

木材による逃げ面摩擦時の鋸歯尖端温度

奥村 正 悟・杉 原 彦 一

Temperature of Sawtooth Cusp in Rubbing
of the Back Face with Wood

Shogo OKUMURA and Hikoichi SUGIHARA

要 旨

木材切削工具の切削時における刃先温度を測定するための予備実験として、単一銘歯の刃先逃げ面を回転する木材円板によって摩擦し、その時の刃先近くの側面温度を赤外線放射顕微鏡によって測定した。刃先温度は円板の回転速度と摩擦時に作用する力に強く依存し、摩擦の仕事率に対して両対数グラフ上で直線関係を示した。そこから、常用切削速度程度であれば、わずかの力による逃げ面摩擦のみによって、刃先近傍は 400°C 以上の温度に達することが推定された。

1. は じ め に

切削加工における工具温度は、工具の摩耗機構や寿命を検討するうえで重要な因子の一つである。ところで木材切削では、この工具温度について既にいくつかの測定例¹⁻⁷⁾があるものの、実際に切削に関与し、摩耗が最も問題となる刃先近くの温度を測定したもの^{5,6,7)}としては2, 3を数えるのみである。これは、木材切削工具は通常高速度で運動し、かつ刃先の測温部位が極めて小さいため、熱電対等を使用した一般的な温度測定ができないこと、更に乾燥した木材が電気的な絶縁体であるため、金属切削でよく用いられる工具-被削材熱電対法が使えないこと等の実験上の困難さにも一因がある。

金属切削で工具の温度上昇をもたらすのは、よく知られているように、主に被削材の塑性変形による発熱である。それに切屑と工具すくい面との摩擦による発熱、場合によっては逃げ面と母材（仕上面）との摩擦熱が加わる。その結果、刃先から少し離れたすくい面上に最高温度が現われ、いわゆるクレータ摩耗の重要な原因となる。一方木材切削では、木材の変形性が大きいこと、高速切削であること、更に木材が断熱性を示すために、工具との界面で発生した熱が被削材側へ逃げ難いこと等から、塑性変形による発熱よりも工具表面での摩擦熱が一層重要であると考えられる。実際木材切削工具の刃先は、逃げ面側でより多く摩擦することがしばしば観察される^{8,9,10)}。このことは、切刃通過後に弾性回復した母材と逃げ面との摩擦が、刃先摩耗にも特に大きな役割を演じていることを示唆している⁸⁾。

そこで本研究では、木材切削工具の刃先温度を測定するための予備実験として、切削工具逃げ面の摩擦と刃先の温度上昇との関係について知見を得るため、単一鋸歯の刃先逃げ面を木材によって摩擦し、その時の刃先近くの温度を赤外線放射顕微鏡を用いて測定した。そこから刃先に加わる力と摩擦速度が刃先温度に及ぼす影響について検討した。

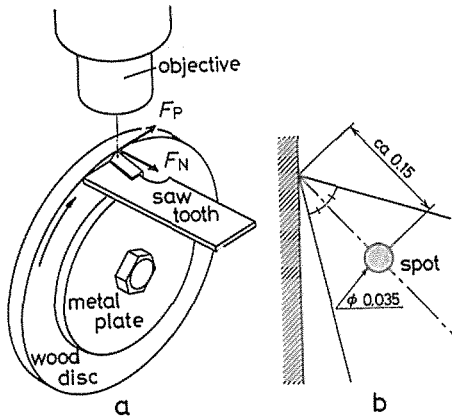


Fig. 1. Schematic illustration of experimental set-up for rubbing of cutting edge (a) and temperature measurement (b). F_N and F_P refer to normal and parallel forces in rubbing, respectively.

り付け、鋸歯側面に焦準できるようにした。

使用した超硬チップの WC 粒子径は $0.5 \mu\text{m}$ 、Co 含量は 13% である。歯型は最も単純で、刃先の幅 2.8 mm 、刃先角 60° 、円板面に対する逃げ角 13° である。刃先にかかる力は、鋸歯を円板面に垂直に押しつける力 F_N と、摩擦力と考えられる円板面に平行な力 F_P を動力計により測定した (Fig. 1)。円板の回転数は $133 \sim 1935 \text{ rpm}$ の間の 7 段階としたが、円板外周部の速さでは $1.6 \sim 23.6 \text{ m/s}$ となる。赤外線放射顕微鏡の測温スポット径は $35 \mu\text{m}$ (公称値) であり、応答周波数 1 Hz として使用した。

実験では、あらかじめ鋸歯で切削して平面とした、木材円板の外周部近くの表面に、適当な力で刃先を押し付けて刃物台を固定し、顕微鏡の測温スポットを刃先角の 2 等分線上の、刃先先端から約 0.15 mm の距離にある鋸歯側面上の点に定めた (Fig. 1)。そこで円板を切削時の逆方向

に回転することにより、刃先逃げ面側を摩擦し、その時の顕微鏡と動力計の出力をペンレコーダに記録した。旋盤刃物台は、摩擦中も固定し続けた場合と、摩擦中の F_N を所定の値に保持するため途中で $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 程度後退させた場合とがある。

なお鋸歯先端に力が作用すると、動力計、治具を含めた弾性系のたわみにより、刃先の位置が移動する。しかしこの値は、 F_N 方向に 1 kgf の力が作用した時同方向に $1 \mu\text{m}$ 、 F_P 方向 1 kgf の時同方向に $10 \mu\text{m}$ と非常に小さく、本実験の力の範囲内では無視できる大きさである。

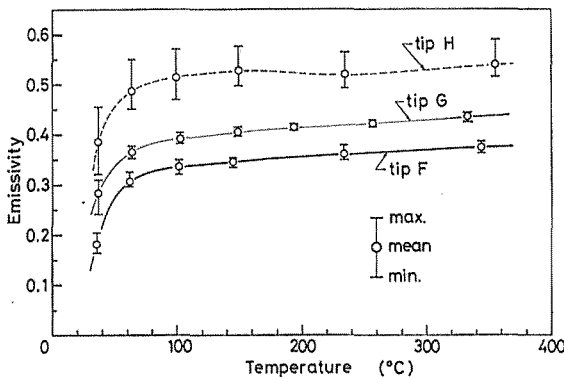


Fig. 2. Relation between emissivities of three kinds of carbide tips, F, G and H, and their temperatures. WC grain size and Co content are as follows. F: $0.5 \mu\text{m}$, 13%. G: $1.5 \mu\text{m}$, 6%. H: $5 \mu\text{m}$, 6%.

2.2 超硬チップの放射率

赤外線放射を利用した温度測定の場合、最も問題となるのは測定表面の放射率である。Fig. 2 は、WC 粒子径と Co 含量の異なる 3 種類の超硬チップ (F, G, H) を種々の温度に加熱した時の放射率を、本実験に用いた顕微鏡 (検出波長域 $1.8 \sim 5.5 \mu\text{m}$) で測定した結果である。各プロットは 7~9 点の平均値であり、その時の最大と最小の範囲も示した。

3 種のチップの放射率は、値の大きさ、バラツキの程度がそれぞれ異なるものの、いずれも室温から 100°C の範囲で顕著な温度依存性を示す。ちなみに各チップ表面の粗さ曲線を Fig. 3 に示す。これらのチップはダイヤモンドと石 (# 400) で同様に研削したものであるが、チップ F と G は非常に滑らかな表面を示すものの、H は $1 \mu\text{m}$ にも達する粗さを呈している。放射率は、その物体を構成する成分のみでなく、当然その表面状態によっても大きな影響を受けるが、Fig. 2 にみられるチップ H の高い放射率と大きなバラツキの理由の一つは、その比較的粗い表面にあるものと考えられる。いずれにしても、温度上昇によって酸化膜が形成され、放射率も大きく変化する鋼製工具に比べ、超硬チップは室温付近を除き放射率が比較的安定しており、適切な材種を選べば再現性もよく、この種の実験には好都合な工具といえる。

なお本実験では、Fig. 2 に示したチップ F の曲線を用い、測定した時の室温を考慮して、顕微鏡出力を温度に変換した。

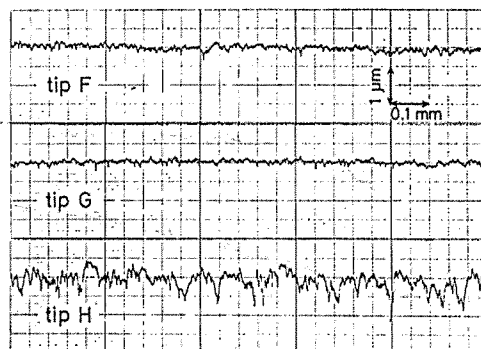


Fig. 3. Roughness curves of the ground surfaces of three carbide tips.

3. 結 果

3.1 刃先温度の時間変化

旋盤刃物台を固定したままで摩擦を続けた場合の、刃先温度と F_N , F_P の時間変化の例を Fig. 4~6 に示す。

比較的低速で摩擦した場合には (Fig. 4), 刃先温度は摩擦開始時から 1~2 秒の間に急激に上昇し、その後は定常になるか、わずかず上昇を続ける。このような低速で、温度があまり上昇しない場合には、 F_N と F_P はかなりの変動を示すものの摩擦中も一定とみなせる。ところが速度が大 (10 m/s) になると、当然温度も高くなるが、時間と共に F_N が増大していくのが認められた (Fig. 5)。この場合 F_N はある時間経過後に安定して、その時温度も定常になるが、Fig. 5 に示したように 75 秒経過後も直線的な上昇を続ける場合もある。更に速度が高い場合には (Fig. 6), この傾向が一層顕著になり、 23.6 m/s

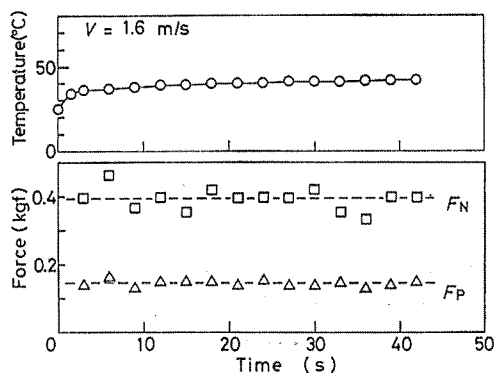


Fig. 4. Progress of cutting edge temperature, F_N and F_P with rubbing time, at a lower velocity. V : rubbing velocity.

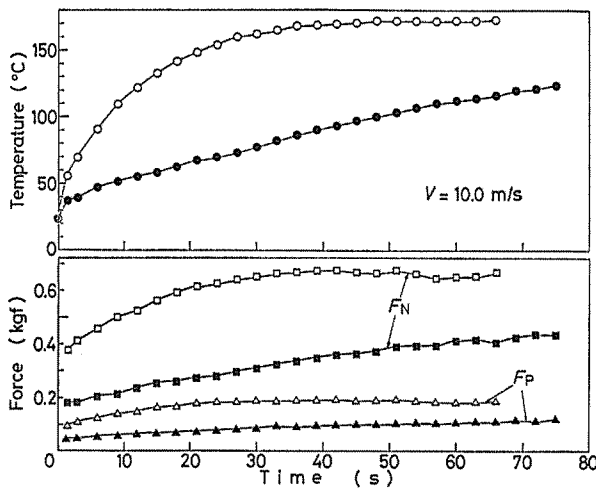


Fig. 5. Progress of cutting edge temperature, F_N and F_P with rubbing time at $V=10$ m/s, under two different initial values of F_N , the lower (●, ■, ▲) and the higher (○, □, △).

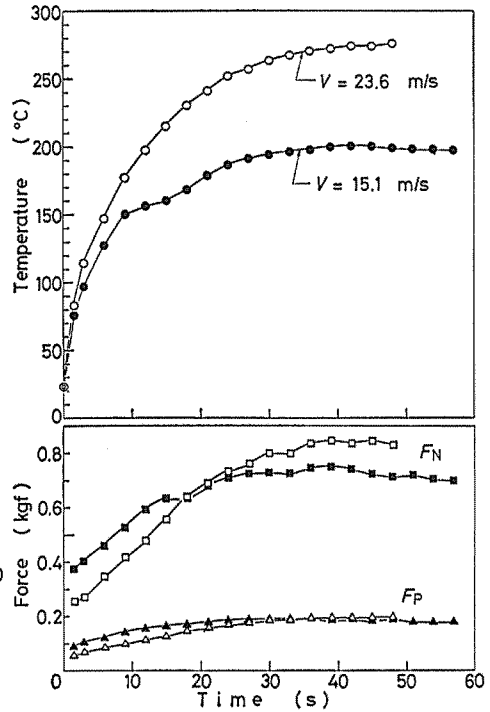


Fig. 6. Progress of cutting edge temperature, F_N and F_P with rubbing time at higher velocities, 15.1 and 23.6 m/s.

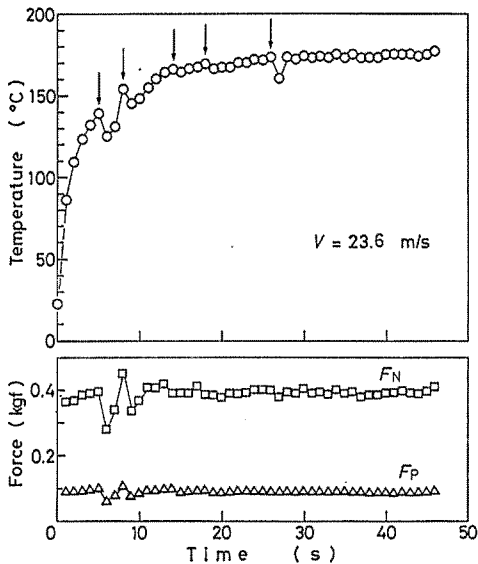


Fig. 7. Same temperature rising curve as Fig. 6, but a sawtooth is retracted by a few tens micrometers from wood disc to keep F_N constant. Arrows indicate retraction points.

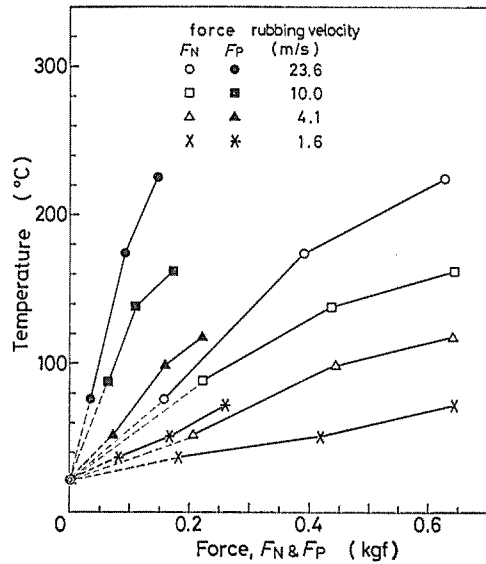


Fig. 8. Effect of F_N and F_P on cutting edge temperature at four rubbing velocities. Ambient temperature is 22°C.

の場合には、 F_N の値が摩擦開始時の 4 倍近くにもなって安定している。

なお Fig. 5, 6 にみられるように、 F_N の増大と共に F_P も大きくなるが、両者の比は同一速度であれば常に一定とみなせた。

3.2 摩擦速度、力と刃先温度との関係

前節での結果のように、刃物台を固定した場合には、 F_N を一定値に保った状態での刃先の到達（定常）温度が得られなかった。そこで、設定した F_N の値が摩擦中も保たれるように、途中で刃物台を円板面からわずかに後退させ、設定した F_N 値での定常温度を得た。Fig. 7 はその一例で、 F_P が約 0.4 kgf となるように数回刃物台を後退させ、約 170°C の定常温度を得ている。

Fig. 8 はこの方法で得た F_N と温度、 F_P と温度の関係を、4 つの摩擦速度について示したものである。刃先の温度は F_N の増加と共に直線的に上昇しているが、その傾きは速度が高いほど大きくなっている。また刃先での摩擦に密接に関わる F_P は、刃先温度に極めて著しい影響があり、特に高速の場合には、0.1 kgf 程度のわずかな変化が 80°C もの温度変化をもたらすことがわかる。

ちなみに刃先逃げ面と木材との接触の幅は、実験後の刃先の観察から、刃先線より 0.1 mm 前後と推定された。

4. 考 察

刃物台を固定して摩擦を続けた場合、時間と共に F_N が著しく増大したが (Fig. 5, 6)、この原因を刃先及び木材の熱膨脹のみに帰することは、やや無理である。この点について明確な結論は得られなかったが、熱膨脹に加えて、刃物台のわずかな遊びにより、鋸歯の位置が若干変化したとするのが最も妥当であろう。いずれにしてもその移動量はせいぜい 20~30 μm と極めて小さく、刃物台を摩擦中に後退させた場合も含めて、測温スポットが初期設定位置から大きくそれることはあり得ない。

本実験で刃先の温度上昇をもたらすのは、逃げ面摩擦による発熱のみであり、その単位時間当りの発熱量（仕事）が刃先温度を左右することになる。そこで、Fig. 8 の結果も含めて、刃先温度が定常に達したと判断できる全ての場合について、刃先温度をその時の摩擦速度 (V) と円板面に平行な力 (F_P) の積、すなわち円板の鋸歯に対する仕事率に対して、両対数グラフ上でプロ

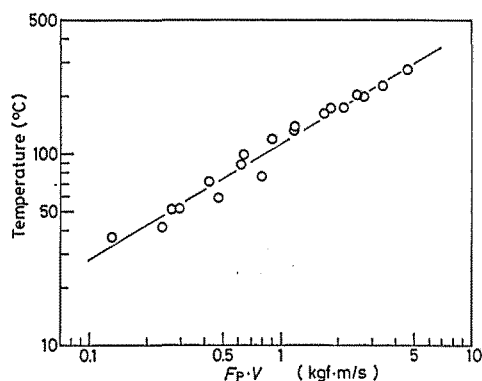


Fig. 9. Relation between cutting edge temperature and product of F_P and V . Ambient temperature is 22–23°C during experiment.

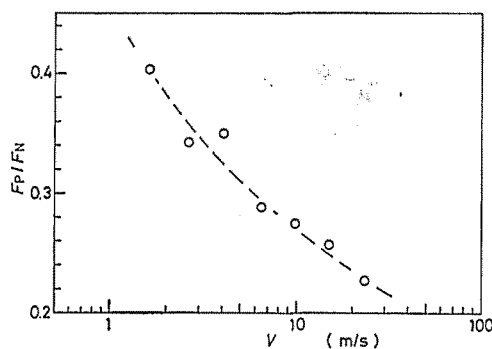


Fig. 10. Effect of rubbing velocity (V) on ratio of F_P to F_N .

ットした (Fig. 9)。Fig. 9 によると、両者は直線関係を示し、例えば木材の常用切削速度である 50 m/s の速度の時、0.2 kgf の F_P が作用すれば、逃げ面の摩擦のみによって、刃先温度は 400°C 以上にも達することが推定できる。

ここで摩擦係数に相当する F_P/F_N が摩擦速度にかかわらず一定であれば、Fig. 9 は F_N と刃先温度との関係をも示すことになる。しかし本実験では、同一速度であればこの比は一定とみなせるが、速度に対しては顕著な依存性を示した (Fig. 10)。従って 0.2 kgf の F_P は、低速 (2 m/s) では約 0.5 kgf、高速 (50 m/s) では約 1 kgf の F_N が作用した場合に相当する。

実際の木材切削時には、工具逃げ面の摩擦のみばかりでなく、すくい面と切屑との摩擦が当然生起し、更に鋸挽や溝切の場合には刃物側面での摩擦も加わる。Okushima ら⁵⁾ は、カッターによる切削 (切削速度 57.80 m/s) で、300~400°C の刃先温度を測定し、Chardin⁷⁾ は振子式の切削試験機による切削 (25.3, 32.4 m/s) で、刃先近くのすくい面温度が 500°C 近くに達することを報告している。これらの結果は、本実験からも十分予測できるものであり、被削材と工具の摩擦が、木材切削における刃先の温度上昇の主要な原因であることを示唆することにもなる。

なお本実験では、工具の高速運動による刃先の冷却については検討していない。しかし切削時の刃先近くでは、極めて速い 1/1000 秒オーダーでの温度上昇が観察され^{7,11)}、また本実験でも F_N の変化に温度がよく対応している (Fig. 5, 6, 7)。従って、工具が高速運動する場合の冷却の効果は、摩擦または切削中の、熱源に極めて近い刃先近傍に限っては、それほど考慮する必要がないと考えられる。

5. お わ り に

以上のように、木材によって鋸歯の逃げ面を軽く摩擦したのみで、刃先は大きな温度上昇を示し、常用切削速度程度であれば、逃げ面の摩擦のみによって、刃先は 400°C 以上の温度に達することが推定できた。これは、木材切削では切削力が比較的低い反面、切削速度が極めて高く、単位時間当りの仕事 (発熱量) で比較すると、金属切削にも匹敵する熱量が、非常に鋭利な刃先の限定された小部分に与えられることによる結果であろう。更に被削材である木材の断熱性の効果も見逃せない因子の一つであろう。

今後は実際の切削時の刃先の温度上昇や温度分布を、種々の条件について更に明らかにし、工具の摩耗との関係についても検討する必要がある。

引 用 文 献

- 1) 青山経雄：材の送り速度および鋸速度と鋸歯の切削温度，木材誌，4，55—59 (1958)
- 2) 青山経雄：鋸歯の切削温度におよぼす挽材条件の影響，林試研報，No. 130，79—114 (1961)
- 3) Pahlitzsch, G. und K. Dziobek: Untersuchungen über das Abstumpfungsverhalten eines Schneidzahnnes, Holz Roh- Werkstoff, 26, 162-170 (1968)
- 4) Okushima, S. and H. Sugihara: Temperature distribution of circular saw blade. Measurement with infrared radiometric microscope, Mokuzai Gakkaishi, 15, 11-19 (1969)
- 5) Okushima, S., H. Sugihara and M. Umemoto: Temperature of tooth-cusp in wood cutting, Mokuzai Gakkaishi, 15, 197-202 (1969)
- 6) Chardin, A.: Saw tooth performance—variable affecting tooth wear, Proc. 3rd Wood Mach. Semin. Richmond, 1-14 (1971)
- 7) Chardin, A.: Laboratory study of temperature distribution on the face of a sawtooth, Proc. 4th Wood Mach. Semin. Richmond, 67-84 (1973)
- 8) Pahlitzsch, G. und E. Sandvoß: Verschleißuntersuchungen beim Fräsen von Faserhartplatten, Holz Roh- Werkstoff, 28, 245-254 (1970)

- 9) McKenzie, W. M. and H. Karpovich: Wear and blunting of the tool corner in cutting a wood-based material, *Wood Sci. Technol.*, **9**, 59-73 (1975)
- 10) 奥村正悟, 杉原彦一, 横山幸明: パーティクルボードの旋削における超硬チップの摩耗, *材料*, **30**(334), 685-690 (1981)
- 11) 奥村正悟, 杉原彦一, 奥田 徹: 木材切削時における工具刃先の温度測定——超硬チップによるブナ材の2次元切削の場合, 第31回日本木材学会大会研究発表要旨集, 143 (1981)

Résumé

In order to examine the cutting edge temperature in wood cutting, the back face of a single sawtooth tipped with tungsten carbide was rubbed with a disc of flat-sawn beech board at several velocities, and the temperature at the point on the side face, close to the extreme edge, was measured with an infrared radiometric microscope (Fig. 1).

The cutting edge temperature depended strongly on the rubbing velocity (V) (Figs. 4-7), and on the normal (F_N) and the parallel (F_P) forces in rubbing, particularly at higher velocities (Fig. 8). The temperature, in steady state, was found to have a linear relationship with the product of V and F_P on a logarithmic graph (Fig. 9). This relationship suggested that the temperature rises over 400°C at a usual velocity in wood cutting, e.g. 50 m/s, owing only to the friction on the back face.