

日本鋼管川崎第3高炉における重油吹込試験について*

林 敏**・鈴木 駿一***・小林 正**

Heavy-oil Injection Test in No. 3 Blast Furnace of
Kawasaki Iron Works of Japan Steel and Tube Corporation.

Satoshi HAYASHI, Gyōichi SUZUKI and Tadashi KOBAYASHI

Synopsis:

Heavy oil injection test was conducted in No. 3 blast furnace (hearth diam. 7.15m) of Kawasaki Iron Works of Nippon Kokan K.K. for about six months from April to September, 1961.

As a result of observing the combustion condition within the furnace operated by injecting heavy oil through one tuyere at first, it was confirmed that there was scarce trouble in facilities and operation.

Then, in the test operation with injection of 32kg heavy oil per ton of pig iron through four tuyeres, the coke ratio fell, while (the coke rate decrement)/(oil rate) showed the value of 1.6-1.7 and the quantity of tapped pig iron increased by 5%.

On the basis of these test results, heavy oil was injected into No. 2 blast furnace (hearth diam. 7.2m) through all tuyeres by automatic feeding device completed in September of 1961.

In this test operation, coke ratio fell remarkably with heavy oil injection of up to 50kg per ton of pig iron and the rate of replacing coke with heavy oil showed the value of about 1.7. In the case of injecting heavy oil more than 50kg, this rate lowered and coke ratio showed the lowest value of 470kg per ton of pig iron at the time of injecting 75kg heavy oil. While in the case of injecting heavy oil more than 75kg, lowering of coke ratio and increase of tapped pig iron quantity were not recognized.

I. 緒 言

高炉への重油、天然ガス、コークス炉ガスなどの吹き込みについては以前から知られていたが、近年特にこれらの理論的な研究が盛んになり、漸次実際操業に使われ始めて来た。特に操業的には原料処理の発達と高風熱の使用により調湿操業を行なうようになったので、これらを改善する意味とまた経済的には特にコークスより重油の安い国において原価の低減の意味もあつて急速に実施されつつある。現にこの論文を発表した時期にはわが国では初めての重油吹込であつたが現在ではわが国でも相当多くの高炉で実施されている。当社でも34年頃か文献に基づく理論的な調査を進めて来たが、実際作業の検討にあつて最も問題となつた事は、次の如くである。

(1) 羽口先へ重油を吹き込んだ場合、一般に炉内は還元性で酸化帯は羽口先約1.8m以内の極く狭い部分に限られている。しかるに重油はかなり完全燃焼はむづかしいと言われておりこのような条件下では燃焼方法を良く検討しないと不完全燃焼となり煤が発生して効率も低下し炉に悪影響を与えると想像された。そこで圧縮空気重油をアトマイズする方法を検討し試作試験する事に

していたが、ブローパイプへのこれら燃焼装置の取付方法、および材質などに問題が多くなかなか実施のはこびにいたらなかつた。

(2) 一方この部での重油の燃焼状況あるいは設備故障時の安全上の問題も未知であり、特に炉内からの重油配管を通じての熱風の逆流防止対策をどの程度行なえば良いのか。

(3) 羽口先閉塞時の重油が逆流した時、どういう現象が起るか。

などが問題であつた。しかし一応の結論も得られたので特に簡単な設備で吹き込み試験をする事にし、

第1次試験を 4月15日～22日

第2次試験を 5月16日～22日

第3次試験を 5月29日～9月6日

行なつたのでその状況を報告する。

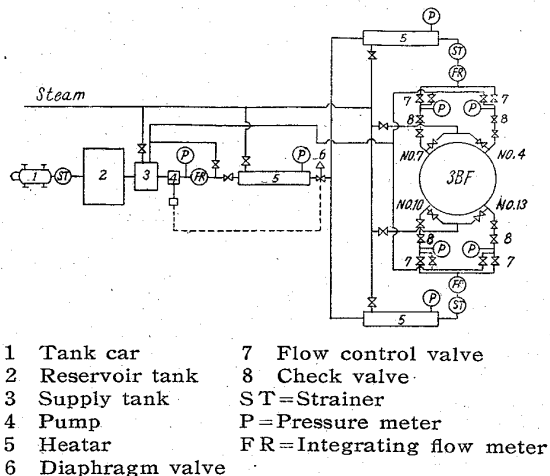
II. 設 備

実際に使用した高炉は第3高炉で、炉床径 7150mm

* 昭和37年4月本会講演大会にて発表

** 日本鋼管川崎製鉄所

*** 日本鋼管福山建設本部



- | | |
|-------------------|---------------------------|
| 1 Tank car | 7 Flow control valve |
| 2 Reservoir tank | 8 Check valve |
| 3 Supply tank | ST=Strainer |
| 4 Pump | P=Pressure meter |
| 5 Heater | FR=Integrating flow meter |
| 6 Diaphragm valve | |

Fig. 1. Heavy-oil injection apparatus.

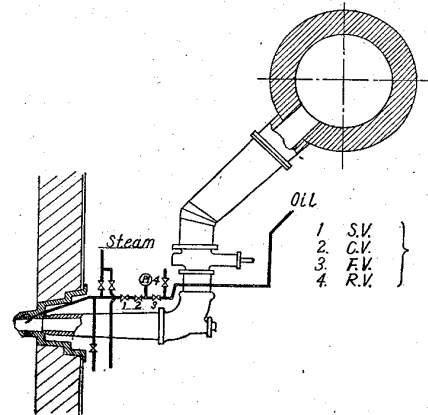
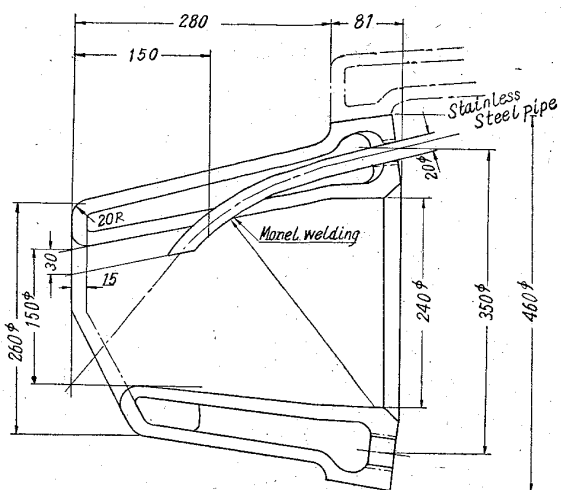


Fig. 2. Heavy-oil injection tuyere.

羽口 14 本, 羽口径 150mm φ, 炉容 970m³ である。

第 1 次試験では羽口は, 作業上都合の良い 7 号羽口 1 本からのみ吹き込み, その結果により以後は No. 4, 7, 10, 13 の 4 本の羽口を使って試験した。

第 3 次試験設備の概要を Fig. 1 に示し簡単に説明すると,

(1) 適当なタンクがなかったため所内の約 9t の廃物タンクを利用する事にしこれをできるだけ高炉に近い安全な位置に設置した。

(2) 次に簡単なサービスタンク内でギアポンプ前の加熱を行ない, 本格的には密閉式ヒーターおよび配管途中を 2 重管にする事によつて加熱した。温度はサービスタンク出口およびオイルヒーター出口で測り手動で調節した。

(3) ストレーナーは 40mesh および 60mesh のもの 2 コをつけたが, これで作業上特に問題はなく, 掃除も週 1 回程度で間に合うようであった。

(4) 流量計は羽口 2 コについて 1 コのオーバルの流量計をつけた。また各羽口毎の圧力降下を均一にする為 4 本の羽口に対し 2 つのブロックに分けて配管し, 各羽口前に圧力指示計を取付けた。

(5) 流量調整用には一種の球型弁を使ったが, 通常のもの流量が少ないので非常に調整がむづかしかった。

(6) 羽口からの熱風逆流防止用としては, 各羽口前に逆止弁を取り付け, さらに主管に 1 コ自動遮断弁 (diaphragm valve) を取り付け, ポンプ停止, 停電の場合には自動的に遮断するようにした。その他ポンプ室には常時要員を配置し非常の場合はいつでも処置できるようにしたが, 幸いこのような場合は一度も起らなかった。

(7) その他各羽口配管ノズルをブローするように蒸気配管を行ないまた各羽口からタンクへもどるもどり管を取り付けた。

(8) ポンプは 70 l/mn のギアポンプを使った。

(9) 重油吹込ノズルは, 前述のごとく種々問題があったがとりあえずもつとも簡単で安全と思われるもので Fig. 2 のごとく銅製羽口の冷却部を貫通する型のものを用いた。

ノズルの径は細い方がよいと思われたが, 詰りを心配して 6mm φ とし, 霧化に対しては, この部の熱風流速が約 150m/s あるので, これに期待した。この type の吹き込み方法は主として米国で研究されたものである。

(10) 重油はタンクローリー車で常時運搬して, 直接 9t タンクへ補給した。

III. 試験方法

(1) 第 1 次試験

羽口 1 本から毎日約 6h, 流量を 1, 3, 5, 7, 10 l/mn に変えて吹き込み, 燃焼状況設備上の問題点等につ

いて調査した。この結果は

- a) 設備上, 安全上, 特に問題はない。
- b) 羽口から観察した状況では, 噴射時のアトマイズはあまり良くないが, かなり良く燃焼しているようで, カーボンの付着, 重油逆流, 羽口破損などの事故は起らなかった。
- c) 重油の温度はかなり変化しても燃焼状況には支障はないが, このようなバルブではバルブ開度小のため, 粘性変化による流量の変動はなほだしく操作しにくかつた。また, ノズルがつまるという問題も心配されたが, かなり長時間吹き込んで問題でなく, 蒸気パージも, 重油を止める時と入れる時だけで十分と思われる。
- d) 流量 1~5 l/mn では羽口先温度低下による湧濤現象は見られなかつたが, 7 l/mn 以上になると羽口先暗くなり, 10 l/mn 以上になると未燃焼重油の一部がコークスに附着し, ここで燃焼するのが見られ, 羽口先への生の降下も多くなるように見えた。(風量は1500 m³/mn) 一方この試備では 1~3 l/mn では流量が少ないため, ノズルからの出方が不安定で調整がむづかしく, これらの点から羽口1本からの吹込量は 5~10 l/mn が適当と思われた。

以上の点を検討の後, 重油吹き込み効果および炉況におよぼす影響を確認するため, 羽口4本から入れるよう改造した。勿論吹き込み羽口は多い程良いと思われたが, 第一に重油は出来るだけ炉に均一に入れると第二に費用および部品, 工期を考慮して, 吹込羽口は最低4本とし, これらを対称位置に設置した。

(2) 第2次試験

約1週間連続操業を行なった結果

- a) このような設備でも, 長期操業は可能である。
- b) Fig. 3 に示すごとく重油吹き込みによるコークス比の低下もほとんど計算通りであつて, 切替時における

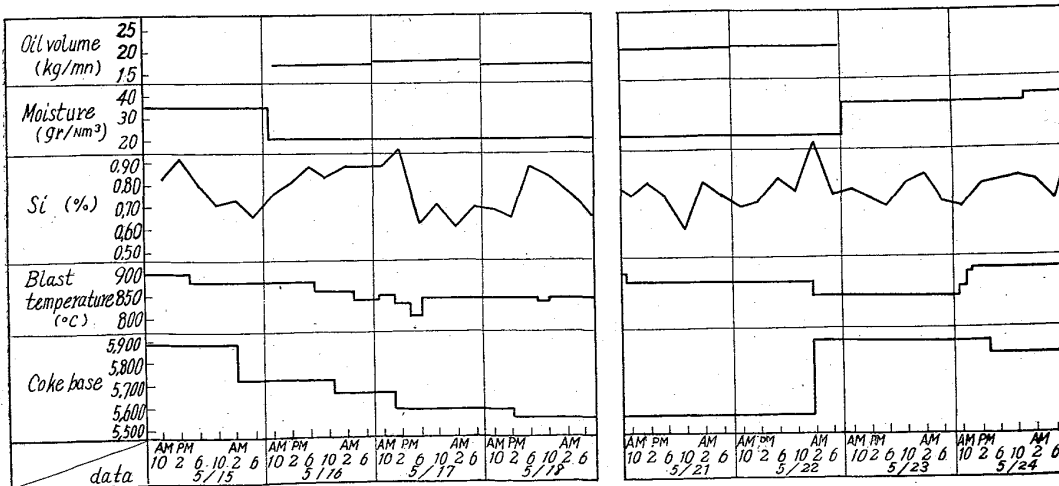


Fig. 3. Operation data on No. 3 blast furnace of the 2nd test.

炉況の変化もなく成分変動も十分調整できる。

- c) 羽口先の状況も変わらない。などの事が確認されたのでさらに重油加熱方法および流量調整方法を改造の上, 連続操業試験を行なった。

(3) 第3次試験

上記の結果重油温度はオイルヒーター後100°C±10°C 重油圧力はポンプのところで 5.5 kg/cm², 羽口先では約 1.7 kg/cm²; 吹き込み量は配管能力限により最高32 kg/t まであげた。また重油品質は B 重油から LSC, HSC 重油と切り替え使用試験を行なった。

以上のように試験を行ないつつ全自動設備化の検討を行ない, 36年9月第2高炉には全自動の吹き込み設備を完成した。特に変わった点はないが, 各羽口ごとに流量指示計を取り付け, 吹き込み羽口は16本中14本とした。

III. 操業試験結果

重油吹き込み効果の予想には種々の方法があるが, 当社では先に発表してあるりごとく主として A. N. RAMM²⁾ の考え方を導入し炉況におよぼす要因はできるだけ一定にするため,

- a) 羽口先の理論燃焼温度は従来の通常操業時の温度と同一にする。
- b) 時間当り発生ボッシュガス量は一定とする。
- c) 銑鉄 t 当り必要還元ガス量は, 従来の値は必要である。
- d) H₂ は還元剤として CO と同様に作用する。
- e) 羽口先燃焼コークス量は, ソリューションロスカーボン量により変わるが, これは従来当社の実績解析から得られたごとく出銑量の函数として取り扱おうと仮定した。この計算結果は Fig. 4 に示すごとくで羽口先理論燃焼温度を風熱により補償する場合, あるいは蒸気, 酸素の場合により, コークス比におよぼす重油の効果は異

つて来る。
 (1) 成績 上記計算結果に基づき原則として重油10 kg/t 吹き込みに当り, 熱補償量は風熱では +40°C, 湿分では -5g/m³ とし, その場合のコークスの置換量は(重油量) ×1.6 とした。しかし当社の風熱はすでに限界に達しており風熱では補償できないので主

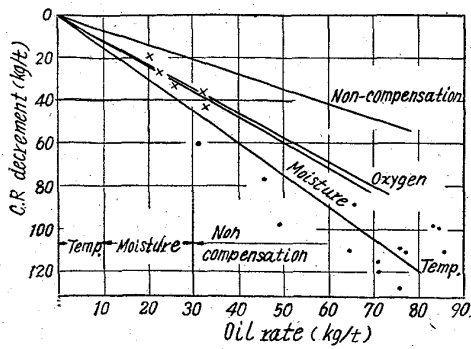


Fig. 4. Coke-ratio decrement vs. oil rate.

として蒸気で補償を行ないまたそれ以上の吹き込みも行

なつた. これらの結果を, 第3高炉については Table 1, 第2高炉については Table 2 に示し, コークス比については Fig. 4 に示してあるが必ずしも計算結果と一致しない. これは前述のように計算値にはかなり多くの仮定が入っておりこれらはいずれも実際操業では守られていないためと思われる. またこの仮定は今後とも研究し解明しなければならない重要問題と考える.

一般的に言つて重油吹き込みによりかなり良好な成績を収めたが, 2 B. F. において重油量を増加した場合,

- 1) 50 kg/t までのコークスとの置換率は非常に高い.

Table 1. Results of heavy-oil injection test with No.3 blast furnace.

Period	5/6~15	5/17~22	5/24~28	5/30~6/12	6/14~19	6/20~7/7	7/8~9/4
	Standard period (no injection)	2nd test period		3rd test period			
		B		B	LSC	LSC	HSC
Oil quality							
Oil rate kg/t		19.2		19.1	26.6	32.7	31.9
Output t/d	1312	1367	1261	1342	1374	1353	1360
Coke ratio kg/t	609	590	620	586	565	557	557
Blast volume (volume)m ³ /mn	1470	1540	1465	1490	1490	1500	1515
Temperature °C	890	860	895	905	905	915	910
Moisture g/m ³	32.0	20.2	34.8	18.5	20.1	21.5	22.2
V/P	1.60	1.63	1.53	1.52	1.60	1.54	1.50
Si %	0.73	0.72	0.68	0.70	0.71	0.67	0.70
S %	0.036	0.040	0.044	0.035	0.037	0.037	0.041
CaO/SiO ₂	1.19	1.18	1.17	1.21	1.15	1.15	1.19
S. R kg/t	389	378	374	389	370	366	335
Dust kg/t	24.1	24.3	31.0	34.1	21.9	19.4	25.8
Slip time/d	1.4	4.7	0.2	2.9	2.0	2.8	2.7
Hanging time/d	1.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.6	0.4
C. R decrement/oil/rate		1.00		1.24	1.66	1.60	1.65

Table 2. Results of heavy-oil injection test with No.2 blast furnace.

Period	8/27 ~9/15	9/7 ~10	9/11 ~15	9/16 ~20	9/21 ~25	9/26 ~30	10/1 ~5	10/6 ~10	10/11 ~15	10/16 ~20	10/21 ~25	10/26 ~31
Out put t/d	1392	1384	1342	1399	1398	1416	1426	1356	1389	1367	1378	1341
Oil quality		HSC	HSC	HSC	HSC	HSC	HSC	HSC	HSC	HSC	HSC	HSC
Oil rate kg/t	—	31.4	45.7	49.2	71.5	75.7	71.0	76.0	76.0	86.0	83.2	84.4
Blast volume Nm ³ /mn	1630	1610	1602	1596	1646	1628	1640	1640	1650	1665	1660	1640
Bosh gas volume Nm ³ /mn	2095	2101	2098	2076	2140	2132	2136	2153	2175	2204	2236	2188
Temperature °C	873	823	812	904	894	882	930	910	910	850	900	890
Moisture g/Nm ³	30.1	28.3	25.2	20.0	14.0	15.0	15.0	17.2	19.4	19.6	29.2	22.2
V/P	1.40	1.34	1.38	1.41	1.47	1.46	1.47	1.36	1.37	1.40	1.35	1.33
Si %	0.65	0.67	0.66	0.69	0.20	0.75	0.69	0.70	0.69	0.69	0.68	0.70
S %	0.043	0.029	0.059	0.051	0.041	0.060	0.068	0.055	0.055	0.056	0.071	0.053
CaO/SiO ₂	1.16	1.21	0.14	1.19	1.17	1.09	1.14	1.14	1.16	1.14	1.19	1.18
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
S. R kg/t	359	366	368	374	366	346	379	395	387	386	361	380
Slip time/d	1.1	3.5	6.8	3.4	3.0	3.2	4.0	5.0	3.0	5.0	5.0	6.0
Hanging time/d	1.7	5.0	7.4	4.2	4.8	5.6	5.0	8.0	7.0	6.0	5.0	9.0
C. R kg/t	609	553	531	524	509	484	504	506	503	505	506	515
Modified C. R kg/t	598	538	522	501	484	470	478	488	489	488	500	499
C.R decrement/oil rate	—	1.78	1.71	1.73	1.40	1.65	1.41	1.34	1.39	1.21	1.23	1.11
Modified C.R decrement/oil rate	—	2.16	1.86	1.71	1.39	1.53	1.17	1.43	1.43	1.28	1.17	1.18

2) コークス比の最低は重油 75 kg/t の時に達せられたがコークス比低下に伴いかなり棚つりが増加し出鉄量の維持がむずかしくなる。この理由は鉍石の原料処理の不完全なためか、あるいは羽口先温度低下のためか不明ではあるが前者の傾向が強い。

3) 重油 75 kg/t 以上に増加してもコークス比は低下せずむしろ上昇し出鉄量も減る。

したがってこのような原料事情では多量の吹き込みはできない事がわかりこの解決策としてつぎの事が必要でしる。

1) 重油吹き込みノズル形状、あるいは方法を改善し羽口先での燃焼を完全にする。

2) 熱補償をできるだけ行なうよう高風熱を使用する。

3) 鉍石の整粒を強化し焼結の粒度を改善する。

(2) ガス組成の変化 重油添加により当然 H₂ が増加し、これの利用率が問題になるが、Fig. 5 に示ごとくで炉頂ガス中 H₂ 5% 程度までは水素の炉内での利用率は一定で約 33% である。なお羽口から約 8m 上部のシャフト部から採取したガスの分析結果例は、Table 3 のごとくで、この結果では CH₄ は全く存在せず重油は完全に分解していると思われる。

各方向により H₂% に差があるが、これは吹き込み羽口位置とガス採取口位置のずれによるもので両者の近いもの程明らかに H₂% が高くなる。しかしこのような差は炉況上別に異常は認められない。

(3) 溶銑成分 Si はほとんど変わらない。重油は始め流動性を考慮して B 重油を使い、つぎに流動性は問題ないので S を考慮して LSC 重油を使つたが S が上昇しないのでさらに HSC 重油を使つた。重油から入る S が炉内でどのような挙動をするかは明らかではないが 32 kg/t 程度では特に銑鉄中の S は上昇しなかつた。しかし多量に使うと S は上昇しその後の傾向を見ると重油中の S も含めても装入 S 全量と銑鉄中の S は相関があるため多量使用の場合 LSC 重油を使わねばならな

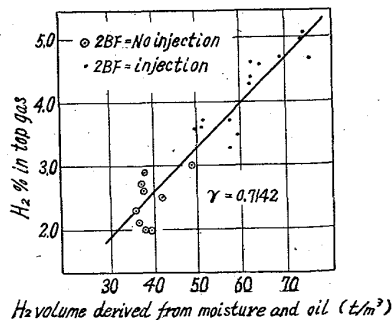


Fig. 5. H₂ gas balance.

Table 3. Gas analysis of top gas and shaft gas. (%)

	H ₂	N ₂	CO	CO ₂	CH ₄
Top gas	4.9	57.8	24.9	12.2	0
	4.7	53.9	24.2	16.4	0
	4.5	57.2	24.9	13.2	0
	4.6	56.4	25.2	13.5	0
	4.9	55.3	23.9	14.7	0
	4.9	58.3	25.4	11.0	0
Shaft E	4.7	56.0	38.7	0	0
	7.0	57.0	35.1	0	0
	8.8	58.0	36.8	0	0
	4.0	56.8	38.9	0	0
	4.4	58.4	34.2	0	0
	4.9	56.7	37.9	0	0
Shaft W	6.5	51.5	36.1	0	0
	5.1	56.0	37.0	0	0
	7.0	57.6	34.6	0	0
	7.5	58.3	33.7	0	0
	7.1	56.6	33.9	0	0
	4.9	58.6	36.0	0	0
Shaft S	4.0	59.0	36.3	0	0
	3.7	58.5	37.2	0	0
	3.9	58.6	36.6	0	0
	4.5	58.4	36.5	0	0
	2.4	58.1	39.3	0	0
	5.5	57.3	35.9	0	0
Shaft N	5.0	59.0	36.6	0	0
	7.8	55.3	36.2	0	0
	6.8	53.6	39.1	0	0
	7.3	57.6	34.5	0	0
	7.4	58.4	34.0	0	0
	6.1	57.2	35.8	0	0

い。

(4) 滓の悪化 滓の性状変化は特になかつた。重油の分解 C が滓に混入し流動性を害するという説があつたが分析結果は正常に全く変わらず 0.08~0.09% であつた。また未燃 C が炉床に附着し、滓口が深くなるなどの現象も考えられたが実際は問題なかつた。

(5) 問題点 重油使用増にともない炉頂ガスがしだいに黒味をおびて来、またタイゼン分離塔の排水が異常に黒変し煤状の浮遊物が多くなつて来た。これは重油の未燃物質と推定されたのでエーテル抽出 X 線分析、色度測定などにより発生状況などを研究中である。現状では清浄装置がタイゼンのためにあつて操業上特に問題はないが重油歩留の点からも是非とも重油の吹き込み方法の改善が必要である。

V. 結 言

前記のごとく試験操業に引続き本格操業を行なつた結果

- 1) 簡単な設備でも操業上, 安全上特に問題はない.
- 2) 重油とコークスの置換率はほぼ計算値に近い値を示し大巾なコークス比の低下は銑鉄製造原価の低減に寄与する.
- 3) 重油使用量を増加すると置換率は低下し, 75 kg/t 以上は効果がなかった. この点については今後研究の余地がある.
- 4) 出銑量におよぼす影響は明らかでないが, ある限度以下であれば重油の吹き込みは出銑増に寄与する. 今回の試験においては湿度で熱補償を行なった関係もあり操業条件として, 還元ガス一定, ポッシュガス一定などにすることは困難で, また要求により増風なども併用して増産したため, これらの関係は一層明らかにできなかった.

(昭和37年9月寄稿)

文 献

- 1) 林, 小林, 鈴木: 日本鋼管技報, 22 (1961)
「高炉における重油吹込について」
- 2) A. N. RAMM:
「高炉精煉への高炉複合送風の適用」
- 3) A. M. DECKER: Report from CNRM
「Theoretical Consideration on the Injection of Avaciliary Fuel into the Blast furnace」
- 4) E. J. OSTROWSKI: Research and Development Department Memorandum
「Injection of Natural gas into the Blast Furnace」
- 5) J. MOLDEREG and A. Poos:
「Fuel Injection tests on the Blast Furnace No.4 at the Cokerill-Qugrée works in Liège-Belgium」

溶鉄中の炭素飽和溶解度におよぼす Mo, Ti, Zr の影響*

(溶鉄中の炭素の挙動に関する研究—II)

八木貞之助**・小野 陽一***

Effects of Mo, Ti and Zr on the Solubility of Carbon in Molten Iron.

(Studies on the behaviors of carbon in molten iron—II)

Teinosuke YAGI and Yôichi ONO

Synopsis:

Measurements on the effects of molybdenum, titanium and zirconium on the solubility of carbon in molten iron were made and the periodicity of the interaction parameter with respect to the atomic number of the third element was confirmed to hold true for these elements.

Through the statistical-thermodynamical discussion, the physical meaning of the interaction parameter, its dependencies on temperature and carbon content and its relation to the free energy of formation of carbide were explained.

I. 緒 言

前報¹⁾において, 著者らは溶融 Fe-C 2 成分系における炭素の活量について従来の研究を検討し統計熱力学を用いて全濃度範囲にわたって活量を推定する方法を研究した. 一方現実の鉄鋼製錬の対象になるのは上述の基本系に多くの合金元素ならびに不純物として混入された元素を含んだ複雑な多成分系であり, 実際の反応を理解するにはこれら多成分系溶鉄中の炭素の活量を知る必要がある. しかし溶液論が初期の段階にある今日複雑な多成分系溶液の厳密な理論的取扱いは困難であり, また実験的にも多くの障害があつて広い温度ならびに濃度範囲に

わたって活量の精確な値を求めることは困難である.

炭素の活量に対する第3成分の影響を表わす相互作用母係数を求めるもつとも簡単な方法は溶鉄中の炭素飽和溶解度におよぼすその成分の影響を測定する方法であり, これは実験的に比較的容易であるため, 従来かなり多くの測定が行なわれている. 三本木一大谷²⁾, TURK-DOGAN et al³⁾, その他の研究者によつて炭素溶解度に対する第3成分の影響はその元素の周期律表における位置と密接な関係があることが見いだされたが, このような

* 昭和37年4月本会講演大会にて発表

** 九州大学工学部鉄鋼冶金学教室, 工博

*** 九州大学工学部鉄鋼冶金学教室