

SHINAGAWA TECHNICAL REPORT

漏鋼リスクの極めて低いポーラスプラグPKG

Porous Plug with “PKG” Safety Device for
Protection from Molten Steel Leakage

石 原 英 治
Eiji ISHIHARA

品川技報

製品紹介 PRODUCTS

漏鋼リスクの極めて低いポーラスプラグPKG

Porous Plug with “PKG” Safety Device for Protection from Molten Steel Leakage

石 原 英 治*
Eiji ISHIHARA

要 旨

溶鋼鍋の底部から攪拌のための不活性ガスを吹き込む耐火物としてポーラスプラグが使用されている。その過使用防止や点検方法については種々の対策がとられているが、漏鋼の危険が潜在的に取り除けているとは言えない。ポーラスプラグPKGは、過使用された場合にも漏鋼の危険性が極めて少ない安全なプラグである。その構造と原理について述べる。

Abstract

Ladle refining using porous plugs is currently the most common method for improving steel quality and reducing steel production cost. Porous plugs are directly installed in the bottom part of a ladle steel shell which allow purge gas to pass through for the purpose of stirring the molten steel. They occupy the full depth of the ladle bottom lining. This makes it difficult to exterminate all the risks of molten steel leakage even if various precautions for preventing excess use of the porous plug are taken, which have been incorporated from practical experience. Porous plug with “PKG” safety device for protection from molten steel leakage is the safest plug that surely reduces the risk of molten steel leakage in case it is used beyond the limit of its serviceable life. The basic constitution of the porous plug with the PKG device and the principle for preventing molten steel leakage are described in this report.

1. 緒言

製鋼プロセスにおいて、溶鋼の最終成分調整のため、品種に応じた多様な二次精錬が行われている。1980年頃には、これまで主流であった真空脱ガス法に加え、精錬技術の向上とコスト削減の観点から、種々の方式による簡易取鍋精錬法の開発および実用化が進められると同時に、ポーラスプラグによるArガス底吹き攪拌法が定着した。

1. Introduction

After tapping the molten steel from a primary refining furnace such as a BOF or EAF, the molten steel is subjected to further refining in a number of secondary refining furnaces in order to regulate chemical components precisely and homogenize temperature. The metallurgy processes are commonly performed in ladles. Thanks to novel technology developments,

* 技術研究所 第1研究部 第1研究室 主任研究員 Staff Manager, Shaped Refractories R&D Sec., Research Dept. No1, Research Center

ポーラスプラグ (Fig.1) は、取鍋底部のシェルに直接設置して使用され、ガス吹き込みの繰り返しにより局所的な損耗部となることから、漏鋼の危険と隣り合わせであり、安全性の確保は最重要課題であると考えられる。本報告では、ポーラスプラグの安全性（漏鋼防止）に対する考え方と、その構造面からのアプローチにより、溶鋼の流出防止に配慮して設計されたポーラスプラグを紹介する。

2. ポーラスプラグの設置方法と漏鋼リスク

取鍋底部へポーラスプラグを設置する方法を Fig.2に示す。また、設置したポーラスプラグ周



Fig. 1 Porous plugs.

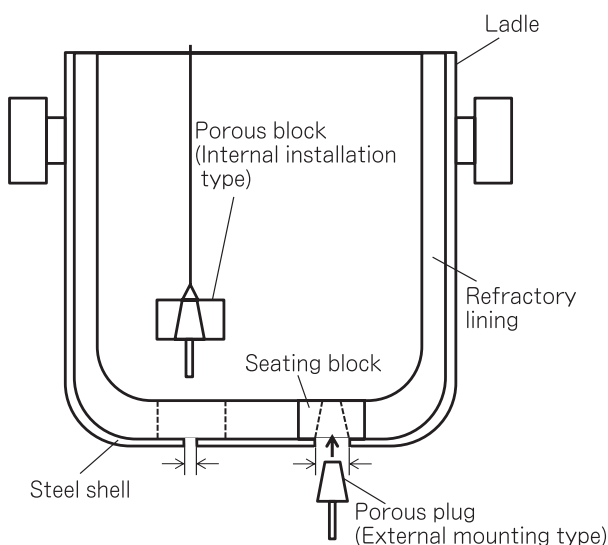


Fig. 2 Porous plug installation methods in ladles.

various kinds of ladle refining, which are simplified and cost-effective secondary refining methods, were put into operational services in the early 1980's in addition to vacuum degassing methods that had been the mainstream until then. The importance of stirring by a gas injection into molten steel had been recognized in ladle refining process, thus, bottom bubbling through porous plugs (as shown in Fig. 1) became popular at the same time. A porous plug is a single unit directly installed in the bottom shell of a ladle and its working surface area shows significant local wear due to the gas flow blown from the porous medium. Hence, the risk of molten steel leakage through the porous plug is considerably higher than in other area. In such a situation, every measure for ensuring safety and stable use of the ladle porous plug should be taken. "PKG" is a device that can eliminate the risk of steel leakage caused by abnormal wear of the plug. The details and concepts of the porous plug with the PKG device are described in this report.

2. Porous Plug Installation Methods and Risk of Molten Steel Leakage

Fig.2 and 3 show typical two porous plug installation methods and their assembled configurations, respectively. The first one (left side) is a built-in type porous plug set which is preassembled in a seating block. It can be installed instantly by lowering down and setting it in the ladle bottom using the overhead traveling cranes on site. The second one (right side) is an external mounting type that inserts the porous plug in the refractory lining in the ladle bottom from the outside vessel and fixes it in a determined position with fixing devices such as bayonet lock parts. These two methods are the most common.

For the built-in plug sets, the through hole size in the ladle bottom shell can be minimized since only the exact diameter of gas supplying pipes is required. On the other hand, for the

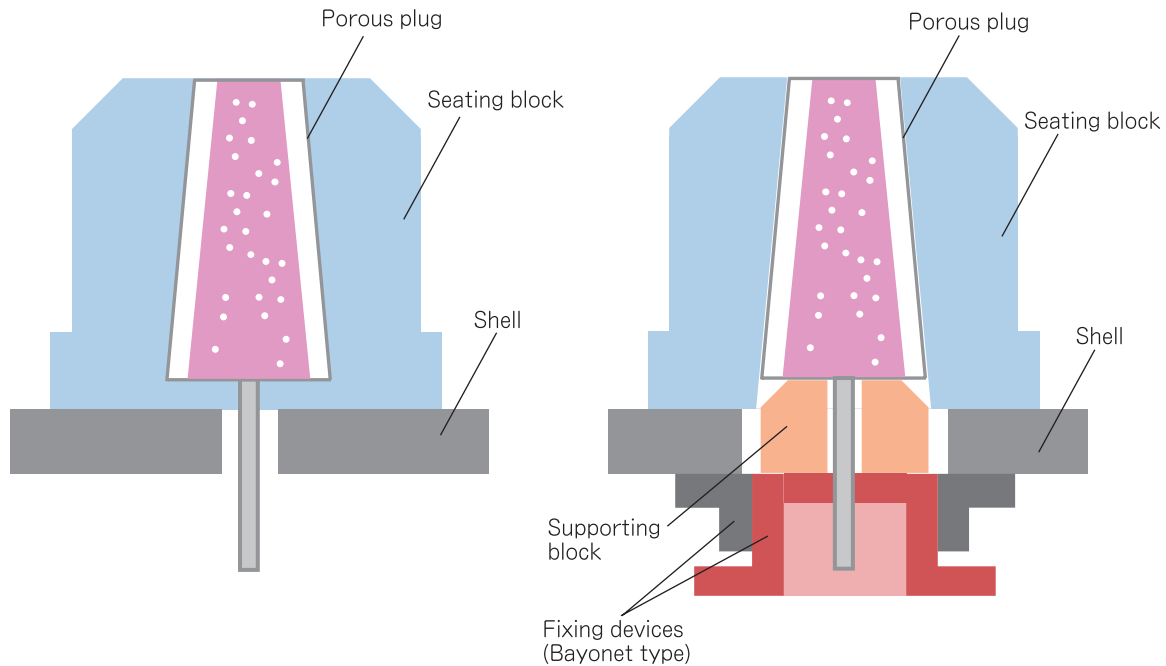


Fig. 3 Schematic diagrams of porous plug assemblies mounted on the bottom of ladles.

辺の概略図をFig.3に示す。ポーラスプラグの設置方法は、内装式と外装式の2つがある。内装式は、ポーラスプラグと羽口を一体化させた構造体（ポーラスブロック）を取鍋の内側から、天井クレーンなどを用いて設置する方式である。もう1つは、外装式であり、あらかじめ取鍋底部に設置された羽口レンガにポーラスプラグを取鍋の炉外側から装着し、バイヨネット型の固定金具などによって拘束する方式である。前者の構造（内装式）であれば、取鍋底部のシェルを貫通させる孔はガス導入パイプが通る最低限の大きさでよいが、後者（外装式）の場合、ポーラスプラグを装入可能な大きさの孔を開けておく必要がある。ポーラスプラグ周辺から何らかの原因で漏鋼が発生した場合、その流路の大小によって、被害が拡大することが容易に想定される。特に、外装式の場合、ポーラスプラグそのものが抜けて、溶鋼が大量に流出する可能性もある。したがって、安全面を優先するならば、内装式を選択することが望まれる。

3. ポーラスプラグの構造と漏鋼リスク

ポーラスプラグの内部構造は、溶鋼ができるだ

external mounting type, it is necessary to be larger than the cross-section area of the plugs. The size of shell hole in the ladle bottom should be the smallest to minimize the amount of molten steel leakage since the leaking flow rate is proportional to the cross sectional area of the opening.

Especially, the possibility of a tremendous amount of leakage is a concern for the external setting plug since it has potential risk of dropping out of the plug itself. Thus, from the view point of safety, use of the preassembled plug sets is strongly recommended.

3. Plug Components and Risk of Molten Steel Leakage

It is essential to design porous plug components to minimize the outflow of leaked molten steel in case of emergency such as break-out troubles. Fig.4 exemplifies several types of porous plug assemblies.

1) Type 1 : single core plug

A truncated porous core is positioned throughout the entire plug body. As the porous core occupies the full depth of the ladle bottom

Types		Porous plug designs and cross sections	Risk level of leakage of molten steel*
Type 1	Single core		+++
Type 2	Double-layered core		++
Type 3	Core surrounded with the sleeve on the bottom face		++
Type 4	“PKG”		+

*(Low) + < ++ < +++ (High)

Fig. 4 Several types of porous plug assemblies considering preventions of molten steel leakage.

け流出しないよう配慮がなされ、多様に設計される。代表的ないくつかのポーラスプラグの設計例をFig.4に示す。

1) タイプ1（ポーラスコア層式）

円錐台のポーラスレンガがプラグ内部を貫通するように配置されている。ポーラスプラグの下面において多孔質レンガが露出しているため、損傷が限界まで進行して溶鋼が差し込んだ場合、その

thickness, significant steel leakage according to the excessive wear of the porous core is a concern.

2) Type 2 : double-layered core plug

This plug is composed of a cylindrical porous core that is combined with a lower cubic core. Porous plugs are replaced when the shape of the porous cores at the hot surface of the plug

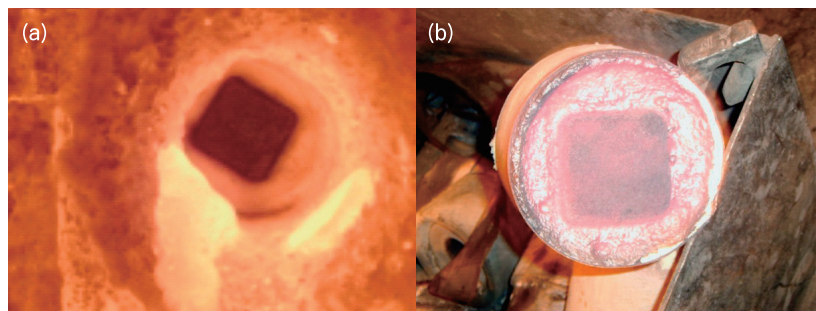


Fig. 5 Hot faces of porous plug with the square indicating block exposed:
(a) on the ladle, (b) after being pulled out from the bottom.

露出部が溶鋼の流路となり、漏鋼につながる恐れがある。

2) タイプ2 (ポーラスコア二層式)

円錐台のポーラスレンがと角錐台のポーラスレンがとを組み合わせた内部構造である。ポーラスプラグの点検の際、その損傷が進行して、Fig.5のように断面形状が円形から四角形に変化していれば、その交換時期を検知できる。こうした、終点判定レンがを利用することによる残厚管理方法は、最も一般的に普及しているが、多孔質レンがの溶損状況によっては、断面形状の変化を見逃すこともあり、残厚管理を徹底して行う必要がある。

3) タイプ3 (スリーブ巻き込み式)

円錐台のポーラスコアをスリーブで巻き込み、そのコアの底面がガス導入パイプの大きさに相当する最低限の流路を設けた構造である。前述したタイプ1やタイプ2と比較して流路の面積が小さいため、漏鋼した場合の溶鋼の流出速度も小さく、被害はある程度抑えられるが、漏鋼の危険を潜在的に排除できたとは言えない。

4) タイプ4 (ポーラスプラグPKG)

ポーラスプラグPKGは、過使用された場合にも漏鋼の危険性を極めて少なくするために開発された安全性の高いポーラスプラグである。このPKGは、ポーラスレンがの下部にステンレス製の細管を複数本設置した構造としている。その金属細管は、ガスの流路として機能するのみならず、ポーラスレンがの残厚が無くなり、溶鋼が細管内を通過しても、ガスパールに到達するまでに凝固し、

turns from round to square as shown in Fig. 5. Using the lower cubic core as a wear indicator is the most popular method, however, the surface of the indicator is often covered by slag or metal adhesions, which may cause the operator to incorrectly judge the timing for replacing a porous plug.

3) Type 3 : porous core surrounded with sleeve

The bottom surface of the porous core is covered by a cast sleeve block. The cast block is provided with a minimum flow path corresponding to the size of gas supplying pipes. Although this structure improves the safeness against steel leakage compared to the plug assemblies of type 1 and type 2, the potential risks still remain.

4) Type 4 : a porous plug with the PKG device

The porous plug with a PKG device is a safety-enhanced plug that has developed to reduce the risk of external molten steel leakage even when the life of the plug reaches the limit or exceeds it. The PKG structure includes multiple numbers of fine metallic tubes located behind the porous cores. The metallic tubes have dual functions as gas providers for the steel refining operation as well as molten steel solidifier for emergency steel leakage. The basic principles of designs of the PKG are described in the next chapter.

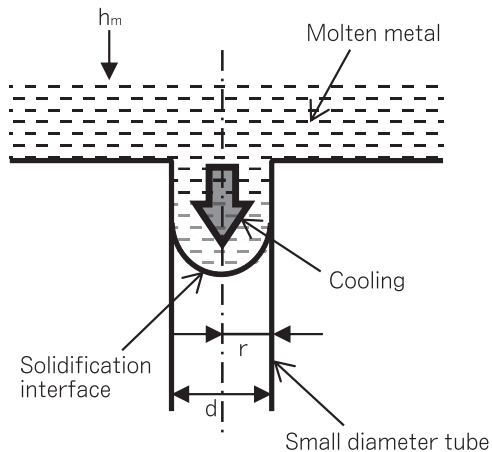


Fig. 6 Molten steel penetrating model into small diameter tubes.

流動を停止させる機能も備えている。その原理については、次章で述べる。

4. PKGの設計

金属細管に浸入した溶鋼はある程度の深さで凝固することは経験的に知られている。山中ら¹⁾は、溶鋼静圧を駆動力として細管に溶鋼が浸入するスピードを、円筒内を流れる流体の圧力損失式から計算、伝熱計算によって求めた溶鋼が凝固温度に達するまでの時間との関係から溶鋼浸入距離を推定するモデル(Fig.6)を考案し、地金の細管への予想浸入距離を(1)(2)式より計算した。更に、2 mm および 4 mm の細管内での溶鋼凝固距離を実炉実験により求めた。(Fig.7)

【差し込み地金の凝固式】

$$t_s = r \cdot f(C_p \cdot \Delta T + L) / 2h(T_s - T_w) \dots \dots \dots (1)$$

【溶鋼の浸入深さの式】

$$\begin{aligned} & (2/3) (d/4f) \{ (1+4fl/d) 3/2 - 1 \} \\ & = [2g(h_m - h_g - 2\sigma/\rho g r)] \cdot 1/2 \cdot t_s \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

ここで、

- t_s : 凝固に要する時間(s)
- r : 細管半径(cm)
- ρ : 溶鋼密度(g/cc)
- C_p : 溶鋼比熱(cal/(g・℃))

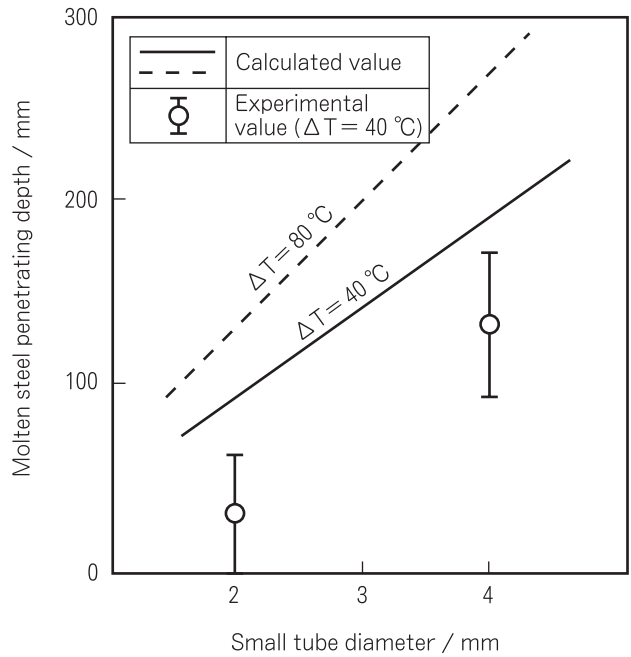


Fig. 7 Calculated and experimental results of molten steel penetration depth into small diameter tubes.

4. Basic Principles and Designs of the PKG

It is empirically known that the molten steel which penetrates into the metallic tubes solidifies at a certain depth. Yamanaka et al.¹⁾ proposed a model to estimate the penetration depth of molten steel into a metallic tube as shown in Fig.6. The penetration depth is determined by time until molten steel solidification, which is obtained by cooling rate according to the heat transfer calculation as expressed in Equation (1), and liquid flow speed, which is obtained by pressure drop in cylindrical tube and static pressure as expressed in Equation (2). They also validated the accuracy of the model by comparison of calculation and practical experiments carried out for tubes with diameters of 2 mm and 4 mm. The results are summarized in Fig. 7.

The formula for the solidification of molten steel into a tube:

$$t_s = r \cdot f(C_p \cdot \Delta T + L) / 2h(T_s - T_w) \dots \dots \dots (1)$$

ΔT : 溶鋼温度 - 固相線温度 (°C)

L : 凝固潜熱 (cal/g)

h : 熱伝達係数 (cal/(cm²·s·°C))

T_s : 固相線温度 (°C)

T_w : 壁面温度 (°C)

f : 摩擦係数

l : 地金浸入深さ (cm)

g : 重力加速度 (cm/s²)

h_m : 溶鋼静圧 (cmFe)

h_g : 配管内残留ガス圧力 (cmFe)

σ : 溶鋼表面張力 (dyn/cm)

条件として,

$C_p = 0.214$ (cal/(g·°C))

$h(T_s - T_w) = 150$

$f = 0.02$

$L = 33$ (cal/g)

$h_m = 400$ (cm)

$\sigma = 1500$ (dyn/cm)

このように細管径が小さいと圧力損失が大きくなり溶鋼浸入距離が短くなる一方、ガス吹き時の観点からは圧力損失は小さい方が好ましい。そこ

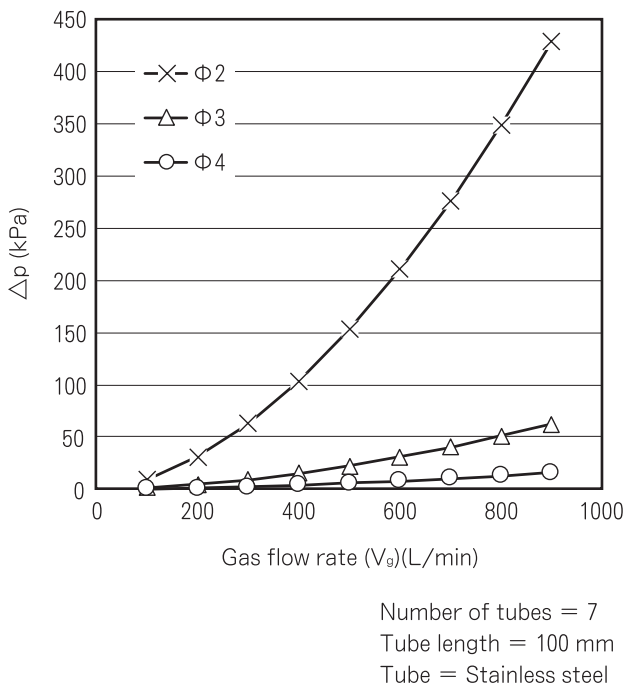


Fig. 8 Calculated values of pressure loss according to tube size .

The formula for the intrusion depth of molten steel into a tube:

$$\begin{aligned} & (2/3)(d/4f) \{ (1+4fl/d)^{3/2} - 1 \} \\ & = [2g(h_m - h_g - 2\sigma/\rho g r)] \cdot 1/2 \cdot t_s \quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

Where,

t_s : time required to solidify (s)

r : radius of tube (cm)

ρ : density of molten steel (g/cc)

C_p : specific heat of molten steel (cal/(g·°C))

ΔT : difference between molten steel temperature and solidus temperature (°C)

L : specific latent heat (cal/g)

h : coefficient of heat transfer (cal/(cm²·s·°C))

T_s : solidus temperature (°C)

T_w : temperature on surface inside tube (°C)

f : friction factor (-)

l : penetrating depth of steel (cm)

g : gravitational acceleration (cm/s²)

h_m : static pressure of molten steel (cmFe)

h_g : remaining gas pressure inside tube (cmFe)

σ : surface tension of molten steel (dyn/cm)

Calculation parameters were given as follows:

$C_p = 0.214$ (cal/(g·°C))

$h(T_s - T_w) = 150$

$f = 0.02$

$L = 33$ (cal/g)

$h_m = 400$ (cm)

$\sigma = 1500$ (dyn/cm)

As the tube diameter becomes smaller, the penetration depth decreases according to an increase in pressure drop. On the other hand, the little pressure drop is desirable from the viewpoint of gas provider.

Thus, the influence of tube diameter on pressure drop for gas purging was assessed by Equation (3). The results are shown in Fig. 8. Taking calculation results, cost, and productivity into consideration, tubes with a diameter of 3 mm were adopted for a porous plug with the PKG device.

で、細管径の違いによる圧力損失を(3)式により求めた。その結果をFig.8に示す。得られた細管径と圧力損失の関係、溶鋼浸入深さ (Fig.7)、製造技術やコスト面から総合的に内径 3 mmの細管を採用した。

【円管内流れの摩擦圧力損失の式】

$$\Delta p = 4f_g \cdot (l/d) \cdot \rho \cdot u^2 / 2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ファニングの式

で表され、さらに、(4)式、および、管内の流れを乱流として、(5)式により求めた。

$$Re = \rho u d / \mu = u d / \nu \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$f_g = 0.0791 Re^{-0.25} \quad \dots\dots\dots (5) \quad \text{ブラジウスの式}$$

ここで、

Δp : 摩擦圧力損失 (Pa)

f_g : 管摩擦係数

l : 細管長さ (mm)

d : 細管直径 (mm)

ρ : 気体密度 (kg/m³)

u : 平均流速 (m/s)

Re : レイノルズ数

μ : 気体の粘度 (kgf/cm²)

ν : 気体の動粘度 (m²/s)

条件として、

$$\nu = 1.512 \times 10^{-5} \text{ (m}^2\text{/s)} \quad \text{空気の動粘度 (20}^\circ\text{C)}$$

$$\rho = 1.205 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad \text{空気の密度 (20}^\circ\text{C)}$$

$$l = 100$$

なお、ガスは 7 本の細管から供給されるとし全ガス流量を V_g とする。従って、

$$u = V_g / (7 \cdot \pi (2/d)^2)$$

5. PKG-BLOCKの使用実績

PKG-BLOCKおよびW-PKG-BLOCKの概略図をFig.9に、その代表的な耐火物品質をTable 1に示す。PKG-BLOCKは、内装式プラグを基本構造とし、取鍋寿命回数 (次の冷間修理までの回数) 以上にガス吹込みを可能にすることを目標に設計される。更に、プラグ寿命の延長が必要となった

$$\Delta p = 4f_g \cdot (l/d) \cdot \rho \cdot u^2 / 2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Fanning's equation

$$Re = \rho u d / \mu = u d / \nu \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$f_g = 0.0791 Re^{-0.25} \quad \dots\dots\dots (5) \quad \text{Blasius' equation}$$

Where,

Δp : Pressure drop (Pa)

f_g : Friction factor (-)

l : Tube length (mm)

d : Tube diameter (mm)

ρ : density of gas (kg/m³)

u : Average flow velocity (m/s)

Re : Reynolds' number (-)

μ : viscosity of gas (kgf/cm²)

ν : kinetic viscosity of gas (m²/s)

Calculation parameters were given as follows :

$$\nu = 1.512 \times 10^{-5} \text{ (m}^2\text{/s)} \quad \text{kinetic viscosity of air (20}^\circ\text{C)}$$

$$\rho = 1.205 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad \text{density of air (20}^\circ\text{C)}$$

$$l = 100$$

Here, the total gas flow provided through seven tubes is assumed as V_g so that flow velocity u is expressed by the following Equation:

$$u = V_g / (7 \cdot \pi (2/d)^2)$$

5. Performance of PKG-BLOCK

Schematic illustrations of PKG-BLOCK and W-PKG-BLOCK and typical properties of refractories for the blocks are shown in Fig. 9 and Table 1, respectively. PKG-BLOCK, which is basically composed of a porous plug and a seating well block was designed to obtain a target service life and be capable of blowing gas over the entire service life. W-PKG-BLOCK, in which two or more plugs are mounted, is also commercially available. Its service life can be extended by switching the gas purging position where local wear occurs.

A comparison of performance between PKG-BLOCK and conventional porous plugs is shown in Table 2. The representative features of PKG-BLOCK are stated below.

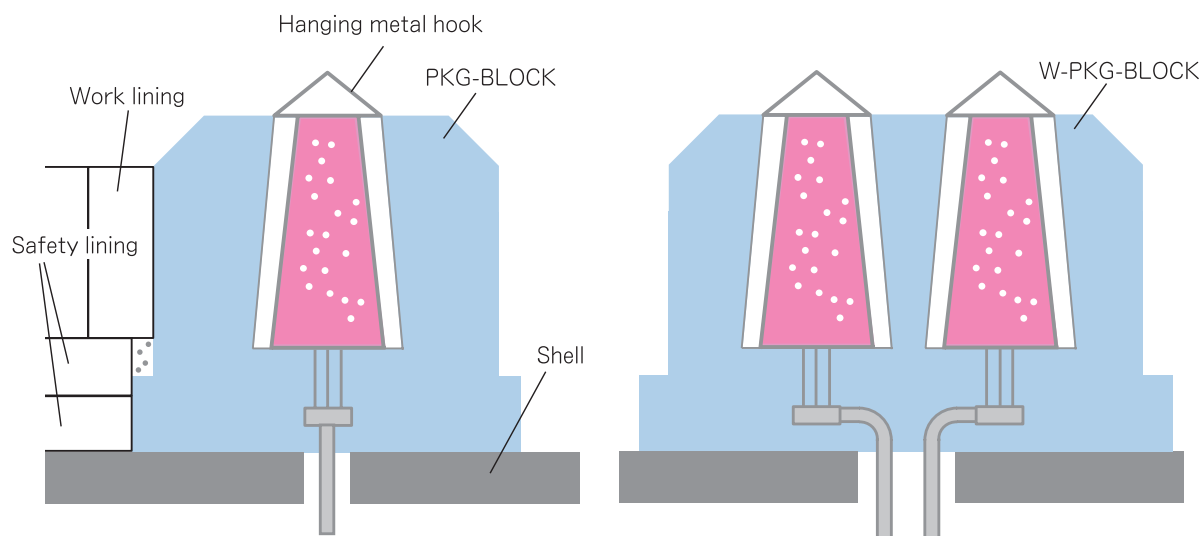


Fig. 9 Schematic illustration of porous plug assemblies “PKG-BLOCK” and “W-PKG-BLOCK”.

Table 1 Chemical and physical properties of refractories for PKG-BLOCK

Code	HSP203	CAM7-PW37	CAM7-C-AH-R(37)
Material	High Alumina	Alumina Magnesita	Alumina Magnesita
Application	Porous brick	Sleeve	Seating block
Chemical composition / %			
SiO ₂	7		
Al ₂ O ₃	86	91	90
Cr ₂ O ₃	1.8		
MgO		7	7
ZrO ₂	3		
Apparent porosity / %	20.9	18.5	18.5
Bulk density	2.86	3.02	3.02
Cold crushing strength / MPa	89	23	34

場合は、複数のポーラスプラグを埋設し、その中の一本ずつあるいは交互に使用することで局損部を分散、目標使用回数を達成することを可能としたW-PKG-BLOCKも採用されている。

PKG-BLOCKと従来のポーラスプラグの特性を比較した結果をTable 2に示す。その特長は以下のとおりである。

- ①細管が溶鋼凝固機能を有し、過使用された場合にも確実に漏鋼を防止できる。(最大の利点)
- ②内装式プラグを基本構造としており、冷間修理において、クレーンにより簡単に施工できる。
- ③取鍋シェルの改造等は不要で、バイヨット構造の設計も不要、ポーラスプラグ取り換え装置な

1. The biggest advantage of PKG-BLOCK is preventing molten steel leakage completely even when the plug is used beyond its service life thanks to the function of carefully arranged metallic tubes behind the porous medium.
2. PKG-BLOCK can be easily installed by lowering down to the ladle bottom with overhead traveling cranes on site because of the prefabricated assembly.
3. PKG BLOCK does not require any device for fixing the plug such as a Bayonet or plug replacement equipment. Additionally, redesign of the ladle bottom shell is not

Table 2 Performance comparison between conventional porous plug and “PKG-BLOCK”

	Conventional porous plugs (External mounting-type)	“PKG-BLOCK”
Gas purging performance	◎	◎
Service life	△～○	○～◎
Safety level	△	◎
Cost performance of purging plugs, equipments and other external devices	△～○	○～◎
Maintenance workability in operation	△	◎

◎ Excellent
○ Good
△ Fair

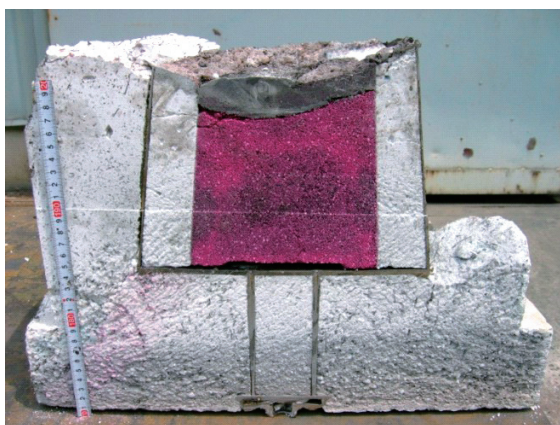


Fig. 10 Cross section of “PKG-BLOCK” after use (19heats, LF)

ども必要がなく、イニシャルコストが掛からず、またランニングコストも抑えられる。

- ④終点残厚管理は必ずしも必要でなく、計画的な取鍋運用が可能である。

Fig.10は、19ヒート使用されたPKG-BLOCKの使用後切断面写真である。ポーラスプラグの稼働面はポーラス部および非ポーラス部とも滑らかに損傷されており、計画交換された。操業中においても所定のガス流量、圧力で問題なくガス吹込みできた。

Table 3は、ポーラスプラグPKGおよびPKG-BLOCKのサプライレコードである。

6. 結言

ポーラスプラグは、取鍋底部に設置して使用されることから、漏鋼防止は最重要課題である。本報告では、その構造面から溶鋼の流出防止に配慮

necessary. Hence, significant reduction of initial and running costs is expected.

4. PKG BLOCK does not require any special care during use, for example, checking the service life indicator of plug.

A cross-sectional photo of a PKG-BLOCK that was taken out of the ladle after 19 heats as scheduled is shown in Fig.10. The hot face of the block was worn smoothly in the both porous and non-porous areas. The gas flow was stable under a prescribed range of gas pressures in all heats.

Supply records of porous plug PKG and PKG-BLOCK are shown in Table 3.

6. Summary

The prevention of molten steel leakage from porous plugs is of the highest priority because the plugs are directly installed on the steel shell of the ladle bottom. Several standard plug designs which are equipped with steel melt leakage preventive devices were introduced in this paper.

1. The structure of porous plug and ladle bottom shell should be designed in consideration of reducing the outflow of leaked steel in order to minimize the extent of break-through troubles.
2. Porous plug with the PKG device drastically reduces the risk level of molten steel

Table 3 Supply records of porous plug “PKG” and “PKG-BLOCK”

User	Steel grade	Refining process	Ladle capacity / t	Service Life / hts	Plug height / mm	Size of small diameter tubes			Number of tubes
						ID / mm	OD / mm	L / mm	
A	Stainless	VOD/LT	90	30	380	3	5	97.3	7
B	Stainless	VOD/LF	60	23	380	3	5	125	7
C	Stainless	VOD/LF	80	32	473	3	5	80	7
D	Stainless	VOD	50	4-6	279	3	5	60	7
E	Carbon	LF	130	20-30	363	3	5	80	7
F	Carbon	LT	80	40-45	505	3	5	80	7
G	Carbon	LF	150	25	410	3	5	65	7
H	Special	LF	25	5	238	3	5	40	7

したいいくつかの設計例について、紹介した。

- ①ポーラスプラグは、漏鋼した場合の溶鋼の流出速度を小さくするための流路構造を設計し、シェル孔径も極力小さくすることが好ましい。
- ②ポーラスプラグPKGは、過使用された場合にも、溶鋼の流出を防止するステンレス細管構造を備え、漏鋼の危険性を極めて少なくしたポーラスプラグである。
- ③溶鋼凝固性と圧力損失、製造技術、コスト面から総合的に最適なステンレス細管の細管径は3mmを選択し、実用化された。
- ④ポーラスプラグPKGは、各所においてご使用戴き、好評を得ている。

leakage even when the number of heats exceeds the serviceable limits thanks to the fine metallic tubes equipped behind the porous core, which function as gas provider as well as penetrated steel solidifier.

3. 3 mm is the optimum diameter for tubes behind the porous core in consideration of gas purging, cooling ability of penetrated molten steel, and productivity.
4. The Porous plugs with PKG device are currently used at many steel mills with excellent performance.

Reference

- 1) H. Yamanaka, T. Yoshida, F. Sudo, S. Yamada, T. Terada and M. Saegusa : Tetsu-to-hagané, **66** [11] S887 (1980).