

工程训练系列规划教材

机械加工工艺基础

■主编 马树奇



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

 工程训练系列规划教材

机械加工

工艺基础

主编 马树奇

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书为工程训练系列教材之一。全书涉及内容广泛,既涵盖了传统教学中的金属切削原理、刀具、机床(部分)、传统特种加工及典型表面的工艺分析等主要内容,又新增了胶接技术、新型特种加工技术等重点内容,而且对数控技术、先进生产系统及管理技术等也作了重点介绍。

本书既可作为高校机械、近机械类教学中的教材,也可以作为相关工程基础训练的辅助材料。全书配有相关的 CAI 课件。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械加工工艺基础/马树奇主编.北京:北京理工大学出版社,2005.7

(工程训练系列规划教材)

ISBN 7-5640-0550-5

I.机... II.马... III.机械加工-工艺学-高等学校-教材 IV.TG5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 062089 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(发行部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

电子邮箱 / chiefedit@bitpress.com.cn

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京圣瑞伦印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 11

字 数 / 222 千字

版 次 / 2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

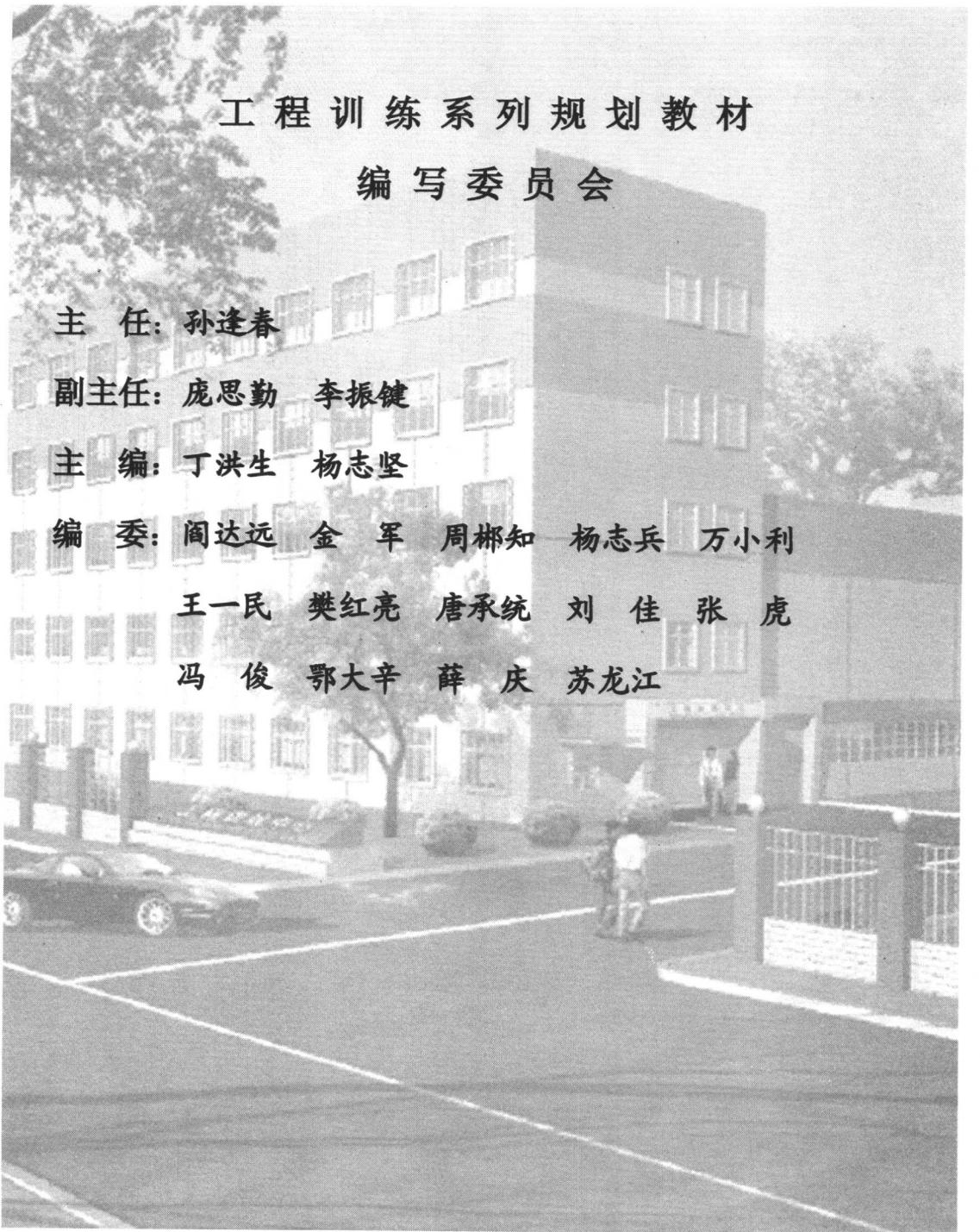
印 数 / 1~4000 册

责任校对 / 张 宏

定 价 / 16.00 元

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题,本社负责调换



工程训练系列规划教材

编写委员会

主任：孙逢春

副主任：庞思勤 李振健

主编：丁洪生 杨志坚

编委：阎达远 金 军 周郴知 杨志兵 万小利

王一民 樊红亮 唐承统 刘 佳 张 虎

冯 俊 鄂大辛 薛 庆 苏龙江

总 序

北京理工大学工程训练中心始建于1999年世界银行贷款“高等教育发展项目”,同时得到了北京理工大学“985工程”实验教学基地建设、“211工程”公共服务体系建设等项目的支持。中心建设坚持以机械工程学科(含机械制造及自动化、机械设计及理论、机械电子工程、车辆工程及工业工程等五个二级学科)为龙头,依托四大课群(工程材料与机械制造基础课群、机械设计基础课群、机械工程及自动化专业课群以及工业工程专业课群)的知识点,本着“边建设、边运行、边发挥效益”的原则,瞄准高水平、高起点和领先目标,进行规模化、系统化规划和建设。建立了一个面向全校机械类、近机械类以及经、管、文、理等相关专业的本科生工程训练、自主学习和课外科技活动的现代化公共实践教学支撑平台。同时,也为研究生教育以及高等职业教育提供实习实训基地,为科研和学科建设提供服务。在立足本校的基础上,面向地区,发挥了中心示范辐射作用。该公共实践教学支撑平台,加强了资源共享力度,丰富和改善了公共资源环境,为我校的整体办学条件和办学能力的进一步提高奠定了坚实的公共基础。

本套工程训练系列教材根据本科学生在校四年期间“工程训练不断线”的新思想,以工程训练实训为载体,全面提高学生的工程素质为目的,紧紧围绕着工程训练实践教学课程体系、实践教学内容、实践教学方法与手段的改革,充分利用学科建设优势,注重实践教学基地建设与学科建设、课群建设和科研相融合,利用最新科学研究成果,不断更新工程训练实训内容,将前沿的科学技术知识传授给学生,缩短学生与现代技术的距离,扩展工程训练内涵,提升工程训练实训水平,突破以传统“金工实习”为主的实践教学框架,实现“金工实习”向全面工程训练的转变,建立了分阶段、多层次、模块化、开放型、综合性工程训练教学新模式,形成使本科学生进行大工程、大机械以及工程集成全面工程训练的特色。该实践教学体系有利于根据不同专业、不同层次学生的需求;有利于采取灵活的教学方式安排工程实践训练教学内容;有利于培养学生的实践能力、创新意识和工程综合素质;有利于提高实践训练水平。其改革成果已纳入和体现于《北京理工大学2003年教学概览》之中。

本套系列规划教材的建设体现教师参与工程训练中心工程训练实训实践教学成果的固化和再现,有效地利用学科建设的资源,促进实践基地与学科建设、科学研究和课群建设的融合,增大工程训练基地规模,促使工程训练的可持续发展,将进一步推动工程训练中心的建设和发展。

工程训练系列规划教材编委会

前 言

根据国家教委颁发的《工程材料及机械制造基础教学大纲》及本校机械类相关专业多年教学实践的总结,结合我们对于现代制造业对理工科大学生工程基础教育要求的理解,在“工程训练系列教材编写委员会”的指导下,我们编写了本教材及相关 CAI 课件。

在编写的过程中,编者努力体现当代高等教育要求学生知识面广、适应能力强、重在基础的特点,避免了以往一些教材结构死板、知识面窄的缺点,根据我们在多年的教学、社会调查中积累的经验 and 对于现代制造业技术发展方向的理解,对传统的教学内容进行了精心选择,以达到强调基础知识、新技术新工艺、分析能力、管理能力和创新能力培养的目标。

这本教材涉及的内容很广,主要讲述了传统的机械加工基本规律、基本方法,另外也兼顾介绍了关于现代化数控加工技术、超精加工技术,既可以作为高校机械、近机械类教学中的教材,也可以作为相关工程基础训练的辅助材料。

本书的 CAI 课件可从北京理工大学出版社 www.bitpress.com.cn 下载。

本书由马树奇主编,其中第七章由任秀华编写,第六章的一部分及第九章由赵玉灿编写,其余部分由马树奇编写。由于我们的水平有限,书中难免有疏漏之处,望广大同行批评指正。

编 者
2005 年 4 月

目 录

第一章 机械加工概述

- 1.1 机械加工方法分类及特点 1
- 1.2 零件的种类及零件表面的成形方法 3

第二章 切削加工基础

- 2.1 刀具材料与几何角度 8
- 2.2 金属切削过程 17
- 2.3 切削过程中的物理现象 21
- 2.4 刀具磨损 26
- 2.5 刀具耐用度 30
- 2.6 切削液 32
- 2.7 工件材料的切削加工性 35

第三章 主要切削加工方法

- 3.1 车削 41
- 3.2 铣削 49
- 3.3 刨削、插削和拉削 57
- 3.4 镗削 59
- 3.5 钻、扩、铰、铰 60
- 3.6 磨削 65
- 3.7 精密加工 73
- 3.8 超精密加工和微细加工 78

第四章 特种加工

- 4.1 概述 82
- 4.2 电火花加工 83
- 4.3 电解加工 85
- 4.4 超声波加工 87
- 4.5 激光加工 88
- 4.6 电子束和离子束加工 90
- 4.7 水射流切割技术 92

第五章 数控加工	
5.1 数控技术简介	95
5.2 数控机床的特点及应用	96
5.3 加工中心	99
第六章 其他加工技术	
6.1 直接成形技术	102
6.2 胶接技术	108
第七章 典型表面加工	
7.1 旋转表面加工	122
7.2 平面加工	124
7.3 螺纹加工	126
7.4 齿形加工	133
第八章 零件的结构工艺性	
8.1 零件结构工艺性的概念	139
8.2 设计原则及应用	140
第九章 传统生产系统与先进生产系统	
9.1 生产方式的发展历程	145
9.2 传统生产系统	147
9.3 先进生产系统	150
9.4 先进管理技术	156
参考文献	163

第一章 机械加工概述

学习重点

- 了解机械加工方法分类及特点;
- 掌握主要的切削加工方法、特种加工方法、零件的种类及各种表面的成形方法。

现代机械制造业涉及的加工范围很广,既可进行一般精度的加工又能完成高精度的加工;既有简单形状又有很复杂的形状;既包括常规的金属材料又包括新型的工程材料和非金属材料,几乎可以涵盖社会生活的大多数生产领域。本章将重点介绍机械加工常用技术的总体情况。

1.1 机械加工方法分类及特点

机械加工方法按照加工原理及应用可以简单地分为如下几类:

①切削加工;②特种加工;③其他加工方法。

1.1.1 切削加工

切削加工是利用切削刀具从工件表面切去多余材料的加工方法,使工件符合零件图纸规定的形状、尺寸和表面粗糙度等方面的要求。

切削加工有如下主要特点:

(1) 切削加工可以达到的精度和表面粗糙度范围广。其尺寸公差范围是 IT12 ~ IT3,表面粗糙度 R_a 值范围是 $25 \sim 0.008 \mu\text{m}$ 。这样宽的加工范围是目前其他加工方法难于实现的。

(2) 切削加工零件的材料、形状、尺寸和质量范围较大。切削加工多用于金属材料的加工,如各种碳钢、合金钢、铸铁、有色金属及其合金等;也可用于某些非金属材料的加工,如石材、木材、塑料和橡胶等,对于零件的形状和尺寸基本没有什么限制。现代制造业已经有了各种型号及大小的机床,既可以加工数十米的大型零件,也可以加工几毫米的小零件;加工的表面既包括各种常见表面,如外圆、内圆、锥面、螺纹、齿形,也可以加工不规则的空间曲面;切削加工的零件质量可达数百吨,如葛洲坝一号船闸的闸门;轻的只有几克,如微型仪表零件。

(3) 切削加工的生产率较高。在常规条件下,切削加工的生产率一般高于其他加工方法,只有少数特殊场合低于精密铸造、精密锻造和粉末冶金等方法。

(4) 刀具材料的硬度一定要大于工件材料的硬度。由于切削过程中存在切削力,刀具还需要有一定的强度和刚度;加工时应设法保证工件有一定的刚度以防止工件变形。

随着现代科学技术的飞速发展,切削加工正在向高精度、高效率、自动化、柔性化和智能化方向发展,主要体现在以下三方面:

(1) 加工设备朝着数控技术、精密和超精密、高速和超高速方向发展。在本世纪中,数控技术、精密和超精密加工技术将进一步普及。普通加工的精度可以达到 $1\ \mu\text{m}$,精密加工和超精密加工的精度将可达到 $0.01\ \mu\text{m}$ 和 $0.001\ \mu\text{m}$,向原子级加工逼近。

(2) 刀具材料向超硬材料方面发展。目前我国常用刀具材料是高速钢和硬质合金,在今后的若干年中,陶瓷、聚晶金刚石(PCD)和聚晶立方氮化硼(PCBN)等超硬材料将被普遍应用于切削刀具,使切削速度可高达每分钟数千米。

(3) 生产模式由目前的小批量和单品种大批量模式向多品种可变批量发展,生产方式由目前的手工操作、机械化、单机自动化、刚性流水线向柔性自动化和智能自动化方向发展。

现代切削加工技术必将与计算机、自动化、系统论、控制论及人工智能、计算机辅助设计与制造、现代集成制造系统等高新技术及理论相融合,并由此推动其他各新兴学科在切削理论和技术中的应用。

切削加工按照加工精度和实现方式的不同可以分为普通精度加工、精密加工和超精密加工。

一、普通精度加工

普通精度加工是指一般机械加工中大量采用的常规生产过程,采用普通的生产设备,适用于机械制造业的大多数领域,可以完成一般从粗加工到精加工的过程,其加工范围上限尺寸公差是 IT7~IT5,表面粗糙度 R_a $1.6\sim0.2\ \mu\text{m}$,常采用的加工方法有车、铣、镗、钻、刨、磨、铰、拉削等。机床、汽车和拖拉机等产品中使用的绝大多数零件均可采用这些方法实现。

二、精密加工

精密加工的尺寸公差等级为 IT5~IT3,表面粗糙度 R_a 值小于 $0.1\ \mu\text{m}$ 。常采用的加工方法有金刚石车削、金刚镗削、珩磨、研磨、超精加工、砂带磨削和镜面磨削等。精密加工在制造业中处于十分重要的地位,常用于精密丝杠、精密齿轮、精密蜗轮、精密导轨和精密轴承等关键零件的加工。

三、超精密加工

超精密加工是指尺寸精度要求更高,表面粗糙度值更小的加工,其尺寸公差可达到 $0.1\sim0.01\ \mu\text{m}$,表面粗糙度 R_z (微观不平度十点高度)为 $0.001\ \mu\text{m}$ 。

进行精密和超精密加工,不但要有高精度和高刚度的设备、相应的测量技术,还要有良好的工作环境,如恒温车间、空气净化和地基防震等。

1.1.2 特种加工

特种加工是指不采用常规的刀具或磨具进行普通切削加工,而是直接利用电能、电化学

能、声能或光能等能量形式,或者选择几种能量的复合形式对材料进行加工。

特种加工技术主要包括电火花加工、电子束和离子束加工、电解加工、超声波加工、激光加工等。

特种加工技术使得人类进行加工的手段从传统的刀具切削思维模式中解脱出来,改变了传统的材料加工性观念,为设计师提供了更广阔的材料应用和结构设计新天地,为工艺师提供了解决多种工艺难题的手段。

1.1.3 其他加工方法

一般加工方法都是采用从工件材料的基础上“减少”部分材料而获得理想形状,但是这样的加工方法在材料使用上以及加工过程中都带来了明显的浪费。经过无数人的努力探索,现在已经形成了多种直接成形技术,如爆炸成形、旋压成形等。另外,人们还可以应用胶接技术实现零件之间的连接,使用高速水射流对材料进行切割等,这些技术在一些工业领域中获得了重要的应用。由于此类加工方法随着制造技术的进步还会不断出现,因此这里统称为其他加工方法。

1.2 零件的种类及零件表面的成形方法

1.2.1 零件的种类

切削加工的对象是构成机械产品的各种零件。零件虽然随其功用、形状、尺寸和精度诸因素的不同而千变万化,但按其结构一般可分为六类,即轴类(图 1-1)、盘套类(图 1-2)、支架箱体类(图 1-3)、六面体类(图 1-4)、机身机座类(图 1-5)和特殊类(图 1-6)零件。其中轴类零件、盘套类零件和支架箱体类零件是最常见的三类零件。同类型的零件结构类似,加工工艺上有许多共同之处,因此对零件进行分类既有利于学习和掌握各类零件的加工工艺特点,也有利于组织生产。

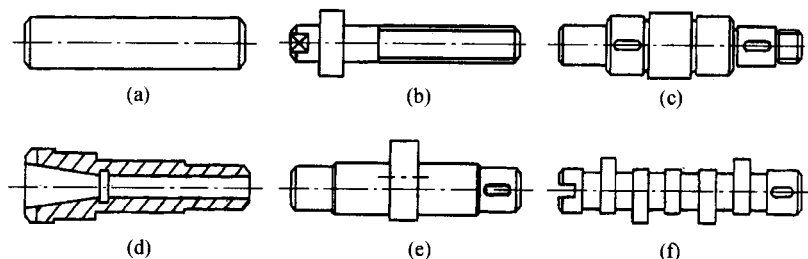


图 1-1 轴类零件

(a)光滑轴;(b)拉杆;(c)传动轴;(d)主轴;(e)偏心轴;(f)凸轮轴;

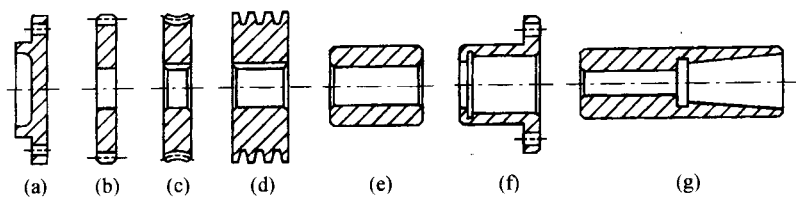


图 1-2 盘套类零件

(a)端盖;(b)齿轮;(c)蜗轮;(d)带轮;(e)轴套;(f)轴承套;(g)尾座套筒

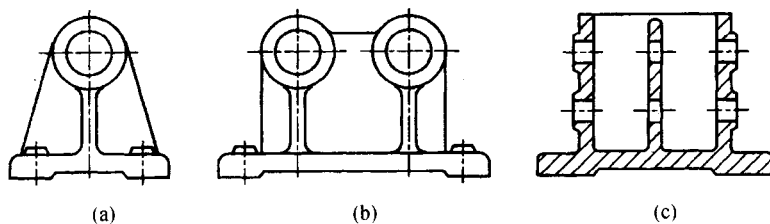


图 1-3 支架箱体类零件

(a)单孔支架;(b)双孔支架;(c)箱体

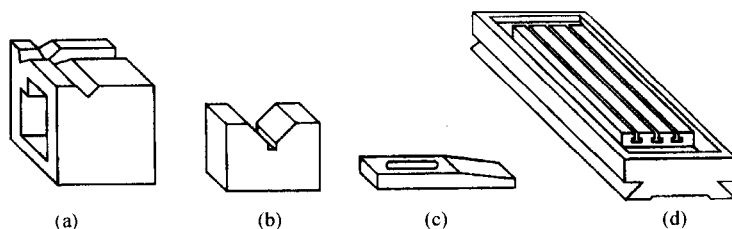


图 1-4 六面体类零件

(a)方箱;(b)V型铁;(c)压板;(d)工作台

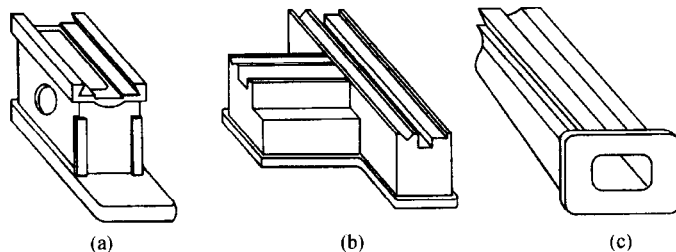


图 1-5 机身机座类零件

(a)牛头刨床的床身;(b)磨床的床身;(c)钻床的床身

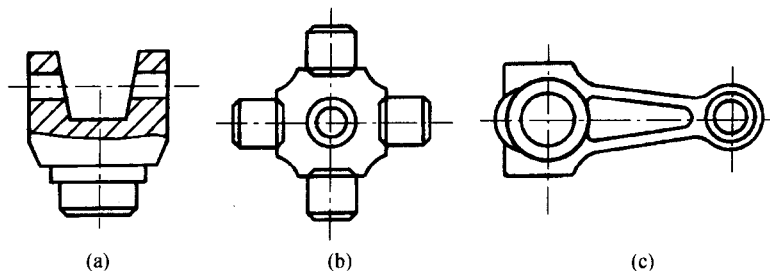


图 1-6 特殊类零件

(a)转向臂;(b)万向节;(c)发动机连杆

1.2.2 组成零件的表面

切削加工的总体对象是零件。具体到每一个切削加工环节,其加工对象就是零件上的各个表面。组成零件的常见表面有外圆、内圆、锥面、平面、螺纹、齿形及各种沟槽等。图 1-7 所示的心轴体零件就是由外圆、内圆、外锥面、内锥面、外螺纹、内螺纹、直角槽、回转槽、轴肩平面和端平面等组成。切削加工的目的之一就是要用各种切削方法在毛坯上加工出这些表面。

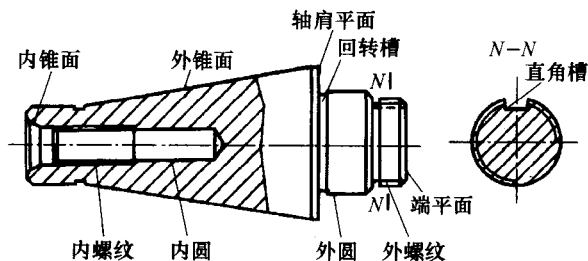


图 1-7 构成心轴体零件的各种表面

1.2.3 零件表面的成形方法

零件表面的成形方法常见的有轨迹法、成形法和展成法三种。

一、轨迹法

轨迹法是利用非成形刀具,在一定的切削运动下,由刀尖轨迹获得零件所需表面的方法,如一般的车削、铣削、镗、钻、刨削等,如图 1-8 所示。

二、成形法

成形法是利用成形刀具,在一定的切削运动下,由刀刃形状获得零件所需表面的方法,如

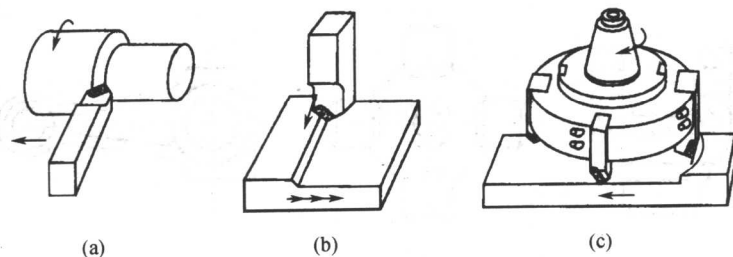


图 1-8 轨迹法加工示意
(a)车外圆;(b)刨平面;(c)铣平面

图 1-9 所示。成形法加工的生产率较高,但是刀具的制造和安装误差对被加工表面的形状精度影响较大。

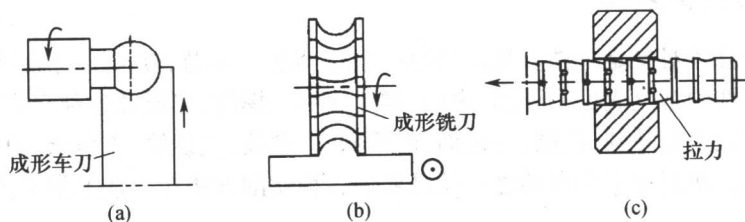


图 1-9 成形法加工示意
(a)车球面;(b)铣凸圆弧面;(c)拉孔

三、展成法

展成法是在一定的切削运动下,利用刀具依次连续切出的若干微小表面而包络出所需表面的加工方法,如图 1-10 所示。

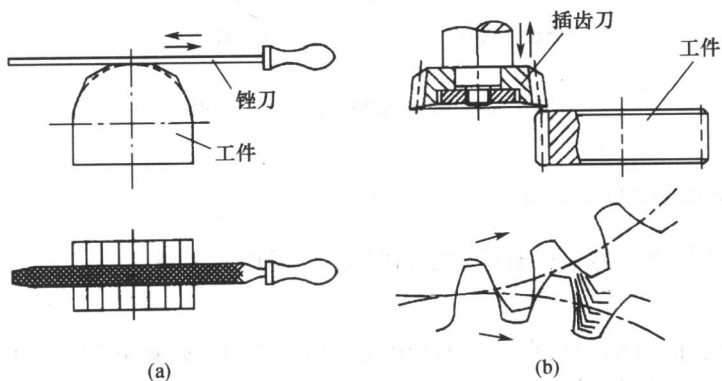


图 1-10 展成法加工示意图
(a)锉削外圆弧面;(b)插齿

复习思考题

1. 切削加工有哪些主要特点?
2. 切削加工的发展方向是什么?
3. 切削加工按照精度水平如何分类?
4. 什么是特种加工?
5. 零件按其结构一般可分为哪些类型?
6. 零件表面有哪些成形方法? 常见的各种切削加工方法各属于什么成形方法?

第二章 切削加工基础

学习重点

- 了解刀具材料的种类及用途;切削加工中各种物理现象的规律;刀具耐用度的确定原则及切削用量选用的原则;工件材料化学性能、金相组织对切削加工性的影响规律;
- 掌握刀具材料基本性能、种类、特点及用途;车刀几何角度的标注与变化规律;切削层参数;金属切削的变形规律;切削力分析;刀具磨损规律;刀具耐用度、刀具寿命的定义;切削液的作用及选择;工件材料的切削加工性。

切削加工是机械制造业中最基本的加工方法,其加工的零件能获得较高的尺寸精度和表面质量,在国民经济中占有重要的地位。

切削加工的材料十分广泛,除了传统的金属材料外,还有大量的非金属材料,从软材料如橡胶、塑料到坚硬的花岗石、宝石等都可以进行切削加工。切削加工不但能解决各种硬、韧、脆、黏等难加工材料,而且能解决各种超高精度,以及特殊形状的加工要求。

切削加工技术正在迅速和信息处理技术相结合,数控技术、数据库技术、计算机网络技术等都在对切削加工技术产生深远的影响。

2.1 刀具材料与几何角度

2.1.1 刀具材料

刀具材料一般指刀具切削部分的材料。它的性能优劣将直接影响加工的表面质量、切削效率、刀具寿命等重要方面。

一、刀具材料应具有的性能

刀具材料必须能够按照人们的要求完成切削任务,因此首先必须具有足够的切削性能;刀具的制造精度要求一般都很高,因此刀具材料也必须具备一定的工艺性;刀具是生产中的重要组成部分,考虑到生产的效益,刀具材料必须具有良好的经济性。

刀具材料的切削性能首先要求其在常温下一般应具有 HRC60 以上的硬度。材料硬度越高,其耐磨性能越好,但抗冲击韧性相对就会降低。所以要求刀具材料在保持足够的强度与韧

性条件下,尽可能有高的硬度与耐磨性。切削过程往往伴随有大量的热,因此刀具必须有高耐热性,以便在高温下仍然能够保持刀具的切削性能,通常用高温硬度值来衡量。耐热性越好的材料允许的切削速度越高。

刀具材料还要有较好的工艺性、热处理性、可磨削性等。在满足以上性能要求时,应尽可能选择资源丰富、价格低廉的材料以获得良好的经济效益。

二、刀具材料的类型

目前使用的刀具材料可以分为四大类:工具钢(包括碳素工具钢、合金工具钢、高速钢)、硬质合金、陶瓷、超硬刀具材料。在一般切削加工中,使用最多的是高速钢和硬质合金。

1. 工具钢

耐热性差,但抗弯强度高、价格便宜、焊接与刃磨性能好,广泛用于中、低速切削中的成形刀具,不宜用于高速切削。工具钢包括下列主要的种类:

(1) 碳素工具钢:含碳量为 0.70% ~ 1.35%,含碳量越高,硬度和耐磨性越好,但韧性越低。淬火后硬度可达 HRC60 ~ 64,热硬性为 250 ~ 300 °C 以下,淬透性差,淬火后变形大,材料来源丰富,价格低廉,切削刃可磨得很锋利,一般只用于制造手工刀具,如手用丝锥、锯条、锉刀和木工刀具。

(2) 合金工具钢:在碳素工具钢中加入少量的合金元素获得。淬火后硬度可达 HRC60 ~ 65,热硬性为 350 ~ 400 °C,淬透性好,淬火后变形小,切削速度比碳素工具钢高,但仍只适用于手动和低速机动刀具,如丝锥、板牙、铰刀、滚丝轮、搓丝板等。

(3) 高速钢:在碳素工具钢中加入了较多的合金元素(W、Cr、Mn、Mo、V、Si 等)获得。热处理后硬度为 HRC62 ~ 66,耐热性为 550 ~ 630 °C,价格便宜,特别适用于制造复杂刀具。高速钢又可分为通用型高速钢、高性能高速钢、粉末冶金高速钢和涂层高速钢。

2. 硬质合金

耐热性好,切削效率高,但刀片强度、韧性、焊接及刃磨工艺性都比工具钢差,故多用于制作车刀、铣刀及各种形状简单的高效切削刀具。硬质合金是由高硬难熔金属碳化物微米级粉末,以钴、钼、镍等作为黏结相烧结而成。它的硬度可达 HRC74 ~ 82,耐热温度为 800 ~ 1000 °C。根据 GB2075—1987,硬质合金可分为 P、K、M 三类:

(1) P 类硬质合金(标志为蓝色):相当于旧牌号中的 YT 类硬质合金,适宜加工塑性好的黑色金属,如钢、铸钢等。P 类的代号有 P01、P10、P20、P30、P40、P50 等,数字越大表示耐磨性越低而韧性越高。精加工可用 P01,半精加工选用 P10、P20,粗加工用 P30。

(2) K 类硬质合金(标志为红色):相当于旧牌号 YG 类硬质合金,适宜加工硬脆的金属和非金属材料,如淬硬钢、铸铁、铜铝合金、塑料等。K 类的代号有 K01、K10、K20、K30、K40 等,数字越大表示耐磨性越低而韧性越高。精加工可用 K01,半精加工用 K10、K20,粗加工用 K30。

(3) M 类硬质合金(标志为黄色):相当于旧牌号中的 YW 类硬质合金。适宜加工塑性或

