



Title	機械攪拌式脱硫法による溶銑脱硫反応の高効率化に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	中井, 由枝
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	乙第7203号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91798
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yoshie_NAKAI_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 中井 由枝

審査担当者 主査教授 大野 宗一
副査教授 上田 幹人
副査教授 林 重成

学位論文題名

機械攪拌式脱硫法による溶銑脱硫反応の高効率化に関する研究

(Study on Efficiency Improvement of Hot Metal Desulfurization in Mechanical Stirring Process)

近年、鋼材の品質向上に伴って低硫黄濃度化への要求が高まっているが、鉄鋼原料の不純物やスクラップ溶解量の増加に伴い、溶銑の硫黄濃度は上昇傾向にある。現在主流の機械攪拌式脱硫プロセスは、脱硫剤である石灰を溶銑の浴面に自由落下させ、攪拌により脱硫剤を溶銑内に巻き込むことで脱硫を行っている。しかし、脱硫剤は溶銑温度では固体であり、溶銑との濡れ性が悪いため、脱硫剤が凝集して塊状となり、反応効率が低いという課題があった。そこで本研究では、脱硫剤の反応効率を大幅に向上させるための脱硫プロセス技術の確立を目指し、水モデル実験、小型炉実験、実機設備を用いた実験を行い、機械攪拌式脱硫法におけるフラックス粒子の分散促進と凝集挙動を解明することで反応界面積を増大させる投射添加方法の発展を試みた。さらに、環境調和型プロセスを目指した添加剤の研究とスラグリサイクルについても取り組んだ。

本論文は全7章から構成されている。

第1章では、高級鋼の製造におけるニーズの変化に伴う製鋼精錬プロセスと脱硫処理プロセスの変遷について述べ、溶銑予備処理の必要性を示した。さらに、機械攪拌式脱硫法の原理と課題について説明し、本研究の目的を明らかにした。

第2章では、機械攪拌式脱硫法における脱硫フラックス粒子の分散挙動と脱硫反応の関係について、水モデル実験と溶銑を用いた小型炉実験によって検証した。水モデル実験では、容器形状やインペラー形状などの攪拌条件によって浴面形状が決定されること、またその浴面形状を計算から推定可能であることを明らかにした。さらに、浴面形状とインペラーの位置関係がフラックス粒子の強分散に重要であることを定量的に解明した。また、小型炉実験において、フラックスの分散挙動と溶銑の脱硫反応との関係を調査し、インペラーの回転数を増加させて強分散領域で脱硫を行うことにより反応界面積が増加し、脱硫速度が向上することを明らかにした。

第3章では、溶銑脱硫反応に及ぼすフラックス凝集の影響を明確化するために、フラックスの添加量とインペラー回転数を变化させた小型炉実験を行い、スラグ粒径の経時変化を測定した。これによりフラックスが浴中で実際に凝集し、この凝集が脱硫速度の低下要因となっていることを確認した。さらに、造粒理論に基づいてフラックス凝集による反応界面積の変化を定量化することで、フラックス凝集による反応界面積変化を考慮した脱硫挙動が推定可能となった。

第4章では、第2章と第3章で述べたフラックスの分散促進と凝集抑制を目的として、脱硫剤の添加方法が脱硫反応へ及ぼす影響を調査した。脱硫剤の添加方法として、溶銑浴上からの一括添加、連続添加、投射添加に着目し、水モデル実験と小型炉実験を行った。連続添加や投射添加によ

り、従来の一括添加と比較して、処理後のスラグ粒径が減少し、脱硫効率も向上した。

第5章では、環境調和型の溶銑脱硫処理のために、蛍石を使用しない脱硫剤に関する研究を行った。Al-CaO-MgO系の脱硫剤を候補とし、安価なドロマイトをベースにしたフラックスを提案した。脱硫剤の組成がMgガス発生挙動に与える影響を調査し、小型炉実験によって脱硫挙動を評価した。その結果、CaO源とMgO源が微細に近接しているドロマイトを使用することで、Mgガス発生率が向上し、CaO効率が約2倍向上することがわかった。さらに、実機設備での試験でも、従来のCaO効率8~10%に対して約26%のCaO効率を達成した。

第6章では、脱硫スラグのリサイクル使用の可能性について、小型炉実験と実機試験によって検証した。第2章の結果から、未反応石灰の新界面を創出することで、リサイクルスラグとして再利用できる可能性があると考えた。本章の調査によって、リサイクルスラグは脱硫剤の約7割の脱硫能力を持っており、スラグ中のSiO₂の増加が脱硫能力低下の原因であることを明らかにした。さらに、実機使用のシミュレーションによって、脱硫剤との混合使用が効果的であり、複数回のリサイクルが可能であることを示した。実機試験によって、リサイクルスラグの複数回使用時の脱硫能力を確認した。このスラグリサイクルプロセスの確立により、脱硫剤の使用量を40%削減することができた。

第7章は本研究の総括である。

これを要するに、著者は製鋼工程の機械攪拌式脱硫法におけるフラックス粒子の分散促進と凝集の挙動を解明することにより、反応界面積を増大させる新たな投射添加方法を発展させた。本成果は、製鋼の高温プロセス工学の分野における工学的及び学術的な進歩に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。