

汎用鉄鋼材料の小ロット金型への適用に関する研究 (第3報)

—電子ビームの汎用鉄鋼材料への適用効果—

佐野正明・萩原義人・星野昌子・八代浩二

Study on Applying of General Use Steel Using Minimum Production

Molding Mold (3rd Report)

— Application Effect to General Use Steel by Electron Beam Irradiation —

Masaaki SANO, Yoshihito HAGIHARA, Shoko HOSHINO and Koji YATSUSHIRO

要 約

汎用鉄鋼を金型材料に適用した際の金型表面への表面処理や溶接技術の活用による金型寿命の向上や再利用法の検討を目的に、平成 23 年度から各種評価を実施している。本報では、金型材料に汎用鉄鋼材料を適用した場合の電子ビーム照射による金型の表面あらさの改善および金型寿命の向上を目的として、各種検討を行った。

その結果、汎用鉄鋼材料（機械構造用合金鋼）に電子ビーム照射を施すことで、表面あらさの向上と低サイクル領域の熱疲労試験時における熱間金型用合金工具鋼と同様の残留応力移行形態を示すことが確認できた。

1. 緒 言

近年、製品の生産形態が大量生産から多品種少量生産へ移行するなか、レアメタルの価格高騰などに伴う金型のコスト高が製造現場を圧迫している。そのため製造現場では、小ロット生産用の安価な金型の開発が求められているが、安価な金型を用いた際の性能低下は避けられないのが現状である。

そこで本研究では、金型材料に汎用鉄鋼材料を適用した際の、金型への表面処理や溶接技術の効果的な利用を図ることで、金型寿命を向上させることを目的に平成 23 年度より各種検討を実施している。

第 1 報では、金型寿命の向上を目的として、金型表面に対して窒化処理やショットピーニング処理等、圧縮応力付与となる表面処理を施し評価を行った。その結果、合金工具鋼の 1/5～1/10 程度のショット数となる試作型や小ロット生産型に対応可能であることが確認できた¹⁾。

第 2 報では、劣化した汎用鉄鋼材料金型の再利用を目的として、肉盛溶接補修と同時に機能性表面改質層の形成について検討を行った。その結果、処理面への TiC 改質層の形成と照射回数の操作による表面硬さの均一化を確認することができた²⁾。

第 3 報となる本研究では、金型寿命の向上だけでなく、金型の表面あらさの向上も目的として、手磨き低減効果の高い電子ビーム照射の適用効果について検討を行った。

2. 実験方法

2-1 試験片素材

実験には、第 1 報と同様に機械構造用合金鋼 (SCM440, 35HRC) 改良材および熱間金型用合金工具鋼 (SKD61, 50HRC) 改良材を用いた。

2-2 試験片形状

実験に用いた各種試験片を図 1, 2 に示す。評価試験片には、20×20×10mm の角柱形状を、また熱疲労試験用試験片には、φ58mm, t=20mm の円柱形状の試験片を使用した。



図 1 評価試験片



図 2 熱疲労試験片

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、放電加工 (EDM) を行った面に対し、電子ビーム (EB) 照射を施した。

放電加工は電極に銅を用い、灯油加工液中で、電極極性を(+)とし、表 1 の条件で加工を行った。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、電子ビーム照射は、表 2 に示す条件で、評価試験片表面の中央部 (10×10mm の範囲) に加工を施した。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。

表 1 放電加工条件

放電電流 i_e (A)	放電時間 t_e (μ s)	休止時間 t_o (μ s)
2.5	5.4	5.4

表 2 電子ビーム照射条件

ビーム電流 (mA)	0.4	0.6	0.8	1.0
走査線間隔 (mm)	0.02	0.04	0.06	1.00
送り速度 (mm/min)	1000	2000	2500	3000

2-4 熱疲労試験

熱疲労試験は、第 1 報と同様に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 10000 サイクルまで試験を行った。

また、熱疲労試験片の評価は、各サイクルごとに顕微鏡による表面観察および残留応力の測定から行った。残留応力の評価位置は、端面から 15mm の位置を中心とする幅 5mm の範囲でそれぞれ 90 度方向の 4 か所からの平均値を測定値とした。

3. 結果および考察

3-1 評価試験片の結果および考察

3-1-1 表面あらしの測定

図 3 に SCM440 試験材に放電加工および電子ビーム照射を施した際の表面あらしの測定結果を示す。

放電加工面に、電子ビームを照射することで全体的に表面あらしが向上 (あらし値が低減) することが確認できた。電子ビーム照射条件ごとの数値を比較すると、大きな差異が認められなかったことから、電子ビーム照射による安定した表面あらし改善の有効性を確認することができた。また、SKD61 試験材による表面あらし測定結果を図 4 に示すが、SCM440 試験材と同様に電子ビーム照射による高い表面あらしの向上効果を認めることができた。

3-1-2 顕微鏡による観察

図 5 に SCM440 試験材の各ビーム電流ごと (走査

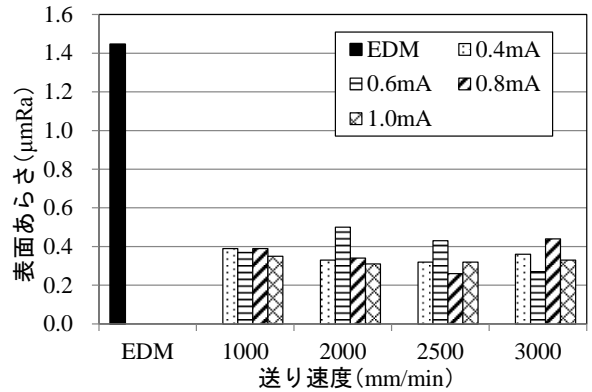


図 3 表面あらし測定結果 (SCM440)

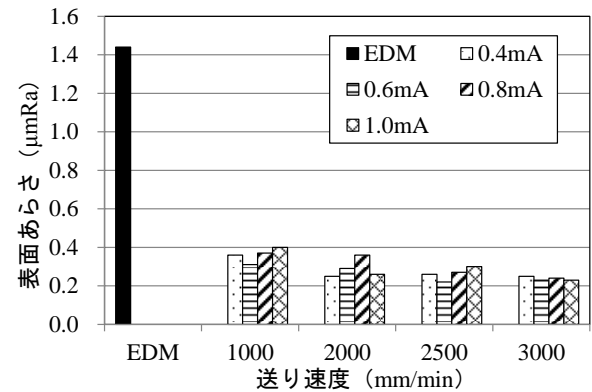


図 4 表面あらし測定結果 (SKD61)

線間隔 0.04mm, 送り速度 2000mm/min) で電子ビーム照射を施した際の走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察結果を示す。

放電加工 (EDM) 面には、放電加工に起因する大小さまざまな形状のクレータやクラックが存在するが、電子ビームを照射した面では、クレータやクラックは消失し、平滑な加工面が得られることが確認できた。また、SKD61 試験材の SEM 観察結果を図 6 に示すが、SCM440 試験材と同様の観察結果であった。この結果は、表面あらし測定結果とも同じ傾向を示し、電子ビーム照射による放電加工面の平滑化を再確認する結果となった。

3-1-3 残留応力測定

図 7 に SCM440 試験材の各ビーム電流ごとの残留応力測定結果を示す。SCM440 試験材の放電加工面には、約 300MPa 程度の引張応力が存在していたが、ビーム電流 0.4mA で電子ビームを照射した場合、さらに大きな引張応力が重畳される結果となった。しかし、ビーム電流 0.6mA 以上では、ビーム電流値が大きくなるごとに応力値は減少する傾向を示した。

図 8 に SKD61 試験材の各ビーム電流条件ごとの残

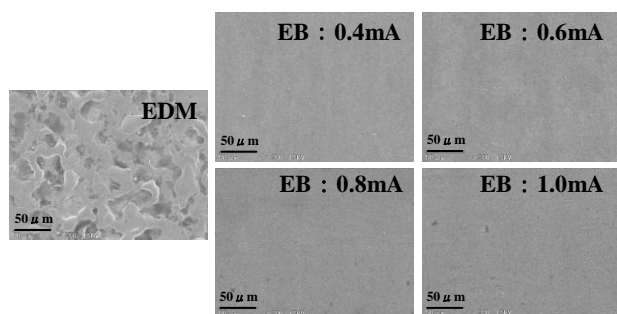


図5 SEM観察結果 (SCM440)

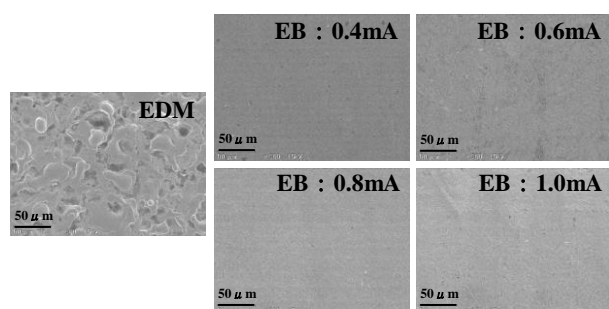


図6 SEM観察結果 (SKD61)

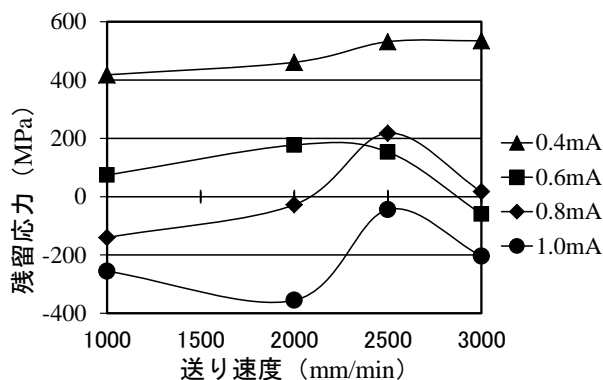


図7 残留応力測定結果 (SCM440)

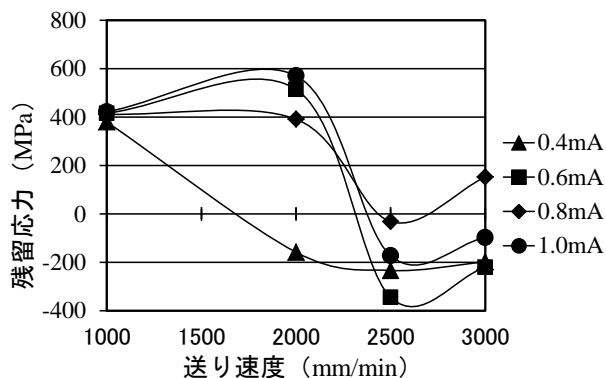


図8 残留応力測定結果 (SKD61)

留応力測定結果を示す。SKD61 試験材の放電加工面には、約 500MPa 程度の引張応力が存在していたが、送り速度 2000mm/min と 2500mm/min で、応力値が大幅に減少する傾向を示した

3-2 熱疲労試験の結果および考察

3-2-1 残留応力測定

SCM440 試験材と SKD61 試験材のそれぞれの放電加工試験片および放電加工後に電子ビーム（ビーム電流 0.8mA、走査線間隔 0.04mm、送り速度 2000mm/min）を照射した試験片をそれぞれ作製し、1000 サイクルまでの熱疲労試験を行った。

SCM440 試験材の各サイクルごとの残留応力測定結果を図 9 に示す。EDM 試験片は、10 サイクルで圧縮応力へ推移したのち、徐々に圧縮応力が開放される傾向を示したが、EDM+EB 試験片は、サイクルを重ねるごとに圧縮応力側へ推移していくことが確認できた。

SKD61 試験材の各サイクルごとの残留応力測定結果を図 10 に示す。EDM 試験片は、SCM440 試験材の EDM+EB 試験片と同様に、サイクルを重ねるごとに圧縮応力側へ推移する傾向を示したが、EDM+EB 試験片は、引張応力側で安定して推移する結果となった。

SCM440 試験材および SKD61 試験材の各試験片の応力値が熱疲労試験のサイクル増加に伴い変化したのは、試験片表面の酸化物の生成やクラックの発生による影響だと考えられたため、各サイクルごとの試験片表面を電子顕微鏡により観察することとした。

3-2-2 顕微鏡による観察

SCM440 試験材の各サイクルごとの電子顕微鏡観察結果を図 11 に示す。EDM 試験片は 1000 サイクルで明確なクラックを確認することができた。EDM+EB 試験片でもクラックを確認できたが、EDM 試験片に比べ小さなクラックであった。このクラックの発生形態が応力値の変化に影響していたと考えられる。また、SKD61 試験材の各サイクルごとの電子顕微鏡観察結果を図 12 に示すが、EDM および EDM+EB 試験片の表面には、明確なクラックを認めることはできなかった。

以上、低サイクル領域での熱疲労試験時における SCM440 試験材と SKD61 試験材の残留応力測定と SEM 観察結果から、SCM440 試験材に電子ビームを照射することで SKD61 試験材と同様の表面形態、また応力傾向を示すことが確認できた。

4. 結 言

機械構造用合金鋼 (SCM440) および熱間金型用合金工具鋼 (SKD61) の試験片に放電加工、電子ビーム照射を施し各評価を行った。得られた結果を以下に示す。

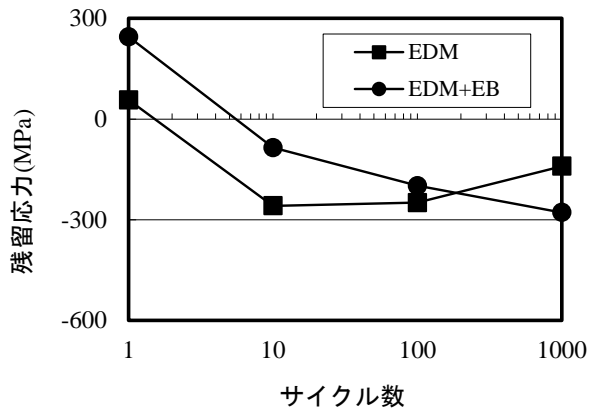


図9 各サイクルごとの残留応力値 (SCM440)

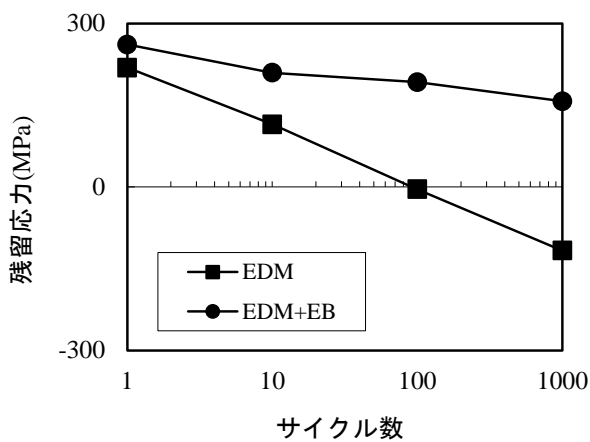


図10 各サイクルごとの残留応力値 (SKD61)

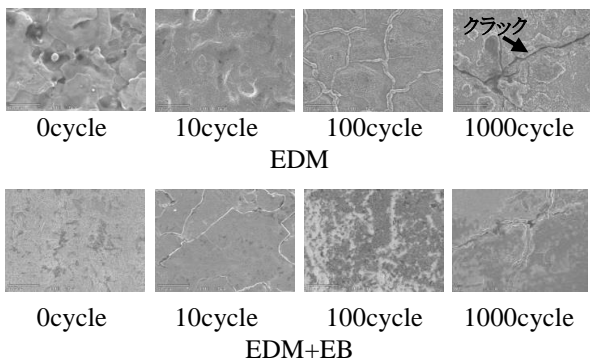


図11 SCM440の各サイクルごとのSEM観察

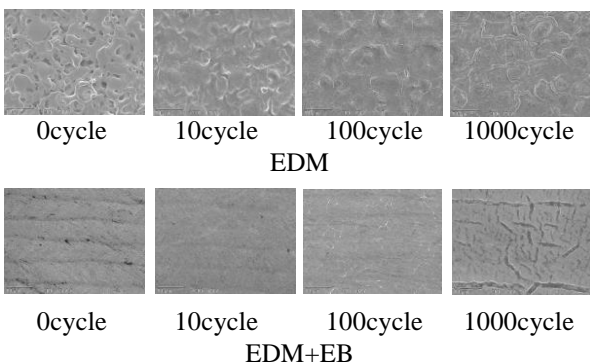


図12 SKD61の各サイクルごとのSEM観察

- 1) 両材料の放電加工面に電子ビームを照射することで、表面あらさ値が約 1/4~1/5 低下する（表面あらさが向上する）ことが確認できた。
- 2) 両材料の放電加工面に電子ビームを照射した際の残留応力は、SCM440 はビーム電流に、SKD61 は送り速度に影響されるという傾向を示した。
- 3) 両材料の放電加工試験片および放電加工+電子ビーム加工試験片の熱疲労試験を行ったところ、SCM440 に電子ビームを適用することで、SKD61 と類似した残留応力の移行形態を示すことが確認できた。

参考文献

- 1) 佐野正明, 萩原義人, 星野昌子, 八代浩二: 汎用鉄鋼材料の小ロット金型への適用に関する研究(第一報), 山梨県工業技術センター研究報告, No.26, P.36-41(2012)
- 2) 佐野正明, 萩原義人, 星野昌子, 八代浩二: 汎用鉄鋼材料の小ロット金型への適用に関する研究(第二報), 山梨県工業技術センター研究報告, No.27, P.5-9(2013)