

北見工業大学 ○小出義浩 (大学院) 田牧純一 北川武揚

要 旨

積層型圧電素子の振動を利用した振動付加工機を試作し、電着ダイヤモンド軸付小径砥石による硼硅酸ガラスの振動付加研削切断加工を行ない、その効果を確認した。併せて研削液中への Al_2O_3 微粒混入による電気泳動現象援用の効果を検討した。また、応用加工例としてボーリング加工を行ない、チッピング量減小を確認した。

1. 緒言 ガラス、セラミックスなど硬脆材料の有効な加工技術として超音波加工法があるが、この方法は工具を含む振動系を共振状態に維持しなければならず、これが加工方式の汎用性を妨げている。

本研究では積層型圧電素子の高変位高応答性を利用した非共振振動を工具に付加する加工機を試作し、電着ダイヤモンド軸付小径砥石への振動付加の効果を検討した。また、この加工機の振動周波数は超音波方式に比べて低く加工能率等の低下が予想されるため、電気泳動現象を利用した遊離砥粒供給状態の能動的制御も併せて検討した。

2. 実験装置の概要 試作した実験装置の概要を図1に示す。この装置はPCによる制御およびコントローラによるマニュアル操作が可能な3軸制御マイクロ加工用テーブル、振動スピンドルおよびその制御部、電気泳動現象利用のための直流電源から成る。マイクロ加工用テーブルの最小移動量はX, Y軸方向で $0.04 \mu m$ Z軸方向で $0.33 \mu m$ である。

試作した 振動スピンドルの構造を図2に示す。この振動スピンドルは玉軸受と直動ボールプッシュで構成されており、小径軸付砥石に回転と振動を同時に伝達することが可能である。なお、回転時において積層型圧電素子に引張り力、曲げ、振りモーメントが作用しないよう設計に工夫を施した。

3. 実験方法 実験条件を表1に示す。工具として電着ダイヤモンド軸付砥石($\phi 2mm$)を用い、ワックスでグラファイト板上に接着した厚さ $1mm$ の硼硅酸ガラスの切断加工を行なった。また応用加工例として、超音波加工によって $\phi 9mm$ の下穴をあけた硼硅酸ガラスのボーリング加工を行なった。加工面の評価は、切断加工においてはガラス切断面の砥石送り方向の仕上面粗さ、切断面エッジのチッピング量を触針式粗さ計で測定した。また、工作物送り方向の研削抵抗を、試作したひずみゲージ式動力計で測定した。ボーリング加工においてはチ

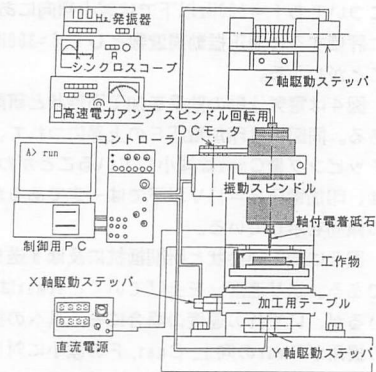


図1 実験装置概要

表1 加工実験条件

砥石	軸付電着砥石 砥石部外径 $\phi 2mm$ 、幅 $4mm$ (#100/120ダイヤモンド)
工作物	硼硅酸ガラス 厚さ $t=1.0mm$
運動条件	<切断加工> 回転数 $n=3000 \text{ rpm}$ 送り速度 $v=5, 15, 25 \text{ mm/min}$ 切込み量 $\Delta=1.2 \text{ mm}$ 振動周波数 $f=100, 200, 300, 1000 \text{ Hz}$ 振動振幅 $a=10, 20 \mu m$ <ボーリング加工> 回転数 $n=3000 \text{ rpm}$ 送り速度 $v=5 \text{ mm/min}$ 切込み量 $\Delta=5, 20, 100 \mu m$ 振動周波数 $f=300 \text{ Hz}$ 振動振幅 $a=10 \mu m$
加工液	蒸留水+ Al_2O_3 (粒径 $1 \mu m$) (混合重量比 0.99, 1.99, 4.76, 9.09, 25%)
直流電圧	砥石側 GND 電圧 <切断加工> $E=5, 15, 25 \text{ V}$ <ボーリング加工> $E=25 \text{ V}$

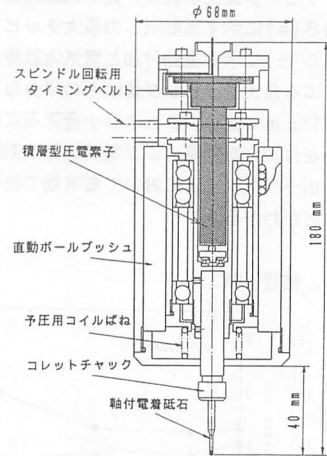


図2 振動スピンドルの構造

ピングの発生状況を光学式顕微鏡にて観察した。

4. 実験結果 図3は加工面性状と研削抵抗に及ぼす工具振動振幅、周波数の影響を調べた結果である、なお振動周波数1kHzの場合、振幅10 μ mを維持できなかったため、振幅8 μ mで実験を行なった。この図より、工具に振動を付加することによって仕上面粗さ R_{max} が向上し、チップング量 C_{max} （最大チップング量の平均値）が減少していることがわかる。また振動周波数 f が高くなるにつれてさらに仕上面粗さ R_{max} は向上し、チップング量 C_{max} も減少している。工作物送り方向研削抵抗 F については振動付加により減少している。研削抵抗 F は振動周波数 $f=300$ Hzで最小値に達するが、これ以上の振動周波数では増大の傾向を示している。一方、同一周波数の条件下では振動振幅が大きくなるにつれ仕上面粗さ R_{max} が向上、チップング量 C_{max} が減少し、研削抵抗 F についても $f=300$ Hz以下では減少傾向にある。これらの結果を総合的に評価すると適正振動周波数として $f=300$ Hz、振幅 a は大きい方がよいことがわかる。

図4は電気泳動の効果加工面性状と研削抵抗に関して調べた結果である。同図より印加電圧 E の上昇につれて、仕上面粗さ R_{max} は向上し、チップング量 C_{max} は減少していることがわかる。研削抵抗 F については、印加電圧 $E=15$ V以下では一定であるが、それ以上の電圧では増加の傾向を示している。

図5は加工面性状と研削抵抗に及ぼす送り速度 v の影響を調べた結果である。送り速度 v を上げていくと R_{max} は劣化、 C_{max} 、 F は増大しているが、いずれの速度の場合にも工具への振動付加および電気泳動現象の採用が R_{max} の向上、 C_{max} 、 F の減少に対して有効であることがわかる。

図6はボーリング加工後の硼硅酸ガラスの加工面(ワックス固定側)のチップング発生状況を、光学式顕微鏡にて観察した結果の一例である。図6(a)に示す振動無しの最大チップング量が30 μ mであるのに対し、図6(b)に示す振動付加と電気泳動援用による最大チップング量はその半分以下の10 μ mである。これより小径砥石に振動を付加した効果および電気泳動の効果がボーリング加工においても有効であることがわかる。

5. 結言 略

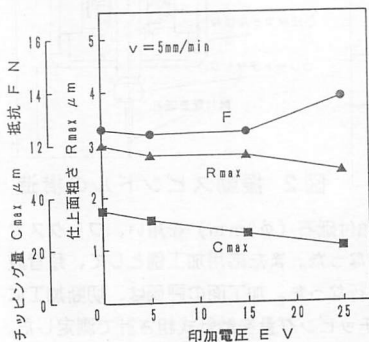


図4 電気泳動の効果

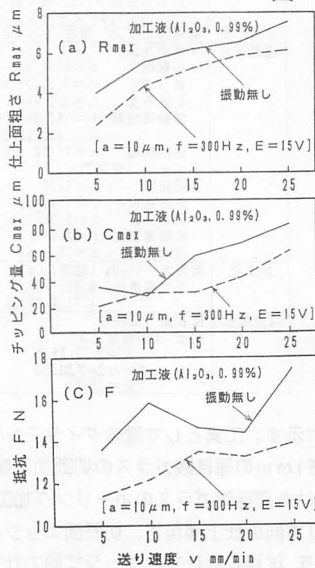


図5 送り速度の影響

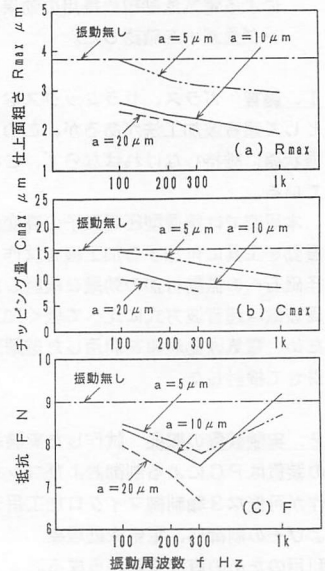


図3 振動周波数、振幅の影響

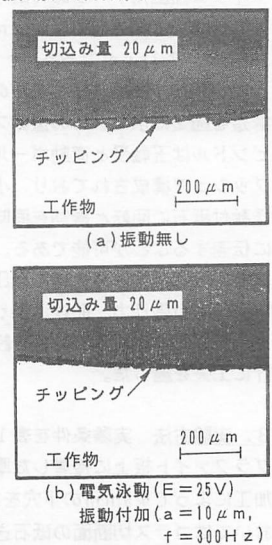


図6 ボーリング加工例