

氏 名	ふじしま しんぺい 藤島 晋平
本籍（国籍）	北海道
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博 第324号
学位授与年月日	令和3年3月23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	高マンガン球状黒鉛鑄鉄の機械的性質の改善と その機構に関する研究
学位審査委員	主査 教授 平塚貞人 副査 教授 水本将之 副査 准教授 山口 明

論文内容の要旨

本論文では原材料の高 Mn 化による球状黒鉛鑄鉄の伸びの低下を想定し、高 Mn 球状黒鉛鑄鉄の機械的性質、特に伸びの改善を目標とした。球状黒鉛鑄鉄では Mn は黒鉛化を阻害する元素であり、基地組織のパーライトが促進され引張強さを増加させるが、伸びを低下させる元素である。その影響で伸びが必要な鑄鉄品の生産が困難になりつつある。

本研究では、高 Mn 溶湯に種々の溶湯処理剤(球状化剤と接種剤)を添加し、機械的性質、特に伸びとの関係を調べた。伸びが高いものは黒鉛粒数が多く、フェライト率が高いことが分かったので、それぞれの処理剤が溶湯中に生成する硫化物の数、及びその数の経時変化と黒鉛粒数との関係から黒鉛粒数増加機構を明らかにした。

第1章「序論」では、本研究の社会背景として、自動車用鋼板の軽量化を目的とした高強度のハイテン材の導入について調べ、本研究の目的と意義を記述し、本研究の構成と方針について述べた。

第2章「球状黒鉛鑄鉄の機械的性質に及ぼす Mn 添加の影響」では、Mn が球状黒鉛鑄鉄に与える影響を調べるために、球状化処理剤に RE を含有していないものを、接種剤には低 Ca 低 Al 含有のものを選択し、微量元素の影響を受けないようにし、Mn 量を変化させて球状黒鉛鑄鉄の機械的性質に及ぼす Mn 量の影響を調べた。Mn の含有量が増加すると基地組織のフェライト面積率が減少し、引張強さは増加し、伸びは減少した。また、基地組織への Mn の固溶の影響を調べるために、フェライト化焼鈍を行い、基地組織を均一にしたところ、Mn の増加に伴い引張強さはわずかに増加するが、伸びにはほとんど影響がないことが分かった。

第3章「高 Mn 球状黒鉛鑄鉄の機械的性質に及ぼす球状化剤に含有する RE の影響」では、高 Mn 含有球状黒鉛鑄鉄の機械的性質、特に伸びに及ぼす球状化剤に単独で含有する La の影響について調べることを目的とした。La 系試料は他の試料に比べ、黒鉛粒数が多かったため、フェライト面積率が高く、伸びの改善が見られた。また、球状黒鉛溶湯からどのように黒鉛が晶出しているかを調べるために、球状化処理後から 30°C/分ごとに急冷させた試料の組織観察を行った。その結果、La 系試料は処理直後から黒鉛粒数が多く、また、時間経過とともに増加し続けた。これは、球状黒鉛の核の下地となる La などを含む複合硫化物が小さくかつ多数存在しているためと考えられる。

第4章「高 Mn 球状黒鉛鑄鉄の組織と機械的性質と組織に及ぼす接種剤の影響」では、La 単独含有している球状化剤を用いて、市販されている代表的な接種剤を使用し、高 Mn 球状黒鉛鑄鉄における接種剤それぞれの伸び、フェライト率、黒鉛粒数、冷却速度との関係を調べた。それぞれの接種剤には特徴があり、モジュラスが低いとき伸びの効果が高いもの、モジュラスが高いとき伸びの効果が低いものがあり、本実験では前者が Sr 剤、後者が FeSi 剤ということが分かった。

第5章「高 Mn 球状黒鉛鑄鉄の黒鉛粒数増加機構」では、黒鉛粒数増加機構を調べるために、3種類の球状化剤を用いて、さらに La 系は第4章で伸びに効果の高かった接種剤を用いて、急冷金型試料を時間経過ごとに採取し、その試料の黒点の組成と数を計測し、黒鉛粒数増加との関係を調べた。観察された黒点は、黒鉛晶出の下地となる硫化物であることが分かり、その硫化物が多いほど黒鉛粒数が多い傾向にあることが分かった。球状化剤では La 系が処理直後から硫化物の数が多く、保持時間と共に著しく増加したため、La 系の黒鉛粒数が多かったと考えられる。また、接種剤においては、Sr 系は時間経過とともに硫化物が減少するため、凝固速度が遅いと効果が低いということが分かった。

第6章「球状黒鉛鑄鉄の材質に及ぼす高 Mn スチールスクラップの配合率の影響」では、高 Mn 球状黒鉛鑄鉄の原材料に高 Mn 鋼屑を使用し、その配合率が機械的性質と組織に与える影響について調べた。高 Mn 鋼屑の配合率が増加すると引張強さと硬さは増加し、伸びは減少した。さらにフェライト率は減少していた。また、第3章と同様に La 球状化剤で球状化処理をすると黒鉛粒数は増加するので、フェライト率が増加し、伸びも増加していた。

第7章「総括」では、本研究の成果を要約して示した。本論文では、高 Mn 球状黒鉛鑄鉄でも溶湯処理剤により高い伸びが得られること、また、黒鉛粒数が増加するとフェライト率が増加し、伸びも増加するという機構を明らかにした。

論文審査結果の要旨

本論文は、本研究では、高 Mn 溶湯に種々の溶湯処理剤(球状化剤と接種剤)を添加し、機械的性質、特に伸びとの関係を調べ、それぞれの処理剤が溶湯中に生成

する硫化物の数、及びその数の経時変化と黒鉛粒数との関係から黒鉛粒数増加機構について検討している。

第1章「序論」では、本研究の社会背景として、自動車用鋼板の軽量化を目的とした高強度のハイテン材の導入について調べ、本研究の目的と意義を記述した。また、本研究の構成と方針について述べている。

第2章「球状黒鉛鑄鉄の機械的性質に及ぼす Mn 添加の影響」では、Mn が球状黒鉛鑄鉄に与える影響について調べることを目的とし、球状化処理剤に RE を含有していないものを、接種剤には低 Ca 低 Al 含有のものを選択し、Mn 量を変化させて球状黒鉛鑄鉄の機械的性質に及ぼす Mn 量の影響を調べている。その結果、Mn の含有量が増加すると基底組織のフェライト面積率が減少し、引張強さは増加し、伸びは減少することを明らかにし、また、フェライト化焼鈍を行い、基底組織を均一にした場合、Mn の増加に伴い引張強さはわずかに増加するが、伸びにはほとんど影響がないことを明らかにしている。

第3章「高 Mn 球状黒鉛鑄鉄の機械的性質に及ぼす球状化剤に含有する RE の影響」では、高 Mn 含有球状黒鉛鑄鉄の伸びに及ぼす球状化剤に単独で含有する La の影響について調べている。その結果、La 系試料は他の試料に比べ、黒鉛粒数が多く、フェライト面積率が高く、伸びが改善することを明らかにしている。また、La 系試料は処理直後から黒鉛粒数が多く、時間経過とともに増加し続けているが、これは、球状黒鉛の核の下地となる La などを含む複合硫化物が小さくかつ多数存在してことに起因することを明らかにしている。

第4章「高 Mn 球状黒鉛鑄鉄の組織と機械的性質と組織に及ぼす接種剤の影響」では、La 単独含有球状化剤を用いて、市販されている代表的な接種剤を使用して、伸び、フェライト率、黒鉛粒数、冷却速度との関係について調べている。その結果、それぞれの接種剤には特徴があり、モジュラスが低いとき伸びの効果が高い接種剤は Sr 剤であり、モジュラスが高いとき伸びの効果が高いものが FeSi 剤であることを明らかにしている。

第5章「高 Mn 球状黒鉛鑄鉄の黒鉛粒数増加機構」では、急冷金型試料を時間経過ごとに採取し、その試料の黒点の組成と数を計測し、黒鉛粒数増加との関係を調べている。その結果、観察された黒点は、黒鉛晶出の下地となる硫化物であり、その硫化物が多いほど黒鉛粒数が多い傾向にあることを明らかにしている。特に、球状化剤では La 系が処理直後から硫化物の数が多く、保持時間と共に著しく増加するという黒鉛粒数増加機構を明らかにしている。

第6章「球状黒鉛鑄鉄の材質に及ぼす高 Mn スチールスクラップの配合率の影響」では、高 Mn 球状黒鉛鑄鉄の原材料に高 Mn 鋼屑を使用し、その配合率が機械的性質と組織に与える影響について調べている。高 Mn 鋼屑の配合率が増加すると引張強さと硬さは増加し、伸びは減少することを明らかにしている。また、La 球状化剤で球状化処理をすると黒鉛粒数は増加するので、フェライト率が増加し、伸びも増加することも明らかにしている。

第 7 章は、総括で各章のまとめと本研究成果の活用について述べている。本研究の成果は、高マンガン球状黒鉛鑄鉄の伸び改善による品質向上の一助となることが期待できる。

以上のように、本論文では、高マンガン球状黒鉛鑄鉄の機械的性質、特に伸びの改善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（1編）

1. 藤島晋平，鹿毛秀彦，小綿利憲，平塚貞人

高マンガン含有球状黒鉛鑄鉄の機械的性質に及ぼす球状化剤中の RE の影響
鑄造工学，92 巻，3 号，138-143，2020 年 3 月