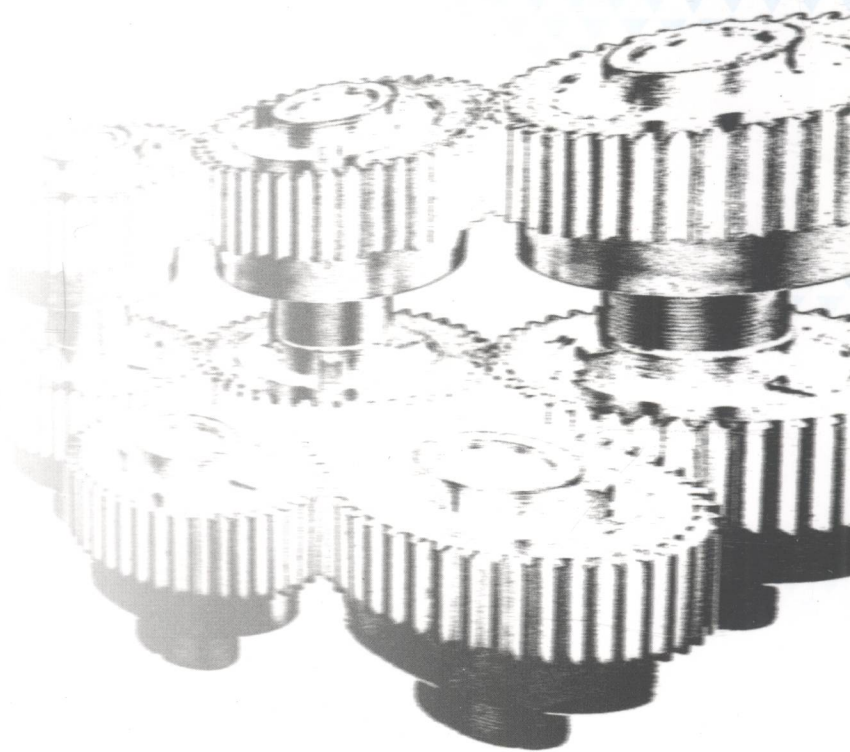




“十一五”浙江省重点教材建设项目  
全国高等职业教育示范专业规划教材

# 机械制造 工艺与装备

孙英达 主编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



“十一五”浙江省重点教材建设项目  
全国高等职业教育示范专业规划教材

# 机械制造工艺与装备

主 编 孙英达  
副主编 徐文琴 周兆忠 金湖庭  
参 编 胡佳英 朱小平 朱 峰



机械工业出版社

本书为“十一五”浙江省重点教材建设项目，内容包括7个模块：金属切削原理、金属切削加工、机械加工质量、机械加工工艺规程的制订、典型零件的加工、机床夹具设计和机械装配工艺。其中，金属切削原理模块包括5个课题：金属切削加工的基本概念、金属切削加工过程的物理现象、刀具磨损与刀具寿命、工件材料的可加工性、金属切削条件的合理选择；金属切削加工模块包括10个课题：金属切削机床的基本知识、车削加工、铣削加工、磨削加工、刨削、插削及拉削加工、钻削加工、镗削加工、齿轮加工、精密加工、特种加工；机械加工质量模块包括2个课题：机械加工精度、机械加工表面质量；机械加工工艺规程的制订模块包括3个课题：机械加工工艺规程的基础知识、机械加工工艺路线的拟订、工序设计；典型零件的加工模块包括4个课题：轴类零件的加工、套类零件的加工、箱体类零件的加工、齿轮类零件的加工；机床夹具设计模块包括4个课题：机床夹具概述及夹具的定位、定位误差的计算、夹紧机构的设计、专用夹具的设计；机械装配工艺模块只包括机械装配工艺一个课题。

本书可作为高职高专院校机械制造与自动化、机电一体化等专业的教学用书，也可作为机电类专业和从事机械加工的有关人员的参考用书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造工艺与装备/孙英达主编. —北京：机械工业出版社，2011.9

“十一五”浙江省重点教材建设项目 全国高等职业教育示范专业规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 34797 - 2

I. ①机… II. ①孙… III. ①机械制造工艺 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 186187 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：王海峰 责任编辑：王海峰

版式设计：霍永明 责任校对：胡艳萍

封面设计：鞠杨 责任印制：杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2012 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 21.25 印张 · 526 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 34797 - 2

定价：39.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换  
电话服务 网络服务

社服务中心：(010)88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010)68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010)88379649

读者购书热线：(010)88379203

封面防伪标均为盗版

# 前 言

本书是“十一五”浙江省重点教材建设项目。本课程内容的设置以能力为本位、以培养学生创新精神和实践能力为核心、以综合职业能力为基点、以机械加工工艺为主线，融机械制造专业的“金属切削机床”、“金属切削原理与刀具”、“机床夹具设计”、“机械制造工艺学”等课程为一体，建立了机械制造与自动化专业新的课程体系。

本教材共分7个模块，主要内容包括金属切削原理、金属切削加工、机械加工质量、机械加工工艺规程的制订、典型零件的加工、机床夹具设计和机械装配工艺。

本教材由浙江工业职业技术学院孙英达任主编，浙江工业职业技术学院徐文琴、衢州学院周兆忠、浙江交通职业技术学院金湖庭任副主编，湖南工业职业技术学院胡佳英、浙江交通职业技术学院朱小平、浙江工业职业技术学院朱峰参加了本书部分章节的编写。编写分工如下：模块一由徐文琴编写；模块二由孙英达编写；模块三由胡佳英编写；模块四由周兆忠编写；模块五由朱峰编写；模块六由金湖庭编写；模块七由朱小平编写。

尽管本书在教材建设的特色方面做出了很多努力，但由于编者水平有限，书中仍可能存在一些疏漏和不妥之处，恳请各教学单位和读者在使用本书时多提宝贵意见和建议，以便下次修订时改进。

编 者

# 目 录

前言	
<b>模块一 金属切削原理</b> .....	1
课题一 金属切削加工的基本概念 .....	1
课题二 金属切削加工过程的物理现象 .....	10
课题三 刀具磨损与刀具寿命 .....	16
课题四 工件材料的可加工性 .....	20
课题五 金属切削条件的合理选择 .....	25
习题 .....	41
<b>模块二 金属切削加工</b> .....	42
课题一 金属切削机床的基本知识 .....	42
课题二 车削加工 .....	47
课题三 铣削加工 .....	64
课题四 磨削加工 .....	80
课题五 刨削、插削及拉削加工 .....	94
课题六 钻削加工 .....	104
课题七 镗削加工 .....	115
课题八 齿轮加工 .....	123
课题九 精密加工 .....	134
课题十 特种加工 .....	141
习题 .....	148
<b>模块三 机械加工质量</b> .....	150
课题一 机械加工精度 .....	150
课题二 机械加工表面质量 .....	169
习题 .....	176
<b>模块四 机械加工工艺规程的制订</b> .....	177
课题一 机械加工工艺规程的基础知识 .....	177
课题二 机械加工工艺路线的拟订 .....	191
课题三 工序设计 .....	205
习题 .....	222
<b>模块五 典型零件的加工</b> .....	223
课题一 轴类零件的加工 .....	223
课题二 套类零件的加工 .....	230
课题三 箱体类零件的加工 .....	236
课题四 齿轮类零件的加工 .....	244
习题 .....	248
<b>模块六 机床夹具设计</b> .....	250
课题一 机床夹具概述及夹具的定位 .....	250
课题二 定位误差的计算 .....	267
课题三 夹紧机构的设计 .....	280
课题四 专用夹具的设计 .....	294
习题 .....	312
<b>模块七 机械装配工艺</b> .....	316
习题 .....	334
<b>参考文献</b> .....	335

# 模块一 金属切削原理

## 课题一 金属切削加工的基本概念

### 知识点

- 切削运动的种类与特点
- 工件加工时形成的表面
- 切削用量
- 刀具切削部分的组成及刀具的几何角度
- 切削层参数

### 技能点

- 正确认识切削运动并分析其特点
- 正确认识切削用量三要素及含义
- 掌握外圆车刀几何角度的标注方法

### 一、任务引入

图 1-1 所示为车削加工示意图，该工序将外圆由  $\phi 60\text{mm}$  车削至  $\phi 50\text{mm}$ 。试分析车削加工需要哪些切削运动？加工过程中形成的表面有哪些？计算切削速度和背吃刀量，并绘制  $90^\circ$  车刀工作图。

### 二、任务分析

金属切削加工就是在机床上利用切削刀具从工件上切除多余金属，使之成为具有一定几何形状、尺寸精度和表面质量的工件的加工方法。在切削加工过程中，除了要有一定切削性能的切削刀具外，还要有机床提供工件与切削刀具间所必需的相对运动，而且这种相对运动还要与工件各种表面的形成规律和几何特征相适应。本课题主要学习切削运动和切削用量、刀具切削部分的组成及其几何参数、车刀的工作角度等内容。

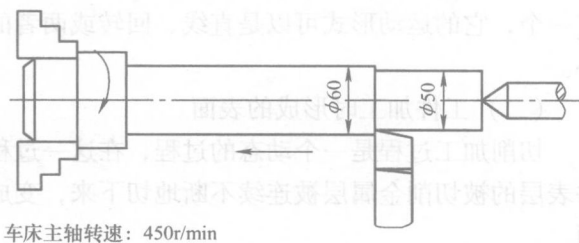


图 1-1 车削加工示意图

### 三、相关知识

#### (一) 切削运动



任何机械零件都可以看成是由外圆、内孔、平面、成形面等基本表面组成的。而这些基本表面在切削加工时都是由刀具和工件之间的相对运动（即切削运动）来完成的。

切削运动分为主运动和进给运动。

### 1. 主运动

直接切除工件上的切削层，使之转变为切屑，以形成工件新表面的运动称为主运动。其特点是线速度高，消耗的功率也较大。

主运动可以由工件完成，也可以由刀具完成。根据加工方法的不同，主运动也不相同。如图 1-2 所示，车削时工件的回转运动、刨削加工时刨刀的往复直线运动均为主运动。此外，铣削时铣刀的回转运动、钻削时钻头的旋转运动、磨削加工时砂轮的高速回转运动都是主运动。在金属切削加工过程中，无论哪种切削方式，主运动都只有一个。

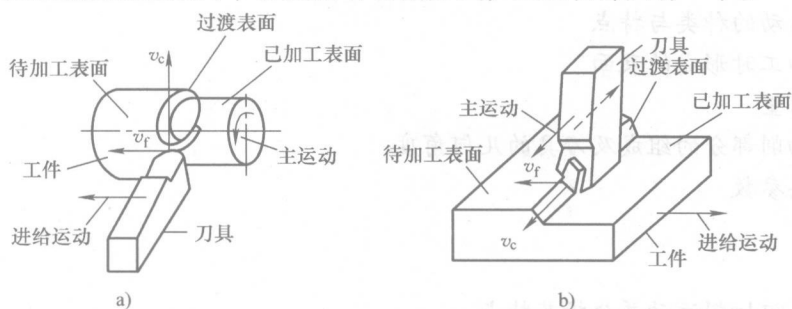


图 1-2 切削运动  
a) 外圆车削 b) 平面刨削

### 2. 进给运动

使新的切削层不断投入切削，以切除工件上加工余量所需的运动，称为进给运动。

进给运动一般由刀具或工件来完成，如外圆车削时车刀的纵向连续直线运动（见图 1-2a）和平面刨削时工件的间歇直线运动（见图 1-2b）都是进给运动。但进给运动可能不只有一个，它的运动形式可以是直线、回转或两者的组合。进给运动的速度较低，消耗功率较小。

#### （二）工件加工时形成的表面

切削加工过程是一个动态的过程，在这一过程中，随着刀具与工件相对运动的进行，工件表层的被切削金属层被连续不断地切下来，变成切屑。同时，在工件上不断地形成新的表面。

在切削加工过程中，工件上有三个不断变化着的表面。以图 1-2 所示的外圆车削和平面刨削为例，它们分别是待加工表面、已加工表面和过渡表面。

（1）待加工表面 工件上即将被切去的表面。

（2）已加工表面 工件上已经切去了多余金属而形成的新表面。

（3）过渡表面 切削刃正在切削，并在切削中不断改变、位于待加工表面和已加工表面之间的表面。

上述定义也适用于其他切削加工。

#### （三）切削用量

切削用量是指切削速度、进给量和背吃刀量三者的总称，通常称为切削用量三要素。

### 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加工表面上该点在主运动方向上的瞬时速度，即主运动的线速度，单位为  $\text{m/s}$ 。

当主运动为旋转运动时（如车削加工），切削速度按下式计算

$$v_c = \frac{\pi D n}{1000} \quad (1-1)$$

式中  $n$ ——工件或刀具的每分钟转速 ( $\text{r/min}$ )；

$D$ ——工件待加工表面直径或刀具的最大直径 ( $\text{mm}$ )。

在转速  $n$  值一定时，切削刃上各点的切削速度是不相同的，考虑到刀具的磨损和已加工表面质量等因素，在计算切削速度时，一般应取最大值。

当主运动为往复直线运动时（如刨削加工），其平均速度按下式计算

$$v_c = \frac{2Ln_r}{1000} \quad (1-2)$$

式中  $L$ ——往复直线运动的行程长度 ( $\text{mm}$ )；

$n_r$ ——主运动每分钟的往复次数 ( $\text{str/min}$ )。

### 2. 进给量 $f$

进给量是工件与刀具在进给方向上的相对位移量。车削时， $f$  为工件每转一转刀具沿着进给方向的移动量，单位为  $\text{mm/r}$ 。如果主运动是往复直线运动（如刨削、插削）时， $f$  为刀具每往复一次工件在进给方向的移动量，单位是  $\text{mm/str}$ （毫米/往复行程）。

进给运动的速度以进给速度  $v_f$  表示，其定义为：切削刃上选定点相对于工件进给运动的瞬时速度，单位为  $\text{mm/s}$  或  $\text{mm/min}$ 。对于多齿刀具（如铣刀）以每齿进给量  $f_z$  ( $\text{mm/z}$ ) 表示。它们之间的关系为

$$v_f = f n = f_z z n \quad (1-3)$$

式中  $n$ ——刀具转速 ( $\text{r/s}$  或  $\text{r/min}$ )；

$z$ ——刀具的齿数。

### 3. 背吃刀量 $a_p$

背吃刀量是工件上已加工表面和待加工表面之间的垂直距离，单位为  $\text{mm}$ 。

车外圆时背吃刀量  $a_p$  按下式计算

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1-4)$$

式中  $d_w$ ——待加工表面直径 ( $\text{mm}$ )；

$d_m$ ——已加工表面直径 ( $\text{mm}$ )。

钻孔时背吃刀量  $a_p$  按下式计算

$$a_p = \frac{d_m}{2} \quad (1-5)$$

式中  $d_m$ ——钻孔的直径或钻头直径 ( $\text{mm}$ )。

背吃刀量  $a_p$  的大小直接影响刀具主切削刃的工作长度。

(四) 刀具切削部分的组成及刀具的几何角度



### 1. 刀具切削部分的组成

从图 1-3 中可以看出,普通车刀的切削部分(即刀头)是由几个相交面组成的几何体。其中的面、相交线分别定义如下:

(1) 前面  $A_r$  切屑流出时经过的面。

(2) 主后面  $A_\alpha$  与工件上过渡表面相对的刀面。

(3) 副后面  $A'_\alpha$  与工件上已加工表面相对的刀面。

(4) 主切削刃  $S$  前刀面与主后面相交的线,担负主要切削工作。

(5) 副切削刃  $S'$  前面与副后面相交的部位,它协同主切削刃完成金属的切除工作,以最终形成工件的已加工表面。

(6) 刀尖(过渡刃) 主、副切削刃连接处的一小段切削刃。为了提高刀尖的强度和耐磨性,往往将刀尖磨成圆弧形或直线形的过渡刃(见图 1-3b、d)。

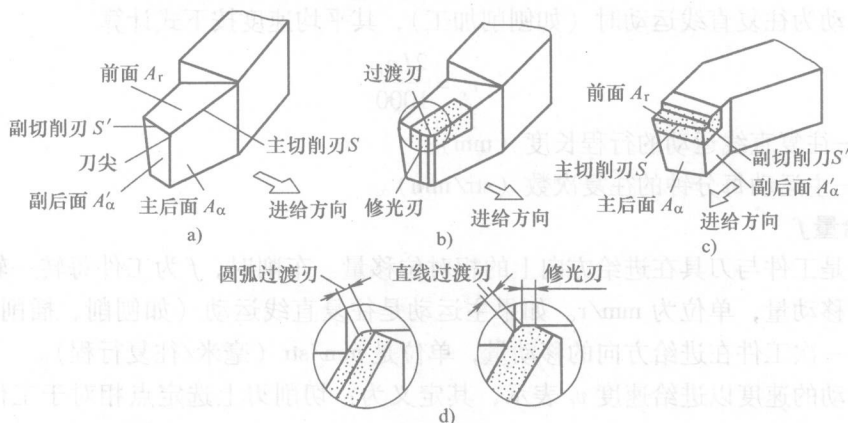


图 1-3 车刀的组成部分

### 2. 刀具角度的标注参考系

刀具几何角度是确定刀具切削部分几何形状与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。从实质上来说,刀具的标注角度是在假定条件下的工作角度。下面以外圆车刀为例来说明标注参考系。

#### (1) 标注参考系的假定条件

1) 假定运动条件。标注角度均不考虑进给运动的影响,只考虑切削速度方向的影响,即假定进给速度很小。

2) 假定安装条件。规定刀具的刃磨和安装基准面垂直于切削速度方向(或平行于基面),同时,规定刀杆的轴线与进给运动方向垂直。例如,对车刀来说,规定其刀尖安装在工件中心高度上,刀杆中心线垂直于进给方向。

(2) 刀具标注角度的参考系 由于大多数加工表面都不是平面,而且主切削刃上各点的切削速度也不相同,所以,在建立参考系时,通常是通过主切削刃上某一选定点来建立坐标平面。最基本的参考坐标系为正交平面参考系,它由基面  $P_r$ 、切削平面  $P_s$  及正交平面  $P_o$  组成。

1) 基面  $P_r$ 。通过切削刃上某一选定点,垂直于主运动(切削速度)方向的平面称为基

面。在图 1-4 中，基面就是包括切削刃选定点并与刀杆底平面平行的平面。

2) 切削平面  $P_s$ 。通过切削刃上某一选定点，切于工件加工表面的平面为切削平面。切削平面  $P_s$  垂直于基面  $P_r$ 。

3) 正交平面  $P_o$ 。通过主切削刃上某一选定点，并垂直于主切削刃在基面上的投影的平面称为正交平面。因此，正交平面是垂直于切削刃在基面上投影的平面，也称为主剖面。

### 3. 车刀的几何角度

在标注参考系中确定的刀具切削刃及刀面的方位角度，称为刀具标注角度，它们是刀具设计和制造时使用的角度，也就是刀具设计图样上所标注的角度。

下面以普通车刀为例，介绍在正交平面参考系中，影响车刀切削性能的几个主要角度（见图 1-5）。

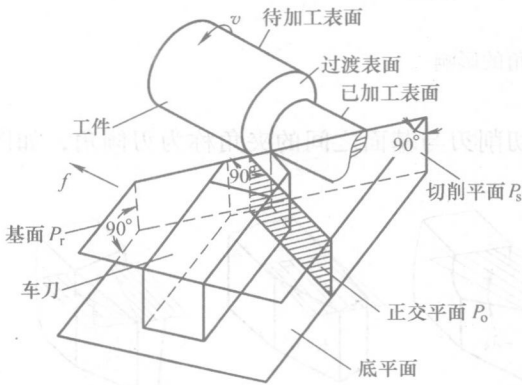


图 1-4 车刀的正交平面参考系

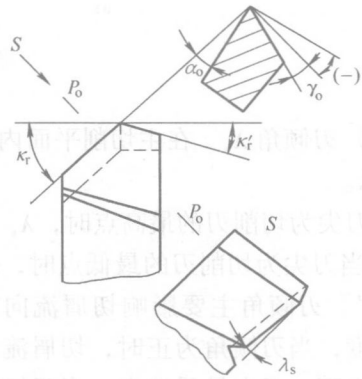


图 1-5 车刀的主要角度

(1) 前角  $\gamma$ 。在车刀正交平面中测量的前面与基面间的夹角称为前角。

在车刀的正交平面中，前面与切削平面的夹角小于  $90^\circ$  时为正值，大于  $90^\circ$  为负值，前面与切削平面平行时为  $0^\circ$ 。

前角对刀具的切削性能影响很大，较大的前角可使切削层变形减小，从而使切削力减小、切削温度降低、刀具的磨损减小。但前角过大，将导致切削刃强度降低、导热体积减小，易磨损，甚至崩刀，反而会降低刀具的使用寿命。

(2) 后角  $\alpha$ 。在车刀正交平面内测量的后面与切削平面间的夹角称为后角。

后角的主要作用是减小刀具后面与工件之间的摩擦，同时后角也影响刀头的强度，一般后角在  $3^\circ \sim 12^\circ$  之间。

(3) 主偏角  $\kappa_r$ 。在基面中测量的主切削刃在基面的投影与进给方向（走刀方向）的夹角称为主偏角。

主偏角的大小主要影响刀具的寿命和切削力的分配。图 1-6a 所示为在背吃刀量  $a_p$  和进给量  $f$  一定的条件下，减小主偏角可增加切削刃参加切削的长度，使切削层变得薄而宽，以减小切削刃单位长度上的负担，改善了散热条件，有利于提高刀具寿命。但主偏角减小会使刀具作用在工件上的径向分力  $F_y$  增大，增加了工件的弹性变形，加剧了振动，不利于提高加工精度和减小表面粗糙度值（见图 1-6b）。一般计算关系式为： $F_y = F_{xy} \cos \kappa_r$ 。

一般主偏角为  $45^\circ \sim 90^\circ$ 。

(4) 副偏角  $\kappa'_r$  在基面  $P_r$  中测量的副切削刃在基面上的投影与进给相反方向之间的夹角称为副偏角。

副偏角的主要作用是减小副切削刃与加工面的摩擦，同时可控制工件上残留高度的大小，以控制表面粗糙度值。

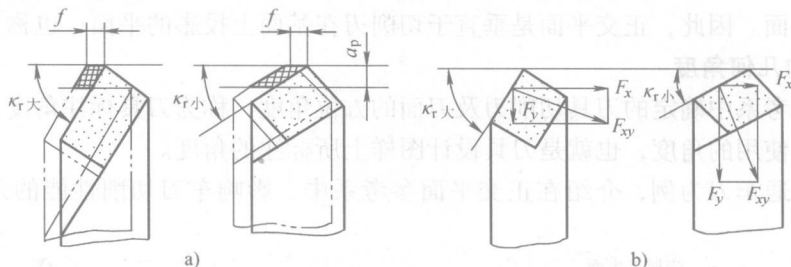


图 1-6 主偏角的影响

(5) 刃倾角  $\lambda_s$ 。在主切削平面内测量的主切削刃与基面之间的夹角称为刃倾角，如图 1-7 所示。

当刀尖为切削刃的最高点时， $\lambda_s$  为“+”；当刀尖为切削刃的最低点时， $\lambda_s$  为“-”。刃倾角主要影响切屑流向和刀头强度，当刃倾角为正时，切屑流向待加工表面，刀尖易受冲击；当刃倾角为负值时，切屑流向已加工表面，此时是切削刃先接触工件，有利于提高刀头的强度。刃倾角一般为  $-5^\circ \sim 10^\circ$ 。

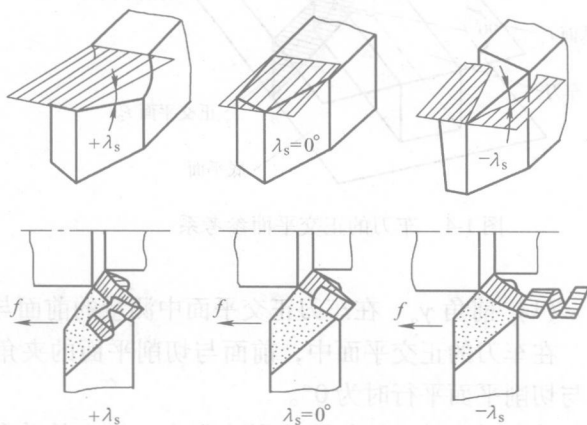


图 1-7 刃倾角  $\lambda_s$

此外，楔角  $\beta_o$  和刀尖角  $\varepsilon_r$  也是常用的角度。楔角  $\beta_o$  是指在正交平面内测量的前刀面和后刀面之间的夹角， $\gamma_o + \alpha_o + \beta_o = 90^\circ$ ，如图 1-8 所示。刀尖角  $\varepsilon_r$  是指主切削刃和副切削刃在基面内投影之间的夹角， $\kappa_r + \varepsilon_r + \kappa'_r = 180^\circ$ ，如图 1-9 所示。

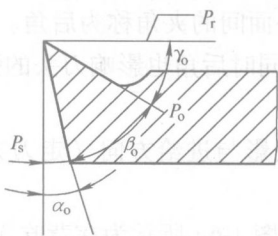


图 1-8 正交平面内楔角

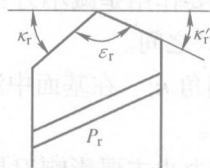


图 1-9 基面内刀尖角

#### 4. 刀具几何形状的图示方法

(1) 简单画法 取刀具在基面的投影为主视图，背平面（外圆车刀）或进给平面（端面车刀）为侧视图，切削平面的投影为向视图，并同时作出主、副切削刃的正交平面图。

画出视图与平面的主要目的是为了标注刀具的独立角度和刀杆尺寸，无需标注派生角度。视图之间应大致符合投影关系，不必画出投影线，但角度与尺寸需按比例绘制，各平面中由切削刃到刀杆底面的高度可近似用刀杆高度尺寸绘制。

(2) 车刀工作图 多用正交平面参考系标注角度，因为它既能反映刀具切削性能，也便于刃磨检验。绘制车刀工作图时，首先应判断其使用时的进给运动方向，即判断哪是主切削刃，哪是副切削刃，然后就可确定切削平面向视图及正交平面图。图 1-10 所示为 90°外圆车刀工作图。

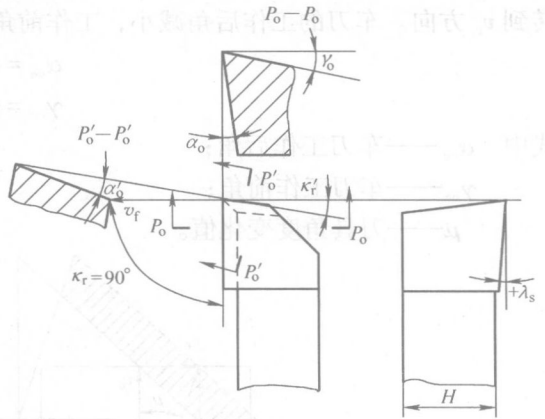


图 1-10 90°外圆车刀工作图

### 5. 车刀的工作角度

刀具的工作角度是切削时的实际切削角度。在实际切削加工过程中，刀具安装位置和进给运动均会导致实际切削角度与标注角度不相同。在某些情况下，两者甚至相差较大，其影响不可忽视。设计刀具时，一般先考虑工作角度有一合理数值，然后推算出刀具的标注角度。

(1) 刀尖安装高低对刀具工作角度的影响 图 1-11 所示的是切断刀具的三种安装情况，

当刀尖对准工件中心安装时，切削平面与车刀底面相垂直，而基面与车刀底面相平行（见图 1-11a）；若刀尖安装高于或低于工件中心，则切削平面与基面发生倾斜，从而引起切削角度发生变化（见图 1-11b、c）。当刀尖安装得高于工件中心时，前角  $\gamma_{oc}$  增大，后角  $\alpha_{oc}$  减小；与此相反，如果刀尖安装低于工件中心，则前角  $\gamma_{oc}$  减小，后角  $\alpha_{oc}$  增大。工作角度与标注角度的关系如下

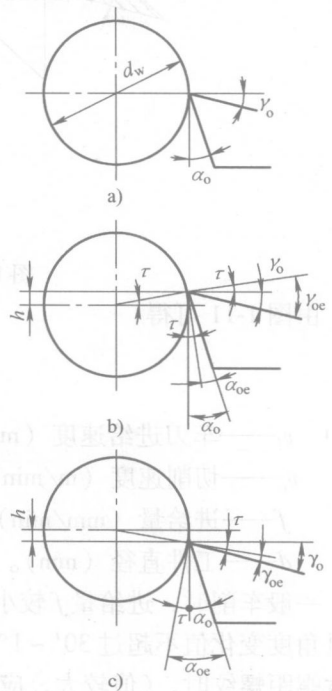


图 1-11 车刀刀尖安装高度对工作角度的影响

a) 刀尖对准中心 b) 刀尖高于中心 c) 刀尖低于中心

$$\gamma_{oc} = \gamma_0 \pm \tau \tag{1-6}$$

$$\alpha_{oc} = \alpha_0 \mp \tau \tag{1-7}$$

式中  $\gamma_{oc}$  —— 刀具工作前角；

$\alpha_{oc}$  —— 刀具工作后角；

$\tau$  —— 刀具角度变化值。

由图 1-11 得

$$\sin \tau = \frac{2h}{d_w} \tag{1-8}$$

式中  $h$  —— 车刀刀尖高于或低于工件中心的距离；

$d_w$  —— 被加工工件直径。

对于外圆车刀来说，当刀尖不对准工件中心安装时，工作角度也发生类似的变化。而镗孔时刀尖安装位置对工作角度的影响则与外圆车削时相反。

(2) 进给运动对工作角度的影响 图 1-12 所示为车

削外圆时的情况。车削时，除工件旋转外，车刀尚需作纵向进给运动，这时所形成的加工表面实际为阿基米德螺旋面。过切削刃上某点相对速度的方向是  $v_e$ ，而不是切削速度方向  $v$ ，此时基面不通过工件中心而垂直于  $v_e$ ，方向为  $a-a$ ，切削平面也由原来的垂直方向  $v_c$  方向转到  $v_e$  方向。车刀的工作后角减小，工作前角增大。其工作角度与标注角度的关系为

$$\alpha_{oe} = \alpha_o - \mu \quad (1-9)$$

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \mu \quad (1-10)$$

式中  $\alpha_{oe}$ ——车刀工作后角；  
 $\gamma_{oe}$ ——车刀工作前角；  
 $\mu$ ——刀具角度变化值。

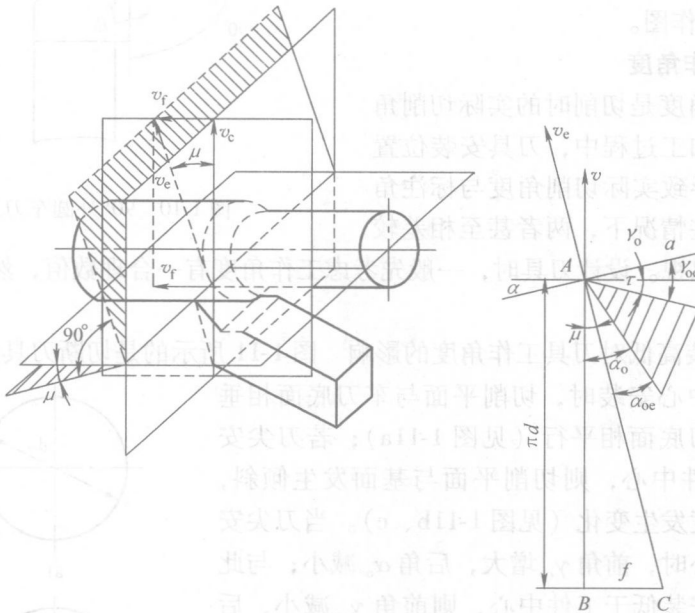


图 1-12 进给运动对车刀工作角度的影响

由图 1-11 可得

$$\tan \mu = \frac{v_f}{1000v_c} = \frac{f}{\pi d} 90^\circ \quad (1-11)$$

式中  $v_f$ ——车刀进给速度 (mm/min)；  
 $v_c$ ——切削速度 (m/min)；  
 $f$ ——进给量 (mm/min)；  
 $d$ ——工件直径 (mm)。

一般车削时，进给量  $f$  较小，由进给运动而引起的刀具角度变化值不超过  $30' \sim 1^\circ$ ，可忽略不计。但当车削大螺距螺纹时， $f$  值较大，应充分考虑它对工作角度的影响。

(3) 刀杆中心线与进给方向不垂直时工作角度的变化 车刀刀杆与进给方向不垂直时，工作主偏角  $\kappa_{re}$  和工作副偏角  $\kappa'_r$  变化如图 1-13 所示。

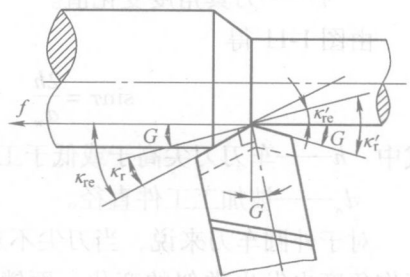


图 1-13 刀杆中心线不垂直于进给方向对车刀工作角度的影响

$$\kappa_{re} = \kappa_r \pm G \quad (1-12)$$

$$\kappa'_{re} = \kappa'_r \mp G \quad (1-13)$$

式中  $G$ ——进给运动方向的垂直线和刀杆中心线间的夹角。

### (五) 切削层参数

在切削加工过程中，刀具的切削刃在一次进给运动中从工件待加工表面上切除的金属层，称为切削层。切削层参数是在与主运动方向相垂直的平面内度量的切削层截面尺寸，如图 1-14 所示。

在外圆车削中，工件转一转，刀具沿进给方向移动距离  $f$ ，切削刃由位置 II 移到位置 I，若副切削刃与进给运动方向平行，主切削刃与进给运动方向夹角为  $\kappa_r$ ，则在 I、II 两位置之间的这层截面为平行四边形的金属层就是切削层。切削层的截面形状和尺寸直接决定切削负荷的大小。切削层的参数有以下几项：

#### 1. 切削厚度 $a_c$

切削厚度是过切削刃上选定点，在与该点主运动方向垂直的平面内，垂直于过渡表面度量的切削层尺寸，单位为 mm。

$$a_c = f \sin \kappa_r \quad (1-14)$$

#### 2. 切削宽度 $a_w$

切削宽度是过切削刃上选定点，在与该点主运动方向垂直的平面内，平行于过渡表面度量的切削层尺寸，单位为 mm。

$$a_w = a_p / \sin \kappa_r \quad (1-15)$$

#### 3. 切削层公称横截面积 $A_D$

切削层公称横截面积是过切削刃上选定点，在与该点主运动方向垂直的平面内度量的切削层横截面积，单位为  $\text{mm}^2$ 。

$$A_D = a_c a_w = f a_p \quad (1-16)$$

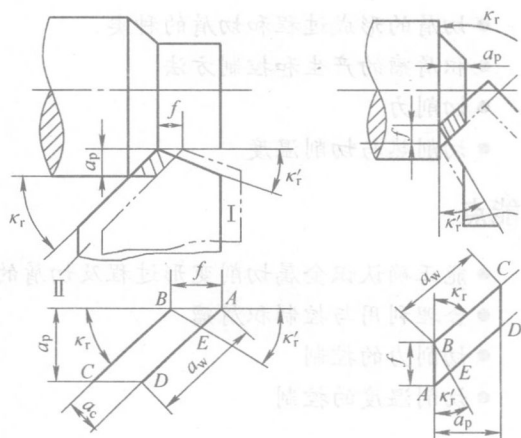


图 1-14 切削层参数

## 四、任务实施

### 1. 车削加工、切削运动和加工时形成的表面

车削加工示意图如图 1-15 所示。

### 2. 切削速度

$$v_c = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{\pi \times 60 \times 450}{1000} \text{ m/min}$$

$$= 84.8 \text{ m/min}$$

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} = \frac{60 - 50}{2} \text{ mm} = 5 \text{ mm}$$

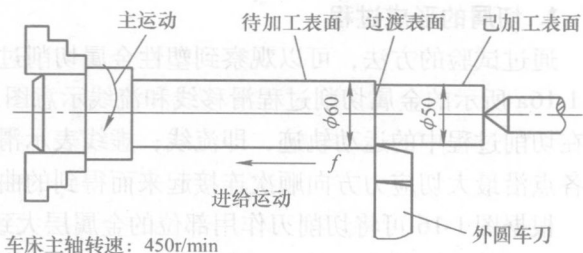


图 1-15 车削加工示意图



### 3. 绘制 90°车刀工作图

90°车刀工作图可参照图 1-10 绘制。

## 课题二 金属切削加工过程的物理现象

### 知识点

- 切屑的形成过程和切屑的种类
- 积屑瘤的产生和控制方法
- 切削力
- 切削热与切削温度

### 技能点

- 能正确认识金属切削变形过程及切屑的变化规律
- 合理利用与控制积屑瘤
- 切削力的控制
- 切削温度的控制

### 一、任务引入

在切削 20 钢圆棒料时,有时会产生断屑困难,加工后表面粗糙度达不到要求,为什么会出现这种情况?如何避免?

### 二、任务分析

切削时刀具挤压切削层,使之与工件分离变成切屑,以获得所需要的表面,这个过程称为切削过程。切屑的形状与切削力引起的分离层金属变形情况有关,加工后表面粗糙度达不到要求与积屑瘤的形成有关,积屑瘤的形成又与切削温度有关,这些现象大多遵循一定的规律。这些现象和规律直接影响着切削力、切削热、切削温度、刀具磨损与刀具寿命、加工质量、切削效率以及切削加工的经济性,是进一步研究工件质量、生产率和加工成本的依据。

### 三、相关知识

#### (一) 切屑的形成过程和切屑的种类

##### 1. 切屑的形成过程

通过试验的方法,可以观察到塑性金属切削过程中切削层变形的情况,从而可绘制出如图 1-16a 所示的金属切削过程滑移线和流线示意图。图中格子横实线代表被切削金属内某一点在切削过程中的运动轨迹,即流线;虚线表示滑移线。滑移线是指在塑性流动的平面内,把各点沿最大切应力方向顺次连接起来而得到的曲线,也就是等切应力曲线。

根据图 1-16 可将切削刃作用部位的金属层大致划分成三个变形区。

(1) 第一变形区 从  $OA$  线开始发生剪切滑移塑性变形,到  $OM$  线晶粒的剪切滑移基本完成,这一区域 (I) 称为第一变形区。切削过程中的塑性变形主要发生在这里,金属切

削时的大部分能量消耗在这一区域，所以它是主要变形区。

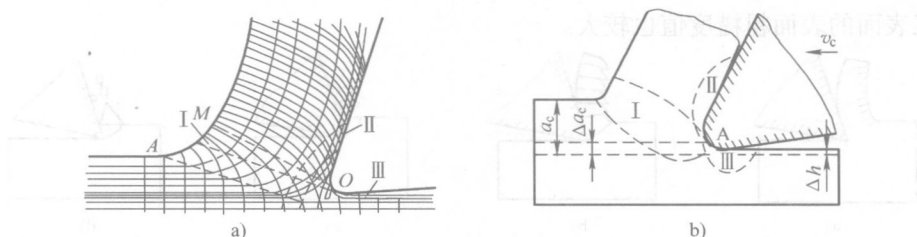


图 1-16 金属切削过程与三个变形区示意图

(2) 第二变形区 当切屑沿前刀面流出时，受到前刀面挤压和摩擦，由于高温和高压的作用，切屑变软，底层切屑与前刀面产生粘结现象，使切屑底层薄薄的一层金属流动滞缓，流动滞缓的一层金属称为滞缓层，并在滞缓层内再次产生剪切变形，这一区域（II）称为第二变形区。第二变形区主要影响摩擦力的大小和由摩擦而产生的切削热，从而进一步影响刀具的磨损。

(3) 第三变形区 已加工表面受到切削刃钝圆部分和后刀面的挤压、摩擦和回弹作用，造成纤维化与加工硬化，最终形成已加工表面，这一区域（III）称为第三变形区。第三变形区主要影响已加工表面的质量。

由上述可知，切削层的金属是由于刀具的挤压而产生弹性变形和塑性变形，从而被切离工件本体形成切屑的。

## 2. 切屑的种类

切屑的形状与分离层金属的变形情况有关，分离层金属受到前刀面挤压从前刀面流出时改变流动方向，此时切屑变形越大，其断面内产生的切应力也越大，切屑越容易断裂。常见的切屑有以下几种类型：

(1) 带状切屑 当切屑内的切应力小于材料的强度极限时，则切屑连续不断，没有裂纹，靠近前刀面的一面很光滑，另一面成毛茸状，形成常见的带状切屑，如图 1-17a 所示。加工塑性金属，如碳钢、合金钢等，当切削厚度较大、切削速度较高、刀具前角较大时，一般常得到这类切屑。

形成带状切屑时，切削力变化较小，切削过程比较平稳，工件加工表面粗糙度值较小，然而切屑太长，很长的带状切屑会缠绕工件、刀具及机床部件，影响操作安全，需要采取断屑措施。

(2) 节状切屑（挤裂切屑） 在切屑形成过程中，切屑背面的切应力达到材料的剪切强度极限，使切屑的背面局部开裂成节状，如图 1-17b 所示。切削黄铜或低速切削钢，就容易得到这类切屑。

(3) 单元切屑（粒状切屑） 在切屑形成过程中，剪切面上的切应力超过了材料的剪切强度极限，产生了剪切破坏，使切屑沿剪切面方向断裂成均匀的颗粒状，如图 1-17c 所示。在切削铅或极低速切削钢时，可得到这类切屑。形成挤裂切屑和单元切屑时，切削力有波动，加工表面的表面粗糙度值也较大。

(4) 崩碎切屑 在切削灰铸铁等脆性金属时，由于材料的塑性很小，切削层在刀具作

用下产生弹性变形, 内应力很快达到强度极限, 使切屑往往不产生塑性变形而瞬间发生崩裂, 形成崩碎切屑, 如图 1-17d 所示。形成崩碎切屑时, 切削力的变化最大, 对刃口的冲击大, 加工表面的表面粗糙度值也较大。

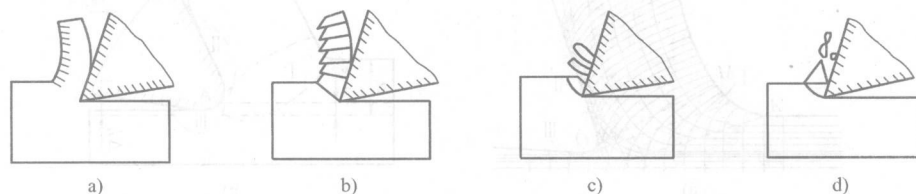


图 1-17 切屑的种类

a) 带状切屑 b) 节状切屑 c) 单元切屑 d) 崩碎切屑

由于各种不同切屑对切削效率、刀具寿命和加工质量的影响不同, 因此, 可以用改变切削条件的办法来控制切屑的形态, 以控制切削过程。

## (二) 积屑瘤

以不高的切削速度切削一般钢材或其他塑性金属时, 常常在刀具前面靠近刀尖处粘附着一块呈楔形的金属, 其硬度很高, 约为工件材料硬度的 2~3 倍, 称为积屑瘤 (见图 1-18)。

### 1. 积屑瘤的形成

在一定的加工条件下, 随着切屑与前刀面间温度和压力的增加, 摩擦力也增大, 切屑在前刀面上流动时, 会产生粘结现象, 切屑底层金属粘结在前刀面上形成滞流层。在后继切屑流动推挤下, 前面切屑的底层便与上层发生相对的滑移而分离开来, 成为积屑瘤的基础。接着新的底层又在此基础上冷焊并脱离切屑, 如此逐层脱离切屑, 逐层在前一层上积聚, 最后长成积屑瘤。

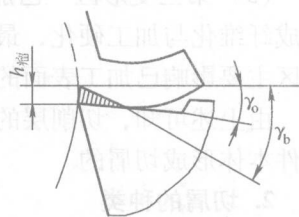


图 1-18 积屑瘤

### 2. 积屑瘤的影响

积屑瘤对切削过程有如下的影响:

- 1) 增大了实际前角  $\gamma_0$ 。积屑瘤越高, 实际前角越大, 可使切削力降低。
- 2) 改变了背吃刀量  $a_p$ 。由于积屑瘤是周期性产生的, 所以  $a_p$  是变化的, 就可能引起振动, 影响加工精度和表面粗糙度。
- 3) 积屑瘤破碎后, 碎片会粘附在工件已加工表面上, 影响工件表面粗糙度和质量。
- 4) 稳定的积屑瘤代替切削刃切削, 可减少刀具磨损, 提高刀具寿命。但破碎时可能使刀具材料颗粒剥落, 反而增加刀具磨损与破损。

因此, 精加工时一定要设法避免积屑瘤的产生; 即使是粗加工, 采用硬质合金刀具时, 一般也不希望产生积屑瘤。

### 3. 各种因素对积屑瘤的影响

(1) 工件材料的影响 塑性高的材料, 由于切削时塑性变形较大, 积屑瘤容易形成; 而脆性材料一般没有塑性变形, 因此无积屑瘤产生。

(2) 切削速度的影响 切削速度主要通过切削温度影响积屑瘤。以切削中碳钢为例, 低速切削时 ( $v < 5\text{m/min}$ ), 切削温度较低, 切屑与前刀面间呈点接触, 摩擦因数较小, 故