

Shinagawa Refractories Australasia Pty. Ltd. 「オーストラリア市場向けショットクリート材質の開発」

Shinagawa Refractories Australasia Pty. Ltd. “The Development of Shotcrete Materials for Australian Industries”

Philip EDWARDS*¹Mark HERRING*²Dr. Lan HONG*³佐々木 久 晴*⁴濱 崎 佳 久*⁵

Hisaharu SASAKI

Yoshihisa HAMAZAKI

Abstract

Shotcrete has been developed and used widely within many industries. There is a strong demand for introducing shotcrete in the Australian industries such as Alumina, Mineral Processing and Cement due to its advantages in installation, particularly speed and environmental considerations.

However the exacting demands in these industries has resulted in the “off the shelf” materials being unable to meet the requirements. Shinagawa Refractories Australasia have developed new materials to meet to each customers specification and have been successfully installed in trials.

1. はじめに

緻密質湿式吹付け材については良く知られているが、技術の進歩や客先の要求が製品開発により強く反映されるようになっている。

これらの要求に応えるため、Shinagawa Refractories Australasia Pty. Ltd. (SRA) ではオーストラリア市場の特定の産業をターゲットとした一連のクリーンショット材を開発した。

本報告では、これらの製品開発を検討し従来製品との品質比較を行った結果と、実炉の適用結果を合わせて報告する。

2. 開発のコンセプト

耐火物の開発には、使用時の化学的耐食性と物理特性および施工性のバランスが求められる。

1. Introduction

The process of wet gunning dense monolithic materials is well known. However, advances in technology and customer requirements have changed the way development of refractory products needs to be done with end user requirements now more strongly influencing the way materials are designed.

As a response to these needs, Shinagawa Refractories Australasia (SRA) have developed a range of CLEANSHOT materials targeted for specific industry requirements within the Australian marketplace.

This report will discuss the development of these materials, compare the properties of the

*¹ 品川白煉瓦オーストラレイシア 技術部長 Technology Manager, Shinagawa Refractories Australasia Pty. Ltd.

*² 品川白煉瓦オーストラレイシア 技術システム担当課長 Technology Systems Manager, Shinagawa Refractories Australasia Pty. Ltd.

*³ 品川白煉瓦オーストラレイシア 上級技術士 Senior Technologist, Shinagawa Refractories Australasia Pty. Ltd.

*⁴ 技術研究所 第2研究グループ 主任研究員 Managing Research Engineer, Unshaped Refractories R&D Group, Research Center

*⁵ 品川白煉瓦オーストラレイシア 取締役 製品・技術開発 Director, Product & Technical Development, Shinagawa Refractories Australasia Pty. Ltd.

不定形耐火物は長年、流し込み、吹付けにより施工されてきた。同時に湿式吹付け材（一般的にショットクリートと呼ばれる）が開発されて、鉄鋼やその他の分野ですでに10年以上使用されてきた。^{1),2)}

ショットクリート施工は従来工法よりも、施工時間の短縮や、低粉塵、低リバウンドといった施工環境の改善面で優れている。³⁾ そのため、今や多くの客先は、定期的な炉修作業時にショットクリート施工を要望している。

品川白煉瓦株式会社（SRC）はショットクリート施工方法であるクリーンショットを開発し、各種材質を有している。^{1),2)} しかしながら既存の製品では、オーストラリアの客先の要求に十分応えられず、さらに原料の安定供給や価格の面でも問題が生じやすい。そこでこれらのニーズに応えるため、実機施工の際の知見とSRCの技術力、および多くの開発の経験を用いて新材質を開発した。

3. 材料開発と実績

3.1 鋳業向け材質の開発

鋳業向けショットクリート材質を、施工業者と客先そしてSRAの共同で開発した。

実機施工においては、長さ約120mの大型ロータリーキルンへの施工性が求められた。炉にはチャーと鋳物砂の混合物が供給され、天然ガスを用いたバーナーで加熱される。流し込み施工用材質の確立には、長い開発の歴史があり、ショットクリート材質には安定耐用している流し込み材質に匹敵する化学的・物理的特性が求められた。こ

CLEANSHOT shotcrete products to the former conventional materials used and report on some customer service results.

2. Concept of Development

The development of refractories requires a balance of chemical resistance and physical properties centered around the application and considering the ability to install the material. Monolithic materials have been installed by casting and gunning for many years, with wet gunning (commonly referred to as shotcrete) having been developed and used within steel and other industries for over 10 years.^{1),2)}

The wet shotcrete process offers many advantages over conventional materials such as speed of installation and environmental benefits such as low dust and rebound³⁾. As such many end users are now pursuing the use of this process in their scheduled maintenance programs.

Shinagawa Refractories Co., Ltd (SRC) developed the shotcreting system CLEANSHOT and have a wide variety of shotcrete materials.^{1),2)} However, the “off the shelf” materials were unable to meet the specific requirements of Australian end users, raw material availability and excessive cost when compared to the more commonly sourced materials. Consequently, to meet these demands, new materials were developed using a combination of customer application

Table 1 Comparison of CLEANSHOT 60M and conventional castable

Product		CLEANSHOT 60M	Conventional castable
Aggregate		Andalusite / Mullite	Andalusite / Mullite
After heating at 110°C/24hrs	Compressive Strength (MPa)	54	60
	Modulus of Rupture (MPa)	4	5
	Bulk Density (kg/m ³)	2410	2370
After heating at 1000°C/5hrs	Compressive Strength (MPa)	48	40
	Modulus of Rupture (MPa)	6	5
	Bulk Density (kg/m ³)	2370	2300
	Permanent Linear Change (%)	−0.3	−0.2



Fig. 1 CLEANSHOT 60M installation trial.

れら特性値を目標にして、CLEANSHOT 60Mが開発された。品質特性をTable 1に示す。

2008年2月に行われた直径4.3mのキルンの40mの補修において10m部位が約110tのCLEANSHOT 60Mで、残りの部分が従来流し込みで施工された。施工した材料は、現在のところ、現行流し込み材と同等かそれ以上の性能であると報告されており、材料は期待通りの特性を発揮している。施工の状況をFig.1に示す。施工速度は約6～7t/h、最大で8t/hであり、流し込み施工と比較して格段に優れる。

現在、SRAでは施工性のさらなる改善が続いている。汎用グレードとともに、より過酷な操業条件用の高耐用材質も開発した。客先は2～3年以内に完全にショットクリート施工に移行する考えである。

3. 2 アルミナ仮焼炉用材質の開発

オーストラリアでは大量の低グレードのボーサイトを原料として、国内外向けに年間800万トン近くのアルミナを生産している。そのため、既存の仮焼炉の補修や新設計画といったような継続的な市場がある。

オーストラリアの典型的なアルミナ仮焼炉では、原料粒子の流れに関係した2種類の顕著な損

knowledge, SRC technological capabilities and the experience of many development trials.

3. Development of Materials and Performance

3. 1 Development of mineral sands material

The development of a shotcrete material for the mineral sands industry was undertaken as a joint project between the installation company, the end customer and SRA.

The application required the installation of material into a large Rotary Kiln, approx. 120m long. The kiln itself is fed by a mixture of char and mineral sands and fired by a natural gas burner. There was a long history of cast materials that have performed successfully and unsuccessfully in the application and it was requested that we match material chemistry and physical properties of the successful castable material we are supplying. We have developed CLEANSHOT 60M for this purpose and the properties are shown in Table 1.

On repairing a 40m section of a 4.3m diameter kiln in February 2008, a 10m section was installed with approximately 110 tonnes of CLEANSHOT 60M and remaining section with conventional castable. Material has performed successfully with all reports to date suggesting that the material is performing equal to or better than the equivalent castable. Fig.1 shows the installation conditions. Installation rates throughout the process were significantly better than casting, with material be installed at approximately 6-7 tonnes per hour and at times peaking at 8 tonnes per hour.

Currently, SRA are in the process of further improvements to the installation characteristics. Another high grade has been developed for a more severe process as well as a general purpose grade. The customer envisions moving completely to shotcrete installation within 2-3 years.

Table 2 Typical properties of CLEANSHOT 80 and CLEANSHOT 60 AD compared with equivalent low cement castables

Product		CLEANSHOT 80	CLEANSHOT 60AD	Low cement castable	Low cement castable
Aggregate		Bauxite	Andalusite	Bauxite	Andalusite
After heating at 110°C/24hrs	Compressive Strength (MPa)	90	90	95	85
	Modulus of Rupture (MPa)	17	10	20	15
	Bulk Density (kg/m ³)	2820	2600	2800	2610
After heating at 1000°C/5hrs	Compressive Strength (MPa)	100	80	90	90
	Modulus of Rupture (MPa)	18	7	18	13
	Bulk Density (kg/m ³)	2710	2510	2730	2600

傷機構が明らかになっている。1つは原料の速度と方向の変化に起因する大きな摩耗であり、もう1つは熱衝撃である。

このため、それぞれの主たる損傷機構に対応する2つの製品が開発された。しかし、どちらか一方の製品で、両方の損傷に対応するのは非常に難しい。

開発された製品は、従来からの骨材であるボーキサイトやアンダルサイトがベースになっているが、低セメント組成のマトリックスにより耐摩耗性が向上した。また3%までステンレスファイバーを添加しても施工可能となった。Table 2に開発された耐摩耗性材料と従来材料（流し込み材）の比較を示す。

開発の現段階では、CLEANSHOT 60ADとCLEANSHOT 80はまだ仮焼炉において長期使用に入っていないが、両材質ともアルミナメーカーが要求する厳しい試験を満足しており、新規案件での施工が検討されている。

3. 3 セメント産業向け材質の開発

オーストラリアのセメントキルンでは塩基性とアルミナ質を組み合わせたレンガライニングが一般的である。しかし、クーラーやプレヒーターの施工には非常に多くの耐火物を用いるため、最近ではこれらの部位の補修作業には乾式吹付け材や流し込み材のような不定形耐火物が用いられている。

3. 2 Development of materials for the Alumina calcination process

Australia produces in the vicinity of 8 million tonnes of Alumina per annum for domestic and world markets with an abundant supply of low grade bauxite feed. As such, there is a continued market with new projects coming online as well as maintenance of current calciners.

Typical alumina calciners within Australia have developed two predominant wear mechanisms associated with the particulate flow of the feedstock. The first being high abrasion due to the velocities and changes in direction of feedstock and the second being thermal shock.

As such, two distinct products have been developed to handle the dominant wear mechanism at any one point, but it is still crucial that each material be capable in both conditions.

The materials produced are based on conventional aggregates, bauxite and andalusite, but feature a low cement matrix, improving the products capability in these high abrasion environments and have the capability of being installed with up to 3% stainless steel fiber additions. Table 2 shows a comparison of the abrasion resistant materials and conventional materials normally used for this application.

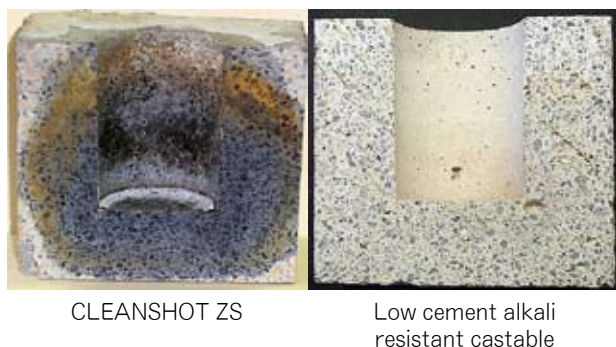


Fig. 2 Cup test of CLEANSHOT ZS & conventional material: 1100°C/5hrs + 50g alkali salts.

一般的に、これらに適用される耐火物は原料による摩耗や熱衝撃によるダメージに加え、多量のアルカリ蒸気のアタックに曝される。

オーストラリア市場では、ほとんどの客先で酸化および還元雰囲気でのアルカリアタックについて厳しい試験が行われている。そのため実炉テストを進めるためには、この試験に合格する必要がある。

SRAにはセメント工場に提供できる製品は2種類あり、ハイアルミナ質の材質よりも、 $\text{SiC}-\text{ZrO}_2-\text{SiO}_2$ 質であるCLEANSHOT ZSの方が、あらゆる条件での耐アルカリ性、耐摩耗性に優れるため、良い材質であると評価されている。

材料中のシリカ成分は、高粘性のガラス層を形成してアルカリ蒸気の浸透を防ぐという、自己防衛的な耐アルカリ性の作用がある。Fig. 2 から分かるように、CLEANSHOT ZSは試験温度でガラス層の形成が見られた。一方、汎用のハイアルミナ質低セメントキャストブル比較材料には反応層はなく、テストサンプル中のいたるところにアルカリ蒸気が浸透していることは明らかである。温度勾配のある実機においては、アルカリ蒸気は耐火物に深く沈積し、スポーリングの原因となる。このガラス層の形成は材料中の反応を制御することで材料特性を向上させるという一例である。

CLEANSHOT ZSはすでにオーストラリアの3つのセメント工場で施工されており、従来材と比較して良好な結果が得られている。作業者はクリーンショット（ショットクリート）工法の適用による、施工速度の速さ、リバウンドロスの少

At this stage in development, the materials CLEANSHOT 60AD and CLEANSHOT 80 are yet to enter extended service in calciners, however both have met stringent testing required by Alumina manufacturers and are being considered for installation in new projects.

3. 3 Development of materials for the Cement manufacturing process

Cement kilns in Australia are generally a brick lined in combination of basic and alumina materials. However, there is a significant amount of refractory material installed in the pre-heater tower as well as the cooler and more recently these areas have been repaired in monolithic materials such as dry gunning and casting.

Typically, refractories in these applications have a high amount of alkali vapor attack as well as suffering from abrasion from feedstock and potentially thermal shock.

A stringent testing program is used by most customers within the Australian marketplace with respect to alkali attack in both oxidizing and reducing conditions. To proceed with trials it is a necessity to pass this testing.

SRA have two available materials that have been offered to cement plants, with high alumina material generally over looked with a preference for CLEANSHOT ZS, a $\text{SiC}-\text{ZrO}_2-\text{SiO}_2$ based material designed to offer superior alkali and abrasion resistance in all environments.

The alkali resistance works by a self protection mechanism, whereby the silicates present create an extremely viscous glass to prevent the further penetration of the alkali vapor. This can be clearly seen in Fig.2 which shows the CLEANSHOT ZS has a glassy phase present at the test temperature, while the alternate high alumina material has clearly let the vapor penetrate throughout the test sample with no reaction. It should be noted that it is this vapor in real applications with a temperature gradient present, that are deposited deep in the refractory and causes spalling. This is one example



Fig. 3 Before and after installation of CLEANSHOT ZS at cooler-cement kiln.

なさに強い印象を受けている。CLEANSHOT ZSのセメントキルンクーラー部での施工状況をFig.3に示す。これらの結果から、この製品が将来的にも非常に有望であると言える。

4. まとめ

原料コストと製造コストの高騰による全耐火物コストの増加と技術の進歩や客先要求は耐火物の開発方向に変化をもたらしている。

SRAではオーストラリアの特定の産業の要求に対応した一連のクリーンショット材を開発し、実炉で良好な施工結果を収めた。

検討してきたようにショットクリート製品の優位性は、従来施工方法よりも速い施工速度を実現しただけでなく、乾式吹付けに比較して粉塵やリバウンドロスといった施工環境の問題も合わせて改善できた。

5. 今後

品川グループは、さまざまな原料や個々の客先要求に応える技術手法を用いて、顧客の幅広い要望に応え続けていく。

where controlled greater reaction assists the material performance.

CLEANSHOT ZS has now been installed in 3 Cement plants throughout Australia with results being compared favourably to the standard materials for the application. End users have been impressed with the speed of installation and the low installation losses on site using the CLEANSHOT shotcrete technique. Fig.3 shows the installation condition of CLEANSHOT ZS at cooler-cement kiln. Initial performance results indicate a very promising future for this product.

4. Conclusion

Increased total refractory costs due to rising raw material costs, manufacturing costs and coupled with advances in technology and customer requirements have changed the way refractory material needs to be developed.

SRA have developed a range of CLEANSHOT materials targeted for specific industry requirements within the Australia marketplace to meet these needs and have had success with trials installed.

The advantages of shotcrete products discussed allow the end user an improved speed of installation over more conventional techniques whilst minimizing environmental issues such as dust and installation losses in comparison to dry gunning.

5. Future

Shinagawa Refractories continue to meet the demand of a wide range of customers using a variety of raw materials and methodologies to meet specific requirements.

References

- 1) Y. Hamazaki, T. Kaneshige, S. Nagai, H. Sumimura, M. Namba: Shinagawa Technical Report 41, 7-14 (1998)
- 2) R. Nakamura, T. Kaneshige, H. Sumimura, M. Namba: Shinagawa Technical Report 43, 59-66 (2000)
- 3) P. Edwards: SHOTCRETE: A review, IRE Australia Conference Proceedings (2007)