

世界各製鉄所の環流式脱ガス装置における酸素上吹き法「KTB法」の効果と発展*

川崎製鉄技報
28 (1996) 3, 153-158

Worldwide Development and Propagation of KTB Method (Oxygen Top Blowing in Vacuum Vessel)



江原 猛

Takeshi Ehara
エンジニアリング事業
本部 製鉄・プラント
事業部 鉄鋼技術部製
鋼技術室



中井 一吉

Kazuyoshi Nakai
エンジニアリング事業
本部 製鉄・プラント事
業部 鉄鋼技術部製鋼
技術室 主査(部長補)



藤岡 正和

Masakazu Fujioka
エンジニアリング事業
本部 製鉄・プラント
事業部 鉄鋼技術部製
鋼技術室 主査(部長)

要旨

極低炭素鋼の大量安定溶製ニーズの高まりに対応するために当社で開発された環流式脱ガス設備における気体酸素の新しい供給方式であるKTB法(Kawasaki Steel top oxygen blowing)は、その脱炭効率の向上に対する有効性が高い評価を受け、国内外の鉄鋼ミルに29基(川崎製鉄の6基を含む)が導入されるに至っている。これらKTB法が導入された各社においては期待された効果が確実に実現されているに留まらず、多様な応用にまで発展している。本報では各社から発表された文献を中心にKTB法の効果を総括し、今後の発展の可能性を俯瞰する。

Synopsis:

KTB method, which was developed solely by Kawasaki Steel so as to meet the increasing demands for the stable mass production of ULC (ultra low carbon) steel, has been highly evaluated worldwide, resulting in, up to the present, 29 of its introductions into recirculation type degassing units, including those installed at Kawasaki Steel. At every degassing unit, anticipated effects of KTB have been provided in the efficiency of vacuum decarburization, moreover a variety of contributions to more flexible and stable degassing operation have been obtained. This paper summarizes, by incorporating technical reports published by KTB users, performances achieved at each company, including new KTB applications which will lead the vacuum degassing operation to a highly flexible and efficient secondary refining process.

1 緒 言

冷延鋼板の機械的特性向上に対するユーザーニーズの高まりに伴い極低炭素鋼の安定大量溶製の必要性が増大して久しいが、未脱炭溶鋼を真空脱ガス設備において鋼中酸素のみで真空脱炭を行う従来の極低炭素鋼溶製プロセスではTable 1¹⁾のI~IIIに示すような問題に起因し、①~⑧で示した製鋼操業における弊害が存在していた。これらの問題は真空脱炭反応に必要な酸素を転炉吹錬作業において鋼中に供給する必要があることに起因していると要約できるが、これらの解決を図るために真空脱ガス槽内に水冷ランスを用いて気体酸素を鋼浴面に供給するプロセス(KTB法: Kawasaki Steel top oxygen blowing)が川崎製鉄で開発された。KTB法では反応系外から真空脱炭に必要な気体酸素を容易に供給でき、従来よりも高い[C]レベルからの真空脱炭反応を促進するのみでなく、槽内で発生するCOガスの二次燃焼が溶鋼温度低下を補償できることから、Table 1に示した問題点は解消され、製造コストの削減と製品品質の安定に大きく寄与した。また、真空脱ガス処理中の任意の時期に酸素を供給することが可能になったため、Alの酸化反応熱を利用した溶鋼の温度制御も可能となった。さらに真空脱ガス槽内への付着地金も

Table 1 Problems in producing ULC steel by conventional methods

I High tapping temperature ・ LCAK [base] ・ ULC [base] + 40°C	① Increase of refractory cost ② Decrease of steel yield ③ Obstacle to longer sequential casting
II Longer RH treatment time ・ LCAK 20 min ・ ULC 26 min (+ 6 min)	④ Decrease of RH vessel life → obstacle to sequential casting ⑤ Usage of expensive low carbon FeMn ⑥ SEN clogging
III Quality (Slab defect ratio) ・ LCAK 0.2% ・ ULC 2.2%	⑦ Limitation on throughput ⑧ Full face slab conditioning

LCAK: Low carbon aluminum killed steel
ULC: Ultra low carbon steel

KTBランスによる溶解除去が可能となるなど、上述の効果とあわせて精錬プロセスの安定化、フレキシビリティ向上に寄与している。

これらの効果は他社からも高い評価を受け、その結果Table 2に示すように現在29基のKTB設備が国内外の真空脱ガス装置に導入され、順調に稼働中或いは建設中である。本報告では、KTB法の特徴およびこれまでに導入、稼働した各社から公表された効果を総括し、さらに今後の発展の可能性について述べる。

* 平成8年7月16日原稿受付

Table 2 KTB supply list (up to June, 1996)

Company	Number of KTB	Nation
ARMCO Steel Co., L.P. Middletown Works	1	USA
Baoshan Iron & Steel Corp.	1	China
BHP Steel Port Kembla Works	1	Australia
British Steel PLC. Port Talbot Works	1	UK
China Steel Corp.	1	Taiwan
Companhia Siderurgica Nacional	1	Brazil
Eregli Iron & Steel Works Inc.	1	Turkey
Hanbo Steel & General Construction	2	Korea
LTV Steel Flat Rolled Co. Cleveland Works	1	USA
National Steel Corp. Great Lakes Division	1	USA
POSCO Kwanyang Works	2	Korea
Usinas Siderurgicas de Minas Gerais SA	1	Brazil
USX Corp. Edgar Thomson Works	1	USA
Wuhan Iron & Steel	1	China
Kobe Steel Ltd. Kakogawa Works	1	Japan
Nakayama Steel Works Ltd. Funamachi Works	1	Japan
Nisshin Steel Co. Ltd. Kure Works	1	Japan
NKK Corp. Fukuyama Works	2	Japan
NKK Corp. Keihin Works	1	Japan
Toa Steel Co. Ltd. Sendai Works	1	Japan
Kawasaki Steel Corp. Chiba Works	2	Japan
Kawasaki Steel Corp. Mizushima Works	4	Japan
Total	29	—

2 KTB法の概要およびその特徴

KTB法は真空脱ガス槽内に水冷ランスを用いて鋼浴に気体酸素を供給するプロセスで、Fig. 1はそれを模式的に示したものである。極低炭素鋼の真空脱炭処理において真空槽内に気体酸素を上吹する目的は次の2点である²⁾。

- (1) 脱炭反応が酸素供給律速である処理前半に気体酸素を供給することにより反応を促進させる。

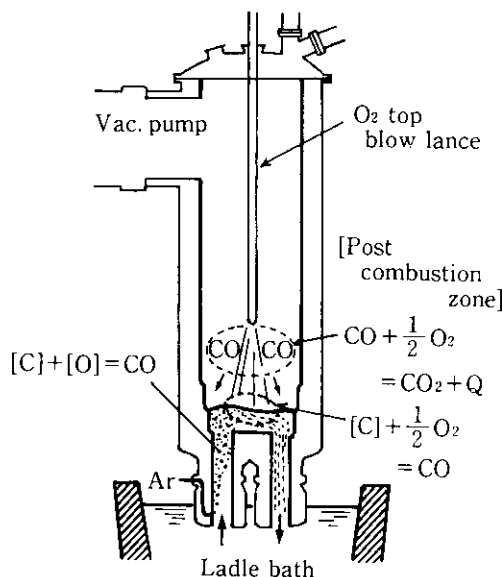


Fig. 1 Schematic illustration of KTB method

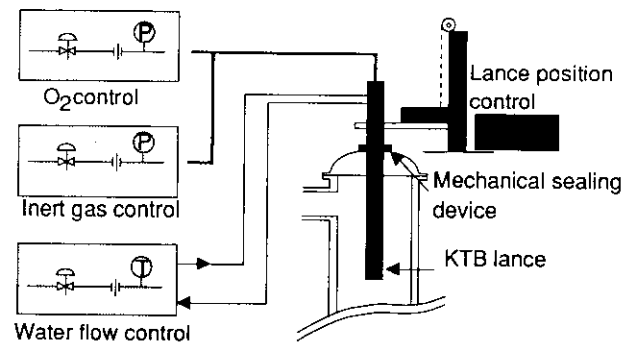


Fig. 2 Composition of KTB system

- (2) 脱炭反応で発生するCOガスを真空槽内で二次燃焼させ、その反応熱を利用して溶鋼の熱補償を行う。

一方、溶鋼温度の上昇が必要な場合は、処理鋼種に関わらず鋼中に添加されたAlを気体酸素の供給により燃焼させることによる溶鋼温度の制御もKTB法の重要な機能である。

気体酸素の供給を実施しないときには、ランスは真空槽内上部で待機し、ランス孔へのスプラッシュ侵入防止のための極少量のパージガスを必要とするが、これによる槽内真空度への影響は極小に抑えられており真空排気系の増強を必要としない。

KTB設備はFig. 2に示すように、ランスへの酸素およびパージガスの供給、ランス冷却のための給排水、ランス昇降設備、真空槽上部のシール設備から成っている。このようにシンプルな構成であるためあらゆる形式の真空脱ガス設備への導入が容易かつ小さな投資コストで実現できる。

3 各社におけるKTB法の操業とその効果

本章においては、これまで当社が納入した客先におけるKTB設備(客先においてはKTB以外の設備名あるいはプロセス名が使用されている例があるが、本報告では便宜上KTBで統一した)の操業内容とこれによって得られた効果を各社からの公表文献に基づいて整理する。

3.1 真空脱炭操業の改善

川崎製鉄では、KTB法の導入により真空脱炭操業における脱炭速度定数が0.21から0.35に向上した。その結果、転炉の出鋼[C]も250 ppmから500 ppmに緩和された²⁾。極低炭素鋼の真空脱炭操業におけるKTB法の効果をまとめると以下の2項目に整理できる。KTB法導入各社における改善状況をTable 3に示す。

- (1) 脱炭速度定数の向上
 (2) 転炉での出鋼条件の改善 ([C]の上昇, [O]の低下)

(1)の脱炭速度向上の要因については、日新製鋼(株)から気体酸素供給量の制御により脱炭を停滞させない適正な鋼中C-O濃度の関係を保つことが可能になった効果であるとの解析がある。さらに(株)神戸製鋼所は、異なった酸素供給方式ながら、脱炭速度が酸素供給で律速される高炭素域において気体酸素の供給により鋼中酸素を上昇させることが反応駆動力を増大させると報告しており³⁾、この効果がKTB法においても寄与したものと考えられる。上記の効果のほか、同社から気体酸素の供給を下部槽羽口からKTBランスに変更した結果、到達真空度が3 torrから1.5 torrに向上したとの報告⁴⁾も

Table 3 Effect of KTB on decarburization

Company	Decarburization rate coefficient, Kc (min ⁻¹)		Tapping [C] (ppm)		Tapping [O] (ppm)	
	Conventional	KTB	Conventional	KTB	Conventional	KTB
Nakayama Steel Works Ltd. ^{5,6)} Funamachi Works	0.14	0.18	430	540	—	—
Nisshin Steel Co. ⁷⁾ Kure Works	—	0.5	base	base + 200	—	—
British Steel PLC ⁸⁾ Port Talbot Works	—	—	303	490	668	420
National Steel Corp. ⁹⁾ Great Lakes Division	0.25	0.30 ~ 0.32	≤ 500	≤ 1 000	≥ 700	≥ 400
Kawasaki Steel Corp. ^{1,2)} Chiba Works	0.21	0.35	250	500	—	—

あり、これも真空脱炭操業の改善に寄与したものと推定される。さらに、これらの効果に加えて、その溶解によるC汚染が懸念される槽内付着地金の減少や、後述の溶鋼温度調整のための冷却材の減少に伴うInput Cの減少なども実操業上のKTB法の効果として評価されよう。

気体酸素の供給により従来よりも高い[C]域からの脱炭が同一、あるいは、より短い脱炭時間で達成できるようになったためTable 3に示すように、処理前条件、換言すると、転炉出鋼条件が緩和された効果が各社から報告されている。これは後述の温度補償効果と併せて、Table 1にまとめた極低炭素鋼溶製の従来プロセスにおける転炉の負荷が解消できたことを示唆するものである。転炉における過酸化状態を抑制できる効果は、後述のように極低炭素鋼の品質改善にも寄与するものである。極低炭素鋼の品質改善効果が報告されているNational Steel Corp. Great Lakes工場における出鋼[O]の月間推移をFig. 3⁹⁾に示すが、KTB法の導入以降酸素濃度が著しく低下していることがわかる。

転炉出鋼条件が緩和された効果は出鋼時の鋼中空素の低減といった副次効果をもたらしたことが数社^{6,7)}から報告されている。これは(株)中山製鋼所からの報告にあるように、出鋼[C]の上昇に伴い、炉内でのCOガス発生による脱炭効果が期待できる比較的高い炭素域で吹錬を終了することが可能になったためと結論できる。

3.2 真空脱ガス操業中の温度補償能力

真空脱ガスでの真空脱炭処理中にKTBランスにより気体酸素を供給することによって、脱炭反応で発生するCOガスの二次燃焼が起こり溶鋼の温度降下を抑制する効果がある。この結果、従来の極低炭

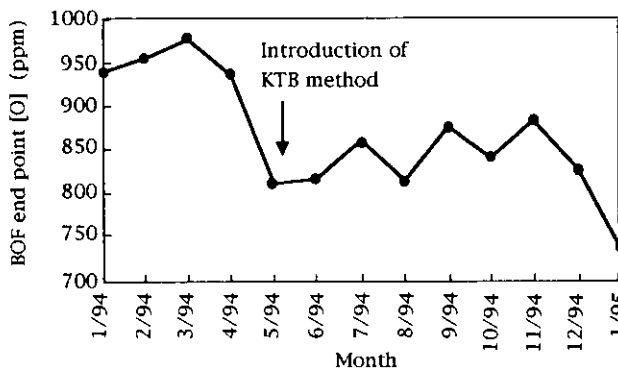


Fig. 3 Trend of BOF end point oxygen at National Steel Corp. Great Lakes Division

素鋼製造における問題のひとつであった転炉の出鋼温度の上昇を抑制することが可能となり、川崎製鉄では26℃の出鋼温度低下効果をj得ている²⁾。Table 4には各社におけるKTB法導入前後の出鋼温度の変化を示すが、各社とも20℃以上の出鋼温度の低下が実現されている。

(株)中山製鋼所で得られた20℃の転炉出鋼温度低下はTable 5に示すように4つの寄与に分類されて報告されている⁶⁾。冷却材の減少による効果はAl燃焼による溶鋼温度制御機能がKTB法によってもたらされたことにより、出鋼温度の目標値を従来よりも低めに設定できるようになったことに起因するものと推定できる。

National Steel Corp. Great Lakes工場は脱炭時間15 min、KTBランスからの送酸時間6 minの操業で得られた16.7℃(30°F)の温度補償効果について鋼浴漸熱効果の概念を用いて以下のように解析している。

- (1) 脱炭反応で発生したCOガスの二次燃焼熱(寄与率5%)
- (2) 二次燃焼によって形成される真空槽内溶鋼上のcloudが溶鋼からの輻射放熱を抑制する効果(寄与率50%)

Table 4 Effect of KTB on thermal compensation

Company	Decrease of tapping temp. (°C)	Reduction of temp. drop rate during O ₂ blowing (°C/min)
Nakayama Steel Works Ltd. ^{5,6)} Funamachi Works	20	1
Nisshin Steel Co. ⁷⁾ Kure Works	about 20	2
National Steel Corp. ⁹⁾ Great Lakes Division	27.8(50°F)	—
Kawasaki Steel Corp. ²⁾ Chiba Works	26	1.5

Table 5 Prevention of heat loss for molten steel at Nakayama Steel Works Ltd. Funamachi Works

(1) Increase of C combustion heat	1.2°C
(2) Effect of secondary combustion	7.8°C
(3) Al combustion heat	7.9°C
(4) Reduction of coolant	3.1°C
Total	20.0°C

(3) 二次燃焼域の耐火物温度上昇に伴い槽内鋼浴上部のスペースと耐火物との間の温度勾配が減少する効果(寄与率45%)

Table 4によればNational Steel Corp.におけるKTB法導入による出鋼温度低下は26.7℃と報告されており⁹⁾、上記の16.7℃よりも大きな値であるが、これは上述の真空脱ガスでの温度補償能力の付与に伴い高温出鋼を回避することが可能になった効果によるものと考えられる。

上で触れたように、真空脱炭時の二次燃焼による温度補償効果以外に、KTB法では脱炭を必要としない鋼種や処理においても溶鋼温度の制御機能が活用できる。すなわち、気体酸素の供給によって鋼中に添加されたAlの酸化燃焼熱で溶鋼温度を制御する方法であり、この操業における溶鋼温度の上昇速度としては約5℃/minの値が得られている⁹⁾。

溶鋼温度の制御手段がほとんど無かった従来の真空脱ガスプロセスと比較すると、このような溶鋼温度制御に対するフレキシビリティの付与は転が出鋼温度の低減を可能とし、3.1の出鋼条件の改善とあわせて転が操業全体を安定させる効果を生み出したと言える。

3.3 KTB法の製品品質上の効果

KTB法による真空脱炭操業の改善に伴って、転が出鋼時の過酸化が抑制できる効果は3.1に述べた通りである。結果として溶鋼の清浄度が向上し、川崎製鉄においては冷延鋼板での欠陥比率が2.2%から0.3%にまで低減している⁹⁾。一方、National Steel Corp. Great Lakes工場は以下のように品質改善効果を報告している。Fig. 4は極低炭素鋼の介在物起因による表面欠陥の推移を指標で示したものである⁹⁾が、KTB法の導入後不合格品の発生が大幅に改善されたことが明らかである。

さらに、取鍋スラグの過酸化による製品品質への悪影響を防止する観点で出鋼直後にスラグ脱酸を実施することの有効性が多く報告されている¹⁰⁻¹²⁾が、この作業によって取鍋スラグのみならず溶鋼の一部も脱酸される可能性を考えると、真空脱炭に必要な酸素源を系外に求めることが必要となる。これは、取鍋スラグの過酸化による製品品質への悪影響が懸念される極低炭素鋼の溶製にはKTB法のように容易に気体酸素を供給できるシステムが欠くべからざるものであることを強く示唆しているものと言えよう。

一方、極低炭素鋼が、侵入型元素が製品の機械的特性におよぼす影響を極小化したIF Steelという概念で呼ばれることを考えると、真空脱炭性能の改善に伴い安定して極低炭素濃度が得られるといった結果と共に、3.1で触れた転が出鋼時の[N]が低減した事実はKTB法の品質安定におよぼす特筆すべき効果と言える。

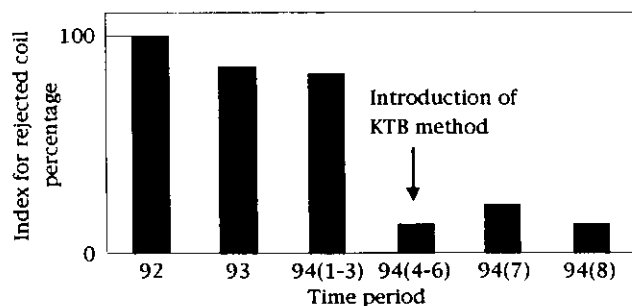


Fig. 4 Trend of ULC products flex bend test at National Steel Corp. Great Lakes Division

3.4 槽内地金付着問題の解消

KTB法の導入以降、川崎製鉄において槽内地金付着問題は極低炭素鋼の多連々を制限する障害となっていない。KTB法の槽内地金付着問題に対する効果は以下の二点が挙げられる。

- (1) 真空脱炭中の二次燃焼による槽内地金付着抑制
- (2) 非処理中に操業位置でのKTBランスからの送酸による槽内地金溶解

この作業ではKTBランス高さの変更や酸素ジェット流の方向を変更するアタッチメントの利用によって地金溶解の部位を選択した効率的な除去が可能である。

Fig. 5は(株)中山製鋼所におけるKTB法導入前後の槽内地金付着状況および地金除去作業についての効果を示したものである。従来、オペレータの重筋作業に頼った地金除去作業が70ch/回の頻度で行われていたが、KTB法導入後は、地金溶解による製品 $[O]_T$ の上昇と言った品質への悪影響を及ぼすことなく⁶⁾、KTBランスからの送酸で付着地金除去が可能になり、地金付着量そのものも従来の1/3に低減した⁹⁾と報告されている。同様の効果はトール・スチール(株)においても認められている¹⁵⁾。

3.5 製鋼耐火物に与える改善効果

上記の地金除去作業の改善と関連するが、KTB法導入によって(株)中山製鋼所における下部槽寿命は約100ch改善されたと報告されている。これは①従来のオペレーターによる作業では避けられなかった酸素ジェットが耐火物表面に直撃するトラブルが解消されたこと、②槽内耐火物温度が上昇し熱スポリングが発生しにくくなった、などの効果による改善であると解析されている⁶⁾。

また、当社の例では転がにおける出鋼条件の緩和に伴い製鋼全般に亘る耐火物コストへの改善が図られ、転が寿命で15%、取鍋および真空脱ガス浸漬管寿命で10%の延長に寄与した¹⁴⁾。

3.6 KTB設備、操業の安定性

当社で得ている情報ではKTB設備の安定性は各社とも良好で、設備のかなめである水冷ランスも安定した耐久性を示し長寿命が期待できると報告されている。また、真空脱ガス槽上部のランス孔ソケットとランスを槽外に待避させた際の盲蓋の交換を遠隔自動で実施できることなど、オペレータの安全確保や負荷軽減を考慮した設

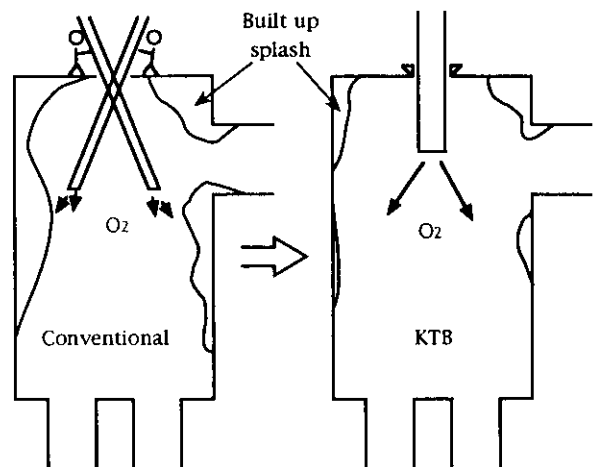


Fig. 5 Schematic drawing of built up splash removal at Nakayama Steel Works Ltd. Funamachi Works

計を随所に盛り込んでおり高い評価を得ている。

一方、KTB法を用いた各種処理に必要な酸素量決定の計算モデルもオペレータに対するガイダンスとして精度の高い計算値を提示できるレベルに至っている。

4 KTB法の応用による真空脱ガス処理機能の拡大

上の章では極低炭素鋼の溶製におけるKTB法の効果について各社の報告をまとめたが、ここではKTB法を高合金鋼に適用した例や真空脱ガスでの溶鋼脱硫実施のための補助手段として使用されている例を紹介し、KTB法がもたらす二次精錬技術改善の可能性を論じることとする。

4.1 KTB法による高合金鋼の脱炭

(株)日新製鋼所では従来転炉-VADプロセスにて溶製していた低炭素高Cr鋼を、KTB法導入後はその優位性に着目し、転炉-RH真空脱ガスのプロセスに変更して成功をおさめている⁷⁾。各操業指標の改善結果についてはFig. 6に示す通りで、低炭素高Cr鋼の溶製に関するKTB法の優位性は以下のように要約されている。

- (1) 真空脱ガスにおいてCrロスを発生することなく高[Cr]下で高速脱炭できるため真空脱ガス処理前[C]の上昇が可能となる。したがって転炉において安価な高炭素フェロクロムが使用できるとともに、Cr歩留まりの改善が図られたこと。
- (2) 真空脱ガスでの溶鋼温度制御が可能となったため出鋼温度の大幅な上昇が防止できたこと。

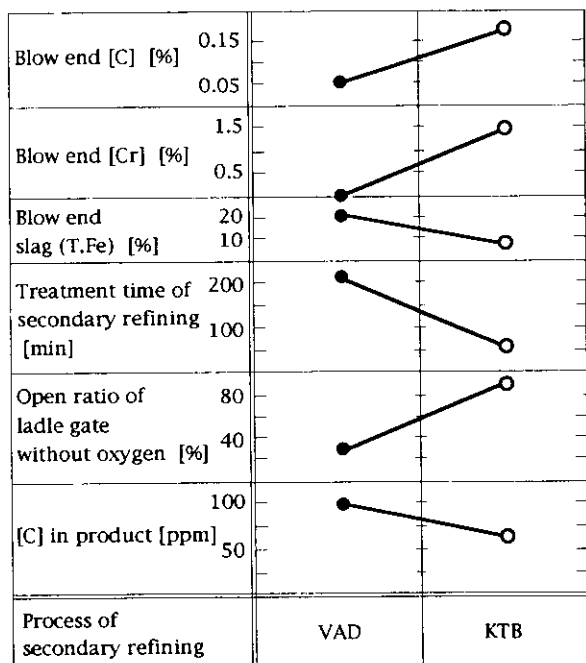


Fig. 6 The comparison of results between VAD and KTB process for producing low C-Cr steel at Nisshin Steel Kure Works

- (3) 製品[C]レベル低減による加工性の向上、出鋼[C]上昇および二次精錬時間短縮による取鍋無酸素開孔率向上による製品清浄度の改善といった品質面での効果があったこと。

当社の水島1製鋼工場でもKTB法導入後は5%Cr鋼が安定して溶製できるようになったこと、また、当社千葉工場でステンレス鋼の脱炭にKTB法が活用された例^{15,16)}をあわせ考えるとKTB法を利用した真空脱炭は一般的な極低炭素鋼にとどまらず多様な鋼種への適応が可能であることを示唆するものと言える。

4.2 真空脱ガスでの溶鋼脱硫

極低硫鋼溶製ニーズに対応するための溶鋼脱硫処理としては取鍋溶鋼中に脱硫フラックスを吹込み、これに伴う溶鋼温度低下をLFなどの手段で補償するプロセスが一般的に使用されているが、KTB法の溶鋼温度制御機能を活用して低炭素高Mn極低S鋼([S]≤10ppm)の溶鋼脱硫を真空脱ガスで実施する操業が(株)日新製鋼所から報告されている⁷⁾。このような操業方案が可能になった技術的背景として以下の2点が指摘されている。

- (1) KTB法による溶鋼温度制御が可能となったため、溶鋼脱硫に必要なフラックス添加に伴う溶鋼温度低下を補償できるようになったこと。
- (2) 出鋼[C]が上昇可能となったため、溶鋼脱硫を阻害するスラグ中の(T,Fe)+(MnO)濃度を抑制できたこと。

KTB法の活用による真空脱ガス設備での溶鋼脱硫操業には以下の利点も存在する。

- (1) 溶鋼が大気に触れる機会が少ないために鋼中窒素の上昇を抑制できること。
- (2) 本来の真空脱ガス機能に脱硫、溶鋼温度制御が付加されたことにより1回の真空脱ガスプロセスで二次精錬機能の全てが実現されること。

フラックスの供給をKTBランスを通して実施することでこの種の処理がますます効率的に行われ得ることを考えると、KTB法を基盤として真空脱ガス設備で全ての二次精錬機能を集約できる可能性が大きくなると言っても過言ではなからう。

5 結 言

真空脱ガス設備における真空脱炭操業に対するKTB法の有用性は国内外において広く評価され、その導入が行われた各社では所期の効果が確実に得られている。また、その活用例の報告が示唆するように真空脱ガス設備での二次精錬機能の集約をもたらす画期的な効果も期待できる状況にある。

今後も、単にKTB法の提供にとどまらず品質保証を含めた技術供与を通して、世界的にますますその必要性が増していく極低炭素鋼の安定大量溶製に対して貢献を図っていく所存である。

6 謝 辞

KTB法導入に伴う転炉-真空脱ガスプロセスの最適化に尽力された各社の努力に対し敬意を表するとともに深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) T. Isoda, H. Nishikawa, and S. Ohmiya: "KTB system for vacuum degasser" 48th ABM Congresso Anual da ABM (1993)
- 2) 亀山恭一, 西川 廣, 荒谷 誠, 朝穂隆一, 田村 望, 山口公治: 川崎製鉄技報, 23(1991)2, 136-141

- 3) 植村健一郎, 高橋正光, 小山伸二, 斎藤 忠, 勝田順一郎, 山名寿: 神戸製鋼技報, **41**(1991)4, 24-27
- 4) 西口克茂, 斎藤 忠, 江波戸絃一, 勝田順一郎, 片岡国男, 山名寿: 材料とプロセス, **4**(1991)4, 1266
- 5) 吉村 敏, 石裏眞治, 水谷 健: 材料とプロセス, **6**(1993)1, 178
- 6) 水谷 健, 石裏眞治, 吉村 敏: 中山製鋼技報, **32**(1993), 12-16
- 7) 國島孝之, 茶屋敬二, 松本 太, 段上高良, 前田雅之, 池田純治, 依正憲: 日新製鋼技報, **70**(1994), 59-73
- 8) D. V. Barradell, P. Dawson, R. I. Blake, and C. Priday: "The Design and Application Recirculating Degasser with a KTB Oxygen Lance at British Steel, Port Talbot Works", 1995 Steelmaking Conf. Proc., (1995), 97-103
- 9) H. Kobayashi and F. Donahue: "Start up of KTB (oxygen top blowing in RH) at National Steel Great Lakes Division" 1995 Steelmaking Conf. Proc., (1995), 87-90
- 10) 須田 守, 末次精一, 蓮沼純一, 水藤政人, 大宮 茂: 材料とプロセス, **3**(1990)1, 241
- 11) M. Suda, M. Suitou, J. Hasunuma, S. Omiya, and F. Sudo: "The advanced Mass Production System of Ultra Low Carbon Steel at Mizushima Works" 1992 Steelmaking Conf. Proc., (1992), 229-232
- 12) T. Ehara, Y. Kurose, T. Fujimura, J. Hasunuma, and R. Asaho: "Mass production of high quality IF steel at Mizushima Works" 1996 Steelmaking Conf. Proc., (1996), 485-486
- 13) 福谷考介, 小野村修一, 鈴木克紀, 及川 昇: 材料とプロセス, **6**(1993)4, 1040
- 14) M. Kuwayama, H. Nishikawa, T. Kanatani, and F. Sudo: "Reduction of Refractory Consumption in BOF Shop Using Oxygen Top Blowing Method for Vacuum Degasser" 4th Int. Conf. on Refractories (1991)
- 15) 錦織正規, 西川 廣, 反町健一: 川崎製鉄技報, **25**(1993)2, 79-84
- 16) 錦織正規, 多田 睦, 西川 廣: 川崎製鉄技報, **25**(1993)4, 287-292