

切削による微細深穴加工に関する研究 (第2報)

米山 陽・石黒 輝雄・佐野 正明・清水 毅^{※1}

Study on High Aspect Ratio Micro Hole Drilling (2nd Report)

Akira YONEYAMA, Teruo ISHIGURO, Masaaki SANO and Tsuyoshi SHIMIZU

要 約

半導体製造装置や医療機器等分野等では直径が0.5mmにも満たないような微細穴加工技術が必要とされている。しかし、小径ドリルは工具剛性が低いため、工具折損などが生じ易く安定した切削加工は困難である。そこで、切削による微細深穴加工技術の確立を目的として、切削加工条件の最適化を図ると共に、超音波振動を援用した切削加工によって切削性の改善が可能であるか検討を行った。本年度は、ソーダライム系ガラス($t=1\text{mm}$)に対して $\phi 0.3\text{mm}$ の超硬ソリッドドリルによる貫通穴加工を行った。その結果、超音波援用加工では慣用切削に対して切削抵抗は約半分程度に低下し、加工穴入口部の欠け量も減少した。また、超音波援用加工では穴位置の誤差が $F=5\text{mm}/\text{min}$ の場合で $\pm 25\mu\text{m}$ から $\pm 7\mu\text{m}$ にまで向上した。

1. 緒 言

半導体製造装置や医療機器等では、微細穴を有する小径ノズルや吸着部品が多く用いられており、微細穴を高精度かつ高能率に加工可能な技術が要求されている。微細穴の主な加工方法として、切削加工や放電加工、レーザー加工などが挙げられるが、切削加工は汎用的かつ加工速度等に優れている特徴があり、微細穴の加工に対して切削加工を適用するメリットは大きい¹⁾。

しかし、微細穴への切削加工の適用は、切削工具も小径となるため折損等の工具損傷が発生し易く、特にアスペクト比(工具径に対する加工深さ)が大きい深穴では、切り屑の排出や刃先の潤滑が困難となり切削抵抗が増大してしまうなど課題も多い。また、これらの部品にはステンレス鋼や硬脆材など切削性が低い難削材料が多用されており、材料特性の面においても厳しい状況にある。

これらの課題を解決する手段の一つとして超音波を援用した切削加工方法がある。昨年度は、ステンレス鋼の小径ドリル加工時における超音波援用切削の適用について検討を行ったところ、超音波を援用することにより切削抵抗の減少やドリルサイクルにおけるステップ回数の低減化が図れるなど、切削性の改善に一定の効果があることが確認された²⁾。

そこで本研究では、ステンレス鋼より難削性を有し、一般的には切削加工が困難であるガラス材³⁾を対象として、超硬ソリッドドリルを用いた微細穴加工を試みると

共に、超音波援用加工の有用性を検討した。

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、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。マシニングセンタの主軸テーブルには、超音波振動切削装置(多賀電気(株), SD-50)を取り付け、回転中の工具先端に対して工具軸方向の超音波振動付与を行った。使用した超音波振動切削装置の仕様を表1に示す。

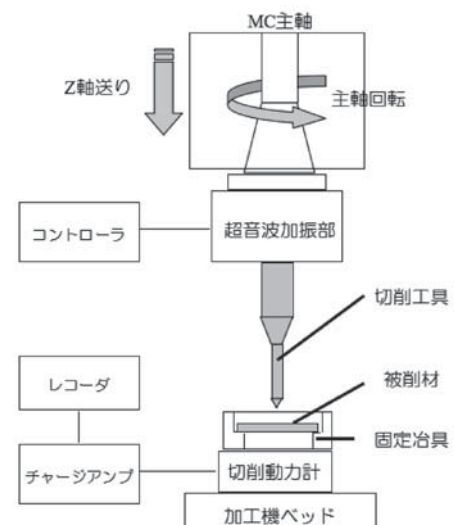


図1 実験装置概略図

※1 国立大学法人山梨大学

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	54kHz±2kHz
振動子形式	ボルト締めランジュバン型 PZT振動子
振幅量	約2~5μm p-p
工具把持方法	コレットチャック
テーパサイズ	No.40 (7/24テーパ)

被削材は、ガラス板状のソーダライムガラス(30×30×1mm)とし、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。保持治具は、ステンレス合金(SUS430)製とし、被削材を研削液で浸漬するため、深さ 5mm のポケット形状を設け、更に加工部位の下部に空間が生ずる構造とした。

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、切削工具に対してスラスト方向の切削抵抗を記録した。

2-2 切削工具

切削工具は、市販の超硬合金製ソリッドドリルとし、主に鋼材加工用に用いられる TiAlN コーティングタイプと耐磨耗性に優れるダイヤモンドコーティングタイプの 2 種類を実験に使用した。表 2 に切削工具の仕様を示す。コレットからの切削工具の突き出し量は、54 kHz の発振が得られる長さにそれぞれ調整した。

工具振れ量は、非接触工具位置測定機（大昭和精機(株)、ダイナビジョン）を用いて計測を行い、主軸を 10,000min⁻¹ で回転させた状態で、工具先端の振れ量が 3 μm 以下であることを確認し、実験に用いた。

表2 切削工具仕様

コーティング	TiAlN (PVD)	多結晶ダイヤモンド (CVD)
工具径	φ 0.3mm	φ 0.3mm
先端角	120deg	166deg
ねじれ角	30deg	-
刃長	5.0mm	3.0mm
工具母材	超硬合金	超硬合金

2-3 切削条件

切削条件を表 3 に示す。主軸回転は 10000min⁻¹、送り速度 F は 1,2,5mm/min の三水準とし、超音波を付与しない慣用切削と超音波を付与する超音波援用加工において G81 ドリルサイクルを利用して加工を行った。また、加工時は当て板等を使用せず、板厚 1mm に対する通り穴

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研削液(rhenus 製 TY101S)を使用した。切削油剤は予め被削材を固定したポケット形状部に満たしておき、被削材が完全に浸漬する状態で加工を行った。

表3 切削条件

切削速度	9.4 m/min
主軸回転数	10000 min ⁻¹
1回転あたり送り量	0.1,0.2,0.5 μm/rev
送り速度	1,2,5 mm/min
切削油剤	水溶性ソルブル型研削液

2-4 加工位置精度の評価

特に難削材の小径ドリル加工においては、工具強度が低いため加工穴の位置精度が悪化し易い。穴位置精度の悪化は、工具折損の原因ともなるため、出来る限り芯ずれ量は減らす必要がある⁴⁾。そこで、加工穴の位置精度について、測定顕微鏡((株)ミツトヨ製 MF-510TH)を使用し、加工目標とした座標からの XY 平面における穴位置誤差を測定し、併せて評価を行った。

3. 結果および考察

3-1 TiAlN コートドリルによる加工

図 2 に、超音波を援用し、TiAlN コートドリルを用いて送り速度 F=2mm/min で加工した穴入口側を示す。TiAlN コートドリルでは、超音波援用の有無に関わらず、全て加工条件において、入口側の穴周囲に比較的大きいクラックが生じ、時に円錐状の大きな欠損が観察された。また、図 3 には、工具新品状態から 10 穴加工までの切削抵抗を平均し、切削条件別に比較したグラフを示す。超音波を援用した場合、超音波を援用しない慣用加工に比べて、いずれの送り速度条件においても切削抵抗は低下し、最大で 4N 程度減少した。しかし、図 4 に示すとおり、穴加工を同一工具で連測して加工した場合、穴数の増加に伴って切削抵抗は増大し、100 穴加工時には、初期の 5~6 倍程度にまで増大した。これは、図 5 の加工後の工具先端 SEM 画像で確認できるように、切削工具が急速に摩耗したと被削材の溶着によるものと考えられる。

TiAlN コートドリルでは、数穴の加工でも切削抵抗が上昇することから、工具折損せずに 100 穴程度の加工は可能であるが、加工穴の欠けが大きいことと、磨耗が急速に進行する事から、安定した加工結果が得られにくく、本材料への適用は実用上難しいと考えられる。

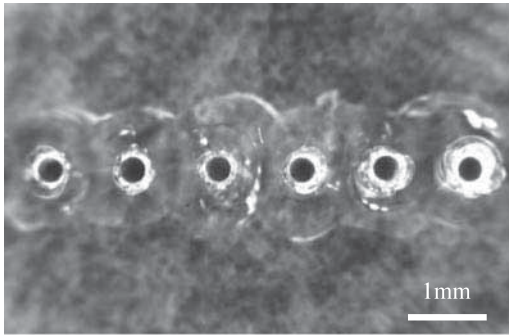


図2 TiAlN コートドリルによる加工穴（超音波援用）

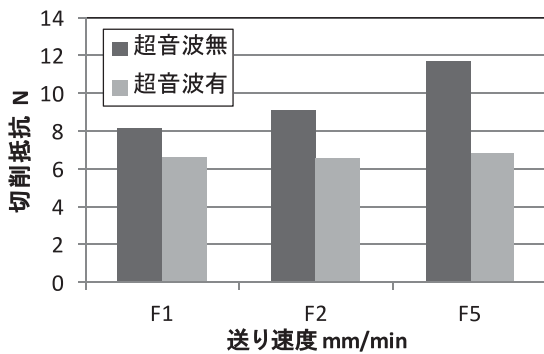


図3 TiAlN コートドリル使用時の切削抵抗

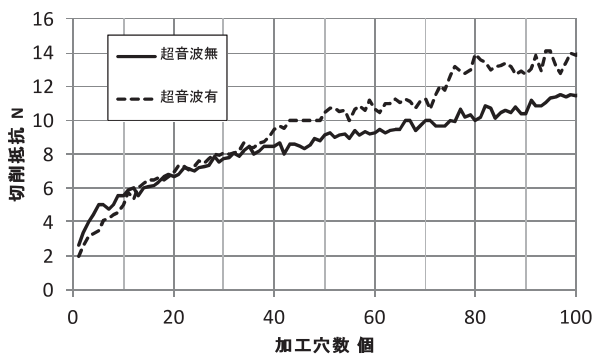


図4 TiAlN コートドリル使用時の切削抵抗推移



図5 TiAlN コートドリルの磨耗および溶着の状況

3-2 ダイヤコートドリルによる加工

TiAlN コートドリルでは、早期の摩耗が課題となることがわかった。そこで、より耐摩耗性に優れたダイヤコートドリルを使用して加工し、TiAlN と同様の切削条件にて加工実験を行った。

図6に、送り速度 $F=2\text{mm/min}$ において加工した穴の入口を示す。TiAlN コートドリルと比較して穴入口部のクラックは小さくなり、特に超音波援用時はクラックが極小となった。

次に、図7にダイヤコートドリルにて加工した際の切削抵抗を示す。ダイヤコートドリルでは、TiAlN コートドリルによる加工時より、切削抵抗は全般的に低い値を示し、更に超音波を援用することにより慣用切削に比べて半以下に大きく低減することがわかった。これは、ダイヤコート表面が数マイクロメートルの粒子で覆われていることから、超音波振動により砥石による研削と同様な作用が得られるためと推測される。

また、図8に示す様に10穴までの連続加工においても切削抵抗の上昇はほとんど見られず、ダイヤコートドリルの摩耗進行は非常に遅いと考えられる。

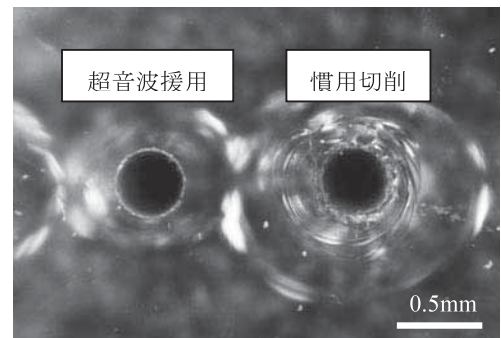


図6 ダイヤコートドリルによる加工穴

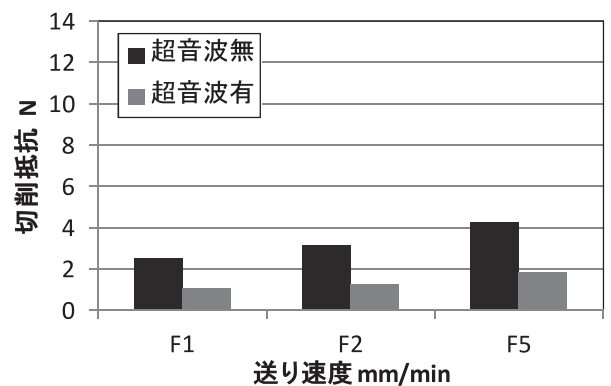


図7 ダイヤコートドリル使用時の切削抵抗

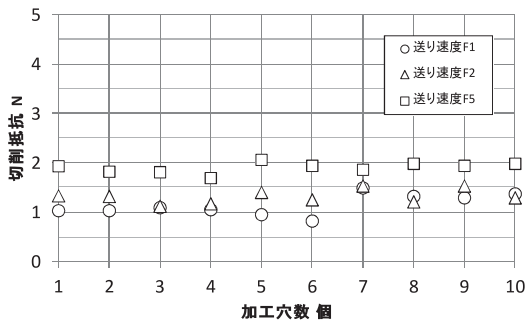


図8 ダイヤコートドリル使用時の切削抵抗推移

3-3 加工位置精度について

図9に、ダイヤコートドリルを使用し、貫通穴加工を行った際の座標誤差について示す。送り速度が低いほど、目標座標からの誤差は小さくなる傾向を示し、更に超音波を援用することにより、その位置誤差は更に減少し、 $F=5\text{mm/min}$ においては、慣用切削時におよそ $\pm 25\mu\text{m}$ 程度であった位置誤差が、超音波援用時には $\pm 7\mu\text{m}$ 程度にまで減少し、超音波援用切削により、加工穴の位置精度が向上することが判明した。

4. 結 言

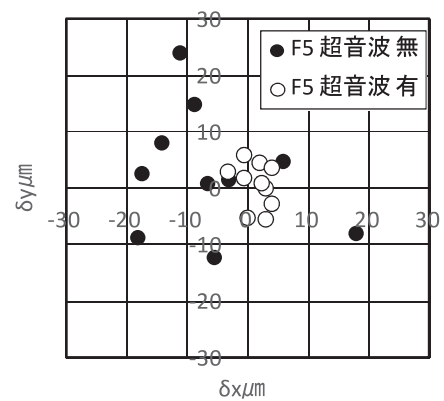
ソーダライムガラスに対して、微細ドリルを用いた微細加工実験を行い、加工時の切削抵抗など各種評価を行った。また、超音波援用切削を行い、慣用切削と比較を行ったところ以下の結果を得た。

- (1) 超硬ドリル（ダイヤコーティング）を用いて、超音波援用切削を適用したところ、切削抵抗は、慣用切削と比較して約50%以上減少し、加工穴入口部の欠け量が減少した。
- (2) 加工穴の位置精度について評価したところ、超音波援用切削では $F=5\text{mm/min}$ において穴位置の誤差が $\pm 25\mu\text{m}$ から $\pm 7\mu\text{m}$ にまで向上した。

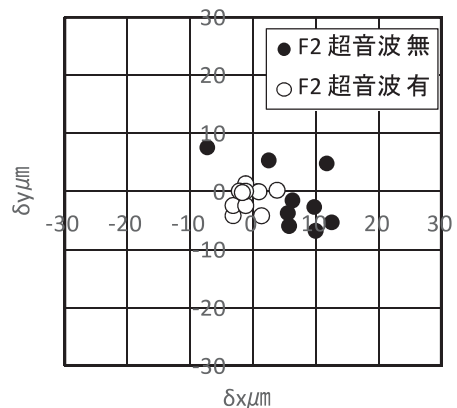
以上の結果から、ダイヤコートドリルを用いた超音波援用切削の適用は、ガラス材料への小径ドリル加工において有効な加工方法であることがわかった。

参考文献

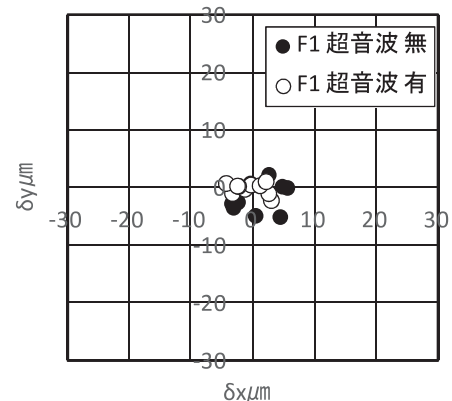
- 1) 例えば 松岡甫篁：新しい穴加工技術，工業調査会，P.17（1987）
- 2) 米山 陽，他：山梨県工業技術センター研究報告，No.28, P.44-47（2014）
- 3) 狩野勝吉：難削材・新素材の切削加工ハンドブック，工業調査会，P.24-25（2002）
- 4) 狩野勝吉：難削材の上手な削り方 ステンレス鋼，日刊工業新聞社，P.138-140（2010）



(1) $F=5\text{mm/min}$



(2) $F=2\text{mm/min}$



(3) $F=1\text{mm/min}$

図9 加工穴位置誤差（ダイヤコートドリル）