

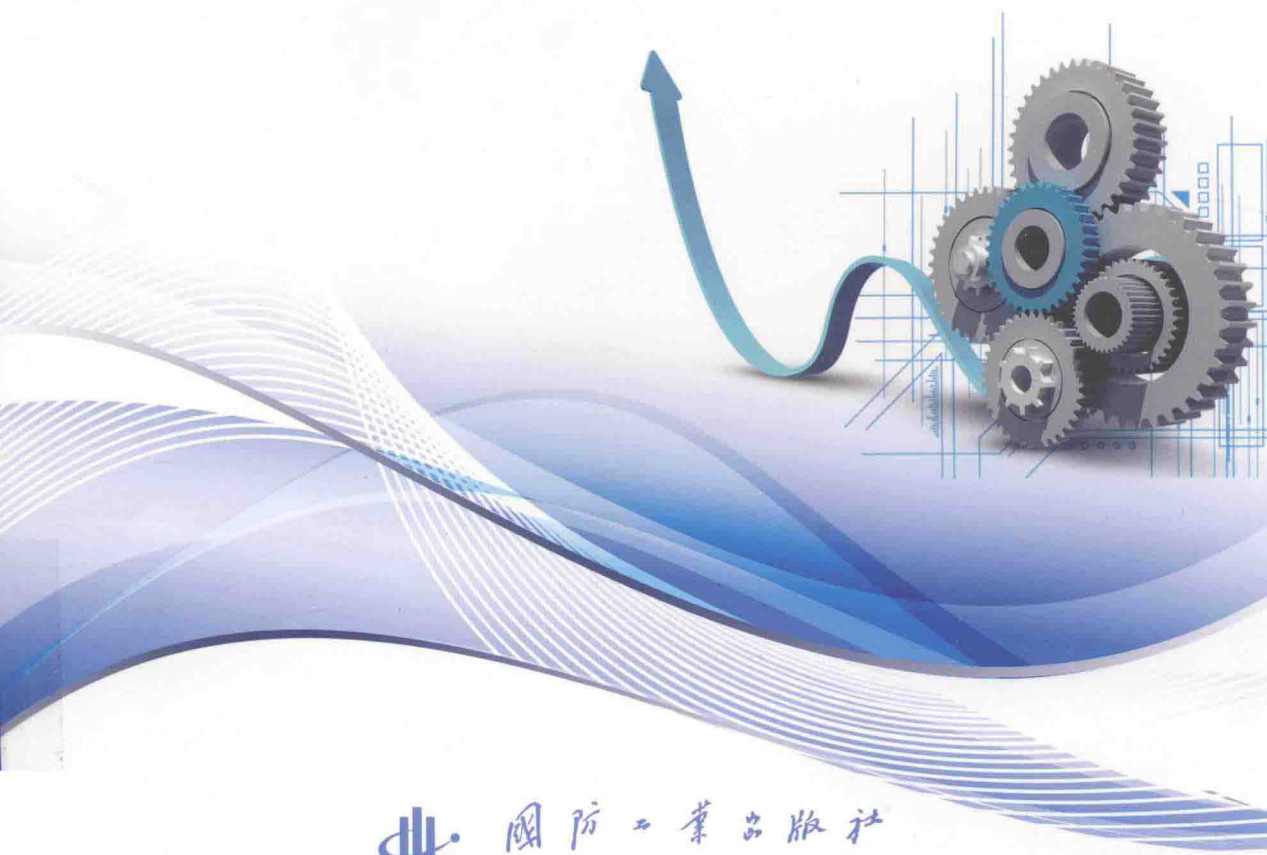
普通高等教育“十三五”规划教材

国家级精品课程

机械制造基础

(第2版)

米国际 王迎晖 主编



国防工业出版社

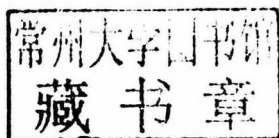
National Defense Industry Press

普通高等教育“十三五”规划教材
国家级精品课程

机械制造基础

(第2版)

米国际 王迎晖 主编



国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书以金属切削机床为核心,以切削加工方法贯穿始终,结合长期以来应用型本科教育和高等职业教育教学改革实践,把金属材料、金属切削原理与刀具、金属切削机床、现代制造技术等课程的相关内容有机地结合在一起,注重基本理论在实际生产中的应用及解决实际问题能力的培养,形成一种新的教材体系。

本书共 13 章,主要内容包括切削过程和刀具结构要素、切削参数的合理选择和已加工表面质量、机床夹具、金属切削机床的基本知识、车床及车削加工、铣床及铣削加工、磨床及磨削加工、钻镗加工、齿轮加工、刨削与拉削加工、螺纹加工、机械加工工艺规程的制订及现代制造技术。

本书适合于应用型本科院校和高等职业院校机械制造类和机电技术应用类专业教学使用,也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/米国际,王迎晖主编. —2 版. —
北京:国防工业出版社,2019.3
ISBN 978-7-118-11817-9

I. 机… II. ①米… ②王… III. 机械制造—基本知识 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 003703 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 100044)

三河市天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 18½ 字数 423 千字

2019 年 3 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 45.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

《机械制造基础(第2版)》

编委会

主 编 米国际 王迎晖

副主编 沈景祥 黄 伟 王 祯 秦明伟

参 编 刘兴良 邱 军 嵇 宁

主 审 黄志辉

前 言

应用型本科教育和高等职业教育以培养适应生产、管理、服务等一线需要的高等技术应用型专门人才为根本任务,突出职业性、实践性、针对性和地方性之特点,已成为我国高等教育的重要组成部分,近年来得到了迅速发展。随着我国产业结构的战略性调整,机械制造业作为支柱产业,发展突飞猛进,人才需求越来越大。应用型本科教育和高等职业教育,以培养技术应用能力为主线,大力推动专业改革和课程改革,以适应社会需求。

本书以金属切削机床为核心,以切削加工方法贯穿始终,结合长期以来高等职业教育教学改革实践,把金属材料、金属切削原理与刀具、金属切削机床、现代制造技术等课程的相关内容有机地结合在一起,注重基本理论在实际生产中的应用及解决实际问题能力的培养,形成一种新的教材体系。

本书由米国际、王迎晖任主编,沈景祥、黄伟、王祯、秦明伟任副主编,刘兴良、邱军、嵇宁参编,黄志辉任主审。

编写过程中参考了兄弟院校教师编写的有关教材及相关资料,也得到了西安航空学院、昆山登云科技职业学院有关领导和同仁的大力支持,在此表示衷心感谢!

由于水平所限,书中欠妥之处难免,敬请各位师生和广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 切削过程和切削用量	1
1.1 切削运动和切削用量	1
1.1.1 切削运动	1
1.1.2 加工中的工件表面	2
1.1.3 切削用量	2
1.1.4 切削层参数	3
1.2 刀具的几何角度	4
1.2.1 刀具切削部分组成要素	4
1.2.2 刀具静止参考系与切削部分的几何角度	5
1.3 金属切削过程	8
1.3.1 切削过程中的金属变形	8
1.3.2 切削力	11
1.3.3 切削热与切削温度	13
1.3.4 刀具磨损与刀具耐用度	14
1.4 切削用量及切削液的选择	18
1.4.1 切削用量的选择	18
1.4.2 切削液的合理选择	23
思考题	25
第 2 章 切削参数的合理选择和已加工表面质量	26
2.1 刀具材料	26
2.2 刀具几何参数的合理选择	35
2.2.1 选择刀具合理几何参数的重要性及原则	35
2.2.2 几何角度的合理选择	36
2.3 工件材料的切削加工性	43
2.3.1 工件材料加工性的衡量方法	44
2.3.2 工件材料的物理、力学性能对加工性的影响	46
2.3.3 改善材料加工性的途径	47
2.4 已加工表面质量	49
2.4.1 已加工表面的形成	49
2.4.2 已加工表面粗糙度	50
2.4.3 加工硬化	52
2.4.4 残余应力	53

思考题	54
第 3 章 机床夹具	56
3.1 工件定位的基本原理	56
3.1.1 六点定位原理	56
3.1.2 工件的定位	57
3.2 定位方式与定位元件	59
3.2.1 定位基准与定位副	59
3.2.2 对定位元件的基本要求	60
3.2.3 常见的工件定位方法和定位元件	60
3.2.4 工件以组合表面定位	68
3.3 夹紧装置	70
3.3.1 夹紧装置的组成和基本要求	70
3.3.2 夹紧力的确定	71
3.3.3 典型夹紧机构	74
3.4 典型机床夹具	78
3.4.1 车床夹具	79
3.4.2 铣床夹具	82
3.4.3 镗床夹具	84
3.4.4 钻床夹具	86
3.5 现代机床夹具简介	90
思考题	94
第 4 章 金属切削机床的基本知识	96
4.1 机床分类及型号编制	96
4.1.1 机床的分类	96
4.1.2 机床型号的编制方法	97
4.2 机床的运动	101
4.2.1 表面成形运动	101
4.2.2 辅助运动	103
4.3 基本的传动方法	103
4.4 机床常用结构	104
4.4.1 离合器概述	104
4.4.2 分级变速机构和换向机构	110
4.4.3 分级变速传动系统及其转速图	114
思考题	119
第 5 章 车床及车削加工	120
5.1 车床	120
5.1.1 车床概述	120

5.1.2	CA6140 车床概述	122
5.2	车刀	124
5.3	典型车削方法	126
5.3.1	车外圆	126
5.3.2	车端面	127
5.3.3	切断和切槽	127
5.3.4	车圆锥面	127
5.3.5	钻孔和镗孔	128
5.3.6	车螺纹	129
	思考题	132
第 6 章	铣床及铣削加工	133
6.1	铣床	133
6.1.1	铣床的种类	133
6.1.2	X6132 万能升降台铣床概述	135
6.2	铣刀	136
6.2.1	铣刀的种类	136
6.2.2	铣刀的几何参数	139
6.3	铣床附件	139
6.3.1	平口钳	139
6.3.2	回转工作台	139
6.3.3	分度头	139
6.4	铣削加工	141
6.4.1	铣削加工概述	141
6.4.2	铣削加工方式	142
	思考题	144
第 7 章	磨床及磨削加工	145
7.1	磨床	145
7.1.1	磨床概述	145
7.1.2	M1432A 万能外圆磨床	146
7.2	砂轮	150
7.2.1	磨料	150
7.2.2	粒度	151
7.2.3	结合剂	152
7.2.4	硬度	152
7.2.5	组织	152
7.2.6	形状尺寸	152
7.2.7	砂轮代号	153

7.3	磨削加工工件的装夹	154
7.3.1	外圆磨削工件的装夹	154
7.3.2	平面磨削工件的装夹	154
7.3.3	内圆磨削工件的装夹	156
7.4	磨削加工	156
7.4.1	磨削加工的特点与应用	156
7.4.2	典型磨削加工	157
	思考题	159
第8章	钻镗加工	160
8.1	钻削加工	160
8.1.1	立式钻床	160
8.1.2	摇臂钻床	161
8.1.3	典型钻削加工	163
8.2	镗削加工	168
	思考题	173
第9章	齿轮加工	174
9.1	概述	174
9.2	滚齿加工	177
9.2.1	Y3150E 滚齿机主要组成部件	177
9.2.2	Y3150E 滚齿机主要技术参数	177
9.3	其他齿轮加工方法	178
9.3.1	插齿加工	178
9.3.2	刨齿加工	180
9.3.3	剃齿加工	182
9.3.4	齿轮的磨削加工	183
	思考题	184
第10章	刨削与拉削加工	185
10.1	刨削加工	185
10.1.1	刨削加工的运动和加工特点	185
10.1.2	刨床	186
10.1.3	刨刀	191
10.1.4	工件的装夹	191
10.1.5	刨削方法	193
10.2	拉削加工	196
	思考题	200
第11章	螺纹加工	201
11.1	概述	201

11.2	螺纹的车削	202
11.3	螺纹的铣削	203
11.4	螺纹的滚压	204
11.5	螺纹的磨削	205
11.6	攻螺纹与套螺纹	206
11.6.1	攻螺纹	206
11.6.2	套螺纹	207
	思考题	208
第12章	机械加工工艺规程的制订	209
12.1	概述	209
12.1.1	机械加工工艺规程的内容及作用	209
12.1.2	机械加工工艺规程的类型及格式	210
12.1.3	制订工艺规程的原则、步骤及原始资料	212
12.2	零件的工艺分析	213
12.3	毛坯的选择	215
12.3.1	毛坯种类	215
12.3.2	毛坯选择原则	216
12.4	定位基准的选择	217
12.4.1	粗基准与精基准	217
12.4.2	粗基准的选择原则	217
12.4.3	精基准的选择原则	219
12.4.4	辅助定位基准	221
12.5	工艺路线的制订	221
12.5.1	加工方法的选择	221
12.5.2	加工阶段的划分	224
12.5.3	工序的集中与分散	224
12.5.4	加工顺序的安排	225
12.6	加工余量及工序尺寸的确定	226
12.6.1	加工余量及其确定	227
12.6.2	工序尺寸及公差的确定	229
12.7	机床及工艺装备的选择	234
12.7.1	机床的选择	234
12.7.2	夹具的选择	234
12.7.3	切削工具的选择	234
12.7.4	量具的选择	234
12.8	工艺过程的生产率和经济性	234
12.8.1	机械加工生产率分析	234

12.8.2 工艺过程的技术经济分析·····	237
12.9 典型零件加工工艺案例·····	239
12.9.1 轴类零件加工·····	239
12.9.2 套类零件加工·····	245
12.9.3 箱体类零件加工·····	248
思考题·····	258
第 13 章 现代制造技术 ·····	260
13.1 数控机床与加工中心·····	260
13.1.1 数控机床的组成和工作原理·····	260
13.1.2 数控机床的分类·····	262
13.1.3 数控机床的特点及应用·····	265
13.2 工业机器人技术·····	265
13.2.1 按信息输入形式分类·····	265
13.2.2 按坐标分类·····	266
13.2.3 典型工业机器人的结构·····	267
13.3 机械制造系统的发展·····	271
13.3.1 柔性制造单元·····	272
13.3.2 柔性制造系统·····	272
13.3.3 计算机集成制造系统·····	273
思考题·····	275
附录 1 金属切削机床的类、组划分 ·····	276
附录 2 常用机床的组、系代号及主参数 ·····	278
附录 3 滚动轴承图示符号(GB4458.1—84) ·····	281
附录 4 机构运动简图符号(GB4460—84) ·····	282
参考文献 ·····	286

第 1 章 切削过程和切削用量

学习目标

- (1) 掌握金属切削的基本原理和基本规律。
- (2) 掌握零件表面的成形方法及表面成形运动,了解机械加工的辅助运动的作用。
- (3) 掌握切削过程中的工件表面和切削用量三要素,了解切削用量的计算方法。
- (4) 掌握刀具的基本结构、基本角度,了解刀具基本角度对切削过程的影响。

1.1 切削运动和切削用量

金属切削加工是在金属切削机床上用金属切削刀具把工件毛坯上多余的金属材料切除,获得零件图纸所要求的零件。在切削加工过程中,刀具和工件之间必须有相对运动,这种相对运动称为切削运动。按各运动在切削加工中的作用不同切削运动分为主运动和进给运动。

1.1.1 切削运动

1. 主运动

主运动是机床提供的主要运动。它可以是旋转运动(如图 1-1 所示车削加工时工件的旋转运动,铣削加工时铣刀的旋转运动),也可以是直线运动(如刨削加工时刀具或工件的往复直线运动)。主运动的切削速度最高,消耗的机床功率也最大。

2. 进给运动

进给运动多数是由机床提供的,是刀具与工件之间的相对运动,使切削加工连续不断地进行下去,其特点是消耗的功率比主运动小。它可以是连续的运动(如车削外圆时车刀平行于工件轴线的纵向运动),也可以是间歇运动(如刨削加工时刀具或工件的横向直线运动)。

主运动可以由工件完成(如车削、龙门刨削等),也可以由刀具完成(如钻削、铣削等);进给运动同样也可以由工件完成(如铣削、磨削等)或由刀具完成(如车削、钻削等)。

在各类切削加工中的主运动只有一个;而进给运动可以有一个(如车削圆柱面)、两个(如外圆磨削)或多个,甚至没有(如拉削)。当主运动和进给运动同时进行,由主运动和进给运动合成的运动称为合成切削运动(图 1-1)。刀具切削刃上选定点相对于工件的瞬时合成运动方向称为合成切削运动方向,其速度称为合成切削速度。合成切削速度 v_c 。

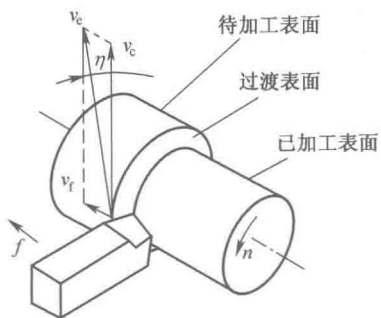


图 1-1 车削加工时的运动和工件上的三个表面

为同一选定点的主运动速度 v_c 与进给运动速度 v_f 的矢量和, 即 $v_e = v_c + v_f$ 。

1. 1. 2 加工中的工件表面

工件在切削加工过程中形成了三个不断变化着的表面(图 1-1):

(1)已加工表面:工件上被刀具切削后形成的新表面。

(2)待加工表面:工件上等待被切除的表面。

(3)过渡表面:刀具切削刃正在切削的表面,它是待加工表面与已加工表面的连接表面。

1. 1. 3 切削用量

切削用量是用于表示切削加工过程中主运动、进给运动和切入量参数的数量,是调整机床的依据。它包括切削速度、进给量和背吃刀量三个要素。

1. 切削速度(v_c)

刀具切削刃上选定点相对于工件主运动的瞬时速度称为切削速度。当切削加工的主运动是回转运动时,其切削速度为

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

式中 d ——切削刃选定点处所对应的工件或刀具的回转直径(mm);

n ——主运动(工件或刀具)的转速(r/min);

v_c ——切削速度(m/min)。

2. 进给量(f)

刀具在进给运动方向上相对于工件的位移量称为进给量,通常用刀具或工件主运动每转或每行程的位移量来度量(图 1-2),单位为 mm/r 或 mm/行程(如刨削等)。车削时的进给速度 v_f (mm/min)是指切削刃上选定点相对于工件的进给运动的瞬时速度,它与进给量之间的关系为 $v_f = nf$ (n 为主运动的转速),对于铰刀、铣刀等多齿刀具,常要规定出每齿进给量 f_z (mm/z),其含义为多齿刀具每转或每行程中每齿相对于工件在进给运动方向上的位移量,即

$$f_z = f/z$$

式中 z ——刀齿数;

f ——进给量。

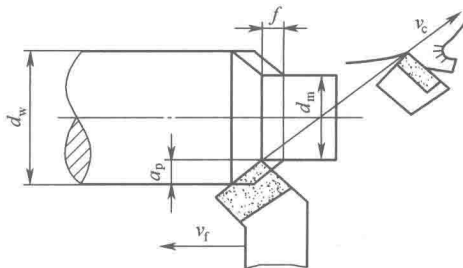


图 1-2 切削用量三要素

3. 背吃刀量(a_p)

背吃刀量是已加工表面和待加工表面之间的垂直距离,单位为 mm。
外圆车削时

$$a_p = (d_w - d_m) / 2$$

式中 d_w ——待加工表面直径(mm);

d_m ——已加工表面直径(mm)。

镗孔时,则上式中的 d_w 与 d_m 互换位置。

1. 1. 4 切屑层参数

在切削加工中,刀具或工件沿进给运动方向每移动 f (或 f_z)后,由一个刀齿正在切除的金属层称为切削层。切削层的尺寸称为切削层参数。为简化计算,切削层的剖面形状和尺寸,在垂直于切削速度(v_c)的基面上度量。图 1-3 表示车削时的切削层,当工件旋转一转时,车刀切削刃由过渡表面 I 的位置移到过渡表面 II 的位置,在这两圈过渡表面(圆柱螺旋面)之间所包含的工件材料层在车刀前刀面挤压下被切除,这层工件材料就是车削时的切削层。

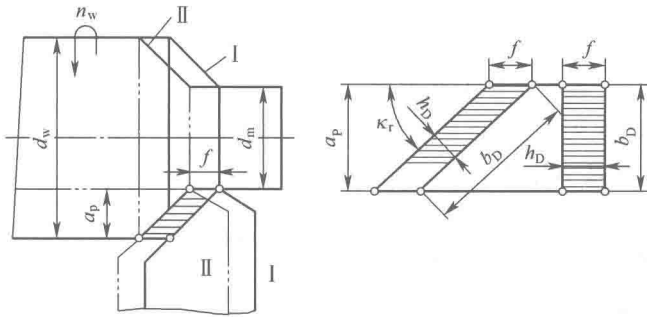


图 1-3 车削时的切削层

1. 切削层公称厚度(h_D)

切削层公称厚度是指在垂直于切削刃的方向上度量的切削层截面的尺寸。当主切削刃为直线刃时,直线切削刃上各点的切削层厚度相等(图 1-3)并有近似关系

$$h_D \approx f \cdot \sin \kappa_r$$

图 1-4 表示主切削刃为曲线刃时,切削层局部厚度的变化情况。

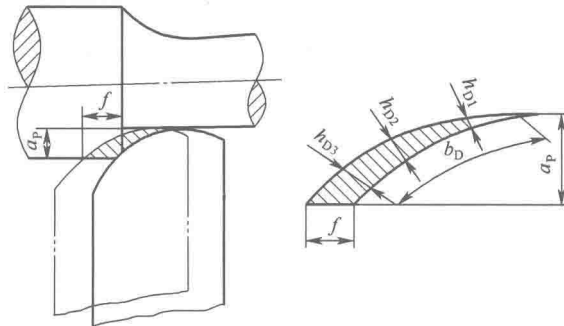


图 1-4 曲线切削刃工作时的 h_D 和 b_D

2. 切削层公称宽度(b_D)

切削层公称宽度是指沿切削刃方向度量的切削层截面尺寸。它反映了工作主切削刃参加切削加工的长度,对于直线主切削刃有近似关系(图 1-3),即

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r$$

3. 切削层公称横截面积(A_D)

切削层公称横截面积是指在给定瞬间,切削层在切削层平面里的截面面积,即图 1-5 中的 ABCD 所包围的面积。

由于刀具副偏角的存在,经切削加工后的已加工表面上常留下有规则的刀纹,这些刀纹在切削层尺寸平面里的横截面积(图 1-5 中的 ABE 所包围的面积)称为残留面积 ΔA_D ,它构成了已加工表面理论表面粗糙度的几何基形。

车削时切削面积(A_D)可按下式计算,即

$$A_D = a_p f = b_D h_D$$

实际切削面积(A_{De})等于切削面积(A_D)减去残留面积(ΔA_D),即

$$A_{De} = A_D - \Delta A_D$$

残留面积的高度称为轮廓最大高度,用 R_y 表示(图 1-6)。它直接影响已加工表面的粗糙度,其计算公式为

$$R_y = f / (\cot \kappa_r + \cot \kappa'_r)$$

若刀尖呈圆弧形,则轮廓最大高度为

$$R_y \approx f^2 / 8r_\epsilon$$

式中 r_ϵ ——刀尖圆弧半径(mm)。

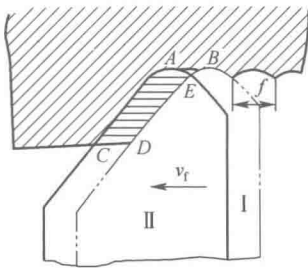


图 1-5 残留面积

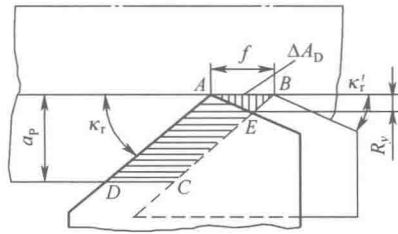


图 1-6 残留面积及其高度

1.2 刀具的几何角度

1.2.1 刀具切削部分组成要素

刀具种类繁多、形状各异,但其切削部分都可以看作从外圆车刀演变而来。因此以普通外圆车刀的切削部分为基础,确定刀具的基本性定义,分析刀具切削部分的几何参数。

普通外圆车刀的构造如图 1-7 所示,由刀柄和切削部分组成。刀柄是车刀在车床上定位和夹持的部分。切削部分的组成如下:

- (1)前刀面(A_r):加工时切屑流出时经过的刀具表面。
- (2)主后刀面(A_s):刀具上与过渡表面相对的表面。

(3)副后刀面(A'_a):刀具上与已加工表面相对的表面。

(4)主切削刃(S):前刀面与主后刀面相交的棱边,它在切削加工过程中承担主要的切削任务,切去大量的材料并形成工件上的加工表面。

(5)副切削刃(S'):前刀面与副后刀面相交的棱边,它配合主切削刃完成金属材料的切除工作,最终形成工件的已加工表面。

(6)刀尖:主切削刃与副切削刃连接处的一小部分切削刃,它分为修圆刀尖和倒角刀尖两类(图 1-8)。

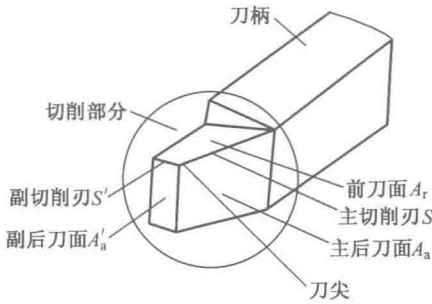


图 1-7 车刀的组成

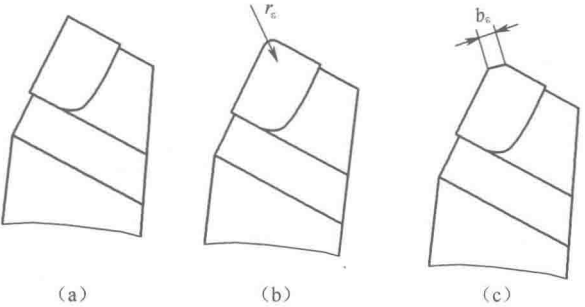


图 1-8 刀尖的类型

(a)切削刃的实际交点;(b)修圆刀尖;(c)倒角刀尖。

不同类型的车刀,切削部分的组成要素不同,如切断刀,除前刀面、后刀面、主切削刃外,还有两个副后刀面、两个副切削刃和两个刀尖。

1.2.2 刀具静止参考系与切削部分的几何角度

刀具要完成切削任务,其切削部分必须具备合理的几何形状。刀具几何角度就是确定其切削部分几何形状和反映刀具切削性能的参数。为了定义和规定刀具几何角度,需要以一定的参考坐标系和参考坐标平面为基准。刀具静止参考系是用于定义刀具设计、制造、刃磨和测量时的刀具几何参数的坐标系,由于刀具的几何角度是在切削过程中起作用的角度,因此,静止参考系中坐标平面的建立以切削运动为依据,首先给出假定工作条件和假定安装条件,然后建立参考坐标系。在该参考系中定义的刀具角度称为刀具的静止(标注)角度。

1. 刀具静止参考系

所谓“静止”,实质是在定义其坐标平面之前,合理规定了一些假定条件,从而使定义出的坐标平面与刀具设计、制造、刃磨和测量时的基准面平行或垂直。它们是:

(1)假定运动条件:以切削刃上选定点位于工件中心高时的主运动方向作为假定主运动方向;以切削刃上选定点的进给运动方向作为假定进给运动方向,不考虑进给运动的大小。

(2)假定安装条件:假定车刀安装绝对正确,即车刀的刀尖与工件中心等高;车刀刀杆中心线垂直于工件轴线。

这样便可近似地用平行或垂直于假定主运动方向的平面构成参考平面,即参考系。下面主要介绍刀具静止参考系中常用的正交平面参考系(图 1-9)。

2. 正交平面参考系

(1)基面(P_r):通过切削刃上选定点,垂直于该点假定主运动方向的平面。通常它平行或垂直于刀具在制造、刃磨及测量时适合于安装或定位的一个平面或轴线。对车刀、刨刀而言,是过切削刃选定点和刀柄安装平面平行的平面,对钻头、铣刀等旋转刀具而言,是过切削刃选定点并通过刀具轴线的平面。

(2)切削平面(P_s):通过切削刃上选定点与主切削刃相切并垂直于该点基面的平面。当主切削刃为直线刃时,过切削刃选定点的切削平面,是包含主切削刃并垂直于基面的平面。

(3)正交平面(P_o):通过切削刃上选定点并同时垂直于该点基面和切削平面的平面,也可以看成是通过切削刃选定点并垂直于切削刃在基面上投影的平面。

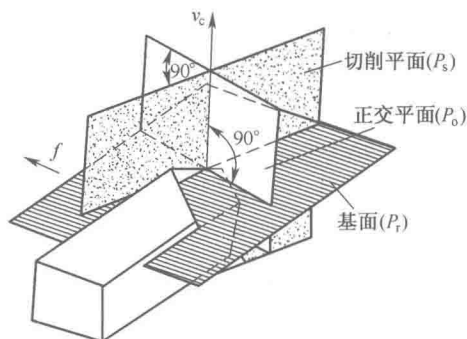


图 1-9 正交平面参考系

3. 刀具在静止参考系中的几何角度(图 1-10)

(1)前角(γ_o):正交平面中测量的前刀面与基面的夹角。当前刀面与切削平面夹角小于 90° 时,前角为正值;大于 90° 时,前角为负值。前角对刀具切削性能有很大影响。

(2)后角(α_o):正交平面中测量的后刀面与切削平面间的夹角。当后刀面与基面夹角小于 90° 时,后角为正值;大于 90° 时,后角为负值。后角的主要作用是减小后刀面与过渡表面之间的摩擦。

(3)楔角(β_o):前刀面与后刀面的夹角,楔角是由前角和后角得到的派生角度, $\beta_o = 90^\circ - (\gamma_o + \alpha_o)$ 。

(4)主偏角(κ_r):在基面中测量的角度,主切削平面与假定进给运动方向间的夹角,它总是为正值。

(5)副偏角(κ'_r):在基面中测量的角度,副切削平面与假定进给运动反方向间的夹角。

(6)刀尖角(ϵ_r):主切削平面与副切削平面间的夹角。刀尖角是由主偏角和副偏角得到的派生角, $\epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r)$ 。

(7)刃倾角(λ_s):切削平面中测量的主切削刃与基面间的夹角。当刀尖相对于车刀刀柄安装面处于最高点时,刃倾角为正值;当刀尖处于最低点时,刃倾角为负值;当切削刃平行于刀柄安装面时,刃倾角为零度,这时,切削刃在基面内。

(8)副后角(α'_o):与主切削刃的研究方法相同,在副切削刃上同样可以定义一副正交平面(P'_o)。在副正交平面中测量的角度有副后角,它是副后刀面与副切削平面(与副切