

SHINAGAWA TECHNICAL REPORT

マッド材の接着性に関する研究

Study on the Adhesion Properties of Taphole Mixes

新 谷 悠 記
Yuki NIIYA

北 村 匡 譜
Masatsugu KITAMURA

梶 谷 昭 仁
Akihito KAJITANI

品川技報

マッド材の接着性に関する研究

Study on the Adhesion Properties of Taphole Mixes

新 谷 悠 記^{*1}
Yuki NIYA

北 村 匡 譜^{*2}
Masatsugu KITAMURA

梶 谷 昭 仁^{*1}
Akihito KAJITANI

Abstract

Considering the adhesion behavior in tapholes of commercially operated blast furnaces, adhesive strength of taphole mixes involved a slag in bonding plane were evaluated. As a result of the evaluation, it was suggested that pitch-added alumina rich taphole mixes are suitable from the view point of the adhesion behavior between the old body and new injected taphole mixes.

1. 緒言

高炉出銑孔で使用されるマッド材は出銑孔の閉塞材であるとともに、出銑孔に充填されたマッド材は炉内に堆積し炉壁煉瓦と一体となって出銑孔を形成する耐火物である。閉塞時は安定した充填性が求められ、開孔時には開孔のしやすさが求められるほか、出銑時には安定出銑、長時間出銑のために優れた耐食性が求められる。これらの様々な要求特性を満たすべく、マッド材は骨材原料、微粉原料にアルミナ、シリカ、炭化珪素、カーボン、窒化珪素などをさまざまに調合し、タール、レジンなどのバインダーを使用して作られているものが一般的である。

さらにマッド材には十分な出銑孔深度を確保すること、横穴を発生しないことが求められ、これらの特性にはマッド材同士の接着性が重要と考えられており様々な調査・検討が実施されてきた。

影山らは旧マッド材と新マッド材の接着試験を行い高軟化点ピッチの添加がマッド材の接着性を向上させるのに有効であることを報告している¹⁾。

1. Introduction

Taphole mixes, which are used for plugging blast furnace tapholes, become deposited in the furnace and form a taphole with the furnace wall bricks. Taphole mixes are required to have stable plugging properties for injection, easily drillable bodies for opening, and high corrosion resistance for obtaining long and stable tapping time. In order to satisfy these various demands, high quality raw materials such as Al_2O_3 , SiC, C and Si_3N_4 are selected for the components of taphole mixes and liquid coal tar or resin are used as binders, in general.

Since a good adhesion property is required for achieving the optimum taphole depth without cracks, many studies on adhesion properties of taphole mixes have been reported.

For example, Kageyama et al. investigated the effectiveness of adding high softening point pitch on the adhesion properties between old body and newly injected taphole mixes¹⁾. Matsunaga

^{*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 チームリーダー Team Manager, Unshaped Refractories R&D Group, Research Center

また、松永らは急加熱されたマッド材の緻密化を図るなかで、膨張力の高いシリカ質原料が多すぎると高炉内でのマッド材組織が崩壊してしまい横穴が増加するといった実機結果を得ている²⁾。

接着性に関して考える場合、接着しているマッド材同士の境界面(接着面)にも着目する必要がある。山中らの出銑孔ボーリングサンプルの観察によると、出銑孔内部の旧マッド材と新たに充填された新材との境界にはマッド材中の揮発分による空隙層が見られ、新材と旧材の境界は空隙層にスラグが侵入した組織になっていることを報告している³⁾。

さらに、前田らはマッド材のレオロジー特性を評価し炉内でのマッド材の充填状況を推定している⁴⁾。推定状況は、充填直後のマッド材は炉内にひも状に押し出され、その周囲に銑鉄かスラグの凝固相を形成しながら折り重なるように堆積しているというものである (Fig. 1)。

これらをふまえ旧マッド材と新マッド材の接着性を考えると、旧・新材の接着面にスラグが存在している状態もしくはスラグと反応した旧材と新材を接着させた状態を評価することで実機使用状況に近い条件での接着性を評価することができると考えられる。

本報では、接着性に優れるマッド材の開発の基礎的知見を得るべく、マッド材同士の接着にスラ

et al. reported that the use of excessive amount of silica, which showed high thermal expansion, causes the taphole mix structure to collapse in the furnace, resulting in the increase of cracks²⁾。

Considering the adhesion behaviors between new and old bodies of taphole mixes, it is also necessary to pay attention to the condition of the boundary surfaces. Yamanaka et al. found certain layers which contained many voids between the old body and the newly injected body of taphole mixes, when observing a bored taphole core samples from an actual furnace. Those voids were thought to be caused by the volatile materials in mixes and slag infiltrated into such voids³⁾。

Maeda et al. investigated the rheological properties of taphole mixes and hypothesized the injection process saying that taphole mixes are extruded in the furnace like strings. The strings accumulate in the coke free spaces by folding together with solidified iron and/or slag around the mixes⁴⁾ (Fig. 1).

Based on these studies, we thought it reasonable to simulate actual furnace conditions by introducing a slag and/or slag reaction layer between the new and old bodies of taphole mixes in a laboratory test.

In this study, the influences of taphole mix compositions and heat treatment temperature on adhesive strengths of mixes introduced a slag and/or slag reaction layer between the new and old bodies of taphole mixes were evaluated in order to obtain primary knowledge of adhesion properties.

2. Experimental Method

First, we considered how to prepare specimens bonding with a slag and/or slag reaction layer for measuring the adhesive strengths. If slag contacted to the surface of taphole mixes

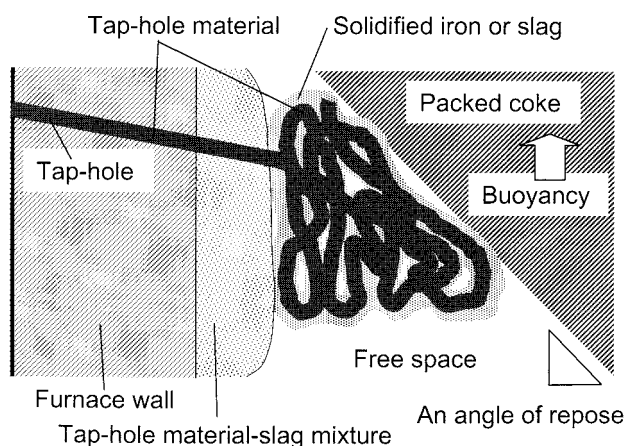


Fig. 1 Schematic illustration of taphole mix injection into blast furnace and filling up at the free space proposed by Maeda et al.⁴⁾

グが影響している場合の接着強さについて種々の試験を行った。

2. 試験方法

マッド材境界面にスラグが影響している場合の旧材と新材の接着性を評価するため、スラグを伴ったマッド材サンプルの作製方法について検討を行った。高炉内部に充填されたマッド材にスラグが接触すると、気孔にスラグが侵入した状態になると考えられている^{4), 5)}。このような状況を再現すべく、マッド材とスラグ粉末とを圧着した後、加熱処理することによってサンプルを得た。

試験にはTable 1に示すような一般的な高炉スラグを約1 mm以下に粉碎したものを使用した。また、マッド材の材質の影響を検討するため、A: アルミナリッチ組成、B: シリカリッチ組成、C: 炭化珪素リッチ組成、D: Aにピッチを加えたものの4種類を試験配合とした。試験配合の化学組成をTable 2に示す。

今回、接着強さについては熱間、常温それぞれについて調べた。熱間での測定は、出銑孔内に充填されている状態でのマッド材の接着を評価するために、一方、常温での測定は、開孔時にミストの影響で冷やされた場合のマッド材の接着を評価するのに有効であると考えたためである。

2. 1 試験温度

出銑孔の温度、出銑孔内に充填されたマッド材の温度についてはいくつかの測定例が報告されている。例えば、飯田ら⁶⁾は実出銑孔内のマッド材の到達最高温度は1000～1100℃の範囲と述べている (Fig. 2)。また、松永ら²⁾は出銑孔に充填し1時

injected into the furnace, slag would penetrate into the voids^{4), 5)}. In order to simulate this situation, test specimens were prepared by molding taphole mixes together with slag under a certain pressure, then, they were heated at certain temperatures.

Slag used in this study was prepared by crushing the blast furnace slag shown in Table 1 into grains smaller than 1mm. In order to evaluate the influence of taphole mix compositions, 4 kinds of mixes were prepared as follows; A: Alumina rich, B: Silica rich, C: Silicon carbide rich, D: same composition as A but with pitch addition. Table 2 shows the chemical compositions of the tested mixes.

Adhesive strengths were measured both in cold and hot conditions. The hot adhesive strength is useful for evaluating the adhesion properties of taphole mixes injected into furnace tapholes. On the other hand, the cold adhesive strength is useful for evaluating adhesion properties when taphole mix is cooled by mist during the drilling.

Table 1 Chemical composition of blast furnace slag [mass%]

SiO ₂	34
CaO	42
Al ₂ O ₃	15
MgO	6

Table 2 Chemical composition of taphole mix samples [mass%]

	A	B	C	D
	Alumina rich	Silica rich	SiC rich	Pitch addition (Alumina rich with pitch)
Al ₂ O ₃	30	12	10	30
SiO ₂	6	24	4	6
SiC	10	10	32	10
others	37	37	37	39

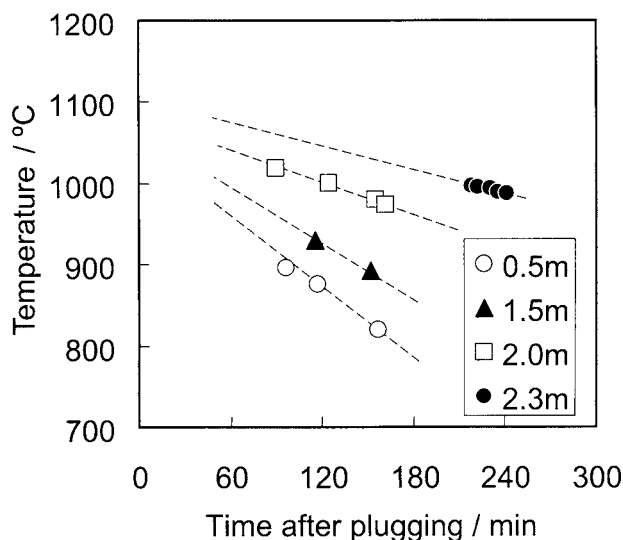


Fig. 2 Temperature change in taphole mix at each depth in blast furnace tap hole measured by Iida et al.⁶⁾.

間後のマッド材温度を730～1100℃と示している (Fig. 3)。

これらの報告から、出銑孔に充填されたマッド材は、炉壁煉瓦のある部分までは1000℃以下、それより深い堆積マッドの部分は1000℃～1300℃程度、堆積マッド～最終充填マッドの部分は炉内温度に近づき1300℃以上になっていると考えられる (Fig. 4)。

本試験では出銑孔周囲に炉壁煉瓦がある比較的小さい深度の800℃、出銑孔周囲が堆積マッドの部分で温度が高い1350℃、出銑孔表層の溶銑滓温度に近い1500℃と3種類の温度条件とした。

2.2 接着性測定手順

接着性測定手順をFig. 5に示す。

各配合についてそれぞれの押し出し抵抗値がほぼ同等となるようにバインダーを添加し、60℃に保温した万能ミキサーで約20分間混練した。得られたマッド材とスラグ粉末とを32kNの荷重で40×40×160mmの形状に成型し、コークスブリーズ中に埋没させ電気炉にて1500℃で3時間還元焼成を行い、これを旧材と見立てた。このとき、ケース1：旧材と新材との間にはスラグそのものは存在せず、スラグ反応層のみが旧材に残っている

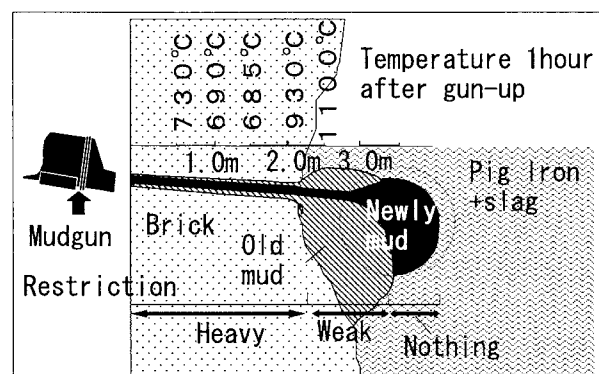


Fig. 3 Schematic illustration of blast furnace wall and temperature change at each depth shown by Matsunaga et al.²⁾.

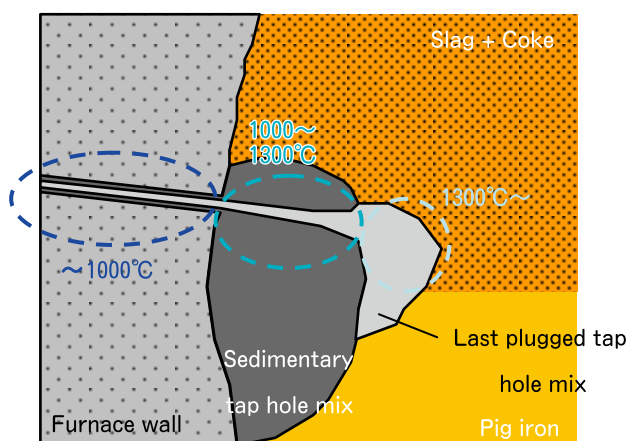


Fig. 4 Schematic illustration of blast furnace wall and taphole.

2.1 Testing temperature

There are several reports about the temperature distribution of taphole mixes injected into furnace tapholes. For example, Iida et al. reported that the maximum temperature of taphole mixes in taphole elevated to a range between 1000 and 1100℃⁶⁾ (Fig. 2). Matsunaga et al. also suggested that temperatures of taphole mixes in a taphole were between 730 and 1100℃ 1 hour after injection²⁾ (Fig. 3).

Based on these studies, temperature distribution of taphole mixes injected in the furnace

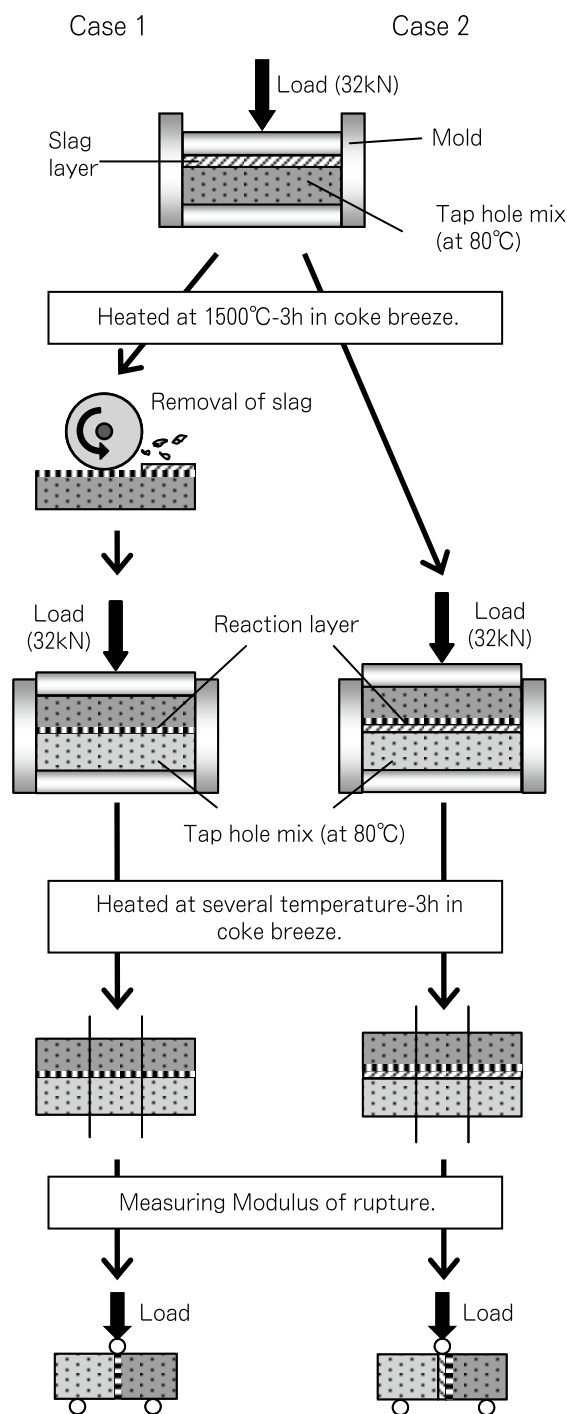


Fig. 5 Testing procedure.

ケース、ケース 2：旧材と新材との間にスラグが存在するケースの計 2 ケースで旧材を作製した。ケース 1 の旧材は表面のスラグ層を研削除去して得た。ケース 2 の旧材は表面のスラグ層をそのまま残したものとした。

還元焼成したサンプルのスラグ反応面(成型面)に 80℃ に保温した同材質のマッド材を 32kN の荷

is assumed to be below 1000°C in the area between the outlet and the end of the wall brick lining, between 1000°C and 1300°C in a deeper zone surrounded by the accumulated mass (old bodies of taphole mixes), and then, over 1300°C in the deeper zone where the newly injected mixes are contacting with the molten pig iron and slag (Fig. 4).

In this study, evaluations were carried out at 800°C, 1350°C, and 1500°C, each of which corresponds to the range surrounded by the wall bricks, the range surrounded by the mass, and the range just beyond the inner surface, respectively.

2. 2 Experimental procedure

The experimental procedure is shown in Fig. 5.

Each mix was mixed at 60°C by a planetary mixer for 20 min. The amount of binder was adjusted so that each mix had the same extruding pressure. The mix and slag were put into a mold, and then, pressed into the shape of 40×40×160mm under the 32kN pressure. The pressed samples were heated at 1500°C for 3 hours in a coke breeze in an electric furnace. Specimens obtained in this way were used as old bodies of taphole mixes. In this study, 2 kinds of old body specimens were prepared as follows; Case 1: Only the slag reaction layer was made by grinding off the slag on the surface after the heat treatment. Case 2: Both the slag and slag reaction layer are existed.

The same mixes as used in the old body specimens were pressed in the mold onto the surface of old body specimens under 32kN pressure. Specimens were heated in a coke breeze for 3 hours at 800°C, 1350°C and 1500°C respectively. Specimens for measuring the adhesive strengths were prepared by cutting the heated specimens as shown in Fig. 5. In this study, the modulus of rupture measured

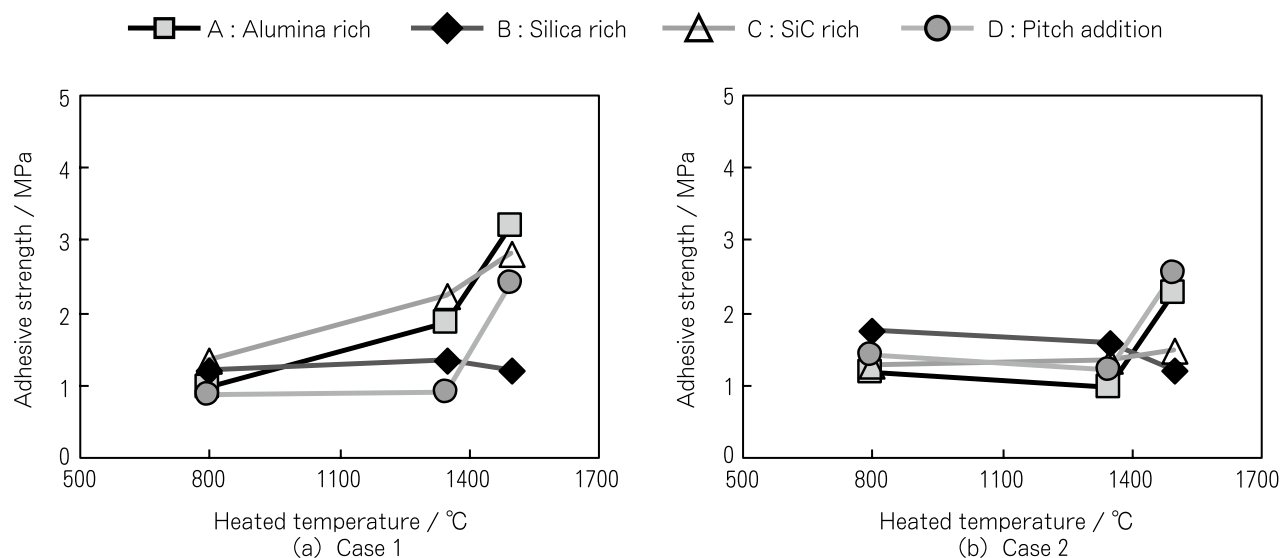


Fig. 6 Adhesive strengths at room temperature for each case.

重で圧着し、再びコークスブリーズ中に埋没させ電気炉にて800℃、1350℃、1500℃で3時間還元焼成を行った。還元焼成したサンプルを加工し、接着面に荷重を掛けて破断した。本報では、破断荷重から曲げ強さと同じ方法で算出された値を“接着強さ”とする。

熱間接着強さは上記の手順にならないケース1のサンプルを作製し、接着後に焼成した温度(1350℃、1500℃)と同じ温度でN₂雰囲気にて測定した。

3. 測定結果

3.1 常温接着強さ

常温接着強さの測定結果をFig. 6に示す。

ケース1の接着方法では、800℃加熱後の接着強さはすべての配合で1 MPa程度になった。1350℃加熱後の接着強さはアルミナリッチ、炭化珪素リッチの配合が2 MPa程度に上昇したのに対し、シリカリッチ、ピッチ添加配合については800℃とほとんど変わらず1 MPa前後であった。1500℃加熱後の接着強さはシリカリッチの配合を除く3種類で上昇し、2.5 MPaから3 MPaを超える値となった。

ケース2の接着面にスラグが残っているもので

by three point bending method was defined as “adhesive strength”.

Adhesive strengths in hot conditions were measured in a N₂ atmosphere at the same temperature as that of the heat treatment of each specimen after the adhesion.

3. Experimental Results

3.1 Cold adhesive strengths

Fig. 6 shows the cold adhesive strengths as a function of heat treatment temperatures.

In Case 1, after heating at 800℃ the cold adhesive strengths of all samples were around 1 MPa. Though after heating at 1350℃ the cold adhesive strengths of A (Alumina rich) and C (Silicon carbide rich) were approximately 2 MPa, those of B (Silica rich) and D (Pitch addition) were 1 MPa, which is almost the same as those after heating at 800℃. Specimens heated at 1500℃ showed higher adhesive strength ranging from 2.5 MPa to a little higher than 3 MPa except B (Silica rich).

In Case 2, after heating at 1350℃ or 1500℃ the cold adhesive strengths were slightly lower

は、1350℃、1500℃加熱後が全体的にケース1より低い接着強さを示す傾向が見られた。ただし、加熱温度による傾向はケース1と同様に、アルミナリッチ、ピッチ添加は1500℃加熱後に接着強さが高くなり、シリカリッチの接着強さは1500℃加熱後に低下する結果である。

3. 2 熱間接着強さ

1350℃加熱後の冷間および熱間接着強さ測定結果をFig. 7に示す。

1350℃での熱間接着強さは、ピッチ添加が最も高く、アルミナリッチ、炭化珪素リッチ、シリカリッチの順に低くなった。

一方冷間での接着強さが高かった1500℃加熱後サンプルの熱間接着強さを測定したところ、全てのサンプルが0 MPaとなった。測定後のサンプルは接着面で綺麗に剥がれており、1500℃の雰囲気では接着強度が全く発現しない結果であった。

4. 考察

4. 1 常温接着強さ

ケース1では概ね加熱温度が高いほど接着強さが大きくなる傾向を示していることから、加熱時に新旧マッド材間のスラグまたはスラグ反応層から新材へ成分の拡散が進むことによって、マッド材同士の焼結が進行したことがうかがわれる。唯一シリカリッチ配合のみ1500℃の接着強さが低下しているが、これは使用したシリカ原料が相変化

than those in Case 1. However, the dependency on the heat treatment temperature was similar to that in Case 1, that is, A (Alumina rich) and D (Pitch addition) showed high values after heating at 1500℃, while the adhesive strength of B (Silica rich) after heating at 1500℃ was low.

3. 2 Hot adhesive strengths

Fig. 7 shows the cold and hot adhesive strengths after heating at 1350℃.

The adhesive strength of D (Pitch addition) was the highest, with, A (Alumina rich), C (Silicon carbide rich) and B (Silica rich) following in a descending order.

The hot adhesive strengths at 1500℃ were 0 MPa for all samples. After the test, all samples showed clear separation at the boundary.

4. Discussions

4. 1 Cold adhesive strengths

In Case 1, according to the results that the adhesive strengths of specimens other than B (Silica rich) increased as the heating temperature was raised, sintering between two bodies was promoted by the diffusion of slag components from the slag reaction layer of the old body to the new one. The exception (B) is attributable to thermal expansion mismatches between the old body and the new body induced by the phase transformation of silica grains, where silica grains contained in the old body had already been transformed during the previous heat treatment.

Since the pitch addition was considered to inhibit sintering, slightly lower adhesive strengths recognized for D (pitch addition) compared to A (Alumina rich) was reasonable.

Though it seems acceptable to assume that the same phenomenon occurred in both Case 1 and Case 2, after heating at 1350℃ the cold adhesive strengths were lower than those after

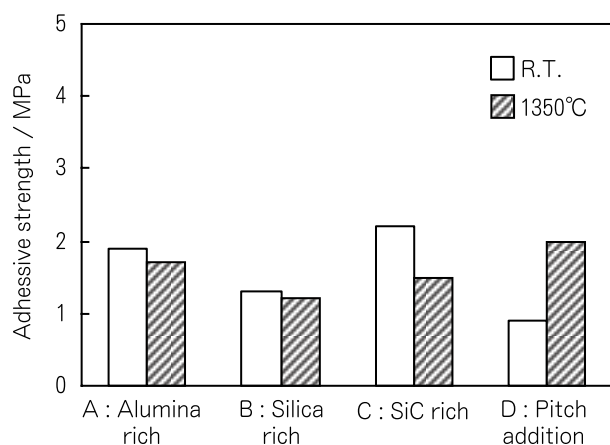


Fig. 7 Cold and hot adhesive strengths after heating at 1350℃.

による膨張を伴うものであったため、再加熱時に新旧マッド材間に熱膨張差を生じたことが原因と考えられる。

また、ピッチ添加配合はアルミナリッチ配合と同様の接着強さの変化を示すが、ピッチにより焼結が阻害されたためアルミナリッチより全体的に幾分接着強さが低くなったと考えられる。

ケース2においても基本的にはケース1と同様な現象が生じていると考えられるが、800℃加熱後と比較して1350℃加熱後の接着強さは大きくなり、かつ材質間の差も小さい。1500℃加熱後の強度増大もケース1ほど大きくはない。理由として、新旧マッド材間に存在するスラグの量が多いため800℃、1350℃加熱後ではマッド材同士が接着するには至らずスラグ層を介して繋がっている状態であり、測定された接着強さはスラグ層の強度である可能性が考えられる。1500℃加熱後になると、スラグ成分のマッド材への拡散が進みマッド材同士の焼結が促進されてケース1と同様な挙動を示したと考えられる。炭化珪素リッチ配合の強度はほとんど増大していないが、炭化珪素がスラグとの濡れ性に乏しいためスラグが材料中へ十分に拡散せず、新旧マッド材間にスラグがより多く

heating at 800℃, and differences between the mixes were smaller. In addition, the increase in the adhesive strength after heating at 1500℃ was not as large as that in Case 1. This can be explained as follows; after heating at 800℃ and 1350℃ the evaluated adhesive strengths were the fracture strength of slag layer since the materials were connected through a thick slag layer. Because the higher diffusion rates of slag components were expected at high temperatures, a similar tendency as in Case 1 was recognized for specimens after a 1500℃ heat treatment. The small increase in cold adhesive strength of C (Silicon carbide rich) after 1500℃ heating was explained by the assumption that a thicker slag layer remained at the boundary since the quick slag diffusion into the mix was inhibited by the silicon carbide contained in the mix, which exhibits a low wettability to molten slag.

Adhesive strengths of taphole mixes involved a slag in bonding plane is considered to be influenced by the sintering of mixes under the presence of the slag. Images of the bonding planes are shown schematically in Fig. 8.

4. 2 Hot adhesive strengths

The hot adhesive strengths were lower than the cold adhesive strengths except for D (Pitch addition). This was attributable to the liquid phase formation at high temperature in a slag and/or slag reaction layer. Assuming that a thicker slag layer could have remained in C (Silicon carbide rich) as described in the previous subsection, the larger decrease in the hot adhesive strength compared to the cold adhesive strengths was recognized.

By the comparing the cold and hot adhesive strengths of A (Alumina rich) and D (Pitch addition), opposite influences of pitch addition on the hot adhesive strength and cold adhesive strength were observed. We think pitch acted

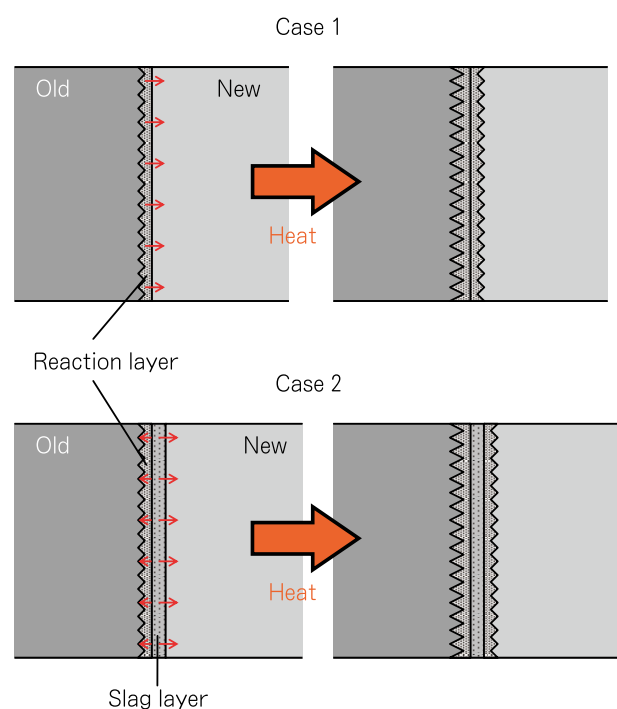


Fig. 8 Schematic illustration of bonding plane.

残存した可能性が考えられる。

以上述べたように、ケース 1, 2 の接着強さは新旧マッド材同士の焼結の進行およびマッド材間のスラグ層の有無によって影響されていると考えられ、これを模式的に表したのが Fig. 8 である。

4. 2 熱間接着強さ

熱間接着強さはピッチ添加配合を除き、冷間接着強さよりも若干低下している。これは新旧マッド材がスラグあるいはスラグ成分に富んだ層を介して接着しているため、加熱により液相が生成したためと考えられる。炭化珪素リッチ配合では冷間に比べ熱間接着強さの低下が大きい、先に考察したように、炭化珪素リッチ配合においてはより多くのスラグが新旧マッド材間に残存した可能性が考えられる。

また、ピッチ添加配合の接着強さはベースとなるアルミナリッチ配合と比較して冷間では小さく、熱間では大きくなっている。前者の理由として、ピッチ添加によって焼結が阻害されたこと、後者の理由としてはピッチを添加することでカーボンボンドが強化されたことが考えられる。一方、ピッチ添加配合の測定結果を見ると、他のものと異なり冷間よりも熱間接着強さが大きくなったが、理由については今回明らかにできなかった。

4. 3 実機への適用

出銑孔内では、ある程度の深度までは新旧マッド材の間にスラグが侵入しており、さらに深度の深い位置では塊状のマッド材がスラグ、溶銑と混在する状態が観察されている⁷⁾。

通常、出銑孔内は充填されるマッド材によりスラグおよび溶銑が押し返えされ、新材と旧材の間にスラグ(溶銑)が多量に存在する状況は考えにくい。したがって今回設定した試験条件のうちケース 1 が実炉の状況に比較的近いと考えられ、この条件における熱間接着強さが高いほど実機使用時に良好な接着性を発揮すると考える。今回の試験結果から判断すると、シリカリッチ、炭化珪素リッチよりもアルミナリッチ配合が良好であり、これにピッチを添加することで更に良好な接着性が得られると考えられる。

as a promoter of carbon bond formation in the hot condition while it acted as liquid sintering inhibitor during the solidification from liquid phases. The reason for the hot adhesive strength of D (pitch addition) being higher than that of the cold strength was not explained well in this study.

4. 3 Future field applications

In actual blast furnace tapholes, slag was observed existing in the boundaries between newly injected taphole mixes and the old bodies to a certain level of depth, moreover, lumps of taphole mix containing slag and molten pig iron were found in a deeper zone⁷⁾.

It is reasonable to assume that a considerable amount of slag and molten iron would not stay between the newly injected mixes and old mixes because, in general, slag and molten iron penetrating into the taphole must be pushed back into the furnace by the injected taphole mixes. Therefore, we think Case 1 should be a better way to simulate the actual situation in the furnace. Accordingly, the mix which showed the higher adhesion strength in Case 1 evaluation adhere better in actual blast furnace tapholes. As a result of this study so far, alumina rich taphole mixes with pitch addition should be suitable for obtaining strong adhesion in tapholes.

5. Conclusion

Adhesive strengths of taphole mixes introduced a slag and/or slag reaction layer between the new and old bodies of taphole mixes were evaluated and following results were obtained;

- ・ Adhesive strengths of taphole mixes introduced a slag and/or slag reaction layer between the new and old bodies of taphole mixes were influenced by the composition of taphole mixes, heat treatment temperatures, and the amount of slag in the boundary.

5. 結言

マッド材同士の接着面にスラグが影響している場合のマッド材の接着試験を行い、以下の知見を得た。

- ・マッド材同士の接着強さは、マッド材の材質、加熱温度、マッド材間に存在するスラグの量によって変化する。
- ・熱間接着強さは冷間接着強さよりも低い場合が多く、1500℃における熱間接着強さは今回実施したいずれの条件でもゼロであった。
- ・実炉においてマッド材間に薄くスラグ層が介在している状況を想定した場合、新旧マッド材の接着性の観点ではアルミナリッチ配合にピッチを添加した材質が有望である。

- ・ In most cases, hot adhesive strengths were lower than cold adhesive strengths. The hot adhesive strengths measured at 1500℃ were zero.
- ・ Assuming the presence of a thin slag layer between newly injected taphole mixes and old bodies, the application of alumina rich taphole mixes with a pitch addition seems suitable in terms of taphole adhesion behavior.

References

- 1) Tatsuya Kageyama, Kazushi Maruyama, Masatsugu Kitamura and Daisuke Tanaka : Taikabutsu, **56** [3], 108 (2004)
- 2) Takashi Matsunaga, Minoru Kataoka and Ichiro Takita : Taikabutsu, **55** [8], 375-380 (2003)
- 3) Hiroaki Yamanaka, Shigeru Fujiwara, Teiichi Ando, Fumio Naito, Yasuhiro Tsugita, Tanezoh Ishibashi and Nobuyuki Wada : Taikabutsu, **35** [11], 623-627 (1983)
- 4) Eizo Maeda, Satoshi Terayama, Masakazu Iida and Kazuyoshi Nakai : Taikabutsu, **60** [10], 527-539 (2008)
- 5) Masakazu Iida, Yasunobu Toritani and Tsuyoshi Okamoto : Taikabutsu, **57** [9], 462-467 (2005)
- 6) Masakazu Iida, Eizo Maeda, Kazuhiro Ogura and Tsuyoshi Okamoto : Taikabutsu, **59** [4], 168-175 (2007)
- 7) Masakazu Ikeda, Masayoshi Nagahara, Teiichi Ando, Mitsuo Nomura and Masateru Nose : Taikabutsu, **37** [10], 599-606 (1985)