

八幡No.2 連鑄機におけるタンディッシュ誘導加熱装置の導入と操業

Tundish Induction Heater of No.2 Continuous Caster at Yawata Works

新日本製鐵(株)八幡製鐵所

三浦龍介*・西原良治・田中宏幸
高崎義則・井本達夫

1. 緒言

当所製鋼工場では、垂直曲げ連鑄機に改造したNo.2 連鑄機3 ストランドに高級薄板材の一定温度鑄造による品質向上を、また同連鑄機4 ストランドには小断面ブルーム材の長時間鑄造を目的としてタンディッシュ誘導加熱装置を導入した。3 ストランドは平成5年1月、4 ストランドは平成4年3月に稼働を開始し以降順調に立ち上がり計画通りの効果を発揮している。

以下に、タンディッシュ誘導加熱装置の装置概要と操業・品質について述べるとともに、あわせて行った誘導加熱タンディッシュにおける溶鋼清浄性調査結果について報告する。

2. 設備概要

タンディッシュ誘導加熱方式は、当社室蘭製鐵所で開発された中間溝型低周波方式を採用した。本装置は耐火物で構成された隔壁により受湯室と出湯室とに分離された構造を有し、この耐火物隔壁内部に誘導加熱コイルを有する鉄芯(インダクター)と両室を連結する湯溝(スリーブ)が備えられている。Fig.1及びTable 1に装置概要及び主仕様を示す。誘導加熱装置は、加熱コイル(1次回路)を有する鉄芯に対して鉄芯廻りの溶鋼が1ターンの2次回路となっており、コイルに電流が流れると溶鋼に誘導電流が発生し、ジュール熱により加熱される。さらに加熱投入電力は、タンディッシュ出湯室の溶鋼温度をフィードバックする自動制御を実施している。また、スリーブ材質としてはアルミナスピネル質を適用している。

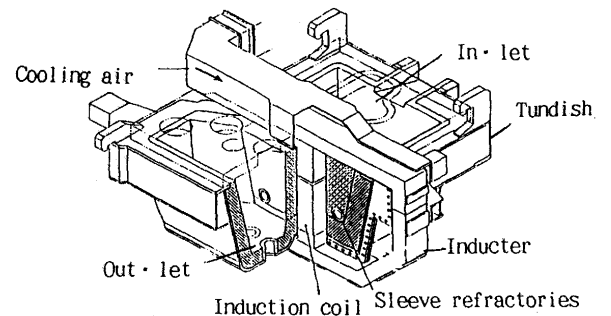


Fig. 1. Outline of induction-heated tundish.

Table 1. Main specifications.

		No.2CC 3 strand	No.2CC 4 strand
TD capacity		30 ton	30 ton
Maximum power		1000 KW	1500 KW
Heating capacity		2°C/min	3°C/min
Heating Sleeve	Number	2	2
	Refractory	Alumina Spinel	Alumina Spinel

3. タンディッシュ誘導加熱装置の操業・品質

3.1 操業状況

タンディッシュ誘導加熱装置を用いた温度制御実施例として4 ストランドの小断面ブルーム材の投入電力制御と温度推移をFig. 2に示す。タンディッシュ誘導加熱装置による溶鋼温度補償機能で、取鍋注入末期の急激な温度低下に対して応答性の良い温度補償が可能であり、安定鑄造可能な温度域を長時間確保できている。

3.2 品質状況

Fig. 3に製品成績の一例としてブリキ材表面疵成績を示す。タンディッシュ誘導加熱装置の導入により薄板材表面欠陥が従来の40%まで低減している。更に鑄造開始部の溶鋼温度の一定制御によ

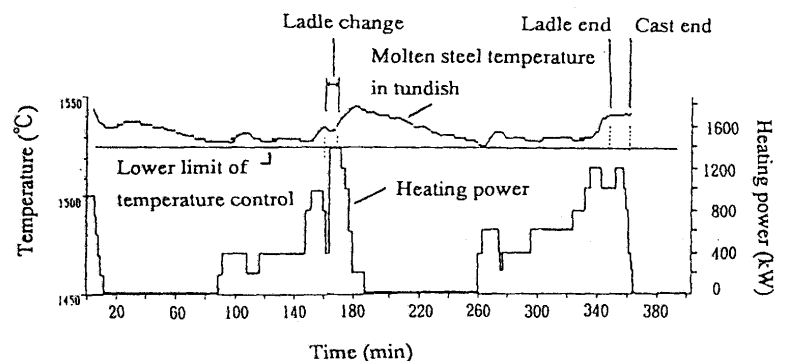


Fig. 2. Control of steel temperature by induction heating.

りボトム片相当の製品品質も大幅に改善されることもあわせて確認している。

4. 誘導加熱タンディッシュにおける溶鋼清浄化機構の考察

従来より誘導加熱タンディッシュにおける溶鋼清浄度の向上効果についてはブルーム材（アルミシリコンキルド鋼）を対象とした報告が多数なされている。いずれも「誘導加熱により形成されるタンディッシュ内の上昇流による介在物浮上促進効果」、「平行溝内での電磁力による介在物凝集体効果」等として説明されているが、定量的に解析した例は見られない^{1)~3)}。そこで、以下に誘導加熱タンディッシュにおける溶鋼清浄化効果をアルミキルド鋼を対象として調査した結果について述べる。

4・1 調査方法

No.2 連铸機3ストランドにおいてアルミキルド鋼（[AL]=0.03%）を対象に調査を行った。溶鋼清浄度の調査は、誘導加熱タンディッシュの受湯室と出湯室の2か所から同一タイミングで各々通常サンプリング位置(A, D点)と湯溝位置(B, C点)の2点から溶鋼サンプルを採取し解析に供した(Fig. 4)。解析は光学顕微鏡法により 10 μ m以上の介在物について形状毎、サイズ毎の個数を調査し(1)式で示す溶鋼中の介在物濃度で溶鋼清浄性を評価した⁴⁾。これらの結果から受湯室、受湯室～出湯室間、出湯室の溶鋼清浄性の推移を調査した。また、これとあわせて铸片清浄度もスライム抽出法により調査した。

$$W_{inc} = V_{inc} \times \rho_{inc} / \rho_{Fe} = A_{inc} \times \rho_{inc} / \rho_{Fe} \quad \dots \dots \dots (1)$$

W_{inc} : 清浄度指数 V_{inc} : 介在物体積率
 A_{inc} : 介在物面積率 ρ_{inc} : 介在物密度
 ρ_{Fe} : 溶鋼密度

4・2 調査結果

(1) タンディッシュ内溶鋼清浄度

Fig.5にタンディッシュ内溶鋼清浄度を誘導加熱装置導入前と比較して示す。堰に湯溝が備えられていない従来タンディッシュでは、受湯室から出湯室にかけて溶鋼清浄度が劣化している。これに対し誘導加熱タンディッシュでは受湯室から出湯室にかけて溶鋼清浄度が向上している。その結果出湯室の清浄度レベルは従来より大幅に向上した。

(2) 受湯室における清浄性変化

受湯室における清浄性変化をFig.6に示す。タンディッシュ上部（湯面近傍）が下部（湯溝位置）よりも清浄性が低く、

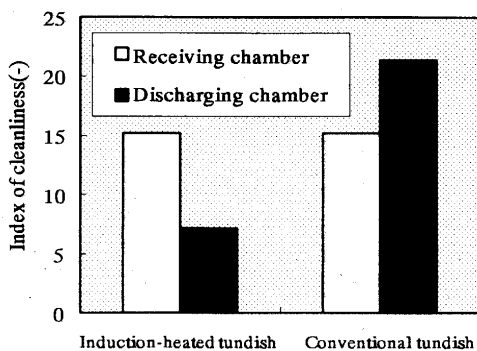


Fig. 5. Cleanliness of molten steel in tundish.

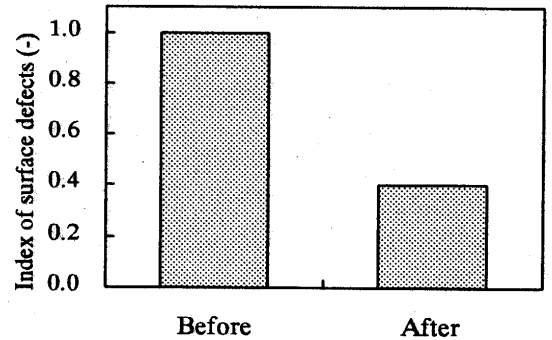


Fig. 3. Improvement of surface defects in steel sheets by installing induction-heated tundish.

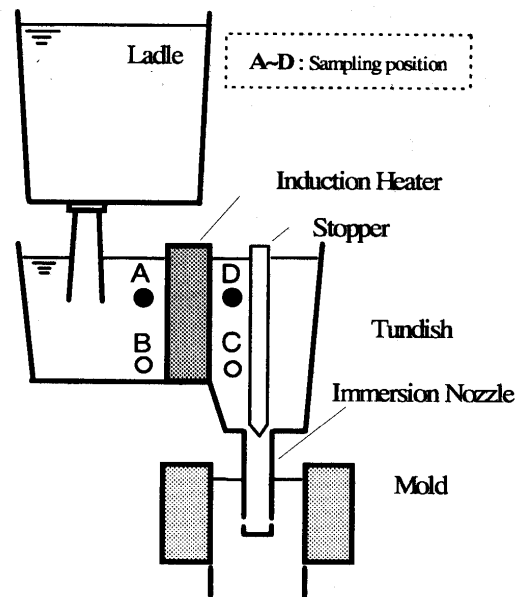


Fig. 4. Schematic view of the set up for the plant-scale investigation of steel cleanliness in tundish.

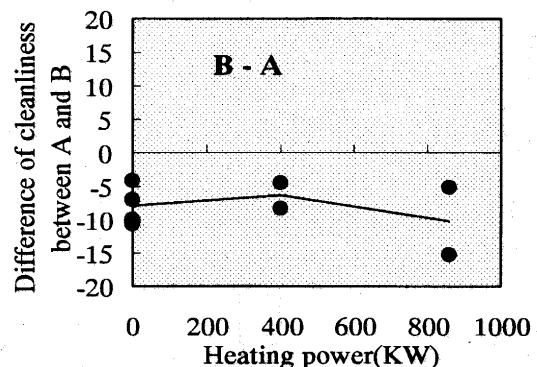


Fig. 6. Change of cleanliness in tundish.

その差は誘導加熱投入電力に関係なくほぼ一定の溶鋼清浄性改善効果が認められる。これは受湯室でのスラグ巻き込みが低減していること、仮に巻き込みがおこった場合でも介在物浮上効果による湯溝前面の受湯室底部における溶鋼清浄性が確保されていること、と考えることができる。すなわち、本タンディッシュの形状による効果であると考えられる。

(3)湯溝入り側から出側における清浄性変化

電磁力の作用により平行溝内の溶鋼にピンチ力(向心力)が働く。その結果非導電性の介在物は逆向きの力を受けることになり介在物の凝集体の効果が期待される⁹⁾。Fig.7に示すように、湯溝内における電磁力の影響は投入電力が800kWで効果的に現れ、湯溝入り側から出側にかけて溶鋼清浄性は向上している。これは湯溝内での凝集体効果と考えられる。また、Fig.9に示す介在物粒径毎の比率変化においても800kWでは大型介在物の比率が増加しており、凝集体も湯溝内で進んでいることを示している。

(4)出湯室における清浄性変化

出湯室における清浄性変化をFig.8に示す。投入電力が400kW以下の場合にはタンディッシュ上部と下部の溶鋼清浄性に差は見られないが、投入電力800kWでは介在物浮上による溶鋼清浄性の向上が認められる。更に、介在物の粒径分布においては大型介在物の比率が増加している。これらより、誘導加熱による上昇流形成によりその浮上過程で介在物の凝集体が進んでいると考えられる。

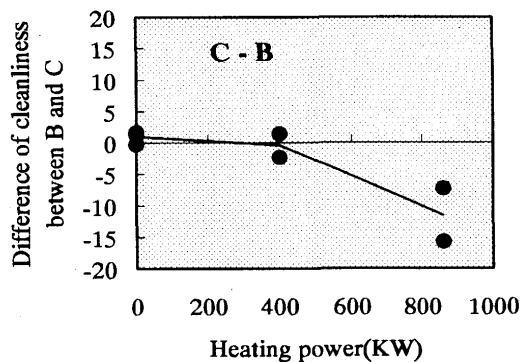


Fig. 7. Change of cleanliness in tundish.

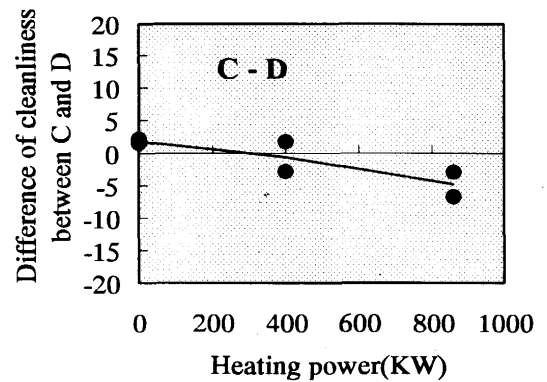


Fig. 8. Change of cleanliness in tundish.

(5) 鋳片清浄度

鋳片の清浄度調査結果をFig.10に示す。その結果誘導加熱投入電力に応じて鋳片清浄度も改善されておりタンディッシュ内溶鋼清浄性と同様、誘導加熱装置の溶鋼清浄化効果を確認することができた。

(6) まとめ

以上の結果より、誘導加熱タンディッシュにおける溶鋼清浄化機構は以下のように整理することができる。

- ・ 誘導加熱タンディッシュにおいては受湯室の底部に湯溝を設ける構造となっているため、清浄性が劣る受湯室上部の溶鋼が出湯室へ流出しない。
- ・ 誘導加熱による溶鋼清浄化効果は一定値以上の投入電力のもとで効果的に現れる。

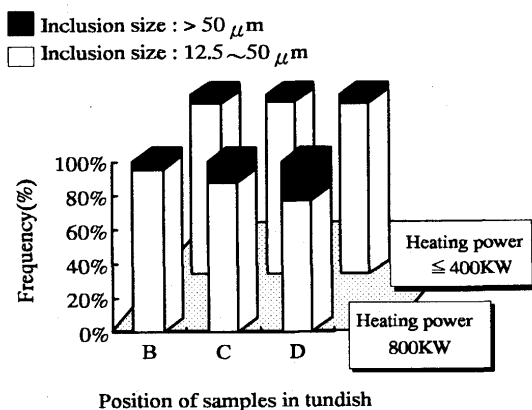


Fig. 9. Change of the inclusion size distribution in tundish.

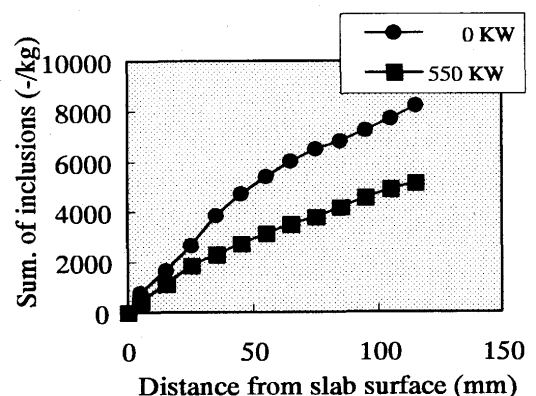


Fig. 10. Cleanliness of cast slab.

・上記効果は「湯溝での電磁力の作用による介在物の付着除去」と「誘導加熱時の凝集体による介在物の浮上除去促進」によるものである。

5. 結言

八幡No.2 連铸機にタンディッシュ誘導加熱装置を導入し以下のことを確認した。

- ・加熱効率が高いタンディッシュ誘導加熱装置の適用により、安定した温度補償（一定温度鑄造，長時間鑄造）が可能になる。
- ・本タンディッシュの適用により高潔鋼を安定して鑄造することができる。
- ・上記効果はタンディッシュ形状による介在物浮上分離と誘導加熱による介在物除去による効果である。
- ・誘導加熱タンディッシュによる介在物除去効果は、一定投入電力以上で効果的に現れる。これは「湯溝での電磁力の作用による介在物の付着除去」と「誘導加熱時の凝集体による介在物の浮上除去促進」によるものである。

文 献

- 1) 菅原健, 田村譲児, 山中敦 : 材料とプロセス, 1(1988), p.299
- 2) 朱宮徹, 白石愛明, 岩田勝吉 : 材料とプロセス, 4(1991), p.250
- 3) 武林俊治, 川崎正蔵, 金塚泰夫 : 材料とプロセス, 4(1991), p.1323
- 4) 新日鐵 (私信) (1992)
- 5) 谷口尚司, J.K.Brimacombe : 材料とプロセス, 6(1993), p.3