

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |   |
|-------------------|---|
| 題目(和文)            | 急温度勾配下の熱伝導率に基づいた鋼の連続铸造用結晶化モールドフラックスによる緩冷却機構   |
| Title(English)    |   |
| 著者(和文)            | 高橋俊介  |
| Author(English)   | Shunsuke Takahashi  |
| 出典(和文)            | 学位:博士(工学),<br>学位授与機関:東京工業大学,<br>報告番号:甲第10759号,<br>授与年月日:2018年3月26日,<br>学位の種別:課程博士,<br>審査員:須佐 匡裕,林 幸,熊井 真次,小林 能直,上田 光敏   |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Engineering),<br>Conferring organization: Tokyo Institute of Technology,<br>Report number:甲第10759号,<br>Conferred date:2018/3/26,<br>Degree Type:Course doctor,<br>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 | 高橋 俊介 |       |     |
|-------------|-----|-------|---------|-------|-------|-----|
| 論文審査<br>審査員 |     | 氏名    | 職名      |       | 氏名    | 職名  |
|             | 主査  | 須佐 匡裕 | 教授      | 審査員   | 上田 光敏 | 准教授 |
|             | 審査員 | 林 幸   | 准教授     |       |       |     |
|             |     | 熊井 真次 | 教授      |       |       |     |
| 小林 能直       |     | 教授    |         |       |       |     |

### 論文審査の要旨(2000字程度)

本論文は、「急温度勾配下の熱伝導率に基づいた鋼の連続铸造用結晶化モールドフラックスによる緩冷却機構」と題し、7章から構成されている。

第1章「緒論」では、鋼の高速連続铸造において問題となる表面縦割れを防ぐためには、モールドフラックス(以下、フラックス)の結晶化による緩冷却が有効であるが、さらなる緩冷却化に向けてはその機構を解明する必要があるという背景を述べている。さらに、既往の研究を概観して問題点を抽出し、フラックス層の大部分を占める固体フラックスに着目し、格子伝熱と輻射伝熱の両方を含む見かけの熱伝導率を実用の連続铸造機と同様の急温度勾配下で測定すること、また見かけの熱伝導率をフラックスの結晶化度の関数として測定することが必要であると指摘するとともに、これらのデータに基づいて緩冷却機構を明らかにした上で、フラックスの組成・組織設計を行うことが重要であるとして、本研究の意義と目的を述べている。

第2章「定常平行平板法の原理を用いた熱伝導率測定装置および手法の開発」では、固体フラックスの見かけの熱伝導率を測定するために必要な装置および手法上の工夫とその結果について述べている。まず、試料を挟み込む加熱板と冷却板としては、通常使用されている銅板より熱伝導率の小さい SUS304 板を使用し、冷却板中に設置した2対の熱電対でより精度よく温度差を測定し、それより熱流束の決定を行っている。また、試料と SUS304 板の間には銀ペーストを塗布し、その接触熱抵抗を低減させるとともに、熱伝導率の比較的大きいインコネル 600 を試料として、加熱板温度を 100~500°C の範囲で変化させて、全熱抵抗を試料の厚さ(1~5 mm)の関数として測定し、それらの間にある直線関係の切片より、試料以外の部分の熱抵抗の値( $R_c$ )を $(2.27 \pm 0.37) \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$ と決定している。さらに、フラックス試料の熱抵抗の予想値は $10^{-3} \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$ の大きさであることから、 $R_c = 2.27 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$ の値は本装置の定数として扱えると述べている。

第3章「熱伝導率測定装置および手法の妥当性の実験的確認」では、第2章で開発した装置と $R_c$ の値を用いて、フラックス模擬試料としての石英ガラスに対して測定を行い、その結果の合理性を検証し、本研究で提案した方法の妥当性を確認している。加熱板温度 100~900°C の範囲において、厚さ 1~5 mm の石英ガラス試料について全熱抵抗を測定し、石英ガラスの見かけの熱伝導率を求めたところ、その値は室温付近で約  $1.5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  であり、400°C 以上で正の温度係数を示したと報告している。この高温での値および温度依存は、輻射の影響を含むとして報告されている文献値と良く一致しており、また輻射の影響を補正した値は、輻射の影響を含まないとして報告されている文献値と良く一致したと述べている。これらのことより、本研究で提案した装置では、高温においては輻射の影響を含む見かけの熱伝導率の評価が可能であると述べている。

第4章「モールドフラックス試料の作製とその特徴評価」では、実用フラックスの1組成である 38mass% CaO-1MgO-10Na<sub>2</sub>O-38SiO<sub>2</sub>-3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-10F に着目し、そのガラス試料および結晶化試料を作製し、それらの試料を特徴づけるパラメータの1つである結晶化度(全結晶相の割合)の測定を行っている。ガラス試料は所定組成の混合粉末試料を 1400°C で熔融後、真鍮鑄型に铸造することにより作製している。また、結晶化試料は、ガラス試料を 530~900°C で 2~10 h 熱処理して作製している。これらの全ての熱処理温度で CaF<sub>2</sub> が現れ、550°C 以上では 3CaO·2SiO<sub>2</sub>·CaF<sub>2</sub> が加わり、660°C では Na<sub>2</sub>O·2CaO·2SiO<sub>2</sub> を含めた 3 種類の結晶相が現れたと報告している。また、反射電子像よりそれぞれの結晶相の面積率を測定し、各試料を特徴づけるパラメータとして結晶化度を求めている。

第5章「急温度勾配下におけるモールドフラックスの熱伝導率の測定」では、第4章で作製した試料について見かけの熱伝導率を温度の関数として測定している。測定は厚さ約 1~5 mm の試料について、加熱板の温度

が各々の試料の熱処理温度以下となる温度範囲において行っている。ガラス試料の見かけの熱伝導率は100°C付近では約  $1.2 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  であり、温度上昇とともに漸増したのに対し、結晶化度80%以上の試料では、100°C付近の見かけの熱伝導率は約  $1.75 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  であり、温度上昇とともに低下したと述べている。さらに、加熱板温度を900°Cとして、ガラス試料および結晶化度84%の試料の見かけの熱伝導率を測定したところ、それぞれ約  $1.5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 、 $1.3 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  となり、ガラス試料の見かけの熱伝導率のほうが大きく測定されたと述べている。また、この測定後の試料を観察したところ、ガラス試料の高温側の約半分は結晶化していたが、他の半分はガラス状態のままであり、見かけの熱伝導率の大きさの逆転は輻射の影響により説明できると述べている。

第6章「結晶化モールドフラックスによる緩冷却機構の解明とそれに基づく組成・組織設計」では、3つのモデル(フラックスフィルム全体がガラス相の場合、ガラス相と結晶相が半分ずつ存在する場合、全体が結晶相の場合)を考えて、加熱板の温度を実用温度の1527°Cと仮定した場合のそれぞれの見かけの熱伝導率を試算している。その結果、全体が結晶相である場合、輻射伝熱の寄与が最も小さく、そのため見かけの熱伝導率が最も小さくなったと報告している。以上より、フラックスを結晶化させると、結晶粒界での光の散乱が増加するため、輻射伝熱が低下し、緩冷却につながると結論している。さらに、より効率的に緩冷却を行うには、熔融後より早期に結晶化し、結晶化度がより高くなるようにフラックスを設計する必要があり、粘度が低いことがその一つの指針になると述べている。

第7章「結論」では、本論文で得られた結果をまとめている。

以上を要するに、本論文は、ガラスおよび結晶化モールドフラックスの見かけの熱伝導率を温度および結晶化度に対して系統的に測定し、結晶化による緩冷却機構を明らかにするとともに、緩冷却に有効なフラックスの設計指針を提案したものであって、工学上ならびに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。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。