

# SHINAGAWA TECHNICAL REPORT

## 電気炉用高性能羽口 —コンビネーション羽口—

High Performance Tuyere System for EAF  
Bottom Bubbling  
—Combination Tuyere—

今 井 忍  
Shinobu IMAI

高 井 政 道  
Masamichi TAKAI

## 品川技報

## 電気炉用高性能羽口 －コンビネーション羽口－

### High Performance Tuyere System for EAF Bottom Bubbling －Combination Tuyere－

今 井 忍<sup>\*1</sup> 高 井 政 道<sup>\*2</sup>  
Shinobu IMAI Masamichi TAKAI

#### Abstract

In electric arc furnaces (EAF) for steel making, the bottom purging tuyere that is used for gas agitation plays an important role in helping with the dissolution of scraps, homogenization of temperature, purification of molten steel and reduction in steel making hours.

This paper introduces a newly developed bottom purging tuyere with new gas supplying system, which achieved extended service life without changing the materials and the length of the tuyere.

#### 1. はじめに

製鋼用電気炉に使われる底吹き羽口の損傷は、炉底一般部の耐火物と比べ、一般的にはスポーリングやガス吹き込み時の溶鋼流の摩耗により、先行的に損傷が進行する。Fig. 1に示すように、特にガス吐出部の損傷が顕著であり、損傷が進行すると漏鋼の危険性が高まるため、過度の使い込みはできない。一方、羽口から少し離れた所の炉底耐火物の損傷は羽口よりも軽微で、比較的に残厚が残っている。最終的に、羽口残厚が薄くなると操業に支障をきたすため、炉の稼働を停止し羽口交換が実施される。このとき、羽口周辺耐火物の残厚が十分に残っていても、取り壊されることになる。従って、羽口の耐用を向上させることが、炉全体の耐用性の改善につながるため、羽口の高耐用化が強く求められている。

単純に羽口を長く延ばすことで耐用を向上させることはできるが、その結果、耐火物コストが増

#### 1. Introduction

In general, the wear rate of gas purging tuyere bricks installed in the bottom of the EAF is greater than that of the rest of the bottom lining refractories due to thermal spalling damage or abrasion damage caused by the molten steel flow through the gas injection process. Especially, the top faces of the gas injection elements are locally worn as shown in Fig. 1 and careful management of the residual thickness is required to avoid overuse which may cause leakage of molten steel. On the other hand, the wear of refractories other than tuyere bricks is little and certain amount of thickness still remains when the tuyere bricks need to be replaced. When the thickness of tuyere bricks is reduced to the limit, the EAF should be cooled down in order to replace the tuyere bricks. At that time, refractories surrounding the tuyere bricks should be replaced as well even though they have good remaining thickness. Therefore,

\*1 エンジニアリング部 設計グループ 主任部員 Managing Engineer, Refractories Designing Section, Engineering Dept.

\*2 第4営業部 九州営業所 次長 Manager, Kyusyu Sales Office

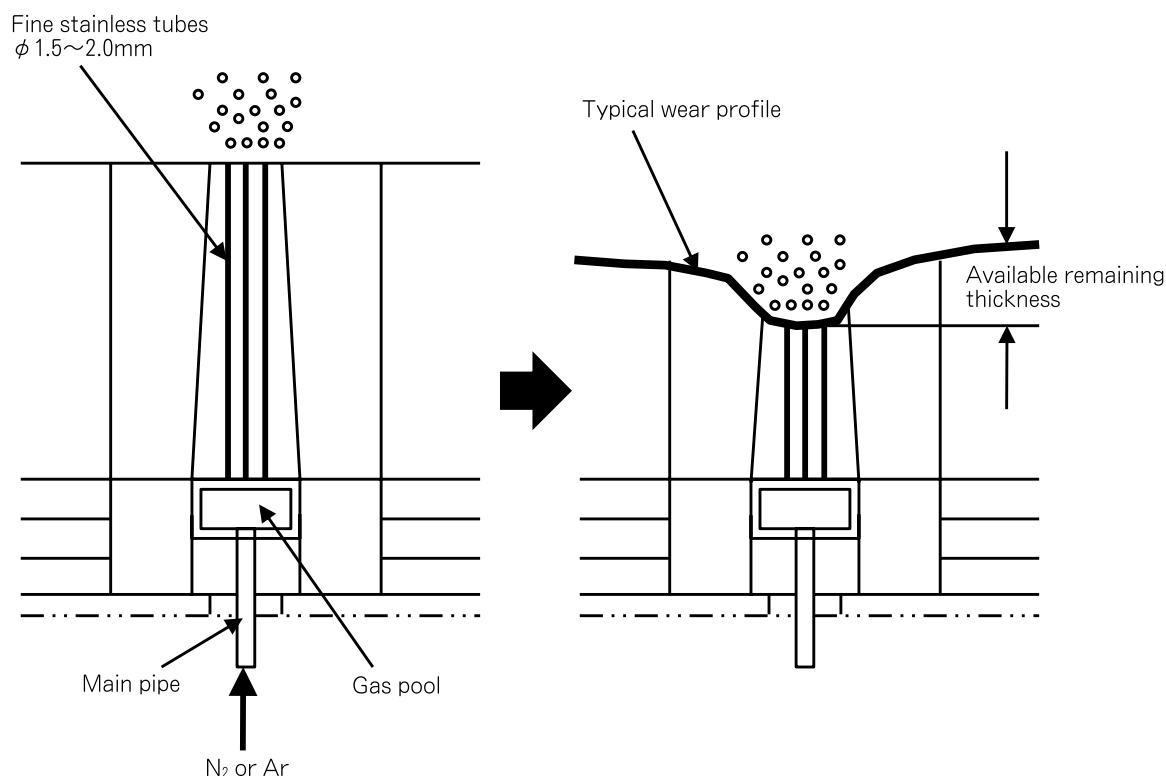


Fig. 1 Tuyere wear profile.

加するだけでなく、操業においては攪拌効率が低下するといった問題も考えられる。そこで、比較的余力がある羽口周辺耐火物の残厚に着目し、羽口を長く延ばすことなく、また電気炉の既設配管等の付帯設備を大きく改造することなく設置できる高性能羽口を開発し、実用化できた。

本報では、その高性能羽口の特徴、期待できる効果、使用例について紹介する。

## 2. 高性能羽口の特徴

羽口は電気炉炉内に窒素またはアルゴンガスを供給するための設備であり、一般的にガスを通気させる部分は金属部品で構成されている。Fig. 1に示すように、ガスをメインパイプからガスプールに取り込み、 $\phi 1.5\sim 2.0\text{mm}$ の複数本のSUS細管にガスを分配することで、小さな気泡のガスを炉内に供給する仕組みとなっている。

Fig. 2に本高性能羽口の一例を示す。簡易的に管継手を用いて、既設配管から第2羽口にガスを

the extension of the durability of tuyere bricks is strongly demanded for achieving a longer EAF campaign.

It is not difficult to obtain longer lives of tuyere bricks if longer bricks are used, however, increase in refractory costs and probable decrease in the stirring efficiency accompany this method. We have developed a new tuyere system for solving this issue, in which the surrounding refractories with good remaining thickness are effectively utilized. The new high performance tuyere system can be applied without increasing the initial thickness of the tuyere bricks and changing the equipment of the shell of the EAF.

In this paper, the features of the new high performance tuyere system are described as well as the expected effects and the results of actual application.

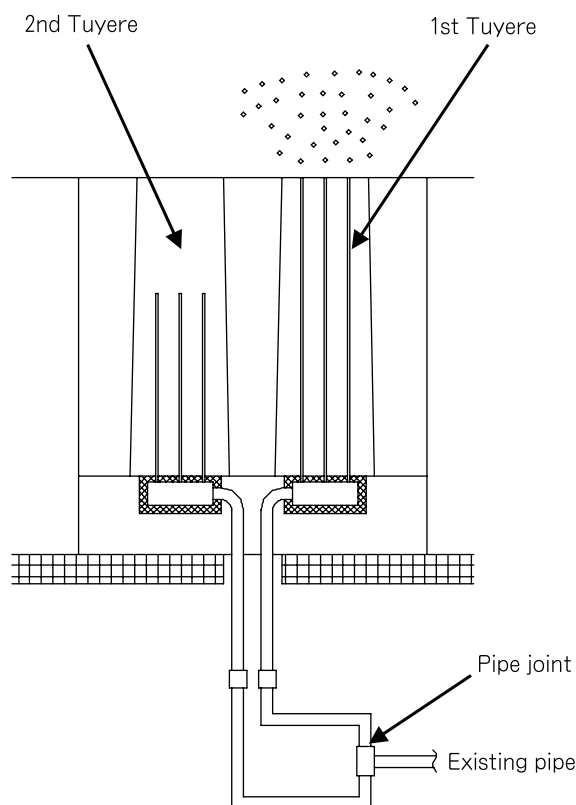


Fig. 2 Example of high performance tuyere system.

分配させることができる。第1羽口は通常の羽口と同じように最初からガスを通気できる。第2羽口は、後からガスを通気できるようSUS細管先端を羽口耐火物の内部に留めた状態にして置き、比較的に残厚の余力がある所に備えることができる。第2羽口にも独立したガスプールを設けているため、ガスの圧力をかけた状態にしておくことができる。そうすることで、高温雰囲気下において、SUS細管の溶融による内孔の閉塞を防止することが可能となり、耐火物の損耗が第2羽口のSUS細管先端に達すると通気が始まる仕組みになっている。さらには、第2羽口と同様に第3の羽口を設置することもできる。

### 3. 使用方法とガスの切り替え例

第2羽口を有するタイプの高性能羽口において、簡易的に管継手を用いて第2羽口にガスを分配したときの使用方法とガスの切り替え例をFig. 3に示す。

## 2. Features of High Performance Tuyere System

A tuyere is an element used to inject inert gases such as nitrogen or argon into an EAF. In general, metallic parts are used for the gas supply system. As shown in Fig. 1, gas is introduced from the main pipe into the gas pool, and then injected into the molten steel in the EAF as small bubbles through several fine stainless tubes, of which the diameters are between 1.5 and 2.0mm typically.

An example of a design of a new high performance tuyere system is shown in Fig. 2. The gas to the 2nd tuyere can be supplied from the main pipe of the 1st tuyere by using a simple joint pipe. The 1st tuyere is used from the beginning of the campaign. On the other hand, short stainless tubes are used for the gas permeable system in the 2nd tuyere. When the wear of the bricks comes to the top of those short tubes, gas injection from the 2nd tuyere starts. The location of the 2nd tuyere should be out of the local wear zone of the 1st tuyere. During the stand by time, gas pressure can be kept in the short tubes because the 2nd tuyere has its own gas pool, which prevents the tubes from melting or clogging. In addition, it is possible to have a 3rd tuyere in the same manner if required.

### 3. Practice for Switching Tuyeres

An example of the practice for switching tuyeres in the double tuyere system is shown in Fig. 3.

The gas injection from the 2nd tuyere starts when the wear of the brick comes to the top of tubes because the gas pool always has a certain gas pressure. The start of gas injection can be confirmed by monitoring the change in gas pressure as well as observing the movement of the surface of the molten steel on the furnace. If an automatic alarm system for detecting the gas pressure change is installed, it will help judge the correct timing for the tuyere switch.

The tuyere can be switched during furnace maintenance. The local worn parts of the 1st

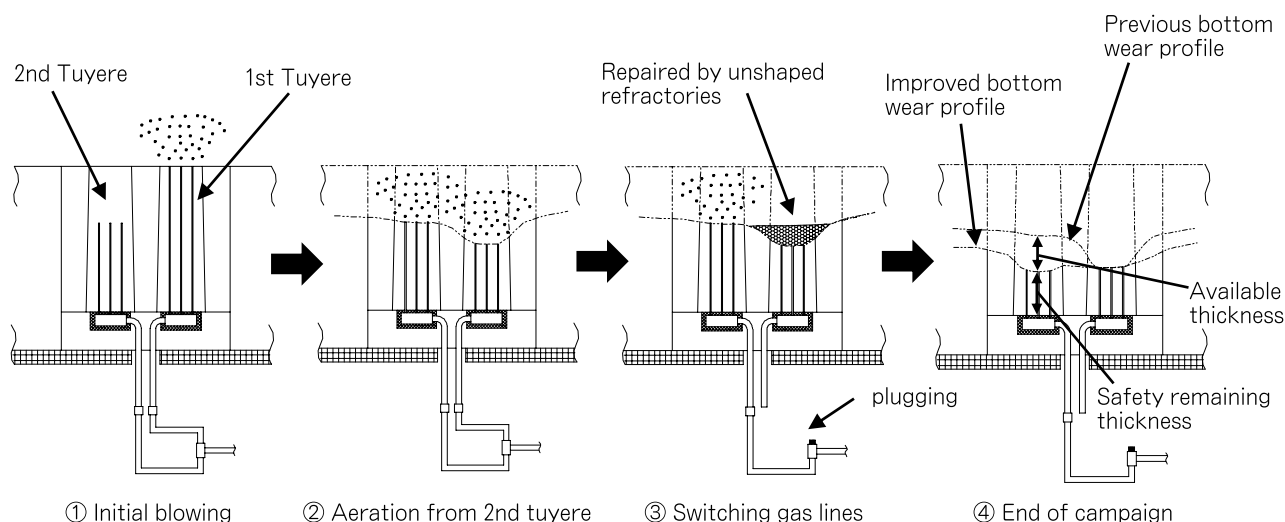


Fig. 3 Example of switching tuyeres.

第2羽口にもガスの圧力がかかっているため、耐火物の損耗が第2羽口のスUS細管先端に達したときに通気が始まる。第2羽口の通気の確認方法は、圧力計器の圧力の低下から読み取ることができ、また炉内の残湯の動きから目視で確認することもできる。さらに、圧力計器の圧力低下を感知し、アラームが鳴るようシステム化すれば、より効果的にガスの切り替えが実行できる。

ガスの切り替え作業は、定期修理のために炉の稼働を停止したときに実施することもできる。このときに第1羽口の損傷部を不定形耐火物で修理することも可能である。また、第1羽口側の配管に手動あるいは自動の弁を設置すれば、炉の稼働を停止することなく、効果的にガスの切り替えが実行できる。

耐用末期の第2羽口のガス吹きを停止するための管理基準は通常の管理基準と同じで良く、最終的に従来あった残厚の余力部分を有効に利用できる。

#### 4. 高性能羽口の最適設計

高性能羽口の基本設計において、第2羽口のスUS細管先端を最適な位置に設計することが重要である。稼働面から細管先端までの距離が長いと第1羽口が寿命律速となり、短いと第1羽口の残

tuyere can be repaired with unshaped refractory if wear is significant. If an automatic or manual switching valve is attached to the gas lines for the 1st tuyere, the line can be switched without furnace shutdown.

The procedure for ending the gas injection from the 2nd tuyere at the end of the campaign is the same as for the ordinary procedure. Thus, the utilization of the remaining thickness of the 2nd tuyere is achieved.

#### 4. Optimum Design of High Performance Tuyere

The most important point in designing a high performance tuyere is how to determine the height of the tip of the stainless tubes in the 2nd tuyere. If the tip is positioned far below the hot face of the refractories, it may cause excessive wear of the 1st tuyere when switching tuyeres, which will result in a short campaign life. To the contrary, if the tip is positioned close to the hot face, the timing of the tuyere switch may be too early to obtain a good effect from the double tuyere system. In the following paragraph, calculations to obtain optimum position of the tip are described.

Fig. 4 shows the relationship between the wear rate and the amount of tuyeres wear for

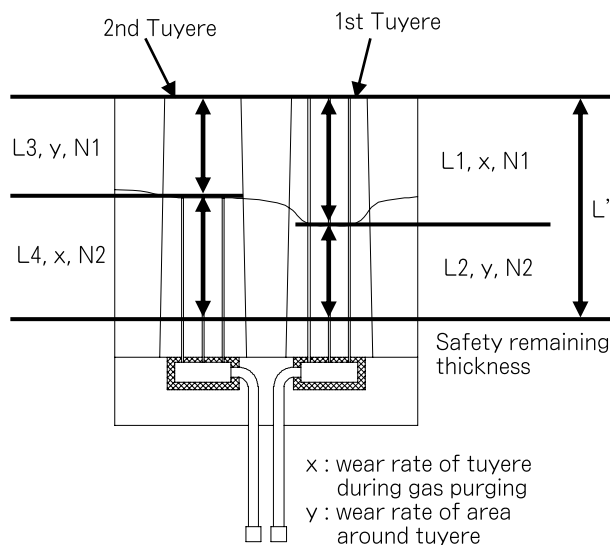


Fig. 4 Designing parameter diagram.

厚が厚く残るため、高性能羽口の効果を十分に得られない。本項ではSUS細管の先端位置を最適に設計するための式を紹介するとともに期待効果について説明する。

第2羽口を有するタイプを例に、損耗速度と損耗量の関係をFig. 4に示す。ここで、N1, N2はガス切り替え前と後の使用回数、xはガス吹き込み時の羽口の損耗速度、yは羽口周辺耐火物の損耗速度、L1, L2, L3, L4は損耗量、L'は羽口の有効長（安全な残厚を残して安全に使用できる長さ）である。これらの関係は式(1)～(5)で表すことができる。

$$L' = L1 + L2 = L3 + L4 \quad (1)$$

$$L1 = xN1, \quad L2 = yN2 \quad (2)$$

$$L3 = yN1, \quad L4 = xN2 \quad (3)$$

$$N1 = N2 \quad (4)$$

$$L' = (x + y)N1 \quad (5)$$

式(3)、(5)より、SUS細管の先端位置に相当するL3を求めるための式(6)が得られる。

$$L3 = yL' / (x + y) \quad (6)$$

さらに、ガスプールの個数を $\alpha$ とすると、式(6)は式(7)で表すことができ、ガスプールの個数に応じて、SUS細管の先端位置を設計できる。

$$L3 = yL' / \{x + (\alpha - 1)y\} \quad (7)$$

効果の指標となる期待寿命は、従来の羽口の寿命をN'とすると式(8)、(9)が成り立ち、最終的に

the double tuyere system. Where, N1 and N2 represent the number of heats before and after the tuyere switch. x represents the wear rate of the tuyere during gas purging, y represents the wear rate of the area around the tuyere. L1, L2, L3 and L4 represent the amount of wear. L' represents the marginal length of a tuyere to be safely used. These numbers are linked by the following formulas.

$$L' = L1 + L2 = L3 + L4 \quad (1)$$

$$L1 = xN1, \quad L2 = yN2 \quad (2)$$

$$L3 = yN1, \quad L4 = xN2 \quad (3)$$

$$N1 = N2 \quad (4)$$

$$L' = (x + y)N1 \quad (5)$$

Formula (6) is driven from formulas (3) and (5) to determine L3 what represents equivalent tip position of the tube in the 2nd tuyere.

$$L3 = yL' / (x + y) \quad (6)$$

Where,  $\alpha$  represents the number of gas pools, formula (6) is expressed as formula (7) depending on  $\alpha$ .

$$L3 = yL' / \{x + (\alpha - 1)y\} \quad (7)$$

If N' represents the service life of the normal tuyere, it obtains formula (8) and (9). The expected service life (N) for the tuyere with double gas pools is calculated by formula (10).

$$L' = xN' \quad (8)$$

$$N1 = xN' / (x + y) \quad (9)$$

$$N = N1 + N2 = 2N1 = 2xN' / (x + y) \quad (10)$$

Formula (10) is expressed as formula (11) depending on  $\alpha$ .

$$N = \alpha xN' / \{x + (\alpha - 1)y\} \quad (11)$$

$\alpha x / \{x + (\alpha - 1)y\} > 1$ , because the relationship between x and y is generally  $x > y$ , that is, the expected service life becomes longer than the present service life. Fig. 5 shows the relationship between the x/y ratio and the expected increase rate of service life. The larger the x/y ratio becomes and the more the number of gas pools becomes, the more the expected service life increases.

## 5. Results of Actual Application

The high performance tuyere with double gas pools was actually used in an EAF. The material of tuyere bricks was MgO-C bricks

第2羽口を有するタイプの期待寿命 $N$ は、式(10)で求めることができる。

$$L' = xN' \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$N1 = xN' / (x + y) \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$N = N1 + N2 = 2N1 = 2xN' / (x + y) \quad \dots\dots\dots (10)$$

さらに、ガスプールの個数を $\alpha$ とすると、式(10)は式(11)で表すことができ、ガスプールの個数に応じて、期待寿命を見積もることができる。

$$N = \alpha xN' / \{x + (\alpha - 1)y\} \quad \dots\dots\dots (11)$$

通常は $x > y$ であることから、 $\alpha x / \{x + (\alpha - 1)y\} > 1$ が得られ、期待寿命は従来寿命よりも多く見積もることができる。 $x/y$ の比率と期待寿命の増加率の関係をFig. 5に示す。 $x/y$ 比が大きいほど、またガスプール数が多いほど期待寿命は増加する。

## 5. 実炉での使用状況

第2羽口を有するタイプの高性能羽口を実炉に使用した。第1羽口、第2羽口の耐火物は、共にカーボン量10%のMgO-Cれんがを適用した。第1羽口、第2羽口それぞれに内径1.5mmのSUS細管を7本設置し、第2羽口の細管の先端位置は、稼働面から270mmの位置とした。

通常の損耗速度をもとに930ch付近でのガスの切り替えを計画し、炉の稼働を開始した。稼働初期にスポーリングが発生し、第2羽口部のほぼ200ch分に相当する厚みが消失したが、その後310chでの観察では、第2羽口の残厚は第1羽口よりも60mm厚く、本高性能羽口の効果が得られる余力残厚を保持していた。初期のスポーリングにより第2羽口の通気は720ch付近に早まったが、ガスの切り替えに成功し、切り替え以降も第2羽口の通気状態に問題はなく、順調に稼働を継続できた。

## 6. おわりに

電気炉用底吹き羽口の高耐用化を目指し、羽口周辺耐火物の残厚を有効に利用できる高性能羽口を開発することができた。今後は、改良を加え各所に応用していく所存である。

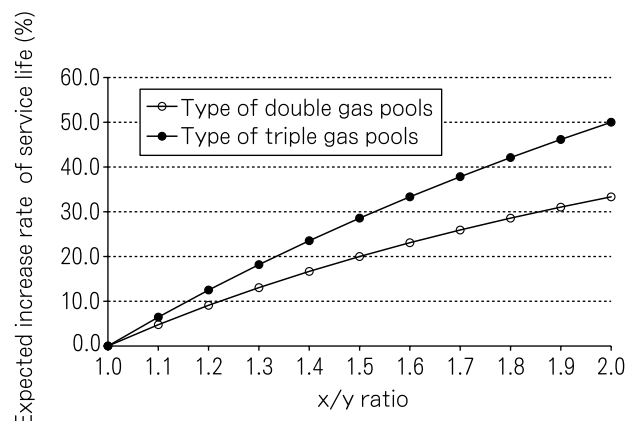


Fig. 5 Relationship between  $x/y$  ratio and expected increase rate of service life.

( $C=10\text{mass}\%$ ) with 7 stainless tubes of  $\phi 1.5\text{mm}$  inner diameter were installed. The top of the tubes in the 2nd tuyere was positioned at 270mm below the hot face.

The timing of switching the gas line was set at 930 heats in reference to the wear rate of regular tuyeres in the ordinary campaigns. Although the 2nd tuyere experienced spalling problems and lost a part of its thickness almost equivalent to 200 heats worth of spalling at the beginning of the campaign, the remaining thickness was found 60mm longer than the 1st tuyere after 310 heats, which was thought to be effective in the design of the high performance tuyere. The timing of switching the gas line was moved forward to 720 heats due to the influence of the spalling. However, after the successful switching to the 2nd tuyere, it performed well without any problem until the end of the campaign.

## 6. Conclusion

We have developed a high performance tuyere system that enables effective utilization of the remaining thickness around the original tuyere. We continue working in improving the system to expand the applications.