

- 7) O. STEINBAUER, et al.: Stahl u. Eisen, 82 (1962), S. 547
- 8) JIS-Z-8721
- 9) 矢木, 国井: 工業窯炉

(31) 高炉付着物の生成機構とその防止対策について

神戸製鋼所, 中央研究所

国井和扶・前川昌大・○稲葉晋一

On the Mechanism of Scaffold Formation in Blast Furnace and its Prevention

Kazuo KUNII, Masahiro MAEKAWA  
Shin-ichi INABA

1. 緒 言

高炉炉壁付着物は炉壁レンガの保護という大きな意味を有しているが、付着量が増加すると有効内容積の減少、炉況悪化を招来し大巾な出鉄減となる。

高炉付着物に関する研究はすでに各所で多く実施されており、その生成原因としては、シャフト部におけるアルカリ成分および亜鉛の付着、装入物の軟化性および粉率、冷却箱の作用、装入物中の焼結鉱の割合などが考えられているが<sup>1)~3)</sup>、その生成機構に関してはまだ明らかにされていない。

そこで今回はまず操業中の灘浜第2高炉の付着物について、化学分析、X線回折、顕微鏡組織の観察および溶融点の測定を実施して、付着物生成機構を推定すると

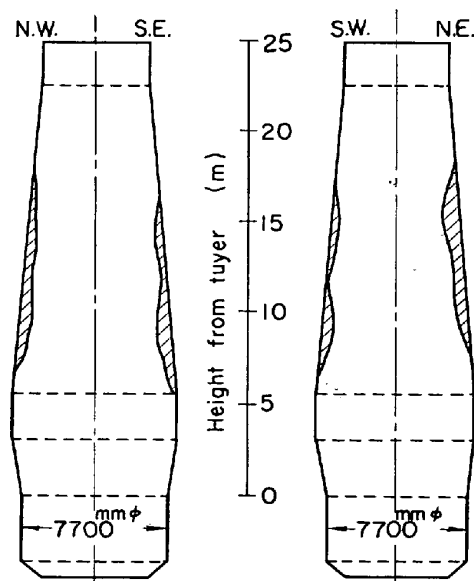


Fig. 1. Profile of scaffold in No. 2 BF at Nadahama Works.

もに、それに基づく付着物生成に対する 2, 3 の防止対策を示した。

2. 供試試料および外観性状

灘浜第2高炉付着物の付着状態を推定したものを Fig. 1 に示すが、これによると羽口から高さ約 6~17m にわたり、厚さ最大約 1000 mm の付着物が存在することになる。供試試料は羽口上 10.5m においてボーリングによつて直径 30~40 mm に採取したものである。採取

Dieneza (m)	No. 1 Shell ~300 outside	No. 2 Shell ~300 inside	No. 3 300 ~720	No. 4 720 ~1000 outside	No. 5 720 ~1000 intermediate
Character-istic	Original refractory		Changed refractory, gray or black, partly dark green	Scaffold, very brittle with carbon deposited	Scaffold, brittle
Appearance					
Character-istic	Almost dark green, high strength. yellowish green crystalline square column		Gray, sintered spongy iron		
Dieneza (m)	720 ~1000 inside No. 6	1000 ~1330 outside No. 7	1000 ~1330 intermediate No. 8	1000 ~1330 inside No. 9	

Photo. 1. Appearance and characteristic of scaffold at Nadahama No. 2 BF.

した試料を炉壁に近いものから順次炉芯に向つて柱状にならべ、シャフト鉄皮からの距離によつて Photo. 1 に示すように 9 種類に分類した。

レンガ層に接する付着物はきわめて脆く、炭素析出が明らかに認められる。付着物層中間の試料は全体的に暗緑色を呈し、その強度も高く、またこの部分に存在する比較的大きい割れ目には黄緑色角錐状結晶が成長している。最も炉芯に近い付着物は灰色を呈し、焼結した海綿鉄状で、その硬度はきわめて高い。

3. 実験結果

3.1 化学分析

Fig. 2 に鉄皮からの距離と付着物の化学組成との関係を示す。付着物に接する耐火レンガ内には ZnO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, C が存在し、これらの成分によつて著しく変質作用を受けている。耐火レンガに最も近い付着物中には K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O のアルカリ成分および C が最も多く存在し、付着物層中間付近には Zn が最も多く認められる。鉄分は炉芯に最も近い付着物の先端に最も多く存在している。

3.2 X線回折による鉱物相の決定

Photo. 1 に示した各付着物について X 線回折を行なった結果、亜鉛は zincite (ZnO) として存在しており、耐火レンガに比較的近い付着物中の割れ目に発達した黄緑色角錐状結晶も zincite である。カリウムは K<sub>2</sub>O の含有量に応じて kalsilite (K<sub>2</sub>O·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub>) または leucite (K<sub>2</sub>O·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>) として存在する。leucite は変質レンガ内にもみ検出されたにすぎないが kalsilite は付着物中にも検出された。鉄分は α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, または α-Fe として存在する。

3.3 溶融点測定

各位置の付着物について不活性ガス中で溶融点を測定した。変質レンガは低融点の kalsilite, leucite を含むので融点は 1420°C と低く、またアルカリ成分を多量に含む付着物の融点も低い。付着物中間付近の ZnO を多量に含有する試料では高融点 (1800°C) の ZnO が溶融せずに残留していると考えられる。

4. 考 察

4.1 高炉付着物の生成機構について

上に述べた化学分析, X線回折, 溶融点測定および顕微鏡組織の観察を実施して得られた結果から、高炉付着物は炉壁に近い部分から

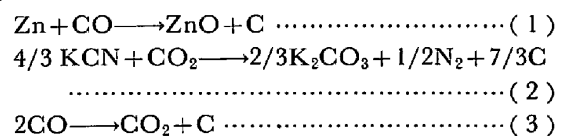
- アルカリ富化層 (A)
- 炭素, 亜鉛, 鉛富化層 (B)
- 鉄分富化層 (C)

と大きく 3 層に区分することができる。さらに (A), (B) 層を付着物足 (scaffold root), (C) 層を付着物 (scaffold) と大別することもできよう。

付着物足の生成は主としてアルカリ成分, 亜鉛, 炭素および鉛など高炉内で容易に気相になり得る成分が関与する。すなわち、炉床で気化したアルカリ蒸気 (K: m. p.=64°C, b. p.=760°C) または KCN (m. p.=634°C) は炉内を上昇し、一部はまず耐火レンガ内に侵入し、そこで酸化され、シャモットレンガの主成分 SiO<sub>2</sub> および Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と反応して低融点の kalsilite または leucite を生成し、耐火レンガを変質せしめ、さらに変質レンガ上に析出が続いて付着物足の一部を構成する。

また (Zn, Fe)S または ZnS の硫化物, (Zn, Fe)O·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> または ZnO·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> のフェライトおよび 2ZnO·SiO<sub>2</sub> の珪酸塩の形態<sup>2)</sup> で高炉に装入された亜鉛の化合物は 900°C 以上の温度において炭素によつて還元され、揮発し (b. p.=907°C) 耐火レンガ内に侵入し、液体または固体 (Zn: m. p.=419°C) の状態で酸化され、融点の高い zincite (ZnO) を形成する。さらに変質レンガ上に析出して付着物足を成長せしめると考えられる。

炭素は



などの炭素析出反応により生成したものと考えられる。

上述の過程を経て形成した付着物足の上に、次に装入物中の微粉が堆積し、装入物の融点の高低に応じて焼結し、さらに還元されて海綿鉄状の鉄分含有量のきわめて高い付着物を形成すると考えられる。

4.2 高炉付着物の還元性雰囲気における加熱試験結果

高炉操作においては、シャフトの冷却箱の作用を停止すると付着物はその冷却箱の位置より高いレベルに移動することが経験上知られている。また炉壁に近い部分にきわめて脆い付着物層が存在するが、これは付着物生成の初期から脆いのか、あるいは付着物の成長途上で変質したのか不明である。そこでこれらの付着物の炉内における挙動を考察するための資料を得る目的で、高炉付着物を還元性雰囲気中で加熱する試験を行なった。

鉄皮から約 1000 mm (Photo. 1 の No. 6) の付着物 (58%ZnO) を CO 30%+N<sub>2</sub> 70% の還元性雰囲気中で、

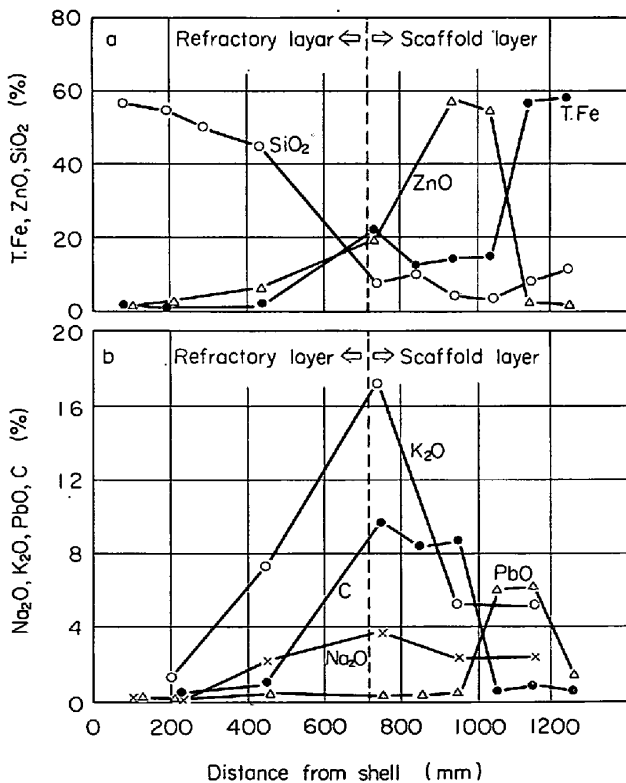
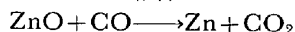


Fig. 2. Change of chemical composition of scaffold.

500, 700°C および 920°C にそれぞれ 17 hr 加熱した結果 (Photo. 2), 500°C においては付着物上に少量の炭素析出が認められたが, 付着物の崩壊はほとんど認められなかった. 高炉々内での付着物の変質作用を推定するためには, さらに長時間加熱する必要がある. 700°C の場合は 17 hr の加熱で炭素析出とともに付着物の崩壊, 粉化が認められた.

また 920°C の場合は



の反応により, ZnO は還元され, Zn は揮発し, 付着物は崩壊した.

以上の事実から, 高炉付着物の形成後, 炉内条件 (特に温度) の変化によつて付着物は変質すると考えられる. 例えば, 冷却箱の作用を停止して, 付着物の亜鉛富化層の温度が 920°C 以上に上昇した場合, ZnO は還元されて揮発する. そのために付着物中の Fe, FeO, SiO<sub>2</sub> など付着物構成鉱物組成の結合は破れ, 付着物は崩壊し, 揮発した Zn は上部の低温部に凝結して, 再び付着物を形成すると考えられる.

また脆い層の形成は, 付着物生成後の炭素析出に起因するものと考えられるが, この点についてはさらに詳細な実験を必要とする.

## 5. 結 言

操業中の灘浜第 2 高炉付着物につき, その化学的および鉱物学的組成を明らかにするとともに, 溶融点の測定ならびに付着物の還元性雰囲気における加熱試験を行ない, 付着物の生成機構を推定するとともに, それを基にして 2, 3 の防止対策を示すことを目的とした.

高炉付着物の生成は, まず炉内の温度条件に応じてアルカリ, 亜鉛, 鉛および炭素など炉内で容易に気相になり得る成分が炉壁部に析出し付着物足を形成することから始まる. この付着物足には, 炉壁から炉芯に向つてアルカリ富化層, 炭素亜鉛富化層, 鉛富化層が存在する. 次に付着物足上に装入物中の微粉が堆積し, 条件によつては焼結するとともに還元され, 海綿鉄状の鉄分含有量のきわめて高い付着物が形成されることが考えられる.

したがって付着物生成の防止対策としては,

- (1) 揮発成分の装入量を最少限にとどめること.
  - (2) 整粒設備を強化して装入物の粉率を低下させること.
  - (3) 付着物の生成状況によつて炉壁の冷却を制御すること.
  - (4) 周辺操業を維持し, 炉壁部の cleaning を行ない, 揮発成分の停滞を防止すること.
- などが考えられる.

## 文 献

- 1) DIEMERS, S. HENKEL, E. NAUMANN and H. SCHENCK: Stahl u. Eisen, 85 (1965), 20, p. 1240
- 2) A. V. GOROKH, I. M. GALEMIN and G. A. KOMLEV: Stal in English, July (1964), p. 509
- 3) J. WILLEMS, G. HEYNERT, G. QUADE and W.

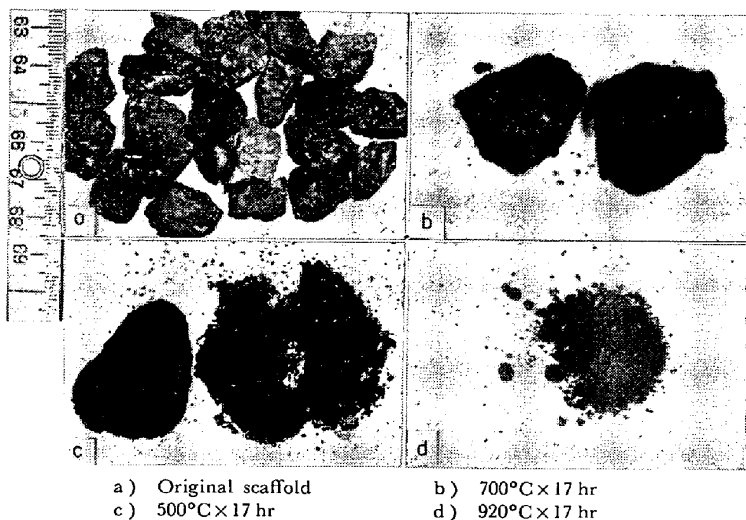


Photo. 2. Appearance of Zn rich scaffold reduced in CO 30% + N<sub>2</sub> 70%.

ZISCHKALE: Stahl u. Eisen, 84 (1964) 2, p. 57

4) 大庭, 平櫛, 田中: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 630

## (33) 東田第 6 高炉 (5 次) 炉床部レンガの使用後性状調査

(高炉用レンガの損耗に関する研究—Ⅶ)

八幡製鉄, 技術研究所

工博 大庭 宏・平櫛敬資・松尾正孝

Investigation on After Use Properties of Higashida No. 6 Blast Furnace Hearth Linings, 5th Campaign

(Study on wearing mechanism of blast furnace linings—Ⅶ)

Dr. Hiroshi OHBA, Keisuke HIRAGUSHI and Masataka MATSUO

## 1. 緒 言

国産シャモットレンガで 10 年 7 カ月の長期操業を達成した東田第 6 高炉 (5 次) の炉床部レンガの使用後性状を調査した. 炉床レンガは, 最近ではカーボン質が一般に用いられるが, 本高炉は, 当八幡製鉄所においてカーボン質に移行する前の最後のシャモット炉床である. 炉床は, 炉底, 朝顔などに比べると問題のほとんど起こらない部分であるが, 現在のレンガ材質が最適なものは必ずしも考えられず, 改善の必要があることおよび残存レンガが厚く, アルカリその他の外来成分のレンガに対する影響を調査し易いことから使用後レンガ性状を調べることは, 意義があるものと考えられる.

## 2. 試 料

東田第 6 高炉 (5 次) は昭和 26 年 12 月 14 日火入れ後 10 年 7 カ月の連続操業で 213 万 t の出鉄を行なつた. 炉床レンガは, 当所炉材課製で国産シャモットを用いていることが特徴となつている. 今回調査した炉床レンガは Fig. 1 に示す 2 個所で, 上部は長さ 500 mm,