

大同知多工場ステンレス鋼新精錬炉の建設と操業

Construction and Operation of New Stainless Steel Refiner at Chita Plant

大同特殊鋼(株)知多工場

森井 廉・小沢正俊・新貝 元*

津野雅英・永谷哲洋

研究開発本部

森 広司

1. 緒言

大同特殊鋼(株)(以下当社という)はステンレス鋼製鋼部門の大幅な合理化を目的にステンレス鋼量産体制の確立とコスト・品質競争力強化のため知多工場にステンレス鋼新精錬炉VCR(Vacuum Converter Refiner)を建設し、1991年11月に稼働を開始した。本精錬炉はAODプロセス脱炭末期および還元期に減圧精錬を適用するもので、当社浜川工場20ton AODで開発・実用化した後知多工場に適用したものである。

本報では知多工場ステンレス鋼新精錬プロセス(AOD-VCRあるいは単にVCR)の概要と精錬特性について報告する。

2. ステンレス鋼製造プロセス

2.1 設備配置

Fig. 1に知多工場製鋼工場のレイアウトを示す。既設建屋の北側に新精錬ヤードを増設しVCRを建設した。また5基ある電気炉のうち1基(D炉)をSUS専用炉とし、AF-VCR-#2CCの製造ラインを確立した。#2CCは1992年1月に稼働を開始した多品種小ロット高品質化対応垂直4ストランドの連铸設備である。さらに関連設備としてステンレス鋼用スクラップ装入ライン、1600tonプレスシャーを配置したスクラップヤード、極低S鋼製造を目的にアーク炉受鋼台車上にパウダーインジェクション設備などの建設も行った。

2.2 VCR設備概要

Table 1に知多工場70ton VCRの設備仕様を、Fig. 2にVCRの設備概要を示す。従来のAOD設備に加え減圧精錬が可能な機能を装備しており、設備上の特徴は以下のとおりである。

①高排気能力を有する真空設備により、ガスを吹き込んだ実操業条件で到達真空度は20 Torr以下まで減圧可能。

②ベッセルは完全密閉構造であり、羽口部もフランジ方式により完全シール。

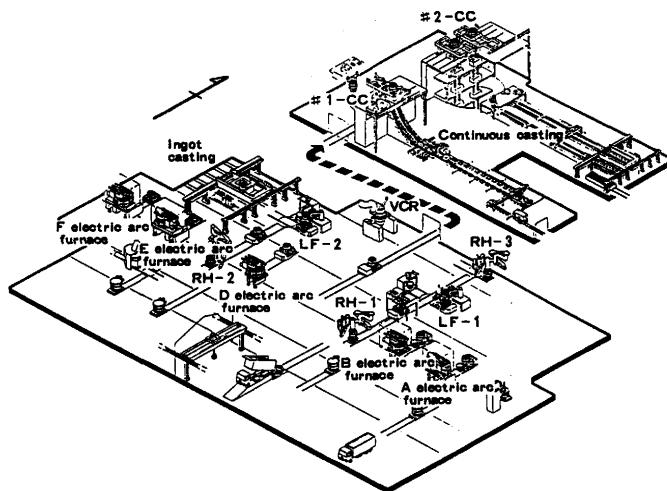


Fig. 1 Layout of melting shop in Chita Plant

Table 1 Main specifications of 70ton VCR in Chita Plant

Item		Specification
Nominal capacity		70 ton
Number of vessel		2(one for operation, another for repair)
Tilting device		Shaft mount type 2 steps speed of motor drive
Vessel supporting form		Tranion ring type
Vessel	Max inner diameter×total height	4000×6800 mm
	Thickness of vessel shell	45 mm
	number of tuyere	5
Gas system	Oxygen	15~30 kgf/cm ² G 3900 Nm ³ /hr max
	Argon	18~20 kgf/cm ² G 3600 Nm ³ /hr max
	Nitrogen	28~30 kgf/cm ² G 3600 Nm ³ /hr max
	Dry air	5~7 kgf/cm ² G 500 Nm ³ /hr max
	Oxygen(Top lance)	7~8 kgf/cm ² G 3900 Nm ³ /hr max
Vacuum evacuation Capacity		6000 kg/hr (air at 20°C) at 100 Torr
		2600 kg/hr (air at 20°C) at 16 Torr

- ③ AODベッセルのコーン周囲に水冷フランジを設け、上方から移動式真空蓋をかぶせて内部を減圧できる構造にした。真空蓋-ベッセルフランジ間シールにはガスケット方式を採用。
 - ④ 減圧精錬時のベッセル振動を抑えるため、バックラッシュレス機構シャフトマウント方式傾動装置を採用。
 - ⑤ 減圧精錬中に還元材、造滓材が添加可能なホッパーを真空蓋に装備。
 - ⑥ 羽口外管流量を個別独立制御。
- また高・中炭素域の脱炭時間短縮のため
- ⑦ 水冷式上吹ランスを設置。
 - ⑧ ベッセル直立状態で测温・サンプリングが可能な自動测温・サンプリング装置を設置。

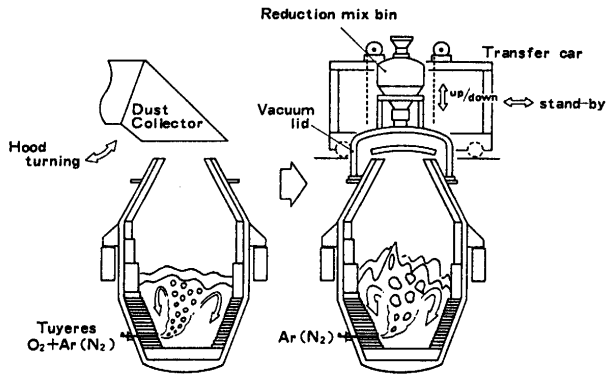


Fig.2 Schematic view of VCR at Chita Plant

2. 3 AOD-VCRプロセスの概要

AOD法はステンレス鋼量産プロセスとしてすぐれた機能を有しており、一般的にAODにおける低炭素域の脱炭効率向上対策として、不活性ガスによるO₂希釈率増加¹⁾、Arのみによる吹錬²⁾(Ar脱炭法)など気泡中のCO分圧を低下させることが有効な手段である。しかし大気圧力下の精錬のため特に極低炭域の脱炭機能に課題を残している。一方AOD-VCR法はAODに減圧機能を付加し、AOD法の特徴(強撹拌力)を生かしつつ、減圧下においてO₂吹錬なしに溶解酸素およびスラグ中の酸化物などを利用する低炭域での脱炭機能改善を図ったプロセスである。

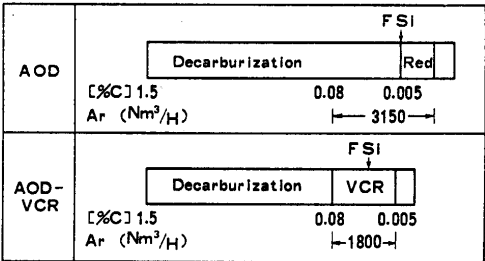


Fig.3 General refining pattern of AOD and AOD-VCR

Fig. 3にオーステナイト系ステンレス鋼のAOD法とAOD-VCR法の代表的な精錬パターンを、Table 2に操業条件を示す。AOD-VCR法は[C]が0.10%弱までは通常のAOD法による希釈ガス脱炭を行い、AOD法の第4ステップ(ガス比はO₂/Ar=1/3)に相当する時期を不活性ガス(ArあるいはN₂)のみで撹拌する減圧処理を適用し最終目標[C]まで脱炭するプロセスである。また減圧処理の後半には減圧下の強撹拌を活用して第3ステップまでに生成したメタル酸化物の還元を行うためSiなどを添加する。還元材添加後の撹拌時間は3~6分である。

Table2 Operating conditions at Chita VCR

Steel grade	SUS 304, SUSXM7
Steel weight	70~80 t
Gas flow rate	AOD: O ₂ /Ar = 17.5/52.5 Nm ³ /min VCR: Ar=30Nm ³ /min
Time	10~20min
Pressure	AOD: 760Torr VCR: 41~66Torr
Initial [C]	0.05~0.10%
Bath temperature	1730~1780 °C

3. AODプロセスの精錬機能

3. 1 脱[C]機能

Fig. 4、Fig. 5に代表鋼種であるSUS304とSUSXM7の減圧処理中の脱炭挙動を示す。なお処理時間はFSi投入までの時間である。VCR法は高真空度を必要とせず、短時間で極低[C]レベルを達成

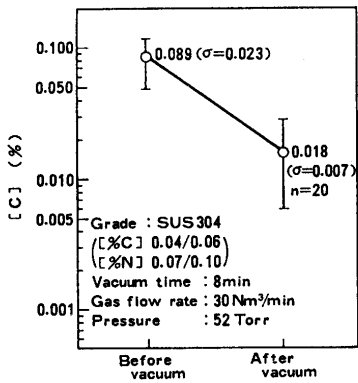


Fig.4 Changes of carbon content during VCR for type SUS304

できるプロセスといえる。脱炭反応を $[C]$ の拡散律速と考え一次反応と仮定すると脱炭速度は次式で表すことができる。

$$-\frac{d[C]}{dt} = k_c ([C] - [C]_e) \quad (1)$$

k_c : 見かけの脱炭反応容量係数 (min^{-1})

$[C]$: 初期 $[C]$ 濃度 (%)

$[C]_e$: 平衡 $[C]$ 濃度 (%)

t : 時間 (min)

(1) 式において $[C]_e = 0$ として求めた k_c と攪拌エネルギー密度 $\dot{\epsilon}$ の関係を Fig. 6 に示す。ここで攪拌エネルギー密度 $\dot{\epsilon}$ は (2) 式³⁾を用いて算出した。

$$\dot{\epsilon} = (6.185QT/W) \{ (1-298/T) + \ln(1+H/148p^*) \} \quad (2)$$

$\dot{\epsilon}$: 攪拌エネルギー密度 (watt/ton)

Q : 吹き込みガス量 (Nm^3/min)

T : 溶鋼温度 (K)

W : 溶鋼重量 (ton)

P^* : 雰囲気気圧 (atm) ($1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$)

H : ガス吹き込み深さ (cm)

VCR法はAOD法に比べ吹き込みガス量が少ないにもかかわらず、減圧精錬のため攪拌エネルギーが大きく、 k_c が大幅に向上していることがわかる。

減圧処理中に還元材を投入しないチャージにおけるVCRプロセス前後の $\Delta[O]$ %と $\Delta[C]$ %の関係を Fig. 7 に示す。 $\Delta[O]$ %と $\Delta[C]$ %の変化は化学量論的關係から大きく偏倚しており、脱炭の酸素源としてスラグ中の酸化物が寄与していると考えられる。すなわちVCRにおける脱炭反応は (3) 式で表すことができると推察される。



ここで $M_x O_y$ は Fe、Cr、Mn 等のメタル酸化物であり、この反応により還元材として添加する Si 原単位は大幅に低減できる。Fig. 8 に AOD-VCR プロセスにおける吹止め $[C]$ レベルとメタル酸化酸素量の関係を示す。従来の AOD 法では低炭素域になるに従い脱炭効率が低下しメタル酸化量の増加が顕著である。一方 VCR 法では熱裕度確保のため VCR 前のメタル酸化酸素量が従来の AOD 法対比若干高位となっているが高炭素領域の脱炭時に生成した酸化物を酸素源として減圧精錬時に脱炭を進行させるため極低炭素領域までメタルを酸化させることなく効率的な脱炭が可能となり還元材の低減効果が得られる。特に低炭素ステンレス鋼における効果が大きいことがわかる。

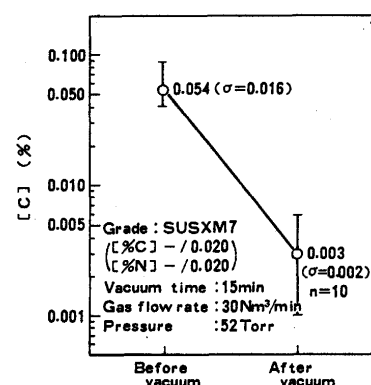


Fig. 5 Changes of carbon content during VCR treatment for type SUSXM7

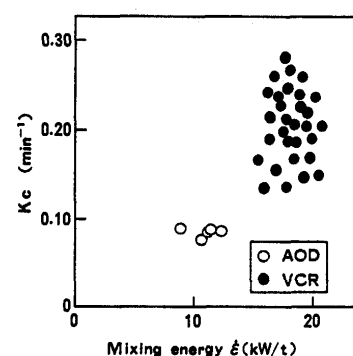


Fig. 6 Effect of mixing energy on apparent decarburization rate constant

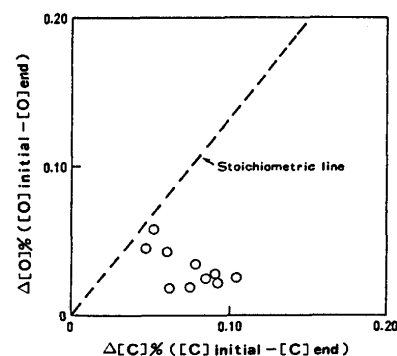


Fig. 7 Relation between $[O]$ % and $[C]$ % during VCR treatment

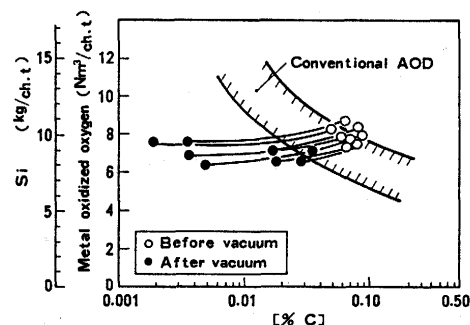


Fig. 8 Effect of VCR on metal oxidized oxygen

3. 2 脱 [N] 機能

AOD法では要求される [N] レベルに応じて適切な時期より吹き込みガス種類を N_2 から Ar へ切換えてコントロールしているが、AOD-VCR法では減圧精錬時の高い脱窒能により N_2 から Ar の切換えタイミングを従来よりさらに処理末期に移行することが可能である。

Fig. 9はAOD-VCR法において減圧処理終了までオール N_2 操業を行った時の [N] レベルを調査したものである。ここで $P_{N_2} = 1 \text{ atm}$ の時の窒素の平衡値 $[\%N]_e$ は (4) 式⁴⁾ で求めた。

$$\log [\%N]_e = -188/T - 1.25 - \{ (3280/T - 0.75) (0.13 [\%C] + 0.047 [\%Si] + 0.01 [\%Ni] - 0.01 [\%Mo] - 0.023 [\%Mn] - 0.045 [\%Cr]) \} \quad (4)$$

減圧処理後の [N] レベルは操業圧力とほぼ平衡関係にあり、SUS304のように [N] レベルを 0.08% 程度にコントロールしている鋼種では、減圧処理終了までオール N_2 操業が可能であることがわかる。

Fig. 10に成品 [N] %と Ar 原単位の関係を示す。AOD-VCRプロセスではVCR時の脱炭速度向上による処理時間短縮効果に加え、高い脱窒能により希ガス低減効果はもちろん高価な Ar ガスを N_2 ガスに置きかえ Ar 原単位を大幅に低減することができる。

4. 結言

当社知多工場にステンレス鋼新精錬炉VCRを建設し、知多工場で本格的なステンレス鋼の量産を開始した。AOD脱炭末期および還元期に減圧精錬を行う本プロセスの特徴は次のとおりである。

- (1) 低炭素域 ($[C] = 0.10\%$ 以下) の見かけの脱炭反応容量係数 k_c はAOD法対比約2倍となり脱炭速度が大幅に向上する。
 - (2) 高真空度を必要とせず短時間でVOD法と比べても遜色ない極低炭素レベルの脱炭が可能である。
 - (3) 脱炭には酸素源としてスラグ中酸化物の寄与が大きく、 O_2 吹錬なしにいわゆる真空炭素脱酸で反応が進行する。したがって還元用 Si 原単位の大幅な低減が可能である。
 - (4) 減圧精錬時の高い脱窒能によりAOD対比大幅な Ar の節減を図れる。
- 今後極低窒素ステンレス鋼の精錬技術を含めたより効率的なプロセスとして技術改善に努めていきたい。

(参考文献)

- 1) 大野剛正, 西田祚章: 鉄と鋼, 63(1977)13, 2094
- 2) 大同特殊鋼(株) (私信) 1977年12月
- 3) Y. Sundberg: Scand. J. Metallurgy, 7(1979), 81
- 4) J. Chipman, D. A. Corrigan: Trans. Met. Soc. AIME, 233(1965)1249

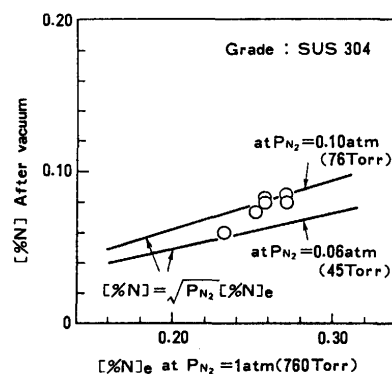


Fig.9 Comparison of the calculated nitrogen content with observed values after VCR treatment with N_2 blowing

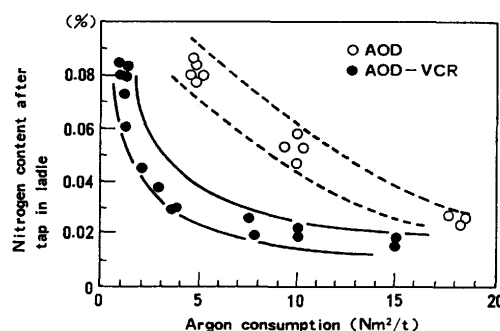


Fig.10 An empirical relation between nitrogen content and argon consumption by both AOD and AOD-VCR