放電研削加工の研究

— 加工特性と亀裂発生について —

向 山 芳 世* 渡 井 道 輔**

Study on Electric Discharge Grinding

— On Machining Characteristics and Cracks of Machined Surface —

Yoshitsugu MUKOYAMA, Michisuke WATAI

In this paper, removal rate, roughness and cracks on the machined surface were experimented with cemented carbide on the electric discharge grinding. The cracks were calculated depend on the difference in supply energy forms from comparing of the shearing stress by the temperature gradient which is the basis of the theory on heat Conduction and the proper Shearing strength of the electrode.

The results were as follows, such machining method which is revolved electrode increased the removal rate about several times and improved the roughness on machined surface to half more than case of original electric discharge machining. It is necessary to consider the optimum energy form may be used in the electric discharge grinding in connection with machining characteristics and cracks which were produced from machining.

* 山梨大学工学部

** 山梨総合高等職業訓練校

1. ま え が き

放電現象を利用して、高硬度、強靱性の金属および合金を研削する放電研削加工は、狭義の放電加工と様相を異にしており、その加工条件、加工欠陥などについての検討が十分でなく、特に加工面に発生する亀裂の問題は未解明の点が多い。一方、材料開発の驚異的進展にともなう特殊材料の用途増大につれて、放電研削加工の利点も再認識されてきており、今後応用分野がますます拡大することが期待されている。

本報においては、工作物が超硬合金の場合における加工特性と、加工面に発生する亀裂について検討し、亀裂発生に対する防止策の一方法として、加工エネルギー供給形態の差異による影響について、熱伝導の点から理論的解析をおこなった結果を報告する。

2 加 工 特 性

通常狭義の放電加工として扱われている放電型彫り加工などにおいては、工具電極を回転走向させて加工を行なうことはまれであるが、放電研削加工では、研削加工の砥石に相当する工具電極を回転させることが大きな特長の一つであり、したがって、極間の状態が静止電極の場合と異なるとともに、電極が回転走向しないときより、加工液の効果が大きくなる。すなわち、極間に発生するイオンの消失効果の促進や、加工屑、燃焼炭化物などの加工生成物の排除がスムーズになるとともに、極間の冷却作用、絶縁回復などが良好となって、放電（加工）の安定性が向上し、極間間げきの制御の良否の影響による加工特性の変化が少なくなる利点がある。

工具電極を走向させない方式の放電加工において、粘性の大きい加工液、たとえば灯油に対し、スピンドル油、マシン油などを使用すると放電一発当りの除去量は増加することが多い。この現象は加工屑の排除などの影響による加工の安定性が、加工特性の関係の小さい単一放電か、放電繰返しの極めてゆっくりした条件、若しくは加工生成物の少ない加工では有効に利用できるが、実際に多く使用される繰返し数のある程度大きい条件では、加工液の粘性が加工屑などの極間外への排出を阻害し、さらに加工液中のそれら物質の分離清浄作用が困難となり、所定の放電繰返しがスムーズに行なわれず、加工の安定性を悪化させるため、余り大きい粘性の加工液は使用されないのが通例である。このマシン油、スピンドル油などによる電極の除去量の増加は、放電衝撃力の発生が大きくなり、除去効率が増すことに要因の一つがある。

しかし、放電研削では、工具電極の回転走向による効果とあわせて、除去量の点で効率の良いマシン油、スピンドル油などの使用による加工屑排除などの阻害条件を排除するために、加工液を流しかけて加工を進行させる方法がとられるが、この条件では加工液が発煙、発火するという問題が生じてくる場合がある。従ってこの点からも引火点の高いマシン油、スピンドル油などの使用が有効となり、これら加工液が用いられることになる。

2.1 実 験 方 法

本実験においては、加工機として、小池酸素の SPARKLE-GU 803 本体に、電圧 (D.C) が 20 ～

200 Volt まで可変できる電源を接続して使用した。工作物は超合金 S_2 種および G_2 種 ($11 \times 4 \times 16$ mm) であり, 工具電極として鑄鉄 (FC), グラファイト (Gr), 軟鋼 (St), 銅 (Cu), 黄銅 (Bs), アルミニウム合金 (17S) の各材質のものをを用いた。加工液はマシン油 (#120, 比重 0.940) で流しかけ (9 l/min) の方法により行ない, 工具電極は主軸に取付後, 工作物取付部にバイトおよび砥石をセットし, 切削成形を行なって加工面精度 ($1 \mu R_{\max}$) と, 振れ ($< 0.01 \text{ mm}$) には十分の注意を払い, 回転数は 520 rpm で, 研削箇所は 162 m/min を標準とした。

研削量, 加工面あらさなどは, 5 分間連続加工を同一条件で 3~4 回別々の試片に行ない, その平均値を実験結果とした。

2.2 実験結果および考察

図 1 は工作物が S_2 種, 工具電極は鑄鉄で, ある程度研削量が大きく, 実験が行ない易く, 比較的電極送りの巧拙影響が少ない条件として, 充電抵抗 (R_0) 9Ω , コンデンサ容量 (C_1) $10 \mu\text{F}$, 正極性で, コンデンサ端子電圧 V_c を変化させたときの研削速度の結果であり, コンデンサ端子電圧の増加につれて研削速度も増加する。

同様にコンデンサ容量の増加につれて研削速度は増加する (図 2)。

図 3 は充電抵抗と研削速度との関係であり, 充電抵抗の増加につれて研削速度は急激に減少し, ある程度大きい値になるとその減少の度合いがゆるやかになる傾向を示す。

RC 回路において, 繰返し放電の放電電力の最大値 (W_m) は, 電源電圧 (V) の 2 乗に比例し, 充電抵抗に反比例する $W_m = 0.2 V^2 / R_0$ の関係が成立¹⁾するが, 当然本実験においてもこの条件に従い, 電圧が増加すると放電電力は増し, 充電抵抗が減少すると放電電力は増加して, 研削量は増すことになる。

しかし, 余り充電抵抗が減少すると, 繰返し数の大きい過渡アーク放電を安定に行なうことができなくなり, 連続アークとなって加工の進行が不可能になるが, その前に加工部近辺からの発煙が増し, 排風の処置が必要となり, 次いで発火して加工が困難になる。

この現象が発生すると, 放電の繰返しが不安定になるとともに, 工作物の加工面に炭化物の付着などが多くなって,

図 1 コンデンサ端子電圧と研削速度

図 2 コンデンサ容量と研削速度

研削速度の点からも好しくなくなり、さらにこれが安定性悪化の現象を助長することにもなる。

電圧の増加も加工面精度などの点からの制約以外に、加工部近辺からの発煙、発火と、これに付随する炭化物の付着増加、放電の不安定化などを発生し、ある限界が生じてくることになる。

コンデンサ容量増加による研削速度の増加は、すでに鳳、倉藤が述べて²⁾いるように、放電電力とは関係がないが、加工能率の増大をきたすことにより、研削速度を増すことになる。

研削加工における除去速度は、加工の目的から加工面あらさとの関係が十分考慮されなければならないが、放電研削の場合は、加工面が放電一発当りのクレータの積み重なりによって形成されているので、その面あらさは、盛り上り部分を含むクレータの形状に関係する。そして、その大小は加工条件によっても大きく変わるが、一般に除去量（研削速度）に比例する形となり（図4）、研削速度の大きい領域ではあらさも大きく（たとえば、 $V_c = 65V$, $C_1 = 0.1 \mu F$, $R_0 = 4 \Omega$, $W = 60 \text{ mg/min}$, $R_{\max} = 13 \mu$ ）、研削速度の小さい領域ではその値も小さい（ $V_c = 65V$, $C_1 = 0.1 \mu F$, $R_0 = 15 \Omega$, $W = 10 \text{ mg/min}$, $R_{\max} = 4 \mu$ ）。

しかし、コンデンサ容量又はコンデンサ端子電圧が小さい領域、特に電圧の低い領域では、充電抵抗が増すとあらさが増加するという傾向がある。これは電圧の低下にともなう極間間げきの減少が、極間の短絡現象をひき起し易くなることに原因するが、電極が回転走向する方式の放電加工では、短絡現象の程度が小さい範囲においては、加工の安定性悪化への影響が小さく、加工の進行を阻害するほどでもない。しかし、加工面への工具電極の溶着現象が発生していると考えられ、これが加工面精度に影響し、加工面のあらさ悪化の原因となる。

一般に同一供給エネルギーの場合には、電圧が高く、コンデンサ容量が小さい方が、電圧が低く、コンデンサ容量が大きい条件より、特に加工面精度の点からは有利となる。

極間間げきの短絡現象が発生し難い条件においては、電圧の増加による研削量の増加より、充電抵抗の減少による増加の方が、放電繰返し数が増加する関係で加工面あらさは良好となる。

回転走向電極方式においては、電極面に形成されるクレータの形状が、移動方向にのびた卵形であり³⁾、静止電極における場合より、同一条件では加工面あらさが良好であることが認められる。

図3 充電抵抗と研削速度

図4 研削速度と加工面あらさ

又、静止電極方式において、放電回路にインダクタンスを挿入することにより、エネルギー供給の時間的調節を行ない、除去効率をあげる方法がとられるが、回転方式においてもこの方法により良好な結果が得られる。しかし、静止電極の場合より、一般にインダクタンスが小さい領域に除去量のピーク値が存在するようであり、この方式では除去速度の増加の割りには、加工面あらさは増大しない利点がある。これは電極走向により、エネルギー供給の時間的コントロールが、余り大きくできず、その効果が時間の短い領域で制限されることと、面あらさは前述の走向電極によるクレータ形状の差異と、放電時間が長くなると、放電柱が電極上を移動する⁴⁾時間も長くなり、クレータがさらに長くのびた形になることに原因する。

工作物がS種とG種では、G種の方が研削速度はやく小さい(約10～20%)。これはそれぞれの熱物理的特性の差異によるものであり⁵⁾、工具電極材質によっても、研削速度の差異が認められる。工具電極の材質による影響は両極へのエネルギー配分の変化が主要因と考えられる。

研削速度の点から眺めると、工具電極材質が正極性では、鋳鉄、軟鋼、グラファイトの順に有利であり、電極消耗率をも考慮すると、鋳鉄、グラファイト系統の材質で良好な結果が得られる。

さらに逆極性においても、グラファイト、鋳鉄、軟鋼などが良い。一般に逆極性よりも、正極性の方が研削速度の点で有利であり、加工面あらさの点からは、逆極性が良いことになる。

電極を回転走向させると、放電安定領域が拡大し、仕上の加工が容易になる。さらに加工液を流しかける方法は、発煙、発火などによる制約をもつとしても、電極を回転させず、工作物と工具電極を加工液に浸漬して加工する方法よりも、条件によっては、研削量が4～5倍向上するとともに、加工面も1/2程度のあらさとなり、良好な結果が得られることが実測される。

なお、工具電極の走向速度が増すと、研削速度、加工面あらさとも良好になるが、加工液の放電間けきへの供給などの点から制限があり、普通の流しかけの方法では、300～350 m/min 程度が限界のようである。

3. 亀裂の発生

研削加工は最終工程の場合も多く、その加工面精度とともに、加工面の欠陥などの状態を把握することが重要な事柄となるが、特に放電研削においては、その加工機構の特性上亀裂の発生が問題となる場合が多く、十分な検討が必要である。

3.1 観察方法

加工面の亀裂の観察には、加工面上部からと、加工面直角方向からの観察、あるいはテーパセクションなどによる方法があるが、本報では加工面上部(図5)と、加工面直角方向(図6)からの方法により、顕微鏡で観察した。観察倍率は特にこ

図5 加工面の亀裂(上面からの観察)

とわりのない限り600倍であり、一般に加工面の亀裂は大小数多く発生する場合が多いが、結果はそれらの算術平均値をもって表示し、一応の目安とした。

放電研削では、加工面はクレータにおおわれており、そのまゝの状態では上面からの亀裂の正確な観察は困難な場合が多い。そこでダイヤモンド砥石(# 600 ~ # 2000)を用いて、クレータで形成されている加工面の凸凹部分を、順次取り去って亀裂を観察した。この場合、ダイヤモンド砥石での作業で、亀裂が新たに発生したり、放電研削によってすでに発生している亀裂の成長、増大を助長するようなことは好しくない。このため、あらかじめ予備実験を行ない、ダイヤモンド砥石での切込み、送り、研削液などの作業条件を亀裂の発生、助長のないように選定しておき、これにより作業を進めた。このようにすると、加工面をおおっているクレータで観察が難しかった亀裂も明確になるとともに、亀裂深さ、太さ、発生数の観察が容易になる。又亀裂の観察に便利のようにレッドチェックを使用した。

側面からの深さなどの測定も、ダイヤモンド砥石で、上面からの場合と同様に事後の亀裂、欠けなどの発生防止に細心の注意を払い、加工面に対し、直角方向からある程度(0.3 ~ 0.5 mm)研削した後観察した。

3.2 観察結果および考察

図7は直角方向からの亀裂の観察が比較的容易である条件、すなわちコンデンサ容量を $10 \mu\text{F}$ にして、コンデンサ端子電圧を変えることにより、供給エネルギーを変化させた場合の、亀裂発生深さ(図8)の観察結果である。

亀裂深さは端子電圧に比例して増すが、本報に表示した数値は、前述のように発生亀裂の平均値であり、実際には発生亀裂の最大値が問題になる場合が多いと考えられる。各条件における亀裂発生最大深さは、これら数値の約1.8 ~ 2.0倍程度である。

深さに対し、亀裂太さ(図8)も電圧の大きさに比例して大きくなっている(図9)。亀裂太さとは、亀裂の加工面側、すなわち最も太さの大きい箇所の測定値であり、深さ同様亀裂観察数の平均値であるが、

図6 加工面の亀裂(側面からの観察)

図7 電圧と亀裂深さ

工具電極: FC, 工作物: S₂
 $R_0 = 4 \Omega$, $V_c = 65 \text{ V}$, $C_1 = 0.1 \mu\text{F}$

図8 亀裂形状(断面)

最大太さは表示数値の2倍程度となる。

充電抵抗との関係は、抵抗が小さくなるにつれて、亀裂発生深さ（図10）が大きくなるのが観察されるが、太さ（図11）、大きさ（図12）も似た傾向を示す。

図9 電圧と亀裂太さ

図10 充電抵抗と亀裂深さ

図11 充電抵抗と亀裂太さ

図12 充電抵抗と亀裂大きさ

上部からの亀裂発生形状は図5，図13のような形状であり，通常網目状の形をしているものが多く，簡単な表示方法として，短径と長径の積を亀裂大きさ $A_c (\mu^2)$ としてあらわすと，エネルギーの増加につれて，その形状の大きさも増加する（図14）。網目状の形状は表面では互に連絡しているが，順次上

面からすりおとしていくと、相互の連絡はやがて消滅する。すりへらしていく過程で、亀裂発生の比較的小さい領域では、形状はほとんど変化しない。これは亀裂がほぼ垂直に下にのびているものが多いことを示しているが、亀裂発生の大きい領域になると、先端にいくにつれて亀裂が湾曲してくるのが認められるが、さらに発生条件が大きくなると、先端においても相互に連絡している形となる。

以上の観察から単位長さ当りの亀裂発生数は、亀裂大きさの傾向に逆比例することが考えられるが、本実験における観察では、一定の傾向を見出し得ない。

コンデンサ容量の変化による亀裂の発生深さは図15のようであり、充電抵抗の大きい領域 ($R_0 = 30 \Omega$) では、容量の増加につれて亀裂深さも大きくなっていく。しかし、充電抵抗が小さい条件になるにつれて、あるコンデンサ容量付近にその深さが小さくなる領域が存在し (図16)、この範囲よりコンデンサ容量が小さい領域でも、大きい領域においても、亀裂深さは大きくなるのが観察される。

この現象は、亀裂の発生が供給エネルギーと研削量に比例するという条件とは異なることである。これはコンデンサ容量の減少による放電繰返し数の増加に基因する熱衝撃現象による亀裂の増加と、コンデンサ容量減少にともなう極間間げきの減少と、充電抵抗の減少にともなう充電電流の振動的条件への移向など

工具電極：FC，工作物：S₂
 $R_0 = 4 \Omega$ ， $V_c = 65 \text{ V}$ ， $C_1 = 0.1 \mu\text{F}$

図13 亀裂形状(上面)

図14 電圧と亀裂大きさ

図15 コンデンサ容量と亀裂深さ

が相乗して、極間の短絡現象を増し、短絡時の供給エネルギーが増し、エネルギー分布の不均一性を起こすことに原因があると考えられる。

この条件において、コンデンサ容量の変化にともなう発生亀裂の太さ（図 17）、大きさ（図 18）は、深さほどその傾向は明確ではない。

放電研削においても、亀裂の発生は工作物材質によって異り、通常の放電加工の場合の亀裂発生⁶⁾と同様に、G種よりS種の方が、その熱に対する材質の特性から亀裂は大きく発生する。

又、工具電極の材質の差異によっても異り、正極性の場合、比較的エネルギーの大きい領域では、黄銅、銅などが亀裂深さが小さく、エネルギーの小さい領域では、グラファイト、鋳鉄などの場合に小さく発生する。

逆極性においては、銅、黄銅、鋳鉄などが、亀裂発生点からは良好な結果を得ることができる。さらに、一般的には逆極性より、正極性の方が亀裂の発生は大きい。

工具電極の材質による亀裂深さおよび太さの差異は、前述のように極性、供給エネルギーの大小などによっても異なり、必ずしも一定のランクを示さない。この原因については、研削速度と同様に材質の組合せによる極間エネルギー配分の差異、加工部の温度差による加工液の供給量および冷却効果の大小、加工安定性の良否などが影響するものと考えられるが明確ではない。

インダクタンスを放電回路に挿入する方法

図 16 コンデンサ容量と亀裂深さ

図 17 コンデンサ容量と亀裂太さ

図 18 コンデンサ容量と亀裂大きさ

は、前述のように研削速度、加工面あらさの点では有利であるが、亀裂の発生深さは、10～20%程度増加する。又、繰返し放電においては単一放電の場合より、亀裂深さは小さくなるが、太さは大きくなる。これは、放電が電極面に続いておこるので、加工面が予熱され、電極の温度勾配がゆるやかになり、熱応力が小さくなるため深さは減少し、変質層、あるいは亀裂発生部分に次のエネルギーが供給されるため、亀裂部の欠けなどを生じて、亀裂太さは大きくなるものと考えられる。

一般に静止電極の方式より、回転走向電極方式の方が、エネルギーの供給が加工部に分散されるので亀裂の発生は小さくなるが、加工条件によっては、やゝ大きく発生する場合もある。これは、加工液の加工部への注入の多少などが影響するようにも考えられる。

加工液の液温の影響については、5～9.5℃までの実験において、亀裂発生影響への明確な結果は得られなかった。

なお、顕微鏡倍率600倍で亀裂の発生が観察されなくても、1000倍、1500倍と観察倍率をあげていくと、1μ以下の微細な亀裂が観察されるときもある。実用面から、どの程度の亀裂が有害となるのかの再検討が今後の課題でもある。

4. エネルギー供給形態の差異による亀裂発生

放電研削面の亀裂は、放電にともなう電極内部の大きな温度勾配に基因する引張、圧縮応力とこれによって発生する剪断応力によるものと考え⁷⁾、その剪断応力を求め、電極材料の剪断強度との比較において、亀裂の発生を検討した。

このようにして求めた電極加工面に発生する亀裂は、供給エネルギーが増加すると、発生亀裂深さも増すが、供給エネルギーに対する供給時間の差異も大きく影響し、図19において、供給エネルギーの小さい領域では、供給時間の短い方が供給エネルギー密度が高くなり、亀裂発生深さも大きくなる。供給エネルギーが大きい領域では、エネルギー供給時間が長くなっても、亀裂発生に十分な熱的效果を与えるような、エネルギー密度が確保されるので、供給時間の長い条件の方が亀裂の発生は増す傾向となる。

このような関係から、供給エネルギーの大小とあわせて、加工速度、電極消耗率、加工面精度などに関連して、エネルギー供給の時間的コントロールによって、亀裂発生の防止を考慮することが可能になる。

さらに、エネルギー供給の時間的コントロールとは別に、エネルギーの供給形態に応じて、電極に与える熱的效果が

図19 供給エネルギーと亀裂深さ

大きく変化する⁸⁾。この結果、加工面に発生する亀裂に影響することになる。

図20には、矩形状波形(□), 二等辺三角波形(△), 立上りがゆるやかで立下りが急な三角波形(▽), あるいは、その逆の立上りが急で立下りがゆるやかな三角波形(▲), などによる亀裂発生深さの計算結果であるが、エネルギーの供給形態によっても、亀裂の発生が大きく変ることになる。

エネルギーの供給が始めは小さく、順次増加していく場合には、電極は予熱効果によって、その内部の温度勾配が小さくなり、その結果、亀裂の発生も小さくなるが、始めから急激に大きなエネルギーが供給されると、内部の温度勾配も大きく急激になり、亀裂の発生が増すことになる。

二等辺三角波形、若しくは矩形状波形の形態の場合は、両者の中間ということになる。ここに供給時間が一定という条件があるので、エネルギー供給の形態から、二等辺三角波形にくらべて、矩形状波形の方が、エネルギーのピーク値が低くなり、このことが両者の亀裂発生差としてあらわれることになる。

供給エネルギーが小さい領域では、どのような供給形態でも、電極内部に十分な熱的效果を与える度合いが小さくなり、その差異も明確でなく、波形の違いによる亀裂発生への影響が小さくなる。

図21は供給エネルギーが一定で、供給時間を変えた場合の亀裂発生深さである。供給エネルギー増減の場合と同様に、予熱効果の大きい三角波形(▲)において、亀裂発生は一番小さく、これとは逆の形状の三角波形(▽)で亀裂が大きく発生する。

供給時間の短い領域においては、電極内部への温度勾配が大きくあらわれるほどの時間的差異がなく、波形の差異による亀裂発生差は小さくなる。

このようにエネルギーの供給形態を変えることによって、加工面の亀裂発生がコントロールできることになる。この調節は当然研削速度、電極消耗率、加工面精度⁹⁾などとの関連において考慮されなければならないことはい

図20 供給エネルギーと亀裂深さ

図21 エネルギー供給時間と亀裂深さ

うまでもない。

5. 結 言

- 1) 回転走向電極方式（研削加工）においても，除去量（研削速度）は，供給エネルギーの増加につれて増し，繰返し放電の場合の放電電力に比例する。しかし，供給エネルギーの増加による除去速度向上の方法は，加工面あらさなどの点からの制限のほか，加工部近辺の発煙，発火現象の発生との関連である限界がある。
- 2) 研削加工では，通常の放電加工（静止電極方式）に比較し，条件によっては，除去速度が約4～5倍と向上し，加工面あらさは $\frac{1}{2}$ 程度に改善できる。
- 3) 供給エネルギーが同一の条件においては，電圧が低く，コンデンサ容量が大きい場合より，電圧が高く，コンデンサ容量の小さい方が，特に加工面精度の点から有利である。
- 4) エネルギー供給の時間を長くして，除去効率を向上する方法は，放電研削においても有効であり，これによって加工面精度は悪化しないが，加工面の亀裂発生がやゝ増加する欠点がある。
- 5) 研削速度，加工面あらさなどは，工具電極の材質によっても異なり，極性，エネルギーの大小などの加工条件により，適切なる材質の選定が有効となる。
- 6) 放電研削においても，供給エネルギーが増すと，加工面に発生する亀裂は大きくなる。
- 7) 亀裂発生深さ，太さなどの最大値は，平均値（表示数値）の約1.8～2.0倍である。
- 8) 亀裂の形状は，亀裂発生の小さい条件では，加工面から垂直方向に亀裂がのびており，内部においては，亀裂相互の連結はないが，発生の条件が大きくなるにつれて，先端が湾曲した形状となり，やがて相互が連結した形となる。
- 9) 亀裂発生数は，亀裂発生大きさに逆比例することが考えられるが，本実験の観察においては，一定の傾向が認められない。
- 10) 充電抵抗が小さい条件（ $<15\Omega$ ）では，コンデンサ容量の小さい領域でも，大きい領域でも，亀裂の発生が大きくなる傾向があり，ある容量のとき最小値をとる。これは，熱衝撃現象の増加，短絡現象の頻発などに原因すると考えられる。
- 11) 亀裂発生は工具電極材質の影響を受ける。従って，加工特性との関連において，有利な材質の選定が必要である。
- 12) 繰返し放電においては，単一放電の亀裂発生より，予熱効果，加工変質層などの影響で，亀裂深さは小さく，太さは大きくなる。
- 13) 静止電極の場合より，回転走向方式の方が，エネルギー供給の加工部への分散により，亀裂発生はやゝ減少する。
- 14) 亀裂発生に対する液温（5～95℃）の影響は明確ではない。

- 15) エネルギー供給の形態が異ると、加工面の亀裂発生に差異を生じ、その効果は、エネルギーの大きい領域、若しくは、供給時間の長い領域ほど明確になる。
- 16) 一般に、亀裂発生の点からは、始め小さく、順次大きなエネルギーが供給される形態が有利であるが、研削速度、加工面精度などとの関連において利用すれば、一層有効になる。

(1973. 7. 9. 受付)

参 考 文 献

- 1) 鳳 誠三郎, 倉藤尙雄; 改訂放電加工, コロナ社, 28, 57 (昭36)
- 2) 鳳 誠三郎, 倉藤尙雄; 改訂放電加工, コロナ社, 58 (昭36)
- 3) 八戸信昭; 精密機械, Vol.29, №11, 1 (1963)
- 4) 八戸信昭; 精密機械, Vol.30, №8, 58 (1964)
- 5) 倉藤尙雄, 向山芳世; 電気加工学会誌, Vol.2, №3, 32 (1968)
- 6) 倉藤尙雄, 向山芳世; 電気加工学会誌, Vol.3, №4, 3 (1969)
- 7) 6) に同じ
- 8) 向山芳世, 野沢進八; 電気加工学会誌, Vol.6, №12, 43 (1973)
- 9) 8) に同じ