

SHINAGAWA TECHNICAL REPORT

アルミニウム合金溶解炉用インダクター
耐火物
(割れないプレキャストブロック)

Refractory for Aluminum Alloy Melting
Furnace Inductor
— Uncrackable Precast Block —

北 中 萌 恵
Moe KITANAKA

難 波 誠
Makoto NAMBA

品川技報

アルミニウム合金溶解炉用インダクター耐火物 (割れないプレキャストブロック)

Refractory for Aluminum Alloy Melting Furnace Inductor – Uncrackable Precast Block –

北 中 萌 恵^{*1}
Moe KITANAKA

難 波 誠^{*2}
Makoto NAMBA

要 旨

耐熱スポーリング性に優れたSiC質インダクターブロックCST-S530を開発した。開発品は従来の高アルミナ質と比較して容積安定性に優れ、弾性率も大幅に低減されている。CST-S530をアルミニウム合金溶解炉用インダクターブロックに適用することで大幅な寿命向上と安定耐用が期待できる。

Abstract

We have developed an SiC inductor block that has excellent thermal spalling resistance called CST-S530. The developed product has better volume stability than the conventional one and the modulus of elasticity was greatly decreased. We expect a significant long service life and stable durability by applying CST-S530 to the inductor block for the aluminum alloy melting furnace.

1. はじめに

非鉄金属製造設備における溶解炉や保持炉の加熱方法として、バーナー加熱、電気発熱体による加熱、溝型誘導加熱等が知られている。インダクターブロックは溝型誘導加熱法に使用される耐火物であり、溶解炉や保持炉の側壁や下部に設置される。インダクターブロックの略図をFig. 1に示す。大きく開いた穴に、低周波コイルが挿入され、誘導起電力によって発生する熱で湯道の金属を加熱する。インダクターブロックを形成する耐火物は、ラミング材や緻密質キャストブルが一般的で

1. Introduction

Three heating methods for non-ferrous metal production facility melting and holding furnaces are known, burner heating, heating by electric heating element and groove type inductor heating. The inductor block is a refractory which is used for groove type inductors and it is installed at the bottom and the side wall of melting and holding furnaces. Fig. 1 shows a diagram of an inductor block. A low-frequency coil is inserted into a hole and the metal is melted by the heat

^{*1} 技術研究所 第2研究グループ Unshaped Refractories R&D Group, Research Center

^{*2} 技術研究所 第2研究グループ グループマネージャー Group Manager, Unshaped Refractories R&D Group, Research Center

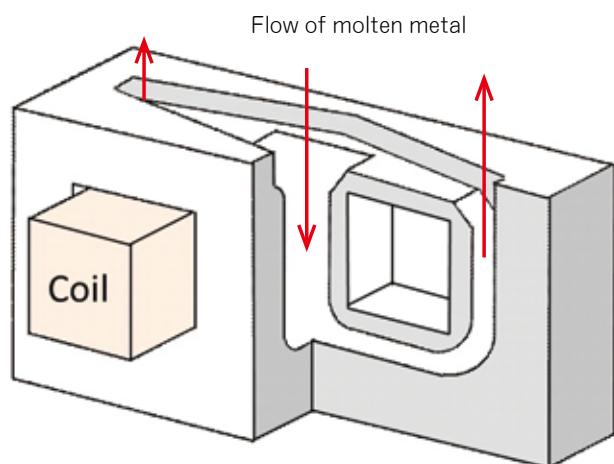


Fig. 1 Structure of inductor
(Double channel type).

ある。

一方、アルミニウム合金用の溶解炉や保持炉では、溶湯に接する耐火物の選定が非常に重要である。 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ 質耐火物では、 SiO_2 成分はアルミニウムと酸化還元反応を起こして、金属シリコンの生成や溶湯と耐火物の界面に変質層の生成を促進してしまう。インダクターブロックの湯道の損傷も同様であるため、ブロックの材質は高アルミナ質へ移行したが、耐熱スポーリング性は低下する傾向となった。インダクターブロックにとって亀裂の発生は寿命を左右する致命的損傷で、コイルに向かって貫通亀裂が発生すると、コイルに溶湯が漏れ出し操業停止を招く事態となる。そのため、亀裂抑制効果の高い材質が求められている。

当社は、 SiO_2 よりもアルミニウム合金と反応しにくいSiCを主成分にするとともに、難濡れ性添加剤を使用することで、この問題を解決した。新製品であるCST-S530は耐熱スポーリング性に非常に優れ、アルミニウム合金溶解炉用インダクターブロックに適用することで大幅な寿命向上と

generated with the induced electromotive force. Refractories for the inductor block are generally ramming mixes or dense castables.

On the other hand, melting and holding furnaces for aluminum and aluminum alloys require careful selection of refractories which contact the molten metal. In $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ refractories, SiO_2 causes an oxidation-reduction reaction with aluminum and the reaction promotes the generation of silicon metal and an altered layer between the refractory and molten metal. The damage to the runner of the inductor block is similar, so the refractory for the blocks was changed to high alumina composition. As a result, the thermal spalling resistance tended to decrease. The outbreak of cracks is a catastrophic failure affecting the service life of inductor blocks. Molten metal leaks through the cracks to the coils causing a shutdown. Therefore, material having a high crack suppressing effect is desired.

We solved these problems by selecting SiC, which does not react with aluminum alloy as easily as SiO_2 and using a flame wettability additive. The developed product CST-S530 has excellent thermal spalling resistance, so significant stability and long service life are expected when applied to the inductor block of aluminum alloy melting furnaces. In this paper, we introduce the performance of the new product compared to a conventional high alumina material.

Table 1 Properties of material

		Conventional material	Developed material
		CST-A6125	CST-S530
Chemical composition (mass%)	Al ₂ O ₃ SiO ₂ SiC	90 5 -	11 4 78
Permanent liner change (%)	110°C-24h	-0.02	-0.01
	500°C-3h	-0.10	-0.05
	800°C-3h	-0.20	-0.06
Modulus of rupture (MPa)	110°C-24h	21.4	10.1
	500°C-3h	30.6	10.0
	800°C-3h	26.0	16.2
Cold crushing strength (MPa)	110°C-24h	129.4	50.9
	500°C-3h	169.1	70.9
	800°C-3h	172.5	90.0
Apparent porosity (%)	110°C-24h	4.3	11.0
	500°C-3h	11.0	15.4
	800°C-3h	15.5	16.0
Bulk density (g/cm ³)	110°C-24h	3.18	2.70
	500°C-3h	3.11	2.68
	800°C-3h	3.12	2.65
Modulus of elasticity (GPa)	110°C-24h	118.4	70.7
	500°C-3h	98.7	43.7
	800°C-3h	72.2	59.2

安定耐用が期待できる。本報告では、従来品である高アルミナ質キャストブルとの比較によって、その性能を紹介する。

2. 高SiC質インダクターブロック

2.1 加熱後品質特性

高アルミナ質CST-A6125（従来品）と高SiC質CST-S530（開発品）の品質をTable 1に示す。開発品は従来品より加熱後収縮が低減し、弾性率が低いことが特徴である。

2.2 熱膨張挙動

熱膨張挙動をFig. 2に示す。従来品に比べて開発品は熱膨張率が大幅に低減した。開発品は加熱時の亀裂が発生しにくい材質である。

2. High SiC Inductor Block

2.1 Property

Table 1 shows the properties of high alumina CST-A6125 (conventional material) and high SiC CST-S530 (developed material). The post heating contraction of the developed material is decreased and the modulus of elasticity is lower compared to the conventional material.

2.2 Thermal expansion behavior

Fig. 2 shows the thermal expansion behavior. The developed material shows a significant reduction in the thermal expansion coefficient compared with the conventional material. The

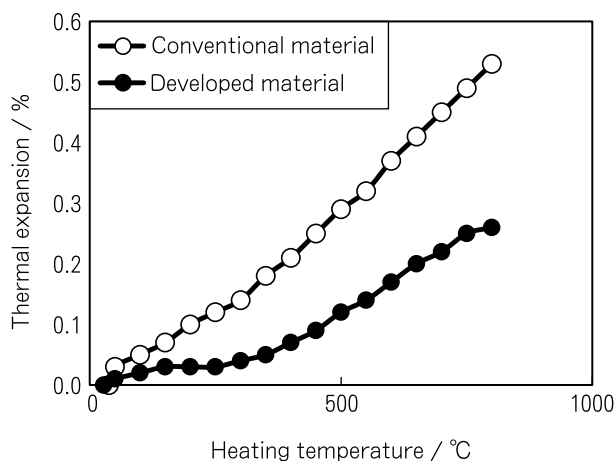


Fig. 2 Thermal expansion comparison of developed material and conventional material.

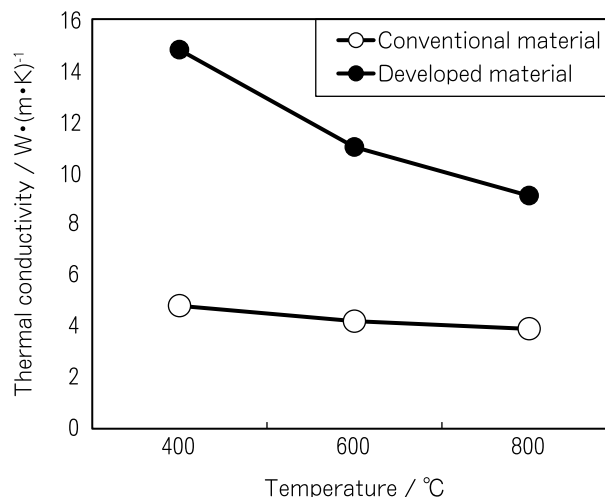


Fig. 3 Thermal conductivity comparison of developed material and conventional material.

2. 3 熱伝導率

熱伝導率測定結果をFig. 3に示す。開発品は熱伝導率が従来品の2倍である。高熱伝導率化は、使用中の材料の温度勾配を小さくする方向になり、熱膨張差による亀裂の発生を抑制する効果がある。

2. 4 耐熱スポーリング性

スポーリング試験は、40×40×160mmのサンプルを使用し、1000℃で20分加熱後、流水で満たしたバケツ中で2分急冷し、再度1000℃で20分加熱後の2分急冷を10回繰り返した。結果をTable 2に示す。従来品は4回目で全てのサンプルに亀裂発生が認められたが、開発品はいずれのサンプルにも亀裂は認められず、耐熱スポーリング性が良好であった。

また、耐火物の耐熱スポーリング性の評価として広く使用されている熱衝撃抵抗係数 R' ((1)式)に相当する指標をFig. 4に示す。開発品は従来品と比較して強度が低いものの、低熱膨張化、低弾

developed material suppresses cracking during heating.

2. 3 Thermal conductivity

Fig. 3 shows the thermal conductivity measurements. The developed material has a thermal conductivity twice that of the conventional one. The high thermal conductivity reduces the temperature gradient of the material so the difference in thermal expansion suppresses cracks.

2. 4 Thermal spalling resistance

40×40×160mm samples were used for this spalling test. The samples were heated at 1000℃ for 20 minutes and then cooled by flowing water for 2 minutes. This cycle was repeated 10 times. Table 2 shows the test results. All conventional materials had several cracks by 4 repetitions, but no cracks were observed in the developed materials. So the developed materials have high

Table 2 Results of thermal spalling resistance test

Cooling times	Conventional material				Developed material			
	n=4				n=4			
1	○	○	○	○	○	○	○	○
2	○	○	○	○	○	○	○	○
3	×	○	×	○	○	○	○	○
4		×		×	○	○	○	○
5					○	○	○	○
6					○	○	○	○
7					○	○	○	○
8					○	○	○	○
9					○	○	○	○
10					○	○	○	○

○ No cracks × Cracks

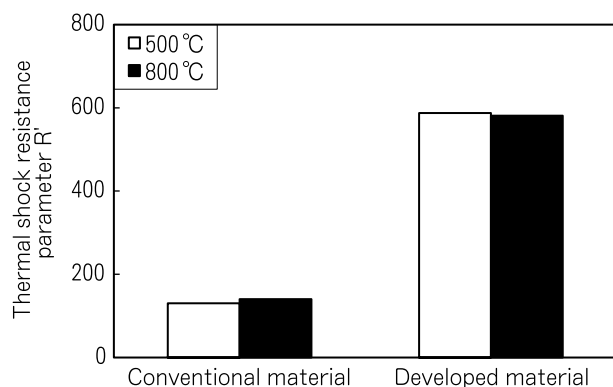


Fig. 4 Thermal shock resistance parameter.

thermal spalling resistance.

Fig. 4 shows the index of thermal shock resistance parameter R' which is widely used as an evaluation for the thermal spalling resistance of a refractory. The developed material has low modulus of rupture compared to the conventional material, while having low thermal expansion, low modulus of elasticity and high thermal conductivity. Through this mechanism, the developed material has excellent thermal spalling resistance.

性率化，高熱伝導率化により，耐熱スポーリング性が格段に優れる材質である。

熱衝撃抵抗係数 $R' = S(1 - \mu) \lambda / (E \alpha) \cdots (1)$

E : 弾性率 S : 強度 μ : ポアソン比

α : 熱膨張係数 λ : 熱伝導率

thermal shock resistance parameter

$$R' = S(1 - \mu) \lambda / (E \alpha) \cdots (1)$$

E : modulus of elasticity

S : modulus of rupture

μ : poisson's ratio

α : thermal expansion parameter

λ : thermal conductivity

3. まとめ

アルミニウム合金溶解炉用インダクターブロックとして高SiC質のCST-S530を開発した。開発品は、耐熱スポーリング性に非常に優れた材質であり、大幅な寿命向上と安定耐用が期待できる。

3. Conclusion

We have developed a high SiC inductor block called CST-S530 for aluminum alloy melting furnaces. The new product has excellent thermal spalling resistance so that we expect significant stability and long service life.