

# 高周波振動付加によるセラミックスの高能率・高精度加工に関する研究(第4報)

水江 宏 ・ 城門 由人  
生産技術部

## Study on Ultrasonic Machining of Ceramics for Jig Grinding Machine

Hiroshi MIZUE ・ Yukihito KIDO  
Production Engineering Division

### 要旨

難削材を高能率に微細加工するために、慣用加工に物理的・化学的作用を援用した複合加工について多くの研究がなされている。本研究では被削材に高周波振動を付加することで効率的に機械加工・電気加工を行うための超音波振動台を試作し、形彫放電加工に当台を応用し、慣用加工と比べて加工時間の短縮が確認できた。また、汎用加工機上に設置した当台で超音波遊離砥粒加工への応用の可能性を示した。さらに、被削材の着脱作業効率向上のため電磁チャック機能を持つ超音波振動台を試作し振動特性を評価した。

### 1. はじめに

セラミックス等の硬脆材料の加工は能率・精度の面で多くの問題を抱えている。これに対して、高周波振動を複合した研削(研磨)・切削加工に関して多くの研究開発・実用化がなされている<sup>(1)(2)</sup>。振動付加の対象は工具(主軸)が多くを占めている。しかし、回転工具を利用した場合、加工機がコスト高になり工具回転精度が低下する問題がある。また、加工液に振動を付加する方法は、簡便な方法だが効果が小さく適用に制限がある<sup>(3)(4)</sup>。

一方、被削材に振動を付加する場合は、被削材の大きさ・形状・材質等の影響で振動させることは難しい。しかし、振動の波長に対して被削材が十分に小さいと限定すれば、形状・材質が多少変化しても振動を付加することは容易である。さらに、主軸(工具)と被削材がそれぞれ回転運動と振動を分担できるので、工具の回転精度を向上させることが容易となる。また、既存の加工機を改造することなく超音波加工機の加工能率を得られる。

そこで、高周波振動を被削材に付加するための「超音波振動台」を試作し、その有効性を検証した。

前報では、超音波振動台の振動解析・構造解析・設計および、振幅などの振動特性や連続発振試験で性能を評価した。また、ダイヤモンド工具によるアルミナセラミックスの穴加工・輪郭加工実験を行い、研削抵抗と工具磨耗の状態から加工能率を評価し、振動特性や加工能率など実用化が期待できる性能を確認できた。

本報告では、超音波振動台を形彫放電加工と遊離砥粒加工に応用し効果を確かめるとともに、被削材の着脱作業の効率を向上させるため電磁チャック機能を有する超音波振動台を試作したので報告する。

### 2. 形彫放電加工

微細形彫放電加工における加工速度向上を目的に、超硬材料に超音波振動を付加して放電加工実験を行った。実験条件を Table 1 に示す。また、加工実験の様子を Fig.1 に示す。形彫放電加工機は三菱電機製 EA-12E を使用した。

振動放射面に円柱形状の超硬材料を接着し、直径 0.2mm と 0.4mm の中実銅電極で穴加工を行い、加工時間の測定で加工能率を評価した。噴流は使用せず、加工電流は 1.5A とし、その他の電気条件は工作機械メーカ推奨の超低消費条件を使用した。加工中の振幅 (P-P) は液中のため直接測定できなかったが、高周波電源の消費電流値から約  $2\mu\text{m}$  ~  $3\mu\text{m}$  程度と予想される。

なお、Fig.1 では、高周波電源と放電加工機の電気系統を分離するために、被削材・超音波振動台・放電加工機テーブルをそれぞれ絶縁し、被削材と放電加工機テーブルを銅線で短絡させているが、その後の実験により、被削材・超音波振動台・加工機テーブルは絶縁せずとも問題なく加工できることが判明した。

Table 1 Experimental condition of electrical discharge machining

Work material	Cemented carbide
Work size	$\phi 6\text{ mm} \times \text{H}3\text{ mm}$
Electrode material	Cu
Electrode diameter	$\phi 0.2\text{mm}$ , $\phi 0.4\text{mm}$
Current	1.5A
Frequency	16 kHz
Amplitude (P-P)	$2 \sim 3\mu\text{m}$

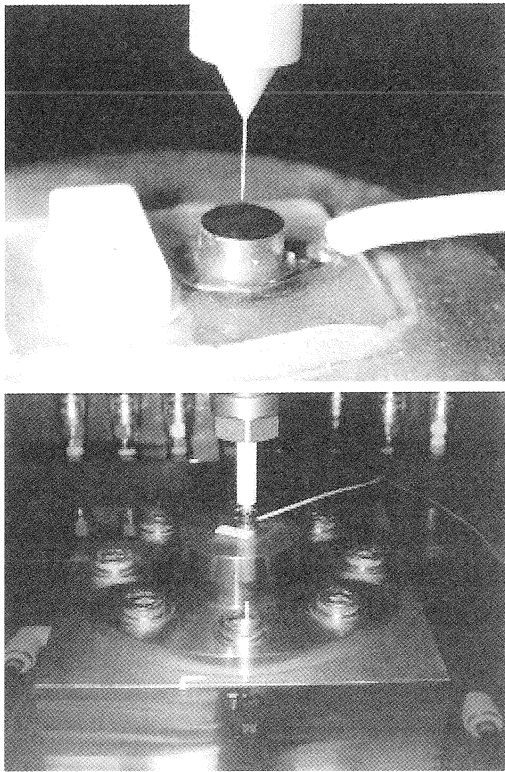


Fig.1 Experimental setup of electrical discharge machining

Fig.2 に加工時間と加工穴深さの関係を示す。電極径 0.2mm の場合、45 分間加工を行い、振動なし加工に比べて振動付加工では、約 30% 深く加工できた。電極径 0.4mm の場合、穴深さ 2mm まで加工行い約 12% 加工時間が短縮できた。

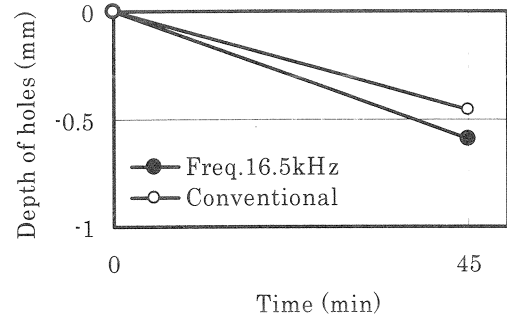
振動付加工では、加工開始時にわずかに電極の磨耗量が多い傾向にあったが、本データは磨耗量を勘案した実加工深さを示している。また、加工開始時は振動を付加せず、加工が安定した後振動を付加させると、より加工時間が短縮されると予想される。

Fig.3 に放電加工後の穴入り口の状態を示す。振動有り無しとの比較では穴入り口の状態に振動の影響は確認されなかった。

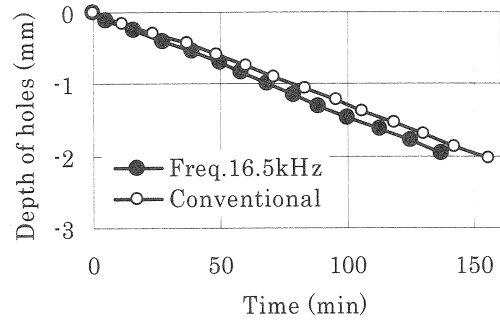
### 3. 遊離砥粒加工

汎用加工機上での超音波遊離砥粒加工の可能性を確認するため、振動放射面にダイヤモンドスラリを溜め、円筒型のピン工具をダイヤモンドスラリを介して被削材に押し付けることで穴加工を生じさせた。

加工条件を Table 2 に示す。被削材はアルミナセラミックスを使用した。主軸は回転させずに、下(Z)方向送り、マイクロホンからの研削音を聞きながら、手動(0.1  $\mu\text{m}$  分解能送り)で進めた。ダイヤモンドスラリの供給には小筆を用いた。

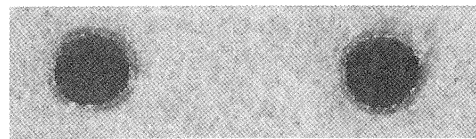


(a) Electrode  $\phi$  0.2mm

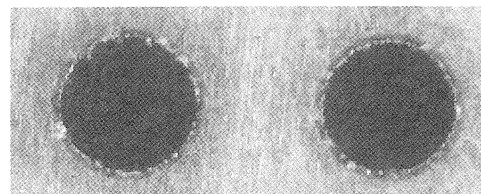


(b) Electrode  $\phi$  0.4mm

Fig.2 Electrical discharge machining time and depth of holes



With vibration                      Conventional  
(a) Holes of cemented carbide  
(Electrode  $\phi$  0.2mm)



With vibration                      Conventional  
(b) Holes of cemented carbide  
(Electrode  $\phi$  0.4mm)

Fig.3 Entrance of holes

Fig.5 に加工穴と加工後の工具の状態を示す。穴深さは 0.35mm、加工時間は 125min であった。手作業によるスラリ供給や工具磨耗の観察など送り休止時間も加工時間に含めている。ダイヤモンド砥粒は超音波振動により液体内を運動しており、スラリの局所的な循環には本手法は都合がよいことが加工中の顕微鏡観察で確認された。

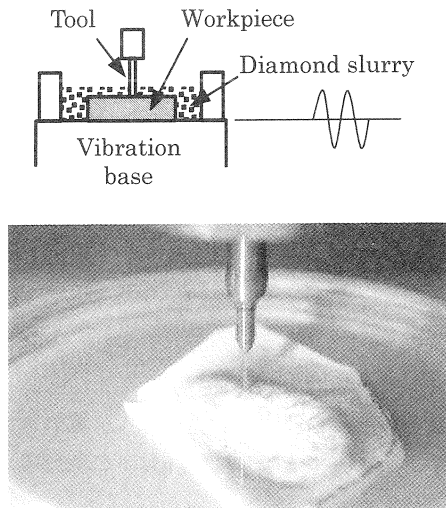


Fig.4 Experimental setup of free abrasive machining with ultrasonic vibration

Table 2 Experimental condition

Pin type tool	$\phi$ 0.195mm SKD11 (none thermal treatment)
Diamond slurry	18~22 $\mu$ m
Frequency	16.4 kHz
Amplitude(P-P)	3.8 $\mu$ m



(a) Workpiece  $Al_2O_3$   
(b) Pin tool SKD11 ( $\phi$  0.195mm)

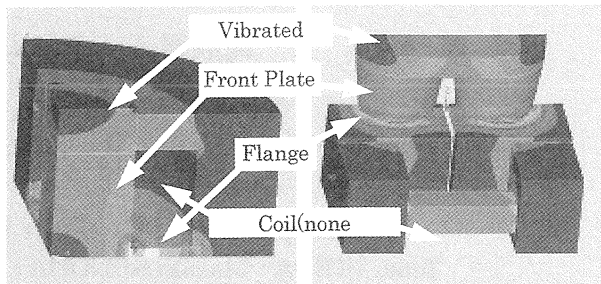
Fig.5 Photo of hole entrance and pin tool after machining

#### 4. 電磁チャック機能を有する超音波振動台

被削材の着脱作業の能率向上を図るため、電磁吸着機能を付加した超音波振動台の有限要素解析を行った。

PC解析(ansys5.6)の結果を Fig.6 に示す。Type1 は、前面板外周部にコイルを配置した1組の圧電素子を使用する方法、Type2 は、前面板のフランジ部から継鉄部材を介することで振動子の外部にコイルを配置した複数組の圧電素子を使用する方法である。いずれのタイプでも、振動の機械抵抗を考慮したフランジ薄肉部が磁気回路上の抵抗となっていることがわかる。

PC解析による吸引力計算の結果は、Type1 の場合、6.2kN、Type2 の場合、13kNであった。



(a) Type1 1/4model (b) Type2 1/2model  
Fig.6 Analysis result of magnetic flux density

Type1 を試作した結果、得られた振動特性は、周波数 17.8kHz、振幅(P-P)1.31  $\mu$  mであった。また、コイル消費電流と伝達しうる振幅の関係を Fig.7 に示す。ほぼ正比例しており、磁力を強くすれば大きな振幅が得られることがわかる。

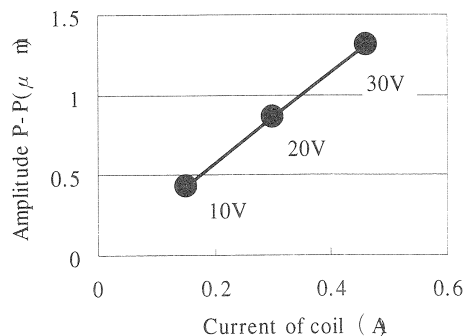


Fig.6 Relationship amplitude and current of coil

#### 5. まとめ

形彫放電加工では、超音波振動台を使用することで、加工時間の短縮が確認できた。また、微細な加工ほど振動の効果が大きく現れた。

汎用加工機で超音波遊離砥粒加工が可能であることを示した。

超音波振動台に電磁チャック機能を付加できる可能性を示し、試作した振動台では 1.3  $\mu$  m の振動を得た。

本研究開発の遂行にあたりご指導を賜りました九州大学鬼鞍宏猷教授及び推進委員の皆様に対し深謝します。

本研究開発の一部は経済産業省の中小企業技術開発産学官連携促進事業の補助を受けて実施しました。

#### 参考文献

- (1) (社)日本電子機械工業会, 超音波工学, コロナ社
- (2) 道津ら, 精密工学会春季大会講演論文 P184D75 等
- (3) 胡ら, 1999 砥粒加工学会講演論文集 P155
- (4) 鈴木ら, 1999 精密工学会春季講演論文集 P233