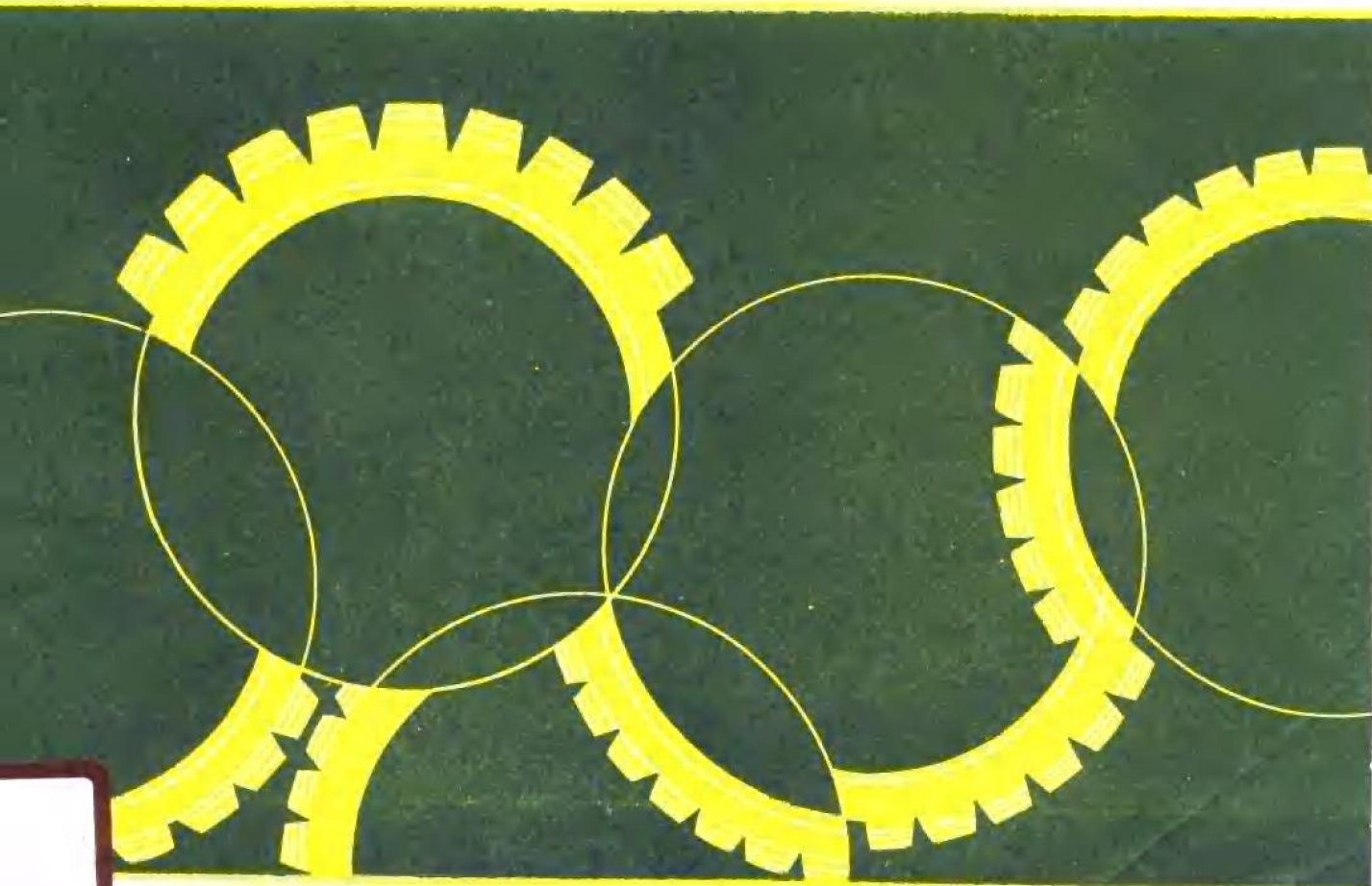


张恩生 申铁固 编

机械制造工艺系统学



上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书是参照目前专业教学基本要求和专业培训目标,结合人才跟踪调查和工科院校人才专业知识的要求,在总结近几年的教学实践基础上编写的。内容包括:1. 金属切削加工的基本知识,2. 金属切削原理的基本知识,3. 金属切削机床的基础知识,4. 生产过程和机械加工质量,5. 工件的安装及其定位原理,6. 机械加工工艺规程的制订,7. 轴类零件的工艺分析及加工,8. 盘套类零件的工艺分析及加工,9. 支架、箱体类零件加工工艺分析及加工,10. 提高劳动生产率的基本途径,11. 机械加工自动线,12. 成组加工工艺及参考文献、附表。本书可作为高等工科院校机电结合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。

机械制造工艺系统学

出 版: 上海交通大学出版社
(淮海中路1984弄19号)

发 行: 新华书店上海发行所

印 刷: 常熟市文化印刷厂

开 本: 787×1092(毫米)1/16

印 张: 14.25

字 数: 353000

版 次: 1990年8月、第1版

印 次: 1990年9月、第1次

印 数: 1—7000

科 目: 225—281

ISBN7—313—00693—4/TH·16

定价: 4.65 元

前 言

《机械制造工艺系统学》是机电结合专业（如机械制造电子控制与检测等）机方面的专业教材。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，结合人才跟踪调查和对工科院校人才专业知识的要求，在总结近几年的教学实践基础上编写的。

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需要的通用教材。目前各类专业知识在横向相互渗透，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“老三门”即《金属切削原理与刀具设计》、《机床夹具设计原理》及《机械制造工艺学》这些骨干课内容作了适当精简，而非机制专业的机类专业（如模具设计制造专业）也需要机械制造方面的知识，由于学时紧张不可能分门别类的开设机械制造方面的课程，因内容偏多而深；用《机械制造基础》代替则内容又偏少而浅，现尚无合适的教材。

鉴于上述情况，在对机制专业的老三门课进行了精选与重新组合，在《金属工艺学》实习的基础上编写了《机械制造工艺系统学》教材。它具有如下特点：

1. 力求从机械制造工艺系统的观点精选与组织内容。本教材就是从组成机械制造工艺系统的刀具、机床、夹具和零件加工等四个方面内容的整体出发，分析和研究了各个环节中的主要问题。
2. 本教材各章教学内容重点突出，注意了系统整体内容的关联性、目的性和经济性。
3. 全书的技术术语、名词及符号和技术标准、计算单位，尽量采用新国标或国际标准。
4. 对基础理论内容作了适当阐述与归纳，书中涉及到的难点做了适当的分析，内容的深度与广度舍取适中。教学实践表明：内容与份量合理。
5. 该书内容丰富，适应性强，各机类专业可根据行业需要，作适当的选取。

本书由张恩生主编，程东寿主审。共十二章，其中第四章生产过程与加工质量和第五章工件的安装及其定位原理由申铁固编写。

在教材编写过程中得到了潘文光、方子良老师的大力协助，并得到了院教材科领导的热情关怀与支持，谨此表示衷心感谢。

本书可作为高等工科院校机电结合和近机类专业的专业教材。也可用作为非机械制造工艺专业的机类专业（如模具设计与制造专业）和机械工程与设备管理专科、职大、电大、夜大、函大等成人教育机类专业的教材。

本教材是将机械加工基础理论与实践系统化的一次尝试。错误与不足之处难免，恳请读者批评指正，以便改正完善。

编 者

华东工学院

1989年11月

目 录

1. 金属切削加工的基本知识	1
1.1 切削加工的运动分析及切削要素	1
1.2 刀具切削部分的基本定义	5
1.3 刀具工作角度的分析与换算	9
1.4 刀具切削部分的材料及应用	12
2. 金属切削原理的基本知识	15
2.1 金属切屑形成的过程	15
2.2 积屑瘤与已加工表面冷硬现象	19
2.3 切削力与切削功率	21
2.4 切削热及其变化规律	24
2.5 刀具的磨损和刀具耐用度	27
2.6 工件材料的切削加工性	33
2.7 切削液	35
3. 金属切削机床的基本知识	39
3.1 金属切削机床的类型和型号编制方法	39
3.2 机床的基本传动方法	43
3.3 C616 型普通车床的传动系统分析	48
3.4 牛头刨床的传动系统及其机构	53
3.5 M1432A 型万能外圆磨床	57
3.6 自动机床及数控机床简介	60
4. 生产过程和机械加工质量	63
4.1 生产过程和工艺过程	63
4.2 工件安装与获得尺寸的方法	68
4.3 机械加工质量的基本概念	70
4.4 影响加工精度的因素及提高加工精度的措施	72
4.5 机械加工表面粗糙度及其影响因素	84
5. 工件的安装及其定位原理	89
5.1 概述	89
5.2 工件定位的基本原理	93
5.3 常见定位方式及其定位元件	97
5.4 定位误差的分析	110
5.5 组合定位	119
6. 机械加工工艺规程的制订	126
6.1 工艺规程的作用和制订步骤	126

6.2	拟定机械加工工艺过程时要解决的主要问题	130
6.3	工艺尺寸链	143
6.4	工艺过程的技术经济分析与工艺文件	154
6.5	零件结构工艺性	158
7.	轴类零件的工艺分析及加工	162
7.1	概述	162
7.2	阶梯轴加工工艺过程分析	164
8.	盘套类零件的工艺分析及加工	169
8.1	盘套类零件的工艺分析	169
8.2	拟定工艺路线	171
9.	支架、箱体类零件加工工艺分析及加工	172
9.1	支架箱体类零件的工艺分析	172
9.2	支架箱体类零件加工工艺过程的分析与拟订	173
10.	提高劳动生产率的基本途径	178
10.1	提高劳动生产率的基本途径	178
10.2	提高机械加工劳动生产率的技术措施	179
10.3	高效及自动化加工	183
10.4	计算机辅助机械加工工艺规程的编制(CAPP)	187
11.	机械加工自动线	190
11.1	自动线概述	190
11.2	自动线工艺方案的拟定	192
11.3	自动线节拍的计算与平衡	196
12.	成组加工工艺	199
12.1	成组技术概述	199
12.2	奥匹兹(Opitz)和JOBM—1分类系统	201
12.3	成组工艺规程的编制方法	204
	参考文献	205
	附表	206

1. 金属切削加工的基本知识

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,却有着共同规律。这些现象和规律揭示了金属切削加工的实质,是学习与研究各种加工方法、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理论基础。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 零件典型表面的种类及形成

任何机器或机械装置都是由若干零件组成的。零件不仅是构成机器的基础,也是机械设计与制造人员研究的主要对象。机械零件虽然种类繁多、形状千差万别,但构成零件的表面是有共同之处的。

任何零件总是由一个表面(如球面)或多个不同性质的典型表面所组成。因此,我们可将各种各样的零件简化为数量有限的几种不同性质的典型表面的组合。绝大多数的零件是由以下两大类表面组成。

1. 基本表面

(1) 回转体表面 这是以直线为母线,以圆为运动轨迹,且母线与回转轴线在同一个平面内(相互平行或相交)作旋转运动所形成的表面。如内、外圆柱表面,内、外圆锥表面。而由此派生的回转体成形表面,不过是母线为折线或曲线等,绕运动轨迹圆旋转形成的表面。一般在车床、钻床、镗床、内外圆磨床上,完成回转体表面的加工。

(2) 平面 这是母线为直线,以另一直线为轨迹作平移运动时所形成的表面。而由此派生的纵向成形表面,不过是母线为折线或曲线,沿运动轨迹直线平移运动所形成。如燕尾槽、齿条、平面凸轮等。这类典型表面可在刨床、铣床、插床和平面磨床等上面完成加工。

2. 型面

这是以曲线为母线,运动轨迹也为曲线或圆,作旋转或平移时所形成的表面。如各种造型模具的型腔、汽轮机叶片或推进螺旋桨等零件,它们都是在三维坐标的立式铣床、或液压仿形铣床和程序控制立式铣床,以及电火花机床上完成形面加工的。

1.1.2 切削运动

任何金属切削机床,都应能实现工件与刀具之间某种性质的相对运动,切除毛坯上的多余金属完成零件的表面成形,即所谓切削运动。上述典型表面,可由图 1.1 所示的基本加工方法完成。

切削运动就是零件的表面形成运动。从运动性质上看:为数甚多的金属切削机床的切削运动,都是由为数甚少的不同数目、不同大小比值、不同的相互位置和方向的最简单的直线和

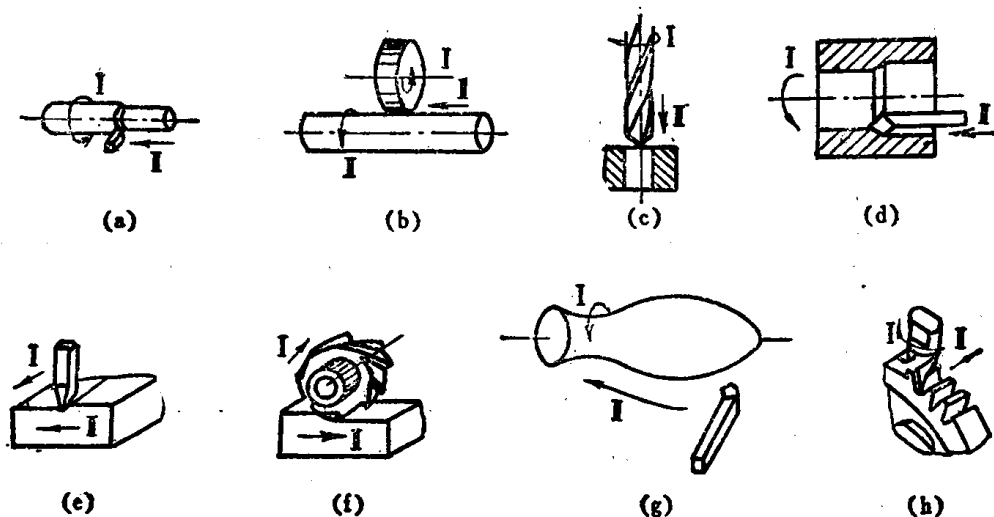


图 1.1 零件不同表面加工时的切削运动

(a) 车外圆面 (b) 磨外圆面 (c) 钻孔 (d) 车床上镗孔 (e) 刨平面
(f) 铣平面 (g) 车成形面 (h) 铣成形面

回转运动单元组合而成。按其作用不同又将切削运动分为主运动和进给运动（如图 1.1 中的 I 与 II）。

1. 主运动

直接切除工件上的被切金属层，使之变为切屑所需要的最基本的运动，称为主运动。简称主运动。

主运动的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。它可以是回转运动单元，也可以是直线运动单元。

2. 进给运动

使被切金属层（待加工表面）不断地投入切削，连续地加工出新的表面所需要的运动，称为进给运动。

它在切削运动中的特点是速度低，消耗功率小，一般有一个或多个。进给运动可以是直线运动单元，也可以是回转运动单元。

3. 其他运动

机床上还有使刀具切入工件毛坯的运动，称为切入运动（又称吃刀或进刀运动）。机床中除了成形运动、切入运动和分度运动等直接影响加工表面形状和质量的运动外，其他为成形运动创造条件的运动和辅助动作（如刀具接近或退出、或快速移动等），称为辅助运动。

1.1.3 切削过程中零件上的表面与切削三要素

1. 切削过程中零件上的表面

在切削过程中，被加工工件上有三个不断变化的表面（如图 1.2 和图 1.3），通常被称为：

(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，指已经被切去金属层后，而形成的新表面。

(3) 加工表面，指工件上正在被切削刃切削的表面。也就是已加工表面与待加工表面之间的过渡表面。

2. 切削三要素

切削速度、进给量和切削深度是金属切削过程中的三个重要参数，总称切削用量。切削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，它们的数值大小，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，生产中应正确合理地选用。

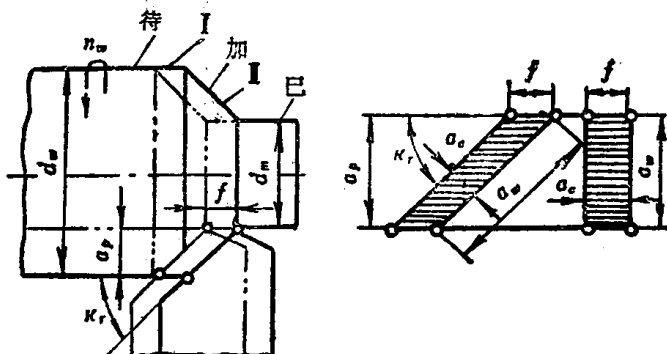


图 1.2 外圆纵车时被切削层的参数

(1) 切削速度 (v) 指在单位时间内，工件和刀具沿主运动方向相对移动的距离(单位为 m/s)。主运动为回转运动的车、镗、钻、铣、内外圆磨床的切削速度计算公式如下：

$$v = \pi d_w n_w / 1000 (\text{m/s}). \quad (1.1)$$

式中 d_w (或 d_0)——工件待加工表面的直径(或刀具、砂轮的直径)(mm)；

n_w (n_0)——工件(或刀具)的转数(r/s)。

如主运动为直线往复运动时刨、插、拉床的平均切削速度计算公式如下：

$$v_{av} = 2l_m \cdot n_r / 1000 (\text{m/s}). \quad (1.2)$$

式中 l_m ——刀具直线往复运动的切削路程长度(mm)；

n_r ——刀具单位时间内的往复次数(str/s)。

(2) 进给量 (f) 指在主运动的一个循环内或单位时间内，刀具和工件之间沿进给运动方向相对移动的距离。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每齿进给量 a_f (mm/z)、每转进给量 f (mm/r) 和每秒钟进给速度 v_f (mm/s) 三种。在铣削操作进给量调整中，一般以进给速度作为主要切削参数。若铣刀转数为 n_0 (r/s)、铣刀齿数为 Z ，则

$$v_f = f \cdot n_0 = a_f \cdot z \cdot n_0 (\text{mm/s}). \quad (1.3)$$

各种切削方法的切削运动、进给运动和切削三要素的标注方法，参看图 1.3。

(3) 切削深度 (a_p) 又称吃刀深度，为待加工表面与已加工表面之间的垂直距离 (mm)。 a_p 的大小直接影响刀具主刃的工作长度，反映了切削负荷的大小。对于外圆车削，其公式为：

$$a_p = (d_w - d_m) / 2 (\text{mm}). \quad (1.4)$$

式中 d_w , d_m ——分别为工件待加工表面和已加工表面的直径(mm)。

对于钻孔，则 $a_p = d_0 / 2$ (mm)， d_0 为钻头直径。

1.1.4 切削层参数

切削层是指每一个走刀量 (f) 后，在基面上两相邻刀刃之间被切去的金属截面积 (如图 1.2 所示)。切削层上的有关尺寸称为切削层参数。切削层参数是由切削厚度 (a_e)、切削层宽度 (a_w) 和切削面积 (A_c) 组成。

1. 切削厚度 (a_e)

指刀具(或工件)每移动一个进给量 (f) 后，主刃两相邻位置间的垂直距离 (mm)。若纵车外圆时，主偏角为 κ_r ，则

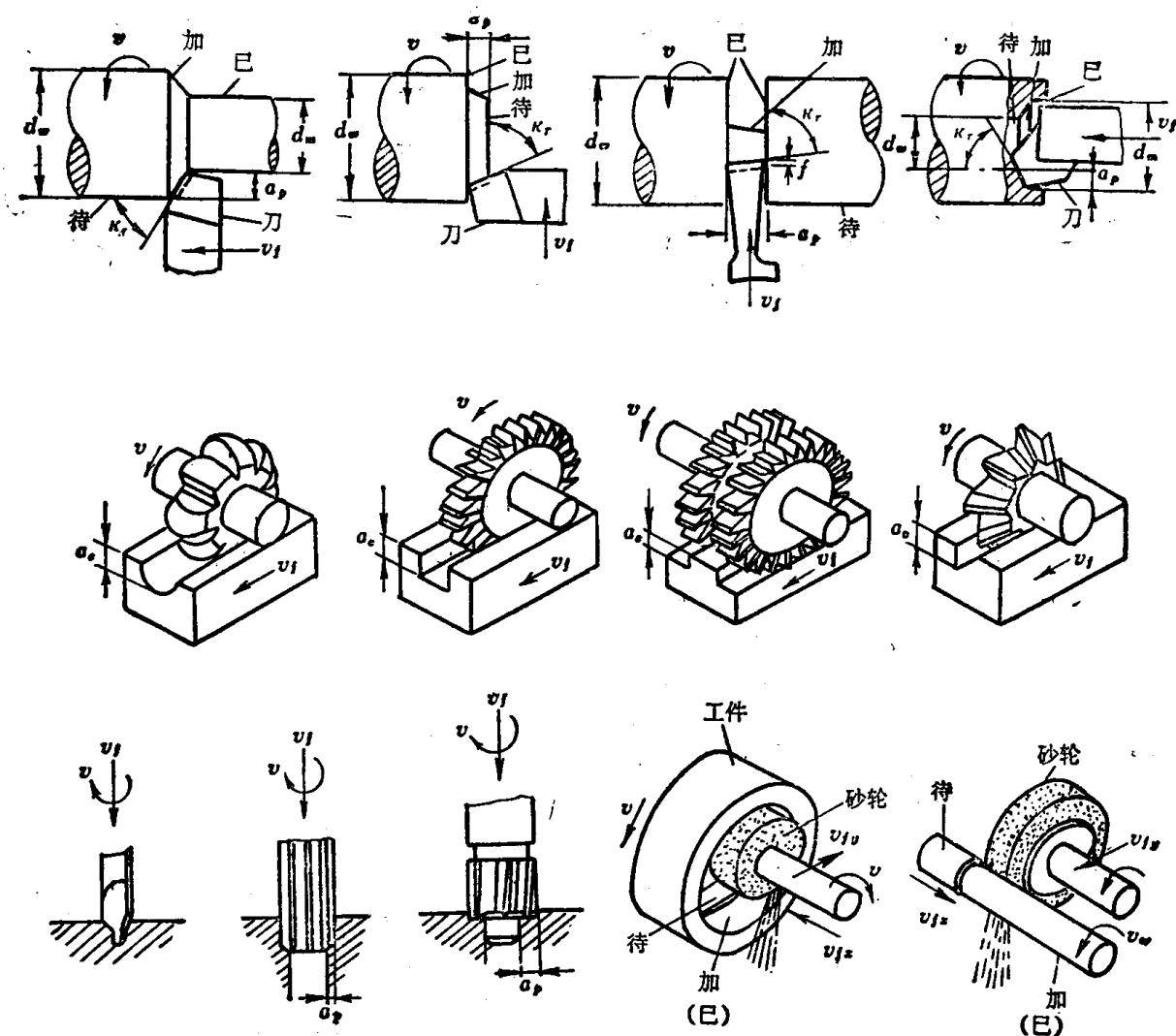


图 1.3 切削运动和加工表面

$$a_o = f \cdot \sin \kappa_r \quad (\text{mm})。 \quad (1.5)$$

2. 切削宽度(a_w)

沿加工表面度量的切削层尺寸(即主刃与切削层的实际接触长度),称为切削宽度 (mm)。
外圆纵车时,为

$$a_w = a_p / \sin \kappa_r \quad (\text{mm})。 \quad (1.6)$$

3. 切削面积(A_s)

工件被切下的金属层沿垂直于主运动方向所截取的截面积,称为切削面积(mm^2)。

$$A_s = a_p \cdot f = a_o \cdot a_w (\text{mm}^2)。 \quad (1.7)$$

可见,在 f 与 a_p 一定的条件下,主偏角 κ_r 越大,切削厚度 a_o 也越大(见图 1.2),但切削宽度 a_w 越小;当 κ_r 越小时,则反之。当 $\kappa_r = 0$ 时, $a_o = f$ 。上面计算的均为名义切削面积,如图 1.4 中的 $ABCD$ 面积。实际切削面积 A_{s0} 等于名义切削面积 A_s 减去残留面积 ΔA_s , 即

$$A_{s0} = A_s - \Delta A_s。 \quad (1.8)$$

残留面积 ΔA_s 是指副偏角 $\kappa'_r \neq 0$ 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(即残留刀

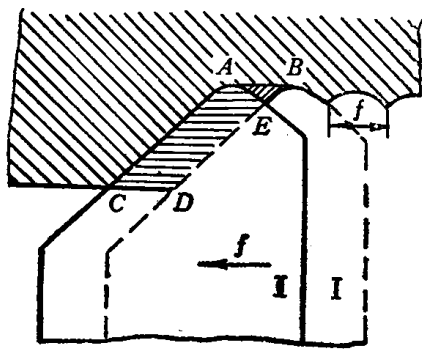


图 1.4 残留面积

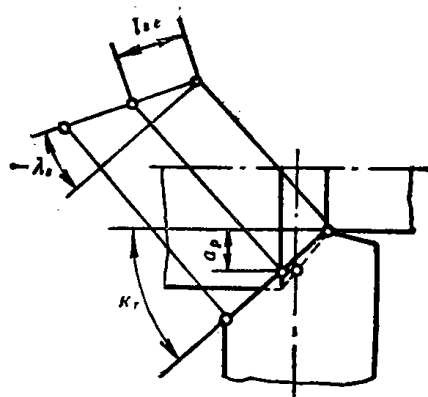


图 1.5 切削刀的工作长度 \$l_{se}\$

花的高度) H , 反映了已加工表面粗糙度的状况。 H 越大, 粗糙度数值 R_a (或 R_z) 越大。外圆纵车时的 ΔA_c 与 H 计算公式从图 1.6 可知:

$$H = \frac{AF + BF}{\operatorname{ctg} \kappa_r + \operatorname{ctg} \kappa'_r} = \frac{f}{\operatorname{ctg} \kappa_r + \operatorname{ctg} \kappa'_r} \quad (\text{mm}), \quad (1.9)$$

$$\Delta A_c = H \cdot f / 2 \quad (\text{mm}), \quad (1.10)$$

式中 f ——进给量 (mm/r);
 κ_r, κ'_r ——车刀的主、副偏角 ($^\circ$)。

4. 切削刀的工作长度 (l_{se})

当刀倾角 $\lambda_s = 0$ 时, 主切削刀实际参与切削的工作长度 l_{se} 就等于切削宽度 a_w ; 在 $\lambda_s \neq 0$ 时, 切削刀的实际工作长度 l_{se} 应按图 1.5 所示进行换算。近似计算公式, 为:

$$l_{se} = \frac{a_w}{\sin \kappa_r \cdot \cos \lambda_s} \quad (\text{mm}). \quad (1.11)$$

刀倾角 λ_s 在 $\pm 10^\circ$ 的范围内, 按上式计算可获得足够的精度。 l_{se} 的大小关系到刀刃散热情况。

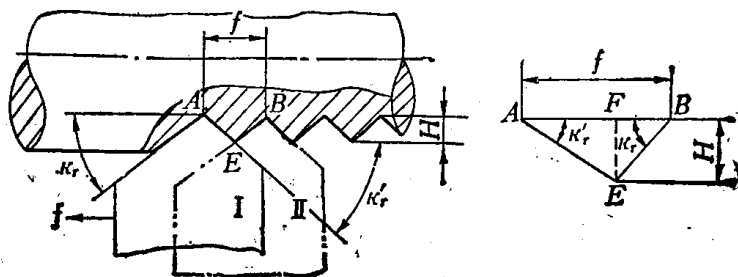


图 1.6 残留面积及其高度

1.2 刀具切削部分的基本定义

1.2.1 刀具切削部分的几何构造要素

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 (如图 1.7)。

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。所以, 以它为代表确定刀具一般性的基本定义, 并作为研究其他复杂刀具切削部分的几何参数的基础。刀具切削部分的几何要素及定义如下 (图 1.8)。

(1) 前刀面 (A_r): 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。

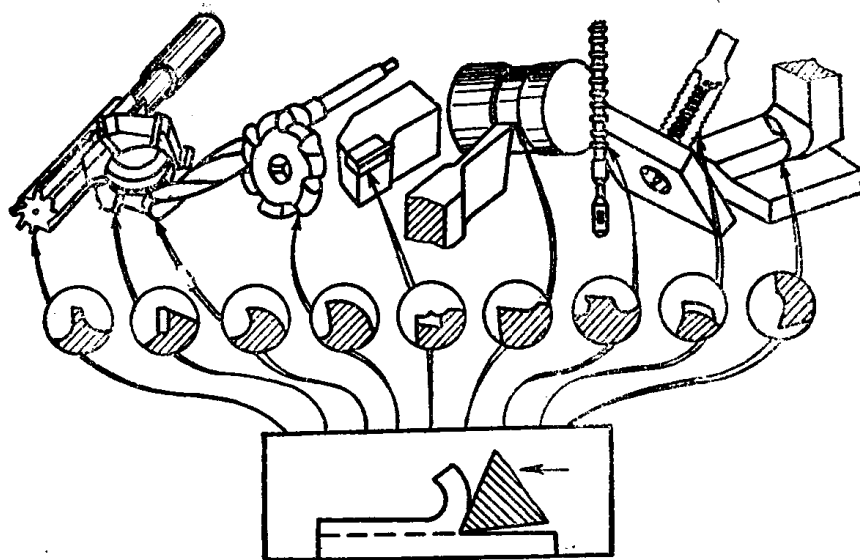


图 1.7 各种刀具切削部分的形状

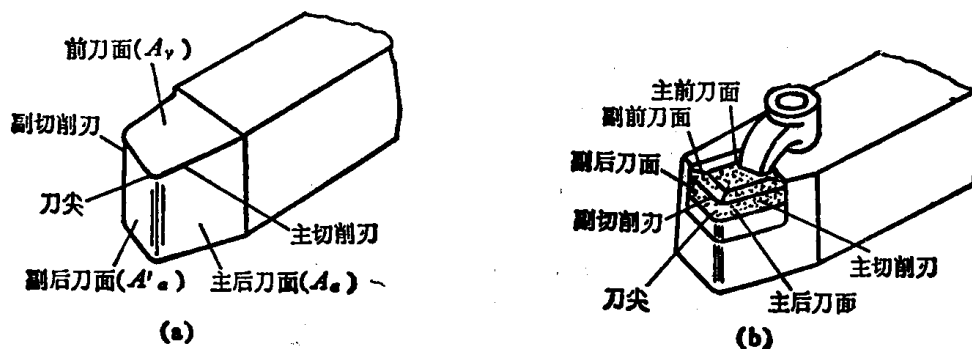


图 1.8 刀具切削部分的构造要素

(2) 主后刀面(A_s) 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'_s) 同工件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、条件最恶劣的地方。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。

上述定义也适合其他刀具。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 1.8(a) 所示车刀具有公共前刀面; 图 1.8(b) 所示不重磨刀片则分别有主前刀面和副前刀面。

1.2.2 刀具标注角度参考系

上述刀具的“面”与“刃”等构造要素, 由于在空间相对于加工表面的位置不同, 其切削效果(效率、刀具耐用度和加工质量等) 大不一样, 为了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, 有一个统一的、科学的评定标准和合理数值, 必须建立一个空间假定的直

角坐标参考系(即标注刀具角度的辅助平面)。

目前,世界各国采用的刀具标注角度参考系和基本术语尚不统一。我国过去采用主剖面参考系,与欧洲标准相同。但近年参照 ISO 标准,逐渐兼用主剖面与法剖面参考系。这里主要介绍主剖面参考系建立的基本术语与定义。

1. 坐标参考系建立的条件

(1) 要通过刀刃与加工表面相接触的某一点,且相对于这点的运动方向确定三个相互垂直的坐标平面。

(2) 规定刀具的刃磨和安装基准面垂直于切削平面或平行于基面。

(3) 三个简化条件:外圆纵车进给量为零($f=0$);刀杆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,这种规定和假设,能够较客观地反映刀具的有关角度与切削速度之间的变化规律,并正确地反映了刀具角度的实际作用与效果。因此,它成为标注刀具角度的统一标准。

2. 坐标参考系(三个辅助平面)的定义

(1) 切削平面(P_c) 通过切削刃上某一点,切于工件加工表面的平面。也就是这点的运动速度与该点的切削刃的切线构成的平面(如图 1.9 和图 1.10)。

(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) 主剖面(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。

为了标注和测量刀具角度,建立了上述三个互相垂直的坐标平面(即辅助平面),如图 1.9 和图 1.10 所示。

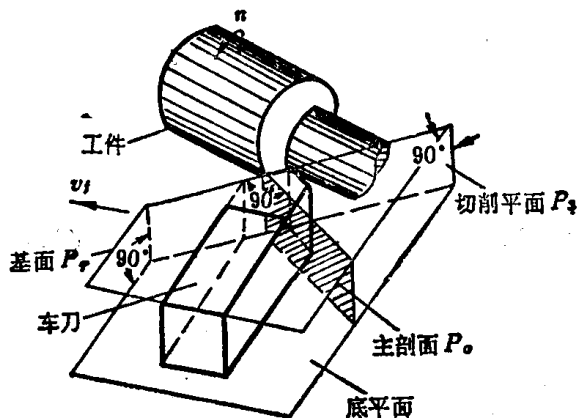


图 1.9 确定车刀几何角度的辅助平面

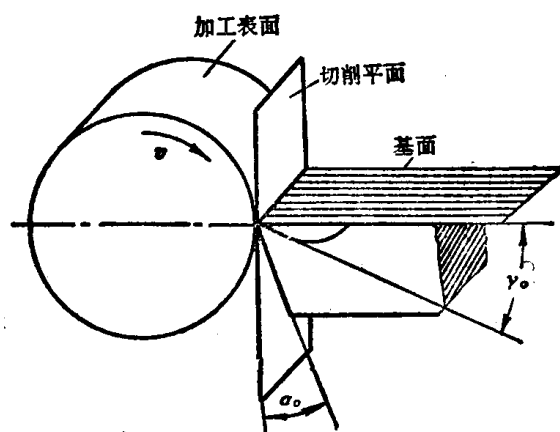


图 1.10 横车的基面和切削平面

1.2.3 刀具标注角度的定义

标注角度是指刀具图样上标注的角度及刃磨时的测量角度。它是在走刀量(f)等于零时静止状态下的刀具角度,又称静止角度。车刀的标注角度是在三个坐标面(P_c , P_r , P_o)上进行的定义的。

1. 在主剖面 P_o 内标注(测量)的角度

(1) 前角(γ_o) 前刀面与基面之间的夹角。

前角对切屑变形、切削力、切削热及刃口强度都有很大影响。较大的前角可减少切屑变

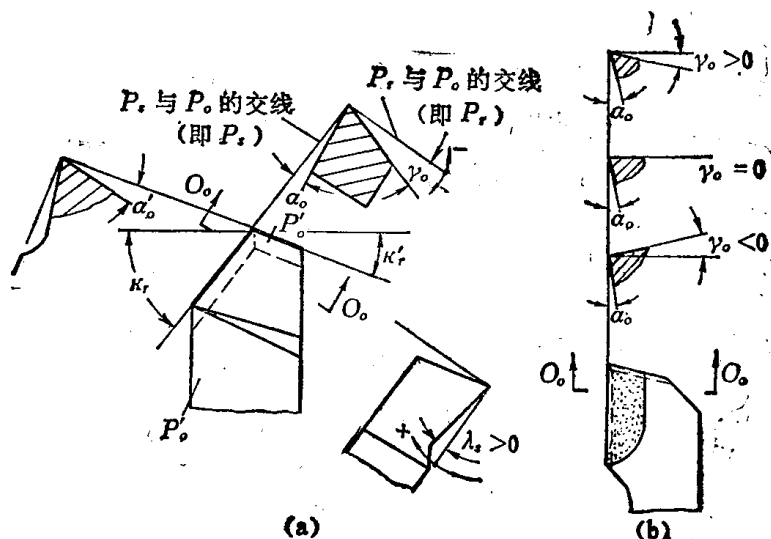


图 1.11 车刀角度的标注方法

形,使切削省力轻快,降低切削温度及减少刀具磨损。但前角过大,刀刃导热体积减小且强度下降,反而会降低刀具的耐用度。

一般加工塑性材料(如碳素钢、有色金属及合金等)时,切屑变形大,所以应取较大的前角;加工脆性材料(如铸铁)时,应取较小的前角;加工硬材料(如淬硬钢)时,应取负前角或负倒棱正前角。通常硬质合金车刀前角在 $-5^\circ < \gamma_o < +25^\circ$ 的范围内选择。显然,根据不同的加工材料,前角的合理数值选取有正、负、零之分(如图 1.11(b))。

(2) 后角(α_o) 是后刀面与切削平面之间的夹角。

合适的后角可减少加工表面与后刀面的摩擦和后刀面的磨损。但后角取得过大,反而会削弱切削刃的强度与导热体积。一般粗加工或加工硬材料取小些, $\alpha_o = 3^\circ \sim 8^\circ$; 精加工取大些, $\alpha_o = 6^\circ \sim 12^\circ$ 。

(3) 楔角(β_o) 前刀面与后刀面之间的夹角。

由上述定义可知:

$$\beta_o = 90^\circ - (\alpha_o + \gamma_o) \quad (1.12)$$

2. 在基面 P_r (俯视图)上测量出的角度

(1) 主偏角(κ_r) 主切削刃与进给运动方向在基面上投影之间所夹的角度。

在切削深度与进给量不变的情况下,改变主偏角的大小,可以改变切削刃参加切削的工作长度,并使切削厚度和切削宽度发生变化。主偏角小,可增大主刃参加切削的工作长度,使刀刃单位长度上受力减小,并改善了散热情况,刀具较为耐用。但这样会使刀具作用在工件上的径向切削分力增大,加工细长轴类工件易产生弯曲变形和振动,影响加工质量。一般选取 $\kappa_r = 30^\circ \sim 75^\circ$ 。

(2) 副偏角(κ'_r) 副切削刃和进给运动相反方向在基面上的投影之间的夹角。

它可减少副后面与已加工表面之间的摩擦,但 κ'_r 过大会影响表面粗糙度和刀尖强度。一般 κ'_r 取 $5^\circ \sim 20^\circ$ 。

(3) 刀尖角(ϵ_r) 主切削刃和副切削刃在基面上的投影间的夹角。

$$\epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1.13)$$

3. 在切削平面 P_o 内测量的角度

刃倾角(λ_s)主切削刃与基面之间的夹角。

它的主要作用是影响刀尖强度和控制切屑排出方向(如图1.12所示)。一般 λ_s 取 $-10^\circ \sim +5^\circ$ 。粗加工时为了增强刀尖及刃口强度常取 λ_s 为负值;精加工时,为了不使切屑划伤已加工表面,常取 λ_s 为正值或零度。

应当指出,车刀几何参数之间都是相互影响、相互依赖和相互制约的。一个实际问题的解决,往往不是孤立地改变某一参数就能办到的,应当把车刀几何参数看作一个有机的整体,根据切削过程中的条件,

综合考虑。例如前、后角都影响切削刃强度与散热体积,它们之间可以相互补偿。因此粗加工时,为了减轻刀具负荷,采用较大的前角,可适当减小后角,这时切削既畅快又不会明显削弱刀刃强度。反之,精加工时为了减少后刀面与加工表面的摩擦,采用较大的后角,可适当减小前角。在前角、主偏角和刃倾角之间,也有一定的辩证关系:采用负的刃倾角,小的主偏角,都能增加刀尖强度与耐用度。因此,在切削较硬的材料或者有冲击的不规则毛坯时,采用较小的主偏角和负的刃倾角,而不明显地减小前角。加工精度高、粗糙度要求小的细长轴时,为了减少振动和工件变形,须选用较大的主偏角(一般为 $90^\circ \sim 93^\circ$);为了避免擦伤已加工表面,须选用正的刃倾角,在这种情况下前角应相应的减小。

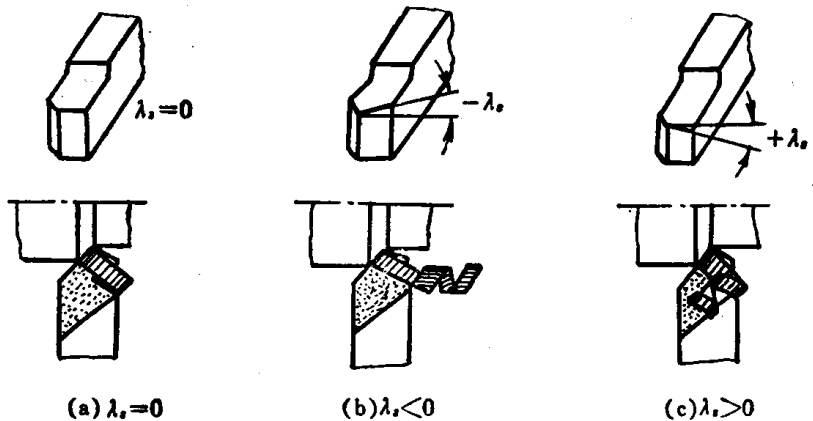


图1.12 车刀主切削刃刃倾角 λ_s 对排屑方向的影响

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

1.3 刀具工作角度的分析与换算

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(主运动与进给运动)的合成速度方向和安装情况,则标注角度的参考系(即辅助平面)将发生变化。按照实际切削工作中的参考系所确定的刀具角度,称为工作角度(或切削角度)。

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,刀具的工作角度近似地等于标注角度(不超过 1°)。这样,在多数切削加工条件下(如普通车削、镗孔、端铣、周铣等),都不必进行工作角度的换算(或修正标注角度)。只有在角度值变化较大时(如车丝杠或多头螺杆、铲背、钻头的钻心附近的切削条件研究或刀具安装特殊时)才需要换算工作角度。

1.3.1 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(图1.13),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,切削平面 $P_{s'}$ 为通过切削刃上选定点与阿基米德螺旋线相

切的平面, 基面 P_{re} 也相应地垂直于此时的切削平面(即 $P_{re} \perp P_{se}$)。可见, P_{se} 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。主剖面 P_{oe} 仍为图上剖面。在工作参考系 (P_{se} , P_{re} , P_{oe}) 内的工作角度 γ_{oe} , α_{oe} 为:

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

由图 1.13 可知 (当 $d\theta$ 很小时 $\overline{AB} \approx \widehat{AB}$),

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{BC}{AB} = \frac{d\rho}{\rho \cdot d\theta}。 \quad (1.14)$$

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:

$$\frac{d\rho}{d\theta} = \frac{f}{2\pi}。 \quad (1.15)$$

图 1.13 横向进给运动对工作角度的影响

将 1.15 式代入 1.14 式得:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{d\rho}{\rho \cdot d\theta} = \frac{f}{2\pi \cdot \rho} = \frac{f}{\pi d}。 \quad (1.16)$$

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 1 mm 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 1 mm 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。在铲背加工或车丈螺距丝杠时, μ 值很大, 不可忽视。

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 1.14 所示, 假定 $\lambda_s = 0$, 在不考虑纵向进给运动时, 切削平面 P_s 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, 切削平面 P_{se} 为切于螺旋面的平面, 刀具工作角度的参考系 (P_{se} , P_{re}) 倾斜了一个 μ 角, 则主剖面内的工作角度为:

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

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。换算至主剖面 $o-o$ 内得:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{f_n}{\pi \cdot d_w} = \frac{f \cdot \sin \kappa_r}{\pi \cdot d_w}。 \quad (1.17)$$

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

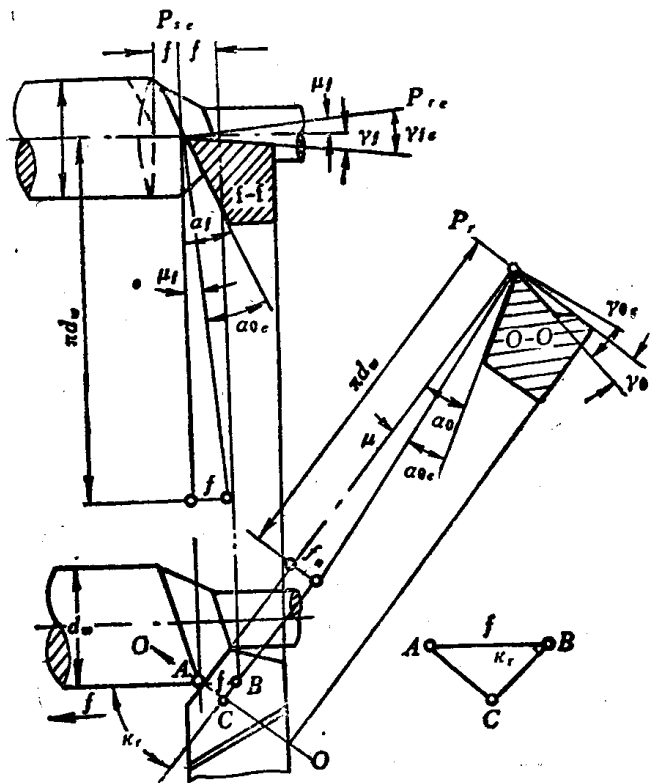


图 1.14 外圆车刀的工作角度

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。

1.3.2 刀尖安装高低对工作角度的影响

如图1.15所示,当刀尖安装高于工件中心线时,切削平面将变为 P_{se} ,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 :

$$\operatorname{tg} \theta_p = \frac{h}{\sqrt{(d_w/2)^2 - h^2}} \quad (1.18)$$

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:

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

换算至主剖面内的工作角度为:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{h \cdot \cos \kappa_p}{\sqrt{(d_w/2)^2 - h^2}}, \quad (1.19)$$

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

当刀尖低于工件中心线时,上述公式符号相反。

图1.16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($P-P$)内的工作角度和主剖面内的工作角度,同车外圆刀尖安装高度计算公式一样,只是符号相反,即:

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

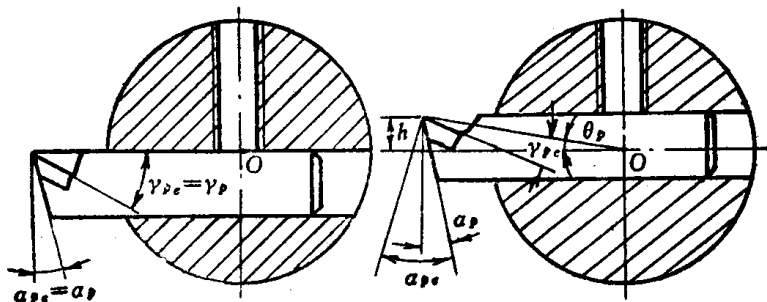


图1.15 刀尖安装高低对工作角度的影响

图1.16 镗刀的工作角度

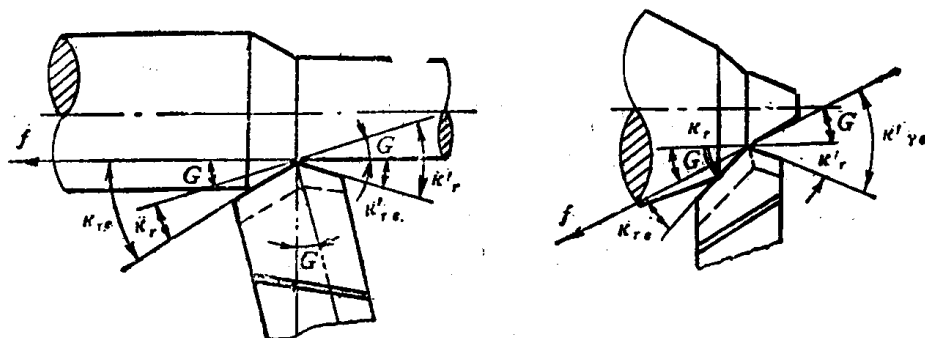


图1.17 刀杆中心线不垂直于进给方向

1.3.3 刀杆中心线与进给方向不垂直时工作角度的变化

如图 1.17 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:

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

$$\kappa'_{re} = \kappa'_r \mp G \quad (\text{顺时针倾斜为正号}).$$

式中 G ——进给运动方向的垂直线与刀杆中线间的夹角(即平面上的安装角)。

1.4 刀具切削部分的材料及应用

在切削过程中,自始至终存在着刀具的切削性能和工件材料的可加工性能这一基本矛盾。刀具能否胜任切削工作,不仅直接与刀具切削部分的合理几何参数、刀具结构有关,而且还取决于刀具切削部分的材料性能。因为刀具在切削过程中要承受很大的载荷,较高的切削温度和摩擦而磨损。所以一把好刀不仅要锋利,而且还要经久耐用,不易磨损变钝。生产实践证明,刀具材料的切削性能,直接影响刀具的耐用度和生产率;刀具材料的工艺性,将影响着刀具本身的制造与刃磨质量。因此,刀具材料应具备下一小节介绍的性能。

1.4.1 刀具材料的基本性能

1. 高的硬度

刀具材料的硬度必须高于工件材料的硬度(室温硬度应在 HRC 60 以上),以便切下工件的切削层。

2. 高的耐热性

指刀具材料在高温下仍能保持刀具正常切削的性能(即高温下硬度、强度、耐磨性等不弱化)。高温机械性能好,则刀具耐热性好,它是评定刀具切削部分材料性能好坏的最重要标志。

3. 足够的强度和韧性

指刀具材料承受切削力而不变形和承受冲击载荷或振动而不断裂及崩刃的能力。分别用抗弯强度(σ_b)和冲击值(α_k)来衡量它们的高低或大小。

4. 高的耐磨性

指刀具材料抵抗磨损的能力。这是反映刀具材料机械性能和组织结构等因素的综合指标。

5. 工艺性

指刀具材料应具有良好的高温可塑性、可加工性、可磨性、可焊接性和热处理的性能。

上述性能是作为刀具材料不可缺少的基本性能。它们之间不是孤立的,而是相互联系和制约的。往往硬度高、耐磨性好的材料,韧性与工艺性差;而韧性与工艺性好的材料,耐热性和耐磨性差。应根据具体加工条件,抓主要性能,兼顾其他。

1.4.2 常用刀具材料的种类及应用

目前,我国常用的刀具材料有三大类:即工具钢类、硬质合金类、非金属材料。