

高职高专机电类系列教材

机械制造方法与设备

何七荣 主编
李殿亚 副主编
王世昆 主审

中国人民大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械制造方法与设备/何七荣主编.

北京:中国人民大学出版社,2000.

高职高专机电类系列教材

ISBN 7-300-03438-1/F·1025

I.机...

II.何...

III.①金属切削-工艺-高等学校:技术学校-教材

②金属加工-机具-高等学校:技术学校-教材

IV.TG5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 46460 号

高职高专机电类系列教材

机械制造方法与设备

何七荣 主编

李殿亚 副主编

王世昆 主审

出版发行:中国人民大学出版社

(北京海淀路 157 号 邮编 100080)

发行部:62514146 门市部:62511369

总编室:62511242 出版部:62511239

E-mail:rendafx@public3.bta.net.cn

经 销:新华书店

印 刷:北京市丰台区印刷厂

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:28

2000年11月第1版 2000年11月第1次印刷

字数:694 000

定价:33.00 元

(图书出现印装问题,本社负责调换)

前 言

为认真贯彻落实教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》的精神,突出学生创新精神和生产实践能力的培养而编写的本教材,适用于高等职业教育机械类专业学生使用。

本教材综合了金属切削原理、金属切削刀具、金属切削机床和机械切削方法四个方面的知识。

本教材采用了国家最新标准(含术语、代号、计量单位);注意吸收、反映机械加工技术发展的新内容和新知识。

本教材由九江职业技术学院何七荣同志主编,九江职业技术学院李殿亚同志任副主编,包头职业技术学院王世昆同志任主审。全书共九章。其中绪论、第一章、第四章、第八章由何七荣同志编写;第二章、第九章由武汉船舶职业技术学院李舒燕同志编写;第三章、第七章由九江职业技术学院李殿亚同志编写;第五章、第六章由河南职业技术学院王黎明、王莉娜、胡勇同志编写。

在本书提纲形成和审稿过程中,姚新、陈良政、费小琳、王世昆、胡勇、陈少艾等提出了很多宝贵意见,谨此表示衷心的感谢。限于编者水平,加之编写时间匆促,书中难免会有缺点、错误,希望读者批评指正。

2000 年 10 月

绪 论

一、机械制造业在国民经济中的地位

机械制造业是国民经济中一个非常重要的产业。它为国民经济各领域、科学研究、国防建设和人民生活提供各种技术装备,在社会主义现代化建设中有着十分重要的作用。例如,发展农业需要大量拖拉机,各类型的种植与收割机械,脱粒与粉碎机械,各种运输机械。发展轻工业需要大量纺织、缝纫、造纸、食品机械及其他类型轻工机械。在重工业领域需要矿山机械、冶金机械、化工和石油机械以及各种类型的机床、工具量具和仪表。还需要大量制造汽车、船舶、机动车辆、航空航天设备、动力设备、电子工业设备等机械。

机械制造方法与设备是机械制造业的生产和技术基础。据统计,金属切削刀具和金属切削机床设备对加工精度和生产率贡献随着先进刀具和高效设备的使用和发展越来越大。先进刀具和现代化设备能使产品成本降低 20%~60%,合理选用刀具和机床设备是机械制造的基础,培养掌握机械设备性能、熟悉机械加工方法的高级应用型人才对促进机械制造业和机械制造技术的发展有着积极意义。

二、我国的机械制造技术的发展概况

我国的机械制造技术有着悠久的历史,它是从古代加工石质、木质、骨质和其他非金属器物发展演变而来的。从殷商到春秋时期,已经有了相当发达的青铜冶铸业,出现了各种青铜工具。大量出土文物与甲骨文记录表明,青铜兵器或青铜工具或生活用具,都已经过切削加工或研磨。早在 3 000 多年前的商代,已经有了旋转的琢玉工具,这是金属切削机床的前身。在河北满城一号汉墓中出土的五铢钱是穿在方轴上,然后装夹在木制的车床上旋转,手持刀具切削出来的;还有铁铤、三棱形的青铜钻、铁剑、书刀、青铜弩机及青铜箭头等,其中青铜弩机的结构形状相当复杂,而加工精度和表面粗糙度要求很高,说明金属切削加工已经达到了一定的水平。我国在 8 世纪已经有了金属的车床,加工技术也比较熟练。到了明代,各种切削加工如车、铣、刨、钻、磨等分工逐渐明确。从北京天文台上遗留的天文仪器上可以看到,当时已经采用了与近代相类似的切削加工方法,直径达 2 m 多的大铜环的加工精度和表面粗糙度都达到了相当高的水平。“刀为体,刃为用,刃从坚则钝,坚非刃本义也。”古人已十分明确刀刃的作用,正确阐明了刀刃利与坚的关系。因此可知,我国古代劳动人民,在金属切削加工方面有着悠久的历史 and 辉煌的成就。

但是直到解放前夕,由于封建制度的束缚、外国的侵略和统治阶级的无能,使我国的科学技术发展停滞不前,金属切削加工技术也处于十分落后的状态。那时,全国除了少数几个修配厂外,哪里还谈得上有自己的机床、工具制造业,甚至连高速钢这样的工具材料、麻花钻这样

的普通工具都不能制造。

中华人民共和国成立以后,在中国共产党领导下,我国的机械制造业不断壮大,已经发展成为门类齐全、具有很大规模和较高水平的完整工业体系,金属切削科学和制造技术也有了突飞猛进的发展。实行改革开放以来,我国在自力更生的基础上,充分引进、消化和吸收国外新技术、新工艺,使制造加工技术正在接近发达国家的水平。解放初期所使用的刀具材料主要是碳素工具钢,切削速度一般为 10 m/min 左右,各简单的机床生产效率很低。当时切削加工革新的内容突出反映在提高切削速度上,同时改造旧式皮带车床,发展高速钢和硬质合金生产。到第二个五年计划期间,切削速度已提高到 $80\text{ m/min}\sim 100\text{ m/min}$ 左右,并推广了强力切削法。在 50 年代中期,又涌现出许多先进刀具和操作方法,如细长轴高速车削、强力切削车刀、各种新型钻头、套料刀、高速切削刀具,出现了变革刃形、修磨不同形式的分屑槽、修磨横刃、与众不同风格的新型钻头。此后,各高等学校和科研部门在普遍建立金属切削实验室的基础上,开展了有关金属切削的科学研究,在金属切理、切削热、刀具磨损和耐用度、加工表面质量及切削液等方面,都取得了一定水平的科研成果。60 年代以后,机床、刀具制造业有了进一步发展,硬质合金刀片生产有了初步规模,并在切削加工范围内得到了较好的应用,研制了多种规格、类型的多刃刀具,并开始推广机夹可转位刀具,切削速度和刀具耐用度进一步提高,同时涌现了诸如 $50\text{ mm}\sim 500\text{ mm}$ 宽刃精刨刀、硬质合金深孔钻、大型深孔套料刀,超硬切削刀具、高锰钢、不锈钢车刀以及硬质合金无刃铰刀等先进刀具。我国在实行改革开放以后,金属切削加工技术有飞跃性发展,各有关研究所、厂矿科研部门和院校实验室,坚持对切削理论的深入研究,不断取得丰硕成果,从而准确地掌握了切削规律,为我国切削加工技术的进一步发展作出了重要贡献。在刀具材料方面,研制了多种类型 and 规格的高速钢与硬质合金,产生了以钽、铌元素作添加剂的硬质合金、超细晶粒硬质合金、碳化钛硬质合金、钢结硬质合金、涂层硬质合金刀片,多种硬度的新型高速钢,以及诸如人造金刚石、立方氮化硼、纯氧化陶瓷、金属陶瓷、热压氮化硅等超硬刀具材料。在刀具结构方面,早在 60 年代就广泛推广应用了机夹重磨刀具和机夹可转位刀具。在刀具几何参数方面,分别从刀刃形状、刃口形式和切削角度等多方面进行改革,创造和革新了许多新型刀具,例如脆钢卷屑车工刀、大前角大刀倾角和双刃倾角刀具、银白屑车刀、精孔钻、不锈钢群钻以及硬质合金玉米铣刀等,显著地提高了切削效果。

经过 40 余年的不断努力,我国机床工业已由只能生产简单机床,发展到能生产 2 000 余种金属切削机床通用品种、年产量达到 20 万台左右,机床拥有量 500 余万台。我国有上千家研究所研制生产的数控车床、加工中心、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)、高精度高速磨床等都达到较先进水平。

三、本课程的性质与任务

机械制造过程是将原材料经过工艺系统采取机械加工的方法变成机械产品的过程,本课程就是研究这一过程中的切削规律、刀具、设备和方法的,是机械制造专业的主要专业课。共有金属切削原理、金属切削刀具、金属切削机床和金属切削方法等四方面的内容,通过本课程的理论教学、实验教学、实习等教学环节,达到如下要求:

(1) 基本理论知识。掌握金属切削过程基本规律(如切削变形、切削热及切削温度、刀具磨损和耐用度等),机床传动的基本知识,掌握常用刀具材料的类型、性能及其选择方法,机床

类型及分类方法。掌握改善切削条件、控制已加工表面质量、合理选择刀具几何参数及切削用量的基本知识,掌握机床传动原理、基本性能和选用原则。

(2) 基本技能。具备根据切削加工的具体要求合理配置切削条件的能力;具有运用切削原理和刀具的基本知识分析和解决切削加工工艺技术的能力;具有合理选择与正确使用刀具和机床的能力;具有从事设计非标准刀具和机床部件的能力。

第一章 机械加工及设备的基础理论

本章提要

金属切削的基本知识、金属切削过程的基本规律,切削条件确定和切削参数的合理选择。金属切削机床的基本知识,机床类型、典型结构、机床的传动形式和运动联系,机床的主要技术参数和技术性能。

第一节 金属切削的基本知识

一、零件表面的形成

机器零件的形状虽然多种多样,但通过分析,即由外圆面、内圆面(孔)、平面和曲面等组成。外圆面和内圆面(孔)是以一直线为母线,做旋转运动所形成的表面。平面是以一直线为母线,做直线平移运动所形成的表面。曲面是以一曲线为母线,做旋转或平移运动所形成的表面。

形成上述表面所需的运动及其母线,是由各类机床上的刀具和工件作相对运动来实现的。图 1-1 所示是刀具和工件作不同相对运动来完成各种表面的加工方法。

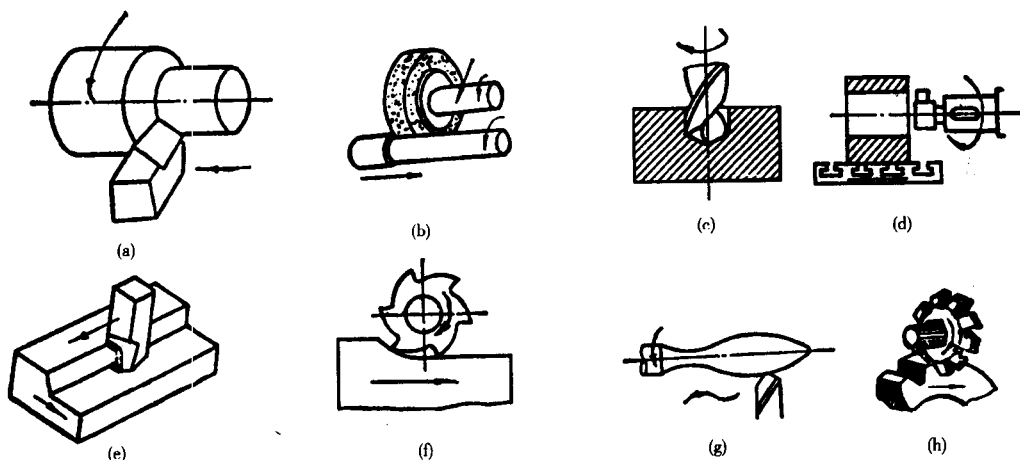


图 1-1 各种表面切削时的切削运动

(a) 车外圆面; (b) 磨外圆面; (c) 钻孔; (d) 镗孔; (e) 刨平面;
(f) 铣平面; (g) 车曲面; (h) 铣曲面

二、切削运动

在金属切削加工过程中,为使加工工件表面成为符合技术要求的形状,加工时刀具和工件必须有一定的相对运动,才能切除多余的金属,通常称此运动为切削运动。切削运动包括:主运动和进给运动。

主运动:切削运动中速度最高、消耗功率最大的运动称为主运动。是切下金属所需的最基本运动,如车削中工件的旋转或铣削中刀具的旋转等。主运动速度即切削速度 v_c ,外圆车削或用旋转刀具切削时,以下式计算。

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000} (\text{m/min}) \quad (1-1)$$

式中: d ——工件或刀具直径(mm);

n ——工件或刀具转速(r/min)。

进给运动:使新的金属不断投入切削,以便切完工件表面上全部余量的运动。进给运动的大小可用进给量 f 表示。对于外圆车削, f 是指工件转一周,刀具沿工件纵向的移动距离(mm/r);多刃旋转刀具常用到每齿进给量 a_f (mm/齿)及每秒进给量 v_f (mm/s)。各种切削加工机床都是为了实现某些表面的加工,因此都有特定的切削运动。切削运动有旋转的,也有平移的;有连续的,也有间断的。

在整个切削过程中,工件上有三个表面(参见图 1-2)。

- 1) 待加工表面:即将被切去金属层的表面;
- 2) 过渡表面:切削刃正在切削的表面;
- 3) 已加工表面:已经切去一部分金属而形成的新表面。

主运动和进给运动的合成:车削时主运动和进给运动同时进行,刀具上切削刃某一点相对于工件的合成运动称为合成切削运动,可用合成速度向量 v_e 表示(图 1-3)。它等于主运动速度 v_c 与进给运动速度 v_f 的向量和,即:

$$v_e = v_c + v_f$$

显然,沿切削刃和点的合成速度向量并不相等。

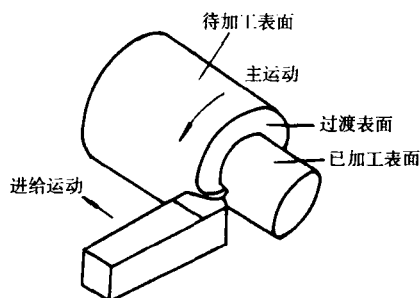


图 1-2 车削时的切削运动

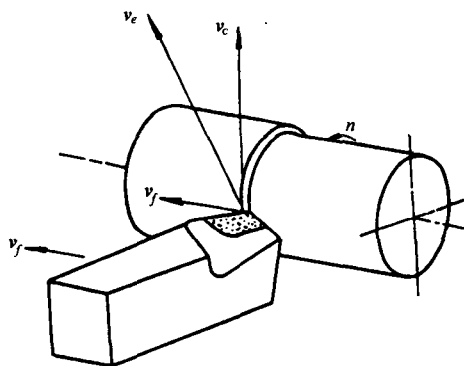


图 1-3 车削时的合成速度向量

三、刀具切削部分的组成及刀具角度

(一) 刀具切削部分的组成

如图 1-4 所示的车刀由刀头、刀杆两大部分组成。刀头用于切削又称为切削部分,刀杆

用于装夹又称刀体。

刀具的切削部分由刀面、切削刃(也称刀刃)构成。不同的刀面用字母 A 和下角标组成的复合符号标记,切削刃用字母 S 标记。副切削刃及相关的刀面标记在右上角加一撇以示区别。

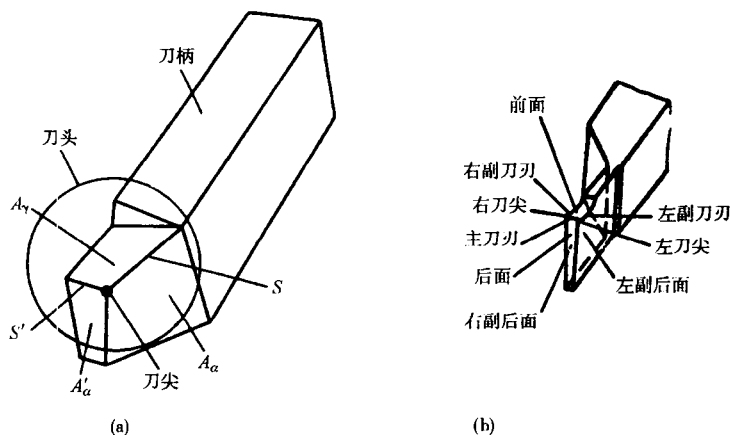


图 1-4 车刀切削部分组成

1. 刀面

- | | |
|--------------------------|------------------------------------|
| 1) 前面(前刀面) A_γ | 刀具上切屑流过的刀面。 |
| 2) 后面(后刀面) A_α | 与加工表面相对的刀面。 |
| 3) 副后面(副后刀面) A'_α | 与已加工表面相对的刀面。前刀面与后刀面之间所包含的刀具体部分称刀楔。 |

2. 切削刃

- | | |
|--------------|-----------------|
| 1) 主切削刃 S | 前、后面汇交的边缘。 |
| 2) 副切削刃 S' | 切削刃上除主切削刃以外的刀刃。 |

3. 刀尖

主、副切削刃汇交的一小段切削刃称为刀尖。由于切削刃不可能磨得很锋利,总有一些刃口圆弧。如刀楔的放大部分图 1-5(a)所示。刃口的锋利程度用切削刃钝圆半径 r_n 表示,一般工具钢刀具 r_n 约为 $0.01 \text{ mm} \sim 0.02 \text{ mm}$,硬质合金刀具 r_n 约为 $0.02 \text{ mm} \sim 0.04 \text{ mm}$ 。

为了提高刃口强度以满足不同加工要求,在前、后面上均可磨出倒棱面 $A_{\gamma 1}$ 、 $A_{\alpha 1}$,如图 1-5(b)所示。 $b_{\gamma 1}$ 是第一前面 $A_{\gamma 1}$ 的倒棱宽度; $b_{\alpha 1}$ 是第一后面 $A_{\alpha 1}$ 的倒棱宽度。

为了改善刀尖的切削性能,常将刀尖做成修圆刀尖或倒角刀尖,如图 1-5(c)所示。其参数有:

- 刀尖圆弧半径 r_ϵ (在基面上测量的倒圆刀尖的公称半径);
- 刀尖倒角长度 b_ϵ ;
- 刀尖倒角偏角 κ_{re} 。

不同类型的刀具,其刀面、切削刃数量不同。但组成刀具的最基本单元是两个刀面一个切削刃。

(二) 刀具角度

在表达刀具几何角度时,仅靠刀头上的几个面是不够的,要再建立几个坐标平面,以便与

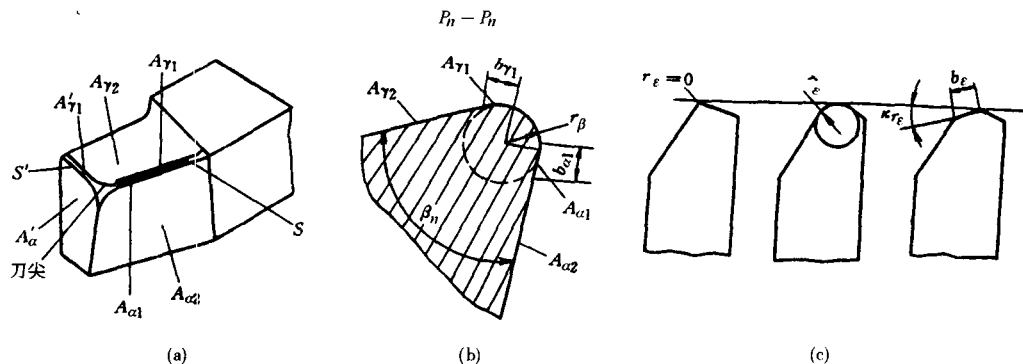


图 1-5 刀楔、刀尖形状参数

刀具刀头上各个面组成相应的角度。

1. 刀具切削角度的坐标平面

刀具标注角度坐标系是设计刀具时,为标注刀具几何角度而采用的坐标系;也是制造、刃磨刀具时采用的坐标系。这时,刀具虽无切削运动,也要结合刀具的定位情况,判定出刀具的假定运动方向,以此为依据建立基准坐标平面。

(1) 假定运动条件

假定主运动方向 以切削刃上选定点,位于工件中心高上的主运动方向作为假定主运动方向。假定主运动方向垂直于车刀刀杆底面(图 1-6)。

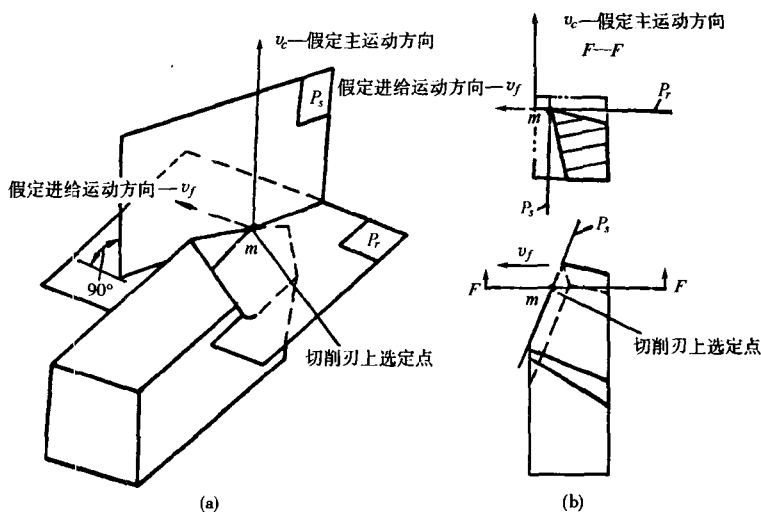


图 1-6 假定主运动方向和进给运动方向与基准坐标平面

假定进给运动方向 以切削刃上选定点的进给运动方向,作为假定进给运动方向,假定进给运动方向平行于车刀刀杆底面。

假定刀杆中心线垂直工件轴线。

假定已加工表面的形状是圆柱表面。

(2) 基准坐标平面

以假定主运动方向(v_c)为依据,建立基准坐标平面,所组成的坐标系称为刀具标准角度坐标系。基准坐标平面包括:基面 P_r 和切削平面 P_s (图 1-6)。

基面 P_r 切削刃上选定点垂直于假定主运动方向的平面。假定进给方向在基面 P_r 内。

切削平面 P_s 过切削刃上选定点,包括切削刃或切于切削刃(曲线刃)且垂直于基面 P_r 的平面。车刀的切削平面 P_s 垂直于刀杆底面,假定主运动方向在切削平面 P_s 内。

2. 刀具标注角度坐标系及其角度

在刀具标注坐标系中,按选用的测量平面不同分为四个坐标系:正交平面系、法剖面系、假定工作平面、背平面系和最大前角、最小后角剖面系。下面主要讨论我国常用的正交平面系及其角度。

(1) 正交平面系($P_r-P_s-P_o$)(图 1-7)

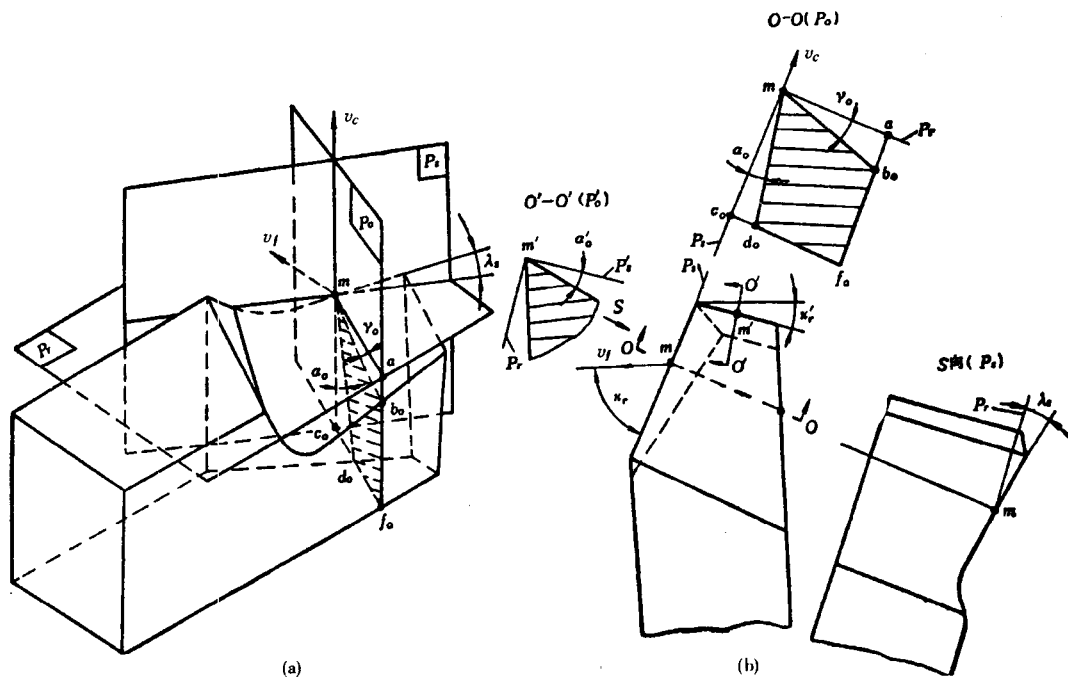


图 1-7 正交面系及其角度

过切削刃上选定点,同时垂直于基面 P_r 和切削平面 P_s 的平面称为正交平面 P_o ,在正交平面中标注刀具的角度称为主正交平面系。

(2) 在基面 P_r 内的角度(刀具在基面 P_r 上的投影)

主偏角 κ_r 切削刃与假定进给运动方向间的夹角;

副偏角 κ'_r 副切削刃与假定进给运动方向间的夹角;

刀尖角 ϵ_r $\epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r)$

(3) 在切削平面 P_s 内的角度(S 向,刀具在切削平面上的投影)

刃倾角 λ_s 切削刃与基面 P_r 间的夹角。刃倾角 λ_s 正负的判定按:前面在基面 P_r 之上为负,前面在基面 P_r 之下为正(以刀尖为切削刃上选定点);或刀尖为切削刃上最低点时, λ_s 为负,刀尖为切削刃上最高点时, λ_s 为正(图 1-8)。

(4) 在正交平面 P_o 内的角度 ($O-O$ 剖面 P_o 内)

前角 γ_o 。前面与基面 P_r 之间的夹角。前角 γ_o 的正负的判断按:前面在基面 P_r 之上为负;前面在基面 P_r 之下为正。

后角 α_o 。后面与切削平面 P_s 之间夹角。

楔角 β_o 。前后面的夹角。 $\beta_o = 90^\circ - (\gamma_o + \alpha_o)$

同理,对副切削刃,也可以建立副基面 P'_r 、副切削平面 P'_s 和副正交平面 P'_o ,以定出其相应的角度。由于副切削刃共处于同一前面内,当切削刃的前角 γ_o 和刃倾角 λ_s 确定后,副切削刃的 γ'_o 和 λ'_s 也同时被确定。因此,副切削刃通常只确定副偏角 κ'_r 和副后角 α'_o 。

副后角 α'_o 。在副正交面内,副后面与副切削平面 P'_s 间的夹角。

外圆车刀在正交平面系中有六个独立角度,两个派生角度。

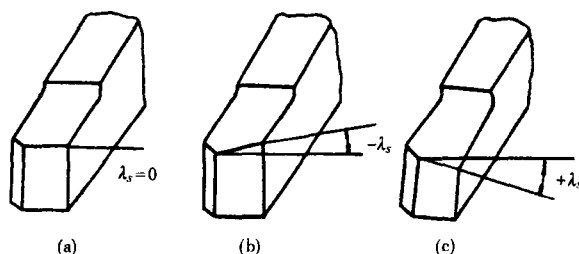


图 1-8 刃倾角 λ_s 的符号

上面叙述的是车刀,但对于其他类型的刀具,其切削部分几何形状的基本形态也仍然是车刀刀头的演变。例如端铣刀,即相当于是把把小刀装在铣刀刀体上所构成;钻头,虽其形状复杂,但其刀头的基本形状也仍然是车刀,所不同者是其前刀面为一螺旋面,后刀面为一曲面而已。所以,有关车刀几何角度的定义对它们仍然是适用的。

3. 刀具的实际切削角度

切削中,随着切削条件的改变,刀具的实际切削角度将不同于标注角度。

(1) 装刀时,刀尖不在工件的中心线上

如切断刀(图 1-9),当刀尖通过工件中心线时,所得的前、后角为 γ_o, α_o ;当刀尖不在工件中心线时,如低 h 值,由于基面、切削平面已变动为 P_{re}, P_{se} ,此时的实际工作前、后角将改变为 γ_{oe}, α_{oe} 。

(2) 刀杆中心线不垂直于工件轴线

如图 1-10 所示,当中心线、轴线互不垂直时,将引起主、副偏角 κ_r, κ'_r 数值的改变。

(3) 考虑进给运动

如切断刀,工作时切削刃相对于工件的运动轨迹为阿基米德螺旋面(图 1-11),切削平面为通过切削刃切于螺旋面的平面,而基面又恒与其垂直,因而引起了实际切削时前、后角值的改变。

角度变化值 μ 可从图中求得。

当工件转过 $\Delta\theta$ 角时,因进给量 f ,其加工表面为 AC ,则曲线三角形 ABC 中 $\angle CAB$ 即为 μ 角

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{BC}{AB} = \frac{BC}{d/2\Delta\theta} \quad (1-2)$$

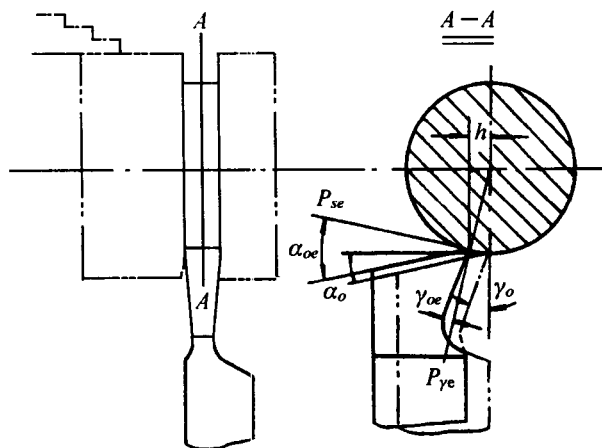


图 1-9 刀尖不通过工件中心线

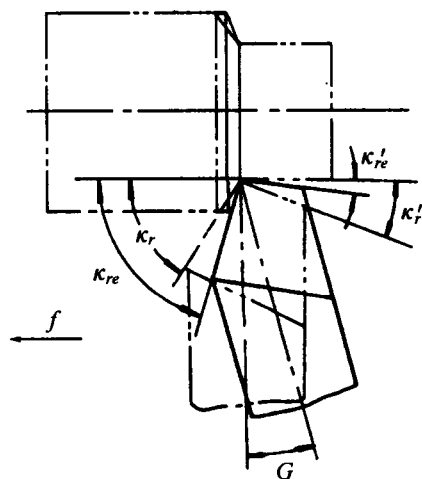


图 1-10 刀具中心线不垂直于工件轴线

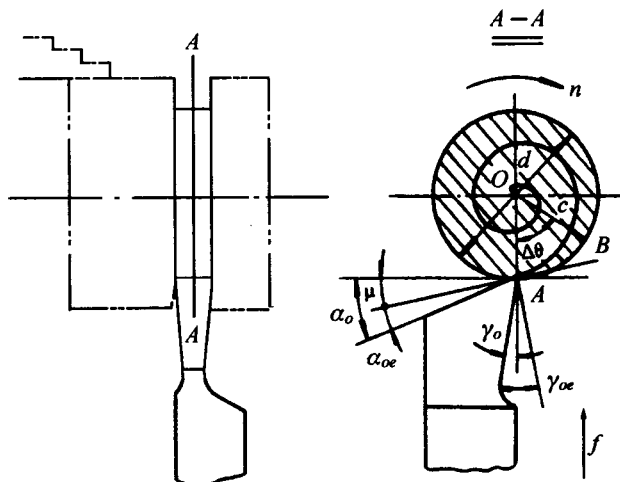


图 1-11 切断刀的工作角度

式中: d ——工件直径(mm)。

因工件转一周(2π),刀具进给量为 f ,所以有

$$\frac{f}{2\pi} = \frac{BC}{\Delta\theta}$$

则得

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{f}{\pi d} \quad (1-3)$$

这说明 μ 值随切削刃趋近工件中心而增大。在常用进给量下,当切削刃距离工件中心 1 mm 时, $\mu \approx 1^\circ 40'$ 。再近中心, μ 值急剧增大,实际工作后角变为负值(即切削平面进入刀具的主后刀面之内)。切断工件时,往往遇到剩下约 1 mm 时就被挤断,就是这个道理。

(4) 非圆柱表面的工件形状

如加工凸轮类零件时(图 1-12),由于加工表面为非圆柱表面,所以必然引起切削时切削

平面、基面的变化,从而引起切削时实际前、后角的变化。

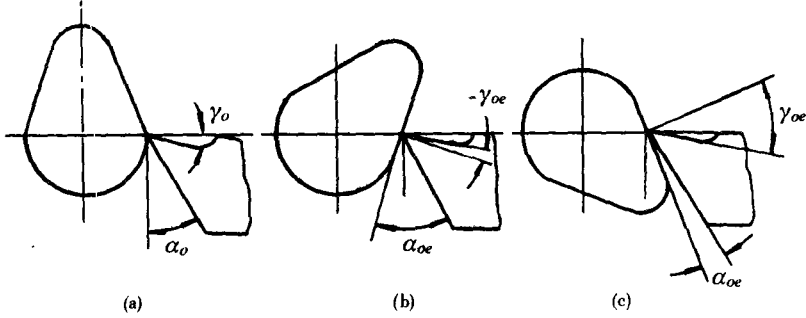


图 1-12 加工非圆柱表面的工件

四、切削要素

切削要素包括切削用量要素和切削层横剖面要素。

(一) 切削用量要素

切削用量要素一般简称为切削用量,它包括切削速度 v_c ,背吃刀量 a_p ,进给量 f (见图 1-13)。

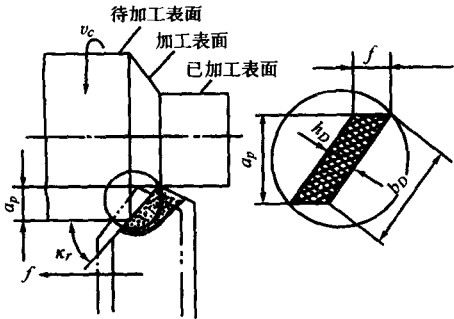


图 1-13 切削用量示意图

1. 切削速度 v_c

主运动的线速度称为切削速度。即单位时间内工件和刀具沿主运动方向相对移动的距离。当主运动为旋转运动时,其切削速度按下式计算:

$$v_c = \pi d n / 1\,000 (\text{m/min})$$

式中: d ——工件待加工表面直径(mm);

n ——工件转速(r/min)。

若主运动为往复直线运动(如刨、插等),则以平均速度为切削速度,其计算公式为:

$$v_c = 2 L n_r / 1\,000 (\text{m/min}) \quad (1-4)$$

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(次/min)。

2. 背吃刀量 a_p

待加工表面和已加工表面之间的垂直距离,即为背吃刀量,用 a_p 表示,单位为 mm。车削外圆面的 a_p 为该次切削余量的一半;刨削平面的 a_p 为该次的切削余量。

3. 进给量 f

工件或刀具每转一周时,刀具和工件之间沿进给运动方向的相对位移,用 f 表示。车削时的进给量 f 为工件每转一转(单位时间)刀具沿轴线进给所移动的距离(mm/r);刨削时的进给量 f 为刨刀线(或工件)每往复一次,工件(或刨刀)沿进给运动方向移动的距离(mm/次)。

(二) 切削层几何参数

切削层是指工件上正在被切削刃切削的一层材料,即两个相邻加工表面之间的那层材料。如图 1-14 所示,车削时,工件每转一转,车刀主切削刃移动一个 f 距离,车刀所切下来的金属层即为切削层。切削层的几何参数包括切削宽度 b_D 、切削厚度 h_D 和切削面积 A_D 。

1) 切削宽度 b_D 刀具主切削刃与工件的接触长度(mm)。若车刀主切削刃与工件轴线之间的夹角为 κ_r ,则

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r \text{ (mm)} \quad (\lambda_s = 0^\circ \text{ 时})$$

2) 切削厚度 h_D 工件或刀具每移动一个进给量 f ,刀具主切削刃相邻两个位置之间的垂直距离(mm)。

车削时: $h_D = f / \sin \kappa_r \text{ (mm)} \quad (\lambda_s = 0^\circ \text{ 时})$

3) 切削面积 A_D 切削层在基面内的面积。

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

可见, f 、 a_p 一定时, κ_r 增大, b_D 减小, h_D 增大(图 1-15)。

对于曲线的切削刃,切削层各点的切削厚度是互不相同的(图 1-16)。

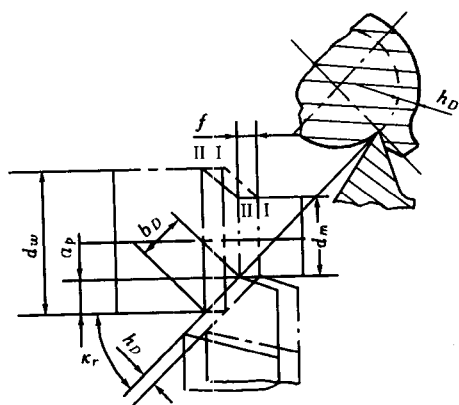


图 1-14 车削时的切削要素

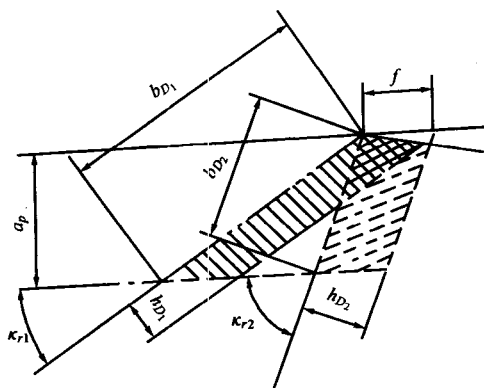


图 1-15 不同 κ_r 时, b_D 、 h_D 变化

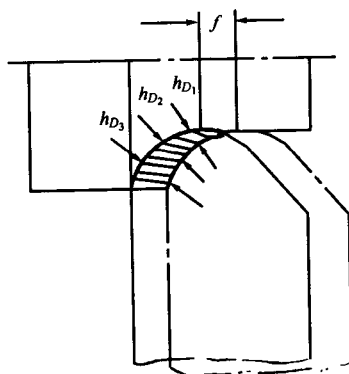


图 1-16 曲线切削刃 h_D 的变化

五、刀具材料及其选用

(一) 刀具材料应具备的性能

切削时,由于变形与摩擦,刀具承受了很大的压力,很高的温度,作为刀具材料应满足的要求如下:

1) 高的硬度和耐磨性 即比工件材料硬和具有良好的抗磨损能力,一般常温硬度应超过 HRC 60 以上;

2) 足够的强度和韧性 以承受切削中的压力、冲击和振动,避免崩刃和折断;

3) 高的耐热性与化学稳定性 即在高温下保持硬度、耐磨性、强度、韧性的能力和在高温下不易与加工材料或周围介质发生化学反应的能力,包括抗氧化、抗粘结能力。化学稳定性愈高,刀具磨损愈慢,加工表面质量愈好。

4) 良好的工艺性 刀具材料应具有良好的锻造、热处理、磨削加工等性能,以便于刀具的制造。

(二) 常用的刀具材料

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)、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

高速钢是一种加入较多的钨、钼、铬、钒等合金元素的高合金工具钢。有较高的热稳定性,切削温度达 $500^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$ 时仍能进行切削,有较高的强度、韧性、硬度和耐磨性;其制造工艺简单,容易磨成锋利的切削刃,可锻造,这对于一些形状复杂的工具,如钻头、成型刀具、拉刀、齿轮刀具等尤为重要,是制造这些刀具的主要材料。

高速钢按用途分为通用型高速钢和高性能高速钢;按制造工艺不同分为熔炼钢和粉末冶金高速钢。

(1) 通用型高速钢

1) 钨钢 典型牌号为 W18Cr4V(简称 W18)。含 W18%、Cr4%、V1%。有较好的综合性能,在 600°C 时其高温硬度为 HRC48.5,可以制造各种复杂刀具。淬火时过热倾向小;含钒量较小,磨加工性好;碳化物含量高,塑性变形抗力较大。但碳化物分布不均匀,影响薄刃刀具或小截面刀具的耐用度;强度和韧性显得不够;热塑性差,很难用热成型方法制造刀具(如热轧钻头)。

2) 钨钼钢 将钨钢中的一部分钨以钼代替而得。典型牌号为 W6Mo5Cr4V2(简称 M2)。含 W6%、Mo5%、Cr4%、V2%。碳化物分布细小、均匀,具有良好的机械性能,抗弯强度比 W18 高 10%~15%,韧性高 50%~60%,可做尺寸较大、承受冲击较大的刀具;热塑性特别好,更适用于制造热轧钻头等;磨加工性也好。目前各国广为应用。

(2) 高性能高速钢

高性能高速钢是在通用型高速钢的基础上再增加一些含碳量、含钒量及添加钴、铝等合金元素。按其耐热性,又称高热稳定性高速钢。在 $630^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$ 时仍可保持 HRC 60 的硬度,具有更好的切削性能,耐用度较通用型高速钢 1.3 倍~3 倍。适合于加工高温合金、钛合金、超高强度钢等难加工材料。

典型牌号有高碳高速钢 9W18Cr4V、高钒高速钢 W6Mo5Cr4V3、钴高速钢 W6MoCr4V2Co8、超硬高速钢 W2Mo9Cr4VCo8 等。

(3) 粉末冶金高速钢

用高压氩气或纯氮气雾化熔融的高速钢钢水,直接得到细小的高速钢粉末,高温下压制或致密的钢坯,然后锻轧成材或刀具形状。有效地解决了一般熔炼高速钢时铸锭产生粗大碳化物共晶偏析问题,而得到细小均匀的结晶组织,使之具有较良好的机械性能。其强度和韧性分别是熔炼高速钢的 2 倍和 2.5 倍~3 倍;磨加工性好;物理、机械性能高度各向同性、淬火变形小;耐磨性提高 20%~30%,适合于制造切削难加工材料的刀具、大尺寸(如滚刀、插齿刀)、精密刀具、磨加工量大的复合刀具、高压动载荷下使用的刀具等。

2. 硬质合金

由难熔金属碳化物(如 WC、TiC)和金属粘结剂(如 Co 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、热稳定性好的金属碳化物,硬质合金的硬度、耐磨性、耐热性都很高。硬度可达 HRA 89~93,在 800℃~1 000℃还能承担切削、耐用度较高速钢高十几倍,当耐用度相同时,切削速度可提高 4 倍~10 倍。

惟有抗弯强度较高速钢低,仅为 0.9 GPa~1.5 GPa、冲击韧性差,切削时不能承受大的振动和冲击负荷。

碳化物含量较高时,硬度高,但抗弯强度低;粘结剂含量较高时,抗弯强度高、但硬度低。

硬质合金以其切削性能优良被广泛用作刀具材料(约占 50%)。如大多数的车刀、端铣刀以至深孔钻、铰刀、拉刀、齿轮刀具等。它还可用于加工高速钢刀具不能切削的淬硬钢等硬材料。

ISO 将切削用的硬质合金分为三类。

1) YG(K)类即 WC—Co 类硬质合金:由 WC 和 Co 组成,牌号有 YG6、YG8、YG3X、YG6X,含钴量分别为 6%、8%、3%、6%,硬度为 HRA 89~91.5,抗弯强度为 1.1 GPa~1.5 GPa。组织有粗晶粒、中晶粒、细晶粒,超细晶粒之分。一般(如 YG6、YG8)为中晶粒组织,细晶粒硬质合金(如 YG3X、YG6X)在含钴量相同时比粗晶粒的硬度、耐磨性要高些,但强度、韧性则低些。

此类合金韧性、磨削加工性、导热性较好,较适于加工产生崩碎切屑、有冲击切削力作用在刃口附近的脆性材料,如铸铁、有色金属及其合金以及导热系数低的不锈钢和对刃口韧性要求高(如端铣刀)的钢料等。

2) YT(P)类即 WC—TiC—Co 类硬质合金:硬质点相除 WC 外,还含有 5%~30%的 TiC。牌号有 YT5、YT14、YT15、YT30、TiC 的含量分别为 5%、14%、15%、30%,相应的钴含量为 10%、8%、6%、4%,硬度为 HRA 89.15~92.5,抗弯强度为 0.9 GPa~1.4 GPa。TiC 含量提高,Co 含量降低,硬度和耐磨性提高,抗弯强度,特别是冲击韧性显著降低。此类合金有较高的硬度和耐磨性,抗粘结扩散能力和抗氧化能力好;但抗弯强度、磨削性和导热系数下降,低温脆性大、韧性差。适于高速切削钢料。

含钴量增加,抗弯强度和冲击韧性提高,适用于粗加工,含钴量减少,硬度、耐磨性及耐热性增加,适于精加工。

应注意,此类合金不宜用于加工不锈钢和钛合金。因 YT 中的钛元素和工件中的钛元素之间的亲和力会产生严重粘刀现象,在高温切削及摩擦系数大的情况下会加剧刀具磨损。