

7B3-43
L31

山东省教育厅“九五”立项重点教材

现代工程材料成形与制造工艺基础

下 册

主 编 李爱菊 王守成 王素玉
参 编 隋大山 张 鹏 毕见强
徐志远 姜军生
主 审 王 昕



A0955381



机械工业出版社

本书是根据教育部工程材料与机械制造基础课程指导小组的教改精神和山东省教育厅提出的面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划, 结合山东省教育厅教改项目“金属工艺学课程及其试验的改革体系”组织编写的系列教材之一。

本书共由七章组成, 包括切削加工基础、零件表面加工、特种加工、机械加工工艺流程、计算机与电子设备制造基础、先进制造方法及机械制造业管理与环境保护。各章后均有复习思考题。

本书除可作为高等院校工程、管理等学科及机械制造基础课教材外, 也可作为从事材料科学与工程、机械制造、管理类技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代工程材料成形与制造工艺基础. 下册/李爱菊等主编. —北京: 机械工业出版社, 2001. 6

山东省教育厅“九五”立项重点教材

ISBN 7-111-08842-5

I. 现… II. 李… III. ①工程材料—高等学校—教材②金属切削—高等学校—教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 20762 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:董连仁 版式设计:霍永明 责任校对:张 佳

封面设计:方 芬 责任印制:郭景龙

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·10.25 印张·253 千字

0 001 - 6 000 册

定价:15.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

《现代工程材料成形与制造工艺基础》 编委会名单

主任委员：刘向信

副主任委员：陈国乾 孙康宁

委 员：王 昕 徐庆莘 田柏龄 张平惠
徐鸿本 李振明 崔明铎 单洪标

序

为了培养面向 21 世纪综合型和创新型人才，我国高等教育的教学改革正在高等院校迅速开展并取得一系列重要成果。从高等教育的培养目标到课程内容和体系改革，从学科发展到实验室建设，从理论教学到工程实践，从考试方法到现代教育技术，从思想观念到改革实践，人们都在不停顿地思考着和实践着。其中课程内容和体系改革的一个十分重要的方面就是要落实到教材改革上。由孙康宁等主编的《现代工程材料成形与制造工艺基础》（上、下册）就是各参与院校课程内容和体系改革的一个重要体现。

从系统理论的观点看，现代制造业涵盖了材料、设计、工艺、管理和市场五个方面。而本书的落脚点是在材料、材料成形和制造工艺等主要方面。作者从发展的观点出发，既有选择性地保留了原教材重要的基本内容，又结合制造业的发展现状，充实了原教材所缺乏的新材料、新技术和新工艺。在上册中，大幅度地缩减了常规铸造、锻压和焊接的内容，而相应大大增加了日趋广泛的表面工程、高分子材料和无机非金属材料的篇幅；在下册中，特种加工方法和先进制造方法已占有重要地位。考虑到计算机的普遍应用，还增加了计算机及电子电器制造基础一章。这样，不但对拓宽学生的知识视野，培养学生的创新意识和创新能力将大有裨益，而且有利于在人才培养方面可以缩小学校教育与社会需求的差距，在工艺技术方面缩小与发达国家的差距。另外，本书在质量与成本控制、工业管理和环境保护等方面找到了与管理的结合点，使得现代制造与市场的衔接更加趋近。教材新内容的不断累积所产生的量变，必然导致整个课程体系的质变。尽管这样，如果在课程体系方面适当考虑零件的设计结构工艺性，就可以进一步找到制造工艺与设计的结合点。

总之，本书是在我国教育教学改革浪潮中，响应专业委员会对新教材提出的要求，对金工讲课教材内容和体系进行大力度改革的一次尝试。主编和参编者结合自己的教学、科研和改革实践为本书的出版付出了大量的心血。相信今后在试用的基础上作进一步的修改，必将使教材的内容和体系更为完善，为培养新世纪具有综合型和创造型的大学生做出更大的贡献。

教育部工程材料与机械制造基础课程指导小组组长 傅水根教授

2000 年 7 月 30 日

前 言

根据教育部工程材料与机械制造基础课程指导小组的教改精神和山东省教育厅提出的面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划, 结合山东省教育厅重点计划教改项目“金属工艺学课程及其试验的改革创新体系”, 参照国内外课程改革的经验, 由山东省教育厅组织, 山东大学和山东省金属工艺学教学研究会承担编写了《现代材料成形与制造工艺基础》(上、下册)教材。该教材是一部面向 21 世纪, 建立在原金属工艺学基础上, 力图把传统与先进制造工艺基础联系在一起, 宽口径的、涉及不同学科的现代材料成形与制造工艺基础课程教材。本册为该教材的下册。本册书共由七章组成, 与传统的《金属工艺学》教材相比, 在内容和体系上作了较大幅度的调整。具体表现在:

第一, 对过去教材中的传统内容进行了精选, 只保留了基本知识要点, 尽量避免了与实习教材内容的重复。对传统教材既具有一定的继承性, 又减少了篇幅。

第二, 较大幅度地补充了新内容。不光在每章节中注意了新技术新工艺的补充, 而且新增加了计算机及其它电子设备制造基础、先进制造方法和机械制造业管理和环境保护。这既使学生得到了较完整的现代机械制造知识, 又适应了 21 世纪对人才培养的要求。

第三, 内容体系为模块式结构, 每章自成一个模块。教师可根据学生的专业实际情况, 选择合适的模块进行教学, 以获得更好的效果。

第四, 书中的名词术语、计量单位、字母符号均符合最新国家标准。

本册教材由李爱菊、王守成、王素玉主编; 由编委会审查, 王昕为主审。田柏龄审阅了第一、二、三、四章, 对教材提出了许多宝贵意见, 在此表示衷心感谢。参编人员有(按章次顺序)隋大山、张鹏、毕见强、徐志远和姜军生。教材编写过程中, 参考了相关的教材及文献, 并征求了有关机械类与非机械类学科专业及工厂企业人士的意见, 在此向上述人员一并表示谢意。

编者水平有限, 书中难免存在不当之处, 敬请各位读者提出宝贵意见。

编 者

2000 年 10 月

目 录

序	
前 言	
第一章 切削加工基础知识	1
第一节 切削运动与切削要素	1
一、零件表面的形成	1
二、切削运动	1
三、切削用量	2
四、切削层参数	2
第二节 切削刀具与切削过程	3
一、切削刀具	3
二、切削过程	9
第三节 磨具与磨料切削	13
一、磨具	13
二、磨削原理	15
三、磨削过程的特点	16
第四节 材料的切削加工性	17
一、衡量材料切削加工性的指标	17
二、常用材料的切削加工性	17
三、改善材料切削加工性的方法	19
第五节 机械加工质量的概念	19
一、机械加工精度	20
二、机械加工表面质量	23
复习思考题	24
第二章 零件表面加工	25
第一节 外圆面的加工	25
一、外圆面的加工方法	25
二、外圆面加工方案的选择	30
第二节 孔的加工	31
一、孔的加工方法	31
二、孔加工方案的选择	36
第三节 平面的加工	37
一、平面的加工方法	37
二、平面加工方案的选择	41
第四节 锥面、成形面和螺纹的加 工	41
一、锥面的加工	41
二、成形面的加工	43
三、螺纹的加工	44
第五节 齿形的加工	48
一、概述	48
二、齿轮齿形的加工方法	51
三、铣齿	51
四、插齿和滚齿	52
五、齿形精加工	54
六、圆柱齿轮齿形加工方法的选择	56
复习思考题	57
第三章 特种加工	59
第一节 特种加工概述	59
一、特种加工的产生和发展	59
二、特种加工对机械制造工艺技术产生的影 响	59
第二节 电火花加工	60
一、电火花加工的原理和特点	60
二、电火花加工的基本工艺规律	60
三、电火花加工的应用范围	65
第三节 电解加工	65
一、电解加工的原理和特点	65
二、电解加工的基本工艺规律	66
三、电解加工的应用范围	69
四、电解磨削	70
第四节 超声波加工	71
一、超声波加工的原理和特点	71
二、超声波加工的应用范围	72
第五节 激光加工	73
一、激光加工的原理和特点	73
二、激光加工工艺的应用	73
第六节 电子束加工和离子束加工	74
一、电子束加工	74
二、离子束加工	75
复习思考题	75

第四章 机械加工工艺基础	77	一、CAD/CAM 概述	106
第一节 基本概念	77	二、CAD/CAM 组成	107
一、生产过程和工艺过程	77	三、CAD/CAM 数据库	108
二、工艺过程的组成	77	第二节 计算机辅助工艺设计	110
三、生产纲领与生产类型	78	一、CAPP 基本概念	110
第二节 影响零件切削加工工艺性的因素	80	二、CAPP 系统设计步骤	112
一、零件的尺寸标注	80	三、CAPP 系统开发基础及其开发环境	114
二、零件结构要素对切削加工工艺性的影响	81	第三节 成组技术	115
第三节 基准及其选择	82	一、成组技术的基本原理	116
一、基准的概念	82	二、零件的分类编码	117
二、粗基准的选择原则	83	三、分类编码系统实例	118
三、精基准的选择原则	84	四、成组技术的应用	118
第四节 零件加工工艺规程的制定	85	第四节 数控加工技术	120
一、工艺规程的概念、内容及作用	85	一、概述	120
二、制定工艺规程的原则、原始资料及步骤	86	二、数控机床加工	122
三、制定工艺规程中的几个主要问题	86	三、柔性制造系统 (FMS)	125
第五节 技术经济分析	90	四、计算机集成制造系统 (CIMS)	129
一、工艺成本的概念及组成	90	五、智能制造系统 (IMS)	132
二、工艺方案的经济性比较	90	复习思考题	133
第六节 工艺过程的制定实例	91	第七章 机械制造工业管理与环境保护	135
复习思考题	93	第一节 机械制造企业管理	135
第五章 计算机及其它电子设备制造基础	95	一、工业企业的分类	135
第一节 计算机的基本构成	95	二、工业企业管理系统及其构成	135
第二节 集成电路的制造技术	96	三、企业管理及其内容	136
一、概述	96	四、生产组织管理	137
二、集成电路的制造工艺	97	五、企业管理基础工作与现代企业制度	138
三、集成电路的封装	101	第二节 成本与利润管理	140
第三节 壳体及插接件的成形	102	一、概述	140
第四节 微机的组装	103	二、成本预测	140
一、微机组装常用的工具	103	三、成本控制	141
二、微机组装的注意事项	103	四、利润管理	142
三、微机组装的一般步骤	103	第三节 新产品生产的可行性分析	143
复习思考题	105	一、新产品生产的可行性分析概念	144
第六章 先进制造方法	106	二、新产品开发分析	144
第一节 CAD/CAM 系统	106	三、生产过程的分析	145
		四、技术经济分析	145
		五、财务资金分析	147

第四节 机械工业的环境保护	147	三、环境保护技术	148
一、概述	147	复习思考题	153
二、机械工业的环境污染	148	主要参考文献	155

第一章 切削加工基础知识

切削加工是用切削工具将坯料或工件上多余的材料切除，以获得所要求的几何形状、尺寸精度和表面质量的加工方法。它在机械制造业中占有十分重要的地位。这主要是因为：切削加工能获得较高的精度和表面质量；对被加工材料、工件几何形状及生产批量具有广泛的适应性。

切削加工包括钳工和机械加工。钳工是工人在钳台上以手工工具为主对工件进行加工的方法，它的基本操作有划线、錾削、锯削、锉削、刮削、钻孔和铰孔、攻螺纹和套螺纹等。机械加工主要是通过工人操纵机床来完成切削加工，其主要加工方法有车削、钻削、铣削、刨削和磨削等。

虽然切削加工方式多种多样，但它们在切削运动、切削刀具、切削过程的物理实质等方面，有着共同的现象和规律。了解切削过程的基本规律是学习各种切削加工方法的基础。

第一节 切削运动与切削要素

一、零件表面的形成

通常将构成各种零件的表面分为两大类：基本表面和成形面。基本表面包括平面和内外圆面（圆柱及圆锥面）；成形面包括各种沟槽、螺纹、齿形及特型面等。上述各种表面，可分别用图 1-1 所示的相应的加工方法来获得。

二、切削运动

在切削加工过程中，工件上一般存在三个不断变化的表面，即已加工表面、待加工表面和过渡表面，如图 1-2 所示。无论加工哪种表面，刀具与工件之间都必须有一定的相对运动，这种相对运动就称为切削运动。切削运动包括主运动和进给运动。

主运动是切下切屑最基本的运动。它是提供切削可能性的运动，没有主运动，就无法切削。它的特点是在切削过程中速度最高、耗能最多，如图 1-1 中的运动 I。

进给运动是使待加工表面不断地或连续地投入切削并得出所需几何特性的

已加工表面的运动。它是提供继续切削可能性的运动，没有进给运动，就不能继续切削，如图 1-1 中的运动 II。

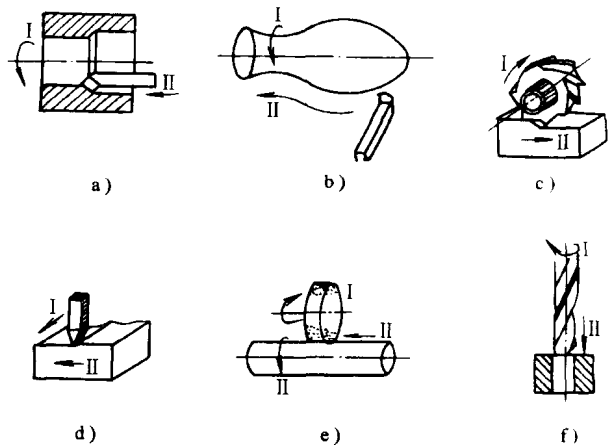


图 1-1 零件不同表面加工时的切削运动

- a) 车床上镗孔 b) 车成形面 c) 铣平面
d) 牛头刨床刨平面 e) 磨外圆面 f) 钻孔

切削加工过程中主运动只有一个，而进给运动则可以有一个或几个。

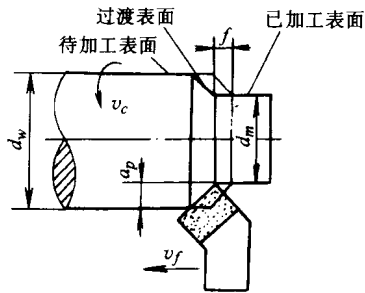


图 1-2 工件表面、切削运动和切削用量

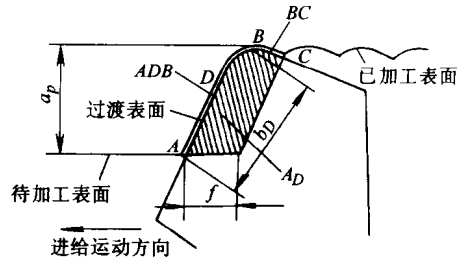


图 1-3 车削时的进给量、背吃刀量和切削层参数

三、切削用量

切削用量是切削过程和调整机床所必需的参数。在一般的切削加工中，切削用量包括切削速度、进给量和背吃刀量，常称为切削用量三要素。

1. 切削速度 v_c 。切削速度是主运动的线速度。它表示在单位时间内工件和刀具沿主运动方向相对移动的距离，单位为 m/s 或 m/min。

若主运动为旋转运动如外圆车削（图 1-2），则

$$v_c = \pi d_w n / 1000$$

式中 d_w ——工件待加工表面的直径（mm）；

n ——工件或刀具转速（r/s）或（r/min）。

若主运动为往复运动，常取其平均速度为切削速度，即

$$v_c = 2Ln / 1000$$

式中 L ——往复运动行程长度（mm）；

n ——主运动每分钟往复的次数（str/min）。

2. 进给量 f 。它是刀具在进给运动方向上相对于工件的位移量，可用刀具或工件每转或每行程的位移量来表述和度量，单位为 mm/r 或 mm/str。

3. 背吃刀量 a_p 。它是工件上已加工表面与待加工表面之间的垂直距离，单位为 mm。

车外圆时

$$a_p = (d_w - d_m) / 2$$

式中 d_m ——工件已加工表面的直径（mm）。

在工件材料、加工要求以及机床和工艺装备（夹具、刀具）已定的情况下，切削加工时需要控制的参数是切削用量三要素。粗加工的切削用量，一般以提高生产率、降低生产成本为主。其合理选择原则是：首先根据机床和刀具刚度或加工余量选取一个尽可能大的背吃刀量；其次选一个较大的进给量，最后在刀具耐用度和机床功率允许的条件下选择一个合理的切削速度。

半精加工和精加工的切削用量，应以保证加工质量为主，兼顾生产率和生产成本。选择时常采用较小的背吃刀量和进给量，较高的切削速度。

四、切削层参数

工件上正被刀具切削部分的一个单一动作（刀具切削部分切过工件的一个单程，或只产

生一圈过渡表面)所切除的工件材料层,称为切削层。过切削刃基点(即主切削刃上实际起切削作用的那段刃的中点)并垂直于该点主运动方向的平面,称为切削层尺寸平面。切削层尺寸在切削层平面内测量,如图 1-3 所示,它与切削用量中的 a_p 、 f 的大小有关,决定切屑尺寸和刀具切削部分的载荷。切削层参数包括:切削层公称横截面积、切削层公称宽度和切削层公称厚度。

1. 切削层公称横截面积 A_D 在给定瞬间,切削层在切削层尺寸平面内的实际横截面积,单位为 mm^2 ,简称切削面积。

2. 切削层公称宽度 b_D 在给定瞬间,切削层尺寸平面内沿主切削刃量得的切削层尺寸,单位为 mm 。

3. 切削层公称厚度 h_D 同一瞬间的切削层公称横截面积与其切削量层公称宽度之比,单位为 mm 。

显然,切削层公称横截面积 A_D 不包括残留面积。所以一般 A_D 不等于进给量与背吃刀量之积,即 $A_D \neq fa_p$,只有在车削加工中当残留面积很小时才能近似写成 $A_D \approx fa_p$ 。

第二节 切削刀具与切削过程

一、切削刀具

(一) 刀具材料

刀具材料一般是指刀具切削部分的材料,它的性能优劣直接影响加工表面质量、切削效率和刀具寿命。在切削过程中,刀具切削部分要承受很大的切削力与剧烈摩擦,引起切削温度的波动,有时还伴有冲击和振动。因此,刀具材料应具备的性能是:高硬度和高耐磨性;足够的强度与冲击韧度;高的耐热性;良好的工艺性能。

常用的刀具材料有碳素工具钢、合金工具钢、高速钢和硬质合金;新型刀具材料有涂层刀具材料、陶瓷刀具材料及超硬刀具材料。

1. 碳素工具钢和合金工具钢 常用的碳素工具钢牌号有 T8A、T10A 和 T12A 等,是含碳量为 $w_c = 0.8\% \sim 1.3\%$ 的优质高碳钢。常用的合金工具钢牌号有 9SiCr 和 CrWMn,其热处理变形小,淬透性较好。由于它们的耐热性较差,只能用于制造一些手工工具和低速切削刀具,如手锯锯条、丝锥等。

2. 高速钢 高速钢是以钨、铬、钒和钼为主要合金元素的高合金工具钢,又称锋钢、白钢。它具有较高的耐热性,在 $500 \sim 650^\circ\text{C}$ 时仍能进行切削,允许的切削速度比碳素工具钢和合金工具钢高 1~3 倍,可达 $40\text{m}/\text{min}$ 。主要用于制造各种复杂刀具,如钻头、铰刀、拉刀、齿轮刀具及各种成形刀具。高速钢常用的牌号有 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 和 W9Mo3Cr4V 等。

3. 硬质合金 硬质合金是由高硬度、高熔点的金属碳化物(称硬质相)和金属(称粘结相)通过粉末冶金工艺制成的。常用的碳化物有 WC、TiC、TaC、NbC 等,常用的粘结剂是 Co。

硬质合金常温硬度为 $74 \sim 82\text{HRC}$,耐热温度可达 $800 \sim 1000^\circ\text{C}$,允许切削速度达 $100 \sim 300\text{m}/\text{min}$;但其抗弯强度低,不能承受较大的冲击载荷。硬质合金目前多用于制造各种简单刀具,如车刀、铣刀、刨刀等。根据 GB/T2075—1998,硬质合金可分为 P, M, K 三个

主要类别。

(1) P类硬质合金(蓝色),相当于旧牌号YT类硬质合金。适宜加工长切屑的黑色金属,如钢、铸钢等。其代号有P01、P10、P20、P30、P40、P50等,数字越大,耐磨性越低而韧性越高。精加工可用P01;半精加工选用P10,P20;粗加工选用P30。

(2) M类硬质合金(黄色),相当于旧牌号YW类硬质合金。适宜加工长切屑或短切屑的金属材料,如钢、铸钢、不锈钢、灰铸铁、有色金属等。其代号有M10,M20,M30,M40等,数字越大,耐磨性越低而韧性越高。精加工可用M10;半精加工可用M20;粗加工选用M30。

(3) K类硬质合金(红色),相当于旧牌号YG类硬质合金。适宜加工短切屑的金属或非金属材料,如淬硬钢、铸铁、铜铝合金、塑料等。其代号有K01、K10、K20、K30、K40等,数字越大,耐磨性越低而韧性越高。精加工可用K01;半精加工可用K10,K20;粗加工选用K30。

4. 新型刀具材料

(1) 涂层刀具材料 是指通过气相沉积或其它技术方法,在硬质合金或高速钢的基体上涂覆一薄层高硬度、高耐磨性的难熔金属或非金属化合物而构成的。这是提高刀具材料耐磨性而又不降低其韧性的有效方法之一。

常用的涂层材料有TiC、TiN、Al₂O₃等。涂层硬质合金刀具的寿命比不涂层的可提高1~3倍,涂层高速钢刀具寿命比不涂层的可提高2~10倍。国内涂层硬质合金刀片牌号有CN、CA、CB等系列。

(2) 陶瓷刀具材料 按化学成分可分为Al₂O₃基和Si₃N₄基两类。陶瓷刀具具有很高的硬度、耐磨性和有时可达750m/min,切削效率比硬质合金提高1~4倍。其主要缺点是抗弯强度低,冲击韧度差。陶瓷材料可做成各种刀片,主要用于冷硬铸铁、高硬钢和高强钢等难加工材料的半精加工和精加工。

(3) 超硬刀具材料 它包括人造聚晶金刚石和立方氮化硼等。人造聚晶金刚石刀具硬度极高(5000HV以上),耐磨性极好,可切削极硬的材料而长时间保持尺寸的稳定,其刀具寿命比硬质合金高几十倍至三百倍,对于加工精度要求高(经济精度IT7~IT6)、表面粗糙度小于R_a0.016μm的精密加工,有着重要意义。其缺点是抗弯强度和冲击韧度差,只有硬质合金的1/4左右;热稳定性也很差,当切削温度达到700~800℃时就会失去其硬度,因而不能在高温下切削;与铁的亲和力强,不宜加工铁族材料。人造聚晶金刚石可制成各种车刀、镗刀、铣刀的刀片,主要用于精加工有色金属及非金属材料,如铝、铜及其合金、陶瓷、合成纤维、强化塑料和硬橡胶等。

立方氮化硼(CBN)的显微硬度为8000~9000HV,仅次于天然金刚石(10000HV),耐磨性很好,其耐热性可达1500℃,能承受很高的切削温度,且与铁族材料的亲和作用小。因此,立方氮化硼刀具可用于淬硬钢、冷硬铸铁、高温合金等难加工材料的半精加工和精加工,是一种大有发展前途的新型刀具材料。

(二) 车刀

车刀是最常用、最简单而且最基本的刀具。其它刀具的切削部分总是近似地以车刀的切削部分为基本形态,不论其构造如何复杂,都可以看作是车刀的组合或派生形式,如麻花钻可看成由两把车刀组成,铣刀的每个齿均可看成一把车刀等。

车刀由切削部分（刀体）与夹持部分（刀柄）组成，如图 1-4 所示。

1. 车刀切削部分的构成要素 车刀切削部分的主要几
何要素可归纳为“三面、二刃、一尖”。

“三面”指前刀面、主后刀面和副后刀面。前刀面（简称前面）是指刀具上切屑流过的表面。主后刀面（简称后面）是与工件过渡表面相对的表面。副后刀面（简称副后面）是与工件已加工表面相对的表面。

“二刃”指主切削刃和副切削刃。主切削刃是前刀面与主后刀面的交线，它担负着主要的切削任务。副切削刃是前刀面与副后刀面的交线，它担负着部分切削任务。

“一尖”指刀尖，是主、副切削刃汇交的部位，它可以是圆弧，也可以是一小段直线。

2. 刀具角度参考系 刀具角度是确定刀具切削部分几何形状的重要参数。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：一类称为刀具静止参考系，又称标注参考系，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刀具标注角度；另一类称为刀具工作参考系，又称动态参考系，它是确定刀具在切削运动中有效工作角度的基准，用此定义的刀具角度称刀具工作角度。

组成刀具静止参考系的平面如图 1-5 所示，由以下三个平面组成：

(1) 基面 P_r 过切削刃选定点并垂直于主运动方向的平面。通常，基面应平行或垂直于刀具上制造、刃磨和测量时的某一安装定位平面或轴线。车刀的基面可理解为平行于刀具底面的平面。

(2) 切削平面 过切削刃选定点与切削刃相切并垂直于基面的平面。过主切削刃选定点的主切削平面符号为 P_s ；过副切削刃选定点的副切削平面符号为 P'_s 。

(3) 正交平面 P_o 通过切削刃选定点并同时垂直于基面和切削平面的平面。

由基面、主切削平面和正交平面组成了正交平面参考系。

3. 刀具角度 由于刀具的参考系在切削刃上各点是变化的，因此角度的定义也应指明选定点。在未指明时，一般是指切削刃的基点或刀尖。在正交平面参考系内测量的标注角度如图 1-6 所示。

(1) 前角 γ_o 正交平面内测量的前刀面与基面间的夹角。它表示前刀面对基面的倾斜程度，主要影响切屑变形、切削力和刀刃强度。增大前角，切削刃锋利。这时切削层的塑性变形和摩擦阻力减小，切削力和切削热降低，从而使刀具磨损小、加工表面质量高。但前角过大会使切削刃刚度和强度变差，切削温度高，刀具易磨损或破损。

一般来说，工件材料的强度和硬度越低且塑性越高，刀具材料抗弯强度和冲击韧性越高，工艺系统刚度越小或机床功率不足时，应选取较大前角；加工硬脆材料，或粗加工，或断续切削，或粗切有硬皮的铸锻件，或成形刀具为减小加工误差时，应取较小前角，甚至取

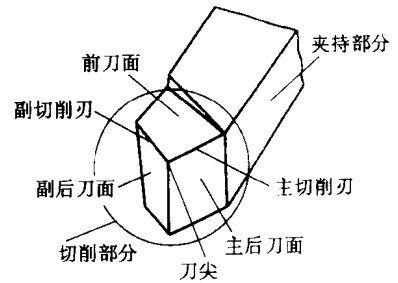


图 1-4 车刀的组成及切削部分要素

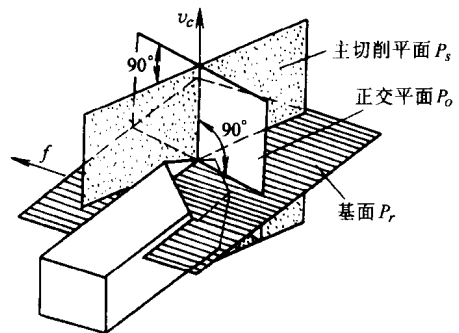


图 1-5 刀具静止参考系的平面

负前角。硬质合金车刀的前角常取 $-5^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 。

(2) 后角 α_o 。正交平面内测量的主后刀面与切削平面间的夹角。它表示主后刀面的倾斜程度，影响主后刀面与工件过渡表面之间的摩擦情况，并配合前角调整切削刃的坚固程度。后角过大，会降低刀具强度，并使散热条件变差，从而降低刀具耐用度甚至崩刃。

粗加工或工件材料的强度、硬度较高时，或加工脆性材料，为保证刃口强度，宜取较小后角。精加工或加工软韧材料时，宜取较大后角。硬质合金车刀的后角常取 $4^{\circ} \sim 12^{\circ}$ 。

(3) 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。它表示主切削刃对进给运动方向的倾斜程度，主要影响已加工表面残留面积的高度、切削层横截面形状、总切削力三个分力的数值及比例关系、排屑方向和断屑效果等。

减小主偏角，使刀刃参加切削的长度增加，散热条件好，特别是使残留面积高度减小，表面粗糙度小。增大主偏角，使背向力减小，易于断屑。在加工工艺系统刚性不足的情况下，为减小背向力，应选用较大主偏角，一般为 $60^{\circ} \sim 75^{\circ}$ ；在加工高强度、高硬度材料时，为提高刀具强度和耐用度，应选取较小主偏角。此外，应根据加工表面形状选取合适的主偏角，如车阶梯轴时选择 90° ，车外圆、端面和倒角时选择 45° 。

(4) 副偏角 κ'_r 。副切削刃在基面内的投影与进给运动反方向间的夹角。它表示副切削刃对进给运动反方向的倾斜程度，主要影响残留横截面积的高度、刀尖强度和散热条件、背向力的大小。减小副偏角，可改善散热条件，提高刀尖强度，降低已加工表面的粗糙度。但副偏角太小，也会增加副后面与已加工表面之间的摩擦，从而引起振动。车刀的副偏角常取 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。

(5) 刃倾角 λ_s 。切削平面内测量的主切削刃与基面间的夹角。它表示主切削刃对基面的倾斜程度。刃倾角主要影响切屑的流出方向和刀体的强度。负刃倾角使切屑流向已加工表面；正刃倾角使切屑流向待加工表面。增大刃倾角可增大实际工作前角，使切削轻快并可切下很薄切屑。车刀刃倾角一般选用 $-5^{\circ} \sim +5^{\circ}$ ；粗加工时，为保证刀头强度，常取 $-5^{\circ} \sim 0^{\circ}$ ；精加工时，为避免切屑划伤已加工表面，常取 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ；切槽、切断时取 0° ；断续切削或车淬硬钢时取 $-5^{\circ} \sim -10^{\circ}$ 。

上述刀具标注角度，是在假定的运动条件（进给量为零）和安装条件（刀尖对准工件中心等）下确定的。一般情况下，进给运动在合成切削运动中所起的作用很小，故可用标注角度代替工作角度；但是，在某些情况下，必须考虑进给运动和工件实际安装情况的影响。

(三) 刨刀

刨刀用于刨削加工。刨刀切削部分的结构与车刀类似，只是由于刨刀在切入工件时要承受很大的冲击力，所以刨刀刀杆截面较粗大，以增加刀杆的刚性和防止折断。直杆刨刀刨削

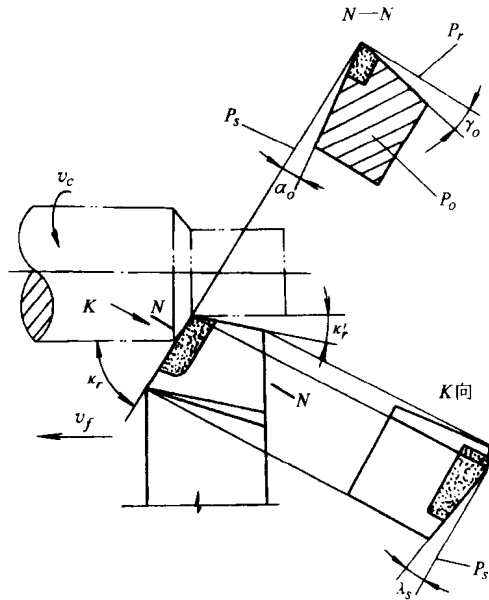


图 1-6 车刀的主要标注角度

时,如遇到加工余量不均匀会造成切削深度突然增大,或切削刃遇到硬质点时切削力突然增大,此时将使刨刀弯曲变形,使之绕 O 点画一圆弧(图1-7a),造成切削刃切入已加工表面,降低了已加工表面的质量和尺寸精度,同时也容易损坏切削刃。为避免上述情况的发生,故采用弯杆刨刀,当切削力突然增大时,刀杆产生的弯曲变形会使刀尖离开工件,避免了刀尖扎入工件(图1-7b)。

刨刀的几何角度选取原则与车刀基本相同,所不同的是因刨刀切削过程有冲击,为增加切削刃强度,刨刀的前角比车刀小一些。为使切入工件时产生的冲击力远离刀尖,刨刀切削刃的刃倾角应取较大的负值;主偏角为 $45^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 。

(四) 镗刀

镗刀是在镗床、组合机床及自动机床上对孔进行粗、精加工的刀具。镗刀种类很多,一般可分为单刃镗刀和多刃镗刀两大类。

1. 单刃镗刀 单刃镗刀刀头的结构与车刀类似,因此其结构简单,制造容易,通用性好,故使用较多。单刃镗刀一般均有尺寸调节装置,如图1-8所示。在精镗机床上常采用的微调镗刀,如图1-9所示。

2. 多刃镗刀 多刃镗刀是指在同一镗刀杆上装有一个或几个镗刀头,具有两个或两个以上的切削刃。双刃镗刀是多刃镗刀中的一种,如图1-10。它有两个对称的切削刃,工作时可以消除径向力对镗刀杆的影响,工件的孔径尺寸与精度由镗刀的径向尺寸保证。镗刀上的两个刀片径向可以调整,因此,可以加工一定尺寸范围的孔。双刃镗刀多采用浮动连接结构,刀块1以动配合状态浮动地安装在镗刀杆的径向孔中,工作时刀块在切削力的作用下保持平衡对中,可减少镗刀块安装误差及镗刀杆径向跳动所引起的加工误差。

(五) 麻花钻

钻头是在实心材料上加工孔的最常用刀具。钻头的种类很多,常用的有扁钻、麻花钻、中心钻及深孔钻等。其中尤以麻花钻最为典型,应用广泛。

图1-11所示为标准高速钢麻花钻,它由柄部、颈部和工作部分组成。各部分功能如下:

1. 柄部 用来夹持钻头和传递转矩及轴向力。可分直柄和锥柄两种:直柄传递扭矩较小,一般用于直径小于 $\phi 12\text{mm}$ 的钻头;锥柄一般用于 $\phi 12\text{mm}$ 以上的钻头,其结构尺寸采用莫氏标准锥度。

2. 颈部 在工作部分与柄部中间,用于标注商标、规格及在磨削柄部时作退刀之用。

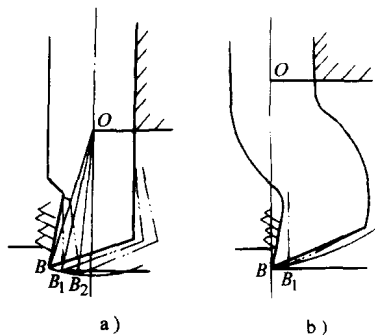


图1-7 刨刀刀杆形状
a) 直杆刨刀 b) 弯杆刨刀

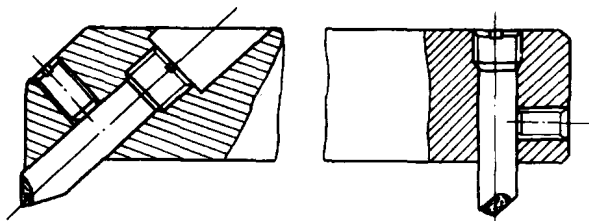


图1-8 单刃镗刀

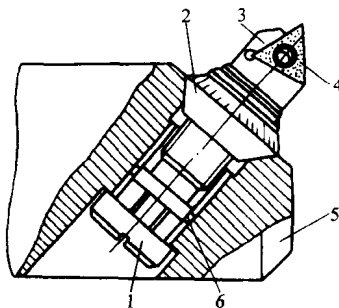


图1-9 微调镗刀

- 1—紧固螺钉 2—精调螺母
3—刀块 4—刀片
5—镗杆 6—导向键

当柄部和工作部分采用不同材料时，则在颈部对焊。为制造方便，直柄麻花钻一般没有颈部。

3. 工作部分 是钻头的主要部分，分为切削部分和导向部分。切削部分可看作是由两把车刀组成，它有两个前刀面、两个后刀面、两个副后刀面、两个主切削刃、两个副切削刃和一个横刃。切削部分担负主要的切削工作；导向部分的作用是当切削部分切入工件孔后起引导作用，也是切削部分的备磨部分。

(六) 铣刀

铣刀是一种多刀齿的回转刀具，由刀齿和刀体两部分组成。铣刀刀齿的基本形状和车刀的切削部分相同。铣刀的种类很多，大多数铣刀已经标准化。几种常用铣刀如图 1-12 所示。以加工件分类如下：

1. 加工平面的铣刀 主要有圆柱铣刀和端铣刀。图 1-12a 所示的圆柱铣刀是用圆柱表面上的刀齿进行切削的。它可分为粗齿和细齿两种。粗齿铣刀适合于粗加工；细齿铣刀适合于精加工。

图 1-12b 所示为端铣刀，端铣刀有整体和镶齿两种类型，它是用端面上的刀齿进行切削的。

2. 常用于加工沟槽及台阶面的铣刀 有立铣刀、盘形槽铣刀、键槽铣刀及角度铣刀等。

立铣刀的端面和圆柱面上都有刀刃，可以加工凹槽、两个相互垂直的平面，如图 1-12g 所示。盘形槽铣刀又可分为槽铣刀、两面刃铣刀、三面刃铣刀。它们主要用来加工凹槽和台阶面，如图 1-12c、d、e、f 所示。键槽铣刀主要用来加工键槽，如图 1-12h 所示。它可以用轴向进给向毛坯钻孔，然后沿键槽方向运动铣出键槽的全长。角度铣刀可用于加工各种角度槽，如图 1-12i、j 所示。

3. 成形铣刀 它是用于加工成形表面的刀具，其刀齿廓形要根据被加工工件的廓形来

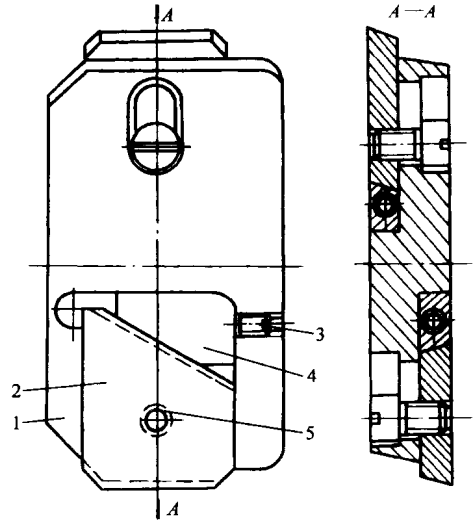
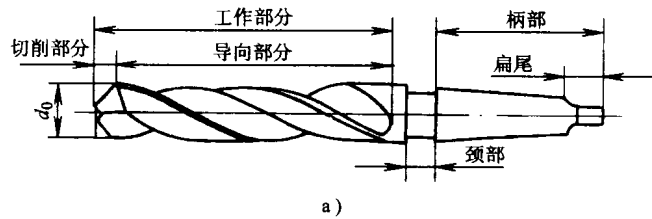
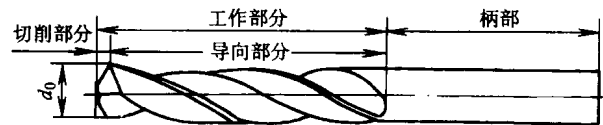


图 1-10 双刃镗刀

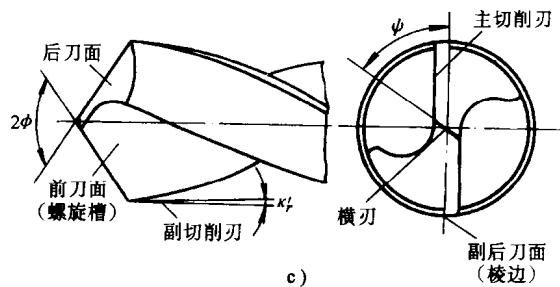
1—刀块 2—刀片 3—调节螺钉
4—斜面垫板 5—紧固螺钉



a)



b)



c)

图 1-11 麻花钻的结构

a) 直柄 b) 锥柄 c) 切削部分参数

确定，如图 1-12k 所示。

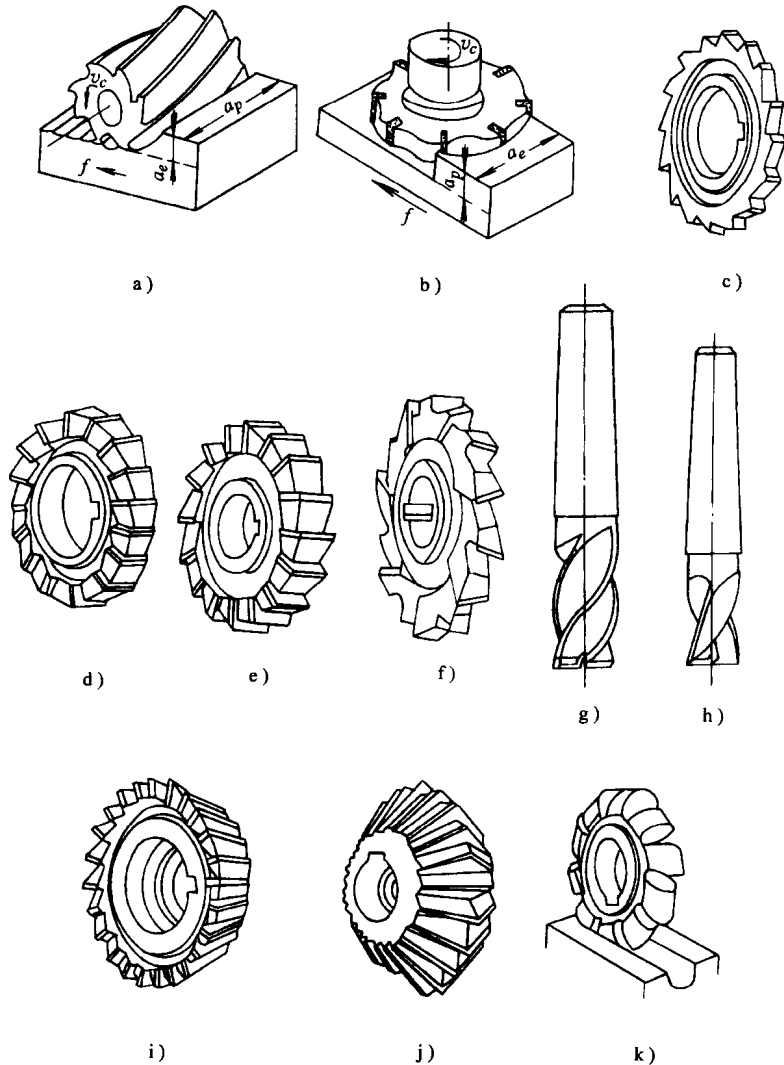


图 1-12 铣刀的类型及用途

- a) 圆柱铣刀 b) 端铣刀 c) 槽铣刀 d) 两面刃铣刀 e) 三面刃铣刀
f) 错齿三面刃铣刀 g) 立铣刀 h) 键槽铣刀 i) 单角度铣刀 j) 双角度铣刀 k) 成形铣刀

二、切削过程

切削过程是刀具从工件的表面上切下多余的材料层，形成切屑和已加工表面的过程。在这一过程中，形成切屑，产生切削力、切削热与切削温度、刀具磨损等现象。研究切削过程中的基本规律，目的在于保证加工质量，提高生产效率和降低成本。

(一) 切屑的形成及形态

如图 1-13 所示，当刀具作用于工件时，接触处的材料由弹性变形进而产生塑性变形，随着刀具前刀面相对工件继续推挤，与切削刃接触的材料发生断裂而使切削层材料变为切屑。由此可见，塑性材料的切削过程是一个挤压变形切离过程，经历了弹性变形、塑性变