

机械加工工艺基础

主编 修树东
陈恒高



哈尔滨工程大学出版社

TH/6

X68

425575

机械加工工艺基础

主 编	修树东	陈恒高
副主编	侯季理	耿国森
	袁凯峰	田金和
	郭占斌	
主 审	侯书林	曹秀媛

江苏工业学院图书馆
藏书章

哈尔滨工程大学出版社

内 容 提 要

本书是根据国家教委 1995 年 5 月批准印发的高等工业学校《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》中“机械加工工艺基础”部分的要求而编写的教材,它对机械加工工艺方面的基本知识作了全面系统的介绍。

全书共分十二章。内容包括:金属切削加工的基础知识,金属切削加工的理论基础,金属切削加工质量与切削效率,金属切削机床概论,金属切削加工方法综述,典型表面加工方案分析,精密加工和特种加工简介,工件的安装与夹具,机械加工工艺过程,典型零件的加工,零件的结构工艺性,机械制造自动化概论等。各章均附有复习思考题。

本书可作为高等工科院校、高等农林院校、成人高校机械类和近机械类各专业的教材,也可供机械制造技术人员学习参考。

0465/16

机械加工工艺基础

主 编 修树东 陈恒高

责任编辑 陈晓军

*

哈尔滨工程大学出版社出版发行

新 华 书 店 经 销

哈尔滨理工大学印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 13.625 字数 340 千字

1996 年 12 月第 1 版 1996 年 12 月第 1 次印刷

印数:1~2000 册

ISBN 7-81007-582-9

TH·36 定价:16.00 元

前 言

本书是根据国家教委 1995 年 5 月批准印发的高等工业学校《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》中“机械加工工艺基础”部分的要求,汲取了国内同类教材中的某些优点,并结合多年教学经验和各校教学改革的需要而编写的教材。

编写时努力做到既要体现学科的科学性、系统性,又要符合教学规律;既介绍机械加工传统工艺知识,又注重反映机械加工新工艺和新成就。同时贯彻了金属切削加工有关术语和刀具材料等最新国家标准,如 GB/T12204—90《金属切削基本术语》、GB1008—89《机械加工工艺装备基本术语》、GB9943—88《高速工具钢》、GB2075—87《切削加工用硬质合金分类、分组代号》等。

本书内容广泛,选择恰当,深入浅出,与生产实际紧密相联,具有较强的实践性和灵活性,对于学生能力的培养十分有益。

我们在编写本书时,已考虑到了机械类各专业的不同需要,因此本书具有一定的通用性。其既可作为高等工科院校、高等农林院校等机械类和近机械类各专业的教材,也可供机械制造工程技术人员学习参考。

参加本书编写的有:吉林农业大学侯季理,东北农业大学那明君,佳木斯工学院袁凯峰,牡丹江农垦职工大学田金和,黑龙江八一农垦大学修树东、陈恒高、耿国森、魏得强、郭占斌、张广智、王国兴、邢国庆、徐士波等。主编修树东、陈恒高,副主编侯季理、耿国森、袁凯峰、田金和、郭占斌等。本书由东北农业大学侯书林副教授、吉林农业大学曹秀媛副教授主审,特此致谢。

由于我们水平有限,本书难免有谬误和不当之处,欢迎读者批评指正。

编 者

1996 年 10 月

目 录

第一章 金属切削加工的基础知识	(1)
§ 1-1 概述.....	(1)
§ 1-2 切削加工的基本术语及其定义.....	(3)
§ 1-3 刀具材料	(10)
第二章 金属切削加工的理论基础	(14)
§ 2-1 金属切削过程	(14)
§ 2-2 切削力	(18)
§ 2-3 切削热与切削温度	(21)
§ 2-4 刀具磨损与刀具耐用度	(24)
第三章 金属切削加工质量与切削效率	(29)
§ 3-1 工件材料的切削加工性	(29)
§ 3-2 切削液	(31)
§ 3-3 已加工表面质量	(33)
§ 3-4 刀具几何参数的合理选择	(35)
§ 3-5 切削用量的选择	(40)
第四章 金属切削机床概论	(45)
§ 4-1 机床的分类与编号	(45)
§ 4-2 机床的技术性能指标	(48)
§ 4-3 机床的运动	(49)
§ 4-4 机床的传动	(52)
§ 4-5 机床的传动系统分析	(59)
第五章 金属切削加工方法综述	(71)
§ 5-1 车削加工	(71)
§ 5-2 钻、扩、铰、镗削加工.....	(73)
§ 5-3 刨、插、拉削加工	(78)
§ 5-4 铣削加工	(81)
§ 5-5 磨削加工	(85)
第六章 典型表面加工方案分析	(93)
§ 6-1 平面加工	(93)
§ 6-2 外圆面的加工	(95)
§ 6-3 孔的加工	(96)
§ 6-4 成形面的加工	(99)
§ 6-5 螺纹加工.....	(100)
§ 6-6 齿轮齿形的加工.....	(105)

第七章 精密加工和特种加工简介	(114)
§ 7-1 光整加工.....	(114)
§ 7-2 特种加工.....	(120)
第八章 工件的安装与夹具	(129)
§ 8-1 概述.....	(129)
§ 8-2 工件的安装和基准.....	(132)
§ 8-3 工件的六点定位原理.....	(134)
§ 8-4 定位误差的概念.....	(138)
§ 8-5 常见的定位元件和定位误差.....	(139)
§ 8-6 夹紧机构.....	(145)
第九章 机械加工工艺过程	(160)
§ 9-1 概述.....	(160)
§ 9-2 机械加工工艺规程的制定.....	(163)
§ 9-3 零件的工艺性分析.....	(165)
§ 9-4 毛坯的种类和选择.....	(166)
§ 9-5 基准的选择.....	(167)
§ 9-6 工艺路线的拟定.....	(169)
§ 9-7 加工余量的确定.....	(171)
§ 9-8 工序尺寸的计算.....	(173)
§ 9-9 机械加工的生产率.....	(175)
§ 9-10 编写工艺文件.....	(178)
第十章 典型零件的加工	(182)
§ 10-1 轴类零件的加工.....	(182)
§ 10-2 盘套类零件的加工.....	(186)
§ 10-3 箱体类零件的加工.....	(189)
第十一章 零件的结构工艺性	(193)
§ 11-1 概述.....	(193)
§ 11-2 一般原则及实例分析.....	(193)
第十二章 机械制造自动化概论	(201)
§ 12-1 机械化、自动化、刚性自动化概述.....	(201)
§ 12-2 柔性自动化概述.....	(203)
§ 12-3 计算机集成制造系统与无人化工厂.....	(209)
主要参考文献	(212)

第一章 金属切削加工的基础知识

§ 1-1 概 述

原材料经过加工制成机器零件的制造技术有很多。传统技术中,零件的制造大致有两种方法:一种方法是变形法,这种方法是把毛坯材料通过“变形”而形成所需的形状。“变形”既可以是固态的(如锻、冲、拉、压成形),也可以是液态或半液态(如铸造、注塑成形)。如果不计无用材料,在整个“变形”过程中,既无材料增加,也无材料减少。另一种是去材法,这种方法是把较大的毛坯材料通过去除多余材料而形成所需的形状。它既可以是传统的切削加工方法(如车、铣、钻、刨、磨等),也可以是特种加工方法(如激光加工、电火花加工、超声波加工等)。

值得注意的是,近年来,出现了一种新的零件制造技术,叫做增材制造技术(Material Increase Manufacturing)。该技术是用逐渐增加材料的方法(如凝固、烧结、胶接、粘结、聚合或其他化学反应)来制造所需零件,增材制造技术已经在航空航天工业、电子工业、仪器仪表工业等获得广泛应用。该技术将在 90 年代迅速发展,在机械制造历史上,它与数控技术和特种加工技术具有同等重要意义。

一、切削加工的特点

1. 切削加工的概念

切削加工是用切削工具从毛坯(或型材)上切除多余的材料,以便获得几何形状精度、尺寸精度和表面质量等都符合要求的零件的加工过程。

切削加工可分为机械加工和钳工两大部分。机械加工是指由操作者操纵机床进行的切削加工。机械加工根据所使用工具的种类,又可分为:用刀具进行加工(如车削、刨削、铣削、拉削等)和用磨料进行加工(如磨削、研磨、珩磨、超精加工等)。钳工一般是指由操作者手持工具进行的切削加工(如划线、锯削、锉削、刮削、攻丝等),机器的装配和修理也属于钳工的范围。

2. 切削加工的优点

(1) 切削加工受被加工材料性质的限制较少,大部分金属材料都可以进行切削加工,部分非金属材料(如木材、塑料、石材、陶瓷、搪瓷等)也可以进行切削加工,只要被加工材料比刀具材料软就可以。随着高硬度材料(金刚石、立方氮化硼等)在刀具中的普遍使用,切削加工已不受被加工材料硬度条件限制了。

(2) 切削加工基本不受零件形状的限制,许多形状不同的零件可以通过切削加工获得。

(3) 切削加工可得到很高的加工精度和表面质量。例如加工外圆面时,粗加工精度可达 IT12~IT10,表面粗糙度可达 $Ra12.5\sim50\mu m$;半精加工精度可达 IT10~IT7,表面粗糙度可达 $Ra1.6\sim6.3\mu m$;精加工精度可达 IT7~IT6,表面粗糙度可达 $Ra0.2\sim0.8\mu m$;精密加

工精度可达 IT6~IT5,表面粗糙度可达 $Ra0.012\sim0.1\mu m$ 。

(4) 去除单位体积材料所消耗的能量较小。由表 1-1 可知,其他各种加工方法去除单位体积材料所消耗的能量几乎都比切削加工的大。

表 1-1 去除单位体积材料所消耗能量的概略值

加工方法	所需能量(J/mm ³)	加工方法	所需能量(J/mm ³)
切削	1~10	超声波加工	$10^2\sim10^3$
磨削	$10\sim10^2$	电火花加工	$10^2\sim10^3$
电解磨削	1~10	激光加工	10^5
电解加工	$1\sim10^2$	电子束加工	10^5

3. 切削加工的缺点

(1) 切削时会产生切屑,这不但浪费材料,而且增加了清理切屑的困难。

(2) 切削时会产生切削力,从而使工艺系统(机床—夹具—刀具—工件)产生变形和振动,降低加工精度。

(3) 切削时会产生切削热,因而使工件产生热膨胀,工件表层组织发生变化,造成加工精度和已加工表面质量下降、刀具磨损加快等后果。

(4) 由于切削力和切削热的影响,已加工表面会因弹性变形、塑性变形的作用而形成加工变质层,即已加工表面产生加工硬化、残余应力等。这对零件的使用性能与可靠性有很大的影响。

4. 切削加工的种类

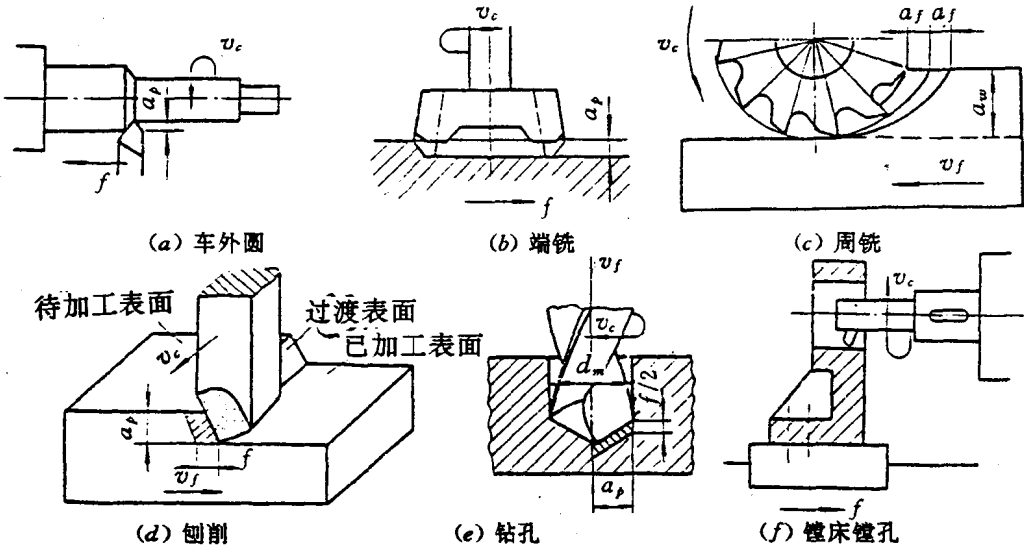
切削加工的种类很多,但常用的主要切削加工方法是:

(1) 制作圆柱形表面的车削加工〔图 1-1(a)所示为车外圆〕。

(2) 制作平面和复杂几何型面的铣削和刨削加工〔图 1-1(b)所示为端铣平面,图 1-1(c)所示为周铣平面,图 1-1(d)所示为刨削平面〕。

(3) 制作圆孔的钻削、镗削和铰削加工〔图 1-1(e)所示为钻孔,图 1-1(f)所示为镗床镗孔,图 1-1(g)所示为铰孔〕。

(4) 各种形式的磨削加工〔图 1-1(h)所示为磨平面,图 1-1(i)所示为磨外圆〕。



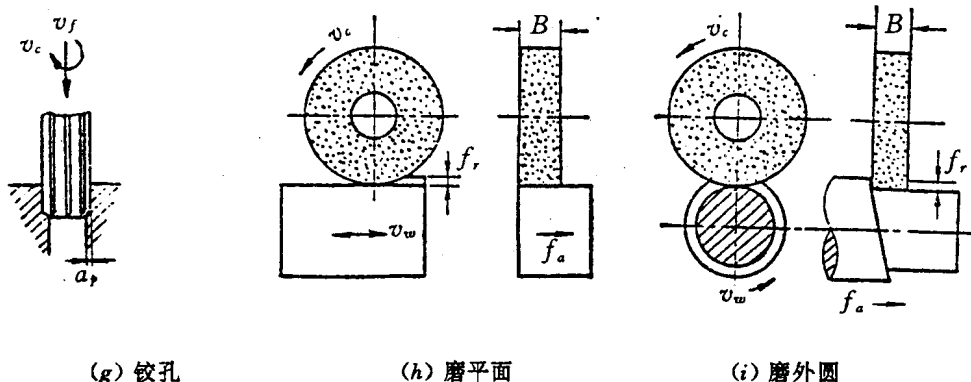


图 1-1 切削加工的种类

§ 1-2 切削加工的基本术语及其定义

本节参照《金属切削基本术语》(GB/T12204-90), 主要介绍切削加工中的一些基本术语及其定义, 包括切削运动、加工表面、切削用量、刀具的几何参数及切削层参数等。

一、切削运动

切削过程是刀具与工件相互作用的过程。刀具要从工件上切除多余的材料, 刀具与工件之间必须有相对运动, 这种相对运动称为切削运动。根据切削运动在切削过程中所起的作用, 其可分为主运动和进给运动。

1. 主运动

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, 从而使刀具前面接近工件。它是速度最高, 消耗机床动力最大, 并担负主要切削任务的运动。主运动可以是回转运动, 也可以是直线运动。如车削时工件的回转运动(图 1-2), 铣削时铣刀的回转运动, 牛头刨床刨削时刨刀的往复直线运动, 插齿机插齿时插齿刀的往复直线运动, 都属于主运动。

2. 进给运动

由机床或人力提供的运动, 它使刀具与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。通常, 进给运动的速度较低, 消耗机床动力较少。如车削时车刀的直线运动(图 1-2), 铣削时工作台的纵(横)直线运动, 钻削时钻头的

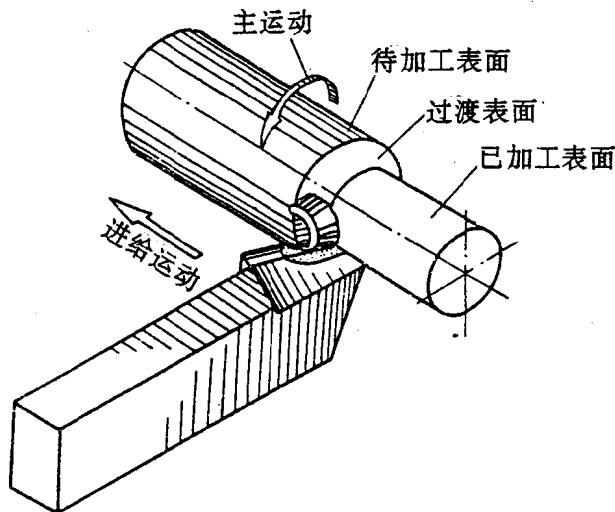


图 1-2 车削运动和工件上的加工表面

轴向运动,都属于进给运动。

需要注意的是,任何切削加工方法都必须有一个主运动,但可以有一个或几个进给运动。主运动和进给运动可以由刀具与工件分别完成,也可以由刀具单独完成。

3. 合成切削运动

主运动和进给运动可以同时进行(如车削、铣削),也可以交替进行(如刨削)。若同时进行,刀具切削刃上某一点相对工件的运动称为合成切削运动,可用合成切削速度向量 v_c 表示。如图 1-3 所示,合成切削速度向量 v_c 等于主运动速度 v_r 与进给运动速度 v_f 的向量和,即 $v_c = v_r + v_f$ 。

二、工件的加工表面

在切削过程中,通常工件上存在三个不断变化着的表面,如图 1-2 所示。它们是:

1. 待加工表面 工件上有待切除之表面。随着切削过程的进行,它将逐渐减少,直至全部切除。

2. 已加工表面 工件上经刀具切削后产生的表面。随着切削过程的进行而逐渐扩大。

3. 过渡表面 工件上由切削刃形成的那部分表面。它在下一切削行程,刀具或工件的下一转里被切除,或者由下一切削刃切除。它是切削过程中不断改变着的表面,但它总是处在待加工表面与已加工表面之间。

三、切削用量

切削用量是指切削加工时各运动参数的数值,用于调整机床。它包括切削速度 v_c 、进给量 f 和背吃刀量 a_p (图 1-1 所示),这三者常称为切削用量三要素。

1. 切削速度 v_c

切削刃选定点相对于工件的主运动的瞬时速度,其单位为米/秒。

(1) 主运动为回转运动时,其计算公式为

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

式中 d ——完成主运动的刀具或工件的最大直径(mm);

n ——主运动的转速(r/s)。

(2) 主运动为往复直线运动时,其计算公式为

$$v_c = \frac{2Ln_r}{1000 \times 60} \quad (1-2)$$

式中 L ——往复直线运动的行程长度(mm);

n_r ——主运动每分钟内的往复次数。

2. 进给量

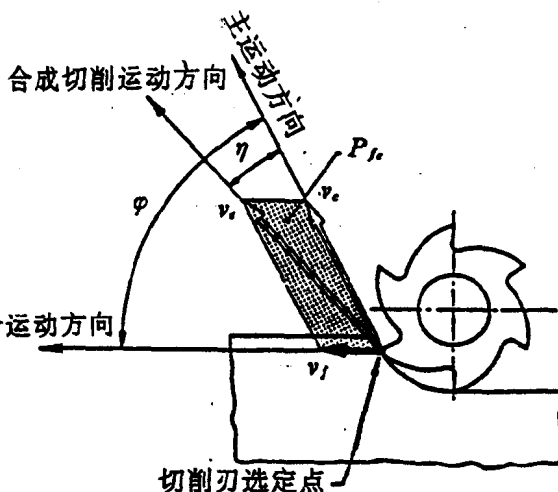


图 1-3 周铣时铣刀和工件的运动

它是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。单位为毫米/转或毫米/行程。例如车削时,工件每转一转,刀具沿进给运动方向所移动的距离,即为进给量;又如牛头刨床刨削时,刨刀每往复一次,工件在进给方向上相对刨刀移动的距离,即为进给量。

与进给量 f 相关的概念还有进给速度和每齿进给量。进给速度 v_f 是指切削刃选定点相对工件的进给运动的瞬时速度,单位为毫米/秒。每齿进给量 f_z 是指多齿刀具每转或每行程中每齿相对工件在进给运动方向上的位移量,单位为毫米/齿。

显然, f 、 v_f 、 f_z 三者有下列关系:

$$v_f = f n = f_z z n \quad (1-3)$$

式中 z ——多齿刀具的刀齿数。

3. 背吃刀量 a_p

它是通过切削刃基点,并在垂直于工作平面的方向上测量的吃刀量,单位为毫米。背吃刀量过去习惯称为切削深度。

例如车外圆时〔图 1-1(a)所示〕:

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1-4)$$

钻孔时〔图 1-1(e)所示〕:

$$a_p = \frac{d_m}{2} \quad (1-5)$$

式中 d_w ——工件上待加工表面直径(mm);

d_m ——工件上已加工表面直径(mm)。

4. 材料切除率 Q

它是单位时间内切下工件材料的体积,单位为立方毫米/秒。其是衡量切削效率高的一种指标,可由下式表示:

$$Q = 1000 v_f a_p \quad (1-6)$$

从上式可以看出,切削用量的大小,直接反映了切削效率的高低。

四、刀具的几何参数

刀具的种类虽然很多,但它们的切削部分在几何特性上却具有共性。不论刀具如何复杂,其切削部分均可近似地看成是外圆车刀切削部分演变的结果,因此外圆车刀的切削部分可以看作是各类刀具切削部分的基本形态。所以,我们以外圆车刀为例进行分析和讨论。

1. 刀具切削部分的组成

外圆车刀切削部分有三个表面、二个切削刃及一个刀尖,图 1-4 所示。它们的定义如下:

前刀面 (A_r)——刀具上切屑流过的表面。

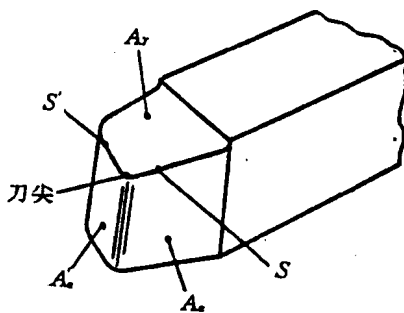


图 1-4 车刀切削部分上的切削刃和表面

主后刀面(A_0)——刀具上与工件过渡表面相对的表面。

副后刀面(A'_0)——刀具上与工件已加工表面相对的表面。

主切削刃(S)——前刀面与主后刀面的交线,用以形成工件的过渡表面,并完成主要切削工作。

副切削刃(S')——前刀面与副后刀面的交线,它协同主切削刃完成切削工作,并最终形成已加工表面。

刀尖——主切削刃与副切削刃的连接部位,它可以是曲线、直线或主、副切削刃的实际交点。

2. 刀具静止参考系

在设计和制造刀具时,刀具尚未处于使用状态。这时,为确定各刀面和切削刃在空间的位置,以及作为制造、刃磨和测量时的依据,需选择一些参考平面作为基准,从而建立起刀具静止参考系。它是刀具设计计算、绘图标注、刃磨测量角度时的基准,用它定义的角度称为刀具角度。

刀具静止参考系的参考平面是以刀具结构为基础,考虑到安装定位面及假定的切削运动方向建立起来的坐标平面。刀具静止参考系由下列诸平面构成(图 1-5):

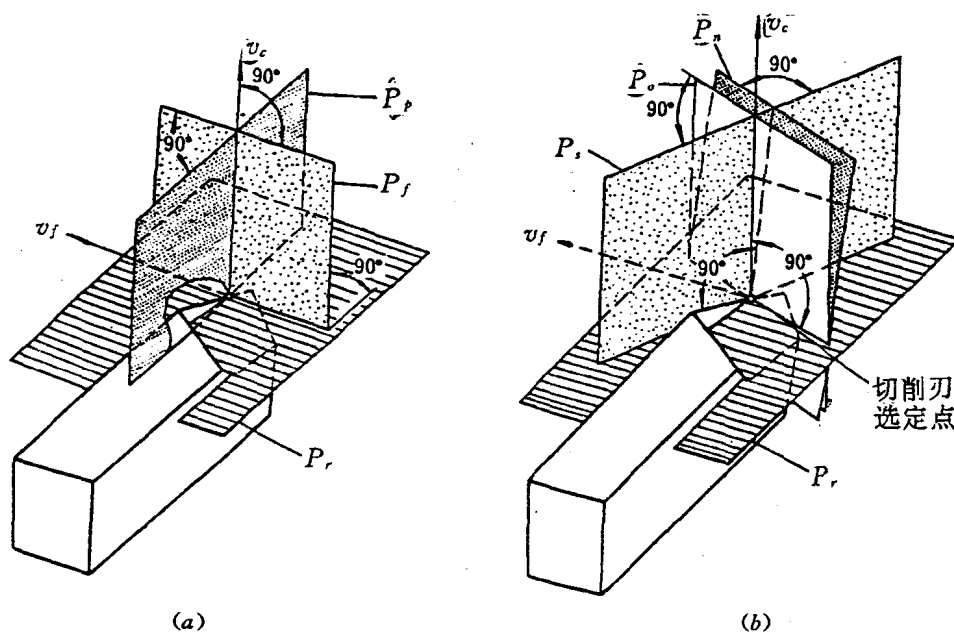


图 1-5 刀具静止参考系中的各平面

(1) 基面(P_r) 通过切削刃选定点,平行或垂直于刀具上便于制造、刃磨和测量的安装定位平面或轴线的一个平面。通常它垂直于假定主运动方向。

例如,普通车刀和刨刀的基面平行于刀具的底面,而钻头和铣刀的基面则是包含刀具轴线的平面。

(2) 假定工作平面(P_f) 通过切削刃选定点,与基面垂直并平行于假定进给方向的平面。通常它平行或垂直于刀具上便于制造、刃磨和测量的安装定位平面或轴线。

例如,普通车刀和刨刀的 P_f 垂直于刀杆轴线,切断车刀、钻头的 P_f 平行于刀具的轴

线, 铣刀的 P_f 垂直于铣刀的轴线。

(3) 背平面 (P_p) 通过切削刃选定点, 并垂直于基面和假定工作平面的平面。

如图 1-5(a) 所示, P_r 、 P_f 、 P_p 组成一个正交的参考系。

(4) 切削平面 P_t 通过切削刃选定点, 与切削刃相切并垂直于基面的平面。

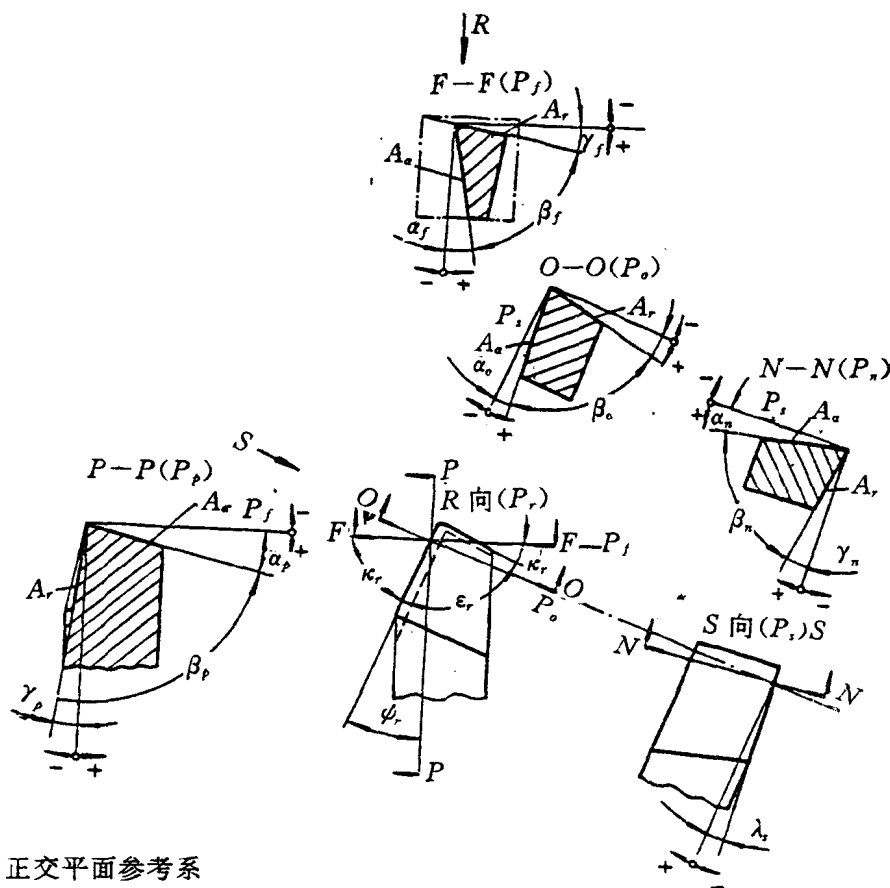
(5) 正交平面 (P_o) 通过切削刃选定点, 并同时垂直于基面和切削平面的平面。

(6) 法平面 (P_n) 通过切削刃选定点, 并垂直于切削刃的平面。

由图 1-5(b) 可以看出, P_r 、 P_t 、 P_o 组成一个正交平面参考系, P_r 、 P_t 、 P_n 组成一个法平面参考系。

3. 刀具角度

图 1-6 所示为 GB/T12204-90 规定的车刀角度。现将各参考系内的刀具角度名称和定义说明如下:



(1) 正交平面参考系

在正交平面 P_o 内度量的角度有:

- 1) 前角 γ_o 。前刀面与基面之间的夹角。
- 2) 后角 α_o 。后刀面与切削平面之间的夹角。
- 3) 楔角 β_o 。前刀面与后刀面之间的夹角。显然,

$$\beta_o = 90^\circ - (\gamma_o + \alpha_o) \quad (1-7)$$

在基面的投影上度量的角度有:

- 4) 主偏角 κ_r 。主切削平面与假定工作平面之间的夹角。
- 5) 副偏角 κ_s 。副切削平面与假定工作平面之间的夹角。

6) 刀尖角 ϵ_r 主切削平面与副切削平面之间的夹角。

$$\epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1-8)$$

7) 余偏角 ψ_r 主切削平面与背平面之间的夹角。

$$\psi_r = 90^\circ - \kappa_r \quad (1-9)$$

在切削平面内度量的角度有：

8) 刀倾角 λ 主切削刃与基面之间的夹角。

上述正交平面参考系的八个角度中, β_o 、 ϵ_r 和 ψ_r 不是独立变量, 称为派生角度; 基本角度只有五个, 即 γ_o 、 α_o 、 κ_r 、 λ 和 κ'_r 。

(2) 法平面参考系

法平面参考系与正交平面参考系的区别仅在于以法平面代替正交平面作为测量前角与后角的平面。在法平面内测量的角度有法前角 γ_n 、法后角 α_n 和法楔角 β_n , 其定义如前; 主偏角 κ_r 、副偏角 κ'_r 、刀尖角 ϵ_r 、余偏角 ψ_r 和刀倾角 λ 的定义与正交平面参考系完全一样。

(3) 假定工作平面、背平面参考系

其由平面 P_r 、 P_s 、 P_f 、 P_b 所组成, 如图 1-6 所示。在主切削刃选定点上有 P_f 和 P_b 两个测量平面, 故有侧前角 γ_f 、侧后角 α_f 、侧楔角 β_f 及背前角 γ_b 、背后角 α_b 、背楔角 β_b 两套角度。在 P_r 与 P_s 平面上测量的角度与正交平面参考系相同, 这样共有 11 个角度。

对于副切削刃, 可采用类似于上述的方法, 在副切削刃的选定点作参考系。如果车刀的主、副切削刃在同一公共的平面型前刀面上, 则当主切削刃的四个基本角度 γ_o 、 α_o 、 κ_r 、 λ 以及副偏角 κ'_r 确定之后, 副前角 γ_o 和副刃倾角 λ' 都将随之确定, 图纸上也就不用标注。这样一把外圆车刀的标注角度只有六个(图 1-7), 即主切削刃的 γ_o 、 α_o 、 κ_r 、 λ 和副切削刃的 α'_o 、 κ'_r 。

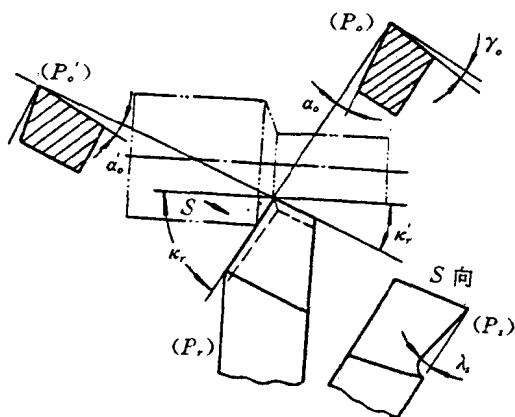


图 1-7 外圆车刀的标注角度

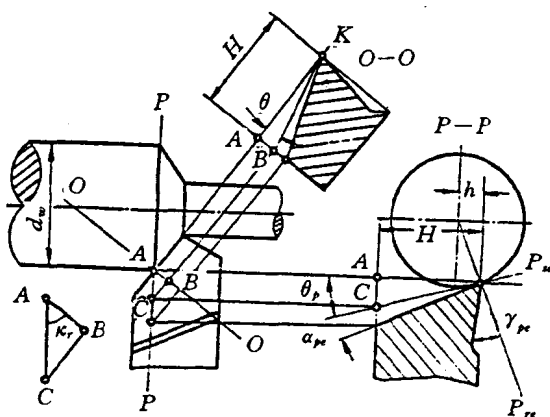


图 1-8 刀尖安装高低对工作角度的影响

4. 刀具工作角度

在实际切削过程中, 由于切削运动和刀具安装位置等不可能与假定条件完全符合, 所以刀具的参考系将发生变化, 于是有所谓的工作参考系。在刀具工作参考系中所确定的角度, 称为刀具工作角度。

由于通常的进给速度远小于主运动速度, 因此, 在一般安装条件下, 刀具工作角度近似地等于刀具角度。这样, 在多数场合(如普通车削、镗削、周铣、端铣等), 都不必进行工作角度的计算。只有在某些特殊情况下, 如车螺纹、车丝杠、铲背、车凸轮或有意调整刀具安装位置

(装高、装低、左右倾斜)时,角度值变化较大,才应考虑工作角度的计算。下面就以刀具安装位置高低和横向进给运动的影响分别讨论。

(1) 刀具安装高低对工作角度的影响

如图 1-8 所示,刀尖安装高于工件中心线时,切削平面将变为工作切削平面 P_{ω} ,基面变到工作基面 P_{ω} 位置,背平面内的工作角度 γ_{ω} 大于 γ_p , α_{ω} 小于 α_p ,在背平面内角度的变化值为 θ_p 。

$$\sin \theta_p = \left(\frac{h}{d_w/2} \right) \quad (1-10)$$

式中 h ——刀尖高于工件中心线的数值(mm)。

则工作角度为

$$\begin{cases} \gamma_{\omega} = \gamma_p + \theta_p \\ \alpha_{\omega} = \alpha_p - \theta_p \end{cases} \quad (1-11)$$

当刀尖低于工件中心线时,上述计算公式符号相反;镗孔时的计算公式与车削外圆时相反。

(2) 横向进给运动对工作角度的影响

以切断车刀为例,如图 1-9 所示,静止参考系中基面 P_r 平行于刀杆底面,切削平面 P_s 通过切削刃选定点并切于圆周, γ_o 、 α_o 为标注前角与后角。考虑进给运动之后,切削平面变为切于螺旋面的平面 P_{ω} ,基面也相应倾斜为 P_{ω} ,角度变化值为 η 。此时工作角度 γ_{ω} 大于 γ_o , α_{ω} 小于 α_o ,即

$$\begin{cases} \gamma_{\omega} = \gamma_o + \eta \\ \alpha_{\omega} = \alpha_o - \eta \end{cases} \quad (1-12)$$

而 η 为合成切削速度角,故

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{v_f}{v_c} = \frac{f}{\pi d} \quad (1-13)$$

式中 d 为切削过程中变化着的工件直径。切削刃越靠近工件中心, η 值越大,工作后角 α_{ω} 就越小。当切削刃离工件中心为 1mm, $f=0.2\text{mm/r}$ 时, $\eta=1^{\circ}39'$;再靠近中心, η 值急剧增大,工作后角 α_{ω} 甚至变为负值。

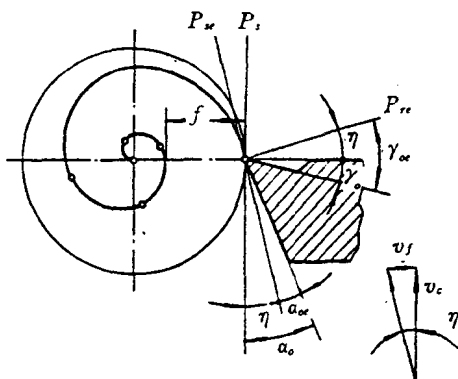


图 1-9 横向进给运动对工作角度的影响

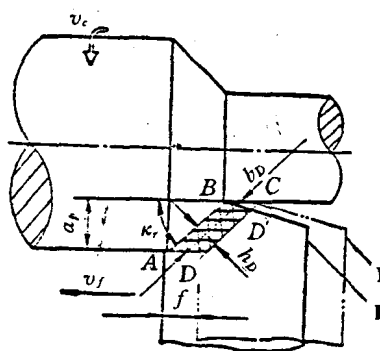


图 1-10 外圆纵车切削层尺寸平面要素

五、切削层尺寸平面要素

由切削部分的一个单一动作所切除的工件材料层称为切削层。如图 1-10 所示的外圆纵

车,当工件转一转时,车刀由位置 I 移动到位置 II。车刀处在两个位置时的切削刃 DC 和 AB 之间的一层材料,即为切削层。通过切削刃基点并垂直于该点主运动方向的平面,称为切削层尺寸平面。在切削层尺寸平面里测定的切削层几何参数,称为切削层尺寸平面要素。

1. 切削层公称厚度 h_D

其是在切削层尺寸平面内,垂直于切削刃方向所测得的切削层尺寸,单位为毫米。它反映了主切削刃在单位长度上的工作负荷。

$$h_D = f \sin \kappa_r \quad (1-14)$$

2. 切削层公称宽度 b_D

它是在切削层尺寸平面内,沿切削刃方向所测得的切削层尺寸,单位为毫米。

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r \quad (1-15)$$

3. 切削层公称横截面积 A_D

其是在给定瞬间,切削层在切削层尺寸平面里的实际横截面积,单位为平方毫米。

$$A_D = h_D b_D = a_p f \quad (1-16)$$

§ 1-3 刀具材料

刀具切削性能的优劣,关键取决于刀具切削部分的材料,它对刀具耐用度、加工效率、加工质量和加工成本影响极大。因此,应当重视刀具材料的正确选择和合理使用,重视新型刀具材料的研制。本节主要介绍目前常用刀具材料的性能及其适用范围。

一、刀具材料应具备的基本性能

刀具在切削过程中,要承受很大的切削力、很高的切削温度和强烈的摩擦,因此刀具切削部分的材料必须具备以下几方面性能:

1. 高硬度和耐磨性

刀具材料的硬度必须高于工件材料的硬度,金属切削刀具的常温硬度,一般都在 HRC60 以上。

耐磨性表示材料抵抗磨损的能力。一般刀具材料的硬度越高,耐磨性也越好;同时耐磨性还和刀具材料中硬质点的性质、数量、大小、分布情况有关。

2. 足够的强度和韧性

刀具材料必须具有足够的强度和韧性,以承受切削力、冲击和振动,防止刀具破损。

3. 较好的耐热性

耐热性是衡量刀具材料切削性能的主要指标。它是指刀具材料在高温下保持硬度、耐磨性、强度和韧性的性能。高温时硬度高,则耐热性好,允许的切削速度也就越高。

4. 良好的工艺性

为便于刀具的制造,要求刀具材料具有良好的热轧、锻造、焊接、热处理、切削和磨削等加工性能。

5. 较好的导热性

如果刀具材料的导热系数大,则有利于切削热的传出,从而降低切削温度。

6. 经济性

刀具材料的选择应尽量满足资源丰富和价格低廉的要求。

上述几项性能之间是相互矛盾的,任何一种刀具材料都难以具备所有性能的最佳指标,所以,刀具材料应根据具体加工条件有选择地使用。

二、刀具材料的种类及其选用

刀具材料可分四大类:工具钢(碳素工具钢、合金工具钢、高速钢)、硬质合金、陶瓷、超硬材料(金刚石、立方氮化硼)。碳素工具钢(如 T8A、T10A)、合金工具钢(如 9CrSi、CrWMn),因耐热性较差,仅用于一些手动工具及低速刀具;陶瓷、金刚石、立方氮化硼也仅用于有限场合。目前刀具材料中用得最多的是高速钢和硬质合金。

1. 高速钢

高速钢是一种加入了较多钨、钼、铬、钒和钴等合金元素的高合金工具钢。其常温硬度为 HRC62~70,耐热温度可达 540~600℃。普通高速钢允许的切削速度可达 0.4~0.5m/s。

与硬质合金相比,高速钢突出的优点是综合性能好。它的硬度、耐磨性、耐热性虽不及硬质合金,但它的强度高、韧性好、工艺性好,且容易磨出锋利的切削刃。因此,在制造复杂刀具中,目前高速钢仍占主要地位。

高速钢按用途和性能分为普通(通用)高速钢和高性能高速钢两类。其牌号、化学成分、机械性能和用途见表 1-2。

2. 硬质合金

硬质合金是由高硬度难熔金属碳化物粉末(硬质相)和金属粘结剂(粘结相)用粉末冶金方法制成的。常用的碳化物有碳化钨(WC)、碳化钛(TiC)、碳化钽(TaC)、碳化铌(NbC)等,常用的粘结剂为钴(Co)。

由于硬质合金中所含难熔金属碳化物远远超过了高速钢,因此其硬度,特别是高温硬度、耐磨性、耐热性都高于高速钢。硬质合金常温硬度可达 HRC74~81,耐热温度为 800~1000℃。在相同的耐用度下,硬质合金所允许的切削速度比高速钢高 4~7 倍或更多。但硬质合金较脆,抗弯强度低,仅是高速钢的三分之一左右;其韧性也很低,仅是高速钢的十分之一至几十分之一。

常用的硬质合金可分三类:

(1) 钨钴类(WC-Co)硬质合金 这类硬质合金的硬质相是 WC,粘结相为 Co。其应用范围分类代号为 K,主要用于切削铸铁和有色金属,另外也可切削高温合金、不锈钢、钛合金等难加工材料。

(2) 钨钛钴类(WC-TiC-Co)硬质合金 其硬质相除 WC 外还有 TiC,粘结相为 Co。其应用范围分类代号为 P,主要用于切削一般钢料。

(3) 钨钛钽(铌)钴类(WC-TiC-TaC(NbC)-Co)硬质合金 它是在 YT 类硬质合金成分中添加 TaC(NbC)而成的,其应用范围分类代号为 M。由于它既可切削铸铁和有色金属,又可切削一般钢料,也适用于切削高温合金、不锈钢等难加工材料,所以又称为通用硬质合金。

近年来,为了满足工业生产迅速发展的要求,发展了很多新品种的硬质合金。如 TiC 基硬质合金(也叫做金属陶瓷)、超细晶粒硬质合金、涂层硬质合金、钢结硬质合金。

切削加工常用的硬质合金代号及用途见表 1-3。