

技術報告

UDC 669.187.046.517-982 : 669.187.046.554-982

住友金属鋼管製造所 50t Elo-Vac 設備と操業について*

小谷良男**・池田隆果***・石原和雄**・阪根武良**

Outline and Operation of 50t Elo-Vac Unit at Steel Tube Works of Sumitomo Metal Industries, Ltd.

Yoshio KOTANI, Takami IKEDA, Kazuo ISHIHARA, and Takeyoshi SAKANE

Synopsis:

The vacuum treatment is now a necessary process especially for high grade steel. In our works, the stream degassing of ingot had been applied for producing seamless pipe with heavy wall and large diameter. However our vacuum degassing process had not enough capacity to be applied for all necessary heats. Thus, we have newly installed 50 t Elo-Vac Unit of the ladle degassing process, called Witten process which is possible to treat both normal degassing for all heats and vacuum oxygen decarburization for stainless steel. Our 50 t Elo-Vac Unit has been operated since October, 1972.

At present, operations have been performed satisfactorily and we have produced approximately 49 000 t stainless steel by V. O. D. process and 45 000 t carbon and alloy steel by normal degassing till December, 1974. This unit is making a great contribution toward keeping high quality as well as saving production cost in manufacturing stainless steel. This paper describes the outline and operations of the Elo-Vac Unit, especially vacuum refining process of stainless steel.

1. 緒 言

近年科学技術の進歩により、ますます高度な鋼質が要求され、製鋼過程での真空処理は必要欠くべからざるプロセスとなつている。鋼管製造所においても、ボイラー用大径厚肉継目無し鋼管に対して 1959 年以来、流滴脱ガス法を適用してきたが、処理能力に限界があるため、1 チャージ全量処理しうる新鋭取鍋脱ガス設備にリプレイスをおこなつた。設備の選択にあつては、炭素鋼、低合金鋼の通常取鍋脱ガス処理のほかに、ステンレス鋼の原価低減を目的とした真空脱炭精錬 (V. O. D.) の 2 つの処理が兼用できる。いわゆる Witten 方式を採用した。

本 50 t Elo-Vac 設備は 1972 年 10 月より稼動に入り、順調な操業を続け 1974 年 12 月までに、通常取鍋脱ガス処理、約 45 000 t ステンレス鋼の真空脱炭精錬、約 49 000 t を処理している。以下に設備の概要と操業に

ついて、とくにステンレス鋼の真空脱炭精錬について報告する。

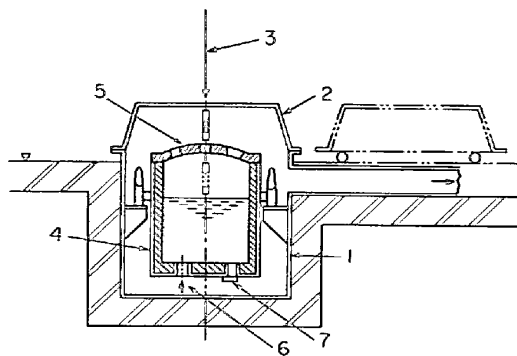
2. 設 備 概 要

設備全体図を Fig. 1 に、主要設備諸元を Table 1 に示す。50 t 電気炉で受鋼した取鍋は、真空ベッセル内に置かれ、レードルカバーを組み込んだベッセルカバーで密閉され真空に排気される。ベッセルカバー上には、酸素ランスが取り付けられてあり、適当なランス高さで真空中で酸素吹精が可能である。取鍋は高温、長時間の処理のため塩基性マグクロ質煉瓦を内張りとして使用し、スライディングノズル及びアルゴンかくはんのためのポーラスプラグを挿着している。また処理中の激しい沸とう現象のため溶鋼表面より取鍋上端までの十分な余裕高さ (フリーボード) が必要である。そのため取鍋直径に対する溶鋼高さ (H/D) は、ほぼ 1 としフリーボードは約 1 100 mm としている。排気設備は、6 段のスチームエ

* 昭和 50 年 4 月 8 日受付 (Received April 8, 1975)

** 住友金属工業(株)鋼管製造所 (Works of Sumitomo Metal Industries, Ltd. 1, Nishinomachi Higashimukōjima Amagasaki 660)

*** 住友金属工業(株)中央研究所 (Central Research Laboratory, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)



1. Vessel, 2. Vessel cover, 3. Oxygen lance
4. Ladle, 5. Ladle cover, 6. Argon plug
7. Sliding gate

Fig. 1. Schematic view of 50t Elo-Vac Unit.

Table 1. Main specifications of 50t Elo-Vac Unit.

Classification	Item	Specifications
Vacuum vessel	Inside diameter	4 850 mm ϕ
	Shell height	4 400 mm
	Roof height	1 600 mm
Ladle	Inside diameter	3 000 mm ϕ
	Height	3 220 mm
	Argon consumption	Max. 200 Nl/min
Vacuum pump system	Steam ejector	6-stage steam ejectors
	Capacity	5-stage condensers 160 kg/hr at 0.5 mmHg 1 900 kg/hr at 40 mmHg
		1 900 kg/hr at 200 mmHg
Oxygen blowing system	Blowing rate Lance	Attainable pressure 0.2 mmHg
		Max 1 500 Nm ³ /H Consumable type
Alloying addition system	Number of bunker	9 bunkers with electro magnetic feeders

ゼクターであり、真空中で酸素吹精するため 40~200 mmHg の排気能力を大きくしている。また取鍋脱ガス時の脱ガス効果の点より、到達真空度は極力低くすることが望ましく、0.2 mmHg としたため、50 t クラスの真空設備としてはかなり大きなものとなつている。

3. 製造プロセス

ステンレス鋼の真空脱炭は、西独 Witten 社により開発されたステンレス鋼の新らしい製鋼方法である。その特ちょうは、真空下で酸素吹精をおこなうことにより Cr の酸化損失を少なくして、低炭素まで脱炭をおこなうことである。ステンレス鋼の酸化反応については、

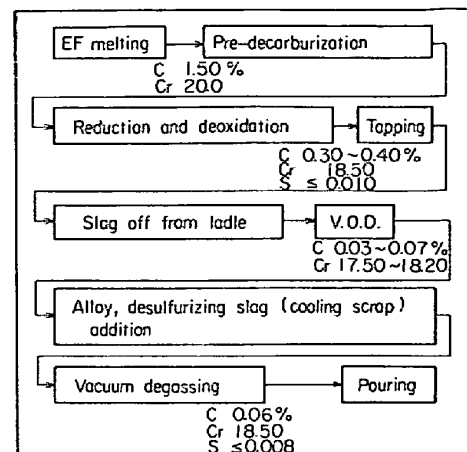


Fig. 2. Typical procedure of sus 304 grade.

D. C. HILTY¹⁾ により次式が提唱され、現場実炉データとよく一致することが認められている。

$$\log [\% \text{Cr}] \cdot P_{\text{Co}} / [\% \text{C}] = -13\,800 / T + 8.76$$

すなわち P_{Co} を低くすることにより比較的低温で Cr/C を上昇することができる。このことは、従来製造が比較的困難であつた極低炭素ステンレス鋼 ($\text{C} \leq 0.03\%$) の脱炭が極めて容易になることを意味している。また一般ステンレス鋼においても、従来の電気炉精錬法の場合には、Cr の酸化損失の防止、鋼浴温度の上昇を避けるために配合 Cr 量の制限による不足 Cr 分を高価な低炭素フェロクロムで補っているのに対し、本方法ではこれらの制限が緩和される。品質面でも脱炭後の真空脱ガス処理により、水素、酸素、窒素の低い清浄鋼が得られ、原価的にも品質的にもきわめて有利なプロセスである。代表的な溶製鋼種である SUS 304 の製造プロセスを Fig. 2 に示す。

3.1 電気炉精錬

配合 $[\% \text{C}]$ は安価な高炭素フェロクロムを有効に活用するため約 1.5% となるが、真空脱炭時のスプラッシュ発生によるメタル歩留低下を考慮してあらかじめ 0.3~0.4% C まで粗脱炭をおこなう。しかしこの過程では Cr は 2~4% 酸化するためこの Cr の回収と脱硫のために還元をおこない出鋼する。出鋼後ただちに取鍋より除滓し真空脱炭を開始する。

3.2 真空脱炭精錬 (V.O.D.)

真空脱炭は取鍋底部に挿着されたポーラス煉瓦を通してアルゴンガスを流し溶鋼をかくはんしながら酸素を吹きつける。酸素ランスには初期、内径 36 mm の鋼管に先端を耐火物でコーティングしたものをを用い、ランス湯面間距離を 400~600 mm で吹精していた。

この場合ランスの損耗速度が速く、吹錬の安定に最も

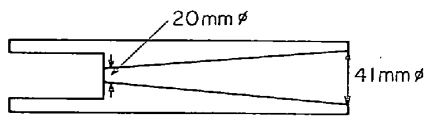


Fig. 3. Profile of laval nozzle.

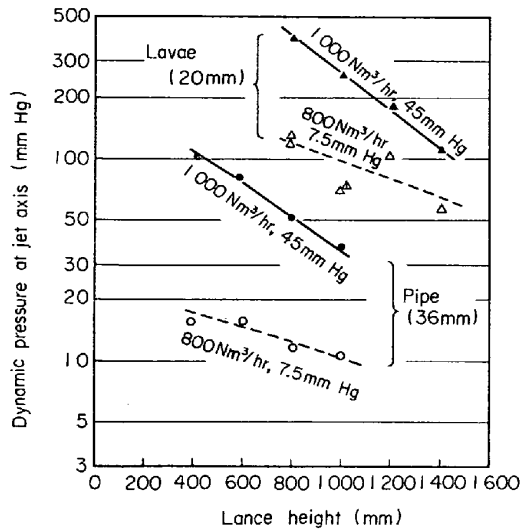


Fig. 4. Dynamic pressure of oxygen jet at 45mmHg and 1000 Nm³/hr.

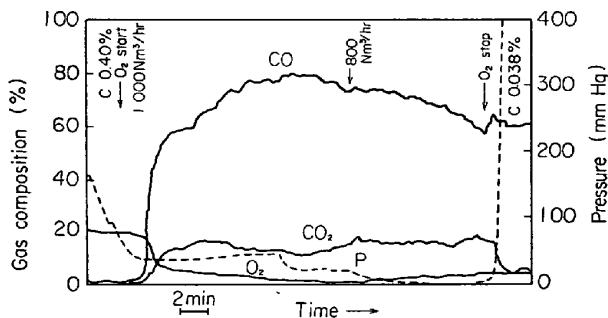


Fig. 5. Change of gas composition during the blowing with laval nozzle lance.

重要なランス-湯面間距離を正確に制御できない欠点があった。そこでランス-湯面間距離を大きくできるランスノズルの形状を検討し²⁾, Fig. 3 に示すような形状のラバルノズルを設計した。このラバルノズルを用いればベッセル内圧力が 50~100 mmHg でほぼ Mach 3 の噴流が得られ, Fig. 4 に示すように広い圧力範囲で大きな動圧が得られる。したがってランス-湯面間距離をパイプランスの場合の 400~600 mm から約 3 倍の 1600 mm にしても, ほぼ同等の動圧が得られランスに対する熱負荷を大幅に軽減できる。

この結果ラバルノズルを全面的に採用し 1600 mm での操作をおこなっている。酸素吹精中の排ガス組成変化の 1 例を Fig. 5 に示すが, これに代表されるように極

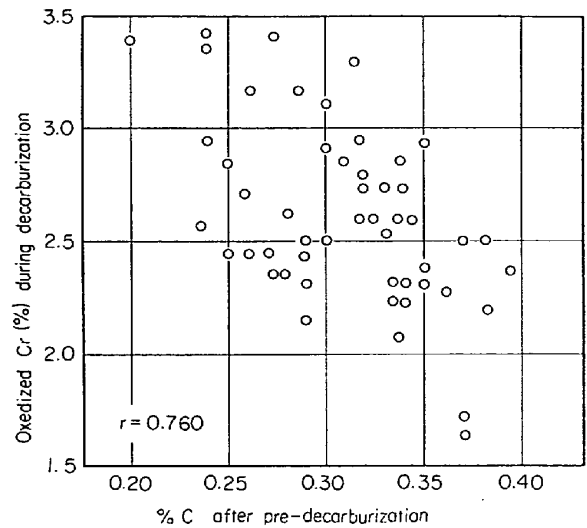


Fig. 6. Relation between %C and Δ%Cr after preliminary decarburization in E.F.

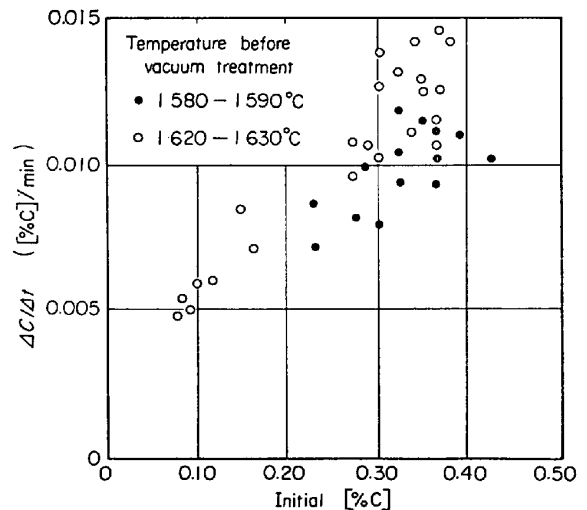


Fig. 7. Decarburization rate during V.O.D. process.

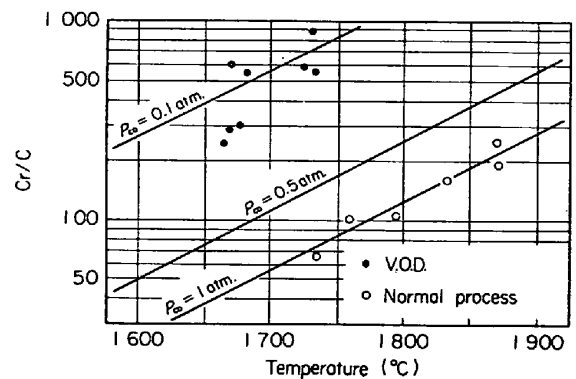


Fig. 8. Cr/C-T relation after V.O.D.

めて安定した脱炭反応が得られるとともにランスの多数回使用が可能となり, 作業性も大幅に好転した。

酸素の吹精量は処理前の C, Si 及び溶鋼温度でほぼ決定され, 末期の脱炭進行状況は真空度の推移により把握される. 脱炭後温度の高い場合は同系統のスクラップを添加し, 還元脱酸剤および CaO を主体とする造滓剤および成分調整用の合金鉄を添加する. その後再び真空脱ガス処理をおこない所定の温度として処理を完了する.

4. 操 業 結 果

4.1 電気炉粗脱炭

Fig. 6 に粗脱炭後の終点 C と Cr の酸化量を示す. 終点 C が低下するにつれて, Cr の酸化量は増大する. 粗脱炭後還元をおこない Cr を回収するが, 回収率は Cr 酸化量によって変動するため, 出鋼歩留を高水準に安定させるためには, 終点 C の適中率管理が重要である.

4.2 真空脱炭精錬

脱炭速度と初期 C の関係を Fig. 7 に示した. 当然のことながら脱炭速度は初期 C と強い相関があり, また初期温度の影響も大きい.

ステンレス鋼の通常電気炉操業法の場合, 脱炭後の Cr/C と T の関係は D. C. HILTY¹⁾ らの実験式とよく一致し, Fig. 8 に示すように $P_{CO}=1$ atm に平衡するが真空脱炭後ではほぼ P_{CO} が 0.1~0.2 atm に見かけ上平衡し真空下での脱炭効果は明瞭である. 適正な脱炭を進行させるためには, 送酸速度, アルゴン流量, 真空度など多くの因子が関与しており, 適正な値を選択する必要がある. 極端な例として脱炭末期送酸を停止してアルゴンかくはんをしながら数 min 間高真空に保持するのみでも, いわゆる真空炭素脱酸反応で脱炭と脱酸が同時に進行する. Fig. 9 に次のような条件で真空炭素脱酸した場合の脱炭, 脱酸進行状況を示した.

鋼種……………SUS 304
処理時間……………6~15 min
Ar 流量……………40~80 l/min
到達真空度……………0.8~1.2 mmHg

図中の破線は, 高合金鋼まで WAGNER の式が適用できるとして 1600°C における以下の熱力学的数値を用い 1650°C でも適用可能として求めた $\underline{C-O}$ 及び $\underline{Cr-O}$ の平衡値である.

$$\underline{C} + \underline{O} = \underline{CO} \quad \log K (= P_{CO}/a_C \cdot a_O) = 1160/T + 2.003^{2)}$$

$$3\underline{Cr} + 4\underline{O} = \underline{Cr_3O_4} \quad \log K (= [\%Cr]^3 \cdot a_O^4)$$

$$= -53520/T + 23.96^{4)}$$

$$e_O^C = 0.19^{5)} \quad e_O^{Cr} = -0.65^{5)}$$

$$e_C^O = -0.31^{6)} \quad e_{Cr}^O = -0.20^{6)}$$

$$e_C^{Cr} = -0.024^{7)} \quad e_{Cr}^{Cr} = -0.038^{5)}$$

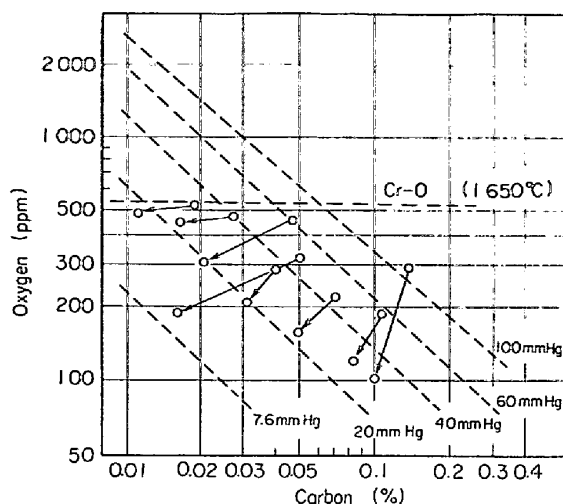


Fig. 9. Change of oxygen in vacuum carbon deoxidation process (SUS 304).

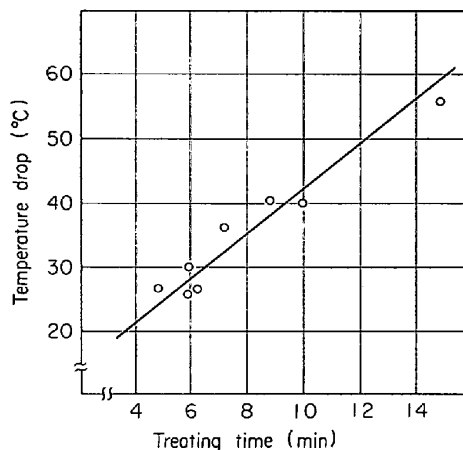


Fig. 10. Temperature drop in vacuum carbon deoxidation process.

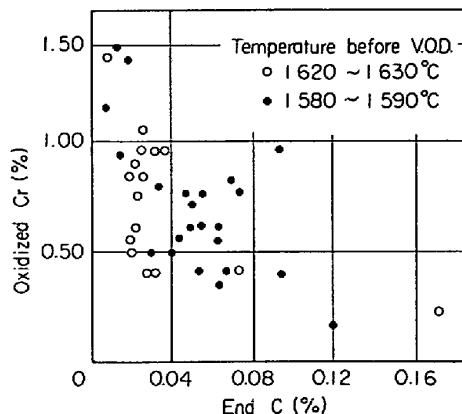


Fig. 11. Relation between end C(%) after V.O.D. and oxydized Cr(%).

$$e_C^{N1} = 0.012^{5)} \quad e_O^{N1} = -0.006^{6)}$$

真空炭素脱酸後の P_{CO} は, ほぼ 20 mmHg の平衡値に近い値となっている. 一方真空炭素脱酸処理による温

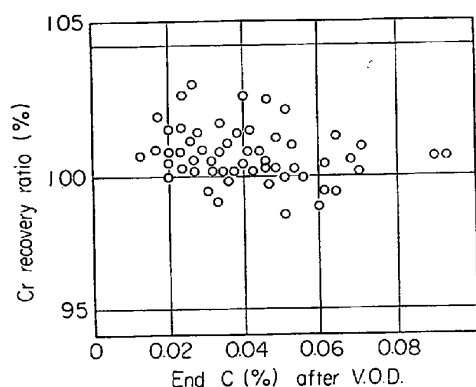


Fig. 12. Relation between end C% after V.O.D. and Cr recovery ratio in vacuum treatment.

度降下は Fig. 10 に示すようにかなり大きい。したがって本法は比較的 Cr の損失が大きく、必要以上に温度が上昇する極低炭素ステンレス鋼の脱炭には、特に有効である。

Fig. 11 に酸素吹精後の終点 C と Cr の酸化量との関係を示す。Cr の酸化は C が 0.04% 以下から急激に増加する傾向にある。また処理前温度が低い場合にも Cr の酸化は増加する傾向にある。しかしながら Fig. 12 に示すように脱炭中に酸化された Cr_2O_3 はその後の脱ガス過程でほぼ全量還元される。回収率が 100% 以上のものが多くあるが取鍋上部に付着したスプラッシュが一部還元されたことによると思われる。

4.3 ガス成分推移

4.3.1 酸素

Fig. 13 に示すように真空脱炭後の酸素は 220~600 ppm とばらつきが大きいが真空カーボン脱酸およびその後の還元、脱ガス処理により 70 ppm 以下に低下する。

4.3.2 水素

Fig. 14 に示すように真空脱炭後は、ほぼ 2 ppm 以下に低下しているが、真空脱ガス後で若干上昇している。これは脱炭後添加する冷却材としてのスクラップあるいは添加スラグの影響であると考えられる。しかし従来のレベルよりは大幅に低下しており、フェライト系ステンレス鋼の白点対策として有効な手段である。

4.3.3 窒素

電気炉で還元、脱硫精錬をおこなった溶鋼のため、真空処理前の窒素はかなり高いレベルにあるが、真空脱炭によりほぼ 100~170 ppm 程度までに低下している。真空脱炭後一度大気開放し、冷却材、スラグなどを添加するため水素と同様若干高くなる傾向にある。

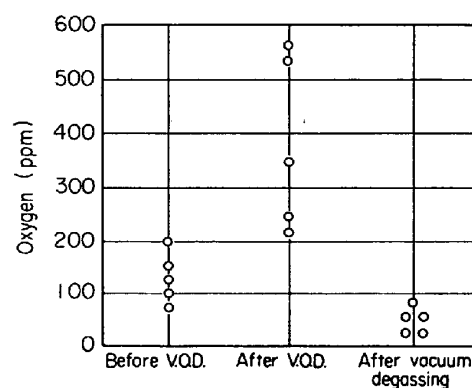


Fig. 13. Change of oxygen in V.O.D.

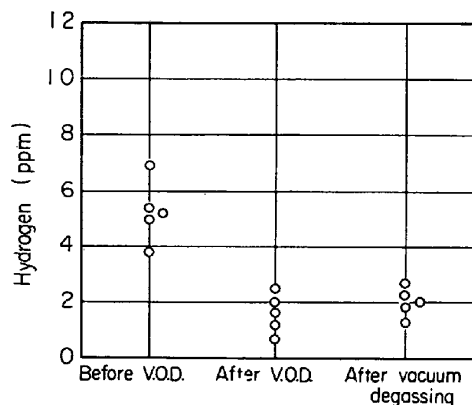


Fig. 14. Change of hydrogen in V.O.D.

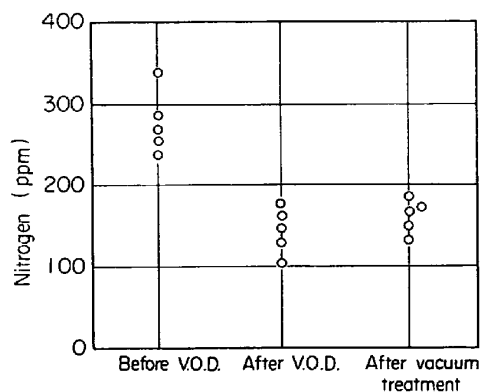


Fig. 15. Change of nitrogen in V.O.D.

Table 2. Summized operational results.

Time (min)	E. F.	150
	V. O. D.	30~40
	Vacuum degassing	20
Total tapping yield		95.0
Total Cr yield		93.0
Life of a ladle (times)		25~30
Life of a ladle cover (times)		50~60

Table 3. Quality of V. O. D. stainless steel compared with normal process.

Classification	N	Oxygen ($\times 10^{-4}\%$)	Sulfur ($\times 10^{-3}\%$)	Microcleanliness by JIS method ($\times 10^{-3}\%$)				Sand seams (2/3D)		
				A	B	C	Total	Total numbers	Total length	Max. length
V. O. D. process	10	46	7	53	9	18	80	0.1	0.1	0.2
Normal process	22	60	6	39	13	27	79	1.7	1.8	1.0

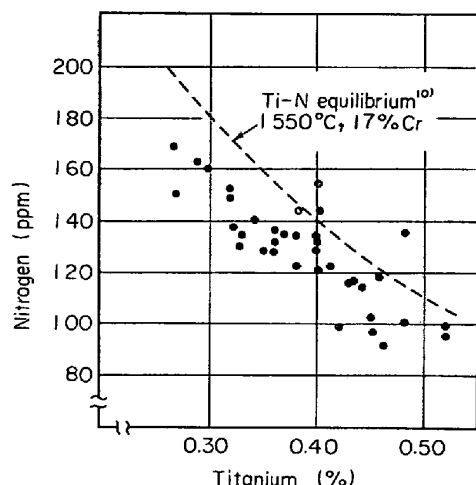


Fig. 16. Relation between nitrogen and titanium contents of billet (SUS 321).

高温強度を要求されるものなど、むしろ窒素が高い方が望ましい場合には、窒化マンガン、あるいは窒化クロムなどで加窒している。一方含 Ti ステンレス鋼のように、凝固時に多量の TiN を発生し著しく鋼を汚染するような鋼種には、あらかじめ窒素値を低下させた状態で Ti を添加することが可能な本法の適用は有利である。すなわち、鋼片歩留を悪化させる鋼塊表皮直下の大型 TiN クラスタは、鋳型内で急冷され多量に発生し、とくに凝固の速い表皮部では浮上できずに捕捉される。したがって発生量を減少させるには Ti 添加前の N を低くしておくことが効果的である。一方鋼塊内部の N 値は Ti 添加前の N の値に関係なく、Ti 含有量及び鋳込温度に支配されることを確認している。真空脱炭精錬後 Ti を添加した 18-8 系含 Ti ステンレス鋼の圧延丸鋼における Ti-N の関係を Fig. 16 に示す。Ti と N には明確な相関が認められ W. A. FISCHER ら¹⁰⁾の 17%Cr 鋼での実験結果とよく対応する。

4.3.4 操業諸元

Table 2 に示すように、電気炉での通電時間は約 2hr 30 min, 真空脱炭 30~40 min, 脱ガス処理約 20 min である。歩留は、全出鋼歩留が 95% である。Cr の回収

率は前述のように真空処理過程では 100% であり、全回収率は電気炉での回収率に支配され、約 93% になっている。また耐火物の寿命は取鍋が 25~30 回、レードルカバーが 50~60 回となっている。

4.3.5 品質

SUS 304 の 3 t 鋼塊を 150~215 ϕ に圧延後そのミドル部より試験片を採取し、鋼質を調査した結果を Table 3 に示した。酸素は 46ppm と従来法に比べ非常に低く安定しており、清浄度も JIS 法 B 型、C 型の酸化物系介在物が減少している。それにともない地疵成績も大幅に改善されている。これは真空脱炭後の脱ガス処理中に、Cr の還元、脱硫とともに脱酸生成物の浮上分離が促進されるためと考えられる。しかし JIS 法 A 系介在物はむしろ悪化している。この A 系介在物はほとんどが硫化物であり、硫黄値にはほとんど差がないにもかかわらず評価が悪化しているのは、酸化物系介在物と結びつき、酸化物としてカウントされていた硫化物系介在物が、酸化物系介在物の減少により硫化物系介在物としてカウントされるようになったためと考えている。

5. 結 言

以上のように、住友金属鋼管製造所 50 t Elo-Vac 設備によるステンレス鋼の真空脱炭精錬は、従来よりもすぐれた品質を維持しながら大幅な原価低減を達成している。

文 献

- 1) D. C. HILTY: JISI 180 (1955), p. 116~120
- 2) 小谷, 池田: 鉄と鋼, 60 (1974), S 400
- 3) 学振製鋼 19 委員会: 製鋼反応の推奨平衡値 (1968), p. 2 [日刊工業新聞社]
- 4) J. CHIPMAN: JISI, 180 (1955), p. 97
- 5) H. SHENCK and E. STEINMETZ: Stahleisen-Sonderberichte, Heft 7 (1966), p. 36 Verlag Stahleisen M.B.H. Düsseldorf.
- 6) J. F. ELLIOTT et al.: Arch. Eisenhüttenw, 38 (1967), p. 813
- 7) H. SCHENCK et al. Arch. Eisenhüttenw, 39 (1968), p. 803

-
- | | |
|---|--|
| 8) W. A. FISCHER: Arch. Eisenhüttenw, 36(1965), | p. 451 |
| p. 695 | 10) W. A. FISCHER: Arch. Eisenhüttenw, 43(1972), |
| 9) H. SCHENCK et al. Eisenhüttenw, 30(1959), | p. 291 |
-