺、切削技术新动态、典型先进切削技术和典型应用领域等方面。磨削技术研究主要包括磨削原理、磨料、磨具、磨削液及其有效注入、磨削工艺、砂轮修整、磨削表面质量及其完整性、磨削装备、相关标准和磨削技术新动态等方面。

1.2 制造技术的发展及对国民经济贡献

1.2.1 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。所谓制造是人类按照市场需求，运用主观掌握的知识和技能，借助于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：制造是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——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

制造技术是按照人们所需的目的，运用知识和技能，利用客观物资工具，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

制造过程指产品从设计、生产、使用、维修、报废到回收等的全过程，也称为产品生命周期。

4) 制造业

制造业是指将制造资源（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、工具和能源等）、软件（制造理论、工艺、技术、信息和管理等）和人员（技术人员、操作工人和管理人员等）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、信息和人力等）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、原材料准备及贮存、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 1-2 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。

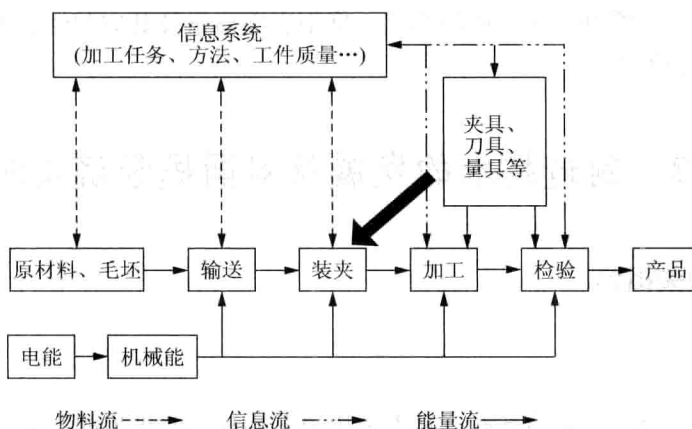


图 1-2 机械制造系统图

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，都可以看作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。

1.2.2 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的辐射效应，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连接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、绿色集成化和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、绿色集成化和全球化的方向发展。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 设计技术与手段更现代化。
- ③ 成形及制造技术精密化、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。

1.2.3 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、材料科学和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。例如,快速原型成型机、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、计算机和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)”和“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

我国制造业目前正处在由低级向高级发展的中间阶段,要完全实现工业化,根据发达国家的经验,至少还需要十几年的努力。制造业分为加工制造业和装备制造业。宏观上看,我国制造业发展很快,以至于现在有了“中国已经成为世界工厂”的说法。这种说法似乎有两个依据:一是制造业对我国出口的贡献;二是制造业的发展速度。我国已完成工业化的初级阶段,此阶段以劳动密集型产业飞速发展特点,产业结构轻型化,我国已将加工制造业在这一阶段发展到极致,“世界制造工厂”这顶帽子并非浪得虚名,但仅仅局限于消费品领域。随着产业升级,我们已不可避免发展到以装备制造业为主要特征的“重工业化阶段”,也有人称之为“后工业化时代”。装备制造,泛指生产资料的生产,以资金密集、技术密集为特征,包括能源、机械制造、电子、化学、冶金及建筑材料等工业。当今我国已经成为世界第二大经济体,全球制造业产出最高的国家,还是世界第一大出口国,发展成就令世界瞩目。但从国际产业分工格局看,仍处于低端加工组装环节,产业技术含量和附加值偏低。2011年我国彩电、手机、计算机等主要电子产品产量占全球出货量的比重分别达到48.8%、70.6%和90.6%;但电子信息百强企业实现利润仅为美国苹果公司利润的40%。中国社科院工业经济研究所发布的《中国产业竞争力报告(2012)》指出:我国低技术含量产品在国际市场上尽管拥有较高的占有率,但高技术含量的产品则普遍缺乏国际竞争力。

中国制造业规模已达世界第四位,仅次于美国、日本和德国。在钢铁、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虽廉，而质量也低，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。英国德勤咨询公司和美国民间机构竞争力委员会日前发布的《2013年全球制造业竞争力报告》显示，在38个国家和地区的评比中，中国内地以满分10分的成绩，荣获全球制造业第一的桂冠，把美国和德国甩在了身后。这已经是中国第二次在这份榜单上称雄，而且按照德勤的预测，未来五年，中国仍将是全球制造业第一大国。中国在未来五年，甚至十年，必将继续领导全球制造业。不过，要想保住这个位置，仅靠“中国制造”是不够的。瑞士洛桑国际管理发展学院（IMD）国际经济学教授费舍尔指出，除非中国开始真正的创新，否则中国会作为世界各国的制造工厂而停滞不前。新加坡《联合早报》也指出，中国想要在下一个五年保住这个位置，“中国制造”就必须升华为“中国创造”，这是历史赋予中国的使命。15年前，《财富》世界500强榜单开始发布，美国和日本都稳居状元和榜眼之位。1995年的《财富》世界500强排行榜上，中国只有3家企业上榜，2000年增加到了10家。而在2010年的这份榜单上，中国企业的数量已经达到了54家，达到了世界第三，仅次于美国和日本。

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，一个国家也是这样，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。

3. 中国制造业存在的问题

（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。如精密超精密机床和高档数控机床、大飞机、精密仪器及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，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。新中国成立时，我国只生产简易皮带机床1600台。到2009年生产金切机床58.2万台，其中数控机床12万多台，机床产值、产量均居世界第一。可以说，我国机床工业从零起步，成为世界第一机床生产大国，虽然过程曲折，但取得的成绩是值得骄傲的。其中，“十一五”期间，中国机床工业更是渐入佳境，开辟了中

国机床业的黄金发展期。2009 年较 2005 年相比,我国金切机床产量增长了 28%,2009 年数控机床产量是 2005 年的 2.4 倍,机床产量数控化率由 2005 年的 13.2%到 2009 年上升到 24.8%,产值数控化率超过 50%。数控机床复合化是发展趋势之一。从加工中心、柔性制造单元、柔性制造系统,从零件毛坯到零件加工全部工序集中到一台机床上完成。具有加工、检测、上下料无人操作,具备热补偿、防碰撞等智能。经过几十年的努力,我国重型和超重型机床发展速度加快,年产量已超过 2000 台;产值数控化率超过 70%;从 2002 年到 2008 年产值年均增长 42.38%,2009 年产值是 2000 年的 13.7 倍,在产品规格上制造许多世界极限:立式车床最大规格 25m,镗铣床镜杆直径 320mm,龙门镗铣床龙门加工宽度 11m,卧式车铣床最大加工直径 5m,最大承重 500t,轧辊磨床最大磨削直径 2500mm 等。技术水平有新的突破和提高,已掌握的先进技术有:机械传动间隙消除和对传动误差补偿技术;龙门移动同步技术;大跨距横梁位移补偿技术;镗铣床主轴悬臂位移补偿技术;超大载荷偏载的卸荷导向技术;特大型零件加工、装配及精度保证;静压导轨和静压轴承技术等。

(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,2005 年约 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。

4. 中国制造业发展方向

现在世界制造业竞争极为激烈,当前我们的任务应尽快努力使中国早日从制造大国成为一个真正制造强国。为此必须:

(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,极需积极努力,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的几个主要方面的发展情况。

1.3 制造业的变革及挑战

制造技术的发展是由社会、政治和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。

1.3.1 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。

1.3.2 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

进入 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。市场和国情要求我们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,高效低成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;二是制造业产业上下游产业之间,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、智能化和网络化发展,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、碳素材料以及复合材料相继问世,至今世界上的结构与功能材料已有几十万种,并继续以每年大约 5% 的速度递增。激光技术、光刻技术、纳米技术、超精密加工技术、表面工程技术、在线检测技术、生物制造技术和仿生制造技术等新的工艺手段层出不穷,改变了制造业的面貌。新材料的应用改变了传统的机械制造、设计和工艺领域,纳米材料、智能材料、梯度材料、新型陶瓷材料、新型高分子聚合物、表面涂层及自修复材料等的应用对机械性能、功能以及设计方法、标准、数据等都将产生巨大的影响,机械性能将进一步优化,机械寿命将大幅度提高。

5) 节能节材产品与制造工艺

21 世纪的制造业要求在产品的设计、制造和使用过程中减少所需要的材料投入量和能源消耗量,尽可能通过短缺资源的代用、可再生或易于再生资源(如太阳能和可再生生物资源)以及二次能源的利用,提高资源利用率。通过资源、原材料的节约和合理利用,使原材料中的所有组分通过生产过程尽可能地转化为产品和副产品,从而消除废料的产生,减少环境污染。改革制造工艺,开发新的工艺技术,采用能够使资源和能源利用率高、原材料转化率高、污染物产生量少的新工艺,减少制造过程中资源浪费和污染物的产生,使中间废弃物能够回收利用、最终废弃物可以分解处理,尽最大限度实现少废或无废生产。

6) 可再生循环制造

可持续发展的制造业应是可再生循环的。要求在产品的设计和制造过程中采用回收再生与复用技术,尽可能减少制造产品的用材种类,选用可回收、可分解材料,形成“资源—产品—再生资源”的闭环流程。可再生循环的制造过程主要应用拆卸技术和循环再利用技术。

1.4 制造技术给制造业带来的变革

1) 常规制造工艺的优化

常规制造工艺优化的方向是高效化、精密化、清洁化和灵活化,以形成优质、高效、低耗、清洁且灵活制造技术为主要目标,通过改善工艺条件和优化工艺参数来实现。

2) 非传统加工方法的发展

由于产品更新换代的要求,常规工艺在某些方面(场合)已不能满足要求,同时高新技术的发展及其产业化的要求,使非传统加工方法的发展成为必然。新能源的引入、新型材料的应用及产品特殊功能的要求等都促进了新型加工方法的形成与发展,如激光加工技术、电

磁加工技术、超塑加工技术及复合加工技术等。

3) 专业、学科间的界限逐渐淡化、消失

在制造技术内部,冷热加工之间,加工过程、检测过程、物流过程、装配过程以及设计、材料应用、加工制造之间,其界限均逐渐淡化,逐步走向一体化。

4) 工艺设计由经验走向定量分析

应用计算机技术和模拟技术来确定工艺规范,优化工艺方案,预测加工过程中可能产生的缺陷及防止措施,控制和保证加工件的质量,使工艺设计由经验判断走向定量分析,加工工艺由技艺发展为工程科学。

5) 信息技术、管理技术与工艺技术紧密结合

微电子、计算机、自动化技术与传统工艺及设备相结合,形成多项制造自动化单元技术,经局部或系统集成后,形成了从单元技术到复合技术,从刚性到柔性,从简单到复杂等不同档次的自动化制造技术系统,使传统工艺产生显著、本质的变化,极大地提高了生产效率及产品的质量。

管理技术与制造工艺进一步结合,要求在采用先进工艺方法的同时,不断调整组织结构和管理模式,探索新型生产组织方式,以提高先进工艺方法的使用效果,提高企业的竞争力。

1.5 金属工艺技术的发展趋势

1. 采用模拟技术,优化工艺设计

成形、改性与加工是机械制造工艺的主要工序,是将原材料(主要是金属材料)制造加工成毛坯或零部件的过程。这些工艺过程特别是热加工过程是极其复杂的高温、动态及瞬时过程,其间发生一系列复杂的物理、化学和冶金变化,这些变化不仅不能直接观察,间接测试也十分困难,因而多年来,热加工工艺设计只能凭“经验”。近年来,应用计算机技术及现代测试技术形成的热加工工艺模拟及优化设计技术风靡全球,成为热加工各个学科最为热门的研究热点和技术前沿。

应用模拟技术,可以虚拟显示材料热加工(铸造、锻压、焊接、热处理和注塑等)的工艺过程,预测工艺结果(组织、性能、质量),并通过不同参数比较以优化工艺设计,确保大件一次制造成功;确保成批件一次试模成功。

模拟技术同样已开始应用于机械加工、特种加工及装配过程,并已向拟实制造成形的方向发展,成为分散网络化制造、数字化制造及制造全球化的技术基础。

2. 成形精度向近无余量方向发展

毛坯和零件的成形是机械制造的第一道工序。金属毛坯和零件的成形一般有铸造、锻造、冲压、焊接和轧材下料五类方法。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(Near Net Shape Forming)向净成形(Net Shape Forming)即近无余量成形方