

放電加工面の高品質・高精度化に関する研究 (第二報)

—粉末混入放電加工面への表面処理の影響—

佐野 正明・八代 浩二

Study of High Quality and High Precision on EDMed Surface (2nd Report)

—Effect of surface treatment on EDMed surface included powder—

Masaaki SANO and Koji YATSUSHIRO

要 約

ダイカスト等の熱間用金型へ効果的な放電表面処理を適用するため、Ti粉末を混入した加工液中で成形放電加工した試験片 (TiEDM) およびその面にガス窒化処理を施した試験片 (TiEDM+G.N.) について表面あらさ、硬さおよび熱疲労特性についての検討を行った。その結果、放電改質面にガス窒化処理を施した試験片 (TiEDM+G.N.) の残留応力は引張から圧縮へと変化し、放電改質面 (TiEDM) に比べ、熱疲労特性の向上が認められ、クラックの発生は抑制された。

1. 緒 言

ダイカスト等の金型製造において放電加工法は有効な加工法であるが、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面には、引張応力および加工変質層が存在する¹⁾²⁾。このため長期間の操業状態においては、金型を高品質のまま維持させることはクラックの発生および成長により難しい。放電加工面の改質には圧縮応力の付与および表面硬化層の形成が効果的であり、特にガス窒化処理およびショットピーニング処理を複合的に施すことにより、熱疲労特性が向上する事は知られている³⁾⁴⁾。

また近年、製品の短納期化およびコスト削減等の問題から、金型製造においては放電加工と同時に表面処理層の形成を目的とする放電表面処理についての検討が盛んに研究されている。これまでの放電表面処理は、最表面に非常に硬いTiCを形成させ、各種の金型および切削工具等に適用した場合、摩擦・摩耗特性が向上したという報告⁵⁾がある。しかしながら、最表面の成分および表面の応力状態は明確にされていない。また、熱間用金型等への適用についての重要な要素である熱疲労特性に関する評価は、現在でもあまり行われていない。

本研究はダイカスト金型の寿命向上を図る目的から、熱間金型用合金工具鋼 (SKD61) の対し、加工液 (EDF-K) 中にTi粉末を混入した加工液中で放電加工後、更にガス窒化処理を行った。本処理の効果を確認するため、加工面の性状が熱疲労特性におよぼす影響について残留応力の測定等により検討した。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SKD61で、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。なお実験に供した試験片は加工後、熱疲労試験を行うため直径58mm, 厚さ20mmの円筒形状に作製した。

放電加工は、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にTi粉末を混入して行った。電極は同形状の銅を用い、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粉末は粒径 ϕ 10~20 μ 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) とし実験を行った。更にTi粉末混入放電加工後に表面性状の向上を目的とし、二次放電処理を行った。放電加工後の表面処理はガス窒化処理を施した。放電加工条件およびガス窒化処理条件を表1に示す。熱疲労試験は図1に示す装置により加熱 (570℃, 160s保持) -冷却 (100℃, 15s保持) の熱サイクルを1サイクルとして15000サイクルまで行った。なお、熱疲

表1 放電加工条件およびガス窒化処理条件

Ti粉末混入放電加工	Ie;4.5A, te;8 μ s, to;8 μ s
放電二次処理	Ie;2.0A, te;4 μ s, to;4 μ s
ガス窒化処理	530℃-6hr, gas cooling

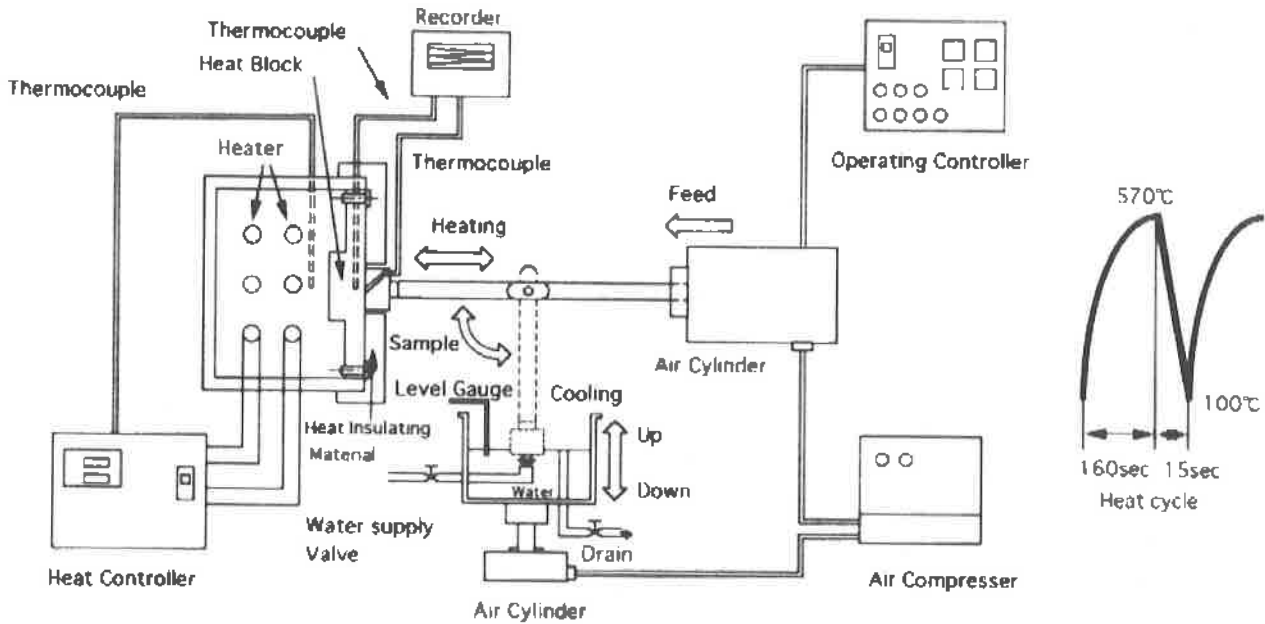


図1 熱疲労試験装置の概観図

表2 残留応力およびX線回折測定条件

測定条件	残留応力	X線回折
回折角度	α Fe (211)	α Fe (211)
Target-Filter	Cr-V	Cr-V
管電圧	30kV	40kV
管電流	8mA	30mA
応力定数	-297MPa	

疲労試験後の各加工面の評価は各サイクルごとの表面における残留応力の測定、X線回折図形の観察およびSEM観察から行った。なお、X線回折による測定条件を表2に示す。また試験終了後、これらの試験片を切断し、表面からのクラックの成長状況、変質層近傍の組織・組成変化等から熱疲労挙動について検討を行った。

3. 結果および考察

3-1 表面あらさ

表3にTi粉末を混入した放電加工面、2次放電処理面およびその面にガス窒化処理を施した各試験片の表面あらさおよび硬さの変化を示す。Ti粉末を混入した加工液中での放電加工面の表面あらさは $1.33 \mu\text{m Ra}$ であったが、2次放電処理により表面あらさは向上した。これは最表面におけるTiの再凝固過程による付着物の生成から、表面あらさは大きくなるが¹⁰⁾、この表面に2次放電処理を行うと、表面は再溶解加工され表面あらさが改善されたものと考えられる。(以後、加工液中にTi粉末を混入し放電加工を行い、更に2次放電処理を行った加工面を放電改質面とする。)

表3 表面あらさおよび硬さの変化

加工形態	表面あらさ $\mu\text{m Ra}$	硬さ HV (10gf)
EDM (with Ti powder)	1.33	2948
EDM+2ndEDM	0.94	1740
EDM+2ndEDM+G.N.	1.03	1408

放電改質面にガス窒化処理を施した場合、金属へのガス反応に起因する処理であることから、表面あらさの変化はほとんど見られなかった。また硬さについては放電改質面にTiCが形成¹¹⁾され、3000HV程度の硬さが得られたが、2次放電処理により約1800HVと低下した。更にガス窒化処理を施した処理面では、1400HVと更に低下する傾向を示した。これは窒化処理温度が530°Cであるため改質層中の成分の軟化による減少と考えられる。

一般に金型鋼 (SKD61) へガス窒化処理を行ったときの表面硬さは800HV程度¹²⁾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。

3-2 断面組織観察

図2は放電改質面 (TiEDM) およびその面にガス窒化処理を施した試験片 (TiEDM+G.N.) 断面のSEMによる観察結果を示す。放電改質面は最表面にTiCからなる改質層が観察される。改質層内にはマイクロクラックおよびピンホールも観察される。放電改質面にガス窒化処理を施すと、前述の改質面の形成と同時にその直下において窒素の拡散層が約 $60 \mu\text{m}$ 程度観察された (図中の黒い部分)。

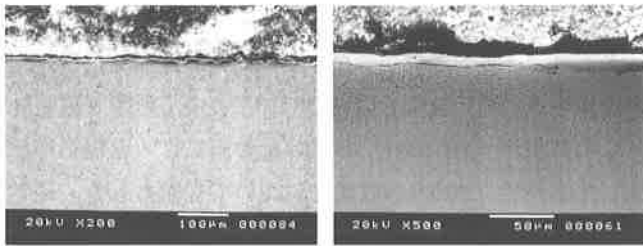


図 2

3-3 残留応力の測定と表面層の解析

図 3 は放電改質面 (TiEDM) およびその面にガス窒化処理を施した試験片 (TiEDM+G.N.) における研磨深さと残留応力との関係を示し、図 4 は同試験片の X 線回折による結果を示す。

放電改質面は、最表面に引張の残留応力が存在し、表面直下約 $10\mu\text{m}$ 付近でその応力値が最大値を示す分布形態となった。最表面での応力の低下は放電加工時に形成されたマイクロクラックによる応力開放と考えられる。

放電改質面にガス窒化処理を施した試験片も同様に最表面での応力の低下傾向が見られるが、こちらは圧縮残留応力が形成され、表面から約 $10\mu\text{m}$ 程度までの領域で不連続な応力分布形態をとり、 $-600\sim-700\text{MPa}$ 程度の応力値を示した。その後は緩やかに減少し、最表面から $60\mu\text{m}$ 程度の研磨深さで 0 へと取れんした。

また同試験片の X 線回折による分析から放電改質面には TiC、 αFe および γFe の各回折線が観察され、表面からの研磨量の増加に伴い TiC および γFe の回折線が減少する傾向を示し、研磨深さが $8.4\mu\text{m}$ を越える領域において消滅した。これに対し αFe の回折線は増大した。

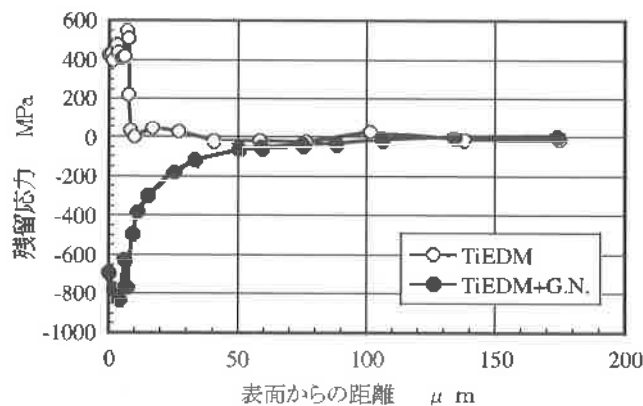


図 3 断面における残留応力分布

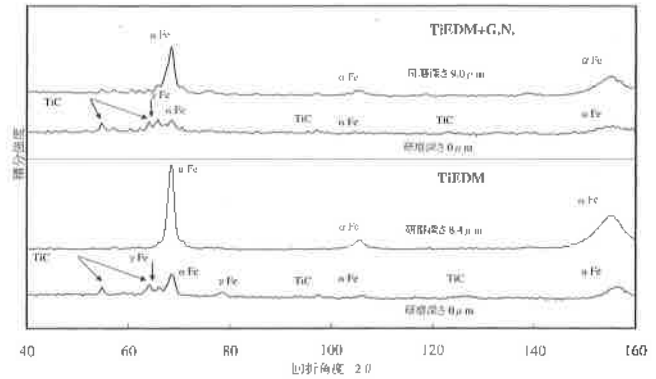


図 4 X 線回折図形の変化

また放電改質面にガス窒化処理を施した試験片の場合もほぼ同様な回折線プロファイルを示した。通常放電加工面へガス窒化処理を施した場合、 Fe_{2-3}N の回折線が観察されるが¹⁰⁾、本実験での放電改質面への処理の場合、窒素化合物の形成は認められなかった。

3-4 熱疲労試験

図 5 に 15000 サイクルの熱疲労試験終了後の最表面における X 線回折の分析結果を示す。放電改質面およびその面へガス窒化処理を施した試験片は、ともに試験前に観察された αFe 、 γFe および TiC の回折線が 15000 cycle 終了後も残存していた。この他に Fe_3O_4 回折線も観察されたが、これは熱疲労試験に伴う酸化によるものである。

図 6 は各試験片の熱疲労試験サイクル数と残留応力との関係を示す。また通常の放電加工面 (EDM) および放電加工面にショットピーニング処理とガス窒化処理を複合的に施した試験片についても併せて示す。放電改質面は引張残留応力を示し、改質面に繰り返しの熱サイクルが負荷されると、最表面の応力はクラックの発生・成長に伴い、低サイクル領域 (10 サイクル以下) において急激に開放され低下した。一方、放電改質面にガス窒化処理を施した試験片は、熱疲労試験前の応力が圧縮応力を示した。

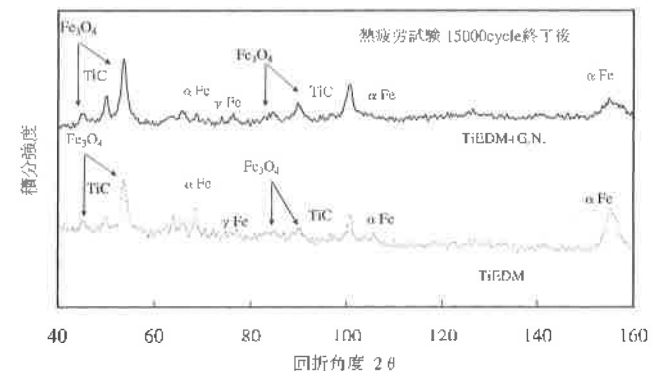


図 5 X 線回折図形の変化

4. 結 言

ダイカスト等の熱間用金型へ効果的な放電表面改質処理を適用するためTi粉末を混入した加工液中で形彫り放電加工した試験片 (TiEDM) およびその面にガス窒化処理を施した試験片 (TiEDM+G.N.) について表面あらさ, 硬さおよび熱疲労特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粉末混入放電加工面に二次放電処理を行うと, 表面あらさの向上が認められた. また表面硬さは, 通常の放電加工に認められた変質層硬さに比べ増加した.
- 2) 放電改質面にガス窒化処理を施した場合, 最表面における成分の変化は処理前に比べ, 明確な違いが認められなかった. しかし残留応力は引張から圧縮へと変化した.
- 3) 放電改質面にガス窒化処理を施すと, クラックの発生は抑制され, 熱疲労特性の向上が認められた.

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) 佐野正明, 日原政彦, 八代浩二, 萩原茂, 萩原義人, 向山芳世: 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集971, (1995)
- 4) 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)
- 5) 後藤昭弘, 真柄卓司, 今井祥人, 三宅英孝, 斉藤長男, 毛利尚武: 電気加工学会誌, 31, 26, (1997)
- 6) 佐野正明, 橘田鉄雄, 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)
- 7) 佐野正明, 橘田鉄雄, 毛利尚武, 古谷克司: 2000年度精密工学会春季大会講演論文集, 251, (2000)
- 8) 佐野正明, 日原政彦, 八代浩二: 電気加工学会全国大会2000講演論文集, 87, (2000)
- 9) 八代浩二, 藪内智, 日原政彦, 岡田勝蔵, 倉元眞實: 日本非破壊検査協会, 45, 12, 839 (1998)
- 10) 日原政彦, 佐野正明, 八代浩二, 萩原茂, 向山芳世: 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集909, (1994).

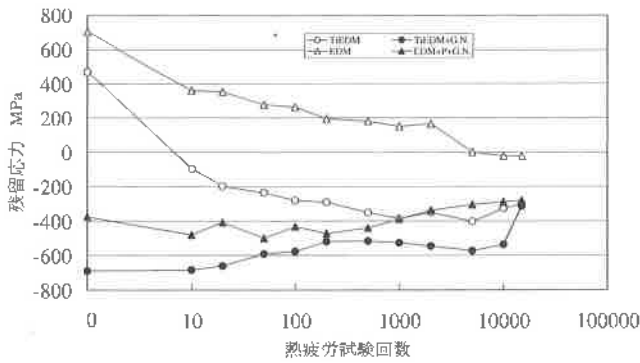


図6 熱疲労試験に伴う残留応力の変化

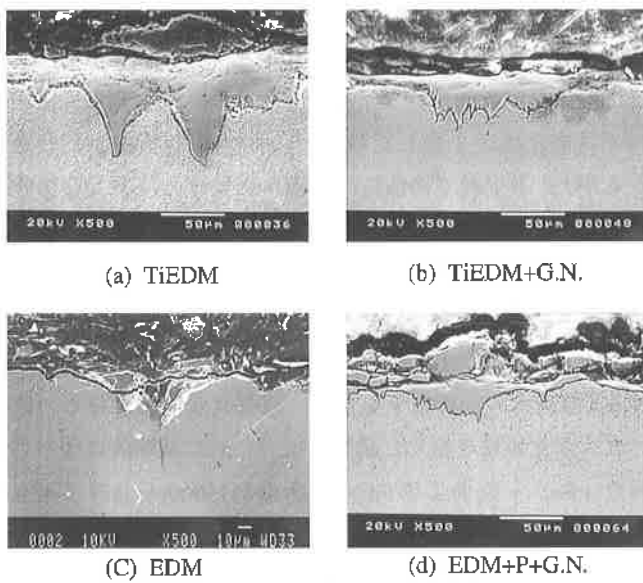


図7

サイクル数の増加に伴い圧縮応力値は緩やかに減少し, 500サイクル以上において, -500MPa 程度の圧縮応力で推移した. また通常放電加工面 (EDM) の場合も同図に示すが, 放電改質面 (TiEDM) と比較すると初期の応力値は異なり, 熱疲労に伴う応力低下は放電改質面に比べ緩やかであった. これはクラックの発生とその後の進展形態の違いに起因する現象と考えられる.

図7は15000cycleの熱疲労試験終了後の各試験片断面におけるSEMによる観察結果を示す. (a)に示す放電改質面には開口部の大きいクラックが観察され, (c)の通常放電加工面とはほぼ同様なクラック形態となった. また放電改質面にガス窒化処理を施した場合 (b) およびの通常放電加工面にガス窒化処理とショットピーニング処理を複合的に施した場合 (d) ではクラックの成長は抑制される傾向となった.