

## 討 9 タンディッシュにおける溶鋼清浄化

日本鋼管㈱ 京浜製鉄所 半明正之 石川勝 小倉康嗣 松村千史  
鉄鋼研究所 宮原忍 大久保豊

### 1. 緒 言

圧延加工工程で有害な大型介在物欠陥の低減による高品質鋼の製造および製品材質特性確保に必要な介在物形態制御による高纯净鋼等のニーズに対応するため、転炉-取鍋精錬工程での脱酸制御と同時に連続 casting 工程、特にタンディッシュ(以下TDと略す)での溶鋼清浄化機能の強化が必要となっている。このために非定常部をふくめた casting 全域にわたる介在物除去技術の強化とTDノズル詰まりをひきおこす溶鋼再酸化の徹底防止が重要な課題となっている。本報ではFig.1のTDにおける溶鋼清浄化技術の実機適用結果につ

いて述べる。

### 2. 介在物生成防止

#### 2.1 空気酸化防止

定常 casting 中は鍋-

TD間のロングノズル化、TD内保温剤によって酸化防止が図られるが、casting 開始時においてはTD内雰囲気 $P_{O_2}$ の低減が重要である。Fig.2に含Al溶鋼の再酸化挙動におよぼす雰囲気 $P_{O_2}$ の影響を5kg小型炉で調査した結果を示す。O, N同時吸収モデルより導いた回帰式より再酸化量として $\Delta O < 10 \text{ ppm}$  ( $\Delta \text{Sol Al} < 11 \text{ ppm}$ ,  $\Delta N < 2 \text{ ppm}$ )に抑えるためには、 $P_{O_2}$ を安定して0.5%以下に維持する必要があると推定される。低 $P_{O_2}$ を casting 開始時に維持する手段として、(1)TD密閉化(TD開口部の密閉蓋、TDノズルからの侵入空気防止)、(2)TD内Arガスシール(TD昇熱終了時の還元雰囲気中へのArガス吹込)、(3)TD注ぎ上げスタートの採用によりFig.3に示すように casting 開始時のTD内雰囲気 $P_{O_2}$ の低減、 $\Delta \text{Sol Al}$ の低減が可能となった。

#### 2.2 タンディッシュ耐火物材質の改善

TDコーティング材の選定に関して耐溶損性、耐爆裂性、耐剝離性を考慮する必要がある。一般的に高気孔率化により耐爆裂、耐剝離性は向上する反面、耐食性は低下する傾向にあり材質として高 $\text{MgO}$ 化と同時にバインダーの選定がポイントとなる。

Table 1 に耐火物の比較結果を示すが、高気孔率化、バインダーの適正化により高 $\text{MgO}$ においても

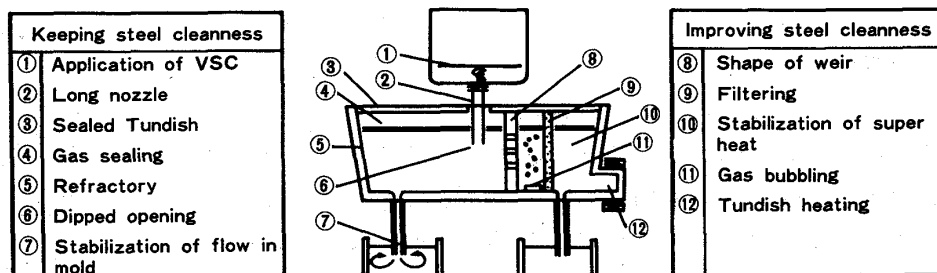


Fig.1 Schema showing production technique of clean steel in tundish

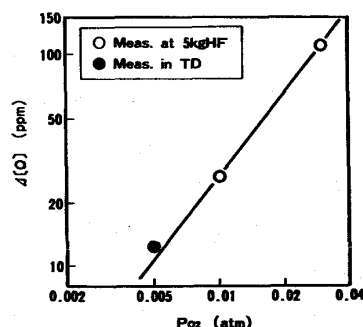


Fig.2 Effect of  $P_{O_2}$  on re-oxidation of Al-killed molten steel

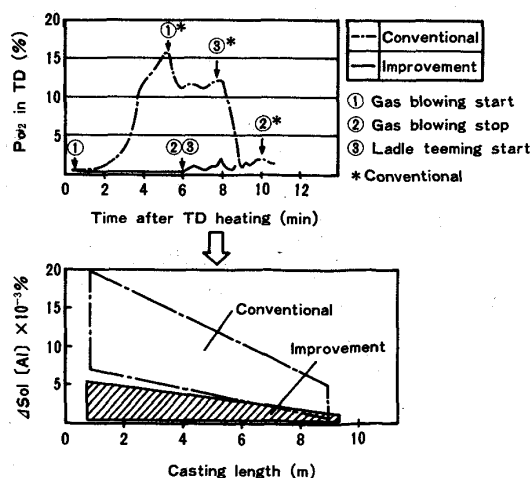


Fig.3 Effect of Tundish sealing on  $P_{O_2}$  and  $\Delta \text{Sol [Al]}$

剝離性に問題なく耐食性向上が図られた。

### 2.3 レードルスラグの無害化

鑄込末期における鍋内スラグのTDへの流入に関して検知技術は未だ実用化には到っていない。このため現時点での対応として鍋真空スラグ吸引装置(VSC)の適用, 鍋スラグ改質が図られている。また連続鑄継目部には次レードル開始時の注入流によるTDスラグの巻込が発生する。Fig.4に $Y_2O_3$ 添加によるTDスラグのモールドへの混入の影響を示すが, ロングノズルの浸漬開口, TD大型化および堰形状改善により連続鑄継目部の品質劣化を防止できる。

## 3. 介在物除去技術

### 3.1 タンディッシュ内流動の最適化

TD内での介在物浮上分離を図るため堰形状, TD形状の改善による溶鋼流動の最適化が必要である。そこで三次元の数値解析および水モデル実験によりTD内に混入した介在物の挙動をシミュレーションし, 堰形状が介在物の浮上性に与える影響について検討した。解析方法はナビエ・ストークスの式, 連続の式,  $K-\epsilon$ モデルにもとづく乱流方程式を有限差分法にて解き, タイム・マーチング法により三次元定常解を求めるものである。計算前提はT型40 Ton TDで吐出量4 Ton/分とした。Fig.5にサブ堰形状を全域流入および部分流入とした場合の粒径 $100\mu m$ の介在物の移動軌跡の出力例を示す。この場合の介在物粒径とTD鋼浴表面への浮上分離の関係をFig.6に示すが, TDの長手方向縦断面の速度ベクトル図で見た場合, 循環流の無いプラグ流で流した方が実質TD容量の増加につながり介在物の浮上分離性に有効である。また堰形状を変えた場合の水モデルおよび実機適用結果をFig.7に示すが, プラグ流により最短到達時間は延長(ショートパスの防止)され, 実機試験では約5 ppmのTotal

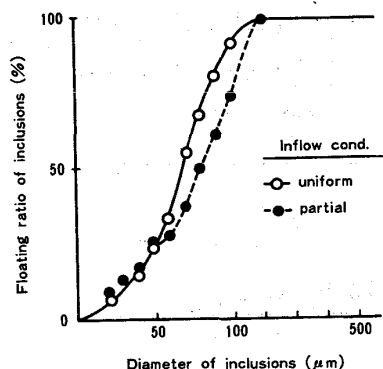


Fig.6 Effect of inflow pattern on floating of inclusions

Table.1 Comparison of coating materials

|   | MgO SiO <sub>2</sub> |      | Quantity Required (kg/m <sup>3</sup> ) | Max. Corrosion Depth (mm) | Max. Penetration Depth (mm) |
|---|----------------------|------|----------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
|   | (%)                  | (%)  |                                        |                           |                             |
| A | 70                   | 13.0 | 1450                                   | 4.2                       | 20                          |
| B | 80                   | 8.5  | 1600                                   | 3.2                       | 15                          |
| C | 84                   | 4.0  | 2440                                   | 1.9                       | 16                          |

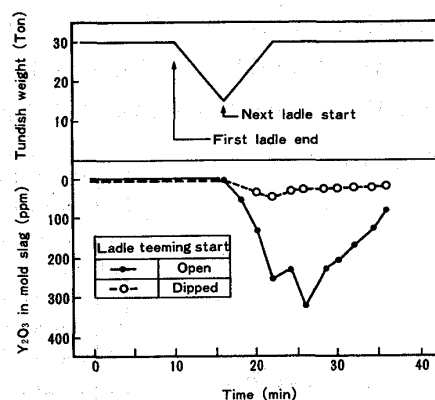


Fig.4 Entrapment of tundish slag at Ladle exchange

| Inflow cond.    | Locus of inclusions (Size: $100\mu m$ ) |
|-----------------|-----------------------------------------|
| Uniform pattern |                                         |
| Partial pattern |                                         |

Fig.5 Flow pattern of inclusions in tundish

| Type | Pore position of weir |                     | Flow pattern | Tmin   | $\alpha$ | Comparison of total * [O] (ppm) |
|------|-----------------------|---------------------|--------------|--------|----------|---------------------------------|
|      | Main weir             | Sub weir            |              |        |          |                                 |
| A    | Middle                | Middle (Multi-hole) |              | 128Sec | 1.00     | • (Base)                        |
| B    | Middle                | Middle + Bottom     |              | 113Sec | 1.33     | —○—                             |
| C    | Middle                | Bottom              |              | 90Sec  | 3.77     | —○—                             |

Tmin: Min. reaching time  $\alpha$ : Out put ratio of tracer \* Low C Al-killed steel

Fig.7 Effect of flow pattern in tundish on inclusions

〔O〕の低減効果が得られている。Fig. 8に堰開口面積、堰吐出孔径と最短到達時間の関係を示すが、吐出量の増加（高速鋳造化）に伴い、吐出孔の小径化、堰開口面積の増加が必要となる。

### 3.2 タンディッシュ内バブリングの効果

T D内での介在物の浮上分離を図るためにT D内バブリング法の適用例が報告されているが、従来の底吹きポーラスバブリングの場合、気泡の合体成長によりT D湯面の湯暴れと同時に介在物の気泡への吸着効率が低いという問題があった。このためポーラスレンガを埋めこんだランスを回転させることにより微細気泡の拡散を目的とした旋回バブリング法の適用を行った。装置概要をFig. 9に示す。水モデルによるランス回転数、吹込ガス流量のトレーサー抽出比への影響をFig. 10に示すが、底吹きポーラスバブリングに比べ吹込ガス流量を抑え、ランス回転数を100rpm程度に抑えることにより気泡の均一分散、T D湯暴れの防止が図られ、トレーサー抽出比の大幅な低減が可能となる。実機ブルームCCでの適用結果をFig. 11に示すが、T Dノズルへの $Al_2O_3$ 付着防止効果が得られ、微小介在物の浮上促進に有効であると考えられる。

### 3.3 介在物吸着除去技術

T D内での溶鋼中 $Al_2O_3$ のフィルタリングを実機に適用するにあたっては、フィルター内への $Al_2O_3$ 付着効率と同時に鋳造開始時の安定性を図るための溶鋼通過性、フィルター閉塞に伴う鋳造時間制約を考慮してフィルター材質、形状を選定する必要がある。

150kg基礎実験でのストレートタイプのフィルター堰の適用結果をFig. 12に示す。フィルター材質としてはアルミナ質が良好であるが、Total〔O〕<50ppmの実操業レベルではストレートタイプのフィルターでは微小介在物の分離に限度があると考えられる。このため溶鋼通過性、閉塞時間の面から吐出口径の確保を図る一方、フィルターを通過中の溶鋼に淀みを発生させ、堰への $Al_2O_3$ 吸着を行う方法として衝突堰の適用を行った。堰の概念図をFig. 13に示す。堰の入・出側で流路を変えることにより堰内での吸着を図るものである。Fig. 14にブルームCCでのストレート堰、衝突堰での堰有無しでのTotal〔O〕低減効果を示すが、衝突堰孔径30mmφ以下ではTotal

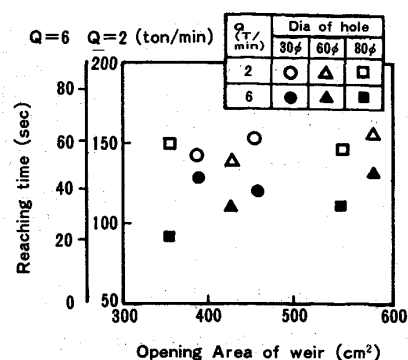


Fig. 8 Influence of opening area of weir and hole size on minimum reaching time

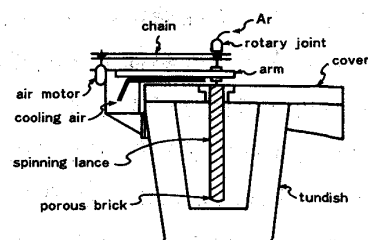


Fig. 9 Schematic view of bubbling

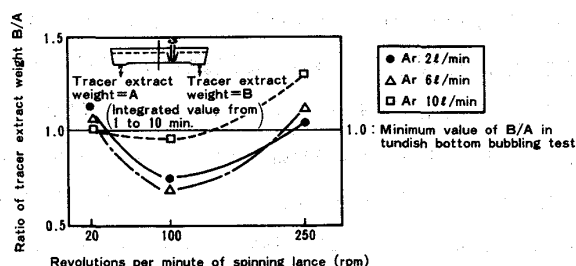


Fig. 10 Influence of bubbling on floating of tracer

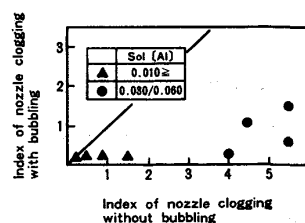


Fig. 11 Effect of bubbling on nozzle clogging

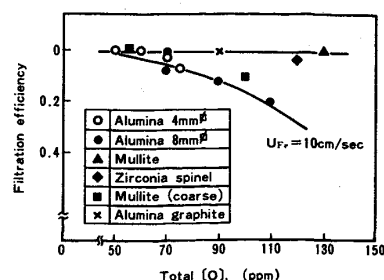


Fig. 12 Filtration efficiency of straight type filter

[O] > 10 ppm にて吸着効果が認められ Total [O] の増加と共に吸着効率は増加する傾向にある。しかし堰内への  $Al_2O_3$  付着進行により堰内・外での TD 湯面高さの差が増加する

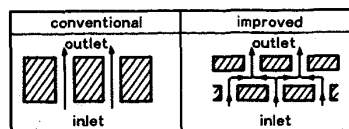


Fig.13 Schematic view of cross-section of collision type weir

るため (Fig. 15) 鑄造時間制約および要求される品質レベルを考慮しながら適用を行う必要がある。

### 3.4 タンディッシュ内溶鋼加熱の適用

TD 内溶鋼加熱の意義は長時間鑄造時の鍋内溶鋼温度低下補償はもとより鑄造開始時の TD 耐火物への顕熱吸収による急激な温度降下時の熱補償や鍋交換時および鑄込末期の TD 溶鋼の放熱補償を可能とすることにあり、そのために起動特性や過渡応答性に優れた溶鋼急速加熱装置の開発が必要である。Fig. 16 に水平連鑄用 5 ton TD に水平ルツボ型誘導加熱装置を設置した例を示す。本装置は、定常鑄込時に 700 kg/min の鑄造速度で max 25℃ の温度補償を可能とするため 560 kw の出力を有し、TD 内溶鋼との攪拌混合特性を確保するために周波数を 500 Hz と低めに設定している。50 ton 取鍋で片ストランドで 170 mmφ 鑄片を約 3 hr かけて鑄造したときの鑄造開始時および鑄造末期での温度補償の一例を Fig. 17 に示す。ヒーター内外での温度差は約 20~40℃ あるものの十分な応答性が得られており自動制御を行えば鑄造全域にわたって定温・定値制御も可能と考えられる。

## 4. 結 言

今後、TD に要求される機能として溶鋼清浄化以外に温度・成分調整を含めた精錬機能の付加について検討する予定である。

## 5. 参考文献

- 1) 凝固現象協議会 凝固-405 61年10月2日
- 2) 中田ら：鉄と鋼(1983) S212
- 3) 松尾ら： " (1985) S993
- 4) 吉岡ら： " (1986) S1072

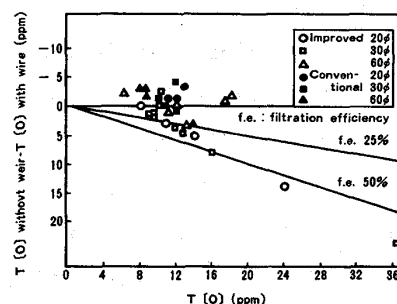


Fig.14 Effect of collision type weir on Total [O]

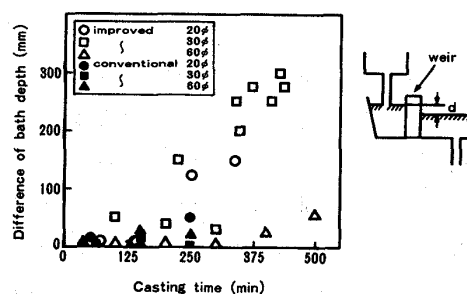


Fig.15 Change of difference of bath depth

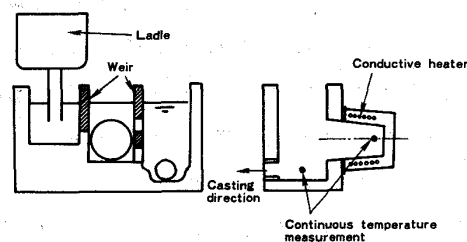


Fig.16 Horizontal type conductive heater for HCC tundish

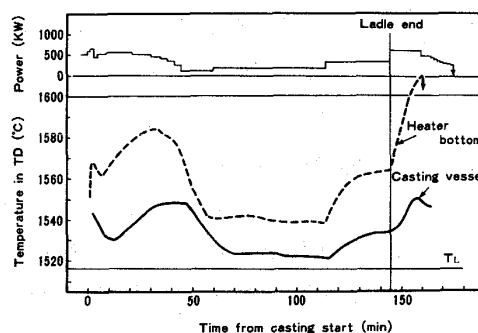


Fig.17 An example of temperature change of molten steel in tundish when applying TD heater