

単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルによるセラミックスの高精度・高能率穴あけ

鈴木 浩文, 岡田 睦 (中部大学)

藤井 一二 (日進工具(株)), 白藤 芳則 (日精テクノロジー(株))

一般のプリント基板に加え, 航空機や自動車用の CFRP 素材, SiC ウエハチャック, 半導体プローブ, 燃料電池, バイオ機器用超硬製微細金型等では, 高能率・高精度微小穴開けの要求が高まっている. 従来は CO₂ レーザや超硬製ドリルによる穴あけがあるが不十分であった. そこで, 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの超精密研削・研磨技術, 微細形状の非接触オンマシン測定技術の開発を行い, 単結晶マイクロドリルの試作評価を行い, 超硬の穴あけ実験を行ったので報告する.

1. はじめに

これまで, プリント基板やシャドウマスクなど微小な穴あけのニーズが増大し, 主に超硬合金製のマクロドリルの精密研削・研磨が可能となり, 多数の穴あけが行われるようになった. しかし, 超硬合金製のドリルでは摩耗が大きく寿命が十分でなかった. また, 高速で穴あけを行うとドリルの損傷や破損が起りやすいため, 穴あけ加工の能率には限界があった. またレーザを用いた方法もあるが, アスペクト比の大きな深穴に対しては真直度が劣るなどの問題がある.

超硬合金製ドリルの分野においては, 日本製の超精密加工装置のアジア諸国への進出により, 比較的容易にダイヤモンド砥石を用いた研削加工により高精度なマイクロ工具を加工することが可能となりつつあり, 日本の優位は失われつつある. マイクロ工具は, それ自体の販売金額はさほど大きくないものの, 様々な先端的な分野 (デジタル情報家電, 自動車, 航空機, エネルギー, 光学部品) の性能を左右する基幹的な部品 (キーパーツ) であり, その製造技術の優位性を保つことは, 業界全体の方向性を決定する重要なカギであるといえる. こうした状況下において, 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの開発を実現し, アジア諸国に対して価格性能比で優位に立つには, 新たなブレークスルーが必要とされている.

現状では, 超硬製のドリルが一般で, 更に耐摩耗性を向上させるために, ダイヤモンドを CVD でコーティングする方法も提案され開発されている. しかし, やはりコーティングがはがれるなどし, 高硬度材に大量の穴を高精度にあけることは不可能であった.

それに対して本提案のマイクロドリル (図 1) は以下の特徴を有する.

- ①ドリル径に接合面積が影響を受けないため, 微細工具になっても, 接合強度が強く, 刃先温度の上昇があっても接合部から外れることがない.
- ②スパイラル溝があるため, 切りくずの排出性が高く, 高い切り込み速度を得ることが出来る.
- ③刃先とシャンク部が同時加工で製作できる事に加え, オンマシン計測により, 振れ精度を測定しながら刃部を作り込む事が可能なので振れを極小に抑える事ができ, マイクロドリルとして使用できる.

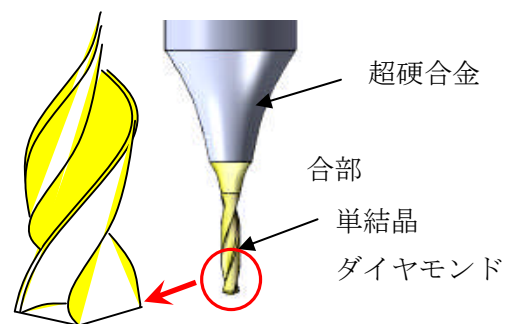


図 1 単結晶ダイヤモンド製ドリル

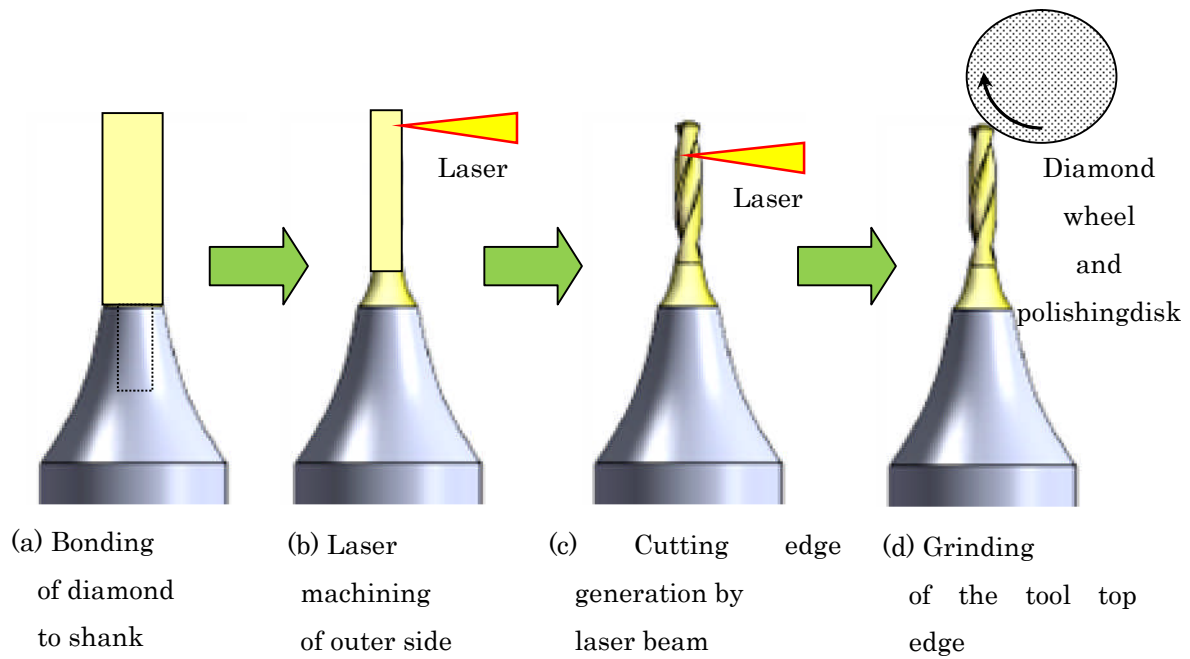


図2 単結晶ダイヤモンド製のドリルのマイクロファブリケーション

2. 単結晶ダイヤモンド製ドリルの試作

単結晶ダイヤモンド製のドリルのマイクロファブリケーションを図2に示す。円柱状に研磨した単結晶ダイヤモンドを超硬製の円柱状シャンクにろう付けし、シャンクとの同軸度を確保しながら外周をレーザ加工する。次にレーザにより外周部の刃を創成する。最後に先端をダイヤモンド砥石などで機械加工を行い、シャープな刃先を創成する。単結晶ダイヤモンドの方位は軸方向が(111)面となるようにした。上述のようにしてレーザビームを用いた三次元加工により試作した単結晶ダイヤモンド製のマイクロドリルのSEM写真を図3に示す。シャンク径は $\Phi 3\text{mm}$ 、工具径は $\Phi 0.3\text{mm}$ である。

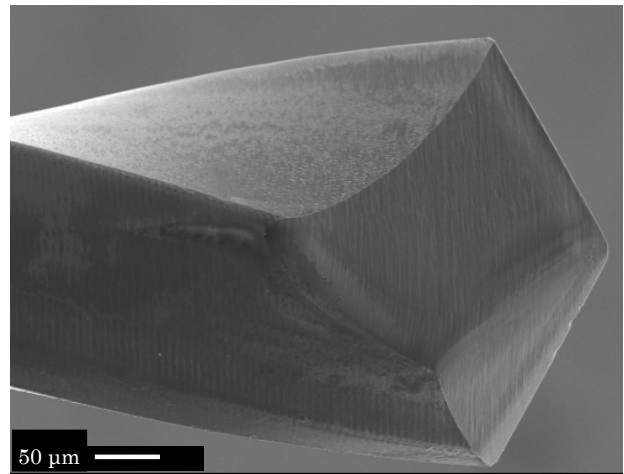


図3 単結晶ダイヤモンド製のマイクロドリルのSEM写真

3. 実験装置および実験方法

試作した単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルを用いてバインダレス微粒子超合金超硬（日本タングステン(株)製 RCCFN）の穴あけ実験を行った。実験の概要を図4に、外観を図5に示す。1nm分解能のリニアモータ駆動の超精密加工機 ULG-100D (SH3) を用いた。工具スピンドルは高速エアスピンドルであり、Z軸方向に切込んだ。ドリル形状および穴形状はレーザプローブ式形状測定器により計測し評価した。

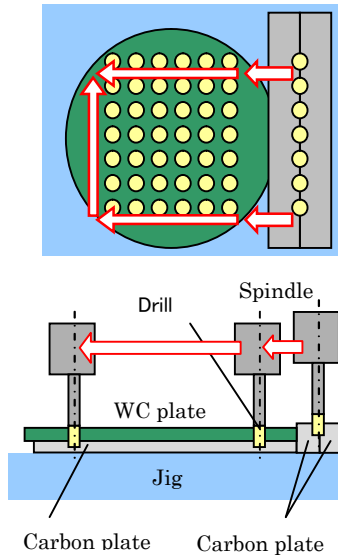


図4 実験の概要

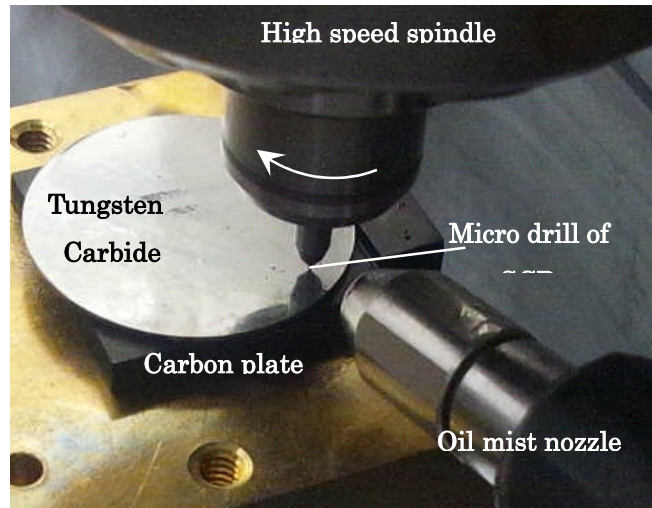


図5 穴あけ加工実験の外観

4. 穴あけ実験結果

表1の条件で1mm厚の微粒子超硬合金に穴あけを行った。ダイヤモンド製のドリルはコレットチャックで高速スピンドルに固定し、 40000min^{-1} で回転させた。穴方向の送り速度は $2\text{mm}/\text{min}$ とし、 0.1mm 切り込んで 0.1mm 後退し、往復運動を繰り返した。

穴あけ後の超硬基板の外観を図6に示す。表と裏を表示しているが、裏では穴の貫通時にエッジの欠けが見られる。また、穴あけ後に計測した穴の直径の変化を図7に示す。裏表とも大きく変化し、ドリルの摩耗が観察される。15個の穴あけ後の単結晶ダイヤモンド製ドリルの電子顕微鏡写真を図8に示す。また、穴あけ前後のドリル刃先の形状を非接触測定器で測定し、重ね合わせた図を図9に示す。 $6\mu\text{m}$ 程度の刃先の摩耗が確認される。

Tool	SCD
Diameter	$\Phi 0.3\text{ mm}$
Rotation	$40,000\text{ min}^{-1}$
Workpiece Thickness	Binderless WC 1 mm
Feed rate	2 mm/min
Depth cut	0.1 mm/pass
Coolant	Oil mist

表1 穴あけ条件

Tool	SCD
Diameter	$\Phi 0.3\text{ mm}$
Rotation	$40,000\text{ min}^{-1}$
Workpiece Thickness	Binderless WC 1 mm
Feed rate	2 mm/min
Depth cut	0.1 mm/pass
Coolant	Oil mist

図6 穴あけ後の超硬基板の外観

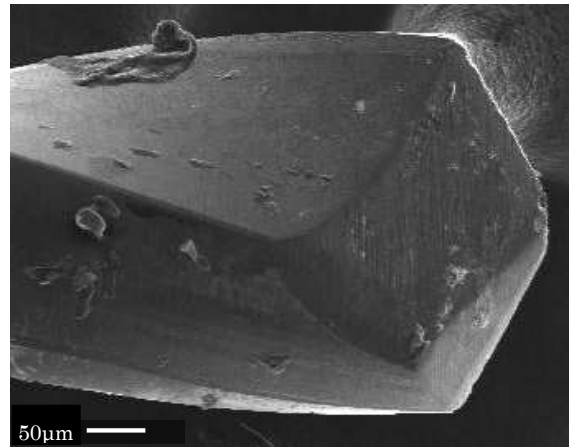
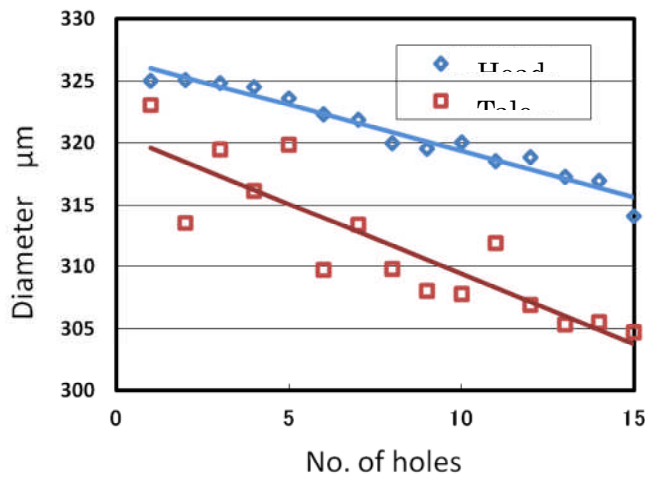


図7 穴あけ後に計測した穴の直径の変化

図8 15個の穴あけ後の単結晶ダイヤモンド製ドリルの電子顕微鏡写真

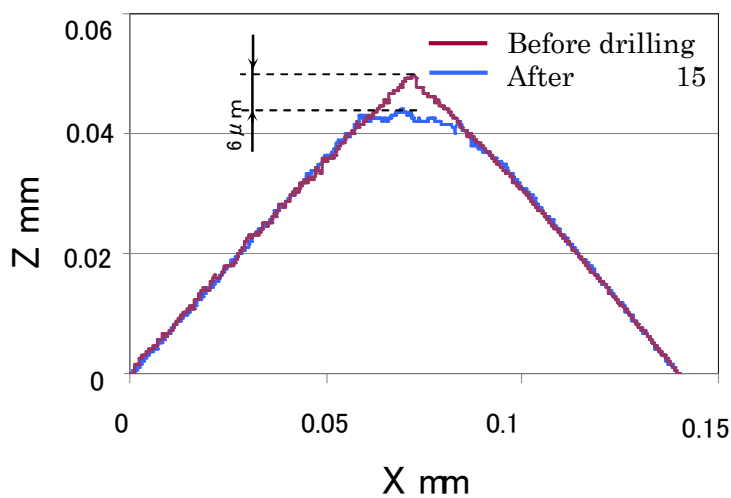


図9 穴あけ前後のドリル刃先の形状を非接触測定器で測定し、重ね合わせた図

5. おわりに

一般のプリント基板に加え、航空機や自動車用のCFRP素材、SiC ウエハチャック、半導体プローブ、燃料電池、バイオ機器用超硬製微細金型等では、高能率・高精度微小穴開けの要求が高まっている。単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの超精密研削・研磨技術、微細形状の非接触オンマシン測定技術の開発を行い、単結晶マイクロドリルの試作評価を行い、超硬の穴あけ実験を行ったが、大きな工具摩耗が見られた。今後は、単結晶ダイヤモンドの結晶方位の検討、切削液の供給方法を改善、切りくずの効率的な排出などを行い、改善を図る。

参考文献

- 1) H. Suzuki, T. Moriwaki, Y. Yamamoto, Y. Goto: Precision Cutting of Aspherical Ceramic Molds with Micro PCD Milling Tool, Annals of CIRP, 56, 1(2007) pp.131-134.
- 2) Moriwaki, T., Shamoto, E., 1999, Ultraprecision Diamond Cutting of Hardened Steel by Applying Elliptical Vibration Cutting, Annals of the CIRP, 48(1): 441-444.
- 3) Suzuki 1, H., Okada M., Yamagata Y., Morita S., Higuchi T., 2012, Precision Grinding of Structured Ceramic Molds by Diamond Wheel Trued with Alloy Metal, Annals of the CIRP, 61(1): 283-286.