

山东省高等教育名校建设工程课程改革教材

机械加工工艺与夹具设计

赵 黎 殷镜波 董 科 主编
李丰志 主审



黄河水利出版社

精加工与装配



山东省高等教育名校建设工程课程改革教材

机械加工工艺与 夹具设计

主 编 赵 黎 殷镜波 董 科
副主编 吴学新 国 磊
主 审 李丰志

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书为山东省高等教育名校建设工程课程改革系列教材之一,是本着高职教育的特色、依据山东省特色名校建设方案要求进行编写的。本书是在吸收近年来高等教育教学改革经验的基础上,根据企业生产一线对应用型高新技术人才在机械制造方面的技能要求,结合机械制造技术的发展趋势编写而成的。主要内容包括金属切削知识、机床夹具及设计、机械加工质量分析与控制、机械加工工艺规程的制定、典型零件加工、机械装配工艺等。全书以常规机械加工工艺为主线,紧抓基本知识和基本技能,注重技术应用,以满足专业教学的要求。

本书为高职高专院校机械设计与制造、模具设计与制造、机电一体化等机械类专业的基础课教材,也可作为相关专业技术人员的参考用书和培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械加工工艺与夹具设计/赵黎,殷镜波,董科主编—郑州:黄河水利出版社,2015.1

山东省高等教育名校建设工程课程改革教材

ISBN 978-7-5509-1020-1

I. ①机… II. ①赵… ②殷… ③董 III. ①机械加工—工艺—高等学校—教材②机床夹具—设计—高等学校—教材
IV. ①TG506②TG750.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 025826 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-6602212 E-mail:hhsllwlp@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南承创印务有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:12.75

字数:300 千字

印数:1—2 000

版次:2015 年 1 月第 1 版

印次:2015 年 1 月第 1 次印刷

定价:28.00 元



前言

本书是依据中央财政支持提升社会服务能力重点建设专业和山东省高等教育名校建设工程重点建设专业人才培养方案和课程建设目标要求,并按照有关机械加工工艺与夹具设计的新规范、新法规、新标准编写完成的。本书在吸收有关教材和技术文献资料精华的基础上,充实了新思想、新理论、新方法和新技术,另外不过分苛求学科的系统性和完整性,强调理论联系实际,突出应用性。

本书为面向高职高专机械类专业课程,全面系统地体现高职高专教学改革、教材建设的要求,以企业实际需求为目标,以“适度、够用”为原则,避免了较深的理论推导和与实际应用关系不大的内容,突出专业知识与操作技能,同时强化实训和案例教学,通过实际训练加深对理论知识的学习。教材注重实践性、基础性、科学性和先进性,打破传统课程体系,将多方面知识有机整合在一起,便于学生系统掌握本课程知识。

本书主要内容如下:绪论,介绍了机械制造技术的作用、信息时代的制造业和机械制造系统的概念;第1章为金属切削知识;第2章为机床夹具及设计;第3章为机械加工质量分析与控制;第4章为机械加工工艺规程的制定;第5章为典型零件加工;第6章为机械装配工艺。

本书由山东水利职业学院主持编写工作,编写人员及编写分工如下:赵黎编写第1章、殷镜波编写第2章,董科编写第3章,吴学新编写第4章,国磊编写5、6章。本书由赵黎、殷镜波、董科担任主编,赵黎负责全书统稿;由吴学新、国磊担任副主编;由山东利丰机械有限公司总经理李丰志担任主审。

本书在编写过程中,得到有关企业专家和技术人员的大力支持,曲阜恒威水工机械有限公司技术总工吴祥海、中国五征集团有限公司设计院徐万东工程师对本书的编写提出了许多宝贵的建议;主审对全书的教学体系和内容进行了审核,提出了许多宝贵意见,使本书内容更加严谨。在此,特向他们表示感谢!

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中不妥之处在所难免,恳请有关专家、同行、读者批评指正。

编者

2014年6月



目 录

前 言

绪 论

第1章 金属切削知识 (3)

1.1 切削运动和切削用量 (3)

1.2 刀具几何角度 (6)

1.3 金属切削过程 (9)

1.4 刀具几何参数的合理选择 (21)

1.5 切削用量的合理选择 (23)

1.6 刀具材料 (26)

1.7 各种加工方法和所用刀具 (30)

习 题 (48)

第2章 机床夹具及设计 (49)

2.1 机床夹具概述 (50)

2.2 工件定位方法及定位元件 (57)

2.3 工件的夹紧 (64)

2.4 基本夹紧机构 (68)

2.5 联动夹紧机构 (74)

2.6 车床夹具 (75)

2.7 铣床夹具 (79)

2.8 钻床夹具 (82)

2.9 镗床夹具 (85)

2.10 专用夹具的设计 (90)

习 题 (96)

第3章 机械加工质量分析与控制 (99)

3.1 机械加工精度 (99)

3.2 机械加工表面质量 (111)

3.3 影响表面粗糙度的因素及改善措施 (113)

习 题 (116)

第4章 机械加工工艺规程的制定 (119)

4.1 机械加工概述 (119)

4.2 机械加工工艺规程的制定 (124)

4.3 零件的工艺分析 (128)

4.4	毛坯的选择	(130)
4.5	定位基准的选择	(132)
4.6	工艺路线的拟定	(135)
4.7	加工余量的确定	(141)
4.8	工序尺寸的确定	(144)
4.9	机械加工工艺过程经济性分析	(150)
	习 题	(153)
第5章	典型零件的加工	(155)
5.1	轴类零件加工	(155)
5.2	套筒类零件加工	(165)
5.3	箱体类零件加工	(170)
5.4	圆柱齿轮加工	(177)
	习 题	(182)
第6章	机械装配工艺	(184)
6.1	机械装配概述	(184)
6.2	装配尺寸链的建立	(187)
6.3	装配方法及其选择	(189)
6.4	装配规程的制定	(194)
	习 题	(196)
参考文献		(198)



绪 论

1. 机械制造技术的作用与发展

机械制造业是国民经济最重要的组成之一,担负着为国民经济各部门提供技术装备的任务,是一个国家经济实力和科学技术发展水平的重要标志,因而世界各国均把发展机械制造业作为振兴和发展国民经济的战略重点之一,而机械制造业的发展和进步在很大程度上取决于机械制造技术的发展和进步,这是因为再好的发明创造,如果解决不了制造问题,就不能变为现实,不可能变成产品。因此,机械制造技术是国家发展的基础和支柱。

在科学技术发展的今天,现代工业对机械制造技术提出了越来越高的要求,同时也推动了机械制造技术不断地向前发展,给机械制造领域带来了许多新观念、新技术。当前,机械制造技术发展的主要趋势有以下几个方面。

1) 柔性化、自动化和集成化

机械制造柔性自动化技术,是以数控技术为核心,将计算机技术、信息技术与生产技术有机结合在一起的技术。其应用范围可包括产品设计、加工制造和相应的信息管理系统。所谓“柔性”就是既能快速适应产品的更换,又能实现高效自动化。

采用柔性自动化技术的生产线不仅能够自动地“做”,而且一旦加工目标确定,就知道应该“怎么做”。柔性自动化技术是当今机械制造业适应市场动态需求、加速产品更新的主要手段。采用柔性自动化技术,不仅能够提高生产效率、减轻劳动强度,还能提高产品质量、缩短制造周期和交货期、大幅度降低成本,因而是各国机械制造业发展的重要趋势。

工业发达国家在柔性自动化技术的诸多领域中,如柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、计算机辅助设计/计算机辅助制造(CAD/CAM)、计算机辅助工艺设计(CAPP)、管理信息系统(MIS)等方面均取得很大发展。今后一段时期内,在继续进行机械制造柔性自动化技术方面应用科学研究的基础上,应切实做好“掌握柔性自动化装备的设计方法和制造技术”和“提高自主开发能力”这两个方面的工作,完成FMC、P-FMS(准柔性制造系统)、FMS这三个层次的典型柔性加工设备的开发。

2) 精密加工和超精密加工

在现代高科技领域中,对产品的精度要求越来越高,有的尖端产品加工精度要求达到 $0.001\ \mu\text{m}$,有的产品结构尺寸非常小,提出了微细加工和超微细加工的要求。这些要求都促使加工件精度从微米级向亚微米级发展。

精密加工是指加工精度为 $1\sim 0.1\ \mu\text{m}$ 、表面粗糙度 Ra 为 $0.1\sim 0.025\ \mu\text{m}$ 的加工技术;超精密加工是指加工精度高于 $0.1\ \mu\text{m}$ 、表面粗糙度 Ra 小于 $0.025\ \mu\text{m}$ 的加工技术,因此超精密加工又称为亚微米级加工。但是,目前超精密加工已进入纳米级精度阶段,故出

现了纳米加工及其相应的技术。

从精密加工和超精密加工的范畴来看,它应该包括微细加工、超微细加工、光整加工、精整加工等加工技术。

微细加工技术是指制造微小尺寸零件的加工技术;超微细加工技术是指制造超微小尺寸零件的加工技术,它们是针对集成电路的制造要求而提出的,由于尺寸微小,其精度是用切除尺寸的绝对值来表示的,而不是用所加工尺寸与尺寸误差的比值来表示的。

要实现超精密加工,就必须具有与之相适应的设备、刀具、仪器、加工环境和检测技术,因此是否掌握超精密加工技术,是一个国家机械制造水平高低的重要标志。

3) 高速高效化

高速度切削可极大地提高加工效率,降低能源消耗,从而降低生产成本,这是机械制造发展的趋势。当前,机床业的发展为高效高速加工提供了前提条件,切削工具性能的提高为高效高速加工发展提供了可能性。为了实现高效高速加工,必须考虑到各个方面,例如机床、工具的合理选择,切削用量的恰当使用,高速主轴的保养,安全防护及切屑的及时清理等。我国虽然在高速切削方面取得了一些成绩,但仍有许多方面需要进一步研究与探讨。

2. 本课程的性质、内容与任务

本课程是高职高专机械类有关专业必修的一门主干课程。它是通过对金属切削原理、金属切削机床与刀具、机床夹具设计原理以及机械产品的制造工艺等知识进行有机整合,所形成的一门以培养机械制造应用能力为主的新的专业课。

本课程以机械零件的制造为主线,综合介绍了金属切削知识、机械加工工艺规程、机床夹具设计、典型零件加工、机械加工质量分析与控制、机械装配工艺等内容,具有很强的实践性和综合性。

通过本课程的学习,要求学生掌握机械制造常用的加工方法、加工原理与制造工艺,熟悉各种加工设备及工艺装备,初步具有分析和解决机械制造中加工质量问题的能力并制定机械加工工艺规程和设计简单工艺装备的能力。

3. 本课程的特点及学习方法

本课程具有很强的实践性和综合性的特点。学习时必须注意理论联系实际,重视实践教学环节,对金工实习、课程实验和课程设计要加大教学力度,这不仅有助于学生理解和掌握理论知识,而且有利于培养学生运用所学知识解决生产实际问题的能力。机械制造中的生产实际问题往往因生产的产品不同、批量不同、各个企业生产条件的不同而多种多样,因此学习时要特别注意学习方法,具体问题具体分析,灵活运用所学的知识处理实际问题,做到活学活用,灵活自如。



第1章 金属切削知识



教学目标

- 了解切削过程中的各种物理现象、材料切削加工性的概念和切削液的作用；
- 理解切削运动、切削用量的概念和刀具几何角度标注的方法；
- 掌握刀具材料的种类、性能特点和适用范围；
- 会根据加工条件正确选用刀具材料、种类和几何参数，并能正确选择切削液和切削用量。



观察与思考

要加工如图 1-0 所示的轴，怎样加工？需要什么刀具、哪些运动？要多大的切削力和切削用量？刀具及几何参数对切削材料有何影响？

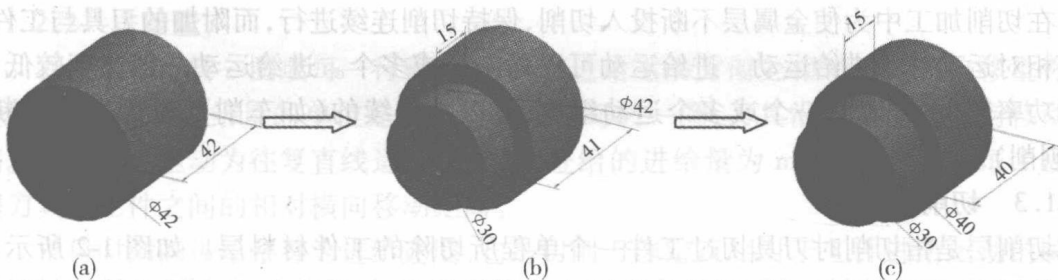


图 1-0 毛坯到零件的加工

1.1 切削运动和切削用量

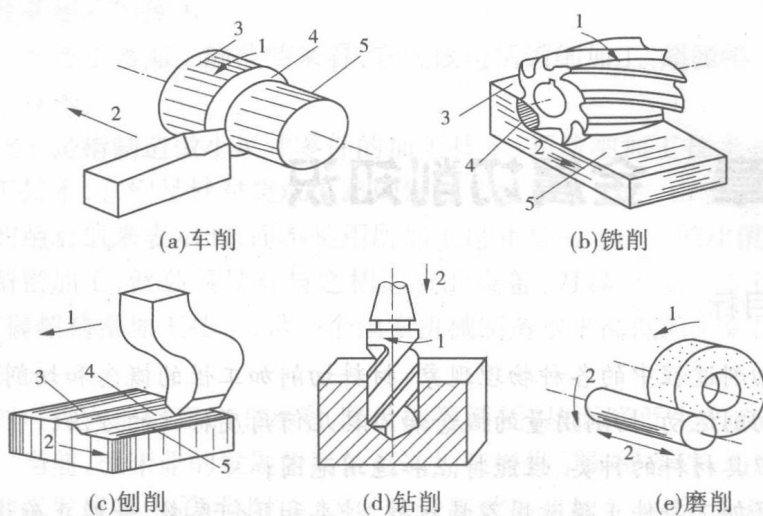
1.1.1 切削运动

金属切削加工是利用刀具切去工件毛坯上多余的金属层，以获得具有一定加工精度和表面质量的机械零件的加工方法，它是机械制造业中应用最广泛的一种加工方法。

在切削加工中，刀具对工件的切削作用是通过工件与刀具间的相对运动和相互作用实现的。工件表面的一层金属不断地被刀具切下来并转为切屑，从而加工出所需要的工件新表面。在新表面的形成过程中，工件上有三个依次变化着的表面：待加工表面、过渡表面和已加工表面，如图 1-1 所示。

1.1.1.1 主运动

在切削加工中起主要作用的、消耗动力最多的运动为主运动。它是切除工件上多余



1—主运动;2—进给运动;3—待加工表面;4—过渡表面;5—已加工表面

图 1-1 主运动和进给运动

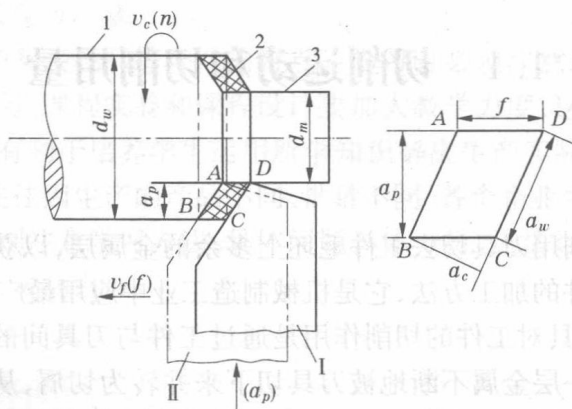
金属层所必需的运动。在切削加工中,主运动只有一个。它可以由工件完成,也可以由刀具完成;可以是旋转运动,也可以是直线运动。

1.1.1.2 进给运动

在切削加工中为使金属层不断投入切削,保持切削连续进行,而附加的刀具与工件之间的相对运动称为进给运动。进给运动可以是一个或多个。进给运动一般速度较低,消耗的功率较少,可以由一个或多个运动组成;可以是连续的(如车削),也可以是间断的(如刨削)。

1.1.1.3 切削层

切削层是指切削时刀具切过工件一个单程所切除的工件材料层。如图 1-2 所示,在加工外圆时,工件旋转一周,刀具从位置 I 移到位置 II,切下 I 与 II 之间工件的材料层。图中 ABCD 称为切削层公称横截面积。



1—待加工表面;2—过渡表面;3—已加工表面

图 1-2 切削层要素



1.1.2 切削用量

切削速度 v_c 、进给量 f 和背吃刀量 a_p 合称为切削用量,又称为切削用量三要素。它表示主运动和进给运动量。

1.1.2.1 切削速度 v_c

切削速度 v_c 是指刀具切削刃上选定点相对于工件主运动的瞬时速度,它表示在单位时间内工件或刀具沿主运动方向相对移动的距离,单位为 m/s (或 m/min)。

主运动为旋转运动时,切削速度 v_c 计算公式为

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

式中 n ——工件或刀具的转速, r/min ;

d ——工件或刀具选定点的旋转直径, mm 。

主运动为往复运动时,平均切削速度为

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

式中 L ——往复运动行程长度, mm ;

n_r ——主运动每分钟的往复次数,往复次数/ min 。

1.1.2.2 进给量 f

在主运动每转一圈或每一行程时,刀具在进给运动方向上相对工件的位移量称为进给量 f 。车削时进给量的单位是 mm/r ,即工件每转一圈,刀具沿进给运动方向移动的距离。刨削的主运动为往复直线运动,其间歇进给的进给量为 mm/双行程 ,即每个往复行程刀具与工件之间的相对横向移动距离。

单位时间的进给量称为进给速度,它是切削刃选定点相对于工件进给运动的瞬时速度。进给速度用 v_f 来表示,其单位为 mm/min (m/min)。车削时的进给运动速度为

$$v_f = nf \quad (1-3)$$

铣削时,由于铣刀是多齿刀具,进给量单位除 mm/r 外,还规定了每齿进给量,用 f_z 表示,单位是 mm/z 。 v_f 、 f 、 f_z 三者之间的关系为

$$v_f = nf = nf_z z \quad (1-4)$$

1.1.2.3 背吃刀量 a_p

在垂直于主运动和进给运动方向测量的切削层最大尺寸称为背吃刀量 a_p ,单位为 mm ,俗称为切削深度。车外圆时,背吃刀量为工件上已加工表面与待加工表面间的垂直距离,如图 1-2 所示,计算公式为

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

式中 d_w ——待加工表面直径, mm ;

d_m ——已加工表面直径, mm 。

1.1.2.4 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。车外圆时合成切削运动如图 1-3 所示。其中合成切削速度为

$$v_e = v_c + v_f \quad (1-6)$$

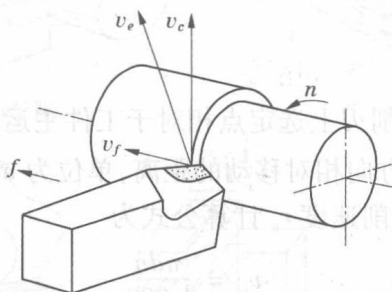


图 1-3 车外圆时合成切削运动

1.2 刀具几何角度

1.2.1 刀具切削部分的组成

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。车刀由刀头、刀柄两部分组成,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,如图 1-4 所示。

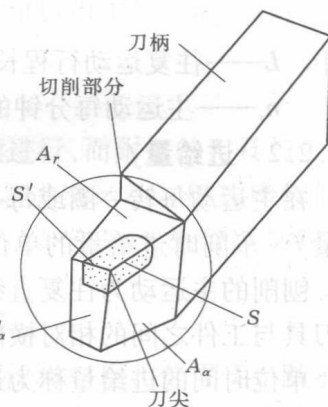


图 1-4 车刀切削部分的结构

(1)前刀面(A_r):切削过程中切屑流出所经过的刀具表面。

(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):前刀面与后刀面的交线。它担负主要的切削工作。

(5)副切削刃(S'):前刀面与副后面的交线。它配合主切削刃完成切削工作。

(6)刀尖:主切削刃与副切削刃交会的一小段切削刃。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。

1.2.2 刀具静止角度的标注

为了保证切削加工的顺利进行,获得合格的加工表面,所用刀具的切削部分必须具有合理的几何形状。刀具角度是用来确定刀具切削部分几何形状的重要参数。

为了描述刀具几何角度的大小及其空间的相对位置,可以利用正投影原理,采用多面投影的方法来表示。用来确定刀具角度的投影体系,称为刀具角度参考系,参考系中的投影面称为刀具角度参考平面。

用来确定刀具角度的参考系有两类,其中一类为刀具角度静止参考系,它是刀具设计时标注、刃磨和测量的基准,用此定义的刀具角度称为刀具标注角度。下面主要介绍刀具角度静止参考系中常用的正交平面参考系。

1.2.2.1 正交平面参考系

正交平面参考系是由基面 P_r 、切削平面 P_s 、正交平面 P_o 三个平面组成的空间直角坐标系,如图 1-5 所示。

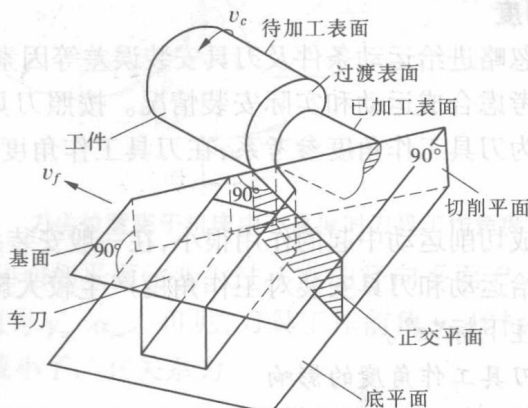


图 1-5 正交平面参考系

(1) 基面 P_r : 过切削刃选定点,垂直于主运动方向的平面。通常,它是平行(或垂直)于刀具上的安装面(或轴线)的平面。

(2) 切削平面 P_s : 过切削刃选定点,与切削刃相切,并垂直于基面 P_r 的平面。它也是切削刃与切削速度方向构成的平面。

(3) 正交平面 P_o : 过切削刃选定点,同时垂直于基面 P_r 与切削平面 P_s 的平面。

1.2.2.2 刀具的标注角度

图 1-6 所示为正交平面参考系中车刀的标注角度。

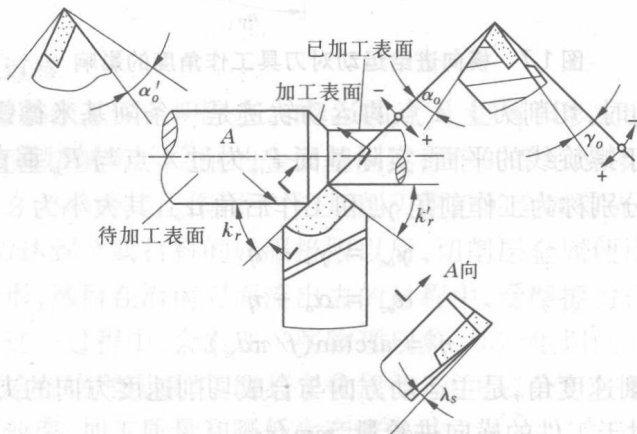


图 1-6 正交平面参考系中车刀的标注角度

(1) 主偏角 k_r : 在基面内测量的主切削刃在基面上的投影与进给运动方向间的夹角。

(2) 副偏角 k'_r : 在基面内测量的副切削刃在基面上的投影与假定进给运动反方向之

间的夹角。

(3) 前角 γ_o : 在正交平面内测量的前刀面与基面之间的夹角。前角 γ_o 有正负, 前角在基面之下为正, 前角在基面之上为负。

(4) 后角 α_o : 在正交平面内测量的后刀面与切削平面间的夹角。

(5) 刃倾角 λ_s : 在切削平面内测量的主切削刃与基面之间的夹角。刃倾角 λ_s 有正负之分, 当刀尖处于切削刃最高点时为正, 反之为负。

1.2.2.3 刀具的工作角度

上述刀具角度是在忽略进给运动条件及刀具安装误差等因素影响情况下给出的。实际上, 刀具在使用中, 应考虑合成运动和实际安装情况。按照刀具工作的实际情况, 所确定的刀具角度参考系称为刀具工作角度参考系, 在刀具工作角度参考系中标注的刀具角度称为刀具工作角度。

通常进给运动在合成切削运动中起的作用很小, 在一般安装条件下, 可用标注角度代替工作角度。只有在进给运动和刀具安装对工作角度产生较大影响时, 才需计算工作角度。工作角度符号应加注下标“e”。

1. 横向进给运动对刀具工作角度的影响

车端面或切断刀切断工件时, 车刀沿横向进给, 如图 1-7 所示。

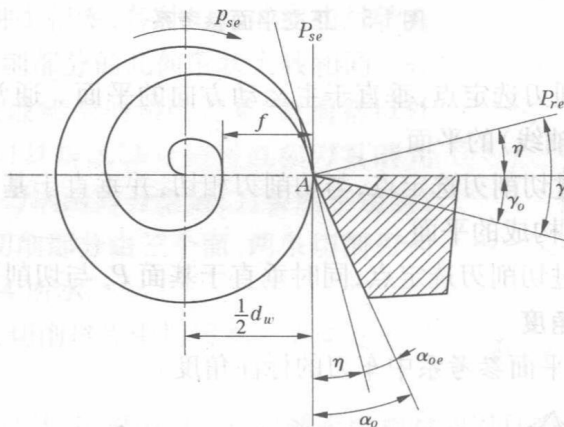


图 1-7 横向进给运动对刀具工作角度的影响

当考虑进给运动时, 切削刃上 A 点的运动轨迹是一条阿基米德螺旋线, 实际切削平面 P_{se} 为过 A 点且切于螺旋线的平面, 实际基面 P_{re} 为过 A 点与 P_{se} 垂直的平面, 在实际测量平面内的前、后角分别称为工作前角 γ_{oe} 和工作后角 α_{oe} , 其大小为

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \eta \quad (1-7)$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o - \eta \quad (1-8)$$

$$\eta = \arctan(f/\pi d_w) \quad (1-9)$$

式中 η ——合成切削速度角, 是主运动方向与合成切削速度方向的夹角;

f ——刀具相对于工件的横向进给量, mm/r;

d_w ——切削刃上选定点 A 处的工件直径, mm。

不难看出, 切削刃越接近工件中心, d_w 值越小, η 值越大, γ_{oe} 越大, 而 α_{oe} 越小, 甚至变为零或负值, 对刀具的工作越不利。

2. 刀尖位置高低对工作角度的影响

安装时,刀尖不一定在机床中心高度上。如刀尖高于机床中心高度,如图 1-8 所示。

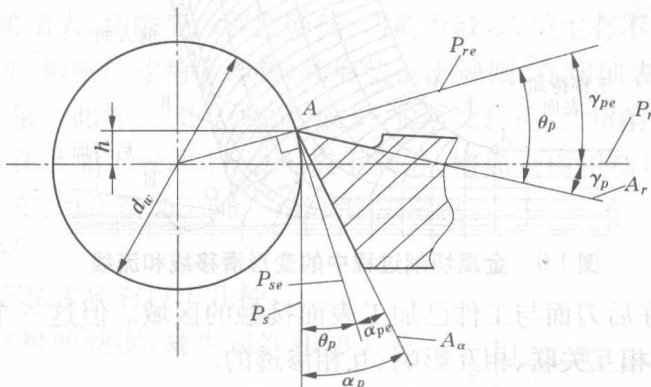


图 1-8 刀尖位置高于机床中心高度时刀具工作角度

此时选定点 A 的基面和切削平面已变为过 A 点的径向平面 P_{re} 和与之垂直的切平面 P_{se} , 其工作前角和后角分别为 γ_{pe} 、 α_{pe} 。可见, 刀具工作前角 γ_{pe} 比标注前角 γ_p 增大了, 工作后角 α_{pe} 比标注后角 α_p 减小了。其关系为

$$\gamma_{pe} = \gamma_p + \theta_p \quad (1-10)$$

$$\alpha_{pe} = \alpha_p - \theta_p \quad (1-11)$$

$$\theta_p = \arctan(2h/d_w) \quad (1-12)$$

式中 θ_p ——刀尖位置变化引起前后角的变化值(弧度);

h ——刀尖高于机床中心线的数值, mm;

d_w ——工件直径, mm。

1.3 金属切削过程

1.3.1 切削变形

1.3.1.1 切屑的形成过程

金属切削过程是刀具在工件上切除多余的金属, 产生切屑和形成已加工表面的整个过程。图 1-9 是根据金属切削实验绘制的金属切削过程中的变形滑移线和流线, 由图可知, 工件上的被切削层在刀具的挤压作用下, 沿切削刃附近的金属首先产生弹性变形, 接着由剪应力引起的应力达到金属材料的屈服极限以后, 切削层金属便沿倾斜的剪切面变形区滑移, 产生塑性变形, 然后在沿前刀面流出去的过程中, 受摩擦力作用再次发生滑移变形, 最后形成切削。这一过程中, 会出现一些物理现象, 如产生切削变形、切削力、切削热、刀具磨损等。研究这些物理现象, 掌握其变化规律, 就可以分析和解决切削加工中的实际问题, 以提高切削效率、加工质量和降低生产成本。

1.3.1.2 切削过程变形区的划分

根据切削过程中的不同变形情况, 通常把切削区域划分为三个变形区, 如图 1-9 所示。第一变形区在切削刃前面的切削层内的区域; 第二变形区在切屑底层与前刀面的接

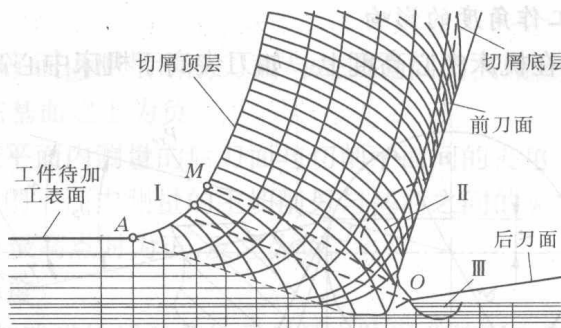


图 1-9 金属切削过程中的变形滑移线和流线

触区域；第三变形区在后刀面与工件已加工表面接触的区域。但这三个变形区并非绝然分开、互不相关，而是相互关联、相互影响、互相渗透的。

图中 I (AOM) 为第一变形区。在第一变形区内，当刀具和工件开始接触时，材料内部产生应力和弹性变形，随着切削刃和前刀面对工件材料的挤压作用加强，工件材料内部的应力和变形逐渐增大，当切应力达到材料的屈服强度时，材料将沿着与走刀方向成 45° 的剪切面滑移，即产生塑性变形，切应力随着滑移量增加而增加，当切应力超过材料的强度极限时，切削层金属便与材料基体分离，从而形成沿前刀面流出的切屑。由此可以看出，第一变形区的主要特征是沿滑移面的剪切变形，以及随之产生的加工硬化。

实验证明，在一般切削速度下，第一变形区的宽度仅为 $0.02 \sim 0.2 \text{ mm}$ ，切削速度越高，其宽度越小，故可看成一个平面，称为剪切面。

图中 II 为第二变形区。切屑底层（与前刀面接触层）在沿前刀面流动过程中受到前刀面的进一步挤压与摩擦，使靠近前刀面处金属纤维化，即产生了第二次变形，变形方向基本上与前刀面平行。

图中 III 为第三变形区。此变形区位于后刀面与已加工表面之间，切削刃钝圆部分及后刀面对已加工表面进行挤压，使已加工表面产生变形，造成纤维化和加工硬化。

1.3.1.3 积屑瘤

1. 积屑瘤现象及产生的原因

在一定的条件下切削钢、黄铜、铝合金等塑性金属时，由于前刀面挤压及摩擦的作用，切屑底层中的一部分金属停滞和堆积在切削刃口附近，形成硬块，能代替切削刃进行切削，这个硬块称为积屑瘤，如图 1-10 所示。

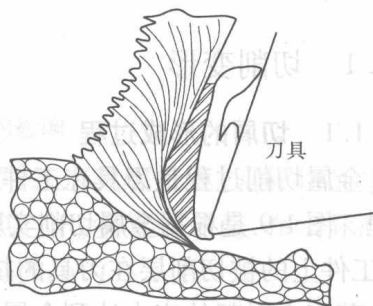


图 1-10 积屑瘤

如前所述，由于切屑底面是刚形成的新表面，而它对前刀面强烈的摩擦又使前刀面变得十分洁净，当两者的接触面达到一定温度和压力时，具有化学亲和性的新表面易产生黏结现象。这时切屑从黏结在刀面上的底层上流过（剪切滑移），因内摩擦变形而产生加工硬化，又易被同种金属吸引而阻滞在黏结的底层上。这样，一层一层地堆积并黏结在一起，形成积屑瘤，直至该处的温度和压力不足以造成黏结。由此可见，切屑底层与前刀面发生黏结和加工硬化是积屑瘤产生的必要条件。一般来说，温度与压力太低，不会发生黏结；而温度太高，也不会产生积屑瘤。因此，切削温度是积屑瘤产生的决定因素。