



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_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 中井 由枝

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い、低硫黄濃度化への要求が高まっている。しかし、鉄鋼原料の不純物濃度増加や、スクラップ溶解量増加に伴う硫黄分を含んだ熱源の使用量増加から、溶銑の硫黄濃度は上昇傾向にある。溶銑予備処理プロセスは、不純物を成分毎のプロセスにおいて除去することで、製鋼工程のコスト削減と鋼の高級化に寄与してきた。その中でも、硫黄を除去する溶銑脱硫プロセスは、極低硫鋼溶製に必要不可欠なプロセスとして発展してきた。特に、機械攪拌式脱硫プロセスは、脱硫効率がよく、設備および処理の簡易さから、現在では主流のプロセスとなっている。

従来の機械攪拌式脱硫プロセスでは、脱硫剤である石灰を溶銑の浴面に自由落下させ、攪拌羽根を回転させることで脱硫剤を溶銑内に巻き込み脱硫を行ってきた。しかし、脱硫剤の融点は2000℃以上であるため、溶銑温度(1300℃程度)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。

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った。その結果、機械攪拌式脱硫法の特徴であるフラックス粒子の分散促進と凝集挙動の解明により、反応界面積を増大させる投射添加を提案した。また、環境調和型プロセスを目指した添加剤の研究や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。その内容を以下に説明する。

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70kgの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、インペラー形状、回転数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により推定することが可能であることを確認した。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巻き込みと浴内分散に影響を与えることを明らかにし、フラックス粒子の強分散には両者の位置関係が重要であることを定量化した。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た。インペラーの回転数を増加させることで脱硫挙動が変化し、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。機械攪拌式脱硫法の浴面形状を定量化し、攪拌条件と脱硫反応との相関性を示したことは、これまでになかった新たな知見である。

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、フラックスの凝

集挙動に影響を与える因子として、フラックスの添加量とインペラー回転数を変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。機械攪拌式脱硫法では、フラックスが浴中で凝集しており、このフラックス凝集が、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により、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を推定することが可能となった。機械攪拌式脱硫法における石灰効率の低さがフラックス凝集に起因することを明らかにし、その凝集挙動をモデル化したことは、従来にない新たな知見である。

第4章では、第2章、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、水モデル実験でフラックス添加時の凝集・分散挙動を観察し、フラックス添加方法を変えた小型炉実験も行った。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。特に投射添加は、脱硫効率が最も高く、フラックス添加時の分散促進と連続添加による単位時間あたりの添加量の減少に伴う凝集抑制効果によるものと推定された。実機設備での試験にも展開し、投射添加による脱硫効率の向上を確認した。

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。具体的には、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章の研究から、脱硫フラックスは凝集しており、その中央部分に未反応石灰が存在していることに着目し、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。実験結果から、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 SiO_2 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章では本論文を総括した。