

討 9

住友金属工業(株)鹿島製鉄所 小林隆衛 川崎守夫 豊田 守
 ○渡部忠男 中島敬治

1 緒 言

連続铸造鋼の比率を飛躍的に向上させるためには、従来にも増して、清浄な鋼を安定して製造することが不可欠である。

鹿島製鉄所においても、低合金高張力ラインパイプ材や耐HIC材等に代表される高級鋼比率の拡大および熱冷延材、厚板材のホットチャージ化拡大¹⁾に処すべく介在物の低減対策に取り組んできた。その結果、製品の介在物性欠陥は著しく減少している。

本報では、各プロセス毎の介在物低減対策を概述する。

2 介在物低減のための諸対策

連铸材の清浄化をはかるためには、単に連铸のみならず転炉から連铸に至る一貫した介在物低減対策が必要である。

2-1 取鍋溶鋼の清浄化

取鍋溶鋼の清浄化のためには、転炉における吹止 free ①の低減と出鋼時のスラグ流出を最小限に抑制することが前提となる。とりわけ、流出スラグが多すぎると、その後の取鍋精錬における種々の効果を十分に引出せないこともある。

2-1-1 取鍋スラグコントロール

スラグの酸化ポテンシャルが高いと、鋼中全酸素量も増大する(Fig.1)。従って、酸化性の転炉流出スラグにCaOや、CaF₂を添加して塩基度を高めることは、鋼の清浄化に有効に作用する。CaOについては、スラグ固化の効果もあり、連铸での各ヒート末期の取鍋スラグ流出低減に有効である。

2-1-2 取鍋溶鋼のArバブリング

バブリング処理により、鋼中[O]が減少することは、これまでの報告²⁾より明らかである。この場合、取鍋スラグの混入を抑制するバブリングが重要である。最適バブリング条件を把握するための水モデル試験によると Fig.2に示すように、短時間均一混合をはかるためには、4孔ランスをできるだけ深く浸漬して攪拌することが有効であり、実適用をはかっている。

適正なArバブリングをすることにより、非常に大きなAl₂O₃介在物の浮上効果が得られ、Al₂O₃ ≒ 20~30ppmにまで低下する(Fig.3)。この低減効果は、DH処理におけるよりも、むしろ有利な結果にあるといえる。³⁾

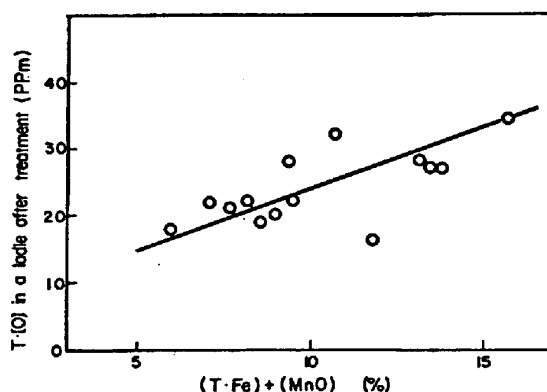


Fig.1 Relation between (T·Fe)+(MnO) in slag and total [O] in steel.

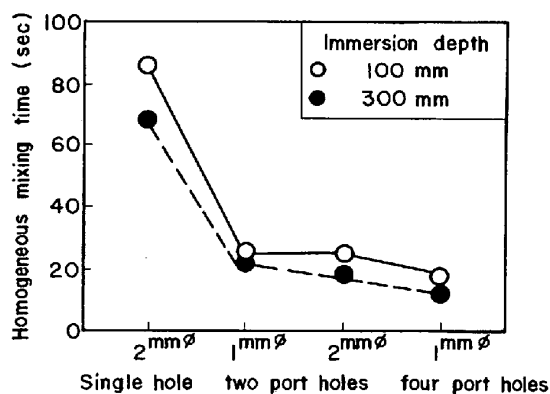


Fig.2 Relation between homogeneous mixing time and bubbling conditions (The ladle water model, Reduction scale 1/10)

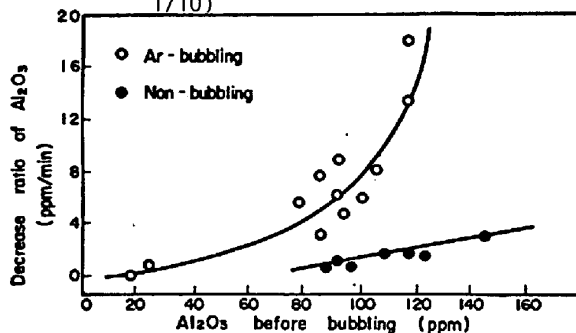


Fig.3 Decrease of Al₂O₃ during Ar-bubbling in ladle.

2-2 タンディッシュ溶鋼の清浄化

2-2-1 铸造中の再酸化防止

取鍋とタンディッシュ間のArシールの効果をFig.4に示す。铸込定常期に比較して、铸込初期の非定常期における再酸化が問題であり、 Al_2O_3 介在物の増加をまねく。注湯前に十分なAr置換を実施することが重要である。

2-2-2 取鍋スラグの混入防止

取鍋溶鋼末期における取鍋流出検知タイミングを誤ると、取鍋スラグがタンディッシュに流出してタンディッシュスラグとなる。これが巻き込まれてモールド内に入り铸片に残存すると、Al-Ca-Mg-O系の球状介在物となる。このタンディッシュスラグのたたき込みに関しては、主として、以下の3つの要因が関与する。

i) タンディッシュスラグ厚み; l

ii) タンディッシュ溶鋼深さ; H

iii) 湯当り部からタンディッシュノズルまでの距離; L

トレーサー (BaO) を含む人工タンディッシュスラグによる介在物起源調査によると、Fig.5に示すように、タンディッシュスラグを厚くすると、かなりの濃度でモールドフラックス中に (BaO) が検出される。このことは、タンディッシュスラグのたたき込みを立証するものである。この傾向は、 L が小さいほど顕著であることから、タンディッシュ内容鋼の滞留時間が介在物浮上の重要な因子であることが示唆される。

Fig.5の結果を踏まえて、タンディッシュスラグ厚を 60^{mm} 以上にして H の影響を調べた結果をFig.6に示す。検出介在物の大きさは $80\sim 200\mu$ 程度である。 H が大きいほどタンディッシュスラグのたたき込みの程度は緩和される。この場合にも、 L の影響は極めて大きい。

これらの介在物挙動を、Stokes運動による粒子の凝集モデル⁴⁾に基づいて考えると、タンディッシュノズル直上 $300\sim 350\text{mm}$ 以内に存在する球状介在物は、ほとんどモールド内に持ち込まれるものと推測できる。

以上の実態から見て、球状介在物を低減するための根本対策は、取鍋注入流をタンディッシュ湯面にたたき込ませないことにあり、取鍋下の浸漬ロングノズル方式は有効である。当所では、必要に応じて、この方式を採用している。ただし、この場合、取鍋下ノズルとロングノズル間の断気保証と、取鍋ヒート末期の取鍋スラグ流出検知法に改善の余地が残されている。

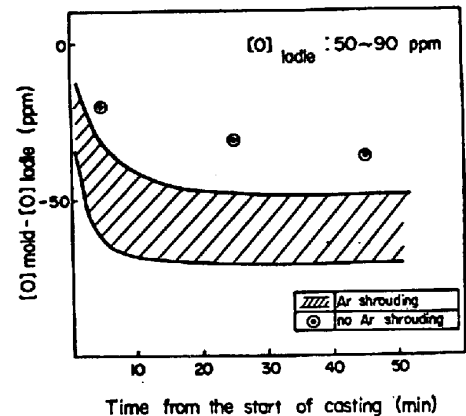


Fig.4 The effect of Ar shrouding for oxygen content change during casting.

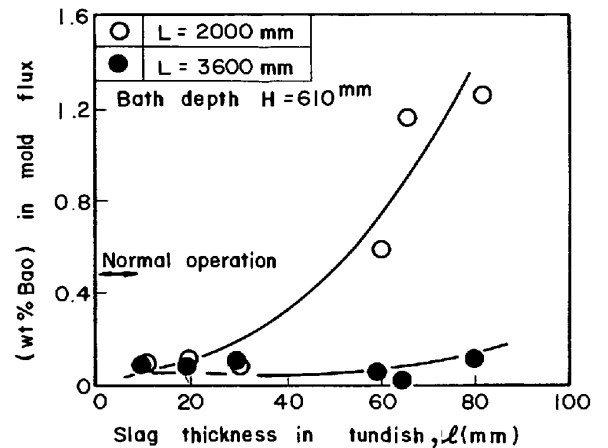


Fig.5 The effect of tundish slag thickness on the entrainment of tundish slag.

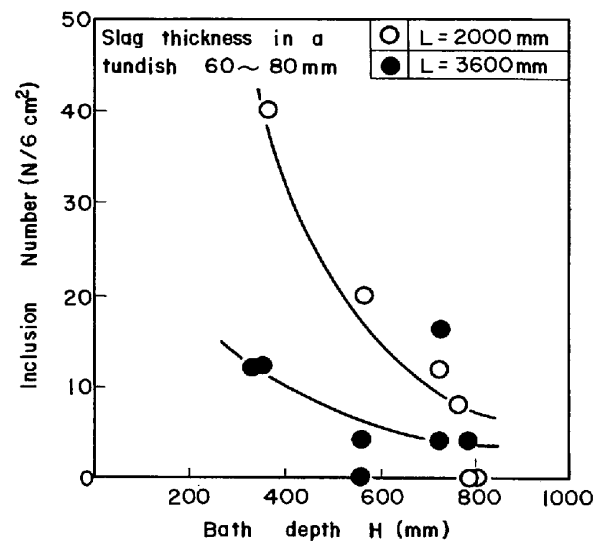


Fig.6 The effect of bath depth on spherical inclusion number in a mold (without dams)

2-2-3 タンディッシュ内介在物浮上分離

i) タンディッシュ鋼浴深さ増大

鋼浴を610^{mm} (21トン)から900^{mm}(32トン) にまで大型化をはかった。その結果、Fig.7に示すように、モードにおける鋼中[C]レベルを20~30%減少させることが可能となった。

ii) タンディッシュ堰の採用

タンディッシュ内湯流れの水モデルによれば、タンディッシュの側壁に沿った流れは、十分に上昇しきれないうちにタンディッシュノズル近傍に到達することが判明した⁵⁾ 従って、この流れを防止して、溶鋼滞留時間を増すような堰を設置することがタンディッシュにおける介在物浮上分離のポイントである。Fig.8は、こうした観点から設置した堰の効果を示す。鑄片のスライム抽出介在物量は、堰の使用により100ヶ/10Kg・Steel以内の低位に改善されている。ただし、この場合も、タンディッシュスラグ厚は小さく維持すべきである。

iii) タンディッシュノズルからのArバブリング

タンディッシュポーラス上ノズルを通して流されるArガスは、ノズル閉塞抑制に効果があり、その一部がタンディッシュ溶鋼内を浮上するため、大型介在物の浮上分離にも効果がある⁶⁾ 当所では早くから全タンディッシュに採用している。

2-3 モールド溶鋼の清浄化

上述の転炉からタンディッシュに至るまでの各種介在物低減対策により、モードインプット介在物量そのものを減らすことが、清浄鋼を得るための基本である。モードでの主な対策は以下に大別される。

i) ノズルからの溶鋼吐出流浸透深さを極力小さくして介在物の浮上分離を容易にする。

ii) パウダーの混入を防止する。

モード内の介在物浮上に関しては、浸漬ノズル吐出角度と連铸機種が強く関与する。Table 1にノズル吐出角度と冷延鋼板の製品欠陥との関係を示す。水平よりも若干下向きの方が成績は良い。また、パウダー混入に関しては、モード湯面の乱れが主因であるため、上記の浸漬ノズルの吐出角度と浸漬深さの適正化に加えて、モード湯面レベル制御を厳格に実施する必要がある。次に介在物挙動について若干の検討を加える。

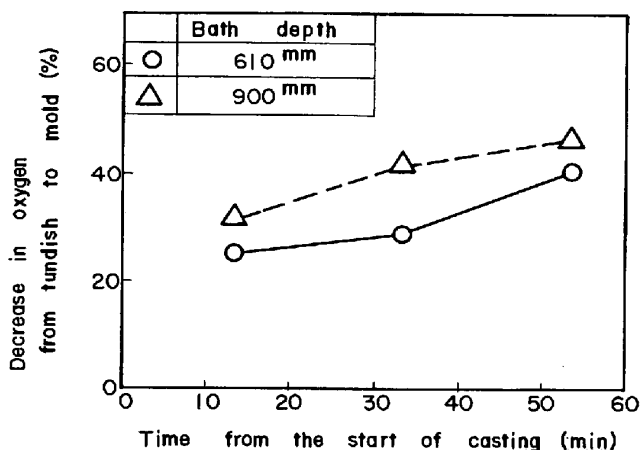


Fig.7 The effect of bath depth on the oxygen level of molten steel.(without dams)

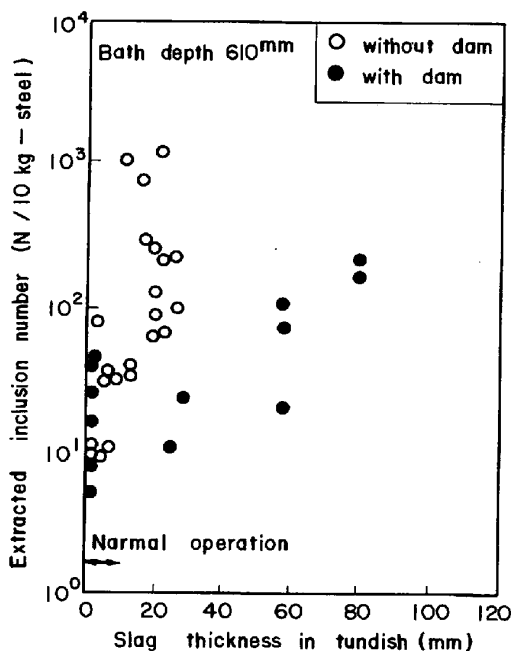


Fig.8 The effect of dam of the extracted inclusion number.

Table 1 Effect of port angle on quality of cold sheet (Casting Speed 1.1m/min.)

Port angle	Defect ratio (%)	
	caused by Al ₂ O ₃	caused by powder
0°	0.39	1.20
5°	0.62	0.00
10°	1.05	0.00

モールド内に持ち込まれた介在物に関しては、鑄造条件に強く関連する。モールド内介在物の浮上分離および捕捉機構を考えるために、以下のモデルを考える。⁷⁾ すなわち、メニスカス下に、介在物が均等に分布している「Mixing Zone」と、この領域に続いて、溶鋼は静止しているが、介在物はStokes則で浮上する「Static Zone」を仮定する。そして、マスバランス上、メニスカスから系外に出る介在物の存在を考慮する。かなり大胆な仮定に基づくモデルであるが、その計算結果は実測値とかなりよく一致する(Fig.9)。このモデルはまた、100 μ 以上の大型介在物に関して、連鑄機弯曲半径の影響がかなり大きいことを示唆しており、連鑄マシンデザインの際には一つの指針を与えるものでもある。鑄造条件と介在物の関連で、鑄造速度および浸漬ノズル角度の影響について計算した結果をFig.10に示す。一般に、鑄造速度が増大するにつれて集積のピークは高くなるが、鑄造速度10 m/min以上ではその影響は小さくなる。これに対して、浸漬ノズル角度の影響は大きく、下向10°を越えると、介在物の集積ピークは非常に大きくなる。これは、Table 1のAl₂O₃介在物の増加傾向とよく一致している。高速鑄造時には、ノズル吐出口角度を十分に考慮する必要がある。

3. 結 言

鹿島製鉄所において、ここ数年間、取組んできた介在物低減の諸対策について報告した。この結果、連鑄鑄片内の介在物を安定して低減することが可能となり、低合金高張力ラインパイプ材や耐HIC材、ペンストック材等の高級鋼および深絞り用冷延鋼板等を安定して製造している。

(参考文献)

- 1) 植田、橋尾、加藤、渡部、松井；鉄と鋼、67(1981), A37
- 2) 丸川、小林、城田；鉄と鋼、60(1974), S398
- 3) 梅田、丸川、城田；鉄と鋼、63(1977), P. 2054
- 4) 宮下；日本鋼管技報 46 32, P. 29
- 5) M. Hashio, M. Tokuda, M. Kawasaki, T. Watanabe : 2nd Process Technology Conference (1981)
- 6) 北村、山崎、豊田、龍；鉄と鋼、65(1975), S55
- 7) 橋尾、小林、渡部、川崎、豊田；鉄と鋼、67(1981), S192

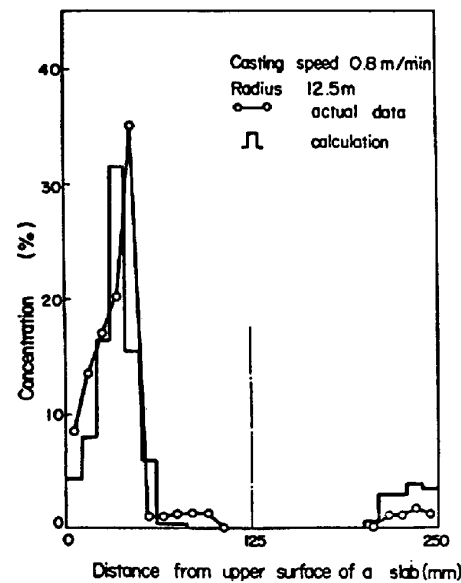


Fig.9 Comparison between the calculation and actual data.

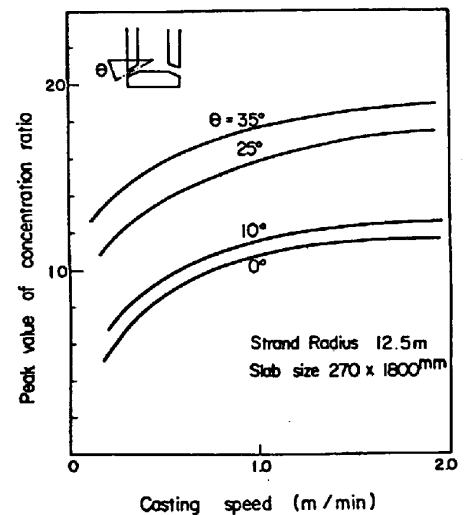


Fig.10 The effect of casting speed and port angle on the peak value of concentration ratio.