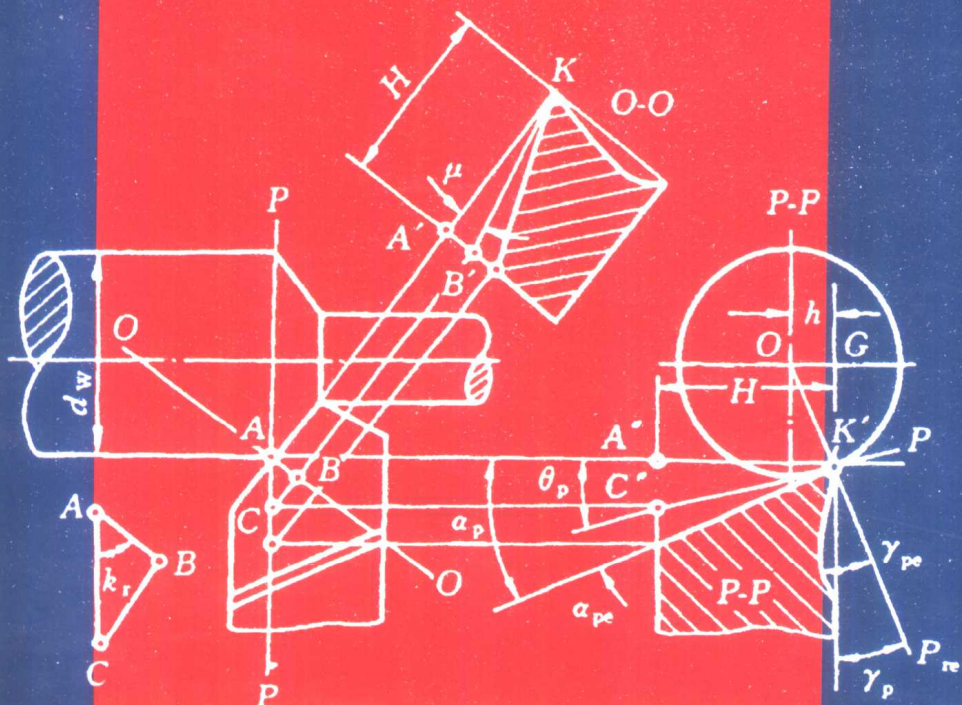
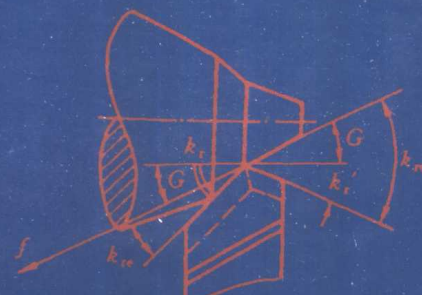
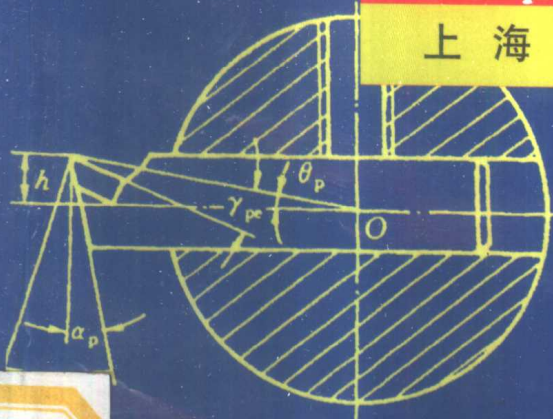


机械加工工艺学

主编 方子良
主审 龚光容

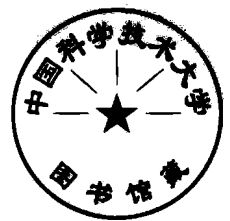


上海交通大学出版社



机械加工工艺学

方子良 主编
龚光容 主审



上海交通大学出版社

机械加工工艺学

主编 方子良

上海交通大学出版社出版发行

上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030

电话 64281208 传真 64683798

全国新华书店经销

立信会计常熟市印刷联营厂·印刷

开本:787×1092(mm)1/16 印张:16.25 字数:399千字

版次:1999年1月 第1版

印次:1999年1月 第1次

ISBN 7-313-02137-2/TH·069

定价: 20.00 元

本书任何部分文字及图片,如未获得本社书面同意,
不得用任何方式抄袭、节录或翻印。

(本书如有缺页、破损或装订错误,请寄回本社更换。)

内 容 提 要

本书是参照目前专业教学改革的要求和专业培训目标,结合近十年来的教学实践编写的。主要内容包括:金属切削加工的基础知识;典型表面加工及加工设备;特种加工及精密加工;工件定位原理及机床夹具;零件结构工艺性;生产过程和机械加工质量;机械加工工艺流程的制定;典型零件加工工艺分析;机械制造系统自动化等。每章附有复习思考题。

本书可作为高等工科院校机械专业、机电一体化专业和近机类专业的专业教材,也可作为非机械制造工艺专业的机类专业和机械工程与设备管理专科、职大、电大、夜大、函授等成人教育机类专业的自学教材。

前 言

《机械加工工艺学》是机电一体化专业的专业教材,也可作机械类或近机类专业的教材。本书是参照目前专业教学基本要求和专业培训目标,在总结近十来年的教学实践基础上编写的。

随着我国教学改革的不深入,专业设置以及相应的课程设置都有了很大的变动。机电一体化已成为机类专业人才知识结构改革的方向。拓宽机类与近机类专业人才的知识面,提高本科生面向社会生产实践的适应性,必将对原专业的课程设置与教材内容进行有机的重新结合与改造,编写出适应于各机类专业改革所需的通用教材。

目前,机类专业都已开设数控技术、微电子技术和计算机与自动检测等课程,对原机械专业的“老三篇”——《金属切削原理与刀具设计》、《机床夹具设计》及《机械制造工艺学》这些骨干课程内容必将适当精简,甚至合并成一门综合课程。这样做,既可克服过去课程内容重复、交叉的弊病,又可节省课时,提高教学效率,还可使学生对于机械加工制造过程有一个全面系统的认识。早在80年代后期,我校对机电一体化专业就实施了这种“一条龙”服务的教学计划。近十年来的教学实践,证明效果是良好的,并受到学生和企业的欢迎。在总结前段时期教学经验的基础上,使教材内容更系统化,特此编写了《机械加工工艺学》这本教材。它具有以下特点:

(1) 从机械制造工艺系统的刀具、机床、夹具、零件加工工艺等四个方面,精选与组织内容,既注重教材的系统性、内容重点突出,又考虑到教材整体内容的相关性。

(2) 全书的技术术语、名词、符号及计量单位均采用新标准。

(3) 对基础理论部分作了适当归纳,涉及到的难点部分作了适当的分析。因此,教材内容丰富,深度适中,适合各机类专业的需要。教学中可根据各专业特点,自行选取。

(4) 本教材力求精炼、简明,并尽可能将传统的机械加工工艺与新工艺、新技术相结合,拓宽专业人员的知识面,以适应市场经济的需要。

本书由方子良主编,龚光容主审。全书共九章,其中第一章、第二章由方子良编写,第三章、第四章由丁武学编写,第五章、第六章由陈安明编写,第七章、第八章由余根生编写,第九章由王栓虎编写。

在本书的编写过程中,得到了校教材科以及成人教育学院教材科领导的热情关怀与支持,谨此表示衷心感谢。

本书可作为高等工院校机械专业、机电一体化专业和近机类专业的专业教材,也可作为非机械制造工艺专业的机类专业和机械工程与设备管理专科、职大、电大、夜大、函授等成人教育机类专业的自学教材。

限于编者水平,以及时间仓促,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

1998年9月

目 录

第 1 章 金属切削加工的基础知识	1
1.1 切削加工的运动分析及切削要素	1
1.2 金属切削刀具	4
1.3 切削过程中的物理现象.....	13
1.4 工件材料的切削加工性.....	19
1.5 切削液.....	23
第 2 章 典型表面的加工及加工设备	28
2.1 金属切削机床.....	28
2.2 外圆表面加工.....	38
2.3 内圆表面加工.....	47
2.4 平面加工.....	55
2.5 螺纹加工.....	61
2.6 齿轮的齿形加工.....	66
第 3 章 特种加工与精密加工	72
3.1 特种加工技术概述.....	72
3.2 电火花加工.....	73
3.3 超声加工.....	83
3.4 其他特种加工方法.....	86
3.5 精密与超精密加工概述.....	93
3.6 精密与超精密加工方法.....	95
第 4 章 工件定位原理及机床夹具	101
4.1 概述	101
4.2 工件定位原理与定位元件	103
4.3 工艺尺寸链	117
4.4 定位误差分析	122
4.5 机床夹具设计	134
4.6 典型夹具实例	136
第 5 章 零件的结构工艺性	147
5.1 零件结构工艺性的基本概念	147

5.2	切削加工对零件结构工艺性的要求	147
5.3	装配工艺对零件结构工艺性的要求	153
第6章	生产过程和机械加工质量	156
6.1	生产过程和工艺过程	156
6.2	生产纲领和生产类型	159
6.3	机械加工质量	161
6.4	影响加工精度的因素及提高加工精度的措施	163
6.5	机械加工表面粗糙度及其影响	173
6.6	提高劳动生产率	178
第7章	机械加工工艺流程的制订	185
7.1	概述	185
7.2	制定机械加工工艺流程的步骤	189
7.3	毛坯的选择	189
7.4	定位基准的选择	192
7.5	工艺路线的拟定	196
7.6	加工余量的确定	200
7.7	工序尺寸的确定	203
第8章	典型零件加工工艺分析	205
8.1	轴类零件加工工艺分析	205
8.2	套类零件加工工艺分析	210
8.3	箱体类零件加工工艺分析	214
第9章	机械制造系统自动化	225
9.1	大批量生产机械制造系统自动化	225
9.2	多品种、中小批量生产机械制造系统自动化	229
参考文献	251

第 1 章 金属切削加工的基础知识

金属切削加工的形式虽然有多种,但它们在切削运动、切削刀具、切削用量及切削过程中产生的许多物理现象等方面,都有着共同规律。这些现象和规律揭示了金属切削加工的实质,是学习和研究各种加工方法、合理地选择刀具及其切削部分的几何参数和切削用量,充分发挥切削效能、保证加工质量、提高机械加工生产率的基础。所以,金属切削的理论基础是研究机械加工过程的重要基础知识。

1.1 切削加工的运动分析及切削要素

1.1.1 零件表面的形成

机器零件的形状虽然多种多样,但加以分析,都由外圆面、内圆面(孔)、平面和曲面等组成。外圆面和内圆面(孔)是以一直线为母线、作旋转运动所形成的表面。平面是以一直线为母线,作直线平移运动所形成的表面。曲面是以一曲线为母线,作旋转或平移运动所形成的表面。

形成上述表面所需的母线及其运动,是由各种机床上的工件和刀具作相对运动来实现的。图 1.1 所示是刀具和工件作不同的相对运动来完成各种表面的加工方法。

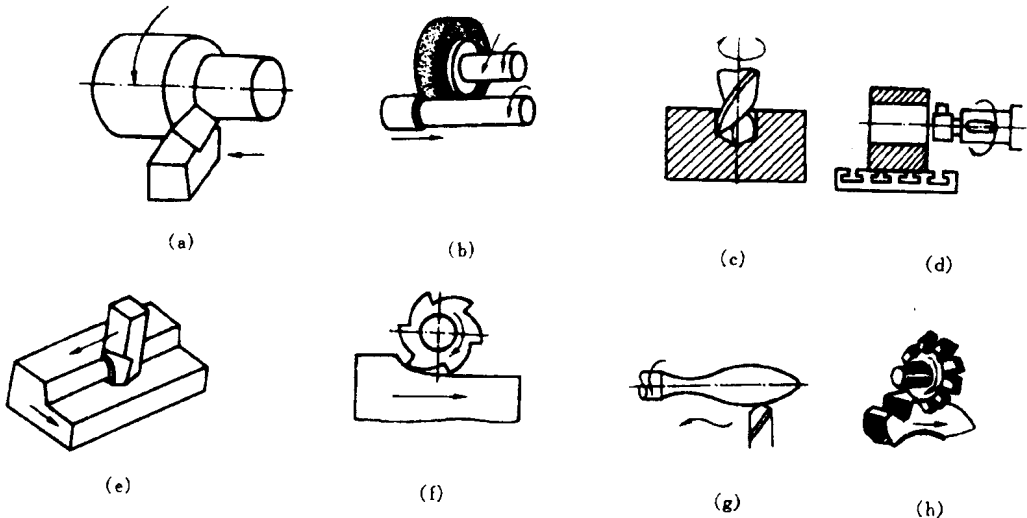


图 1.1 各种表面加工时的切削运动
(a) 车外圆面 (b) 磨外圆面 (c) 钻孔 (d) 镗孔 (e) 刨平面 (f) 铣平面 (g) 车曲面 (h) 铣曲面

1.1.2 切削运动

在金属切削加工中,为使加工工件表面成为符合技术要求的形状,加工时,刀具和工件必须有一定的相对运动,才能切除多余的金属,通常称此运动为切削运动。

切削运动包括主运动和进给运动。主运动是切下切屑所需的最基本运动。其特点是它在切削运动中速度最高,消耗功率最大,一般主运动只有一个。进给运动是使金属层不断被切削,从而加工出完整表面所需的运动。其特点是速度低,消耗功率小,一般有一个或多个。

各种切削加工机床为了实现某些表面的加工,都有特定的切削运动。切削运动的形式也是多种多样的,有旋转的,也有平移的;有连续的,也有间断的。

在切削过程中,工件上形成三种表面,以车外圆为例(见图 1.2):

(1) 待加工表面,指工件上即将被切去金属层的表面。

(2) 已加工表面,指工件上切去一层金属后形成的新的表面。

(3) 加工表面,指工件正在被切削的表面。

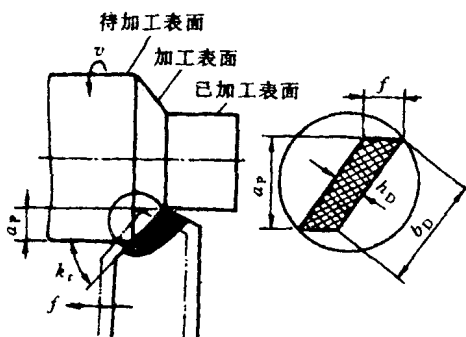


图 1.2 车削时的切削要素

1.1.3 切削要素

切削要素包括切削用量三要素和切削层尺寸平面要素(见图 1.2)

1. 切削用量三要素

切削速度、进给量和背吃刀量是金属切削过程中的三个重要参数,总称为切削用量。切削用量三要素体现了刀具与工件之间的相互作用条件和相互关系,切削用量的大小不仅关系到刀具的耐用度,而且直接影响到加工质量和生产率,所以,在生产中应正确地选用。

(1) 切削速度 v_c 。主运动的线速度称为切削速度,即单位时间内工件和刀具沿主运动方向相对移动的距离。

若主运动为旋转运动时(如车、镗、钻、铣、内外圆磨削),其切削速度按下式计算:

$$v_c = \pi d n / 1000 \quad (\text{m/min})$$

式中, d ——工件待加工表面的直径(或刀具、砂轮的直径)(mm);

n ——工件(或刀具)的转速(r/min)。

若主运动为往复直线运动时(如刨、插、拉削)则以平均速度为切削速度,其计算公式为:

$$v_c = 2 L n_r / 1000 \quad (\text{m/min})$$

式中, L ——往复运动行程长度(mm);

n_r ——主运动每分钟的往复次数(str/min)。

(2) 进给量 f 在单位时间内,刀具和工件之间沿着进给运动方向的相对位移,用 f 表示。车、钻、镗、削的进给量 f ,都为工件或刀具每转一转,刀具相对于工件沿进给运动方向移动的距离(mm/r);刨、插削的进给量 f ,为刀具每往复一次,工件沿进给运动方向移动的距离(mm/str);铣削进给量表示方法有三种:每齿进给量 a_f (mm/z)、每转进给量 f (mm/r)和每秒进给速度 v_f (mm/s)。在铣削操作调整进给量时,一般以进给速度作为调整的主要切削参

数。若铣刀转速为 n_0 (r/s)、铣刀齿数为 z , 则以上三者的关系是:

$$v_f = f \cdot n_0 = a_f \cdot z \cdot n_0 \quad (\text{mm/s})$$

(3) 背吃刀量 a_p 待加工表面和已加工表面之间的垂直距离, 即为背吃刀量, 用 a_p 表示, 单位为 mm。车削外圆面的 a_p 为该次切除余量的一半; 刨削平面的 a_p 为该次的刨削余量; 钻孔的 a_p 为钻头直径的一半。

各种切削方法的切削运动、进给运动和切削用量三要素的标注方法见图 1.3。

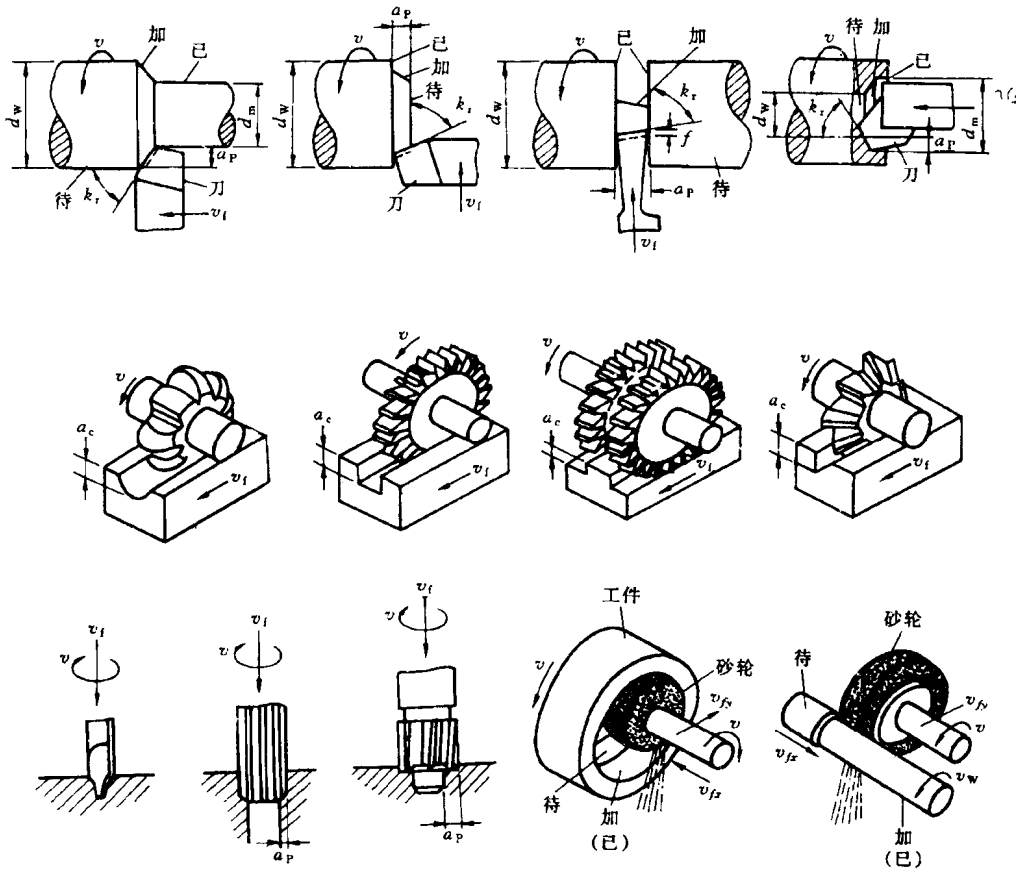


图 1.3 切削运动和加工表面

2. 切削层尺寸平面要素

切削层是指工件上正在被切削刃切削的一层材料, 即两个相邻加工表面之间的那层材料。如图 1.2 所示, 车削时, 工件每转一转, 车刀主切削刃移动一个 f 距离, 车刀所切下来的金属层即为切削层。

为使问题简化, 切削层的剖面形状和尺寸, 通常规定在通过主切削刃基点(通常把它定在将作用切削刃分成两相等长度的点上)并垂直于该点主运动方向平面内观察和测量, 该平面称为切削层尺寸平面, 用符号 P_D 表示。测定的切削层尺寸几何参数, 称为切削层平面要素, 它包括:

(1) 切削层公称厚度 h_D 在 P_D 面内, 垂直于切削刃方向所测得的切削层尺寸, 用符号

“ h_D ”表示。它的大小影响切削刀的工作负荷。

对于外圆车削及刨削(当刀尖圆弧半径 $r_\epsilon = 0$ 及 $\lambda_s = 0^\circ$ 时),其切削层公称厚度为:

$$h_D = f \cdot \sin k_r \quad (\text{mm})$$

(2) 切削层公称宽度 b_D 在 P_D 面内,沿着切削刃方向所测得的切削层尺寸,用符号“ b_D ”表示。通常反映切削刃与工件接触的长度(即工作长度)。

对于外圆车削及刨削(当刀尖圆弧半径 $r_\epsilon = 0$ 及 $\lambda_s = 0^\circ$ 时),其切削层公称宽度为:

$$b_D = a_p / \sin k_r \quad (\text{mm})$$

(3) 切削层公称横截面积 A_D 在给定瞬间,切削层在 P_D 面内的实际横截面积,用符号“ A_D ”表示。当切削速度一定时,切削层公称横截面积反映了切削加工的生产率。

对于外圆车削及刨削(当刀尖圆弧半径 $r_\epsilon = 0$ 及 $\lambda_s = 0^\circ$ 时),切削层的公称横截面积可按下式近似计算:

$$A_D \approx h_D \cdot b_D = f \cdot a_p \quad (\text{mm}^2)$$

显然,按上式计算的切削层公称横截面积略大于标准定义的切削层公称横截面积,因为它包括了极小部分未被刀具切下的残留面积 ΔA_D 。残留面积 ΔA_D 是指副偏角 $k_r' \neq 0^\circ$ 时,切削刃移动一个走刀量 f 后,残留在已加工表面上的凸出部的剖面积(即刀花波纹剖面),如图 1.4 中的 ABE 面积。残留面积的高度 H (即残留刀花的高度)反映了已加工表面粗糙度的状况。 H 愈大,表面粗糙度数值 R_a (或 R_z) 愈大。车削外圆时的 H 与 ΔA_D 的计算公式(由图 1.4 可知):

$$\begin{aligned} H &= \frac{AF + BF}{\text{ctg}k_r + \text{ctg}k_r'} \\ &= \frac{f}{\text{ctg}k_r + \text{ctg}k_r'} \quad (\text{mm}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta A_D &= H \cdot f/2 \\ &= \frac{f^2}{2(\text{ctg}k_r + \text{ctg}k_r')} \end{aligned}$$

由此可求得实际的切削层公称横截面积

$$A_D = f \cdot a_p - \frac{f^2}{2(\text{ctg}k_r + \text{ctg}k_r')} \quad (\text{mm}^2)$$

式中, f ——进给量(mm/r);

a_p ——背吃刀量(mm);

k_r, k_r' ——分别为车刀的主、副偏角($^\circ$)。

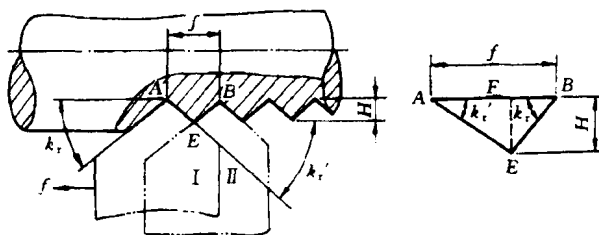


图 1.4 残留面积及其高度

1.2 金属切削刀具

在金属切削加工中,刀具虽然种类繁多,形状各不相同,但它们切削部分的几何形状与要素总是以普通外圆车刀切削部分的几何形状为基本形态。无论刀具结构如何复杂,都是由普通外圆车刀切削部分演变或组合而成的。普通外圆车刀是所有刀具中最简单、最典型、应用最广泛的刀具,因此,掌握外圆车刀分析方法之后,就可将这种方法推广到其他复杂刀具。

1.2.1 刀具切削部分的基本定义

1. 刀具结构及其几何形状

如图 1.5 所示外圆车刀,由刀头和刀体两部分组成。刀体可装夹在机床上;刀头是切削部分,用于切削金属。

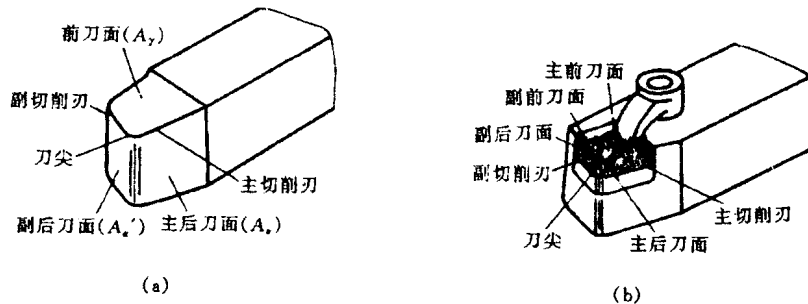


图 1.5 刀具切削部分的构造要素

切削部分组成如下:

- (1) 前刀面 A_γ 直接作用于被切金属层,并控制切屑经过时流出方向的刀面,简称前面。
- (2) 主后刀面 A_α 同工件的加工表面相互作用和相对着的刀面,简称后面。
- (3) 副后刀面 A_α' 同工件的已加工表面相互作用和相对着的刀面,简称副后面。
- (4) 主切削刃 S 前刀面与主后刀面的交线,简称主刃。它担负着主要切削工作。
- (5) 副切削刃 S' 前刀面与副后刀面的交线,简称副刃。它配合主刃完成切削工作,并最终形成已加工表面。
- (6) 刀尖 主切削刃与副切削刃的联接部位,或者是切削刃(刃段)之间转折的尖角过渡部分。它是切削负荷最重、条件最恶劣的位置,为了增加刀尖的强度与耐磨性,多数刀具都在刀尖处磨出直线或圆弧形过渡刃。

上述定义也适用于其他刀具。应该说明的是,每个切削刃都可以有自己的前刀面和后刀面。为了设计、制造和刃磨简便,常常设计成多段切削刃在同一个公共前刀面上。如图 1.5 (a)所示车刀具有公共前刀面;图 1.5 (b)所示不重磨刀片则分别有主前刀面和副前刀面。

2. 刀具静止参考系(P_r - P_s - P_o 系)

为了建立设计、制造、刃磨和测量刀具的基准以便标注车刀的角度,在引用刀具静止参考系之前,作了以下两个假定条件:

(1) 假定运动条件 各类刀具的标注角度均暂不考虑进给运动的大小。即用主运动向量 v 近似地代替切削刃同工件之间相对运动的合成速度向量 v_e 。因此,刀具的标注角度是在假设走刀量 f 等于零时静止状态下的刀具角度,又称静止角度。

(2) 假定安装条件 规定刀杆的中线同进给运动方向垂直;刀尖与工件回转轴线等高。

大量试验和生产实践表明,这种假设和规定,在一般情况下,能够客观地反映刀具的有关角度与切削用量之间的变化规律,并能反映刀具角度的实际作用与效果。因而,它成为标注刀具角度的统一标准。

刀具静止参考系是由三个互相垂直的辅助平面构成的坐标参考系,它们是:

- (1) 切削平面 P_s 通过切削刃上某一选定点,切于工件加工表面的平面。也就是这点的

主运动速度与该点的切削刃的切线构成的平面。

(2) 基面 P_r 通过切削刃上的同一点,并与该点主运动方向相垂直的平面。

(3) 正交平面 P_o 通过切削刃上的同一点,并与切削刃在基面上的投影相垂直的平面。

由基面、切削平面、正交平面这三个辅助平面构成的刀具静止参考系(P_r - P_s - P_o 系)(见图 1.6)用于确定刀具构造的几何要素面与面、面与刃和刃与刃之间的夹角。车刀的标注角度就是在这三个坐标面(P_o , P_r , P_s)上进行定义的(见图 1.7(a))。

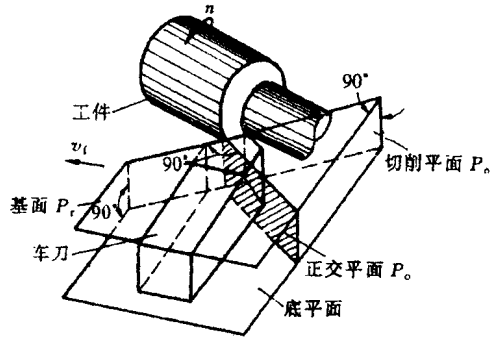


图 1.6 确定车刀几何角度的辅助平面

3. 刀具标注角度的定义

(1) 在正交平面 P_o 内标注(测量)的角度

① 前角 γ_o 前刀面 A_r 与基面 P_r 之间的夹角。根据前刀面和基面相对位置的不同又可分为正前角、零度前角和负前角(见图 1.7(b))。 γ_o 愈大则刀刃愈锋利,故应当在满足刀刃强度要求的前提下选用大 γ_o 。具体选择考虑以下几方面:

- 工件材料 加工塑性材料时,在保证强度的前提下尽可能大些;加工脆性材料时,由于切屑呈崩碎切屑, γ_o 作用不显著,应选用较小的前角。

- 刀具材料 强度和韧性高的刀具材料应选择较大的 γ_o 。

- 加工性质 粗加工时, a_p 、 f 大应选用较小的 γ_o ;精加工时, a_p 、 f 较小,可取大值。

- 切削条件 当机床功率不足,工艺系统刚度差、断续切削或有冲击时应选用较小的 γ_o ,以提高刀刃强度。

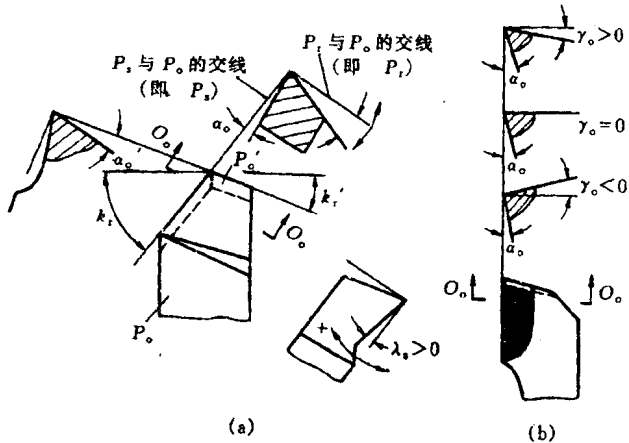


图 1.7 车刀角度的标注方法

② 后角 α_o 后刀面 A_a 与切削平面 P_s 之间的夹角。 α_o 影响后刀面 A_a 与工件切削表面之间的摩擦、刀刃强度及锋利程度、散热面积,通常主要根据切屑厚度 h_D 选取,粗加工或切削较硬材料,取小 α_o ;精加工或切削塑性好的材料,取大 α_o 。

(2) 在基面 P_r (俯视图)上标注(测量)的角度

① 主偏角 k_r 主切削刃在基面上的投影与进给方向之间所夹的角度。 k_r 的大小决定了切削层截面形状、切削分力的比例、刀尖强度和散热条件,从而影响刀具的寿命。如 k_r 取大值,使 b_D 减小, h_D 增大,背向力 F_p 减小,进给力 F_f 增大,刀尖强度削弱,散热条件恶化,寿命下降。 k_r 的选取主要依据系统刚度,在系统刚度较好时,减少 k_r 可提高刀具寿命;刚度差,一般选用 60° 、 75° ,为避免振动;也可选用 90° 。

② 副偏角 k_r' 副切削刃在基面上的投影与进给运动方向之间的夹角。 k_r' 愈小,已加工表面残留面积的最大高度 H 愈小,降低表面粗糙度。但 k_r' 太小,会增大副刀刃 s' 参与切削的

长度,使副后刀面 A_c' 与已加工表面摩擦磨损和背向力增大,使刀具寿命下降。而 k_r' 太大,会使刀尖强度下降。因此,当系统刚度较好时, k_r' 宜小不宜大。一般精车时选取 $5^\circ \sim 10^\circ$,粗车时选取 $10^\circ \sim 15^\circ$,切断和切槽刀取 $1^\circ \sim 3^\circ$ 。

(3) 在切削平面 P_s 内测量的角度 刃倾角 λ_s :主切削刃 s 与基面 P_r 之间的夹角。其主要作用为:

① 控制切屑的流向 当 $\lambda_s = 0^\circ$ 时,切屑垂直于 s 流出;当 λ_s 为负时,切屑流向已加工表面而会刮伤已加工表面;当 λ_s 为正时,切屑流向待加工表面。因此,精加工时应选用正的 λ_s (见图 1.8)。

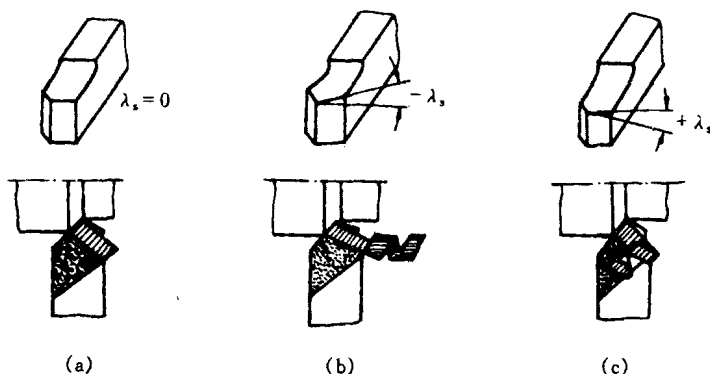


图 1.8 车刀主切削刃刃倾角 λ_s 对排屑方向的影响

(a) $\lambda_s = 0$ (b) $\lambda_s < 0$ (c) $\lambda_s > 0$

② 控制切削刃切入时首先与工件接触的位置。 λ_s 为正时,刀尖首先与工件接触,可能引起崩刃或打刀; $\lambda_s = 0^\circ$ 时,整个主刀刃 s 与工件同时接触会引起较大冲击力; λ_s 为负时, s 上远离刀尖的点先与工件接触而保护刀尖免受冲击。因此,在断续切削或有冲击切削时应选用负的 λ_s 。

③ 控制切削刃在切入和切出时的平稳性。具有正的或负的 λ_s 在切入或切出时, s 上各点对工件是依次接触或离开,使切削力增大或减小逐渐变化。因此,切削过程平稳。

④ 控制背向力 F_p 和进给力 F_f 的比值。正的 λ_s 使 F_p 减小, F_f 增大。因此,工艺系统刚度差(如车削细长轴)的精加工应选用正的 λ_s 。

除上述以外, λ_s 尚能增大刀具的实际工作前角。详述可参阅有关资料。

4. 刀具工作参考系(P_{re} - P_{se} - $P_{\alpha e}$ 系)

上述刀具角度是在假定运动和安装条件下的标注角度。如果考虑实际切削运动(包括主运动和进给运动)的合成速度方向和安装情况,则刀具静止参考系(即辅助平面)将发生变化。按照实际切削工作中的参考系,即刀具工作参考系(P_{re} - P_{se} - $P_{\alpha e}$ 系)所确定的刀具角度,称为工作角度(或切削角度)。

刀具的切削角度,是刀具在同工件和切削运动相联系的状态下确定的角度。所以刀具的工作参考系应该相对于刀具合成切削速度向量 v_c 来说明。这是因为刃磨角度相同的刀具。在切削过程中,由于刀具与工件相对运动关系改变;或在安装刀具时,由于刀具安装的位置改变,致使切削条件也随之改变的缘故。

构成刀具工作参考系的定义如下:

① 工作切削平面 P_{∞} 通过切削刃上某一选定点,切于工件加工表面的平面;也就是合成切削速度向量 v_c 与切削刃的切线组成的平面。

② 工作基面 P_{re} 通过切削刃上同一选定点,垂直于合成切削速度向量 v_c 的平面。

③ 工作正交平面 P_{oe} 通过切削刃上同一选定点,同时垂直于工作切削平面和工作基面的平面。

显然,这三个辅助的坐标平面是相互垂直的,三平面构成了一个空间直角坐标系,即刀具工作参考系(P_{re} - P_{∞} - P_{oe} 系)。

由于通常的进给速度远小于主运动速度,因此在一般的安装条件下,刀具的工作角度近似地等于标准角度,如普通车削、镗孔、端铣、周铣等;但当进给速度 v_f 较高、刀具安装误差较大时,必须考虑工作角度对加工的影响,并且,在切削加工时,要使刀具工作角度具有最佳值,则必须知道刀具工作角度与标注角度之间的关系。根据刀具工作角度最佳值,求出刀具标注角度,以供设计制造。如车削大螺距的丝杠或多头螺杆、铲背、钻头的钻头附近的切削条件研究或刀具安装特殊时。

(1) 进给运动对工作角度的影响

① 径向进给时工作角度的变化 以切断刀径向进给运动为例(见图 1.9),在 $f=0$ 时,车刀切削刃某一选定点相对于工件的运动轨迹为一圆周,通过切削刃上该点切于圆周的平面为切削平面 P_s ,基面 P_r 平行于刀杆底面,此时的 γ_o 与 α_o 为标注前角和后角。当考虑进给运动后,切削刃上选定点相对于工件的运动轨迹为一阿基米德螺旋线,工作切削平面 P_{∞} 为通过切削刃上选定点与阿基米德螺旋线相切的平面,工作基面 P_{re} 也相应地垂直于此时的工作切削平面(即 $P_{re} \perp P_{\infty}$)。可见, P_{∞} 与 P_{re} 相对于标注参考系 P_s 与 P_r 分别同步的倾斜 μ 角。工作正交平面 P_{oe} 仍为图上剖面。在工作参考系(P_{∞} , P_{re} , P_{oe})内的工作角度 γ_{oe} , α_{oe} 为:

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \mu; \alpha_{oe} = \alpha_o - \mu$$

由图 1.9 可知(当 $d\theta$ 很小时 $\overline{AB} \approx AB$):

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{BC}{AB} = \frac{d\rho}{\rho \cdot d\theta} \quad (1.1)$$

工件每转一转(2π),刀具进给量为 f ;若工件每转一个微分的 $d\theta$ 角度时,刀具横向移动量为 $d\rho$,则有

$$\frac{d\rho}{d\theta} = \frac{f}{2\pi} \quad (1.2)$$

将 1.2 式代入 1.1 式得:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{d\rho}{\rho \cdot d\theta} = \frac{f}{2\pi \cdot \rho} = \frac{f}{\pi d} \quad (1.3)$$

式中 $d=2\rho$,说明 μ 值是随着切削刃趋近工件中心而增大的;在常用进给量下,当切削刃距离工件中心 1mm 时, $\mu=1^{\circ}40'$;再靠近中心, μ 值急剧增大,工作后角变为负值。切断工件时剩下直径 1mm 左右时就被挤断,切断面中心留下一个小凸起,就是这个道理。在铲背加工或车大螺距丝杠时, μ 值很大,不可忽视。

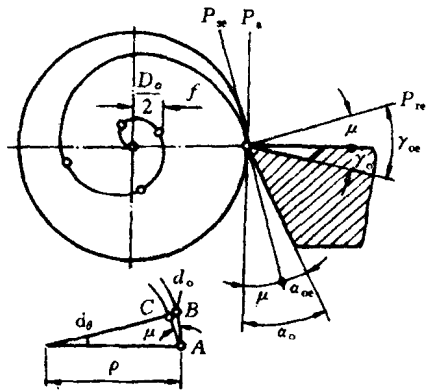


图 1.9 横向进给运动对工作角度的影响

② 纵向进给时工作角度的变化 道理同上,也是由于工作中基面和切削平面的变化,引起了工作角度的变化。如图 1.10 所示,假定 $\lambda_s=0$,在不考虑纵向进给运动时,切削平面 P_s

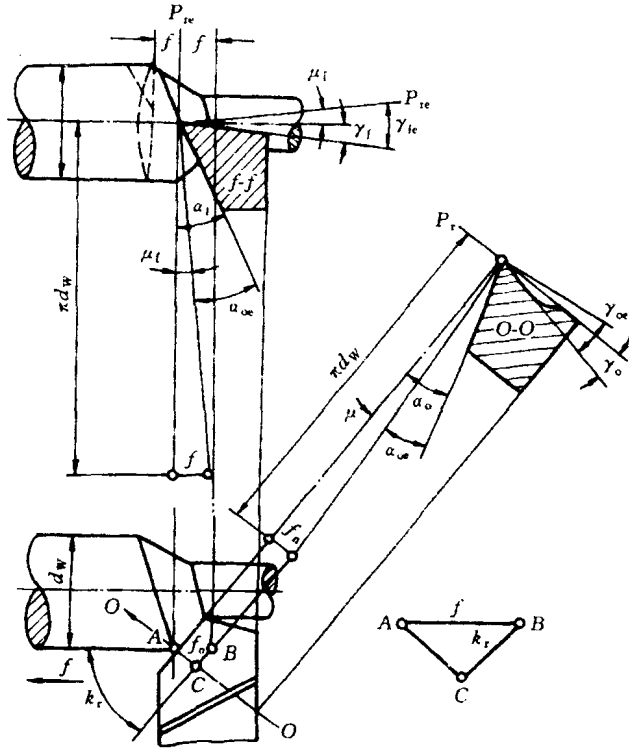


图 1.10 外圆车刀的工作角度

垂直于刀杆底面,基面 P_r 平行于刀杆底面,标注角度为 γ_o, α_o ;考虑进给运动后,工作切削平面 P_{sc} 为切于螺旋面的平面,刀具工作角度的参考系 (P_{sc}, P_{re}) 倾斜了一个 μ 角,则工作正交平面内的工作角度为:

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \mu; \alpha_{oe} = \alpha_o - \mu$$

在 $f-f$ 横剖面中,由螺旋线之螺旋升角可知:

$$\operatorname{tg} \mu_f = f / \pi d_w$$

其中 f 为进给量, d_w 为工件待加工表面直径。换算至工作正交平面 $O-O$ 内得:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{f_n}{\pi \cdot d_w} = \frac{f \cdot \sin k_r}{\pi \cdot d_w} \quad (1.4)$$

由上式可知: μ 值不仅与进给量 f 有关,也同工件直径 d_w 有关; d_w 越小,角度变化值越大。实际上,一般外圆车刀的 μ 值仅为 $30' \sim 40'$,因此可以忽略不计。但在车螺纹,尤其是多头螺纹时, μ 的数值很大,必须计算工作角度,并注意螺纹车刀左右两侧刀 μ 值对工作角度影响(正负号)相反。

(2) 刀尖安装高低对工作角度的影响 如图 1.11 所示,当刀尖安装高于工件中心线时,切削平面将变为 P_{sc} ,基面变到 P_{re} 位置,纵向工作前角 γ_{pe} 增大,后角 α_{pe} 减小。在纵向剖面 ($P-P$) 内角度的变化值为 θ_p :

$$\operatorname{tg} \theta_p = \frac{h}{\sqrt{(d_w/2)^2 - h^2}} \quad (1.5)$$

式中, h ——刀尖高于中心线的数值(mm);

d_w ——工件待加工表面直径(mm)。

在纵向剖面内的工作角度为:

$$\gamma_{pe} = \gamma_p + \theta_p; \alpha_{pe} = \alpha_p - \theta_p$$

换算至工作正交平面内的工作角度为:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{h \cdot \cos \kappa_\gamma}{\sqrt{(d_w/2)^2 - h^2}} \quad (1.6)$$

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \mu; \alpha_{oe} = \alpha_o - \mu$$

当刀尖低于工件中心线时, 上述公式符号相反。

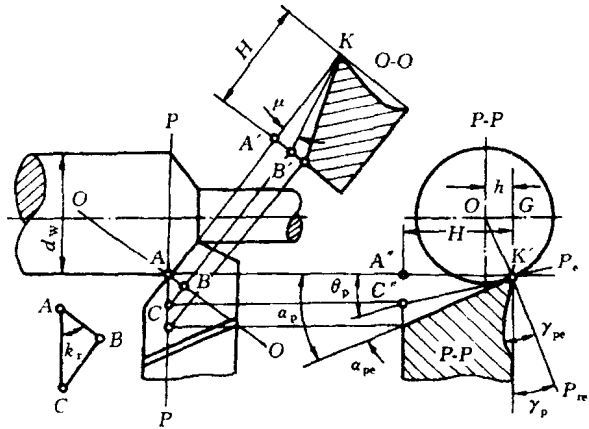


图 1.11 刀尖安装高低对工作角度的影响

图 1.12 为镗刀杆上小刀头安装位置对工作角度的影响, 其纵向剖面(P-P)内的工作角度和工作正交平面内的工作角度, 同车外圆刀尖安装高度计算公式一样, 只是符号相反, 即:

$$\gamma_{oe} = \gamma_o - \mu; \alpha_{oe} = \alpha_o + \mu$$

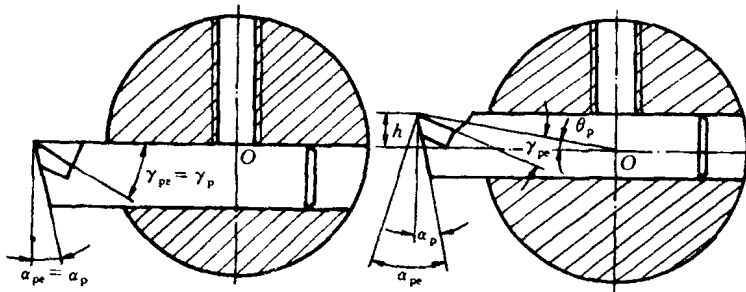


图 1.12 镗刀的工作角度

(3) 刀杆中心线与进给方向不垂直时工作角度的变化

如图 1.13 所示, 车刀刀杆与进给方向不垂直时, 标注角度的主偏角 κ_r 与副偏角 κ'_r 将发生变化, 其工作角度为:

$$\kappa_{re} = \kappa_r \pm G \quad (\text{顺时针倾斜为负号});$$

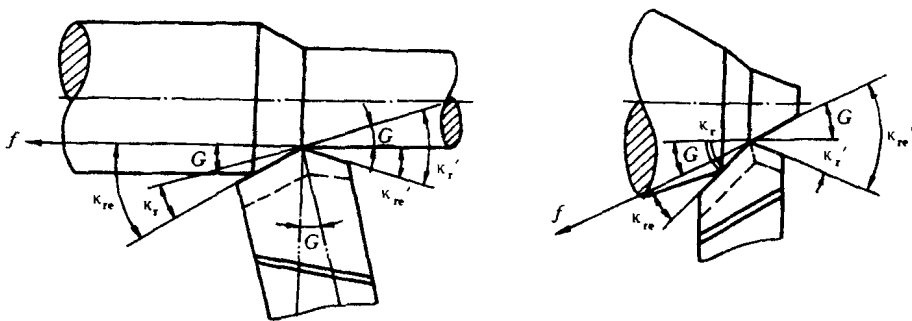


图 1.13 刀杆中心线不垂直于进给方向