



21st CENTURY
十一五规划

21世纪全国应用型本科

大机械系列 实用规划教材

机械制造基础 (下册)

——机械加工工艺基础

主 编 侯书林 朱 海
副主编 张学良 张 炜 魏 峥
主 审 张政兴

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材

机械制造基础

(下册)

机械加工工艺基础

主 编	侯书林	朱 海		
副主编	张学良	张 炜	魏 峥	
参 编	高改梨	孔建铭		
主 审	张政兴			

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本教材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,组织富有多年教学经验的¹教学一线骨干教师编写的,是《机械制造基础》的下册。主要内容有金属切削的基础知识、金属切削机床的基本知识、常用的加工方法综述、精密加工和特种加工简介、典型表面加工分析、先进制造技术、工艺过程的基本知识及零件结构的机械加工工艺性等内容。共计8章,每章后面附有习题。

本书十分注重学生获取知识、分析问题与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思维能力的提高。为此在本教材的编写内容上既体现了现代制造技术、材料科学和现代信息技术的密切交叉与融合,又体现了工程材料和制造技术的历史传承与发展趋势。

本书可作为高等工科院校、高等农林院校等机械类、近机类各专业的教材和参考书,也可作为高职类工科院校及机械制造工程技术人员的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础(下册):机械加工工艺基础/侯书林,朱海主编. —北京:中国林业出版社;北京大学出版社,2006.7

(21世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材)

ISBN 7-5038-4436-1

I. 机… II. ①侯… ②朱… III. ①机械制造—高等学校—教材 ②机械加工—工艺学—高等学校—教材 IV. ①TH ②TG5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 070959 号

书 名: 机械制造基础(下册)——机械加工工艺基础

著作责任者: 侯书林 朱海 主编

策划编辑: 李昱涛

责任编辑: 郭穗娟 杜娟

标准书号: ISBN 7-5038-4436-1

出 版 者: 中国林业出版社(地址:北京市西城区德内大街刘海胡同7号 邮编:100009)

<http://www.cfph.com.cn> E-mail: cfphz@public.bta.net.cn

电话:编辑部 66170109 营销中心: 66187711

北京大学出版社(地址:北京市海淀区成府路205号 邮编:100871)

<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com> E-mail: pup_6@163.com

电话:邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京宏伟双华印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社 中国林业出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 15.25印张 345千字

2006年7月第1版 2006年7月第1次印刷

定 价: 22.00元

《21世纪全国应用型本科犬机械系列实用规划教材》

专家编审委员会

名誉主任 胡正寰

主任委员 殷国富

副主任委员 (按拼音排序)

戴冠军 江征风 李郝林 梅 宁 任乃飞

王述洋 杨化仁 张成忠 张新义

顾 问 (按拼音排序)

傅水根 姜继海 孔祥东 陆国栋

陆启建 孙建东 张 金 赵松年

委 员 (按拼音排序)

方 新 郭秀云 韩健海 洪 波

侯书林 胡如风 胡亚民 胡志勇

华 林 姜军生 李自光 刘仲国

柳舟通 毛 磊 孟宪颐 任建平

陶健民 田 勇 王亮申 王守城

魏 建 魏修亭 杨振中 袁根福

曾 忠 张伟强 郑竹林 周晓福

丛书总序

殷国富*

机械是人类生产和生活的基本工具要素之一，是人类物质文明最重要的一个组成部分。机械工业担负着向国民经济各部门，包括工业、农业和社会生活各个方面提供各种性能先进、使用安全可靠的技术装备的任务，在国家现代化建设中占有举足轻重的地位。20世纪80年代以来，以微电子、信息、新材料、系统科学等为代表的新一代科学技术的发展及其在机械工程领域中的广泛渗透、应用和衍生，极大地拓展了机械产品设计制造活动的深度和广度，改变了现代制造业的产品设计方法、产品结构、生产方式、生产工艺和设备以及生产组织模式，产生了一大批新的机械设计制造方法和制造系统。这些机械方面的新方法和系统的主要技术特征表现在以下几个方面：

(1) 信息技术在机械行业的广泛渗透和应用，使得现代机电产品已不再是单纯的机械构件，而是由机械、电子、信息、计算机与自动控制等集成的机电一体化产品，其功能不仅限于加强、延伸或取代人的体力劳动，而且扩大到加强、延伸或取代人的某些感官功能与大脑功能。

(2) 随着设计手段的计算机化和数字化，CAD/CAM/CAE/PDM 集成技术和软件系统得到广泛使用，促进了产品创新设计、并行设计、快速设计、虚拟设计、智能设计、反求设计、广义优化设计、绿色产品设计、面向全寿命周期设计等现代设计理论和技术方法的不断发展。机械产品的设计不只是单纯追求某项性能指标的先进和高低，而是注重综合考虑质量、市场、价格、安全、美学、资源、环境等方面的影响。

(3) 传统机械制造技术在不断吸收电子、信息、材料、能源和现代管理等方面成果的基础上形成了先进制造技术，并将其综合应用于机械产品设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务的机械产品制造全过程，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。

(4) 机械产品加工制造的精密化、快速化，制造过程的网络化、全球化得到很大的发展，涌现出 CIMS、并行工程、敏捷制造、绿色制造、网络制造、虚拟制造、智能制造、大规模定制等先进生产模式，制造装备和制造系统的柔性可与重组已成为 21 世纪制造技术的显著特征。

(5) 机械工程的理论基础不再局限于力学，制造过程的基础也不只是设计与制造经验及技艺的总结。今天的机械工程学科比以往任何时候都更紧密地依赖诸如现代数学、材料科学、微电子技术、计算机信息科学、生命科学、系统论与控制论等多门学科及其最新成就。

上述机械科学与工程技术特征和发展趋势表明，现代机械工程学科越来越多地体现着知识经济的特征。因此，加快培养适应我国国民经济建设所需要的高综合素质机械工程学科人才的意义十分重大、任务十分繁重。我们必须通过各种层次和形式的教育，培养出适应世界机械工业发展潮流与我国机械制造业实际需要的技术人才与管理人才，不断推动我国机械科学与工程技术进步。

为使机械工程学科毕业生的知识结构由较专、较深、适应性差向较通用、较广泛、适

*殷国富教授：现为教育部机械学科教学指导委员会委员，现任四川大学制造科学与工程学院院长

应性强方向转化,在教育部的领导与组织下,1998年对本科专业目录进行了第3次大的修订。调整后的机械类专业变成4类8个专业,它们是:机械类4个专业(机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程、过程装备与控制、工业设计);仪器仪表类1个专业(测控技术与仪器);能源动力类2个专业(热能与动力工程、核工程与核技术);工程力学类1个专业(工程力学)。此外还提出了面向更宽的引导性专业,即机械工程及自动化。因此,建立现代“大机械、全过程、多学科”的观点,探讨机械科学与工程技术学科专业创新人才的培养模式,是高校从事制造学科教学的教育工作者的责任;建立培养富有创新能力人才的教学体系和教材资源环境,是我们努力的目标。

要达到这一目标,进行适应现代机械学科发展要求的教材建设是十分重要的基础工作之一。因此,组织编写出版面向大机械学科的系列教材就显得很有意义和十分必要。北京大学出版社和中国林业出版社的领导和编辑们通过对国内大学机械工程学科教材实际情况的调研,在与众多专家学者讨论的基础上,决定面向机械工程学科类专业的学生出版一套系列教材,这是促进高校教学改革发展的重大决策。按照教材编审委员会的规划,本系列教材将逐步出版。

本系列教材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,合理定位,由长期在教学第一线从事教学工作的教师立足于21世纪机械工程学科发展的需要,以科学性、先进性、系统性和实用性为目标进行编写,以适应不同类型、不同层次的学校结合学校实际情况的需要。本系列教材编写的特色体现以下几个方面:

(1) 关注全球机械科学与工程技术学科发展的大背景,建立现代大机械工程学科的新理念,拓宽理论基础和专业知识,特别是突出创造能力和创新意识。

(2) 重视强基础与宽专业知识面的要求。在保持较宽学科专业知识的前提下,在强化产品设计、制造、管理、市场、环境等基础理论方面,突出重点,进一步密切学科内各专业知识面之间的综合内在联系,尽快建立起系统性的知识体系结构。

(3) 学科交叉与综合的观念。现代力学、信息科学、生命科学、材料科学、系统科学等新兴学科与机械学科结合的内容在系列教材编写中得到一定的体现。

(4) 注重能力的培养,力求做到不断强化自我的自学能力、思维能力、创造性地解决问题的能力以及不断自我更新知识的能力,促进学生向着富有鲜明个性的方向发展。

总之,本系列教材注意了调整课程结构,加强学科基础,反映系列教材各门课程之间的联系和衔接,内容合理分配,既相互联系又避免不必要的重复,努力拓宽知识面,在培养学生的创新能力方面进行了初步的探索。当然,本系列教材还需要在内容的精选、音像电子课件、网络多媒体教学等方面进一步加强,使之能满足普通高等院校本科教学的需要,在众多的机械类教材中形成自己的特色。

最后,我要感谢参加本系列教材编著和审稿的各位老师所付出的大量卓有成效的辛勤劳动,也要感谢北京大学出版社和中国林业出版社的领导和编辑们对本系列教材的支持和编审工作。由于编写的时间紧、相互协调难度大等原因,本系列教材还存在一些不足和错漏。我相信,在使用本系列教材的教师和学生的关心和帮助下,不断改进和完善这套教材,使之在我国机械工程类学科专业的教学改革和课程体系建设中起到应有的促进作用。

前 言

本教材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，合理定位，由长期在教学第一线从事教学工作，富有教学经验的教师立足于 21 世纪机械制造学科发展的需要，以科学性、先进性、系统性和实用性为目标进行编写的，以适应不同类型、不同层次的学校教学的需要。

产品的制造工艺技术是企业生产某种产品的技术能力的核心，企业必须掌握先进的工业化的制造技术，产品才能具备市场竞争力。《机械制造基础》课程是工科院校进行产品的制造工艺教育的一门重要的技术基础课程，着重阐述常用工程材料及主要加工方法的基本原理和工艺特点，全面讲述了机械零件常用材料的选用、毛坯的选择、机械零件的加工方法和工艺路线的拟订及机械制造的新技术和新工艺。其兼有基础性、实用性、知识性、实践性与创新性等特点，是培养现代复合型人才的重要基础课程之一。本书即注重学生获取知识、分析问题与解决工程技术问题能力的培养，而且力求体现注重学生工程素质与创新思维能力的培养。为此在本教材的编写上既要体现现代制造技术、材料科学、现代信息技术的密切交叉与融合，又要体现工程材料和制造技术的历史传承和发展趋势。在内容的选择和编写上本教材有如下特点：

(1) 本书的编写力求适应机械类及近机类专业的实际应用，力求处理好常规工艺与现代新技术的关系。

(2) 内容的选择和安排上既系统丰富又重点突出，每个章节既相互联系，又相对独立，以便适应不同专业、不同学习背景、不同学时、不同层次的学生选用。

(3) 介绍现代机械制造技术的概念，反映机械制造新工艺和新成就，开阔学生视野，培养学生的创新素质和能力。

(4) 在内容的选择和安排上考虑到了机械类各专业的不同需要，具有一定的通用性。

(5) 为加深学生对课程内容的理解，掌握和巩固所学的基本知识，在分析问题和独立解决问题的能力方面得到应有的训练，每章后附有习题，供学生学完有关内容后及时进行消化和复习。

《机械制造基础》分为上下两册，上册为《工程材料及热加工工艺基础》，介绍了机械工程材料和零件毛坯的成形方法；下册为《机械加工工艺基础》，介绍了机械加工工艺基础。参加下册编写的有中国农业大学侯书林、高改梨、孔建铭，河南科技学院张学良，甘肃农业大学张炜，山东理工大学魏峥。由侯书林与东北林业大学朱海负责组织编写并任全书主编，张学良、张炜、魏峥任副主编。

本书由中国农业大学张政兴教授主审，在此表示衷心的感谢。

本书可作为高等工科院校、高等农林院校等机械类、近机类各专业的教材和参考书，也可供高职类工科院校选用及机械制造工程技术人员学习参考。

在全书的编写过程中,吸收了许多教师对编写工作的宝贵意见,在编写和出版过程中得到了北京大学出版社和中国林业出版社编辑人员的大力支持,在此一并表示由衷的谢意。

本书在编写过程中参考和引用了一些教材中的部分文字和插图,所用参考文献均已列于书后,在此对有关出版社和作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,不妥之处在所难免,衷心希望广大读者批评指正。

编者

2006年1月

21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材

参编学校名单 (按拼音排序)

- | | | | |
|----|----------|----|------------|
| 1 | 安徽建筑工业学院 | 30 | 黄石理工学院 |
| 2 | 安徽科技学院 | 31 | 吉林工程技术师范学院 |
| 3 | 安徽农业大学 | 32 | 江苏大学 |
| 4 | 北华大学 | 33 | 九江学院 |
| 5 | 北京建筑工程学院 | 34 | 军事交通学院 |
| 6 | 北京联合大学 | 35 | 兰州理工大学 |
| 7 | 长春大学 | 36 | 辽宁工程技术大学 |
| 8 | 长沙理工大学 | 37 | 鲁东大学 |
| 9 | 重庆工学院 | 38 | 内蒙古工业大学 |
| 10 | 重庆交通学院 | 39 | 南华大学 |
| 11 | 德州学院 | 40 | 南昌航空工业学院 |
| 12 | 东北林业大学 | 41 | 青岛科技大学 |
| 13 | 东华理工学院 | 42 | 山东理工大学 |
| 14 | 福建工程学院 | 43 | 上海工程技术大学 |
| 15 | 甘肃农业大学 | 44 | 上海水产大学 |
| 16 | 桂林工学院 | 45 | 上海理工大学 |
| 17 | 河北大学 | 46 | 沈阳大学 |
| 18 | 河北建筑工程学院 | 47 | 四川农业大学 |
| 19 | 河北农业大学 | 48 | 潍坊学院 |
| 20 | 河南工业大学 | 49 | 武汉工业学院 |
| 21 | 河南科技学院 | 50 | 武汉科技大学 |
| 22 | 湖北汽车工业学院 | 51 | 武汉理工大学 |
| 23 | 湖南工程学院 | 52 | 湘潭大学 |
| 24 | 湖南工学院 | 53 | 徐州师范大学 |
| 25 | 湖南工业大学 | 54 | 郑州航空工业管理学院 |
| 26 | 湖南理工学院 | 55 | 中北大学 |
| 27 | 江西理工大学 | 56 | 中国农业大学 |
| 28 | 华北水利水电学院 | 57 | 中南林业科技大学 |
| 29 | 华东交通大学 | | |

目 录

第 1 章 金属切削的基础知识	1	第 2 章 金属切削机床的基本知识	74
1.1 切削运动与切削要素	1	2.1 机床的类型和结构	74
1.1.1 零件表面的形成及切削运动	1	2.1.1 机床的类型	74
1.1.2 切削用量	2	2.1.2 机床的构造	77
1.1.3 切削层的几何参数	3	2.2 机床的传动	79
1.2 刀具材料及刀具角度	4	2.2.1 机床的机械传动	79
1.2.1 刀具材料	4	2.2.2 机床的液压传动	89
1.2.2 刀具角度	7	2.3 自动机床和数控机床简介	90
1.2.3 刀具结构	11	2.3.1 自动和半自动机床	90
1.3 金属切削过程	12	2.3.2 数控机床	91
1.3.1 切屑的形成及其类型	12	小结	97
1.3.2 积屑瘤	14	习题	98
1.3.3 切削力和切削功率	16	第 3 章 常用的加工方法综述	99
1.3.4 切削热和切削温度	17	3.1 车削的工艺特点及其应用	99
1.3.5 刀具磨损和刀具耐用度	18	3.1.1 车削的工艺特点	99
1.4 切削加工技术经济	19	3.1.2 车削的应用	100
1.4.1 切削加工的主要技术 经济指标	19	3.2 钻削、镗削的工艺特点及其应用	101
1.4.2 切削用量的合理选择	23	3.2.1 钻孔	101
1.4.3 切削液的选用	25	3.2.2 扩孔和铰孔	104
1.4.4 材料的切削加工性	25	3.2.3 镗孔	106
1.5 机械零件的极限与配合	27	3.3 刨削、拉削的工艺特点及其应用	108
1.5.1 基本概念	27	3.3.1 刨削的工艺特点	108
1.5.2 标准公差系列和基本 偏差系列	33	3.3.2 刨削的应用	109
1.5.3 国家标准规定的公差带 与配合	46	3.3.3 拉削	110
1.5.4 形状公差与位置公差	51	3.4 铣削的工艺特点及其应用	112
1.5.5 形位公差与尺寸 公差的关系	61	3.4.1 铣削的工艺特点	112
1.5.6 表面粗糙度	63	3.4.2 铣削方式	113
小结	70	3.4.3 铣削的应用	115
习题	70	3.5 磨削的工艺特点及其应用	116
		3.5.1 砂轮的特征要素	116
		3.5.2 磨削过程	119
		3.5.3 磨削工艺的特点	120
		3.5.4 磨削的应用及发展	122

小结	127	小结	162
习题	127	习题	162
第 4 章 精密加工和特种加工简介	129	第 6 章 先进制造技术	163
4.1 精密和光整加工	129	6.1 高速加工技术	163
4.1.1 研磨	129	6.1.1 高速加工及其特点	163
4.1.2 珩磨	131	6.1.2 高速加工机床	164
4.1.3 超级光磨	133	6.1.3 高速加工工具系统	167
4.1.4 抛光	134	6.2 快速原型制造技术	169
4.1.5 超精密加工概述	135	6.2.1 快速原型制造技术	
4.2 特种加工	136	的原理及特点	169
4.2.1 电火花加工	137	6.2.2 两种常用的 RPM 工艺	171
4.2.2 电解加工	139	6.3 先进制造模式	172
4.2.3 超声波加工	141	6.3.1 并行工程	172
4.2.4 高能束加工	142	6.3.2 敏捷制造	173
小结	148	6.3.3 精益生产	174
习题	148	6.3.4 虚拟制造	175
第 5 章 典型表面加工分析	149	6.3.5 网络化制造	177
5.1 外圆表面的加工	149	6.3.6 智能制造	177
5.1.1 外圆表面的技术要求	149	小结	180
5.1.2 外圆表面的加工方案	150	习题	180
5.2 内圆表面的加工	150	第 7 章 工艺过程的基本知识	181
5.2.1 内圆表面的技术要求	151	7.1 基本概念	181
5.2.2 内圆表面的加工方案	151	7.1.1 生产过程与工艺过程	181
5.3 平面的加工	152	7.1.2 生产类型	183
5.3.1 平面的技术要求	152	7.2 零件的安装与夹具	184
5.3.2 平面的加工方案	152	7.2.1 零件的安装	184
5.4 成形表面的加工	153	7.2.2 机床夹具简介	185
5.4.1 车锥面	153	7.2.3 零件定位原理	187
5.4.2 铰锥孔	155	7.2.4 常用定位元件	189
5.4.3 磨锥面	155	7.2.5 夹紧装置的组成和要求	194
5.4.4 加工特形面	155	7.2.6 夹紧力的确定	195
5.5 螺纹表面的加工	157	7.2.7 常用基本夹紧机构	198
5.5.1 螺纹表面的技术要求	157	7.3 机械加工工艺规程的拟定	201
5.5.2 螺纹表面的加工方法	157	7.3.1 零件的工艺分析	201
5.6 齿轮表面的加工	158	7.3.2 毛坯的选择及加工	
5.6.1 齿轮表面的技术要求	158	余量的确定	201
5.6.2 齿轮表面的加工方法	159	7.3.3 定位基准的选择	202

7.3.4 工艺路线的拟定	204	第 8 章 零件结构的机械加工工艺性	225
7.3.5 工艺文件的编制	211	8.1 切削加工对零件结构的要求	225
7.4 典型零件的工艺过程.....	215	8.2 机械零件结构加工工艺性	
7.4.1 轴类零件	215	典型实例.....	226
7.4.2 套类零件	217	小结	228
7.4.3 箱体类零件	220	习题	228
小结	223	参考文献	229
习题	223		

第 1 章 金属切削的基础知识

教学提示：金属切削加工是用切削工具(包括刀具、磨具和磨料)从毛坯上去除多余的金属，以获得具有所需的几何参数(尺寸、形状和位置)和表面粗糙度的零件的加工方法。切削加工能获得较高的精度和表面质量，对被加工材料、零件几何形状及生产批量具有广泛的适应性。机器上的零件除极少数采用精密铸造和精密锻造等无切屑加工的方法获得以外，绝大多数零件都是靠切削加工来获得。因此如何进行切削加工，对于保证零件质量、提高劳动生产率和降低成本，有着重要的意义。

教学要求：金属切削加工虽然有多种不同的形式，但是，它们有很多方面如切削时的运动、切削工具以及切削过程的物理实质等，都有着共同的现象和规律。本章就是让学生了解金属切削加工过程中的物理、力学现象，以便在实际工作中正确地选择切削参数、刀具材料及刀具角度，对具体情况进行具体分析，合理地、灵活地应用这些知识来解决问题。

1.1 切削运动与切削要素

1.1.1 零件表面的形成及切削运动

虽然机器零件的形状千差万别，但分析起来都是由下列几种简单的表面组成的，即外圆面、内圆面(孔)、平面和成形面。因此，只要能对这几种表面进行加工，就基本上能完成所有机器零件表面的加工。

外圆面和内圆面(孔)是以某一直线或曲线为母线，以圆为轨迹，作旋转运动时所形成的表面。

平面是以一直线为母线，以另一直线为轨迹，作平移运动时所形成的表面。

成形面是以曲线为母线，以圆、直线或曲线为轨迹，作旋转或平移运动时所形成的表面。

零件的不同表面，分别由相应的加工方法来获得，而这些加工方法是通过零件与不同的切削刀具之间的相对运动来进行的。我们称这些刀具与零件之间的相对运动为切削运动。以车床加工外圆柱面为例来研究切削的基本运动，如图 1.1 所示。切削运动可分为主运动和进给运动两种类型。

1. 主运动

使零件与刀具之间产生相对运动以进行切削的最基本运动，称为主运动。主运动的速度最高，所消耗的功率最大。在切削运动中，主运动只有一个。它可由零件完成，也可以由刀具完成；可以是旋转运动，也可以是直线运动。如图 1.1 中由车床主轴带动零件作的回转运动。

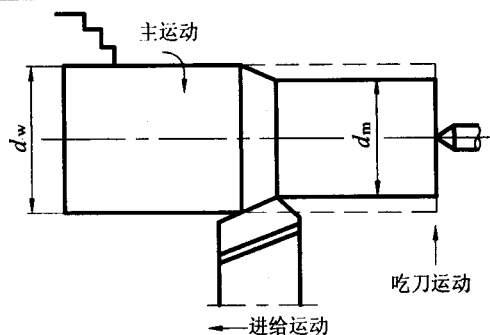


图 1.1 车削运动

2. 进给运动

不断地把被切削层投入切削, 以逐渐切削出整个零件表面的运动, 称为进给运动。如图 1.1 中刀具相对于零件轴线的平行直线运动。进给运动一般速度较低, 消耗的功率较少, 可由一个或多个运动组成。它可以是连续的, 也可以是间断的。

1.1.2 切削用量

在切削过程中, 零件上形成了以下 3 个表面。

已加工表面: 零件上切除切屑后留下的表面;

待加工表面: 零件上将被切除切削层的表面;

过渡表面: 零件上正在切削的表面, 亦即已加工表面和待加工表面之间的表面。

在一般的切削加工中, 切削要素(即切削用量)包括切削速度、进给量和背吃刀量 3 个要素。

1. 切削速度 v_c

在单位时间内, 刀具相对于零件沿主运动方向的相对位移, 单位为 m/s 。当主运动是回转运动时, 则其切削速度

$$v_c = \frac{\pi dn}{1000} \quad (1-1)$$

式中: d ——零件待加工表面直径 d_w 或刀具直径 d_o , mm ;

n ——零件或刀具的转速, r/s 。

若主运动是往复运动时, 则其平均速度

$$v_c = \frac{2Ln_r}{1000} \quad (1-2)$$

式中: L ——往复运动行程长度, mm ;

n_r ——主运动每秒的往复次数, str/s 。

2. 进给量 f

在单位时间内, 刀具相对于零件沿进给运动方向的相对位移。例如车削时, 零件每转一转, 刀具所移动的距离, 即为(每转)进给量, 单位为 mm/r 。又如在牛头刨床上刨平面时, 刀具往复一次, 零件移动的距离, 单位为 mm/str (即毫米/双行程)。铣削时由于铣刀是多齿

刀具，还常用每齿进给量表示，单位为 mm/z(即毫米/齿)。

3. 背吃刀量 a_p

待加工表面与已加工表面间的垂直距离，单位为 mm。对于图 1.2 外圆车削来说，背吃刀量可表示为

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1-3)$$

式中： d_w ——待加工圆柱面直径；

d_m ——已加工圆柱面直径。

1.1.3 切削层的几何参数

切削层是指零件上正被切削刃切削的一层金属，即两个相邻加工表面间的那层金属，即零件转一转，主切削刃移动一个进给量 f 所切除的金属层，如图 1.2 所示。

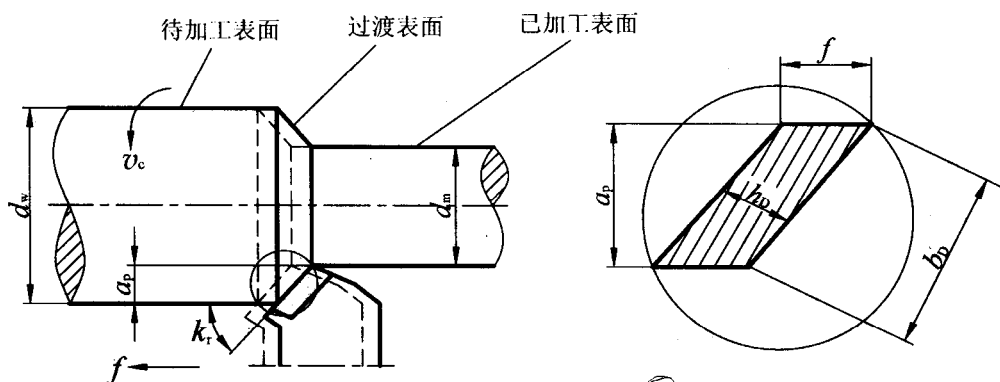


图 1.2 车削要素

切削层参数对切削过程中切削力的大小、刀具的载荷和磨损，零件加工的表面质量和生产率都有决定性的影响。

切削层的几何参数通常在垂直于切削速度的平面内观察和度量，它们包括切削层公称厚度、切削层公称宽度和切削层公称横截面积。

1. 切削层公称厚度 h_D

相邻两加工表面间的垂直距离，如图 1.2 所示。公称厚度的单位为 mm。车外圆时，若车刀主切削刃为直线，则

$$h_D = f \sin k_r \quad (1-4)$$

从式(1-4)可见，切削层厚度和进给量与刀具和零件间的相对角度有关。

2. 切削层公称宽度 b_D

沿主切削刃度量的切削层尺寸，单位为 mm。车外圆时：

$$b_D = \frac{a_p}{\sin k_r} \quad (1-5)$$

3. 切削层公称横截面积 A_D

切削层在垂直于切削速度截面内的面积, 单位为 mm^2 。车外圆时:

$$A_D = h_D b_D = f a_p \quad (1-6)$$

1.2 刀具材料及刀具角度

无论哪种刀具, 一般都是由切削部分和夹持部分组成。夹持部分是用来将刀具夹持在机床上的部分, 要求它能保证刀具具有正确的工作位置, 传递所需要的运动和动力, 并且夹持可靠, 装卸方便。切削部分是刀具上直接参与切削工作的部分, 刀具的切削性能取决于刀具切削部分的性能和几何形状。

1.2.1 刀具材料

1. 刀具材料应具备的性能

刀具材料是指切削部分的材料。它在高温下工作, 并要承受较大的压力、摩擦力、冲击力和振动力等。由于刀具工作环境的特殊性, 为保证切削的正常进行, 刀具材料必须具备以下基本要求。

(1) 高硬度。刀具的硬度必须高于被切削零件材料的硬度, 才能切下金属切屑。常温硬度一般在 60HRC 以上。

(2) 足够的强度和韧度。刀具在切削力作用下工作, 应具有足够的抗弯强度。刀具具有足够的韧度, 才能承受切削时的冲击载荷(如断续切削时产生的冲击)和振动。

(3) 高耐磨性。刀具材料应具有高的抵抗磨损的能力, 以保持切削刃的锋利。一般来说, 材料的硬度愈高, 耐磨性愈好。

(4) 高的热硬性(红硬性)。由于切削区温度很高, 因此刀具材料应具有在高温下仍能保持高硬度的性能, 热硬性能承受最高的切削温度来表示。高温时硬度高则热硬性高。热硬性是评价刀具材料切削性能的主要指标之一。

(5) 良好的工艺性。为了便于刀具的制造, 刀具材料应具有良好的工艺性。工艺性包括锻、轧、焊、切削加工、磨削加工和热处理性能等。

目前已开发使用的刀具材料, 各有其特性, 但都不能完全满足上述要求。在生产中常根据被加工对象的材料性能及加工要求, 选用相应的刀具材料。

2. 常用的刀具材料

(1) 碳素工具钢。是含碳量在 0.7%~1.3% 的优质碳钢, 淬火后硬度为 61~65HRC。其热硬性差, 在 200~500℃ 时即失去原有硬度。且淬火后易变形和开裂, 不宜作复杂刀具。常用作低速、简单的手工工具, 如锉刀、锯条等。常用牌号有 T10A 和 T12A。

(2) 合金工具钢。在碳素工具钢中加入少量的铬、钨、锰、硅等合金元素, 以提高其热硬性和耐磨性, 并能减少热处理变形, 耐热温度为 300~400℃, 用以制造形状复杂、要求淬火变形小的刀具, 如绞刀、丝锥、板牙等。常用牌号有 9SiCr 和 CrWMn。

(3) 高速钢。它是含 W、Cr、V 等合金元素较多的合金工具钢。它的热硬性(500~600℃)和耐磨性虽低于硬质合金,但强度和韧度高于硬质合金,工艺性较硬质合金好,且价格也比硬质合金低。由于高速钢工艺性能较好,所以高速钢除以条状刀坯直接刃磨切削刀具外,还广泛地用于制造形状较为复杂的刀具,如麻花钻、铣刀、拉刀、齿轮刀具和其他成形刀具等。

常用高速钢有普通型高速钢、高性能高速钢和粉末冶金高速钢。

普通型高速钢有钨钢类和钨钼钢类。钨钢类的典型牌号为 W18Cr4V。钨钼钢类如 W6Mo5Cr4V2,其热塑性比钨钢类好,可通过热轧工艺制作刀具,韧度也较钨钢为高。

高性能高速钢是在普通高速钢的基础上增加一些 C 和 V 的含量,并加入 Co、Al 等合金元素,提高其热稳定性和耐热性,所以也叫高热稳定性高速钢。在 630~650℃时也能保持 60HRC 的硬度。典型牌号如高碳高速钢 9W18Cr4V,高钒高速钢 W6Mo5Cr4V3,钴高速钢 W6Mo5Cr4V2Co8,超硬高速钢 W2Mo9Cr4VCo8 等。

粉末冶金高速钢由超细的高速钢粉末,通过粉末冶金的方式制作的刀具材料。其强度、韧度和耐磨性都有较大程度的提高,但价格也较高。

(4) 硬质合金。是以 WC、TiC 等高熔点的金属碳化物粉末为基体,用 Co 或 Ni、Mo 等作粘结剂,用粉末冶金的方法烧结而成。其硬度高达 87HRA~92HRA(相当于 70 HRC~75HRC),热硬性很高,在 850~1000℃高温时,尚能保持良好的切削性能。

硬质合金刀具的切削效率是高速钢刀具的 5~10 倍,广泛使用硬质合金刀具是提高切削加工经济性的最有效的途径之一。硬质合金刀具能切削一般钢刀具无法切削的材料,如淬火钢之类的材料。硬质合金刀具的缺点是性脆、抗弯强度和冲击韧度均比高速钢刀具低,刃口不锋利,工艺性较差,难加工成形,不易做成形状较复杂的整体刀具,因此目前还不能完全代替高速钢刀具。

硬质合金是重要的刀具材料。车刀和端铣刀大多使用硬质合金制作。钻头、深孔钻、绞刀、齿轮滚刀等刀具中,使用硬质合金的也日益增多。

① 国产的硬质合金一般分为 3 大类。

- 钨钴硬质合金。代号为 YG,由 WC 和 Co 组成。这类合金的韧度较好,抗弯强度较高,热硬性稍差,适应于加工铸铁、有色金属及合金等脆性材料。常用的牌号有 YG3, YG6, YG8, YG3X, YG6X 等。牌号中的数字代表含钴量的百分数, X 表示细晶粒合金。含钴愈多,韧度与强度愈高,而硬度和耐磨性较低。故 YG8 用作粗加工, YG3 用作精加工, YG6 用作半精加工。细晶粒合金耐磨性稍高且切削刃可磨得较尖锐,用于脆性材料的精加工,如用 YG6X 做成的车刀,加工零件的表面粗糙度 R_a 值为 0.1~0.2 μm ,耐用度比高速钢高 7~8 倍。
- 钨钛钴硬质合金。代号为 YT,由 WC、TiC 和 Co 组成。由于 TiC 的熔点和硬度都比 WC 高,故这类合金的热硬性比钨钴硬质合金高,耐磨性亦较好,适于加工碳钢等塑性材料。常用的牌号有 YT5, YT14, YT15, YT30。牌号中的 T 表示 TiC,数字表示碳化钛含量的百分数。含 TiC 量愈多,热硬性愈高,相应地含钴量减少,韧度较差。故 YT30 常用于精加工, YT5 用于粗加工。
- 通用硬质合金。代号为 YW。在 YT 类合金中,加入 TaC 或 NbC 而组成。这类合金的韧性和抗黏附性较高,耐磨性亦较好,适应范围广,既能切削铸铁,又能切削钢