

氏 名	劉 世賢 (Shixian LIU)		
授与した学位	博 士		
専攻分野の名称	工 学		
学位授与番号	博甲第	7 2 8 3	号
学位授与の日付	2 0 2 5 年	3 月	2 5 日
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第4条第1項該当)		
学位論文の題目	高性能ワイヤ放電加工のための油加工液特性の最適化に関する研究		
論文審査委員	教授 岡田 晃	教授 藤井 正浩	教授 大橋 一仁
学位論文内容の要旨			
ワイヤ放電加工において油加工液の重要な物性は、動粘度、体積抵抗率、冷却能であり、これらは、放電電流値、放電痕サイズ、及び加工溝内の加工粉の排出性などを変化させ、結果的にワイヤ放電加工特性に大きく影響を与える。本研究は、これらの油加工液の物性がワイヤ放電加工に与える影響を体系的に明らかにし、ワイヤ放電加工性能を大幅に向上できる油加工液を開発することを目的とする。 第2章「油加工液動粘度がワイヤ放電加工に及ぼす影響」では、動粘度によるワイヤ放電加工特性の違いを検討した。動粘度が低くなると加工速度はやや減少するが、加工面粗さおよび加工精度は改善されることが明らかになった。そして、放電痕形状の計測、放電分散状況およびワイヤ挙動の観察に加えて、加工液流れ場および加工粉排出挙動の CFD 解析と加工中ワイヤ姿勢の構造解析を実施し、加工液の動粘度によって加工特性に差異が生じる要因を体系的に解明した。 続く第3章「油加工液体積抵抗率がワイヤ放電加工に及ぼす影響」では、体積抵抗率による放電加工特性の違いを調査した結果、体積抵抗率が低くなると加工特性が向上することを示した。また、放電発生距離の測定、および放電分散状況の評価を行い、体積抵抗率により加工特性が変化するメカニズムを解明した。 また、第4章「油加工液冷却能がワイヤ放電加工に及ぼす影響」では、加工液の冷却能の影響を検討し、冷却能が高いほどワイヤ放電加工特性が向上することを見出した。そして、各冷却能の加工液における放電痕形状、再凝固層厚さ、放電分散性、および気泡発生量の変化を調査することにより、冷却能がワイヤ放電加工現象や加工特性に及ぼす影響を議論した。 さらに、第5章「放電加工における材料除去メカニズムに関する数値解析的検討」では、電圧印加から気泡膨張拡散までの単発放電過程を再現するプラズマ混相流数値解析モデルを構築し、それにより油加工液の各物性値の変化による放電プラズマ挙動、気泡挙動、および極間の温度・圧力分布などの違いを検討した。そして、放電加工における材料除去の基礎原理の観点から、油加工液の各物性が単発放電における材料除去効率に及ぼす影響、および根本的な材料除去メカニズムを議論した。 そして、第6章「ワイヤ放電加工用高性能油加工液の作製と検証」では、上述の検討内容を踏まえ、動粘度、体積抵抗率、および冷却能を調整した油加工液を試作し、加工特性を調査した。各物性値を適切に変更した加工油を用いることで、従来を上回る優れたワイヤ放電加工特性が得られることを示した。 以上のように、これまで不明であった油加工液の各物性がワイヤ放電加工特性に及ぼす影響、およびその加工メカニズムを体系的に明らかにし、適切な物性値の油加工液を用いることでワイヤ放電加工性能を大幅に向上できることが示された。また、更なる加工特性向上に向けた重要な知見が得られた。 本研究によって、ワイヤ放電加工性能の向上と加工技術に大きな進歩をもたらすことが期待できる。			

論文審査結果の要旨

本論文は、省エネルギー推進や各種携帯機器の進展にともなう工業部品の高精度加工に応えるためのワイヤ放電加工技術の高性能化を目的としている。従来の脱イオン水加工液よりも狭小な放電ギャップにより高精度化が期待できる油加工液であるが、その物性が加工特性に及ぼす影響は不明である。そこで、油加工液の物性がワイヤ放電加工特性に及ぼす影響について、材料除去メカニズム、放電分散状況、加工粉排出挙動等と併せて詳細に検討しながら、体系的解明を行っている。

はじめに、加工液の動粘度のみを変化させた油加工液を試作し、ワイヤ放電加工特性を調査している。その結果、動粘度の増加により単発放電除去量と加工速度が増加する一方で、加工粉排出状況が悪化する現象を高速度観察を用いて捉え、結果的に加工面粗さが増大することを明らかにしている。

次に、体積抵抗率の影響が議論され、その増加によって放電発生距離が減少して加工精度が向上するものの、放電集中現象が起りやすいために加工面粗さが増大することを明らかにしている。また、加工液の冷却能に関しては、冷却能が高いほど放電痕除去体積が大きくなることや発生する気泡量の増加により加工粉排出を促進することで、加工速度が増加するメカニズムを解明している。

さらに、放電プラズマ挙動と気泡膨張挙動を再現した局所熱平衡プラズマ混相流解析モデルを、アーク電流密度分布や加工液と電極間の熱伝達等を考慮して構築し、実現象との比較で解析結果の妥当性を示している。そして、動粘度の増加で放電時の熔融領域に作用する気泡圧力が増加すること、冷却能の増加で放電プラズマ径が減少し放電電流密度が増加することを解析し、加工液物性による加工特性変化の要因を解き明かしている。

最後に、ここまでの加工液の各物性値が加工特性や加工現象に及ぼす影響の知見を踏まえ、物性値を最適化した加工液を試作して加工性能の検証を行ったところ、従来の油加工液を加工速度、加工面粗さ、および加工精度の点で同時に上回る優れた加工性能を達成している。

以上のように、加工液物性の最適化という新しい観点から放電加工の高性能化に成功しており、複雑形状の精密加工技術の進展に大いに貢献できる成果を得ている。また、高速度観察を活用した加工現象の解明や放電プラズマと気泡挙動の数値解析モデルも新たに構築し、工学的にも価値ある知見が得られている。従って学術的、産業的に優れた学位論文であると判断でき、博士（工学）の学位に値するものと認められる。