

机械制造工艺基础

下 册

无锡柴油机厂七二一工人大学

翻 印



目录

第五篇 机械加工工艺基础

第一章 金属切削加工的基本原理与刀具	1
§1-1 金属切削加工的基本形式及其运动	1
§1-2 切削用量的基本概念	3
§1-3 切削刀具的几何形状及刀具材料	5
§1-4 金属切削过程中的变形	14
§1-5 切削力	18
§1-6 切削热和刀具磨损的基本知识	21
§1-7 合理制订切削用量的基本原则	27
第二章 金属切削机床的基本传动方法	29
§2-1 机床的分类和编号	29
§2-2 机床的构造及其主要组成部分	33
§2-3 机床的基本传动方法	34
§2-4 机床运动链及其传动比	40
第三章 车削加工	41
§3-1 车削加工的范围和基本特点	41
§3-2 提高车削效率的途径	42
§3-3 提高车削加工精度的一些问题	47
第四章 刨削加工	52
§4-1 刨削和插削加工的特点	52
§4-2 刨削加工	54
第五章 铣削加工	58
§5-1 铣削加工的基本概念	58
§5-2 不同铣削方式的比较	62

第六章 磨削加工	61
§6-1 孔加工工艺的特殊性	61
§6-2 几种主要的孔加工方法	64
第七章 拉削加工	77
§7-1 拉削加工基本概念	77
第八章 磨削加工	81
§8-1 砂轮	82
§8-2 磨削加工的基本原理	91
§8-3 外圆磨削	96
§8-4 无心磨削	100
§8-5 孔的磨削	102
§8-6 平面磨削	102
第九章 光整加工	106
§9-1 超精加工	106
§9-2 珩磨	108
§9-3 研磨	111
§9-4 抛光	114
第十章 特种加工工艺	116
§10-1 电火花加工	116
§10-2 超声波机械加工	120
§10-3 金属的电抛光, 电解加工和电解磨削	122

第五篇 机械加工工艺基础

第一章 金属切削加工的基本原理与刀具

§1-1 金属切削加工的基本形式及其运动

金属切削加工是通过刀具和工件的相对运动，从工件上切去多余的金属层，使加工后的零件的几何形状、尺寸和表面质量，达到符合图纸上所规定的要求。

金属切削加工的方式很多，如车削、铣削、刨削、钻削、磨削和拉削等。

因为“任何运动形式，其内部都包含着本身特殊的矛盾。这种特殊的矛盾，就构成一事物区别于他事物的特殊的本质。各种切削加工方法所使用的刀具和机床各不相同，因此实现切削作用的运动形式和功用也不相同。

切削加工时，我们把实现切削作用的基本运动称为主运动，把使切削连续进行下去的运动称为走刀运动（又叫进给运动）。

现将各种切削加工方法在切削时的运动简单介绍如下：

1. 车削加工（图1-1）

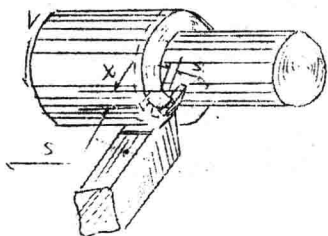


图1-1 车削加工

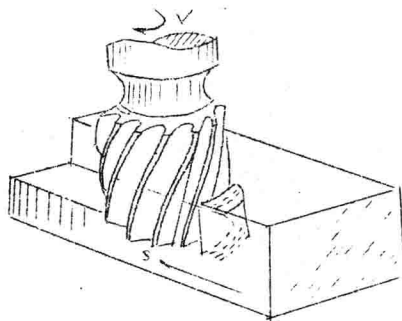


图1-2 铣削加工

车削加工时，工件绕其轴线的回转运动是主运动；车刀沿工件轴线的直线移进是走刀运动。车削加工主要用于加工回转表面。

2. 铣削加工（图 1-2）

铣刀绕其轴线的旋转运动是主运动；工件则相对铣刀作直线的走刀运动。铣削加工主要用于加工平面，沟槽、曲面等。

3. 刨削加工（图 1-3）

在牛刨上加工时，刀具的直线往复运动是主运动；工件则作横向间歇的走刀运动。在龙门刨上加工时上述情况正好相反，刨削加工主要用于加工平面。

4 拉削加工（图 1-4）

拉削时，拉刀的直线运动是主运动；走刀运动是由刀具本身的结构保证的。因此拉削加工只有一个运动，但刀具比较复杂，它相当于许多刨刀的组台，每一个刀齿都比前面的刀齿高出一个齿升量。拉削加工是加工各种异形通孔和外表面的先进的加工方法。

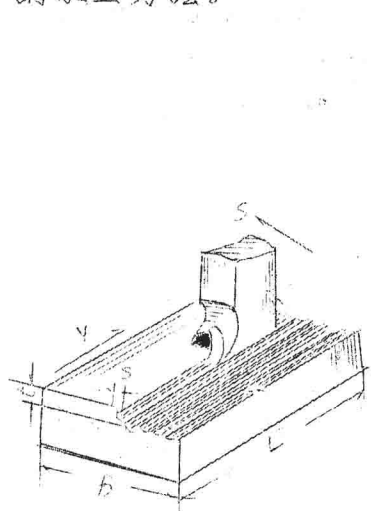


图 1-3 刨削加工

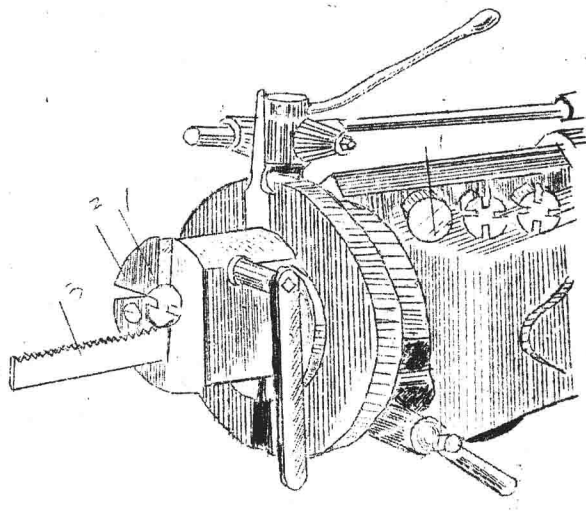


图 1-4 拉削加工

5. 钻削加工 (图 1-5)

在钻床上钻孔时, 主运动是钻头的旋转运动; 在车床上钻孔时, 主运动是工件的旋转运动; 走刀运动都是钻头的直线移动。钻削加工主要用于加工圆柱孔。

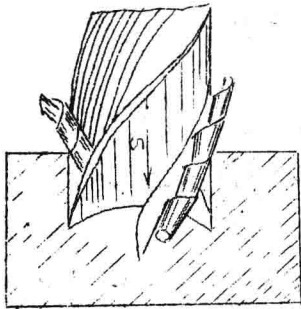


图 1-5 钻削加工

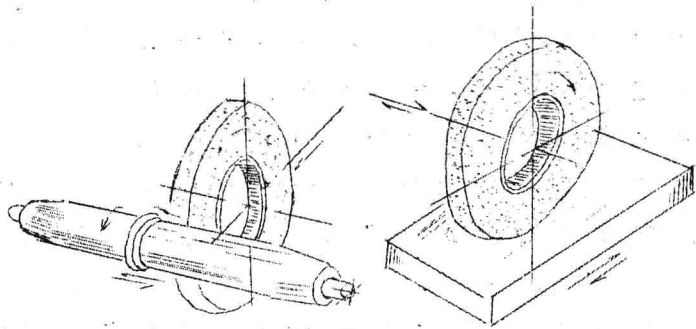


图 1-6 磨削加工

6. 磨削加工 (图 1-6)

磨削时砂轮的旋转运动是主运动; 走刀运动在平面磨削时是工件的直线往复运动, 在外圆磨削时是工件的旋转运动和直线往复运动两者的组合。

磨削时, 砂轮可以看作一把多齿的铣刀。砂轮高速旋转时从工件上切去极薄一层金属, 可以获得高精度 (1~2级) 和高光洁度 ($\nabla 7 \sim \nabla 10$) 的加工表面。

磨削可以加工淬硬钢以及刃磨各种刀具。

§ 1-2 切削用量的基本概念

在切削加工中必然要遇到选择多高的切削速度、多大的走刀量和吃刀深度。这三个量体现着刀具与工件在切削加工过程

中互相作用的程度和互相联系的情况。我们称这三个量为切削用量。

唯物辩证法认为外因是变化的条件，内因是变化的根据，外因通过内因而起作用，这三个量的变化将影响着整个切削过程，因此合理地选择这三个量对切削加工的生产率，工件的表面质量以及刀具的磨损都有很大的关系。下面以车削加工为例对切削用量作简单介绍（图1-7）。

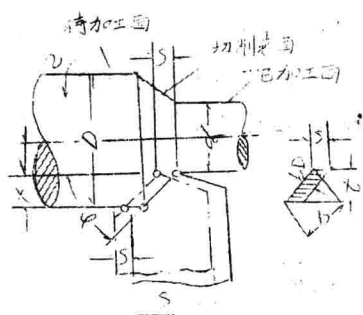


图 1-7

车削时的切削要素

1. 切削深度 t

是指工件的待加工面和已加工面之间的垂直距离。单位为毫米。

外圆加工时：

$$t = \frac{D - d}{2} \text{ 毫米}$$

D — 待加工面直径（毫米），

d — 已加工面直径（毫米）。

2. 走刀（进给）量 S

是指在进给运动方向上，工件每转一转后，车刀沿工件移动的距离。单位为毫米/转。

车削时沿床身导轨方向的进刀是纵进给（如车外圆）；垂直床身导轨方向的进刀是横进给（如车端面）。

3. 切削速度 v

是指沿主运动方向，在单位时间里，刀具和工件相对移动的距离。单位为米/分。

车削时的切削速度 v 与工件的直径 D 和它的转速 n 有关。

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ 米/分}$$

式中: D 工件直径(毫米),

n 工件的转速(转/分)。

车削时的刀刃和工件的接触不只是一点, 在整个刀刃的各个接触点上的工件直径各不相同, 因此各点上的切削速度也不相同, 一般以工件的最大直径 D 来计算, 如图 1-8 所示。

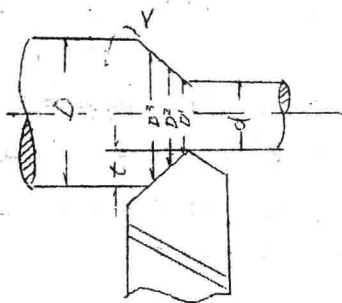


图 1-8

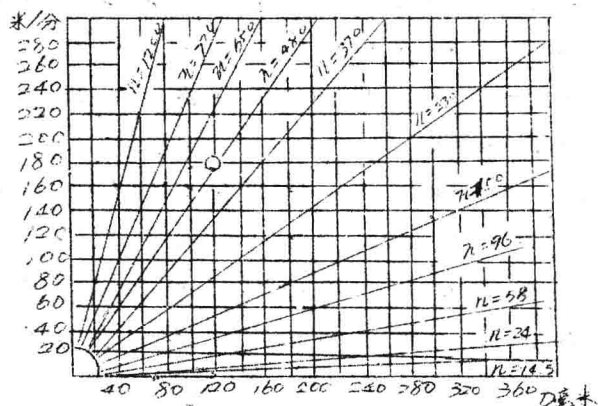


图 1-9

切削速度线图

实际加工时, 常常是先知道多大的切削速度, 然后来选择车头的转速。为了选择转速的方便, 在有些车床上列有按不同直径制成的切削速度线图, 如图 1-9; 根据工件直径 D 和所需切削速度, 就可查出主轴的每分钟转数。例如用硬质合金车刀, 精车低碳钢工件时, 选用切削速度 v 为 180 米/分, 工件直径 D 若为 120 毫米, 则车床主轴的转速 n 应为 480 转/分。

§1-3 切削刀具的几何形状及刀具材料

金属切削过程中, 刀具是否能胜任切削工作, 主要由刀具的结构形状和刀具材料的性能所决定。

一、刀具的结构及其几何形状

由于切削加工的方式不同，各种切削加工方法所用的刀具形状和结构也是各不相同的。经过对这些不同刀具的分析比较后，可以看到，所有刀具都由两部分组成：一部分是直接参加切削的切削部分，如车刀的刀头，铣刀、拉刀的各个刀齿，砂轮上的砂粒等；另一部分是支持刀头进行切削的支持部分，如车刀、刨刀的刀杆，铣刀的刀体，刀柄，砂轮的粘结剂等。切削加工时，矛盾都集中在切削部分上，因此切削部分是刀具的主要部分。

各种刀具的夹持部分的结构形式很多，但其切削部分的形状都很相似。如铣刀、钻头的每个齿可以看成一把车刀刀头，（图1-10），其他刀具也都可以看成是几把车刀或刨刀的组合。所以车刀是各种切削刀具中最简单、最基本的形式。

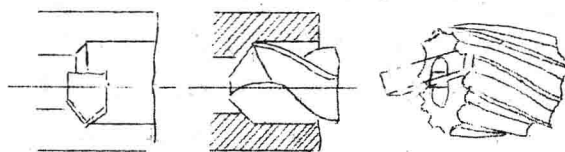


图 1-10

钻头 and 铣刀切削部分形状

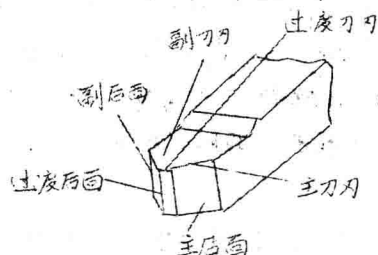
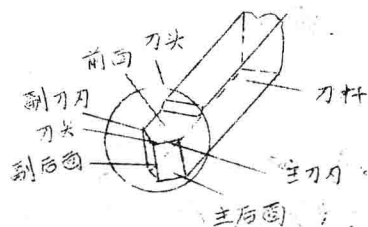


图 1-11

车刀的组成

下面以普通外圆车刀为典型，对刀具切削部分的几何形状进行分析。

1. 车刀切削部分的组成

车刀的刀头是由下列刀面和刀面所组成（图 1-11）。

前面（前倾面）——刀头上和正在被切下的金属层相互作用的表面，也是切屑流出的表面。

主后面（后隙面）——刀头上对着工件上切削表面的面。

副后面（副后隙面）——刀头上对着工件上已加工表面的面。

主刀刃——前面和主后面的交线。它担负着主要切削任务。

副刀刃——前面与副后面的交线。也有一小部分参加切削，起修光工件上已加工表面的作用。

过渡刀刃——一般刀头都不是绝对尖的，为了增加刀头的强度和耐磨性，往往磨成圆弧形或折线，这就是过渡刀刃。

2. 车刀切削部分的几何角度

车刀切削部分各个刀面在空间是互相倾斜的，为了测量车刀的角度，必须要有基准面和测量平面，这些面在刀具上实际并不存在，而是根据切削运动的方向所假设的辅助平面（图 1-12）。

辅助平面有三个：

(1) 基面——通过主刀刃上某一点，并和切削速度垂直的平面。就车削而言，基面可近似地看成与车刀底面平行的平面。

(2) 切削平面——通过主

刀刃上任一点的切削速度方向，并和切削表面相切的平面。对于主刀刃为直线车刀讲，就是通过主刀刃切削速度方向的平

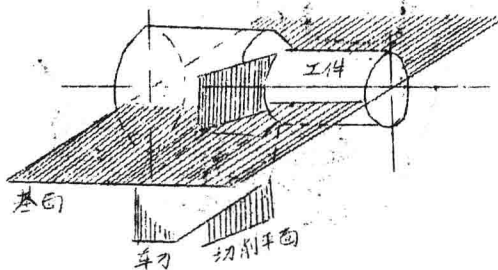


图 1-12 确定刀具几何角度的基准面

面。它和基面垂直。

以上两个辅助平面都是测量切削角度时的基准面。因为它们是由刀具与工件相对切削速度方向所确定的，因此由它们作基准测定的切削角度就能够反映出切削运动过程的实质。

另外又取通过刀刃上任一点，并与前两个基准面相垂直的平面作测量平面。在主刀刃上的测量面叫主剖面，用来测量主刀刃上的几何角度（图 1-13）

在副刀刃上的测量平面叫副剖面，用来测量副刀刃上的几何角度。

车刀在主剖面(A-A)内可量出以下角度(图 1-14)。

前角 γ ——前面与基面之间的夹角。

后角 α ——切削平面与后面之间的夹角。

车刀在副剖面(B-B)内可量出相应的副前角(γ_r)和副后角(α_r) (图 1-14)。

此外，车刀在基面和切削平面内还有下列角度。

主偏角 φ ——主刀刃在基面上的投影与走刀运动方向的夹角。

副偏角 φ_r ——副刀刃在基面上的投影与走刀运动方向的夹角。

刀尖角 ε ——主副刀刃在基面上投影的夹角。

刃倾角 λ ——又叫主刀刃倾斜角，是在切削平面内，主刀刃

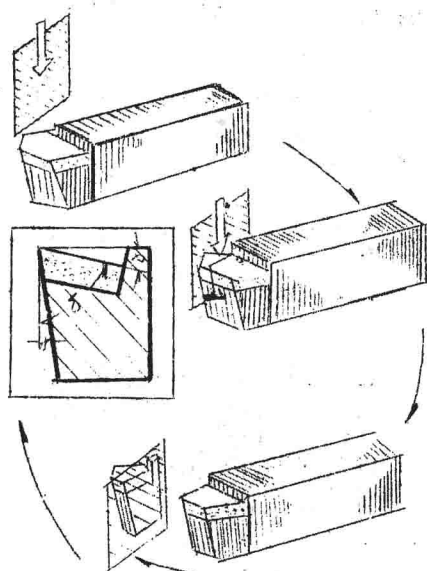


图 1-13

车刀主剖面上测量的几何角度

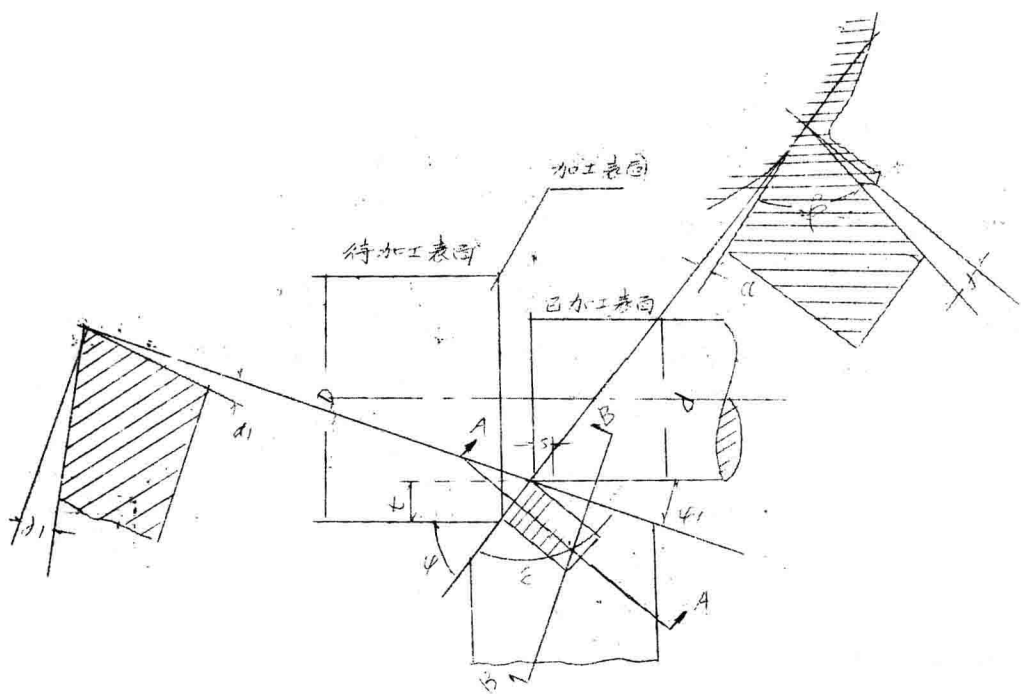


图 1-14 车刀的几何角度

与基面的夹角 (图 1-15)。当刀尖处于刀刃上最低点时, λ 为正; 反之为负。主刀刃与基面平行时 $\lambda = 0$ 。

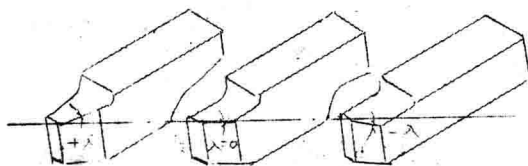


图 1-15 刀倾角 λ

上述车刀角度是指静止时的角度, 但车刀在工作时, 由于受到走刀运动和刀具安装情况的影响, 和静止时是不同的一般情况下这种影响很小。

3. 刀具切削角度的作用

以上讨论了刀具几何角度的意义。但是刀具切削角度对

切削加工究竟有什么作用，起些什么影响？由此以下对刀具各个切削角度在切削过程中的作用，先作些初步分析。

(1) 前角 γ ：前角是刀具上最主要的角度之一，对切削过程有直接影响。增大前角（实际上就是使刀口锋利）可以减少切屑变形，使切削轻快。但是我们不但要看到事物的正面，也要看到它的反面：当车削硬度高的材料或断续表面的工件时，单纯增大前角会很快磨钝或损坏。这是因为前角增大后，就使楔角 β 减小，从而使刀具强度降低，刀具散热情况变坏，直接影响了车刀的切削性能。这时可将前角减小或做成负值（负前角）（图 1-16），使刀刃具有足够的强度才行。

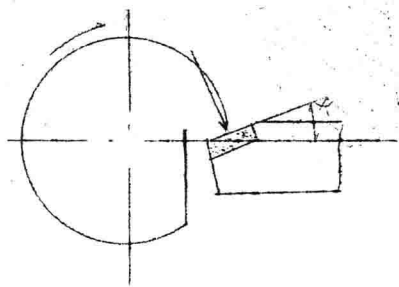


图 1-16 负前角

前角的大小要根据刀具的材料，加工对象和加工要求而定。一般高速钢刀具的前角为 $10^\circ \sim 30^\circ$ ；硬质合金刀具的前角为 $-10^\circ \sim -15^\circ$ 。在粗加工或加工脆性材料时取小值，在精加工或加工韧性材料时取大值。

(2) 后角 α ：后角是用来减少刀具后面与加工表面之间的摩擦，使刀具后面磨损减少。但在后角太大，又使楔角 β 减小，使刀刃强度降低，散热情况变坏。因此加工韧性材料时后角通常选得大些以减少摩擦，加工硬的或脆性材料时后角选得小些，以增加刀刃的强度和改善散热条件。精加工时后角一般为 $8^\circ \sim 12^\circ$ 。精加工时后角一般为 $6^\circ \sim 8^\circ$ 。硬质合金因为较脆其后角宜取较小值。

(3) 主偏角 ϕ ：在切削加工时如果在切削深度 t 和走刀量 S 不变下，改变主偏角 ϕ 能使切削层的形状改变。当减小主偏角 ϕ 时可增加主切削刃参加切削工作的长度（图 1-17），减少刀

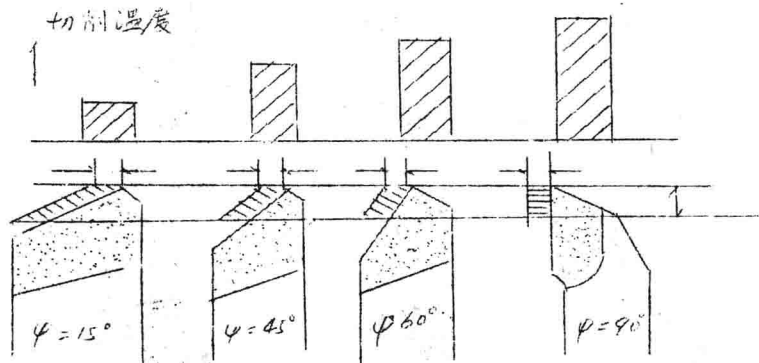


图 1-17 主偏角 ψ 对切削加工的影响

刃近似长度上的切削力，并且增大了刀尖角 ε ，改善了散热情况，使刀具切削温度下降，刀具寿命增加。

另外增大主偏角 ψ ，可以减少径向切削力，在车细长轴时可避免切削振动（后面介绍）。

综合上述两方面的影响，一般 $\psi = 45^\circ \sim 90^\circ$ 。

(4) 副偏角 ψ_1 ：增大副偏角 ψ_1 可以减少副刀刃与已加工表面间的摩擦。但减少副偏角 ψ_1 可使切削层残留面积减小，提高工件的表面光洁度。同时也使刀尖角 ε 增大，提高了刀具耐用度。一般情况下 $\psi_1 = 5^\circ \sim 10^\circ$ 。硬质合金车刀为了减少振动 ψ_1 角可适当取大些，通常 $\psi_1 = 15^\circ \sim 20^\circ$ 。

(5) 刃倾角 λ ：刃倾角 λ 的主要作用有两个，其一是控制切屑流出的方向。当 λ 为正时，切屑流向已加工表面， λ 为负时，切屑流向待加工表面（图 1-18）。因此精加工时，为了避免切屑划伤已加工表面， λ 取负值。其二是正的刃倾角可以增强刀刃强度，因此用硬质合金车刀加工断续表面以及淬硬材料时， λ 角做成正值。一般为 $5^\circ \sim 20^\circ$ 。

二、刀具材料

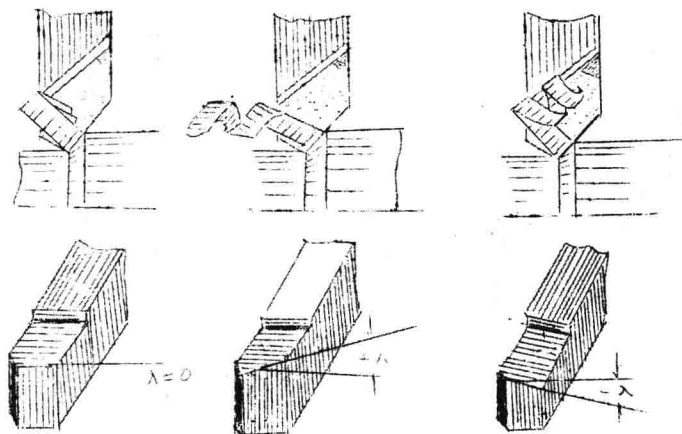


图 1-18 刃倾角 λ 对切削加工的影响

刀具工作时，其切削部分受到高温、高压、和摩擦作用，因此必须具有下列基本性能，才能满足切削时的要求：

(1) 刀具切削部分的材料硬度必须大于工件材料的硬度。一般刀具切削部分硬度要高于工件硬度 3~4 倍。同时也需要具有一定的强度和韧性，以承受切削力的冲击。

(2) 刀具切削部分的耐磨性要好。一般材料硬度高时，耐磨性也较好。

(3) 刀具切削部分的热硬性（也称红硬性）要好，即在较高的切削温度下仍能保持足够的硬度和耐磨的性能。

热硬性较全面地反映了切削过程中对刀具材料所要求的一些性能。因此是刀具材料应具备的主要性能，也是刀具材料切削性能最主要的标志。

刀具夹持部分的材料，只要求具有一定的机械强度就行了；常用 45 号钢或 40Cr 钢等材料。

现在常用的刀具材料，有合金工具钢、高速钢、硬质合金等。现将主要刀具材料的牌号、成份、性能和使用特点列表如下（表 1-1）。

表 1-1 刀具切削部分材料

类别	牌号	主要成份的平均含量 (%)								主要物理机械性能		使用特点	切削速度比		
		C	W	Cr	Si	V	Mo	Wc	TiC	Co	其他			硬度	抗弯强度 公斤/厘米 ²
碳素工具钢	T12A	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	HRC62		只用于锉、锯等手工刀具上，目前 已逐步为合金工具钢所代替。	0.3-0.5
	9SiCr	0.9	-	1.0	1.4	-	-	-	-	-	-	HRC62		用于各种手工工具上，多形小。	0.6
合金工具钢	W18Cr4V	0.75	18.0	4.0	-	1.0	-	-	-	-	-	HRC≥62	370	可用于各种机用刀具上，但主要 用在目前尚很困难、非硬质合 金的复杂形状的工具上。	1
	W12Cr4V4Mo	1.3	12.0	4.0	-	4.0	1.0	-	-	-	-				
高速钢	W6Mo5Cr4V2	0.25	6.0	4.0	-	2.0	5.0	-	-	-	-				
	YG3X	-	-	-	-	-	-	97	-	3	细 颗粒	HRA≥92	100	精加工特种硬铸铁。	>10
硬质合金	YG6	-	-	-	-	-	-	94	-	6		HRA89.5	140	半精加工和精加工一般铸铁 等脆性材料。	8
	YG8	-	-	-	-	-	-	92	-	8		HRA89	150	粗加工铸铁等脆性材料或高 强度钢。	6
	YG8C	-	-	-	-	-	-	92	-	8	粗 颗粒			强度高，耐冲击，适于加工有中 性切削刃的铸铁等。	<6
	YT5	-	-	-	-	-	-	85	10	5		HFA89.5	130	粗加工普通钢材等韧性材料	4
	YT15	-	-	-	-	-	-	79	6	15		HRA91	115	半粗加工钢材等韧性材料	6
	YT30	-	-	-	-	-	-	66	4	30		HRA92.5	90	很脆易崩刃，适于精加工钢 材等韧性材料。	10

注：HRA89-92相当于HRC74-80

刀具材料的合理选用，就是正确处理刀具材料与切削加工中的一些矛盾。我们只有按照辩证唯物主义的原理，深入研究矛盾的特点和相互关系，找出各个具体情况下的主要矛盾，才有可能达到合理选用的目的。下面举些例子说明。

(1)在一般情况下，刀具材料与加工之间的主要矛盾是热硬性。因此尽量选用热硬性高的硬质合金以提高切削效率。但在手动工具上，切削速度不会很高，热硬性就不是主要矛盾，用硬质合金不能发挥其作用，反而突出了其价贵和性脆的矛盾，因此以用合金工具钢或碳素工具钢为好。

(2)根据硬质合金的特性，对一般钢材等韧性材料加工时，应选YT类。但对于一些高强度耐热钢和不锈钢，因YT类硬质合金强度和导热性差，用YT类刀片则往往引起刃口崩裂而很快磨损。此时主要矛盾是刀具材料的硬度，因此选用强度较高的YG类反而比YT类寿命高（目前可选用性能更好的YW₁和YW₂）。

一般选用可参考附表1-1。

§1-4 金属切削过程中的变形

金属切削加工时，工件上被切削的一层金属在刀具的作用下，一般都经过强烈的变形，变成切屑而切离工件。同时在已加工表面上也有一薄层金属经过一定程度的变形而出现硬化现象。

这些变形直接影响着切削力、切削热、刀具磨损和工件表面质量等，因此了解切削过程中的变形规律，有助于认识和研究切削过程中的一些其他问题。

一 金属切削变形的实质

在生产实践中，由于不同的情况和条件，切削时往往形成各种不同类型的切削并产生不同的结果。