

学位論文の要旨

Abstract of Thesis

研究科 School	自然科学研究科
専攻 Division	産業創成工学専攻
学生番号 Student No.	51D22708
氏名 Name	劉 世賢 (Shixian LIU)

学位論文題目 Title of Thesis (学位論文題目が英語の場合は和訳を付記)

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

学位論文の要旨 Abstract of Thesis

放電加工は、絶縁性の加工液中で工具電極と工作物の間で発生する過度アーク放電の熱作用、および放電発生に伴う加工液の気化爆発による力学的な作用によって、工作物表面の材料を少しずつ溶融あるいは蒸発させ除去する加工法である。工具となる細いワイヤ電極を巻き取りながら糸鋸式に2次元輪郭形状を加工するワイヤ放電加工は、機械加工では困難な高硬度の金型や複雑形状部品の精密加工を得意とする加工法であり、ダイやパンチの高硬度工具の加工、超硬合金やPCDの切削工具の加工、そのほかチタン合金やニッケル基耐熱合金などの航空宇宙関連部品の複雑形状加工に広く用いられる。

近年、省エネルギー推進や携帯電子端末の技術進展に伴い、工業製品の小型化・軽量化のための加工技術の極限までの微細化・高精度化が強く要求されている。そのため、ワイヤ放電加工においても、従来多用される脱イオン水よりも高い電気抵抗率や絶縁破壊抵抗を有する油加工液が使用されはじめている。油中ワイヤ放電加工は、加工溝幅が狭く加工精度が向上するだけでなく、加工面に生じる残留応力の低減や、超硬合金の加工におけるコバルトの電解溶出の防止などのメリットがある。

しかしながら、油加工液特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は現在十分に明らかにされておらず、ワイヤ放電加工に最適な油加工液特性は未だに不明である。ワイヤ放電加工において、その原理から加工特性に影響を及ぼす油加工液の最も重要な物性は動粘度、体積抵抗率、冷却能であると考えられる。この3つの物性は、放電電流値、放電痕サイズ、極間距離、および加工溝内の加工粉の排出などに影響を与えることで、最終的にワイヤ放電加工特性に大きく影響する。

そこで、本研究では油加工液の動粘度、体積抵抗率、および冷却能がワイヤ放電加工に与える影響、ならびに油加工液を用いた場合の加工メカニズムの詳細を明らかにするとともに、油加工液特性の最適化によって、従来を凌駕するワイヤ放電加工性能の実現を目指した。

はじめに、油加工液の動粘度によるワイヤ放電加工特性の違いを解明した。動粘度変化により加工特性が変化する原因について、放電痕除去体積、および加工粉排出性の観点から体系的

氏名 Name	劉 世賢 (Shixian LIU)
------------	--------------------

に議論した。その結果、油加工液の動粘度が増大すると単発放電除去体積は増加することが判明した。数値流体解析および放電分散観察により、油加工液の動粘度が増大するとワイヤ電極後方に生じる加工液の滞留領域が拡大し、噴流による加工粉の排出が悪化するために放電集中度が高くなり、放電集中が多発する傾向があることが明らかになった。そのため、油加工液の動粘度が増大すると、単発放電除去体積の増大と加工粉排出性の悪化が影響し合い、結果として加工速度は向上し、加工面粗さは悪化することが明らかとなった。

次に、油加工液の体積抵抗率の影響について検討を行った。また、放電発生距離の測定および放電集中状況の定量的評価を行い、体積抵抗率による加工特性変化のメカニズムを考察した。その結果、油加工液の体積抵抗率が減少すると放電発生距離は増大するため、加工溝幅は拡大することが分かった。そして、油加工液の体積抵抗率が減少すると加工溝幅の拡大により加工粉排出性が向上するため、放電分散状況は向上し加工状態は安定する。結果的に体積抵抗率の低い油加工液において加工速度は増大し、加工面粗さは低減することを明らかにした。

続いて、油加工液の冷却能による加工特性の違いを議論した。各冷却能における放電痕形状、放電分散性、および気泡発生量について検討した結果、油加工液の冷却能が増大すると放電痕除去体積は増加し、油加工液の冷却能が増大すると加工中に発生した気泡量が多くなるため、加工粉の排出が促進され放電の分散性が向上することが判明した。そのため、冷却能の高い油加工液において、加工速度は増大し加工面粗さは低減することを見出した。

さらに、ここまでの動粘度および冷却能変化によって単発放電痕除去体積が変化する原因を詳細に考察するために、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の数値解析モデルを構築した。これにより油加工液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することで、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その根本的なメカニズムを考察した。解析結果から、動粘度が増大すると放電の熱により生じた気泡の膨張を制限する流体力が強くなり、気泡内部の圧力が増大することが分かった。そのため、動粘度の高い油加工液においては放電痕の熔融金属に作用する気泡の圧力が大きくなり、熔融金属がより効率的に除去され単発放電痕除去体積が増大したと結論づけた。一方、冷却能が増大するとプラズマ周辺の冷却速度が増大し熱ピンチ効果によって放電プラズマ径が減少するが、放電点中心部の放電電流密度は増大する。そのため、冷却能の高い油加工液において放電点中心部のエネルギー密度が増加することで、熔融金属の除去が促進され放電痕除去体積が増大することが示唆された。

最後に、上述の各検討での結論を踏まえ、動粘度、体積抵抗率、および冷却能の物性値を調整した油加工液を試作し、そのワイヤ放電加工特性の検証を行った。その結果、各物性値を適切に変更した試作油加工液を用いることで、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が明らかとなった。

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。