

木工刀具的磨损与变钝

习 宝 田

(北京林业大学)

一、引 言

木工刀具在切削过程中由于种种原因会磨损变钝是众所周知的。然而磨损和变钝这两个不同概念常常被混淆。其实,磨损指的是刀具切削部分的材料由于切削过程中磨蚀而造成的损耗;变钝则指的是刀具切削性能的恶化,表现为进给困难、切削温度上升、噪声和功率消耗增加以及加工件表面质量下降等。刀具变钝到一定程度就需重磨,以便恢复其切削性能。磨损为什么会使刀具变钝?怎样重磨才经济合理?能否使刀具具有一定的自锐能力?如何评价不同刀具材料或不同刀具强化措施对刀具耐用度的影响?要弄清诸如此类与刀具磨损变钝有关的问题,必须对刀具的磨损形式、磨损刀具几何形状的变化、磨损与变钝程度的度量以及磨损与变钝的关系有足够的了解。

二、刀具的磨损形式和磨损刀具几何形状的变化

木工刀具的磨损通常只发生在切削时与工件接触的切削部分。由于切削条件、切削对象、刀具材料等磨损原因不同,磨损形式也不完全一样。可以将磨损形式分为两类:一类表现为刀具切削部分微

观范围内的逐渐磨损[图2—(3)、2—(4)]——这是刀具在正常情况下的主要磨损形式,可称为正常磨损;另一类为较少发生的非正常磨损,表现为相对大范围内的刀尖折断、崩刃[图1—(1)]、刃部塑性变形[图1—(2)]、刃部热裂或碎裂等多种形式。

木工刀具磨损的原因是多方面的,很复杂的,从当前已有的研究成果来看,正常磨损,既有机械摩擦的作用,又有在切削力和切削温度作用下刀具和木质工件间的物理、化学综合作用;非正常磨损,除上述作用外,主要是由于刀具设计、选材不当、切削用量不合理或切削过程中的偶然因素所致。目前对刀具磨损原因的研究还很不充分,刀具和木质材料的摩擦和润滑机理研究,也还有待进一步深入。

刀具正常磨损的结果,一方面是刀具切削部分材料的损耗,另一方面是该部分微观几何形状的变化。刀具经仔细刃磨后,其侧面或横断面基本为楔形[图2—(1)和2—(3)],刃口圆弧半径可小到 $2 \sim 4 \mu\text{m}$ 。从前刀面或后刀面看,刀刃虽不十分平直,但微观范围内的直线度误差,平均也只有 $4 \sim 5 \mu\text{m}$ [图3—(1)]。磨损后的刀具,楔尖会不同程度地变秃。前、后刀面从侧面看,在靠近刃口的部分,也不再为直线。这部分原有的前角和后角也会变小,甚至变为负值[图2—(3)、(4)]。切削部分微观几何形状的变化以侧面或横断面最为明显,也最具特点。刀刃磨损后,从前刀面或后刀面看的微观直线度误差变化不大,即使已经磨得很钝的刀具,误差的平均值也不过 $8 \sim 15 \mu\text{m}$ [图3—(2)、3—(3)]。

图2和图3是作者在普通木工铣床上,在相同切削条件下(切削速度 $v = 28.8 \text{ m/s}$;进料速度 $u = 10 \text{ m/s}$;切深 $t = 2 \text{ mm}$;前角 $\gamma = 27^\circ$;后角 $\alpha = 180^\circ$),铣削硬质纤维板时所得的试验结果。当切削非均质

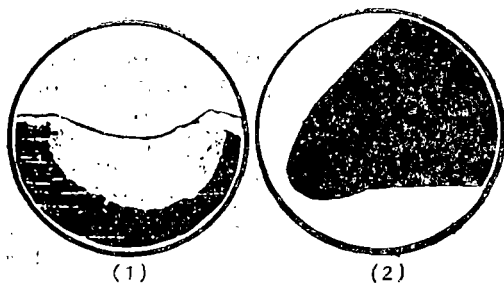


图1 刀具的崩刃(1)和刃部塑性变形(2)

※ 文中图表除注明出处外,皆引自作者的试验资料。

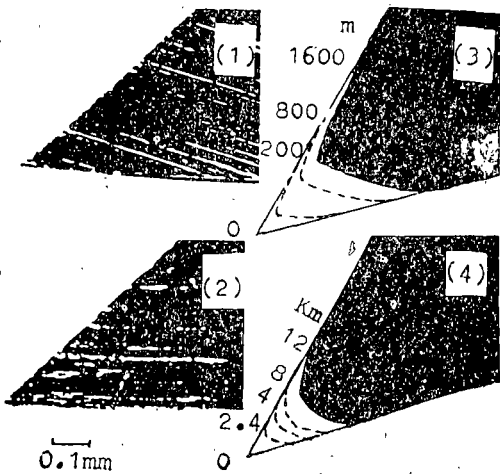


图2 高速钢刀具新刃磨后的横断面形状(1)和 磨损后的形状变化(3)以及硬质合金刀具新刃磨后的横断面形状(2)和磨损后的形状变化(4)。

材料时, 刀刃沿长度方向的磨损可能很不均匀, 例如联邦德国Helmut Huber用K05硬质合金铣刀, 切削分层铺装饰面刨花板的一项研究^[6]表明, 当切削长度为5,800mm时, 刀刃长度方向磨损量的差别可达125 μ m。

磨损刀具横断面微观几何形状的变化, 因刀具

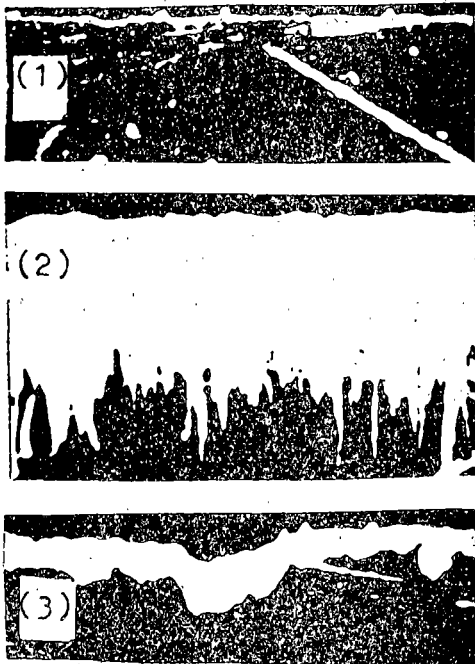


图3 高速钢刀具从前刀面看新刃磨后的刃口形状 (1) 以及磨损后从前刀面看的刃口形状(2)和从后刀面看的刃口形状(3)。(放大倍数同图2)。

材料、被切工件和切削条件的不同而不相同, 图

2所示两种不同材料刀具磨损后的刃部几何形状可以说明这一点。图2还表明, 尽管这两种刀具磨损后的刃部形状不同, 但都朝着不利于继续切削的方向变化—刃尖不同程度地变秃; 前角变大; 后角很快变为负值, 而且负值愈来愈大。这是磨损之所以使刀具变钝的主要原因。设法控制刀具的自然磨损过程, 使之接近或类似人为重磨, 就可使刀具具有一定的自锐性。这方面的研究已有人做过^[9], 但是效果还是不甚理想。

三、磨损程度的度量

为了度量刀具的磨损程度, 不同的研究者采用了不同的磨损参数, 图4是其中的一些例子^[2, 8, 10, 11]。

由于磨损意味着刀具材料在切削过程中被磨蚀而发生损耗, 所以有人曾用磨损重量^[12]、横断面上的磨损面积^[9]、甚至磨损体积来表示刀具的磨损程度。然而刀具的变钝在更大程度上直接取决于刀具切削部分微观几何形状的变化, 因此, 上述仅能表示磨损量的参数现在已很少用。

被广泛采用的磨损参数之一是刀刃退缩量 (edge recession), 它表示磨损刀具的刃口自它初始位置的位移量。刀刃退缩量可在刀具横断面上沿前刀面[图4—(6)], 后刀面[图4—(1)]或楔角平分线方向测量[图4—(3)]。尽管同一刀具沿上述三个方向量得的刀刃退缩量不同, 但它们随切削路程增加的变化趋势大体相似, 因此, 测量时只取其中一个方向代表即可。

刀刃退缩量能较好地表征刀具的磨损程度, 但不能表征刀具磨损后的几何形状变化, 与刀具的变钝程度无直接关系。因此, 有人主张, 除它之外, 再用刃口圆弧半径 (edge radius) 来表示刀具的变钝程度[图4—(1), (2), (3)]。不少人似乎都以为刃口圆弧半径越大, 刀具的磨损和变钝程度也越大。一些文章也提到某些刀具的刃口圆弧半径随切削路程的增加成线性增加关系^[7], 但是也有人对此持有异议^[11]。作者的一次试验也加深了这种异议。试验是在相同切削条件下用不同材料刀具切削硬质纤维板, 结果发现, 碳钢和高速钢刀具的刃口圆弧半径随切削路程增加到一定程度后几乎不再有什么变化[图5], 磨损随切削路程的增加主要表现在刀刃退缩量A和负间隙C的增加上[图5和图2—(3)], 只有硬质合金刀具的刃口圆弧半径随切削路程的增加成明显的正相关关系[图2—(4)和图5—

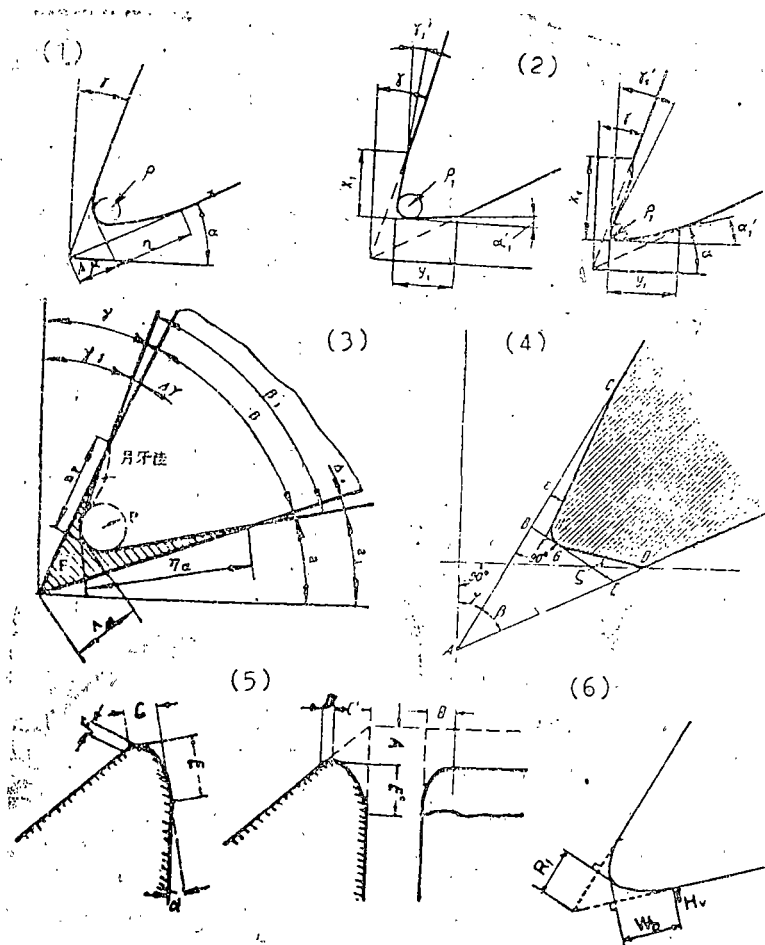


图4 用不同参数表示刀具磨损程度的一些例子: (1) 根据ЦНИИМОД; (2) 根据 А.З.Грубе; (3) 根据 Н.А.Кряжев; (4) 根据 Р.Нarris; (5) 根据 W.М.Мекенzie等; (6) 根据 林 和男等。

(2)。这说明刀口圆弧半径起码不是在所有情况下对所有刀具都能作为一个衡量磨损和变钝程度的标准。

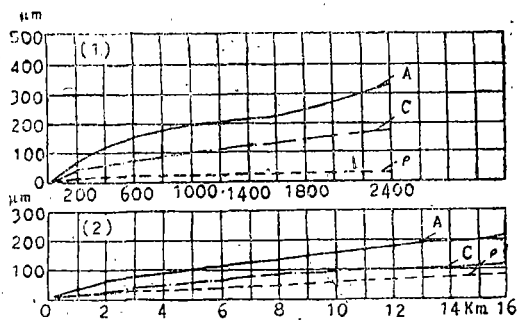


图5 高速钢刀具(1)和硬质合金刀具(2)在同样切削条件下, 切削硬质纤维板时, 刀刃退缩量A、刀口圆弧半径 ρ 和负间隙C随切削路程的变化关系。

由于研究人员都发现磨损同时发生在刀具的前、后刀面上, 而且磨损会使原有的前、后角在靠近刀口的那一部分变小, 甚至变为负值, 因此, 还有人主张用前、后角的变化量来表征刀具的磨损和变钝程度^[8]。作者在以上提到的一次磨损试验中也曾测量过这种角度的变化量, 但是不少刀具磨损后的几何形状并不象图4—(2)和图4—(4)所画的那样规则, 因此, 要精确测量其前、后的变化量往往十分困难。为此, 更多人主张用前、后刀面磨损区的宽度 (front wear land width and back wear land width) 来表示刀具的磨损和变钝程度。但是这样做也未必能确切反映实际的磨损情况, 例如图3为作者在上述试验中所拍摄的高速钢刀具前、后刀面的磨损情况, 图中的白色亮带为磨损区, 前刀面的磨损区宽度明显宽于后刀面的磨损

区宽度,但是实际上这种刀具的磨损程度,后刀面远比前刀面的大[图2—(3)]。

在探寻哪些参数能更确切描述木工刀具的前、后刀面磨损程度时发现,Mckenzie等人采用过的两个参数—前刀面的磨损量 D (rake loss)和负间隙 C (negative Clearance)是值得推荐的。其中 D 表示磨损刀具的刀尖(弧形刀刃上最突出的一点)自前刀面的位移量(在垂直于后刀面方向测量)[图4—(5)]。此值越大表示前角的减小量越大。 C 有两种测量方法:一种测量刀尖与后刀面的垂直距离,用 C' 表示;另一种测量刀尖与切削平面的垂直距离,用 C 表示[图4—(5)]。因为绝对锐利的刀具, D 、 C' 和 C 都可视为零,因此, C 表示了切削时刀具后刀面压入切削表面的深度(Compression of Cut Surface)所以 C 被称为负间隙。显然, C 值越大,表明后刀面磨损程度越大,负后角的价值越大,后刀面的切削阻力越大,刀具也越钝。他们的一项研究还表明,以后刀面磨损为主的刀具, D 值很快增加到一定程度后基本不再加大。随着磨损,继续增大的是负间隙 C ,而且 C 的增加,和后刀面磨损区宽度 E 的增加相一致^[10]。由此看来,负间隙 C 更适合作为刀具磨损变钝程度的一项几何形状方面的指标,即 C 和刀具的变钝程度有更直接的关系。由于 C 随切削路程的变化规律和 E 的变化规律相一致,因此,许多文献中用 E 来表示刀具的磨损变钝程度就不足为奇了,但是作者认为,用负间隙 C 表示刀具的磨损变钝程度更为直观。然而,无论是 C 还是 E ,都只能在停机的情况下用显微镜才能测量到,因此,想用仪器自动监测刀具的变钝程度时,这两个参数都不方便。因此,需研究刀具的磨损规律、磨损与变钝—即刀具切削性能恶化的关系,以便制定不同情况下刀具的合理磨损限度并寻求便于监测这种限度的方法。

四、磨损与变钝的关系

刀具的变钝虽然表现为切削性能的恶化,如进给困难、切削热增加、噪声和功率消耗加大以及加工件表面质量下降等,但其原因却主要是由于磨损使得刀具切削部分的微观几何形状变得不利于继续切削的结果,例如刀尖的变秃会使该部分的应力集中大大削弱,使切屑的分离发生困难;前角变小会使切屑变形增大,从而增加变形功;负后角或负间隙会使后刀面与切削表面的摩擦力大大增加,从而使切削热急剧增加等。此外,切削刀在高温下,金

相组织发生变化,硬度下降也是刀具变钝的原因之一。

在上述刀具变钝现象中,加工件表面质量恶化显然是一个易为人们接受的综合指标,尤其是在精加工或半精加工中。然而遗憾的是目前还没有一个既能确切反映客观实际,又便于检测且为大家广泛认可的质量指标。现时有人采用的作为质量指标的微观不平度,并不能反映象已加工表面起毛、撕裂等这类木材切削加工中特有的表面质量缺陷。此外,在木材切削过程中,切削热的测量目前在技术上还有困难;利用切削过程中的声波发射以监测刀具磨损的研究才开始不久^[8]等,因此,目前对刀具变钝现象的研究多集中在切削力或切削功率的变化上。

现有的研究结果表明,切削力和切削功率都随刀具磨损程度的增加而增加^[13]。在逐一分析各个磨损参数与切削力的关系时人们发现,刀刃退缩量、刃口圆弧半径、后刀面磨损区宽度以及间隙都与切削力密切相关^[10, 11, 4]。Mckenzie和Karpovich在1975年的一篇研究报告^[10]中指出,主切削力 F_x 和法向力 F_y 都随负间隙 C 的增加而增加,当负间隙 C 达 $50\mu\text{m}$ 左右时,主切削力 F_x 的增加速度开始放慢,法向力 F_y 仍在很快增加[图6]。这表明,负间隙与刀具变钝程度更为有关,因为切削力,尤其是其中与进给困难密切相关的法向力的增大是公认的刀具变钝的一项敏感标志,负间隙达 $50\mu\text{m}$,在该项试验中大约是正常切削厚度的一半,从切屑分离的角度看,这时刀具也应重磨,这一论点被本文提到的作者的一次试验所肯定。该试验表明,当负间隙 C 达到切削厚度一半左右时,刀具的磨损接近正常磨损阶段的末尾。这是一般公认的粗加工、半精加工刀具磨损的合理限度,这样做既充分发挥了刀具的切削能力,又不致使刀具磨得太钝。当然,这一指标仅可看作衡量刀具变钝程度的一项几何形状方面的指标,在生产使用上还有困难,还需进一步研究变钝刀具的几何形状变化与一定设备工艺条件下刀具的连续工作时间,或累积切削路程,或加工表面的质量,或其他易于监测的参数(例如切削功率)之间的关系,以便找出在一定设备工艺条件下,不同刀具加工不同工件时易于检查的刀具变钝指标,以达到合理使用刀具的目的。

五、结束语

综上所述,木工刀具虽有多种磨损形式,但在

以后刀面磨损为主的刀具，重点应重磨后刀面。

参考文献

- (1) 林 和男, 福井 尚等, 1979, 木材の周刃
つうイス削りにする工具刃先摩耗状態
の走査電子顕微鏡にすろ 观察, 木材学会
志Vol.25, No6: 383—391.
- (2) Грубе А. Э., 1971, Дереворежущие
Инструменты, Из. «Лесная Промы
шленность» 28—30.
- (3) Кряжев Н. А., 1979, Фрезерование
Древесины, Из. «Лесная Промыш
ленность» 94—95.
- (4) Bershadskii A., 1964, Calculating
Parameters for Ripsawing, Lesn.
Prom. 42: 8—13.
- (5) Dornfeld D. A., 1985, Sensing of
Tool Wear by Acoustic Emission,
The Proceeding of the 8th Wood—
machining Seminar, 312—323.
- (6) Huber H., 1985, Tool Wear Influ
ences by the Contents of Particlebo
ard, The Proceeding of The 8th
Wood-machining Seminar, 72—85.
- (7) Karpunin F. N., 1970, Increasing
the Wear Resistance of Sash Gangsaw
Teeth, Lesnoi Zh 13: 63—68.
- (8) Kinoshita N., 1958, On the Tool Life
of Circular Saw With Carbide Tip,
Wood Ind. (Tokyo), 13: 554—558.
- (9) Kirbach E. et al., 1985, Saw Tips
With Sharpening Characteristics,
The Proceeding of the 8th Wood
Machinig Seminar, 196—205.
- (10) McKenzie W. M. et al., 1975, Wear
and Blunting of the Tool Corner in
Cutting a Wood-based Material,
Wood Sci. and Tech, 9: 59—73.
- (11) McKenzie W. M. et al., 1971, A
Factorial Experiment in Transverse
plane (90/90) Cutting of Wood,
Part I. Cutting Force and Edge
Wear, Wood Sci., 3: 204—213.
- (12) Stevens R. R. et al., 1977, Effects
of Several Test Variables on Evalu
ation of Particleboard Abrasive
ness, Forest Prod. J., 27(11): 37
—40.
- (13) Yamaguchi K. et al., 1962, The
Blunting of Tungsten Carbide Tip
ped Circular Saws, Bull. Govern
ment Forest Expt., Sta. No. 138:
120—145.

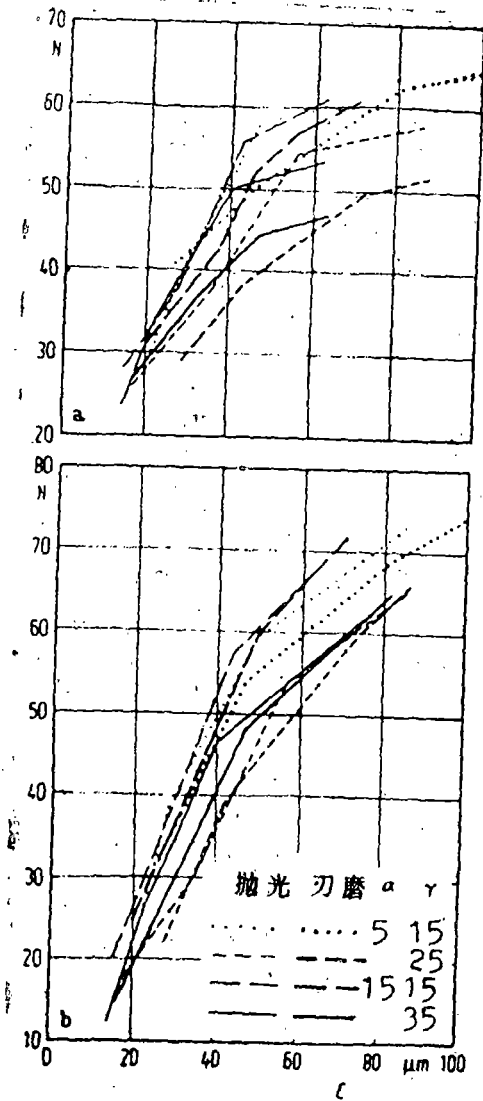


图6 主切削力 F_x 与法向力 F_y 随负间隙 C 的变化曲线 (10)

正常情况下以微观范围内的逐渐磨损为主要表现形式，磨损的结果除刀具切削部分的材料逐渐损耗外，更主要的是刀具切削部分的微观几何形状变得越来越不利于切削。在诸多磨损参数中，以刀刃退缩量表示刀具的磨损程度较为合适，以负间隙表示刀具的变钝程度比较恰当。最好不用刃口圆弧半径来表征刀具的磨损变钝程度，因为不是所有刀具的刃口圆弧半径在磨损过程中都有显著变化。通常，刀具的磨损和变钝过程是同时发生的，只有控制并改变刀具的自然磨损过程，使之接近或类似人为重磨过程，才能使刀具具有一定的自锐能力。此外，重磨应以刀具磨损后的微观几何形状变化为依据，