

## 電子ビームによる金型の表面改質に関する研究 (第2報)

— 複合改質面の熱疲労特性について —

萩原義人・佐野正明・古屋雅章・星野昌子・岡田晃<sup>\*1</sup>

## Study on Treating Surface of Molding Die by Electron Beam Irradiation

## (2nd Report)

— Thermal Fatigue Characteristic by Multiple Surface Treatments —

Yoshihito HAGIHARA, Masaaki SANNO, Masaaki FURUYA, Shoko HOSHINO and Akira OKADA<sup>\*1</sup>

## 要 約

近年、金型の多様化に伴い、さらなる表面処理法の開発が求められている。そこで本研究では、表面被膜と拡散層の複合形成による金型表面の性能向上を目的として、放電表面処理と電子ビーム照射を施した試験片に対して熱疲労試験を実施し、各種評価を行った。

その結果、初期サイクルにおける表面への酸化物生成の抑制効果や熱疲労試験実施時のクラック発生の抑制効果が認められたことから、放電表面処理と電子ビーム照射処理という複合表面改質法の金型寿命向上への有効性を確認することができた。

## 1. 緒 言

金型に要求される性能は様々であることから、適用される表面処理も多岐にわたっている。主な表面処理法としては、拡散処理法や被覆処理法などがあるが、その効果は一長一短である<sup>1)2)</sup>。そのため、ダイカスト金型のさらなる性能向上を目的とした新たな表面改質法が要望されている。

第1報では、硬質被膜形成用の電極を用いた放電表面処理(EDC)<sup>3)</sup>法と電子ビーム(EB)照射法による複合表面改質法について検討を行い、傾斜性を持った硬化層の形成を実現することができた<sup>4)</sup>。

そこで本研究では、複合改質面の実用評価を目的として、熱疲労試験を実施し各種評価を行ったので報告する。

## 2. 実験方法

## 2-1 試験片素材

実験には、第1報と同じくダイカスト金型材料として広く活用されている熱間金型用合金工具鋼(SKD61)改良材を用いた。試験片素材の組成を表1に示す。

## 2-2 試験片形状

実験に用いた試験片を図1に示す。熱疲労試験片には、φ58×20mmの円柱形状を用いた。

表1 試験片組成(重量%)

	硬さ	C	Cr	Mo	V	Si	Mn
SKD61	50HRC	0.3	5.0	2.3	0.6	0.2	0.5

## 2-3 加工条件および処理条件

実験には金型の形状加工を想定した放電加工(EDM)を施した後、硬質皮膜形成用の放電表面処理(EDC)、拡散層形成用の電子ビーム(EB)照射を施した。

放電加工は、電極に銅(φ60mm)を用い、灯油加工液中で、電極極性を(+)とし、表2の条件で試験片全面に加工を行った。実験に用いた形彫放電加工機は、三菱電機(株)製V25F-G35である。

また、放電表面処理は、図2に示すようなTiC(60×60×10mm)の電極を用いて加工を行った。実験に用いた加工機は、三菱電機(株)製EDSCAN8Eである。

電子ビーム照射は、表3に示す条件で加工を行った。実験に用いた電子ビーム加工機は、三菱電機(株)製e-Flushである。

## 2-4 熱疲労試験

熱疲労試験は、アルミニウムダイカスト金型の操業状態に類似した加熱-冷却の熱サイクル条件を想定して行った。熱サイクル条件は、加熱(570℃, 160S保持)-冷却(100℃, 15S保持)を1サイクルとして、最終

\*1 岡山大学

15000 サイクルまで試験を行った。

また、熱疲労試験片の評価は、0, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000, 10000, 15000 サイクルにおける表面観察, X線回折分析, 残留応力測定ならびにサイクル終了後の断面観察により行った。評価位置は、端面から 15 mm の位置を中心とする幅 5 mm の範囲内とした。

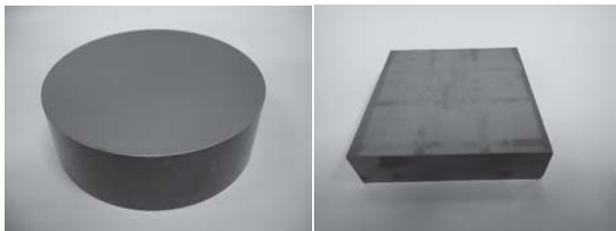


図1 熱疲労試験片

図2 TiC 電極

表2 放電加工条件

放電電流 $i_c$ (A)	パルス幅 $t_e$ ( $\mu$ s)	休止時間 $t_o$ ( $\mu$ s)
2.5	5.4	5.4

表3 電子ビーム照射条件

ビーム電流値 (mA)	走査線間隔 (mm)	送り速度 (mm/min)
0.8	0.04	2000

### 3. 結果および考察

#### 3-1 サイクルごとの SEM 観察結果

図3にサイクルごとの試験片表面の走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察結果を示す。観察には、低真空型走査電子顕微鏡 (日本電子 (株) 製 JSM-5310LV) を用いた。

サイクル数の増加とともに、初期の平滑面が徐々にではあるが、凹凸形状を有する形態へと変化していることが確認できた。この凹凸形状は、表面への酸化物の形成が大きな要因と考えられたため、X線回折により表面の組成を調査することとした。また熱疲労試験 15,000 サイクル終了時において、表面の SEM 観察からは明確なクラックの発生状況などは確認できなかった。

#### 3-2 サイクルごとの X 線回折分析

図4にサイクルごとの X 線回折分析結果を示す。分析には、X 線回折装置 ((株) リガク製 SmartLab) を用いた。

初期 (0 サイクル) の表面には、EDC 時に形成された電極成分の TiC が検出され、10,000 サイクルま

で徐々にピーク強度は低下するものの表面に TiC が存在することが確認できた。また初期サイクルで認められなかった FeO のピークが、200 サイクル近辺で検出されたことから、初期サイクルにおける表面への酸化物の生成が抑制されていることが確認できた。この要因としては、EB 照射の影響により表面に耐腐食性の高いアモルファス層が形成されたためだと考えられる<sup>5)</sup>。

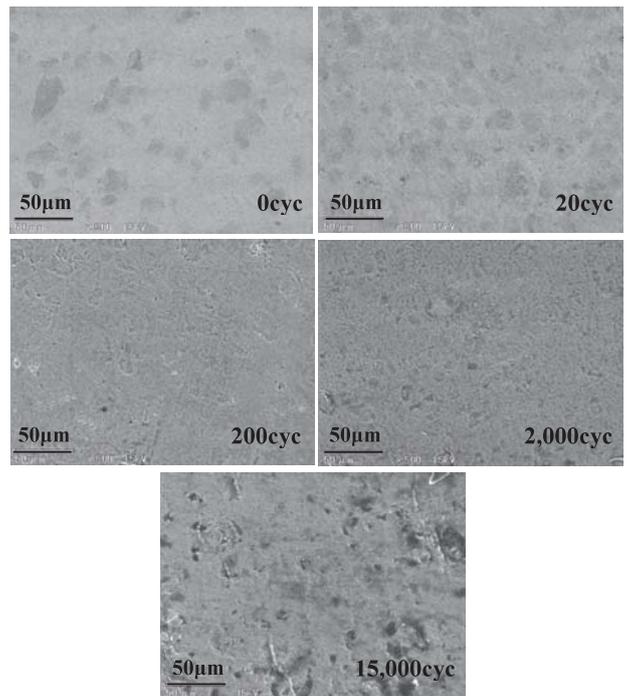


図3 SEM 観察結果

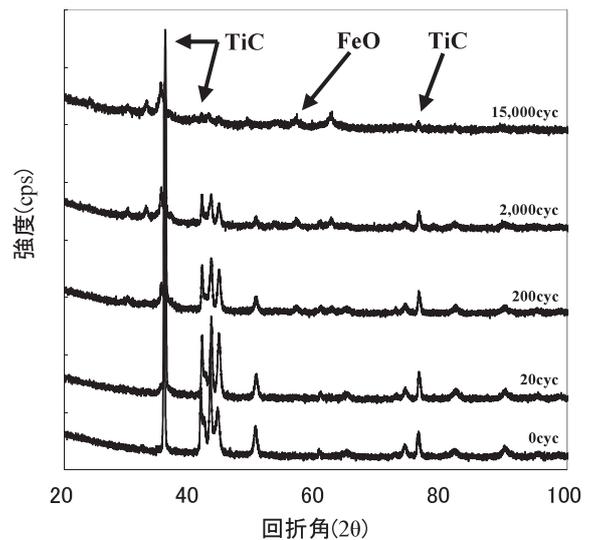


図4 X線回折分析結果

### 3-3 サイクルごとの残留応力測定結果

図 5 にサイクルごとの残留応力測定結果を示す。分析には、微小部 X 線応力測定装置（株）リガク製 AutoMATE）を用いた。

測定結果より、約 200～500 サイクルまでは応力値の変化が少なく、クラックの発生や酸化物の生成が抑制されていることを見込まれる結果、つまり 3-2 の X 線回折結果と同様の傾向を示す結果であった。

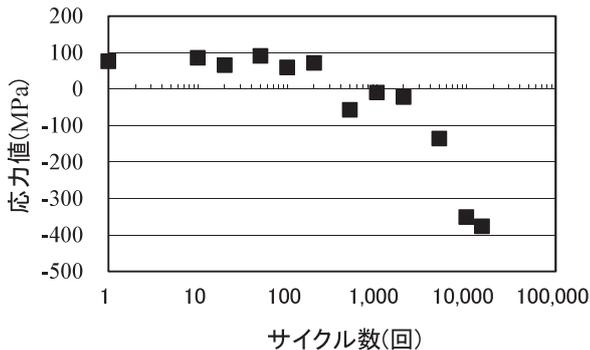


図 5 各試験片の残留応力測定結果

### 3-4 熱疲労試験実施後の断面観察結果

図 6 に熱疲労試験実施後の試験片断面の観察結果を示す。測定には、金属顕微鏡（株）ニコン製 ECLIPSE MA200）を用いた。

観察断面には、開口部の狭い微小なクラックが発生していることが確認できた。また、測定領域内のクラックの発生状況を詳しく調査したところ、最大クラック長さ 47  $\mu\text{m}$ 、クラック数が 23 本という結果であった。この結果を各報告<sup>6)</sup>内容と比べると、クラックの発生ならびに進展が少ない結果であることが確認できた。この要因としては、硬質成分である TiC の表面および内部への形成によるクラック発生防止効果と EB 照射による耐食性向上、つまり微細クラックの進展抑制効果のためだと考えられる。

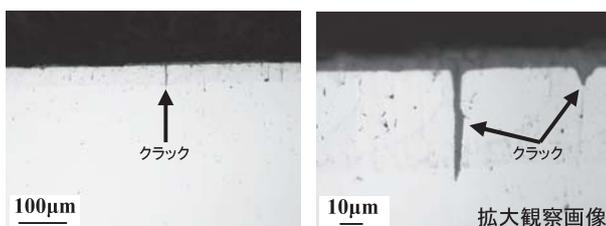


図 6 熱疲労試験実施後の断面観察結果

## 4. 結 言

金型表面の性能向上を目的として、放電表面処理および電子ビーム照射を施した試験片に対して熱疲労試験を実施し、各種評価を行った結果、以下のことが確認できた。

- 1) 各サイクルごとに SEM 観察を行ったところ、サイクル数の増加とともに、徐々に凹凸形状を有する形態に変化することが確認できた。
- 2) 各サイクルごとの X 線回折分析結果より、初期サイクルにおける表面への酸化物の生成が抑制されていることが確認できた。
- 3) 各サイクルごとの残留応力測定より、約 200～500 サイクルまでは表面状態の変化が少ないことが推測できる結果を得ることができた。
- 4) 熱疲労試験実施後の試験片断面を観察したところ、開口部の狭い微小なクラックが発生していることが確認できた。

以上のことから、放電表面処理と電子ビーム照射処理という複合表面改質法の金型寿命向上への有効性を確認することができた。

## 参考文献

- 1) 河田一喜:最近の表面処理技術の動向, 電気製鋼, 76 (4), pp.269-277 (2005)
- 2) 河田一喜:ダイカスト金型表面処理の最新動向, 素形材, Vol.49, No.2, pp.11-17 (2008)
- 3) 毛呂俊夫, 後藤昭弘, 齋藤長男, 毛利尚武:放電表面処理 (EDC) 皮膜の形成メカニズム, 型技術, 15 (8), p.140 (2000)
- 4) 萩原義人, 佐野正明, 古屋雅章, 星野昌子:電子ビームによる金型の表面改質に関する研究, 山梨県工業技術センター研究報告, No.29, pp.33-37 (2015)
- 5) 虞戦波, 桜井豊久, 森岡雅男:電子ビーム PIKA 面加工装置による高能率仕上げ加工—大面積電子ビームを用いた金型仕上げ技術—, 電気加工学会誌, Vol.38, p.49 (2004)
- 6) 萩原義人, 佐野正明, 岡田晃:電子ビーム照射した金型鋼の諸特性について, 電気加工学会誌, Vol.47, pp.94-95 (2013)