

チップソーの摩耗経過

—— 単一鋸歯によるパーティクルボードの断続切削 ——

奥村正悟・杉原彦一・池内健治

Wearing Process of Tungsten Carbide Tipped Circular Saw
—— Interrupted cutting of particleboard with a single saw tooth ——

Shogo OKUMURA, Hikoichi SUGIHARA and Kenji IKEUCHI

要 旨

チップソーから切り取った単一の鋸歯で、パーティクルボードを積層した直方体状のブロックを断続切削し、その際の超硬チップの摩耗状態、刃先の摩耗量、切削力を調べた。刃先は切削初期に急激に摩耗し、その後は緩やかに摩耗を続けたが、逃げ面側での摩耗がすくい面側に比較して大きく、逃げ面側に広い摩耗帯が形成された。摩耗面の状態は逃げ面、刃先線近傍、すくい面で異なっていることが観察された。切削力の3分力は、切削距離と共に次第に大きくなったが、切削初期の増加が顕著であった。特に背分力は最も広範囲に変化したが、これと逃げ面摩耗帯幅の間には相関が見出された。摩耗量や摩耗状態に関する本実験の結果は、実際にチップソーを用いた場合と大差なく、本切削方法によってもチップソーの摩耗実験を行ない得る見通しを得た。

1. は じ め に

超硬合金付け歯丸鋸、いわゆるチップソーはその高度の耐摩耗性の故に、特に硬質の木質材料や難削材の切削に現在広範囲に使用されている。このチップソーの摩耗に関しては、鋸の寿命点、超硬チップの材種、最適切削条件等々の観点から、鋸歯の摩耗経過や摩耗形状について既にいくつかの報告がある^{1)~6)}。しかしチップソーをそのまま用いた切削方法では、鋸の仕上精度や鋸身の振動が超硬チップの摩耗に及ぼす影響を無視出来ない。また1個の鋸歯にかかる切削力の各分力を測定すること、及び同一鋸歯を種々の摩耗段階で電子顕微鏡等で観察することは通常困難である^{2,3,4)}。

ところで、丸鋸挽きを含めて木材切削では、刃物が被削材と断続的に接する断続切削の場合が多い。Pahlitzsch⁵⁾らはこのことも考慮して、直方体状の被削材を単一の鋸歯で旋削することによって鋸挽き類似の切削条件を得、その際の鋸歯の摩耗経過を切削力、摩耗量、刃先温度から、種々の刃先角と歯の表面仕上げを有した鋸歯について検討している。

そこで本実験では、チップソーの摩耗に関する研究の一端として、チップソーから切り取った

単一の鋸歯で、パーティクルボードの積層ブロックを、Pahlitzsch⁷⁾らと同様の方法で断続切削し、鋸歯の切削力と摩耗量、及び摩耗形状を測定、観察した。そこから本切削方法について検討を加えると共に、超硬チップの摩耗経過について知見を得ようとした。

なお本実験の一部は昭和52年度文部省科学研究費補助金（奨励研究A）によった。

2. 実 験

2.1 装 置

切削は全て金属用旋盤（安藤機械AKS-45DG-M₂）で行なった。主軸に被削材を固定して回転させ、刃物台に鋸歯をバイトホルダーと工具動力計（共和TD-300KA）を介して固定し、送り運動を与えた。

2.2 工 具

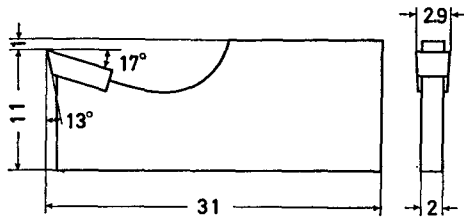


Fig. 1. Cutting tool.

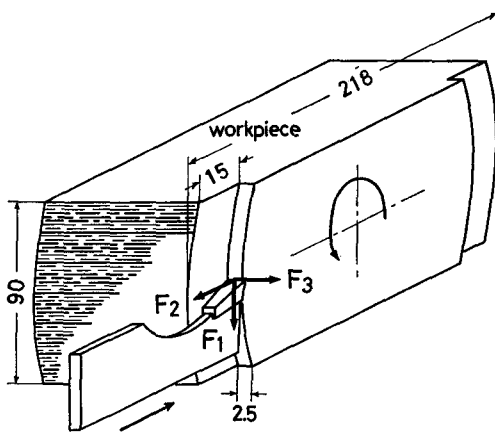


Fig. 2. Schematic illustration of experimental set-up for interrupted cutting. F_1 , F_2 and F_3 refer to principal, perpendicular and lateral components of cutting force, respectively.

試験用チップソー（直径 305 mm、鋸身の厚さ 2.0 mm）から歯部を切り取って切削工具とした（Fig. 1）。歯型は最も単純で、すくい角 17° 、刃先角 60° 、逃げ角 13° 、歯端幅（アサリ幅）2.9 mm、側面に対する逃げ角は逃げ面側で 2° 、チップ材種は K10 相当、硬さは Hv 1800 である。工具の寸法は、走査型電子顕微鏡（SEM）の試料室に納まる様設計した。

2.3 被 削 材

3層パーティクルボード（厚さ 15 mm）を、酢酸ビニル樹脂で 6 枚積層した（Fig. 2）。積層後直方体（約 $220 \times 80 \times 90$ mm）に鋸断し、旋盤で回転径 218 mm に削って被削材とした（Fig. 2）。積層後のボードの比重は 0.67~0.70、含水率は 10.9~12.1% であった。

2.4 切削方法と切削力

鋸歯の刃先線の高さを旋盤主軸に一致させた上で、鋸歯を半径方向（旋盤主軸に垂直な方向）に水平に送り、回転している被削材を切削した（Fig. 2）。主軸回転数は 1253 rpm、切削幅 2.5 mm、切削厚さ（1 回転当りの送り）0.042 mm（一部 0.087 mm）とした。なお送り込み深さは 15 mm としたので平均切削速度は 13.8 m/sec である。実験は切削距離（ L 、切削弧長の和）

18.5 km まで行なった。

切削力は、主分力（ F_1 ）、背分力（ F_2 ）、横分力（ F_3 ）を工具動力計によって測定し、電磁オシログラフに記録したが、横分力を測定するために歯の片側は常にフリーとした（Fig. 2）。

2.5 摩耗の測定と観察

超硬チップの刃先の摩耗量として、すくい面と逃げ面における、元の刃先からの後退量(R_t , R_b)と摩耗帯幅(W_t , W_b)を測定した (Fig.8)。超硬チップのすくい面と逃げ面に、刃先線から約0.5 mmの位置に、微小硬度計によりあらかじめ刻印して測定の基準点とした。一定切削距離毎にホルダーから刃物を取り外し、すくい面、逃げ面、側面に垂直な方向から金属顕微鏡で刃先を撮影した。この写真上で刃先線の5点 (Fig.4の1～5の点)で測定を行ない、その平均値を各切削距離におけるそれぞれの摩耗量とした。

刃先の摩耗状態は、金属顕微鏡で観察する外に、数段階の切削距離においてSEM (J SM-U 3)で摩耗面の性状やWC (tungsten carbide) 粒子の形状を詳細に観察した。なお切削終了後、刃先の様々な点における断面形状を、表面あらさ計 (小坂SE-3C)の触針を刃先線に垂直に駆動することによって求めた。

3. 結果と考察

本実験では切削距離18.5kmまで切削を続けたが、その間工具の異常振動や送り困難、また被削材の焼けや被削面の顕著な荒れは認められなかった。ちなみに同種の超硬チップを付歯したチップソーで、同種のパーティクルボードを挽材した場合には、切削距離約17kmで挽材面に焼けが生じ寿命に達している。

3.1 刃先の顕微鏡観察

切削の進行に伴う刃先の形状変化を明らかにするために、逃げ面、すくい面、側面の垂直方向から撮影した金属顕微鏡写真の一部を Fig.3 に示す。切削開始後800mで既に刃先の顕著な摩耗が見られ、刃先線と摩耗境界線の部分的後退が認められる。その後は逃げ面と側面の摩耗帯がかなり大きくなり、歯の角 (corner) の摩耗も著しく、切削距離1.8 kmにおける摩耗帯の幅は切削終了時の半分近くにも達している。一方すくい面側の摩耗帯は切削が進行してもそれ程大きくならない。

ところで切削終了時の刃先の後退量と摩耗帯幅は、刃先線全体にわたって一様ではなく、食い込み側の角に近い方が摩耗が著しい (Fig.3, 4)。そこで刃先線の11ヶ所における刃先断面を表面あらさ計で求めた (Fig.4)。刃先のフリーな角に近い、摩耗量の小さい所では、刃先が単に丸味を帯びているのみであるが、摩耗がある程度以上進行している所では明らかに逃げ面側の摩耗がすくい面側よりも大きくなっている。その結果摩耗した刃先先端は、刃先角の二等分線よりもすくい面側に近い位置をとっている。なお刃先先端の丸味、すくい面の摩耗帯は、摩耗の著しい所でもそれ程大きくはなっていない。ここで Fig.3, 4 から明らかな様に、切削終了時の超硬チップは刃先後退量、摩耗帯幅共に食い込み側の角からフリーな角に向かって連続的に変化している。従って Fig.4 に示した刃先の各位置における断面から、各摩耗段階における刃

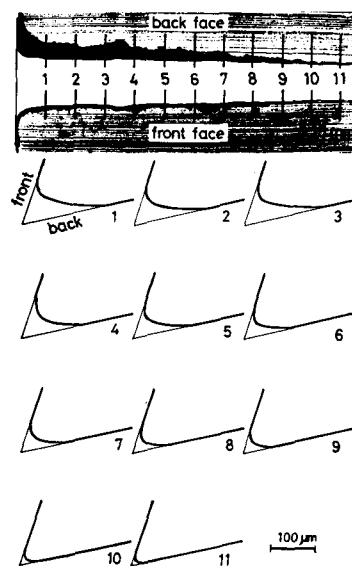


Fig. 4. Profiles of a worn cutting edge taken at eleven points (1-11) of upper photograph using a stylus-type profilometer.

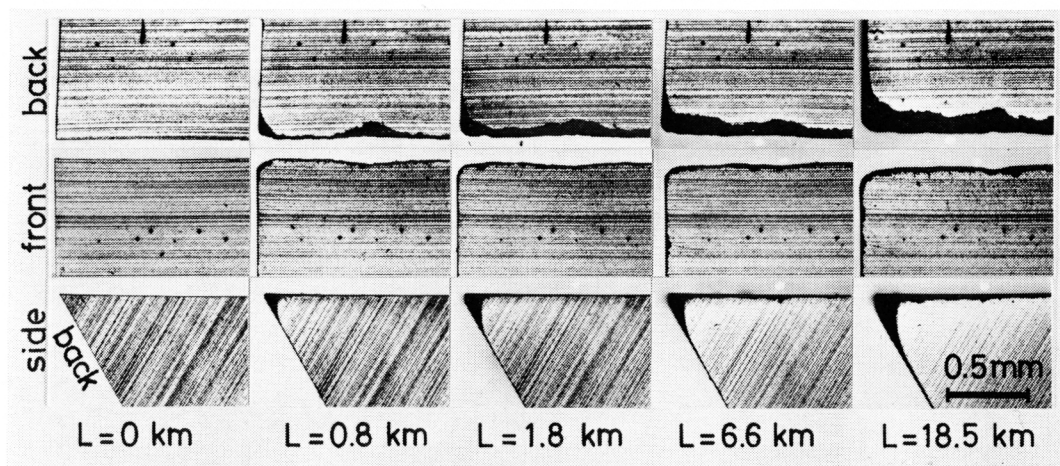


Fig. 3. Photographs of a carbide saw tip showing the progress of the edge wear. L, cutting length.

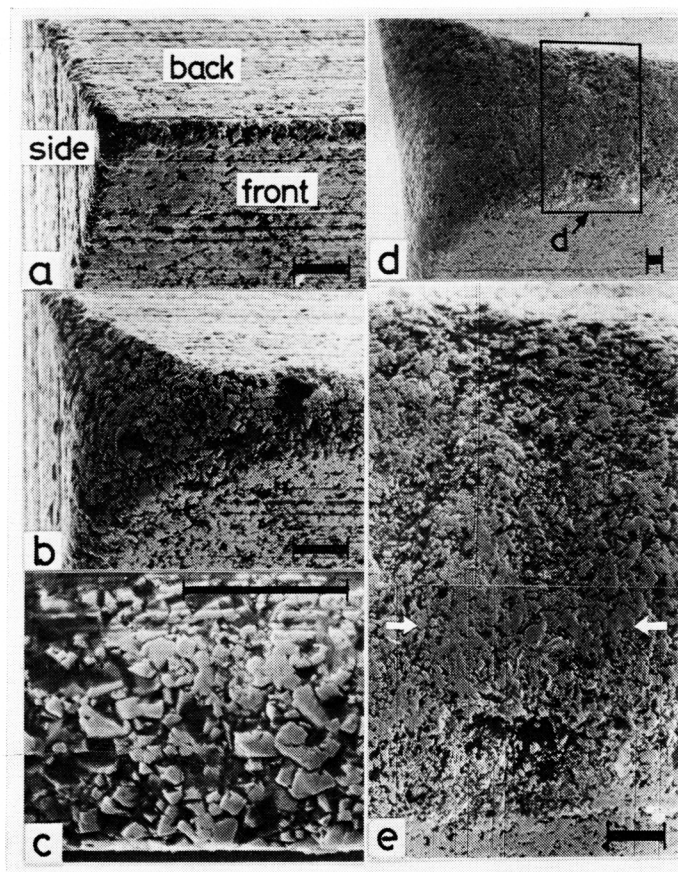


Fig. 5. Scanning electron micrographs of a carbide tip taken at cutting lengths of 0(a), 0.15(b and c) and 4.4km (d and e) showing the progress of the edge wear. Note, in c, revealed tungsten-carbide grains on back wear land and, in e, the difference in appearance of wear surface among front, extreme edge (white arrows) and back. Scale marks are equivalent to 10 μ m.

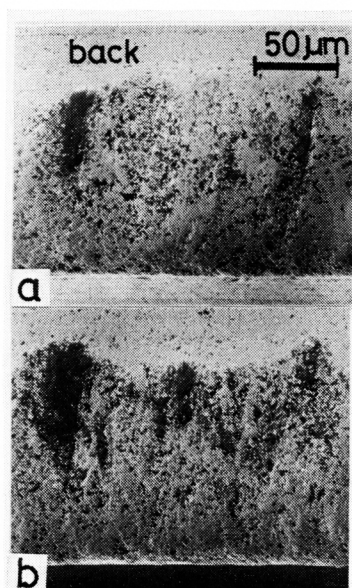


Fig. 6. Scanning electron micrographs of a worn carbide tip showing the development of striations and grooves on the back wear land. a: L=10.9 km. b: L=18.9 km.

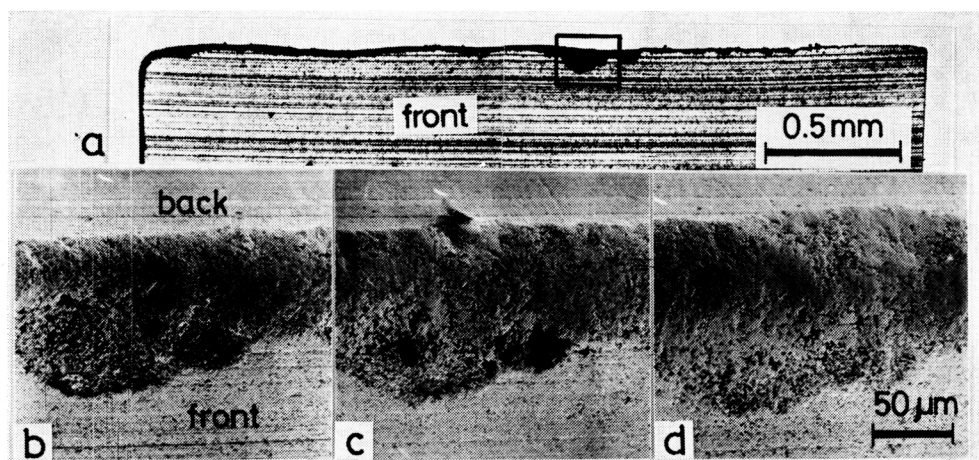


Fig. 7. Front surface (a) and scanning electron micrographs (b, c and d) of a worn carbide tip showing the surface feature of shallow depressions formed on the rake face. a and b: $L=4.4$ km. c: $L=10.9$ km. d: $L=18.5$ km.

先断面をある程度推測出来ると考えられる。得られた摩耗刃先の断面と、その変化過程は、実際にチップソーで挽材した場合の結果と大略一致し、また高速度鋼工具で得られた結果ともよく似ている。

次にSEMで摩耗面の状態を観察した。Fig.5は刃先の角とその近辺の摩耗の進行を示す。切削前 ($L=0$ km) には刃物の3面共、研磨条痕が明瞭で、約 $5\mu\text{m}$ 幅の刃先線を呈している (a)。この刃先も150 m切削後にはかなりの摩耗が認められ、WC粒子が表面に浮き出ている (b, c)。更に切削が進むと、摩耗帯が広がると同時に刃先線付近 (最も突出した部位) ではWC粒子が摩耗境界線付近に比較して密になり、刃先線近くの摩耗面が、境界線付近よりも滑らかに見える (d, e)。また逃げ面側とすくい面側の摩耗面の様子も異なり、逃げ面側には大きな摩耗帯が形成され、そこには摩耗条痕が切削方向に発達する (Fig.6)。一方すくい面側の狭い摩耗帯にはその様な条痕はまれで、その代わり Fig.7 aに見られる様な境界線の局所的な後退が認められる。これは工具材が薄片状に脱落したと考えられるもので (Fig.7 b), すくい面に特有である。この部分の摩耗面は、最初は粗であるが、切削の進行と共に比較的平滑となり、境界線も不明瞭になってしまう (Fig.7 b, c, d)。この様な逃げ面とすくい面での摩耗面の差は、既に報告がある様に両面での摩耗機構の差に基づくと考えられる。

3.2 刃先の摩耗量

Fig.8に各摩耗量と切削距離の関係を示す。刃先は切削初期に急激に後退し、その後は緩やかな後退を続けるが、初期摩耗を経過した後は逃げ面側での後退量 (R_b) が常にすくい面側 (R_f) の約 $\frac{1}{2}$ となっている。これは、Fig.4の刃先断面からもわかる様に、摩耗刃先の先端が刃先角の二等分線よりも常にすくい面側に偏っていることに起因する。摩耗帯も初期摩耗によって著しく幅が広がるが、特に逃げ面では切削距離150 mで既に切削終了時の約 $\frac{1}{2}$ に達する広い摩耗帯が形成され、その後も幅がかなり広がる。一方すくい面側には初期に $20\sim 30\mu\text{m}$ 幅の狭い摩耗帯が形成され、その後も非常に緩やかに値が増加していく。本実験に採用した摩耗量の中では、Fig.8で明らかな様に、逃げ面の摩耗帯幅 (W_b) が最も広範囲に変化した。なお、各摩耗量と

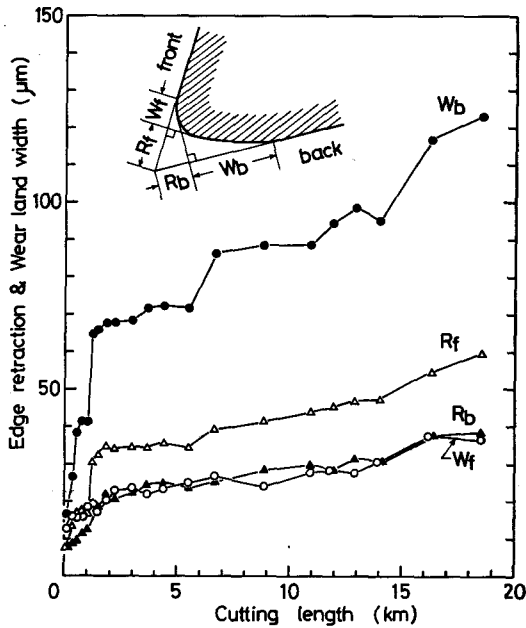


Fig. 8. Progress of edge retraction (R_f and R_b) and wear land width (W_f and W_b).

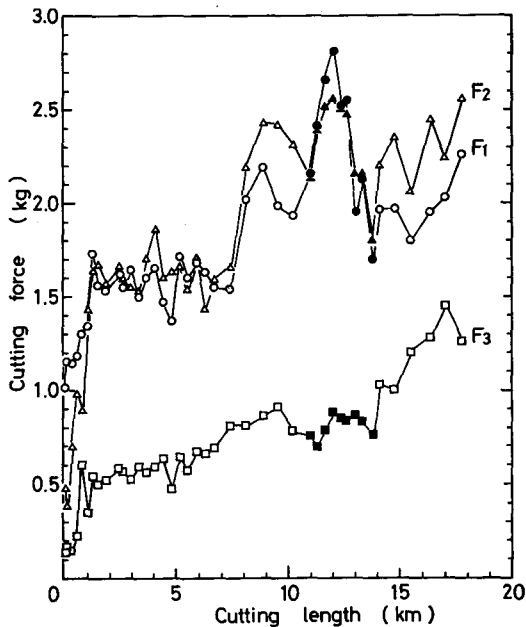


Fig. 9. Progress of principal (F_1), perpendicular (F_2) and lateral (F_3) force components. $\circ$, $\triangle$, $\square$: chip thickness 0.042mm. $\bullet$, $\blacktriangle$, $\blacksquare$: chip thickness 0.087mm.

切削距離は、両対数グラフでは略直線
的關係を示した。

3.3 切 削 力

切削力の3分力と切削距離の關係を
Fig. 9に示す。切削開始時の値は、横
分力 (F_3) と背分力 (F_2) が比較
的小さく、主分力 (F_1) が前二者の
3～5倍の値で最も大きい。しかし背
分力は初期の著しい増大によって主分
力と並び、その後もかなりの幅で変動
しながら緩やかに増加し続ける。一方
主分力は、初期の増加幅もわずかで
あり、その後の増加傾向も全体として見
れば背分力よりも小さい。横分力は常
に最も低い値をとり、切削距離の増加
に対して緩やかな上昇を続ける。なお
切削の途中で切屑厚さを約2倍に変化
させた場合 (Fig. 9の黒丸の部分)、
主分力は顕著に値が大きくなったが、
背分力と横分力には余り影響が認めら
れなかった。

主分力と背分力の切削距離に対する
変化傾向は、McKenzie⁹⁾らが旋削で
得た結果とはほぼ等しい。横分力に関し
ては、Pahlitzsch⁷⁾らは横分力が最も
広範囲に変化して大きな値を示し、そ
れによって刃物温度の上昇がもたらさ
れると報告しているが、本実験の場合
にはMcKenzie⁹⁾らの結果と同様に、緩
やかな増加を示すのみで値も3分力中
最低であった。しかし切削開始時と終
了時の値の比は3分力中最も大きく、
また鋸挽きにおける被削材の焼けや挽
肌には密接に關係する力であり、鋸歯
の寿命に關しては容易に無視出来ない
分力であることは確かである。

ところで切削工具材料の損耗として
の摩耗と、切削性能の低下をもたらす
刃先形状の変化としての鈍化とを区別
するならば、刃先の後退量は摩耗に關
係が深く、摩耗帯幅は鈍化に關係が深
いことが、Fig. 4の摩耗断面からもう

なずけるであろう。^{7,8)}そこですくい面、逃げ面の摩耗帯幅と、切削性能の一つの指標である切削力の主分力と背分力との関係を調べた。

その結果いずれも最も広範囲に変化した、逃げ面摩耗帯幅 (W_b) と背分力 (F_2) の間に最も強い相関が認められた (Fig.10)。この結果は McKenzie⁹⁾らの結果に対応し、超硬工具においても逃げ面における摩耗が鈍化の指標となり得ることを示唆する。

4. おわりに

以上の様に、単一鋸歯を用いた断続切削によっても、実際の丸鋸挽きと同様の摩耗経過、摩耗刃先の形状が得られる見通しを得た。本切削方法では、刃物の着脱が容易であり、任意の切削距離で刃先の詳細な観察が行なえること、また通常測定が困難な切削力の3分力を容易に測定出来ること、更に刃物が固定されているために刃先の温度測定が種々の条件で行なえること等が、この方法の特徴となり得るであろう。今後は被削材、切削条件、超硬チップの材質等を変化させた場合に、この切削方法がどこまで実際の丸鋸挽きを再現出来るかの検討と合わせて、チップソーの摩耗、鈍化、寿命に関する包括的な知見を得ることが必要である。その際、鋸挽きでは被削面の形成に最も重要である刃先の角（あさりの尖端）の摩耗に関して、その評価方法を検討する必要がある。

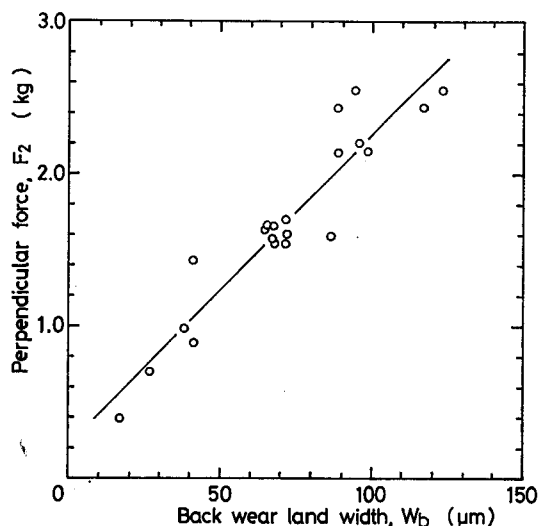


Fig. 10. Relation between perpendicular force component (F_2) and back wear land width (W_b).

引用文献

- 1) 木下直治：超硬チップソーの寿命に関する研究，木材工業，**13**，554—558（1958）
- 2) 山口喜弥太，青山経雄：超硬チップソーの挽材摩耗試験，林試研報，No138，121—145（1962）
- 3) STEFANIAK, W.: Einfluß der Schnittgeschwindigkeit auf das Abstumpfen hartmetallbestückter Sägeblätter beim Schneiden von Spanplatten, Holztechnol., **12**, 9—15（1971）
- 4) 古賀達是，七沢喜男：超硬合金丸のこの寿命特性（第1報）切削諸因子および超硬合金材質の影響，木材誌，**19**，311—316（1973）
- 5) ————，———：同上（第2報）切削速度の影響，木材誌，**19**，317—322（1973）
- 6) SUGIHARA, H., S. OKUMURA, M. HAOKA, K. OHI and Y. MAKINO: Wear of tungsten carbide tipped circular saws in cutting particleboards — Effect of carbide grain size on wear characteristics, Holz Roh-Werkstoff (in contribution)
- 7) PAHLITZSCH, G. und K. DZIOBEK: Untersuchungen über das Abstumpfungsverhalten eines Schneidzahnes, Holz Roh-Werkstoff, **26**, 162—170（1968）
- 8) — 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) 栃木紀郎，小笠原和彦，林大九郎：木材切削における工具の摩耗および鈍化に関する研究（第1報）二次元横切削における摩耗による背分力の変化と刃先後退量，木材誌，**24**，85—90（1978）

Résumé

In order to examine the wearing process of tungsten carbide saw tips, a laminated experimental block of particleboard was interruptedly turned with a single saw tooth, which was cut out of a tungsten carbide tipped circular saw (Figs. 1 and 2). At several cutting lengths the wear of the tool was observed using a metallographic and a scanning electron microscope, and the three cutting force components (Fig. 2) were also measured.

The cutting edge retracted very rapidly at the beginning and then continued to retract more slowly. The clearance (back) face of the tool wore more than the rake (front) face as the edge wear proceeded, and a wide wear land was formed on the clearance face (Figs. 3, 4 and 8). Scanning electron micrographs showed that the extreme worn edge had a smoother appearance than the other wear surface; and that striations and grooves developed in the cutting direction on the back wear land while a few shallow depressions were often formed on the rake face (Figs. 5, 6 and 7).

The values of the three cutting force components increased with the cutting length. In particular, the perpendicular component (F_2) started at a relatively low value and increased very rapidly at the beginning (Fig. 9). This force, F_2 , was found to have a constant relationship with the width of back wear land, W_b (Fig. 10).

The wearing process of the carbide saw tip used in this study was almost the same as the results when a carbide tipped circular saw had been actually used, so that the present cutting method could simulate a circular sawing, to some extent, concerning the wear phenomena.