

# 放電加工面の高品質・高精度化に関する研究 (第1報)

## — 粉末混入仕上げ加工面の高品質化 —

佐野 正明・日原 政彦\*・八代 浩二

### Study of High Quality and High Precision on EDMed Surface (1st Report)

#### — High Quality on Finishing EDMed Surface Included Powder —

Masaaki SANO, Masahiko HIHARA and Koji YATSUSHIRO

#### 要 約

灯油系加工液中にTi粉末を混入し、形彫り放電加工を行い、得られた加工面の表面性状について検討した。放電加工面には $\alpha$  Fe、 $\gamma$  Feの他にTiCの成分の形成が認められた。深さ方向の微細領域について残留応力分布およびX線回折図形の変化等について検討を行った結果、TiCの回折線ピークの存在領域は $8\mu\text{m}$ 程度であり、引張応力の存在領域とはほぼ一致した。また、EDSによる分析結果から加工開始5分後でTi成分は検出され、その成分量は加工時間の増加に伴い増大する傾向がみられた。

#### 1. 緒 言

各種の金型の製作において、放電加工法は複雑形状および高硬度材料の加工を効率よく高精度に行うことが可能であり、今後も発展が期待できる加工法である。放電加工の利用・応用分野の拡大に伴い、放電加工面の製品品質、信頼性および寿命などについて十分な把握と保証が必要とされるようになってきた。しかし、放電加工は液中でのアーク現象による熱的溶融・除去作用を利用することから、加工面には変質層や加工欠陥が存在し、加工面品質に大きな影響を与える<sup>1)2)</sup>。例えばダイカスト金型等の操業過程において加熱-冷却の繰り返しが付加される場合、放電加工時に形成された加工変質層や欠陥が金型の溶損およびクラックの発生等の要因となる。これはダイカスト製品の品質や精度を損なうばかりでなく金型の操業寿命を著しく低下させる原因となる。各種の金型の製作における放電加工面の改質には、ガス窒化処理やショットピーニング処理およびPVD・CVD等の表面処理による有効性がすでに報告されているが<sup>3)4)</sup>、抜本的な改善策は見いだせてはいない。

また金型製作の工程短縮化・省力化を目的として、放電加工による表面改質手法が様々な方面から検討が行われている<sup>5)6)7)</sup>。金型製作においてこれらの改質手法が適用可能であれば、加工面性状の向上や磨き工程の短縮化に有効な手段となる。しかしこれらの改質層についての重要な因子である放電加工時に形成された変質層内におけるクラ

ック、ピンホール、残留応力、硬さおよび組成成分などについては未だ明確にされていない。

そこで、形彫り放電加工面の高品質な表面創成を目的として、加工液(EDF-K)中にTi粉末を混入し、熱間金型用合金工具鋼(SKD61)表面に放電加工を行い、得られた加工面の硬さ、表面あらさ、残留応力および成分分析等から改質層の諸特性について検討を行った。

#### 2. 実験方法

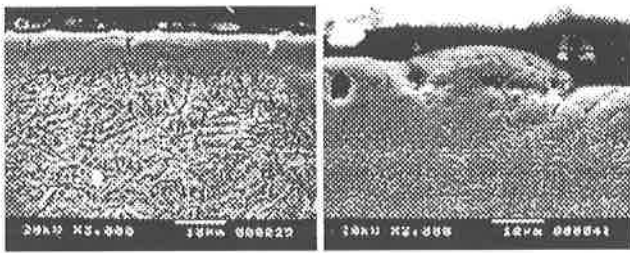
実験は三菱電機(株)製放電加工機(V25F/G35)を用い、簡易加工槽中に粉末を混入して行った。SKD61試験片は、焼入れ(1030℃-80min, ガス冷却)-焼戻し(600℃-240min, 空冷, 600℃-240min, 空冷, 2段階)処理を行い、48HRC(490HV)の表面硬さとした。電極は直径10mmの銅を用いた。また、加工液中に混入したTi粉末は粒径 $\phi 10\sim 20\mu\text{m}$ であり、加工液中に一定割合(20g/l)を混入した。粉末混入放電加工は十分に加工液を循環・攪拌し、電極の極性をマイナス(正極性)とし、実験値 $i_p: 2\text{A}$ ,  $t_p: 4\mu\text{s}$ ,  $t_w: 4\mu\text{s}$ の条件で15分間行った。加工面の評価は表面あらさおよび硬さ測定を、また加工液中に混入した粉末混入量および粉末成分による試験片の表面組成変化の影響について、X線回折分析により行った。

#### 3. 結果および考察

##### 3-1 断面組織観察について

図1はSEMによる断面観察結果を示す。(a)は通常加工

\* 現ウツダホルム(株)



(a) No powder (b) Ti powder

図1 粉末混入放電加工面の断面SEM観察

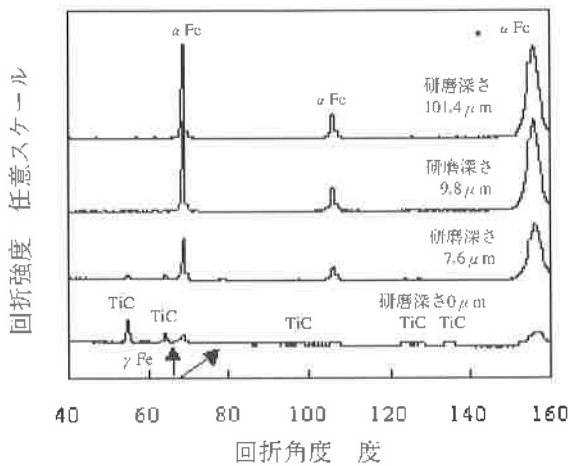


図2 X線回折図形の変化

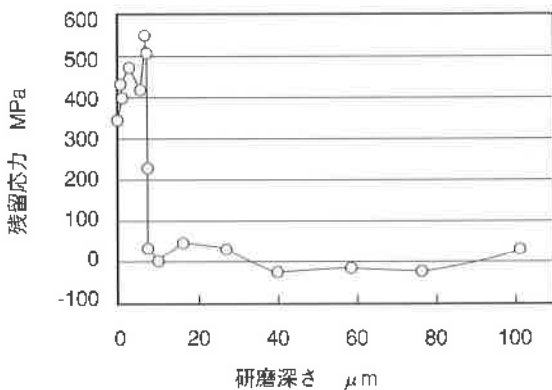


図3 粉末混入放電加工面の残留応力分布

油中で放電加工を、(b)は同一加工条件で加工油中にTi粉末を混入した試験片について各々示す。(a)の通常加工油中の場合、最表面の変質層厚さは $8\mu\text{m}$ 程度であり比較的均一に形成され、マイクロクラックもわずかに形成されている。一方(b)に示すTi粉末混入の場合、最表面に不均一な厚さ( $8\sim 12\mu\text{m}$ 程度)の変質層が形成され、同時にピンホールやクラックの形成も認められた。なお(b)の試験片表面にはTiCの硬質層が形成されており<sup>3)</sup>、加工の進行とともにTiC形成量は増大するが、ピンホールやクラックの存在割合も多く観察された。

ピンホールの発生は加工油の気化・爆発時に生成した $\text{CO}_2$ と $\text{H}_2$ と思われるガスがTi粉末の試験片への熔融・附着過

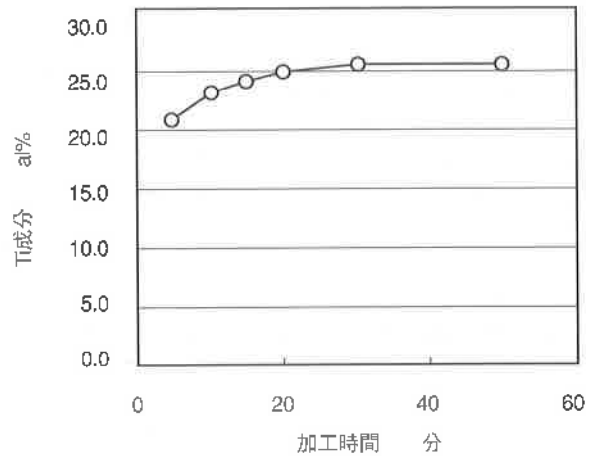


図4 加工時間に伴うTi成分の変化

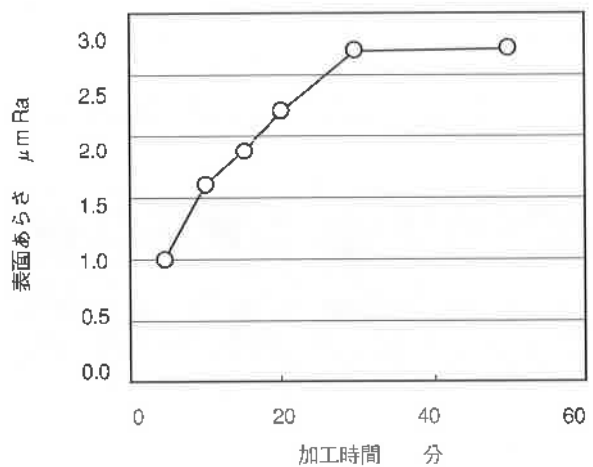


図5 加工時間に伴う表面あらさの変化

程で一時的に表面層に残留した後、放出されたためと思われる。クラックの発生は表面に形成されるTiCの熱膨張率( $7.61 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ )<sup>3)</sup>とFeの熱膨張率( $11.0\sim 16.6 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ )<sup>3)</sup>の差が放電の熱衝撃により、温度勾配の高い最表面で、クラックの発生を促進させたためと考えられる。これらの発生が表面あらさの改善を阻害する要因と推察される。

試験片表面のTiC層と生地との境界近傍部のX線回折による分析結果を図2に示し、残留応力分布を図3に示す。表面からの深さ方向の分析および残留応力測定は電解研磨(過塩素酸:酢酸=1:4)により、表面を除去しながらその都度行った。X線回折による分析において最表面には加工油中の燃焼生成カーボンと熔融Tiが反応し、TiC層が形成され、試験片に移行したTiCの回折線の他に $\alpha\text{Fe}$ の回折線およびわずかな $\gamma\text{Fe}$ の回折線が観察された。研磨量の増加に伴い、TiCの回折線は減少し、逆に $\alpha\text{Fe}$ 回折線は増加する傾向を示した。研磨深さが $7.6\mu\text{m}$ を越えた領域でTiCの回折線および $\gamma\text{Fe}$ の回折線は消失した。更に研磨量が増大すると、 $\alpha\text{Fe}$ 回折線は増加する傾向を示した。この $7.6\mu\text{m}$ 程度までのTiCの存在深さはSEMによる変質層厚さとは

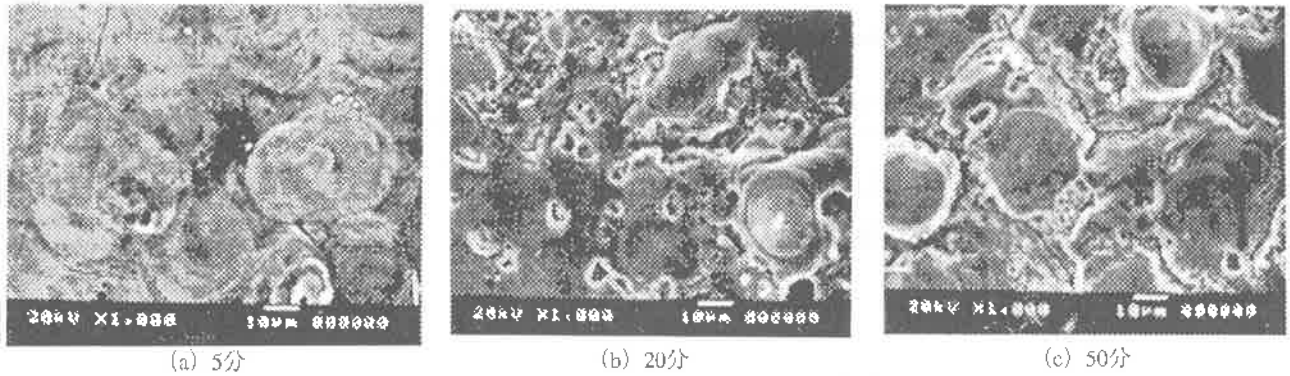


図6 粉末混入放電加工面表面のSEM観察

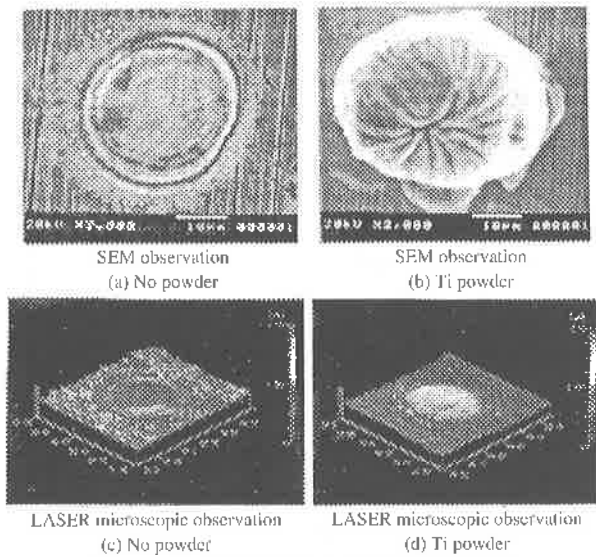


図7 粉末混入による単発放電痕形状

ば一致する。この時の残留応力は最表面で350MPa程度の引張応力が存在し、内部においてやや不連続な形態を示すが、これは膜厚の不均一さが残留応力に反映しているものと思われる。また最表面での引張応力の低下はマイクロクラックの発生に伴う応力解放であると考えられる。最表面から $8\mu\text{m}$ 程度までは引張応力として推移するが、研磨量の増加に伴い、引張応力は減少し、約 $10\mu\text{m}$ からは0となった。この時の研磨深さは前述のX線回折図形の観察におけるTiCの回折線が存在した領域とよく一致しており、不均一な変質層の存在領域では、TiCおよびFcが混在し、内部においては傾斜合金組成となっているものと推察される。

### 3-2 加工時間の影響

加工時間による影響を調べるため、加工液中に混入する粉末は進行の促進速度を速めるために、混入割合を40g/l一定とし、前述の加工条件で実験を行った。図4に各試験片表面のEDSによる分析結果を示す。加工開始5分後でTi成分は20at%以上検出された。加工時間の増加に伴い表面のTi成分は多くなるが、加工時間20分以降は一定の値に収れんする傾向となった。

図5は前述と同様な各試験片における表面あらさの変化

を示す。加工開始5分後の表面あらさは $1.0\mu\text{mRa}$ 程度であったのに対し、加工時間の増加に伴い、表面あらさは増加し、加工開始20分後で $2.0\mu\text{mRa}$ と初期に比べ約2倍増加した。更に、加工時間30分では、表面あらさは約 $2.7\mu\text{mRa}$ となったが、それ以上の加工時間では、表面あらさの変化はほとんど認められなかった。

図6は図5における加工時の表面SEM観察結果を示す。加工開始5分後の加工面は滑らかな表面状態であるが、クラックおよびピンホールの存在が認められた。20分後の加工面では、クラックおよびピンホールの存在は多数個観察され、放電時の再付着が認められ著しい段差が存在した。さらに、50分後の加工面では20分後に比べ、ピンホールが放電痕の周りに集中し、その領域にはクラックの進展が著しいことが観察された。このように加工時間の増加に伴い加工面はクラックおよび気泡を伴う起伏の激しい状態へと変化するため、ある程度の加工時間で終了することが望ましいことが明らかとなった。

図7は加工液中にTi粉末混入による放電加工後の単発放電痕の走査型電子顕微鏡 (SEM) およびレーザー顕微鏡の観察結果を示す。図中の (a), (c) は粉末混入無し放電加工、(b), (d) はTi粉末混入放電加工の場合を各々示す。通常放電加工の場合、単発放電痕は直径 $35\mu\text{m}$ 程度の均一な円錐状を呈しており、周囲に盛り上がり部を形成し、その最大高さは $2\mu\text{m}$ 程度であった。

これに対しTi粉末を混入した場合、直径 $35\sim 45\mu\text{m}$ 程度の楕円形状を呈し、中心部にわずかなくぼみが見られるが、全体的に $5\mu\text{m}$ 程度隆起した放電痕が観察された。Ti粉末を介した放電の発生は、試験片側では、母材の溶融除去現象よりも加工液中のTi粉末の溶融付着現象が強く影響することから、盛り上がり部が形成され、この繰り返しにより堆積加工となると考えられる。

## 4. おわりに

形彫り放電加工面における高品質な表面創成を目的とし、加工液 (EDF-K) 中にTi粉末を混入し放電加工を行い、

得られた加工面について、表面あらさ、表面の成分分析および残留応力等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) X線回折による分析において、放電改質層内はTiCおよびFeが混在し、内部方向でTiC回折線は徐々に減少し、研磨深さ8 $\mu$ m程度で消失した。また、改質層中の残留応力は引張が存在し、内部において引張応力のピークを示し、やがて0へと取れんした。この領域はTiCの存在領域と一致していた。
- 2) 表面のEDSによる分析結果においてTi粉末を混入することにより、通常の灯油中での加工に認められるFe,Cの他にTi成分の存在が明らかとなり、その存在割合は加工時間の増加に伴い増大したが、20分以上の加工領域では一定値に取れんすることが明らかとなった。
- 3) 放電加工面にはクラックの存在が認められたが、Ti粉末を混入することにより、起伏の激しい放電痕の形成が観察され、表面あらさは増大した。

#### 参考文献

- 1) 日原政彦, 藤原和徳, 向山芳世, 緒方勲; ダイカスト金型鋼に関する研究(第一報), 精密工学会誌, Vol.55, No.10 (1989) 1869.
- 2) 向山芳世, 日原政彦; 熱疲労に基因する放電加工面品質の研究(第一報), 電気加工学会誌, Vol.24, No.48 (1992) 24.
- 3) 佐野正明, 日原政彦, 八代浩二, 萩原茂, 萩原義人, 向山芳世; 金型鋼における仕上げ放電加工面の熱疲労特性(第四報), 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集(1995) 971.
- 4) 佐野正明, 日原政彦, 八代浩二, 向山芳世; 複合処理した放電加工面の熱疲労挙動, 電気加工学会誌, Vol.31, No.68 (1997) 1.
- 5) 毛利尚武, 齋藤長男, 成宮久喜, 河津秀俊, 尾崎好雄, 小林和彦, 恒川好樹; 粉末混入加工液による放電仕上げ加工, 電気加工学会誌, Vol.25, No.49 (1990) 47.
- 6) 毛利尚武, 齋藤長男, 恒川好樹, 棚山英教, 宮川昭彦; 放電加工による表面処理-複合構造体電極法-, 精密工学会誌, Vol.59, No. (1993) 625.
- 7) 毛利尚武, 齋藤長男, 恒川好樹, 棚山英教, 宮川昭彦; 放電加工による表面処理-複合構造体電極法-, 精密工学会誌, Vol.59, No. (1993) 625.
- 8) 後藤昭弘, 真柄卓司, 今井祥人, 三宅英孝, 齋藤長男, 毛利尚武; 放電加工による硬質被膜の形成, 電気加工学会誌, Vol.31, No.68 (1997) 31.
- 9) 佐野正明, 橋田鉄雄, 山田博之; 高品質放電加工面の形成に関する研究(第三報), 山梨県工技セ研究報告(2000), No.14 (2000) 109
- 10) セラミックコーティング, 竹田博光編(1988) 67.
- 11) 熱物性ハンドブック, 日本熱物性学会編(1990) 22~25.