

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 20 日現在

機関番号：13301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25889029

研究課題名(和文)短パルスを用いた微細ワイヤ電解加工の高精度・高能率化

研究課題名(英文)Improvement of Machining Characteristics of Micro Wire Electrochemical Machining with Short Voltage Pulses

研究代表者

小谷野 智広 (Koyano, Tomohiro)

金沢大学・機械工学系・助教

研究者番号：20707591

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：電解加工は工具電極が消耗せず、加工変質層が生じないという優れた特徴を持つ。また、非接触加工であるため微細加工に適している。本研究では、直径数 μm から数十 μm の細径ワイヤ電極を工具として使用するワイヤ電解加工機を開発した。そして、印可電圧や電解液供給方法などの加工条件が溝幅などの加工特性に与える影響を明らかにした。その結果、最適な加工条件を用いることで、直径 $5\mu\text{m}$ の極細径ワイヤ電極による溝幅 $8\mu\text{m}$ のスリット加工を実現した。

研究成果の概要(英文)：Electrochemical machining (ECM) is one of the most effective methods for micro machining since the machining is carried out without a contact between the tool electrode and workpiece. Moreover, since the tool electrode wear does not occur, a thin wire electrode can be used as the tool electrode. In this study, micro wire ECM machine was newly developed, and machining characteristics of wire ECM were investigated. Micro grooves were machined using thin wires with a diameter of several micrometer to several tens of micro meter, and optimal machining conditions were derived to decrease the groove width. As a result, a micro groove with a width of $8\mu\text{m}$ could be successfully machined using a wire electrode of $5\mu\text{m}$ in diameter.

研究分野：生産工学・加工学

キーワード：電解加工 ワイヤ電解加工 微細加工 短パルス スリット加工

1. 研究開始当初の背景

微細スリットや IC リードフレーム金型、狭ピッチコネクタ金型などの加工には、ワイヤ放電加工が多く用いられている。ワイヤ放電加工では、油や脱イオン水などの絶縁性の加工液中で、ワイヤ電極と工作物間にアーク放電を繰返し生じさせて工作物を除去し、糸鋸のように工作物を切り抜いて加工する。近年は、製品の小型化に伴いワイヤ電極の更なる細径化が求められているが、最小のワイヤ直径は $20\mu\text{m}$ が限界である。これは、放電によりワイヤ電極が消耗するため、ワイヤ電極を常に走行させ、新しいワイヤを供給する必要がある、直径数 μm の細径ワイヤを安定して走行させるのが困難なことによる。また、放電一回当たりのエネルギーを小さくするのが難しく、細径ワイヤが放電により容易に断線するためである。

一方で電解加工は、NaCl 水溶液などの電解液中で工具電極を陰極、工作物を陽極として電解反応を生じさせ、工作物を電解溶出させる化学的な加工法である。導電性があれば材料の硬さによらず加工ができ、加工変質層が生じず、加工面粗さも良好である。また、陰極となる工具電極面上では水素の発生反応しか生じないので、工具電極が消耗しない。このため、細径ワイヤを工具電極として用いる図1のワイヤ電解加工では、ワイヤを走行させる必要がなく、極細径ワイヤを容易に用いることができると考えられる。

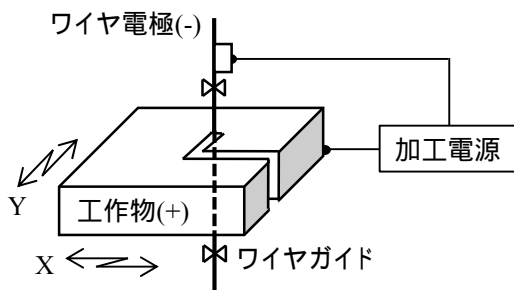


図1 ワイヤ電解加工

2. 研究の目的

前述のように、ワイヤ電解加工であれば直径数 μm といった極細径ワイヤ電極を用いた加工が期待できる。そこで本研究では、ワイヤ放電加工に代わる微細加工法として、ワイヤ電解加工に着目した。本研究では、本加工法の加工特性を明らかにすることで、ワイヤ放電加工より微細な加工を実現することを目的とする。

3. 研究の方法

電解加工は工具電極を陰極、工作物を陽極とし、電解液中で電圧を印可して陽極の工作物を溶出させて加工を行う。工具電極が消耗せず、非接触加工であるため加工反力が小さいという特徴を持つ。ワイヤ電解加工では、図1に示すようにガイドで保持された細径ワイヤを工具電極として用い、これを XY 方向

に任意に走査させることで加工を行う。本研究では、直径数 μm という極細径のワイヤ電極を使用可能なワイヤ電解加工機を開発した。本加工機は XY ステージ上に加工槽が取り付けられており、加工槽の中に工作物を設置して加工を行う。電解液には中性で毒性のない NaCl 水溶液を用いた。図2に加工例を示す。本研究では、印可電圧や送り速度などの加工条件が加工形状に与える影響を調査した。そして、最適化した加工条件により直径 $5\mu\text{m}$ のワイヤ電極を用いた溝幅 $10\mu\text{m}$ 以下の加工の実現を目指した。

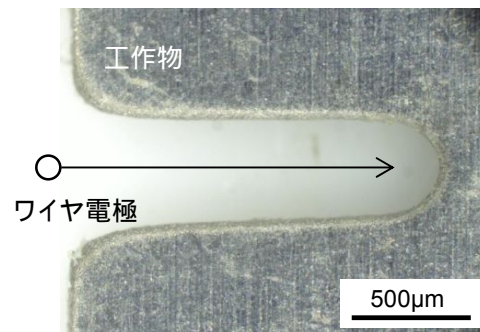


図2 ワイヤ電解加工例

4. 研究成果

(1) 印可電圧、ワイヤ電極直径の影響

電解加工の加工量は極間を流れる電荷量によって決まり、流れる電荷量、つまり電流は印加電圧とともに大きくなるため、溝幅を小さくするためには電圧が小さい方が良いと考えられる。そこで、加工電源として用いる直流電源の印加電圧を変化させ、溝幅や極間距離に与える影響を調査した。また、ワイヤ直径が小さいほど微細な溝が加工できると考えられるため、その影響を調査した。工作物は板厚 $100\mu\text{m}$ のステンレス (SUS304) である。図3に各ワイヤ直径での電源電圧と溝幅の関係を示す。なお、どのワイヤ直径においても電圧 10V では加工途中で短絡し、加工が行えなかった。図3より、印加電圧が小さくなると溝幅が小さくなり、ワイヤ直径が小さいほど溝幅が小さいことがわかる。次に、図4に印可電圧と極間距離との関係を示す。

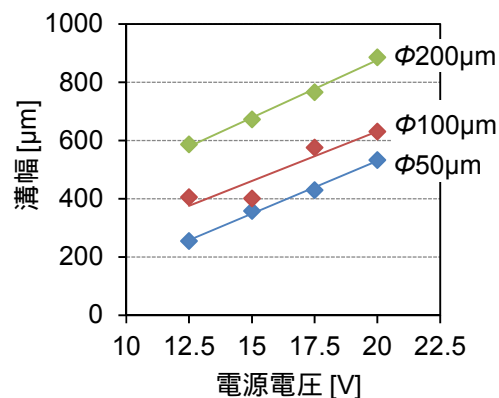


図3 ワイヤ電極直径と印可電圧が溝幅に与える影響

なお、極間距離は溝幅とワイヤ直径の差を2で割ることで算出した。図4より、電圧が小さくなると極間距離も小さくなるのがわかる。また、ワイヤ径が小さくなるほど極間距離も小さくなるのがわかる。これは、ワイヤ直径が小さくなると溝側面とワイヤ電極側面が対向する時間が短くなり、溝側面での溶出が減少するためと考えられる。従って、小さな溝幅を得たい場合、ワイヤ直径が小さいことは側面での極間距離が小さくなるという点で有利である。

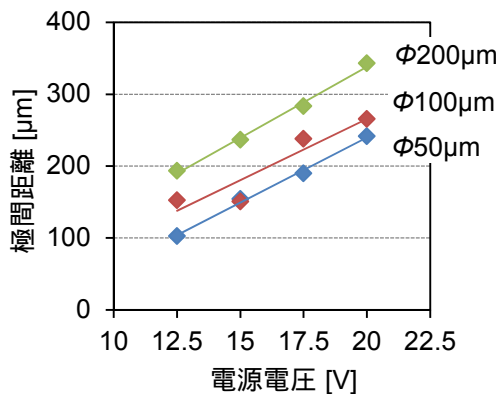


図4 ワイヤ電極直径と印可電圧が極間距離に与える影響

(2) 送り速度の影響

ワイヤ電極の送り速度が大きければ、ワイヤ電極側面で生じる単位面積当たりの電解反応が減少し、溝幅が小さくなるのが期待できる。また、送り速度が大きければ加工時間の短縮にもつながる。そこで、送り速度による溝幅や極間距離への影響を調査した。送り速度と溝幅、極間距離の関係を図5に示す。なお、500 μm/min以上の送り速度では短絡が生じ加工を行うことはできなかった。図5より、送り速度を上げると溝幅と極間距離が小さくなっていくことがわかる。

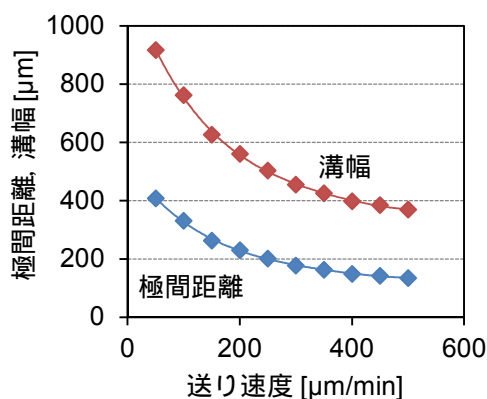


図5 送り速度の影響

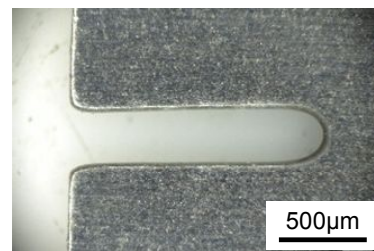
(3) 短パルス電源の効果

前節までの電源電圧、ワイヤ電極直径、送り速度を変更した実験では、極間距離が小さな条件では加工中に短絡が生じ加工が行えなかった。この理由としては、極間距離が狭

くなると発生した気泡や電解生成物が極間から排出されにくくなり、電流の流れが阻害されたことが考えられる。一方で、パルス電源を用いれば気泡や生成物が休止時間中に排出されることで加工が安定し、より狭い極間距離でも加工が行えると考えられる。そこで、パルス電源を用い、直流電源の場合と比較を行った。パルス電源のオン時間 5ms、オフ時間 5ms とし、電圧を 12.5V から 20V まで変化させた。ワイヤの直径は 100μm である。直流電源とパルス電源の加工結果を図6に示す。直流電源では工作物端面で大きくダレが生じているが、パルス電源ではダレが小さく、溝幅も小さいことがわかる。次に、極間電圧と極間距離の関係を図7に示す。直流電源では電圧が 12.5 V よりも小さい場合には短絡により加工が行えなかったため、得られた極間距離の最小値は 150μm 程度である。一方でパルス電源では、パルスのオフ時間に生成物を排出でき、加工が安定して進むため、直流よりも小さい極間距離である 90μm 程度が得られた。これはパルス電圧の休止時間中に気泡や電解生成物が効果的に排出され、加工が安定したためと考えられる。



(a) 直流電源(12.5V)



(b) 短パルス電源(15V)

図6 直流電源と短パルス電源

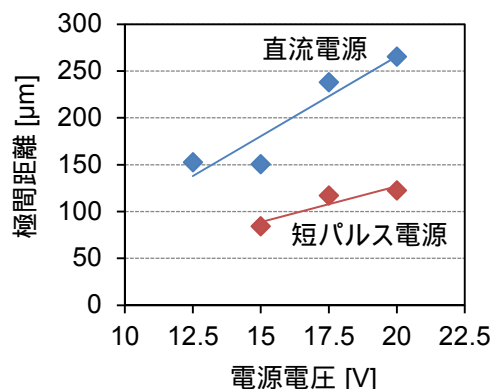
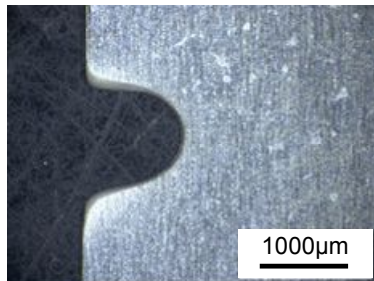


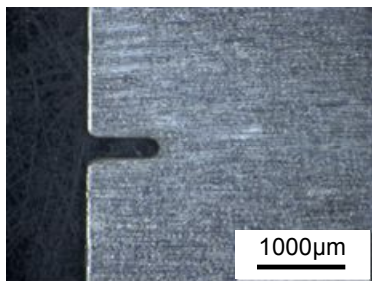
図7 直流電源と短パルス電源の比較

(4) 電解液濃度の影響

一般的な電解加工では加工速度を向上させるために、比較的高濃度の電解液が用いられている。一方で、高濃度の電解液では工作物表面の腐食などが問題となる可能性があるが、微細電解加工において電解液濃度が加工形状へ与える影響は十分に明らかになっていない。そこで、電解液濃度を変更し、その影響を調査した。加工結果を図 8 に示す。電解液濃度が大きくなると溝幅が大きくなっている。これは電解液濃度が高くなったことで電流が流れやすくなったためである。また、濃度の高い 2wt% の電解液では工作物の表面に腐食による変色が見られた。これはワイヤ電極から流れる漏えい電流によるものと考えられる。従って、微細ワイヤ電解加工においては低濃度の電解液が適していると考えられる。



(a) 2 wt%



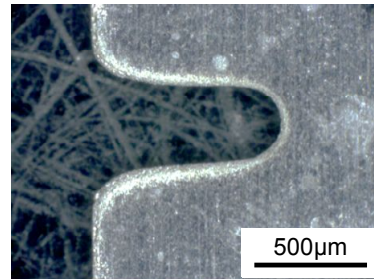
(b) 0.2 wt%

図8 電解液濃度の影響

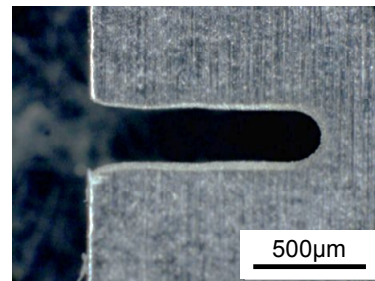
(5) 電解液供給方法の検討

工作物を浸漬して加工を行う場合、ワイヤ電極と工作物の対向面以外でもわずかではあるが漏えい電流が流れるため、工作物面上での腐食が生じやすい。そこで、工作物を電解液に浸漬するのではなく、電解液を加工点近傍にのみかけ流すことで加工を試みた。このかけ流し法であれば、加工液の流れによる極間の電解生成物の除去という効果も期待できる。本実験においては、内径 1mm のノズルから加工点近傍へ電解液をかけ流した。図 9 に電解液供給方法の違いによる加工例を示す。かけ流し法により工作物面上での腐食の低減が実現できた。また、図 10 に電解液供給法による溝幅の比較を示す。同一電圧の場合、かけ流し法では浸漬法よりも小さな溝幅を得ることができた。これは、浸漬法では電解液中にあるワイヤ電極全体から工作物に漏えい電流が流れやすく、溝幅が増加して

いるのに対して、かけ流し法では漏えい電流の影響を低減できたためと考えられる。また、加工中に生ずる電解生成物はワイヤ電極進行方向の電流を阻害するため、浸漬法では 10V より小さな電圧では加工ができなかった。一方、かけ流し法ではこの生成物の除去が行われるため、浸漬法より小さな電圧で加工が可能となり、小さな溝幅での加工を実現した。



(a) 浸漬法



(b) かけ流し法

図9 電解液供給方法の影響

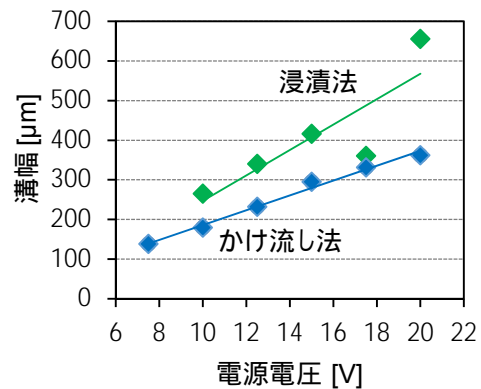


図10 電解液供給方法の比較

(6) 極細径ワイヤ電極による加工

前節までの結果を受け、最適化した加工条件を用いて直径 5μm の極細径ワイヤ電極により溝加工を行った。工作物は板厚 100μm のステンレス (SUS304) である。加工結果を図 11 に示す。加工に要した時間は 5 分程度である。直径 5μm のワイヤ電極を用いることで、ワイヤ放電加工では困難な幅 8μm のスリット加工に成功した。従って、本加工法はワイヤ放電加工に代わる新たな微細加工法として期待できる。

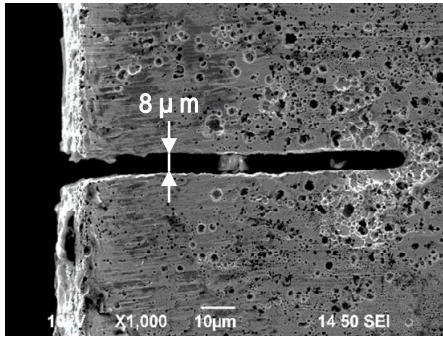


図11 直径5 μmのワイヤによる
幅8 μmのスリット加工

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計1件)

小谷野 智広, 鈴木 崇也, 細川 晃, 古本
達明, 微細ワイヤ電解加工の基礎研究,
2014年度精密工学会北陸信越支部学術講
演会, 2014年11月22日, 富山県立大学
(富山県射水市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小谷野 智広 (KOYANO, Tomohiro)
金沢大学・理工研究域機械工学系・助教
研究者番号: 20707591