

マンガン除去した球状黒鉛鑄鉄の疲労特性*

高川 貫仁**、池 浩之**、岩清水 康二**、高橋 直之***

「酸化鉄添加によるマンガン除去技術」の実用化を目的に、除去技術により得られた球状黒鉛鑄鉄の疲労特性を調べた。また、マンガン無害化処理やマンガン含有量を変化させた球状黒鉛鑄鉄の疲労特性も調べた。マンガン量を変化させた鑄鉄において、引張強さと疲労限度は正の相関を示し、疲労限度比(疲労限度/引張強さ)は0.54であった。マンガン除去をした鑄鉄と無害化した鑄鉄の疲労限度比はそれぞれ0.52、0.60であり、マンガン除去をした鑄鉄の疲労限度比が他の鑄鉄よりも低かった。破壊の起点を観察した結果、マンガン除去をした鑄鉄の場合、試料表面近傍に存在する引け巣及び異常黒鉛であり、その他の鑄鉄は、全て引け巣であった。

キーワード：球状黒鉛鑄鉄、疲労特性、マンガン除去

Fatigue Properties of Spheroidal Cast Iron treated by Manganese Removal Technology

TAKAGAWA Takahito, IKE Hiroyuki, IWASHIMIZU Kouji and TAKAHASHI Naoyuki

For the purpose of the practical use of "the manganese removal technology by the addition of iron oxide", the fatigue properties of the spheroidal cast iron treated by the removal technology were examined. And the fatigue properties of the spheroidal cast iron which changed manganese content and the spheroidal cast iron by the neutralization treatment were examined, too. In the cast iron which changed manganese content, the tensile strength and the fatigue limit showed positive correlation, and the fatigue limit ratio (fatigue limit / tensile strength) was 0.54. The fatigue limit ratio of the cast iron by the removal treatment and the neutralization treatment, were 0.52, 0.60 each, and the fatigue limit ratio of the cast iron by the removal treatment was lower than other cast iron. As a result of observation of the fracture origin, origins were shrinkage cavity and abnormal graphite of the specimen's surface in the case of the cast iron by the removal treatment. In the case of all other cast iron, the origin was shrinkage cavity.

key words : spheroidal cast iron, Fatigue property, manganese removal

1 緒 言

現在、自動車産業をはじめ、造船、建設産業等において、省エネルギーを目的とした部材の軽量化を図るため、高張力鋼の採用割合が増えている。そして、高張力鋼は、マンガンが添加されており、その添加量は最大で2.7%と高くなっている。一方、国内の鑄鉄鑄物メーカーでは、コスト低減のため鉄スクラップを主原料としているが、上述の理由により鉄スクラップ中の高張力鋼の割合が増加している。そのため、マンガンによる鑄鉄の脆化が大きな問題となっている。

鑄鉄のマンガンの脆化を解決するために、著者らは、酸化鉄(FeO)添加による鑄鉄溶湯のマンガン除去技術に取り組み^{1),2)}、300kg工業炉による実証試験において、

本技術によりJIS G 5502 FCD450を満足する材質が得られることが分かった³⁾。

ただし、球状黒鉛鑄鉄は、構造部材として広く利用されているため、繰り返し荷重下での安全性が要求される。

そこで本調査では、「酸化鉄添加によるマンガン除去技術」の実用化を図るために、除去技術により得られた球状黒鉛鑄鉄の疲労試験を行い、疲れ特性に及ぼす除去処理の影響を調べた。併せて、黒鉛微細化によりマンガン含有量が高いままで鑄鉄の脆化を解決しようとする「ピスマス添加によるマンガン無害化処理⁴⁾」やMn含有量が疲労特性に及ぼす影響等についても調べた。

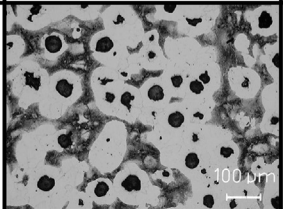
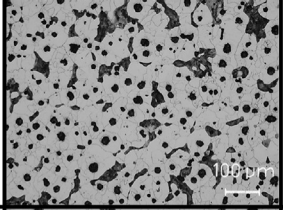
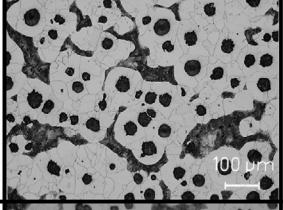
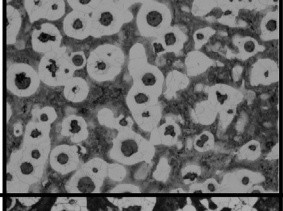

2 実験方法

* 基盤先導事業
** 材料技術部
*** 福島製鋼株式会社

表1 供試材の化学組成および機械的性質

試料名	化学組成 (質量%)						機械的性質		
	C	Si	Mn	P	S	Mg	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	ブリネル硬さ (HBW)
酸化鉄添加による除去処理	3.43	2.55	0.44	0.034	0.004	0.036	575	13	183
ビスマス添加による無害化処理	3.60	3.25	0.77	0.037	0.013	0.035	515	16	174
0.4%Mn	3.76	2.73	0.44	0.036	0.009	0.039	496	21	165
0.6%Mn	3.71	2.54	0.58	0.022	0.004	0.054	574	16	186
0.8%Mn	3.61	2.65	0.77	0.037	0.009	0.038	584	15	197

表2 供試材の組織観察結果

	光学顕微鏡組織	黒鉛および基地組織
酸化鉄添加による除去処理		黒鉛球状化率：93% 黒鉛粒数：187個/mm ² 黒鉛平均粒径：20 μm フィット面積率：55%
ビスマス添加による無害化処理		黒鉛球状化率：97% 黒鉛粒数：524個/mm ² 黒鉛平均粒径：16 μm フィット面積率：76%
0.4%Mn		黒鉛球状化率：98% 黒鉛粒数：193個/mm ² 黒鉛平均粒径：25 μm フィット面積率：73%
0.6%Mn		黒鉛球状化率：94% 黒鉛粒数：172個/mm ² 黒鉛平均粒径：18 μm フィット面積率：51%
0.8%Mn		黒鉛球状化率：96% 黒鉛粒数：151個/mm ² 黒鉛平均粒径：30 μm フィット面積率：53%

2-1 供試材

供試材の化学組成、機械的性質および顕微鏡組織を表1及び表2に示す。

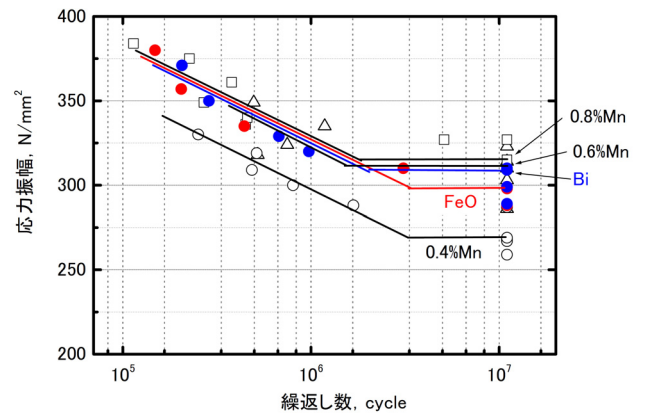


図1 各試料のS-N曲線

酸化鉄添加による除去処理を施した鋳鉄は、酸化鉄添加によりマンガン含有量を0.6%から0.4%まで下げた後にフェロシリコンによりシリコン含有量を調整し、球状化処理ならびに1次接種を行った。ビスマス添加による無害化処理を施した鋳鉄は、鋳鉄組成をマンガン含有量0.8%に調整し、球状化処理ならびに1次接種した後、鑄型注湯時にビスマス系接種剤を注湯流接種した。

「0.4%Mn」、「0.6%Mn」及び「0.8%Mn」の鋳鉄は、マンガン含有量を溶解炉内で0.4%、0.6%、0.8%に調整し、サンドイッチ法により球状化処理、次いで1次接種を行った。

鑄込みは、JIS G 5502 Y型供試材B号(肉厚25mm)に行い、その後、1つのY型供試材から4本の疲労試験片(JIS Z 2274 1号試験片 平行部直径8mm)を採取し、試験に供した。

2-2 試験方法

疲労試験は、電気油圧サーボ式疲労試験機を用いて、周波数20Hz、応力比R=0の片振り引張疲労試験を行った。繰返し数は1×10⁷回まで行った。

疲労試験後、走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて破面観察を行い、破壊起点の特定を行った。

3 実験結果および考察

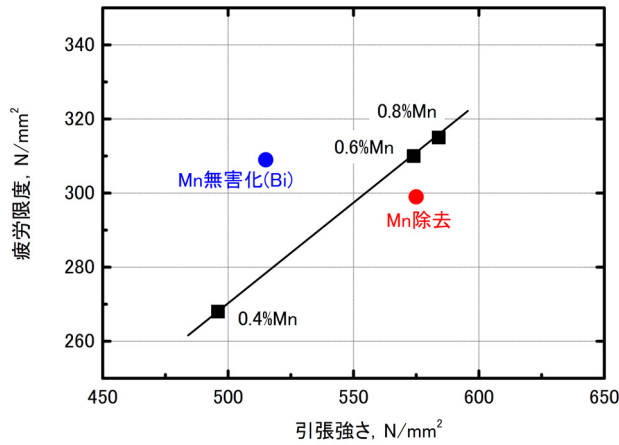


図2 疲労限度と引張強さの関係

図1に、各試料のS-N曲線を示す。各試料ともばらつきが小さく、困難なく疲労限度を求めることが出来た。図2に疲労限度と引張強さの関係を示す。マンガン含有量を変化させた試料について、引張強さと疲労限度は正の相関を示し、疲労限度比(疲労限度/引張強さ)は0.54であった。これに対してマンガン除去処理した鑄鉄の場合、0.6%Mnと同じ引張強さであっても疲労限度が低い結果となり、疲労限度比は0.52であった。マンガン無害化処理した鑄鉄の場合、引張強さが515N/mm²と低いにもかかわらず、疲労限度は0.6%Mnと同等であり、疲労限度比は0.6と高かった。

次に、疲労破壊した各試験片の、破壊起点近傍の2次電子線像を図3に示す。疲労破壊の起点は、全て試料表面近傍に存在する引け巣か球状化が崩れた粗大な異常黒鉛であった。そしてマンガン除去した試料以外は、全て引け巣が起点となっていた。マンガン除去した試料の破壊起点は、引け巣と粗大黒鉛が半々の割合であった。球状黒鉛鑄鉄は黒鉛自体の強度が低いため、鑄鉄の機械的性質を考慮する上で、黒鉛は一種の欠陥と見なすことが出来るが、今回破壊の起点となった鑄造欠陥サイズは、いずれも黒鉛平均粒径よりも大きいサイズであった。

また、マンガン無害化処理した試料の破壊起点となった引け巣は、他の試料の引け巣と比較すると細く小さかった。これは、引け巣は主に共晶セルに発生するため、ビスマス添加による黒鉛の微細化により、共晶セルも微細化されたためと考えられる。

これより、マンガン除去処理した鑄鉄の疲労限度比が低かったのは、試料表面に球状化が崩れ且つ粗大な黒鉛が存在したためと考えられる。0.6%Mnの鑄鉄は、マンガン除去処理した鑄鉄と同様に黒鉛球状化率が低かったが、黒鉛が粗大でなかったために、き裂の起点とならなかったと考えられる。

また、無害化処理した鑄鉄においては、疲労限度比が0.6と高かったが、これは、黒鉛の微細化により引け巣サイズが小さくなり、応力集中が緩和されたためと考え

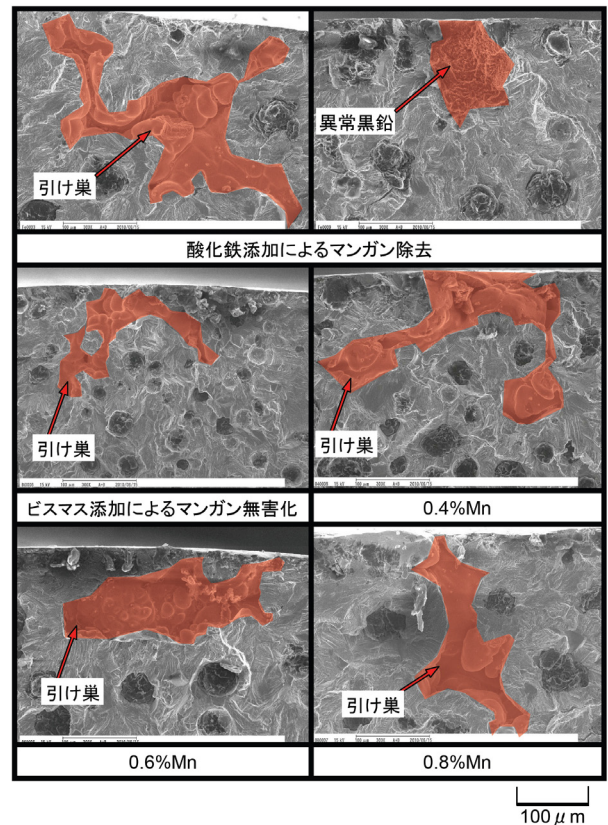


図3 疲労破壊した各試験片の、破壊起点近傍の2次電子線像

られる⁵⁾。

これらの結果より、酸化鉄添加によるマンガン除去技術は、黒鉛の球状化に良好な結果が得られれば、従来の鉄鉄でマンガン希釈する方法と同等の疲労限度が得られると予想される。また、黒鉛を微細化させてフェライト面積率を増やしマンガンのパーライト化の影響を無害化する無害化技術は、鑄鉄の脆化を抑制するのみならず、疲労特性を向上させる上でも有効であることが分かった。

4 結 言

「酸化鉄添加によるマンガン除去技術」の実用化を目的に、除去技術により得られた球状黒鉛鑄鉄の疲労特性を調べた。併せて、ビスマス添加によるマンガン無害化処理やマンガン含有量を変化させた球状黒鉛鑄鉄の疲労特性も比較のために調べた。得られた結果は以下のとおりである。

- 1) マンガン量を変化させた鑄鉄の疲労限度比は0.54、マンガン除去をした鑄鉄の疲労限度比は0.52、ビスマス添加により無害化した鑄鉄の疲労限度比は0.60であった。
- 2) 破壊の起点は、マンガン除去をした鑄鉄の場合、試料表面近傍に存在する引け巣及び異常黒鉛であり、その他の試料は、全て引け巣であった。

文 献

- 1) 高川貫仁, 勝負澤善行, 池浩之, 茨島明 : 岩手県工業技術センター研究報告, 11 (2004) 132
- 2) 高川貫仁, 池浩之 : 岩手県工業技術センター研究報告, 12 (2005) 87
- 3) 高川貫仁, 池浩之, 岩清水康二, 小綿利憲, 高橋直之 : 岩手県工業技術センター研究報告, 15 (2008)
- 4) 齋藤弘典 : 日本鑄造工学会東北支部大会講演概要集, 2006
- 5) 田村宏, 杉山好弘, 木村太郎 : 鑄造工学, 69 (1997) 835