

氏名	ふじもと りょうすけ 藤本 亮輔	
本籍（国籍）	兵庫県	
学位の種類	博士(工学)	
学位記番号	工博 第248号	
学位授与年月日	平成26年 9月25日	
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当 課程博士	
研究科及び専攻	工学研究科フロンティア物質機能工学専攻	
学位論文 題目	厚肉球状黒鉛鑄鉄の材質に及ぼすMnと溶湯処理の影響	
学位審査委員	主査 教授	平塚 貞人
	副査 教授	中村 満
	副査 教授	山口 勉功
	副査 准教授	晴山 巧

論文内容の要旨

近年、自動車の軽量化を目的とした高張力鋼の使用率が増加しており、鑄鉄の鉄原料となるスクラップ鋼中の高張力鋼の量も増加している。高張力鋼は普通鋼に比べてMnを多く含むため鑄鉄中のパーライト安定化元素であるMn量の増加により、延性を必要とするフェライト系球状黒鉛鑄鉄においては伸びの低下や加工性の低下が懸念される。近年になって硫化物、酸化物の添加、空気バブリングによるMn除去技術や希土類元素添加によるMn無害化の研究が行われているが、その多くはコスト面、環境面で実用に至っていない。多くの場合、低Mn量の銑鉄による希釈でMn量を調整しているが、希釈量が増加すればコストも増加する。そのため、厚肉球状黒鉛鑄鉄の材質に及ぼすMnの影響を明らかにすると共に対策を検討する必要がある。しかし、厚肉球状黒鉛鑄鉄の機械的性質、組織に及ぼすMnの影響と溶湯処理による組織、機械的性質に関する報告は見当たらない。本研究では、厚肉球状黒鉛鑄鉄の材質に及ぼすMn量、冷却速度、接種、RE量の影響について調べることを目的とした。第1章では研究の背景と目的を記述した。

第2章では本研究の基礎となるMn量と肉厚について組織と機械的性質を調査した。Mn量0.3%から1.5%まで増加し、試験片の厚肉は厚肉機械部材の肉厚構成をもとに変化させた。実験に用いた試験片寸法と冷却速度は100×100×500mmが0.22K/s、300×300×500mmが0.12K/s、500×500×500mmが0.08K/sである。冷却速度0.12K/s以下の試料は、Mn量0.9%以上で最終凝固部にMnが濃化し粗大なセメントライトが形成した。黒鉛形態は冷却速度の影響を受け、引張強さは厚肉化によって冷却速度が0.22K/sになると黒鉛粒の粗大化に伴う黒鉛球状化率の低下と結晶粒の粗大化により低下した。特にMn量が増加するほどその影響が大きくなり、冷却速

度が 0.12K/s 以下では黒鉛粒，結晶粒の粗大化と最終凝固部の粗大なセメンタイトの存在が引張強さ，伸びを低下させた．伸びは黒鉛形態と結晶粒径の影響に加え Mn 量増加によるパーライト面積率の増加と最終凝固部の粗大なセメンタイトの存在が複合的に影響して低下すると考えられる．硬さへの黒鉛形態の影響は小さく，Mn 量，肉厚化で変化するパーライト面積率が影響する．

第 3 章では第 2 章で得られた結果から組織，機械的性質に大きな影響を与える Mn 量 0.9% で冷却速度（肉厚）を変化させ，組織，機械的性質に及ぼす後期接種の影響について調査した．マクロ組織観察から肉厚が増加し冷却速度が小さい試料のパーライト組織の塊が大きくなる．後期接種を行うことでパーライト組織は減少し，冷却速度が小さい試料のパーライト組織の塊も小さくなる．後期接種によって Mn 量 0.9%，冷却速度 0.12K/s 以下の試料において最終凝固部の粗大なセメンタイトはほぼ無くなり，パーライト面積率が低下し黒鉛粒数，結晶粒数が増加した．しかし，後期接種により冷却速度 0.12K/s 以下の試料にはチャンキー黒鉛が晶出した．そのため引張強さ，伸びは後期接種によって冷却速度 0.22K/s では増加するが，冷却速度 0.12K/s 以下では大きく増加しなかった．

第 3 章で後期接種を行っても冷却速度が 0.12K/s 以下になるとチャンキー黒鉛晶出により引張強さ，伸びが大きく増加しなかった．そこで，第 4 章ではチャンキー黒鉛晶出に大きな影響を及ぼす RE に着目し，厚肉球状黒鉛鑄鉄の組織と機械的性質に及ぼす Mn と RE の影響を調査した．RE 量は第 2 章，第 3 章の 200ppm に対して 20ppm に低下させた．パーライト面積率は RE 量減少により低下し，黒鉛粒数，黒鉛球状化率は増加してチャンキー黒鉛は晶出しなかった．その結果，RE 量低減により引張強さ，伸びが増加し，Mn 量増加に対して RE 量 20ppm にすることで安定した機械的性質が得られた．

第 5 章では Mn 量 0.3% で後期接種無し (RE 量 200ppm)，Mn 量 0.6% で RE 量を 20ppm にした後期接種有りの条件で，実機を模擬した 1500×1500×400 mm (6500 kg) 鑄造品の組織と機械的性質を評価した．RE 量 20ppm で後期接種有りの試料は Mn 量 0.6% であってもパーライト面積率が 10% 以下で，黒鉛球状化率が 80% 程度まで増加した．その結果，Mn 量 0.3% で後期接種無しの試料が引張強さ:360MPa，伸び:9% を示したのに対して Mn 量 0.6% で RE 量を低減した後期接種有りの試料では引張強さ:380MPa，伸び:12% と高い値を示した．

第 6 章では第 2 章から第 5 章までの結論を総括し，本論文の目的に対する結論を述べた．

本研究で厚肉球状黒鉛鑄鉄における Mn 量増加による機械的性質低下の組織的要因を特定し，後期接種，RE 量低減の組織，機械的性質への影響を検証した．後期接種と RE 低減によって黒鉛粒，結晶粒の粗大化，粗大セメンタイト形成は抑制され Mn 量増加前の機械的性質を維持できることを確認した．

論文審査結果の要旨

近年、自動車の軽量化を目的とした高張力鋼の使用率が増加しており、鑄鉄の鉄原料となるスクラップ鋼中の高張力鋼の量も増加している。鑄鉄の溶解材料として高張力鋼を用いた場合は、普通鋼に比べて Mn を多く含むため鑄鉄中のパーライト安定化元素である Mn 量の増加により、延性を必要とするフェライト系球状黒鉛鑄鉄においては伸びの低下や加工性の低下が懸念される。

本研究は、厚肉球状黒鉛鑄鉄の材質に及ぼす Mn 量の影響を調べるともに関連する冷却速度、接種、RE 量の影響についても調べることを目的として行った内容である。

第2章では、Mn 量と肉厚（冷却速度）を変化させた厚肉球状黒鉛鑄鉄の機械的性質に及ぼす基地組織と黒鉛形態の影響を調べている。冷却速度 0.12K/s 以下の試料において、Mn 量 0.9%以上で最終凝固部に Mn が濃化し粗大なセメンタイトが形成すること、黒鉛粒の粗大化に伴う黒鉛球状化率の低下が起こること、結晶粒の粗大化により引張強さと伸びが低下することを明らかにした。特に Mn 量が増加するほどその影響が大きくなり、冷却速度が 0.12K/s 以下になる肉厚の試料では、黒鉛粒、結晶粒の粗大化と最終凝固部の粗大なセメンタイトの存在が引張強さ、伸びを低下させることを明らかにした。

第3章では、高 Mn 厚肉球状黒鉛鑄鉄への粗大セメンタイト晶出防止のために、後期接種と呼ばれる溶湯処理の効果について検証を行っている。後期接種によって Mn 量 0.9%、冷却速度 0.12K/s 以下の試料において最終凝固部の粗大なセメンタイトは無くなり、パーライト面積率が低下し黒鉛粒数、結晶粒数が増加することを明らかにした。また試料のパーライト組織も小さくすることに成功した。ただし、後期接種を行っても冷却速度が 0.12K/s 以下になる肉厚の試料では、引張強さ、伸びが大きく増加しなかった。この原因は、チャンキー黒鉛の晶出によるものであることを明らかにした。

第4章では、チャンキー黒鉛晶出に大きな影響を及ぼす RE に着目して研究を行っている。RE 量 200ppm に対して 20ppm に低下させると、パーライト面積率は RE 量減少により低下し、黒鉛粒数、黒鉛球状化率は増加してチャンキー黒鉛は晶出しなかった。その結果、引張強さ、伸びが増加し、Mn 量増加に対して RE 量 20ppm で機械的性質が向上することを明らかにした。

第5章では、第2章～第4章まで得られた結果を、厚肉球状黒鉛鑄鉄実製品に展開するために、後期接種と RE 量低減の組み合わせ効果を組織、機械的性質の観点から検証を行っている。Mn 量 0.3%で後期接種無し（RE 量 200ppm）、Mn 量 0.6%で RE 量を 20ppm にした後期接種有りの条件で、実機を模擬した 1500×1500×400 mm（6500 kg）鑄造品の組織と機械的性質を評価した結果、従来品の引張強さ:360MPa、伸び:9%に対して、開発品は、引張強さ:380MPa、伸び:12%と高い値を示した。このことにより実製品を模擬した大型厚肉球状黒鉛鑄鉄試験片において RE 量を低減し、後期接種を行うことで、Mn 量増加対策と RE 低減の課題を達成した。

以上のように、本論文では、大型厚肉球状黒鉛鋳鉄品の製造において、高 Mn 鋳鉄溶湯に後期接種と低 RE 添加の 2 種類の溶湯処理を行う極めて効果的な溶湯処理方法を確立したもので、その工学的意義が極めて大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。

原著論文名

厚肉球状黒鉛鋳鉄の組織と機械的性質に及ぼす Mn と熱処理の影響

藤本亮輔，平塚貞人，堀江皓，晴山巧，本間周平

鋳造工学，85 巻，10 号，P651-658

2013 年 10 月発行