

取鍋精錬用スリットプラグの開発

New Slit Plug for Ladle Refining

石 原 英 治^{*1}
Eiji ISHIHARA

佐々木 王 明^{*2}
Kimiaki SASAKI

Abstract

In the secondary metallurgy refining process, inert gas such as argon or nitrogen is injected into the molten steel via gas purge plugs arranged in the bottom of the ladle for stirring the liquid steel with other additives. This improves reaction efficiency and homogenizes steel temperature and chemistry.

Shinagawa Refractories Co., Ltd. has developed the new slit plug, which is designed to allow a targeted gas flow rate to be easily obtainable with structurally advanced slits, successfully provides long service life and a large amount of gas flow at many refining ladles.

1. 緒言

製鋼プロセスにおいて転炉や電気炉などで精錬された溶鋼をさらに取鍋内で精錬(すなわち、2次精錬)する場合に、反応効率の向上や、溶鋼温度の均一化を目的として、炉外からアルゴンガスなどの不活性ガスを吹き込み、溶鋼や精錬剤を攪拌することが広く行われている。Fig. 1に2次精錬設備として最も一般的なLF処理装置の概略図を示す。ガス吹き込み方法としては、溶鋼表面の上部からバブリングランスを通してガスを吹き込む上吹き法や、取鍋の炉底に設置されたガス吹きプラグによって溶鋼内に直接吹き込む底吹き法があり、また、それらが同時に使用される場合もある。Fig. 2にガス吹きプラグの概略図を示す。ガス吹きプラグには、レンガ内の気孔を介して通気させるポーラスプラグと緻密質なレンガ中に設けられたガス吹き込み方向に貫通するスリットを介して通気させるスリットプラグがある。ポーラスプラグはガス流量の制御が容易でバブリング信頼性が高いため、従来から広く使用されてきた。近年で

1. Introduction

When molten steel is tapped into a ladle from a converter or an electric arc furnace, it is refined additionally. Inert gas such as argon or nitrogen is injected into the molten steel via gas injecting devices to stir the liquid steel with other additives in order to improve reaction efficiency and homogenize steel temperature and chemistry. Fig. 1 shows a schematic illustration of a ladle furnace (LF) which is one of the most popular processing units for secondary metallurgy refining. The ladle furnace is generally equipped with a top bubbling lance and one or more gas purge plugs arranged in the bottom of the ladle. Currently, bottom bubbling with purge plugs is the dominant method for effective stirring but in certain cases a top bubbling lance is also used independently or simultaneously. Fig. 2 shows a schematic illustration of gas purge plugs. There are two types of plugs,

^{*1} 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

^{*2} 技術部 カスタマーサービス室 チームリーダー Team Manager, Customer Service Sec., Technical Dept.

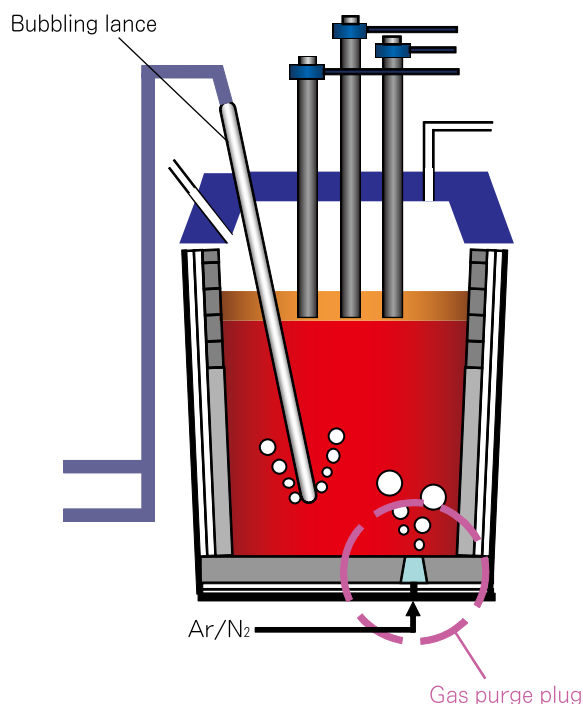


Fig. 1 Ladle furnace.

は、ポーラスプラグの寿命延長や、大型取鍋での攪拌効率の向上の要求に応えるべく、耐用性に優れ、大流量のガス通気が可能であるスリットプラグが開発され、使用されるようになってきた。

本報告では、取鍋用ガス吹きプラグとして、耐用性に優れ、必要なガス流量が容易に確保できる、新しいスリット構造を持ったスリットプラグ“NSP”の特徴と実炉適用結果について述べる。

2. ポーラスプラグの損傷メカニズムと課題

Fig. 3にポーラスプラグの損傷機構を模式的に示す。取鍋は転炉や電気炉から溶鋼を受鋼後、バブリングスタンドに運搬され、炉底に設置されたポーラスプラグを介してガス吹きが行われる。精錬完了後、取鍋は連続铸造機へ運搬され、铸込みが行われるが、取鍋の運搬中および铸造中はガス吹きが停止される。Fig. 4に铸造完了後のポーラスプラグ稼働面近傍のミクロ組織を示す。この写真に観察されるように、ガス吹き停止後には、溶鋼がポーラスレンガの気孔へ浸透し、凝固層を形成するため、ポーラスプラグとしてのガス吹き機能が低下する。このポーラスプラグを再使用する

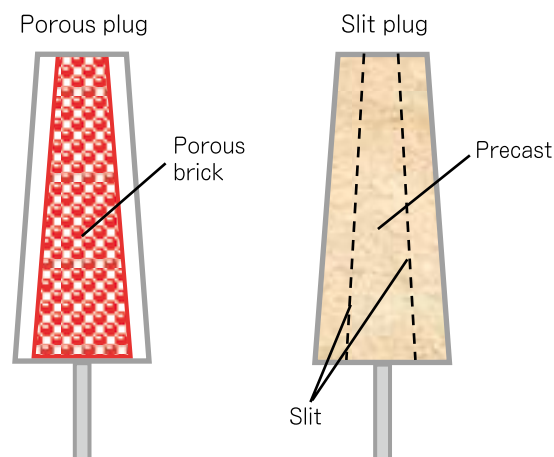


Fig. 2 Ladle gas purge plugs.

one is a “porous plug” that consists of gas permeable porous refractories, and the other is a “slit plug” that consists of dense refractories with slits in which gas can pass completely through. Porous plugs have been widely used due to easiness of gas control and gas purging reliability since early times. Slit plugs have also been in use for years because they provide a large amount of gas flow and long service life.

Under these circumstances, Shinagawa Refractories Co., Ltd. has developed “NSP”, a new slit plug which consists of high quality cast refractories and structurally advanced slits. The features and application results for some refining furnaces are described in this report.

2. Wear Mechanism of Porous Plug and its Challenges

Fig. 3 shows a schematic illustration of the wear mechanism of the porous plugs. Liquid steel tapped into the ladle from the converter or electric arc furnace is transferred to the ladle furnace station. At the refining station, argon gas is introduced via porous plugs arranged at the bottom of the ladle. During argon gas stirring, the porous plug is gradually abraded

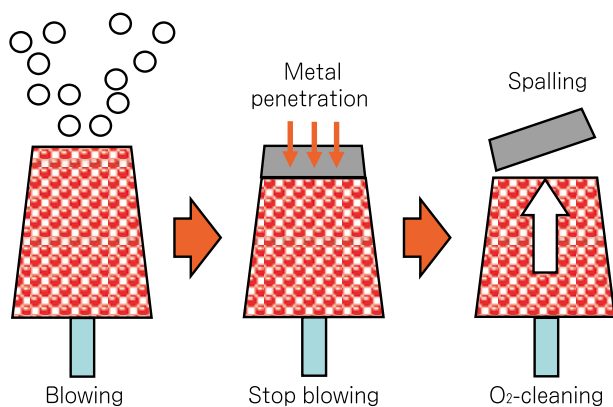


Fig. 3 Wear mechanism of porous plug.

ため、れんが稼動面に酸素を吹き付けてメタル浸透層を熔融し、ガス通気を回復させる作業（すなわち、酸素洗浄）が一般的に行われているが、この作業によってメタル浸透層は除去されると同時に健全なポーラスれんがもいくらか損傷される。

上記の製鋼プロセスにおいて、ポーラスプラグの損傷は、

- (1) ガス吹き込み時の溶鋼摩耗
- (2) れんが気孔中へのメタル浸潤
- (3) 酸素洗浄時の溶損

が主要因であると考えられる。現行のポーラスプラグについては、これら損傷に対してある程度は改善がなされているものの、ポーラスれんがは、元来、れんが内に通気可能なほどの気孔を有しているため、使用中のメタル浸透は避けられず、酸素洗浄時の溶損量も必然的に大きくなる。こうした背景から、上述したような損傷を軽減しうる緻密質れんがを耐火物としたスリットプラグが使用されるようになってきた。

3. スリットプラグ “NSP” の特徴

スリットプラグはメーカーごとに独自でスリット形状が設計されており、例えば、Fig. 5のような形状が一般的である。これらスリットプラグの製造の際、ガス通気経路となるスリットは、可燃性材料でできた短冊片などをあらかじめ鑄込み型中に設置しておき、キャストブルを充填した後、所定温度で焼失させることにより形成される。こ

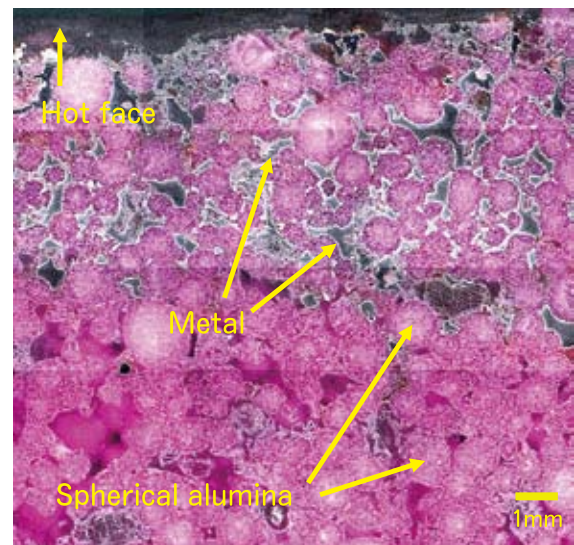


Fig. 4 Microstructure of porous plug after use.

by hot flowing steel. Gas injection stops after completing steel refining and the ladle is transported to the casting stand. During this transporting process, hot steel penetrates into the open pores of porous refractories due to the ferrostatic pressure of the liquid steel and forms a clotted layer preventing gas flow as observed in Fig. 4. After casting is finished, oxygen is blown to the hot face of the porous plug from oxygen lance pipes to melt and remove the layer (called oxygen-cleaning). However, during this operation, the layer penetrated by metal on the hot face is removed but a non-penetrated layer is also removed.

During this process, as described above, porous plugs are thought to be worn by;

- 1) Abrasion by metal flow during gas injection
- 2) Penetration by molten steel into open pores
- 3) Corrosion during oxygen-cleaning

Currently, we have a few kinds of regular porous plugs which have been improved based on the above concepts. However, porous refractories, which consequently contain pores large enough for gas to penetrate, have a fundamental difficulty in preventing metal penetration and

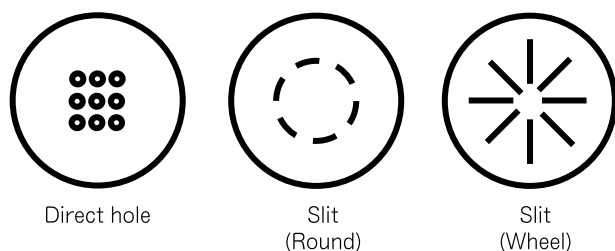


Fig. 5 Slit plug designs.

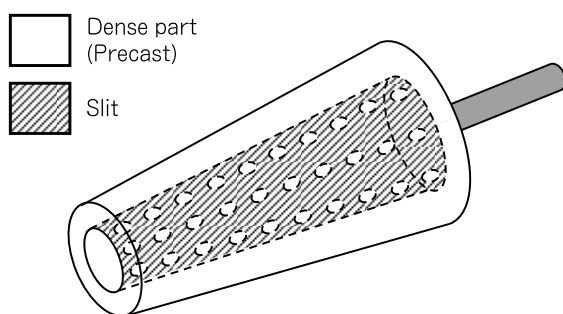


Fig. 6 Fundamental slit structure of NSP.

のような従来のスリット構造においては、ガス流量を確保するために通常数十本の短冊片を埋設する必要がある、また、要求されたガス流量が大きいほど、短冊片の埋設本数が増え、製造上の煩雑さが増加する構造であった。

Fig. 6に弊社の新しいスリット構造を持ったスリットプラグ“NSP”の基本構造を示す。スリットプラグ“NSP”は、スリット内部に一定間隔に複数の緻密部を設けることにより、スリットを形成する耐火物間の結合強度を維持し、かつ、ガス通路の連続性を維持する構造が基本となって設計されている。Table 1にスリットプラグ“NSP”の設計例を示す。要求ガス流量に応じて、断面が円や星型になるスリットを2重に（場合によっては3重に）配置させ、製造上の煩雑さを大きく増加させることなく、スリット面積を任意に増量することが可能となっている。

Table 2にスリットプラグ“NSP”に使用するキャストブルの品質を示す。キャストブルとしては、ガス通気特性への影響を考慮し、容積安定性に優れた低セメントアルミナ・スピネル質キャス

Table 1 Slit designs and gas flow rate of NSP

Slit design (Cross section)	Area of slit (mm ²)	Gas flow rate* (NL/min)
Round-type	61	200~250
Star-type1	88	250~300
Star-type2 (Centered)	107	350~400

*0.1MPa, Air

wear during oxygen-cleaning. For modern steel making operation, there are several improvements needed to be made in porous plugs, such as the extension of service life and a larger amount of gas transport to allow for strong stirring. Slit plugs that consist of dense precast refractories with slits resolved most of these problems and have been used widely.

3. Newly Developed NSP Slit Plug

Slit plugs are originally designed by each supplier of refractories and some typical designs are illustrated in Fig. 5. The slits in the slit plugs are formed in the manufacturing process by firing plastic films or strings at a specified temperature which are previously tied up in the mold before it is filled with castable. Generally dozens of slits need to be formed in these conventional slit plugs to get the targeted gas flow rate. And as the larger gas flow rate requirement increases, the number of slits increases and manufacturing difficulties also increase.

The fundamental slit structure of our newly developed “NSP” is illustrated in Fig. 6. NSP has a progressive slit-structure to improve gas

Table 2 Standard data of refractories for NSP and Porous Plug

Application	Slit		Porous
Code	CH18-pW4YC	CH18-AZ2	HSP20
Material	Alumina-spinel /Precast	Alumina-spinel /Precast	High alumina /Pressed
Apparent porosity (%)	23.4	21.0	23.6
Bulk density	3.01	3.03	2.84
Cold crushing strength (MPa)	75	80	52
Chemical composition (%)			
Al ₂ O ₃	90	88	89
SiO ₂	-	-	7
MgO	3	3	-
ZrO ₂	-	1.5	-
Cr ₂ O ₃	4.8	3	1.8
Slag corrosion resistance	◎	○	△
Spalling resistance	○	◎	○

◎: Superior ○: Good △: Inferior

ダブルを採用している。この緻密質キャストブルは、従来のポーラスレンがと比べて、平均気孔径が小さく、強度も高いため、耐食性、耐熱スポーリング性に優れている。また、スリットプラグの使用状況に応じて、耐食性と耐熱スポーリング性のバランスを変えたキャストブル材質を適宜選択している。

4. スリットプラグ“NSP”の実炉での適用結果

取鍋ヒートサイズに応じて設計されたスリットプラグ“NSP”(Table 1)を実炉に適用した時の圧力ーガス流量曲線をFig. 7に示す。スリット面積が最も大きい星型(タイプ2)のスリットプラグ“NSP”を285t-LF鍋に適用したところ、最大1000Nl/minのガス通気が可能であることが確認できた。また、同LF鍋においてスリットプラグ“NSP”のバブリング成功率を従来型スリットプラグと比較した結果をFig. 8に示す。スリットプラグ“NSP”は従来型スリットプラグと比較して15%の改善効果がみられた。Fig. 9にスリットプラグ“NSP”のスリット構造の展開図を模式的に示す。新スリット構造は連続的なスリット構造を有しているため、使用後の地金付着が厚く酸素洗浄による除去が困難な場合においても、スリットの一部が貫通すれば通気可能なスリット構造と

bubbling performance. For example, the simplest single round type NSP consists of two cast blocks with a slit in which some dense parts are spaced at a certain interval to connect between these blocks while keeping the pathway clear. Several designs of NSPs are illustrated in Table 1. The NSP structure is designed so that the targeted gas flow rate is easily ensured without increasing production difficulty only by changing the number of slit rings or shape.

Typical refractory data of the NSP and porous plug are shown in Table 2 for comparison. Low cement alumina-spinel castable refractories are applied for the NSP to ensure the stability of volume under hot conditions in consideration of the effects on gas flow characteristics. Castables for the NSP have some good characteristics such as high thermal spalling resistance or high corrosion resistance due to dense and solid microstructure compared to that of porous plugs. A castable is selected according to the actual operation condition requirements for spalling resistance or corrosion resistance.

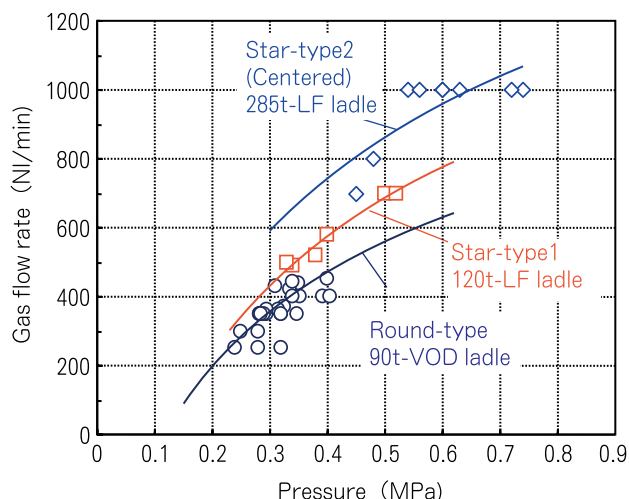


Fig. 7 Pressure-Gas flow rate curves of NSP at different sizes of refining ladles.

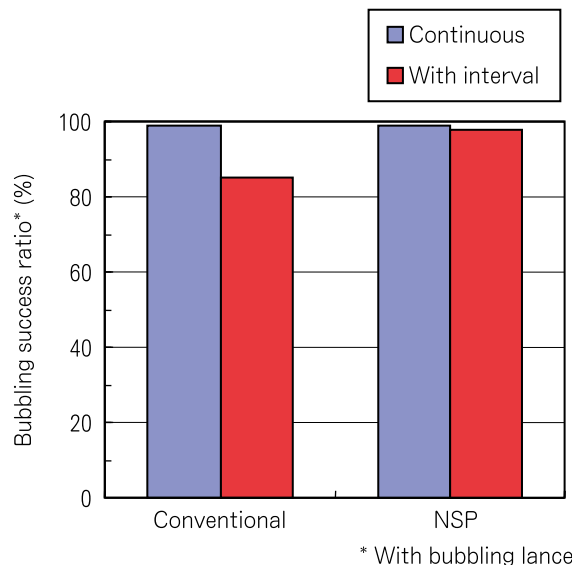


Fig. 8 Bubbling success ratio of NSP.

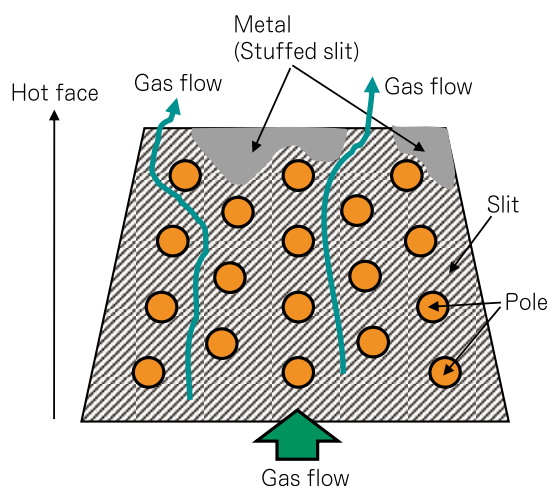


Fig. 9 Schematic illustration of NSP structure.

なっており、LF処理比率が低く、間欠操業となる場合においても、安定的なバブリング特性が得られている。

スリットプラグ“NSP”を90t-VOD鍋にて実炉テストし、従来のポーラスプラグと比較した。その結果をTable 3に示し、使用後の切断面写真をFig. 10に示す。ステンレスの2次精錬として一般的に採用されているVOD処理は、高温・長時間操業でありポーラスプラグにとって苛酷な条件であるといえるが、このような条件下において、スリットプラグ“NSP”はポーラスプラグより耐用

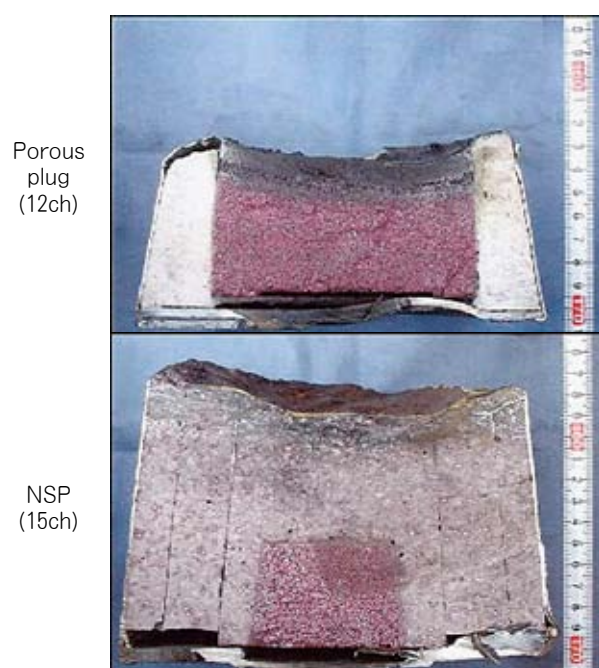
4. Application of the NSP for Refining Ladles

The gas pressure and flow rate curves of the NSPs in Table 1 which they were used in some different sizes of refining ladles are shown in Fig. 7. It was confirmed that the maximum gas flow rate was 1000NL/min with the star-type of NSP at a 285ton of ladle. The comparative results of the bubbling success ratio between a NSP and a conventional slit plug are shown in Fig. 8. The results showed 15% improvement in the bubbling success ratio of NSP compared to the conventional slit plug. Fig. 9 is a schematic illustration of the NSP structure. This continuous slit structure provides gas flow recovery performance by oxygen lance cleaning when the surface of slits clog after use from being covered with solidified steel or slag. The NSP shows stable gas flow characteristics even in an intermittent operation in which gas is blown with a long break between heats.

The performance results of a NSP in comparison with a regular type of porous plug

Table 3 Trial results of NSP at 90t-VOD ladle

	Porous	NSP (Round-type)
Life (ch)	12	15
Wear rate (mm/ch)	23	20
Bubbling success rate (%)	99	99
Max. gas flow rate (NI/min) (at 0.6MPa)	500	700



*Used at 90t-VOD ladle

Fig.10 Cut surface of porous plug and NSP after use.*

回数が25%延長された。回収された15ch使用後のスリットプラグも十分な残厚があり、スリットへの地金差しもみられなかった。また、バブリング特性に関しては、通気可能な最大ガス流量もアップし、バブリング成功率はポーラスプラグと同様に高位を維持できた。

最後に、Table 4に弊社スリットプラグ“NSP”の使用実績を示す。スリットプラグ“NSP”は国内および海外のユーザーにてご使用頂き、ご好評を頂いている。

Table 4 Performance records of slit plugs

Customer	Refining system	Heat size (t)	Slit-type	
			NSP	Other
Domestic	A	LF	285	○
	B	LF	260	○
	C	LF	255	○
	D	LF	200	○
	E	LF	110	○
	F	B	80	○
	G	B	70	○
	H	LF	15	○
Overseas	I	LF	250	○
	J	LF	160	○
	K	LF	150	○
	L	B	150	○
	M	LF	130	○
	N	LF	120	○
	O	B	90	○
	P	VOD	90	○
	Q	LF	50	○
	R	LF	50	○
	S	B	50	○

*B: Bubbling stand
(no-arc heating)

at a 90 ton of VOD ladle in a stainless steel making plant are shown in Table 3. Cross sectional photographs of the NSP slit plug and the porous plug after use are shown in Fig. 10. The results show a 25% increase in service life under severe circumstances such as long treatment time and high temperature. Also, even after blowing in 15 heats, NSP still had some service life remaining and there was no steel clogged in the slits. As for bubbling performance, the maximum gas flow rate of the NSP was increased and the bubbling success ratio also remained at higher order.

Finally, the performance records of NSPs at a lot of steel making plants are shown in Table 4. Our NSP has been used and reputed for showing the good performances both in Japan and overseas.

5. 結言

取鍋用ガス吹きプラグについて、以下の結果が得られた。

- (1) 新しいスリット構造を持つスリットプラグ“NSP”は取鍋ヒートサイズや要求ガス流量に応じて、任意に設計可能となっており、容易に大流量が確保できることを特徴としている。
- (2) スリットプラグ“NSP”を285t-LF鍋に適用したところ最大1000NL/minのガス通気が可能であった。また、間欠操業時のバブリング成功率も従来型スリットプラグと比較して15%向上した。
- (3) 操業条件の苛酷なステンレスVOD鍋にてスリットプラグ“NSP”を適用し、従来のポラスプラグと比較して、耐用性が25%改善された。

5. Summary

- (1) The newly developed NSP slit plug is designed with an advanced slit structure to allow a targeted gas flow rate to be easily obtainable for any size of refining ladle.
- (2) The NSP slit plug provided a high gas flow rate up to a maximum of 1000NL/min when used at a 285ton of LF ladle. The NSP also showed 15% improvement in bubbling success ratio in comparison with a conventional slit plug even when used for intermitted operation.
- (3) The service life of a NSP used at a 90ton of VOD ladle for stainless refining was increased by 25% compared to that of a regular porous plug.