多回路方式放電加工法

藤 本 良 三*

The Multi-Circuit System Electric
Discharge Machining Process

Ryozo FUJIMOTO

Recently, the most important task in electric discharge machining is to increase of the working speed.

The multi-circuit system electric discharge machining is a method of using a number of discharge circuits and corresponding number of electrodes to the circuit in order to get the working speed.

But it is very difficult to control an automatic feeding device and work of the single through hole.

In this case, these electrodes are insulated electrically from each other and they are mechanically combined into one body so as to be fed by an automatic feeding device.

Then it was revealed that the circuit number efficiency is $\eta=0.8$ by experimental result.

From this study, expect that the most effectual application of the multi-circuit system is discharge grinding machine.

1. ま え が き

放電加工法が実用化されてから、多くの研究者の努力により性能的に優れた発展をとげ、とくに、電極消耗比は著しく改善されてきたが、最大の欠点である加工速度のおそいことに対する改善の進歩は未だ満

* 防衛大学校電気工学教室

足されていない。

放電加工法は、液中放電のくり返しにより生ずる電極消耗の累積であるから、加工速度を向上させるには放電のくり返し頻度を大にする必要がある。

すなわち、単位時間内の放電の回数を大にするほど加工速度は向上するから、従来のコンデンサの放電の特性を利用する代りに、衝撃係数を任意に変えられるトランジスタ方式の放電加工機が多くなってきた。

したがって、衝撃係数と同時に加工電流を大にすれば加工速度を大にすることができるが、放電加工においては、仕上面あらさを基準にして考えるから同一仕上面で加工速度を大にすることが必要である。

これに対し、加工精度や仕上面あらさを従来の放電加工にくらべて低下させることなく、加工速度を改善させる多回路方式の放電加工を提案^{1) 2)}した。

すなわち、数10個の被加工物を一つの電極で、あるいは一個の被加工物を数10個の電極で一台の加工機により加工するもので、数10倍の加工速度が得られるものである。

しかしながら、一つの被加工物に数10個の穴あけを行う場合には問題ないが、多回路方式により単一の底付型や抜穴加工を行い加工速度を向上させる試みは最近実用機も二、三市販された。

本報告は、多回路方式の原理およびそれを応用した結果について記述したものである。

すなわち、多回路方式の単一穴加工用多分割電極の製作³⁾と、試作電極による実験結果より単一穴加工における加工速度の増加について述べた。

2. 多回路方式放電加工の原理

通常の放電加工では、被加工物に対向した一個の電極が液中放電をくり返し加工するのであるが、被加工物と加工電極との対向面積がいかに大きくとも、放電が2個所で同時に発生することはない。

これが、もし同じエネルギーの放電を2個所で同時に発生させることができれば、その加工速度は2倍になるはずである。

多回路方式とは、被加工面の数10個所に同時に放電を発生させて、加工速度を数10倍にしようとするものである。

図1 多回路方式原理図

このようにするには、加工電極にそれぞれ独立した多数個の電源より電力を供給し、被加工物との間で放電させれば電源の数に比例した加工速度を得ることができるはずである。すなわち、図1において E は電極群、 W は被加工物である。数10個の電極 E を絶縁して電極ホルダーにチャックし、各電極はおのおの独立した電源に接続される。

ここで、電極は電氣的には数10個に分割されて

いるが、機械的には一体となっている。そして、電極ホルダーが自動送りをかければ各電極は、一つの被加工物に対して独立に放電を行うから加工速度が電極の数に比例して増大することになる。

2.1 同期パルス多回路方式

本方式は、図2において電極 $E_1, E_2 \dots E_n$ におのおの独立したトランジスタ電源を接続し、各電極は電気的にはそれぞれ絶縁されている。

$T_1, T_2 \dots T_n$ のパルス電源のトランジスタは、ベース端子をすべて並列に接続して一台のパルス発生

図2 同期パルス多回路方式

器よりベース信号を供給する。したがって、各電源はパルス発生器の出力パルスに同期して電圧を発生する。そして、被加工物に対しパルス発生器の出力パルスに同期した n 個の放電が発生し、加工速度は n 倍になる。

この場合、各電源のパルス電圧を同期させたのは、電極間に放電が発生するのを防止するためである。

2.2 電極自動送り法

加工電極は、電気的にはおのおの独立しているが、機械的には一体となっているから各電極について、その材質、形状、電源など電気的条件を全く同一にしても加工の進度に多少の不均衡が生ずる。

この場合、加工のおくれている電極は、加工の進んでいる電極にくらべて放電間げきは小さいはずである。そこで、多数の電極のうちもっとも加工のおくれている電極を常に電気的に検出し、これから得た信号をサーボ系におくれば放電間げきを短絡することなく自動送りができるようになる。

図3にその原理図を示す。すなわち、加工電源のパワー transistor T のエミッタとベース間にパルス発生器より図4に示すような矩形波パルス電圧を印加すると、各電極は一斉に電源 V_0 より

図3 自動送り回路原理図

時間(100 μ s/div)

図4 パルス発生器出力電圧の一例

このとき、抵抗 R 群($R_1, R_2 \dots R_n$)とコンデンサ C_1 群($C_{1.1}, C_{1.2} \dots C_{1.n}$)のそれぞれにより、各電極間電圧

は、 $C_1 \times R$ の時定数で定まる対数曲線で電圧が上昇し図5のようになる。

いま、コンデンサ C_1 群において加工のおこなっている電極に接続されたコンデンサを $C_{1.1}$ とすると、 $C_{1.1}$ は V_1 の電圧で放電が開始する。また、加工の進んでいる電極に接続されているコンデンサを $C_{1.n}$ とすると、 $C_{1.n}$ は V_1 より高い電圧 V_n で放電が開始する。

このとき、同時に整流器 S_1 群($S_{1.1}, S_{1.2} \dots S_{1.n}$)を通してコンデンサ C_2 群($C_{2.1}, C_{2.2} \dots C_{2.n}$)を充電すれば、 C_2 はそれぞれ電圧 V_1, V_2, V_n に充電される。さらに、コンデンサ C_2 群の電圧は整流器 S_2 群($S_{2.1}, S_{2.2} \dots S_{2.n}$)を通して送り信号用コンデンサ C_0 を充電する。

コンデンサ C_2 群は、それぞれ $(V_0 - V_1), (V_0 - V_2) \dots (V_0 - V_n)$ の電圧で充電されているから、加工のおこなっている電極 E_1 に接続されているコンデンサ $C_{2.1}$ の電圧は、加工の進んでいる電極に接続されているコンデンサ $C_{2.n}$ の電圧よりも高い。

そして、整流器 S_2 群はコンデンサ C_2 群のうちもっとも高い電圧を選んで C_0 を充電するから、 C_0 の電圧は常に加工のおこなっている電極の電圧を検出することになる。

この C_0 の電圧を自動送りの信号とし、サーボ系を制御すればよい。

このように、もっとも加工のおこなっている電極の加工速度を基準にして自動送りをするので、加工の速い電極には無駄時間が生ずるから、 n 個の電極を用いても全体の加工速度は必ずしも n 倍にはならない。

3. 多回路方式による単一穴の加工

多回路方式により一つの被加工物に多数個の穴加工を行う場合、あるいは一つの電極で多数の形彫り作業を行うような単純加工は容易であるが、穴加工の作業を行うには電極に工夫を要する。

3.1 単一抜穴の加工

3.1.1 スパイラル電極による単一抜穴の加工

図5 電極間電圧波形

一つの被加工物に、一つの抜穴を多回路方式により加工する場合の電極として、螺旋状板重ね組合せ電極を考案した。その製作法について述べる。

電極板材質：Cu（焼鈍）

図6 多分割電極用打抜円板

図7 多分割電極用打抜円板

図8 電極板成型用治具

図9 多分割電極用螺旋状円板

- 1) まず、厚さ0.5mm程度の焼鈍した薄板を図6のように打抜きで環状円板を多数作り、その円板の一部にスリットを加工する。
- 2) この円板に固形後油系溶剤に不可溶性の電気絶縁性接着剤を図7のように中央部に塗布し、乾燥固形化する。
- 3) 図7の円板を図8に示す治具を用いて図9のように成型し螺旋状に変形させる。
- 4) このような螺旋状円板を数10枚（所要電極数だけ）積重ねて組合せ、絶縁性接着剤の上に再び接着剤を塗り圧着する。この組み上げた電極を固形後ビニール系接着剤中に浸し、電極間のすきまの部分はこの接着剤で埋めて電極素材を作る。
- 5) この電極素材を所定の寸法、形状に機械加工し、さらに周辺部の可溶性接着剤を溶かして落し、各電極板にそれぞれリード線を接続して完成電極とする。図10は3枚構成の電極素材であるが、図11は完成電極である。

このような電極を用いれば加工速度は速く、また深穴加工の場合

図10 電極素材
（3枚構成）

図 11 多分割電極の完成図

別の電極と加工法を試みる必要がある。

3.2.1 橋形電極による底付穴の加工

断面が楔形の金属棒を図 12 のように橋形に寄せ合せて接着し、所定の形状・寸法に機械加工して完成電極とする。この電極で加工を行うと、電極間のすき間に相対する部分の被加工物には加工残りが生ずるから放電加工後仕上げ加工を施すかあるいは軸対称のものであれば、反復回転しながら加工を行えばよい。

図 12 は銅電極の場合であるが、図 13 はカーボン電極である。

3.2.2 ハネカム電極による底付穴の加工

市販の六角棒を適当な長さに切断し、その上部

電極材質：Cu

図 12 橋型電極

電極材質：カーボン

図 13 橋型電極

電極材質：黄銅

図 14 蜂巢型電極

を固定後、油性溶剤に溶けない電気絶縁性接着剤で接着する。

つぎに棒の下部のすき間を油性溶剤に溶ける接着剤で埋めて電極素材とする。このようにして作った電極素材を図 14 に示す。そしてこれを所定の形状、寸法に機械加工すれば完成電極ができる。

この電極で加工を行うと、加工された穴は図 15 に示すように蜂の巣状となるが、電極間の間隔が 0.2 mm 程度であるから、荒加工ではハネカム状にはならない。

4. 実 験

実験に用いた放電加工機を図 16 に示す。本機は多目的に試作したので加工性能は市販の加工機にくらべて必ずしもよくない。

電源入力は 10 kVA、回路総数 48 のトランジスタとシリコンダイオードによるパルス方式である。自動送りは前述のように加工電極のうち、もっとも加工のおくれている電極を常に電氣的に検出しながら電極の加工ペースで送るようにしてある。

そして直流出力電圧 100 V、一回路の放電電流は 5 A（平均）、回路数と一回路の放電電流は回路を並列に接続することにより、総電力 8 kVA の範囲内で適当に変えることができる。

この加工機によりつぎに示す条件で穴あけ加工の実験を行なった。

電 極： 単一抜穴加工用電極
 電極材質： 銅
 直 径： 65 mm ϕ
 全 長： 45 mm
 被加工物： 鉄板、厚さ 8 mm、下穴 63 mm ϕ
 加 工： 貫通加工
 放電電流： 一回路 2 A（平均）
 放電電圧： 75 V
 n （電極数）： 30

図 17 は回路数と加工時間、回路数効率および加工面あらさとの関係を示したものである。なお、図 17 は数回の実験結果の平均である。図 17 は 30 枚の電極板を電氣的に何枚かずつ並列に接続し、30、15、6、3、2、1 の各回路数で加工した場合である。図より、一回路で加工したときの加工速度を A g/min とし、 n 回路で加工したときの加工速度を B とすれば

図 15 ハネカム電極による加工表面

図 16 放電加工機

$$B = \eta \cdot n \cdot A$$

η : 回路数効率

本実験では $\eta \approx 0.8$ である。

また、本実験に用いた試作の多分割電極では各電極間に螺旋状の間げきがあり、加工液を噴流させた場合には加工屑の排除が極めて容易である。したがって、実験中（加工中）電極の送り速度は終始一定であった。

ただ、本方法による単一形彫り加工は、電極の製作が容易ではないが、各寸法の素材を予め多数準備することにより能率よく作業を進めることができると考えられる。

5. む す び

本研究の結果を要約すれば、

- 1) 多回路方式放電加工は、多数個の単純加工のみならず、単一穴彫り加工においても加工速度を増加させることができる。
- 2) 多回路方式の単一底付穴彫り加工用の多分割電極による加工では、加工残りが生ずるが、これは最終的に仕上げ加工を行うことにより取り除くことができる。
- 3) 多回路方式の多分割電極による単一穴加工における回路数効率は約 0.8 である。これは、回路部品の不均一、放電現象の複雑さに起因すると考えられ、これを改善することにより $\eta = 1$ に近づけることができる。
- 4) 多分割電極は、各電極間に螺旋状の間げきがあるため、加工液を噴流させるとき、加工屑の排除が容易である。したがって電極送り速度はほぼ一定である。

謝 辞

本研究を推進するにあたり、防衛大学校丹羽義栄教授に種々ご指導をいただいた、厚く感謝の意を表します。

また、実験に協力された、元防衛大学校助教授土屋政光氏および防衛大学校神谷政則技官に謝意を表します。

(1969. 8. 26 受付)

図 17 回路数と貫通時間、加工速度効率および面あらしさとの関係

参 考 文 献

- 1) 丹羽義栄： 精機学会放電加工講習会テキスト
- 2) 西村重志，土屋政光，丹羽義栄，藤本良三： 多回路方式による放電研磨機の試作，精機学会山梨地方講演会前刷（昭40年，11月）
- 3) 丹羽義栄，藤本良三，土屋政光： 多回路方式による単一穴の加工，電気加工研究会資料53-103（昭44年，1月）
- 4) 丹羽義栄： 「最近の放電・電解加工に関するシンポジウム」精機学会，電気加工学会，資料（昭44年7月）

— 表紙写真説明 —

全 自 動 電 解 面 取 機

- 自動車エンジンシリンダー内面の吸・排気孔面取りを電解加工により全自動で行ないます。
- ワーク投入—取付—電解加工—搬出—洗滌—防錆液吹付—乾燥の工程が全自動で施工されサイクル・タイムはわずか30秒の高速処理が可能です。

放電切断機・放電加工機・電解加工機の専門メーカー

株式会社 日本通電機械製作所

取締役社長 三 谷 喜 男

本 社 東京都墨田区業平4丁目4番8号 電話(624)2917(代表)

上尾工場 埼玉県上尾市領家字宮内379-1 電話0487-25-1511(代表)