

高品質放電加工面の形成に関する研究 (第2報)

—各種粉末混入した加工面性状の検討—

佐野 正明・橘田 鉄雄

Formation of High Quality Surface by EDM (2nd Report)

—Study on Surface Integrity of powder added EDM—

Masaaki SANO and Tetsuo KITTA

要 約

複雑形状の部品や金型等の加工にとって放電加工法は、加工面の改質や鏡面化手法の確立が、加工面精度の向上、磨き工程の短縮および仕上げ無し金型の製作等に有効な手段となることから、各種の基礎的な検討が行われている。本研究は仕上げ放電加工面における高品質化を目的として、灯油系加工液中にAlN, Si, Ti, TiN等の各組成を持った粉末を添加し、形彫り放電加工を行い、加工面に形成される改質層の特性を検討した。灯油系加工液中にSi, AlNおよびSi+AlN粉末を添加した場合、粉末無添加加工液に比べ表面あらさは低下したが、TiおよびTiN粉末の添加では、逆に大きくなった。表面層のX線回折による分析では、TiおよびTiN粉末を加工液中に添加した場合、表面にTiC化合物の形成が認められた。

1. 緒 言

各種の金型加工において放電加工法は、3次元複雑形状および高硬度材料の加工を高効率・高精度に行うことが可能であり、今後も発展が期待される分野である。放電加工は、液中アーク現象による熱的溶融・除去作用を利用するため、金型製作に用いた場合に加工面に形成される変質層や加工欠陥の存在が加工面品質に与える影響⁽¹⁾⁽²⁾が大きい。

よって、放電加工における加工欠陥(クラック等)の発生防止、加工面の改質および加工面精度の向上が図れるならば、複雑形状を持つ部品や金型等の信頼性は向上するとともに、磨き工程の短縮化が達成され、付加価値の高い加工手段になると考えられる。

放電加工後の金型表面の安定化には、ガス窒化処理を施し、表面に窒素の拡散層を形成させることが熱疲労特性の向上に有効であることは報告⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾されている。

一方、導電性あるいは半導電性粉末を添加した加工液による放電加工後の加工面は、鏡面化の達成および耐食性・耐摩耗性が向上する事から、これらの改質技術⁽⁶⁾は一部実用化されている。

本研究は放電加工変質層の改善を図り、改質面の高機能性発現のために灯油中に各種の粉末を添加し、放電加工面品質に及ぼす添加粉末組成や放電加工条件の影響を検討した。

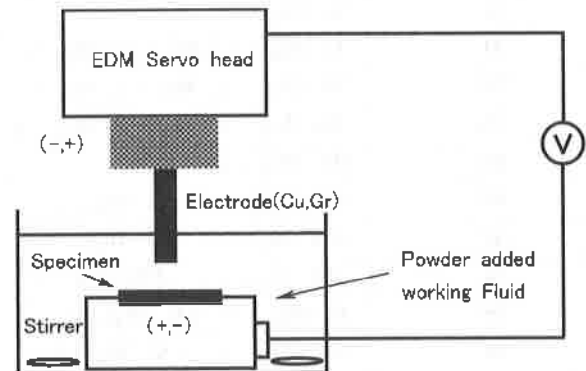


Fig. 1 Schematic view of testing apparatus

2. 実験方法

実験は三菱電機社製放電加工機V25F/G35を用いた。試験片は熱間金型用合金工具鋼(SKD61)および冷間金型用合金工具鋼(SKD11)を用い、ともに焼入れ-焼戻し処理を行い、48HRCの硬さとした。電極は直径10mmの銅およびグラファイト(Fig.1)を用いた。

また、加工液は灯油系加工液中に各種粉末(Si, AlN, Ti, TiN, BN)をそれぞれ単独および複数種類を一定割合で添加した。放電加工中は各液とも2個のスターラーにより加工液を循環・攪拌し、Table 1 およびTable 2 に示す加工条件で放電加工を行った。加工面の評価は表面あらさの測定および加工液中の粉末成分の試験片への移行形態等について行った。

Table 1 Working condition of EDM

Polarity	Straight and Reverse
Discharge Current	Ip: 12A
Pulse Duration	τ_{on} : 20 μ s
Duty Factor	50% (τ_{off} : 20 μ s)
Machining Fluid	EDF-K
Electorode	Cu, Gr (ϕ 10mm)
Work (Specimen)	SKD61, SKD11
Working Time	60min

Table 2 Added powder particle size and composition.

Added Powder Particle Size	
AlN	ϕ 0.5~2.0 μ m
Si	ϕ 5.0~10 μ m
Ti	ϕ 10~20 μ m
Ti'	ϕ 50~70 μ m
TiN	ϕ 1.0~2.0 μ m
BN	ϕ 1.0~2.0 μ m
Powder Composition (In working fluid)	
AN	AlN (20 g/l)
SI	Si (20 g/l)
TI	Ti (20 g/l, 40 g/l, 60 g/l)
TI'	Ti' (20 g/l, 40 g/l, 60 g/l)
TN	TiN (20 g/l, 40 g/l, 60 g/l)
BN	BN (20 g/l)
AS	AlN (10 g/l) + Si (10 g/l)
AT	AlN (10 g/l) + Ti (10 g/l)
AI	AlN (10 g/l) + TiN (10 g/l)
TS	Ti (10 g/l) + Si (10 g/l)
tS	TiN (10 g/l) + Si (10 g/l)

3. 結果および考察

3-1 表面あらさ

Fig. 2 は銅電極の極性（電極極性が-の時が正極性，電極極性が+の時が逆極性）と粉末添加の違いによる試験片の表面あらさを示す。無添加加工液による，表面あらさは正極性で0.5 μ mRa，逆極性で3.1 μ mRaであるが，両極性とも加工液にAlN (20 g/l) 粉末，Si (20 g/l) 粉末を単独で添加した時，またAlN (10 g/l) + Si (10 g/l) 粉末を複合添加した時の表面あらさはわずかに小さくなった。一方，Ti (20 g/l) 粉末，TiN (20 g/l) 粉末およびBN (20 g/l) 粉末を単独に添加した時の表面あらさは無添加の時に比べ大きくなったが，正極性の場合これらの粉末にAlN粉末あるいはSi粉末を複合添加した時 (Ti (10 g/l) + Si (10 g/l)，TiN (10 g/l) + Si (10 g/l)，Ti (10 g/l) + AlN (10 g/l))，TiN (10

g/l) + AlN (10 g/l)) の表面あらさは小さくなる傾向を示した。粉末成分の違いが表面あらさの変化に与える影響はAlN, Si等の半導体粉末の場合，放電の分散頻度が高くなり，全体的に放電が行われることが表面あらさを向上させる要因になっている。

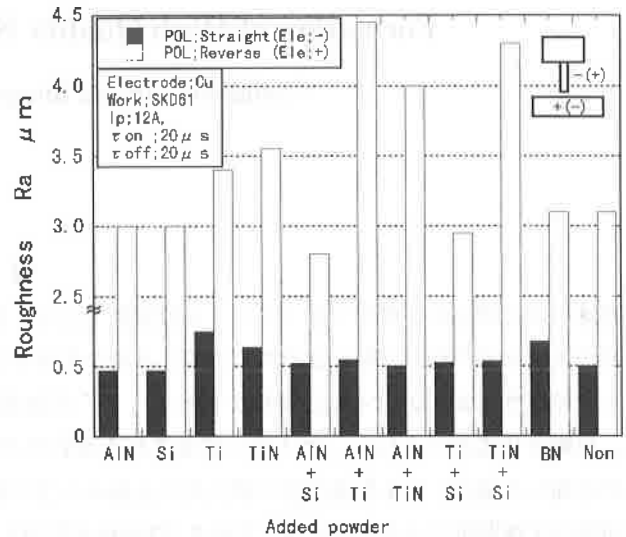


Fig. 2 Surface roughness for various added powder after EDMed surface.

3-2 X線回折図形の観察

Fig. 3 は加工液中にSi (20 g/l) 粉末およびTi (20 g/l) 粉末を単独で添加し，銅電極を用い，正極性で加工した時の試験片表面における，X線回折図形の観察結果を示す。無添加加工液 (No added powder) による放電加工面は α Fe, γ Fe及びFe-C系の各回折線が認められるが，Si粉末を添加した場合，無添加加工液に比べ， γ Fe回折線の積分強度比率は増加した。これは，粉末を添加する事に

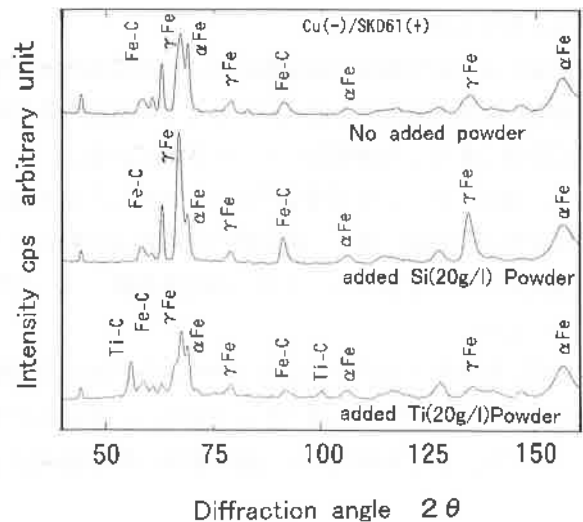


Fig. 3 Comparison of in X-ray diffraction profiles for each worked surface.

より、極間における抵抗は小さくなることから、極間距離は増大する。このため放電時の酸化・爆発による極間圧力の低下に伴い溶融部の飛散除去効果は減少し、表面に溶融再凝固層が厚く形成されること、またSi元素の素材中への固溶による影響と考えられる。

また、Ti粉末を添加した場合には、Fe-Cの回折線の積分強度比率は低下し、新たにTi-C系の回折線が認められた。これは加工液中に存在するTi粉末成分が放電加工時のスパークにより、灯油中の分解カーボンと結合し、試験片側の溶融再凝固層中に移行し、化合物を形成したためと考えられる。なおこれらは、グラファイト電極においても同様な傾向が確認された。一方、粒径の大きいTi粉末添加加工液による試験片では両電極において、Ti-C系の回折線は認められなかった。このことから粉末粒径の違いにより加工面に移行する粉末成分量は異なることが認められる。

次に、添加粉末のTi成分が試験片側にどの程度移行しているかを確認するために、蛍光X線分析装置を用いて最表面近傍のTi濃度の定量分析を行った結果がFig. 4である。

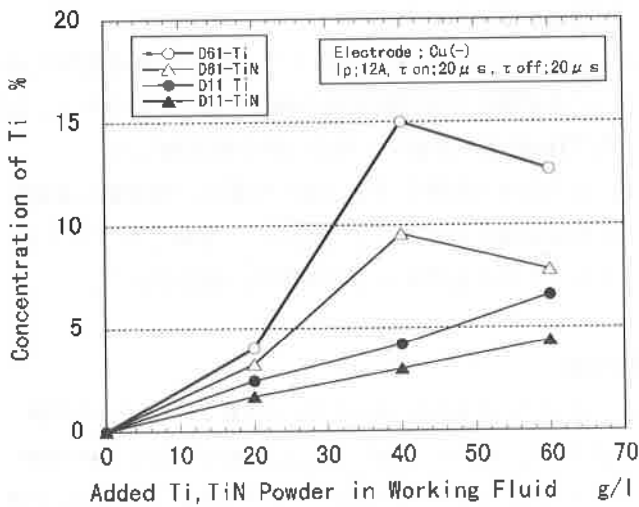


Fig. 4 Relationship between concentration of Ti on working surface with added Ti, TiN powder in working fluid.

加工液中にTi (20 g/l) およびTiN (20 g/l) 粉末を添加し、銅電極を用い正極性で加工した場合、試験片SKD61では、Ti濃度は2~3%程度であった。更に、添加量をTi (40 g/l) およびTiN (40 g/l) に増加させると、Ti濃度はそれぞれ15%および9%となり、Ti粉末添加量の増加に伴い、試験片側へのTi成分の移行は増加する傾向が明かとなった。また、試験片SKD11についてもほぼ同様な傾向が得られたが、表面のTi濃度はSKD61に比べ、数%程度低下していた。このことから素材の成分組成濃度の違いにより形成するTiC成分量は異なることが推定できる。Fig. 5はFig. 4で分析した試験片の表面あらさを示す

が、粉末添加量の増加に伴い表面あらさは大きくなった。

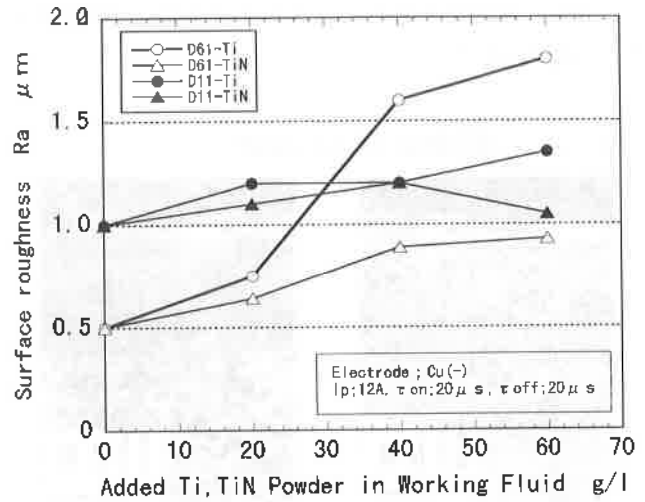


Fig. 5 Relationship between surface roughness with added Ti, TiN powder in working fluid.

3-3 硬さ分布測定

Fig. 6に無添加加工液による試験片と加工液中に各粉末(Si (20 g/l), Ti (20 g/l) およびTiN (20 g/l))を単独に添加し、銅電極を用い正極性で加工した試験片表面における硬さおよび断面における硬さ分布を示す。表面を測定荷重50gfにより、5個所の硬さを測定した。無添加加工液の場合の表面硬さは860HV、Si粉末添加は890HV程度であったのに対し、加工液中にTi及びTiN粉末を添加した試験片は、1000HV程度の高い硬さが得られた。しかし、断面における硬さ測定は、深さ10μm以上の領域で各粉末成分の移行に起因した硬さへの影響は認められなかった。

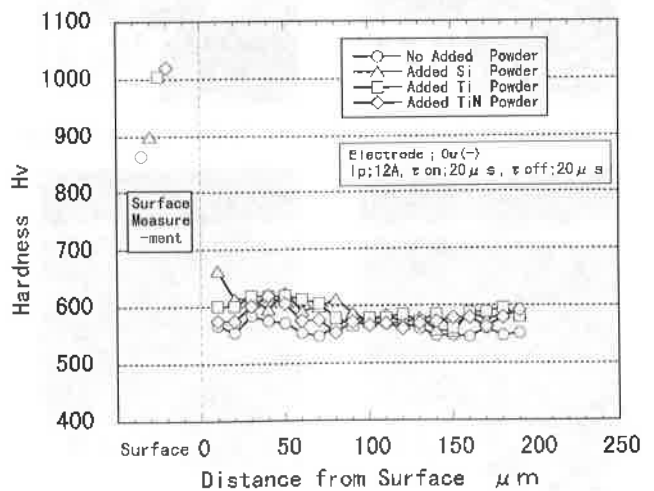


Fig. 6 Hardness distribution curves for each powder added specimen.

このことから、加工液中にTiおよびTiN粉末を添加した

場合、加工液中のTi成分の移行に伴い、試験片表面にTiCの形成に起因した硬さの増加が認められたものと考えられる。なお、硬化層は表面直下の10 μm 以下程度の領域であることが認められた。

3-4 金属顕微鏡による断面観察

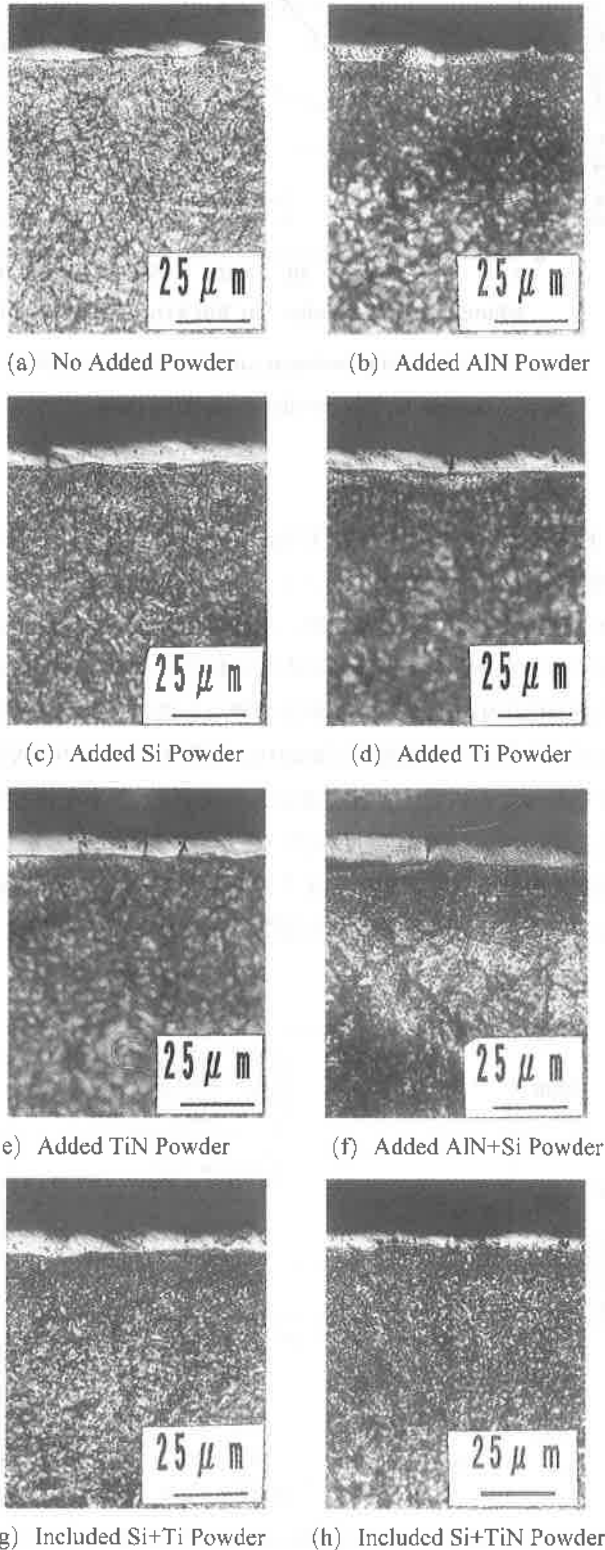


Fig. 7 Microscopic observation for each specimen.

Fig. 7 は銅電極を用い正極性で加工した各試験片にお

ける金属顕微鏡観察結果を示す。粉末無添加加工液による、放電加工変質層厚さは3~5 μm 程度で不均一に形成されているが、加工液中に各種粉末を添加した場合、放電加工変質層は約10 μm と厚く、均一に形成されることが明確となった。しかし、いずれの試験片においてもクラックの存在が観察された。一方、逆極性の場合には粉末添加の有無に関わらず厚さが不均一な放電加工変質層が局部的に観察された。

4. 結 言

形彫り放電加工の加工液中に各種粉末を添加し、表面層の変化を検討したが、得られた結果を要約すると以下のとおりである。

- 1) 加工液中にAlN, Si粉末を単独あるいは複合添加した場合の表面あらさは低下した。またTi, TiNを単独で添加した場合の表面あらさは大きくなったが、これらの粉末にAlN粉末あるいはSi粉末を複合添加した場合、表面あらさは向上した。
- 2) X線回折図形の観察において、加工液中にTi粉末を添加した場合は、試験片表面にTiCの存在を示唆する回折線が認められた。
- 3) 加工液中にSi粉末を添加した試験片は無添加加工液による試験片とほぼ同程度の硬さであったのに対し、Ti及びTiN粉末を添加した場合の硬さが増加した。
- 4) 加工液中に各種粉末を添加した場合、放電加工変質層は無添加加工液に比べ、厚く均一に形成されているが、クラックの存在がすべての試験片に観察された。

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, 1869 (1989)
- 2) 向山芳世, 日原政彦; 熱疲労に起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, 24 (1992)
- 3) 日原政彦, 佐野正明, 八代浩二, 萩原茂, 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(第二報), 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 909 (1994)
- 4) 日原政彦, 佐野正明, 八代浩二, 萩原茂, 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(第三報), 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 267 (1994)
- 5) 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
- 6) 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, 1 (1997)
- 7) 齊藤長男, 毛利尚武; 大面積放電加工における仕上げ面あらさの向上, 精密工学会誌, Vol.57, No.6, 954 (1991)