

第一章 切削时的接触现象

本章讨论切屑的形成和作用在刀具接触表面上的工作应力，不同加工条件下的热现象和接触特征，以及被加工材料和刀具材料组织的变化。

一、切屑形成的某些特点

对切削层变形的考查成为许多研究者的课题。在研究成果中累积了大量的试验资料，揭露了切屑形成过程的特点，并且建立了切屑形成简图。

H.H.佐列夫^[33]从塑性变形时剪切线的特性出发，提出了如图1所示的切屑形成简图。根据这个简图，塑性变形区 LOM 的边界有：开始塑性变形的剪切线 OL ，终止塑性变形的剪切线 OM ，切削层外表面的变形线段 LM 。在塑性区内分布着滑移线族，沿着这些滑移线不断地增加被切削层的变形。在其他条件相同时，塑性变形区 LOM 的大小随着前角的改变而变化。

图2~6是在四氯化碳 CCl_4 中切削钢时的切屑根部截面的显微照片。刀具前角在较宽的范围内变化： $\gamma = (-19^\circ) \sim (+60^\circ)$ 。试验时车刀的后角为 $\alpha = 8^\circ$ ，切削速度 $v = 0.22\text{m/s}$ ，切削厚度 $a = 0.17 \sim 0.5\text{mm}$ ，切削宽度 $b = 2.0\text{mm}$ 。切削层的变形随着前角的减小而增加。这一点可以根据被加工金属晶粒具有不同程度的变形来判断。例如，在图3~5中明显地表示出切屑的金属纤维化，而在图6中几乎看不出来。负前角时的塑性变形区比正前角时具有较大的宽度。

切屑与刀具的前刀面之间，存在着性质不同的两种类型的摩擦。在靠近刀具切削刃的第一个区域，其摩擦力是如此的大，以致于摩擦应力超过了切屑接触层材料的剪切屈服极限。因此，切

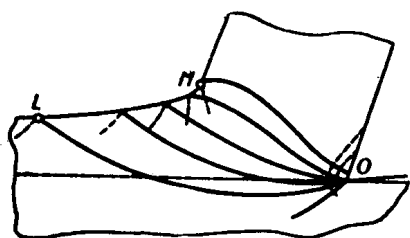


图 1 切屑形成区的滑移线 (根据H.H.佐列夫的资料[33])



图 2 在 CCl_4 介质中自由切削20X钢时 ($\gamma = -19^\circ$, 切削厚度 $a = 0.2\text{mm}$) 切屑根部截面的显微照片 ($25\times$)

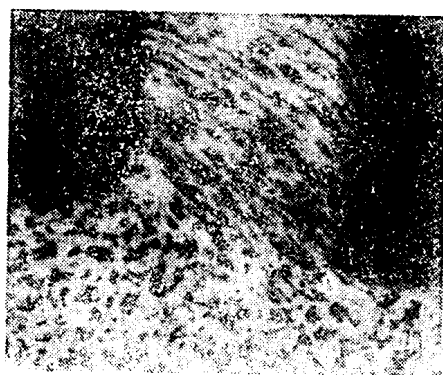


图 3 在 CCl_4 介质中自由切削20X钢时 ($\gamma = 0^\circ$, $a = 0.2\text{mm}$) 切屑根部截面的显微照片 ($36\times$)

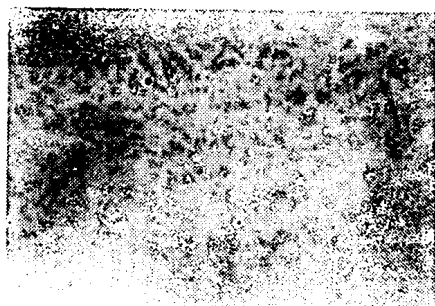


图 4 在 CCl_4 介质中自由切削20X钢时 ($\gamma=10^\circ$, $a=0.17\text{mm}$)
切屑根部截面的显微照片 ($36\times$)



图 5 在 CCl_4 介质中自由切削 20X 钢时 ($\gamma=40^\circ$, $a=8^\circ$, $a=$
 0.19mm) 切屑根部截面的显微照片 ($36\times$)

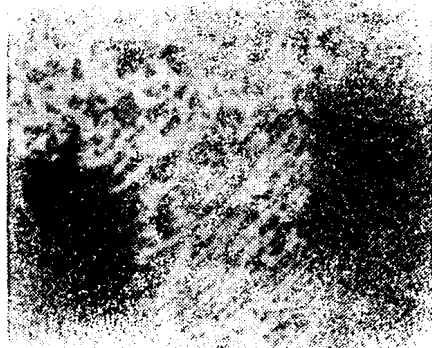


图 6 在 CCl_4 介质中自由切削20X钢时 ($\gamma=60^\circ$, $a=8^\circ$, $a=0.5$
 mm) 切屑根部截面的显微照片 ($36\times$)
图中切屑组织几乎不明显

屑相对于前刀面的移动是靠切削层内部的剪切来实现的。也就是靠接触塑性变形形成纵向组织的接触层（图7）。当接触表面间的摩擦很大时，通过切屑形成区的被切削层的变形并未终结。切屑和已加工表面的薄接触层沿着刀具表面运动时，继续获得很大的附加变形和强化。

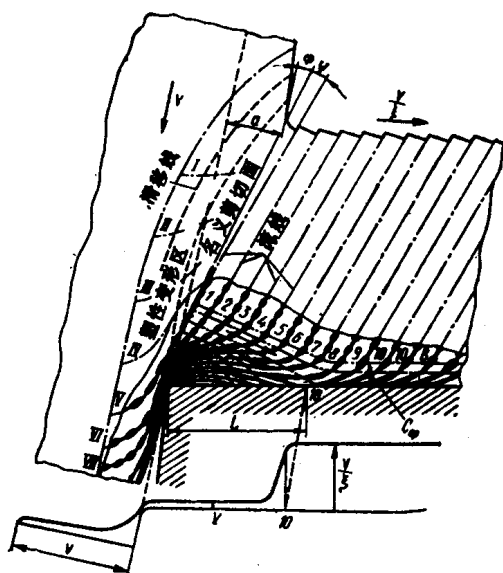


图7 被切削层流动简图

图的下部是速度分布图

ϕ —剪切角 $\frac{v}{V}$ —切屑平均移动速度 ξ —切屑收缩系数

通过对切屑根部显微照片图上变形流线的图解分析，可以看出切屑的接触变形是异常大的。例如，在高于积屑瘤形成区的切削速度下切削钢料时，距离接触表面百分之一毫米处的相对滑移(e)达到30~40，比切屑基体的变形大几十倍。比较滞流层与最终形成的切屑本体部分的变形流线，就可以确定滞流层区域的轮廓。如果已知滞流层区域的形状和尺寸，则根据其内部的流线形状，可以确定金属的流动速度和变形速度〔33〕。

图 8 给出了被加工材料的运动速度 v_y 随滞流区高度 y 的变化曲线。分析这些曲线表明, 在实用切削速度情况下, 切屑接触层的移动速度梯度在较宽的范围内变化。高速切削时, 会出现速度梯度的增加, 而变形则局限在一薄层内。在切屑与刀具塑性接触区的末端, 不同层的切屑速度分布, 可用下式表达:

$$v_y = \left(\frac{y}{h} \right)^n$$

式中 h ——切屑接触层的高度。

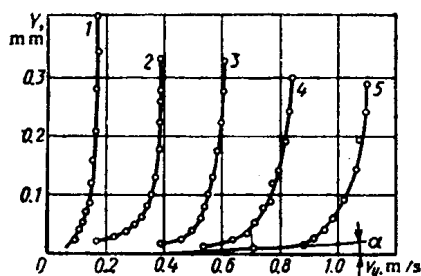


图 8 在不同切削速度下切削50钢时, 被加工材料平均运动速度与滞流区高度的关系曲线

$$\gamma = 10^\circ \quad t = 12\text{mm} \quad s = 2.38\text{mm/r}$$

1— $v = 0.33\text{m/s}$ 2— $v = 0.66\text{m/s}$ 3— $v = 1.0\text{m/s}$ 4— $v = 1.33\text{m/s}$
5— $v = 1.66\text{m/s}$

在远离刀刃的第二个区域, 其正压力较小, 切屑的移动是沿刀具前刀面的外部滑动, 因而在此区域发生外摩擦。

通常切削层的变形可以分为两个阶段:

- 1) 切削层在切屑形成区的变形 此时整个切削层和工件的一部分产生变形 (图 7 中用虚线标明了塑性变形区的位置);
- 2) 切屑在摩擦区的局部变形 它只发生在切屑的接触层, 由于第二阶段变形的结果, 使切屑接触层的流线发生扭曲。

上述带状切屑形成简图, 是在垂直于切削刃的切屑根部一个截面中观察的。对于其他平行于该截面的显微照片的研究表明,

屑 ϕ 角代表的剪切区的尺寸，在很大程度上是随切屑根部纵向截面位置而变化的，无论对于自由切削或非自由切削都是这样（图9）。

通常在自由切削时，其切屑形成区的初始边界，在切削层外缘比中心处有较大的倾斜，也就是切屑形成区的延伸较长。在非自由切削时，切屑形成区开始也是随着离开切削层自由边界的程度而伸长，并迅速达到最大值。切削层的非自由边界均匀地缩短，相应地改变了切屑的厚度。通过上述观察可以导出一个结论，即被切削层的剪切不可能沿着平面发生。

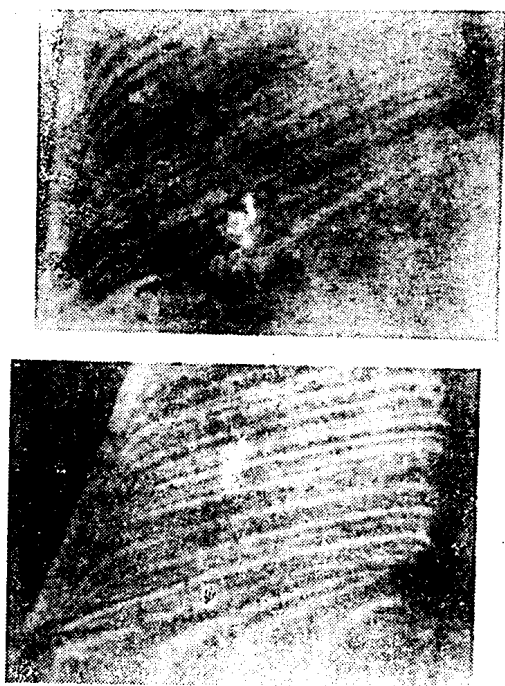


图9 切屑根部截面的显微照片（20×）

a) 靠近自由表面 b) 切削截面中间

$\gamma = 10^\circ$ $\alpha = 60^\circ$ $\varphi = 60^\circ$

$v = 0.45\text{m/s}$ $s = 0.54\text{mm/r}$ $t = 2.1\text{mm}$

关于是否允许采用直线作为滑移线的问题，多数试验数据表

明, 滑移线是曲线。因此, H. H. 佐列夫提出的切屑形成特性及简图是有实践基础的。

在一般情况下, 切屑形成区的初始边界不能看作直线。在活性介质中, 用大前角 ($\gamma > 20^\circ$) 刀具切削时, 前刀面上的摩擦减小, 切屑形成区的边界近于直线。此时, 从未变形或变形很小的区域过渡到切屑, 其变形增长率小, 同时切屑形成区很窄。它可设想为一个平面, 全部剪切变形都集中在这个平面上。在这种情况下, 可以把切屑形成过程模拟为沿一定平面 (剪切平面) 的厚度小的连续剪切层。剪切线和剪切平面是设想的。为了获得计算

简图, 这种近似抽象是允许的。

在形成带状切屑时, 根据简图 (图10), 利用测量出的切削分力 P_x 、 P_y 和 P_z 以及切屑收缩系数 ξ , 就可以确定剪切角 ϕ , 摩擦角 η , 相对滑移 ϵ , 剪应力 τ_ϕ , 以及切屑形成过程的应力——变形状态的其他特性。

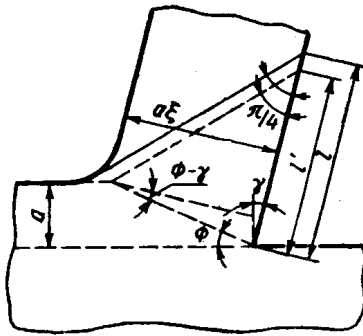


图 10 切屑形成简图[3]

借助简图 (图10中的虚线), 根据H. Г. 阿布拉德泽[3]提出的规律, 切屑与刀具前刀面的接触末端, 位于前刀面与从切屑和被加工材料连接点所引的与前刀面成 45° 线的交点处 (为便于说明, 研究切屑根部截面)。由此可以推导出, 形成带状切屑时, 接触长度的计算公式为

$$l' = a[\xi(1 - \operatorname{tg} \gamma) + \sec \gamma] \quad (1)$$

式中 γ ——刀具前角;
 a ——切削厚度;
 ξ ——切屑厚度收缩系数。

由于切屑形成简图没有考虑到切屑与被加工材料的圆滑连接, 所以按式 (1) 算出的接触长度 l' 小于实际的接触长度 l 。

参考文献[3]提出,在形成带状切屑时,可以足够近似地采用如下等式:

$$\frac{l}{l'} = \xi^{0.1} \quad (2)$$

由式(1)和(2),可以求出考虑到切屑与被加工表面圆滑连接的接触长度计算公式为

$$l = a\xi^{0.1}[\xi(1 - \operatorname{tg}\gamma) + \sec\gamma] \quad (3)$$

按式(3)算出的接触长度与试验确定的接触长度相比,其差值为5~8%。

关于分析计算接触长度的公式,除式(3)以外,还有H.H.佐列夫,М.И.克卢申和其他学者得出的公式。用这些公式计算接触长度时,除收缩系数外,还必须由试验确定摩擦系数。

H.B.塔拉托夫^[75]用硬质合金刀具,在高于积屑瘤形成区的切削速度下($v \geq v_H$)加工强化的材料,研究了塑性变形的规律性,从中得出一系列的假说。例如,设想在塑性变形过程中,在切屑形成区和塑性接触部分的相互接触区,被切削材料的每一单元体积按照一定轨迹移动,并且其变形程度和变形速度的改变,以及变形温度和抗力都有本身的规律性。在切屑形成区的塑性变形过程中,材料连续地被强化,直到变形强化和温度软化程度达到互相均衡的最终边界条件为止。切屑形成区的初始边界与分离表面相连,而最终边界则与接触塑性变形区强化段末端的上边界连接。

塑性接触区(l_1)分为强化段(l_2)和软化段(l_3),其速度场如图11所示。软化段的存在与塑性变形的绝热性有关。在 l_2 段,由于变形强化的强度高于温度软化的强度,所以材料在移动过程中受到变形强化。在强化段,变形状态的形式是剪切,并伴有压缩。随着所考察的截面从切削刃向强化段终点移动,其压缩变形的强度降低,而剪切变形增加。在分离表面上只存在压缩,而在强化段终点截面中只有剪切。

接触塑性变形区速度图形式的变化,是由于在强化段初期,

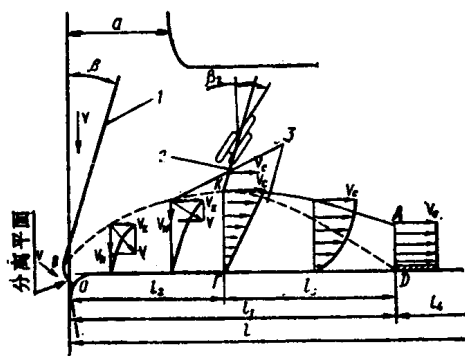


图 11 被加工材料在切削区的运动简图[75]

1—切屑形成区的初始边界 2—切屑形成区的最终边界 3—接触塑性变形区的上边界 l —接触长度 l_1 —塑性接触区长度 l_2 —强化段长度 l_3 —软化段长度 l_4 —弹性接触区长度 v_0 —切削速度 v_c —切屑速度 v —接触塑性变形区强化段上边界处的材料运动速度 v_H 和 v_K —分别为法向和切向分速度

最强的剪切变形在上层进行，随着远离切削刃，变形区厚度上的变形速度逐渐趋向均匀，而且强化状态以相同水平增长。按照作者的见解，金属质点在强化段边界上的移动速度 v ，在变形区的厚度方向上是按线性规律从零变化到 v ，然后被变形的金属开始软化过程。

在变形强化的强度低于温度软化强度的一段 (l_3) 上，材料被软化。此时恢复到均匀状态的切屑上层开始成为软化状态。这就导致上层速度逐渐趋向一致，而变形区下部的塑性剪切流动停滞。在塑性接触段的末端，软化区的很大部分 $v_K = v_c$ ，而在下部滞流区的变形速度达到一个极限值，此值可以定性作为切屑与刀具前刀面发生另一种相互作用机理的过渡。

在塑性接触的末端到切屑与刀具前刀面接外摩擦原理相互弹性接触前，存在一个过渡过程。这个过渡过程的存在与接触长度上温度增长的一定规律有关（参看图35）。当沿着接触长度的温度增长达到这样的强度，以致于软化段上的接触塑性变形停滞时，就会导致切屑接触微粒的扩散-粘结流动。

当切削速度低于 v_H （积屑瘤形成区的速度）时，不存在软化段和外摩擦段，即 $l=l_1=l_2$ 。

二、切削层剪应力的确定

材料抗塑性变形的强度，是温度、预先强化的程度和变形速度的函数，即

$$\tau = f(\theta, \varepsilon, \dot{\varepsilon})$$

式中 τ ——产生滑移的切向应力；

θ ——考察点的温度；

ε ——相对滑移；

$\dot{\varepsilon}$ ——相对滑移速度。

分别考察上述每个因素对切屑形成区应力的影响。首先，近似地把切削过程中被加工材料抗塑性变形的强度用三个不同区域的切应力来表示：切屑形成区，切屑与前刀面的接触层，以及被加工材料与后刀面接触层。区分的根据是变形大小和变形速度的差别，尤其重要的是温度差别。对于给定的被加工材料，在改变切削条件时，切屑形成区的温度变化较小，但在接触层中，随着切削速度的改变温度在较宽的范围内变化，直到被加工材料的熔化温度为止。

被加工材料在切屑形成区的抗塑性变形强度，可以近似地用假想剪切平面的平均剪应力 τ_0 表示。

同样，在接触层中的抗塑性变形强度，可以用切屑沿前刀面的塑性变形层的平均剪应力 $\tau_{\kappa n}$ ；以及被加工材料沿后刀面（切削表面）的塑性变形层的平均剪应力 $\tau_{\kappa s}$ 来表示。应当指出，在切削厚度较小时，由于接触区的温差不大，显然 $\tau_{\kappa n}$ 和 $\tau_{\kappa s}$ 的差别不大，可以取：

$$\tau_{\kappa n} \approx A_0 \tau_{\kappa s} \approx \tau_{\kappa}$$

式中

$$A_0 \approx 1$$

许多有关切屑形成区塑性变形的试验研究〔12、33等〕指出：在假想剪切平面内，被切削材料的变形值 ε 和变形速度 $\dot{\varepsilon}$ 非常大，

远远超过标准试验方法时的材料变形。例如，在切削塑性材料时，在假想的剪切平面区域，其相对变形 ε 的波动范围为 $\varepsilon = 2 \sim 10$ 。但在拉伸试件的变细部分 $\varepsilon < 1$ 。

另外，变形速度有很大差别。例如，在普通切削速度下 $\dot{\varepsilon} = 10^3 \sim 10^4 \text{ s}^{-1}$ ，磨削时 $\dot{\varepsilon} = 10^5 \sim 10^6 \text{ s}^{-1}$ ，但在标准试验方法时 $\dot{\varepsilon} = 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。可见切屑形成区材料的变形速度为标准试验方法变形速度的几百万倍。因此，按照标准试验方法，在拉伸、压缩和扭转试验时确定的剪应力与切削条件下的剪应力有很大的差别。

现在研究 ε 和 $\dot{\varepsilon}$ 对 τ_ϕ 的影响。分析金属材料变形强化的曲线可知，在开始阶段，随着材料变形的增加，其强化程度和应力快速增加。以后随着变形增加，其应力的增加明显地降低，变形强化曲线渐近于一定的极限。当剪切变形 $\varepsilon \approx 1$ 时，钢和其他许多金属材料强化的可能性几乎完全消失。

在切屑形成区（按假想剪切平面）的剪切变形过程中，被加工材料处于强化饱和的极限状态，也就是性质接近于理想塑性体。因此，在改变切削用量和刀具切削部分的形状时，变化很大的相对滑移 ε 对 τ_ϕ 的影响较小。

下面研究变形速度对 τ_ϕ 的影响。由对变形速度对不同材料剪应力的影响的研究，以及由金属强化和软化的理论可以得出如下结论：在同类温度时，金属材料的性能在变形速度的作用方面是相同的。在这种温度下，纯金属及其同型合金，根据变形速度，大致具有相同数量级的扩散迁移率和抗变形强度。

由上述可知，不可能将金属材料按变形速度分成敏感的或不敏感的，所有的金属在再结晶温度和接近于熔化温度时，对变形速度都是敏感的，而在远小于如下再结晶温度时，则是不敏感的：

$$\theta_{\text{pекp}} \approx 0.4\theta_{\text{пп}}$$

式中 $\theta_{\text{pекp}}$ ——再结晶温度；

$\theta_{\text{пп}}$ ——熔化温度。

车削和铣削钢料时，假想剪切平面区域的温度多半低于再结

晶温度, 因而 τ_ϕ 对变形速度变化的敏感性小。对于易熔金属(铝、铅等), 由于其假想剪切平面区域的温度处于再结晶温度范围内, 因此加工这些金属时, 切削速度对 τ_ϕ 值有明显的影 响。

同样可以说明在切削经过预热的难熔金属时, 切削速度对 τ_ϕ 的影响。

在切削钢、钛合金和镍合金以及其他难熔金属时, 其变形如此的大, 以致于金属处在强化的饱和极限, 因而变形量 ϵ 的变化对 τ_ϕ 影响也小。总之, τ_ϕ 很少受切削条件的影 响, 它基本上是被加工材料的一个特性。对于上述材料, 切屑的强化程度很大, 以致于在测量硬度时, 压头的压入不会引起附加强化, 而且在压入压头时材料的变形速度小, 不会影响材料的强度。此时它对于变形速度是不敏感的。

温度的影响也是一样, 假想剪切平面的温度和切屑硬度试验条件的不同, 对其机械性质不会产生明显的影 响。因此, 利用塑性理论^[78]中已知的剪应力与维氏硬度之间的关系, 就可以根据测量出的切屑硬度来确定 τ_ϕ 值, 即

$$\tau_\phi = \frac{1}{6} HV \quad (4)$$

式中 HV——切屑的平均维氏硬度。

如果在假想剪切平面区, 温度、变形大小和变形速度的改变对 τ_ϕ 影响小, 并且 τ_ϕ 值是被加工材料的一个性质, 这样就有可能通过相应的系数来确定 τ_ϕ 和标准机械性质之间的关系^[10, 48]。

为了根据被加工材料的标准机械性质确定剪切应力 τ_ϕ , 建立了一系列的关系^[33, 65]。H. Г. 阿布拉德泽^[2]提出如下公式:

$$\tau_\phi = 0.74 \sigma_s \epsilon^{0.05} \quad (5)$$

式中 σ_s ——被加工材料的抗拉强度极限;

ϵ ——拉伸时的相对伸长。

实际计算可用下式:

$$\tau_\phi = 0.74 \sigma_s \times 6^{0.05} \quad (6)$$

已知材料的抗拉特性, 就可以按公式确定剪应力, 而不必在

机床上试验。

当切削厚度较大时，切屑接触层的应力 $\tau_{\kappa\pi}$ 与切削表面的应力 τ_{κ} 将有很大差别，不可能用任何同一个数值来表示。

利用拉伸、压缩或扭转的标准试验方法，按照 ε 和 $\dot{\varepsilon}$ 的切削条件，确定剪应力的温度关系是很复杂的。这是因为它们的变形大小和变形速度有显著的差别，获得的数据仅是接触层中剪应力的近似值。因此，直接在切削过程中来确定这些应力比较合适。在变形较大，强化达到其本身的极限时，在等温条件下，可以认为切屑形成区和接触区的剪应力大致相等。即

$$\tau_{\phi} \approx \tau_{\kappa}$$

以这个假设为基础，我们提出了确定接触应力 τ_{ϕ} 与温度之间关系的方法，即切削不同预热温度 (θ_n) 的被加工材料的试验方法。

众所周知，根据切屑形成简图可得

$$\tau_{\phi} = \frac{P_z \sin \phi \cos(\phi + \eta - \gamma)}{ab \cos(\eta - \gamma)} \quad (7)$$

式中 ϕ 为假想剪切角，根据切屑收缩系数 ξ ，用下式求得：

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{\cos \gamma}{\xi - \sin \gamma}$$

η 为前刀面平均摩擦角，用下式确定：

$$\operatorname{tg}(\eta - \gamma) = \frac{P_y}{P_x}$$

为了确定关系式 $\tau_{\phi} = f(\theta_n)$ ，需要对不同预热温度的被加工材料进行自由车削或刨削试验，在每种情况下测量垂直切削分力和径向切削分力，以及切屑收缩系数 ξ ，并按式 (7) 确定 τ_{ϕ} 值。在用测力仪测量切削分力时，总是包含作用在后刀面上的正压力 N_3 和摩擦力 $F_{\tau p.3}$ 。为了排除这些力的影响，可以采用求切削厚度为零时的切削力的外插法。从得到的关系式 $P_{x_{\text{H3M}}} = f(a)$ 和 $P_{y_{\text{H3M}}} = f(a)$ ，用作图法，取切削厚度为零推断出 $F_{\tau p.3}$ 和 N_3 (图 12)。然后即可计算切削分力 $P_{x0} = P_{x_{\text{H3M}}} - F_{\tau p.3}$ ， $P_{y0} = P_{y_{\text{H3M}}} - N_3$ 。

计算值与实际值近似。

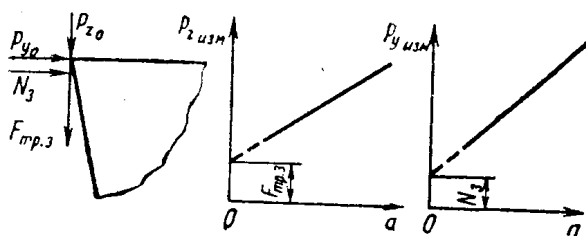


图 12 建立 $\tau_\phi = f(\theta_a)$ 关系时确定后刀面切削分力的简图
 a —切削厚度

图13是用上述方法确定的 $\tau_\phi = f(\theta_a)$ 关系曲线。

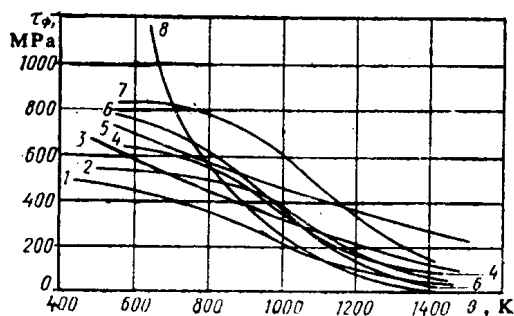


图 13 剪应力与温度的关系曲线 $\tau_\phi = f(\theta_a)$

1—CT3 2—BT6C 3—12X18H10T 4—40X 5—BM-1 6—3X15
 7—XH77TЮP 8—110Г13Л

虽然上述确定 τ_ϕ 与温度关系的方法有一定的优点，但是需要
 对不同预热温度的被加工材料进行繁重的切削试验。

更为引起人们兴趣的是，根据标准材料试验方法（拉伸和硬
 度试验等）确定 τ_ϕ 和 τ_x 与温度的关系的可能性。对此可以应用
 按速度修正温度的概念。马克格列果尔和非舍尔〔48〕利用按照变
 形速度修正温度的概念，进行将金属拉伸试验时温度和变形速度
 影响联系起来的试验。众所周知，蠕变速度用下式表示：

$$\frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon_0} = A \varepsilon^{-\frac{Q}{R\theta}} \quad (8)$$

式中 $\dot{\varepsilon}$ ——变形速度;
 ε_0 、 A 、 R ——常数;
 Q ——附加应力函数;
 θ ——绝对温度。

公式(8)可以改写为

$$\theta \left(1 - \frac{\ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon_0}}{\ln A} \right) = \frac{Q}{R \ln A} \quad (9)$$

令
 则

$$K_0 = \frac{1}{\ln A}, \quad B = \frac{Q}{R \ln A}$$

$$\theta \left(1 - K_0 \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon_0} \right) = B \quad (10)$$

式中 K_0 ——常数。

$$B = f(\sigma)$$

所以

$$\theta \left(1 - K_0 \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon_0} \right) = f(\sigma)$$

由此即可确定表示材料抗塑性变形强度的应力

$$\sigma = f \left[\theta \left(1 - K_0 \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon_0} \right) \right] \quad (11)$$

方程式(11)的试验验证表明^[102], 不同拉伸速度下的应力是

与温度因次有关的单一变量 $\theta \left(1 - K_0 \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon_0} \right)$ 的函数。

常数 K_0 可以这样选取, 即在温度为 θ_0 和变形速度为 $\dot{\varepsilon}_0$ 时试件中的应力变化与温度为 $\theta\left(1-K_0\ln\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right)$ 和变形速度为 $\dot{\varepsilon}$ 时一样。此时 $\theta\left(1-K_0\ln\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right)$ 是根据变形速度而修正的温度, 即

$$\theta_{\text{M}} = \theta \left(1 - K_0 \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right) \quad (12)$$

根据变形速度修正的温度, 令人满意地表示出实际温度和变形速度的综合影响。如果已知 K_0 , 则由固定变形速度 $\dot{\varepsilon}_0$ 下得到的应力-温度曲线, 可以确定任意变形速度和温度下的应力, 并求出修正温度。

作者认为, 根据标准试验方法获得的应力-温度曲线, 借助修正温度的概念, 对于近似地确定切削时接触层的真实应力是方便的。对于铜和铁, 根据变形速度 $\dot{\varepsilon}_0 = 10^{-3}\text{s}^{-1}$ 时试验结果的原始数据, 分别求出方程式如下:

$$\theta_{\text{M}} \approx \theta [1 - 0.0275 (\ln \dot{\varepsilon} + 6.9)] \quad (13)$$

$$\theta_{\text{M}} = \theta [1 - (0.017 \sim 0.018) (\ln \dot{\varepsilon} + 6.9)] \quad (14)$$

马克格列果尔和非舍尔试验时所取的变形速度变化范围是不大的。按照对于铜和铁的方程式(13)和(14)的计算表明, 它可以在温度和变形速度的较大变化范围内表示出应力的变化。这样就给出了按速度修正温度的原理, 来近似地确定切削时实际应力的可能性, 特别是在切削情况下时效硬化过程来不及完成时。因而方程式(12)是正确的。

图14给出了碳钢和不锈钢的 $\tau_{\phi} = f(\theta)$ 应力-温度变化曲线。第1种情况——测量切屑的硬度, 并按式(4)计算 τ_{ϕ} 值; 第2种情况——测量切削分力, 并利用图12按式(7)计算 τ_{ϕ} 值; 第3种情况——利用修正温度的概念。比较不同变形速度下的应

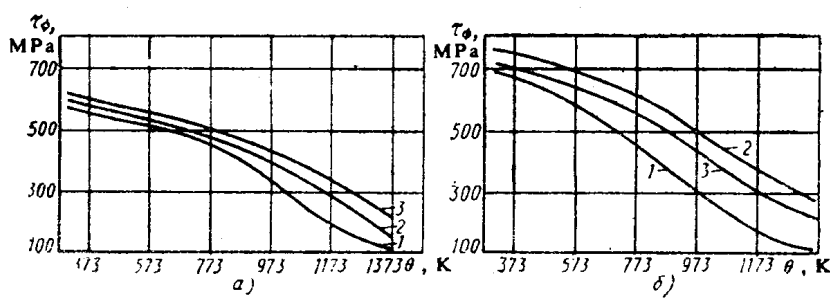


图 14 $\tau_{\phi} = f(\theta)$ 应力-温度曲线的确定

α) 45 钢 β) 12X18H9T

- 1—度量切屑硬度 ($\tau_{\phi} = \frac{1}{6}HV_{c,p}$) 2—度量加热切削时的 P_y, P_z 和 ξ
3—根据修正温度

力-温度关系 $\tau_{\phi} = f(\theta)$ 关系可知, 在温度和变形速度较高时, 变形抗力剧烈增加。

三、作用在刀具接触面上的负载应力

对于不同切削条件下被切削层变形的研究指出, 从理论上确定作用在切削刃上的应力是一个复杂问题。

为使问题简化, 首先考察自由切削过程。假定车刀前刀面是平面, 切屑的外表面平行于该平面, 同时被切削层的变形发生在一个剪切平面中 (侧面除外)。还假定作用在主剖面中的力和力矩, 沿着切削宽度方向的变化不大。此时被切削层的应力可视为平面应力状态。在平面应力的物体中, 任何一点都有两个互相垂直的方向, 在此方向上只作用着称为主应力的正应力。

逐点找出其主应力方向, 就可以得到与主应力方向吻合的两族正交网状线。这些线称为主应力的迹线。在与主应力成 45° 的方向上作用着最大剪应力, 在塑性变形时其值达到 K 。沿着最大剪应力方向连续地从一点到另一点, 就可以得到成正交网状的滑移线, 或称特征线。图15表示出变形体在 M 点附近的主应力 1、