研 究

ダブルスパーク方式による放電加工の研究

土 屋 政 光*

Study on Electric Discharge Machining using the Double Spark Circuit

Masamitsu TSUCHIYA

Discharge machining which makes use of the small gap electric discharge in oil is occupying an important position in the machining of punch and die of press. In this case, how machining clearance should be adjusted becomes a problem to be solved.

In order to adjust the discharge machining clearance, the author used the double spark circuit which consists of subordinative and main electric power sources.

The paper describes the principle and method by which discharge machining clearance is adjusted and also presents some results of experimental investigations as follows:

- (1) The discharge machining clearance is adjustable by means of controlling the firing voltage.
- (2) The roughness of machining surface is independent of the machining clearance.
- (3) The discharge machining using high firing voltage can reduce the decrease of machining speed in deep hole.

1. ま え が き

プレス抜型を放電加工で製作する場合、直接法、間接法および混合法など¹⁾がある。現在の放電加工機では、加工間隙** (クリアランス) を所望の値に仕上げることは困難であるが、これを所定の値にすることが可能ならば、金型の放電加工を著しく容易にすることができる。

たとえば、間接法で抜型を加工する場合には、まず黄銅などでパンチと同形の1次電極をつくり、これを用いてダイ材を加工してダイをつくる。つぎに電極材をこの1次電極で加工して、ダイと同じ形の2次電極をつくりこのダイ形2次電極を用いてパンチ材を加工して、パンチをつくる。これらの加工順序を図1の(1)、(2)、(3)に、完成したパンチとダイの配置を(4)に示す。

図1に示したように、パンチ形1次電極と完成ダイとのクリアランス (放電間隙) を g_1 、パンチ形1次電極とダイ形2次電極とのクリアランスを g_2 および2次電極と完成パンチとのクリアランスを g_3 とすれば、完成パンチと完成ダイとのクリアランス g は $g = g_1 + g_2 - g_3$ となる。 g_1 , g_2 , g_3 を適当な値に加工することによりク

図1 間接法によるプレス型の放電加工順序

リアランス g を所定の値に仕上げることができ、必要に応じては g を負の値に選ぶことも容易である。

放電加工で深穴を加工する場合は、加工速度が著しく低下する²⁾。また、浅い穴でも下穴のない広い面積の加工を行なう場合は、加工速度が低下し面積効果と称されている³⁾。このように、放電加工速度の低下におよぼす深穴効果や面積効果は、加工中における加工くずの排除の困難なことが原因の一つと考えられる。本研究の

* 正会員 防衛大学校電気工学教室

** 加工間隙は、放電間隙よりも放電によって加工された深さ (厚さ) だけ大きい。

ダブルスパーク方式では、放電間隙をある程度大きくして加工を行なうことができるから加工くずの排除を容易にし、深穴加工における加工速度の低下をある程度防ぐことができると考えられる。

本研究は、放電間隙長を調整することにより、放電加工のクリアランスを加工面あらさと無関係に選べるようにしようとする方法についてのものである。加工間隙を調整するのに、高周波電圧を併用する方法⁷⁾が試みられている。筆者の研究室では、加工液の絶縁耐力を低下させて加工する方法を試みたが、よい結果が得られなかつたので、このたび加工間隙調整の1方法であるダブルスパーク方式⁸⁾⁹⁾すなわち、放電間隙を定める小容量の発弧用電源と加工速度を定める大容量の加工用電源とを並列に接続した回路方式を試み一応の実験結果を得たので、これを本稿に報告する。

2. 原理および回路

図2は、ダブルスパーク方式による放電加工の基本的回路図である。 C_1 は放電間隙に加工電力を供給する加工用のコンデンサ、 C_2 はある放電間隙長で放電を開始させるための発弧用のコンデンサで、 $C_1 \gg C_2$ である。 C_1 は加工電源(出力電圧 V_1)より充電され、 C_2 は発弧用電源(出力電圧 V_2)より充電される。普通には、 $V_1 < V_2$ である。また、 C_1 の放電回路にそう入した整流器は C_1 が発弧用電源から充電されるのを阻止するためのものである。

図2 ダブルスパーク基本回路
 $C_1 \gg C_2, V_1 < V_2$

電極 E, W (E: 加工電極, W: 被加工物) を図2のように接続して、電極間間隙を縮めると、 $V_1 < V_2$ であるから初めに C_2 が放電し、続いてこれに点弧されて C_1 が放電し被加工体に放電痕を生ずる。放電痕の容積の大きさは、放電エネルギー $1/2 (C_1 V_1^2 + C_2 V_2^2)$ によつてほぼ定まるが¹⁰⁾ $C_1 V_1^2$ にくらべて $C_2 V_2^2$ が十分小さいから C^2 と V_2 は放電痕容積に大きな関係がない。したがつて C^2, V_2 は放電の点弧の役目を果たすだけである。 V_2 の値を種々に選べば (ただし、 $V_1 < V_2$)、 V_1 に無関係に種々の間隙長で放電を開始させることができ

図3 実験に用いたダブルスパーク回路

る。

実験に用いたダブルスパーク方式の回路を図3に示す。加工用電源の電圧は、電極間が短絡したときや、アーク放電のときおよび電極間が離れ過ぎて放電が起きていないときは、零またはそれに近い電圧値にした方が望ましい。このために、加工用電源はシリコン制御整流器 (S.C.R)¹¹⁾を用いた12相制御整流回路とし、放電のくり返し周波数に応じて図3の相互誘導Mの2次コイルに発生する電力により移相器を動作させ、S.C.Rの入力電源電圧の位相に対して、S.C.Rのゲートパルス電圧の位相を移相させることにより加工用電源電圧を制御した。放電加工中は、電極間の間隙長を一定にして放電開始電圧が所定の値に保たれるようにしなければならないが¹²⁾、この実験では油圧式自動微いフライス盤(牧野フライス製作所製)を用い、主軸を固定し絶縁物を介して電極を取付け、ニー上に加工タンクを固定し被加工体を取付け、ニーの送りを信号により自動制御して加工を行なつた。ニーの自動送り用信号電圧は発弧電源電圧の約70%を基準とし、 C_2 の尖頭電圧値がこれより高い場合は正の信号電圧を発生し低い場合は負の信号電圧を発生するようにした。また、加工液には洗い油*を用い、濾過器およびポンプにより濾過した加工液を常時供給できるようにした。

3. 実験および結果

3.1 放電電圧波形

C_1 を $10\mu\text{F}$ 、 C_2 を $0.0005\mu\text{F}$ とし加工電源の最大出力電圧値を 70V、発弧電源電圧を 250V として実際に放電加工を行なつた場合のコンデンサ C_1, C_2 の端子電圧波形を図4に示した。図4は、 C_1 の端子と C_2 の端子の電圧波形を2現象シンクロスコープで、同時に写真観測したもので、 C_1 が C_2 に同期して放電していること

* ケロシンに、皮膚を侵さないようにするための薬品を混入したもので、放電加工用としては作業者の手を痛めない長所があるが性能はケロシンよりわずかに劣る(東京米油K.K製品)。

図4 加工コンデンサ C_1 と発弧コンデンサ C_2 の電圧波形

加工コンデンサ $C_1: 10\mu\text{F}$
 発弧コンデンサ $C_2: 0.0005\mu\text{F}$
 加工電源最大出力電圧 $V_1=70\text{V}$
 発弧電圧 $V_2=250\text{V}$

を示している。 C_2 の値を上記の $0.0005\mu\text{F}$ より小さくすると C_2 が放電しても C_1 が放電しない場合が起こり、放電の同期が乱調となる。

3.2 加工間隙と加工面あらさ

この研究の主目的である、発弧電源電圧を変えた場合の加工間隙と加工面あらさの関係について下記の要領で実験を行ない図5, 6, 7のような結果を得た。

加工条件

被加工物：鋼板（厚さ2mm，下穴3φ）

電 極：黄銅棒（10φ）

加 工 液：洗い油

発弧用コンデンサ $C_2: 0.0005\mu\text{F}$

加工電源電圧最大値：70V

実験条件

発弧電源電圧：100, 250, 500, 750V

加工電源コンデンサ $C_1: 0.1, 2, 10, 50, 200\mu\text{F}$

加工送り量：被加工物の板厚（2）×4 = 8mm

被加工物に加工されてできた穴の出口の半径を測定しこれから電極の半径を差引いてこれを加工間隙とした。

図5に、 C_1 が0.1, 2, 10, 50, $200\mu\text{F}$ の場合における、発弧電圧と加工間隙との関係を示した。図によれば、加工間隙は発弧電圧 V_2 によって変えられることがわかる。また、図6は加工コンデンサ C_1 を $0.1\mu\text{F}$ とし、発弧電圧 V_2 を変えて加工を行なったときの加工面あらさを示したものである。図6(a)は、 V_2 を100V，(b)は、250V，(c)は500V，(d)は750Vとして加工したときの加工面あらさである。図7は、 C_1 が0.1, 2, 10, 50, $200\mu\text{F}$ の場合について、 V_2 を図6の場合と同様に変えて加工を行なったときの実験結果である。

図5 発弧電圧と加工間隙の関係

電極：黄銅棒

加工電源最大電圧：70V

被加工物：厚さ2mm 鋼板

図6 発弧電圧と加工面あらさの関係

被加工物：鋼板，電極：黄銅

加工電源最大電圧：70V

加工コンデンサ $C_2: 0.1\mu\text{F}$

図7 発弧電圧と加工面あらさとの関係
電極：黄銅棒，被加工物：鋼板
加工電源最大電圧：70V

図5，図6および図7に示した測定結果は，発弧電源電圧を選ぶことにより，加工面あらさを変えずに加工間隙を有効に変えることができることを示している。

3.3 深穴加工における加工速度

加工速度は毎分当たりの被加工物の除去量で表示されるが，深穴加工や下穴のない広い面積の加工の場合は，加工くずの排出がむずかしく加工速度が著しく低下する。

このような場合，発弧電源電圧が加工速度にどのような影響を与えるかを確かめるために下記の要領で，浅穴加工と深穴加工の加工速度の比較実験を行なった。

加工条件

被加工物：鋼板

電 極：黄銅棒 10φ

加工液：洗剤油

発弧用コンデンサ C_2 ：0.0005μF

加工電源最大出力電圧：70V

実験条件

発弧電源電圧：100，250，500，750V

加工電源コンデンサ C_1 ：2，10，200μF

加工深さ { 浅穴：板厚 3mm 貫通
深穴：板厚 10mm 貫通

図8に，厚さ3mmおよび10mmの鋼板を貫通するまで加工した場合の総加工重量/加工所要総時間すなわち，平均加工速度の測定結果を示した。また，図8のデータから計算して求めた平均加工速度の比を表1に示した。これらの結果は，板厚10mm程度の被加工材を貫通させる加工の場合，加工速度の深穴による低下を防ぐための発弧電圧の効果は，加工コンデンサ C_1 が大きいときすなわち荒加工の範囲では効果が少ないが，仕上

図8 深穴加工速度に対する発弧電圧の効果
電極：黄銅棒 10φ
被加工物：鋼板
加工電源最大電圧：70V

表1 深穴加工における加工速度低下に対する発弧電圧の影響

浅穴：厚さ3mm 鋼板（下穴なし）貫通加工
深穴：厚さ10mm 鋼板（下穴なし）貫通加工
加工電源最大電圧：70V
電極：黄銅棒 10φ

発弧電圧 V_2 (V)	加工速度比 = $\frac{10\text{mm 貫通の場合の平均加工速度}}{3\text{mm 貫通の場合の平均加工速度}}$		
	加工電源コンデンサ静電容量 (μF)		
	2	10	200
100	0.3	0.65	0.91
250	0.48	0.68	0.92
500	0.64	0.81	0.95
750	0.78	0.84	0.95

げ加工の範囲ではこの効果が有効に現われていることを示している。このことは，加工エネルギーの大きい場合の方が加工間隙が大きく¹³⁾¹⁴⁾，放電のさいに生ずる衝撃力¹⁵⁾¹⁶⁾が大きいので加工くずの排出が容易であるということから推察される。

4. む す び

ダブルスパーク方式による放電加工の加工間隙，加工面あらさおよび深穴加工に対する効果についての実験な

らびに測定結果を述べたが、要約すれば、

(1) 発弧電圧を加減して、加工間隙を調整することが可能である。

(2) 加工間隙を変えて加工を行なつても、加工面あらさは変わらない。

(3) 発弧電源電圧を高くして加工すれば、深穴における加工速度の低下を軽減させることができる。

本研究を御指導下さった防衛大学校教授丹羽義栄博士および助教授藤本良三博士に厚く感謝します。機械関係と自動送り部門を担当していただいた、K.K. 牧野フライス製作所(技術部長佐藤嘉一氏および下岡耕三氏)に厚く感謝します。また、測定にあたり御盡力下さった防衛大学校機械教室木村研究室の諸氏および実験に協力された大泉忠夫君に深く感謝します。

(1963, 6月4日受付)

参考文献

- 1) 二村昭二：間接法における加工条件とクリアランス，放電加工技術，第5～6号(1959, 8) 78.
- 2) 丹羽義栄：放電加工による金型の製作について 精機学会講習会資料(昭37.11)
- 3) 倉田忠雄：放電加工による穿孔，日刊工業講習会(昭37.11)
- 4) 5) 前田忠正：放電加工能率について，放電加工技術，第2号(1958.4) 5.
- 6) 佐治木清吾：名古屋工業試験所報告(昭30)
- 7) 山口，石川：放電加工における加工間隙の調整法，放電加工技術，第4号(昭34.3) 1～5.
- 8) 丹羽義栄：ダブルスパークによる放電加工速度改善について，第20回放電加工研究会資料(昭35.6)
- 9) 丹羽，土屋：電子加工懇話会資料(昭37.10)，1～5.
- 10) 鳳，倉藤：改訂放電加工，コロナ社，52～61.
- 11) 東芝電気：シリコン制御整流器便覧，オーム社
- 12) 鳳，倉藤：改訂放電加工，コロナ社
- 13) 斉藤，岩村：放電加工の研究，三菱電気ジャーナル
- 14) 二村昭二：加工時間，加工安定度の加工精度におよぼす影響，放電加工技術，第5～6号(1959.8)，21.
- 15) 藤本良三：放電加工の研究(第1報)，放電圧力について，精密機械，Vol.27, No.9 (1961) 618.
- 16) 木本保夫：放電加工における衝撃力について，電気学会誌，81巻(1961.11) 1877.