



教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

数控加工工艺

SHUKONGJIAGONG GONGYI

徐宏海 主编



中央广播电视大学出版社

Central Radio & TV University Press

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

数控加工工艺

徐宏海 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

中央广播电视大学出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工工艺 / 徐宏海主编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2008. 1

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

ISBN 978 - 7 - 304 - 03996 - 7

I. 数… II. 徐… III. 数控机床—加工工艺—高等学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 011312 号

版权所有, 翻印必究。

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

数控加工工艺

徐宏海 主编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 发行部: 010 - 58840200

总编室: 010 - 68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号 邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 何勇军

责任编辑: 申 敏

印刷: 北京集惠印刷有限责任公司

印数: 6001 ~ 12000

版本: 2008 年 1 月第 1 版

2008 年 6 月第 2 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 17.75 字数: 406 千字

书号: ISBN 978 - 7 - 304 - 03996 - 7

定价: 24.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

数控技术专业教学资源建设咨询委员会

顾 问：于云秀 郝广发 严 冰

主 任：李林曙 孙长庆

成 员：（以姓氏笔画为序）

王 军	方院生	刘春佳	任 岩	冯雪飞
任庆国	何阳春	关德章	杜纯梓	吴炳岳
沈炳生	李长江	李 涛	季连海	周延军
陈 昊	聂荣华			

数控技术专业教学资源建设委员会

主 任：陶水龙 刘亚琴

副主任：张超英 杨 琳 郭 鸿 章振周

宁 晨 王兆山 李西平

成 员：（以姓氏笔画为序）

石 亮	田 虢	冯小平	孙海维	齐 宏
谷 良	杨海东	何勇军	冼健生	洪晓锋
高鸿庭	栾振涛	梁柳青	崔虹雯	郭士义
舒大松				

内 容 提 要

全书共8章。第1章介绍数控加工的切削基础,包括刀具几何角度与切削要素的基本定义、切削过程的基本理论及应用、切削用量与刀具几何参数的选择等基础知识。第2章介绍数控机床刀具的材料、种类、特点及刀具选择原则。第3章介绍数控加工中工件的定位与装夹方法、典型夹具等。第4章介绍数控加工工艺分析、工艺路线设计和数控工序设计的内容与方法。第5章介绍数控车削加工工艺分析的内容与方法。第6章介绍数控铣削加工工艺分析的内容与方法。第7章介绍加工中心加工工艺分析的内容与方法。第8章介绍数控线切割加工工艺分析的内容与方法。

全书系统性、综合性、实用性强,前后各章节联系紧密;每章都配有一定数量的思考与练习题、模拟自测题,供读者复习和巩固所学知识用;第5~8章还配有典型零件工艺分析实例。

本书可作为高等职业教育数控及其相关专业的教材或培训用书,亦可供从事数控加工的工程技术人员参考。

书 号

ISBN 95005

前 言

要 对 容 内

为了配合中央广播电视大学数控技术专业的教学,中央广播电视大学与机械工业教育发展中心合作共同组织编写了数控技术专业系列教材。该系列教材的编写遵循教育部等三部委联合发布的《关于开展数控技术专业技能型紧缺人才培养的通知》精神,结合“中央广播电视大学人才培养模式改革和开放教育试点”研究工作的开展,立足以职业为导向,以学生为中心,以基础理论教学“必需、够用”为度,突出职业技能教学的地位,旨在培养学生具有一定的工程技术应用的能力,以适应工作岗位的实际需求。

制造自动化技术是先进制造技术中的重要组成部分,其核心技术是数控技术。数控技术是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的产物。它的出现及所带来的巨大效益,已引起世界各国科技与工业界的普遍重视。专家们预言:21世纪机械制造业的竞争,其实质是数控技术的竞争。目前,随着国内数控机床用量的剧增,急需培养一大批熟悉数控加工工艺,能够熟练掌握现代数控机床编程、操作和维护的应用型高级技术人才。同时,为了适应我国高等职业技术教育发展及应用型技术人才培养的需要,我们经过反复的实践与总结,编写了这本教材。

数控加工工艺是数控编程与操作的基础,合理的工艺是保证数控加工质量、发挥数控机床效能的前提条件。本书正是从数控加工的实用角度出发,以掌握数控加工工艺为目标,在介绍数控加工切削基础、数控刀具的选用、数控加工工件的定位与装夹以及数控加工工艺基础等基本知识的基础上,分析了数控车削、数控铣削、加工中心及数控线切割等加工工艺。

本书编写组成员为徐宏海、赵玉侠,由徐宏海担任主编。第1,3~7章由徐宏海编写,第2,8章由赵玉侠编写。全书由徐宏海负责统稿和定稿。谢富春、阎红娟、郑青、李凯等同志为全书图片制作与典型实例的实操检验作了大量工作。

在本书的编写过程中,得到了中央广播电视大学李西平、宁晨、田斌老师的关心和大力支持,为本书编写提供了许多宝贵意见,在此一并致谢。

由于编者水平有限,本书难免有不足之处,望读者和各位同仁提出宝贵意见。

编 者

2007年10月

目 录

1 数控加工的切削基础	(1)
1.1 数控加工工艺系统概述	(2)
1.2 刀具几何角度及切削要素的基本定义	(3)
1.2.1 切削运动和切削用量	(3)
1.2.2 刀具切削部分的几何形状和角度	(6)
1.2.3 刀具的工作角度	(12)
1.2.4 切削层	(16)
1.3 金属切削过程的基本理论及规律	(18)
1.3.1 切削过程中的变形	(18)
1.3.2 积屑瘤与鳞刺	(19)
1.3.3 影响切削变形的因素	(21)
1.3.4 切削力	(22)
1.3.5 切削热与切削温度	(25)
1.3.6 刀具磨损和耐用度	(27)
1.4 金属切削过程基本规律的应用	(30)
1.4.1 切屑的种类及其控制	(30)
1.4.2 金属材料的切削加工性	(34)
1.4.3 切削用量与切削液的合理选择	(35)
1.5 刀具几何参数的合理选择	(39)
1.5.1 前角及前面形状的选择	(39)
1.5.2 后角及后面形状的选择	(43)
1.5.3 主偏角及副偏角的选择	(44)
1.5.4 刃倾角的功用及其选择	(46)
思考与练习题	(47)
模拟自测题	(47)

2 数控机床刀具的选择	(50)
2.1 刀具材料及其选用	(50)
2.1.1 刀具材料应具备的基本性能	(50)
2.1.2 刀具材料的种类及其选用	(52)
2.2 数控机床刀具种类及特点	(56)
2.2.1 数控机床的刀具系统	(56)
2.2.2 数控机床刀具的特点	(62)
2.3 可转位刀片及其代码	(63)
2.3.1 可转位刀具的优点	(63)
2.3.2 可转位刀片的代码及其标记方法	(63)
2.4 数控刀具的选择	(64)
思考与练习题	(68)
模拟自测题	(68)
3 数控加工中工件的定位与装夹	(71)
3.1 机床夹具概述	(71)
3.2 工件的定位	(74)
3.2.1 六点定位原理	(74)
3.2.2 六点定位原理的应用	(75)
3.2.3 定位与夹紧的关系	(77)
3.3 定位基准的选择原则	(77)
3.3.1 粗基准的选择原则	(77)
3.3.2 精基准的选择原则	(79)
3.3.3 辅助基准的选择	(81)
3.4 常见定位方式及定位元件	(82)
3.5 定位误差	(87)
3.6 工件的夹紧	(91)
3.7 数控机床典型夹具简介	(94)
3.7.1 车床夹具	(94)
3.7.2 铣床夹具	(104)
思考与练习题	(106)
模拟自测题	(106)

4 数控加工工艺基础	(110)
4.1 基本概念	(110)
4.1.1 生产过程和工艺过程	(110)
4.1.2 生产纲领和生产类型	(113)
4.2 数控加工工艺分析	(115)
4.2.1 选择适合数控加工的零件	(115)
4.2.2 确定数控加工的内容	(116)
4.2.3 数控加工零件的工艺性分析	(117)
4.3 数控加工工艺路线设计	(119)
4.3.1 加工方法的选择	(120)
4.3.2 加工阶段的划分	(124)
4.3.3 工序的划分	(125)
4.3.4 加工顺序的安排	(126)
4.4 数控加工工序设计	(127)
4.4.1 确定走刀路线和工步顺序	(128)
4.4.2 定位与夹紧方案的确定	(129)
4.4.3 夹具的选择	(130)
4.4.4 刀具的选择	(130)
4.4.5 机床的选择	(130)
4.4.6 量具的选择	(131)
4.4.7 工序加工余量的确定	(131)
4.4.8 工序尺寸及其偏差的确定	(133)
4.4.9 切削用量的确定	(137)
4.4.10 时间定额的确定	(138)
4.4.11 数控加工工艺文件的填写	(139)
4.5 对刀点与换刀点的选择	(139)
4.6 机械加工精度及表面质量	(140)
4.6.1 加工精度和表面质量的基本概念	(140)
4.6.2 表面质量对零件使用性能的影响	(141)
4.6.3 影响加工精度的因素及提高精度的措施	(142)
4.6.4 影响表面粗糙度的因素及改进措施	(143)
思考与练习题	(144)
模拟自测题	(144)

5 数控车削加工工艺	(148)
5.1 数控车削加工的主要对象	(148)
5.2 数控车削加工工艺分析	(150)
5.2.1 数控车削加工零件的工艺性分析	(150)
5.2.2 数控车削加工工艺路线的拟订	(152)
5.2.3 数控车削加工工序的设计	(156)
5.2.4 数控车削加工中的装刀与对刀技术	(162)
5.3 典型零件的数控车削加工工艺分析	(164)
5.3.1 轴类零件数控车削加工工艺分析	(164)
5.3.2 轴套类零件数控车削加工工艺分析	(167)
思考与练习题	(171)
模拟自测题	(171)
6 数控铣削加工工艺	(174)
6.1 数控铣削加工的主要对象	(174)
6.2 数控铣削加工工艺分析	(176)
6.2.1 选择并确定数控铣削的加工部位及内容	(176)
6.2.2 数控铣削加工零件的工艺性分析	(177)
6.2.3 数控铣削加工工艺路线的拟订	(179)
6.2.4 数控铣削加工工序的设计	(187)
6.2.5 数控铣削加工中的装刀与对刀技术	(196)
6.3 典型零件的数控铣削加工工艺分析	(199)
6.3.1 平面槽形凸轮零件数控铣削加工工艺分析	(199)
6.3.2 箱盖类零件数控铣削加工工艺分析	(202)
思考与练习题	(206)
模拟自测题	(206)
7 加工中心加工工艺	(209)
7.1 加工中心加工工艺概述	(209)
7.1.1 加工中心的工艺特点	(209)
7.1.2 加工中心的主要加工对象	(210)

7.2 加工中心加工工艺分析	(213)
7.2.1 加工中心加工内容的选择	(213)
7.2.2 加工中心加工零件的工艺性分析	(214)
7.2.3 加工中心加工工艺路线的拟订	(216)
7.2.4 加工中心加工工序的设计	(219)
7.2.5 刀具预调与换刀点	(225)
7.3 典型零件的加工中心加工工艺分析	(228)
7.3.1 箱体类零件加工中心加工工艺分析	(228)
7.3.2 盖板零件加工中心加工工艺分析	(232)
思考与练习题	(236)
模拟自测题	(236)
8 数控线切割加工工艺	(239)
8.1 数控线切割加工概述	(239)
8.1.1 数控线切割加工原理	(239)
8.1.2 数控线切割加工的特点	(240)
8.1.3 数控线切割加工的应用	(241)
8.2 数控线切割加工的主要工艺指标及影响因素	(242)
8.2.1 数控线切割加工的主要工艺指标	(242)
8.2.2 影响数控线切割加工工艺指标的主要因素	(242)
8.3 数控线切割加工工艺分析	(247)
8.3.1 零件图工艺分析	(247)
8.3.2 工艺准备	(249)
8.3.3 工件的装夹和位置校正	(252)
8.3.4 加工参数的选择	(258)
8.3.5 数控线切割加工的工艺技巧	(261)
8.4 典型零件的数控线切割加工工艺分析	(265)
8.4.1 冷冲模加工	(265)
8.4.2 零件加工	(267)
思考与练习题	(269)
模拟自测题	(269)
参考文献	(271)

1 数控加工的切削基础

学习目标

1. 了解数控加工过程及数控加工工艺系统的构成。
2. 了解切削运动的种类及特点。
3. 掌握切削用量三要素的内容及计算方法。
4. 掌握正交平面参考系中刀具角度的标注方法。
5. 掌握影响刀具工作角度的因素及其变化规律。
6. 了解切削层参数的度量方法。
7. 了解切削过程3个变形区的变形特点。
8. 掌握积屑瘤的形成条件及抑制措施。
9. 掌握影响切削变形的因素及其变化规律。
10. 了解切削力的来源与计算方法,掌握影响切削力的因素及其变化规律。
11. 了解切削热的来源,掌握影响切削温度的因素及其变化规律。
12. 了解刀具磨损的形式,掌握影响刀具耐用度的因素及其变化规律。
13. 掌握切屑的种类、特点及产生条件。
14. 了解影响断屑的因素及其规律。
15. 掌握粗、精加工时切削用量的选择原则和方法。
16. 了解切削液的种类及适用场合。
17. 了解刀具几何参数的合理选择原则。

内容提要

本章简要介绍了数控加工过程及其工艺系统的构成,重点讨论了刀具几何角度,切削要素,金属切削过程的基本理论、规律与应用,刀具几何参数的合理选择等。这些基本理论和规律是数控加工工艺的基础,在工艺分析中具有重要的作用。

1.1 数控加工工艺系统概述

数控加工工艺是以数控机床加工中的工艺问题为研究对象的一门综合基础技术课程。它以机械制造中的工艺基本理论为基础,结合数控机床高精度、高效率和高柔性等特点,综合应用多方面的知识,解决数控加工中的工艺问题。

利用数控机床完成零件数控加工的过程如图 1-1 所示,主要包括:

- (1) 根据零件加工图样进行工艺分析,确定加工方案、工艺参数和位移数据。
- (2) 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单,或用自动编程软件进行 CAD/CAM 工作,直接生成零件的加工程序文件。
- (3) 程序的输入或传输。手工编程时,可以通过数控机床的操作面板输入程序;由编程软件生成的程序,通过计算机的串行通讯接口直接传输到数控机床的数控单元(MCU)。
- (4) 将输入或传输到数控单元的加工程序,进行试运行、刀具路径模拟等。
- (5) 通过对机床的正确操作,运行程序,完成零件的加工。

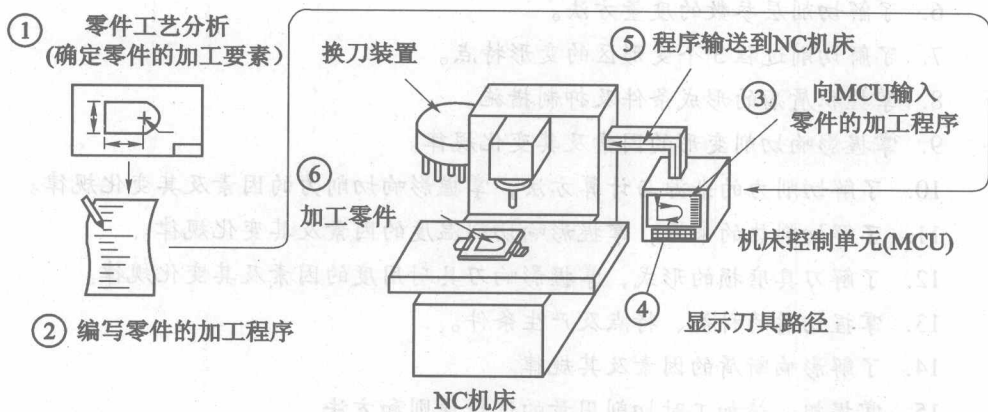


图 1-1 数控加工的过程

由图 1-1 可知,数控加工过程是在一个由数控机床、刀具、夹具和工件构成的数控加工工艺系统中完成的。数控机床是零件加工的工作机械,刀具直接对零件进行切削,夹具用来固定被加工零件并使之占有正确的位置,加工程序控制刀具与工件之间的相对运动轨迹。图 1-2 是数控加工工艺系统的构成及相互关系。工艺系统性能的好坏直接影响零件的加工精度和表面质量。

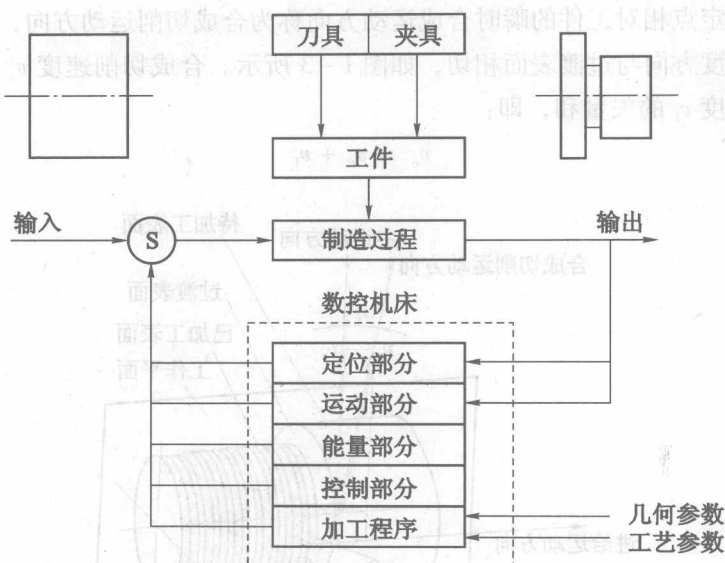


图 1-2 数控加工工艺系统

1.2 刀具几何角度及切削要素的基本定义

1.2.1 切削运动和切削用量

1. 切削运动

金属切削加工是用金属切削刀具把工件毛坯上预留的金属材料（统称余量）切除，获得图样所要求的零件。在切削过程中，刀具和工件之间必须有相对运动（见图 1-3），这些运动由金属切削机床完成。

(1) 主运动

主运动是由机床提供的主要运动，它使刀具和工件之间产生相对运动，从而使刀具前面接近工件并切除切削层。如车削时工件的旋转运动，刨削时刀具或工件的往复运动。一般说，主运动的切削速度（ v_c ）最高，消耗的机床功率也最大。

(2) 进给运动

进给运动是由机床提供的使刀具相对于工件产生的附加运动，加上主运动，即可不断地或连续地切除切削层，并得出具有所需几何特性的已加工表面。机床的进给运动可以是连续的运动，如车削外圆时车刀平行于工件轴线的纵向运动，也可以是间断运动，如刨削时刀具的横向移动。

(3) 合成切削运动

当主运动和进给运动同时进行时，由主运动和进给运动合成的运动称为合成切削运动。

刀具切削刃上选定点相对工件的瞬时合成运动方向称为合成切削运动方向，其速度称为合成切削速度。该速度方向与过渡表面相切，如图 1-3 所示。合成切削速度 v_e 等于主运动速度 v_c 和进给运动速度 v_f 的矢量和，即：

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

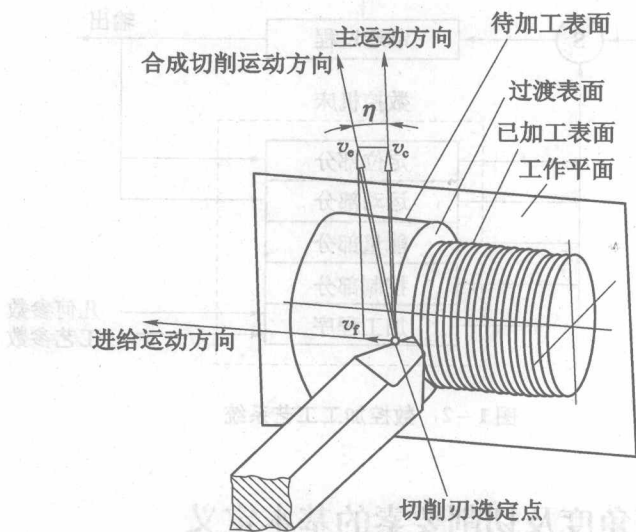


图 1-3 切削运动和工件表面

(4) 辅助运动

除主运动、进给运动以外，机床在加工过程中还需完成一系列其他的运动，即辅助运动。辅助运动的种类很多，主要包括：刀具接近工件，切入、退离工件，快速返回原点的运动；为使刀具与工件保持相对正确位置的对刀运动；多工位工作台和多工位刀架的周期换位以及逐一加工多个相同局部表面时，工件周期换位所需的分度运动等。另外，机床的启动、停车、变速、换向以及部件与工件的夹紧、松开等的操纵控制运动，也属于辅助运动。辅助运动是整个加工过程中必不可少的。

2. 工件表面

切削加工过程中，工件上形成了 3 个不断变化着的表面：

(1) 已加工表面

工件上经刀具切削后产生的表面，称为已加工表面。

(2) 待加工表面

工件上有待切除切削层的表面，称为待加工表面。

(3) 过渡表面

工件上由切削刃形成的那部分表面，称为过渡表面。它在下一切削行程（如刨削）、刀具或工件的下一转里（如单刃镗削或车削）将被切除，或者由下一切削刃（如铣削）切除。

3. 切削用量

切削用量是用来表示切削运动、调整机床加工参数的参量,可用切削用量对主运动和进给运动进行定量表述。切削用量包括切削速度、进给量和背吃刀量 3 个要素。

(1) 切削速度 (v_c)

切削刃上选定点相对于工件主运动的瞬时线速度,称为切削速度。回转主运动的线速度 v_c (单位: m/min) 的计算公式如下:

$$v_c = \pi d n / 1000 \quad (1-2)$$

式中: d ——切削刃上选定点处所对应的工件或刀具的回转直径, mm;

n ——工件或刀具的转速, r/min。

需要注意的是:车削加工时,应计算待加工表面的切削速度。

(2) 进给量 (f)

刀具在进给运动方向上相对于工件的位移量,称为进给量。进给量用刀具或工件每转或每行程的位移量 f 来表示 (见图 1-4), 其单位用 mm/r 或 mm/行程 (如刨削等) 表示。

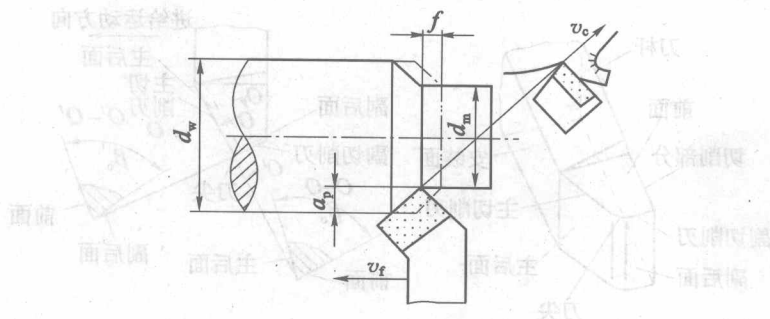


图 1-4 切削用量三要素

数控编程时,通常采用进给速度 v_f (F 指令) 表示刀具与工件的相对运动速度,单位是 mm/min。车削时的进给速度 v_f 为:

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

对于铰刀、铣刀等多齿刀具,通常规定每齿进给量 f_z (单位: mm/Z), 其含义是刀具每转过一个齿,刀具相对于工件在进给运动方向上的位移量。进给速度 v_f 与每齿进给量的关系为:

$$v_f = n Z f_z \quad (1-4)$$

式中: Z ——刀齿数。

(3) 背吃刀量 (a_p)

已加工表面与被加工表面之间的垂直距离,称为背吃刀量 (单位: mm)。

外圆车削时:

$$a_p = (d_w - d_m) / 2 \quad (1-5)$$

式中: d_w ——待加工表面直径, mm;

d_m ——已加工表面直径, mm。

镗孔时, 式 (1-5) 中的 d_w 与 d_m 的位置互换一下。钻孔加工的背吃刀量为钻头的半径。

1.2.2 刀具切削部分的几何形状和角度

刀具由刀体、刀柄或刀孔和切削部分组成。刀体是刀具上夹持刀条或刀片的部分。刀柄是刀具上的夹持部分。刀孔是刀具上用以安装或紧固在主轴、刀杆或心轴上的内孔。切削部分是刀具上起切削作用的部分。

1.2.2.1 刀具切削部分的组成

金属切削刀具的种类虽然很多, 但仔细观察它的切削部分, 其剖面的基本形态都是刀楔形状。以外圆车刀为例 (见图 1-5), 由 3 个刀面组成的主、副两组刀楔, 其楔角分别为 β 和 β' , 切削部分的组成要素如下。

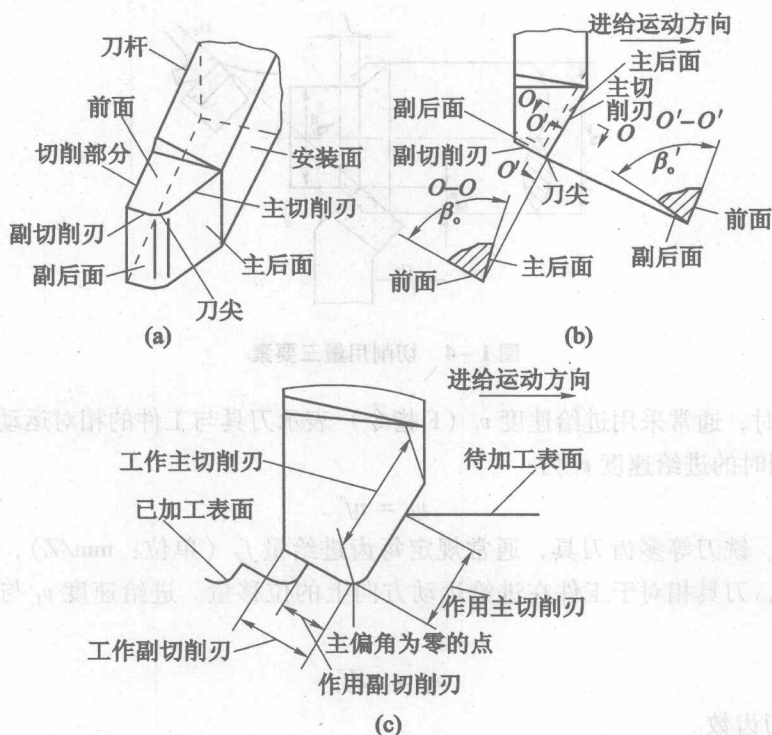


图 1-5 刀具切削部分的组成

(1) 前刀面 (A_v)。切屑流过的表面, 称为前刀面。

(2) 主后刀面 (A_α)。与过渡表面相对的表面, 称为主后刀面。

(3) 副后刀面 (A_α')。与已加工表面相对的表面, 称为副后刀面。