

アーク・スラグ溶湯精錬した球状黒鉛鑄鉄の引張強度特性と鑄造欠陥

藤川貴朗^{*}，柴田周治^{*}，木下潔^{**}，笹木正嗣^{**}

Casting Defects and Tensile Strength Properties of Spheroidal Graphite Cast Iron Produced by Arc-Slag Refining Melting Method

Takao FUJIKAWA, Shuji SHIBATA, Kiyoshi KINOSHITA and Masatsugu SASAKI

1. はじめに

鉄鋼に含まれる合金元素の含有量が増加することにより，鑄鉄の鉄源としての鉄スクラップ中の不純物量も増加傾向にある．このため，鑄鉄の製造にも種々の問題が生じている¹⁾．著者らは，これまで酸素過剰炎による鑄鉄溶湯からの不純物除去溶湯処理技術を開発してきた²⁾．この技術によって，除去可能な元素は酸化によって溶湯から取り除かれる．言い換えれば，鑄鉄溶湯と酸性スラグの接触による不純物除去技術とも言える．

反対に，酸素，硫黄などの不純物元素はこの技術では取り除くことが困難である．そこで本研究では，アーク・スラグ溶湯精錬処理により鑄鉄溶湯を塩基性スラグと接触させて不純物元素を除去して得られる球状黒鉛鑄鉄の引張強度特性と鑄造欠陥について検討した．

塩基性スラグを利用した鑄鉄の溶解炉としては，鑄鉄グライ粉をアーク放電によって溶解する，KS炉による脱酸，脱硫の実績があり³⁾．本実験はこの技術を鑄鉄溶湯の精錬処理に応用した．

2. 実験方法

実験に用いる鑄鉄の溶湯は，銑鉄，戻り材，鑄鉄グライ粉，鋼板を原料に用いて，1 t 高周波誘導溶解炉にて溶製した．この溶湯を図 1 に示すアーク・スラグ処理炉に 500 kg 供給し，石灰石を加えながらアーク放電により昇温した．このとき，アークの近傍の石灰石は溶融して塩基性のスラグとなり，アークの高温部で鑄鉄溶湯と接触する．2 分おきに鑄鉄溶湯の温度測定を行いながら，鑄鉄溶湯の成分変化を調べるとともに，溶湯処理終了後の溶融スラグ成分

^{*} 三重県工業研究所金属研究室

^{**} (株)木下製作所

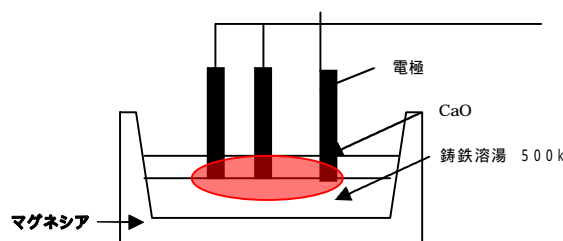


図 1 アーク・スラグ処理炉の概要図
を分析し，脱酸，脱硫の効果およびその他の不純物含有量の変化を調査した．

また，精錬した溶湯は球状化処理し，元湯の Mn 量を変化させて，肉厚 25 mm の Y ブロックに鑄込んで，FCD500 ~ FCD700 の球状黒鉛鑄鉄とし，引張試験によって強度と伸びを調べた．

さらに，400 mm，肉厚 50 mm 程度の円盤状製品に鑄造し，その表面を 1, 2, 3, 4 mm 深さで切削加工して，加工面に現れたドロス欠陥を磁粉探傷により評価した．

3. 実験結果と考察

表 1 に耐火物，スラグの化学組成を示す．処理炉内部はマグネシアクリンカー耐火物で築炉した．溶湯処理後に生成したスラグは強い塩基性である．

高周波溶解炉により溶製した鑄鉄溶湯は 1550 で出湯されるが，処理炉は冷温状態なので，今回の実験では一旦溶湯温度が低下する．図 2 に処理時間と溶湯温度の関係を示す．アーク放電開始とともに溶湯温度は上昇するが，この図で 1600 以上は熱電対による測定は困難であるから，放射温度計による推定値(白丸)でプロットしてある．この処理においてはアーク放電による加熱であるから，通常の鑄鉄溶解に比べて非常に高温状態である．

表1 耐火物，スラグの化学組成 (mass%) (ICP発光分光分析による)

| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | CaO | MnO | MgO |
|----------|------------------|--------------------------------|------|------|------|------|
| 石灰石(CaO) | 0.02 | 0.08 | 0.1 | 92.1 | 0.01 | 0.65 |
| マグネシア耐火物 | 3.3 | 0.46 | 0.44 | 1.7 | 0.03 | 71.6 |
| 処理後のスラグ | 9.4 | 0.08 | 8.6 | 84.5 | 0.06 | 0.23 |

図3に処理時間と不純物元素の含有量の推移を示す。硫黄，酸素は鑄鉄溶湯中では表面活性元素として働くので，脱硫，脱酸の及ぼす効果は顕著である。硫黄含有量は，処理時間とともに急激に減少した。また，酸素含有量は，処理の初期における溶湯温度低下によって一旦増大した後，溶湯温度の上昇とともに減少することがわかる。硫黄の含有量が50ppm(0.005mass%)以下であれば，通常のMg処理された球状黒鉛鑄鉄と同等量であるので，球状化のためとしての精錬処理時間は20分以上あれば十分であることが予想される。

一方，Ca，Mgの含有量は処理時間とともに徐々に増加しているが，この程度ならば鑄鉄として問題は起こらない。これは耐火物の還元によるものと考えられる。しかし，Alの含有量は60ppm(0.006mass%)以上に達しており，球状黒鉛鑄鉄においては，伸びや湯流れ性に影響を及ぼす可能性があるため好ましくない⁴⁾。また，Alが混入した原因は不明であるが，高温処理により耐火物中のわずかなアルミナ分を還元している可能性もあり，さらに検討を要する。

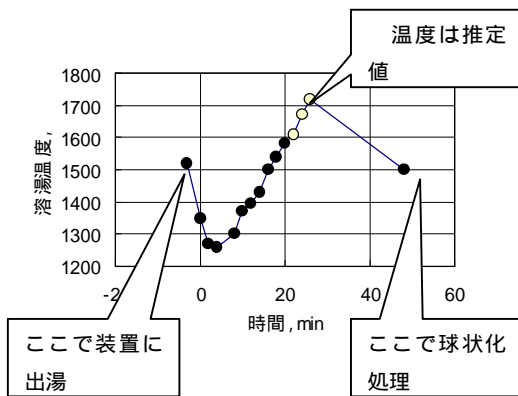


図2 処理時間と溶湯温度の関係

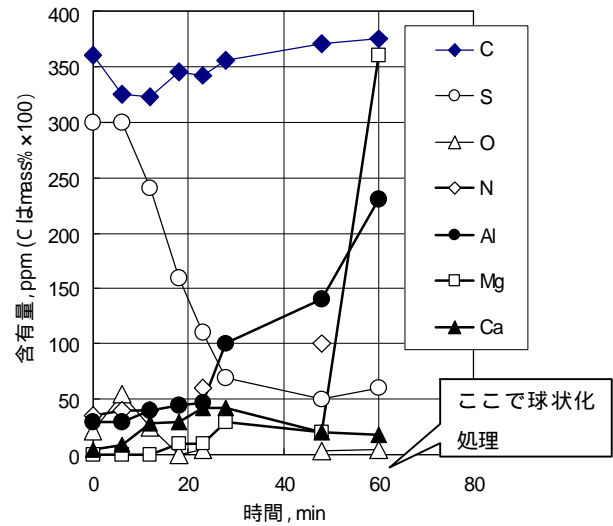


図3 処理時間と不純物元素の含有量の関係

溶湯精錬し，球状化処理した球状黒鉛鑄鉄の引張強さと伸びの関係を図4に示す。ここでは，Mnの含有量により引張強さを变化させた。

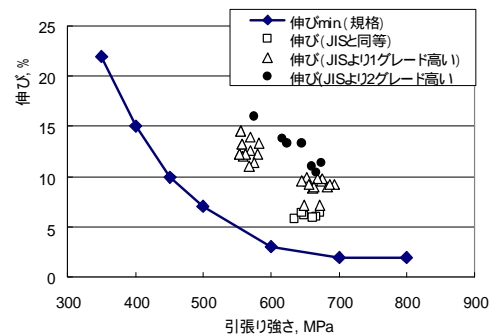


図4 鑄造した球状黒鉛鑄鉄の引張強さと伸びの関係

JIS規格⁵⁾による引張強さと伸びの関係を曲線で示したが，すべての試料でJIS規格より伸びが上回っており，十分高品質な球状黒鉛鑄鉄が製造できたと考えられる。

次に，円盤状製品の上型面における切削加工を行った後の磁粉探傷による欠陥検出の様子を図5に示す。また，2mm以上の欠陥についてその数を測定し

た結果を図6に示す。精錬した溶湯から製造した球状黒鉛鑄鉄では欠陥が現れず、ドロス（ここでは酸化物系ドロスを対象とした）が大幅に減少した。



図5 磁粉探傷によるドロス欠陥の検出

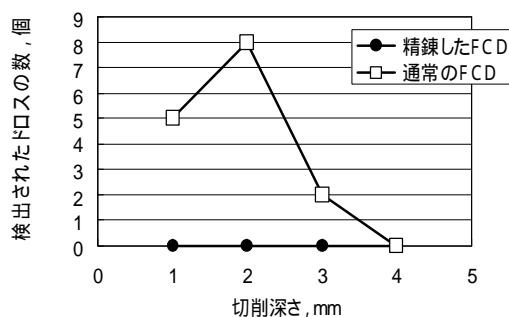


図6 切削加工深さとドロス欠陥数

4. まとめ

アーク放電によって鑄鉄溶湯を高温処理し、塩基性スラグと接触させることによって溶湯からの不純物除去を検討し、以下のような結果を得た。

1) 本実験に用いたアークスラグ精錬処理により、

およそ 20 分の処理時間で、50ppm (0.005mass%) 程度の必要十分な脱硫が行われる。

2) 本処理中に溶湯中の Al 含有量が増加することがあり、さらに検討を要す。

3) 本処理で不純物除去をおこなった鑄鉄溶湯を球状化処理して球状黒鉛鑄鉄を製造した結果、引張強さに対応した伸びは十分確保できた。

4) 同溶湯を 400 mm の円盤状製品に鑄造し、表面加工を行った結果、ドロス欠陥が大幅に減少した。

謝辞

本研究は、平成 23 年度戦略的基盤技術高度化支援事業により中国経済産業局から委託を受けた(財)ひろしま産業振興機構からの再委託により実施した「溶湯精錬(リファイニング)による鑄鉄の高品質化および低コスト化技術の開発」により行われた研究の一部である。関係各位に深く感謝する。

参考文献

- 1) 片山裕之ほか：“鉄のリサイクルプロセス”。まてりあ, 35 (12), p. 1283-1289 (1996)
- 2) 藤川貴朗ほか：“新しい鑄鉄溶湯の不純物処理技術”, 三重県工業研究所研究報告, 34, p38-45 (2010)
- 3) 木下定ほか：“塩基性アーク炉による球状黒鉛鑄鉄のぬれ性と鑄造欠陥の関連性について”。JACT NEWS, 465, p35-41 (1995)
- 4) 藤川貴朗ほか：“トランプエレメントを含有する鉄源のリサイクルに関する研究 - 実験データ集” (2001)
- 5) JIS G5502, “球状黒鉛鑄鉄品”, (2001)