

# 放電加工面の高品質・高精度化に関する研究 (第三報)

## —微細形状部への放電表面処理の適用—

佐野 正明・八代 浩二

### Study of High Quality and High Precision on EDMed Surface (3rdReport)

#### —Applicant of surface treatment by EDM on micro region—

Masaaki SANO and Koji YATSUSHIRO

#### 要 約

放電表面処理方法の適用について、微細形状および複雑形状への展開を試みた。そこで当県の地場産業である宝飾品への応用に向けて、実験を行った。宝飾品の金型は3次元的な複雑曲面で構成された形状であり、絞りおよび押し込み加工に適用されている。本研究では宝飾品プレス金型等への展開を図る目的から、電極には製品形状と同形状の銅電極を用い、プレス用金型鋼に対し、加工液(EDK-K)中にTi粉末を混入して放電加工を行い、宝飾品金型への放電表面処理の有効性について、加工面の成分状態の変化等から検討した。その結果、加工面全体への放電表面処理による硬化層の形成が確認され、放電表面処理の有効性が確認できた。このことにより3次元複雑形状への適用が可能となり、放電表面処理のプレス金型への有効性が確認できた。

#### 1. 緒 言

宝飾業界においては放電加工により金型を作製し、絞りプレス加工あるいは押し込みプレス加工などにより製品を製造している。しかし近年では、製品コストの削減および多品種少量化の要求が強くなり、また流行の変化の移り変わりはきわめて早いことから、製品の短納期化が強くなり求められている。

放電加工法は三次元的な複雑形状の加工において高精度加工が可能となる加工法であり、金型等の加工には有効的な手段である。しかし、灯油中でのアーク現象による熱的な溶融・除去作用を利用することから放電加工面には、加工変質層が存在するとともに、クラックの形成も見受けられる<sup>1)</sup>。

放電加工したままの状態では、金型を高品質のまま維持することは難しい。そこでこの問題の改善策として表面硬化層の形成が効果的であり、現状では、硬質クロムメッキやガス窒化処理などの処理が施されている。放電加工後にこれらの処理を行うことにより、製品コストの増加及び納期の長期化は避けられない。

そこで放電加工と同時に表面処理層の形成をすることが可能であればこれらの問題は解決される。現在、この放電表面処理についての検討は盛んに行われている。これまでの放電表面処理についての研究は、粉末を圧縮成型した電極による加工が中心であり、この加工法は、平行平板への

適用のみで、最表面に非常に硬いTiCを形成させ、打ち抜きパンチプレス金型などに利用した例<sup>2)</sup>はあるが、宝飾品金型のような自由曲面で構成されるような複雑微細形状への適用は不可能である。

本研究は宝飾品金型のような複雑な微細形状部への適用を目的とし金型用合金工具鋼(SKD11)に対し、加工液(EDF-K)中にTi粉末を混入した液中で放電加工を行い、得られた加工面について表面あらさの測定及び表面の成分状態の分析等により検討した。以下、得られた結果について報告する。

#### 2. 実験方法

実験に用いた素材はSKD11で、焼入れ-焼戻し処理を行

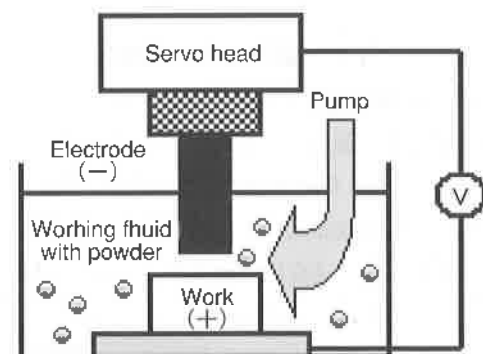


図1 実験装置の外観図

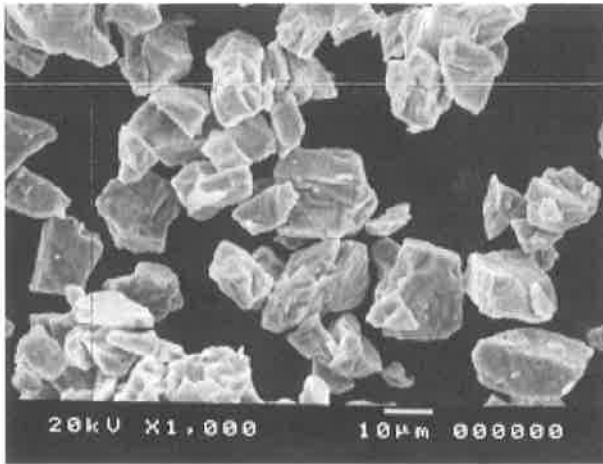


図2 Ti粉末の形状

表1 放電加工条件

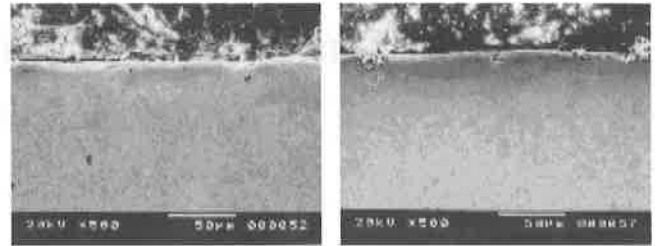
前加工	E186	Ie;4.5A, te;8 μs, to;8 μs
	E187	Ie;4.5A, te;8 μs, to;8 μs等により 1.0 μmRaまで仕上げ加工
放電表面処理加工 (10min/cm <sup>2</sup> )	E952	Ie;4.5A, te;8 μs, to;8 μs
仕上げ放電加工 (1.5min/cm <sup>2</sup> )	E950	Ie;2.0A, te;4 μs, to;4 μs

い、60HRC (700HV) の表面硬さとした。放電表面処理は、三菱電機(株)製放電加工機 (V25F/G35) を用い、試作した簡易加工槽中 (図1) にTi粉末を混入して行った。電極は銅を用い、揺動加工およびジャンプ機能を付加して加工を行った。なお、加工液中に混入したTi粉末は図2に示すように粒径φ10~20 μmの形状であり、加工液中に一定割合 (20g/l) を混入して行った。加工中はポンプにより液を循環・攪拌させ、極間への粉末の供給を十分に行い、電極の極性をマイナス (正極性) として実験を行った。更に本実験では、放電表面処理後に表面あらしの改善及び放電表面処理層の安定化のために仕上げ加工を行った。

### 3. 結果および考察

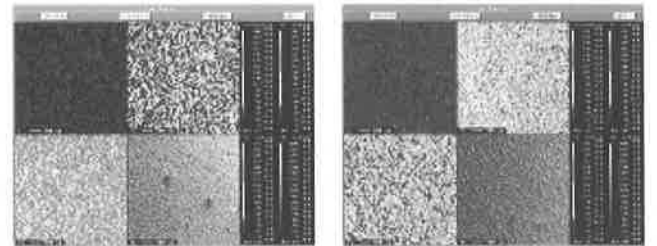
#### 3-1 加工面状態の観察

図3にTi粉末を混入した放電加工面 (以後、放電表面処理面と称す)、およびその面に仕上げ加工を施した試験片断面におけるSEM観察結果を示す。(a)に放電表面処理を示すが、最表面には通常放電加工面と同様に放電加工変質層が形成されており、その直下においてはピンホールの存在も確認できる。更に放電表面処理後に仕上げ加工を行った場合 (b) では、表面の凹凸はやや減少し、ピンホール



(a) 放電表面処理 (b) 放電表面処理+仕上げ加工

図3 SEMによる断面観察



(a) 放電表面処理 (b) 放電表面処理+仕上げ加工

図4 EPMAによる表面分析

表2 表面あらしおよび硬さの変化

加工形態	表面あらし μm Ra	硬さ HV (10gf)	Ti成分 Wt%
前加工	1.00	800	0.0
放電表面処理加工	1.33	2948	36.2
仕上げ放電加工	0.94	1740	28.6

の存在も少なくなった。

また同試験片についてEPMAによる分析を行った結果を図4に示す。(a)の放電表面処理の場合、Ti成分は加工面全体に高い割合で形成されていることが観察される。しかし表面状態は粒状の突起物が多く観察され、表面あらしを悪くしているものと思われる。更に放電表面処理後に仕上げ加工を行った (b) では、最表面をわずかに溶融除去加工しているため、放電表面処理時に形成された粒状の突起物は減少し、非常に滑らかな面となった。

同試験片について表2に表面あらし、硬さおよびEPMAによるTi成分の割合変化を示す。放電表面処理面の表面あらしは前加工時に1.00 μmRaであったが1.33 μmRaと増加した。しかしその後の仕上げ加工により表面あらしは0.94 μmRaと向上した。これは放電表面処理で最表面におけるTiの再凝固過程による付着物の生成から、表面あらしは大きくなり<sup>4)5)</sup>、この表面に仕上げ加工を行った場合、表面は再び溶融加工され表面あらしが改善されたものと考えられる。

また硬さについては、通常放電加工の場合、800HV程度であったが、放電表面処理を施した場合、3000HV程度の

高い硬さが得られた。さらに仕上げ放電加工をこの面に行くと、約1800HVまで低下した。しかし、一般に金型鋼(SKD61)へ放電加工を行ったときの表面硬さは800HV程度<sup>6)</sup>であるが、この結果からも本処理では高い硬化層が形成しているものと考えられる。通常放電加工面に比べれば、非常に硬い層が形成されていることが明らかとなった。このときのTi成分量の変化は放電表面処理により36%程度形成されていたが、仕上げ加工を行うことにより、28%程度まで減少した。

図5にX線回折による分析結果を示す。(a)に通常放電加工面を(b)に放電表面処理面を、(c)に放電表面処理後に仕上げ加工を行った面をそれぞれ示す。放電加工の場合 $\alpha$  Feの他に放電加工時の急熱-急冷作用により形成された $\gamma$  Feの存在が確認される。また放電表面処理を行うと、 $\alpha$  Fe、 $\gamma$  Feの他に新たにTiCの回折線ピークが観察される。このことから表面硬化層の形成はTiCの存在によるものであることが確認できる。TiCの形成は放電加工時の加工油中の燃焼生成カーボンと加工液中に混入したTi粉末の溶融物が反応し、形成されたものである。更に、この面に仕上げ加工を行うとTiCの回折線ピークは減少した。

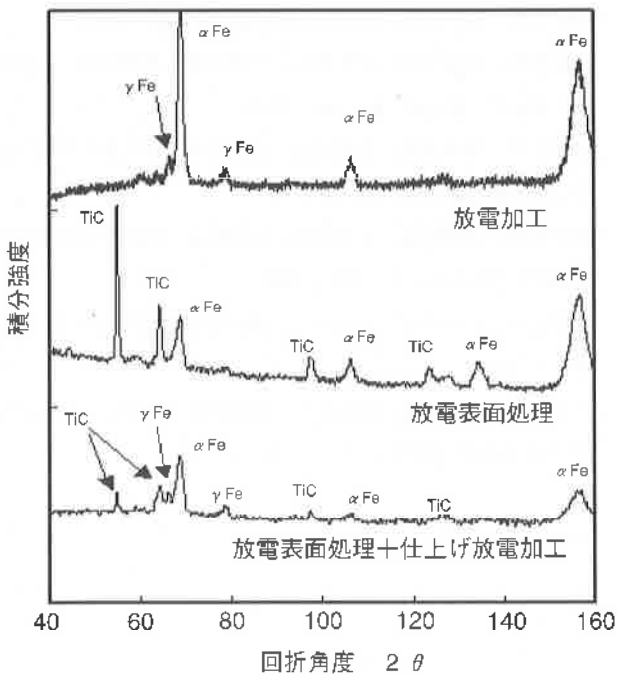


図5 X線回折図形の観察

### 3-2 極間距離の測定

放電加工は電極形状からの転写精度が高く、高精度に加工できる加工法であり、放電加工における極間距離は電気条件により大きく左右される。特に通常加工液中での仕上げ条件では極間距離は著しく小さくなり数 $\mu$ m程度である<sup>7)</sup>。また加工液中に粉末を混入した場合、極間距離に大

きく影響を及ぼし、加工精度を阻害することも予想される。そこで、粉末混入による極間距離への影響を調べるために、一定のサーボ電圧のもとで極間距離の測定を行った。極間距離は粉末や加工屑のない状態で電極と加工物が電気的に接触する位置から、安定した加工状態の位置までの変位と定義し、図6に示すように主軸にダイヤルゲージを接触させ測定を行った。

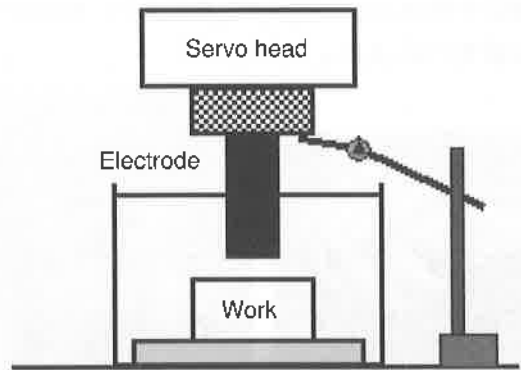


図6 極間距離の測定方法

表3 極間距離の測定結果

加工内容	通常加工	放電表面処理	仕上げ加工
エネルギー条件	E952	E952 (with Ti)	E950
極間距離 ( $\mu$ m)	15	39	10

測定結果を表3に示す。Ti粉末を混入しない通常加工液による実験では、極間距離は15 $\mu$ mであった。これに対し、同一の電気条件でTi粉末を混入した加工液の場合では、39 $\mu$ mと2.6倍も極間距離は増大した。これは絶縁物質である加工油で極間を覆われた状態から導電性の金属粉末が混入することにより、極間における電気伝導度は大きくなる。このことから放電加工における放電発生位置つまり絶縁破壊位置が高い位置にシフトされるために、極間距離は増大するものと考えられる。

### 3-3 金型の加工

本放電表面処理を、複雑な自由曲面で構成されている宝飾ブローチ品の金型への適用を図った。図7に加工用電極を示し、図8は図7の電極により得られた加工面を示す。電極はマシニングセンターで加工し、バフ研磨まで行ったものを使用した。電極形状は15×25mm程度の大きさで、材質は銅である。ダイ金型となる材質は一般的にプレス金型として多く用いられる焼入れ-焼戻し処理を行った金型鋼SKD11( $\phi$ 50mm)を用い、加工深さ3mmまで加工を行い作製した。この加工での放電表面処理に要する時間は

10min/cm<sup>2</sup>とし、本実験の場合、約15分間行った。また、仕上げ加工時間は1.5min/cm<sup>2</sup>とし、約2分程度で行った。図9に得られたダイ金型の蛍光X線による各成分における面分析結果を示す。(b)にTi成分についての結果を示すが、加工面全体にTi成分の検出が認められ、これまでの結果から一様な硬化層の形成が得られる事がわかった。

また作製されたダイ金型により押込みプレス加工を行った(図10(a))。また、この金型を使用して成形したブローチ製品を図10(b)に示すが、形状並びに加工面ともに良好な結果が得られた。



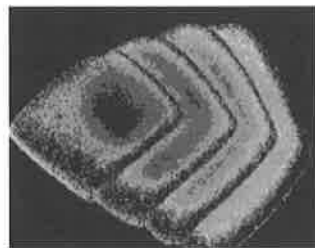
図7 放電加工用電極



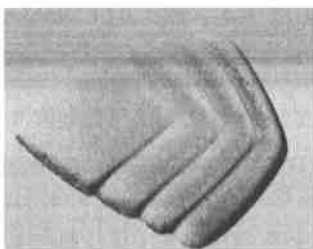
図8 ダイ金型へ適用した加工結果



(a) Image



(b) Ti



(c) Fe



(d) Cu

図9 蛍光X線による分析結果



(a) プレス加工



(b) ブローチ製品

図10 プレス加工の様子及び加工製品

#### 4. 結 言

当県の地場産業である宝飾品金型への効果的な放電表面処理を目的として、プレス用金型鋼に対し実験を行い、その有効性について検討を行った。得られた結果を要約すると、以下のことが明らかとなった。

- (1) Ti粉末を混入しない通常加工液での極間距離は15μmであったが、これに対し同一の電気条件でTi粉末を混入した加工液の場合では、39μmと2.6倍も極間距離は増大した。
- (2) 複雑形状の組み合わせで構成される宝飾品金型へ放電表面処理を適用したところ、複雑形状の細部にまで高い硬化層を持つ加工面が形成されていた。また本処理により作製された金型で、黄銅材料で絞り加工を行ったところ、良好な加工面が得られた。

本研究を遂行するにあたり、電極の加工およびプレス加工実験において、多大なご協力をいただいた(有)ヤマコシ 代表取締役 山越一洋氏に感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 日原政彦, 藤原和徳, 向山芳世, 緒方勲: 精密工学会誌, 55, 1869, (1989)
- 2) 向山芳世, 日原政彦: 電気加工学会誌, 24, 24, (1992)
- 3) 後藤昭弘, 真柄卓司, 今井祥人, 三宅英孝, 齊藤長男, 毛利尚武: 電気加工学会誌, 31, 26, (1997)
- 4) 佐野正明, 橋田鉄雄, 毛利尚武, 古谷克司: 電気加工学会全国大会1999講演論文集, 73, (1999)
- 5) 佐野正明, 橋田鉄雄, 毛利尚武, 古谷克司: 2000年度精密工学会春期大会講演論文集, 251, (2000)
- 6) 佐野正明, 日原政彦, 八代浩二, 向山芳世: 電気加工学会誌, 31, 1 (1997)
- 7) 毛利尚武, 齊藤長男, 成宮久喜, 河津秀俊, 尾崎好夫, 小林和彦, 恒川好樹: 電気加工学会誌, 25, 47 (1991)