

タンディッシュにおける溶鋼清浄化技術

Clean Steel Technology in Tundish

新日本製鉄(株) 八幡技術研究部 田中 宏幸*・辻野 良二
 八幡製鉄所 西原 良治・北川 逸朗・野元 一仁
 三浦 龍介・高崎 義則・井本 達夫

1. 緒言

薄板・表面処理鋼板に要求される品質レベルは近年ますます厳格化しており、非金属介在物のさらなる低減が求められている。特にタンディッシュ(以下TDと称す)での溶鋼清浄化は製品々質の向上および、浸漬ノズル閉塞防止の点から特に重要である。TDは多ストランドへの溶鋼の分配の他に、取鍋内の介在物をTDで浮上分離させる清浄化機能を有している^{2) 4) 7)}。ところが、現状では連々鑄時のスラグの巻き込みあるいは溶鋼の空気酸化などの汚染も生じているため^{1) 3) 5) 6) 8)}、高純度の鑄片を安定して製造するには、この清浄化機能を最大限に発揮させるとともに、清浄性を悪化させる上記要因を除去することが必要である。

本報告では八幡製鉄所第3製鋼工場の1号連鑄機(2ストランド60tTD)にて行ったTD内溶鋼清浄化ならびに汚染のメカニズムの定量的解析結果および各種清浄化技術について報告する。

2. TD介在物挙動解析

2.1 調査方法

試験水準をTable 1に示す。試験は低炭Al-k鋼3チャージを用い、1チャージ目については溶鋼清浄性に影響を及ぼすと考えられた鋼スライディングノズル詰物(以下鋼詰物と称す)ならびに取鍋スラグ等をTD内に流出させない条件の水準で行った。介在物挙動の調査は、TD内ロングノズル位置(以下TD流入部と称す)ならびにTD内浸漬ノズル位置(以下TD流出部と称す)で溶鋼サンプルを採取し、光学顕微鏡にて個数を測定した(以下検鏡と称す)。検鏡の個数測定は10 μ m以上の介在物を形状(クラスター、塊状、球状)、粒径別に行い、さらにEPMAで組成を調査した。

2.2 調査結果

2.2.1 TD内溶鋼中介在物組成

TD内介在物の組成をEPMAで調査した結果、クラスター状、塊状の介在物はAl₂O₃であり、球状の介在物についてはAl₂O₃はまれで、大半がCaO-Al₂O₃系であった。TD流入部と流出部の球状介在物の組成をFig. 1に示す。このことから球状介在物はTD内に混入した取鍋スラグとみなした。以下、クラスター状、塊状介在物をAl₂O₃系介在物、球状介在物をスラグ系介在物と称す。なお、Fig. 1より流入部と流出部での介在物組成の変化は小さいことがわかる。ただし、流出部においてMgO濃度が高くなっており、TD耐火物の溶損が生じていることを示しているが、増加量は4%程度で非常に小さく、TD耐火物の溶損量は無視しうる程度と言える。

Table 1. Experimental condition

Operating condition (3chs/cast)	1 ch :Casting 320tons of molten steel without 10tons from start and 20tons before end. 2,3chs:Casting 320tons of molten steel
Tundish sealing	Ar blowing (Po ₂ ≈5%)
Tundish flux	MgO
Tundish coating	MgO
Slag deoxidation	T.Fe≈5%

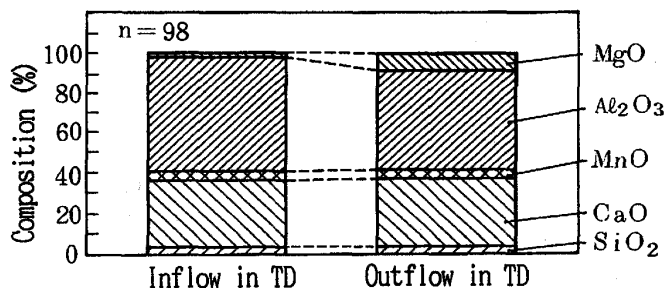


Fig.1 Composition of slag type inclusions

2.2.2 TD内介在物個数推移

Fig. 2に Al_2O_3 系とスラグ系介在物の1チャージから3チャージまでの個数推移を示す。TD流入部の Al_2O_3 系、スラグ系介在物個数は、チャージ数の増加につれてともに増加している。一方、TD内での個数推移について、スラグ系は流入部と流出部はほぼ同様の推移を示しており、さらに流入部より流出部の個数がわずかに少なくなっている。このことは、TD内に流入したスラグ系介在物の一部は浮上除去されていることを示している。また、 Al_2O_3 系はTD内で増加しておりスラグ、鍋詰物等の[A]による還元、あるいは溶鋼の空気酸化が考えられる。

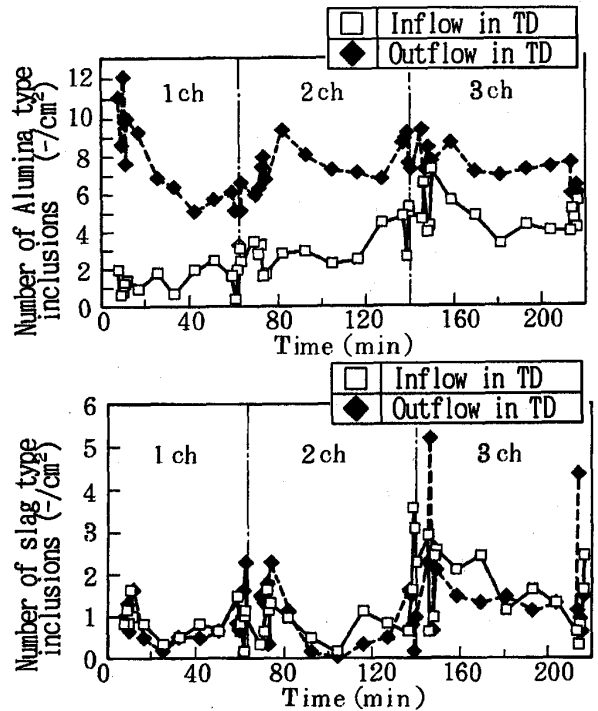


Fig.2 Change of number of inclusions in tundish

2.3 考察

TD内での溶鋼清浄性を悪化させる要因を明らかにするために(1)式に示すようなTD内流出部における理論溶鋼清浄性という概念を導入する。また、本解析では検鏡により求めた $10\mu m$ 以上の介在物個数を溶鋼中の介在物濃度に換算し、清浄性の指標とした。これらを用い、以下の手順に従いTD内汚染要因の影響度を定量的に明らかにした。

$$\begin{aligned}
 \text{TD流出部溶鋼清浄性} &= \text{TD流出部理論溶鋼清浄性} + \text{TD内汚染量} \\
 &= \Sigma (\text{TD流入部での介在物粒径ごとの介在物面積率} \times \text{介在物粒径ごとのTD内残留率}) \\
 &\quad + \text{TD内汚染量}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

2.3.1 介在物粒径ごとの残留率

Fig. 2に示したスラグ系介在物のTD内流入部と流出部の個数変化より、介在物粒径ごとの浮上率を求めた結果をFig. 3に示す。Fig. 3より介在物粒径が大きくなるにつれて浮上率は向上し、 $200\mu m$ 以上の介在物は、TD内でほぼ完全に浮上分離していることがわかる。

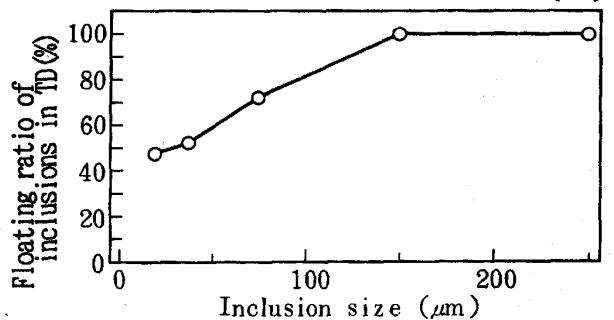


Fig.3 Floating ratio of inclusions in every inclusion size

2.3.2 TD内溶鋼汚染要因の定量化

TD流出部における理論溶鋼清浄性と実測溶鋼清浄性の比較をFig. 4に示す。これら、理論と実測の清浄性の差はTD内流入部から流出部間の溶鋼の汚染量を意味する。また、理論溶鋼清浄性のチャージ内での変化のピークは、TD流入部での溶鋼の汚染を意味している。

a) 空気酸化

TD流出部の実測溶鋼清浄性と理論溶鋼清浄性との差をFig. 4から求めFig. 5に示す。TD流入部から流出部間における溶鋼汚染要因としては(1)空気酸化、(2)TD内混入スラグと溶鋼との反応、(3)TD耐火物の溶損が考えられる。ここで、Fig. 1で前述したように(2)(3)の要因は小さいことからTD流入部から流出部間における汚染要因は主に溶鋼の空気酸化であるといえる。この空気酸化量はチャージ内定常部では一定に推移しているが、1チャージ目の casting 開始時と各チャージ間の取鋼交換時は汚染量が増加しており、チャージの casting 時間の $2/3$ 近くまで影響していることがわかる。

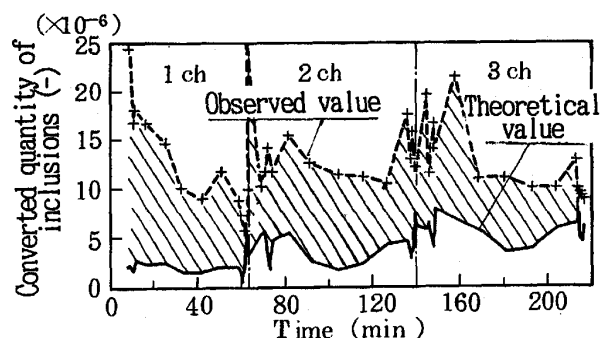


Fig.4 Experimental analysis of pollution in tundish

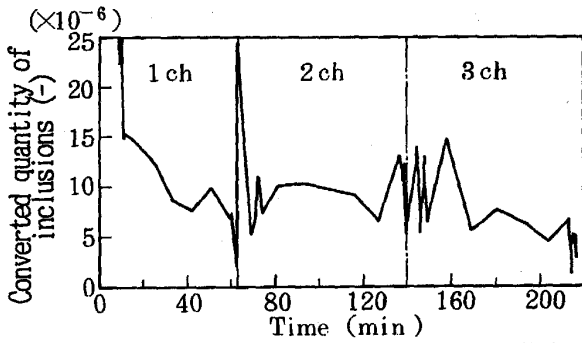


Fig.5 Effect of air oxidation in tundish

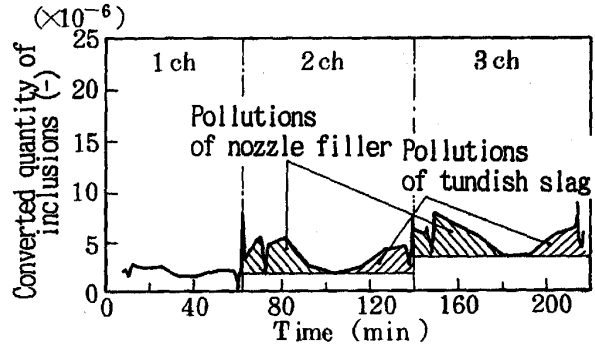


Fig.6 Effect of slag pollution in tundish

b) 取鍋スラグ、取鍋詰物による汚染

Fig. 4 のTD流出部の理論溶鋼清浄性のみをFig. 6に示す。取鍋スラグ、鍋詰物の流入を抑制させた1チャージ目は汚染量は小さく、またチャージ内ではほぼ一定レベルで推移している。一方、2チャージ目はチャージ開始から1/3の時間、汚染量が増加しており、TD内に流入した鍋詰物(98%SiO₂)による汚染が見られる。次にいったん、汚染量が減少した後、チャージ末期に取鍋スラグ流入による汚染量が増加している。さらに3チャージ目ではTD内へのスラグ蓄積のために2チャージ目の汚染量レベルに加算する形で汚染が進行し、2チャージ目とほぼ同様の推移を示している。

以上より、TDにおける溶鋼清浄化には、溶鋼の空気酸化の防止、取鍋詰物の無害化ならびにスラグ流出量の低減が重要な技術課題といえる。

3. タンディッシュ内溶鋼清浄化技術

3.1 溶鋼の空気酸化防止技術

溶鋼の空気酸化防止には、従来よりTD内のAr置換が採用されているが、完全シールの困難さ及び、熱によるTDカバーの変形の問題があり完全とはいえなかった。そこで、新しいシーズ技術として溶鋼表面を低融点の熔融性保温材で被覆する方法について検討を行った。

3.1.1 ラボ試験結果

ラボ試験は100kgの大気溶解炉にて、溶鋼表面に保温材を添加し、熔融後2分ごとに溶鋼を採取し[N]成分を分析することによって行った。実験に用いた熔融系保温材は前章の鍋詰物汚染の知見より組成中にSiO₂を含まないAl₂O₃-CaO系を用い、非熔融系のMgO系の保温材と比較した。Fig. 7にΔ[N]推移を示す。非熔融系保温材の場合[N]が増加しており空気酸化が認められるのに対し、熔融系保温材の場合には[N]増加は認められず空気酸化の防止効果が確認された。

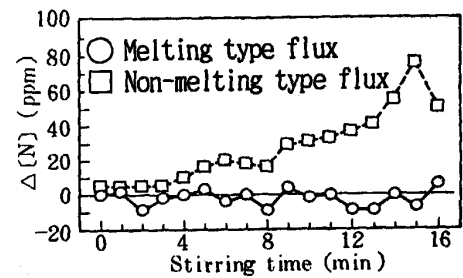


Fig.7 Comparison of [N] pick up between two kinds of TD flux

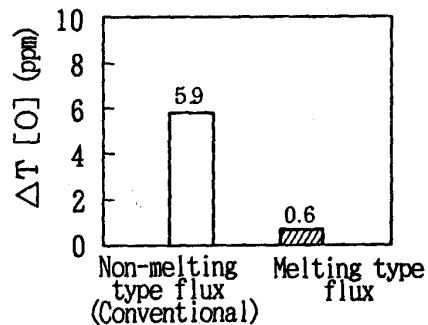


Fig.8 Improvement of ΔT [O] by new type TD flux

3.1.2 実機試験結果

実機試験ではアルミキルド鋼を3チャージ/castについて、熔融系保温材をTD中央の上堰間と上堰の外側の1ストランド側に添加し、2ストランド側には非熔融系保温剤を添加し、同一タイミングで流入部と流出部の溶鋼サンプルを採取することにより保温材を評価した。Δ[N]は非熔融系保温材が2.1ppmであるのに対し熔融系は0.3ppmであり、空気酸化防止効果が確認された。さらに、Fig. 8に溶鋼中T[O]濃度変化を示す。ΔT[O]は熔融系保温材では0.6ppmで、非熔融系保温材では5.9ppmであり、熔融系保温材の使用により、TD内での生成介在物量の低減効果を確認した。

3.2 鍋詰物の無害化技術

鍋詰物の流入による介在物の生成を防止するために詰物を上下2層化し、SiO₂量を低減した詰物の開発を行った。

3.2.1 ラボ試験結果

ラボ試験としては、詰物に本来要求される焼結性の点でSiO₂の代替材質を探求したが、有効な材質が見つからなかったため、詰物を2層化することを考え、上層には従来通りSiO₂を用い、下層部の組成について以下の検討を行った。二層化した詰物の下層に要求される特性は
 ①開口性を向上させるための難焼結性
 ②冷間ならびに溶鋼挿入時などの広い温度範囲における低膨張性
 ③上下層間に反応層が生成しないこと

実験は、焼結性、熱膨張率、上下層間の反応層厚みについて評価を行った。評価結果をTable 2に示す。詰物の下層材質としてはAl₂O₃質、スピネル質が有効であることがわかった。

3.2.2 実機試験結果

実機試験では下層材質としてAl₂O₃質詰物を用いた。介在物調査結果をFig. 9に示す。上記組成の詰物に変更した結果、取鍋の開口性は従来同様良好であり、連々鑄取鍋交換時のAl₂O₃系介在物の生成を防止できることを確認した。

3.3 取鍋スラグ流出防止技術

取鍋流出スラグに関し、従来はオペレーターの目視判定で操業を行ってきたため、平均して70kg/chのスラグがTD内に流入していた。これに対し、電磁式スラグ流出検知を適用した。これにより取鍋注入終了判定ではオペレーターの目視判定よりも平均3.7秒早く検出することが可能になり、Fig. 10に示すように連々鑄時の溶鋼清浄性の向上効果を確認できた。

4. 結論

TD内溶鋼の清浄化を目的に、溶鋼汚染要因の定量化を行い、溶鋼の空気酸化防止技術、鍋詰物の無害化、取鍋スラグ流出検知技術の適用を行い、各技術の効果を確認することができた。

現在、これらの技術の設備化を図っており、今後さらなる溶鋼の清浄化を進めてゆく。

参考文献

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1) 飯田義治ら：CAMP-ISIJ 78(S148) | 2) 脇田淳一ら：CAMP-ISIJ 80(S864) |
| 3) 村上勝彦ら：CAMP-ISIJ 80(S865) | 4) 石川英毅ら：CAMP-ISIJ 80(S866) |
| 5) 友野 宏ら：CAMP-ISIJ 83(S210) | 6) 大西正之ら：CAMP-ISIJ 83(S211) |
| 7) 中田正之ら：CAMP-ISIJ 83(S212) | 8) 友野 宏ら：CAMP-ISIJ 83(S914) |

Table 2. Experimental results of double course sliding nozzle filler

Sample No.	1	2	3	4
Material	SiO ₂	MgO	spinel	Al ₂ O ₃
Sinterability				
1000°C×2hrs	S-1	S-0	S-0	S-0
1300°C×2hrs	S-5	S-0	S-0	S-0
1500°C×2hrs	S-5	S-2	S-0	S-0
Thermal expansion	30	0	0	0
1500°C×2hrs(-)				
Thickness of reaction zone(mm)	10	40	10	5

Sinterability:S-0(not sintering)→S-5(completely sintering)

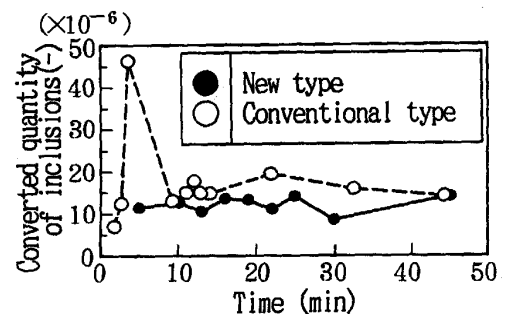


Fig. 9 Improvement of inclusion quantity by using of non-silica type material for sliding nozzle filler

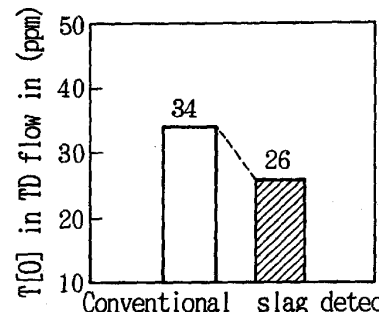


Fig. 10 Cleaning effect of slag detector