

第 104 回講演大会討論会報告

I. 高炉内の珪素の挙動

座長 東北大学選鉱製錬研究所

徳田 昌 則

副座長 川崎製鉄(株)技術研究所

槌谷 暢 男

製鋼プロセスにおけるスラグミニマム化あるいはスラグレス化に伴って銑鉄中 Si 濃度低下が要求され、これに対応する技術として、1) 低 Si 銑を得るための高炉操業法、2) 炉外処理による銑鉄の脱珪、が各製鉄所においてとりあげられている。

しかし、高炉操業の段階で銑鉄中 Si 濃度が自由に制御できれば炉外脱珪法に比較して低コストの低 Si 銑が得られることになるので、高炉内で達成可能な下限濃度を見極める努力が必要である。一方、製鋼側が要求する Si 濃度は 0.15% を上限としており、この値は現在の高炉操業技術では冷え込みの危険をおかさずには到達できないというのが高炉操業者の一般的な認識である。

このような背景をうけて、討論の論点はつぎの 3 項目に集約された。

- 1) 高炉内での Si 還元反応機構
- 2) 高炉内での銑鉄中 Si 濃度の決定要因 (低 Si 銑を得るための操業上の方法論)
- 3) 低 Si 操業に伴って不可避的に生ずる向流状態異常への対処の方法

討論論文の発表者は以下の 5 氏である。

討 1 東北大学選鉱製錬研究所 徳田 昌則
「高炉内での Si の反応機構をめぐる問題点と課題」

討 2 東京大学生産技術研究所 鈴木 吉哉
「銑鉄中 Si の還元源とその還元機構」

討 3 新日本製鉄(株)名古屋製鉄所 岩月 鋼治
「名古屋第 1 高炉の低 Si 操業について」

討 4 住友金属工業(株)中央技術研究所 山県 千里
「高炉数式モデルによる溶銑中 Si の検討」

討 5 川崎製鉄(株)技術研究所 田口 整司
「高炉での低 Si 溶銑の吹製と理論解析」

また、神戸製鋼(および日本鋼管)からも最近の同社における低 Si 操業の経験が紹介された。

以上の 5 討論を既述の 3 項目にそつて要約する。

1) 高炉内での Si 還元反応機構

スラグ-メタル反応界面における酸素ポテンシャルに関する考察とスラグ-メタル反応による Si 還元反応速度が非常に遅いという実験事実に基づき、最近では高炉内での銑鉄中への Si 移行は SiO gases を媒介として進行するとの考え方が一般的であり、今回の討論でも大勢はこ

の考え方を基礎とした議論を展開している。

しかし、SiO の発生源については、コークス中灰分(討 4) とする考え方と、これに加えて鉱石脈石も含む(討 1, 2, 5) とする考え方があり、発生場所にしても羽口周辺を含む滴下帯(討 4, 5) と、レースウェイ先端下部の酸素分圧の低い領域(討 2) を主とする考え方が提示され、細部に関しては統一的な見解に達していない。ただし、銑鉄中 Si 濃度が滴下帯の高さに左右されること、および SiO 源をコークス中灰分のみと仮定すると銑物銑の Si 濃度が物質バランス上説明できないこと、溶銑温度を一定として羽口前温度を低下させると銑鉄中 Si 濃度が低下することなどについては、当日のコメントも含めてほぼ共通の操業経験として認識されており、SiO 源としてはコークス中灰分と鉱石中脈石の双方、また滴下帯を SiO の存在領域とする考え方が定着しつつあるように思われる。特に、鉱石中の脈石も SiO 源であることはシリカを全く含まぬピッチコークスでの操業試験(討 2) によつて確認された。

ところで、MgO 濃度を高めた焼結鉱を使用した高炉操業では低 Si 銑が得られることが経験的に知られている。その原因は MgO 含有焼結鉱の溶融滴下温度が高いことに求められるとする見解が主流であつたが、今回、スラグ-コークス間の反応界面積の急激な拡大、つまり SiO 発生速度の急増をもたらすスラグの黒鉛面への拡張ぬれ現象が、MgO を含むスラグでは高温側へずれるとの事実が観察(討 1) された。これは、スラグ中 MgO 濃度と、滴下帯コークス温度の調節により銑鉄中 Si 濃度が制御できる可能性を示すものであろう。

さて、高炉の炉床部で平衡状態が達成されているかどうかについては古くより関心の高い所であるが、近年は非平衡状態にあるとの見解が定着している。これは Si 還元反応が気相の SiO を媒介とするという機構と対応するものでもある。これに対して、Si 還元はスラグ-メタル反応で考えれば炉床でほぼ平衡に達しているとの見解に基いた操業解析(討 3) が出された。この解析の特徴は、スラグとメタルの平衡を前提として導出した数式により、多数の高炉の実操業データおよび解体高炉における銑中 Si と温度の分布が説明できることを根拠にして、この式を操業予測の基礎に据えている点にある。これに対しては次のコメントがなされた。CO 分圧を炉内圧に等しいとする考え方はスラグ層以下で SiO₂ の還元が進行している場合は妥当とも考えられるが、解体炉内の滴下帯域にも適用するのは明らかに矛盾であり、統計解析における温度の評価にも任意性があることから、当の推定式は経験式とみなすべきこと、したがつて操業予測の手段に用いる限り問題ないが、平衡式を出発点としていることを理由に、Si 濃度の推定値と実験値の一致をもつて直ちに炉内での Si 還元は平衡にあると印象づける結論を導びくのは不適切である。

さらに、滴下帯でのスラグ-メタル反応による Si 還元の可能性が提案(討2)されたが、これに対しては滴下時のスラグとメタルの接触面積の推定精度がポイントであるとのコメントが出された。滴下帯コークス充填層での温度分布や液滴の径や滞留時間などの液滴の挙動はスラグ、メタル反応のみならず、スラグからの SiO 発生とメタル滴中炭素による SiO 還元の見点からも重要であり、今後さらに検討を加えるべき課題である。

2) 高炉内での銑鉄中 Si 濃度の決定要因(低 Si 銑を得るための操業上の方法論)

今回行われたすべての討論および質問、コメントに含まれていた内容を銑鉄中 Si 濃度の決定因子に沿つてまとめると、

- (イ) 溶銑温度
- (ロ) スラグ中 SiO₂ 活量(スラグ塩基度)
- (ハ) コークス中灰分含有量
- (ニ) 羽口前温度
- (ホ) CO 分圧
- (ヘ) 装入鉱石の高温性状
- (ト) 滴下帯高さ

が挙げられる。また、討論内容から抽出された銑鉄中 Si 濃度を低下させる操業法は以下のとおりである。

(イ) 滴下帯高さの低下(送風温度上昇を前提とした熱流比(あるいは ore/coke)の増加、焼結鉱配合比増加によるガス利用率上昇と装入鉱石の滴下温度の上昇、焼結鉱還元性向上によるガス利用率上昇、処理鉱中 MgO 上昇による滴下温度の上昇、などが具体策)

(ロ) 反応温度低下による SiO 発生量と銑鉄による Si 吸収量の低下(溶銑温度低下、羽口前理論燃焼温度の低下、などが具体策)

(ハ) SiO 発生量の低下(コークス中灰分の低減、処理鉱中 MgO 増加によるスラグとコークスのぬれ面積低減、炉頂圧上昇による CO 分圧増加、スラグ塩基度上昇、などが具体策)

以上のような銑鉄中 Si を低下させるための操業上の手段についてはほぼ共通の認識が得られている。

3) 低 Si 操業に伴つて不可避免的に生ずる向流状態異常への対処方法

銑鉄中 Si を低下させる操業法の中で、滴下帯の高さを低下させる方法は通常 ore/coke を増加させることにつながるが、ore/coke の増加に伴つて融着帯が羽口水準に近づく。このような場合、装入物降下状態の異常は冷え込みなどの大事故につながる可能性があり、特にスリップの発生に対しては注意が払われる。この点で言えば異常事態の発生する操業では低 Si 化が困難であり、安定操業(σ_{Si} の極小化)こそが低 Si 操業の目標でもあり、かつ帰結でもあることが明白に提示されている(討3, 4)。すなわち、向流状態異常防止は操業者の重要課題である。討論に現れた安定な向流状態確保の方法論

としては以下の項目があげられるが、炉下部での装入物の運動状態の解明は今後の重要課題になると考えられる。

(イ) 焼結鉱粒度別装入技術、装入物分布制御による炉熱変動の抑制および炉壁への熱負荷制御による付着物生成の防止(そのための監視体制の強化)

(ロ) 装入物品質の向上、送風湿分上昇、炉頂圧上昇などによる通気変動の防止

以上、討論会の発表および討論の要点を概括した。今回の討論会は、樋口製鉄部会長の総括にも指摘された如く、高炉内の化学反応や物理現象に対してかなり明快なイメージをもつてモデル化と解析が行われ、それらが実操業に反映されているという点で従来以上に高炉の科学の進歩とそれによる技術の向上を印象づけるものであつたといえよう。今後も低 Si 操業技術の確立に努力すると同時に、さらに将来の鉄源事情によつては高低 Si の吹き分けなどの高度の制御技術への要求にも応じ得る理論と技術の一層の発展を期待したい。

II. 連鑄鑄片の品質と鋼の高温における力学的特性

座 長 東京工業大学総合理工学研究科

森 勉

近年、連鑄操業は、直送圧延やホットチャージ圧延の採用とあいまつて、生産性をさらに大きくする可能性を有している。このような実操業の面から言えば、いかにして無欠陥鑄片を製造するかが課題となる。我が国の鉄鋼技術者は、この課題に取り組み、欠陥の少ない鑄片を作る技術をかなり向上させて来ており、誇り得る実績を上げている。一方、この技術をバックアップする基礎研究にも力が注がれており、高温、融点直下の脆化、高温での機械的性質の解明、変形挙動の解析の研究も行われている。本討論会はこのような現状を背景に企画されたものである。すなわち、高温での脆化原因解明の基礎研究、割れ発生の直接観察、鑄片パルジング解析、実操業における欠陥(割れ)の発生原因とその除去対策に関する研究発表と、それらに対する討論である。本討論会によつて、連鑄技術の現状や今まで行われて来た基礎研究が把握され、技術がさらに向上することを期待している。討論会は研究発表数も多く、討論も時間の足りないくらいであり、目的はかなり達成されたものと考えている。以下に討論会の概要を記す。

討6 鋼の高温変形特性と鑄片割れ感受性

新日本製鉄(株)大分製鉄所 鈴木洋夫 他

鈴木は、高温での脆性破壊は、粒界に沿つて起こることを指摘した後、まず、高温での粒界脆性破壊機構に関する理論的研究を紹介した。次いで、高温での脆化領域を3つに分けて、それぞれの特徴を述べた。領域Ⅰは融点直下の液膜の関与する脆化、領域Ⅱは安定γ域で粒界