

プレーナーによる木材の面仕上げ (I)

切削面のアラサについて

森
星

稔⁽¹⁾
通⁽²⁾

1. ま え が き

プレーナー（自動送り——面鉋機械）による切削面のアラサは、刃の回転切削に基づくナイフマークの凹凸に支配される。ナイフマークの形状は、刃先の材面に対する運動の軌跡から解析することができ、したがってそのさいの面アラサも幾何学的に求めることができる。しかし切削中には理論的取扱いの困難な因子、たとえば回転軸における微量の振動、刃のセッティング誤差、刃先の鋭利度などが面アラサに影響し、また木材の細胞的構造により被削材がそれぞれ固有のアラサをもっているため、実際の面アラサは解析された幾何学的アラサとはかなり異なつた性状を呈するであろうことが予想される。

このような各因子が面アラサにおよぼす影響を明らかにすることは、プレーナー切削における仕上げ精度の向上を期するうえに重要であるばかりでなく、現場切削技術上の問題点、たとえば被削材質に対する切削条件の選定基準の確立やセッティング精度の向上を図るうえにもぜひ必要である。

本報は、このような観点から、プレーナーの回転切削における機械的因子、刃先の摩耗が面アラサにおよぼす影響、およびその影響の被削材質による差異について実験したものである。

本研究を実施するにあたり、種々ご指導をたまわつた前木材加工科長・東京大学平井信二教授、同科長中村源一技官ならびに切削面の顕微鏡観察にさいしご援助を与えられた木材組織研究室の各位に対し、ここにつつしんで感謝の意を表したい。

なおこの研究の一部は木材学会誌 5, 3 (1959) に発表した。

2. 送り量が面アラサにおよぼす影響

プレーナー切削 (Fig. 1) において、カッターヘッドの回転数を N 、材の送り速度を F とすると、1 回転あたりの送り量 f は、

$$f = \frac{F}{N} \dots\dots\dots (1)$$

また、カッターヘッドにセットされた刃数のうち実際にナイフマークを切削面に刻む刃数（有効刃数）を n とすると、有効刃 1 枚あたりの送り量（以下では単に送り量） f' は、

$$f' = \frac{f}{n} \dots\dots\dots (2)$$

であらわしう。そしてこの送り量はナイフマークの幅に相当するから、有効刃の描く切削円直径が一定

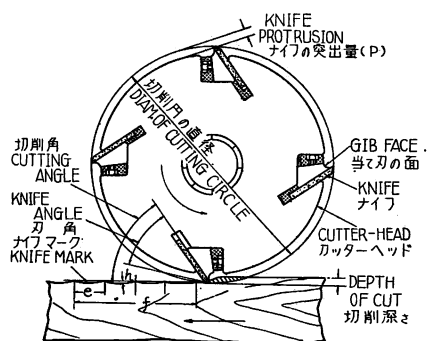


Fig. 1 プレーナー切削の名称
Terminology in planing

ト刃数は4枚、刃の取り付け角（切削角）は 56° 、カッターヘッドの回転数は3060～5850 *r.p.m.* に、材の送り速度は1.5～33.8 *m/min* に変速しうる。切削実験における回転数・送り速度の組合せおよびそのときの1回転あたりの送り量を Table 1 に示す。なお、実験では常に有効刃数1枚の状態で切削したから、Table 1 の値は送り量に相当する。切削深さはいずれの場合も1 *mm* とした。

使用した鉋刃はHS3、自動研磨機により刃角 $39.5^\circ \pm 1.5^\circ$ に研磨のち油砥石をもつて手仕上げした。

Table 1. 1回転あたりの送り量
Feed rate per rev. in the cutting tests

		(mm)							
N	F	1.46	3.32	6.64	7.16	9.96	14.32	21.49	33.83
	3060	0.48	1.10	2.19	2.34	3.29	4.68	7.02	11.05
	4560	0.32	0.73	1.46	1.57	2.19	3.14	4.71	7.41
	5850	0.25	0.57	1.14	1.22	1.70	2.45	3.67	5.78

F: 材の送り速度 Feed speed in *m/min*

N: カッターヘッドの回転数 Cutter-head speed in *r.p.m.*

供試材にはブナ、エゾマツ、イスノキおよび赤ラワン の4樹種を用い、各樹種について人工乾燥材（含水率9～13%）から幅5 *cm*、厚さ1～2 *cm*、長さ約1 *m* の無欠点板目材を採材した。

(2) プロフィールカーブの測定

触針式アラサメーターにより、供試材の切削面における秋材部分について、送り方向断面のプロフィールカーブを描いた。アラサメーターの針の先端径は9～13 μ 、針の測定面に対する接触圧は公称0.3 *g*、送り速度は0.7 *mm/min*、切削面における1回の測定長は21 *mm*、縦倍率 $\times 459$ 、横倍率 $\times 16$ であつた。

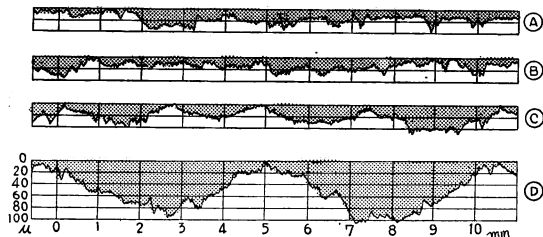


Fig. 2 切削面のプロフィール
Profiles of planed surface

被削材 Material; ブナ BUNA (*Fagus crenata*)
1刃あたりの送り量 Pitches of knife cut;

① 0.73 *mm* ② 1.14 *mm* ③ 2.34 *mm* ④ 5.78 *mm*

のとき、ナイフマークの凹凸は送り量に支配されるはずである。

本項では、切削円直径および n を一定とし、 $F \cdot N$ の組合せを変化せしめて供試材を切削し、切削面のアラサを測定することにより、送り量が面アラサにおよぼす影響について調べた。

2.1 実験方法

(1) 切削実験

菊川鉄工所製 K-2 型 24 *in* プレーナーを使用した。

本機のカッターヘッドは直径125 *mm* の丸胴型、セッ

2.2 プロフィールカーブおよびその解析

(1) プロフィールカーブ

上記測定により得られたプロフィールカーブの例を Fig. 2～3 に示す。Fig. 2 は被削材は同一で送り量が異なる場合のプロフィールカーブの変化を、Fig. 3 は送り量は同一で樹

種が異なる場合のプロフィールカーブの差異を示す。同図にみられるようにプロフィールカーブの凹凸は、ナイフマークによる凹凸とそれを形成する小凹凸とに区分しうる。

後者の小凹凸は、Photo. 1 にみられるように、切削面において切断あるいは変形された細胞による凹凸(組織アラサ)に起因する。同写真(A)は鋭利な刃で切削された場合で、導管や木繊維は直截に斜断され射出線も比較的変形を受けずに横切りされている。(B)は鈍化した刃で切削した場合で、木繊維あるいは細胞膜の一部が母材からむしり起こされ、射出線は削り残されて刃の回転方向に押し曲げられている。また、この小凹凸の形状は、ELMENDORF, A. などの実験結果¹³⁾が示すように、アラサメーターの針の先端径や触針圧の大小により影響される。実験に使用した触針の先端径と細胞直径とを比較するために、Photo. 1 に同倍率の針の先端のプロフィールを示した。本実験で使用した針の先端径や触針圧は、他の実験例と比較し、木材の被削面測定用としては十分小さいとみなしうるが、後記のように木繊維や細胞膜による微細なけば立ちまでは追跡することができない。

(2) プロフィールカーブの解析

プロフィールカーブを次の方法により解析し、面アラサを測定した。

すなわち、Fig. 4 にその一例を示すように、プロフィールカーブにあらわれる小凹凸のうち、その矢高が 3 mm (実長 6.5 μ) 以上のものについて、山頂および谷底を結ぶ曲線 A・B 両線を描く。A 曲線の形状から明らかにナイフマークを識別しうるものについては、2 個のナイフマークの山頂 A_1A_2 の距離をもつてナイフマークの幅 (e)、 A_1A_2 に対するナイフマークの中央矢高をもつてナイフマークの深さ (h₁) とする。つぎに A 曲線について最も多くの山頂を通過する直線 P と、B 曲線について最も多くの谷底を通過し P 直線に平行な直線 Q を引く。A・B 両線にはさまれた

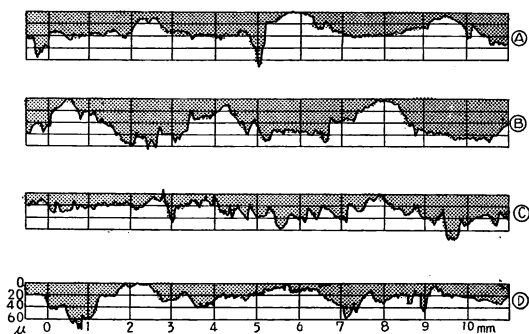


Fig. 3 切削面のプロフィール

Profiles of planed surface

被削材 Materials; ① イスノキ *ISUNOKI* (*Distylium racemosum*), ② ブナ *BUNA* (*Fagus crenata*), ③ 赤ラワン *Red lauan* (*Shorea negrosensis*), ④ エゾマツ *EZOMATSU* (*Picea jezoensis*)

1 刃あたりの送り量 Pitch of knife cut; 3.67 mm

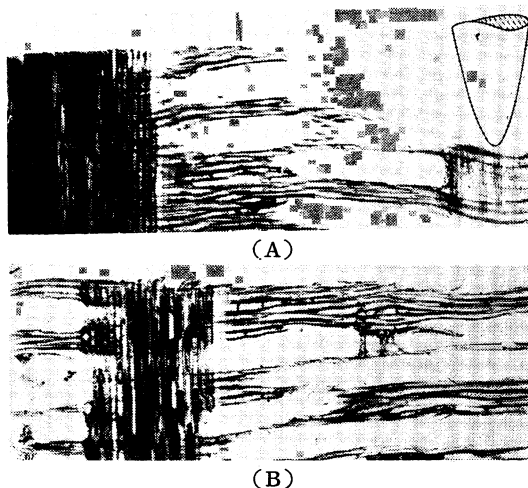


Photo. 1 プレーナーによる切削面の縦断面顕微鏡写真とアラサメーターの針の先端プロフィール

(A) 鋭利な刃で切削 (B) 鈍化した刃で切削
Micro-photograph of the section perpendicular to the surface planed with (A) sharp knife and (B) dull knife and profile of the needle tip tracing on the surface

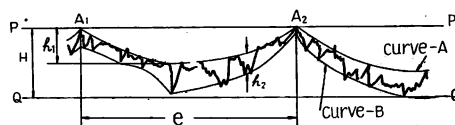


Fig. 4 プロフィールカーブの解析

Analysis of profile curve

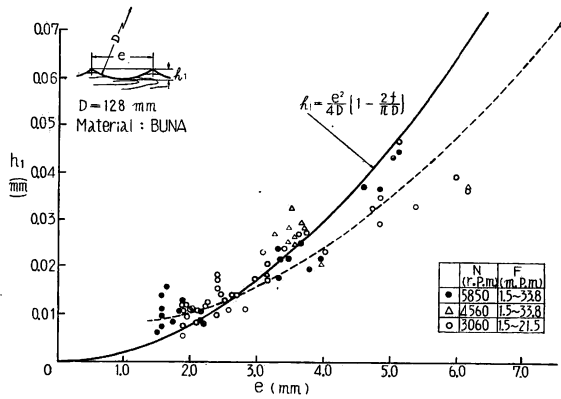


Fig. 5 ナイフマークの幅 (e) と深さ (h₁) の関係
Relation between width (e) and depth (h₁) of knife-marks

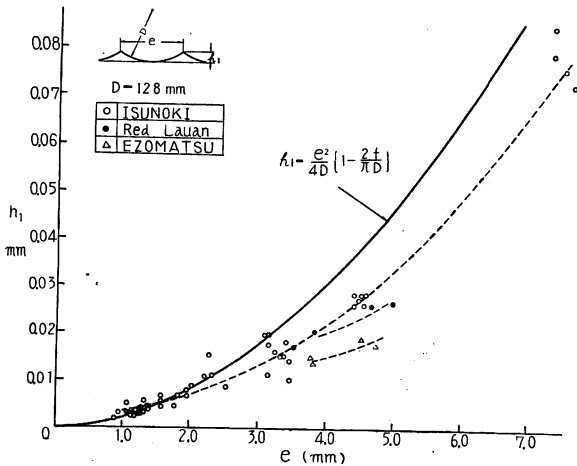


Fig. 6 ナイフマークの幅 (e) と深さ (h₁) の関係
Relation between width (e) and depth (h₁) of knife-marks

Fig. 5~6 にみられるように、実測したナイフマークの深さは理論値よりも浅く、またその程度が軟材

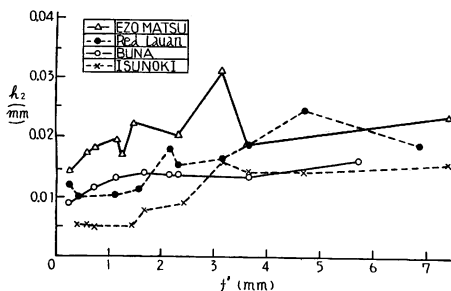


Fig. 7 1刃あたりの送り量 (f') と面アラサ (h₂) の関係
Relation between pitch of knife cut (f') and surface roughness (h₂)

部分の直線 P に直角方向の幅をプロフィールカーブの長さ 1 cm ごとに測定し、その平均値をもつて組織アラサ (h₂) とする。P・Q 両直線の距離をもつて最大アラサ (H) とする。

2.3 面アラサの測定結果および考察

(1) ナイフマークの深さ

ブナのプロフィールカーブから測定したナイフマークの幅と深さの関係を回転数別に Fig. 5 に示す。同図にみられるようにナイフマークの幅と深さの関係は、回転数により異なる傾向は認められない。同じくイスノキ、エゾマツ、赤ラワンについて両者の関係を求め Fig. 6 に示す。ナイフマークの幅に対する深さは、刃先の鋭利度が同一であつても樹種によつて異なり、エゾマツ、赤ラワンのナイフマークはイスノキ、ブナに比し浅い。

Fig. 5~6 における実線は、回転切削における刃先の材面に対する運動の軌跡を Trochoid 曲線とみなし、その近似解による次式¹¹⁾から求めた値である。

$$h_1 = \frac{e^2}{4D} \left\{ 1 - \frac{2f}{\pi D} \right\} \dots (3)$$

ただし h₁・e: ナイフマークの深さ・幅,
f: 1 回転あたりの送り量, D: 切削円直径

ほど顕著なのは、刃先は理論的な切込み量の全部を鉋屑として分離することができず残余の切込み量にあたる部分を母材中に圧入し、圧入された部分が刃の通過後復張するためと考えられる。

(2) 組織アラサ

各樹種のプロフィールカーブから、送り量に伴う組織アラサの変化を測定し Fig. 7 に示す。組織アラサは樹種によつて異なり、また送り量の増加に伴い高くなるが、その増加率はナイフマークの深さの増加率に比し少ない。

(3) 最大アラサ

送り量と最大アラサの関係を樹種別に Fig. 8 に示す。最大アラサは送り量の小なるほど低くなるが、送り量のある限度以下においてはもはや低下せず、ほぼ一定値を保つ。その限度における最大アラサは樹種によつて異なり、イスノキ〜エゾマツにおいて 10~25 μ の差がある。このように送り量の小なる範囲において最大アラサがほぼ一定値をとるのは、送り量が小さくなるとナイフマークが小さくなり、その深さが被削材構成細胞の直径に比し小さくなるため (たとえば Fig. 8 よりブナにおける送り量の限度は 1.1~1.5 mm, このときのナイフマークの高さは Fig. 5 より約 10 μ であるに対し、ブナの木繊維直径は 12~16 μ , 膜厚 3~4 μ)、もはや最大アラサはナイフマークの凹凸に影響されず、組織アラサに支配されるにいたるためである。

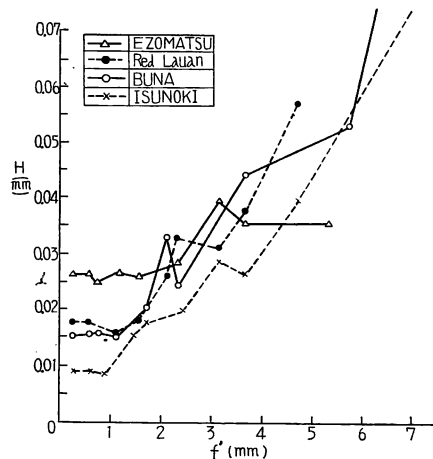


Fig. 8 1刃あたりの送り量 (f') と最大アラサ (H) との関係
Relation between pitch of knife cut (f') and max. surface roughness (H)

3. 各樹種に対する送り量の下限

前述のようにブレーナー切削における面アラサは送り量の小なるほど低くなるが、送り量のある限度以下においてはほぼ一定値を示す。また切削面の肉眼観察においても、送り量が小なるほどナイフマークの幅はせまくなり、切削面はしだいに良好となるが、送り量がある値まで低くなるとナイフマークはもはや識別し得なくなり、またその値以下に送り量を少なくしても切削面の仕上げ程度に差異を認め難くなる。このようにブレーナー切削における送り量には、それ以上に仕上げ面が良好とならない限度がある。この限度以下の送り量で切削を行なうことは、面仕上げとして無意味であるばかりでなく、また切削能率や刃の寿命の点においても不利である。

本項においては、各樹種についてこの送り量の限度を求めた。なお、プロフィールカーブから求めた送り量の限度と肉眼観察により得られた限度を比較すると Table 2 のように後者の方が低い。これは前述せるアラサメーターの分解性能が材面の微細なけば立ちなどを取り出すには、なお十分でないためと考えられ、この実験では肉眼観察から送り量の下限を求めた。

3.1 実験方法

供試材には国内産 19 樹種を用いた。各樹種について天然あるいは人工乾燥後室内に数年保存せる板 (含水率 9~13%) より、供試材として幅 5 cm, 厚さ 15 mm, 長さ 1 m の無欠点紐目材を採材した。

各供試材を切削深さ 1 mm, Table 1 の各送

Table 2. f'_{min} と e_{min} の比較
Comparison between f'_{min} and e_{min}

樹種 Wood species	f'_{min} (mm)	e_{min} (mm)
ISUNOKI (<i>Distylium racemosum</i>)	0.9	0.5~0.7
BUNA (<i>Fagus crenata</i>)	1.1~1.5	0.9~1.1
Red luan (<i>Shorea negrosensis</i>)	1.5~1.8	1.2~1.4
EZOMATSU (<i>Picea jezoensis</i>)	1.5~2.0	1.2~1.4

f'_{min} : 切削面のプロフィールカーブにあらわれるナイフマークの最小幅

The min. width of knife marks apparent on the profile curve of the cut-surface

e_{min} : 肉眼で認めうるナイフマークの最小幅

The min. width of knife marks visible to the naked eye

Table 3. 各樹種におけるナイフマークの可視限界
 e_{min} of various wood species

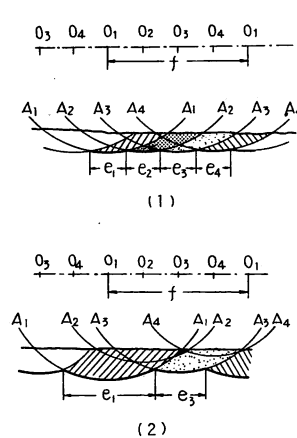
e_{min}	樹 種 Wood species
1.4~1.6	SUGI (<i>Cryptomeria japonica</i>), SHINANOKI (<i>Tilia japonica</i>)
1.2~1.4	YACHIDAMO (<i>Fraxinus mandshurica</i>), TABUNOKI (<i>Machilus Tunbergii</i>), KIRI (<i>Paulownia tomentosa</i>), EZOMATSU (<i>Picea jezoensis</i>), MIZUNARA (<i>Quercus mongolica</i>)
1.1~1.2	AKAMATSU (<i>Pinus densiflora</i>)
0.9~1.1	TODOMATSU (<i>Abies sachalinensis</i>), MOMI (<i>Abies firma</i>), BUNA (<i>Fagus crenata</i>), MAKANBA (<i>Betula Maximowicziana</i>), KUSUNOKI (<i>Cinnamomum Camphora</i>)
0.7~0.9	TSUGA (<i>Tsuga Sieboldii</i>), HINOKI (<i>Chamaecyparis obtusa</i>), SHIRAKASHI (<i>Quercus myrsinaefolia</i>), HŌNOKI (<i>Magnolia obovata</i>), KEYAKI (<i>Zelkova serrata</i>)
0.5~0.7	ISUNOKI (<i>Distylium racemosum</i>)

e_{min} : The min. width of knife-marks visible to the naked eye

り量で切削し、測定しうるナイフマークの最小幅をもって送り量の下限とした。

3.2 実験結果

各樹種について測定した送り量の下限を Table 3 に示す。



同表において、同一樹種においてもその値がある範囲にわたっているのは、同一材においても部分的にナイフマークの可視限界が異なる値を示したためである。

もちろん Table 3 の値をもつて直ちに最良の仕上げ面を得ようとする場合の送り量とみなすことはできない。プレーナー切削においては、ナイフマークによる凹凸のほか、さらに切削により発生する被削材の欠点についての考慮を加え送り量を決める必要がある。たとえば、春秋材の差の明りような軟材においては、送り量が少ないほど目違いによる凹凸 (raised grain) が生じやすいから、送り量は Table 3 の値より大きくする必要のあることが予想される。

4. 有効刃数と面アラサ

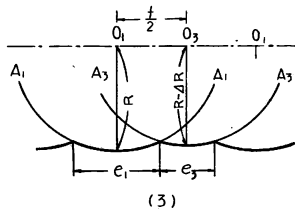


Fig. 9 プレーナー切削における
ナイフマークの形成
Formation of knife-marks in
planing

Fig. 9 において、カッターヘッドにセットされた4枚の刃が順次一直線上の等分点 $O_1 \sim O_4$ を中心として回転し材面を切削すると考えると、同図 (1) のように4個の刃先が正しく同一円周上にセットされているときは、1回転あたりの送り量 $O_1O_1 = f$ の間に同一形状の4個のナイフマークができるが、各刃先が同一円周上にそろっていないときは、同図 (2) のように大きな切削円を描く刃が他の刃のつくつたナイフマークを鉋屑として削り取つてしまい、 f の間に少数の凹凸

の大きなナイフマークが残り、しかも相隣るナイフマークの幅が不ぞろいとなつて粗雑な仕上げ面になってしまう。

このように面仕上げの良否は、各刃先円の精度すなわちセッティング精度に支配される。実際問題としては、研磨後の刃のわずかな曲りやセッティング操作における技術的な誤差から、各刃先円に多少の誤差が生ずるのは避け得られず、どの程度までのセッティング精度が必要か、またその精度をうるにはどのような操作をすればよいかが問題である。

現在わが国では、セッティングゲージにより刃先位置をそろえるか、あるいはセット後刃先を一定位置に固定しカッターヘッドに平行にグラインダーを走らせて各刃先の不ぞろいを直すジョインティング操作を行なっているが、その精度は低く床板工場の実態調査結果¹⁰⁾が示すようにほとんどの場合4枚のセット刃数のうち有効刃数は1枚にすぎないのが実状であり、これがブレンダー切削における能率低下の原因となつている。欧米ではジョインティング操作は、上記のグラインダーによる研磨のちカッターヘッドを回転せしめつつ刃先に砥石を軽く当てて刃先を同一円周上にそろえるホーニング仕上げを含めて行なう¹¹⁾のが一般である。しかしわが国では、ホーニング仕上げは最近ようやく実施されるにいたつたにすぎない(菊川鉄工所・1958年製作)。

本項では、有効刃数をうるに必要な刃のセッティング精度について解析し、また刃のセット～ホーニング仕上げにおける有効刃数・面アラサについて調べた。

4.1 解析

Fig. 9-(3)において、 $A_1 \sim A_4$ の4個の刃のうちカッターヘッドの対称位置にある2個の有効刃 A_1 , A_3 の回転の中心を O_1 , O_3 、それぞれの描く切削円の半径を R , $R - \Delta R$ 、また1回転あたりの送り量 $O_1O_3 = f$ とすると、 A_1 , A_3 の刃のつくるナイフマークの幅 e_1 , e_3 の和は、

$$e_1 + e_3 = f$$

にして、同図の幾何学的関係から、

$$\Delta R = \frac{1}{8}(e_1 - e_3) \frac{f}{R} \dots\dots\dots (4)$$

また、4個の有効刃 $A_1 \sim A_4$ が交互に半径 R , $R - \Delta R$ なる切削円を描くときは、同様にして、

$$\Delta R = \frac{1}{16}(e_1 - e_2) \frac{f}{R} \dots\dots\dots (5)$$

上式より、カッターヘッドの対称位置にある2あるいは4個の有効刃数をうるに必要なセッティング精度は、許容しうるナイフマークの幅の差および1回転あたりの送り量に比例し、切削円半径に反比例することを知りうる。

いま、上式においてカッターヘッドの直径約 $5 \text{ in} (R = 63 \text{ mm})$ 相隣るナイフマークの幅の差は外観上 0.5 mm まで許容されるとし、式 (3), (4) において $e_1 - e_3$ あるいは $e_1 - e_2$ を 0.5 mm として、 f と ΔR の関係を求め Fig. 10 に示す。Fig. 10 は近似解にすぎないが、対称位置にある2枚あるいは4枚の刃が有効刃として切削するためには、それぞれの刃先円半径が1回転あたり

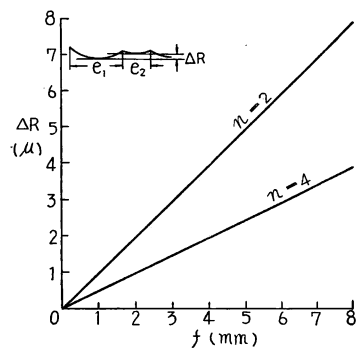


Fig. 10 1回転あたりの送り量 (f) およびセッティング精度 (ΔR) が有効刃数によらず影響
Effect of feed rate in a rev. of cutter-head (f) and setting precision of knives (ΔR) on number of knives operative to make knife-marks

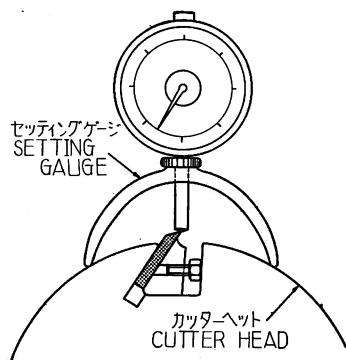


Fig. 11 刃のセッティング方法
Setting method of knife

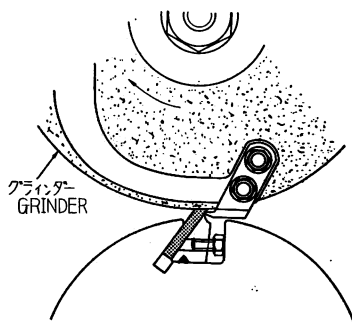


Fig. 12 刃のジョイントニング方法
Jointing method of knife

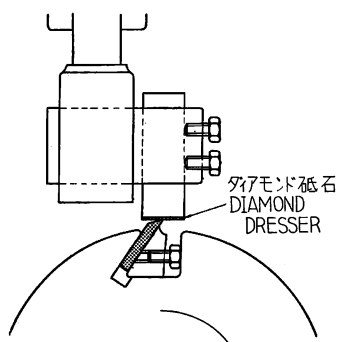


Fig. 13 刃のホーニング方法
Honing method of knife

の送り量のはば $1/500$ あるいは $1/1,000$ の誤差範囲内にそろえる必要のあることを示している。なお、わが国における 1 回転あたりの送り量は通常 $1.5 \sim 5 \text{ mm}$ である。

4.2 実験方法

前記 24 in プレーナーを用い、カッターヘッドに刃をセットしたままの場合、刃をジョイント研磨した場合、さらにホーニング仕上げした場合について、イスノキ乾燥材（幅 5 cm 、厚さ 15 mm 、長さ 1 m 、含水率 12% ）を 4560 r.p.m. 、 $1.5 \sim 33.8 \text{ m/min}$ 、切削深さ 0.5 mm にて切削し、切削面におけるナイフマークの平均幅から、各場合における送り量と有効刃数および面アラサの関係について調べた。

刃のセッティングは、Fig. 11 のようにダイヤルゲージにより刃先のカッターヘッド周面よりの突出量を調節しつつ行なつた。刃のジョイントニングは、Fig. 12 のように刃のセット後カッターヘッドを一

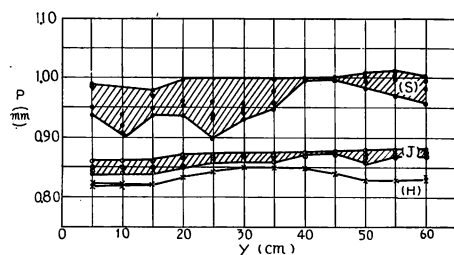


Fig. 14 カッターヘッドの長さ方向 (y) における刃先のカッターヘッド周面よりの突出量 (P)

Protusion (p) of knife-edge from the cutter-head surface at positions in lengthwise (y) of the head

(S): セッティング後 After setting

(J): ジョイントニング後 After jointing

(H): ホーニング後 After honing

定位置に固定し、グラインダー（砥石直径 150 mm 、厚さ 9.5 mm 、WA、粒度 46、結合度 K、回転数 $3,300 \text{ r.p.m.}$ ）をカッターヘッド軸心に平行に移動せしめつつ、刃の逃げ面を研磨した。ホーニング仕上げは、刃のジョイント研磨後カッターヘッドを常用速度にて回転せしめつつ、Fig. 13 のようにダイヤモンドドレッサー（ダイヤモンド粒度 No. 70、ニッケルボンド）を刃先に軽く接触せしめつつカッターヘッド軸心に平行に摺動せしめ刃先を仕上げた。

各操作後における 4 個の刃先のカッターヘッド周面からの突出量のチラバリ（上記ダイヤルゲージの読みのチラバリ）は Fig. 14 のようであつた。また各操作後における刃先のプロフィールは Fig. 15 のようであつた。

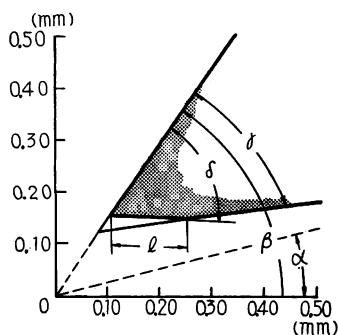


Fig. 15 ジョインティングおよびホーニング後における刃先のプロフィール

Profiles of knife-edges after jointing and honing. 点線は研磨後の刃先 (逃げ角 $\alpha=15^\circ$, 切削角 $\beta=56^\circ$), 細線はジョイント後の刃先 (研磨角 $\gamma=48^\circ$), 太線はホーニング後の刃先 (刃角 $\delta=58^\circ$, 逃げ角 $=-2^\circ$, ランド $l=0.15 \text{ mm}$)

Dotted line is the profile of original knife-edge (clearance angle $\alpha=15^\circ$, cutting angle $\beta=56^\circ$). Fine line is the one after jointing (grinding angle $\gamma=48^\circ$). Bole line is the one after honing (sharpness angle $\delta=58^\circ$, clearance angle $=-2^\circ$, land $l=0.15 \text{ mm}$)

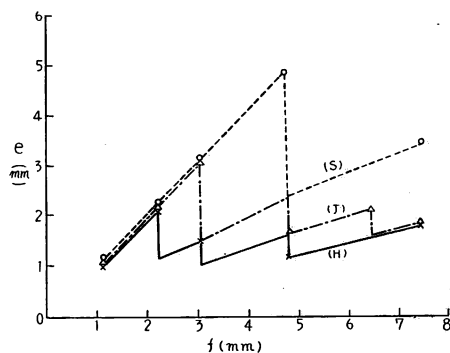


Fig. 16 1回転あたりの送り量 (f) とナイフマークの平均幅との関係

Relation between average width of knife marks (e) and feed rate in a rev. (f)

(S): ジョイントしない刃で切削
Planed with unjointed knives

(J): ジョイントせる刃で切削
Planed with jointed knives

(H): ホーニングせる刃で切削
Planed with honed knives

切削実験は、いずれの場合も刃の長さ方向における上記ダイヤルゲージの読みの差の最小位置にて行なった。

ナイフマークの平均幅は、切削面の $5 \sim 10 \text{ cm}$ にあらわれたナイフマークの個数から換算した。有効刃数はカッターヘッド1回転あたりの送り量をナイフマークの平均幅で除して算出した。

4.3 実験結果

(1) 1回転あたりの送り量とナイフマークの平均幅との関係

1回転あたりの送り量とナイフマークの平均幅との関係をセッ ト、ジョインティング、ホーニングの別に Fig. 16 に示す。同図にみられるようにナイフマークの平均幅は送り量に比例して直線的に増加せず、上下しつつ増加する。すなわち、送り量が増加するとかえって単位長さあたりのナイフマークの個数が増加する場合もありうる。また、ホーニングせる場合は他に比しナイフマークの平均幅が小さく良好な仕上げ面が得られるが、他の場合との差は1回転あたりの送り量の小なるほど少なくなり、同送り量 2.2 mm 以下では他の場合と等しくなる。

(2) 送り量と有効刃数の関係

Fig. 16 から送り量と有効刃数の関係を求め、セッ ト～ホーニング別に Fig. 17 に示す。同図にみられるように有効刃数は送り量の増加に伴い段階的に増加する。またセッ ト～ジョインティング～ホーニングの順に有効刃数は多くなる。たとえば送り量 4.7 mm において、刃をセッ トしたままの状態では2枚、ジョインテ

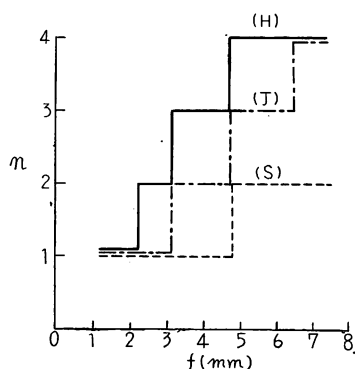


Fig. 17 1回転あたりの送り量 (f) に伴う有効刃数 (n) の変化
Variation of number of knives operative to make knife-marks on the cut-surface (n) with feed rate in a rev. (f)

(S) (J) (H): Fig. 16 参照
See Fig. 16

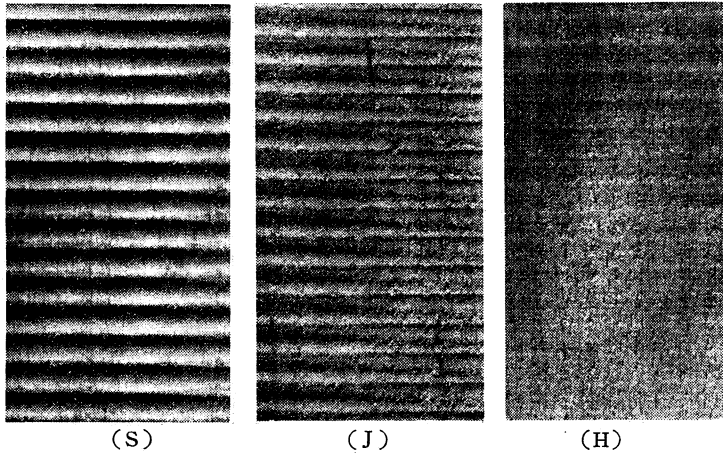


Photo. 2 プレーナーによる切削面 ($f=4.7\text{ mm}$, $F=21.5\text{ m/min}$)
 (S) ジョイントしない刃で切削 (J) ジョイントした刃で切削
 (H) ジョイント～ホーニングした刃で切削
 Surface planed with (S) unjointed knives (J) jointed knives
 (H) jointed and honed knives ($f=4.7\text{ mm}$, $F=21.5\text{ m/min}$)

ィング後は 3 枚、ホーニング後は 4 枚の有効刃数をうる。しかし、送り量が小さくなるにつれその差は少なくなり、送り量 2.2 mm 以下においては有効刃数はいずれの場合も 1 枚である。これは式 (3), (4) から明らかなように、同数の有効刃数をうるためには送り量の小さなほど高いセッティング精度を必要とし、送り量 2.2 mm 以下においてはホーニングを実施しても 2 枚

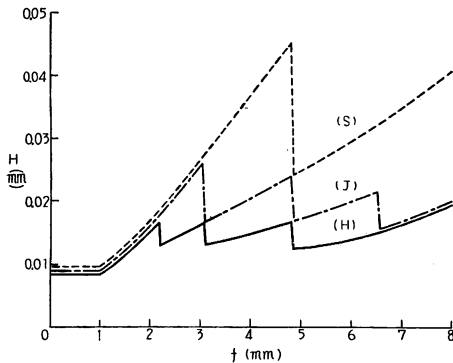


Fig. 18 1 回転あたりの送り量 (f) と最大アラサ (H) の関係
 Relation between feed rate in a rev. (f) and max. surface roughness (H)

の有効刃数をうるに足るセッティング精度が得られないためである。

(3) セッティング精度と面アラサ

刃のセット後、ジョインティング後およびホーニング後における切削面の比較を Photo. 2 に、またそれぞれの場合における面アラサの 1 回転あたりの送り量に伴う変化の比較を Fig. 18 に示す (Fig. 18 の面アラサの値は、Fig. 6 において測定した面アラサを Fig. 17 で得た有効刃数にしたがつて換算して求めた)。

以上の結果が示すように、刃のホーニング仕上げはセッティング精度を高める上に効果的であり、ホー

ニング仕上げを実施することにより少なくとも粗削りや中程度の仕上げ面でよい場合には、従来より送り速度を高めうる。

しかし、ホーニングした刃は逃げ面に逃げ角ゼロなる land (Fig. 15 における l) ができ、これが切削抵抗の増加、切れ味低下の原因となることが予想せられる。ホーニング仕上げはわが国では未経験のものであり、樹種に対する適用性や刃の寿命、摩耗した場合の刃の更新法などについて今後研究を重ねる必要がある。

5. 刃先の摩耗と面アラサ

切削の継続に伴い刃先は必然的に鈍化し、切削面は劣化する。このさいにおける刃先の摩耗経過と面アラサの変化を明らかにすることは、良好な切削面をうるため刃先の鋭利度や摩耗せる刃を更新するための適切な研磨条件を見いだすうえにぜひ必要である。

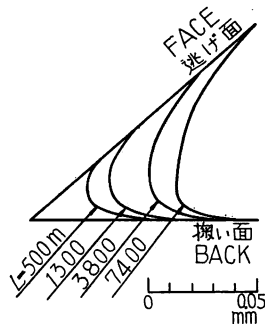


Fig. 19 摩耗刃先のプロフィール
Profile of dull edge of knife

L: 切削材長 Linear length of wood cut

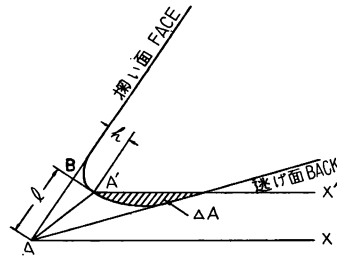


Fig. 20 摩耗刃先の要素
Dimension of dull knife edge

本項においては、切削の継続に伴う摩耗の進行過程およびそのさいの面アラサを測定した。

5.1 実験方法

前項 24 in ブレンダーを用い、刃の長さ方向の一定位置にてブナおよび赤ラワンの床板乾燥材を切削深さ 0.5 mm, 回転数 5850 r.p.m., 送り速度 33.8 m/min および 21.5 m/min にて連続的に切削し、その間の一定切削材長ごとに刃先のプロフィールと面アラサを測定した。

使用せる刃は HS₁, 切削角は 56°, 刃角は 40°±1°, 刃先は研磨後油砥石をもつて仕上げた。

刃先のプロフィールは、着色アセトンによる軟化セルロイドを刃先に密着せしめ、セルロイドの硬化後これを刃先から取りはずし、その切片を 120 倍の拡大投影器により印画した。アラサメーターによる面アラサの測定法は、前項に同じ。

5.2 実験結果

(1) 刃先の摩耗経過

ブナを切削した場合の刃先摩耗の経過を Fig. 19 に示す。いま, Fig. 20 のようにすくい面より刃先の磨耗曲線に接線 BA' を下し, 切削前の刃先 A と摩耗後の刃先 A' の距離を l , 垂線の高さ BA' を h とし, 切削材長に伴う $l \cdot h$ の変化を刃先のプロフィールカーブから測定し Fig. 21 および Fig. 22 に示す。同図にみられるように, 刃先の後退は, 切削材長 3,000 m 付近までは刃先の 2 等分線よりもすくい面側にかたよつた線上を比較的急速に進行し, それ以後は切削材長の増加に伴いすくい面に近づきつつ比較的ゆるやかに進行する。また, Fig. 20 において, 摩耗後の刃先 A' より切削面の接線 AX に平行な直線 A'X' を引き, 磨耗曲線と A'X' に囲まれた面積を ΔA とし, 切削材長に伴う ΔA の変化を測定し Fig. 23 に示す。 ΔA は概念的には切削面内に圧入される刃の断面積を示すもので, その面

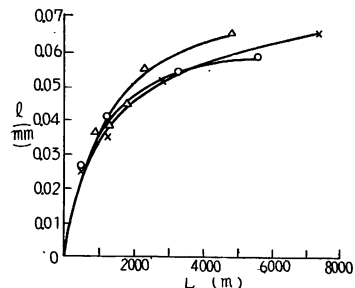


Fig. 21 切削材長 (L) に伴う摩耗刃先の後退量 (Fig. 20 における l)
Displacement of knife-edge (l in Fig. 20) with linear length of wood cut (L)

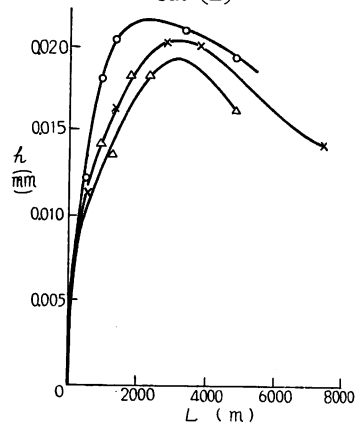


Fig. 22 切削材長 (L) に伴う摩耗刃先の変位 (Fig. 20 における h)
Transition of knife edge (h in Fig. 20) with linear length of wood cut (L)

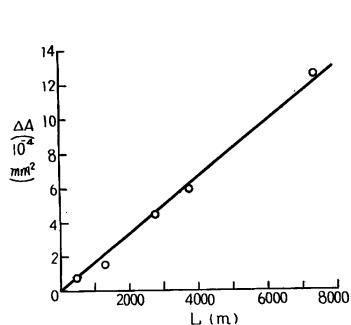


Fig. 23

切削材長 (L) と刃の摩耗面積
(Fig. 20 における ΔA) の関係
Relation between linear length
of wood cut (L) and worn area
of knife (ΔA in Fig. 20)

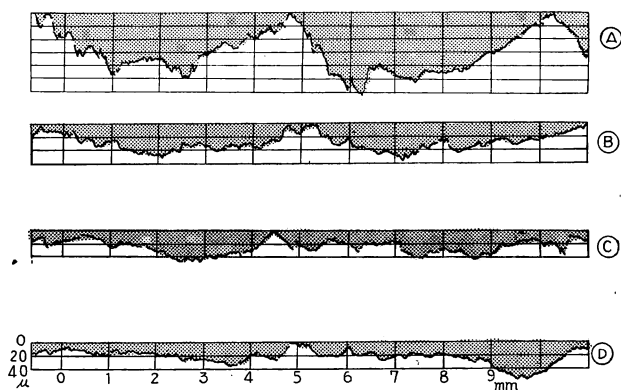


Fig. 24 各切削材長における切削面のプロフィール
Surface profiles at some linear length of wood cut
被削材 Material; ブナ BUNA (*Fagus crenata*)
切削材長 The linear length: ① 0 m ② 500 m ③ 1,300 m
④ 3,800 m

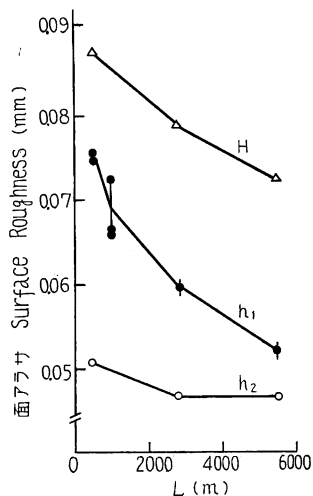


Fig. 25 切削材長 (L) に伴う面アラサ
(H, h₁, h₂) の変化
Variation of surface roughness
(H, h₁, h₂) with linear length of
wood cut (L)
被削材 Material: ブナBUNA (*Fagus
crenata*)
H, h₁, h₂: Fig. 4 参照 See Fig. 4
f' = 7.4 mm

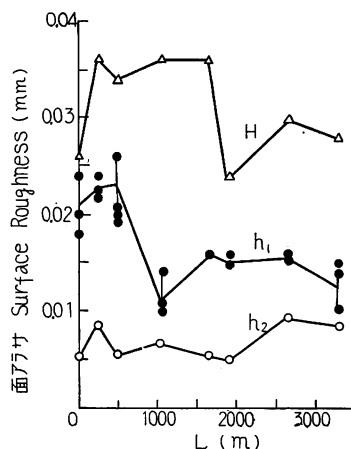


Fig. 26 切削材長 (L) に伴う
面アラサの変化
Variation of surface roughness
(H, h₁, h₂) with linear length
of wood cut (L)
被削材 Material: 赤ラワン Red
lauan
H, h₁, h₂: Fig. 4 参照 See Fig. 4
f' = 4.7 mm

積は切削材長にほぼ比例して増加する。

以上の結果が示すように、刃の寿命は逃げ面からの摩耗により支配される。

(2) 面アラサの変化

切削材長の増加に伴う切削面プロフィールカーブの変化を Fig. 24 に示す。これらのプロフィールカーブから、ナイフマークの深さ、組織アラサおよび最大アラサを測定し、切削材長に伴う変化を Fig. 25 および Fig. 26 に示す。

同図が示すように、切削材長の増加に伴いナイフマークは浅く、組織アラサは高くなり、また最大アラ

サは低下する。

切削材長の増加に伴いナイフマークが浅くなるのは、刃先の鈍化により刃は切込み量に相当する部分の全部の木材を鉋屑として分離することができず、その一部分を母材内に圧入し、圧入された部分が刃の通過後復張するため、逃げ角が負の値となつたため逃げ面がナイフマークの山をつぶすためと考えられる。

肉眼観察では切削材長 1,000 mm に達するまえにけば立ちが発生し、面は切削材長の増加にともない粗雑となる。しかしプロフィールカーブから測定した最大アラサは、Fig. 26 のように切削材長の増加にともない低下し、肉眼観察と異なつた結果になつている。これは Photo. 1-(B) にみられるようにけば立ちはその一部分が母材から分離し立ち上つた木繊維あるいは裂かれた細胞膜から形成されるため、アラサメーターの触針はその輪郭を正確に追跡することができず、プロフィールカーブには浅くなつたナイフマークの影響だけがあるためである。

6. あ と が き

ブレンダーによる切削面のアラサは、大別してナイフマークの凹凸と切断された木材細胞によつてできる凹凸(組織アラサ)から形成される。

ナイフマークの凹凸は、1 刃あたりの送り量(送り量)が少なくなるにしたがいしだいに小さくなるが、送り量がある限度以下になると面アラサにはほとんど影響しなくなる。そして面アラサはこの送り量の限度以下においてはほぼ一定値を保ち、その値は組織あらさにより決定される。この限度における送り量は樹種によつて異なり、硬材～軟材により 0.5～1.6 mm の差がある。各樹種における送り量の限度は Table 3 に示したとおりであるが、この値はブレンダー切削で回転数や送り速度をきめるさいの基礎資料として重要である。

面アラサはまた刃先の鋭利度に影響される。触針法による測定結果では、面アラサは刃の鈍化に伴い低下した。これは刃の鈍化によりナイフマークの凹凸が浅くなるためと、触針法では刃の鈍化により発生するけば立ちのプロファイルを追跡できないためである。

わが国における刃のセッティング精度は低く、これがブレンダー切削における性能低下の原因となつている。刃のホーニング仕上げはセッティング精度を高めるうえに効果的であり、少なくとも粗削りや中程度の仕上げ面でよい場合は、ホーニング仕上げを実施することにより従来より切削能率を倍加しうる。しかし、ホーニング仕上げにより刃先には逃げ角ゼロの land ができ、これが切削抵抗増加の原因となることが予想せられ、樹種や作業目的によつて得失の差があるものと思われる。これらについては今後検討を要する。

文 献

- 1) EHLERS, W.: Über die Bestimmung der Güte von Holzoberflächen, Holz als Roh- u. Werkstoff, 16, 2, (1958) p. 49～60
- 2) ENDERSBY, H. J.: The Blunting of Wood-cutting Edges, Forest Products Research Special Report (London), 11, (1956) p. 1～15
- 3) ELMENDORF, A. · VAUGHAN, T. W.: A Survey of Method of Measuring Smoothness of Wood,

- Forest Product Journal (Madison), 8, 10, (1958) p. 275~282
- 4) GRAY, Rust F.: Knife Marks per Inch, Forest Product Journal (Madison), 3, 2, (1953) p. 13~14
- 5) HARRIS, P.: A Handbook of Woodcutting, Forest Product Research Publications (London), (1956) p. 19~27
- 6) PATRONSKY, L. A.: Knife Cutting Problems, Forest Product Journal (Madison), 3, 2, (1953) p. 15~19
- 7) KOCH, P.: An Analysis of the Lumber Planing Process, Forest Product Journal (Madison), 5, 4, (1955) p. 255~264
- 8) PRUSÁK, J.: Teoretické Podklady pro Hodnocení Trvanlivosti Ostrí, Drevářský Vyskum (Slovenské), 1, 1~2 (1956) p. 171~194
- 9) 林業試験場編: 木材工業ハンドブック, (1958) p. 97
- 10) 林業試験場加工研究室: 床板の加工精度, 林業試験場報告, 107, (1958) p. 148
- 11) 竹中規雄: 切削仕上げ面の粗さ, マシナリー, 15, 11, (1952) p. 813

Studies on Surfacing of Wood with Planer [I]

On cut-surface roughness of wood

Minoru MORI and Tooru HOSHII

(Résumé)

This research was undertaken to provide information on surfacing of wood with planer.

The experiments on the following subjects were performed, that is, (1) Effect of pitches of knife cut on cut-surface roughness. (2) Values of the pitches required for producing the best surface smoothness of wood in planing. (3) Effect of setting precision of knives in the cutter-head on cut-surface roughness. (4) Wear of knife edge caused by successive cutting of wood and its effect on cut-surface roughness.

The general methods of these experiments were as follows:

The cutting tests were made with a 24 in planer which had a 5 in diameter four-knife head, and carried out at various pitches of knife cut resulting from different combinations of feed speed and cutterhead speed as shown in Table 1.

Clean boards of such principal wood species as shown in Table 2~3 were used for test specimens after being kiln dried and pre-planed.

Four test knives were set in the head by means of the setting device with a dial-gauge (Fig. 11) and cutting tests were performed without jointing and honing except in Test (3), and in these cases the cutting angle was 56° , the clearance angle was 15° . In Test (3), the cutting test was performed after jointing and honing of knives. Jointing of knives was made in the head with a grinder (WA, 46, K) (Fig. 12). Honing of knives was made in the revolving head at the operating speed of the planer with a diamond dresser (nickel bond, diamond powder No. 70) which moved along the slide set parallel to the axis of the head (Fig. 13). the profiles of the knife edges after jointing and honing are illustrated in Fig. 15.

Test specimens planed were measured for the cut-surface profiles by means of a needle tracer on the part of summer wood. The tracer was equipped with a needle touching on the cut-surface, the radius of the needle tip was $9\sim 13\mu$, nominal touching force acting on the surface was $0.3g$, and its vertical magnification was $\times 459$, its horizontal magnification was $\times 16$. The maximum roughness of the cut-surface (H), the depth of knife marks (h_1) and the roughness of the surface caused by cellular structure of wood (h_2) were measured from the surface profiles obtained.

The results gained were as follows:

(1) The examples of the surface profiles obtained are shown in Fig. 2~3. The knife marks are apparent on the profiles at the larger range of f' (f' =pitch of a knife cut) but they are not apparent at the smaller range of f' .

Variation of H , h_1 , h_2 with f' are shown in Fig. 5~8. These figures show that the surface roughness decreases with reduction of f' , but there is a limit to the decreasing, and it keeps a constant value under a limit of f' . The values of f' at the limit are dependent on the particular wood species and they are somewhat larger than the value of the minimum width of knife marks visible to the naked eye (e_{min}) as shown in Table 2.

(2) It will be seen that e_{min} is the maximum value of f' at which the best surface smoothness will be produced in the planing of wood. e_{min} of various wood species are shown in Table 3. This Table can be used as a guide for determining the ratio of feeding speed to cutterhead speed for a given number of knives set in the head.

(3) The width of knife marks (e) should be equal to f' . But when planing of wood is carried out without jointing of the knives, e is $2\sim 4$ times f' according to the feed rate as shown in Fig. 16—(s). The reason why e is larger than f' is that, without jointing it is practically impossible to set all the knife edges on the same cutting circle within a reasonable error limit, and to avoid the few knives with excess projection sweeping away the knife marks of the others.

The setting precision required for all the knives making the marks on the cut-surface (ΔR in Fig. 9) depends on number of set knives (n), radius of cutting circle (R) and feed rate per one revolution of the head (f) as expressed in the formula (4), and provided that $n=4$, $R=63mm$, ΔR is approximately equal to one-thousandth of f .

Unevenness in the knife projection is removed to a certain degree by jointing and honing of the knives as illustrated in Fig. 14. And as the result of that, almost all the knives take part in the cutting action unlike in the case of unjointed knives as shown in Fig. 17. When unevenness in the knife projection is very slight, l is equal to f' provided that f is not too small as shown in Fig. 16.

From these results, it is known that honing of knives, an operation which is not regularly used in our country, is efficacious in producing good surface smoothness in conjunction with high feed speed.

(4) The process of wear of knife edge caused by successive cutting is illustrated in Fig. 19. The defacement of knife edge occurs from both face and back side of the knife edge in the early stage of the cutting, but develops chiefly from the back side in the latter stage, and the cutting reaches a critical stage by decreasing of the clearance angle.

Variation of the surface roughness with the length of wood cut is shown in Fig. 24~25. These figures show that the depth of knife marks becomes shallower as the clearance angle decreases.