研 究

高 速 放 電 加 工 の 研 究

倉 藤 尚 雄* 須 田 孝**

Study on High-Speed Electrical
Discharge Machining

Hisao KURAFUJI and Ko SUDA

New techniques on high-speed electrical discharge machining are described in this paper. Mixing of conductive powder in working fluid enables electrical discharge between an electrode and a work piece very easily and frequently, increasing the erosion rate remarkably. The working fluid should be passed through at a certain velocity between an electrode and a work piece. By superposing electric pulses of relatively high voltage on the electric source of low voltage and of high current capacity, such a high erosion rate as 145 g/min is obtained with only 31KW power input. Several improvements in electrode shape and in supply of working fluid are proposed to get easy flow of working fluid in deep-hole machining, thus to keep the erosion rate high in the case.

1. 緒 言

放電加工のより広い利用のためには、仕上工程における精度、加工面あらさの改善などとともに、荒仕上げ工程における加工速度の増大が強く望まれている。ところで放電加工の加工能率という点から見るとコンデンサ放電に比べ電解液による放電切断¹⁾の方がはるかに高い。その原因は後者の放電の際に生ず

* 東京大学工学部

** 東京大学工学部

る通電時間の長い、したがってパルス幅の大きいマイクロアークのためと考えられる。また一方普通の放電加工の際に加工ははじめよりも加工が少し進んできたときの方が、加工速度が高くなることはよく知られている事実である。著者らはこのときの加工液の分析からこのような加工速度の上昇は加工液中に蓄積してきた導電性の加工屑の効果であることと知った。そしてこれらの事実に着想を得て、加工液中に導電性の粉末を浮遊させ、電極間にマイクロアークを発生させることを試み、放電加工の加工速度を著しく上昇させることを試み、その結果加工速度を著しく上昇させることに成功した。ついでこのような予備実験の結果をもとにして大型の高速放電加工機を試作し、それによって電極、放電電流、電圧条件、その他の加工速度に対する影響を研究した。とくにこの試験機で得られた最高の加工速度 145 g/min で、これまでに世界各国で報告されている最高の加工速度に比べ、その数倍にもなっている。この報告ではこのような高速放電加工の予備的実験、高速放電加工機の概略、および高速放電加工の加工速度におよぼす加工諸条件の影響などについて述べる。

2. 高速放電加工の予備的実験

2.1 放電加工の加工液の変化と加工速度

放電加工の進行にともなう加工速度の上昇の経過と、その原因を究明するため、RC方式放電回路を使い、黄銅電極で軟鋼の放電加工を行った。そのときの実験条件は、電源は直流発電機 110 V 、蓄電器は MP 、 $10 \mu\text{F}$ 、加工電極は $9 \text{ mm } \phi$ 中実で、放電開始電圧約 100 V 、送りは手動で、加工液白灯油 100 cc 中で、加工液が老化するまで放電加工実験を行った。ただし加工速度を測定する場合は $0.01 \mu\text{F}$ の蓄電器を用いた。そのときの加工速度は図1のように加工量の増加とともに、はじめ増大してゆき、その後は次第に減少してゆくことが判った。このときの加工液の性質がどう変化し、それが加工速度にどの様に影響するかを調べるため、まず使用した加工液を約 45 時間放置したところ、下部に沈澱物を含んだ層、中間には黒色の浮遊物を含む層、その上に黄味をおびた透明の液層の3層に分かれた。この様にして分離した上、中、下の三層の液を使ってさらに、放電加工の実験を行った。その結果は次の通りである。上層の液は白灯油の新液と粘度もほとんど変わらず、またその加工速度も新液とほとんど変わらない。中間層は 100 倍の顕微鏡でみると、非常にこまかい粒子が

沢山浮遊しているのが認められるが、この液だけでは持続放電になって使用できない。また新液の中にこの浮遊物質に似たアスファルトを混入すると、持続放電をおこし、加工速度は約 $1/2$ に低下する。下層の沈澱部に新液を加えると、加工速度は増大し、放電しやすくなる。これ等の実験結果から、放電加工が進むにつれて、はじめ加工液中に導電性の加工屑が増加し、

図1 通算加工量と加工速度

加工速度が増大するが、時間がたつにつれて加工液の分解重合などによりアスファルトの実験のときと似た物質が生成して、加工速度が低下してゆくだろうと考えられる。

2.2 導体粉の混入液による放電加工^{2) 8)}

そこで加工液にいろいろな種類の導体粉、その他を混入し、放電の加工速度におよぼす影響を調べた。放電回路はRC方式、CはMP 10 μ F

加工電極は黄銅 9 mm ϕ 中実、加工物軟鋼で放電開始電圧 100 V で、給電抵抗値の最小で、繰返し放電の安定する点を求め、また加工速度を測定した。結果は表 1 にしめすように、新しい白灯油では加工速度は 6.5 mg/min であったものが、グラファイト粉、鉄粉を入れると、10.5 および 14.5 mg/min と約 2 倍程度よくなり、さらにグラファイト量を前の 4 倍に増したり銅粉、銅粉とグラファイト粉の混合を入れると、加工速度 35.7 から 56.4 mg/min、すなわちはじめの 6~9 倍程度に上昇する。また水道水を加工液として使用した場合も、導体粉を混入すると同様な効果がある。高い加工速度で加工を行なうには、導電性粉を含む加工液を電極間に移動させて、直流発電機電源を用い、給電抵抗は、10 Ω の電熱線を 30 本迄並列接続して用いた。加工物は 0.4 % 炭素鋼を圧延のままで使用し、加工電極はアーク灯用炭素電極

(日本電弧製外径 10 mm ϕ 、中心に 4 mm ϕ の孔をあけ、長さ 100 mm) を主として使用し、大きな電極は電池用の炭素電極(第 1 カーボン製、外径 18 mm ϕ) を用いた。加工液は水道水にグラファイト粉 3 g/l の割合で混入し、50~60 cm Hg で電極から吸込みつつ加工した。このときの加工電流と加工速度との関係は図 2 のように電流の増加とともに加工速度は急激に増大してゆく、ただしあまり大きい電流 70~80 A のところでは僅かの送りすぎで短絡を生じやすく、また加工速度も飽和してゆく傾向がある。同じ吸込み圧で、電極の面積を増大してゆくと、加工電極面

表 1

加工液	充電抵抗 Ω	加工速度 mg/min	備考
白灯油	280	6.5	送りにくい
白灯油+鉄粉 #200 (5g/l)	40	14.5	送りやすい
白灯油+銅粉(6g/l)	18	35.7	"
白灯油+グラファイト (1g/l)	190	10.3	やや送りやすい
白灯油+加工屑	70	29.6	送りやすい
白灯油+銅粉(6g/l) +グラファイト	18	40.5	"
白灯油+グラファイト (4g/l)	16	56.4	"
白灯油+グラファイト (20g/l)	300	3.3	送りにくい

図 2 電流と加工速度

上の加工液の流速が減少し、加工屑の排出が悪くなる、これは一カ所に放電の滞留期間が長くなってくるためと考えられる。実際に電極面積を変え、流体抵抗を変えさせることにより、極間流速を変えると、図3のように流速の増大により加工速度が増大してゆく。ただしある流速以上では加工速度は飽和する傾向がある。

図の結果では40Aの電流に対しては、 $100\text{ cm}^3/\text{mm} \cdot \text{min}$ 位流せばよいことが判る。

図3 加工液流速と加工速度

3. 試作した高速放電加工装置

以上のような予備的実験結果をもとにして、導体粉混入加工液による高速放電加工装置を試作した。図4が本装置の外観で、加工機本体は横フライス盤を利用し、これに加工ヘッド、自動電極送り装置、加工タンク、ポンプ装置を取付けた。電源は交流式電気溶接機を利用し、これに全波セレン整流器を接続して使用した。図5は加工液循環回路を含めた装置の概略説明図である。加工液としてグラファイト粉 3 g/l 混入の水道水全量 50 l を使い、それをハイプロポンプで送った。また加工屑を除去するためにサイクロンをつけてある。電極はA級グラファイト製の円筒状を主として使用した。

図4 高速放電加工装置

4. 高速放電加工の実験

この高速放電加工装置を使って、放電加工条件、すなわち放電電流、電源波形、電極形状、電極材料、被加工材料などの加工速度におよぼす影響、深孔加工への適用などについて検討した。以下その実験結果について述べる。

4.1 放電電流の影響

電極は人造黒鉛（A級）で外径 $50\text{ mm } \phi$ 、内径 $30\text{ mm } \phi$ の円筒を使用して、放電電流と加工速度との関係を求めた。その結果は図6のように、電流の増加とともに加工速度が増加してゆく。しかし電流が

図5 加工液循環装置略図

150 A 以上になると、加工速度は飽和状態となり、あまり増加しない、この実験結果では 300 A で 47 g/min の加工速度が得られた。

4.2 電源波形の影響

電源波形の影響としては、単相半波と両波整流電源との差異また交流電源で整流しない場合との比較、さらに高電圧重量の効果も検討した。円筒電極を使用して、単相半波と両波整流の電源を使った場合、その加工速度は表 2 に示すように、加工平均電流が同じならば、加工速度は変わらないことが判った。一方

図 6 加工電流と加工速度

表 2. 電 源 波 形

波 形	AC 入力 V	DC 無負荷 V	加工平均 電圧 V	加工平均 電流 A	流 量 l/min	孔 深 さ mm	加工速度 g/min	粗 さ mm
半波整流	220	30	17	50		8	8.3	0.5
			16	100		6	12.2	0.5
			15	150		9	24.3	1.1
全波整流	220	75	33	50		2	7.9	0.4
			38	100		4.5	12.6	0.4
			38	150		11.5	24.8	0.4

加工面のあらさは半波整流の方があらい、これは加工平均電流が等しいのであるから、単一放電の電流が大きいとめと考えられるので当然である。電源として交流電源（50 $\sim$ ）をそのまま使用した場合について調べた。この時の変圧器は溶接用のもので、垂下特性の少ない位置に固定し、電極には円筒形のものを使用した。このときの結果は、グラファイト粉混入の場合、加工平均電流 150 A で 15.2 g/min で、直流電源の場合の加工速度の約 60 % である。加工速度が約半分になる理由は、極性効果、エネルギー配分等のためと思われる。加工液水道水を流し放しにしたときは、直流電源での流し放しのときとちがって、加工は安定で加工速度は加工電流 150 A で 13 g/min とグラファイト粉混入の場合とほとんど変わらない、したがって交流電源は整流器がいらないので簡単であり、折損工具の除去、野外作業等には有望であると考えられる。

導体粉を使用する放電加工では、単一電源を使用するよりも、エネルギーを供給する低圧大電流電源と、点火をする高電圧小電流電源を併用すると、電源容量が少なくてすむ、点火電源としては RC 回路、独立インパルス装置等を使ってもよい結果を得たが、もっと簡単な電源をと考え、商用周波数の交流の波を利用すること試みた。また低圧大電流電源も単相全波整流を用い、消弧の容易化をはかった。実験に使用した電気回路は図 7 にしめすようなもので、図の左側は低圧大電流供給電源（30 V, 1000 A）で、右側

が高压小電流点火用電源（100 V，10 A）である。両電源の低压側にSR（三菱SR-200 H，5個並列接続）をかいして接続する。このときの電源波形の略図を図8の上に示してある。加工液はグラファイト粉3 g/l混入の水道水で、極間流速は約3 m/sである。また被加工材料には炭素工具鋼SK-6を使用した、結果は図8のように、加工

速度は、電流800 Aまでは電流に比例して増加し、正極性で電流1000 Aの場合に145 g/minという非常に高い加工速度が得られた。このときの加工面あらさは最大高さ H_{max} 0.9 mmである。逆極性の加工速度は正極性の約半分ぐらいであるが、加工面あらさは、正極性の半分以下である。電極消耗率は正極性で2～3%，逆極性では悪くなる。加工速度は飽和の傾向が少ないから、電流を増せば、さらに加工速度は上る見込がある。

以上の結果から、試作した高電圧

重量電源を、高速放電加工に適用することは、加工速度の増大にたいして著しい効果があることが確かめられた。

4.3 電極材料の影響

電極材料の影響を調べるため、標準的な円筒状の電極を用い、その材質を銅、黄銅、鋳鉄、軟鋼、A級グラファイト、仮焼グラファイトに変え、そのときの加工速度、加工面あらさ、電極消耗を求めた、なおこのときの加工平均電流150 A、加工液はグラファイト粉混入水道水を用いた。結果は表3のように、加工速度、電極消耗の点から、A級グラファイト、仮焼グラファイトがすぐれていることが判る。銅を加えたグラファイトは余りよくない。あらさの点からは、銅、黄銅、鋳鉄、軟鋼がよいが、加工速度は大きく

図7 電気回路

図8 加工結果

表3 電 極 材 質

電 極 材 質	加工平均 電圧 V	流 量 ℓ/min	孔 深 さ mm	加工速度 g/min	粗 さ mm	電極消耗 %
銅	28	21	2	3.8	0.2	62
黄銅	29	20	3	7.4	0.1	51
鋳鉄	28	20	2	2.3	0.1	203
軟鋼	29	18	2	2.9	0.1	67
A級グラファイト	28	20	11	22.6	0.5	0.2
仮焼グラファイト	28	21	11	23	0.5	0.5
Cu 50%グラファイト	29	21	10	20.6	0.5	6
Cu 75%グラファイト	28	21	6	9.6	0.3	170

ない。

4.4 電極形状と電極面積の影響

図3に示めた加工液の流速と加工速度との関係にも見られるように、加工液の流通の大小が加工速度に大きな影響をあたえる、そこで、このような見地から、電極の形式とその形状の加工速度におよぼす影響について検討した。

加工液の流通をよくする目的で、肉厚の薄い電極を作って試みた。結果は表4のように、加工平均電流300Aで73 g/minと非常に高い加工速度が得られた、ただし加工面あらさはよくない。

部分型ほりに、放電加工を使う場合には、なるべく細い電極が必要である。したがって加工液の流通のための孔もそれだけ細くなる。そこで、外径50 mm φ、内径30 mm φの標準的な電極に対し、外径10 mm φ、孔径5 mm φの電極を作って、全波整流、半波整流電波で加工速度を比較した、その結果は表5のように、半波整流も全波整流電源も、加工平均電流が同じであれば、加工速度は変らない。しかしいず

表4 薄 肉 電 極

電極材質	寸 法 外径/内径	肉 厚 mm	平均加工 電流 A	加工時間 mm	加工深さ mm	加工速度 g/min	備 考
Cu 50% 電 極	50/40{ 50/44	5	200	3	18	41	
			300	2	18	62	
		3	300	1	12	65	
普通グラファ イト電極	50/44	3	200	1.5	15	50	粗さ0.4mm位
			300	1	14	73	

表5 細径電極と電源波形

波 形	AC入力 V	DC無負荷 V	加工平均 電圧 V	加工平均 電流 A	流 量 ℓ/min	孔 深 さ mm	加工速度 g/min
半波電流	220	33	17	50	12	31	5.9
			16	100		15	10.2
			15	140		20	15.3
全波電流	220	75	38	50	12	30	5.1
			35	100		14	10.2

れも 150 A になると、溶けた加工屑のかたまりが孔につまって、加工液の吸込みができなくなる。つまり 5 mm ϕ の孔では、これ以上の加工屑はさばき切れないのである。その傾向は全波整流電源を使った方が早くあらわれるが、これは加工屑の

発生に休みがないためであろう。この電極では 100 A, 10 g/min ぐらいの加工ならば安全である。

つぎに標準的円筒電極について、電極面積、電極形状と加工速度との関係を調べた、まづ A 級グラファイト電極で、外径 50 mm ϕ 一定とし、内径を変えたもの、および内径 30 mm ϕ 一定とし、外径を変えて実験を行った。

このときの電気条件は交流入力 220 V, 直流無負荷 75 V, 加工平均電圧 28 V, 加工平均電流 150 A である。結果は表 6, 表 7 にしめすように、孔径が減少し、あるいは外径が増して電極面積が増大すると、加工液の流量は減少し、それにしたがって加工速度は減少する。電極形

状を変えると液の流通

がよくなり、効果もちがってくるはずである。

電極は図 9 のような、いろいろな形状の電極を用いて前と同じ条件で実験をした。結果は表 8 のように、a, b, 電極のような溝を設けても、設けない標準的電極と変りない。また

表 6 電極孔径を変えた場合

内 径 mm ϕ	流 量 l/min	孔 深 さ mm	加工速度 g/min	粗 さ mm
30	20	11	24.5	0.36
20	18	9	23.6	0.5
10	15	4	12.7	0.3
5	12	2	2	1.0

表 7 電極外径を変えた場合

外 径 mm ϕ	流 量 l/min	孔 深 さ mm	加工速度 g/min	粗 さ mm
50	23	11	22.6	0.5
70	21	7	16.9	0.5
100	18	5	13.7	0.5

図 9 電 極 形 状

表 8 電 極 形 状

電極形状 (図 5)	加工平均 電圧 A	加工平均 電流 A	流 量 l/min	孔 深 さ mm	加工速度 g/min	粗 さ mm
a	28	150	21	10	23.0	0.4
b	29	300	21	14	50.6	0.6
b	27	150	21	11	23.7	
b	28	300	21	14	52.6	
c	28	300	18	8	9.3 18.0	0.5
d	28	300	21	14	53.4	
e		150	20	11	21.5	0.4
		300	21	15	53.7	
f	27	150	23	13	23.2	0.6
	28	300	22		52.9	
g	27	150	吸込 23 吹色 7	7	20.7	0.4

c, 電極もごく浅い加工の場合はほとんど変らない, dは標準的電極で他の実験とほぼ同じなのは当然であるが, e, fのように電極の角を丸めたものもほとんど変化がなかった。gの蓮根状電極は中央の孔から加工液を吹出し, 周囲から吸込んで加工した。加工速度は円筒状電極より, やや(10%)劣るが, 加工面上に大きな芯は残らず, 細く柱状に残る芯は, 一度溶けた加工屑が着いたのであるから, 曲げると折れる。したがってこのような電極はくりぬき以外に止り孔のあら加工ができる。また電極を回転しながら加工すると, 底面のスムーズな孔加工ができるはずである。

4.5 被加工材料の影響

電源, 加工液, 電気条件は前と同じで, 被加工材料として鋳鉄, 低碳素鋼, 高炭素工具鋼(SK-3), 高速度工具鋼(SKH-2)を用いて, 放電加工実験をした。

電極は円筒状電極で, 加工平均電流150Aで深さ5mmだけ加工した。結果は表9のように, 焼入高速度鋼が一番早く, 鋳鉄はもっとも加工し難く, その加工速度は高速度鋼の約60%であることが判った。

4.6 深孔加工への適用

加工深さが大きくなると, 加工屑の排出が難かしくなるので, 加工速度はおちる。このような深孔加工での加工速度を上昇させるため, ポンプの吸込, 電極の形状の改善などの効果について検討した。A級グラ

表9

	孔 深 さ cm	加 工 量 g	加工速度 g/min	硬 度 VHN
軟 鋼	0.53	56	28	20
鋳 鉄	0.43	42	21	28
SK-3	0.50	53	26.5	104
SKH-2	0.55	61	30.5	118

図10 円筒形電極による深孔加工

ラファイト製円筒状電極を用い, グラファイト粉3g/l混入した水道水, 電源は直流無負荷75V, 加工平均電圧29V, 加工中平均電流150Aで加工を行った。

結果は図10のように, 加工深さが増すと共に, 加工速度はほぼ直線的に減少してゆき, 深さ40mm以上では変化がゆるやかになる。同じ電流値でありながら, 深孔では1/3の加工速度になってしまう。つぎに蓮根状電極を用いて深孔加工をするとき, 中央の孔から

図11 加工液の流れ

ポンプで液を吹き出した場合と、その孔から自然に加工液を出した場合の加工速度を比較した。後者は中央の孔を外部の加工タンク中の液と連絡したものである。図11に液の流れをしめす。その結果は前者の加工速度は25.0 g/min, 後者が25.4 g/minでほとんど変わらないことが判った。

つぎに図12の上のaにしめすような蓮根状電極を使い、サイホン式吹出しを行った時の加工速度を調べた、結果は図12にしめすように円筒状電極と同じ程度の速さで、芯のほとんどない孔が得られることが判

った。図12上部bのような形状電極で、中央の孔から周囲に向かって8ヶの孔をあけ、ここから加工液を出すようにした周囲吹出電極を用いて、深孔の加工を行ってみた。被加工材には49 mm ϕ , 深さ34 mmに下孔をあけておき、上記電極で35.5 mmまで加工し、電極と被加工物の間隙を、放電加工であけた場合と同じにし、この状態から実験を始めた。電気条件は前と同じで、加工平均電流150 Aである。結果は図12のように、孔が深くなっても、加工速度の減少は少く、高い値を保っている。もちろん加工始めは前の表8の実験と同じはずであるが、孔の深さ50~60 mmでは加工速度は約2倍くらいになり、このような方法が深孔加工に対し非常な効果があることが判った。

図12 深孔の加工速度

5. 検 討

導体粉混入加工液を早い速度で電極間に流しながら加工すると電極送りが容易になる。これは極間に来た導体粉粒子をかいて放電するので、放電が起り易く、極間距離が大きくても放電を繰返すことができるとともに、加工液の流通がよく、放電によって溶融した加工屑は、極間の外に運び出され、電氣的短絡を起さなくなるためである。図13は加工液にグラファイト粉を入れたものと、入れないものとの放電加工中の電圧、

図13 加工中の電圧、電流波形

図14 加工屑

電流波形のオシログラフ記録である。導体粉の入らない場合は入れた場合にくらべて、電流短絡や放電を起さずぬけている部分が多いことから、いま述べたことが裏づけされよう。実験後サイクロンから回収した加工屑は図14に示すように、球状で大きいものは約2 mmほどある、この加工屑の大きさから、この高速放電加工における単発放電での除去量が大きいことがわかる。その代り加工面があらくなるのはやむをえない。本加工での最高速度は入力電力31 kWminで145 gで

あり、消費電力量1 kWmin当りの加工量は5.2 gとなる。同じ1 kW・minの電力で鉄を溶融または気化するとそれぞれについて計算すると、まず、

鉄の融点	$T_F = 1540$	$^{\circ}\text{C}$
融解の潜熱	$Q_F = 65$	cal/g
沸点	$T_v = 2740$	$^{\circ}\text{C}$
気化の潜熱	$Q_V = 1510$	cal/g
比熱	$C = 0.11$	$\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$
比重	$r = 7.87$	g/cm^3

として、単位体積を溶融、気化するに要する熱量 Q_1 は次式⁴⁾

$$Q_1 = T_o \cdot C r + Q_F \cdot r + Q_v \cdot r$$

で求め、1 kW・minの熱量を14.4 kcalとすると、溶融量は約61 g/kW・minまた気化量は約8 g/kW・minとなる。

本実験での加工では、消費電力にたいする加工量は5.2 g/kW・minであるから、計算溶融量の約9%にすぎない。したがって工夫をすれば、たとえば加工液の種類、加工極間の流速を上げることなどで、加工能率をさらに上げることができそうである。

加工面に対して垂直に切断して、加工面からの硬度変化をしらべるため、マイクロビッカース硬度計で測定した結果を図15に示す。硬化層は正、逆極性共0.2～0.3 mm程度で極性による差はないようである。

逆極性で、加工量が少なく加工面が良いのは、エネルギー

図15 加工硬化層

一配分のほかに放電柱の形状によるものではないかと考えられる。すなわち放電柱が載頭円錐のような形状で、陽極側の放電点面積は小さく、陰極側の面積は大きいとすると、放電点における電流密度が、前者では大きく、後者では小さく、したがって正極性で加工量が大きく、面あさは悪く、逆極性ではその反対になると思われる。

正極性加工での、加工面はあらいが、加工終了直前に逆極性に切換えて、少し加工すると、加工面を良くすることができる。

6. 結 言

放電加工における加工速度の時間変化の現象を解析し、それから着想を得て、加工液に導体粉を混入し、加工速度を著しく増大させることに成功した。このような実験結果をもとに、高速放電加工装置をつくり、その装置で、放電加工条件と加工速度との関連について検討し、これからつぎのような結論を得た。

- 1) 白灯油を加工液として、長時間放電加工すると、くり返し放電が、難かしくなる。これは放電の過程で、加工液中に、タール状の生成物ができるためと考えられる。
- 2) 加工液に導体粉を混入すると、電極送りが容易でくり返し放電頻度を増し、加工速度を著しく増すことができる。
- 3) 加工速度は加工平均電流にほぼ比例し、電圧にはあまり関係せず、平均電圧 30 V あればよい、また電流を大きくすると、加工液流速を上げる必要がある。
- 4) 半波、全波整流電源を使用した場合でも、電流が同一なら、加工速度は同じである。また交流電源で加工すると、加工速度は、直流の場合の $1/2$ である。
- 5) 重量電源回路を使用すると、加工電流とともに加工速度は増大し、電源 31 kW の電力で 145 g/min の高い加工速度が得られた。これまで外国で発表されている高速加工機の 30 kVA で 30 g/min の加工速度に比較し、はるかに高い値をしめす。
- 6) 電極材質は緻密なグラファイトがよく、電極消耗が少ない。
- 7) 深孔の加工では、加工液の流通抵抗をへらす形状の電極が好ましい、周辺吹出し電極は深い加工でも速度低下が少ない。

参 考 文 献

- 1) 倉藤，須田，七田，清水：放電切断法に関する研究，第 1 報，精密機械，20，11.
- 2) 特許：245207.
- 3) 特許：232460.
- 4) 六碓賢亮：放電点の溶融気化について，精密機械，29，10(1963).
- 5) Werner Ullman: Funkenerosion. 10 Jahre Industrieller Erfolg 20 Jahre Wissenschaftliche Entwicklung. Technische Rundschau Nr. 38, Wom 11. 9. 1964. 9. 65~69.