

小穴加工における放電加工の能率 (第2報)

Removal Efficiency of EDM in Small Hole Drilling

増 沢 隆 久*・藤 野 正 俊*

Takahisa MASUZAWA and Masatoshi FUJINO

1. 緒 言

各種機器、素子等の小型化は原材料節減に寄与するものであるが、そのためには微細加工技術の進展が不可欠である。放電加工は数十 μm ～数百 μm の寸法領域における高精度三次元形状加工の有力な手段であるが、電源の利用効率が悪く、加工速度も遅いのが欠点となっている。加工速度を向上させるには放電繰り返しの安定化、および加工能率(単位入力エネルギー当たりの加工量)の増大を計ることが有効である。また、電源の利用効率を上げるために、短絡電流を減少させることが望ましい。しかし、現状では微細加工領域における加工能率や短絡状況などについて充分明らかにされてはいない。その主な理由としては、微細加工領域での放電繰り返しが不安定になりやすいこと、微小パルス幅の放電のための加工回路は半導体により構成するのが難しいため、通常はRC回路が用いられており、その場合の電流パルス波形が一定しないこと、微小パルスの測定では放電によるノイズの影響を受けやすいこと、などが挙げられる。

前報¹⁾ではパルス幅範囲7 μs ～19 μs と比較的狭い範囲に限定し、加工能率測定法も、ノイズや放電繰り返しの不安定さのため大容量コンデンサを用いた総電流量測定による。しかし、この方法は測定値算出までに多大な労力と時間を要する。そこで、本報では電流プローブを用いて放電回数を計数する方法に改めた。また、加工回路は従来のバイポーラ型トランジスタに代わり、パワーMOSFETをスイッチング素子とするものを試作することで、より広いパルス幅範囲での測定を行った。また、複動式極間制御装置を試作、適用することで安定な放電繰り返しを得ると共に、光学式非接触変位測定器により、その運動と放電・短絡状況の関連についても調べた。

2. 実験装置

加工装置本体は、前報で用いた可動コイル式送り機構による電極駆動に、新しくステッピングモータによるテーブル駆動(電極運動と同一軸方向)を組み合わせた複動式のを試作、使用した。本装置の写真を図1に示す。テーブル側は駆動モータとしてレスポンスHDM-155-2000-8を用い、1パルス1 μm 、最大2000パルス/secである。クイルのガイドにはボールねじを用い、送りと直角方向の振れは1 $\mu\text{m}/1\text{mm}$ 以内(特定範囲にて)である。

加工回路は図2に示すものを用いた。スイッチング素子のパワーMOSFET、2SK134は一般のバイポーラトランジスタに比べ蓄積時間が短いため、短いパルス幅の矩形波を得ることが容易である。また、放電開始後設定時間を経るとスイッチング素子をOFFにすることで電流パルスを作っているため、RC回路と異なり、パルスの大きさは一定のものが得られる。

電極運動の測定にはZIMMER社の200B型を使用した。

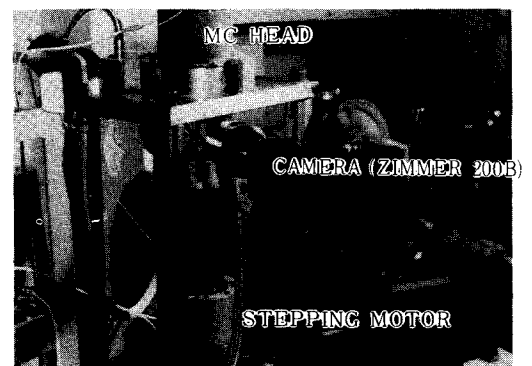


図1 複動式極間制御放電加工装置

* 東京大学生産技術研究所 第2部

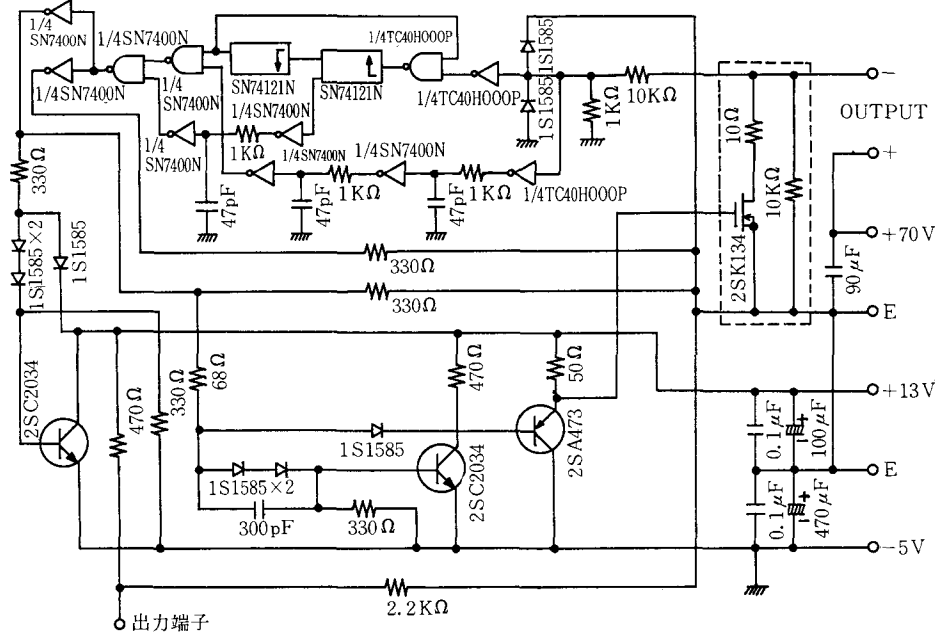


図2 パワー-MOSFETを用いた加工パルス回路

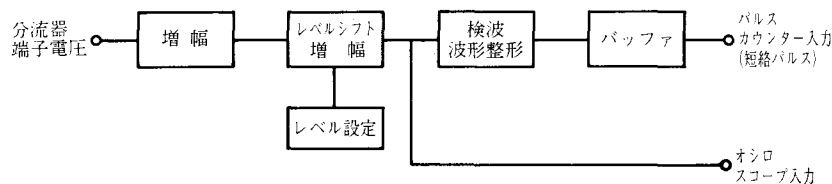


図3 コンパレータを用いた短絡パルス分離回路ブロック図

3. 加工能率測定法

前報、および電流パルスの大きさが不揃いなRC回路の場合の測定²⁾では積分法によって総加工電流量を測定することで総入力エネルギーを求めた。しかしこの方法では総加工電流量を平滑電流変化曲線と時間軸で囲まれる面積として求めるため、算出が面倒であり、実験1回毎の積分誤差のバラつきも大きい。そこで今回はパルス数カウントによる方法を採用した。すなわち、パルス1回で極間に放出されるエネルギーを、放電電流波形および極間電圧波形からあらかじめ求めておき、これに全加工時間にわたる放電回数を測定して乗ずることで総入力エネルギーを求めるものである。

この場合、極間が短絡して加工に寄与しない電流パルスも同様にカウントしてしまうため、誤差を生ずる。そこで、短絡時の電流波形は放電時のそれに比べ高いピーク値を示すことを利用し、コンパレータ回路による短絡回数の分離カウントを行って、その結果を全パルスカウ

ント結果から差し引いたものを放電回数とした。コンパレータ回路のブロック図を図3に示す。

被加工材料は厚さ0.5mmのSUS304および厚さ1mmの黄銅とした。電極は0.88mmφおよび0.46mmφの銅電極とし、貫通穴を加工した。

加工量および電極消耗量は、1回の加工では少なすぎて誤差が大きくなるので、貫通穴10個を1単位として測定した。

電流波形の観察には電流プローブTEKTRONIX P6021を用いたが、0レベルのシフトがあるため、パルスエネルギー計算のための波形とレベルコンパレータ用入力波形を得るためには円板型シャントを用いた。

4. 実験結果

4.1 加工能率

前述のようにして求めた加工能率の測定結果を図4に示す。

SUS304の場合についてみると、パルス幅の減少に伴

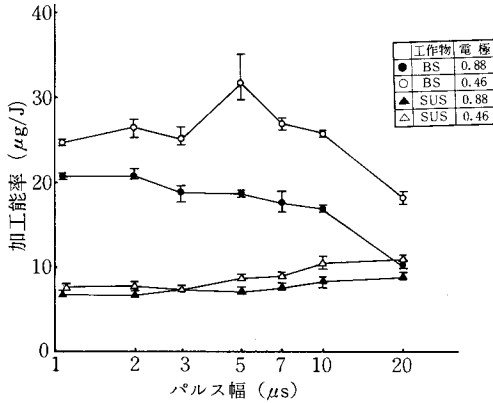


図4 パルス幅による加工能率の変化 ($I_p \approx 5 A$)

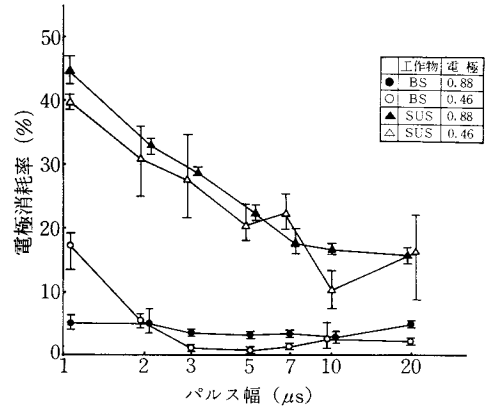


図5 パルス幅による電極消耗率の変化 ($I_p \approx 5 A$)

って、わずかながら加工能率の減少傾向が見られる。しかし、 $1 \mu s$ 付近でも比較的高いレベルが維持されており、熔融除去から蒸発除去へと除去機構の主体が移るといった大きな変換は、このパルス幅範囲では起こっていないようである。またよりパルス幅の大きい領域での測定結果³⁾と併せて考えると、 $20 \mu s$ 以下では既に熔融体積に対し十分な圧力が作用する状態となっており、熔融率そのものも変化が小さいことを示していると思われる。

一方、黄銅の場合は $20 \mu s$ 以下でも引続き加工能率が上昇しており、 $2 \sim 5 \mu s$ 付近で飽和状態となっている。このことは、除去圧力の作用は主として加工液によって規定されるため、熔融しやすい黄銅の場合に $10 \mu s$ 以上では熔融量に対する作用圧力の不十分さが表れたものと思われる。また黄銅の場合、電極直径による加工能率の違いが見られる。これは、電極径が大きいほど極間における単位対向面積当たりの加工くず滞留量が大きく、ギャップも大きくなるため、加工くずを介しての放電が多くなってエネルギーロスが増大するためと思われる。

4.2 電極消耗率

エネルギー効率を考えるうえでは、電極消耗率も重要な要素である。図4と同一条件における電極消耗率の測定結果を図5に示す。このように、SUS 304の場合同一電流ピーク値のパルスについてはパルス幅が小さいほど電極消耗率が大きくなり、その値も数十%と大きい。したがって電極側で消費されるエネルギーも無視できない大きさであると考えられる。つまり、前述の加工能率は、ギャップへの入力に対してのものであるが、工作物側放電点への入力に対して加工能率を考える場合は、図4に現れた値より何割か大きい値になることを示している。

一方、黄銅の場合は全体に小さな消耗率であるが、電極の銅に比べて熱伝導が悪く熔融しやすいのが主な理由で、必ずしも電極側へのエネルギー配分が小さいと結論す

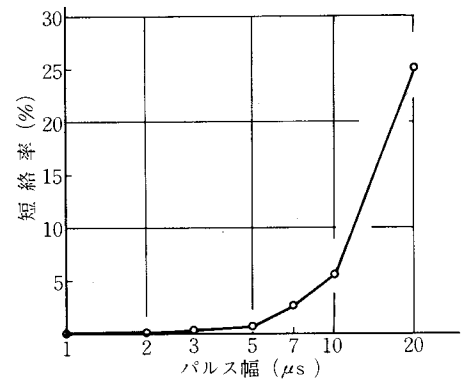


図6 パルス幅による短絡率の変化 (Cu-SUS 304⁺, 0.88 mmφ, $I_p \approx 5 A$)

ることはできない。

なお、SUS 304の場合は後述のように短絡が多いので電極消耗率に影響を与えている可能性もある。

4.3 短絡率

極間を流れた電流パルス総数のうち短絡電流パルスの占める割合(短絡率と表す)は、黄銅の場合極めて小さいが、SUS 304では条件によって相当大きな値となる。一例を図6に示すが、このようにパルス幅の大きいほど短絡率が大きくなる。図4の結果はこの短絡パルスを無効電流と見なして計算したものであるが、短絡は1パルスの全長にわたって起こらず、一旦放電が開始し、パルス途中で短絡するのが大部分であるので、全体にやや過補正の傾向になっている。したがって図4の範囲でのSUS 304の加工能率はより変化の少ないものと解釈すべきである。

4.4 電極運動からの考察

電極の運動と電流パルスの関係をオシロスコープで観察した。一例を図7に示す。

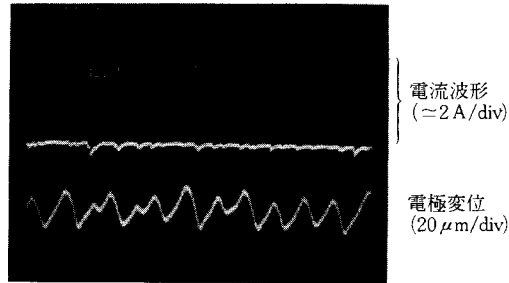


図7 放電・短絡パルス発生状況と電極の運動 (Cu⁻, SUS 304⁺, $\tau = 20 \mu\text{s}$, $I_p = 5 \text{ A}$, 5 ms/div)

図のように、短絡後約 0.6 ms で電極が送り込みから引き上げへと反転しており、応答特性の良いことを示している。

また、短絡は電極が引き上げられた位置でも起きており、パルス途中で短絡するケースが多いことも考え合わせると、放電による熔融金属のブリッジが一つの主要な原因となっていることを示差している。さらに、パルス幅の短い時に短絡パルスが現れなくなるのは、上のような短絡が発生するのがパルス終了後になるためと思われる。

5. 結 言

MOSFETによる微小パルス回路と複動式極間制御機

構により、微小パルス域における SUS 304 および黄銅の加工能率特性を明らかにした。また、複動式極間制御機構の制御特性と放電、短絡状況の対応について一部を示すことができた。
(1981年3月23日受理)

参 考 文 献

- 1) 増沢, 藤野; 小穴加工における放電加工の能率, 生産研究 28, 11 (1976)
- 2) 増沢, 藤野; 小電流放電加工の加工能率, 第 93 回電気加工研究会前刷 (1979)
- 3) 増沢, 藤野; 放電加工の加工能率(第 1 報), 電気加工学会誌, 13, 25 (1979)

