

669, 162, 227

(37) 高圧操業に関する若干の考察

富士製鉄, 室蘭製鉄所

米沢 泰三・永井 忠弘

○野崎 充・鈴木 清策

Some Considerations about High Top Pressure Operation.

Taizō YONEZAWA, Tadahiro NAGAI,
Mitsuru NOZAKI and Seisaku SUZUKI.

1. 緒 言

高圧操業のコークス比, 生産性等に対する効果については, すでに第 1 報¹⁾を報告したが, これまでの試験結果と考え方を再確認するために, 昭和40年8月7日から9月13日にかけて, 室蘭第3高炉において6回目の高圧操業試験を実施した。試験結果はこれまでの考え方が間違いないことを裏付けたが, 送風量, 送風圧, 炉頂圧の3者について定量的関係が見出され, また, 前報の高圧操業とコークス比の定量的関係について, 若干の修正を要することになった。以下に室蘭第3高炉の第6次高圧操業試験の結果について報告する。

2. 試験目的および方法

試験の主目的は, 各種の操業条件の下で, (1) 送風量送風圧, 炉頂圧の3者の関係を定量的に求める, (2) 炉頂圧とコークス比の関係を定める, ことであつた。従つて, 試験は次のように行なつた。

- (1) 比較的高送風量一定で炉頂圧を高める (I~II期)。
- (2) 炉頂圧一定で送風量を下げる (II~III期)

- (3) 低送風量一定で更に炉頂圧を高める (III~IV期)
- (4) 低送風量一定で炉頂圧を下げる (IV~V期)

なお, 各試験期間の間には, 鉱石の増減等のために十分な炉況調整期を設け, 試験期間中には大きなアクションを採らぬようにした。

3. 試験結果および考察

3.1 試験結果

試験結果を Table 1 に示す。

3.2 送風量, 送風圧, 炉頂圧に関する考察

Fig. 1 に炉頂圧 (P_2 , atg) と送風圧 (P_1 , atg) の関係を, 送風量 (V_B , Nm³/min) をパラメーターとして示した。これから, (1) 炉頂圧 1 kg/cm² 上昇につき送風圧は 0.75~0.80 kg/cm² しか上昇しないこと, (2) 送風量と送風圧とは単純な比例関係にはなく送風量を上げた割には, 送風圧が上昇しないことが示されている。(1)の關係は, われわれの予想を明瞭に裏付けるものであつたが, (2)の關係については予想外の現象であつた。

一般に圧損に関して次の式²⁾が出されている。

$$\Delta P = FG^2 / \rho \dots\dots\dots (1)$$

ここで ΔP : 圧損, F : 定数, ρ : 質量速度 (高炉では, 送風量またはガス量で代用される)

(1)式を高炉について考え, G を送風量で代用し, ρ を ρ_0 (標準状態での密度) で書き表わせば,

$$P_1 - P_2 = F_0 \frac{V_B^2}{\rho_0 (\tilde{T}/273) (1.033/\tilde{P})} \dots\dots\dots (2)$$

Table 1. Result of high top pressure operation test.

Duration of test	I	II	III	IV	V
	8/7~8/11	8/16~8/23	8/28~9/2	9/4~9/6	9/9~9/13
Top gas press. (kg/cm ²)	0.50	0.80	0.80	1.00	0.50
Production (t/day)	2071	2108	1659	1648	1631
Coke rate (kg/t-p)	470	461	446	427	455
Fuel oil inject. (kg/t-p)	59	61	62	56	62
Corrected fuel rate (kg/t-p)	529	521	504	493	517
Blast volume (Nm ³ /min)	2120	2200	1700	1660	1690
Blast press (kg/cm ²)	1.79	2.05	1.66	1.76	1.43
Blast temp. (°C)	1000	1000	1000	1000	1000
Blast moisture (g/Nm ³)	26	28	27	19	18
Top gas temp. (°C)	210	210	200	170	180
Top gas CO (%)	22.2	22.1	21.4	20.3	21.4
" CO ₂ (%)	18.5	18.1	18.7	19.9	18.7
" H ₂ (%)	4.1	4.3	4.0	4.0	4.3
Hot metal Si (%)	0.64	0.65	0.57	0.50	0.60
" S (%)	0.024	0.025	0.031	0.029	0.031
Slag volume (kg/t-p)	275	279	314	305	322
Slag basicity CaO/SiO ₂	1.36	1.27	1.23	1.32	1.29
Dry dust from D. C. (kg/t-p)	12.7	8.2	6.1	4.6	6.7
Calculated gas velocity (m/sec)	3.86	3.50	2.96	2.77	3.37
No. of Hanging	2	1	0	0	0
% of sinter in burden	69.0	67.8	70.7	70.4	74.2
Sinter basicity CaO/SiO ₂	1.39	1.42	1.43	1.47	1.34
ΔFR (kg/t-p)	0	-8	-25	-36	-12
$\Delta \tilde{u}$ (m/sec)	0	-0.36	-0.90	-1.09	-0.49
Indirect reduction r_i (%)	70.6	72.5	74.1	74.3	70.0
Direct reduction r_d (%)	29.4	27.5	25.9	25.7	30.0
H ₂ gas utilization (%)	32.1	34.2	39.1	53.7	56.4
CO gas utilization (%)	55.3	53.9	55.4	59.6	56.9

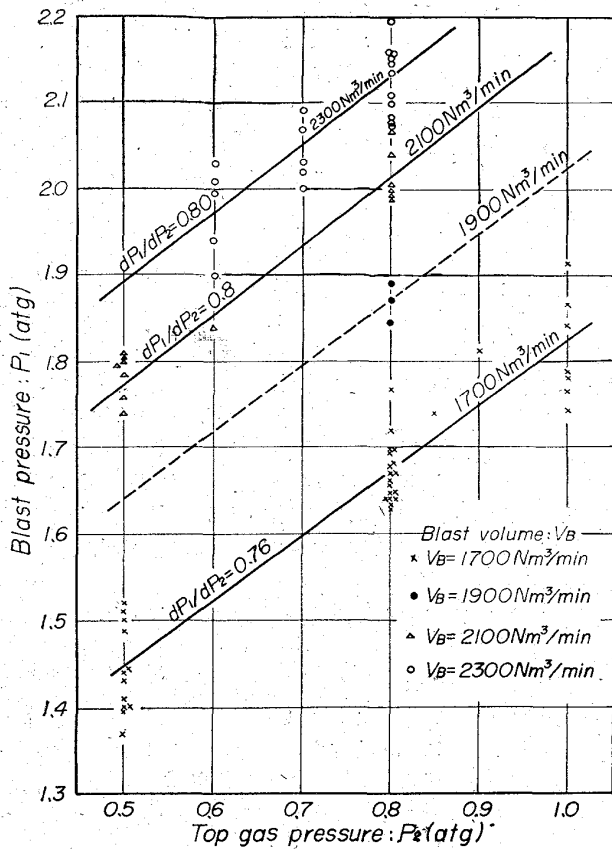


Fig. 1. Relations between top gas pressure, blast pressure and blast volume.

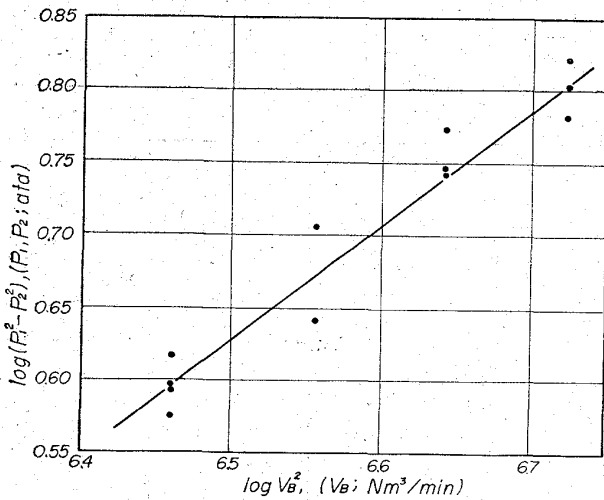


Fig. 2. Relation between $\log V_B^2$ and $\log(P_1^2 - P_2^2)$

$$\therefore P_1^2 - P_2^2 = F_1 V_B^2 / \rho_0 \cdot \bar{T} \dots \dots \dots (3)$$

さらに、 ρ_0, \bar{T} を一定と見なせば、次のようになる。

$$P_1^2 - P_2^2 = F_2 \cdot V_B^2 \dots \dots \dots (4)$$

(2)(3)(4)式において、 P_1, P_2 : 送風圧および炉頂圧 (ata), V_B : 送風量 (Nm^3/min), \bar{T} : 炉内平均温度 ($^{\circ}K$), \bar{P} : 炉内平均圧 = $(P_1 + P_2)/2$, F_0, F_1, F_2 : 定数, である。

われわれの試験結果について、 $\log V_B^2$ と $\log (P_1^2 - P_2^2)$

P_2^2 の関係を Fig. 2 に示したが、この試験範囲内での各種の異なった条件下において、 P_1, P_2, V_B の3者の関係が次式のごとく一義的に示されることが判明した。

$$P_1^2 - P_2^2 = 2.67 \times 10^{-5} V_B^{1.6} \dots \dots \dots (5)$$

(5)式を(1)式に対応する形で見れば、

$$\Delta P = F G^{1.6} / \rho \dots \dots \dots (6)$$

われわれの求めた式が一般式(1)と異なり、 ΔP が $G^{1.6}$ に比例する形となつたのは、高炉のごとく複雑な充填塔においては、 F が G によつて変化するためと考えられる。換言すれば、 ΔP が G^2 に比例すると見なせば、 F は $G^{-0.4}$ に比例する形になっていると考えてもよく、 F に含まれる空隙率 ϵ が増風と共に大になると推定される。

われわれの求めた(5)式は、室蘭第3高炉の特性を示すものであろうが、調査解析を更に進めることによつて、送風機の設計にも役立つようになると思われるし、また既設の送風機で、種々の高炉操業条件の下でどれだけの送風量を出し得るかが求められることになる。

3.3 高圧操業と燃料比に関する考察

Fig. 3 に炉頂圧と補正燃料比について示したが、送風量によつて燃料比が層別されることが判る。炉頂圧と操業条件との関係を定量化するため、燃料比の低下 ΔFR と計算ガス速度の低下 $\Delta \tilde{u}$ の関係を示すと、Fig. 4のごとくほぼ直線関係が得られる。

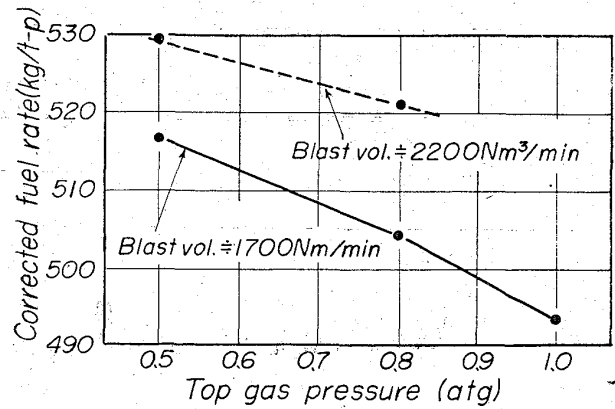


Fig. 3. Relations between coke and top gas pressure.

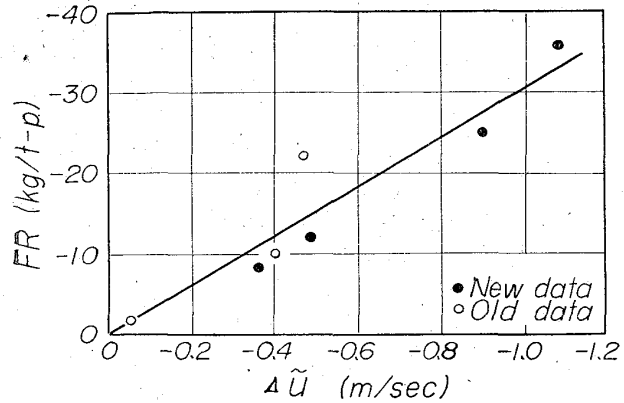


Fig. 4. Relation between $\Delta \tilde{u}$ and ΔFR .

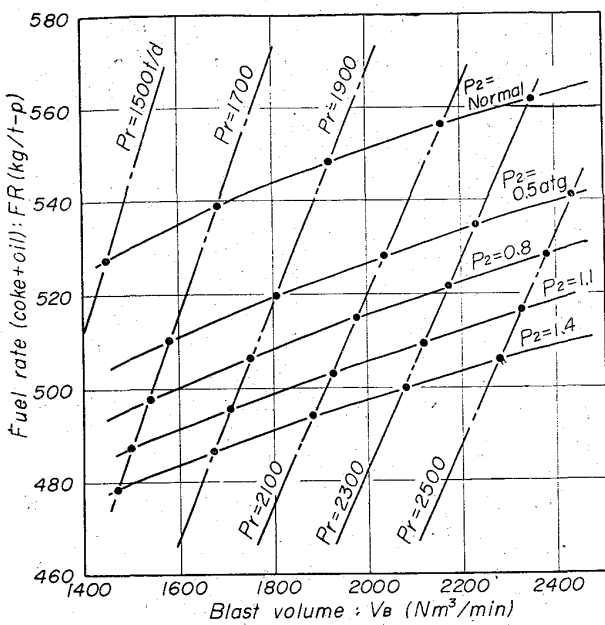


Fig. 5. Effect of high top pressure operation on fuel rate.

$$\Delta FR = 30 \Delta \tilde{u} \dots\dots\dots (7)$$

$$\therefore FR = 30 \tilde{u} + a \dots\dots\dots (8)$$

(7), (8)式において FR: 燃料比 (kg/t-p), \tilde{u} : 計算ガス速度 (m/sec), a: 定数である.

(8)式に最近の室蘭第3高炉の標準操業状態を代入すると, aが定まり(9)式が得られる.

$$FR = 30 \tilde{u} + 413 \dots\dots\dots (9)$$

一方計算ガス速度は次のように示される.

$$\tilde{u} = \frac{1 \cdot 21 V_B / 60}{\tilde{S} \cdot \epsilon} \cdot \frac{\tilde{T}}{273} \cdot \frac{1 \cdot 033}{(P_1 + P_2) / 2} \dots\dots\dots (10)$$

ここで, \tilde{S} : 炉の平均断面積, (羽口~装入線まで, 室蘭第3高炉では, 45.5m²), ϵ : 空隙率(ここでは0.58を採用), \tilde{T} : ガスの炉内平均温度 (1400°Kを採用), 1.21; 送風 1m³より生成されるボッシュガス量, である.

(10)式に各定数を代入し, (5), (9), (10)式より P₁, \tilde{u} を消去すれば, 次式が得られる.

$$FR = 413 + 0.243 / (P_2 + \sqrt{2 \cdot 67 \times 10^{-5} V_B^6 + P_2^2}) \dots\dots\dots (11)$$

また, 鉄鉄 1t 当り所要風量 V_p(Nm³/t-p) と燃料比 FR には, 極めて強い直線関係がある.

$$V_p = 3 \cdot 0 FR - 190 \dots\dots\dots (12)$$

出鉄量を P_r(t/d) とすれば,

$$P_r = 1440 V_B / (3 \cdot 0 FR - 190) \dots\dots\dots (13)$$

$$\therefore FR = 63 \cdot 3 + 4 \cdot 80 \times 10^2 V_B / P_r \dots\dots\dots (14)$$

以上のようにして求めた(11)および(14)式によつて, 出鉄量 P_r—送風量 V_B—燃料比 FR—炉頂圧 P₂の4者の関係が定量化される. Fig. 5に出鉄量と炉頂圧をおのおの(11)および(14)式のパラメーターとして, 送風量と燃料比の関係を示した. Fig. 5から高圧操業の特徴として次のようなことがいえる.

(1) 炉頂圧 1 kg/cm² の燃料比におよぼす効果は,

常圧から 0.5 kg/cm² の範囲では, -54kg であるが, 0.5 kg/cm² から 1 kg/cm² の範囲では, -40kg となり徐々に減少すると見なされる.

(2) 低出鉄時では燃料比のレベルが下がるので, 例えば 1700 t/d, 0.5 kg/cm² 時の燃料比と同じ燃料比を 2300 t/d の出鉄で得るためには, 炉頂圧を 1.1 kg/cm² 位に上げる必要がある.

4. 結 言

室蘭第3高炉において6回目の高圧操業試験を実施した結果,

(1) 送風量, 送風圧, 炉頂圧の3者の間には密接な関係があり, 3者を定量的に結びつけることができた.

(2) 炉頂圧 0.1 kg/cm² 当り, 燃料比は 4~5kg低下する. しかし, 燃料比の低下の度合いは, 炉頂圧上昇につれて減少すると思われる.

(3) 高出鉄時に低出鉄時と同一のコークス比を得るためには, 非常な高炉頂圧を要すると思われる.

文 献

- 1) 山田, 他: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 1599
- 2) 化学工学便覧, (1958), p. 133

669,162,277,669,162,228,3

(38) 大型高炉における高圧操業について

東海製鉄

山田良正・喜多川武
福田隆博・○草野権一郎

Operation of the Huge Blast Furnace with the Top-Pressure Control.

Yoshimasa YAMADA, Takeshi KITAGAWA,
Takahiro FUKUDA and Kenichirō KUSANO.

1. 緒 言

東海第1高炉は昭和39年9月5日火入れし, 昭和40年2月より高圧操業を開始した. その後市況の関係で, 高出鉄を達成するにいたっていないが, 炉頂圧力0.6~0.7 kg/cm², 出鉄比 1.5~1.6 t/m³, 燃料比 520 kg/t 前後の安定した操業を行なっている. 以下に火入れ後約1年間の操業実績と, 設備上の問題点などについて報告する.

2. 高圧操業設備

本高炉は内容積 2021 m³, 炉床径 9.8m, 滓口数24, 出鉄口2個, 出滓口2個を有する高圧操業高炉である. 装入装置関係の設備はマッキー方式(2ベル)を採用, 炉頂圧力最高 1.0 kg/cm² の操業が可能にした. 高圧操業制御設備は炉頂圧力制御(セプタム弁制御, プリーダー弁制御), ベル間ホッパー内の圧力制御(1次均圧, 2次均圧)およびベンチュリースクラバーの水位制御よりなっている. Fig. 1に炉頂圧制御系統図を示す.

本設備で特に考慮が払われた主なものを次にあげる.

1) 大ベル摩耗への対策

大ベルおよびカップのシール部の表面硬化 (Stoody #106), 大ベル保護ライナー(SMn85)の採用, 炉一代で