

倍であることがわかる。第14次操業の結果からみて、装入コースの減少に伴う ore/coke の増大が CO, H<sub>2</sub> の利用率の向上を招いたとみることができ。また H<sub>2</sub> の利用率が CO のそれより大きいのは、炉高のうち高温帯の占める部分の大きい小型炉の特徴を示すものといえる。

CO, H<sub>2</sub> の利用率が向上した結果、これらによる還元率が著しく上り、直接還元率が低下したのは当然である。

### (3) 熱補償

Table 2 の理論燃焼温度の欄を見れば、粉炭吹込のさい、この温度を一定にするという意味での熱補償が十分でなかつたのに、出銑成分や温度を基準時と同じ水準に保つのに十分であつたことが明らかである。この理由については別報で述べる。

また熱補償としての酸素富化が何か別の効果を与えないかという疑いもでてくるが、これについても別報で述べることにし、ここでは結論的にその心配がないことだけを指摘するに止める。

### (4) 置換率

Table 2 によれば 25% 吹込時の コークス 置換率は 1.129 となつているが、このように粉炭に有利な置換を可能にした事情を明らかにする必要がある。これについては別報で詳しく述べることにし、ここでは結果だけを書けば次の通りである。(粉炭 1 kg あたり)

1. 粉炭の C のコークス当量 kg ..... 0.55
2. 粉炭の H<sub>2</sub> の還元作用による solution loss 減少のコークス当量 kg ..... 0.28
3. 炉頂ガス顕熱減少のコークス当量 kg ..... 0.17
4. 熱損失減少のコークス当量 kg ..... 0.21
- 合 計 ..... 1.21

これから粉炭の H<sub>2</sub> の還元作用による solution loss の減少、これに基く ore/coke したがつて出銑量の増大(3, 4項がこれに関係)が、有利な置換率の背景となつていることがわかる。ただし第1項は直接前述のガス化率の影響を受け、第3, 4項もこの影響を受けている。そこで若干の仮定の下でガス化率が100%の場合の置換率を計算したところ、1.387 とさらによい結果をえた。

なお、第1項は熱補償の程度によつて異なる項、第3, 4項はその炉の特性によつて異なる項であり、熱補償を十分行なえば第1項により置換率が上ること、およびコークス比の水準の低い炉ほど、第3, 4項によつて置換率が下ることを指摘しておきたい。

669, 162, 267.4 = 662, 66 - 472 = 662  
(26) 粉炭吹込のさいの熱補償について 614

### (1 t 高炉による粉炭吹込試験—II)

東大生産技術研究所

工博館 充・中根千富・○金 鉄祐

### On the Heat Compensation at

### Powder-Coal Injection. 1308~1310

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

Dr. Mitsuru TATE, Chihu NAKANE  
and Cheoul Woo KIM.

### I. 緒 言

これまで 1 t 高炉で実施してきた還元性ガス吹込試験および粉体燃料(粉コークス, 粉炭)吹込試験では、羽口前理論燃焼温度が、順調に稼働している基準操業時のそれと等しくすることを熱補償の原則としてきた。

しかし、実際には理論燃焼温度が基準時のそれよりも低い場合でも、出銑成分の悪化を招くことなく、出銑量が増大することが明らかになった。

そして、これは重油や天然ガス吹込などに関する国内国外の経験と符合する。

このことは熱補償の手段として、羽口前燃焼温度を一定に保つことが、必ずしも必要ではないことを示すもののように思われる。またこの原因が高炉の高温帯に熱的な余裕があることを意味するものか、あるいはよくいわれているように、燃料吹込みに伴う H<sub>2</sub> 還元の進行—直接還元の減少—によるものか、あるいは他の何らかの原因によるものかを明らかにするために、炉の 900°C 以上の高温帯における部分熱バランスを計算した。さらに粉炭吹込時における熱補償のために添加した O<sub>2</sub> の効果を明らかにするため、粉炭吹込時の条件を維持して O<sub>2</sub> ブランク試験を行なつた第14次操業 O<sub>2</sub> 富化試験のデータに検討を加えた。

### 2. 高温帯における部分熱バランス

Table 1 に、第13次操業および第14次 O<sub>2</sub> 富化試験の若干のデータを示した。

部分熱バランスを計算するに当つては、第3報の Table 2 の全熱バランスに基き次のような条件を設定した。

i) 900°C のレベルでは上昇ガスの温度と、降下装入物との温度が等しいものとする。

ii) 900°C 以上の温度領域に入る装入鉱石は、CO による間接還元が既に終了しているものとし、H<sub>2</sub> による還元は大部分 900°C 以上で行なわれるものとする。

iii) 同じくこのレベルより高温部でスラグの生成が始まり、石灰石の分解は既に終つているものとする。

iv) H<sub>2</sub> の利用率 ( $\zeta_{H_2}$ ), および CO の利用率 ( $\zeta_{CO}$ ) は実績値を採用する。

v) 粉炭吹込時の熱損失は基準時と変らないものとする。

以上の設定条件に基いて計算した部分熱バランスを Table 2 に示した。この熱バランスを詳しく検討すると主として熱補償不十分のため総入熱量で、粉炭吹込時は基準に比べて、5,250,210 - 5,132,470 = 117,740 kcal だけ少なくなつている。しかし上昇ガスの減少によつて、

Table 1. Operation data of powder-coal injection test in the 13th campaign and oxygen enrichment test in the 14th campaign.

Item	Total oxygen blown Nm <sup>3</sup> /day	Pig output kg/day	Coke ratio kg/t-p	Top gas temp. °C	Top gas volume m <sup>3</sup> /day	Bosh gas volume m <sup>3</sup> /day	Dry blast volume m <sup>3</sup> /day	Moisture in blast m <sup>3</sup> /day
Normal operation	1281	1181	1474	481	7381	7255	5748	150.2
Powder-Coal injection	1276	1356	1091	414	6910	6715	4868	127.6
Oxygen enrichment operation	1327	1948	982	304	7150	6826	5408	45.5

  

Item	Oxygen %	Blast temp. °C	Powder-Coal kg/t-p	Pig composition (%)		Theoretical combustion temp. °C	Utilization of gas (%)	
				Si	S		ζ <sub>CO</sub>	ζ <sub>H<sub>2</sub></sub>
Normal operation	21	574	—	1.20	0.045	1851	13.9	2.3
Powder-Coal injection	24.81	594	342.2	1.20	0.047	1707	17.9	36.1
Oxygen enrichment operation	24.81	435	—	1.57	0.042	2082	25.2	—

Table 2. Partial heat balance.

Heat input	No.	Item	Normal operation kcal/day	Powder-coal injection (25%) kcal/day
	(1)	Combustion heat of coke	3143751	3146362
(2)	Sensible heat of oxygen enriched blast	1065691	903417	
(3)	Sensible heat of moisture in blast	32956	28498	
(4)	Heat of slag formation	96306	102869	
(5)	Sensible heat of charging materials	912506	951324	
		Total	5250210	5132470
Heat output	(1)'	Reduction heat of MnO	15086	(A)
	(2)'	" SiO <sub>2</sub>	76893	(B)
	(3)'	Sensible heat of molten pig iron	346222	(C)
	(4)'	" slag	295226	(D)
	(5)'	Reduction heat of FeO by H <sub>2</sub>	—	36813
	(6)'	Decomposition heat of powder coal	—	23240
	(7)'	" of CO <sub>2</sub> in powder coal	—	13361
	(8)'	" of CH <sub>4</sub> in "	—	51782
	(9)'	" of H <sub>2</sub> O in "	—	43976
	(10)'	Solution loss	261144	116640
	(11)'	Decomposition heat of moisture in blast	198684	163419
	(12)'	Sensible heat of ascending gas	2186593	1992276
	(13)'	Heat loss	1869362	1869362
		Total	5250210	4310869

Note: (A) + (B) + (C) + (D) = 821601 kcal.

2,186,593 - 1,992,276 = 194,317 kcal が出熱減となっている。次に粉炭吹込みに伴う出熱増加は、(5)' ~ (9)' の和 169,172 kcal であるが、他方、H<sub>2</sub> 還元の進行によつて solution loss が、261,144 - 116,640 = 144,504 kcal だけ減少している。即ち、入熱不足分はガス顕熱の減少によつて補われ、76,577 kcal の余裕を与えたが、この余裕は粉炭吹込みそのものに起因する出熱増 169,172 kcal に対しては不十分で、なお 92,595 kcal の不足となつた。

しかしこの際 solution loss の減少によつて 144,504 kcal の出熱減があつたため、結局 51,909 kcal の余剰を生じたものとみることができる。

このことは粉炭吹込みによつて ore/coke を増大した状態で、高温部の温度を基準時と同等ないし、それ以上の水準に維持できたことを示している。

したがつて増加した出鉄量の下で、同一水準またはそれ以上の出鉄成分と温度を実現することができたわけであり、この際に H<sub>2</sub> 還元が重要な役割を演じたことがわかる。

### 3. 酸素富化の効果

大型高炉では送風に O<sub>2</sub> を富化しても、コークス比が下らないことが確認されているが、1t 高炉では必ずしもそういえないのであり、したがつて熱補償のための O<sub>2</sub> 富化が粉炭の効果と重つていないかという懸念があ

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 <sub>2</sub>	990	—
2	Reduction heat of MnO	12,740	11,050
3	Reduction heat of SiO <sub>2</sub>	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、O<sub>2</sub> 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 O<sub>2</sub> 量、O<sub>2</sub> 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 O<sub>2</sub> 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、H<sub>2</sub> 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) 1t 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、O<sub>2</sub> 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

(1t 高炉による粉炭吹込試験—Ⅲ)

東大生産技術研究所

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 1t 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。