

討 8 レススラグ吹錬における精錬特性

日本鋼管(株) 福山製鉄所 ○山瀬 治 滝 千尋 池田正文

福味純一 内田繁孝

中央研究所 福山研究所 山田健三

1. 緒言

当所、溶銑脱りん設備(NRP:New Refining Process)は、昭和60年7月に稼働以来、順調な操業を行っている¹⁾。本プロセスは、脱りん溶銑を用いて転炉でレススラグ吹錬を実施するとともに、炉内でMn鉱石の直接還元を行うことにより、転炉媒溶剤及びMn系合金鉄の削減を行うことを目的としている。このため、溶銑脱りん設備においては処理後りんの低位安定化、転炉においては(T.Fe)の低減を目的とした上底吹パターンの適正化及び吹錬後期における還元剤の使用等を実施しMn歩留の向上を図るとともに、終点Mnの推定技術を確立し無倒炉出鋼比率の向上を行ってきたので以下にその概要を報告する。

2. レススラグ吹錬プロセスの概要

当所に於けるレススラグ吹錬プロセス概要をFig.1に示す。本プロセスは、第2高炉鑄床脱硅設備(TIM:Top Injection Method)、溶銑脱りん設備(NRP)及び上底吹転炉(NK-CB:Combined Blowing)よりなる。転炉においては、Table.1に示す操業条件で積極的にMn鉱石の炉内還元を実施し、月間約12万Tonの処理を行っている。

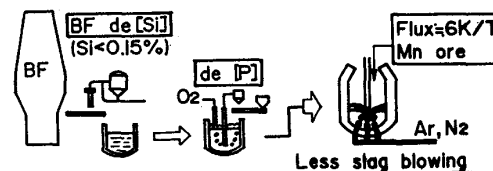


Fig.1 Schematic process flow of less slag blowing

3. Mn歩留向上技術

レススラグ吹錬に於いて、高Mn歩留を得るためには、スラグ量及びMn分配比の低減が課題となる。このため

1. 媒溶剤添加量の最適化
2. (T.Fe)の低減
3. Mn鉱石添加量の最適化

を実施しているので、これらのMn歩留向上技術について以下に示す。

3-1 媒溶剤添加量の最適化

レススラグ吹錬に於ける(T.Fe)及び媒溶剤添加量とスラグ量の関係をFig.2に示す。図から明らかなどうりスラグ量低減には、(T.Fe)及び媒溶剤の低減が必須であり、このためには処理後の溶銑りんをできるだけ低位に安定させて転炉に於ける脱りん負荷を軽減する必要がある。

Table 1 Operating conditions in less slag blowing

Capacity		250T x 1/2
Top and Bottom blowing type		NK - CB
Gas conditions	Lance height	1.6~2.5 m
	Oxygen flow rate	1.6~3.2 Nm ³ /min·TON
	Bottom blowing rate	0.04~0.17Nm ³ /min·TON
Fluxes	Burnt lime	~ 6 kg/T
	Burnt dolomite	1 ~ 3 kg/T
	Floor spar	0.8 kg/T
	Mn ore	15 ~20 kg/T
	Coke or graphite	3 ~ 4 kg/T

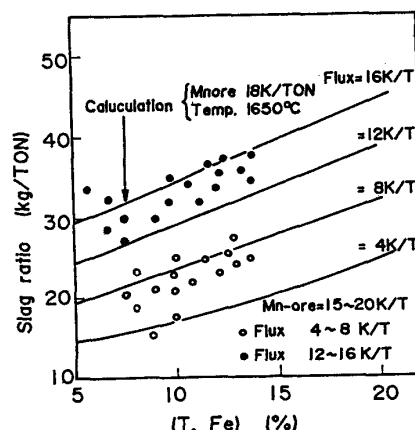


Fig.2 Influence of (T.Fe) and Flux consumption on slag ratio

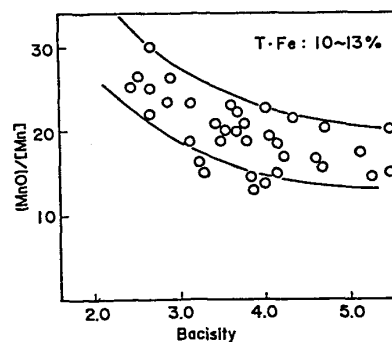


Fig.3 Relationship between Basicity and (MnO)/[Mn]

一方、スラグ塩基度とMn分配比はFig.3に示す様な関係にあり、Mn分配比低減のためにはスラグ塩基度:3以上を確保しなければならない。そこで当所では、Mn鉱石及び炭材中の脈石等に対し塩基度:3となる様に媒溶剤の添加を行っている。従ってこのスラグの有する脱りん能に応じた転炉装入りんとするため、前ヒート炉内残留スラグ、溶銑滓等からの装入りんを考慮し、脱りん処理後溶銑りんをFig.4に示す様に、0.012%まで低下させている。

3-2 (T.Fe)の低減

Fig.5に(T.Fe)とMn歩留の関係を示す。(T.Fe)の低減はMn分配比の低減のみならず、前述のスラグ量の低減にも寄与するのでMn歩留向上のためには必須の技術となる。(T.Fe)は、酸素供給速度とカーボン供給速度により決定される。²⁾³⁾このため脱炭酸素効率の低下する吹錬末期には、底吹ガス攪拌力をアップし、酸素供給速度は低下させる必要があり、当初、Fig.6(a)パターンを採用していたが、少量のガスを底吹する場合は上吹ランスによる攪拌効果も無視できない。そこで、Fig.6(b)パターンに変更を行った。(b)パターンの特徴は、

- (1) 遷移[C]近傍までの上吹送酸量増による攪拌力増加
- (2) 遷移[C]近傍からの脱炭酸素効率の低下に同調した上吹送酸量の低減

である。上記(b)パターンを実施するにあたり、パターン変更点である鋼浴[C]の推定精度は非常に重要であり、計算機によるスタティックコントロールを行って鋼浴[C]の推定精度アップを図っている。以下にその計算ロジックを示す。

$$O_c = T_o - O_{Si, Mn, P} + O_{MnOre} + O_{Scale} - O_{Coke} \quad <1>$$

$$[C]e \geq [C]t: O_c = (W_c - W_{st} \times [C]e / 100) / B_o \quad <2>$$

$$[C]e < [C]t: O_c = \{ (W_c - W_{st} \times [C]t / 100 + W_{st} \times ([C]t - [C]e) / 100 \times \ln([C]t - [C]l) / ([C]e - [C]l) \} / B_o \quad <3>$$

O_c : 脱炭酸素消費量(Nm³) $[C]e$: 目標[C](%)

$O_{Si, Mn, P}$: 脱Si, Mn, P酸素消費量(Nm³) $[C]t$: 遷移[C](%)

W_c : 初期カーボン量(Kg) $[C]l$: 限界[C](%)

W_{st} : 溶鋼重量(Kg) W_c : 初期カーボン量(Kg)

B_o : 最高脱炭速度(Kg/Nm³) T_o : 送酸量(Nm³)

<1>式、<2>式及び<3>式を適用して鋼浴[C]推定を行っており、最高脱炭速度 B_o をフィードバックさせて、精度アップを図っている。Fig.7に、その一例として鋼浴[C]=0.5%を本計算モデルで推定した結果を示

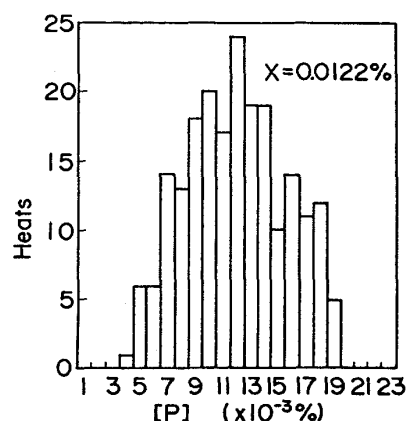


Fig.4 Distribution of [P] after NRP treatment

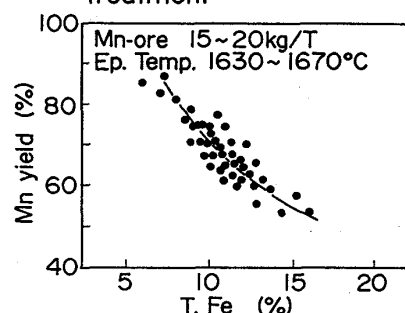


Fig.5 Relationship between (T.Fe) and Mn yield

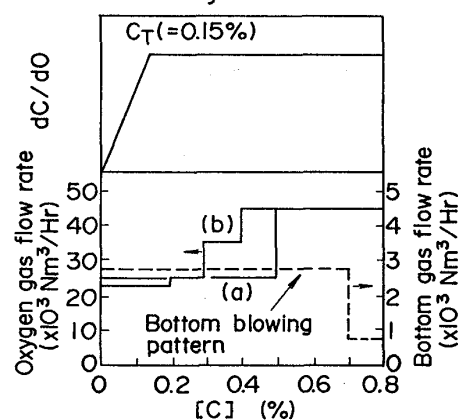


Fig.6 An example of blowing pattern
(a) conventional
(b) controlled

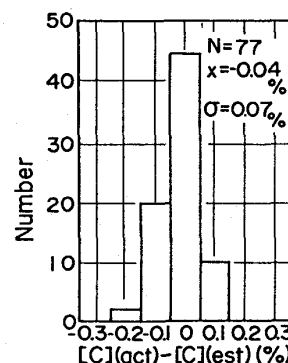


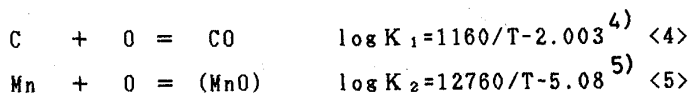
Fig.7 Result of [C] estimate

す。 $[C] \pm 0.10\%$ の範囲内での $[C]$ 推定が可能であり、この推定値をもとに吹錬パターンの自動変更を行っている。また、Fig.8に上底吹(b)パターンを採用した場合の吹錬末期脱炭酸素効率を示す。従来パターン(a)に比べて上底吹条件の適正化により末期脱炭酸素効率が向上している。

また、上記の末期底吹条件の適正化により鋼浴の酸化を抑える一方、吹錬後期にスラグ還元としてコークスを約2Kg/ton添加することで、(T.Fe)の低減を図っている。以上の様な(T.Fe)低減対策を実施した結果、吹止 $[C]$ に対する(T.Fe)の関係はFig.8に示す様に低位に安定し、従来低 $[C]$ 域に於て、12~20%であったのに対し、更に低レベルとなっている。

3-3 Mn鉱石添加量の適正化

はじめに、炉内の $[Mn]$ 、 $[C]$ の酸化反応について検討する。 $[Mn]$ 、 $[C]$ の酸化反応は、次式で示すことができる。



上記の酸化反応の標準生成自由エネルギー線図をFig.9に示す。各々の標準生成自由エネルギーは、NK-CBに於けるレススラグ吹錬条件下では、同程度である。 $P_{CO}=0.8\text{atm}$ 、温度 1650°C 、スラグ中 (MnO) 活量 $a_{MnO} = 0.2$ のもとで、鋼中 $[C]=0.10\%$ の時、鋼中 $[Mn]>1.0\%$ では、 $[C]$ よりも $[Mn]$ が優先的に酸化することを示している。Fig.11は、レススラグ吹錬に於ける終点 $[C]$ と終点到達 $[Mn]$ の関係を示す。(T.Fe)低減をはじめとするMn歩留向上技術により高い終点 $[Mn]$ が得られ、高 $[C]$ 領域に於ては、終点 $[Mn]=1.3\%$ が得られている。図中実線は、 $P_{CO}=0.8\text{atm}$ 、温度 1650°C 、 $a_{MnO} = 0.2$ に於て上記の平衡反応が成立する時の $[C]$ 、 $[Mn]$ の関係を示したものであるが、現状ではこれ以上の終点 $[Mn]$ は得られていない。このため、現在は終点 $[C]$ 、鋼種 $[Mn]$ グレードに応じてMn鉱石添加量を決定しMn歩留の向上を図っている。

以上の様なMn歩留向上技術を適用し、かつレススラグ吹錬における熱余裕の低下を取鋼精錬加熱装置(NK-AP:Arc-Process)を利用した低温出鋼により補償することで、低 $[C]$ (規格 $[C]=0.05\sim 0.10\%$)を中心とする対象鋼種にもかかわらず、終点 $[Mn]=0.70\%$ 、Mn歩留65~75%と高いレベルを確保している。

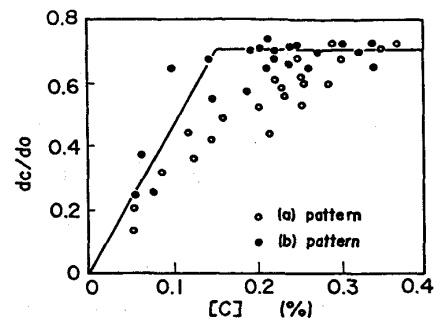


Fig.8 Relation between $[C]$ and dc/do

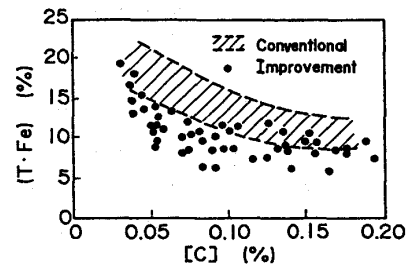


Fig.9 Relation between $[C]$ and (T.Fe)

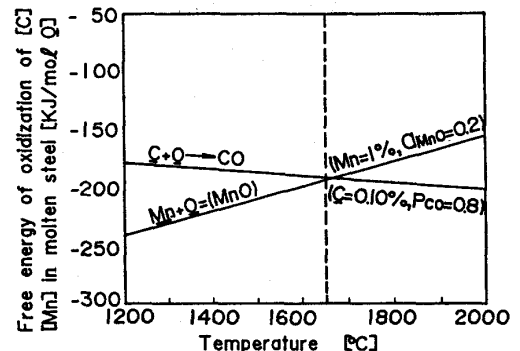


Fig.10 Free energy of $[C]$, $[Mn]$ oxidation in molten steel.

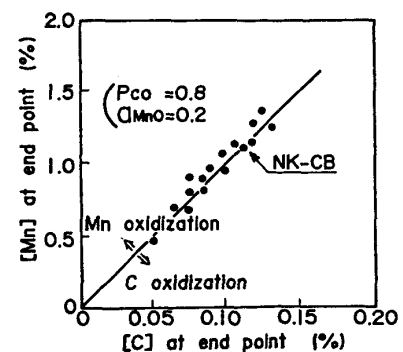


Fig.11 Level of $[Mn]$ at end point under the BOF conditions

4. 終点[Mn]推定技術

Mn鉱石を還元するレススラグ吹錬に於て、終点[Mn]の推定精度が不十分なため、連続鑄造への直送材については、倒炉サンプリングを行ない吹止成分を確認し出鋼していた。この結果レススラグ吹錬での無倒炉出鋼比率は、約60%程度にとどまり、終点目標温度の上昇昇熱剤の増加、炉体の溶損増加等の問題をかかえていた。そこで、レススラグ吹錬で終点[Mn]推定精度向上を図るため、酸素プローブを用い吹止時の鋼浴中酸素活量を測定し、終点[Mn]を推定する方法を検討した。以下にその推定式を示す。

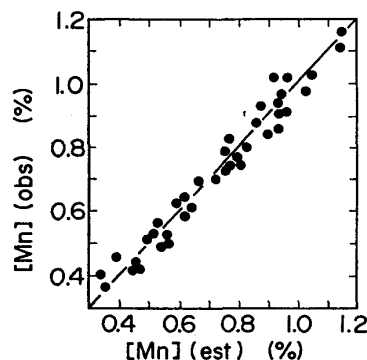


Fig.12 Result of [Mn] estimate

$$\text{Mn分配比} : \log(\text{MnO})/[\text{Mn}] = 2460.03/T + \log a_o - 3.816 a_o - 3.44 \quad \langle 6 \rangle$$

$$\text{スラグ量} : W_{\text{slag}} = W_{\text{CaO}} + W_{\text{SiO}_2} + W_{\text{MgO}} + W_{\text{FeO}} + W_{\text{MnO}} + W_{\text{others}} \quad \langle 7 \rangle$$

$$\text{Mnバランス} : \text{Input}[\text{Mn}] = W_{\text{st}} \times [\text{Mn}] + W_{\text{slag}} \times (\text{MnO}) \times \frac{55}{71} \quad \langle 8 \rangle$$

* $W_i = i$ 重量 $a_o =$ 酸素活量

推定式は、酸素活量、温度からのMn分配比の推定式、スラグ量の推定式、及びMnバランス式より成り、 $\langle 6 \rangle \langle 7 \rangle \langle 8 \rangle$ 式の連立方程式を解くことで終点[Mn]を推定する。Fig12に、終点[Mn]の実績値と推定値の関係を示す。図に示す様に広範囲の終点[Mn]に対して $\pm 0.10\%$ の範囲で推定可能となりこの結果、現在レススラグ吹錬の無倒出鋼比率は90%以上となった。

5. 結 言

レススラグ吹錬に於ける炉内でのMn鉱石直接還元時の精錬特性について検討した。高Mn歩留を確保する前提としてスラグ量及びMn分配比の低減が必要であり、このため溶銑段階で徹底して脱りんを行ない転炉における脱りん負荷を軽減することが必須である。転炉においては、塩基度調整用の少量の媒溶剤を添加し上底吹比を適正にコントロールとともに、吹錬後期炉内還元剤をを添加することで(T,Fe)の低減を図ることが有効である。また、鋼浴[Mn]の優先的な酸化損失を抑制することで高Mn歩留をえるため終点[C]に応じて適正なMn鉱石添加量を決定する必要がある。以上述べた対策により終点[Mn]0.70%, Mn歩留65~75%のレベルを確保できた。更にレススラグ吹錬時の終点[Mn]の推定精度を向上させて現在90%以上の無倒炉出鋼比率を確保している。

<参考文献>

- 1) 山瀬ら:鉄と鋼, 72 (1986) 4, S215
- 2) 大河平ら:鉄と鋼, 68 (1982) 14, p.1946
- 3) 大河平ら:鉄と鋼, 69 (1983) 14, p.228
- 4) 「製鋼反応の推奨平衡値」日本学術振興会製鋼第19委員会編
- 5) 「製鋼反応の推奨平衡値」日本学術振興会製鋼第19委員会編