

微細工具によるガラス基板加工技術に関する研究

米山陽・萩原義人・石黒輝雄・坂本智明・佐野正明・清水毅*1・石井孝明*1

Glass Substrate Processing Technology Using a Micro Cutting Tool

Akira YONEYAMA, Yoshihito HAGIHARA, Teruo ISHIGURO,
Chiaki SAKAMOTO, Masaaki SANNO, Tsuyoshi SHIMIZU*1 and Takaaki ISHII*1

要 約

電子基板には配線用のスルーホール（貫通穴）や電極用の溝部が必要となるが、ガラス材料では従来のエッチングプロセスが使用できず、新たな加工方法が求められている。環境負荷が低く、広く普及している機械加工技術にて対応が可能となれば、既存機械加工において新たな高付加価値加工となり得る。そこで本研究では、ガラス材料に対して汎用的な既存加工機による $\phi 0.1 \text{ mm}$ 以下の高品位な穴加工技術の開発を目標として研究を実施した。

今年度はガラス材料に対して、マシニングセンタに超音波振動援用装置を取り付け、 $\phi 0.1 \text{ mm}$ 超硬コーティングドリルを用いた加工実験を行った。その結果 $\phi 0.1 \text{ mm}$ ドリル使用時は、 $\phi 0.3 \text{ mm}$ ドリルによる加工時より超音波援用による切削抵抗の減少率が 10 %程度増大する特性を示し、 $\phi 0.1 \text{ mm}$ 工具においても有効な加工手法であることがわかった。

1. 緒 言

近年、電子基板の高機能化に伴い、新たにガラス材料を使用した電子基板が研究開発されてきている。基板には配線用のスルーホール（貫通穴）や電極用の溝部が必要とされ種々の加工方法が検討されているが、ガラス材料にはシリコン基板等で使用していたエッチングプロセスが適用できないため新たな加工方法が求められている。

このような背景から環境負荷が低く、広く普及している機械加工技術により、これらガラス基板への加工が可能となれば、既存機械加工における新たな高付加価値加工となり得る。しかし、これらのスルーホールで求められる穴径は数十 μm から数百 μm と非常に小さい。よって、従来の機械加工技術では、工具径が小さいことによる工具折損や脆性材料特有の加工面チッピングなど種々の課題が生じる。

そこで本研究では、汎用的な既存機械加工機とドリル工具によるガラス基板加工を実現するため、マシニングセンタと超音波振動切削装置を組み合わせた、超音波援用加工法を選択した。通常は、ガラス材料など高硬度かつ脆性である材料は切削加工が困難な材料とされているが、これまでに行った先行研究において超音波援用加工法は切削抵抗が低減化され、ボールエンドミル工具等においてもガラス材料への加工が可能となることが実証さ

れており¹⁾、 $\phi 0.1 \text{ mm}$ といった微細工具においても、切削性改善の効果が期待できると考えられる。

今年度は、 $\phi 0.1 \text{ mm}$ ドリルに超音波援用加工を適用し、ガラス材料への穴加工実験を行い、その基礎特性についての評価を実施した。

2. 実験方法

2-1 実験装置

図1に実験装置概略について示す。実験には、主軸サイズ 40 番の立形 3 軸マシニングセンタ（株）三井精機工業、VU50A）を使用した。超音波振動の付与は超音波振動切削装置（多賀電気（株）、SD-50）を使用し、

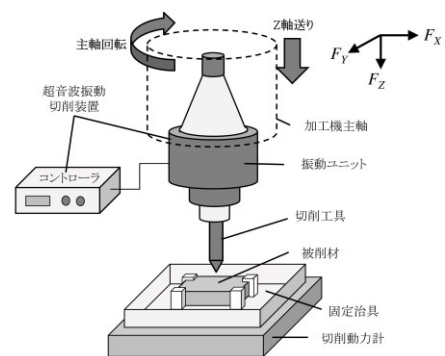


図1 実験装置概略

*1 山梨大学

表1 超音波振動切削装置仕様

振動モード	工具軸方向
発振周波数	54±2 kHz
振動子形式	ボルト締めランジュバン型 PZT振動子
振幅量	2~5 μm p-p
工具把持方法	コレットチャック
対応主軸サイズ	No.40 (7/24テーパ)

表2 切削工具仕様

工具形状	ルーマ型ソリッドドリル
工具材種	超硬合金 (ダイヤモンドコート)
工具径	0.1 mm
先端角	166 deg.
刃数	2枚刃
シャンク径	3.0 mm

超音波振動発生部となる振動ユニットをマシニングセンタの主軸に設置し、ドリル工具は振動ユニット付属のコレットチャックで取り付けを行った。使用した超音波振動切削装置の仕様を表1に示す。工具セット振れについては、シャンク部において±1 μm 以下になるように調整して加工実験を行った。

被削材は、板状 (30 mm×30 mm×3 mm) のソーダライムガラス (Na₂O-CaO-SiO₂) を使用し、加工機テーブルに設置した切削動力計上に、保持治具を介して固定した。保持治具のポケット形状底部に被削材を固定し、被削材上面まで切削液に浸漬可能な状態とした。

加工中の切削抵抗は、圧電式切削動力計 (Kistler製9256C1) を用いて計測を行い、被削材にかかる3方向 (F_x, F_y, F_z) の切削抵抗を記録した。

2-2 切削工具

ドリル工具は、超硬合金母材のルーマ型ソリッドドリルを使用した。工具径は0.1 mmで2枚刃である。コーティングは既報での実験において良好な耐摩耗性を示した、ダイヤモンドコーティングを選択した¹⁾。表2に切削工具の仕様を示す。切削工具の把持はコレットチャックで行い、切削工具の突き出し量は54 kHzでの発振が得られる長さにおシロスコープで確認して調整後、切削加工実験に用いた。

2-3 加工条件

切削条件は、主軸回転数 S を 10000 min⁻¹ とし、軸送り速度 F は、1 mm/min とした。加工実験は、超音波振動を付与しない加工 (慣用加工) と、超音波振動を付与する加工 (超音波援用加工) を行い、比較評価を行った。

加工深さは工具径の 1.5 倍となる 150 μm とし、G81 によるドリルサイクルを使用して加工を行った。

切削油剤は、濃度 4 % に調整した水溶性ソルブル型切削液 (rhenus 製 TY101S) を使用した。切削油剤は被削材を固定した治具内を予め満たしておき、被削材上面が切削油剤に浸漬する状態で加工を行った。

3. 結果および考察

3-1 工具折損荷重

一般的に工具径が小さくなると工具断面積の減少に伴って、工具強度も低下し加工中の折損も生じやすくなる。特にガラス材料へのドリル加工においては、食い付き時の振れ回り現象により、工具軸に対して直交方向 (F_x, F_y) への加工抵抗が生じ易く工具折損が生じやすい²⁾。そこで主軸停止状態において、工具先端部に工具軸に対して直交する方向に荷重を加え、折損荷重を測定した結果を図2に示す。使用した工具は、超硬合金製のソリッドドリルであり、工具径はφ0.5 mm、φ0.2 mmとφ0.1 mmである。φ0.5 mm ドリルでは折損荷重が約 4.5 N であったが、φ0.1 mm ドリルにおいては 0.2 N 程度で折損に至ることがわかった。

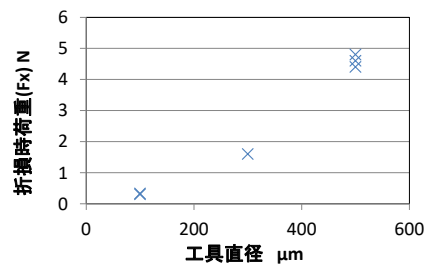


図2 工具折損荷重測定結果

3-2 切削抵抗

図3および図4に、加工開始からの切削抵抗推移を慣用加工時と超音波援用加工時についてそれぞれ示す。慣用加工時は、スラスト方向の切削抵抗 (F_z) が加工開始直後のドリル食い付き時に1.6 Nまで急上昇した後、1.0 N程度で推移し、深さ 1 Dである0.1 mmを超えた付近から切削抵抗が再度上昇し1.3 Nまで増大した。また、F_zの急上昇直後からF_x, F_y方向において0.1 N程度の増減が認められた。一方、超音波援用加工時の切削抵抗は、スラスト抵抗F_zが食い付き時の急上昇後は、およそ0.15 N以下で安定して推移し、加工後半部においてもスラスト抵抗の増大は認められなかった。また、F_x, F_y方向の切削抵抗についても慣用加工時に発生した増減はほとんど認められなかった。これらの結果から、φ0.1 mmドリルによる加工時においても超音波援用加工は切削抵抗を低減化する効果があり、F_x, F_y方向の変動も少ないこ

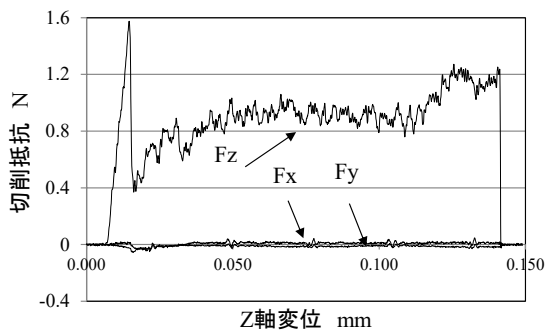


図3 切削抵抗推移 (慣用加工)

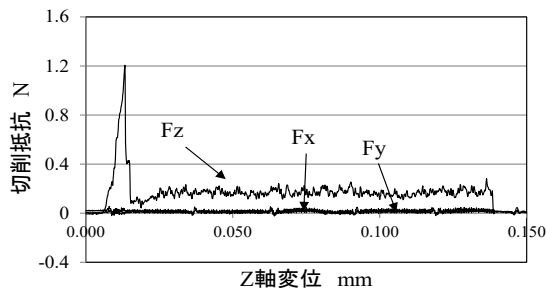


図4 切削抵抗推移 (超音波援用加工)

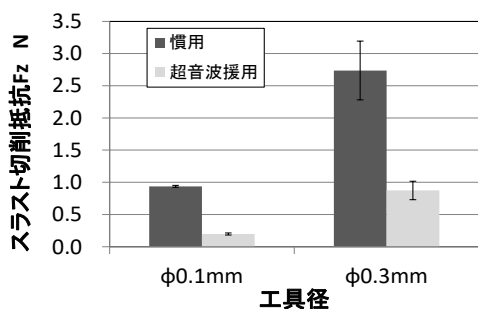


図5 切削抵抗比較 (スラスト抵抗 Fz)

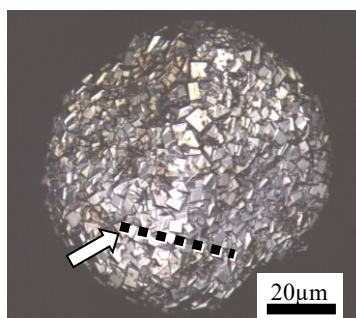


図6 工具先端観察画像

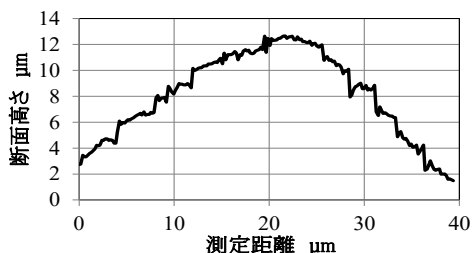


図7 工具先端断面形状

とから工具振れ回り現象も抑制されることがわかった。

図5は加工中のスラスト抵抗について、φ0.1 mm ドリルとφ0.3 mm ドリルについて比較を行った結果である。φ0.3 mm ドリルでは超音波援用加工により68%減少したが、φ0.1 mm ドリルでは減少率が向上し、79%の減少となった。このことは、一般的に工具径の減少に伴ってドリル芯厚は工具剛性のため相対的に大きく設計されるが、チゼル部の増大によりスラスト抵抗が増大する傾向を持つ。また、小径工具であることから主軸回転による切削速度は、φ0.1 mm 工具では外周部においても3.1 m/minしか得られないため、回転中心部のチゼル部で発生するスラスト抵抗の割合はφ0.3 mm 工具より更に高いと言える。よって、主軸回転以外の加工力が得られる超音波援用加工により切削抵抗減少効果がφ0.3 mm 時より大きく作用したと考えられる。

3-3 工具先端形状評価

チッピング等の発生を抑制し、安定した多数穴加工を実現するためには工具摩耗状況評価が必要となる。本研究で使用した工具は、CVDによるダイヤモンドコーティングによって工具表面は図6に示すように数μmの砥粒状である。そのため、通常の光学顕微鏡等を用いて逃げ面摩耗VB値により評価することが困難であることがわかる。そこで、工具摩耗評価のため共焦点顕微鏡により先端形状の取得を試みた。図7に図6中の点線部形状を測定した結果を示す。コーティングに伴う凹凸を確認することが可能であり、摩耗に伴う形状変化を検出可能であることがわかった。

4. 結言

ソーダライムガラスに対して、φ0.1 mmの超硬ドリル工具による穴加工を実施し、超音波援用加工法の有効性について各種評価を行ったところ以下の結果を得た。

- (1) 超音波援用加工は慣用加工よりスラスト抵抗が低下し、Fx, Fy方向の切削抵抗の増減はほぼ認められなかった。
- (2) φ0.1 mmドリル加工時のスラスト抵抗値は、超音波援用加工により79%減少し、φ0.3 mmドリル時より約10%減少率が大きいことがわかった。

参考文献

- 1) 米山陽, 他: 超音波を援用した切削加工面の高品位化に関する研究, 山梨県産業技術センター研究報告, No.31, pp.56-60 (2017)
- 2) 米山陽, 清水毅 他: 超音波援用によるガラスの小径ドリル加工に関する研究, 砥粒加工学会誌, Vol.63, No.4, pp.185-190 (2019)