

SHINAGAWA TECHNICAL REPORT

耐剥離性に優れる鍋用
 Al_2O_3 - MgO -Cれんが

Al_2O_3 - MgO -C Bricks with High Resistance
Against Peeling Wear for Steel Ladle

土 井 菜保子
Naoko DOI

飯 田 敦 久
Atsuhisa IIDA

富 谷 尚 士
Hisashi TOMIYA

神 山 啓 太
Keita KAMIYAMA

品川技報

耐剥離性に優れる鍋用 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-C}$ れんが

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-C}$ Bricks with High Resistance Against Peeling Wear for Steel Ladle

土 井 菜 保 子^{*1}
Naoko DOI

冨 谷 尚 士^{*2}
Hisashi TOMIYA

飯 田 敦 久^{*3}
Atsuhisa IIDA

神 山 啓 太^{*4}
Keita KAMIYAMA

要 旨

溶鋼鍋の激食部である湯当たり向けに耐剥離性に優れる $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-C}$ れんがを開発した。気孔率の低減および気孔径の微細化によりれんが内への溶鋼の侵入を抑制し、実機において良好な結果が得られているので紹介する。

Abstract

We developed $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-C}$ bricks with high peeling resistance for the impact zone of steel ladles. Reduction of the amount and size of pores in $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-C}$ bricks is effective for inhibiting the penetration of molten steel into the bricks. These bricks showed good performance at many EAF (Electric Arc Furnace) steelmakers.

1. 緒言

製鋼プロセスにおいて、溶鋼鍋は溶鋼の搬送や精錬処理時の容器として広く用いられている。転炉や電気炉から出鋼された溶鋼が当たる溶鋼鍋の敷湯当たり部分 (Fig. 1) は一般的に耐火物の損傷が激しく、スラグラインとならびその耐用が補修時期を左右する場合が多い。また、湯当たりれんがの損傷が漏鋼事故に至った事例もあり、耐用向上および安定耐用の実現は重要な課題の一つと言える。

湯当たりれんがの損傷要因として、稼働面付近の剥離や目地部分の先行損傷にともなう地金の侵

1. Introduction

The steel ladle is a vessel that is commonly used for transporting and refining molten steel in the steel-making process. The impact zone is where molten steel tapped from an electric arc furnace (EAF) hits and heavily damages the bricks at the bottom of a steel ladle (Fig. 1). Damage of the impact zone occasionally triggers leakage of molten steel. Therefore durability of the impact zone often determines the repair frequency of the steel ladle, so it is important to extend performance of the impact zone bricks.

In general, damage of the impact zone is caused by peeling or corrosion of bricks, or

*1 技術研究所 第1研究部 理学博士 Dr. Sci., Research Dept. No. 1, Research Center

*2 技術研究所 第1研究部 主任研究員 Managing Research Engineer, Research Dept. No. 1, Research Center

*3 技術研究所 第1研究部 室長 Team Manager, Research Dept. No. 1, Research Center

*4 第1営業部 倉敷営業所 Kurashiki Sales Office

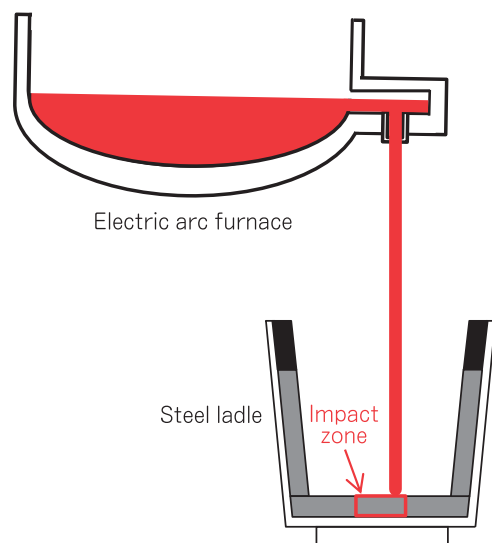


Fig. 1 Schematic illustration of tapping from electric arc furnace.

入、出鋼の際底に溜まったスラグによる溶損等があげられる^{1),2)}。したがって、残存膨張性を有し、耐熱スポーリング性および耐スラグ侵食性に優れた Al_2O_3 -MgO-Cレンがが選択肢の一つとなっている。

一方で、実際に湯当たりで使用された Al_2O_3 -MgO-CレンがではFig. 2に示すように地金がレンが全体に侵入した組織を呈するサンプルが回収される場合がある。したがって、溶鋼の侵入に伴いレンが組織が変質し、構造スポーリングによる剥離が主体で損傷が進行した可能性が考えられる。本報告ではこの点に着目し、溶鋼の侵入対策を行ったレンがを開発・適用したところ電気炉製鋼各社において良好な結果が得られたので報告する。

2. 湯当たりレンがへの溶鋼の侵入

2. 1 使用後レンがの解析

Fig. 3aに部分的に溶鋼の侵入が認められた使用後湯当たりレンがにおける、溶鋼侵入層と健全層の境界部分の反射顕微鏡写真を示す。写真の下



Fig. 2 Cross-section of bricks used in impact zone of steel ladle.

penetration of molten steel which occurs with increased joint wear^{1),2)}. Al_2O_3 -MgO-C bricks are often selected for the lining of the impact zone because they have high spalling resistance, high corrosion resistance and residual expansion after heating to prevent joint opening.

On the other hand, Al_2O_3 -MgO-C bricks used in the impact zone occasionally show the structure with a considerable amount of steel penetration among the coarse grains (Fig. 2). In this case, structural spalling, which is caused by the penetration of molten steel into the bricks, was dominant wear factor. We focused on this phenomenon and developed new bricks with a higher resistance to molten steel penetration. The new products showed good performance at many EAF steelmakers.

2. Penetration of Steel into Bricks

2. 1 Examination of used bricks

Fig. 3a shows a photomicrograph of used Al_2O_3 -MgO-C bricks that is partially altered by steel. The upper part of the photograph shows the altered zone. In the altered zone, steel has penetrated and is observed around the coarse grains, and the graphite has disappeared. Furthermore, graphite precipitate texture can be observed in the penetrated steel (Fig. 3b). These results suggest that molten steel dissolved the

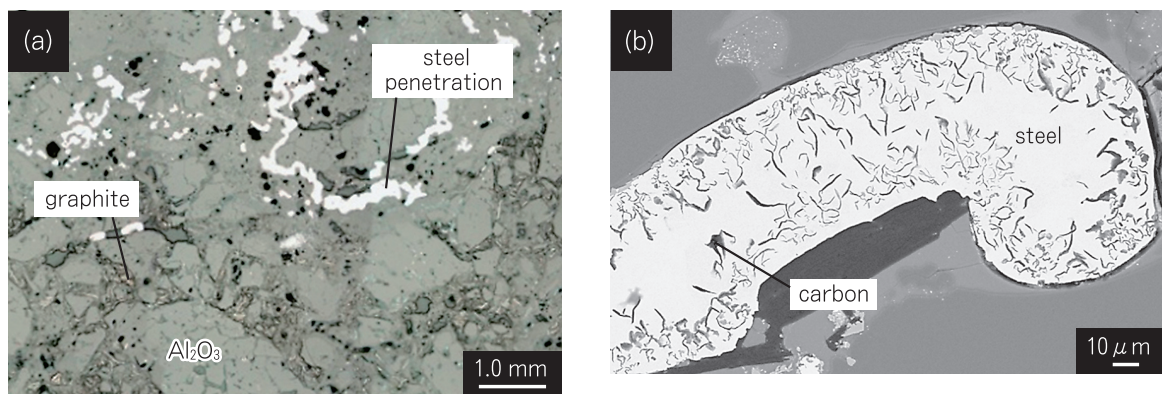


Fig. 3 Microstructure of (a) molten steel penetration zone in used brick and (b) precipitated carbon in penetrated steel.

半分は健全な組織を保持している一方で、上半分では地金が骨材の周辺に散在し、れんが内に黒鉛は認められない。さらに、侵入した地金を拡大すると微細な炭素の析出が確認できる (Fig. 3b)。以上の結果から、稼働時に溶鋼がれんが内の黒鉛を溶解し、黒鉛の消失により生成した気孔を介して侵入したと考えられる。

2. 2 溶鋼侵入メカニズム

炭素含有耐火物における黒鉛の溶解を介した溶鋼の侵入は、過去にも浸漬ノズルを対象とした実験結果について報告されている³⁾。しかしながら、同報告では黒鉛の周囲に溶鋼との濡れ性が良い物質が存在する場合のみ同様の現象が観察されており、本報告のケースとは異なる。また、 Al_2O_3 - MgO -Cれんがが使用されている溶鋼鍋の側壁や湯当たり以外の敷において同様の現象は観察されず、湯当たりれんがが特有の現象と考えられる。

Fig. 2のような溶鋼侵入組織の形成要因として、溶鋼の落下による衝撃があげられる。直径 d の気孔への溶鋼の侵入は溶鋼の圧力および濡れ性と式(1)で表わされる関係があることが知られており³⁾、溶鋼による圧力 P が大きくなるほど径の小さい気孔に溶鋼が侵入する。

graphite in bricks and penetrated into the bricks through the pore formed by the dissolution of graphite.

2. 2 Mechanism of steel penetration

Penetration of steel into carbon-containing bricks was previously reported in an experiment on a submerged entry nozzle³⁾. However, the penetration of steel was limited in a sample in which graphite was surrounded by substances that exhibit high wettability with molten steel. Additionally, such a structure has not been observed in bricks that were used in the side wall and bottom of steel ladles except at the impact zone. Therefore, we consider the penetration of steel into bricks to be typical in the impact zone of the steel ladle.

One possible factor causing such an altered structure is impact pressure by molten steel tapped from an EAF as shown in Fig. 2. It is known that penetration of molten metal into a pore with diameter d is related to pressure and wettability of the molten metal (Eq.1), and an increase of liquid pressure P reduces the critical pore diameter needed to allow penetration into refractories.

Table 1 Pore properties of refractories

	Conventional	Developed
Carbon content (mass %)	11	8
After heat treatment at 1500°C in reducing atmosphere		
Apparent porosity (%)	11.2	9.7
Median diameter (μm)	0.30	0.37
After heat treatment at 1500°C in reduction atmosphere and decarburization at 800°C in air		
Apparent porosity (%)	27.6	22.2
Median diameter (μm)	6.32	4.92

$$P > - \frac{4 \sigma \cos \theta}{d} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 σ および θ は溶鋼の表面張力および接触角度である。電気炉出鋼の際に落下する溶鋼が湯当たりれんがに与える衝撃圧は、溶鋼が満たされている際に発生する静的な圧力よりも大きくなる。したがって湯当たり部においては落下の衝撃によってより細かい気孔まで溶鋼が侵入することになる。

3. 材質改善

上記の観点から、れんがの気孔径 d を小さくし、さらに気孔率を低減することで溶鋼の侵入を抑制することができると考え、 Al_2O_3 - MgO - C れんがの化学組成、粒度構成および成形条件の見直しを行った。Table 1 に従来材と開発材の気孔率を示す。還元雰囲気条件で1500°C-3時間熱処理した場合、開発材では気孔率が従来材と比較して約1.5割減少した。さらに、黒鉛溶解・消失後の組織を想定し前述の熱処理後、脱炭処理（大気雰囲気下で800°C-48時間加熱）を行った試料についても調査した。結果、同試料では気孔率が約2割減少しただけでなく気孔径分布の最頻値も9 μm から6 μm に小さくなった（Fig. 4）。

4. 実機への適用結果

Fig. 5に、Fig. 2に示すれんがと同じ電気炉メー

$$P > - \frac{4 \sigma \cos \theta}{d} \dots\dots\dots (\text{Eq. 1})$$

Where, σ and θ are surface tension and wetting angle, respectively. The liquid pressure generated from the impact by molten steel tapped from an EAF would be higher than the hydrostatic pressure generated by the molten steel filled in a steel ladle. Therefore, in impact zone, molten steel can penetrate into smaller pores than in other parts of the steel ladle.

3. Improvement of Material

As described above, decreasing the pore size and porosity of refractories was thought to be effective measure for reducing the penetration of molten steel. Hence we optimized the chemical composition, grain-size distribution of oxides and pressing condition of the Al_2O_3 - MgO - C bricks. The porosities of conventional and developed bricks are shown in Table 1. After heating at 1500°C in a reducing atmosphere, the porosity of the developed sample decreased by about 15% compared with the conventional one. Furthermore, we measured the porosity of the sample after decarburization in order to reproduce a structure in which the graphite had been dissolved by the molten steel. The decarburized structure was formed by heating at 1500°C in a reducing atmosphere with subsequent heating to 800°C in an oxidizing atmosphere. The porosity of the decarburized sample of developed brick was decreased by about 20%. Furthermore, mode diameter of the pores formed by the disappearance of graphite was decreased from about 9 to 6 μm compared with the conventional one.

4. Developed Bricks Usage Results

Fig. 5 shows the cross-section of the developed Al_2O_3 - MgO - C bricks. The bricks were used in the same ladle as the bricks shown in

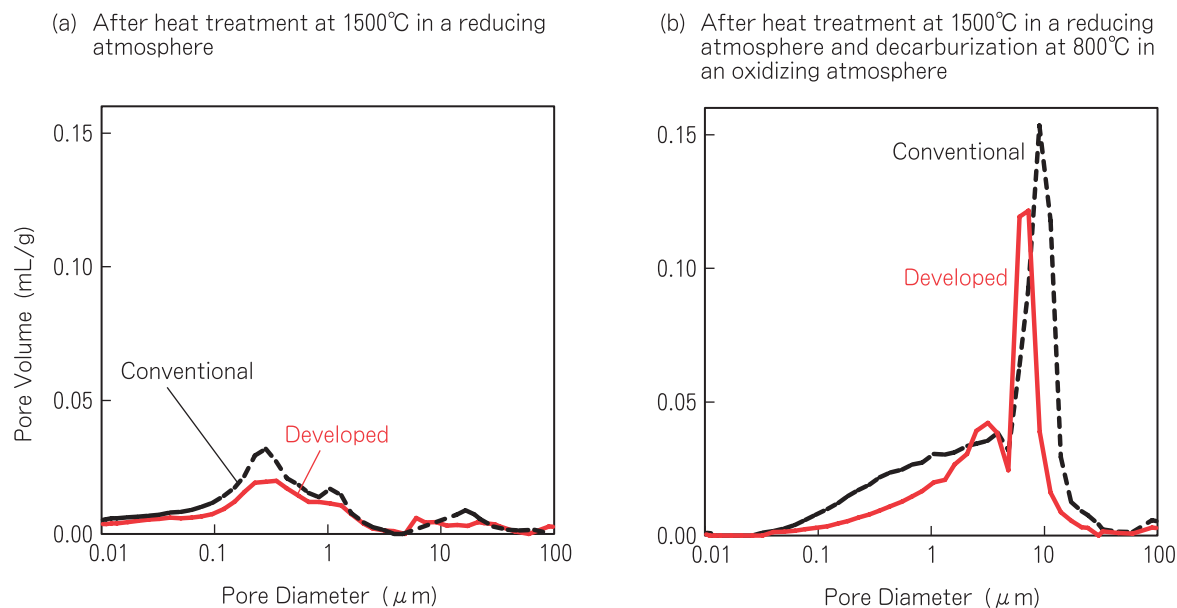


Fig. 4 Pore size distribution of conventional and developed samples.



Fig. 5 Cross-section of bricks used in impact zone of steel ladle.

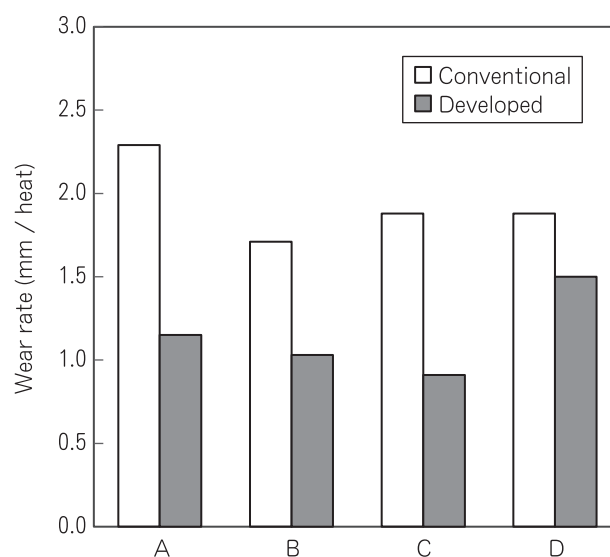


Fig. 6 Comparison of wear rate between conventional and developed bricks used in impact zone of steel ladle at various steel manufacturing companies.

カーで使用した、開発材湯当たりれんがの切断面写真を示す。溶鋼の侵入層は稼働面以深約20mmに止まっており、改善の効果が認められる。また、Fig. 6に電気炉製鋼各社における従来材と開発材の使用結果を示す。多数の電気炉メーカーにおい

Fig. 2. The developed bricks showed higher resistance to steel penetration with the thickness of the altered zone in the developed bricks being limited to about 20 mm. Fig. 6 is a comparison of the wear rate between conventional and developed bricks used in the impact zone of

て、開発材は従来材と比較して損傷速度が低減される良好な結果が得られている。

5. まとめ

溶鋼鍋の敷湯当たりれんがでは、溶鋼を受ける際の衝撃にともなう溶鋼のれんが組織への侵入によって生じる変質が剥離損傷に繋がっていると考えられる。溶鋼の侵入対策として気孔率の低減および気孔径の微細化を行った $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-C}$ れんがを開発・適用したところ電気炉製鋼各社において良好な結果が得られている。

the steel ladle at some EAF steelmakers. The developed bricks have been successfully used by many customers.

5. Summary

Refractories used in the impact zone of the steel ladle are damaged by the structural spalling caused by molten steel penetration. Reduction of porosity and pore size in $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-C}$ bricks is effective for suppressing molten steel penetration. The developed bricks have been used successfully in the impact zone of ladles by many customers.

References

- 1) Y. Naruse, H. Ichiyama, S. Ishimatsu, M. Kamiide : Taikabutsu, **34** [1], 8, (1982)
- 2) T. Yukinawa, S. Sakamoto, Y. Ono : Taikabutsu, **41** [9], 470, (1989)
- 3) O. Nomura, S. Uchida, W. Lin, E. Mori : Shinagawa Technical Report, **41**, 25, (1998)