

SHINAGAWA TECHNICAL REPORT

マッド材の最適化技術

Optimizing Taphole Clay Technology

北 村 匡 譜
Masatsugu KITAMURA

品川技報

マッド材の最適化技術

Optimizing Taphole Clay Technology

北 村 匡 譜*
Masatsugu KITAMURA

要 旨

高炉の操業に欠かせない耐火物であるマッド材は当社の主力製品のひとつである。数あるマッド材製品のなかから代表的な製品をいくつか取りあげ、その特徴を紹介する。また、マッド材の改善を支える独自の研究開発の取り組みについて紹介する。

Abstract

Taphole clays, which are necessary for blast furnace operation, are one of the key products in our company. There is a large variety of taphole clay. The features of some typical examples from a large number of our products and a part of our activity in research and development for continued improvement of taphole clays will be introduced here.

1. はじめに

マッド材は高炉等の出湯口の閉塞材として使用される機能性耐火物である。当社のマッド材は1960年代より国内製鉄所向けに供給を開始し、以来約50年が経過した。この間、高炉の大型化と操業条件の過酷化を伴う高炉操業技術の発展に対応して、当社のマッド材も大きく進歩した。その性能は日本国内はもとより海外ユーザーからも評価され、現在では国内外の約50の高炉に向けてマッド材を生産、供給している（ライセンス生産を含む）。

このような多くの実績や経験が当社のマッド材の強みであり、ユーザーによりさまざまに異なる使用条件や特性要求に的確に対応し、最適なマッド材を迅速に提供することによって、高炉の安定操業に貢献している。

ここでは当社の高炉用マッド材における研究開

1. Introduction

Taphole clay is a multifunctional material used for plugging the molten metal tapping hole, mainly the tapholes of blast furnaces. We started manufacturing taphole clays for steel plants in Japan in the 1960s and have been engineering and manufacturing taphole clays for over 50 years. In this period, in response to the development of blast furnace operating technology accompanied by the increase in size and the increasingly severe operating conditions, our taphole clays also have become very advanced. The performance of our products has been highly appreciated by customers not only in Japan but also all over the world, now, we are manufacturing and supplying taphole clays for about fifty blast furnaces in and out of Japan.

* 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

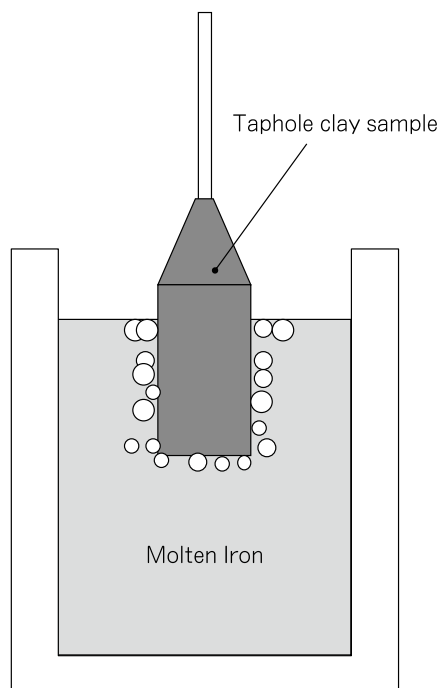


Fig. 1 Molten iron dipping test.

発の取り組みと製品の特徴について紹介する。

2. 研究開発の取り組み

1) 急加熱組織の評価

炉内に充填され急激に加熱されたマッド材の組織は、電気炉等で徐々に加熱されて形成された組織とはかなり異なっていることが予想される。したがって、マッド材の性能を正しく評価するためには実際にどのような組織が形成されるかを把握することが重要である。当社ではFig. 1に示すような溶鉄浸漬試験を実施することにより、マッド材の形成組織の評価を行っている。Fig. 2は試験結果の一例を示しており、急加熱すると揮発するガスの影響を受けて多くの亀裂がマッド材に生じること、亀裂の程度は材料によって異なることがわかる。

2) シミュレーション装置を使用した充填性評価

マッド材は出鉄口を閉塞するだけでなく、炉内に押し出されてマッシュルームと呼ばれる堆積物を構築することがわかっており、堆積物が安定的に存在することが深度の確保や炉底保護の観点から重要である。Fig. 3に示す装置は、炉内におけるマッド材の挙動を模擬すべく、加熱されたコークス中にマッド材を押し出すものであり、コーク

The experience and knowledge we have accumulated so far is one of the advantages of our company. It enables us contributions to safe and stable operation of blast furnaces by providing optimal taphole clays to our customers in quick response to various operating conditions and/or the properties they demand.

The features of our taphole clay products and a part of our activity in research and development for continued improvement of taphole clays will be introduced here.

2. Research and Development

1) Evaluation of structure formed under rapid heating conditions

The structure of taphole clays injected into a blast furnace through the taphole is considered to be quite different from the structure formed in gradual heating conditions such as heating by electric furnace for experiments. Therefore, it is important to know what kind of structure actually forms in the blast furnace in order to accurately estimate the performance of taphole clay. For this purpose, we have been evaluating the structure of taphole clay formed under the rapid heating condition by the molten iron dipping test as shown in Fig. 1. Fig. 2 shows an example of test results, which indicate that many cracks are generated by gas volatilization under the rapid heating conditions. The degree of crack generation depends on the materials.

2) Evaluation of structure formed in hot coke bed by simulator of taphole clay injection

Taphole clay has the role of not only plugging the taphole but also building a sedimentary deposit commonly called a “mushroom”, formed by taphole clay being pushed into the furnace. The stability of the mushroom is important in view of maintaining taphole length and protecting the blast furnace hearth. The apparatus shown in Fig. 3 which is designed to simulate the behavior of taphole clays inside actual furnaces can extrude taphole clay into heated

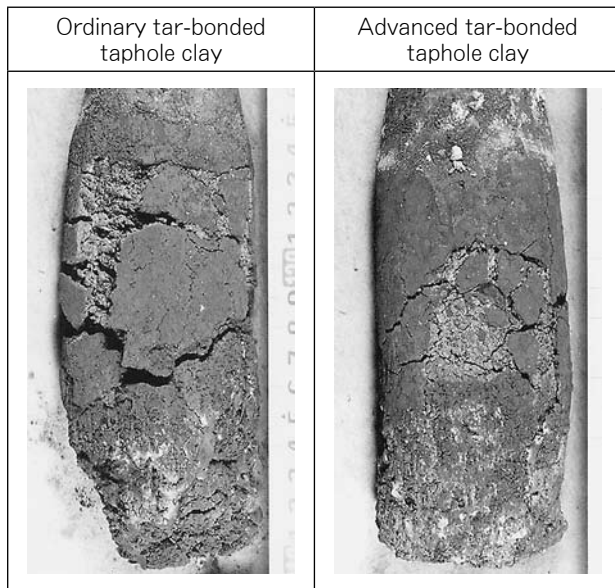


Fig. 2 External appearances of the post dipping test specimens.

ス中での広がり方などを観察できる。

このシミュレーション装置を用いることにより、コークス中への充填形状の評価が可能である。Fig. 4は、それぞれ粒度構成やバインダー特性が異なるマッド材における充填形状の違いを示している。充填方向に伸びやすいマッド材は短期間に深度が延長できると考えられる一方、横方向へ

coke packed in a small furnace and we can observe the condition of taphole clay spreading in packed coke.

By using this simulator, we can evaluate the shape of taphole clay formed in coke. Fig. 4 shows an example of the test result utilizing two taphole clays which were different in grain size distribution and binder properties. Taphole clays which tend to grow in the injection direction are considered to be effective in lengthening the taphole in a short time but are not stable. On the contrary, taphole clays which tend to grow in the direction perpendicular to the injection direction are considered to be advantageous in respect to the maintenance of long and stable taphole length because the sedimentary deposit is gradually and stably grown. Good spreading ability in the direction perpendicular to the injection direction is one of the most important properties which we focus on in designing of taphole clay.

3) Evaluation of openability

Easy openability is one of the basic characteristics required of taphole clay, however, accurate evaluation of taphole clay openability is often

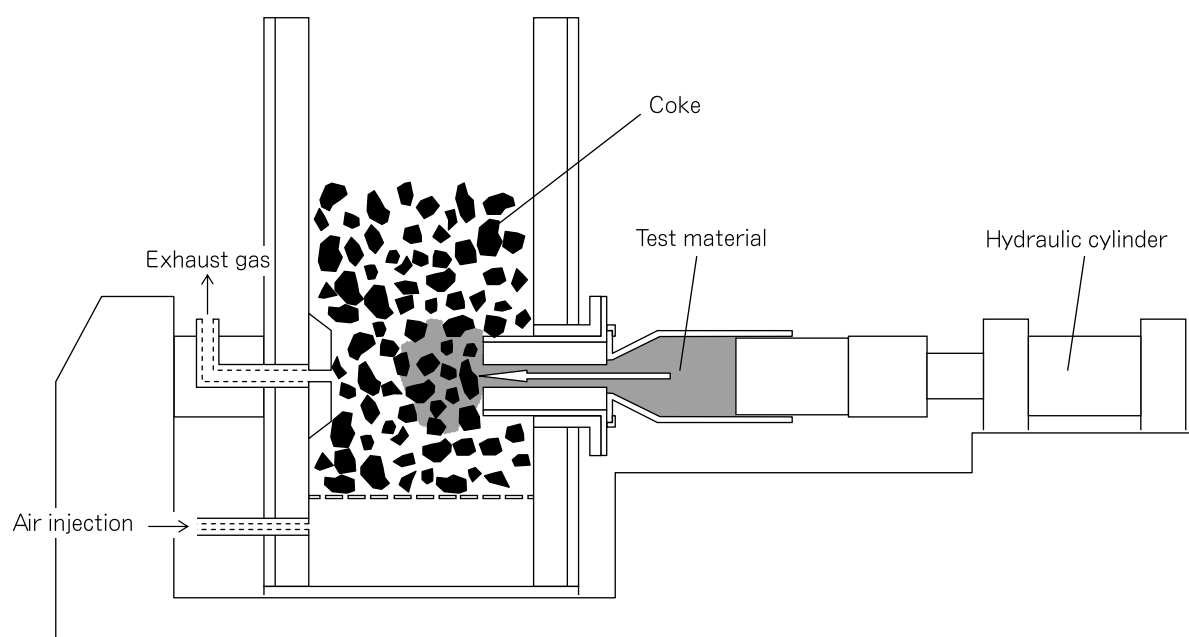


Fig. 3 Simulator for taphole clay injection.

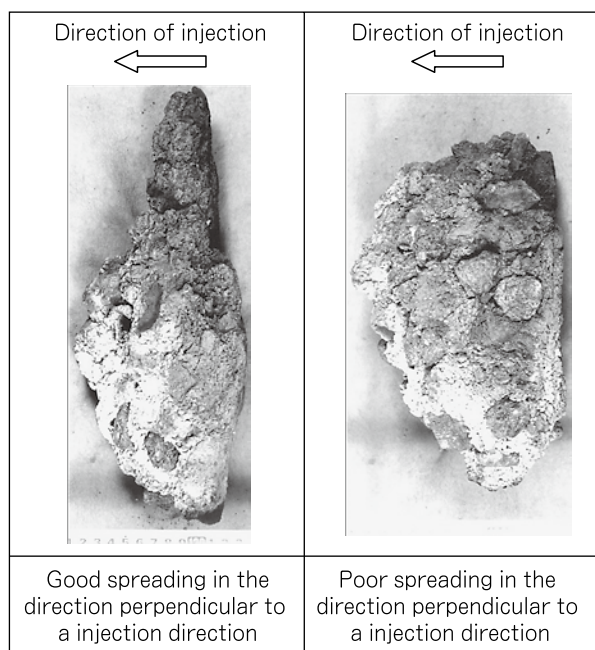


Fig. 4 External appearances of the specimens injected in the injection simulator.

展開しやすいマッド材は、安定した堆積物基盤を徐々に構築するため、長い深度を安定的に保つ、すなわち炉底保護に有利と考えられ、当社のマッド材において特に重視している特性である。

3) 開孔性評価

容易に開孔できることはマッド材の基本的な具備特性であるが、開孔性にはマッド材の強度や弾性率だけでなく骨材の硬さや掘削方法との相性などが複合的に影響するため、通常の試験では開孔性を的確に評価できないことがある。

この問題を解決するため、当社では、実炉における開孔機と同様、回転と打撃で掘削する開孔試験装置 (Fig. 5) を用いて実際にマッド材を掘削

difficult because the openability is complexly affected by not only strength and elasticity but also the hardness of the raw material grain and the compatibility with the taphole opener.

In order to solve this problem, we measured the drilling speed and drilling impact by drilling tester (Fig. 5) which drills taphole clay by rotation and hammering in the same manner with an actual taphole opener. This enabled us to supply taphole clay with openability suitable for each customer.

3. Taphole Clay Product Line

We have a large number of taphole clay products corresponding to the requirement of the user. Table 1 shows typical examples among them. They are divided into three types based on the binder used: taphole clay with coal tar, phenolic resin, and low benzopyrene (BP) tar in which carcinogenic benzopyrene in coal tar is greatly reduced.

CAM-AN-28 has high corrosion resistance due to a large amount of alumina and forms a closely packed structure due to our original formulation design (Figs. 1 and 2), therefore, it is suitable for needs like suppressing the enlargement of taphole diameter and/or long cast duration.

CAM-RN-86, which uses a coal tar binder, is a taphole clay excellent in drilling-ability, that is to say, openability by optimizing strength while retaining a dense structure. In addition, as this

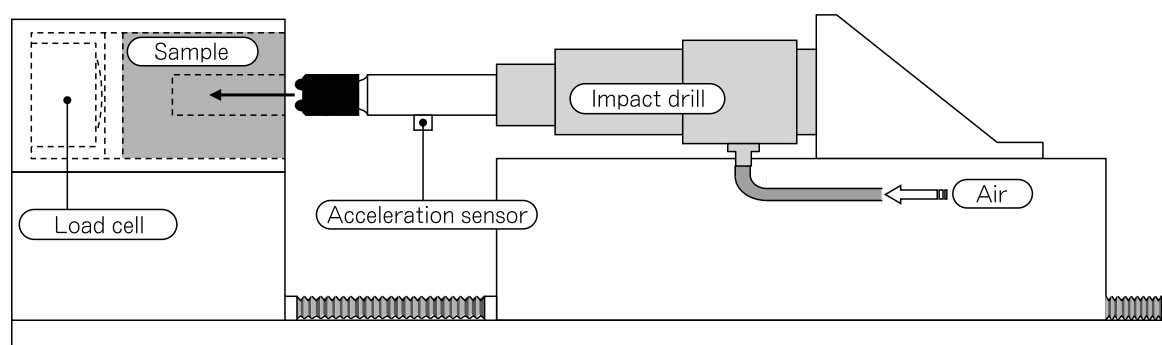


Fig. 5 Drilling tester.

Table 1 Typical taphole clay products

Product name		CAM-AN-28	CAM-RN-86	MUD-K33	EMR-3
Binder type		tar	tar	special tar	resin
Chemical composition (mass%)					
Al ₂ O ₃		25	9	9	10
SiO ₂		14	19	25	22
SiC+C		28	32	27	35
Others		20	25	21	18
Grain size distribution					
Max. diameter (mm)		3	3	3	3
> 1000 μm		21	19	21	21
< 75 μm		57	56	56	57
Bulk density	1400°C-3h	2.26	2.07	1.99	2.05
MOR (MPa)	1400°C-3h	12.5	5.0	4.1	5.5
Performance*	Long tapping time	+++	++	++	++
	Short tap interval	++	+	+++	+++
	Long taphole length	+++	+++	++	+++
	Easy drilling	+	+++	+++	+++
	Less benzo[a]pyrene	+	+	+++	—

* The larger number of star means better ability.

し、開孔速度や開孔時に発生する衝撃などを計測するシステムを導入している。これにより、常に開孔性を適性に保ったマッド材を提供することに成功している。

3. 当社マッド材製品群

マッド材製品はユーザー毎に多くの種類があり、そのなかで特徴的な製品をTable 1に示す。使用しているバインダーにより、一般的なタール系とフェノール樹脂系、タール中の発がん性物質であるベンゾピレン(BP)を大幅に減らした低BPタール系に分けられる。

CAM-AN-28はアルミナリッチで耐食性に優れており、また、独自の配合技術により緻密な組織を形成できるため (Fig. 1, 2), 出銑孔の口径拡大の抑制や長出銑時間のニーズに最適なタール系マッド材である。

CAM-RN-86はタール系マッド材であるが、緻密さを維持した強度適正化による優れた開孔性が特徴である。また、前述した炉内充填時の展開性を重視した材料設計を取り入れており、強固な炉内堆積基盤が構築されるため、安定した深度の確保と炉底保護に有効で、交互出銑が行われている大型高炉での長期使用に適している。

MUD-K33は低BPタール系バインダーを採用したものであり、ほとんどの項目でタール系マッ

product is designed to pay considerable attention to the spreadability inside the furnace after injection, which was described in the previous section, it can form robust sedimentary taphole clay deposits inside furnace, which is effective for maintaining stable taphole length and protecting the hearth of the furnace. Therefore, it is suitable for long term use in large blast furnaces with alternating consecutive tapping operation.

MUD-K33, which has adopted a low BP tar binder, shows almost the same performance as one of the tar binders, but it contains only one thirtieth of the benzopyrene compared to ordinary taphole clays with a coal tar binder. Because it also has the advantage of a far more excellent dried property than ordinary taphole clays utilizing a coal tar binder, it is more suitable to be used under short tap-to-tap time interval conditions as in one taphole operation.

EMR-3 is a phenol resin bonded taphole clay. It contains no harmful materials derived from coal tar and has a very good drying ability. Ordinary resin bonded taphole clays have the disadvantage of poor adhesiveness under high temperature conditions in contrast to their

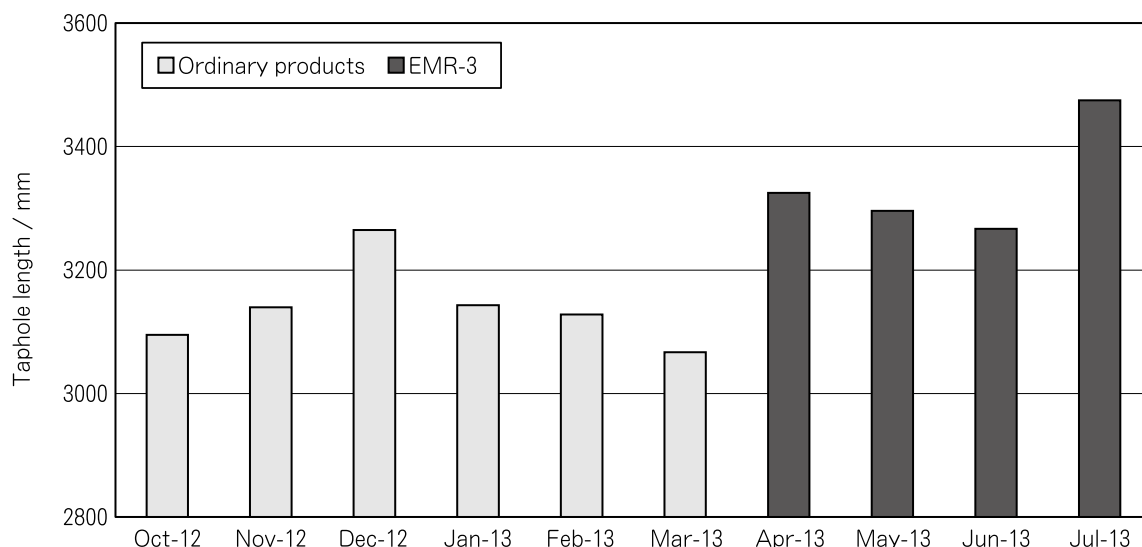


Fig. 6 Improvement in taphole length by using “EMR-3”.

ド材と遜色ない性能を維持しつつ、ベンゾピレン等の有害成分が従来の30分の1程度にまで少なくなっている。また、従来のタール系と比べて大幅に乾燥性が向上しており、連続出鉄等の出鉄間隔が短い条件での使用により適したものになっている。

EMR-3はバインダーとしてフェノールレジンに適用したものであり、タール由来の有害成分が含まれないことに加え、非常に優れた乾燥性が特徴である。従来のレジン系マッドは、優れた乾燥性に相反して熱間での接着性に乏しく、タール系マッドと比べて深度確保の面で課題があったが、使用するレジンの特性改善により接着性を向上させており、大型高炉における実炉使用において従来レジン系マッド材と比べて顕著な深度延長効果が認められている (Fig. 6)。

4. おわりに

以上、当社のマッド材の一端を紹介したが、冒頭に述べたようにマッド材への要求条件はユーザーによりさまざまに異なっており、また同じユーザーでも高炉の操業状態によって大きく変わる。このような要求に対し、豊富な経験や独自の評価システムを駆使してユーザーごとに最適なマッド材を迅速に提供することによって、今後も高炉の安定操業に貢献してゆく所存である。

good drying property, therefore, it is inferior in the ability to maintain taphole length comparing to coal tar bonded ones. However, the adhesive performance of EMR-3 was improved by improving the phenol resin property and it shows the remarkable effect of increasing taphole length in actual use in a large blast furnace in comparison to ordinary resin bonded taphole clays (Fig. 6).

4. Conclusion

As described above, customers have various demands of taphole clay depending on blast furnace operating conditions. Providing optimal taphole clays to our customers in quick response to various operating condition and/or the property requirements, by using our accumulated experience and original evaluation system enables us to continue to contribute, we believe, to a safe and stable blast furnace operation.