最近の放電加工とその応用

Progress of E.D.M. and its New Applications

1. 型彫りおよびワイヤ放電加工機の原理, 加工特性
2. 新技術として
 - 1) N.C. 化揺動加工による加工特性向上
 - 2) ワイヤ放電加工によるパンチとダイの同時加工法について, 解説する。

斉 藤 長 男*

Nagao Saito

1. は し が き

放電加工は、液中での放電現象を利用して金属材料等を加工する方法である。加工原理上・銅や黄銅のような軟質金属の電極を用いて、焼入鋼や超硬合金のような硬い材料を容易に加工することができる。また、工作機械のように工具を回転する必要はない。

従来、この特性を活用して金型製造の補助的手段として用いられて来たが、N.C. 化された型彫放電加工機およびワイヤ放電加工機の出現によって、金型製造の主力機種として成長が著しく、放電加工機を除いた金型製作は考えられない状況となっている。

一方部品加工や特殊な表面処理としての用途もひろげ、歯車、カムの直接加工は焼入素材を直接加工することにより加工精度を向上

し、鋼板圧延ロールの表面を放電面とすることにより、ショットピーニングに代って長いロール寿命とクリーンワーキングを期待されるようになって来ている。

2. 放電加工の原理と加工特性

2-1 加工原理

放電加工は、銅や黄銅などで作った工具電極と焼入鋼や超硬焼結合金などの被加工物とを灯油、水などの加工液を介して狭い間隔きに対向させ、高い繰返し数のパルス状の放電電流を発生させ加工を行なうものである。極間においては放電と消弧が繰返し発生し、1回のパルス電流発生によって1個のクレータを生じ、その累積によって工具電極と雄雌にかん合した形状に加工が進む。両極間々隙は自動制御され、短絡を生じないで放電を発生

* 三菱電機(株)重電事業本部 工博
〒461 名古屋市東区矢田南5-1-14
☎052 (721) 2111

* Mitsubishi Electric Corp.
1-14 Yadaminami 5-chome, Higashi-ku,
Nagoya 461

できる適当な距離に保たれる。

この場合の放電間隙の大きさは、数 μm ないし数 $10\mu\text{m}$ であり、工具電極と被加工物とのはめ合精度もこれに準拠した値となり、加工精度の基本となる。加工によって極間に金属加工粉、加工液の分解物（灯油の場合はガス、カーボン、タール、水の場合はガス）を生ずるが、加工により生ずる爆圧、加工液の強制循環、電極と被加工物間の相対運動によるポンプ作用によって極間から排除される。極間の加工液は清浄化されることは必要ではあるが極端に清浄化されているよりは、幾分か加工粉を含んでいる方が、加工能率は良い。

2-2 加工特性

放電加工の加工特性を示すものとしては、

- (1) 仕上面あらさ；表面の凹凸， R_{max} (μm)
- (2) クリアランス；電極側面隙間， C (μm)
- (3) 電極消耗比；電極消耗量比対加工量， ϵ (%)
- (4) 加工速度；単位時間加工量， W (gr/min)

があり、これらは、放電1回毎の放電電流の波形（電流値 I_p 、電流パルス幅 τ_p ）と放電と放電の間の休止時間（ τ_r ）によって定まり、大まかに言えば、次のようになる。

1) 放電1回のエネルギーが大きく（ $I_p \cdot \tau_p$ ）休止時間（ τ_r ）が小さければ、仕上面あらさ、クリアランス、加工速度は大きくなる。（加工速度を大きくしようとすれば、仕上面あらさやクリアランスは、大きくなる。）

2) 被加工物材料と電極材料との組合せによっては、電極材料が殆んど消耗しないような電気条件が存在する。（鋼を被加工物とし銅、またはグラファイト電極によって加工す

表1 加工特性実験式の例

被加工物 電 極	加工速度 Wg/min	仕上面あらさ R_{max} μm	クリアランス(片側) $C \frac{1}{2}$ μm	電極消耗比(%) $\epsilon = \Delta E / \Delta W \times 100$
St/Cu(+) $I_p < 50\text{A}$ $I_p > 50\text{A}$	W $\approx 0.0097 \cdot I_p^{0.5} \cdot I$ W $\approx 0.074 \cdot I$	R_{max} $\approx 1.6 \cdot I_p^{0.43} \cdot \tau_p^{0.38}$	$C1/2$ $\approx 3.7 \cdot R_{\text{max}}^{0.9}$	$\epsilon < 10\%$ で 成立 ϵ $\approx 1.5 \cdot I_p^{1.74} / \tau_p^{1.35}$
St/Gr(+) $I_p < 50\text{A}$ $I_p > 50\text{A}$	W $\approx 0.015 \cdot I_p^{0.5} \cdot I$ W $\approx 0.09 \cdot I$	R_{max} $\approx 1.1 \cdot I_p^{0.44} \cdot \tau_p^{0.42}$	$C1/2$ $\approx 10 \cdot R_{\text{max}}^{0.62}$	$\epsilon < 10\%$ で 成立 ϵ $\approx 800 / I_p^{0.33} \cdot \tau_p^{0.93}$

但し、 I_p ：放電電流ピーク電流
 I ：放電電流平均電流
 } 図2-(2) 参照
 (メータに現れる電流)

- (1) 加工速度を大きくしようとすれば、あらさも大きくなる。
- (2) 同一仕上面あらさで、電極消耗を小さくしようとすれば、加工速度は小さくなる。

図1 加工特性比較

る場合、適当な電気条件で低消耗となる。）

これらの加工特性を回示したものを図1に示す。

また、代表的な加工特性を実験式で表すと表1のようになる。

表1に見られるように、加工速度を大きくしようとすれば仕上面あらさはあらくなり、電極消耗も大きくなりやすい。仕上面あらさとクリアランスは比較的關係にある。

残留応力が存在する場合は、これを開放する加工となるので変形を生ずることがある。

適切な熱処理が必要であると共に、もし変形を生じた時には、僅かの加工代を与えて輪郭を再加工することによって、その変形分を除去する(セカンドカットと称す)のがよい。

型彫加工の場合は、変形を生じたとしても生じた変形を常に再加工するため、ワイカットにくらべ問題は生じにくい。

4. 新しい技術とその応用

4-1 N.C.化揺動加工による加工特性向上

放電加工は通常、荒加工によって大まかに加工箇所を除去した後、仕上加工によって仕上面あらさを精細に加工するものである。その場合に、荒加工の電気条件を仕上加工に切換えても、加工面の底の方(送り方向と直角の面)はサーボにより極間距離を近づけることによって仕上るけれども、側面は、荒加工において既に電極寸法よりも広がっているために仕上条件では放電が発生しない。そのため、従来は仕上加工においては電極を仕上電極に取換えて(荒加工電極よりも大きい)仕上加工を行なうか、または電極と被加工物間に横方向の相対運動を人手によって与えて、側面の仕上加工を行なうのが常であった。

N.C.化揺動加工装置はこれを自動化したものであり、その目的は1本の電極で荒加工から仕上加工までを行なうことであ

ったが、これを使用している段階で、それ以外の特長をも発揮できることが判ってきたものである。

4-1-1 N.C.揺動加工装置

図3にはN.C.駆動によって電極に揺動運動を与える装置を示す。電極をサーボで上下(Z軸)に行ないながら、XY平面にも図4(A)~(D)に示す揺動運動を与えるものである。

この運動変位Rはミクロン(μm)の単位で設定できる。また(A)(B)(D)の運動については垂直な電極でテーパ加工ができ、(D)の運動を使えば、ねじ切りもできる。(図5)

表2 型彫放電加工とワイヤ放電加工の特性比較

	型 彫 放 電 加 工	ワ イ ヤ 放 電 加 工
原 理	放電：電流パルス巾 τ_{p} が長い。 図2-(2)参照	放電：電流パルス巾 τ_{p} が短い。 図2-(5)参照
加 工 液	油 中	水 中
電 源	トランジスタパルス回路	トランジスタ制御付 コンデンサ放電
電 極	特定形状電極必要	糸鋸式ワイヤ電極(消耗性)
加工特質 (クリアランス)	電極形状と現物合せの形状となる。	XY合成 図2-(3)参照 (クリアランス)調節容易
加工形状の特 長	非分割1体化	非分割1体化
クリアランス (側面隙間)	通常調整不能 (仕上面あらさに比例)	オフセットにより調整可能
加 工 面 積	広範囲	小面積加工(面積効果顕著)板厚が薄いと mm^2/min 小さい。
変 質 層	浸炭による硬化層。深さは仕上面あらさの2倍。	硬化層なし。 軟化層あり(Cu固溶)
残留応力による変形	常に再加工しているため変形は少ない。	変形出やすい。 妥当な熱処理又はセカンドカット必要。
火災に対する心配	あり。安全装置必要。 適応制御は安全を増進する。	な し

図3 主軸形揺動装置

(A)
放射状運動
15°単位

(B)
多角形運動

(C)
任意軌跡運動

(D)
円弧偏心運動

テーパ加工
上記(A)(B)(D)
の場合可能

自動拡大加工
上記(A)(B)(D)
の場合可能

図4

<上図> ねじ加工の例

<下図> 棒状電極によるテーパ加工の例

図5 揺動運動による加工例

(上) 揺動加工による底面あらし

(下) 揺動のない従来方式による底面あらし

図6 揺動運動加工によるうねりの除去

このような揺動運動によって、側面の仕上加工が一本の電極によって可能となったのは前述の通りであるが、加工粉の排出が良くなり、仕上面あらしの精細な条件でも比較的速かに加工され、しかも底面および側面のうねりも除去されるという効果のあることが判明した。(図6)

荒加工から仕上までの総合加工時間は揺動装置を用いない場合に比べ約1/2~1/5程度

になり、放電加工の最終仕上加工である“みがき工程”を著しく容易にした。

4-2 ワイヤ放電加工機によるパンチとダイ同時加工法

4-2-1 ワイヤ放電加工による従来の抜型加工法

ワイヤ放電加工は主に抜型、押出ダイス、放電加工の電極製作、試作品の工作などに用いられる。

押出ダイスのようなものは輪郭をくりぬくだけであるが、抜型や粉末冶金成形型のように雄雌両型がある場合は、1本のテープを元に、一方の金型を加工した後、他方の金型はワイヤの太さと“みぞ幅”とから所要のクリアランスに相当する寸法を勘案して、オフセット量を適当に選ぶことによって所望のクリアランスをもつ金型を加工するものである。

図7には抜型をワイヤ放電加工機によって

図7 ワイヤ放電加工機による通常の抜型加工法

図8 パンチ、ダイ同時加工の原理

図9 角の部分のクリアランスの状態

で、ダイとパンチとを別々の素材から加工する通常の方式を示す。すなわちワイヤ直径と放電間隙による溝幅（通常0.3～0.4mm）が、抜型のクリアランスとしては広すぎることに、ワイヤを通す下孔と、アブローチの加工溝のため抜型としては欠陥があることにより、2回の加工を必要とするのが常である。

これを、テーパ加工装置を利用して一度の加工でパンチとダイを得ようとする方式を紹介する。

4-2-2 パンチ、ダイ同時加工

パンチとダイの同時加工の原理は、抜型の輪郭曲線の全周に傾斜をつけて加工し、金型素材の底面の輪郭を上面の輪郭と組合せ、クリアランスは傾斜角を選ぶことによって、任意の寸法に定めることができるという考えである。

この方法には、(1)抜型切刃の面にスタート穴およびアブローチ溝が現れないようにする、厳密だが斜めのスタート穴をあけるため、やや面倒な方式と、(2)アブローチ溝は残しても、それによるわずかのキズの取扱い方をうまく処置すれば、実用上十分に抜型として使用できる簡易方式との2方式がある。

これを図8に示す。(1)は上記(1)の厳密方式(2)は上記(2)の簡易方式である。

この2つの方式が成立するた

図10 テーパー加工各種

めの最も重要な条件は、底面輪郭を上面輪郭に組合せた場合に、抜型として最も重要なクリアランスの均一性を得るためには、角や円弧をもつ輪郭部分が上下ともそろっていることが必要である。特に角の部分については、上面下面とも角が出ていることが重要である。この関係を図9に示す。ワイヤ放電加工でテーパー加工を行なうには、同時三軸加工、同時四軸加工があるが、上下共角の出せ

る図10(2)の右方のような加工のできる必要となる。

なお、図8の(2)アプローチ溝による欠陥は、そのままでは差し支えない場合が多いが、問題のある場合は欠陥がスクラップ側に来るようにすればよい。

5. む す び

放電加工を、型彫り放電加工とワイヤ放電加工に分けて、原理、加工特性を述べ、次に新技術として、N.C.化揺動加工による加工特性の向上とその加工例、および、ワイヤ放電加工によるパンチとダイの同時加工法を紹介した。

文 献

- 1) 放電加工のしくみと100%活用法、技術評論社刊

電解式メッキ膜厚計

— モデル G - 7 —

一定面積を一定電流で溶解した時、溶解した厚さは時間に比例する事を利用した装置で、コークール電解液と標準板及び特許エア—攪拌方式により、電解効率が低下せず常に高い精度を保つので、J I S規格判定に使用され、各官庁、工業試験所、研究所、各産業界で定評ある名測定器。多層メッキの測定に最適で、各種金属被膜の他、金メッキを0.006ミクロン迄高感度で測定する機能を備えています。

※お問合せは直接当社をお願いします。

モデル G - 7

膜厚計の総合メーカー販売輸出/英国エルコメーター社総輸入元

電測工業株式会社

ELEC FINE INSTRUMENTS CO., LTD

東京都中野区中央2-47-1 電話(03)365-0861(代表)

テレックス 232-3131