

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



JIXIE ZHIZAO JISHU JICHU

机械制造技术基础

刘传绍 郑建新 主 编
刘建慧 童景琳 张昌娟 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



JIXIE ZHIZAO JISHU JICHU

机械制造技术基础

主 编	刘传绍	郑建新	
副主编	刘建慧	童景琳	张昌娟
编 写	杨志波	姜无疾	明平美
	张益民	高爱华	
主 审	孙步功		



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

本书以机械制造工艺学为主,对原机械专业课程“金属切削原理与刀具”、“机床夹具”、“机床概论”等进行了整合。全书共六章,主要包括金属切削过程及其控制、机械加工设备与典型刀具、机床夹具设计、机械加工质量及其控制、工艺规程设计、机械制造技术的发展概况。

本书可作为高等学校机械类专业机械制造技术基础课程的本科教材,也可供高职高专院校师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础/刘传绍,郑建新主编. —北京:中国电力出版社, 2009

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-9151-9

I. 机… II. ①刘…②郑… III. 机械制造工艺—高等学校—教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 121513 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 8 月第一版 2009 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20 印张 486 千字

定价 32.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
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

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

“机械制造技术基础”是机械类专业的主要专业基础课之一。目前,该课程在我国多数院校中均已开设,计划教学学时多安排为 64 学时,并配套有实验、生产实习、课程设计等相关教学环节。编者按照全国高校教学改革要求,贯彻“重视基础、精简学时、拓宽口径”改革思路,总结各高等学校近 10 年来教学改革的探索与实践经验,组织编写了这本《机械制造技术基础》。

本书以机械制造工艺学为主,对原机械专业课程“金属切削原理与刀具”、“机床夹具”、“机床概论”等进行整合,内容包括金属切削过程及其控制、机械加工设备与典型刀具、机床夹具设计、机械加工质量及其控制、工艺规程设计、机械制造技术的发展概况。

本书由河南理工大学刘传绍教授组织编写。编写分工如下:刘建慧、高爱华编写第一章,童景琳、张益民编写第二章,杨志波编写第三章,张昌娟、姜无疾编写第四章,郑建新、明平美编写第五章和第六章。本书由刘传绍和郑建新任主编,刘建慧、童景琳、张昌娟任副主编。

本书由甘肃农业大学孙步功主审。主审老师提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示感谢。

由于编者水平所限,书中不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2009 年 6 月



目

录

前言

第一章 金属切削过程及其控制	1
第一节 金属切削过程的基本知识.....	1
第二节 金属切削过程的基本规律与控制	10
第三节 金属切削基本条件的合理选择	38
第二章 机械加工设备与典型刀具	54
第一节 金属切削机床的基本知识	54
第二节 车床	64
第三节 钻床与镗床	84
第四节 铣床与刨床	88
第五节 齿轮加工机床	95
第六节 其他机床.....	105
第七节 典型刀具.....	119
第三章 机床夹具设计	145
第一节 概述.....	145
第二节 定位原理及定位元件.....	149
第三节 定位误差的分析与计算.....	159
第四节 工件在夹具中的夹紧.....	164
第五节 机床夹具设计.....	193
第四章 机械加工质量及其控制	200
第一节 概述.....	200
第二节 机械加工精度的影响因素及控制.....	203
第三节 加工误差的综合分析.....	217
第四节 机械加工表面质量的影响因素及控制.....	224
第五节 机械加工过程中的振动及控制.....	237
第五章 工艺规程设计	243
第一节 机械加工工艺过程基本概念.....	243
第二节 机械加工工艺规程的制订.....	248
第三节 制订机械加工工艺过程的主要问题.....	253
第四节 工艺尺寸链.....	265
第五节 机械加工的生产率和技术经济分析.....	275
第六节 装配工艺规程的设计.....	280

第六章 机械制造技术的发展概况.....	294
第一节 先进制造工艺技术.....	294
第二节 机械制造工艺自动化技术.....	303
参考文献.....	310

第一章 金属切削过程及其控制

金属切削过程是刀具和工件之间通过不同形式的相对运动,由刀具从工件表面上切去多余材料,从而得到预期形状精度、尺寸精度、位置精度和表面粗糙度的机械零件的过程。伴随着切削过程,会产生切削变形与积屑瘤、切削力、切削热与切削温度、刀具磨损等一系列现象。本章以车刀为代表,在介绍切削刀具基本知识的基础上,逐步深入探讨上述各种现象的成因、变化规律和内在联系。掌握和运用这些基本理论和基本规律并善于有效地控制切削过程,对保证加工工件的质量、提高生产效率和降低生产成本具有重要的意义。

第一节 金属切削过程的基本知识

本节介绍刀具切削部分的基本定义及相关术语。本节内容是学习金属切削原理及切削过程控制的基础。

一、基本概念

(一) 切削成形运动与加工表面

切削成形运动是由刀具与工件之间的多个相对运动所组成的合成运动,这种相对运动又称为切削运动。按作用来分,切削运动可分为主运动和进给运动。图 1-1 所示为外圆车削成形运动、加工表面及切削层参数。

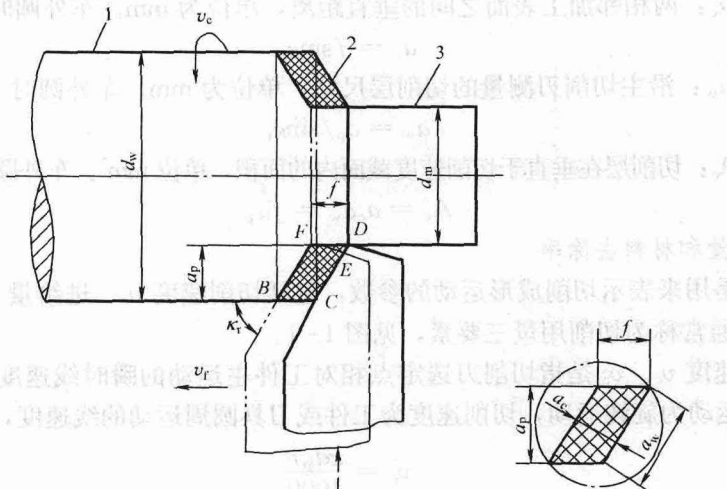


图 1-1 外圆车削成形运动、加工表面及切削层参数

1—待加工表面; 2—过渡表面; 3—已加工表面

1. 主运动

主运动是切削时最主要的、消耗动力最多的一种相对运动。它使刀具的切削部分切入工件,工件上的被切削层转变为切屑,从而在工件上形成新表面。机床通常只有一个主运动,

其形式可以是旋转运动或直线运动。例如,车、镗削工件的主运动是机床主轴的旋转运动,平面刨削时刀具的直线往复运动是主运动。

2. 进给运动

进给运动使待切除的金属层不断投入切削,以保持切削过程的连续性。通常情况下,进给运动速度较低、消耗功率较少。进给运动可以是连续的,也可以是间歇的。它的运动形式可以是直线运动,也可以是旋转运动或者两者的组合。图 1-1 中 v_f 为车外圆时车刀的纵向移动速度;车刀的横向进给运动及平面刨削时工件或刀具的间歇直线移动都是间歇的直线进给运动;外圆磨削时工件的旋转及其轴向往复直线移动等都是进给运动。

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由刀具和工件分别完成,也可由刀具同时完成(如钻床上钻孔)。主运动和进给运动可以是旋转运动,也可以是直线移动。

3. 形成表面

在切削加工过程中,工件上形成了三个不断变化着的表面。如图 1-1 所示,待加工表面指工件上即将被切去金属层的表面;已加工表面指工件上切去金属层后所形成的新表面;过渡表面指工件上正在被切削刃切削的表面,也称为加工表面。

(二) 切削层及切削用量三要素

1. 切削层

切削层是指在切削过程中,刀具的切削刃一次走刀所切除的工件材料层。切削层形状、尺寸直接影响着切削过程的变形、刀具承受的负荷及刀具的磨损。如图 1-1 中工件旋转一周,车刀沿轴线移动一定长度 f ,切下截面为 $BCDF$ 的材料层。切削层的截面尺寸参数称为切削层参数。切削层形状和参数通常在与主运动方向相垂直的平面内观察和度量。

切削厚度 a_c : 两相邻加工表面之间的垂直距离,单位为 mm。车外圆时(见图 1-1):

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

切削宽度 a_w : 沿主切削刃测量的切削层尺寸,单位为 mm。车外圆时(见图 1-1):

$$a_w = a_p / \sin \kappa_r \quad (1-2)$$

切削面积 A_c : 切削层在垂直于切削速度截面内的面积,单位 mm^2 。车外圆时(见图 1-1):

$$A_c = a_c a_w = f a_p \quad (1-3)$$

2. 切削用量和材料去除率

切削用量是用来表示切削成形运动的参数,包括切削速度 v_c 、进给量 f 或进给速度 v_f 、切削深度 a_p ,通常称为切削用量三要素,见图 1-1。

(1) 切削速度 v_c 。 v_c 是指切削刃选定点相对工件主运动的瞬时线速度,单位为 m/s 或 m/min。若主运动为旋转运动,切削速度为工件或刀具圆周运动的线速度,其计算公式为

$$v_c = \frac{\pi d_w n}{1000} \quad (1-4)$$

式中 v_c ——切削速度, m/s 或 m/min;

d_w ——完成主运动的工件或者刀具的最大直径, mm;

n ——主运动的转速, r/min 或 r/s。

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

$$v_c = \frac{2ln_r}{1000} \quad (1-5)$$

式中 l ——工件或刀具做往复直线运动的行程长度, mm;

n_r ——工件或刀具每分或每秒往复的次数, str/min 或 str/s。

(2) 进给量 f 或进给速度 v_c 。在单位时间内, 刀具和工件之间沿进给方向所移动的距离称为进给速度 v_c (mm/s); 在主运动的一个循环内, 刀具和工件之间沿进给运动方向相对于工件移动的距离称为进给量 f 。如车削时, 进给量 f 为工件每转过一转时车刀沿进给方向移动的距离 (mm/r); 刨削时为刨刀 (或工件) 每往复一次, 工件 (或刨刀) 沿进给方向移动的距离 (mm/往复一次)。

对于齿数为 z 的多齿刀具 (如钻头、铣刀) 每转或每行程中每齿相对于工件在进给运动方向上的位移量, 称为每齿进给量, 记作 f_z , 单位为 mm/z。显然

$$f_z = \frac{f}{z} \quad (1-6)$$

用多齿刀 (如铣刀) 加工时, 也可用进给运动的瞬时速度即进给速度来描述。切削刃上选定点相对工件的进给运动的速度称为进给速度, 记作 v_f , 单位为 mm/s 或 mm/min。对于连续进给的切削加工, v_f 可按式 (1-7) 计算 (n 为转速):

$$v_f = n f = n z f_z \quad (1-7)$$

对于主运动为往复直线运动的切削加工 (如刨削、插削), 一般不规定进给速度, 但规定每行程进给量。

(3) 切削深度 a_p (亦称背吃刀量)。切削深度指工件上待加工表面和已加工表面之间的垂直距离, 见图 1-1。

车削圆柱、内孔等回转表面时:

$$a_p = \frac{|d_w - d_m|}{2} \quad (1-8)$$

式中 d_w ——工件待加工表面直径, mm;

d_m ——工件已加工表面直径, mm。

(4) 切削时间 t_m 与材料去除率 Q 。 t_m 指切削时直接改变工件尺寸、形状等工艺过程所需的时间, 单位为 min。它是反映切削效率高低的一个指标。如图 1-2 所示, 车外圆时:

$$t_m = \frac{LA}{v_f a_p} \quad (1-9)$$

式中 l ——刀具行程长度, mm;

A ——半径方向加工余量, mm。

将式 (1-4)、式 (1-7) 代入式 (1-9) 中, 可得

$$t_m = \frac{\pi d_w L A}{1000 v_c a_p f} \quad (1-10)$$

由式 (1-10) 可知, 提高切削用量中的任一要素均可降低切削时间。

Q 是指在切削过程中, 单位时间内切除材料的体积, 称为材

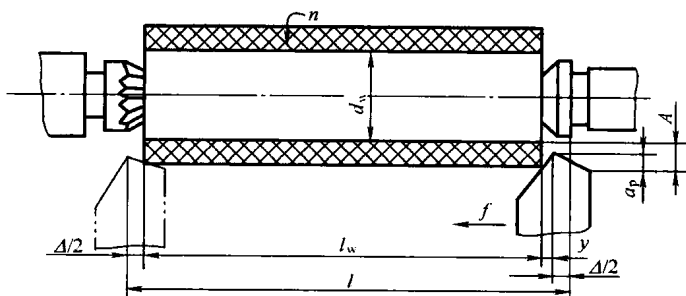
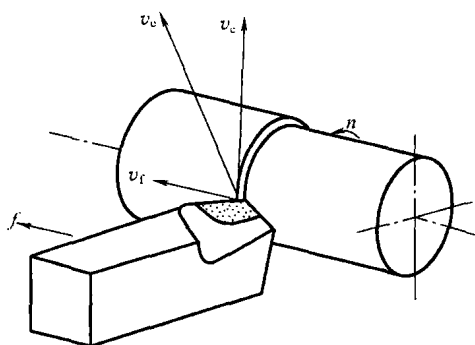


图 1-2 车外圆时车削时间的计算



$$v_c = v_r + v_f$$

图 1-3 车削时的合成切削速度

料切除率, 单位为 mm^3/s 。由式 (1-11) 计算:

$$Q = 1000 a_p f v_c \quad (1-11)$$

材料切除率是衡量切削效率的重要指标, 切削用量的大小对其有直接影响。

3. 合成切削运动与合成切削速度

主运动与进给运动合成的运动称为合成切削运动。切削刃选定点相对工件合成切削运动的瞬时速度称为合成切削速度, 如图 1-3 所示。

二、刀具几何角度

切削刀具的种类很多 (见图 1-4), 形状也各不相同, 但其切削部分都有共同的特征, 其中最典型的是车刀, 其他各种刀具切削部分的几何形状和参数, 都可视为以外圆车刀为基本形态而按各自的特点演变而成。因此, 掌握外圆车刀的相关概念之后, 就可以通过类比推广到其他不同形状的刀具。

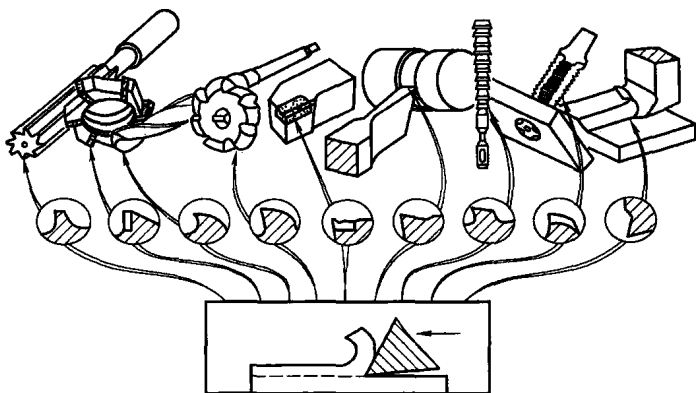


图 1-4 各种刀具切削部分形状

(一) 刀具切削部分的基本定义

如图 1-5 所示, 外圆车刀由刀头和刀体组成。刀体可装夹在机床上, 刀头是切削部分。车刀的切削部分组成如下:

- (1) 前刀面 A_r : 切屑流出经过的表面。
- (2) 主后刀面 A_a : 切削时刀具上与工件的过渡表面相对的表面。
- (3) 副后刀面 A'_a : 与工件上的已加工表面相对的表面。
- (4) 主切削刃 S : 前刀面和主后刀面的交线, 起着主要切削作用。
- (5) 副切削刃 S' : 前刀面和副后刀面的交线, 起着辅助切削的作用。

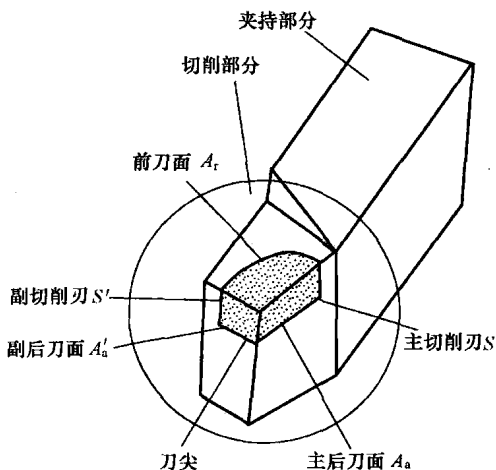


图 1-5 车刀的切削部分

(6) 刀尖：主切削刃和副切削刃的交点。为了增强刀尖的强度和耐磨性，常将刀尖磨成圆角或直角，形成过渡刃。

(二) 刀具切削部分的角度

1. 确定刀具几何角度的辅助平面

刀具角度对切削加工影响很大，为了便于确定车刀刀面在空间的位置及设计、测量刀具角度，需要做出几个辅助平面以建立刀具静止和工作参考系（见图 1-6）。

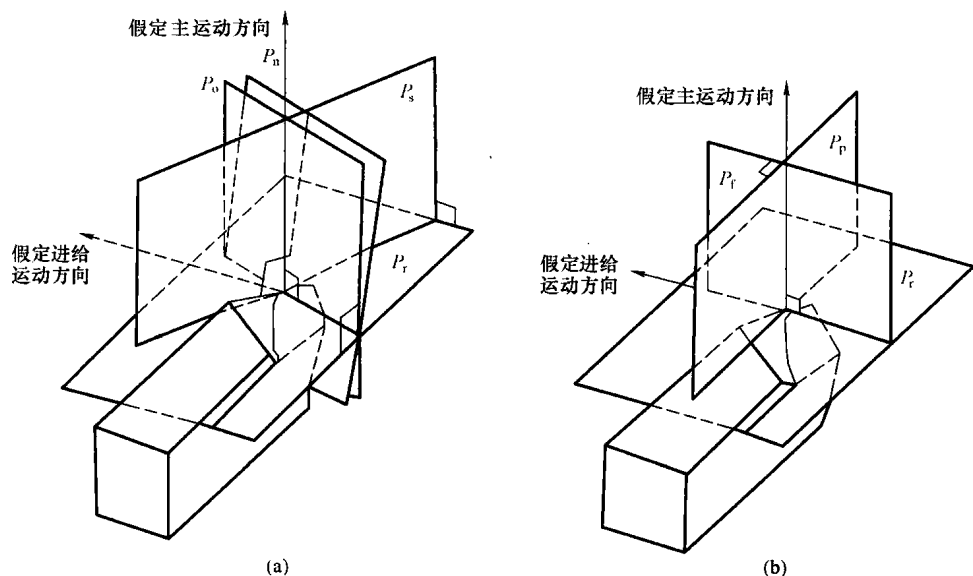


图 1-6 确定刀具几何角度的辅助平面参考系

(a) 正交平面及法平面参考系；(b) 假定进给平面参考系

- (1) 基面 P_r ：通过主切削刃上选定点，并与主运动速度方向垂直的平面。
- (2) 切削平面 P_s ：通过主切削刃上选定点与切削刃相切并垂直于基面的平面。
- (3) 主剖面 P_o ：通过主切削刃上选定点，且与该点的基面和切削平面同时垂直的平面。
- (4) 法平面 P_n ：通过主切削刃上选定点，且与主切削刃垂直的平面。

(5) 假定进给平面 P_f ：通过主切削刃上选定点，且垂直于基面并平行于假定进给运动方向的平面。

(6) 假定切深平面（背平面） P_p ：通过主切削刃上选定点，且垂直于基面和假定进给平面的平面。

其中，基面 P_r 、切削平面 P_s 与主剖面 P_o 形成正交平面参考系，是刀具设计时标注、刃磨和测量角度最常用的参考系；基面 P_r 、切削平面 P_s 与法平面 P_n 形成法平面参考系，常用于标注可转位刀具或大刃倾角刀具角度；基面 P_r 、假定进给平面 P_f 与假定切深平面 P_p 形成假定工作平面参考系，常用于刀具制造过程中，如铣削刀槽、刃磨刀面时的角度测量。

2. 车刀的标注角度

车刀的标注角度是绘制刀具图样和车刀刃磨必须要掌握的角度，它是如下假定条件下的刀具角度：假定的运动条件——车刀的进给速度为零；假定的安装条件——车刀刀尖和工件回转中心等高，刀杆中心线和进给运动方向垂直。

满足上述假定条件的坐标参考系称为车刀标注角度参考系。可见，正交平面参考系、法平面参考系和假定工作平面参考系在满足上述假定条件下都称为刀具标注角度参考系。在各类参考系中，独立的基本角度类型有前角、后角、偏角和刃倾角。

(1) 正交平面参考系刀具角度。主要有前角 γ_o 、后角 α_o 、主偏角 κ_r 、副偏角 κ'_r 和刃倾角 λ_s ，如图 1-7 所示。

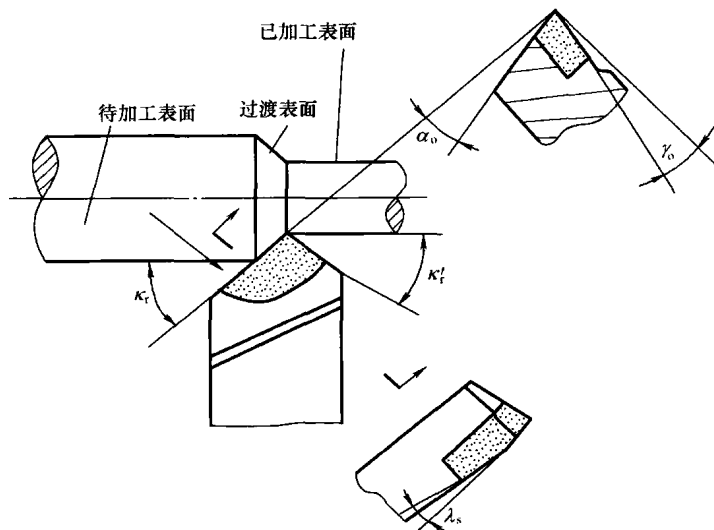


图 1-7 车刀的主要标注角度

在主剖面 P_o 内测量的角度：

前角 γ_o ：前刀面与基面之间的夹角。前角反映前刀面对基面的倾斜程度，影响主切削刃的锋利程度和刃口强度。前角越大，刀刃越锋利，切削时就越省力。但前角过大，使刀刃强度降低，影响刀具寿命。其选择取决于工件材料、刀具材料和加工性质。

主后角 α_o ：主后刀面与切削平面之间的夹角，用符号 α_o 表示。主后角反映主切削刃所在后刀面对切削平面的倾斜程度，影响主后刀面与加工表面之间的摩擦程度。主后角越大，摩擦越小。但主后角过大，使刀刃强度降低，影响刀具寿命。其选择也取决于工件材料、刀具材料和加工性质。

在基面 P_r 内测量的角度：

主偏角 κ_r ：主切削刃在基面内的投影与进给运动方向之间的夹角。主偏角影响主切削刃和刀头的受力情况及散热条件。

在切削平面 P_s 内测量的角度：

刃倾角 λ_s ：它是主切削刃和基面在切削平面内的投影之间的夹角。刃倾角影响刀尖强度，并控制切屑流动的方向。

刀具角度标注符号下标的英语小写字母，与测量该角度用的参考系平面符号下标一致，如前角 γ_o 和后角 α_o ，都是在主剖面 P_o 内测量的角度，其下标都为 o ，主偏角 κ_r 和副偏角 κ'_r 都是在基面中 P_r 测量的角度，其下标都为 r ，依此类推。

上述四个角度就能确定车刀主切削刃及其前、后刀面的方位。同理，副切削刃及其相关的前、后刀面在空间定位也需要四个角度，分别为副前角 γ'_o 、副后角 α'_o 、副偏角 κ'_r 和副刃倾角 λ'_s 。它们的定义与主切削刃四个角度类似，其中副偏角能影响副切削刃和刀头的散热

条件及已加工表面的粗糙度。

此外, 为了比较切削刃、刀尖的强度, 还定义了另外两个角度, 它们属于派生角度, 分别为楔角 β_0 : 主剖面与前、后刀面的交线之间的夹角。

$$\beta_0 = 90 - (\gamma_0 + \alpha_0) \quad (1-12)$$

刀尖角 ϵ_r : 主、副切削刃在基面投影中形成的夹角。

$$\epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1-13)$$

各角度的正负规定: 前刀面与基面平行时前角为零。前刀面与切削平面间夹角小于 90° 时, 前角为正, 大于 90° 时, 前角为负; 后刀面与基面间夹角小于 90° 时, 后角为正, 大于 90° 时, 后角为负。刃倾角正负的判断方法与前角类似, 切削刃与基面平行时, 刃倾角为零, 刀尖相对于车刀底平面处于切削刃最高点时, 刃倾角为正, 处于最低点时, 刃倾角为负。

(2) 其他参考系刀具角度。在法平面参考系中测量的前、后角分别称为法前角 γ_n 和法后角 α_n , 如图 1-8 所示; 在假定进给平面参考系中测量的前、后角称为侧前角 γ_f 、侧后角 α_f , 如图 1-9 所示。

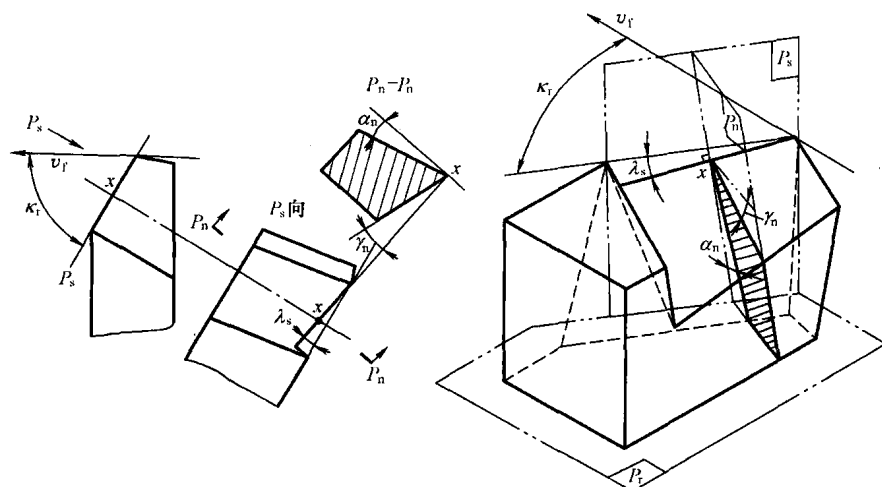


图 1-8 法平面参考系刀具角度

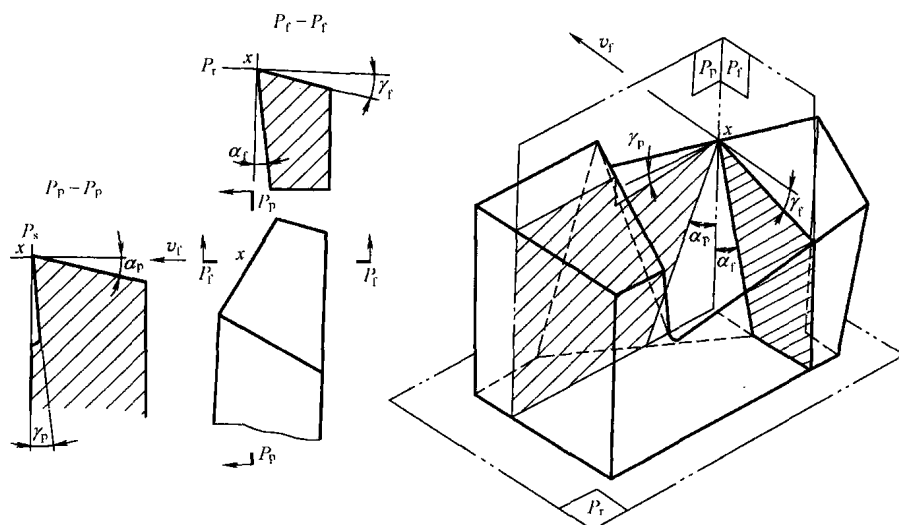


图 1-9 假定进给平面参考系刀具角度

3. 车刀的工作角度

车刀切削时, 由于主运动及进给运动的共同存在, 车刀处于实际工作状态, 构成了工作角度参考系, 即工作基面 P_{re} 、工作切削平面 P_{se} 和工作正交平面 P_{oe} (工作状态下的主剖面)。工作角度参考系中车刀几何角度即为车刀的工作角度, 此时, 由于进给运动和车刀的安装位置的影响, 改变了车刀的标注角度假定条件, 辅助平面的空间位置也发生了变化, 将引起车刀实际切削时的角度不同于标注角度。

(1) 进给运动对工作角度的影响。车削端面及切断时, 车刀是横向进给。以切断刀为例, 如图 1-10 所示, 在不考虑进给运动时, 车刀主切削刃上选定点相对于工件的运动轨迹是一个圆, 切削平面 P_s 为通过主切削刃上选定点切于圆周的平面。基面 P_r 为通过主切削刃上选定点的水平面。

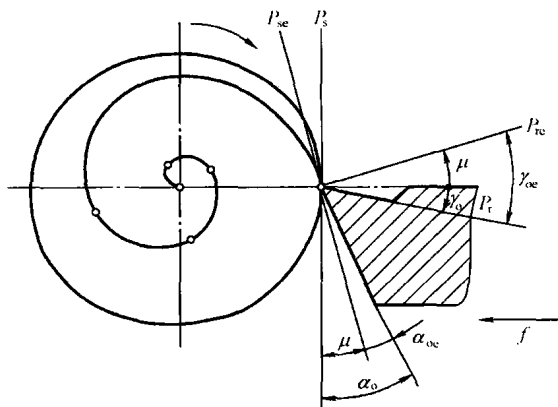


图 1-10 横向进给运动对刀具工作角度的影响

考虑进给运动时, 主切削刃上选定点相对于工件的运动轨迹为一条阿基米德螺旋线, 切削平面 P_s 变为通过主切削刃上选定点, 并切于螺旋面的平面 P_{se} , 基面 P_r 也相应偏转为 P_{re} 。因此, 车刀的工作角度 γ_{oe} 和 α_{oe} 为

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \mu; \quad \alpha_{oe} = \alpha_o - \mu \quad (1-14)$$

车外圆及车螺纹时是纵向车削, 此时过渡表面是一个螺旋面。工作切削平面和工作基面都要偏转一个角度 μ 。一般车外圆时, 可忽略不计。但在车大导程螺纹时, 必须考虑工作角度的变化。

(2) 车刀安装对工作角度的影响。车外圆时, 当车刀刀尖安装高于工件轴线时, 如图 1-11 (a) 所示, 切削平面和基面位置发生偏转, 偏转角度均为 θ , 工作前角增大, 工作后角减小, 则

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \theta; \quad \alpha_{oe} = \alpha_o - \theta \quad (1-15)$$

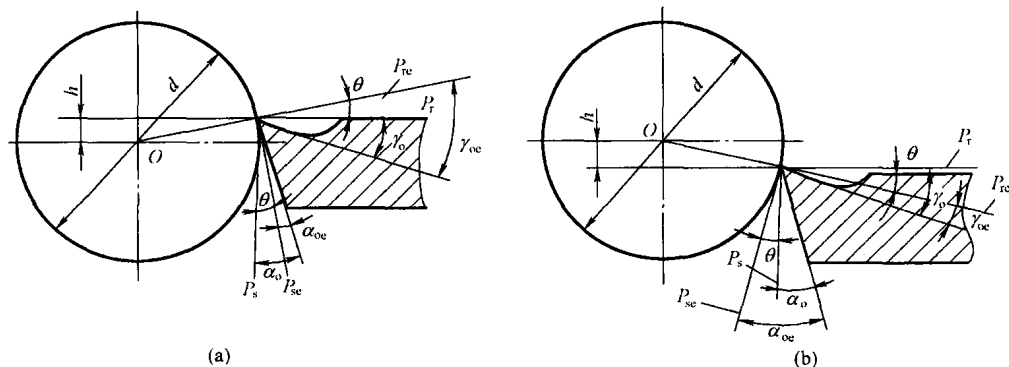


图 1-11 车刀安装高度对工作角度的影响

(a) 刀尖高于工件轴线; (b) 刀尖低于工件轴线

当车刀刀尖安装低于工件轴线时,如图 1-11 (b) 所示,与刀尖高于工件轴线时工作角度的变化相反,工作前角减小,工作后角增大。

$$\gamma_{oe} = \gamma_o - \theta; \quad \alpha_{oe} = \alpha_o + \theta \quad (1-16)$$

车刀刀柄中心与进给方向不垂直时,主偏角和副偏角将发生变化,如图 1-12 所示。

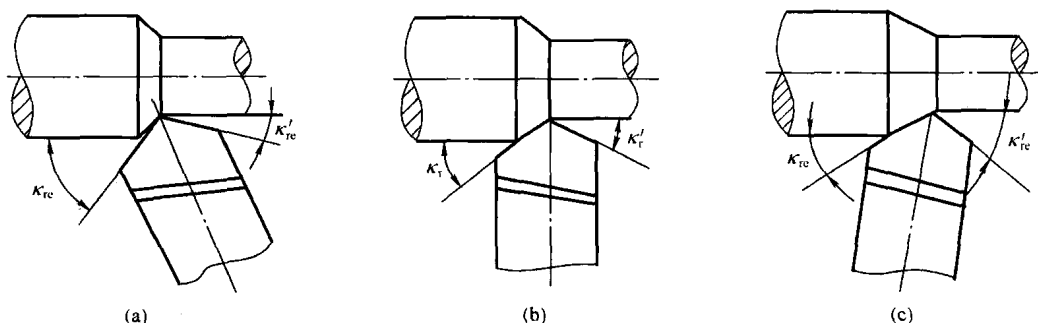


图 1-12 车刀刀柄偏斜时对主偏角和副偏角的影响

(a) 刀柄右偏; (b) 刀柄与进给方向垂直; (c) 刀柄左偏

刀柄右偏时,工作主偏角增大,工作副偏角减小;刀柄中心线与进给运动方向垂直时,主、副偏角大小没有变化;刀柄左偏时,工作主偏角减小,工作副偏角增大。

4. 刀具角度的换算

在设计和制造刀具时,需要对不同参考系内的标注角度进行换算,即主剖面、法平面、背平面和假定进给平面之间的角度换算,以满足设计、工艺等的不同需要。此处只介绍法平面与主剖面的角度换算。

图 1-13 给出了刃倾角为 λ_s 时车刀主切削刃在主剖面 and 法平面内的标注角度。 M_c 为法平面 P_n 与前刀面的交线, M_b 为主剖面 P_o 与前刀面的交线, M_a 为三个平面——法平面 P_n 、基面 P_r 和主剖面 P_o 的交线。

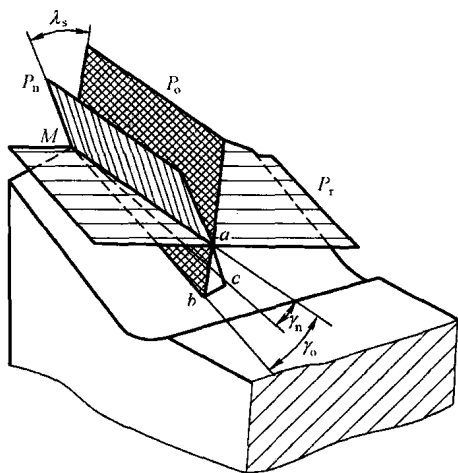


图 1-13 主剖面与法平面的角度换算

由图 1-13 可得出

$$\tan \gamma_o = \frac{ab}{M_n}; \quad \tan \gamma_n = \frac{ac}{M_a}; \quad \frac{\tan \gamma_n}{\tan \gamma_o} = \frac{ac/M_a}{ab/M_n} = \frac{ac}{ab} = \cos \lambda_s$$

由此,可进一步得出主剖面与法平面的角度换算公式为

$$\left. \begin{aligned} \tan \gamma_n &= \cos \lambda_s \tan \gamma_o \\ \cot \alpha_n &= \cos \lambda_s \cot \alpha_o \end{aligned} \right\} \quad (1-17)$$

三、切削方式

1. 自由切削与非自由切削

只有一个主切削刃参加切削称为自由切削,主、副切削刃同时参加切削称为非自由切削。自由切削时切削过程比较简单,是试验研究金属切削的常用方法。生产实际中的切削都

是非自由切削,如图 1-14 (a) 所示,就是非自由切削。

2. 正切削与斜切削

切削刃与合成切削速度方向垂直的切削称为正切削。切削刃与合成切削速度方向不垂直的切削称为斜切削。因此,刃倾角不等于零的刀具均属于斜切削方式。斜切削具有刀口锋利、排屑轻快等特点。图 1-14 (b)、(c) 所示分别为正切削和斜切削。

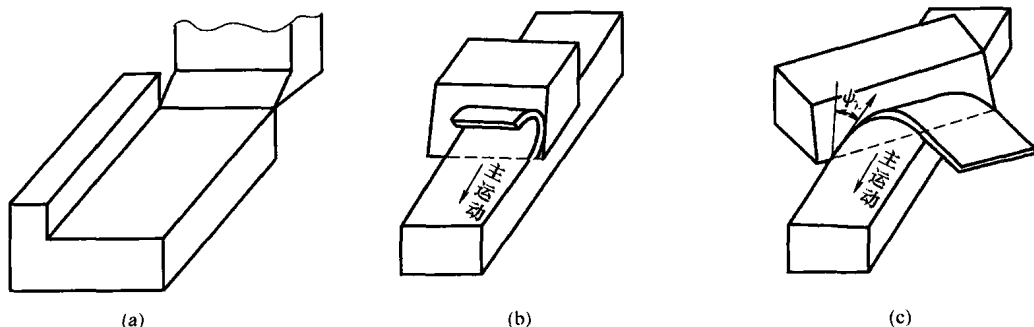


图 1-14 切削方式

(a) 非自由切削; (b) 正切削; (c) 斜切削

第二节 金属切削过程的基本规律与控制

机械制造中的零件大都通过切除多余的金属材料而获得。在这一切削过程中,操作者必须根据具体的情况选择合适的切削用量。出于操作者对金属切削过程的认识不同,因而对同一零件在同一过程中切削用量的选择也会是各种各样的,这样就造成劳动生产率和经济效益的差异。金属切削过程中到底会产生什么物理现象,物理现象间有什么联系,这些联系有什么规律可循,这些规律对切削用量的选择有什么影响,切削用量的选择应遵循什么原则,如何尽可能选择出最合理的切削用量等一系列问题都是每个从事机械制造行业的技术人员需要知道的。

金属切削过程是指利用刀具通过切削加工将工件上多余的金属切除而成为切屑,从而得到所需要的零件几何形状的过程。在这一过程中,始终存在着刀具切削工件和工件材料抵抗切削的矛盾。从而产生了一系列如切削变形、切削力、切削热与切削温度以及有关刀具的磨损与寿命、卷屑与断屑等现象和问题。对这些现象进行研究,揭示其内在的机理,探索和掌握金属切削过程的基本规律,从而主动地加以有效控制,对保证加工精度和表面质量,提高切削效率,降低生产成本和劳动强度具有十分重大的意义。

一、切削变形与切屑

(一) 切削变形与切屑形成

切削过程中的各种物理现象都是以切屑形成过程为基础的。了解切屑形成过程,对理解切削规律及其本质是非常重要的。现以塑性金属材料为例,说明切屑的形成及切削过程中的变形情况。

1. 切屑的形成过程及变形区的划分

大量的实验和理论分析证明,塑性金属切削过程中切屑的形成过程就是切削层金属的变形过程,根据切削实验时制作的金属切削层变形图片,可绘制出金属切削过程中的滑移线和

流线示意图,如图 1-15 所示。流线表示被切削金属的某一点在切削过程中流动的轨迹。

由图 1-15 可知,切削过程中切削层金属的变形可大致划分为三个变形区。

第一变形区:在刀具前刀面推挤下,切削层金属发生塑性变形。切削层金属所发生的塑性变形是从 OA 线开始,直到 OM 线结束。在这个区域内,被刀具前刀面推挤的工件,其切削层金属完成了剪切滑移的塑性变形过程,金属的晶粒被显著地拉长。离开 OM 线之后,切削层金属已经变成了切屑,并沿着刀具前刀面流动。可见,这一变形区域是切屑形成的主要区域,即如图 1-15 所示的 I 区称为第一变形区。

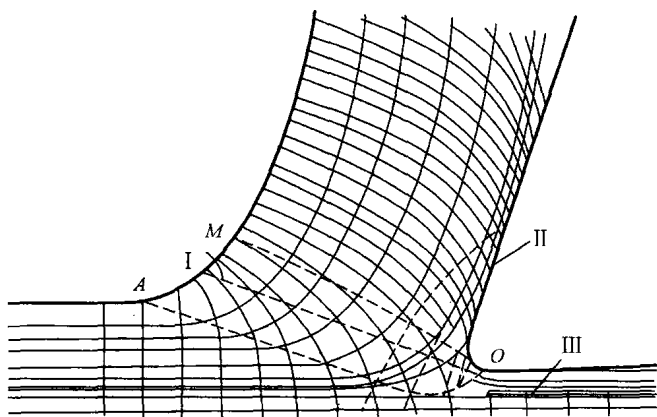


图 1-15 金属切削过程中的滑移线和流线示意图

第二变形区:切屑沿前刀面流动时,进一步受到前刀面的挤压,在刀具前刀面与切屑底层之间产生了剧烈摩擦,使切屑底层的金属晶粒纤维化,其方向基本上和刀具前刀面平行。这个变形区域称为第二变形区,如图 1-15 所示 II 区。第二变形区对切削过程也会产生较显著的影响。

第三变形区:切削层金属被刀具切削刃和前刀面从工件基体材料上剥离下来,进入第一和第二变形区,同时,工件基体上留下的材料表层经过刀具钝圆切削刃和刀具后刀面的挤压、摩擦,使表层金属产生纤维化和非晶质化,使其显微硬度提高。在刀具后刀面离开后,已加工表面的表层和深层金属都要产生回弹,从而产生表面残余应力,这些变形过程都是在第三变形区(见图 1-15 所示 III 区)内完成的,也是已加工表面形成的过程。第三变形区内的摩擦与变形情况,直接影响着已加工表面的质量。

第三变形区:切削层金属被刀具切削刃和前刀面从工件基体材料上剥离下来,进入第一和第二变形区,同时,工件基体上留下的材料表层经过刀具钝圆切削刃和刀具后刀面的挤压、摩擦,使表层金属产生纤维化和非晶质化,使其显微硬度提高。在刀具后刀面离开后,已加工表面的表层和深层金属都要产生回弹,从而产生表面残余应力,这些变形过程都是在第三变形区(见图 1-15 所示 III 区)内完成的,也是已加工表面形成的过程。第三变形区内的摩擦与变形情况,直接影响着已加工表面的质量。

2. 第一变形区金属的滑移

如图 1-16 所示,在刀具切入工件后,由于切削刃和前刀面的推挤,工件材料内部的每一点都要产生一定的内应力,离刀具越近的地方应力越大。当切削层中某点 P 逼近到达点 1 位置时,其切应力达到材料的屈服强度,则 P 点在继续向前移动的同时,还要沿 OA 方向滑移变形,其合成运动将使点 P 由点 1 的位置移动到点 2 的位置,2 与 2' 之间的距离即为此时的滑移量。随着滑移的产生,切应变将逐渐加大,即点 P 继续沿 2、3、...各点移动,并沿 OB 、 OC 、...方向滑移,滑移量不断增大,切应力也随之增高。当点 P 到达点 4 后,其运动方向已与刀具前刀面平行,滑移终止。与此同时,切应力也由点 4 的最大值 $\tau_{\max}$ 迅速下降,所以 OM 面称为终剪切面, OA 面称为始剪切面。在 OA 之前的材料只发生弹性变形;在 OM 之后的材料已成为切屑,并沿刀具前刀面流出。由此可见,切屑的形成过程,就其本质来说,是被切削层金属在刀具切削刃和前刀面作用下,因受挤压而产生剪切滑移变形的过程。在 OA 到 OM 之间的区域即为第一变形区,在一般切削速度范围内,其宽度仅为 $0.02 \sim 0.2\text{mm}$,故可用一个面表示,称为剪切面。剪切面和切削速度方向之间的夹角 ϕ 称为剪切角。剪切角 ϕ 的大小反映了切削变形程度的大小,剪切角 ϕ 越大,切削变形越小。