

# 極薄外周刃ブレードによる研削切断において ブレードガイドが切断精度に与える影響

水野雅裕\*1, 井山俊郎\*1, 池田典亮\*1, 森 由喜男\*2, 和嶋 直\*2

Effect of blade guide on cutoff accuracy in cutoff grinding with very-thin OD-blade

Masahiro MIZUNO, Toshirou IYAMA, Noriaki IKEDA, Yukio MORI and Naoshi WAJIMA

電子基板材料のスライシング加工やダイシング加工における切断しろは狭くなる一方である。その厳しい要求に応えるには極薄外周刃ブレードの使用が不可欠であるが、単にそれだけでは不十分である。極薄ブレードは曲げ剛性が低いため、大きな切れ曲がりを生じやすいからである。極薄ブレードを用いて切れ曲がりの少ない高精度な研削切断を実現するため、我々はブレードガイドを用いた研削切断を試みた。厚さ 0.1mm のオールブレードタイプの電鍍ダイヤモンドブレードにセラミックス製のブレードガイドを装着し、厚さ 2mm のアルチックを工作物として切断実験を行った結果、ブレードガイドにはブレードのたわみを抑制する効果があることがわかった。

Key words : OD-blade, slicing, dicing, cutoff grinding, cutoff accuracy, blade guide, AlTiC

## 1. 緒言

外周刃ブレード(以下、単にブレードと呼ぶ)による研削切断は、パターンニングされた電子基板から電子部品を高能率に切り出すのに適した切断方法である。スライシングマシンやダイシングマシンの性能が著しく向上し、さらに高精度の薄形ブレードが各メーカーから供給されるようになった現在、微細で高精度な切断加工が比較的容易に行えるようになってきている。その一方で、急速に電子部品の微細化が進み、切断しろはますます狭くなる傾向にある。この厳しい要求に応えるには極薄ブレードの使用が不可欠であるが、単にそれだけでは不十分である。刃厚の3乗に比例してブレードの曲げ剛性が低下し<sup>1)</sup>、刃先の偏摩耗<sup>2)</sup>などに起因した刃厚方向の研削抵抗分力によって大きな切れ曲がりを生じるからである。こうした切れ曲がりを抑制することを目的として様々な方法が試みられている<sup>3)4)5)</sup>。

本論文では、極薄ブレードを用いて切れ曲がりの少ない高精度な研削切断を実現するため、ブレードガイドを用いた研削切断を試みる。なお、ブレードガイドを用いた切断方法はバンドソーや丸のご盤などではよく見られるが、これを外周刃ブレードによる研削切断に適用した例は見当たらない。

極薄ブレードを用いた研削切断にブレードガイドを適用する場合、ブレードにフィットした精密なガイドを作製する必要がある。また、ブレードに対するブレードガイドのアライメント調整も重要である。こうした課題に対し、本論文では、実機上で、極薄ブレード自身によってガイド部材にスリット加工を行い、それをそのままアライメント調整無しでブレードガイドとして使用する方法を提案する。こうして作製したブレードガイド

ドを用いてアルチックの切断実験を行い、ブレードガイドが切断精度に与える影響を明らかにする。

## 2. 実験装置の概要

実験装置の概要を図1に示す。本研究で使用したスライサーは小林工業(株)製の高精度小形スライサー(UPAC-10A)である。主軸はエアスピンドルであり、最高回転数は 10,000rpm である。また、三軸方向の最小送り量はいずれも 1 $\mu$ m である。切断実験は、このスライサーにブレードガイドスライド機構を組み込んで行った。

ここでスライサーの機械座標系を次のように定義しておく。x軸はテーブル送り方向の座標軸であり、工作物送り方向を正とする。y軸は主軸方向の座標軸であり、オペレータ側を正とする。z軸はテーブル面に垂直な座標軸であり、下向きを正とする。

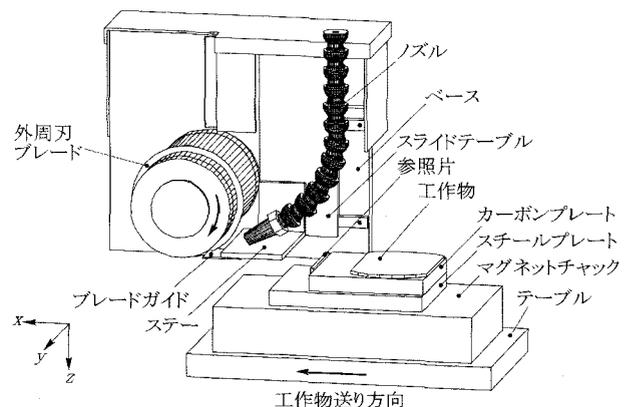


図1 実験装置の概要

\*1 岩手大学工学部:〒020-8551 盛岡市上田 4-3-5

\*2 宮城県産業技術総合センター:〒981-3206 仙台市泉区明通 2-2

<学会受付日:2002年3月18日>

表1 実験条件

外周刃ブレード	SD1000R5PW-S (旭ダイヤモンド工業(株)) サイズ:D 73 mm×T 0.1 mm×H 40 mm
フランジ径	65 mm
工作物	アルチック サイズ:T 2 mm×L 50 mm
切込み深さ	3 mm
ホイール周速	2300 m/min
工作物送り速度	80 mm/min
切断モード	ダウンカット
ブレードガイド	アルミナセラミックス サイズ:T 0.85 mm
研削液	クーラント C (㈱マルトー) 水道水で 50 倍に希釈

ブレードガイドを  $x$  方向にスライドさせるスライド機構のベースプレートは、主軸ハウジングにボルトで固定されている。スライドテーブルは、平行に配置した二本のリニアボールベアリング、リード 1mm のボールねじ、マイクロステップ駆動(ステップ角  $0.18^\circ$  を使用)のステッピングモータにより  $x$  方向に滑らかにスライド(1 ステップの送り量は計算上  $0.5 \mu\text{m}$ )させることができるようになっている。このスライド機構により、極薄ブレード自身によるブレードガイド部材へのスリット加工と、ブレードに対するブレードガイドの着脱が行える。

### 3. 実験方法および実験条件

実験条件を表1に、ブレード周りの詳細を図2に示す。使用したブレードは旭ダイヤモンド工業(株)製の電鍍ダイヤモンドブレード(オールブレードタイプ)で、その厚さは  $0.1\text{mm}$  である。フランジからのブレード突き出し量は  $4\text{mm}$  とした。一般的にフランジからのブレード突き出し量はブレード厚さの 20 倍以下にするが、本実験ではブレードガイドが切断精度に与える影響を明らかにするため敢えて 40 倍とした。

工作物はアルチックで、厚さは  $2\text{mm}$ 、切断方向の長さは  $50\text{mm}$  である。これをカーボン製のスライス台に熱可塑性接着剤(㈱マルトー製、PMC 接着ワックス)で接着し、さらにそれをスチールプレートに接着してスライサー上のマグネットチャックに固定した。

ガイド部分の作製、すなわちガイド部材へのスリット加工は、次のようにして行った。

- ① 切断実験に使用するブレードをスライサー主軸に取り付け、バランス(シグマ電子工業(株)製、SB-7001S)を用いて十分に主軸の回転バランスを調整する。
- ② ブレードをドレッシングするため、長さ  $90\text{mm}$  のスティック砥石(WA400)に対し、切断実験時と同じ加工条件(切込み深さ  $3\text{mm}$ )で溝加工を2回行う。
- ③ 厚さ  $0.85\text{mm}$  のアルミナセラミックス製のブレードガイド部材を、上記熱可塑性接着剤を用いてステーに接着する。
- ④ 切断実験時にブレードガイド部材の下面と工作物上面の  $z$  方向の間隔が  $0.3\text{mm}$  となるように位置を調整して、ステーをスライドテーブルに固定する。
- ⑤ ブレードを切断実験時と同じ回転数で回転させ、ブレードガイドスライド機構を用いてガイド部材をブレード外周

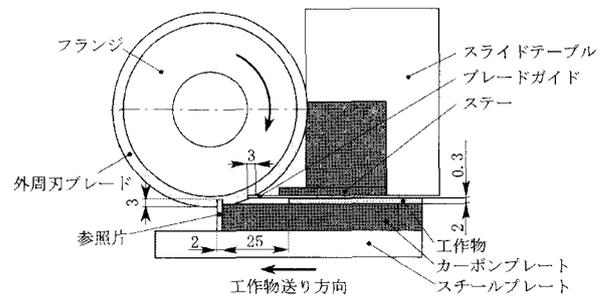


図2 ブレード周りの詳細

に接触させる(このときの  $x$  方向のガイド位置を  $X_G = 0\text{mm}$  とする)。

- ⑥ ガイド部材を  $1.5\text{mm}/\text{min}$  の極低速で  $X_G = 3.5\text{mm}$  の位置まで送ることでガイド部材にスリット加工を行う(スリット加工によって創成された面を、以下ではガイド面と呼ぶ)。送り速度を極低速にするのは、スリット加工中にブレードができるだけたわまないようにするためである。

実験では、“ガイド有り”のときのガイド位置を  $X_G = 3.5\text{mm}$  ではなく  $X_G = 3.0\text{mm}$  とし、ブレード外周とガイドとの間にわずかな隙間を与えた。これは研削点への研削液の供給がブレードガイドによって極端に妨げられないようにするためである。一方、“ガイド無し”のときのガイド位置は  $X_G = -8.0\text{mm}$  とした。

ところで、ブレードの切れ味や刃先形状は、切断実験中に徐々に変化する。そのため、例えば、“ガイド無し”と“ガイド有り”の切断実験を 10 回ずつ別々に行った場合、実験結果にブレードの切れ味や刃先形状の変化の影響が強く出る可能性がある。そこで本実験では“ガイド無し”と“ガイド有り”の切断を交互に合計 20 回行って両者の切断精度を比較することにした。また、切断実験では図2に示すように工作物から  $x$  軸正方向に十分離れた位置に幅  $2\text{mm}$  のアルチック製の参照片を配置し、毎回の切断の直前に参照片に対して溝加工を行って測定の際の基準(以下、参照溝と呼ぶ)とした。

切断実験終了後、スライサーの主軸ハウジングに 1000 倍のモニタマイクロSCOPE(㈱キーエンス製、VH-5900)を固定し、これと、スライサーの  $xy$  軸送りに連動したデジタルスケールを用いて切断溝上部エッジの  $xy$  平面における形状と参照溝上部エッジの  $y$  座標を測定した。切断溝上部エッジの形状測定は  $x$  方向に  $5\text{mm}$  間隔で行った。また、切断溝上部エッジに発生したチップングの大きさも測定した。さらに、ブレードガイドをステーから取り外してスライサーのテーブル上に置き、ガイド面上部エッジと下部エッジの  $xy$  平面における形状も測定した。

### 4. 実験結果

図3は、切断溝上部エッジの  $xy$  平面における形状を測定した結果の一例である。図の左側が切断開始側である( $x$  座標の正方向が図1とは逆であることに注意)。図にはこの切断溝に対応する参照溝上部エッジの  $y$  座標(以下、データムと呼ぶ)を二点鎖線で示している。この切断溝の場合、切断開始直後に切断軌道が  $y$  軸負側に  $10 \mu\text{m}$  程度偏位し、その後、

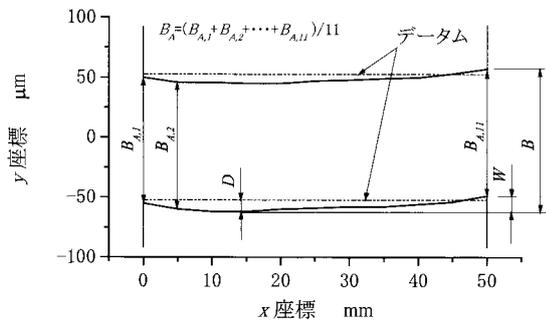


図3 切断溝上部エッジの形状測定結果の一例

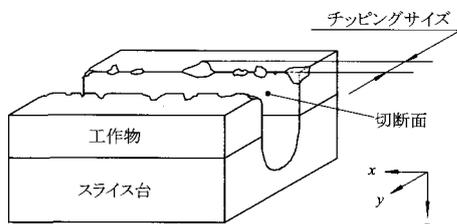


図4 チッピングサイズの評価

偏位が徐々に減少しているのがわかる。

“ガイド無し”と“ガイド有り”の切断精度を数値的に比較するため、以下に定義する評価パラメータを導入する。

最大偏位  $D$  :

切断面上部エッジの、データムからの最大偏位量を  $y$  軸正側と負側の切断面に対して評価したときの大きい方の値。

うねり幅  $W$  :

切断面上部エッジのうねりの幅を  $y$  軸正側と負側の切断面に対して評価したときの大きい方の値。

平均切断溝幅  $B_A$  :

切断面上部エッジにおける切断溝幅を、 $x$  方向の各測定位置において求めて平均した値。

切断幅  $B$  :

$y$  軸正側と負側の切断面上部エッジを  $x$  軸に平行な2直線で挟んだときの二直線の間隔。

なお、これらの評価パラメータの定義を図3に図示する。

また、スライシング加工やダイシング加工では、上記評価パラメータに加えて切断面上部エッジに生じるチップングの大きさも重要である。そこで次の評価パラメータを導入する。

最大チップングサイズ  $C$  :

チップングの  $y$  方向の幅をチップングサイズとし、 $y$  軸正側と負側の切断面上部エッジにおけるチップングサイズの最大値(図4参照)。

図5は切断回数に伴う最大偏位  $D$  とうねり幅  $W$  の変化をプロットしたものである。奇数の切断番号が“ガイド無し”の切断であり、偶数の切断番号が“ガイド有り”の切断である。“ガイド有り”の切断では、 $D$  と  $W$  の値が明らかに小さくなっている。また、“ガイド無し”の切断では、これらの値は切断のたびに大き

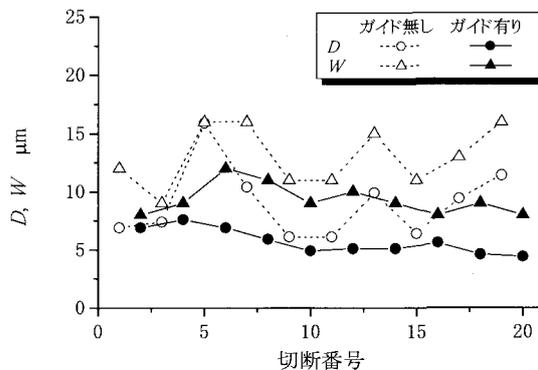


図5 切断回数に伴う  $D$  と  $W$  の変化

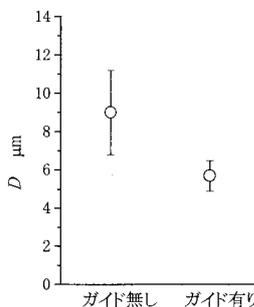


図6  $D$  の比較

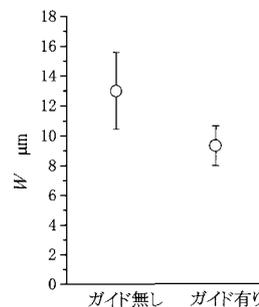


図7  $W$  の比較

く変動しているのに対し、“ガイド有り”の切断では変動は小さい。さらに、“ガイド有り”の切断では、これらの値は切断実験開始直後に増加傾向を示しているが、その後、減少傾向に転じている。減少傾向の理由については後で考察する。 $D$  と  $W$  の平均値を“ガイド無し”の場合と“ガイド有り”の場合について算出し、それぞれに95%信頼区間を付して示したのが図6と図7である。“ガイド無し”の場合、 $D$  は  $9.0 \pm 2.2 \mu\text{m}$  であるのに対し、“ガイド有り”の場合は  $5.7 \pm 0.8 \mu\text{m}$  である。以上の結果から、ブレードガイドを使用することでブレードのたわみが抑制され、より平坦な切断面が安定して得られることがわかった。

図8は切断回数に伴う平均切断溝幅  $B_A$  と切断幅  $B$  の変化をプロットしたものである。 $B_A$  に関しては、“ガイド無し”の場合と“ガイド有り”の場合の差は小さく、いずれの場合も変動が小さい。今回使用したブレードの厚さは  $100 \pm 5 \mu\text{m}$  であるから、 $B_A$  の値はガイドの有無には関係なく、ブレードの厚さにほぼ等しくなるものと考えられる。切断しろに対しては  $B_A$  よりも切断幅  $B$  の方が重要である。図8は、ガイドを用いることで  $B$  が小さくなることを示している。“ガイド有り”の場合の  $B$  の変化も  $D$  や  $W$  の変化と同様に切断実験開始直後に増加傾向を示し、その後、減少傾向に転じている。 $B_A$  と  $B$  の平均値およびそれらの95%信頼区間を示したのが図9と図10である。図10において95%信頼区間の幅が“ガイド無し”と“ガイド有り”で同程度に示されているが、“ガイド有り”の場合は単調減少が大きいことを示すものであり、変動が大きいことを示すものではない。以

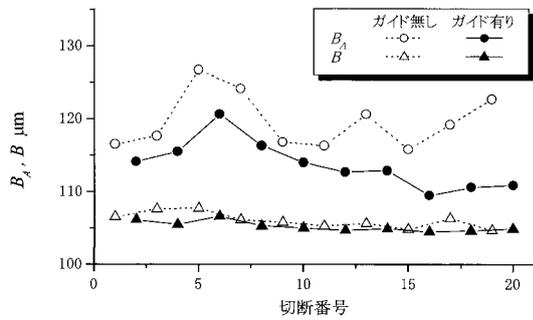


図8 切断回数に伴う  $B_A$  と  $B$  の変化

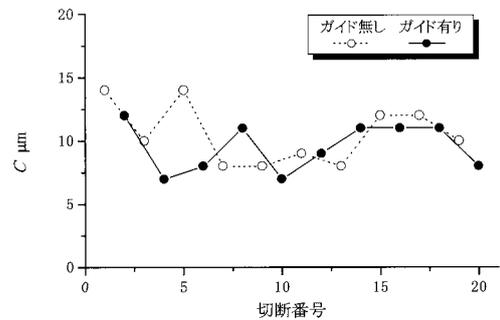


図11 切断回数に伴う  $C$  の変化

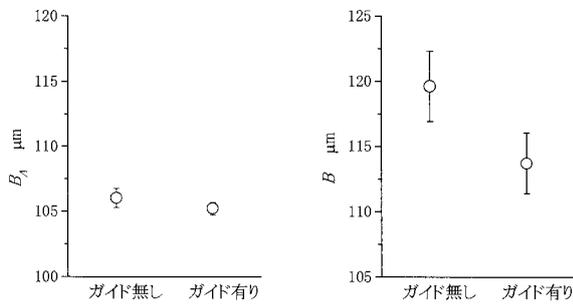


図9  $B_A$  の比較

図10  $B$  の比較

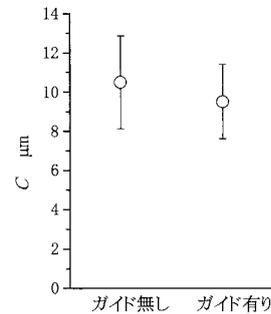


図12  $C$  の比較

上の結果から、ブレードガイドを用いることで、より狭い切断しるに対応できることがわかった。

図11は切断回数に伴う最大チップサイズ  $C$  の変化をプロットしたものである。最大チップサイズの平均値とその95%信頼区間を示したのが図12である。“ガイド無し”と“ガイド有り”で最大チップサイズに大きな差異は見られない。本実験では、ブレードのたわみよりもむしろブレードの切れ味の方がチップサイズに強く影響を与えたと考えられる。

図13は、ガイド面上部エッジと下部エッジの  $xy$  平面における形状を示したものである。なお、上部エッジに関してはブレードガイド端部から 2mm の範囲で、下部エッジに関してはブレードガイド端部から 1mm の範囲で測定を行った。ガイド上面におけるスリット幅は約 109  $\mu\text{m}$ 、下面におけるスリット幅はそれよりも狭く約 106  $\mu\text{m}$  であった。すなわち、 $yz$  断面において、ブレード側面とガイド面との間にはくさび状の隙間が存在することになる。

こうした、くさび状の隙間が生じる理由を次のように考えた。ブレードガイド部材にスリット加工を行った直後は、スリット幅はガイド上面と下面においてほぼ同じであり、ブレード側面とガイド面との隙間はくさび状ではない。しかし、ブレードにはブレード自身の反りやフランジ面の振れに起因した  $y$  方向の振れがわずかにあるため、切断中にブレード側面がガイド面に接触し、ガイド面は徐々に摩耗してスリット幅が広がっていく。その際、図14のように、ブレードの、工作物に近い位置での  $y$  方向の振れは工作物によって強く拘束されるが、工作物から離れるほどその拘束の影響が少なくなるため、下方よりも上方に

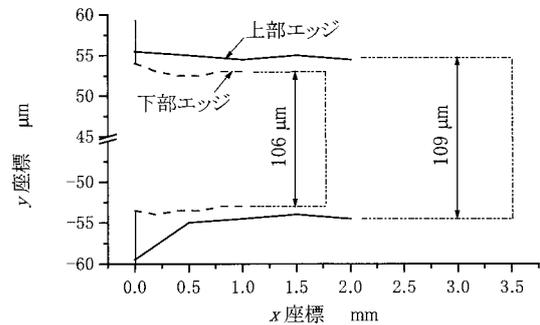


図13 ガイド面上部エッジと下部エッジの形状

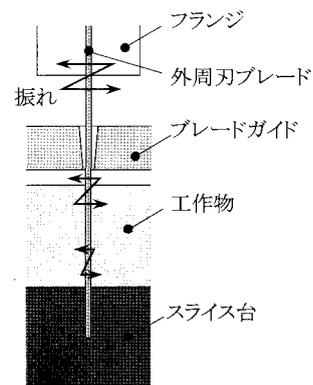


図14 くさび状の隙間ができるメカニズム

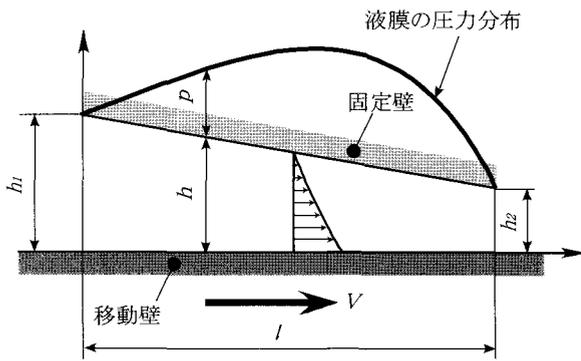


図15 くさび状隙間内の流れ

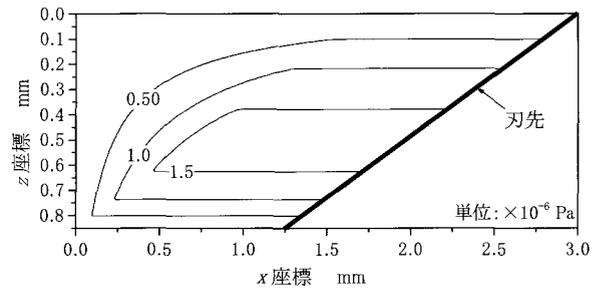


図17  $\epsilon = 0 \mu\text{m}$  のときの動圧

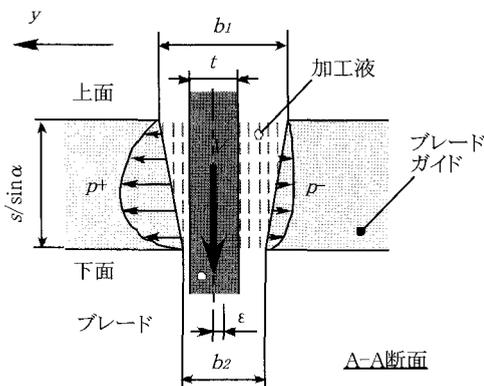
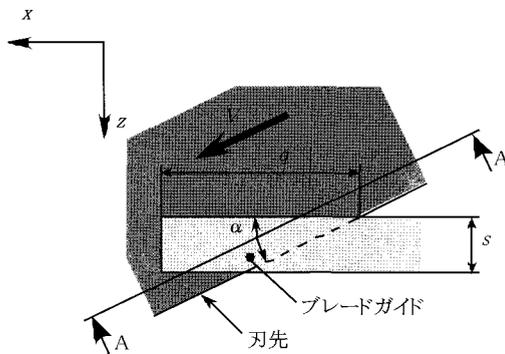
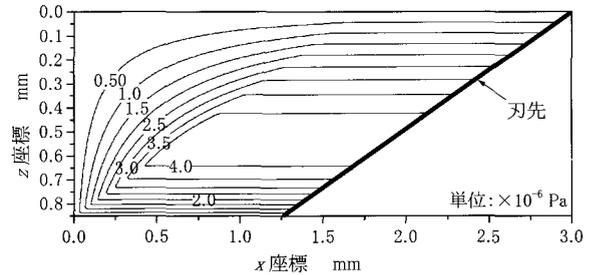
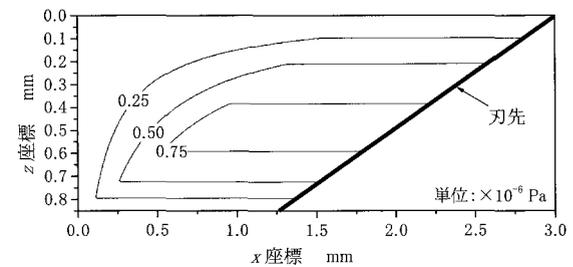


図16 解析モデル



(a) y 軸正側における動圧  $p^+$



(b) y 軸負側における動圧  $p^-$

図18  $\epsilon = 1 \mu\text{m}$  のときの動圧

においてスリット幅が広くなるものと考えられる。"ガイド有り"の実験結果で、 $D, W, B$  が切斷回数の増加に伴って減少傾向を示したのは、ブレード側面とガイド面の隙間が変化し、それによってそこに発生する研削液の動圧が変化したためではないかと考えられる。そこで、隙間形状と動圧の関係を簡単な解析を行って調べることにした。

5. ブレード側面とガイド面の隙間に生じる動圧の概算

ブレードガイドがブレードのたわみを拘束するメカニズムとして、ブレード側面とガイド面の機械的接触およびブレード側面とガイド面との隙間に流入する加工液の動圧の二つの効果が考えられる。ここでは、後者の影響についてだけ考える。

図15のようなくさび状の隙間  $h$  があって、移動壁が  $V$  の速

度で動くとき、これら二面間の流体の流れによって上方の固定壁には次式で与えられる圧力  $p$  が作用する<sup>6)</sup>。

$$p = \frac{6\mu V l (h_1 - h)(h - h_2)}{h_1^2 - h_2^2} \frac{1}{h^2} \tag{1}$$

ここで  $\mu$  は流体の粘度であり、 $l$  は固定壁の幅である。また、 $h_1$  と  $h_2$  は固定壁の端部における隙間である。なお、この式の導出にあたり、以下の仮定がなされている。

- ① 流体の流れは層流である。
- ② 移動壁の壁面に対して垂直方向にのみ流体の速度変化がある。
- ③ 液膜の厚さ方向で圧力が一定である。

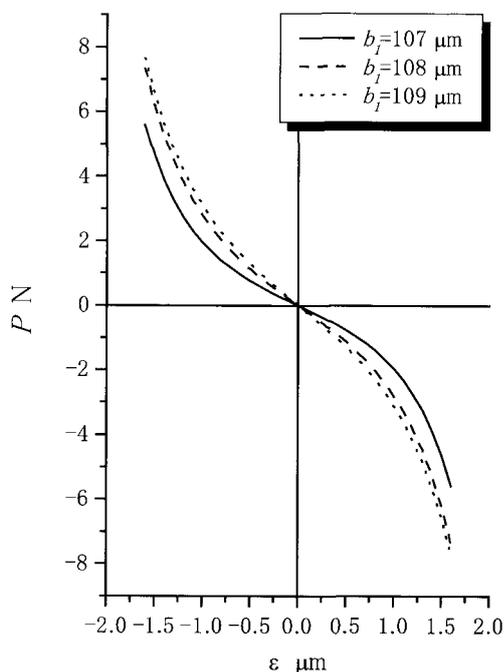


図 19  $\epsilon$  と  $P$  の関係

- ④ 図15において紙面に垂直な方向への流体の流れがない。  
 ⑤  $h = h_1$  と  $h = h_2$  の位置において  $p = 0$  である。  
 ⑥ ブレード側面の凹凸は極めて小さい。

ブレード側面とガイド面の間における研削液の流れに対してもこれらの仮定を大胆に適用し、そこに発生する動圧を概算することにする。

解析モデルを図16に示す。解析をさらに簡単にするため、ブレード自身の反りやフランジ面の  $y$  方向の振れが無いものとする。また、ブレードにたわみがないとき、ガイド面はブレード中央面に対して両側に対称に位置しているものとする。ここで、ガイド面は  $z$  方向に対して一定の傾きを持っており、ガイド上面と下面におけるスリット幅をそれぞれ、 $b_1$ 、 $b_2$  とする。さらに、ブレードがたわんで  $y$  方向に変位する際に生じるブレードのたわみ角を無視する。

図17は、ブレードの厚さ  $t$  を  $100 \mu\text{m}$ 、 $b_1 = 109 \mu\text{m}$ 、 $b_2 = 106 \mu\text{m}$ 、 $V = 2300 \text{m/min}$ 、 $\mu = 1.002 \times 10^{-3} \text{Pa}\cdot\text{s}$  とし、ガイド位置でのブレードのたわみ量  $\epsilon$  をゼロとしたときにガイド部においてブレード側面に作用する動圧の分布を表したものである。ガイドの厚さの中央よりもわずかに下方において動圧が最大になることがわかる。

図17の計算条件で  $\epsilon$  だけを変えて  $\epsilon = 1 \mu\text{m}$  とし、 $y$  軸正側と負側のブレード側面に作用する動圧の分布を示したのが図18である。ブレードが  $y$  軸正側にたわみを生じると、 $y$  軸正側のブレード側面に作用する動圧が上昇し、逆に  $y$  軸負側のブレード側面に作用する動圧が減少する。したがって、 $p^+$  と  $p^-$  の差が、たわみを抑制しようとする力としてブレードに作用

することになる。

ガイド位置でのブレードのたわみ量  $\epsilon$  を横軸にとり、動圧によってブレードに作用する力  $P$  を縦軸にとって示したのが図19である。ここでは図17の計算条件のうち  $b_1$  と  $\epsilon$  だけを変化させた。 $b_1$  が大きいほど  $\epsilon = 0 \mu\text{m}$  付近でのグラフの傾きが大きくなるのがわかる。これはブレードの両側にあるガイド面の傾きが  $z$  方向に対して大きくなるほどブレードのたわみが強く抑制されることを示している。したがって、“ガイド有り”の実験結果で、 $D$ 、 $W$ 、 $B$  が切断回数の増加に伴って減少傾向を示したのは、切断回数の増加に伴ってガイド面上部が摩耗し、 $z$  方向に対するガイド面の傾きが大きくなったためではないかと考えられる。

## 6. 結言

極薄ブレードを用いて切れ曲がりの少ない高精度な研削切断を実現するため、本論文ではブレードガイドを用いて研削切断する方法を試みた。外周刃ブレード自身によってガイド部材にスリット加工を行い、それをそのままアライメント調整無しでブレードガイドとして使用する方法を提案し、その方法で作製したブレードガイドを用いてアルチックの切断実験を行った。得られた結果を要約すると以下の通りである。

- (1) ブレードガイドを用いることでブレードのたわみが抑制され、切断軌道の偏位が安定して低減することがわかった。
- (2) ブレードガイドを用いることで切断幅が安定して低減することがわかった。
- (3) ブレードガイドを用いた場合、切断回数の増加に伴って切断軌道の偏位や切断幅が減少した。
- (4) チッピングサイズに対してブレードガイドはほとんど影響を与えないことがわかった。
- (5) ブレードガイドがブレードのたわみを抑制する主な理由として、ブレード側面とガイド面間のくさび状の隙間に流入する研削液の動圧が考えられる。

本研究は平成 13 年度文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C)、課題番号 12650106)の助成を受けて行ったものである。また、本研究を遂行するにあたり、岩手大学工学部技官・三船英伸氏の協力を得た。ここに感謝の意を表する。

## 7. 参考文献

- 1) 水野雅裕, 井山俊郎, 四ノ宮清之, 森由喜男: 外周刃ブレードの刃先コンプライアンスに与える遠心力の影響, 日本機械学会論文集(C編), 65, 640, (2000)4909.
- 2) 庄司克雄, 水野雅裕: 薄形外周刃砥石による精密研削切断に関する研究(第2報) — 砥石の曲げ変形について, 精密工学会誌, 55, 7, (1989)1886.
- 3) 畷田道雄, 石川憲一, 諏訪部仁: 振動外周刃切断におけるセラミックス( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC)の加工特性に関する研究, 砥粒加工学会誌, 44, 10, (2000)442.
- 4) 椿健悟, 水野雅裕, 井山俊郎, 吉田宏: 研削液による外周刃ブレードのたわみ制御(制御パラメータがチッピングに与える影響), 1996年度精密工学会東北支部盛岡地方講演会講演論文集, (1996)87.
- 5) 小林恵司, 高木純一郎, 劉猛: 薄形外周刃砥石によるスライシングの高精度化に関する研究 — 静圧振れ止めの試み, 2000年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2000)244.
- 6) 例えば 富田幸雄: 水力学, 実教出版, (1982).