

パーティクルボードの断続切削における セラミックス製単一鋸歯の初期摩耗

奥村 正悟・瀬之口 潤輔・野口 昌巳

Wear of a Ceramic Saw Tooth in the Early Stages
of Interrupted Cutting of Particleboard

Shogo OKUMURA, Junsuke SENOGUCHI and Masami NOGUCHI

要 旨

セラミックスをチップソーに利用するための基礎研究として、アルミナ、常圧焼結の窒化ケイ素、ホットプレス焼結の窒化ケイ素を用いて単一鋸歯を作製し、パーティクルボードのブロックを旋盤で断続切削したときの刃先摩耗、とくに工具寿命に密接に関係する初期摩耗について検討した。超硬合金チップに比べて、用いたセラミックス鋸歯は切削前から刃先線の凹凸が著しく、それに対応して切削抵抗もかなり大きな値を示した。この刃先線の凹凸は逃げ面にランドを付けることによってかなり改善されたが、セラミックスの本質的な強度不足のため、切削の進行によって刃先に生じる微小な欠けを防止する効果は認められなかった。

1. はじめに

丸鋸は木材・木質材料の切断加工に不可欠であり、もっとも広く使用されている工具である。この丸鋸の寿命は、WC-Co系超硬合金を付け歯した超硬チップソーの導入によって飛躍的に改善され、使用されている丸鋸のほとんどがチップソーになるまで現在普及している。しかし、WC-Co系超硬合金は生材切削時の電気化学的磨耗¹⁾や刃先の熱劣化に伴う磨耗²⁾に対してはまだ不十分な点があり、さらに材質の改良が進められている。その一方で、金属切削ですでに利用実績があり、超硬合金と同等あるいはそれ以上の耐摩耗性をもつことが確かめられている硬質の工具材料を、チップソーなどに導入することが試みられ始めている^{3~6)}。その一つであるセラミックスは、現在のところ必ずしも良好な性能を示しておらず、また金属との接合が困難な点も克服されていないが、化学的安定性や耐熱性に優れ、希少資源であるWを必要としない利点もあるため、TiCを主成分とするサーメットとともにさらに検討すべき材料の一つである。

そこで本研究では、セラミックスをチップソーに利用するための基礎研究の一つとして、セラミックス鋸歯の刃先摩耗、とくに刃先の欠けが生じやすく、工具寿命の観点からも重要である切削初期の刃先の状態について予備的に検討した。

なお、本報告の概要は第40回日本木材学会大会（2年4月、つくば）において口頭発表した。

2. 実 験

2. 1 装置

既報⁷⁾と同様、実験はすべて金属切削用の小型旋盤で行い、主軸に固定して回転させた直方体状の被削材を工具ホルダーおよび3成分工具動力計を介して刃物台に固定し、主軸に垂直な送りを与えた単一鋸歯で断続的に切削した (Fig.1)。

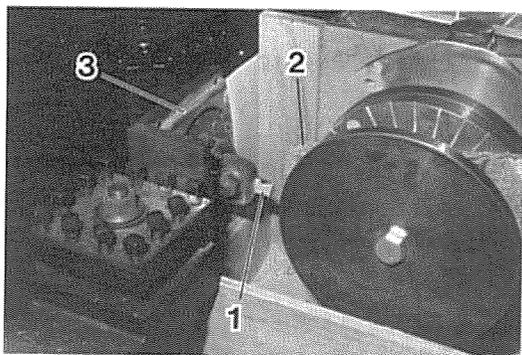


Fig.1 Experimental setup for cutting.
1, saw tooth; 2, workpiece;
3, tool dynamometer.

2. 2 工具

実験には、市販されている構造用ファインセラミックスから、純度92%のアルミナ、常圧焼結した窒化ケイ素、強度性能を向上させるためのホットプレス法により焼結した窒化ケイ素の3種のセラミックスを用いたが、Table 1にそれらの機械的および熱的特性を示す。このうち、アルミナはコストの点では有利であるが、硬さを除いて強度、じん性などの機械的性質は超硬合金よりもかなり劣っている。一方、窒化ケイ素は、一般に高温強度、じん性、耐熱衝撃性などに優れているが、今回用いた窒化ケイ素も超硬合金と同等かそれ以上の硬さ、アルミナの数倍の強度、大きい熱

伝導率と小さい熱膨張係数などにその特性が現れている。とくに、ホットプレス法で焼結されたものでは、それらの特性がさらに改善されていることがわかる。

セラミックスはろう付けが困難であるため、本実験では短冊状の薄板 (厚さ 3.5 mm) の研削加工によって一体物の単一鋸歯を得た (Fig.2)。研削に使用したダイヤモンドホイールは逃げ面と側面の加工では # 200 / 230、すくい面の加工では # 400 / 600 である。鋸身 (シャンク) の

Table 1 Mechanical and thermal properties of ceramics used*.

		Al ₂ O ₃ (92%)	Si ₃ N ₄	
			Normal sintered	Hot pressed
Density	(g/cm ³)	3.70	3.22	3.22
Hardness, HV	(kgf/mm ²)	1400	1500	300
Bending strength	[r.t.] (kgf/mm ²)	22	90	105
	[1000°C] (kgf/mm ²)	—	75	95
Compression strength	[r.t.] (kgf/mm ²)	160	400	400
Young's modulus	[r.t.] (kgf/mm ²)	3.8	2.8	3.1
Toughness, K _{IC}	(MPa·m ^{1/2})	3-4	6-7	5-6
Specific heat	(J/g·K)	0.18	0.68	0.70
Thermal conductivity	(W/m·K)	17	20	29
Coefficient of thermal expansion	(×10 ⁻⁶ /°C)	7.1	3.4	3.2

* nominal values.

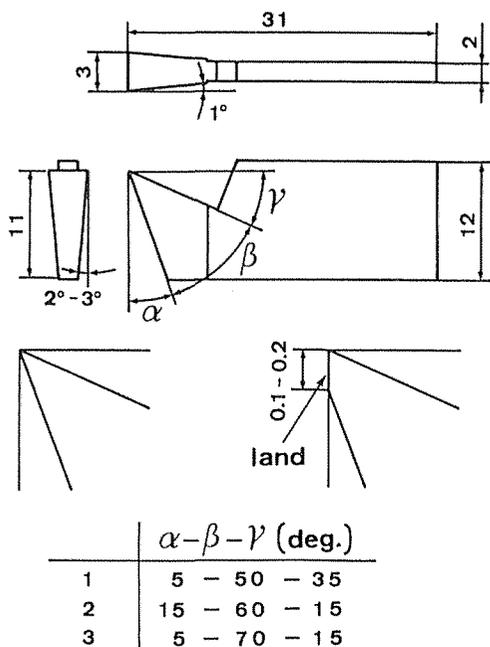


Fig.2 Spape and dimension of ceramic tooth used. Each of three kinds of teeth consists of teeth with and without land on the clearance face.

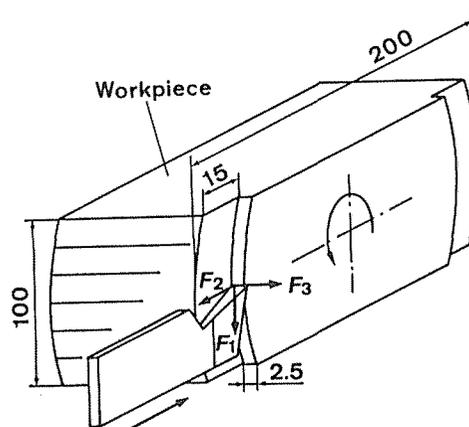


Fig.3 Schematic illustration of experimental setup. F_1 , F_2 and F_3 refer to principal, perpendicular and lateral components of cutting force, respectively.

厚さは2mm, あさり幅は3mmとし, 側面には通常のチップソー程度の逃げを付けた。鋸歯は, 逃げ角とすくい角の組み合わせが異なる3種類とし, 逃げ面側に幅0.1~0.2mmのランドを付けたものと付けないものを用意した。このランドは硬質材料の刃先の欠損を低減させるのに有効であり^{5, 8, 9)}, 本実験ではハンドストーン (#800) による手仕上げで加工した。なお, 対照試料として, K20の超硬合金を付け歯して同一の刃先形状とした単一鋸歯も供試した。

2. 3 被削材と切削条件

被削材は, 既報と同様⁷⁾, 単層パーティクルボード (厚さ17mm) を酢酸ビニル樹脂系接着剤を用いて接着, 積層し, 厚さ100mm, 回転径200mmとしたものを用いた (Fig.3)。

切削では, 鋸歯の片側を常にフリーとし, 切削幅2.5mmで, 鋸歯を回転軸に垂直に15mmの深さまで送り込んだ (Fig.3)。なお, 旋盤主軸の回転数は1255rpm (平均切削速度では13.7m/s), 主軸1回転当たりの鋸歯の送りは0.042mmである。

切削は切削長1100mmまで行い, 切削長0, 75, 225, 550, 1100mmで走査電子顕微鏡 (SEM) による刃先の観察, 触針式表面粗さ計による刃先線のプロフィールの測定, および電磁オシログラフでの切削抵抗の記録を行った。なお, SEM観察では常法によりAuの真空蒸着を行った。

3. 結果と考察

3. 1 刃先線の粗さ

Fig.4は, 切削前と500mm切削後の刃先線のプロフィールをアルミナ, 常圧焼結の窒化ケイ素

および超硬合金の鋸歯（5-50-35）について示したものである。セラミックスについてはランド無しとランド有りの両方を示した。図からわかるように、セラミックスの刃先線は超硬合金に比べて切削前から著しい凹凸を示すが、ランドを付けた鋸歯ではこの凹凸はかなり改善されている。これは、目の細かい砥石による手仕上げでランドを付けたためと考えられる。また、550 m切削後のアルミナでみられるような刃先線の局部的な後退すなわち刃先の欠けは、アルミナの場合にやや多く観察されたが、本実験の切削長の範囲ではこのような欠けの発生が全般的に少なく、材種、刃先の角度、ランドの有無などによる明確な差を認めることはできなかった。

刃先線の凹凸を評価するため、刃先線のプロフィールを表面粗さ測定における断面曲線とみなし、十点平均粗さを求めて刃先線の粗さとした。その結果の一例をFig.5に示す。既に報告⁶⁾があるように、ランドのない鋸歯では切削の進行に伴って刃先線の凹凸が少なくなる傾向を示し、切削初期の刃先の微小な欠けによって刃先線の平滑化が進行していることがわかる。一方、ランドを付けた鋸歯の刃先線は始めから滑らかであるが、次第に粗さが大きくなり、1100 m切削後には、ランド無しの鋸歯と同程度の粗さとなっている。これは、用いたセラミックスの強度が不足しているため、鋭利に仕上げた刃先が切削力に耐えられないことを反映した結果であると考えられる。刃先線粗さに関する以上のような傾向は、他のセラミックス鋸歯についても認められた。

3. 2 刃先の形態

アルミナ、常圧焼結の窒化ケイ素、ホットプレス焼結の窒化ケイ素および超硬合金の75 m切削後の刃先のSEM写真をFig.6に示す。75 m程度の切削では刃先の摩耗や欠けはほとんど生じることがなく、切削前の状態とほぼ同様の状態を示している。超硬合金に比べて、セラミックスの刃先線はこのような低倍の写真でも確認できるような幅をもち、しかも刃先線全体にわたって顕

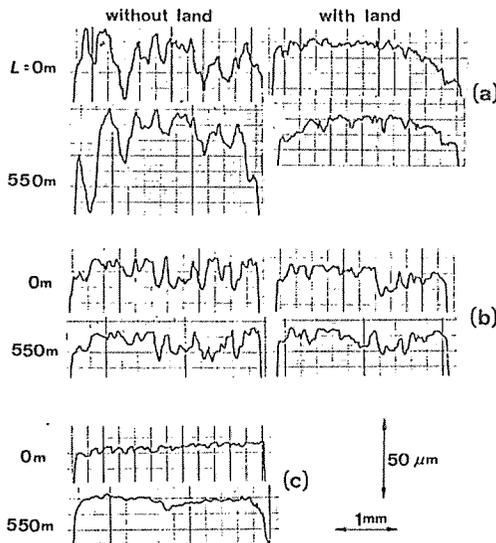


Fig.4 Examples of profiles of cutting edge for 5-50-35 teeth of (a) Al_2O_3 , (b) Si_3N_4 (normal sintered) and (c) tungsten carbide (K20). All profiles are viewed from rake face. L , cutting length.

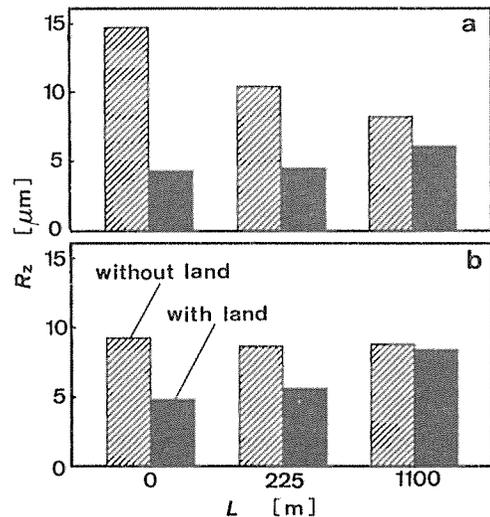


Fig.5 Change in cutting edge roughness, R_z , with cutting length, L , for 5-50-35 teeth of (a) Al_2O_3 and (b) Si_3N_4 (normal sintered).

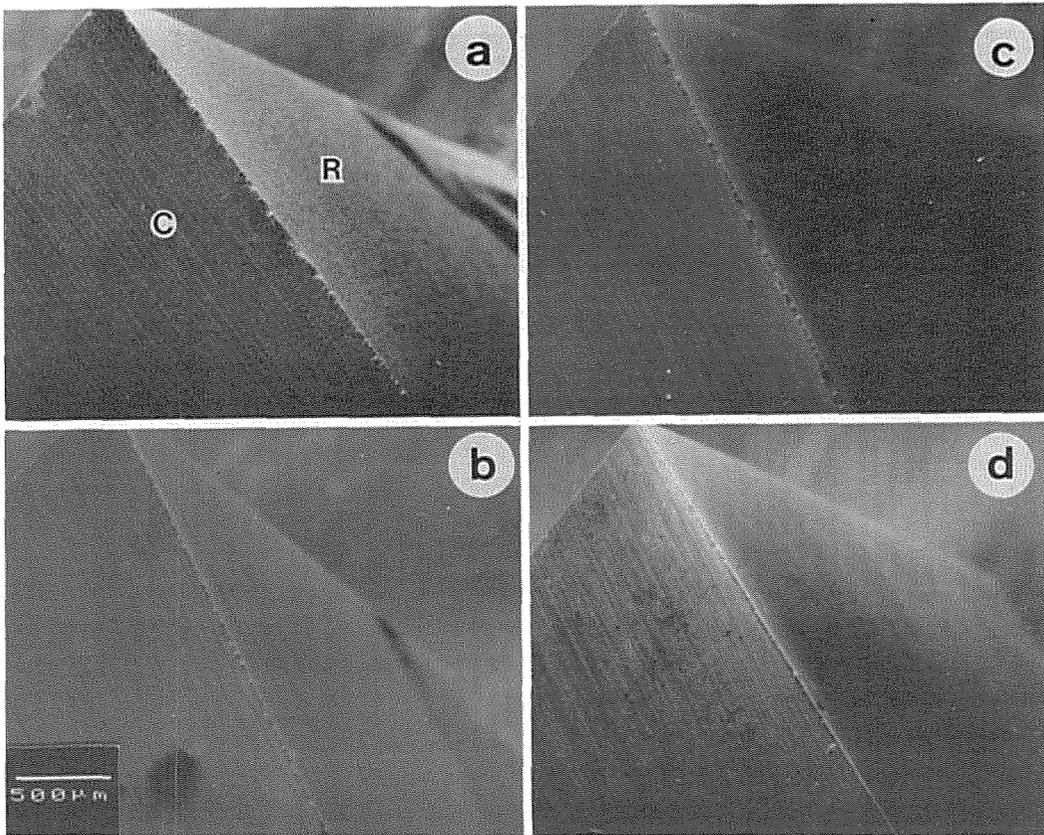


Fig.6 Scanning electron micrographs of 15-60-15 teeth without land of (a) Al_2O_3 , (b) Si_3N_4 (normal sintered), (c) Si_3N_4 (hot pressed) and (d) tungsten carbide (K20) after cutting 75m length. C, clearance face; R, rake face.

著な凹凸を示していることがわかる。

Fig.7は、ランドを付けたアルミナと付けていないアルミナ、および同じ角度のランドを付けていない常圧焼結の窒化ケイ素の550 m切削後の刃先のSEM写真である。右下はその上の一部拡大で、切削中に生じた刃先の欠けを示している。SEM観察の前にはアセトンを用いて刃先の表面をよく清浄したが、超硬チップによる切削でも認められた⁷⁾と同様に、一部の鋸歯ではアセトンでは除去できない黒褐色の物質が逃げ面に付着していた。この付着物は、切削時に生じた熱によって被削材の一部が分解して生成したものと考えられ、とくに逃げ角の小さい、ランド付きのアルミナでこのような付着が顕著であった。これは、アルミナは用いた鋸歯の中では熱伝導率が最も小さく、またランドを付けたことによって被削材との接触面積が大きくなったためと考えられる。なお、刃先の局所的な欠けは、Fig.7に示したように、大きいもので幅0.3 mm、深さ50 μm程度であった。

3. 3 切削抵抗

切削抵抗の3分力の切削長に伴う変化を、ホットプレス焼結の窒化ケイ素のランド無しとランド有り、および超硬合金についてFig.8に示す。一般に、鋭利に研磨した超硬チップでは、図か

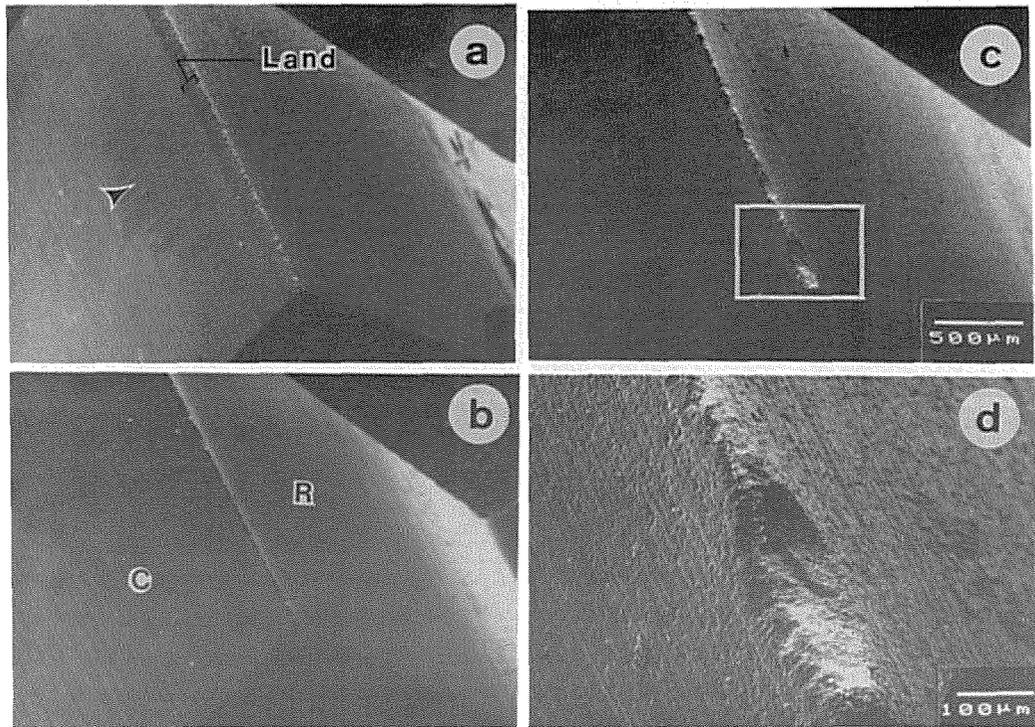


Fig.7 Scanning electron micrographs of 5-50-35 teeth of (a) Al_2O_3 with land, (b) Si_3N_4 (normal sintered) without land and (c and d) Al_2O_3 without land after cutting 550 m length. Note acetone-insoluble substance (arrow) on the clearance face. C, clearance face; R, rake face.

らも明らかのように主分力が最も大きく、背分力、横分力と続き、刃先摩耗の進行とともに各分力、とくに背分力が顕著に大きくなる⁷⁾。しかし、本実験のセラミックス鋸歯では、切削初期の段階から背分力が主分力と同等あるいは主分力を上回る場合が多く、とくにランドを付けたものでその傾向が顕著であった。これは、ランドによって刃先部分の逃げ角が0または負になった影響が現れたものと考えられる。また、セラミックスの場合切削抵抗の主分力と背分力が切削初期からかなり大きな値を示し、1100m切削してもその値がほとんど変わらないか、場合によっては切削長と共に減少する傾向が認められた。これは、Fig.5にも示したように、刃先線粗さが切削の進行に伴って減少することに関係しているものと考えられる。

なお本実験では、刃先角度の異なる鋸歯間で切削抵抗の明確な差を見出すことはできなかった。これは、セラミックス鋸歯は最初から超硬合金でいえばかなり摩耗の進んで状態にあるため、刃先の鋭利さにきわめて敏感である切削抵抗（とくに背分力）が切削初期から大きな値を示し、本来現れるはずの切削角や逃げ角の影響が隠されてしまったのであろう。

4. おわりに

セラミックスを、鋭利な切れ刃を絶対の要件とする木材切削工具に導入するためには、強度やじん性の改善など、材料そのものの性能向上が不可欠である。本実験では、材種および測定項目が限定されていたため、材種や刃先角度の影響を十分に明らかにすることはできなかったが、セラミックスにはきわめて多くの種類があり、また同一系統の材種でも製造方法や成分のわずかな差によって性能は大きく異なる。したがって、今後のチップソーに利用できる可能性のあるできるだけ多くの材種を用い、最適な刃先角度や形状、刃先の研磨条件や研磨方法などについてさらに知見を蓄積する必要がある。

最後に、セラミックスの選定、鋸歯の加工で終始お世話になった、株式会社東芝生産技術研究所の橋本政弘氏に深く感謝致します。

引用文献

- 1) Kirbach, E. and Chow, S.: Chemical wear of tungsten carbide tools by western redcedar. Forest Prod. J. 26 (3). 44-48, 1976
- 2) Stewart, H.A., Shatynski, S.K., Harbinson, B. and Rabin, B.: High-temperature corrosion of tungsten carbide from machining medium-density fiberboard. The Carbide and Tool J. Jan.-Feb. 2-7, 1986
- 3) 田中千秋・高橋 徹・塩田洋三: サーメット, セラミックス, CBNおよび人工ダイヤモンド工具の切削性能(第1報)連続切削における摩耗特性. 木材学会誌. 32 (2). 96-102, 1986
- 4) 田中千秋・中尾哲也・高橋 徹: 同上(第2報)断続切削における摩耗特性. 島根大農研報. 20. 85-89, 1986
- 5) 田中千秋・伊達秀幸・中尾哲也・高橋 徹: 同上(第3報)セラミック工具の切削性能. 木材学会誌. 34 (4). 298-304, 1988
- 6) 井上裕之: 木材切削における新素材工具の刃先摩耗. 木材学会誌. 34 (4). 291-297, 1988
- 7) 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
- 8) Bonac, T.: Geometry of ceramic tools for wood cutting. Proc. 7th Wood Machin. Semin., Richmond, Calif. p.301-311, 1982
- 9) 道津 毅・熊谷年男・渡辺忠彦・菅蒲一久: 難削木工用チップソーの開発に関する研究. 国立機関技術開発研究事業成果普及発表会テキスト(昭和62年3月). p.1-44, 1987

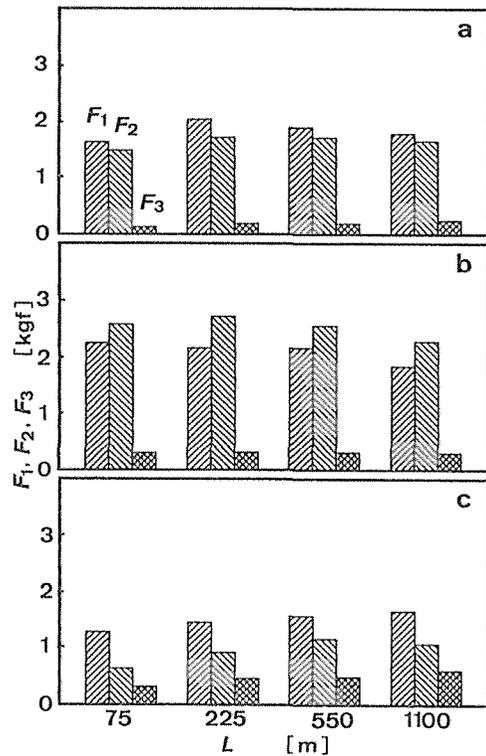


Fig.8 Change in cutting force, F_1 , F_2 and F_3 , with cutting length, L , for 5-70-15 teeth of Si_3N_4 (hot pressed) (a) without and (b) with land and (c) tungsten carbide (K20).

Résumé

This paper describes preliminary experiments to examine the cutting edge wear, particularly in the early stage of cutting, of a single saw tooth made of three kinds of

ceramics, Al_2O_3 -based, Si_3N_4 -based (normal sintered), Si_3N_4 -based (hot pressed) (Table 1; Fig. 2). Laminated blocks of particleboard were interruptedly turned with these teeth (Figs. 1 and 3). The wear was evaluated from the measurement of cutting edge roughness and cutting force and the observation of cutting edge using a scanning electron microscope.

The cutting edge of a ceramic saw tooth was considerably indented as compared with a tungsten-carbide tip, although the teeth with land, which had been formed on the clearance face by hand-lapping, showed rather smooth edges (Fig. 4). The cutting edge of teeth with land, however, became rougher during cutting and the roughness reached the same magnitude as those without land after cutting 1100 m length (Fig. 5), probably due to insufficient strength of ceramics employed in this study. The cutting force reflected the sharpness of cutting edge and ceramic teeth showed an increased value from the beginning of cutting, especially for the perpendicular component which is closely related with edge blunting (Fig. 8).