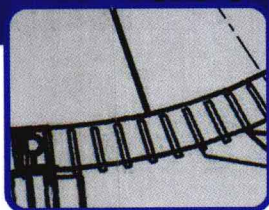
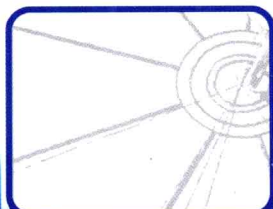




高等院校“十二五”示范性建设成果

金属切削加工与刀具

主 编。武友德 张跃平 副主编。孙 涛 方立志



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等院校“十二五”示范性建设成果

金属切削加工与刀具

主 编 武友德(学校)

张跃平(企业)

副主编 孙 涛 方立志

主 审 李登万(学校)

钟成明(企业)

参 编 (学校)曹素兵 曾 荣 戢 磷 朱 彬

(企业)徐 斐 吴 勤 杨松凡

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容提要

本书共分为“课程认识”“刀具基本定义”“金属切削的基本理论”“切削条件的合理选择”“车刀及其选用”“孔加工刀具及选用”“铣刀及选用”“磨削与砂轮”“其他刀具简介”等9个教学单元。

除了基础单元部分外,每个单元内容均按照“机械制造类专业的岗位能力要求”,分析本单元承担的任务,选择合适的载体,将实际生产案例有机地融入到教材中,做到课堂教学与生产实际的有机结合。

本书可以作为高等院校机械制造类专业学生用书,也可作为企业技术人员的参考资料。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

金属切削加工与刀具 / 武友德,张跃平主编. —北京:北京理工大学出版社,2011.1

ISBN 978-7-5640-4211-0

I. ①金… II. ①武… ②张… III. ①金属切削—高等学校—教材 ②刀具(金属切削)—高等学校—教材 IV. ①TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 010045 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市通州富达印刷厂

开 本 / 710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张 / 13

字 数 / 242 千字

版 次 / 2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷 责任编辑 / 张慧峰

印 数 / 1~1500 册 责任校对 / 王 丹

定 价 / 30.00 元 责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

“金属切削加工与刀具”课程是机械制造类专业的一门主干课程。为建设好该课程，利用示范建设这个有利时机，学院联合企业，组建了课程开发团队。教材的编写实行双主编与双主审制，由武友德教授和中国第二重型机械集团张跃平高级工程师联合担任教材主编，由李登万教授级高工和东方汽轮机厂钟成明高级工程师联合担任主审。

为了使“金属切削加工与刀具”课程符合高素质高技能型的技术应用型人才的培养目标和专业相关技术领域职业岗位的任职要求，课程开发团队按照“行业引领、企业主导、学校参与”的思路，经过认真分析机械制造企业中零件工艺编制、零件的生产制造等岗位的职业能力要求，制订了相应岗位的“职业能力标准”，依据本标准，明确课程内容，并按照企业相应岗位的工作流程对课程内容进行了组织。

本书的编写始终以“制造类专业岗位职业能力要求”所确定的该门课程所承担的典型工作任务为依托，以基于工厂“典型零件的加工”的真实加工过程为导向，结合企业生产实际零件制造的工作流程，分析完成每个流程所必需的知识和能力结构，归纳了“金属切削加工与刀具”课程的主要工作任务，选择合适的载体，构建主体学习单元；按照任务驱动、项目导向，以职业能力培养为重点，推行“校企合作、工学结合”，将真实生产过程融入教学全过程。

本书由学校与行业、企业合作编写，在《金属切削加工与刀具》活页教材的基础上，经过3年的试用和不断的修改，并与企业专家多次研讨，最终编写而成。

武友德教授编写第1、2教学单元，由中国第二重型机械集团张跃平高级工程师提供相关资料，并协助编写；

朱彬副教授编写第3教学单元，由东方汽轮机厂钟成明提供相关资料，并协助编写；

孙涛讲师编写第4、6教学单元，由中国第二机械集团公司杨松凡高级工程师提供相关资料，并协助编写；

戢磷副教授、方立志讲师编写第5教学单元，由中国第二机械集团公司徐斐高级工程师提供相关资料，并协助编写；

曹素兵讲师编写第7、8教学单元，由东方电机股份有限公司吴勤高级工程师提供相关资料，并协助编写；

曾荣副教授编写第9教学单元。

因该书涉及内容广泛，编者水平有限，难免出现错误和处理不妥之处，请读者批评指正。

目 录

教学单元 1 课程认识	1
1.1 课程的性质和定位	1
1.2 该课程内容与其他课程内容的衔接	1
1.3 教学与学习方法	2
教学单元 2 刀具基本定义	3
2.1 知识引入	3
2.2 切削运动、切削用量与切削层参数	4
2.3 刀具在静止参考系内的切削角度	8
2.4 刀具的工作角度	19
复习思考题	22
教学单元 3 金属切削的基本理论	24
3.1 知识引入	24
3.2 切削变形	25
3.3 切削力	33
3.4 切削热与切削温度	39
3.5 刀具磨损	43
复习思考题	49
教学单元 4 切削条件的合理选择	50
4.1 任务引入	50
4.2 相关知识	50
4.2.1 刀具材料及其选用	50
4.2.2 工件材料的切削加工性	59
4.2.3 切削液的选用	62
4.2.4 刀具几何参数的合理选择	66
4.2.5 切削用量的合理选择	74
4.3 任务实施	76
4.3.1 刀具几何参数的合理选择	76
4.3.2 切削用量的合理选择	77
复习思考题	81

教学单元 5 车刀及其选用	82
5.1 任务引入	82
5.2 相关知识	82
5.2.1 焊接式车刀	84
5.2.2 机夹式车刀	86
5.2.3 可转位车刀	87
5.2.4 成形车刀	91
5.3 任务实施	93
5.3.1 车刀种类的选择	93
5.3.2 车刀几何参数的选择	93
复习思考题	94
教学单元 6 孔加工刀具及选用	95
6.1 任务引入	95
6.2 相关知识	96
6.2.1 孔加工刀具的种类及用途	96
6.2.2 麻花钻	101
6.2.3 深孔钻	112
6.2.4 铰刀	114
6.2.5 镗削与镗刀	123
6.2.6 孔加工复合刀具	129
6.3 任务实施	131
6.3.1 孔加工刀具种类的选用	131
6.3.2 孔加工刀具结构及参数的选用	131
复习思考题	132
教学单元 7 铣刀及选用	133
7.1 任务引入	133
7.2 相关知识	134
7.2.1 铣刀的种类及用途	134
7.2.2 铣刀的几何角度	140
7.2.3 铣削的切削层参数、铣削力	142
7.2.4 铣削用量	145
7.2.5 铣削方式	146
7.3 任务实施	149
7.3.1 铣刀的种类选择	149

7.3.2 铰削用量及铰削方式的选择	149
复习思考题	150
教学单元 8 磨削与砂轮	151
8.1 任务引入	151
8.2 相关知识	151
8.2.1 磨削方法	151
8.2.2 磨削用量	156
8.2.3 砂轮结构与选择	157
8.2.4 先进磨削方法简介	164
8.3 任务实施	166
8.3.1 砂轮结构类型的选择	166
8.3.2 砂轮结构参数的选择	167
复习思考题	167
教学单元 9 其他刀具简介	169
9.1 刨刀	169
9.2 拉刀	173
9.3 螺纹加工刀具	179
9.4 齿轮加工刀具	184
9.5 自动化加工刀具	194
复习思考题	197
参考文献	198

教学单元 1 课程认识

1.1 课程的性质和定位

高职高专机械制造类专业,主要面向的是制造企业的设备操作、零件制造工艺与工装设计、产品装配与调试等岗位,培养高素质高技能型技术应用型人才。

产品的生产和制造,离不开检测测量具或量仪、刀具、机床等工艺装备,而金属切削加工理论是解决金属切削过程中一般问题的理论基础,工艺文件是指导生产不可缺少的技术文件。工艺文件所反映的主要内容包含零件生产加工过程中所使用的刀具及参数、量具、机床设备、切削用量等。

“金属切削加工与刀具”是机械制造类专业一门主干专业课程,其培养目标就是要围绕生产加工岗位的能力要求,强化金属切削加工理论的学习,使学生具备分析和解决生产过程中一般问题的能力;会切削用量的选择;熟悉各类常用刀具的结构及能在生产中正确选择和使用刀具。

“金属切削加工与刀具”,主要讲授金属切削加工过程中的切削变形、切削力、切削热与切削温度、刀具磨损与耐用度;常用刀具选取及正确使用、切削用量及选用、切削液及其选用等基本理论,为分析加工过程中的一般问题提供基础理论保障;使学生具备常用刀具及其在生产中应用的知识;具备金属切削加工切削用量的正确选择能力。

1.2 该课程内容与其他课程内容的衔接

“金属切削加工与刀具”课程,是机械制造类专业的一门主干专业课程,是学习机床夹具、金属切削机床、机械加工工艺等主干专业课程的基础支承,各课程之间衔接紧密,只有掌握了金属切削加工与刀具知识,才能学好后续课程。

在“机床夹具”课程中,要用到切削力的计算,同时要了解常用刀具的结构及工作原理知识等;而“金属切削机床”课程与本课程之间的内容联系更加紧密,它反映了金属切削的各种运动;“机械加工工艺”课程,最主要的内容是要求掌握各种典型加工表面的加工方法及加工流程,所形成的工艺文件是直接指导生产的技术文件,其中的主要内容包含切削用量及刀具选择,而这些内容就靠“金属切削加工与刀具”课程来解决。所以说该课程是机械制造类专业重要的专业主干课程,只有学好该门课程才能保障该类专业其他课程的学习,才能保证专业培养目标的实现。

1.3 教学与学习方法

由于该门课程理论与实践要求都很高,所以必须强化理论与实践的有机结合,要充分利用行业、企业优势,大力推行“校企合作、工学结合”的教学模式,做到理论与实践并重,强化应用能力的培养。

教师教学方法:

- (1)采取任务驱动的教学模式;
- (2)完善实践教学资源,开发多种教学手段;
- (3)引入企业典型案例,理论联系实际开展教学。

学生学习方法:

- (1)了解该门课程的重要性;
- (2)重视该门课程,端正学习态度;
- (3)强化理论专研,拓展相关知识面;
- (4)深入实验室认真做好实验;
- (5)深入校内生产实训基地,全面了解企业生产过程,切实了解各类常用刀具及其在生产中的正确应用。

教学单元 2 刀具基本定义

金属切削加工过程是工件和刀具相互作用的过程。刀具要从工件上切去一部分金属,并在保证高生产率和低成本的前提下,使工件得到符合技术要求的形状、尺寸精度和表面质量。为了实现这一切削过程,必须具备以下三个条件:①工件与刀具之间要有相对运动,即切削运动;②刀具材料必须具有一定的切削性能;③刀具必须具有适当的几何参数,即切削角度等。本章内容主要是阐明与切削运动及刀具几何角度有关的基本概念和定义,为后续各单元学习和研究切削过程的基本理论及其应用作准备。

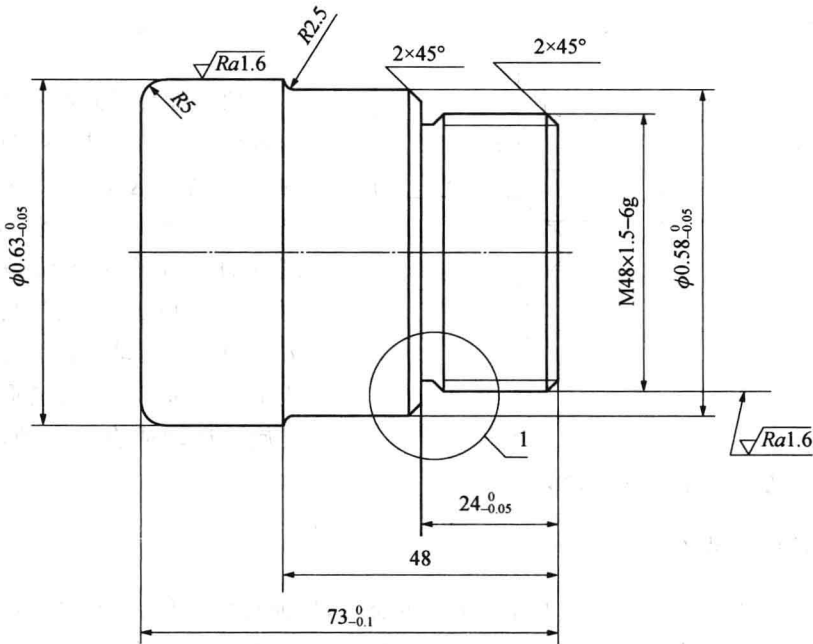


图 2-1 短轴

2.1 知识引入

车削如图 2-1 所示的零件,试分析车削 $\phi 63_{-0.05}^0$ 外圆、切螺纹退刀槽、加工螺纹表面车削运动的组成。如果以 189 m/min 精车该外圆,车床主轴的旋转速度应该是多少?若每转进给为 0.1 mm/r ,则刀架的移动速度是多少?

刀具是如何具备切削能力的?刀具的几何形状如何来描述?如果以 0.2 mm/r 的

进给量车削外圆,试问刀具几何角度将发生怎样的变化? 如果在实际加工前由于安装误差,刀尖低于工件中心线 1.5 mm,试问该刀具的几何角度又将会发生怎样的变化?

2.2 切削运动、切削用量与切削层参数

一、切削运动

车削外圆是金属切削加工中常见的加工方法,现以它为例来分析工件与刀具间的切削运动。图 2-2 表示车削外圆时的情况,工件旋转,车刀连续纵向直线进给,于是形成工件的外圆柱表面。

在其他各种切削加工方法中,刀具或工件同样必须完成一定的切削运动。通常切削运动按其所起作用可分为以下两种:

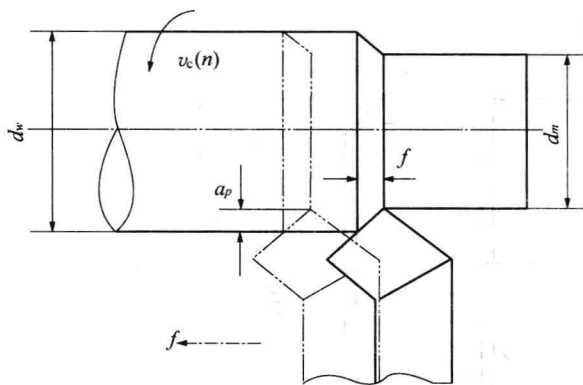


图 2-2 车削外圆的切削运动与加工表面

切削加工方法的主运动通常只有一个。

1. 主运动

使工件与刀具产生相对运动以进行切削的最基本的运动,称为主运动。这个运动的速度最高,消耗功率最大。例如,车削外圆时的工件旋转运动是主运动(如图 2-2 所示)。其他切削加工方法中的主运动也是由工件或由刀具来完成的,其形式可以是旋转运动或直线运动,但每种

2. 进给运动

使主运动能够继续切除工件上多余的金属,以便形成工件表面所需的运动,称为进给运动。例如车削外圆时车刀的纵向连续直线进给运动(如图 2-2 所示)。其他切削加工方法中也是由工件或刀具来完成进给运动的,但进给运动可能不止一个。它的运动形式可以是直线运动、旋转运动或两者的组合,但无论哪种形式的进给运动,它消耗的功率都比主运动要小。

总之,任何切削加工方法都必须有一个主运动,可以有一个或几个进给运动。主运动和进给运动可以由工件或刀具分别完成,也可以由刀具单独完成(例如在钻床上钻孔或铰孔)。

在切削运动作用下,工件上的切削层不断地被刀具切削并转变为切屑,从而加工出所需要的工件新表面。在这一表面形成的过程中,工件上有三个不断变化着

的表面(如图 2-2 所示):

待加工表面 即将被切去金属层的表面;

过渡表面(加工表面) 切削刃正在切削的表面;

已加工表面 已经切去多余金属而形成的新表面。

这些定义也适用于其他切削加工。不同形状的切削刃与不同的切削运动组合,即可形成各种工件表面,如图 2-3 所示。

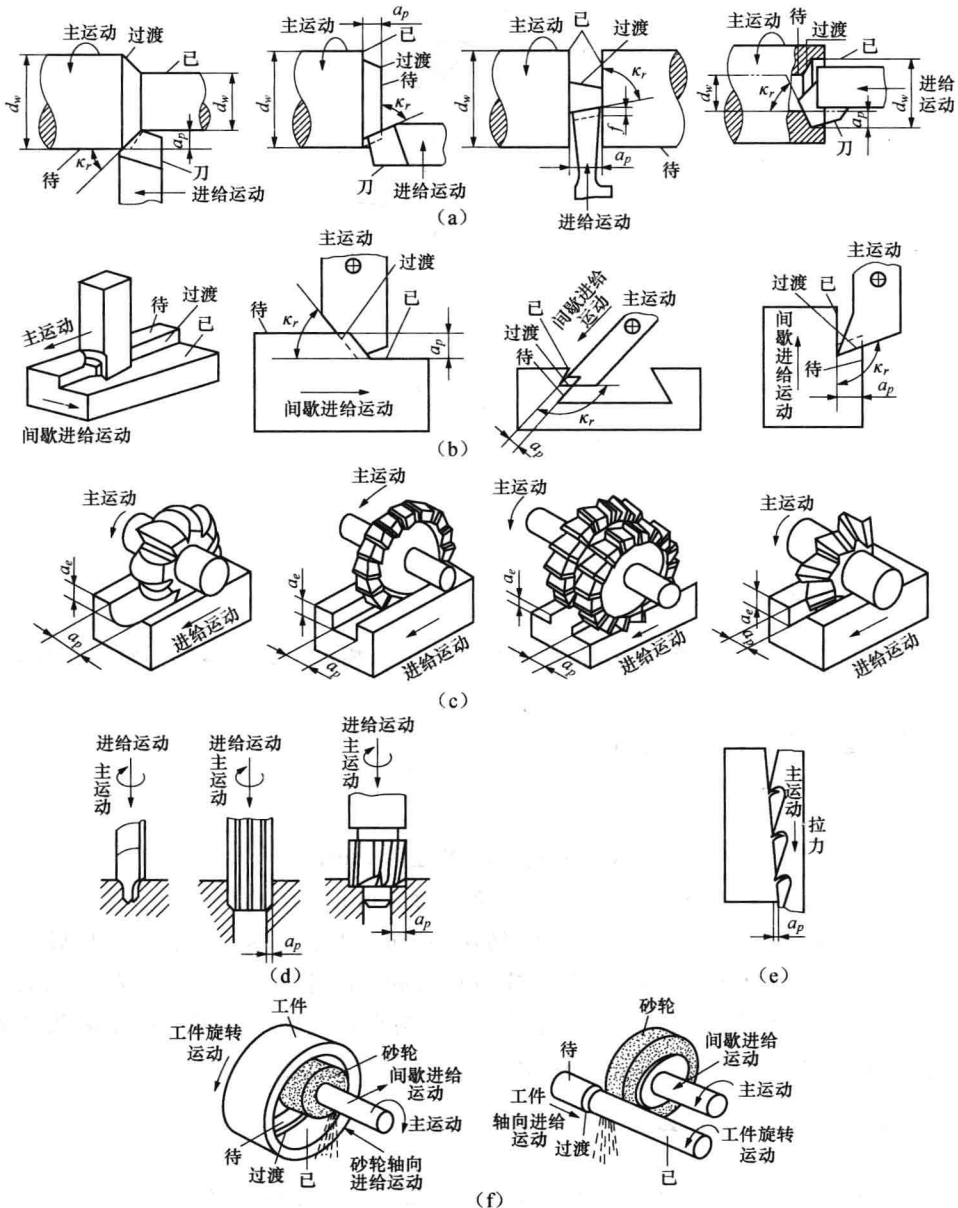


图 2-3 各种切削运动与加工表面

二、切削用量

切削用量是切削速度、进给量和背吃刀量(切削深度)的总称,也称为切削用量三要素,如图 2-4 所示。切削用量是表示主运动及进给运动大小的参数,主要用于调整机床、编制工艺路线等。切削用量直接影响加工质量、刀具寿命、机床功率损耗及生产率等。

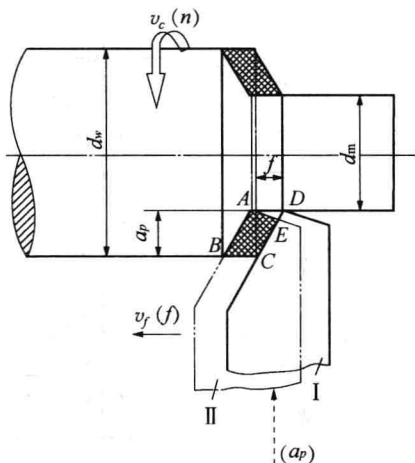


图 2-4 车外圆时的切削用量

1. 切削速度

切削速度是主运动速度 v_c ,是指切削刃选定点相对工件主运动的瞬时速度,单位 m/min 。

当主运动为旋转运动时,切削速度由下式确定:

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

式中 d ——工件直径或刀具(砂轮)直径,单位为 mm ;

n ——工件或刀具(砂轮)的转速,单位为 r/min 。

对于旋转体工件或旋转类刀具,在转速一定时,由于切削刃上各点的回转半径不同,因而切削速度不同。在计算时,应以最大的切削速度为准。如车削外圆时计算刀刃上所对应的最大点的速度,钻削时计算钻头外径处的速度。这是因为从刀具方面考虑,速度大的地方,发热多,磨损快,应当予以注意。

2. 进给速度 v_f 和进给量 f 以及每齿进给 f_z

进给速度 v_f 是刀刃上选定点相对于工件的进给运动的速度,其单位为 mm/min 。

进给量 f 是工件或刀具的主运动每转或每一行程时,工件和刀具两者在进给

运动方向上的相对位移量,其单位是 mm/r。

每齿进给 f_z 是多刃切削刀具(如铣、铰、拉)转一周,则有 z 个齿进行切削,多刃切削刀具在每转一齿角时,工件和刀具的相对位移量,单位是 mm/z。

进给速度 v_f 与进给量 f 的关系有:

$$v_f = fn$$

进给速度 v_f 与每齿进给 f_z 的关系有:

$$v_f = f_z \times n \times z$$

3. 背吃刀量 a_p (又称切削深度)

它是一个与主刀刃和工件切削表面接触长度有关的量,在包含主运动 v_c 和进给运动 v_f 方向的平面的垂直方向上测量。对车削外圆而言,包含主运动方向和进给运动方向的平面,是与工件主运动旋转轴线平行的,过刀刃上任意点的该平面的垂直方向也就与工件轴线垂直相交,因而车削外圆的切削深度等于工件已加工表面与待加工表面的垂直距离,即

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2}$$

式中 d_m ——已加工表面直径,单位为 mm;

d_w ——工件待加工表面直径,单位为 mm。

三、切削层参数

切削时刀具切过工件的一个单程所切除的工件材料层。图 2-5 中工件旋转一周的时间,刀具正好从位置 I 移到 II,切下 I 与 II 之间的工件材料层。四边形 ABCD 称为切削层公称横截面积。切削层实际横截面积是四边形 ABCE, AED 为残留在已加工表面上的横截面积,它直接影响已加工表面粗糙度。

切削层形状、尺寸直接影响着切削过程的变形、刀具承受的负荷以及刀具的磨损。为简化计算,切削层形状、尺寸规定在刀具基面中度量,即切削层公称横截面中度量。

切削层尺寸是指在刀具基面中量度的切削层厚度与宽度,它与切削用量 a_p 、 f

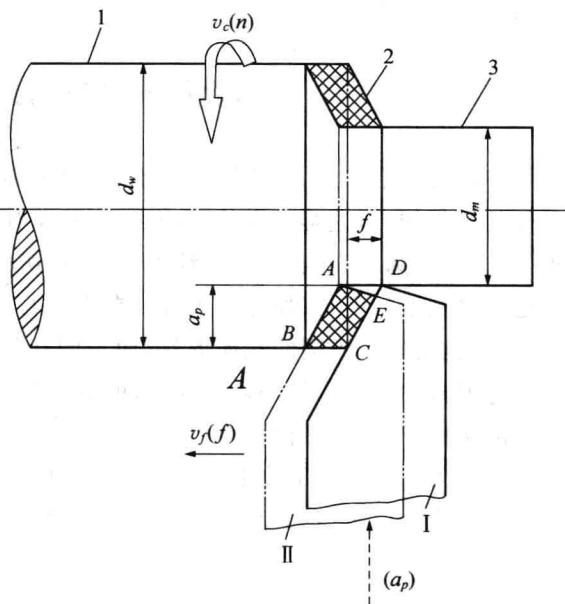


图 2-5 切削层参数

大小有关。切削层横截面及其厚度、宽度的定义与符号如下：

1. 切削厚度 h_D

切削厚度是指切削层两相邻过渡表面之间的垂直距离,单位为 mm。

$$h_D = f \sin \kappa_r$$

式中 κ_r ——车刀主偏角

2. 切削宽度 b_D

切削宽度是在平行于过渡表面度量的切削层尺寸,单位为 mm。

$$b_D = \frac{a_p}{\sin \kappa_r}$$

3. 切削层横截面积 A_D

简称切削层横截面积,它是在切削层尺寸平面里度量的横截面积。

$$A_D = h_D b_D = a_p f$$

分析以上三式可知:切削厚度与切削宽度随主偏角大小变化。当 $\kappa_r = 90^\circ$ 时, $h_D = f, b_D = a_p$, 只与切削用量 a_p, f 有关,不受主偏角的影响。但切削层横截面的形状则与主偏角、刀尖圆弧半径大小有关。随主偏角的减小,切削厚度将减小,而切削宽度将增大。

2.3 刀具在静止参考系内的切削角度

各种刀具形状迥异,使用场合不一,但都能用来切除毛坯上多余的材料,完成零件的切削加工,这显然与它们的结构组成有关。此外,为了满足不同的切削要求,如车削外圆、切断和车削螺纹等,刀具的切削部分往往做成不同的几何形状,即使是同种类型的刀具(如外圆车刀),在不同的加工条件下,如车削细长轴和车削粗短轴等,也要做成不同的几何形状,而不同几何形状的刀具有着不同的切削性能。要描述刀具的几何形状和切削性能,就离不开刀具的几何参数。所以,有必要掌握刀具的结构、组成和几何角度。

普通外圆车刀是最典型的简单刀具,其他种类的刀具都可以看做是它的变形或组合。下面以车刀为代表来介绍刀具切削部分的基本定义及常用车刀的绘制。

一、刀具切削部分的组成

如图 2-6 所示,车刀由切削部分和夹持部分(刀杆)两大部分组成。

车刀的切削部分由三个表面、两条刀刃和一个刀尖组成。

(1)前刀面 直接与切屑接触的表面,用 A_f 表示。

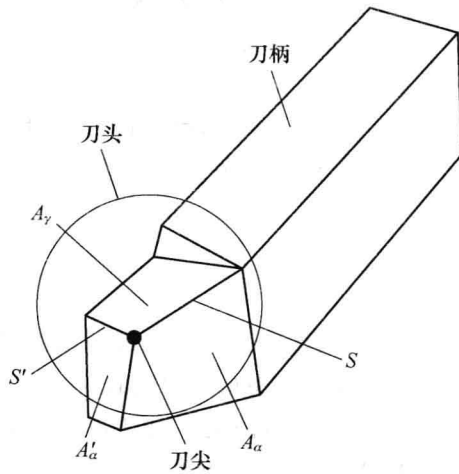


图 2-6 车刀切削部分的构成

(2)主后刀面 与工件上过渡表面相对着的表面,用 A_α 表示。

(3)副后刀面 与工件上已加工表面相对着的表面,用 A'_α 表示。

(4)主切削刃 前刀面与后刀面的交线,承担主要切削工作,用 S 表示。

(5)副切削刃 前刀面与副后刀面的交线,其靠刀尖处起微量切削作用,具有修光性质,用 S' 表示。

(6)刀尖 主切削刃和副切削刃的交点。通常以圆弧或短直线形出现,以提高刀具的使用寿命。

由于切削刃不可能刃磨得很锋利,总有一些刃口圆弧,如刀楔的放大部分图 2-7(a)所示。刃口的锋利程度用切削刃钝圆半径 r_n 表示,一般工具钢刀具 r_n 为 0.01~0.02 mm,硬质合金刀具 r_n 为 0.02~0.04 mm。

为了提高刃口强度以满足不同加工要求,在前、后刀面上均可磨出倒棱面 A_{γ_1} 、 A_{α_1} ,如图 2-7(a)所示。 b_{γ_1} 是前刀面 A_{γ_1} 的倒棱宽度; b_{α_1} 是后刀面 A_{α_1} 的倒棱宽度。

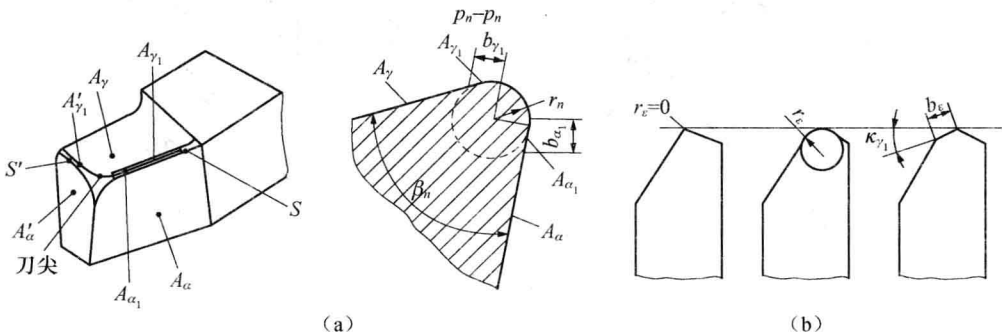


图 2-7 刀楔、刀尖形状参数

为了改善刀尖的切削性能,常将刀尖做成修圆刀尖或倒角刀尖,如图 2-7(b)所示。其参数有:刀尖圆弧半径(它是在基面上测量的刀尖倒圆的公称半径)、倒角刀尖长度 b_c 、刀尖倒角偏角 κ_{r_1} 。

不同类型的刀具,其刀面、切削刃数量不同,但组成刀具的最基本单元是两个刀面汇交形成的一个切削刃,简称两面一刃。任何复杂的刀具都可将其分为一个基本单元进行分析。

二、刀具角度的参考系

刀具几何角度是确定刀具切削部分几何形状和切削性能的重要参数,它是由刀面、切削刃及假定参考坐标平面间的夹角所构成的。

用来确定刀具几何角度的参考系有两类:一类称为刀具静止参考系,是刀具设计时标注、刃磨和测量的基准,用此定义的刀具角度称刀具标注角度;另一类称为刀具工作参考系,是确定刀具切削工作时角度的基准,用此定义的刀具角度称刀具工作角度。

建立刀具标注角度参考系时不考虑进给运动的影响,且假定车刀刀尖与工件中心等高,车刀刀杆中心线垂直于工件轴线安装。

确定刀具标注角度的参考系有正交平面参考系、法平面参考系、假定工作平面与背平面参考系等,如图 2-8 所示。最常用的是正交平面参考系。下面以普通外圆车刀为例说明刀具标准角度参考系及刀具标注角度的定义。

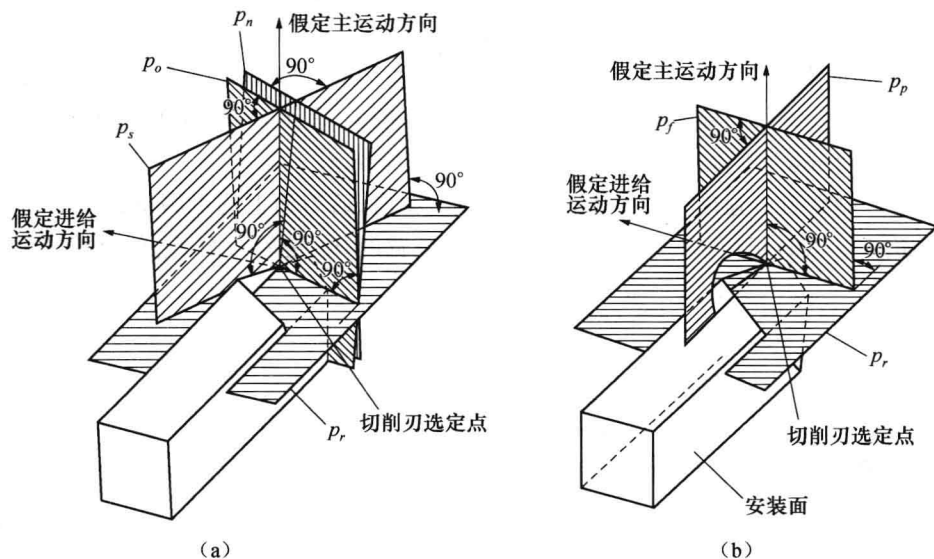


图 2-8 刀具标注角度参考系

(a) 正交平面参考系与法平面参考系;(b) 假定工作平面与背平面参考系