

転炉出鋼口スリーブ周囲補修材

Hot Casting Repair Mix for BOF Taphole Sleeve

佐々木 久 晴^{*1}

Hisaharu SASAKI

小松原 清 行^{*2}

Kiyoyuki KOMATSUBARA

難 波 誠^{*3}

Makoto NAMBA

Abstract

Hot BOF taphole sleeve repair is usually performed with phosphate bond gunning mix added excess water. But phosphate bond gunning mix has a short service life, and requires gunning work in front of the hot furnace. On other the hand, pitch bond hot casting repair mix has good service life, and requires only throwing the mix into a furnace. But it has the drawback of long hardening time.

The hardening time of the newly developed rapid hardening pitch bond hot casting repair mix was shorten by 40% compared to the conventional mix. So it hardens in 30 minutes. If 30 minutes hardening time can be realized and the developed rapid hardening hot casting repair mix can be used for and shorten sleeve exchange, it is possible to improve service life, construction workload, working efficiency, and shorten sleeve demolition working hours.

1. はじめに

近年の旺盛な鉄鋼需要により、製鉄各社はフル操業の状態であり、転炉においても稼働率向上による生産性向上が求められている。補修時間の短縮はその重要な手段であり、炉修、熱間焼き付け・吹き付け補修、出鋼口スリーブの交換などといった作業時間の短縮が求められている。一方、補修頻度を低減することも稼働率向上に寄与することから施工時間の短縮と同時に高耐用な材質、施工方法が求められている。これに対して弊社では速硬性焼き付け材として従来材の硬化時間を約40%短縮した材料や高耐用カーボンボンド吹き付け材を開発^{1,2)}しており各所で好評を得ている。

本報告では、転炉出鋼口スリーブ交換あるいはスリーブ補修への速硬性焼き付け材の適用につい

1. Introduction

Steel plants in Japan have been in full operation in order to satisfy the aggressive demand for steel during the past a few years. Therefore, improvement in the efficiency of BOF's by raising their operating rates is greatly required. Shortening repair time is one of the important methods. Reduction of work time such as exchanging bricks, hot casting repair, hot gunning repair and taphole sleeve exchange is required. Meanwhile decreasing repair frequency contributes to increasing production efficiency. So both reducing the repair time and a high performance repair mix are required. In response to requests, we have developed excellent performance repair materials such as quick hardening hot casting repair mix

^{*1} 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

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

^{*3} 技術研究所 第2研究グループ チームリーダー Team Manager, Unshaped Refractories R&D Group, Research Center

Table 1 Repair mix binder system groups

Items	Hot casting repair mixes				Gunning mixes	
	Non water binder system			Water binder system	Phosphoric binder system	Carbon bond system
	Resin binder system	Pitch binder system		Phosphoric binder system		
	Wet type	Wet type	Dry type	Dry type		
Durability	○	◎	◎	×～△	×～△	○
Hardening time	◎	△	△	◎	◎	○
Workload	×	◎	◎	◎	△	△
Storage stability	×	×	◎	◎	◎	◎
Remarks	Hi-cost					

Good ← ◎>○>△>× → No good

て紹介する。

2. 転炉熱間補修材の種類

熱間補修材としてTable 1のような各種補修材が適用され、補修方法、ボンド形態により分類される。補修方法としては焼き付け材と吹き付け材に分類され、焼き付け材の中でもボンド形態の違いからレジンボンド系、ピッチボンド系（非水系）、磷酸・珪酸ボンド系（水系）に大別できる。さらに製品形態としてウェット型（練り土状）とドライ型（粉末状）がある。また、吹き付け材には磷酸塩・珪酸塩を使用した磷酸・珪酸ボンド系とピッチやレジンを使用したカーボンボンド系吹き付け材の2種類がある。

耐用としてはピッチボンドの焼き付け材が最も良好であり、水系バインダーの焼き付け材の耐用よりも優れている。しかし、水系焼き付け材は、施工後の硬化時間が短く、短時間補修のニーズに合った特性を有している。ピッチボンド系焼き付け材のウェット型やレジンボンド系焼き付け材のウェット型は、経時変化しやすい特性があり、転炉作業床での保存性が悪いことから、一般的にはドライ型（粉末）のピッチ系焼き付け材が多く使用されている。一方、吹き付け材にはカーボンボンド系と磷酸・珪酸ボンド系があるが耐用はカーボンボンド系の方が明らかに良好である。しかし、硬化するためには高温が必要なことから低温条件では磷酸・珪酸ボンド吹き付け材が使用され、使

which reduces hardening time by about 40% compared to conventional material, high performance carbon bond gunning mix^{1,2)}. These materials were received well at a lot of steel works.

This report explains about the application of pitch bond quick hardening casting repair mix for exchange and repair of the BOF taphole sleeve.

2. Kinds of BOF Hot Repair

Table 1 show some kinds of hot repair materials for the BOF. Materials are grouped into several categories according to repair methods and bond form. Repair methods are grouped into hot casting and hot gunning. Hot casting repair materials are grouped into resin bond, pitch bond, and phosphate bond according to bond form. In addition, hot casting materials are classified by wet type and dry type. Hot gunning materials are grouped into phosphate bond and carbon bond according to bond form.

Among these repair materials, the highest performing material is the pitch bond hot casting repair mix. The phosphate bond hot casting mix has a shorter service life than pitch bond casting mix, but the hardening time is shorter than the pitch bond. The phosphate bond has the features to match the user needs for short time repairs. The wet type repair mixes containing pitch bond and resin bond have the drawback of

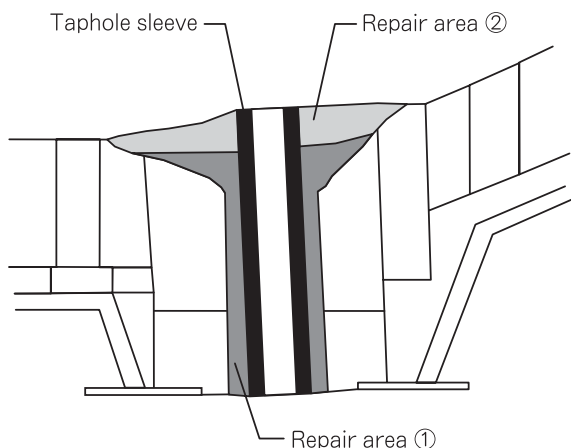


Fig. 1 Repair area of Taphole sleeve.

い分けされている。

3. 出鋼口スリーブ補修方法

転炉出鋼口スリーブを交換するには、まず、ドリルや解体機により使用後のスリーブを解体し、スリーブを装入する孔を開ける。このとき前回使用した補修材の組織がルーズであると地金が進入していることがあり、解体に時間を取られることとなる。そのため、補修材としては充填性の良好な材質が望ましい。

次に新しいスリーブを開孔した孔の鉄皮側から装入し、スリーブの鉄皮側を吹き付け材や冶具で固定する。その後、炉内側からスリーブとウェアレンガの隙間（Fig. 1 中の補修範囲①）を埋めるように補修材を炉内から流し込み固定する。さらにウェアレンガがすり鉢状に損傷した部位（Fig. 1 中の補修範囲②）に補修材を充填する。補修材の耐用が不十分だとスリーブ周囲が窪むことになり、この部位の補修材の耐用がスリーブの寿命にも影響する。

Table 2 にスリーブ交換時の補修方法と特徴を、Table 3 には適用する材質の品質表をまとめた。出鋼口スリーブとウェアレンガの隙間には燐酸ボンドの吹き付け材を水分過剰で流し込んで使用するのが一般的である。弊社では硬化を遅らせることで充填性を向上させた材質を出鋼口補修用吹き付け材として推奨している。また、燐酸ボンド

changing over time easily. Therefore a dry type pitch bond hot casting repair mix is typically used.

There are two types of gunning mixes, carbon bond and the phosphate bond. The carbon bond gunning mix has obviously longer service life than the phosphate bond gunning mix. But the carbon bond mix needs high temperature conditions to harden, so the phosphate bond mix is used under low temperature conditions.

3. Repair Methods for BOF Taphole Sleeve

The first step of BOF taphole sleeve exchange work is to break down a used sleeve and to drill a hole. If the last constructed repair material has a loose structure, the infiltrating metal obstructs break down and quite a bit of time is required for work. So the repair mix applied around sleeves needs to have a good packing property.

At the second step, the new sleeve is inserted through an opened hole, and is fixed to the outside edge with gunning or jig. Then the repair mix is poured into the space (repair area ① in Fig.1) between brick and sleeve in the furnace and the sleeve is fixed. In addition, the mix is packed into the mortar-shaped wear part (repair area ② in Fig.1). If the service life of the repair mix isn't sufficient at this part, the area around the sleeve dents. So the service life of this repaired part influences the sleeve service life.

Table 2 shows some repair methods and their features for sleeve exchange. Table 3 shows the quality of applied materials. The phosphate gunning material is poured usually into the space between the taphole sleeve and the brick with excess water. The phosphate gunning material to improve packing property by delaying setting time is recommended. A water casting phosphate bond repair mix can be replaced with this phosphate gunning mix. This mix is in a dry powder state at room temperature, but the mix discharges water at high temperature, and develops flowability. This dry type hot casting phosphate bond repair mix is

Table 2 Repair methods for BOF taphole sleeve exchange

	Repair mixes and methods		Workload	Hardening time	Durability
	Repair area ①	Repair area ②			
I	Phosphoric bond gunning mix		△	◎	×
II	Phosphoric bond type gunning mix	Pitch bond type hot casting mix (dry)	△	◎+△	△
III	Phosphoric bond type hot casting mix (dry)	Pitch bond type hot casting mix (dry)	△	◎+△	△
IV	Pitch bond type hot casting mix (dry) (conventional type)		◎	△	◎
V	Resin bond type hot casting mix (wet)		×	○	○

Good ← ◎>○>△>× → No good

Table 3 List of quality

Items		Magnesia		
		Phosphate bond	Phosphate bond	Pitch bond
		Dry gunning mix	Hot casting mix (dry type)	Hot casting mix (dry type)
Chemical composition (%)	MgO CaO C	89 1 -	58.5 2 (LOI : 20.6)	78 0.8 6.8
Grain size	Max. grain size (mm) <0.3mm (%)	3 -	5 28	6 25
After hot casting at 1000℃	Apparent porosity (%) Bulk specific gravity (-)	31 2.40	23.6 2.27	25.2 2.43
Hot flowability (mm) at 1000℃		-	257	198
Adhesive strength (MPa) at 1000℃		-	0.8	1.5
Hardening time (min) at 1000℃		-	2.5	3.5
Remarks				Quick hardening type

吹き付け材の代わりに燐酸ボンドの水系焼き付け材を使用することも可能である。これは、常温ではドライの粉末であるが、熱間では水が放出され流動するタイプの焼き付け材で当社独自の材質である³⁾。しかし、燐酸ボンド吹き付け材、燐酸ボンド焼き付け材は炉内側のすり鉢状に損傷した部位での耐用が不十分な場合があるため、一部の製鉄所ではスリーブの隙間には燐酸ボンドの吹き付け材や水系焼き付け材を充填させたあと、すり鉢状に損傷した部位（補修範囲②）にはピッチ系焼き付け材を被せることで耐用を伸ばすように工夫している。しかし、この方法は材質を2種使用することから作業負荷と時間が掛かることと、補修範囲①に燐酸ボンド吹き付け材を使用すると組織がルーズになり地金が進入することがあり次のス

Shinagawa's original binder repair mix³⁾. But phosphate gunning mix and casting mix sometimes don't have sufficient service life around the sleeve area (repair area ② in Fig.1). So some steel makers cover around the sleeve area with pitch bond hot casting repair mix, after phosphate bond gunning or casting mix was packed into space between sleeve and brick. But this repair method has two problems. First, this method involves some problems such a heavier workload and longer work time, as two methods are used together. Second, as the construction of phosphate bond hot repair material has a loose structure and the metal infiltrates, it takes the worker a long time to break down the used sleeve.

A repair method for filling up both repair

リーブ交換時の解体作業に時間がかかる場合があるという課題がある。一方、ピッチ系焼き付け材でFig. 1の補修範囲①と②の両方を同時に補修する方法では耐用もよく、地金進入も少ない点は良好であるが、すり鉢状に凹んだ部位は厚みがあるため硬化が遅れやすく、通常のピッチ系焼き付け材では施工時間（50分以上）がかかることが課題である。また、レジンボンド系焼き付け材は、硬化時間も短く耐用も磷酸ボンド系より良好であるが保存性が悪いため施工ごとに現場で混練する必要があり作業負荷が大きいことと高価であることが課題である。いずれの方法も一長一短があり各所の施工条件に合わせて異なった施工方法が採用されている。

4. 速硬性焼き付け材の適用

前述の補修方法の中で最も作業負荷が小さく、耐用が良好であるピッチ系焼き付け材の実炉適用を進めるため、大幅な硬化時間の短縮に取り組んだ。

弊社が開発した速硬性焼き付け材は、ラボ試験において通常の焼き付け材の約60%の硬化時間で硬化する（Fig. 2）ことから、大幅な硬化時間短縮が可能でありスリーブ交換時の補修に対して優れた特性を発揮する。

施工方法に関しては、例えば、特開2005-200704⁴⁾にはピッチ系焼き付け材を転炉装入側から投入し出鋼口側へ炉を回転させながら流動させ

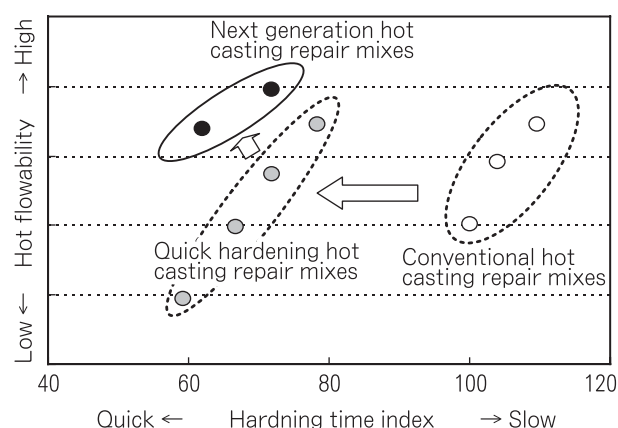


Fig. 2 Flowability and hardning time of improved repair mixes.

sections ① and ② with pitch bond hot repair casting mix at the same time, has good results for service life and metal filtration. But conventional pitch bond repair mix has the problem of taking more than 50 minutes to harden as thickness of the mortar-shaped wear part is thick.

The resin bond wet type casting repair mix has good features such as shorter hardening time than pitch bond mix and longer service life than phosphate bond mix. But this material must be mixed on site as the storage stability after mixing is poor. This material has the problems such as heavy workload and high price.

The above all repair method has both merits and demerits, so suitable methods should be used.

4. The Application of Rapid Hardening Type Pitch Bond Hot Casting Repair Mix

The pitch bond hot casting repair mix has the smallest workload and the longest service life among the repair methods explained above. So shortening the hardening time for actual furnace application of the pitch bond repair mix was studied.

The setting time of the newly developed rapid hardening hot casting repair mix with pitch bond is about 60% that of conventional mix. As the construction time can be shortened drastically, this material shows excellent properties for sleeve exchange repairing.

Some BOF repair methods used for hot casting repair mix as are found in patents. For example, patent number JP-P2005-200704A⁴⁾ introduces a low workload repair method to repair both areas ① and ② in Fig.1 at once. The hot repair mix is thrown in the BOF and is distributed from charging side to tapping side by rotating the steel converter.

When rapid hardening type hot casting repair mix was used for the sleeve exchange of an actual furnace, the hardening time was shortened from 50 minutes to 30 minutes in comparison with conventional pitch bond hot casting repair mix, and the rapid hardening

Fig. 1 の補修範囲①と②の両方を同時に補修する作業負荷の小さい方法が紹介されている。

速硬性ピッチ系焼き付け材を実炉において出鋼口スリーブ交換時に使用したところ従来ピッチ系焼き付け材が50分以上の硬化時間に比較して30分に短縮されその効果を確認した。また、従来磷酸ボンド系吹き付け材を水分過剰で流し込んでいた転炉出鋼口においても適用したところ、①地金が減りスリーブ解体作業がスムーズになり解体作業時間を短縮できた、②吹き付け材は炉前に張り付いて作業しなければならないのに対して速硬性焼き付け材では投入後は他の作業に従事することが可能であり、作業負荷低減、炉前作業効率の向上が図れた。

5. まとめ

転炉出鋼口スリーブ交換時に使用される補修材には作業負荷低減、短時間硬化、高耐用といった特性が要求される。ピッチ系焼き付け材をスリーブ交換補修に使用すると、作業負荷、耐用は良好であるが硬化時間の短縮が課題となっていた。これに対し弊社の開発した速硬性焼き付け材を適用すれば硬化時間は50分から30分に短縮された。

最近開発した弊社次世代焼き付け材は、この速硬性焼き付け材の短い硬化時間を維持したまま高流動性を達成している。これにより幅広い条件での施工に対応可能となっており、今後、各所で実炉適用を進めていく。

effect was confirmed. And when the rapid hardening type hot casting repair mix was applied in the taphole sleeve exchange of other steel converters to cast usually phosphate bond gunning mix with excess water, ① the decreasing of metal infiltration into the repair material makes demolition work smoother, so demolition work time can be shortened, ② the worker must work in front of a hot furnace in the case of gunning repair method. On the other hand, the worker can perform the other work after throwing the mix into the furnace in the case of the repair method using the rapid hardening type hot casting repair mix. So the workload decreases and the working efficiency in front of the furnace increases.

5. Conclusion

The repair mixes for BOF taphole sleeve exchange are required in the futures to decreasing workload, shorten construction time, and lengthen service life. The conventional pitch bond hot casting repair mix has low workload and good service life, but has the problem of long hardening time. Application of the developed rapid hardening type hot casting repair mix shortened hardening time from 50 minutes to 30 minutes. So the pitch bond casting repair mix was applicable to actual furnaces.

The next generation hot casting repair mix was developed recently. This new mix has higher flowability and the same hardening time in comparison with the conventional rapid hardening hot casting repair mix explained above. As the new mix can be applied to various construction conditions, we will apply it to the steel converters of various works.

References

- 1) Y. Takakura, H. Sasaki, K. Komatsubara ; Shinagawa Technical Report, **48**, 65~70 (2005)
- 2) K. Komatsubara, H. Sasaki, T. Koyama ; Taikabutsu, **59** [1], 36~37 (2007)
- 3) T. Yamamura, R. Nakamura, T. Yamashita, JP-Pat.2075761
- 4) K. Aida, M. Hirano, M. Furusato, JP-P2005-200704A