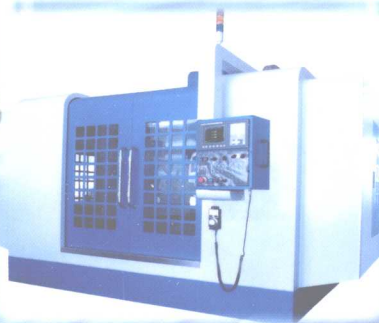


国家示范性 高职院校建设规划教材

数控机床加工 工艺与实施

申晓龙 主 编



化学工业出版社

国家示范性高职院校建设规划教材

数控机床加工工艺与实施

申晓龙 主编

杨有才 肖正祥 朱 贇 副主编

龙 华 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本教材主要介绍了金属切削加工基础、数控加工的工艺基础、工件在数控机床上的定位与装夹、数控车削加工工艺与实施、数控铣削加工工艺与实施、加工中心加工工艺与实施、数控线切割加工工艺与实施。本书在讲述基本理论的基础上,给出大量已实践过的典型零件实例加工工艺分析,具有很强的针对性和实用性。每章都提供了学习要求和学习小结,章节后附有思考与练习题,方便读者把握学习要点,掌握工艺方案的设计与实施方法,从而达到解决数控生产中的工艺问题与提高数控加工操作能力。

本书可作为高等职业学院、职工大学等数控技术专业、模具设计与制造、机械制造与自动化和机电一体化专业的教材,也可作为培训教材供各数控培训机构使用,还可供从事数控加工技术工作的工程技术人员以及工矿企业中从事机床数控加工技术的工程技术人员、研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床加工工艺与实施/申晓龙主编. —北京:化学工业出版社, 2009.2

国家示范性高职院校建设规划教材

ISBN 978-7-122-04368-9

I. 数… II. 申… III. 数控机床-加工-高等学校:技术学院-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 213670 号

责任编辑:韩庆利

责任校对:徐贞珍

装帧设计:杨 北

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16 字数 402 千字 2009 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

数控加工是机械制造中的先进加工技术,是一种高效率、高精度与高柔性的自动化加工方法。数控加工技术可有效解决复杂、精密、小批多变零件的加工问题,充分适应了现代化生产的需要。目前,随着数控加工的日益普及,越来越多的数控机床用户感到,数控加工工艺与实施掌握的水平是制约数控手工编程与 CAD/CAM 集成化自动编程质量的关键因素。

本书从实用的数控加工技术出发,以使读者掌握数控加工技能,在生产实际中灵活应用数控加工工艺知识,提高数控加工岗位操作技术为目标,精选了大量的数控加工实例,针对实例制订详细的数控加工工艺方案。包括零件的装夹、数控加工工序的设计、选择刀具和切削参数、数控机床的装刀与对刀、机床参数的调整、典型零件的数控加工工艺分析与应用。通过数控加工实例的引导,方便读者把握学习要点,掌握工艺方案的设计与实施方法,从而达到提高数控加工操作能力与解决数控生产中工艺问题的能力。随着当今世界各国制造业广泛采用数控技术以提高制造能力和水平,社会上急需培养大批能熟练掌握数控机床加工的应用型高技能人才,尽快培养掌握数控技术的技能型紧缺人才已成为当务之急。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。

本教材编写注重以下几个方面。

- (1) 体现高等职业教育以岗位能力培养为目标,以“应用”为主旨。
- (2) 编写上打破了传统的学科体系,以“数控加工过程工艺计划与实施”作为课程主线。
- (3) 立足职业为导向,以基础理论教学“必需、够用”为度,删除不必要的烦琐的理论推导,精选大量实践生产中的典型实例,逐步深入地进行分析和应用。
- (4) 增加新工艺、新材料、新技术的应用,使学员除能掌握通用的数控加工工艺及应用的知識外,也能了解现代制造技术的发展方向,拓宽学员的知识面,体现本教材的先进性。

本教材是机械类、机电复合类专业及近机类专业的一门岗位能力模块化的应用型教材。

全书由湖南工业职业技术学院申晓龙任主编并统稿和定稿,龙华审稿,怀化职业技术学院杨有才、段兰兰、聂笃伟,湖南城建职业技术学院肖正祥、李美林,湖南工业职业技术学院罗永新、李强,长沙环保职业技术学院朱赞,湖南航天教育集团张洪辉参加编写。本书在编写过程中,还得到了湖南工业职业技术学院数控中心老师的大力支持。湖南工业职业技术学院数控技术专业是教育部确定的重点建设的国家级“精品专业”,这为本书的编写提供了良好的条件。本书在编写过程中参阅了国内外同行的专著、教材、论文等资料与文献,在此表示感谢。

由于编者水平有限,加上数控技术发展迅速,书中难免存在不足和疏漏之处,望读者和各位同仁提出宝贵意见。

编者

2009年1月

目 录

第 1 章 金属切削加工基础	1
1.1 切削运动与切削要素	1
1.1.1 切削所需要的运动	1
1.1.2 切削所产生的表面	2
1.1.3 切削用量三要素	2
1.1.4 切削层横截面参数	3
1.2 刀具的组成及几何角度	3
1.2.1 刀具组成	4
1.2.2 确定车刀角度的参考坐标平面	4
1.2.3 刀具几何角度的基本定义	5
1.3 金属切削过程的基本理论及规律	7
1.3.1 切屑的形成过程和切屑种类	8
1.3.2 积屑瘤与鳞刺	9
1.3.3 已加工表面变形和加工硬化	11
1.3.4 切削力	11
1.3.5 切削热与切削温度	13
1.3.6 刀具磨损和耐用度	14
1.4 刀具材料	18
1.4.1 刀具材料必须具备的基本性能	18
1.4.2 工具钢	19
1.4.3 高速钢	19
1.4.4 硬质合金	20
1.4.5 陶瓷刀具	22
1.4.6 超硬材料刀具	23
1.5 工件材料的切削加工性和切削液	24
1.5.1 切削加工性的概念和衡量指标	24
1.5.2 影响材料切削加工性的主要因素	25
1.5.3 改善切削加工性的途径	25
1.5.4 合理使用切削液	26
1.6 刀具几何参数的选择	28
1.6.1 前角及前面形状的选择	28
1.6.2 后角及后面形状的选择	31
1.6.3 主偏角及副偏角的选择	32
1.6.4 刃倾角功用及选择	33
1.6.5 过渡刃形状及参数选择	34

1.7 切削用量的选择·····	34
1.7.1 切削用量的选择原则·····	34
1.7.2 切削用量的选择方法·····	35
1.7.3 切削用量的选择实例·····	37
学习小结·····	38
思考与练习题·····	39
第2章 数控加工的工艺基础 ·····	40
2.1 制订数控加工工艺过程的步骤与方法·····	40
2.1.1 生产过程和生产系统·····	40
2.1.2 生产纲领和生产类型·····	41
2.1.3 工艺规程制订的步骤及内容·····	43
2.1.4 数控加工工艺系统·····	45
2.1.5 零件机械加工工艺过程实例·····	50
2.2 数控加工工序的设计·····	51
2.2.1 设备及工艺装备的选择·····	51
2.2.2 工件的定位与夹紧方案的确定·····	52
2.2.3 确定走刀路线和工步顺序·····	52
2.2.4 加工余量的确定·····	55
2.2.5 切削用量的确定·····	57
2.2.6 工序尺寸及其偏差·····	58
2.2.7 机械加工生产率及改善措施·····	59
2.3 工艺尺寸的计算·····	61
2.3.1 工艺尺寸链的基本概念·····	61
2.3.2 工序尺寸及其公差确定·····	62
2.4 数控加工精度及表面质量·····	66
2.4.1 加工精度和表面质量·····	66
2.4.2 工艺系统的几何误差·····	68
2.4.3 工艺系统受力变形产生的误差及改善措施·····	69
2.4.4 工艺系统热变形产生的误差及改善措施·····	70
2.4.5 工件内应力引起的误差及改善措施·····	71
2.4.6 数控机床产生的加工误差·····	71
2.4.7 提高加工精度的改善措施·····	72
2.4.8 影响表面粗糙度的因素及改善措施·····	73
学习小结·····	74
思考与练习题·····	74
第3章 工件在数控机床上的定位与装夹 ·····	76
3.1 工件的装夹方式·····	76
3.1.1 直接找正装夹·····	76
3.1.2 划线找正装夹·····	77
3.1.3 采用夹具装夹·····	77
3.2 机床夹具概述·····	77

3.2.1	机床夹具的分类	78
3.2.2	机床夹具的组成	78
3.3	工件的定位	80
3.3.1	六点定位原理	80
3.3.2	限制工件自由度与加工要求的关系	80
3.3.3	六点定位原理的应用	81
3.3.4	定位与夹紧的关系	84
3.4	定位基准	84
3.4.1	基准的概念及其分类	84
3.4.2	定位基准的选择	85
3.5	常见定位元件及定位方式	89
3.5.1	工件以平面定位	89
3.5.2	工件以圆柱孔定位	92
3.5.3	工件以圆锥孔定位	94
3.5.4	工件以外圆柱面定位	95
3.5.5	工件以一面两孔定位	96
3.5.6	定位误差	97
3.6	机械加工定位方案选择实例	100
3.7	工件的夹紧	101
3.7.1	夹紧装置的组成	101
3.7.2	夹紧力的确定	102
3.7.3	典型夹紧机构	104
3.7.4	力源传动装置	107
3.8	数控机床典型夹具简介	110
3.8.1	数控车床的典型夹具	110
3.8.2	数控铣床夹具	115
3.8.3	加工中心夹具	116
学习小结		117
思考与练习题		117
第4章	数控车削加工工艺	121
4.1	数控车削的主要加工对象	121
4.1.1	数控车床的组成与分类	121
4.1.2	要求高的回转体零件	123
4.1.3	表面形状复杂的回转体零件	123
4.1.4	带横向加工的回转体零件	124
4.1.5	带一些特殊类型螺纹的零件	124
4.2	数控车削加工工艺的制订	124
4.2.1	数控车削加工内容的确定	124
4.2.2	零件图工艺分析	124
4.2.3	数控车削加工刀具及选择	126
4.2.4	零件表面数控加工方案的选择	130

4.2.5	工序和装夹方式的确定	131
4.2.6	加工顺序的确定	133
4.2.7	进给路线的确定	135
4.2.8	切削用量的选择	140
4.2.9	数控车削加工中的装刀与对刀	142
4.3	典型零件的车削工艺分析	145
4.3.1	轴类零件数控车削工艺分析	145
4.3.2	套类零件数控车削工艺分析	148
4.3.3	盘类零件数控车削工艺分析	152
	学习小结	154
	思考与练习题	155
第5章	数控铣削加工工艺	157
5.1	数控铣削的主要加工对象	157
5.1.1	平面类零件	157
5.1.2	曲面类零件	157
5.1.3	箱体类零件	158
5.2	数控铣削加工工艺的制订	158
5.2.1	零件的工艺分析	159
5.2.2	装夹方案的确定	162
5.2.3	刀具选择的基本要求	163
5.2.4	切削用量的选择	167
5.2.5	进给路线的确定	170
5.2.6	数控铣削加工中的装刀与对刀	175
5.3	典型零件的铣削工艺分析	177
5.3.1	平面凸轮的数控铣削工艺分析	177
5.3.2	异形件的数控铣削工艺分析	179
5.3.3	模具的数控铣削工艺分析	182
	学习小结	184
	思考与练习题	184
第6章	加工中心加工工艺	187
6.1	加工中心加工工艺分析	187
6.1.1	加工中心的主要加工对象	187
6.1.2	加工中心加工内容的选择	189
6.1.3	加工中心加工零件的工艺分析	190
6.1.4	定位基准的选择	191
6.2	加工中心加工工艺路线的拟订	192
6.2.1	加工中心加工方案的选择	192
6.2.2	加工中心加工阶段的划分	192
6.2.3	加工中心加工顺序的安排	193
6.2.4	进给路线的确定	194
6.2.5	加工中心装夹方案的确定和夹具的选择	196

6.2.6 刀具的选择	198
6.2.7 切削用量的选择	204
6.3 典型零件的加工工艺分析	205
6.3.1 盖板类零件的加工	206
6.3.2 齿轮泵座零件的加工	209
6.3.3 箱体类零件的加工	212
6.3.4 型腔类零件的加工	217
学习小结	219
思考与练习题	219
第7章 数控线切割加工工艺	221
7.1 数控线切割加工概述	221
7.1.1 数控线切割加工原理、特点	221
7.1.2 数控线切割加工的应用	225
7.2 影响数控线切割加工工艺指标的主要因素	227
7.2.1 线切割加工的主要工艺指标	227
7.2.2 影响线切割工艺指标的若干因素	227
7.3 数控线切割加工工艺的制订	229
7.3.1 零件图的工艺性分析	229
7.3.2 工艺准备	230
7.3.3 工件的装夹和常用典型夹具及调整	234
7.3.4 切割路线的选择	236
7.3.5 数控线切割加工的工艺技巧	237
7.4 典型零件的数控线切割加工工艺分析	240
7.4.1 冲裁模凸凹模的加工	240
7.4.2 普通零件的加工	243
学习小结	244
思考与练习题	244
参考文献	245

第 1 章 金属切削加工基础

学习要求:

- ① 了解切削运动的种类及其特点,掌握切削用量三要素的内容。
- ② 掌握正交平面参考系中刀具角度的标注方法。
- ③ 掌握刀具工作角度的影响因素及变化规律,了解切削层参数。
- ④ 掌握切屑的种类、特点及产生条件,掌握积屑瘤的形成条件及其抑制措施。
- ⑤ 了解影响切削变形的因素及变化规律,了解影响切削力和切削温度的因素。
- ⑥ 掌握常用刀具材料及其选用。
- ⑦ 了解切削液的种类及适用场合。
- ⑧ 掌握粗、精加工时切削用量的选择原则和方法。

金属切削加工是指利用机床和切削工具从毛坯上切去多余的材料,使工件的几何形状、尺寸以及表面粗糙度等方面均符合图样要求的机械加工方法。其主要方式有车削、钻削、镗削、铣削、刨削、磨削和超精加工等。

机械加工虽有多种不同的方式,但是它们在很多方面都有着共同的现象和规律,这些现象和规律是学习各种切削加工方法共同的基础。

1.1 切削运动与切削要素

1.1.1 切削所需要的运动

切削加工时,刀具与工件之间的相对运动,称为切削运动。常见机械加工方法的切削运动如图 1-1 所示。切削运动按其在切削过程中所起的作用不同,分为主运动和进给运动两类。

(1) 主运动 主运动是切下切屑、形成工件表面形状的最基本运动,也是切削运动中速度最高,消耗功率最大的运动,用 v_c 表示。机床的主运动有且只有一个。主运动的形式有以下几种。

① 工件或刀具所作的旋转运动。如车削时工件的旋转运动,钻削、镗削、铣削、磨削时刀具的旋转运动,分别如图 1-1 的 (a)、(b)、(c)、(e)、(f) 所示。

② 工件或刀具所作的直线运动。如龙门刨床刨削时工件的移动,牛头刨床刨削时刀具的移动等,如图 1-1(d) 所示。

(2) 进给运动 进给运动是使切削工具不断切下切屑所需要的运动,用 v_f 表示。进给运动一般速度较低,消耗功率较少,可由一个或多个运动组成。如钻床、刨床等机床只有一个进给运动;车床有刀架溜板的纵向(车削外圆)和横向(车削端面)两个进给运动。进给运动可以是连续的,如车削时车刀沿平行工件轴线的纵向连续运动;也可以是间断的,如牛头刨床刨削时刨刀沿垂直于主运动方向的间歇运动;或者是二者的组合,如磨削工件外圆时,砂轮横向间断的进给运动、工件连续的旋转进给运动及纵向往复直线进给运动。进给运动也可能没有,如拉削。

(3) 合成切削运动 合成切削运动是由主运动和进给运动合成的运动。刀具切削刃上选定点相对工件的瞬时合成运动方向称合成切削运动方向，其速度称合成切削速度。

1.1.2 切削所产生的表面

切削过程中，刀具沿着进给方向运动，工件上的多余金属层不断被切除而成为切屑，从而加工出所需要的表面。此时，工件上有三个不断变化着的表面，如图 1-1 所示。

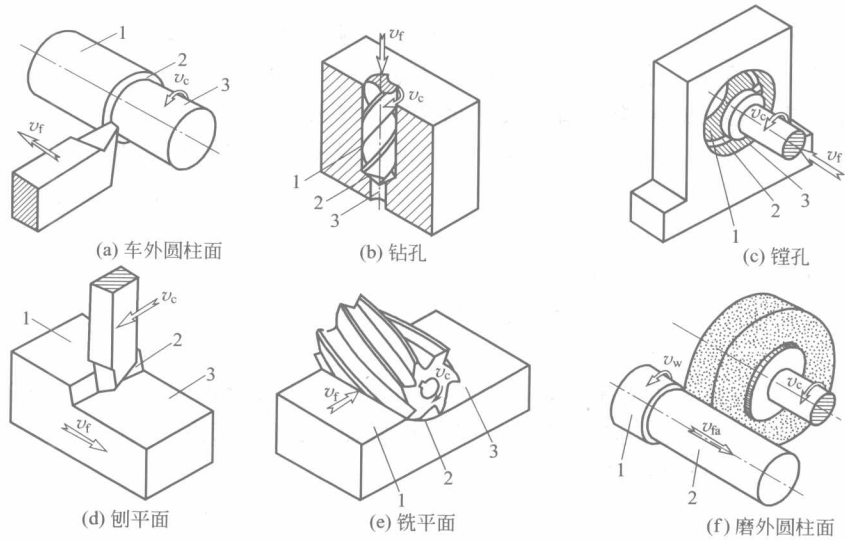


图 1-1 常见机械加工方法的切削运动及加工表面

1—待加工表面；2—过渡表面；3—已加工表面； v_c —主运动； v_f 、 v_{fa} 、 v_w —进给运动

- ① 待加工表面：工件上即将被切除切屑的表面。
- ② 过渡表面：工件上被切削刃正在切削的表面。
- ③ 已加工表面：工件上经切削刃切去切屑后而形成的表面。

1.1.3 切削用量三要素

切削用量是指切削过程中的切削速度、进给量和背吃刀量三者的总称，它们称为切削用量三要素。

(1) 切削速度 v_c 主运动的线速度称为切削速度，以 v_c 表示。若主运动为旋转运动，切削速度为其最大的线速度。如车削、钻削或铣削等加工时切削速度的计算公式为

$$v_c = \pi d_m n / 1000 \tag{1-1}$$

式中 v_c ——切削速度，m/min 或 m/s；
 d_m ——工件待加工表面直径，mm；
 n ——工件或刀具的转速，r/min 或 r/s。

若主运动为往复直线运动，如刨削、插削等，则一般以其平均速度作为切削速度。其计算公式为

$$v_c = 2Ln_f / 1000 \tag{1-2}$$

式中 v_c ——切削速度，m/min 或 m/s；
 L ——刀具或工件作往复直线运动的行程长度，mm；

n_r ——刀具或工件每分钟（或每秒钟）往复的次数，次/min 或次/s。

(2) 进给量 f 工件或刀具每转一转或往复一次，刀具与工件之间沿进给运动方向相对移动的距离，称为每转进给量，用 f 表示，单位是 mm/r 或 mm/行程。车削时的 f (mm/r) 为工件每转一转时，车刀沿进给运动方向移动的距离；刨削时的 f (mm/行程) 为刨刀（或工件）每往复一次后，工件（或刨刀）沿进给方向移动的距离。钻削、铣削等多刀齿刀具切削时的进给量可用每齿进给量 f_z 表示，单位是 mm/Z；也可以用进给速度 v_f 来表示，单位是 mm/min，它们之间的关系是

$$v_f = fn = f_z Zn \quad (1-3)$$

式中 Z ——刀具齿数；

n ——主运动转速，r/min。

(3) 背吃刀量 a_p 背吃刀量是工件上已加工表面和待加工表面之间的垂直距离。对于外圆表面车削（如图 1-2 所示）

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

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。

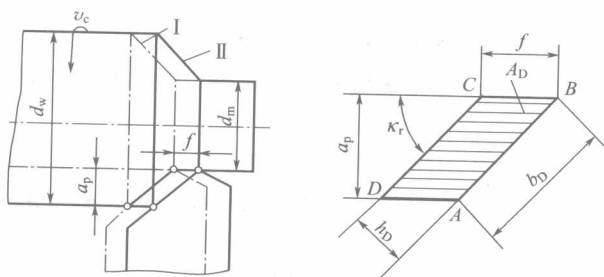


图 1-2 纵车外圆时的切削用量和切削层参数

1.1.4 切削层横截面参数

切削层是指切削过程中，刀具的切削刃在一次进给中从工件的待加工表面上切除的那一层金属。车削外圆时，如图 1-2 所示，当工件旋转一周时，车刀由位置 II 移动到位置 I，位置 I 与位置 II 之间被切离的那一层金属就是切削层。切削层横截面的参数有以下几项。

(1) 切削层公称宽度 b_D 在切削层横截面内，平行于工件过渡表面度量的切削层尺寸。

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r \text{ (mm)} \quad (1-5)$$

(2) 切削层公称厚度 h_D 在切削层横截面内，垂直于工件过渡表面度量的切削层尺寸。

$$h_D \approx f \sin \kappa_r \text{ (mm)} \quad (1-6)$$

(3) 切削层公称横截面积 A_D 切削层横截面的实际面积。车削外圆时，有如下关系

$$A_D = h_D b_D = f a_p \text{ (mm}^2\text{)} \quad (1-7)$$

1.2 刀具的组成及几何角度

在数控机床上所使用的切削刀具种类很多，其形状、结构各不相同，而外圆车刀切削部分的形状和结构，可作为其他刀具切削部分的基本形态，在此基础上按各自的切削特点组合

成各类切削刀具。本节以外圆车刀为代表来介绍刀具切削部分的组成及几何角度。

1.2.1 刀具组成

外圆车刀是最基本、最典型的刀具，它由刀柄和刀头组成，如图 1-3 所示。刀柄是刀具上的夹持部位，刀头用于切削。外圆车刀的切削部分一般由以下部分组成。

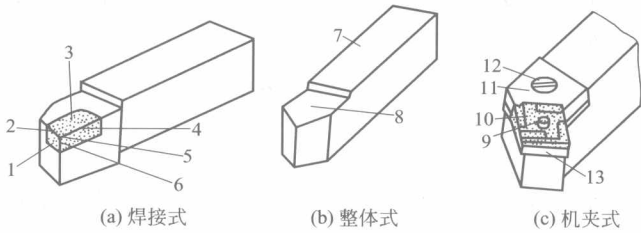


图 1-3 外圆车刀

1—副后面；2—副切削刃；3—前面；4—主切削刃；5—刀尖；6—主后面；7—刀柄；
8—刀头；9—圆柱销；10—刀片；11—楔块；12—夹紧螺钉；13—刀垫

(1) 三个表面

- ① 前面 A_r 。刀具上切屑流过的表面，也称为前刀面。
- ② 主后面 A_a 。与工件上的过渡表面相对的表面，也称主后刀面。
- ③ 副后面 A'_a 。与工件上的已加工表面相对的表面，也称副后刀面。

(2) 两条切削刃

- ① 主切削刃 S 。前刀面与主后刀面的交线，又称主刀刃。它完成主要的切削工作。
- ② 副切削刃 S' 。前刀面与副后刀面的交线，又称副刀刃。副切削刃起少量切削作用。

(3) 刀尖 刀尖是主、副切削刃相交的部位。在实际切削过程中，通常将刀尖刃磨成短直线或圆弧（如图 1-4 所示），以提高刀具的使用寿命。

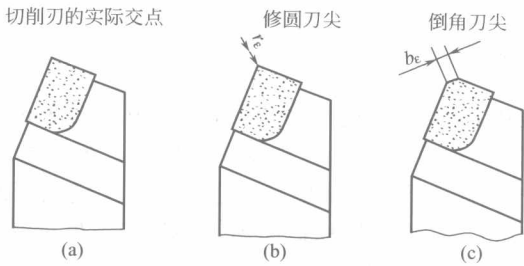


图 1-4 车刀的刀尖

不同类型的刀具，其刀面、切削刃的数量不完全相同。例如，车床上常用的切（槽）断刀就有两条副切削刃。

1.2.2 确定车刀角度的参考坐标平面

为了确定刀具切削部分各表面和刀刃的空间位置，便于设计时在图样上标注和制造以及刃磨时测量刀具的几何角度，需要假定三个辅助平面作为基准面，即基面、切削平面和正交平面，它们构成刀具静止参考坐标系，如图 1-5 所示。

(1) 基面 p_r 基面 p_r 是通过主切削刃上选定点并垂直于该点切削速度（不考虑进给运动时的切削速度）的平面。基面平行于车刀安装底面。

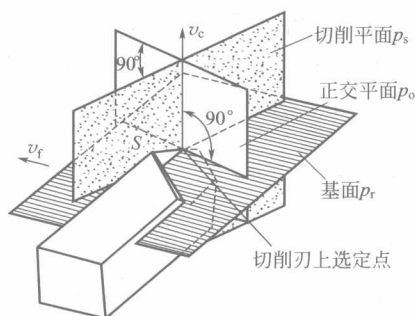


图 1-5 刀具静止参考坐标系和基准平面

(2) 切削平面 $p_s(p'_s)$ 切削平面是通过切削刃上选定点, 与该切削刃相切并垂直于该点基面的平面。因为刀具的切削刃有主切削刃和副切削刃之分, 所以切削平面也分为主切削平面 p_s 和副切削平面 p'_s 。车床的主切削平面 p_s 和副切削平面 p'_s 均垂直于刀杆底面。

(3) 正交平面 $p_o(p_o)$ 正交平面 p_o 是指通过主切削刃上的选定点并同时垂直于该点基面和主切削平面的平面;此外,通过副切削刃上的选定点并同时垂直于该点基面和副切削平面的平面,称为副正交平面 p'_o 。

显然，基面、正交平面以及主切削平面在空间是两两互相垂直的，它们三者就构成了确定车刀几何角度的正交平面参考系；同样，基面、副正交平面以及副切削平面构成了副正交平面参考系，它们统称为静止参考坐标系。

1.2.3 刀具几何角度的基本定义

刀具几何角度有标注角度（或称刃磨角度）和工作角度（或称实际角度）两种。

1. 刀具的标注角度

刀具的标注角度是指在刀具图样上标注的角度，它是在假定运动条件和安装条件下，在刀具静止参考系中确定的。

如图 1-6 所示, 普通外圆车刀的主要标注角度有以下几个。

(1) 在正交平面内测量的角度

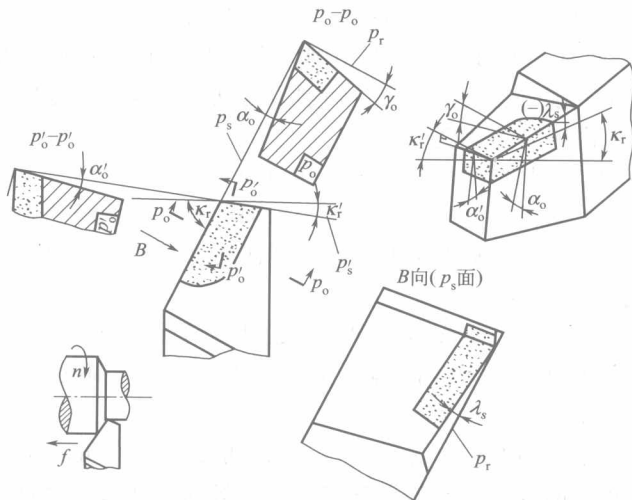


图 1-6 正交平面参考系中的车刀标注角度

① 前角 γ_o 。前面与基面之间的夹角（见图 1-6），它决定了刀具前面的位置。前角有正、负和零度之分，如图 1-7(a) 所示。规定如下：若前面在基面之下为正值，称为正前角；若前面在基面之上为负值，称为负前角；若基面与前面重合为零度前角。

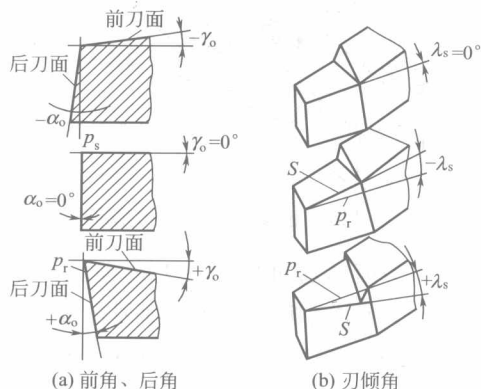


图 1-7 车刀前角、后角和刃倾角正、负的规定

② 主后角 α_o 。主后面与主切削平面之间的夹角（见图 1-6），它决定了刀具主后面的位置。主后角也有正、负和零度之分，如图 1-7(a) 所示。规定如下：当主后面与主切削平面重合时为零度主后角；当主后面与基面之间的夹角小于 90° 时，主后角为正值；当主后面与基面之间的夹角大于 90° 时，主后角为负值。

前面与主后面之间的夹角称为楔角 β_o ，则有

$$\gamma_o + \alpha_o + \beta_o = 90^\circ \quad (1-8)$$

(2) 在基面内测量的角度

① 主偏角 κ_r ：主切削刃在基面上的投影与假定进给方向之间的夹角（见图 1-6）。

② 副偏角 κ'_r ：副切削刃在基面上的投影与假定进给反方向之间的夹角（见图 1-6）。

主切削刃与副切削刃之间的夹角称为刀尖角 ϵ_r ，则有

$$\epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1-9)$$

注意：楔角和刀尖角都不是刀具的基本角度，它们仅仅是换算派生的角度。

(3) 在主切削平面内测量的角度

刃倾角 λ_s ：主切削刃与基面之间的夹角（见图 1-6）。刃倾角有正、负和零度之分，如图 1-7(b) 所示。规定如下：当刀尖处于主切削刃上最高点时，刃倾角为正值；当刀尖处于主切削刃上最低点时，刃倾角为负值；当主切削刃与基面重合时为零度刃倾角。

(4) 在副正交平面内测量的角度

副后角 α'_o ：副后面与副切削平面之间的夹角（见图 1-6）。

综上所述，由前面、主后面以及副后面三个刀面和主、副两条切削刃所组成的刀具，共有 γ_o 、 α_o 、 κ_r 、 κ'_r 、 λ_s 和 α'_o 六个基本角度。这个规律简称为“三面两刃六角”。

2. 刀具的工作角度

刀具的标注角度是在不考虑实际装夹和进给运动的情况下规定的角度。当考虑实际装夹和进给运动的影响时，刀具标注角度的静止参考系将发生变化而称为刀具工作参考系。此时，刀具工作时的角度也随之变化而称为工作角度。

在通常的情况下（如普通车削、镗孔等），工作角度与标注角度相差很小，其差别可不考虑。但当车削导程较大的螺纹（如梯形螺纹、方牙螺纹）或刀具特殊安装时，则需计算刀具的工作角度，并以此换算出刀具的标注角度，便于制造或刃磨。

(1) 刀具安装位置对工作角度的影响 如图 1-8(a) 所示, 在安装车刀时, 若刀尖与工件中心等高, 假设切削平面 (包含切削速度 v_c 的平面) 与车刀底面相垂直, 则基面与车刀底面平行, 刀具切削角度无变化; 若刀尖装夹位置高于工件中心时, 如图 1-8(b) 所示, 切削速度 v_c 所在平面 (即切削平面) 倾斜一个角度 τ , 则基面也随之倾斜一个角度 τ , 从而使前角 γ_o 增大了一个角度 τ , 主后角 α_o 减小了一个角度 τ ; 反之, 当刀尖装夹位置低于工件中心时, 如图 1-8(c) 所示, 则前角 γ_o 减小, 主后角 α_o 增大。

考虑车刀刀尖安装高度对工作角度的影响, 在实际生产中, 粗车外圆时常将车刀刀尖安装得比工件中心高一个值, 为 $d_w \times (1 \sim 50) / 100$; 精车外圆时常将车刀刀尖安装得比工件中心低一个值, 为 $d_w \times (1 \sim 50) / 100$ 。

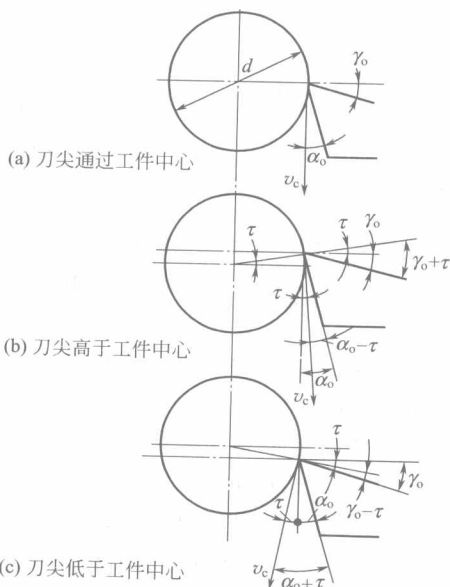


图 1-8 车刀刀尖安装位置对工作角度的影响

(2) 进给运动对工作角度的影响 如图 1-9 所示, 车削外圆时, 若考虑进给运动, 则包含合成切削速度 v_c 的切削平面 (称工作切削平面) 倾斜一个角度, 而垂直于工作切削平面的基面 (称工作基面) 也随之倾斜, 从而导致刀具工作角度变化。此时实际车削的外圆表面是一个螺旋面, 通过切削刃选定点的工作基面和工作切削平面都要倾斜一个螺旋升角 ϕ , 使前角 γ_o 增大一个角度 ϕ , 而主后角 α_o 减小一个角度 ϕ 。

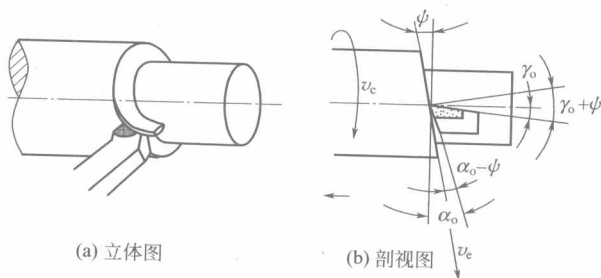


图 1-9 进给运动对工作前、后角的影响

一般车削时, 由于进给量比工件直径小得多, ϕ 值很小, 所以对车刀工作前、后角的影响可忽略不计。但当车削导程较大的螺纹时, 则必须考虑螺纹升角 ϕ 对加工的影响。一般将车刀的左侧刃后角磨大些, 右侧刃后角磨小些 (如车右旋螺纹时), 使左、右侧刀刃获得相同的工作后角。

1.3 金属切削过程的基本理论及规律

在金属切削过程中会出现许多现象, 如切削变形、切削力、积屑瘤、切削热、刀具的磨损等。这些现象的产生和变化规律直接影响着刀具的寿命、加工质量、切削效率及切削加工

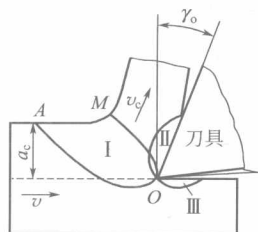


图 1-10 切削时的
的 3 个变形区

的经济性，是进一步研究工件质量、生产率和加工成本的主要依据。

1.3.1 切屑的形成过程和切屑种类

1. 切屑的形成过程

图 1-10 所示是根据金属切削实验得到的金属切削过程中的变形规律。由图可见，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，最后形成切屑。为了进一步分析切削层变形的规律，通常把被切削刃作用的金属层划分为 I、II、III 3 个变形区。其中 I 变形区位于切削刃和前刀面的前方，为主变形区；II 变形区是与前刀面相接触的附近区域，切屑沿前刀面流出时，受到前刀面的挤压和摩擦，靠近前刀面的切屑底层会进一步发生变形和纤维化；III 变形区是已加工表面靠近切削刃处的区域，这一区域内的金属受到切削刃钝圆部分和后刀面的挤压、摩擦与回弹，发生变形造成加工硬化。

这 3 个变形区各具特点，但它们之间相互联系、相互影响；同时，这 3 个变形区都在切削刃的直接作用下，是应力集中、变形比较复杂的区域。

2. 切屑的种类

在切屑的形成过程中，工件材料性质以及所选刀具几何参数和切削条件的不同，产生的变形程度也不同，会出现不同基本形态的切屑，如图 1-11 所示。

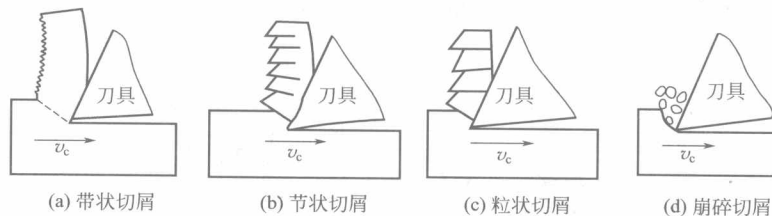


图 1-11 切屑的种类

(1) 带状切屑 带状切屑如图 1-11(a) 所示。带状切屑的底层（与前刀面接触的面）光滑，而外表呈毛茸状，无明显裂纹。一般加工塑性金属材料（如软钢、铜、铝等），在切削厚度较小、切削速度较高、刀具前角较大时，容易形成这种切屑。形成带状切屑时，切削过程较平稳，切削力波动较小，加工表面质量高。但切屑连续不断，会缠绕在工件或刀具上，影响工件质量且不安全。生产中通常在车刀上磨削断屑槽等方法进行断屑。

带状切屑是在正常切削条件下，最常见的切屑形态。

(2) 节状切屑 节状切屑又称挤裂状切屑。如图 1-11(b) 所示，这种切屑的底面有时出现裂纹，而外表面呈明显的锯齿状。当加工塑性较低的金属材料（如黄铜），在切削厚度较大、切削速度较低、刀具前角较小时，易形成节状切屑。形成节状切屑时，切削过程不太平稳，加工表面质量较差。

(3) 粒状切屑 粒状切屑又称单元切屑。如图 1-11(c) 所示，当加工塑性较大的金属材料时，在切削厚度大、切削速度极低、刀具前角小或为负值时，易形成粒状切屑。形成粒状切屑时，切削过程不平稳，加工表面质量很差，故在生产中应避免出现这种切屑。