

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

カーボンの増加でカーボン比が上昇し、 CO/CO_2 も悪化する傾向がわかる。B, B' の位置の差は、スラグ量、装入物、送風温度などの熱的条件によるものである。これはすでに中谷氏¹⁾などの言われている直接還元的重要性の実証となるものだが、装入物性状と直接還元の関係についてははつきりとしていない。

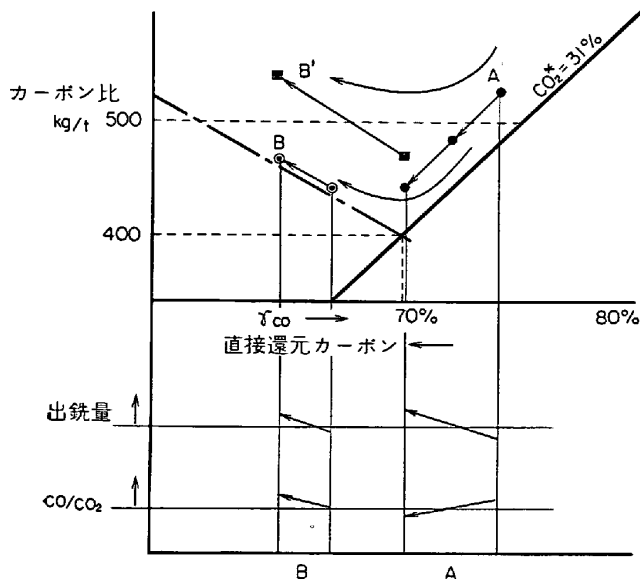
ゆえに、鞭氏²⁾他の解析が、難還元性の装入物の使用による操業結果が、たとえば別図のA高炉の傾向と同様のものであるのかどうか、またこの場合の直接還元の傾向はどのようなものであるのかお尋ねしたい。

(2) 粒子・流体間伝熱係数

h_p の増加による出鉄量の増加とコークス比低下は、約 200 t/d および -20 kg/t とかなり大きい、 h_p の変化の操業への影響の具体的な解釈をおたずねしたい。

文 献

- 1) 中谷, 他: 鉄と鋼, 52(1966) 6, p. 923



【回答】

(1) 間接還元反応の難易の影響について

(4)式の場合、当方で実験に使用した試料は、97%の Fe_2O_3 粉末(3%灰分)を1300°Cで1hr焼成したもので気孔率は0.05%である。

k_1 の影響については、広範囲に変化させて調べてはいないが、(3), (4)式の間での範囲で、 $E_1=10, 13, 16$

kcal/molとして系統的に変化させて計算してみた(本概要集 p. 8 の(8)の研究参照)。これら Arrhenius の式による図示は 901°K で交わっているため、 E_1 が大きい場合のほうが出鉄量が増加し、カーボン比が低下するという計算結果になったが、もしも、さらに高い温度で交わったならば、(3)式の k_1 のほうが(4)式のそれよりも大きくなっているような温度領域が広がるため、計算結果は逆転する可能性があるものと推察される。

直接還元と間接還元の寄与の比率については、電算機による計算の際、データをタイプアウトしていないので定量的なことはいえないが、(3)式の場合よりも(4)式の場合のほうが直接還元の寄与率が大きくなっている。

(2) 粒子・流体間の伝熱係数 h_p

h_p の増加に伴って出鉄量が増加し、カーボン比が減少するという計算結果は、熱利用率とガス利用率がともによくなるためと考えられる。表1では、 $h_p=10, 50, 100$ kcal/m²·hr·°Cの各場合について計算したが、充填層での h_p の実験式から推算すると高炉内では $h_p=50\sim 100$ 程度と考えるのがよさそうである。そこで、 $h_p=50$ と100の場合について比較すると、出鉄量の増加は75.6 t/d、カーボン比の低下は-5.8 kg/tのように h_p の効果が小さくなる。

【質問】 住金中研 工博 中谷 文忠

図2において k_1 の値をEq. 3およびEq. 4に従ったときの諸結果を表示されておられるが鉱石の還元率を示す f_s 曲線は炉頂ガス成分 CO , CO_2 を示す x, y 曲線より考えて、点線と実線が逆になっているのではないだろうか・お教え願いたい。

【回答】

図2で実線は(4)式、点線は(3)式の場合の計算結果である。

実線では、点線よりも温度が低く、 y が大きくなっているため、間接還元反応が進行しにくいことが推察される。すなわち、(4)式の場合は、低温領域では x, y の変化が少なく、間接還元反応があまり進行しないため f_s 曲線が下方に位置しているが、高温領域では x, y の変化がかなり急激に起こっている。

低温領域で x, y 曲線が実線のような垂直に近い曲線ではなく、さらに変化している場合については、ガス利用率がよい場合のほうが f_s 曲線が上方に移行する結果が得られることが推察されよう。