

SHINAGAWA TECHNICAL REPORT

装入壁用高靱性MgO-Cれんが

High Fracture Toughness Type MgO-C Brick
for Charging Pad

柿原昌佳
Masayoshi KAKIHARA

金子詳平
Shohei KANEKO

藤吉亮磨
Ryoma FUJIYOSHI

飯田敦久
Atsuhisa IIDA

品川技報

製品紹介 PRODUCTS

装入壁用高靱性MgO-Cれんが

High Fracture Toughness Type MgO-C Brick for Charging Pad

柿 原 昌 佳 ^{*1}	藤 吉 亮 磨 ^{*2}
Masayoshi KAKIHARA	Ryoma FUJIYOSHI
金 子 詳 平 ^{*2}	飯 田 敦 久 ^{*3}
Shohei KANEKO	Atsuhisa IIDA

要 旨

近年の転炉における装入スクラップの大型化やスクラップ比率増加の影響より、装入壁は転炉寿命のネック部位となることが多い。当社では装入壁用MgO-Cれんがとして靱性向上に着目した製品開発を行い、実機において良好な耐用性を示す結果が得られた。本報告では高靱性MgO-Cれんがとその実機使用結果について紹介する。

Abstract

Recently, the charging pad of the converter often becomes a bottleneck part due to the increase of scrap size and/or ratio. We have developed an improved MgO-C brick for the charging pad by focusing on the improvement of brick toughness, and obtained excellent results in actual furnaces. The development of high toughness type MgO-C brick and its use results in actual application will be described in this report.

1. 諸言

転炉は、高炉からの溶銑とスクラップとを一定比率で装入し、高温下での脱燐処理や脱炭吹練により銑鉄を鋼へと転換させる役割を持つ。転炉に装入されたスクラップが直撃する部位は装入壁と呼ばれており、機械的衝撃や摩耗の影響を受けるため一般壁よりも損傷が激しくなる。スクラップには重量屑と呼ばれる単重500kg以上の重量物もあり、重量屑使用量の増加に伴って損傷速度が増

1. Introduction

In a converter, the pig iron which is made in the blast furnace and scrap are charged in accordance with a certain weight ratio. A converter converts the hot metal to molten steel by dephosphorization and decarburization treatment at high temperature. The charging pad is the area in which pig iron and steel scrap impact directly. Thus, this area suffers

*¹ 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. No.1, Research Center

*² 西日本工場 岡山製造部 窯炉技術室 Furnace Refractories Technical Sec., Okayama Plant, West Japan Works

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

加することが知られている^{1,2)}。

転炉におけるスクラップの増量について、溶銑装入量を保った状態でのスクラップ装入量の増加は溶鋼の生産量を増大させられるメリットがあり、溶銑量を減量してスクラップ増量で溶鋼量を確保する場合においても、高炉処理過程でCO₂を生じる溶銑量を減量できるためCO₂ガス削減という環境面での効果や省エネルギー化が期待できる。このような側面から、旺盛な鉄鋼需要や環境対策に対しては転炉におけるスクラップの増量は効果が見込まれ、そのような場合においてはスクラップ量自体の増加やスクラップの大型化による増量により装入壁が転炉寿命のネック部位となることが多く耐用性に優れる装入壁れんがが望まれる。

2. 装入壁れんがの損傷形態

前述したように、装入壁れんがの損傷はスクラップ装入が大きく影響していると考えられる。Fig.1に実際の転炉の解体前の装入壁の写真を示す。装入壁は一般壁と比較し表面の凹凸が多く、部分的に剥離が発生した痕跡やれんが表面が引っかかれたような跡が認められる。また、Fig.2に使用後の装入壁れんがの外観および切断面写真を示す。使用後の装入壁れんがは稼働面損傷に変曲点が見られたり、稼働面に亀裂の発生が認められる。一般的に装入壁の損傷は大きく摩耗損傷と定義されることが多いが、このような使用後れんがの損傷状況から、以下のような複数の損傷が組み合わさって損傷していると考えられる。

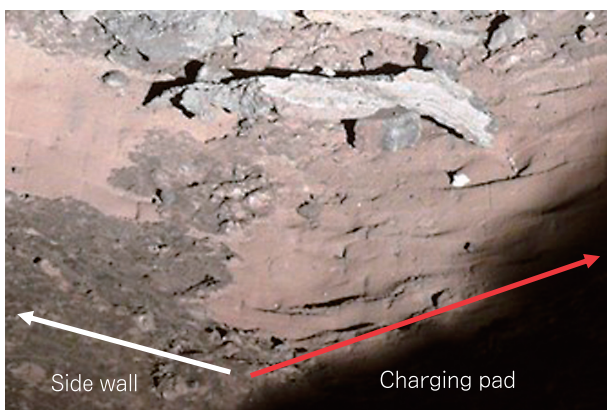


Fig.1 Appearance of charging pad after use.

considerable mechanical impact from steel scrap collision. It is well known that the wear rate of the charging pad increases proportionally as the scrap quantity and heavy scrap (over 500 kg) rate increases^{1,2)}.

Regarding the increase in scrap quantity, the increase in scrap quantity while retaining pig iron quantity can increase molten steel production. Increasing the scrap quantity with a decrease in pig iron (keeping molten steel production) can reduce the CO₂ gas amount that is generated during the pig iron production process in the blast furnace. From these backgrounds, it is thought that the increasing in scrap quantity is beneficial to strong steel demand and environmental programs. In such cases, the increase of scrap size and/or quantity can cause charging pad wear reducing converter durability. For this reason, high durability brick is required for the charging pad.

2. Wear Mechanism of Charging Pad

As mentioned in the preceding section, it is thought that the scrap charging greatly influences charging pad wear. The appearance of charging pad after use in an actual furnace is shown in Fig. 1. The brick surface of the charging pad was rugged compared with the side wall. Peeling and scratched surfaces were also observed on the charging pad. The appearance and cut sections of used charging pad bricks are shown in Fig. 2. The inflection point was seen on the hot face wear line and the crack generation was observed at the hot face in the used bricks. In general, the wear of charging pad is often defined as abrasion. However, judging from the condition of the used bricks, it is thought that the charging pad is worn by the combination of following damages.

- ・ Defect damage in which scrap scratches the brick when the scrap impacts on the bricks.

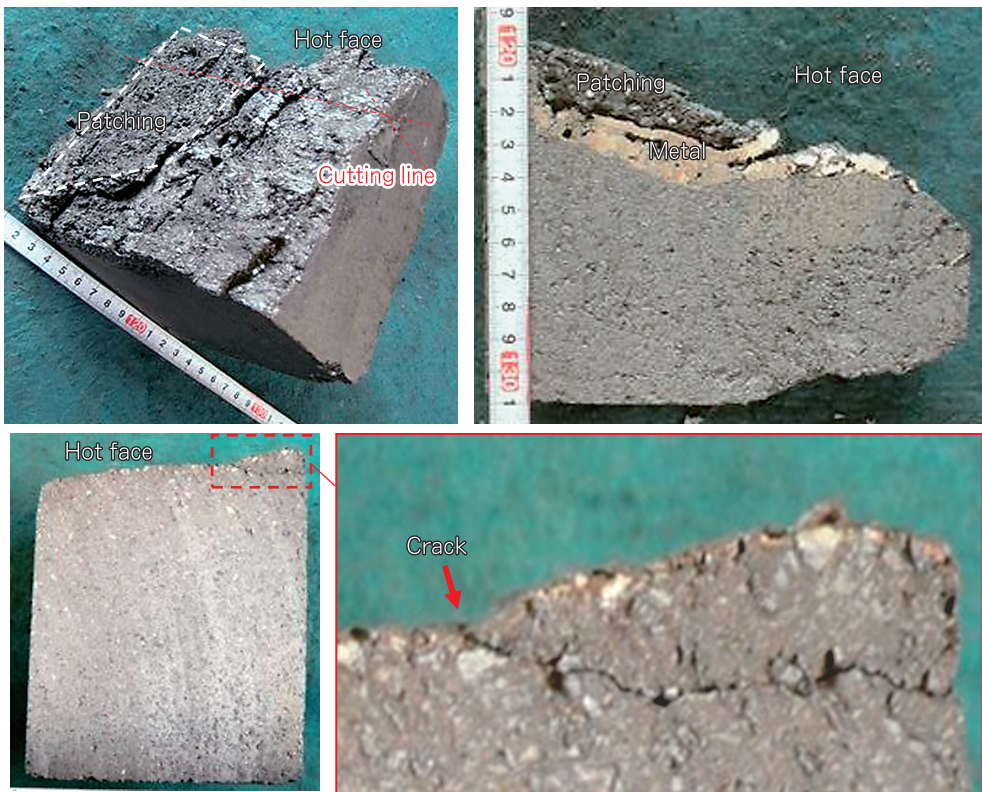


Fig. 2 Appearance and cut sections of used charging pad bricks.

- ・スクラップ衝撃時にれんがが削り取られる欠損損傷。
- ・スクラップがれんが表面衝突後に擦動することで発生する摩耗損傷。
- ・上記により生じた亀裂が繰り返し熱衝撃で伸展する亀裂剥離損傷。

なお、スクラップがれんが表面衝突後に擦動することで発生する摩耗損傷は脆性材質におけるアブレシブ摩耗と呼ばれる脆性破壊³⁾に起因した摩耗であると考えられ、摩耗体積Vと摺動距離Lは(1)式のような近似式が提案されている。

$$V \propto (W \times L) / (H^{1/2} \times K_{ic}^{1/2}) \dots\dots\dots (1)$$

ここでWは荷重、Hは材料硬度、K_{ic}は破壊靱性であり、破壊靱性が大きくなるほど摩耗率は減少すると考えられる。

3. 装入壁用高靱性MgO-Cれんが

当社では、スクラップ落下衝撃試験などからスクラップ衝突時の亀裂発生・伸展による損傷に対し高靱性の材質が効果的であることを見出し⁴⁾、こ

- ・ Abrasion damage caused by the sliding of scrap on the brick surface after impacting.
- ・ Peeling damage due to the extension of cracks generated by the damages mentioned above under cyclic thermal shock conditions.

Incidentally, it is assumed that abrasion damage caused by the sliding of scrap on the brick surface after impacting is categorized as brittle fracture³⁾, and called “abrasive wear” in the case of brittle materials. The approximate expression between abrasion volume V and sliding distance L is suggested as Eq. (1).

$$V \propto (W \times L) / (H^{1/2} \times K_{ic}^{1/2}) \dots\dots\dots (1)$$

Where, W, H and K_{ic} indicate load, material hardness, and material fracture toughness, respectively.

Based on this expression, it is supposed that the abrasion rate is reduced in accordance with the increase in material fracture toughness.

Table 1 Properties of MgO-C bricks

		Material A	Material B	Material C
		Conventional	High strength	High toughness
Chemical composition / mass%	MgO	76	77	79
	F.C.	18	15	14
Typical properties	Apparent porosity / %	2.0	3.0	1.0
	Bulk density / -	2.94	2.99	2.92

の知見を基に原料種や粒度構成を見直すことで装入壁用高靱性MgO-Cれんがを開発した。Table 1に装入壁用れんがの一般品質値を示す。材質Aは従来の一般的な装入壁れんが、材質Bは添加金属量を増量するなどして強度を高めた材質、材質Cが高靱性技術を適用した開発材質である。

2項で述べた各損傷について、欠損損傷および摩耗損傷はスクラップ衝突時の亀裂発生・伸展による損傷および破壊靱性に影響される摩耗損傷であり、破壊強度と破壊靱性を包括した特性値である破壊エネルギー値の高い材質が有効に働くと考えられる。また、繰り返し熱衝撃による亀裂伸展剥離損傷に対しては(2)式で表されるクラック安定係数 R_{st} の高い材質が効果的である。Table 1に示した各材質の破壊エネルギーと R_{st} の比較をFig.3に、破壊エネルギー測定時の荷重変位曲線をFig.4に示す。

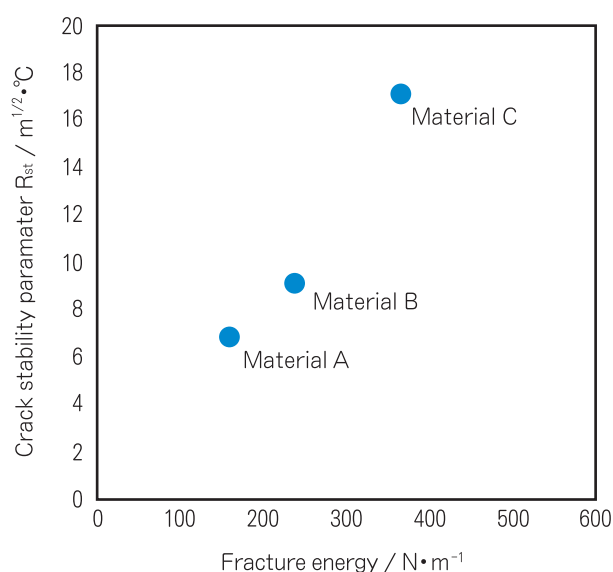


Fig. 3 Relationship between crack stability parameter R_{st} and fracture energy.

3. High Toughness Type MgO-C Brick for Charging Pad

We have found that the high toughness material has excellent resistance to crack generation and extension due to scrap impacting through a scrap drop impact test in a past study⁴⁾. Based on this knowledge, we have developed a high toughness type MgO-C brick for the charging pad by optimizing raw material and particle distribution. The typical properties of bricks for the charging pad are shown in Table 1. Material A is a conventional brick for the charging pad, material B is a high strength type created by increasing the amount of metal additive and material C is the newly developed material to which high toughness technology has been applied.

Regarding to each damage mentioned in Sec. 2, defect damage relates to crack generation and extension when scrap impacts on the bricks and abrasion damage is influenced by material fracture toughness. Since fracture energy is the property which represents the fracture strength and fracture toughness, high fracture energy material is thought to be an effective countermeasure for these damages.

In addition, materials which have a high R_{st} (crack stability parameter) are effective against crack extension and peeling damage. R_{st} is expressed as Eq. (2). Figure 3 shows a comparison of the fracture energy and R_{st} of

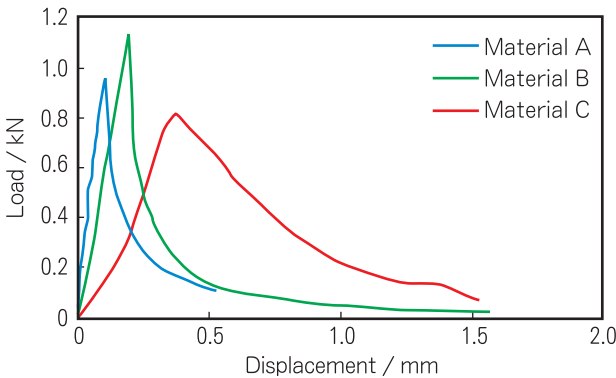


Fig. 4 Load-displacement curve obtained from three-point bending test.

$$R_{st} = \{ \gamma \times (1 - \nu^2) / (E \times \alpha^2) \}^{1/2} \dots\dots\dots (2)$$

 ν : ポアソン比, E : 弾性率, α : 熱膨張係数,
 γ : 破壊エネルギー

開発材質Cは材質A, Bと比較して破壊エネルギー値, R_{st} ともに大幅に向上している。Fig.4の荷重変位曲線から, 開発材質Cは破壊荷重（破壊強度）はA, Bより劣るものの破断点以降の荷重の低下が穏やかな高靱性の挙動を示しており, 高靱性化により破壊エネルギー値が向上している。

4. 実機使用結果

各材質を実機装入壁で使用した際の損傷速度の比較を材質Aの損傷速度を100とした指数としてFig.5に示す。開発材質Cは各所においてA, Bよりも低い損傷速度を示している。Fig.6にC製鉄所で使用された際の開発材質Cの残厚推移曲線を示

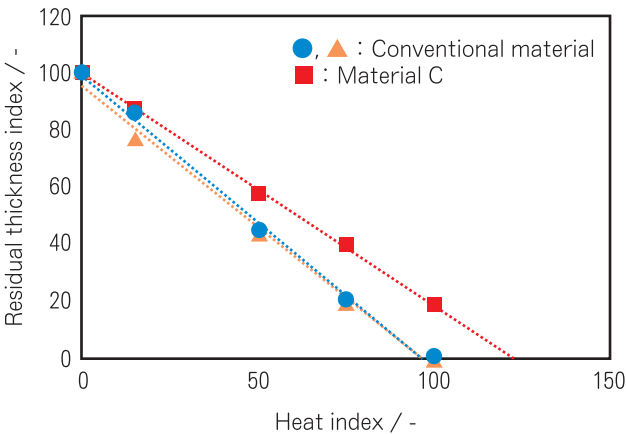


Fig. 6 Residual thickness change of developed material C in steel mill C.

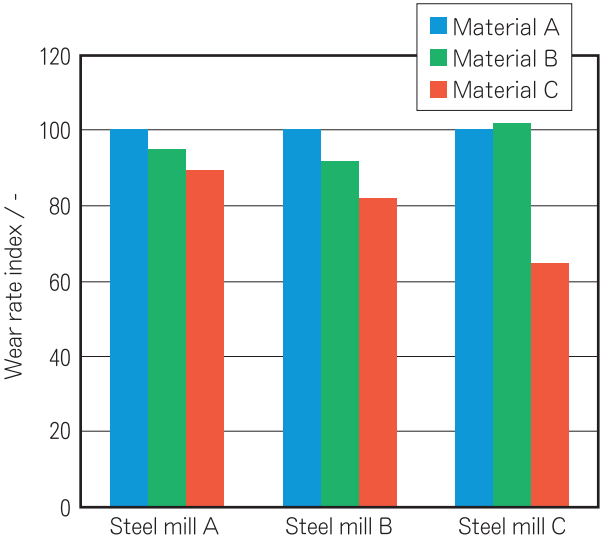


Fig. 5 Comparison of wear rate index of MgO-C bricks used in each steel mill.

each material shown in Table 1. A load-displacement curve obtained from the three-point bending test is shown in Fig. 4.

$$R_{st} = \{ \gamma \times (1 - \nu^2) / (E \times \alpha^2) \}^{1/2} \dots\dots\dots (2)$$

Where, ν , E , α and γ indicate poisson ratio, modulus of elasticity, thermal expansion coefficient, and fracture energy, respectively.

Developed material C shows high fracture energy and high R_{st} value compared with the materials A and B. Although the fracture load (fracture strength) of material C is lower than materials A and B, it is supposed that material C shows high toughness behavior because the reducing of the load is much more gradual after the fracture point, as can be seen in Fig. 4. Hence, it is thought that the fracture energy of material C is improved by the enhancement of fracture toughness.

4. Use Results in Actual Furnace

A comparison of the wear rate index of each material used for the charging pad in an actual furnace is shown in Fig. 5. The index is compared

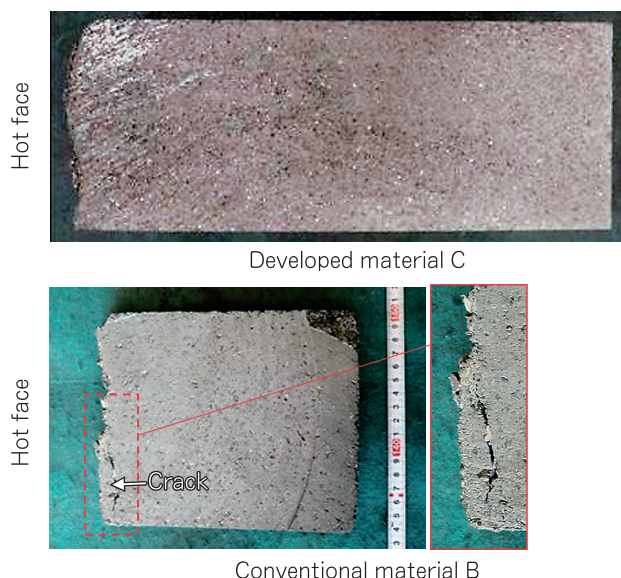


Fig. 7 Comparison of cut section of MgO-C bricks used in steel mill B.

す。開発材質Cは従来材質と比較し緩やかな残厚減少を示しており、有効残厚から計算される耐用回数は従来品の約1.3倍であった。また、B製鉄所で使用した材質B、Cの使用後切断面写真をFig.7に示す。開発材質Cは従来高強度材質Bと比較し、稼働面の亀裂の発生が抑制されており滑らかに損傷している。このことから、高破壊靱性材質Cは実機における損傷に対し有効に働き損傷速度の改善効果が得られたものと考えられる。

5. まとめ

転炉装入壁れんがは、スクラップ衝撃時にれんがが削り取られる欠損損傷、スクラップがれんが表面衝突後に擦動することで発生する摩耗損傷とこれらにより生じた亀裂が繰り返し熱衝撃で伸展する亀裂剥離損傷が組み合わさった損傷形態であると推定される。このような損傷形態においては高靱性材質が有効に働くと考えられ、高靱性技術を適用した開発品は各所実機において良好な耐用性を示した。

with the wear rate of material A assumed to be 100. Developed material C shows a lower wear rate index compared with materials A and B in each application. The residual thickness change curve of developed material C used in steel mill C is shown in Fig. 6. The residual thickness of developed material C shows a moderate reduction and the estimated durability calculated by the safety residual thickness is 1.3 times that of conventional material. A comparison of the cut sections of materials B and C used in steel mill B is shown in Fig. 7. The prevention of crack generation and a smooth wear line at the hot face were observed in the cut section of developed material C compared with the conventional high strength material B. From this result, it is thought that high fracture toughness material C was effective against wear in the actual furnace and the wear rate of the brick was improved.

5. Conclusion

It was assumed that the charging pad of the converter is worn by the combination of defect damage, in which scrap scratches the brick when it impacts them, abrasion damage, caused by the sliding of scrap on the brick surface after impacting, and peeling damage, due to the extension of cracks caused by cyclic thermal shock. High toughness material is thought to be effective against such damages. The newly developed material, to which high toughness technology has been applied showed excellent performance in actual furnaces.

References

- 1) H. Fukuoka, K. Asano, S. Harada, S. Yamamoto, T. Shimao: Taikabutsu, **38** [4] 27-34 (1986).
- 2) A. Watanabe, O. Okamura, M. Yasuhiro: Taikabutsu, **33** [2] 15-20 (1981).
- 3) Y. Enomoto: Science of Machine, **37** [1] 31-36 (1985).
- 4) R. Fujiyoshi, A. Iida, A. Torigoe, H. Yoshioka: Shinagawa Technical Report, [60] 52-60 (2017).