
転炉の溶射補修——フレイガンニング——

Application of Flame Gunning for HOr Fettling of BOF

森本 忠志 (Tadashi Morimoto) 小倉 滋 (Shigeru Ogura) 平松 輝男 (Teruo Hiramatsu) 清水 益人 (Masuto Shimizu) 内村 良治 (Ryoji Uchimura)

要旨：

コークスを熱源としてマグネシアの粉体を溶射する転炉炉壁の熱間補修技術（フレイガンニング）について述べた。本技術は、マグネシア微粉とコークス微粉を含む粉体を酸素と同時に炉内に噴出し、コークスの熱焼で得られる高温の火災中でマグネシア微粉の表面を熔融し炉壁に付着させる。従来の化学結合を利用した補修法と異なり、フレイガンニングでは溶着による強固な付着層が得られる。千葉第1製鋼工場では、このフレイガンニング設備を導入し、補修技術の向上をはかって、転炉の炉寿命延長、耐火物原単価の低減が得られている。

Synopsis：

A thermal spraying technique in which dead burned magnesia powder is partially fused in flames made by combustion of premixed coke powder in oxygen gas flow and bonded to the furnace wall has been applied to the furnace wall repair of BOF. The technique is called the "flame gunning" and introduced to No.1 Steelmaking Shop at Chiba Works, where operation such as stainless steel blowing is carried out. As the flame gunned layer has such low porosity as that of burned magnesia-dolomite brick, it can withstand two heats of stainless steel blowing and 11 heats of low alloy steel blowing. By the introduction of flame gunning, the total refractory cost has been reduced to 26% less than the cost without the gunning. As the flame gunning has many advantages such as short repairing time, high corrosion resistance of the gunned layer and low cost, it can be said that the flame gunning is a desirable technique for the future BOF operation in which an increase in the continuous casting ratio and rising of tap temperature are inevitable.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

転炉の溶射補修——フレイムガンニング——

Application of Flame Gunning for Hot Fetting of BOF

森 本 忠 志*

Tadashi Morimoto

小 倉 滋**

Shigeru Ogura

平 松 輝 雄***

Teruo Hiramatsu

清 水 益 人****

Masuto Shimizu

内 村 良 治*****

Ryoji Uchimura

Synopsis:

A thermal spraying technique in which dead burned magnesite powder is partially fused in flames made by combustion of premixed coke powder in oxygen gas flow and bonded to the furnace wall has been applied to the hot repair of BOF. The technique is called the "flame gunning" and introduced to No. 1 Steelmaking Shop at Chiba Works, where hard operation such as stainless steel blowing is carried out.

As the flame gunned layer has such low porosity as that of burned magnesite-dolomite brick, it can withstand two heats of stainless steel blowing and 11 heats of low alloy steel blowing. By the introduction of flame gunning, the total refractory cost has been reduced to 26% less than the cost without the gunning.

As the flame gunning has many advantages such as short repairing time, high corrosion resistance of the gunned layer and low cost, it can be said that the flame gunning is a desirable technique for the future BOF operation in which an increase in the continuous casting ratio and rising of tap temperature are inevitable.

1. 緒 言

転炉の内張耐火物寿命は各種操業技術の向上、耐火物材質の改善、炉体管理と吹付補修技術の向上によって着実に延長の道を辿ってきた。しかし、溶製鋼種の高級化にともなう取鍋処理、脱ガス処理の増加、連铸比率の上昇は再び炉寿命の低下、耐火物原単位の増加をもたらすようになっている。

従来の炉寿命延長対策の中で吹付補修技術についてみると、連铸比率の上昇は連々指数の増加につながり、鑄込み時間にマッチした転炉のスケジュール出鋼のため、吹付補修に十分な時間がとれ

ない問題が生じている。また、リン酸塩ボンドの吹付材を少量の水とともに吹付けする半乾式吹付材では、ステンレス鋼などの特殊鋼を吹錬する場合、吹付層が1ヒートも耐用しないのみならず、[P]のピックアップが生ずるという問題があった。

このような吹付補修の問題点に対して、溶射補修技術の適用によって対処する試みが数多くなされている¹⁾。中でも、溶射熱源にコークス微粉を用い、これと耐火材粉末とを混合した吹付材を酸素気流とともに炉内に噴出して溶射補修を行う技術は、以下の利点によって注目される。

(1) 溶射の熱源としてコークス微粉などの粉末固体燃料を用いるためエネルギーコストが安い。

* 千葉製鉄所製鋼部炉材技術室主査(部長補)

*** 千葉製鉄所設備部設備技術室主査(掛長)

***** 技術研究所第1研究部耐火物研究室主任研究員
〔昭和57年3月12日原稿受付〕

** 千葉製鉄所製鋼部製鋼技術室

**** 千葉製鉄所エネルギー部エネルギー技術室

- (2) 耐火材料粉末に対して一定のークス量を混合することにより、吹付材吐出量に応じた熱量が常に確保できる。
- (3) したがって短時間に多量の吹付材を吐出させても熱量は十分あり、補修時間が短くなる。
- (4) 吹付材中の耐火材料粉末は一部熔融状態で炉壁面に付着する。付着層と炉壁面の接合は強固であり、しかも、付着層自体の組織も緻密で優れた耐用性を示す。

川崎製鉄千葉製鉄所では、この溶射補修技術(以下フレームガンニングと称する)をステンレス鋼をはじめとし高温出鋼々種の溶製が多い第1製鋼工場の85トン転炉に採用して大きな効果を得ている。以下にフレームガンニングの装置、補修方法、効果等について述べる。

2. フレームガンニングの特徴

フレームガンニングでは、死焼天然マグネサイト、または、海水マグネシアクリンカーの微粉、とークス微粉の混合物を吹付材として用いる。吹付材は N_2 ガスで搬送され、転炉内に挿入された吹付機ランス先端のノズルから酸素とともに高温の炉内に噴出される。噴出された材料中のークスは酸素によって燃焼し高温の火炎を形成する。火炎中の耐火材粉末は火炎中を飛行中に表面の不純物が一部熔融し、炉壁に衝突して付着する。このような溶射を可能にするためには、高温の炉内に吹付材を噴出させる装置的な要因と、材料の一部熔融を可能にする熱的な要因が重要である。

熱的な要因については、別報²⁾で検討を行い、緻密な付着層を得る条件として以下の諸条件を設定した。

吹付前炉壁面温度： $1\,200^{\circ}\text{C}$ 以上

吹付材吐出量： $220\text{kg}/\text{min}$

吹付材中ークス比率：35%

最適吹付距離： $2.1\sim 2.2\text{m}$

装置的な要因については後述するが、先端にノズルを有する水冷ランスを炉内に挿入し、吹付操作に必要な機能を持たせたものである。吹付時の状況の概略を Fig. 1 に示す。

3. 設備概要

本設備は、吹付材料貯蔵供給設備と、ランスおよびランス保持台車、の二つに大別され、Fig. 2 にその全体設備構成を示す。以下にこれらの設備の特徴について述べる。

3-1 吹付材料貯蔵供給設備

吹付材料の貯蔵と、吹付ランスへの輸送供給を行い、ランス先端部のノズルから炉内に材料および酸素を供給する設備で、圧送タンクと輸送配管より成る。圧送タンクは円筒コーン型で、タンク内を加圧しタンク下部より流動化した吹付材料を上抜き方式で切出す。

タンクへの吹付材料の投入は、タンク上部に設けた投入弁を開き、投入ホッパーを用いて行う。圧送タンクには、ロードセルを用いた秤量装置が設けてあり、吹付材料の貯蔵量管理はもちろんのこと、切出量の設定、切出速度の制御にも用いている。切出速度の設定は、タンク圧力およびキャリアーガス(N_2)流量を調整することにより行う。

Fig. 3 に本設備における吹付材料切出特性線図を示す。図中破線より上部の領域で安定した輸送状態が得られ、実際の操業もこれにもとづいて行

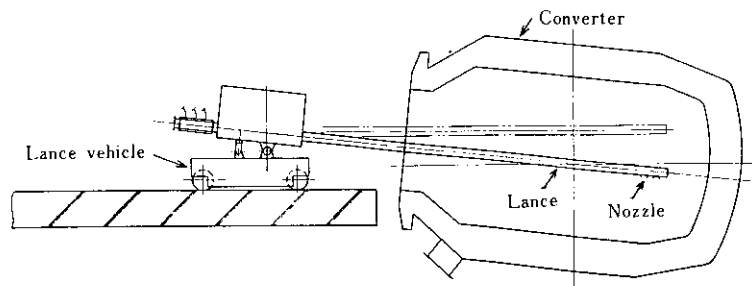


Fig. 1 Schematic illustration of flame gunning operation

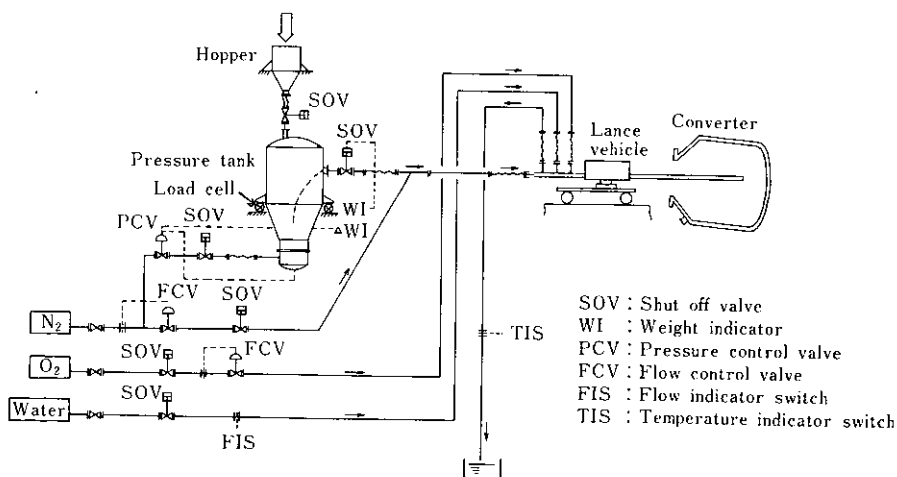


Fig. 2 Outline of flame gunning system

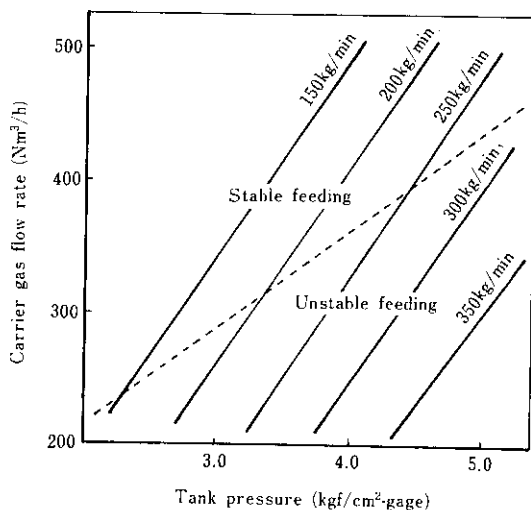


Fig. 3 Diagram of gunning mass feeding

っている。

なお、材料の受入時とタンク内圧力放散時の粉塵飛散防止をはかるため、バグフィルター集塵機を設けている。Table 1 に本設備の主仕様を示す。

本設備の制御には CRT 表示装置および演算処理装置付シーケンサーを用い、条件設定、変更を行いやすいものとした。制御内容としては、タンク圧力、窒素ガス流量、酸素ガス流用調節の他に、吹付開始時の切出速度の急激な立上りを抑えるためのタンク圧、窒素ガス流量設定プログラム制御

Table 1 Specification of gunning mass feeding system

Item	Specification
Pressure tank	Vertical cylinder type Capacity NET 2.5m ³ Weigher load cell 2.5t Max. pressure 7kgf/cm ² -gage
Feeding rate	Max. 300kg/min
Carrier gas flow rate	7Nm ³ /min
Transport distance	80m in horizontal direction 5.5m in vertical direction
Properties of gunning mass	Bulk density 1.0g/cm ³ Particle size under 100μm

や、吹付中の最適燃焼条件を維持するために、切出速度の変動に応じた酸素流量比率制御を行っている。また、本設備には以下の警報機能が設けてあり、安全性、信頼性の確保をはかっている。

- (1) ランス冷却水流量低下、圧力低下、戻り水温度上昇の検知による高温雰囲気下でのランス保護
- (2) 酸素、窒素ガス圧力低下の検知による適正燃焼、適正輸送条件の確保

3.2 ランスおよびランス保持台車

ランスは Fig. 4 に示すように、外径 200mm、全長 12m の同芯 4 重管構造を採用しており、内側より、吹付材料、酸素ガス、冷却水行き、同戻り、の流路を構成している。ランスの長さは、炉体寸

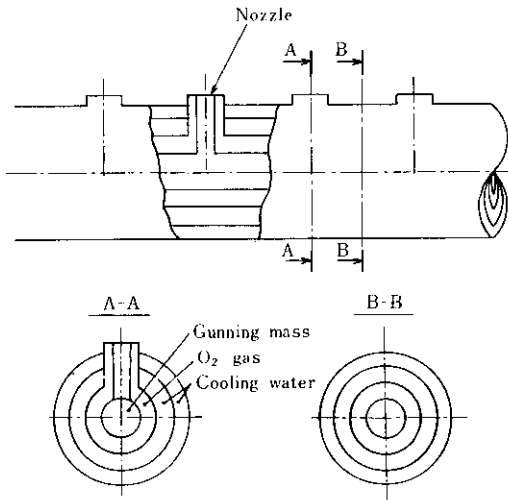


Fig. 4 Schematic illustration of lance structure

法形状と炉周囲との取合条件により決定されるもので特に制限はない。

先端部のノズルは Fig. 4 からわかるように、内側を吹付材料、外側を酸素ガス流路と接続した 2 重管ノズルとなっている。内側のノズルは粉体を通るため、アルミナ質チューブで摩耗防止をはかり、しかも着脱可能になっている。

次に、ランスは、Fig. 5 に示すようにランス保持台車に搭載され、転炉内の任意の補修箇所に向けてノズル位置をセットできるように、(a) ランス前後進、(b) ランス旋回、(c) ランス傾動、(d) ランス自転の各運動が可能になっている。これらの駆動はすべて電動式で、走行台車に旋回テーブルを設け、そのテーブル上に傾動用ウォームジャッキを搭載し、さらにランス保持ベースを設け、ランスを軸受で支持している。ランスの自転はランスに取り付けたギヤを回転駆動することにより行う。ランス後端部には、4 重管回転継手構造を用いて前述のユーティリティがのおのの配管と接続されており、ランス自転時の各流体供給を可能にしている。また、台車前方部は吹付時の転炉々口部からの輻射熱から各装置を保護するために、防熱カバーを設けている。

Table 2 にランス保持台車の主仕様を示す。ランス駆動は、手動の他に、吹付作業の自動化を目的として、あらかじめ全補修作業を約 20 種類にパターン化し、シーケンサーを用いて各パターンに対応したランス位置およびノズル方向の制御を行うことができる。吹付補修開始時のランス初期セットとパターン選択を行えば、後はすべて自動で

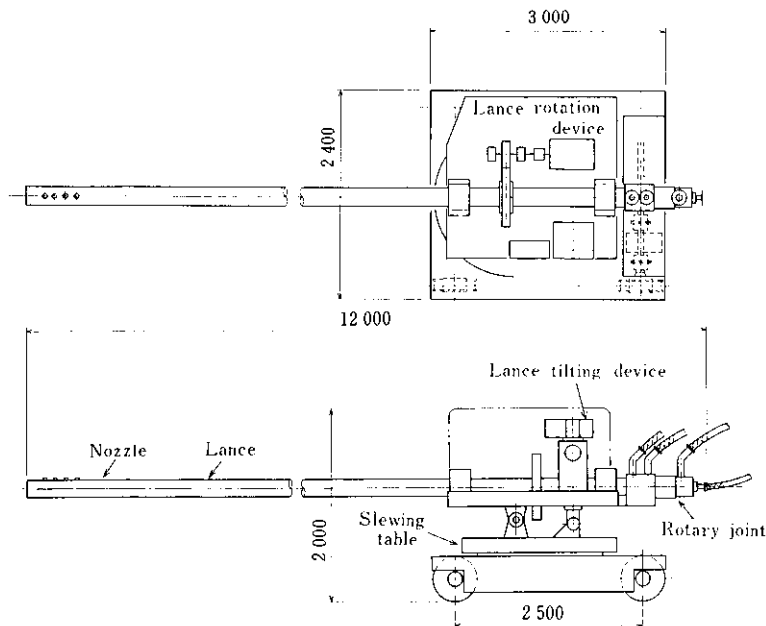


Fig. 5 Lance vehicle

Table 2 Specification of lance vehicle

Function	Rate	Range of Movement	Motor capacity
Forward and backward movement	27m/min	9 m	AC 2.2kw
Horizontal lance movement	0.23rpm	+15°~90°*	AC 1.5kw
Vertical lance movement	0.08rpm	+10°~-15°**	AC 2.2kw
Lance rotation	1.0rpm	Unlimited	AC 7.5kw

* The angles between lance direction and the center axis of furnace

** 0° is the angle from the horizon

補修作業が行える。

3.3 ユーティリティ

ところで本設備には、前述のごとく、(a)ランス冷却水、(b) 燃焼用酸素ガス、(c) 吹付材輸送用窒素ガスが用いられる。**Table 3** にユーティリティー一主仕様を示す。

4. 補修技術

千葉製鉄所第1製鋼工場は85トン転炉2基を有し、ステンレス鋼を主に、珪素鋼・高炭素鋼などの特殊鋼の吹錬を中心とした作業を行っている。さらに1981年には、上吹転炉から上底吹転炉(K-BOP)に改造され、ステンレス鋼の吹錬比率も増加している。**Table 4** に1981年8月から6ヶ月間の鋼種構成および平均出鋼温度を示す。表から明らかのように、出鋼温度が高く、転炉耐火物にとっては

Table 3 Utilities of flame gunning

	Gunning mass	N ₂	O ₂	Cooling water
Pressure (kgf/cm ² -gage)	—	7	15	7
Flow rate (Nm ³ /min)	220kg/min	7	145	2

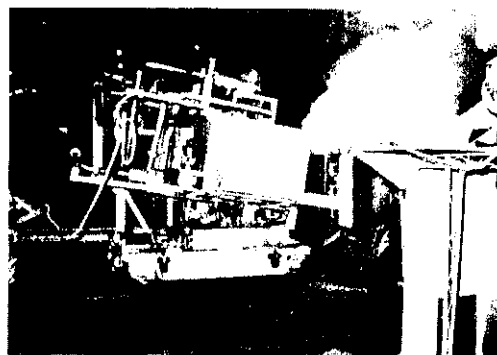
Table 4 An example of operating condition of No.1 Steelmaking Shop at Chiba Works

	Stainless steel	Low alloy steel
Production ratio	34.5%	65.5%
Average tap temperature	1689°C	1674°C

非常に苛酷な操業条件である。しかも、吹錬鋼種が上述のように多岐にわたるため、ステンレス鋼にはマグネシア・カーボンレンガが使用できず、高珪素鋼にはマグネシア・クロムレンガが使用できない。したがって、内張耐火物は天然ドロマイトを配合した焼成マグドロレンガ (CaO 23%) を主体に採用している。

このことが炉寿命を著しく低くしており、効果的な熱間補修法がなければ、炉操業そのものが成り立たない状況である。

ステンレス鋼とその他の鋼種は、それぞれ5ヒートから15ヒート程度連続して操業される。その間、フレームガンニングによる炉内補修はステンレス鋼吹錬への切替時、および耐火物損耗の大きいステンレス鋼吹錬の合間に実施している。全鋼種を総合した場合の吹付頻度は平均4~5ヒートに1回であるが、内張耐火物損耗状況に応じて、炉代の前半と後半では異なった補修法を採用している。フレームガンニングによる補修状況を**Photo. 1**に示す。

**Photo. 1** Hot repair by the flame gunning

補修方法としては、炉代前半は損耗の大きい部位の局部補修が主で、内張全体を均一に損耗させるようにするが、炉代後半は、炉内全体を補修する全面補修が主になる。しかし、部分補修を行う場合でも、吹付初期は炉壁温度が低く、フレームの温度も低いため、強固な付着層を得にくい。

そこで、局部的な補修を行う前に炉体全体の補修を行って、炉壁温度とフレーム温度を十分高にした後、局部補修を行うパターンを採用している。また、吹付方法として、両トラニオン側を中心と

した全体補修は Fig. 6 (a), 局部補修は Fig. 6 (b) に示す方法で行う。両者とも、吹付方向が炉壁面に垂直でなく、接線方向に近づいた方が良好な付着層が得られる。

フレームガンニングを導入する以前の上吹転炉では、局部損耗の傾向が著しく、しかもリン酸塩ボンドの半乾式吹付材を用いた補修では補修効果が十分得られなかった。この時の損耗状況は、Fig. 7 (c) に示すように、サンプリング時と炉垂時のスラグラインが交差する部分で永久張りが露出し、転炉の操業を停止せざるを得ない場合が多かった。フレームガンニング導入当初は、前述の局部損耗部に重点的に補修を行い、Fig. 7 (b) に示すように、局部損耗を回避して炉寿命を延長させたが、他部位で永久張りが露出し転が操業を停止した。最近の K-BOP における損耗状態を Fig. 7 (a) に

示す。上吹転炉と比較して、炉内における溶鋼、スラグの攪拌条件が厳しいにもかかわらず、前述の補修方法の採用によりほぼ様な損耗プロファイルが得られている。

フレームガンニングで得られる付着層は、補修面積にもよるが、1.5t/回の吹付量で約20mm 前後である。炉代の最終吹錬後に吹付けを行い、サンプリングした付着層の状況を Photo. 2 に示す。この付着層は、ステンレス鋼吹錬時で約2 ヒート、出鋼温度 1600~1650°C の普通鋼吹錬時で最大11 ヒートの耐用性を示す。付着層の平均気孔率は10~18%で、焼成マグドロールの気孔率(15~17%)とほぼ同等であり、半乾式吹付材の気孔率(30~40%)より著しく緻密である。フレームガンニングの付着層は緻密な組織であるため、高耐用性を示すものと考えられる²⁾。

フレームガンニングの付着効率を調べるために、吹付時に発生するダストを収集し調査した。

Photo. 3 にダストの SEM 像を示す。粒径が $2\mu\text{m}$ 以下と小さく、形状はほぼ球状である。ダストの主成分は FeO であり、MgO はほとんどない。したがって、ダストは炉内付着地金が酸化したものと考えられる。また、最終吹錬後の付着層の面積、付着厚さ分布から付着効率を求めると、約95%になり、非常に高い付着効率であると推定される。

ステンレス鋼吹錬比率がほぼ同じ(約30%)炉代で、フレームガンニングの有無による耐火物原

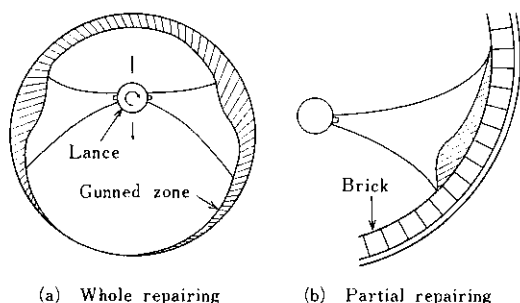


Fig. 6 Schematic illustration of repairing by gunning method

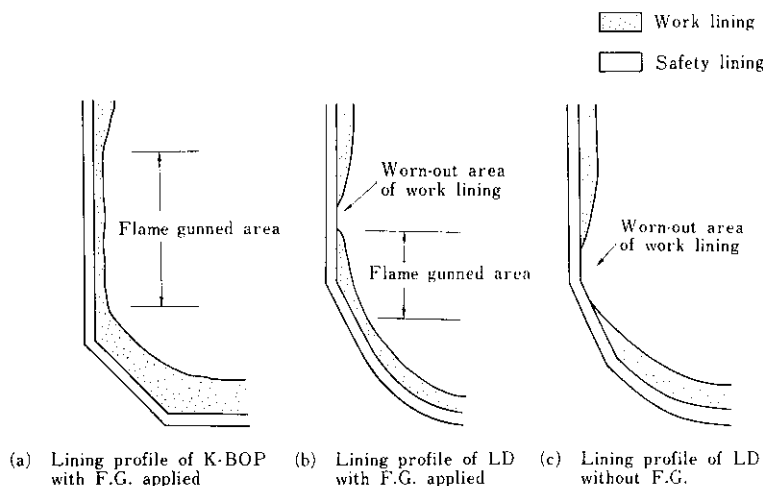


Fig. 7 Worn-out lining profile of LD and K-BOP

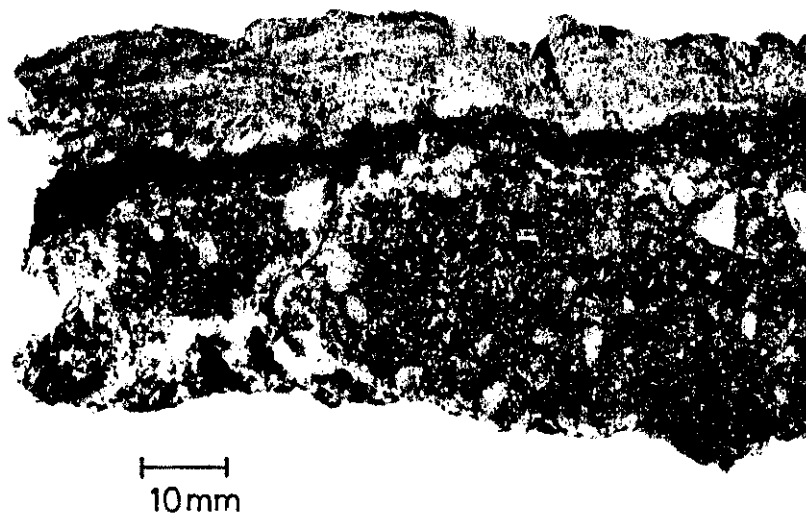


Photo. 2 Section of gunned layer

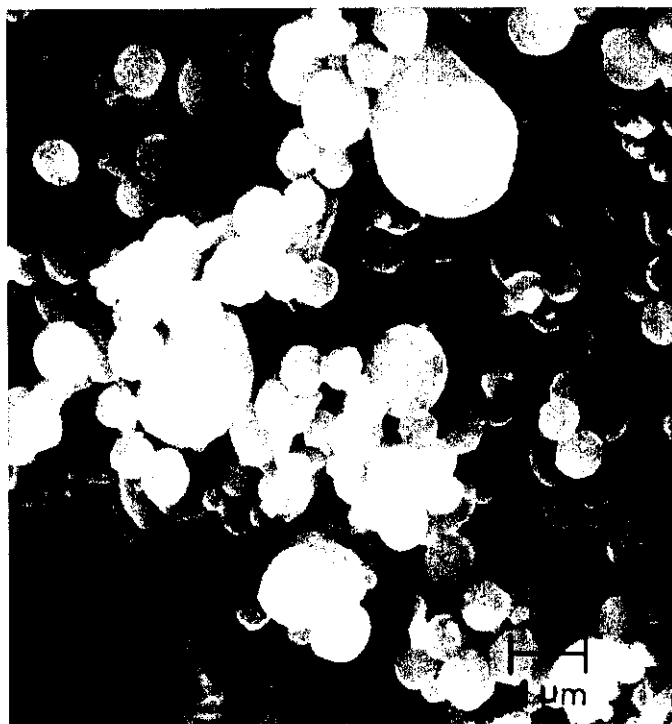


Photo. 3 SEM photograph of dust during flame gunning

単位、原単価の比較を行った結果を **Table 5** に示す。フレームガンニングの原単位はマグネシア粉の原単位であり、燃料コークスは含まないが、原

単価比率ではコークスを含めた全材料コストで計算している。表から明らかなように、吹付原単位は高くなるが、コスト的には安価なコークス微粉

Table 5 Refractory cost merit with the flame gunning applied (Stainless steel : 30%)

	Without flame gunning	With flame gunning applied
Lining life (heats)	246	365
Brick consumption (kg/t)	10.49	7.07
Gunning mass consumption (kg/t)	0	2.0
Total refractory consumption (kg/t)	10.49	9.07
Refractory cost (ratio)	1.00	0.74

を用いているため、26%の原単価低減が得られている。

5. 結 言

マグネシアとコークスを混合した吹付材を酸素気流中で燃焼させ、マグネシア粉を溶射する転炉

の吹付補修技術（フレームガンニング）について述べた。吹付補修には、材料貯蔵供給設備とランスおよびランス保持台車が必要であり、それぞれの設備には材料の安定供給、安全性、信頼性の確保、吹付作業の簡便性を考慮して種々の工夫をこらした。吹付補修技術でも、自動運転の採用、炉体損耗状況に応じた補修方法などにより、効果的な補修が可能となった。補修技術の向上とフレームガンニングによって形成される付着層の高耐用性がいまって、従来の耐火物コストより26%の節減ができた。

フレームガンニングは、

- (1) 吹付けに要する時間が短い
- (2) 付着層の耐食性が良い
- (3) 熱源コストが低い

などの長所を持つ。したがって、連铸比率の増大、出鋼温度の上昇が避けられない今後の転炉操業に対し、フレームガンニングの果す役割りは大きなものとなろう。

参 考 文 献

- 1) たとえば
片田，平柳：金属，51（1981）7，23
福岡ら：鉄と鋼，67（1981）4，S164
O. H. Чемерис *et al*：Металлург，（1978）3，21—22
- 2) 森本ら：耐火物，34（1982）290，137—145