

## 低炭素球状黒鉛鑄鉄の特性に関する研究

芦塚, 康佑

<https://hdl.handle.net/2324/1441194>

---

出版情報：九州大学, 2013, 博士（工学）, 課程博士  
バージョン：  
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）

氏 名 : 芦塚 康佑

論文題名 : 低炭素球状黒鉛鑄鉄の特性に関する研究

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

鑄鉄は黒鉛を凝固中に晶出させて、鑄造性、湯流れ性、鑄造欠陥、切削性等を向上させた材料であるが、特に球状黒鉛鑄鉄は微量 Mg の添加により黒鉛を薄片状から球状に変化させて、のび、引張強さ等を改善した鑄鉄であり、産業機械部品、自動車部品、鑄鉄管、マンホール等に広く利用されている。しかし、鑄鋼と比較すると室温での衝撃吸収エネルギーが著しく低い等の欠点もある。鑄鉄が有する高い鑄造性と低いコストを有しながら鑄鋼に匹敵する機械的性質を確保し用途を拡大するためには、黒鉛および基地組織の制御が必須である。一般的な鑄鉄では C と Si の含有量が高く設定されているが、C 量を低下させた低炭素組成の鑄鉄について組織と機械的性質を関連性を明確にするためには、凝固過程における初晶オーステナイト相の成長、共晶変態における黒鉛分布、冷却中の黒鉛成長、共析変態における基地組織の形成過程、等の現象をそれぞれ解析した上で、さらに、熱処理による基地組織の最適化を図る必要がある。また、ひけ巣と呼ばれる空洞型鑄造欠陥を生成させない低炭素鑄鉄専用の鑄造条件を見出す必要がある。そこで、本研究では、まず低炭素球状黒鉛鑄鉄の機械的性質に及ぼす C, Si および Ni 添加と得られる基地組織の影響について系統的に調査している。さらに、炭素低下のために悪化した鑄造性を評価し、低炭素鑄鉄の鑄造方案の指針を見出すことを目的として、以下の検討を行った。

まず、C と Si の含有量を系統的に変化させたフェライト基地球状黒鉛鑄鉄を作製し、基本的な機械的性質である静的引張特性と V ノッチシャルピー衝撃試験による切欠きじん性について評価している。鑄鉄試料の C 量の減少および Si 量の増加とともに引張強さ、0.2%耐力およびのびが増加すること、さらに衝撃吸収エネルギーも増加することを示し、球状黒鉛の面積割合の低減とフェライト基地組織に含有する Si の固溶強化が機械的性質を向上させていることを明らかにしている。しかし、過剰な Si 添加は遷移温度を上昇させるので、低温じん性が重要とされる部材では逆に Si 量の低下が必須であり、2%C・1.5%Si 含有のフェライト球状黒鉛鑄鉄は $-20^{\circ}\text{C}$ で 30J 以上の衝撃吸収エネルギーとなることを見出している。

続いて、低炭素球状黒鉛鑄鉄の凝固および冷却中の組織変化について解析し、高性質材料のための組織制御指針を考察している。一般的な球状黒鉛鑄鉄とは異なり、低炭素鑄鉄では凝固過程で初晶オーステナイト相が組織の約 88%を占め、黒鉛はオーステナイト相間隙に配列するので、オーステナイト相の微細化がひいては機械的性質の向上に寄与することを示している。オーステナイト結晶成長中の溶質元素の再分配挙動を実効分配係数で評価し、Mn が最終凝固部に濃縮することを見出し、基地組織内の Mn の濃化はフェライト化を遅らせるので冷却速度の制御が重要であることを示している。さらに、高い切欠きじん性を得るには基地のフェライト化が必須であるので、低炭素球状黒鉛鑄鉄の熱処理における変態過程を調査し、基地の 90%をフェライト化させる最適熱処理条件を示している。

さらに、低温じん性を向上させることを目的として低炭素球状黒鉛鑄鉄の機械的性質に及ぼす Ni と Si の相互作用について調査している。Si および Ni 含有量を系統的に変化させた低炭素フェライト球状黒鉛鑄鉄を引張試験及び V ノッチシャルピー衝撃試験で評価し、引張強さおよび 0.2% 耐力は Ni 量の増加とともに増加するが、3mass%以上の過剰な Ni 添加は逆に性質を低下させることを示している。また、遷移温度に及ぼす Ni 添加の影響は Si 濃度に依存し、1mass%Si 以下の比較的少量の Si を含有する鑄鉄では Ni 添加による低温じん性の改善が著しく、1.9mass%C -0.6 mass%Si -2.1mass%Ni 含有のフェライト球状黒鉛鑄鉄は-80℃で 30J 以上の衝撃吸収エネルギーを示すが、高 Si 濃度になると Ni の効果が見られなくなることを見出している。

一方、低炭素球状黒鉛鑄鉄は凝固途中で初晶オーステナイト相が 88%まで上昇するので、通常の球状黒鉛鑄鉄に比べて鑄造性が劣る。そこでコンピュータシミュレーションにより低炭素鑄鉄溶湯の湯流れを解析し、ひけ巣と溶湯の湯流れ限界長さの予測が可能であることを示している。

最後に以上の成果を総括し、低炭素球状黒鉛鑄鉄において、引張強さ、切欠きじん性等の機械的特性向上のための合金設計、組織制御および製造プロセス設計の指針を示している。