

金 型 の 電 解 仕 上 げ

Electro-chemical Finishing of Metal Mold

酒 井 茂 紀*・増 沢 隆 久*
Shigenori SAKAI and Takahisa MASUZAWA

放電加工で製作される三次元形状の金型を対象にした仕上げ工程は、複雑な形状であることが多いため自動化が進めにくく多くの時間と労力を必要としている。そこで、電解加工を応用した形彫り放電加工の一仕上げ法を提案する。この手法は放電加工の電極がそのまま使用できる対電極による電解仕上げである。種々の形状の金型に適用でき、形状を損なうことなく鏡面に近い仕上げを得、特に放電加工面の熱影響層の除去に効果がある。

1. は じ め に

放電加工は金型生産において重要な加工技術となっている。しかし、放電加工面は加工熱により熱影響層やマイクロクラックなどが生ずる。この問題の解決を含め良質な面性状を得る方法として、ワイヤ放電加工ではセカンドカット法、形彫り放電加工では揺動加工法、あるいは砥粒を用いた仕上げ加工が行われている。しかし、これらの方法はかなり作業時間や熟練を要しているのが実状である。短納期、低価格が要求されている昨今、より短い時間でしかも自動的に行える金型の仕上げ方法が待望されている。

著者らが以前に解説した、対電極による電解仕上げ¹⁾は、これらの問題を解決するために開発した手法であり、電解加工法を応用してわずか数秒の通電時間で鏡面に近い光沢面を得るものである。ワイヤ放電加工で製作される製品に対し、同時に得られるほとんど同じ形状の切りかすを電極として用いる点に特徴がある。この電極となる切りかすは、製品と対をなして生成されることから対電極と名付けられた。

ところで、三次元形状である形彫り放電加工の場合も、放電加工時に用いられた電極は、製品と同じ形状であり、当然、対電極の形態をなすといえる。

形彫り放電加工において比較的大型の金型のように電極の底面積が広い場合、異常放電による加工の停滞を防止するため、加工液を吸引もしくは噴き出させる流路口を設け、発生したガスおよびスラッジの排出を行う。このような電極であれば電解仕上げ時、対電極間に電解液を流すことができるので、ワイヤ放電加工の場合と同様に放電加工面に対して電解仕上げが行えるものと考えられる。しかし、一般に形彫り放電加工の加工形状は複雑で

あり、均一な電解液流を得ることは困難であったり、噴出口あるいは吸引口が全く設けることができないような電極形状で形彫り放電加工を行うことも少なくない。

このような三次元形状を想定し、電解液を確実に均一にできる方法、つまり、通電時に電解液を流さない方法(流速0)である、静止液中での電解仕上げを検討し、その基本特性を調べると共に実用的な金型形状に対するテスト加工を行った²⁾。以下に電解仕上げの原理、特性、特徴などを解説する。

2. 静止液中における電解仕上げの概念

図1は静止液中で電解仕上げを行う場合の加工原理である。対電極間の電解液は流動せず、また微量量であるため、通電により発生する電解生成物の影響で、一時に大きな電荷量の電流(オンタイムの長い電流)を流すことが望めない。そこで比較的短いオンタイムの電流を流した後、電解生成物を除去するために電極引き上げ動作を行いフラッシングを行う。その後、元の位置に戻して

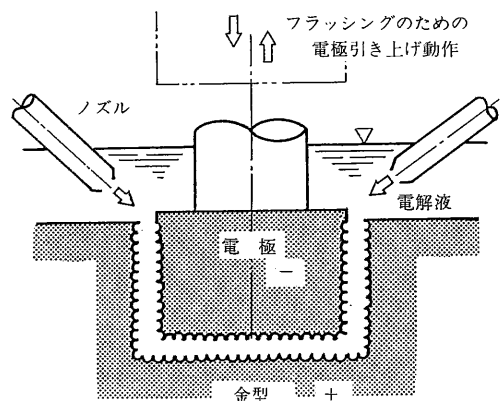


図1 静止液中における電解仕上げ

*東京大学生産技術研究所 第2部

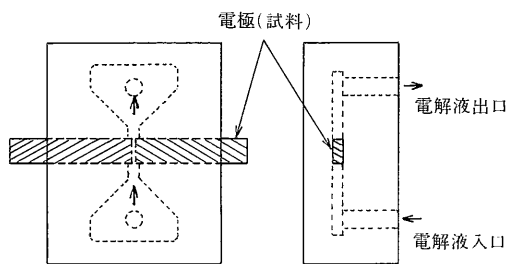


図2 電解セル

電解電流を流し、以下同様の操作を繰り返す。

電解電流を流した直後、電極の引き上げ操作により極間に清浄なる電解液が流入することになる。このときの電極の引き上げの量については振幅の小さい振動的なものであっても可能である。この場合、電解生成物を排除し清浄なる電解液を保つのは、ポンプ作用で行われることになる。また、電極をワーク上面より上まで引き上げ、噴出ノズルから清浄なる電解液を噴出させワーク内の電解生成物を排除するような方法も可能である。

3. 静止液通電の基本特性

図2に示すような電解セルで行った実験により、静止液通電の基本特性を調べた。試験片が、金型と対電極に対応するように、放電加工された端面が適当な間隙で電解セルに固定される。この間隙に電解液を充満させ試験片間に電解電流が流される。なお、試験片は端面寸法5mm×10mmのSKD61材、電解液には硝酸ナトリウム水溶液を用いた。

前述した電解仕上げの概念を満足するように、加工電流とフラッシングの関係は図3のように設定した。極間にはパルス発生器からの信号で駆動するトランジスタ回路により、定電流を間欠的に流す。また、これに同期した別の信号は電磁弁を開閉させる。これにより電解液は流出と静止が制御されてフラッシングの目的が達せられる。

この実験により判明した特性は次のようなものである。

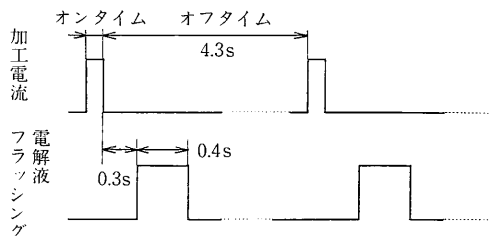


図3 加工電流と電磁弁開閉のタイミング

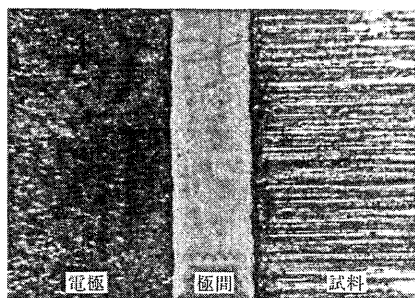
3.1 極間状態

電解セル内にセットした試料と電極の極間の状態を図4に示す。(1)は電圧印加直前の状態である。(2)は静止液中での電圧印加直後の状態あり、このように瞬時にして電解生成物が極間に充満する。気泡間の電解液は溶出金属のため褐色を呈しており、しかも気泡の占める割合が多い。これらの電解生成物が充満することにより、電解現象の維持に支障をきたすであろうことは容易に想定できる。

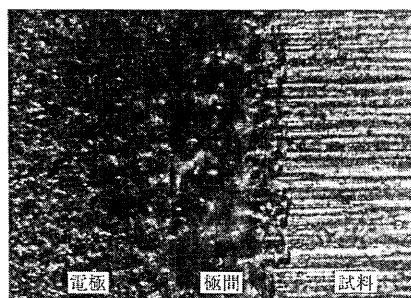
3.2 定電流加工

図5は極間に電圧を印加したときの電流および電圧の波形を示すが、上位は電流、下位は電圧を示す。電解電流は15A(電流密度に換算すると30A/cm²)を示し、定電流である。(1),(2)ともに初期間隙が0.1mmの場合であり、オンタイムはそれぞれ10ms, 100msである。オンタイムが短いときは定電流を保つことができるが、(2)のように長い場合、発生した電解生成物が極間を充満すると定電流を保っていることができず、降下を起こしてしまう。電圧は電源電圧35Vにまで達してコントロール不能となる。この現象は電解仕上げを行うに際し、仕上げ面に与える影響が大きく、安定した光沢面を放電加工面の全面に得ることが不可能な要因となる。

図6に、各オンタイムにおける持続可能な電流密度の限界を示した。オンタイムが短いほど電流密度を高めることができ、1~2msでは100A/cm²以上も可能である。逆に、長いオンタイムになればなるほど、持続できる電流密度が減少していく。光沢面を得ることに主眼を置く

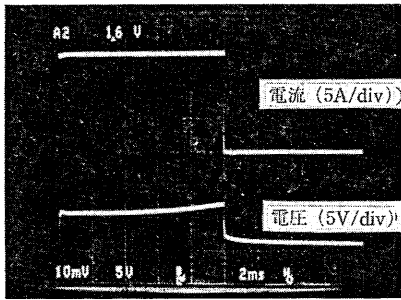


(1)電圧印加直前の状態

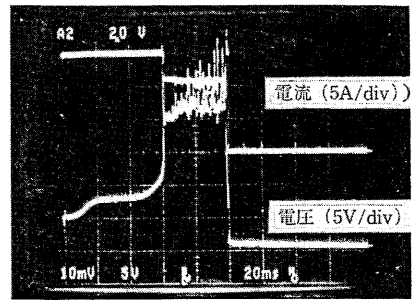


(2)電圧印加直後の状態

図4 静止液における対電極の極間の状態(極間の間隙は0.3mm)



(1) 定電流状態



(2) 定電流不可状態

図5 電圧印加時の電流および電圧波形 (電解液: NaNO₃ 25%wt, 25°C)

場合、少なくとも電流密度30A/cm²以上保持することが望ましい。したがって、オンタイムは60msより短くせざるを得ない。

安全性を見込むあまり電流密度を変えないで短いオンタイムを用いると通電回数、すなわちフラッシングの回数が増えることになる。その結果、仕上げにかかわる総加工時間が延びることになる。

3.3 仕上げ面あらしの改善

図7は除去深さが増すに連れて仕上げ面あらしが改善される状況を示す。光沢面の得られる加工条件は、電流密度が高いため除去量も多くなる。これに比較して電流密度の低い条件では光沢面とならないが、少ない除去量で面あらしの改善が著しい。この関係は液流通電による加工の場合でも同様であった。通電開始後、非光沢面であってもその後、光沢面の得られる条件に切り換えれば光沢面が得られるようになった。したがって、実用の仕上げ加工ではこれらを組み合わせることにより、除去量

が比較的少なくして光沢面を得るような用法も考えられる。

以上のように、形彫り放電加工の金型についても、放電加工の使用済みの電極を対電極として用いることで電解仕上げを行うことができる。ただし、通電時間に比べて長いフラッシング時間を必要とするので、総加工時間はかなり長くなり、30分から1時間程度をみなければならない。

4. 実加工への応用

図8は実加工を実施するために試作したモデル装置の概略を示す。装置における金型と対電極の位置決めは、接触感知によりダイヤルゲージを用いて手動で行う。フラッシングは電解電流を流した直後にエアシリングの上下動で行う。電解液は加工槽内の堰で一定の水位に保たれるが、オーバーフローしたものはスラッジやごみを遠心分離機で除去した後、循環再利用される。

実加工用の電解仕上げ電源は、電解セルにおける実験

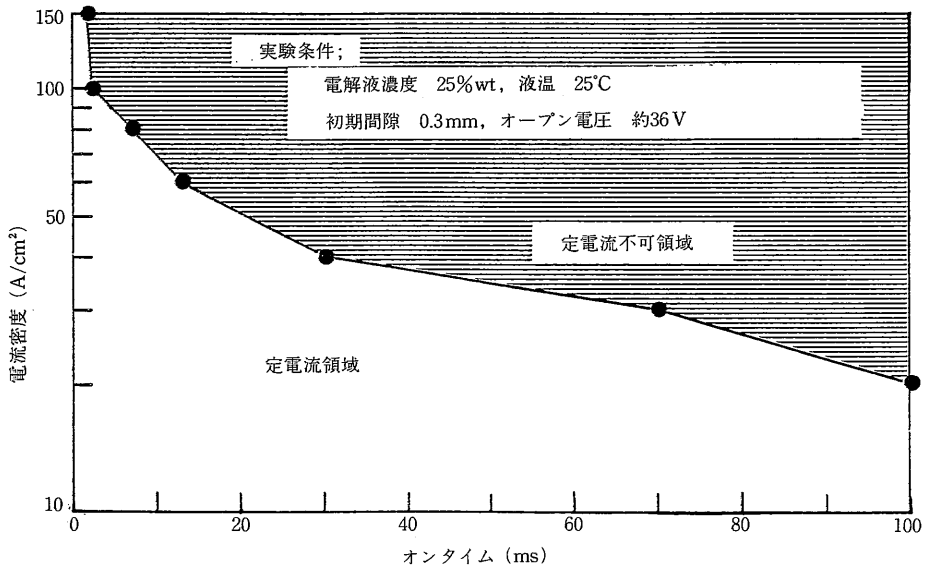


図6 オンタイムにおける持続可能な定電流密度の限界

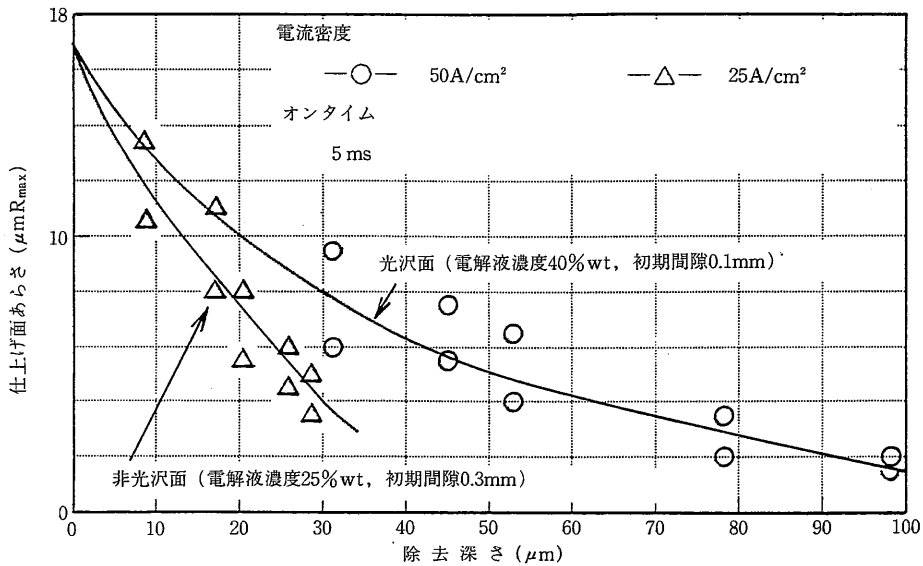


図 7 除去深さに対する仕上げ面あらさの推移

と異なり対電極の対抗する面積が大であるため、大容量のものがなくなる。リップルがなく、しかも大電流が得られ、かつ装置として安価であることなどを考慮して、バッテリー (170AH) による供給方式とした。

図 9 に示した実加工例は空調配管用バルブの鍛造用金型である。上部に放電加工面の残留している個所がある。これは電解仕上げ面と対比するために、この個所に絶縁皮膜を塗布して加工されないようにしたものである。40 $\mu\text{mR}_{\text{max}}$ の放電加工面がオンタイム10ms, 30A/cm², 総通電時間3.5秒の電解仕上げで3.5 $\mu\text{mR}_{\text{max}}$ に改善された。

5. 放電加工機と組み合わせた複合加工システム

5.1 システムの概要

三次元形状の金型などに電解仕上げを実施する場合、電極とワークを放電加工機から外し、先の図 8 に示したような電解仕上げ装置に改めてセットし直すことになるが、この作業では細心の注意を払わねばならない。もしほんのわずかでも短絡した状態のまま電解仕上げを実施すると、低い電圧ではあるが大電流が流れるので、電極とワークに決定的なダメージを与えかねない。

そこで、著者らはこれらの煩雑な作業を行わないで済む方法を提案した。すなわち、放電加工機で加工後、そのままの状態でも電解仕上げも行わせる手法が開発できれば、電極とワークのセット換えを行う必要がない。電解仕上げ時の極間は、放電加工により均等になっている。このため電解仕上げでは、短絡が起りにくく、金型などの貴重な製品に損傷を与える防止となるだけでなく、電解電流を均一に流すことができ、その結果一様な仕上げ面が得られることになる。

また、本複合加工システムにおいて単に放電加工と電解仕上げを組ませるだけでなく、NC機としての有効利用も検討した。一般に、電極は他の工作機械で製作され、放電加工機に改めてセットされる。もし電極素材を放電加工機の主轴に取り付け、必要とされる形状に成形できれば、煩わしい電極のセッティングを行わないで済む。いったん、ワーク素材と電極素材が放電加工機のテープ

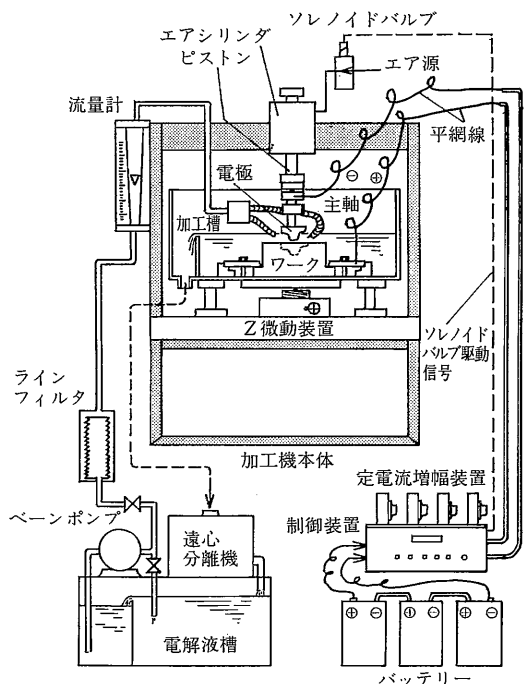


図 8 電解仕上げ装置全体の概略

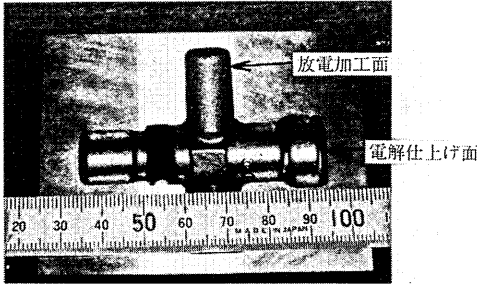


図9 モデル装置による実加工例

ルと主軸に取り付けられれば、電極の製作・放電加工・電解仕上げまでの工程を一連のNCプログラムで実行できることになるので、多くの利点が得られる。

5.2 システムの構成と機能

本システムにて実施される各作業は、(1)放電加工機のテーブル上に設置された切削工具回転装置による電極の製作、(2)ワーク位置での放電加工、(3)加工液を変えての電解仕上げ、からなる。これらの諸作業が行えるように図10に示す各機器を構成した。

ベースの放電加工機はもともと油系の加工液を用いるタイプである。電解液への対応を考慮して加工槽内のテーブル上にステンレス製の加工槽をセットし、その中で諸作業を行った。最終的に仕上げを行うのは電解仕上げであるので、金型を製作する放電加工は高速で加工するほうが効率が良い。この点も踏まえて放電加工は水加工液で行う方式にした。したがって、電極材料は水加工液での放電で銅材より消耗の少ないグラファイト材を用

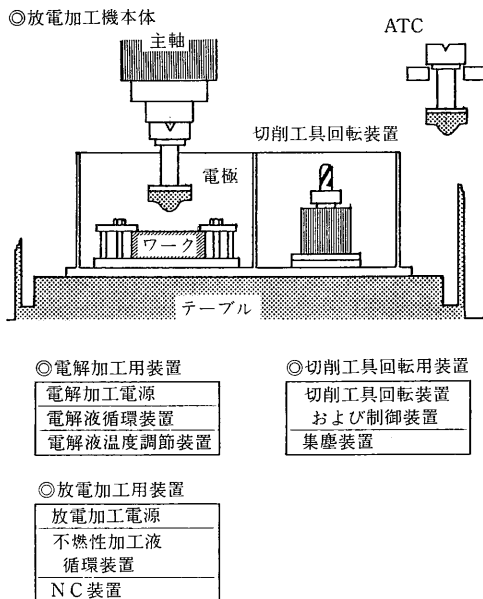


図10 放電加工機と組み合わせた複合加工システムの構成

いた。

図11に全般的なシステムの機能概略を示す。放電加工の主軸に取り付けられたグラファイト電極を切削工具回転装置で、NCプログラム運転、MDI運転、ハンドル操作などにより成形を行う。使用する電極を複数製作し、ツールポットに格納しておき必要に応じて適宜工具交換を行い、放電加工を継続していくことも可能である。また、一本の電極で放電加工を荒加工から仕上げ加工まで行う場合であっても、途中で電極を修正することも可能であり、必要に応じて切削工具回転装置の位置に主軸を移動して行えば良い。

放電加工終了後、電解仕上げは加工液を電解液循環に切り換えるとともに、加工電源の回路も電解用電源に切り換えて行われる。フラッシングは電解電流を流した直後に信号を発生させ、NCサイクルスタートして主軸を引き上げるにより行われる。

5.3 電極製作と電解仕上げ

図12はφ10mmのポールエンドミルを使用してグラファイト電極を製作しているところである。切削工具の回転数:2200rpm, 切削送り速度:150mm/min, 送りピッチ:0.5mm, 所要加工時間:約40分で切削加工が終了した。ただし、これは工具回転装置の性能上、実際の切削条件よりはるかに低い値である。

グラファイト電極で電解仕上げを行う場合、グラファイト自身の抵抗により電圧降下が生ずる。したがって、銅電極を用いた場合よりも電圧降下分、印加電圧を高くしなければ定電流密度を維持することができない。

図13に複合加工システムによる放電加工と電解仕上げの加工例を示す。13μmR_{max}の放電面が電解仕上げにより4μmR_{max}に改善された。この時の通電とフラッシングのタイミングは図3, 実験条件は図7の光沢面におけるものとほぼ同様である。仕上げに要した時間は約40分である。

5.4 本システムの特長

(1)電極の成形・放電加工・電解仕上げの自動加工:

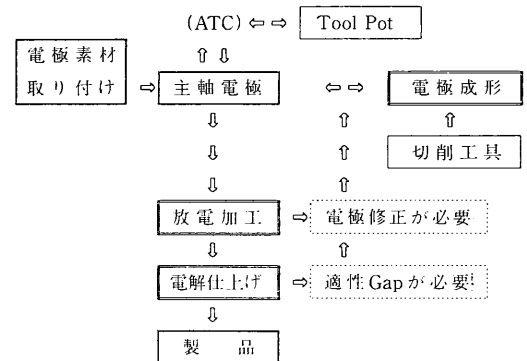


図11 システム全体の機能概略

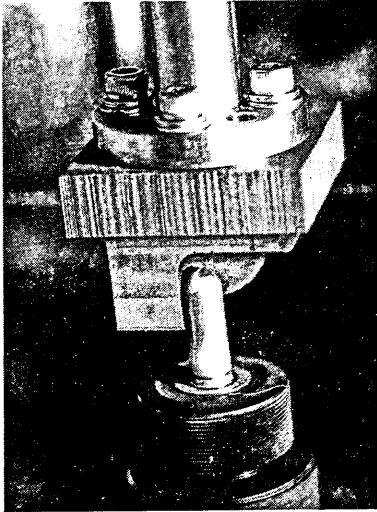


図12 切削加工中のグラファイト電極

放電加工機の使われ方の現状においては、マシニングセンタ等の工作機械とは異なり輪郭制御等NC装置としての利用度が低い。本システムでは高価なNC装置の有効利用として電極の成形を行わせることができる。

(2) 電極の成形・放電加工・電解仕上げの自動加工：

放電加工後の電解仕上げまでの異なる加工方式が一台の加工機で自動的に行われる。

(3) セッティング不要の高精度化：

電極素材のセットが一度で済み、水平、真直だしなどが不要であり加工機自身の精度で加工が行える。切削工具やワーク、治具などに対して位置決めが簡潔になる。

(4) 変質層のない良質の加工面：

放電加工特有の表面変質層が除去できるとともに、平滑面を得る。

(5) 高い安全性：

水が加工液であり、防火性に富む。また消防法による危険物の規制を受けない。

(6) 仕上げ時間の短縮：

電解仕上げに要する時間は短い。同じ面あらさを得ようとする場合、仕上げ条件で放電加工を行う必要がなく効率の良い加工条件が選べる。電極の脱着に伴う無駄時間が解消される。したがって、全工程として高能率化がなされる。

6. ま と め

電解セルを用いて、静止液通電による電解仕上げの模

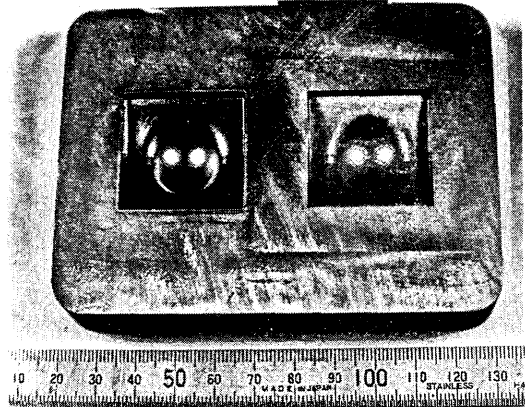


図13 複合加工システムによる放電加工(右)と電解仕上げ(左)の加工例

擬実験を行った。形彫り放電加工された面を対象とした電解仕上げ法は、静止液であってもパルス電流を用いてその休止時間に電解生成物を排除すべく、適当な手段を講ずることによって可能であることが判明した。電解仕上げを行った結果は、放電による熱影響層の無い良好な仕上げ面が得られた。

三次元形状の金型を対象とした静止液通電による電解仕上げが行える実用機を製作した。また、この試作実用機を用いて実用形状の金型に電解仕上げを行った結果、当初の目標を達成した。

電極製作・放電加工・電解仕上げの各工程を一台の一般市販の放電加工機で行う、複合加工システムを構成し、実際にそれぞれの加工を行った。その結果、加工時間の短縮、機械の持つ精度で行える高精度加工、NC放電加工機のNC装置の機能活用など利点の多い自動化システムが可能であった。

今後は、液流加工並みに面あらさの改善度を上げるとともに加工時間を短縮する検討が進められる予定である。

(1990年3月26日受理)

参 考 文 献

- 1) 増沢, 酒井: 対電極による電解仕上げ, 生産研究, 39, 6 (1987) 28
- 2) 酒井, 増沢: 放電加工面のECM仕上げ法(第3報) 静止通電による加工について, 昭和62年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集, (1987) 493
- 3) 酒井, 増沢, 伊藤, 土野: 放電加工面のECM仕上げ法(第4報) 機上での電極製作と電解仕上げ, 昭和63年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集, (1988) 171