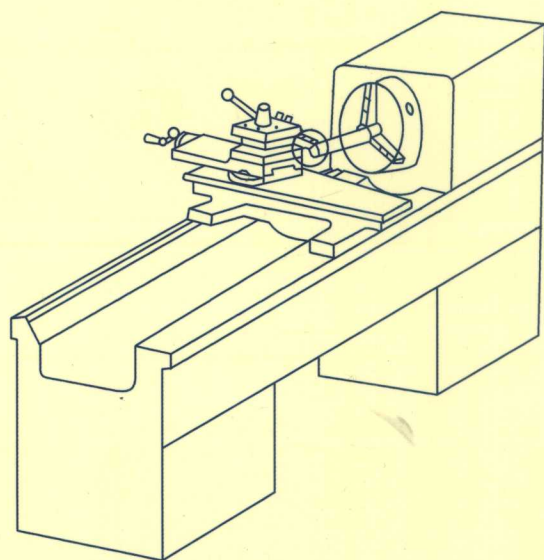


普通高等院校机械类“十一五”规划教材

机械制造技术

JIXIE ZHIZHAO JISHU

秦国华 路冬 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校机械类“十一五”规划教材

机械制造技术

秦国华 路冬 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书主要介绍机械制造技术的基础知识、基本理论和方法。内容分为8章,包括机械制造基本理论和基础知识,切削与模型原理,机械加工质量分析与控制,机械加工工艺过程设计,机械装配和先进制造技术等。

本书主要作为普通高等院校机械设计制造及自动化专业的教材,普通高等院校其他相关专业以及自学考试等相关专业的教材或参考书,亦可供从事机械制造的工程技术人员作参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术 / 秦国华, 路冬编著. —北京: 国防工业出版社, 2009. 8

普通高等院校机械类“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 118 - 06462 - 9

I. 机... II. ①秦... ②路... 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 (2009) 第 120728 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 13 字数 298 千字

2009 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 25.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 68428422

发行邮购: (010) 68414474

发行传真: (010) 68411535

发行业务: (010) 68472764

前 言

为适应 21 世纪科技、经济与社会的飞速发展和日趋激烈的竞争,配合适应高等教育改革的需要编写了本书。

本书贯彻以工艺为基础,在重基础、少学时、低重心、新知识、宽面向的改革思路指导下,通过对金属切削原理、机械制造工艺学等课程的基本理论和基本知识的整合而撰写成的。主要包括机械制造基本理论和基础知识、切削与模型原理、机械加工质量分析与控制、机械加工工艺过程设计、机械装配和先进制造技术等。

“机械制造技术”是一门实践性很强的课程,须有相应的实践性教学环节与之配合。学习本课程前,学生须经过“金工实习”环节的培训;学习本课程后,学生要到校外机械加工工厂进行生产实习。

本书具有内容简明、概念清楚、叙述通俗、便于学习的特点,主要作为普通高等院校机械设计制造及自动化专业的教材,普通高等院校其他相关专业以及自学考试等相关专业教材或参考书,亦可供从事机械制造的工程技术人员参考。

限于编者的水平,书中错误或不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 绪论	1
1.1 本课程的性质和内容	1
1.2 机械制造技术的发展现状	1
1.3 课程的学习要求和学习方法	2
第2章 金属切削基础	3
2.1 切削运动	3
2.2 切削用量	4
2.3 切削层参数	6
2.4 基准	7
2.5 刀具静止角度参考系和刀具静止角度的标注	9
2.5.1 刀具静止角度参考系	10
2.5.2 刀具的标注角度	12
2.5.3 刀具的工作角度	14
习题与思考题	16
第3章 金属切削的基本规律	17
3.1 金属切削过程	17
3.1.1 切屑的形成过程	17
3.1.2 切削过程中的三个变形区	18
3.1.3 切屑变形程度的表示方法	18
3.1.4 前刀面的挤压、刀—屑的摩擦与积屑瘤	19
3.1.5 切屑的类型及控制	21
3.2 切削力	22
3.2.1 切削力的产生和分解	23
3.2.2 切削力的计算	23
3.2.3 影响切削力的因素	24
3.3 切削热和切削温度	27
3.3.1 切削热的产生与传出	27
3.3.2 影响切削温度的主要因素	27
3.4 刀具磨损和耐用度	29

3.4.1	刀具的磨损形态	29
3.4.2	刀具磨损的原因	30
3.4.3	刀具的磨损过程及磨钝标准	33
3.4.4	刀具的寿命及其经验公式	33
3.4.5	刀具的破损	34
3.5	金属切削条件的合理选择	35
3.5.1	工件材料的切削加工性	35
3.5.2	刀具几何参数的合理选择	38
3.5.3	切削用量的选择	41
3.5.4	切削液的选择	42
3.6	磨削基本概念及基本规律	45
3.6.1	砂轮特性	45
3.6.2	磨削过程磨屑形成机理	49
3.6.3	磨削力及磨削温度	50
	习题与思考题	51
第4章	机械加工精度	53
4.1	影响加工精度的因素及其分析	53
4.2	工艺系统几何误差对加工精度的影响	54
4.3	工艺系统物理变形对加工精度的影响	63
4.3.1	受力变形	63
4.3.2	受热变形	68
4.3.3	磨损变形	70
4.4	加工误差的综合分析	70
4.5	保证和提高加工精度的主要途径	82
	习题与思考题	85
第5章	机械加工表面质量	87
5.1	概述	87
5.1.1	机械加工表面质量的含义	87
5.1.2	表面质量对零件使用性能的影响	88
5.2	表面粗糙度的影响因素及其改善措施	89
5.2.1	切削加工	89
5.2.2	磨削加工	91
5.3	表面力学物理性能的影响因素及其改善措施	93
5.3.1	表面层的加工硬化	93
5.3.2	表面层的金相组织变化	93
5.3.3	表面层的残余应力	95

5.4 机械加工振动对表面质量的影响及其控制	96
5.4.1 机械振动概述	96
5.4.2 机械加工中的强迫振动及其控制	97
5.4.3 自激振动	102
习题与思考题	107
第6章 机械制造工艺规程的制订	109
6.1 基本概念	109
6.2 工艺规程的制订	112
6.2.1 原始资料的分析	113
6.2.2 工艺路线的拟定	119
6.2.3 工序内容的设计	128
习题与思考题	146
第7章 机械装配工艺基础	149
7.1 概述	149
7.2 装配方法	154
7.3 装配工艺规程的制订	169
习题与思考题	174
第8章 先进制造技术	176
8.1 概述	176
8.2 成组技术与 CAPP	177
8.2.1 成组技术的基本原理	178
8.2.2 零件分类编码系统	178
8.2.3 零件分类成组方法	183
8.2.4 生产流程分析法	186
8.2.5 成组生产的组织形式	187
8.2.6 计算机辅助工艺规程设计	190
8.3 高速加工技术	192
习题与思考题	200
参考文献	201

第1章 绪 论

1.1 本课程的性质和内容

从普遍的意义上讲,机械制造技术是各种机械制造过程所涉及的技术的总称,它包括以材料的成形为核心的金属和非金属材料成形技术(如铸造、焊接、锻造、冲压、注塑以及热处理技术)、以切削加工为核心的机械冷加工技术和机械装配技术(如车削、铣削、磨削、装配工艺)和其他特种加工技术(如电火花加工、电解加工、超声波加工、激光加工、电子束加工等)。其中,机械冷加工技术和机械装配技术占机械制造过程总工作量的60%以上,它是机械制造技术的主体,大多数机械产品的最终加工都依赖于机械冷加工技术来完成。因此,本课程所讲的机械制造技术主要是指机械冷加工技术和机械装配技术。

一个机械产品的制造过程包括零件制造、整机装配等一系列的工作,零件的加工实质是零件表面的成形过程,这些成形过程是由不同的加工方法来完成的。在一个零件上,被加工表面类型不同,所采用的加工方法也就不同;同一个被加工表面,精度要求和表面质量要求不同,所采用的加工方法和加工方法的组合也不同。因而机械制造技术的主要内容包括:①各种加工方法和由这些方法构成的加工工艺;②在机械加工中,由机床、刀具、夹具与被加工工件一起构成了一个实现某种加工方法的整体系统,这一系统称为机械加工工艺系统,工艺系统的构成是加工方法选择和加工工艺设计时必须考虑的问题;③为了保证加工精度和加工表面质量,需要对工艺过程的有关技术参数进行优化选择,实现对加工过程的质量控制,因而工艺系统、表面成形和切削加工的基本理论是本课程的基本理论。

1.2 机械制造技术的发展现状

制造技术是当代科学技术发展最为重要的领域之一,是产品更新、生产发展、市场竞争的重要手段,各发达国家纷纷把先进制造技术列为国家的高新关键技术和优先发展项目,给予了极大的关注。机械制造业是国民经济的支柱产业,也是其他各种产业的基础,各种产业的发展都有赖于制造业提供高水平的专用和通用设备,从一定意义上讲,机械制造技术的发展水平决定着其他产业的发展水平。在国际国内的激烈竞争中,具有适应市场要求的快速响应能力并能对市场提供优质的产品,对于增强市场竞争能力是非常重要的因素,而快速响应能力和产品质量的提高,主要是取决于制造技术水平。一个国家的经济独立性和工业自力更生能力也在很大程度上取决于制造技术水平。

正是由于上述原因,各国都对制造技术的发展给予高度的重视。美国国防部根据国会的要求委托里海(Lehigh)大学于1994年提出了《21世纪制造企业战略》报告,其核心

就是要使美国的制造业在 2006 年以前处于世界领先地位。而日本自 20 世纪 50 年代以来经济的高速发展,在很大程度上也是得益于在制造技术领域研究成果的支持。

建国五十多年来,我国的机械制造业也取得了很大的成就。在解放初期几乎空白的工业基础上,建立起了初步完善的制造业体系,生产出了我国的第一辆汽车、第一艘轮船、第一台机车、第一架飞机、第一颗人造地球卫星等,为我国的国民经济建设和科技进步提供了有力的基础支持,为满足人民群众的物质生活需要作出了很大的贡献。“八五”计划以来,我国机械工业努力追赶世界制造技术的先进水平,积极开发新产品、研究推广先进制造技术,机械制造技术水平在引进吸收国外先进技术的基础上有了飞速的发展。

同时,也必须认识到,我国的制造技术与国际先进技术水平相比还有不小的差距。数控机床在我国机械制造领域的普及率仍不高,国产先进数控设备的市场占有率还较低,数控刀具、数控检测系统等数控机床的配套设备仍不能适应技术发展的需要,机械制造行业的制造精度、生产效率、整体效益等都还不能满足市场经济发展的要求。

1.3 课程的学习要求和学习方法

为了适应制造技术的发展趋势,机械类和机电类专业的学生就必须具有合理的知识结构。本课程内容是学生的专业知识结构中机械技术知识的重要组成部分。通过本课程的学习,使学生掌握机械制造技术的基本加工技术和基本理论,本课程的学习要求如下:

(1) 掌握机械制造过程中工艺系统、表面成形和切削加工的基本理论;了解现代制造技术的知识、应用及发展。

(2) 掌握常用加工方法的综合应用、机械加工工艺、装配工艺设计的方法,初步掌握工艺装备选用的方法。

(3) 初步具备解决机械制造过程中工艺技术问题的能力和产品质量控制的能力。

必须指出的是,机械制造技术是通过长期生产实践的理论总结而形成的。它源于生产实践,服务于生产实践。因此,本门课程的学习必须密切联系生产实践,在实践中加深对课程内容的理解,在实践中强化对所学知识的应用。

第2章 金属切削基础

在机床上通过刀具与工件的相对运动,切除工件上多余的金属材料,使之形成符合要求的形状和尺寸的表面,称为金属切削加工。它是机械制造业中一种基本加工方法。

2.1 切削运动

刀具与工件间的相对运动称为切削运动(即表面成形运动)。按作用来分,切削运动可分为主运动和进给运动。图2-1所示为车刀进行普通外圆车削时的切削运动,此时,工件作回转运动,刀具作直线运动。

1. 主运动

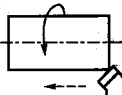
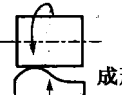
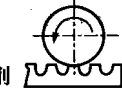
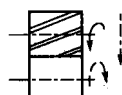
主运动是刀具与工件之间的相对运动。它使刀具的切削部分切入工件,切除工件上的被切削层,使之转变为切屑,从而形成工件新表面。一般地,主运动速度最高,消耗功率最大,机床通常只有一个主运动。

2. 进给运动

进给运动是配合主运动实现依次连续不断地切除多余金属层的刀具与工件之间的附加相对运动。进给运动与主运动配合即可完成所需的表面几何形状的加工,根据工件表面形状成形的需要,进给运动可以是多个,也可以是一个;可以是连续的,也可以是间歇的,如表2-1所列。

主运动和进给运动是实现切削加工的基本运动,可以由刀具来完成,也可以由工件来完成;可以是直线运动(用T表示),也可以是回转运动(用R表示)。正是由于上述不同运动形式和不同运动执行元件的多种组合,产生了不同的加工方法。

表2-1 外圆表面加工方法

工件		刀具		表面成形原理图
主运动	进给运动	主运动	进给运动	
R			T	   
	R	R		 

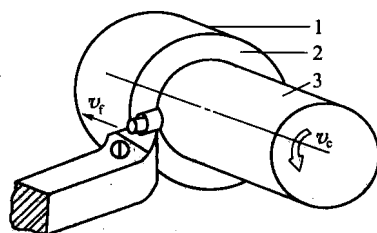


图2-1 车削运动

1—待加工表面; 2—过渡表面;
3—已加工表面。

(续)

工件		刀具		表面成形原理图
主运动	进给运动	主运动	进给运动	
	T/R	R		外圆磨 无心磨
	R	R	T	车铣加工
R			T/R	滚压加工

2.2 切削用量

切削用量是指切削速度、进给量和背吃刀量三者的总称,用以描述切削运动,如图 2-2 所示。切削用量是机床调整、切削力或切削功率计算、工时定额确定及工序成本核算等所必需的数据,其数值大小取决于工件材料和结构、加工精度、刀具材料、刀具形状及其他技术要求。

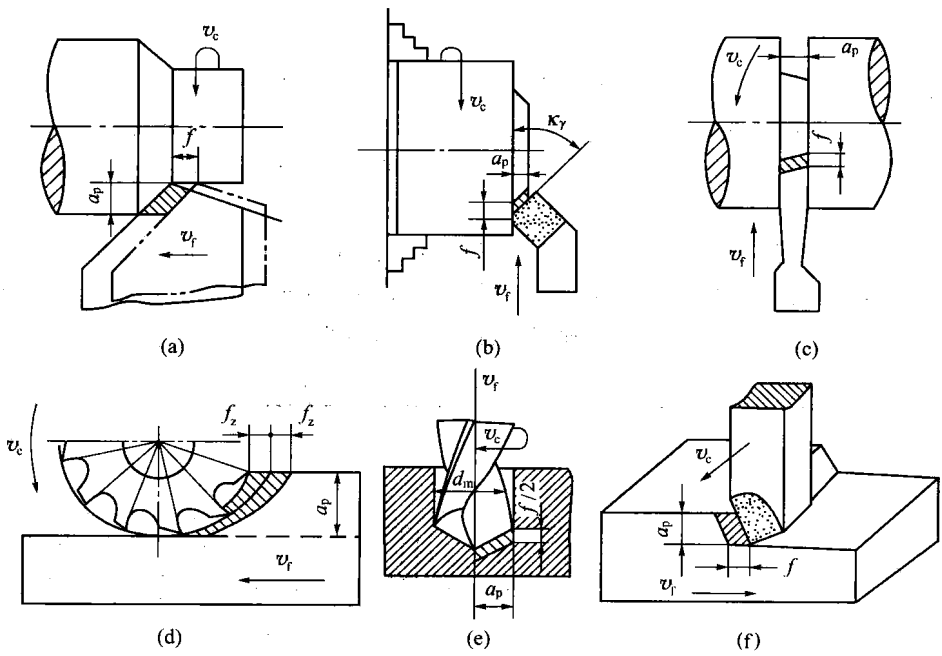


图 2-2 切削用量

(a) 车外圆; (b) 车端面; (c) 切槽; (d) 铣平面; (e) 钻孔; (f) 刨平面。

1. 切削速度 v_c

切削速度为主运动的线速度。若主运动为旋转运动时,切削刃上选定点相对于工件的瞬时线速度即为切削速度,单位为 m/min 。其计算公式为:

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000} \quad (2-1)$$

式中 n ——主运动的转速(r/min);

d ——工件待加工表面直径或刀具最大直径(mm)。

若主运动为直线运动,则切削速度为刀具相对工件的直线运动速度。

2. 进给量 f 、进给速度 v_f 和每齿进给量 f_z

进给运动更多时候用进给量表示。进给量为在主运动的一个循环内,刀具在进给运动方向上相对工件的位移量,可用刀具或工件每转或每行程的位移量来表述和度量。如主运动为旋转运动(如车削)时,进给量 f 为工件或刀具旋转一周,两者沿进给方向移动的相对距离(mm/r);主运动为直线运动(如刨削)时,进给量 f 为每一往复行程,刀具相对工件沿进给方向移动的距离(mm/行程);对于多齿旋转刀具(如铣刀、铰刀、拉刀等),在每转或每往复行程中每个刀齿相对于工件在进给运动方向上的移动距离,称为每齿进给量 f_z (mm/z)。进给速度 v_f 为切削刃上选定点相对于工件进给运动的瞬时速度,单位为 m/min 。如图 2-2(d)所示,进给速度、进给量、每齿进给量三者关系如下:

$$v_f = f n = f_z z n \quad (2-2)$$

3. 背吃刀量 a_p

当刀具不能一次吃刀就能切掉工件上的金属层时,还需由操作者或机床进刀机构在一次进给后再沿半径方向完成吃刀运动,习惯上称每次吃刀的数量为背吃刀量,以 a_p 表示,单位为 mm 。对于图 2-2(a)所示主运动为旋转运动的车削,其背吃刀量的大小为

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

式中 d_w ——待加工表面直径(mm);

d_m ——已加工表面直径(mm)。

对于图 2-2(f)所示主运动为直线运动的刨削,其背吃刀量的大小为

$$a_p = H_w - H_m \quad (2-4)$$

式中 H_w ——待加工表面厚度(mm);

H_m ——已加工表面厚度(mm)。

对于图 2-2(e)所示的钻孔,其背吃刀量的大小为

$$a_p = \frac{d_m}{2} \quad (2-5)$$

2.3 切削层参数

刀具切削刃在一次进给(走刀)中,从工件待加工表面上切下的金属层称切削层。外圆车削时,工件转一转,车刀从位置 I 移动到位置 II,前进了一个进给量 f ,图 2-3 中阴影部分即为切削层。其截面尺寸的大小即为切削层参数,它决定了刀具所承受负荷的大小及切削尺寸,还影响切削力和刀具磨损、表面质量和生产效率。

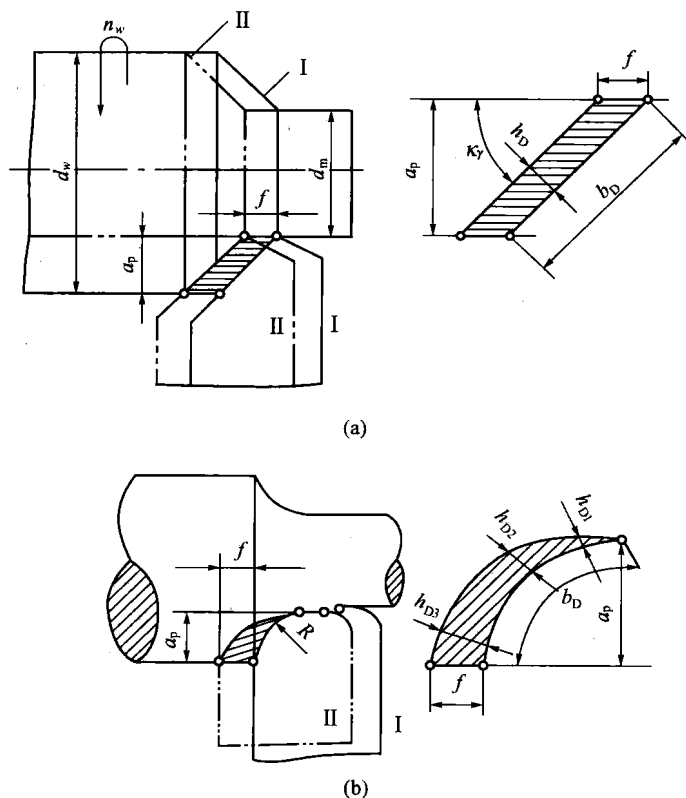


图 2-3 外圆纵车时切削层参数

(a) 直线刃时; (b) 曲线刃时。

1. 切削厚度 h_D

过切削刃上选定点,在与该点主运动方向垂直的平面内,垂直于过渡表面度量的切削层尺寸,单位为 mm。由图 2-3(a)可以看出,切削厚度为刀具每移动一个进给量 f 以后,主切削刃相邻两位置间的垂直距离。

$$h_D = f \sin \kappa_\gamma \quad (2-6)$$

可见, h_D 随 f 、 κ_γ 的增大而增大。当切削刃为直线时,切削刃上各点处的 h_D 相等;切削刃为曲线时,刃上各点的 h_D 是变化的,如图 2-3(b) 所示。

2. 切削宽度 b_D

过切削刃上选定点,在与该点主运动方向垂直的平面内,平行于过渡表面度量的切削层尺寸,单位为 mm。同样由图 2-3(a)可以看出,切削层公称宽度为沿刀具主切削刃量得的待加工表面至已加工表面之间的距离,即主切削刃与工件的接触长度。

$$b_D = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad (2-7)$$

可见, a_p 越大, b_D 越宽。

2.4 基 准

零件上各个表面之间、零件与零件之间均有一定的相互位置和距离尺寸的要求,因此在分析研究加工表面的位置精度时,首先应了解加工表面的标定问题,即基准的概念。基准就是依据,是用来确定生产对象上几何要素间的几何关系所依据的那些点、线、面。如图 2-4 所示,为了能够加工出小圆柱面,加工时三爪卡盘装夹大圆柱面,逐层在小圆柱面处切除多余的材料,最终获得尺寸为直径 20mm。显然,小圆柱面中心就是标定半径为 10mm 的小圆柱面的基准。

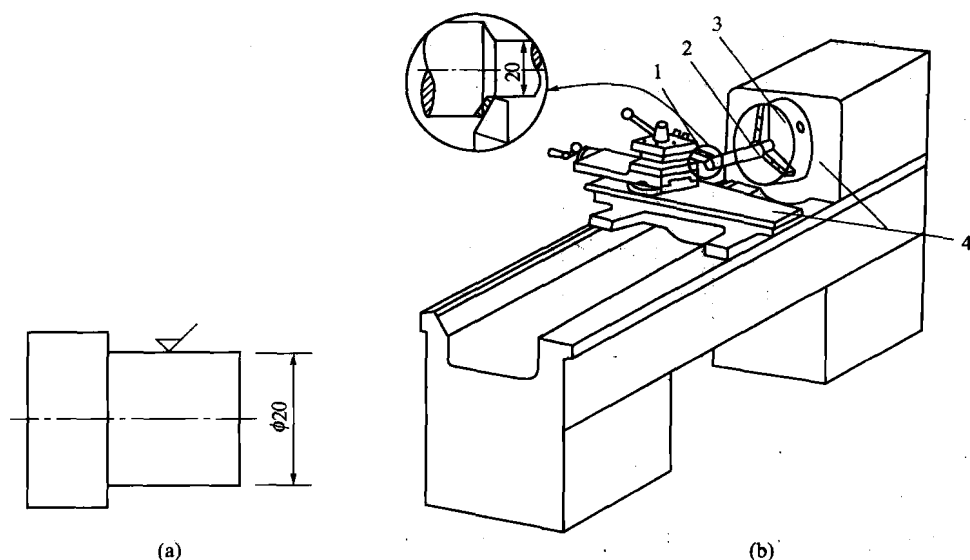


图 2-4 基准
(a) 零件; (b) 加工。

基准根据其功用不同,可分为设计基准和工艺基准两大类。

1. 设计基准

零件设计图样上所采用的基准,称为设计基准。这是设计人员从零件的工作条件、性能要求出发,适当考虑加工工艺性而选定的。在零件图上可以有一个或多个设计基准。

图 2-5 所示齿轮的外圆和分度圆的设计基准是齿轮内孔的中心线,而表面 C、D 的设计基准是表面 B。

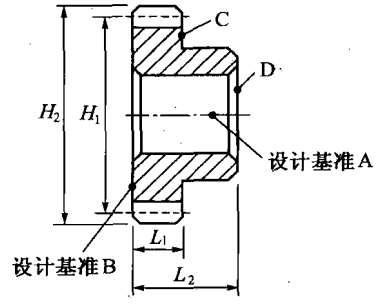


图 2-5 零件图中的设计基准

2. 工艺基准

工艺基准是在工艺过程中所采用的基准。按其在工艺过程中用途的不同,工艺基准又可分为以下四类:

1) 工序基准

在工序图上,用来确定本工序中待加工表面加工后的尺寸、形状、位置的基准,称为工序基准。

图 2-6 所示为在阶梯轴上铣键槽的工序图,要求其底面与 B 平行,两侧面相对于 ϕd 的中心线 C 对称,并与 A、B 保持距离尺寸分别为 l 和 h 。因此 A、B、C 均为本工序的工序基准。

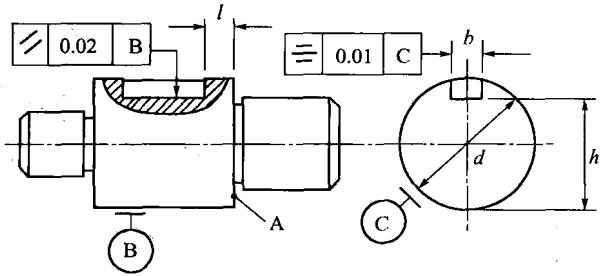


图 2-6 工序图中的工序基准

2) 定位基准

工件在机床上或夹具中进行加工时,用作定位的基准,称为定位基准。

图 2-7 所示的零件在加工内孔时,其位置是由与夹具上的 3 个定位元件相接触的底面 A 和侧面 B 所确定的,故 A、B 为该工序的定位基准。

3) 测量基准

在测量时所采用的基准,称为测量基准。

图 2-8 所示为根据不同工序要求测量已加工表面时所使用的两个不同的测量基准。一是小圆的上

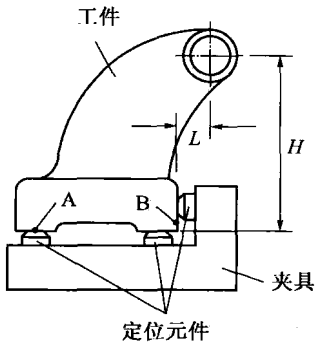


图 2-7 工件在加工时的定位基准

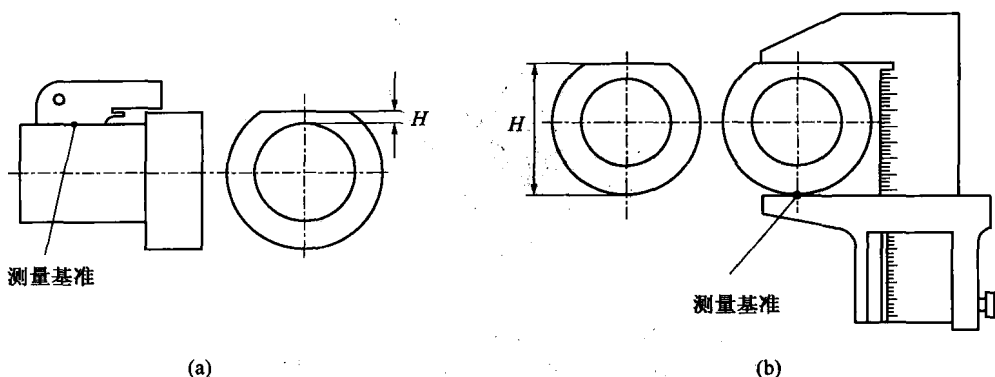


图 2-8 工件上已加工表面的测量基准

(a) 第一种情况; (b) 第二种情况。

母线,如图 2-8(a)所示;另一个基准为大圆的下母线,如图 2-8(b)所示。

4) 装配基准

在机器装配时,用来确定零件或部件在产品中的相对位置所采用的基准,称为装配基准。

图 2-9 所示为齿轮的装配工序图。由于齿轮是以其内孔 A 及端面 B 装配到与其配合的轴上,故齿轮内孔 A 和端面 B 即为装配基准。

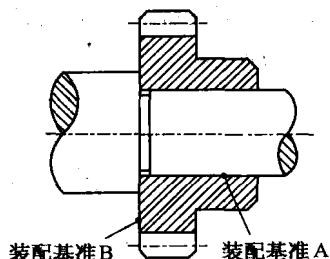


图 2-9 机器零件装配时的装配基准

2.5 刀具静止角度参考系和刀具静止角度的标注

在金属切削加工中,刀具切除工件上的多余金属,是完成切削加工、获得加工表面的重要工具,因此刀具是保证加工质量、提高加工生产率、影响产品成本的一个重要因素。根据工件和机床的不同,所选用的刀具类型、结构、材料和几何参数也不相同,但其切削部分所起的作用都是相同的,都能简化成外圆车刀的基本形态,故以普通外圆车刀为例说明刀具切削部分的几何参数。如图 2-10 所示,其切削部分由三个刀面、两个切削刃、一个刀尖组成。

(1) 前刀面 切屑流出时经过的表面称为前刀面,用符号 A_f 表示。

(2) 后刀面 刀具上与工件的加工表面相对的表面,称为后刀面,也称主后刀面,用符号 A_a 表示。

(3) 副后刀面 刀具上与工件的已加工表面相对的表面称为副后刀面,用符号 A'_a 表示。

(4) 主切削刃 前刀面与主后刀面的交线称为主切削刃,用符号 S 表示。在切削过程中,主切削刃担任主要的切削任务,切去大量的材料并形成工件上的加工表面。

(5) 副切削刃 前刀面与副后刀面的交线称为副切削刃,用符号 S' 表示。它担任少

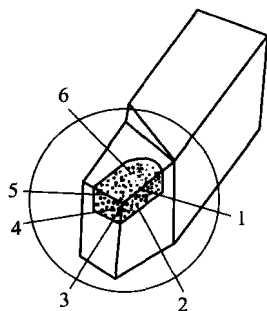


图 2-10 车刀的组成部分和各部分名称

1—主切削刃；2—后刀面；3—刀尖；4—副后刀面；5—副切削刃；6—前刀面。

量的切削任务,配合主切削刃完成整个切削任务并最终形成工件上的已加工表面。

(6) 刀尖 刀尖是主切削刃和副切削刃的连接处,如图 2-11(a)所示。在实际应用中,为增加刀尖强度和耐磨性,一般在刀尖处磨出直线或圆弧形的过渡刃,如图 2-11(b)、(c)所示。

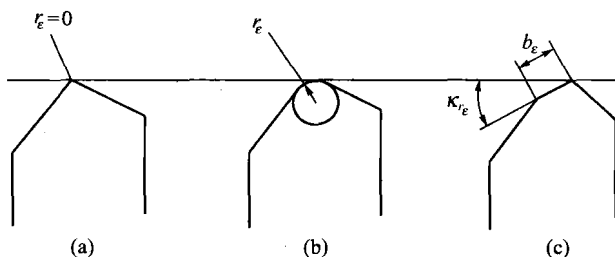


图 2-11 刀尖的结构

(a) 尖刀尖；(b) 倒圆刀尖；(c) 倒角刀尖。

2.5.1 刀具静止角度参考系

为了确定刀具切削部分各表面和切削刃的空间位置,确定和测量刀具角度,需要建立参考系。然而在设计与制造刀具时,合成切削速度的方向还不确定。因此,只能在合理的假定条件下建立坐标系,这就是刀具静止角度参考系。

一是假定运动条件。以切削刃选定点位于工件中心高时的主运动和进给运动方向分别作为假定主运动、假定进给运动方向,不考虑进给运动的大小。

二是假定安装条件。安装车刀时应使刀尖与工件中心等高,以及车刀刀杆对称面垂直于工件轴线。

1. 正交平面静止参考系

正交平面参考系也称为主剖面参考系,由相互垂直的基面、切削平面和正交平面三个坐标平面组成,如图 2-12 所示。

(1) 基面 基面(P_r)是通过切削刃上选定点,垂直于假定主运动方向的平面。它平行于或垂直于刀具在制造、刃磨和测量时适合于安装和定位的一个平面或轴线。

例如,对于车刀和刨刀等,它的基面按规定平行于刀杆底面;对于回转刀具(如铣刀、