

放 電 加 工 の 最 適 化

Optimal System in EDM

増 沢 隆 久*
Takahisa MASUZAWA

最近の生産技術の進歩は著しく、加工の分野においても個々の技術、理論の追究から一歩進んで、システムとしての最適化の方向へ進展しつつある。比較的新しく登場した放電加工においても例外ではなく、個々の技術で従来加工法の水準を追う一方、最適化問題の検討が行なわれ始めている。ここでは、放電加工全般について、最適化の方向を概観してみよう。

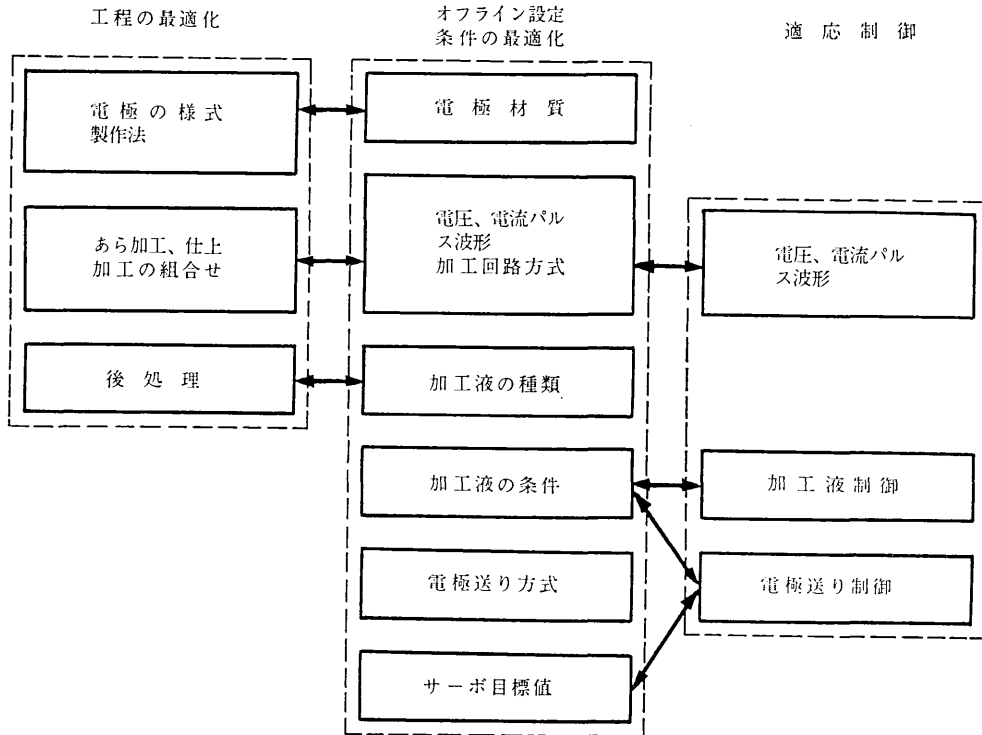
1. 序 論

(1) 放電加工とは

放電加工は開発されてから比較的日子が浅く (B. R. Lazarenko によりその原型が確立されてから約 30 年である) つい最近までは特殊加工法の一つに挙げられていた。しかしながら、関係研究者の努力によりその主な欠点である工具電極の消耗、および低加工速度の二つがほとんど解決するに至り、工業界に急速に普及するようになった。現在では種々の型加工、穴あけ加工等に不可欠な加工法となっている。しかし、ここ数年の普及が著しいとはいえ、実際の使用者以外にはまだ耳新しく、なじみの薄い加工法といえよう。

加工原理を簡単にいえば、絶縁液の中で、ごく短時間持続するアーク放電を工具電極と工作物の間に起こして、工作物を微量だけ溶融・除去し、これを必要な除去量となるまで繰返すということである。ごく短いパルス性の放電を用いる点がアーク溶接などとは異なる。一回のパルス放電で溶融・除去される量は電流値が同じならばパルス幅 (持続時間) が小さくなるほど少ないので、パルス幅 (または電流値) を変えることによりあら加工から仕上げ加工まで、広範囲の仕上げ面の加工ができ、仕上げ加工では数 μ の精度も可能である。

機械的な変形、破壊によるものでなく、高温による溶融と局部的の高圧による除去が主要因であるため従来の一



* 東京大学生産技術研究所 第2部

図 1 最適化における主要素間関係

般的な諸加工法とは著しく異なった特長を持つ。主なものだけ挙げると、1) 工作物の機械的性質と無関係に加工できる（焼入れした鋼、超硬合金等が容易に加工できる）。2) 加工の際大きな加工力が働かない（あら加工でも数十 g 程度）。3) 工具電極または工作物を回転させる必要はなく、加工される形状は工具電極の形状または軌跡の包絡面となる。4) 加工面には方向性がない（梨地になる）等である。

なお、今回は非金属の放電加工については省略する。

(2) 放電加工における最適化

初期には個々の加工性能の向上のみに力が注がれた放電加工も、加工法として実用性が確立し実際に現場において広く使われるようになってくると、いかにして要求に最も適した使い方をするか重要な問題となってくる。適応制御を含め、放電加工システム全体の最適化ということが今後の主要な課題であることはまちがいないであろう。

放電加工システムの最適化を考えるために、対象を大きく二つに分けてみると、工程の最適化と、現象としての加工の最適化ということになる。また、時間を考えに入れると、後者はさらにオフラインでの設定条件の最適化と、オンラインでの最適化——適応制御とに分けて考えることができる。もちろん、これら三つの領域は相互に関連しておりそれぞれ独立に最適条件を決定することはできないが、便宜上この区分に従って述べていくことにする。なお、三領域での主要な要素がどのような横のつながりを持つかを図1に簡略に示した。

2. 工程の最適化

一般の放電加工では次の手順を経る。

- 1) 工具電極の製作
- 2) あら加工
- 3) 仕上げ加工
- 4) 後処理

上の各項のうち、2)、3)の一方を切削、研削等の機械加工に置換えた方が、加工目的を達するためにはより適当である場合も多いが、ここでは放電加工に限定して考えることにする。

さて、この順序で加工が行なわれるとして、各工程をどのように実施するかは、結果としての諸元、たとえば加工精度、加工に要した時間、コスト等に大きな影響を及ぼす。そこで、以下に各工程の最適化について述べることにする。ただし、最適化の結果いずれかの工程を欠くことになる場合もありうるがそれについては個別に解説を加える。

(1) 電極の様式とその製作

1 (1)において述べたように、工作物に工具電極（以下、電極と表現する）の軌跡の包絡面の形状が転写されるわけであるが、通常は電極の形状をそのまま転写する方法がとられる。しかし、最近では本来の性質を生かして電極（または工作物）に特定の運動をさせることにより希望する包絡面形状を得ることも盛んになりつつある。この電極の運動のさせ方には非常に多くの種類が考えられるが、機構上実現することが比較的容易であり、効果も大きいと考えられるもの二つを取上げ、そのまま転写する方法とあわせて相互に比較してみよう。

電極の動き方によって表わすと、

- 1) 直線運動（そのまま転写する方法）(図2(a))
- 2) 直線運動およびその方向の軸のまわりの回転運動(図2(b))
- 3) 直線運動およびそれと直交する面内の任意の方向への運動（ワイヤカッティング）。(図2(c))

である。1)はごく一般的なもので、放電加工の基本型というべきものである。2)はボール盤と同様の方式である。3)は糸鋸盤と似た方式であり、細い針金電極を用いた時に大きな効果をもたらす。

1)の特長は運動機構が最も単純であること、電極の成形が容易な形状であれば比較的複雑な形でも容易に加工できること、深さと共に送り方向と直角な方向の寸法が広義の単調減少となっている形状はすべて加工可能であることなどであり、欠点は電極形状のとおり工作物を除去するため加工量が大きく時間がかかること、電極の成形が必要であること、深さと共に寸法が大きくなる部分がある形状は加工できないことなどである。

2)の特長は加工した穴の真円度が良いこと、加工速度が比較的大であること、ねじ切りが可能であることなどであり、欠点は、加工できる形状が限定されること、送り機構がやや複雑になることなどである。

3)の特長は、切りぬき式なので大きな形状でも加工量は小さく短時間で加工できること、あら加工の必要がないこと、電極くり出し方向と直角方向の形状がどんなに複雑なものでも可能であり、数値制御等で自動化が容易であるこ

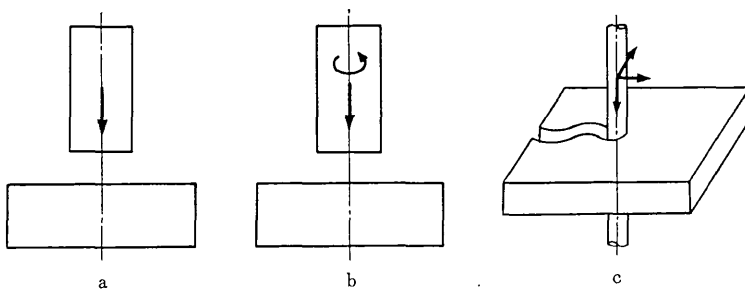


図2 電極の動き方の例

と、電極は針金を用いるので成形の必要がないことなどである。欠点は壁面がくり出し方向に平行なものしか加工できないこと、底つき穴（貫通しない穴、鍛造型など）は加工できないこと、運動機構が複雑になること、下穴が一つは必要であること、などである。

以上のようにそれぞれに得失があるので、目的とする加工形状、加工精度等に対して最も速く、低コストで加工できる様式を選択しなければならぬ。例を挙げてみると、

a. 貫通丸穴の加工：1), 2), 3) いずれも可能である。1), 2) ではパイプ状電極を用いれば加工時間が短くてすむ。電極の成形も容易である。特に2) は精度、加工速度共にすぐれている。3) は装置がやや複雑である。工作物を回転させるようにすれば改善できるが、サーボ機構がめんどうである。下孔加工が必要なので加工時間の点でもあまり有利にはならない。以上総合するとこの場合は2) が最も有利と考えられる。

b. 底つき四角穴の加工：1) のみで可能である。

c. 図3のような形状の貫通穴：1), 3) で可能である。しかし、1) の場合はこの形状の雄型の電極を製作しなければならず、割り型にしてもかなりの手間を要する。加工時間も3) に比べ長くなり、結局、3) が最も適している。

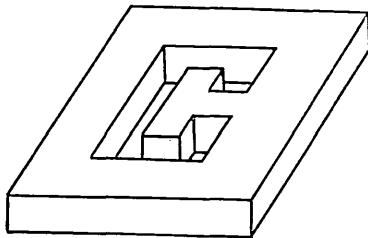


図 3

以上、例によって示したように、加工する形状によって最良の電極の様式が決まる。これによって電極の製作工程も規定されることになる。

3) では数 μ から 0.5 mm ぐらいの直径の針金を用いるので電極成形の必要はない。

2) の場合は円断面の電極を用いることになるので電極の製作は比較的容易である。製作方法は1) の場合に含まれる。

1) の場合は加工形状により電極製作の難易も大きく異なる。また、電極材質の選択とも大きな関連がある。

電極の消耗の少ない、いわゆる低消費加工を行なうためには電極材質として銅またはグラファイトが適当である。そこで、必要とする電極の形状が切削によって加工するのに適していれば、被削性の非常に良いグラファイトを用いて、切削によって必要な形状に成型すれば良い。ただし、これは大量に電極を必要とする場合よりも

多種少量の電極を必要とする場合に向いているであろう。一方、塑性加工により成形可能な形状であれば、銅を用いて大量に電極を製造することができる。また、複雑な形状の場合はプラスチック型を用いて電鋳により銅電極を製作すると良い。複雑でかつ少数個のみを必要とする場合は割り型によって組合せ式にすると製作が容易になる。

以上を要約すると、針金電極の場合を別とすれば、銅、グラファイトを適当に使いわけ、切削、塑性加工、電鋳のいずれかの方法を選択して、必要に応じて割り型とすれば最良の方法が得られるであろう。

なお、1)~3) 以外にも丸罐式の放電切断などがあるが、用途が限られるので省略した。

(2) あら加工、仕上げ加工の組合せ

電極の製作の次にいよいよ放電加工を行なうわけであるが、本節の最初に示したように、一般的にはあら加工と仕上げ加工の二工程に分けることができる。しかし、機械的加工法のようにたとえば切削であら取りして研削で仕上げるといような明瞭な違いはない。つまり、加工方法はまったく同じで、ただ1回のパルス放電のエネルギーが異なることで加工面のあらさが大きいのか小さいかの違いがあるだけである。旋盤による加工を例にとれば、始め大きな切込みであら取りし、所要寸法に近づいたところで切込み量を小さくして最終寸法まで追い込む場合の、この切込み量の切換えが、放電加工のあら加工から仕上げ加工への切換えと同様の意味を持つといえよう。

放電加工では加工条件があまりほど電極と工作物のすきまが大きくなるのが普通である。したがって特別な電極を用いる場合を除いては仕上げには新しく電極を取替えなければならない。このため、簡単なもので加工面あらさも比較的大きくてよい時は、はじめから仕上げ条件で（所要のあらさとなる条件で）1工程ですます方が有利な場合もしばしば生じる。しかし、ある程度良い仕上面や精度を得たい時にはやはり2工程（または3工程）に分けて加工しなければ目的を達することは困難である。そこで、仮に2工程に分けて加工するとした場合の最適な方法について検討してみよう。

この工程での最適化を考える時、問題は主として加工時間をどのようにして最小にするかにしぼられる。一般に加工面のあらさを小さくするほど加工速度は小さくなる。そこで、希望仕上面を得るような加工条件では最後の必要最小限の量だけ加工することにして、そこまではできるだけあら加工条件であら取りするのが望ましい。ところが、あら加工の加工条件があまりほど、仕上げ加工での取り代が大きくなるので、あまりあら条件にするとかえって総加工時間が長くなってしまふ。結局、あるところに最適のあら加工条件が存在することに

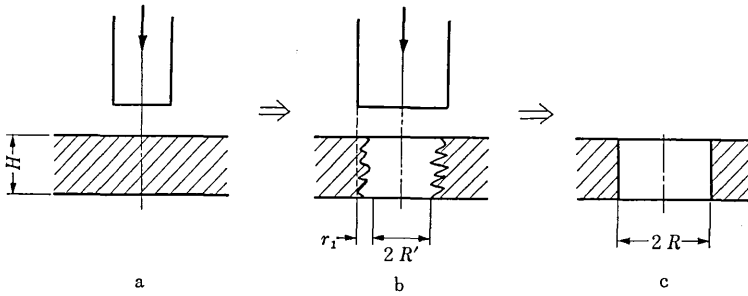


図4 あら加工, 仕上げ加工の組合せ

なる。

図4に示すように、厚さ H (mm) の板に直径 $2R$ (mm) の貫通丸穴を加工面あらさ r_2 ($\ll R$) (mm R_{max}) で加工する場合を考えよう。あら加工の加工速度を w_1 (mm 3 /分), あらさを r_1 (mm R_{max}), 仕上げ加工の加工速度を w_2 (mm 3 /分) とする。放電加工の場合加工速度 w とあらさ r は多く $r = Aw^n$ の形で表わすことができるので、

$$\begin{cases} r_1 = Aw_1^n & (1) \\ r_2 = Aw_2^n & (2) \end{cases}$$

ここで A は加工電源、電極送り機構等によってきまる定数である。あら加工時間を t_1 (分), 仕上げ加工時間を t_2 (分) とすると、総加工量 W (mm 3) は

$$W = \pi R^2 H = w_1 t_1 + w_2 t_2 \quad (3)$$

と表わされる。

r_2 は製品の要求により決まっているので、式(2)により w_2 も決まる。したがって、式(3)において与えられた w_2 に対して $t_1 + t_2$ を最小とする w_1 を求める問題となる。

放電加工は熱による溶融で除去を行なうので当然焼入れ、焼もどし等の熱変質層ができる。また、再凝固層等も存在する。しかし、普通の加工条件ではその厚さは面あらさにくらべてはるかに小さいので、ここでは簡単のために仕上げ加工ではあら加工による凹凸の谷の部分まで加工することにする、

$$t_2 = C \frac{\alpha r_1}{w_2} \quad (4)$$

ただし、 $\alpha = 2\pi RH$, C は図4 (b)における中心から R' と R の両円筒にはさまれる空間内の工作物材料の充塞率である。仮に $C = 0.5$ とし、 $t_1 + t_2 = t$ とおくと、

$$t_1 = t - \frac{\alpha r_1}{2w_2} \quad (5)$$

(1), (3), (4), (5)より、 r_1, t_1, t_2 を消去して、

$$\frac{A\alpha}{2w_2} w_1^{n+1} - \frac{A\alpha}{2} w_1^n - t w_1 + W = 0 \quad (6)$$

この式で t を最小にする w_1 を求めればよい。

簡単に計算できる $n=1$ の場合では、

$$w_1 = \sqrt{\frac{2w_2 W}{A\alpha}} \quad (7)$$

となり、 r を使って表わすと、(1), (2), (7)より

$$r_1 = \sqrt{r_2 R}$$

という単純な関係が得られる。しかし、通常 n は1より小さく、 $n = 1/2 \sim 1/3$ のことが多いので $r_1 < \sqrt{r_2 R}$ となる。くわしくは(6)式より数値的に求めることができる。

あらさ—加工速度曲線の一例を図5に示す。また、実際問題としてはあら加工による凹凸の谷は最終寸法より内側にくるようにした方が安全なので、式(4)中で r_1 のかわりに $2r_1$ など適当な係数を乗じたものを用いた方が良いであろう。この場合はもちろんあら加工用電極の寸法をそれだけ小さく設計する必要があり、 $2r_1$ とした場合は r_1 とした時より直径でおよそ r_1 だけ小さくする必要がある。

以上述べたように、仕上げ面あらさと、加工寸法とから総加工時間を最小とするようなあら加工の条件を決定

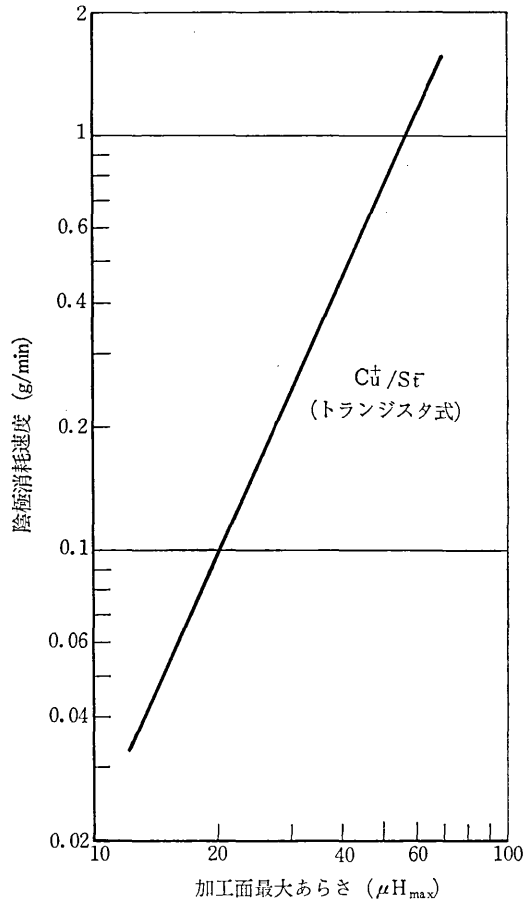


図5 あらさ—加工速度曲線 (木本)

することができる。また、他の形状に対しても同様の考え方で処理することができるであろう。

ここで一つ注意すべきことは、加工精度はうるさいが加工時間はあまり問題にしていけないという場合である。このような場合には、はじめから仕上加工条件で加工したり、あらかじめ下穴程度に相当にして、仕上げの取り代を大きくしてもよいように思いがちなのである。しかし、少なくとも現状では面あらさ数 μ 以下の加工条件になると電極消耗率が大きくなり、転写精度が低下してくる。したがって、精度の面だけからみても、仕上加工の加工代は必要最小限におさえることが望ましいのである。特に底つき穴の加工では影響が大きいため十分注意する必要がある。

(3) 後処理

加工がすむと後処理を行なうが、放電加工の場合、比較的簡単である。

洗滌については、加工屑が細かい球状粒子となっているので容易に除くことができる。

返りは、たかだか加工面あらさ程度であるからほとんど問題にならない。

やや問題なのは、灯油中で加工した時のカーボンの付着と、水中で加工した後の表面の酸化である。

灯油中で加工すると放電の際に灯油が分解し、炭素が発生する。これが工作物表面にも付着して洗滌などでは除けないことがある。したがって表面の汚れをきらう場合には加工液として水を用いた方がよい。

一方、水中で加工した時は、加工後に表面が酸化しやすいので、鋼などでは防錆処置をとる必要がある。ただし水に適当な添加剤を加えると防錆効果があるという報告もある¹⁾。

結局、後処理については工作物の材質と加工面の性質に対する要求から加工液をどのように選ぶかが主なポイントといえよう。

3. オフラインでの設定条件の最適化

(1) 電極材質

電極材質は加工特性、特に電極消耗率に大きく影響する。電極消耗率は加工精度と直接関係するからこれに最大重点を置いて決めなければならない。2 (1) で銅とグラファイトのみから選んだのは、この両者が最もよく上の条件を満足しているからである。ただし、3 (2) で述べるが、電極消耗率は電気的条件によって大きくかわるので、いわゆる低消耗回路以外の場合は必ずしも上の二者が最適とは限らない。たとえば、面あらさ 2, 3 μ 以下の微小エネルギー放電になると、電極消耗率は材質の影響をあまり受けなくなる。そこで針金電極で加工する場合などは強度も大きく、短絡時の損傷にも強いタングステンが適している。電気的条件との関連については次

項で述べる。

(2) 電圧・電流パルス波形と加工回路方式

どのような放電を与えればよいかということは放電加工において最も重要な課題の一つであり、できるだけ良い加工面でできるだけ電極消耗が少なく最も加工速度の大きい条件を見出すために多くの研究が行なわれてきた。そしていくつもの加工回路が開発され、それぞれについて最良の条件とするための研究が現在も進められている。しかし、ここでは加工システムの最適化が目的なのでやや視点を変えて、仕上げ面あらさが条件として与えられた時に、加工速度、電極消耗率を最良とするにはどのような電気条件をどんな回路で与えればよいのかを考えることにする。

普通、短間隙アーク放電では極間電圧はほぼ材質によって決まり、放電電流の大きさにはよらない。したがって 1 回の放電でギャップに放出されるエネルギーは、その間に流れた電流量にほぼ比例する。つまり、仕上げ面あらさが条件として与えられるということは、1 回の放電の電流量が大体決められているということである。そこで、ここでの最適化は、決められた電流量をどんな波形でパルスとして流したら良いか、またそれをどのようにしたら単位時間内に最も多く繰り返せるかを見出すことである。

a) 電流パルス波形

電流パルス波形に関する研究は多く発表されており詳細は略すが、異なった理論に支配されると考えられる二つの代表例について述べよう。

まず、加工面あらさ 10 μ 程度以上の比較的あらい加工の場合のいわゆる低消耗加工である。これは、たとえば銅電極で鋼を加工する場合、電極側を正、工作物側を負に（逆極性という）接続して電流ピーク値を小さく持続時間を長く (τ/I であらわして 5 $\mu S/A$ 程度以上²⁾) してやると電極消耗率（電極消耗量と工作物除去量の比率）が 1% 以下になる現象である。これは主として電極および工作物内の熱伝導の問題として説明されている³⁾⁴⁾⁵⁾。

もう一つは、加工面あらさが 1~2 μ 以下となる微小エネルギー放電加工である。これは、1 回の放電パルスのエネルギーが極端に小さい領域では電極側を負に（正極性という）すると電極消耗率が小さくなる現象である。この原因は、このような条件では極間に放出されたエネルギーの大部分が陽極側に集中するためと考えられる⁶⁾。こちらの方は電極材質によらず顕著に現われる。

以上から、あらかじめの範囲および比較的あらい仕上げ面でよい場合の仕上げ加工には、逆極性で電流値が小さく持続時間の長いパルスで加工するとよいことがわかる。また、面あらさ 2 μ 程度以下の仕上げ加工および微細加工の場合は正極性で加工すればよく、波形は通常

容易に発生させ得る範囲ではそれほど大きな影響はないようである。ただし電流ピーク値はある程度大きくないと (1 A ぐらいは欲しい) 加工速度が低下する。最後に残った両者の中間領域 (面あらし数 μ 程度の範囲) では現在のところきめ手がないので、前者の延長としてできるだけ消費率を小さくおさえると共に、2 (2) で述べたように仕上げ加工の取り代を小さくして精度の低下を防ぐのが良いであろう。

あらさと 1 回の放電電流量の対応を示すために例をあげると、25 A, 0.5 ms の時約 40 μ , 5 A, 0.5 μ s の時約 2 μ となる。

なお、以上は灯油を加工液とした場合であり、水を用いる時は、低消費加工の極性が逆転する。これはエネルギー配分の変化で説明されている⁷⁾。

b) 放電頻度と加工回路

次に、単位時間内の放電回数 (放電頻度) が加工速度に直接影響することは明らかである。そこで、できるだけ休止時間を少なくパルスを供給できるような加工回路が望ましい。

あら加工の領域では上述のように低消費条件からパルス幅が限定されるので、トランジスタ等の制御素子を用いてそのパルス幅でなるべく間隔を小さく供給できるようにすればよい。こうして 90% 程度の duty factor とすることは容易である。加工面あらし数 μ 程度の領域になるとパルス幅も 10 μ s 以下が要求されるようになり普通のパルス発振器を用いたスイッチング方式では困難になってくるので、従属式のスイッチング回路⁸⁾ が有利である。この方式も現状は 1 μ ぐらいのあらさまでで、それ以上の仕上げ加工では最も古く開発された回路方式である RC 回路にたよらざるを得ない。RC 回路はコンデンサに蓄えた電荷を放電させるので充電時間が放電時間よりかなり長くなり duty factor を大きくしにくい。しかし短いパルスを作るとは容易であるから数 μ の寸法の微細加工にまで適用可能である。将来半導体がさらに進歩すれば従属式のスイッチング回路の適用範囲が少しずつ大きくなるであろうが、最も細かい仕上げ領域は最後まで RC 回路が受けもつことになるであろう。

c) 電圧波形

電圧波形については回路方式によって決ってしまい、開放時の最大電圧だけが最適化の対象となる。最大電圧は主として電極ギャップに影響する。ギャップは電圧が高いほど大きい。したがって、電圧が高い方が電極送りが容易になる反面加工精度が低下する。一般に 100 V 前後で充分安定な加工ができるのでそれ以上の電圧とする必要はなさそうである。微細加工等では 50 V 程度に下げた方が転写精度の点で良いであろう。

以上はすべて矩形波をもとにして述べた。他の波形を

用いた場合にもそれぞれ特徴はあるが、大筋としては上のような判断によって差支えないであろう。

(3) 加工液の種類と条件

加工液は絶縁液であれば原則として何でも使用可能といえる。しかし、多くの種類について検討された結果、最初に使われた灯油が加工性能の点でも優れており、世界的にほとんど灯油が使用されている。唯一の対抗馬といえるのは水で、超高速加工およびワイヤカutting などでは実用化の研究が進められているが、普通の型加工などでは加工液は灯油と決めてかかっても問題ないであろう。

加工液の使い方には単に浸漬する以外に噴出、吸引、入れ換えなどが行なわれている。これは、加工面積が広い場合、加工深さが大きい場合などでは加工屑が極間にたまって加工の進行を妨げるからである。電極に穴を設けて、図 6 のように液を噴出させる方法、および周期的

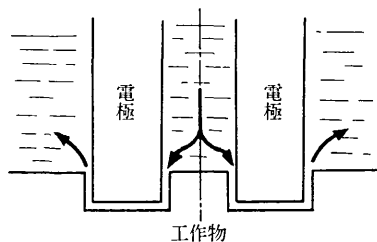


図 6 加工液の噴出

に電極を引き上げて極間の液を入れ換える方法が多く用いられ、大きな効果をあげている。しかしどの位置に穴を設けたら良いか、噴出圧力はどのくらいが良いのかなど、具体的な問題についてまだ充分な研究が行なわれておらず、加工最適化に関する今後の重要な課題の一つといえる。

(4) 電極送り方式とサーボ目標値

100 V 程度の低い電圧で放電を起こさせるために、電極ギャップは数 μ ~ 数十 μ と、非常に小さい値に保たなければならない。そこで、放電状態に応じて適当な送り込みを与えるには精度の良いサーボ機構が必要となる。普通、極間電圧を検出し、その平均値が適当な大きさを保つように電極送り速度を加減する方式がとられ、電極を装着したヘッドの駆動はサーボモータ又は油圧により行なわれている。応答の良さ、電極重量の影響を受けにくい点など、サーボ弁を用いた油圧駆動方式の方がずっと優れているので、高性能を旨とするならこの方式を採用すべきである。ただしモータを用いれば装置も簡単だし安くできるので、用途によっては有利な場合もある。

いずれの場合でも、極間平均電圧の目標値をどのような値に設定するかは、加工速度を大きく支配する。

図 7 に示すように、目標値を小さく選ぶ、つまり平均

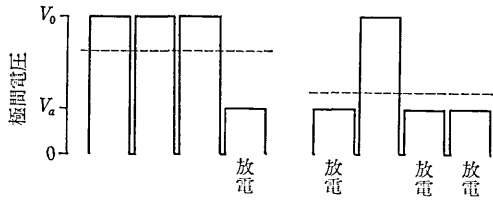


図 7 放電状況と極間平均電圧

(V_0 : 開放電圧, V_a : アーク電圧, 横軸は時間, 破線はパルス 4 回の平均電圧を示す)

電圧を小さく保つようにすれば放電頻度の大きい状態, すなわち加工速度の大きい状態に保つことになる。仮に duty factor 90% の矩形パルス電源で加工するとすれば, 理想的には平均電圧をアーク電圧の 90% に保つようにした時に最高加工速度が得られることになる。しかし実際には極間に電圧がかかっても放電しない場合がある。すると, 平均電圧は目標値より大きくなり, 電極をさらに送りこもうとして, 結局短絡等を引起して返って加工速度が小さくなってしまふ。このような miss fire は加工面積が小さいほど起りやすい。なぜ miss fire がなくなる前に短絡が起ってしまうかについては, 仕上げ加工領域では加工生成物が原因であると考えられるが⁹⁾, あら加工領域ではまだ解明されていない。いずれにしても加工面積が小さい時は目標値を大きく設定しなければならない。逆に, 加工面積が著しく大きい時はやはり短絡しやすく, 目標値を小さくできない。これらの現象を面積効果と呼んでいるが, いかにして面積効果をなくしていくかは今後の重要課題となっている。

具体的な最適目標値については加工面あらさの程度, 加工面積, 形状等に大きく左右され, その都度カンと試行錯誤により決めているのが現状である。しかし, 将来電極送りの適応制御が完成されれば, オフラインでの目標値設定は不要になる。(後節参照)

4. 適応制御

加工進行に伴ない, 極間の状態, 加工面積等が刻々変化するために, 初期の設定条件が常に最適であるわけではない。従って加工の状況に応じて条件を常に最適な値へと変更してやる。つまり適応制御を行えば加工能率が大きく改善されるはずである。この考えは前節の各項からオフラインのみで決めなければならない材質, 加工液の種類, 電極送り方式を除いたすべてに適用できる。いずれも研究が端緒についた段階であり, ごく概略だけ紹介することにしよう。

(1) 放電パルス波形

矩形波を例にとると, 電流値 I , パルス幅 τ , 開放時の電圧, 休止時間が変更可能であり, 適応制御の制御パ

ラメータとなり得る。極間の汚れによる放電不安定などには I の増大, 電圧の増大等が有効であろう。又, 加工面積の増大には休止時間の減少などが有効と思われる。

(2) 加工液制御

極間の液中に存在する加工くずが放電頻度, 短絡状況などに大きく影響し⁹⁾, 適当な濃度で加工くずが分布している時に加工能率が最大となる。従って加工液を噴出しながら加工する場合を例にとれば, 加工の進行状況に応じて, 放電頻度を最大とするように噴出圧力を変えていくのが有効であろう。また, 噴出や吸引が不可能な場合は液を外から超音波等で振動させて加工くず濃度を調節することも有効と思われる。

(3) 電極送り

送りサーボの極間電圧目標値は, オフラインでの決定が難しいのはもちろん, 加工中の極間の状態や, 加工面積, 加工深さ等によって最適値が大きく変動するので, 適応制御によらなければ最適化は不可能に近い。この場合も, 放電頻度を最大とするように極間電圧の目標値を変えていくわけである。

以上, 適応制御は主として加工速度の改善という面で加工最適化に寄与することになる。

5. 結 言

放電加工の最適化について概観してきたが, 加工法としての歴史が浅いだけに基礎となる資料の蓄積が少なく, 最適化への道もなかなかわけわいようである。今後の方向としては, 従来あまり系統的に研究されたことのない加工液および加工くずについて制御方法を確立すること, 電極送りの適応制御化が中心課題ではないかと考える。

(1972年5月29日受理)

参 考 文 献

- 1) 須田, 手島, 佐田; 水を加工液とする高速放電加工の添加剤による効果; 電気加工学会誌 5 巻 9 号 (1971)
- 2) 木本, 田宮, 平田; 銅電極による電極低消耗の放電加工; 精密機械 33 巻 6 号 (1967)
- 3) 元木, 李; 低消耗放電加工, マシニスト, 5 (1967)
- 4) 倉藤, 向山; 放電加工の研究, 電気加工学会誌 2 巻 3 号 (1968)
- 5) 倉藤, 木下, 福井; 放電加工における電流波形の影響 (第一報), 電気加工学会誌 3 巻 4 号 (1969)
- 6) 倉藤, 増沢; 超硬合金の放電による微細加工, 電気加工学会誌 2 巻 3 号 (1968)
- 7) 木本, 田宮; 水中における電極低消耗放電加工(I), 電気加工学会誌 3 巻 5 号 (1969)
- 8) 増沢, 佐田; 非蓄勢式従属インパルス放電加工回路, 電気加工学会誌 4 巻 8 号 (1971)
- 9) 増沢, 佐田, 木下; 放電微細加工における加工くずの役割, 精密機械 37 巻 9 号 (1971)