

溶銑インジェクション脱硫技術の改善

Improvement of Injection Desulfurization Method of Hot Metal

住友金属工業(株)鹿島製鉄所 坂井 憲*
鉄鋼技術研究所 所 敏夫 ((現)滋賀県立機械金属工業指導所)
本 社 平田武行

1. 緒言

鹿島製鉄所第二製鋼工場は、3CC-熱延直結による高能率高熱片比率操業(ダイレクトチャージ)を大きな特徴としている。このため工場内各工程とも淀みなく流れる必要があり、溶銑脱硫も規定の短時間で確実に処理を終了せねばならない。溶銑処理には、CaO系の鍋中インジェクション脱硫法を採用しているが近年の更なる高能率化、高品質化(低硫化)に対応すべく脱硫技術の改善に取り組んだ。その結果、脱硫速度の向上・処理時間の短縮が達成出来たので、その概要について報告する¹⁾²⁾。

2. 試験方法

2・1 ランス吐出孔数増加による脱硫促進

インジェクション脱硫において反応ゾーンは、脱硫剤が浮上中に反応するトランジトリー反応ゾーンが主要な反応と言われており、この促進策の1つとしてランス吐出孔数を増し脱硫剤が浮上中に拡がる領域(プルム)を拡大させる方法が考えられる。そこで2孔ランスと4孔ランスを用いて脱硫挙動を調査した。試験条件をTable 1に、ランス構造をFig. 1に示すが吐出孔数の変更以外は通常の操業条件に統一した。

2・2 脱硫剤高速吹き込みによる脱硫促進

脱硫剤吹き込み速度を増すことによっても処理時間の短縮が図れる。実機試験は、Fig. 1に示す高固気比で粉体輸送が可能な4孔ランスを設計し、Table 1の試験条件の中で脱硫剤吹き込み速度のみを変化させて脱硫挙動を調査した。

3. 脱硫促進試験結果

3・1 ランス吐出孔数の増加

Table 1の操業条件で脱硫剤吹き込み速度を130~140kg/minに固定して、従来の2孔ランス使用時と4孔ランス使用時との[S]の経時変化の比較をFig. 2に示す。4孔ランスでは2孔ランスに比べ到達[S]が低い。また処理後[S]=0.004%を得るのに4孔ランスでは12分、2孔ランスでは14分であった。

Table 2に処理後スラグ組成およびS分配比を示す。ともに大きくばらついており、処理後スラグとの関係は無かった。

Table 2. Chemical composition of slag after injection.

%	T-Fe	FeO	CaO	SiO ₂	S	(S)/[S]
Data	9-17	2.7-7.5	69-74	9-11	1.3-2.6	500-1000
Ave.	11.5	3.6	71.6	9.9	2.0	700

Table 1. Experimental conditions.

Number of holes	2 or 4
Flux	CaO-CaF ₂
Injection rate	130~200 kg/min
Carrier gas	N ₂ 1.6 Nm ³ /min
Injection depth	2.7 m
Hot metal	270 ton

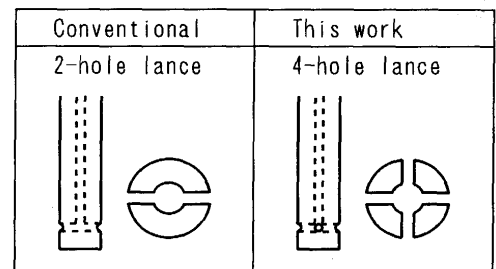


Fig. 1. Lance nozzle design.

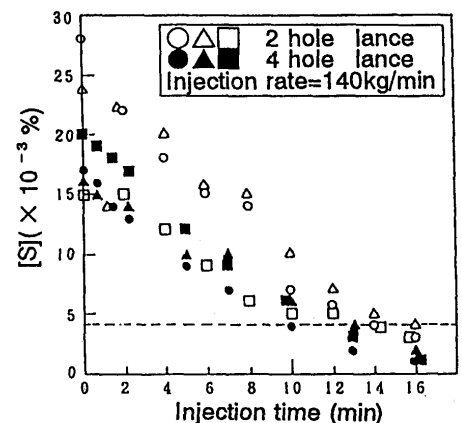


Fig. 2. Changes in sulfur content during injection.

3・2 脱硫剤吹き込み速度の増加

実機の操業条件(Table 1)で他の条件は変更せず、4孔ランスを用いて、脱硫剤吹き込み速度 V_{POW} を増加させて脱硫進行状況を調査した。その結果をFig. 3～5に示す。

- a) 同一脱硫処理時間では脱硫剤高速吹き込み(140→190kg/min)により、脱硫速度が速くなった。(Fig.3)
- b) 脱硫剤高速吹き込み(140→190kg/min)により、目標[S]=0.004%に到達する処理時間が約4分短縮された。(Fig. 4)
- c) 高速吹き込みによる脱硫剤反応効率 η_{CaO} の悪化はなかった。

$$\left(\eta_{CaO} = \frac{(\% \Delta S) \times (56/32) \times 1000}{(\% CaO) / 100 \times \text{脱硫剤原単位}} \right) \quad (\text{Fig. 5})$$

4. 考察

4・1 脱硫反応の律速段階の検討

インジェクション脱硫においては処理後スラグのバラツキが大きく(Table 2), 脱硫反応効率 η_{CaO} (Fig. 5)と処理後スラグとの相関がない事から、脱硫反応に及ぼすパーマメント反応の寄与は小さいと考えられる。

そこで、脱硫反応は上浮中の脱硫剤と[S]との反応のみと仮定し、次のように検討した。律速段階には、脱硫剤粒内のSの拡散である場合((1)式)と、Sの液側境膜拡散である場合((2)式)が考えられる³⁾。

$$\left. \begin{aligned} [S]^{1/2} - [S]_0^{1/2} &= -\alpha t \\ \alpha &= \frac{30V_{POW}}{a\rho_{CaO}W_{HM}} (2L_S C_S^* D_S \rho_{Fe} \tau)^{1/2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、[S]₀、[S]：処理前及びt分後の[S]濃度(%), α ：反応容量係数(%^{1/2}/min), t：時間(min), V_{POW} ：CaO吹き込み速度(g/min), a：脱硫剤粒径(cm), ρ_{CaO} ：CaO密度(g/cm³), L_S ：S平衡分配比, τ ：CaO上浮時間(min), W_{HM} ：溶銑量(g), ρ_{Fe} ：溶銑密度(g/cm³), C_S^* ：反応層中S濃度(g/cm³), D_S ：固相内S拡散係数(cm²/min)である。

$$\ln \frac{[S]}{[S]_0} = -\beta t, \quad \beta = \frac{ak_t}{V} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 β ：反応容量係数(min⁻¹), a：反応界面積(cm²), V：溶銑体積(cm³), k_t ：液側物質移動係数(cm/min)である。

試験データを両式で整理した結果、(1)式で整理した方が直線性が良く、律速段階は脱硫剤粒内のSの拡散である可能性が強いことがわかった。(Fig. 6)

4・2 ランス多孔化による脱硫反応速度向上効果の検討

4孔ランスによる脱硫反応促進効果は溶銑中のブルーム領域が拡大する事に関係があると考え、脱硫剤粒子の上浮時間を以下の様に検討する。まずブルーム内の脱硫剤粒子上昇速度は溶銑上昇速度 V_L に等しいと考える(脱硫剤平均粒子径32 μ mの場合、溶銑と粒子の相対速度は0.2mm/sと小さい)。佐野ら⁴⁾によれば溶銑中の空塔速度 V_s (cm/s)は(3)式で表される。

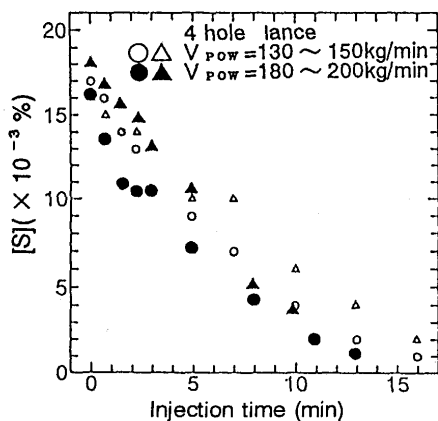


Fig. 3. Changes in sulfur content during injection.

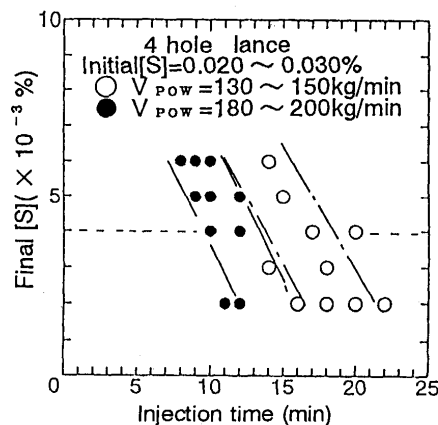


Fig. 4. Influence of injection rate on desulfurization efficiency.

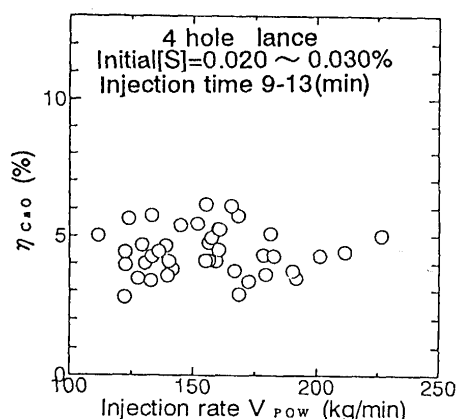


Fig. 5. Influence of injection rate on desulfurization efficiency (η_{CaO}).

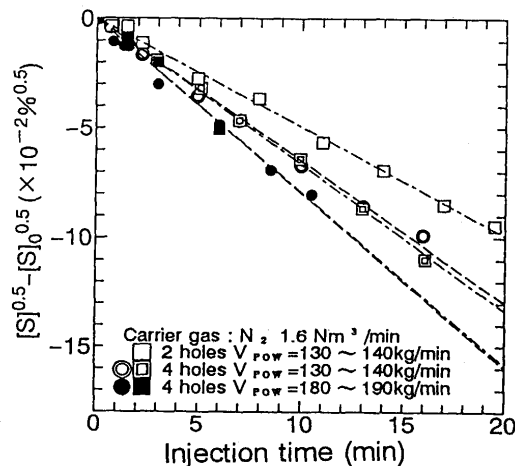


Fig. 6. Relation between $[S]^{1/2} - [S]_0^{1/2}$ and injection time.

$$V_s = \frac{Q}{A_0} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、Q：ガス流量(cm³/s)

A₀：浴表面におけるプルム断面積(cm²)である。

浴表面におけるプルム断面積Aは、Enghらによるジェットの軌跡の推定式⁵⁾から求めた。(ジェット軌跡を模式的にFig. 7に示す)また、溶銑上昇速度V_L⁴⁾⁶⁾⁷⁾、脱硫剤浮上時間τはそれぞれ(4)、(5)式で表される。

$$V_L = \frac{V_s}{H} - \frac{V_{B0}}{1-H} \dots\dots\dots (4)$$

$$\tau = \frac{H_0}{V_L} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、H：ガスホールドアップ(-)、V_{B0}：単一気泡の上昇速度(cm/s)、

H₀：浴表面からランス吐出孔までの深さ(cm)である。

Fig. 7よりプルムの広がり方はほぼ同一で吐出孔数を2孔から4孔にした場合、プルムの体積が拡大することがわかる。プルムが拡大することにより、増加したプルム内の溶銑量を移動させるため、エネルギーが余分にかかり、脱硫剤の浮上時間τは増大する。

(3)~(5)式に基づき、Table 1に示す実操業条件と同一条件で脱硫剤浮上時間τを計算した結果をFig. 8に示す。図には、2孔および4孔ランスでの反応容量係数αの実績値と、2孔でのα値を、4孔のτの計算値を用いて補正したαの計算値をあわせて示す。これよりτの増大(2孔→4孔化)によるαの増大の計算値は約1.3倍で実績値と良く一致しており4孔ランスによる脱硫促進効果は、脱硫剤浮上時間増大効果で大略表せる。

4・3 脱硫剤高速吹き込みによる脱硫反応速度向上効果の検討

4孔ランスを用いて、脱硫剤の吹き込み速度を変化させた時の反応容量係数αの値について整理した結果をFig. 9に示す。また、(1)式のαを(1)'式で表す。

$$\alpha = \alpha' V_{POW} \dots\dots\dots (1)'$$

Fig. 9から、脱硫剤吹き込み速度V_{POW}を1.33倍増加したとき、脱硫反応容量係数αも1.3とほぼ同じ倍率で増加する事から、V_{POW}を増加しても(1)'式中のα'は小さくなっておらず、α'を構成する他の因子(L_s, τ等)に悪影響を及ぼさない事がわかった。

5. 総合効果のまとめ

ランスノズルの多孔化、および脱硫剤の高速吹き込み化による実機データを合わせて整理すると、Fig.10が得られる。これより、

1)ランス吐出孔を2孔→4孔化(V_{POW}=140kg/min一定)により、脱硫剤浮上時間τが増大し、反応容量係数αが1.3倍増大した。

2)脱硫剤の高速吹き込み化(吐出孔=4孔, V_{POW}=140→200kg/min)により、反応容量係数αがさらに1.3倍増大した。

Fig.11に従来2孔ランス使用時と、高速4孔ランス使用時の脱硫処理時間実績の比較を示す。処理時間の大幅な短縮と、安定した低硫化が図れていることがわかる。

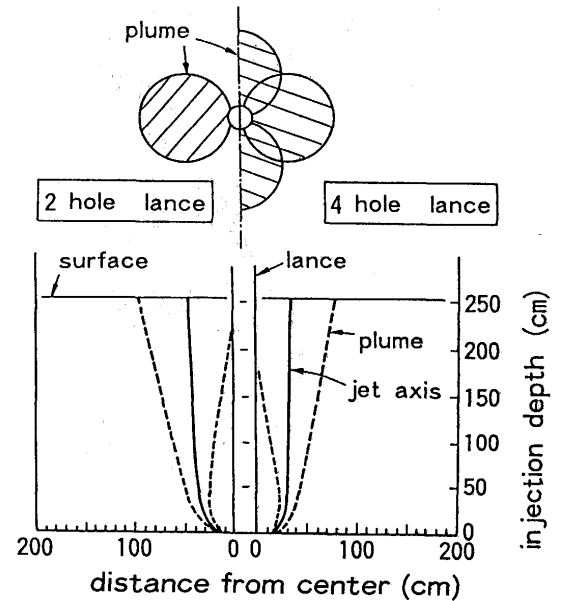


Fig. 7. Change of plume on lance types.

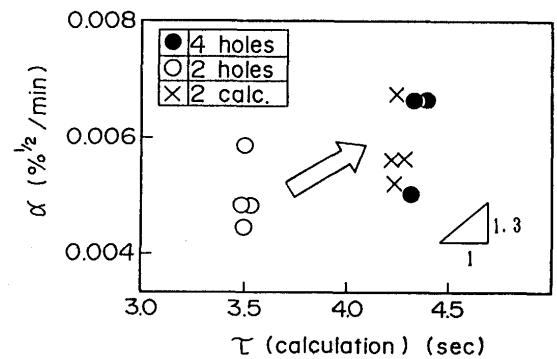


Fig. 8. Comparison of desulfurization rate coefficient (α) among lance types and calculation results.

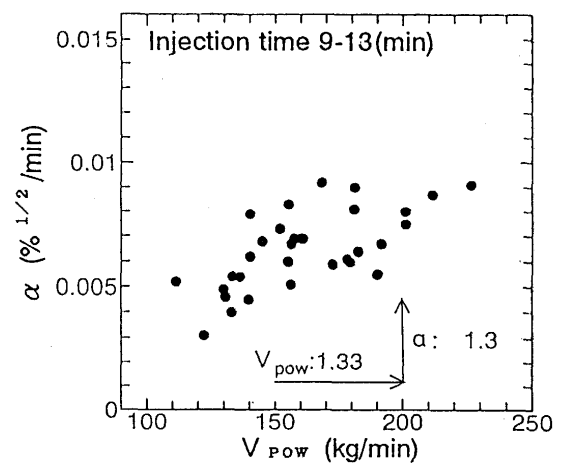


Fig. 9. Relation between α and V_{POW}.

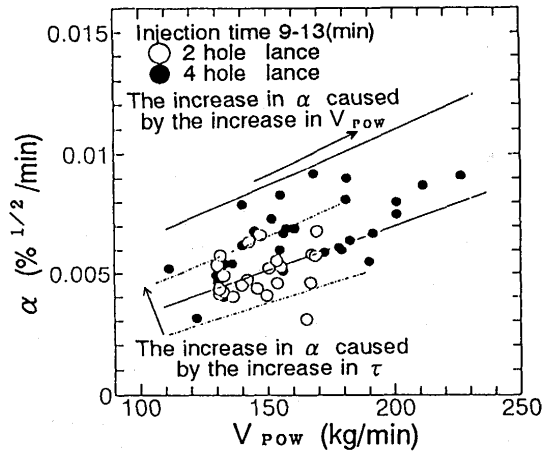


Fig. 10. Influence of desulfurization rate coefficient (α) on injection rate.

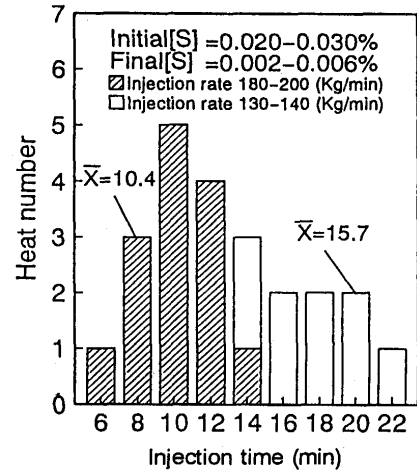


Fig. 11. Influence of injection rate on injection time.

6. 結言

鹿島第二製鋼工場のインジェクション脱硫処理において、高能率高熱片比率の操業を安定して行うために、脱硫能力の改善を次のように行った。

(1) ランスの4孔化

脱硫剤浮上時間 τ を増大させることにより、反応容量係数 α を1.3倍増大させた。

(2) 脱硫剤吹き込み速度の上昇

吹き込み速度を増加することにより、脱硫反応効率を低下させることなく反応容量係数 α をさらに1.3倍増大させた。

この結果、従来よりも脱硫反応速度が向上し、所期の目

標(実質処理時間11分で $[S] \leq 0.004\%$)を達成することができた。

文 献

- 1) 所 敏夫, 西田宏二, 坂井 憲, 平田武行: 材料とプロセス, 4 (1991), p.1148
- 2) 坂井 憲, 所 敏夫, 平田武行: 材料とプロセス, 6(1993), p.168
- 3) 原 義明, 小沢三千晴, 垣生泰弘, 山田純夫, 数土文夫: 鉄と鋼, 72 (1986), p.32
- 4) 佐野正道, 牧野 浩, 小沢泰久, 森 一美: 鉄と鋼, 72(1986), p.1552
- 5) T.A.Engel: Scand.J.Metallurgy, 4 (1975), p.241
- 6) 佐野正道, 森 一美: 鉄と鋼, 64 (1978), p.1714
- 7) 佐野正道, 森 一美: 鉄と鋼, 68 (1982), p.2451