

討 4

高炉内における焼結鉱の還元粉化挙動

新日鐵 室蘭技術研究部 ○相馬英明 高田 司 入田俊幸

室蘭製鐵所 出野 正 東野郁夫

製鉄研究センター 内藤誠章

1. 緒 言

高炉操業にとって装入物、とりわけ配合比率の高い焼結鉱の品質は重要である。焼結鉱は一般に低温域で還元粉化を起こすので、シャフト部の通気性確保の点から、焼結鉱の粉化挙動が注目されている。

筆者らは、垂直ゾンデを利用して高炉内焼結鉱の還元粉化挙動を直接的に把握すると共に、高炉内反応シミュレーターによる還元反応解析を行い、それら結果を踏まえてRDI変更実炉操業試験を実施し、RDIの高炉操業に対する影響を検討したので、結果を報告する。

2. 垂直ゾンデ試験¹⁾

Fig.1に示すように、垂直ゾンデ先端に試料を格納したカプセルを装着し、高炉内に装入物と共に降下させ、所定深さまで達した後に引き上げ、試料の還元、粉化状況を調査した。供試料としては、RDI、粒度の異なるものを用いた。また、近年、高炉への配合比率が増加しつつある塊鉱石についても比較のために試験した。

(1) RDIと炉内粉化率の関係

高炉内の試料の温度履歴、 η_{co} をFig. 2に、炉内粉化率(−3mm%)をFig. 3に示す。炉内粉化率は、焼結鉱のRDIが高く、低温域(500~700℃)滞留時間が長いほど大きい。^{2) 3)} すなわち、高炉塊状帯における焼結鉱の還元粉化は、焼結鉱自体の還元粉化特性であるRDIと高炉の還元ポテンシャル(低温域滞留時間)によって左右される。したがって、焼結鉱品質としてのRDIは、高炉の炉内状況との関連において柔軟に管理されるべきである。

塊鉱石についての試験結果をFig. 4、Fig. 5に示す。塊鉱石の炉内粉化率は、熱割れ指数との対応は認められず、むしろ塊鉱石について行ったRDI試験値との相関が強い。塊鉱石の粉化特性は熱割れ指数で表現されることが多い。しかし、高炉内の粉化を問題にする場合には還元に伴う粉化を考慮に入れる必要がある。

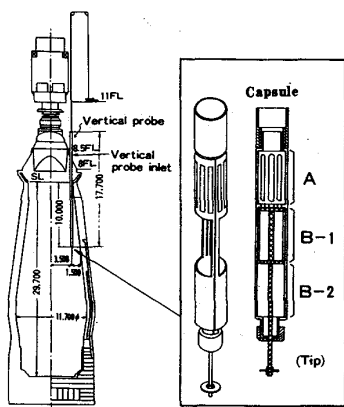


Fig. 1 Set position of vertical probe and capsule for samples.
(Muroran No. 4 B.F.)

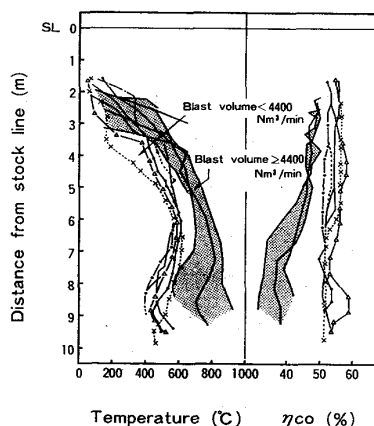


Fig. 2 Temperature distribution and η_{co} in blast furnace.

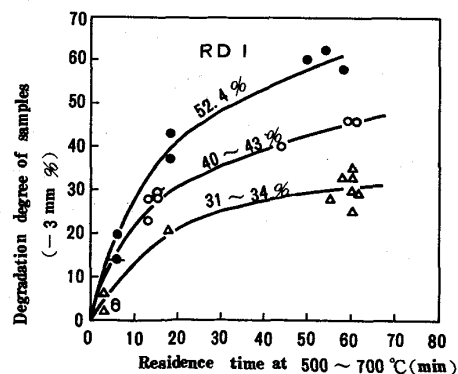


Fig. 3 Relation between residence time and degradation degree of samples.

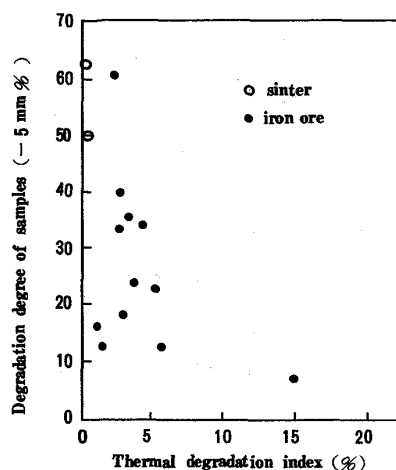


Fig. 4 Relation between thermal degradation index and degradation degree of samples.

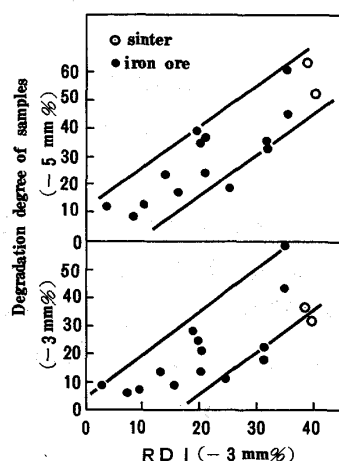


Fig. 5 Relation between RDI and degradation degree of samples.

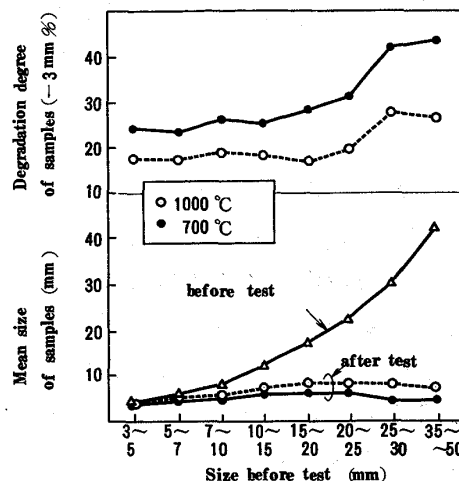


Fig. 6 Degradation degree and mean size of samples at each size.

(2) 焼結鉱粒度と還元粉化

最近、焼結鉱歩留向上を目的として、焼結鉱の高炉装入下限粒度の引き下げが行われている。そこで細粒に着目し、粒度の異なる焼結鉱の還元粉化について検討した。試料は700℃、1000℃に達するまで炉内を降下させ、その後引き上げて粒度分布を測定した。

Fig. 6に示すように、粗い焼結鉱ほど微粉(−3mm)の発生量が多く、この結果、試験後の平均粒度は供試料粒度に関係なくいずれも5mm前後となった。粗粒焼結鉱の粉化率が高いのは、粉化の主原因といわれる粗大二次ヘマタイト(骸晶状主体)が細粒焼結鉱にくらべて比較的多く存在することによると推察される。

3~5mmの細粒焼結鉱は還元粉化に関しては特に問題なく、5~10mm焼結鉱とほぼ同等とみなしてよいであろう。

(3) 高温域での挙動

700℃試料と1000℃試料を比較すると、後者の方が平均粒度が大きく、各粒度とも約10%ほど粉化率が低い。これは、高温域で生成した金属鉄が一部クラックを再結合するためと考えられる。

3. 高炉内反応シミュレーターによる検討

高炉内における焼結鉱の粉化を還元との関連において検討するためにBIS炉⁴⁾による試験を行った。還元ガスとしては、CO45%、N₂55%の混合ガスを使用し、ガス流量は銑鉄トン当りの還元ガス量が実炉(燃料比=480Kg/t-p)と等しくなるように設定した。

Fig. 7に示すように、急速昇温の場合(a)の粉化率は低温熱保存帯のある場合(b)よりも小さい。いずれの場合も、粉化率は約800℃以上ではあまり増加せず、1000℃位からは逆に低下しており、ゾンデ試験結果と一致している。粉化率の急増する時期はヘマタイト→マグネタイトの還元時期にほぼ対応している。

次に、ゾンデ試験、BIS炉試験で得られた知見をベースに作成した還元粉化モデルを高炉トータルモデル⁵⁾に導入してシミュレーションを行った結果、焼結鉱RDI上昇の影響が次のように推定された。すなわち、①シャフト上部で低温域が拡大し、還元粉化が増加する。②還元粉化は主として炉中間部から周辺部にかけて生じ、シャフト上部での中心流化が促進される。

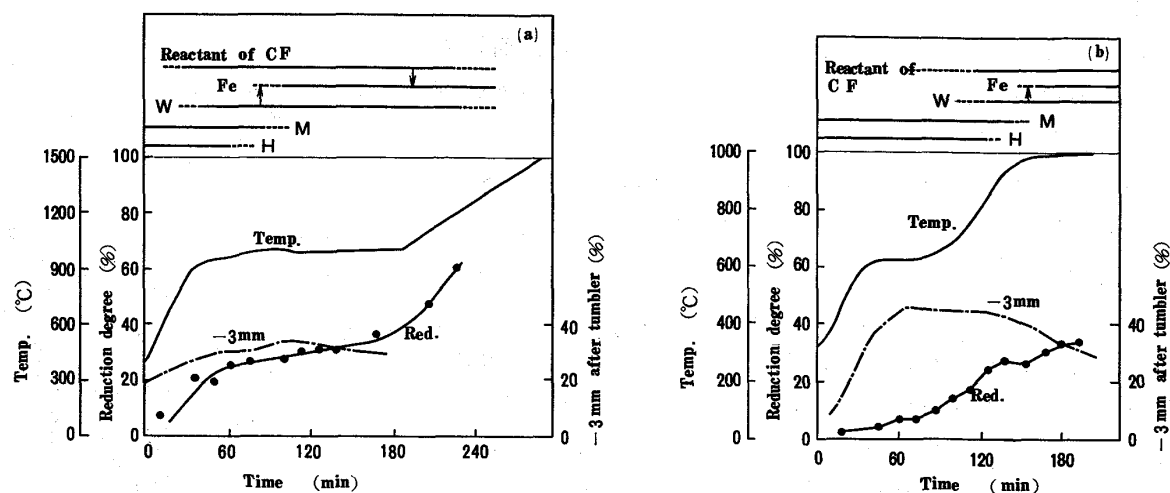


Fig. 7 Change of reduction degree and - 3 mm % after tumbler of sinter at BIS test.

4. RDIレベル変更高炉操業試験

RDIが高炉操業におよぼす影響把握とRDI管理基準緩和の可能性を検討するため、室蘭No.2高炉において昭和61年7月に操業試験を実施した。

(1) RDIによる炉況変化

Fig. 8、Fig. 9に示すように、RDIが高いほど高炉ガス灰が増加し、炉内の通気抵抗（ガス流分布を補正したK値*）も増大する。

Fig. 10にRDIとクロスフロー指数（上部ゾンデと中部ゾンデによる各々のガス流分布指数の差）の関係を示す。RDIが高いほどクロスフロー指数はプラスに向い、モデル計算結果から推定されたように、シャフト上部では中心流化、中部では周辺流化というガス流の偏流が助長されているのが分かる。この現象はシャフト上部の炉壁近傍で通気抵抗が増大したことを示すが、この原因としては炉壁近傍での焼結鉱粉化の助長、また発生した粉が炉壁近傍に選択的に堆積したことが考えられる。

* K値 = (送風圧力² - 炉頂圧力²) / ボッシュガス量^{1.7}

圧力：abs. K_g/cm² ガス量：N m³/min

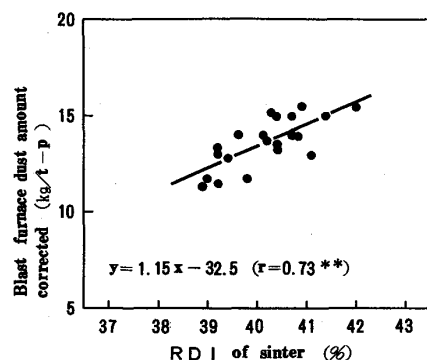


Fig. 8 Relation between gas flow distribution, RDI and blast furnace dust amount.

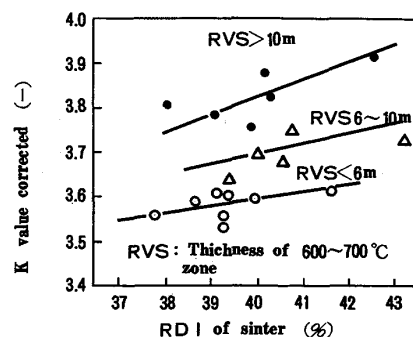


Fig. 9 Relation between RDI and K value corrected.

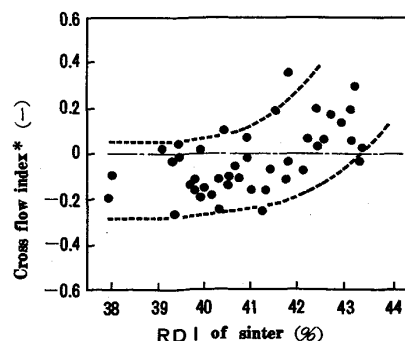


Fig. 10 Relation between RDI of sinter and cross flow index.

(* difference of $UG(c)/UG(w)$ between at upper probe and at middle probe.)

(2) 垂直ゾンデによる炉内状況調査結果

代表的な測定結果をFig. 11に示す。測定③は本試験以前において周辺ガス流の抑制により炉況不安定となった時期の炉内状況であり、低温熱保存帯と明確な還元停滞が認められる。

一方、試験期間中にはRDI上昇に伴う低温熱保存帯が認められたが、高RDI期間の測定⑥に示すように、還元停滞は発生せず炉況も順調であった。

炉内の還元状況をストックラインから $\eta_{co} 40\%$ レベルまでの距離で表現すると、Fig. 12に示すように、 $\eta_{co} 40\%$ レベルはRDIには関係せず、ガス流分布に依存するとの結果が得られた。

このことは、RDI上昇によって低温熱保存帯が発生、成長したとしても、装入物分布制御などにより還元停滞が発生しない適正な炉径方向の熱流比分布が得られれば、炉況安定は維持できる可能性を示唆していると思われる。今後さらに詳細な検討が望まれる。

5. 結 言

ゾンデ試験、高炉内反応シミュレーター試験、高炉操業試験の結果から、焼結鉱のRDI上昇は、高炉ガス灰発生量、K値の増加、低温熱保存帯の成長、ガス流のクロスフロー化による周辺部熱流比の増加などをもたらすことが明かとなった。

炉況安定を維持しつつ高RDI焼結鉱を使用していくには、周辺部熱流比の低下、還元停滞の抑制が重要と考えられる。

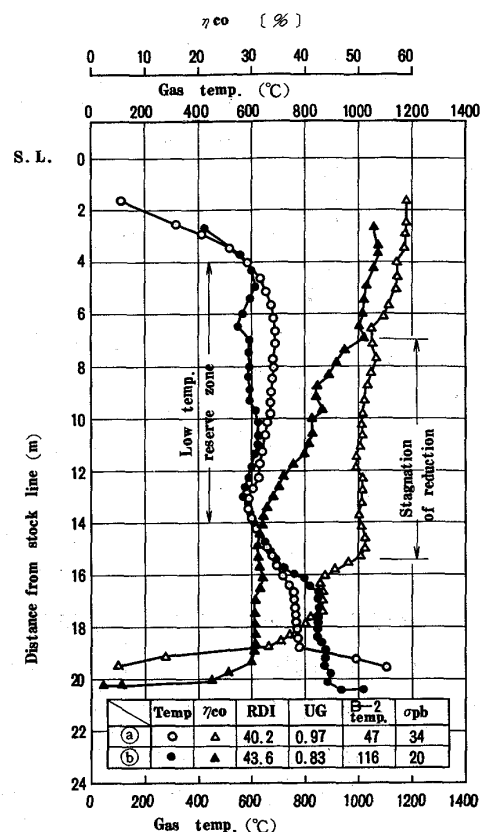


Fig. 11 Low temperature reserve zone and stagnation of reduction in blast furnace.

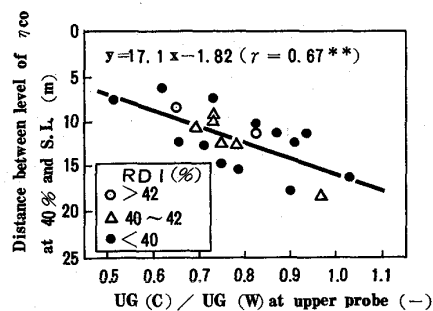


Fig. 12 Relation between gas flow distribution and level of η_{co} at 40%.

参考文献

- 1) 高田 司、相馬英明、入田俊幸、神坂栄治、木村春男、磯山 正、須沢昭和：鉄と鋼、72(1986) 2 P. 203
- 2) 山本亮二、中島龍一、谷中秀臣、脇元一政、長野誠規、桜井雅昭：鉄と鋼、71(1985) 12 S-833
- 3) 高田 司、相馬英明、入田俊幸、神坂栄治、木村春男、磯山 正、中川美男：鉄と鋼、72(1986) 4 S. 4
- 4) 岡本 晃、内藤誠章、斧 勝也、林 洋一：鉄と鋼、72(1986) 10 P. 1529
- 5) 杉山 健：西山記念講座 昭和58年11月