

鑄鉄の歪み取り熱処理に関する研究（第3報）

小川大介*、林哲郎*

Study on the heat treatment for distortion elimination of cast iron (III)

OGAWA Daisuke* and HAYASHI Tetsuro*

鑄鉄鑄物では、鑄造時の残留応力とその後の変形に影響することから、枯らしや熱処理（歪み取り焼鈍）が行われている。これまで、球状黒鉛鑄鉄を対象に歪み取り処理による残留応力の変化をX線回折によって評価する事を試みたが、明確な変化は認められなかった²⁾。そこで本年度は、ミクロ的なEBSD法による結晶歪み解析による応力緩和の評価を行い、枯らしや歪み取り焼鈍の効果を確認した。また、エンドミル工具による被削性評価を行い、歪み取り処理による工具摩耗の低減効果や良好な切削加工面品質が得られることを確認した。

1 はじめに

鑄造時に発生する残留応力を除去するため、屋外に長期間放置する自然枯らしや工業的な熱処理による歪み取り焼鈍が行われている。その残留応力は、製品形状（寸法）の影響が大きいと考えられるため、形状によっては残留応力が小さく、歪み取りが不要な場合もある。しかし、その可否を判断する具体的基準は無く、多くの企業においては、従来からの慣習そのままに歪み取り処理が行われている。そのため、残留応力の判断基準が明確となれば、残留応力除去工程の省略や短縮ができ、省エネ、低コスト、短納期に加え、カーボンニュートラルにも貢献することができる。本研究では、歪み取り処理前後で何が変化しているのか、経時変形に及ぼす因子は何かを明確にし、熱処理の必要性を判断する指標を明らかにすることを目的としている。これまでの研究において、機械構造用炭素鋼鋼管（STKM11A）について、歪み取り焼鈍前後で残留応力の変化と内部構造の変化を得ることができた¹⁾。一方、球状黒鉛鑄鉄（FCD450）ではX線回折による残留応力測定を行ったが、明らかな違いを見出すことができなかった²⁾。

そこで本年度は、鑄鉄の歪み取り処理に関する効果を検証するため、X線回折では明確な変化が認められなかった球状黒鉛鑄鉄について、ミクロ観察や内部構造の評価を行った。また、歪み取り処理による切削特性の変化について、エンドミル加工による工具摩耗と被削材の表面粗さから検討した。

2 実験

2.1 測定試料と歪み取り処理条件

測定試料には、球状黒鉛鑄鉄（FCD450、W188×D140×H28mm）を用いた。鑄造後砂落としのためショットブラストをかけたものをas cast品とし、鑄造後680℃で90分保持後炉冷する歪み取り焼鈍を行い、シヨツ

トブラストにて酸化スケールを落としたものを焼鈍品とした。また、枯らし品はas cast品を約2年間屋外に放置したものをを用いた。

2.2 ミクロ組織観察およびEBSD評価

断面組織の観察および内部構造評価をするため、測定試料に前処理を施した。測定試料は、切断機にて切り出し、導電性樹脂に埋込後、研磨した。組織観察のエッチング液にはナイトールを用い、金属顕微鏡にて断面組織を観察した。また、内部構造は、高分解能走査電子顕微鏡複合装置（日本電子（株）製、JIB-4600F）を用い、後方散乱電子回折（EBSD）法により評価した。

2.3 被削性評価

被削性評価は、汎用フライス盤（（株）イワシタ製、NR2）を用いて行った。工具には、市販のハイス鋼エンドミル（Φ8mm、1枚刃）を用いた。切削条件は、主軸回転数1400min⁻¹、送り80mm/min、径切込み3mm、軸切込み1mmとし、ドライ加工にて行った。なお、鑄肌面の影響を除去するため、上面1mmを削り落としてから評価を行った。

3 結果及び考察

FCD450の断面ミクロ観察結果を図1に示す。試料はグラファイト、フェライト、パーライト組織から構成されており、焼鈍後も結晶粒の粗大化は認められない。次にEBSD測定による方位解析とKAM値による歪み解析

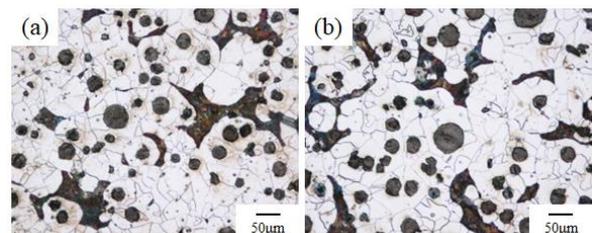


図1 FCD450のミクロ組織
(a) as cast品、(b) 焼鈍品

* 金属部

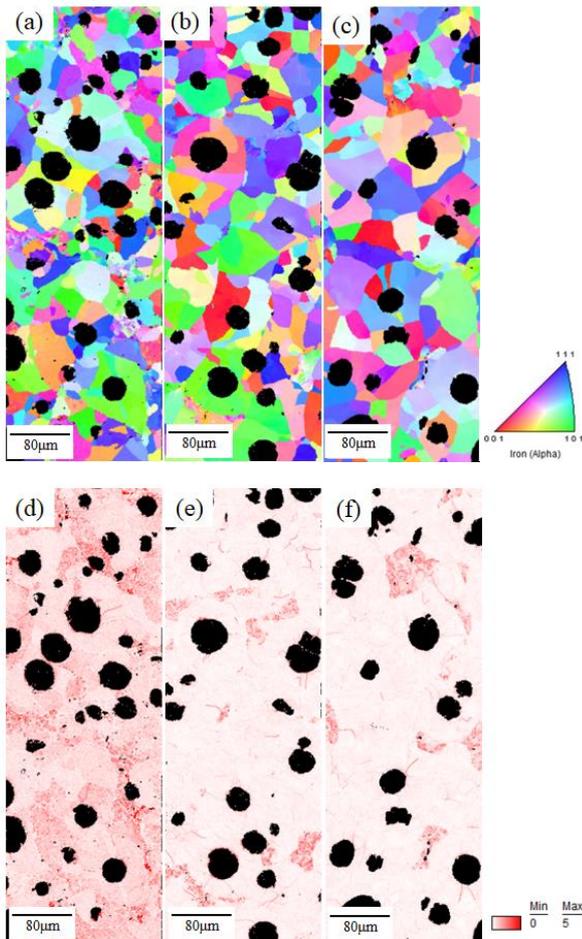


図2 FCD450 鋳物のEBSD解析図
 as cast品 (a) IPF、(d) KAM
 枯らし品 (b) IPF、(e) KAM
 焼鈍品 (c) IPF、(f) KAM

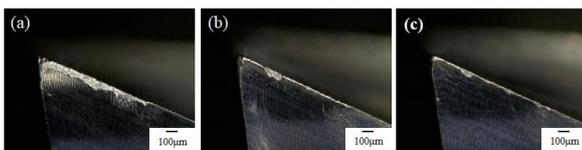


図3 工具摩耗状態
 (a) as cast品、(b) 枯らし品、(c) 焼鈍品

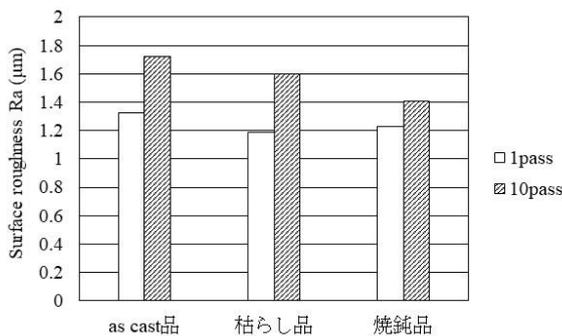


図4 表面粗さ

結果を図2に示す。同図(a)~(c)は逆極点図 (IPF) であり、(d)~(f)は歪分布図 (KAM) である。IPF マップより、歪み取り処理による結晶粒の粗大化や配向の変化はないことが分かった。一方、KAM マップでは、as cast品 (同図(d)) より歪み取り処理品 (同図 (e),(f)) の方が白色の領域が増加している。これは、残留応力の緩和を示しており、X線回折では把握できなかった歪み取り処理の効果が、EBSD測定によって確認できた。

図3にFCD450加工後のエンドミル外周刃の逃げ面状態を示す。as cast品は、逃げ面摩耗の進展が認められたが、歪み取り処理を施した枯らし品や焼鈍品では、as cast品と比べ摩耗が少なかった。次に、加工1パス目と10パス目の被削材の表面粗さを図4に示す。1パス目(加工開始時点)における表面粗さは同等であるが、10パス目では全体的に粗くなり、as cast品の表面粗さが最大となった。

これらの結果より、材料の機械的特性に違いが生じていることが考えられるため、FCD450の硬度を評価した。硬度の測定は、EBSD測定から応力緩和が予想されたフェライト部分を選択して行った。各試験片のビッカース硬度 (HV0.01) は、それぞれ as cast品 : 255、枯らし品 : 200、焼鈍品 : 198 となり、EBSD測定において確認した応力緩和の結果と一致した。これらの結果を総合すると、枯らしや焼鈍によって、金属組織の格子欠陥が減少し、軟化したため、工具摩耗の低減や加工面品質の向上に寄与している可能性があると考えられる。

4 まとめ

FCD450 鋳物について、枯らしおよび歪み取り焼鈍を施した試験片をEBSDによる結晶歪み解析、被削性評価を行った結果、以下の知見を得た。

- ・FCD450 鋳物は、グラファイト、フェライト、パーライト組織から構成されており、EBSD解析による結晶歪み分布から、枯らしおよび焼鈍によって残留応力は減少し、特に、フェライトの残留応力が低下することが分かった。また、このような評価は、X線回折による残留応力測定では困難であり、EBSD測定が有効であった。
- ・被削性評価の結果から、as cast品と比べ枯らしおよび焼鈍品は被削性が良く、工具摩耗や被削物の表面粗さの点で応力緩和は効果的であると考えられた。
- ・歪み取り焼鈍により、枯らしと同等の応力緩和効果が得られることが確認でき、長期間に及ぶ歪み取りを行わなくとも、工業的熱処理によって短時間で残留応力の除去が可能であることが明らかとなった。

【参考文献】

- 1) 水谷ら,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.4, pp17-18,2023
- 2) 水谷ら,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.3, pp13-14,2022