

鑄鉄の歪み取り熱処理に関する研究（第2報）

水谷予志生*、林哲郎*

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

MIZUTANI Yoshiki* and HAYASHI Tetsuro*

鑄鉄鑄物では、鑄造時の歪みは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）が行われる。この処理による残留応力の変化をX線回折による測定法で試みたが、17ヶ月測定し続けても明確な変化は認められなかった。一方、切断すると開口部が開くことが確認された炭素鋼鋼管について、歪み取り焼鈍前後の残留応力測定等を行ったところ、歪み取り焼鈍による変形量の減少や残留応力の低下が確認できた。また、変形に影響を及ぼすマクロ的な残留応力の測定には、歪みゲージによる測定が適していることが確認できた。

1. はじめに

鑄物の残留応力を除去するため、枯らしや応力除去熱処理が行われるが、その必要性に関する具体的判断基準は無く、多くの企業において従来からの慣習そのままに熱処理が行われている。熱処理は、エネルギーを大量に消費する工程であり、これを省略できれば、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。本研究は、熱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なのかを明確にし、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。昨年度は、FCD450 球状黒鉛鑄鉄鑄物を対象として、鑄造まま品、熱処理品、枯らし品について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はできなかった¹⁾。この測定を継続して行い、枯らし品について延べ17か月間の経時的な測定を行ったが、図1に示すとおり残留応力が減少する傾向は認められなかった。

そこで本年度は、実際に変形が生じた鉄鋼材料について、残留応力の測定方法による結果の違いを把握するとともに、歪み取り焼鈍前後の内部構造を調査した。

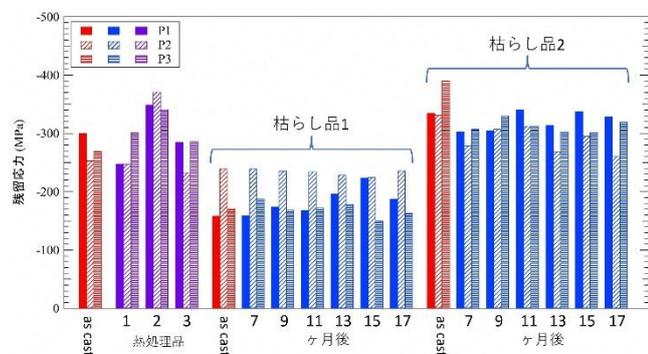


図1 FCD450 鑄物の残留応力測定結果

2. 実験方法

2.1 測定試料と熱処理条件

測定試料には、機械構造用炭素鋼鋼管（STKM11A、外径36mm、肉厚1.3mm）を長さ28mmに切断したものを使用した。歪み取り焼鈍の熱処理条件は、680℃で90分保持後炉冷とし、焼鈍前後の違いを比較することとした。なお、使用した鋼管は、冷間圧延鋼板を丸めて溶接することで管状にされており、焼鈍前の鋼管に軸方向の切り込みを入れると、開口部が開く方向に変形することを予め確認している。

2.2 炭素鋼管の残留応力測定とEBSD測定

炭素鋼管の切断箇所と、残留応力の測定部位・方向を図2に示す。表面の残留応力は、X線残留応力測定装置（株式会社リガク製、AutoMATE II）により測定し、円周方向は側傾方法で、軸方向は並傾法により測定した。測定条件は前報¹⁾と同様である。また、マクロ的な残留応力を測定するため、応力解析用の3軸重ね歪みゲージ（株式会社共和電業製、KFGS-1-120-D17-11）を用いて切断法により残留応力を求めた。ひずみゲージを外径側と内径側にそれぞれ2枚貼り付け、その間を肉厚1mmの切断砥石を使用して軸方向に切断し、開放された応力による変形量を測定することで残留応力を算出した。さらに、EBSD測定による結晶構造およびKAM値の変化を調査し、焼鈍の影響を調査した。

3. 結果及び考察

3.1 焼鈍の効果と残留応力及びEBSD測定結果

切断後の炭素鋼管が開いた様子を図3に示す。焼鈍前の試料では切断に伴い約4mm開口した。一方、焼鈍後の試料の開口量は、砥石肉厚とほぼ同じ1mmであり、焼鈍により内部応力が除去されたと考えられる。

表1に切断法及びX線による残留応力測定結果を示す。切断法による結果から、焼鈍前に230~240MPa程度あった残留応力が、焼鈍により殆ど除去されたことが分かる。一方、X線による残留応力測定では、焼鈍によ

* 金属部

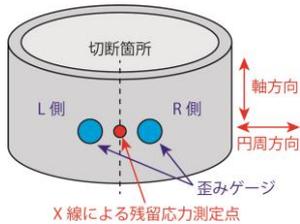


図2 炭素鋼管の切断箇所と残留応力の測定部位・方向

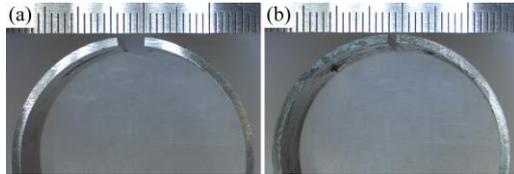


図3 切断後の炭素鋼管外観
(a) 焼鈍前、(b) 焼鈍後

表1 炭素鋼管の残留応力の測定結果

測定部位・方向		測定法	残留応力[Mpa]	
			焼鈍前	焼鈍後
外径側	L側	切断法	247.0	2.49
	R側		234.9	4.47
	円周方向	X線	-173	-2
	軸方向		-213	-51
内径側	L側	切断法	-231.4	-2.80
	R側		-246.5	-1.18

り残留応力の減少が確認できたものの、歪みゲージによる切断法の結果と逆の圧縮応力が検出された。また、焼鈍前の試料では軸方向にも比較的大きな圧縮応力が測定された。この原因として、使用した炭素鋼管は圧延鋼板を丸めて溶接後、引き抜きと磨き加工が施されており、これらの工程に伴う加工歪みの影響が考えられる。X線による方法では最表面の残留応力が測定されるため、試料の全体的な変形に影響を及ぼす内部応力の大きさと一致しない場合があることが示唆された。

炭素鋼管断面のマイクロ組織を図4に示す。焼鈍により、結晶粒径が粗大になっていることが分かる。これらの試料のマイクロビッカース硬さを測定したところ、焼鈍前の205.8HMVに対し、焼鈍後は108.4HMVに軟化していた。これらの組織について、EBSD測定による方位解析と、KAM値による歪み解析の結果を図5に示す。左からIQマップ(結晶性)、逆極点図(IPFマップ)、歪分布図(KAMマップ)を示している。図5

(b)の焼鈍前のIPFマップでは、結晶粒内でも方位を示す色が少しずつ変化していることが分かる。このため、KAM値マップ(c)では歪みが多いことを示す濃い赤色が多くなった。これに対し、図5(e)の焼鈍後

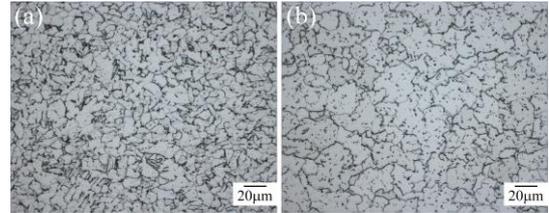


図4 炭素鋼管のマイクロ組織
(a) 焼鈍前、(b) 焼鈍後

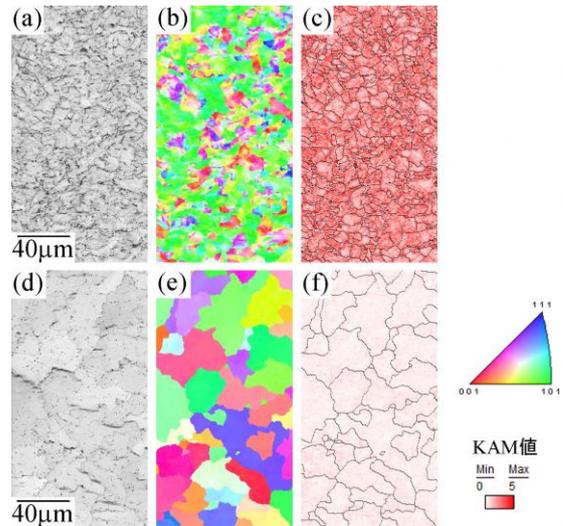


図5 炭素鋼管のEBSD解析図
焼鈍前の(a) IQ、(b) IPF、(c) KAM
焼鈍後の(d) IQ、(e) IPF、(f) KAM

のIPFマップでは、同じ結晶粒内であればほぼ単一の色となっており、方位が揃っていることが分かる。従ってKAM値マップ(f)では歪みが少ない白色がほとんどとなった。これは熱処理により、再結晶に伴う粒成長で転位が減少したためと考えられ、硬さが低下した結果とも一致する。FCD450 鋳物では、同じ歪み取り焼鈍でこのような内部構造の変化は起こらなかったことから、素材により条件が異なることが示唆された。

4. まとめ

今年度は、実際に変形が生じた炭素鋼管の焼鈍による残留応力の変化と内部構造の変化を調査した。

- ・切断により変形が起こる鋼管に歪み取り焼鈍を行ったところ、変形量の減少、残留応力の低下が確認できた。また、変形に影響を及ぼすマクロ的な残留応力の測定には、歪みゲージによる測定が良いことが分かった。
- ・使用した試料では、再結晶による粒成長、硬さの低下が起こっており、EBSDのKAM値でも歪みが減少しているのが確認できた。

【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.3, pp13-14,2022