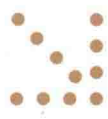


机械设计制造及其自动化专业本科系列规划教材

JIXIE
ZHIZAO JISHU JICHU

机械制造技术基础

 主 编 陈 朴
副主编 张昌明 姜 明
胡 晋 苏 蓉
主 审 陈兵奎



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

机械制造技术基础

主 编 陈 朴

副主编 张昌明 姜 明 胡 晋 苏 蓉

主 审 陈兵奎

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书是一本以机械制造工艺过程为主线,将机械产品几何技术规范、金属切削基本理论、常用加工方法与机床、刀具、夹具等基本知识进行优化整合,强调基础、突出应用的技术基础课教材。本书编写中全面采用了最新的国家标准,如2008版产品几何技术规范、2008版金属切削机床型号编制方法、2010版金属切削基本术语、2008版机械制图等新国家标准。本书直接涉及的新国家标准达30多项。

本教材供机械类本科专业教学使用,也可供从事机械制造工作的技术人员使用参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础/陈朴主编. —重庆:重庆大学出版社,2012.8

机械设计制造及其自动化专业本科系列规划教材
ISBN 978-7-5624-6709-0

I. ①机… II. ①陈… 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165630号

机械制造技术基础

主 编 陈 朴

副主编 张昌明 姜 明 胡 晋 苏 蓉

主 审 陈兵奎

策划编辑 何 梅

责任编辑:彭 宁 何 梅 版式设计:彭 宁 何 梅

责任校对:贾 梅 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编:401331

电话:(023) 88617183 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆五环印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:22.25 字数:555千

2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷

印数:1—3000

ISBN 978-7-5624-6709-0 定价:38.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

“机械制造技术基础”是1998年机械工程类专业教学指导委员会推荐设置的一门主干技术基础课。通过本课程的学习,使学生掌握机械制造技术的基本知识和基本理论,了解机械制造技术的发展动态,为后续专业课的学习,为毕业设计打下基础,也为今后从事机械设计与制造方面的工作打下基础。

本书是重庆大学出版社联合西部地区众多一般院校编写的“机械设计制造及其自动化专业本科系列教材”之一。本书由西华大学陈朴提出并修订编写大纲,参加编写大纲讨论的有西华大学、陕西理工学院、重庆理工大学、四川理工学院、广西科技大学(筹)、重庆科技学院、兰州理工大学等高校。本书充分结合上述各高校在该课程进行的各种教学改革与实践,结合各校的教学经验与对该教材的要求编写而成。

本书是一本以机械制造工艺过程为主线,将金属切削基本理论、机械产品几何技术规范、常用加工方法与机床、刀具、夹具等基本知识进行优化整合,强调基础、突出应用的技术基础课教材。本书按50~80学时的教学计划编写,各校在使用时可酌情增减有关内容。书中部分内容可供学生自学和课外阅读。为便于教学,每一章后附有习题。

进入21世纪以来,在机械制造领域内的大部分国家标准均已更新,本书编写中全面采用了最新的国家标准,如2008版产品几何技术规范、2008版金属切削机床型号编制方法、2010版金属切削基本术语、2008版机械制图等新国家标准。本书直接涉及的新国家标准达30多项。

本教材供机械类本科专业教学使用,同时也可供机类、近机类本科、机械类专科等作为教学参考书,也可从事机械制造工作的技术人员参考。

本书由西华大学陈朴任主编,陕西理工学院张昌明、四川理工学院姜明、重庆科技学院胡晋、西华大学苏蓉等任副主编,由陈朴负责全书的统稿。第1章、第2章由张昌明编写,

第3章由胡晋编写,第4章由陈朴编写,第5章由姜明编写,第6章由苏蓉编写,第7章由尹洋(西华大学)编写,第8章由何高法(重庆科技学院)编写。本书由重庆大学陈兵奎教授主审。

在本书编写过程中得到了许多专家、同仁的大力支持和帮助,也参考了许多专家的有关文献。在此,谨向他们表示衷心感谢。

由于我们水平有限,书中难免有错误和不当之处,恳请广大读者批评指正。

编者
2012年4月

目 录

| | |
|------------------------------|-----|
| 第1章 金属切削基础知识 | 1 |
| 1.1 切削运动与切削用量 | 1 |
| 1.2 刀具切削部分的几何参数 | 3 |
| 1.3 切削层参数与切削方式 | 7 |
| 1.4 常用刀具材料和刀具种类 | 9 |
| 习题与思考题 | 18 |
| 第2章 金属切削基本理论 | 19 |
| 2.1 金属切削过程 | 19 |
| 2.2 金属切削过程中的主要物理现象及规律 | 24 |
| 2.3 影响金属切削加工的主要因素及其控制 | 36 |
| 习题与思考题 | 50 |
| 第3章 产品几何技术规范 | 52 |
| 3.1 互换性与优先数 | 52 |
| 3.2 孔轴的极限与配合 | 54 |
| 3.3 几何公差 | 75 |
| 3.4 表面粗糙度 | 92 |
| 习题与思考题 | 98 |
| 第4章 机械加工方法与设备 | 101 |
| 4.1 金属切削机床概述 | 101 |
| 4.2 车削加工与设备 | 116 |
| 4.3 磨削加工与设备 | 141 |
| 4.4 铣削加工与设备 | 154 |
| 4.5 齿面加工方法与设备 | 161 |
| 4.6 孔加工方法与设备 | 176 |
| 4.7 其他加工方法与设备 | 183 |
| 习题与思考题 | 196 |
| 第5章 机械加工精度与表面质量 | 199 |
| 5.1 概述 | 199 |
| 5.2 机械加工精度 | 202 |
| 5.3 机械加工表面质量 | 236 |
| 习题与思考题 | 248 |

| | |
|--------------------------------|-----|
| 第 6 章 机械加工工艺规程设计 | 251 |
| 6.1 机械加工工艺规程的基本概念 | 251 |
| 6.2 工件的安装与基准 | 257 |
| 6.3 机床夹具的基础知识 | 260 |
| 6.4 尺寸链原理 | 282 |
| 6.5 机械加工工艺规程的制订 | 287 |
| 6.6 工艺过程的生产率和技术经济分析 | 304 |
| 6.7 成组技术 | 309 |
| 6.8 计算机辅助机械加工工艺规程设计简介 | 314 |
| 习题与思考题 | 317 |
| 第 7 章 装配工艺基础 | 320 |
| 7.1 机械装配概述 | 320 |
| 7.2 装配尺寸链 | 321 |
| 7.3 保证装配精度的方法 | 323 |
| 7.4 装配工艺规程的制订 | 327 |
| 习题与思考题 | 330 |
| 第 8 章 先进制造技术与制造模式 | 331 |
| 8.1 概述 | 331 |
| 8.2 机械制造自动化技术 | 334 |
| 8.3 快速原形技术 | 336 |
| 8.4 高速加工技术 | 338 |
| 8.5 先进制造生产模式 | 343 |
| 习题与思考题 | 347 |
| 参考文献 | 348 |

第 1 章

金属切削基础知识

1.1 切削运动与切削用量

1.1.1 切削运动

在金属切削机床上切削工件时,工件与刀具之间要有相对运动,这个相对运动就是切削运动。

图 1.1 所示为外圆车削时的情况。工件的旋转运动形成母线(圆),车刀的纵向直线运动形成导线(直线),圆母线沿直导线运动时就形成了工件上的外圆表面,故工件的旋转运动和车刀的纵向直线运动就是外圆车削时的切削运动。

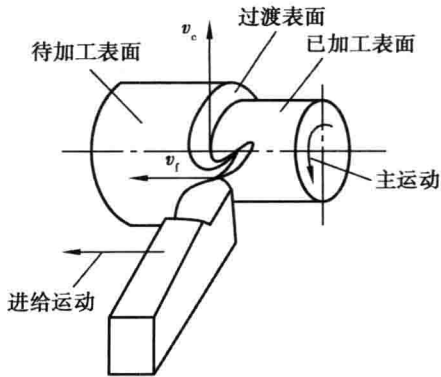


图 1.1 外圆车削的切削运动与加工表面

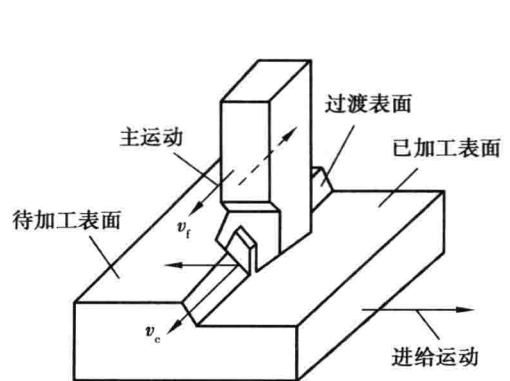


图 1.2 平面刨削的切削运动与加工表面

图 1.2 所示为在牛头刨床上刨平面的情况。刨刀作直线往复运动形成母线(直线),工件作间歇直线运动形成导线,直母线沿直导线运动时就形成了工件上的平面,故在牛头刨床上刨平面时,刨刀的直线往复运动和工件的间歇直线运动就是切削运动。

在其他各种切削加工方法中,工件和刀具同样也必须完成一定的切削运动。切削运动通常按其在此切削中所起的作用分为以下两种:

1) 主运动 由机床或人力提供的主要运动,它使刀具与工件之间产生相对运动,从而使刀具前面接近工件。主运动的方向为切削刃选定点相对于工件的瞬时运动的方向。这个运动的速度最高,消耗的功率最大。例如,外圆车削时工件的旋转运动和平面刨削时刀具的直线往复运动都是主运动。主运动的形式可以是旋转运动或直线运动,但每种切削加工方法中主运动通常只有一个。

2) 进给运动 由机床或人力提供的运动,它使刀具与工件之间产生附加的相对运动,加上主运动,即可不断地或连续地切除切屑,并得出具有所需几何特性的已加工表面。例如,外圆车削时车刀的纵向连续直线运动和平面刨削时工件的间歇直线运动都是进给运动。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,其运动速度和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)。

1.1.2 切削加工表面

如图 1.1 所示,在切削加工中,工件上通常存在三个表面,它们是:

1) 待加工表面 它是工件有待切除之表面。随着切削过程的进行,它将逐渐减小,直至全部切去。

2) 已加工表面 它是工件上经刀具切削后形成的表面。随着切削过程的进行,它将逐渐扩大。

3) 过渡表面(加工表面) 它是工件上由切削刃形成的那部分表面,它在下一切削行程,刀具或工件的下一转里被切除,或者由下一切削刃切除。它总是处在待加工表面与已加工表面之间。

1.1.3 切削用量

所谓切削用量,是指切削速度、进给量和背吃刀量三者的总称。它们分别定义如下:

1) 切削速度 v_c 它是切削加工时,切削刃选定点相对于工件的主运动速度。切削刃上各点的切削速度可能是不同的。当主运动为旋转运动时,工件或刀具最大直径处的切削速度由下式确定:

$$v_c = \frac{\pi dn}{1\ 000} \quad (1.1)$$

式中 d —完成主运动的工件或刀具的最大直径,mm;

n —主运动的转速,r/s 或 r/min。

2) 进给量 f 它是工件或刀具的主运动每转一转或每一行程时,工件和刀具两者在进给运动方向上的相对位移量。例如外圆车削的进给量 f 是工件每转一转时车刀相对于工件在进给运动方向上的位移量,其单位为 mm/r;又如在牛头刨床上刨平面时,其进给量 f 是刨刀每往复一次,工件在进给运动方向上相对于刨刀的位移量,其单位为 mm/双行程。

在切削加工中,也有用进给速度 v_f 来表示进给运动的。所谓进给速度 v_f ,是指切削刃上选定点相对于工件的进给运动速度,其单位为 mm/s。若进给运动为直线运动,则进给速度在切削刃上各点是相同的。在外圆车削中,

$$v_f = f \cdot n \quad (1.2)$$

式中 f —车刀每转进给量, mm/r;

n —工件转速, r/s。

3) 背吃刀量 a_p 对外圆车削(图 1.1)和平面刨削(图 1.2)而言,背吃刀量 a_p 等于工件已加工表面与待加工表面间的垂直距离,其中外圆车削的背吃刀量

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1.3)$$

式中 d_w —工件待加工表面的直径, mm;

d_m —工件已加工表面的直径, mm。

1.2 刀具切削部分的几何参数

1.2.1 刀具切削部分的结构要素

金属切削刀具的种类很多,各种刀具的结构尽管有的相差很大,但它们切削部分的几何形状都大致相同。普通外圆车刀是最基本、最典型的切削刀具,故通常以外圆车刀为基础来定义刀具切削部分的组成和刀具的几何参数。如图 1.3 所示,车刀由刀头、刀体两部分组成。刀头用于切削,刀柄用于装夹。刀具切削部分由三个面、两条切削刃和一个刀尖组成。

①前刀面 A_γ :切削过程中切屑流出经过的刀具表面。

②后刀面 A_α :切削过程中与工件过渡表面相对的刀具表面。

③副后刀面 A'_α :切削过程中与工件已加工表面相对的刀具表面。

④主切削刃 S :起始于切削刃上主偏角为零的点,并至少有一段切削刃拟用来在工件上切出过渡表面的那个整段切削刃。它其实就是前刀面与主后刀面的交线。它担负主要的切削工作。

⑤副切削刃 S' :除主切削刃以外的刃,亦起始于主偏角为零的点,但它向背离主切削刃的方向延伸。它其实是前刀面与副后刀面的交线。它配合主切削刃完成切削工作。

⑥刀尖:主、副切削刃的连接处相当少的一部分切削刃。为了改善刀尖的切削性能,常将刀尖磨成直线或圆弧形过渡刃。

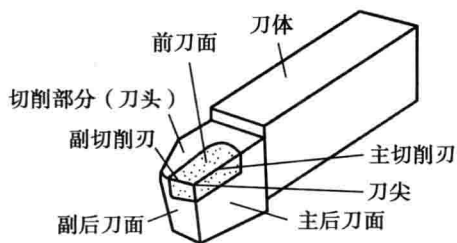


图 1.3 车刀切削部分的构成

1.2.2 刀具的标注角度

用于定义和规定刀具角度的各基准坐标平面称为参考系。参考系有两类:①刀具标注角度参考系或静止参考系:刀具设计、刃磨和测量的基准,用此定义的刀具角度称刀具标注角度;②刀具工作参考系: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。

在建立刀具静止参考系时,特作如下二点假设:

- ①首先假定主运动方向和假定进给运动方向,其次假定进给速度值很小($v_f=0$);
- ②安装车刀时,刀柄底面水平放置,且刀柄与进给方向垂直;刀尖与工件回转中心等高。

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的条件下建立的参考系。

(1) 正交平面参考系

正交平面参考系由三个平面组成:基面 P_r 、切削平面 P_s 和正交平面 P_o ; 组成一个空间直角坐标系,如图 1.4 所示。

①基面 P_r :指过主切削刃选定点,并垂直于该点切削速度方向的平面。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。对于普通车刀,它的基面总是平行于刀杆的底面。

②切削平面 P_s :指过主切削刃选定点,与主切削刃相切,并垂直于该点基面的平面。

③正交平面 P_o :指过主切削刃选定点,同时垂直于基面与切削平面的平面。

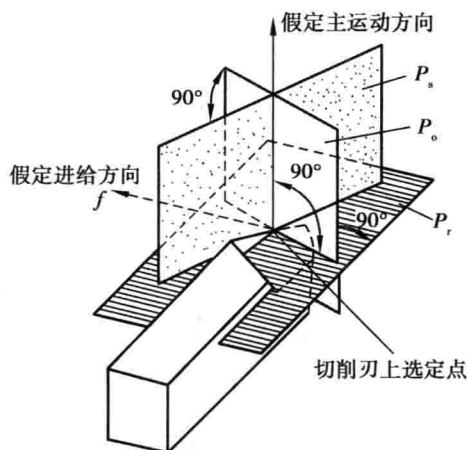


图 1.4 正交平面参考系

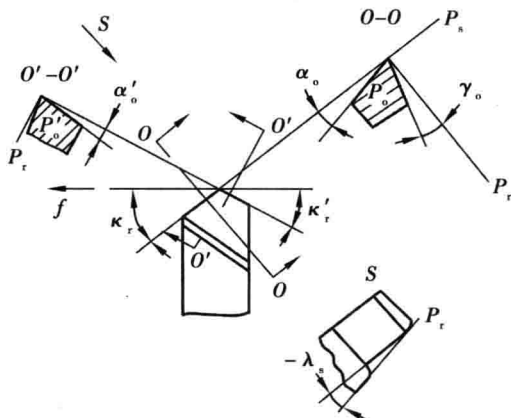


图 1.5 正交平面参考系标注角度

(2) 正交平面参考系标注角度

如图 1.5 所示,在正交平面内定义的角度有:

①前角 γ_o :是指前刀面与基面之间的夹角。前刀面与基面平行时前角为零;刀尖位于前刀面最高点时,前角为正;刀尖位于前刀面最低点时,前角为负。

②后角 α_o :是指后刀面与切削平面之间的夹角。刀尖位于后刀面最前点时,后角为正;刀尖位于后刀面最后点时,后角为负。

在基面内定义的角度有:

③主偏角 κ_r :主切削平面与假定工作平面间的夹角。即主切削刃在基面上的投影与假定进给方向之间的夹角。主偏角一般在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间。

④副偏角 κ_r' :副切削平面与假定工作平面间的夹角。即是指副切削刃在基面上的投影与假定进给方向之间的夹角。

在切削平面内定义的角度有:

⑤刃倾角 λ_o :是指主切削刃与基面之间的夹角。切削刃与基面平行时,刃倾角为零;刀尖

位于刀刃最高点时,刃倾角为正;刀尖位于刀刃最低点时,刃倾角为负。

过副切削刃上选定点且垂直于副切削刃在基面上投影的平面称为副正交平面。过副切削刃上选定点的切线且垂直于基面的平面称为副切削平面。副正交平面、副切削平面与基面组成副正交平面参考系。在副正交平面内定义的角度有:

⑥副后角 α'_s :是指副后刀面与副切削平面之间的夹角。

(3) 法平面参考系及标注角度

在标注可转位刀具或大刃倾角刀具时,常用法平面参考系。如图 1.6 所示,法平面参考系由 P_r 、 P_s 、 P_n (法平面)三个平面组成。法平面 P_n 是过主切削刃某选定点,并垂直于切削刃或其切线的平面。

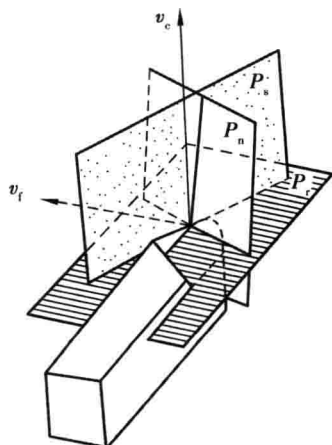


图 1.6 法平面参考系

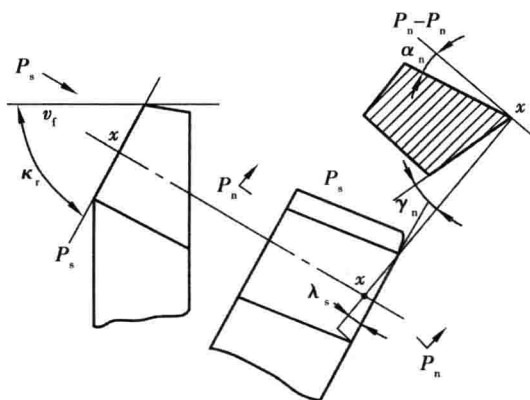


图 1.7 法平面参考系标注角度

如图 1.7 所示,在法平面参考系内的标注角度有:

法前角 γ_n 是指法平面内测量的前刀面与基面之间的夹角。

法后角 α_n 是指在法平面内测量的后刀面与切削平面之间的夹角。

其余角度与正交平面参考系的相同。

法前角、法后角与前角、后角可由下列公式进行换算:

$$\tan \gamma_n = \tan \gamma_o \cos \lambda_s \quad (1.4)$$

$$\cot \alpha_n = \cot \alpha_o \cos \lambda_s \quad (1.5)$$

必须指出,在 GB/T 12204—2010《金属切削 基本术语》中,不再如上划分 2 个参考系,而是由前述各个参考平面直接形成参考系,不同的刀具角度在相应的参考平面中标注与测量。

1.2.3 刀具的工作角度

以车刀为例,刀具标注角度是在假定运动条件和假定安装条件下定义的。在实际切削加工过程中,由于刀具受安装位置和进给运动的影响,刀具的参考平面发生了变化,刀具角度就应在工作参考平面内定义。在工作参考系里标注的角度称为车刀的工作角度。工作参考系的基面 P_{re} 、切削平面 P_{se} 、正交平面 P_{oe} 的位置与标注参考系不同,所以工作角度也发生了改变。工作角度记作: γ_{oe} 、 α_{oe} 、 κ_{re} 、 κ'_{re} 、 λ_{se} 、 α'_{oe} 等。

(1) 刀具安装对工作角度的影响

1) 刀刃安装高度对工作角度的影响 车削时刀具的安装常会出现刀刃安装高于或低于工件回转中心的情况,如图 1.8 所示。工作基面、工作切削平面相对于标注参考系产生 θ 角的偏转,将引起工作前角和工作后角的变化: $\gamma_{oe} = \gamma_o \pm \theta, \alpha_{oe} = \alpha_o \mp \theta$ 。

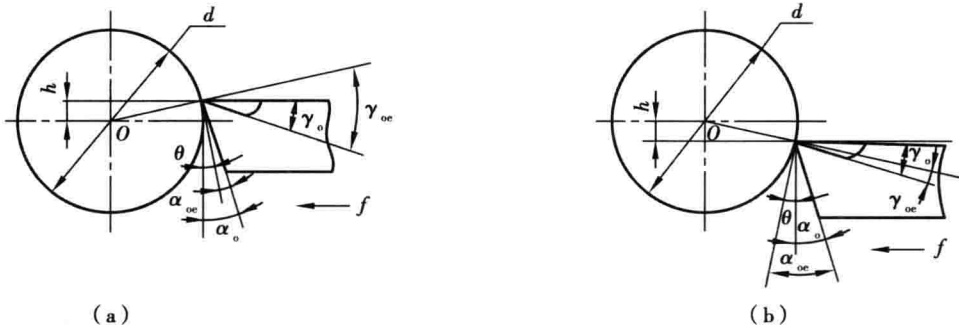


图 1.8 车刀安装高度对工作角度的影响

2) 刀柄安装偏斜对工作角度的影响 在车削时会出现刀柄与进给方向不垂直的情况,如图 1.9 所示。刀柄垂线与进给方向产生 θ 角的偏转,将引起工作主偏角和工作副偏角的变化: $\kappa_{re} = \kappa_r \pm \theta, \kappa'_{re} = \kappa'_r \mp \theta$ 。

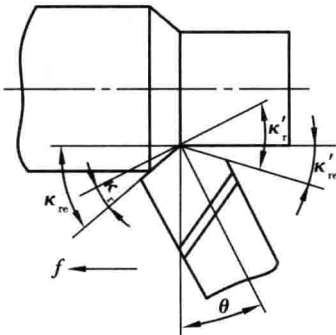


图 1.9 车刀安装偏斜对工作角度的影响

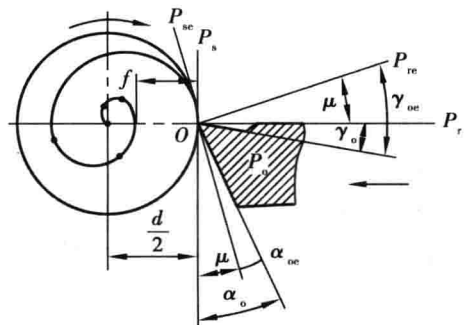


图 1.10 横向进给运动对工作角度的影响

(2) 进给运动对工作角度的影响

1) 横向进给对工作角度的影响 车端面或切断时,车刀作横向进给,切削轨迹是阿基米德螺旋线,如图 1.10 所示。实际基面和切削平面相对于标注参考系都要偏转一个附加的角度 μ (μ 是主运动方向与合成切削运动方向之间的夹角, $\tan \mu = \frac{v_f}{v_c} = \frac{f}{\pi d}$, 称为合成切削速度角),将使车刀的工作前角增大,工作后角减小: $\gamma_{oe} = \gamma_o + \mu, \alpha_{oe} = \alpha_o - \mu$ 。

2) 纵向进给对工作角度的影响 车外圆或车螺纹时,车削合成运动产生的加工表面为螺旋面,如图 1.11 所示。实际的基面和切削平面相对于标注参考系都要偏转一个附加的角度 μ (角度 μ 与螺旋升角 μ_f 的关系为: $\tan \mu = \tan \mu_f \sin k_r = \frac{f \sin k_r}{\pi d}$),将使车刀的工作前角增大,工作后角减小: $\gamma_{oe} = \gamma_o + \mu, \alpha_{oe} = \alpha_o - \mu$ 。

一般车削时,进给量比工件直径小得多,故角度 μ 很小,对车刀工作角度影响很小,可忽略不计。但若进给量较大时(如加工丝杆、多头螺纹),则应考虑角度 μ 的影响。车削右旋螺

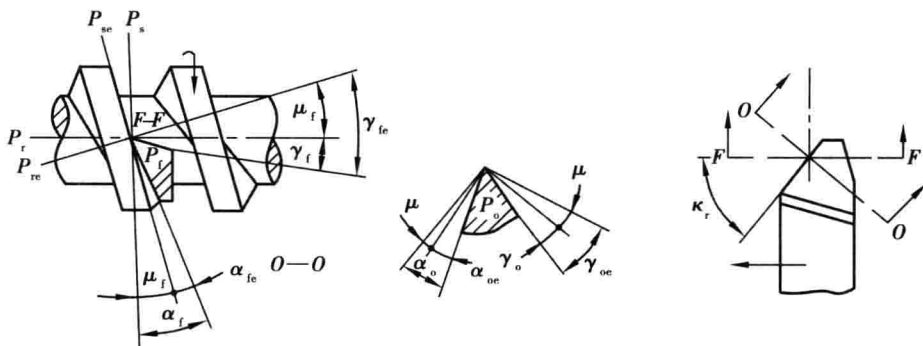


图 1.11 纵向进给运动对工作角度的影响

纹时,车刀左侧刃后角应大些,右侧刃后角应小些。使用可转角度刀架时,将刀具倾斜一个角度 μ 安装,使左右两侧刃工作前后角相同。

1.3 切削层参数与切削方式

1.3.1 切削层参数

如图 1.12 所示。由刀具切削部分的一个单一动作(或指切削部分切过工件的一个单程,或指只产生一圈过渡表面的动作)所切除的工件材料层即为切削层。换句话说,刀具或工件沿进给运动方向每移动一个 $f(\text{mm/r})$ 或 $a_f(\text{mm/z})$ 后,由一个刀齿正在切的金属层称为切削层。

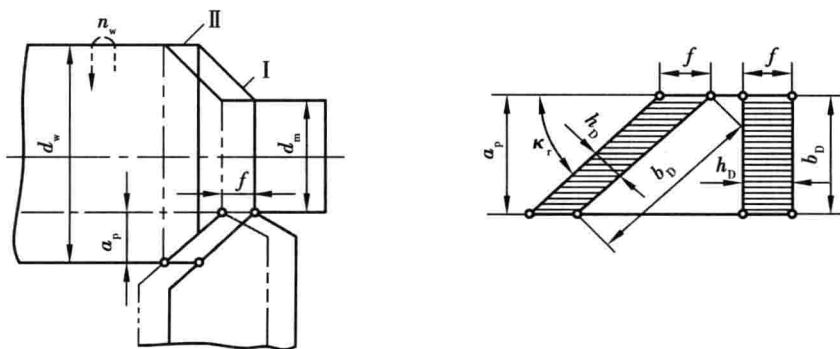


图 1.12 外圆纵车时切削层

切削层参数就是指的这个切削层的截面尺寸,它通常在过作用主切削刃上基点 D (一般为将作用主切削刃分为两相等长度的点)并与该点主运动方向垂直的平面内观察和度量,这个平面又叫切削层尺寸平面。

现用典型的外圆纵车来说明切削层参数。如图 1.12 所示,车刀主切削刃上任意一点相对于工作的运动轨迹是一条空间螺旋线,整个主切削刃切出的是一个螺旋面。工件每转一转,车刀沿工件轴线移动一个进给量 f 的距离,主切削刃及其对应的工作过渡表面也在连续移动中由位置 I 移至相邻的位置 II,于是 I、II 螺旋面之间的一层金属被切下变为切屑。由车

刀切削着的这一层金属就叫做切削层。切削层的大小和形状直接决定了车刀切削部分所承受的负荷大小及切下切屑的形状和尺寸。在外圆纵车中,当 $\kappa_r' = 0$ 、 $\lambda_s = 0$ 时,切削层的截面形状为一平行四边形;当 $\kappa_r = 90^\circ$ 时,切削层的截面形状为矩形。

(1) 切削层公称横截面积

切削面积 A_D :在给定瞬间,切削层在切削层尺寸平面里的实际横截面积。

总切削面积 A_{Dtot} :若用多齿刀具切削时,在给定瞬间,所有同时参与切削的各切削部分的横截切削层面积之总和。

在外圆纵车中,当作用主切削刃为直线且 $\kappa_r' = 0$ 、 $\lambda_s = 0$ 时,切削面积为:

$$A_D = h_D \cdot b_D = f \cdot a_p \tag{1.6}$$

(2) 切削层公称宽度

切削宽度 b_D :在给定瞬间,作用主切削刃截形上两个极限点间的距离,在切削层尺寸平面中测量。

在外圆纵车中,当作用主切削刃为直线且 $\kappa_r' = 0$ 、 $\lambda_s = 0$ 时,切削宽度为:

$$b_D = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \tag{1.7}$$

由上式可知,当 a_p 减小或 κ_r 增大时, b_D 变短。

(3) 切削层公称厚度

切削厚度 h_D :在同一瞬间的切削层公称横截面积与其切削层公称宽度之比。

在外圆纵车中,当作用主切削刃为直线且 $\kappa_r' = 0$ 、 $\lambda_s = 0$ 时,切削厚度为:

$$h_D = f \cdot \sin \kappa_r \tag{1.8}$$

由此可见, f 或 κ_r 增大,则 h_D 变厚。

1.3.2 切削方式

(1) 自由切削与非自由切削

刀具在切削过程中,如果只有一条直线切削刃参加切削工作,这种情况称之为自由切削。其主要特征是切削刃上各点切屑流出方向大致相同,被切金属的变形基本上发生在二维平面内。

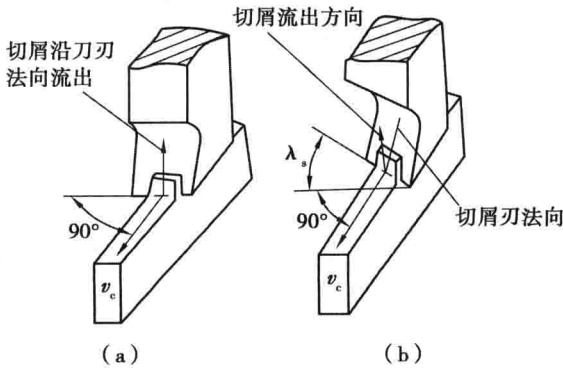


图 1.13 直角切削与斜角切削

如图 1.13 所示,宽刃刨刀的主切削刃长度大于工件宽度,没有其他切削刃参加切削,所以它是属于自由切削。反之,若刀具上的切削刃为曲线,或有几条切削刃(包括副切削刃)都参加了切削,并且同时完成整个切削过程,则称之为非自由切削。其主要特征是各切削刃交接处切下的金属互相影响和干扰,金属变形更为复杂,且发生在三维空间内。例如外圆车削时除主切削刃外,还有副切削刃同时参加切削,所以,它是属于非自由切削方式。

(2) 直角切削与斜角切削

直角切削是指刀具主切削刃的刃倾角 $\lambda_s = 0$ 的切削,此时,主切削刃与切削速度向量成直角,故又称它为正交切削。如图 1.13(a) 所示为直角切削简图,它是属于自由切削状态下的直角切削,其切屑流出方向是沿切削刃的法向,这也是金属切削中最简单的一种切削方式,在金属切削的理论和实验研究工作中,多采用这种直角自由切削方式。

斜角切削是指刀具主切削刃的刃倾角 $\lambda_s \neq 0$ 的切削,此时主切削刃与切削速度向量不成直角。如图 1.13(b) 所示即为斜角切削,它也是属于自由切削方式。一般的斜角切削,无论它是在自由切削或非自由切削方式下,主切削刃上的切屑流出方向都将偏离其切削刃的法向。实际切削加工中的大多数情况属于斜角切削方式。

1.4 常用刀具材料和刀具种类

1.4.1 刀具材料应具备的性能

现代切削加工对刀具提出了更高和更新的要求。近几十年来,世界各工业发达国家都在大力发展先进刀具,开发出了许多高性能的刀具材料。

刀具材料通常是指刀具切削部分的材料。其性能的好坏将直接影响加工精度、切削效率、刀具寿命和加工成本。因此,正确选择刀具材料是设计和选用刀具的重要内容之一。

由于刀具在切削时,要克服来自工件的弹塑性变形的抗力和来自切屑、工件的摩擦力,常使刀具切削刃上出现很大的应力并产生很高的温度,刀具将会出现磨损和破损。因此,为使刀具能正常工作,刀具材料应满足如下一些性能要求。

(1) 高的硬度和耐磨性

刀具材料的硬度必须高于被加工材料的硬度,常温下刀具硬度一般应在 60 HRC 以上。

耐磨性是指材料抵抗磨损的能力,它与材料硬度、强度和金相组织等有关。一般而言,材料的硬度越高,耐磨性越好;材料金相组织中碳化物越多、越细、分布越均匀,其耐磨性越高。

(2) 足够的强度和韧性

切削时刀具要承受较大的切削力、冲击和振动,为避免崩刃和折断,刀具材料应具有足够的强度和韧性。一般用材料的抗弯强度和冲击韧度值表示。

(3) 高的耐热性

耐热性即高温下保持足够的硬度、耐磨性、强度和韧性的性能。常将材料在高温下仍能保持高硬度的能力称为热硬性、红硬性。刀具材料的高温硬度越高,耐热性越好,允许的切削速度越高。

(4) 化学稳定性好

指刀具材料在常温和高温下不易与周围介质及被加工材料发生化学反应。

(5) 良好的工艺性和经济性

便于加工制造,如良好的锻造性、热处理性、可焊性、刃磨性等,还应尽可能满足资源丰富、价格低廉的要求。

现代切削加工具有更高速、更高效和自动化程度高等特点,为适应其需要,对现代切削加

工的刀具材料提出了比传统加工用刀具材料更高的要求,它不仅要求刀具耐磨损、寿命长、可靠性好、精度高、韧性好,而且要求刀具尺寸稳定、安装调整方便等。

1.4.2 常用刀具材料的种类

随着机械制造技术的发展与进步,刀具材料也取得了较大的发展。刀具材料从碳素工具钢发展到了现在广泛使用的硬质合金、陶瓷和超硬材料(立方氮化硼、金刚石等)。

现代切削加工基本淘汰了碳素工具钢,所使用刀具材料主要为高速工具钢、硬质合金、陶瓷、立方氮化硼、金刚石等五类,其主要力学性能见表 1.1。

表 1.1 常用刀具材料的主要物理、力学性能

| 材料种类 | | 密度 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) | 硬度 /HRC(HRA) | 抗弯强度 /GPa | 冲击韧度值 /($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$) | 热导率/($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) | 耐热性 /°C |
|-------|-------------|--------------------------------------------|------------------------|--------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------|
| 高速工具钢 | | 8.0 ~ 8.8 | 63 ~ 70 (83 ~ 86.6) | 2 ~ 4.5 | 0.098 ~ 0.588 | 16.75 ~ 25.1 | 600 ~ 700 |
| 硬质合金 | 钨钴类 | 14.3 ~ 15.3 | (89 ~ 91.5) | 1.08 ~ 2.35 | 0.019 ~ 0.059 | 75.4 ~ 87.9 | 800 |
| | 钨钛钴类 | 9.35 ~ 13.2 | (89 ~ 92.5) | 0.9 ~ 1.4 | 0.0029 ~ 0.0068 | 20.9 ~ 62.8 | 900 |
| | 碳化钨、钨类 | — | (~92) | ~1.5 | — | — | 1000 ~ 1100 |
| | 碳化钛基类 | 5.56 ~ 6.3 | (92 ~ 93.3) | 0.78 ~ 1.08 | — | — | 1100 |
| 陶瓷 | 氧化铝陶瓷 | — | — | 0.44 ~ 0.686 | 0.0049 ~ 0.0117 | 4.19 ~ 20.93 | 1200 |
| | 氧化物、碳化物混合陶瓷 | 3.6 ~ 4.7 | (91 ~ 95) | 0.71 ~ 0.88 | | | 1100 |
| 超硬材料 | 立方氮化硼 | 3.44 ~ 3.49 | 8000 ~ 9000 HV | ~0.294 | — | 75.55 | 1400 ~ 1500 |
| | 人造金刚石 | 3.47 ~ 3.56 | 10000 HV | 0.21 ~ 0.48 | — | 146.54 | 700 ~ 800 |

(1) 高速工具钢

高速工具钢是在工具钢中加入较多的钨(W)、钼(Mo)、铬(Cr)、钒(V)等合金的高合金工具钢,俗称为白钢或锋钢。

1) 高速工具钢的特点 与普通的碳素工具钢和合金工具钢相比,高速工具钢突出的特点是热硬性很高,在切削温度达 500 ~ 650 °C 时,仍能保持 60 HRC 的硬度。同时,高速工具钢还具有较高的耐磨性以及高的强度和韧性。

与硬质合金相比,高速工具钢的最大优点是可加工性好并具有良好的综合力学性能。同时,高速工具钢的抗弯强度是硬质合金的 3 ~ 5 倍,冲击韧性是硬质合金的 6 ~ 10 倍。

高速工具钢具有较好的力学性能和良好的工艺性,特别适合制造各种小型刀具及结构和形状复杂的刀具,如成形车刀、钻头、拉刀、齿轮加工刀具和螺纹加工刀具等。另外,由于高速工具钢刀具热处理技术的进步以及成形金属切削工艺(全磨制钻头、丝锥等)的更新,使得高速工具钢仍是现代切削加工应用较多的刀具材料之一。

2) 常用高速工具钢材料的分类与性能及应用 高速工具钢的品种繁多,根据 GB/T 9943—2008《高速工具钢》,按切削性能可分为低合金高速工具钢(HSS—L)、普通高速工具钢(HSS)和高性能高速工具钢(HSS—E);按化学成分可分为钨系高速工具钢和钨钼系