

工程材料及 机械制造基础

III

(机械加工工艺基础)

陈玉琨 赵云筑 主编



机械工业出版社

工程材料及机械制造基础 Ⅲ

(机械加工工艺基础)

陈玉琨 赵云筑 主 编
史廷春 张晓茹 副主编

1030/53



机械工业出版社

本书是依据国家教委高教司〔1995〕82号文件,关于《高等学校工科本科工程材料及机械制造基础教学基本要求》的精神,并在参考有关院校教材的基础上,结合作者多年来的教学实践而编写的。本书不仅包含了〔1995〕82号文件提出的《工程材料及机械制造基础Ⅲ(机械加工工艺基础)》教学基本要求的全部内容,而且对机械加工的技术经济分析、发展趋势等内容作了拓展与论述;图表有较多的更新;全部采用最新的国家标准。

本书供高等学校机械类各专业使用,也适用于非机械类工科院校及电视大学、职工大学等学生选用。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及机械制造基础 Ⅲ: 机械加工工艺基础/陈玉琨,赵云筑主编. —北京:机械工业出版社,1997. 11
ISBN 7-111-05693-0

I. 工… II. ①陈… ②赵… III. 金属切削 IV. TG5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 09972 号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码 100037)

责任编辑:吴天培 版式设计:张世琴 责任校对:魏俊云

封面设计:姚毅 责任印制:卢子祥

机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1997年12月第1版第1次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·9.25印张·218千字

0 001—5 000册

定价:13.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页、由本社发行部调换

工程材料及机械制造基础系列教材 编 委 会

主任委员 赵三元 李凤昌

副主任委员 (按姓氏笔划排列)

王春旭 邝朴生 李振兴 裴鸿昌

委 员 (按姓氏笔划排列)

王荣声 王俊昌 田振祥 史廷春

孙维连 孙新学 安 墀 刘景武

陈玉琨 林 兵 赵云筑 张晓茹

相瑜才 梁建明 彭泽田 谭建波

前 言

本教材是依据国家教委高教司〔1995〕82号文件编写的《工程材料及机械制造基础》系列教材(四册)之一。与之配套的有机械工业出版社出版的《工程材料及机械制造基础(实习教材)》(王荣声、陈玉琨主编);《工程材料及机械制造基础 I(工程材料)》(相瑜才、孙维连主编);《工程材料及机械制造基础 II(热加工工艺基础)》(王俊昌、王荣声主编)。

由于计算机的普遍采用,机械制造业正在从常规的加工向先进制造技术方向发展,以实现优质、高效、低耗、清洁和灵活的生产,并获得理想的经济效果。本书不仅介绍了常规的切削加工方法,也介绍了先进的数控加工、激光加工等知识,同时,对 21 世纪的技术前沿作了简介,以期使学生对机械制造业的现状和发展有一总体性了解,并成为未来赶超世界先进水平的主力军。

机械制造业是用先进技术装备武装农业、工业、国防和科学技术等各部门的技术装备行业,故机械工业应具有明显的超前性。其重要性是不言而喻的。让我们努力学习、勤奋工作、勇担重任,早日将我国的机械工业推上世界之颠。

本教材由陈玉琨、赵云筑主编;史廷春、张晓茹任副主编;李建启参加了编写工作。全书由彭泽田教授主审。

限于水平,书中有错误和不妥之处,恳切希望读者批评指正。

编 者

1997. 1. 30

目 录

前言	
第一章 金属切削加工的基本知识..... 1	
第一节 切削加工的运动分析及切削要素 1	
第二节 金属切削刀具 4	
第三节 金属切削过程及其物理现象 9	
第四节 切削加工技术经济分析 16	
第五节 金属切削机床的分类与型号编制 ... 21	
实验 材料的切削性能 23	
复习思考题 23	
第二章 外圆加工 25	
第一节 外圆的技术要求 25	
第二节 外圆的加工方法 25	
第三节 外圆加工方案的分析及选择 32	
复习思考题 32	
第三章 孔加工 34	
第一节 孔的种类和技术要求 34	
第二节 孔的加工方法 35	
第三节 孔加工方案的分析及选择 44	
复习思考题 45	
第四章 平面加工 47	
第一节 平面的种类和技术要求 47	
第二节 平面的加工方法 47	
第三节 平面加工方案的分析及选择 53	
复习思考题 54	
第五章 齿轮齿形加工 55	
第一节 概述 55	
第二节 圆柱齿轮齿形的加工方法 59	
第三节 圆柱齿轮齿形的精加工 64	
第四节 圆柱齿轮齿形加工方案的选择 67	
复习思考题 68	
第六章 螺纹加工 69	
第一节 概述 69	
第二节 螺纹的加工方法 69	
复习思考题 72	
第七章 数控机床加工 73	
第一节 概述 73	
第二节 数控机床的类型及加工特点 74	
第三节 数控机床的加工原理 76	
第四节 数控机床编程简述 77	
复习思考题 78	
第八章 特种加工 79	
第一节 概述 79	
第二节 电火花加工 79	
第三节 电解加工 82	
第四节 超声波加工 84	
第五节 激光加工 86	
复习思考题 87	
第九章 机械加工工艺过程概论 88	
第一节 工艺过程的基本概念 88	
第二节 工件的安装与基准 90	
第三节 机械加工工艺规程的制订 95	
复习思考题 99	
第十章 典型零件工艺过程分析及技术经济分析 100	
第一节 轴类零件 100	
第二节 盘套类零件 103	
第三节 箱体类零件 105	
第四节 机械加工工艺技术经济分析 108	
复习思考题 122	
第十一章 零件结构工艺性 123	
第一节 零件结构工艺性的基本概念 123	
第二节 零件结构的切削加工工艺性示例 124	
第三节 零件结构的装配工艺性示例 130	
复习思考题 132	
第十二章 机械制造技术的新进展 134	
第一节 先进制造技术简述 134	
第二节 计算机辅助制造简介 135	
附录 部分金属切削机床类、组、系划分表 137	
参考文献 139	

第一章 金属切削加工的基本知识

金属切削加工虽有多种不同的形式(车、铣、刨、磨、钻等),但是它们在很多方面,例如切削时的运动、切削工具以及切削时的物理现象等,都有共同的现象和规律,对于这些现象和规律的掌握,是学好各种切削加工方法的基础。

第一节 切削加工的运动分析及切削要素

一、零件表面的形成及切削运动

1. 零件表面的形成 机器零件的形状虽然多种多样,但分析起来都是由圆柱面、圆锥面、平面、成形面组成。

从几何学观点分析:

圆柱面——以直线为母线,以圆为轨迹,且母线垂直于轨迹所在平面作旋转运动所形成的表面,见图 1-1a。

圆锥面——以直线为母线,以圆为轨迹,且母线与轨迹回转轴线相交成一定角度作旋转运动时所形成的表面,见图 1-1b。

平面——以直线为母线,以另一直线为轨迹作平移运动时所形成的表面,见图 1-1c。

成形面——以曲线为母线。以圆为轨迹作旋转运动(图 1-1d),或以直线为轨迹作平移运动(图 1-1e)时所形成的表面。

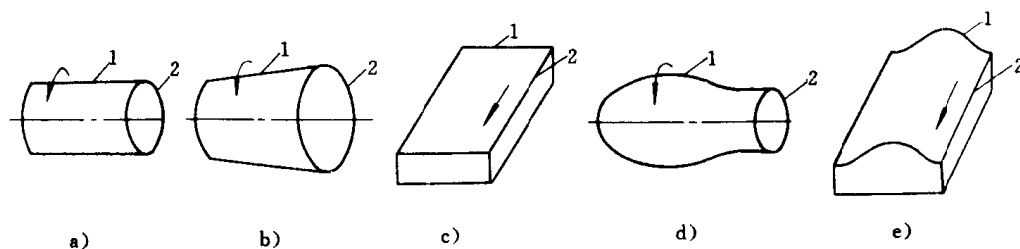


图 1-1 表面的形成

1—母线 2—轨迹(导线)

尽管不同的表面的加工方法不同,但都要求刀具与工件之间必须有一定的相对运动,图 1-2 为切削运动简图。

2. 切削运动 根据在切削过程中所起的作用不同,切削运动包括主运动和进给运动。

主运动 由机床或人力提供的主要运动,它促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。

进给运动 由机床或人力提供的运动,它使刀具与工件之间产生附加的相对运动,加上主运动,即可不断地或连续地切除切屑,并得出具有所需几何特性的已加工表面。一般情况下,进给运动速度比较低,消耗的功率比较小。

几种典型机床的切削运动见表 1-1。

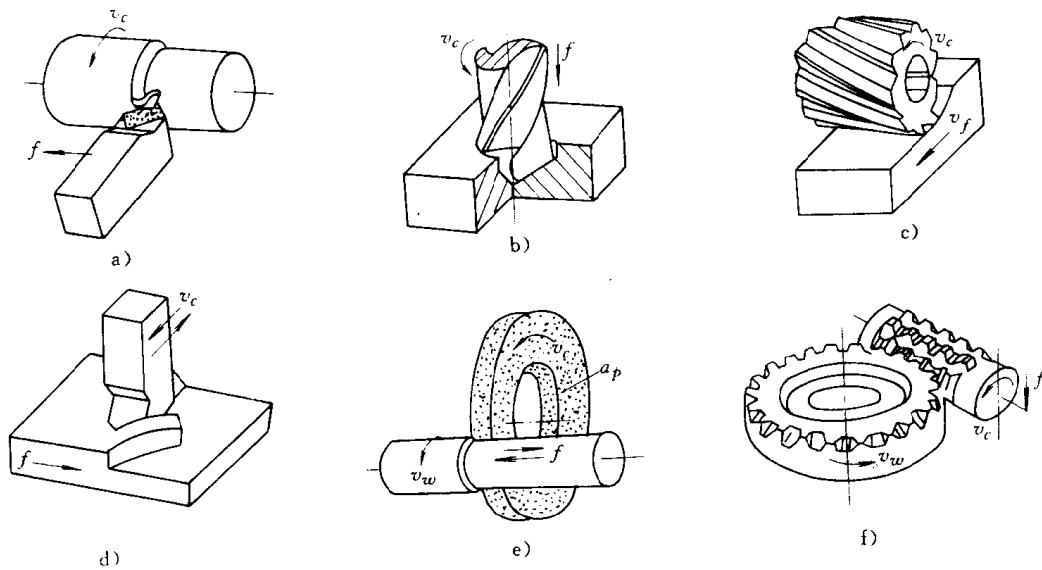


图 1-2 切削运动简图

a) 车削 b) 钻削 c) 铣削 d) 刨削 e) 磨削 f) 滚齿

表 1-1 几种典型机床的切削运动

机床名称	主运动	进给运动	机床名称	主运动	进给运动
卧式车床	工件 旋转运动	车刀纵向、横向、斜向直线移动	龙门刨床	工件 往复移动	刨刀横向、垂向、斜向间歇移动
钻床	钻头 旋转运动	钻头轴向移动	外圆磨床	砂轮 高速旋转	工件转动,同时工件往复移动或 砂轮横向移动
卧、立铣	铣刀 旋转运动	工件纵向、横向直线移动(有时 也作垂向移动)	内圆磨床	砂轮 高速旋转	工件转动,同时砂轮往复移动或 砂轮横向移动
牛头刨床	刨刀 往复移动	工件横向间歇移动或刨刀垂向、 斜向间歇移动	拉床	拉刀 直线移动	

在切削运动的作用下,工件上有三个不断变化的表面,见图 1-3。

待加工表面 工件上有待切除之表面。

已加工表面 工件上经刀具切削后产生的表面。

过渡表面(加工表面) 工件上由切削刃形成的那部分表面,它在下一切削行程,刀具或工件的下一转里被切除,或者由下一切削刃切除。

二、切削要素

切削要素包括切削用量要素和切削层几何参数。

1. 切削用量要素

1) 切削速度 v_c 切削刃选定点相对于工件的主运动的瞬时速度(m/s)。

若主运动为旋转运动,切削速度为其最大线速

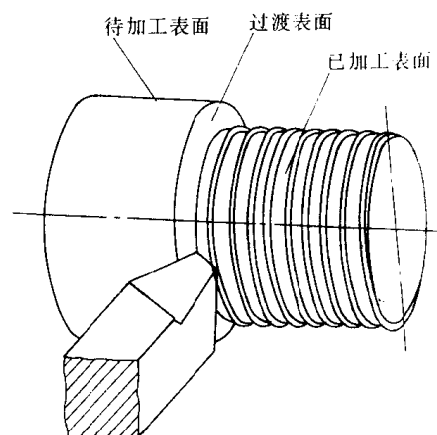


图 1-3 工件表面

度。即

$$v_c = \frac{\pi d_w n}{1000 \times 60} \text{ (m/s)}$$

式中 d_w ——工件待加工表面或刀具的最大直径(mm);
 n ——工件或刀具每分钟转数(r/min)。

若主运动为往复直线运动,则常以其平均速度为切削速度。即

$$v_c = 2Ln_r / (1000 \times 60) \text{ (m/s)}$$

式中 L ——往复直线运动的行程长度(mm);
 n_r ——刀具或工件每分钟往复次数(往复次数/min)。

2) 进给量 f 刀具在进给运动方向上相对工件的位移量,可用刀具或工件每转或每行程的位移量来表述和度量。例如:

- ①车削: 工件转一转,刀具移动的距离(mm/r)。
- ②钻削: 钻头转一转,钻头移动的距离(mm/r)。
- ③刨削: 刀具(或工件)往复一次,工件(或刀具)移动的距离(mm/往复次数)。
- ④铣削: 每齿进给量 f_z (mm/z)、每转进给量 f (mm/r)、每秒进给量 v_f (mm/s)。

$$v_f = fn / 60 = f_z zn / 60 \text{ (mm/s)}$$

3) 背吃刀量 a_p 在通过切削刃基点并垂直于工作平面上测量的吃刀量。对于车削外圆来说,可理解为待加工表面与已加工表面的垂直距离。即

$$a_p = (d_w - d_m) / 2 \text{ (mm)}$$

式中 d_w ——待加工表面直径(mm);
 d_m ——已加工表面直径(mm)。

2. 切削层几何参数 切削层是指由切削部分的一个单一动作(或指切削部分切过工件的一个单程、或指只产生一圈过渡表面的动作)所切除的工件材料层。如车削时,即指工件转一转,车刀移动一个进给量所切除的工件材料(图 1-4)。其参数在切削层尺寸平面(即通过切削刃基点 D 并垂直于该点主运动方向的平面)中测量。

切削刃基点 D 作用在主切削刃上的特定参考点,用以确定如作用切削刃截形和切削层尺寸等基本几何参数,通常把它定在将作用切削刃分成两相等长度的点上。

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里的实际横截面积(mm²)。

2) 切削层公称宽度 b_D 在给定瞬间,作用主切削刃截形上两个极限点间的距

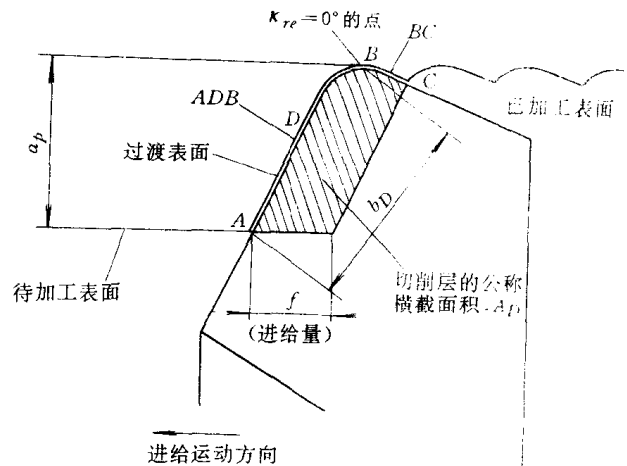


图 1-4 车削时的切削层尺寸——切削层尺寸平面上的视图
 ADB = 作用主切削刃
 $ADBC$ = 作用切削刃截形的长度
 BC = 作用副切削刃

离,在切削层尺寸平面中测量(mm)。

3) 切削层公称厚度 h_D 在同一瞬间的切削层横截面积与公称切削层宽度之比(mm)。即

$$h_D = A_D / b_D \quad (\text{mm})$$

或

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

第二节 金属切削刀具

一、刀具材料

目前,生产中所用的刀具材料以高速钢和硬质合金居多,碳素工具钢(如 T10A、T12A)、合金工具钢(如 9SiCr、CrWMn),因耐热性差,仅用于一些手工或切削速度较低的刀具。

1. 高速钢

(1) 通用型高速钢 是以钨、铬、钒、钼为主要合金元素的高合金钢。

高速钢经热处理后的硬度可达 62HRC~67HRC,在 550°C~600°C 时仍能保持正常的切削性能,有较高的抗弯强度和冲击韧度,具有一定的切削加工和热处理的工艺性能,并易磨出锋利的切削刃。因此,特别适宜制造形状复杂的切削刀具,如钻头、丝锥、铣刀、拉刀、齿轮刀具等,其允许的切削速度一般为 $v_c < 0.5\text{m/s}$,常用牌号有 W18Cr4V 和 W6Mo5Cr4V2。

(2) 高性能高速钢 在通用型高速钢的基础上提高碳的质量分数(碳含量)和添加一些其他合金元素,其常温下的硬度可达 68HRC~70HRC,在 600°C~650°C 时仍可保持 60HRC 的硬度,具有更好的切削性能,耐用度较通用型高速钢高 1.3~3 倍,适于加工高温合金、钛合金等难加工材料。其牌号有 W6Mo5Cr4V3、W6Mo5Cr4V2Co8、W6Mo5Cr4V2Al 等。

2. 硬质合金 是用难熔金属碳化物(如 WC、TiC)粉末为基体,以金属(如 Co)作为粘结剂,经粉末冶金法制成。

因含有大量熔点高、硬度高、化学稳定性好、热稳定性好的金属化合物,所以硬质合金的硬度可达 89HRA~93HRA(相当于 74HRC~82HRC),其耐磨性、耐热性都很高,能耐 850°C~1000°C 的高温,允许的切削速度为 1.7m/s~5m/s,较高速钢高 4~10 倍;耐用度较高速钢高几十倍,但其抗弯强度和韧性比高速钢低,工艺性也不如高速钢。

硬质合金一般制成各种刀片,焊接或用机械方法夹固在刀体上,很少制成整体刀具。

(1) 硬质合金分类 根据 GB2075—87 及 ISO513~1975 标准将硬质合金分为三类,分别用字母 P、M、K 表示。

P——标志为蓝色,适于加工长切屑的黑色金属。

M——标志为黄色,适于加工长切屑或短切屑的黑色金属和有色金属。

K——标志为红色,适于加工短切屑的黑色金属、有色金属及非金属材料。

1) YG(K)类 即钨钴类硬质合金(WC+Co)。其牌号有 YG3X、YG6X、YG6、YG8 等,其中数字表示 Co 的质量分数。Co 的质量分数少者,较脆但较耐磨。其牌号后加“X”者为细晶粒硬质合金,在含钴量相同时其硬度、耐磨性要高些,但抗弯强度、韧性则低些。

2) YT(P)类 即钨钛钴类硬质合金(WC+TiC+Co),其牌号有 YT5、YT14、YT15、YT30 等,其中数字表示 TiC 含量的质量分数,TiC 含量多者,硬度和耐磨性高,但抗弯强度和冲击韧度显著降低。

3) YW(M)类 即通用硬质合金(WC+TiC+TaC),在 YT 类中加入 TaC(NbC)可提高

其抗弯强度、冲击韧度、抗氧化能力、耐磨性、高温硬度和强度等。常用牌号有 YW1、YW2。

以上三类主要以 WC 为基体,所以又称 WC 基硬质合金。

另外还有以 TiC 为基体的 TiC 基硬质合金,即 TiC + Ni + Mo 合金,其硬度可达 90HRA~94HRA,其耐磨性、耐热性、抗粘结能力都较好,但抗弯强度差、韧性差。

表 1-2 列出了常见硬质合金的代号、牌号及应用范围。

表 1-2 切削加工用硬质合金的应用范围

代号	对照牌号	被加工材料	适应的加工条件
P05	YT30 YN10	钢、铸钢	高切削速度、小切屑截面、无振动条件下的精车、精镗
P15	YT15	钢、铸钢	高切削速度、中等或小切屑截面条件下的车削、仿形车削、车螺纹和铣削
P20	YT14	钢、铸钢、长切屑可锻铸铁	中等切削速度和中等切屑截面条件下的车削、仿形车削和铣削,小切屑截面的刨削
P30	YT5	钢、铸钢、长切屑可锻铸铁	中或低等切削速度、中等或大切屑截面条件下的车削、铣削、刨削和不利条件下的加工
P40		钢、含砂眼和气孔的铸钢件	低切削速度、大切屑截面,以及不利条件下的车削、刨削、切槽和自动机床上的加工
P50		钢、含砂眼和气孔的中和低强度钢铸件	用于要求硬质合金有高韧性的工序;在低切削速度、大切屑截面及不利条件下的车削、刨削、切槽和自动机床上加工
M10	YW1	钢、铸钢、锰钢、灰铸铁和合金铸铁	中或高切削速度、小或中等切屑截面条件下的车削
M20	YW2	钢、铸钢、奥氏体钢或锰钢、灰铸铁	中等切削速度、中等切屑截面条件下的车削、铣削
M30		钢、铸钢、奥氏体钢、灰铸铁、耐高温合金	中等切削速度、中等或大切屑截面条件下的车削、铣削、刨削
M40		低碳易切钢、低强度钢、有色金属和轻合金	车削、切断,特别适于自动机床上的加工
K01	YG3X	特硬灰铸铁、肖氏硬度大于 85 的冷硬铸铁、高硅铝合金、淬硬钢、高耐磨塑料、硬纸板、陶瓷	车削、精车、镗削、铣削、刮削
K10	YG6X YG6A	布氏硬度高于 220 的灰铸铁、短切屑的可锻铸铁、淬硬钢、硅铝合金、铜合金、塑料、玻璃、硬橡胶、硬纸板、瓷器、石料	车削、铣削、钻削、镗削、拉削、刮削
K20	YG6 YG8N	布氏硬度低于 220 的灰铸铁,有色金属:铜、黄铜、铝	用于要求硬质合金有高韧性的车削、铣削、刨削、镗削、拉削
K30	YG8N YG8	低硬度灰铸铁、低强度钢、压缩木料	用于在不利条件下可能采用大切削角的车削、铣削、刨削、切槽工
K40		软木或硬木、有色金属	用于在不利条件下的车削、铣削、刨削、切槽

(2) 新型硬质合金 为了改善硬质合金的性能,近年来又研制出超细晶粒硬质合金和表面涂层硬质合金。普通硬质合金的晶粒为几微米,超细晶粒硬质合金的 WC 晶粒在 $0.5\mu\text{m}$ 以下。国产的超细晶粒硬质合金有 YH1、YH2、YH3 等牌号,用于切削耐热合金、高强度合金等难加工材料。表面涂层硬质合金是在 YG 类硬质合金基体(或在高速钢刀具基体)表面涂覆

4 μm ~5 μm 厚的一层硬度和耐磨性很高的 TiC、TiN、Al₂O₃，以提高表层的耐磨性。因为涂层极薄，只用于制作不重磨刀片。

3. 其他刀具材料

(1) 陶瓷 在 Al₂O₃ 基体中加入耐高温的碳化物 (TiC、WC) 和金属添加剂 (Ni、Fe、W、Cr、Ti、Co 等) 制成。其硬度可达 90HRA~95HRA，耐热性高达 1200°C~1450°C，能承受的切削速度比硬质合金更高，但抗弯强度低，冲击韧度差。目前主要用于半精加工和精加工高硬度、高强度钢及冷硬铸铁等。牌号有 AM、AMF、AMT 等。

(2) 人造金刚石 (JR) 是在高压、高温和其他条件配合下由石墨转化而成，硬度高达 10000HV，是目前人工制成的硬度最高的刀具材料。人造金刚石不但可以加工硬质合金、陶瓷、耐磨塑料及玻璃等硬、脆材料，还可以加工有色金属及其合金，但不宜加工黑色金属，这是由于铁和碳原子的亲和力强，易产生粘结作用而加速刀具磨损的缘故。

(3) 立方氮化硼 (CBN) 是人工合成的一种硬度、耐磨性仅次于人造金刚石的材料，其耐热性高于 JR，可达 1300°C~1500°C。它的切削性能好，适于加工铁族及非铁族难加工材料，如精车淬火钢，表面粗糙度 R_a 值可达 0.4 μm ~0.2 μm ，可以车代磨。

JR 和 CBN 材料脆性大，所以要求机床刚性要好。主要用于连续切削，尽量避免冲击和振动。这两种材料较昂贵。

二、刀具角度

根据 GB/T12204—90《金属切削基本术语》，介绍如下：

1. 车刀的组成 外圆车刀 (图 1-5) 是最典型的刀具，其切削部分 (刀头) 由下列要素组成：

(1) 刀面

1) 前 (刀) 面 (A_r) 刀具上切屑流过的表面。

2) 主后 (刀) 面 (A_s) 刀具上同前刀面相交形成主切削刃的后面。

3) 副后 (刀) 面 (A_s') 刀具上同前面相交形成副切削刃的后面。

(2) 切削刃

1) 主切削刃 (S) 起始于切削刃上主偏角为零的点，并至少有一段切削刃拟用来在工件上切出过渡表面的那个整段切削刃。

2) 副切削刃 (S') 切削刃上除主切削刃以外的刃，亦起始于主偏角为零的点，但它向背离主切削刃的方向延伸。

(3) 刀尖、指主切削刃与副切削刃的连接处相当少的一部分切削刃。

其他种类的刀具如刨刀、钻头、铣刀等都可以看作是车刀的演变和组合，见图 1-6。

2. 辅助平面 为了确定刀面和切削刃的空间位置，首先要建立用于定义和规定刀具角度的各基准坐标平面的参考系。它可分为刀具静止参考系和刀具工作参考系。刀具静止参考系是用于定义刀具设计、制造、刃磨和测量时几何参数的参考系，它由主切削平面、基面、正交平面 (主剖面) 三个互相垂直的辅助平面和假定工作平面所组成，见图 1-7。

(1) 主切削平面 (切削平面) p 通过主切削刃选定点与主切削刃相切并垂直于基面的平面。

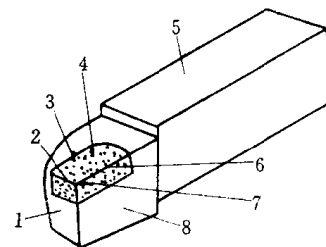


图 1-5 车刀的组成

1—副后面 2—副切削刃 3—刀头
4—前面 5—刀柄 6—主切削刃
7—刀尖 8—主后面

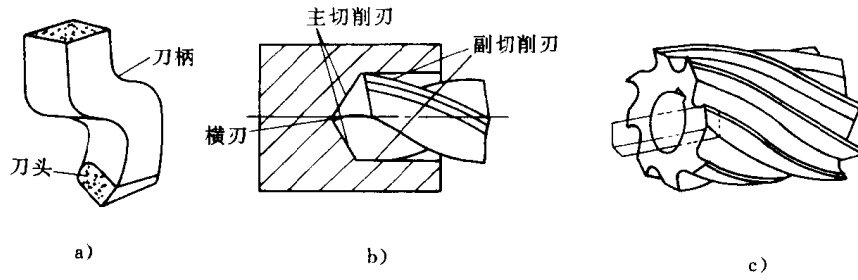


图 1-6 刨刀、钻头、铣刀切削部分

a) 刨刀 b) 钻头 c) 铣刀

(2) 基面 p_r 过切削刃选定点的平面,它平行或垂直于刀具在制造,刃磨及测量时适合于安装或定位的一个平面或轴线,一般说来其方位要垂直于假定的主运动方向。

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

(4) 假定工作平面 p_f 通过切削刃选定点并垂直于基面,它平行或垂直于刀具在制造、刃磨及测量时适合于安装或定位的一个平面或轴线,一般说来其方位要平行于假定的进给运动方向。该平面图中未示出。

3. 车刀的主要角度 车刀的主要角度,见图 1-8。

(1) 在正交平面(p_o)中测量的角度

1) 前角 γ 。前面与基面间的夹角。它表示前面的倾斜程度,根据前面与基面相对位置不同,前角有正、负、零值。其大小影响切削变形的程度、切削力的大小和刀头强度等。

2) 后角 α 。后面与切削平面间的夹角。它表示后面的倾斜程度,后角为正值,其大小影响后面与工件的摩擦和刀头强度。

(2) 在基面(p_r)中测量的角度

1) 主偏角 κ_r 主切削平面与假定工作平面间的夹角。主偏角为正值,其大小影响主切削刃参加工作的长度,切削分力的比例,切削温度等。

2) 副偏角 κ'_r 副切削平面与假定工作平面间的夹角。副偏角为正值,其大小影响副切削刃与工件的摩擦和表面质量等。

(3) 在主切削平面(p_s)中测量的角度

刃倾角 λ 主切削刃与基面间的夹角。当刀尖为主切削刃上的最低点时, $\lambda < 0^\circ$ 为负值(图 1-9a);当主切削刃为水平位置时 $\lambda = 0^\circ$ (图 1-9b);当刀尖为主切削刃上的最高点时, $\lambda > 0^\circ$ 为正值(图 1-9c)。其大小影响排屑方向、已加工表面的质量、刀头强度和切削力的大小。

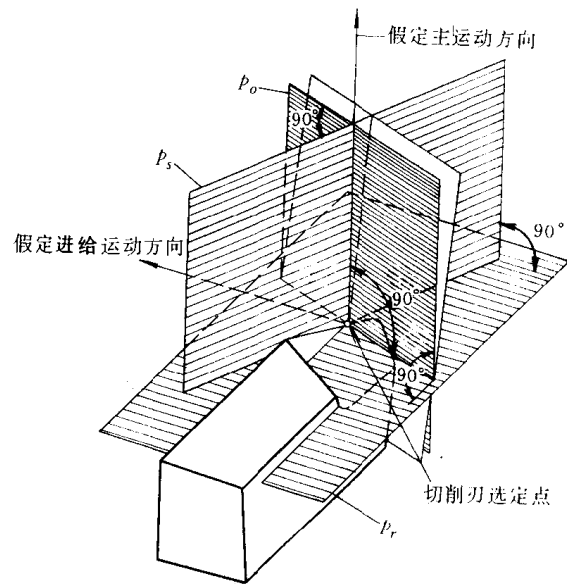


图 1-7 刀具静止参考系的平面

上述刀具角度是在下列条件下确定的：①刀尖与工件回转轴线等高。②刀杆纵向轴线垂直或平行于假定进给运动方向。③刀具安装和刃磨的基准面垂直 p_s ，平行于 p_r 。④假设 $v_f=0$ ，即没有进给运动。

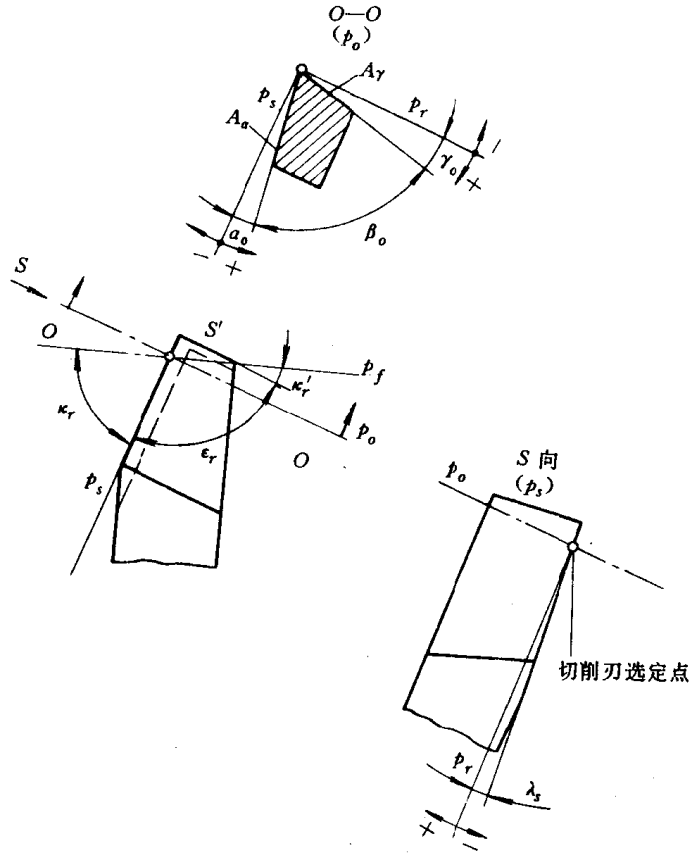


图 1-8 车刀的主要角度

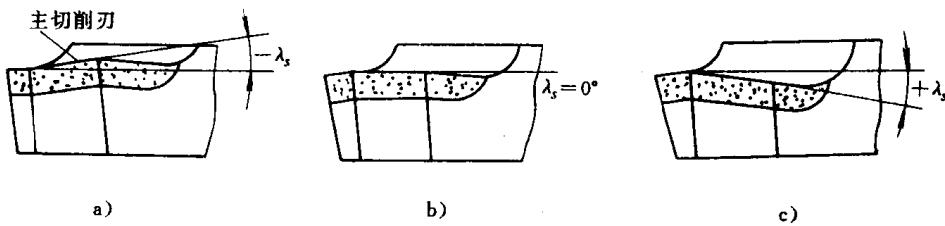


图 1-9 刃倾角的正与负
a) $\lambda_s < 0^\circ$ b) $\lambda_s = 0^\circ$ c) $\lambda_s > 0^\circ$

若与上述条件的其中一条不符合，其角度就会发生变化，对这种变化了的角称为实际工作角度。若不考虑进给运动的影响，刀尖安装得高于工件轴线时，其工作前角 γ_{oe} 增加，工作后角 α_{oe} 减小(图 1-10a)。当刀尖低于工件轴线时， γ_{oe} 减小， α_{oe} 增加(图 1-10b)。若刀具轴线与假定进给运动方向不垂直， κ_{re} 、 κ'_{re} 的变化见图 1-11。

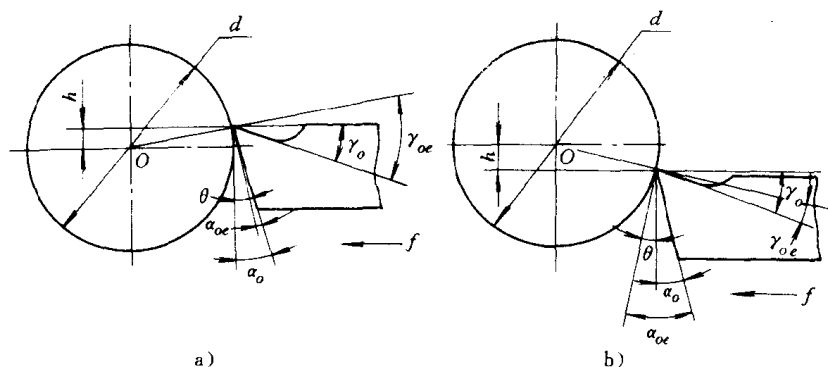


图 1-10 车刀安装高度对工作角度的影响

a) 刀尖高于工件轴线 b) 刀尖低于工件轴线

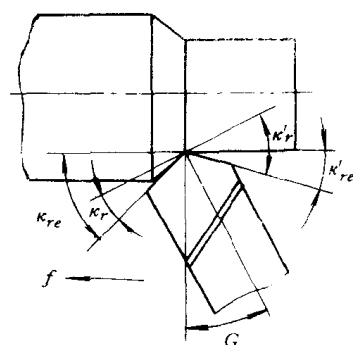


图 1-11 车刀安装偏斜对工作角度的影响

G——切削时刀杆纵向轴

线的偏转角

线的偏转角

第三节 金属切削过程及其物理现象

金属切削过程就是刀具从工件表面切除多余的金属,使之成为已加工表面的过程。在切削过程中,会产生一系列极其复杂的物理现象。例如,金属的变形、积屑瘤、切削力、切削热和刀具磨损等,了解这些现象的实质及变化规律,对于保证加工质量,提高生产率,合理使用机床和刀具,进行技术革新等都是不可缺少的基础知识。

一、切屑的形成过程及切屑种类

1. 切屑的形成过程 实验研究表明,金属切削过程是多余材料受挤压—变形—断裂而形成切屑的过程。

当切削塑性材料时,这个转变过程大体上分为三个阶段:1) 当切削层受到刀具前面推挤时,在接触处产生弹性变形。2) 刀具继续移动,材料受压增加,其内部的应力、应变逐渐增大,在始滑移面 OA 产生滑移,当应力达到材料的屈服点时,就沿剪切面 OM 滑移(速度为 v_s),进而产生塑性变形,见图 1-12。3) 当作用力达到工件切削层材料断裂强度时,材料沿终滑移面 OE 被挤裂,而从母体分离下来,沿前面(v_c 方向)滑出而形成切屑,完成切离阶段。

切削时,这三个阶段是连续的,几乎是在一瞬间完成的。切削速度 v_c 与滑移速度 v_s 的合成速度 v_e 就是金属的流动速度。

为了进一步揭示金属切削时的变形过程和便于分析其实用意义,可以把切削区域划分为三个变形区来进行分析,这三个变形区是人们经过长期认真的观察(高速摄影)和综合分析而得出的。

第 I 变形区(OAE) 切削层在刀具的作用下产生挤压变形,整个第 I 变形区是个塑性变形区,其变形量最大。第 I 变形区范围的大小与材料的塑性有关,也与切削速度有关,当 v_c 很高时,可以认为第 I 变形区缩小到接近于 OE 面。第 I 变形区的特点是变形量大,消耗的功率多,产生的热也多。

第 II 变形区(紧贴刀具的前面) 切屑沿前面流出时,靠近前面的材料受前面的挤压、摩擦

也很大,所以使材料再次变形,使晶粒沿前面方向被拉长,影响前面的磨损。

第Ⅲ变形区(紧贴刀具的后面) 因为切削刃不可能磨得很锐,刃口总有一定的圆弧半径 r_n (图 1-13),所以切削层在 O 点以下的金属 ΔA 并未与母体分离,留下来被刃口圆弧挤成 ΔH ,这部分材料与后面接触。由于该部分材料的弹性变形,使之与后面之间产生很大的挤压和摩擦,从而使这部分材料进一步塑性变形,产生加工硬化和残余应力,不仅影响了已加工表面质量,而且使下道工序不好加工。

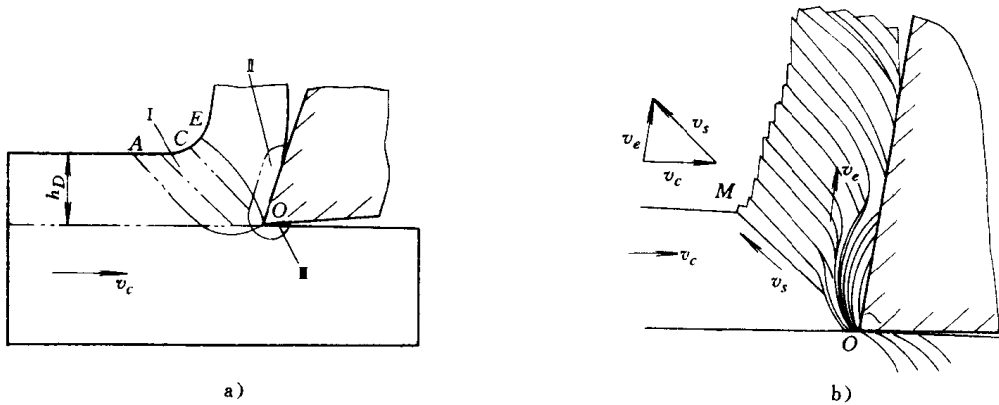


图 1-12 切屑的形成过程

a) 切削过程的变形 b) 切屑的形成

切屑收缩 经过塑性变形的切屑与原切削层相比较,其长度缩短而厚度增加的现象称为切屑收缩(图 1-14)。切屑的变形程度可用变形因数 ξ 表示。即

$$\xi = \frac{h_{ch}}{h_D} = \frac{L_D}{l_{ch}} > 1$$

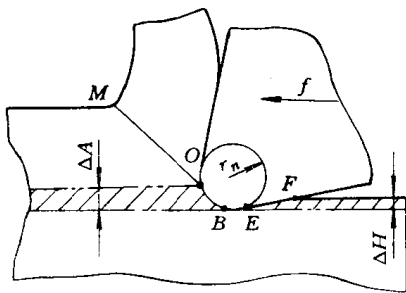


图 1-13 已加工表面的变形

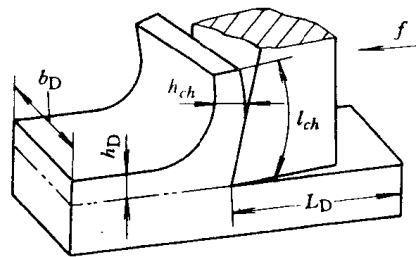


图 1-14 切屑的收缩

在其他条件不变时, ξ 越大,变形量越大,切削力越大,切削温度高,已加工表面粗糙。因此它是判断切削过程特征的一个重要参数。

2. 切屑的种类 切削时,由于被加工材料的性质不同,切削条件不同,滑移变形的程度有很大差异,产生的切屑无论从形态、尺寸、颜色以至硬度都有很大区别。因此研究切屑的形态具有重要的意义。常见的切屑有以下三种,见图 1-15。

(1) 带状切屑 这类切屑顶面毛茸、底面光滑、连绵不断。用较大前角的刀具、较高的切削速度、较小的进给量切削塑性材料时,多获得此类切屑。形成这种切屑时,切削力变化比较小,切削过程较平稳,已加工表面粗糙度 R_a 值小。但与刀具前面的接触长度和时间较长,因此前面容易磨损,若切屑太长还有可能刮伤已加工表面和伤人。应采取断屑措施。

(2) 节状切屑 这类切屑顶面呈锯齿形、底面有裂纹。用较低的切削速度、较大的进给量、较小的刀具前角切削中等硬度的钢材时,多获得此类切屑。形成这种切屑时,切削力变化大,切削过程不够平稳,已加工表面粗糙度 R_a 值增大。

(3) 崩碎切屑 这类切屑呈不规则的碎块,在切削脆性材料时,金属层产生弹性变形后,突然崩裂所致,形成这类切屑时,冲击、振动较大,切削力集中在切削刃附近,使切削过程不平稳,刀具刃口易崩刃或磨损,使已加工表面粗糙度 R_a 值增大。

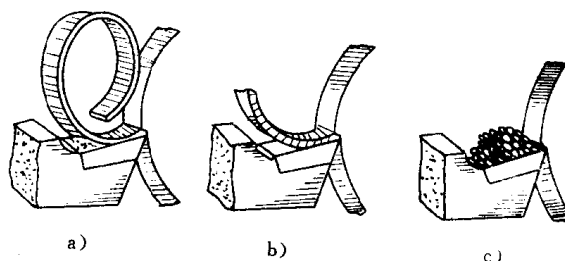


图 1-15 切屑的种类

a) 带状切屑 b) 节状切屑 c) 崩碎切屑

二、积屑瘤

在一定的切削速度下切削塑性材料,常发现在靠近刀具主切削刃的前面上粘附着一小块很硬的金属,这块金属就称为积屑瘤,见图 1-16。

1. 积屑瘤的形成 当切屑沿刀具前面流出时,在高温与高压的作用下,与前面接触的切屑底层受到很大的摩擦阻力,致使底层金属流速降低,产生滞流现象,形成“滞流层”。当前面对滞流层的摩擦阻力超过切屑本身的结合力时,便粘附在前面上。此过程重复出现,就形成了楔状积屑瘤。

积屑瘤的生成,主要取决于切削温度。低温时,切屑与前面近似为点接触,摩擦因数较小,所以不易粘结。高温时,切屑底层金属呈微熔状态,摩擦因数小,也不粘接。只有在中温时,如切中碳钢,切削温度在 $300^{\circ}\text{C}\sim 380^{\circ}\text{C}$ 时,切屑底层软化,摩擦因数大,粘结严重,容易产生积屑瘤。

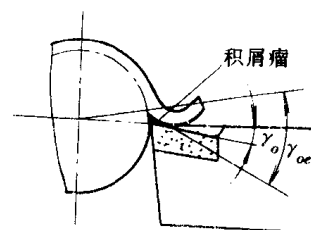


图 1-16 积屑瘤

2. 积屑瘤对切削过程的影响 积屑瘤在形成过程中,由于这部分金属经过塑性变形,其金相组织与工件材料和刀具材料都不同,硬度为工件材料的 $1.5\sim 3.5$ 倍,所以可代替切削刃进行切削,起到保护切削刃的作用。同时由于积屑瘤的存在,增大了刀具实际工作前角 γ_{oe} (图 1-16),使切削力减小。对粗加工有利。

但是,积屑瘤的顶端伸出切削刃之外,而且在不断的产生和脱落,它时大时小,时有时无,使 a_p 和 h_D 不断变化,影响尺寸精度,并导致切削力的变化,引起振动。此外,积屑瘤将已加工表面刻划出不均匀沟痕,并有一些积屑瘤碎片粘附在已加工表面上,使表面粗糙度增加。因此,精加工时应避免产生积屑瘤。

3. 积屑瘤的控制 影响积屑瘤形成的主要因素有:切削速度、工件材料的性能、刀具和冷却润滑条件等。

由于切削速度通过切削温度和摩擦来影响积屑瘤,所以应避开易产生积屑瘤的切削速度范围,以切削中碳钢为例,采用高速或低速 ($0.08\text{m/s} > v_c$ 或 $v_c > 1.67\text{m/s}$),避免中速 ($v_c = 0.08\text{m/s}\sim 1.67\text{m/s}$)。

采用适当的热处理,减少工件材料的塑性,增加其强度和硬度。

对于一般精车、精铣采用高速切削;而拉削、铰削和宽刀精刨时,则采用低速切削,以避免产生积屑瘤。此外,减小前面的表面粗糙度、增大前角、减小 h_D 及合理使用切削液等,都可减少