

SHINAGAWA TECHNICAL REPORT

新型スライドゲート装置による プレートれんが耐用向上

New Slide-gate System for Long Refractories Life

Jose C. D. PONTES Jr.

Leonardo F. M. SOUZA

森 井 浩 明

Hiroaki MORII

高 田 敦

Atsushi TAKATA

Douglas F. GALESI

Carlos F. LEÃO

山 本 堅 二

Kenji YAMAMOTO

堀 内 俊 男

Toshio HORIUCHI

品川技報

新型スライドゲート装置によるプレートれんが耐用向上

New Slide-gate System for Long Refractories Life

Jose C. D. PONTES Jr.^{*1}Douglas F. GALESI^{*2}Leonardo F. M. SOUZA^{*2}Carlos F. LEÃO^{*2}森 井 浩 明^{*3}山 本 堅 二^{*4}

Hiroaki MORII

Kenji YAMAMOTO

高 田 敦^{*4}堀 内 俊 男^{*5}

Atsushi TAKATA

Toshio HORIUCHI

要 旨

新しく開発した新型取鍋用スライドゲート装置（以下SST装置）は、1)耐火物消費量の低減、2)装置部品点数の低減、3)耐火物交換作業時間の短縮、4)作業者の耐火物交換作業負荷の低減といった長所を有している^{1),2)}。熱応力解析に基づいた最適なプレート形状と最適なプレート固定方法を用いることでプレートれんが稼働面の亀裂発生を抑え、プレートれんがの長寿命化が可能となる。さらに、シリンダーの推力を利用した自動面圧負荷機構にしたことにより面圧解除および面圧負荷作業が非常に簡単な作業となった。このSST装置をArcelorMittal Tubarãoにて使用した結果、プレート原単位を大幅に低減できた³⁾。本稿ではArcelorMittal TubarãoでのSST装置使用結果を報告する。

Abstract

We have developed a new generation ladle slide-gate system called SST for molten steel flow-rate control at steelmaking plants. SST has many advantages such as 1) reduction of refractory consumption, 2) reduction of component parts, 3) shortening of exchange time and 4) simplified refractory exchange work^{1), 2)}. Plate bricks for the SST are shaped to an optimum compact size based on thermal stress analysis and fixed by a unique fixation method. Those plate bricks provide higher performance due to the elimination of the stress concentration in the working region thereby avoiding crack formation in this critical region. In addition, the SST uses actuator power not only for moving the lower plate but also for loading and releasing the surface pressure, so that plate exchange work is much easier than that of a conventional gate system.

SST has been used at ArcelorMittal Tubarão since May 2012 with plate brick consumption being decreased drastically³⁾. This paper describes the development and the trial results of SST at ArcelorMittal Tubarão in terms of refractory service life and various great benefits to steel ladle operation.

*1 ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brazil

*2 Saint-Gobain Ceramics Refractories, Vinhedo, SP, Brazil

*3 西日本工場 岡山製造部 Okayama Plant, West Japan Works, Bizen, Okayama, Japan

*4 設備管理部 Plant Engineering Dept., Bizen, Okayama, Japan

*5 Shinagawa Advanced Materials Americas Inc., Mogadore, OH, U.S.A.

1. 緒言

ArcelorMittal Tubarão製鉄所では、転炉3基、スラブ用連铸機3基が稼働している。取鍋容量は320トン、稼働する取鍋は10基、整備待機中の取鍋は10基である。

2012年5月から専用の取鍋を用いて、新型取鍋用スライドゲート装置（以下SST装置）のテストを10キャンペーン（合計約1,700ヒート）実施した。Fig.1にSST装置を取鍋へ取り付けた写真を示す。また、この当時の従来装置における耐火物寿命は、上ノズル平均20ヒート、上下プレートれんが平均5ヒート、下ノズル平均2ヒートであった。

今回のテストではプレートれんがの耐用向上、ならびに耐火物原単位の低減、取鍋整備場での耐火物交換作業の短縮、作業者への耐火物交換作業負荷の低減、メンテナンスコストの低減を目標とした。

2. プレートれんが形状および固定方法の最適化

プレートれんがの最も重要な特性の一つとして、流量を制御する摺動方向への亀裂を防ぐことが挙げられる。プレートれんがはその材質の特性上、使用状況によっては使用中に微亀裂が入り易い。亀裂が入りにくい形状を検討していくために応力シミュレーションを実施し、最適な形状を決

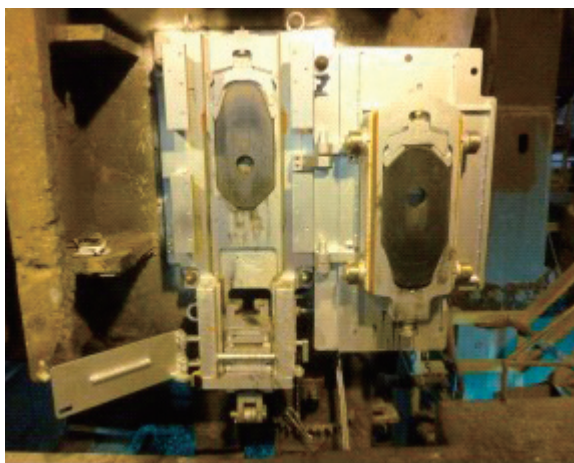


Fig.1 Installation of SST onto steel ladle at ArcelorMittal Tubarão.

1. Introduction

Three BOFs and three continuous slab casters are in operation at ArcelorMittal Tubarão Plant. Ladle capacity is 320 tons, and ten ladles are in operation and another ten ladles stand by.

SST was installed in a ladle 10 trial campaigns (totally about 1,700 heats) were carried out from May 2012. Fig.1 shows a photograph of an SST installed at the bottom of a ladle. The average refractory service life of conventional slide-gate systems is 20 heats for the upper nozzle, 5 heats for the plate and 2 heats for the lower nozzle. The specific targets of the trial were improvement of plate service life, decrease in the amount of refractory consumption (kg/steel ton), shortening of refractory exchange time and simplified refractory exchange work for the slide-gate system.

2. Optimizing Plate Brick Geometry and Fixation

It is important to prevent slide-gate plate bricks from cracking, especially along the sliding (longitudinal) direction, to achieve precision steel flow control and longer service life. Common plate materials are crack-sensitive because they have very hard characteristics and dense texture. In order to reduce cracking through geometrical design, we ran a stress calculation and found an optimal geometrical design (Fig.2).

There are mainly 4 methods of securing: 1) two-point fixing with two individual bolts, 2) four-point fixing with four individual bolts, 3) four-face fixing with one bolt, and 4) mortar setting in a slide-gate housing. Four-face fixing with one bolt (3) as shown in Fig.3 was selected for the SST. This method secures the plate brick uniformly at four faces. We observed

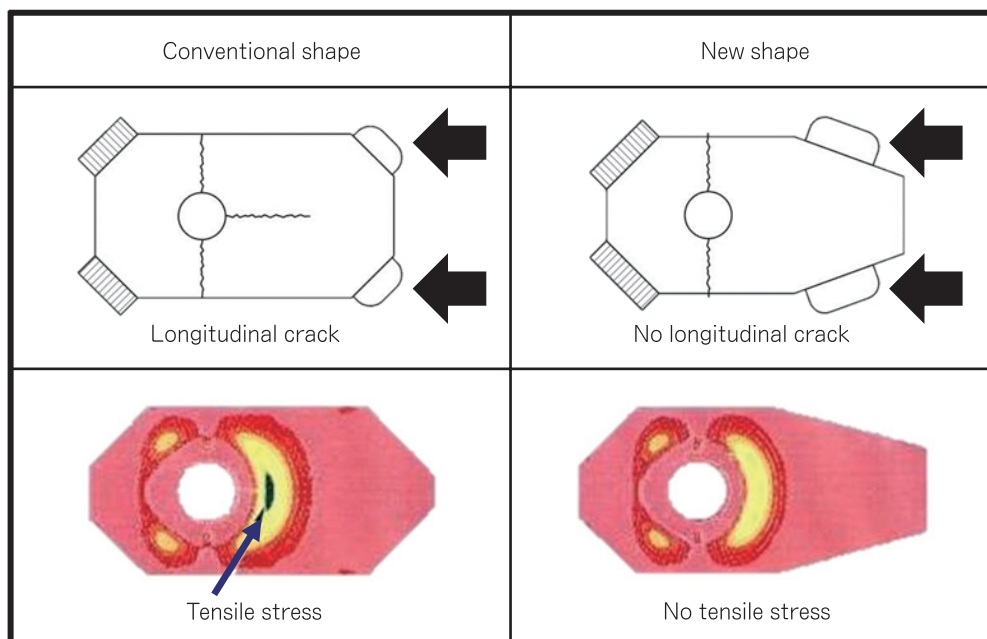


Fig.2 Optimum shape of plate brick.

定した (Fig.2)。

プレートレンガを固定する方法は、主に次の4種類がある：1)それぞれ独立したボルトで2点固定、2)それぞれ独立したボルトで4点固定、3)1つのボルトで4点固定、4)型枠にはめ込む。SST装置では、Fig.3のようにボルト1本で4面を固定する方式を用いた。この固定方法により均一な応力でプレートレンガを固定すること

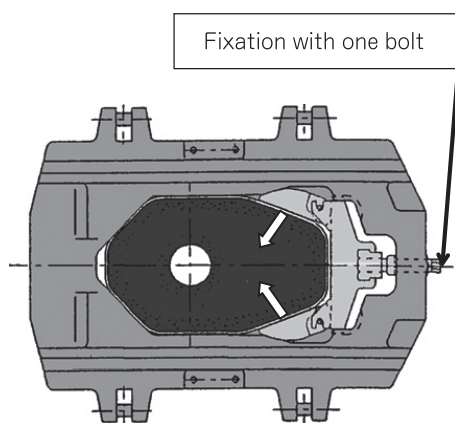


Fig.3 Plate brick fixation method of SST.

that it prevented longitudinal cracking and also reduced other cracks (mainly 45–90 degrees from sliding direction) at actual practice.

The unit weight of the developed plate brick was 29% lighter than the conventional as shown in Fig.4.

3. Trial Schedule

At ArcelorMittal Tubarão an electric cylinder mounted on steel ladle wall was used as the SST power source (Fig.5). Depending on working conditions, either a hydraulic or electrical cylinder can be selected as the SST power source. Hydraulics cylinders are widely used as the power source of the slide-gate system as it is easier to handle and maintain than the electric one.

Table 1 shows the SST trial schedule at ArcelorMittal Tubarão. The trial was conducted from May 2012 through May 2015 for 10 campaigns, totaling 1,707 heats.

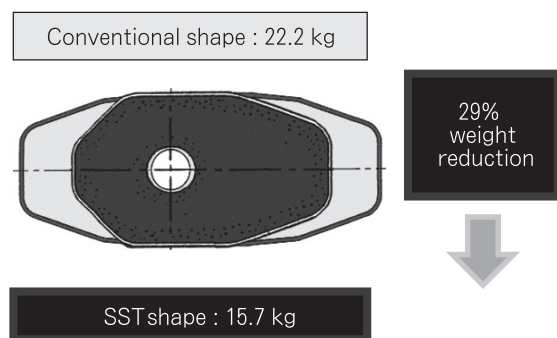


Fig.4 Plate brick shape of SST at ArcelorMittal Tubarão.

が可能となり、摺動方向への亀裂発生が抑制され、使用中の亀裂発生は摺動方向から45～90度に限定されるようになった。この事は、使用後のプレートレンガからも確認された。

また、形状を最適化したことによりプレートレンガの単重は、Fig.4のように従来比で29%低減することができた。

3. 実機テストの実施要領

取鍋用スライドゲート装置の駆動源は、Fig.5のように取鍋側壁に取り付けられている電動シリンダーを用いた。なお、一般的なスライドゲート装置の駆動源は、取扱いが簡易で故障の少ない油圧

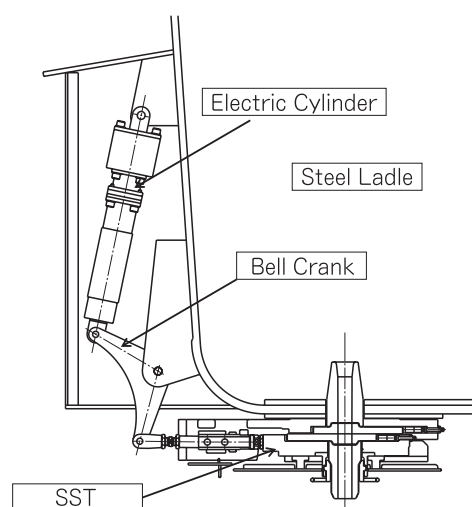


Fig.5 Outline of SST power source at ArcelorMittal Tubarão.

4. Trial Results

4. 1 Service life of plate brick

Table 2 shows the typical properties of the SST alumina carbon plate brick used in this trial.

The conventional slide-gate system also uses alumina-carbon material. The service life of the conventional plate brick was an average 5.0 heats in 2012. This was the benchmark in this trial, although at present, the plate brick for the conventional slide-gate system has been improved and service life has also increased.

Fig.6 shows a comparison of SST and the conventional plate brick service life. The service life of the SST plate brick was greatly increased reaching an average of 6.9 heats. The 1st and 2nd trials are excluded as they carried out operator and worker training.

Fig.7 shows the appearance of a used plate brick. This lower plate cast 8 heats of carbon steel during 2nd campaign. There are cracks perpendicular to the sliding direction but there is no cracking along the sliding direction. The plate surface appears to be in very good conditions.

Table 1 SST trial schedule at ArcelorMittal Tubarão

Campaign	Date		Steel ladle life (heats)
	Start	End	
1st	2012/5/31	2012/7/23	146
2nd	2012/8/19	2012/10/20	180
3rd	2013/4/12	2013/5/31	180
4th	2013/6/22	2013/8/10	180
5th	2013/8/28	2013/10/5	141
6th	2014/8/13	2014/9/29	178
7th	2014/10/9	2014/11/21	178
8th	2014/12/5	2015/1/15	177
9th	2015/2/1	2015/3/24	169
10th	2015/4/9	2015/5/19	178
Preventive Maintenance: general cleaning and checking free height of free spring			
Total			1,707 heats

シリンダーが主流であり、SST装置も基本的には油圧シリンダーを採用することが多い。

テストスケジュールをTable 1に示す。テストは2012年5月から2015年5月の間、10キャンペーン、合計1,707ヒートで実施された。

4. テスト結果

4.1 プレートれんがの使用寿命

今回使用されたプレートれんが材質の品質をTable 2に示す。従来装置に使用されるプレートれんが材質もアルミナカーボン材料系であり、2012年当時、従来装置と従来材質の組み合わせではプレートれんがの寿命は平均5ヒートであった。

プレートれんがの使用寿命の比較をFig.6に示す。従来材質の欄には、テストを開始した2012年当時の従来装置におけるプレートれんが寿命を記載した。2012年以降、プレート材質の改善を重ね、現在では従来装置でもプレートれんが寿命が延びているが、装置とプレート材質の組み合わせの比較として2012年当時のデータとした。

初回と第2回目のテストは、手順を踏みながら作業員へSST装置取り扱いトレーニングを行ったため集計には入っていない。プレートれんがの寿命は、従来の平均5ヒートから平均6.9ヒートに向上できた。

プレートれんがの代表的な使用後写真をFig.7に

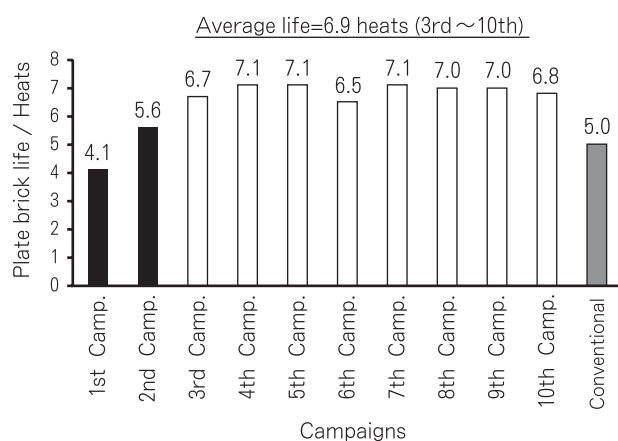


Fig.6 Comparison of plate brick service life.

4.2 Plate brick exchange time

A working flowchart showing average working times at the ladle yard are shown in Table 3. The working procedures of the conventional slide-gate system are complex. It takes 570 seconds average to replace the plate bricks. The SST takes an average of only 170 seconds to replace the plate bricks, reducing time by about 70%. That was mainly achieved by automatic surface pressure loading and releasing, and quick plate brick exchange with lightweight one bolt fixation plate brick.

4.3 Reduction of component parts and maintenance cost

The coil spring is one of the most important parts of slide-gate system. Its performance usually deteriorates during use because of the heat

Table 2 Typical properties of SST plate brick at ArcelorMittal Tubarão

Specification		Al ₂ O ₃ -C
Apparent Porosity (%)		9.0
Bulk Density (g/cm ³)		3.25
Cold Crushing Strength (MPa)		130
Chemical Composition (wt%)	Al ₂ O ₃	84.0
	SiO ₂	1.0
	ZrO ₂	5.0
	C	6.0

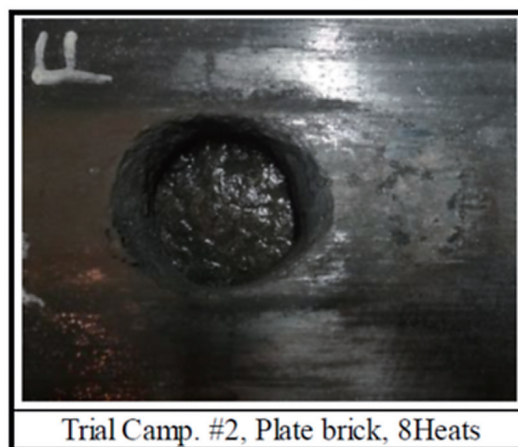


Fig.7 Appearance of used SST plate brick.

Table 3 Working flowchart of plate brick exchange

Conventional			SST		
1	Open large protection cover	10 sec	1	Open small protection cover	10 sec
2	Unfasten 4 bolts with air wrench to release surface pressure	120 sec	2	Change select pin position for driving	10 sec
3	Remove hot connecting pin for driving	50 sec	3	Release stopper	5 sec
4	Release two clampers for surface pressure	20 sec	4	Drive the slide case to release surface pressure	5 sec
5	Open slide case	5 sec	5	Open slide case	5 sec
6	Unfasten 2 bolts to remove two used plate bricks	40 sec	6	Unfasten 1 bolt to remove two used plate bricks	20 sec
7	Exchange plate bricks with case condition checking	80 sec	7	Exchange plate bricks with case condition checking	60 sec
8	Fix 2 bolts for two new plate bricks	40 sec	8	Fix 1 bolt for two new plate bricks	20 sec
9	Close slide case	5 sec	9	Close slide case	5 sec
10	Fix two clampers to load face pressure	20 sec	10	Drive slide case to load face pressure	5 sec
11	Connect drive-rod	50 sec	11	Set stopper	5 sec
12	Fasten 4 bolts with air wrench to load face pressure	120 sec	12	Change operating lever position for casting	10 sec
13	Close large protection cover	10 sec	13	Close small protection cover	10 sec
	Total time of actions 1→13	570 sec		Total time of actions 1→13	170 sec

示す。一般鋼を8ヒート受鋼後の下プレートであるが、使用後の亀裂が摺動方向とは90度の位置に発生しており使用に問題が無く、余命があるのがわかる。

4.2 プレートれんが交換時の作業性

取鍋整備場での作業フローチャートと平均作業時間をTable 3に示す。従来装置の作業手順が煩雑でプレートれんがを交換する時間が平均570秒かかるのに対し、SST装置での交換作業は平均170秒と約70%低減された。これは自動面圧負荷機構を導入した結果、面圧解除のために特別な冶具を必要としない効果とプレートれんがの単重量低減によるハンドリング性向上、プレートれんが固定のためのボルト締めが1ヶ所のみによるところが大きい。

4.3 メンテナンスコスト低減

装置の最も重要なパーツであるコイルスプリングは、熱履歴により徐々に劣化する。従来装置の

cycles. Coil spring used in a conventional gate system is naturally cooled through the gate housing. The SST force-cools the coil spring, which gives a longer coil spring service life (Fig.8). Coil springs of conventional gate system are usually replaced in less than 500 heats. On the other hand, those of the SST have been working more than 1,707 heats. Based on the extent of their deterioration, we estimate that they could be used for more than 2,000 heats.

The SST has automatic surface pressure loading and releasing, and its mechanism and structure are very simple. We succeeded in reducing mechanical component parts to one-half compared with our previous slide-gate system (Figs.9 and 10).

5. Discussions

The SST shows various advantages over a

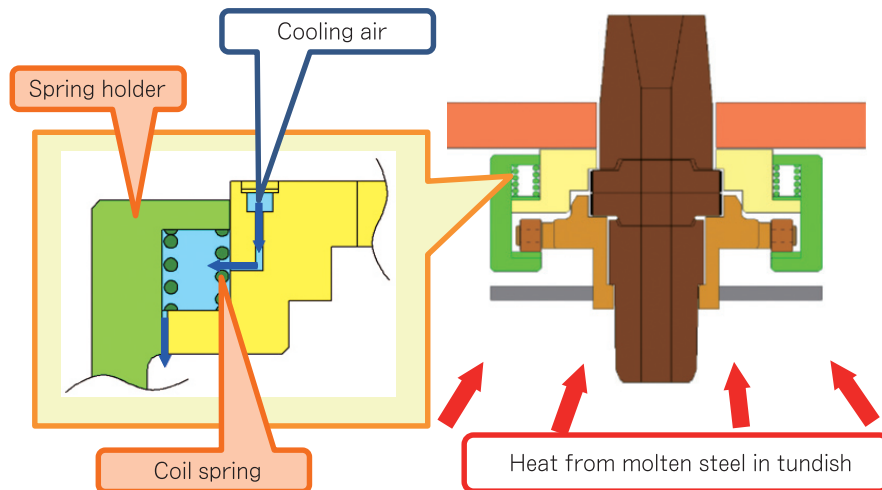


Fig.8 Forced-cooling coil spring system.

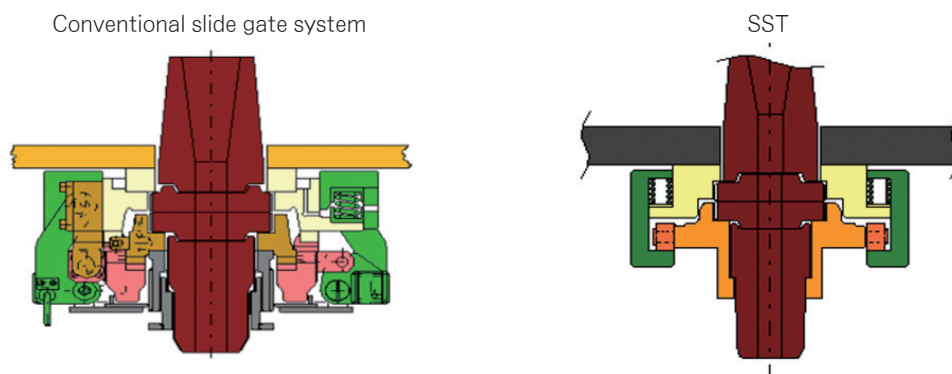


Fig.9 Schematic drawings of SST and our conventional slide gate system.

場合、装置の外側から冷却しているためコイルスプリングの寿命は短い。それに対し、SST装置ではFig.8のように装置の内側からコイルスプリングを強制的に空冷する独自の機構により、コイルスプリングの長寿命化が可能となった。その結果、従来装置のコイルスプリングが500ヒート未満で全数交換されるのに対して、SST装置のコイルスプリングの寿命は1,707ch以上使用されている。さらにコイルスプリングの寸法、ヘタリ測定から2,000ch以上は達成できるものと推定している。

また、SST装置は自動面圧機構を採用し、さらに構造をシンプルにすることにより、使用部品を弊社従来装置の約50%にまで減少させている (Fig.9, 10)。

conventional slide-gate system.

The unit weight of an SST plate brick is an average of 15.7kg compared to 22.2kg average for the conventional one. The service life of the SST plate brick is an average of 6.9 heats compared to a 5.0 heat average for the conventional one. Therefore the SST reduced unit consumption of the plate brick by 49% as shown in Fig.11.

In the case of a conventional slide-gate system with two bolts fixation, it is not easy to bolt the plate brick evenly. Uneven fixation sometimes causes cracking at a slant to the sliding direction. Computer calculation reveals that the cracking extends from the plate bore to the

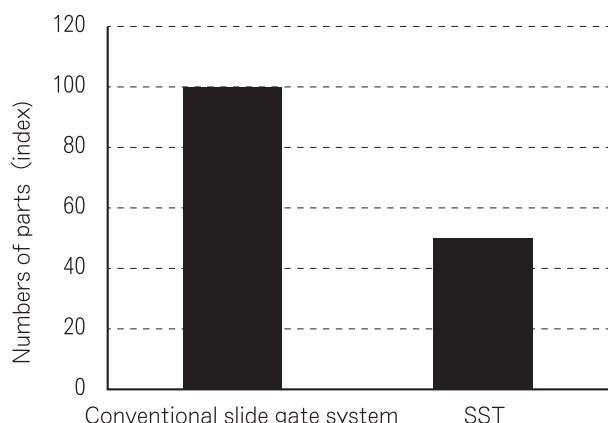


Fig.10 Comparison of numbers of component parts.

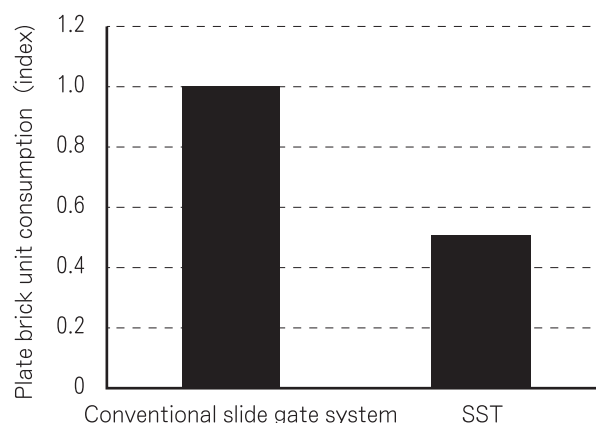


Fig.11 Comparison of plate brick unit consumption.

5. 考察

SST装置は従来装置に比べて様々な点で優位性を示している。

プレートレンガの単重は、従来装置が22.2kg, SST装置が15.7kgであり、プレートレンガの寿命は、従来装置が平均5.0ヒート, SST装置が平均6.9ヒートであった。これらからプレートレンガの原単位を比較すると、Fig.11に示すように従来装置を1.0とするとSST装置は0.51となり、大幅に原単位を低減できた。

従来装置では、Fig.12のように、どうしても片方のボルトを強く締め、もう一方のボルトを弱く締めることによる偏加重がかかるケースが多くなる。Fig.12中の使用後写真は、2本のボルトで固定されるレンガ固定方法で使用されたプレートレンガである。使用中にプレートレンガに偏加重による亀裂が入り、吸気溶損に至っており、亀裂はシミュレーション通りに摺動面付近から斜めに入っている。

ArcelorMittal Tubarãoでは、プレートレンガの整備中に煙試験 (Smoking test) により、開放点検をすることなくプレートの面荒れ状況を判断している。このため、Fig.12のような漏鋼に至ることはまれであるが、状況としては類似していると考えられる。この現象は、プレートレンガ材料の改良である程度は改善することはできるが、より

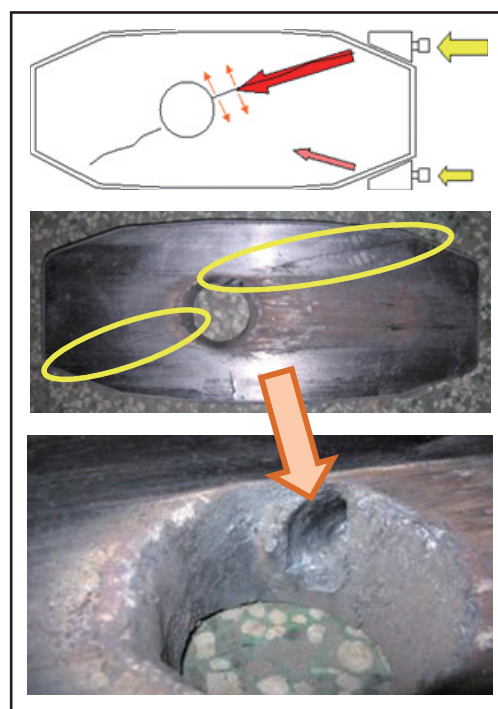


Fig.12 Crack and damage of plate brick in conventional slide gate system.

fixing point. Fig.12 is a photograph of an actual example of the cracking. Uneven stress causes plate brick cracking, resulting in air sucking and severe damage.

As ArcelorMittal Tubarão carefully checks the surface roughness of the plate brick in use by a test called the “Smoking Test” (inspection

耐用性が必要で耐摩耗性に優れるプレートレンガ材料の場合は、可塑性に乏しく亀裂が入り易いのが実情である。従来装置ではプレートレンガの亀裂抑制と面荒れ防止を両立することは難しい。

一方、SST装置ではプレートレンガを1本のボルトで左右均一な応力で固定することができるため、偏荷重による亀裂の拡大を防ぐことができる。また、プレート形状の最適化により摺動方向に伸びる亀裂が発生しにくい。このため、緻密質で耐摩耗性の高いプレートレンガが材質を選定することから、従来装置に比べ面荒れの発生が抑えられ、プレートレンガの耐用を伸ばすことができる。

6. 結言

ArcelorMittal Tubarãoでは、今回のSST装置テストの結果を受け、SST装置の基数増加を決めて、現在も継続使用中である。

今回のテストによって1)プレートレンガの軽量化ならびに使用寿命向上によるプレート消費量の低減、2)装置部品点数低減の低減、3)耐火物交換作業時間の短縮、4)耐火物交換作業負荷の低減など、SST装置の様々な優れた効果を確認できた。

method without opening slide-gate system), steel leakage is not very common even when using a conventional gate system. Of course modifying the plate material itself could improve cracking (spalling) resistance. As spalling resistance is often incompatible with abrasion resistance, it is very hard to solve the cracking issue just from by modifying material.

The SST can fix a plate brick uniformly with one bolt. It prevents cracking along the sliding direction and reduces the extension of other kinds of cracking as mentioned above. Therefore, the SST accepts most abrasion resistant plate materials, which contributes longer service life.

6. Summary

The SST has shown numerous benefits such as 1) reduction of refractory consumption, 2) reduction of component parts, 3) shorten exchange time and 4) simplified refractory exchange work at this trial.

According to the results of this trial, Arcelor-Mittal Tubarão has decided to keep using the SST and increase the number of SSTs.

References

- 1) K. Mitsui, M. Osada and H. Morii: Shinagawa Technical Report, **49**, 51-54 (2006).
- 2) K. Yamamoto, M. Osada and A. Takata: Shinagawa Technical Report, **52**, 63-68 (2009).
- 3) Pontes Junior J. C, V. Carvalho, W. Correal, Douglas F. Galesi and H. Morii: Abstracts and Proceedings of UNITECR2015, ECREF (2015) No.O030.