

モーグル型浸漬ノズル

Mogul Lined Submerged Entry Nozzle

中 村 真^{*1}
Makoto NAKAMURA

井 上 慎 祐^{*2}
Shinsuke INOUE

堀 内 俊 男^{*3}
Toshio HORIUCHI

Abstract

The shape of submerged entry nozzles (SENs) has a great influence on steel quality and stable casting conditions in the continuous casting of steel. In order to increase casting velocity and improve steel quality, it is important to select the optimal SEN shape corresponding to the casting conditions.

Shinagawa discovered that the biased flow caused by slide gate throttling etc. can be eliminated by placing projections on the lining of the bore of the SEN. We developed the annular step SEN in 1992, which has come to be widely used at many casters. And, we developed the mogul SEN which is lined with many spherical convex projections on the bore in 2002 as a measure to meet increasingly complex needs. The great effect of the mogul SEN has been confirmed in many continuous casting machines. Application of the mogul SEN is increasing year by year.

1. 緒 言

鋼の連続 casting において、浸漬ノズルはタンディッシュからモールドに溶鋼を注入する為に使用される。その際、浸漬ノズルは、溶鋼の再酸化防止やモールド内の溶鋼流動を制御する役割を担う。目的とする溶鋼流動を得る為には、浸漬ノズルの形状が重要となるが、特にスライドプレートとの絞りにより発生する偏流を解消する内管形状を採用することが重要である。

そのため、当社では段差型浸漬ノズルを1992年に独自技術により開発した。この段差型浸漬ノズルの効果は、多くの連続 casting 機で確認され、広く使用されるようになったが、更なる内管構造の改良ニーズがあり、2002年に内管に多数の球状突起を配設したモーグル型浸漬ノズル (Fig. 1) の開発に成功した。

本報では、モーグル型浸漬ノズルについて、水モデル実験で確認した特徴と実機で認められた効果を織り交ぜて報告する。

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、スライドプレートとの絞りに

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, selection of SEN design is important. In particular, it is important to select a bore shape which eliminates the biased flow caused by slide gate throttling.

Therefore, Shinagawa developed the “annular step SEN” with our own technology in 1992. The effect of annular step SEN has been confirmed in many continuous casting machines and has come to be widely used. However, there were still demands for further improvement in SEN structure to achieve a more desirable molten steel flow in the mold. As a result, we continued SEN development with our own technology and in 2002 produced the “MOGUL SEN” which has many spherical convex

*1 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

*2 湯本工場 技術グループ 主任部員 Managing Engineer, Yumoto Works

*3 海外営業部 デトロイト駐在事務所 所長 Office Manager, Overseas Department Detroit Liaison Office



Fig. 1 Inside bore appearance of mogul SEN.

よって発生した偏流を、内管に配設した球状突起により解消させる。内管を流下する溶鋼流が均一化すると、吐出孔部での流速分布も均一化する。モーグル型浸漬ノズルの最大の特徴は、この吐出孔部での流速分布を均一化させることであり、これにより様々な効果が発現する。

このモーグル型浸漬ノズルの特徴と効果について、フローチャートをFig. 2に示す。

2. 1 吐出孔の溶損防止

通常の内管がストレートの浸漬ノズルでは、一般的に吐出孔の下部から強い流れが吐出し、吐出孔が大きすぎる、あるいはスリーブットが大きい場合等に、吐出孔の上部に負圧域が発生しがちである (Fig. 3)。負圧域が

projections in the nozzle bore (Fig.1).

This report details the characteristics of the MOGUL SEN confirmed in water model experiments and its performance in practical use.

2. Characteristics and Effects of MOGUL SEN

The mogul SEN is able to eliminate the biased flow which occurs from throttling with many spherical convex projections which line the bore. Because the downward molten steel flow becomes even inside the bore, the distribution of 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.

Fig.2 is a flow chart about the characteristics and effects of the mogul SEN.

2. 1 Prevention of outlet port corrosion

Generally, when the conventional straight 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 (Fig.3). When negative flow occurs, mold powder slag is sucked into the outlet port, and corrosion of the ports or inside bore occurs. Fig.4 is a comparison of a used straight bore SEN and a mogul SEN, which were used simultaneously for

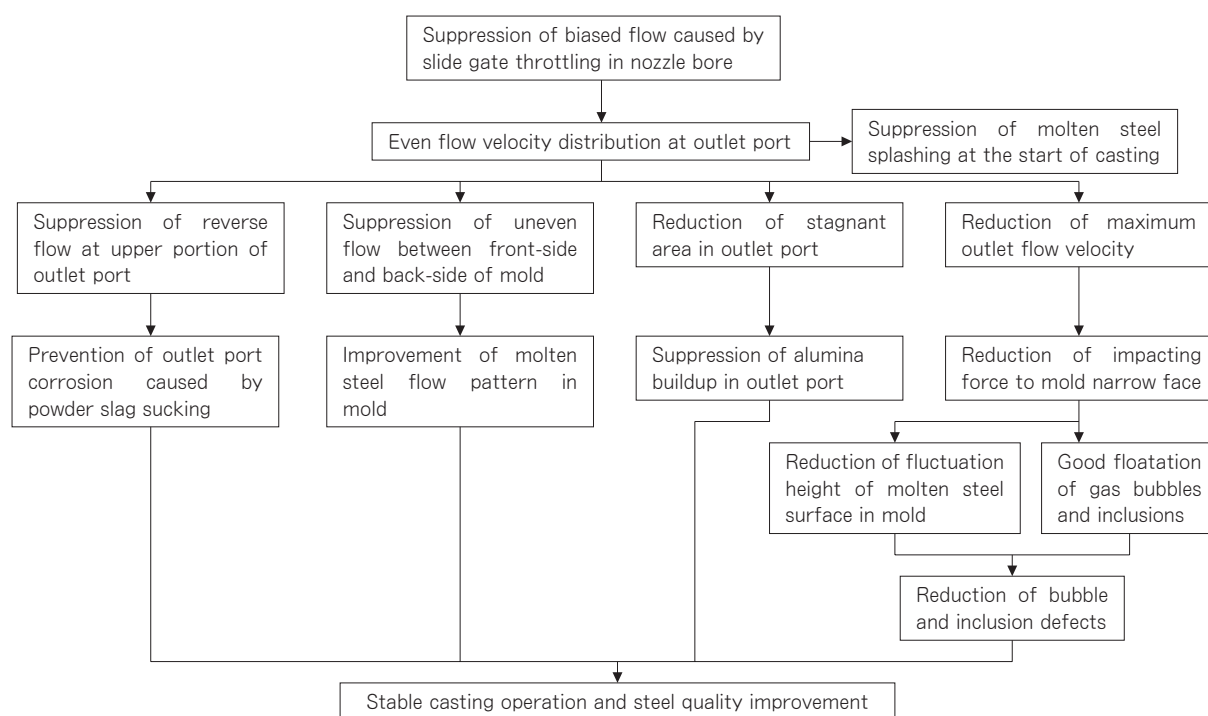


Fig. 2 Effect of Mogul lined submerged entry nozzle.

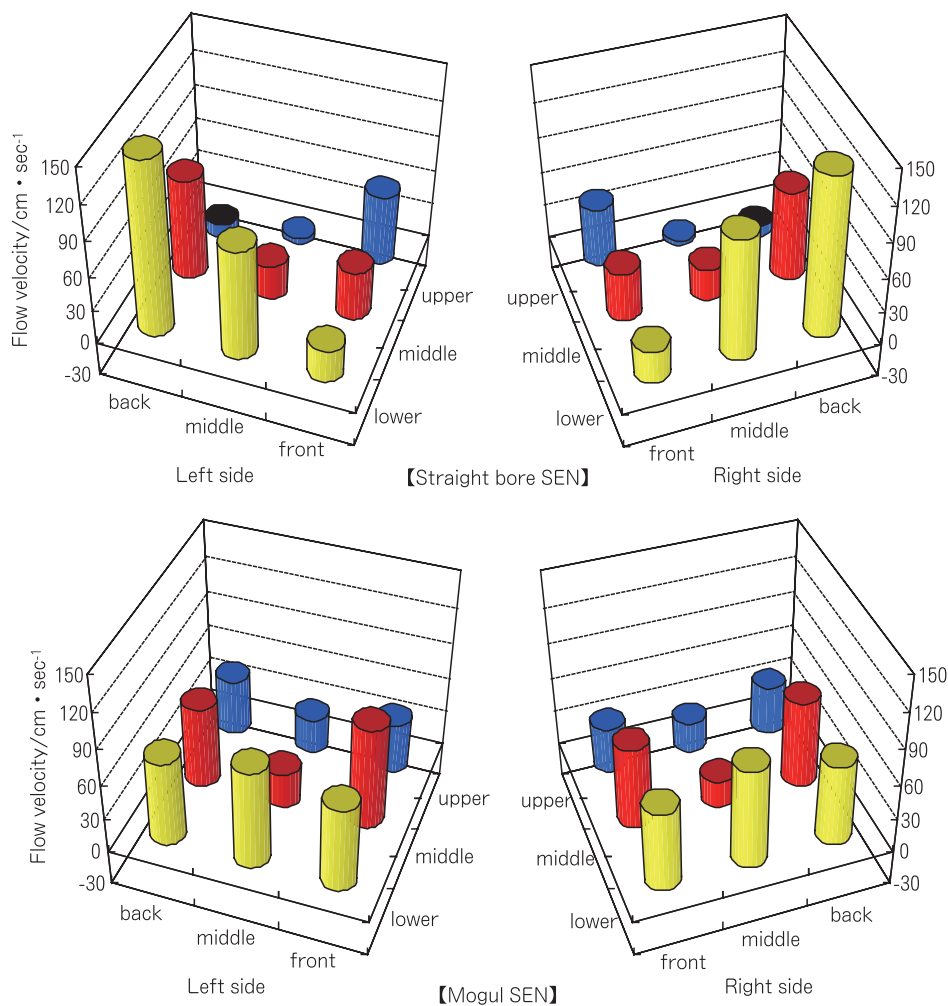


Fig. 3 Distribution of average flow velocity at outlet port.

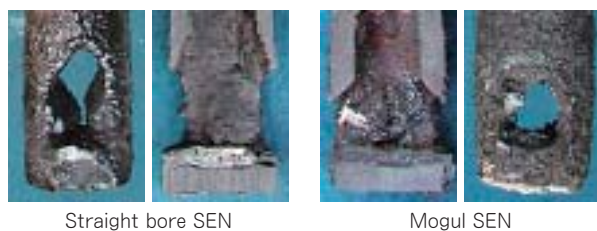


Fig. 4 Comparison of outlet ports of SEN after high speed casting.

発生すると、場合によってはモールドパウダースラグを吸い込み、吐出孔や内管の溶損を引き起こす。Fig. 4 にスラブ連続機での高速鋳造下でストランド比較使用されたストレート型浸漬ノズルとモーグル型浸漬ノズルの状態を示す。ストレート型浸漬ノズルでは、吐出孔上部に発生した負圧域の影響でパウダースラグを吸い込み、吐出孔上部が大きく溶損している。これに対しモーグル型浸漬ノズルでは、水モデルでも確認されたように、吐出孔上部で負圧域が発生しないため、パウダースラグの吸い込みもなく、健全な吐出孔形状を保持している。

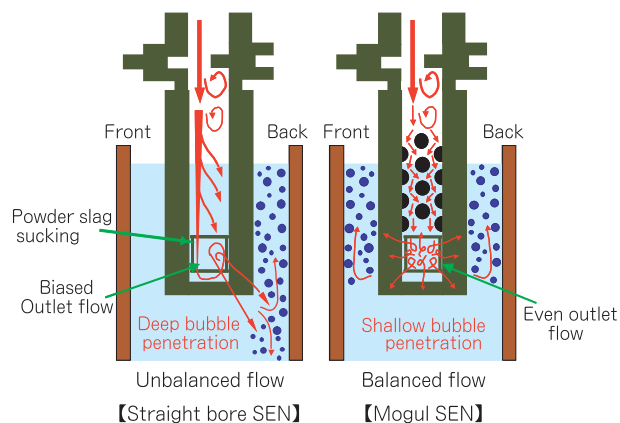


Fig. 5 Schematic drawing of flow pattern in SEN and mold (Side view).

high-speed slab casting.

The upper portion of the outlet port of the straight bore SEN was greatly corroded by the powder slag which was sucked in by negative flow. But since negative flow does not occur in the upper portion of the outlet ports of the mogul SEN,

2. 2 モールド内流動の均一化

モーグル型浸漬ノズルは、吐出孔流速分布が均一化するため、モールド前面側と後面側の溶鋼流動を均一化させる効果を有する。Fig. 5 に、水モデルにおいて上ノズルから吹き込んだ気泡の浮上状態をモールド短辺側から観察した状態を模式的に図示した。ストレート型浸漬ノズルでは、中プレートを手前に引くと「閉」となるような絞り条件下においては、絞りによる偏流の影響で、モールド後面側へ気泡が多く浮上する。これに対して、モーグル型浸漬ノズルでは、モールド前面側・後面側共に均一に気泡が浮上する。

また、Fig. 6 に模式的に示したように、ストレート型浸漬ノズルでは、プレートの絞りの影響でモールド左右への吐出流の挙動が異なりがちである。上ノズルから吹き込んだガスの挙動を観察すると、片側では吐出流が深く潜り込むのに対し、反対側では気泡が浅く分布する。通常、この気泡が浅い側（図では右側）でのメニスカス流速は速く、反対側（図では左側）では遅くなる。このように、ストレート型浸漬ノズルでは、モールド左右での流動が不均一になりがちであるが、モーグル型浸漬ノズルでは左右均等な流動を呈しやすい。

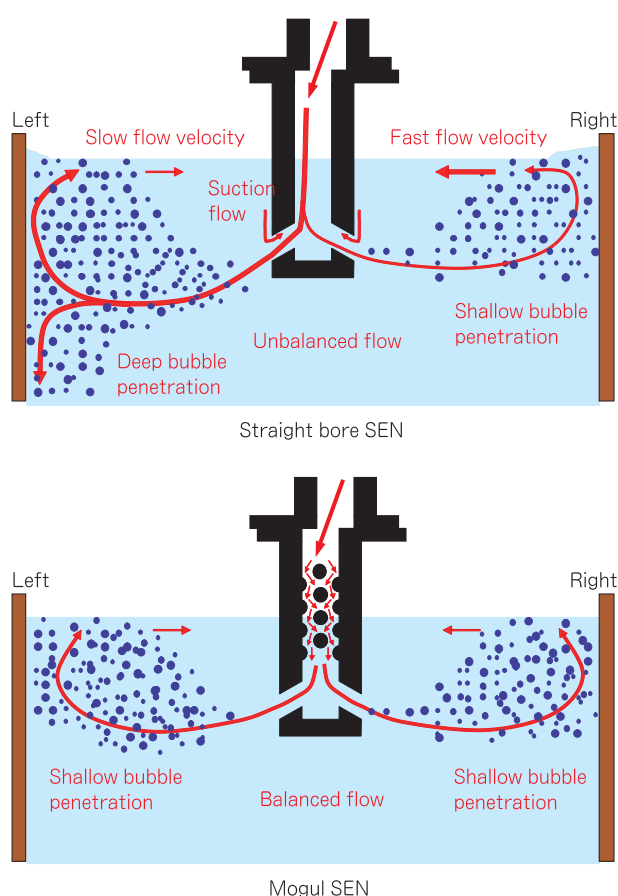


Fig. 6 Schematic drawing of flow pattern in mold (Front view).

powder slag was not sucked in and the ports were not corroded at all.

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. Fig.5 shows the flow condition of gas bubbles injected from the porous upper nozzle. In the case of the 3 plate system where the middle plate slides in a perpendicular direction to the mold wide face, the straight bore SEN shows many gas bubbles rose 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 flow pattern tends to differ between the right side and left side in the mold due to the influence of throttling (Fig.6). 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, flow behavior tends to become uneven between the right side and left side of the mold, however, in the case of the mogul SEN, flow behavior tend to be even.

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

Balancing the flow velocity distribution at the

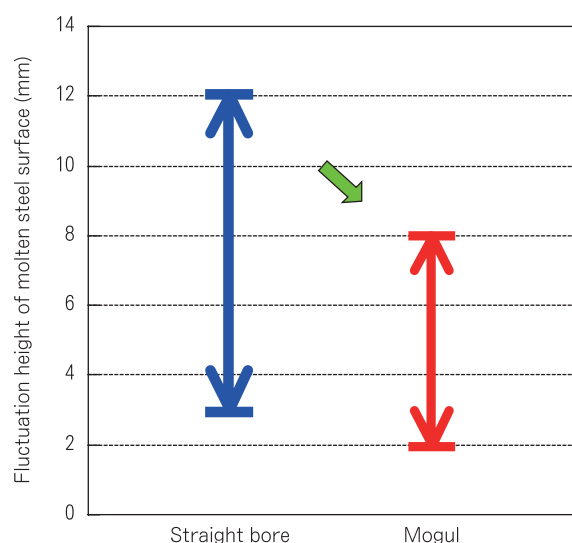


Fig. 7 Fluctuation height of molten steel surface in mold.

2. 3 モールド短辺への衝突流速と湯面変動の低減

吐出流速分布が均一化するという事は、モールド前後方向への吐出流が均一化するだけでなく、吐出孔下部からの強い吐出流が減少し、吐出孔上部からも良く吐出するようになるということである。吐出孔下部からの強い吐出流が減少すると、モールド短辺への衝突流速も低下する。衝突流速が低下すると、下方に潜り込む流れが減少するため、鋼中介在物を浮上させ易くなる。また上方に反転する流れの勢いも抑制されるため、モールド短辺近傍の湯面変動（湯面の盛上がり）が減少し、モールド短辺側から浸漬ノズル方向へのメニスカス流速も抑制されるため、全体的に湯面変動が減少し（Fig. 7）、かつパウダースラグの巻き込みも減少する。

2. 4 吐出孔内へのアルミナ介在物の付着抑制

吐出孔内へのアルミナ付着を抑制する効果に関しては、モーグル型浸漬ノズルを使用した全ての場合において効果が認められるわけではないが、内管径や吐出孔形状とスリーブット、Arガス量が適正な場合には、アルミナ付着が抑制されることを確認している。Fig. 8にガス吹き段差型浸漬ノズルとガス吹きモーグル型浸漬ノズルをストランド比較した結果を示す。通常はアルミナ付着が発生しにくいガス吹き段差型浸漬ノズルでも、付着が発生するような厳しい操業条件下であるが、モーグル型浸漬ノズルでは特に反吐出孔部へのアルミナ付着が少ない結果であった。

2. 5 casting開始時のスプラッシュの低減

モーグル型浸漬ノズルを使用した場合、casting開始時のスプラッシュ（溶鋼の飛散）が少ないことが各所で確認されている（Fig. 9）。これは、浸漬ノズルがまだ溶鋼に浸漬していない状態でも、内管の突起の効果でノズル管内を流下する溶鋼の勢いが抑制されたためと考えられる。

3. モーグル突起の種類

モーグル型浸漬ノズルを開発した当初は、モーグル突起に半球状の突起を採用した。その後、各所のニーズに合わせ、突起上部が球状で下部がなだらかな流線形（逆雫状）モーグルや、反対に突起下部が球状で上部がなだらかな逆流線形（雫状）モーグルを開発した。これらの突起には固有の効果があり、浸漬ノズルの全長や浸漬深さ、内管径、スリーブット等に応じ、最適な突起形状を採用している。これらの突起の種類とその効果をTable 1に示す。

4. 結 言

モーグル型浸漬ノズルは、これまでに各所でさまざまな効果が認められている。その効果は、

- (1) 高速 casting 下において、吐出孔内へパウダースラグを吸い込むことによる吐出孔溶損の防止

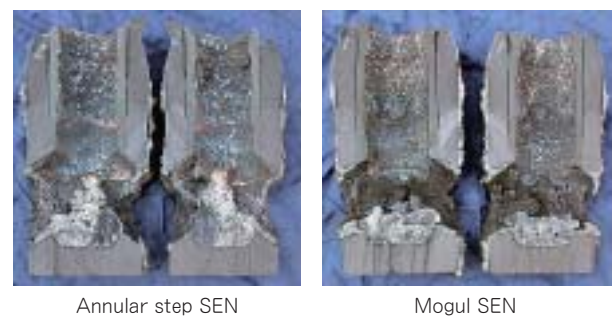


Fig. 8 Comparison of outlet ports of gas injection SEN after use.

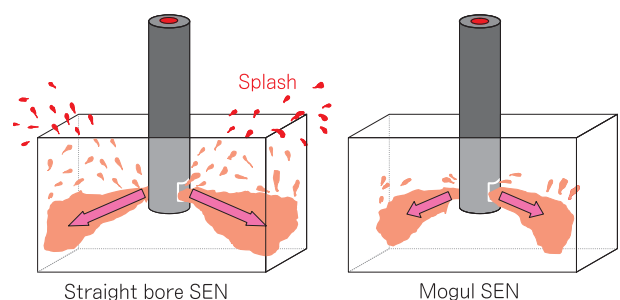


Fig. 9 Splashing of molten steel at casting start.

outlet ports means not only balanced flow in the mold but also a reduction of fast flow from the lower portion of outlet ports. Reduction of fast flow from this portion reduces the impacting force to the mold narrow face. Since reduction of impacting force decreases the downward flow caused by this force, inclusions easily float to the surface. And since the vigor of the upward flow is also suppressed, the fluctuation of molten steel surface near the mold narrow face and the incidence of powder slag inclusions decreases (Fig.7).

2. 4 Suppression of alumina buildup in outlet port

Suppression of alumina buildup in the outlet port is not always achieved when the mogul SEN is used. However, when the relationship between bore diameter, outlet port design, throughput and injected gas is correct, alumina adhesion may be suppressed by the mogul SEN. Fig.8 shows the results of a strand comparison between gas injection type annular step SEN and gas injection mogul SEN. In severe casting conditions alumina adhesion occurred with the gas injection annular step SEN to which alumina adhesion does not easily occur. However, especially little alumina adhesion occurred in the

Table 1 Type of mogul projection

	Round Mogul (球状モーグル)	Inverted teardrop Mogul (流線形モーグル)	Teardrop Mogul (逆流線形 モーグル)
Plane figure (平面図)			
Longitudinal cross section (縦断面図)			
Even flow effect (整流効果)			
Throughput keeping (スループットの確保)			
Effect of projections in Submerged area (浸漬部における 突起の効果)			

- (2) モールド短辺への衝突流速を抑制することによる鋳片コーナー欠陥の低減
- (3) 特に高速鋳造下や小断面モールドにおける湯面変動の抑制
- (4) モールド内での左右、前後における溶鋼流動の均質化による鋳片品質の向上
- (5) 鋳造開始時の溶鋼の飛散の抑制（鋳造開始時の安全性の向上）

等である。現在では、当初の球状モーグル突起のみならず、流線形モーグル等も組み合わせることで、より一層効果的な内管形状を開発している。またモーグル突起を配設した内管材には、突起の効果を持続させるためCaO・ZrO₂材質の適用も実施しており、より機能的な浸漬ノズルを目指して開発を進めている。

side of the outlet port in the mogul SEN.

2. 5 Suppression of molten steel splashing at start of casting

At the start of casting, splashing of molten steel from outlet ports is obviously suppressed with mogul SEN in many casters (Fig.9). This suggests that the vigor of downward flow inside the bore is reduced by the mogul projections, even in the situation where the SEN is not immersed in molten steel yet.

3. Various Mogul Projections

At first, the mogul projection was a spherical convex. After that, Shinagawa developed teardrop shapes, and currently we can select the most suitable projection shape according to the casting conditions (Table 1).

4. Conclusion

The advantages of the mogul SEN observed in use in actual steel plants are as follows,

- (1) Prevention of corrosion of the outlet port caused by powder slag sucking.
- (2) Reduction of steel defects in the slab corners due to reduction of the impacting force at the mold narrow face.
- (3) Reduction of fluctuation of molten steel surface during hi-speed casting and in small-section molds.
- (4) Improvement of steel quality due to balanced flow in the mold.
- (5) Suppression of molten steel splashing at start of casting (safe operating conditions).

Now, a much more effective inside bore shape has been developed by combining the spherical mogul projection with the teardrop mogul etc. Moreover, in order to maintain the effect of mogul projections, CaO・ZrO₂ material is also applied as the inside bore material. We are furthering development aiming at more functional submerged entry nozzle.

References

1) N. Hiroki, A. Takahashi, A. Namba, N.Tukamoto, Y.Kurashina, K. Yanagawa ; Shinagawa Technical Report, **36**, 75-88 (1993)
2) O. Nomura, M. Takai, M. Ogata, S. Inoue ; Shinagawa Technical Report, **46**, 95-104 (2003)
3) S. Inoue, M. Ogata, Y. Okawa, O.Nomura, M. Takai ; Taikabutsu, (in press) (2003)
4) M. Ogata, M. Nakamura, S.Inoue ; Shinagawa Technical Report, **48**, 33-40 (2005)