

討 3 2回吹錬法による低P鋼の製造

川崎製鉄千葉 飯田義治, 今井卓雄, ○数土文夫
川崎製鉄技研 鈴木健一郎, 江島彬夫

1. 緒 言

鋼中の不純物とくにS、Pの除去は製鋼技術上の重要な課題である。最近の炉外脱S技術の進歩により、 $S \leq 0.005\%$ の鋼材の製造が可能となった。Pについては炉外脱P法、ダブルスラグ法、合成造滓剤法などの試みがあるが難点が多く、とくに高Mnキルド鋼では出鋼後の復Pがあり $P \leq 0.010\%$ を常に実現することは困難である。これは同鋼種をはじめとする高級鋼では、鋼中の氧化物系非金属介在物の低減の要請にしたがい何らかの炉外溶鋼清浄化処理を行なうべく出鋼温度を高くする必要があり、Pの分配比、 $L_p = (\%P) / [\%P]$ が低下するとともに、復Pの機会が増大するためである。

このような現状をふまえて、著者らは独自の2回吹錬法を検討し、高Mnキルド鋼においてもほぼ満足すべき結果を得たので、通常吹錬の場合と比較しつつ本法の特長を述べる。

2. 2回吹錬法による脱P法の概要

転炉吹錬中期以降の脱P反応は平衡に近い状態を保ちつつ進行するとされている²⁾。この前提に立てば吹錬前の溶銑中のP濃度を低下させるのが低P鋼溶製の第一の条件となる。

著者らは、予備吹錬→出湯排滓→再装入→本吹錬→出鋼のプロセスで同一の溶銑について吹錬を2回実施する方法、すなわち予備吹錬で約0.03%Pの低P溶湯を得、出湯時に本吹錬用熱源としてのC、Si、Mn濃度を調整し、転炉に再装入後通常と同等の吹錬を行なう方法につき検討した。予備吹錬終了時点は転炉吹錬中のC、P、および温度の変化(図1、85ton転炉連続サンプリング結果)より、通常吹錬の約40%相当位置が以下の理由から適当であると考えられる。

- 1)この時点(O_2 吹込量 $\sim 20Nm^3$ /溶銑ton)で脱P率が極大値、約75%となる。
- 2)この時点でCは約3%残っており、本吹錬の熱源として十分利用できる。
- 3)浴温度が $1400-1450^\circ C$ 、一方溶湯の凝固温度が約 $1300^\circ C$ ゆえ、出湯-再装入に必要な熱が十分確保されている。
- 4)吹錬時間が通常の40%で、出湯温度が $1450^\circ C$ 以下と低いため、生産能率の低下、炉内耐火物の溶損が少ない。
- 5)この時点はスラグ中の($\%FeO$)および粒鉄量が極小となる³⁾ため、予備吹錬の鉄源歩止が高い。
- 6)急速なSi、Mnの酸化をへて低融点のスラグが形成された直後のため、排滓が容易であり、炉壁へのスラグ付着量も少ない。
- 7)予備吹錬によるコスト増が少ない。

図2に本法の工程の概要を示す。なお、予備吹錬後の溶湯を装入する際には出湯時に取鍋に流入したスラグを極力除去し、転炉へのPのインプット量を低減す

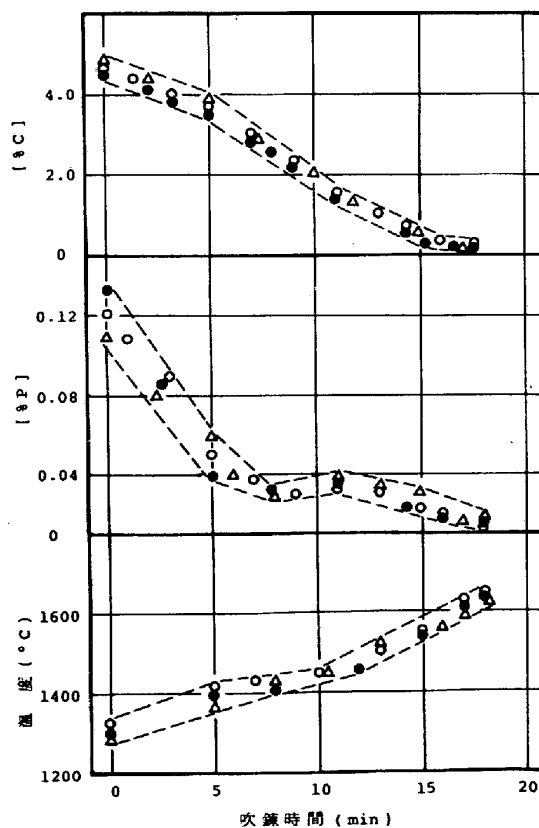


図1 転炉吹錬中のC、Pと温度の変化

るよう努めた。

3. 2回吹錬法による低P鋼溶製試験の結果

溶製試験は千葉工場の85ton転炉で、高Mnキルド鋼を対象として8ヒート実施した。なお予備吹錬は全溶銑で約0.05ton/溶銑tonのライムのほかスケール、鉄鉍石をいずれも吹錬開始前に挿入した（本吹錬の吹錬条件は通常吹錬と同等）。

本法による脱P状況と温度変化を図3に、脱ガス工程をへて製造した鋼材の分析値を表1に示す。

予備吹錬における脱P率は約75%で、連続サンプリングの場合と同程度であり、当初懸念された予備吹錬後の出湯時のMn(4kg/ton), Si(5kg/t)添加による復Pはなく、むしろ約15%の脱Pが起っている。

本吹錬では、装入時の0.018% Pが吹止時点で0.004%まで低下し、約75%の脱P率となっている。

なお、出鋼後の復Pは0.002%以下であり、これは表2示すように出鋼時の合金鉄添加によるもので、取鍋へ流入した転炉滓からの復P量は少ないと考えられる。

表1から、本法により、 $P \leq 0.007\%$ の高Mnキルド鋼が容易にかつ定常的に製造しうることがわかる。

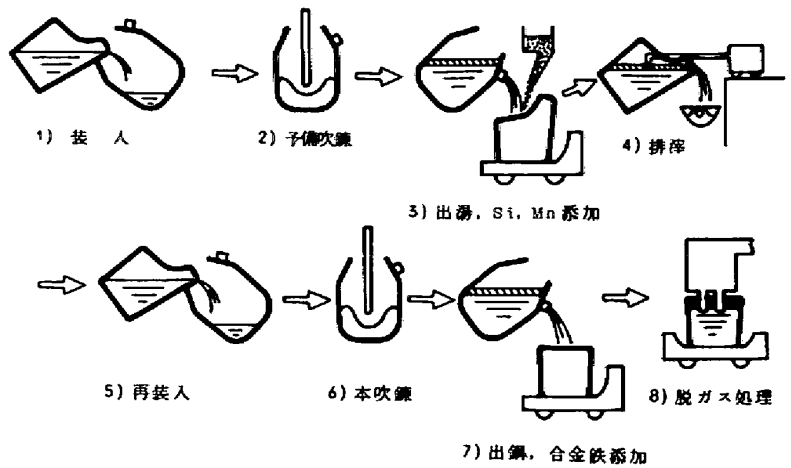


図2 2回吹錬法による低P鋼の製造工程

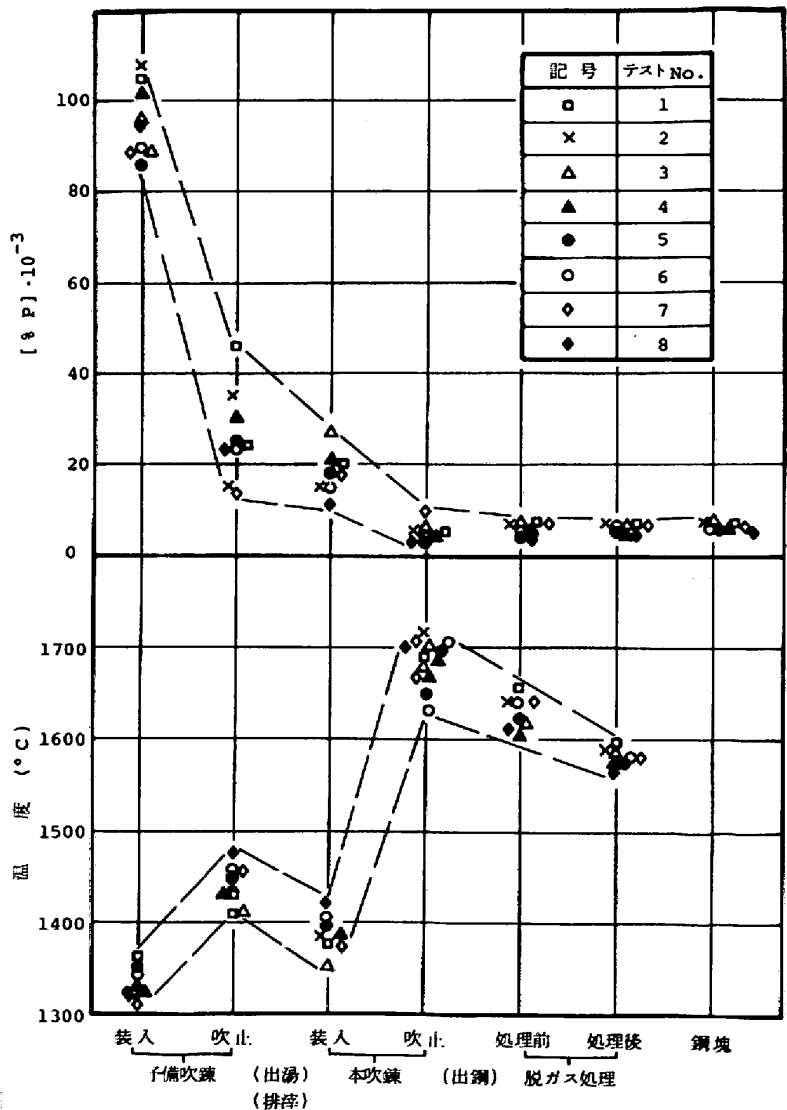


図3 2回吹錬法におけるP濃度と温度の推移

表1 2回吹錬法による低P鋼溶製試験結果

| テスト No. | 鋼塊の化学分析値(%) | | | | | |
|------------|-------------|------|------|-------|-------|-------|
| | C | Si | Mn | P | S | Al |
| 1 | 0.10 | 0.25 | 1.42 | 0.006 | 0.003 | 0.043 |
| 2 | 0.13 | 0.26 | 1.31 | 0.007 | 0.005 | 0.052 |
| 3 | 0.11 | 0.20 | 1.02 | 0.007 | 0.008 | 0.063 |
| 4 | 0.10 | 0.19 | 1.20 | 0.006 | 0.005 | 0.026 |
| 5 | 0.16 | 0.44 | 1.33 | 0.006 | 0.005 | 0.028 |
| 6 | 0.10 | 0.24 | 1.51 | 0.006 | 0.005 | 0.032 |
| 7 | 0.10 | 0.25 | 1.08 | 0.006 | 0.004 | 0.047 |
| 8 | 0.19 | 0.24 | 1.08 | 0.005 | 0.012 | 0.004 |

その他以下の事項が実験により明らかになった。

- 1)当初懸念された出湯後の温度降下は約50°Cであり、出湯温度1400~1450°Cを維持すれば作業上の支障はない。
- 2)予備吹錬時の転炉内張りレンガの溶損は無視しうることが確認された。
- 3)本法の所要時間は85min(予備吹錬; 20min, 出湯-再装入; 30min, 本吹錬; 35min)である。
- 4)予備吹錬の製出鋼歩止りは平均97.5%と良好である。
- 5)本法における脱P費用は粗鋼製造原価の約8%で、溶銑の炉外脱P費用、同10%より少ない。

4. 考察

本法の特長は転炉吹錬初期の急速な脱P後出湯し、ほぼ完全に排滓して本吹錬におけるPのインプット量を著しく低下させることにある。

石黒ら²⁾は1600°C近傍の脱P平衡の記述にはTurkdagan & Pearsonの式⁴⁾が最適であることを示しているが、適用しうる組成、温度の範囲などで問題の少ないHealyの式⁵⁾(1式)を以下の考察では使用する。なお、転炉吹錬初期のような低温度域の脱P平衡を表わしうる式については現在実験的に検討中である。

$$\log(\%P)/[\%P] = \log L_p = 22,350/T(^{\circ}K) - 16.0 + 2.5 \log(\%Fe)t + 0.08(\%CaO) \quad (1)$$

図4に(P), [P]の分析値より算出したL_{p, obs}とスラグ分析値を用いて(1)式より求めたL_{p, calc}との差, Δlog L_pの吹錬中の変化を示す。これによれば転炉炉内ではlog L_{p, obs}は1.2~1.8の間では一定を保つが, log L_{p, calc}, Δlog L_pとも吹錬にしたがい減少することがわかる。本法の予備吹錬におけるPの分配は通常吹錬に比べて平衡に近いと考えられる(図4)。なお、転炉吹止時においても, Δlog L_p > 0とL_{p, calc}がL_{p, obs}より大きいため, L_{p, calc}は絶対値の信頼性は少ないが, ヒート6~8では出湯-再装入間(Δlog L_p ≈ 1)で脱Pが起り, 出鋼後のΔlog L_pは0に近ずきときにはマイナスとなるから, 相対値としては用いよう。一般に脱P反応は拡散項に依存するとされており⁶⁾前述の高C域での出湯時の脱Pは溶湯と脱P力を残したスラグの混合状態の改善によるものと考えられる(加藤ら⁷⁾も類似の現象を指摘している)。

CaOバランスによりスラグの生成量を算出し, 図5に示す。本法の予備吹錬終了時は吹錬中期のスラグ生成反応の停滞期の開始点に相当する。吹止時のスラグ重量は本法と通常吹錬間で差がないが, スラグ中のP₂O₅重量は予備吹錬終了-本吹錬開始間で著しく減少し, この間の排滓率は80~90%と見積られる。ここで炉内残留スラグは肉眼では認められないので, 10~20%の残留分は炉壁に付着したものと推察される。ダブルスラグ法では30~50%の目視排滓率であることを考慮すれば, これは本法の特長とし

表2. 出鋼時の添加合金とこれによるP濃度の増加

| 合金鉄 | 添加量(Kg/t) | 合金鉄のP含量(%) | ΔP(%) |
|-------|-----------|------------|-------|
| Fe-Mn | 15.0 | 0.08 | 0.001 |
| Fe-Si | 4.0 | 0.02 | tr. |
| Si-Mn | 1.0 | 0.1 | 0.001 |
| 合計 | — | — | 0.002 |

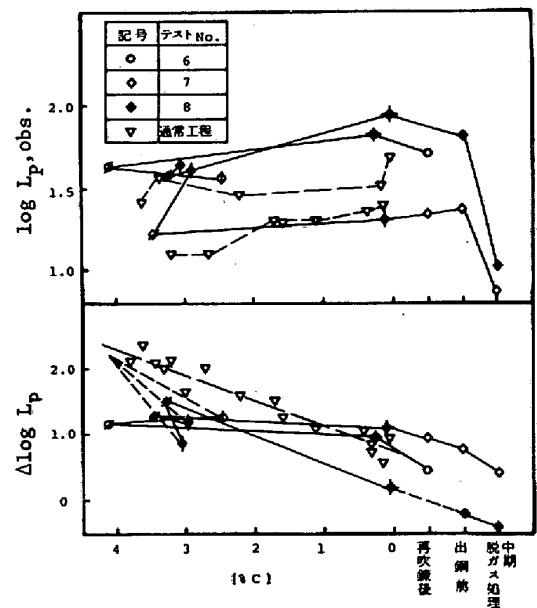


図4. 2回吹錬におけるPの分配比と分配平衡からの偏移(記号へ付した1, /, +印はそれぞれ予備吹錬吹止, 再装入前, 本吹錬吹止を示す。以下同じ)

て注目すべき点であろう。

本法の予備吹錬後のスラグの組成は $3CaO \cdot SiO_2$ 飽和面上にあり(図6), 通常吹錬に比べると($\%CaF_2$)はかなり高く, 約5%の FeO , 8%の MnO の存在を考慮すればその融点は約1450℃と見積られる。さらに転炉吹錬ではスラグ層の温度がメタル層より20~100℃高い²⁾ことを考慮すると, 予備吹錬終了時のスラグが CaO に富む(本法; 50~55%, 通常吹錬の対応時期35~45%)にもかかわらず溶融しており, 排滓も容易である事実が理解できよう。

滓化の尺度としてつぎのように定義した未滓化率を考え, 未滓化率 = (未反応 CaO %) / (全 CaO , %) 本法と通常吹錬の滓化状況を比較して図7に示す。同図より2回吹錬法の未滓化率は吹錬を通して通常吹錬の $1/2$ 程度で推移し, 本法では多量の CaF_2 の存在により滓化反応が著しく促進されていることがわかる。

なおヒート7では予備吹錬終了一再装入間で Lp, obs が低下しているのは一時的にスラグ組成が $3CaO \cdot SiO_2$ 域から $2CaO \cdot SiO_2$ 飽和面へ移行したためと推察され, 本法の予備吹錬ではスラグ組成を $3CaO \cdot SiO_2$ 飽和面に調整することが必要であろう。

5. 結 言

転炉内で予備吹錬を行ない出場, 排滓後通常と同じ吹錬を行なう2回吹錬法の実施条件につき検討し, その結果に基づき85 ton 転炉により実験ヒートを吹錬した。その結果を以下に要約する。

- 1) 予備吹錬は通常吹錬の40%送酸時点で終了するのが適切である。
- 2) 1) の条件で高Mnキルド鋼8ヒートを吹錬し, 全ヒートにつき鋼塊($\%P$)=0.005~0.008%の製品を得た。
- 3) 本法の費用は通常吹錬の8%増にとどまり溶銑脱Pよりもコスト増加は少ない。また全所要時間は85 minである。
- 4) 本法の特長をPの分配, スラグの組成, 排滓率などの観点から明らかにした。

参考文献, 1)日本鉄鋼協会; 鉄と鋼, 61('75), 558. 2)石黒ら; 鉄と鋼, 57('71), S 267. 3)著者ら; 未発表. 4)E.T.Turkdogan; JISI., 155('53), 393. 5)G.W.Healy; JISI., 172(1970), 664. 6)川合ら; 鉄と鋼, 58('72), 932. 7)加藤ら; 鉄と鋼, 49('63), 21, 399.

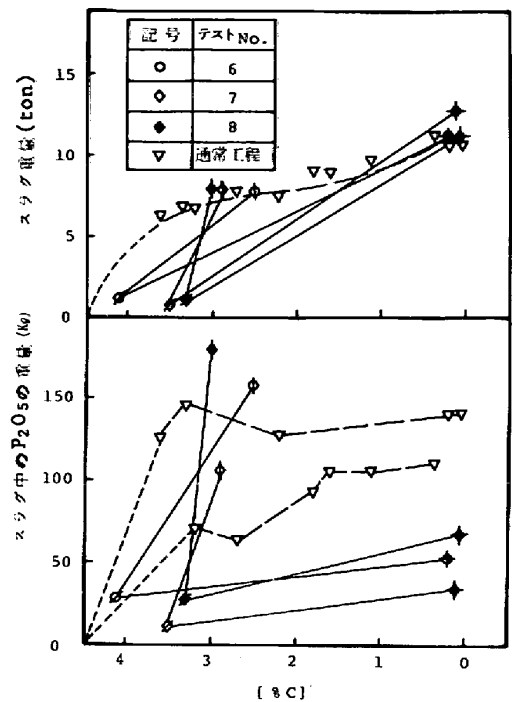


図5. 2回吹錬法におけるスラグ重量とスラグ中の P_2O_5 の重量の推移

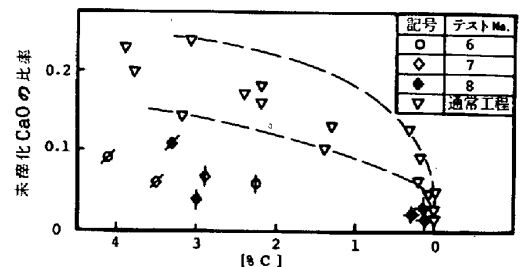


図7. 転炉吹錬中の未滓化 CaO の推移

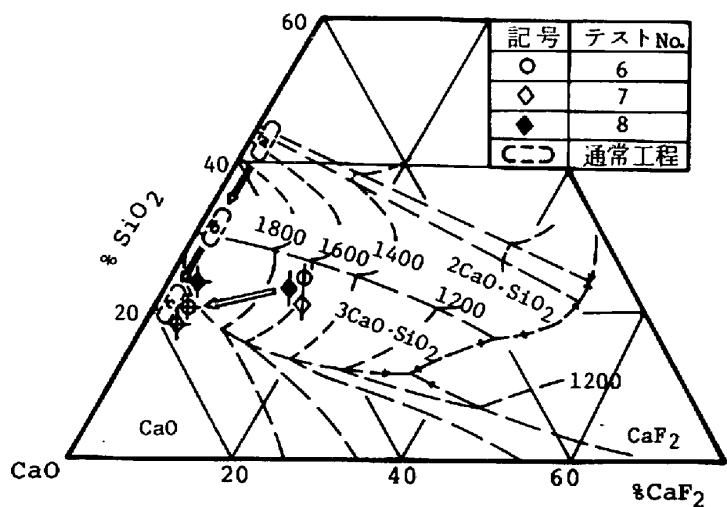


図6. 転炉吹錬中のスラグ組成の変化 (a, b, cは通常工程の吹錬初期, 中期, 末期を示す)