

の熱間異常性状について試験し、実操業との関連を検討したが、これらの性状はいずれも高炉の操業にとって好ましくない要因として働く傾向が認められ、また熱割れ現象は焼結においても、強度の低下の原因となることが試験鍋で確認された。

文 献

- 1) 吉井: 学振54委-1034 (1966)
- 2) 渡辺, 吉永: 鉄と鋼, 52 (1966) 3, p. 488
- 3) 学振, 54委-951

(討-5) 熱割れ鉱石の高炉操業におよぼす影響について

富士製鉄, 室蘭製鉄所

米沢 泰三・永井 忠弘
野崎 充・鈴木 清策

Blast Furnace Operation with Decrepitative Ore

Taizo YONEZAWA, Tadahiro NAGAI
Mitsuru NOZAKI and Seisaku SUZUKI

1. 緒 言

熱割れの危険性の高いとされている鉱石への依存度が最近とくに高まりつつあるので、鉱石特性調査と同時に高炉操業との関連について実験的な調査を行なうこととし、その第一段階として、入荷量の多いスワジランド鉱石を用いて第1高炉(常圧)および第2高炉(高圧)において使用試験を実施した。

使用試験と並行して実験室的に調査した性状試験をFig. 1に示すが、スワジランド鉱石は、典型的熱割れ鉱石として知られているブラジル鉱石と、熱割れがほとんどないウルヤムおよびツイ鉱石のほぼ中間に位置している。

高炉操業試験の結果、この程度の熱割れ性状をもつ鉱石では、40%まで大きな支障なく高炉に使用できることがわかった。

2. 試験方法

Table 1. Size distribution of Swaziland ore.

| | Proposed size (mm) | +35 | ~25 | ~15 | ~10 | ~5 | -5 | Dpw | Dpv |
|----------|--------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| 1st test | L* | 0.1 | 9.0 | 30.4 | 28.7 | 26.1 | 5.7 | 14.5 | 6.08 |
| | S** | | | 21.1 | 33.5 | 31.1 | 14.3 | 11.1 | 4.63 |
| 2nd test | L* | 0.1 | 13.1 | 44.9 | 23.3 | 15.0 | 3.6 | 17.1 | 7.06 |
| | S** | | 1.0 | 28.4 | 34.3 | 27.7 | 8.6 | 12.6 | 5.39 |

* Proposed size=9~35 mm ** Proposed size=9~25 mm

Table 2. Mean size of burden.

| | India | Goa | Rompin | Romeral | Coke | Sinter (1st) | Sinter (2nd) |
|----------|-------|------|--------|---------|-------|--------------|--------------|
| D_{pw} | 16.5 | 17.3 | 16.9 | 17.1 | 48.4 | 19.8 | 23.2 |
| D_{pv} | 5.86 | 5.57 | 6.24 | 6.65 | 11.09 | 5.53 | 6.03 |

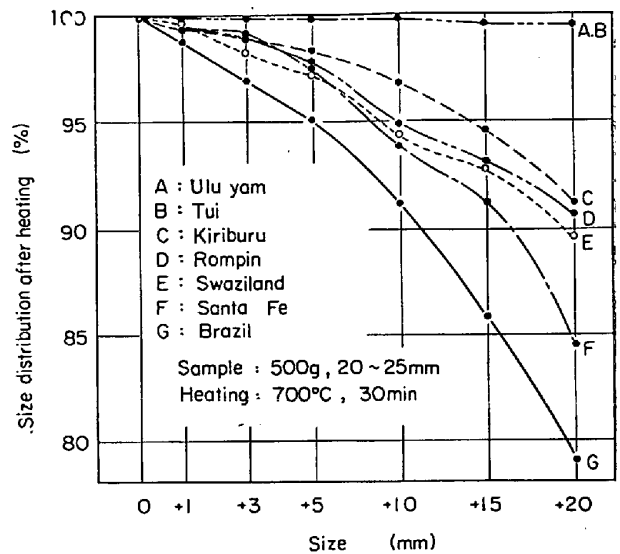


Fig. 1. Degree of decrepitation of some ores.

試験の主目的は、熱割れ鉱石の使用限界およびその適正粒度を調査することにあつたため、スワジランド鉱石を熱割れのあまり問題にされない鉱石と逐次置き換えて行き、各配合レベルごとに粗粒と細粒を交互に使用するように計画した。すなわち、置換鉱石としては、第1次試験(第1高炉)はインドとゴアMを、第2次試験(第2高炉)ではロンピンとロメラルを1:1で行ない、他の鉱石配合率および操業条件を一定に保つようにした。

しかし第1次試験の半ばで、他の高炉で事故があり、この減産カバーのための増風過程で炉況が少々冷え気味となり、かつ焼結のSiO₂低下やスワジランド配合増による鉱滓量の低下で、Al₂O₃含有量が上昇して炉況の不安定を招いたため、細粒は20%配合の時点のみとした。なお、第2次試験は炉況のトラブルはさしてなく、粗粒、細粒の切替を含めて計画にそつて実施された。

3. スワジランドの性状

Table 1にスワジランドの粗粒と細粒の粒度を示す。粗粒は9~35mmを目標に整粒されたものであり、

Table 3. Decrepitation index of Swaziland ore.

| Sample size (mm) | 5~10 | 10~20 | 20~25 |
|-----------------------------|------|-------|-------|
| $100 \times D'_{pw}/D_{pw}$ | 99.5 | 98.4 | 96.8 |

細粒は 9~25 mm である。

Table 2 には焼結鉱, 整粒鉱およびコークスの平均粒径を示した。

ここで重量平均粒径および体積平均粒径は, 次式によって求めた。

$$\text{重量平均粒径} : D_{pw} = \Sigma (W_i \cdot d_i / 100)$$

$$\text{体積平均粒径} : D_{pv} = \sqrt[3]{100 / \Sigma (W_i / d_i^3)}$$

ただし, W_i = 直径 d_i のものの重量%

なお, Table 3 にスワジランド鉱石の粒度別熱割れ性を平均粒径比をもつて示すが, 粒度が小さいほど熱割れは少ないことがわかる。

4. 試験結果

Table 4 に第 1 次および第 2 次試験の結果を示した。

これから次のことが判明した。

(1) スワジランド配合増によつて, 燃料比には変化がみられなかつたが, 細粒の使用で燃料比は低下した。炉況が最も安定している第 2 次試験の補正燃料比についてみると, 細粒 20% の使用で燃料比は 7 kg/t-p, 30% では 23 kg/t-p の低下となつた。Table 4 で細粒化による鉱石の被還元性向上にともなつて, ボッシュガス (CO, H₂) の利用率が 2~3% 向上しており間接還元率がほぼ一定のところから, これに要する CO 量が減少し, 燃料比の低下がはかられたものであろう。

(3) 炉内通気性は, 操業条件が一定な第 2 次試験か

ら明らかのように, スワジランド配合増とともに悪化している。また, 細粒は粗粒に較べてかなり悪いことを示している。(後述するが, K の値が高い方が通気抵抗が大であることを示す)

炉内通気性は, Ore/Coke や装入物性状によつて大きく影響を受けるが, 第 1 次試験でもこの影響を受け, III, IV 期の通気性が逆に良好となつている。

このため, 純粋にスワジランドの配合増による通気性の変化をみるために, 後に若干考察を試みる。

(4) 棚吊りは皆無であつた。第 1 次第 IV 期で 1 回吊つたが, これは定期修理直後のものである。

(5) 炉頂ダスト量は, 第 1 次試験でスワジランド配合増とともに増加の傾向にあるが, 第 2 次試験の高圧高炉では明瞭でない。

5. 通気性に関する考察

5.1 スワジランド配合増の影響

スワジランドの配合増によつて, 炉内通気性がどのような変化を受けたかをみるために, 以下に若干の考察を試みた。

一般に充填塔の圧損失として次式が適用される。

$$\Delta P/L = C(1/\phi D_p)^{1-q} \cdot (1-\epsilon)^{1-q/\epsilon^3} \cdot \mu^{-q}$$

$$G^{2+q} \cdot \rho^{-1} \dots \dots \dots (1)$$

ただし, $\Delta P, L$: 圧損失, 充填塔高さ

D_p, ϵ, ϕ : 平均粒径, 空隙率, 球係数

μ, ρ : ガス粘性係数および密度

G, C : 質量速度, 定数

(1) 式において, G を送風量 (V_B) で代用し, ρ を標準状態になおし, 炉内平均温度を一定として変形すれば (2) 式のようになる。

Table 4. Operation results.

| Item | Period | 1 st test | | | | 2 nd test | | | |
|--------------------------------|----------------------|-----------|-------|--------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| | | I | II | III | IV | I | II | III | IV |
| | | 4/16~19 | 20~23 | 28~5/1 | 7~10 | 6/1~3 | 4~6 | 11~13 | 15~19 |
| Swaziland rate L* | % | 19.6 | 0 | 29.4 | 38.0 | 20.1 | 0 | 29.6 | 0 |
| Swaziland rate S** | % | 0 | 19.7 | 0 | 0 | 0 | 20.2 | 0 | 29.1 |
| Sinter rate | % | 61.0 | 61.5 | 60.4 | 61.2 | 38.8 | 38.8 | 41.1 | 40.8 |
| Production | t/day | 1365 | 1336 | 1360 | 1377 | 2223 | 2278 | 2060 | 2230 |
| Coke rate | kg/t-p | 413 | 423 | 447 | 474 | 472 | 466 | 477 | 469 |
| Oil rate | " | 57 | 57 | 41 | 23 | 39 | 38 | 40 | 39 |
| Corrected F.R | " | 523 | 525 | 524 | 529 | 511 | 504 | 520 | 497 |
| Ore/Coke | | 3.54 | 3.48 | 3.32 | 2.97 | 3.09 | 3.09 | 3.06 | 3.16 |
| Blast volume | Nm ³ /min | 1100 | 1100 | 1140 | 1160 | 2020 | 2030 | 1850 | 2020 |
| Blast pressure | g/cm ² | 895 | 975 | 950 | 890 | 1860 | 1880 | 1730 | 1920 |
| Blast temperature | °C | 980 | 990 | 960 | 900 | 1050 | 1050 | 1050 | 1030 |
| Blast moisture | g/Nm ³ | 23 | 16 | 17 | 29 | 21 | 21 | 15 | 23 |
| Top gas press. | g/cm ² | 30 | 30 | 30 | 30 | 800 | 790 | 800 | 800 |
| Permeability index | $K \times 10^5$ | 2.50 | 2.80 | 2.53 | 2.25 | 1.75 | 1.82 | 1.78 | 1.94 |
| Permeability index | $K' \times 10^5$ | 2.50 | 2.85 | 2.70 | 2.68 | 1.75 | 1.82 | 1.80 | 1.90 |
| Hot metal Si | % | 0.54 | 0.54 | 0.77 | 0.73 | 0.55 | 0.54 | 0.51 | 0.57 |
| Hot metal S | % | 0.037 | 0.028 | 0.037 | 0.027 | 0.037 | 0.033 | 0.030 | 0.030 |
| Slag volume | kg/t-p | 264 | 261 | 222 | 204 | 267 | 269 | 284 | 288 |
| Slag basicity | CaO/SiO ₂ | 1.22 | 1.35 | 1.19 | 1.36 | 1.33 | 1.37 | 1.34 | 1.36 |
| Top gas | CO/CO ₂ | 1.02 | 1.01 | 1.08 | 1.24 | 1.21 | 1.18 | 1.16 | 1.13 |
| Dry dust | kg/t-p | 9.4 | 8.2 | 11.7 | 12.0 | 9.2 | 8.7 | 10.8 | 9.1 |
| No. of Hanging | | 0 | 0 | 0 | 0.25 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Indirect reduction | % | | | | | 71.7 | 69.8 | 69.4 | 70.8 |
| Direct reduction | % | | | | | 28.3 | 30.2 | 30.6 | 29.2 |
| H ₂ gas utilization | % | | | | | 27.6 | 26.6 | 24.1 | 26.5 |
| CO gas utilization | % | | | | | 55.4 | 58.0 | 58.5 | 59.8 |

* Proposed size = 9~35 mm
 ** Proposed size = 9~25 mm

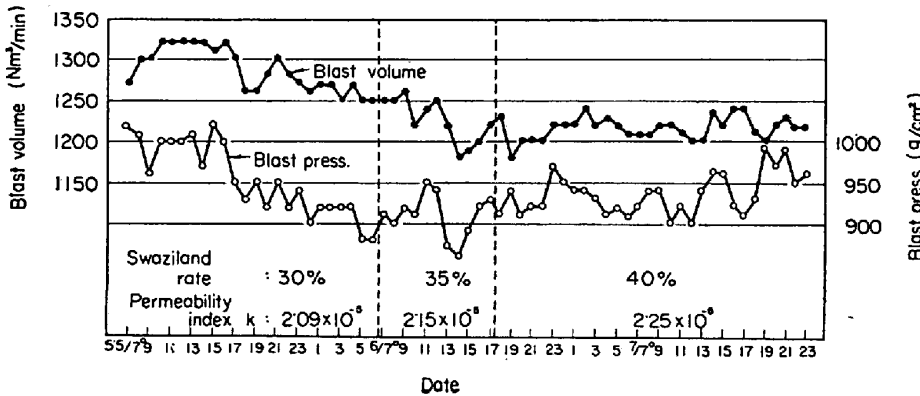


Fig. 2. Change of blast volume and pressure increasing Swaziland rate up to 40% from 30% in burden.

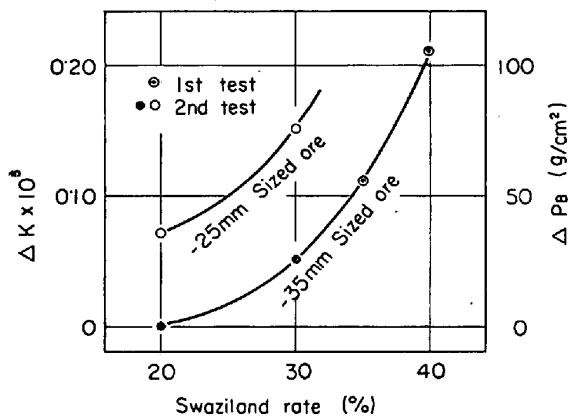


Fig. 3. Relation between permeability index K , blast pressure P_B and swaziland rate.

Table 5. Permeability index K' corrected with mean size D_{pv} .

| Swaziland rate (%) | 20 | | 30 | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | L | S | L | S |
| Mean size : D_{pv} | 7.42 | 7.22 | 7.66 | 7.14 |
| $D_{pv}^{1.35}$ | 14.96 | 14.42 | 15.62 | 14.21 |
| Permeability index $K \times 10^5$ | 1.75 | 1.82 | 1.78 | 1.94 |
| $K' = K \cdot D_{pv}^{1.35}$ | 26.18 | 26.24 | 27.80 | 27.57 |

$$P_B^2 - P_i^2 = K \cdot V_B^{2+q} \dots (2)$$

ただし、 P_B, P_i : 送風圧, 炉頂圧 (ata)

q は一般に $-0.2 \sim -0.4$ 程度にあるといわれているが、ここでは室蘭製鉄所の解析結果である -0.35 を用いて、炉内通気特性 K を算出し Table 4 に示した。

しかし、前述したように各期の ore/coke が異なるため、 K はそれらで補正しなければならない。補正は、第 1 期を基準として 0.76 (ore/coke) によつて行ない、それを K' とした。

これによれば、スワジーランド配合増とともに通気性が悪化することはほぼ確実であるが、この点をさらに確認するために、Fig. 2 にスワジーランド 30%→40% 配合変更前後のごく近傍の送風量および送風圧の変化を示した。これによればスワジーランドを 30% から 40% に

配合増をはかるとともに、送風量が低下しているにもかかわらず送風圧はあまり変化がなく、通気性は悪化している。

以上の結果から、Fig. 3 に粗粒 20% を基準にした通気性の変化を総括した。また、 $V_B = 2000 \text{ m}^3/\text{min}$, $P_i = 800 \text{ g/cm}^2$ (atg) とした時、 K の変化によつて P_B がどう変化するかを併記した。

5.2 細粒化の影響

(1) 式で装入物粒径について考えると、 ΔP は $G^{1.65}/D_{pv}^{1.35}$ に比例することになる。したがつて (1) 式は

$$P_B^2 - P_i^2 = K' \cdot V_B^{1.65}/D_{pv}^{1.35} \dots (3)$$

となる。ここで、 $K' = K \cdot D_p^{1.35}$ で一定となるはずであり、第 2 次試験の計算結果を Table 5 に示す。

この結果によれば、粗粒に細粒の通気特性の差は、装入物粒径によつてほぼ説明づけられており、スワジーランドの粗・細による炉内熱割れの度合いによる差は明瞭でない。

5.3 熱割れ鉱石の使用限界について

今回の試験で、スワジーランド鉱石は送風圧の上昇があつたとはいえ 40% まで使用できたが、典型的な熱割れ性を有するブラジル鉱石の使用限界については、実際に操業試験を行なわなければ把握できない。しかし、Fig. 1 の実験室の熱割れ試験結果から 5 mm 基準で考えれば、ブラジル鉱石は炉内でもスワジーランド鉱石の約 2 倍の粉の発生を予想させる。かりに熱割れによる 5 mm の発生量をスワジーランド鉱石なみにおさえるとすれば、ブラジル鉱石の使用限界はスワジーランド鉱石のその約半分となる。したがつて、スワジーランド鉱石の使用限界を 40% とすれば、ブラジル鉱石は 20% 程度がその限界と考えられる。

6. 結 言

第 1 高炉および第 2 高炉で、スワジーランド配合 40% までの熱割れ鉱石使用試験を実施した結果、次のことがわかつた。

- 1) 炉内通気性は悪化し、スワジーランド 20% 配合増で、送風圧は約 110 g/cm^2 の上昇となつたが、操業上トラブルはなく、棚吊も皆無であつた。
- 2) 粗粒 (9~35 mm) から細粒 (9~25 mm) の切替で、送風圧は明らかに上昇し、通気性は悪化した。熱割れ度に対する細粒の効果は明瞭でない。
- 3) 高圧と常圧高炉の差異は、この試験では明らかにできなかった。
- 4) 燃料比は細粒鉱石の使用で、配合 10% 当たり 4~8 kg/t-p の低下となつた。
- 5) ダスト発生量は若干上昇する傾向にあるが、有意差は見出されなかつた。
- 6) したがつて、本試験に用いられたスワジーランド鉱石の熱割れ、還元粉化は、特に激しいものではないと思われ、このことは実験室の結論とよく一致した。

文 献

- 1) 米沢, 他: 鉄と鋼, 52 (1966) 10, p. 110