

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月30日現在

機関番号：13102

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760096

研究課題名（和文）

「ピーリング工具」の提案：めっきによる作製と放電／レーザーによる瞬時成形

研究課題名（英文）

Proposal of 「peeling tool」: fabrication by electroplating and rapid formation by discharge or laser machining

研究代表者

田邊 里枝（TANABE RIE）長岡技術科学大学・工学部・助教

研究者番号：70432101

研究成果の概要（和文）：0.1mm以下の加工用電極の簡便な作製技術を開発するために、工具となる微細電極の周囲を融点の低い金属で被覆して、その被覆層の一部を除去（ピール）して細線電極を露出させるピーリング工具を開発した。直径0.1mmのタングステンを亜鉛めっきにより、把持しやすい外径0.5mmまで被覆し、その先端部の亜鉛層のみを単発放電により瞬時除去できる条件を見出した。ピーリング工具を用いて、微細穴あけ加工と溝加工を行い、電極が消耗しても再び単発放電による除去を行うことで、加工機から工具を取り外すこと無しに加工を継続できることを実証した。

研究成果の概要（英文）：We propose a simple and fast fabricating method of tool electrode for micro-EDM. A 'peeling tool', a wire coated with a different material, has been developed as an interim product for a microelectrode. A zinc layer was coated by electroplating on a tungsten electrode of 100 μm diameter. The zinc layer makes both handling and chucking of the electrode easy. Part of the zinc layer is instantly 'peeled' by a single discharge, exposing tungsten electrode under the zinc layer undamaged and the exposed electrode can be used in microhole drilling by EDM.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：特殊加工

## 1. 研究開始当初の背景

微細放電加工に必要とされる微細工具電極の迅速な作製技術が重要な開発課題となっている。申請者は、細線ワイヤの外周を融点の低い金属で被覆して、その被覆層の一部を除去（ピール）して細線ワイヤを露出させるピーリング工具を提案している。鋳造方式で低融点合金を被覆したピーリング工具を試作し、単発放電による被覆部の瞬時除が可

能であることを示したが、工具部となる細線ワイヤが細ければ細いほど金型の作製が難しく、かつ、中心の金属ワイヤの位置精度を出すのが困難になる。また、低融点合金は硬度が低く、さらにカドミウムや鉛などの有害物質を含んでいる。そこで、工具部に均一な膜厚で被覆でき、環境に優しく、ある程度の硬度が得られる別の方法を検討する必要がある。

## 2. 研究の目的

直径 0.1mm以下の加工用電極の簡便な作製技術を確立し、その電極の実用性を検証することが、本研究の目的である。そのために、(1) 鑄造方式に代わる新しい方法による同軸 2 層構造のピーリング工具の作製、(2) 工具となる金属ワイヤを露出させるための 2 層目の瞬時除去、(3) 完成したピーリング工具による微細加工、の工具の作製から加工までの一連の作業の確立を目指す。

## 3. 研究の方法

### (1) ピーリング工具の作製

被覆方法として、均一な被覆部が形成可能と予想される、めっきを試みる。直径 100  $\mu\text{m}$  以下の金属ワイヤを中心軸として、その周囲に直径が 250  $\mu\text{m}$  以上となるように、工具となる金属ワイヤの融点よりも低い、別の金属をめっきした同軸形状のピーリング工具を作製する。

ワイヤには  $\phi 100\ \mu\text{m}$  および  $\phi 50\ \mu\text{m}$  のタングステン (融点 3387°C) 細線を用い、これらに亜鉛 (融点 420°C) をめっきにより被覆した。被覆材とコア材との融点の間に十分な温度差があるため単発放電による被覆部のみの除去が可能であると考えた。

めっきの種類を選定し、ワイヤの軸中心とめっき被覆後の工具の軸中心との差を偏心量と定義し、これによってめっき条件による肉盛性や均一電着性を評価する。

### (2) ピーリング条件の模索

工具となる金属ワイヤを露出させるため、金属ワイヤ外層のめっき層を単発放電あるいはレーザー照射により必要な長さだけ除去する必要がある。めっき層のみを除去するための、放電における電気条件 (電流値、パルス幅)、または、レーザー照射におけるエネルギーの実験条件を模索する。

また、被覆部の除去がどのように起こるのか理解し適切な条件を見出すため、除去過程の高速度撮影をする。放電の際には、プラズマの発光が伴うが、レーザー光をカメラの照明光として用いることで、放電中でも電極の影を明瞭に撮影することができる。

### (3) ピーリング工具による微細加工

上記(1)(2)を経て完成したピーリング工具を用いて、実際に微細放電加工を行う。

## 4. 研究成果

### (1) ピーリング工具の作製

タングステンに対する亜鉛めっきの組成、電流密度等を検討し、きめ細かく、滑らかなめっき面を得られる条件を探した結果、表 1 に示すめっき条件を得た。

$\phi 100\ \mu\text{m}$  のタングステン細線を用い、こ

れらに亜鉛をめっきにより外径が 500  $\mu\text{m}$  となるまで被覆した。500  $\mu\text{m}$  になるまでに要した時間は 3 時間であった。めっき面にはくぼみが形成され、偏心量は約 15  $\mu\text{m}$ 、表面粗さ (Ra) は約 7  $\mu\text{m}$  であった。偏心量は、ワイヤ径の 1/10 未満が目標であり、この結果では不十分である。また、表面粗さも可能な限り小さくすることが望ましい。そこで、偏心量の低減、被覆部の表面状態の改善、さらに、めっき処理時間を短縮するめっき条件を検討した。

めっき面に形成されたくぼみは、めっき中に発生する水素の気泡がタングステンの上に付着し、その部分の通電が妨げられたことによって発生していると考えられる。そこで、超音波振動の援用が、くぼみの発生や偏心量の低減に効果があるのではないかと考え、めっき槽を超音波洗浄機内に入れた状態でめっきを行った。超音波振動数は 28kHz、45 kHz、100 kHz の 3 種類とした。図 1 に、ピーリング工具側面の SEM 画像を示す。周波数が高いほど、側面形状が均一になる傾向が見られた。

めっき中に超音波振動を付与することで、めっき面の大きなくぼみの発生を抑えることが出来、表面粗さを低減することが出来た。

めっき中の pH 値は時間と共に上昇することが分かった。そこで、pH 値の変動を抑制するために 30 分間隔の超音波振動休止の度に硫酸によって pH を 2.3 に調整し直した。pH を調整した場合、表面粗さが Ra で 3  $\mu\text{m}$  となり、非調整の場合の 7  $\mu\text{m}$  と比較して滑らかで均一な面が得られた。中心軸の偏心量は、pH を調整した場合、6.4  $\mu\text{m}$  となり、非調整の場合の 14.5  $\mu\text{m}$  と比較して半減した。 $\phi 100\ \mu\text{m}$  のコア材を  $\phi 500\ \mu\text{m}$  まで被覆するのに 3 時間を要したが、これは亜鉛がコア材であるタングステンを被覆していくにつれて工具径が増加し、その表面での電流密度が下がってしまうためである。そこで、より高効率に被覆するため、30 分間隔の超音波振動休止の度に電流密度が初期値の 11 A/dm<sup>2</sup> となるように電流値を調整した。

図 2 に、電流密度を調整しない場合と、した場合のめっき時間に対するピーリング工具の外径の変化を示す。実線は理論値を示す。理論値は、電流効率が 100% の場合の亜鉛の理論析出量を算出して、それが全てコア材に被覆された場合の値である。作製したピーリング工具外径はほぼ理論値と一致した。電流密度を調整した場合、 $\phi 500\ \mu\text{m}$  まで被覆するのに要する時間は 1.5 時間となり、非調整の場合の半分となった。調整した場合の偏心量は 11.6  $\mu\text{m}$ 、表面粗さ Ra は 6.2  $\mu\text{m}$  となり、非調整の場合とあまり変わらなかった。電流密度と pH の両方を調整しても、偏心量と表面粗さ Ra は低減しなかった。

更に微細な  $\phi 50 \mu\text{m}$  のタングステン線に対する被覆を試みたところ、めっき時間 3 時間で、亜鉛の被覆が約  $150 \mu\text{m}$  形成され、工具外径が約  $350 \mu\text{m}$  のピーリング工具の作製ができた。pH を調整しない場合の表面粗さ Ra は  $11 \mu\text{m}$ 、偏心率は  $10.4 \mu\text{m}$  となった。pH を調整した場合の表面粗さ Ra は  $4.9 \mu\text{m}$ 、偏心率は  $4.9 \mu\text{m}$  となり、非調整の場合と比較して低減した。 $\phi 50 \mu\text{m}$  のコア材に対しても、pH 調整が表面粗さと中心軸の偏心率の低減に有効であった。また、電流密度を調整すると、めっき時間 1.75 時間で外径  $500 \mu\text{m}$  まで被覆できたが、表面粗さ Ra と偏心率は pH 非調整とあまり変わらなかった。

めっき時間はかかるが電流密度を調整せずに pH を調整した場合に、偏心率と表面粗さが小さくなることが分かった。

表 1. めっき浴組成とめっき条件

硫酸亜鉛	180g/l
酢酸ナトリウム	45g/l
浴温	$25 \pm 1^\circ\text{C}$
pH	2.3
電流密度	$11 \text{A}/\text{dm}^2$

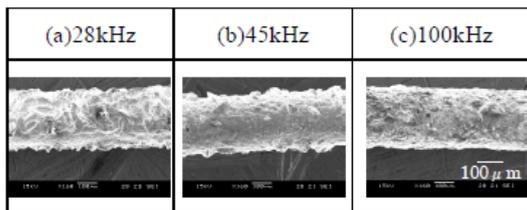


図 1. ピーリング工具の側面形状

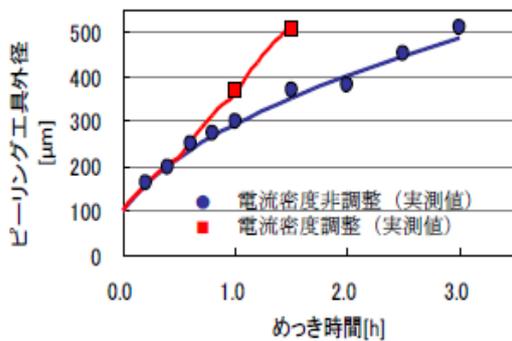


図 2. ピーリング工具外径の時間変化

## (2) ピーリング条件の模索

放電電流値を  $100 \text{A}$  と一定とし、放電時間に対する被覆部の除去長さの関係を調べた。その結果を図 3 に示す。青のプロットは工具電極となるタングステンが未溶融で、亜鉛層のみを除去できたもの、ピンクのプロットがタングステンの先端も溶融してしまったものを示す。パルス幅の増加とともに被覆部の

除去長さは大きくなり、ほぼ比例関係にあることが分かった。電流値を  $100 \text{A}$ 、無負荷電圧を  $100 \text{V}$  として、大気雰囲気中で単発放電を行った場合は、タングステンを溶融せずに被覆層のみを工具先端から約  $600 \mu\text{m}$  まで除去することが可能であることが分かった。

単発放電により、ピーリング工具先端のタングステン細線を溶融せずに、亜鉛めっき層のみを除去できる条件を見出した。

作製した  $\phi 500 \mu\text{m}$  のピーリング工具を用いて、単発放電による被覆部除去過程の直接観察を行った結果を図 4 に示す。ピーリング工具はマイナス極性とし、対向する炭素鋼はプラス極性とした。放電電流は  $100 \text{A}$ 、無負荷電圧は  $100 \text{V}$ 、加工雰囲気は大気中とした。

タングステンを残して、めっきされた亜鉛のみが除去されていく様子が確認できた。放電加工は、極間距離の短いところで放電が飛ぶと言われているが、ピーリング工具を用いた単発放電の場合は、被覆部と対向電極との距離が広がっていくにもかかわらず、被覆部の亜鉛だけが端面から溶融、除去されていくことが分かった。

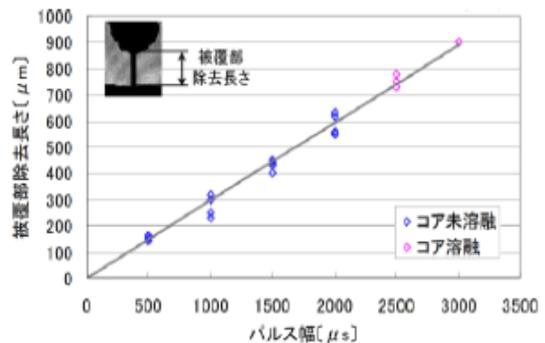


図 3. 放電時間に対する被覆部の除去長さ

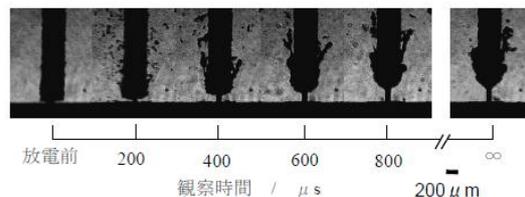


図 4. 単発放電による被覆部の除去過程

## (3) ピーリング工具による微細加工

コンデンサ方式の自作放電加工機に、ピーリング工具を取り付け、厚さ  $50 \mu\text{m}$  の SK 材に対して穴あけ加工と溝加工を行った。工具はプラス極性、無負荷電圧は  $80 \text{V}$ 、抵抗は  $1 \text{k}\Omega$ 、コンデンサ容量は  $9400 \text{pF}$  とした。

図 5 に、 $\phi 100 \mu\text{m}$  のタングステンで作製したピーリング工具を用いて加工した結果を示す。加工時間は 3 分ほどであった。表面

と裏面での穴径差は、タングステンが  $\phi 100 \mu\text{m}$  の場合も、 $\phi 50 \mu\text{m}$  の場合も  $10 \mu\text{m}$  未満であった。

図 6 に、SK 材に対して走査放電加工をした結果を示す。コンデンサ容量は  $10\text{pF}$ 、走査速度は  $5 \mu\text{m/s}$ 、その他の条件は、穴加工の場合と同じである。単発放電によって露出させたタングステンの工具部は、この実験条件では、3 走査で消耗するため、加工機上で再度単発放電を行い、工具部を再露出させ、電極をチャックから取り外すことなく、加工を継続して行った。1 走査による加工深さは約  $15 \mu\text{m}$  であった。

ピーリングによって露出させた工具電極が消耗した際には、ピーリング工具を加工機から取り外すことなく、単発放電によって亜鉛層の除去を行い、タングステン細線を再露出させ、加工を継続することが可能であることを実証した。

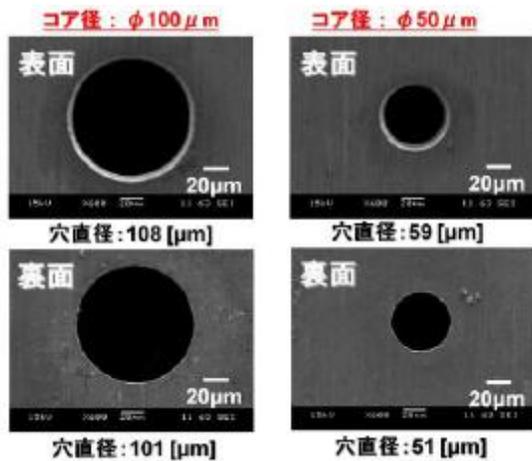


図 5. 加工穴の SEM 画像

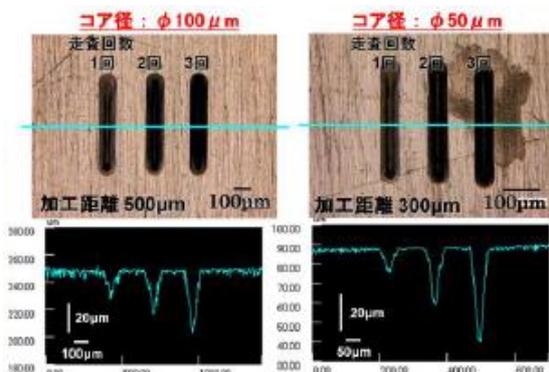


図 6. 加工溝の顕微鏡写真と加工深さ

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Rie Tanabe, Yoshiro Ito, Naotake Mohri, Takahisa Masuzawa: Development of peeling tool for micro-EDM, CIRP Annals - Manufacturing Technology 60 (2011) 227-230, 査読あり

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2011.03.108>

〔学会発表〕(計 5 件)

竹田充、田辺里枝、李 珠瓊、松原浩、伊藤義郎、毛利尚武、増沢隆久：めっきによるピーリング工

具の作製と単発放電による除去の試み(第 2 報)、電気加工学会全国大会(2010)講演論文集、23-24

竹田充、関谷裕太、田辺里枝、李 珠瓊、松原浩、伊藤義郎、毛利尚武、増沢隆久：超音波重畳亜鉛めっきによるピーリング工具の作製と微細放電穴あけ加工、2011 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集、45-46

Rie Tanabe, Yoshiro Ito, Naotake Mohri, Takahisa Masuzawa: Development of peeling tool for micro-EDM, CIRP Annals - Manufacturing Technology 60 (2011) 227-230

関谷裕太、斎藤千弘、田辺里枝、李珠瓊、松原浩、伊藤義郎、毛利尚武、増沢隆久：めっきによるピーリング工具の作製と単発放電による除去の試み(第 3 報)、電気加工学会全国大会(2011)講演論文集、41-42 (2011)

関谷裕太、斎藤千弘、田辺里枝、李珠瓊、松原浩、伊藤義郎、毛利尚武、増沢隆久：めっきによるピーリング工具の作製と微細放電加工への応用、2012 年度精密工学会春季大会学術講演論文集、129-130 (2012)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

田邊 里枝 (TANABE RIE)

長岡技術科学大学・工学部・助教

研究者番号：70432101