

# 極小径 PCD エンドミルによる硬脆材料の微細加工

京都工芸繊維大学 ○川端 千加良, 中野 剛嗣, ◎太田 稔, 江頭 快, 山口 桂司

## 要 旨

硬脆材料の微細切削加工では、加工精度や工具寿命における課題が多く存在するが、これらの課題に対し、極小径のPCDエンドミルを用いた研究例は数少ない。そこで、直径0.1 mmのPCDエンドミルを用い、アルミナに対して微細溝加工を行った。多成分切削動力計を用い切削抵抗をリアルタイムで記録すると同時に、レーザ顕微鏡による観察測定から、切削距離と工具摩耗の関係および加工精度への影響を明らかにしたので報告する。

## 1. 緒言

近年、医療分野においては耐摩耗性かつ耐薬品性に優れているセラミックス材料を用いた製品開発が進められている。また、患者にかかる負担を軽減するため、医療機器を小型化する動きがある。それらの製品開発においては、微細かつ複雑な形状の加工技術が求められており、極小径のエンドミルによる微細切削加工のニーズが増えている。また、PCDエンドミルが開発され、超硬合金への応用研究がみられる。しかしながら、その他の硬脆材料への研究例は少なく、加工特性は未だ不明な点も多い。そこで本研究では、高能率で品質の高い微細加工の実現のため、極小径PCDエンドミルを用いた硬脆材料への微細切削加工における加工特性を明らかにすることを目的とし、切削抵抗および加工精度について検討を行った。アルミナに対する微細切削加工において、切削距離が切削抵抗や加工精度に及ぼす影響について検討した。

## 2. 実験概要と実験装置

実験ではアルミナに対して溝加工を行い、各条件での加工後にレーザ顕微鏡(VK-X200, KEYENCE製)を用い、工具の観察測定を行った。Fig. 1 に実験装置の外観を示す。今回は、Y軸方向に対して溝加工を行った。加工機には超精密微細加工機(Zμ3500, コマツNTC製)を用い、切削抵抗の測定には多成分切削動力計(9129AA, KISTLER製)を使用した。多成分切削動力計からの信号はチャージアンプ(5080A, KISTLER製)による増幅後、データ収集システム(DynoWare, KISTLER製)を用いて記録した。なお、切削抵抗の3分力はそれぞれFx, Fy, Fzとして示す。Table 1 に実験条件を示す。工具には、直径0.1 mmの2枚刃PCDスクエアエンドミル(PCDSE, 日進工具製)を使用し、工具の振れ精度向上のため、焼ばめホルダ(スリムライン, MSTコーポレーション製)を使用した。Fig. 2 に使用する工具の刃先写真を、Fig. 3 に工具刃先を光学式工具測定装置(VTS, Marposs製)を示す。この装置は、機上に取り付けてあり、光学による非接触式測定であるため加工時と同じ条件で工具の振れを計測することができ、計測結果がモニターに表示される。計測結果より、工具の振れは6.4 μm以下に抑えられている。

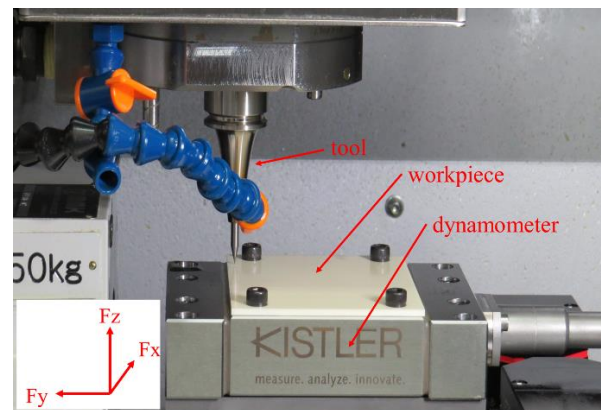


Fig. 1 Photograph of experimental equipment

Table 1 Cutting conditions

Workpiece	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 96%
Cutting tool	φ 0.1 two-flute PCD square endmill
Machining shape	Grooving
Spindle speed [min <sup>-1</sup> ]	30,000
Feed rate [mm/min]	40
Feed per tooth [mm/tooth]	6.66×10 <sup>-4</sup>
Axial depth of cut [mm]	0.001
Groove depth [mm]	0.01
Cutting distance [mm]	150, 300, 450
Coolant	Oil mist

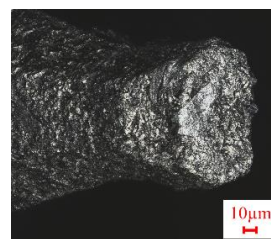


Fig. 2 Image of tool tip



Fig. 3 Photograph of VTS

### 3. 実験結果

**Fig. 4** に、切削距離と切削抵抗の3分力 $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ と合力を示す。合力は、 $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ のそれぞれの平均値を合わせたものである。 $F_x$ ,  $F_y$ は小さく、合力の大部分は $F_z$ が占める。図より、切削距離が増加するにつれ、3分力および合力はほぼ線形的に増加していることがわかる。

工具1回転あたりの切削抵抗の変化に注目するため、**Fig. 5** に切削時の $F_x$ の測定結果の一例を示す。今回の実験では、主軸回転数が $30,000 \text{ min}^{-1}$ であることから、工具が1回転するのに要する時間は $2 \text{ msec}$ である。また、工具刃数が2枚刃であることから、 $1 \text{ msec}$ 毎に周期があると考えられる。図から、 $1 \text{ msec}$ 毎に周期があることがわかり、工具回転数および工具の切れ刃に対応した周期的な波形が得られていることがわかる。また、大小の波が周期的に存在することから、各切れ刃にかかる切削抵抗が変化していることがわかった。これは、刃先形状が均一でないために、一方の切れ刃ともう一方の切れ刃の切削量が差が生まれたと考える。この現象は極小径PCDエンドミルの折損の原因になりうると考えられるため、極小径のPCDエンドミルの刃先形成の精度は極めて重要である。

**Fig. 6** に、レーザ顕微鏡を用いて計測した加工前および切削距離 $450 \text{ mm}$ 加工後の工具刃先の断面プロファイルを示す。図から、加工前に比べ切削距離 $450 \text{ mm}$ 加工後の刃先の方が丸まっていることがわかる。加工前は $R 3 \mu\text{m}$ 程度であった刃先の丸みが、 $R 6 \mu\text{m}$ 程度まで大きくなっており、加工によって刃先摩耗が生じたことがわかる。

**Fig. 7** に切削距離 $150 \text{ mm}$ および $450 \text{ mm}$ 加工後のそれぞれの溝形状を示す。非接触表面形状粗さ測定機(New View 8200, Zygo製)を用いて溝部底面の表面粗さを測定した結果、それぞれ $Ra 0.318 \mu\text{m}$ および $Ra 0.477 \mu\text{m}$ であった。切削距離が大きくなるほど溝部底面の凹凸が大きくなり、表面粗さが悪化した。これは、工具の刃先摩耗によるものと思われる。これは工具の刃先が摩耗したことで切削抵抗が増加したため、表面粗さの悪化に繋がったと考える。また、溝の断面プロファイルより、切削距離 $150 \text{ mm}$ および $450 \text{ mm}$ とも、溝開口部の幅が大きくなった。これは工具の振れにより生じたものであると考えるられる。

### 4. 結言

直径 $0.1 \text{ mm}$ の極小径PCDスクエアエンドミルを用いたアルミナへの溝加工において、切削抵抗および加工精度を検討した。以下に得られた結果を要約する。

1. 各切れ刃に作用する切削抵抗に差が生じたことから、切削時に2枚刃が均等に作用していないことがわかった。これは刃先形状のばらつきと微小な回転振れの影響と考えられる。
2. 切削距離が増えることで、工具の刃先摩耗が進行し、その結果、切削抵抗が増加し溝の加工精度に影響する。

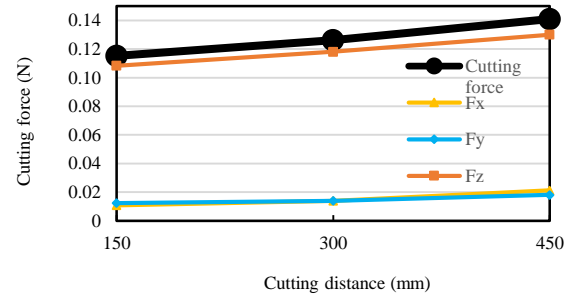


Fig. 4 Relationship between cutting distance and cutting force

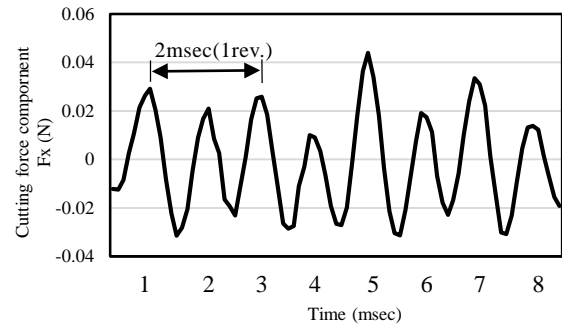


Fig. 5 Example of cutting force

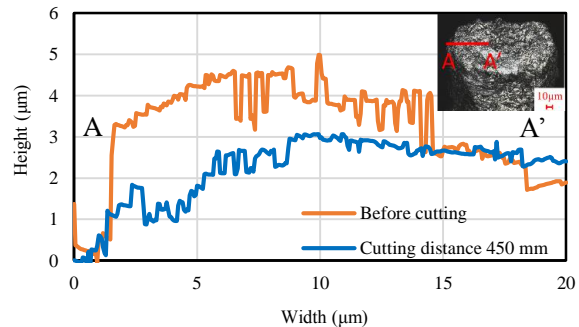
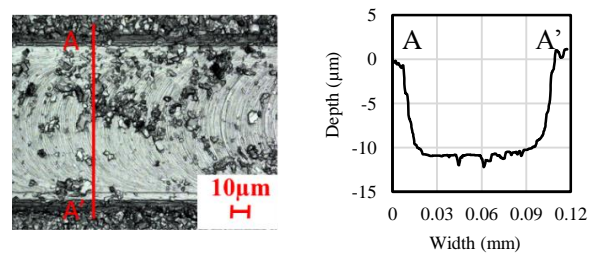
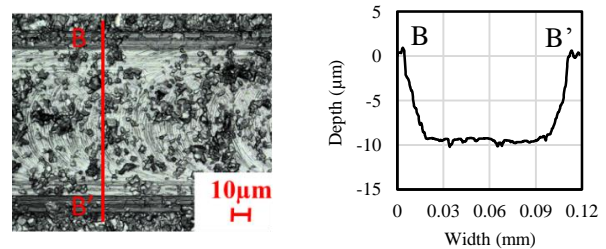


Fig. 6 Cross-sectional profile of tool tip



(a) Cutting distance 150 mm



(b) Cutting distance 450 mm

Fig. 7 Grooving shape and cross-sectional profile