

討11

取鋼精錬による高純度鋼製造技術

新日本製鐵(株) 名古屋製鐵所 大西保之, 直川博俊, 小舞忠信
 ○水上義正, 小林 功, 藤野伸司

1. 緒言

近年, 鋼材の施工方法と使用環境が多様化しているため, 鋼材にも高度な品質特性が要求されるようになった。特に, 海洋構造物・化学工業容器用厚板材あるいは耐サワーガス用ラインパイプ材などにおいて, この要求を満たすためには, 鋼中の燐, 硫黄, 酸素および水素などの不純物元素を同時に低下させた高純度鋼を溶製することが必須条件となっている。このため既に, 昇温機能・攪拌機能・脱ガス機能を具備したVAD法あるいはASEA-SKF法などが開発されている。当所においても, (1)リレードルによるスラグ除去法と昇温・脱硫機能を付加したRHとを組合せたプロセス(以下VOF: Vacuum Oxygen Flux)さらにこれを発展させ, (2)真空吸引スラグ除去, 粉体吹込, LF, RHを組合せたプロセス(以下NSR: New Secondary Refining)を開発したので報告する。

2. VOFプロセスの操業方法

VOFプロセスはRHでの溶鋼の昇温機能を有効に活用することにより, リレードルによるスラグ除去, 脱硫フラックス添加, RH処理などによる溶鋼温度降下の問題を解決したもので, 工程と操業条件をFig.1およびTable 1に示す。

本プロセスの特徴は, (1)復燐防止と酸化性スラグの除去を目的として2鍋出鋼をしていること, (2)RHの下部槽から酸素を吹込み, アルミニウム燃焼による昇温をしていること, (3)攪拌力の弱いRHでも, 脱硫できるように, 50%CaO-50%CaF₂の低融点フラックスを使用していることである。

3. VOFプロセスの操業結果

Fig.2に160t溶鋼に送酸速度1100Nm³/hで昇温処理(以下RH・OB-FD)を行った時の溶鋼の温度変化を示す。

図中タイプAは通常RH処理時の温度降下を示す。タイプBは昇温用のAlを1.7kg/t使用し, 20分間送酸した場合で, RH処理中の温度降下を補償することにより転炉の負荷軽減と低温出鋼による

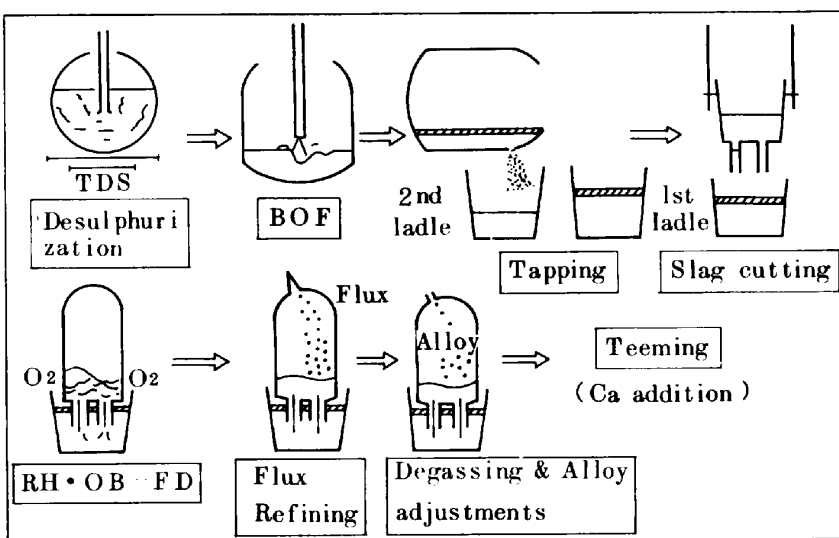


Fig.1 VOF process for producing clean steel

Table1 General instruction of VOF process

Steps	Outline of treatment
Hot metal desulphurizing	○ 250 t/heat (CaC ₂ injection in the torpedo vessel)
BOF	○ 160 t/heat (burnt lime: 80 kg/t-steel)
Tapping and slag cutting	○ 1st tapping 120 t into 1st ladle, deoxidized with aluminium and silicon. ○ 2nd tapping 40 t into 2nd ladle, nondeoxidized. ○ Reladling from the 2nd ladle into the 1st.
RH・OB-FD	○ Temperature adjust by oxygen blowing.
Flux refining	○ Fluxes addition (50%CaO-50%CaF ₂)
Degassing and alloy additioning	○ Ordinary method in RH degasser.
Teeming	○ Ca addition with wire feeding.

脱磷率の向上をはかったものである。また、タイプCは昇温用のAlを4.0 kg/t使用し、40分間送酸した場合で、約100℃の昇温が可能であり、リレードルおよびフラックス添加による温度降下の補償が可能となった。

このような昇温方法で問題になるのは、溶鋼の成分変動と介在物の生成である。Fig.3に[C]の減少速度におよぼす溶鋼中の[Al]の影響を示した。[Al]が0.050 wt%以上の場合には[Al]が優先酸化され、脱炭はほとんど生じないが、[Al]が減少するにつれて、脱炭速度は化学量論的に求まる0.01 wt%/minに近づく。また、他成分についても同様の傾向が見られる。Fig.4に昇温中およびその後の通常RH処理中の介在物個数を示す。タイプAは[Al]を0.050 wt%以上に保ちつつ昇温した場合で、タイプBは[Al]を0.010 wt%以下に低下させた場合である。タイプAの場合、Al添加時に溶鋼中のSiO₂は還元され、Al₂O₃が一時的に増加するが、その後昇温を継続しても、Al₂O₃は増加せず、むしろ減少している。タイプBの場合は、Al添加時に減少したSiO₂が昇温を継続するとともに増加し、処理終了時の清浄性はタイプAより悪くなる。

以上のことから昇温時の溶鋼[Al]を高く管理することにより、溶鋼成分の変動および清浄性の悪化を防止しつつ昇温することが可能となった。

Fig.5にVOFプロセスにより製造された溶鋼の成分分布を示す。VOFプロセスにより、[S] 20 ppm以下 [P] 150 ppm以下 [O] 20 ppm以下 [H] 1.5 ppm以下の溶鋼の製造が可能となった。

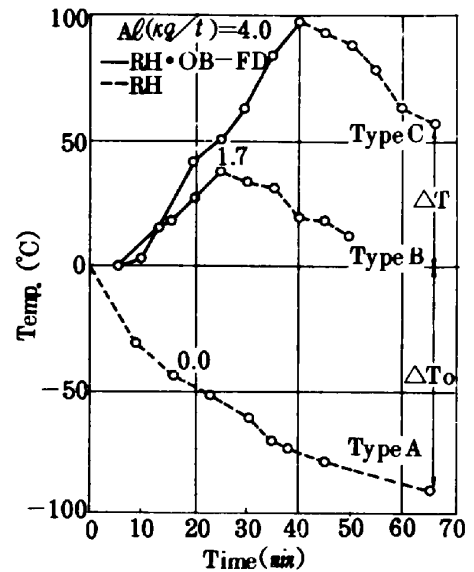


Fig. 2 Change of the temperature in RH·OB-FD

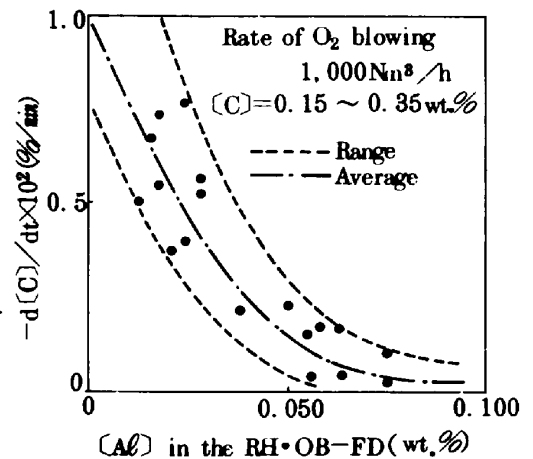


Fig. 3 Relation between [Al] and $d[C]/dt$ in the RH·OB-FD

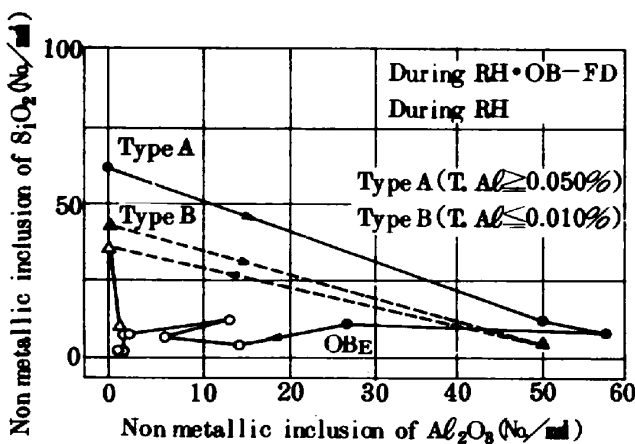


Fig. 4 Sequential change of non metallic inclusion during RH·OB-FD

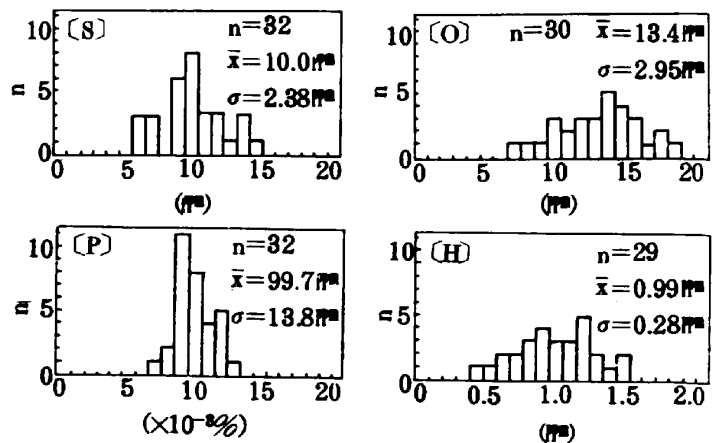


Fig. 5 Chemical composition of molten steel

4. NSRプロセスの操業方法

V O Fプロセスより更に高純度化した鋼の製造を可能にするとともに、生産性・作業性の改善をはかるため、NSRプロセスの開発を行った。Fig.6 と Table 2 にNSRプロセスの工程と操業条件を示す。本プロセスの特徴は、(1)低磷化を目的としてKRによる溶銑予備処理を行っていること、(2)低酸素化を目的としてLFを採用したこと、(3)生産性・作業性および温度低下防止を目的として、真空吸引スラグ除去装置を採用したこと、(4)LFの前工程に粉体吹込み装置を組込み、脱硫の促進と同時に、LFのスラグ早期滓化を行っていることである。NSRプロセスは各元素別に精錬機能を分割しているため、必要とする品質レベルに対して効率的弾力的な工程を選ぶことが可能である。

Flux CaO	KR	O ₂	BOF	VSC	gas + Flux IP	LF	RH	Chemical Composition (ppm)			
								P	S	O	H
○	○	○	○	○	○	○	○	≤ 50	≤ 10	≤ 15	≤ 1.5
—	○	○	○	○	○	○	○	≤ 120	≤ 10	≤ 15	≤ 1.5
—	○	○	○	○	○	—	○	≤ 120	≤ 30	—	≤ 1.5
—	○	○	○	○	—	—	○	≤ 150	≤ 50	—	≤ 1.5

Fig. 6 NSR process for producing clean steel

5. NSRプロセスの操業結果

Table 2 General instruction of NSR process

1) [P]の挙動

溶銑予備処理は、回転しているKRインペラーから酸素ガスを吹込み脱硅および脱磷を行っているが、脱硅酸素効率は60~90%である。また、脱磷率はフラックス原単位20kg/tで70%~90%が確保されている。

Fig.7 にV S Cによるスラグ除去前後のスラグ厚みを示した。スラグソフターを使用することにより、取鍋スラグの場合でもスラグ厚み20mm以下を確保することが可能となった。

Fig.8 に出鋼時の復磷量におよぼすスラグ除去方法の影響を示した。リレードルによるスラグ除去方式では、復磷量が40ppmになることがあるが、V S C方式では最大復磷量20ppm、平均復磷量12ppmである。Mn1.5%の鋼種の場合、合金鉄から入る磷は8ppm程度あるため、V S C処理により、スラグからの復磷量は4ppm程度になると推定される。

2) [S]の挙動

Fig.9 に粉体吹込みおよびLF処理時の脱硫率を示す。脱硫率は粉体吹込法の場合で50~80%であり、LF法の場合で80~90%となり、容易に10ppm以下の鋼も溶製可能となった。

Steps	Outline of treatment
Hot metal pretreatment	<ul style="list-style-type: none"> ○ 150 t / heat ○ KR agitation (Fluxes : CaO, CaF₂, Scale)
BOF	<ul style="list-style-type: none"> ○ 160 t / heat
Ladle slag removal	<ul style="list-style-type: none"> ○ Slag thickness : ≤ 20 mm ○ Slag softener addition
Molten steel desulphurization (IP)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Flux addition rate : 100 ~ 200 kg / min ○ Carrier gas flowrate : 60 ~ 120 Nm³ / hr
LF	<ul style="list-style-type: none"> ○ Flux : CaO, Al₂O₃, CaF₂, SiO₂ ○ Transformer capacity : 15500 KVA
Degassing and alloy additioning	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ordinary method in RH degasser

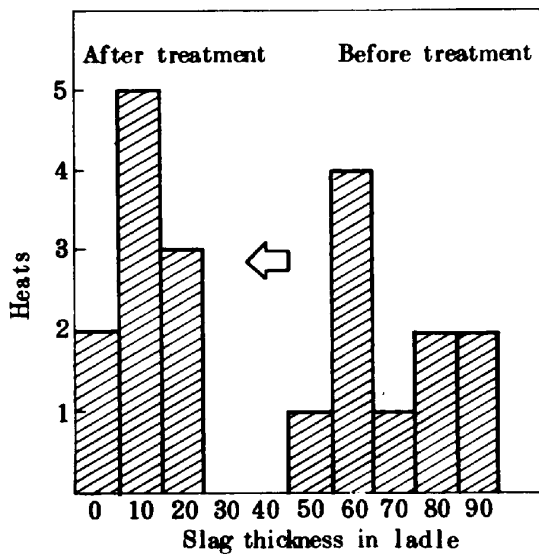


Fig. 7 Decrease in slag thickness by VSC treatment

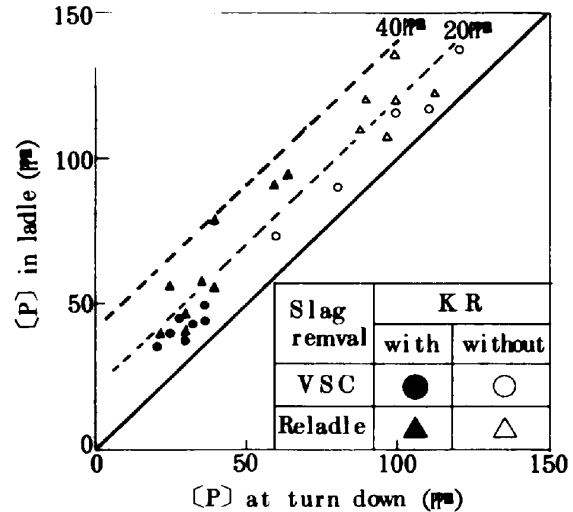


Fig. 8 Phosphorous - back in tapping

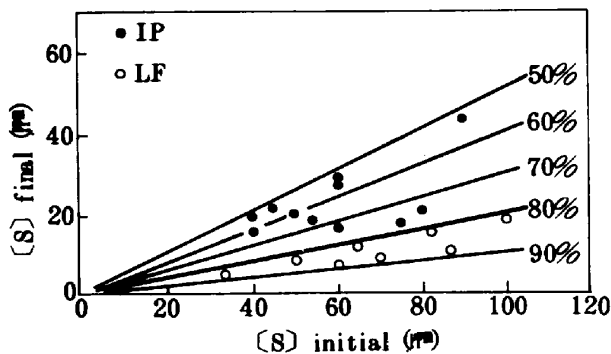


Fig. 9 Desulphurization results by IP and LF treatment

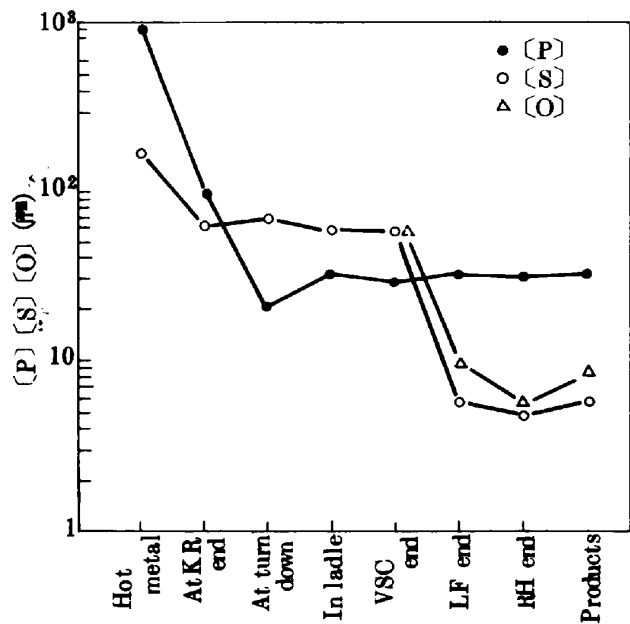


Fig. 10 Changes of chemical composition in NSR process

3) [O]の挙動

Fig. 10に磷, 硫黄とともに酸素の経時変化を示した。LF法により, 酸素は60ppmから10ppmまで低下させることが可能である。

6. 結言

高純度鋼の溶製を目的に, リレードルによるスラグ除去法と昇温・脱硫機能を付加したRHを組合せたVOFプロセス, 真空吸引スラグ除去, 粉体吹込, LF, RHを組合せたNSRプロセスの2つを開発した。NSRプロセスでは磷50ppm以下, 硫黄10ppm以下, 酸素15ppm以下の鋼の溶製が可能である。又, 機能分離により必要品質レベルに対して効率的且弾力的な工程を選ぶことが可能となった。

参考文献 1) 小舞, 水上ら: 鉄と鋼 (1980) 8 103, 8 104