

モーグル型浸漬ノズルの使用による Florange製鉄所の鋼品質の向上

Improvement of Metallurgical Qualities of Florange Steels by the Use of Mogul Submerged Entry Nozzles

Pierre COLUCCI^{*1}Maurice HALLOUCHERIE^{*2}Frédéric LECLERCQ^{*3}Dominique VERRELLE^{*4}Claude SCHILTZ^{*5}飯 田 栄 司^{*6}中 村 真^{*7}

Eishi IIDA

Makoto NAKAMURA

Abstract

The shape of submerged entry nozzle (SEN) has a great influence on steel quality and stable casting operation in the continuous steel casting. To optimize the flow pattern of molten steel in the mold, Shinagawa developed in 2002 the Mogul SEN which is lined with many spherical convex projections on the bore. The steel shop of Florange, member of ArcelorMittal Group, was the first in Europe to test the Mogul SEN. The use of the Mogul SEN showed an improvement of the quality results for the two major defaults generated by the steel plant: blisters and slivers, as well as a significant improvement of the castability of the IF type low carbon steels.

1. 緒 言

鋼の連続鋳造において、溶鋼をタンディッシュからモールドへ注入するのに使用される浸漬ノズルは、溶鋼の再酸化防止とモールド内の溶鋼流動の制御に重要な役割を担っている。モールド内での溶鋼流動を最適化するためには、適切な浸漬ノズル形状を選択することが重要である。溶鋼の清浄性と介在物付着（ノズル閉塞）の点で、浸漬ノ

1. Introduction

Submerged entry nozzles (SEN) are used to pour molten steel from the tundish into the mold in continuous steel casting. SENs assume the important role of preventing re-oxidation and controlling the molten steel flow in the mold. To optimize the flow pattern of molten steel in the mold, the

^{*1} Process Engineer, Florange, ArcelorMittal

^{*2} Process Technician, Florange, ArcelorMittal

^{*3} Steel Plant Manager, Upstream Competence Domain, Luxembourg, ArcelorMittal

^{*4} Technical Director, Luxembourg, Sidermin SA

^{*5} Technical Assistant, Luxembourg, Sidermin SA

^{*6} 技術研究所 第1研究グループ グループマネージャー Manager, Shaped Refractories R&D Group, Research Center

^{*7} 湯本工場 技術グループ グループマネージャー Manager, Technical Section, Yumoto Works

ズルの化学組成が与える影響については多くの研究がある^{1),2)}。しかし、浸漬ノズルの構造と管内の流動状態も、ノズル閉塞に非常に大きな影響をもつだけでなく、溶鋼の清浄性とモールド内の湯面変動に影響を与える。

品川白煉瓦はこうした研究⁶⁾の延長として、1992年に段差型浸漬ノズルを開発した³⁻⁵⁾。そして2002年には、増大する多様なニーズに対応するために、内管に多数の球形凸状突起が並んだモーグル型浸漬ノズルを開発した (Fig.1)。モーグル型浸漬ノズルの効果は多くの連铸機で実証されている。



Fig. 1 Inside bore appearance of Mogul SEN.

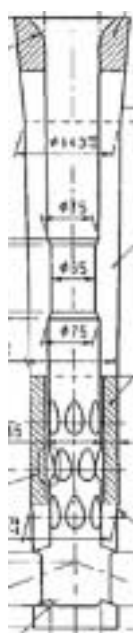


Fig. 2 ArcelorMittal Florange SEN.

selection of the SEN design is important. Many authors are leaning on the role of refractories on inclusion cleanliness. Also, the chemical composition of the submerged nozzles^{1),2)} on clogging is not any more to show. However, the modes of flow in the (SEN), combined with the geometrical factors of the latter, have a very important role on the one hand on the blockage of the nozzle itself and, on the other hand on the cleanliness of metal downstream and a strong influence on clogging and the fluctuations in the mold.

Since 1992, Shinagawa developed the annular step SEN³⁻⁵⁾ in the prolongation of these researches⁶⁾. And, they developed in 2002 the Mogul SEN which is lined with many spherical convex projections on the bore as a measure to meet increasingly complex needs (Fig.1). The great effect of Mogul SEN has been confirmed in many continuous casting machines.

2. Characteristics and Effects of Mogul SEN

The Mogul SEN is able to eliminate the biased flow which occurs from throttling through many spherical convex projections which line the bore. Because the downward molten steel flow becomes even inside the bore, the distribution of the flow velocity at the ports is also even. The most important characteristic of the Mogul SEN is creating an even flow velocity distribution at the outlet ports.

The characteristics of ArcelorMittal Florange SEN are shown hereafter (Fig.2). Figure 3 is a flow chart about the characteristics and effects of Mogul SEN.

2. 1 Prevention of outlet port corrosion

Generally, when the conventional straight

2. モーグル型浸漬ノズルの特徴と効果

モーグル型浸漬ノズルは、内管にある多数の球状突起により、ストッパーまたはスライドバルブの絞りから生じる偏流をなくすることができる。浸漬ノズル内を流下する溶鋼流が管内で均一な流速分布になるため、吐出孔での流速分布も均一になる。モーグル型浸漬ノズルの最も重要な特徴は、吐出孔で均一な流速分布を生じる点である。

ArcelorMittal Florange製鉄所で使用されているモーグル型浸漬ノズルの形状をFig. 2 に示す。Fig. 3 はモーグル型浸漬ノズルの特徴と効果についてのフローチャートである。

2. 1 吐出孔の溶損防止

一般に、従来の内管ストレート型浸漬ノズルでは、吐出孔の下部で強い吐出流が生じる。さらに、吐出孔が大きすぎる場合やスループットが大きい

bore SEN is used, a strong outlet flow occurs at the lower portion of the outlet port. In addition, when the outlet port is oversized and throughput is large, negative flow tends to occur in the upper portion of outlet ports. When a negative flow occurs, mold powder slag is sucked into the outlet port and corrosion of the ports or inside bore occurs.

The upper portion of the outlet port of the straight bore SEN (Fig.4a) is greatly corroded by the powder slag which was sucked in by a negative flow. But since negative flow does not occur in the upper portion of the outlet ports of the Mogul SEN (Fig.4b), powder slag is not sucked in and the ports are not corroded at all.

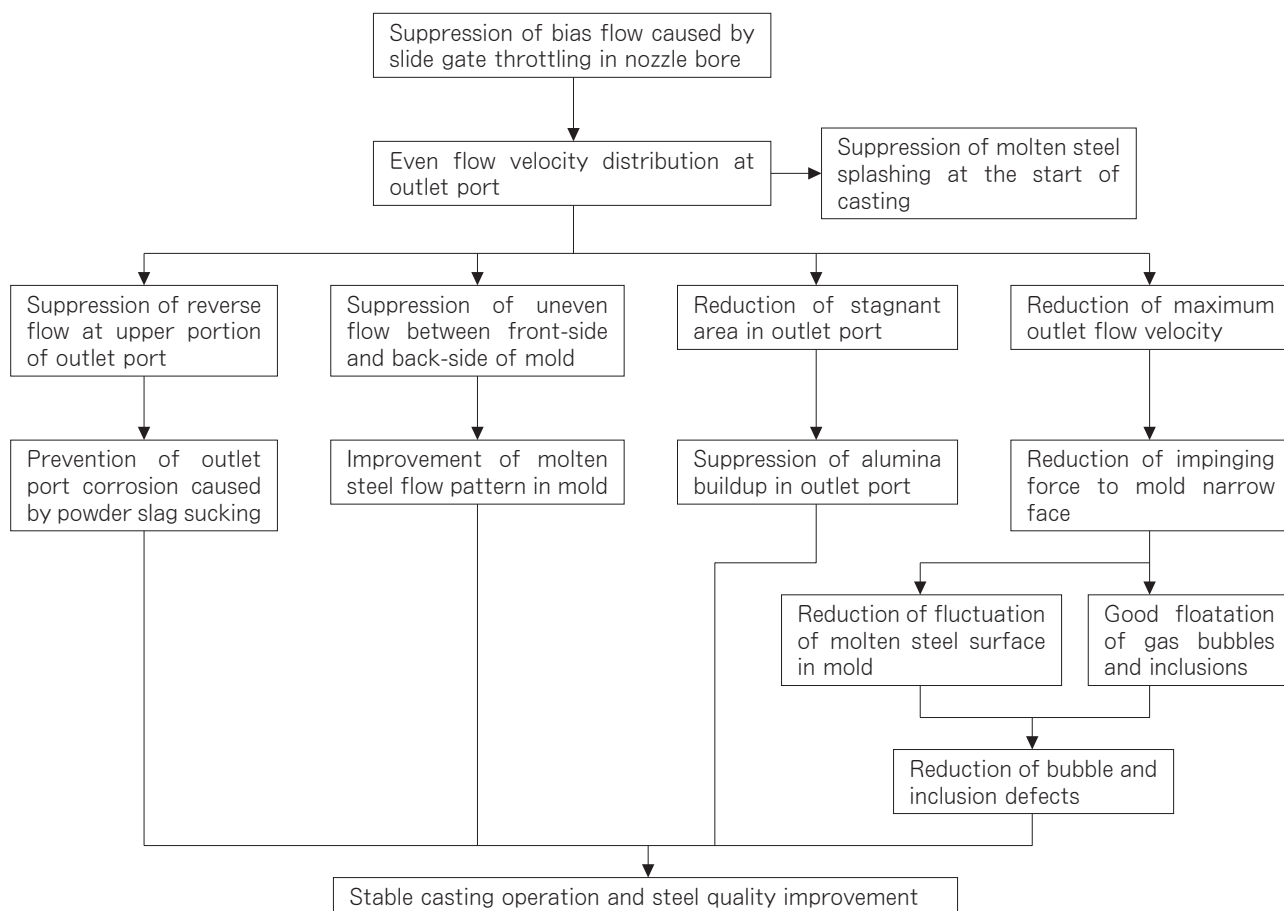


Fig. 3 Effect of Mogul lined submerged entry nozzle.

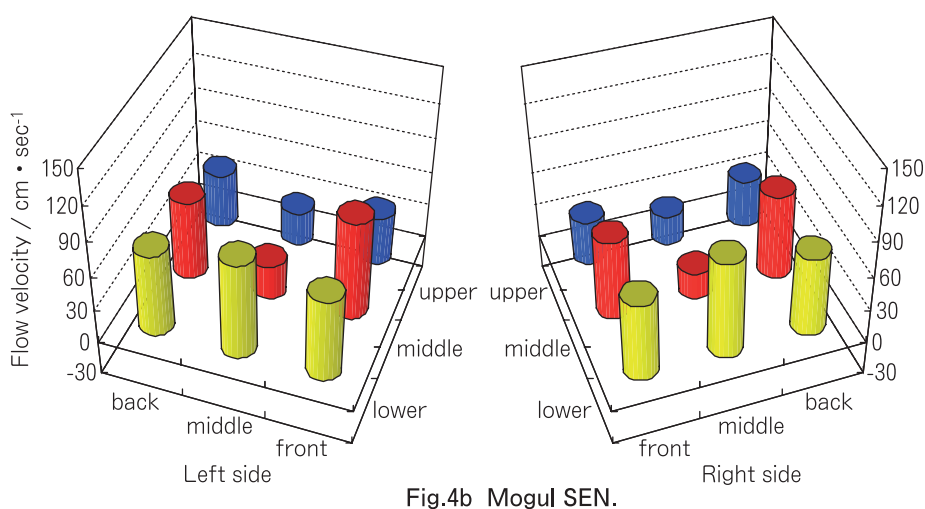
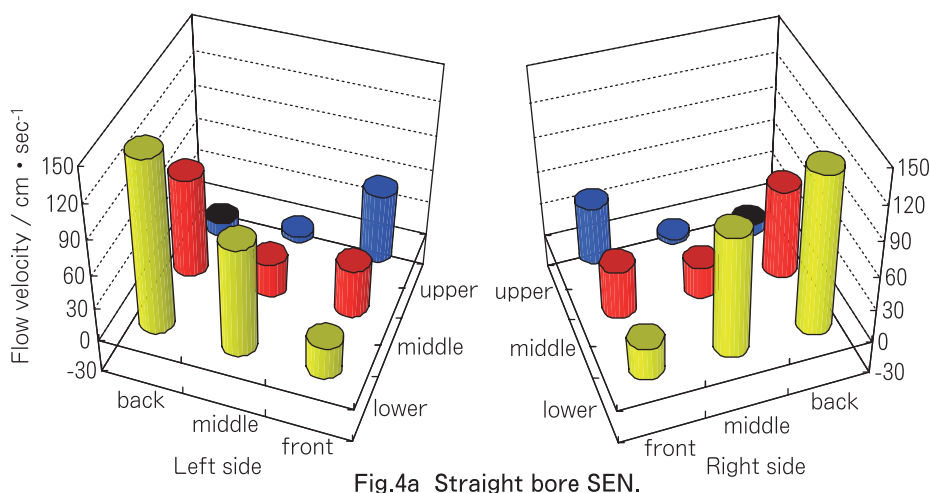


Fig. 4 Distribution of average flow velocity at outlet port. (Water model simulation test)

場合、吐出孔上部に負圧域が生じやすい。負圧域が生じると、モールドパウダースラグが吐出孔内に吸い込まれ、吐出孔や内管の溶損が生じる。

内管ストレート型浸漬ノズルの吐出孔上部 (Fig.4a) は、負圧によって吸い込まれたパウダースラグによって大きく溶損される場合がある。しかし、モーグル型浸漬ノズルの吐出孔上部では負圧が生じないので (Fig.4b)、パウダースラグが吸い込まれることがなく、吐出孔の溶損も全く生じない。

2. 2 モールド内での溶鋼流動の改善

吐出孔の流速分布が均一なときには、モールドの前面側と後面側で溶鋼の流れはバランスがとれている。Fig. 5 にポーラス質上ノズルから吹き込んだガス気泡の動きを模式的に示す。浸漬ノズル

2. 2 Improvement of molten steel flow pattern in the mold

When the distribution of flow velocity at the outlet ports is even, the flow to the front and back of the mold is balanced. Figure 5 schematically shows the flow condition of gas bubbles injected from the porous upper nozzle. In the case of clogging in the upper part of the SEN or at the stopper rod tip, the straight bore SEN shows many gas bubbles rise at the back of the mold. On the other hand, the Mogul SEN shows well balanced gas rising conditions between the front and back of the mold.

In addition, in the straight bore SEN, the

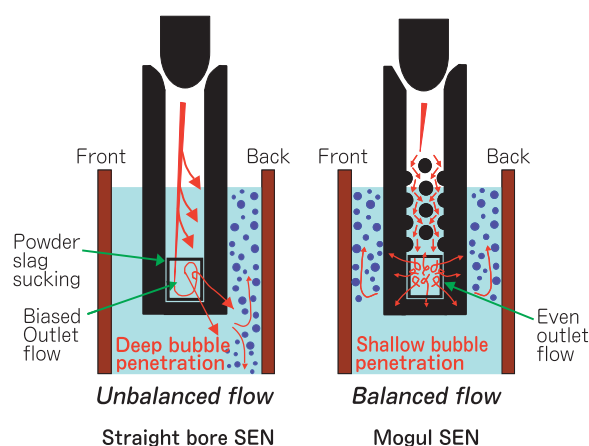


Fig. 5 Schematic drawing of flow pattern in SEN and mold (Side view).

の簇合部またはストッパー先端で付着によって偏流が発生した場合、ストレート型浸漬ノズルではモールドの片面側でガスの上昇量が多くなる。これに対しモーグル型浸漬ノズルでは、モールドの前面側と後面側でガスの上昇量はよく均一化されている。

また内管ストレート型浸漬ノズルでは、絞りの影響でモールドの左右で溶鋼の流動状態が異なる傾向がある (Fig.6a)。この場合、気泡が侵入する深さはモールドの片方では浅いが、もう片方では深い。一般に、モールドの左右のうち、気泡の侵入が浅い方でメニスカス流速は大きくなる。このように溶鋼流はモールドの左右で不均一になりやすいが、モーグル型浸漬ノズルを使用した場合、溶鋼流動は均一になる (Fig.6b)。

2. 3 モールド短辺への衝突流と湯面変動の抑制

水力学的研究から、湯面変動が大きいと内部欠陥（パウダー巻き込みや、気泡や介在物の捕捉など）に加えて、鋳片表面の欠陥（割れ）が引き起こされることが明らかにされている。介在物性の欠陥を防止するために、冶金学的には高速での鋳造や厳格な品質管理が推奨されている。また、モールドパウダーの物理化学的特性の改善やモールド内の湯面レベルの管理も重要である⁷⁾。

吐出孔の流速分布を均一化することは、モールド内の溶鋼流を均一にするのみならず、吐出孔下部からの強い溶鋼流を減少させることも意味する (Fig.4b)。吐出孔下部の強い流れが抑制されると、

flow pattern tends to differ between the right side and left side in the mold due to the influence of throttling (Fig.6a). The gas bubble penetration depth is shallow on one side, however, on the other side, the gas bubbles penetration is deep. Generally, the meniscus flow velocity is faster on the side of shallower penetration depth than on the other side. Therefore, the flow tends to become uneven between the right and left side of the mold, however, in the case of Mogul SEN, the flow tends to be even (Fig.6b).

2. 3 Reduction of impacting force to mold narrow face and molten steel surface fluctuation

Hydrodynamic studies made it possible to note that important fluctuations of the meniscus thus cause defects of surface on the cast products (cracks) as well as internal defects (powder imprisonment, trapping of argon bubbles and solid inclusions, etc.). To avoid the defects of inclusion origin, the metallurgists recommend to cast at high casting speed and to operate a severe quality control. It appears also judicious to improve the physicochemical properties of the mold powders and to control the level of the meniscus out of the mold⁷⁾.

Balancing the flow velocity distribution at the outlet ports means not only balanced flow in the mold but also a reduction of fast flow from the lower portion of outlet ports (Fig.4b). Reduction of fast flow from this portion reduces the impacting force to the mold narrow face. Since reduction of the impacting force decreases the downward flow caused by this force, inclusions easily float to the surface. And since the strength of the upward flow is also suppressed, the fluctuation of the molten steel surface near

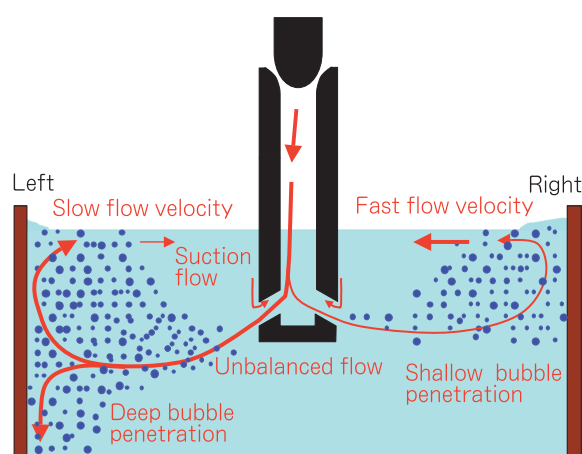


Fig.6a : Straight bore SEN

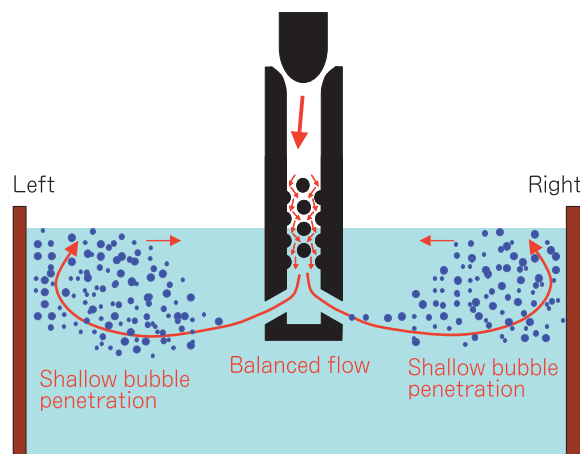


Fig.6b : Mogul SEN

Fig. 6 Schematic drawing of flow pattern in mold (Front view).

モールド短辺への衝突流が抑制される。衝突流の抑制により、衝突によって生じる下降流も抑制されるため、介在物は湯面へ浮上しやすくなる。また、短辺から反転する上昇流も抑えられるので、モールド短辺付近での湯面変動とパウダースラグの巻き込みも減少する (Fig. 6, Fig. 7)。

2. 4 吐出孔におけるアルミナ付着の抑制

吐出孔におけるアルミナ付着は、モーグル型浸漬ノズルの使用によって必ずしも抑制されるとは限らない。しかし、浸漬ノズルの内径、吐出孔の形状、スループット、ガス流量の関係が適切な場合、アルミナの付着はモーグル型浸漬ノズルの使用により抑制される。

3. ArcelorMittal Florange製鉄所における使用結果

3. 1 概要

Florange製鉄所はArcelorMittalグループの鋼板製造部門の一つである。同所は他の製鋼所向けの半製品と共に、冷延めっき鋼板を製造している。また、自動車外板用のめっき鋼板を中心に、自動車産業向けの重要な供給拠点である。またFlorange製鉄所は、塗装鋼板やホーロー鋼のような特殊鋼を家電機器メーカーや一般産業へ供給している。

the mold narrow face and the incidence of powder slag inclusions decreases (Fig.6, Fig.7).

2. 4 Suppression of alumina build-up in outlet port

Suppression of alumina build-up in the outlet port is not always achieved when the Mogul SEN is used. However, when the relationship between bore diameter, outlet port design, through-put and injected gas is correct, alumina adhesion can be suppressed by the Mogul SEN.

3. Experience of ArcelorMittal Florange

3. 1 Presentation

The site of Florange, member of ArcelorMittal Group, is a part of the flat carbon steels sector. It supplies plain cold and coated products as well as semi-finished products for other steelmaking fields. The site is an important supplier to the automobile industry, mainly in coated products and in external parts for the bodywork. Florange is also supplying to the electric household appliance and general industry, relying on its special steels, like

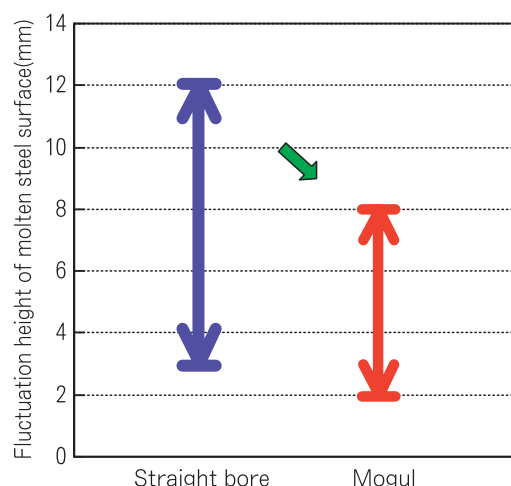


Fig. 7 Fluctuation height of molten steel surface in mold.

3. 2 Florange製鉄所の製品品質

Florange製鉄所（粗鋼生産230万t/年）は特に自動車部門のような高級用途向けの高級鋼を生産しており、品質とサービスについての顧客からの要求に対応するため、常に製造工程の改善を行っている。製造工程における第一の要素が製鋼工場である。製鋼工場には酸素底吹きLWS転炉が2基設置されており、2基の取鍋精錬炉（LF）でAlキルド鋼の全量を処理することができる。また一部の鋼は更に真空脱ガス（VTD）処理を行って、極低炭素鋼であるIF鋼を生産している。

Florange製鉄所では、全てのスラブが1基の湾曲式連铸機で生産される。この連铸機では湾曲式構造のためにブリストア疵やスリバー疵が発生する。こうした欠陥は、用途によっては許容できない。そのうえ、後になって冷間圧延機の自動検査ラインで欠陥が発見され鋼板が格落ちとなると、顧客サービスの低下につながる。そのためFlorangeでは、鋼中の介在物清浄性の管理を強化するため常に新たな工程改善に取り組んでいる。また、IF鋼の铸造性（castability）を改善するための新しい製品を開発すべく、耐火物メーカーと共同で取り組んでいる。

品川白煉瓦との共同で、Florange製鉄所はヨーロッパで初めてモーグル型浸漬ノズルのテストを実施した。目的のひとつはノズル内管の閉塞を防

cast coated pre-painted and enamelling steels.

3. 2 Quality: a catchword for Florange

The site of Florange (2.3Mt) produces high quality steels for high grade applications especially for automotive sector. In order to meet the customers' requirements in terms of quality and service, the site of Florange is daily working on the improvement of its production process. The steel shop is the first element in this process. It is equipped with 2 LWS converters with bottom blowing oxygen, 2 ladle furnaces, which allow to fully treat its production of aluminium killed steels, i.e. half of its orders. The other 50% undergo an additional VTD treatment to produce very low carbon steels of the IF type.

The entire slab production of the steel shop in Florange is produced on one single curved mold continuous casting machine. By its configuration, this machine generates blisters and slivers. For certain applications, these defaults are unacceptable. Moreover, the late revelation of these defaults at the automatic inspection lines at the cold rolling mill degrades the customer service in case of downgrading. In this context, the steel shop is developing new elaboration processes in order to better control the inclusion cleanliness of steels and is working together with its refractory suppliers to find new product solutions allowing a better control of the IF steels castability.

In collaboration with Shinagawa Refractories, the steel shop of Florange was the first in Europe to test the Mogul SEN. The objective was, on the one hand, to improve the castability of the IF steels by limiting the clogging of the SEN bore and, on the other hand, to better control the steel

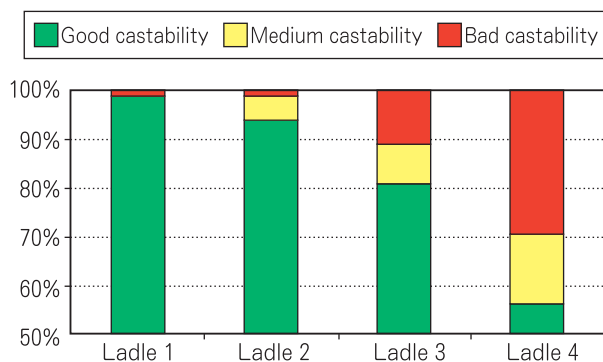


Fig. 8 Castability indicator without Mogul SEN.

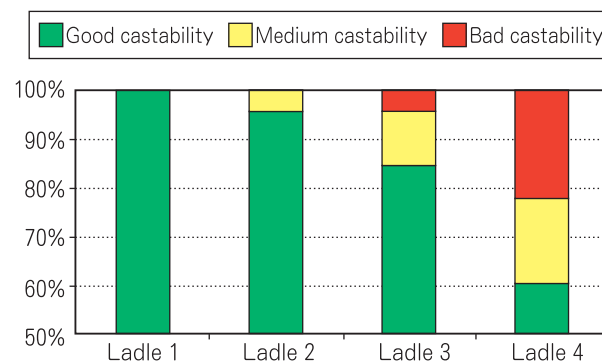


Fig. 9 Castability indicator with Mogul SEN.

止することによるIF鋼の鑄造性 (castability) の改善であり、もうひとつはモールド内の溶鋼流動の制御向上である。また、水モデル実験により浸漬ノズルの吐出孔における鑄造初期の溶鋼飛散が減少することも期待された⁸⁾。こうした流れの特徴は、湾曲式連鑄機における気泡や介在物の潜り込みを防止し、ブリストア欠陥の発生を抑制する上で有利である。

3. 3 鑄造性

鋼中の介在物清浄度はブリストア疵やスリバー疵といった鋼欠陥の生成に関して非常に重要である。また、鑄造中のノズルにアルミナ介在物が付着すると鑄片全体の品質が低下する。

品川白煉瓦の研究によると、モーグル型SENは内管の形状によりアルミナ付着を抑えることができる。これがFlorangeでモーグル型浸漬ノズルのテストを決定した理由のひとつである。

Florangeでは鋼の鑄造性 (castability) を管理するため、閉塞の程度を評価する装置を設置している。この装置はストッパーの位置、溶鋼流量、ガス流量を考慮して閉塞の程度を計算している。この装置による測定結果 (Figs. 8 and 9) では鑄造性を3段階表示している。レベル1が良 (緑)、レベル2が並 (黄)、レベル3が不良 (赤) である。モーグル型浸漬ノズルの使用によって、3～4チャージ目で鑄造性の改善が見られる。特に3チャージ目では鑄造性の改善が顕著であり、鑄造性不良 (レベル3) が12%から5%に減少、すなわち60%改善された。また4チャージ目の場合は

flow in order to reduce the mold variation. In addition, studies on a water model showed a reduction of splashes at the SEN outlets⁸⁾. In the context of a curved mold machine, this has the advantage to avoid the dragging down of argon bubbles and inclusions and thus limiting the formation of blisters.

3. 3 The castability results

The inclusion cleanliness of the steels plays a very important role concerning the formation of blisters and sliver defaults. Indeed, alumina clogging in the refractories during the casting shows a deterioration of the quality all along the sequence.

The studies of Shinagawa Refractories show that the SEN allows limiting the clogging in the bore by its internal geometry. This is the reason why the steel shop of Florange decided also to test this type of SEN.

In order to control the castability of the steels, the steel shop is equipped with clogging indicating measuring instruments. This indicator is calculated taking into account the stopper position, the metal and argon flow. The results (Figs. 8 and 9) of this indicator are separated into 3 levels (1 : good (green), 3 : bad (red)). The use of the Mogul SEN shows an improvement of the

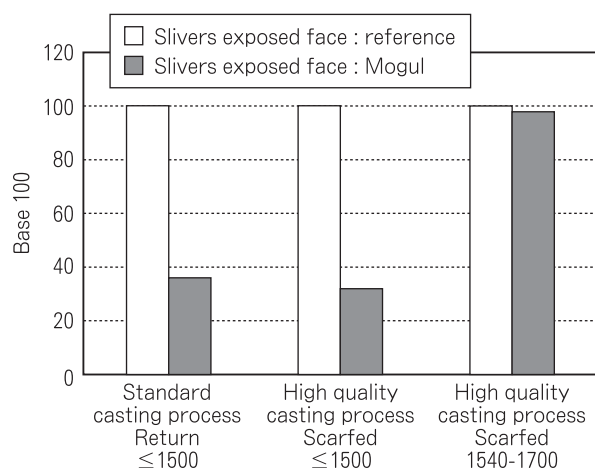


Fig.10 “Slivers” comparison with Mogul/reference on exposed face.

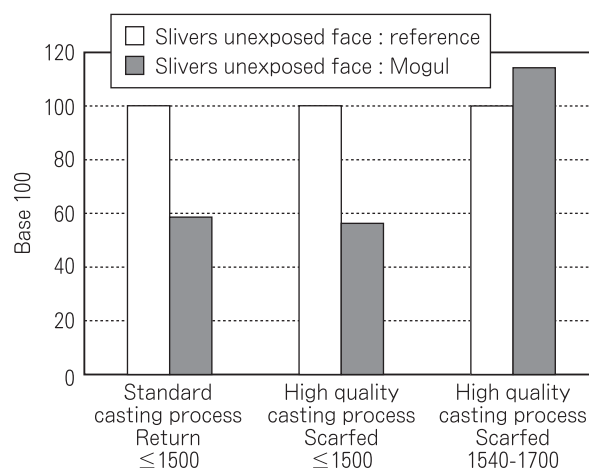


Fig.11 “Slivers” comparison with Mogul/reference on unexposed face.

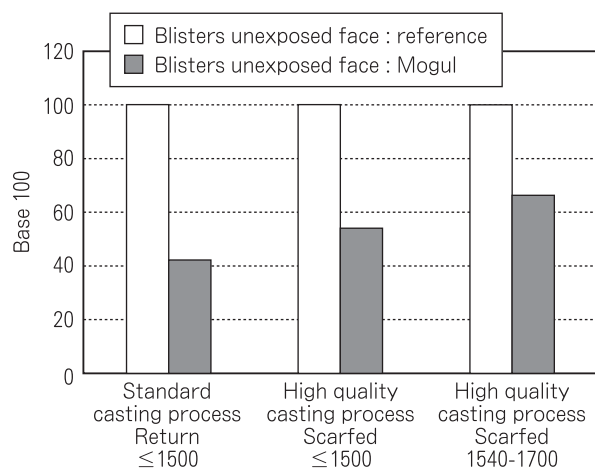


Fig.12 “Blister” comparison with Mogul/reference on unexposed face.

25%改善されている。

3. 4 鋼品質

Florangeで生産される高品質鋼は全て、自動表面検査システム（SIAS）を用いて検査して電気亜鉛めっきまたは亜鉛めっきラインに送られる。このシステムによって製品の品質レベルを保証し、顧客の信頼を得ている。

モーグル型浸漬ノズルのテスト期間（6ヶ月）中に製造された全てのスラブも、SIASで検査し品質管理した。その品質の認証は、一定の手順に従ってコイルの1000m部分に含まれるブリスター疵とスリバー疵の数を計測することで評価した。

castability on the 3rd and 4th ladle of the sequence. This improvement is significant on the 3rd ladle of the sequence, where the bad castability is reduced from 12% to 5%, i.e. a gain of 60%. In the case of the 4th ladle, it is improved by 25%.

3. 4 The quality results

All the high quality steels produced by the steel shop are controlled on downstream lines from the electro-galvanizing or galvanizing by an automatic surface inspection system (SIAS). This system allows to qualify the quality level of the product and so to authorize its affectation to the customer. In the context of the trial period of the Mogul SEN, which lasted for 6 months, all the slabs produced under this configuration, have been controlled by SIAS. The result of this qualification allowed establishing the number of blisters and slivers for 1000m of band according to the format range and the products.

a) The “sliver” results

The use of the Mogul SEN reduces by half the number of “slivers” on 1000m of band compared to the reference on the continuous casting process on the standard and very

a) スリバー疵

スラブ幅1500mm未満の標準鋼と高級鋼の連続 casting において、モーグル型浸漬ノズルを使用すると、未使用時と比較して1000m部分に発生するスリバー疵の数が約半数に減少した (Figs.10 and 11)。

b) ブリスター疵

全てのスラブ幅の標準鋼と高級鋼の連続 casting において、モーグル型浸漬ノズルを用いると、未使用時と比較して1000m部分に発生するブリスター疵の数が約1/3～半数減少した (Fig.12)。

4. 結 論

品川白煉瓦により開発されたモーグル型浸漬ノズルを、ArcelorMittal Florange製鉄所において、ヨーロッパで初めてテストした。製鋼工場で発生する2つの主要な鋼欠陥であるブリスター疵とスリバー疵に関して、モーグル型浸漬ノズルを使用することで品質の改善が得られた。同時に極低炭素鋼であるIF鋼の casting 性にも大幅な向上が得られた。こうした改善によって、製品品質とサービスの面で顧客の要求により良い対応が可能となった。

high quality steel production for the slab sizes below 1500 mm (Figs. 10 and 11).

b) The blister results

The use of the Mogul SEN reduces by 1/3 to half the number of blisters on 1000m of band compared to the reference on the continuous casting process on the standard and very high quality for any slab size (Fig.12).

4. Conclusion

The use of the Mogul SEN, developed by Shinagawa Refractories and tested for the first time in Europe by the ArcelorMittal Atlantique and Lorraine-site of Florange steel plant, allowed to point out an improvement of the quality results for the two major defaults generated by the steel plant: blisters and slivers, as well as a significant improvement of the castability of the IF type low carbon steels. These improvements enable a better response to the requirements of the group's customers in terms of product quality and service.

References

- 1) B. Thillou : Les mécanismes de bouchage des busettes immergées de coulée continue d'acier : rôle des matériaux réfractaires et remèdes - Thèse de Doctorat de l'Université d'Orléans, 12 avril (1994)
- 2) D. Verrelle : Etude des mécanismes de bouchage des busettes de coulée continue - Perspectives et solutions - Mémoire d'ingénieur en Matériaux Minéraux, CNAM, 30 septembre (1991)
- 3) O. Nomura, M. Takai, M. Ogata, S. Inoue : Shinagawa Technical Report, **46**, 95 (2003)
- 4) N. Hiroki, A. Takahashi, A. Namba, N. Tsukamoto, Y. Kurashina, K. Yanagawa : Shinagawa Technical Report, **36**, 75 (1993)
- 5) O. Nomura, M. Takai, Y. Okawa, T. Horiuchi : Shinagawa Technical Report, **43**, 15 (2000).
- 6) M. Ogata, Y. Okawa, O. Nomura, T. Horiuchi : Taikabutsu, **53**, 302 (2001)
- 7) A. Shirayama, J. Kubota, T. Mori, K. Okimoto, M. Suzuki, T. Teshima : Nippon Kokan Technical Report, Overseas, **52**, 1 (1988)
- 8) M. Ogata, M. Nakamura, S. Inoue : Shinagawa Technical Report, **48**, 33 (2005)