

Table 3. Total heat balance of the 13th normal operation and 14th oxygen enrichment operation.

No.	Item	13th normal operation kcal/t-p	14th oxygen enrichment operation kcal/t-p
1	Sensible heat of the blast	856,750	355,680
2	Sensible heat of moisture in blast	26,410	3,620
3	Sensible heat of added oxygen	—	17,240
4	Calorific heat of C burnt by dry air before the tuyere	2,661,100	773,720
5	Reduction heat of iron oxide	52,140	50,990
6	Heat of slag formation	81,160	67,450
Total heat input		3,677,920	2,268,700
1	Reduction heat of FeO by H ₂	990	—
2	Reduction heat of MnO	12,740	11,050
3	Reduction heat of SiO ₂	64,760	84,810
4	Solution loss	263,410	160,460
5	Heat of lime stone decomposition	72,980	55,000
6	Sensible heat of molten pig	293,160	290,630
7	Sensible heat of molten slag	249,980	238,700
8	Decomposition heat of moisture in blast	162,970	29,400
9	Vaporization heat of moisture of charging material	39,720	—
10	Enthalpy of steam in the top gas	6,660	19,490
11	Sensible heat of top gas	916,100	348,310
12	Heat loss	1,589,520	1,030,850
Total heat output		3,677,920	2,268,700

る。
これを明らかにするため、第14次操業で粉炭 25% と同一条件（ただし春と夏の送風水分の差を温度で補正）の操業を行なった。

その結果は Table 1 の通りで、CO 利用率の顕著な向上、炉頂温度の著しい低下、出銑量の激増、およびコークス比の大幅な低下が認められた。

このコークス比低下の原因を Table 3 の全熱バランスによつて調べると、O₂ 富化時は基準時に対して 1,409,220 kcal、粉炭 25% 吹込時に対して 814,530 kcal だけ入熱量が減少している。この内容は solution loss の減少、炉頂ガス顕熱の減少、および熱損失の減少で説明される。

これらの出熱の減少を羽口からの全 O₂ 量、O₂ 量の相違などに関する補正を加えた後、第 3 報の要領でコークスに換算すると、

Solution loss の減少により： 56.7 kg/t-p
炉頂ガス顕熱減少で： 216.8 “
熱損失により： 203.1 “
となり、合計すると 476.6 kg/t-p であつて、実績値の 492 kg/t-p とよく一致する。

したがつてこのときのコークス比の低下は、CO 利用率に関連した solution loss の減少、ガス量の減少、熱交換率の向上による炉頂温度の低下、そしてこれらの結果としての出銑量の激増によるものといえる。

しかし単に酸素富化によるガス量の減少の結果、出熱減だけでは、これだけの効果が期待できない。これと炉の下部の温度上昇によつて可能となつた Ore/coke の増大が、CO 利用率と熱交換率の改善をもたらし、それがまた Ore/coke の一そうの増大を可能ならしめたものと考えねばならない。しかるに O₂ 富化と粉炭吹込みを同時に行えば、羽口先燃焼温度が低下し、ガス量も増加

するため、上述の酸素の効果が打消されるから、その場合得られるコークス比の低下は粉炭自身の効果ということになる。

IV. 結 言

以上の検討結果から

(1) 粉炭吹込時には羽口前燃焼温度が基準時に比べて低かつたが、H₂ 還元の進行による solution loss の減少で実質的な熱補償が行なわれたとみられる。

(2) 1 t 高炉のように CO 利用率が低く、かつ、炉頂温度の高い炉では、O₂ 富化はコークス比を低下させる効果を示すが、粉炭と併用したときの効果は、ガス量の増加を招かない熱補償剤のそれに過ぎない。

669.162,267.4:662.66-492
(27) 粉炭のコークス置換率について

(1 t 高炉による粉炭吹込試験—Ⅲ)

東大生産技術研究所 632/17
工博館 充・○中根千富・鈴木吉哉
富士製鉄室蘭製鉄所 野崎 充

On the Coke-Equivalent of Powder-Coal. 1310~1312

(Experiments on the powder-coal injection by 1 t blast furnace—Ⅲ)

Dr. Mitsuru TATE, Chihu NAKANE,
Kichiya SUZUKI and Mitsuru NOZAKI.

I. 結 言

前述のように、粉炭 25% の吹込のさい、みかけのコークス置換率として 1.13 という値を得た。こうした粉炭に有利な置換率がどのようにして得られたか、またはたしてこの値を真の置換率とみなし得るかを検討する。

Table 1. Result of experiment.

Item	Normal operation	Injection by 25% coke
Total oxygen blown m ³ /d	1282	1276
Iron production t/d	1·109	1·3564
Coke rate kg/t-p	1478	1091
Weight of dry coal kg/t-p	—	342·4
Gasification rate α%	—	75·71
Apparent coke equivalent	—	1·13
Top gas temperature °C	481	414
Top gas volume m ³ /d	7381*	6910
Bosh gas volume m ³ /d	7255	6715
Dry blast volume m ³ /d	5748	4868**
Moisture in blast m ³ /d	150·2	127·6
Blast temperature °C	574	594***

* Top gas volume including H₂O produced by reduction.

** Oxygen enriched blast including transporting air.

*** Corrected by transporting air.

II. 熱バランスの対比

Table 1 に若干の操業データ, Table 2 に基準時ならびに 25% 粉炭吹込時の熱バランスを示す。

Table 2 によると, 25%粉炭吹込時の銑鉄トン当り全入熱, 即ち全所要熱量が基準時よりも 594,690 kcal だけ少なくなっているが, この減少は次のような出熱の減少によつて可能となつたものである。

- i) Solution loss の減少分.....201,140 kcal
- ii) 炉頂ガス顕熱の減少分.....277,720 "
- iii) 熱損失の減少分.....180,920 "

上記の項目の中で, 粉炭そのものの効果を検討し, 粉炭以外の効果については補正をする必要がある。i) は粉炭中に含まれる H₂ の還元作用によつて生じた利益で, 粉炭の直接的効果とみることが出来る。ii) は CO の利用率の向上による CO₂ 濃度の増大, ガスの H₂ 濃度の上昇, CO と H₂ の間接還元率向上の結果としてのガス量の減少, ガス量の減少と熱交換の改善 -ore/coke の増大に基づく一による炉頂温度の低下, 出銑量の増大に伴う銑鉄トン当り相対ガス量の減少などの様々の要因から成り立っている。しかし, これらのうち送風条件の設定誤差によるもの(ガス量および炉頂温度)を除けば, 他はすべて粉炭吹込の効果とみてよい。iii) は出銑量増加に伴う相対的減少で, 出銑量の増加が粉炭吹込の効果とみられる以上(ΣO₂が一定であるから)この熱量減も粉炭の効果とみてよい。

こうして補正を必要とするのは, 基準時と吹込時と bosh gas 量が等しかつたときの, 炉頂ガス量と炉頂温度に関するものだけである。そこで, 炉頂温度がガス量に比例するものとして基準の炉頂温度を計算すると, 452°C となり, これによる基準の炉頂ガス顕熱の補正值は 867,130 kcal となる。更にガス量の補正を行えば, 815,260 kcal となり, ii) の減少分は 170,220 kcal となる。このうち, solution loss の減少によるガス量の減少に伴う出熱減 22,380 kcal を分離し, 間接的なガ

Table 2. Heat balance.

No.	Item	Normal operation		Injection by 25% coke	
		kcal/t-p	%	kcal/t-p	%
(1)	Sensible heat of the blast	856,750	23·3	625,190	20·3
(2)	Sensible heat of moisture in blast	26,410	0·7	21,010	0·7
(3)	Sensible heat of added oxygen	—	—	40,850	1·3
(4)	Calorific heat of C burnt by dry air before the tuyere	2,661,000	72·4	1,795,730	58·2
(5)	Calorific heat of C burnt by added oxygen before the tuyere	—	—	454,110	14·7
(6)	Reduction heat of iron oxide	52,140	1·4	44,350	1·4
(7)	Heat of slag formation	81,160	2·2	75,840	2·5
(8)	Calorific heat of CH ₄ in coal	—	—	26,150	0·9
Total heat input		3,677,920	100·0	3,083,230	100·0
(1)'	Reduction heat of FeO by H ₂	990	(0·03)	27,140	0·9
(2)'	Reduction heat of MnO	12,740	0·3	12,690	0·4
(3)'	Reduction heat of SiO ₂	64,760	1·8	65,720	2·1
(4)'	Solution loss	263,410	7·2	62,270	2·0
(5)'	Heat of lime stone decomposition	79,280	2·2	74,300	2·4
(6)'	Sensible heat of molten pig	293,160	7·9	292,740	9·6
(7)'	Sensible heat of molten slag	249,980	6·8	232,580	7·6
(8)'	Heat of moisture in blast	162,970	4·4	120,480	3·9
(9)'	Decomposition heat of coal moisture	—	—	18,160	0·6
(10)'	Decomposition heat of CO ₂ in coal	—	—	9,850	0·3
(11)'	Decomposition heat of coal	—	—	17,120	0·6
(12)'	Vaporization heat of moisture of charging material	39,720	1·1	96,520	3·1
(13)'	Sensible heat of top gas	916,100	24·9	629,380	20·4
(14)'	Enthalpy of steam in the furnace top gas	6,660	0·1	15,660	0·4
(15)'	Heat loss	1,589,520	43·3	1,408,600	45·7
Total heat output		3,677,920	100·0	3,083,230	100·0

ス頭熱減少分を求めると、結局 147,840 kcal となる。以上から、所要熱量の減少という熱的利益は次の通りである。

- 直接的利益: Solution loss の減少によつて
 $201,140 + 22,380 = 223,520 \text{ kcal/t-p}$
- 間接的利益: 炉頂ガス頭熱の減少によつて
 $147,840 \text{ kcal/t-p}$
- 熱損失の減少によつて
 $180,920 \text{ kcal/t-p}$

III. 粉炭吹込に伴う熱的利益の粉炭のコークス当量

次に以上の熱的利益と等価なコークス量を求める。

i) Solution loss の減少による熱的利益に等価な炭素量

求める炭素量 C_1 は次の式から求めることができる。

$$C_1 q_{cd} = \zeta_{H_2} V_{H_2 \cdot bosh} q_{H_2} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 q_{cd} は Fe の直接還元で消費される C の有効発熱量で、

$$q_{cd} = 2340 - 1.867 C_O T_{G0} \dots\dots\dots (2)$$

q_{H_2} は間接還元に使われる H_2 の有効発熱量で

$$q_{H_2} = 2580 - (C_{H_2O} - C_O) T_G \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 ζ_{H_2} : H_2 の利用率、 $V_{H_2 \cdot bosh}$: Bosh gas H_2 量、 C_O , C_{H_2O} : 2 原子ガスおよび H_2O の比熱、 T_{G0} , T_G : 基準および 25% 粉炭吹込時の炉頂温度。

q_{cd} , q_{H_2} を計算すると、それぞれ $2088.2 \text{ kcal/kg} \cdot C$ $2553.9 \text{ kcal/m}^3 \cdot H_2$ となる。故に

$$C_1 = 85.3 \text{ kg}$$

ii) 炉頂ガス頭熱の減少による熱的利益の炭素当量
求める量 C_2 は次式で求められる。

$$C_2 q_c = 147,840 \text{ kcal}$$

ただし、 q_c はコークスの燃焼炭素 1 kg の有効発熱量で

$$q_c = 2340 + V_B(C_O t_{B0} - \varphi C_{H_2O} t_{B0} - 2580 \varphi) - V_G C_O T_{G0} + \zeta_{CO} \{5640 - 1.867(C_{CO_2} - C_O) T_{G0}\} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 V_B : 乾燥空気量 $m^3/kg \cdot c$ 、 V_G : Bosh gas 量 $m^3/kg \cdot c$ 、 t_{B0} : 基準時の送風温度、 φ : 送風の水分 $m^3/m^3 \cdot \text{dry air}$ 、 ζ_{CO} : CO の利用率、 C_{CO_2} : CO_2 の比熱、その他は前述と同じ。

q_c を計算すると $2819.6 \text{ kcal/kg} \cdot c$ となるから

$$C_2 = 147,840 / 2819.6 = 52.4 \text{ kg}$$

iii) 熱損失の減少による間接的利益の炭素量
求める炭素量 C_3 は ii) と同様にして

$$C_3 = 180,920 / 2819.6 = 64.2 \text{ kg}$$

IV. 粉炭中のCとコークスのCの等価性について

粉炭のCとコークスのCとが等価であるか否かを検討するためには、粉炭のC 1 kg 当りの有効発熱量 q_c' を求め、これと前述の q_c とを比較する必要がある。このさい、 q_c' は次の式によつて計算せねばならない。

$$q_c' = 2340 + V_B' (C_O t_B - \varphi C_{H_2O} t_B - 2580 \varphi) - V_G' C_O T_G - Q + \zeta_{CO} \{5640 - 1.867(C_{CO_2} - C_O) T_G\} \dots\dots\dots (5)$$

ここで V_B' : 粉炭のC 1 kg 当り酸素富化空気量、 V_G' : 粉炭のC 1 kg 当り bosh gas 量、 Q : 粉炭および粉炭中 CH_4 , CO_2 の分解熱、 t_B : 吹込時の送風温度、 T_G : 吹込時の炉頂温度。

q_c' を計算して $2807 \text{ kcal/kg} \cdot c$ という値を得た。故に、粉炭のC 1 kg はコークスのC $0.994 (= 2,807 / 2,819.6) \text{ kg}$ と等価である。そこで、吹込粉炭のガス化率を考慮して、コークスと等価な炭素 C_4 は

$$C_4 = 259.23 \times 0.645 \times 0.994 = 166.2 \text{ kg}$$

以上求めた炭素量 $C_1 \sim C_4$ をコークス量に換算すれば次のようになる。

- 粉炭中のCのコークス当量.....188.6 kg
- 粉炭吹込による直接的利益:
Solution loss 減少のコークス当量 96.8 kg
- 粉炭吹込による間接的利益:
炉頂ガス頭熱減少のコークス当量... 59.4 kg
- 熱損失減少のコークス当量..... 72.9 kg

計 417.7 kg

従つて、熱量計算による置換率は $417.7 / 342.4 = 1.21$ となり、実績のみかけ置換率に極く近い値となる。

V. 結 言

以上検討してきたことから次のことがいえる。

(1) 粉炭のCは、熱補償が十分であれば、コークスのCと等価である。

(2) 粉炭のコークス置換率は熱量的計算から1.21という値を得たが、このように粉炭に有利な置換が行なわれた原因は、Solution loss の減少、出鉄量の増加に伴うガス頭熱および熱損失の減少にある。

669,162,267.4 : 662,749.3

(28) 高炉への燃料吹込に関する考察

日本鋼管川崎製鉄所 63218
千葉五郎・伊沢哲夫・○松井正治
技術研究所 森 高

Consideration on Fuel Injection into Blast Furnace.

1312 ~ 1314
Goro CHIBA, Tetsuo IZAWA,
Masaharu MATSUI and Takashi MORI.

I. 緒 言

当社川崎製鉄所の4BFにおいては、37年末吹込に伴つて減産の必要が生じ、その間を利用して低操業度高風熱(従来と比較して)により約1ヶ月操業した。従来4BFでは熱風炉能力の不足により高風熱が得られなかつたが、送風量減少により1050°Cの風熱が得られる予想があつたので、高炉では操業試験、および諸種の耐火物試験、一方熱風炉では熱効率の調査などを行なつた。

この炉では37年8月よりタール吹込を継続してきていたので、実際操業では、タール吹込量を変更し、送風温度を上昇させて

1. 複合送風時の風熱上昇による吹込燃料の効率の变化調査。

また、その間の炉内反応機構の推定、研究のために

2. 炉内ガス分布の変化調査

を行なつた。ここではこの複合送風関係の検討結果を報告する。なお、4BFの各段の測定孔位置をFig.1に示す。