

© 1984 ISIJ

## 取鍋用真空吸引式除滓設備の操業

技術報告

宮脇 芳治\*・半明 正之\*・白谷 勇介\*  
松田 安弘\*・小松 喜美\*

## Operation of Vacuum Slag Cleaner (VSC) for Casting Ladle

Yoshiharu MIYAWAKI, Masayuki HANMYO, Yusuke SHIRATANI,  
Yasuhiro MATSUDA and Yoshimi KOMATSU

## Synopsis:

BOF slag run into casting ladle at tapping gives disadvantageous effects in the succeeding steelmaking process, such as rephosphorization, low yield of alloy, and steel contamination in the form of inclusion at the stage of casting. Conventionally at NKK Fukuyama Works, dragger was applied to eliminate the slag mechanically. This mechanical method, however, had caused imperfect slag skimming, mechanical damage to casting ladle, steel loss, and temperature drop and so on.

To solve these problems, introduction of vacuum slag cleaner (VSC) for casting ladle was made. In September, 1982, NKK started the operation of VSC. And the monthly production through VSC was increased up to 50 000 tons of steel. Various effects of VSC treatment, such as reduction of aluminum consumption, less rephosphorization and better cleanliness of the steel, are discussed quantitatively in this study.

## 1. 緒 言

出鋼時取鍋に混入する転炉スラグは、以降の取鍋精錬プロセスにおいて、復りん、合金鉄歩留り低下などの悪影響を与え、 casting時には溶鋼再酸化による介在物の生成および、介在物巻き込みによる品質欠陥発生の原因となる。このため従来、機械式除滓機（スラグドラッガー）によつて除滓を図つてきたが、除滓率に限界があること、取鍋の損傷、溶鋼の流出ロス、温度ロスなど多くの欠点があつた。こうした背景のもとに、下記の目的で、稼働率の大幅向上が期待できる取鍋用真空吸引式除滓設備（VSC）を設置した。

- |        |               |
|--------|---------------|
| ①品質向上  | — 復りん防止機能強化   |
|        | — 介在物低減       |
|        | — 成分狭範囲コントロール |
| ②コスト低減 | — 合金鉄歩留り向上    |
|        | — 転炉フラックス低減   |
|        | — 鉄歩留りの向上     |
|        | — 計画残湯の廃止†    |

当設備は昭和 57 年 9 月より福山製鉄所第 2 製鋼工場稼働を開始し、現在まで順調にその処理量、対象鋼種の拡大に努めてきた。今回、当設備の紹介と操業状況、

† 5 章参照

適用効果について報告する。

## 2. 設 備 概 要

VSC は Fig. 1 に示すように吸引口（サククションヘッド）の動作を制御するコントロールマシン、スラグを分離排出するセパレーター、吸引管路中で発生した蒸気を覆水するコンデンサー、サククションヘッドからスラグを吸引するのに必要な空気流を発生させる真空ポンプ、および給排水設備の集合設備である。図中、 $P_1 \sim P_4$  は、次章で述べる吸引異常の検知に使う、真空度測定箇所である。サククションヘッドから吸引されたスラグは Fig. 2 に示された吸引直後の圧力水によつて冷却、細粒化され、吸引管を経由してセパレーターにおいて粒滓、水、蒸気と分離される。粒滓はスラッジコンベアーによつて系外へ排出され、蒸気はコンデンサーに送られ、冷却水

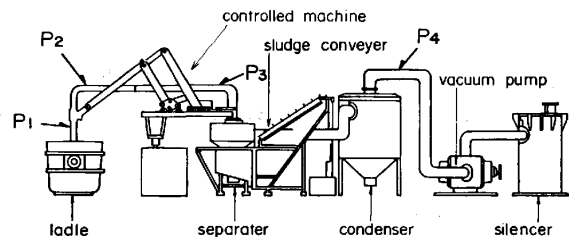


Fig. 1. Schematic arrangement of VSC equipments.

昭和 58 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 58 年 12 月 15 日受付 (Received Dec. 15, 1983)

\* 日本鋼管(株)福山製鉄所 (Fukuyama Works, Nippon Kokan K. K., 1 Kokan-cho Fukuyama 721)

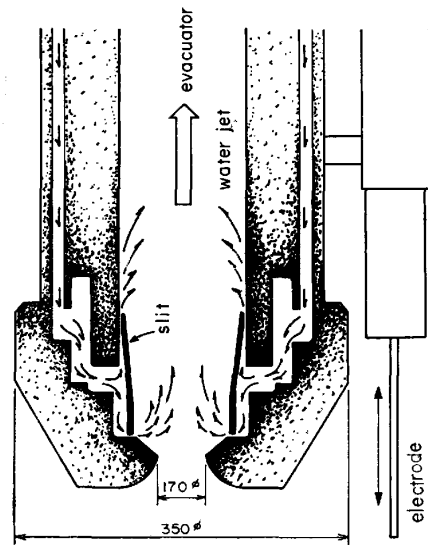


Fig. 2. Cross section of suction-head.

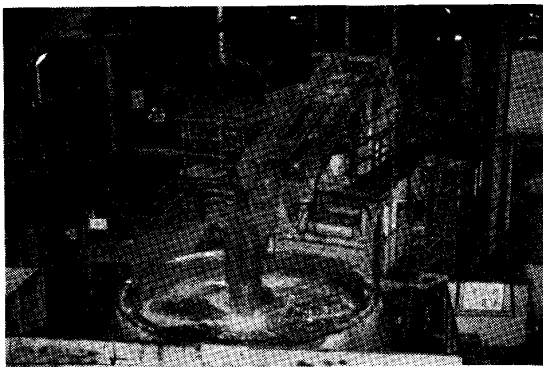


Photo. 1. VSC for casting ladle under operation.

Table 1. Specifications of VSC.

Ton/Ladle	170t~262t
Production capacity	280 000t/month
Suction rate of slag	Max 600kg/min
Suction rate of air	210 Nm <sup>3</sup> /min
Motor capacity of vacuum-pump	AC 3 300 V-350 kW
Water supply	230t/h { Suction-head 90t/h Condenser 110t/h The other 30t/h
Suction head descending speed	2mm/s~100mm/s
Separator	Revolution rate of impeller, 800 rpm AC 440 V-37 kw x 4 P
Condenser	Cooling ability 84 000 kcal/min

によつて覆水される。最後に残つた冷却空気は真空ポンプにより、サイレンサーを経由して大気放出される。Photo. 1 はスラグ吸引作業を撮影したものである。また、VSC の主仕様を Table 1 に示す。

### 3. 溶融スラグの吸引, 冷却, 細粒化

#### 3.1 スラグ吸引速度

スラグ吸引速度は真空ポンプの吸気能力, サクションヘッドとスラグ面の距離, スラグ物性に依存するもの

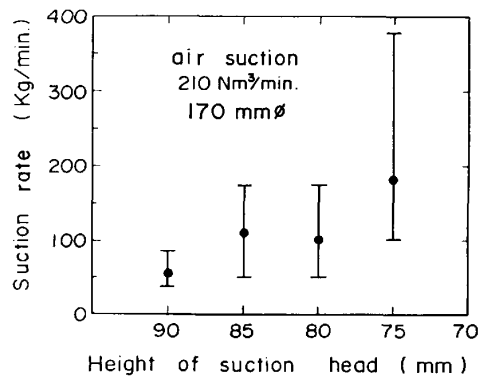


Fig. 3. Relation between the height of suction head and suction rate of slag.

であり, この吸引速度を適切に維持することが, 吸引管内スラグ閉塞, 突沸現象などによる作業の安定性阻害を防ぐために重要である。真空ポンプ能力が一定の場合, スラグ吸引速度に最も大きく影響するのはサクションヘッドの高さである。Fig. 3 はサクションヘッドの高さとスラグ吸引速度の関係を示したものであり, サクションヘッドの高さが低くなるにつれて, すなわちスラグ面との距離が短くなるにつれて吸引速度は向上するが, 溶鋼吸引の危険も増加する。サクションヘッドの高さは Fig. 2 に示した電極にてスラグ面を設定サイクルで接触検知し管理される。通常作業のサクションヘッドの高さ 75 mm におけるスラグ吸引速度は通常 250~400 kg/min である。また過大吸引および異物閉塞などの吸引異常の検知に関しては, Fig. 1 中の矢印で示した4カ所の真空度 ( $P_1 \sim P_4$ ) 測定によつて行つている。例えばスラグの吸引速度が異常に上昇した場合は, 蒸気発生量が多くなり前ベンド管  $P_2$  の真空度が低下すること, コンデンサー後部に設置してある元圧力  $P_4$  では吸引スラグ増加による吸引抵抗上昇から真空度が上昇すること, などの傾向がある。

#### 3.2 吸引スラグの冷却, 細粒化

吸引した溶融スラグへは, サクションヘッド先端部にて圧力水を噴射してその冷却を行つている。この際, スラグ吸引を安定させるためには次の条件が必要である。

- ①吸引スラグを十分に冷却する。
- ②スラグを吸引管内面に付着しにくい粒滓にする
- ③粒径を小さくし粒内に冷却水を残存させない

スラグ吸引速度と冷却水量を軸にとり, 実作業範囲を斜線で示したものが Fig. 4 であり, サクションヘッドにおけるスラグと水の熱収支から計算される冷却水の気化率を Fig. 4 の外側に別軸で示した。スラグと水の熱収支は次式で示される。

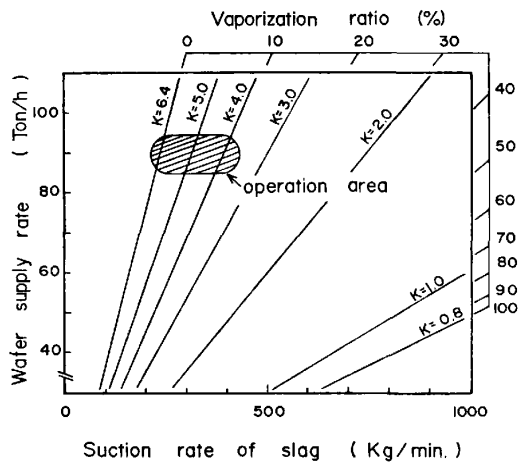


Fig. 4. Relation between water/slag weight ratio and vaporization ratio.

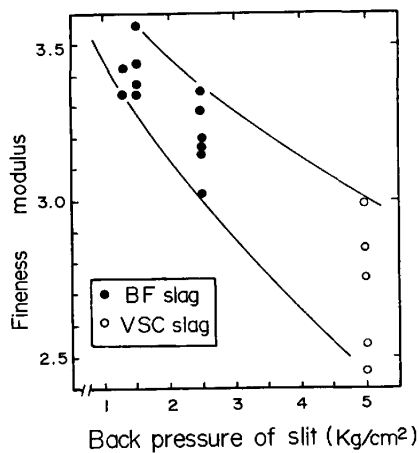


Fig. 5. Relation between back-pressure of water jet and fineness modulus of slag.

$$\text{スラグの含熱量 (kcal/kg)} \times \text{スラグ吸引速度 (kg/min)} = \text{冷却水量 (kg/min)} \times \{ \text{気化潜熱 (kcal/kg)} \times \text{気化率} + \text{顕熱分} \} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、スラグの含熱量 (1640°C) 480 kcal/kg<sup>1)</sup>  
 水の気化潜熱 539 kcal/kg  
 水の比熱 1 kcal/kg

また、ここで、水/スラグ重量比を下記のように定義する。

$$K \text{ 値} = \text{冷却水量 (kg/min)} / \text{スラグ吸引速度 (kg/min)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

実操業下では噴射水量は 90 t/h で、スラグ吸引速度は 220~400 kg/min なので K 値は 7~4 程度である。Fig. 4 からわかるように冷却水の気化率は 10% 以下であり、発生する蒸気は VSC 吸気能力範囲である。したがって気化潜熱も一部関与したスラグ冷却が行われていることがわかる。

細粒化に関しては冷却流体の背圧を上昇することが一

Table 2. Various production processes through VSC.

*1 LANS - steel	Ultra low P steel	Clean steel	
		Tin sheet	High grade steel for UOE pipe
tapping (non-killed)	tapping (non-killed)	tapping (full-killed)	tapping (half-killed)
V S C A P CC *2	V S C A P R H CC *3	V S C CC	A P R H V S C CC CV

\*1 sheet steel for general use (low sol Al, N, Si)  
 \*2 continuous casting  
 \*3 conventional casting (ingot casting)

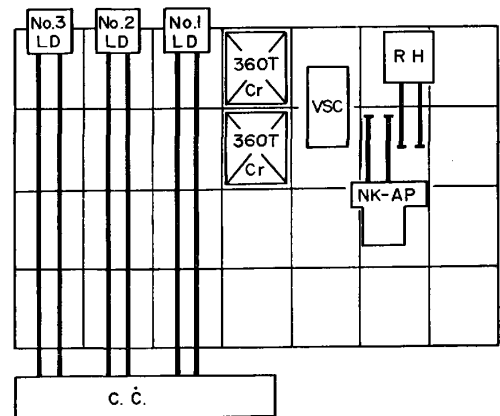


Fig. 6. Layout of VSC at No. 2 steel making shop.

般に有効である。VSC においては約 5 kg/cm<sup>2</sup> の冷却水背圧によって、粗粒率 (Fineness modulus)<sup>†2</sup> 3.0 以下の粒滓が得られている。試みに当所第 5 高炉の水砕設備で調査された冷却水背圧とスラグ粗粒率の関係<sup>2)</sup> に VSC のデータを追加プロットしたものが Fig. 5 であり、高炉スラグと比較してより安定な細粒化が図られていることがわかる。図中、高炉水滓スラグを BF slag、VSC 処理後スラグを VSC slag と表現した。

#### 4. 操業状況

本章においては VSC の実際の運用方法について述べる。

##### 4.1 VSC を経由する製造プロセス

VSC の使用法は転炉スラグを未脱酸状態で吸引除去後、取鍋精錬炉<sup>3)</sup> (AP)、あるいは RH 脱ガス装置 (RH) における 2 次精錬に供するものと、鋳造前の脱酸スラグを吸引除去することによってスラグ性介在物の巻

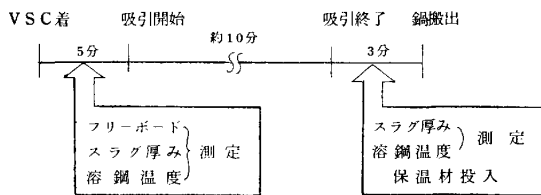
<sup>†2</sup> 粗粒率 (Fineness modulus)  
 JIS A 1102 に記載されている“ふるい分け試験”において、各ふるいとどまる試料の累計残留質量百分率の和を 100 で割った値。粒径が小さくなるにつれて粗粒率は低下する。

き込み防止をし、清浄鋼溶製を図るものとの2種類に大別できる。Table 2 に VSC 経由の代表的な製造プロセスを示す。また当工場における VSC の設置位置を Fig. 6 に示す。

処理量は最近では 200 ch (50 000 t)/月前後となっておりその内訳は月ごとに若干の変動はあるが、薄板向汎用鋼、極低りん鋼、清浄鋼の処理が 1/3 ずつある。

#### 4.2 VSC 作業手順

VSC 処理フローは下記の内容であり、準備時間などを含めた VSC 所要時間は 20 分前後である。



出鋼直後に保温材を鍋内に均一投入することは、スラグ表面硬化を防止しスラグ吸引を円滑にするために必須であり、約 70 kg/ch 投入している。また処理後そのまま铸造する場合は保温材を、2次精錬を行う場合は合成スラグあるいは石灰をそれぞれ投入する。

#### 4.3 スラグ性状コントロール

VSC 処理中にスラグ硬化による吸引中断が発生することがある。これは Table 2 の既脱酸溶鋼での発生率が最も高かった。高温加熱顕微鏡による融点測定の結果では、吸引良好な未脱酸溶鋼のスラグが 1500~1600°C であつたのに対し、既脱酸溶鋼のスラグは 1350°C 前後でむしろ融点は低くなつていたので、融点では説明できない。よつてこの原因は、未脱酸溶鋼のスラグは溶鋼対流およびガス発生が活発なためスラグの流動性は良好であるが、既脱酸になるとその性質が失われるためと考えられた。

以上により、流動性を回復させ VSC 吸引性向上を図るため、スラグの流動性向上に効果が顕著<sup>4)</sup>であるホタ

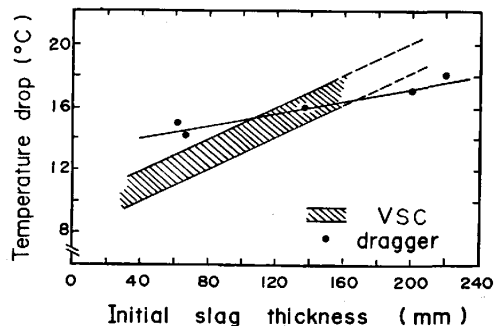


Fig. 7. Temperature drop during slag skimming.

Table 3. Decrease of Al-consumption by VSC. (Low Carbon Al-killed steel)

Production process		Decrease of Al-consumption
BOF	full-killed tapping	(base)
	full-killed tapping	0.25 (kg/t)
	non-killed tapping + AP	0.35 (kg/t)
Top and bottom blowing	non-killed tapping + VSC + AP	0.60 (kg/t)

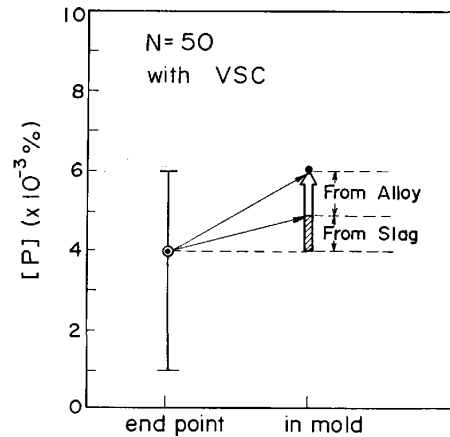


Fig. 8. Rephosphorization at ultra low [P] level.

ル石 ( $\text{CaF}_2$ ) を出鋼前の取鍋内に少量前置きし、出鋼流によつて均一混合する方法をとつた。これによつてスラグ性状悪化に起因する VSC 処理中断はなくなった。

#### 4.4 除滓中の温度降下

Fig. 7 に示したように VSC 処理の場合は、温度降下は VSC 処理時間、すなわち初期スラグ厚みにほぼ比例する。スラグドラッガー処理ではスラグ厚との相関は小さいが、これはスラグ厚が薄くなるにつれて除滓能率が悪化するためである。

### 5. VSC の適用効果

これまでに判明した VSC 処理の効果について項目別に整理する。

#### 5.1 Al 原単位低減

福山における上下吹き転炉 (NK-CB) の本格稼動に伴い低炭素 Al キルド鋼の Al 原単位は低減<sup>5)</sup>したが、VSC 導入によつて除滓後 AP にて Al 添加するプロセスが可能となり Al 原単位はさらに低減した。Table 3 にこの効果を示す。

また従来に比較して溶鋼 sol-Al 値のばらつきは  $\sigma_{\text{VSC}}/\sigma_{\text{conventional}} \approx 0.75$  と小さくなり、狭範囲コントロール精度は向上している。

#### 5.2 復りん量低減

VSC 処理後のスラグ厚みはすべて 10 mm 以下であ

り、復りん低減にも大きな効果がある。Fig. 8 は  $P \leq 100$  ppm の低りん鋼製造時の復りん量を示したものであるが、スラグからの復りんは 10 ppm 程度となつている。この際の転炉終点スラグの P 濃度から VSC 処理後のスラグ厚みを計算すると 10 mm となり、操業時の観測値とほぼ合致している。

また  $P \leq 30$  ppm の超低りん鋼製造においては転炉終

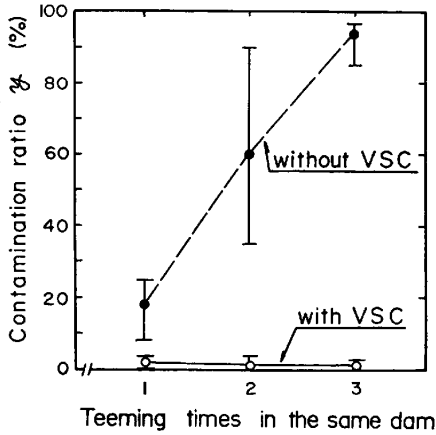


Fig. 9. Ladle slag ratio in the tundish slag.

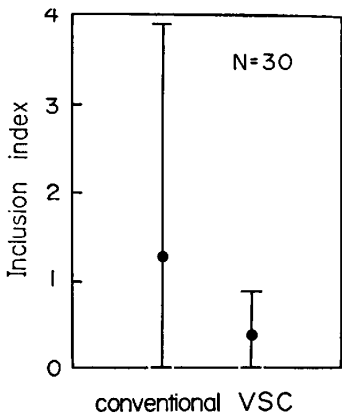


Fig. 10. Comparison of inclusion index between conventional method and VSC method.

点 P の低減、あるいは溶鋼脱りん<sup>3)</sup>を実施するが、この際にも VSC による完全除滓は必須条件となつている。

### 5.3 介在物対策

連続鋳造のタンディッシュ内に流入する取鍋スラグが溶鋼を汚染することはよく知られている。この流入する取鍋スラグ量は通常注湯方法で約 7 kg/ch<sup>6)</sup> であることが観測された。当所ではこれに起因する弊害を防ぐため、清浄鋼については末期の溶鋼を計画的に鍋内に残す作業(計画残湯)を行つていた。しかしながら VSC 除滓チャージでは計画残湯なしでも、タンディッシュ内には保温材に付着したスカム(scum)のみが観測された。これを定量的に確認するため、転炉スラグのトレーサとして出鋼時の取鍋内に酸化セリウム( $CeO_2$ )を投入し、タンディッシュ内に検出される量が VSC の有無でどの程度影響されるかを調査し、Fig. 9 に整理した。横軸に同一タンディッシュ内への注湯回数、縦軸には次式によつて定義される転炉スラグのタンディッシュ内への混入率をそれぞれとつた。

混入率  $y$  は、

$$y(\%) = \frac{(CeO_2)_{Tundish}}{(CeO_2)_{Ladle}} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

ただし、

( $CeO_2$ ) Tundish: タンディッシュスカム中の  $CeO_2$  濃度

( $CeO_2$ ) Ladle : 取鍋スラグ中の  $CeO_2$  濃度

これより VSC 除滓チャージは取鍋スラグの混入がほとんどないことがわかる。また冷延鋼板の磁粉探傷の結果を Fig. 10 に示すが、VSC 除滓チャージは従来の計画残湯チャージよりも介在物による欠陥が少ないことがわかる。Fig. 11 は、通常、計画残湯実施、VSC 除滓実施それぞれの場合について、同一タンディッシュ 4 連続注湯を行つた時のスラブ表面欠陥の推移を示したもの

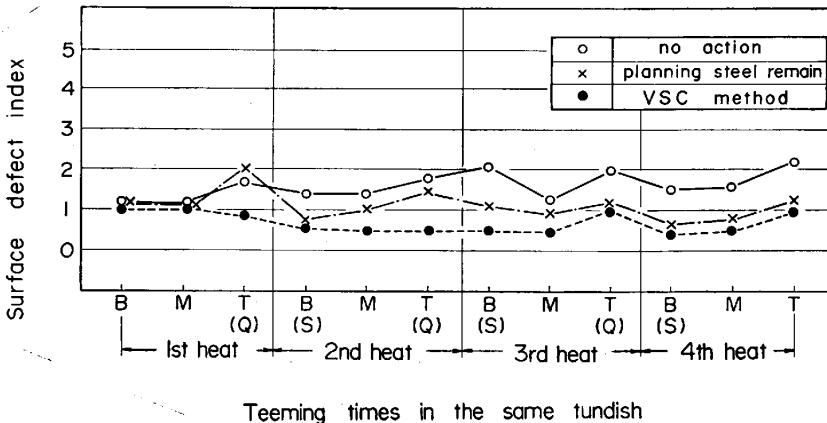


Fig. 11. Influences of VSC treatment on surface quality of slab.

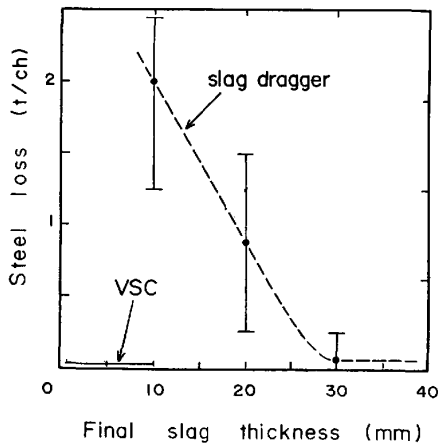


Fig. 12. Influence of final slag thickness on steel loss during slag skimming.

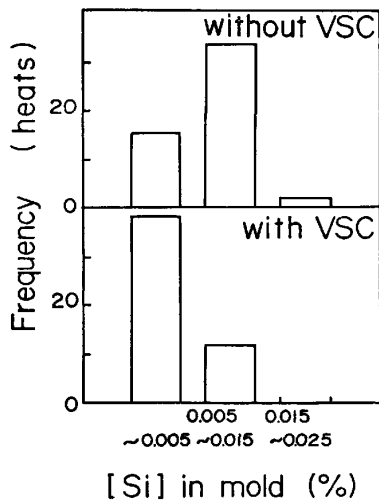


Fig. 13. Effect of VSC treatment on [Si] content in mold.

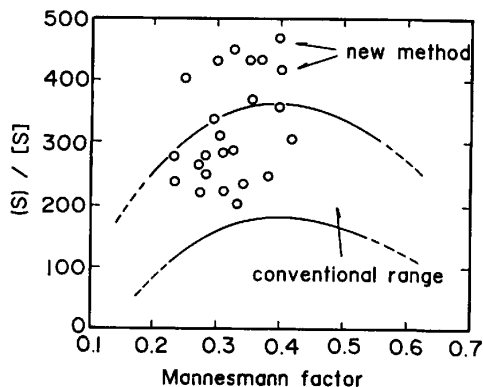


Fig. 14. Relation between (S)/[S] ratio and Mannesmann factor ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

である。ここで表面欠陥はノロカミ、ブローホールなどを総括して指数に表したものであり、VSC 除滓チャージが安定しているのがわかる。

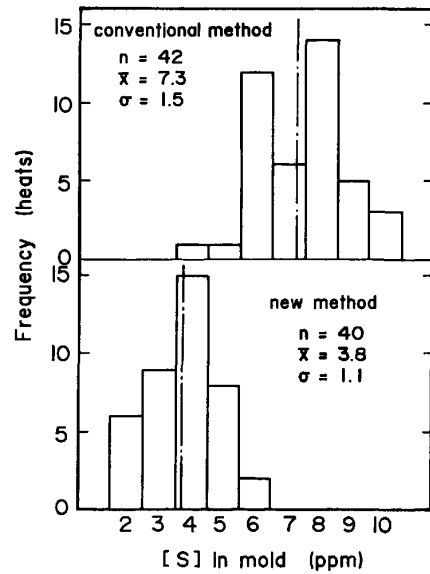


Fig. 15. Comparison of final ladle [S] between conventional method and new method.

以上から、従来、計画残湯を実施して連続铸継ぎ目の清浄性を確保していた鋼種の大部分が、VSC 処理に変更された。

#### 5.4 良铸片歩留りの向上

Fig. 12 に示すように、従来のスラグドラッガーで、スラグ厚 10mm まで除滓する場合は 2t/ch 程度の溶鋼流出ロスがあつたが、VSC 除滓に変更になつたことにより、溶鋼流出ロスは解消した。また前述のように VSC 除滓によつて計画残湯を廃止できるので、良铸片歩留りは向上した。

#### 5.5 低シリコン鋼の安定量産

未脱酸の転炉スラグを VSC 除滓してから、AP で成分調整するプロセスによつて低シリコン化が推進された。Fig. 13 は従来法と VSC 除滓プロセスによる溶製における、低炭素 Al キルド鋼の溶鋼 Si 値を比較したものである。スラグ中  $\text{SiO}_2$  の還元による Si ピックアップは VSC 処理により減少しており、極低シリコン鋼の製造に非常に有用であることがわかる。

#### 5.6 脱硫能の向上

上吹き溶鋼脱硫においては、脱硫スラグ組成コントロール、スラグおよび溶鋼の酸素ポテンシャルの低減が有効である<sup>7)</sup>。したがつて VSC 処理により転炉スラグを吸引除去後スラグ調整する方法は、スラグ組成コントロール及びスラグ酸化度の低減をとともに効果的に達成できる。Table 4 に脱硫時のスラグ構成を従来法と新法とを比較して示した。従来方法においては取鍋内流入転炉スラグ量は一定ではなく、Al 添加によるスラグ脱酸や脱硫スラグ組成コントロールは十分ではなかつた。しか

Table 4. Slag content for desulfurization.

method	Constitution of ladle slag.			
	LD Slag run into the ladle	Aluminum for deoxidation of slag	desulfurization flux	
			CaO	Wollastonite
Conventional method	5~10 k/t	0.3~0.4 k/t	5~9 k/t	—
New method	—	—	7~10 k/t	2 k/t

しながら VSC を利用した新法によつて安定した最適条件下での脱硫が可能となり、S 分配比、 $(S)/[S]$  は Fig. 14 に示すように大幅に上昇した。この結果、Fig. 15 に示すように製品  $[S]$  4 ppm 弱の極低硫鋼の安定溶製が行われるようになった。

## 6. 結 言

昭和 57 年 9 月に稼動を開始した VSC は順調にその処理量、対象鋼種を拡大し、最近では 200 ch (50 000 t) / 月前後の処理実績をあげるに至つた。また、真空度管理システムも充実し、安定した量産体制が整つた。この間、Al 原単位低減、復りん量の低減、鋼の清浄性向上、低 Si 化、良鋳片歩留りの向上、脱硫能の向上などの VSC 諸特性はほぼ確性された。

今後、新鋼種開発などに活用し、取鍋精錬プロセスと

組み合わせた総合的な合理化を推進していく計画である。

## 文 献

- 1) 鉄鋼製造法・第一分冊(日本鉄鋼協会編)(1978), p. 574 [丸善]
- 2) 日本鉄鋼連盟スラグ資源化委員会第 2 回スラグ技術交流会資料: 高炉水砕スラグ製造の現況(1979)
- 3) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 81 回製鋼部会(1982年 3 月) 日本鋼管(株) (私信)
- 4) 例えば白石 裕, 斎藤恒三: 日本金属学会誌, 29 (1965), p. 662
- 5) 田口喜代美, 半明正之, 白谷勇介, 長谷川輝之, 丹村洋一, 宮下芳雄: 日本鋼管技報 (1982) 95, p. 13
- 6) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 84 回製鋼部会(1983年 3 月) 日本鋼管(株) (私信)
- 7) 宮下芳雄, 山田健三, 碓井 務, 半明正之, 田辺治良, 池田正文: 学振 19 委-No. 10445 (昭和 57 年 10 月)