

中厚スラブ連铸機用モールドパウダーの開発

Development of New Mold Powder for Medium Thick Slab Caster

尾 本 智 昭 ^{*1}	岩 本 行 正 ^{*2}	伊 藤 純 哉 ^{*3}
Tomoaki OMOTO	Yukimasa IWAMOTO	Junya ITOH
鈴 木 貴 之 ^{*4}	Jim GILMORE ^{*4}	何 波 ^{*5}
Takayuki SUZUKI		Bo HE

Abstract

The technologies of near net shape caster are progressing, and many medium slab caster (100-150mm thick) is been operated in North America, Europe and China. However, there are many problems on the steel quality, the operation and the mold powder such as cracks, sintering, sticker BO and incorrect of BO detector system by the characteristic of casting conditions. We developed new mold powder for medium thick slab casters with high viscosity and good melting property to solve these problems.

1. 緒 言

1980年代、北米を中心に薄板製造を目的としたモールド厚みが50～70mmの薄スラブ連铸機が建設され稼動を開始した。¹⁾ その後、薄スラブ連铸機の開発と同じ技術思想で厚みを100～150mmにまで拡張しモールド幅2000mm前後の広幅スラブから厚板鋼を製造するプロセスとして、中厚スラブ連铸機が開発され北米を中心に建設、稼動が開始された。現在、薄スラブや中厚スラブ連铸機では、普通鋼だけでなく、ステンレス鋼、一部の高級鋼の製造され最近では中国を中心に多くの中厚スラブ連铸機が稼動し、日本国内でも2007年に初めて稼動が開始されている。

このように、鋼板用ニアネット連铸機は目覚しく進歩し、一般スラブ連铸機に迫る勢いである一

1. Introduction

During the 1980's, many new thin slab casters (50-70mm thick) were built and operated in the United States primarily for steel sheet production¹⁾. Since then, several new medium thick slab casters (100-150mm thick) which were technically similar to the thin slab caster have been built and operated. These medium thick slab casters are typically capable of casting very wide slabs such as 2000mm, and they are primarily used for the production of plate and pipe grades. Now, thin slab and medium thick slab casters are used not only for ordinary steel grade but also for some fine steel sheet grades and

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

^{*2} 技術研究所 第1研究グループ 主任研究員 Managing Research Engineer, Shaped Refractories R&D Group, Research Center

^{*3} 技術研究所 第1研究グループ Shaped Refractories R&D Group, Research Center

^{*4} Assistant Manager, Shinagawa Advanced Materials Americas, Inc.

^{*5} 瀋陽品川冶金材料有限公司 技術・営業部長 Manager, Shenyang Shinagawa Metallurgy Materials Co., Ltd.

方, いくつかの課題を有しながら操業している現実がある。

そこで, 本報では中厚スラブ連铸機の有している課題を解決する目的で, 新しく中厚スラブ用モールドパウダーを開発したので報告する。

2. 中厚スラブ連铸機の特徴

日本や北米のように厚板鋼を中心とした操業に対し, 至近に中国で稼動している中厚スラブ連铸機では, 自動車用, 電磁鋼板, 耐候性鋼などの薄板を铸造するケースも増えてきている。また, 中厚スラブ連铸機は転炉鋼での製造よりも電気炉鋼での製造が主体でプロセスに起因する課題も存在する他, 中厚スラブ連铸機特有の铸片品質面や操業面の課題もあり, モールドパウダーによる改善も必要と考えられる。

Fig. 1 およびFig. 2 に従来スラブと中厚スラブ連铸機の特徴についてモールド長, モールド受熱面積, スループットの観点から整理した結果を示す。

Fig. 1 から, 中厚スラブの場合には, 同じ受熱面積でも従来スラブよりモールド周囲長は長く, モールドパウダー消費量が増加し熔融層厚みが確保されにくいと考えられる。また, Fig. 2 から従来スラブと比較して溶鋼スループットが小さくモールドパウダーの滓化熔融には不利な条件と考えられる。

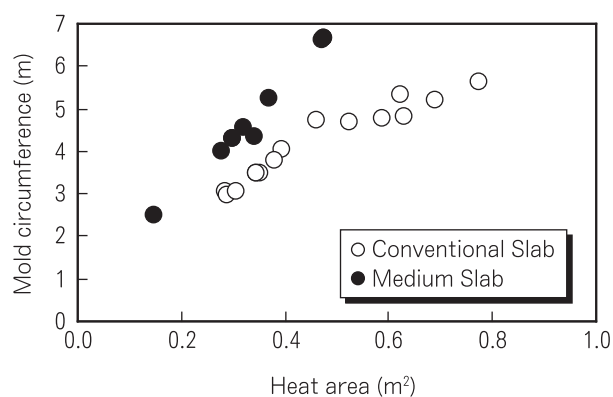


Fig. 1 Relation between mold heat area and circumference.

stainless grades.

The technologies of these near net shape casters are progressing and catching up with conventional slab casters. However medium thick slab casters actually have some problems in operation and steel quality.

We have developed new mold powder for medium thick slab casters in order to solve these problems, and in this paper, the features of new mold powder are described.

2. Characteristics of Medium Thick Slab Caster

In Japan and the USA, medium thick slab casters are being operated mainly for steel plate production. On the other hand, the steel sheets productions for such as automobiles, electric motors and containers are increasing in China. Because all of these casters are mainly fed with EAF produced steel rather than converter process, there are some problems caused by the production process. That is to say, there are some operational and quality problems peculiar to medium thick slab caster and these problems need to be improved by mold powder.

Fig.1 and 2 show the differences between medium thick slab casters and conventional

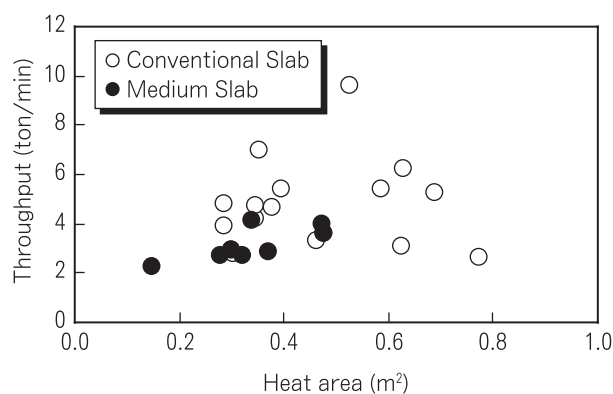


Fig. 2 Relation between mold heat area and molten steel throughput.

3. 中厚スラブ連铸機での課題

中厚スラブ連铸機の課題について以下に述べる。一般的には電気炉鋼からの溶製プロセスが主体であるために電気炉鋼を主体に整理した。

3. 1 铸片品質

中厚スラブ連铸機では一般的には割れ感受性の高い亜包晶鋼を避けて、低炭素鋼側にシフトした鋼組成で铸造される場合が多い。しかしながら、铸片横割れ、コーナー割れが発生し易く、かつ最終製品の板厚が厚く圧延圧下比率が低い条件では、铸片表面の微細な表面割れが残留し易いため、铸片表面割れをより低減させる必要がある。特に、電気炉鋼からの製造プロセスに由来する鋼中のCuやN濃度が高いことも割れ感受性を高める要因となっている。

同様に、オシレーションマーク（以下OSMという）も欠陥として残留しやすく、OSM深さを浅くすることも重要である。

3. 2 凝固シェルのモールドへの拘束および拘束性BO

中厚スラブ連铸機では、モールド壁と浸漬ノズル（以下SENという）の間隙が狭く、SENの形状に工夫がなされている。それでも一般スラブ連铸機に比べモールドとSENの間隙が狭く、モールドパウダーの熔融性が悪化しやすい。その熔融性の悪化を引き金とした凝固シェルとモールドの拘束および拘束性ブレイクアウト（以下BOという）が発生しやすい。また、この部分でパウダースラグの不均一流入が助長され、铸片縦割れも発生しやすい。

また、Fig. 1およびFig. 2に示したように、モールドパウダーの熔融層厚みが確保されにくい特徴があり、熔融層厚みを適正に確保させることも重要である。

3. 3 鋼中水素対策

電気炉鋼からの製造プロセスの中で、多くの製鉄所はRHを保有していない。また、鋼の脱酸はSi-Mnキルドが主体である。そのために、転炉鋼と比較すると鋼中のNやHが高く、スラグフィルム中にガスが集積して、拘束性BOを誘発し易い。

slab casters from the view points of mold size, heat area and throughput.

Because the mold circumference length of medium thick slab casters is longer than that of conventional slab casters with the same area, the powder consumption should be increased and slag depth should be decreased in medium thick slab caster (Fig.1). Furthermore, the smooth melting of mold powder is more difficult in medium thick slab caster because the throughput of medium thick slab caster is normally smaller than that of conventional caster (Fig.2).

3. Problems of Medium Thick Slab Casters

The problems of medium thick slab casters with EAF process are summarized as follows.

3. 1 Steel strand quality

Medium thick slab casters are usually operated at low carbon range because peritectic carbon range easily develops crack. However, even at low carbon range, the steel strands cast by medium thick slab caster are very sensitive to transverse and edge cracks and the high Cu and N content of EAF smelted steel could increase the sensitivity to these cracks. In case of thick plate production with low rolling reduction, the prevention of surface cracks is more important because the surface cracks easily remain in the final products. The reduction of oscillation mark (OSM) depth is also important because the deep OSM easily remain in the final products as well.

3. 2 Sticker of solidified steel shell and breakout

Because the clearance between mold wide face and submerged entry nozzle (SEN) of medium thick slab casters is narrower than that of conventional slab casters, the powder sintering and roping occur more easily in the

また、このフィルム中のガスの存在はモールド内の抜熱速度を低下させ凝固シェルの発達を遅らせる。

したがって、モールドパウダーとしては、雨季のような高湿時の鋼中H濃度の高い溶鋼を製造する場合でも安定した casting や抜熱低下の抑制、および良好な鋼品質の確保が重要である。

3. 4 モールド内容融性状

中厚スラブ連铸機の場合、広幅スラブが一般的である。しかも電磁力による溶鋼流動制御設備を有していない連铸機が多く、鋼種によっては上ノズルやSENからArガスを吹き込む操業も採用されていないため、モールド内の溶鋼流動を適性に制御することは難しく、局所的な湯面変動も発生し易い。また、モールド内の湯面も比較的不活性である。そのために、パウダースラグ層の厚みがモールド内で不均一となり易く、薄い部分では铸片欠陥や操業トラブルが起こる場合がある。

3. 5 BO予知誤作動の防止

中厚スラブ連铸機では、モールド周囲長が長く、湯面の状態も部位ごとに異なり、モールド銅板熱電対温度によるBO予知装置の誤作動やその熱電対温度のばらつきが発生し易い傾向が認められる。

特に、モールド銅板の下段熱電対温度がある周期で低下して急激に上昇するスパイク現象が、安定操業に支障を与えている。

4. 中厚スラブ用モールドパウダーの開発

4. 1 モールドパウダーの開発思想

4. 1. 1 高粘度特性

铸片割れを抑制する観点からは、従来の手法のようにモールド内を緩冷却化して均一な凝固シェルの形成させることが必要で、モールドパウダーとしては高塩基度、高結晶化温度が有効と考えられる。しかしながら、中厚スラブ特有のモールド内の状況からスラグベアーが生成し易いこと、安定した溶融層が確保されにくいこと、モールド銅板熱電対温度が不安定となり易いことから過度な高塩基度・高結晶化温度のパウダーが指向できない。そこで、中厚スラブ用モールドパウダーとしては微弱な結晶性を付与させつつ高粘度化を指向

narrow space and they sometimes cause the sticker of solidified steel shell resulting in breakout (BO). Additionally, uneven flow in powder slag is accelerated by this narrow space which could cause the surface cracks. As medium thick slab casting has a characteristic of difficulty in securing good slag depth as shown in Fig.1 and Fig.2, it is important to maintain adequate slag depth for the prevention of sticker BO.

3. 3 High hydrogen in molten Steel

N and H contents of EAF smelted steel are generally higher than that of converter process because many of the steel mills with EAF process do not have RH degasser and they usually use Si-Mn for deoxidation agent. Therefore, gas accumulated in powder slag film reduces heat removal in the mold and hinders the smooth development of solidified shell and sometimes cause sticker BO.

It is important for mold powder to restrain the heat removal reduction by gas and maintain stable casting especially in the rainy season when H content in steel tends to be high.

3. 4 Melting behavior in the mold

Medium thick slab casters generally have wide size mold and do not have electromagnetic flow control system. In some cases they do not have Ar gas injection system. Therefore, it is quite difficult to control the molten steel flow adequately and level fluctuation deviation often occurs locally in the mold. Moreover, molten steel surface is not active and rather calm in many cases. Because of these characteristics in the mold, the liquid slag depth of the medium thick slab casters easily becomes un-uniform and often causes the strand defects or operation troubles at the position of thinner slag depth.

することが有効と考えた。

一方、過度に固着層を薄くすることはモールド内の強冷却化に繋がるために、開発品は適切な結晶化温度、結晶強度に品質特性を調整した。Fig. 3 に銅樋に1300℃で溶解したスラグを流して、結晶の生成状態を観察した結果を示す。化学成分の調整により、適切な結晶層の形成が確認された。

4. 1. 2 SEN近傍の溶融性の向上

SEN近傍は溶鋼からの熱とSENを介した熱により他の部位とは異なって2方向から熱を受けて溶融する。そのために、パウダーの溶融性の悪化は助長されスラグベアーも生成し易くなる。

したがって、2方向から受熱したときでも安定した溶融性が保てるように、パウダーの溶融性を見直した。Fig. 4 に黒鉛ルツボで鉄を溶解し溶鉄からの熱と黒鉛ルツボ壁からの熱で散布したパウダーが2方向から加熱される条件を設定してパウダーの焼結状態を測定した結果を示す。

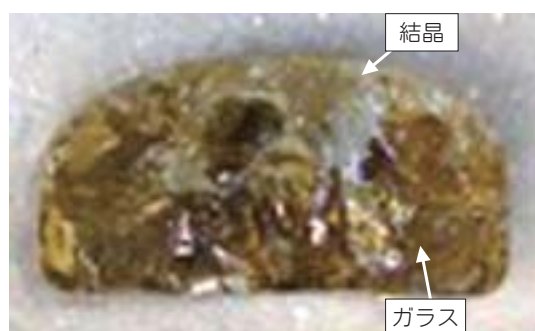


Fig. 3 Slag crystallization appearance.

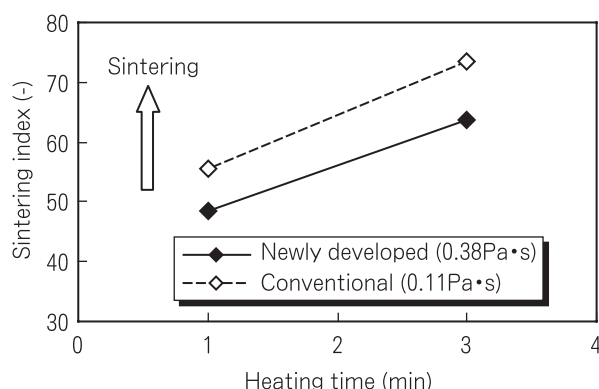


Fig. 4 Result of sintering test.

3. 5 Incorrect of BO detector system

BO detector system of medium thick slab casters sometimes warns falsely because of the long mold circumference length, locally deviation in molten steel surface and unstable thermocouple temperatures. Especially, the sudden rise of the thermocouple temperature after slow decrease which occurs periodically and sometimes called “spike” phenomenon disturbs stable operation seriously.

4. Development of New Mold Powder

4. 1 The concept of mold powder

4. 1. 1 High viscosity

Lower heat removal and uniform solidified shell formation in the mold are generally effective to reduce strand cracks. High crystallization temperature and high basicity powders are usually preferable to obtain these characteristics. However, crystallization temperature and basicity can not be increased excessively because of the problems such as roping, unstable liquid slag depth and unstable thermocouple temperature which are peculiar to medium thick slab caster, therefore mold powder with weak crystallization characteristic and high slag viscosity is considered to be effective to solve these problems.

Since the excessively thin crystallized layer in slag film cause higher heat removal, crystallization characteristics such as crystallization temperature and density are precisely controlled in developed new mold powder.

Fig.3 shows the slag crystallization appearance of new mold powder after fused at 1300℃ and poured into water cooled copper gutter. The adequate formation of crystallized layer was confirmed by controlling precise chemistry.

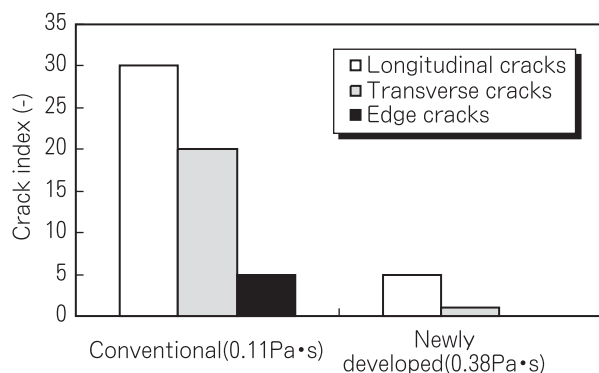


Fig. 5 Results of steel strand surface quality.

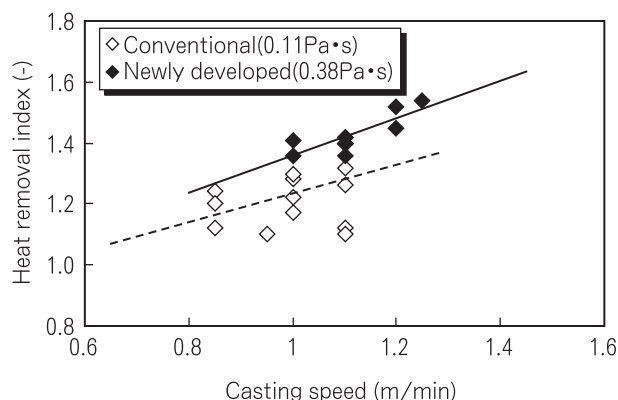


Fig. 6 Results of heat removal.

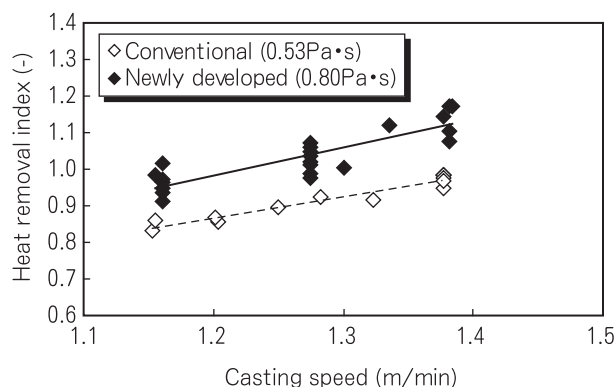


Fig. 7 Results of heat removal.

パウダーの原料配合やカーボン量を調整することで、2方向からの受熱でも焼結は軽減された。

また、溶融層厚みを適性に確保するために、滓化速度も適性に調整した。

4. 2 開発品の実機への適用

4. 2. 1 鋳片品質

開発品を使用して鋳造したときの鋳片表面割れの結果をFig. 5に示す。

開発品を使用した鋳片の横割れ、コーナー割れおよび縦割れは減少した。

4. 2. 2 モールド内抜熱速度

開発品を使用して鋳造したときのモールド内抜熱速度の結果をFig. 6, 7に示す。

開発品を使用して鋳造したときの抜熱速度は、従来品よりも増加している。抜熱速度が増加しても表面割れが抑制された理由は高粘度化による均一抜熱と適切な結晶性の付与によるものと考えら

4. 1. 2 Melting property around SEN

In the area around SEN, mold powder is heated from molten steel in mold and SEN wall as well. The heats from these two different directions induce the deterioration of powder melting property and cause sintering and roping more easily. The melting property of new mold powder was designed to keep the stable melting behavior even around SEN.

Fig.4 shows the results of the sintering test in which powder was heated from two directions. By controlling the suitable raw materials choice and carbons content, developed new mold powder successfully reduced sintering index. The melting speed of new powder was also adjusted to keep stable thickness of liquid slag layer.

4. 2 Application results of new mold powder

4. 2. 1 Steel quality

Fig.5 shows the steel strand surface of the new mold powder in comparison with conventional powder.

Longitudinal, transverse and edge cracks were all reduced by new mold powder.

4. 2. 2 Heat removal

Fig.6 and 7 show the heat removal in the mold.

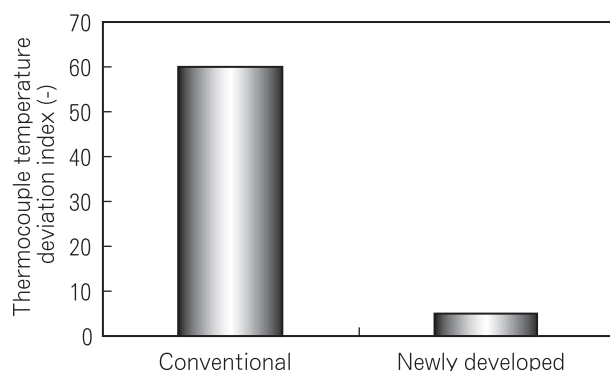


Fig. 8 Results of thermocouple temperature deviation.

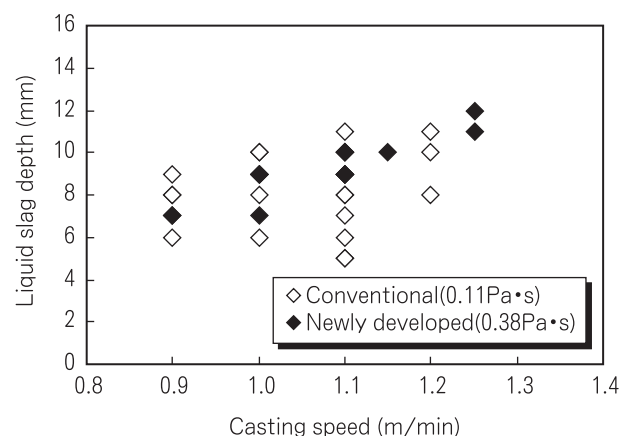


Fig. 9 Results of liquid slag depth.

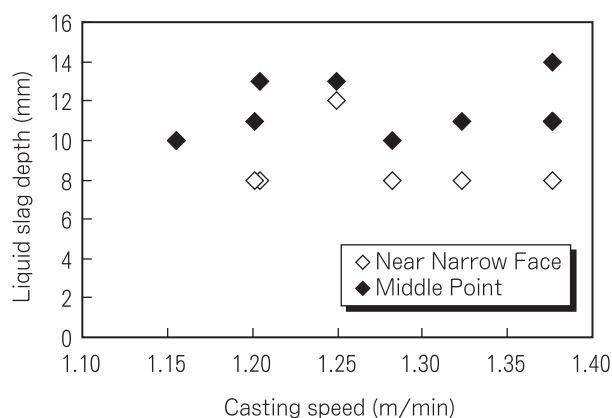


Fig.10 Results of liquid slag depth (0.80Pa·s).

れる。

また、鋼中Hが高いときに抜熱速度が低下する現象も緩和された結果が得られた。

4. 2. 3 熱電対測定結果

開発品を使用して鋳造したときのモールドに埋設された熱電対温度の結果をFig. 8 に示す。

熱電対の温度変化、スパイク現象は解消され安定した。

4. 2. 4 溶融性状

開発品を使用した時の部位別溶融層厚みの測定結果をFig. 9, 10に示す。

開発品の溶融層厚みは従来品と比べて増加し、厚みも均一化された。

The heat removal of the new mold powder was higher than that of conventional powder. In spite of high heat removal, strand surface cracks were successfully reduced in consequence of uniform heat removal by high viscosity slag and appropriate crystallization property.

Furthermore, the decrease of heat removal rate at the casting of high H content steel was also successfully prevented by new mold powder.

4. 2. 3 Thermocouple temperature

Fig.8 shows the deviations of thermocouple temperature.

The temperature deviation of the new mold powder was greatly reduced from conventional powder and the “spike” behavior completely disappeared.

4. 2. 4 Melting characteristics

Fig.9 and 10 show the liquid slag depth in relation to casting speed.

The liquid slag depth of new mold powder was increased and stabilized compare with conventional powder.

5. Summary

The new mold powder for medium thick slab caster was developed to solve, its

5. まとめ

中厚スラブ連铸機の有している課題に対し、新しい考え方に基づきモールドパウダーの開発に取り組んだ。

開発品を実機に適用した結果、

- 铸片表面割れが低減された。
- 溶融層が安定して確保され、スラグベアーの生成も低減された。
- 鋼中H濃度が高い場合にでも安定した抜熱特性が得られた。
- H性BOが解消された。
- SENの溶損が低減された。

開発品は世界各所で順調に使用され好評を得ている。

peculiar problems. The field application results of new mold powder are summarized as follows.

- 1) Strand surface cracks are greatly reduced.
- 2) Liquid slag depth was stabilized and roping was also reduced.
- 3) Stable heat removal was achieved even at the casting of high H content steel.
- 4) Sticker BO caused by hydrogen gas completely disappeared.
- 5) SEN erosion was reduced.

The new mold powder is being used for many medium thick slab casters around the world with good reputations.

Reference

- 1) Tadao Watanabe ; Tetsu-to-Hagane Vol.88 (2002)