

SHINAGAWA TECHNICAL REPORT

新しいタンディッシュ材の開発

Newly Developed Tundish Materials

中 坊 一 也

Kazuya NAKABO

西 田 茂 史

Shigefumi NISHIDA

土 井 菜保子

Naoko DOI

飯 田 敦 久

Atsuhisa IIDA

品川技報

新しいタンディッシュ材の開発

Newly Developed Tundish Materials

中 坊 一 也^{*1}

Kazuya NAKABO

西 田 茂 史^{*3}

Shigefumi NISHIDA

土 井 菜 保 子^{*2}

Naoko DOI

飯 田 敦 久^{*4}

Atsuhisa IIDA

要 旨

連続铸造タンディッシュのライニングでは、設備ごとにその構造、損傷形態に合わせて様々な材料が使用されている。今回、既存のタンディッシュ用耐火物とは異なった材料系の、高耐用で費用対効果に優れる製品を新規開発した。また、各種施工形態に対応する製品を取りそろえた。

Abstract

Various materials are selected for the tundish for continual casting on the basis of the structure for the facility and the form of damage. The authors have developed some new products for the tundish, which different from the existing products in that they have high durability and high cost performance compatibly. Moreover, a lineup to support various construction methods has been prepared.

1. 緒言

タンディッシュは、連続铸造設備において溶鋼鍋と铸型の間に位置する中間容器であり、溶鋼を一時貯蔵することでスラグ等の介在物を浮上させ除去するとともに、流量の安定化、複数の铸型への分配を目的として設置される。

高炉製鉄所の多ストランドの大型タンディッシュでは不定形ライニングが一般的であり、ほとんどの設備で耐スポーリング性、耐スラグ浸潤性に優れたアルミナ-シリカ質の材料が用いられる¹⁾。電炉製鉄所は小型形状のタンディッシュが

1. Introduction

The tundish is a vessel installed between the steel ladle and molds in the continual casting process. It temporarily stores molten steel in order to float and remove inclusions, in addition, to regulate molten steel flow, and to distribute molten steel to the molds.

Tundish in integrated steel mills, which are large and have multiple strands, are typically lined with castable refractories. Alumina-silica materials are mostly adopted because of their

*1 技術研究所 第2研究部 第2研究室 主任研究員 Assistant Manager, Unshaped Refractories R&D Sec. No.2, Research Dept. No.2, Research Center

*2 技術研究所 第1研究部 第1研究室 理学博士 Dr. Sci., Shaped Refractories R&D Sec., Research Dept. No.1, Research Center

*3 技術研究所 第2研究部 第2研究室 室長 General Manager, Unshaped Refractories R&D Sec. No.2, Research Dept. No.2, Research Center

*4 技術研究所 第1研究部 第1研究室 室長 General Manager, Shaped Refractories R&D Sec., Research Dept. No.1, Research Center

多く、れんがによる施工が一般的である。材質は耐食性、耐スラグ浸潤性を考慮し、ハIALルミナ質やジルコン質などが使用される。

2. 新開発 Al_2O_3 -SiC質タンディッシュ材

新たに開発したタンディッシュ内張り材はこれまで製鋼用途では使用が限定的であったSiCの、適用方法を最適化することで鋼浴部での損傷を抑え、その特性により高耐食性、高耐スラグ浸潤性、また高耐スポーリング性を有する材料である。開発品の品質をTable 1に示す。不焼成れんが、流し込み材に加え、れんが施工時の目地材として使用する同材質系のモルタル、および補修用パッチング材を併せて開発した。

3. Al_2O_3 -SiC質タンディッシュ材の特性

3.1 Al_2O_3 -SiC質タンディッシュ材の耐スラグ性

各種タンディッシュ内張り材について、スラグ

Table 1 (a) Typical properties of newly developed products (bricks)

		Bricks	Bricks
Chemical composition / %	Al_2O_3	65	85
	SiO_2	3	2
	SiC	29	10
Compressive strength / MPa		45	50
Bulk density		3.20	3.36
Application		for SL	for ML / bottom

Table 1 (b) Typical properties of newly developed products (unshaped refractories)

		Castable	Plastic
Chemical composition / %	Al_2O_3	63	63
	SiO_2	5	5
	SiC	30	30
Modulus of rupture / MPa	110°C 24h	4.0	3.2
	1000°C 3h	11.0	—
	1500°C 3h	12.4	3.0
Bulk density	110°C 24h	2.67	2.46
	1000°C 3h	2.47	—
	1500°C 3h	2.53	2.40
Application		for lining	for repairing

high spalling and slag penetration resistance¹⁾. On the other hand, the tundish in the mini mills are generally smaller so they are constructed with bricks in most cases. For these tundish, high alumina and/or zircon materials are used in consideration of corrosion and slag penetration resistance.

2. Newly Developed Al_2O_3 -SiC Tundish Materials

The newly developed materials for the working lining of the tundish exhibit high corrosion, slag penetration and spalling resistance by adopting SiC raw materials, which have only been used limitedly in the steel making process. Application has been optimized to reduce damage in the metal line. The typical properties of the developed materials are shown in Table 1. Unburned bricks and castables for the working lining have been developed. In addition, mortar for brick construction and patching material for repair work have been also developed out of the same sort of materials.

3. Characteristics of Al_2O_3 -SiC Materials for Tundish

3.1 Slag resistance of Al_2O_3 -SiC materials for tundish

The results of the slag test with various materials for the tundish are shown in Table 2. The test was carried out by rotary method at 1550°C with arc heating for 5 hours. Slag, with

Table 1 (c) Typical properties of newly developed products (mortar)

		Mortar
Chemical composition / %	Al_2O_3	69
	SiC	30
Grain size composition < 75 μm / %		70
Application		brick joint

侵食試験を行った結果をTable 2に示す。試験はアーク加熱による回転ドラム法で行った。侵食剤として $\text{CaO}/\text{SiO}_2=0.98$ のスラグを用い、 1550°C で5時間実施した。侵食量および浸潤量の評価は高アルミナ質れんがの結果を1とした指数で表示した。

a basicity (CaO/SiO_2) is 0.98, was used for a corrosion agent. The amounts of corrosion and penetration were indicated by indexes with the results of the high alumina brick sample taken as 1.

Table 2(a) Results of slag test (bricks)

Material type		High- Al_2O_3	Zircon	Al_2O_3 -Spinel	Al_2O_3 -SiC	Al_2O_3 -SiC
Burned / Unburned		Burned	Burned	Burned	Unburned	Unburned
Chemical composition / %	Al_2O_3	80	7	93	65	85
	SiO_2	14	39	2	3	2
	MgO	—	—	5	—	—
	ZrO_2	—	53	—	—	—
	SiC	—	—	—	29	10
Cross section						
Corrosion index		1.00	0.85	0.85	0.49	0.95
Slag penetration index		1.00	0.14	0.42	0.39	0.31

Table 2(b) Results of slag test (castables)

Material type		High- Al_2O_3 (brick)	Al_2O_3 - SiO_2	Al_2O_3 -MgO	Al_2O_3 -SiC
Chemical composition / %	Al_2O_3	80	56	89	63
	SiO_2	14	40	1	5
	MgO	—	—	7	—
	SiC	—	—	—	30
Cross section					
Corrosion index		1.00	1.33	0.73	0.65
Slag penetration index		1.00	0.24	0.35	0.51

高耐用材料として用いられるジルコン質やアルミナスピネル質のれんがに対し、開発品のSiC 30%添加の Al_2O_3 -SiC質れんがは高い耐食性を示した。スラグ浸潤についても、ジルコン質には及ばないものの、ハIALミナ質と比較して浸潤量が60%程度小さくなった。また、流し込み材についても他の材質系と比較して高い耐食性を示した。

3.2 Al_2O_3 -SiC質タンディッシュ材の断熱性

Al_2O_3 -SiC材質は耐用面で優れた性質を示すが、熱伝導率が高いため他の材質によるライニングと比較して鉄皮温度が高くなることが懸念され、鉄皮保護、溶鋼温度保持の点で不利となる。

Fig.1にモデルケースにおける一次元定常熱伝

The developed brick containing 30% SiC showed higher corrosion resistance than the zircon and spinel bricks which are the existing high durability bricks. Although the penetration of the new brick was not as small as that of the zircon brick, it was 60% smaller than that of the high alumina brick. Moreover, the castable material also showed higher corrosion resistance than the existing materials.

3.2 Thermal insulation of Al_2O_3 -SiC materials for tundish

Al_2O_3 -SiC materials showed superior durability characteristics. However, due to the high thermal conductivity of these materials, the

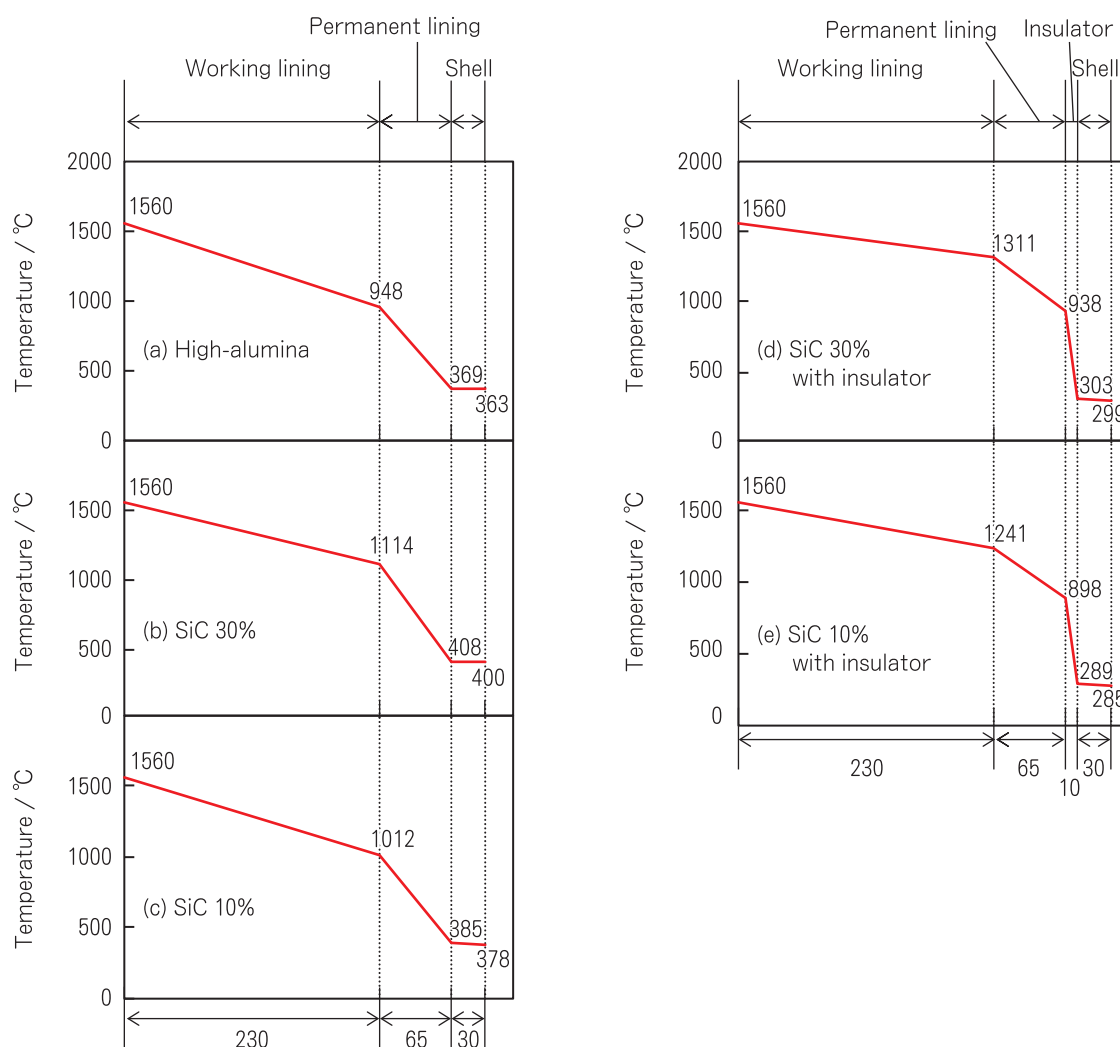


Fig.1 Results of temperature simulation with one-dimensional stationary heat transfer calculation.

導計算による温度分布のシミュレーション結果を示す。高アルミナレンガによるライニング (Fig.1 (a)) と比較して、SiC 30%の Al_2O_3 -SiC材質によるライニング (Fig.1 (b)) では鉄皮温度が上昇する結果となった。

対策として、Fig.1 (c) にSiC添加量を10%とした場合の結果を示す。SiCの低減によって鉄皮温度の上昇が低減する結果が得られた。また、より鉄皮温度を抑えるには背面の断熱を強化することが効果的である。Fig.1 (d), (e) に断熱材 (イソウールBSSR²⁾ 1300ボード) を適用した場合のシミュレーション結果を示す。断熱材の適用により、鉄皮温度を低減できる結果が得られた。

以上より、スラグラインの激食部には耐食性に優れる高SiC材質を適用して溶損を抑え、メタルラインにSiC添加量を控えた材料を併用することで鉄皮温度の上昇を抑えつつスラグ浸潤の低減を図るライニングが可能となる。また、断熱性が不足する場合や、不定形施工で張り分けが困難な場合には背面に断熱材を配することで鉄皮温度を低減することができる。

3.3 Al_2O_3 -SiC質タンディッシュ材の実機適用結果

実タンディッシュにて53ch使用後の材料断面をFig.2に示す。なめらかな損傷であり亀裂、剥離の様子は見られない。残寸をFig.3に示す。侵食量

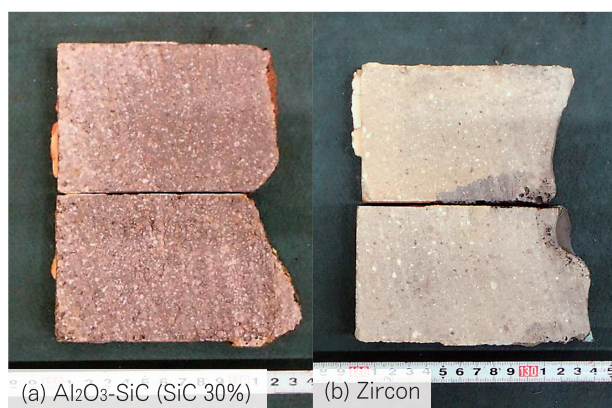


Fig.2 Cross sections of the samples used in SL of actual tundish (for 53 charges); (a) newly developed Al_2O_3 -SiC bricks, (b) conventional zircon bricks.

high cold face temperature of the lining used in combination with these materials is a concern because it is disadvantageous in terms of shell protection and retaining melt temperature.

The simulation results of temperature gradient by calculation in a one-dimensional steady heat conduction model are shown in Fig.1. In comparison to high alumina brick lining (Fig.1 (a)), the shell temperature of the lining with the Al_2O_3 -SiC material containing 30% of SiC (Fig.1 (b)) became higher.

As a countermeasure, the simulation result when the SiC amount was reduced to 10% is shown in Fig.1 (c). The decrease in the SiC addition resulted in reducing the rise in the shell temperature. Moreover, to reduce the shell temperature still more, enhancing the thermal insulation on the backside of the refractory lining is effective. The simulation results when the insulator (Isowool BSSR²⁾ 1300 board) was installed are shown in Fig.1 (d), (e). As a result of adopting the insulator, the simulated shell temperatures were drastically reduced.

Summarizing the above, it is possible to obtain a tundish lining with a reduction in SL

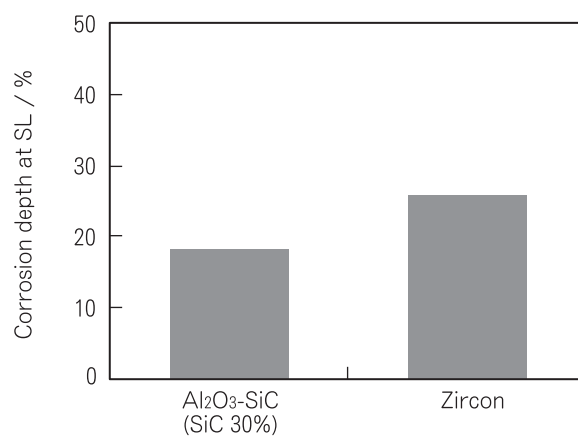


Fig.3 Maximum corrosion depth of Al_2O_3 -SiC and zircon bricks after use in actual tundish (for 53 charges).



Fig.4 Hot faces of Al₂O₃-SiC bricks in actual tundish after use for about 30 charges; (a) installed with alumina mortar, (b) installed with Al₂O₃-SiC mortar.

は同時に使用したジルコン質焼成れんがと同等であり、目立った浸潤はみられなかった。高耐用材料として用いられるジルコン質焼成れんがと比較しても遜色ない耐用を有することが示された。

また、Fig.2で見られる目地損傷についても開発品のAl₂O₃-SiC質モルタルを併用することで大幅に低減することができる。Fig.4(a), (b)にアルミナ質モルタル、Al₂O₃-SiCモルタルを使用して施工したタンディッシュの稼働後の状況をそれぞれ示す。アルミナ質モルタルを使用した場合には目地が深く損傷したが、Al₂O₃-SiC質のモルタルを使用することで損傷は大幅に低減し、安定的な耐用が可能となった。

corrosion, shell temperature, and slag penetration compatible by applying SiC rich materials with excellent corrosion resistance to the SL, and using less-SiC materials in the ML in combination. Moreover, when the insulation is insufficient, or it is difficult to apply different materials together as in the case of monolithic construction, the shell temperature can be reduced by adopting an insulator on the back-side of the refractory lining.

3. 3 Actual use results of Al₂O₃-SiC materials for tundish

The cross sections of bricks after use in an actual tundish for 53 charges are shown in Fig.2. The hot faces were smooth and no cracks or peeling were found on either sample. The residual thicknesses of the samples are shown in Fig.3. The wear rate of the Al₂O₃-SiC bricks was equivalent to that of the burned zircon bricks, and there was no noticeable slag penetration on any sample. In conclusion, it was indicated that the Al₂O₃-SiC materials have high durability, comparable to that of burned zircon bricks, which are presently used high durability materials.

Joint corrosion, which was found in the brick samples shown in Fig.2, should be significantly suppressed by adopting the developed Al₂O₃-SiC mortar in brick construction. The appearances of the actual tundish constructed with the alumina mortar and the Al₂O₃-SiC mortar after operations are shown in Fig.4(a) and (b) respectively. The joints made with the alumina mortar were deeply corroded. On the other hand, the corrosion was drastically reduced by applying the Al₂O₃-SiC mortar, as a result, the lining has been operating stably.

4. まとめ

主にタンディッシュ内張り用途の新しい材質系の製品を開発した。これまで製鋼用途での使用は限定的であったSiCを活用することで、高い耐用性が実現できることが示された。

4. Conclusion

New material products for the working lining of the tundish were developed. Refractories with superior durability were developed by utilizing SiC raw materials, which have only been used limitedly for steel making refractories until now.

References

- 1) E. Maeda and S. Kanatani : Taikabutsu, **53** [4] 220-228 (2001).
- 2) K. Nakajima and R. Maeda : Shinagawa Technical Report, [57] 123-130 (2014).