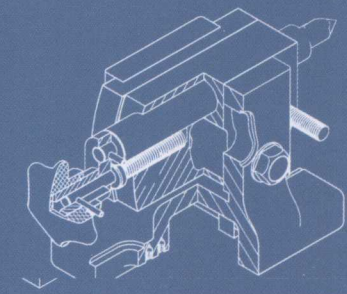
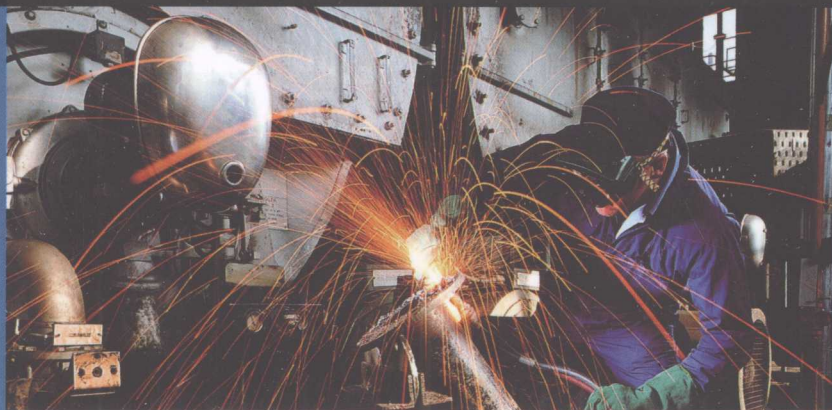




21 世纪机械类课程系列教材



机械制造 技术基础

主编 吉卫喜



高等教育出版社
Higher Education Press

21 世纪机械类课程系列教材

机械制造技术基础

主 编 吉卫喜
副主编 李益民
参 编 李楠 贾晓林 纪小刚
主 审 龚光容

高等教育出版社

内容简介

本书是 21 世纪机械类课程系列教材,是根据机械工程及自动化专业教学改革的需要编写而成的。本书除涵盖原机械专业的金属切削原理与刀具、金属切削机床、机械制造工艺学以及机床夹具设计等课程的基本内容外,还增加了一些新内容。全书共 8 章,包括绪论、金属切削过程及其控制、机械加工方法及装备、机床夹具设计原理、机械加工质量及控制、工艺规程设计、精密超精密加工与特种加工和现代制造技术,每章均附有思考题与习题。

本书可作为高等工科院校机械类专业及相关专业的专业基础课教材,也可作为成人高校机械类本科专业教材,还可供制造企业的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础/吉卫喜主编. —北京:高等教育出版社, 2008. 6

ISBN 978 - 7 - 04 - 024259 - 1

I. 机… II. 吉… III. 机械制造工艺 - 高等学校 - 教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 059911 号

策划编辑 卢 广 责任编辑 薛立华 封面设计 赵 阳 责任绘图 朱 静
版式设计 张 岚 责任校对 朱惠芳 责任印制 尤 静

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
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭成印刷有限公司

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 21.25
字 数 520 000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008 年 6 月第 1 版
印 次 2008 年 6 月第 1 次印刷
定 价 26.60 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 24259 - 00

前言

“机械制造技术基础”是将机械制造工艺学、金属切削原理与刀具、金属切削机床概论以及机床夹具设计原理等课程内容进行有机融合而形成的新课程，也是一门改革力度较大的课程。近年来，根据教学改革的要求，国内已出版了多种同类教材。在机械大类培养、专业方向特色成才的教改思路下，围绕人才培养整体优化目标，整合构建新的课程体系中，不同高校根据自己的教改和专业培养特色的需要，对原专业系列课程内容的整合方法不尽相同。2001年我们编写出版了机械工程及自动化专业中机械制造专业方向使用的《机械制造技术》一书，内容主要包括金属切削原理、机械制造工艺学的基本内容。在近几年的教学实践中，兄弟院校提出了许多宝贵意见和建议，为此我们在机械类专业教改实践的基础上，结合新的课程体系编写了本书。

本书主要将金属切削基本理论、机械加工方法与装备、机械制造工艺与夹具设计原理等内容进行有机整合，注重突出知识要点和基本概念，加强理论联系工程实际，目的是使学生能掌握机械制造技术的基本理论，培养分析和解决实际生产问题的能力。本书一方面考虑了学时缩短及篇幅限制，另一方面注重加强机械制造基础知识的教学，同时充实了新知识和新的研究成果，以拓宽学生的知识面，使学生建立与现代制造业发展相适应的系统的知识体系。本课程应放在工程图学、工程材料、材料成形技术基础、机械原理与机械设计等课程之后开设，通过课程实验、生产实习等环节，加深学生对基础理论的理解，并在学习本课程之后，进行为期2~3周的机械制造技术基础课程设计，使学生进一步融会贯通。

本书可作为高等工科院校机械类的专业基础课教材。

本书由吉卫喜任主编、李益民任副主编，其中第1、5、8章由吉卫喜编写，第2章由贾晓林、吉卫喜编写，第3章由李楠编写，第4、6章由李益民编写，第7章由纪小刚编写。全书由吉卫喜统稿。

南京理工大学龚光容教授对全书进行了审阅。在本书的编写过程中得到了有关院校和工厂的大力支持，黄鹤汀等教授对本书的编写提出了许多宝贵意见。在此一并致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不足之处，恳请广大读者多提宝贵意见。

编者

2007年12月于江南大学

目 录

第1章 绪论	1	3.2 车床与车削	66
1.1 制造业、机械制造业与制造技术	1	3.2.1 卧式车床的工艺范围及其组成	66
1.2 我国机械制造业的现状、面临的 机遇与挑战	2	3.2.2 CA6140 型车床的传动系统	68
1.3 制造业的发展趋势	4	3.2.3 CA6140 型卧式车床主要部件结构	77
1.4 本课程学习目的和要求	6	3.2.4 车刀	80
第2章 金属切削过程及其控制	7	3.3 其他类型机床与加工方法	82
2.1 金属切削基本知识	7	3.3.1 钻床与钻削	82
2.1.1 切削运动与切削参数	7	3.3.2 铣床与铣削	85
2.1.2 刀具结构与几何角度	10	3.3.3 拉床与拉削	90
2.1.3 常用刀具结构与几何角度	14	3.3.4 齿轮加工机床和齿轮加工刀具	92
2.2 刀具材料	20	3.3.5 磨床与砂轮	96
2.2.1 刀具材料的性能要求	20	3.3.6 镗床与镗削	99
2.2.2 常用刀具材料	20	3.3.7 其他机床简介	100
2.3 金属切削过程物理现象及规律	25	思考题与习题	102
2.3.1 金属切削过程	25	第4章 机床夹具设计原理	105
2.3.2 切削力与切削功率	32	4.1 概述	105
2.3.3 切削热和切削温度	37	4.1.1 机床夹具的定义及组成	105
2.3.4 刀具磨损及刀具寿命	40	4.1.2 机床夹具的作用	105
2.3.5 切削加工条件的合理选择	45	4.1.3 机床夹具的分类	106
2.4 磨削	53	4.2 工件在夹具中的定位	107
2.4.1 磨削运动与磨削用量	54	4.2.1 工件的安装	107
2.4.2 磨削过程	55	4.2.2 定位原理	108
2.4.3 磨削力	56	4.2.3 定位方法与定位元件	114
2.4.4 砂轮磨损和修整	56	4.2.4 定位误差的分析与计算	120
思考题与习题	57	4.3 工件在夹具中的夹紧	125
第3章 机械加工方法及装备	59	4.3.1 夹紧装置的组成和要求	125
3.1 金属切削机床概述	59	4.3.2 夹紧力的确定	126
3.1.1 金属切削机床的分类与型号 编制	59	4.3.3 典型夹紧机构	128
3.1.2 机床的组成	62	4.3.4 夹紧的动力装置	131
3.1.3 机床的运动分析	62	4.4 典型机床夹具	133
		4.4.1 钻床夹具	133
		4.4.2 铣床夹具	137

4.4.3 车床夹具	139	5.8.1 加工误差的性质	172
4.5 机床夹具设计方法	140	5.8.2 加工误差的统计分析法	173
4.5.1 机床夹具设计要求	140	5.9 机械加工表面质量	181
4.5.2 机床夹具设计的内容及步骤	140	5.9.1 表面质量的内容	181
思考题与习题	141	5.9.2 表面质量对零件使用性能的影响	182
第5章 机械加工质量及控制	144	5.9.3 影响加工表面粗糙度的主要因素 及其控制	183
5.1 机械加工精度概述	144	5.9.4 影响表面层物理力学性能的主要因 素及其控制	185
5.1.1 加工精度与加工误差	144	5.9.5 机械加工中的振动	190
5.1.2 加工经济精度	144	思考题与习题	198
5.1.3 原始误差	145	第6章 工艺规程设计	202
5.1.4 研究机械加工精度的方法	145	6.1 概述	202
5.2 工艺系统的几何误差	145	6.1.1 生产过程与工艺过程	202
5.2.1 原理误差	146	6.1.2 机械加工工艺过程的组成	202
5.2.2 机床的几何误差	146	6.1.3 生产纲领与生产类型	204
5.2.3 工艺系统其他几何误差	151	6.1.4 机械加工工艺规程	206
5.3 工艺系统受力变形引起的误差	152	6.2 机械加工工艺规程设计	208
5.3.1 工艺系统受力变形现象	152	6.2.1 零件的结构工艺性分析	208
5.3.2 机床部件的刚度及其特点	153	6.2.2 定位基准的选择	211
5.3.3 工艺系统的刚度	155	6.2.3 机械加工工艺路线的拟订	214
5.3.4 工艺系统受力变形对加工精度的 影响	155	6.2.4 加工余量及工序尺寸的确定	220
5.3.5 减小工艺系统受力变形的措施	159	6.2.5 工艺过程的生产率	223
5.4 工艺系统热变形引起的加工误差	160	6.2.6 工艺方案的技术经济分析	226
5.4.1 概述	160	6.2.7 编制工艺规程文件	228
5.4.2 机床热变形对加工精度的影响	161	6.3 工艺尺寸链	231
5.4.3 工件热变形对加工精度的影响	162	6.3.1 尺寸链的基本概念	231
5.4.4 刀具热变形对加工精度的影响	163	6.3.2 尺寸链计算的基本公式	232
5.4.5 减少工艺系统热变形的途径	163	6.3.3 工艺过程尺寸链的分析与解算	235
5.5 工件残余应力引起的加工误差	166	6.4 数控加工的工艺设计	241
5.5.1 产生残余应力的原因及所引起的 加工误差	166	6.4.1 数控加工工艺内容的选择	241
5.5.2 减少或消除残余应力的措施	167	6.4.2 数控加工工艺性分析	242
5.6 数控机床加工误差概述	168	6.4.3 数控加工工艺路线的设计	244
5.6.1 数控机床重复定位精度的影响	168	6.4.4 数控加工工序的设计	245
5.6.2 检测装置的影响	169	6.4.5 数控加工专用技术文件的编写	247
5.6.3 数控机床刀具系统误差	169	6.5 计算机辅助工艺规程设计原理	248
5.7 提高加工精度的工艺措施	169	6.5.1 成组技术	248
5.8 加工误差的综合分析	172	6.5.2 计算机辅助工艺规程设计	251

6.6 机器装配工艺规程设计	254	第8章 现代制造技术	312
6.6.1 装配精度与装配尺寸链	255	8.1 快速成形制造技术	312
6.6.2 保证装配精度的方法	256	8.1.1 RP&M 的原理及主要方法	312
6.6.3 装配工艺规程设计	263	8.1.2 RP&M 技术的应用	313
思考题与习题	268	8.2 微机械制造技术	314
第7章 精密超精密加工与特种加工	273	8.2.1 对微机械的认识	314
7.1 精密加工与超精密加工技术	274	8.2.2 微机械的制造工艺	314
7.1.1 精密与超精密加工的范畴	274	8.3 计算机集成制造系统	317
7.1.2 常用精密与超精密加工方法	275	8.3.1 CIM 和 CIMS 的定义	317
7.1.3 精密与超精密加工的特点及其影响因素	291	8.3.2 CIMS 的功能组成	318
7.2 特种加工技术	291	8.3.3 CIMS 的发展特点	319
7.2.1 概述	291	8.3.4 CIMS 的核心在于集成	321
7.2.2 电火花及线切割加工	293	8.4 现代制造模式	321
7.2.3 电解加工	299	8.4.1 精益生产	321
7.2.4 激光加工	303	8.4.2 敏捷制造	323
7.2.5 超声加工	308	8.4.3 并行工程	326
思考题与习题	311	思考题与习题	328
		参考文献	329

1

第1章 绪论

1.1 制造业、机械制造业与制造技术

制造业是将可用资源、能源与信息通过制造过程,转化为可供人们使用或利用的工业品或生活消费品的行业。制造业为人类创造着辉煌的物质文明。制造业的先进与否是一个国家经济发展的重要标志,制造业的产值在多数国家的国民经济中占有重要的比重。人类的生产工具、消费产品、科研设备、武器装备等,没有哪一样能离开制造业,制造业的发展水平是一个国家国民经济和综合实力的象征。可以说制造业是工业的心脏,是国民经济产业的核心。制造业是实现现代化工业的水之源、木之本,是实现工业化的保障和原动力。没有强大制造能力的国家永远成不了经济强国。

今天的制造业,已不能从“机械制造”的狭义角度来理解。只要是对各种各样的原材料进行加工处理,生产出为用户所需要的最终产品,它们可以是飞机、汽车、计算机、电子仪器,也可以是服装、鞋帽、食品,都可以归属于“制造业”。随着全球制造业之间的竞争日趋激烈,以及全球经济一体化,市场向企业提出了更高的要求,企业要赢得竞争,就要以市场为中心,以用户为中心,要求企业快速及时为用户提供高品质、低价格、具有个性化的产品。即要以最短的产品开发时间(time)、最优的产品质量(quality)、最低的价格和成本(cost)、最佳的服务(service)(简称“TQCS”),这样才能赢得用户和市场。

机械制造业是完成机械产品的决策、设计、制造、装配、销售、售后服务及后续处理等,其中包括对零件的加工技术、加工工艺的研究及其工艺装备的设计制造。机械制造业担负着为国民经济建设提供生产装备的重任,为国民经济各行业提供各种生产手段,机械制造业水平的高低直接决定着国民经济其他产业竞争力的强弱,以及今后运行的质量和效益;机械制造业是国防安全的重要基础,为国防提供所需武器装备;机械制造业也是高科技产业发展的重要基础,为高科技的发展提供各种研究和生产设备。机械制造业的发展不仅影响和制约着国民经济与各行各业的发展,而且还直接影响和制约着国防工业和高科技的发展,进而影响到国家的安全和综合国力。

近年来,美国、日本、德国等工业发达国家都把发展先进制造技术列为工业、科技的重点发展技术。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。美国政府历来认为,生产制造是工业界的事,政府不必介入。但经过10年反思,美国政府已经意识到,政府不能不介入工业技术的发展,自20世纪80年代中期,美国制订了一系列民用技术开发计划并切实加以实施。克林顿上台后,对制造业大力支持,他把先进制造技术列为六大国防关键技术之首。结果美国在机械工业、汽车工业、航空工业及信息

产业等方面取得了明显的进展,使美国的经济连续8年取得了2%~3%的增长率,而且还同时保持低通胀率和低失业率。由于给予了重视,近年来美国的机械制造业有所振兴,汽车、机床、微电子工业又获得了较大发展。20世纪70—80年代,日本非常重视制造业,特别大抓了汽车制造和微电子制造,结果日本的汽车和家用电器几乎占领了全世界的市场,特别是大举进入了美国市场。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。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,一有风吹草动就会发生经济危机。这也进一步表明机械制造业是一个国家国民经济赖以发展的基础,是国家经济实力和科技水平的综合体现,是每一个大国任何时候都不能掉以轻心的关键行业。

制造技术是按照人们所需目的,运用主观掌握的知识和技能,操纵可以利用的客观物质工具和采用有效的方法,使原材料转化为物质产品的过程所施行的手段的总和,是生产力的主要体现。制造技术与投资和熟练劳动力一起将创造新的企业、新的市场和新的就业。

制造技术的涉及面较广,机械、电子、冶金、建筑、水利、信息、农业和交通运输等各个行业都要有制造技术的支持。制造技术具有普遍性和基础性,同时也具有特殊性和专业性。制造技术的发展经历了工匠手艺、设计工艺到制造系统三个重要阶段。生产发展和社会分工,形成了不同的制造单元技术,产生了包括设计、加工、装配、检验、维修、设备、工具和工装等多个直接或间接生产部门,加工方法也从传统的车、铣、钻、刨、磨发展到电加工、超声加工、电子束加工、离子束加工、激光加工等多种特种加工方法。在生产组织上出现了适应大批大量生产需要的加工和装配流水线、自动线。随着信息技术的发展以及在制造技术中的应用,使制造技术产生了新的飞跃,出现了以物质流、能量流和信息流组成的制造系统,形成了现代制造技术。

1.2 我国机械制造业的现状、面临的机遇与挑战

1. 发展现状

目前,我国的机械制造业已经具有了相当雄厚的实力,为国民经济、国防和高科技的发展提供了有力的支持,我国的机械制造业为汽车、火车、飞机、农业机械、火箭、宇宙飞船、电站、造船、计算机、家用电器、电子及通信设备等行业提供了生产装备。机械制造业是我国实现经济腾飞,提升高科技与国防实力的重要基础。统计表明,我国一些重要产品的年生产能力已跃居世界前列,如年生产汽车280万辆以上(其中轿车120万辆以上)、大中型发电设备1200万千瓦以上(火电1000万千瓦,水电200万千瓦)、大中型拖拉机11万台以上、金属切削机床10万台以上。我国能自主设计、生产各种普通机床、小型仪表机床、重型机床以及各种精密、高度自动化、高效率的和数字控制的机床,产品品种较齐全,大部分达到20世纪90年代国际水平,部分达到国际先进水平。我国已成为世界最大的服装纺织品出口国;与日本、马来西亚和韩国并称世界消费类电子产品四大生产国;成功开发生产了运七、运八火箭,神舟6号飞船、嫦娥1号探月卫星等;一些新产品的技术水平已达世界领先或先进水平,如沈阳机床集团的电主轴高速卧式加工中心、激光切割机床,沈阳变压器厂的50万伏超高压变压器,黎明航发集团的中国第一台拥有完全知识产权的航空发动机、燃气轮机,沈阳新松机器人自动化

有限公司的6000米水下机器人等产品。但是,我国的制造业水平特别是装备制造水平与发达国家相比,还存在相当差距,国民经济建设和高技术产业所需装备不少依赖进口,并相继进口了较多的数控机床,致使我国成为机床的进口大国。经济效益低于世界制造业平均水平,市场快速反应能力差,我国制造业大而不强。

多年来,在对待产品的设计和制造上是“重设计、轻制造”,对设计资料要求保密,而对制造技术和工艺则不设防也不重视;把设计工作看得很高尚,而认为制造工作是苦力等。这是观念上的重大误区。在基于商品经济的工业发达国家的制造业中,由于激烈的市场竞争,对设计和制造的关系有不同的观点。对于产品,设计固然重要,但是在市场经济社会中,除了一些属于国家机密的设计受到严格保密外,任何产品只要一进入市场,竞争对手就很容易从产品本身充分地了解其设计,因而制造水平、制造技术和制造工艺的竞争可能更为激烈。在现代市场竞争中,一般认为有五项要素:产品的功能(F)、交货时间(T)、质量(Q)、价格(C)和服务(S),虽然它们取决于设计、制造和管理的综合因素,但其核心则是制造技术。所以,国外许多厂商常常可以公开其产品的原理,而对于其中一些关键的制造技术和工艺则严加保密。例如,以发动机制造著称的罗尔斯罗伊斯公司的资料表明,使飞机发动机转子叶片的加工精度由 $60\text{ }\mu\text{m}$ 提高到 $12\text{ }\mu\text{m}$,加工表面粗糙度由 $Ra0.5\text{ }\mu\text{m}$ 降低到 $Ra0.2\text{ }\mu\text{m}$,则发动机的压缩效率会明显改善;又如,当传动齿轮的齿形及齿距误差从 $3\sim6\text{ }\mu\text{m}$ 降低到 $1\text{ }\mu\text{m}$,可使单位齿轮箱重量所能传递的转矩提高近一倍;再如,在国际市场上,我国的线切割机床曾有由于精度相差一个数量级,其市场价格也相差一个数量级的事例,等等。

从另一个角度看,“轻制造”也有其客观原因。如设计工作一般需要有较高的知识结构,工作环境相对较好等;而传统上的制造工作,其基础理论发展较慢,更多的表现为一种技艺和经验,工作环境也相对较差。但是近30年来,世界制造业正发生和经历着巨大而深刻的变化,涉及微电子技术、控制技术、传感技术和计算机技术的广泛应用,使主要依靠技艺和经验来保证制造质量的旧模式,正在变成越来越密切地依赖较高层次的知识结构;生产环境也与传统状况不可同日而语。

2. 面临的机遇与挑战

毋庸讳言,与发达国家相比,我国的制造业和制造技术存在相当大的差距,而且面对愈来愈激烈的国际市场竞争,挑战是极为严峻的。但是随着改革开放的不断深入和扩大,也存在良好的机遇。在未来的竞争中,谁掌握了先进制造技术,谁就掌握了市场。先进制造技术是工业规模生产的技术支柱,是提高国际竞争力和技术创新能力的根本途径,中国与世界先进水平的差距主要是制造技术的差距。

装备制造业是我国制造业发展中的薄弱环节,拥有强大的装备制造业才能成为世界制造强国。装备制造业发展滞后,已成为制约经济、技术、国防的瓶颈,经济全球化使发达国家大批传统产业向发展中国家转移,我国具有承接国际产业转移的吸纳力与优势,所以要把握国际制造业向中国大转移的良好机遇,有选择地积极发展装备制造业中的高技术产业,提高自主开发能力,来促进我国装备制造业发展。当前,世界经济正向全球化发展,正在进行着国际间的以知识经济为目标的产业结构大调整,工业发达国家正加速发展高科技产业,而将装备制造业等第二产业逐步向发展中国家转移。我国由于自身巨大的市场需求以及在人才、制造资源等方面的优势,将成为这种产业转移的主要受益者。我国的机械制造业应该利用好这个难得的机遇,

实现全行业的调整与振兴,将我国建设成为世界机械制造业的一个重要基地。我国机械制造业目前面临的主要任务是从粗放型经营向集约型经营的转变,并在科技水平、管理水平上有显著提高,逐步接近并最终达到发达国家水平。

随着计算机技术、信息技术、自动化技术在制造业中的广泛应用,它们与传统的制造技术相结合而形成的先进制造技术发展迅速,获得了广泛的应用。企业的生产方式面临重大变革,客户需求越来越多样化,制造过程全球化、信息化,必须改变制造业的传统观念和和生产组织方式。近年来,在我国大力推进先进制造技术的发展与应用,已得到社会的共识,先进制造技术已被列为国家重点科技发展领域,并将企业实施技术改造列为重点,寻求新的制造策略,建立新的包括市场需求、设计、车间制造和分销集成在一起的先进制造系统。

1.3 制造业的发展趋势

随着科学技术内部的交叉和联系,科学技术与社会发展相互作用的进一步增强,超越国界、超越区域经济的跨国集团竞争已初见端倪,国际合作成为科技发展的强大势头,经济全球化、一体化的格局已经初步形成。21世纪是知识经济来临的世纪。所谓知识经济,是一种以知识(而不是以物质资源)作为其主要支柱的经济。知识经济与农业经济和工业经济不同,经济发展的核心是人力资本和技术中的知识,是在健全的信息网络下以信息流为主导的经济。知识经济的发展,在极大程度上依赖于知识的创造、传输和利用。在这样的大趋势下,可以预见,制造业需要加以调整和改造。其主要发展趋势是:

1. 信息化、数字化趋势

信息、物质和能量是制造系统的三要素。随着计算机、自动化与通信网络技术在制造系统中的应用,信息的作用越来越重要。产品制造过程中的信息投入,已成为决定产品成本的主要因素。制造过程的实质是对制造过程中各种信息资源的采集、输入、加工和处理过程,最终形成的产品可看做是信息的物质表现,因此可以把信息看做一种产业,包括在制造之中。

以计算机技术、网络技术、通信技术为代表的信息技术与管理科学、制造技术的交叉、融和、发展与应用,改变了传统资本密集型、设备密集型、技术密集型的生产与管理模式,而向信息密集型和知识密集型转变,使制造技术产生质的飞跃,这也是制造企业、制造系统与生产过程、生产系统不断实现数字化的必然趋势。它包含了数字设计、数字控制和数字管理三大部分。对制造设备而言,其控制参数均为数字化信号。对制造企业而言,各种信息(如产品信息、工艺信息、物料信息以及知识和技能等)均以数字形式通过网络在企业内传递,在对资源信息进行分析、规划与重组的基础上,可实现对产品设计和产品功能的仿真,对加工过程与生产组织过程的仿真,或完成快速成形制造,从而实现生产过程的快速重组与对市场的快速响应,以满足客户化要求。在数字制造环境下,可以实现在不同地区、国家形成一个数字化制造网络,企业、车间、设备、员工、经销商乃至有关市场均可成为网上的一个“结点”,形成动态联盟,在产品的设计、制造、销售和服务的过程中,围绕产品所赋予的数字信息彼此交互,迅速协同设计并制造出相应的产品。

2. 高技术化趋势

(1) 切削加工技术的研究

切削加工是机械制造的基础方法,切削加工约占机械加工总量的95%左右。目前陶瓷轴承主轴的转速已达15 000~50 000 r/min,采用直流电动机的数控进给速度可达每分钟数十米,高速磨削的切削速度可达100~150 m/s。还需要研究新的刀具材料,研究切(磨)削机理,提高刀具的可靠性和切削效率,研制柔性自动化用的刀具系统和刀具在线监测系统等。

(2) 精密、超精密加工技术研究

精密、超精密加工技术在高科技领域和现代武器制造中占有非常重要的地位,目前中小型超精密机床的发展已经比较成熟和稳定,美、英等国还研制出了几台有代表性的大型超精密机床,可完成超精密车削、磨削和坐标测量等工作,机床的分辨率可达0.7 nm,是现代机床的最高水平。这方面的研究工作主要有:微细加工技术、电子束加工技术、纳米表面的加工技术,等等。

(3) 先进制造技术的研究

先进制造技术是机械制造重要的发展方向之一,它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,以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产,提高对动态多变的市场的适应能力和竞争能力的制造技术总称,也是取得理想技术经济效果的制造技术的总称。目前,CAD/CAM一体化、先进制造工艺、制造自动化技术,包括数控机床、加工中心(MC)、柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)等,在各发达国家已经得到生产应用,而先进制造系统,包括计算机集成制造系统(CIMS)、敏捷制造系统(AMS)、智能制造系统(IMS)、精益生产(LP)以及并行工程(CE)等正处于研究和试用阶段。先进制造技术的研究已经取得显著成效,今后,必将在原有基础上迅速发展和推广应用。

3. 服务化趋势

今天的制造业正在演变为某种意义上的服务业。传统的“以产品为中心”正在转变为“以客户为中心”。一种大规模定制(mass customized manufacturing)模式正在确立,在这种模式下,借助于分布式、网络化的制造系统,以大批量生产条件生产各个顾客不同需求的产品,既可以满足顾客的个性化要求,又能实现高效率和高效益生产,实现高质量、低价格目标。今天,制造业所考虑和所操作的不止产品的设计与生产,而是包括市场调查、产品开发或改进、生产制造、销售、售后服务,直到产品的整个生命周期,体现了制造业全方位地为顾客服务、为社会服务的宗旨。

4. 可持续发展趋势

制造业在将制造资源转变为产品以及在产品的使用和消费过程中,消耗了大量有限资源,并对环境造成严重污染。产品生命周期日益缩短,废弃物日益增多、资源枯竭、生态平衡破坏,这些问题已严重阻碍人类社会经济的可持续发展。可持续发展制造技术中的绿色制造技术就是从产品构思开始,到设计、制造、销售、使用与维修,直到回收、再制造各阶段,都必须充分考虑环境保护。不仅要保护自然环境,还要保护社会环境、生产环境,保护生产者身心健康。绿色制造技术要求产品与用户的生产、工作、生活环境相适应,给人以高尚的精神享受,体现着物质文明、精神文明与环境文明的高度交融。这方面的研究内容主要有:建立绿色产品、绿色制造系统的模型,建立绿色产品的评价体系、机械设备和国防装备再制造中的关键技术以及电磁污染问题的解决途径等。

1.4 本课程学习目的和要求

通过本课程的学习,要求学生能从技术与经济紧密结合的角度出发,围绕加工质量和交货期这个目标,掌握整个制造系统的规划设计,选择优化和运作监控的基本知识,能在宏观上和全局上对生产活动和生产组织有清楚的认识,而不能仅仅局限于单个工序及其优化的知识。要求掌握机械制造过程中包括传统和现代的各种常用加工方法和制造工艺,以及与之有关的切削机理、加工原理、切削参数的选用、加工质量的分析与控制方法等。具体要求为:

- 1) 掌握金属切削的基本规律,并能对加工方法、机床、刀具、夹具及各种切削参数和刀具几何参数进行合理选择,对加工质量进行正确分析;
- 2) 掌握常用机械加工方法的工作原理、工艺特点、质量保证措施;
- 3) 掌握拟订机械加工工艺规程(含数控加工)和机器装配工艺规程拟订的基本知识及有关计算方法,具有拟订中等复杂程度零件机械加工工艺规程的能力;
- 4) 掌握机械加工精度和表面质量的基本理论和基本知识,初步具备分析解决现场工艺问题的能力;
- 5) 了解先进制造技术和特种加工原理,初步树立经济、成本、安全与环保、效率与效益等方面的工程意识。

金属切削理论和机械制造工艺理论具有很强的实践性,对初学者来说,会有一定的难度。生产原理与管理模式,没有足够的实践基础也很难准确的把握与理解。因此,在学习本课程时,必须加强实践性环节,即通过生产实习、课程实验、课程设计、现场教学及工厂调研等来更好地体会和加深理解所学内容,并在理论与实际的结合中,培养分析和解决实际问题的能力。

2

第2章 金属切削过程及其控制

金属切削加工的目的是使被加工零件的尺寸、形状和位置精度以及表面质量达到设计与使用要求。金属切削加工要切除工件上多余的金属,形成已加工表面,必须具备两个基本条件:切削运动和刀具。在金属切削过程中,会产生切屑变形、切削力、切削热、刀具磨损等物理现象。本章主要介绍金属切削基本知识、刀具结构、刀具材料以及金属切削过程物理现象及规律。

2.1 金属切削基本知识

2.1.1 切削运动与切削参数

1. 切削运动

(1) 主运动

主运动是刀具与工件之间主要的相对运动,它使刀具切削刃及其邻近的刀具表面切入工件材料,使被切削层转变为切屑,从而形成工件的新表面。在切削运动中,主运动速度最高、消耗功率最大。主运动可以由刀具完成,也可以由工件完成;主运动可以是直线运动,也可以是旋转运动,如图2.1所示。图中“已”表示已加工表面,“过渡”表示过渡表面,“待”表示待加工表面。

1) 主运动方向 切削刃上选定点相对于工件的瞬时主运动方向。

2) 切削速度 v 切削刃上选定点相对于工件的主运动的瞬时速度。

(2) 进给运动

进给运动是刀具与工件之间附加的相对运动,它配合主运动依次地或连续不断地切除切屑,从而形成具有所需几何特性的已加工表面。进给运动可由刀具完成,也可由工件完成,可以是间歇的,也可以是连续的,如图2.1所示。

1) 进给运动方向 切削刃上选定点相对于工件的瞬时进给运动的方向。

2) 进给速度 v_f 切削刃上选定点相对于工件的进给运动的瞬时速度。

(3) 合成切削运动

主运动和进给运动合成的运动称为合成切削运动(图2.2)。

合成切削速度 v_c 可表达为

$$v_c = v_c + v_f \quad (2.1)$$

2. 切削表面与切削要素

(1) 切削过程中的工件表面

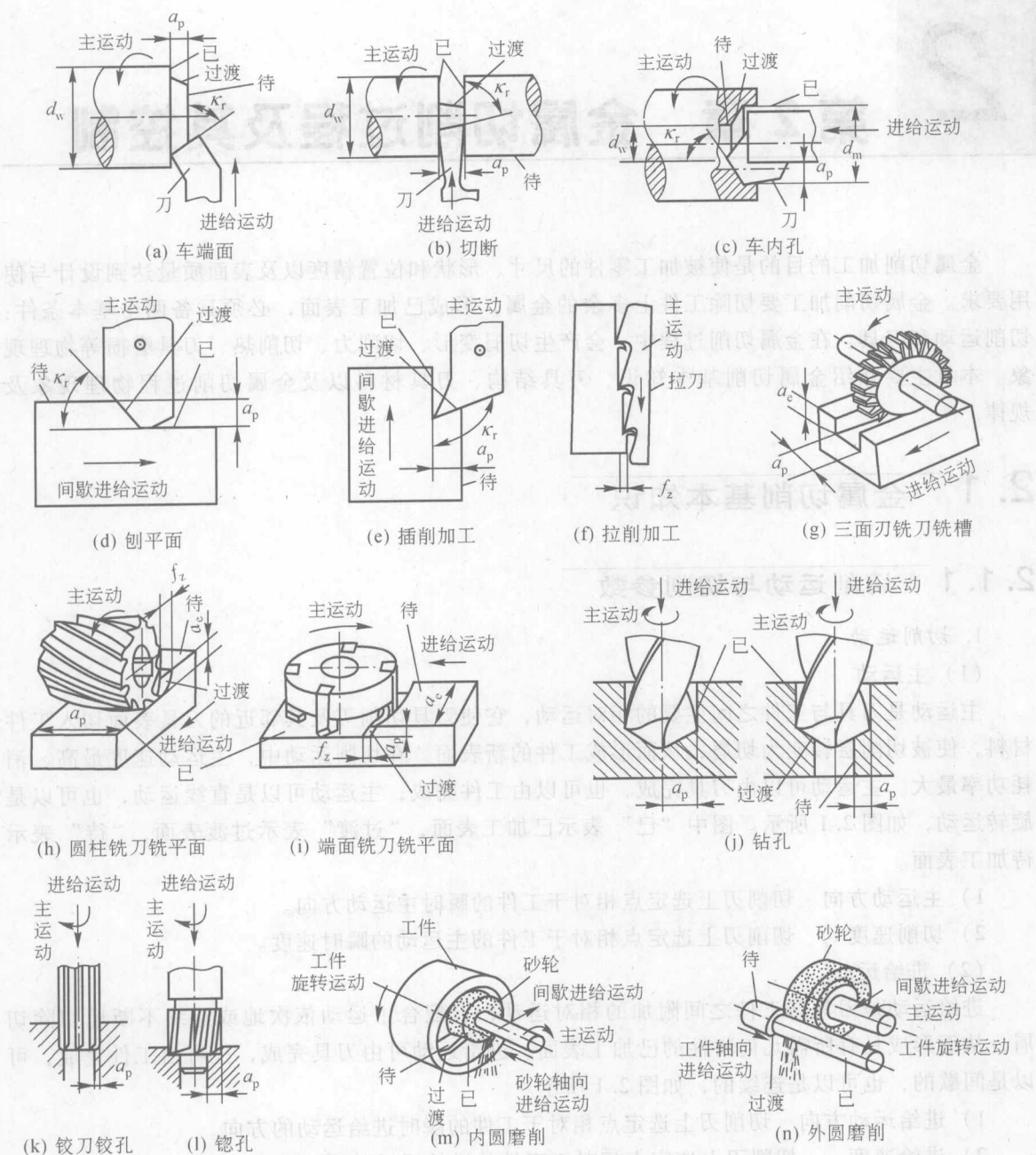


图 2.1 各种切削运动和加工表面

车削加工是一种最常见的、典型的切削加工方法，以它为例，车削加工过程中工件上有三个不断变化着的表面(图 2.2)。

- 1) 待加工表面 工件上有待切除的表面。
- 2) 已加工表面 工件上经刀具切削后产生的新表面。
- 3) 过渡表面(或称加工表面)工件上切削刃正在切削的表面。它是待加工表面和已加工表

面之间的过渡表面。

(2) 切削要素

切削要素主要指切削过程的切削用量要素和在切削过程中由加工余量变成切屑的切削层参数。

1) 切削用量要素

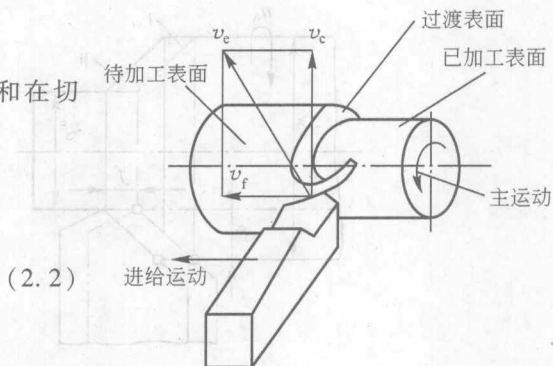
① 切削速度 v_c 外圆车削的切削速度为

$$v_c = \frac{\pi d_w n}{1\,000}$$

式中 v_c ——切削速度, 单位为 m/min ;

d_w ——工件待加工表面的直径, 单位为 mm ;

n ——工件的转速, 单位为 r/min 。



(2.2)

图 2.2 外圆切削运动和切削表面

② 进给量 f 是指刀具在进给运动方向上相对工

件的位移量。当主运动是回转运动时, 进给量指工件或刀具每回转一周, 两者沿进给方向的相对位移量, 单位为 mm/r ; 当主运动是直线运动时, 进给量指刀具或工件每往复直线运动一次, 两者沿进给方向的相对位移量, 单位为 $\text{mm}/\text{双行程}$ 或 $\text{mm}/\text{单行程}$; 对于多齿的旋转刀具(如铣刀、切齿刀), 常用每齿进给量 f_z , 单位为 mm/z 或 $\text{mm}/\text{齿}$, 它与进给量 f 的关系为

$$f = z f_z \quad (2.3)$$

式中 z ——刀齿齿数。

车削时进给速度 v_f 可由下式计算:

$$v_f = f n \quad (2.4)$$

式中 v_f ——进给速度, 单位为 mm/min ;

f ——进给量, 单位为 mm/r ;

n ——主运动转速, 单位为 r/min 。

铣削时进给速度为

$$v_f = f n = z f_z n \quad (2.5)$$

③ 背吃刀量 a_p 待加工表面和已加工表面间的垂直距离。由图 2.3 可知, 外圆车削

$$a_p = (d_w - d_m) / 2 \quad (2.6)$$

式中 a_p ——背吃刀量, 单位为 mm ;

d_w ——工件加工前(待加工表面)直径, 单位为 mm ;

d_m ——工件加工后(已加工表面)直径, 单位为 mm 。

v_c 、 f 、 a_p 称为切削用量三要素。在金属切削过程中, 切削用量三要素选配的大小, 将影响切削效率的高低, 通常用三要素的乘积作为衡量指标, 称为材料切除率, 用 Q_z 表示, 单位为 mm^3/min , 即

$$Q_z = 1\,000 v_c f a_p \quad (2.7)$$

2) 切削层参数

切削层是指一个刀刃正在切削的工件材料层。切削层参数是指切削层厚度、宽度和面积。它们与切削用量 f 、 a_p 有关(图 2.3)。

① 切削厚度 h_D 垂直于正在加工的表面(过渡表面)度量的切削层参数。

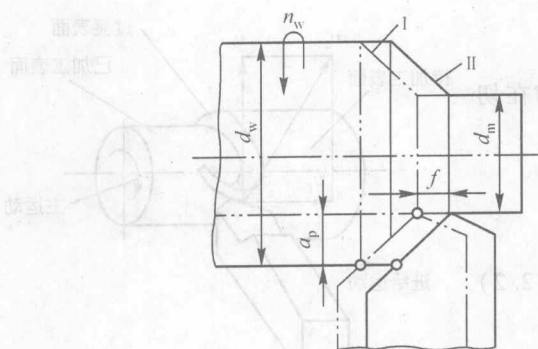


图 2.3 车削时的切削层参数

② 切削宽度 b_D 平行于正在加工的表面(过渡表面)度量的切削层参数。

③ 切削面积 A_D 在切削层参数平面内度量的横截面积。

切削用量要素与切削层参数的关系如下：

$$h_D = f \sin \kappa_r \quad (2.8)$$

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r \quad (2.9)$$

$$A_D = h_D b_D = a_p f \quad (2.10)$$

从上述公式中可看出 h_D 、 b_D 均与主偏角 κ_r 有关，但切削面积 A_D 只与 h_D 、 b_D 或 f 、 a_p 有关。

2.1.2 刀具结构与几何角度

1. 刀具结构

刀具由工作部分和非工作部分构成。以普通外圆车刀为例(图 2.4)，车刀的工作部分只由切削部分构成，非工作部分就是车刀的柄部(或刀杆)。从图 2.4 中可看出，刀具切削部分由一个刀尖、两个刀刃、三个刀面构成。

(1) 刀面

- 1) 前面 A_f 切屑流过的刀面。
- 2) 主后面 A_a 与工件过渡表面相对的刀面。
- 3) 副后面 A'_a 与工件已加工的表面相对的刀面。

(2) 刀刃

- 1) 主切削刃 S 前面与主后面在空间的交线。
- 2) 副切削刃 S' 前面与副后面在空间的交线。

(3) 刀尖 三个刀面在空间的交点，也可理解为主、副切削刃两条刀刃汇交的一小段切削刃。在实际应用中，为增加刀尖的强度与耐磨性，一般在刀尖处磨出直线或圆弧形的过渡刃。

2. 刀具标注角度

刀具标注角度是为刀具设计、制造、刃磨和测量时所使用的几何参数，它们是确定刀具切削部分几何形状的重要参数。用于定义和规定刀具角度的各基准坐标面称为参考系，参考系可