

がわかる。すなわち deep bath の場合は鋼浴面近くの secondary flow が形成され、噴出角度が水平に近くなるが shallow bath は secondary flow の形成はほとんど認められない。したがって deep bath の方が炉口からの噴出量が減少するものと考えられる。なお shallow bath は炉中心軸底部の stagnation area は減少するが、炉壁付近に stagnation area ができるので、deep bath と比べて平均脱炭速度に差がないものと思われる。

3.4 ランス高さや鋼浴の動き、噴出状態との関係

ランス高さが soft blow 領域と通常操業領域について、それぞれ Fig. 5 (A), (B) に示す。

4. 考察

ノズル角度、ノズルの孔数、鋼浴直径と鋼浴深さとの比 (D_0/L_1) の変化によつて噴出量が変化するのは、その原因の探索とそれに基づく実験の結果から総合して考えると、それらの要因の変化によつて、鋼浴の動き一特に鋼浴面近くに生ずる secondary flow の形成状態が変りそのため噴出角度が変化すること、ならびに噴出後の secondary flow の形成状態に差を生じてそのため噴出の momentum の減衰に差が生じて、炉口に到達する噴出量が変化するものと考えられる。すなわち鋼浴の secondary flow が激しくなると噴出角度が水平に近くなり、噴出後の secondary flow が生ずると噴出物を巻き込むことにより噴出の momentum が減殺される。この両作用ともに炉口からの噴出を減少させる大きな要因と考えてよい。そしてノズル角度、ノズル孔数、 D_0/L_1 の 3 要因について考えるといづれの要因の変化もいづれかまたは両方の secondary flow 形成状態の変化に大きく寄与するが、要因の違いにより寄与のしかたも異なり、したがって噴出量減少の機構にも差がある。

5. 結 言

1. single hole nozzle が multi holes nozzle に較べて、2 孔ノズルが 3, 4 孔ノズルに較べて、deep bath が shallow bath に較べて噴出量が少ない原因を模型実験ならびにその解析によつてほぼ明らかにすることができた。
2. 噴出量が減少する原因は、鋼浴に生ずる secondary flow により噴出角度が水平になることと、噴出後の secondary flow の発達により噴出の momentum が減殺されることによるものと考えられる。
3. ノズル角度、孔数、 D_0/L_1 などの要因の差により、噴出量減少の機構に差があると考えられる。

文 献

- 1) 下間, 佐野: 鉄と鋼, 51 (1965) 4, p. 752
- 2) T. Kootz: J. Iron & steel Inst. (U. K.), (1960) Nov., p. 253

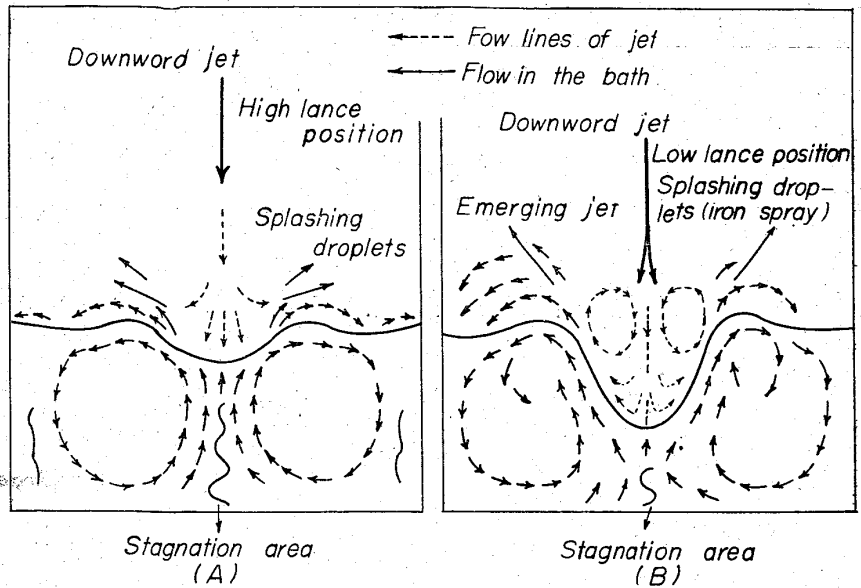


Fig. 5. Effect of lance position. Left (A), high lance position with shallow penetration (single hole nozzle). Right (B), low lance position with deep penetration (multi holes nozzle).

(78) 多孔ノズルと単孔ノズルの操業比較について

(LD 転炉におけるランス・ノズルの検討—II)

富士製鉄, 室蘭製鉄所

林 清造・小野修二郎・桑原達朗

Operation by Multi-hole Lance Nozzle Compared with Single-hole Lance Nozzle.

(Study on lance nozzle at LD converter—II)

Seizō HAYASHI, Syūjirō Ono and Tatsurō KUWABARA.

1. 緒 言

前報¹⁾においては稼働以来約一年半にわたる単孔ノズル操業時のノズル形状吹錬条件の変遷について報告した。その中では、スロッピング・スピッチングが完全には解消せず、それらに起因する炉下清掃、炉口地金切り、ランス地金除去などの障害時間の問題、炉口部・傾斜部の溶損による短炉命の問題などが残っていた。

しかるに37年12月末に多孔ノズルを採用したところ、非常な好成績を得て一挙に全操業を多孔ノズルに切替えた。他の転炉工場においても多孔ノズルの優位性が報告されているが^{2)~4)}、室蘭転炉においても飛躍的な転炉操業の向上がみられた。多孔ノズル切替前後の操業から単

Table 1. Blowing conditions of single-hole nozzle and multi-hole nozzle operation.

	Multi-nozzle	Single-nozzle
Nozzle dia. mm	35 φ × 3	55 φ ~ 75 φ
O ₂ flow rate Nm ³ /hr	14000 ~ 15000	14000 ~ 15000
O ₂ pressure kg/cm ²	6.7 ~ 8.2	6.5 ~ 8.0
Lance height mm	1000 ~ 1200	1200 ~ 1600

Table 2. Comparison of slopping point.

	Non	Weak	Medium	Strong	Total
Single nozzle	248	167	78	65	558
Multi nozzle	345	87	63	56	551
$\chi^2 = 42.81^{**}$					

Table 3. Comparison of delay time.

	Single nozzle	Multi nozzle
Furnace mouth skull off	29°30'	1°25'
Repair of lance	7°21'	1°15'
Cleaning of slopping slag	61°00'	25°45'
Other delay time	98°07'	112°19'
Total steel making time	524°02'	579°16'
Total steel making time ratio	72.8%	80.5%

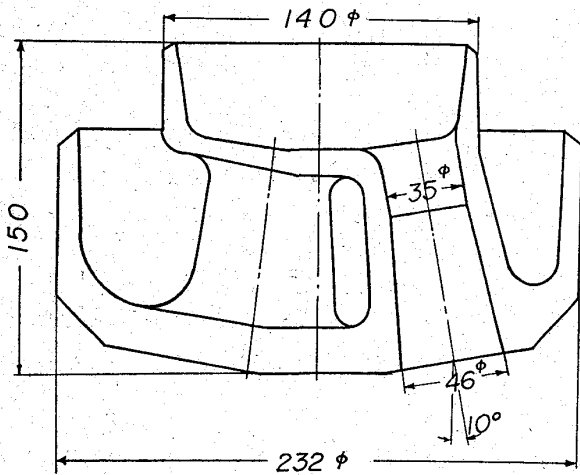


Fig. 1. Sketch of 3-holes lance nozzle.

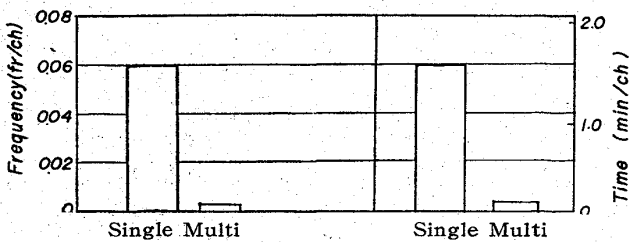


Fig. 2. Comparison of frequency and time for furnace mouth skull removing.

孔ノズルと多孔ノズルの成績比較を行なったので、以下にその主要点を報告する。

2. 多孔ノズルの形状と吹錬基準

Fig. 1 に切替当時使用した多孔ノズルのスケッチを示した。ノズル径 35mm φ の3孔ノズルで、孔中心の拡がり角度は 10° である。多孔ノズルの吹錬基準の選定にあたっては吹止スラグ中の T. Fe, 炉底の損傷, ノズル寿命, 酸素2次圧・送酸速度の制限を考慮して、Table 1のごとく定めた。表中に単孔ノズルの場合の吹錬基準

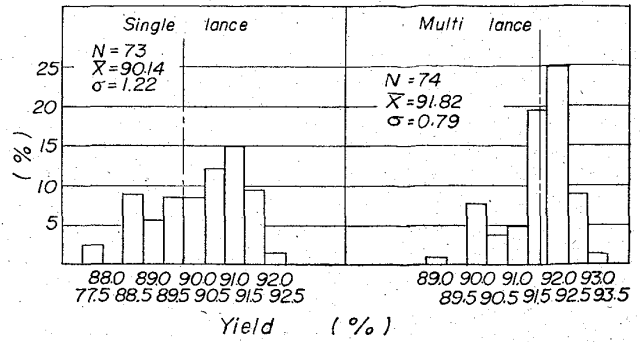


Fig. 3. Histogram of metal yield.

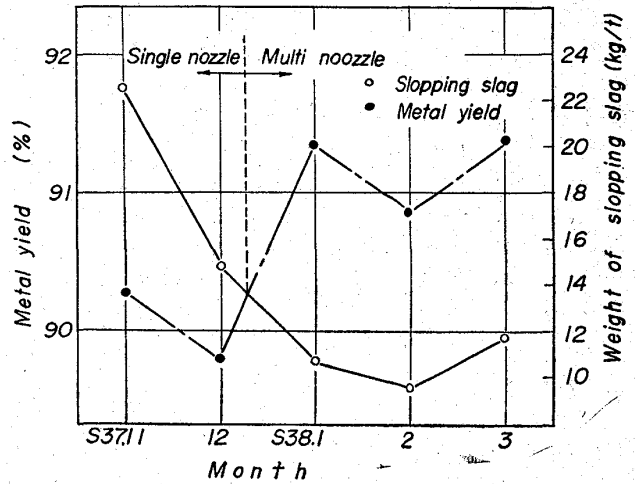


Fig. 4. Progress of metal yield and slopping slag.

も比較した。

3. 吹錬作業におよぼす影響

3.1 稼働率

多孔ノズルの採用によつてスロッピングとスピットィングが激減し、これらに起因する障害時間、すなわち炉下清掃・炉口地金切り・ランス地金除去・炉口修理などが大巾に減少し稼働率が向上した。多孔ノズル切替前後のおおの約1カ月間について、スロッピングおよび炉口地金切り状況を示したものが Table 2・Fig. 2 である。スロッピングは肉眼判定で小中大にわけているが、 χ^2 乗検定の結果も十分な信頼度で有意差が認められており、多孔ノズルによつてスロッピングが減少していることがたしかめられた。また炉口地金切りの回数および時間が激減していることも、Fig. 2 に明瞭に示めされている。

このようなスロッピング・スピットィングの減少が操業に反映しており、障害時間も大巾に減少した。Table 3 は従来の単孔ノズルと多孔ノズルの実績比較である。多孔ノズルの採用によつて、炉口地金切り、炉下清掃、ランス整備などの時間が大巾に短縮され、合計で純製鋼時間は月間 579hr, 稼働率 80% 以上と飛躍的に向上している。

その他に、切替前後の吹錬時間を比較すると Table 4のごとく約 1 min 減少している。これはスロッピングが減少して吹錬途中で酸素流量をしぼる必要がなくな

Table 4. Comparison of blowing conditions and bath analysis.

		Single nozzle		Multi nozzle		Remark
		\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	
Blowing time	min	20.34	1.42	19.24	1.38	**
O ₂ flow rate	Nm ³ /hr	14,100	0.655	14,860	0.676	**
O ₂ consumption	Nm ³ /t	48.03	1.88	47.78	2.56	
End point Mn	$\times 10^{-2}\%$	16.66	3.56	17.44	4.55	**
End point P	$\times 10^{-3}\%$	13.90	4.04	11.97	3.56	**
End point S	$\times 10^{-3}\%$	15.52	3.27	13.13	2.11	**
Ladle P	$\times 10^{-3}\%$	15.55	3.94	12.97	3.45	**
Ladle S	$\times 10^{-3}\%$	15.55	3.04	13.71	2.26	**
Slag T. Fe	%	18.26	3.32	17.00	4.70	
Slag MnO	%	7.73	1.34	6.93	1.07	**
Dephosphorized ratio	%	90.11	3.17	92.28	2.19	**
Desulphurized ratio	%	38.87	14.69	36.35	12.11	
Basicity		4.19	1.28	4.00	1.14	

** 1 % Significance.

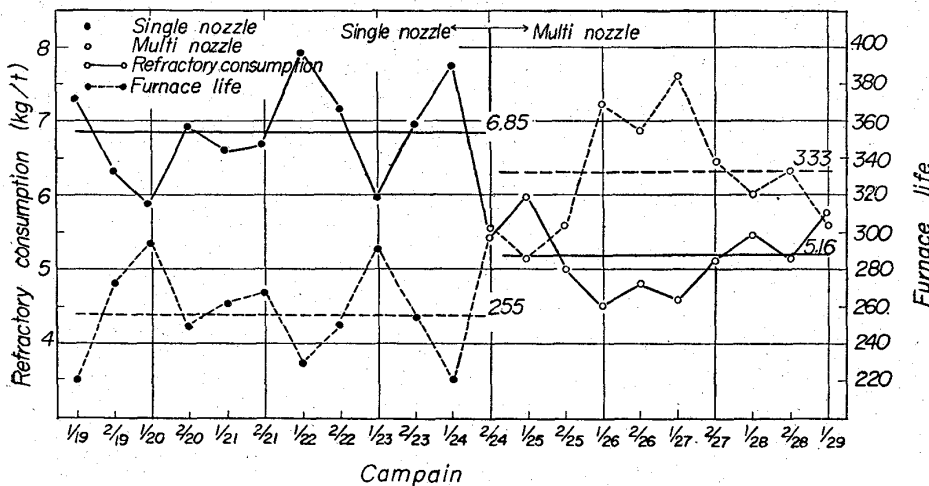


Fig. 5. Progress of furnace life and refractory consumption.

り、流量を平均として増すことができるようになったからである。

3.2 製出鋼歩留

上述のごとく、スロッピング・炉口地金・ランス地金などが大巾減少していることから、系外への鉄分の散逸が減っており、歩留が良くなるのが当然考えられる。Fig. 3 は多孔ノズル採用前後の製出鋼歩留のヒストグラムを示めた。図から明らかなように、多孔ノズルによつて歩留の平均値も増加しバラツキも少なくなつていく。t 検定でも高度な有意差が認められた。

月間の平均良塊歩留の推移は、Fig. 4 のごとくとなり、多孔ノズルに全面切替した約 1.5% 向上している。同図にあわせて、スロッピングにより炉下で発生した屑（炉口地金も含む）の月間の集計を示めたが、これによつても、スロッピング・スピitting減少による歩留向上が十分裏書きされる。

3.3 酸素原単位

Table 4 には単孔ノズルと多孔ノズルで極軟リムド鋼を対象とした良塊トンあたりの酸素原単位の比較を示めたが、t 検定の結果平均値には差が認められていない。

後述のごとくスラグ中の T. Fe% にも差がなく、また砂鉄の使用量にも変化が見出されていないので、単孔ノズルと多孔ノズルでは、酸素原単位は同等であると考えられる。

4. 品質におよぼす影響

単孔ノズルを用いた場合と多孔ノズルを用いた場合とで鋼浴成分にどのような差異があるかを調査するために、単孔から多孔に変更した前後約 1 カ月間に出鋼した極軟リムド鋼から 100 チャージあまりを抜き出して、鋼浴鋼滓成分の分析値のうち吹止 Mn・吹

止 P・吹止 S・取鍋 P・取鍋 S・スラグ T. Fe・スラグ MnO・塩基度・見掛脱 P 率・見掛脱 S 率（いずれも溶銑と吹止の差を溶銑の値で割つたものの百分率）について平均値の差を検定した。その結果が Table 4 に集約してあるが、下記の事柄が明らかとなつた。

(i) 吹止マンガンは単孔ノズルと多孔ノズルでは差はないが、スラグの MnO が多孔ノズルの場合には低下している。

(ii) P については、吹止・取鍋とも多孔ノズルの場合が低くなつており、脱 P 率も約 2% 向上している。

(iii) S は鋼浴成分では多孔ノズルの場合が低くなつていくが、脱 S 率では差がなくなつていく。これはおのおのの時期の溶銑サルファーの値が変つていくことによるものと考えられている。

(iv) スラグの T. Fe は、双方で差がない。

結果的には、リンの低下とマンガンの酸化減少の傾向がみられたが、その原因として酸素ジェットと鋼浴との接触面積が大となり、鋼浴の攪拌が十分行なわれるためではないかと考えている。

5. 炉体におよぼす影響

多孔ノズルの採用により炉体の寿命も著るしく向上し、レンガ原単位が大巾に低下した。その状況を Fig.5 に示めしたが、炉体寿命で約 80 回、レンガ原単位で約 1.7kg/t の成績向上がみられる。

単孔ノズルの操業では炉口傾斜部の溶損と、炉口最上部への地金付着とその除去作業によるレンガおよび鉄皮の焼損が炉休止の主な理由となっていたが、多孔ノズルによりスロッピング・スピittingが減少したため、これらの問題は解消し寿命延長がもたらされたものである。

6. 結 言

室蘭転炉工場においては、昭和37年12月末に多孔ノズルを導入したが、単孔ノズルの操業に比較して、

(i) スロッピングや炉口地金付着がなくなり稼働率が約 8% 向上している。

(ii) 製出鋼歩留が約 1.5% 増加している。

(iii) 鋼浴成分は、リン・マンガンについて改善がみられる。

(iv) 炉体寿命は約 80 回向上している。

などの結果を得て、転炉操業の一大進歩がもたらされた。その後も、多孔ノズルの改良に意をつくし、これら技術改善とあいまつて、生産性向上のための諸施策が可能となり、重装入連続操業へと進んで行くことになったわけである。

文 献

- 1) 林・小野・桑原: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 717
- 2) 岩村・八木・古茂田・神崎・松野: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 1382
- 3) 森田・西脇・山口・田中: 安藤: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 1733
- 4) 根本・松代・小野: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 720

(79) ランス・ノズルに関する 2, 3 の理論的考察

(LD 転炉におけるランス・ノズルの検討—III)

富士製鉄, 室蘭製鉄所

林 清造・小野修二郎・桑原達朗

東海製鉄 重松 淑生

Some Theoretical Aspects on Lance Nozzle.

(Study on lance nozzle at LD converter—III)

Seizō HAYASHI, Syūjirō ONO,

Tatsurō KUWABARA and Hideo SHIGEMATSU.

1. 緒 言

前報¹⁾前々報²⁾において発表したように、ランスノズルや酸素吹込条件について実操業面から種々検討を行なってきたが、一方酸素ガスが完全気体に近いことかも鋭理論的な取り扱いが可能であり、この面からの考察から、意進めている。そのうちでもノズル周辺に関しては、若干の仮定をおけば、色々な結果を導き出せるが、そのうちで現場操業に有用な式を 2~3 得たので以下に報告する。

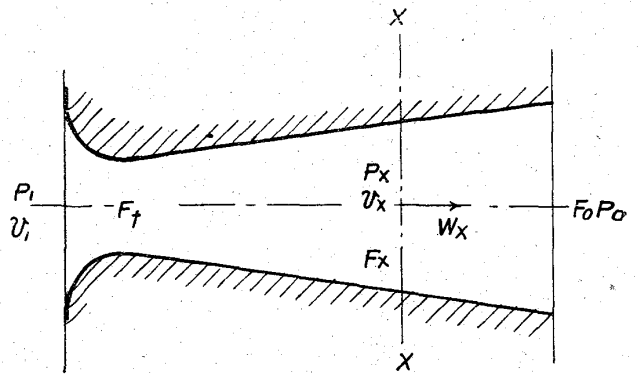


Fig. 1. Divergent nozzle.

2. 酸素流量・圧力・ノズル断面積の関係

流体(酸素ガス)が Fig.1 のような末広ノズル(divergent nozzle)を通過する場合を考える。\$P_v T_w F\$ はおのおの圧力・比容積・温度・流速・断面積を示し、添字 1 はノズル入口を、\$x\$ は断面 \$X-X\$ を、0 はノズル出口をあらわすものとする。ノズル内の各断面で流体は連続であるので、1 sec 間に流れる量 \$G\$ kg は、

$$G = F \cdot W / V \dots\dots\dots (1)$$

であらわされる。摩擦を考えなければ、流体の速度エネルギーの変化と膨張による仕事が保存されるとして、

$$(W_x^2 - W_1^2) / 2g = \int_{P_x}^{P_1} V \cdot dP \dots\dots\dots (2)$$

が成立する。

一方酸素を完全ガスと仮定し、摩擦のない断熱変化を考えると、

$$PV^K = \text{一定} \quad (K = C_p / C_v = 1.40) \dots\dots\dots (3)$$

であるから \$V = V_1 (P_1 / P)^{1/K}\$ を代入して次式を得る。

$$(W_x^2 - W_1^2) / 2g = P_1 V_1 (K / K - 1) [1 - (P_x / P_1)^{K-1/K}] \dots\dots\dots (4)$$

\$W_1\$ を \$W_x\$ に対して無視すると、\$W_x\$ は、

$$W_x = \sqrt{2g \frac{K}{K-1} P_1 V_1 \left[1 - \left(\frac{P_x}{P_1} \right)^{K-1/K} \right]} \dots\dots\dots (5)$$

となる。さらに \$G = F_x \cdot W_x / V_x\$ より流量と断面積の関係は次のようになる。

$$G = F_x \sqrt{2g \frac{K}{K-1} \cdot \frac{P_1}{V_1} \left[\left(\frac{P_x}{P_1} \right)^{2/K} - \left(\frac{P_x}{P_1} \right)^{K+1/K} \right]} \dots\dots\dots (6)$$

(6)式の根号内は、\$P_x\$ に対して極大が存在し、それに対応して \$F_x\$ に極小が存在する。その時の圧力が臨界圧である。臨界圧は、

$$\frac{d}{dP_x} \left[\left(\frac{P_x}{P_1} \right)^{2/K} - \left(\frac{P_x}{P_1} \right)^{K+1/K} \right] = 0$$

を満す \$P_x\$ であるから、これを \$P_t\$ とおくと、

$$P_t = \left(\frac{2}{K+1} \right)^{K/K-1} P_1 = 0.526 P_1 \dots\dots\dots (7)$$

で与えられる。\$F_t\$ が極小となる点が、ノズルの喉(throat)に相当し、そこでの圧力が \$P_t\$ であるが、一方速度 \$W_t\$ は次式で与えられ、臨界速度すなわち音速となる。

$$W_t = \sqrt{2g \cdot \frac{K}{K+1} \cdot P_1 V_1} = \sqrt{2g \cdot \frac{K}{K+1} RT_1} \dots\dots\dots (8)$$