

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：12103

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560123

研究課題名(和文)縮小成形機構を有するタンデム型微細放電加工法の開発

研究課題名(英文)Development of micro EDM method with tandem mechanism using reduced scale process

研究代表者

谷 貴幸 (Tani, Takayuki)

筑波技術大学・産業技術学部・教授

研究者番号：80279554

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、亜鉛合金の特徴を活用し、かつ連続加工へ適用できるタンデム電源方式を用いた多角形状の微細穴加工法を提案した。成形プレートに対して、あらかじめ四角形状、六角形状などの目的とする形状加工を施し、揺動運動を付与した成形プレートに放電させながら電極を通過させ、微細軸を縮小成形する。揺動幅を制御することによって任意の大きさの多角形微細電極の成形が可能となる。成形プレートが消耗が小さい条件、タンデム電源の構成、制御アルゴリズムなどを検討し、タングステンプレートに対して連続的に六角形などの微細穴を加工することに成功した。

研究成果の概要(英文)：This study proposes the simultaneous machining of polygonal microelectrode and microholes using tandem EDM mechanism. Two types power sources for forming polygonal pillar electrode and hole machining were installed on the same machine. These processes are carried out at the same time. A mask plate with the target shape is used for forming electrode. Planetary motion was applied to the mask plate and the polygonal micro pillar electrode was produced by this reduced scale process. In this process, low wear condition of the mask plate and high wear condition of the electrode were chosen. After the electrode was forming, polygonal microholes were drilled into the tungsten material using this electrode. In order to perform simultaneous machining of a microelectrode and microholes, a tandem structure mechanism was constructed. Continuous polygonal microhole machining was attained by applying the tandem EDM mechanism under the appropriate conditions.

研究分野：生産工学

キーワード：放電加工 微細穴加工 多角形状 亜鉛合金 成形プレート タンデム電源

1. 研究開始当初の背景

非接触加工である放電加工法は、加工反力が極めて小さく、微細加工の分野において効果を発揮している。微細な形状を加工するためには微細な電極の成形が必要であり、通常、この電極は取り付け誤差を排除するために機上で放電成形される。ただし、連続的な穴加工などを実施するためには、電極の消耗が大きいと軸成形と穴加工を繰り返す必要があり、この場合には膨大な時間を要することになる。

一般的に連続的な微細加工においては、ガイドと長い電極を組み合わせた繰り出し方式を用いることが多いが、予め準備された電極による加工であり、数十 μm 程度の微細形状あるいは多角形状への対応は困難である。特殊な機上成形の例としては、電極材料を銀として機上で微細な三角形状を押し出し成形し、そのまま放電加工を実行する方法が提案されている。主轴の割出機構を用いることによって複雑な形状の創成が可能であるが、電極材料の価格は別としても、押し出し成形装置を主轴に装備する必要があるなどの問題がある。

一方、多角形状の微細穴加工法としてマスクプレートを用いた亜鉛合金電極による放電加工法が提案されている。この加工法は亜鉛合金電極の消耗がプレート材料に対して非常に大きいことに着目した方法であり、マスクの形状に対応した任意形状の多数穴加工などを可能としている。しかしながら、この方法でより微細で複雑な形状の加工を実現するためには、目的とする形状に対応したマスクの製作が必要となる。また、電極成形条件と加工条件とが同じとなるため、電気条件の設定にも制約を受ける。

このように電極形状さえ成形できれば複雑な形状の微細加工にも対応できる放電加工法であるが、任意形状、微細形状、多数穴加工を満足できるような実用的な電極成形法は、今のところ考案されていない。

2. 研究の目的

本研究では、亜鉛合金の特徴を活用し、かつ連続加工へ適用できるタンデム電源方式を用いた多角形状の微細穴加工法として、

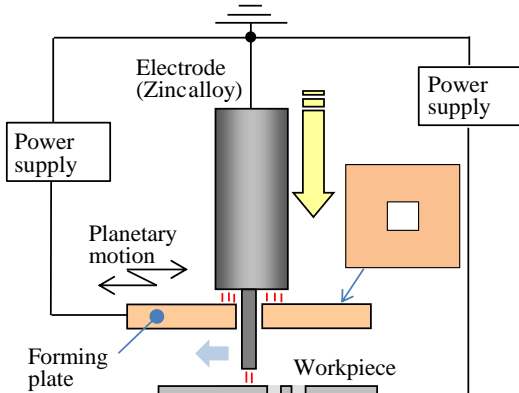


図1 微細軸・微細穴同時加工法

図1に示す成形プレートによる微細軸の縮小成形法を提案する。図1に示す手法では成形プレートに対し、あらかじめ四角形状、六角形状などの目的とする形状加工を施し、このプレートを揺動させながら微細軸成形を行う。この手法では、揺動幅を制御することによって任意の大きさの多角形微細電極の縮小成形が可能となる。揺動運動の付与は、極間の開放が促されるため、ジャンプ動作無しでも加工が安定となることが期待できる。これに加え、同図に示したようなタンデム電源方式を用いることで微細軸・微細穴同時加工による連続加工へと拡張できる。

3. 研究の方法

本研究では、図1で示した方法が成り立つための電気条件の選定およびその条件による電極の成形特性について検討した。また、成形された亜鉛合金電極の加工特性を銅電極との比較により検討した。さらに、得られた条件下で連続加工を行うためにタンデム電源方式を用いた加工装置を構成し、多角形の連続穴加工を試み、本方法の有効性を示した。

4. 研究成果

(1) 電気条件の選定

微細加工においては、一般的に短パルス条件が選択される。この条件下において適切な条件を見出すことを目的として、両極性におけるコンデンサ回路とトランジスタ回路での放電加工特性の比較を行った。それぞれの回路におけるパルス幅は、コンデンサ回路では $0.2\mu\text{s}$ 、トランジスタ回路では $2\mu\text{s}$ とした。それぞれの加工条件下での加工特性を比較した結果を図2に示す。なお、亜鉛合金の加工速度は「電極成形速度」とし、成形プレート(Cu)の消耗率は「成形プレート消耗率」とした。

コンデンサ回路においては、微細加工において従来述べられてきた結果と同様に、材料にかかわらずプラス極側が多く加工される結果となった。このことは、コンデンサ回路を用いれば、亜鉛合金を電極として穴加工等に用いることができることを示している。一方、トランジスタ回路においては、亜鉛合金

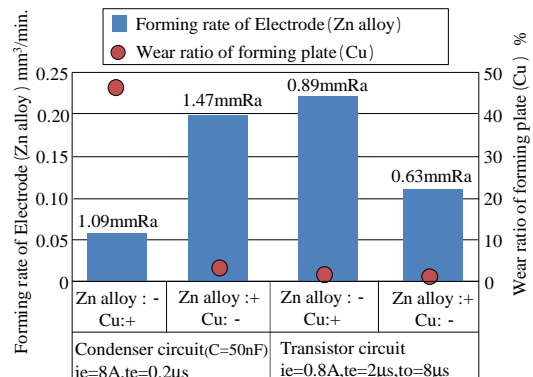


図2 短パルス条件下での加工特性

をマイナス極とした場合に、電極成形速度が高くなる傾向を示した。成形プレートとなる銅については、両極性ともほとんど消耗しない結果となった。放電加工におけるエネルギー配分は、パルス幅によって変化するが、常にプラス側が大きいことが報告されている。これを考慮すれば、亜鉛合金をプラス極とした場合に、加工速度が向上することが予想されるが、本研究の結果では逆の傾向を示した。すなわち、両極性での加工状態を放電波形により観察した結果、極性以外は同じ加工条件であるにもかかわらず、亜鉛合金をプラス極とした場合に短絡状態を含む間欠的な放電状態となった。亜鉛合金をプラス極とした場合は、銅表面に亜鉛成分の局所的な附着が確認されたことから、亜鉛合金の過度な溶融によって橋絡現象が生じて短絡に至ったと考えられる。

トランジスタ回路においては、休止時間の変更によって容易に加工速度を向上させることが期待でき、プレートの消耗もコンデンサ回路よりは小さく抑えられている。このことから、トランジスタ回路による短パルス放電条件が電極成形に適していると考えられる。一方、ZAPREC を電極として用いる場合には、先に述べたとおり電極極性をマイナスとしてコンデンサ回路を選択することが適している。それぞれの加工に適した電気条件を組み合わせることができるタンデム電源を構築すれば、微細軸・微細穴同時加工による連続加工が効率的に実施できると考えられる。

(2)電極の縮小成形

縮小成形法により多角形状の電極を成形するためには、成形プレートに対してコーナーRの極めて小さい四角形状、六角形状などの穴加工を行う必要がある。しかしながら、このような加工形状を成形することは現実的には容易ではない。そこで、本研究では、揺動運動を付与することを前提として、四角形状の電極を成形するために図3に示すような角部に逃げのある形状の成形プレートを製作した。ワイヤカット放電加工を用いれば、比較的厚いプレートに対しても、このような形状が容易に製作できる。同図には成形プレートを円揺動させたときのプレートの軌跡も示す。円揺動によって、逃げ部の形状が影響せずに四角形状が縮小されていることが分かる。このことから、円揺動運動を前提として成形プレートを設計すれば、比較的容易に成形プレートの製作が可能となる。また、揺動半径の設定によって縮小量を決定することもできる。

先に述べた条件（トランジスタ回路、 $i_e=0.8A$ 、 $t_e=2\mu s$ 、 $t_o=8\mu s$ 、亜鉛合金：-極性）において成形プレートに対して円揺動を付与し、3mm電極から500 μm の形状に成形した例を図4に示す。揺動した成形プレートを放電しながら通過することによ

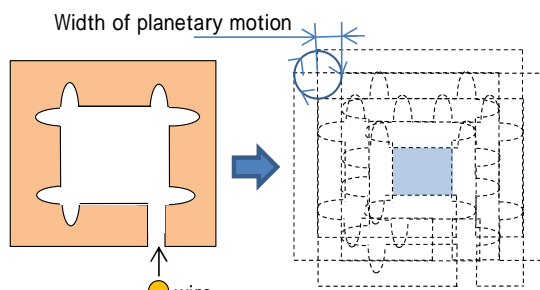


図3 成形プレート形状



図4 縮小成形された電極

て、多角形状の電極が成形されることが確認され、本方法による軸成形が可能であることが実証された。しかしながら、成形された軸形状を詳細に観察すると根元に向かって1~2 $\mu m/mm$ 程度の割合で微細軸が太くなる傾向を示した。この原因としては、成形された微細軸が成形プレートを通る際に二次放電が発生し、成形プレート側面が消耗したことが考えられる。よりストレートな軸を成形するためには、板厚を厚くすることや成形プレート側面に絶縁処理するなどの方法を検討する必要があると思われる。

(3)タンデム電源方式による連続穴加工

図1に示したタンデム電源方式によって構成した微細軸・微細穴同時加工を実施した。本システムの動作フローチャートを図5示す。

電極を電極成形側および穴加工側の共通のグラウンドとし、成形プレートおよび被加工物の極性がプラスとなるように電源を接続した。極間距離は、ローパスフィルターを通した双方の極間電圧を常時計測し、低い方の値と基準電圧とを比較することによって制御した（分岐A）。

低い方の値を選択することによって、どちらかの極間で短絡が発生しても、直ちに電極を引き上げて短絡を回避することが可能となる。被加工物の貫通は、下部に設置したダミーワークへの放電数をカウントすることにより検出した（分岐B）。ただし、コンデンサ放電は非常にパルス幅が短く、制御用PCが放電の発生を認識できない可能性があるため、同図に示したように電流の立ち上がりを検出してから一定幅のパルスを出力する回路を加え、ノイズの影響を考慮した最小パルス数をカウントすることにより貫通を判

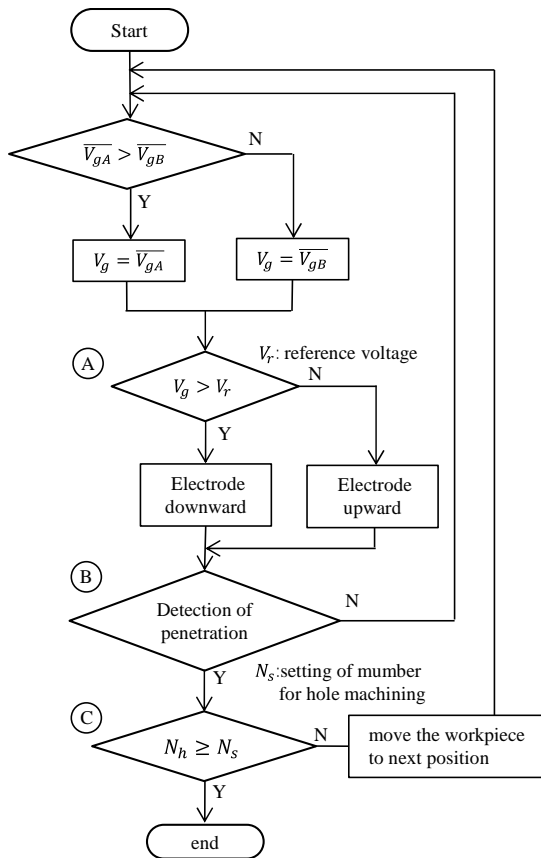
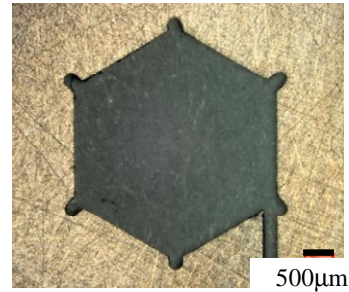


図5 動作アルゴリズム

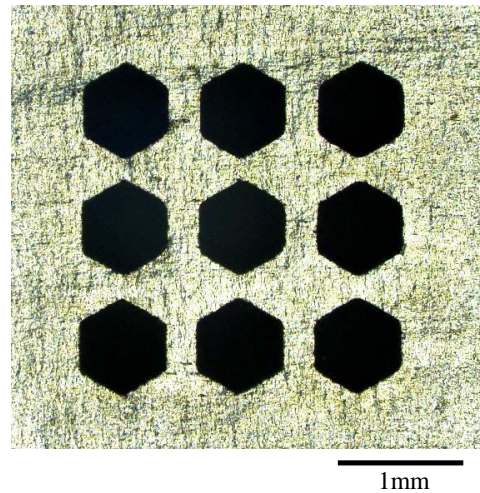
断した。貫通後は、次の穴加工へと移行し、これを繰り返し所望する穴数を加工するプログラムを構成した（分岐C）。

成形プレートは、図6(a)に示すような六角形状とした。円揺動の付与を前提として角部に逃げのある形状をワイヤカット放電加工により作成した。成形プレートの材料は銅であり、厚さは2mmとした。

図6(b)にタングステンプレート ($t=0.2$ mm) に対して微細軸・微細穴同時加工により六角形状の穴加工を行った結果を示す。加工結果には加工順も示している。円揺動（揺動半径 1.8mm）した成形プレートを通過し、縮小成形された電極により、六角形状の連続微細穴加工が達成された。本条件における一穴当たりの加工時間は約 140 秒であった。また、成形プレートの円揺動運動によって極間が順次解放されるため、ジャンプ動作の無い条件においても、微細軸・微細穴同時加工は安定して進行した。しかしながら、加工が進むに従って、形成された穴形状はやや大きくなり、角部の曲率も大きくなる傾向を示した。これは、微細軸が根元に向かって太くなることに起因していると思われ、成形プレートの板厚や材質、二次放電を防止する方策などを検討する必要があると思われる。微細軸の真直度において課題は残るが、一連の軸成形の結果から、タンデム電源方式によって微細な多角形状の連続的な穴加工が可能であることが確認され、このシステムの有効性が実証された。



(a) Forming plate



(b) Hexagonal shape machining

図6 成形プレートおよび連続穴加工例

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計1件）

谷貴幸, 後藤啓光, 平尾篤利, 毛利尚武, 亜鉛合金縮小成形電極を用いた多角形状の連続微細穴放電加工, 電気加工学会誌, 査読有, 49巻, 120号, 2015, 32-38

〔学会発表〕（計3件）

谷貴幸, 加工溝を用いた走査放電加工による微細軸成形法, 日本機械学会 第10回生産加工・工作機械部門講演会, 2014.11.15, 徳島大学常三島キャンパス（徳島県徳島市）

谷貴幸, 亜鉛合金電極を用いた多角形状の微細穴放電加工 - タンデム型連続放電加工法の開発 -, 電気加工学会全国大会, 2012.12.6, 西日本総合展示場新館（福岡県小倉市）

谷貴幸, 縮小成形機構を有するタンデム型微細放電加工法の開発, 日本機械学会第10回生産加工・工作機械部門講演会, 2012.10.27, 秋田県立大学本荘キャンパス（秋田県由利本荘市）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷 貴幸 (TANI, Takayuki)

筑波技術大学・産業技術学部・教授

研究者番号: 80279554