

討 7

転炉精錬機能の拡大

(株)神戸製鋼所 神戸製鉄所 塩飽 潔 川崎正蔵 神森章光
○青木松秀 羽鹿公則

1. 緒言 神戸製鉄所では、中高炭素鋼や低合金鋼比率の高い条用特殊鋼を主体に製造している。これらの鋼種は吹止[C]、吹止温度が高く、転炉に対する負荷が大きい。ため、溶銑予備処理を導入した新製鋼プロセスを稼働させ、転炉の精錬機能をおもに脱炭と昇温にすることで、多様化、厳格化する鋼材ユーザーの品質要求に対応するとともに、精錬コストの低減をはかっている。ここでは、精錬コストの低減、品質の改善、転炉生産性の向上など、予備処理溶銑を用いた転炉精錬技術について報告する。

2. 溶銑予備処理導入の背景

当所の鋼種構成を図1に示す。中高炭素鋼や低合金鋼が主体で脱ガス比率も大きく、転炉の吹止[C]、吹止温度が高い。このため、脱磷能が低くなり、転炉精錬負荷が大きかった。

そこで、転炉の精錬機能を溶銑予備処理と取鍋加熱精錬に分担させ、転炉負荷の軽減と精錬プロセス全体として精錬効率の改善をはかっている。

3. 溶銑予備処理プロセスの概要

溶銑予備処理を組みこんだ精錬プロセスの概要を図2に、また設備仕様の概要を表1に示す。この溶銑予備処理プロセスは、高炉鑄床での脱珪、溶銑予備処理専用炉(H炉)での脱りん脱硫連続処理、上下吹き転炉(LD-OTB法)での脱炭・昇温精錬から構成されており、主な特徴を以下に示す。

- 1) 脱珪処理は酸化鉄を主成分とするフラックスを高炉鑄床鑄内の溶銑にインジェクションし、生成した脱珪スラグはスキマーによって排滓する方式をとっている。
- 2) H炉は、反応容器としてすぐれた炉形状をしているため、インジェクションフラックスだけでなく、上部投入フラックスによる脱りん反応が可能であり、副原料コストが低く、処理時間も短かく、大量処理が可能である。また、Si濃度の高い溶銑(～0.50%)についても高効率に脱りん脱硫処理が可能である。
- 3) H炉で大量の溶銑を脱りん処理する結果として、低りん溶銑を転炉で連続して使用できるため、前チャージのスラグによる吹止[P]のバラツキが減少する。このため、吹錬適中率が大幅に向上し、調質作業をすることなく、吹錬終了後迅速に出鋼することが可能となる。転炉における予備処理溶銑の充当比率は、約85%の高いレベルに達している。

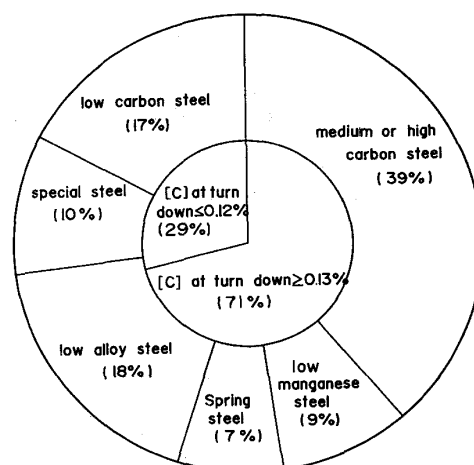


Fig. 1 Product mix at Kobe Works

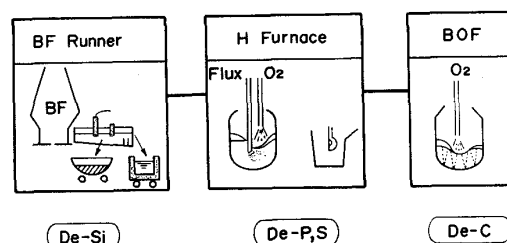


Fig. 2 Hot metal refining process

Table 1 Main specification

	Equipment	Specification
H Furnace	Capacity (t/heat)	80
	Inner volume (m ³)	54
	Refractory	MgO-C
Injection	Carrier gas	N ₂
	Rate (kg/min)	Max. 400
	Immersion lance	High Al ₂ O ₃ φ 300 mm
BOF	Type	LD-OTB
	Bottom blowing gas	Ar, N ₂
	H/D	1.43
	Off gas system	OG
	Kind of refractory	Mainly MgO-C
	Inner volume (m ³)	85

4. 予備処理溶銑の転炉吹錬

4.1 転炉吹錬におけるスラグ量の影響

①スロッピングへの影響

スラグ量と目視判定によるスロッピング発生頻度との関係を図3に示す。スラグ量を80kg/t以上で吹錬した場合、スロッピング発生頻度が高いが、スラグ量を減少させるにしたがって、スロッピング発生頻度が低下し、とくに大きなスロッピングの発生が抑制され、20kg/t以下の少ないスラグ量ではほとんどスロッピングせず、安定した吹錬状況が得られる。

②耐火物への影響

スラグ量を少なくすることで、スロッピングの少ない安定した吹錬状況が得られるが、スラグ量が20kg/t以下の吹錬を3ch以上続けると耐火物への付着スラグが、ほとんどなくなり、レンガの局部溶損および目地部の損傷がはげしく炉寿命の低下をきたす。スラグ量とMgOバランスから計算した耐火物負荷の関係を図4に示す。耐火物保護のためには、40~60kg/t程度のスラグ量が必要である。また、耐火物負荷は上下吹きの実用により軽減される。これは、スラグ中T・Feが低くなり、MgO-Cレンガの酸化消耗の減少と耐火物へのスラグの付着性が良くなった為と考えられる。

スラグによるレンガの保護効果を把握するため、レンガ表面に付着したスラグが吹錬の経過とともにどのように溶出するかを調査した。前ヒートのスラグ中にトレーサを添加し、さらに当該チャージに別種のトレーサを添加し、おのおのトレーサの濃度変化から、スラグ中への溶出MgOを、前チャージの付着スラグの溶出によるもの、当該ヒートのスラグによるもの、レンガの溶出によるものに分離した。この結果を図5に示す。吹錬の後期においても、前チャージの付着スラグからのMgO溶出量は時間とともに増加しており、このことは、吹錬の後期においてもスラグコーティングの効果があると考えられる。¹⁾

4.2 副原料の低減

耐火物負荷を軽減するためには、スラグ量を40~60kg/t程度確保することが必要である。このため、生石灰や軽焼ドロマイトに加え、これらの副原料の滓化のために珪石(SiO_2 源)を添加することが必要であるが、生成したスラグにより耐火物のコーティングをすることで、次チャージのスラグ量が確保でき、副原料の低減が可能となる。表2に副原料使用例を示す。中高炭素鋼においては吹止めスラグの脱りん能が低いため、通常溶銑の場合、吹止め[P]値の保証精度が低い。

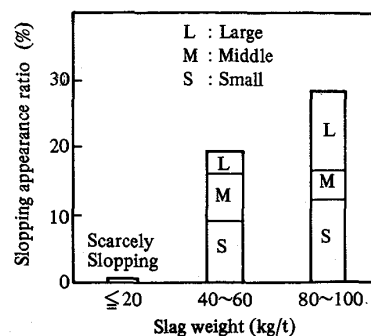


Fig. 3 Relation between slag weight and stopping ratio

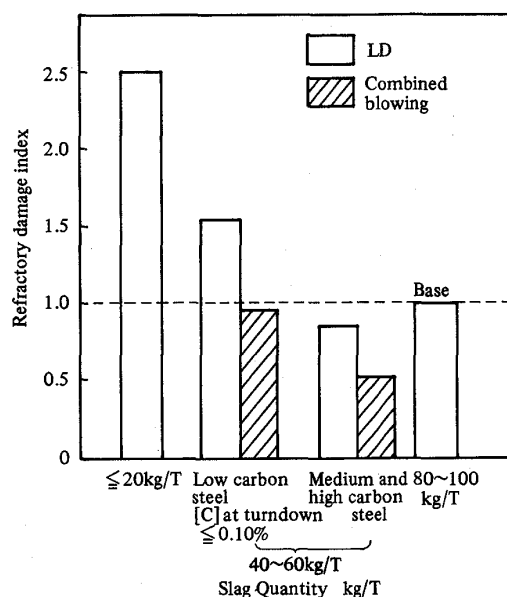


Fig. 4 Relation between slag weight and stopping ratio

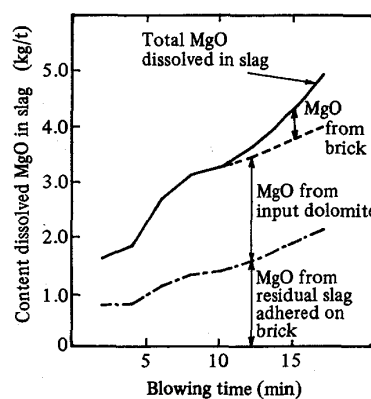


Fig. 5 Change of dissolved MgO content in slag during blowing

また、脱りん溶銑の場合は、前チャージの炉内残存スラグからの復りんの影響が大きくなり、吹止〔P〕値を保証するためには、この残存スラグの影響を正確に求める必要がある。そこで図6に示すとおり、スラグ中(P_2O_5)濃度の前チャージからの変化量を計算して、吹錬中に還元される〔P〕値を推定した。

さらに、溶銑中の〔P〕値を考慮して、転炉での脱りに必要な最少の生石灰量を計算した結果、図7に示すとおり、実績の吹止〔P〕値と計算〔P〕値との良い相関がえられた。

この結果を用いることで、生石灰量の低減に加え中高炭素鋼においても迅速出鋼法(サブランスを用いて吹止時の〔C〕、温度を測定し、転炉を傾動して調質することなく吹錬終了後迅速に出鋼する方法)の適用が可能となる。²⁾

4.3 Mn鉱石、Cr鉱石の利用

転炉吹錬時のスラグ量が減少することによって、熱的に余裕のある場合には、Mn鉱石やCr鉱石などを添加して吹錬中に溶銑〔C〕による還元をおこない、MnやCrを効率よく鋼中に歩留らせることが可能である。(表3)

Mn鉱石を添加した場合、吹錬末期に送酸流量を落とし、底吹きガス流量を増加させることでMn歩留が向上する。また、Cr鉱石を添加する場合もMn鉱石の場合と同様に、溶銑〔C〕による炉中還元が可能となり、高価なフェロム合金鉄を削減することができる。Mn鉱石は転炉スラグに比較的溶けやすいが、Cr鉱石中のCrはスピネル構造の強固な酸化物(クロマイト)として存在し、還元性が悪く、吹錬終了時に一部分未溶解のままクロマイトとして転炉スラグの中に懸濁している。しかし、このスラグを残してつぎのチャージを吹錬すると、未溶解であったクロマイトが転炉スラグ中に溶解し、溶銑中の〔C〕による還元がすすんで吹止〔Cr〕値が上昇する。

4.4 熱収支

予備処理溶銑を用いた場合と通常溶銑を用いた場合の熱収支の比較を表4に示す。

通常溶銑と比較して予備処理溶銑を用いた転炉吹錬の特徴として次項をあげることができる

- (1) 溶銑成分：予備処理により〔C〕は0.35%低く、〔Si〕はトレースとなる。
- (2) 転炉ではCaOなどの造滓剤が少ないためこれを溶かすための熱が少なくてすむ。
- (3) 鉄鉱石、スケール投入量は少なくなるが、通常溶銑では滓化を良くするために20~25kg/tのスケールが必要であり、冷材投入量に関する自由度の差は少ない。また、予備処理溶銑を用いた場合、冷材としてMn鉱石、Cr鉱石に代えるとメリットは拡大される。

Table 2 Operational results of the BOF from the newly developed process and the conventional process

	The newly developed process						The conventional process					
	C	Si	Mn	P	S	Temp	C	Si	Mn	P	S	Temp
Chemical composition and temperature of hot metal	4.05	tr.	0.32	0.020	0.015	1300	4.40	0.30	0.20	0.080	0.020	1310
Chemical composition and temperature at turn down	0.25	tr.	0.25	0.017	0.015	1640	0.25	tr.	0.07	0.017	0.015	1660
Submaterial consumption of BOF	Burnt lime						35 kg/t					
	Burnt dolomite						12 kg/t					
	Scale						22 kg/t					
	Iron ore						10 kg/t					
Submaterial consumption of hot metal pretreatment	De-P flux						—					
	Lump-CaO						—					
	BOF slag						—					
	Manganese-ore						—					
	De-S flux						5.1 kg/t					

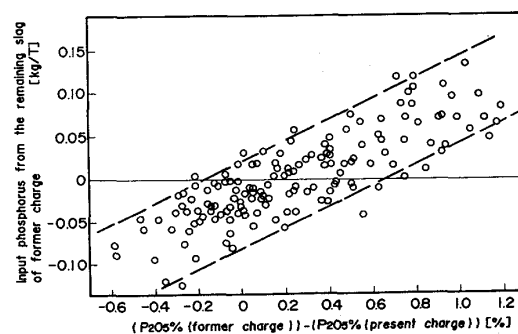


Fig. 6 Effect of remaining slag of former heat in dephosphorization reaction

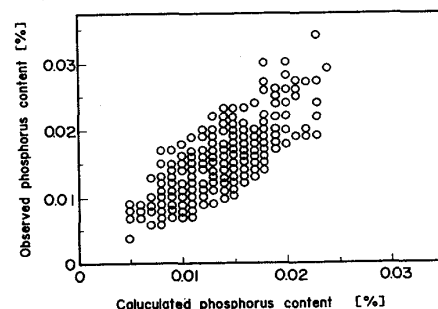


Fig. 7 Relation between calculated phosphorus content and observed phosphorus content

Table 3 Yield of Mn ore and Cr ore

	LD	LD-OTB
Mn yield	70%	75%
Cr yield	65%	75%

[C] = 0.25%, Temp. = 1660°C
(at turndown)

高温出鋼材や溶銑温度の低い場合などの昇熱材として通常溶銑ではFeSiなどを投入していたが、予備処理溶銑ではFeSiを使うとスラグ量が多くなりデメリットが増大するため、スラグ発生量の少ない炭素系昇熱剤が有効である。図8に炭素系昇熱剤の昇温効果を示す。1kg/tの添加により、約7℃の昇温効果が認められる。³⁾

4.5 鉄収支

予備処理溶銑を用いた場合と、従来溶銑の場合の鉄収支の比較を表5に示す。

予備処理鉄の場合、スケール鉄鉱石からの入鉄量が少ないが、スラグへのロスが少ないことが特徴である。

また、従来の出鋼歩留（出鋼量÷主原料装入量）で評価すると予備処理溶銑の場合、0.2～0.3%の歩留向上が認められる。予備処理溶銑については、高炉鉄床脱Si時の鉄歩留向上（0.55%）、溶銑予備処理でのスケール投入などによる鉄歩留向上（0.3%）を考慮すると、トータルで1.1%の鉄歩留向上ができています。

5. 転炉生産性の向上

予備処理溶銑を用いることによる転炉生産性の向上が可能となる。従来、2回吹錬法を採用していた低りん中高炭素鋼や高温出鋼を要する鋼種が1回の吹錬で溶製できるようになり、また酸素原単位の低減に加え、送酸流量を上げることが可能となるため吹錬時間も短縮される。迅速出鋼法の適用も可能となり、転炉生産性は大幅に向上する。

迅速出鋼法の適用、生産性の向上による熱ロスの低減により、溶銑配合率で約2%の熱効率の向上が期待できる。

6. 結言

中高炭素鋼や低合金鋼の溶製を転炉精錬主体でおこなう場合、転炉への負荷が大きいため溶銑予備処理を導入した新製鋼プロセスを導入し順調に稼働している。

この結果、操業が安定し歩留、副原料原単位、品質などの改善が得られている。

今後さらに、高炉～溶銑予備処理～転炉～取鍋精錬の各プロセスの要素技術の向上とともに精錬負荷の最適分担の探究をしていきたい。

参考文献

- 1) 大島隆三ほか：R & D神戸製鋼技報，Vol.36, No.1(1986), P.52
- 2) 塩飽 潔ほか：鉄と鋼，Vol.71, No.12(1985)S.984
- 3) 大西稔泰ほか：鉄と鋼，Vol.70, No.4.(1984), S.264

Table 4 Comparison of heat balance in BOF

Item		Dephosphorized hot metal		Ordinary hot metal	
		Mcal/t	%	Mcal/t	%
Input heat	Sensible heat of hot metal	215.1	40.1	218.5	35.4
	Reaction heat				
	C	129.8	24.2	141.7	22.9
	Si	0	0	20.0	3.2
	Mn	0.8	0.1	2.0	0.3
	P	0.2	0	4.6	0.7
	Fe	2.7	0.5	21.9	3.6
	Slag	0.6	0.1	6.8	1.1
	LDG	187.7	35.0	202.3	32.8
	Total	536.9	100	617.8	100
Output heat	Sensible heat				
	Molten steel	264.9	49.3	264.9	42.9
	Slag	7.4	1.4	33.4	5.4
	Off gas	39.0	7.3	42.6	6.9
	Dust	3.9	0.7	3.4	0.6
	Coolant	10.2	1.9	46.9	7.6
	Heat loss	24.5	4.6	24.5	4.0
	LDG	187.7	35.0	202.3	32.7
	Unknown	-0.7	-0.1	-0.1	0
	Total	536.9	100	617.8	100

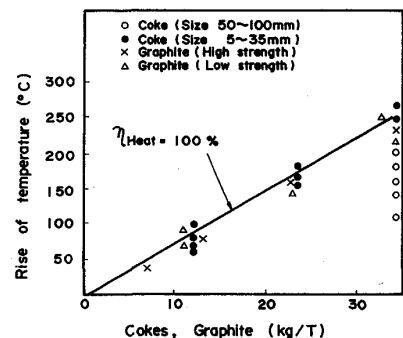


Fig. 8 Heat efficiency of graphite

Table 5 Comparison of Fe balance in LD converter

Item		Dephosphorized hot metal wt %	Ordinary hot metal wt %
Input Fe	Hot metal	94.56	92.78
	Scrap	5.09	5.05
	Scale	0	1.54
	Ore	0.35	0.63
Total		100	100
Output Fe	Molten steel	98.07	96.86
	Slag	0.20	1.60
	Fume	0.77	0.67
	Unknown	0.96	0.87
Total		100	100