

論 文

東田第5 熔鋇炉における酸素吹込操業試験*

辻畑敬治**・児玉惟孝**・坪井 登**・加藤孝五**・橋本 信**

On the Oxygen-Enriched Blast Operation of Higashida No. 5 Blast Furnace.

Keiji Tsujiahta, Koretake Kodama, Noboru Tsuboi,
Kôgo Katô and Shin Hashimoto

Synopsis:

At the end of June 1958, pure oxygen was, for the first time, successfully injected into the hot blast pipe of Higashida No.5 blast furnace. In summer 1959 the furnace was run again with oxygen-enriched blast, and the operating data were analysed. The results then obtained were briefly reviewed in this paper.

The test run was started on May 26th 1956 and was terminated on July 11th. In the courses of the test period, O₂-content, as well as humidity, of blast was increased step by step; iron production increased correspondingly, until, at the beginning of July, the furnace, with its volume of 646m³, produced a maximum of 805 t/d.

(Production rate: 1.25t/m³/d., "throughput" rate: 16.7t/m²/d)

The coke rate, ranging between 600 and 630 kg/t, was not affected by an O₂-enrichment of blast, nor by a strong humidification.

It was found that the increased iron production could be preliminarily calculated on the basis of a stoichiometric equation. The following equation was given for the calculation, which showed that 1% of O₂-enrichment was equivalent to an increase in blast rate of 4.76%.

$$P = \frac{0.324}{K_1 \times C.R.} (L + 4.76 \times S + 0.003 \times L \times w).$$

Where; P: Production.....t/d
L: Blast volume.....Nm³/mn
S: O₂ flow-rateNm³/mn
w: Humidity of blast.....g/m³
K₁: A constant characteristic of the furnace
C.R.: Coke rate.....t/t

A set of material balances and heat balances was worked out. They were compared with each other, and the following conclusions were drawn: (1) O₂-enrichment and humidification of blast decreased solution losses and correspondingly increased the calorific value of coke in the furnace. (2) Decrease in the sensible heat of blast, which was due to decreased volume of N₂, could well be compensated by the corresponding decrease in the heat carried out by top gas. (3) When blast was strongly humidified (e.g. 40g/m³), major fraction of H₂, which was evolved at tuyere-combustion-zones, could be effectively used to reduce the iron ores charged. (4) The volumes of blast, bosh gas and top gas per ton of pig iron were proportionately decreased by O₂-enrichment.

I. 緒 言

最近米国ウィアトンを初め各地で酸素富化送風による高炉の出鉄量の増強が試みられている。八幡製鉄所東田第5 熔鋇炉でも1958年第1回の酸素富化操業を行ない、

操業上の問題を解決したが¹⁾、1959年夏、再び酸素富化操業を行なった。

* 昭和 35 年 4 月 本会講演大会にて発表

** 八幡製鉄株式会社 八幡製鉄所製鉄部

今回の試験操業は、以前の実例にくらべて出鉄量(1・0 t/m³/d 程度)、コークス比 (600~630 kg 程度) 両面において普通操業時すでに高度の生産を行なっていた、高炉の操業能率を酸素富化操業によつてさらに向上させようとした点に特長がある。そして試験操業の主目的は富化量と出鉄量増加割合の関係を定量的に調査することとし、あわせて炉内反応面からの検討も行なつた。以下に試験の概略を述べる。

II. 東田第5 熔鉱炉および酸素富化装置について

試験に使用した第5 熔鉱炉のプロファイルを Fig. 1 に示す。炉体は鉄帯鉄皮式で内容積 646m³ 炉床径 6・2m である。捲揚装置はマッキー・ダブルスキップ式である。羽口は12本で、試験当時は100mm 径のもの2本、130mm 径のもの5本、140mm 径のもの5本を用いていた。吹入は1956年6月27日で、以後主として平炉銑を吹製しており、1959年5月末現在で吹入以来の総出鉄量は約 580,000 t, 1日平均出鉄量は 544 tであつた。

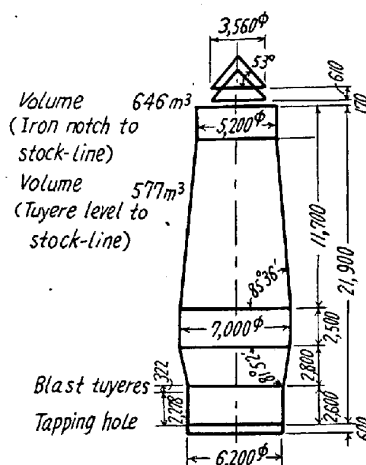


Fig. 1. Higashida No. 5 blast furnace.

送風富化用酸素吹込位置は冷風添加弁直後とし Fig. 2 に示すような配管を行なつた。弁の操作はすべて手動としたが、圧力調節弁付近には直通電話、送風圧力計、減

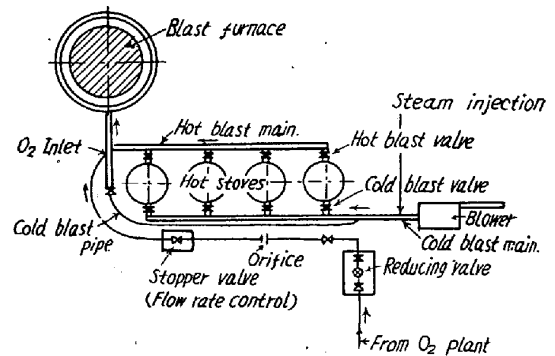


Fig. 2. Arrangement for the O₂ en-richment. 圧時の自動警報ベルなどを取りつけ、事故の際に酸素が迅速に遮断できるようにした。水蒸気付加量は Foxborough 型湿度計で、酸素富化量はオリフィス流量計で測定したが、一方羽口からも定期的に熱風試料を取りだし、熱風中の O₂%, H₂O 含有量のチェック分析も行なつた。

酸素富化量を変化させる場合には羽口前燃焼帯の温度形態の変化を極力さけ熱目の棚を防ぐように注意した。すなわち、酸素富化量の取扱かい単位を 10Nm³/mn とし富化量を増加させる場合にはまず 10Nm³/mn の減風を行ない、つぎに 3 g/m³ の増湿を行ない、そのちに酸素流量を 10Nm³/mn 増加させた。酸素富化量を減少させる場合の手順はこの逆とした。また減圧、休風時には理由のいかんを問わず酸素を遮断した。

水蒸気付加量の調節は“熱目の棚を防ぐに必要な最低の量”を目安として行なつた。そして 1958 年 5 月より 1959 年 4 月までの 1 カ年間の操業データは Table 1 に示したとおりで、当時コークス比 590~630 kg/t で 1 日約 570~630 t の出鉄を行なつていた。1958 年夏以降装入物としては 10~40mm に整粒 (−10mm : 10~15 %, +40mm : 10~15%) した鉱石に 40~50% の焼結

Table 1. Operating data of No. 5 blast furnace, May 1958~April 1959.

	Production t/d	Coke rate kg/t	Burden			Blast			(*) Hangs & slips
			Burden Coke	%- Sinter %	Slag volume kg/t	Volume Nm ³ /mn	Pressure g/cm ²	Tempe- rature °C	
1958 May	535	663	2・955	38・3	516	674	791	823	6・4
June	562	671	2・817	46・2	485	696	755	753	2・5
July	629	648	2・900	46・4	430	781	711	760	0・2
August	589	585	3・102	60・0	400	646	568	837	0
September	582	593	3・101	56・6	389	666	685	802	0・1
October	575	586	3・134	57・1	416	709	729	840	0・2
November	565	605	3・122	49・4	434	645	758	848	0・3
December	578	626	3・029	50・7	417	660	772	850	1・2
1959 January	638	617	2・965	51・9	387	701	850	850	3・5
February	634	608	3・029	52・6	375	725	926	855	3・6
March	611	636	2・832	52・0	372	763	873	786	7・4
April	621	641	2・758	50・5	371	742	817	709	7・2

(*) [(No. of hangs)×3+(No. of slips)]/(No. of days)

鉄を混合したものを主原料として用い、1959年3月より焼結鉄はすべて CaO 7.5% 程度の自溶性焼結鉄となつた。鉄鉱石(含焼結鉄)品位は Fe 58~60% 程度ではほぼ一定しており、コークスは灰分 10.5~10.7%, 潰裂 15mm, 指数 92% 以上のものを用いていた。送風量(計算風量)は 1958 年の減産期で $650\sim 700\text{Nm}^3/\text{mn}$, 1959 年1月以後は徐々に増風して試験開始時には約 $750\text{Nm}^3/\text{mn}$ 程度となつていた。一方送風温度は増産期に入り逆に低下しており、降下異常指数の増加およびコークス比の上昇とともに試験開始時には炉況がやや悪かつたことを示している。操業速度は試験開始直前で $13.5\sim 13.6\text{t}/\text{m}^2/\text{d}$ 程度でこのとき1日約 74 回(コークスベース 5.4t) 程度の装入を行なつていた。

III. 試験結果の概要

試験は 1959 年 5 月 26 日正午に酸素弁を開き開始した。当時は棚気味の炉況であつたので、とくに注意深く、前節に述べた手順にしたがつてまず $10\text{Nm}^3/\text{mn}$ の酸素富化を行なつた。以後 5 月 31 日までを第Ⅰ期としこの間に炉況の安定を計つた。6 月 1 日に富化量をさらに増加させて第Ⅱ期に入り、6 月 17 日より炉況やや安定したので第Ⅲ期とし、6 月 26 日より増風に努め第Ⅳ期とした。この頃より出鉄量は大中に増加した。酸素工場側

の理由で 7 月 2 日より一時酸素富化を中止し、この間予定休風を行ない富化再開を待つて 7 月 5 日より富化量を増加して第Ⅴ期とした。11日に酸素富化を中止し 12 日から 17 日までを比較期間とした。各期間における酸素使用状況および操業成績は Table 2 にまとめて示した。出鉄量は第Ⅰ期から大中に増加し、第Ⅴ期においては $805\text{t}/\text{d}$ と従来の記録を大中に上回つた。第Ⅴ期における出鉄率は $1.25\text{t}/\text{m}^3/\text{d}$, 操業速度 $16.7\text{t}/\text{m}^2/\text{d}$, 装入物の炉内滞留時間は約 11 時間 30 分であつた。7 月 12 日からの比較期間になると出鉄量は低下し $698\text{t}/\text{d}$ となつたが、これも普通操業としては当時の最高であつた。

コークス比は 1959 年 3~4 月頃のデータと比較するとやや下つているごとく見受けられるが、1958年度のデータと比較すればほとんど変化していない。現在知り得る範囲では酸素富化によりコークス比が大中には変動しないものと考えられる。

炉熱は装入物量で調整したためとくに変化はなく、全期間を通じて棚、スリップは減少し炉況は安定していつた。これは主として多量の水蒸気付加を行なつたこととその取扱いが好く行なわれたためと思われる。また、各期間別に眺めると、各期とも後半になると炉況が安定していた。このことより酸素富化送風を行なう場合には

Table 2. Operating data of No. 5 blast furnace, February-July 1959.

		Feb. 1~ April 30	May 1~10	May 11~20	May 26~31	June 1~16	June 17~25	June 26 ~July 1	July 5~10	July 12~17
O_2 Enrichment %		—	—	—	1.1	1.6	1.6	1.5	2.2	—
O_2 Consumption Nm^3/t		—	—	—	23.8	32.4	33.1	30.0	40.6	—
Production t/d		623	643	666	737	751	752	803	805	698
Coke rate kg/t		628	638	615	632	620	614	601	626	637
Blast	Volume Nm^3/mn	747	767	764	821	816	819	826	822	826
	Temp. $^{\circ}\text{C}$	784	641	663	676	706	725	768	713	735
	Press. g/cm^2	863	809	861	843	822	818	777	819	853
	Humidity g/Nm^3	27	26	26	30	33	38	42	46	36
Metal	C %	4.56	4.59	4.45	4.40	4.51	4.49	4.50	4.39	4.51
	Si %	0.70	0.77	0.67	0.58	0.69	0.69	0.77	0.72	0.69
	S %	0.025	0.029	0.037	0.036	0.033	0.032	0.031	0.0303	0.035
Slag	CaO/SiO_2	1.34	1.28	1.22	1.26	1.26	1.28	1.20	1.18	1.18
	Al_2O_3 %	15.7	17.6	16.6	15.9	16.3	17.2	18.0	14.9	15.4
Top-gas	CO_2 %	15.2	14.8	15.1	15.8	15.7	15.8	16.5	16.3	15.2
	CO %	26.3	26.2	26.0	26.3	26.7	26.5	26.3	27.9	26.4
	H_2 %	2.7	2.4	2.5	2.7	2.7	2.9	2.9	3.0	3.0
	Temp. $^{\circ}\text{C}$	224	241	221	208	195	178	178	175	207
Hangs & slips*		5.4	0.5	8.5	9.6	6.4	4.9	0.5	2.3	0.5

* $[(\text{No. of hangs}) \times 3 + (\text{No. of slips})] / (\text{No. of days})$

富化量の増減にはとくに注意する必要があること、酸素の供給はとくに安定させる必要があることがわかった。

使用装入物に関しては、試験期間中に若干の変動があった。すなわち試験期間第Ⅲ期、第Ⅳ期にはコークス灰分が約 1% 下り 9.7% 程度に低下し、第Ⅲ期には焼結側の事情により焼結鉍使用割合が一時大巾に低下して 40% 以下となった。この点はコークス比の比較のさいなどに注意しなくてはならない。なお天然鉍石としては主としてヅンゲンおよびゴアを用いた。

捲揚回数は出鉄量増加にともない急激に増加し、第Ⅴ期には 1 日平均約 94 回となり、日によつては 96 回、97 回、という装入を行なつた。同高炉の捲揚装置は 8 スキップ 1 チャージで最高約 110 回までの捲揚が可能であるが、第Ⅴ期の状態 (94 回/日) はほぼ実際上の限界であり装入ピットの掃除、棚落ち後の指尺回復などの点で少なからぬ困難があつた。捲揚回数の増加が不可能となつたのでコークススペースの変更も考えたが、スキップ容量の点で実行できず、出鉄量増加の途上の大きな問題となつた。

鑄床作業の上では出鉄量増加にともなつて熔銑処理と鉍滓羽口からの流銑とが問題となつた。同高炉は平常時 1 日 6 回出銑であつたが、第Ⅳ期以後は 1 日 9 回の出銑を行なつた。その結果出銑口閉塞作業、樋修理作業などの面で相当の困難を見た。鉍滓口の流銑に対しては出銑回数を増加し、また、低塩基度操業を行なつたので事故にはいたらなかつたが、試験期間全体を通じて解決にいたらなかつた。また、流銑の多くなつたさい、炉芯測定をも行なつたが、平常時と比較して差は見られなかつた。

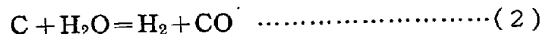
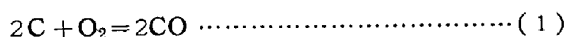
第Ⅴ期以後さらに出鉄量を増加することを考えたがさきに述べた捲揚および鑄床作業上の問題によつて実行できなかつた。炉況そのものは 800 t/d 程度の出鉄量ではあまり問題を起さなかつた。

IV. 出鉄量に関する検討

試験操業に入るに先立つて出鉄量についての予備的考察を行ない、その結果出鉄量は単位時間内に炉内に送り込む酸素量に比例するとの考えを得た。この考えにしたがつて式を立て試験期間各期の出鉄量を予測した。われわれの考えは概略下記のようなものであつた。

高炉内に吹き込まれた O_2 , H_2O は羽口前でそれぞれ下の式にしたがつてコークス中の固定炭素と反応する。

すなわち 12 kg の炭素は



16 kg (11.2 Nm^3) の酸素あるいは 18 kg (22.4 Nm^3) の水蒸気と反応する。

大気中には 21% の O_2 がある。それゆゑ 1 Nm^3 の空気は 0.225 kg ($= 12/11.2 \times 0.21$) の炭素をガス化する。また、 1 Nm^3 の酸素あるいは 1 Nm^3 (804 g) の水蒸気はそれぞれ 4.76 Nm^3 および 2.38 Nm^3 の空気に相当する量の炭素をガス化する。それゆゑ一定時間内に羽口前でガス化する炭素量 C' (kg) と同じ時間内に炉内に送り込まれた空気量 L' (Nm^3)、酸素量 S' (Nm^3)、送風湿度 W (g/m^3) の間にはつぎの化学量論的關係があることがわかる。

$$C' = 0.225(L' + 4.76S' + 2.38 \times L'W/804)$$

$$C' = 0.225(L' + 4.76S' + 0.003L'W) \dots\dots\dots (3)$$

1 日中 (1,440 分) に羽口前でガス化する炭素の量 C (t) と毎分の送風量 L (Nm^3/mn)、酸素流量 S (Nm^3/mn) および送風湿度 W (g/m^3) の間の關係は (4) 式により表わされる。

$$C = 0.225 \times \frac{1,440}{1,000} (L + 4.76S + 0.003LW)$$

$$C = 0.324(L + 4.76S + 0.003LW) \dots\dots\dots (4)$$

一方装入コークス 1 t に対して炉内羽口前でガス化する炭素の量を K_1 (t/t) とすると、1 日当り炉内に装入されるコークス量 T (t) は (5) 式で算出できる。

$$T = \frac{0.324}{K_1} (L + 4.76S + 0.003LW) \dots\dots\dots (5)$$

また、コークス比を $C.R.$ (t/t) とすると出鉄量 P (t/d) は (6) 式で表現できる。

$$P = \frac{0.324}{K_1 \times C.R.} (L + 4.76S + 0.003LW) \dots\dots\dots (6)$$

試験期間に入るに先立つて 1959 年 2 月以来の操業試験料を検討し試験期間について $K_1 = 0.648$, $C.R. = 0.628$ と予測し、(5), (6) を基礎として下記の予測式を立てた。試験結果と予測との關係は Fig. 3, 4 に示したとおりである。

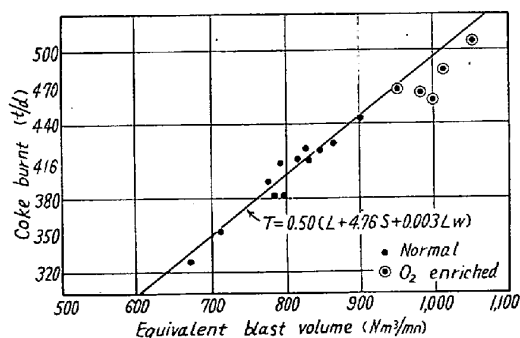


Fig. 3. Relation between equivalent blast volume and coke throughput.

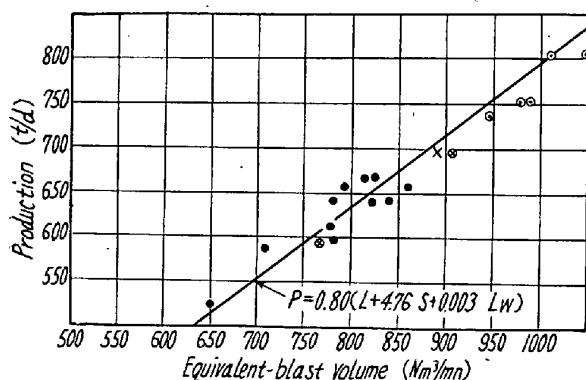


Fig. 4. Relation between equivalent blast volume and production.

$$T = 0.50(L + 4.76S + 0.003LW) \dots \dots \dots (7)$$

$$P = 0.80(L + 4.76S + 0.003LW) \dots \dots \dots (8)$$

炉内反応についてさらに研究を加え酸素富化送風時の K_1 の値をよりよく予測すれば (5), (6) 式による予測値の精度はさらによくなると思われる。酸素富化により K_1 および C.R. が変化しないと仮定すれば (6) 式より出鉄量は酸素 1% の富化で 4.76%, 水蒸気 $1\text{g}/\text{m}^3$ の付加で約 0.3% の割合で増加することがわかる。

V. その他のデータに関する検討

試験期間各期の操業データについて物質精算, 熱精算をも行なつて検討した。その結果の概略を述べる。

1) 炭素精算: 各期における炉内でガス化した炭素の総量および内訳を Fig. 5 に示した。鉄鉄トン当りのガス化炭素の総量は酸素富化によつてなら影響を受けていない。これに対しソリューションロスは大巾に減少し, 普通操業時 85~95 kg/t であつたのが酸素富化時には 65~80 kg/t となつた。鉄鉄トン当りのソリューションロスの減少が酸素富化に起因するかあるいは多量

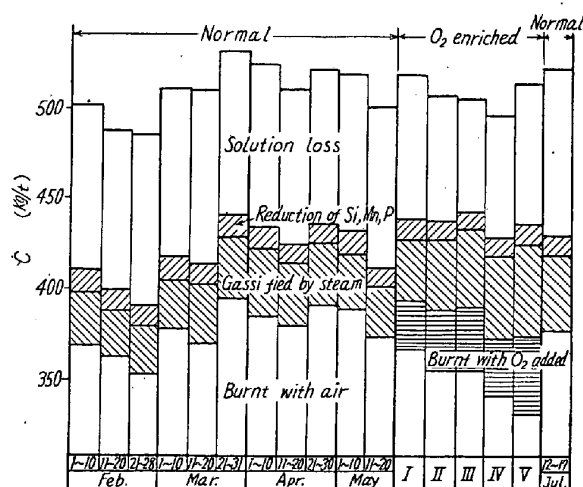


Fig. 5. Carbon-balance (Carbon gassified in the furnace).

の水蒸気付加に由来するかは不明である。ソリューションロスの減少した分は羽口前燃焼炭素量の増加によつておぎなわれておりコークスの熱的な利用率は増加している。

2) 間接還元率: 1) に述べたソリューションロスの減少により酸素富化時には間接還元率が増加し, 2 月から 4 月までの普通操業時には 60~65% であつたのが酸素富化操業時には 67~73% となつた。これを別の面から眺めるとつぎのようなことがわかる。鉄鉄トン当りで鉄鉱石から取り去るべき酸素量はほぼ一定で常に 350~380 kg である。その中で直接還元により取り去られた分は普通操業時で 130~140 kg であつたのが, 富化操業時には減少して 100~120 kg となつた。また, 水素により還元された酸素量は普通操業時は約 10 kg であつたが試験期間には約 15 kg となつている。

3) 鉄鉄トン当りの送風の酸素量: 鉄鉄トン当りで熱風の形で (O_2 あるいは H_2O として) 羽口から送り込まれた酸素の量は, 2 月から 4 月の普通操業時には $360\sim400\text{Nm}^3/\text{t}$ であつたのが酸素富化時には $380\sim400\text{Nm}^3/\text{t}$ となつておりほとんど変化していない。これは前節の計算において $K_1 \times \text{C.R.}$ の積が酸素富化および水蒸気付加によりほとんど変化していないことを示している。

4) 炉内における水素の利用率: 炉頂ガス中には装入物に由来する H_2 も含まれているが, これは常にほぼ一定で約 1% 程度である。それゆゑ送風中水蒸気の形で炉内に入る水素の量と炉頂ガスに逃げる H_2 の量から炉内における H_2 の利用率を算出することができる。結果は Fig. 6 に示したとおりで水蒸気付加量を増加させると炉内における水素の利用率が増加し $40\text{g}/\text{m}^3$ 以上に加湿すれば羽口前に生じた H_2 の約半分以上が炉内で有効に利用されていることがわかつた。

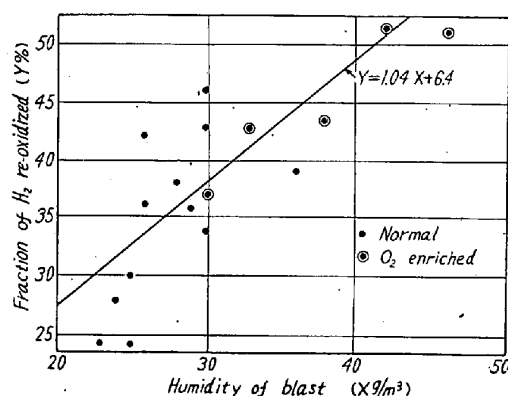


Fig. 6. Relation between the humidity of blast and the fraction of H_2 re-oxidized in the furnace.

Table 3. Heat balance, February-July 1959 ($\times 10^3$ kcal/t).

Period	Feb. 1~ April 30	May 1~10	May 11~20	May 26~31	June 1~16	June 17~25	June 26 ~July 1	July 5~10	July 12~17
O ₂ Enrichment	—	—	—	1.1	1.6	1.6	1.5	2.2	—
Combustion of C to Co.	943	968	926	981	971	971	926	933	936
Indirect reduction of ores.	39	39	40	40	39	39	38	37	38
Sensible heat of blast	456	373	370	382	387	402	410	375	421
Total.	1,438	1,380	1,336	1,403	1,397	1,412	1,374	1,345	1,395
Reduction of Si Mn & P.	69	70	63	57	66	64	70	71	65
Solution loss.	284	280	280	248	220	201	210	245	289
Lost with hot metal.	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Lost with molten slag.	168	158	157	159	149	144	140	153	158
Calcination of stone.	57	37	35	36	35	32	29	30	32
Water-gas reaction at tuyeres.	73	73	68	79	84	98	104	111	98
Lost with top gas.	243	251	237	226	211	188	188	184	221
Heat losses.	244	213	197	298	334	386	334	251	231

5) 熱精算結果: Table 3 より明らかなごとく, 総入熱はほとんど変化していない. 入熱においてはソリューションロスの減少により炭素の燃焼熱が増加しており一方酸素富化による N₂ の減少により送風顕熱が減少している. 出熱においては炉頂ガス顕熱とソリューションロスの減少が目立っており, また, 多量の水蒸気付加を行なったため水性ガス反応による熱損失も若干増加している. 酸素富化時における送風顕熱の減少(40,000kcal)は炉頂ガス顕熱の減少(約42,000kcal)によつて充分補われている. 熱精算結果を全体として眺めるとコークスの炉内における発熱量の増加, 炉頂ガス顕熱の減少など酸素富化時にはいくつかの好ましい変化が見られるが, 一方炉壁損失の増加など不明の点もあり酸素富化時の全体としての熱の収支についてはいまだ不明な点が残っているようである.

6) 炉内の温度分布: 羽口前燃焼帯および炉床部の温度は水蒸気付加および荷の増減などにより一定に保つた.

炉頂ガス温度は普通操業時 210~240°C 程度であつたのが酸素富化時には 170~210°C 程度となり約 40°C 程度低下している. したがつて炉内の温度勾配は今回試験した程度の酸素富化によつても多少急になることがわかつた.

7) 銑鉄トン当り送風量, 炉内ガス量, 炉頂ガス量: 今回の試験操作においては酸素富化 1% に対し銑鉄トン当り送風量 (N₂+O₂+H₂O) は約 3.4%, ボッシュガス量 (N₂+CO+H₂) は約 2.0%, 炉頂ガス量 (N₂+CO+CO₂+H₂) は約 3.5% の割合で減少した.

8) 炉頂ガスの発熱量: 炉頂ガス中の CO% は送風中 O₂% とともに上昇し, 第 V 期においては炉頂ガス

は CO 27.9%, H₂ 3.0% で発熱量は 928 kcal/Nm³ で平常時に比して約 50 kcal/Nm³ 高くなつた.

9) 経済性について: すでに述べたごとく, 酸素富化および水蒸気付加送風のみによつてはコークス比の大巾な低下は期し難い. それゆえ高炉における酸素の使用の経済性は, 酸素価格と銑鉄トン当り固定費の増産による低下との関連において考えなければならない. したがつてこの経済性は工場設備の規模, 古さなどによつて変化し技術的面的みからは掴み難い.

VI. 結 言

1) 東田第 5 熔鋇炉では 1959 年 5 月 26 日より 7 月 11 日の間に増産体勢下の酸素富化操業試験を行ない, 最高 805 t/d (出銑率 1.25 t/m³/d) の出銑を行なつた. 炉況は安定し, コークス比もほとんど変化しなかつた.

2) 試験結果から出銑量は単位時間内に炉内に送り込む酸素量に比例することがわかり, 出銑量の予測算式として下記の式が得られた. 式から明らかなごとく, 出銑量は酸素富化 1% によつて 4.76%, 水蒸気付加 1g/m³ により 0.3% の割合で増加する.

$$P = \frac{0.324}{K_1 \times C.R.} (L + 4.76S + 0.003LW)$$

ただし K₁ 炉による定数

C.R. コークス比

3) 酸素富化および多量の水蒸気付加を併用したさいつぎのような炉内反応の変化を確認した.

(イ) ソリューションロスが減少し, コークスの炉内における見掛けの発熱量が増加した.

(ロ) 送風顕熱の減少は炉頂ガス顕熱の減少によりおぎなわれた.

(ハ) 多量の水蒸気付加を行なうと炉内における水素の利用率が高まる。

(ニ) 酸素富化により銑鉄トン当りの送風(含水蒸気)の総量, ボッシュガス量, 炉頂ガス量などはいずれも減少し炉内の温度勾配はやや急になる。

(昭和 35 年 5 月寄稿)

文 献

1) 児玉, 深川, 山本, 橋本: 鉄と鋼, 45(1959), 3, p. 181

含銅低炭素鋼の析出硬化性におよぼす合金元素の影響*

(含銅低炭素鋼に関する研究—I)

岡本正三**・田中良平**・伊藤六郎***

Effect of Alloying Elements on Precipitation-Hardening Characteristics of Copper-Bearing Low-Carbon Steels.

(Study on the copper-bearing low-carbon steels—I)

Masazō Okamoto, Ryōhei Tanaka and Rokurō Itō

Synopsis :

The effect of various alloying elements such as Si, Ni, Mn, Cr, Mo in copper-bearing low carbon steels on the age hardening phenomena was investigated and discussed. The results obtained were as follows:

(1) Only a hardening due to the C precipitation from ferrite was found to take place with the steels solution-quenched from 680°C. after the usual annealing, and the hardening due to the Cu precipitation was not observed to occur except with the steel containing Mo.

(2) With the steels furnace-cooled from 930°C. to 680°C. by 13.3°C./mn. and subsequently quenched from the latter temperature, both of these precipitation hardenings were found to occur, the quenched state being supersaturated with copper as well as with carbon. The hardening caused by the C precipitation was found at the range from room temperature to 100°C., and the hardening by the Cu precipitation was found at above 350°C. In the stage of the C precipitation, the carbide-forming elements such as Mn, Cr, Mo retarded the hardening and reduced the maximum hardness. While, in the stage of the Cu precipitation, only Mo retarded the hardening and increased the hardness.

(3) With the steels water-quenched directly from 930°C., as a whole, the hardening due to the Cu precipitation was not clearly found, because of the increased resistance to softening on tempering by addition of the alloying elements. With the steels oil-quenched directly from 930°C., nearly the same precipitation hardening behavior was observed as that described in (2), except with one containing Mo, in which especially high hardness due to the Cu precipitation was attained.

(4) With the cold worked steels super-saturated with Cu, the recrystallization softening was found to be superposed with the precipitation hardening, and the softening temperature was raised by the Cu precipitation and the existence of carbide-forming elements, particularly of Mo.

(5) It was also certified that the addition of Ni reduced the red-shortness of the steel containing Cu.

I. 結 言

Cu は熱間圧延鋼材においていわゆる赤熱脆性の原因とされ, その許容限度については多大の関心が払われているが, 他面 Cu は大気並びに水, 海水, 硫酸, 塩酸などに対する耐食性の改善, 焼入性の増加, 機械的性質の

向上などのいろいろの利点を鋼に与えることがよく知られている^{1)~10)}. とくに 0.7% 以上の Cu を含む鋼は 400~600°C の範囲でフェライト中より Cu に富む固溶

* 昭和35年4月3日日本会講演大会にて発表

** 東京工業大学, 工博

*** 東京工業大学