



中等职业技术学校数控技术应用专业教材

ZHONGDENG ZHIYE JISHU XUEXIAO SHUKONG JISHU YINGYONG ZHUANYE JIAOCAI

机械加工工艺与实训

JIXIE JIAGONG GONGYI YU SHIXUN



中国劳动社会保障出版社

中等职业技术学校数控技术应用专业教材

机械加工工艺与实训

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械加工工艺与实训/曾益民,唐新福主编. —北京:中国劳动社会保障出版社,2007
中等职业技术学校数控技术应用专业教材

ISBN 978-7-5045-6256-2

I. 机… II. ①曾…②唐… III. 机械加工-工艺 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 084443 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码:100029)

出 版 人:张梦欣

*

中国铁道出版社印刷厂印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.25 印张 374 千字

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

定价:25.00 元

读者服务部电话:010-64929211

发行部电话:010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话:010-64954652

编审人员名单

主 审 韦富基

主 编 曾益民 唐新福

副主编 梁和福 蓝日采 陈志毅

伍奇玲 陆应远 周 云

参 编 杨中育 梁 莉 覃 聪

潘立新 林秀朋

前 言

为了更好地满足中等职业技术学校数控技术应用专业的教学要求,适应广西壮族自治区的实际情况和职教特色,促进广西地区数控技术人才的培养,劳动和社会保障部教材办公室组织广西有关学校的职业教育研究人员、一线教师 and 行业专家在广泛调研的基础上,开发了这套中等职业技术学校数控技术应用专业教材。

这套数控技术应用专业教材主要包括《机械制图与 AutoCAD》《机械基础》《机械加工工艺与实训》《机床电气控制基础》《CAD/CAM 软件应用实训教程》《数控车削实训教程》《数控铣削实训教程》《数控机床结构、原理与维护保养》。以后我们还会根据教学需要和行业发展,推出其他数控教材。

本套教材的编写原则是:以就业为导向,以学生为主体,以培养中等数控技术应用型人才为根本任务,以数控技术应用岗位必备的能力和基本素质为主线,构建课程的知识结构,重组课程体系;突出理论知识在实践中的应用和实际能力的培养,以技能和能力培养为重点,坚持常规机械制造技术训练与数控技术训练相结合,坚持实验室模拟编程仿真教学与数控机床单机实操实训相结合,构建具有中职特色的理论教学和实践教学新体系。

本套教材的编写特点是:

一是从生产实际出发,合理安排教材的知识和反能结构,突出技能性培养,摒弃“繁难偏旧”的理论知识。

二是以国家相关职业标准为依据,确保在知识内容和技能水平上符合国家职业鉴定标准。

三是引入新技术、新工艺内容,反映行业的新标准、新趋势,淘汰陈旧过时的技术,拓展专业技术人员的知识眼界。

四是在结构安排和表达方式上,强调由浅入深,循序渐进,力求做到图文

并茂。

本套教材的编写工作得到了广西教苑图书有限公司的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

《机械加工工艺与实训》的主要内容包括：金属切削的基本知识、工件的定位原理与夹具、机械加工工艺规程的编制、车削加工工艺、铣削加工工艺、其他加工方法简介、典型零件加工与加工工艺分析。

劳动和社会保障部教材办公室

2007 年 6 月

目 录

绪论	(1)
第一章 金属切削的基本知识	(3)
§ 1—1 金属切削过程的基本概念	(3)
§ 1—2 车刀切削部分的几何参数	(5)
§ 1—3 常用刀具材料	(13)
§ 1—4 金属切削过程的物理现象	(17)
§ 1—5 刀具的磨损与刀具耐用度	(26)
§ 1—6 刀具几何角度与切削用量的选择	(28)
第二章 工件的定位原理与夹具	(43)
§ 2—1 工件的定位与夹紧	(43)
§ 2—2 基准的选择	(46)
§ 2—3 机床夹具	(48)
第三章 机械加工工艺规程的编制	(57)
§ 3—1 工艺规程概述	(57)
§ 3—2 零件加工工艺分析	(64)
§ 3—3 工艺路线的拟订	(67)
§ 3—4 加工余量和工序尺寸的确定	(72)
第四章 车削加工工艺	(87)
§ 4—1 车床概述	(87)
§ 4—2 CA6140 型卧式车床的传动系统	(93)
§ 4—3 车削加工方法	(100)

§ 4—4 车工实训·····	(119)
第五章 铣削加工工艺 ·····	(137)
§ 5—1 铣床概述·····	(137)
§ 5—2 铣削方法·····	(146)
§ 5—3 铣工实训·····	(162)
第六章 其他加工方法简介 ·····	(193)
§ 6—1 刨削加工·····	(193)
§ 6—2 磨削加工·····	(202)
§ 6—3 钻削加工·····	(216)
§ 6—4 镗削加工·····	(218)
§ 6—5 齿面加工·····	(222)
第七章 典型零件加工与加工工艺分析 ·····	(228)
§ 7—1 台阶轴的加工工艺实例·····	(228)
§ 7—2 套筒类零件的加工工艺实例·····	(234)
§ 7—3 轮盘类零件的加工工艺实例·····	(239)
§ 7—4 箱体类零件的加工工艺实例·····	(242)

绪 论

一、零件的种类及表面的形成

机器或机械装置都是由许多零件组合装配而成的。组成机械设备的零件大小不一，形状各异，其中最常见零件有4类，即：轴类零件，如机床主轴、传动轴、齿轮轴、螺栓等；套筒类零件，如各种滑动轴承及导向套等；轮盘类零件，如齿轮、端盖、挡环、法兰盘等；箱体类零件，如机床主轴箱和支架等。

各种机械零件上常见的表面有以下几种，其形成方法如图0—1所示。

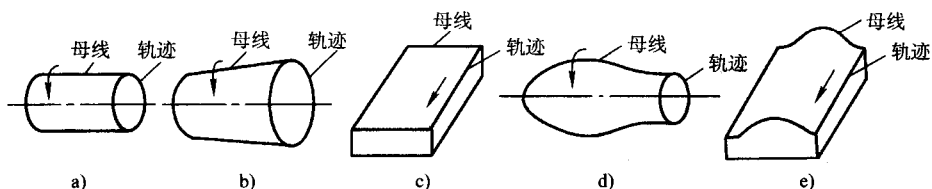


图0—1 机械零件上常见表面的形成方法

a) 圆柱面 b) 圆锥面 c) 平面 d), e) 成形面

1. 圆柱面

圆柱面是指以与固定轴线相平行的直线为母线，该母线绕固定轴线做圆周运动的轨迹所形成的表面（见图0—1a）。

2. 圆锥面

圆锥面是指以与固定轴线相交成一定角度的直线为母线，该母线绕固定轴线做圆周运动的轨迹所形成的表面（见图0—1b）。

3. 平面

平面是指以直线为母线，以另一直线为轨迹做平移运动所形成的表面（见图0—1c）。

4. 成形面

成形面是指以曲线为母线，以圆为轨迹做旋转运动或以直线为轨迹做平移运动所形成的表面（见图0—1d, e）。

此外，根据使用或制造上的要求，零件上还有各种沟槽。沟槽实际上是由平面或曲面所组成的，常用沟槽的断面形状如图0—2所示。

上述各种表面均可用相应的加工方法来获得。所谓加工零件，就是要按一定的顺序，合理地加工出各个表面。

二、切削加工及其分类

任何机械或部件都是由许多零件按照一定的设计要求制造和装配而成的。机械制造过程一般是：

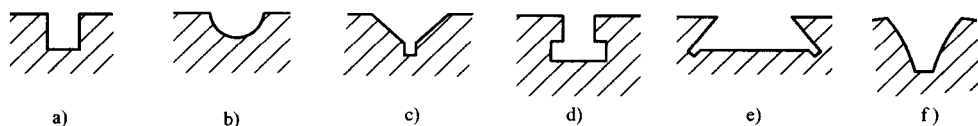


图 0—2 常用沟槽的断面形状

a) 直槽 b) 圆弧槽 c) V形槽 d) T形槽 e) 燕尾槽 f) 特形槽

金属材料 $\xrightarrow{\text{(经铸造、锻造或焊接)}}$ 毛坯 $\xrightarrow{\text{(经机械加工和热处理)}}$ 零件 $\xrightarrow{\text{(经装配)}}$ 机器或机械装置。

切削加工是指用切削工具从毛坯（如锻件、铸件、条料或板料）上切去多余的材料，使零件的几何形状、尺寸以及表面粗糙度等方面均符合图样要求。切削加工主要用于金属的加工，如各种碳钢、铸铁和有色金属等，也可用于某些非金属材料的加工，如工程塑料、合成橡胶等。

切削加工按其所用切削工具的类型不同又可分为刀具切削加工和磨料切削加工。刀具切削加工的主要方式有车削、钻削、镗削、铣削、刨削等；磨料切削加工的方式有磨削、珩磨、研磨、超精加工等。

三、本课程的性质与任务

本课程是一门专业基础课程，主要任务是培养学生的操作技能，使他们熟悉机械加工的基本知识，为日后的学习打下基础。

通过本课程的学习，学生应达到下列基本要求：

1. 熟悉常见机床的组成及工作内容，掌握主要工种常用机床加工零件的方法及其加工质量问题的分析方法。
2. 了解金属切削过程及基本规律，掌握刀具几何角度、切削用量的基本选择方法。
3. 了解工件定位、夹紧的基本原理，了解工艺过程概论及其组成，掌握简单的轴、套、支架等零件工艺卡的制定方法。
4. 掌握一般零件的加工方法。

本课程的特点：一是针对学生在教学实习中要求懂得的基本知识为依据而设置的，它为后继专业课打基础；二是实践性强，教学过程与教学实习紧密配合，按教学实习进度完成教学内容；三是理论教学内容覆盖面广，通俗易懂，适用于中等职业技术学校机械类专业教学。

第一章

金属切削的基本知识

◎ 学习目的

1. 了解金属的切削原理。
2. 懂得车刀的结构。
3. 懂得金属切削时切削用量的选择方法。

◎ 学习重点

金属切削时切削用量的选择方法。

§ 1—1 金属切削过程的基本概念

一、切削运动和切削表面

1. 切削运动

按切削运动的作用不同,可分为主运动和进给运动两种。

(1) 主运动 它是切下切屑,形成工件表面所需要的基本运动,也是切削加工中速度最高、消耗功率最多的运动,其速度用 v_c 表示。切削运动及加工表面示意图如图 1—1 所示,从图中可看出:车削时工件的旋转,钻削、镗削和铣削时刀具的旋转,磨削时砂轮的旋转,用牛头刨床刨削时刀具的往复直线运动等都是主运动。

(2) 进给运动 它是使切削工具不断切下切屑所需要的运动,其速度用 v_f 表示。在图 1—1 中,车削和钻削中刀具的移动,镗削、刨削和铣削中工件的移动,磨削中工件的转动和移动等都是进给运动。

各种切削加工机床都是为了加工某些表面而发展起来的,因此都有特定的切削运动。在切削加工时,主运动一般只有一个,进给运动可以是一个或多个,如图 1—1f 中就有两个进给运动。

2. 切削时工件上形成的表面

切削时,刀具沿着进给方向运动,工件上的多余金属层不断被切去而成为切屑,从而加工出所需要的表面。此时,工件上有 3 个不断变化着的表面(见图 1—1)。

- (1) 待加工表面 工件上即将切去切屑的表面。
- (2) 过渡表面 工件上由切削刃正在切削着的那部分表面。

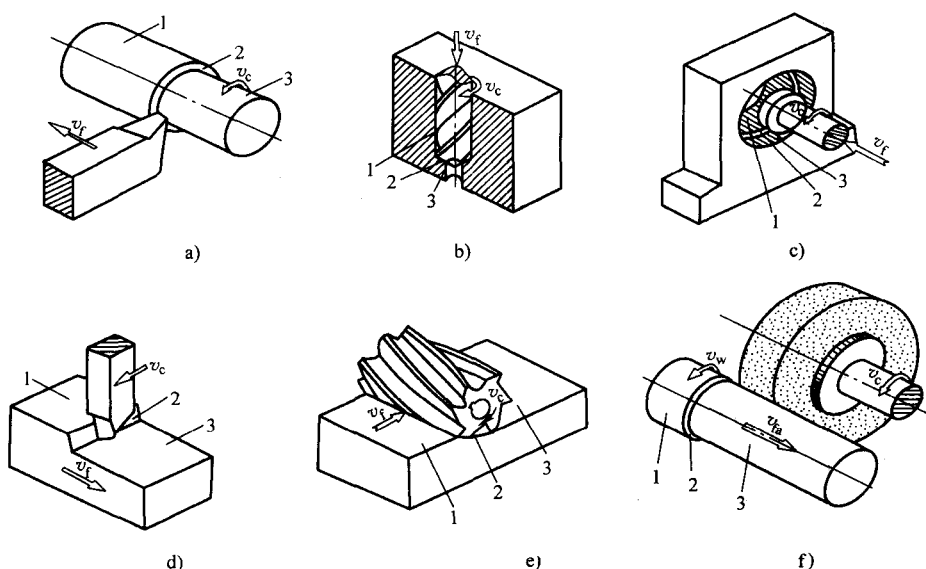


图 1—1 切削运动及加工表面示意图

a) 车削 b) 钻削 c) 镗削 d) 刨削 e) 铣削 f) 磨削

1—待加工表面 2—过渡表面 3—已加工表面

v_c —主运动线速度 v_f, v_{fa}, v_w —进给运动速度

(3) 已加工表面 工件上已切去切屑后产生的新表面。

二、切削用量

切削用量是指切削过程中的切削速度、进给量和背吃刀量这三个要素，它们称为切削用量三要素。

1. 切削速度 v_c

主运动的线速度称为切削速度，以 v_c 表示。若主运动为旋转运动，切削速度为其最大的线速度，其计算公式为：

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

式中 v_c ——切削速度，m/min 或 m/s；

d ——工件待加工表面直径，mm；

n ——工件或刀具的转速，r/min 或 r/s。

若主运动为往复直线运动，如刨削、插削等，则常以其平均速度为切削速度，其计算公式为：

$$v_c = 2 L N_r / 1000 \quad (1-2)$$

式中 L ——刀具或工件做往复直线运动的行程长度，mm；

N_r ——刀具或工件每分钟（或每秒钟）往复的次数，次/min 或次/s。

2. 进给量 f

工件或刀具每转一周或往复一次时，刀具与工件之间沿进给运动方向相对移动的距离称为进给量，用 f 表示。如图 1—2 所示，车削时的进给量 f (mm/r) 为工件每转一周时，车刀沿进给方向移动的距离 CB；刨削时的进给量 f (mm/行程) 为刨刀（或工件）每往复一

次后, 工件(刨刀)沿进给方向移动的距离。

3. 背吃刀量 a_p

背吃刀量是指在通过切削刃基点并垂直于工作平面上测量的吃刀量, 用 a_p (mm) 表示(见图 1—2)。

三、切削层参数

车削外圆时, 工件每转一周主切削刃相邻两位置间被切削的一层金属层称为切削层。它是工件上正被切削刃切削着的一层金属。

1. 切削层公称横截面积 A_D

切削层公称横截面积 A_D (mm^2) 是垂直于主运动方向上的横截面积, 其值为背吃量与进给量的乘积。如图 1—2 所示为车削外圆时的切削层参数示意图。

$$A_D = h_D b_D = a_p f \quad (1-3)$$

2. 切削层公称宽度 b_D

切削层公称宽度 b_D (mm) 是刀具主切削刃与工件的接触长度。它在垂直于主运动方向上的截面内测量(见图 1—2), 其计算公式为:

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r \quad (1-4)$$

式中 κ_r ——刀具的主偏角。

3. 切削层公称厚度 h_D

切削层公称厚度 h_D (mm) 是切削层横截面积与切削层公称宽度之比, 其计算公式为:

$$h_D = A_D / b_D = f \sin \kappa_r \quad (1-5)$$

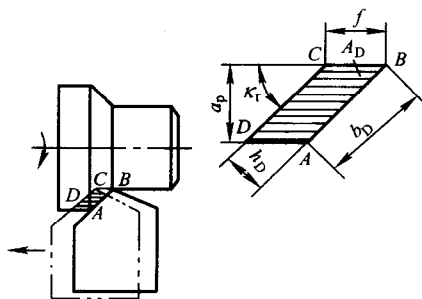


图 1—2 切削层参数示意图

§ 1—2 车刀切削部分的几何参数

一、车刀的组成

1. 车刀的组成

外圆车刀是最基本、最典型的刀具, 如图 1—3 所示, 它是由刀体 8 和刀柄 7 组成的。刀体用来切削, 又称为切削部分; 刀柄用来将车刀夹固在车床刀架上。车刀切削部分一般由三个刀面、两条切削刃和一个刀尖组成(简称“三面两刃一尖”, 但有例外, 如 45° 车刀就有“四面三刃两尖”)。

(1) 刀面

1) 前面 A_f 刀具上切屑流过的表面称为前面, 也称前刀面。

2) 主后面 A_a 切削时刀具上与工件过渡表面相对的表面称为主后面, 也称主后刀面。

3) 副后面 A'_a 切削时刀具上与工件已加工表面相对的表面称为副后面, 也称副后刀面。

(2) 切削刃

1) 主切削刃 S 前面与主后面的交线称为主切削刃。它承担着主要的切削工作。

2) 副切削刃 S' 前面与副后面的交线称为副切削刃。通常, 靠近刀尖处的副切削刃起微量切削作用, 在大进给量切削时, 副切削刃也起主要的切削作用。

(3) 刀尖 刀尖是主、副切削刃的交点。通常, 刀尖处常磨成短直线或圆弧形过渡刃, 以延长刀具的使用寿命。

不同类型的刀具, 其刀面、切削刃的数量不完全相同。例如, 车床上常用的切断刀就有两条副切削刃。

2. 车刀的形式

如图 1—3 所示为车刀常用的结构。图 1—3a 为硬质合金刀片焊接式车刀; 图 1—3b 为高速钢整体式车刀, 刀体切削部分靠刃磨成形; 图 1—3c 是将具有若干个切削刃的硬质合金刀片紧固在刀体上, 称为机械夹固 (简称“机夹”) 式车刀。

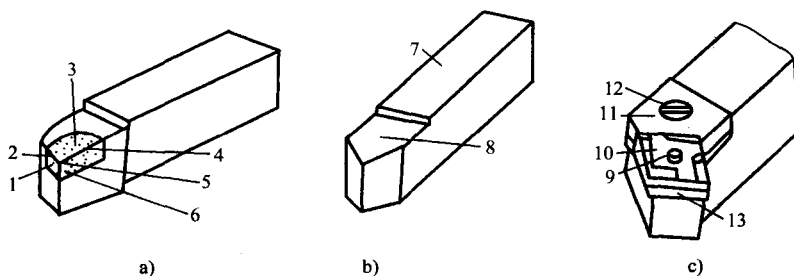


图 1—3 外圆车刀

a) 焊接式 b) 整体式 c) 机夹式

1—副后面 2—副切削刃 3—前面 4—主切削刃 5—刀尖 6—主后面

7—刀柄 8—刀体 9—圆柱销 10—刀片 11—楔块 12—夹紧螺钉 13—刀垫

金属切削刀具的种类很多, 形状和结构较复杂, 且各不相同。但对于各种复杂刀具或多齿刀具, 就其中一个齿来说, 其几何形状都相当于一把车刀的刀体。从如图 1—4 所示的钻头与内孔车刀的对比可以看出, 钻头可看做两把一正一反对称装夹后同时车削孔壁两侧的车刀; 从如图 1—5 所示的铣刀与车刀的对比中可以看出, 铣刀虽然形状复杂, 但实际上是由多把车刀组合而成的, 一个刀齿可看做一把车刀。因此, 本书将车刀作为分析和研究的主要对象。

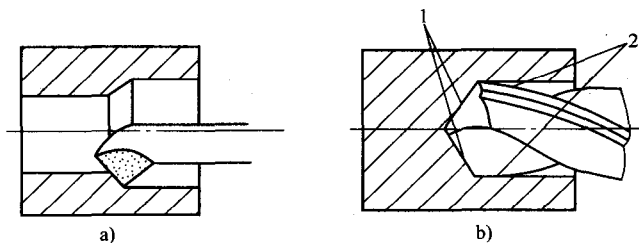


图 1—4 钻头与内孔车刀的对比

1—主切削刃 2—副切削刃

二、确定车刀几何角度的辅助平面

为了便于设计时在图样上标注以及刃磨时测量刀具的几何角度, 需要假想 3 个辅助平面

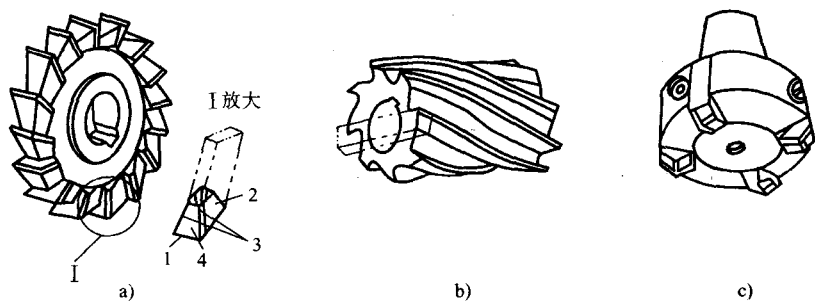


图 1—5 铰刀与车刀的对比

a) 三面刃铰刀 b) 圆柱铰刀 c) 端铰刀

1—主切削刀 2—副后面 3—副切削刀 4—前面

作为基准，即基面、切削平面和正交平面，它们构成刀具的静止参考系，如图 1—6 所示。

1. 基面 p_r

基面 p_r 是通过切削刃上某个选定点，而又垂直于该点切削速度（不考虑进给运动时的切削速度）的平面。基面平行于车刀底面，底面是制造、刃磨、测量和装夹车刀的基准面。

2. 切削平面 p_s

切削平面 p_s 是通过切削刃上某个选定点，与主切削刃 S 相切并垂直于基面 p_r 的平面。切削平面是包含相对运动速度的平面，若不考虑进给运动的影响，相对运动速度的方向就是切削速度的方向。

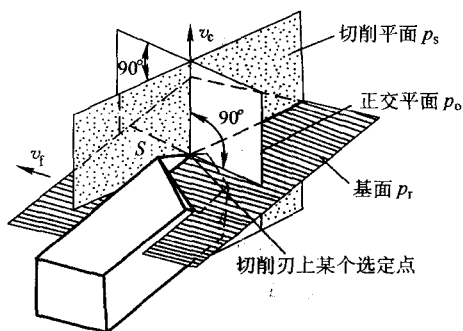


图 1—6 刀具的静止参考系

3. 正交平面 p_o

正交平面 p_o （也称主剖面）是通过切削刃上某个选定点，并同时垂直于基面 p_r 和切削平面 p_s 的平面。

三、车刀的几何角度

刀具的几何角度分为标注角度（或称刃磨角度）和工作角度（或称实际切削角度）。

1. 刀具的标注角度

在刀具图样上标注的角度称为标注角度，也就是刀具制造和刃磨时需控制的几何角度。车刀的标注角度是在上述刀具静止参考系内度量的，如图 1—7 所示。

(1) 在正交平面 p_o 内测量的角度

1) 前角 γ 。前面与基面之间的夹角。

2) 后角 分为主后角 α_o 和副后角 α'_o ，主后角 α_o 是主后面与切削平面之间的夹角。副后角 α'_o 是副后面与副切削平面之间的夹角。

3) 楔角 β_o 。前面与主后面之间的夹角。

(2) 在基面 p_r 内测量的角度

1) 主偏角 κ_r 。主切削刃在基面上的投影与进给运动方向之间的夹角。

2) 副偏角 κ'_r 副切削刃在基面上的投影与进给运动反方向之间的夹角。

3) 刀尖角 ϵ_r 主切削刃与副切削刃在基面上的投影间的夹角。

$$\epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1-6)$$

(3) 在切削平面 p_s 内测量的角度 刃倾角 λ_s 是指主切削刃与基面之间的夹角。

前角和刃倾角均可为正、负或零，在正交平面中，前面与基面重合时，前角为零，否则为正或负（见图 1—7）。

如图 1—8 所示为车刀刃倾角的三种不同情况。观察刀尖和切削刃上任意一点到车刀底面的距离可以发现，若车刀刀尖处于主切削刃上最高点时，刃倾角为正值；刀尖处于主切削刃上最低点时，刃倾角为负值；若主切削刃与底面平行时，则刃倾角为零。

车刀的主要角度有前角 γ_o 、主后角 α_o 、副后角 α'_o 。主偏角 κ_r 、副偏角 κ'_r 、刃倾角 λ_s 六个。楔角 β_o 在正交平面内测量，刀尖角 ϵ_r 在基面内测量，均为派生的角度。

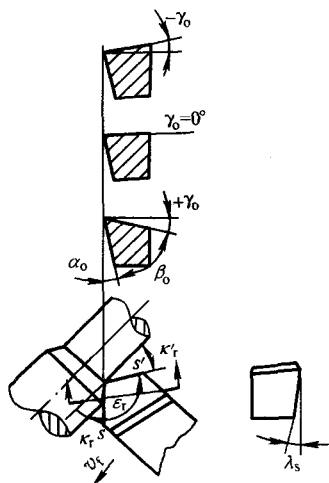


图 1—7 车刀的标注角度

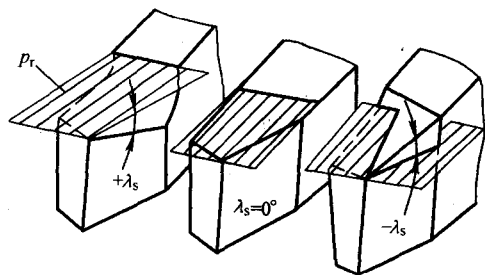


图 1—8 车刀刃倾角的三种不同情况

2. 刀具的工作角度

刀具的工作角度是考虑实际装夹条件和进给运动的影响而确定的角度。当考虑实际装夹条件和进给运动的影响时，刀具标注角度的静止参考系将发生变化，因而称其为刀具的工作参考系。因此，刀具工作时的角度也随之变化而称为工作角度。

(1) 装夹条件对刀具工作角度的影响 车刀刀尖装夹高度对工作角度的影响如图 1—9 所示。如图 1—9a 所示，刀尖对准工件中心装夹时，设切削平面（包含切削速度 v_c 的平面）与车刀底面相垂直，则基面与车刀底面平行，刀具切削角度无变化；图 1—9b 所示为刀尖装夹得高于工件中心时，切削平面（包含切削速度 v_c 的平面）倾斜一个角度 τ ，则基面也随之倾斜一个角度 τ ，从而使前角 γ_o 增大了一个角度 τ ；后角 α_o 减小了一个角度 τ 。反之，当刀尖装夹得低于工件中心时（见图 1—9c），则前角 γ_o 减小，后角 α_o 增大。

(2) 进给运动对工作角度的影响 进给运动对工作前角和后角的影响如图 1—10 所示，切削时若考虑进给运动，包含合成切削速度 v_c 的切削平面（称工作切削平面）倾斜一个角度，而垂直于工作切削平面的基面（称工作基面）则随之倾斜，从而导致刀具的工作角度发

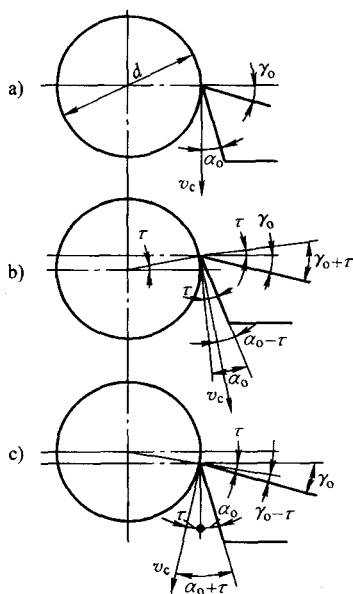


图 1—9 车刀刀尖装夹高度
对工作角度的影响

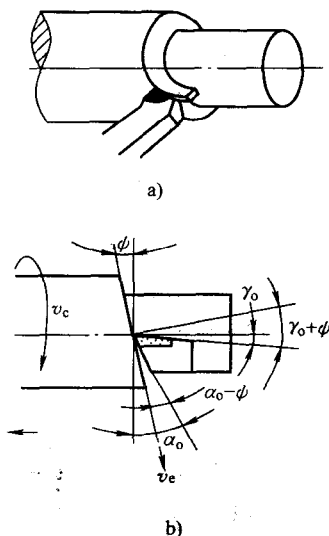


图 1—10 进给运动对工作前角和后角的影响

生变化。实际车削的外圆表面是一个螺旋面，通过切削刃选定点的工作基面和工作切削平面都要倾斜一个螺纹升角 ϕ ，使前角 γ_0 增大一个角度 ϕ ，则后角 α_0 减小一个角度 ϕ 。

一般车削时，由于进给量比工件直径小得多， ϕ 值很小，所以对车刀工作前角和后角的影响可忽略不计。但车削导程较大的螺纹时，如梯形螺纹、矩形螺纹和多线螺纹等，则必须考虑螺纹升角 ϕ 对加工的影响。

四、车刀的刃磨与几何角度的测量

1. 车刀几何角度的刃磨方法

(1) 砂轮的选用

1) 磨料的选择 选择砂轮磨料的主要依据是刀具的材料和热处理方法。除手动工具外，大部分刀具材料是用高速钢淬火后制成的；其硬度在 65HRC 左右。刃磨硬质合金刀具通常选用绿色碳化硅磨料 (GC)，刃磨淬火后的高速钢刀具时选用白刚玉 (WA) 或铬刚玉 (PA) 磨料。对于要求较高的硬质合金刀具 (如铰刀等)，可用人造金刚石 (SD) 磨料。对于高钒高速钢刀具，可选用单晶刚玉 (SA) 磨料。

2) 砂轮粒度的选择 选择砂轮粒度的主要依据是刀具的精度和表面粗糙度要求，还要考虑磨削效率。一般刀具的表面粗糙度 R_a 值为 $0.4 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 时，若分粗、精磨，则从磨削效率考虑，粗磨时应选粒度号为 46# ~ 60# 的砂轮，精磨时应选粒度号为 80# ~ 120# 的砂轮。

3) 硬度的选择 刃磨刀具时，砂轮的硬度应选得低些。一般刃磨硬质合金刀具时，选用硬度为 H (软 2) 和 J (软 3) 的砂轮；刃磨高速钢刀具时，选用硬度为 H (软 2) 和 K (中软 1) 的砂轮。

(2) 车刀几何角度的刃磨方法