

21世纪高职高专系列教材

机械制造工艺学基础

陈福恒 孔凡杰 主编



 山东大学出版社

21 世纪高职高专系列教材

机械制造工艺学基础

主 编 陈福恒 孔凡杰

副主编 王秋敏 梁克华 庞恩泉

山东大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺学基础/陈福恒,孔凡杰主编. —济南:山东大学出版社,2004.8
ISBN 7-5607-2853-7

I. 机…

II. ①陈…②孔…

III. 机械制造工艺—高等学校:技术学校—教材

IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 086374 号

山东大学出版社出版发行

(山东省济南市山大南路 27 号 邮政编码:250100)

山东省新华书店经销

山东省恒兴实业总公司印刷厂印刷

787×1092 毫米 1/16 22.25 印张 539 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—6000 册

定价:33.80 元

版权所有,盗印必究

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社营销部负责调换

21 世纪高职高专系列教材

编委会成员名单

主 任 邢宪学

委 员 (按姓氏笔画为序)

马克杰	王元恒	刘德增	牟善德
孙庆珠	苏永勤	杨忠斌	张卫华
张启山	张保卫	柳耀福	郝宪孝
荀方杰	侯印浩	徐 冬	高焕喜
常立学	温金祥		

出版说明

江泽民同志在党的十六大报告中指出：“教育是发展科学技术和培养人才的基础，在现代化建设中具有先导性全局性作用，必须摆在优先发展的战略地位。……加强职业教育和培训，发展继续教育，构建终身教育体系。”职业教育作为我国教育事业的一个重要的组成部分，改革开放以来，尤其是近年来获得了长足发展。据不完全统计，目前全国各类高等职业学校有近千所，仅山东省就有五十多所，为国家和地方培养了一大批高素质的劳动者和专门人才。与此相适应，教材建设也硕果累累，各出版社先后推出了多部具有高职特色的高职高专教材。但总体上看，与迅猛发展的高职教育相比，教材的出版相对滞后，这不仅表现在教材品种相对较少，更表现在内容的针对性不强，某些方面与高职的专业设置、培养目标相去甚远。同时，地方性、区域性的高职教材也稍嫌不足。以山东省为例，作为一个经济强省、人口大省、教育大省，迄今为止，居然没有一套统编的、与山东省社会、经济、文化发展相适应的高职教材，严重地制约了我省高职高专教育的发展。

有鉴于此，我们在山东省教育厅的领导与支持下，依据教育部《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》，并结合我省高职院校及专业设置的特点，组织省内二十余所高职院校长期从事高职高专教学和研究的专家、教授，编写了这套“21世纪高职高专系列教材”。该教材充分借鉴近年来国内高职高专院校教材建设的最新成果，认真总结和汲取省内高职院校和成人高校在教育、培养新时期技术应用性专门人才方面所取得的成功经验，以适应高职院校教学改革的需要为目标，重点突出实用性、针对性，力求从内容到形式都有一定的突破和创新。本系列教材拟分批出版，约一百余种。出齐后，将涵盖山东省高职高专教育的基础课程和主干课程。

编写这套教材，在我们是一次粗浅的尝试，也是一次学习、探索和提高的机会。由于我们水平有限，加之编写时间仓促，本教材无论在内容还是形式上都难免会存在这样那样的缺憾或不足，敬请专家和读者批评指正。

21世纪高职高专系列教材编写委员会
2003年8月

前 言

本书是根据全国高职教育会议的精神,结合山东省的经济发展现状,由 21 世纪高职高专教材编写委员会组织编写。

本教材以高职院校机电类专业为基准,从工艺实施的生产实际出发,以技术应用为主线,基础理论以必须、够用为度,突出通用典型实例,结合了现代机械制造业的新技术、新工艺,注重理论与实际应用的结合,强调应用性和能力的培养。

本书为突出高职教育的特点,以适应高职院校专业教学改革的需要。在教学大纲的确定时,广泛征求了省内有机电类专业的高职院校的意见,增加了切削原理与刀具的基础知识,把机床夹具编入其中,同时加强了机械加工方法的内容和篇幅,并紧密地和生产实际加工相结合。

本书主要包括:金属切削原理与刀具基础、机械切削加工方法和特种加工、机床夹具基础、机械加工工艺规程的制定、机械加工精度和表面质量、典型零件的机械加工工艺、装配工艺基础等。

在内容处理上,注重基本概念和原理的讲述和分析,保证理论体系的完整性;注重结论的应用,通过实例与生产实际紧密的结合;弱化了纯理论的分析 and 推导。为培养学生掌握编制工艺的初步能力,从加工方法入手,由浅入深、循序渐进展开。

本书可供高等职业技术学院、高等专科学校、技师学校的机械制造、机电一体化等机械类专业使用,也可作为职业大学、电视大学和技师培训的教材。并可供从事机械制造专业的工程技术人员参考。

本书由山东劳动职业技术学院陈福恒、山东工业职业学院孔凡杰任主编,王秋敏、梁克华、庞恩泉任副主编。绪论由李仁杰编写;第一章由张新成、杨振虎,孔凡杰、常生德编写;第二章由邵芳、孙永华编写;第三章由王秋敏、赵亮培、许毅编写;第四章由孙永华、陈福恒编写;第五章由庞恩泉编写;第六章由梁克华编写;第七章由王秋敏编写。全书由陈福恒统稿和定稿。

由于水平有限,编写时间又很紧迫,书中难免有不少欠妥之处,恳请读者批评指正。

编 者
2004 年 8 月

目 录

绪 论	(1)
第一章 机械加工原理与方法	(4)
§ 1-1 金属切削的基础知识	(4)
§ 2-1 外圆表面加工	(26)
§ 1-3 内孔表面加工	(43)
§ 1-4 平面加工	(59)
§ 1-5 沟槽和特形面加工	(71)
§ 1-6 螺纹加工	(83)
§ 1-7 齿面的加工	(90)
习 题	(104)
第二章 机床夹具基础知识	(106)
§ 2-1 概 述	(106)
§ 2-2 机床夹具的定位原理和定位元件	(109)
§ 2-3 定位误差的分析与计算	(124)
§ 2-4 机床夹具的夹紧装置	(130)
§ 2-5 典型机床专用夹具实例	(137)
习 题	(148)
第三章 机械加工工艺规程的制定	(154)
§ 3-1 基本概念	(154)
§ 3-2 机械加工工艺规程的编制	(159)
§ 3-3 零件的结构工艺性分析及毛坯的选择	(163)
§ 3-4 定位基准的选择	(165)
§ 3-5 工艺路线的拟定	(170)
§ 3-6 加工余量的确定	(174)
§ 3-7 工序尺寸及其公差确定	(178)

§ 3-8 时间定额和提高劳动生产率的方法	(186)
习 题	(190)
第四章 机械加工质量	(196)
§ 4-1 机械加工精度	(196)
§ 4-2 机械加工表面质量	(215)
习 题	(229)
第五章 典型零件的加工工艺	(230)
§ 1-1 轴类零件的加工	(230)
§ 5-2 套筒零件的加工	(253)
§ 5-3 箱体零件加工	(259)
§ 5-4 机体类零件的加工	(277)
§ 5-5 圆柱齿轮加工	(283)
习 题	(291)
第六章 装配工艺基础	(296)
§ 6-1 概 述	(296)
§ 6-2 装配尺寸链	(299)
§ 6-3 保证装配精度的工艺方法	(302)
§ 6-4 装配工艺规程的制订	(309)
习 题	(319)
第七章 特种加工	(320)
§ 7-1 概 述	(320)
§ 7-2 电火花加工	(325)
§ 7-3 电解加工	(335)
§ 7-4 超声加工	(336)
§ 7-5 激光加工	(340)
§ 7-6 其他特种加工	(342)
习 题	(345)
参考文献	(346)

绪 论

一、机械制造工艺学研究的对象与内容

我国社会主义现代化建设要求机械制造业为国民经济各部门和自身的技术改造提供先进的技术装备,不论是传统产业,还是新兴产业,都离不开各种各样的机械装备。机械制造业是国民经济的装备部,在国民经济中具有十分重要的地位和作用。

为了加快技术进步,振兴机械工业,必须大力发展机械制造工艺及装备技术,其主要途径是依靠技术开发、技术引进、技术推广和技术改造,同时狠抓基础件、基础技术和基础机械,使我国的机械工业上质量、上品种、上水平,提高经济效益。

任何一台机械产品都是由零部件组成的,如轴、套、箱体、齿轮、凸轮、活塞、连杆、螺栓等,各种零件可由不同材料经热加工制成毛坯,再经机械加工达到图样规定的结构几何形状和质量要求,然后经过部件和整机装配,满足产品的性能要求,成为机械产品。各种机械产品的用途和零件结构形状的差异虽说很大,但它们的制造工艺过程却都存在共性。

机械制造工艺学是以机械制造中的工艺问题为研究对象的一门应用性制造技术学科。所谓工艺,是使各种原材料、半成品成为产品的方法和过程;而机械制造工艺,是指各种机械的制造方法和过程的总称。所谓制造技术学科就是在深入了解实际的基础上,利用各种基础理论知识,经过实事求是地分析对比,找出客观规律,解决面临的工艺问题的学科。

机械制造工艺学的内容极其广泛,它包括零件的毛坯制造、机械加工、热处理和产品的装配等。机械制造工艺学的研究范围主要是零件的机械加工和产品的装配两部分。它是长期生产实践和科学研究成果的积累和总结,是一门应用性技术学科,是机械制造专业的一门专业课。

机械制造工艺学涉及面极广,行业上百种,产品成千上万,但研究的内容围绕两个方面。

(1) 保证和提高产品的质量 产品质量包括整台机械的装配精度、使用性能、使用寿命和可靠性,以及零件的加工精度和加工表面质量。

零件的加工质量由设计人员规定,能否达到设计要求则是工艺人员的职责。为达到设计要求,工程技术人员必经深入研究在加工过程中各种误差因素对加工质量影响的规律,同时通过大量的科学实验和生产实践,采用新工艺和改进工艺装备等措施来保证。这

是所研究内容的主要方面。

(2) 提高生产率、降低生产成本 在保证质量的前提下,要求生产时消耗的物质、能源和劳动量要尽可能地少,生产周期短,也就是提高生产率,降低生产成本。这就需要工艺人员对各种加工工艺过程方案进行分析比较,从中选优,采用新技术、新工艺,以优质、高效、低耗的工艺完成产品的加工和装配。

机械制造过程中的质量、生产率和经济性的指标要求,三者具有密切的辩证关系和灵活性,在实际操作中,要全面分析共同考虑,三者最优的工艺才是合理和先进的工艺。

二、学习本课程的目的与要求

机械制造工艺学是机械类专业的一门主要专业课之一。通过本课程的课堂理论教学、现场教学、实验和习题等及有关教学环节,与生产实习相结合,使学生初步具有分析和解决工艺问题的能力,具有自学新工艺、新技术的理论基础。具体要求是:

(1) 了解金属切削原理,掌握各种表面的金属切削方法、特点、适用场合等。

(2) 掌握机械制造工艺的基本理论,编制工艺规程的基本原则、方法步骤,学会进行工艺分析、实验研究的原理方法。

(3) 掌握机床夹具的基本理论,并合理使用。

(4) 具有制定一般零件的机械加工工艺规程和一般产品的装配工艺规程的基本能力。

(5) 了解机械制造中的新技术、新工艺和发展动向,提高应用的能力。并能对某些现行工艺进行革新的能力。

三、本课程的特点与学习方法

(1) 涉及知识面广 要掌握零件制造过程中的共性规律和解决具体工艺问题的知识和能力,不是一门课程所能解决的。它涉及了多门课程的内容,如毛坯的制造工艺是金属工艺学的范围;金属切削与刀具是切削原理与机床课程的内容;机械加工过程中的材质控制是金属学与热处理课程的范围;加工质量和装配质量的标准和检验和公差与测量技术课程密切相关等。本课程是在上述先修课程的基础上的综合,组成全面地分析和运用到机械制造工艺过程中,其他先修课程内容的掌握程度对学好本课程影响较大,同时管理技术也影响到制造技术,因此要善于综合运用已学过的各课程知识。

(2) 实践性强 本学科的内容来自生产和科研实践,而工艺理论的发展又促进和指导生产的发展,学习机械制造工艺学的目的在于应用,进一步提高实际的工艺水平。因此要加强实践性教学和学习,有条件的要多进工厂车间、多参与实践,充分重视生产和专业实习。尤其在学习开始,从实践中得到一定的感性认识,能帮助理解和掌握基本概念及在实际中的应用。

(3) 灵活多变 机械制造工艺涉及的行业多、产品多,工艺理论和工艺方法的应用灵活性很大,实用的工艺规程很多,虽说有共同性的规律,但总是存在差异。另外,即使是相同的产品,不同的生产企业,还会受生产类型、现有生产条件的制约,而采用不同的加工工艺。因此,在制定和分析加工工艺时,必须根据具体情况进行辩证地分析,寻找质量、效率

和经济性的最佳结合点。

如上所述,本课程既是机械制造专业的一门重要专业课程,又是综合多门课程知识进行应用、研究,解决生产实际工艺问题的归结性课程,理论与实际联系密切。学习中到生产一线认真地多看、多问和多思考;学习方法要适合本课程的特点;注重分析问题和解决问题能力的培养。

第一章 机械加工原理与方法

§ 1-1 金属切削的基础知识

一、概 述

1. 切削加工的概念、特点和作用

切削加工是利用切削工具从工件上切去多余材料的加工方法。通过切削加工使工件的形状、尺寸、位置精度和表面质量达到工件图纸的要求,成为合格的零件。切削加工分为机械加工和钳工加工。通常将在金属切削机床上利用刀具从工件上切去多余材料的加工称为切削加工。

在现代机械制造中,目前,除少数采用精密铸造、精密锻造以及粉末冶金和工程塑料压制成形等方法直接获得零件外,绝大多数机械零件要靠切削加工成形。因此,切削加工在机械制造业中占有十分重要的地位,目前占机械制造总工作量的 40%~60% 左右。它与国家整个工业的发展紧密相连,起着举足轻重的作用。完全可以说,没有切削加工,就没有机械制造业。切削加工具有如下主要特点:

(1) 切削加工的精度和表面粗糙度的范围广泛,且可获得很高的加工精度和很低的表面粗糙度数值。目前,切削加工的尺寸公差等级为 IT12~IT3,甚至更高;表面粗糙度 R_a 值为 $25\sim0.008\mu\text{m}$,其范围之广,精密程度之高,是目前其他加工方法难于达到的。

(2) 切削加工零件的材料、形状、尺寸和重量的范围较大。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一般不受限制,只要能在机床上实现装夹,大都可进行切削加工,且可加工常见的各种形面,如外圆、内圆、锥面、平面、螺旋纹、齿形及空间四面等。切削加工零件重量的范围很大,重的可达数百吨,如葛洲坝一号船闸的闸门,高 30 余米,重 600 吨;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。只是在少数特殊场合,其生产率低于精密铸造、精密锻造和粉末冶金等方法。

(4) 切削过程中存在切削力,刀具和工件均须具有一定的强度和刚度,且刀具材料的硬度必须大于工件材料的硬度。

2. 机械零件表面的成形方法

机械零件无论是简单还是复杂,无论是大还是小,都是由平面、圆柱面、圆锥面、成形面等几何表面组成,如图 1-1 所示。

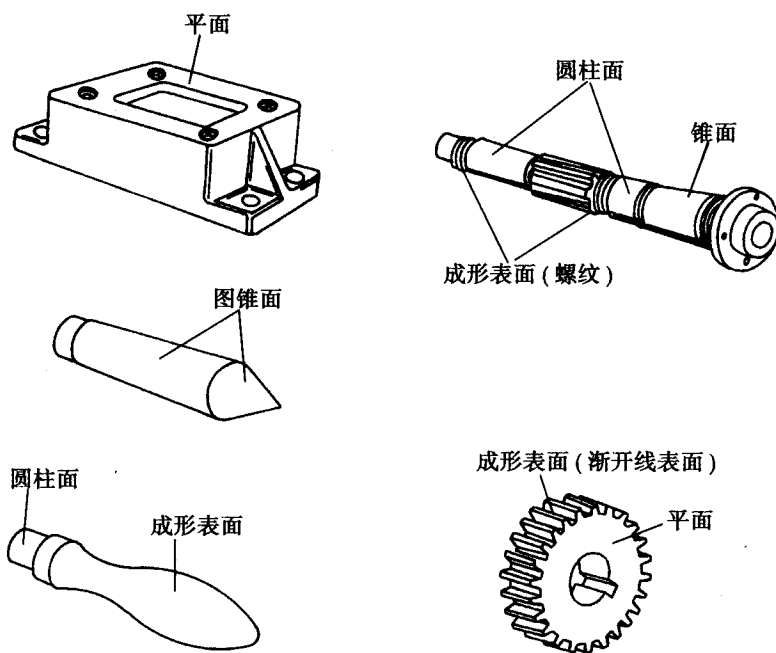


图 1-1 机械零件的几何组成

构成机械零件的几何表面,可以看作一条线(称为母线)沿着另一条线(称为导线)运动的轨迹。母线和导线统称为发生线。如图 1-2 所示,直线 1(母线)沿着直线 2(导线)移

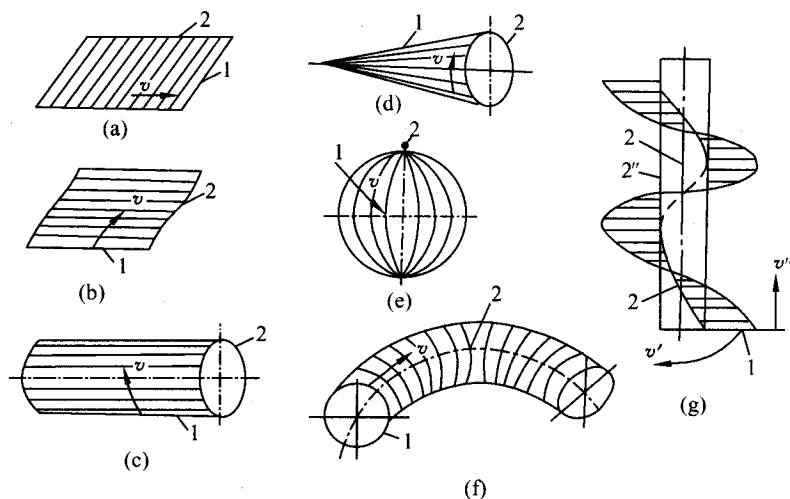


图 1-2 构成机械零件的几何表面的形成

(a) 平面 (b) 直线成形表面 (c) 圆柱面 (d) 圆锥面
(e) 球面 (f) 圆环面 (g) 螺旋面

动形成平面[图 1-2(a)];直线 1(母线)沿着曲线 2(导线)移动形成成型面[图 1-2(b)];直线 1(母线)沿着圆 2(导线)移动形成圆柱面[图 1-2(c)],等等。发生线的相对运动可以得到各种表面。

在机床上发生线可以通过刀具和工件的相对运动获得。如图 1-3(a)所示,刀尖的直线运动轨迹形成母线,工件的旋转运动轨迹形成导线,其相对运动的结果获得了圆柱面,像这种靠刀尖的运动轨迹获得表面的方法称为刀尖轨迹法。如图 1-3(b)所示,切削刃的曲线为母线,工件的旋转运动轨迹形成导线,其相对运动的结果获得了成型面,像这种靠刀具切削刃的形状获得表面的方法称为成型法。如图 1-3(c)所示,圆柱铣刀铣平面,铣刀切削刃分布在圆柱面上,可看作是圆柱面的一条素线,作为母线,工件的直线运动轨迹看作是导线,其相对运动的结果获得了平面,像这种靠刀具的旋转运动与工件形成切线获得表面的方法称为相切法。如图 1-3(d)所示,刀具切削刃为母线 1,图示形状为圆,也可以是直线或曲线,曲线 2 可看成导线,当母线 1 沿着导线 2 作纯滚动时,导线 2 就是母线 1 在运动过程中的包络线,曲线 3 是切削刃上任意选定点的运动轨迹。像这种利用刀具和工件作展成切削运动进行加工的方法称为展成法。

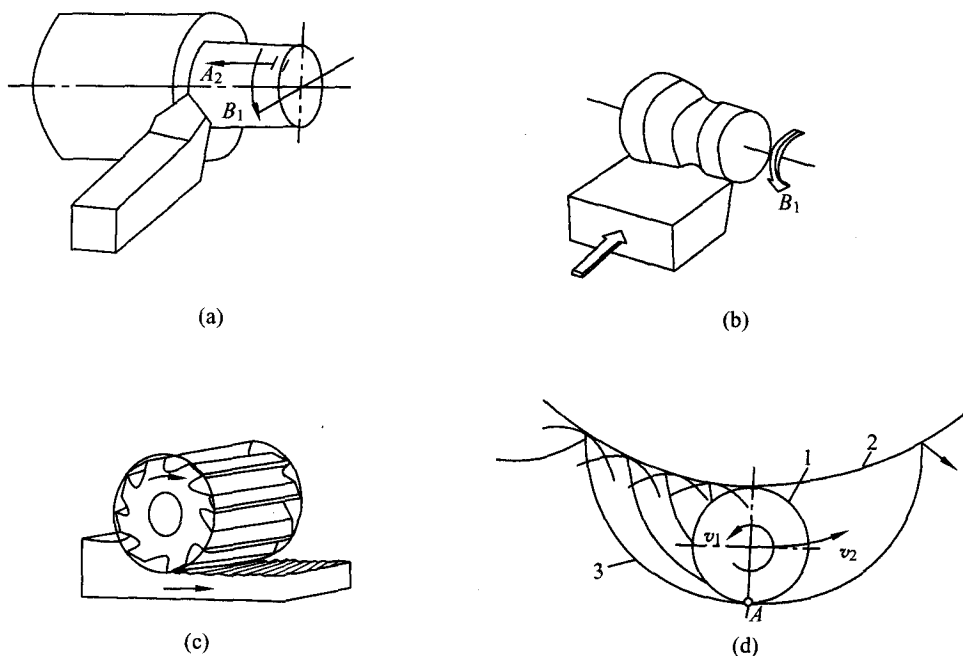


图 1-3 形成发生线的方法

为获得所需的工件表面,工件和刀具之间产生的相对运动称为切削运动。

3. 切削运动的组成

切削运动主要有金属切削机床提供,也可以由人力提供,分为主运动和进给运动两种。

(1) 主运动

主运动是指“由机床或人力提供的主要运动,它促使刀具和工件之间产生相对运动,从而使刀具前刀面接近工件”(摘自 GB/T12204-1990)。也就是说,主运动是使刀具从工件上切除金属层使之变为切屑的主要运动,是切削过程中消耗能量最多、切削速度最快的运动。

主运动由旋转运动和直线运动两种运动形式。大部分机床的主运动是旋转运动,由刀具或工件来完成,如车床的主运动是工件旋转,铣床、镗床、磨床的主运动是刀具旋转。主运动是直线运动的机床如工件往复的龙门刨床,刀具往复的牛头刨床等。机床上旋转运动的速度常用每分钟的转数为单位,直线运动的速度常用每分钟的双行程为单位。

(2) 进给运动

进给运动是指“由机床或人力提供的运动,它使刀具和工件之间产生附加的相对运动,加上主运动,即可不断地或连续地切除切屑,并得出具有所需几何特性的已加工表面”(摘自 GB/T12204-1990)。也就是说,进给运动是使被切削的金属层不断的投入切削,从而逐渐加工出整个工件表面的运动。进给运动在切削过程中消耗能量少、切削速度也较低。进给运动可以是一个单独的简单运动,也可以是包含几个简单运动的合成运动。

大部分机床的进给运动是直线运动,如车床、铣床的进给运动;少部分机床的进给运动是旋转运动,如外圆磨床的圆周进给运动。进给运动可能是连续不断的,如车床、铣床的进给运动;也可能是断续的,如牛头刨床、龙门刨床等。进给运动的速度常用进给量来表示,使用的单位有: mm/r, mm/min, mm/z, mm/双行程。

4. 切削加工中的工件表面

切削加工时,工件上产生了三个不断变化着的表面,待加工表面、已加工表面和过渡表面如图 1-4 所示。

待加工表面——工件上有待切除的表面。

已加工表面——工件上经刀具切削后形成的表面。

过渡表面——工件上由刀具的切削刃正在切削而形成的表面。

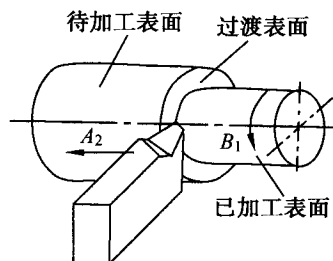


图 1-4 切削加工中的工件表面

5. 切削用量

切削用量是切削过程中的切削速度、进给量和背吃刀量的总称。切削用量直接影响工件加工质量、刀具磨损和刀具耐用度、机床的动力消耗及生产率,合理地选择切削用量是一项重要工作。

(1) 切削速度 v_c

切削速度指切削刃选定点相对于工件主运动的瞬时速度,单位为 m/min。当主运动为旋转运动时切削速度用下式计算:

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000}$$

式中: d ——切削刃选定点处所对应的工件或刀具的直径(mm);

n ——工件或刀具转速(r/min)。

(2) 进给量 f

进给量是刀具在进给运动方向上相对于工件的位移量。可用刀具或工件每转(或每

行程)的位移量来表述和度量。车、钻、镗、铣削时,单位:mm/r;刨、插削时单位:mm/str。对于铣削,还有每齿进给量 f_z (mm/z)和每分钟进给量,即进给速度 v_f (mm/min)。

(3) 背吃刀量 a_p

背吃刀量一般指工件已加工表面和待加工表面间的垂直距离,也就是每次进给时刀齿切入工件的深度,单位:mm。如图1-5所示,为车削外圆时背吃刀量 a_p 可按式计算:

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2}$$

式中: d_w ——工件待加工表面直径(mm);

d_m ——工件已加工表面直径(mm)。

铣削背吃刀量 a_p 不同于车削时的背吃刀量,它是指平行于铣刀轴线测量的切削层尺寸。圆周铣削时, a_p 是被加工表面的宽度;端铣时, a_p 是待加工表面与已加工表面的垂直距离,如图1-6所示。

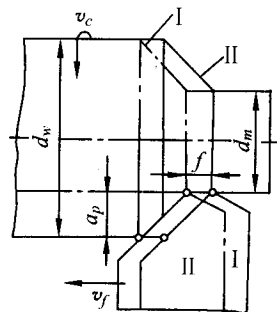


图 1-5 车削外圆时的切削用量

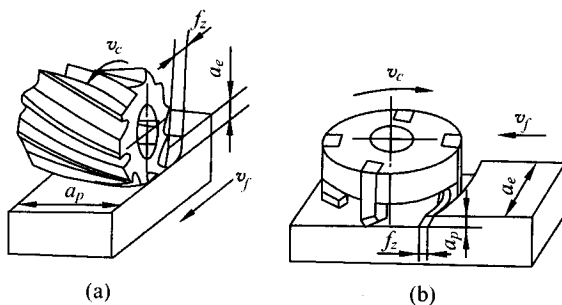


图 1-6 铣削用量

(a) 圆周铣削 (b) 端铣

二、刀具切削部分的几何参数

1. 刀具的组成

金属切削刀具的种类虽然很多,但它们的切削部分的几何形状与参数都有共性,即无论刀具结构如何复杂,它们的切削部分总是近似地以外圆车刀的切削部分为基本形态。

如图1-7所示为常见的外圆车刀,它由刀柄(刀具上的夹持安装部分)和切削部分组成。刀具切削部分由刀面、切削刃构成,具体包括下列组成要素:

(1) 刀 面

前刀面(A_f):刀具上切屑流过的表面。

后刀面(A_d):与过渡表面相对的刀具表面。

副后刀面(A'_d):与工件上已加工表面相对着的刀具表面。

(2) 切削刃及刀尖

主切削刃(S):承担主要切削任务的切削刃,它是前刀面与后刀面相交的部位。

副切削刃(S'):配合主切削刃完成少量切削任务的切削刃,它是前刀面与副后刀面相

交的部位。

刀尖:是主切削刃与副切削刃交会处相当少的一部分切削刃,它可以是一小段直线或圆弧。

图 1-7 外圆车刀的组成要素。

2. 刀具的标注角度

(1) 参考系的建立

为了确定刀具前刀面、后刀面及切削刃在空间的位置,首先应建立参考系。用来定义刀具角度的参考系有两大类,一类是静止参考系,是用于定义刀具在设计、制造、刃磨和测量时刀具几何参数的参考系,它由主运动方向确定,在刀具静止参考系中定义的角度称标注角度。另一类是刀具工作参考系,该参考系考虑了切削运动和实际安装情况对刀具几何参数的影响,它由合成切削运动确定。在工作参考系定义的刀具角度称为工作角度。本书仅讲述刀具静止参考系及其几何角度的定义。

正交平面参考系 正交平面参考系由以下三个坐标平面组成,如图 1-8 所示。

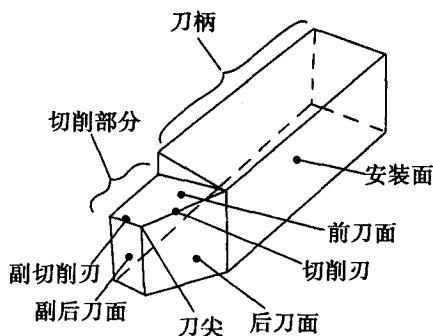


图 1-7 常见的外圆车刀

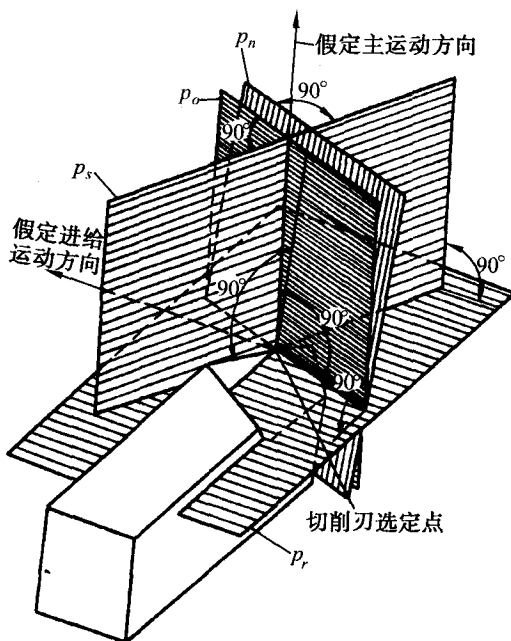


图 1-8 刀具静止参考系

基面 p_r :过切削刃选定点垂直于假定主运动方向的平面。车刀的基面平行于刀柄的安装面。