

討 7

転 炉 複 合 吹 錬 法 の 開 発

住友金属工業(株) 中央技術研究所 梅田洋一 青木健郎
 松尾 亨 増田誠一
 鹿島製鉄所 植田嗣治

I 緒 言

新しい転炉製鋼法として、LD転炉と底吹転炉の特長を生かし、短所を補うことのできる底吹ガス攪拌を併用した純酸素上吹転炉法、すなわちSTB法(Sumitomo Top and Bottom Blowing Process)を開発した。このSTB法は従来からのLD転炉を大巾に改善できることと併せて、ステンレス鋼及び高Mn非磁性鋼の精錬なども可能である。さらに造滓剤の粉体上吹を併用した粉体上吹複合吹錬法(STB-P法)では、高炭素鋼吹錬における脱燐をも改善することができる。本報ではSTB法の各種精錬挙動を2.5t試験転炉における実験結果を主体に、実操業大型転炉への適用結果を併せ報告する。

II 炭素鋼のSTB法

1. 2.5t試験転炉による検討

(1) 実験方法

既報¹⁾²⁾³⁾ 同様炉底部側壁に2本の羽口を装着し、Arガス0.1~0.84Nm³/min・tを横吹き、転炉実験を行なった。

(2) 脱燐挙動

鋼浴中Pおよびスラグ中T-Feの代表的な挙動を図1に示す。STB法においては、最少限の鉄・Mn酸化で必要な脱燐効果を得ることが可能である。そこで図2に同一の炭素濃度におけるスラグの滓化率、スラグ中T-Fe及び鋼浴中燐の挙動を攪拌ガス流量と対応して示す。滓化率は攪拌ガス流量の増加と共に向上するが、スラグ中T-Feは減少している。したがって脱燐には最適攪拌ガス流量が存在し、最適攪拌ガス流量の選択により最少限の鉄酸化で最大の脱燐効果が得られる。

(3) Ar脱炭処理

Ar脱炭中の脱炭挙動を[C]-[O]の関係で図3に示す。STB法では図中に見られるように、終点での炭素含有量は0.012~0.020%とLD転炉のそれよりも低い。このことは底吹転炉と類似しており、終点における[C]-[O]と平衡すべきCOガス分圧は0.5気圧程度まで低下している。また、その後のAr脱炭処理により0.01%C以下の極低炭素鋼が容易に製造でき、溶鋼中の[C]-[O]に平衡すべきCOガス分圧に換算して0.1~0.2気圧まで脱炭が可能である。図中には転炉-DH法による実炉の脱炭挙動も併記したが、今までDHを必要とした脱炭が、STB法の採用により転炉のみで可能となった。

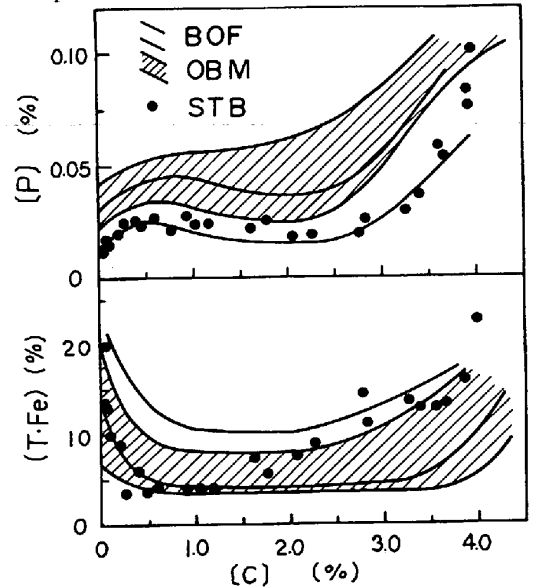


図 1. STB法における精錬挙動

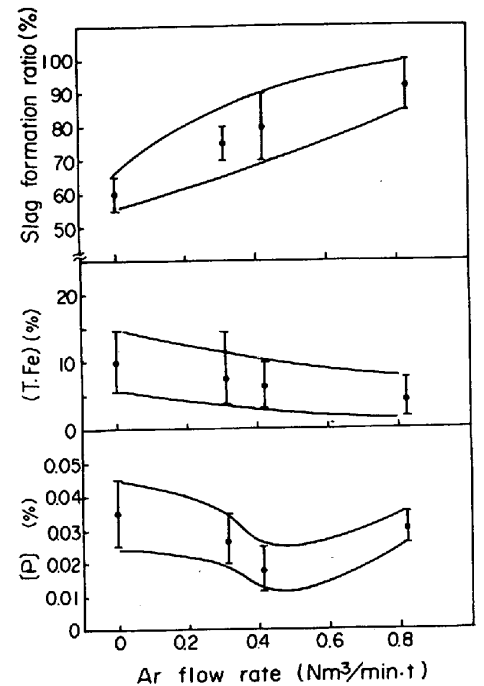


図 2. STB法における脱燐に及ぼす攪拌ガス流量の影響([C]=0.5%)

2. 実操業大型転炉への適用⁴⁾⁵⁾

試験転炉における実験に引き続き、実炉適用に対する適正な底吹ノズル条件、ガス量などを基礎実験⁶⁾（水モデル等）により明確にし、STB法を250t転炉に適用した。底吹攪拌ガスとしてはノズル詰りと溶損の検討及び溶鋼へのガスの溶解の問題よりN₂+O₂またはCO₂+O₂の混合ガスを採用した。攪拌ガスのトータルシステムを図4に示すが、CO₂ガスは転炉の排ガスの一部を酸化させ分離使用する。

STB法のLD転炉に対する特長は、実操業大型転炉でもほぼ同等で、最適攪拌ガス流量（約0.07Nm³/min・t）の選択により最少限の鉄、マンガン酸化ロスで、最大の脱燐効果が得られることを確認した。脱燐については、図5に示すごとく攪拌によりスラグ-メタル間の平衡がLD転炉よりも改善される。またSTB法の採用による便益を表1に示すが、出鋼歩留の向上、生石灰、脱酸用Al、Mn合金鉄、酸素などの各原単位の向上と極低炭素鋼溶製の可能性が得られた。

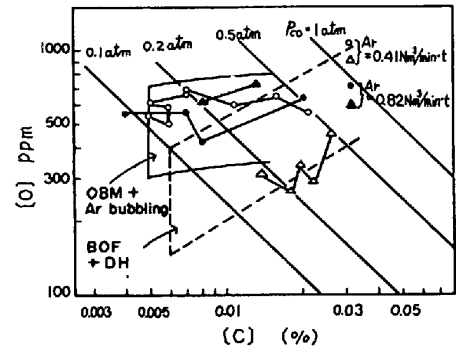


図3. Ar脱炭処理中の[C]-[O]の挙動

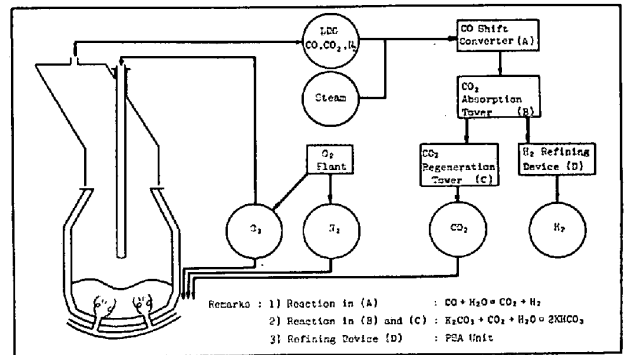


図4. 実操業における攪拌ガスのトータルシステム

表1. STB法の便益（LD法との差）

	Difference STB-BOF
Lime Equivalent	-2.8 kg/Ton
Iron Ore	-9.0
Ferro Manganese	-0.4
Aluminum	-0.09
O ₂ Gas	-0.8 Nm ³ /Ton
Tapping Yield	+0.7%

III 高合金鋼のSTB法

1. ステンレス鋼のSTB法

(1) 実験方法

既報²⁾⁸⁾同様、2.5t STB転炉において1.2~2.0% C配合の18Cr-8Ni鋼（2.4t/heat）を用いて、酸化精錬および還元精錬を行なった。

(2) 脱炭挙動とCr酸化

STB法における脱炭、Cr酸化、温度挙動をAOD法と比較して図6に示す。脱炭初期から0.4% C付近までの高炭素領域では、脱炭は酸素供給律速となっており送酸速度に比例して進行する。STB法では送酸速度がAOD法の約2.5倍であるため、0.4% Cまでの吹錬時間は半分となっている。

一方0.4% C以下の低炭素領域では、脱炭速度はC濃度に依存して低下する。今Ar気泡表面で[C]-[C]

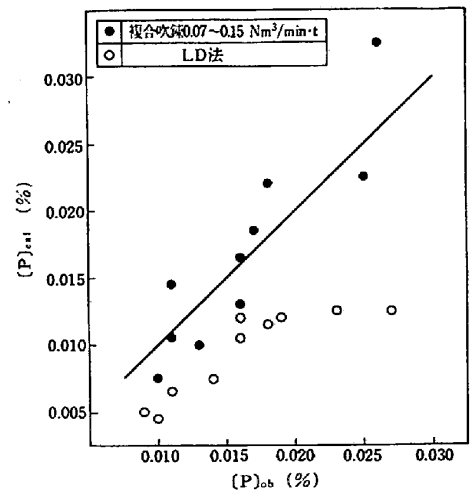


図5. 大型転炉における脱燐挙動のHelyの脱燐平衡式による整理

-[O]-Pco が平衡であると仮定すると(1)式より(2)式の脱炭速度式が導出できる。

$$-d[\%C]/dt = a([\%C] - [\%C]_e) \dots\dots(1)$$

$$\frac{d[\%C]}{dt} = a \left([\%C] - \frac{\frac{d[\%C]}{dt} \times \frac{[\%Cr] \cdot W_M}{K \cdot M_C \cdot 10^2}}{\frac{d[\%C]}{dt} \times \frac{W_M}{M_C \cdot 10^2} - N_{Ar}} \right) \dots\dots(2)$$

K : 平衡定数⁹⁾ W_M:溶鋼重量 M_C:Cの原子量
N_{Ar} : Ar 流量

(2)式にそれぞれの実験条件を代入し計算した値は、実験結果とよく一致していた。このことから、低炭素領域では脱炭反応は物質移動に律速されており、酸素をArから分離して上吹きしてもArガスの浴搅拌とCOガスの希釈効果により、ステンレス鋼の精錬が可能であることがわかった。(2)式と実験値より求めた脱炭速度係数(α)とAr流量の関係を図7に示すが、Ar搅拌の増加に伴ないαは増大傾向を示す。

また、低炭素領域におけるCr酸化は、供給された酸素の中で脱炭に消費されなかった酸素量に応じて進行する。

(3) 還元挙動

STB法の還元、仕上精錬はAOD法と全く同等で、強い鋼浴搅拌力のため、スラグ塩基度を確保することにより、スラグ中残留Cr 酸化物を0.5%以下まで容易に還元回収でき、AOD法同様[S]を0.001%以下まで低下させることもできる。

(4) 大型転炉への適用¹⁰⁾¹¹⁾

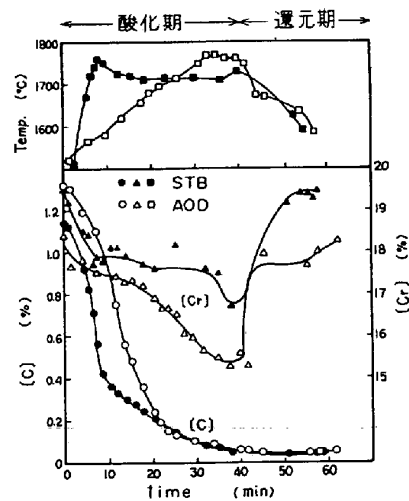
STB法によるステンレス鋼の精錬を大型転炉へ適用すべく、15t転炉、実操業転炉と段階的にスケールアップテストを実施した。いずれも18%Crのフェライト系ステンレス鋼を対象として、図8に示す工程で、脱磷溶銑を用いてSTB転炉のみで溶製した。図8に示す工程で、脱炭速度係数(α)を図7中に示すがいずれも試験転炉におけるαとAr流量の関係の延長上にあり、(2)式が大型転炉へ適用可能であることが確認できた。

2. 高Mn 非磁性鋼のSTB法³⁾

(1) 実験方法

前述同様、2.5t STB転炉において1.4~2.0%C配合の18%Mn鋼(2.4t/heat)を用いて、18%Mn鋼の成品成分に応じて0.4% Cまでの脱炭精錬および還元精錬を行なった。

(2) 実験結果



STB	O ₂ =6 Ar=1	O ₂ =1, Ar=1	Ar=1
AOD	O ₂ =2.2 Ar=0.7	O ₂ =1.5 Ar=1.5	0.7 2.2 Ar=3

(Unit ; Nm³/min)

図6. ステンレス鋼精錬におけるSTB法とAOD法の比較

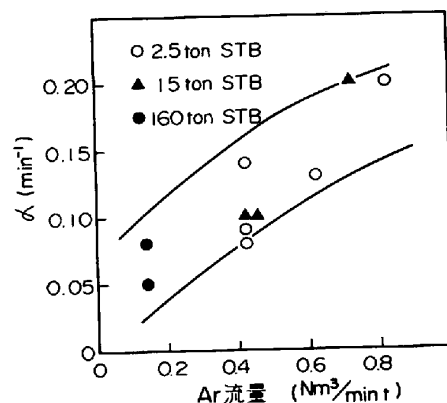


図7. STB法における脱炭速度係数(α)とAr流量の関係

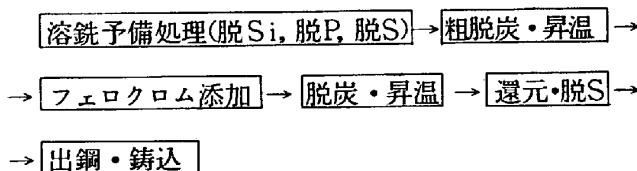


図8. 大型STB転炉によるステンレス鋼の溶製工程

脱炭, Mn 酸化および温度挙動をステンレス鋼精錬と比較して図 9 に示す。精錬挙動はステンレス鋼とほぼ同じであるが Mn は Cr よりも酸化されやすく, また蒸気圧も高い金属であるため, Mn 酸化は Cr 酸化より約 3% 増加し, 還元精錬を行なっても約 1% の Mn 低下が認められた。高 Mn 鋼においても高 Cr 鋼同様, 精錬が可能であることは確認できた。しかし高炭素 Fe-Mn 中の燐の問題より高 Mn 鋼の STB 法は, 大型化実験を行っていない。

IV 粉体上吹 STB 法 (STB-P 法)

1. 実験方法

前述同様, 2.5 t STB 炉において, Ar ガス $0.2 \sim 0.9 \text{ Nm}^3/\text{min} \cdot \text{t}$ を横吹き, 酸素と共に造滓剤を上吹添加しつつ転炉実験を行なった。

2. 脱燐挙動とスラグ中 T-Fe

脱燐は通常の塊状石灰を投入する STB 法よりも良好で, C: 0.50% 温度 1650°C で 0.020% 以下の燐を得ることができた。その時の鋼浴中 P とスラグ中 T-Fe の関係を LD 転炉, STB 法と対比して図 10 に示す。図中には添加した生石灰が 100% 滓化したと仮定して Healy の脱燐平衡式⁷⁾より算出した鋼浴中燐とスラグ中 T-Fe の関係を実線で示す。STB-P 法では生石灰が粉体状で添加されるため滓化性が向上し, STB 法よりもさらに良好な脱燐が得られ, 高炭素領域においても 10% 以下のスラグ中 T-Fe で 0.020% 以下まで脱燐が可能である。

3. 大型転炉への適用

試験転炉に引き続き, 大型転炉へ適用すべく 15 t 転炉, 160 t 転炉と段階的にスケールアップテストを行なった。その結果 STB-P 法は, 大型転炉においても試験転炉同様, 最少限のスラグ中 T-Fe で, 高炭素鋼の吹錬が可能となった。

V 結 言

新しい転炉製鋼法として STB 法を開発し, 実操業大型転炉に適用した結果, 大きな便益を上げることができた。さらに, STB 法の発展型として, 転炉による高合金鋼の精錬および, 粉体上吹を併用した高炭素鋼吹錬を実現させた。STB 法の今後の発展性はさらに大きいものと考えられる。

(文 献)

- 1) 多賀, 増田: 鉄と鋼, 65(1979) S675
- 2) 池田, 多賀, 青木, 増田: 鉄と鋼, 65(1979) A141
- 3) 青木, 松尾, 増田, 多賀: 鉄と鋼, 67(1981) S7
- 4) 平原, 丸川, 山崎, 姉崎, 戸崎, 平田: 鉄と鋼, 65(1979) S677
- 5) 平原, 多賀, 戸崎, 平田: 鉄と鋼, 67(1981) S271
- 6) 平原, 吉田, 丸川, 山崎, 姉崎, 広木: 鉄と鋼, 65(1979) S676
- 7) G.W. Healy: JISI, 208(1970) 664
- 8) 池田, 多賀, 増田: 鉄と鋼, 65(1979) S194
- 9) A. Simkorich, C.W. McCoy: Trans. AIME, 221(1961) 416
- 10) 多賀, 姉崎, 中島, 増田: 鉄と鋼, 67(1981) S272
- 11) 梨和, 杉田, 岡崎, 山口, 家田, 石川: 鉄と鋼, 67(1981) S915

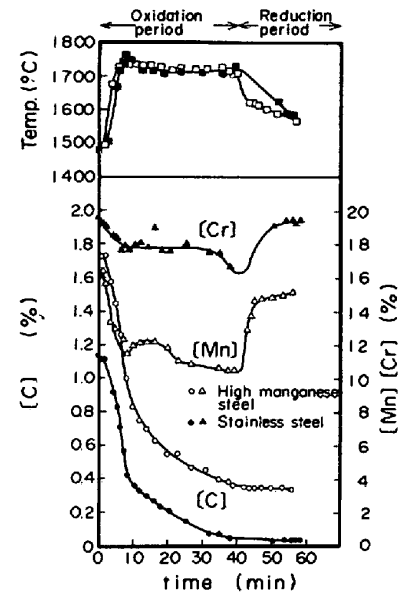


図 9. STB 法による高 Mn 非磁性鋼の精錬挙動 (高 Cr 鋼との比較)

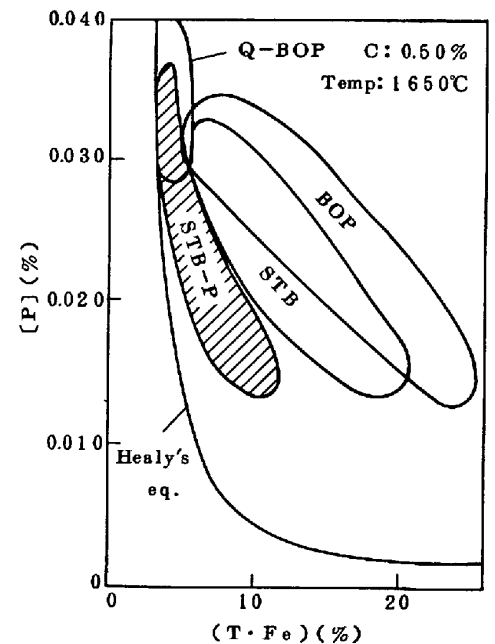


図 10. STB-P 法における鋼浴中 P とスラグ中 T-Fe の関係