

微細穴量産加工用放電加工装置の開発

Development of EDM System for Mass Production of Microholes

許 東 亞*・増 沢 隆 久*・藤 野 正 俊*

Dong-Yeah SHEU, Takahisa MASUZAWA and Masatoshi FUJINO

1. 背景と目的

最近、電子技術、機械技術などの進歩に伴って、マイクロオーダーの加工技術は不可欠になってきた。特に、インクジェットプリンタノズル、エンジン用噴射ノズル、紡糸用のノズル、医用機械、センサ部品などでは微細穴加工がますます重要になってきた。

WEDG¹⁾ によれば数ミクロンの微細穴を加工することができる。また、純水を加工液として、ジャンプ機構を採用し工作物をジャンプさせることによりアスペクト比約20程度の微細深穴の貫通加工ができる²⁾。しかし、放電による微細穴加工にはいくつかの未解決の問題があるため、量産には依然としてあまり応用されていない。これらの問題のうち主要なものは以下の通りである。

- (1)電極の成形が長時間を要する。
- (2)連続的な微細穴加工が困難である。
- (3)電極素材交換の自動化が難しい。

従って、より低コスト、高精度な微細穴を量産する場合、上記の問題を解決しなければならない。本研究は、上記の問題点に対応して以下のような技術開発を行うことを目的とする。

(1)従来の加工方式では、単一 WEDG ユニットを用い、荒加工した後、改めて仕上げ加工を行っているが、より効率よく電極を成形する為に、2つの WEDG ユニットを同時に用いることにより電極成形の効率化をはかる。

(2)従来の微細穴加工では、電極成形した後、その電極を用いて微細穴加工を行う。この2つのプロセスを順番に行うため、加工効率が低い。連続的に微細穴を加工するために、電極成形と穴加工を同時に進行させることができる加工システムを提案する。

- (3) $\phi 100 \mu\text{m}$ 以下の微細穴加工では主軸先端に備えられ

たホルダなどで電極素材を固定する構造になっている³⁾。このため、多数の微細穴加工を行った後、消耗した電極素材を新しいものに交換しなければならない。この素材交換は煩雑であり、多数の穴の連続的、自動的な加工を実現するための障害となっている。そこで、電極素材の突出した部分が消耗した際に素材を繰り出すような機構を導入することで、大量の微細穴加工の自動化をはかる。

2. 加工原理

2.1 ツイン WEDG 加工システム⁴⁾

電極の荒加工と仕上げ加工を同時に行うために、二つの WEDG ユニット (以下 WEDG A, WEDG B と称する) を設置する。この方式をツイン WEDG と呼ぶ。最初は WEDG A だけで荒加工を行うが、加工した電極の長さが WEDG A と WEDG B の間の距離を超えると、WEDG B が同時に仕上げ加工も行うようになる。このようにツイン WEDG 加工システムでは従来の単一 WEDG と違って、荒加工と仕上げ加工とを同時に行うことができる。

2.2 タンデム型一貫マイクロ EDM システム

電極成形と穴加工を同時に行うためにタンデム型一貫マイクロ EDM 加工方式⁵⁾ (Tandem Micro-EDM System) を導入する。この原理を図2に示す。電極の成形には、前節のツイン WEDG 加工システムを使用する。タンデム型一貫

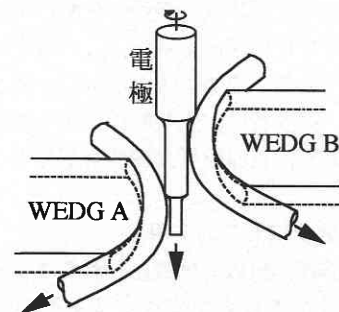


図1 ツイン WEDG システムの構成

*東京大学生産技術研究所 マイクロメカトロニクス国際研究センター

システムは電源を3つ使用しており、2つは電極成形に、もう一方は穴加工専用として用いる。以下前者を電源A、B後者を電源Cと称する。図のように、電源A、Bと電源Cとはマンドレル側に共通グランドを持ち、放電回路は電流Aと電流B、そして電流Cの3つの放電ループを構成する。

電極成形においては、荒加工と仕上げ加工を両方同時に行う。成形された電極の長さがおよそ1.5 mm (WEDG Bと工作物の距離)を超えた時点で、穴加工を開始し、以降、電極成形と穴加工が同時に進行することになる。穴を貫通した後、電極の消耗分に相当する長さをツイン WEDG 加工システムで追加成形するため、電極の消耗長さを考慮する必要がない。

2.3 自動的な電極供給システム⁶⁾

シャープペンシルのメカニズムを用いた電極供給方式を導入する。これにより連続的に大量の微細穴を加工する場合、消耗された電極を自動的に供給できる。このメカニズムを用いたシステムの構成を図3に示す。図のように、ツイン WEDG 加工システムとタンデム型一貫システム両加工手法を併用することができる。

大量の微細穴加工をする場合、ある数の穴を加工することにより電極の突出した部分が消耗してしまったら、シャ

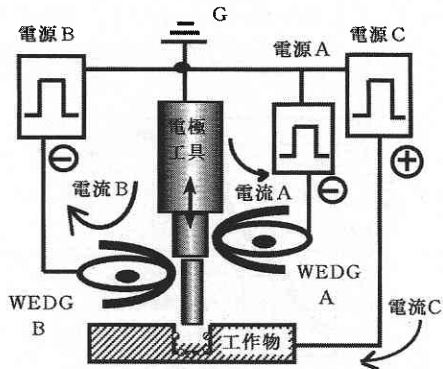


図2 タンデム型一貫加工システムの原理

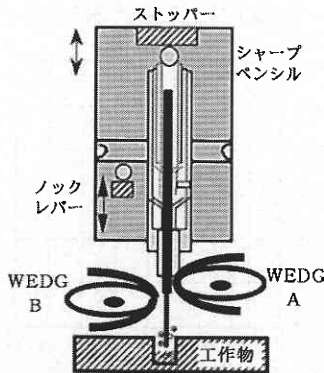


図3 量産型の微細穴加工システムの加工原理

ープペンシルのメカニズムにより一定長さ電極素材を供給し、再び連続的に微細穴加工を行う。このように素材を供給しながら素材全体を使い尽くすまで穴加工を繰り返すことができるので、大量の微細穴を加工することが可能である。

3. 実験装置の概要と加工条件

3.1 装置の概要

上記で開発した3つの加工システムを統合することにより、電極供給から成形、穴加工まで一貫して連続加工可能な“量産型微細穴加工システム”を試作した。装置の構成を図4に示す。加工装置は水平面にX軸・Z軸(主軸)の2つの自由度もつと共に、主軸の回転ができるようになっている。Xテーブルにツイン WEDG 加工システムが固定されており、リニアスケールを通して簡単に位置制御をすることができる。また、工作物は左右上下の方向に移動できるテーブルに取り付けられ、コンピューターで工作物の位置を制御する。

3.2 検出回路

普通の微細放電加工機は1つ放電検出回路があれば十分対応できるが、本研究では3つの放電検出回路を用いて電極の荒加工、仕上げ加工そして穴加工などにそれぞれ専用の検出回路として使用する。加工中に3つの検出回路を同時に検出することができる。常に3つの放電状況を監視しながら比較し、どれかに異常放電が起こったら、コンピューターの制御で回転軸(Z軸)を後方に戻し、正常な放電状況に回復させる。

3.3 マンドレル(主軸)

従来の超微細放電加工機用のマンドレルは先端に備えられたホルダ等で電極を固定する構造になっている。電極素材を正確に保持できるが、多数の穴を加工する場合、頻繁に電極を交換しなければならない。本実験では、使用しているマンドレル(主軸)は従来の微細穴放電加工機に付属されている回転軸を改造したもので、電極素材を供給するシャープペンシルのメカニズムを応用した機能が付加されている。

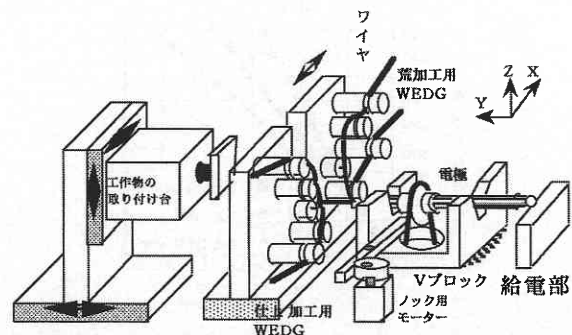


図4 量産型の微細穴加工システムの構成図

研究速報

3.4 加工条件

加工液は灯油を用いてステンレス製の注射針から極間および周辺によく流すことにした。加工電圧 80 V を設定する。荒加工, 仕上げ加工そして穴加工側はそれぞれコンデンサ容量を 22000 PF, 220 PF, 100 PF に固定する。電極材料は $\phi 300 \mu\text{m}$ の超硬合金, 工作物は SUS 304 板を用いて実験を行った。

4. 実験結果

4.1 電極成形の高速化—ツイン WEDG システム

図5に加工時の電極送り量の経時変化を示す。図から分かるように最初は荒加工だけであり, 成形された電極の長さ $300 \mu\text{m}$ を超えたところで仕上げ加工が開始し, 以降荒加工と仕上げ加工が同時に行われる。最初は荒加工だけを行うため, 電極の成形速度は速いが, 仕上げ加工を同時に行うと成形速度は遅くなる。また, 荒加工径が大きいければ大きいほど仕上げ加工の量が増えるため, 成形速度が著しく低下する。

図から分かるように, 荒加工径が仕上げ加工径に近く設定すると, 加工速度が大きくなる。仕上げ加工径が $40 \mu\text{m}$ の電極を成形する場合, 荒加工径が仕上げ径より約 $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 大きい値に設定するのが有利である。このような条件に設定した場合, 電極成形時間は荒, 仕上げ別々の場合に比べ約半分とすることができる。

4.2 連続的な微細穴加工—タンデム型一貫マイクロ EDM システム

図6に加工時の電極送り量の経時変化を示す。このように電極成形 (ツイン WEDG) の速度はほぼ一定であるが, 電極の長さが 1.5 mm (WEDG と工作物の距離) を超えると電極成形と穴加工の同時加工が始まり, 加工速度が少し落ちる。2番目以降の穴加工では電極が既に成形されているため, 穴だけの加工となり, 加工速度が速くなる。穴を貫通すると電極は追加成形される。

最初は 2 mm 以上の電極を成形しなければならないので, 加工総時間が長くなるが, 2個目以降の穴加工時間はおよそ3分くらいである。

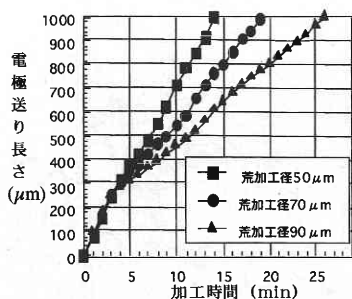


図5 ツイン WEDG 加工システムによる電極成形の加工進行状況 (仕上げ径 $40 \mu\text{m}$)

4.3 電極供給の自動化—シャープペンシルのメカニズムの応用

システム全体の動作状態を確認するため, 連続的に4つの穴を加工した後, 電極を切断してマンドレルをノックし電極を供給する実験を行った。このような繰り返し実験で合計16個の微細穴加工を行った。穴の貫通時間を図7に示す。図からわかるように, 供給された新しい電極を再び成形する時には長時間を要するが, 穴のみの加工時間はほぼ一定である。

4.4 大量の微細穴加工

厚さ $50 \mu\text{m}$ の SUS 304 を用いて, 大量の微細穴を連続的に加工した。連続的に40個の微細穴を加工した後, 電極を切断してマンドレルをノックし電極を供給する。また, ワイヤガイドと工作物の隙間にフラッシングすることを行う。このような手順に従って, 繰り返し合計400個の微細穴加工を行った。穴の外観を図8に示す。加工した穴の入口径の分布を図9に示す。穴径のばらつきは約 $5 \mu\text{m}$ から $6 \mu\text{m}$ である。また, 穴径の入口と出口の差は約 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ の範囲内で変化している。

5. まとめ

本研究では, (1)電極成形の高速化, (2)タンデム型一貫加工システム, (3)電極素材の供給方式の開発についてそれぞれの加工特性, 加工条件を明らかにした。また, 上記の研究を基に一貫生産システムとして全自動微細穴放電加工機

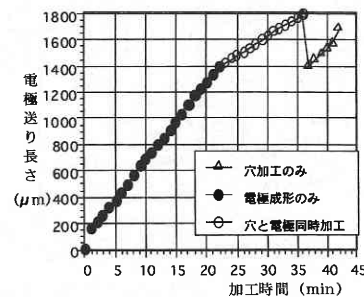


図6 タンデム型一貫加工により連続的微小穴加工中の電極進行状況

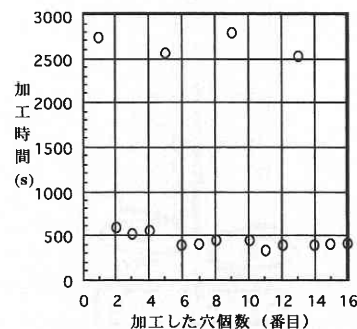


図7 連続加工時の各穴の加工時間

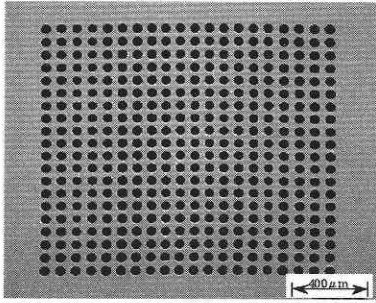


図8 量産型の微細穴加工システムにより加工した穴の外観—400個穴

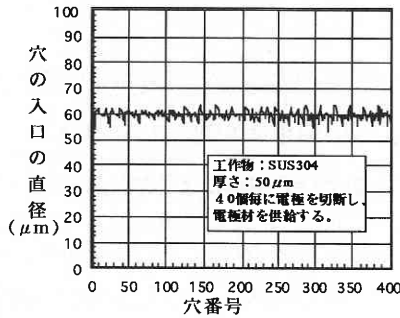


図9 量産型微細穴加工システムにより加工した穴の直径の分布

を試作した。

本研究の成果をその他のデータも含めて下記に示す。

ツイン WEDG システムの提案

(1)荒加工と仕上げ加工を両方同時に加工できることを確認した。従来の単一 WEDG と比べて、同様に真直度がよい細長い電極を加工することができる。

(2)ツイン WEDG 加工システムにより電極を成形する場合、加工効率が大きくなり、従来の単一 WEDG より 48% の時間短縮が得られた。

(3)成形した電極を観察すると、荒加工と仕上げ加工の表面の違いがはっきり見られるので、荒加工回路は仕上げ回路に大きな影響は与えないと考えられる。

タンデム型一貫マイクロ EDM システム

(1)穴加工と電極成形を両方同時に行うことが可能である。

(2)加工した微細穴の真円度は $0.5 \mu\text{m}$ 以下に収まっている。

(3)連続的に加工した穴径のばらつきは $2 \mu\text{m}$ 以内に抑えられている。

(4)入口と出口における穴径の差は工作物の厚さに依存する。 $200 \mu\text{m}$ に板に貫通穴を加工する場合、この差は $2 \mu\text{m}$ 以内である。

電極素材供給の自動化

(1)シャープペンシルのメカニズムの応用で消耗された電極素材を供給することが可能である。

(2)シャープペンシルのメカニズムによる電極素材供給方法はタンデム型一貫加工方式と併用して、連続的な大量の微細穴加工が可能である。

(3)電極供給した直後には、再成形しなければならないため、次の微細穴を貫通するまでには長時間を要する。貫通までの時間は約 30 分である。その後は、微細穴のみを加工するため、穴の貫通時間は約 3 分である。

(4)案内機構の繰り返し精度が不十分な場合、電極素材を供給する際、電極素材の位置がずれる可能性がある。試作した装置の場合、電極径のばらつきは約 $5 \mu\text{m}$ であった。その結果、連続的に加工した穴径にも $5 \mu\text{m}$ のばらつきがあった。

大量の微細穴加工

(1)長時間の微細穴加工を行う場合、マンドレルを繰り返しロックして電極素材を供給しなければならないため、シャープペンシル機構の位置がずれることがある。従って、より高精度な大量の微細穴加工を行うには、マンドレルとシャープペンシル機構を確実に固定しなければならない。

(2)本手法においては狭い空間に 2 つ WEDG ヘッドと工作物が配置されているため、連続的に大量の微細穴加工を行う場合、ワイヤガイドと工作物の隙間に分解されたカーボンが堆積しやすく、連続加工が不可能になる。従って、大量の微細穴を加工するには、ワイヤガイドと工作物の隙間への加工液のフラッシングを強化するなどして堆積物の除去を促進する必要がある。

謝 辞

本研究の実験装置試作に際し、東京大学生産技術研究所試作工場の皆様には多大なご協力を頂きました。また、本研究の一部は、笹川科学研究助成の支援で行いました。記して感謝申し上げます。

(2000年7月18日受理)

6. 参 考 文 献

- 1) T. Masuzawa, M. Fujino: Wire Electro-Discharge Grinding for Micro-machining, *Annals of the CIRP*, 34, 1 (1985)
- 2) 許東亞, 増沢隆久: 放電による微細深穴加工の研究～ジャンプフラッシング機能の応用～, 1997年度電気加工学会全国大会講演論文集 (1997) 105-108
- 3) 毛利尚武, 森田浩充, 斎藤長男: 電極ダイレクトドライブ方式による細穴放電加工機の開発, *精密工学会誌* 58, 12 (1992) 132
- 4) 許東亞, 増沢隆久: ツイン WEDG による微細電極の作成, 1999年度電気加工学会全国大会講演論文集 (1999) 33-36
- 5) 許東亞, 増沢隆久: タンデム型一貫マイクロ EDM システム, 1999年度電気加工学会全国大会講演論文集 (1999) 37-40
- 6) 許東亞, 増沢隆久: シャープペンシルのメカニズムによる電極供給方法の開発, 1999年度電気加工学会全国大会講演論文集 (1999) 41-44