



普通高等教育“十二五”规划教材
机械类专业系列教材

机械制造技术基础

朱从容 主 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材
机械类专业系列教材

机械制造技术基础

主 编 朱从容
副主编 李静敏 吕冰海
编 写 吴明明 袁跃峰
主 审 袁巨龙



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。本书以机械制造工艺过程为主线,将机械制造过程中的基本理论和基础知识有机地结合起来,融合了金属切削原理与刀具、金属切削机床、机械制造工艺学、机床夹具设计等内容,形成了新的课程体系。全书共八章,内容包括金属切削基础知识、金属切削过程及控制、金属切削机床与刀具、机床夹具设计基础、机械加工质量及其控制、机械加工工艺规程设计、机械装配工艺规程设计、现代制造技术等。本书提供电子课件。

本书可作为高等工科院校机械类相关专业的教材,也可供其他专业的师生和工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础/朱从容主编. —北京:中国电力出版社, 2012.9

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-3491-5

I. ①机… II. ①朱… III. ①机械制造工艺—高等学校—教材
IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 218530 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 1 月第一版 2013 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.75 印张 531 千字

定价 38.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前 言

机械制造技术基础是机械工程类专业教学指导委员会推荐设置的一门专业技术基础课程。通过本课程的学习,使学生掌握机械制造技术的基础理论和基本知识,培养学生分析和解决实际生产问题的能力,为后续课程的学习,以及毕业后从事机械设计制造及相关领域的技术与管理工作打好基础。

本书是为适应机械设计制造及其自动化专业应用型人才培养的需要,结合编者的教学实践基础编写而成的。本书以机械制造工艺过程为主线,将机械制造过程中的基本理论和基础知识有机地结合起来,融合了金属切削原理与刀具、金属切削机床、机械制造工艺学、机床夹具设计等内容,形成了新的课程体系。本书主要内容包括金属切削基础知识、金属切削过程及控制、金属切削机床与刀具、机床夹具设计基础、机械加工质量及其控制、机械加工工艺规程设计、机械装配工艺规程设计和现代制造技术,各章后均附有一定数量的思考题与习题。本书按60~80学时编写,可根据学时的多少进行删减。

本书由朱从容任主编,李静敏、吕冰海任副主编。第一章和第二章由浙江海洋学院朱从容编写;第三章(第一~第六节)、第八章(第一节)和第七章由浙江海洋学院朱从容、浙江工业大学吕冰海共同编写;第四章和第六章由浙江海洋学院李静敏编写;第五章由衢州学院吴明明编写;第三章(第七、第八节)、第八章(第二~第四节)由浙江海洋学院袁跃峰编写。

本书由浙江工业大学袁巨龙教授主审,并提出了宝贵的意见和建议,在此表示感谢。

本书在编写过程中得到了许多专家、同仁的大力支持和帮助,在此,谨向他们表示衷心的感谢。

编 者

2012年9月



目 录

前言

第一章 金属切削基础知识	1
第一节 切削运动与切削用量.....	1
第二节 刀具的几何角度.....	2
第三节 切削层参数.....	6
第四节 刀具材料.....	7
思考题与习题	11
第二章 金属切削过程及控制	12
第一节 金属切削过程	12
第二节 切削力	20
第三节 切削热与切削温度	24
第四节 刀具磨损与刀具使用寿命	28
第五节 工件材料的切削加工性	34
第六节 切削条件的合理选择	37
第七节 磨削原理	45
思考题与习题	49
第三章 金属切削机床与刀具	50
第一节 金属切削机床的基本知识	50
第二节 车床及车刀	56
第三节 铣床及铣刀	69
第四节 孔加工机床及刀具	75
第五节 拉床与拉刀	82
第六节 磨床与砂轮	85
第七节 齿轮加工机床与齿轮刀具	93
第八节 数控机床与加工中心.....	103
思考题与习题.....	107
第四章 机床夹具设计基础	109
第一节 概述.....	109
第二节 工件在夹具中的定位.....	113
第三节 定位误差的分析与计算.....	128
第四节 工件在夹具中的夹紧.....	137
第五节 典型机床夹具.....	150
第六节 专用夹具的设计方法.....	162
第七节 现代机床夹具.....	167

思考题与习题·····	174
第五章 机械加工质量及其控制·····	177
第一节 机械加工精度概述·····	177
第二节 影响机械加工精度的因素及其控制·····	180
第三节 加工精度的统计分析·····	197
第四节 机械加工表面质量·····	205
思考题与习题·····	217
第六章 机械加工工艺规程设计·····	220
第一节 概述·····	220
第二节 机械加工工艺规程制订·····	226
第三节 工艺尺寸链·····	251
第四节 典型零件机械加工工艺规程制订·····	258
第五节 计算机辅助工艺规程设计·····	282
思考题与习题·····	293
第七章 机械装配工艺规程设计·····	299
第一节 概述·····	299
第二节 装配精度与保证装配精度方法·····	304
第三节 装配工艺规程制订·····	314
思考题与习题·····	316
第八章 现代制造技术·····	318
第一节 超精密加工技术·····	318
第二节 高速切削加工技术·····	324
第三节 快速成形制造技术·····	331
第四节 绿色制造技术·····	336
思考题与习题·····	338
参考文献·····	339

第一章 金属切削基础知识

第一节 切削运动与切削用量

一、切削运动

利用金属切削刀具切除工件上多余的金属,从而使工件的几何形状、尺寸精度及表面质量都符合预定要求,这样的加工称为金属切削加工。在金属切削加工过程中,工件与刀具之间要有相对运动,即切削运动,它由金属切削机床来完成。切削运动由主运动和进给运动组成。

1. 主运动

主运动是使刀具和工件产生相对运动以进行切削的运动。通常主运动的速度最高,消耗功率最大。在切削运动中,主运动只有一个。如图 1-1 所示,在外圆车削时,工件的回转运动为主运动,它的速度称为切削速度,用 v_c 表示。

2. 进给运动

进给运动是使新的金属不断投入切削的运动。进给运动一般速度较低,消耗的功率较少。进给运动不限于一个,可以是间歇的,也可以是连续的。外圆车削时,刀具沿工件轴线方向的直线运动为进给运动。进给运动的速度称为进给速度,用 v_f 表示。

3. 合成切削运动

主运动和进给运动合成后的运动,称为合成切削运动。外圆车削时,合成切削运动速度 v_e 的大小和方向由式 (1-1) 确定:

$$v_e = v_c + v_f \quad (1-1)$$

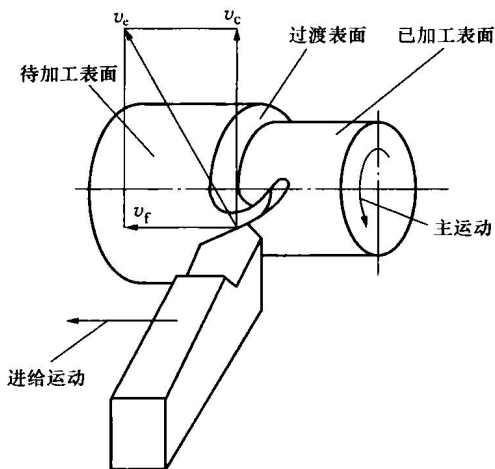


图 1-1 外圆车削时的切削运动和加工表面

二、切削加工中的工件表面

以车削为例,工件在车削过程中有三个不断变化的表面,如图 1-1 所示。

(1) 待加工表面:加工时即将被切除的表面。它随切削运动的进行逐渐减小,直至全部切去。

(2) 已加工表面:已被切去多余金属而形成的工件新表面。它随切削运动的进行逐渐扩大。

(3) 过渡表面:加工时刀具正在切削的那个表面。它是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类型的切削加工。

三、切削用量

切削用量是指切削速度 v_c 、进给量 f (或进给速度 v_f) 和背吃刀量 (切削深度) a_p , 又

称为切削用量三要素。

1. 切削速度 v_c (m/s 或 m/min)

切削速度是指切削刃上选定点相对于工件的主运动速度。计算切削速度时, 应选取刀刃上速度最高的点进行计算。主运动为旋转运动时, 切削速度 (m/s 或 m/min) 为

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000} \quad (1-2)$$

式中: d 为工件或刀具的最大直径, mm; n 为工件或刀具的转速, r/s 或 r/min。

2. 进给量 f (进给速度 v_f)

进给量是工件或刀具每回转一周时二者沿进给方向的相对位移量, 单位是 mm/r, 如图 1-2 所示。进给速度 v_f 是单位时间内的进给位移量, 单位是 mm/s (或 mm/min)。对于铣刀、铰刀、拉刀、齿轮滚刀等多齿刀具 (齿数用 z 表示) 还应规定每齿进给量 f_z , 单位是 mm/齿。

进给量 f 、进给速度 v_f 和每齿进给量 f_z 三者之间的关系为

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

3. 背吃刀量 a_p

刀具切削刃与工件的接触长度, 在同时垂直于主运动和进给运动的方向上的投影值称为背吃刀量 (切削深度), 单位是 mm。外圆车削的背吃刀量就是工件已加工表面和待加工表面间的垂直距离, 如图 1-2 所示。

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

式中: d_w 为工件上待加工表面直径, mm; d_m 为工件上已待加工表面直径, mm。

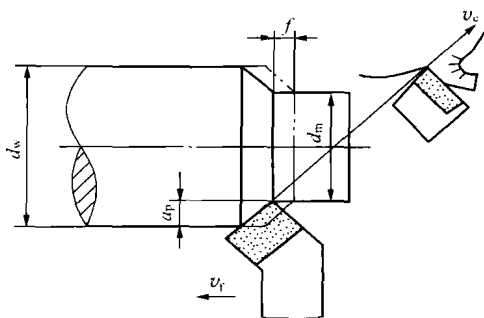


图 1-2 切削用量

第二节 刀具的几何角度

一、刀具切削部分的结构要素

尽管金属切削刀具的种类繁多, 但其切削部分的几何形状与参数具有共性, 不论刀具结构如何复杂, 其切削部分的形状总是近似地以外圆车刀切削部分的形状为基本形态。因此, 在确定刀具切削部分几何形状的一般术语时, 常以车刀切削部分为基础。刀具切削部分的结构要素如图 1-3 所示。

(1) 前刀面: 切屑沿其流出的刀具表面。

(2) 后刀面: 刀具上与工件过渡表面相对的表面。

(3) 副后刀面: 刀具上与已加工表面相对的表面。

(4) 主切削刃: 前刀面与主后刀面的交线, 它完成主要的切削工作, 也称为副刀刃。

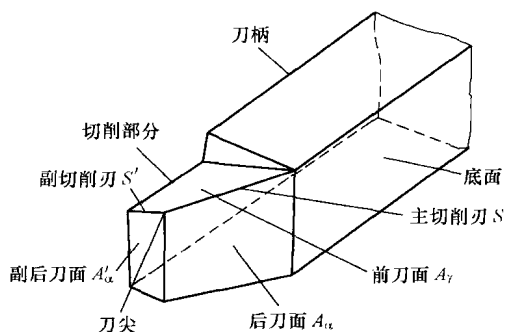


图 1-3 外圆车刀切削部分的结构要素

(5) 副切削刃：前刀面与副后刀面的交线，它配合主切削刃完成切削工作，并最终形成已加工表面，也称为副刀刃。

(6) 刀尖：主切削刃和副切削刃的连接点，它可以是短的直线段或圆弧。

二、刀具的标注角度

1. 刀具标注角度的参考系

刀具切削部分的几何形状主要由一些刀面和刀刃组成，合理的几何形状是顺利进行切削的保证。把刀具同工件和切削运动联系起来确定的刀具角度，称为刀具的工作角度。在设计、绘制和制造刀具时所标注的角度称为标注角度，它实质上是在假定条件下的工作角度。因此，在确定刀具标注角度参考系时做以下两个假定。

假定运动条件：给出刀具假定主运动和假定进给运动的方向，而不考虑进给运动的大小。

假定安装条件：刀具安装基准面垂直于主运动方向，刀柄的中心线与进给运动方向垂直，刀具刀尖与工件中心轴线等高。

构成刀具标注角度参考系的参考平面通常有基面、切削平面和正交平面。

(1) 基面 p_r 。通过切削刃上某一指定点，并与该点切削速度方向相垂直的平面，称为基面。通常基面应平行或垂直于刀具上便于制造、刃磨和测量时的某一安装定位平面或轴线。例如，普通车刀、刨刀的基面平行于刀具底面，钻头、铣刀等旋转类刀具的基面即为刀具的轴向平面。

(2) 切削平面 p_s 。通过主切削刃上某一指定点，与主切削刃相切并垂直于该点基面的平面，称为切削平面。

(3) 正交平面 p_o 。通过主切削刃上某一指定点，同时垂直于该点基面和切削平面的平面，称为正交平面。

根据定义可知，上述三个参考平面是互相垂直的，由它们组成的刀具标注角度参考系称为正交平面参考系

(见图1-4)，是目前生产中最常用的刀具标注角度参考系。除正交平面参考系外，常用标注刀具角度的参考系还有法平面参考系和假定工作平面参考系。

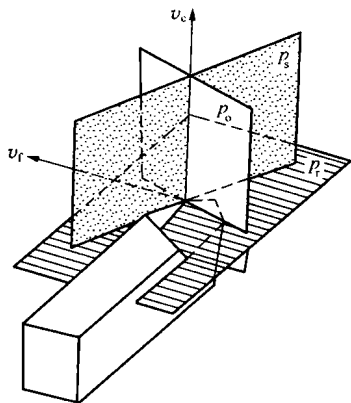


图 1-4 正交平面参考系

2. 刀具标注角度

在刀具标注角度参考系中确定的切削刃与各刀面的方位角度称为刀具标注角度。由于刀具角度的参考系沿切削刃各点可能是变化的，故所定义的刀具角度均应指明是切削刃上某一指定点的角度。以普通车刀为例，在正交平面参考系中的标注角度定义如下（见图1-5）：

(1) 前角 γ_o 。在正交平面内测量的前刀面与基面的夹角，称为前角。前刀面在基面之下时前角为正值，前刀面在基面之上时前角为负值。

(2) 后角 α_o 。在正交平面内测量的主后刀面与切削平面的夹角，称为后角。后角一般为正值。

(3) 楔角 β_o 。在正交平面内测量的前刀面与主后刀面的夹角，称为楔角。楔角是由前角和后角得到的派生角。

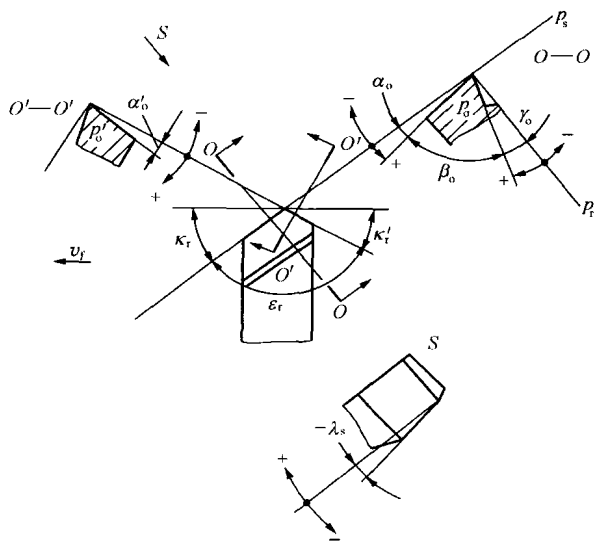


图 1-5 车刀在正交平面参考系中的标注角度的派生角。

对于具有副切削刃的刀具，还必须给出与副切削刃有关的独立角度：副前角 γ'_o 、副后角 α'_o 、副刃倾角 λ'_s ，其定义可参照 γ_o 、 α_o 、 γ_s 。

三、刀具工作角度

上述外圆车刀的标注角度，是在忽略进给运动的影响并假定刀柄轴线与纵向进给运动方向垂直，以及切削刃上选定点与工件等高的条件下确定的。刀具的工作角度应当考虑包含进给运动在内的合成运动和刀具的实际安装状况。

1. 进给运动对刀具工作角度的影响

进给运动对刀具工作角度的影响分为横向进给运动和纵向进给运动对刀具工作角度的影响。

(1) 横向进给运动对工作角度的影响。图 1-6 所示为切断车削加工时的情况，当不考虑进给运动的影响时，按切削速度 v_c 方向确定的基面和切削平面分别为 p_r 和 p_s ；考虑进给运动的影响后，刀具在工件上的运动轨迹为阿基米德螺旋线，按合成切削速度 v_{ce} 方向确定的工作基面和工作切削平面分别为 p_{re} 和 p_{se} ，从而引起刀具的前角和后角发生变化，有

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{oe} &= \gamma_o + \eta \\ \alpha_{oe} &= \alpha_o - \eta \\ \eta &= \arctan f / (\pi d) \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

式中： γ_{oe} 、 α_{oe} 分别为工作前角和工作后角。

(4) 刃倾角 λ_s 。在切削平面内测量的主切削刃与基面间的夹角，称为刃倾角。当刀尖在主切削刃上最高点时，刃倾角为正值；当刀尖在主切削刃上最低点时，刃倾角为负值；当主切削刃与基面平行时，刃倾角为零。

(5) 主偏角 κ_r 。在基面内测量的主切削刃在基面上投影与进给运动方向的夹角，称为主偏角。主偏角一般为正值。

(6) 副偏角 κ'_r 。在基面内测量的副切削刃在基面上投影与进给运动方向的夹角，称为副偏角。

(7) 刀尖角 ϵ_r 。在基面内测量的主切削刃与副切削刃之间的夹角，称为刀尖角。刀尖角是由主偏角和副偏角得到的。

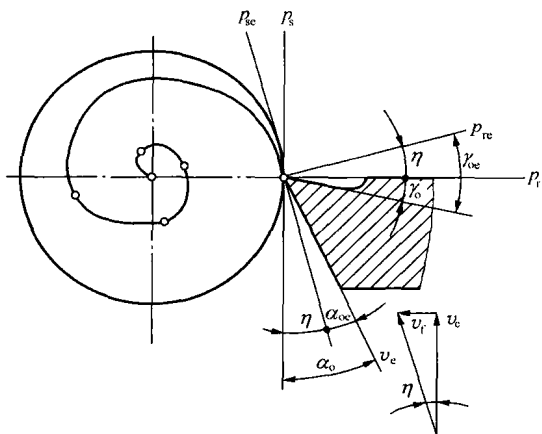


图 1-6 横向进给运动对刀具工作角度的影响

由此可知,当进给量 f 增大,则 η 值增大;当瞬时直径 d 减小, η 值也增大。因此,车削至接近工件中心时, η 值增长得很快,工作后角将由正变负,致使工件最后被挤断,这是不允许的。因此,切断刀应选用较大的 α_o ,进给量 f 的取值也不宜过大。

(2) 纵向进给运动对工作角度的影响。如图1-7所示,车削外圆时,假定车刀 $\lambda_s=0$ 。若不考虑进给运动,则基面 p_r 平行于刀杆底面,切削平面 p_s 垂直于刀杆底面。若考虑进给运动,工作切削平面 p_{se} 为切于螺旋面的平面,刀具工作角度参考系 $p_{se}-p_{re}$ 倾斜 η 角,从而使刀具进给剖面内的工作前角 γ_{fe} 、工作后角 α_{fe} 发生变化,有

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{fe} &= \gamma_f + \eta_f \\ \alpha_{fe} &= \alpha_f - \eta_f \\ \tan \eta_f &= f/(\pi d_w) \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

上述角度变化可换算到主剖面内,有

$$\left. \begin{aligned} \tan \eta &= \tan \eta_f \sin \kappa_r \\ \gamma_{oe} &= \gamma_o + \eta \\ \alpha_{oe} &= \alpha_o - \eta \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

由此可知,进给量 f 越大,工件直径 d_w 越小,则工作角度值的变化就越大。一般车削时,由进给运动所引起的 η 值不超过 $30' \sim 40'$,故其影响可忽略。但是在车削大螺距螺纹或蜗杆时,进给量 f 很大,故 η 值较大,此时就必须考虑 η 值对刀具工作角度的影响。

2. 刀具安装位置对刀具工作角度的影响

(1) 刀具安装高低对刀具工作角度的影响。车削外圆时,车刀的刀尖一般与工件轴线等高。如果刀尖高于或低于工件轴线,则此时切削速度的方向发生变化,引起基面和切削平面的位置改变,从而使车刀的实际切削角度发生变化。如图1-8所示,刀尖高于工件轴线时,工作切削平面变为 p_{se} ,工作基面变为 p_{re} ,则工作前角 γ_{oe} 增大,工作后角 α_{oe}

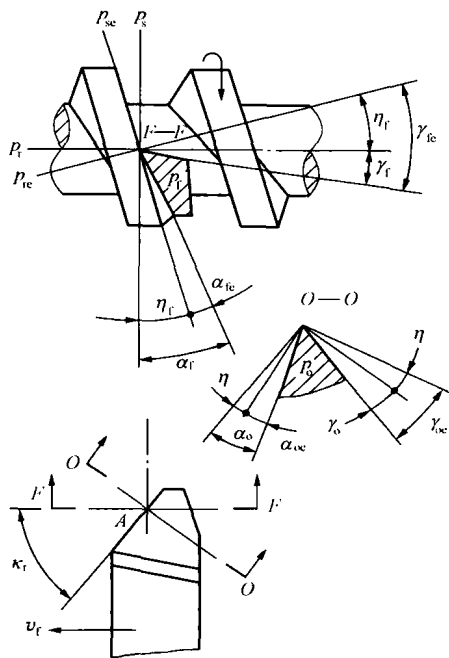


图1-7 纵向进给运动对刀具工作角度的影响

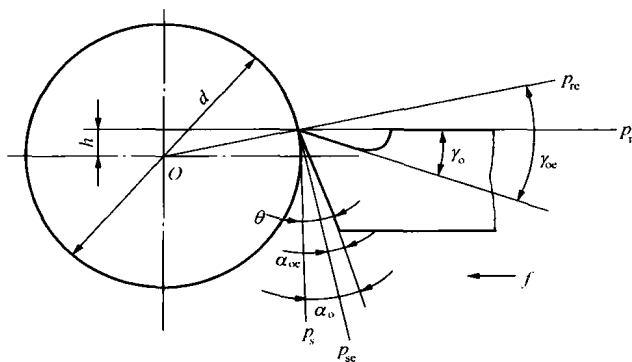


图1-8 刀具安装位置对刀具工作角度的影响

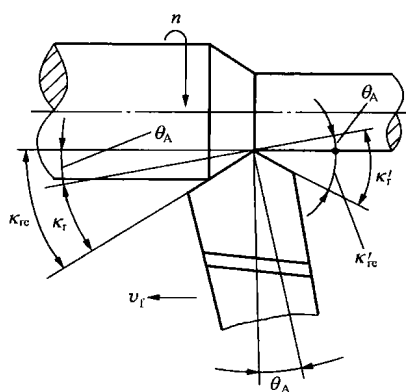


图 1-9 刀柄中心线与进给方向不垂直时对刀具工作角度的影响

减小；刀尖低于工件轴线时，工作角度的变化正好相反。

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{oe} &= \gamma_o \pm \theta \\ \alpha_{oe} &= \alpha_o \mp \theta \\ \tan \theta &= \frac{h}{\sqrt{(d/2)^2 - h^2}} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

式中： h 为刀尖高于或低于工件轴线的距离，mm； d 为工件直径，mm。

(2) 刀柄中心线与进给方向不垂直时对刀具工作角度的影响。当车刀刀柄的中心线与进给方向不垂直时，车刀的主偏角 κ_r 和副偏角 κ'_r 将发生变化。刀柄右斜（见图 1-9），将使工作主偏角 κ_{re} 增大，工作副偏角 κ'_{re} 减小；如果刀柄左斜，则 κ_{re} 减小， κ'_{re} 增大。

$$\kappa_{re} = \kappa_r \pm \theta_A, \quad \kappa'_{re} = \kappa'_r \mp \theta_A \quad (1-9)$$

式中： θ_A 为进给方向的垂线与刀柄中心线的夹角。

第三节 切削层参数

在切削过程中，刀具的切削刃在一次走刀中从工件待加工表面切下的金属层，称为切削层。切削层的截面尺寸参数称为切削层参数，通常在与主运动方向相垂直的平面内观察和度量。

1. 切削厚度 h_D

垂直于过渡表面测量的切削层尺寸，即相邻两过渡表面之间的距离，称为切削厚度，以 h_D 表示。切削厚度反映了切削刃单位长度上的切削负荷。外圆纵车时（见图 1-10），若车刀主切削刃为直线，则

$$h_D = f \sin \kappa_r \quad (1-10)$$

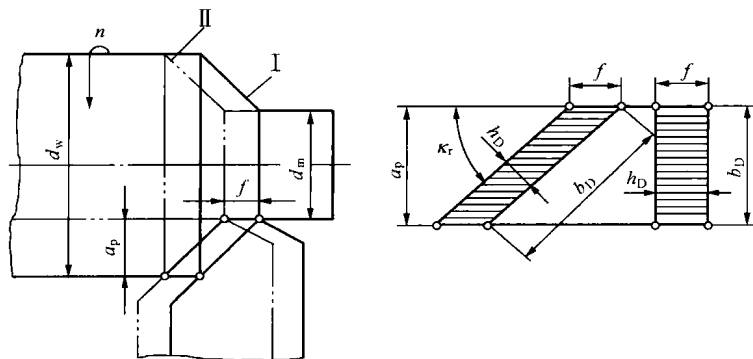


图 1-10 外圆纵车时的切削层参数

2. 切削宽度 b_D

沿过渡表面测量的切削层尺寸，称为切削宽度，以 b_D 表示。切削宽度反映了切削刃参

加切削的工作长度。外圆纵车时,若车刀主切削刃为直线,则

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r \quad (1-11)$$

当刀刃为曲线时,切削层各点的切削厚度各不相同,如图 1-11 所示。

3. 切削面积 A_D

切削厚度与切削宽度的乘积称为切削面积,以 A_D 表示。其计算公式为

$$A_D = h_D b_D \quad (1-12)$$

对于车削加工,不论切削刃形状如何,切削面积 A_D 均为

$$A_D = h_D b_D = f a_p \quad (1-13)$$

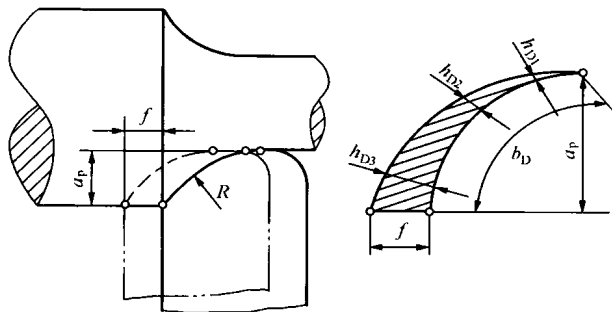


图 1-11 曲线切削刃工作时的 h_D 和 b_D

第四节 刀具材料

除了刀具的几何形状和结构以外,刀具材料也是影响刀具切削性能优劣的最重要的因素之一,它对刀具的使用寿命、生产效率、加工质量和加工成本影响极大。因此,应当高度重视刀具材料的正确选择与合理使用,并不断研制新型刀具材料。

一、刀具材料应具备的基本性能

在切削过程中,刀具切削部分与切屑、工件相互接触的表面上承受着巨大的压力和强烈的摩擦,刀具在高温、高压及冲击和振动下切削,因此,刀具材料应满足以下基本要求:

(1) 高的硬度和耐磨性。刀具材料的硬度必须高于工件材料的硬度,其常温硬度一般要求在 60HRC 以上。耐磨性表示刀具抵抗磨损的能力。一般刀具材料的硬度越高,耐磨性越好。

(2) 足够的强度和韧性。刀具材料要能够承受切削力、冲击和振动,应具备足够的强度和韧性。强度用抗弯强度表示,韧性用冲击值表示。刀具材料的强度和韧性越高,则硬度和耐磨性也就越差,这两种性能是互相矛盾的。

(3) 高耐热性。刀具材料在高温作用下应具有足够的硬度、耐磨性、强度和韧性。

(4) 良好的导热性和耐热冲击性能。刀具材料的导热性能要好,有利于散热;耐热冲击性能好,材料内部不会因受到大的热冲击而产生裂纹。

(5) 良好的工艺性能。刀具材料应具有良好的锻造性能、热处理性能、焊接性能、机械加工性能等,便于刀具制造。

(6) 经济性。经济性是刀具材料的重要指标之一。性能良好的刀具材料,若成本和价格较低,且立足于国内资源,则有利于推广应用。

二、常用刀具材料

刀具材料的种类有很多,主要有工具钢、硬质合金、陶瓷、立方氮化硼和金刚石五大类型。目前,在生产中所用的刀具材料主要是高速钢和硬质合金两类。碳素工具钢(如 T10A、T12A)、合金工具钢(如 9SiCr、CrWMn)因耐热性差,仅用于手工或切削速度较低的刀具。

1. 高速钢

高速钢是含有较多钨（W）、钼（Mo）、铬（Cr）、钒（V）等元素的高合金工具钢。高速钢具有较高的硬度（热处理硬度可达 62~67HRC）和耐热性（切削温度可达 550~600℃）。与碳素工具钢和合金工具钢相比，高速钢能提高切削速度 1~3 倍，提高刀具使用寿命 10~40 倍。高速钢可用于加工从有色金属到高温合金在内的材料。高速钢按切削性能分类，可分为普通高速钢和高性能高速钢；按制造工艺不同，可分为熔炼高速钢和粉末冶金高速钢。常用高速钢的力学性能和用途见表 1-1。

表 1-1 常用高速钢的力学性能和用途

类别		牌号	常温硬度 (HRC)	抗弯强度 (GPa)	冲击韧性 (MJ/m ²)	600℃高温 硬度 (HRC)	磨削 性能	主要用途
普通 高速 钢		W18Cr4V(W18)	63~66	3~3.4	0.18~0.32	48.5	好	用途广泛，如齿轮刀具、钻头、铰刀、铣刀、拉刀等
		W6Mo5Cr4V2(M2)	63~66	3.5~4	0.3~0.4	47~48	稍差	制造要求热塑性好和受较大冲击负荷的刀具
高性能高速钢	高碳	9W18Cr4V(9W18)	66~68	3~3.4	0.17~0.22	51	好	用于对韧性要求不高，但对耐磨性要求较高的刀具
	高钒	W6Mo5Cr4V3	65~67	3.2	0.25	51.7	差	用于形状简单，但要求耐磨的刀具
	超硬	W2Mo9Cr4VCo8(M42)	67~69	2~3.8	0.23~0.3	~55	好	制造复杂刀具和难加工材料所用刀具，价格昂贵
		W6Mo5Cr4V2Al(501)	67~69	2.9~3.9	0.23~0.3	55	稍差	制造复杂刀具和难加工材料所用刀具，价格昂贵

2. 硬质合金

硬质合金是用高硬度、难熔的金属碳化物（主要是 WC、TiC 等，又称高温碳化物）和金属黏结剂（Co、Ni 等）在高温条件下烧结而成的粉末冶金制品，允许切削温度高达 800~1000℃，切削中碳钢时，切削速度可达 100~200m/min。

硬质合金的性能主要取决于金属碳化物的种类、性能、数量、粒度和黏结剂的分量。在硬质合金中碳化物所占比例越大，硬度越高；反之，碳化物越少，硬度越低，但抗弯强度提高。碳化物的粒度越细，则越有利于提高硬质合金的硬度和耐磨性，但当黏结剂含量一定时，若碳化物粒度减小，则碳化物颗粒的总表面积加大，使黏结层厚度减薄，从而降低合金的抗弯强度。

硬质合金以其优良的切削性能已成为目前主要的刀具材料。大部分车、镗类刀具和端铣刀均采用硬质合金，其他切削刀具采用硬质合金的也日益增多。

国际标准化组织 ISO 将切削用硬质合金分为以下三类：

(1) K 类硬质合金（相当于我国 YG 类）。K 类硬质合金由 WC 和 Co 组成，也称钨钴类硬质合金。K 类硬质合金的韧性、磨削加工性、导热性和抗弯强度较好，主要用于加工铸铁、有色金属及其合金。我国 YG 类硬质合金的常用牌号有 YG6（钴的质量分数为 6%）、YG8（钴的质量分数为 8%）等。

(2) P类硬质合金（相当于我国 YT 类）。P类硬质合金由 WC、TiC、Co 组成，也称钨钴类硬质合金。P类硬质合金除具有较高的硬度和耐磨性外，抗粘结扩散能力和抗氧化能力好，适用于高速切削钢料。我国 YT 类硬质合金的常用牌号有 YT5（TiC 的质量分数为 5%）、YT15（TiC 的质量分数为 15%）等。但 P 类硬质合金不宜用于加工含钛的不锈钢和钛合金，因为硬质合金中的钛元素和工件材料中的钛元素之间易发生亲和作用，会加速刀具的磨损。

(3) M类硬质合金（相当于我国 YW 类）。M类硬质合金是在 WC、TiC、Co 的基础上再加入 TaC（NbC）制成的。加入了 TaC（NbC）后，改善了硬质合金的综合性能，使得这类硬质合金既可以加工铸铁和有色金属，又可以加工钢料，还可以加工高温合金和不锈钢等难加工材料，有通用硬质合金之称。我国 YW 类硬质合金常用牌号有 YW1、YW2 等。

硬质合金中 Co 含量增多，WC、TiC 含量减少时，抗弯强度和冲击韧性提高，适用于粗加工；Co 含量减少，WC、TiC 含量增加时，其硬度、耐磨性及耐热性提高，强度及韧性降低，适用于精加工。

常用硬质合金的牌号、性能和使用范围见表 1-2。

表 1-2 常用硬质合金的牌号、性能和使用范围

类型	牌号	物理力学性能			使用性能			使用范围		相当的 ISO 牌号
		硬度		抗弯强度 (GPa)	耐磨	耐冲击	耐热	材料	加工性质	
		HRA	HRC							
K 类	YG3	91	78	1.08	↑	↓	↑	铸铁，有色金属及其合金	连续切削时精加工、半精加工，不能承受冲击载荷	K05
	YG6X	91	78	1.37				铸铁、冷硬铸铁、高温合金	精加工、半精加工	K10
	YG6	89.5	75	1.42				铸铁、有色金属及其合金	连续切削粗加工、间断切削半精加工	K20
	YG8	89	74	1.47				铸铁、有色金属及其合金	间断切削粗加工	K30
P 类	YT5	89.5	75	1.37	↓	↑	↓	碳素钢、合金钢	粗加工，可用于间断切削加工	P30
	YT14	90.5	77	1.25				碳素钢、合金钢	连续切削粗加工、半精加工，间断切削精加工	P20
	YT15	91	78	1.13				碳素钢、合金钢	连续切削粗加工、半精加工，间断切削精加工	P10
	YT30	92.5	81	0.88				碳素钢、合金钢	连续切削精加工	P01
M 类	YW1	92	80	1.28		较好	较好	难加工钢材	精加工、半精加工	M10
	YW2	91	78	1.47		好		难加工钢材	半精加工、粗加工	M20

三、其他刀具材料

1. 陶瓷

用于制作刀具的陶瓷材料主要有纯 Al_2O_3 陶瓷和 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ 混合陶瓷两种, 以其微粉在高温下烧结而成。它有很高的硬度 (91~95HRA)、耐磨性和耐热性 (在 1200°C 时, 硬度尚能达到 80HRA, 仍具有较好的切削性能); 切削速度比硬质合金高 2~5 倍, 具有很高的化学稳定性, 与金属的亲合力小, 抗黏结和抗扩散的能力强。

陶瓷刀具可用于加工钢、铸铁, 对于冷硬铸铁、淬硬钢的车削和铣削非常有效, 它还特别适合于高速切削。但其脆性大, 抗弯强度低; 冲击韧性差, 易崩刃, 故使用范围受到限制。随着陶瓷材料制造工艺的改进, 将有利于抗弯强度的提高, 从而扩大陶瓷刀具的使用范围。

2. 金刚石

金刚石分天然和人造两种, 它们都是碳的同素异构体, 其硬度高达 10 000HV, 是自然界中最硬的材料。由于天然金刚石价格昂贵, 故工业上多使用人造金刚石。人造金刚石是在高温高压条件下, 借助于某些合金的触媒作用, 由石墨转化而成。人造金刚石又分为单晶金刚石和聚晶金刚石 (PCD)。金刚石刀具能切削陶瓷、高硅铝合金、硬质合金等难加工材料, 还可以切削有色金属及其合金, 但不能切削铁族材料。因为金刚石中的碳元素和铁族元素有很强的亲和性, 碳元素向工件扩散, 加快刀具磨损。而且当温度大于 700°C 时, 金刚石转化为石墨结构从而丧失了硬度, 因此用金刚石刀具进行切削时须对切削区进行强制冷却。金刚石刀具的刃口可以磨得很锋利, 对有色金属进行精密和超精密切削时, 表面粗糙度 R_a 值可达到 $0.01\sim0.1\mu\text{m}$ 。

3. 立方氮化硼

立方氮化硼 (CBN) 是由六方氮化硼在高温高压下加入催化剂转变而成的, 其硬度很高 (可达到 $8000\sim9000\text{HV}$), 仅次于金刚石。立方氮化硼具有很好的热稳定性 (可达 $1300\sim1500^\circ\text{C}$), 它最大的优点是在高温 ($1200\sim1300^\circ\text{C}$) 时也不易与铁族金属起反应。立方氮化硼能以硬质合金切削铸铁和普通钢的切削速度对冷硬铸铁、淬硬钢、高温合金等进行加工。

立方氮化硼刀具具有整体聚晶立方氮化硼和立方氮化硼复合片两种类型。整体聚晶立方氮化硼能像硬质合金一样焊接, 并可多次重磨; 立方氮化硼复合片是在硬质合金基体上烧结一层厚度为 0.5mm 的立方氮化硼而成。

4. 涂层刀具

涂层刀具是在韧性较好的硬质合金基体上, 或在高速钢刀具基体上, 涂抹一薄层耐磨性高的难熔金属化合物而获得的。涂层高速钢刀具一般采用物理气相沉积法 (PVD), 沉积温度 500°C 左右; 涂层硬质合金一般采用化学气相沉积法 (CVD), 沉积温度 1000°C 左右。

常用的涂层材料有 TiC 、 TiN 、 Al_2O_3 等。涂层厚度对硬质合金刀具为 $4\sim5\mu\text{m}$, 表层硬度可达 $2500\sim4200\text{HV}$; 对高速钢刀具为 $2\mu\text{m}$, 表层硬度可达 80HRC。涂层刀具具有较高的抗氧化性能, 因而有较高的耐磨性和抗月牙洼磨损能力; 具有低的摩擦系数, 可降低切削时的切削力及切削温度, 可提高刀具的使用寿命 (提高硬质合金刀具使用寿命 1~3 倍, 高速钢刀具使用寿命 2~10 倍), 但其锋利性、韧性、抗剥落性和抗崩刃性均不及未涂层的刀片, 且成本比较高。

思考题与习题

1-1 什么是切削用量三要素？在外圆车削中，它们与切削层参数有什么关系？

1-2 用 $\kappa_r = 45^\circ$ 的车刀加工外圆柱面，加工前工件直径为 $\phi 62\text{mm}$ ，加工后直径为 $\phi 54\text{mm}$ ，主轴转速 $n = 240\text{r/min}$ ，刀具的进给速度 $v_f = 96\text{mm/min}$ ，试计算 v_c 、 f 、 a_p 、 h_D 、 b_D 、 A_D 。

1-3 刀具标注角度参考系是由哪些参考平面构成的，如何定义？

1-4 试述刀具标注角度和工作角度的区别。为什么车刀做横向切削时，进给量取值不能过大？

1-5 确定一把单刃刀具切削部分几何形状最少需要哪几个基本角度？

1-6 试述判定车刀前角 γ_o 、后角 α_o 和刃倾角 λ_s 正、负号的规则。

1-7 图 1-12 所示为在车床上车削孔的示意，试在图中标出刀具前角、后角、主偏角、副偏角和刃倾角。

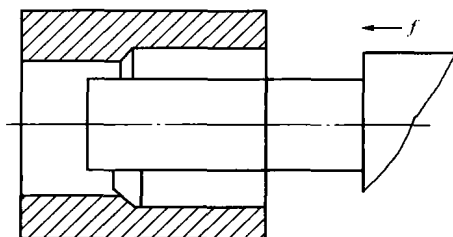


图 1-12 题 1-7 图

1-8 已知加工阶梯轴的外圆车刀 $\gamma_o = 15^\circ$ ， $\alpha_o = 10^\circ$ ， $\kappa'_r = 15^\circ$ ， $\lambda_s = -5^\circ$ ， $\alpha'_o = 5^\circ$ ，画出该车刀的标注角度，并计算刀尖角 ϵ_r 和楔角 β_o 。

1-9 内孔镗削时，如果刀具安装时（刀尖）高于机床主轴中心线，在不考虑合成运动的前提下，试分析刀具工作时前、后角的变化情况。

1-10 刀具切削部分的材料必须具备哪些基本性能？目前常用的刀具材料有哪几类？

1-11 常用的硬质合金有哪几类？如何选用？

1-12 试述陶瓷、金刚石、立方氮化硼刀具材料的特点及应用范围。