

討 7

連続鋳造におけるタンディッシュの役割

新日本製鐵㈱ 〇佐伯 毅 椿原 治 草野昭彦

梅沢一誠 鈴木功夫

1. 緒 言

連続鋳造におけるタンディッシュの役割は連続鋳造技術の発展と共に変化して来たといえる。ここでは、タンディッシュの役割を概括すると共に、当社における最近の開発例についても報告する。

2. タンディッシュの役割

連続鋳造におけるタンディッシュの役割は、①溶鋼鍋と連鋳機を繋ぐための分配機としての役割、②溶鋼保持容器としての役割（非定常部の減少）、③鋳型内への注入流量制御のために、溶鋼ヘッドを小さくする役割、および、④介在物浮上、分離の促進の役割がある。

連鋳機の初期においては、操業の安定性、安全性を考慮して、1取鍋-2ストランドの形態が一般的であった。連鋳機の普及と共に、最近では、僅かに残った造塊材の連鋳化のための小規模生産量用の連鋳機、即ち1ストランド連鋳機の建設が行われ、あるいは、連鋳繋ぎ目片の減少のための、1ストランド鋳造が行われるようになって来た。即ち、①以外の目的でタンディッシュが利用されている例である。

連続鋳造技術が発達し、いわゆる連連鋳が一般的になって来ると、タンディッシュは溶鋼保持容器としての役割が重要となり、その容量が大きくなった。タンディッシュ大型化のもう一つの理由は、取鍋

からタンディッシュに注入された溶鋼は空気酸化やタンディッシュ耐火物による汚染が不可避免的に生ずるため、その介在物を除去するために必然的にある程度の大きさを必要とすることにある。このようなタンディッシュの大型化に拍車をかけたのが、連鋳機の高速度である。高速でかつ連連鋳を実施するために、溶鋼保持容器としてのタンディッシュは、きわめて大きくなった。その代表的な例をTable 1に示す。タンディッシュ容量を40tから65tに大型化

することによって、連連鋳の繋ぎ目片の表面品質が向上した例をFig. 1に示す。このタンディッシュ大型化の傾向の最も特殊な例が、新日鐵-名古屋の取鍋-取鍋-鋳型（L-L-M法）¹⁾の接続例であり取鍋を直接、鋳型に接続し、タンディッシュを廃した点に特徴があるが、連連鋳の為に、最初取鍋が溶鋼保持容器、即ち、タンディッシュの役割を担うことになる。さらに、最近では、積極的にタンディッシュに精錬機能を付加しようという傾向にある。その主たるものは、介在物除去機能であり、将来的には、ここでの合金添加や脱水素機能が付加されて来るものと推定される。

Table 1 Examples of tundish capacity

Continuous caster	Tundish capacity (t)	Slab thickness×width (mm)×(mm)	Casting speed (m/min)
Nippon steel-Ohita No. 4	70	230×1800	1.48
-Kimitu No. 2, 3	60	210×2300	2.00
-Nagoya No. 2	250 (Ladle)	245×1630	1.85
-Yawata No. 3	72	250×2100	1.80
Sumitomo steel-Kasima No. 3	65	270×1600	1.80
Kawasaki steel-Chiba No. 3	75	230×1900	2.2
Nippon kohkan-Hukuyama No. 5	60	220×1650	2.5

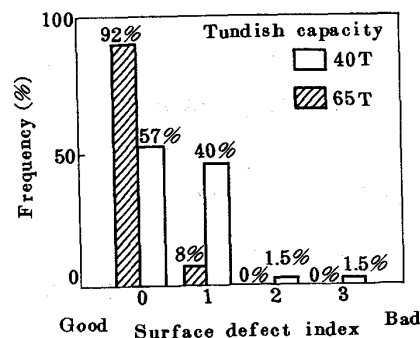


Fig. 1 Effect of tundish capacity on the surface defect of the slabs at the region of the ladle change.

3. 介在物除去技術の概要

連铸铸片内の介在物を低減するという立場からタンディッシュを見た場合、必要な条件は次のようである。

(1) 溶鋼の汚染条件の排除。即ち、空気酸化の防止、耐火物の溶損防止、タンディッシュスラグの巻き込み防止、および、取鍋スラグの注ぎ込み防止、タンディッシュ清掃などである。

(2) 介在物の浮上、ならびに分離の促進。即ち、溶鋼平均滞留時間は介在物浮上時間以上である必要があり、また、注入溶鋼のショートパスやデッドゾーンの生成の防止が必要。

(3) 上記(1)、(2)を達成するための援助技術の導入。特に、注入初期、取鍋繋ぎ目部、注入末期に問題が多い。

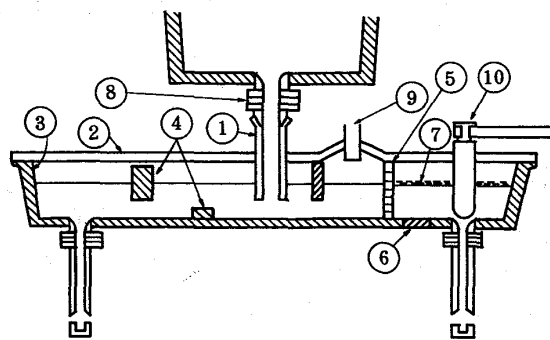


Fig. 2 Methods for improving steel cleanliness.

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| ① Long nozzle + Argon | ⑥ Argon bubbling device |
| ② Sealing cover | ⑦ Flux |
| ③ Refractory | ⑧ Slug detector |
| ④ Tundish dam | ⑨ Heating apparatus |
| ⑤ Filter | ⑩ Flow control device |

Fig. 2 に介在物低減技術を模式的に示すが、溶鋼汚染防止の点から、図中①②③が、また、介在物の分離の為に、④⑤⑥⑦が、また、これらの援助技術として、⑧⑨⑩が例として上げられる。

①はロングノズルであり、取鍋からタンディッシュへの注入に際し、溶鋼の酸化を防止し、また、タンディッシュ内溶鋼上面のスラグや保温材の巻き込みを防止するためのものである。②はタンディッシュのシール用の蓋であり、タンディッシュ内の上部空間部分の不活性ガス置換を行う為のものである。最近では、この技術はかなり向上し、一般化してきた。③はタンディッシュ耐火物である。最近では高耐蝕性のMgOボードなどが普及してきた。

④は介在物浮上のために溶鋼の流れのパターンを変化させるための堰であり、種々、設計、設置されているが、なお、統一的な思想にまでは、まとまっていない。⑤は介在物フィルターである。鋼に対する実施例は既に報告されているが、大型連铸機への適用のためには、まだ、課題が多い。⑥はアルゴンガス吹き込み法である。アルゴンガスを微細にする技術が重要である。⑦は精錬用のフラックスである。介在物除去という立場から、フラックス組成等の研究が今後の課題である。

⑧は取鍋溶鋼の終点判定のためのセンサリング技術である。取鍋スラグがタンディッシュ内に注ぎ込まれないようにする為の技術であり、多くの開発がなされているが、まだ、不十分であろう。⑨は加熱装置である。注入初期と後期の溶鋼の温度の低下を防止し、介在物の浮上を促進しようとするものである。⑩は注入ノズルの安定開口設備である。注入ノズルの閉塞の不安があれば、タンディッシュ内に溶鋼を溜めて十分な精錬を行う事が出来ない。

4. 当社における最近の開発例

ここでは、当社におけるタンディッシュ利用技術の最近の開発例を紹介する。

(1) タンディッシュ加熱技術

当社においては、タンディッシュ加熱法として、誘導加熱法(室蘭)²⁾とプラズマ加熱法(広畑)³⁾を実施している。それらの概要図をFig. 3および、Fig. 4に示す。

Fig. 3 に示した誘導加熱法ではタンディッ

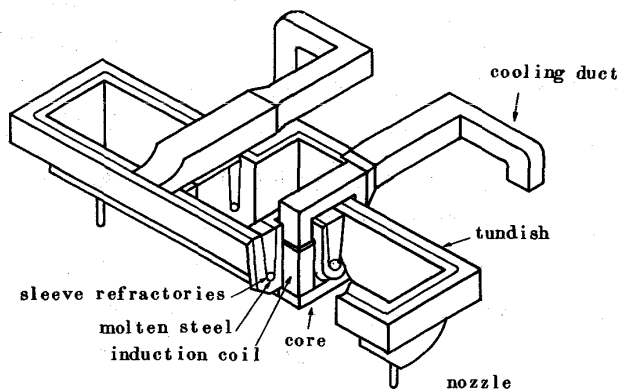


Fig. 3 Induction heating method in tundish.

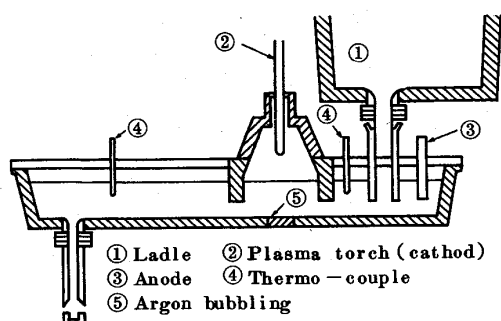


Fig. 4 Plasma heating method in tundish.

ッシュの内側に中間溝型の誘導加熱装置を設置し、溶鋼の通過する過程で、加熱することが特徴である。T型のタンディッシュの内部を耐火物の隔壁によって、受湯室と注入室に分離し、この隔壁を縦方向に貫通するように、誘導加熱コイルを有する鉄心(インダクター)を設置した。そして、これを取り囲むように2本の湯溝を配置した構造となっている。

Fig. 4 に示したプラズマ加熱法では、極めてクリーン、高効率かつ制御性の良い熱源として、プラズマを用いた点に特徴がある。加熱室はアルゴン置換され、ダンディッシュ底部からはアルゴンボトムバブリングが可能になっている。

誘導加熱を用いてタンディッシュ内溶鋼温度を制御した例を Fig. 5 に示す。加熱量はタンディッシュ内溶鋼温度を測定し、これをもとに、投入電力量を調整した。図中の点線は一定 casting 速度で加熱が無かった場合の計算例であるが、この場合には、注入の初期と末期の温度差が約 20℃にも達するのに対し、誘導加熱の適用により、120 分間の casting 時間中タンディッシュ内の溶鋼温度を常に目標の $\pm 2.5^\circ\text{C}$ 以内にコントロールすることができた。また、取鍋注入終了後のタンディッシュ内溶鋼温度に付いても、 casting 終了まで、急激な温度変化もなく、安定した casting が可能となっている。この条件下において casting されたブルームの铸片品質調査を行った。高級棒线材用ブルームの casting においては、偏析の点から、タンディッシュの温度を下げ、等軸晶化の促進と組織の微細化を図る必要がある。一方、温度がある温度以下になると、介在物性欠陥が急に増加する。即ち、偏析ならびに介在物の抑制を同時に満

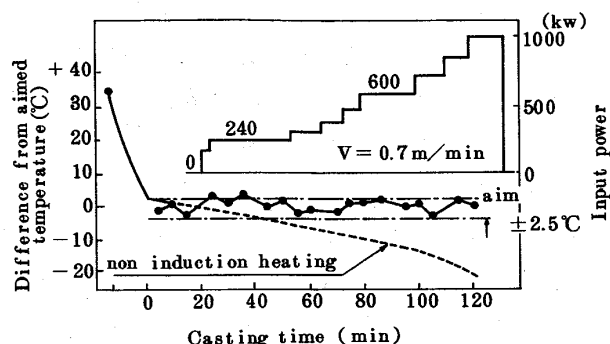


Fig. 5 Change of temperature of molten steel in tundish after teeming.

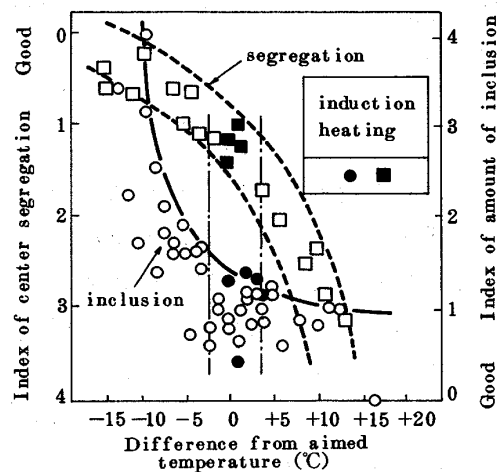


Fig. 6 Relationship between steel temperature in tundish and quality of casting.

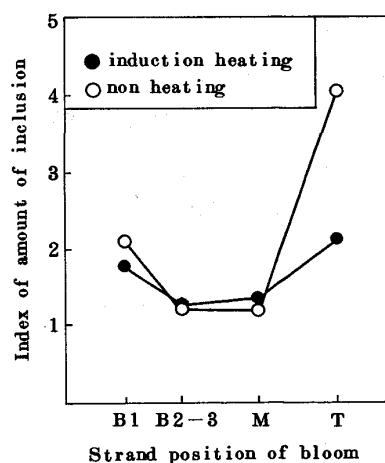


Fig. 7 Relationship between strand position of bloom and amount of inclusion.

足させるためには、ある狭い範囲にタンディッシュ内の溶鋼温度を制御しなくてはならない。Fig. 6にタンディッシュ内の溶鋼過熱度の目標値と偏析、介在物の相関を示すが、誘導加熱装置を適用することによりほぼ両者を満足しうる範囲に溶鋼温度をコントロールすることができる。また、鍋の注入が終了した後には铸造する末期の铸片は低温に起因する介在物欠陥が、ビレットの超音波探傷で発生する割合が高いが、誘導加熱の適用により大幅に改善される。このことをFig. 7に示す。

(2) 微細気泡による介在物低減法⁴⁾

高級薄板材におけるタンディッシュ内溶鋼中介在物除去を目的として、回転ノズル法による微細気泡吹き込み技術を開発した。

Fig. 8に回転ノズル法概念図を示す。また、ボトムバブリング法も同時に試験した。

両方法の介在物低減効果を検鏡法で調査した。Fig. 9に低炭アルミキルド鋼の調査結果の1例を示す。調査結果によれば、1)回転ノズル法の場合、 50μ 以下の介在物は大幅に減少する。2)ボトムバブリング法では 50μ 以下及び 51μ 以上の介在物はいずれも減少せず、むしろ、増加する場合があります、かつ、ばらつきも大きい。

極低炭アルミキルド鋼では、Fig. 10に示すように介在物起因の製品表面傷、内部欠陥の発生率は大幅に改善された。

5. 結 言

連铸におけるタンディッシュは多くの役割を持っている事を示したが、まだ、十分な機能を果たしているとは言えないのが、現状であろう。今後、タンディッシュ周辺技術の果たす役割は大きいと予想される。

特に、製品ロットが小さくなった場合には、タンディッシュにおいて、溶鋼成分の変更ができれば、その有用性は議論するまでもない。最近になって、タンディッシュにおける加熱技術が開発され、これを基盤にして、この方面の開発が進むと予想されるが、タンディッシュは、いわゆる連続系であり、連続系反応容器におけるロット内均一性の確保という、従来にない、難しさが予想される。また、各種のセンシング技術や制御技術が必要になることは勿論である。

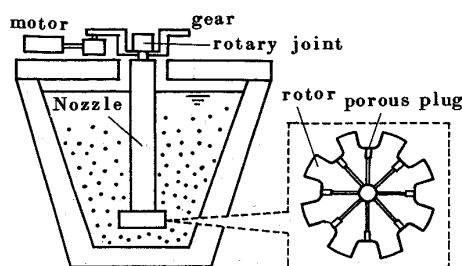


Fig. 8 Schematic view of spinning nozzle method.

Method		Spinning nozzle			Bottom bubbling		
No		1	2	3	4	5	6
Index of numbers of microscopic inclusions.	Smaller than 50μ	8 7 6 5 4 3 2 1	8 7 6 5 4 3 2 1	8 7 6 5 4 3 2 1	8 7 6 5 4 3 2 1	8 7 6 5 4 3 2 1	8 7 6 5 4 3 2 1
	Larger than 50μ	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8
Ar flow rate		5 ℓ/T	5	5	4	4	5
Spinning velocity		3 m/sec	2	3	—		
Flux		×	○	×	×	○	○

Fig. 9 Effect of tundish treatment on the amount of inclusions in molten steel.

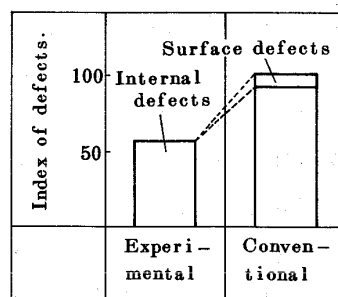


Fig. 10 Effect of experimental method.

参考文献

- 1) 井上他：製鉄研究，294(1978)，p.12478
- 2) 高島他：鉄と鋼，73(1987)，S252
- 3) 平岡他：鉄と鋼，73(1987)，S690
- 4) 矢内他：鉄と鋼，73(1987)，S281