

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), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10759号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 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), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10759号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	材料工学	専攻	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	高橋俊介		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	須佐匡裕	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor (sub)	林幸	

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は7章から構成されている。以下に各章の概要を述べる。

第1章「緒論」では、産業的背景から本研究の目的に至る経緯を述べた。鋼の連続鋳造工程において、生産性向上のために鋳片の緩冷却が求められている。従来から、緩冷却は鋳片を覆うモールドフラックスフィルムを結晶化させることで行われてきた。この原理は、結晶粒が溶鋼からの放射光を散乱することでフラックスの「見かけの熱伝導率 (ふく射の影響を含めた熱伝導率)」が減少すること、また、フラックス/鋳型間の接触面における表面粗度が増大し、接触熱抵抗が増加することとされている。本研究では前者に注目した。従来から、モールドフラックスの見かけの熱伝導率は平板法によって測定されてきた。しかし、試料/装置間の接触面の熱抵抗に起因した誤差が懸念され、結晶化が熱伝達機構に与える影響を評価することは困難であった。本研究では、接触熱抵抗を排除するために平板法の装置・手法を改良し、固体フラックスの見かけの熱伝導率を測定することで、結晶化による緩冷却機構を明らかにし、さらなる緩冷却のための設計指針を提案することを目的とした。

第2章「定常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、固体フラックス試料の熱伝導率を測定するための手法を開発した。平行平板法による熱伝導率測定において従来から課題とされていた固体試料と装置との接触熱抵抗を低減させるために銀ペーストを用いた。さらにインコネル試料を用いて「試料に依存しない装置由来の熱抵抗 (装置定数)」を測定し、解析的に試料の熱伝導率を決定できるようにした。

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、2章で開発した手法を用いて、試験的に石英ガラスの見かけの熱伝導率を室温～900°Cの範囲で測定し、本装置・手法の妥当性を評価した。測定値はふく射の影響を含む報告値と一致した。また、測定値からふく射の影響を解析的に除いたところ、ふく射の影響を含まない報告値と一致した。したがって、本装置・手法によって見かけの熱伝導率が測定できることを確認した。

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、結晶化度の異なるモールドフラックス試料を作製し、その結晶相および結晶化度 (結晶相の体積分率) を評価することを目的とした。模擬モールドフラックス混合粉末を 1400°C で加熱溶解した後、急冷させることでガラス状の試料を作製した。ガラス試料を熱処理することで結晶化試料とした。熱処理の温度を変えることで、結晶化度の異なる試料を作製した。X線回折および電子マイクロアナライザにより、結晶相は  $\text{CaF}_2$ 、 $\text{Cuspidine}$  ( $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{CaF}_2$ ) および  $\text{Sodium calcium silicate}$  ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$ ) の3種類であることを確認した。結晶化試料の結晶化度を走査型電子顕微鏡写真から求め、結晶化熱処理温度と結晶化度の関係を明らかにした。

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、2章で開発した手法を用いて、4章で作製した試料の見かけの熱伝導率を測定した。ふく射の影響が小さい低温域では、ガラス試料の熱伝導率は温度に依存せず一定であったが、結晶化試料では負の温度依存性を示し、温度の逆数に比例した。また、結晶化度が高いほど熱伝導率が大きく、温度依存性も顕著であった。ふく射の影響が無視できない高温域では、結晶化試料の方が見かけの熱伝導率がガラス試料より小さかった。見かけの熱伝導率に対する伝導・ふく射の影響を算出したところ、結晶化による伝導伝熱の変化は小さく、ふく射伝熱は低減されることが分かった。

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、5章で得られた知見を用いて、ガラスおよび結晶化モールドフラックスについて、実用温度における見かけの熱伝導率を見積もり、結晶化によって見かけの熱伝導率が減少する理由、すなわち緩冷却機構を明らかにした。熱伝導率の見積もりの際、伝導伝熱の寄与は第5章で得られた熱伝導率の温度依存性（ガラス試料の熱伝導率は温度によらず一定、結晶化試料は温度の逆数に比例）から求め、ふく射の寄与は文献値から算出した。実用温度における見かけの熱伝導率は5章の測定値よりも大きくなると見積もられた。これは、実用温度が5章の測定温度域より高温であるため、見かけの熱伝導率に対するふく射の寄与が大きくなるためである。その結果、結晶化によるふく射伝熱抑制の効果も大きくなる。したがって結晶化による見かけの熱伝導率減少の理由は、結晶化によりふく射伝熱が抑制される一方で、伝導伝熱は減少しないためであると考えられる。さらなる緩冷却のための設計指針として、結晶化開始を早く、成長速度を大きくすること、また、ガラス転移点を下げることが有効であると考えられた。

第7章「結論」では、本研究により得られた知見を総括した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	材料工学	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 Doctor of	( 工学 )
学生氏名 : Student's Name	高橋俊介		指導教員 (主) : Academic Supervisor(main)	須佐匡裕	
			指導教員 (副) : Academic Supervisor(sub)	林幸	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

The objectives of this research are to measure the influence of crystallisation on the thermal conductivity of solid mould flux under a steep temperature gradient, to make the mild cooling mechanism by crystallisation clearer, and to suggest the design guidelines for mould flux for further mild cooling.

First, the measurement apparatus was developed for the apparent thermal conductivity based the parallel plate method, where the contact thermal resistance between the sample and the apparatus were removed, which has influenced on the conventional measurement.

Next, by using the apparatus, thermal conductivities were measured for glassy and crystallised mould flux samples. In the low temperature range where the influence of radiation is small, the thermal conductivity of the sample increased with increasing degree of crystallinity. The thermal conductivity of the glass sample was roughly constant irrespective of the temperature, and the crystallised samples showed negative temperature dependencies. In the high temperature range where the influence of the radiation is large, the thermal conductivity of the glassy sample was larger than that of crystallised sample. From these results, it is concluded that mild cooling by crystallisation of mould flux is mainly due to reduction of radiation heat flux.

Finally, the apparent thermal conductivity in practical temperature (1527°C) in the continuous casting was estimated by using the measurement results in the above experiments (< 900°C). The estimated value for the practical temperature was larger than that measured in the experimental temperature. This reason would be that the contribution of the radiation to the apparent thermal conductivity increases due to the high temperature. As a result, the effect of mild cooling effect by crystallisation became larger than experimental temperature.

As design guidelines for further mild cooling, it is effective to design the flux so that the crystallisation start early, increase the growth rate, and has lower the glass transition point.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).