

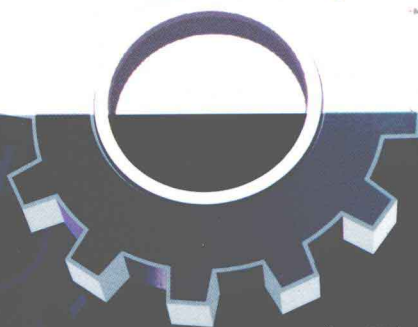


高等学校机械设计制造
及其自动化专业“十二五”规划教材

机械制造工程学

李福援 孙 波 成建联 编著
万宏强 汪庆华 张 超

Machinery
Machinery
Machinery



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校机械设计制造及其自动化专业“十二五”规划教材

机械制造工程学

李福援 孙 波 成建联 编著
万宏强 汪庆华 张 超

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书共8章,内容分别为绪论、工程材料切削原理、金属切削机床、机床夹具原理与设计、机械加工表面质量、机械加工精度、工艺规程设计、先进制造技术等。

本书在编写时力求体现制造工程技术的实践性、整体性和理论性。

本书可作为机械设计制造及其自动化专业的本科生教材,也可作为工业工程、工业设计、包装工程、农业机械等专业的本科生或研究生教材,亦可供机械制造企业的工程技术人员参考。

★ 本书配有电子教案,需要者可登录出版社网站,免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工程学/李福援等编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2011.9

高等学校机械设计制造及其自动化专业“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2637 - 6

I. ① 机… II. ① 李… III. ① 机械制造工艺—高等学校—教材 IV. ① TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 150600 号

策 划 马乐惠

责任编辑 许青青 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2011年9月第1版 2011年9月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 15

字 数 351千字

印 数 1~3000册

定 价 26.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2637 - 6/TH · 0117

XDUP 2929001 - 1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

一、本书的编写思路和追求的特色

编写本书,首先是为了充分适应教学研究型大学对于机械设计制造及其自动化专业培养目标的需要。在这样的大学里,机械设计制造及其自动化专业培养的本科毕业生,主要是进入机械制造企业,承担机械设计和制造工程师或工艺师的工作,这就需要在教学环节中强调对学生工程素质的培养。其次,在学生进入研究生阶段后,我们需要在专业课教学过程中继续提高其科学素质,并使之对专业知识有适当宽泛的了解。此外,将相关科研成果,特别是教师在完成科研工作时涉及的一些机械制造方面的实例,在教学活动中讲解给学生,这样会有很好的效果。基于此,我们编写了本书。本书的体系结构和其他大部分教材是一致的,因为这个体系已经在多年的教学实践中被证明具有优良性。同时,在编写本书时我们也力求使之具有以下特色:

在第一章绪论中融入了一些机械制造历史方面的内容,希望通过对这些知识的介绍,让学生了解制造技术发展的轨迹以及预测技术发展的趋势。这部分内容在教学时最容易引起学生的兴趣,有利于培养学生的科学素质。在第二章工程材料切削原理中,我们强调金属切削原理部分的四大规律及其应用。考虑到现在制造业的发展趋势,这部分内容还编入了对功能陶瓷和木材切削原理的介绍,这是其他同类教材所没有的。第三章金属切削机床部分,按照总体布局 and 各个主要部件的顺序介绍。由于机床的数字控制技术和流体驱动技术有专门的课程讲授,因此这里就不介绍了。第四章机床夹具原理与设计,除了常规内容以外,还介绍了机床夹具的最新技术进展。例如,对寻位加工进行了介绍,这种技术是随着数控技术、检测技术和计算机信息处理技术的发展而形成的,是体现技术交叉效益的绝好例证。第五章机械加工表面质量部分,除了常规内容以外,还加入了本书作者的科研成果,如电解机械复合光整加工等。第六章机械加工精度是本课程的重点之一,分析了具体加工技术对机械加工尺寸、形状和位置精度的影响,以及加工误差的数学统计。第七章工艺规程设计包括机械制造和机械装配工艺规程设计,还编入了体现作者科研成果的计算机辅助工艺规程设计(CAPP)的新内容。第八章先进制造技术尽可能多地编入了最新的加工技术和新的制造模式的有关内容,还较为详细地介绍了绿色制造的概念。

二、我们对于教学的体会

我们在长期的教学实践活动中体会到,“机械制造工程学”是以制造技术为主要内容的课程,本质上具有实践性、整体性和理论性。对于实践性,复旦大学李永红在他的博士论文中提出技术的实践性一方面表现为技术产生于实践之中,另一方面表现为只有在人的实践活动之中技术才能发挥其功能。相应的教学过程需要与前期的金工实习相联系,需要统筹考虑实验课程及其课程设计,还可以和后期的毕业设计相结合。实践性还体现在学生在前期的创新性活动中对于制造技术积累了一点实践经验,这对于理解课程内容有不小的帮助。整体性是说本专业开设的各门专业基础课、专业课都是相互联系的,实际工作中各门

课程的知识都是随时可能用到的。现在的教学管理方式容易使得整体的知识结构退化成一系列的“应试碎片”，因此我们在教学过程中有意识地将“机械制造工程学”和其他课程的内容相结合，如结合刀具材料的发展过程说明材料科学对本专业的引领作用。理论性是指“机械制造工程学”课程虽然是技术性课程，但是具体的内容与数学、物理的基础理论紧密结合。例如，机械加工精度的统计分析就是数理统计理论在工业中的具体应用，表面质量的分析就是表面物理的应用。近年来，金属表面的粗糙度，尤其是表面的微米、纳米尺度的结构，确定了金属表面与不同液体的亲、疏性能，这是机械加工行业很热门的研究方向，其实就是应用物理的研究课题。

三、几点说明

本书参考了大量的优秀教材和文献，我们将其一一列为参考文献，并对这些参考资料的作者深表谢意！

本书由西安工业大学李福援、孙波、万宏强、汪庆华、张超及长安大学成建联共同编写。具体分工如下：李福援编写第一章和第二章，成建联编写第三章，万宏强编写第四章，张超编写第五章和第六章，孙波编写第七章，汪庆华编写第八章。全书的习题与思考题由万宏强收集、编写，由李福援补充整理。

由于作者水平有限，本书难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编著者

2011年6月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 制造的发展	1
1.1.1 传统制造技术的历史	1
1.1.2 现代制造业的发展	2
1.2 现代机械制造工程在社会中的作用	3
1.2.1 制造社会所有产业的工具设备	3
1.2.2 直接生产消费品	4
1.3 制造工程学的主要内容和学习方法	4
1.3.1 现代制造技术的理论基础	4
1.3.2 现代机械制造企业面临的任务	4
1.3.3 “机械制造工程”课程的内容和学习方法	5
习题与思考题	5
参考文献	6
第二章 工程材料切削原理	7
2.1 金属切削的基本规律	7
2.1.1 切削变形	7
2.1.2 切削力	8
2.1.3 切削热和切削温度	10
2.1.4 刀具磨损和刀具耐用度	12
2.2 金属切削基本规律的应用	13
2.2.1 切削用量的优化	14
2.2.2 刀具材料	15
2.2.3 磨具和磨削	16
2.3 非金属切削加工简介	17
2.3.1 功能陶瓷的加工	17
2.3.2 木材的加工	18
习题与思考题	18
参考文献	19
第三章 金属切削机床	20
3.1 概述	20
3.1.1 金属切削机床简介	20
3.1.2 机床发展的新趋势	20
3.2 金属切削机床的主要部件	24
3.2.1 主轴、电主轴和轴承	24

3.2.2 机床的支承件	43
3.2.3 导轨	47
3.2.4 机床传动系统	57
习题与思考题	58
参考文献	59
第四章 机床夹具原理与设计	61
4.1 机床夹具的基本概念	61
4.2 机床夹具定位原理和定位设计	63
4.2.1 机床夹具定位原理	63
4.2.2 定位元件	66
4.2.3 组合定位	72
4.2.4 定位设计的一般原则	74
4.3 定位误差分析	74
4.4 工件的夹紧	79
4.4.1 夹紧装置	79
4.4.2 夹紧力的确定	85
4.5 夹具的组成部件	87
4.5.1 连接元件	87
4.5.2 对刀装置	87
4.5.3 夹具体	88
4.6 常用夹具	88
4.6.1 车床夹具	88
4.6.2 铣床夹具	89
4.6.3 镗床夹具	89
4.6.4 钻床夹具	91
4.6.5 组合夹具	94
4.7 机床夹具的设计方法	95
4.8 计算机辅助夹具的发展	96
习题与思考题	99
参考文献	102
第五章 机械加工表面质量	103
5.1 概述	103
5.2 机械加工表面质量对零件使用性能的影响	104
5.2.1 表面质量对耐磨性的影响	104
5.2.2 表面质量对疲劳强度的影响	104
5.2.3 表面质量对耐蚀性的影响	105
5.2.4 表面质量对配合质量的影响	105
5.2.5 表面质量对零件之间的接触刚度和密封性的影响	105
5.3 影响表面粗糙度的因素	105
5.3.1 切削加工时表面粗糙度的影响因素	105
5.3.2 磨削加工时影响表面粗糙度的因素	107

5.4 影响加工表面层物理机械性能的因素	108
5.4.1 表面层冷作硬化	108
5.4.2 表面层材料金相组织的变化	110
5.4.3 表面层残余应力的产生	111
5.5 改善表面粗糙度的方法	113
5.5.1 研磨	113
5.5.2 抛光	117
5.5.3 其他光整加工技术	118
5.6 工件表面强化的常见方法	121
习题与思考题	123
参考文献	123
第六章 机械加工精度	124
6.1 概述	124
6.1.1 机械加工精度的基本概念	124
6.1.2 工艺系统对机械加工精度的影响	125
6.1.3 提高工艺系统加工精度的基本方法	144
6.2 机械加工精度的统计分析	146
习题与思考题	155
参考文献	157
第七章 工艺规程设计	159
7.1 概述	159
7.1.1 生产过程和工艺过程	159
7.1.2 机械加工工艺过程的组成	159
7.1.3 生产纲领、生产类型与工艺特征	161
7.1.4 机械加工工艺规程	164
7.2 机械加工工艺规程设计	165
7.2.1 机械加工工艺规程设计的步骤	165
7.2.2 零件的工艺性分析与毛坯的选择	166
7.2.3 基准选择	171
7.2.4 表面加工方法的选择	174
7.2.5 加工阶段的划分	176
7.2.6 工序的集中与分散	177
7.2.7 加工顺序的安排	178
7.2.8 工艺规程的工序设计	180
7.3 工艺尺寸链	185
7.3.1 工艺尺寸链的定义、组成和建立	186
7.3.2 尺寸链的计算	187
7.3.3 几种工艺尺寸链的计算	189
7.4 机器装配工艺规程设计	191
7.4.1 装配工艺规程的制订	192
7.4.2 装配尺寸链	194

7.4.3 装配方法的选择	195
7.5 工艺过程的技术经济分析	201
7.6 计算机辅助工艺过程设计简介	203
7.6.1 CAPP 的基本概念	203
7.6.2 CAPP 系统的应用及发展	204
7.6.3 CAPP 的基本内容	205
习题与思考题	208
参考文献	211
第八章 先进制造技术	212
8.1 概述	212
8.1.1 先进制造技术的内涵与特点	212
8.1.2 先进制造技术发展关键	212
8.2 先进制造工艺	213
8.2.1 快速原型制造	213
8.2.2 RPM 技术的应用	215
8.2.3 微细加工技术	216
8.2.4 微细加工工艺	218
8.2.5 高速切削加工	220
8.3 先进生产制造模式	221
8.3.1 CIMS	221
8.3.2 精益生产	222
8.3.3 绿色制造	226
习题与思考题	230
参考文献	230

第一章 绪 论

1.1 制造的发展

1.1.1 传统制造技术的历史

制造技术的历史和人类发展的历史一样长。图 1-1 是云南元谋人在 170 万年以前制造的刮削石器。

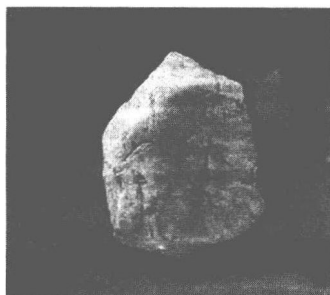


图 1-1 旧石器时代的工具

图 1-2 显示的是新石器时代的工具，这些工具已经经过打磨，表面较为精细，有的还加工出孔，种类也丰富得多。

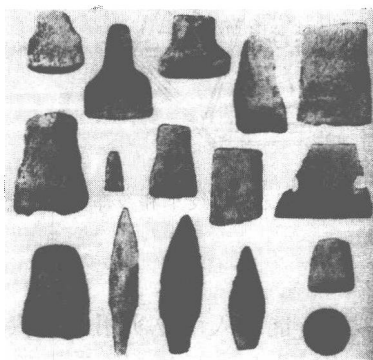


图 1-2 新石器时代的工具

工具的进步伴随着制造技术的进步和生产力的发展。例如，从 5500 年以前的半坡村遗址可以看到，人类已发展到了社会结构稳定、物品较为丰富的阶段。那时半坡人制作的夹

底水瓶，其制造工艺和设计中所包含的对力学原理的运用使得现代人都赞叹不已。

人类社会从新石器时代继续发展到青铜时代、铁器时代。世界各地的制造技术发展虽然并非同步，但轨迹大体是相似的，发展的动力也都来源于人类对于物品的需求，制造的物品也因此更加丰富多彩。图 1-3 是汉代制造的绞车，绞车上有铁制的棘轮，其工作原理和现代工业中应用的棘轮原理一样，形态也相似。汉代的张衡还发明制造了地动仪和浑天仪，这说明制造技术的发展不仅提供了实用的物品，而且也给科学研究提供了物质条件。当然，科学研究的成果也促进了制造技术的发展。1965 年 12 月出土于湖北省江陵望山的一号楚国贵族墓的越王勾践青铜剑，其材料配方、表面硫化处理及精磨技术，与现代加工技术相比毫不逊色，这也体现了当时科学发展的水平。成书于春秋战国时期的《考工记》和明代宋应星编著的《天工开物》都是对当时制造技术的总结。从这些典籍以及当时的文物可以看出，传统制造技术的特征是：需要制造者高超的个人技艺，需要父子或师徒口传心授，再加上较长时期的练习才能够完成技术的传承。《荀子》中说：“工匠之子，莫不继事”，记载的就是这种现象。家庭作坊由经济利益驱动，这种方式会促进技术的继承和发展，但不利于技术的扩散，甚至于会造成技术的失传，而社会需求，尤其是当时宫廷的需求，会促使情况有所变化。例如唐朝就建立了类似现在技工学校的机构，让知名匠师传授技术，培养专为宫廷服务的工匠，每季由官府考试一次，年终大考一次。当时的各种技艺常常缺乏科学或理论上的总结提高，只是经验的记录。其原因之一，是中国传统文化中对于技术和工匠的鄙视，如《魏书·高宗纪》中记载当时的法律规定“今制皇族、师傅、王公、侯伯及士民之家，不得与百工伎巧、卑姓通婚，犯者加罪”，这使得传统制造技术进步过程中缺少了知识分子的参与。总体来说，传统制造技术依赖手工操作，不能形成大规模、高效率的工业化生产，产品质量依赖于操作者的个人技能，但是相应的生产管理还是相当完善的。例如，秦朝的兵器上常常有管理者和工匠的名字，称之为“物勒工名”，就是为了管理上的需要。

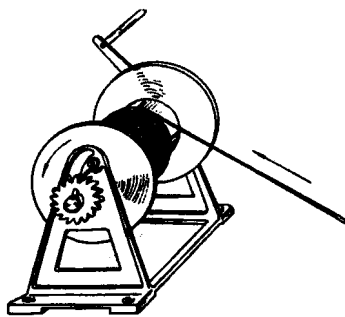


图 1-3 汉代的绞车和绞车上的棘轮

1.1.2 现代制造业的发展

现代制造业以瓦特改进成功的、能投入商业实用的蒸汽机为开端。瓦特之所以能改进成功，重要的因素在于他利用了当时为加工炮管而刚刚发明出来的镗床来加工蒸汽机的汽缸和活塞。这种镗床可以获得当时最高的加工精度，使得蒸汽机有效率地运转。当然，蒸汽机也为此后发明的各种机床提供了强大动力。作为工作母机的机床，其发展又为制造业乃至整个工业的发展提供了基础的技术手段。现代制造业的发展是以 20 世纪初美国福特

汽车公司生产的“T”型车开始的。大批量产品的生产线和连续运转的装配线，使依赖于手工技艺的传统制造变成了依赖于各种各样的制造设备的现代制造。设备的制造和驱动设备的动力、各种金属材料和刀具材料、由生产线引起的企业管理制度，在 20 世纪均得到了极大的发展。制造业为社会提供了人类社会有史以来最丰富的物质产品。制造业尤其是机械制造业在最近一百多年的发展和人类以往的历史相比，是空前飞速变化的。以机床的发展来说，从早期的用天轴传动的皮带车床，到电动机带动的普通机床、由齿轮凸轮控制的自动化车床，再到数字控制乃至计算机数字控制的加工中心，自动化程度越来越高，形式越来越多，近几年还发展出了并联机床。组成机床的关键零部件如轴承、滚珠丝杠、滚动导轨、电主轴等，其精度和承载能力已绝非早期机床可比。机床的控制部分不仅有功能强大的计算机数控系统，还配备有各种实时测量装置。长光栅和圆光栅直接测量机床运动部件的位置和状态，高精密机床甚至直接把激光干涉仪作为机床位置测量部件，使机床获得较高的加工精度。20 世纪二三十年代就开始研究的高速切削，现在可以在高速机床上稳定实现，并已经在工业上得到了应用。刀具材料经历了由淬火的碳素工具钢、高速钢到硬质合金、陶瓷、立方氮化硼以及刀具涂层技术的发展过程，现在刀具的切削速度和切削力已远远超过早期的刀具。20 世纪 40 年代苏联拉扎林柯夫妇创立的电火花加工技术开辟了一种新的金属加工方法，这种加工方法和其他电解加工、电解机械复合加工、化学加工、激光加工、电子束加工、等离子体加工、超声加工、高速射流加工以及近年来由半导体芯片光刻技术发展而来的微细加工技术，使得机械制造的工艺手段几乎可以应对所有的工程材料。除了常规的材料去除成形加工，还有直接生成工件的快速成形技术。为与上述机械制造物理上的“硬”技术的高速发展相适应，与机械制造相关的“软”技术也随着计算机技术的发展而高速发展。计算机辅助设计/制造(CAD/CAM)把产品设计与制造集成起来，甚至可以实现无图纸加工。计算机和网络及其相关技术的发展使得制造信息的产生、传输、应用获得了高速发展，而且正在制造过程中得到更加广泛的应用。制造工程的概念也在变化，不仅要为社会提供产品，还要考虑产品的整个生命周期对于环境的影响。这就是绿色制造的概念，它包括了减少乃至消除制造过程对环境的污染，以及产品的可维修性和无害降解。当前制造技术还在不断发展，制造将一直作为人类社会的基本活动而存在。

1.2 现代机械制造工程在社会中的作用

1.2.1 制造社会所有产业的工具设备

机械制造的一项重要任务是为几乎所有的产业和科学研究生产工具装备，包括它本身需要的机床。航空航天设备、武器装备、高速列车以及其他装备使得社会生活空前便利和安全，但是它们都必须具有高可靠性，由此就引发了关于制造过程对于零件表层物理、几何状态的影响的研究。高速轧钢机、IC 制造装备、CNC 加工中心以及大型盾构掘进机械等的制造使得人类社会的制造生产能力超出了非专业人士的想象，创造出了巨大的社会财富，这进一步刺激了机械制造业的高速发展。制造业的发展对于人类社会也产生了巨大影响。高度复杂、高效率和高昂价格的制造装备系统需要高度专业化的技术人员，企业的人员构成和运作方式也因此而变化。目前各种新的制造模式正不断被研究尝试，成为机械制

造领域的热点。

机械制造业还为科学研究提供基础的研究设备。当代的科学研究需要精密、复杂、大型的具有特殊功能的设备。航空航天设备一直就是机械加工技术攻关的目标之一，甚至需要专门为飞机发动机研制复杂、高精度的数控机床；研制计算机芯片不仅需要精密、复杂的特殊设备，还需要使设备所处的环境保持恒温、洁净、恒湿和隔振，这也需要相关设备才能保证。科学的进步当然要通过技术的进步来实现，而科学的进步也会对机械制造技术产生巨大的影响。如原子力显微镜的发明使得加工表面的研究进入了新的阶段，超磁致伸缩材料的发明为超声加工设备提供了新的机遇，高强、高硬度材料以及各种高性能涂层的研究成功让刀具可以承受更高的切削速度，激光的发明立即就获得了工业上的应用，目前在测量技术的发展过程中发挥着无可替代的作用。

1.2.2 直接生产消费品

制造的最终目的都是生产消费品。家用电器和汽车是最好的实例，这些产品直接改变着人们的生活方式，是人类社会进步的标志之一。消费品的生产数量极大，要求质量可靠、价格低廉以及对环境的污染最小。也正因为数量大，消费品生产技术的每一点进步都会产生巨大的经济和社会效益。由几十个零件组成的打火机在国内售价才一元钱，其上的销轴、磨轮、壳体的高效加工所涉及的技术并不简单。家用电器中电路板的生产和达到寿命后的回收，以目前的技术来处理，成本还过高，这是制造业的技术发展热点，甚至也成为社会关注的热点。

1.3 制造工程学的主要内容和学习方法

1.3.1 现代制造技术的理论基础

现代机械制造技术的基础和其他技术一样主要是物理和数学。机械制造技术最重要的部分是金属切削过程，其规律和机理解释以金属物理学、传热学和摩擦学为基础，机械加工中误差的产生和控制需要力学、几何和数理统计的理论，机械制造过程中刀具、夹具和量具的设计需要机械设计和机械制造基础作为知识准备。

1.3.2 现代机械制造企业面临的任务

现代机械制造业的主要任务是为社会提供装备和直接生产消费品。对于制造工艺和装备的发展来说，首先是高速高效切削加工的研究。本章文献[6]将高速切削定义为：切削加工过程是通过能量转换，使高硬刀具(切削部分)对工件材料作用，导致其表面层产生高应变速率的高速切削变形和刀具与工件之间的高速切削摩擦行为，形成热力耦合不均匀强应力场的制造工艺。这个定义说明高速切削较德国萨洛蒙在20世纪二三十年的研究已经有了根本的进步，相关的设备已经可以提供10万转的高转速，以及适应高转速的刀具和刀具夹持系统，而且相关的研究方兴未艾。目前在精密/超精密加工方面已经可以在特定的条件下搬动工件上的原子，对于较广范围可实现精密/超精密加工，这需要研制刚性更高、运动精度更高、可以实时精密测控的加工设备，相关的工艺方法也在不断地开发研究之

中,如超精密电解加工、电解机械复合光整加工。

数字制造是近几十年来发展最迅速的制造技术之一,这是建立在计算机信息处理科学发展的基础上的。数字制造设备包括各种数控机床、数控焊接设备、工业机器人和工业测量机。数字制造已经实现了网络传输设计制造信息,并正在由传统的 G 代码控制加工设备向设计信息直接驱动加工设备的方向发展。加工设备也正在向实时工况监测主动控制的方向发展。加工仿真从几何仿真向物理建模仿真的方向发展。

微米、纳米加工和微机械、微机电系统的发展涉及范围极其广泛,从尺度上需要考虑工艺系统的小尺寸效应、量子效应和界面效应。微米、纳米尺度下的摩擦磨损较之常规尺度下工件的行为有极大的变化,正比于表面积的力(如摩擦力、表面张力和静电力等)与正比于体积的作用力(如惯性力和重力等)相比,增大了几个数量级,表面力的增大使得磨损增大,进一步使得微米、纳米系统的设计需要遵循新的原则,因而对微米、纳米结构的加工提出了新的要求。

生物制造是最近几年来机械制造领域最新的研究方向,它可以分为广义生物制造和狭义生物制造。广义生物制造是模仿生物的生长过程,主要用微滴喷射技术实现受控三维形体的组装过程。狭义的生物制造是通过对多种细胞或细胞团簇直接或间接地受控组装,形成具有新陈代谢功能的生命体,经过培养和训练,完成用来修补病损组织的器官。生物制造需要高精密的设备,需要多学科合作,且需要更深入的科学研究成果作为技术基础。

资源循环型制造以机电产品全寿命周期设计制造管理为核心,基本内容称为 4R,即 Reduce(减量化)、Reuse(再利用)、Remanufacture(再制造)、Recycle(再循环),所涉及的不仅有广泛的科学研究基础,还有企业的社会责任,这与人类社会可持续发展的前途息息相关。

1.3.3 “机械制造工程”课程的内容和学习方法

这门课程的先修内容除了工科数学、物理、力学、机械制图和机械原理外,还需要学习过机械制造基础(或称为金属工艺学),尤其重要的是学生应该参加过金工实习。

本教材首先介绍工程材料切削原理,这是加工过程的基础;然后介绍刀具、机床和机床夹具,这些是工艺系统的主要组成部分;再介绍机械加工表面质量和机械加工精度,它们是研究机械加工过程的核心内容;接着介绍工艺规程设计,主要是设计指导生产的技术文件;最后简单介绍先进制造技术,这可作为后续课程“先进制造技术”的“绪论”。

我们对本课程的学习建议是:紧密结合工程实际,认真完成实验和课程设计,在教师指导下积极进行课余创新教学实践活动。

习题与思考题

1. 试分析制造技术和基础科学相互促进与相互依存的关系。
2. 制造技术发展的历史对于当时社会经济运行和发展有哪些重要的影响?
3. 从秦朝兵器上有相关责任人的姓名,到现代化的企业运行管理制度,哪些始终是影响制造质量的关键因素?
4. 收集你身边近期的实例,说明实施绿色制造的重要性和迫切性。
5. 预习本书内容,讨论哪些制造技术和计算机信息处理功能直接相关。

参考文献

- [1] http://www.chinaculture.org/gb/cn_sgfw/2004-07/09/content_56607.htm.
- [2] <http://baike.baidu.com/pic/1/11451051052912720.jpg>.
- [3] 马振智,等. 陕西省历史博物馆藏古代棘轮的工业 CT 检查与分析. 考古与文物, 2004(3).
- [4] 戴吾三. 齐国科技发展原因试析. 管子学刊, 1995(04).
- [5] <http://www.historicgames.com/lathes/related.html>.
- [6] 国家自然科学基金会工程与材料科学部. 机械与制造科学. 北京: 科学出版社, 2006.

第二章 工程材料切削原理

工程材料包括金属材料和非金属材料。大部分金属去除加工可以归结为工件预定部位材料在刀具作用下转变为切屑的过程。对于车、铣、刨、钻加工，都可以用车削加工来研究金属切削加工过程。本章重点介绍金属切削的基本规律及其应用，仅对非金属切削加工作一简单介绍。

2.1 金属切削的基本规律

金属切削的基本规律大体可以分成四部分，即切削变形、切削力、切削热和切削温度、刀具磨损和刀具耐用度的规律。

2.1.1 切削变形

下面通过如图 2-1 所示的最简单的塑性金属直角自由切削(直角切削指刀具的刃倾角 $\lambda_s=0$ 时的切削，自由切削指刀具只有单刃切削)来描述切削区。刀具挤压工件，工件切削层的金属以速度 v 进入 OA 线以后开始变形，直到 OE 线变形终止，这部分金属转变为切屑，这个变形区称为变形区 I；切屑从刀具表面流出，底部金属与刀具表面摩擦，形成变形区 II；工件已加工表面的金属经过刀刃部分挤压变形，形成变形区 III。

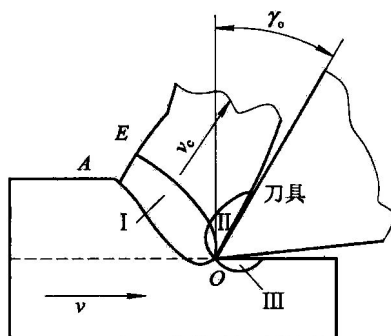


图 2-1 金属切削的三个变形区

切削层的金属到达 OA 线时，其应力达到材料的屈服强度 τ_s ，材料在向前方运动时，还沿着 OA 线滑移，因此 OA 线也称为始滑移线。材料到达 OE 线时，滑移终止，切削层材料转变为切屑，运动方向和刀具前刀面基本平行，速度为 v_c ， OE 线也称为终滑移线。变形区 I 的特征主要是沿着滑移线的剪切变形和随之而来的加工硬化。剪切区随切削速度增高

而变窄，一般都在 0.02~0.2 mm 范围内，因此可以用一个剪切面表示。剪切面和切削速度方向的夹角称为剪切角，符号为 ϕ 。剪切角越小，切削变形越大。一般描述切削变形大小用两个参数：变形系数 ξ 和相对滑移 ϵ 。

如果记切削层厚度为 a_c ，切屑的厚度为 a_{ch} ，如图 2-2(a) 所示，则厚度变形系数 ξ_a 为切屑厚度与切削层厚度之比，即

$$\xi_a = \frac{a_{ch}}{a_c} \quad (2-1)$$

长度变形系数为切削层长度和切屑长度之比，即

$$\xi_l = \frac{l_c}{l_{ch}} \quad (2-2)$$

由于切削层宽度和切屑宽度差异很小，因此有

$$\xi_l = \xi_a = \xi \quad (2-3)$$

相对滑移 ϵ 的定义为

$$\epsilon = \frac{\Delta s}{\Delta y}$$

由图 2-2(b) 可知，上式中的三个参数都是在对切削条件进行简化的前提下，按照纯剪切的观点提出的，实际应用时需要注意这种前提条件。

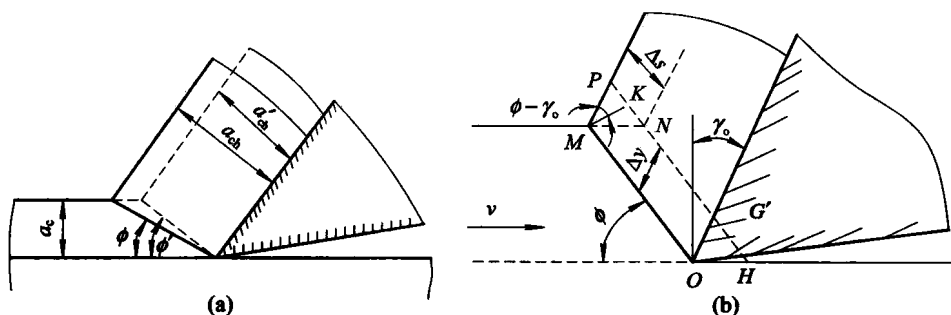


图 2-2 金属切削变形示意图

要测量剪切角 ϕ 和相对滑移 ϵ ，需要快速落刀装置来制取切屑根部试件，或利用高速摄影装置来测量。这样测量的结果相对准确。变形系数 ξ 的测量最方便，但是当变形系数 $\xi < 1.5$ 时，并不能认为此时变形就小。

变形区 II 如图 2-1 所示，切屑沿着前刀面 (Rake Face) 排出时进一步受到前刀面的挤压和摩擦，使得靠近前刀面处的金属纤维化，其方向基本上和前刀面平行。变形区 II 对于刀具上的力和温度的大小与分布直接产生作用。

2.1.2 切削力

金属切削加工时，刀具使工件材料变形转变成切屑时所承受的力，称为切削力。为测量、分析方便，可按照图 2-3 把切削力分解成 F_x 、 F_y 、 F_z 。

车削时，刀具在 F_y 方向没有运动，在进给方向速度 v_x 也很小，所以切削功率近似为

$$P_m = F_z v \quad (2-4)$$

式中， F_z 为切削力 (或切向力)，单位为 N； v 是切削速度，单位为 m/s。