

教学单元 2 刀具基本定义

金属切削加工过程是工件和刀具相互作用的过程。刀具要从工件上切去一部分金属,并在保证高生产率和低成本的前提下,使工件得到符合技术要求的形状、尺寸精度和表面质量。为了实现这一切削过程,必须具备以下三个条件:①工件与刀具之间要有相对运动,即切削运动;②刀具材料必须具有一定的切削性能;③刀具必须具有适当的几何参数,即切削角度等。本章内容主要是阐明与切削运动及刀具几何角度有关的基本概念和定义,为后续各单元学习和研究切削过程的基本理论及其应用作准备。

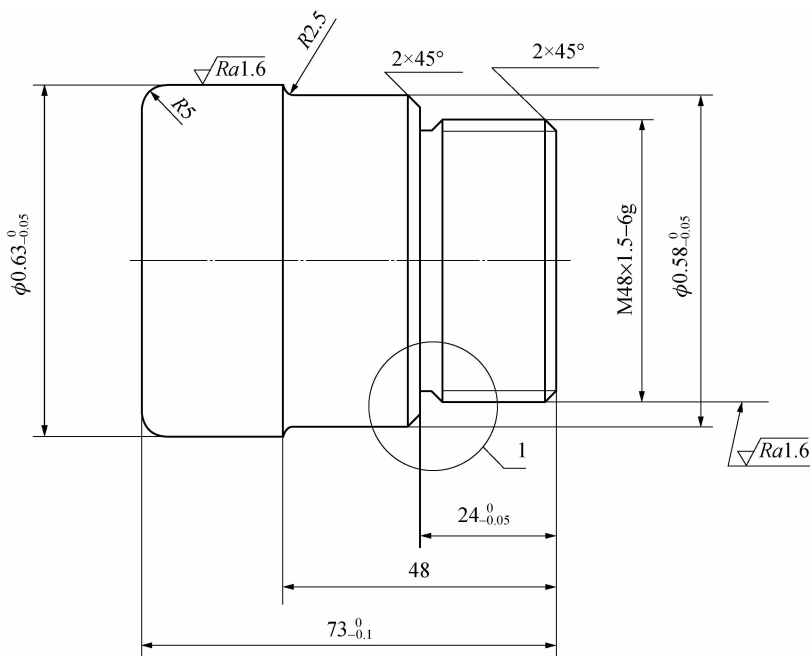


图 2-1 短轴

2.1 知识引入

车削如图 2-1 所示的零件,试分析车削 $\phi 63_{-0.05}^0$ 外圆、切螺纹退刀槽、加工螺纹表面车削运动的组成。如果以 189 m/min 精车该外圆,车床主轴的旋转速度应该是多少?若每转进给为 0.1 mm/r,则刀架的移动速度是多少?

刀具是如何具备切削能力的?刀具的几何形状如何来描述?如果以 0.2 mm/r 的

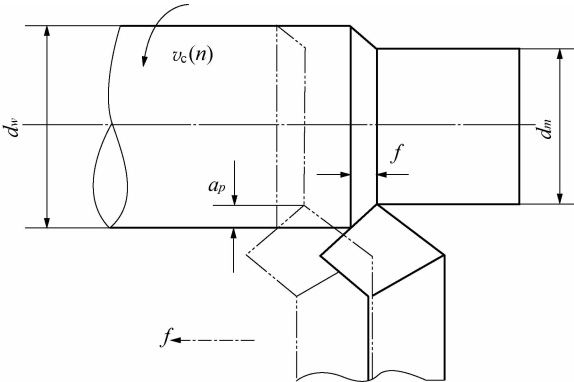
进给量车削外圆,试问刀具几何角度将发生怎样的变化? 如果在实际加工前由于安装误差,刀尖低于工件中心线 1.5 mm,试问该刀具的几何角度又将会发生怎样的变化?

2.2 切削运动、切削用量与切削层参数

一、切削运动

车削外圆是金属切削加工中常见的加工方法,现以它为例来分析工件与刀具间的切削运动。图 2-2 表示车削外圆时的情况,工件旋转,车刀连续纵向直线进给,于是形成工件的外圆柱表面。

在其他各种切削加工方法中,刀具或工件同样必须完成一定的切削运动。通常切削运动按其所起作用可分为以下两种:



1. 主运动

使工件与刀具产生相对运动以进行切削的最基本的运动,称为主运动。这个运动的速度最高,消耗功率最大。例如,车削外圆时的工件旋转运动是主运动(如图 2-2 所示)。其他切削加工方法中的主运动也同样是由工件或由刀具来完成的,其形式可以是旋转运动或直线运动,但每种

图 2-2 车削外圆的切削运动与加工表面

切削加工方法的主运动通常只有一个。

2. 进给运动

使主运动能够继续切除工件上多余的金属,以便形成工件表面所需的运动,称为进给运动。例如车削外圆时车刀的纵向连续直线进给运动(如图 2-2 所示)。其他切削加工方法中也是由工件或刀具来完成进给运动的,但进给运动可能不止一个。它的运动形式可以是直线运动、旋转运动或两者的组合,但无论哪种形式的进给运动,它消耗的功率都比主运动要小。

总之,任何切削加工方法都必须有一个主运动,可以有一个或几个进给运动。主运动和进给运动可以由工件或刀具分别完成,也可以由刀具单独完成(例如在钻床上钻孔或铰孔)。

在切削运动作用下,工件上的切削层不断地被刀具切削并转变为切屑,从而加工出所需要的工件新表面。在这一表面形成的过程中,工件上有三个不断变化着

的表面(如图 2-2 所示):

待加工表面 即将被切去金属层的表面;

过渡表面(加工表面) 切削刃正在切削的表面;

已加工表面 已经切去多余金属而形成的新表面。

这些定义也适用于其他切削加工。不同形状的切削刃与不同的切削运动组合,即可形成各种工件表面,如图 2-3 所示。

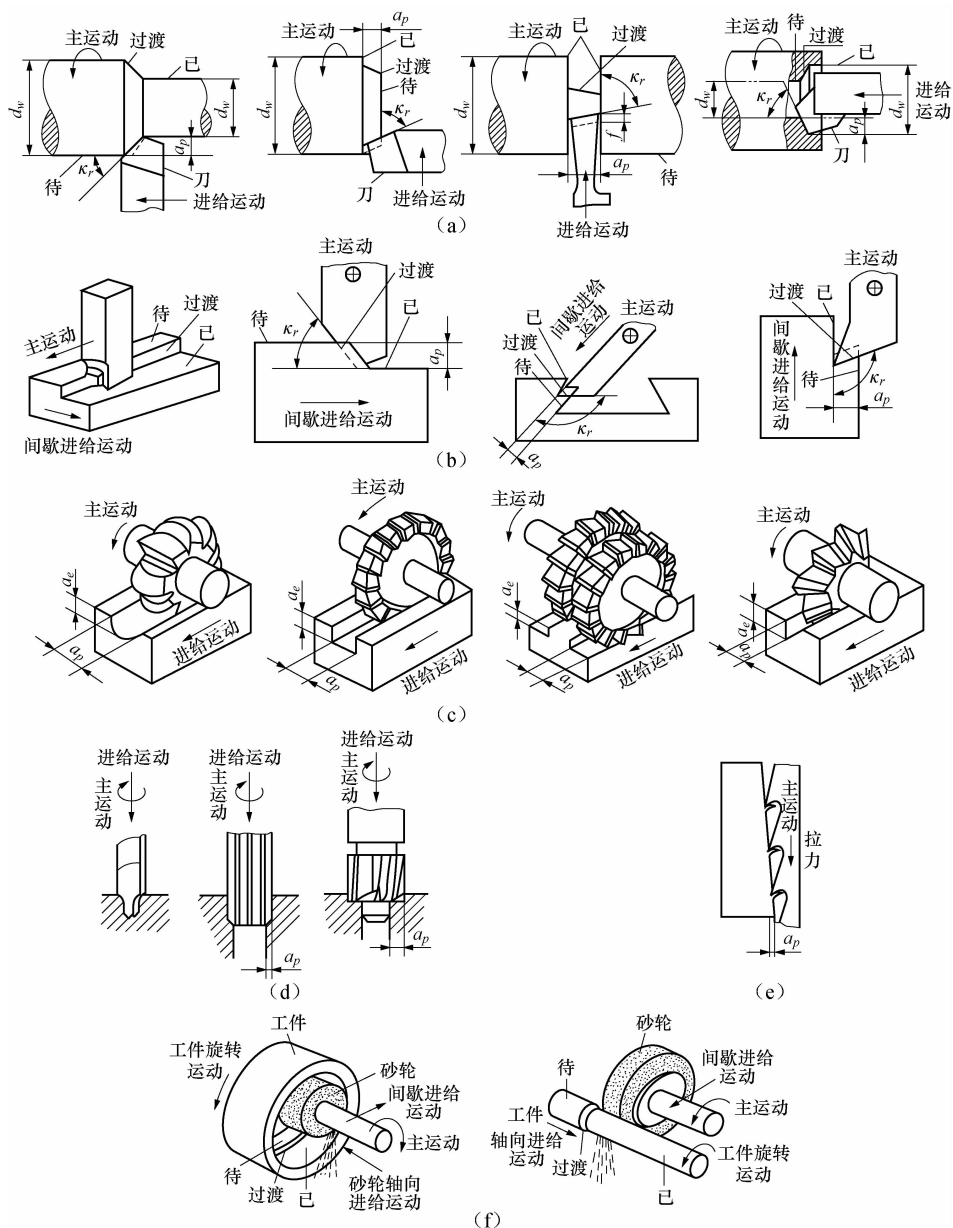


图 2-3 各种切削运动与加工表面

二、切削用量

切削用量是切削速度、进给量和背吃刀量(切削深度)的总称,也称为切削用量三要素,如图 2-4 所示。切削用量是表示主运动及进给运动大小的参数,主要用于调整机床、编制工艺路线等。切削用量直接影响加工质量、刀具寿命、机床功率损耗及生产率等。

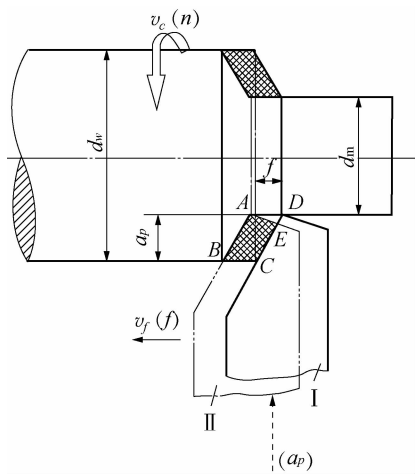


图 2-4 车外圆时的切削用量

1. 切削速度

切削速度是主运动速度 v_c ,是指切削刃选定点相对工件主运动的瞬时速度,单位 m/min。

当主运动为旋转运动时,切削速度由下式确定:

$$v_c = \frac{\pi d n}{1\,000}$$

式中 d ——工件直径或刀具(砂轮)直径,单位为 mm;

n ——工件或刀具(砂轮)的转速,单位为 r/min。

对于旋转体工件或旋转类刀具,在转速一定时,由于切削刃上各点的回转半径不同,因而切削速度不同。在计算时,应以最大的切削速度为准。如车削外圆时计算刀刃上所对应的最大点的速度,钻削时计算钻头外径处的速度。这是因为从刀具方面考虑,速度大的地方,发热多,磨损快,应当予以注意。

2. 进给速度 v_f 和进给量 f 以及每齿进给 f_z

进给速度 v_f 是刀刃上选定点相对于工件的进给运动的速度,其单位为 mm/min。

进给量 f 是工件或刀具的主运动每转或每一行程时,工件和刀具两者在进给

运动方向上的相对位移量,其单位是 mm/r。

每齿进给 f_z 是多刃切削刀具(如铣、铰、拉)转一周,则有 z 个齿进行切削,多刃切削刀具在每转一齿角时,工件和刀具的相对位移量,单位是 mm/z。

进给速度 v_f 与进给量 f 的关系有:

$$v_f = f n$$

进给速度 v_f 与每齿进给 f_z 的关系有:

$$v_f = f_z \times n \times z$$

3. 背吃刀量 a_p (又称切削深度)

它是一个与主刀刃和工件切削表面接触长度有关的量,在包含主运动 v_c 和进给运动 v_f 方向的平面的垂直方向上测量。对车削外圆而言,包含主运动方向和进给运动方向的平面,是与工件主运动旋转轴线平行的,过刀刃上任意点的该平面的垂直方向也就与工件轴线垂直相交,因而车削外圆的切削深度等于工件已加工表面与待加工表面的垂直距离,即

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2}$$

式中 d_m ——已加工表面直径,单位为 mm;

d_w ——工件待加工表面直径,单位为 mm。

三、切削层参数

切削时刀具切过工件的一个单程所切除的工件材料层。图 2-5 中工件旋转一周的时间,刀具正好从位置 I 移到 II,切下 I 与 II 之间的工件材料层。四边形 ABCD 称为切削层公称横截面积。切削层实际横截面积是四边形 ABCE, AED 为残留在已加工表面上的横截面积,它直接影响已加工表面粗糙度。

切削层形状、尺寸直接影响着切削过程的变形、刀具承受的负荷以及刀具的磨损。为简化计算,切削层形状、尺寸规定在刀具基面中度量,即切削层公称横截面中度量。

切削层尺寸是指在刀具基面中度量的切削层厚度与宽度,它与切削用量 a_p 、 f

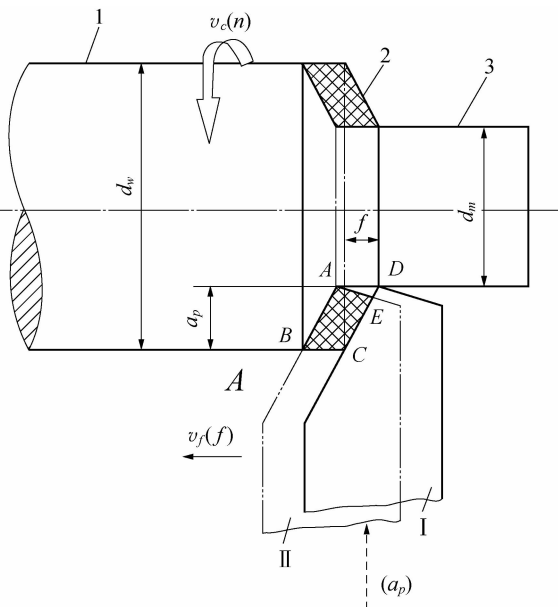


图 2-5 切削层参数

大小有关。切削层横截面及其厚度、宽度的定义与符号如下：

1. 切削厚度 h_D

切削厚度是指切削层两相邻过渡表面之间的垂直距离,单位为 mm。

$$h_D = f \sin \kappa_r$$

式中 κ_r ——车刀主偏角

2. 切削宽度 b_D

切削宽度是在平行于过渡表面度量的切削层尺寸,单位为 mm。

$$b_D = \frac{a_p}{\sin \kappa_r}$$

3. 切削层横截面积 A_D

简称切削层横截面积,它是在切削层尺寸平面里度量的横截面积。

$$A_D = h_D b_D = a_p f$$

分析以上三式可知:切削厚度与切削宽度随主偏角大小变化。当 $\kappa_r = 90^\circ$ 时, $h_D = f, b_D = a_p$, 只与切削用量 a_p, f 有关,不受主偏角的影响。但切削层横截面的形状则与主偏角、刀尖圆弧半径大小有关。随主偏角的减小,切削厚度将减小,而切削宽度将增大。

2.3 刀具在静止参考系内的切削角度

各种刀具形状迥异,使用场合不一,但都能用来切除毛坯上多余的材料,完成零件的切削加工,这显然与它们的结构组成有关。此外,为了满足不同的切削要求,如车削外圆、切断和车削螺纹等,刀具的切削部分往往做成不同的几何形状,即使是同种类型的刀具(如外圆车刀),在不同的加工条件下,如车削细长轴和车削粗短轴等,也要做成不同的几何形状,而不同几何形状的刀具有着不同的切削性能。要描述刀具的几何形状和切削性能,就离不开刀具的几何参数。所以,有必要掌握刀具的结构、组成和几何角度。

普通外圆车刀是最典型的简单刀具,其他种类的刀具都可以看做是它的变形或组合。下面以车刀为代表来介绍刀具切削部分的基本定义及常用车刀的绘制。

一、刀具切削部分的组成

如图 2-6 所示,车刀由切削部分和夹持部分(刀杆)两大部分组成。

车刀的切削部分由三个表面、两条刀刃和一个刀尖组成。

(1)前刀面 直接与切屑接触的表面,用 A_y 表示。

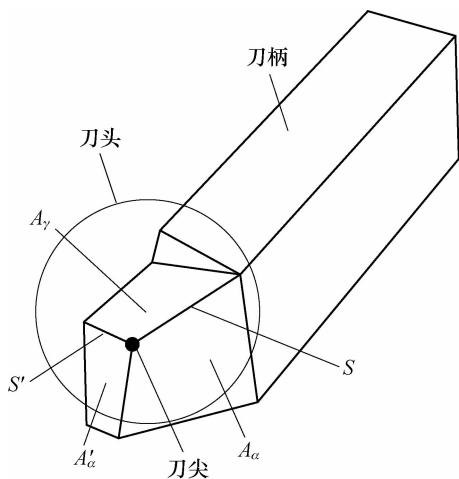


图 2-6 车刀切削部分的构成

(2)主后刀面 与工件上过渡表面相对着的表面,用 A_{α} 表示。

(3)副后刀面 与工件上已加工表面相对着的表面,用 A'_{α} 表示。

(4)主切削刃 前刀面与后刀面的交线,承担主要切削工作,用 S 表示。

(5)副切削刃 前刀面与副后刀面的交线,其靠刀尖处起微量切削作用,具有修光性质,用 S' 表示。

(6)刀尖 主切削刃和副切削刃的交点。通常以圆弧或短直线形出现,以提高刀具的使用寿命。

由于切削刃不可能刃磨得很锋利,总有一些刃口圆弧,如刀楔的放大部分图 2-7(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 为 $0.01 \sim 0.02 \text{ mm}$,硬质合金刀具 r_n 为 $0.02 \sim 0.04 \text{ mm}$ 。

为了提高刃口强度以满足不同加工要求,在前、后刀面上均可磨出倒棱面 A_{γ_1} 、 A_{α_1} ,如图 2-7(a)所示。 b_{γ_1} 是前刀面 A_{γ_1} 的倒棱宽度; b_{α_1} 是后刀面 A_{α_1} 的倒棱宽度。

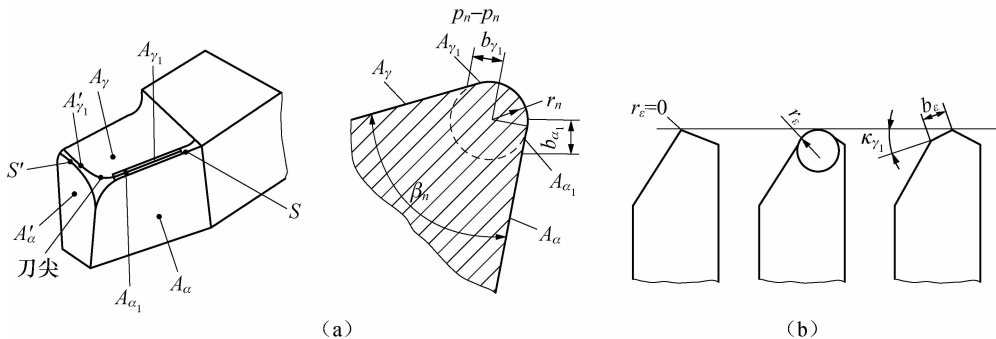


图 2-7 刀楔、刀尖形状参数

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汇交形成的一个切削刃,简称两面一刃。任何复杂的刀具都可将其分为一个基本单元进行分析。

刀具几何角度是确定刀具切削部分几何形状和切削性能的重要参数,它是由刀面、切削刃及假定参考坐标平面间的夹角所构成的。

用来确定刀具几何角度的参考系有两类:一类称为刀具静止参考系,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,是确定刀具切削工作时角度的基准,用此定义的刀具角度称刀具工作角度。

建立刀具标注角度参考系时不考虑进给运动的影响,且假定车刀刀尖与工件中心等高,车刀刀杆中心线垂直于工件轴线安装。

确定刀具标注角度的参考系有正交平面参考系、法平面参考系、假定工作平面与背平面参考系等,如图 2-8 所示。最常用的是正交平面参考系。下面以普通外圆车刀为例说明刀具标准角度参考系及刀具标注角度的定义。



(a)正交平面参考系与法平面参考系;(b)假定工作平面与背平面参考系

1. 正交平面参考系(图 2-8(a))

(1)基面 过切削刃选定点平行或垂直刀具上的安装面(轴线)的平面,车刀的基面可理解为平行刀具底面的平面(图 2-9)。基面垂直于切削速度方向,用 p_r 表示。

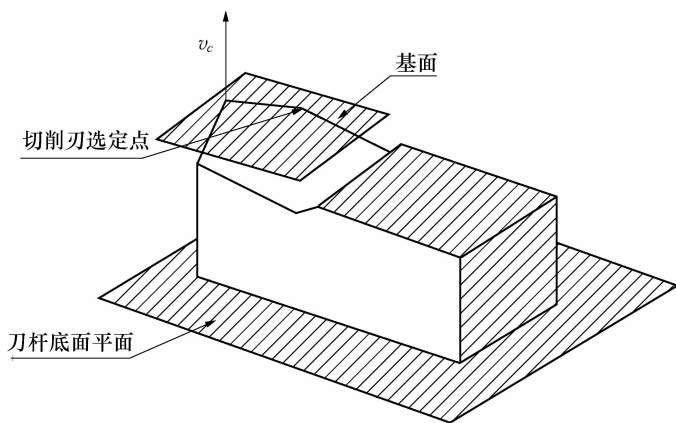


图 2-9 基面

(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,用 p_s 表示。

(3)正交平面 过切削刃选定点同时垂直于切削平面与基面的平面,又称主剖面,用 p_o 表示。

2. 法平面参考系(图 2-8(a))

法平面参考系由基面 p_r 、切削平面 p_s 和法平面 p_n 组成(非正交参考系)。法平面 p_n 是指过切削刃上某选定点与切削刃垂直的平面。

3. 假定工作平面参考系(图 2-8(b))

假定工作平面参考系由基面 p_r 、假定工作平面 p_f 和背平面 p_b 组成。其中,假定工作平面 p_f 是指过切削刃上某选定点,平行于假定进给运动方向并垂直于基面 p_r 的平面。背平面 p_b 是指过切削刃上某选定点,垂直于假定工作平面 p_f 和基面 p_r 的平面。

需要指出的是,以上刀具各标注角度参考系均适用于选定点在主切削刃上,如果切削刃选定点选在副切削刃上时,则所定义的是副切削刃标注角度参考系的参考平面,应在相应的符号右上角标“'”以使区别,并在各参考平面名称之前冠以“副”。如副切削平面 p'_s ,副正交平面 p'_o 等。

三、正交平面参考系刀具的标注角度

1. 角度定义

刀具几何角度是确定刀面方位的角度,它表明刀面、切削刃与假定参考平面间的夹角。

正交平面参考系刀具角度定义见表 2-1,图示见图 2-10。

表 2-1 刀具角度定义

名 称	定 义
前角(γ_o)	在主剖面中测量的前刀面与基面间的夹角(图 2-10)
后角(α_o)	在主剖面内测量的后刀面与切削平面间的夹角(图 2-11)
主偏角(k_r)	在基面中测量的主切削刃在基面的投影与进给方向的夹角(图 2-12)
副偏角(k'_r)	在基面中测量的副切削刃在基面的投影与进给运动的反方向之间的夹角(图 2-13)
刃倾角(λ_s)	在切削平面内测量的主切削刃与基面间的夹角(图 2-14)
副后角(α'_o)	在副剖面中测量的副后刀面与副切削平面之间的夹角

此外,为了比较切削刃、刀尖的强度,刀具上还定义了两个角度,它们属于派生角度。

(1)楔角 β_o (图 2-16) 在主剖面中测量的前刀面和后刀面间之间的夹角。

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

(2)刀尖角 ϵ_r (图 2-17) 基面投影中,主切削刃和副切削刃间的夹角。

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

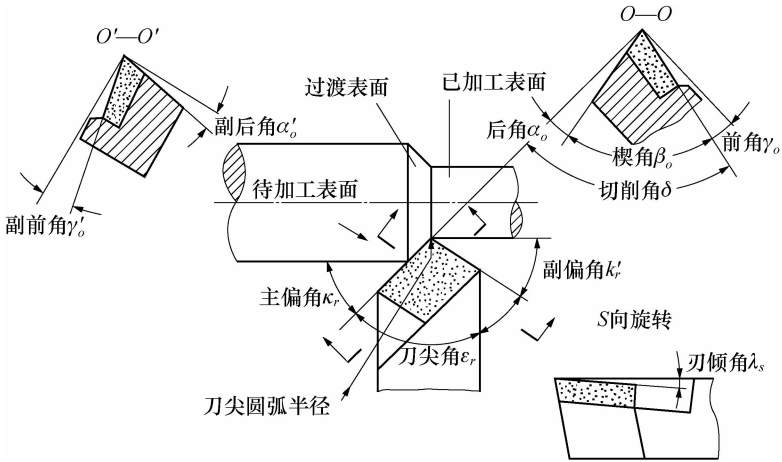


图 2-10 车刀几何角度

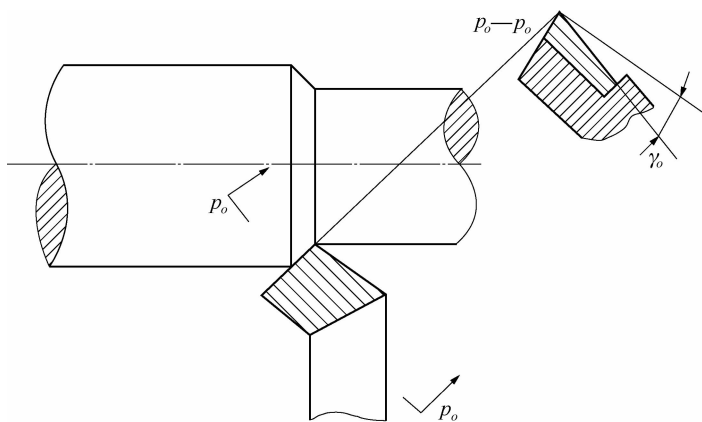


图 2-11 前角

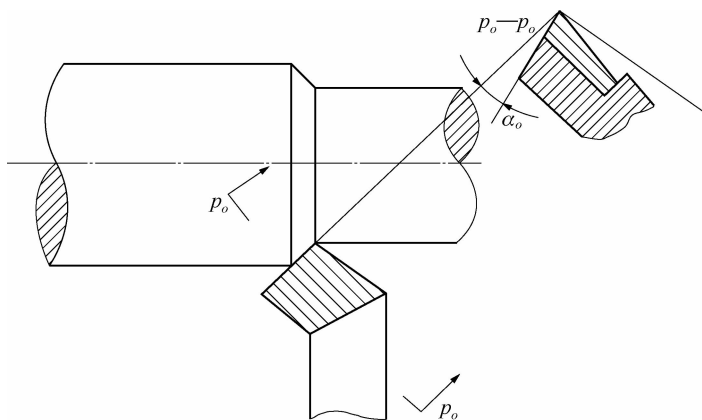


图 2-12 后角

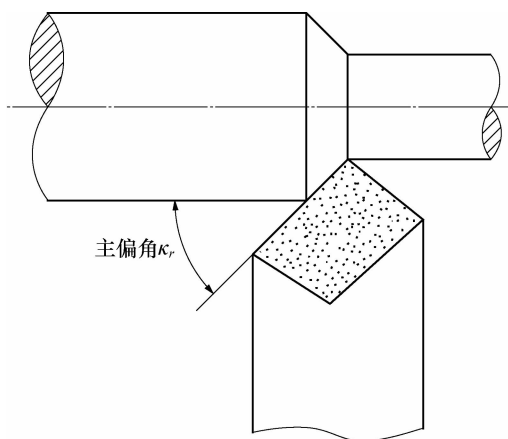


图 2-13 主偏角

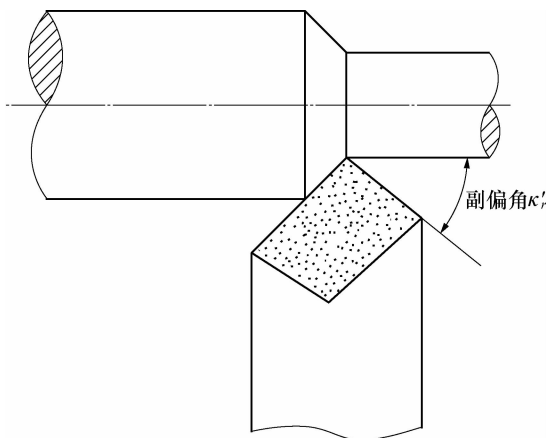


图 2-14 副偏角

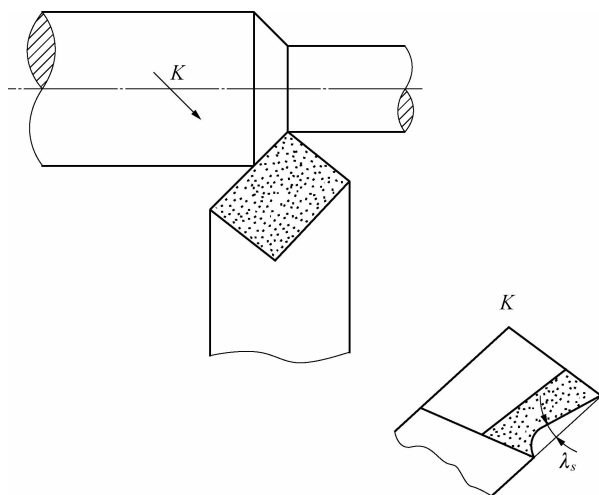


图 2-15 刃倾角

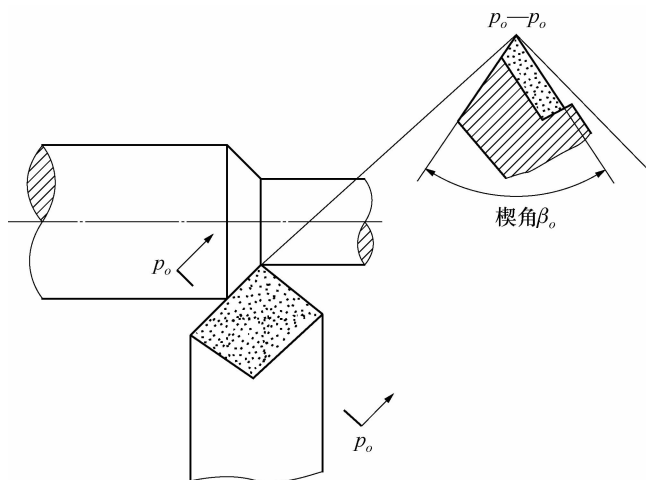


图 2-16 楔角

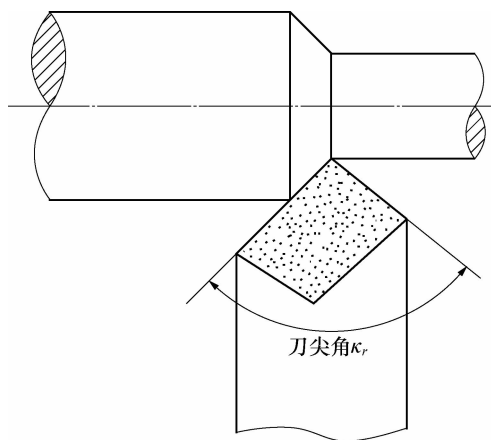


图 2-17 刀尖角

有了上述定义的角度就可以确定出前刀面、后刀面、副后刀面及主、副切削刃的位置。其中前角和刃倾角确定了前刀面的方位,主偏角和后角确定了后刀面的方位,副偏角和副后角确定了副后刀面的方位,而主偏角和刃倾角确定了主切削刃的方位,副偏角和前角确定了副切削刃的方位。

2. 刀具角度正负的规定

刀具角度正负的规定(见图 2-18)。前角正、负值规定如下:在主剖面中,前刀面与切削平面的夹角小于 90° 时为正;大于 90° 时为负;前刀面与基面平行时为 0° 。

后角正、负值规定如下:在主剖面中,当后刀面与基面的夹角小于 90° 时为正;

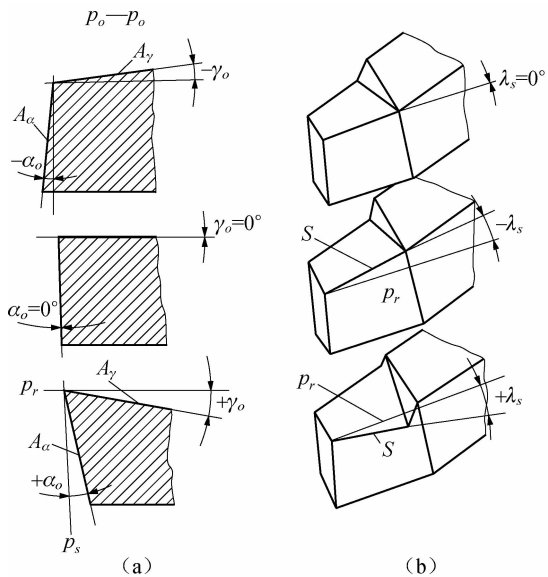


图 2-18 刀具角度正负的规定

大于 90° 时为负；当后刀面与切削平面平行时，后角为 0° 。实际使用中，后角不能小于 0° 。

刃倾角正、负值规定如下：当切削刃与基面（车刀底平面）平行时，刃倾角为 0° ；当刀尖相对车刀底平面处于最高点时，刃倾角为正；当刀尖相对车刀底平面处于最低点时，刃倾角为负。

3. 车刀几何形状的图示方法

绘制刀具的方法有两种。第一，投影作图法，它严格按投影关系来绘制几何形状，是认识和分析刀具切削部分几何形状的重要方法，但该方法绘制烦琐，一般比较少用；第二，简单画法，该方法绘制时，视图间大致符合投影关系，但角度与尺寸必须按比例绘制，如图 2-9 所示，这是一种常用的方法。

(1) 主视图 通常采用刀具在基面 (p_r) 中的投影作为主视图。同时勿忘标注进给运动方向，以确定或判断主切削刃和副切削刃 (见图 2-19)。

(2) 向视图 通常取刀具在切削平面 (p_s) 中的投影作为向视图，此处要注意放置位置。

(3) 剖面图 包括主剖面 (p_o) 和副剖面 (p'_o)。

4. 常见车刀几何角度的绘制

1) 90° 外圆车刀的绘制

(1) 结构分析 该车刀主偏角为 90° ，用于纵向进给车削外圆，尤其适于刚性较

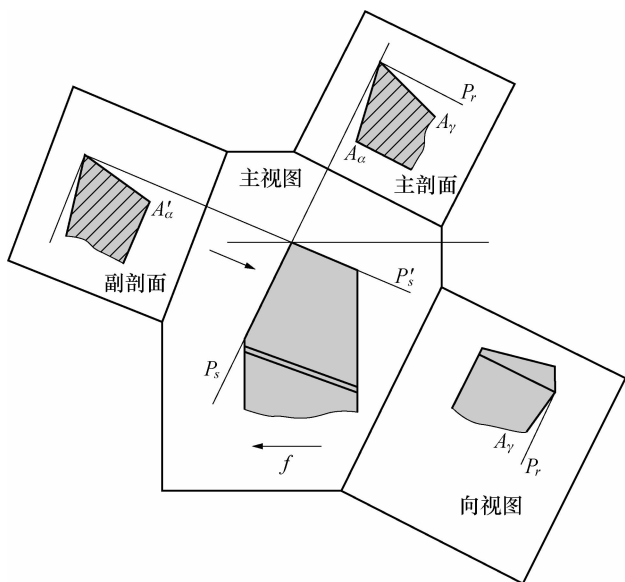


图 2-19 刀具示意图

差的细长轴类零件的车削加工。该车刀共有 3 个刀面,即前刀面、后刀面、副后刀面;所需标注独立角度为 6 个,即前刀面控制角为前角、刃倾角,后刀面控制角为后角、主偏角,副后刀面控制角为副后角、副偏角。

(2)绘制方法 绘制方法与普通外圆车刀类似。

①画出刀具在基面中的投影,取主偏角为 90° ,并标注进给运动方向,以明确表明后刀面与副后刀面、主切削刃与副切削刃的位置。

②画出切削平面(向视图)中的投影,注意放置位置。

③画出主剖面、副剖面。

④标注相应角度数值(此处用符号表示),如图 2-20 所示。

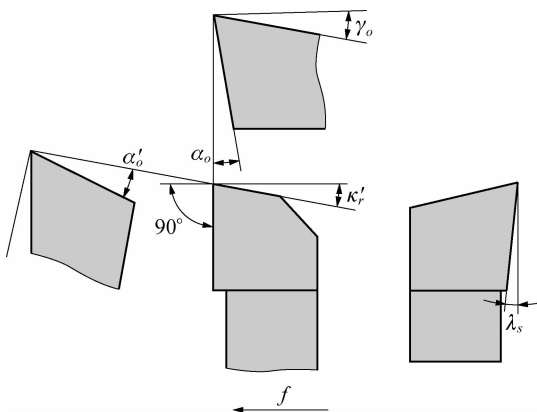


图 2-20 90° 外圆车刀的绘制

2) 切断刀的绘制

(1) 结构分析 切断刀采用横向进给方式对工件进行切削加工,主要用于工件的切槽或切断。切断刀共有 4 个刀面:一个前刀面、一个主后刀面、两个副后刀面,切断刀有左右两个刀尖,一条主切削刃,两条副切削刃。切断刀可以看做是两把端面车刀的组合,进刀时同时切削左右两个端面。由于它有 4 个刀面,故所需标注的独立角度有 8 个:控制前刀面的前角、刃倾角,控制主后刀面的主偏角、后角,控制左、右副后刀面的 2 个副偏角和 2 个副后角。

(2) 绘制方法 绘制方法与外圆车刀类似,如图 2-21 所示。需要指出的是,切断刀有两个副后刀面,需要画出两个副剖面。

一般切断刀的主切削刃较窄,刀头较长,所以强度较差。生产中普遍使用的是高速钢切断刀,其主要参数选择如下:

前角:切断中碳钢时,取 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$;切断铸铁时,取 $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。

后角:切断脆性材料时,取小些;切断塑性材料时,取大些。一般取 $4^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 。

副后角:切断刀有两个对称的起减少摩擦作用的副后角,一般取 $1^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 。

主偏角:由于切断刀采用横向走刀,因此一般采用 90° 的主偏角,但在进行切断加工时,会在工件端面上留下一个小凸台,解决的方法是把主切削刃磨得略微斜些。

副偏角:为了不过度削弱刀头强度,一般取 $1^{\circ} \sim 1.5^{\circ}$ 。

主切削刃宽度和刀头长度,可按下列公式计算:

$$\begin{cases} a = (0.5 - 0.6) \sqrt{D} \\ L = h + (2 - 3) \end{cases}$$

式中 a ——主切削刃宽度,单位为 mm;

D ——工件待加工表面直径,单位为 mm;

L ——刀头长度,单位为 mm;

h ——工件被切入的深度,单位为 mm。切实心件时,等于工件半径;切空心件时,等于壁厚。

高速切削时,则采用硬质合金切断刀,其要求与高速钢切断刀相同。为了增强切断刀的强度,可在主切削刃两侧磨出过渡刃,并在主切削刃上磨出负倒棱,还可以把刀头下部做成凸肚形。

切断大直径工件时,为减少振动,可采用反切刀进行切削,使工件反转。

3) 内孔车刀的绘制

由于内孔车刀的结构组成类似于外圆车刀,所以不再赘述,下面将通过一个实例加以说明。

例 试根据以下参数绘制内孔车刀刀头。参数如下:前角 15° 、后角 8° 、主偏角 75° 、副偏角 10° 、副后角 8° 、刃倾角 -5° 。

解: 根据要求,绘制刀具如图 2-22 所示。

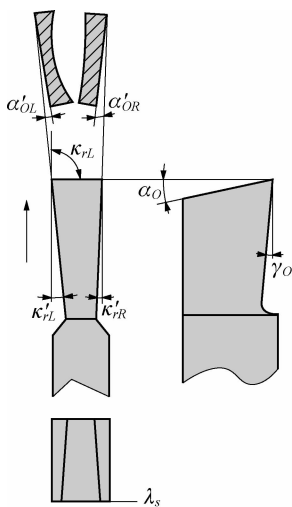


图 2-21 切断刀的绘制

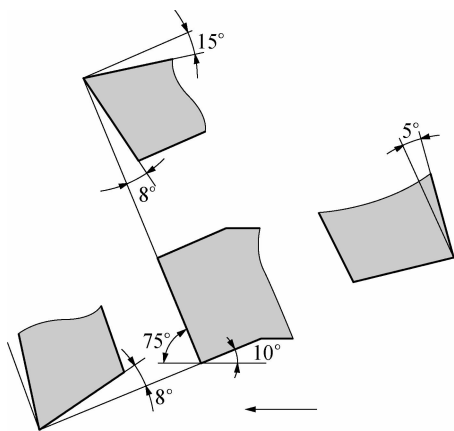


图 2-22 内孔车刀的绘制

内孔有通孔、台阶孔、盲孔等几种不同形式。车削通孔可用通孔车刀，车削台阶孔或不通孔则需用不通孔车刀，它们的主要区别在于主偏角的大小。通孔车刀的主偏角小于 90° ；台阶孔或不通孔车刀的主偏角则大于 90° ，且刃倾角应为负值以确保加工时切屑向刀柄方向排出，保证切削加工的顺利进行。

2.4 刀具的工作角度

一、工作参考系和工作角度

刀具在工作时的实际角度称为刀具的工作角度。它是用工作参考系定义的刀具角度，而工作参考系是建立在刀具与工件相对位置、相对运动基础上的参考系。

在工作参考系中，假定参考平面的定义类似于标注参考系，只不过工作基面、工作切削平面等的方位发生了变化，进而造成工作角度与标注角度的不同。刀具工作角度的定义与标注角度类似，它是刀面、刀刃与工作参考系平面的夹角。刀具工作角度的符号是在标注角度的基础上加一个下标字母 e 。

二、工作角度的影响因素

1. 刀具安装误差的影响及计算

在实际加工中，由于安装误差的存在，即假定安装条件不满足，必将引起刀具角度的变化。其中，刀尖在高度方向的安装误差将主要引起前角、后角的变化；刀杆中心在水平面内的偏斜将主要引起主偏角、副偏角的变化。

1) 刀尖与工件中心线不等高时

当刀尖与工件中心线等高时,切削平面与车刀底面垂直,基面与车刀底面平行。否则,将引起基面方位的变化,即工作基面(P_{re})不平行于车刀底面。

如图 2-23 所示,在车削外表面时当刀尖高于工件中心时,工作前角增大,工作后角减小;当刀尖低于工件中心时,工作前角减小,工作后角增大。

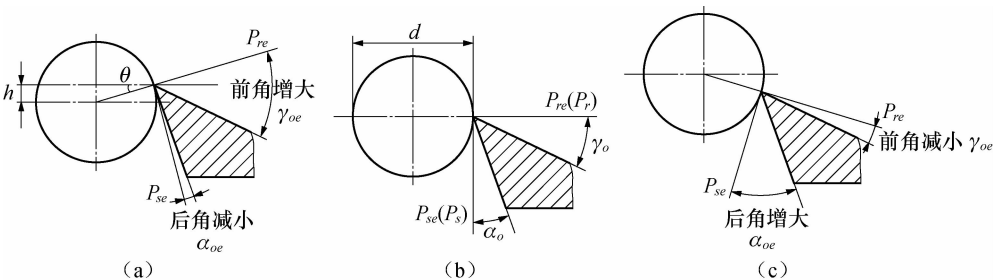


图 2-23 刀尖与工件不等高时的前后角
(a)装高;(b)正确;(c)装低

假设工件直径为 d ,安装时高度误差为 h ,安装误差引起的前、后角变化值为 θ ,则

$$\sin \theta \approx \frac{2h}{d}$$

本引入中:

因为
$$\sin \theta = \frac{2 \times 1.5}{30} = 0.1$$

所以
$$\theta = 5^{\circ}44'$$

即外圆车刀刀尖装低 1.5 mm 时,前角减小 $5^{\circ}44'$,后角增大 $5^{\circ}44'$,工作前角和工作后角分别为

$$\begin{aligned} \gamma_{oe} &= 10^{\circ} - 5^{\circ}44' = 4^{\circ}16' \\ \alpha_{oe} &= 6^{\circ} + 5^{\circ}44' = 11^{\circ}44' \end{aligned}$$

车削内表面时,情况与车削外表面相反。

不难看出,工件直径越小,高度安装误差对工作角度的影响越明显,由 $\sin \theta \approx 2h/d$ 可以看出,当刀尖高于工件中心的距离(h)较大或者工件直径(d)较小时(如切断工件时,切断刀接近中心时的直径),角度变化值 θ 较大,甚至趋于 90° 。而车刀的后角一般磨成 $6^{\circ} \sim 12^{\circ}$,在刀尖装高于工件中心并出现上述情况时,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刀的主要原因。当然,如果刀尖低于工件中心,则将会产生振动,或者产生“扎刀”现象。

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,车削细长轴类工件时,车刀刀尖应略高于工件中心 0.1~0.3 mm,这时

刀具的工作后角稍有减小,并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) 车刀中心线与进给方向不垂直时

刀具装偏,即刀具中心不垂直于工件中心,将造成主偏角和副偏角的变化。车刀中心向右偏斜,工作主偏角增大,工作副偏角减小,如图 2-24 所示;车刀中心向左偏斜,工作主偏角减小,工作副偏角增大。

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形或凸形,重者会使切断刀折断,必须引起充分的重视。

2. 进给运动的影响及计算

由于进给运动时车刀刀刃所形成的加工表面为阿基米德螺旋面,而切削刃上的选定点相对于工件的运动轨迹为阿基米德螺旋线,使切削平面和基面发生了倾斜,造成工作前角增大、工作后角减小,如图 2-25 所示,其角度变化值称为合成切削速度角,用符号 η 表示。

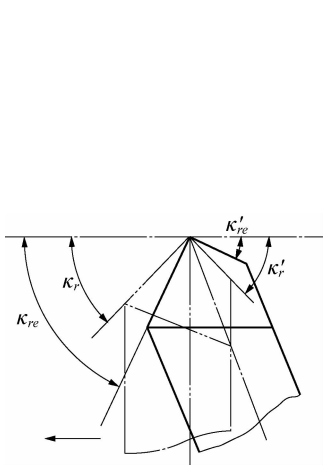


图 2-24 刀具装偏对主、副偏角的影响

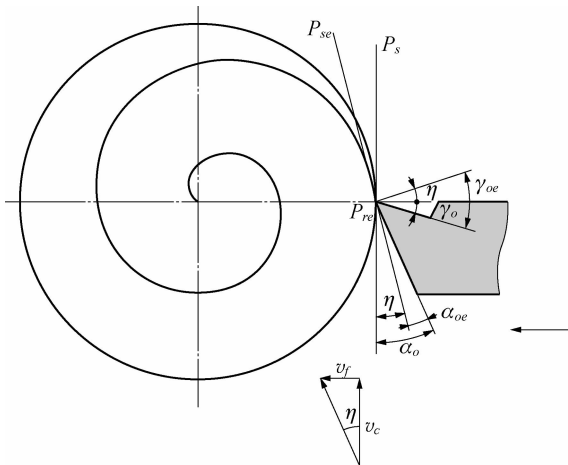


图 2-25 进给运动对工作角度的影响

若工件直径为 d ,进给量为 f ,则

$$\tan \eta = \frac{f}{\pi d}$$

引入中:

因为

$$f = 0.02 \text{ mm/r}, d = 63 \text{ mm}$$

所以

$$\tan \eta = \frac{f}{\pi d} = \frac{0.02}{\pi 63}$$

$$\eta = 0.0579^\circ$$

$$\begin{cases} \gamma_{oe} = 10^\circ + 0.0579^\circ = 10.0579 \\ \alpha_{oe} = 6^\circ - 0.0579^\circ = 5.9421 \end{cases}$$

一般车削时进给量较小,进给运动引起的 η 值很小,不超过 $30' \sim 1^\circ$,故可忽略不计。但在进给量较大,如车削大螺距螺纹,尤其是多线螺纹时, η 值很大,可大到 15° 左右。故在设计刀具时,必须考虑 η 对工作角度的影响,从而给以适当的弥补。

无论是横车(如切断、切槽、车端面等),还是纵车(如车削外圆),车刀都会发生上述变化。

需要说明的是,横车时:

$$\begin{cases} \gamma_{oe} = \gamma_o + \eta \\ \alpha_{oe} = \alpha_o - \eta \end{cases}$$

并且由于进给时 d 不断变小(η 为一变量),所以工作后角急剧下降,在未到工件中心处时,工作后角已变为负值,此时刀具不是在切削工件,而是在推挤工件。

纵车时, η 为一定值。换算到主剖面中的关系为:

$$\begin{aligned} \tan \eta_o &= \tan \eta + \sin \kappa_r \\ \begin{cases} \gamma_{oe} = \gamma_o + \eta_o \\ \alpha_{oe} = \alpha_o - \eta_o \end{cases} \end{aligned}$$

所以,从准确意义上来说,上述针对本引入中实例的计算,应该换算到主剖面中进行。练习中之所以这么做,是因为两者计算的结果非常接近。

注意事项:对螺纹车刀而言,进给运动对左右刀刃工作前后角的影响是不同的。对左刀刃,工作前角增大,工作后角减小;对右刀刃,工作前角减小,工作后角增大。

复习思考题

1. 切削加工由哪些运动组成? 它们是如何定义的? 各起什么作用?
2. 车削外圆时,工件上有哪些表面? 如何定义这些表面?
3. 切削用量三要素是指什么? 它们是如何定义的?
4. 切削层参数是指什么? 它们是如何定义的?
5. 车刀切削部分是怎样组成的? 各部分是如何定义的?
6. 刀具标注角度与工作角度有何区别?
7. 如何判定车刀前角和刃倾角的正负?

8. 如图 2-26 所示,用弯头刀车端面时,试标注出待加工表面、已加工表面、过渡表面及车刀的主切削刃、副切削刃和刀尖。

9. 如图 2-26 所示的车端面,试标注出背吃刀量 a_p 、进给量 f 、切削厚度 h_D 、切削宽度 b_D 。若 $a_p = 5 \text{ mm}$, $f = 0.3 \text{ mm/r}$, $\kappa_r = 45^\circ$,试求 h_D 、 b_D 和切削层横截面积

A_D 的大小。

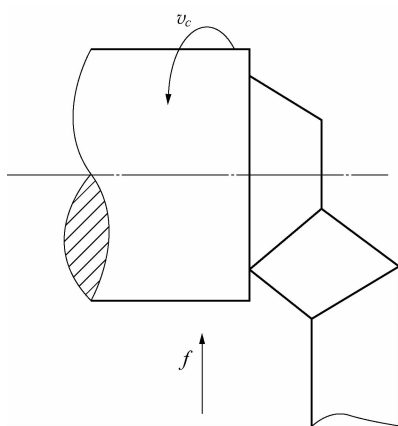


图 2-26

10. 车外圆的 45° 弯头车刀标注角度如下: $\kappa_r = 45^\circ$, $\kappa'_r = 45^\circ$, $\gamma_o = 15^\circ$, $\alpha_o = \alpha'_o = 6^\circ$, $\lambda_s = -3^\circ$, 试画出上述车刀几何角度图。

11. 刀具安装高低和偏斜如何影响工作角度?

教学单元 3 金属切削的基本理论

金属切削的基本理论是关于金属切削过程中基本物理现象变化规律的理论。金属切削过程就是刀具从工件表面上切除多余的金属,形成切屑和已加工表面的过程。伴随这一过程将产生一系列物理现象,包括切削变形、切削力、切削温度和刀具磨损等,而这些现象均以切削过程中金属的弹性、塑性变形为基础,将直接或间接地影响工件的加工质量和生产率等。生产实践中出现的积屑瘤、鳞刺、振动等问题,又都同切削过程中的变形规律有关。因此,了解并掌握这些变化规律,对分析解决切削加工中出现的问题有着十分重要的意义。

3.1 知识引入

金属切削的过程中到底会发生什么样的变形?变形的规律如何?若某中碳钢零件在某数控机床上加工时,出现了不易折断的带状切屑,严重影响了加工的进行,如何解决该问题?

在切削加工塑性金属材料工件时,有时会出现以下现象:某工人在以 15 m/min 的速度进给 0.2 mm/r 加工直径为 60 mm 的某中碳钢工件后,发现在刀具前刀面上主切削刃附近“长出”了一个硬度很高的楔块,如图 2-1 所示,并且工件已加工表面也变得比较粗糙。这是怎么回事呢?



图 3-1 积屑瘤

车削 $\phi 63_{-0.05}^0$ 短轴外圆时,在 CKS6116 车床(7.5 kW)上加工,进给量为 0.3 mm/r ,背吃刀量为 1.5 mm ,转速为 800 r/min ,设机床的传动效率为 80% ,要求计算主切削力并验算电动机功率。另在车削该外圆时,如果切屑颜色变为深蓝色,则车刀刀尖部位的温度大约是多少?

在切削工件时,新刀用起来比较轻快,但用了一段时间后,加工表面出现亮点,表面粗糙度明显恶化,分析其原因?如何防止这种现象的产生?

3.2 切削变形

切削变形实质上是工件切削层金属受刀具的作用后,产生弹性变形和塑性变形,使切削层金属与工件本体分离变为切屑的过程。

一、切屑的形成与变形原理

有些人认为金属的切削过程就像斧子劈木头一样,由于刀刃楔入的作用使切屑离开工件,这种看法是不对的。如果我们仔细观察一下,就会发现两者的过程及结果截然不同。在用斧子劈木头时,通常木头总是按照劈的方向顺着纹理裂成两片,在长度与厚度方向上基本不产生变形,劈开的两片木头仍能合成一块。而金属材料的切削过程却不一样,例如在刨床上切削钢类工件,只要将刨下来的切屑量一量,就会发现它的长度减短,厚度增厚;同时切屑呈卷曲状,一面光滑,另一面则毛松地裂开,这说明金属在切削过程中实际上并不是真正被简单地切下来的,而是在刀刃的切割和前刀面的推挤作用下,经过一系列复杂的变形过程,使被切削层成为切屑而离开工件的。

1. 切削时的三个变形区

切削过程中的金属的变形大致发生在三个区域内,如图 3-2 所示。

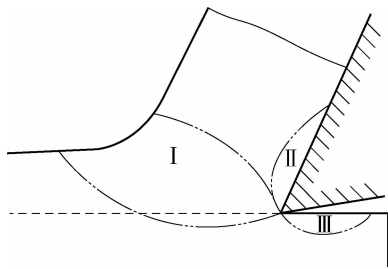


图 3-2 切削的三个变形区

第 I 变形区 靠近切削刃处,切削层内产生塑性变形的区域,称为第 I 变形区,如图 3-2 所示。它与刀具作用力约呈 45° 角。在该区域内,塑性材料在刀具作用下产生剪切滑移变形(塑性变形),使切削层转变为切屑。由于加工材料性质和加工条件的不同,滑移变形程度有很大的差异,这将产生不同种类的切屑。在第 I 变形区,切削层的变形最大,它对切削力和切削热的影响也最大。

第 II 变形区 前刀面接触的切屑底层内产生变形的一薄层金属区域,称为第

Ⅱ 变形区,如图 3-2 所示。切屑形成后,在前刀面的推挤和摩擦力作用下,必将发生进一步的变形,这就是第Ⅱ 变形区的变形。这种变形主要集中在和前刀面摩擦的切屑底层,它是切屑与前刀面的摩擦区。它对切削力、切削热和积屑瘤的形成与消失及刀具的磨损有着直接的影响。

第Ⅲ 变形区 靠近切削刃处,已加工面表层内产生变形的一薄层金属区域,称为第Ⅲ 变形区,如图 3-2 所示。在第Ⅲ 变形区内,由于受到刀刃钝圆半径、刀具后刀面对加工表面以及副后刀面对已加工表面的推挤和摩擦作用,这两个表面均产生了变形。第Ⅲ 变形区主要影响刀具后刀面和副后刀面的磨损,造成已加工表面的纤维化、加工硬化和残余应力,从而影响工件已加工表面的质量。

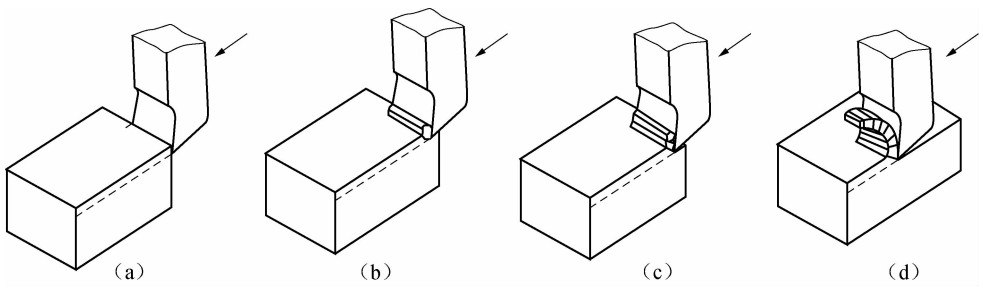


图 3-3 切削塑性材料的四个阶段

(a)弹性变形;(b)塑性变形(滑移);(c)挤裂;(d)切离

2. 切屑的形成和种类

切削塑性金属材料(如钢等)时,被切层一般经过弹性变形、塑性变形(滑移)、挤裂和切离四个阶段形成切屑。切削脆性材料(如铸铁等)时,被切层一般经过弹性变形、挤裂和切离三个阶段形成切屑。图 3-3、图 3-4 分别表示在刨床上加工这两种不同材料时的切削过程。

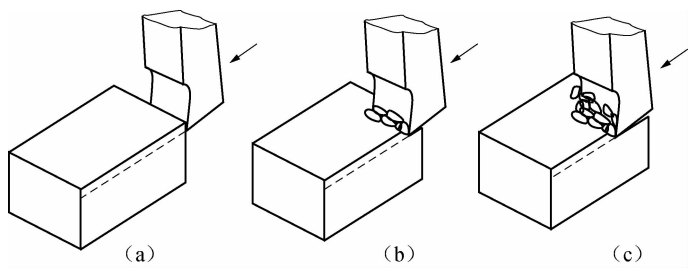
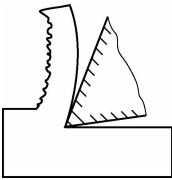
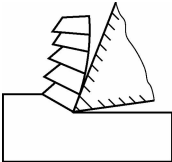
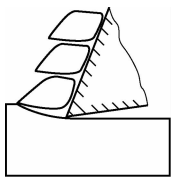
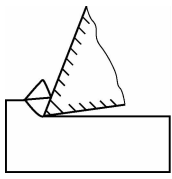


图 3-4 切削脆性材料的三个阶段

(a)弹性变形;(b)挤裂;(c)切离

在切削过程中,由于工件材料的塑性不同和塑性变形(滑移)的程度不同,将会产生不同形状的切屑(表 3-1)。

表 3-1 切屑的形态

切屑形态	特 点
 (a)带状切屑	这种切屑连绵不断,没有裂纹,底面光滑,另一面成毛茸状,无明显裂纹。一般加工塑性材料(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,往往形成这种切屑
 (b)节状切屑	节状切屑又称挤裂切屑。这种切屑的底面光滑,有时出现裂纹,而外表面呈明显的锯齿状。节状切屑大多在加工塑性较低的金属材料(如黄铜),切削速度较低,切削厚度较大、刀具前角较小时产生;特别当工艺系统刚性不足、加工碳素钢材料时,也容易产生这种切屑。产生节状切屑时,切削过程不太稳定,切削力波动较大,已加工表面质量较低
 (c)单元切屑	单元切屑又称粒状切屑。当采用小前角或负前角、以较低的切削速度和大切削厚度切削塑性金属时,会产生这种切屑。产生单元切屑时,切削过程不平衡,切削力波动较大,已加工表面质量较差
 (d)崩碎切屑	切削脆性金属(铸铁、铸造黄铜等)时,由于材料的塑性很小,抗拉强度很低,在切削时切削层内靠近切削刃和前刀面的局部金属未经明显的塑性变形就被挤裂,形成不规则形状的碎粒或碎片切屑。工件材料越脆硬、刀具前角越小、切削厚度越大时,越容易产生崩碎切屑。产生崩碎切屑时,切削力波动大,加工质量较差,表面凹凸不平,刀具容易损坏

此外,切屑的形状还与刀具切削角度及切削用量有关,当切削条件改变时,切屑形状会随之作相应地改变,例如在车削钢类工件时,如果我们逐渐增加车刀的锋利程度(如加大前角等措施),提高切削速度,减小走刀量,切屑将会由粒状逐渐变为节状,甚至变为带状。同样,采用大前角车刀车削铸铁工件时,如果切削深度较大,切削速度较高,也可以使切屑由通常的崩碎状转化为节状,但这种切屑用手一捏即碎。在上述几种切屑中,带状切屑的变形程度较小,而且切削时的振动较小,有利于保证加工精度与粗糙度,所以这种切屑是我们在加工时所希望得到的,但应着重注意它的断屑问题。

二、积屑瘤

在用中等或较低的切削速度切削一般钢料或其他塑性金属材料时,常在前刀

面接近刀刃处,黏结硬度很高(为工件材料硬度的 2~3.5 倍)的楔形金属块,这种楔形金属块称为积屑瘤,如图 3-1 所示。

1. 积屑瘤的形成

(1)形成条件 简单地概括为 3 句话:中等切削速度,切削塑性材料,形成带状切屑。

(2)形成原因 切削过程中,由于切屑底面与前刀面间产生的挤压和剧烈摩擦,切屑底层的金属流动速度低于上层流动速度,形成滞流层,当滞流层金属与前刀面间的摩擦力超过切屑本身分子间的结合力时,滞流层一部分金属在温度和压力适当时就黏结在刀刃附近而形成积屑瘤。积屑瘤形成后不断增大,达到一定高度后受外力作用和振动而破裂脱落,被切屑或已加工表面带走,故极不稳定。积屑瘤的形成、增大、脱落的过程在切削过程中周期性的不断出现。

2. 对切削加工的影响

(1)增大前角 积屑瘤黏附在前刀面上,增大了刀具的实际前角。当积屑瘤最高时,刀具有 30° 左右的前角,因而可减少切削变形,降低切削力。

(2)增大切削厚度 积屑瘤前端伸出切削刃外,伸出量为 Δ ,使切削厚度增大了 Δ ,因而影响了加工精度。

(3)增大已加工表面粗糙度 积屑瘤黏附在切削刃上,使实际切削刃呈一不规则的曲线,导致在已加工表面上沿着主运动方向刻划出一些深浅和宽窄不同的纵向沟纹;积屑瘤的形成、增大和脱落是一个具有一定周期的动态过程(每秒钟几十至几百次),使切削厚度不断变化,由此可能引起振动;积屑瘤脱落后,一部分黏附于切屑底部而排出,一部分留在已加工表面上形成鳞片状毛刺。

(4)影响刀具耐用度 积屑瘤包围着切削刃,同时覆盖着一部分前刀面,具有代替刀刃切削,保护刀刃、减小前刀面磨损的作用,从而减少了刀具磨损。但在积屑瘤不稳定的情况下使用硬质合金刀具时,积屑瘤的破裂可能使硬质合金刀具颗粒剥落,使刀具磨损加剧。

3. 影响积屑瘤的主要因素及控制措施

(1)工件材料的塑性 影响积屑瘤形成的主要因素是工件材料的塑性。工件材料的塑性大,很容易生成积屑瘤,所以对于塑性好的碳素钢工件,可先进行正火或调质处理,以提高硬度、降低塑性。

(2)切削速度 切削速度是通过切削温度影响积屑瘤的,切削条件中对积屑瘤影响最大的是切削速度 v_c 。如图 3-5 所示,切削 45 钢为例,在低速 $v_c < 3 \text{ m/min}$ 和较高速度 $v_c \geq 60 \text{ m/min}$ 范围内,摩擦系数都较小,故不易形成积屑瘤。在切削速度约为 20 m/min ,切削温度约 300°C ,产生积屑瘤的高度达到最大值。

(3)进给量 进给量增大,则切削厚度增大。切削厚度越大,刀与切屑的接触长度越长,就越容易形成积屑瘤。若适当降低进给量,使切削厚度 h_D 变薄,以减小切屑与前刀面的接触与摩擦,则可减小积屑瘤的形成。

(4)刀具前角 若增大前角,切屑变形减小,不仅使前刀面的摩擦减小,同时减少正压力,这就减小了积屑瘤的生成基础。实践证明,前角为 35° ,一般不易产生积屑瘤。图 3-6 所示,是切削合金钢消失积屑瘤时的切削速度、进给量和前角之间关系。

(5)前刀面的粗糙度 前刀面越粗糙,摩擦越大,给积屑瘤的形成创造了条件。若前刀面光滑,积屑瘤也就不易形成。

(6)切削液 合理使用切削液,可减少摩擦,也能避免或减少积屑瘤的产生。精加工中,为降低已加工表面粗糙度,应尽量避免积屑瘤的产生。

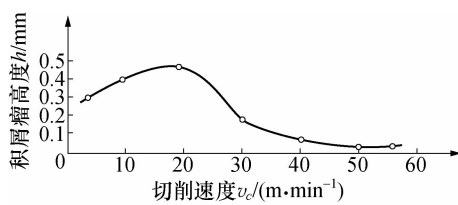


图 3-5 切削速度对积屑瘤的影响

加工条件:材料 45 钢

$a_p = 4.5 \text{ mm}$ 、 $f = 0.67 \text{ mm/r}$

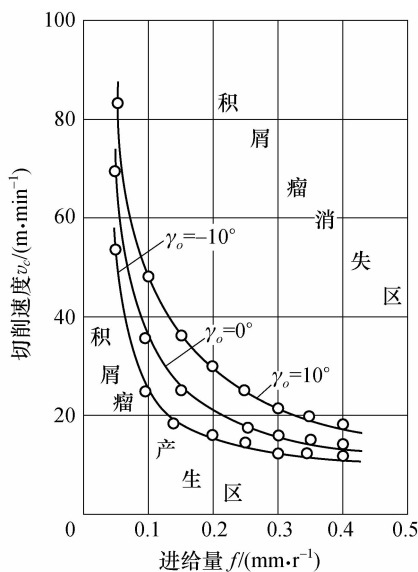


图 3-6 切削速度、进给量和前角之间关系

加工条件:材料合金钢、P10(YT15)

$\gamma_o = 0^\circ$ $r_e = 0.5 \text{ mm}$ $a_p = 2 \text{ mm}$

三、已加工表面层质量简介

在切削加工时,受到切削力和切削温度作用后,会引起已加工表面层质量产生变化。

1. 加工硬化

加工层产生了急剧的塑性变形后,使离加工表面 $0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$ 层内显微硬度提高,破坏了内应力平衡,改变了表层组织性能,使得已加工表面层的金属晶粒产

生扭曲、挤紧和破碎等(如图 3-7 所示),降低了材料的冲击韧度和疲劳强度,增加了材料的切削难度。

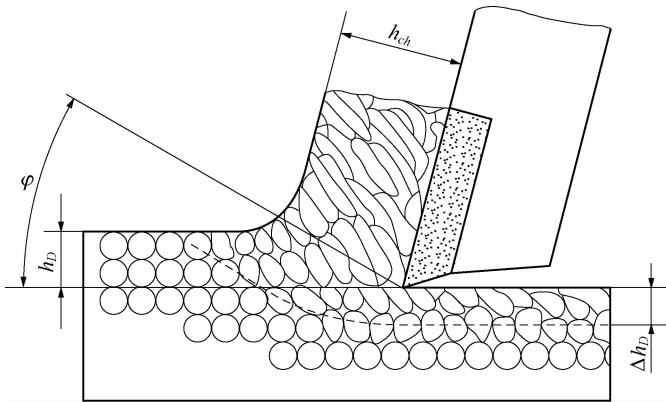


图 3-7 已加工表面层内金属晶粒变化

2. 表层残余应力

由于切削层塑性变形的影响,会改变表面层残余应力的分布,如切削后切削温度降低,使已加工表面层由膨胀而呈收缩,在收缩时它受底层材料阻碍下,使表面层中产生了拉应力。残余拉应力受冲击载荷作用,会降低材料疲劳强度,出现微观裂纹,降低材料的抗腐蚀性。

3. 表层微裂纹

切削过程中切削表面在外界摩擦、积屑瘤和鳞刺等因素作用以及在表面层内受应力集中或拉应力等影响下,造成已加工表层产生微裂纹。微裂纹不仅降低材料的疲劳强度和耐腐蚀,而且微裂纹不断扩展情况下,造成了零件的破坏。

4. 表层金相组织

切削时由于切削参数选用不当或切削液浇注不充分,会造成加工表面层的金相组织变化,影响被加工材料原有性能。例如零件在淬火后又经回火呈均匀的马氏体组织,消除了内应力。但在磨削时,由于磨削温度过高,冷却不均匀,出现二次回火而呈屈氏体组织,造成了组织不均匀,产生内应力,降低材料韧性而变脆。

四、表面粗糙度的形成

表面粗糙度是指已加工表面微观不平程度的平均值,是一种微观几何形状误差。经切削加工形成的已加工表面粗糙度,一般可看成由理论粗糙度和实际粗糙度叠加而成。

1. 理论粗糙度

这是刀具几何形状和切削运动引起的表面不平度。生产中,如果条件比较理想,加工后表面实际粗糙度接近于理论粗糙度。

刀具几何形状和切削运动对表面粗糙度的影响主要是通过刀具的主偏角、副偏角、刀尖圆弧半径 r 以及进给量对切削后工件上的残留层高度来体现的。主偏角、副偏角、进给量越小表面粗糙度越小;刀尖圆弧半径 r 越大,表面粗糙度越小。

如图 3-8 所示,用尖头刀加工时,残留层的最大高度 R_z 为

$$R_z = \frac{f}{\cot \kappa_r + \cot \kappa'_r} \text{ mm}$$

相应的轮廓算术平均偏差 R_a 为

$$R_a = \frac{1}{4} R_z \text{ mm}$$

用圆头刀加工时,残留层的最大高度 R_z 为:

$$R_z \approx \frac{f^2}{8r_\epsilon} \text{ mm}$$

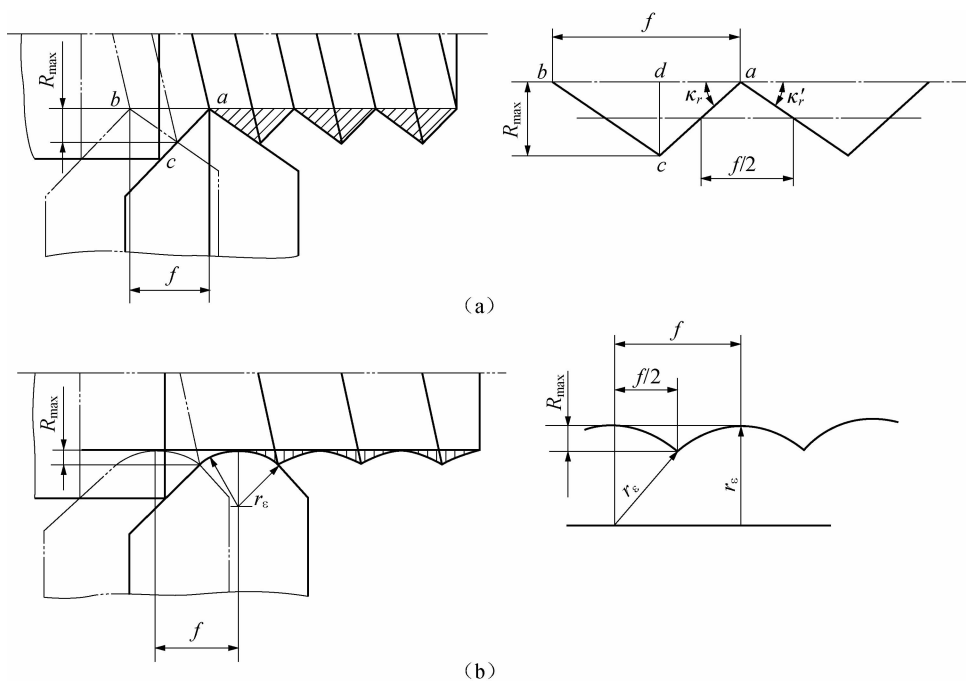


图 3-8 残留面积

2. 实际粗糙度

实际粗糙度是在理论粗糙度上叠加着非正常因素,例如:积屑瘤、鳞刺、刀具磨

痕和切削振纹等附着物和痕迹,因此,增大了残留面积的高度值。

(1)积屑瘤和鳞刺影响 黏附在刀刃上的积屑瘤顶端切入加工表面后使已加工表面粗糙不平。在已加工表面上垂直于切削速度方向会产生突出的鳞片状毛刺,通常称作鳞刺(如图 3-9 所示)。一般在对塑性材料的车、刨、拉、攻螺纹、插齿和滚齿加工中,并选用较低速度、较大进给量时,在产生严重摩擦和挤压情况下易生成鳞刺。鳞刺使已加工表面粗糙度严重恶化。

(2)刀具磨损影响 当刀具后面或刀尖处产生微崩时,它对加工表面摩擦使已加工表面上形成不均匀的划痕;刃磨切削刃口留下的毛刺、微小裂口或细微崩刃,这些缺陷均会反映在已加工表面上形成较均匀的沟痕。

(3)振动影响(图 3-10) 切削时工艺系统的振动,不仅明显加大工件表面粗糙度、降低加工表面质量,严重时会影响机床精度和损坏刀具。

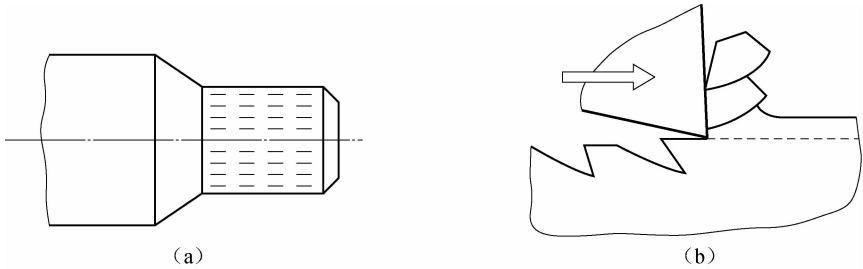


图 3-9 鳞刺现象

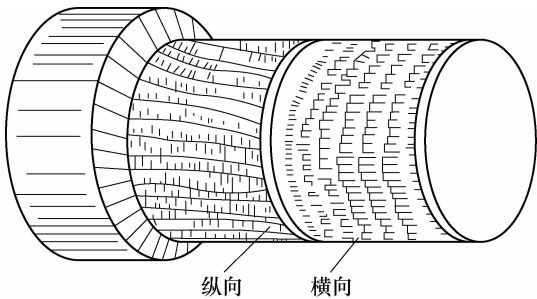


图 3-10 振纹

3. 减小表面粗糙度的途径

要提高已加工表面质量,降低表面粗糙度,往往从刀具和切削用量上做文章。在实际切削过程中,有很多因素影响到工件表面粗糙度,如机床精度的高低、工件材料的切削加工性好坏、刀具几何形状的合理与否、切削用量的选择合理与否,甚至包括刀具的刃磨质量、切削液的正确选用等。

(1)刀具几何形状方面 从以上分析不难看出,要减小表面粗糙度,可采用较

大的刀尖圆弧半径(圆头刀)、较小的主偏角或副偏角,甚至磨出修光刃。需要注意的是,主偏角的减小,会引起背向力 F_p 的增大,甚至会引起加工中的振动。刀尖圆弧半径的增大或过长的修光刃同样也有这个问题。

(2)切削用量方面 在同样加工条件下,采用不同的切削用量所获得的工件表面粗糙度有很大的不同。切削用量三要素中,进给量对表面粗糙度影响最大,进给量越小,残留层高度越低,表面粗糙度越小。

但应注意进给量不能过小,否则由于切削厚度过小刀刃将无法切入工件,造成刀具与工件的强烈挤压与摩擦。

若要求加大进给量,同时又要求获得较小的表面粗糙度值,刀具必须磨有修光刃,使副偏角为 0° 。但应注意此时的进给量不能过大,否则,太宽的修光刃会引起振动,反而会降低表面粗糙程度。

3.3 切削力

金属切削加工的目的在于通过刀具的作用从毛坯上切下多余的金属材料,得到满足加工要求的工件。在切削加工过程中,刀具必须克服被加工材料的切削变形阻力,这个阻力的反作用力就是切削力。切削力是设计机床、夹具和刀具的重要数据,也是分析切削过程工艺质量问题的重要参考数据。减小切削力,不仅可以降低功率消耗、降低切削温度,而且可以减小加工中的振动和零件的变形,还可以延长刀具的寿命。所以,必须掌握切削力和切削功率的计算方法,熟悉切削力的影响因素及变化规律,并能采取措施减小切削力。

一、切削力的来源(图 3-11)

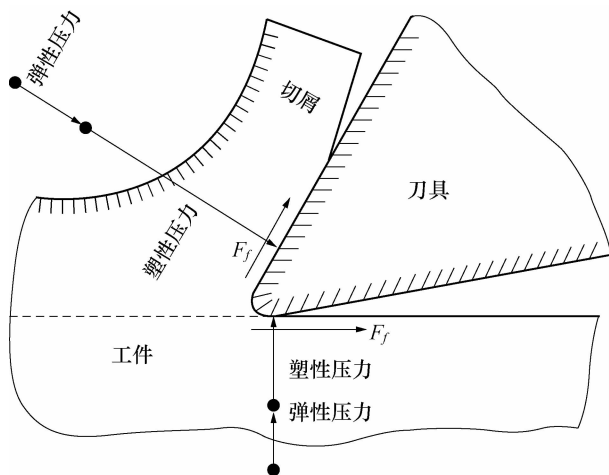


图 3-11 切削力的来源

在切削过程中,由于刀具切削工件而产生的工件和刀具之间的相互作用力叫切削力。

切削力产生的直接原因是切削过程中的变形和摩擦。前刀面的弹性、塑性变形抗力和摩擦力,后刀面的变形抗力、摩擦力。它们的总合力 F 即为切削力。

二、切削力的分解

实际生产中切削力的大小、方向是随切削条件而变化的,为方便分析,可将切削力分解为三个互相垂直的分力:

- 切削力 F_c (主切削力 F_z)——在主运动方向上的分力;
 - 背向力 F_p (切深抗力 F_y)——在垂直于假定工作平面上的分力;
 - 进给力 F_f (进给抗力 F_x)——在进给运动方向上的分力。
- 三个分力与合力的关系如下:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2}$$
$$F_p = F_D \cos \kappa_r; F_f = F_D \sin \kappa_r$$

一般情况下,就车削加工而言, F_c 最大, F_p 次之, F_f 最小。

表 3-2 切削力的分解

示 图			
	切削分力	符号	各分力的作用
主切削力	F_c	主运动方向上的切削分力,也叫切向力。它是最大的分力,消耗功率最多(占机床功率的 90%),是计算机床动力、机床和刀具的强度和刚度、夹具夹紧力的主要依据	
切深抗力	F_p	吃刀方向上的分力,又称径向力。它使工件弯曲变形和引起振动,对加工精度和表面粗糙度影响较大。因切削时沿工件直径方向的运动速度为零,所以径向力不做功	
进给抗力	F_f	在走刀方向上的分力,又叫轴向力。它与进给方向相反。其只消耗机床很少的功率(1%~3%),是计算(或验算)机床走刀机构强度的依据	

三、切削力及功率的计算

切削力的计算可由经验公式计算得到,可查有关工艺手册。

目前国内外许多资料中都利用单位切削力 K_C 来计算切削力 F_c 和切削功率 P_m ,这是较为实用和简便的方法。

单位切削力是切削单位切削层面积所产生的作用力,单位 N/mm^2 。表 3-3 为硬质合金外圆车刀切削几种常用材料的单位切削力。

1. 主切削力 F_c 可用以下公式计算:

$$F_c = K_c a_p f \quad (\text{N})$$

车钢件($\sigma_b=620\text{ MPa}$; $f=0.3\text{ mm/r}$)主切削力估算:

$$F_c \approx 2\ 570 a_p f \quad (\text{N}) \tag{3-1}$$

车铸铁($H_B=200$; $f=0.3\text{ mm/r}$)主切削力估算:

$$F_c \approx 1\ 600 a_p f \quad (\text{N})$$

式中 a_p ——背吃刀量,单位 mm ;

f ——进给量,单位 mm/r 。

表 3-3 硬质合金外圆车刀切削几种常用材料的单位切削力

工件材料				单位切削力 /(N·mm ⁻²) 或 (kgf·mm ⁻²)	实验条件			
名称	牌 号	制造、热处理状态	硬度 HBS		刀具几何参数			切削用量范围
钢	45	热轧或正火	187	1962(200)	$\gamma_o=15^\circ$ $\kappa_r=15^\circ$ $\lambda_s=0^\circ$	前 刀 面 带 卷 屑 槽	$b_{r_1}=0$	$v_c=1.5\sim1.75\text{ m/s}$ (90~105 m/min) $a_p=1\sim5\text{ mm}$ $f=0.1\sim0.5\text{ mm/r}$
		调质(淬火及高温回火)	229	2305(235)			$b_{r_1}=0.1\sim0.15\text{ mm}$ $\gamma_{o1}=-20^\circ$	
		淬硬(淬火及低温回火)	44 (HRC)	2649(270)				
	40Cr	热轧或正火	212	1962(200)			$b_{r_1}=0$	
		调质(淬火及高温回火)	285	2305(235)			$b_{r_1}=0.1\sim0.15\text{ mm}$ $\gamma_{o1}=-20^\circ$	
	灰 铸 铁	HT200	退 火	170		1118(114)	$b_{r_1}=0$ 平前刀面,无卷屑槽	

2. 车切削功率 P_m

可用以下公式估算:

$$P_m = \frac{F_c \times v_c}{60 \times 10^3 \times \eta} \quad (\text{kW}) \tag{3-2}$$

式中 v_c ——主运动,单位 m/min ;

η ——机床效率；
 F_c ——主切削力，单位 N。

引入中按式(3-1)、式(3-2)可计算的 $P_m=3.99<$ 机床功率 7.5 kW，所以满足安全使用。

四、影响切削力的主要因素

1. 工件材料的影响

工件材料的成分、组织、性能是影响切削力的主要因素。材料的硬度、强度愈高，变形抗力越大，则切削力越大。在材料硬度、强度相近的情况下，材料的塑性、韧性越大，则切削力越大。如切削脆性材料时，切屑呈崩碎状态，塑性变形与摩擦都很小，故切削力一般低于塑性材料。不锈钢 1Cr18Ni9Ti 的硬度与正火 45 钢大致相等，但由于其塑性、韧性大，所以其单位切削力比 45 钢大 25%。

2. 刀具角度的影响

(1)前角 γ_o 的影响 γ_o 愈大，切屑变形就愈小，切削力减小。切削塑性大的材料，加大前角可使塑性变形显著减小，故切削力减小。

(2)主偏角 κ_r 的影响(图 3-12) 主偏角 κ_r 对主切削力 F_c 的影响不大。 $\kappa_r=60^\circ\sim75^\circ$ 时， F_c 最小； $\kappa_r<60^\circ$ 时， F_z 随 κ_r 的增大而减小； κ_r 为 $60^\circ\sim75^\circ$ 时， F_c 减到最小； $\kappa_r>75^\circ$ 时， F_z 随 κ_r 的增大而增大，不过 F_c 增大或减小的幅度均在 10% 以内。主偏角 κ_r 主要影响 F_p 和 F_f 的比值， κ_r 增大时，背向力 F_p 减小，进给抗力 F_f 增大。所以在切削细长轴时，采用大的 $\kappa_r(90^\circ)$ 。

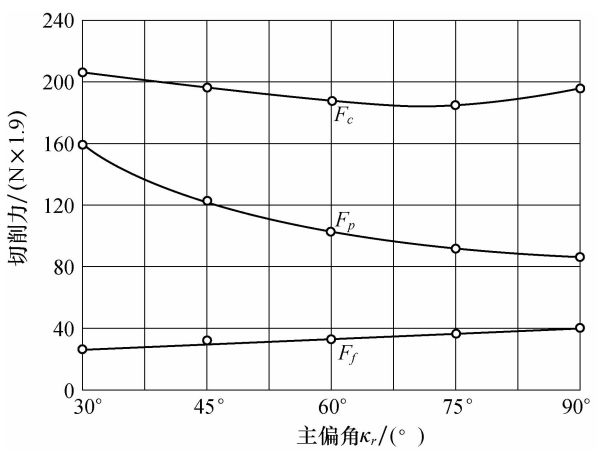


图 3-12 κ_r 对 F_c 、 F_p 、 F_f 的影响

(3)刃倾角 λ_s 的影响(图 3-13) 刃倾角 λ_s 对主切削力 F_c 的影响很小。但对

背向力 F_p 、进给抗力 F_f 影响显著。其减小时, F_p 增大, F_f 减小。

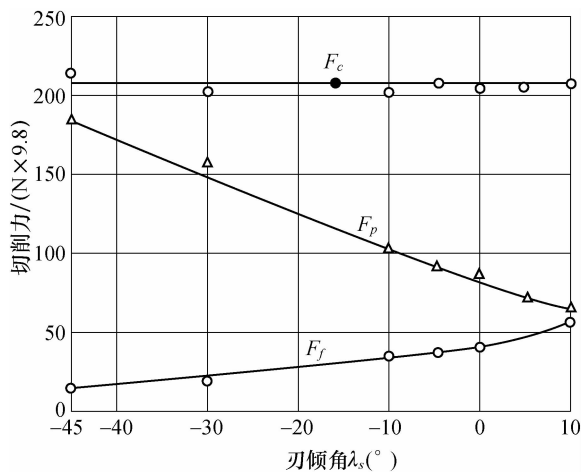


图 3-13 λ_s 对 F_c 、 F_p 、 F_f 的影响

(4) 刀尖圆弧半径 r_ϵ 刀尖圆弧半径 r_ϵ 对背向力 F_p 的影响最大, 随着 r_ϵ 的增大, 切削变形增大, 切削力增大。实验表明, 当 r_ϵ 由 0.25 mm 增大到 1 mm 时, F_p 可增大 20% 左右, 易引起振动。所以, 从减小切削力的角度看, 应该选用较小的刀尖圆弧半径 r_ϵ 。

3. 切削用量的影响

(1) 进给量 f 和切削深度 a_p (如图 3-14) a_p 和 f 增大时, 切削面积 A_D 成比例地增大, 故切削力增大。但二者对切削力的影响程度不同, a_p 增大时, 切削力 F_c 成比例地增大; 而 f 增大时, F_c 的增大却不成比例, 其影响程度比 a_p 小。根据这一规律可知, 在切削面积不变的条件下, 采用较大的进给量和较小的切削深度, 可使切削力较小。

(2) 切削速度 v_c 切削速度 v_c 主要通过对积屑瘤的影响来影响切削力。如图 3-15 所示, 在 v_c 较低时, 随着 v_c 的增大, 积屑瘤增高, 刀具实际前角增大, 故切削力减小。 v_c 较高时, 随着 v_c 的增大, 积屑瘤逐渐减小, 切削力又逐渐增大。在积屑瘤消失后, v_c 再增大, 使切削温度升高, 切削层金属的强度和硬度降低, 切屑变形减小, 摩擦力减小, 因此切削力减小。 v_c 达到一定值后再增大时, 切削力变化减缓, 渐趋稳定。可见在不影响切削效率的前提下, 为降低切削力, 应增大切削速度而减小切削深度。

切脆性金属 (如铸铁、黄铜) 时, 切屑和前刀面的摩擦小, v_c 对切削力无显著的影响。

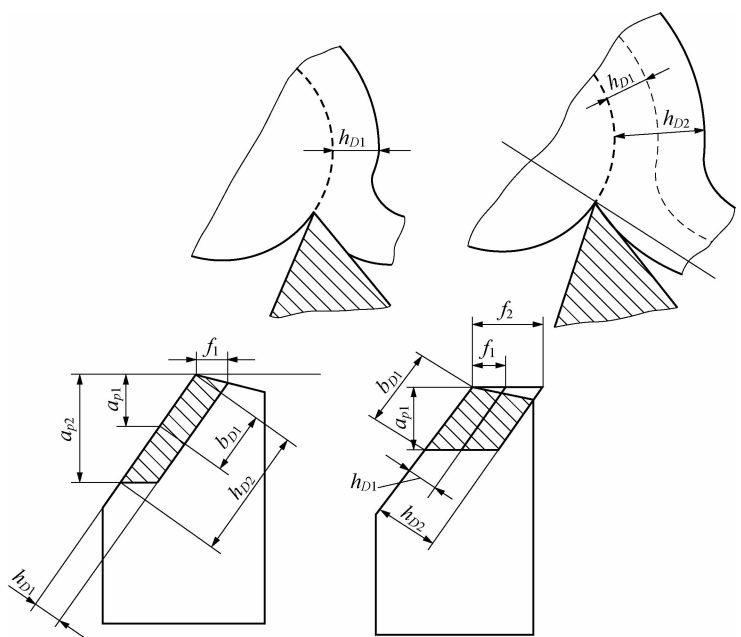


图 3-14 背吃刀量和进给量对切削力的影响

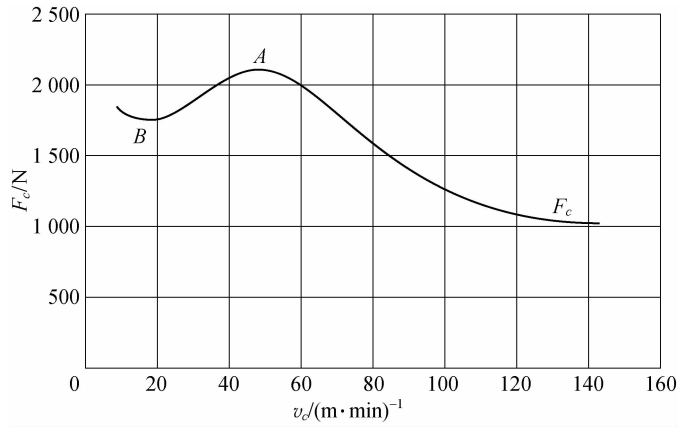


图 3-15 切削速度对切削力的影响

工件材料:45 钢 刀具:YT15

$\gamma_o = 15^\circ, \lambda_s = 0^\circ, \kappa_r = 45^\circ, a_p = 2 \text{ mm}, f = 0.2 \text{ mm/r}$

4. 其他因素的影响

(1) 刀具磨损 刀具磨损后, 刀刃变钝, 后刀面与加工表面间挤压和摩擦加剧, 使切削力增大。刀具磨损达到一定程度后, 切削力会急剧增加。

(2) 切削液和刀具材料 以冷却作用为主的水溶液对切削力的影响很小。以

润滑作用为主的切削液能显著地降低切削力。由于润滑作用,减少了刀具前刀面与切屑、后刀面与工件表面的摩擦。刀具材料对切削力也有一定的影响,选择与工件材料摩擦系数小的刀具材料,切削力会不同程度地减小。实验结果表明,用 YT 类硬质合金刀具比用高速钢刀具的切削力降低 5%~10%。

3.4 切削热与切削温度

切削过程中所有消耗的功几乎转化成热量,这就是切削热。切削热会引起工艺系统(机床、刀具、工件和夹具)的热变形,从而影响加工精度和刀具使用寿命。

一、切削热的产生和传散(图 3-16)

1. 切削热的产生

切削热主要来自工件材料在切削过程中的变形(弹性变形、塑性变形)和摩擦(前刀面与切屑、后刀面与工件),即三个变形区是切削热的热源。

在第Ⅰ变形区,主要是切削层的变形热;在第Ⅱ变形区,主要是切屑与前刀面的摩擦热;在第Ⅲ变形区,主要是后刀面与工件的摩擦热。

切削塑性材料时, v_c 不高时,主要是弹、塑性变形热, v_c 较高时,主要是摩擦热;切削脆性材料时,因无塑性变形,故主要是弹性变形热和后刀面与工件摩擦热。

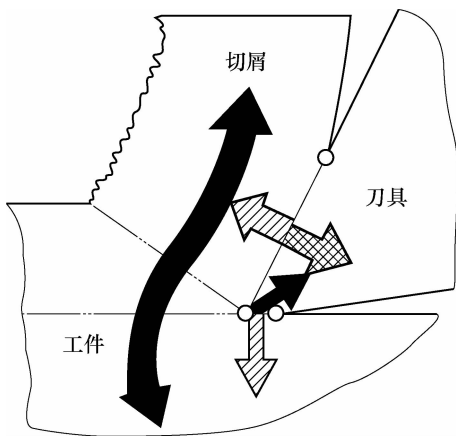


图 3-16 切削热源与切削热的传散

2. 切削热的传散

切削热由切屑、工件、刀具及周围介质传导出。切削热产生与传散的关系为

$$Q=Q_{\text{变}}+Q_{\text{摩}}=Q_{\text{屑}}+Q_{\text{工}}+Q_{\text{刀}}+Q_{\text{介}}$$

(3-3)

表 3-4 车削和钻削时切削热由各部分传出的比例

%

类型	$Q_{\text{屑}}$	$Q_{\text{工}}$	$Q_{\text{刀}}$	$Q_{\text{介}}$
车削	50~86	40~10	9~30	1
钻削	28	14.5	52.5	5

二、切削温度及其影响因素

通常所说的切削温度,如无特别说明,均是指切削区域(即切屑、工件、刀具接触处)的平均温度。切削温度的高低取决于切削热产生的多少和切削热传散的情况。

生产中常以切屑的颜色判断切削温度的高低。如切削碳素结构钢,切屑呈银白色时,切削温度为 200℃ 以下;

- 淡黄色——约 220℃;
- 深蓝色——约 300℃;
- 淡灰色——约 400℃;
- 紫黑色——>500℃。

对于每种刀具和工件材料的组合,理论上都有一最佳切削温度,在这一温度范围内,工件材料的硬度和强度相对于刀具下降较多,使刀具相对切削能力提高、磨损相对减缓。例如:

- 切削高强度钢时,用高速钢刀具,其最佳切削温度为 480℃~650℃;
- 用硬质合金刀具,其最佳切削温度为 750℃~1 000℃。
- 切削不锈钢时,用高速钢刀具,其最佳切削温度为 280℃~480℃;
- 用硬质合金刀具,其最佳切削温度为<650℃。

1. 切削温度对切削过程的影响

1) 不利的方面

- ①加剧刀具磨损,降低刀具耐用度;
- ②使工件、刀具变形,影响加工精度。温度升高,工件受热会发生变形。例如车长轴的外圆时,工件的热伸长使加工出的工件呈鼓形度;车中等长轴时,由于车刀可伸长 0.03~0.04 mm(刀具热伸长始终大于刀具的磨损),所以工件会产生锥度;
- ③工件表面产生残余应力或金相组织发生变化,产生烧伤退火。

2) 有利的方面

- ①使工件材料软化,变得容易切削;
- ②改善刀具材料脆性和韧性,减少崩刃;
- ③较高的切削温度,还不利于积屑瘤的生成。

2. 影响切削温度的主要因素

1) 切削用量

(1) 切削速度 切削用量中对切削温度影响最大的是切削速度 v_c 。随着 v_c 的提高, 切削温度显著提高。因为当切屑沿前刀面流出时, 切屑底层与前刀面发生强烈摩擦, 因而产生大量的热量。但由于切屑带走热量的比例也增大, 故切削温度并不随 v_c 的增大而成比例地提高。

(2) 进给量 进给量 f 增大时, 切削温度随之升高, 但其影响程度不如 v_c 大。这是因为 f 增大时, 切削厚度增加, 切屑的平均变形减小; 加之进给量增加会使切屑与前刀面的接触区域增加, 即散热面积 A_D 略有增大。

③ 切削深度 切削深度 a_p 对切削温度的影响最小。这是因为 a_p 增加时, 刀刃工作长度成比例增加, 即散热面积 A_D 也成正比增加, 但切屑中部的热量传散不出去, 所以切削温度略有上升。

实验得出, v_c 增加一倍, 切削温度增加 20%~33%; f 增加一倍, 切削温度大约增加 10%; a_p 增加一倍, 切削温度大约只增加 3%。

通过上述分析可见, 随着切削用量 v_c 、 f 、 a_p 的增大, 切削温度也会提高。其中 v_c 的影响最大、 f 次之, a_p 最小。因此, 在切削效率不变的条件下, 通过减小切削速度来降低切削温度, 比减小 f 或 a_p 更为有利。

2) 刀具几何角度

前角 γ_o 与主偏角 κ_r 的影响最明显(如图 3-17 所示)。实验证明, γ_o 从 10° 增加到 18° , 切削温度下降 15%, 这是因为切削层金属在基本变形区和前刀面摩擦变形区变形程度随前角增大而减小的缘故。但是前角过分增大会影响刀头的散热能

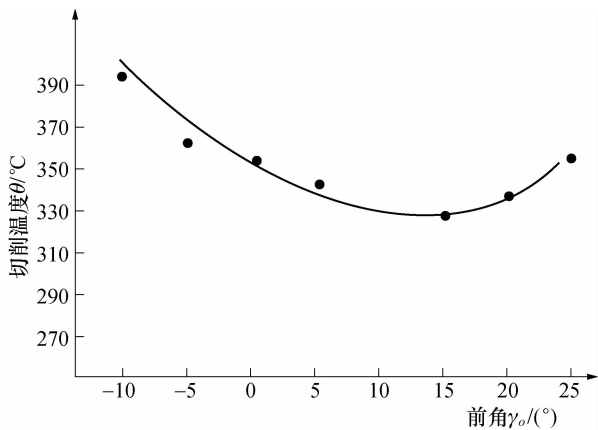


图 3-17 前角 γ_o 对切削温度的影响

工件材料: 45 钢; 刀具材料: W18Cr4V; $\kappa_r = 75^\circ$, $\alpha_o = 6^\circ$;
切削用量: $a_p = 1.5 \text{ mm}$, $f = 0.2 \text{ mm/r}$, $v_c = 20 \text{ m/min}$

力,切削热因散热体积减小不能很快传散出去。例如, γ_o 从 18° 增加到 25° ,切削温度大约只能降低 5%。

主偏角 κ_r 减小会使主切削刃工作长度增加,散热条件相应改善。另外, κ_r 减小使刀头的散热体积增大,也有利于散热。因此,可采用较小的主偏角来降低切削温度(如图 3-18 所示)。

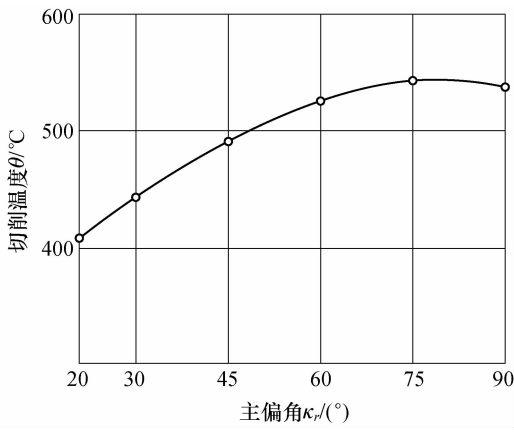


图 3-18 主偏角 k_r 与切削温度的关系

工件材料:45 钢;刀具材料:YT15; $\gamma_o=15^\circ$;

切削用量: $a_p=2\text{ mm}$, $f=0.2\text{ mm/r}$

刀尖圆弧半径 γ_e 增大,使刀具切削刃的平均主偏角 κ_{rav} 减小,切削宽度 b_D 增大,刀具传热能力增大,切削温度降低。

3) 工件材料

工件材料影响切削温度的因素主要有强度、硬度、塑性及导热性能。工件材料的强度与硬度越高,切削时消耗的功越多,产生的切削热越多,切削温度就越高;在强度、硬度大致相同的条件下,塑性、韧性好的金属材料塑性变形较严重,因变形而转变成的切削热较多,所以切削温度也较高;工件材料的导热性能好,有利于切削温度的降低。例如,不锈钢 1Cr18Ni9Ti 的强度、硬度虽低于 45 钢,但其导热系数小于 45 钢(约为 45 钢的 1/4),切削温度却比 45 钢高 40%。

4) 刀具磨损

刀具磨损后切削刃变钝,刀具与工件间的挤压力和摩擦力增大,功耗增加,产生切削热多,切削温度因而提高。

5) 切削液

切削液可减小切屑、刀和工件之间的摩擦并带走大量切削热,因此,可有效地能降低切削温度。

综上,为减小切削力,增大 f 比增大 a_p 有利。但从降低切削温度来考虑,增大 a_p 又比增大 f 有利。由于 f 的增大使切削力和切削温度的增加都较小,但却使材

料切除率成正比例提高,所以采用大进给量切削,具有较好的综合效果,特别是在粗、半精加工中得到广泛应用。

3.5 刀具磨损

在切削加工中,刀具有一个逐渐变钝而失去加工能力的过程,这就是磨损。刀具因磨损、崩刃、卷刃而失去加工能力的现象称为刀具的失效(钝化)。刀具的磨损对加工质量、效率影响很大,必须引起足够的重视。

一、刀具磨损形式

刀具磨损可分为:正常磨损和非正常磨损两类。

1. 正常磨损

正常磨损是指随着切削时间增加磨损逐渐扩大的磨损形式,图 3-19 为正常磨损形式。

(1)前刀面磨损(见 3-19 所示) 前刀面上出现月牙洼磨损,其深度为 KT ,这是由切屑流出时产生摩擦和高温高压作用形成的。

(2)主后面磨损(见图 3-19 所示) 主后面磨损分为三个区域:刀尖磨损,磨损量大是因近刀尖处强度低、温度集中造成;中间磨损区,均匀磨损量 VB ,这是因为摩擦和散热差所致;边界磨损区,切削刃与待加工表面交界处磨损,这是由于高温氧化和表面硬化层作用引起的。

(3)副后面磨损 在切削过程中因副后角及副偏角过小,致使副后面受到严重摩擦而产生磨损。

2. 非正常磨损

非正常磨损亦称破损,图 3-21 是较常见的几种脆性破损形式,图 3-20 是刀具的塑性变形。

发生脆性损伤的原因是作用于刀具的拉应力和剪切应力以及交变应力,具体地说,有下述各种原因:

- (1)因不合理的切削条件等使刀尖受到较大的力。
- (2)因发生震颤和不连续切屑等原因而引起瞬时较大的力。
- (3)当积屑瘤等黏结物脱落。
- (4)切削热和冷却条件的变化。

塑性变形是刀具切削区域因严重塑性变形使刀面和切削刃周围产生塌陷。造成的原因主要是,切削温度过高和切削压力过大,刀头强度和硬度降低。尤其在高速钢刀具上较易出现。

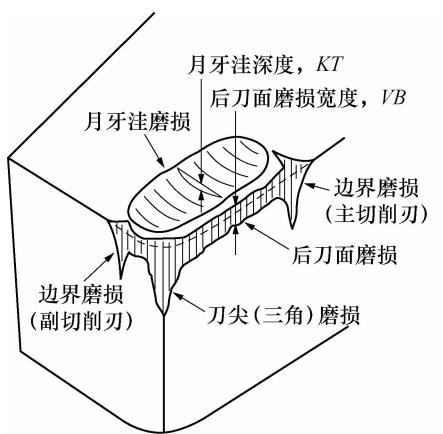


图 3-19 刀具的磨损形式

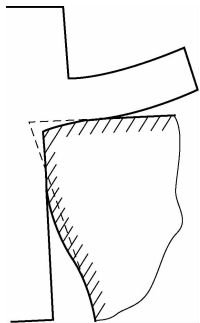


图 3-20 刃口塑性变形

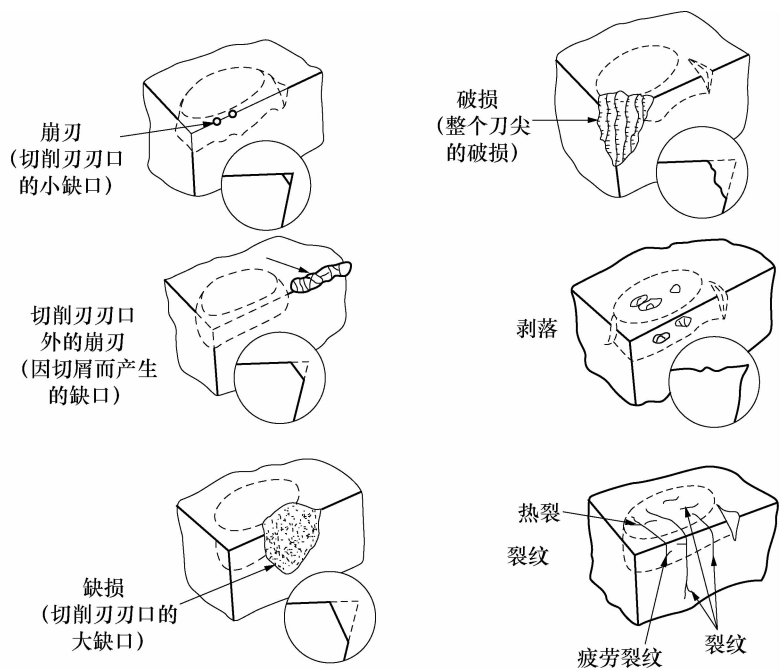


图 3-21 刀具脆性损伤的分类

二、刀具磨损原因

为了减小和控制刀具的磨损,为了研制新的刀具材料,必须研究刀具磨损的原因和本质。切削过程中的刀具磨损具有下列特点:

- (1) 刀具与切屑、工件间的接触表面经常是新鲜表面。
- (2) 接触压力非常大,有时超过被切削材料的屈服强度。

(3)接触表面的温度很高,对于硬质合金刀具可达 $800^{\circ}\text{C}\sim 1\,000^{\circ}\text{C}$,对于高速钢刀具可达 $300^{\circ}\text{C}\sim 600^{\circ}\text{C}$ 。

在上述条件下工作,刀具磨损经常是机械的、热的、化学的三种作用的综合结果,可以产生磨料磨损、冷焊磨损(有的文献称为黏结磨损)、扩散磨损、相变磨损和氧化磨损等。

1. 磨料磨损

切屑、工件的硬度虽然低于刀具的硬度,但其结构中经常含有一些硬度极高的微小的硬质点,能在刀具表面刻划出沟纹,这就是磨料磨损。硬质点有碳化物(如 Fe_3C 、 TiC 、 VC 等)、氮化物(如 TiN 、 Si_3N_4 等)、氧化物(如 SiO_2 、 Al_2O_3 等)和金属间化合物。

磨料磨损在各种切削速度下都存在,但对低速切削的刀具(如拉刀、板牙等),磨料磨损是磨损的主要原因。这是因为低速切削时,切削温度比较低,由于其他原因产生的磨损尚不显著,因而不是主要的。高速钢刀具的硬度和耐磨性低于硬质合金、陶瓷等,故其磨料磨损所占的比重较大。

2. 冷焊磨损

切削时,切屑、工件与前、后刀面之间,存在很大的压力和强烈的摩擦,因而它们之间会发生冷焊。由于摩擦它们之间有相对运动,冷焊结点产生破裂被一方带走,从而造成冷焊磨损。

一般说来,工件材料或切屑的硬度较刀具材料的硬度为低,冷焊结的破裂往往发生在工件或切屑这一方。但由于交变应力、接触疲劳、热应力以及刀具表层结构缺陷等原因,冷焊结的破裂也可能发生在刀具这一方,这时,刀具材料的颗粒被切屑或工件带走,从而造成刀具磨损。

冷焊磨损一般在中等偏低的切削速度下比较严重。在高速钢刀具正常工作的切削速度和硬质合金刀具偏低的切削速度下,都能满足产生冷焊的条件,故此时冷焊磨损所占的比重较大。提高切削速度后,硬质合金刀具冷焊磨损减轻。

3. 扩散磨损

扩散磨损在高温下产生。切削金属时,切屑、工件与刀具接触过程中,双方的化学元素在固态下相互扩散,改变了材料原来的成分与结构,使刀具表层变得脆弱,从而加剧了刀具的磨损。例如用硬质合金切削钢材时,从 800°C 开始,硬质合金中的钴便迅速地扩散到切屑、工件中去, WC 分解为钨和碳后扩散到钢中。因切屑、工件都在高速运动,它们和刀具的表面在接触区保持着扩散元素的浓度梯度,从而使扩散现象持续进行。于是,硬质合金表面发生贫碳、贫钨现象。黏结相钴的减少,又使硬质合金中硬质相(WC 、 TiC)的黏结强度降低。切屑、工件中的铁和碳

则向硬质合金中扩散,形成新的低硬度、高脆性的复合碳化物。所有这些,都使刀具磨损加剧。

硬质合金中,钛元素的扩散率远低于钴、钨, TiC 又不易分解,故在切削钢材时 YT 类合金的抗扩散磨损能力优于 YG 类合金。TiC 基、Ti(C,N)基合金和涂层合金(涂覆 TiC 或 TiN)则更佳;硬质合金中添加钽、铌后形成固溶体(W,Ti,Ta,Nb)C,也不易扩散,从而提高了刀具的耐磨性。

扩散磨损往往与冷焊磨损、磨料磨损同时产生,此时磨损率很高。前刀面上离切削刃有一定距离处的温度最高,该处的扩散作用最强烈,于是在该处形成月牙洼。高速钢刀具的工作温度较低,与切屑、工件之间的扩散作用进行得比较缓慢,故其扩散磨损所占的比重远小于硬质合金刀具。

用金刚石刀具切削钢、铁材料,当切削温度高于 700°C 时,金刚石中的碳原子将以很大的扩散强度转移到工件表面层形成新的铁碳合金,而刀具表面石墨化,从而形成严重的扩散磨损。但金刚石刀具与钛合金之间的扩散作用较小。

用氧化铝陶瓷和立方氮化硼刀具切削钢材,当切削温度高达 $1\,000^{\circ}\text{C} \sim 1\,300^{\circ}\text{C}$ 时,扩散磨损尚不显著。

4. 相变磨损

相变磨损是一种塑性变形磨损或破损。用高速钢刀具切削时,当切削温度超过其相变温度时,刀具材料的金相组织就会发生变化,使刀具硬度降低,产生急剧磨损。相变磨损是高速钢刀具磨损的主要原因之一。

5. 氧化磨损

当切削温度达到 $700^{\circ}\text{C} \sim 800^{\circ}\text{C}$ 时,空气中的氧便与硬质合金中的钴及碳化钨、碳化钛等发生氧化作用,产生较软的氧化物(如 Co_3O_4 、 CoO 、 WO_3 、 TiO_2 等)被切屑或工件擦掉而形成磨损,这称为氧化磨损。氧化磨损与氧化膜的黏附强度有关,黏附强度越低,则磨损越快;反之则可减轻这种磨损。一般空气不易进入刀与切屑的接触区,氧化磨损最容易在主、副切削刀的工作边界处形成,在这里的后刀面(有时在前刀面)上划出较深的沟槽,这是造成“边界磨损”的原因之一。

6. 热电磨损

工件、切屑与刀具由于材料不同,切削时在接触区产生电势,这种热电势有促进扩散的作用从而加速刀具磨损。这种热电势的作用下产生的扩散磨损,称为“热电磨损”。试验证明,若在刀具和工件接触处通以与热电势相反的电动势,可减少热电磨损。

总之,在不同的工件材料、刀具材料和切削条件下,磨损原因和磨损强度是不同的。对于一定的刀具和工件材料,切削温度对刀具磨损具有决定性的影响。高

温时扩散和氧化磨损强度高;在中低温时,冷焊磨损占主导地位;磨料磨损则在不同的切削温度下都存在。

三、磨损过程及磨钝标准

1. 刀具磨损过程

无论何种磨损形式,刀具的磨损过程和一般机器零件的磨损规律相同,如图 3-22 所示,可分为三个阶段:

(1)初期磨损阶段(AB 段) 这一阶段磨损速率大,这是因为新刃磨的刀具后刀面存在凹凸不平、氧化或脱碳层等缺陷,使刀面表层上的材料耐磨性较差。

(2)正常磨损阶段(BC 段) 经过初期磨损后,刀具后刀面的粗糙表面已经磨平,承压面积增大,压应力减小,从而使磨损速率明显减小,且比较稳定,即刀具进入正常磨损阶段。

(3)急剧磨损阶段(CD 段) 当磨损量达到 VB 程度后,摩擦力增大,切削力和切削温度急剧上升,刀具磨损速率增大,以致刀具迅速损坏而失去切削能力。

实际生产中,在正常磨损后期、急剧磨损前刃磨和换刀。

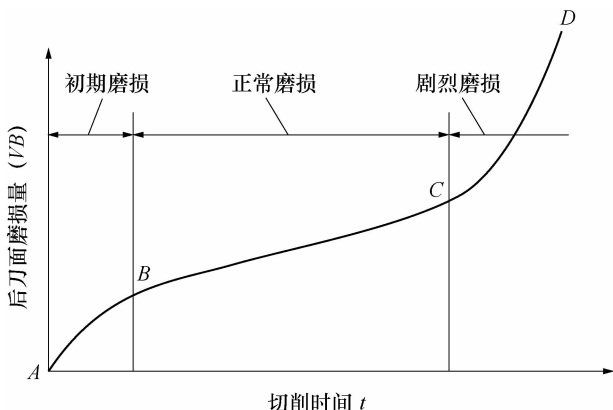


图 3-22 刀具的磨损过程

2. 刀具的磨钝标准

从刀具磨损过程可见,刀具不可能无休止地使用,磨损量达到一定程度就要重磨和换刀,这个允许的限度称为磨钝标准。由于后刀面磨损最常见,且易于控制和测量,通常以后刀面中间部分的平均磨损量 VB 作为磨钝标准。当刀具以月牙洼磨损为主要形式时,可用月牙洼深度 KT 规定磨钝标准。对于一次性对刀的自动化精加工刀具,则用 VB 作为指标。根据生产实践的调查资料,硬质合金车刀磨钝标准推荐值见表 3-5。

表 3-5 硬质合金车刀磨损限度

加工条件	碳钢及合金钢		铸铁	
	粗车	精车	粗车	精车
VB/mm	1.0~1.4	0.4~0.6	0.8~1.0	0.6~0.8

实际生产中,有经验的操作人员往往凭直观感觉来判断刀具是否已经磨钝。工件加工表面粗糙度的 Ra 值开始增大,切屑的形状和颜色发生变化,工件表面出现挤亮的带,切削过程产生振动或刺耳噪声等,都标志着刀具已经磨钝。

四、刀具寿命

生产中不可能经常测量 VB 高度来掌握磨损程度,而是用规定的刀具使用时间作为限定刀具磨损量的标准。

1. 刀具耐用度的概念

刀具刃磨后,从开始切削到磨损量达到磨钝标准 VB 所经过的切削时间。即两次刃磨间的总切削时间,用 T 表示,单位: min。它不包括对刀、夹紧、测量、快进、回程等辅助时间。

2. 刀具耐用度的确定

刀具耐用度对切削加工的生产率和成本都有直接的影响,不能规定得太高或太低。如果定得太高,切削时势必选用较小的切削用量,这就降低了生产率,增加了成本;如果定得太低,虽然允许采用较高的切削速度,使机动时间减少,但会增加换刀、磨刀或调整机床所用的辅助时间,生产率也会降低,同样会增大成本。所以耐用度应规定得合理。目前生产中常用的刀具耐用度参考值见表 3-6。

确定刀具耐用度还应考虑以下几点:

- (1)复杂的、高精度的、多刃的刀具耐用度应比简单的、低精度的、单刃刀具高;
- (2)可转位刀具因换刀、换刀片快捷,为使切削刃始终处于锋利状态,刀具耐用度可规定得低一些;
- (3)精加工刀具切削负荷小,刀具耐用度应比粗加工刀具选得高一些;
- (4)精加工大件时,为避免中途换刀,耐用度应选得高一些;
- (5)数控加工中,刀具耐用度应大于一个工作班,至少应大于一个零件的切削时间。

目前,数控机床和加工中心所使用的数控刀具,由于它使用高性能刀具材料和良好的刀具结构,能很高地提高切削速度和缩短辅助时间,对于提高生产效率和生产效益起着重要作用。此外,在刀具上消耗的成本也很低,仅占生产成本的 3%~4%,为此,目前数控刀具的寿命均低于其他刀具,例如:车刀寿命定为 $T=15\text{ min}$ 。

表 3-6 刀具寿命参考值

刀具类型	刀具寿命/min	刀具类型	刀具寿命/min
高速钢车刀、刨刀、镗刀	60	高速钢钻头	80~120
硬质合金焊接车刀	30~60	硬质合金面铣刀	90~180
可转位车刀、陶瓷车刀	15~45	齿轮刀具	200~300
立方氮化硼车刀	120~150	组合机床、自动机床、 自动线刀具	240~480
金刚石车刀	600~1 200		

复习思考题

1. 试述三个切削变形区的变形特点及各变形区里主要讨论的问题。
2. 切屑有哪些类型？各种切屑有什么特征？在什么条件下形成？
3. 什么是积屑瘤？有何特点？积屑瘤对切削加工有什么影响？如何控制积屑瘤？
4. 什么是加工硬化？如何表示？实际加工中通常采用哪些措施来减少加工硬化？
5. 已加工表面质量用什么衡量？已加工表面粗糙度产生的原因是什么？采用哪些方法可以降低已加工表面粗糙度？
6. 试述背吃刀量、进给量和主偏角对各切削分力的影响规律。
7. 试述切削用量三要素和主偏角对切削温度的影响规律。
8. 试述刀具正常磨损形式和原因。
9. 刀具磨损过程分为几个阶段？各阶段有什么特点？
10. 切削温度是影响刀具磨损的主要原因，这种说法是否正确？为什么？
11. 什么是刀具磨损标准？切削加工中如何判断刀具是否已经磨损？
12. 什么是刀具寿命？刀具寿命与刀具磨损有何关系？影响刀具寿命的主要因素是什么？生产中确定合理的刀具寿命有哪些办法？