

高Al電磁鋼板用モールドパウダー“SIPSシリーズ”の開発

Development of “SIPS series” Mold Powder for High Al Electromagnetic Steel

尾 本 智 昭^{*1}
Tomoaki OMOTO

鈴 木 貴 之^{*2}
Takayuki SUZUKI

小 形 裕 文^{*3}
Hirofumi OGATA

Abstract

Steel grades which have high Al content for electromagnetic steel sheet change mold powder performance greatly as compared with conventional steel grades because of the reaction between the Al in the molten steel and SiO_2 in the powder slag during casting. This causes casting troubles such as breakouts and reduces casting productivity.

We developed a new mold powder for electromagnetic steel sheets.

Stable slag thickness could be maintained and BO (Break Out) was completely eliminated.

Furthermore casting heats were increased from a single heat with the new mold powder contributing to increase steel productivity.

1. 緒 言

地球環境問題や省エネルギー化が世界的な関心となっている中、発電機や変圧器、モーター等の鉄芯材料として利用される電磁鋼板の生産が活況を呈している。

電磁鋼板の中にはAl含有量の高い鋼種があり、連続 casting時に鋼中Al成分とモールドパウダー（以下パウダーとする）中の SiO_2 が反応^{1),2)}してパウダー特性が大きく変化する。そのためブレイクアウト等の操業異常が起りやすく生産の障害となっている場合が多い。

本報では、高Al電磁鋼板鋼種を安定して castingできるパウダーを開発したので報告する。

2. 高Al電磁鋼板鋼種 castingの特徴と課題

一般的に高Al電磁鋼板はAlが0.8～1.2%の範囲で添加されている。そのために、連続 casting時に鋼中Alとパウダー中の SiO_2 との間で式1に示す反応が起こる。反応によってパウダースラグ成分は、急激な Al_2O_3 の増加と SiO_2 の減少に伴う CaO/SiO_2 上昇という大幅な組成変動が生じる。また反応は casting時間に伴い進行して行く。

1. Introduction

While the global environmental problem and conserving energy have become global topics, production of electromagnetic steel sheets used as magnet core material for dynamos and a transformers, is increasing.

Steel grades which have high Al content for electromagnetic steel sheet change mold powder performance greatly as compared with conventional steel grades because of the reaction between the Al in the molten steel and SiO_2 in the powder slag during casting^{1),2)}. This causes casting troubles such as breakouts reducing casting productivity.

In this report, a new mold powder for casting high Al content electromagnetic steel sheet is described.

*1 技術研究所 第1研究グループ チームリーダー Mold Power Team Manager, Shaped Refractories R&D Group, Research Center

*2 Shinagawa Advanced Materials Americas, Inc.

*3 技術研究所 第1研究グループ Mold Power Team, Shaped Refractories R&D Group, Research Center



Fig. 1 Change in Chemical Composition.

Fig. 1 にスラグ中のCaO-SiO₂-Al₂O₃成分を100%とし、組成変動例を擬三元系状態図上に示す。Fig. 1 に示すように、一般的なAlキルド鋼と違って大きな組成変化が起こる。

Fig. 2 にパウダースラグ流入模式図を示す。

反応による組成変動によってパウダーの特性、特にパウダースラグの結晶化温度が大幅に上昇する。結晶の過度の晶出によりモールド壁にスラグベアが成長し、モールド凝固シェル間へのパウダースラグの流入を阻害して、流入と滓化のバランスが崩れパウダースラグ溶融層が増大する。 casting中に増大するとパウダースラグをくみ出す必要もあり、安定した操業が確保されにくい。さらに、スラグベアの生成によりパウダースラグが不均一に流入し、BO予知熱電対の温度変動を引き起こしBO予知の誤作動の原因にもなる。

したがって、高Al電磁鋼板 castingにおいては、操業トラブルの発生頻度が多く、また多連 castingが困難であり、安定した操業の確保と生産性の向上が大きな課題である。



3. 高Al電磁鋼板用パウダー “SIPSシリーズ” の開発

3. 1 品質の考え方

高Al電磁鋼板用パウダーとしては、パウダースラグの組成変動に伴う、スラグベアの生成を抑制することが重要で、対策としてスラグ組成変動の抑制と組成変動に

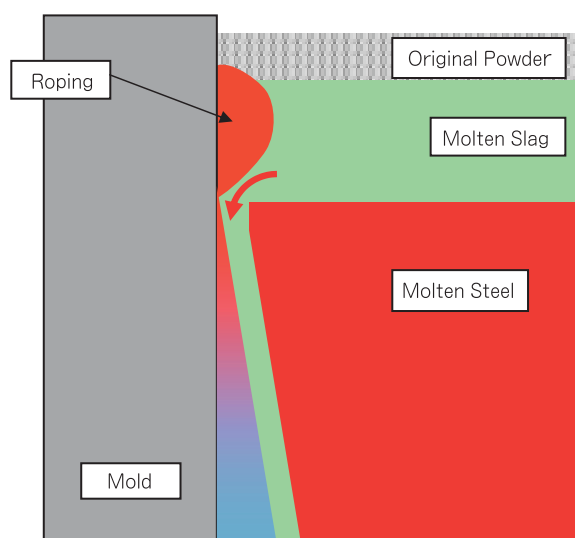


Fig. 2 Schematic of Mold.

2. Characteristics and Problems in Casting High Al Electromagnetic Steel Sheets

Generally, electromagnetic steel grade is characterized by a high Al content of between 0.8 to 1.2%. Therefore the Al in molten steel reacts with the SiO₂ in the powder slag during casting as (1).

This reaction increases the Al₂O₃ content in powder slag and increases basicity by decreasing the SiO₂ in powder slag. This reaction is larger than in other steel grades and the reaction continues to proceed with casting time.

Fig.1 CaO-SiO₂-Al₂O₃ phase diagram showing the change that takes place in conventional powder slags during casting. According to Fig.1, the slag chemistry change is larger than that of conventional steel grades.

Fig.2 is an image of mold powder in a mold. Slag chemistry changes effect mold powder performance and especially crystallization temperature.

Roping builds up on the mold wall because of higher melting temperature crystal formation and it prevents consumption of powder slag.

The thickness of the powder slag continues to increase because of the unbalance between mold

よる結晶化温度の急激な上昇を抑制する必要があると考えた。

スラグ組成変動の抑制には低粘度化を指向した。低粘度化を図ることで、モールドー凝固シェル間に流入するパウダー消費量は増加する。すなわち、溶鋼上のパウダースラグの滞留時間を短くし、単位スラグ量あたりの鋼中Alとパウダースラグ中 SiO_2 との反応時間を短くすることで、スラグ組成変動の進行を低位に抑制した。

結晶化温度上昇の防止対策としては、結晶化温度の低下効果の高い Li_2O 量を増加させ、また低 CaO/SiO_2 化を図ることで結晶化温度の低下を図った。更に、 Li_2O の活用によって組成変動後の粘度変化を抑制させる効果も活用し、併せてパウダーの焼結防止のため特殊カーボンを使用することでパウダーの焼結性も低減した。

Table 1 に開発品の特性を示す。

4. 組成変動後のスラグ特性

4. 1 結晶化温度の変化

組成変動前後における特性を調査するために、実験室で高Al鋼を高周波誘導炉で溶解させてパウダーを添加してスラグの組成変動を調査した。実験後のスラグ組成

powder melting and powder slag consumption.

When the powder slag thickness increases during casting, powder slag was pumped out from the mold. This makes it difficult to maintain stable casting operations.

Furthermore, powder slag cannot enter the space between mold and steel shell because of roping formation on the mold and it causes thermocouple temperature deviation on the mold wall and incorrect BO detection.

Therefore stable casting for Al content electromagnetic steel sheets grade is a big issue.

The main problems for this steel grade are increasing stable casing operation and high productivity.

3. Development of “SIPS Series” Powder for High Al Electromagnetic Steel Sheets

3. 1 Concept for new mold powder development

It is very important to prevent roping of high Al content electromagnetic steel.

We thought that it was necessary to prevent the increase in crystallization temperature caused by reaction between Al and SiO_2 .

Powder slag viscosity was decreased and it increased powder consumption during casting. Higher consumption reduces the existence of powder slag on the molten steel and decreases the reaction time. And it prevent of slag chemistry change.

The amount of Li_2O in the mold powder, which affects crystallization control, was increased greatly and basicity was decreased in order to decrease powder crystallization temperature.

Special carbon materials were also used in the new mold powder to prevent sintering.

Table 1 shows typical properties of new mold powder.

4. Slag Characteristics After Composition Change

4. 1 Change in crystallization temperature

To investigate the before and after powder slag

Table 1 Typical properties of mold powders

	SIPS	Conventional
$\text{CaO} / \text{SiO}_2$	0.64	0.85
Li_2O (%)	5.7	0.0
Viscosity at 1300°C ($\text{Pa} \cdot \text{S}$)	0.20	0.49
Crystallization temperature ($^\circ\text{C}$)	None	1040

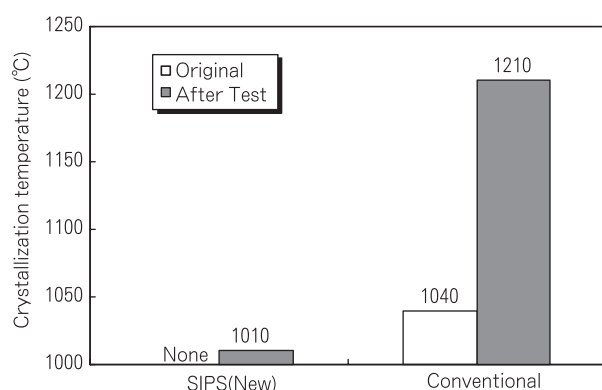


Fig. 3 Change in crystallization temperature.

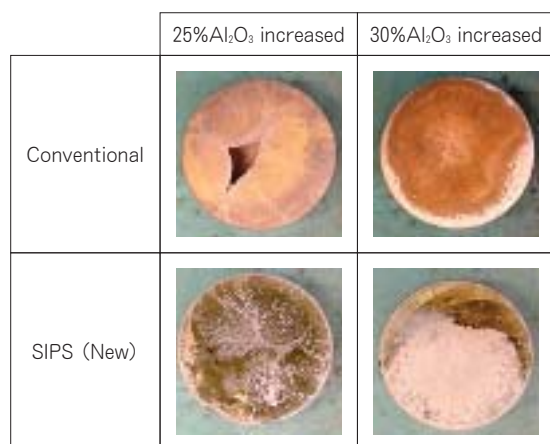


Fig. 4 Change in crystallizing before and after.

の代表値から、パウダーを調製して結晶化温度を測定した。なお、実験時間は高消費量によるパウダーの滞留時間を考慮して15分後のスラグを実験試料に使用した。

Fig. 3 に測定結果を示す。

従来品では組成変動によって1200℃を超える非常に高い結晶化温度となったが、開発品においては組成変動後も1000℃以下と低く維持されていることが確認された。したがって、開発品は組成変動後でも大幅な結晶化温度の上昇は抑制されていると考えられる。

4. 2 結晶性と流動性の変化

実機鑄造において、スラグベア抑制効果と良好なスラグの流動性があるかどうかを判断するために、先述した組成変動後スラグ組成で実験を行った。

ラボ試験でのスラグ組成分析結果から、25%程度のAl₂O₃上昇とそれに伴うSiO₂の減少が認められている。そこで本スラグ組成となるように成分を調整した試料を、1400℃で溶製し、常温下にある金属ルツボ中へ流し込んだ。また実機ではさらに厳しい組成変動の可能性も考慮し、Al₂O₃が30%上昇及びそれに伴うSiO₂減少も想定したスラグ組成でも併せて実験した。

さらに、組成変動後スラグの流動性について、組成変動後スラグを1300℃に溶製した後、銅製水冷樋に流して流動した距離を比較した。

Fig. 4 およびFig. 5 に実験結果を示す。

従来品では流し込んだスラグの内部まで非常に強く結晶が晶出しており、またスラグの流動性も悪かった。したがってスラグベア発生とパウダーの潤滑性の低下が懸念される。

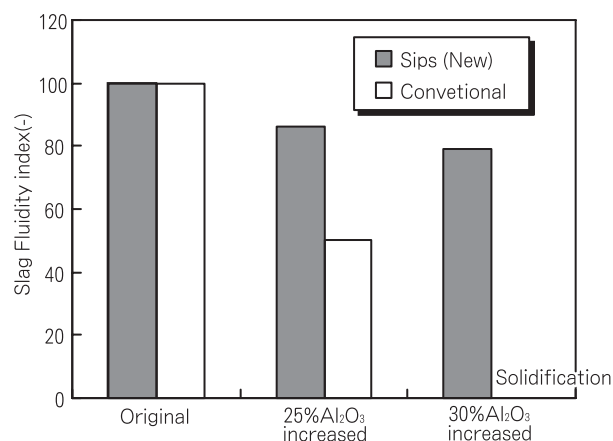


Fig. 5 Change in slag fluidity before and after.

performance, high Al steel was melted in a crucible by high frequency induction. After high Al steel was melted, each powder sample was added on melted high Al molten steel.

Powder slag was sampled after 15min and chemistries were analyzed and average slag chemistries were calculated. This average slag chemistry was used as standard.

Powder sample of crystallization temperature adjusted to slag chemistry result was measured.

Fig.3 shows the results for the crystallization temperature of each sample.

The crystallization temperature of conventional mold powder is over 1200℃. This is because of slag chemistry change. On the other hand, that of the new mold powder was under 1000℃ and the lower crystallization temperature was maintained.

That is to say, the crystallization temperature of the newly developed mold powder was low in spite of large slag chemistry change.

4. 2 Change of crystallinity and fluidity

To investigate the prevention of roping and fluidity of powder slag, the powder sample was tested with the above slag samples.

From the results of slag chemistry analysis in the lab.test, about 25% Al₂O₃ was increased and SiO₂ was deceased.

A powder slag sample arranged to fit slag analysis result was melted at 1400℃, poured into a metal

Table 2 Casting conditions

Sol-Al in steel (%)	1.2
Mold size (mm)	1350mm width
Casting speed (m/min)	0.8-1.0
Tundish temperature (°C)	1525

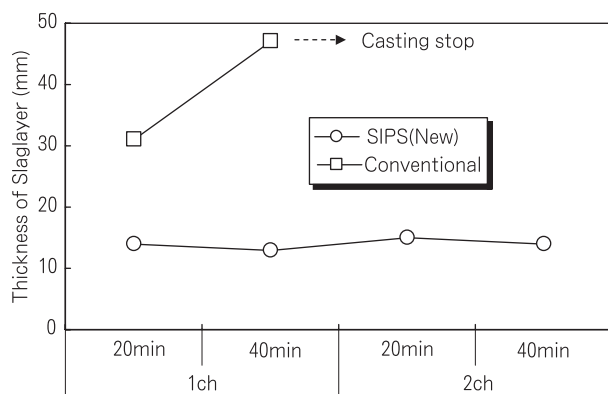


Fig. 6 Thickness of slag layer during the actual casting.

一方、開発品では Al_2O_3 25%上昇の組成変動でも結晶品出が表層のみの軽微であり、スラグの流動性も高く保たれていた。また更なる組成変動を考慮した Al_2O_3 30%上昇のスラグにおいても、スラグ表面の結晶が軽微で良好な流動性を示した。

本試験結果より、開発品は高Al電磁鋼鑄造に際しても流動性の劣化やスラグベアの発生もなく安定した鑄造が可能と判断した。

5. 鑄造試験結果

Table 2 に鑄造条件を示す。

Fig. 5 に鑄造時のパウダースラグ溶融層厚の測定結果を示す。

従来品は鑄造時間が進むにつれて溶融層厚が増大し、溶融スラグ層をくみ出し鑄造継続が出来なかった。一方開発品の溶融層厚は10～15mmと終始安定した結果が得られた。また鑄片品質も、ノロカミ、ピンホール、ディプレッションなどの欠陥もなく良好な結果が得られた。

BO予知熱電対温度も安定し誤警報の発生も認められなかった。

crucible quickly and observed.

Additionally, for the consideration of largest slag chemistry change, sample of 30% Al_2O_3 increased and basicity decreased was also tested.

Furthermore these samples were poured on a water-cooled copper runner and the fluidity of each sample was measured to compare slag performance.

Fig.4 and Fig.5 show experimental result.

Crystals were formed inside the conventional powder slag sample and the fluidity was poor. Therefore it was considered that roping will form and slag fluidity will be decreased.

On the other hand, crystals in the newly developed mold powder were formed only on the surface in spite of a 25% Al_2O_3 increase and high slag fluidity was maintained.

Crystals of the 30% Al_2O_3 slag sample also slightly formed only on the surface and the slag had good fluidity.

From these test results, it was considered that newly developed mold powder will prevent roping formation and high slag fluidity can be maintained to achieve stable casting operation.

5. Casting Test Results

Table 2 shows the casting conditions.

Fig.5 shows the results for slag thickness during casting.

The slag thickness of conventional mold powder increased gradually during casting. The operators pumped out slag from the mold casting and operation could not continue.

On the other hand, slag thickness with the newly developed mold powder was maintained at 10 to 15mm constantly during casting and steel quality such as inclusion, pinhole defects, and cracks defects was also improved.

The thermocouple temperature was stable and BO detector was not alarmed.

6. Conclusion

We developed a new mold powder for electromagnetic steel sheets.

6. 結 言

高Al電磁鋼板用パウダー“SIPSシリーズ”の開発を行った。従来から本鋼種特有の問題であった溶融層の増大と拘束性ブレイクアウトが解消され、また困難であった多連鑄操業も可能となり、安定操業と高生産性に大きく貢献した。

本開発品は各所にて順調に使用され好評を受けている。

Stable slag thickness could be maintained and BO was completely eliminated.

Furthermore casting heats were increased from a single heat with the new mold powder contributing to increase steel productivity.

The newly developed mold powder is being used at many steel makers with high valuation.

References

- 1) Kiyose et. al ; CAMP-ISIJ. 8 (1995), p1011
- 2) Yukari Tago et. al ; CAMP-ISIJ (1995), p1049