

金型鋼における高品質表面創成に関する研究 (第2報)

高尾 清利・萩原 義人・石黒 輝雄・米山 陽・佐野 正明*¹

Study on Generating High Quality Surface for Die Steel (2nd Report)

Kiyotoshi TAKAO, Yoshihito HAGIHARA, Teruo ISHIGURO, Akira YONEYAMA and Masaaki SANÓ*¹

要 約

金型製作への電子ビーム加工の適用性を検討するため、放電加工 (EDM) 面に電子ビーム加工 (EB) を施した加工面について各種評価を行った結果、次のことが分かった。

- (1) 各EDM面にEBを照射した場合、Raで最大約83%の表面粗さの向上を確認することができた。また、いずれの条件においても残留応力値が増加する傾向を示した。
- (2) 各EDM面にEBを照射した場合、表面溶融に伴う金属結晶の非晶質化が促進された。
- (3) EBの照射回数の減少に伴い、試験片内部への熱的影響も減少することが確認できた。
- (4) 熱疲労試験のサイクル数が増加するごとに残留応力値が減少するとともに、試験片表面への酸化物の形成とクラックの発生及び成長を確認することができた。

1. 緒 言

各種金型製作において、放電加工法は非常に有効な手段として広く用いられている。しかし金型製作に放電加工を用いた場合、加工表面には加工変質層や引張残留応力が存在することから金型を安定して維持することは難しい。そこで現状では、製品品質の安定化のために、加工面へ手磨きや表面処理などを施すことで対応しているが、各種金型においては複雑な形状を有するものが殆どであるため、さらなる高度化が求められている。

近年注目されている電子ビーム照射処理は、複雑形状においても表面粗さ・離型性等の向上が得られることから有効な手段として期待されている。しかし、複合層となる加工表面の組織状態および残留応力状態については未だ解明されていない。

本研究では、放電加工面に対し電子ビームを照射し、得られた加工面について、表面粗さ測定、残留応力値測定、X線回折測定、断面観察及び表面観察を実施し、評価検討を行った。

2. 電子ビーム加工面の評価

2-1 試験片

実験に用いた試験片 ($\phi 58\text{mm} \times 10\text{mm}$) は、NAK80 (40HRC) の物性評価試験片および熱疲労試験片で、表面に対し、表1に示す条件により放電加工 (以下EDM)

を施し、その後、各EDM面に対し表2に示す条件により電子ビーム加工 (以下EB) を施した。作製した試験片の各加工箇所ならびに加工条件を図1および図2に示す。試験片作製に用いた形彫放電加工機は、三菱電機 (株)製V25F-G35、電子ビーム加工機は、(株)ソディック製EB300である。

また、熱疲労試験はダイカスト操業条件を想定し、試験片の表面を加熱したブロックに接触させて加熱 (570℃, 160s保持) 後、水槽中へ投入し冷却 (100℃, 15s保持) させる接触加熱方式にて行った。^{1), 2)}

表1 放電加工条件

| 加工条件 | EB1 | EB2 | EB3 | EB4 |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|
| ビーム強度 (J/cm ²) | 3 | 7 | 10 | 7 |
| 照射回数 | 30 | 30 | 30 | 10 |

表2 電子ビーム加工条件

| 加工条件 | EDM1 | EDM2 | EDM3 | EDM4 |
|------------------------------|------|------|------|------|
| 目標表面粗さ (μm) | 20 | 15 | 10 | 5 |
| ピーク電流値 i_e (A) | 8 | 5.5 | 3.5 | 2.5 |
| パルス幅 t_e (μs) | 100 | 64 | 20 | 5.4 |
| 休止幅 t_o (μs) | 32 | 20 | 20 | 5.4 |

2-2 評価方法

物性評価試験片の評価方法としては、表面粗さ、残留応力、X線回折、断面観察により、また熱疲労評価試験

*1 山梨県富士工業技術センター

片に関しても同様の評価を行った。表面粗さ測定には株式会社小坂研究所製Surfcorder DSF1000，残留応力測定には株式会社リガク製残留応力測定装置MSF-2M，X線回折測定に

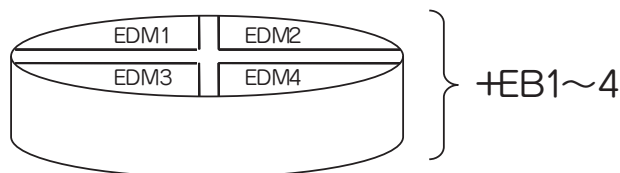


図1 物性評価試験片の概要



図2 熱疲労評価試験片の概要

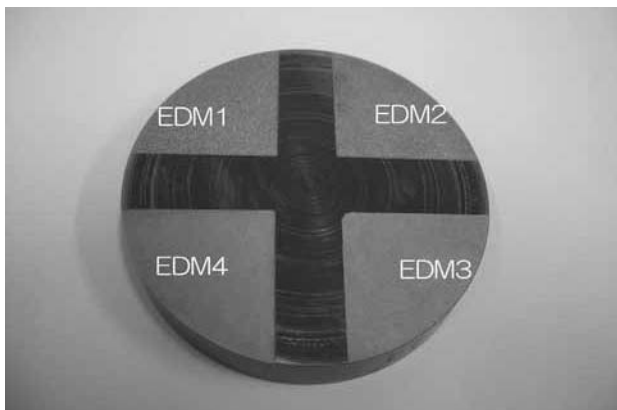


図3 放電加工した物性評価試験片

表3 残留応力測定条件

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

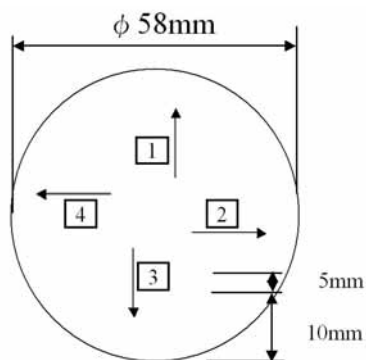


図4 残留応力およびX線回折測定箇所

は株式会社リガク製X線回折装置RAD-3C，断面観察には株式会社ニコン製倒立型金属顕微鏡EPIPHOTO，表面観察には日本電子株式会社製JSM-5310LVを用いた。残留応力およびX線回折の測定条件を表3に，測定箇所を図4に示す。

2-3 実験結果および考察

2-3-1 表面粗さ測定

図5，図6に各EDM+EB面の表面粗さ測定結果を示す。各EDM面にEB1~4を照射した場合，EDM1条件においては表面粗さ（Ra）で最大約80%，EDM2条件においては約83%，EDM3条件においては約77%，EDM4条件においては約79%の粗さの向上効果を確認することができた。またEBの強度が増すごとに粗さの向上効果が高くなる傾向も確認できた。以上の結果より本試験片材質の加工時には，EB2以上のエネルギー条件により最終加工を施すことでEDMの加工時間を大幅に短縮化できることが明らかとなった。

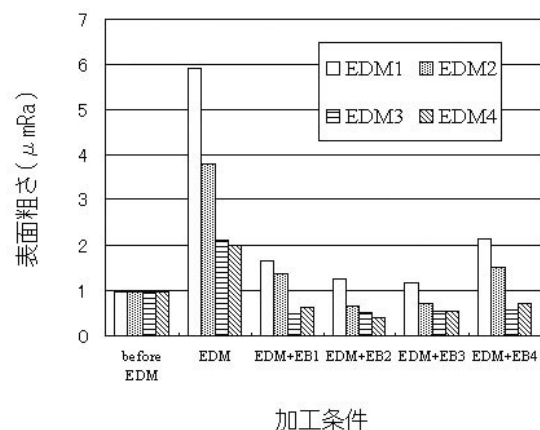


図5 各EB面の表面粗さ（ μ mRa）

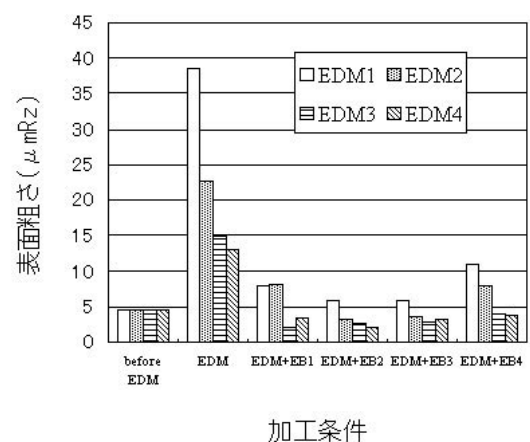


図6 各EB面の表面粗さ（ μ mRz）

また，EB2とEB3では粗さの向上効果に大きな差異は認められなかった要因としては，EB照射による表面粗さ向上のメカニズムが，試験片表面にEBを照射した際，

EDM時に発生した表面凹凸(放電痕)を溶融することによる凹凸の平滑化促進と考えられる。このため、試験片表面の凹凸はEB2のエネルギー条件で殆ど平滑化され、さらにEB強度を上げててもそれ以上の効果は得られ無かったためと考えられる。

2-3-2 残留応力測定

図7に各EDM+EB面の残留応力の測定結果を示す。各EDM面にEB1~4を照射した場合、EDM1条件においては最大約119%、EDM2条件においては約101%、EDM3条件においては約67%、EDM4条件においては約128%の応力値の増加が認められた。またEB2の照射面が最も応力増加率が低かったことから、本試験片材質で作製した金型の寿命・品質を考慮した場合、EB2条件が最も品質低下防止に効果的であることが判明した。

また、EB2より照射回数の少ないEB4の方が応力増加率が高い傾向を示した要因としては、EB4の方が試験片内部への熱的影響が少ないと考えられ、EB照射時に表面近傍のみが溶融し、その後、表面近傍の溶融層がEB2照射時よりも短時間で冷却・固化されたため、引張応力が増大したためと考えられる。

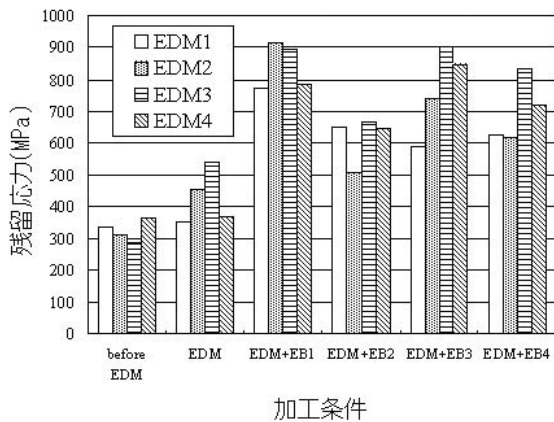


図7 各EB面の残留応力

2-3-3 X線回折測定

図8に各EB面のX線回折の測定結果を示す。いずれのEDM条件においても、EBを照射することで回折強度の減少ならびに半価幅が増大する傾向を示した。

2-3-4 断面観察結果

図9にEDM4条件における各EB断面の金属顕微鏡による観察結果を示す。EDM4+EB1~3では、いずれのEB条件においてもほぼ均一な溶融再凝固層が認められたことから、EB強度の違いによる溶融層の明確な変化は認められなかった。しかし、EB4では溶融再凝固層が不均一で、なおかつ他のEB条件と比較して溶融再凝

固層が薄くEDM4条件と同様の断面形態を示したことから、少ない照射回数では内部への熱的影響が少ないことが確認できた。

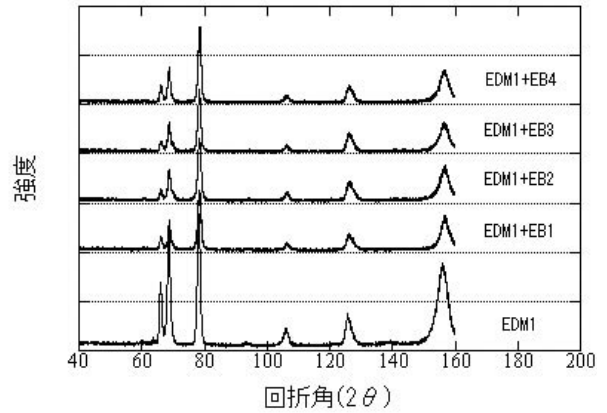


図8 EDM1条件の回折結果

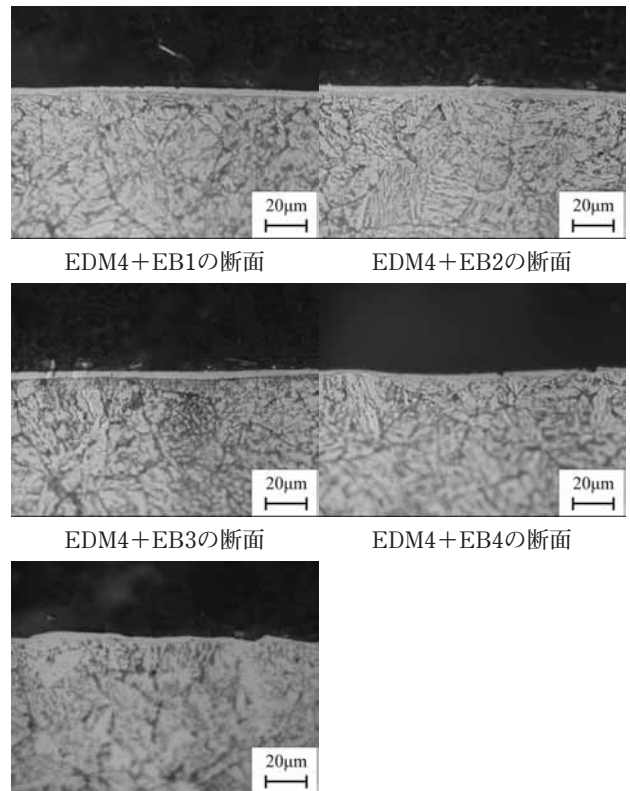


図9 各EB断面の比較

2-3-5 熱疲労試験片の残留応力測定

図10にEDM4+EB2面の熱疲労試験の各サイクル毎の残留応力値の変化を示す。熱疲労試験開始後10サイクルで残留応力値がほぼ0 Mpaとなり、熱疲労試験開始前の引張応力が殆ど解放されたことが確認された。その後、サイクル回数が増加するごとに残留応力値が徐々に減少(圧縮応力が増加)する傾向を示した。

20サイクル以降の残留応力値の減少は、試験片表面

の酸化物の形成・蓄積が主な要因（(6)項参照）と考えられるが、初期サイクルにおける残留応力値の減少は、試験片表面にクラックが発生したことによる引張応力の解放が原因と考えられる（(7)項参照）。

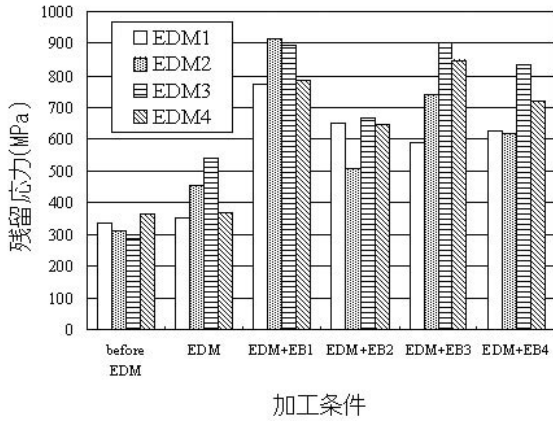


図10 残留応力値の変化

2-3-6 熱疲労試験片のX線回折測定

図11にEDM4+EB2面の各サイクルごとのX線回折の測定結果を示す。熱疲労試験10サイクルまでは回折ピークに大きな変化は認められなかったが、20サイクル以降、徐々に Fe_3O_4 回折線が観察された。このことから、熱疲労試験によるサイクルの増加に伴い、試験片表面に酸化物が形成されていくことが確認できた。

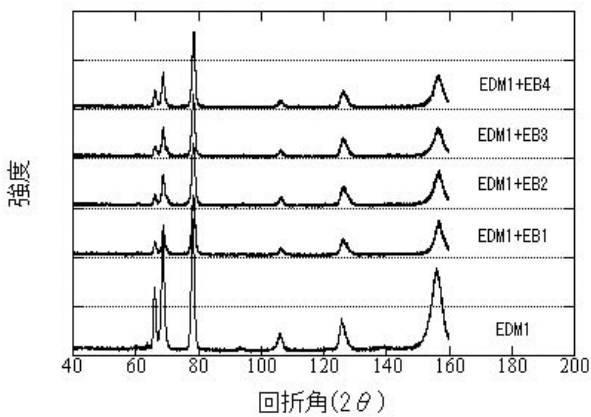


図11 X線回折の変化

2-3-7 熱疲労試験片の電子顕微鏡観察

図12にEDM4+EB2面のサイクルごとの電子顕微鏡観察結果を示す。熱疲労試験開始後10サイクルで試験片表面に細い筋状のクラックが発生していることが確認できた。その後、サイクル数が増すごとにクラック数の増加と成長していく様子を確認することができた。

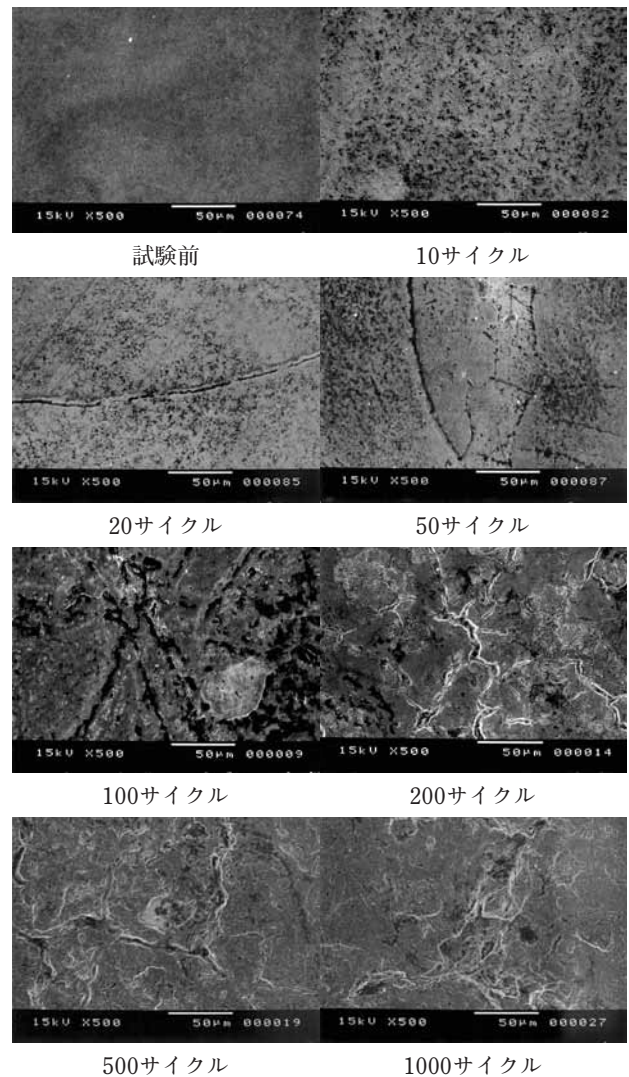


図12 電子顕微鏡観察写真

3. 結 言

放電加工面に対して電子ビームを照射し、得られた加工面について各種評価を行った結果、次の結果が得られた。

- (1) 各EDM面にEBを照射した場合、最大83%の表面粗さ (Ra) の向上を確認することができた。
- (2) 各EDM面にEBを照射した場合、いずれの条件においても残留応力値が増加する傾向を示すとともに、表面溶融に伴う金属結晶の非晶質化の促進が推察された。
- (3) EBの照射回数の増加に伴い、試験片内部への熱的影響も増大することが確認できた。
- (4) 熱疲労試験のサイクル数が増加するごとに、残留応力値が減少するとともに、試験片表面への酸化物の形成とクラックの発生及び成長が認められた。

本研究を実施するにあたり、ご指導ならびに試験片作製にご協力いただいた岡山大学岡田准教授に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 八代 浩二他：表面処理における金型鋼の機能性向上に関する研究（第一報），山梨県工業技術センター研究報告，No.16，p.4-8（2002）
- 2) 佐野 正明，八代 浩二：放電加工面の高品質，高精度化に関する研究（第二報），山梨県工業技術センター研究報告，No.16，p.83-86（2002）
- 3) 米谷 茂：残留応力の発生と対策，（株）養賢堂，p.10-11（1981）