

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

論文題目 : Development of Electrostatic Induction Feeding EDM with Controlled Pulse Train Method (パルス列制御による静電誘導給電放電加工の開発)

氏 名 ノルリアナ ビンティ ムハマド アッバス

パルス電圧を加工間隙に容量結合することによって、工具電極に非接触給電が可能な静電誘導給電放電加工法がある。給電ブラシが不要なので、高速回転する工具電極にも給電が可能であり、加工速度や加工精度の向上が期待できる。この静電誘導給電放電加工法の 1 回のパルス放電のエネルギーは、給電間隙の静電容量（給電容量）に比例し、絶縁破壊前の開放電圧にほぼ比例する。しかし、給電部の小型化の必要性や、給電間隙での放電回避に必要な最小の給電ギャップ長(50  $\mu\text{m}$  以上)を考慮すると、数十 pF 以上の給電容量は得られにくい。また、開放電圧は安全性から 100 V 以下が実用的である。従って、一回のパルス放電のピーク電流は 1A 以下、放電持続時間は 10ns 以下であり、微細放電加工の仕上げ加工程度の放電エネルギーしか得られなかった。そこで本研究は、パルス電圧の半周期に一度だけ放電が生じる従来の静電誘導給電法に代わり、高周波放電の持続時間を制御して任意の放電エネルギーを非接触で供給し、仕上げ加工から荒加工までを同一の回路を用いて行える、パルス列制御による静電誘導給電放電加工法を新たに開発している。

第 1 章では、従来の静電誘導給電放電加工の原理と、1 回の放電エネルギーの理論式を示し、本研究で新たに提案する加工法の意義と特長、ならびに研究の目的について述べている。

第 2 章では、パルス列制御による静電誘導給電放電加工法の原理を述べている。従来の静電誘導給電法で加工速度を増加させるには、パルス電圧の周波数を大きくするしかない。しかし、物理現象としての放電遅れ時間が存在するので、ある程度以上周波数を増加させるとパルス幅の時間内で放電が生じる確率が低下する。よって、周波数の増加に対して加工速度は飽和する。そして、さらに周波数を増加させると、前のパルスと次のパルスの間でプラズマが消沈せず、放電点が一箇所に集中する異常放電の状態に陥る。そこで、放電が同じ場所でも持続するほどに高い周波数のパルス電圧を用いると同時に、放電の開始を検出し、一定のパルス列の持続時間の後にパルス電圧の印加を止め、パルス列ごとの放電エネルギーを一定に制御する放電加工電源を提案している。一方で、パルス電圧を発生する増幅器の周波数特性は一般には 10MHz 程度が上限なの

で、パルスとパルスの間に放電電流がゼロとなる休止時間が存在する。従って、その休止時間中にプラズマ温度が低下し、プラズマの電離度が減少すれば放電は持続できない可能性がある。そこで、硝子板に ITO の皮膜を塗布した透明体電極を用いて放電点の位置を高速度ビデオ観察し、休止時間がある程度以下であればパルス放電が持続可能であることを証明した。そして、パルス列の持続時間によって放電痕の大きさが制御可能であることを実証している。

第3章では、パルス列制御による静電誘導給電加工法の基本的な加工特性を調べた結果を記述している。非接触給電の代わりに、給電ギャップの静電容量よりも大きな容量のコンデンサを用いて、パルス放電の持続が比較的容易な条件下で基礎実験を行っている。そして、同じパルス列の持続時間の下では、パルスの周波数が高いほどパルス放電の回数が増加するので放電痕の直径が大きく、加工速度が大きい。また、パルス放電の間の休止時間が減少するので、パルス列の持続時間中に放電が持続して生じる確率が増加することを示している。さらに、時間当たりの放電のエネルギーが同じ場合の加工速度や工具電極消耗率を、従来の静電誘導給電放電加工や、蓄勢式（RC）放電回路を用いた放電加工と比較している。

第4章では、回路の共振現象を利用して、放電エネルギーを増加させ、パルス列の持続時間中のパルス放電の持続確率を増大させた結果について述べている。非接触給電では、給電ギャップの容量が小さいので、10MHz 以下の周波数ではパルス放電の持続が困難である。そこで、回路の共振を利用し、放電ギャップの開放電圧をパルス電源の電圧振幅以上に増加させ、パルス放電のエネルギーを増大させることによってパルス放電の持続確率の増大を可能にしている。そして、放電ギャップを短絡させた状態での回路の共振周波数の近傍で、放電痕の直径と加工速度がピーク値を取ることを示している。また、共振周波数がパルス電源の最大周波数を超える場合には、インダクタンスを挿入して共振周波数をパルス電源の最大周波数以下に抑え、共振点においてパルス放電の持続確率が最大となり、それにともない最大の放電エネルギーが取り出せることを述べている。これは、高周波回路の整合性をとる作業に他ならない。

第5章では、非接触給電における給電容量の増加による放電エネルギーの増大を試みている。給電ギャップを空気よりも誘電率の高いエタノールで満たす方法、円筒型の給電電極の直径を増大させる方法、ラビリンス構造の給電電極とする方法などを試み、給電容量を 28.4pF から4倍に増加させ、放電エネルギーを3倍に増大させている。そして、非接触給電により微細穴加工を行い、工具電極の回転数を 900rpm から 3000rpm に増大させることにより、加工速度が6倍に増加したことが示されている。同時に、工具電極消耗が減少し、穴の真直度も向上した結果が示されている。

以上のように、本論文ではパルス列制御による静電誘導給電放電加工を開発し、高速回転する工具電極への非接触給電を実現するとともに、任意の放電エネルギーでの加工を可能にしている。これによって、微細放電加工の加工速度や加工精度が向上するだけでなく、微細加工以外の一般の放電加工やワイヤ放電加工における非接触給電を可能とし、放電加工技術の発展に大きく貢献している。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。