

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

森
星

稔⁽¹⁾
通⁽²⁾

1. ま え が き

プレーナの切削能率は、前報の実験結果¹⁾が示すように、カッターヘッド周面にセットした鉋刃のうち、直接切削面の形成にあずかるいわゆる切削有効刃数に比例する。しかし、多数の有効刃をつくるには、各刃先を数 μ 以下の誤差で同一円周上にそろえる必要があり、従来の鉋刃セッティング法では到底このような精度は得られず、この目的のためにはセッティング後、縁取り研削を行なう必要がある。

縁取り研削では、まず前加工として、卓上研削装置のグラインダーを用い、カッターヘッドの一定関係位置で各刃先をグラインディングしてセッティングにおける大きな刃先の不ぞろいを修正し、つぎに、カッターヘッドを常用速度で回転しつつ砥石（ホーン）を刃先に接触せしめ、カッターヘッドに平行に摺動して仕上げる。この研削法は、金属加工における円筒外周のホーニングにその研削機構が類似し、比較的簡単な操作で高度の仕上げ精度の得られることに特徴を有するが、この場合にはグラインディングによる 50μ 程度の誤差が残されており、この誤差をホーンの限定された砥面の局部で微量ずつ繰返し研削するうえ、研削荷重は断続的、衝撃的に加わり、しかも刃先の切れ味を低下せしめてはならないのであるから、刃物材質にマッチしたホーンの種類および研削条件についての研究がなされなければならない。しかしこれに関しては、一般的な解説のほかには研究資料²⁾³⁾も乏しく、わが国ではまだ一般にはその技術が十分に消化されず、その効果も明らかにされていない。

本報では、はじめに縁取り研削に要求される刃先の仕上げ精度について解析し、つぎに高速度鋼鉋刃および超硬合金鉋刃について縁取り研削の諸条件が刃先の仕上げ精度におよぼす影響および同鉋刃の切削性能に関する実験を行ない、この結果から縁取り研削技術に対する具体的指針を得ようとした。

2. 刃先のそろい精度がナイフマークの形成におよぼす影響

縁取り研削せる4枚刃プレーナの切削面の1例を Photo. 1 に示した。カッターヘッドの回転数は $N=6,120 \text{ r.p.m.}$ 、送り速度は $F=75.2 \text{ m/min}$ で常用速度の3～4倍に相当する。したがって、1回転あたり送り量 (f_{rev}) および1刃あたり送り量 (f) は、それぞれ

$$f_{rev} = \frac{F}{N} = 12.17 \text{ mm}, \quad f = \frac{f_{rev}}{4} = 3.04 \text{ mm}$$

である。同写真のナイフマークをみると、 f_{rev} 間に $e_1, \dots, e_4$ の4個のナイフマークが形成され、明らかに全刃数が有効刃として作用しているが、それぞれのナイフマークには平均幅 f に対して不ぞろいが

(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

(2) 木材部加工科加工研究室員

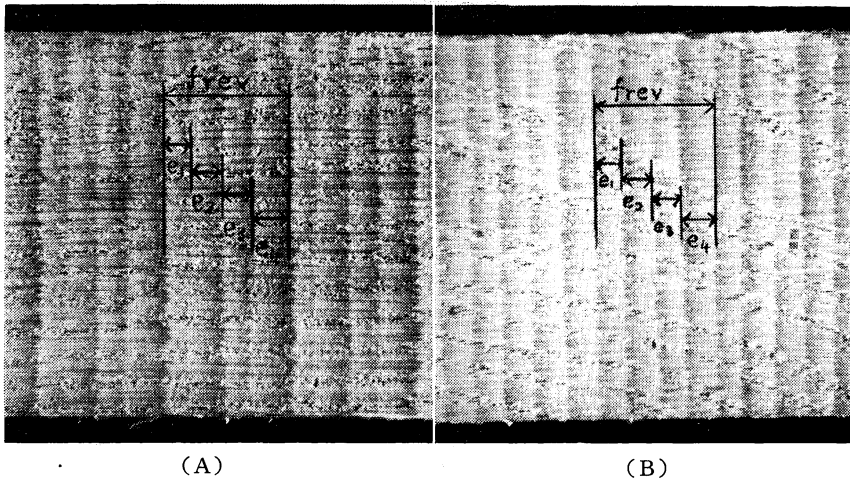


Photo. 1 カッターヘッドの1回転あたり送り量 (f_{rev}) における4個のナイフマーク
Four knife marks in feed rate per revolution of cutter head (f_{rev}).

できており、とくに (A) では不ぞろいが目立ち、実用上の仕上面として不適當である。

このように、縁取り研削により全刃数を有効刃として作用せしめても、刃先のそろいになお微小の誤差があり、ナイフマークの配列が粗雑になっては高速送りはできない。そこで、有効刃における刃先のそろい誤差がナイフマークの配列にどの程度に影響し、またそれが N , F あるいは刃先の回転半径といかなる関係にあるかを知るため、つぎに簡単な解析を試みた。

プレーナ切削において、刃先の材面に対する運動の軌跡は周知のように Oblate trochoid であるが、ここでは Fig. 1 のように直線 XX' 上に等間隔 f で配列する点、 $O_4, O_1, \dots, O_4$ を中心とし、それぞれ半径 $R_4, R_1, \dots, R_4$ の回転円から幅 $e_1, e_2, \dots, e_4$ のナイフマークが形成されると考え、 O_1 を原点として、 XX' を x 軸、その垂線を y 軸とすると、円 O_4, O_1, O_2 の方程式はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} (x+f)^2 + y^2 &= R_4^2 \\ x^2 + y^2 &= R_1^2 \\ (x-f)^2 + y^2 &= R_2^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

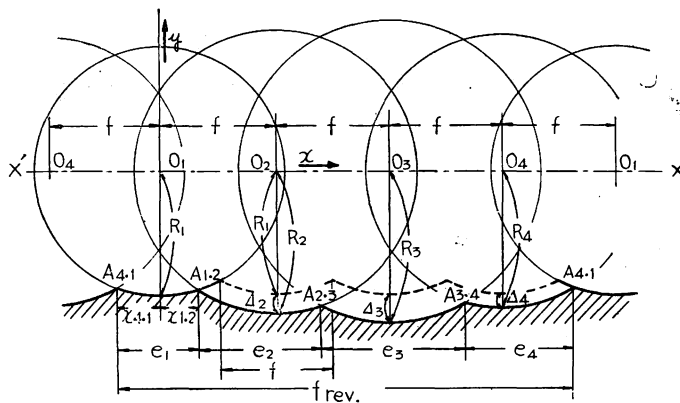


Fig. 1 4個の相異なる刃先回転円によるナイフマークの形成
Formation of knife-marks by four cutting circles with different diameter.

上式より、円 O_4 と円 O_1 の交点 $A_{4,1}$ および円 O_1 と円 O_4 の交点 $A_{1,2}$ の x 座標は、

$$\left. \begin{aligned} x_{4,1} &= \frac{1}{2f}(R_4^2 - R_1^2 - f^2) \\ x_{1,2} &= \frac{1}{2f}(R_1^2 - R_2^2 + f^2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

$\overline{A_{4,1} A_{1,2}}$ がナイフマークの幅 e_1 であるから

$$e_1 = x_{1,2} - x_{4,1} = f + \frac{1}{2f}(2R_1^2 - R_2^2 - R_4^2) \dots\dots\dots (3)$$

以下同様にして

$$\left. \begin{aligned} e_2 &= f + \frac{1}{2f}(2R_2^2 - R_3^2 - R_1^2) \\ e_3 &= f + \frac{1}{2f}(2R_3^2 - R_4^2 - R_2^2) \\ e_4 &= f + \frac{1}{2f}(2R_4^2 - R_1^2 - R_3^2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

つぎに、 R_1 を基準として他の回転半径の誤差を $\Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ とし

$$\left. \begin{aligned} R_2 &= R_1 + \Delta_2 \\ R_3 &= R_1 + \Delta_3 \\ R_4 &= R_1 + \Delta_4 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

これを式 (4) に代入すると、4 個の刃先の回転半径の誤差とナイフマークの幅の関係式として次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} e_1 &\doteq f - \frac{R_1}{f}(\Delta_2 + \Delta_4) \\ e_2 &\doteq f + \frac{R_1}{f}(2\Delta_2 - \Delta_3) \\ e_3 &\doteq f + \frac{R_1}{f}(2\Delta_3 - \Delta_4 - \Delta_2) \\ e_4 &\doteq f + \frac{R_1}{f}(2\Delta_4 - \Delta_3) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

上式から、ナイフマークの幅の不ぞろいは相隣れる 2 組の 2 個の刃先回転半径の誤差に影響され、1 刃あたり送り量の小さなほど、また刃先回転半径の大なるほど大なることがわかる。

たとえば、 $R_1 = 64 \text{ mm}$, $f = 3.07 \text{ mm}$ において、相隣れる刃先の回転半径が 10μ ずつ交互に大小のある場合は、式 (5) において

$$\Delta_1 = \Delta_3 = 0 \quad \Delta_2 = \Delta_4 = 10 \mu$$

したがって、式 (6) からナイフマークは幅 2.63 mm , 3.51 mm のものが交互に配列し、相対的には約 0.9 mm の不ぞろいができ、刃先回転半径の微小の誤差もナイフマークとしてはかなり大きな不ぞろいとして現われることがわかる。

一般に縁取り研削を行なうと、各刃先の著しい回転半径誤差は修正される結果、回転円の配列の幾可学的関係から、大小のナイフマークが交互に配列する傾向をとることが多い。この場合、上例のように回転半径が 1 つおきに相等しく、相隣れる回転半径の誤差がそれぞれ Δ_R のときは、ナイフマークの幅の誤差を Δ_e とすると、式 (6) から

$$\Delta_R = \frac{f \cdot \Delta_e}{4 R_1} \dots\dots\dots (7)$$

が得られ、この結果は前報¹⁾での略解と一致する。そして、たとえばプレーナの仕上面として Δ_e は 0.5 mm まで許容されるものとする、上記のカッターヘッドと送り速度では

$$\Delta R < 6 \mu$$

である。

つぎに、式(6)において

$$\frac{f}{2R_1} = a \quad \frac{e_3 - e_1}{2} = b \quad \dots\dots\dots(8)$$

とおき、 Δ_2 , Δ_3 , Δ_4 を求めると

$$\left. \begin{aligned} \Delta_2 &\doteq a(e_2 - f + b) \\ \Delta_3 &\doteq 2ab \\ \Delta_4 &\doteq a(e_4 - f + b) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

上式から、ナイフマークの幅から近似的に4個の刃先の回転半径の誤差を知りうる。

Photo. 1 (A) は、縁取り研削中途の状態で切削した場合であって、ナイフマークの幅を実測すると

$$e_1 = 2.6 \text{ mm}, e_2 = 3.0 \text{ mm}, e_3 = 2.7 \text{ mm}, e_4 = 3.9 \text{ mm}$$

また、 $R_1 = 64 \text{ mm}$, $f = 3.07 \text{ mm}$ であったから、式(9)に代入し

$$\Delta_1 = 0, \Delta_2 \doteq -5\mu, \Delta_3 \doteq 2\mu, \Delta_4 \doteq 21\mu$$

また、(B) は縁取り研削終了後における切削面であって、上例と同様に

$$e_1 = 2.7 \text{ mm}, e_2 = 3.2 \text{ mm}, e_3 = 3.0 \text{ mm}, e_4 = 3.3 \text{ mm}$$

したがって、

$$\Delta_1 = 0, \Delta_2 \doteq 7\mu, \Delta_3 \doteq 7\mu, \Delta_4 \doteq 9\mu$$

が得られる。すなわち、縁取り研削の中途に刃先回転半径の誤差 $-5 \sim 21\mu$ あったものが同研削終了後には $0 \sim 9\mu$ に修正されたことがわかる。

上記では、カッターヘッドは全く振動せず、回転円の中心の軌跡は常に1直線として計算したが、実際には微量の振動は避け得ず、これが刃先の不ぞろいと同様ナイフマークの配列に影響する。カッターヘッド振動の原因としては、その長さ 600 mm にわたる長軸の偏心、自重による撓み、軸受部のすきまおよび軸受部に働く固体摩擦あるいは潤滑油膜の影響、鉋刃およびチップブレーカのアンバランス、切削抵抗の影響などが挙げられ複雑であるが、いま最も単純にカッターヘッドの軸心が1回転中に $\pm\delta$ 偏心して回転している場合を想定し、Fig. 2 のように、回転円の中心 O_1 , O_3 , O_1 は1直線上に配列し、 O_2 , O_4 が $\pm\delta$ だけそれぞれ上下に位置し、回転円の半径はいずれも R とすると、いうまでもなく

$$e_1 = e_3 = f \dots\dots\dots(10)$$

また、 $\overline{O_1O_3}$ の中点を原点とし、 $\overline{O_1O_3}$ を x 軸、その垂線を y 軸とすると、円 O_1 , O_2 , O_3 方程式はそれぞれ下式であらわされる。

$$\left. \begin{aligned} (x+f)^2 + y^2 &= R^2 \\ x^2 + (y-\delta)^2 &= R^2 \\ (x-f)^2 + y^2 &= R^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(11)$$

上式から、円 O_1 と O_2 、円 O_2 と O_3 の交点 $A_{1,2}$, $A_{2,3}$ の x 座標は

$$x_{1,2} = -\frac{1}{2}(f - 2\frac{R}{f}\delta)$$

$$x_{2,3} = \frac{1}{2}(f - 2\frac{R}{f}\delta)$$

したがってナイフマークの幅 e_2 は、

$$e_2 = x_{2,3} - x_{1,2} = f - 2\frac{R}{f}\delta \dots\dots\dots(12)$$

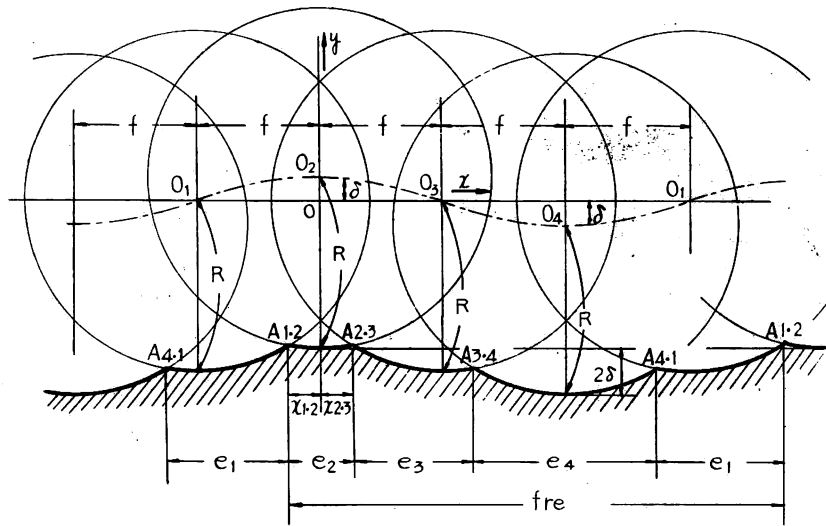


Fig. 2 カッターヘッドの振動とナイフマーク
Vibration of cutter head and the knife marks.

同様にして

$$e_4 = f + 2 \frac{R}{f} \delta \dots\dots\dots (13)$$

が得られる。

式 (10), (12), (13) より Fig. 2 のようなカッターヘッドの δ の振動では、ナイフマークの幅は、

$$f, f - 2 \frac{R}{f} \delta, f, f + 2 \frac{R}{f} \delta$$

の順に配列するが、これは式 (6) において、4 個の刃先の回転半径が $R_1, R - \delta, R, R + \delta$, すなわち回転半径の誤差が $\pm \delta$ のときのナイフマークの配列状態と一致する。そして Fig. 2 の f_{rev} をピッチとする凹凸が一般に回転マーク (Revolution mark) と呼ばれているものである。

数多の切削面の観察結果では、ナイフマークの配列状態から回転マークの類似のものも観察されるが、実際には $f_{rev} = 4 \sim 12 \text{ mm}$ における軸心の偏心は、正常なカッターヘッドの回転ではごく微量と考えられ、Fig. 2 の 2δ は肉眼的には観察し得ず、ただナイフマークの不ぞろいのみが現われるであろうから、それがカッターヘッドの振動に基づくか、刃先回転半径の誤差によるかを解析的に取り扱うことはむずかしい。また、触針法による切削面アラサ断面波形からもカッターヘッドの振動の影響を解析することは困難であった。そこで、次項のナイフマークの幅の測定結果の解析では、簡単に式 (8), (9) から 4 枚の刃先の回転半径誤差を求めることとした。

3. 縁取り研削条件が刃先の仕上げ精度におよぼす影響

縁取り研削による刃先の仕上げ精度は、卓上研削装置の機械的精度のほか、ホーンの種類、ホーンの摺動速度と研削量、カッターヘッドの回転数 (研削速度) などの研削諸条件に影響されることが予想される。本項では、高速度鋼鉋刃および超硬合金鉋刃の縁取り研削を行ない、ホーンの粒度およびカッターヘッドの回転数が刃先のそり精度および切刃線のアラサにおよぼす影響について実験した。

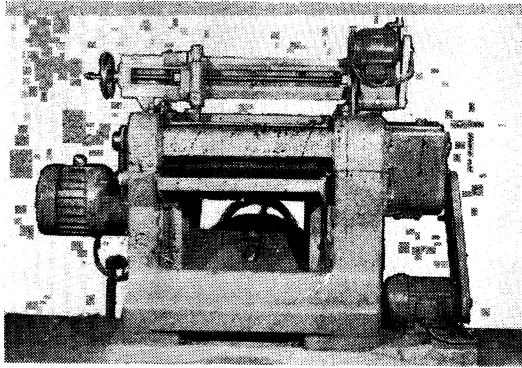


Photo. 2 縁取り研削装置付き実験用プレーナ
Single side planer with jointing equipment
used in the tests.

る)。寸法は長さ 150 mm, 厚 4.5 mm, 幅 40 mm。上記両材質の微小硬度計による測定結果では, SKH₂ では $H_v=670\sim830$, WH₅₀ では 1,200~1,300 である。刃先角は両者とも 40°。

b) 鉋刃のセッティング 各組 4 枚の鉋刃をそれぞれ 1 g 以内の誤差で等重量にそろえ, ダイヤルゲージ付きセッティングゲージを用い, 各刃先の Каттерヘッド 周面からの突出量を 0.1 mm 以下の誤差で Каттерヘッドにセットした。セットせる鉋刃の切削角は両者とも 56°, したがって逃げ角は 16° である。なお, 超硬合金鉋刃では長さが短いため別に長さ 15 cm のチップブレーカを用意し, Каттерヘッドの中央位置にセットした。

c) 鉋刃のグラインディング 鉋刃のグラインディングでは, Photo. 3 のように, 卓上研削装置のグラインダーを用い, 刃止めで鉋刃を刃裏面から一定関係位置で保持し, 砥石を Каттерヘッドに平行なガイドに沿って左右に摺動し, 突出せる刃先を刃表面から削り取る。この操作を各鉋刃について行ない,

セッティングにおける大きな刃先の不ぞろいを修正する。

グラインディングで形成される鉋刃の逃げ角 (α_g) は, Fig. 3 において, O_1 , O_2 を Каттерヘッドおよび砥石の中心, R_g

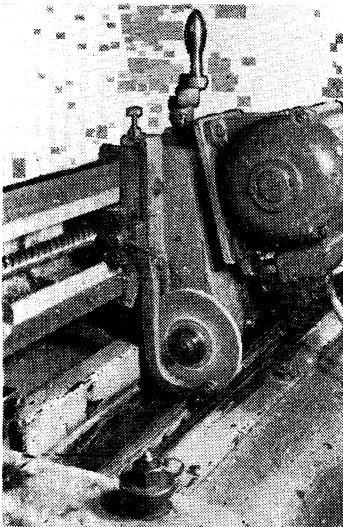


Photo. 3 鉋刃のグラインディング装置
Equipment for grinding knife.

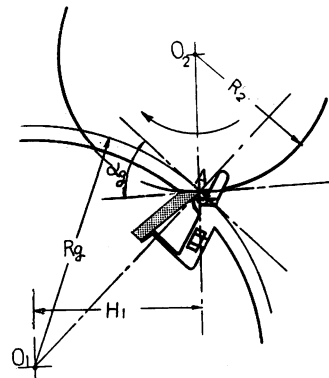


Fig. 3 グラインディングにおける鉋刃と砥石の関係
Relative position between knife and wheel in grinding.

を研削刃先 A の回転半径, H_1 を O_2 と A を結ぶ延長線に対する O_1 の垂直距離とすると,

$$\alpha_g = \sin^{-1} \frac{H_1}{R_g} \dots\dots\dots (14)$$

から計算しうる。実験では砥石の中心軸 O_2 を調節し, $H_1=10\text{mm}$ として $\alpha_g \doteq 9^\circ$ に研削した ($R_g=63.8\text{mm}$)。

砥石は, 高速度鋼鉋刃では, 直径 146 mm, 厚 9.5 mm, 粒度 46, 硬度 K の WA 砥石を, また超硬合金鉋刃では, 直径 150 mm, 厚 9.5 mm, 粒度 120, 結合度 J の G.C 砥石で刃先の直線仕上げを行ない, 次に同寸法で粒度 120, 結合度 K 乾式ボンドの D 砥石を使用した。回転数はいずれも 3,300 r.p.m. (周速は 25 m/sec) である。砥石の研削量はできる限り少なくし, 最後に研削不良や砥石直径の減少による刃先高さの誤差を避けるため, 研削量をごく微量にして仕上げ研削を行なった。

なお, 研削装置の摺動ガイドとカッターヘッドの平行度には, 幅 600 mm に対し中央を基準として両側では 0.02~0.04 mm の狂いを避け得なかったので, その中央幅 10 cm の範囲について実験することとした。この範囲でのグラインディングによる刃先の不ぞろいは $\Delta R_g=0.02\sim 0.07\text{mm}$ であった。

d) 縁取り研削 グラインディングののち Photo. 4 のように, ホーンの砥面を刃先に接触せしめ, カッターヘッドを試験速度で回転せしめつつホーンをガイドに沿って摺動し, グラインディングによる刃先の不ぞろい ΔR_g を縁取りする。

ホーンの種類については簡単な予備実験を行ない, アルミニウムのシャンク (断面 $15\times 15\text{mm}^2$) の砥面にダイヤモンド砥粒を吹付けせるもの, レジノイドボンド・ダイヤモンド砥石層厚 3 mm を接着せるもの, およびメタルボンド・ダイヤモンド砥石層厚 3 mm を接着せるものの 3 種類を使用した。前 2 者では研削中における目こぼれ, あるいは砥面の変形が大きき, 実験には不適当であったので, 後者の M. #200 および #400 を使用することとした。

研削操作は, まず 4 個の刃先のうち最も高い刃先に砥面をかすかに接触せしめ, カッターヘッドを試験条件で回転して十分定常状態に達してのち, ホーンを一定速度 0.6 m/min で数回摺動し, つぎに, 砥面をマイクロゲージにより 5μ だけ下降せしめ (5μ の研削量を与え), ふたたび数回摺動する。この操作を繰り返す, そのたびごとに刃先の縁取り状態を観察して最も低い刃先にわずかに縁取り跡が観察されたときをもって, 調整工程を終わり, 以後はホーンを同一高さのまま, 高速度鋼では 10 回, 超硬合金鉋刃では 30 回摺動して仕上げた。これは, 予備実験の結果, 調整工程ののち, この摺動回数で切削面におけるナイフマークのチラバリがほぼ最小値に達することを確かめたからである。

e) 刃先そろい精度の算定 刃先のそろい精度をカッターヘッドにセットした状態のまま μ 単位で測定することは困難であったので, 式 (8), (9) を用い, そのときのナイフマークの幅から刃先誤差を換算することとした。

研削実験は上述のように兩種鉋刃について, カッターヘッドの回転数とホーンの粒度および番数を変化せしめて縁取りしたが, 各実験条件ごとにグラインディング後, 縁取り研削の調整工程終了後および仕上

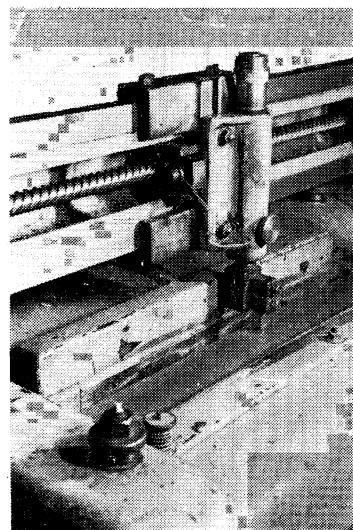


Photo. 4 鉋刃の縁取り研削装置
Equipment for jointing knife.

げ後の各段階ごとに供試材を切削して、そのナイフマークを測定した。

供試材には、カバ挽板乾燥材の幅 15 cm、長さ 1.0 m、厚 2~2.5 cm を用い、ナイフマークは材長および幅の中央部分（鉋刃の幅の中央位置）において、カッターヘッドの 3 回転、すなわち連続せる 12 個を倍率 10 のマイクロマツにより測定し、それぞれの 4 個のナイフマークの幅の平均値を求めた。供試材の送り速度は、カッターヘッドの回転数 1,570, 3,160, 6,120 r.p.m. の順に 25.1, 50.2, 75.2 m/min、したがって、その場合の 1 刃あたり送り量（標準ナイフマークの幅）は、それぞれ 3.8, 4.0 および 3.1 mm である。

f) 切刃線のアラサの測定 縁取り研削が終わってのち、鉋刃をカッターヘッドからはずし、投影器により切刃線を 120 倍に拡大印画し、そのアラサを測定した。

3.2. 実験結果および考察

a) 刃先のそろい精度

兩種鉋刃について、カッターヘッドの回転数およびホーンの粒度、番数別に、縁取り研削の 3 段階におけるナイフマークの配列状態を Fig. 4 に、またこの結果から換算した 4 個の刃先回転半径の誤差を Fig. 5 に示した。同図の換算結果では、グラインディング後の刃先の誤差は 10~75 μ 、縁取り研削調整後は 10~50 μ 、同研削仕上げ後は 5~20 μ である。カッターヘッドの回転数および粒度番数による差異は明らかでないが、これは縁取り研削の前加工としてのグラインディングおよび調整研削条件が一定でないためと考えられ、同図はむしろ刃先誤差が前加工の精度に最も支配されることを示している。もともと縁取

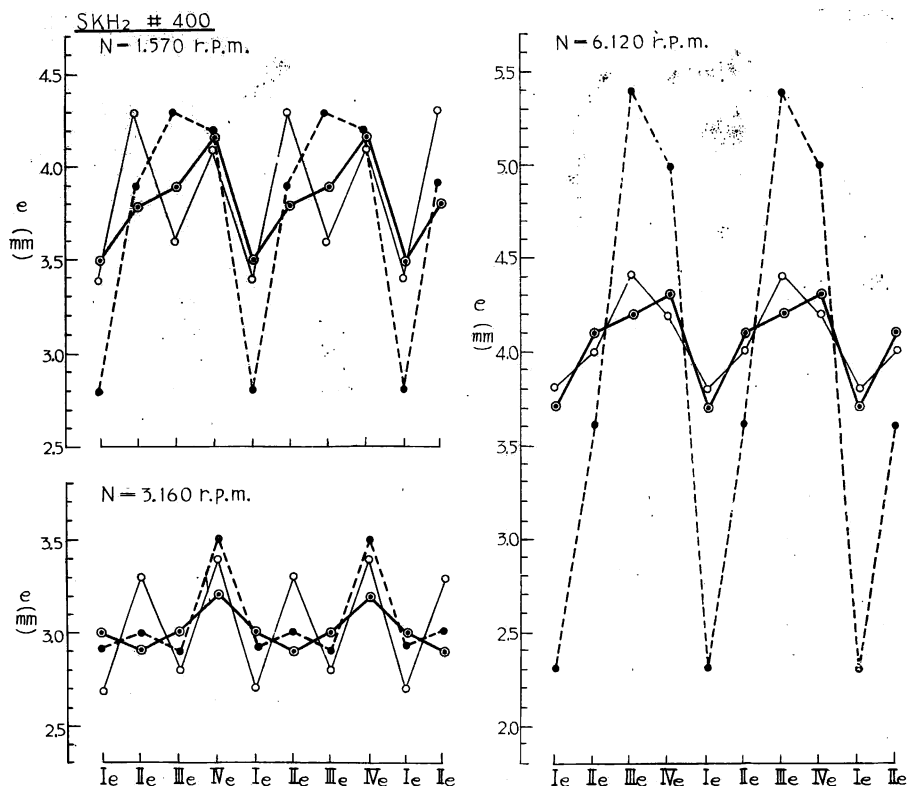


Fig. 4-1

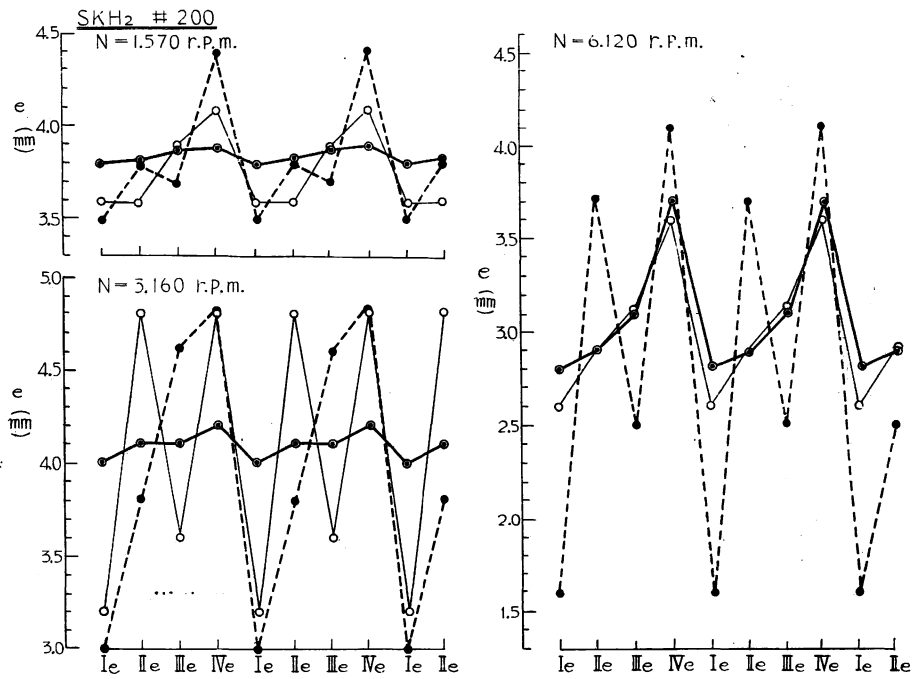


Fig. 4-2

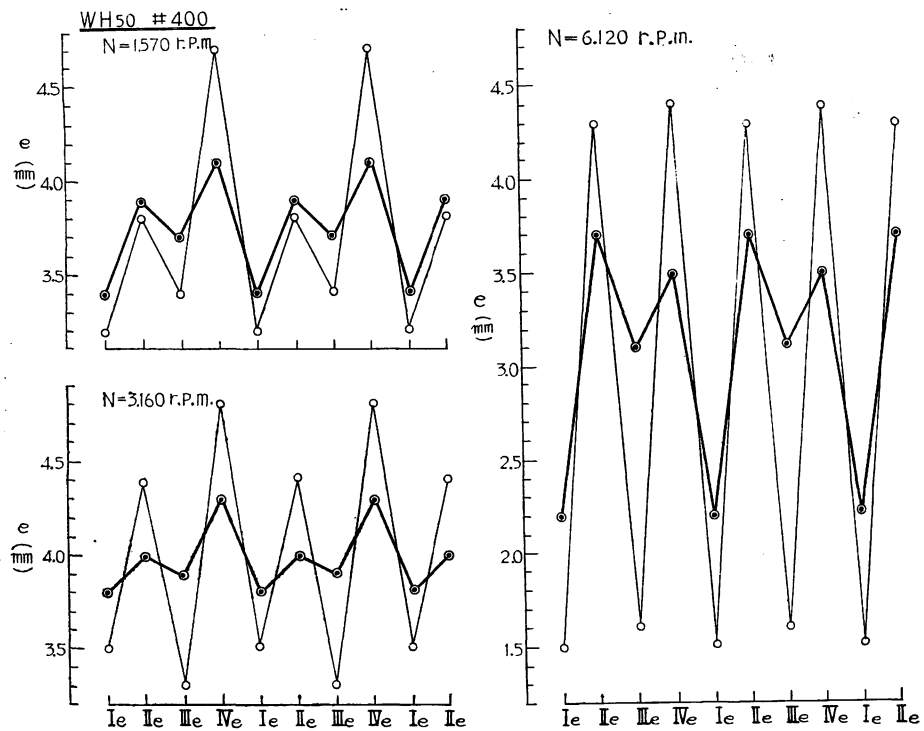


Fig. 4-3

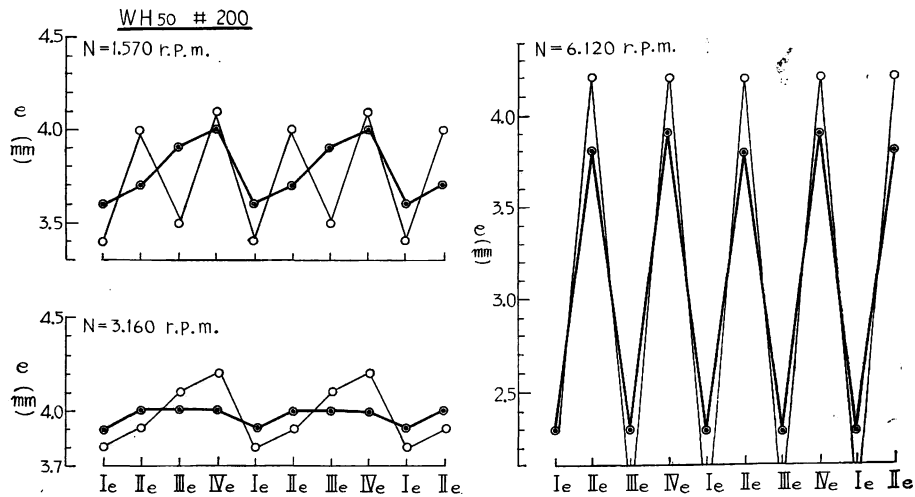


Fig. 4-4

Fig. 4 グライディング後および縁取り研削後における4個のナイフマークの幅 (e) の分布
 Distribution of width of four knife marks (e) after grinding and jointing knife.
 —○— After jointing, —●— After preliminary jointing,●..... After grinding,
 N.....Cutter head speed in r.p.m.
 Ie, IIe, IIIe, IVe.....No. of four knife marks in feed rate per rev. of cutterhead.

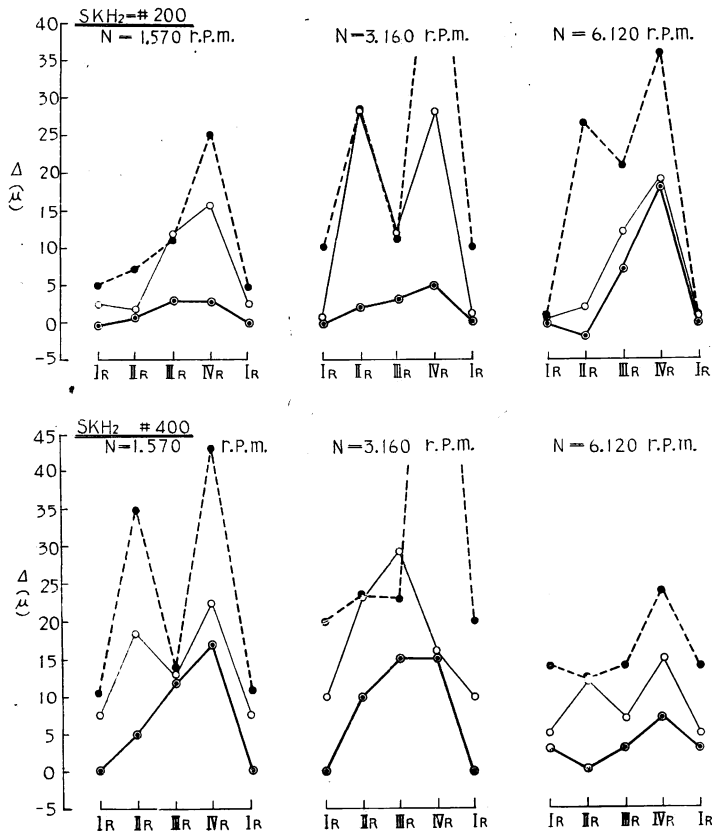


Fig. 5

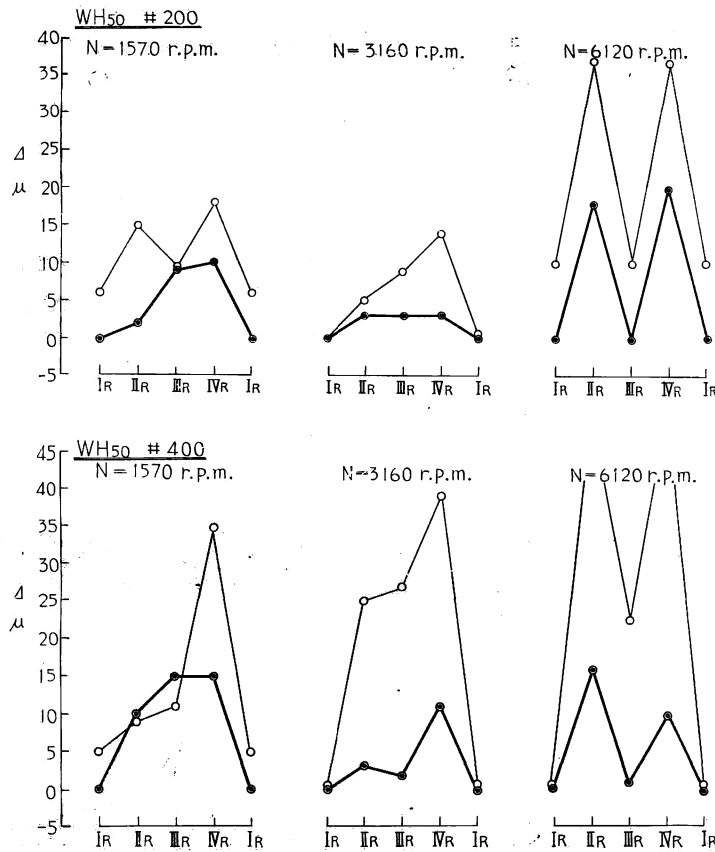


Fig. 5-2

Fig. 5 グラインディング後および縁取り研削後における Δ の分布

Distribution of Δ after grinding and jointing knife.

.....●.....After grinding, —○—After preliminary jointing, —●—After jointing.

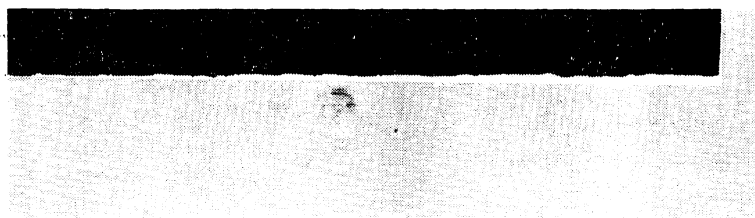
I_R, II_R, III_R, IV_R.....No. of cutting circle.

り研削(ホーニング)の機構は、成形研削には適しない面仕上げ法であるから、前加工における刃先の大きな不ぞろいは修正し得ず、結局刃先のそろい精度はグラインディング工程で決められることがわかる。

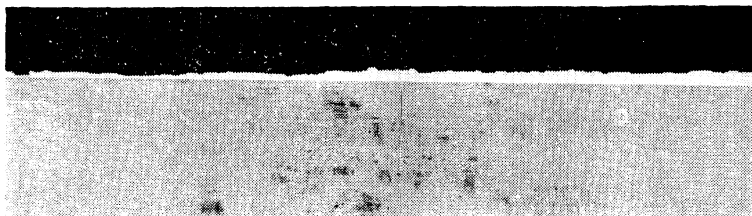
なお、上記の計算結果は、はじめにも述べたようにカッターヘッドに振動がなく、また刃先の材面に対する運動の軌跡を Oblate trochoid でなく正円とみなし、また送り速度も完全に一定として略算したものである。

b) 切刃線のアラサ 縁取り研削せる両種鉋刃の切刃線のアラサを Photo. 5~6 に示した。同写真のように、超硬合金鉋刃は高速度鋼鉋刃に比し切刃線の Chipping が著しく、その程度はカッターヘッド回転数の大なるほど、また #400 より #200 のホーンに著しい。とくに、カッターヘッドの回転数 6,120 r.p.m. において超硬合金鉋刃の Chipping が大きいのは、同鉋刃では刃幅が短く、長さ 600 mm の中央部分に 150 mm の鉋刃およびチップブレーカがセットされているため、高速回転で振れ廻り振動の影響が現われているのではないかと考えられる。

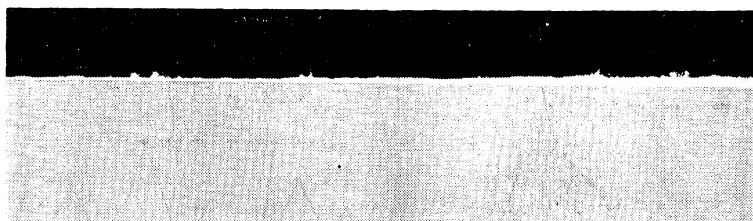
以上の結果から、縁取り研削にメタルボンド・ダイヤモンド砥石のホーンを用いた場合、ホーンの摺動



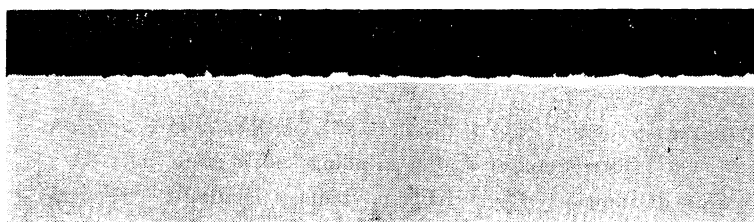
$N=6,120$ r.p.m. G ; #200



$N=3,170$ r.p.m. G ; #200



$N=1,560$ r.p.m. G ; #200



$N=6,120$ r.p.m. G ; #400

Photo. 5 縁取り研削せる高速度鋼鉋刃の切刃

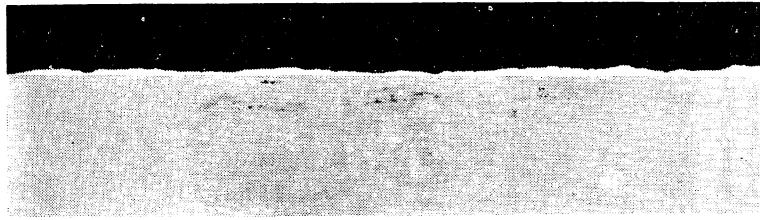
Edges of high speed steel knives jointed.

N : r.p.m. of cutter head in jointing.

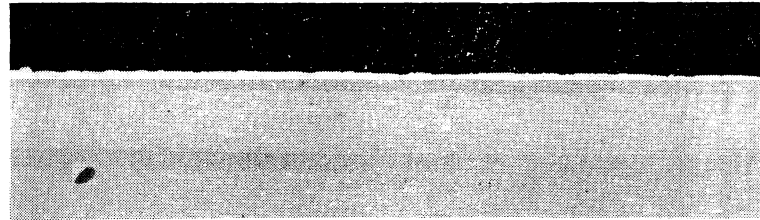
G : Grit number of diamond stone (hone).



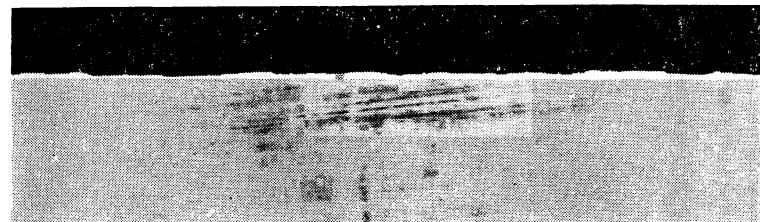
$N=6,120$ r.p.m. G ; #200



$N=3,170$ r.p.m. G; #200



$N=1,560$ r.p.m. G; #200



$N=6,120$ r.p.m. G; #400

Photo. 6 縁取り研削せる超硬合金鉋刃の切刃

Edges of tungsten carbide knives jointed.

N : r.p.m. of cutter head in jointing.

G : Grit number of diamond stone (hone).

速度を 0.6 m/min, 1 回の摺動における切込量を 5μ とすると, 超硬合金鉋刃では #400, 高速度鋼鉋刃では研削能率の立場から #200 が一応の基準とみなしうる。

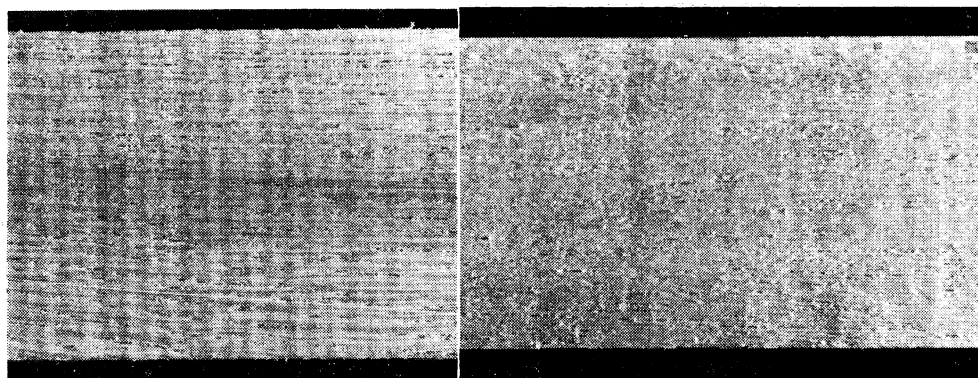
4. 縁取り研削せる鉋刃の切削性能

超硬合金刃物は, 近年各種木工場で広範囲に使用されているが, プレーナ用平鉋刃, とくに縁取り鉋刃の切削性能については実用例⁵⁾⁶⁾が乏しい。本項では, 前記兩種鉋刃の実用切削試験を行ない, 切削面の仕上げ品質および刃物寿命を比較検討した。

4.1. 実験方法

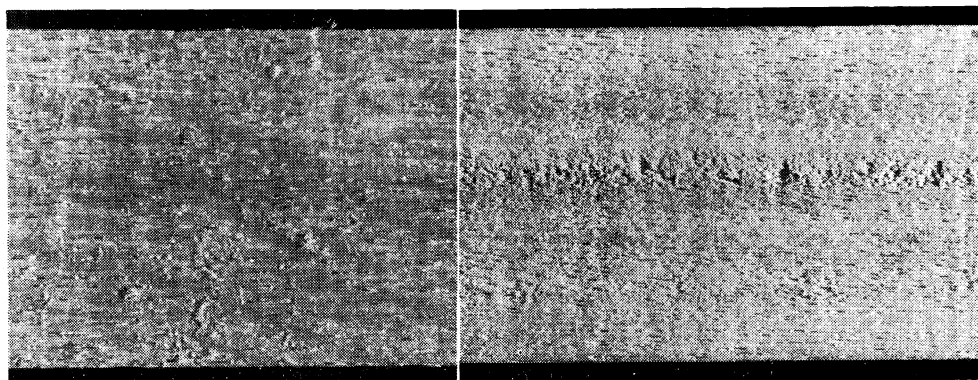
使用機械, 鉋刃は前項に同じ, ランドの幅はいずれの場合も 0.2 mm 以下に仕上げた。

a) 切削面の品質試験 供試材にはウラジロモミ, カラマツ および ミズナラの 挽板乾燥材, 幅 10 cm, 厚 2 cm, 長さ 50 cm のもの各樹種とも 100 枚を用意し, プレーナの送り速度を 25.1 , 50.2 および 75.2 m/min に変化せしめて切削し, 前報⁴⁾での実験方法と同じく 切削面の品等を欠点の発生状態から 3 品等に区分し, 無欠点率および欠点率を測定した。切削面品等区分の 1 例を Photo. 7 に示した。な



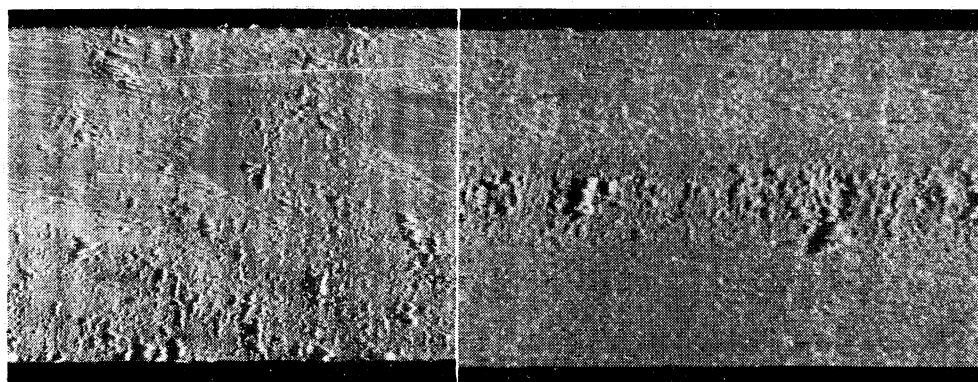
(A)

(A)



(B)

(B)



(C)

(C)

Photo. 7 ミズナラの切削面
Quality of finish in White oak.

Photo. 8 マンガシノロの切削面
Quality of finish in Manggasinoro.

お使用鉋刃 SKH₂ および WH₅₀ では、両者とも切削角 56° と 80° の2種類に変化せしめた。

b) 鉋刃の寿命試験 マンガシノロ挽板乾燥材(幅 4 cm, 厚 2 cm, 長さ 2 m)を連続切削し、その間一定切削材長ごとに上記無欠点率を測定し、切削材長と無欠点率の関係から供試鉋刃の寿命を判定した。供試鉋刃は SKH₂, WH₅₀ の両種とも切削角 56°, またカッターヘッドの回転数 6,120 r.p.m., 送り

速度 25.1 m/min である。マンガシノロ切削面の品等区分の 1 例を Photo. 8 に示した。

4.2. 実験結果および考察

送り速度と無欠点率および欠点率の関係を Table 1, 2 に示した。同表のように、ミズナラでは兩種鉋刃とも送り速度 75 m/min では逆目ぼれの発生が著しく実用的ではないが、50 m/min では無欠点率は 80 % 前後を示し粗削り用として十分実用しうる。ウラジロモミおよびカラマツでは、25~50 m/min では目違いおよび毛羽立ちが、また 75 m/min では逆目ぼれの発生が著しく、とくに超硬合金鉋刃では、いずれの送り速度においても無欠点率はきわめて低く、切れ味が劣る。

マンガシノロの連続切削における超硬合金鉋刃の切削材長と無欠点率の関係を Fig. 6 に示した。同鉋刃では、無欠点率が 10% 以下に低下するまでに削りうる切削材長は約 800 m であるが、高速度鋼鉋刃では約

Table 1. 送り速度 (F) と切削角 (θ) が無欠点率におよぼす影響
Effect of feed speed (F) and cutting angle of knife (θ) on percentage of defect-free pieces.

Materials tested	θ (°) Knife F (m/min)	56°		80°	
		WH ₅₀	SKH ₂	WH ₅₀	SKH ₂
ウラジロモミ Momi fir	25.1	10	28	6	17
	50.2	22	28	3	14
	75.2	10	10	3	10
カラマツ Japanese larch	25.1	7	18	0	11
	50.2	9	20	0	10
	75.2	9	13	0	10
ミズナラ White oak	25.1	80	83	87	86
	50.2	74	84	79	64
	75.2	58	35	50	58

WH₅₀: Tungsten carbide, SKH₂: High speed steel.

Table 2. 送り速度 (F) と切削角 (θ) が欠点率におよぼす影響
Effect of feed speed (F) and cutting angle of knife (θ) on percentage
of serious defective pieces.

Materials tested	θ (°) Knife F (m/min)	56°		80°	
		WH ₅₀	SKH ₂	WH ₅₀	SKH ₂
ウラジロモミ Momi fir	25.1	20	9	24	21
	50.2	24	9	38	19
	75.2	46	17	42	20
カラマツ Japanese larch	25.1	2	10	30	17
	50.2	16	11	37	21
	75.2	47	17	46	23
ミズナラ White oak	25.1	0	2	0	0
	50.2	8	8	0	3
	75.2	28	16	6	8

WH₅₀: Tungsten carbide, SKH₂: High speed steel.

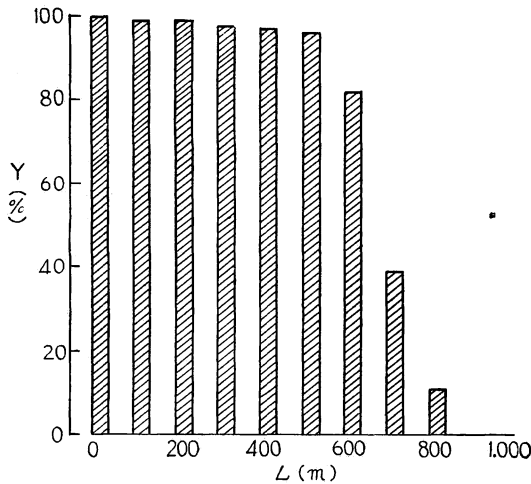


Fig. 6 切削材長 (L) にともなう無欠点率 (Y) の変化
Variation of percentage of defect free pieces (Y)
with increase of linear length of lumber cut (L).
Wood material : Manggasinoro
Knife material : Tungstencarbide

10mにすぎず、縁取り研削せる場合においても超硬合金鉋刃の研摩耗性の著しくすぐれていることを示している。

5. あとがき

4枚刃プレーナについて、高速度鋼鉋刃 (SKH₂) と超硬合金鉋刃 (WH₅₀) の縁取り技術および両種鉋刃の切削性能について実験し、つぎの結果を得た。

(1) 縁取り研削により4枚の有効刃が得られても、各刃先の回転半径に誤差が残ると、たとえ微量であっても切削面のナイフマークの不ぞろいとしてはかなり大きく現われる。この場合の刃先回転半径の誤差とナイフマークの不ぞろいの関係は式 (6) であらわされる。

(2) 縁取り研削では前工程として鉋刃のグラインディングを行なう。グラインディングにおける各刃先回転半径の誤差は 20~70 μ であって、誤差の主要原因は、鉋刃保持の不安定、砥石の研削不良および研削中における砥石直径の減少である。

(3) 縁取り研削における各刃先回転半径の誤差は、グラインディングの精度に支配され 5~20 μ であって、縁取り研削用砥石 (ホーン) には、メタルボンド・ダイヤモンド砥石を使用し高速度鋼鉋刃では粒度 #200、超硬合金鉋刃では #400 を標準とする。とくに超硬合金鉋刃では縁取り研削による刃先のチップングが生じやすいため、ホーンの切込量はごく微小 (実験では送り速度 0.6 m/min に対し 5 μ) とする。

(4) 両種鉋刃とも縁取り研削を行なうことにより、ミズナラでは 50 m/min の送り速度で粗削り作業を行ないうるが、ウラジロモミおよびカラマツでは良仕上げ面が得られない。とくに超硬合金鉋刃は、耐摩耗性は著しくすぐれているが、切れ味が劣る。

文 献

- 1) 森 稔・星 通：プレーナによる木材の面仕上げ (I)，切削面のアラサについて，林試研報，119，(1960)
- 2) WEILL, T.C. : Cemented Tungsten Carbides and Their Application to the Woodworking Field. F.P.J., 8, 6, (1958)
- 3) REYNOLDS, REX V. : Status of Tungsten Carbide in the Woodworking Industry. F.P.J., 8, 5, (1958)
- 4) 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，(1963)
- 5) 森 稔・星 通：超硬合金鉋刃の縁取り研削 (自動鉋盤の高速切削に関する予報)，第12回・日・木・大会研究要旨，(1962)

- 6) 小西千代治・鎌田昭吉・鈴木藤吉：プレーナ切削における超硬鉋刃の実用試験，北海道林業指導所月報，12，136，pp. 2~10，(1963)

Studies on Surfacing of Wood with Planer (Ⅲ).

On the precision of jointing knife.

Minoru MORI and Tôru HOSHI

(Résumé)

Jointing a planer knife is carried out in the head to bring all knife-edges into the same cutting circle so that each knife does uniform cutting as a means of achieving the most efficient planing. But this method is not used extensively in our country, and the technique has not yet been developed sufficiently. Therefore, the authors made studies on the procedure of jointing both high-speed and tungsten carbide knife in an attempt to improve the method.

Effect of precision of jointing knife on regularity of knife mark: If all of the knife-edges are set on the same cutting circle without error, each knife mark made on the cut surface should be quite equal with one another. In practise however, some errors are inevitable, and consequently the knife marks occur more or less irregularly as shown in Photo. 1.

Formation of these irregular knife-marks by four cutting circles with different radii from each other is schematically shown in Fig. 1, and the effect of mutual errors in the radius of each cutting circle ($\Delta_1 \sim \Delta_4$) upon the width of each knife mark ($e_1 \sim e_4$) is presented by Formula (6). This formula is derived on the assumption that the cutting path of knife-edge to the workpiece is circular but not trochoidal, and if this assumption is approved, the values of $\Delta_1 \sim \Delta_4$ in the case of Photo. 1 can be calculated as follows:

A				B			
e_1	e_2	e_3	e_4	e_1	e_2	e_3	e_4
2.6	3.0	2.7	3.9	2.7	3.2	3.0	3.3 ^{mm}
Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_4	Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_4
0	-5	2	21	0	7	7	9 ^{μ}

This result reveals that the minor difference in radius of each cutting circle causes considerable irregularity of knife marks.

Experiments on jointing procedure of knife: The experiments on the jointing procedure of both kinds of knife were carried out on the 600 mm single side planer which had a 127 mm diameter four-knife head and was equipped with a disk type grinding and jointing device (Photo. 2).

The test knives were set in the head as closely as possible by means of a setting stand with a dial gauge. The mutual errors in protrusion of four knife-edges from the circumference of the head were less than 0.1 mm.

After setting, the knives were ground in the head as shown in Photo. 3. The grinding

stone used for high-speed steel knives was W.A., #46, K, and for tungsten carbide knives was D, #200, J.

After grinding, the knives were jointed by a sliding hone while the head was rotating as shown in Photo. 4. The hone used was made from a diamond nib mounted on an aluminum shank. The grits of diamond were #200 and #400, and rotating speed of the head was varied from 1,560 r.p.m. to 6,120 r.p.m. Sliding speed of the hone was about 0.6 m/min.

Test cuttings of lumber were made after grinding, preliminary jointing, and perfect jointing. Here, preliminary jointing means such jointing step as allows the face of the hone to come in touch with the full length of all knife-edges, and after this, the hone went and returned sliding along the knife-edge ten to thirty times till jointing was complete. After cutting, the surface of lumber planed was measured for the width of knife mark ($e_1 \sim e_4$). And then $A_1 \sim A_4$ in Formula (6) were calculated by the same method described above.

The results obtained were as follows :

The irregularity of $e_1 \sim e_4$ after grinding, after preliminary jointing and perfect jointing are illustrated in Fig. 4. The calculated values of $A_1 \sim A_4$ are shown in Fig. 5. The range of $A_1 \sim A_4$ after grinding is $10 \sim 75 \mu$, after preliminary jointing $10 \sim 50 \mu$, and after perfect jointing $5 \sim 20 \mu$.

Roughness of knife edge : After jointing, the knives used in the previous test were examined for roughness of the edge by means of a shadow graph of 120 magnifications.

The results obtained are presented in Photo. 5 & 6, and these photographs indicate that the edge of tungsten carbide knife is liable to cause chipping when it is jointed by the bigger sized diamond grits while the head is rotating at the higher speed.

Cutting efficiency of jointed tungsten carbide knife : Cutting tests of several kinds of wood species were done with both kinds of jointed knife, and the cutting efficiency of tungsten carbide knife was compared with that of high-speed steel knife. Both knives were fitted in the head at the cutting angle of 56° and 80° , the bevel angle was 9° , the width of land was smaller than 0.2 mm. The head speed was constant at 6,100 r.p.m. and feed speed was varied from 25~75 m/min.

The results obtained were as follows :

(1) The effects of feed speed and cutting angle upon the surface quality of lumber finished with both kinds of knife are shown in Table 1 & 2. These results show that tungsten carbide knife produces satisfactory work in surfacing of White oak (*Quercus mongolica*) at a feed speed of 25~50 m/min, whereas it does poorly in surfacing of Momi fir (*Abies homolepis*) and Japanese larch (*Larix leptolepis*) because of developing of both fuzzy and raised grain at low feed speed, and torn grain at high speed.

(2) High-speed steel knife is worn out easily by cutting of Manggasinoro (*Shorea philippinensis*), but tungsten carbide knife resists wear by over 50 times that of high-speed steel.

Thus, jointed tungsten carbide knife last longer in planing lumber, but the quality of finish is not improved over that produced by high-speed steel knife. These results reveal that the tungsten carbide knife needs slightest land at the edge.