

講演：高炉炉底カーボン煉瓦の使用後性状と損耗機構*

八幡技研 工博 大庭 宏・平櫛敬資・谷山光哉

【質問】 鋼管川崎 小林 正

日本鋼管の炉床側壁に使ったカーボンの使用後の分析例が現在ないので比較できないが、現在まで解体した結果ではカーボン煉瓦は外観上亀裂などは全く見られず、組織的にも異常は全く見られなかつた。表2で炉によりアルカリの含有量に非常に差のある原因は何か。解体の場合水冷するので、アルカリ類が水にとけて侵入するとは考えられないか。

またこれらカーボンの性状変化と侵食状況とはなんらかの関係はないか。

当所も最近改修した高炉に無煙炭系のカーボン煉瓦を使用した。性状的にはグラファイト系の方がよいように思われる。何かご意見があれば教えていただきたい。

【回答】

(1) 炉によりアルカリ含有量に差のある原因については、アルカリ起源が装入物、とくに塊成鉱とコークス灰より由来し、一部はスラグと高炉ダストとして排出されるが大部分は炉内に残留して蓄積されるものと考えられる。これらは炉内下部の高温部で揮発して上昇し、炉内装入物に冷却付着して再び下降し、高温部で揮発することを繰り返しており、一部はおもに炉壁の目地を通つてレンガ内部に侵入凝固し、レンガと反応してケイ酸塩（カルシライト $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ など）を生成する。したがって理論的には高炉ごとにアルカリ含有量の多い原料の使用量が多く、また寿命の長い高炉ほどアルカリ量が多いはずであり、また操業条件によりスラグの塩基度とアルカリ排出量とも関係があるとの報告もあるので、高炉によりアルカリのレンガ内含有量に差異が出ているものと考えられる。

またアルカリのレンガ内の蓄積は炉内位置により差異があり、アルカリの揮発温度、位置と凝縮位置に関係があると考えられる。この傾向については、鉄と鋼誌に高炉ごとに調査報告しているので参照されたいが、表2に示した位置は必ずしも高炉ごとの同一位置にないのでその点については了解ねがいたい。

ただ炉底周辺部で東田 No6 と戸畑 No1 高炉で差異が非常に出てくるのは、「高炉炉底炭素煉瓦の効果について」(白石、大庭)の報文図2に示したように、前者の試料採取位置が常に溶銑に浸漬されているためアルカリが少なく、後者は湯溜り部炉壁であるためアルカリ付着量が多いものと考えている。炉底中央部で少ないのも常に溶銑が浸漬しているため、アルカリの侵入がほとんどないものと思う。

(2) アルカリ類が高炉解体時の冷却海水より侵入したのではないかとの見解には同意できない。

解体レンガ中のアルカリには水溶性と不溶性があり、前者は炭酸塩、シアン塩など、後者はケイ酸塩である。

アルカリの形態をX線回折で調査した結果大部分がカルシライト ($K(Na)O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) で、一部微量が炭酸塩である。

またアルカリの多い部分に亀裂が発生していることから、稼動中すでにアルカリとレンガが反応していたものと考えている。

(3) 炭素レンガの性状変化と侵食状況については、性状変化は炭素レンガが損耗されていく過程と考えているため、変質の著しいほど侵食はすすむものと思う。ただ使用した炭素レンガの材質、品質が高炉ごとに異なり、使用条件、履歴も異なるため、両者を直接関係づけることは無理がある。

(4) グラファイト系レンガと無煙炭系レンガは両者とも製司コークス系より熱間性状、耐アルカリ性の点で優れている。両者を比較したとき、前者の方が熱伝導性よく、耐酸化性も若干良好であるが、溶銑に対する耐食性がやや小さく（普通焼成品では気孔率が大きく、灰分が高いためと考えられる）、アルカリに対する抵抗性がやや小さい。また価格が約2倍位になる短所がある。しかし将来有望な材質であり検討の要があると考えている。

【質問】 東北大選研 工博 三本木貢治

カーボン煉瓦の変質の機構、損耗の原因についての大庭氏らのご見解はおおむね妥当なものと考えられるが、各発表論文を比較するとき朝顔部、炉床、炉底のカーボン煉瓦の侵食状況は必ずしも同一の傾向を示しているとはいえないように思われる。

これは操業条件の差の影響が大きいように思われる。そこで操業条件と氏らの述べている損耗原因との関係についてご見解を教示いただきたい。

【回答】

損耗原因の損耗への寄与率は操業条件によりかわると考えられる。操業条件の2, 3につき損耗原因との関係を述べると以下のとおりである。

1. 出銑温度

出銑温度の上昇は炭素煉瓦の酸化、溶銑への加炭、スラグ、銑鉄の煉瓦内への拡散、浸透、炭素の黒鉛化を促進し、損耗速度を大きくすると考えられる。解体高炉の侵食プロフィールは最近ひどくなっているが、出銑温度の上昇がまず考えられる。

2. 装入原料の変化

焼結鉱の増加、出銑比の増加は K_2O の煉瓦内への蓄積量が多くなり、カリによる亀裂の発生、崩壊現象をはやめる。また砂鉄の装入は Ti ペアを生成し coating による炭素煉瓦の侵食を防止するといわれている。

3. 雰囲気

湯溜り付近の CO_2 分圧、 H_2O 分圧の増加は炭素煉瓦の酸化と KCN の酸化による K_2O の生成を促進する。

また冷却板の破損による洩水は水蒸気圧が高くなり、酸化消耗は促進される。

高圧操業ではガス反応が促進されると考えている。

【質問】 茨城大工 工博 相馬 胤和

1) 炭素の黒鉛化について

使用後の炭素煉瓦中の炭素の黒鉛化度が炉底中央、炉床下部など比較的高温になると考えられる部分では 80～100% に達しており、これが収縮などをとおして侵食

* 昭和42年10月本会講演大会にて発表

鉄と鋼: 53 (1967) 10, S 499~502

ク: 54 (1968) 8, p. 859~864

につながっているとのことですが、たとえば人造黒鉛電極の製造の際の黒鉛化の条件は約 2500°C で 2 週間以上とされており、高炉炉底における煉瓦温度は 1550°C 以下と考えられ、この温度では黒鉛化に長年月を要するものと考えられるので、侵食が急速に進むという最初の数カ月における侵食機構の説明として適切であるのかどうか。

2) 溶銑への加炭について

東京大学生産技術研究所における試験高炉の第一次操業における炉底人造黒鉛電極の浸食において炭素材中の気孔に進入した銑鉄を分析したところ $\text{C } 5.0 \sim 5.3\%$ の値を得た。したがって高炉銑もまだ加炭の余地はある。逆に $\text{C } 4.0\%$ 位の銑鉄を溶解しておき電極材などを入れて加炭しようとしてもなかなか加炭しない。また高炉湯溜中にはコークスもかなり存在すると考えられ、また火入時の木材より生成した木炭が解体時にも残っていることなどより加炭による損耗は比較的小さいものと考えられる。

また電極材クリ抜きルツボ(炉底厚約 30 mm) にて溶銑を長時間加熱した結果湯がもれたが、冷却後調査の結果ルツボ中央に径約 20 mm の穴があいていたが、他の部分の侵食はごくわずかであった。そこで加炭による侵食には湯の流れが必要であると考えられるが、炉底中央が炉床より早い説明がつくかどうか。

3) 炭素煉瓦の熱伝導度について

炭素煉瓦の侵食は炉床では少なく、炉底中央部では大きいことは各社で認められており、ご指摘のとおり温度に非常に影響しているものと考えられる。しかし炉底も炉床も約 1500°C の溶銑に接触している点、炭素表面での温度は均一であるべきであるが、境膜などの影響で単位断面積当りの熱流速すなわち冷却の強さがきくものと考えられ、炉底中央では熱流速が小さいことが侵食が大きな第一の原因と考えられる。

炭素煉瓦の熱伝導度はかなりの幅があり $2 \sim 5\text{ kcal/m}\cdot\text{hr}\cdot^{\circ}\text{C}$ とされており人造黒鉛電極の約 $30\text{ kcal/m}\cdot\text{hr}\cdot^{\circ}\text{C}$ に比べれば非常に小さい。これは不定形炭素であるほか、灰分、気孔率などに関係あるものと考えられるが、熱伝導度については考慮されたか否か、また無煙炭ベースにしたときの熱伝導度はどの位の差異があるかお知らせいただきたい。

【回答】

(1) 炭素煉瓦が使用中黒鉛化するが、その温度が 1550°C 以下と考えられるため黒鉛化に長期間を要するものとする点については同意見である。したがって使用開始して数カ月間に侵食が急速に進んでいる現象の説明にならないことについても同様に考えている。その意味で本文にも記載のとおり黒鉛化は損耗の直接原因でなく、溶銑への加炭などが直接原因と考えている。とくに初期は高温溶銑が直接炭素煉瓦に接触するのに対し、侵食がすすむにつれ炉底地盤よりの冷却効果により炭素煉瓦に接する溶銑温度は低下しているものと考えている。溶銑への加炭性については、溶銑の炭素飽和度よりも温度の影響が大きいと考えているが、侵食初期は煉瓦に接する溶銑温度が高いため溶銑の炭素不飽和度高く、温度も高いため侵食速度は大きいと考えている。

(2) 溶銑への加炭について湯の流れがあれば炭素煉瓦の表面の炭素飽和層が除去され新鮮な未飽和銑に接するため加炭が促進されることは当然考えられ、また溶銑による磨耗も同時に発生して損耗は静置銑より大きくなると思う。

東京大学生産技術研究所の試験高炉の操業条件、ルツボでの溶銑加熱実験の諸条件が詳細わからないため推定にすぎないが、高炉内にコークスなどが存在することが溶銑への加炭を少なくし、逆にいえば湯溜部、炉底部の炭素煉瓦の侵食が小さいため該部に使用して優秀な成績をおさめている理由の 1 つと考えられる。

炉底中央部が炉壁部に対し侵食が大きい理由は、炉壁部が直接海水により冷却されているのに対し、炉底部は下部をシャモット煉瓦で保温されているため高温となり、たとえば日本鋼管川崎製鉄所報告の温度分布に示されるように、温度の影響が最もきくものと考えている。

(3) 湯溜部の温度分布について、高炉では羽口面で最高温度となるため、湯溜部の貯銑は上部の温度が高く、下部は地盤で冷却されているためと対流は上記理由で起こらないため低いものと考えている。また平面的には周囲が冷却海水で冷却されているため中心部が高いと考えている。

これらのほか炉底部には salamander が生成して炭素煉瓦を保護しているともいわれているが、冷却による煉瓦内の熱流速と溶銑の加熱方式とにより生じる溶銑の温度分布が侵食に最もきくものと考えている。

(4) 溶銑への加炭は温度によつて律速されると考えているので、炭素煉瓦の熱伝導性はきわめて重要な性質である。従来の製司コークス原料の炭素煉瓦が $3 \sim 5\text{ kcal/m}\cdot\text{hr}\cdot^{\circ}\text{C}$ に対し、無煙炭原料の炭素煉瓦は $5 \sim 13\text{ kcal/m}\cdot\text{hr}\cdot^{\circ}\text{C}$ であり、熱伝導性は良好となつている。

【質問意見】 北大工 工博 吉井 周雄

高炉湯溜内の状態ははつきりしないが、中心部に炉芯があり、その周囲はコークスで詰まり、その中に溶銑や溶滓が貯っていると考える。溶銑は羽口面で加熱されたものが落下してくるので上部の溶銑は底部のものより高温である。したがって炭素の吸収は上部ですみやかに起こっているため底部では温度も低いので炭素が吸収されることが起こるとは考えにくい。

侵食の原因として

(1) 出銑時に炉底のサラマンダーの湯が風圧で出銑口の方へ吹き寄せられて一部分出銑するとすると、炉底のカーボン煉瓦面が露出して溶滓、熱風が接して消耗する可能性がある。このような考え方をすると高圧操業ではその損耗はさらに大きくなるはずであるが、いかがか。

(2) 炉の炉芯の問題であるが炉芯にはコークスと溶滓とが混つて粘つているので、これと溶銑との接触は加炭に関係してくると思う。炉芯は炉底煉瓦から上方に伸びてできているか、炉芯が炉底煉瓦の侵食に関係しないか。

(3) 炉底煉瓦と溶滓との反応は、あまりないのではないか。それは溶滓は常に溶銑の上部にあり、出銑時でも溶銑をおおつてでてくる。溶滓がカーボン煉瓦と反応するならば、煉瓦損耗後の炉底シャモット煉瓦とはげしく反応するはずである。しかしシャモット煉瓦はあまり侵食されていない。それは炉底が深くなつて風圧で貯つた

溶銑が動かなくなつていて常に溶銑でおおわれているためかもしれない。

(4) 物理的な面として煉瓦の黒鉛化による収縮のために隙間ができて、そこへ溶銑・溶滓が流入して化学的侵食を起こすことと、その上黒鉛化による表面層の収縮は表面に張力として働き亀裂発生に導き損耗して行く。このことは必ず原因となつていると思う。

【回答】

(1) 出銑時貯溶銑が風圧で出銑口の方へ吹き寄せられる傾向はあると思うが、当所で築炉時出銑口は炉底面より 700~1000 mm 高く、侵食がすすむとさらに深くなるので、炉底炭素煉瓦面が露出して溶滓、熱風に接して消耗するとは考えにくい。また炉底中心部の溶損ははげしく、また炉内雰囲気にとさらされやすい炉壁部が冷却効果はあるが、侵食の小さい点の説明がつかないように思う。

最近の高炉のように出銑速度が早くなると、銑鉄は十分コークスと反応せず炭素未飽和のまま貯銑される可能性が高くなつていると考えている。高圧操業も同様その傾向がはげしくなると思う。

湯溜り部の貯銑の上部の温度が下部より高いと考えることは同意見である。

(2) 炉芯がどの位置でどのような性状であるかについてはわからないが、比重の点よりは溶銑上に浮いているように考えられる。

炉芯がコークスを主体として構成されていることは間違いないと思つているが、貯銑が炉芯と接触している限り溶銑の加炭源となり、炭素煉瓦の溶銑への加炭性を軽減しているものと考えられる。

(3) 炉底煉瓦と溶滓の反応はあまりないものと考えているが、報文に記述したのはおもに湯溜り炉壁部スラグラインの炭素煉瓦の侵食を考慮したものである。使用後炉底部煉瓦にスラグ成分がほとんどみられないのもこれを実証していると思う。

(4) 溶銑温度が 1500°C 以下で、炭素煉瓦に接触する境面ではさらに低いので黒鉛化速度はおそいと考えられるが、高炉は長年月使用されるため、数カ月後には黒鉛化による収縮現象は出はじめるものと考えている。これと同じ意味で当所では熱間容積安定性のある無煙炭質煉瓦を使用するに至つている。

一 意 見

川崎千葉 才野 光男

1) 千葉製鉄所においては、昭和 33 年に火入れした第 2 高炉にカーボンレンガを採用して以来、その後のすべての高炉にこれを用いている。

しかし、この 10 年間に、これを利用するに当たつて次のごとく変遷があつた。

(イ) リングウォールのみへの採用 (2BF, S-33)。

(ロ) リングウォールと炉底 2~3 段目への採用 (3.4 BF, 1BF (2 次), S-35~36)。

(ハ) 炉底 1~3 段目、炉床、および朝顔への採用 (2BF (2 次), 5BF, S-39~40)。

(ニ) 炉底の下部と周辺部、炉床、および朝顔への採用 (4BF (2 次), 3BF (2 次計画), S-41~42)。

なお、BF (2 次) 以降は各炉共、炉底空冷をおこなつている。

2) この間、解体した高炉は 2 基 (2, 4BF) にすぎないが、これらの結果はカーボンレンガに関して、次のような情報を与えた。

(イ) リングウォールとしての役割はほぼ果たしたと考えられる。しかし、かなり侵食されているものもあつた。

(ロ) 敷レンガ 2~3 段目のカーボンレンガは、周辺を除いて完全に侵食され、高温特性に関しては、粘土質レンガに対する優位性が示されたとはいえない。現在稼働中の 3BF (出銑 515 万 t) の炉底もかなり侵食されている。

(ハ) カーボンレンガの炉内側は、かなりの銑鉄の侵入を受け、気孔率の低下、比重の増大が生じる。この侵入深さは 200 mm にも達し、その部分の Fe は 20% にもなる。これは損傷原因の 1 つになろう。

3) 朝顔に採用したカーボンレンガの侵食速度は、室蘭 3BF と同規模の 2 BF において、平均 12×10^{-4} mm/trp 程度であつた。この測定点が、千葉の方がやや高いこと、レンガ厚が異なることなどで、侵食速度がやや速かつたのかもしれない。

ちなみに、5BF では 8~9 カ月で 450 mm、4BF では 4~5 カ月で 400 mm が侵食された。しかしその後は 200~300 mm 程度を残して平衡に達している模様で、鉄皮の赤熱もなく、粘土質レンガよりもすぐれていると考えられるが、詳しくは解体後の結果を待ちたい。

なお、朝顔の構造については薄壁で下部を絞る方法も考えられるが (フリースタANDING でない場合)、その場合の冷却方法を知りたいと思つている。

4) 炉底レンガの築造に関して、当所では 1BF 2 次 (S-3F) 以来、炉底空冷方式を採用し所期の目的を達成しているが、カーボンレンガの採用においては、前期には敷レンガ上段に、後期には最下段および周辺部に用いる方法を採用している。

カーボンレンガの高熱導率の特徴を生かすには、後者の方が理屈にかなつた方法と思われるが、これには上部敷レンガの浮上を防止する築炉上の自信が必要である。

現在までのところ、両築炉法の高炉とも、空冷レベルよりやや上の炉底中心温度が 200~300°C 程度で安定しており、空冷の効果は明らかである。しかし空冷採用後の両築炉法の優劣の詳細については今後待ちたい。

当所としては、4BF 2 次以降、朝顔、炉床、炉底下段および周辺はカーボンレンガで築造して外部から積極的に冷却し、炉底上中段にアルミナ分の高い粘土質レンガを積む方法を採用している。

5) カーボンレンガは大型で目地が少なく、熱間での荷重軟化がないため、稼働後のレンガの膨張が羽口廻りに集中し、冷却箱に割れ、歪みを与える例が当所では見られた。

また、炉床、朝顔では炉内から鉄皮へかけて通し目地になるための心配がある。カーボンクッションの用い方と合わせて、これらの点にもまだ問題が残っている。

住金和歌山 岡村 祥三

カーボン煉瓦の効果について、各社ともシャモット煉瓦に比べ概に優劣を判定できるほどにはデータがなく、いずれも推測の域をでていない。ただ使用カ所についてはカーボン煉瓦は冷却が十分でないところでは耐食性はよいとは言えず、今後カーボン煉瓦の使用にあたっては冷却方法に一考を要するという点で各社とも意見が一致していると思う。

(1) 炉底カーボン煉瓦について

八幡、富士の論文では高炉吹きおろし後の侵食状況の調査より、カーボン煉瓦の方がシャモット煉瓦よりよいとされているが、侵食の状況より必ずしもそうとは言えない点があるように思われる。

炉底上部（稼動面）にカーボン煉瓦を使用した場合の侵食線はそのほとんどがカーボンとシャモットとの境で止まっていることに注目してみると、その原因として次のことが考えられる。

a) カーボン煉瓦は冷却効果のおよばない炉芯部の高温下においては比較的早く消耗するが、この間下部のシャモット煉瓦積は高温高压により焼成され、目地の焼締りも十分となり、本来のシャモットの耐食性を発揮できる条件になつていないのではないか。

b) カーボン煉瓦とシャモット煉瓦間に溶銑が早い時期に侵入凝固し鉄煉瓦のごときものを形成し、鉄皮からの冷却を内部に伝えシャモット煉瓦積への冷却効果を大きくしているのではないかと。

このように考えると八幡洞岡第1高炉と戸畑第1高炉のカーボン煉瓦積で2段と3段とは必ずしも3段の方が優れているとはいえないということも納得できるように思われる。従来のシャモット炉底が最近のカーボン炉底に比べて侵食線が深かつたのは、シャモット煉瓦の品質にその理由が求められないだろうか。

和歌山の実績からはカーボン煉瓦は高温下では溶銑へのCの溶解は早いと考えられる。この場合カーボン煉瓦の浮上りの問題が残るが炉底温度の推移から見ると浮上したとは考えられず、カーボン煉瓦の高温における反応性を検討する必要があると考える。また下部シャモット積み中の水分による消耗も今後の築炉法上考慮する必要がある。

(2) 朝顔部カーボン煉瓦について

朝顔上部においては、カーボン煉瓦の侵食速度は各社あまり差はないようである。シャモットの場合は和歌山ではカーボン煉瓦に比べややおそく、釜石では相当に早いという結果であるが、その差が非常に大きくシャモット自体の特性によるものではなく、築炉上あるいは操業上の差によるものではないかと思われる。

朝顔部のライニングは初期段階ではかなり早いペースで侵食され、外部からの冷却とバランスした点で侵食がおとろえ、あとは付着物によつて保護されるが付着物あるいは侵入ガスとの反応がゆつくり進み最終的には付着物のみによつて（若干のライニングは残存することもある）操業が維持されているのが一般的であろう。とすれば、朝顔部ではライニングの冷却を主体に（付着物の生成も合わせて）考えるべきで、カーボン煉瓦の場合は鉄皮面からの冷却のみであるが、シャモットの場合はさらに冷却盤の挿入が可能であり煉瓦の熱伝導性は劣るが冷却面積を大きく取ることができる点で有利と思われる。また、未還元物との反応（酸化）および付着物の着きやすさの点からもシャモットの方が有利と思われる。

矢作 工博 多田嘉之助・鹿島俊作

1. 緒 言

矢作製鉄高炉は現在火入れ後約5年半を経過しているが、未改修であり解体調査の経験がないので炉底カーボン煉瓦の侵食についてはよくわからないが、炉底测温、RIによる残銑量調査からみて著しく侵食されるには至っていないと判断している。

しかし当社ではこの高炉以前に酸素炉と称する酸素富化送風による低シャフト型の特殊な小型溶銑炉を4年間操業し、その間改修を2回行なつて比較的短期間のカーボン煉瓦などのライニングの変化について調査しているので、これにつき報告する。

この酸素炉は炉頂ガスをNH₃合成用原料ガスとして供給することを目的としたもので当初は高酸素濃度冷風送風を行なつたが、ガス需給上の技術上、経済性の点より次表のごとく、逐次送風方法を変化して操業を行なつた。銑鉄は終始鋳物用銑を吹製した。

2. 炉底カーボン煉瓦について

建設当初の築炉は炉底からシャフトまですべてカーボン煉瓦で内張を行なつたが、この炉底は800×400×厚500mmのカーボン煉瓦を1段平積みし、その下はシャモット煉瓦並型で720mm積み、炉壁側は並型230mm厚さに巻いた。

この炉を11ヵ月操業後吹きおろし装入物を掻出し炉底調査の結果、湯溜径2.58mの炉底にかかわらずカーボン2枚が浮上しており、さらに次々浮上する状態にあつた。この第1次操業は必ずしも順調ではなく冷込みも数度繰返したので、ある程度炉底を冷したことは事実であるが、それにしても一般に行なわれる程度のせり勾配が取つてあるにかかわらず浮上したことは意外であつた。

第2次操業は第1次操業後再稼動まで、カーボン煉瓦製作の余裕なく、また当社電気製銑炉において従来より十分の経験をもち自信のあつたカーボンスタンプを炉底

酸 素 炉 諸 元 表

次 数	期 間	内容積 (m ³)	湯溜径 (mm)	炉 高 (mm)	送風量 (m ³ /min)	送風温 度(°C)	送風酸素* 濃度(%)	出銑比 (t/m ³)
第1次	昭 33. 4.14~34. 2.28 (11ヵ月)	24.3	2580	5950	71	65	(53) 33	1.37
第2次	昭 34. 4.12~35.10.28 (1年7ヵ月)	33.8	2400	7250	112	65	(55) 35	2.57
第3次	昭 35.11.10~37. 4. 4 (1年5ヵ月)	47.5	2744	7250	140	570	(33) 28	2.69

* 送風酸素濃度: ()は空気と酸素を混合した富化送風系統の濃度で、これにさらに羽口直前で清浄炉頂ガスを複合送風したものを送風酸素濃度とする。なお炉頂ガス送風は、後半重油吹込に変更した。

全体に施工した。

このカーボンスタンプは第2次操業を1年7カ月行なった後、吹きおろし装入物を掻出し点検したところほとんど異常が認められなかつたので、そのままなら手を加えることなく引続き第3次操業に入り1年5カ月後吹きおろし掻出して解体調査した結果、ほとんど浮上なく、よく原形を保っていた。もちろんカーボンスタンプのことであるから亀裂は無数に入り、すべて銑鉄が侵入しており、特に水平方向の銑鉄の侵入は、カーボンスタンプの打ち足しを行なった各継目のほとんどに板状に存在しており、下部の打ち込み厚さを150 mm程度にした所は厚さ15 mmの銑鉄板が存在していた。その上は順次50 mm程度ずつ打ち込んで行なったのであるが、その一層ずつの継目に約5 mm以下程度の銑鉄板が存在していた。

この水平方向の亀裂に侵入している銑鉄は、操業時にはもちろんカーボンスタンプを浮き上げるように働いていたことが確かである。それにもかかわらず全体として浮き上がることがなかつたことは縦亀裂が連続した面ではなく各所でカーボンスタンプがつながっており、また亀裂面自体が不規則な凹凸を形成して十分な噛み合いの状態に接合しており、溶湯し浮力に耐えていたためと思われる。なお炉底カーボンのうち部分的にはあるが炉殻間隙から休風時の漏れ込んだ空気による酸化によつて外側から大きく損耗している所があつた。

3. 湯溜、朝顔、シャフトにおけるカーボンプロック

酸素炉においては高酸素濃度を余義なくされるので冷風送風にしてもなお羽口前温度が高温になりすぎ、また N_2 が少ないためシャフト部の温度勾配が急になりそのため非常に棚品を起こしやすい、そこでこれを少しでも避けるため滑りやすい炉材という意味と、また炉ガスの CO/CO_2 が一般高炉より大でカーボンソリューションが少ないであろうことを考慮し、炉口に達するシャフト部まですべてカーボンプロックで内張を行ない、その外側を230 mmのシャモット煉瓦とした。なお炉殻の冷却は行なわなかつた。

プロフィールとしては種々考慮の結果、シャフト角度を急にして上すばまりを強くし、シャフトの下は朝顔なしで湯溜まで直円筒状とした。

第1次操業11カ月後装入物を掻き出し調査した結果、カーボン煉瓦は炉口直下から湯溜までのシャフト部はほぼ一様に約200 mm損耗しており、そこから羽口までは朝顔を形成するように損耗して羽口直上では70 mmの損耗であつた。羽口以下はほとんど寸法的な侵食はなかつた。

第2次炉は朝顔、炉腹を挿入するように炉高を延長したが、第1次炉と同じくシャフト部から湯溜部までカーボン煉瓦を更新内張した。炉底敷については前述のごとくカーボンスタンプである。

第2次操業1年6カ月後装入物を掻き出して調査した結果、羽口下部は約100 mm、羽口上から朝顔炉腹部までは200 mm、シャフト部中間で300 mm、それ以上は300 mm厚さのカーボン煉瓦が完全に消耗していた。

第3次炉は第2次操業で損耗したカーボン煉瓦をそのまま炉腹まで使用し、シャフト部のみ第2次炉の外巻シ

ャモット煉瓦に当たる所を新品シャモット煉瓦に積替えただけである。

第3次操業1年5カ月後のカーボン煉瓦を調査した結果、第2次操業後のカーボン煉瓦がほぼそのまま残存しておりほとんど損耗していなかつた。

この損耗がほぼ止まつた理由は、第1次、第2次操業後とも見られたことであるが、羽口垂直上方のボッシ部が大きく損耗し、羽口間の部分は損耗が少なかつたこと、そして第3次操業ではこの形がそのまま残つたことから冷却がきく所でバランスしたというよりは、炉内のガス流が直接当たらない所までカーボン煉瓦が後退したためであらうと想像される。ただしこれは實際上羽口突出量が過大になつたことになり、レースウェイの後側、羽口の横の部分で生鉾が時々下り、実操業上難渋することが多かつた。

4. アンケートに対する見解

以上の経験に基づきいささか大胆ながら主催者よりのアンケートに対する見解を述べる。

1) 朝顔へのカーボン煉瓦適用の可否

炉内ガス流中の CO_2 ・羽口漏水事故時の H_2O による酸化損耗は、温度の点からもかんまんではあるが進行するので、これを防止することはよほどの冷却を行なわね限り至難と考えられるので、カーボン煉瓦はあまり適合した炉材とは思われない。特殊耐火物の中からさらに適当なものが選択できるのではないかと思っている。

2) 炉底へカーボン煉瓦を使用する場合上部にするか下部にするか

過共晶飽和組成の溶銑に対する耐食性の面から考えれば、カーボン煉瓦は最も適した炉材と考える。したがつてカーボン煉瓦は上部に使用するのがよいと考える。

しかしカーボン煉瓦はシャモット煉瓦のように使用中接着することがないので、浮上防止に十分注意しなければならない。そのためには大煉瓦を縦積にして1個の大煉瓦の中に銑鉄の溶融点にくるように炉底冷却を含めて考慮し、設計することだと思つている。単にせり持ちだけで浮上を防止することは難しいと思う。下部シャモット煉瓦積はカーボン煉瓦の中に溶融点にくるように厚さを選定する。

なおカーボン煉瓦の平積よりは、むしろ周到に施工した厚めのカーボンスタンプの方が一体塊になりやすいのでこの方がよいと考える。

3) 炉底カーボン煉瓦の侵食機構と材質改善の方向

出銑口付近の溶銑流によるものを除き、炉底カーボン煉瓦の損耗は溶解ないし化学的侵食によるというよりは目地または亀裂間隙に侵入する溶銑の浮力によるものと考えるので、材質上特に高温収縮、亀裂発生の恐れのないものとすべきである。

神戸尼崎 鎌谷 重雄

(I) カーボン煉瓦の溶銑、溶滓に対する耐侵食性は、シャモット質のものより優れており、特に炉床部および炉底部などの周辺側壁部においては、良好な成果が認められ、炉命延長に顕著な効果があつたと考えている。しかし、炉底カーボン煉瓦は冷却効果の影響によるものか、周辺部のような強耐食性は認め難い。炉底部カーボン煉瓦の侵食速度は、カーボン煉瓦の材質、設計、高炉

操業条件ならびに測定精度などの相違はあるが、各社の資料間には大幅な差がみられる。炉底部カーボン煉瓦侵食速度について、神戸製鋼所、神戸 No 1 (第 1 次)、尼崎 No 1 (第 3 次)、No 2 (第 1 次) における測定結果を Fig. 2 に示した。当社はカーボン煉瓦使用高炉で吹止したのは尼崎 No 2 高炉のみであり、稼動中のものはすべて炉底部と炉床部は使用し尼崎 No 2 高炉第 2 次のみが朝顔まで使用している。なお、カーボン煉瓦は炉底上部積である。測定方法は出鉄直後、休風状態にて、出鉄口から出鉄口開孔方向に金棒をすみやかに挿入し、接触感に至る挿入長と挿入角度より垂直方向侵食深さを算出したものである。尼崎 No 2 炉、吹止め前の測定結果と吹止め後の実際とはかなりの一致を示したが本測定方法の信頼性について、なお問題点はあるが、一応、図からわかるように、対象の高炉 3 基における炉底侵食深度は大約、

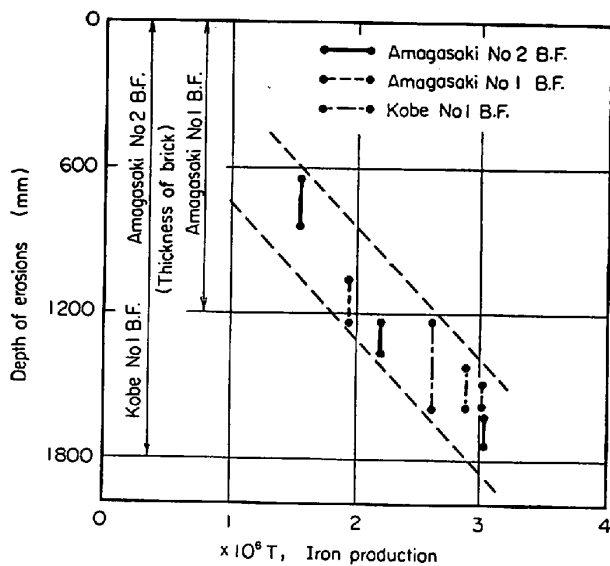


Fig. 2. Erosion of carbon bricks of the furnace bottom at Kobe and Amagasaki plants.

出鉄量累計と直線関係にあるように考えられる。また、3 基の高炉の侵食速度は出鉄量 1 万 t で約 6 mm であり、富士室蘭の表現によれば約 $1.68 \times 10^{-2} \text{ mm/t/m}^2$ となる。それゆえ、カーボン煉瓦の浮上、亀裂などの異常現象のない限り上記の侵食速度程度で損耗し、炉底破損による炉命短縮の事故はないものと考えられる。

(I) 1) 朝顔へのカーボン煉瓦適用の可否

尼崎における操業中の No 2、来年改修予定の No 1 炉はそれぞれ使用および使用計画中である。朝顔への適用は朝顔周りの設備の簡略化により、保全および操業上望ましいことであるが、耐久性が問題であるが外部散水の強化により炉命短縮は防止可能と考えている。実際吹止めの経験なく今後の推移に関心をもっている。

2) 炉底へカーボン煉瓦を使用する場合

上部にするか、下部にするか

カーボン煉瓦の侵食機構は浮上によるものか、漸進的な侵食によるものか、出鉄口あるいは羽口レベルからの深さ方向におけるシャモット煉瓦に比較しての侵食速度の相違、また側壁部のカーボン煉瓦は冷却効果により一応、耐侵食性は高いと考えられるが炉底も同様な考え方で適切かなど、これらの侵食機構が解決できない限り適正使用位置を決定することは困難な問題と思われる。

現在に至るまでカーボン煉瓦使用高炉の吹止め基数は少なく検討資料として十分でないが、上部カーボン積の場合、既設高炉によれば 700~2100 mm 層厚で、近年 1000 mm が最も多い。吹止め後は大部分のものは炉底直下のカーボン煉瓦が侵食され下部のシャモット部にまで及んでいる。しかし、上部にシャモットを使用したときも同程度かあるいはそれ以上の侵食はあるものと考えられる。現時点まで上部積が圧倒的多数を占めているが炉底部の損傷により炉命を短縮した例はなかつたように考えている。したがって上部積でも特に問題はないが、下部積、中間積さらに上部積の実績により今後検討し結論づけるものと考えている。