

討 5

溶銑の転炉外脱磷処理について

新日鐵 生産技術研究所

○片山裕之, 稻富 実

梶岡博幸, 山本里見

八幡製鐵所

田中英夫

I 結 言

一般に溶銑の脱磷は、脱炭と並行して転炉で行うものと考えられてきた。しかし、今後、製銑原料面から溶銑のP%は上昇傾向をたどるのに対し、鋼材材質の面から低磷化が要求される鋼種はますます増加すると予想されることから、転炉の脱磷負荷が大きくなると思われる。現行転炉法でも2スラグ法などにより、これらの要求に対応してゆくことは必ずしも不可能というわけではないが、その場合には転炉生産性と鉄分歩留の低下を伴ない、コストに大きな影響を及ぼす。そこで、転炉の生産性および鉄分歩留を損うことなく吹止P%を低下させ、かつ復磷を抑制して低磷鋼を製造するための一方法として、溶銑を転炉外で脱磷処理して低磷化することを考え、1tおよび30t規模の試験を行った。なお、転炉外で脱磷処理する時に脱炭が並行しておくと、排ガス処理のために大がかりな設備が必要となるので、本試験では特に脱炭反応を抑制しながら脱磷反応を進行させる条件を見出すことに重点をおいた。また、脱磷処理した溶銑は実際に転炉で使用試験し、Pの挙動を調査した。これらの結果にもとづいて、脱炭は転炉で行うという条件下での効果的な低磷鋼溶製方法について検討した。

II 1t規模溶銑脱磷試験

1. 試験方法： 底部にポーラスプラグを埋め込んだ取鍋に、電気炉で成分調整した溶銑1tを装入し、ポーラスプラグを通してN<sub>2</sub>ガスを吹き込んで攪拌しながら酸素を上吹き、かつ副材料を投入して造滓し、途中サンプリングにより溶銑、スラグ成分の挙動を調べた。主要な試験条件は表1に示す通りである。

2. 試験結果： (1) 図1は溶銑成分の挙動の1例を示す。30分吹酸後ではSiは0.05%以下(脱Si率90%)、Mnは0.25%以下(脱Mn率約70%)、Pは0.01~0.03%(脱磷率60~90%)になる。この間の脱炭量は小さく、 $-\Delta[C\%]=0.2\sim0.6\%$ である。吹酸途中の脱磷量と脱炭量の関係を図2に示す。同一脱磷量に対応する脱炭量はノズル形状に依存しており、7mmφ単孔、10mmφ単孔、4mmφ3孔の順に脱炭量は小さくな

表1. 1t規模試験条件

成 分	C: 4.1~4.4%, Si: 0.04~0.95%, P: 0.082~0.176%
溶 銑 温 度	1320 ~ 1460 ℃
ノズル形状	10mmφ単孔, 7mmφ単孔, 4mmφ3孔
副材料	原 料 生石灰, 螢石, スケール, 川砂(各々2mmφ以下)
	使用量 30 ~ 100 kg/T-溶銑
添加方法	① 1/3は処理鍋に受銑する時に、残りは吹酸開始後10間に分割投入。
	② 10mmφ単孔ランス使用ヒートの一部; ランスから酸素ガスとともに吹き込む。
吹 酸	640 ~ 1000 ℓ/min; 30分

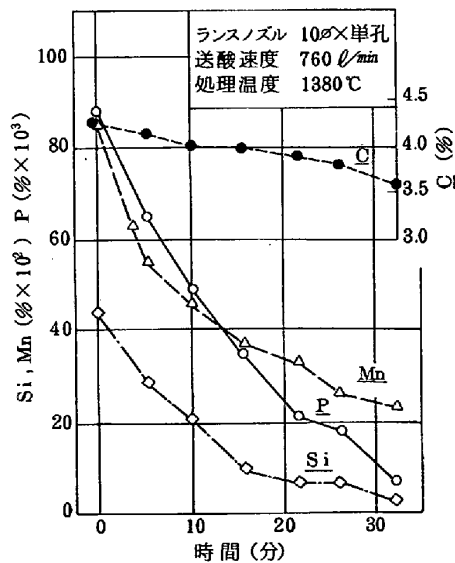


図1. 吹酸中の成分推移の1例

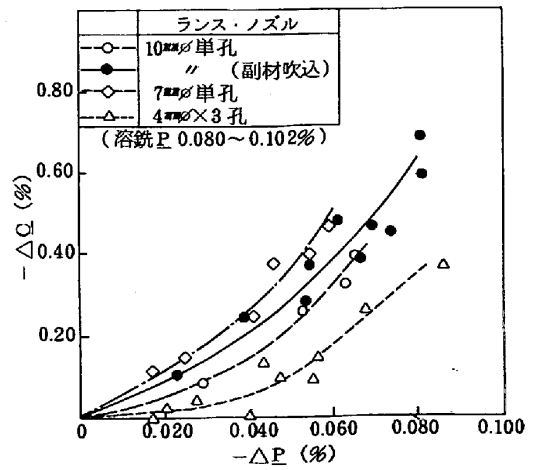


図2. 吹酸時の脱炭量と脱磷量の関係

っている。

(2) Pの挙動を図3に示す。初期に副材料の滓化が著しく不良の場合(点線部)を除くと、いずれのヒートでも吹酸の全期間を通して、 $\log \frac{P}{P_0} = Kt$  によってあらわされる。ただし、Pは吹酸開始後の時間tにおける溶銑P%, P<sub>0</sub>は処理前の溶銑P%, Kはみかけの脱磷速度定数である。Kに及ぼす諸条件の影響は次の通りである。

溶銑, スラグ成分	スラグの塩基度が高いほどKは大きくなる(図4)。処理前溶銑のSi%が低くなるほど、Kは大きくなる(図5)。この二つの要因は交絡しているが、前者の影響の方が強いと思われる。
ノズル形状	大差はないが、4mmφ3孔の場合、若干Kが大きくなっている(図4)。
副材料の添加方法	吹酸初期は表1②の方法が滓化進行が順調なので、Kが安定して大きい。以後は①、②とも大差はない。

(3) 30分吹酸後の到達P%と、Balajivaの式\*から計算によって得られた平衡値との関係を図6に示す。Balajivaの式を低温度に外挿すること、また溶銑に適用することには問題はあるが、特にPが低いところではBalajivaの式から推定される平衡からかなりずれているようである。\* JISI 155 (1947) 563

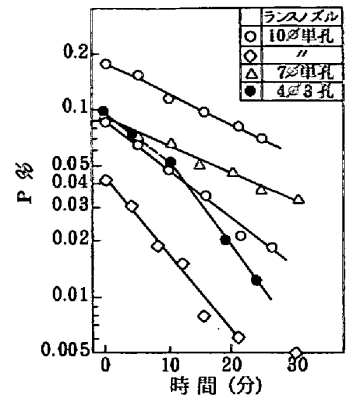


図3. 脱磷挙動の1例

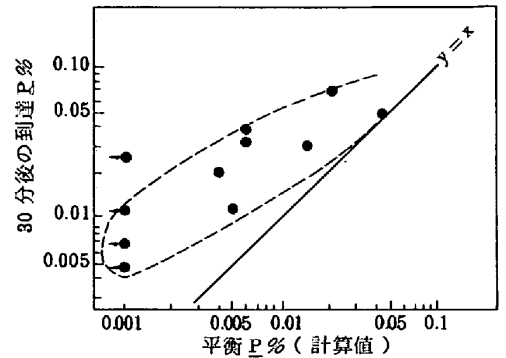


図6. 平衡P% (Balajivaの式による計算値) と30分吹酸後の到達P%との関係

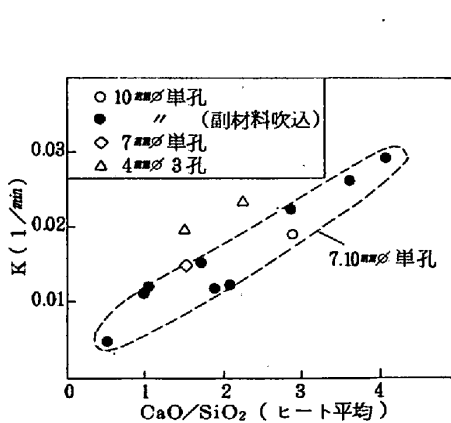


図4. Kに及ぼすスラグ塩基度, ノズル形状の影響

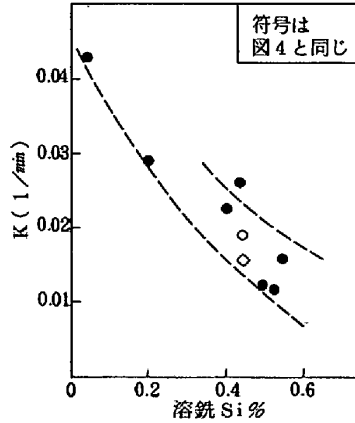


図5. Kに及ぼす処理前溶銑Si%の影響

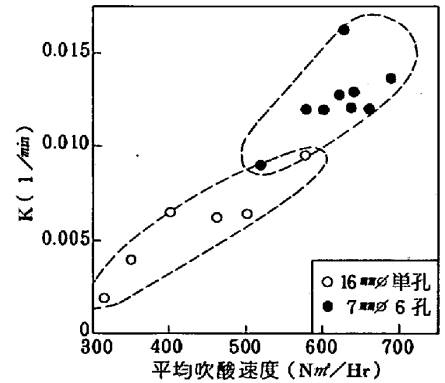


図7. みかけの脱磷速度定数: Kに及ぼすノズル形状, 吹酸速度の影響(30t)

III 30t規模溶銑脱磷試験および脱磷溶銑の転炉での使用試験

1. 試験方法: 1t規模試験とほぼ同様であるが、吹酸用ノズルは16mmφ単孔と7mmφ6孔を用いた。吹酸速度は、初期は副材料の滓化促進、後期は脱炭反応抑制の両条件を満足するように、700~300Nm<sup>3</sup>/Hrの範囲に変化させた。全吹酸時間は25~36分である。副材料は焼結鉄と生石灰、またはカルシュームフェライトと生石灰を用い、吹酸初期10分間に分割投入した。

2. 試験結果: (1) 脱磷, 脱炭, 脱Si, 脱Mnなどの挙動は1t規模試験結果とほぼ一致している。7mmφ6孔ノズルを用いた場合には脱炭幅0.2~0.4%で脱磷率: 55~75%(到達P: 0.02~0.04%)が得られるが、16mmφ単孔の場合には0.7~0.9%の脱炭

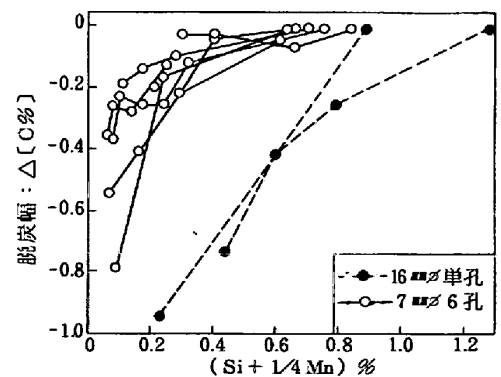


図8. CとSi, Mnの酸化挙動に及ぼすノズル形状の影響(30t)

がおこっても脱磷率は30~50%にすぎない。吹酸速度とみかけの脱磷速度定数Kの関係を図7に示す。16mmφ単孔では脱炭反応を抑制するために吹酸速度を小さくしなければならなかったのが、脱磷速度が小さかった一つの原因である。図8は、吹酸途中のCとSi, Mnの酸化挙動に及ぼすノズル形状の影響を示す。7mmφ6孔では、脱炭の開始が相対的に遅れることが顕著に認められる。

(2) 本処理におけるみかけの鉄分歩留はほぼ100%である。これは副材料として添加した焼結鉱やカルシウムフェライトの鉄分の一部が還元されること(全鉄分バランスの1%前後を占める)、およびスラグ中の粒鉄量が少ないこと(吹酸中でスラグ重量の3~6%)が関係している。

(3) 本処理により溶銑温度は60~90°C上昇する。(Δ[Si]=0.2~0.4%, Δ[C]≈0.2%, t≈30分)

(4) 図9は脱磷処理した溶銑を60<sup>T</sup>転炉で使用試験した時の溶銑P%と転炉吹上時の溶鋼P%の関係を示す。溶銑P%の低下とともに吹上P%は低下するが、溶銑以外のPインプットをゼロとした時の計算値(図中の実線)から予想されるものより、吹上P%低減効果は小さい。これは、転炉でのPバランスの計算結果の1例(図10)からもわかるように、溶銑P%が低下すると、溶銑以外のPインプットの影響が大きくなるからである。溶銑以外のPインプットとしては、“転炉のP汚染”, 具体的には前ヒートの残留スラグや耐火物表面の変質層の存在が考えられる。後者については、使用後の転炉耐火物を段切りしてP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>の分布を調べた結果を図11に示すが、表面から数mmまではP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>が高くなっており、次ヒートでこの部分が溶損するとPの供給源の一つになりうる。このように、溶銑P%が低くなると、Pバランスに及ぼす前ヒートの影響が無視できなくなることは注意を要する点である。

#### IV 考 察

##### 1. 優先脱磷のための吹錬条件

脱炭反応を抑制しながら脱磷反応を進行させること、すなわち文字通りの優先脱磷を行わせるための条件は次の通りである。

##### 1. 酸素ガスは極力ソフトブローすること

本試験では溶銑成分の酸化は副材料として加えた酸化鉄と酸素ガスの両方によって行われる。ガスとして供給される酸素は全供給酸素量の60~90%を占めている。本試験条件では脱磷速度は吹酸速度が大きいほど大となるが、脱炭反応抑制の点から許容される吹酸速度に上限がある。また同一の酸素供給速度においては、単孔ノズルよりも多孔ノズルを用いた方が脱炭量を小さくできる。脱炭反応を抑制するためにはメタル温度が低い方がよいが、特に酸素吹付点の温度を上りすぎないようにするには極力ソフトブローすることが不可欠である。火点温度を下げる目的で、1t規模試験(10mmφ単孔ノズル使用)でノズルから副材料の吹込みや、O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>混合ガス吹錬(N<sub>2</sub>混合率: max. 70%)などを試みたが、脱炭抑制に関しては多孔ノズルの使用ほどの効果は得られなかった。

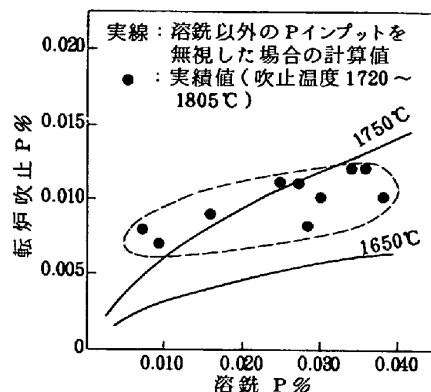


図9. 脱磷処理溶銑の転炉での使用試験結果

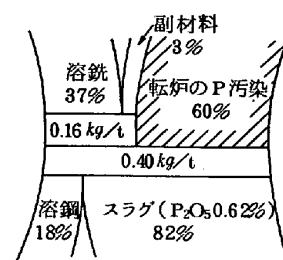


図10. 溶銑P=0.014%の場合のPバランス

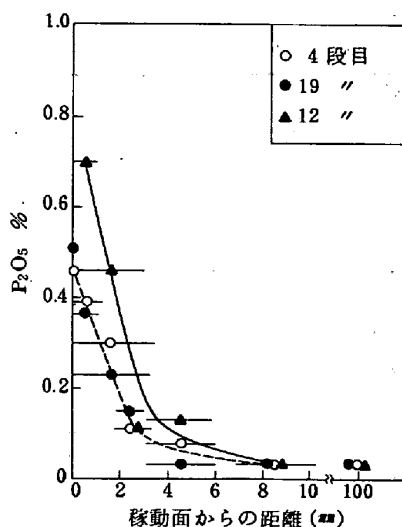


図11. 転炉使用後煉瓦の稼働面からのP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>分布

ロ. 溶銑, スラグを強制攪拌すること

脱炭を抑制できる範囲内ではガス流による攪拌作用はあまり期待できないので攪拌のために別の手段を併用する必要がある。本試験ではN<sub>2</sub>バブリングを併用したが、すでに加藤<sup>(1)</sup>は酸素上吹試験において、メタル中に不活性ガス吹き込みによる攪拌を併用することにより、また成田<sup>(3)</sup>は炉体に偏心回転運動を加え、メタル、スラグを揺動攪拌することにより、優先脱磷を行えることを示している。このように、優先脱磷のためには、転炉とは異なり、酸素供給と攪拌作用を分離して考えなければならない。

ハ. スラグの塩基度は高い方が望ましい

脱磷挙動は一次反応式であらわせること、またその速度定数はスラグ塩基度が高いほど大になるという結果は、川合<sup>(3)</sup>らの溶銑での実験結果と一致している。したがって、スラグの塩基度を高くすることは速度、平衡の両面から優先脱磷の進行のためには望ましい条件である。吹酸初期の高塩基度スラグの造滓と、末期の脱炭反応抑制の両条件を満足するためには、吹酸パターン、副材料の種類および粒度などに工夫が必要である。

2. 低磷鋼溶製のために転炉の負荷を軽減する方法

前述の通り、溶銑の脱磷処理を転炉での低磷鋼溶製に効率よく結びつけるためには、前ヒートの影響に注意する必要がある。そのためには残留スラグ量の減少対策に加えて、数ヒート連続して低磷鋼を溶製することが望ましいが、低磷鋼の溶製比率がある値以下の転炉工場では後者の条件を満足しがたい。そのような条件下で効率よく低磷鋼を溶製する方法として、転炉出鋼時に取鍋内で溶鋼を二次脱磷する方法を開発した。<sup>(4)</sup>これは出鋼流による攪拌作用を利用して、取鍋内に少量の副材料(5~10 kg/t)を添加して、転炉内のP含有スラグから分離された状態で脱磷を進行させるもので、30~40%の脱磷を行うことができる(図13)。この方法では、脱磷後の合金および脱酸剤添加時の復磷抑制のための工夫を併せて行う必要があるが、例えばスライディングノズルを用いた溶鋼リレードルと組合せた場合には、復磷量は0.001%以下にできる。Schleimer<sup>(5)</sup>らは、ほぼ同様の方法で脱磷を行った後、管を挿入してスラグを周辺に押しつけた後、Arバブリングしながら合金および脱磷剤を添加する方法を述べている。このように転炉出鋼時に二次脱磷する方法は、現行工程に組み込んで比較的簡便に低磷鋼を溶製を容易にするという利点がある。

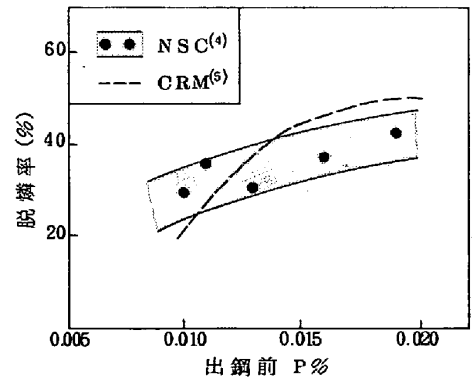


図12. 転炉出鋼時の脱磷

V 結 言

脱炭反応を極力抑制した条件下で溶銑の脱磷反応を進行させるためには、①酸素の超ソフトブロー、②溶銑の強制攪拌、③高塩基度スラグの早期造滓がポイントである。多孔ノズルの使用などの諸対策により、 $-\Delta[C\%] < 0.5\%$ で脱磷率60~90%、到達P 0.01~0.04%にできる。

脱磷処理溶銑を効率よく低磷鋼溶製に結びつけるためには、転炉のP汚染を小さくすることが必要で、そのためには転炉で低磷鋼を数ヒート連続して溶製することが望ましい。この条件が満足されない場合には、低磷鋼溶製のために転炉の負荷を軽減する方法としては転炉出鋼時の溶鋼二次脱磷処理の方が直接的な効果が得られる。

引用文献

- (1) 加藤, 今井, 藤原 ; 鉄と鋼 1963. P. 1065
- (2) 成田, 富田ら ; 鉄と鋼 1969. №1 P. 59
- (3) 川合, 森, 中島 ; 学振, 9委9098. 1970.
- (4) 稲富, 片山, 梶岡 ; 鉄と鋼 1975. №4 S-121
- (5) F. Schleimer et al. ; Metallurgical Reports CRM, №42 March 1975 P. 3