



教育部高职高专规划教材
Jiaoyubu Gaozhi Gaozhuan Guihua Jiaocai

机械制造技术

王茂元 主编



机械工业出版社
China Machine Press

教育部高职高专规划教材

机 械 制 造 技 术

主编 王茂元
参编 王靖东 赵建平 王世昆
贾继赏 焦小明 徐正武
郭少军
主审 郭志文



机 械 工 业 出 版 社

本书是根据教育部、机械工业出版社、中国机械工业教育协会高职教育研究委员会关于高职高专规划教材总体要求和机械行业《机械类专业改革教学方案》的具体要求编写的。为使学生在掌握机械制造基本理论的基础上,提高综合运用所学理论知识解决实际问题的能力,本书以机械制造工艺为主线,将《金属切削原理与刀具》、《金属切削机床》、《机械制造工艺学》、《机床夹具设计》等课程的相关内容有机地综合在一起,形成新的教材体系。本书符合机械类专业高职高专培养目标的要求和高职高专教育的特点,突出了综合性与实用性。因此,可作为机械类和近机类高职高专有关专业教学用书,也可供相应专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术/王茂元主编. —北京:机械工业出版社, 2001.8
教育部高职高专规划教材
ISBN 7-111-09069-1

I. 机… II. 王… III. 机械制造工艺—高等学校:
技术学校—教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 043658 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:高文龙 版式设计:冉晓华 责任校对:孙志筠
封面设计:姚毅 责任印制:路琳
中国建筑工业出版社密云印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2002 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷
1000mm×1400mm B5·15 印张·1 插页·584 千字
0 001—4000 册
定价:36.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

前 言

本教材是根据教育部、机械工业出版社、中国机械工业教育协会高职教育研究委员会关于高职高专规划教材总体要求和机械行业《机械类专业改革教学方案》的具体要求编写的。编者吸收了近年来高职高专教育教学改革经验,把原来的《金属切削原理与刀具》、《金属切削机床》、《机械制造工艺学》、《机床夹具设计》等课程的相关内容有机地结合在一起,编成一本书,形成一种新的教材体系。本教材在介绍机械制造基本理论的基础上,突出了综合性和实用性,具有鲜明的职业教育特色。

本教材在内容的取舍及深度的把握上,尽量避免理论过深、专业性太强以及与实际应用关系不大的内容,加强了实用性内容,以适应机械类专业高职高专培养目标的要求,并符合高职高专教育的特点。在编写过程中,注重了基本理论知识在实际生产中的应用及运用理论知识实际问题能力的培养。全书采用最新国家标准。

本教材适用于机械类和近机类高职高专有关专业教学使用,也可供相应专业的工程技术人员参考。

本教材由包头职业技术学院王茂元主编。参加编写的有包头职业技术学院王茂元(绪论、第三章、第四章)、王靖东(第一章)、赵建平(第二章第一节、第七节)、王世昆(第二章第二节、第五节)、贾继赏(第二章第三节、第四节、第六节)、徐正武(第七章第二节、第八章);陕西工业职业技术学院焦小明(第五章、第七章第一节);内蒙古第一机械制造(集团)有限公司工学院郭少军(第六章)。全书由内蒙古北方重工业集团有限公司工学院郭志文主审。

本教材在编写过程中参考了兄弟院校老师编写的有关教材及其它资料,也得到了有关院校领导和同行的大力支持,在此表示衷心感谢!

由于我们水平所限,书中难免有欠妥之处,敬请各兄弟院校师生和广大读者批评指正。

编 者
2001. 2

目 录

前言	
绪论	1
第一章 金属切削的基本知识	3
导读	3
第一节 概述	3
第二节 刀具的几何角度及材料	7
第三节 金属切削过程	20
习题与思考题	42
第二章 金属切削加工方法与设备	44
导读	44
第一节 概述	44
第二节 车削加工	54
第三节 铣削加工	94
第四节 钻削和镗削加工	120
第五节 磨削加工	150
第六节 圆柱齿轮加工	172
第七节 刨削与拉削加工	193
习题与思考题	207
第三章 工件的定位与夹紧	209
导读	209
第一节 工件的定位	209
第二节 工件的夹紧	257
习题与思考题	272
第四章 机械加工工艺规程制订	278
导读	278
第一节 基础知识及术语	278
第二节 零件的工艺分析	292
第三节 毛坯的选择	294
第四节 工艺路线的拟订	298
第五节 加工余量的确定	306
第六节 工序尺寸及其公差确定	309
第七节 工艺卡片的填写	324

习题与思考题	331
第五章 典型零件加工	335
导读	335
第一节 轴类零件加工	336
第二节 套类零件加工	346
第三节 箱体零件加工	355
第四节 圆柱齿轮加工	364
习题与思考题	377
第六章 机床夹具及其设计方法	380
导读	380
第一节 概述	380
第二节 车床夹具	382
第三节 铣床夹具	386
第四节 钻床夹具	391
第五节 镗床夹具	400
第六节 专用夹具设计方法	404
习题与思考题	406
第七章 机械加工质量分析	407
导读	407
第一节 机械加工精度	407
第二节 机械加工表面质量	435
习题与思考题	441
第八章 机械装配工艺基础	443
导读	443
第一节 概述	443
第二节 保证装配精度的方法	449
第三节 装配工艺规程的制订	460
习题与思考题	465
附录	467
参考文献	471

绪 论

一、机械制造技术的作用与发展

机械制造工业是国民经济最重要的部门之一。它不仅能直接提供人民生活所需的消费品，而且为国民经济各部门提供技术装备，因此，是国民经济的重要基础和支柱产业，其发展规模和水平对国民经济的发展有很大的制约和直接的影响，是一个国家经济实力和科学技术发展水平的重要标志，因而世界各国均把发展机械制造工业作为振兴和发展国民经济的战略重点之一。

而机械制造工业的发展和进步，又在很大程度上取决于机械制造技术的水平和发展。在科学技术高度发展的今天，现代工业对机械制造技术提出了越来越高的要求，推动机械制造技术向前不断发展，而且科学技术的发展，也为机械制造技术的发展提供了机遇和条件。特别是计算机技术的发展，使得常规机械制造技术与精密检测技术、数控技术、传感技术等有机结合更易于进行，给机械制造领域带来许多新技术、新概念，使产品质量和生产效率大大提高。而机械制造技术的发展又为其它高新技术的发展打下了坚实的基础、提供了可靠的保证，两者互相促进，共同提高，为社会和经济的快速发展做出了极大的贡献。

当前，机械制造技术的发展主要表现在下面三个方面：

① 向高柔性化和自动化方向发展。随着国内外市场竞争越来越激烈，机电产品的更新换代周期越来越短，多品种中小批量生产已成为目前和今后生产的主要类型。因此，以解决中小批量生产自动化问题为主要目标的 CNC（计算机数控）、CAD/CAM（计算机辅助设计/计算机辅助制造）、FMS（柔性制造系统）和 CIMS（计算机集成制造系统）等高新技术，越来越受到重视。这些高新技术的广泛应用，能使整个生产过程在计算机控制下，不仅实现自动化，而且实现柔性化、智能化、集成化，必然使产品质量和生产效率大大提高，生产周期缩短，产生很好的经济效益。

② 精密加工和超精密加工的应用将日益广泛。在现代高科技领域中，产品的精度要求越来越高，掌握精密和超精密加工技术，在未来的激烈竞争中具有重要意义，也是一个国家制造水平的重要标志。

③ 发展高速切削、强力切削。这也是提高切削加工效率的重要途径之一。

解放前，我国的机械工业十分落后，解放后经过 50 多年的建设，尤其是改革开放 20 年来，我国的机械工业得到了很大的发展，但与国外先进水平相比，差距依然很大。因此，大力发展机械制造技术，赶超世界先进水平，是我们义不

容辞的责任。学习好、应用好机械制造技术就是我们目前首要的任务。

二、本课程的性质、内容与任务

本课程是高职高专机械类有关专业的一门主干课。它是通过对原有四门传统专业课《金属切削原理与刀具》、《金属切削机床》、《机床夹具设计》和《机械制造工艺学》进行有机综合,所形成的一门以培养机械制造技术应用能力为主的新的专业课。

过去独立设置上述四门课程时,由于各门课程自成体系,不仅相关内容重复多,占用了大量学时,而且各门课程的知识难于融会贯通、综合应用,不利于机械制造技术应用能力的培养。显然,这不符合高职高专的教学特点和培养目标。

新形成的《机械制造技术》这门课程,以工艺问题为主线,在介绍金属切削基本知识和常用机床的基本结构与基本知识的基础上,介绍了常用加工方法、机床、刀具和夹具的合理选用、机械加工工艺规程的制订、专用夹具的结构和设计方法、机械加工质量的分析与保证,以及机械装配基础知识等内容。通过本课程的学习,可以使学生初步具有分析和解决机械制造中一般工艺技术问题的能力。本课程主要介绍常规机械制造技术,这不仅是目前和今后相当长的一段历史时期内,生产实践中必须要用到的,而且也是现代制造技术的重要基础。

三、本课程的特点及学习方法

本课程具有实践性强、综合性强和灵活性强三大特点。学习时要重视实践性教学环节,如各种实习和实验,要注意理论与实践相结合。还应重视本课程的综合练习和课程设计,这不仅有助于理解和掌握理论知识,更重要的是有利于培养综合运用所学的知识,解决生产实际问题的能力。机械制造中的生产实际问题往往会因生产的产品不同、批量不同、具体生产条件不同而千差万别,因此,学习时要特别注意灵活地运用所学的知识,根据具体情况来处理问题。切记不要死记硬背、生搬硬套。

第一章 金属切削的基本知识

导 读

本章主要介绍切削运动、切削用量、刀具材料、刀具几何参数、切削加工过程的物理现象——切削变形、切削力、切削热与切削温度、刀具磨损与刀具耐用度等内容。学习完本章后，应重点掌握刀具几何角度的标注，积屑瘤的成因、作用及其控制时应采取的措施；能根据生产条件和工艺要求，合理选择刀具切削部分的材料、刀具几何参数、切削液，对切屑控制提出合理的措施。学习本章时，应注意把所学理论与生产实际相结合，对具体问题要进行多方面的分析，抓住主要矛盾加以解决。

第一节 概 述

一、切削加工的特点

金属切削加工是利用金属切削刀具，在工件上切除多余金属的一种机械加工方法。与其它金属加工方法相比，金属切削加工具有以下特点：

- 1) 可获得较复杂的工件形状。
- 2) 可获得较小的表面粗糙度值。
- 3) 可获得较高的尺寸精度、表面几何形状精度和位置精度。

因此，金属切削加工常作为零件的最终加工方法。

二、切削运动

金属切削加工时，刀具与工件之间具有相对运动，即切削运动。切削运动按其作用可分为主运动和进给运动，如图 1-1 所示。

1. 主运动

主运动是切除工件上多余金属，形成工件新表面所需的运动，它是由机床提供的主要运动。主运动的特征是速度最高，消耗功率最多。切削加工中只有一个主运动，它可由工件完成，也可以由刀具完成。如车削时工件的旋转运动、铣削和钻削时铣刀和钻头的旋转运动等都是主运动。

2. 进给运动

进给运动是把被切削金属层间断或连续投入切削的一种运动。加上主运动即

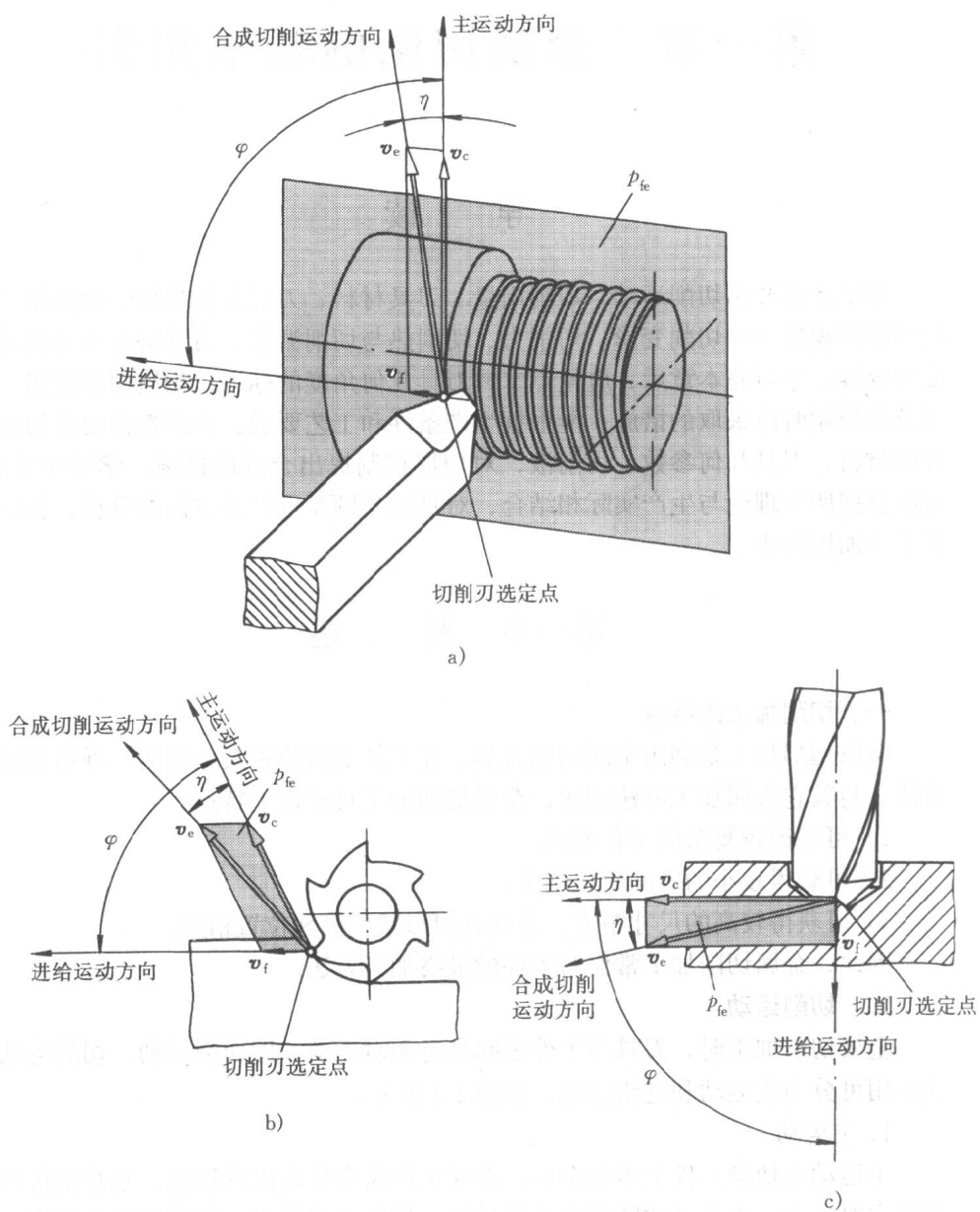


图 1-1 切削运动

a) 车削 b) 铣削 c) 钻削

可不断地切除金属层，从而得到需要的表面。进给运动速度小，消耗功率少。切削加工中进给运动可以是一个、两个或多个。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；也可以是间断运动，如刨削时工件或刀具的横向运动。

3. 合成切削运动

如图 1-1 所示，合成切削运动是由主运动和进给运动合成的运动。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。

三、工件的表面

在切削过程中，工件上的金属层不断地被刀具切除而变为切屑，同时在工件上形成新表面。在新表面的形成过程中，工件上有三个不断变化着的表面，如图 1-2 所示：

(1) 待加工表面 工件上有待切除的表面称为待加工表面。

(2) 已加工表面 工件上经刀具切削后产生的表面称为已加工表面。

(3) 过渡表面（加工表面） 主切削刃正在切削的表面称为过渡表面，它是待加工表面与已加工表面的连接表面。

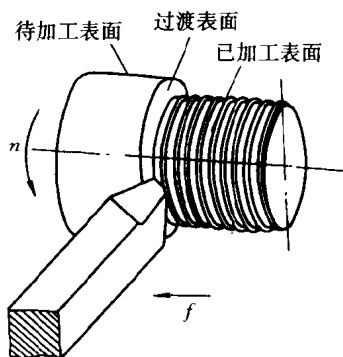


图 1-2 工件的表面

四、切削用量

切削用量是切削加工过程中的切削速度、进给量、背吃刀量的总称，如图 1-3 所

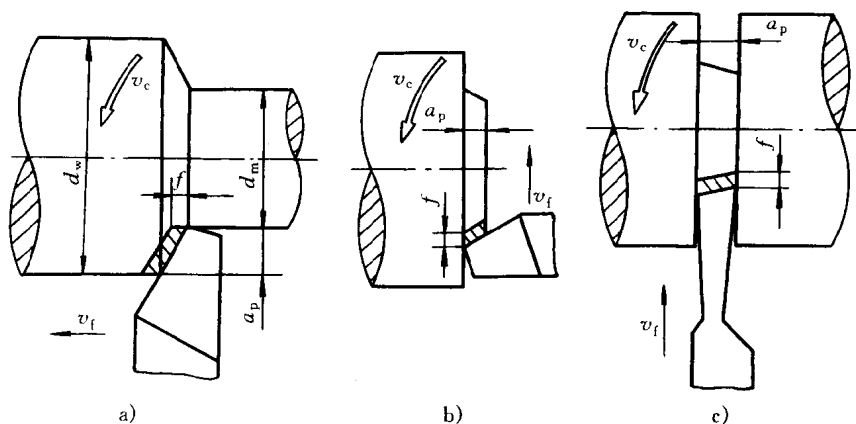


图 1-3 切削用量

a) 车外圆 b) 车端面 c) 切槽

示。

1. 切削速度 (v_c)

切削速度是刀具切削刃上的某一点相对于待加工表面在主运动方向上的瞬时速度。车外圆时，计算公式如下：

$$v_c = (\pi d_w n) / 1000 \quad (1-1)$$

式中 v_c ——切削速度，单位为 m/min 或 m/s；

d_w ——工件待加工表面直径，单位为 mm；

n ——工件转速，单位为 r/min 或 r/s。

切削刃上各点的切削速度是不同的，在计算时，应以最大的切削速度为准。如车削时以待加工表面直径的数值进行计算，因为此处速度高，刀具磨损快。

2. 进给量 (f)

进给量是刀具在进给运动方向上相对于工件的位移量。可用刀具或工件每转或每行程的位移量来表示。当主运动是旋转运动时， f 的单位为 mm/r。对于铣刀、铰刀等多齿刀具，还规定每齿进给量 f_z ，即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相对位移，单位为 mm/z。还可使用进给速度 v_f ，即单位时间内的进给量表示，单位为 mm/min。

$$v_f = fn \quad (1-2)$$

$$v_f = f_z Zn \quad (1-3)$$

式中 Z ——齿数。

3. 背吃刀量 (a_p)

背吃刀量一般指工件上已加工表面和待加工表面间的垂直距离。车外圆时：

$$a_p = (d_w - d_m) / 2 \quad (1-4)$$

式中 d_w ——待加工表面直径，单位为 mm；

d_m ——已加工表面直径，单位为 mm。

五、切削层参数

刀具切削刃在一次进给中，从工件待加工表面上切下来的金属层称为切削层。外圆车削时，工件转一转，车刀从位置 I 移到位置 II，前进了一个进给量，图 1-4 中阴影部分即为切削层。其截面尺寸的大小即为切削层参数，它决定了刀具所承受负荷的大小及切削层尺寸，还影响切削力和刀具磨损、表面质量和生产率。

切削层尺寸可用以下三个参数表示：

1. 切削层公称厚度 (h_D)

切削层公称厚度是切削刃两瞬时位置过渡表面间的距离。

2. 切削层公称宽度 (b_D)

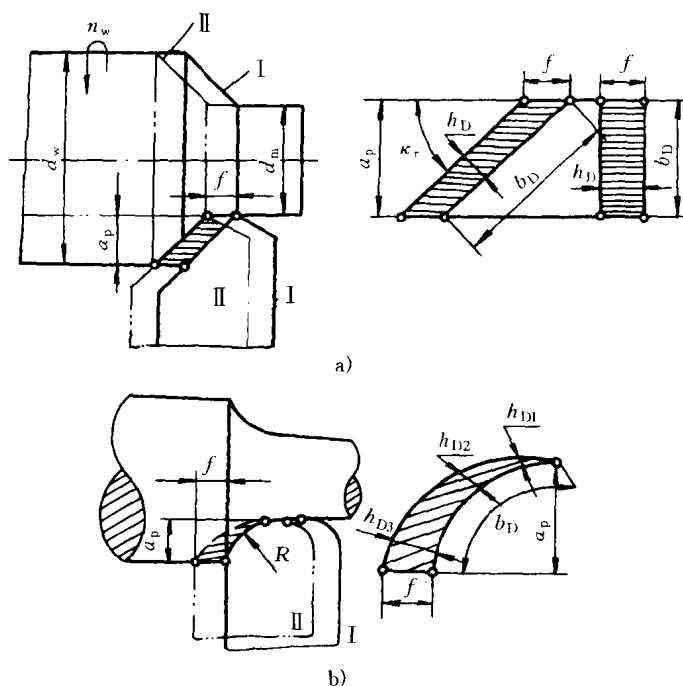


图 1-4 车外圆时切削层参数

a) 直线刀时 b) 曲线刀时

切削层公称宽度是沿过渡表面测量的切削层尺寸。

3. 切削层公称横截面面积 (A_D)

切削层公称横截面面积是切削层横截面的面积。

第二节 刀具的几何角度及材料

一、刀具的几何角度

金属切削刀具种类繁多、形状各异，但就其切削部分而言，都可以视为从外圆车刀切削部分演变而来的。因此，以外圆车刀的切削部分为例来介绍刀具工作部分的一般术语，这些术语也适用于其它金属切削刀具。

1. 车刀的组成

车刀由刀柄和刀头组成，刀柄是刀具上的夹持部分，刀头则用于切削，也称为切削部分。如图 1-5 所示，刀头由以下几部分构成：

(1) 前刀面 (A_γ) 切屑流出时经过的刀面称为前刀面。

(2) 后刀面 (A_α) 与加工表面相对的刀面称为后刀面 (也称主后刀面)。

(3) 副后刀面 (A'_a) 与已加工表面相对的刀面称为副后刀面。

(4) 主切削刃 (S) 前刀面与主后刀面的交线称为主切削刃。在切削加工过程中, 它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') 前刀面与副后刀面的交线称为副切削刃。它配合主切削刃完成切削工作并最终形成工件上的已加工表面。

(6) 刀尖 刀尖是主、副切削刃的连接部位, 或者是主、副切削刃的交点。大多数刀具在刀尖处磨成一小段直线刃或圆弧刃, 也有一些刀具主、副切削刃直接相交, 并形成尖刀尖, 如图 1-6 所示。

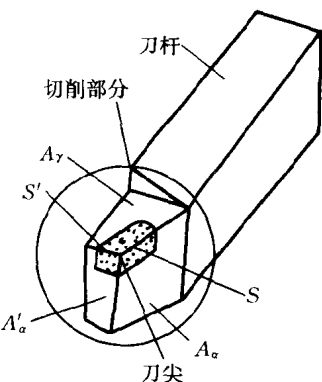


图 1-5 车刀切削部分的构成

不同类型的刀具, 其刀面、切削刃的数量可能不同, 但组成刀具切削部分最基本的结构是两个刀面 (A_γ 、 A_α) 和一条主切削刃。也可以认为它们是组成刀具切削部分的基本单元。任何一把多刃复杂刀具都可以将其分解为一个基本单元进行分析。

2. 刀具的静止角度参考系

刀具的静止参考系是用于设计、制造、刃磨和测量刀具几何角度的参考系。

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应以切削运动为依据。首先给出假定工作条件, 假定工作条件包含假定运动条件和假定安装条件, 然后建立参考系。在该参考系中确定的刀具几何角度, 称为刀具的静止角度, 即标注角度。

1) 假定运动条件 以切削刃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。即安装车刀时应使刀尖与工件中心等高; 车刀刀杆对称面垂直于工件轴线。

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坐标平面, 即参考系。由此可见, 静止参考系是在简化了切削运动和设立标准刀具位置条件下建

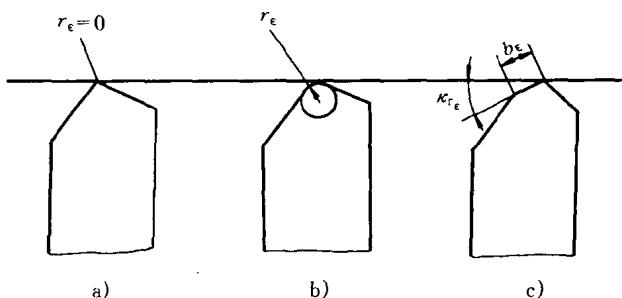


图 1-6 刀尖的结构

a) 尖刀尖 b) 修圆刀尖 c) 倒角刀尖

立的参考系。下面介绍几种常用的静止参考系。

(1) 正交平面静止参考系

1) 参考系的建立 正交平面参考系由以下相互垂直的 p_r 、 p_s 、 p_o 三个坐标平面组成, 如图 1-7 所示。

基面 (p_r) 通过切削刃选定点垂直于假定主运动方向的平面称为基面。对于车刀, 基面平行于车刀刀杆底面。

切削平面 (p_s) 通过切削刃选定点, 与主切削刃相切并垂直于基面的平面称为切削平面。

正交平面 (p_o) 通过切削刃选定点, 同时垂直于基面与切削平面的平面称为正交平面。

2) 静止角度的标注 在该参考系中可标注出以下几个角度, 如图 1-8 所示:

主偏角 (κ_r) 基面中测量的主切削刃与假定进给运动方向之间的夹角称为主偏角。

刃倾角 (λ_s) 切削平面中测量的主切削刃与过刀尖所作基面之间的夹角称为刃倾角。

前角 (γ_o) 正交平面中测量的前刀面与基面之间的夹角称为前角。

后角 (α_o) 正交平面中测量的后刀面与切削平面之间的夹角称为后角。

用上述四个角度就可以确定车刀前、后刀面及主切削刃的方位。其中 γ_o 与 λ_s 确定了前刀面的方位, κ_r 与 α_o 确定了后刀面的方位, κ_r 与 λ_s 确定了主切削刃的方位。

同理, 对副切削刃也可建立副基面 P'_r 、副切削平面 P'_s 和副正交平面 P'_o , 用 κ'_r 、 λ'_s 、 γ'_o 、 α'_o 定出其相应的前刀面、副后刀面的方位。由于副切削刃和主切削刃共同处于同一前刀面中, 因此, 当 γ_o 与 λ_s 两角确定后, 前刀面的方位已经确定, γ'_o 与 λ'_s 两个角度也同时被确定。因此副切削刃通常只需确定副偏角 κ'_r 和副后角 α'_o 。

副偏角 (κ'_r) 基面中测量的副切削刃与假定进给运动方向之间的夹角称为副偏角。

副后角 (α'_o) 副正交平面中测量的副后刀面与副切削平面之间的夹角称为副后角。

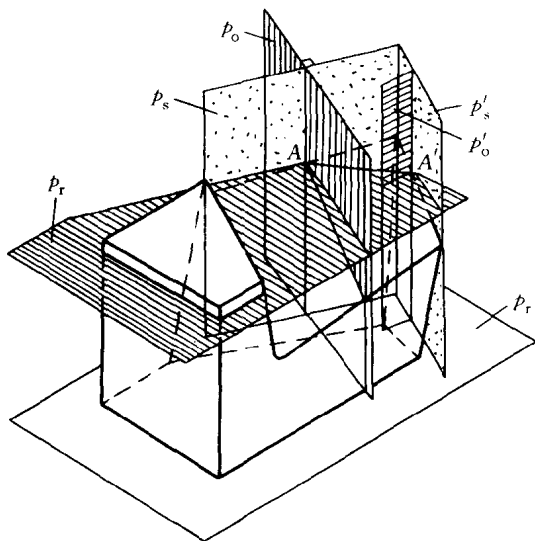


图 1-7 正交平面静止参考系坐标平面

因此, 图 1-8 所示外圆车刀有三个刀面, 两条切削刃, 所需标注的独立角度只有六个。

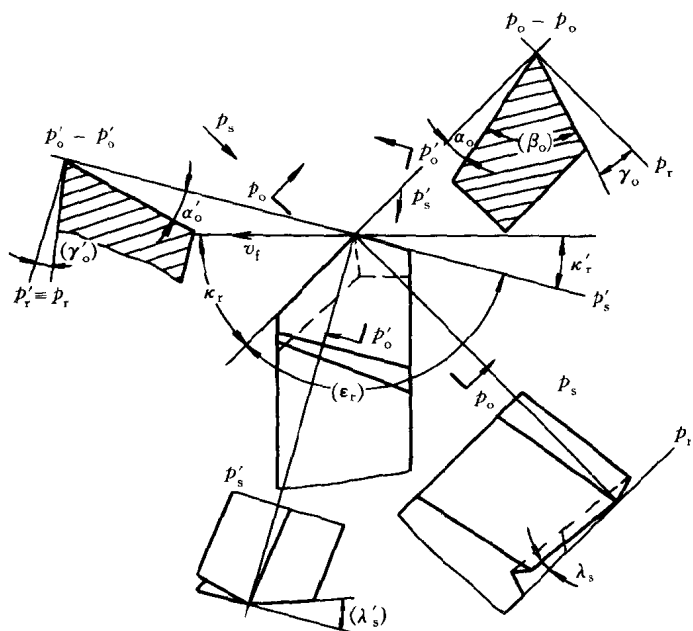


图 1-8 正交平面静止参考系标注的角度

此外, 分析刀具时还需给定以下两个派生角度 (图 1-8 中用括号括起来的角度)。

楔角 (β_o) 正交平面中测量的前、后刀面之间的夹角称为楔角。 $\beta_o = 90^\circ - (\gamma_o + \alpha_o)$

刀尖角 (ϵ_r) 基面中测量的主、副切削刃之间的夹角称为刀尖角。 $\epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r)$

3) 角度正负的规定

如图 1-9a 所示, 在正交平面中, 若前刀面在基面之上时前角为负, 前刀面在基面之下时前角为正, 前刀面与基面相重合时前角为零。后角也有正负之分, 但切削加工中一般后角只有正值, 无零值及负值。

如图 1-9b 所示, 刀尖处于切削刃最高点时刃倾角为正, 刀尖处于切削刃最低点时刃倾角为负, 切削刃与基面相重合时刃倾角为零。

(2) 其它静止参考系

刀具几何角度除可在正交平面静止参考系中标注外, 根据设计和工艺的需要, 还可以选用以下静止参考系来标注。

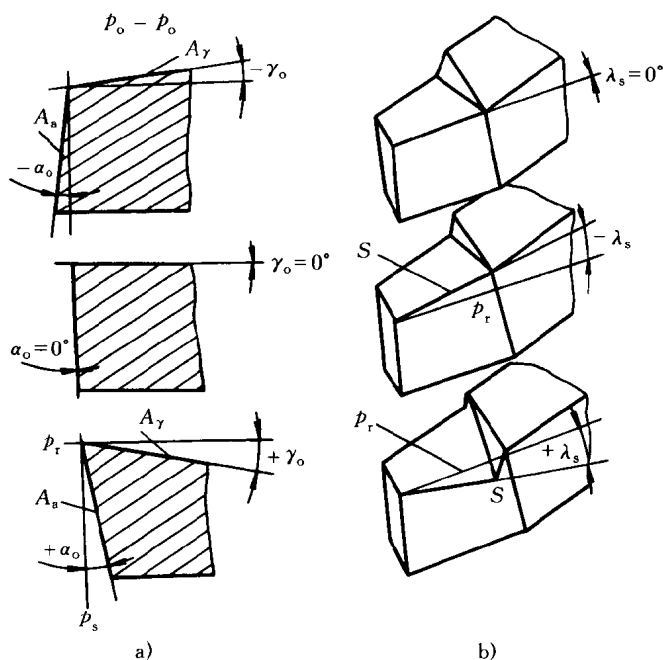


图 1-9 车刀角度正负的规定方法

a) 前、后角 b) 刃倾角

1) 法剖面静止参考系 (如图 1-10 所示) 法剖面静止参考系由以下 p_r 、 p_s 、 p_n 三个坐标平面组成。

法剖面 (p_n) 通过切削刃选定点与切削刃相垂直的平面称为法剖面。

法剖面中测量的角度有：法前角 γ_n 、法后角 α_n 。

法前角 (γ_n) 法剖面中测量的基面与前刀面之间的夹角称为法前角。

法后角 (α_n) 法剖面中测量的切削平面与后刀面之间的夹角称为法后角。

2) 假定工作平面、背平面静止参考系 (如图 1-11 所示) 假定工作平面、背平面静止参考系由以下 p_r 、 p_f 、 p_p 三个坐标平面组成。其中：

假定工作平面 (p_f) 通过切削刃选定点，平行于假定进给运动方向并垂直于基面的平面称为假定工作平面。

背平面 (p_p) 通过切削刃选定点，垂直于假定工作平面和基面的平面称为背平面。

在该参考系中测量的角度有：侧前角 (γ_f)、侧后角 (α_f)、背前角 (γ_p)、背后角 (α_p)。其定义方法与正交平面、法剖面参考系中角度的定义方法类似。

在上述三个静止参考系中，我国主要采用正交平面参考系，即在图样上标注