

討 8

連 鑄 大 型 介 在 物 の 低 減 対 策 に つ い て

日本鋼管(株)福山製鉄所 ○山村 稔 内田繁孝 田口喜代美

福山研究所 宮原 忍

技術研究所 菅原功夫

1. 緒 言

連鑄材の大型介在物の低減は、高級鋼の連鑄化拡大にとって重要な項目の一つである。連鑄プロセスでは、大型介在物の発生起源として、多くの起源が考えられるが、それらの寄与率を定量的に把握する事は難しい。しかし、有効な大型介在物低減対策をとるにあたっては、寄与率の高い発生源を推定することが必要である。そこで、UOEラインパイプとDI缶の欠陥部に発見された大型介在物の組成調査の結果から、転炉から連鑄に至る各工程、および連鑄の各段階での主たる大型介在物の起源を推定し、それぞれに有効と考えられる対策を実施した。本報では、大型介在物の調査結果とその起源の推定、介在物低減対策とその効果について報告する。

2. 製品内大型介在物の実態とその起源

製品の欠陥となる大型介在物の大きさは各製品用途によって異なり、Table.1に示す

ようにDI缶用ブリキのフランジ割れの原因となる最小6.0 μ の介在物から、UOE、ERWパイプ材で問題となる約200 μ 、さらにブリキ材のスリパーの原因となる500 μ 以上の介在物まである。

全彎曲型スラブ連鑄機により製造したUOEパイプを対象として、鑄造長手方向の介在物分布を調査した結果を、Fig.1に示す。大型介在物は、鑄造初期、連々鑄継目および鑄造末期位置で増加する傾向を示す。また連々鑄後チャージのミドル部も、前チャージのミドル部に比較して、大型介在物は増加傾向を示す。各鑄造段階に対応する位置の大型介在物の組成をTable.2に示す。

次に、転炉から連鑄に到る工程においては、取鍋→タンディッシュ→モールド→スラブと工程を経るに従って、大型介在物は見かけ上減少する傾向にあり、重量比で取鍋→タンディッシュ間で約1/4に、取鍋→スラブ間では約1/250に減少し、連鑄工程での大型介在物の浮上分離が著しく進行していることがわかる。

Table.1 Minimum diameter of large inclusions in slab which may originate defects of final products.

| | Products | Defect of products | Minimum diameter (μ) |
|-------|-------------------|--------------------|----------------------------|
| Sheet | ERW pipe | U.S. defect | 220 |
| | Cold rolled sheet | Slag | 400 |
| | Tin plate | Slag, sliver | 400, 500 |
| | DI can | Flanging crack | 60 |
| Plate | UOE pipe | U.S. defect | 220 |

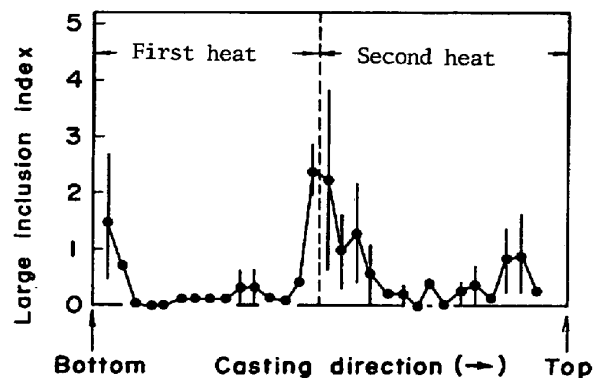


Fig.1 Change of large inclusion index of two sequence casting.

Table.2 Minimum diameter and compositions of large inclusions at each casting stage.

| Casting stage | Minimum diameter of inclusions in slab (μ) | Frequency of large inclusions with various compositions (%) | | | |
|------------------------------|--|---|---|---|-------------------------------------|
| | | Al ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ -CaO-SiO ₂ -MnO | CaO-SiO ₂ -Al ₂ O ₃ -Na ₂ O | Al ₂ O ₃ -CaO |
| Start of casting | 220 | 72 | 17 | 11 | 0 |
| Steady region of first heat | 230 | 89 | 6 | 5 | 0 |
| Ladle exchange | 330 | 20 | 0 | 0 | 80 |
| Steady region of second heat | 270 | 45 | 0 | 0 | 55 |
| End of casting | 550 | 18 | 0 | 82 | 0 |

取鍋およびタンディッシュ内の溶鋼中介在物組成は、Fig.2に示すように、Ca-Mn-Al-SiO₂系とCa-Al₂O₃系とに大別できる。Al₂O₃系介在物は取鍋～タンディッシュ間のシール鑄造により減少することから、脱酸、空気酸化による生成物と考えられる。一方、取鍋内溶鋼中のケイ酸塩、アルミネートの起源は、各種耐火物とスラブであると考えられる。Ca-Al₂O₃系介在物は、出鋼時に取鍋内溶鋼中に微細に懸濁したスラグ中の、比較的還元されやすい(SiO₂), (FeO)等が、溶鋼中のAlと反応して生成したと考えられる。

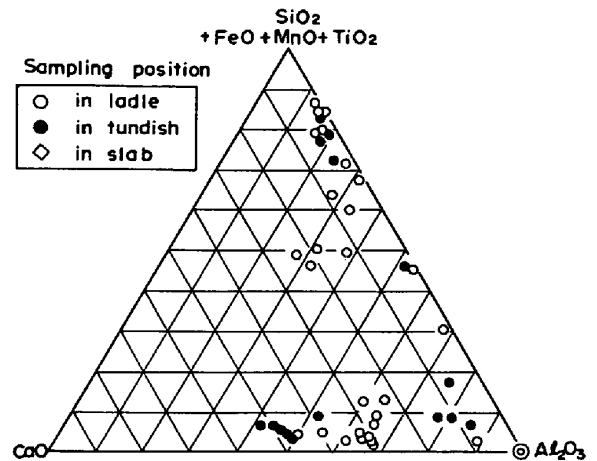


Fig.2 Progress of inclusion composition investigated by microscopic method at various steel-making steps. (Middle area of first heat)

3. 連鑄工程において想定される大型介在物の生成プロセス

前述した溶鋼中大型介在物の挙動をベースにして転炉出鋼から連鑄工程までの各段階で生成・混入する

各種介在物の起源をまとめるとFig.3のようになる。ミドル部の製品欠陥部に見られるような大きい(200μ以上)介在物は、各工程で浮上分離し、取鍋またはタンディッシュ内には、100μ以上の介在物が残留しているのは極めて希である。したがって、製品欠陥の発生率が同一チャージでもストランドによって大きな差がある場合が多いことを考え合わせると、製品欠陥部の介在物は、小型の介在物が、連鑄工程、特にタンディッシュ～モールド間で凝集し、大型化したものと推定される。凝集、成長する場所は、介在物の分布がばらついていること、ストランド間で大きな差があることから、ノズル内壁での付着・推積・剝離によって混入するプロセスが考えられる。一方、鑄造初期は、空気酸化によって生成することが多いAl₂O₃が多いことから、タンディッシュにおける溶鋼の初期酸化による介在物が製品欠陥

である。継目の介在物の主体は転炉スラグ性のCaO-Al₂O₃であり、これは、鍋交換時にタンディッシュ内の転炉スラグを注入流がたたき込み、巻込んで生成したものと考えられる。連々鑄後チャージミドル部は、前チャージに比較して介在物が多く、組成もCaO-Al₂O₃系の比率が高い。介在物の発生機構としては、タンディッシュ内に残留している転

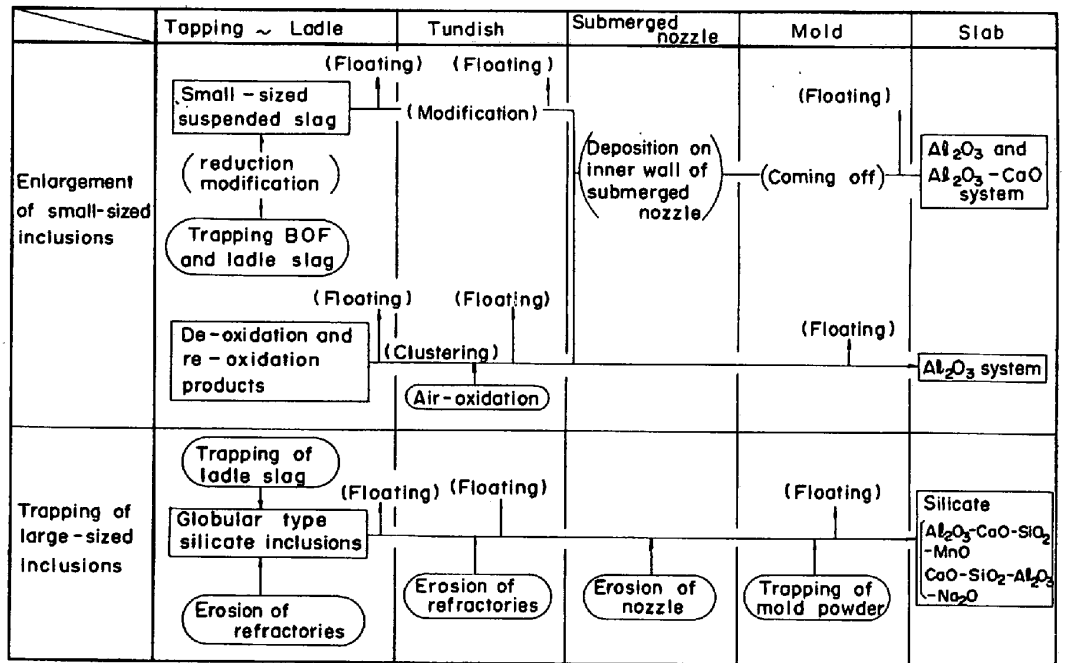


Fig.3 Formation mechanism of large inclusion in steel-making processes.

炉スラグの巻込みにより生成する可能性が強い。鑄造末期は、組成的にNaが検出されていることから、鑄造終了時の頭部処理作業が不適切なためにモールドパウダーが主体に巻込まれたものと考えられる。

4. 大型介在物低減対策とその効果

前述したように大型介在物の起源は、各鑄造段階で異なり、大型介在物対策も一定ではなく各鑄造段階の起源に適合した対策をとる必要がある。

4.1 タンディッシュノズル内へのArガス吹込みによる改善

鑄造後のタンディッシュノズル内壁には、 Al_2O_3 を主体とした灰色の付着物が多量に付着していることがあり、この付着量とUOEパイプ材の製品介在物指数との間には、Fig. 4に示すように強い相関がある。これらノズル付着を積極的に軽減する方法として、ストッパーを利用してノズル内へArガスを吹込む方法を採用した。Ar吹込み量はFig. 5に示すように、適切な範囲が存在し、Ar流量が過少の場合は、もちろん製品介在物指数を軽減する効果はなく逆にAr流量が過多の場合には、モールド内での湯面変動が大きくなることにより、モールドパウダーを巻込んで製品介在物指数を増大させ、逆効果となる。タンディッシュノズルへのAr吹込み法に、タンディッシュ堰の改良、取鍋処理法の改善などを加えることにより、Table.3に示すように、UOEパイプ、ERWパイプのUST欠陥発生率、DI缶のフランジ割れ発生率が大幅に改善された。

4.2 非定常部の改善

(1) タンディッシュ堰内のAr置換による

鑄込初期部の改善

鑄込初期部の大型介在物は、取鍋注入開始時の溶鋼注入流がタンディッシュ内で2次酸化することにより生成することから、これを防止するために注入開始前にタンディッシュ堰内をAr置換した。さらに、タンディッシュ内の溶鋼高さを充分に取ってから、モールド内への注入を開始することにより、生成した介在物の浮上を促進した結果、Fig.6に示すように、ボトム部の大型介在物を軽減することができた。

(2) 3重堰タンディッシュによる継目および

連々鑄後チャージの改善

連々鑄を行なうとタンディッシュノズル内付着物は異常に増加し、継目および連々鑄後チャージの製品介在物指数は悪化する。Table.2の製品介在

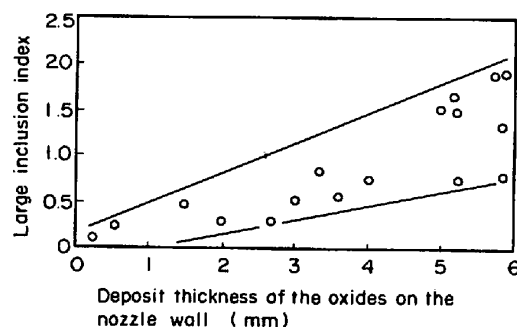


Fig.4 Relationship between deposit thickness of the oxides on the inner wall of submerged nozzle and large inclusion index of UOE pipes.

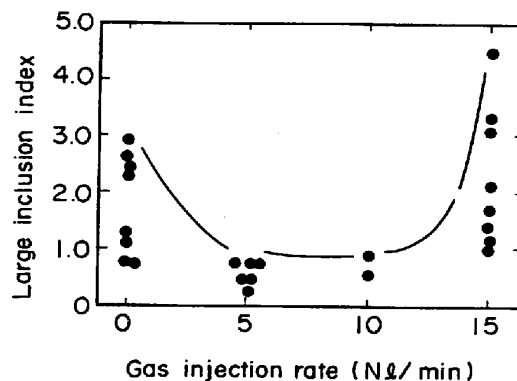


Fig.5 Relationship between gas injection rate and large inclusion index of UOE pipes.

Table.3 Effect of the new countermeasures for decreasing large inclusions.

| Products | UOE pipe | ERW pipe | DI can |
|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| Defect of products | U.S. defect index | U.S. defect index | Flanging crack index |
| Old method | 100 | 100 | 100 |
| New method | 26 | 21 | 18 |

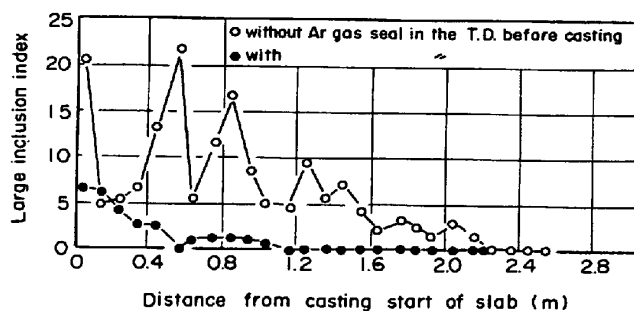


Fig.6 Effect of Ar gas seal in teeming spot of tundish before casting start.

物組成から、タンディッシュ内の転炉スラグの影響をなくすために、前チャージの溶鋼を30ton取鍋内へ残す試験を行なった結果、ノズル内壁への付着物量は減少し、後チャージの製品介在物指数も改善された。そこで、タンディッシュ内に入った取鍋スラグの影響を無くすために、Fig. 7に示すような3重堰タンディッシュを採用した。その結果、連々铸の前チャージと後チャージとの製品介在物指数の差がなくなり、また継目部の製品介在物指数も大幅に改善された。

(3) 頭部処理方法の変更による铸造末期部の改善

铸造末期部の製品介在物の主体は、前述のようにモールドパウダーと推定されるが、この原因は、铸造停止時のスラブ頭部の攪拌作業と考えられる。そこで頭部攪拌を行なわない頭部処理方法に変更した結果、製品介在物指数は従来方法の約1/3~1/4に改善された。

以上述べてきた諸対策を実施することにより、Fig. 8の実線で示すように、連々铸全長にわたって製品介在物指数は減少した。

5. スラブ内大型介在物量におよぼすマシンプロフィールの影響

全彎曲型連铸機 (R=10.5m) と垂直曲げ型連铸機 (有効垂直部長さ3.9m) とで、試験的に溶鋼の清浄性を悪化させて铸造すると、Fig. 9のように垂直曲げ型連铸機のスラブには、全彎曲型連铸機のスラブに見られるような上面側でのダークスポット数の大きなピークは見られず、垂直部の効果をはっきりと現われている。前述したように、全彎曲型連铸機でも、種々の対策により、大型介在物を低減することができるが、高速铸造や操業のばらつきを考慮すると、垂直部を設置することにより、さらに安定した清浄性を得ることが可能となった。

6. 結 言

連铸製品の欠陥部に発見された大型介在物の組成調査の結果から、主たる大型介在物の起源を推定し、それぞれに有効と考えられる対策を実施した結果、製品介在物欠陥の発生率を安定して低減することができた。その結果、UOEパイプ、DI缶用ブリキ等の高潔鋼が安定かつ歩留りよく生産可能となった。また、モールド直下の垂直部が、大型介在物の低減に与える効果について定量的に把握できた。

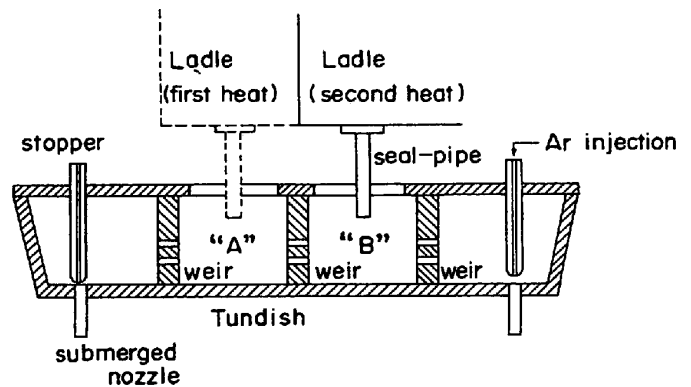


Fig. 7 Schema showing "triple-weir" tundish.

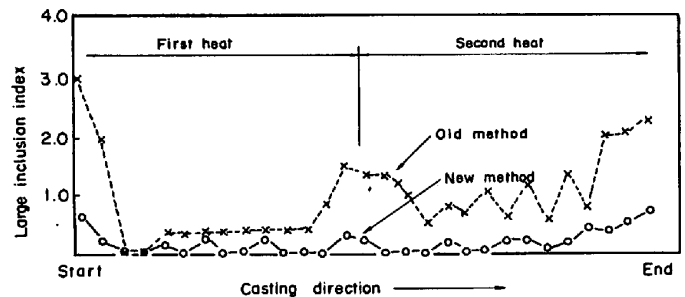


Fig. 8 Changes of large inclusion index of UOE pipes in the 2 ladle sequence casting.

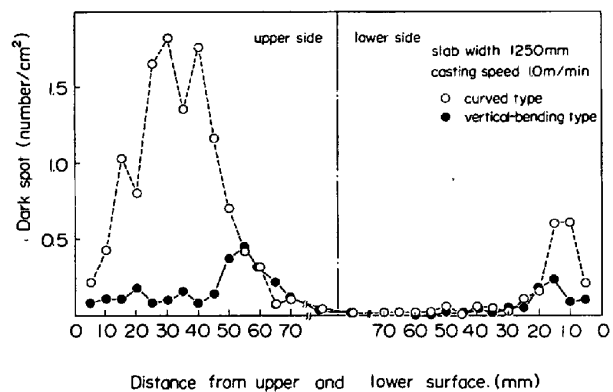


Fig. 9 Difference of dark spot in slab between the vertical-bending type and curved type machines.