

3) 極度にコークス量が減少したとき、炉内の通気性が阻害され炉況に悪影響を与えるのではないかと心配されたが現在のところその心配はない。

4) 重油吹込により、また特に high-S 重油を使用した場合には装入 S は大きくふえ、銑鉄中の S% を下げるために銑滓量をまし、銑滓塩基度をあげて操業した。

5) 重油の吹込限界量、最適吹込量、コントロールへの影響などについては吹込ノズルの改良とともに今後検討を続けて行く考えである。

669.162.267.4.662.753.3
(11) 高炉への重油吹込操業の解析

日本鋼管川崎製鉄所 62191

林 敏・小林 正
 伊沢哲夫・○山本亮二

Results of Oil Injection into the Blast Furnace.

Satoshi HAYASHI, Tadashi KOBAYASHI,
 Tetsuo IZAWA and Ryōji YAMAMOTO.

I. 緒 言

近年高炉の生産性向上、コークス比の低下のため、原料予備処理の強化、自溶性焼結銑などが採用され、さらに高圧操業複合送風などが内外各社で検討されてきた。当所においてもいろいろ複合送風の検討結果、重油吹込がもつとも有利であるとの判断のもとに予備試験の後、36年9月7日より第2高炉にて本格操業を開始した。

これまで当所より重油吹込に関しいろいろ報告しているので理論的な考え方、設備などについては割愛し、今回は重油吹込量による出銑量およびコークス比に対する影響を実績より解析しさらに熱精算結果をも付記して報告する次第である。

II. 解析の前提条件

当所第2高炉の重油吹込操業データの解析の前提条件として次の3点を考慮しなければならない。

(i) 吹込羽口本数は14本(16本中)である。

(ii) 大略 吹込量 10 kg oil/t までは風熱にて 30 kg oil/t までは蒸気によつて熱補償した。これ以上の吹込重油量に対しては熱補償を行なっていない。(熱補償とは理論燃焼温度一定ということ)。

(iii) 吹込方法は羽口貫通タイプでノズルの径は 6mm φ である。

なお比較期間としては重油吹込直前の炉況が安定した期間を用いた。

Table 1. Operational data of oil injection in No. 2 blast furnace.

Data	Stand-ard period	Operational data of oil injection in No. 2 blast furnace												
		I 9-7~ 9-10	I 9-11~ 9-15	I 9-16~ 9-20	I 9-21~ 9-25	I 9-26~ 9-30	I 10-1~ 10-5	I 10-6~ 10-10	I 10-11~ 10-15	I 10-16~ 10-20	III 10-21~ 10-25	IV 10-26~ 10-31	IV 11-1~ 11-5	IV 11-6~ 11-10
Iron production (t/d)	1392	1384	1342	1399	1398	1416	1426	1344	1384	1367	1363	1339	1456	1451
Coke rate (kg/t)	609	553	531	524	509	484	504	506	503	505	506	515	509	521
Oil rate (kg/t)	—	31.4	45.7	49.2	71.3	75.8	71.4	76.9	76.5	86.0	83.5	84.4	64.6	65.5
Fuel rate (kg/t)	609	584.4	576.7	573.2	580.3	559.8	575.4	582.9	579.5	591.0	589.5	599.4	573.6	586.5
Correction coke rate (kg/t)	612	544	527	528	513	496	515	519	518	505	521	522	514	543
Coke/oil	—	2.16	1.86	1.71	1.39	1.53	1.36	1.21	1.23	1.24	1.09	1.06	1.52	1.05
Blast volume (Nm ³ /min)	1630	1610	1602	1596	1646	1628	1640	1640	1650	1665	1660	1640	1674	1682
Moisture (g/Nm ³)	30.1	28.3	25.2	20.0	18.0	15.0	15.0	17.2	19.4	19.6	22.2	22.2	22.1	15.0
Blast temperature (°C)	873	823	812	900	890	880	930	910	910	850	900	892	902	914
Slag ratio (kg/t)	359	366	368	372	366	346	379	395	387	386	361	380	350	356
Si (%)	0.65	0.67	0.66	0.69	0.70	0.75	0.69	0.70	0.69	0.69	0.68	0.70	0.69	0.68
S (%)	0.043	0.029	0.058	0.051	0.041	0.060	0.068	0.055	0.057	0.056	0.071	0.053	0.067	1.048
Basicity (%)	1.16	1.21	1.14	1.20	1.17	1.09	1.14	1.14	1.16	1.14	1.19	1.18	1.16	1.13
CO ₂ (%)	15.6	15.2	15.6	15.8	15.1	15.3	15.5	14.9	14.6	14.9	15.6	15.3	15.7	15.3
CO (%)	26.1	25.0	24.7	25.0	25.0	24.6	24.7	24.8	25.3	24.8	24.4	24.9	24.8	25.2
H ₂ (%)	3.0	3.5	3.6	3.5	3.6	4.3	4.4	4.6	4.7	5.0	5.1	4.7	4.4	4.3
Hanging (time/d)	2	5	7	4	5	6	5	7	7	6	5	9	5	2
Slip (time/d)	1	4	7	3	3	3	4	4	3	5	5	6	3	3
Dust (kg/t)	14.3	15.6	25.2	16.7	14.3	13.0	10.5	10.7	10.7	12.0	13.8	11.9	10.3	11.9
Sinter ratio (%)	34.6	39.9	41.8	46.0	45.2	45.0	43.9	43.1	41.3	39.3	40.4	40.8	41.5	41.4

III. 操 業 結 果

昭和 36 年 9 月以来, 重油吹込量を約 30 kg/t より漸次増加させ 100 kg/t まで試験を行う予定であったが 85 kg/t 前後で炉況が不安定となり理論計算通りの出鉄増およびコークス比低下を示さなくなった。これについては当時の操業条件では熱補償はほぼ 30 kg/t までしか行なっておらず羽口先燃焼温度の低下で 85 kg/t 前後に吹込量の限界があるものと想定された。Table 1 に操業データを示す。

IV. 重油使用量とコークス比との関係

重油使用量と修正コークス比との置換率は Fig. 1 に示すごとく 30 kg/t ~90 kg/t までは直線関係を示し, 回帰直線は (1) 式にて示される。

$$\frac{\Delta \text{coke}}{\text{oil}} = -A(\text{oil}) + B \dots \dots \dots (1)$$

(ただし, $\frac{\Delta \text{coke}}{\text{oil}}$: コークス比低下量
oil 重油使用量)

これより重油使用量と修正コークス比との関係は (2) 式で示される。

$$\text{coke} = A(\text{oil})^2 - B(\text{oil}) + C \dots \dots \dots (2)$$

68 kg/t 以上重油を使用した場合コークス比は上昇の傾向を示す。コークス比が最低となる重油使用量は 68 kg/t である。つきにある重油使用量に対して単位の重油を添加した場合この単位重油量のコークスとの置換率は (3) 式で示される。

$$\frac{d(\Delta \text{coke})}{d(\text{oil})} = -2A(\text{oil}) + B \dots \dots \dots (3)$$

同一重量に対する還元ガスの発生量の比は,
coke: oil = 1 : 1.7

それ故理論的置換率は 1.7 であるから, 重油が羽口先で完全に CO と H₂ に分解するのは (3) 式より重油使用量約 27 kg/t 以内の時であると思われる。

V. 重油使用量と出鉄量の関係

出鉄量 P は (4) 式なる式にて近似的に示される。

$$P = f(V, F. R.) \dots \dots \dots (4)$$

ただし, V: 換算乾送風量

F. R.: 燃料比 (コークス比+重油比) kg/t

今換算乾送風量 V を一定にした場合の燃料比 F. R と出鉄量 P の間には Fig. 2 に示すごとく直線関係がある。

$$P = -D(FR) + E \dots \dots \dots (5)$$

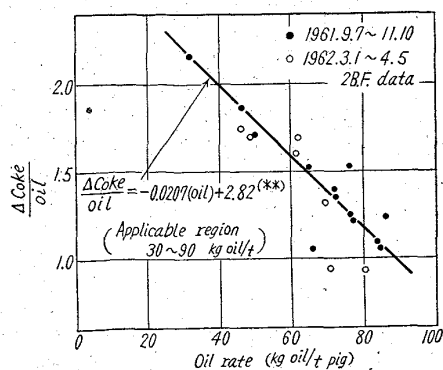


Fig. 1. Relations between the oil rate and replacement ratio.

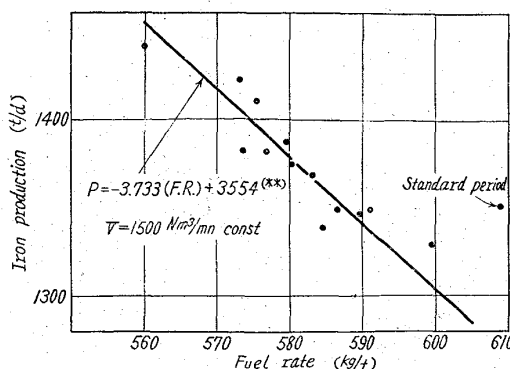


Fig. 2. Relations between the fuel rate and iron production.

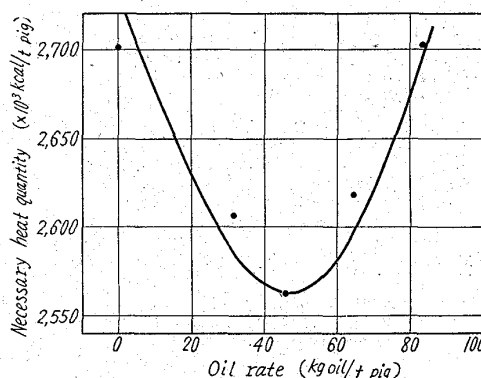


Fig. 3. Relations between the oil rate and heat quantity.

(5) 式にて F. R. のコークス比の部分修正コークス比におきかえ重油単独の出鉄量におよぼす影響を知ることができる。

$$P = -AD(\text{oil})^2 + (B-1)D(\text{oil}) - CD + E \dots \dots (6)$$

(6) 式より重油使用量 44 kg/t の時出鉄量は最大となる。なおメリットが最大になる最適重油使用量も利益函数を作成して求めることができる。

VI. 熱 精 算 結 果

前述した通り重油吹込操業により出鉄量増, コークス比低下といちじるしい成績の向上が認められるのでつきに重油使用量の変化に対する高炉の熱精算結果を比較し操業方法および熱経済について検討した。熱精算は「実際製鉄法」に準じ代表的な 5 期間にわたって行なつた。結果は Table 2 に示す。

重油使用量と鉄鉄屯当りの必要熱量の関係は Fig. 3 に示す。

これによると 45~50 kg/t の時点にて最小の熱量を示し熱経済の面からいつて最大のメリットのあることを示している。一方重油吹込量を増すとガス清浄系の汚れが顕著となり重油から生成したクラッキングカーボンの増加を考慮すると炉頂ガス顕熱の増加は容易に理解できる。

VII. 結 言

- 1) 熱精算結果の最適重油吹込量は 45~50 kg/t で, この時の置換率 $\Delta \text{coke}/\text{oil}$ は 1.8 である。諸外国のデータによつても大体この程度の値を示している。
- 2) コークス比最低, 出鉄量最大となる重油使用量は

Table 2. Heat balance of oil injection into No. 2 blast furnace.

Period	0 period 1961.8-27~9-5		1 period 1961.9-7~9-10		2 period 1961.9-11~9-15		3 period 1961.10-21~10-25		4 period 1961.11-1~11-5	
	Heat quantity	%	Heat quantity	%	Heat quantity	%	Heat quantity	%	Heat quantity	%
Oil consumption (kg-oil/t-pig)	0		31.4		45.7		83.5		64.6	
Input heat										
(1) Combustion heat to CO ₂ from gasified carbon	1,405,000	52.0	1,374,000	52.6	1,381,000	54.0	1,433,000	53.0	1,395,000	53.3
(2) Combustion heat to CO from gasified carbon	763,000	28.2	726,000	27.9	697,000	27.2	719,000	26.6	699,000	26.7
(3) Sensible heat of hot blast	462,000	17.1	437,000	16.8	416,000	16.2	478,000	17.7	460,000	17.6
(4) Sensible heat of moisture in hot blast	21,000	0.8	19,000	0.7	16,000	0.6	21,000	0.8	15,000	0.6
(5) Heat of slag formation	50,000	1.9	51,000	2.0	52,000	2.0	51,000	1.9	49,000	1.9
Total input heat	2,701,000	100.0	2,607,000	100.0	2,562,000	100.0	2,702,000	100.0	2,618,000	100.1
Output heat										
(6) Heat of iron reduction	1,617,000	59.9	1,624,000	62.3	1,628,000	63.4	1,675,000	62.0	1,670,000	63.9
Fe (FeO→Fe)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(Fe ₂ O ₃ →Fe)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Si	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(7) Sensible heat of pig	300,000	11.1	300,000	11.5	300,000	11.7	300,000	11.1	300,000	11.5
(8) Sensible heat of slag	172,000	6.4	176,000	6.7	177,000	6.9	173,000	6.4	168,000	6.4
(9) Decomposition heat of lime stone	56,000	2.1	49,000	1.9	43,000	1.7	50,000	1.8	40,000	1.5
(10) Evaporation heat of water in burden	42,000	1.6	42,000	1.6	43,000	1.7	45,000	1.7	39,000	1.5
(11) Sensible heat of top gas	174,000	6.4	176,000	6.8	179,000	7.0	202,000	7.5	189,000	7.2
(12) Decomposition heat of moisture in blast	175,000	6.5	102,000	3.9	56,000	2.2	33,000	1.2	41,000	1.6
(13) Decomposition heat of oil	—	—	20,000	0.8	28,000	1.1	52,000	1.9	40,000	1.5
(14) Other or unknown heat loss	165,000	6.1	118,000	4.5	108,000	4.2	172,000	6.4	131,000	5.0
Total output heat	2,701,000	100.1	2,607,000	100.0	2,562,000	99.9	2,702,000	100.0	2,618,000	100.1

66 kg oil/t および 44 kg oil/t である。さらに利益函数を作ることにより最大利益量およびその時の重油の使用量が計算できる。

3) 重油吹込限度をさらに上昇させるためにはつぎの諸点を十分に考慮しなければならない。

- 吹込方法
- 熱補償
- 羽口先の酸素分圧 (重油の完全燃焼)
- 装入物の整粒状態
- 通気性の問題

この解析は当所における初期のものであるが前述の前提条件を満たす期間であれば充分再現性のあることは確認されている。

なお第3項の条件を改善することにより吹込重油の適量はさらに上昇する筈であり、現在この改善のための研究を継続しており、すでに一部実施に移した点もあるがその結果は後日報告するつもりである。

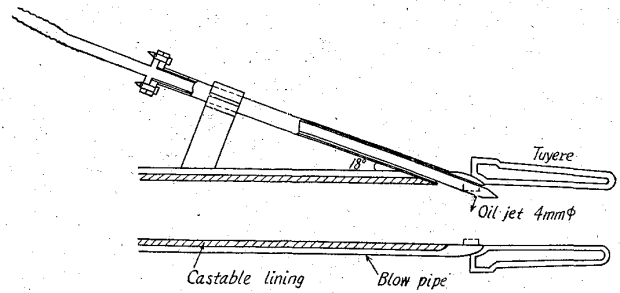


Fig. 1. Heavy oil injection nozzle.

III. 操 業 結 果

1) 対象高炉および比較期間

第4高炉は内容積 512 m³, 炉床径 5.6 m, 羽口数 12 本である。昭和 31 年 3 月火入後主に鑄物銑を吹製しているが 37 年 1 月までの実績は出銑量 503 t/d; コークス比 707 kg/t である。比較期間は 36 年 4 月~37 年 1 月までの製鋼銑期間である。操業状況は炉頂ガス CO₂ % は 13% 台で 14% を超えたのは稀であり、雑原料 56.7 kg/t の使用にもかかわらずコークス比 623 kg/t である。棚 1.2 回/d, スリップ 1.3 回/d で炉況は不良であった。

2) 操 業 実 績

4 月を旬別に第 I, II, III 期とし試験期間とした。Table 1 は比較および試験期間の操業状況である。重油比 64~75 kg/t で ore/coke は 3.1~3.2, コークス比は 479~441 kg/t になった。特に目立つ点は棚, スリップが殆ど皆無になり炉況は安定し CO₂% が 15~16 % に上昇したことである。送風温度は熱風炉能力の限界まで上昇した。なお使用重油の代表的組成は 86% C, 11% H, 1.2% S である。

IV. 考 察

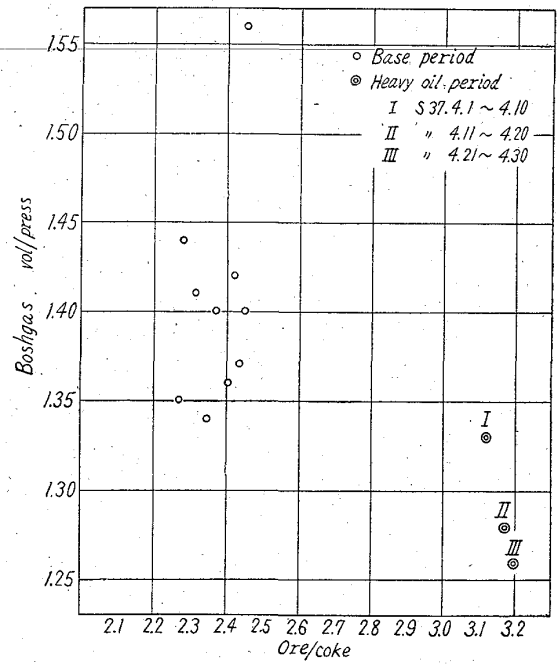


Fig. 2. Relation between (bosh gas vol.)/(press.) and (ore)/(coke) with No. 4 B. F.

669,162,267.4; 662,753.3
(12) 東田第4高炉重油添加操業について

八幡製鉄所製銑部 62192
工博 辻畑敬治・嶋田正利・内平六男
加藤孝五・前田茂富・橋本 信
平本信義・阿由葉善作・山田武弘
On the Operation of Higashida No. 4
Blast Furnace with Oil Injection. /228~230
Dr. Keiji TSUJIHATA, Masatoshi SHIMADA,
Mutsuo UCHIHARA, Kogo KATO,
Shigetomi MAEDA, Shin HASHIMOTO,
Nobuyoshi HIRAMOTO, Zensaku AYUBA
and Takehiro YAMADA.

I. 結 言

すでに各所で高炉への液体燃料の添加操業が行なわれているが、東田第4高炉では2月から重油添加操業を始め4月に重油比 70 kg/t の操業を行ないコークス比 461 kg/t, 出銑量 673 t/d の結果をえた。重油とコークスとの代替率は予測計算によれば 1.5~1.7 (kg coke/kg H. oil) であるが 2.0~2.6 の実績になった。予測との差はソリューションロスおよび羽口前燃焼炭素のいちじらしい減少により現われたものである。

II. 重油添加設備

1) 添 加 方 法

液体の霧化に関する実験式¹⁾により重油の場合について計算した結果、高炉羽口附近の熱風流速および量は一般の重油燃焼炉の重油霧化用の圧縮空気または水蒸気などの機能に匹敵することが明らかになった。それゆえ熱風霧化して重油添加を行なうことにした。Fig. 1 は重油添加装置である。

2) 設 備

重油タンクおよび圧送ポンプは第4, 5高炉共有としたので圧力制御を共用し各高炉へ分岐後流量制御を行なう配管とした。