



目 录

绪 论	(1)
第一章 金属切削的基础知识	(4)
§ 1-1 切削运动与切削用量	(4)
§ 1-2 刀具切削部分的几何参数	(6)
§ 1-3 切削层的参数	(18)
第二章 刀具材料	(21)
§ 2-1 刀具材料应当具备的性能	(21)
§ 2-2 高速钢(HSS)	(23)
§ 2-3 硬质合金	(25)
§ 2-4 其他刀具材料	(29)
§ 2-5 涂层刀具	(31)
第三章 金属切削过程中的基本规律	(34)
§ 3-1 金属的切削过程	(34)
§ 3-2 切削力	(48)
§ 3-3 切削热与切削温度	(59)
§ 3-4 刀具磨损与刀具耐用度	(66)
第四章 切削基本规律的应用	(76)
§ 4-1 已加工表面质量	(76)
§ 4-2 工件材料的切削加工性能	(88)
§ 4-3 刀具几何参数的合理选择	(91)
§ 4-4 切削用量的合理选择	(102)
§ 4-5 切削液的合理选择	(106)
§ 4-6 切削新技术	(109)
第五章 车刀	(114)
§ 5-1 车刀的种类和用途	(114)
§ 5-2 焊接式车刀	(117)



§ 5-3	机夹可重磨式车刀	(120)
§ 5-4	可转位机夹车刀	(121)
§ 5-5	成形车刀	(125)
第六章	孔加工刀具	(137)
§ 6-1	麻花钻	(137)
§ 6-2	铰刀	(145)
§ 6-3	深孔加工	(150)
§ 6-4	孔加工复合刀具简介	(152)
第七章	螺纹刀具	(155)
§ 7-1	螺纹刀具的类型、特点及用途	(155)
§ 7-2	丝锥	(158)
第八章	拉刀	(163)
§ 8-1	拉削特点和拉刀种类及用途	(163)
§ 8-2	拉刀的组成及几何参数	(167)
§ 8-3	拉削方式	(169)
§ 8-4	拉刀的合理使用	(172)
第九章	铣削与铣刀	(175)
§ 9-1	铣刀的类型	(175)
§ 9-2	铣刀的几何参数及铣削要素	(178)
§ 9-3	铣削方式	(184)
§ 9-4	铣刀的结构	(186)
§ 9-5	铣削力和铣削功率	(188)
§ 9-6	铣刀的磨损	(190)
§ 9-7	成形铣刀	(192)
第十章	齿轮加工刀具	(196)
§ 10-1	齿轮刀具种类和选用	(196)
§ 10-2	齿轮滚刀	(199)
§ 10-3	蜗轮滚刀	(207)
§ 10-4	插齿刀	(209)
§ 10-5	剃齿刀	(214)
第十一章	自动化生产用刀具	(217)
§ 11-1	自动线刀具与数控机床刀具的特点和选用	(217)
§ 11-2	刀具的快换、自动更换和尺寸预调	(219)



§ 11-3 数控机床工具系统	(225)
第十二章 砂轮与磨削	(235)
§ 12-1 磨削运动	(235)
§ 12-2 砂轮	(236)
§ 12-3 磨削加工的规律	(240)
§ 12-4 磨削的表面质量	(243)
§ 12-5 先进磨削方法简介	(246)



绪 论

一、金属切削加工在机械制造业中的地位

金属切削加工是机械制造业中最基本的加工方法之一。金属切削加工是指在金属切削机床上使用金属切削刀具从工件表面上切除多余金属,从而获得在形状、尺寸精度及表面质量等方面都符合预定要求的加工。在机械制造工艺过程中,凡是精度和表面质量要求较高的零件,一般都需要经过切削加工,用以装配成机器的各种金属零件,其切削加工量占机械加工总量的 95% 以上。随着科学技术的不断发展,新的、先进的金属切削加工方法不断出现,如精密铸造、精密锻造和特种加工技术等,在一定范围内部分地取代了切削加工。但由于切削加工具有加工精度高、生产效率高、加工成本低等优点,目前生产中多数机械零件仍需进行切削加工,金属切削加工在制造业中起着十分重要的作用。因此正确进行切削加工,深入研究金属切削过程,对促进切削加工水平的提高,实现产品的优质、高产和低成本有着重要的意义。

金属切削加工在制造业中之所以能起到十分重要的作用,与其所具有的特点是分不开的。

1. 能获得很高的精度和表面质量;
2. 对被加工材料的广泛适应性;
3. 对工件几何形状的广泛适应性;
4. 对生产批量的适应性。

二、我国金属切削加工技术的发展概况

明代发展成与近代相类似的切削加工方法,如车、铣、刨和磨削等。建国以来,我国的机械制造业不断壮大,金属切削加工技术也得到了飞速发展。大力推广先进的切削方法;在金属切削变形、切削力、切削热、刀具磨损和刀具耐用度以及加工质量等方面都取得了一定水平的科研成果;广泛推广应用了机夹重磨刀具和可转位刀具。上个世纪 80 年代以后,我国金属切削技术达到较高的水平,计算机已在切削理论研究和刀具设计中应用,各种先进的测试仪器已应用于切削机理的分析和研究中,并取得一系列科研成果。



三、本课程的任务和内容

本课程是机械制造专业的一门主干课程,是研究金属切削过程基本规律、刀具设计与使用的一门科学,它包括金属切削原理和金属切削刀具两部分。

金属切削原理的主要任务是:通过对金属切削过程中出现的切削变形、摩擦、切削力、切削热、刀具磨损等物理现象的研究,揭示其内在的机理和规律,用金属切削的科学理论去指导生产实践,解决生产中出现的問題;正确掌握刀具几何参数、切削用量的基本概念及选择原则。内容可以归纳为三个方面的内容:

1. 几何问题

主要指刀具的几何参数及切削过程中的切削用量。学习中应先学好车刀角度,掌握定义、画图标注。通过实验、练习等手段加深理解,进而在钻头、铣刀、铰刀、螺纹刀具等各类刀具中反复应用,不断深化提高。

2. 规律问题

主要指切削变形、切削力、切削温度、刀具磨损等规律。应先认识切削变形规律,分析各种因素对其影响,进而掌握切削力、切削温度、刀具磨损等规律。通过学习有关加工表面质量、切削加工的经济性等内容,逐渐掌握切削规律在生产中的应用方法。

3. 选择参数

正确掌握刀具几何参数、切削用量的基本概念及加工中的切削规律后,对即将从事金属切削加工的工程师来讲,重要的是在生产实践中选择参数,用金属切削的科学理论去指导生产实践,解决生产中出现的問題。

金属切削刀具的任务是掌握金属切削加工中常用刀具的结构、工作原理及使用方法,学会专用刀具的简单设计方法。刀具种类繁多,本书按加工方式划分刀具的章节:车刀、钻头、铰刀、铣刀、拉刀、螺纹刀具、齿轮刀具等。由单刃到多刃,由简单到复杂顺序讲解。在各种类型的刀具中,对它们的教学要求有所不同,通常分为以下两类。

1. 标准刀具

指专业工具厂按国标或部标生产的刀具。如可转位车刀、麻花钻、铰刀、铣刀、丝锥、板牙、插齿刀、齿轮滚刀等。这类刀具的讲课重点是结构、工作原理、选择使用方法。其中还介绍了可转位车、铣刀的结构,刀片槽型的选择,以及麻花钻的修磨与群钻,为改革通用刀具、推广先进刀具结构打下初步的基础。

2. 非标准刀具

指用户需专门设计制造的刀具。如成形车刀、成形铣刀、拉刀、蜗轮滚刀、组合刀具等。这类刀具主要讲解其设计原理与计算方法。通过课程设计进行练习,以达到初步掌握其设计计算与绘图方法。



四、本课程的学习方法及学习要求

学习本课程主要做到重视实践知识,善于抓住问题的本质,善于比较,要建立正确的空间概念。学习过程中,要求达到以下几点。

1. 具有正确图示和选择刀具合理几何参数的能力。
2. 基本掌握切削过程中的主要物理现象的变化规律和应用及控制方法,具有解决实际生产问题的能力。
3. 具有根据具体要求选择使用常用刀具,以及设计一般非标准刀具的能力。
4. 要求课上认真听讲,抓住重点,做好笔记,课下复习,辅导与自学相结合。



第一章 金属切削的基础知识

教学提示 用金属切削刀具切除工件上多余的(或预留的)金属,从而使工件的形状、尺寸精度及表面质量都合乎预定要求,这样的加工称为金属切削加工。切削加工能获得较高的精度和表面质量,对被加工材料、零件几何形状及生产批量具有广泛的适应性。机器中的绝大多数零件都是靠切削加工来获得。因此如何进行合理的切削加工,对于保证零件质量、提高劳动生产率和降低成本,有着重要的意义。

教学要求 本章以车削和车刀为代表来阐述刀具切削部分几何要素的基本定义和切削层参数的几何特性,这些基本概念也适合于其他切削加工和刀具。掌握并深刻理解这些内容,是学习金属切削原理、刀具设计与使用的重要基础。

§ 1-1 切削运动与切削用量

一、切削运动

用金属切削刀具切除工件上多余的(或预留的)金属,从而使工件的形状、尺寸精度及表面质量都合乎预定要求,这样的加工称为金属切削加工。在切削过程中,刀具和工件之间必须有相对运动,即切削运动。按其作用,切削运动可分为主运动和进给运动两种。这些运动是由金属切削机床完成的(如图 1-1 所示)。

1. 主运动

切削中由机床提供的使刀具与工件之间产生相对运动的主要运动,称为主运动。如车削时工件的旋转运动;刨削时刀具的往复运动。主运动可以由工件完成,也可以由刀具完成。一般来说,主运动的切削速度 v_c 最高,消耗的机床功率最大。

2. 进给运动

进给运动是由机床或人力提供的使刀具与工件间产生附加的相对运动,它配合主运动依次地或连续不断地切除切削,同时形成具有所需几何特性的已加工表面。进给运动可以是间歇运动,如刨削时工件的横向移动;也可以是连续的运动,如车削外圆时车刀平行于工件轴线的纵向运动 v_f 。进给运动只消耗很少的功率。

在各种类型的切削加工中,主运动只有一个,而进给运动可以有一个(如车削)、两个(如外圆磨削)或两个以上,还有的切削加工如拉削,只有主运动,没有进给运动。



3. 合成切削运动

由同时进行的主运动和进给运动合成的运动。切削刃选定点相对工件合成切削运动的瞬时速度称为合成切削速度。该速度方向与过渡表面相切,如图 1-1 所示。合成切削速度 v_c 等于主运动速度 v_c 和进给速度 v_f 的矢量和。

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

在很多连续进给的机床上加工时,由于 v_f 同 v_c 相比是很小的,常略去不计,而认为 $v_c = v_c$ 。

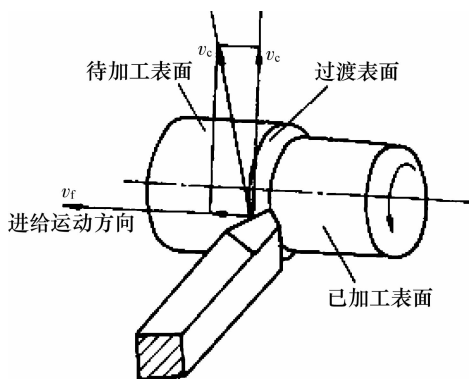


图 1-1 车削运动和工件上形成的表面

二、工件上形成的表面

在切削过程中,工件上多余的材料不断地被刀具切除而转变为切屑,因此工件上同时存在着三个不断变化着的表面(图 1-1):

1. 待加工表面:工件上有待切除的表面。
2. 已加工表面:工件上经刀具切削后形成的新表面。

3. 过渡表面:工件上由切削刃形成的那部分表面。当用单刃刀具切削时,它将在工件或刀具的下一转或者下一次切削行程中被切除(如车削、刨削),而用多刃刀具切削时,它将被随后的一个切削刃切除(如铣削)。

三、切削用量

切削用量是表示主运动及进给运动大小的参数。它包括切削速度、进给量和背吃刀量三要素。切削用量直接影响工件加工质量、刀具寿命、机床的动力消耗及生产率等,因此必须合理地选择切削用量。

1. 切削速度 v_c

切削速度指切削刃选定点相对于工件主运动的瞬时速度,如图 1-2 所示。它是衡量主运动大小的参数,单位为 m/min ,按下式计算

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000} \quad (1-2)$$



式中： d ——切削刃选定点处所对应的工件或刀具的直径(mm)；

n ——工件或刀具的转速(r/min)。

实际生产中，往往是已知工件直径，并根据工件材料、刀具材料和加工要求等因素选定切削速度，再将切削速度换算成车床主轴转速，以便调整机床。

2. 进给量 f

进给量是刀具在进给运动方向上相对于工件的位移量，如图 1-2 所示。可用刀具或工件每转(或每行程)的位移量来表示，单位为 mm/r 或 mm/行程。

进给速度 v_f 指切削刃选定点相对工件进给运动的瞬时速度，单位 mm/s。车削时进给运动速度

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

3. 背吃刀量 a_p

背吃刀量是垂直于进给速度方向测量的切削层最大尺寸，单位 mm。如图 1-2 所示。车外圆时背吃刀量一般指工件已加工表面和待加工表面间的垂直距离，可按下式计算：

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

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)。

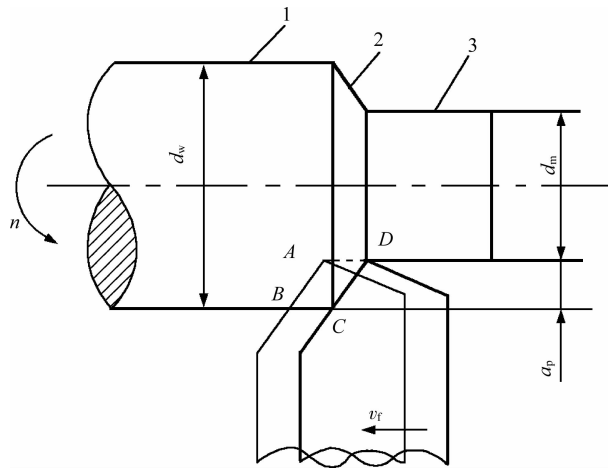


图 1-2 车削外圆时的切削用量

1—待加工表面；2—过渡表面；3—已加工表面

§ 1-2 刀具切削部分的几何参数

金属切削刀具的种类虽然很多，但它们的切削部分的几何形状与参数都有共性，即无论刀具结构如何复杂，它们的切削部分总是近似地以外圆车刀的切削部分为基本形态。以下



位置,需要用一定的几何角度表示。用来定义刀具角度的参考系有两大类:一类是静止参考系,是用于定义刀具在设计、制造、刃磨和测量时刀具几何参数的参考系,它由主运动方向确定。另一类是刀具工作参考系,用来规定刀具实际切削加工时几何角度的参考系,该参考系考虑了切削运动和实际安装情况对刀具几何参数的影响,它由合成切削运动确定。本节只讲述刀具静止参考系及其几何角度的定义。

在建立刀具静止参考系时,需先假定刀具是处于某种工作状态下,即规定刀具的假定主运动方向及进给运动方向,从而使定义出的坐标平面与刀具设计、制造、刃磨和测量时采用的基准面相同。

(1)假定主运动方向 假定刀具切削刃上选定点位于工件中心高处,此时切削刃上选定点的主运动方向即为假定主运动方向。车刀假定主运动方向垂直于车刀刀柄的安装面。

(2)假定进给运动方向 假定进给运动垂直(外圆车刀)或平行于(内孔车刀、切断刀等)刀柄轴线,此时切削刃选定点的进给运动方向称为假定进给运动方向。

刀具静止参考系里的角度满足以上两个假定条件,意味着:假定安装没有误差,刀尖与工件轴线等高;假定进给速度等于零,即进给量为零。

1. 正交平面参考系

正交平面参考系由以下三个坐标平面组成。

(1)基面 p_r 过切削刃选定点垂直于假定主运动方向的平面。车刀的基面平行于刀柄的安装面。

(2)主切削平面 p_s 过主切削刃选定点与主切削刃相切并垂直于基面 p_r 的平面,也就是主切削刃与切削速度方向构成的平面。对应于副切削刃的切削平面称为副切削平面 p'_s 。

(3)正交平面 p_o 过切削刃选定点同时垂直于基面和切削平面的平面。

p_r 、 p_s 、 p_o 构成了一个相互垂直的空间直角坐标系,称为正交平面参考系(图 1-5、图 1-6)。它是在刀具的设计、标注、刃磨和测量中应用最广的刀具参考系。以后书中的刀具角度多是在此参考系中标注的。

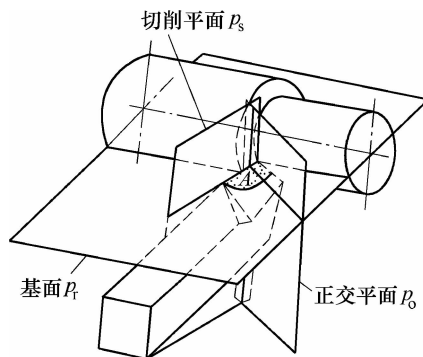


图 1-5 基面、切削平面和正交平面

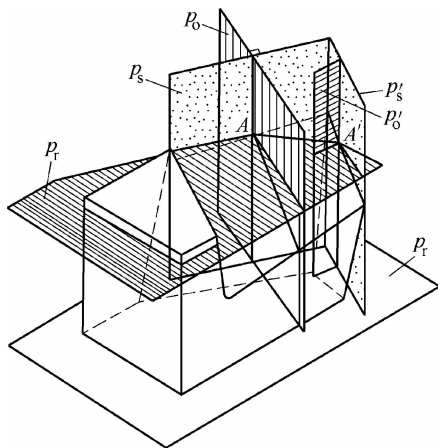


图 1-6 正交平面参考系主、副切削刃上的坐标平面

2. 法平面参考系

法平面参考系由基面 p_r 、切削平面 p_s 、法平面 p_n 三个平面组成,如图 1-7 所示。其中:法平面 p_n 为通过切削刃选定点并垂直于切削刃的平面。

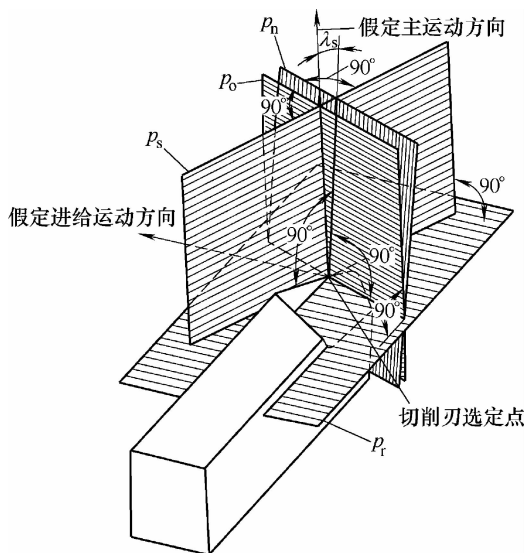


图 1-7 正交平面与法平面参考系

3. 假定工作平面参考系

假定工作平面参考系由基面 p_r 、假定工作平面 p_f 、背平面 p_p 三个平面组成。如图 1-8 所示。

(1) 假定工作平面 p_f 过切削刃选定点平行于假定进给运动方向并垂直于基面的平面。

(2) 背平面 p_p 过切削刃选定点垂直于假定工作平面并垂直于基面的平面。

参照 ISO3002/1—1997 标准,近年来我国主要采用正交平面参考系,兼用法平面参考系。这两种参考系内所标注的角度能更好地反映切削过程的物理意义。但是,在很多刀具

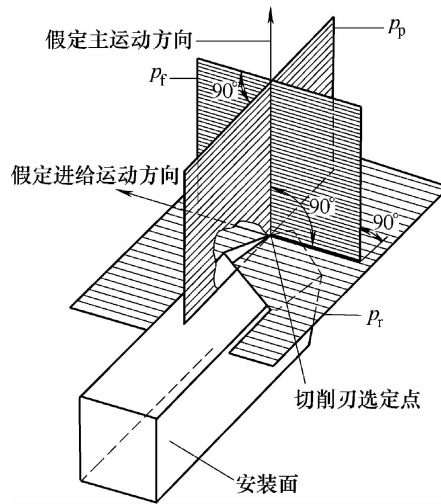


图 1-8 假定工作平面参考系的坐标平面

(如成行车刀、插齿刀)的设计中,需要确定假定工作平面或背平面中表明前后位置的角度。此时,就要使用假定工作平面参考系和背平面参考系。

三、刀具角度的基本定义

刀具在设计、制造、刀磨和测量时,用刀具静止参考系中的角度来标明切削刃和刀面在空间的位置,这样的角度称为刀具的静态角度或标注角度。

由于刀具的参考系在切削刃上各点是变化的,因此应指明选定点。未指明时,一般指切削刃基点或刀尖。

(一)刀具角度的基本定义

图 1-9 所示为车刀在正交平面参考系中的角度。刀具角度的名称和定义如下:

1. 正交平面参考系内的刀具角度

(1)在正交平面 p_o 内测量的角度

前角 γ_o 前面与基面之间的夹角。

后角 α_o 后面与切削平面的夹角。

楔角 β_o 前面与后面之间的夹角。楔角是一派生角度,当前角和后角确定后,楔角可由下式求得

$$\beta_o = 90^\circ - (\gamma_o + \alpha_o) \quad (1-5)$$

(2)在基面 p_r 内测量的角度

主偏角 κ_r 主切削平面与假定工作平面之间的夹角,即主切削刃在基面内的投影与进给运动方向的夹角。主偏角总是正值。

副偏角 κ'_r 副切削平面与假定工作平面之间的夹角,即副切削刃在基面内的投影与反向进给运动的夹角。

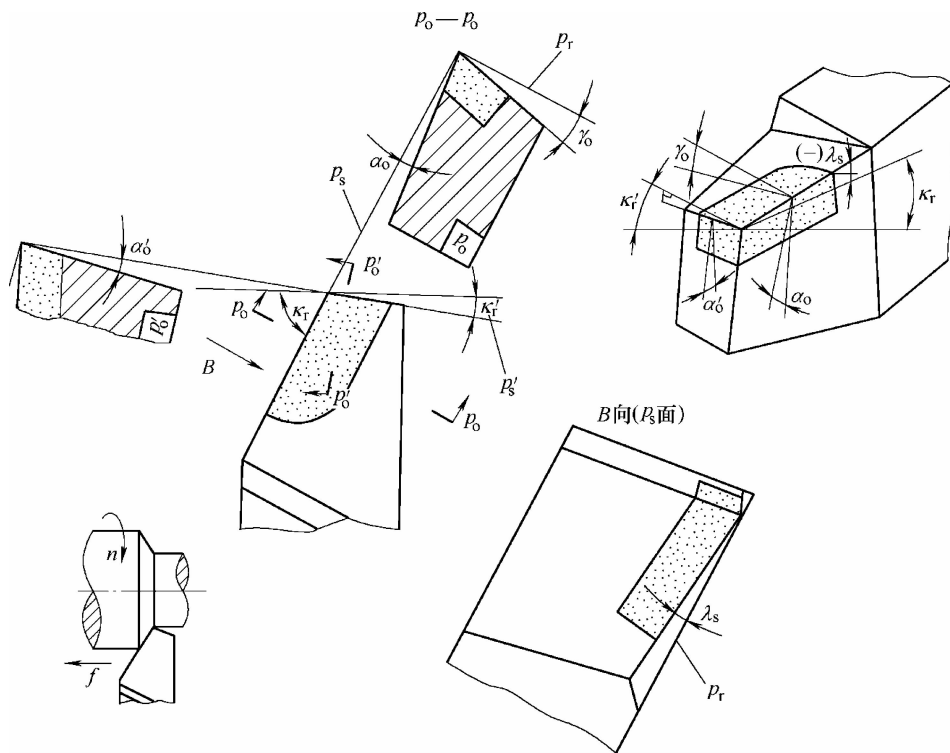


图 1-9 车刀在正交平面参考系中的角度

刀尖角 ϵ_r 主切削平面与副切削平面之间的夹角。刀尖角也是一派生角度。主偏角和副偏角确定后,刀尖角可由下式求得

$$\epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1-6)$$

(3) 在切削平面 p_s 内测量的角度

刃倾角 λ_s 主切削刃与基面之间的夹角。在 S 向视图中才能表示清楚。

上述角度中, γ_o 、 λ_s 两角确定前面的方位, α_o 、 κ_r 两角可确定后角的方位, κ_r 、 λ_s 可确定主切削刃的方位。同理,副切削刃及其相关的前、后面在空间的定向也需要 4 个角度,即:副前角 γ'_o 、副后角 α'_o 、副偏角 κ'_r 和副刃倾角 λ'_s ,它们的定义与主切削刃四角类似。

由于图 1-9 中车刀主、副切削刃共处一个平面,主切削刃的前面也是副切削刃的前面,当标注 α_o 、 λ_s 两角,前面的方位就确定了,因此 γ'_o 、 λ'_s 属于派生角度,不必标注。因此,在刀具工作图上只需要标注 λ_s 、 α_o 、 κ_r 、 λ'_s 、 κ'_r 、 α'_o 这六个基本角度,其余角度为派生角度。

2. 在法平面参考系内测量的角度

在法平面内测量的角度有法前角 γ_n 、法后角 α_n ,如图 1-10 所示。对于某些大刃倾角刀具,为表明其刀齿强度,常要求标注法平面参考系中的角度。当刃倾角 $\lambda_s = 0^\circ$ 时,法平面与正交平面重合。当刃倾角 $\lambda_s \neq 0^\circ$ 时,法平面与正交平面相交 λ_s 角。

3. 在假定工作平面参考系和背平面参考系中测量的角度

为了机械刃磨角度或分析讨论问题的需要,常常要利用在假定工作平面参考系和背平

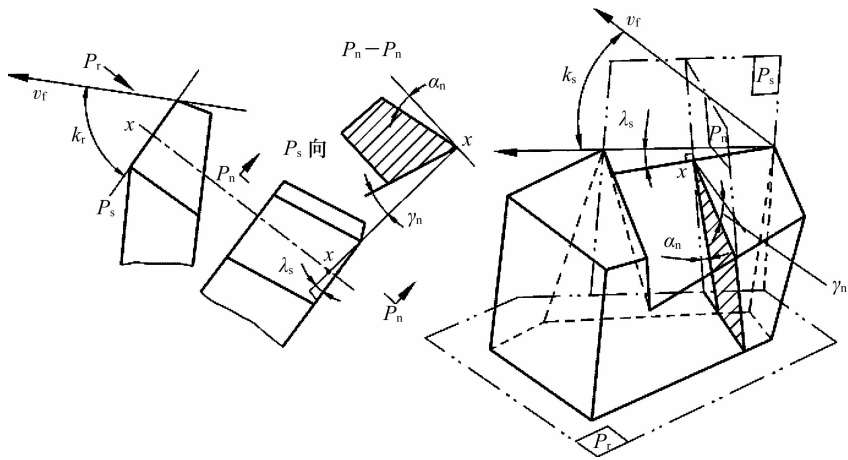


图 1-10 法平面参考系内的角度

面参考系中测量的角度。图 1-11 所示在假定工作平面参考系中测量的前角和后角分别称侧前角 γ_f 和侧后角 α_f ，在背平面参考系中测量的前角和后角分别称背前角 γ_p 和背后角 α_p 。

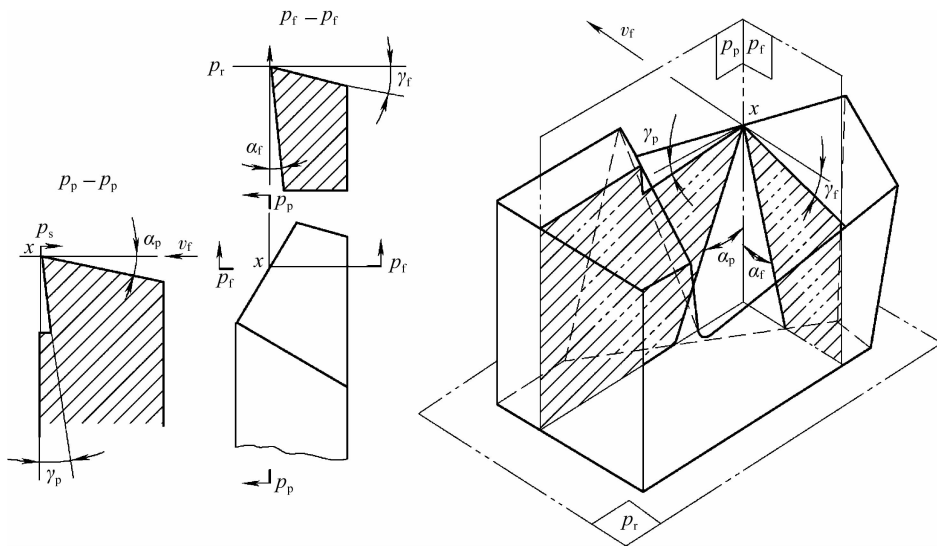


图 1-11 在假定工作平面参考系和背平面参考系中测量的角度

(二) 刀具角度正负的规定

如图 1-12(a)所示，在正交平面内，前面与切削平面间夹角小于 90° 时前角为正值，大于 90° 时前角为负值。当后刀面与基面夹角小于 90° 时后角为正值，大于 90° 时后角为负值。如图 1-12(b)所示，当刀尖相对车刀刀柄安装面处于最高点时，刃倾角为正值；刀尖处于最低点时，刃倾角为负值；当切削刃平行于刀柄安装面时，刃倾角为零度，这时，切削刃在基面内。

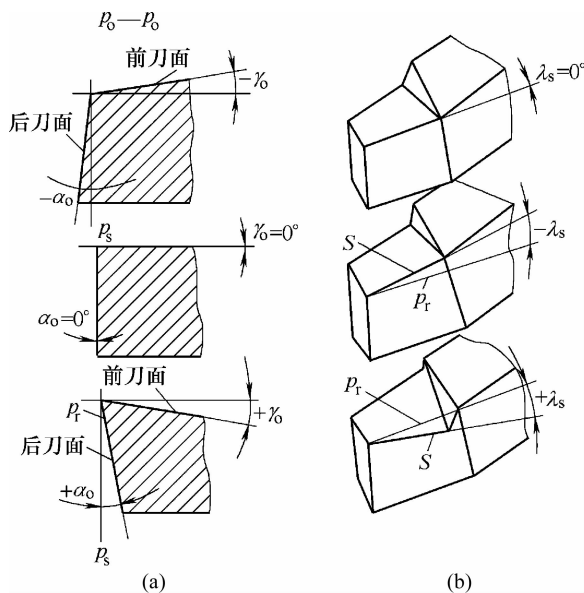


图 1-12 前角、后角、刃倾角正负规定

四、刀具工作图的画法

刀具工作图应完整准确地表示出刀具制造和刃磨所需的角度和参数。如果采用正规投影方法绘制刀具工作图,相当繁琐,通常均采用简单画法。

1. 取刀具在基面的投影为主视图,标出 κ_r 、 κ'_r ,图中反映出刀柄安装面宽度和刀尖位置。
2. 切削平面的投影为向视图,标出 λ_s ,图中反映刀柄宽度。
3. 作出主、副切削刃的正交平面,标出 γ_o 、 α_o 、 α'_o 。

绘图时,要求按国家制图标准,视图间符合投影关系;刀具角度按实际值绘制(必要时可用夸大画法),结构尺寸按比例绘制。图中只标注基本角度和参数,无须标注派生角度。

车刀设计图,多用正交平面参考系标注角度,因为它既能反映刀具切削性能,也便于刃磨检验。确定刀头标注角度的数值可用“一面二角分析法”。因为表示空间任意平面的方位只需要两个独立角度,即刀具上每一个刀面只需要用两个角度即能定向。

绘制车刀工作图时,首先应判断其使用时的进给运动方向,即判断哪是主切削刃,哪是副切削刃,然后就可确定向视图及正交平面图。图 1-13 所示的 90° 外圆车刀,由于主偏角等于 90° ,故其切削平面的投影就是车刀的侧视图。该车刀共有三个刀面,需要标注的独立角度为 $3 \times 2 = 6$ 个,即后刀面定向角 κ_r 、 α_o ,前刀面定向角为 γ_o 、 λ_s ,副后刀面定向角为 κ'_r 、 α'_o 。而切断刀则有 4 个刀面,所需标注的独立角度为 $4 \times 2 = 8$ 个,如图 1-14 所示。

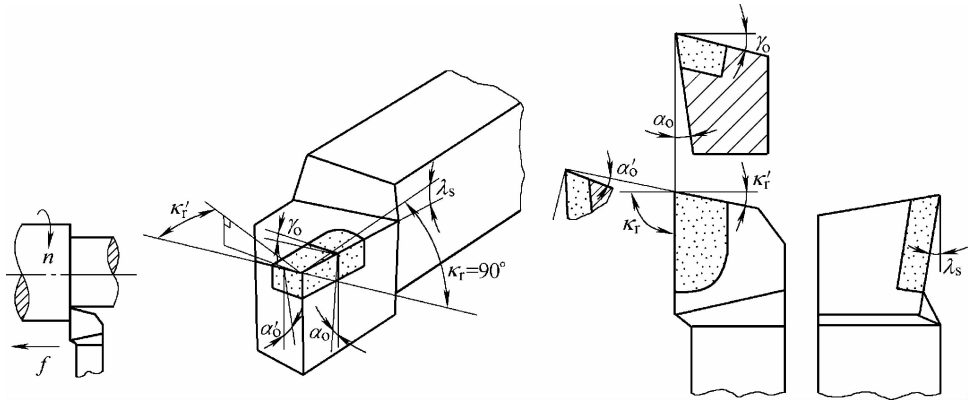


图 1-13 90°车刀的刀具角度图

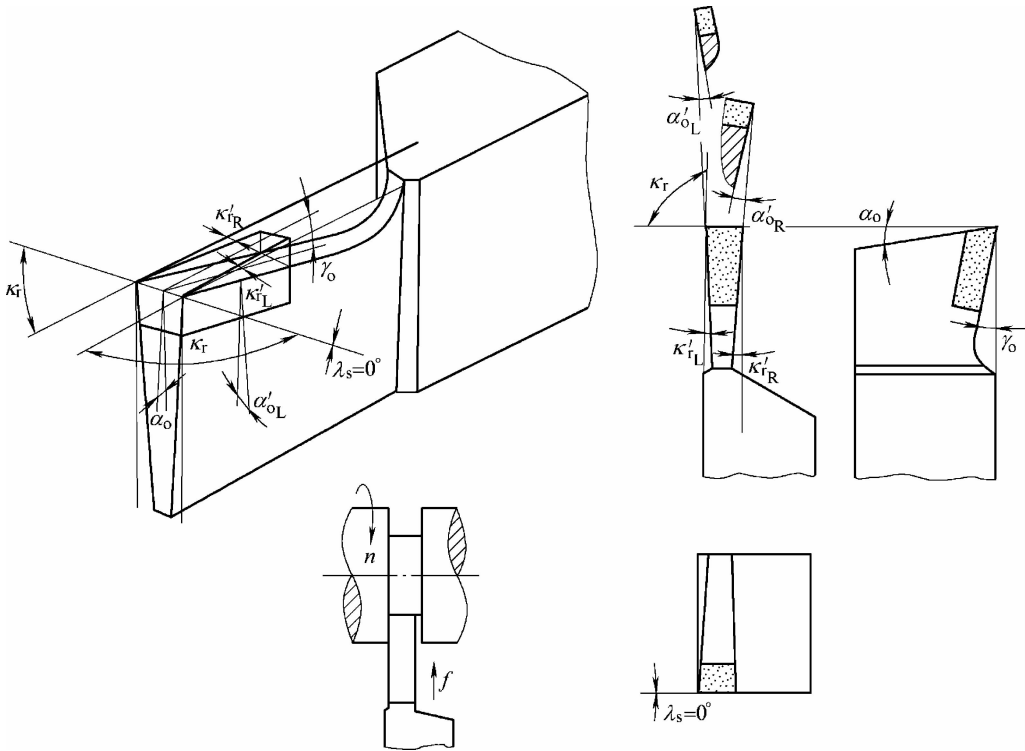


图 1-14 切断刀几何角度

五、刀具的工作角度

1. 工作参考系及工作角度

上述刀具角度是在忽略进给运动条件及刀具安装误差等因素影响情况下给出的。实际上,刀具在使用中,应考虑合成运动和实际安装情况。按照刀具工作的实际情况,所确定的刀具角度参考系称刀具工作角度参考系(如图 1-15 所示)。在刀具工作角度参考系中标注的刀具角度称刀具工作角度。

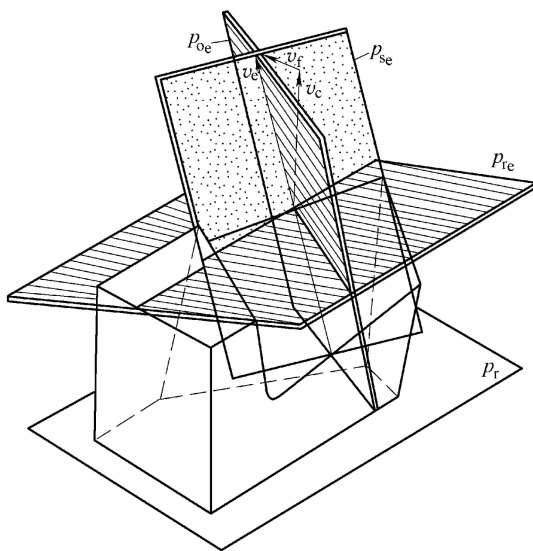


图 1-15 刀具工作参考系

通常进给运动在合成切削运动中起的作用很小,在一般安装条件下,可用标注角度代替工作角度。只有在进给运动和刀具安装对工作角度产生较大影响时,才需计算工作角度。

工作正交参考系下的参考平面为:

工作基面 p_{re} 过切削刃选定点与合成切削速度 v_e 垂直的平面。

工作切削平面 p_{se} 过切削刃选定点与切削刃相切并垂直于工作基面的平面。

工作正交平面 p_{oe} 过切削刃选定点并与工作基面和工作正交面都垂直的平面。

六、刀具工作角度的计算

1. 刀具安装位置对工作角度的影响

车刀安装高于工件中心时,如图 1-16 所示,刀尖的基面和切削平面方向由原来的 p_r 和 p_s 变为 p_{re} 和 p_{se} ,由图可知工作前角增大,工作后角减小。

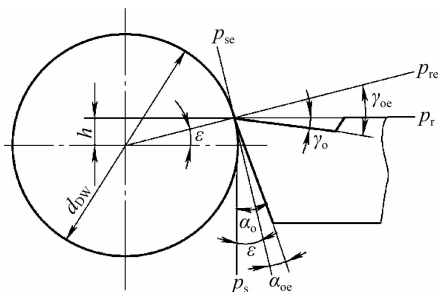


图 1-16 切断刀刀尖安装高于工件中心时对工作角度的影响

$$\begin{cases} \gamma_{oe} = \gamma_o + \theta \\ \alpha_{oe} = \alpha_o - \theta \end{cases} \quad (1-6)$$



其中 θ 为增大或减小的角度,

$$\sin\theta = \frac{2h}{d} \quad (1-7)$$

式中: h ——刀具安装高于工件中心值(mm);

d ——工件直径(mm)。

同理可知,当刀具装低时,刀具工作前角减少,工作后角增大。车削内表面时,情况与车削外表面相反。

在实际应用中,如果刀尖装高于工件中心时,实际工作后角可能会变成负值。负后角车刀是不能切削的,这也是切断工件时切断刀装高而崩刃的主要原因。如果刀尖低于工件中心,则将会产生振动,或产生“扎刀”现象。当然,在实际生产中,也有应用这一影响(车刀装高或装低)来改变车刀实际角度的情况。例如在车削细长轴类工件时,车刀刀尖应略高于工件中心 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$,这时刀具的工作后角稍有减小,而且当后刀面上有轻微磨损时,有一小段后角等于零的磨损面与工件接触,这样能防止振动。

2. 刀杆中心线与进给方向不垂直时对工件角度的影响

车刀刀杆与进给方向不垂直时,若逆时针方向偏转 θ 角,如图 1-17 所示。工作主偏角增大,工作副偏角减小。

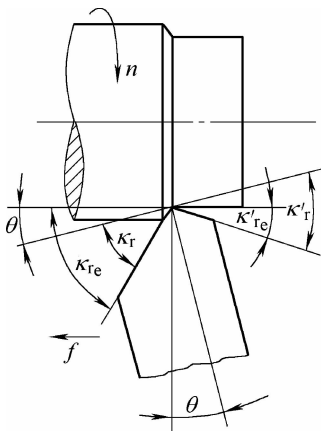


图 1-17 刀杆中心线与进给方向不垂直时工件对工作角度的影响

$$\begin{cases} \kappa_{re} = \kappa_r + \theta \\ \kappa'_{re} = \kappa'_r - \theta \end{cases} \quad (1-8)$$

其中, θ ——假定进给平面 p_f 与工作平面 p_e 之间的夹角,在基面 p_r 内测量。

车刀刀杆的装偏,改变了主偏角和副偏角的大小。对一般车削来说,少许装偏影响不是很大。但对切断加工来说,因切断刀安装不正,切断过程中就会产生轴向分力,使刀头偏向一侧,轻者会使切断面出现凹或凸形,重者会使切断刀折断,必须引起充分的重视。

3. 进给运动对刀具工作角度的影响

(1) 横向进给运动时 如图 1-18 所示,切断刀在不考虑进给运动时,车刀主切削刃选定



点相对于工件的运动轨迹为一圆周, γ_o 和 α_o 为标注前角和后角。当考虑横向进给运动以后, 主切削刃选定点相对于工件的运动轨迹为一阿基米德螺旋线, γ_{oe} 和 α_{oe} 为工作参考系内的工作角度, 此时工作角度和刀具标注角度之间的关系为:

$$\begin{cases} \gamma_{oe} = \gamma_o + \eta \\ \alpha_{oe} = \alpha_o - \eta \end{cases} \quad (1-9)$$

其中 η 为合成切削速度角, 是同一瞬间主运动方向与合成切削速度方向间的夹角, 在工作平面内测量:

$$\tan \eta = \frac{v_i}{v_c} = \frac{f}{\pi d} \quad (1-10)$$

式中: f ——每转进给量(mm/r);

d ——工件过渡表面直径(mm)。

当进给量 f 为一定值时, 当切削刃距离工件中心 1 mm 时, $\eta = 1^\circ 40'$, 再靠近中心, η 值急剧增大, 工作后角则减小为负值。所以切断工件时, 工件中心处实质上是被挤断的, 同时 η 值亦会随着进给量 f 的增大而增大。

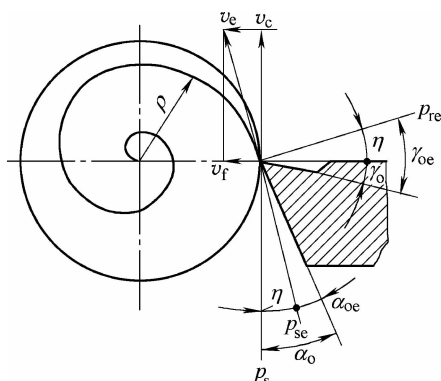


图 1-18 横向进给运动时工作角度的变化

(2)纵向进给运动时 如图 1-19 所示, 纵向进给车削外圆时, 同样是合成切削速度方向引起工作基面和工作切削平面发生变化, 最终加工表面为阿基米德螺旋线。在工作平面内工作角度变化为:

$$\begin{cases} \gamma_{fe} = \gamma_f + \eta \\ \alpha_{fe} = \alpha_f - \eta \end{cases} \quad (1-11)$$

其中 η 为合成切削速度角, 是同一瞬间主运动方向与合成切削速度方向间的夹角, 在工作平面内测量:

$$\tan \eta = \frac{f}{\pi d} \quad (1-12)$$

式中: f ——每转进给量(mm/r);

d ——切削刃选定点处工件待加工表面直径(mm)。

显然, 合成切削速度角 η 与进给量 f 和工件直径 d_w 有关。一般外圆车削时, $f \ll d$, η 值

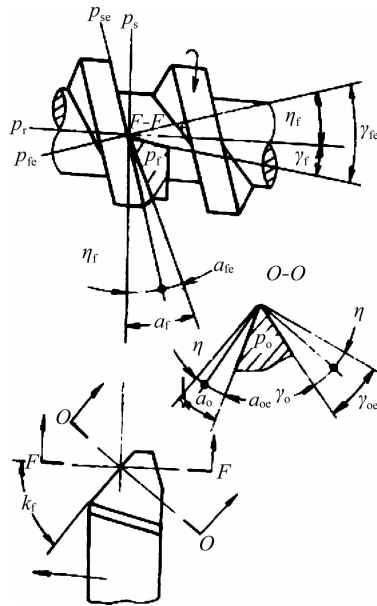


图 1-19 纵向进给运动时工作角度的变化

很小,不超过 $30' \sim 1^\circ$,可以忽略不计。但车削大螺距螺纹、丝杠等场合, f 值较大, η 值很大,可大到 15° 左右, η 值对工作角度和刀具切削性能影响很大,必须计算刀具的工作角度,从而给予适当的弥补。

§ 1-3 切削层的参数

切削层是切削时刀具切过工件的一个单程所切除的工件材料层。如图 1-20 中工件旋转一周,刀具从位置 I 移到 II,从而产生一圈从过渡表面所切下的工件材料层称为切削层。切削层的大小和形状直接决定了车刀切削部分所承受的负荷大小及切下切削的形状和尺寸。

为了简化计算,规定切削层是在刀具的基面中测量的。如图 1-20 所示,为车外圆和端面,主副切削刃为直线,当 $\lambda_s = 0, \kappa_r' = 0$ 时,切削层的公称横截面积 $ABCD$ 为一平行四边形,当 $\kappa_r = 90^\circ$ 时,切削层的公称横截面积 $ABCD$ 为一矩形。

反映切削层尺寸的参数有:

1. 切削层公称厚度 h_D

简称切削厚度,是相邻两过渡表面之间的垂直距离,如图 1-20 所示。它对切削层的变形、切削力、切削热、刀具磨损及已加工表面质量有很大的影响。

2. 切削层公称宽度 b_D

简称切削宽度,是沿主切削刃来度量的切削层尺寸,如图 1-20 所示。当 $\lambda_s = 0^\circ$ 时,切削

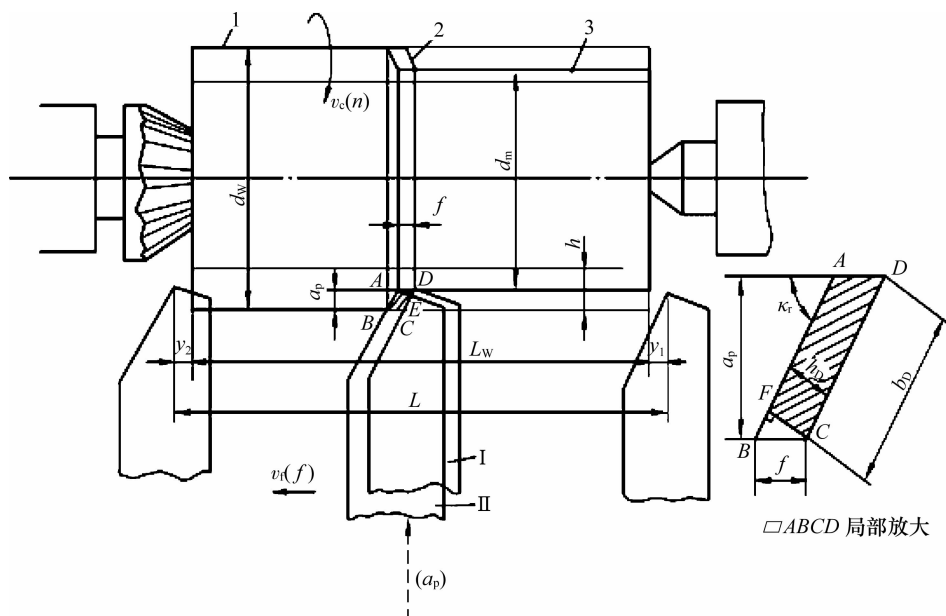


图 1-20 切削时的切削层尺寸

宽度即是主切削刀的工作长度,它对切削力、切削温度的影响最大。

3. 切削层公称横截面积 A_D

简称切削面积,是切削层在基面 p_r 内的横截面积。它等于切削厚度和切削宽度的乘积,如图 1-20 所示。必须指出,实际的切削层面积 $\square ADCF$ 比 A_D 要小,因为存在残留面积 $\triangle BFC$,它直接影响已加工表面的粗糙度。

切削厚度 h_D 、切削宽度 b_D 与进给量 f 、背吃刀量 a_p 的关系为:

$$h_D = f \cdot \sin \kappa_r \text{ (mm)} \quad (1-14)$$

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r \text{ (mm)} \quad (1-15)$$

$$A_D = h_D b_D = f \cdot a_p \text{ (mm}^2\text{)} \quad (1-16)$$

由上述三式可以看出,当 f 、 a_p 一定时,主偏角 κ_r 的变化不影响切削面积 A_D 的大小,但会引起切削层公称厚度 h_D 、公称宽度 b_D 的变化,即影响切削层的形状和尺寸。

随着主偏角的减小, h_D 减小, b_D 增大,切削层横截面变得宽而薄。反之,随着主偏角的增大,切削层横截面则变得厚而窄。

小 结

切削运动可分为主运动和进给运动两种。切削中由机床提供的使刀具与工件之间产生相对运动的主要运动称为主运动。进给运动是由机床或人力提供的使刀具与工件间产生附加的相对运动,它配合主运动依次地或连续不断地切除切削,同时形成具有所需几何特性的已加工表面。

工件上形成的表面有:1. 待加工表面:工件上有待切除的表面。2. 已加工表面:工件上



经刀具切削后形成的新表面。3. 过渡表面: 工件上由切削刃形成的那部分表面。

切削用量是表示主运动及进给运动大小的参数。它包括切削速度、进给量和背吃刀量三要素。

刀具切削部分由若干刀面和切削刃构成: 前刀面、后刀面、副后刀面、主切削刃、副切削刃和刀尖, 也就是常说的车刀的“三面两刃一尖”。

定义刀具角度的参考系有两类: 一类是静止参考系, 是用于定义刀具在设计、制造、刃磨和测量时刀具几何参数的参考系, 它由主运动方向确定。另一类是刀具工作参考系, 用来规定刀具实际切削加工时几何角度的参考系。

反映切削层尺寸的参数有:

1. 切削层公称厚度 h_D , 它对切削层的变形、切削力、切削热、刀具磨损及已加工表面质量有很大的影响。

2. 切削层公称宽度 b_D , 简称切削宽度, 是沿主切削刃来度量的切削层尺寸。它对切削力、切削温度的影响最大。

3. 切削层公称横截面积 A_D , 简称切削面积, 是切削层在基面 p_r 内的横截面积。它等于切削厚度和切削宽度的乘积。

切削用量对切削层尺寸的参数的影响:

当 f 、 a_p 一定时, 主偏角 κ_r 的变化不影响切削面积 A_D 的大小, 但会引起切削层公称厚度 h_D 、公称宽度 b_D 的变化, 即影响切削层的形状和尺寸。随着主偏角的减小, h_D 减小, b_D 增大, 切削层横截面变得宽而薄。反之, 随着主偏角的增大, 切削层横截面则变得厚而窄。

复习思考题

- 1-1 切削加工由哪些运动组成? 它们各有什么作用?
- 1-2 切削用量三要素是什么?
- 1-3 刀具正交平面参考系由哪些平面组成? 它们是如何定义的?
- 1-4 刀具的工作角度和标注角度有什么区别? 影响刀具工作角度的主要因素有哪些?
- 1-5 说明前角和后角的大小对切削过程的影响。
- 1-6 说明刃倾角的作用。
- 1-7 欲车削一直径为 80 mm 的圆钢型材, 一次加工为直径 60 mm, 选用 $f=0.5 \text{ mm}/r$, $n=240 \text{ r}/\text{min}$ 。试求切削用量三要素, 并求进给速度 v_f 。
- 1-8 刀具切削部分有哪些结构要素? 怎样定义?



第二章 刀具材料

教学提示 刀具切削性能的好坏,主要取决于刀具材料的切削性能的优劣和刀具切削部分的结构与几何参数的选择是否合理。通常所说的刀具材料是指刀具切削部分直接承担金属切除任务的材料,它的性能直接影响刀具的耐用度和生产率的高低、刀具消耗和成本的高低、加工精度和表面质量的优劣等,是保证刀具高效工作的基本条件。本章主要介绍刀具材料应具备的性能、常用刀具材料的种类以及常用刀具的牌号、特点、性能和应用。

教学要求 本章要求学生掌握刀具材料应具备的性能,掌握常用刀具的材料种类、牌号、性能及应用情况。通过本章的学习,应能根据具体的生产条件正确、合理地选用刀具材料。

§ 2-1 刀具材料应当具备的性能

一、刀具切削材料应具备的性能

刀具在切削过程中,和工件直接接触的切削部分要承受极大的切削力,尤其是切削刃及紧邻的前、后刀面,长期处在切削高温环境中工作。并且切削中的各种不均匀、不稳定因素,还将对刀具切削部分造成不同程度的冲击和振动。如:切削钢材时,切削对前刀面的挤压应力高达 2~3 GPa;高速切削钢材时切削与前刀面接触区的温度常保持在 800~900 °C,中心区甚至超过 1000 °C。为了适应如此繁重的切削负荷和恶劣的工作条件,刀具材料应具备以下几方面性能。

1. 足够的硬度和耐磨性

硬度是刀具材料应具备的基本性能。刀具硬度应高于工件材料的硬度,常温硬度一般须在 60HRC 以上。耐磨性是指材料抵抗磨损的能力,它与材料硬度、强度和组织结构有关。材料硬度越高,耐磨性越好;组织中碳化物和氮化物等硬质点的硬度越高、颗粒越小、数量越多且分布越均匀,则耐磨性越好。

2. 足够的强度与韧性

切削时刀具要承受较大的切削力、冲击和振动。为避免崩刀和折断,刀具材料应具有足够的强度和韧性。材料的强度和韧性通常用抗弯强度和冲击值表示。

3. 较高的耐热性和传热性

耐热性是指刀具材料在高温下保持足够的硬度、耐磨性、强度和韧性、抗氧化黏结性和



抗扩散性的能力(亦称为热稳定性)。通常把材料在高温下仍保持高硬度的能力称为热硬性(亦称为高温硬度、红硬性),它是刀具材料保持切削性能的必备条件。刀具材料的高温硬度越高,耐热性越好,允许的切削速度越高。刀具材料的传热系数大,有利于将切削区的热量传出,降低切削温度。

4. 较好的工艺性和经济性

为了便于刀具加工制造,刀具材料要有良好的工艺性能,如热轧、锻造、焊接、热处理和机械加工等性能。刀具材料的选用应立足于本国资源,注意经济效果,力求价格低廉。应当指出,上述几项性能之间可能相互矛盾(如硬度高的刀具材料,其强度和韧性较低)。没有一种刀具材料能具备所有性能的最佳指标,而是各有所长。所以在选择刀具材料时应合理选用。

刀具材料种类很多,但目前还没有找到一种能完全满足上述性能要求的刀具材料。硬度、耐热性高的材料,其强度、冲击韧度往往较差,反之亦然。所以一种好的刀具材料应根据它的工艺需要保证主要需求的性能。

各种刀具材料的主要物理力学性能见表 2-1。

表 2-1 各种刀具材料的主要物理力学性能

材料种类		密度 ρ g/cm ³	硬度 HRC (HRA)	抗弯强度 GPa	冲击韧度 (MJ/cm ²)	导热系数 KW/(m·K)	耐热性/℃	切削速度 大致比值
工 具 钢	碳素工具钢	7.6~7.8	60~65	2.16	—	~41.87	200~250	0.32~0.4
	合金工具钢	7.7~7.9	60~65	2.35	—	~41.87	300~400	0.48~0.6
	高速钢	8.0~8.8	63~70	1.96~4.41	—	16.75~25.1	600~700	1~1.2
硬 质 合 金	钨钴类	14.3~15.3	89~91.5	1.08~2.16	0.098~0.588	75.4~87.9	800	3.2~4.8
	钨钛钴类	9.35~13.2	89~92.5	0.882~1.37	0.019~0.059	20.9~62.8	900	4~4.8
	含有碳化 钽、铌类	—	~92	~1.47	0.0029~ 0.0068	—	1000~1100	6~10
	碳化钛基类	5.56~6.3	92~93.3	0.78~1.08	—	—	1100	6~10
陶 瓷	氧化铝陶瓷	3.6~4.7	91~95	0.44~0.686	—	4.19~20.93	1200	8~12
	氧化铝碳化 物混合陶瓷			0.71~0.88	0.0049		1100	6~10
	氮化硅陶瓷	3.26	5000	0.735~0.53	—	37.68	1300	—
超 硬 材 料	立方氮化硼	3.44~3.49	8000~9000	~0.294	—	75.55	1400~1500	—
	人造金刚石	3.47~3.56	1000	0.21~0.48	—	146.54	700~800	~25

二、常用刀具材料的种类

当前常用刀具材料可分为工具钢(包括碳素工具钢、合金工具钢和高速钢)、硬质合金、陶瓷、超硬材料四大类。

碳素工具钢是含碳量在 0.70%~1.35%的优质高碳钢,常用牌号有 T8A、T10A、T12A



等。淬火后硬度为 60~64HRC,与一般高速钢相近,但其耐热性很差,当切削温度超过 200~250℃时,硬度将急剧下降,失去切削能力。因此碳素工具钢只能在 8~10 m/min 的切削速度下工作。同时碳素工具钢的淬透性差,淬火时在水中急剧冷却,容易产生淬火变形和开裂。碳素工具钢的优点是价格低廉,切削刃可磨得很锋利,一般用来做切削速度低、尺寸较小的手动工具,如丝锥、锉刀及手锯条等。

合金工具钢是在碳素工具钢中加入一定量的合金元素,如钨、铬、钼、钒、锰、硅等组成的工具钢。常用的合金工具钢有 9SiCr、CrWMn 等。这些钢淬火后的硬度达 60~65 HRC,与碳素工具钢差别不大,但耐热性稍高,约 300~400℃,因此切削速度可比碳素工具钢高 20%左右。主要用于制造丝锥、板牙、铰刀等要求热处理变形小的低速刀具。

目前机加工中应用最多的是高速钢和硬质合金。随着难加工材料应用的增加,陶瓷刀具、金刚石等超硬材料的使用量日益增长,它们的显微硬度很高,具有优良的抗磨损性能,刀具寿命长,能保证高的加工精度,应予以足够的重视。

§ 2-2 高速钢(HSS)

高速钢是含有较多的钨(W)、钼(Mo)、铬(Cr)、钒(V)的高合金工具钢。它具有较高的耐热性,切削温度在 500~600℃时仍能保持高硬度,从而允许的切削速度比碳素工具钢和合金工具钢提高 1~3 倍,铬提高了高速钢的淬透性,使小型刀具在空气中冷却就能淬硬,且刃磨时能获得锋利的刃口,故高速钢又有“风钢”、“锋钢”之称。因其刃口颜色呈白色,又称“白钢”。

高速钢是综合性能好、应用广泛的一种刀具材料。它可以承受较大的切削力和冲击,其强度和韧性是现有刀具材料中最高的(其抗弯强度是硬质合金的 2~3 倍,韧性是硬质合金的 9~10 倍),具有一定的硬度和耐磨性,同时高速钢还具有良好的工艺性,特别适合于制造各种复杂及大型成形刀具,如成形车刀、各种铣刀、钻头、拉刀、齿轮刀具和螺纹刀具等,可以加工从有色金属到高温合金的各种材料。

高速钢按性能可分为普通高速钢和特殊用途的高性能高速钢,按制造工艺可分为熔炼高速钢和粉末冶金高速钢。

一、普通高速钢

普通高速钢的最大特点是制造工艺性能好,广泛用于制造各种形状复杂的刀具。能加工硬度在 250~280 HBS 以下大部分的结构钢和铸铁,价格便宜,应用广泛。按化学成分不同,普通高速钢又可分为钨系高速钢和钨钼系高速钢。

1. 钨系高速钢

这种钢的典型代表是 W18Cr4V(简称 W18),它含 W 18%、Cr 4%、V 1%,具有较好的



综合性能(见表 2-1),可制造各种复杂的刀具,是我国最常用的一种高速钢。W 18 钢的缺点是碳化物分布不均匀,不宜作大截面的刀具。此外,W 18 钢热塑性较差,不适宜作热轧刀具。由于上述缺点和国际市场上钨价格的提高,W 18 钢逐渐被新钢种代替。

2. 钨钼系高速钢

W6Mo5Cr4V2(简称 M2)是我国常用的典型钨钼系高速钢种。它以 Mo 取代一部分 W,其碳化物细小,分布均匀,抗弯强度比 W18Cr4V 高 28%~34%,抗冲击韧性要高 70%,热塑性也非常好,主要用于轧制或扭制麻花钻。M2 钢的缺点是热处理容易脱碳,较易氧化,淬火温度范围较窄。W9Mo3Cr4V(简称 W9)是我国自行研制的新钢种。其硬度、强度、热塑性略高于 W6Mo5Cr4V2,此钢种易轧易锻,具有良好的切削性能。

表 2-1 常用高速钢的种类、牌号、主要性能和用途

种类	牌号	常温硬度 HRC	高温硬度 HRC	抗弯强度 GPa (kgf/mm ²)	冲击韧度 MJ/m ⁻² (kgf·m/mm ²)	其他特性	主要用途
通用性高速钢	钨系高速钢 W18Cr4V	63~66	48.5	2.94~3.33 (300~340)	0.170~0.310 (1.8~3.2)	可磨性好	复杂刀具,精加工刀具
	钨钼系高速钢 W6Mo5 Cr4V2	63~66	47~48	3.43~3.92 (350~400)	0.398~0.446 (4.1~4.6)	高温塑性特好,热处理较难,可磨性稍差	代替钨系用,热轧刀具
高性能高速钢	钴高速钢 W2Mo9Cr4VCo8	67~70	55	2.64~3.72 (270~380)	0.223~0.291 (2.3~3.0)	综合性能好,可磨性也好,但价特高	切削难加工材料的刀具
	铝高速钢 W6Mo5Cr4V2Al	67~69	54~55	2.84~3.82 (290~390)	0.223~0.291 (2.3~3.0)	性能与 W2Mo9Cr4VCo8 相当,价格低得多,可磨性略差	切削难加工材料的刀具

二、高性能高速钢

高性能高速钢是指在普通高速钢中加一些钴、钒、铝等合金元素及增加一些含碳量,进一步提高耐磨性和耐热性的新型高速钢。一般加热到 630~650 °C 仍可保持 60 HRC 的硬度,因此切削性能优于普通高速钢,寿命是普通高速钢的 1.5~3 倍。适合于高强度钢、高温合金、钛合金、不锈钢等难加工材料的切削加工。我国最常用的高性能高速钢有钴高速钢和铝高速钢,典型牌号有 W2Mo9Cr4V2Co8、W6Mo5Cr4V2Al 等。

1. W2Mo9Cr4V2Co8(简称 M42)属于钴高速钢。它具有良好的综合性能,硬度高达 67~69 HRC,600 °C 时达 55 HRC,因此能适用于较高的切削速度。但这种钢由于钴含量较高(我国钴主要靠进口),价格昂贵。

2. W6Mo5Cr4V2Al(简称 501)为我国独创的含铝无钴的超硬高速钢,其高温硬度、抗弯强度和冲击韧性均与 M42 相当,具有优良的切削性能。因不含钴,加工成本低,适合我国



国情,已在我国推广使用。但 501 钢热敏感性较强,因此其热处理工艺要求较高。

三、粉末冶金高速钢

碳化物偏析是影响熔炼高速钢制造质量的主要原因。采用粉末冶金法可解决此问题,提高刀具质量。

粉末冶金高速钢用高压惰性气体(如氩气或纯氮气)将熔融的钢液雾化成粉末,经过高温高压烧结制成钢坯或刀坯后,再经轧制(或锻造)成材。粉末冶金高速钢克服了熔炼高速钢产生的碳化物偏析现象,得到细小均匀的结晶组织,可以提高钢的硬度、强度,减小热处理变形并改善了磨削加工性。粉末冶金高速钢适合制造精密复杂的刀具和断续切削的刀具。目前此类高速钢成本较高,应用尚少。但今后可能成为制造断续切削刀具的主要材料。

四、涂层高速钢

涂层刀具材料是在刀具材料(如高速钢或硬质合金)的基体上,涂覆一层几微米厚的高硬度、高耐磨性的金属化合物而构成的。这种刀具材料既有基体的强度韧性,又使表面有更高的硬度和耐磨性,性能优异。自上世纪 60 年代出现以来发展迅速,应用广泛。

涂层高速钢是用物理气相沉积法(PVD)在高速钢刀具基体上涂覆一薄层 TiN 而成的刀具材料。由于基体是强度、韧性较好的高速钢,表层是硬度和耐磨性很高的 TiN 涂层,同时 TiN 涂层有较高的热稳定性,与钢的摩擦系数较低,且与高速钢结合牢固,所以涂层高速钢刀具寿命比不涂层高速钢的刀具寿命提高 2~10 倍。目前涂层高速钢已在钻头、齿轮刀具、拉刀、丝锥等结构复杂刀具上广泛应用。除 TiN 涂层外,近来还开发了 TiCN、TiAlN 等涂层。这些涂层高速钢显著提高了刀具的切削性能,在切削不锈钢、铸铁时性能更好。

§ 2-3 硬质合金

硬质合金是以高硬度高熔点的金属碳化物(WC、TiC、NbC、TaC 等)粉末为基体,用钴或镍为黏结剂,用粉末冶金的方法制得。

一、硬质合金的性能

1. 硬度高、耐磨性好

硬质合金中含有大量碳化物,其熔点高,硬度高,因此硬质合金的硬度也很高,达到 74~82 HRC(高速钢为 63~69 HRC)。

2. 耐热性高

硬质合金的耐热性可达 800~1000 °C,切削温度在 1000 °C 时硬度仍无明显降低。因此硬质合金的切削性能超过高速钢,刀具寿命可提高几倍到几十倍。在相同刀具寿命下,硬质



合金的切削速度高于高速钢 4~10 倍。

3. 抗弯强度和冲击韧性较差

硬质合金抗弯强度只相当于 W18Cr4V 的 1/4~1/2, 冲击韧性约为 W18Cr4V 的 1/30~1/4, 因此不能承受很大的冲击载荷。但这一缺陷可通过刃磨合理的刀具角度来弥补。

硬质合金已成为生产中的主要刀具材料之一, 通常把它制成不同形状的刀片, 再通过焊接或紧固件镶嵌在刀体上。目前, 绝大多数车刀、面铣刀和部分立铣刀、深孔钻、浅孔钻、铰刀等均已采用硬质合金制造。由于硬质合金的工艺性较差, 它用于复杂刀具尚受到很大限制。现在国内外都已研制出各种新型硬质合金, 其性能不断得到改善。常用硬质合金见表 2-2 所示。

表 2-2 各种硬质合金的成分、性能与应用范围

类型	牌号	成分×100				物理力学性能			使用性能			相当于 ISO 牌号	
		ω _{WC}	ω _{TiC}	ω _{TaC}	ω _{Co}	热导率	硬度 HRA (HRC)	抗弯强度/GPa	加工材料类别	耐磨性	韧性		
钨钴类	YG3	97	—	—	3	87.92	91	1.08	铸铁、有色金属、非金属材料	↑	↓	K类	K01
	YG6X	93.5	—	0.5	6	75.55	91	1.37					K01
	YG6	94	—	—	6	75.55	89.5	1.42					K10
	YG8	92	—	—	8	75.36	89	1.47					K20
	YG8C	92	—	—	8	75.36	88	1.72					K30
钨钛钴类	YT30	66	30	—	4	20.93	92.5	0.88	钢(碳素钢、合金钢)	↓	↑	P类	P01
	YT15	79	15	—	6	33.49	91	1.13					P10
	YT14	78	14	—	8	33.49	90.5	1.17					P20
	YT5	85	5	—	10	62.80	89	1.37					P30
添加钨(钨)类	YG6A	91	—	5	6	—	91.5	1.37	铸铁、有色金属、非金属材料、钢及南加工材料	—	—	M类	K10
	YG8A	91	—	1	8	—	89.5	1.47					K10
	YW1	84	6	4	6	—	91.5	1.18					M10
	YW2	82	6	4	8	—	90.5	1.32					M20
碳化钛基类	YN05	—	79	—	—	—	93.3	0.78~0.93	钢(碳素钢、合金钢)	—	—	P类	P01
	YN10	15	62	1	—	—	92	1.08					P01

二、常用硬质合金的种类与牌号

1. WC 基硬质合金

WC 基硬质合金以碳化钨(WC)为基体, 常见种类如下:

(1) 钨钴类硬质合金

此类硬质合金由 WC 和 Co 组成, 代号为 YG, 相当于 ISO 的 K 类。我国常用牌号有 YG3, YG3x, YG6, YG6x, YG8, YG8c 等。牌号 Y 表示硬质合金, G 表示钴, 后面的数字表示含钴的百分数; x 表示细晶粒, c 表示粗晶粒, 无字母表示中晶粒。



YG类硬质合金随含钴量的增加,其硬度降低,抗弯强度增加,承受冲击的能力增强,适合粗加工。反之,含钴量减少,硬度耐磨性增加,但强度韧性低,适合精加工。因此YG8有较高的抗弯强度,能承受较大的冲击载荷,适用于粗加工,而YG3则适用于精加工。

钨钴类硬质合金硬度约为89~91 HRA,耐热温度为800~900℃,与钨钛钴类比较,硬度与耐热性较低,但钨钴类硬质合金有以下两个优点。

1)抗弯强度、冲击韧性较高:主要用来加工脆性材料,如铸铁、青铜等,因为切削这些材料时,将得到崩碎切削,对切削刃冲击较大,如果刀具材料强度不够,则易引起崩刃。

2)导热性较好。因此用钨钴类硬质合金加工不锈钢、耐热合金、钛合金等导热性差的材料能达到良好效果。

(2) 钨钛钴类硬质合金

这类硬质合金由WC、TiC和Co组成,代号是YT,相当于ISO的PL类。我国常用牌号有YT5、YT14、YT15和YT30。牌号后面的数字表示含TiC的百分数。

YT类硬质合金加入TiC的作用是提高了合金的硬度、耐热性、抗黏结、抗氧化能力。随TiC含量的增加,Co含量的降低,材料硬度和耐磨性提高,抗弯强度和韧性降低。因而YT30的硬度及耐磨性很高,但韧性很差,用于精加工,而YT5则相反,适合粗加工。

与YG类硬质合金相比,YT类合金的硬度、耐热、耐磨性较高,但强度及韧性有所下降,适于切削钢和其他韧性较大的塑性材料。因其导热性差,故不宜切削含Ti的不锈钢。

(3) 钨钛钽(铌)钴类硬质合金

这类硬质合金由WC、TiC、TaC(NbC)和Co组成,相当于ISO的M类。它是在前两类硬质合金中添加了少量高熔点的碳化钽(TaC)和碳化铌(NbC)。分为下述两类。

(1)YG类硬质合金中加入少量的TaC(NbC),能阻止WC晶粒长大,起到细化晶粒的作用,显著提高了硬质合金的高温硬度、耐磨性和耐热性。此类硬质合金既可用于半精加工冷硬铸铁、有色金属及其合金,也可用于高锰钢、淬火钢及耐热合金钢的半精加工和精加工。国产这类硬质合金牌号很多,有YA6、YG8V等。

(2)YT类硬质合金中加入少量的TaC(NbC),可使高温硬度提高约50~100 HV,并提高了抗弯强度和冲击韧性。可以加工铸铁、有色金属,还可加工碳素钢、合金钢等,又称通用合金或万能合金。常用牌号为YW1、YW2。

钨钛钽(铌)钴类硬质合金性能较前两类好,且晶粒细密,但由于价格昂贵,主要用于加工难切材料。

2. TiC基硬质合金

这类硬质合金以TiC为主要成分,用Ni和Mo作黏结剂,代号为YN,相当于ISO中的P类,常用牌号有YN05、YN10等。由于TiC的硬度高,达90~95 HRA,因此这类硬质合金的硬度高于WC基,具有很高的耐磨性。在1000~1300℃高温下仍能进行切削,所以有较好的耐热性与抗氧化能力。另外,该合金的化学稳定性好,与工件亲和力小,摩擦系数小,抗黏结能力较强,不宜产生积屑瘤。但冲击韧性较差,目前主要用于钢料连续表面的精加工



和半精加工。

三、新型硬质合金

1. 细晶粒、超细晶粒硬质合金

晶粒细化可提高硬质合金的硬度,但抗弯强度会有所降低。如果在细化碳化物晶粒的同时,增加黏结剂的含量,使黏结层保持一定厚度,这种合金由于硬质相和黏结相高度分散,既可增加硬质合金的硬度和耐磨性,又可提高抗弯强度。如 YG10H 类(含钴量增至 9%~15%)就属于这种硬质合金。

前面所述普通 YG 类硬质合金中,WC 的粒度为几微米,如果使 WC 的平均粒度降至 $1.5\ \mu\text{m}$ 左右就称为细晶粒硬质合金(如 YG3X、YG6X)。近年来出现的超细晶粒硬质合金,其 WC 粒度绝大部分在 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下。

细晶粒和超细晶粒硬质合金与普通晶粒硬质合金相比,主要有以下特点。

(1)提高了硬质合金的硬度和耐磨性,减小与工件材料的化学亲和力。试验指出,当 WC 晶粒平均尺寸由 $5\ \mu\text{m}$ 减小到 $1\ \mu\text{m}$ 时,可使硬质合金耐磨性提高 10 倍。因此,它适合加工高硬度的难加工材料。

(2)提高了抗弯强度和冲击韧度。部分超细晶粒硬质合金的强度已接近高速钢,所以也适合于断续切削和一般硬质合金不适应的低速切削($v_c < 0.03 \sim 1.9\ \text{m/s}$)

(3)此类硬质合金晶粒细小,可以磨出极锐利的切削刃和刀尖圆弧半径,适用于小进给量和小背吃刀量的精细加工。

2. 钢结硬质合金(YE 类)

YE 类硬质合金又称高速钢基硬质合金,它的硬质相是 WC、TiC,黏结剂是高速钢(占 60%~70%),用粉末冶金法制成。其性能介于硬质合金和高速钢之间。它的一个重要特点是可切削加工、锻造、焊接与热处理,因此可用于制造拉刀、钻头、铣刀等结构复杂的刀具。它填补了硬质合金和高速钢之间在性能方面的一段空白。此类硬质合金导热性差,容易过热,切削时要求充分冷却,不宜用于高速切削。

3. 涂层硬质合金

涂层硬质合金一般采用化学气相沉积法(CVD),在韧性较好的硬质合金刀片表面涂覆一薄层($5 \sim 12\ \mu\text{m}$)硬度和耐磨性很好的材料,这不但对解决硬质合金的耐磨性与韧性之间的矛盾起到一定的作用,而且同样切削条件下可以明显提高刀具的寿命及降低切削力,提高工件的加工表面质量。

涂层材料一般为晶粒极细的碳化物、氮化物、氧化物等。常用的涂层材料有 TiC、TiN 和 Al_2O_3 等。其中 TiC 涂层的硬度最高,耐磨性好,抗机械磨损的性能很强,但这种涂层刀片的韧性与抗弯强度较低。适用于连续切削及会使刀具产生剧烈磨损的场合,涂层厚度一般为 $5 \sim 7\ \mu\text{m}$; TiN 与金属的亲和力小,摩擦系数小,抗月牙洼磨损的能力优于 TiC 涂层,适合加工钢材或其他切削易于黏结在前刀面上的工件材料; Al_2O_3 在高温下具有极好的耐热



性,因此在用硬质合金高速切削时,采用 Al_2O_3 涂层比采用 TiC 与 TiN 好。

为了综合各种涂层材料的优点,可采用双涂层或多涂层,如 TiC-TiN、TiC- Al_2O_3 、TiC- Al_2O_3 -TiN 等涂层。

涂层硬质合金刀具虽有很多优点,可适用于各种钢料、铸铁的精加工和半精加工,但涂层刀片也有一定的局限性。首先,涂层刀片仅适用于可转位刀具;其次,涂层刀片不适宜加工高温合金、钛合金、有色金属及非金属材料,因含钛的涂层材料亲和力极强,易与铜、铝等有色金属起反应;再者,涂层刀片切削刃锋利性、韧性、抗崩刃性能均不及未涂层的刀具,故对于小进给量的精加工、有氧化外皮及夹砂材料的粗加工、强力切削等,尚不宜使用涂层硬质合金。

据有关资料介绍,目前世界上涂层刀片约占刀片总销售量的 30%~50%,随着涂层技术的发展和工艺的改进,涂层硬质合金的应用范围会进一步扩大。

§ 2-4 其他刀具材料

近年来,一方面由于高硬度难加工材料的不断增多,迫切需要解决刀具寿命的问题以提高生产率;另一方面由于钨资源的日渐缺乏,而硬质合金刀具材料中大量需要钨,国际市场钨矿石的价格不断上涨,在一定程度上促进了陶瓷和其他刀具的发展。

一、陶瓷

以氧化铝(Al_2O_3)或氮化硅(Si_3N_4)为基体,再添加少量金属,在高温下烧结而成的一种刀具材料。主要特点是:

- (1)有很高的硬度和耐磨性,常温硬度达 91~95 HRA。
- (2)很高的耐热性,在 1200~1400 °C 条件下仍具有切削能力。
- (3)化学惰性大,与被加工材料的亲和力小。抗黏结磨损与抗扩散磨损的能力很强。
- (4)抗弯强度和冲击韧性差,对冲击十分敏感。

(5)热导率低,抗热冲击性能较差。故陶瓷刀具切削时不宜有较大的温度波动,一般不加切削液。

按组成成分不同, Al_2O_3 陶瓷刀具材料可分为以下两类。

1. 高纯氧化物陶瓷

主要是以纯度很高的氧化铝(Al_2O_3)加微量的添加剂,经过冷压烧结而成。这种材料的硬度高,可达 92~94 HRA,但抗弯强度低,为 45~55 MPa,焊接与刃磨比较困难,未能得到广泛应用。

2. 复合陶瓷

复合陶瓷是在氧化铝(Al_2O_3)基体中,加入 TiC、WC 等高温碳化物和金属添加剂(如



镍、铬、钨、钼、钛、钴及铁等)制成的。加入高温碳化物和金属添加剂可以达到提高抗弯强度的目的,其抗弯强度可达 60~90 MPa。

除了上述 Al_2O_3 陶瓷材料外,近年来还发展了氮化硅基陶瓷(Si_3N_4),这类陶瓷材料的硬度与氧化铝复合陶瓷相近,约为 92 HRA,而抗弯强度显著提高,达 100 MPa 以上,同时有较高的韧性和抗热振性。其最大特点是能进行高速切削,切削速度可达 500~600 m/min。不仅能胜任淬硬钢、冷硬铸铁等高硬度材料的半精加工及精加工,而且对铝镍基合金、高锰钢等易形成积屑瘤的材料精车也取得了很好的效果。

陶瓷刀具主要用于半精加工和精加工有色金属、铸铁、各种工具钢和淬硬钢,但不适用于冲击力大的断续切削。近年来陶瓷材料刀具的制造工艺发展很快,陶瓷刀具已广泛应用于高速切削、干切削、硬切削以及难加工材料的切削加工,可以高效加工传统刀具根本不能加工的高硬度材料,实现“以车代磨”;陶瓷刀具材料的最佳切削速度可比硬质合金刀具高 2~10 倍;陶瓷刀具材料的主要原料是地壳中最丰富的元素(Al_2O_3 、碳化物、 SiO_2 等),对发展和推广陶瓷刀具材料十分有利。可以预料,陶瓷型刀具今后将会有很大的发展。

二、金刚石

金刚石是碳的同素异形体,是目前最硬的物质,其显微硬度达 10 000 HV。金刚石刀具的主要优点有:

- (1)极高的硬度和耐磨性,可加工 65~70 HRC 的材料。
- (2)导热性好,热膨胀系数低,因此切削加工不会产生很大的热变形。
- (3)刃面质量好,能长期保持锋利的切削刃。在正确使用下,金刚石车刀可工作 100 h 以上。

以上性能对于精度要求高(IT7~IT6)、表面粗糙度小于 $\text{Ra } 0.16 \mu\text{m}$ 的精密加工有着重要意义。

缺点是:

(1)金刚石性脆,不能承受很大的冲击;热稳定性低,切削温度在 700~800 °C 时,其表面就会碳化。

(2)化学稳定性差,金刚石中的碳元素与铁元素有很强的化学亲和力,因此金刚石刀具不适合加工铁族材料。通常用金刚石刀具精密切削有色金属及合金、高硬度的非金属材料如陶瓷、硬质合金、刚玉、耐磨塑料等。

金刚石有人造金刚石和天然金刚石两种,但都有碳(石墨)的同素异构体。

天然金刚石具有极高的硬度(10 000 HV 左右)和耐磨性,因此,可以加工硬质合金(1 050~1 800 HV)、陶瓷等高硬度的耐磨材料,可以用来修正砂轮,也可以加工非铁合金及不锈钢等,不宜加工铁系金属(铁合金)。天然金刚石主要缺点是性脆,易崩刃,刃磨困难,制造工艺性差,来源有限,价格昂贵。天然金刚石刃口质量与结晶方向有关,难以广泛推广使用。

人造金刚石是将粉末石墨微晶在高温、高压下,借助于合金触媒的作用聚合而成的多晶



体,其强度和韧性比天然金刚石高,主要用于非铁合金的高精度加工。人造金刚石砂轮已广泛应用于生产中,是磨削硬质合金及高强度、高硬度材料的特效工具。

金刚石的工艺性能差,人造金刚石的焊接与刃磨极为困难,又因尺寸较小,性脆,不能做成任意角度的刀片。近年来研制成功的复合人造金刚石刀片,是在硬质合金基体上烧结上一层厚度约为 0.5mm 的金刚石,组成金刚石与硬质合金的双层刀片,这样便保持了两者的优势,即刀片的强度高(指抗弯强度),能承受冲击负荷,并可进行重磨,是金刚石刀具的一种发展方向。

三、立方氮化硼

立方氮化硼(CBN)是上世纪 70 年代才出现的新型超硬刀具材料。它是由六方氮化硼(白石墨)在高温高压下加入催化剂转变而成的。CBN 有单晶体和聚晶体(PCBN)两种,由于受 CBN 制造技术的限制,目前制造直接用于切削刀具的大颗粒的 CBN 单晶仍很困难,且成本高。目前单晶体主要用于制造砂轮等磨具或磨料;PCBN 是在高温高压下将微细的 CBN 材料通过结合相(TiC、TiN、Al、Ti 等)烧结在一起的多晶材料,是目前利用人工合成的硬度仅次于金刚石的刀具材料,它与金刚石统称为超硬刀具材料。PCBN 克服了 CBN 单晶各向异性等不足,主要用于制作刀具或其他工具。

立方氮化硼的特点是:硬度高(8000~9000 HV),仅次于金刚石;热稳定性大大高于金刚石(人造金刚石在空气中 800 °C 开始碳化,而 CBN 在 1300 °C 仍可进行切削,即使在 1500 °C 以上也不发生相变);化学惰性大,在 1200~1300 °C 高温下也不易与铁合金材料发生化学作用。因此可以加工钢铁,使其比金刚石有更广泛的应用场合。

立方氮化硼刀具能加工普通钢、冷硬铸铁、淬硬钢及高温合金等材料。刀具寿命常可达硬质合金或陶瓷刀具寿命的几十倍。公差等级可以达到 IT6,表面粗糙度约为 Ra 0.1~1.25 μm ,可以代替磨削进行高精度的加工,实现“以车代磨”,从而可以免除退火,简化工艺,生产率可比磨削高几倍。

§ 2-5 涂层刀具

涂层刀具是在韧性较好的硬质合金基体上或高速钢刀具基体上,涂覆一层耐磨性较高的难熔金属化合物而制成。

常用的涂层材料有 TiC、TiN、Al₂O₃ 等。TiC 的硬度比 TiN 高,抗磨损性能好。不过 TiN 与金属亲和力小,在空气中抗氧化能力强。因此,对于摩擦剧烈的刀具,宜采用 TiC 涂层,而在容易产生黏结条件下,宜采用 TiN 涂层刀具。

涂层可以采用单涂层和复合涂层,如 TiC-TiN、TiC-Al₂O₃、TiC-TiN-Al₂O₃ 等。涂层厚度一般在 5~8 μm ,它具有比基体高得多的硬度,表层硬度可达 2500~4200 HV。



涂层刀具具有高的抗氧化性能和抗黏结性能,因此具有较高的耐磨性。涂层摩擦系数较低,可降低切削时的切削力和切削温度,提高刀具耐用度,高速钢基体涂层刀具耐用度可提高2~10倍,硬质合金基体刀具提高1~3倍。加工材料硬度越高,涂层刀具效果越好。

涂层刀具主要用于车削、铣削等加工,由于成本较高,还不能完全取代无涂层刀具的使用。硬质合金涂层刀具在涂覆后强度和韧性都有所降低,不适合受力大和冲击大的粗加工,也不适合高硬材料的加工。涂层刀具经过钝化处理,切削刃锋利程度减小,不适合进给量很小的精密切削。

小 结

本章主要内容是刀具材料应具备的性能、常用刀具材料的种类以及常用刀具的牌号、特点、性能和应用。

刀具材料应具备的性能包括足够的硬度和耐磨性、足够的强度与韧性、较高的耐热性、较好的工艺性、较好的传热性和经济性。

工具钢包括碳素工具钢和合金工具钢。碳素工具钢优点是工艺性能良好,有较高的耐磨性,价格低廉;最大缺点是热硬性差,淬透性低。主要用于制造手用刀具、低速及小进给量的机用刀具。合金工具钢比碳素工具钢有较高的淬透性、韧性、耐磨性和耐热性。主要用于制造细长刀具或截面积大、刃形复杂的刀具。

高速钢按切削性能可分为普通高速钢、高性能高速钢和粉末冶金高速钢。与碳素工具钢和合金工具钢相比,高速钢还具有较高的硬度、耐磨性以及强度和韧性。与硬质合金相比,高速钢的最大优点是可加工性好并具有良好的综合力学性能。高速钢主要用于制造形状复杂的刀具。高性能高速钢和粉末冶金高速钢适于制造切削难加工材料的各种精密刀具和形状复杂刀具。

硬质合金刀具材料有YG类、YT类、YW类和YN类四种。具有高硬度、高耐磨性、高耐热性、抗弯强度低和可加工工艺性差等特点。YG类硬质合金主要用于加工形成短切屑的铸铁、有色金属及非金属等脆性材料以及淬硬钢、高强度钢和奥氏体不锈钢等难加工材料。YT类硬质合金主要用于加工形成长屑的钢材等塑性材料。YW类硬质合金主要用于加工钢料和难加工材料的半精加工和精加工。YN类硬质合金适用于工具钢的半精加工和精加工及淬硬钢的加工。

陶瓷材料具有很高的硬度和耐磨性及耐热性,抗扩散和抗黏结能力强。最大缺点是强度低、韧性差。适用于钢、铸铁及塑性大的材料的半精加工和精加工,尤其对于冷硬铸铁、淬硬钢等高硬度材料零件加工特别有效;但不适于机械冲击和热冲击大的加工场合。

金刚石和立方氮化硼属于超硬刀具材料,主要用于精加工。金刚石目前主要用于磨具及磨料,作为刀具多在高速下对有色金属及非金属材料进行精细车削及镗孔,注意不能加工铁等黑色金属。立方氮化硼用于加工钢铁等黑色金属,特别是加工高温合金、淬火钢和冷硬铸铁等难加工材料。



涂层刀片有效解决了刀具的硬度、耐磨性与强度、韧性之间的矛盾,大大提高了刀具的切削性能,且具有较好的通用性,但价格较高。

复习思考题

- 2-1 对刀具材料应有哪些基本要求?
- 2-2 试述作为刀具材料的工具钢有哪三类,各自的主要特点及使用范围;常用的不同牌号的高速钢的性能特点。
- 2-3 试述常用硬质合金的性能和使用范围。
- 2-4 涂层硬质合金有什么优点?有几种涂层材料?它们各有何特点?
- 2-5 陶瓷刀具、金刚石与立方氮化硼有何特点?适用场合如何?
- 2-6 普通高速钢有哪些主要种类?其主要性能特点和应用范围如何?
- 2-7 高速精车调质钢时,若选用普通硬质合金制作刀具,应选哪种牌号?为什么?
- 2-8 试对比分析 YG3 与 YG8 硬质合金的成分、性能和适用范围的差异。



第三章 金属切削过程中的基本规律

教学提示 本章教学的重点是三个变形区的变形特点及其对加工的影响,切削力的测量与计算,切削温度的分布与影响因素,刀具的磨损机理、刀具耐用度与切削用量之间的关系,已加工表面质量指标与影响因素。其中的难点是切削力的测量与计算,工件和刀具材料的物理力学性能、刀具的几何角度、切削用量三要素、力及温度等各种因素之间相互关联、相互影响的关系,以及它们对切削过程和零件质量的影响。

教学要求 本章要求学生掌握金属的切削过程和已加工表面的形成,掌握切削力的测量与计算方法。掌握切削温度的测量与分布,掌握刀具磨损的机理。通过本章的学习,应能对切削加工生产实际中遇到的问题进行理论分析,提出改进意见。

§ 3-1 金属的切削过程

毛坯上多余的金属被切除下来,从而形成具有所需形状和精度的合格零件。那些被切除的多余金属则会变成切屑,被回收再利用。那么这个切削的过程究竟是怎样实现的呢?过去人们曾认为像斧子劈开木材那样,刀具是将工件金属劈开的。直到 19 世纪末,在大量实验的基础上人们发现,切削是工件材料受到刀具前刀面的推挤,发生变形,最终被撕裂下来的。因此,研究和掌握切削过程中的基本规律,将有利于金属切削技术的发展,对合理选择切削用量、提高生产效率、工件的加工质量和降低生产成本都有重要的意义。

一、金属切削过程的实质

1. 切削的形成

如图 3-1 所示,图中未变形的切削层 $AGHD$ 可看成是由许多个平行四边形组成的,如 $ABCD$ 、 $BEFC$ 、 $EGHF$ ……当这些平行四边形受到前刀面推挤时,便沿着 BC 方向向斜上方滑移,形成另一些平行四边形,即 $ABCD \rightarrow A'B'C'D'$ 、 $BEFC \rightarrow B'E'F'C'$ 、 $EGHF \rightarrow E'G'H'F'$ ……由此可以看出,金属切削过程是切削层金属在刀具的前刀面推挤下,发生以剪切滑移为主的塑性变形而形成切削的过程。这非常类似于材料力学实验中压缩破坏之情况。图 3-2 给出了压缩变形破坏与切削变形两者的比较。

图 3-2(a)给出了试件受压缩变形破坏的情况。试件产生剪切变形,其方向约与作用力方向成 45° 夹角。当作用力 F 增加时,在 DA 、 CB 线的两侧还会产生一系列滑移线,但都分



别交汇于 D 、 C 处。

图 3-2(b)所示情况与图 3-2(a)的区别仅在于:切削时,试件上 DB 线以下还有工件材料的阻碍,故 DB 线以下的材料将不发生剪切滑移变形,剪切滑移变形只在 DB 线以上沿 DA 方向进行, DA 就是切削过程的剪切滑移线。实际上,由于刀具具有前角,刀具和工件之间存在摩擦作用,所以剪切滑移变形会比较复杂些。

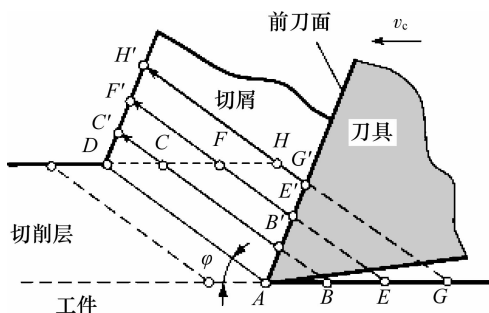


图 3-1 切削过程示意图

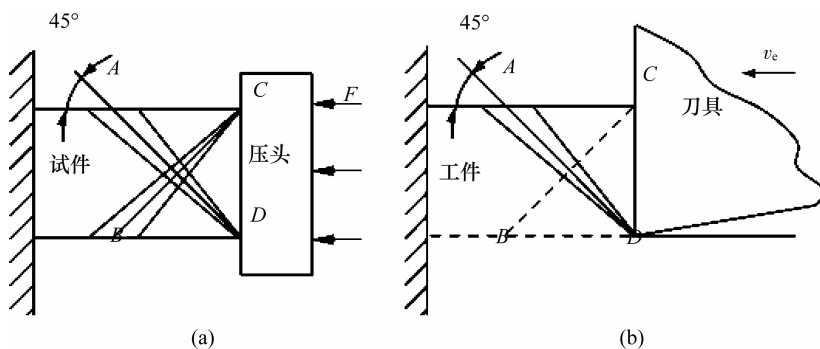


图 3-2 挤压与切削的比较

(a) 挤压; (b) 切削

2. 变形区的划分

如图 3-3 所示,在切削过程中,切削层金属在区域 I 受到刀具的外力作用,使工件上的一层金属产生弹性变形,刀具继续前进,位于刀具前方的区域,主要受剪切力的作用,在此剪切力的作用下,继而产生塑性变形,金属内部晶格产生剪切滑移,当剪切力超过金属的强度极限时,金属就断裂而成为切削。切削沿着刀具前刀面排出时,在区域 II 受到刀具前刀面的挤压和摩擦进一步变形,同时在区域 III 受到刀具后刀面的挤压摩擦作用也产生变形。可见,切削层金属是在前刀面和切削刃的不断挤压作用下产生了弹性、塑性变形,继而剪切滑移而成为切削的。

根据切削实验的结果,切削层金属在切削过程中的变形是非常复杂的,为研究及分析的方便,通常将切削刃作用范围的切削层划分为三个变形区,如图 3-3 所示。

第 I 变形区:滑移面附近的区域,是切削过程中产生塑性变形的主要区域。 OA 称始滑移线,其应力值为 τ_s (材料屈服极限),切削层金属到达 OA 线时开始产生塑性滑移。 OM 称



终滑移线,其应力为 τ_{max} 。通常第一变形区的厚度仅为 0.02~0.2 mm,因此可近似用一剪切面来代替该区域,剪切面与切削速度方向的夹角称为剪切角,以 φ 表示。

第Ⅱ变形区:刀具前刀面附近的区域,切削形成后沿前刀面流出时,受到前刀面的挤压和摩擦,进一步产生滑移变形并发生卷曲。

第Ⅲ变形区:刃口附近的已加工表面区域,刀具后刀面与已加工表面间的挤压和摩擦导致的变形。

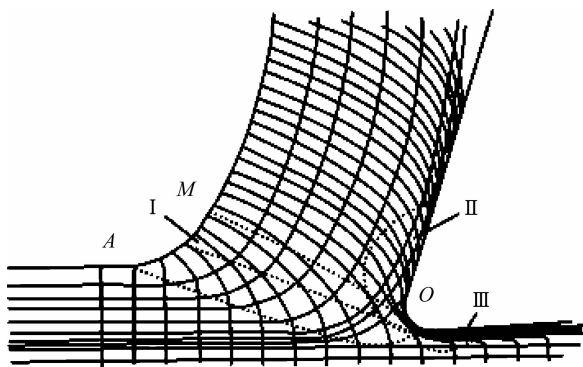


图 3-3 金属切削过程中的流线与三个变形区示意图

二、切削

(一) 切削的种类

由于工件材料不同,切削条件不同,切削变形的程度也就不同,因而所产生的切削形态也就多种多样。一般将切削分为四种。如图 3-4 所示。

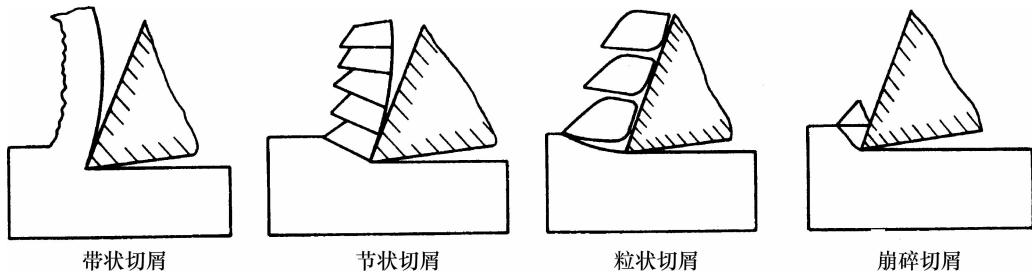


图 3-4 切削种类

1. 带状切削

带状切削是最常见的一种连续状切削。它内表面光滑,外表面呈毛茸状,一般加工塑性金属材料,在切削速度较高、切削厚度较小、刀具前角较大时,容易产生这种切削。产生带状切削,其塑性变形还不充分,滑移还没有达到破裂程度。

2. 节状切削

节状切削又称为挤裂切削。其外弧表面呈锯齿形,内弧表面有时有裂纹。这种切削大都在切削速度较低、切削厚度较大的情况下产生。形成节状切削的过程中,剪切滑移量大,



局部地方滑移已达到破裂程度。

3. 粒状切削

当切削形成时,若整个剪切面上剪应力超过材料的破裂强度,则整个单元被切离,成为大小较均匀的粒状切削。一般采用小前角或负前角,以极低的切削速度和大的切削厚度切削塑性金属时易产生此种切削。实际生产中很少见。

以上三种切削是切削塑性金属时得到的。形成带状切削时,切削力波动小,切削过程平稳,已加工表面质量高。节状切削和粒状切削次之。但带状切削过长时会妨碍工作,容易发生人身事故,所以应采取断屑措施。

4. 崩碎切削

切削脆性金属时,金属层在弹性变形后一般不经过塑性变形突然崩裂形成不规则的碎块状切削,同时切削过程很不平稳,工件已加工表面凹凸不平,表面质量差。工件材料越是硬脆,切削厚度越大时,越容易产生此类切削。

在不同的切削条件下,形成的切削种类不同,当条件改变时它们可以互相转化。在形成节状切削情况下,改变切削条件,进一步减小切削速度,减小前角,增大切削厚度,就可以得到粒状切削;反之,如增大切削速度,增大前角,减小切削厚度,即可得到带状切削。掌握其变化规律,有助于控制切削形态,控制切削过程。

在生产中加工塑性金属材料得到的切削形状是多种多样的,较为理想的屑型是长度 100 mm 以下的螺旋状切削和定向落下的“C”形或“6”形切削,它们不会缠绕到工件或刀具上,不会产生飞溅,切削力较稳定,切削便于清理。

(二) 切削的控制

影响切削的处理和运输的主要因素是切削的形状,随着工件材料、刀具几何形状和切削用量的差异,所生成的切削的形状也会不同。切削的形状大体有带状屑、C 形屑、崩碎屑、螺卷屑、长紧卷屑、发条状卷屑和宝塔状卷屑等,如图 3-5 所示。

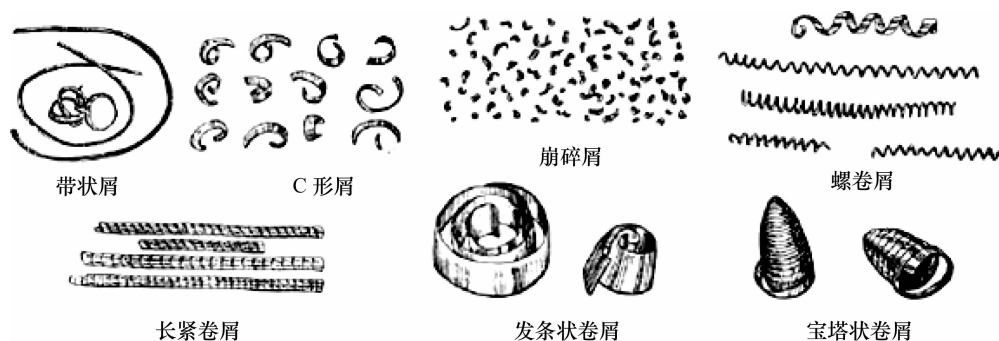


图 3-5 切削的各种形状

车削一般的碳钢和合金钢工件时,采用带卷屑槽的车刀易形成 C 形屑。C 形屑不会缠绕在工件或刀具上,也不易伤人,是一种比较好的屑形。但 C 形屑多数是碰撞在车刀后刀面或工件表面上折断的,如图 3-6 所示,切削高频率的碰撞和折断会影响切削过程的平稳性,



对工件已加工表面的粗糙度也有一定的影响。所以,精车时一般多希望形成长螺卷屑,如图 3-7 所示,使切削过程比较平稳。

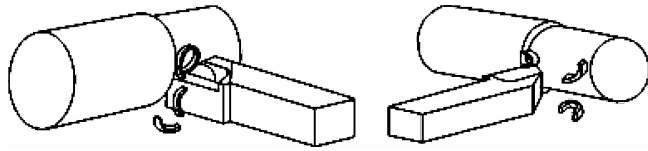


图 3-6 C 形屑折断过程

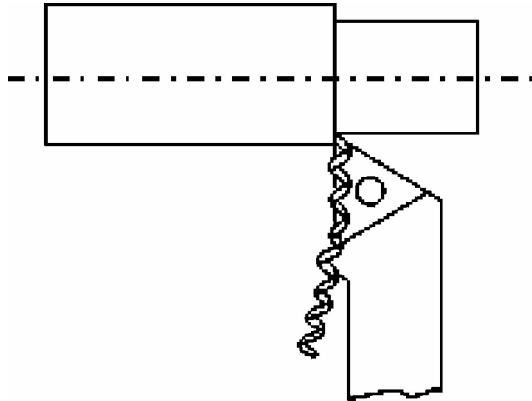


图 3-7 精车时的长螺卷屑图

长紧卷屑形成过程比较平稳,清理也较方便,在普通车床上是一种比较好的屑形。但要求形成长紧卷屑时,必须严格控制刀具的几何参数和切削用量。

在重型车床上用大切深、大进给量车削钢件时,切削将会又宽又厚,若形成 C 形屑则容易损伤切削刃,甚至会飞崩伤人。所以,通常多将卷屑槽的槽底圆弧半径加大,使切削卷曲成发条状,如图 3-8 所示,在工件加工表面上顶断,并靠其自重坠落。

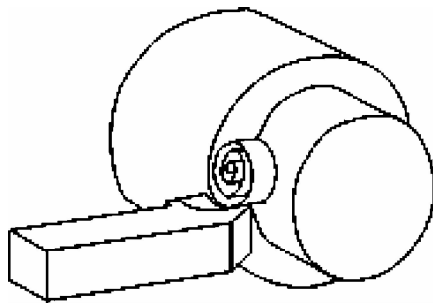


图 3-8 大切深时的发条状卷屑

在自动机或自动线上,宝塔状卷屑不会缠绕工件或刀具,清理也较方便,是一种比较好的屑形。

车削铸铁和脆黄铜等脆性材料时,切削崩碎成针状或碎片飞溅,可能伤人,并易研损机床滑动面。这时,应设法使切削连成卷状。如采用波形刃脆铜卷屑车刀,可以使脆铜和铸铁的切削连成螺状短卷。



由此可见,切削加工的具体条件不同,要求切削的形状也应有所不同。脱离具体条件,孤立地评论某一种切削形状的好坏是没有实际意义的。

(三)卷屑和断屑

在加工中,为了使切削卷曲,通常在刀具上作出卷屑槽。要正确地选择卷屑槽的几何参数以及正确地选择切削用量和卷屑槽进行配合,以达到卷屑的目的。

切削卷曲后如果成为螺旋状,在流出时不会碰到工件,而是切削的端点抵着后刀面,如图 3-9(a)所示。当切削继续流出,抵住后刀面的切削端点由于后刀面的阻挡和摩擦力的作用而不能移动,切削的圆环只好胀大,如虚线所示。因而在环的内侧出现拉应力,切削于是在拉应力最大处的 F 点折断。

切削的这种折断是由于切削环的内侧拉应力的作用所致。如图 3-9(b)所示的发条状切削的折断也属于这一原因。当发条状切削卷曲的圈数越来越多时,它的外圆半径便越来越大,屑环左侧受到来自工件的作用力也就越来越大,在 F 点处产生的向外弯曲的力矩随之增大,直至环内侧产生足够大的拉应力而使切削环折断。

C 形切削碰到工件上折断的机理如图 3-9(c)所示。C 形切削虽然和发条状切削都是在平面里卷曲的,但是前者的卷曲半径比后者的大许多,因而在切削端部与工件接触的地方,因工件运动而产生的摩擦力仍不能将切削卷曲成为发条状。由于切削连续流出,并受到工件的阻挡,而被迫增大卷曲半径,所以引起了切削圆弧内侧 F 点拉应力增大,最终将切削折断。

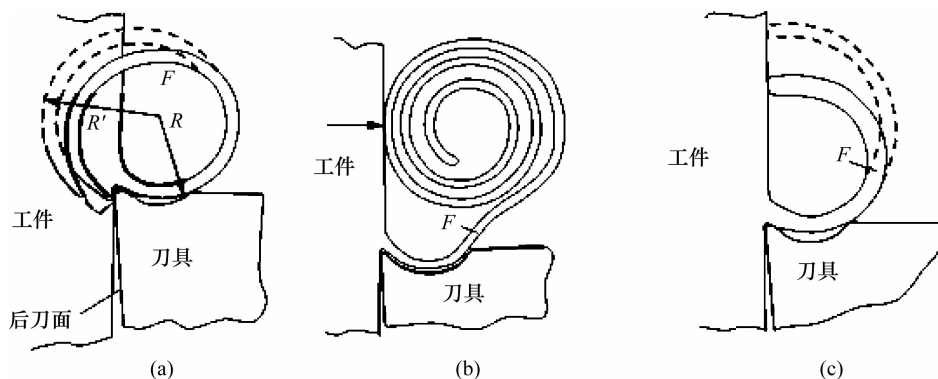


图 3-9 断屑机理

(a) 碰到后刀面折断; (b) 发条状切削碰到工件折断; (c) C 形切削碰到工件折断

长螺卷屑的折断机理和上文所说的三种都不相同。长螺卷屑达到一定长度之后,由于重力的作用而下垂,并且在离卷屑槽不远的地方弯曲,在弯曲的地方产生弯曲应力。同时还由于切削的连续流出,长螺卷屑绕着它自己的轴线旋转。这样,在弯曲的地方产生的弯曲应力便变成交变的弯曲应力,再加上切削下垂部分的甩动而促使长螺卷屑折断。

(四)断屑措施

(1)磨制断屑槽

磨制断屑槽是焊接硬质合金车刀常用的一种断屑方式。图 3-10 所示是几种常用的断



屑槽型式:直线圆弧型、直线型、全圆弧型。

直线圆弧型和直线型断屑槽适用于切削碳素钢、合金结构钢、工具钢等,一般前角在 $\gamma_o = 5^\circ \sim 15^\circ$ 。全圆弧型前角比较大, $\gamma_o = 25^\circ \sim 35^\circ$ 。适用于切削紫铜、不锈钢等高塑性材料。

断屑槽的参数与其断屑性能和断屑范围有密切关系。槽宽 W_n 应保证切削时在流出槽时碰到断屑台,以使切削卷曲折断。如进给量大,切削厚时,可以适当增加槽宽 W_n 。

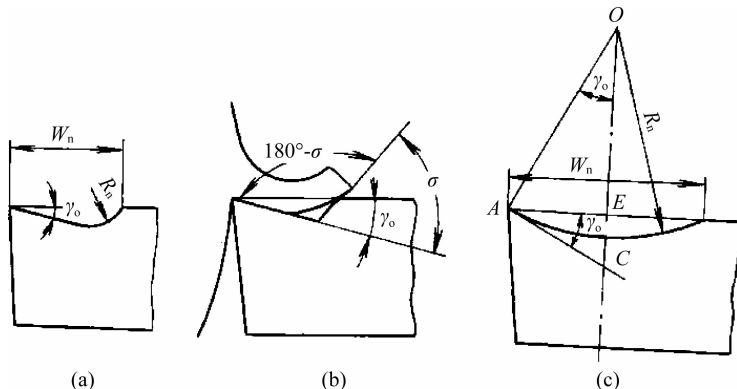


图 3-10 断屑槽型式

(a) 直线圆弧型; (b) 直线型; (c) 全圆弧型

表 3-1 所示是当进给量和背吃刀量确定后槽宽 W_n 的参考值。对于圆弧型断屑槽,当背吃刀量 $a_p = 2 \sim 6 \text{ mm}$ 时,一般槽宽圆弧半径 $R_n = (0.4 \sim 0.7) W_n$ 。

表 3-1 断屑槽宽度 W_n

进给量 $f / (\text{mm/r})$	背吃刀量 a_p / mm	断屑槽宽	
		低碳钢、中碳钢	合金钢、工具钢
0.2~0.5	1~3	3.2~3.5	2.8~3.0
0.3~0.5	2~5	3.5~4.0	3.0~3.2
0.3~0.6	3~6	4.5~5.0	3.2~3.5

如图 3-11 所示,断屑槽在前刀面的位置有三种型式:(a)平行式,(b)外斜式,(c)内斜式。其中外斜式最常用,平行式次之。内斜式主要用于背吃刀量 a_p 较小的半精加工和精加工。

(2) 选择合适切削用量

切削用量的变化会对断屑产生影响。选择合适的切削用量,能增强断屑效果。在切削用量参数中,进给量 f 对断屑影响最大。进给量增大,切削厚度也增大,碰撞时容易折断。切削速度 v_c 和背吃刀量 a_p 对断屑影响较小,不过,背吃刀量增加,断屑困难增大,切削速度提高,断屑效果下降。

(3) 选择合适刀具几何参数

在刀具几何参数中,对断屑影响较大的是主偏角 κ_r 。因为在进给量不变的情况下,主偏角增大,切削厚度相应增大,切削也容易折断。因此,在生产中希望有较好的断屑效果时,应