

単結晶ダイヤモンドマイクロドリルの切削性能

材料技術部 材料加工チーム 岸本 幸宏
 材料物性チーム 熊谷 正夫
 マイクロ・ダイヤモンド株式会社 阿部 勝幸

単結晶ダイヤモンドを超硬シャンクにロー付けした直径 0.1~0.5 mm のダイヤモンドマイクロドリルを開発し、セラミックスや光学ガラスなどの脆性材料の小径穴加工を行い、切削抵抗、工具摩耗および加工穴性状等を測定観察した。その結果、6種類の脆性材料に対する加工条件の上限が明らかになり、市場が要求する加工速度を満足することが確認できた。また、アルミナセラミックスを被削材とした工具寿命試験において、加工穴数とスラストおよび加工穴径の関係が明らかになり、直径0.19mmの三角錐単結晶ダイヤモンドマイクロドリルにより、累積加工量208mmの小径穴加工が可能であることがわかった。

キーワード：単結晶ダイヤモンド、マイクロドリル、セラミックス、ガラス、切削抵抗、工具寿命

1 はじめに

電子、光学および医療をはじめとする様々な産業分野において、セラミックスやガラス等の脆性材料にサブミレレベルの微細穴加工を行いたいとの要求がある。脆性材料の穴あけ加工には、ダイヤモンド電着工具や超硬工具による機械加工や工具または工作物に超音波を付加した複合加工が利用されているが、加工能率、工具寿命および加工面品位等の面から、より高性能な切削工具の開発と加工技術の確立が求められている。

単結晶ダイヤモンドマイクロドリルは、超硬シャンクに単結晶ダイヤモンドを強固にロー付けした三角錐または四角錐形状のダイヤモンドドリルである。耐摩耗方位が切れ刃稜線となっており、また、底面の角にはリーミング切れ刃を形成していることから、高い工具寿命と高品位加工が期待できる。

本研究では、直径0.1~0.5mmの三角錐および四角錐形状の単結晶ダイヤモンドマイクロドリルにより6種類の脆性材料の穴あけ加工を行い、切削抵抗、工具寿命等を測定することにより、マイクロドリルの切削性能を調べた。

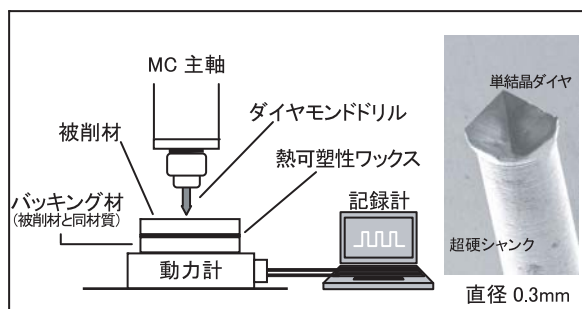


図1 実験装置

2 実験方法

実験には、立形マシニングセンタを使用し、セラミックスおよび光学ガラス等の湿式穴あけ加工を行った。はじめに、単結晶ダイヤモンドマイクロドリルの基本性能を把握するため、切削送り速度等の加工条件を変え、スラストと加工穴性状の測定観察から、実用的加工条件を調べた。次に、工具寿命を検討するため、直径0.19mmの三角錐ダイヤモンドドリルにより、アルミナ基板の連続多穴加工を行い、工具寿命に到るまでのスラストと加工穴径の推移を測定した。スラストは水晶圧電型切削動力計で計測し、工具摩耗、加工穴性状等は、走査電子顕微鏡等で観察した。また、加工穴径の測定には、光学式三次元測定装置を使用した。図1に実験装置を、表1に実験条件を示す。

3 実験結果

表2は、工具径、刃先形状の異なるダイヤモンドドリルを使用し、切削送りとステップフィード量を変え、6種類

表1 実験条件

工具	単結晶ダイヤモンドドリル (形状)三角錐, 四角錐 (直径)0.1~0.5 mm
被削材	アルミナ, 窒化アルミ, 快削性窒化アルミ サファイア, 石英ガラス, パイレックス
機械	立形マシニングセンタ
工具回転数	8,000~15,000 /min
切削送り	1 ~ 10 mm/min
ステップフィード	0.005 ~ 0.05 mm
工具振れ	0.002 mm 以下
切削液	灯油, 純水

表2 設定加工条件の上限

被削材	工具径 mm	刃先形状	切削送り mm/min	ステップフィード mm
アルミナ	0.2	三角錐	3	0.02
	0.4	四角錐	5	0.05
	0.5	三角錐	5	0.05
窒化アルミ	0.2	三角錐	4	0.03
快削性窒化アルミ	0.1	四角錐	2	0.01
	0.2	三角錐	5	0.05
石英ガラス	0.2	三角錐	2	0.02
パイレックスガラス	0.2	三角錐	4	0.04
サファイア	0.5	三角錐	2	0.02

の被削材を穴加工(切削液：灯油)したときの設定加工条件の上限である。なお、加工条件の上限は、加工穴出口のマクロ欠けの発生等を判定基準とした。アルミナ、石英ガラス、パイレックスガラスおよびサファイアは、表の加工条件を超えると加工穴出口にマクロ欠けが発生する。一方、窒化アルミおよび快削性窒化アルミは、表の加工条件においても欠けのない安定した加工が可能であり、さらなる高能率加工が期待できる。また、表2において、加工能率が最も低い直径0.1mmの四角錐ダイヤモンドドリルによる穴加工においても、加工速度の実測値は1.02mm/minであり、市場が要求する1.0mm/minを満足することが確認できた。

次に、直径0.19mmの単結晶ダイヤモンドドリルを使用し、工具寿命を調べた。図2は、アルミナ基板(t=0.54mm)を三角錐ダイヤモンドドリルで穴加工(切削液：蒸留水)したときの加工穴数とスラストおよび加工穴径の関係ならびにドリル刃先の走査電子顕微鏡写真である。また、図3は、アルミナ基板の加工穴出口の光学顕微鏡写真とスラスト波形である。なお、図中の番号は加工穴数を示している。切れ刃の摩耗に伴い、スラストは60穴まで急激に上昇し、その後徐々に増加していく。この間、加工穴径は、ほぼ直線的に減少し、穴径が超硬シャンクとほぼ同径となった374穴目に折損している。加工実験終了後、アルミナ基板の加工穴出口を観察すると、307穴目以降の加工穴出口にマクロ欠けが明瞭に現れ、良好な加工が行われていないことがわかる。また、307穴前後のスラスト波形を比較すると、マクロ欠けが発生した場合には、被削材の加工が終了する直前にスラストの急激な低下が発生しており、加工穴出口のマクロ欠けの発生を反映している。これは、スラスト波形をin-situ計測することにより、加工穴の状況が把握可能であることを示している。本実験において、同材質のバックギング材加工も含めた1穴あたりの加工深さは0.68mmであることから、三角錐ダイヤモンドドリルの工具寿命は、累積加工量208.76mm(=0.68mm×307穴)であることが確認できた。

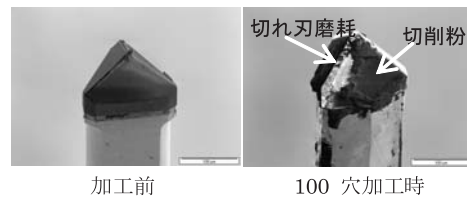
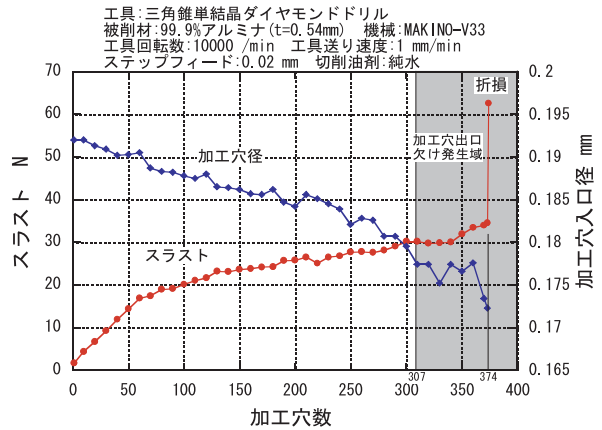


図2 アルミナ基板の加工穴数とスラスト・加工穴径の関係および工具の走査電子顕微鏡写真

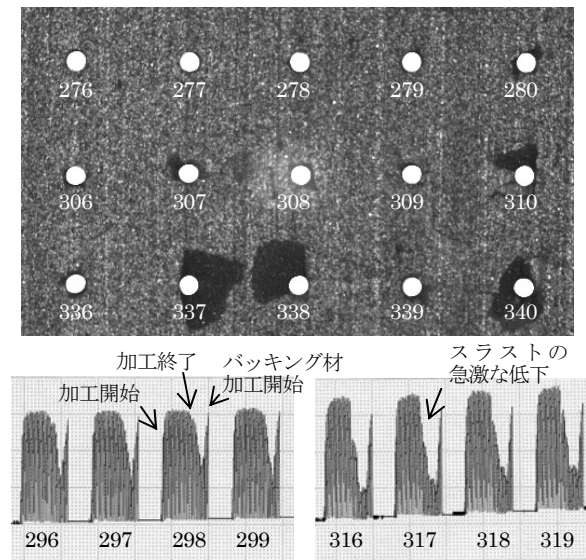


図3 加工穴出口のマクロ欠けの発生とスラスト波形

4 まとめ

単結晶ダイヤモンドを超硬シャンクにロー付けしたマイクロドリルを開発し、脆性材料の小径穴加工を行った結果、以下の項目を得た。

- 1) 6種類の脆性材料に対する加工条件が明らかになった。
- 2) 直径0.19mmの三角錐ダイヤモンドドリルにより、累積加工量208mmのアルミナの穴加工が可能であった。
- 3) ダイヤモンドドリルの摩耗が進行すると、スラストが上昇し、加工穴径は減少する。その後、穴径が超硬シャンクと同径になると、ドリルが折損し、工具寿命となる。