

## 高周波振動複合微細放電加工技術

小川 仁\*, 野上輝夫\*\*, 森本 巖\*

Hitoshi Ogawa, Teruo Nogami, Iwao Morimoro

## 抄 録

放電加工において加工能率に影響を与える要因の一つに加工屑の処理が挙げられる。特に微細加工においては微弱電気条件を用いるため加工極間が非常に狭く、加工屑が排出しづらい状態となりこの効果を大きく受ける。本研究では、放電加工時の加工液に超音波振動を複合させ、加工能率の向上を図った。超音波振動は放電加工時における加工屑の排出性を向上させるのに効果があり、加工速度を飛躍的に向上させ、また、従来の放電加工技術に比べ2倍以上の深穴加工が可能となった。

## 1 はじめに

近年、機械装置の高性能化や高機能化、小型化に伴って、機械構造部材に新素材の適用あるいは複雑形状加工や微細加工への対応が求められ、専用の機械加工装置の開発や加工技術の開発が進められているが、加工精度や生産面あるいは高硬度熱処理材への対応等で多くの課題を抱えている。

微細加工、高硬度熱処理材への加工には一般的に放電加工が用いられる。しかし、他の機械加工法に比べ、単位時間あたりの加工除去量が小さく、一種の溶融加工法であるため、加工面の精度が劣ることや熱的変質層が生じることが課題である。これらの課題が解消すれば、利用価値はさらに高くなると考えられる。

本研究では微細放電加工に対して高周波振動を被加工物または加工液に付加する複合放電加工によって、加工能率および加工面品位の向上を図り、微細形状金型や微細工具、部品等の加工に実用レベルで応用可能な技術開発研究を行った。

## 2 実験方法

実験に用いる加工条件を表1に、超音波振動の付加条件を表2に示す。使用した放電加工機にはワイヤ放電研削装置(WEDG)が装備されており、これにより無垢電極を所要の電極径(50 $\mu$ m)に仕上げる。加工はコンデンサ放電回路(RC回路)で微弱電気条件にて行った。

微細放電加工においては、特に加工屑の排出が重要視され、現在では電極を半月状に仕上げアスペクト比(加工穴径に対する加工深さの比L/D)10倍の深穴加工が可能と言われている。また、主軸や工作物に取り付けた治具に超音波振動子を組み込み、放電加工に超音波振動を付加する加工方法によって加工能率の向上が図れている。<sup>1)2)3)4)5)</sup>

本研究では、超音波振動を電極あるいは工作物に作用させるのではなく、加工液に振動を付加することにより加工能率の向上を試みた。超音波振動付加様式は図1に示すように、先端に超音波振動子を取り付けたホーンを加工液中に設置し、超音波振動の有無、超音波振動子と加工局部との位置関係による加工能率の変化について検討した。

表1 加工条件

|         |   |
|---------|---|
| 放電加工    |   |
| 加工機     | 三菱電機ED - SCAN 8 E                       |
| 放電加工油   | ・ EDF-K<br>・ 純水 (比抵抗8.6M $\Omega$ · cm) |
| 加工材料    | 炭素工具鋼、超硬合金                              |
| 電極      | 板厚0.5 $\pm$ 0.0mm                       |
| 回路      | AgW ( $\phi$ 50 $\mu$ m)                |
| 無負荷電圧   | RC回路                                    |
| コンデンサ容量 | 80V                                     |
| 電極回転数   | 510pF                                   |
| 強制引上動作  | 1000rpm                                 |
| 揺動半径    | あり, なし<br>3 $\mu$ m                     |

\*電子機械課 \*\*企画情報課

表2 超音波振動付加条件

|      |  |
|------|--|
| 使用機器 | ・本多電子 超音波ウェルダ<br>発振周波数28KHz<br>出力150W<br>ホーンから加工局部までの距離<br>L1 ~ L3 : 1.0 2.0 3.0mm |
|------|--|

また、通常の型彫り放電加工では加工液に灯油系の油を用いるが、近年の微細加工用工作機においては比抵抗を極力高めた超純水が用いられている。放電加工における加工液の作用は極間の絶縁回復、放電爆発の発生、放電部分の冷却、加工屑の排出に大別され、加工に対し非常に重要な因子であり、加工液の状態が加工能率に大きく影響する。そこで、純水加工を行う場合の超音波振動の複合効果について検討した。

また、放電加工機に付属の機能である強制引上動作および揺動動作の付加による効果について検討した。揺動は通常加工側面の仕上げを目的とするが、微細加工では穴径を揺動半径値だけ拡大させ、加工屑の排出性を向上させる目的で付加した。揺動パターンは円運動とし揺動半径は3 $\mu$ mとした。また、超音波振動は電極送り量0.7mm付近から付加し、強制引上は加工速度が低下する1.4mm付近から付加した。



図1 超音波振動複合放電加工の状態図

### 3 実験結果および考察

#### 3・1 超音波振動エネルギーの違いによる効果

図2に超音波ウェルダを加工局部に設置し、加工局部からホーン先端までの距離を変化させた場合の加工時間と電極送り量との関係を示す。慣用加工では加工開始とともに徐々に加工が進行するが速度

は非常に遅く、特に、電極送り量が0.4mmを超える付近から主軸の引上げを行うジャンプ動作が頻繁に生じ、加工が進行しなくなった。このジャンプ動作は放電集中や短絡等放電が不安定となった場合に、その状態を回避するための主軸引上げ動作であり、ジャンプ動作が頻繁に生じる状態は極間が不安定な加工環境下である。

一方、超音波振動を付加した加工では加工開始から極端な加工速度の向上が見られ、その効果はホーンから加工局部までの距離が近づくほど、つまり、超音波振動のエネルギーが強く作用するほど顕著となった。また、超音波振動複合加工ではジャンプ動作は全く生じず安定して加工が進んだ。

図3にこの時の加工穴入り口の拡大像を示す。上側3穴が慣用加工、下側3穴が左から極間からホーンまでの距離が3mm、2mm、1mmの順とした超音波振動複合加工である。加工穴径には大きな変化は見られず共に65 $\mu$ m程度であるが、慣用加工において入り口付近に縞模様が確認できた。これは加工屑の堆積によるものであり、慣用加工では加工屑の排出性は極めて悪いため生じたものと思われる。

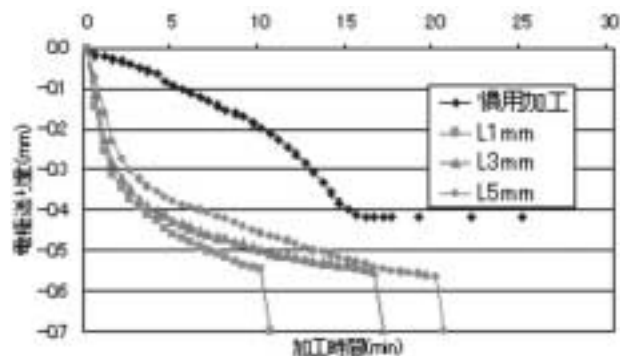


図2 慣用及び超音波振動複合加工における加工能率の変化

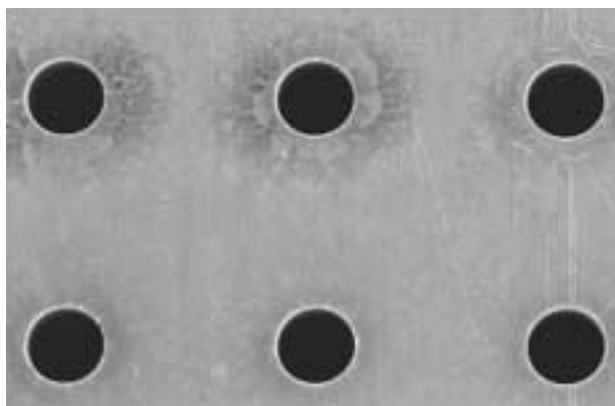


図3 慣用及び超音波振動複合加工における加工穴の拡大像

### 3・2 加工液の違いによる効果

図4に加工液に油,超純水(比抵抗 $8.6\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ )を用いた場合の超音波振動有無による加工能率の変化を示す.加工液に超純水を用いた場合,油に比べ加工速度が向上し,超音波振動を付加することにより,さらに顕著な加工速度の向上が確認できた.

また,図5にこの時の加工穴の拡大像を示す.油加工の場合は超音波振動の有無にかかわらず $65\mu\text{m}$ 程度の穴径であるのに対し,純水加工の場合,慣用加工では $80\mu\text{m}$ ,超音波振動複合加工では $82\mu\text{m}$ と油加工に比べ穴径が拡大する結果となった.これは,加工液の比抵抗に起因するものであり,純水加工の場合,油に比べ比抵抗が小さいため放電極間が広がり穴径も拡大したと考えられる.穴径が大きくなった場合には加工屑の排出性も向上し,加工速度の飛躍的な向上につながったものと考えられる.なお,超純水加工においては加工面に電解作用による変質層が若干残るため油加工に比べ加工面粗さが悪い状態となった.

これらのことから,加工穴の寸法精度,面精度を要求する場合には油加工を行うことが好ましく,加工面品質より加工速度を重視する場合には純水加工を行うなど,加工液を使い分ける必要がある.

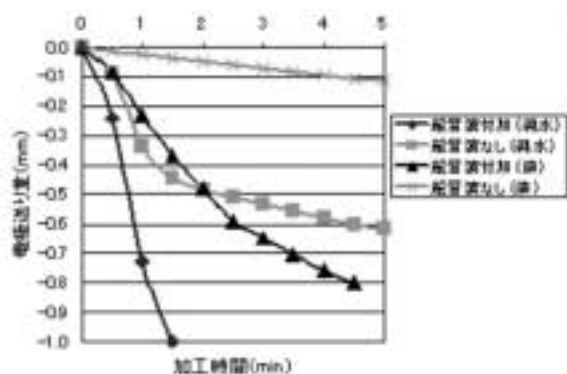
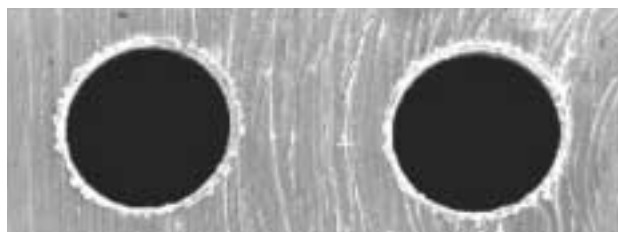
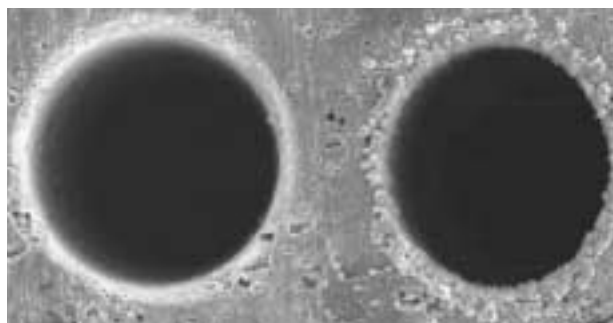


図4 加工液の違いによる加工能率の変化



超音波振動加工 慣用加工  
加工液に油を用いた場合



超音波振動加工 慣用加工  
加工液に純水を用いた場合

図5 加工液の違いによる加工穴の拡大像

### 3・3 強制引上および揺動動作による効果

図6に油加工における揺動と強制引上動作を付加した場合の加工能率の変化を示す.揺動及び強制引上動作を付加することにより超音波振動加工のみに比べより深穴加工が可能となった.片側 $3\mu\text{m}$ の揺動を付加したため穴径は若干拡大したが,加工アスペクト比は17倍に向上した.

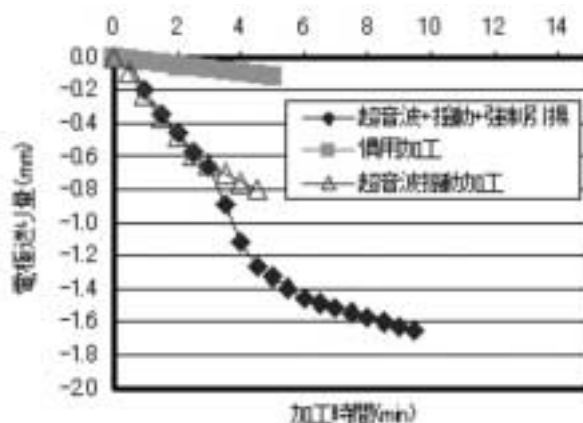


図6 揺動,強制引上動作を付加した場合の加工能率の変化

## 4 まとめ

微細放電加工において加工液に超音波振動を複合させることにより以下のことが明らかとなった.

- 1) 超音波振動を複合することにより加工極間の加工屑の排出性が向上し,加工速度が飛躍的に向上し,また,アスペクト比12以上の深穴加工が可能となった.
- 2) 加工液に超純水を用いることにより,油加工に比べ加工速度が向上することが明らかとなった.この場合,加工面の面精度は低下する.
- 3) 高周波振動複合微細放電加工に揺動及び強制引上運動を付加することによりアスペクト比17倍

の深穴加工が可能となった。

## 謝 辞

今回の研究にあたって、シミズ精工(株)、(株)マシンパーツ、並びに中小企業技術開発産学官連携促進事業における委員の皆様方にご指導、ご協力をいただきましたこと、厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 齋藤長男, 毛利尚武, 高鷲民生, 古谷政典: 放電加工技術 - 基礎から将来展望まで, 日刊工業新聞社 (1997年)
- 2) 山岸光, 池田博通, 河部繁, 新井亮一: 微細放電加工における電極形状と加工特性, 長野県精密工業 試報, No 9, P 5 ~ 8 (1996)
- 3) 山岸光, 池田博通, 河部繁, 新井亮一: 微細放電加工における金型製作技術, 長野県精密工業 試報, No .10, P10 ~ 13 (1997)
- 4) 齋藤長男: 超音波振動利用による放電加工, 機械と工具 (1988), P61 ~ 65
- 5) 顔炳華, 陳明德: 超音波付加によるTi 6Al 4V合金の放電加工特性の向上, 軽金属 (1994), Vol 44, No 5