

低炭・極低炭用モールドパウダーの開発

Mold Powder Development for Improving LC and ULC Steel Sheet Quality

伊 藤 純 哉^{*1}

Junya ITO

岩 本 行 正^{*2}

Yukimasa IWAMOTO

尾 本 智 昭^{*3}

Tomoaki OMOTO

鈴 木 貴 之^{*4}

Takayuki SUZUKI

Jim GILMORE^{*4}何 波^{*5}

Bo HE

Abstract

Mold powder is one of the most important materials for achieving stable casting operation and good steel qualities. Development of better mold powders is becoming more important in improving casting technologies.

Main defects in low carbon (LC) steel and ultra low carbon (ULC) steel are inclusions and gas bubbles. New higher viscosity mold powders were developed and used in casting these grades. Casting operation was stable without any problems and the defects ratios of cold rolled steel sheets were improved by approximately 40% by using new higher viscosity mold powders.

1. 緒 言

近年、鋼材への品質要求が厳しくなり、モールドパウダーによる铸片品質の改善に対する要求や期待が大きくなってきた。自動車鋼板用の低炭・極低炭素鋼薄板コイルの介在物性欠陥や気泡性欠陥の低減は重要な課題である。铸片手入れの低減が指向される現状において、モールドパウダー技術がますます重要となっている。

本報告では、低炭・極低炭鋼薄板材の品質改善を目的としたモールドパウダーの開発状況と使用結果について報告する。

1. Introduction

Recently, higher standards for steel quality need to be met. Mold powder manufacturers are expected to develop new mold powders which will help achieve these higher standards. One of the high priority issues is to decrease the inclusion and gas bubble defects in the LC and ULC grades for automobiles. Mold powder technology is becoming more important to address this situation as most steel mills want to reduce the conditioning of cast strands as much as possible.

In this paper, development of new mold pow-

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

*2 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

*3 遼寧品川和豊冶金材料有限公司 総経理 President, Liaoning Shinagawa Hefeng Metallurgical Material Co., Ltd.

*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.

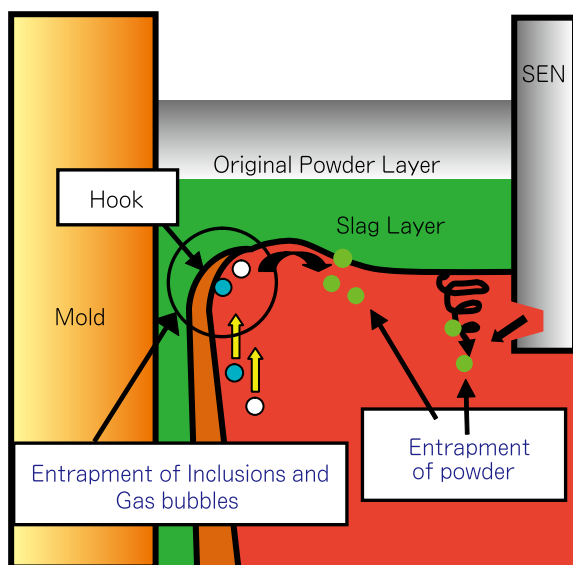


Fig. 1 Probable mechanisms of defects.

2. 低炭・極低炭素鋼の品質課題

低炭・極低炭素鋼における代表的な欠陥は、アルミナやパウダー等の介在物性欠陥および気泡性欠陥である。Fig. 1 に上記欠陥の推定生成メカニズムを示す。

パウダースラグが溶鋼中に巻き込まれるメカニズムとして、溶鋼反転流によるパウダースラグの削りこみと浸漬ノズル近傍に発生する渦流による巻き込みがある¹⁻³⁾。

巻き込まれたパウダースラグ、溶鋼中のアルミナ等の非金属介在物および気泡が浮上してきた時、メニスカス部の凝固シェルの先端部が成長して爪状凝固シェル（Hook）を形成していると、介在物や気泡が捕捉され铸件表層下の欠陥となる^{4),5)}。

さらに極低炭素鋼ではカーボンピックアップも問題となる。カーボンピックアップは主に溶鋼と未溶融パウダー層の直接接触によって発生すると考えられる。

ders to address aforementioned quality issues is described.

2. Quality Issues in LC and ULC Steel

Typically, Al_2O_3 inclusions, gas bubble defects and powder inclusions are the main quality defects of casting LC and ULC steel grades. Probable mechanisms for the formation of these defects are shown in Fig.1. Causes of powder inclusions can be entrapment of mold powder slag into liquid steel due to the fluctuation of liquid steel level, aggressive downstream flow of liquid steel at the meniscus, or vortexes formed close to the SEN¹⁻³⁾. On the other hand, Al_2O_3 inclusions and gas bubbles may be trapped by “hook” formation^{4),5)}. This curved part of the shell occasionally formed at the meniscus which can trap inclusions and gas bubbles floating up in the liquid steel. Trapped inclusions and gas bubbles become defects in the solidified strand.

3. The Concept of New Mold Powders for LC and ULC Steel

3. 1 Countermeasure to decrease powder inclusion defects

Increasing the viscosity of powder slag should be effective at reducing powder inclusions in LC and ULC grades. It is believed that the possibility of powder slag entrapment should be less with higher viscosity slag than that of lower viscosity slag. This is because it will be more difficult to separate higher viscosity slag into the steel to be entrapped.

Fig.2 shows the relation between powder consumption and viscosity for conventional powders. In general, the consumption of mold

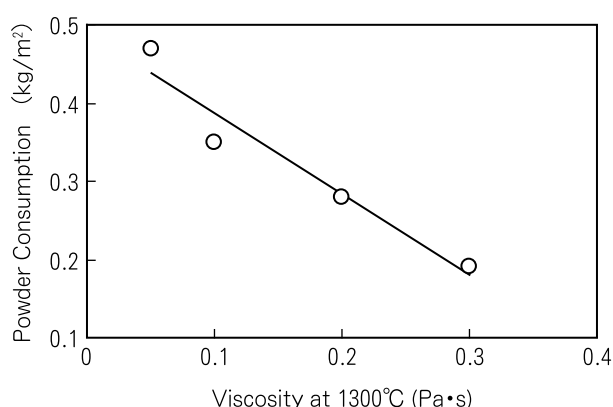


Fig. 2 Relation between powder consumption and viscosity.

3. 低炭・極低炭素鋼用モールドパウダーの開発思想

3. 1 パウダー性介在物欠陥の対策

低炭・極低炭素鋼のパウダー性介在物欠陥の低減には、パウダースラグの高粘度化が有効である。パウダースラグの高粘度化によりスラグの液滴破断性を低下させてメニスカスでの溶鋼流によるスラグの削りこみや渦流による巻き込みが低減できる。

しかしながらパウダースラグを高粘度化すると、Fig.2に示すようにパウダーの消費量が減少して潤滑不足となり拘束性ブレイクアウトの危険性が高まる。そこで、高粘度域でもパウダー消費量を確保するために Li_2O の活用が有効であることを見出した。

Fig. 3 にスラグ粘度の温度依存性に与える Li_2O の添加効果を示す。パウダー中に Li_2O を添加すると活性化エネルギーが低下することにより、高温域では比較的高粘度で巻き込まれ難いが、低温域では Li_2O 未使用品と比較して低粘度となることから適正なパウダー消費量が確保できる。

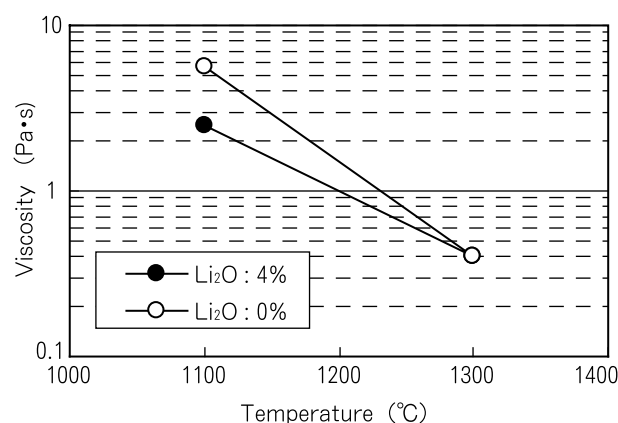


Fig. 3 Influence of Li_2O addition on temperature dependence of viscosity.

powder decreases when the viscosity of powder slag increases. We have to be careful because excessive decrease of consumption can cause sticker problem in casting operations. Therefore, it is necessary and important to design the powder to have appropriate consumption even though the viscosity is designed to be high. We solved this issue by using Li_2O in the mold powder. Fig.3 shows the influence of Li_2O addition on the temperature dependence of viscosity. As the temperature dependence of slag viscosity is weakened by the addition of Li_2O , it is expected that powder consumption will be sufficient for proper lubrication even though the viscosity is relatively high.

3. 2 Countermeasures to reduce Al_2O_3 inclusions and gas bubble defects

In order to reduce Al_2O_3 inclusions and gas bubble defects, the formation of hooks at the meniscus should be minimized. Maintaining a hot meniscus temperature will prevent the formation of hooks and premature solidification.

Fig.4 shows the influence of the liquid powder slag thickness on the insulation behaviour.

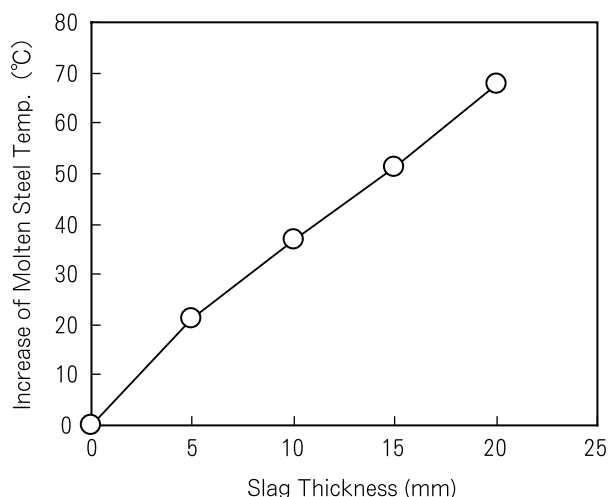


Fig. 4 Influence of slag thickness on insulation.

3. 2 アルミナ性および気泡性介在物欠陥の対策

メニスカスで不健全に成長した爪状凝固シェルの捕捉される気泡や介在物を低減させるためには、爪状凝固シェルの成長や倒れこみを抑制させることが必要で、モールドパウダーによるメニスカスの保温を向上させることが肝要である。

Fig. 4 に保温性に及ぼす溶融スラグ層厚みの影響を調査した結果を示す。下面からのみ加熱する電気炉でカーボンルツボ中に銑鉄を溶解させ、表面に厚みを変化させた同一組成のパウダースラグを投入し、溶融スラグと溶鉄界面から 5mm の位置の溶鉄温度を熱電対にて連続的に測定した。実験結果から、溶融層が厚くなるほど溶鋼温度が上昇することから、溶融スラグ層が厚ければ保温性が向上するといえる。また、溶融層を厚く確保することは局所的な湯面変動を受けた場合でも、カーボンを含んだ原パウダー層と溶鋼の直接接触を防止でき、極低炭素鋼のカーボンピックアップ防止にも繋がると考えられる。

さらに、保温性を向上させるためには原パウダー層の断熱特性も重要である。Fig. 5 に断熱性に及ぼすパウダー形状の影響を示す。粒径の異な

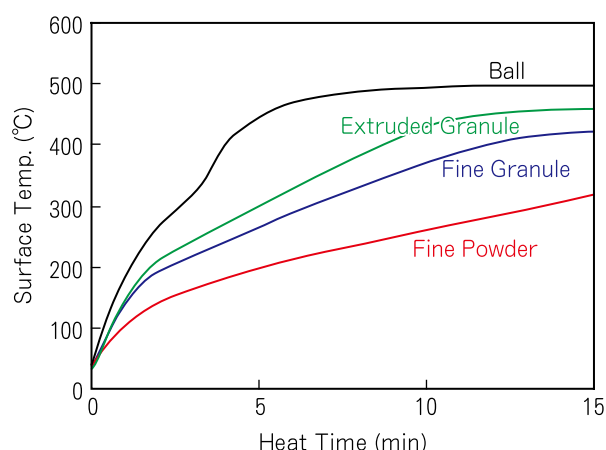


Fig. 5 Influence of mold powder shape on insulation capability.

Temperature of molten iron was measured 5mm below the interface of molten iron and liquid powder slag. The thickness of powder slag was then varied. Thicker slag layers resulted in higher increases of molten iron temperature. Therefore, higher insulation can be achieved by the increasing the thickness of the liquid slag layer. Keeping the liquid slag thickness in the appropriate range is also effective to prevent carbon pickup by preventing direct contact between liquid steel and un-melted original powder layer which contains carbon materials.

Furthermore, the insulation property of original powder layer is also important to keep the meniscus temperature hot. We compared insulation capability of various powders to understand the influence of particle size and shape of powders. Al_2O_3 powders which have different particle size and shapes were used in this comparison test. Surface temperature of each sample filled in a crucible was measured while being heated only through the bottom of the crucible. If the powder has better insulation

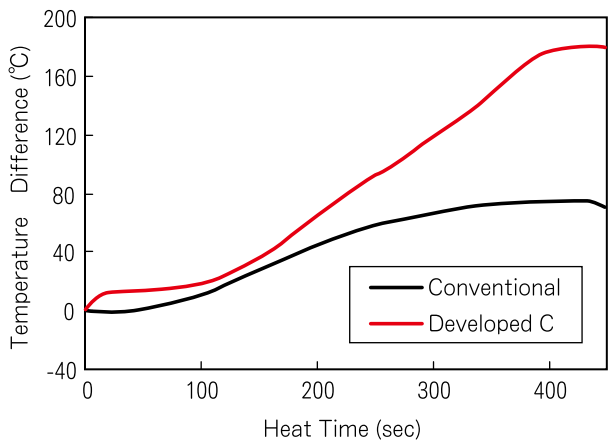


Fig. 6 Results of differential thermal analysis.

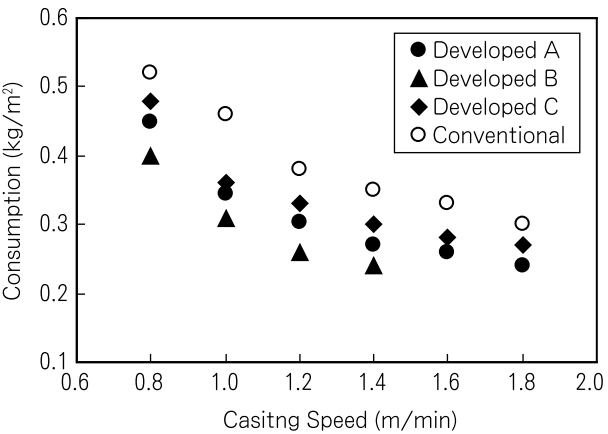


Fig. 7 Results of powder consumption.

るアルミナおよび中空のアルミナボールをパウダーに見立て、電気炉にてルツボ底部から一方向加熱し、サンプル表層温度を測定した。実験結果から粉末の表層温度が最も低く、断熱性は粉末形状が最も優れ、中空形状は最も悪い結果が得られた。

3. 3 極低炭素鋼におけるカーボンピックアップ対策

BH鋼板（塗装焼き付け硬化型鋼板）およびホロー鋼板等は鋼種特性からカーボンピックアップを可能な限り防止する必要がある。カーボンピックアップ防止にはパウダー中のカーボンを無添加

Table 1 Typical properties of developed mold powders

		Developed			Conventional
		A	B	C	
CaO/SiO ₂		0.86	0.84	0.86	0.96
%	Li ₂ O	1.0	1.2	2.3	-
	F	4.5	5.4	6.3	7.4
	T.C	2.9	2.4	-	3.2
Viscosity at 1300°C (Pa・s)		0.48	0.60	0.40	0.15

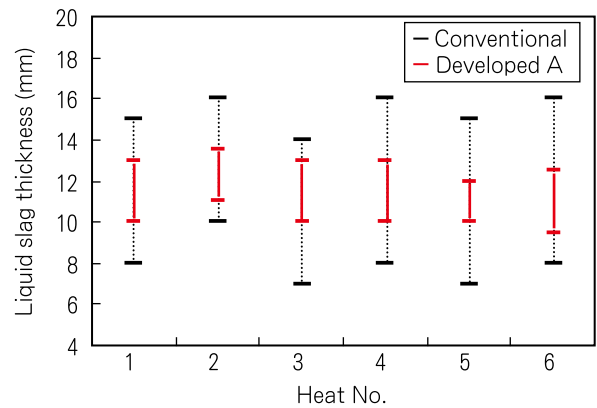


Fig. 8 Results of liquid slag thickness.

capability, the increase of surface temperature should be slower. Test results are shown in Fig.5. The insulation capability of fine powder was the best among the tested samples, followed by fine granules. Surprisingly, spray dried granules had the worst insulation capability even though the particles were hollow.

3. 3 Countermeasure to prevent carbon pickup in ULC steel

Carbon pickup needs to be minimized while casting ULC steel grades, especially in cases such as baked hardening steel, enamelled steel, etc. Non-carbon mold powders can be used for casting such strict ULC grades. However, it is not easy to obtain good insulation and melting properties without using carbon materials

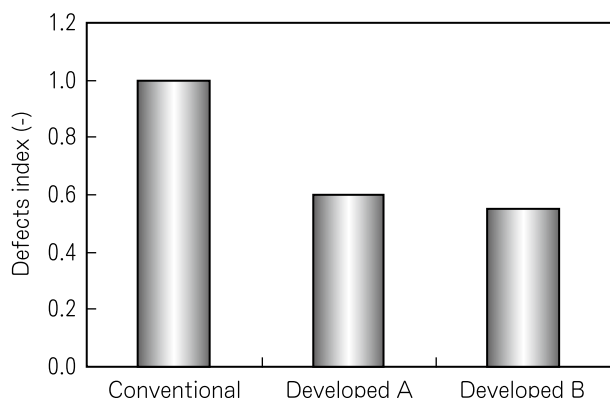


Fig. 9 Defects index of cold rolled sheet for automobile steel.

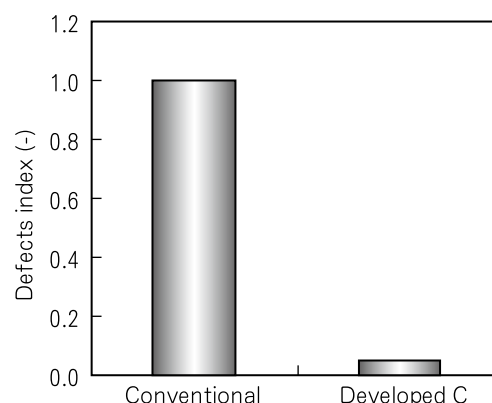


Fig.10 Defects index of cold rolled sheet of LC steel tin plates.

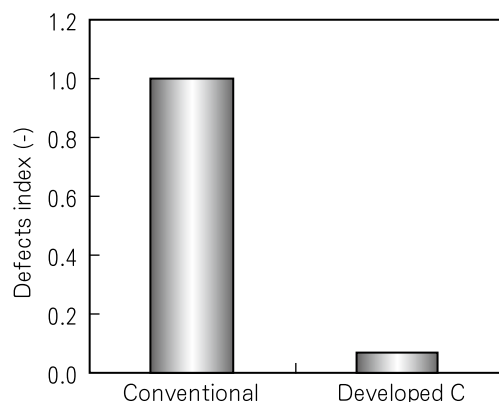


Fig.11 Defects index of enamelled steel strand surface.

とすることが最も効果的であるが、保温性確保および滓化速度コントロールが難しくなる。

カーボン無添加でも保温性を確保し、滓化調整も可能とするために金属を添加した発熱システムを開発した。Fig. 6 に発熱特性を付与させた開発品の示差熱分析結果を示す。金属を添加することで開発品の保温性は従来のカーボン含有品よりもむしろ向上した。

4. 開発品の実機への適用

4. 1 開発品質

Table 1 に本開発品の低炭・極低炭素鋼用モールドパウダーの特性を示す。このうち開発品Cは

in mold powders. We addressed this issue by using metallic materials which cause an exothermic reaction in the mold. Fig. 6 shows the results of differential thermal analysis of conventional and new non-carbon powder which contains metallic materials. New non-carbon powders are designed to have better insulation properties (hotter meniscus) because they provide heat in the mold.

4. Results of Actual Usage of New Mold Powders for LC and ULC Steel

4. 1 Properties of new mold powders for LC and ULC steel

Table 1 shows the typical properties of newly developed mold powders for LC and ULC steel grades. Mold powder C is a non-carbon type powder for casting ULC steel.

4. 2 Powder consumption

Consumptions from actual usage are shown in Fig.7. Fig.8 shows liquid slag depth measurements of new powder A and conventional powder during casting. Although consumptions of new higher viscosity mold powders are less

極低炭素鋼用のノンカーボン発熱型である。

4. 2 開発品の消費量および溶融層厚みの結果

Fig. 7 に開発品の実機 casting における消費量を、Fig. 8 に開発品の溶融層厚みの推移を示す。

開発品は高粘度であるが、消費量の低下は小さく、適正な潤滑性の目安となる 0.20kg/m^2 以上を確保できた。さらに滓化速度と消費速度が安定し、溶融層も適正な厚みが確保され、casting 時間経過に伴う変動も低減された。

また、開発品Cはノンカーボンパウダーであるが、casting 中の溶融層厚みは約 $10\sim 15\text{mm}$ と安定して維持される結果も得られた。

4. 3 冷延コイル品質結果

Fig. 9 に自動車用鋼板用鋼種の casting に開発品AおよびBを適用したときの冷延コイル欠陥混入指数を示す。Fig.10 に低炭ブリキ材鋼種に開発品Cを適用したときの冷延コイル欠陥混入指数を示す。いずれの鋼種においても開発品を適用すると、冷延コイル品質が向上した結果が得られた。本結果によってスラブ手入れ率の低下による生産性向上が達成された。

4. 4 カーボンピックアップ結果

Fig.11 にホーロー鋼板用鋼種に開発品Cを適用した時のスラブ表面品質結果を示す。従来品に対して開発品はカーボンピックアップの低減によってブローホールが著しく減少した。

5. 結 言

今回、新しい考え方をもとに低炭・極低炭素鋼用モールドパウダーを開発した。さらにモールドパウダーの特性評価として新しい実験方法を確立できた。以下に得られた知見を示す。

- 1) Li_2O を活用した高粘度パウダーを開発した。
- 2) 高粘度特性によりパウダー性欠陥を大きく低減できた。

than that of conventional powder, they were in the appropriate range above 0.2kg/m^2 . Fluctuation of liquid slag thickness of powder A was less than that of the conventional powder, which indicates new powder A has well balanced melting speed and consumption. New non-carbon powder C maintained good slag thickness, consistently between 10 and 15mm during casting.

4. 3 Quality of cold rolled sheet

Fig.9 shows the defect indexes of cold rolled sheet for automobile steel. Fig.10 shows the defect indexes of cold rolled sheet of LC steel tin plates. As shown in these figures, the quality of cold rolled sheet was greatly improved by using new higher viscosity mold powders. This also resulted in a reduction of slab conditioning and improvement in productivity.

4. 4 Carbon pickup

Fig.11 shows the index of slab surface defects of enamelled steel as another example of the quality improvement. Blowhole defects when using new powder C were reduced greatly as compared to conventional powder.

5. Summary

We developed new mold powders for improving steel quality based on new concepts in the design of mold powders. We also developed several new experimental methods to evaluate mold powder characteristics.

- 1) New higher viscosity mold powders containing Li_2O were developed and used.
- 2) Powder inclusion defects were reduced by increasing the viscosity of powder slag.
- 3) Although the viscosity of powder slag was high, stable operation was achieved due to

- 3) 開発品は高粘度特性であるが、 Li_2O の活用により適正な流入および溶融層厚みを確保でき、安定操業を達成した。
- 4) 保温性の向上により気泡性欠陥やアルミナ性介在物欠陥を大きく低減できた。
- 5) ノンカーボン発熱型開発品の適用によりカーボンピックアップの厳しい極低炭素鋼においても大幅な品質改善を達成した。
- 6) 開発品の適用によりコイル品質の大幅な改善が達成できた。

本開発品は日本をはじめとし、中国、韓国、アメリカ等世界各所で使用されており、鋼品質の改善および生産性の向上等の良好な結果が得られている。

the well balanced powder consumption and molten slag layer.

- 4) Al_2O_3 inclusions and gas bubble defects were reduced due to good insulation properties of new mold powders.
- 5) Melting and insulation properties of non-carbon mold powders for carbon pickup sensitive ULC steel were improved by using exothermic metallic material.
- 6) Qualities of cold rolled sheet were improved greatly by using new mold powders.

New mold powders are being used for many steel mills around the world such as Japan, China, Korea and U.S.A. and contributing the improvement of steel quality, productivity, and cost savings.

References

- 1) Y. Ootsuka, H. Yuyama and S. Kajio, CAMP-ISIJ, Vol.3, (1990), p1225.
- 2) Y. Shimizu, T. Touge, S. Sasayama, T. Endou, Y. Hayashi and M. Matsui, CAMP-ISIJ, Vol.7, (1994), p300.
- 3) A. Mutou and N. Kasai, CAMP-ISIJ, Vol.10, (1997), p900.
- 4) H. Tomono et al, Solidification technology in the foundry and cast house, (1980), p522.
- 5) D. Larson, Industrial heating, 53, No.4, (1986), p16.