

酸化が考えられる。これを確認するため実験室的に CO_2 30%, N_2 70% の混合ガスを 40 l/min の流速で流し、100, 200, 300, 400, 500°C の各温度で 30 min 間加熱して鋼管を酸化させ重量変化を調べたがほとんど重量増加を認めることができなかった。また図 1 のような装入物面付近の CO_2 の減少量がすべて鋼管の酸化に対応するとして鉄の酸化量を求めてみた。 CO_2 20.1%, CO 21.1% のガスが鉄を酸化して CO_2 19.3%, CO 22.0% に変化したものとし、圧力差、温度、ガス排出時間などからこの間のガス放出量を求め CO_2 の変化量を算出し酸化反応として $3\text{Fe} + 4\text{CO}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{CO}$ を仮定し Fe 酸化量を計算すると約 22 kg になった。これはこの程度のガス組成を示す位置までのゾンドの炉内にある部分の重量の 38% 程度に相当する。さらに焼結鉱の還元実験から、 CO_2 による Fe あるいは鉄酸化物の酸化速度は 300°C 程度ではほとんど無視できることも確認されている。

以上のような状況から CO_2 濃度変化がゾンド内面の酸化と全く無関係であるとはいえないまでも、それほど大きな影響を受けてはいないのではなかろうか。

高炉内における半径方向のガス流れは装入物面に近い領域では十分に起こりうると考えられる。一般に充填層内の等圧面は層頂に近いほど層頂のプロフィルに影響される。円筒に均一粒径の粒子を充填した場合、層頂のプロフィルの影響を受ける領域はわれわれの実験では $0.3D$ (D : 円筒内径) まで、K. POLTHIER¹⁾²⁾ は $0.5D$ までの範囲であることを確認している。この領域では等圧面は装入物面と似たプロフィルを有しており、炉頂付近の同一レベルでは、周辺部から中心方向へのガスの流れが生じる可能性は十分に認められる。この点については垂直ゾンドと水平ゾンドを用いた測定結果から推定している報告³⁾ もある。

以上のような理由から、炉頂付近で上へ行くほど CO_2 % が低下する原因として炉壁周辺の比較的 CO_2 % の低いガスの流れ込みが大きな役割を果たしていると思われる。

しかし、ゾンド内におけるガスと鋼管との反応については高温域へ入った時点でも考えられるので今後さらに検討する必要があるし、炉内においてゾンド先端へのガスの侵入経路などについても問題は残されている。

文 献

- 1) K. POLTHIER: Arch. Eisenhüttenw., 37(1966) 5, p. 365~374
- 2) K. POLTHIER: Arch. Eisenhüttenw., 37(1966) 6, p. 453~461
- 3) D. BÜLTER et al.: Stahl u. Eisen., 88(1968) 3, p. 108~119

講演：高炉プロセスのスケール効果について*

富士釜石 下 村 泰 人

【見解】 八幡技研 工博 児玉 惟孝

* 鉄と鋼, 54 (1968) 10, S681~684

(1) 現在の高炉操業において生産の限界を制約する条件はご報告のようにいろいろある。その中で最も大きな条件の 1 つは棚である。棚の原因に関してはいろいろの説があり通気抵抗、フラッディング、付着物などが原因であるといわれている。われわれは東田 5, 6 高炉を対象として各水準における炉内ガス圧を測定して棚吊り位置を推定した。(結果は図示する)。その結果棚のほとんどはシャフト部でかかっていることがわかった。シャフト部では鉱石はまだ溶解していない。したがってフラッディングは制約条件になつていないと思われる。モデル実験で確かめたところ装入物の通気抵抗と炉壁部の摩擦力との和が装入物の垂直分力と等しくなつた場合に棚になるようである。したがって高炉の生産の制約条件としては通気抵抗が重要であると考ええる。

(2) 大型炉と小型炉の炉内ガス成分は大きな範囲内には入っているが、絶対値は相当に異なっているように思う。この差をどう補正すべきか。

【回答】

(1) 炉内の通気抵抗、棚が生産の制限要因ではないか。

指摘のとおりシャフト部の棚は非常に重要で、当所でもしばしば操業不調の原因となつている。その大部分はシャフト上～中段の棚である。

しかしこのような棚も、装入物の性状の改善、装入物の整粒・篩分の強化、装入物の適正な炉頂での配分、およびプロフィルの再検討によつて大幅に解決されるものと考えられる。

もちろん風量をどんどんあげ、ボッシュ以下に問題がなければ、いわゆる吹抜け限界に近くなつて通風抵抗による荷下り不調が経験されるかもしれないが、現在程度のスラグ量がいりいろの意味で必要とされるならば、送風量の増加によつて、むしろフラッディング現象が先に制約要因になると考えられる。

(2) 大小の炉で炉内ガス成分に大きな差があるようだが、本文の図表のように CNRM の炉などでは炉頂ガス成分は商業高炉と大きな差があるとはいえないが、東大試験炉ではこれが CO : 31~32%, CO_2 : 11~13% で大型炉に比しガス利用率が悪くなっている。

この原因としては、大型炉でも送風量を極端にあげていけばこの傾向になることと、東大試験炉では送風温度が低いので、熱損失などをコークス比を高めることでカバーせねばならず、そのために炉内ガス成分が他と異なるものである。ゆえに還元プロセスに本質的な差があるとは考えられない。

【質問】 東大生研 中根 千富

(1) 吹抜け限界とは、どういう限界を意味するのか。たとえば操業不能になるという限界であろうか。

(2) 空間率 ε について

① 吹抜け限界の式 $\Delta P/L = (1-\varepsilon)\rho_s$ を生研試験高炉の実績に適用すると、 $\varepsilon = 0.7 \sim 0.9$ 程度となる。同一の実績を ERGUN の式に適用すると、 $\varepsilon = 0.42 \sim 0.53$ 程度となる。

また ΔP は送風圧と炉頂圧の差とされているが羽口先端までの熱風系統の管内圧損を考慮すると、 $\Delta P/L = (1-\varepsilon)\rho_s$ では、さらに ε の値が大きくなるが、この点をどう考えたらよいのであろうか。

② 溶解帯におけるフラッディング現象でハンギングファクターを計算されたときの ε の値は、いかほどだろうか。

③ フラッディング現象について、本年、生研試験高炉で実験を行なったが、これらについてハンギングファクターを計算してみると、 ε の評価いかんでは、フラッディング領域にはいつているとも($\varepsilon=0.4$ のとき)、またはいつていないとも($\varepsilon>0.5$)いえる。これはフラッディングファクターの値が ε によつて大きく左右されるからである。

以上のことから、 ε の実測、とくにシャフト部とポッシュ部をわけて知る必要があると思うが、この点についてのお考えをお聞かせいただきたい。

(3) 操業速度の限界について

操業速度の限界はどのようなことで判定すればよろしいのか。もし平均ガス速度、または断面あたりの送風量であれば、装入物の粒径、粒度分布も考慮して、粒子基準の U_{mf} 、 U_t によつて判断したほうがいいのではないだろうか？

(4) 還元に必要な時間と装入物の降下時間とが一致するところが出鉄限界である、とされているが、鉱石の還元に要する時間は現在の高炉内滞留時間よりはるかに短くともう。生研試験高炉では、送風量によつて、2～1 hr程度のトラベリングタイムである。これによると大型高炉でこれほどの急速操業が可能だろうか。

(5) 試験高炉の役割であるが、定性的な相似はあり、また炉内調査などの点で物理的な障害が少ないということがある。これらの特性を生かして、炉内の物理条件なども試験できるし、この結果を大型炉でチェックして、問題点を試験高炉へもどし、再び試験するというやり方で、高炉の特性を解明するのに役立つことができるのではないだろうか。

以上の各点についてご教示いただきたい。

【回答】

(1) 吹抜け限界とは

化学工学的現象としてははつきりしており、充填層における流れに際し、粒子重量と粒子がガスから受ける抵抗が釣り合うときを限界にし、以後流動化、吹抜けが起こる。高炉内では必ずしもはつきりとした現象としてとらえにくい、吹抜け限界に近づくと装入物の降下が困難となり、棚吊を起こし、スチャンネリングがはげしくなるなど、経済的な操業が不能になると考えられる。

(2) 空間率 ε について

実績の ΔP を用いて吹抜け限界式より ε を求めれば、そのときの操業が吹抜けに遠い状態であれば ε は実際より当然大きい値になるはずである。ERGUNの式は通常の充填層の圧損失にあてはまるので、これより求めた $\varepsilon=0.42\sim0.53$ が適正な値といえる。ゆえにこの ε を吹抜け限界式に代入すれば、限界の ΔP の目安が得られる。

ΔP に送風支管の圧損が入っていることはご指摘のとおりであるが、同程度の炉の比較であれば簡単のために本文のとおり ΔP を使つてもよい。正確には吹抜け限界値は本文の図の線よりも高い位置にくることになる。

(3) ハンギングファクターの計算に用いた ε_d の値は

$\varepsilon_d=0.4$ を用いた。

(4) フラッディング現象における ε_d の値についてこの計算に使用する ε_d は乾燥充填層の空間率で、液のない状態の値を用いる。ゆえに一応上述のように0.4を用いた。

(5) 操業速度の限界判定をいかにすればよいか

今回の発表ではフラッディングとか炉内還元などが操業限界になると予想したが、具体的な数字で判定の限界を示すことはしなかつた。ただ言いたかつたことは、小型炉と大型炉を同一の規準、たとえば t/m^3 、炉内ガス速度の大小などでは比較できないということである。ゆえに類似の大きさの炉であれば、どんな規準を用いてもよく、たとえば最大出鉄をあげることが目標であれば、装入物などの条件の補正なしに、 t/m^3 とか $U\text{ m/sec}$ そのものが比較できればよいと考える。

(6) 還元時間について

いわゆる酸化鉄の還元速度は非常に速いかもしれないが、充填を考えての粒度、遭遇する還元ガスの温度と濃度、コークス比に及ぼす経済性を考慮すれば、CNRMの炉の2 hr半位が限界のように思われる。大型炉では物理的条件の制約と経済性の重視より現在のトラベリングタイムとなつている。

(7) 試験炉の役割について

お説のとおりであるが、本文に記したように、ただ小型炉で高い t/m^3 が得られるからといつて、大型炉でどこまでそれに近い値が達成できるのか疑問なので、生産性については傾向は参考になるが、結果の数字はそのまま大型炉に適用できない点に注意しておく必要がある。

講演：高炉の理論解析*

名大工 工博 鞆 巖
八木順一郎・堀尾 正鞆

【質問】 富士釜石 下村 泰人

(1) 間接還元反応の難易の影響について

活性化エネルギーを広い範囲に変えてその影響を調べられたことは非常に興味がある。Eq. 3 は主として赤鉄鉱、焼結鉱の実験データより求められたものと思われるが、Eq. 4 の場合の貴所の実験の鉱石はどのようなものであつたかお尋ねしたい。

次に Eq. 4 と Eq. 3 による化学反応速度定数 k_1 の差の影響として、 E_1 が大になつた難還元性の装入物の場合のほうが出鉄量は増し(+60t/d)、カーボン比は低下(-4.7 kg/t)するという好結果を得ているが、もう少し広い範囲に操業速度(出鉄量)、カーボン比および装入物性状が変わつた場合のその関係の変化傾向をおききたい(もちろん送風温度、石灰石比、スラグ比、送風湿分などを一定として)。このことについては実績を解析して、たとえば別図のような形でプロットしてみると次のようなことがわかる。すなわち操業速度をあげていくと、ある所まではA高炉のように、直接還元カーボンの増加に伴いカーボン比は低下し、 CO/CO_2 は改善される。しかるにそれ以上の操業速度にしていくと、必然的に熱的バランスより、B、B'高炉のように、直接還元

* 鉄と鋼, 54 (1968) 10, S 685~688