

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	鋼の連続鋳造モールドフラックス中の放射伝熱に及ぼす添加還元剤の影響
Title(English)	Effects of reducing agents on radiative heat transfer across mould flux for continuous casting of steel
著者(和文)	WangMin
Author(English)	Min Wang
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9617号, 授与年月日:2014年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小林 能直,須佐 匡裕,史 蹟,林 幸,上田 光敏
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9617号, Conferred date:2014/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Wang Min		
論文審査 審査員	主査	氏 名	職 名	審査員	氏 名	職 名
		小林 能直	准教授		上田 光敏	准教授
	審査員	須佐 匡裕	教授			
		史 蹟	教授			
		林 幸	准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、“Effects of reducing agents on radiative heat transfer across mould flux for continuous casting of steel” (鋼の連続铸造用モールドフラックス中の放射伝熱に及ぼす還元剤の影響)と題し、6 章から構成されている。

Chapter 1 “General introduction”では、既往の研究を概観し、鉄鋼の高速連続铸造において問題となる表面割れの抑制には、モールドフラックスによる铸片の緩冷却化が必要であり、特に、放射伝熱抑制には、フラックス中の酸化鉄濃度の低減が有効であると述べている。また、それらの知見を踏まえた上で、実プロセスにおいては、酸化鉄を含有しないモールドフラックスを使用した場合でも、それが溶鋼と共存することから、不可避免的に酸化鉄濃度が上昇するとの懸念を示し、酸化鉄の生成速度を明らかにするとともに、還元剤による酸化鉄生成抑制の可能性、それにともなうモールドフラックス中の放射伝熱抑制の可能性を明らかにすることが必要であることを指摘し、本論文の意義と目的を述べている。

Chapter 2 “Iron oxide pick-up by iron oxide free mould fluxes”では、実用組成を模擬した、酸化鉄を含有しないモールドフラックスを作製し、それを約 1890 K において熔融し、溶鉄と共存させて、フラックス中の酸化鉄濃度の経時変化を測定している。酸化鉄生成の酸素源を特定するために、雰囲気中の酸素分圧およびフラックス中の SiO_2 活量を変化させるとともに、出発試料である溶鉄中の残留酸素濃度を制御するために Al 添加量を変化させた実験を行い、それらの結果より、酸素源は溶鉄中の残留酸素であることを明らかにしている。さらに、通常の溶鉄を用いた実験から得られた酸化鉄濃度の経時変化より、この酸化鉄生成はフラックス中の境膜内の酸化鉄の移動により支配されていることを示し、その物質移動係数を約 $7.5 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ と決定している。

Chapter 3 “Reduction of iron oxides in mould fluxes with additions of reducing agents”では、酸化鉄を約 2 mass%含有した実用組成のモールドフラックスを試料として、その酸化鉄の還元実験を行っている。すなわち、還元剤として Al, Si および CaSi_2 を用い、これらの粉末を約 4 mass%の濃度までフラックスに添加し、約 1673 K(Al, CaSi_2 の場合)および 1700 K(CaSi_2 , Si の場合)にて熔融・保持し、酸化鉄濃度の経時変化を測定している。熔融後のフラックス、還元された鉄が除去された場合に期待されるような透明にはならず、不透明・黒色であったが、約 4 mass%の還元剤添加では、フラックス中の酸化鉄濃度は 1.8 ks で約 2 mass%から約 0.04 mass%まで低下すること、また、見かけの還元能は $\text{Si} > \text{CaSi}_2 > \text{Al}$ の順に高いことを見出している。さらに、酸化鉄濃度の経時変化から求めた見かけの物質移動係数は、Chapter 2 で求めた酸化鉄生成に関する物質移動係数より約 200 倍大きく、実プロセスにおいて酸化鉄を含有しないモールドフラックスを使用する場合、酸化鉄生成を抑制できると述べるとともに、物質移動係数の大きさの差は反応界面積によると考察している。

Chapter 4 “Improvement of calculation model for radiative heat flux by net radiation method”では、放射伝熱流束の計算モデルの改善を提案している。すなわち、従来のモデルでは、铸片-铸型間に存在するモールドフラックスを液相および結晶を含んだ固相の 2 層に分け、铸片からの放射および固相高温部からの放射を考慮して、铸型に達し得る放射熱流束を評価していたのに対し、本研究では、空気層の存在を加味し、さらに固相低温部か

らの放射および鑄型からの反射も考慮して、鑄型に正味に輸送される放射熱流束を評価している。改善したモデルは、放射熱流束の鑄片温度・鑄型温度依存性およびフラックス厚さ依存性を合理的に再現することを確認しているが、フラックス中の酸化鉄濃度への依存性については、従来のモデルとは逆の傾向があることを指摘し、この点については、実験による検証が必要であると述べている。

Chapter 5 “Heat transfer characteristics of mould fluxes containing reducing agents”では、Chapter 3 で作製した試料について、光学的性質を測定し、その伝熱特性の評価を行っている。すなわち、Chapter 3 で取り扱った試料のうち、Si および CaSi_2 を還元剤とした場合のガラス試料と結晶化試料を準備して、積分球付き分光光度計を用いて、それらの見かけの反射率および透過率を測定し、いずれの試料においても、見かけの反射率および透過率は測定全波長領域にわたり、それぞれ0, 0.05程度となり、吸収率は0.95程度となることを見出している。この結果にChapter 4 で提案した計算モデルを適用して放射伝熱流束を評価するとともに、関係する物質の熱伝導率とフーリエの方程式から伝導伝熱流束を推算し、これらを合算して総括伝熱流束を評価している。その結果、還元剤添加のフラックスの総括伝熱流束は、未添加の場合と比較して約 7%低下することを見出すとともに、酸化鉄濃度が 2 mass%程度の場合、還元剤のモールドフラックスへの添加割合は、約 3 ~ 4 mass%が緩冷却に最も有効であると結論している。

Chapter 6 “Conclusions”では、本論文で得られた結果を総括している。

以上を要するに、本論文は、モールドフラックス中の酸化鉄の生成機構と生成速度を明らかにするとともに、Si および CaSi_2 の添加が酸化鉄の生成を抑制し、モールドフラックスによる鑄片の緩冷却化に有効であることを明らかにしたものであって、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として、十分な価値があるものと認められる。