

高いけい素球状黒鉛鑄鉄の機械的性質・組織に及ぼす マンガン・ニッケルの影響

尾上豪啓*, 柴田周治*, 樋尾勝也*

Effect of Manganese and Nickel on Mechanical Properties and Structures for High Silicon Ductile Cast Iron

Takehiro ONOUE, Shuji SHIBATA and Katsuya HIO

The purpose of this study was to investigate the effect of Manganese and Nickel elements on mechanical properties and metallic structures of high silicon ductile cast iron. From the experimental results, it was confirmed that only the high silicon ductile cast iron enforced by Nickel could achieve higher at tensile strength remaining in ferrite basement.

Key words: Solid Solution, High Silicon Ductile Cast Iron, Mechanical Property, Manganese, Nickel

1. はじめに

球状黒鉛鑄鉄は、構造材として幅広く用いられており、軽量化による環境負荷の低減を目的に、高強度化、高延性化の研究が行われてきた¹⁾。その中で、欧州では、強度と延性のバランスがとれた材料としてけい素で固溶強化された高いけい素球状黒鉛鑄鉄が注目され、自動車用を中心に幅広い用途開発がなされ^{2,3)}、フェライト基地球状黒鉛鑄鉄の規格も新たに制定された⁴⁾。このような欧州の動きは、国内でも紹介され始めているが、用途開発の取り組みには至っておらず、高いけい素球状黒鉛鑄鉄に関する合金元素の影響などの基礎的なデータについても、ほとんど発表されていない。そこで本研究では、高いけい素球状黒鉛鑄鉄について、鑄鉄の一般的な合金元素であるマンガンとニッケルを添加した場合⁵⁾の機械的性質と組織への影響を調査した。

2. 実験方法

2. 1 試料作製方法および成分分析

本研究では、最大溶解量 50 kg の高周波誘導炉を使用し、銑鉄、鋼、フェロシリコンを原料に 30 kg の鑄鉄を溶製した。その配合量は、前述の欧州規格における FCD600 相当を目標値として、CE 値 4.3 程度とした。調査対象の合金元素であるマンガンは、0.2 mass% から 0.5 mass% まで 6 水準、ニッケルは 0 mass% から 0.6 mass% の 3 水準とし、電解マンガンおよび金属ニッケルを原料として、成分を調整した。球状化は、1,500 °C で取鍋へ出湯し、サンドイッチ法により処理を行った。その溶湯をロックオフ試験片用鑄型に注湯し、2 時間後に解砕して試験片とした。この試験片から、分析用試料を採取し、成分を分析した。分析法については、炭素と硫黄は赤外分光法で、けい素は重量法で、マンガンとリンおよびニッケルは ICP 発光分光分析法を採用した。

* 金属研究室

2. 2 機械的性質および組織観察

作製した試験片を JIS Z 2241 4 号試験片に加工し、引張試験機により、引張強さ、耐力および伸びを測定した。さらに、引張試験片の掴み部残材から、硬さ試験用の試験片を切り出し、ブリネル硬さ試験機により硬さを測定した。また、同じく引張試験片の掴み部残材から、組織観察用の試料を切り出し、機械研磨により鏡面仕上げし、ナイトール液（3%硝酸エタノール溶液）により腐食させて、金属顕微鏡による組織の観察を行った。

3. 結果と考察

3. 1 マンガン添加の影響

溶製した球状黒鉛鋳鉄の成分分析結果を表 1 に示す。得られた試料のマンガン含有量は、0.17 mass% から 0.43 mass% である。

表 1 マンガンを添加した鋳鉄の成分分析結果

	(mass%)					
	C	Si	Mn	P	S	Mg
1	2.92	4.14	0.17	0.016	0.003	0.044
2	2.84	4.18	0.22	0.015	0.004	0.042
3	2.85	4.25	0.24	0.017	0.004	0.040
4	2.81	4.23	0.28	0.016	0.004	0.038
5	2.80	4.23	0.30	0.018	0.004	0.035
6	2.94	4.24	0.43	0.015	0.003	0.039

引張強さ、耐力、伸びおよびブリネル硬さを測定した結果を、図 1 から図 3 に示す。引張強さは 598 MPa から 613 MPa までばらつきがあったが、ほぼ同程度の引張強さであった。耐力については 488 MPa から 495 MPa となり、耐力比は約 81% であった。伸びは 19% から 21%、ブリネル硬さは 211 HBW から 219 HBW とほぼ一定であった。この結果からは、いずれもマンガン含有量との相関は見られなかった。

図 4 (a) から (f) に、金属顕微鏡により観察した高い素球状黒鉛鋳鉄の組織写真を示す。(a) から (c) のマンガンが 0.24 mass% 以下の組織では、基地が全てフェライトであるのに対し、(d) から (f) の 0.28 mass% 以上の組織では、一部でパーライトが生成した。これは、マンガンが鋳鉄の基地組織にパーライトの生成を促す効果があり、0.28 mass% 以上マンガンを添加した場合にその影響を受けたと考えられる。

また、マンガン添加による引張強さの向上が認められなかったが、これはマンガンを 0.28

mass% 以上添加してパーライトが生成した場合でも同様であった。このことは、図 4 の基地組織内のパーライト生成がごく一部であることから、引張強さへの関与がほとんどなかったためと考えられる。

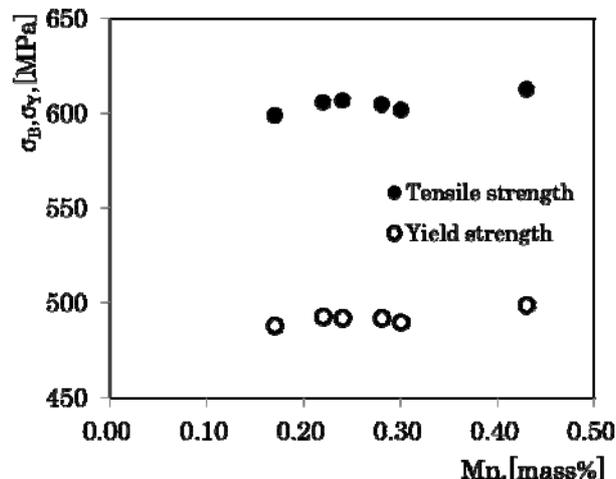


図 1 引張強さ・耐力と含有量の関係

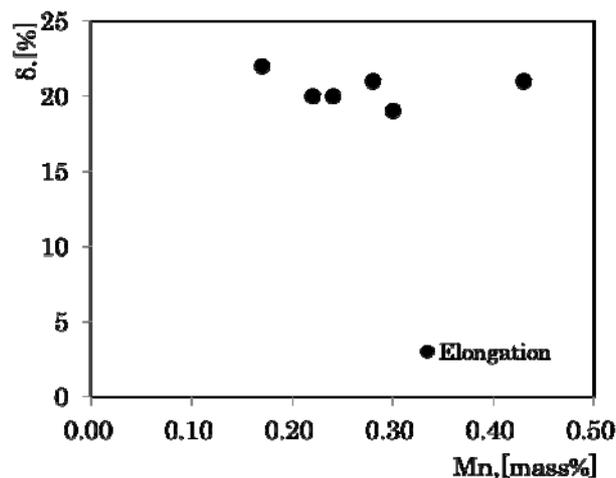


図 2 伸びと含有量の関係

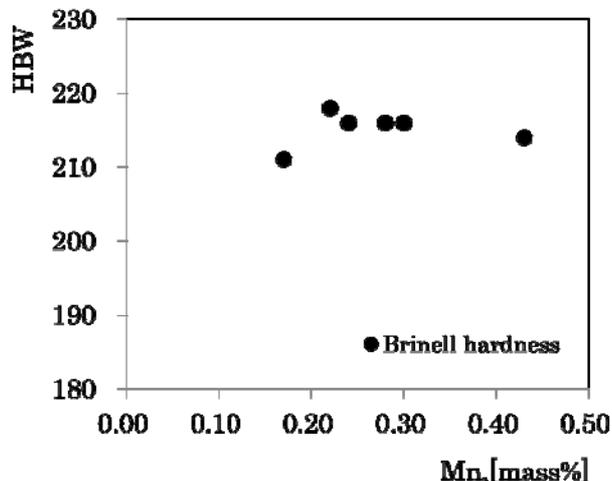
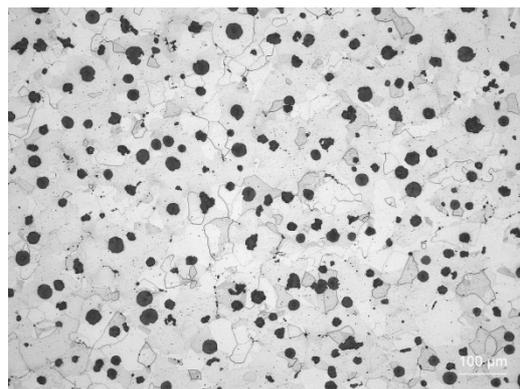
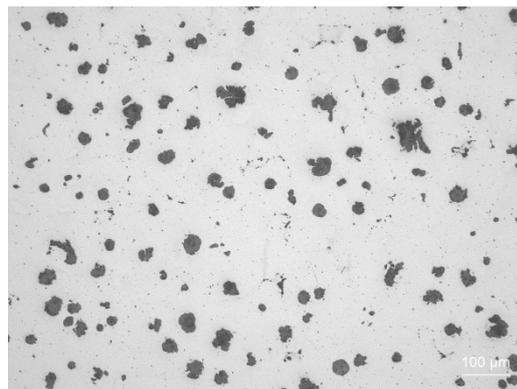


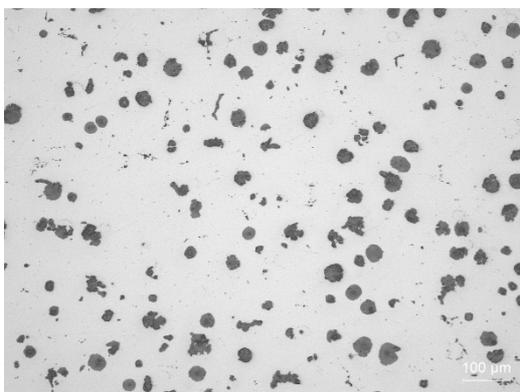
図 3 ブリネル硬さと含有量の関係



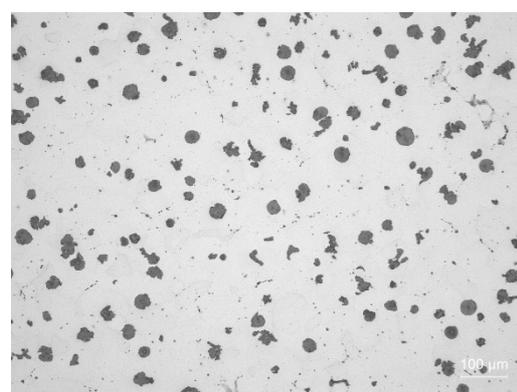
(a) Mn 0.17 mass%



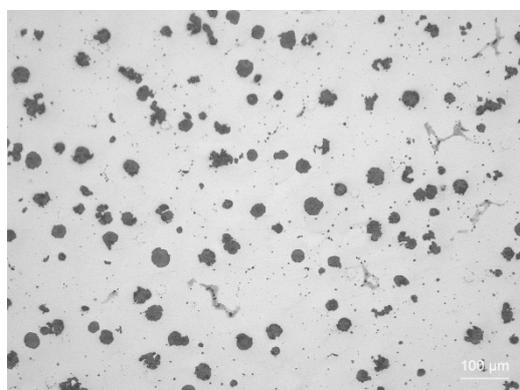
(b) Mn 0.22 mass%



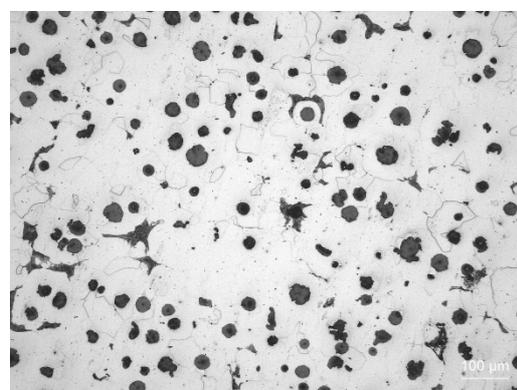
(c) Mn 0.24 mass%



(d) Mn 0.28 mass%



(e) Mn 0.30 mass%



(f) Mn 0.43 mass%

図4 マンガンを添加した鑄鉄の組織観察写真

3. 2 ニッケル添加の影響

溶製した球状黒鉛鑄鉄の成分分析結果を表2に示す。得られた試料のニッケル含有量, 0.01 mass% (無添加), 0.33 mass%, 0.59 mass%である。

引張強さ, 耐力, 伸び, およびブリネル硬さを測定した結果は, 図5から図7に示す。ニッケルを無添加の場合には引張強さが602MPaであったのに対し, ニッケルを添加した場合には, 612MPa,

622MPaと順次向上した。耐力は, 488MPaから494MPa, 500MPaと向上し, 耐力比は約80%であった。伸びは若干低下したものの, ブリネル

表2 ニッケルを添加した鑄鉄の成分分析結果

	(mass%)						
	C	Si	Mn	P	S	Mg	Ni
1	2.96	4.18	0.16	0.016	0.003	0.040	0.01
2	2.93	4.22	0.16	0.018	0.003	0.037	0.33
3	2.93	4.19	0.16	0.015	0.003	0.035	0.59

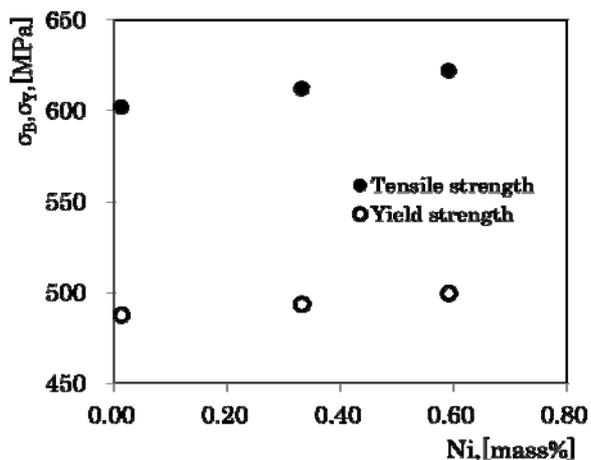


図5 引張強さ・耐力と含有量の関係

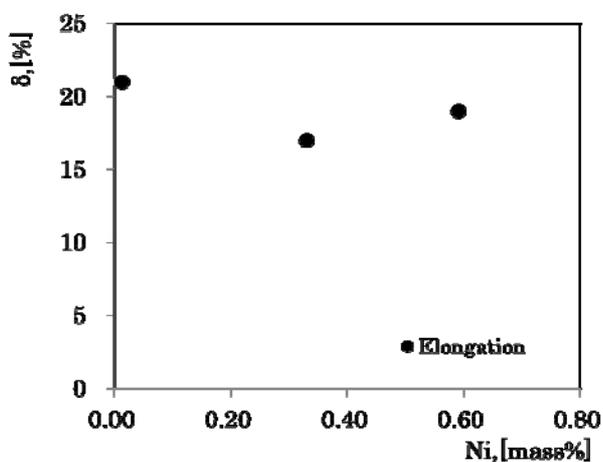


図6 伸びと含有量の関係

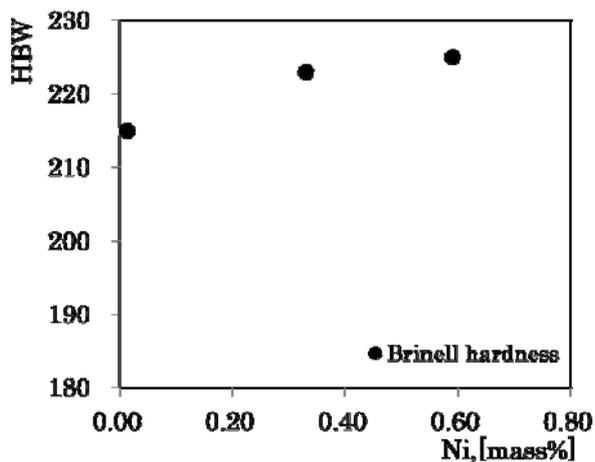
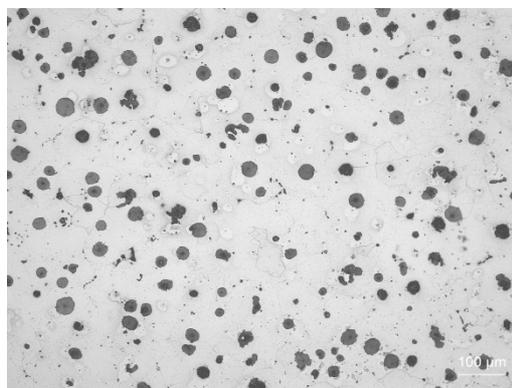


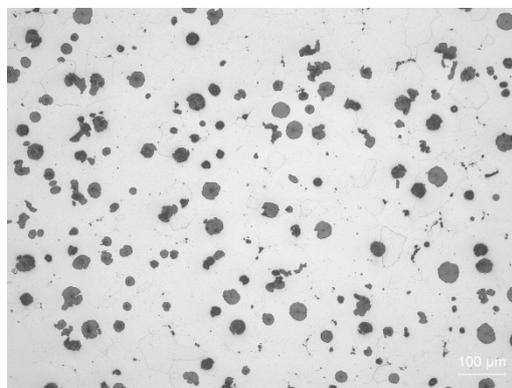
図7 ブリネル硬さと含有量の関係

硬さは 215 MPa から 225 MPa と硬くなった. 図 8 (a)から(c)に, 金属顕微鏡により観察した高けい素球状黒鉛鑄鉄の組織写真を示す. ニッケルを添加した場合の組織は, 基地組織が全てフェライト

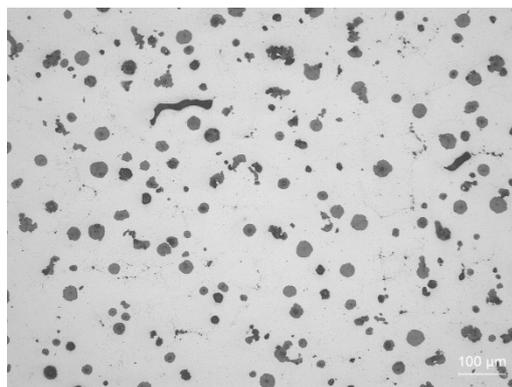
であった. これは, ニッケルがマンガンと異なり, パーライトの生成を助長しないためと考えられる.



(a) Ni 0.01 mass%



(b) Ni 0.33 mass%



(c) Ni 0.59 mass%

図8 ニッケルを添加した鑄鉄の組織観察写真

4. まとめ

本研究では, 高けい素球状黒鉛鑄鉄について, 機械的性質および組織に及ぼす合金元素の影響を調べるためにマンガンとニッケルを添加し, その影響を確認した. その結果は次の通りであった.

(1) マンガンを添加した場合、添加量に関わらず機械的性質の向上は認められなかった。また、0.28 mass%以上添加した場合、今回基地組織にパーライトが生成したが、その生成はわずかであったため、機械的性質に影響を及ぼすものではなかった。

(2) ニッケルを添加した場合には、添加量に応じて引張強さは向上したが、伸びは若干低下した。また、基地組織はすべてフェライトであった。

参考文献

- 1) 趙柏榮ほか：“高強度・高延性球状黒鉛鑄鉄の引張、伸び特性と組織制御”。 materiあ：日本金属学会会報， 52(1), p3-9 (2013)

- 2) 梅谷拓郎ほか：“高 Si フェライト基地球状黒鉛鑄鉄の引張強さ、疲労強度、衝撃強さ”。 鑄造工学， 86(1), p36-42 (2014)
- 3) 梅谷拓郎ほか：“固溶強化フェライト基地球状黒鉛鑄鉄の溶接熱影響部組織の形成過程”。 溶接学会論文集， 31(2), p96-103 (2013)
- 4) EN1563:2011: “Founding - Spheroidal graphite cast irons”. European Committee for Standardization
- 5) 矢島悦次郎ほか：“若い技術者のための機械・金属材料 第3版”。 丸善出版

(本研究は、法人県民税の超過課税を財源としています。)