

プレーナによる木材の面仕上げ (IV)

刃先のランドが鉋刃の切削性能におよぼす影響

森 稔⁽¹⁾

1. ま え が き

前報の実験結果が示すように、プレーナでは鉋刃の縁取り研削 (jointing) を行なうことにより、カッターヘッド周囲の各刃先を $\pm 10 \mu$ 程度の誤差範囲内で同一円周上にそろえることができ、その結果として従来に倍する 25~50 m/min の高速度送りが可能となる¹⁾。しかしこの研削法では、刃先に切削面に対して全く逃げのない平坦部分 (land) が形成されるため、ランドの幅が広がると鉋刃の切削性能はいちじるしく低下する^{2)~4)}。この報告では、ランドの幅が切削面の仕上げ品質と刃物寿命におよぼす影響について、解析と実験を試み、その結果から縁取り研削法の基礎条件について考察を加えた。

2. 縁取り研削による刃先ランドの形成

縁取り研削の具体的手法については前報で詳述したが、まず鉋刃をカッターヘッドにセットしてのち、前加工として各刃先のグラインディングが行なわれる。いま、Fig. 1 において、 A_0 をグラインディングで形成された各刃先のうち高さ最低の刃先 (刃先回転半径最小)、 A を他の刃先とすると、縁取り研削ではカッターヘッドを回転しつつ砥石面を A_0 の高さに当て、 A をこの高さまで削り取るのであるから、研削後には A_0 を刃先としてカッターヘッドと同心円周上に幅 w なるランドが形成される。この場合、 A と A_0 の刃先の回転半径誤差を ΔR_g とすると、同図の幾何学的関係から w は次式であらわされる。

$$w = \Delta R_g (\cot \alpha' - \cot \theta) \dots \dots (1)$$

上式において、 α' はグラインディングにより形成された逃げ面の平均角度で、砥石と鉋刃の関係位置から決められる角度 (前報式 (14))¹⁾、 θ は同じく切削角にして、カッターヘッドの鉋刃取付け角 (Fig. 1- ζ) とカッターヘッド周囲からの刃先の突出量 (Fig. 1- p) およびカッターヘッドの半径 (R') から次式で示される角度である。

$$\theta = \zeta + \tan^{-1} \frac{\cos \zeta}{\sin \zeta + \frac{R'}{p}} \dots \dots (2)$$

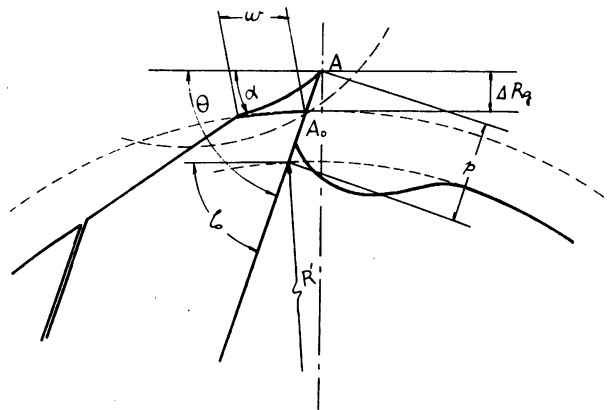


Fig. 1 縁取り研削による刃先ランドの形成
Formation of land at the knife-edge in jointing.
 w : ランドの幅 Width of land.

(1) 前木材部加工科加工研究室長・現九州大学農学部助教授

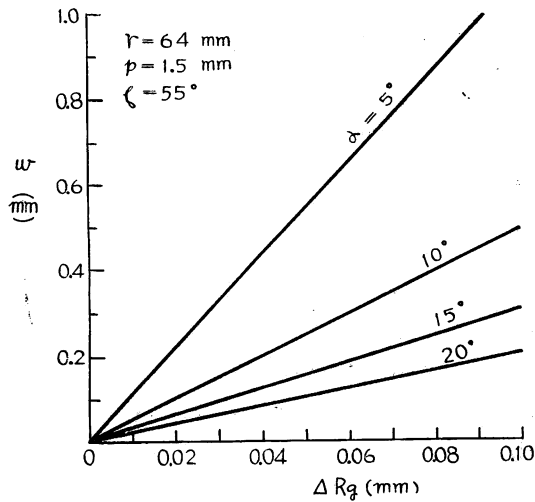


Fig. 2 式(1), (2)における ΔR_g と w の関係
Relation between ΔR_g and w in Formulas (1) & (2).

式(1)から明らかなように、 w は前加工としてのグライディングの研削精度(ΔR_g)と研削角度に支配され、ランドの幅を小さくするには、グライディングの精度を高めることが最も重要であることがわかる。

つぎに、次項での実験条件として $R'=64$ mm, $p=1.5$ mm, $\zeta=55^\circ$ の場合の α , ΔR_g と w の関係を式(1), (2)から計算し Fig. 2 に示した。グライディングの刃先誤差の実測結果では、 $\Delta R_g=0.01\sim 0.07$ mm であった¹⁾から、 $\alpha=5^\circ$ のときのランドの幅は計算上この値の約11倍、すなわち $w=0.11\sim 0.75$ mm, また $\alpha=20^\circ$ のときは約2倍で $w=0.02\sim 0.14$ mm である。実際には、刃先 A_0 も微量縁取りされること、および研削

誤差、カッターヘッドの振動などから計算値よりもランドの幅はやや大なるのを避け得ない。

3. ランドの幅が切削性能におよぼす影響

4枚刃プレーナを用い、ランドの幅が切削面の品質と刃物寿命におよぼす影響について実験した。

3.1. 実験方法

前報に同じく、4枚刃600mm 1面プレーナ(グライディングおよび縁取り研削装置付き、カッターヘッド回転数 4,560 r.p.m.)、鉋刃には SKH₉ を使用した。グライディングにおける鉋刃の逃げ角は 12~15°, 刃先角 41~44°, 切削角 56° である。鉋刃の中央部分 15cm で切削試験を行ない、この部分ではグライディングにおける研削誤差を $\pm 10\mu$ 以下にそろえた。縁取り研削では、ランドの幅を 0.01 mm 以下から 0.9 mm まで数段に変化せしめた。なお、各段階でのランドの幅は、4枚の鉋刃により最大 0.07 mm のチラバリがあるため、4個のランドのうち最大幅をもって表示することとした。

切削面の品質試験では、Table 1 の供試材のうちマカンバ、ドロノキ、ウラジロモミおよびアカマツの4樹種の人工乾燥材(含水率10~12%)から節およびその他欠陥部分を除いた幅 10 cm, 長さ 50 cm,

Table 1. 供試材の気乾比重と年輪幅
Width of annual ring and specific gravity in air dry condition of test specimens.

Common name	Scientific name	Specific gravity	Width of annual ring (mm)
URAJIROMOMI	<i>Abies homolepis</i>	0.35~0.50	1.0~3.0 (1.5)
AKAMATSU	<i>Pinus densiflora</i>	0.45~0.62	2.0~4.0 (3.0)
DORONOKI	<i>Populus Maximowiczii</i>	0.40~0.55	1.0~3.0 (2.0)
SHINANOKI	<i>Tilia japonica</i>	0.36~0.50	1.0~3.0 (1.5)
MAKANBA	<i>Betula Maximowicziana</i>	0.65~0.75	1.0~3.0 (1.5)
MIZUNARA	<i>Quercus mongolica</i>	0.56~0.85	1.0~3.0 (1.5)

厚さ 2.1 cm の試験片 1 組それぞれ 100 枚を用意し、上記ランドの幅の各段階ごとに 4 組の試験片を切削し、切削面を観察して前報⁵⁾と同方法により無欠点率 Y (100 枚の切削面のうち、逆目ばれ、毛羽立ちその他切削作用による欠点の発生していない良好な切削面の百分率) を測定した。試験片は木表、木裏両面を約半数ずつ供試面とし、大きな逆目ばれを避ける方向から切削した。送り速度は 50.2 m/min、切削深さは 1 mm、ナイフマークの平均幅は 2.75 mm。

鉋刃の寿命試験では、シナノキおよびミズナラの挽板乾燥材 (幅 5 cm、厚さ 2.3 mm、長さ 2 m、含水率 12%) を上記の各切削条件下で連続切削し、その間一定切削材長ごとに 100 枚の標準試験片を組み入れ、その無欠点率 (Y) を測定し、この測定結果から切削材長 (L') と Y の関係線図を求めた。なお、比較のため縁取り研削せぬ鉋刃についても同様の寿命試験を行なった。この場合は、有効刃数が 1 枚であるため、送り速度を約 1/4 の 11.9 m/min とし、ナイフマークの幅を前者とほぼひとしく 2.61 mm とした。

なお、ミズナラの切削試験では、一定の切削材長ごとに次の方法により刃先のプロフィールを測定した。すなわち、セルロイドの薄片で包まれた着色セルロイドの酢酸アミールによる軟化剤を刃先に押し付け、硬化後刃先からとりはずし、そのモールドから薄切削をつくり、これを Shadow graph により 120 倍に拡大印画した。

3.2. 実験結果

a) 切削面の品質 ランドの幅と無欠点率の関係を Fig. 3 に示した。同図のようにいずれの樹種においてもランドの幅が広がると無欠点率は低下するが、とくにウラジオモミ、ドロノキでは毛羽立ちあるいは毛羽立ちをともなった目違いの発生がいちじるしく、ランドの幅 0.5 mm では無欠点率は 5~10% に低下し、ランドの幅の許容限度はきわめて低い。

b) 鉋刃の寿命 ランドの幅を 0.01 mm 以下に仕上げた場合のミズナラおよびシナノキについての $L'-Y$ 曲線を Fig. 4 に示した。同図のように、ランドの幅が同一であっても樹種により切削材長ともなう仕上げ品質低下の様相が異なり、刃先摩耗が仕上げ面に鋭敏に影響するシナノキでは、ミズナラに比し刃物寿命が短い。

つぎに、ランドの幅を変化せしめてシナノキの $L'-Y$ 曲線を測定し、 Y が 10% に低下するまでの L' の値をもってその条件での最大切削材長 (L'_{max}) とし、ランドの幅と L'_{max} の関係を求めて Table 2 に示した。同表のように、ランドの幅が 0.01 mm 以下のときは縁取り研削せぬ鉋刃の 3 倍以上の切削材長を有するが、ランドの幅約 0.5 mm では逆に 1/3 以下に低下しており、プレーナの切削材長がランド

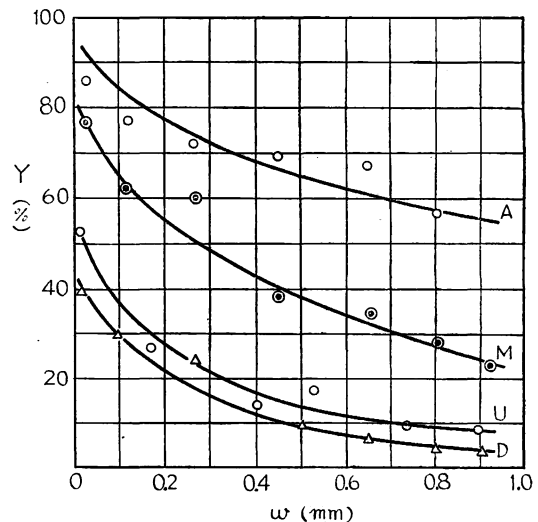


Fig. 3 ランドの幅 (w) が無欠点率 (Y) におよぼす影響
Effect of width of land (w) at the knife-edge on percentage of defect free pieces (Y).
Wood materials ; A : AKAMATSU, M : MAKANBA, D : DORONOKI, U : URAJIROMOMI

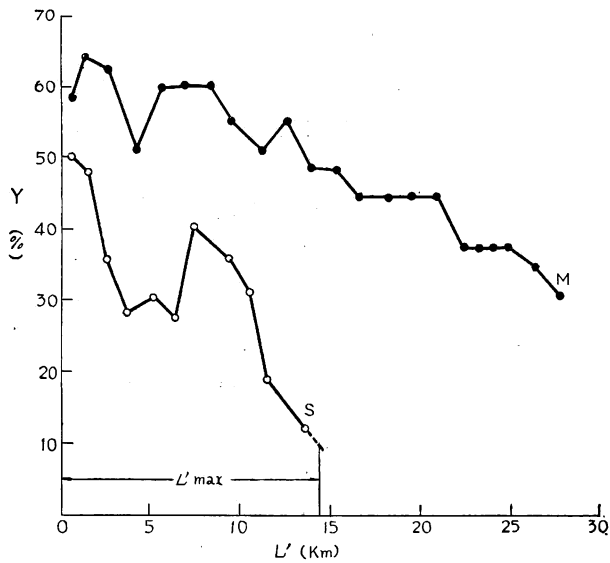


Fig. 4 切削材長 (L') にもなう無欠点率 (Y) の低下
Decrease of percentages of defect free pieces (Y) with
linear length of wood cut.

Wood materials; M : MIZUNARA, S : SHINANOKI

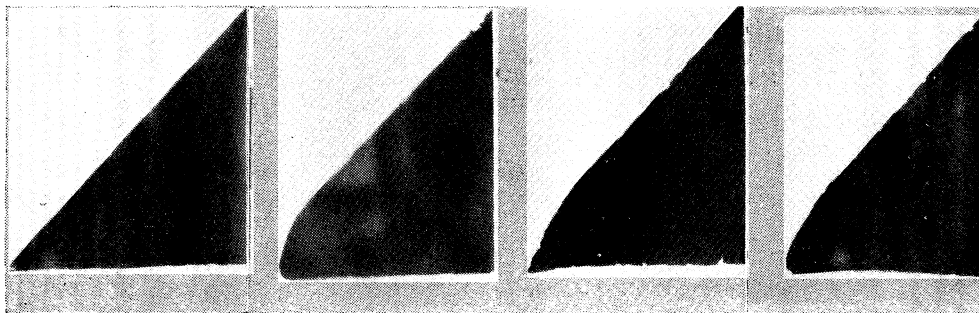
の幅にいちじるしく支配されることを示している。

c) 刃先の摩耗経過 刃先プロフィールの測定例を Photo. 1 に示した。同測定例において、A-1、B-1は縁取り研削せる1組4枚の鉋刃のうち、それぞれランドの幅最小と最大の刃先であって、前者ではランドというよりはむしろ砥石 (diamond hone) による微細な欠け跡が刃先にできており、後者では幅 0.65 mm の平坦なランドが逃げ面に形成されている (この場合ランドは幾何的には 0.65 mm 幅に対し約 3μ の矢高をもつ円弧状につくられているはずである)。

A-2、B-2はそれぞれミズナラ挽板 11,200m 切削後の刃先である。

Table 2. ランドの幅 (w) が刃物寿命 (L'_{max}) におよぼす影響
Effect of width of land at the knife-edge (w) on life of the knife (L'_{max}).

Knife tested	w (mm)	F (m/min)	e (mm)	L'_{max} (m)
Jointed knife	min ~0.01	50.2	2.75	15,000
	0.18~0.24	50.2	2.75	5,000
	0.45~0.52	50.2	2.75	1,000
Unjointed knife	0	11.9	2.67	2,500 4,500



A-1

A-2

B-1

B-2

Photo. 1 刃先のプロフィール
Profile of knife-edge.

同様の刃先プロフィールからA, B 両鉋刃の摩擦経過をみると, ランドのほとんどないAでは, 前報²⁾で測定した縁取り研削しない鉋刃の場合と同様, 切削初期にはすくい面と逃げ面の両面から摩擦が進行し, 刃先は丸味を帯びつつ比較的急速に刃角のほぼ2等分線上かあるいはすくい面側にややかたよった線上を後退するが, 切削材長7,000m以上から逃げ面摩擦が次第に支配的となり, 刃先丸味の先端はすくい面側にさらに近づき, 逃げ面には負の逃げ角の方向にゆるやかな曲線部分が形成される。これに対しB鉋刃では縁取り研削のため一般の鉋刃のように刃先の尖鋭部分がなく, この部分に相当する摩擦経過はみられず, まずランドの尖端(ランドとすくい面の交点)およびランドのヒールが摩擦し, 切削材長の増加とともに逃げ面摩擦が進行してランドの原形は失われ, 逃げ面はAの場合と同様, 負の逃げ角の方向にゆるやかな曲線を形成しつつ徐々に後退する。ランドを刃先円の接線方向とみなすならば, 摩擦により形成された逃げ面の角度 (Fig. 5- α') は負の方向に $10^\circ \pm 5^\circ$ の範囲である。なおこの場合, B-2のように刃が逃げ面側からすくい面側に曲げ変形されたような異常な変形が2, 3観察された。

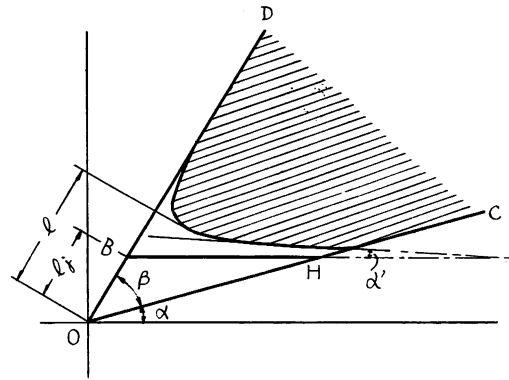


Fig. 5 摩耗刃先のプロフィール

Profile of dull edge of jointed knife.

O: Original knife-edge after grinding.

BH: Width of land formed by jointing.

l: Displacement of knife point from the original edge.

OD: Face, OC: Back

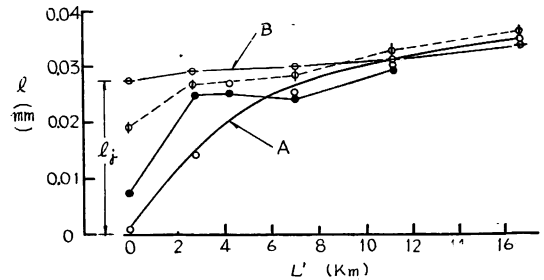


Fig. 6 切削材長 (L') にもなる刃先後退量 (l)
Displacement of knife point (l in Fig. 5)
with linear length of wood cut (L').

つぎに, Fig. 5 において, 縁取り研削前の刃先 O とプロフィールの摩擦曲線からすくい面に下した垂線の距離を l とし, 4 枚の鉋刃について切削材長と l の変化を測定して Fig. 6 に示した。同図においてA鉋刃では縁取り研削による l の消耗量は 2μ 程度で, 切削材長 8,000 m 程度までは l の増加率が急で, 以後はゆるやかに増加する。B および他の鉋刃では, 縁取り研削のため削り取られた l_0 だけ元の刃先 O から後退した位置で切削が始められ, l_0 の大小によって摩擦速度を異にするが, 切削材長10,000 m付近に達してのちは, いずれもA刃先とほぼ同様の摩擦経過をたどっている。

4. 解析および考察

a) ランドの逃げ角 ランドは刃先円に対して逃げ角が零であるから, 切削中は材の送り速度により負の逃げ角として作用する。いま, Fig. 7 において, 刃先の描くトロコイドの底点 A_0 を原点, 転円の導線 CD と平行方向に x 軸を, 垂直方向に y 軸をとり, それぞれ転円の移動方向および切削面上向

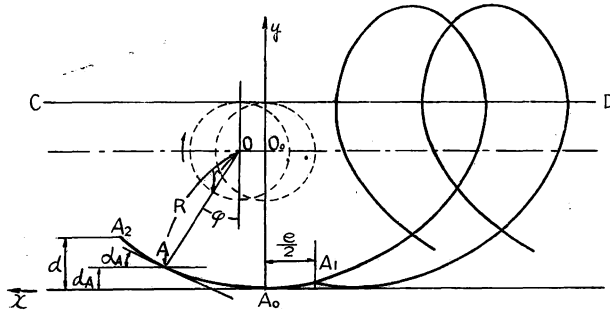


Fig. 7 刃先の描くトロコイド
Trochoidal path of knife-edge.

きを正とする。転円が導線上を時計方向にころがるとき、上向き切削では動点(刃先)は正の方向に移動するから、刃先の回転半径を R 、転円の半径を r とすると、その軌跡は回転角 φ をパラメータとして次式であらわされる⁷⁾。

$$\left. \begin{aligned} x &= r\varphi + R \sin \varphi \\ y &= R(1 - \cos \varphi) \end{aligned} \right\} \dots\dots(3)$$

上式において、材の送り速度を F 、

刃先の周速度を V とすると

$$r = \frac{F}{V} R \dots\dots\dots(4)$$

である。また

$$\begin{aligned} \frac{dx}{d\varphi} &= r + R \cos \varphi \\ \frac{dy}{d\varphi} &= R \sin \varphi \end{aligned}$$

であるから、トロコイドの任意の点 A の接線が x 軸となす角 δ は、

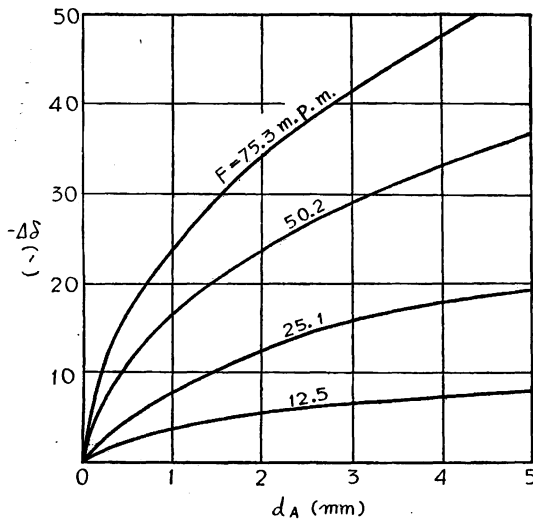
$$\delta = \tan^{-1} \frac{\sin \varphi}{\frac{r}{R} + \cos \varphi} \dots\dots\dots(5)$$

そして、ランドが点 A においてトロコイドの接線となす角を $\Delta\delta$ とすると、 $\Delta\delta$ は δ と刃先円に対する点 A の接線の勾配 δ' の差に等しく

$$\Delta\delta = \delta - \delta' \dots\dots\dots(6)$$

$$\delta' = \varphi = \cos^{-1} \left(1 - \frac{d_A}{R} \right) \dots\dots\dots(7)$$

にして、 d_A は点 A の原点からの高さである。(4)~(7)より



$$\begin{aligned} \Delta\delta &= \tan^{-1} \frac{\sin \cos^{-1} \left(1 - \frac{d_A}{R} \right)}{\frac{F}{V} + 1 - \frac{d_A}{R}} \\ &\quad - \cos^{-1} \left(1 - \frac{d_A}{R} \right) \dots\dots\dots(8) \end{aligned}$$

式(8)の計算例を Fig. 8 に示した。同図のように負の逃げ角は高速度送りほど増大し、たとえば刃先円直径 128 mm、カッターヘッド回転数 4,530 r.p.m において送り速度 75.3 m/min、切削深さ 5 mm では約 -1° 、

Fig. 8 式(8)における d_A と $\Delta\delta$ の関係
Relation between d_A and $\Delta\delta$ in
Formula (8).
 $R = 64$ mm, $N = 4,530$ r.p.m.

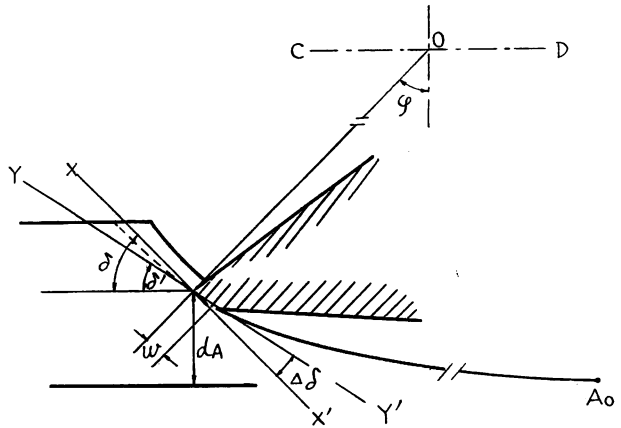
前項の実験例の送り速度 50.2 m/min,
 切削深さ 1 mm では $-15'$ である。ラ
 ンドが負の角度をとると Fig. 9 のよう
 にそのヒールは計算上次式の j だけ刃先
 通過後の切削面内にくいこむことにな
 る。

$$j = w \sin \Delta \delta \dots\dots\dots (9)$$

$w = 0.5 \text{ mm}$ のとき

$$j = 2.2 \mu$$

木材切削では、ひら削りにおいても切削
 面繊維の弾性回復を避けるには 5° 前後
 の逃げ角が必要⁹⁾とされているから、ラ
 ンドにより形成される負の逃げ角は、逃
 げ面摩擦を促進せしめ切削面の劣化を招
 来する主要原因であることがわかる。



XX': 刃先円の接線 Tangent line to cutting circle.
 YY': トロコイドの接線 Tangent line to trochoidal path of knife-edge.

Fig. 9 ランドにおける負の逃げ角 ($\Delta \delta$)
 Negative clearance angle of land at the knife-edge ($\Delta \delta$).

b) 鉋刃の切削長 実験では、鉋刃の寿命を切削した板材長 L'_{\max} であらわしたが、この値は 1 組
 4 枚の鉋刃の直線切削距離であって、鉋刃 1 枚あたりの総切削長 (L) は、Fig. 5 の弧長 $\widehat{A_1 A_0 A_2}$ の総
 和であるから、 $\widehat{A_1 A_0 A_2}$ を l とすると

$$L = \frac{L'_{\max}}{f_{rev}} \cdot l = L'_{\max} \frac{N \cdot l}{F} \dots\dots\dots (10)$$

である。また、式 (3) において

$$l = \int_{\varphi_{A_1}}^{\varphi_{A_2}} \sqrt{dx^2 + dy^2} d\varphi$$

$$\sqrt{dx^2 + dy^2} = (r^2 + 2rR \cos \varphi + R^2)^{1/2} = \left[(r+R)^2 \left\{ 1 - \frac{2rR}{(r+R)^2} (1 - \cos \varphi) \right\} \right]^{1/2}$$

展開して 2 項以下を省略すると

$$\sqrt{dx^2 + dy^2} = (r+R) \left\{ 1 - \frac{rR}{(r+R)^2} (1 - \cos \varphi) \right\}$$

積分域は、 A_1 では $x = -e/2$ であるから

$$\varphi_{A_1} = -\frac{e}{2(r+R)}$$

A_2 では、 $y = d$ であるから

$$\varphi_{A_2} = \cos^{-1} \left(1 - \frac{d}{R} \right)$$

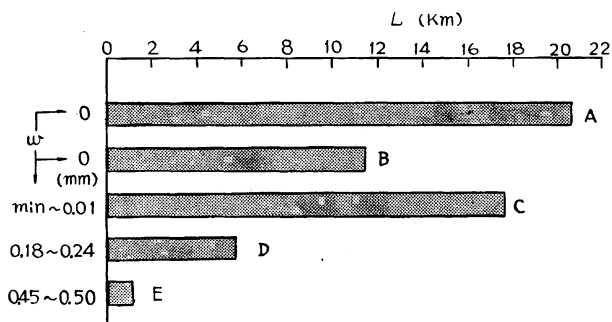
したがって

$$l = (r+R) \left[\left\{ 1 - \frac{rR}{(r+R)^2} \right\} \varphi + \frac{rR}{(r+R)^2} \sin \varphi \right]_{-\frac{e}{2(r+R)}}^{\cos^{-1} \left(1 - \frac{d}{R} \right)}$$

$$\doteq (r+R) \cos^{-1} \left(1 - \frac{d}{R} \right) + \frac{e}{2}$$

したがって、式 (10) より

$$L \doteq \frac{L'_{\max} \cdot N}{F} \left\{ (r+R) \cos^{-1} \left(1 - \frac{d}{R} \right) + \frac{e}{2} \right\} \dots\dots\dots (11)$$



A, B: 縁取り研削しない鉋刃 Unjointed knives.
 C~E: 縁取りせる鉋刃 Jointed knives.
 L: 刃先の切削距離 Total path length of knife.
 Fig. 10 ランドの幅 (w) と鉋刃の寿命の関係
 Relation between width of land at the knife-edge (w)
 and life of the knife.

の増加を期待しうることを知る。

c) 刃先の切込量と逃げ面摩擦 上向き切削においては、刃先は被削面に対し切込量零の状態から接触を開始し、切削初期の切込量はごく微小である。たとえば、刃先がナイフマークの底面を切削しているときの切込量 (te) は、式 (3) において

$$e = \varphi(R+r)$$

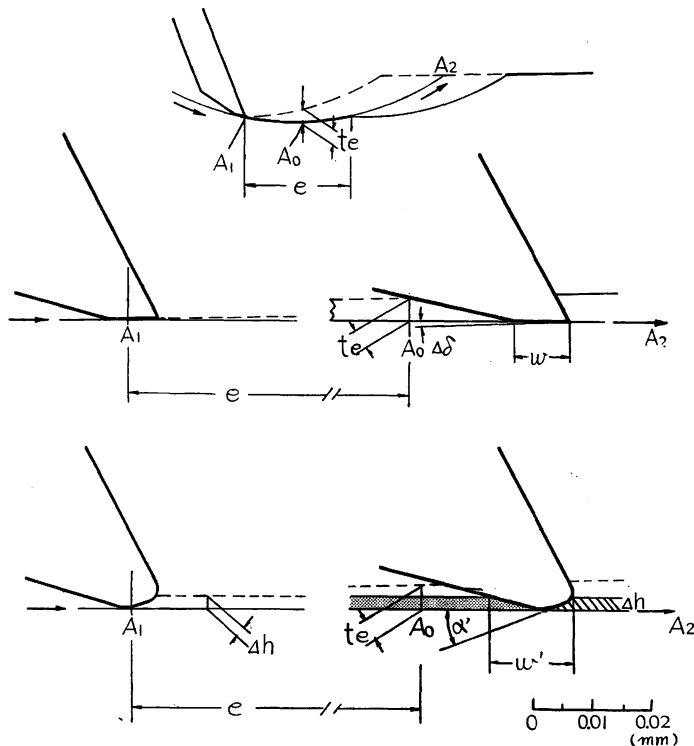


Fig. 11 鋭利な刃先と摩擦
 刃先による切削の
 模式図

Schematic diagram of
 wood cutting with sharp
 and dull knife.

- $\overrightarrow{A_1A_0A_2}$Cutting path of knife-edge.
- te.....Theoretical thickness of chip to be cut at the middle point of knife-mark (e).
- ΔhHeight of dull edge of knife.
- $\Delta\delta$ Negative clearance angle by the land (w).
- α' Negative clearance angle by the dull edge.

Table 2 の実験条件を式 (11) に代入し、縁取り研削条件別に鉋刃1枚の切削長を計算し、Fig. 10 に示した。同図から、縁取り研削せる鉋刃は然らざる鉋刃に比し本質的には削りうる切削長は低下し、その程度はランドの幅が広いほどいちじるしいことが明らかである。

以上、Table 2 と Fig. 10 の結果から、縁取り研削を行なうことにより鉋刃の切削性能は本質的には低下するのであるが、ランドの幅のごく狭いときは有効刃数増加の効果がこれを上まわるため、プレーナとしての切削材長の

のときの y の値に相当するから

$$te = R \left(1 - \cos \frac{e}{R+r} \right) \dots\dots\dots (12)$$

上式から、前項での実験条件 ($R=64$ mm, $F=50.2$ m/min, $N=4,560$ r.p.m., $e=2.75$ mm) の切込量を計算すると $te=52 \mu$ にすぎない。

Fig. 11 に、縁取り研削せる鉋刃の鋭利な刃先と摩耗後の刃先について、切削面に対する刃先の形状と上記のような切削初期における切込量の寸法比較を示した。同図において、 A_1 は切削開始点、 A_0 はナイフマークの底面の切削位置であって、切削初期においては刃先は A_1 からただちに切屑を形成することかできず、繊維を材面下に圧縮しつつすべり、繊維の刃先に対する抵抗がある値に達してのちはじめて切込みが開始される。そして切削面繊維と逃げ面の摩擦および切込み後形成される切り屑とすくい面の摩擦のため、刃先が丸味を帯びると刃先の切込みは困難となり、すべり距離は次第に増加し繊維の弾性回復にともなう摩擦と相まって逃げ面摩耗が進行する。とくにランドの幅が広いと摩擦面積が広く、ヒールはいちじるしく摩滅する。摩耗刃先のプロファイルを測定すると、切削面に対する刃先丸味の高さ (Fig. 11- Δh) は、約 20μ に達するから、刃先丸味によってつくられる負の逃げ角 (Fig. 11- α') のため、切り屑形成ののちも部分的には繊維の圧縮現象は継続され、切削面にはこの圧縮現象の結果として目違いや Fuzzy grain が現われる。このような刃先の圧縮・すべり現象を定量的に測定することは困難であるが、前報の面アラサ測定において、ナイフマークの深さが理論値よりも浅く、その程度が軟材ほど著しいこと⁶⁾、また摩耗刃先に起因する切削面の目違い断面を顕微鏡観察すると、秋材下部に位置する春材組織に compression effect が現われており、仮導管には挫屈の跡が残されていること⁵⁾ などから、外部現象的には十分把あくしうる。

5. あとがき

縁取り研削によるランドの形成が鉋刃の切削性能におよぼす影響について、実験と解析を行ない、つぎの結果を得た。

(1) ランドの幅が広くなると、切削面には毛羽立ちあるいは目違いが発生し仕上げ不良をきたすが、この傾向はアカマツ、カバに比較しドロノキ、ウラジロモミでは一層いちじるしく、ランドの幅 0.5 mm 以上では後 2 者の切削面無欠点率は 10% 以下に低下する。

(2) 鉋刃の寿命は、本質的には縁取り研削によって低下する。これはランドが切削面に対し負の逃げ角として作用し、逃げ面摩耗を助長するためである。しかしランドの幅が狭いとき、4 枚刃ブレーナ切削では、縁取り研削しない鉋刃ブレーナの 3 倍以上の切削材長が得られている。これは縁取り研削による切削有効刃数増加の効果が、鉋刃 1 枚あたり寿命低下の影響を上廻るためである。

(3) ブレーナの上向き切削では、刃先が材面に接触を開始した当初、切削面に対しすべり現象を起こす。このすべり現象はランドの幅の広いほど著しいことが予想され、これがさらに逃げ面摩耗を助長する。

(4) ランドの幅は前加工におけるグライディングの研削精度と研削角に支配されるため、この工程の加工精度を高めることが縁取り研削の効果を高めるうえに最も重要である。

文 献

- 1) 森 稔・星 通：プレーナによる木材の面仕上げ（Ⅲ），縁取り研削による刃先の仕上げ精度，林試研報，163，pp. 47~64，(1963)
- 2) DAVIS, E.M. : Machining and Related Characteristics of United States Hardwoods. Dept. Agri. U.S.A., Tech. Bull., 1267, p. 17, (1962)
- 3) PATRONSKY, L.A. : Knife Cutting Problems. F.P.J., 3, 6, (1953)
- 4) FRANZ, N.C. : An Analysis of Chip Formation in Wood Machining. F.P.J., 5, 10, p. 335, (1955)
- 5) 森 稔・星 通：プレーナによる木材の面仕上げ（Ⅱ），切削条件が仕上げ面の品質におよぼす影響，林試研報，160，pp. 19~35，(1963)
- 6) 同 上：同 上（Ⅰ），切削面のアラサについて，林試研報，119，pp. 79~93，(1960)
- 7) たとえば VORREITER, L. : Holztechnologisches Handbuch(Ⅲ). p. 622 (1963); PRUSÁK, J. : Teoretické Podklady pro Hodnocení Trvanlivosti. Drevásky Vyskum (Slovenské) 1, 1~2, pp. 171~194, (1956)
- 8) 木下直治：木材の精密加工法の研究，理化学研究所報告，36，5，p. 496，(1960)

**Studies on Surfacing of Wood with Planer (IV).
Effect of land at knife-edge upon cutting efficiency.**

Minoru MORI

(Résumé)

It is apparent from the results obtained in the previous report (Ⅲ) that jointing operation is efficacious in bringing all knife-edges into a true cutting circle so that each knife does its equal share of cutting, but tends to impair sharpness of the knife and shorten its life. The purpose of this report is to make clear the effect of jointing operation upon cutting efficiency of knife.

Negative clearance angle of jointed knife : The jointed portion of a knife-edge, called a land, is a part of the cutting circle, that is, the edge has no clearance to the circle. This zero clearance angle becomes negative during cutting because of the continuous feed of the workpiece. The degree of this negative angle can be calculated from the difference between tangent angle to the cutting circle at the point where the knife-edge is situated and that to the trochoidal path of the edge as shown in Fig. 9. And this is indicated by Formula (8), where V denotes circumferential speed of knife-edge, F : feed speed, R : radius of cutting circle, d_A : depth of wood at the point the knife-edge is situated.

Thus, the land actually compresses the wood face during cutting, and the negative clearance angle will become the cause of the rapid wear of the knife and poor quality finish of the surface of wood cut.

Width of land (w) : Before jointing, each knife set in the head is ground while it is stationary by a grinding wheel for the purpose of making all of uniform projection from the head circumference, but even with careful operation, some errors such as 0.02~0.07 mm are

inevitable. The width of land (w) is decided by both the errors and the relative position of the knife to the grinding wheel as shown in Fig. 1, and value of w can be calculated from Formula (1), where θ , α denote cutting angle, bevel angle of the knife ground. From the formula it can be seen that wider land will be necessary to bring all of the knife-edge into true cutting circle, when the knives are not ground accurately.

Effect of w on finish quality of wood surface cut : Some cutting tests were performed on the surfacing planer with jointed knives in order to find out the effect of w upon the surface quality of wood cut.

The planer was the same one as that used in the previous report, and the head speed was 4,560 r.p.m., the feed speed was 50.2 m/min. The knives tested were high-speed steel and they were jointed with diamond hone. Land width w was varied from 0.01 mm to 0.9 mm, θ was 56°, α was 12~15°. Test materials consisted of two kinds of softwoods and hardwoods as presented in Table 1, and a hundred boards of 10 cm wide by 50 cm long at every species were prepared.

After planing, these boards were examined visually for surface defects and percentages of defect free surface (Y) were calculated and quality of surface finish was evaluated by this percentage. The result of measurement of the relation between w and Y is shown in Fig. 3. This result indicates that the wider the land becomes, the poorer the surface quality is, and the actual width of land that can be used in surfacing wood depends on the wood species. For instance, Japanese red pine (*Pinus densiflora*) and Birch (*Betula Maximowicziana*) can stand a comparative wider land, but Poplar (*Populus Maximowiczii*) and Momi fir (*Abies homolepis*) will stand least.

Effect of w on the life of knife : In order to compare the output from the jointed knife with that of an unjointed one, and furthermore, to ascertain the effect of w on the life of knife, a series of successive cutting tests of lumber were performed on the planer, and the variation of percentages of defect free surface (Y) with lineal length of lumber cut (L') were measured. The materials used were Japanese linden (*Tilia japonica*) and White oak (*Quercus mongolica*). The machining conditions were the same as those of the previous test.

The output from knives was estimated by the lineal length of lumber cut before Y had fallen below 10% (L' max in Fig. 4), and the life of a knife represented by the total length of actual cutting path of the knife in wood. This total length (L) was calculated from Formula (11).

Results obtained were as follows :

(1) The output (L' max) from the jointed knives with slight degree of land is more than three times that from unjointed knives, but the output from the knives with wider land is no more than about one-third, as shown in Table 2. Thus, the output is under the control of width of land.

(2) The comparison of L between jointed and unjointed knife is demonstrated in Fig. 10. This result reveals the fact that the life of a knife is shortened by jointing operation, and an unjointed knife essentially has the longest life.

Blunting of cutting-edge of jointed knife : Successive cutting of lumber (White oak) was performed in order to examine the blunting of four jointed knives which were assembled in the head and had different widths of land. At every interval of the lineal length of lumber cut the profiles of each knife-edge were obtained by means of a shadow graph of 120 magnifications. The rate of edge wear was assessed by the distance from the original knife-edge

point before jointing to the dull edge point as shown in Fig. 5.

The results obtained were as follows :

(1) The enlarged profiles of the two knife-edges which have the narrowest and widest land among the assembled knives are presented in Photo. 1. (A) in the photo are the ones before cutting, (B) are after cutting lumber of 11 km length.

(2) Fig. 6. shows displacement of four edges of assembled knives with linear length of lumber cut. The edge having the slightest land is worn away rapidly in the first period of successive cutting, but it becomes more wear resistant as blunting progresses, and eventually settled down at a more or less uniform rate of wear. As compared with this, the edges with wider land which have already lost a part by jointing operation before cutting (l_j in Fig. 6) are worn away from both the point and the heel of its land owing to the friction between the land and the face of wood cut, and the deformation of knife-edge develops chiefly from its back side. As blunting develops and the worn edge increases in negative clearance angle, the dull edge comes to thrust some wood fibers into the face of wood instead of cutting off the fibers as schematically shown in Fig. 11, and this thrust action of dull edge and the reaction of wood fiber will give rise to the critical stage of cutting.