

SHINAGAWA TECHNICAL REPORT

転炉用底吹き羽口耐火物

Bottom Blowing Tuyere Refractories for Converter

金子 詳 平
Shohei KANEKO

柿原 昌 佳
Masayoshi KAKIHARA

富 谷 尚 士
Hisashi TOMIYA

品川技報

転炉用底吹き羽口耐火物

Bottom Blowing Tuyere Refractories for Converter

金子 詳 平^{*1}
Shohei KANEKO

柿原 昌 佳^{*2}
Masayoshi KAKIHARA

富 谷 尚 士^{*3}
Hisashi TOMIYA

要 旨

転炉の底吹き羽口用耐火物における最も重要な課題は、剥離損傷の抑制である。当社では破壊靱性の向上といった視点で高耐用な羽口耐火物を開発しており、各所で良好な結果が得られている。本報では、当社の最新の羽口耐火物とその実績について紹介する。

Abstract

The most important issue in refractories for the bottom-blowing tuyere of the converter is suppression of spalling and peeling wear. We have developed high-performance tuyere refractories in view of improving fracture toughness, and good results have been obtained by various customers. In this report, we introduce our latest tuyere refractories and their test results.

1. 緒言

現在の日本の転炉は、上底吹き転炉ならびに底吹き転炉が主流である。これらの転炉では、底吹き羽口（以下、羽口）からのガス吹込みにより溶鋼を攪拌し、高効率な吹錬を実現している。羽口には羽口用耐火物が用いられるが、後述するように特異な環境下で使用されることから、転炉一般部用耐火物とは求められる特性が異なっている。当社では、長年の研究開発で蓄積したノウハウを活かして高耐用な羽口耐火物を各種開発しており、本報で当社の羽口耐火物とその実績について紹介する。

1. Introduction

Recently, the main converters in Japan are the “Top and bottom blowing converter” and “Bottom blowing converter”. In these converters, the molten steel is stirred by gas blown from the bottom-blowing tuyere (hereinafter, tuyere), which is highly efficient for steel refining. Since tuyere refractories are used in a special environment as will be described later, the required characteristics are different from those of the general section of converter. We have developed various kinds of high-quality tuyere refractories by utilizing our know-how accumulated through years of research and development, and we

^{*1} 西日本工場 岡山製造部 第1製造室 Manufacturing Section No.1, Okayama Plant, West Japan Works

^{*2} 西日本工場 岡山製造部 第1製造室 主任部員 Staff Manager, Manufacturing Section No.1, Okayama Plant, West Japan Works

^{*3} 西日本工場 岡山製造部 第1製造室 兼 第2製造室 主任部員 Staff Manager, Manufacturing Section No.1 & No.2, Okayama Plant, West Japan Works

2. 底吹き羽口の構造的分類

羽口耐火物は、耐火物中にステンレス鋼などの金属で作られた管を埋設したもので、大きく2つの構造に分けられる。一つは、単孔羽口であり、外管部に不活性ガスやプロパンガスを流す二重管羽口や、内管部に耐火物を埋め込み吐出口をスリット状としたSA (Single Annular) 羽口といったものが挙げられる。単孔羽口の特徴は大きな流量が得られることで、強力な攪拌効果が得られるほか、高流速の不活性ガスを流すことで、自身への高い冷却能力を持つ。

もう一つは、MHP (Multi-hole plug) と呼ばれるステンレス鋼製の細管を複数本埋設したものである。転炉用では、数十～数百本単位で細管を埋め込んだものが主流であり、その細管径と細管本数は、各転炉の操業において必要な流量を確保することを前提に選定される。MHPの特徴は広範囲の流量制御が可能なことであり、転炉待機時の吹込み量を絞ることで使用ガス量の低減が可能となる。

3. 底吹き羽口の損耗形態

転炉羽口は、他の一般部用耐火物とは異なる特殊な環境にさらされる。稼働面は溶鋼からの受熱により高温にさらされる一方で、耐火物内部は高流速の吹込みガスによって冷却される。このため、耐火物内に生じる温度差（温度勾配）が大きくなり、耐火物は強い熱応力を受ける。また、溶銑装入時には急激な温度変化が起こり、待機時にもガス吹きを行い冷却されている羽口は、極めて大きい熱衝撃を受けることとなる。これらの熱応力により、羽口耐火物の内部に亀裂が発生、進展し、断続的な剥離を引き起こす。実際に、使用後の羽口耐火物を切断し観察すると、稼働面に対して平行に複数の亀裂が発生している場合が多い (Fig.1)。

そのほか、稼働面の溶損、吹込みガスによって

will introduce our tuyere refractories and their achievements in this report.

2. Structural Classification of Bottom-blowing Tuyere

These tuyere refractories contain a stainless steel tube-buried within the refractories and can be classified into two structures. The first one is a single-hole tuyere, such as a double-tube tuyere with inert gas or propane gas flowing in an outer pipe portion, and a SA (Single Annular) tuyere, which has a slit-shaped outlet port, by burying a refractory in the inner pipe portion of their structure. The characteristic of the single-hole tuyeres is the ability to achieve a large flow rate, which creates a strong stirring effect and a high cooling ability from the inert gas flow.

The other is a MHP (Multi-Hole Plug) which is embedded with many stainless steel tubes. For converters, dozens to several hundred tubes are usually embedded in these units, and their inner diameters and the number of tubes are selected with consideration of the necessary flow rates for the operation of each converter. The feature of the MHP is that a wide range of flow rate control is possible, and it is possible to reduce the amount of gas used by narrowing the injection amount during converter standby.

3. Wear Mechanism of Bottom-blowing Tuyere

The converter tuyere is exposed to a special environment different from refractories in other general sections. While the hot face is exposed to high temperature of molten steel, the inside of the refractory is cooled by a high flow velocity of gas. Therefore, the temperature



Fig.1 Cross section of a used MHP.

起こる溶鋼摩耗，未溶解スクラップによる機械的摩耗，周囲の炉底煉瓦からの迫りによる機械的応力など，様々な損耗要因が挙げられるが，現在の羽口耐火物の寿命を決定づけている主因は，熱応力による亀裂の発生と進展で起こる表層剥離である。羽口耐火物の寸法測定結果では階段状に損耗が進行しており，一度の吹錬で50～100mm程度の急激な損耗が見られる場合がある。この剥離損傷の抑制が羽口耐火物の寿命向上の鍵であり，重要な課題となっている。

4. 羽口耐火物の具備特性

前項で述べた損耗形態から，羽口耐火物に求められる特性は，耐熱スポーリング性，耐摩耗性などである。特に熱応力への抵抗性を高めることが重要であり，材質の低膨張化や高熱伝導率化を目的に，黒鉛添加量20～25%程度のMgO-C質煉瓦が適用されている。

一方，耐摩耗性の向上のためには，一般的に金属添加物（Al，Siなど）による熱間強度向上，酸化防止などの手法が用いられる。

difference or gradient occurring in the refractory becomes large, and the refractory receives strong thermal stress. In addition, a sudden change in temperature occurs when the molten iron is charged, and the tuyere, which is blown with gas and is cooled during standby, receives extremely large thermal shocks. Due to these thermal stresses, cracks develop and propagate inside the tuyere refractories, causing intermittent peeling. In fact, when cutting and observing the used tuyere refractories, in many cases cracks are generated parallel to the hot face (Fig.1).

There are various wear factors such as erosion of the hot face, abrasion by molten steel stream caused by blowing gas, mechanical wear due to undissolved scrap impact, and mechanical stress due to expansion of surrounding bottom bricks. However, the main reason for determining the life of tuyere refractories is surface peeling caused by the occurrence and development of cracks due to thermal stress. As a result of tuyere refractory residual thickness measurement, it is understood that wear progresses in a stepwise manner, and sudden wear of about 50 to 100mm may be observed. Suppression of this peeling damage is a key to improving the life of tuyere refractories, so it is an important issue.

4. Necessary Characteristics for Tuyere Refractories

From the wear mechanism mentioned in the previous section, the characteristics required for tuyere refractories can be determined to be spalling and abrasion resistance. In particular, it is important to increase the resistance to thermal stress. MgO-C bricks with 20-25%

5. 当社の羽口耐火物の紹介

当社では、MgO-C材質の破壊靱性の向上という観点で研究を進め、耐熱スポーリング性に優れた高耐用羽口耐火物を開発している。破壊靱性とは、脆性破壊に対する材料の抵抗性を示す特性であり、材料の高靱化によって亀裂の発生・進展が抑制されることで、剥離損傷の軽減に繋がる。Fig.2に破壊靱性を強化したMgO-C材質について曲げ試験を行った際の写真を示す。破壊靱性が高い材質は、亀裂の進展経路が蛇行しており、破断に至るまでの消費エネルギーが大きいことが分かる。

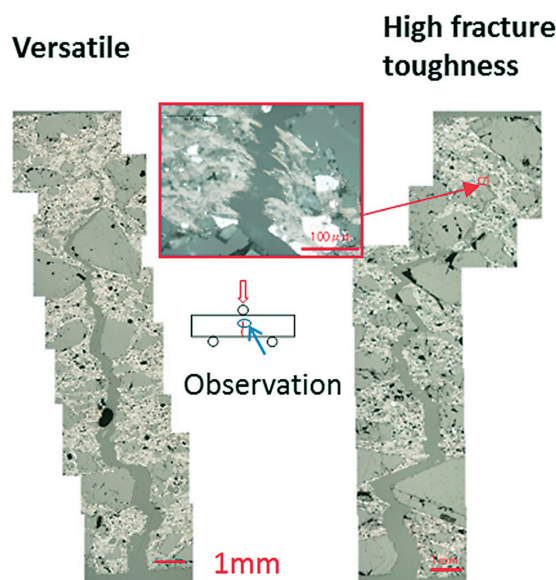


Fig.2 Micrographs of MgO-C bricks after bending test.



Fig.3 Appearance of Mono-block type MHP.

graphite are generally applied for the purpose of lowering the material expansion and increasing the thermal conductivity. Meanwhile, in order to improve abrasion resistance, methods such as improvement of hot strength and oxidation prevention by metal additives, e.g. Al, Si, are generally used.

5. Shinagawa's Tuyere Refractories

We developed high performance tuyere refractories with excellent thermal spalling resistance from the viewpoint of improving fracture toughness. Fracture toughness is a property showing the resistance of a material to brittle fracture. Crack initiation and progression are suppressed by the high toughness of the material, which leads to reduction of peeling damage. Fig.2 shows a microstructure of a bending test on MgO-C material with enhanced fracture toughness. High fracture toughness material showed large zigzag deviation of the crack propagation path, and necessary energy for the rupture is large.

Furthermore, in addition to improvement in material, it is possible to extend the distance from crack propagation to the peeling surface by increasing the size of the tuyere refractories,

Table 1 Typical properties of bricks for tuyere

Application	MHP tuyere	MHP block	Tuyere
Chemical composition /%			
MgO	80	75.5	70
C	15	20	27
Apparent porosity /%	2.6	4.6	1.0
Bulk density	2.87	2.80	2.72
Compressive strength /MPa	35	33	42

材質面の改良に加え、構造面においても羽口耐火物の大型化を図ることで、亀裂の進展から剥離に至るまでの距離を延長することができ、剥離損傷の軽減が可能となる。当社は静水圧プレス（CIP; Cold Isostatic Press）による大型耐火物の成形が可能であり、一体物の大型MHPなどが各所で良好な結果を得ている（Fig.3）。

当社の代表的な羽口耐火物の品質表をTable 1に示す。黒鉛量15～25%で各種ラインナップを揃えており、実機の損耗状況から最適な材質を選定し、適用している。

6. 実機適用実績

A製鉄所の転炉（炉容積220ton）において羽口の寿命向上のため、従来の分割型MHPに代えて、当社の大型一体物のMHPを適用した（Fig.4, 5）。適用前と適用後の損耗速度比較（1,500ch時点）をFig.6に示すが、適用後には約40%もの損耗速度低減が達成された。この転炉では、4,000chを超えても問題なく底吹きが継続できている。

また、単孔羽口を採用しているB製鉄所の転炉では、破壊靱性を強化した羽口耐火物の改良品を

and it is possible to reduce peeling damage. We can mold large refractories by cold isostatic press, and have obtained good results for the large mono-block MHP in various customer's converters (Fig.3).

Table 1 shows the typical properties of our representative tuyere refractories. Various line-ups are available with graphite amounts of 15 to 25%. The optimum material can be selected and applied according to actual wear conditions of the converter.

6. Actual results

We applied our Mono-block type MHP to a converter (heat size 220 ton) in steelworks "A"



Fig.4 Installation of Mono-block type MHP.

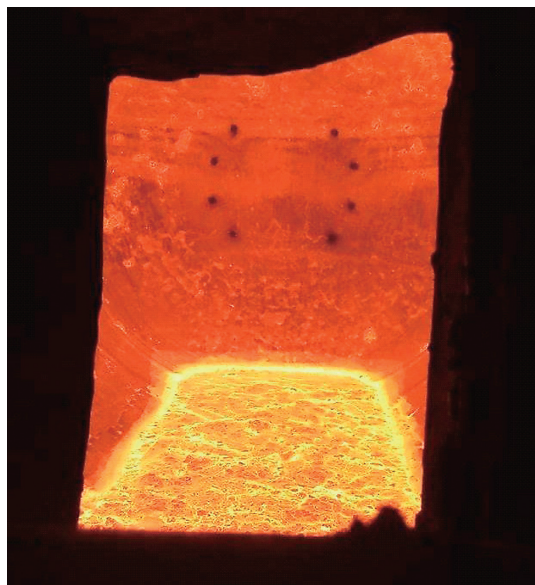


Fig.5 Inside view of BOF after 1st heat.

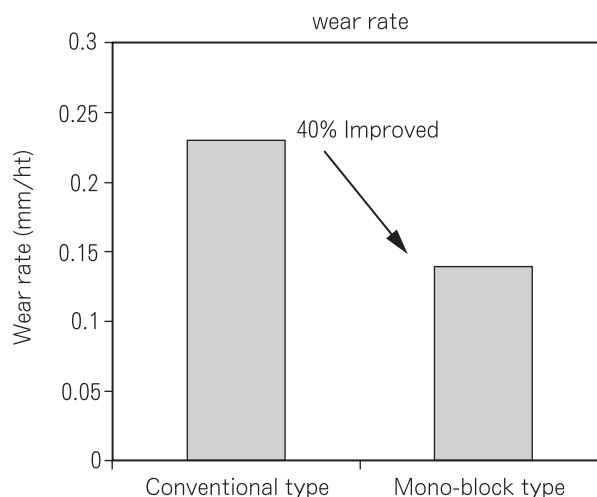


Fig.6 Wear rate of Mono-block type MHP.

適用したところ、従来品に比べて剥離損傷が大幅に低減された。羽口耐火物の残存厚みの推移をFig.7に示すが、剥離損傷が抑制された結果、耐火物寿命の向上と損耗速度の安定化が達成された。

国内各所においても本報にて紹介した特性を有する羽口耐火物を適用し、良好な耐用性が得られている。

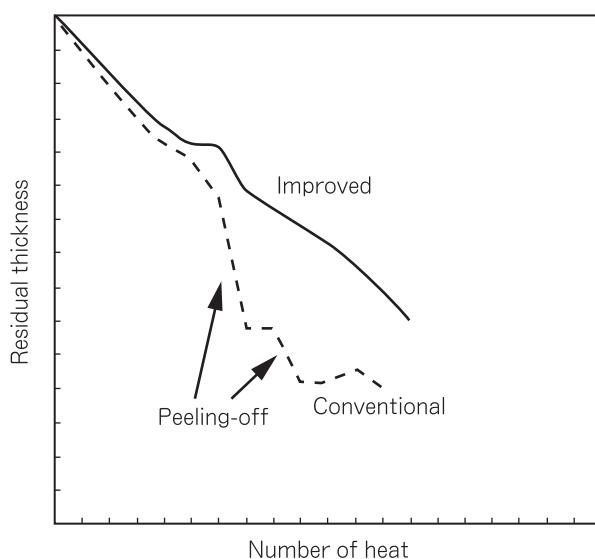


Fig.7 Wear profile of improved tuyere brick.

in place of conventional segment type MHP to increase tuyere life (Fig.4, 5). The life of the Mono-block type MHP increased 40% compared to the conventional type as shown in Fig.6 which shows a wear rate comparison (at 1500 heats). This converter has been operating to over 4000 heats without plugging the tuyeres.

Also, in the converter of steelworks “B”, which uses single-hole tuyeres, when the improved tuyere refractory with enhanced fracture toughness was applied, the peeling damage was greatly reduced as compared with the conventional products. The transition of the thickness of the tuyere refractories is shown in Fig.7. As a result of suppressing peeling damage, improvement of refractory life and stabilization of wear rate was achieved.

The tuyere refractories introduced in this report are also being used in actual converters in Japan, and good durability has been obtained.