457 高加速度極間制御による高速放電加工機の開発

Development of High-Speed Electric Discharge Machining by High Acceleration Gap Control

○ 石田 圭佑 (工学院大) 正 武沢 英樹 (工学院大)

Keisuke ISHIDA, University of Kogakuin, Inume-139, Hachioji, Tokyo

Hideki TAKEZAWA, University of Kogakuin, Inume-139, Hachioji, Tokyo

Key Words: EDM, Gap Control, High Acceleration, Piezoelectric Actuator

1. 緒言

液中放電加工は、電極と工作物間にパルス放電を発生させ材料を溶融除去しながら加工が進行する。非接触加工のため加工反力が小さく、加工材料の機械的特性に大きく影響を受けないという利点があるが、切削加工など他の加工方法と比べて加工時間が長い。加工速度を向上させる方法として、「放電1回あたりの除去量を増やす」、または「単位時間あたりの放電回数を増やす」という方法が考えられる。前者は、電流値やパルス幅を大きくすると実現でき、いわゆる荒加工条件がそれにあたる。ただし、表面粗さは悪化する。本研究では微細な精密加工を対象とした放電加工において加工速度を向上することを目的として、後者の放電頻度の向上による加工速度の向上を試みた。過去の研究より、放電加工の極間制御にตอบสนอง速度の速い積層圧電素子を用いると、加工効率が向上する結果が得られている¹⁾。また、電極を高速駆動できるアクチュエータを用いても効果があることが確かめられている²⁾。そこで、本研究では、ワーク側にも積層圧電素子を設置して極間制御することで、更なる放電頻度の増大に伴う加工速度の向上を目指した。

2. 自作放電加工機の極間制御方式

放電加工における主軸制御は、一般的に平均加工電圧を用いたサーボ制御を行っている。単位時間あたりの放電回数である放電頻度が高くなるように、工作物に対する電極の位置、つまり極間距離を制御している。実際の加工機では AC/DC サーボモータステージあるいは最近ではリニアステージが用いられている。

それに対して本研究では、パルス信号で制御が可能なステッピングモータステージによる主軸制御をベースに試作機を製作して実験を行った。図1は試作した加工機を示す。主軸の極間制御のみを目的としているため、X-Y方向のステージは備えていない。主軸側には SUS 製のモータステージ XA-E35L-50 に加え NEC トーキン製の積層圧電素子 ASB170C801 (駆動距離 $\pm 8.5\mu\text{m}$) を追加している。加えて、工作物を設置する加工槽自体を上記積層圧電素子で上下駆動できるように加工槽の下に圧電素子を設置した。圧電素子の振幅は $15\mu\text{m}$ 程度であるため、ゴムシートを介して加工槽自体を駆動させた。これにより、放電加工の極間は3つのアクチュエータを組み合わせた極間制御が可能となった。

Fig.1 Test model

図2に、極間制御に用いた制御回路を示す。上部がモータステージの制御系であり、下部が積層圧電素子の制御系である。両者とも分圧した極間電圧をそれぞれのローパスフィルタで平均化し、しきい値となる基準電圧と分圧された電圧を比較し、モータステージ制御系では CW または CCW のパルス出力として (駆動周波数 200Hz)、積層圧電素子制御系は増幅回路を経てピエゾドライバに出力される。

Fig.2 Basic configuration of the control circuit

3. 極間制御比較実験の詳細

試作した放電加工機には、3つのアクチュエータ備えている。市販の放電加工機では、図3(a)に示すように、モータステージのみである場合が多い。最近では、その応答性能を向上するために、リニアモータステージも用いられている。それに対して筆者らは過去に、主軸側に積層圧電素子を追加した図3(b)の放電加工機を試作し、各種比較実験を行った。積層圧電素子はサーボ制御も可能であるが、一定の振幅で振動させることも有効であることをその際確かめている。一方、本研究では図3(c)に示すように、工作物側も積層圧電素子を追加した。これにより、表1に示すような、各種アクチュエータを組み合わせた9通りの極間制御方式による加工特性の検討が可能になった。

Fig.3 Three types gap control system

Table.1 Gap control conditions

Number	Servo Type	Motor Stage	Piezo-1	Piezo-2
①	Single	servo		
②			vibration	
③				vibration
④			vibration	vibration
⑤	Dual	servo	servo	
⑥				servo
⑦			servo	vibration
⑧			vibration	servo
⑨	Triple		servo	servo

4. 各種極間制御方式による加工特性の比較

表 1 に示した 9 通りの極間制御方式で 10 分間の加工を行い、加工速度、放電頻度、電極消耗率など基本的な放電特性の比較を行った。放電条件はすべての制御方式で同一とし、無負荷電圧 100V、電流値 5A、パルス幅 50 μ s、休止時間 50 μ s とした。なお、放電回路は FET を用いたアイソパルス回路である。直径 3mm の銅電極を極性(+)として、S45C の板に対して放電加工油 (EDF-K2) 中で加工を行った。加工油は常にフィルターを通して循環させている。圧電素子を振動させる場合は $\pm 5.5\mu$ m の振幅を与えた。

積層圧電素子の駆動距離は十数 μ m と微小であるため、深さ方向に加工を進行させるためには駆動距離の長いモータステージによる電極送りが必要である。そのため、全ての条件でモータステージによるサーボ制御は含まれている。予備実験より、条件①～④までのシングルサーボ時と、⑤～⑧までのデュアルサーボ時では、モータステージの最適なサーボ基準電圧（加工が安定する状態）が異なることがわかった。そのため、モータステージと主軸側圧電素子 1 のデュアルサーボ（条件⑤）において、最適なモータステージ制御系のサーボ基準電圧と、積層圧電素子制御系のカットオフ周波数をそれぞれ調べた。なお、シングルサーボ時の最適なサーボ基準電圧は 3.0V であった。

サーボ基準電圧は、分圧後の実測値で 2.5～3.5V の間で数種類の実験を行った。このときの圧電素子制御系のカットオフ周波数は 50kHz とした。10 分間の加工における加工速度と放電頻度の結果を図 4 に示す。図より、2.6V が最も加工速度が速いことがわかる。3.0V と放電頻度はほぼ同等であるにもかかわらず加工速度が速くなったのは、放電数に占める集中放電の割合が異なることが考えられる。また、サーボ基準電圧を高く設定すると、極間が開く傾向にあるため加工速度が減少することも確かめられた。

圧電素子制御系のカットオフ周波数は 50Hz～50kHz まで 5 段階で比較した。このときサーボ基準電圧は 3.0V とした。加工速度と放電頻度の結果を図 5 に示す。図より、1kHz で加工速度が落ち込んでいるが、基本的にはカットオフ周波数を高くすると加工速度は上昇傾向にある。カットオフ周波数が高いと圧電素子の駆動アンプへの信号に周波数の高いアナログ信号が入力され、極間が高速に制御されることを意味する。そのため、カットオフ周波数の高いほうが加工速度が向上したと考えられる。

以上の結果より、条件⑤～⑨の実験では、サーボ基準電圧 2.6V、カットオフ周波数 50kHz で実験を行った。極間制御条件①～⑨の加工速度と放電頻度の比較を図 6 に示す。結果として制御条件⑤の加工速度が最良であり、⑦～⑨の加工槽側の圧電素子を、振動あるいはサーボ制御させた場合

は加工速度が低下する結果となった。放電波形を詳しく調べたところ、これらの条件では短絡が多く発生していることがわかった。そのため、極端に放電頻度は減少している。ただし、放電の集中が適度に発生しているためか、放電頻度に比例するほどの加工速度低下ではなかった。これより、条件⑦～⑨においては、加工槽側の積層圧電素子のカットオフ周波数も個別に調整し、短絡の発生を抑制することができれば加工速度は向上するものと考えられる。

5. まとめ

高加速度極間制御による高速放電加工機の開発を行い、以下の結果を得た。

- ① モータステージに加え、主軸側圧電素子あるいは工作物側圧電素子のサーボ制御を行う場合、モータステージ制御系の最適なサーボ基準電圧と積層圧電素子制御系のカットオフ周波数が各々の条件で異なる。
- ② モータステージ、主軸側圧電素子、工作物側圧電素子のトリプルサーボ制御においては、各アクチュエータの制御パラメータを個別にチューニングする必要がある。

Fig.4 Comparative experiment of servo reference voltage

Fig.5 Comparative experiment of cutoff frequency

Fig.6 Comparative experiment of each gap control

参考文献

- 1) 浅野孝平他：機上微細軸瞬時成形を備えたマイクロ放電加工機の開発、2006 年度精密工学会春季大会（2006）963
- 2) 今井祥人他：高速電極駆動装置による放電加工速度の改善、電気加工学会誌 Vol. 27 (1993) No. 55 P 23-30