

# 福岡工業大学 機関リポジトリ

## FITREPO

Title	ピーリング工具を用いる微細加工の加工特性の研究 -加工機の改良と50 $\mu$ mコアによる放電加工
Author(s)	山岸 里枝, 小野 健太, 萩原 脩斗
Citation	福岡工業大学総合研究機構研究所所報 第2巻 P55-P58
Issue Date	2020-2
URI	<a href="http://hdl.handle.net/11478/1531">http://hdl.handle.net/11478/1531</a>
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	Publisher

Fukuoka Institute of Technology

# ピーリング工具を用いる微細加工の加工特性の研究 —加工機の改良と 50 $\mu\text{m}$ コアによる放電加工—

山岸 里枝 (工学部知能機械工学科)

小野 健太 (工学部知能機械工学科)

萩原 脩斗 (工学部知能機械工学科)

## Study on Electrical Discharge Machining with Peeling Tool —Modification of EDM Machine and Microhole Drilling—

Rie YAMAGISHI (Department of Intelligent Mechanical Engineering, Faculty of Engineering)

Kenta ONO (Department of Intelligent Mechanical Engineering, Faculty of Engineering)

Shuto HAGIWARA (Department of Intelligent Mechanical Engineering, Faculty of Engineering)

### Abstract

A peeling tool, a thin wire electrode coated with a different material, has been developed as a microelectrode in micro-EDM. Tungsten wire of 50- $\mu\text{m}$  diameter is used as the core and zinc is electroplated on the core. The EDM machine was improved to easily detect a bubble appeared at rear surface of the workpiece. The fabricated peeling tool was analyzed for surface roughness and eccentricity. The microhole drilling for Fe plate of 100  $\mu\text{m}$  thickness was carried out using by the peeling tool with 50- $\mu\text{m}$  core.

**Keywords** : peeling tool, microhole drilling, EDM

### 1. はじめに

微細放電加工において必要とされる微細電極は、通常 WEDG(Wire electro-discharge grinding)法<sup>(1)</sup>により成形加工される。把持しやすい直径の電極材料から必要とする直径まで削り出して作製されるため、微細軸形成には高い加工精度が要求される。一方、筆者らは直径 100  $\mu\text{m}$  以下の微細電極を簡便に作製する方法として、ピーリング工具を提案している<sup>(2)</sup>。これは、取り扱いにくい細線ワイヤを軸中心（以降、コアと記す。）とし、その周囲を把持しやすい直径まで同一円筒状に被覆した工具電極である。加工に用いる際には、被覆部を除去（ピール）して、その結果露出するコア部で微細加工を行うことを想定し、ピーリング工具と名付けられた。このように、ピーリング工具は市販の放電加工用の微細電極ではなく微細放電加工に用いるために著者らが提案・開発してきた工具電極である。

これまでの研究により、直径 100  $\mu\text{m}$ ~10  $\mu\text{m}$  のタングステン線をコア材に用い、その周囲を電解めっきにより亜鉛を被覆し、外径が 300  $\mu\text{m}$ ~100  $\mu\text{m}$  であるピーリング工具の作製に成功している<sup>(3-4)</sup>。ワイヤ径や外径が異なっているが、

コアの中心と被覆部の中心の差である偏心量は約 2  $\mu\text{m}$ 、表面粗さは 2  $\mu\text{m}$  以下の精度で作製できることが分かった<sup>(3-4)</sup>。ピーリング工具の開発当初は、単発放電によって電極先端の亜鉛被覆層のみを一部除去し、コアを未溶融の状態露出できる電気条件を模索し、それが実現可能であることを示した<sup>(2-4)</sup>。そして、露出したコア部で放電加工による薄板への微細貫通穴あけ加工を実施してきた。この際、加工の進展とともにコア材は消耗するが、コア消耗後のピーリング工具を単発放電することによって再び被覆部除去を行い、コアを露出させることが可能である。したがって、従来の放電加工においては、電極が消耗すると電極交換が必要であるが、ピーリング工具の場合は、加工機から取り外すことなく何度も繰返し利用できる点に特徴がある。また、コアと被覆部の消耗速度の違いを利用して、単発放電を行わずに作製後のピーリング工具をそのまま加工に用いることで、被覆部除去と穴あけ加工を同時に進展させる（以降、同時加工と記す）ことが可能であることが分かった<sup>(3-4)</sup>。同時加工では、亜鉛が優先的に除去され、被覆部外径に対応する加工も進展するが、その中心位置にはコア径に対応する微細穴があいた。これは、1回の加工で段付穴が加工可

能であることを示す。従来であれば、段付穴を実現するためには、大径を加工した後に小径の加工を行う段階的な手順を踏む必要がある。

これまで、主に銅板に対して実験を行ってきたが、ピーリング工具の実用化を検討するためには、多様な材料に対する加工特性を明らかにする必要がある。用いる放電加工機は、RC 放電回路を備えた卓上小型機を自作しており、薄板への貫通穴あけ加工において、試料（以降、被加工材と記す）の裏面から気泡を観察したら穴が貫通したと判断し、加工を停止していた。コア径の小さなピーリング工具を用いた加工では、目視による観察では気泡の認識が困難な場合もあった。

そこで本研究は、高倍率でのその場観察による気泡の検知が可能のように、加工機の一部を改良すること、また、コア材に直径 50  $\mu\text{m}$  のタングステンをを用いたピーリング工具を作製し、それによる多種の被加工材に対する加工を実施することを目的とする。

## 2. 加工機の改良

〈2・1〉 改良前の加工機 図 1 に、これまで使用してきた自作卓上放電加工機の外観を示す。電極取り付け部は電極自動送りが可能なように Z 軸ステージ上に設置しており、それら全体は Z 軸手動機構で容易に高さ調整ができる。電極取り付け部は、永久磁石を利用して非接触で回転する機構を採用している。一方の永久磁石には回転駆動モーター、もう一方には電極を把持するチャックが取り付けられており、モーターの振動を電極に伝えることなく、非接触で駆動力をチャック側に伝達する機構になっている<sup>(6)</sup>。電極は、Z 軸移動と回転が可能であるが、今回の微細放電加工では電極は回転させていない。被加工材は、透明材の加工槽の中央に設置している。加工槽は X 軸、Y 軸の移動が可能であり、加工開始位置を調整できる。

〈2・2〉 改良後の加工機 図 2 に、改良後の自作卓上放電加工機の外観を示す。図 1 に示すように、改良前の加工槽は透明材料であり、加工を上面および側面から観察可能であるが、下方には自動ステージが設置されているため裏面からは観察できない。被加工材は、加工槽の側面から 4~5 cm の距離に設置している。加工穴の貫通は、被加工材を固定するための治具の狭い間に発生する気泡を側面から観察していたが、加工の進展とともに加工屑により加工液が濁ってくることもあり、狭い空間で微小な気泡を目視で観察するのは非常に困難であった。そこで、図 2 に示すように透明な加工槽の下に、モニターを付属したハンディー型マイクロスコップを設置した。これにより、被加工材の裏面をその場観察でき、加工穴から出現する小さな気泡が拡大観察され、気泡の検知がしやすくなった。しかし、加工槽を設置していた X 軸、Y 軸ステージを取り外したことにより、加工開始位置の微調整は困難となったため、今後は、気泡の検知が容易かつ加工位置の微調整が可能なよう

に改良を行う予定である。

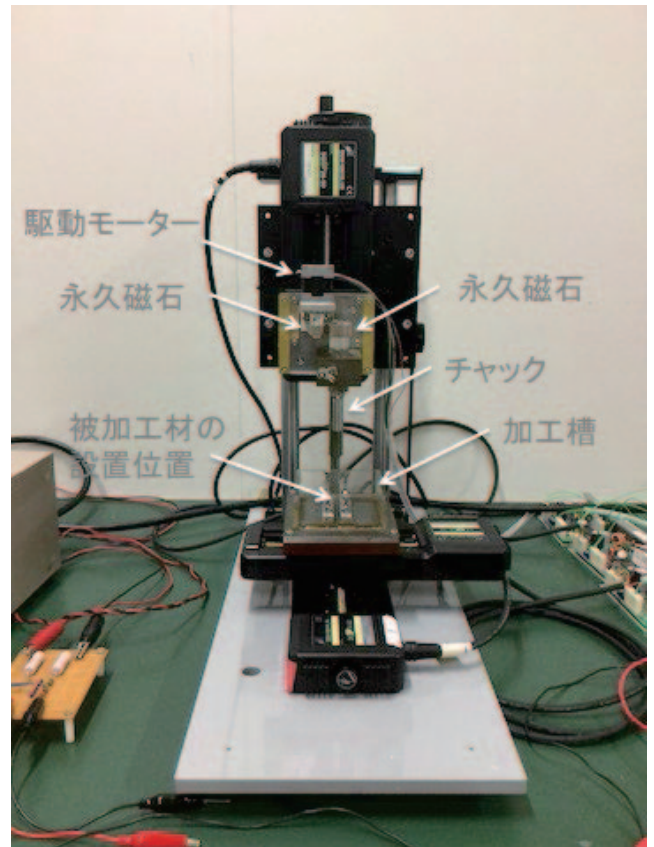


図 1 改良前の自作卓上放電加工機の外観写真

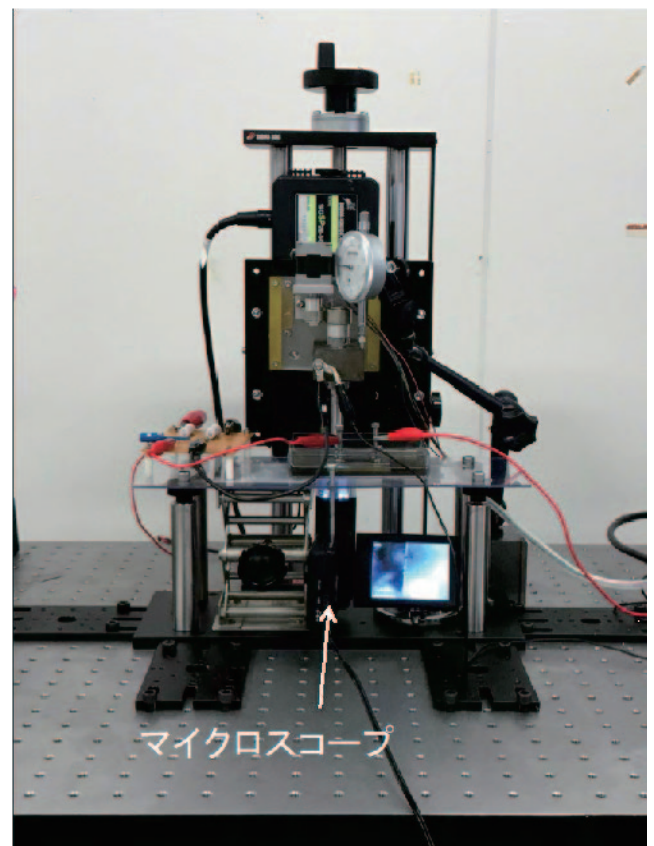


図 2 改良後の卓上放電加工機の外観写真

### 3. ピーリング工具による微細穴加工

〈3・1〉 直径 50  $\mu\text{m}$  のコアを持つピーリング工具の作製 表1にめっき浴組成を示す。硫酸亜鉛と酢酸ナトリウムの混合液を基本浴とし、平滑剤としてデキストリンを添加している。基本浴のみで亜鉛めっきを行うと、偏心量が大きく、表面粗さも大きくなってしまふ。さまざまな添加剤の効果を調べた結果、デキストリンを添加することにより、添加剤を用いない場合に比べて滑らかなめっき面が得られることを以前の研究により明らかにしている<sup>(3・4)</sup>。

コア材には、直径 50  $\mu\text{m}$  のタングステンを用いた。タングステン線は治具に巻き付けめっき浴を入れたビーカー内の中央に設置し、陰極に接続した。亜鉛板はタングステン線までの距離が均一になるようにビーカーの内壁を覆うように配置し、陽極に接続した。めっき中は、タングステン線の上に水素の気泡が形成される。気泡が長時間滞在するとその箇所のめっきは抑制され、均質な面が得られない。そこで、図3に示すように、めっき浴槽であるビーカーを超音波洗浄器内に入れ、超音波振動を付与しながらめっきを行うこととした。超音波振動数は、これまでの研究成果からもっとも滑らかな面が得られた 100 kHz に設定した。表2に示すめっき条件のもと、10 分間の亜鉛めっきを行ったところ、作製後の工具外径は約 75  $\mu\text{m}$  になった。

めっき後のタングステン線は 10 mm 程度にニッパーで切断し、その切断面は平らになるように研磨を行った。作製したピーリング工具の偏心量は 0.7  $\mu\text{m}$ 、表面粗さは 0.2  $\mu\text{m}$  程度であった。

加工機の電極取り付けには、把持可能領域が 600  $\mu\text{m}$  からのコレットチャックを採用している。そのため、外径 70  $\mu\text{m}$  のピーリング工具はそのままでは取り付けることができない。直径 50  $\mu\text{m}$  のコア材を外径 600  $\mu\text{m}$  まで被覆するには、理論的に 9.5 時間のめっき時間が要する。そこで、時間短縮のため、図4に示すように、作製したピーリング工具の把持部の周囲を直径が 1 mm となるように低融点合金（融点 78  $^{\circ}\text{C}$ ）で铸造したものを準備した。

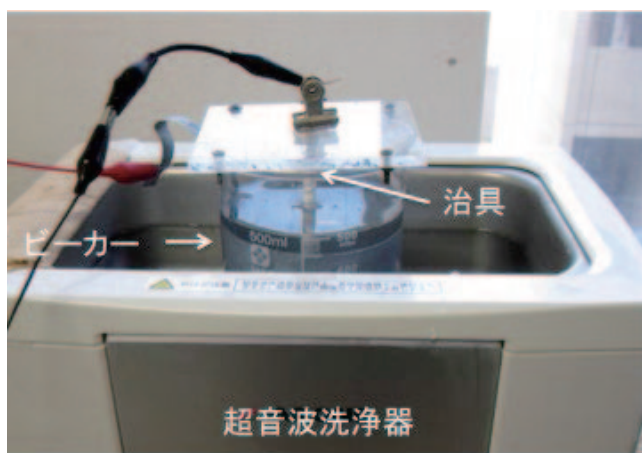


図3 めっき実験の外観

表1 めっき浴組成

硫酸亜鉛	180 g/l
酢酸ナトリウム	45 g/l
デキストリン	5 g/l

表2 めっき条件

浴温	25 $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$
電流密度 (初期値)	11 A/dm <sup>2</sup>
pH	2.5

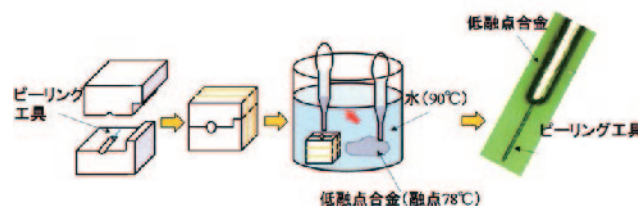


図4 低融点合金で把持部を被覆したピーリング工具

〈3・2〉 放電加工条件 自作加工機では電極送り速度が変更できる。電極と被加工材の間に供給する電圧を一定とし、回路中のコンデンサ容量を 10 pF から 1500 pF まで変更することで、放電電流を変更することができる。本実験では、極間に 100 V を供給し、コンデンサ容量は 150 pF に固定した。加工液には放電加工油 EDF-K2 を用い、被加工材が浸る程度まで加工槽に注入した。被加工材には板厚が 100  $\mu\text{m}$  の鉄 (99.9 %) を用いた。ピーリング工具の電極送り速度は 15  $\mu\text{m/s}$  とした。工具は、極間電圧と設定したしきい電圧を比較して、極間電圧がしきい電圧よりも小さい場合上昇し、大きい場合に降下するようプログラミングされている。加工中のその場観察において、貫通により被加工材の裏面で気泡が観察された時点で加工を停止した。

〈3・3〉 微細穴放電加工 図5に作製したピーリング工具を用いて 100  $\mu\text{m}$  厚の銅板に対して同時加工した際の、被加工材の表面（加工開始側）と裏面の顕微鏡写真を示す。加工開始側には直径約 80  $\mu\text{m}$  の穴が形成されていた。工具外径は約 75  $\mu\text{m}$  であるため、加工開始側の放電ギャップは約 2.5  $\mu\text{m}$  であったことが分かる。裏面側の穴径は約 40  $\mu\text{m}$  であり、コア径よりも小さい。これは、被加工材の裏面で気泡が観察された時点で加工を停止したためである。コア径に対応する穴あけを行うために、気泡が観察されてから 50  $\mu\text{m}$  さらに加工を進めた。

被加工材の表面と裏面の穴径のみの観察では、加工形態が把握できない。そこで、加工穴の断面研磨を行い顕微鏡で観察した。図6に、図5に示す加工穴の断面写真を示す。加工断面は、加工開始側から深さ 42  $\mu\text{m}$  までテーパ形状になっていた。

コア径 50  $\mu\text{m}$ 、外径約 120  $\mu\text{m}$  のピーリング工具を用いて、板厚 100  $\mu\text{m}$  の銅、ステンレス鋼(SUS304)、チタン、モリブ

デンへの加工も試みており、何れも表面の穴径、裏面の穴径は同程度で加工された<sup>(7)</sup>。その他材料への加工や工具消耗率、加工速度などの関係を調べることは今後の研究課題である。

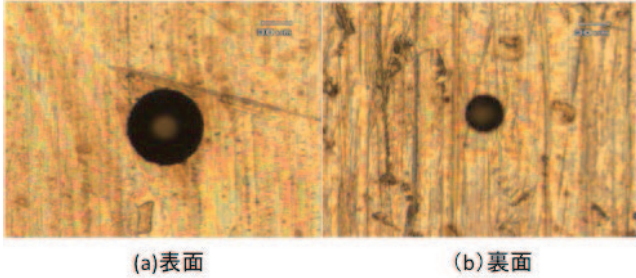


図5 コア径 50  $\mu\text{m}$ 、外径約 70  $\mu\text{m}$  のピーリング工具を用いて同時加工の結果。(a)は被加工材の表面(加工開始側)、(b)は裏面である。被加工材には 100  $\mu\text{m}$  厚の銅板を用いた。

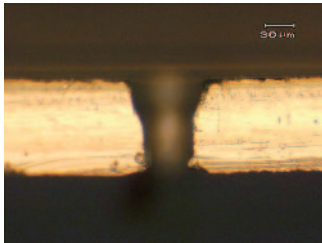


図6 図5の加工穴の断面写真

#### 4. まとめ

自作卓上放電加工機は、放電加工時に、貫通した際に被加工材の裏面から現れる泡を容易に検出できるように改良

した。直径 50  $\mu\text{m}$  のタングステン線をコアとし、その周囲を亜鉛で外径 70  $\mu\text{m}$  まで被覆したピーリング工具を作製した。その偏心量は 0.7  $\mu\text{m}$  であった。作製したピーリング工具を用いた貫通穴加工を実施した。加工開始側の穴径は約 80  $\mu\text{m}$  であったが、その内部は深さ方向に向かって深さ 40  $\mu\text{m}$  ほどまで細くなるテーパ形状であった。それ以降の深さはコアによる細穴があいた。

#### 謝辞

本研究は、福岡工業大学 H30 年度新任教員スタートアップ支援制度の助成を得たものです。記して感謝を示します。

(令和元年 10 月 18 日受付)

#### 文 献

- (1) T. Masuzawa, M. Fujimoto, K. Kobayashi, T. Suzuki and N. Konoshita : "Wire Electro-Discharge Grinding for Micro-Machining", Annals of the CIRP, Vol.34, No.1 (1985) pp.431-434.
- (2) R. Tanabe, Y. Ito, N. Mohri and T. Masuzawa : "Development of peeling tool for micro-EDM", Annals of the CIRP, Vol.60, No.1 (2011) pp.227-230.
- (3) R. Tanabe, Y. Ito, N. Mohri and T. Masuzawa : "Development of peeling tool with sub-50 $\mu\text{m}$  cores by zinc electroplating and their application to micro-EDM", Annals of the CIRP, Vol.65, No.1 (2016) pp.221-224.
- (4) 田辺里枝 : 「ピーリング工具の開発とそれによる微細放電加工」, 電気加工学会誌, Vol.51, No.126 (2017) pp.89-94.
- (5) 後藤啓光, 谷貴幸, 平尾篤利, 毛利尚武 : 「脱調機構を用いた加工機械の開発」, 電気加工学会全国大会(2005)講演論文集, (2005) pp.77-80.
- (6) 山岸里枝, 田口翔大, 三好恭平, 伊藤義郎, 増次隆久 : 「コア径 50 $\mu\text{m}$  のピーリング工具を用いた自動送りによる微細放電加工-各種材料に対する加工の試み-」, 電気加工学会全国大会(2018)講演論文集, (2018) pp.51-52.