技術資料

真空誘導加熱取鍋精錬炉 (VILF) の開発と操業

宗 光彦*, 小泉維昭*, 大中一徳*

Development and Operation of Vacuum Induction Ladle Furnace

Mitsuhiko So, Koreaki Koizumi and Kazunori Oonaka

Synopsis

A new ladle refining furnace for manufacture of light charge, has been developed in Tsukiji Plant, Steel Casting Product Div. Daido Steel Co., Ltd. This furnace, named VILF (Vacuum Induction Ladle Furnace) consists of induction heating coil, special ladle and vacuum system.

The characteristics of this ladle furnace are as follows.

- (1) Steel shell of this ladle has special structure. It is not heated by induction heating and does not affect magnetic flux.
- (2) VILF can treat molten steel under vacuum condition with induction heating.
- (3) It is able to heat and degass simultaneously. This is suitable for a few ton steel.
- (4) Because of refining under vacuum condition, low oxygen content (20 ± 5 ppm) is gained in a short time.
- (5) Free from C pick up, this is utilized as holding furnace for low C stainless steel.

1. 緒 言

大同特殊鋼㈱鋳鋼品事業部築地工場（以下当工場という）では、4t EAF-AODラインで低合金鋼、工具鋼、ステンレス鋼、耐熱鋼の鋼塊、鋳造品を製造している。最近、高品質化、低コスト化の要求が厳しくなっており、AODでの精錬では限界があり、真空機能付き取鍋精錬炉の開発が望まれていた。

そこで、1990年より当工場では、富士電機㈱と

共同で、小ロット、高品質対応のための、新型炉外精錬炉である、真空誘導加熱取鍋精錬炉（VILF: Vacuum Induction Ladle Furnace）の開発を行い、1991年6月より当工場に6t規模の実証炉を建設設置し、その性能評価、および操業技術の確立をはかってきた。本報では、VILFの機能と操業技術について報告する。

2. VILF 開発の経緯

少湯量鋼精錬に対するニーズは

- (1) チャンスフリー（鋼種制約、短納期）
- (2) 高品質（低O, H, N, S）
- (3) 高生産性（高能率、低コスト）

1993年7月27日受付

*大同特殊鋼㈱鋳鋼品事業部

があげられる。従来型の精錬炉では、少湯量鋼に対する温度補償手段の問題が、大きな疎外要因となり、上記ニーズの全てを満たす炉外精錬炉がなかった。固定式の VIF では、成分汚染、能率および、出鋼時の大気汚染の問題があり、小規模 L F では、耐火物溶損による品質、コストの問題および、カーボンピックアップなどの問題があった。また、既存の誘導加熱取鍋タイプの炉として、取鍋外皮をセラミック構造としたものが開発されているが、製鋼炉としての機械強度の問題、真空度の問題があり、鉄製構造の誘導加熱取鍋精錬炉の開発が望まれていた。そこで、新型炉外精錬炉の開発を、Table 1 に示す考え方をもとに、VILF の開発に着手した。

3. VILF 装置概要

3.1 装置概要と加熱原理

Fig. 1 に装置の構造と加熱原理を示す。真空槽

Fig. 1. Principle and schematic diagram of VILF.

内に円筒誘導コイルを設置し、コイル内にステンレス鉄皮製特殊取鍋を挿入する。取鍋鉄皮の誘導加熱を防止し、溶湯を効率良く加熱するための工夫がなされている。

- (1) 鉄皮に発生する誘導電流を遮断するため、鉄皮を分割し、絶縁処理している。
- (2) 鉄皮材質を非磁性とし、加熱防止、鉄皮を貫通する磁束の減衰防止を図っている。
- (3) コイルによって発生する磁束を効率良く、溶湯に入れるためにコイル外周に継鉄を配置し、取鍋の継鉄に対向する位置には、鉄芯を配置している。

Fig. 2 に電磁解析結果を示すが、磁束が効率良く取鍋内に投入されていることが分かる。

3.2 設備仕様

6t VILF の設備仕様を Table 2 に示す。

取鍋耐火物は、溶湯からの伝熱を軽減するため、断熱 3 層構造としている。

加熱源は、取鍋鉄皮の加熱を防止するため周波数を 50Hz とし、真空下でのグロー放電を防止す

Fig. 2. Simulation of electromagnetic field.

Table 1. Concepts at development of new refining furnace.

Needs	Function	Method	Kind of development
Chance free	Contamination free	Ladle furnace	VILF (Vacuum Induction Ladle Furnace)
High quality	Vacuum refining Slag refining	Vacuum degassing	
High productivity	Vacuum-heating at the same time	Vacuum induction heating	

Table 2. Specification of 6t VILF.

Ladle	Ladle capacity	3~6t
	Refractory	Brick (3 layer) Thickness 230mm
Heating source	Power	1 000kW
	Frequency	50Hz
	Coil voltage	600V
Vacuum	Pump	Mechanical 3 stage (Water ring and root)
	Pumping speed	9 000Nm ³ /h
	Vacuum degree	≤133Pa

Fig. 3. Temperature transition of metal and ladle shell (at trial ladle).

Photo. 1. Appearance of 2t ladle for trial.

るためコイル電圧を600Vに設定している。真空系はメカニカルの3段式で、バグフィルター式集塵を配置している。

4. 試作結果

実機製作前に加熱特性などを把握するため、2t容量の試作取鍋を製作し、実験を行った。

Photo. 1に試作機の外観を示す。試作機では、大気下での実験を行った。

コイル出力280kW、周波数70Hzで冷材スタートから溶解、昇熱を11hかけて実施した時の、溶湯、鉄皮温度の変化を**Fig. 3**に示す。鉄皮温度は最高300℃に抑えられていることが確認された。また、底部の鉄皮温度の上昇はほとんど認められなかった。

また、各種温度上昇結果からエネルギー効率を測定した結果を、**Fig. 4**に示す。鉄皮に消費されるエネルギーは5%に止まっており、取鍋内部に50%が投入され、溶湯昇熱としては20%のエネルギー

Fig. 4. Energy flow.

Photo. 2. Appearance of 6t ladle under assembly shop.

一効率となっていることが確認できた。溶解スタートの炉としては効率が悪いが、精錬炉としては、十分有効な効率となっていることが確認できた。

5. 実機操業結果

試作取鍋での有効性を確認できたので、真空装置付きの実機の設計製作を開始した。

6t実機の仕様は、Table 2 に示したが、その組み立て時外観を Photo. 2 に示す。

コイル部と、取鍋部に分けられるが、コイル部

Fig. 5. Temperature of steel and ladle shell.

		Al 1 kg/t	CaO 4kg/t flux 1kg/t	Alloy	
	Slag	Heating	Degas	Addition	
EAF	off	low press.	≤133Pa	low press.	Cast.
		60min			

Fig. 6. Pattern of operation (Low alloy steel).

には取鍋をスムーズに挿入するためのローラーガイドが取り付けられている。取鍋とコイル間は、20mmのギャップでセットされる。ギャップの設定は、熱効率のうえで大きな要因となるため、なるべく小さくする必要がある。排滓用に取鍋上部に除滓口をもうけており、出鋼は底部スライディングノズルから行われる。精錬能向上のため取鍋底部に、ガスバブリング用ポーラスプラグも設置している。

5.1 溶鋼温度、鉄皮温度

真空槽内に設置した6t取鍋における溶鋼温度、鉄皮温度変化を Fig. 5 に示す。鉄皮最高温度は、400℃以下に抑えられている。鉄皮Aは鉄芯周囲で、鉄皮Bはコイル中央部の温度を示しており、鉄皮Aのほうが高くなっており漏洩磁束による鉄皮加熱の影響がでている。取鍋底部は、ほとんど加熱されない。また鉄皮での消費電力は約5%であり、試作結果と同等の結果となった。

溶鋼昇熱速度は、1.5~3.5℃/min が得られた。

5.2 操業パターン

VILFの通常の操業パターンは、Fig. 6 に示すごとくであり、サンプリング、测温以外は減圧下で操業しており、吸O、N、H防止を図っている。操業時間は約60minで、電力原単位は200kWh/t以下となっている。加熱と真空を、同位置同時処

理が可能となる VILF の特徴を最大限に活かして少湯量の高効率生産が達成できている。

5.3 精 錬 能

上記操業パターンにおいて処理した低合金鋼の酸素レベルを Fig. 7 に示す。少湯量で、耐火物からの汚染を大きく受けている状況下において、減圧下で短時間処理と低温操業により、 $[O]$ 20 ± 5 ppm の低酸素鋼の溶製が可能となっている。

Fig. 8 に低合金鋼の $[S]$, $[N]$, $[H]$ の変化の一例を示すが、 $[S]$ については、低 S を意図したスラグコントロールを行った場合、脱 S 率としては 70~80% を得ることが可能である。また、脱 $[H]$ については、ガスバブリング併用が効果的であった。

合金成分のコントロール、温度コントロールについては、攪拌形態が誘導攪拌による全体的な攪拌となるため均一化しやすい。しかし、誘導加熱のためスラグ熱をつけることはできないので、大量の造滓は控える必要がある。

5.4 耐 火 物

稼働レンガの材質を Table 3 に、築炉状況を

Fig. 7. Relationship between $[S-Al]$ (%) and ladle $[O]$ (ppm) in VILF.

Fig. 9 に示す。溶解鋼種によりレンガ材質の使い分けをしている。立ち上げ当初は、壁レンガにハイアルミナ質を使用していたが、スラグによる溶損が大きいため材質、スラグ組成の変更を行ってきた。レンガ溶損の特徴として、誘導攪拌独特の

Fig. 8. Controlled $[S]$, $[N]$, $[H]$ (Low alloy steel).

Fig. 9. Profile of refractory lining at VILF (Number is thickness).

Table 3. Specification of refractory on VILF.

Usage	Material	Chemical composition (%)				Bulk density (g/cc)	Apparent porosity (%)
		MgO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	SiO ₂		
Metal line	Mg-Cr direct	60.5	8.9	19.0	1.7	3.18	15.6
Wall	MgO-Alumina	78.5	17.0	2.5		3.10	11.7
Free board	Alumina		78.0		16.0	3.39	16.0
Bottom	Alumina		86.0		6.0	3.74	13.5

スラグの壁面に沿った下降流による樽型溶損を示し、LFなどに見られるスラグライン溶損は軽微である。

5.6 AOD-VILF 複合精錬

VILFの加熱源は誘導加熱のため、[C]汚染を考慮しなくても良いため、低Cステンレス鋼の保持炉としても有効に活用できる。当工場では、AF-AOD-VILFの組み合わせによる複合精錬により、従来8tレベルまでしかできなかった低Cステンレス鋼品を、最大16tの大型まで合わせ鋳込みが可能となり、これらの拡販に大きく貢献している。

6. 結 言

本VILFは、小容量の溶鋼精錬に自在に活用できることがわかった。真空下での同時加熱精錬が可能となった、まったく新しい炉外精錬装置であり、生産性、品質についても十分な性能を有した精錬装置といえる。また、他の精錬炉との複合精錬が可能であり、保持炉としても活用ができる。

今後も、より改良を加え、特殊鋼分野、 casting分野における合理化、製品品質の向上、高付加価値製品の製造に役立てていきたい。

最後に、本装置開発にあたり多大なる御支援、御協力を頂いた富士電機㈱に対して、感謝の意を表します。