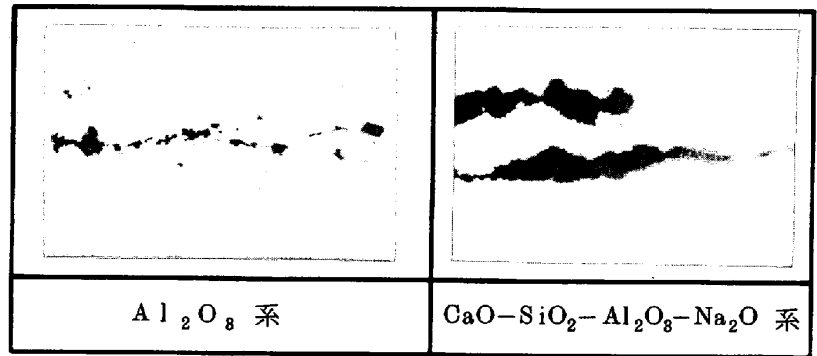


討10

神戸製鋼所 神戸製鉄所 大西 泰 高木 彌
○若杉 勇 片桐 行雄

1. 緒言：当社では数年来高級条鋼製品の連铸化を積極的に推進し、品質の向上と用途拡大を果してきた。本報告ではブルーム連铸化を図っていく上で、問題となる非金属介在物について、溶鋼各段階での定常ベースの介在物性状と铸造段階での非定常挙動を調査し、巨視的介在物の生成因の推定と対策効果例を紹介していく。

2. 条用特殊鋼で問題となる介在物：条用特殊鋼製品は自動車用部品に代表される如く加工方法、適用分野からみてその種類はきわめて多岐にわたっており、用途ごとに要求される品質特性も複雑である。中でも冷間鍛造性、動的耐疲労性あるいは高周波焼入加工性等の主要特性を保証していく上で、問題となるのは酸化物系介在物の存在である。例えば、機械構造用棒鋼製品については、表層下の巨視的な介在物が特に問題視されるが、これを組成的にみると Al_2O_3 系と $CaO-SiO_2-Al_2O_3-Na_2O$ 系に大別される。



(×350)

写真1 製品で問題となる代表的な介在物

3. 各工程における介在物挙動調査：神戸製鉄所の転炉-特殊Ar攪拌処理-垂直型連铸機(φ200×300×300 サイズ)のプロセスにおいて、中炭素鋼S45Cを対象に介在物挙動を把握するために実態調査を行った。S45C(C: 0.45%, Si: 0.25%, Mn: 0.77%, Al: 0.028%)の2連連铸において溶鋼各段階の介在物の形状、大きさ、個数を光学顕微鏡観察により、組成・形態をEPMA定性・定量分析により、また Al_2O_3 量を

サンド分析にて測定した。図1に大きさ 10μ 以上の介在物の挙動推移の実態を示す。出鋼(Si, Mn脱酸)~特殊Ar攪拌処理前では $MnO-SiO_2-(Al_2O_3)$ 系の一次脱酸生成物と転炉スラグに起因するとみられる $CaO-SiO_2-Al_2O_3-MgO$ 系に分けられ、いずれも大きさ 100μ 以下で单相状である。特殊Ar攪拌処理工程でAl添加後、時間経過について[Al]による SiO_2 , MnO 等の低級酸化物の還元

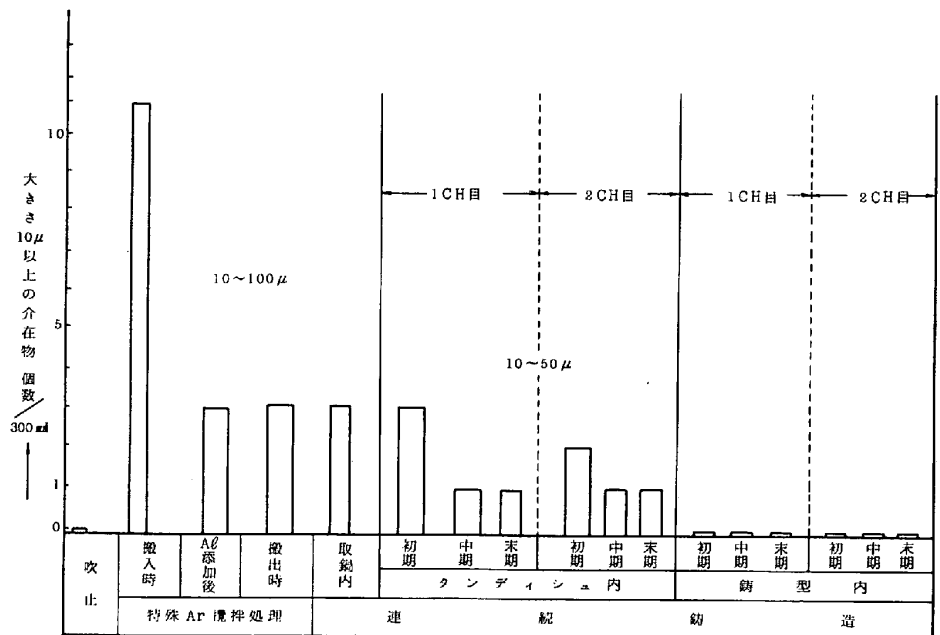


図1 各工程での介在物挙動

が促進され連铸タンディッシュ段階まで続いている。即ち $MnO-SiO_2 \rightarrow (Al \text{ 添加}) \rightarrow SiO_2-Al_2O_3 \rightarrow Al_2O_3$ への移行と $CaO-SiO_2-Al_2O_3-MgO \rightarrow (Al \text{ 添加}) \rightarrow CaO-Al_2O_3-SiO_2-MgO \rightarrow CaO-Al_2O_3-MgO$ の形態変化として説明できる。

一方、介在物の大きさの面では取鍋内各段階で最大 100μ 、主体は 50μ 以下であり、タンディッシュ内になると最大 50μ 、主体は 35μ 以下と小型化してきている。なお 10μ 以下の介在物は Al_2O_3 が大部分であり大きさも数 μ のオーダーである。さらに铸型内容鋼サンプルでは介在物はほとんど認められなかった。また連铸 1CH 目と 2CH 目で介在物性状で大きな差は認められず、むしろ铸造初期部で介在物量が若干増加している傾向がみられる。図 2 にサンド分析による Al_2O_3 量および $\Sigma[O]$ 、 $\Sigma[N]$ の推移を溶鋼各段階で調査した結果を示す。図 2 より铸造初期の大気酸化傾向が明らかであり、前述の 10μ 以上の介在物性状ともある程度符号しているとみられる。しかしながら定常ベースでの溶鋼中の介在物性状と製品で铸造初期部以外でも実際に問題になる巨視的介在物との間に対応関係を見出すことは難しく、このことは铸造段階で何らかの非定常要因と結びついた介在物の凝集・肥大化のプロセスを示唆するものと考えられた。

4. 非定常挙動に関する 2, 3 の調査:

铸造での非定常要因として、(1)ノズル閉塞、(2)铸型内湯面変動および(3)铸型内容鋼フローパターン不良などが挙げられ、これについて 2, 3 の調査を行った。

4-1 ノズル閉塞: 実操業において铸造中期以降にノズル閉塞現象は生じる傾向にあるが、2CH 使用後の浸漬ノズルの内壁面に堆積している白色粉末状の付着物組成を表 1 に示す。付着物の主体は比較的微細な $\alpha-Al_2O_3$ が占めていて、この $\alpha-Al_2O_3$ を結合する形で $CaO-6Al_2O_3$ 、 $MgO-Al_2O_3$ 、 $FeO-Al_2O_3$ などが存在し全体として焼結状に凝集している。このように焼結状に巨大成長した付着物がタンディッシュからの溶鋼脈動流によって剝離され、铸型内に持ち込まれる可能性が高く、この種の大型 Al_2O_3 系剝離物が铸型内に混入した場合、大部分は溶融パウダーに捕捉されるが、湯面変動や铸型内フローパターン不良などで铸片内に残留される可能性が強いことが後述の铸型内水モデルテストによって確認されている。

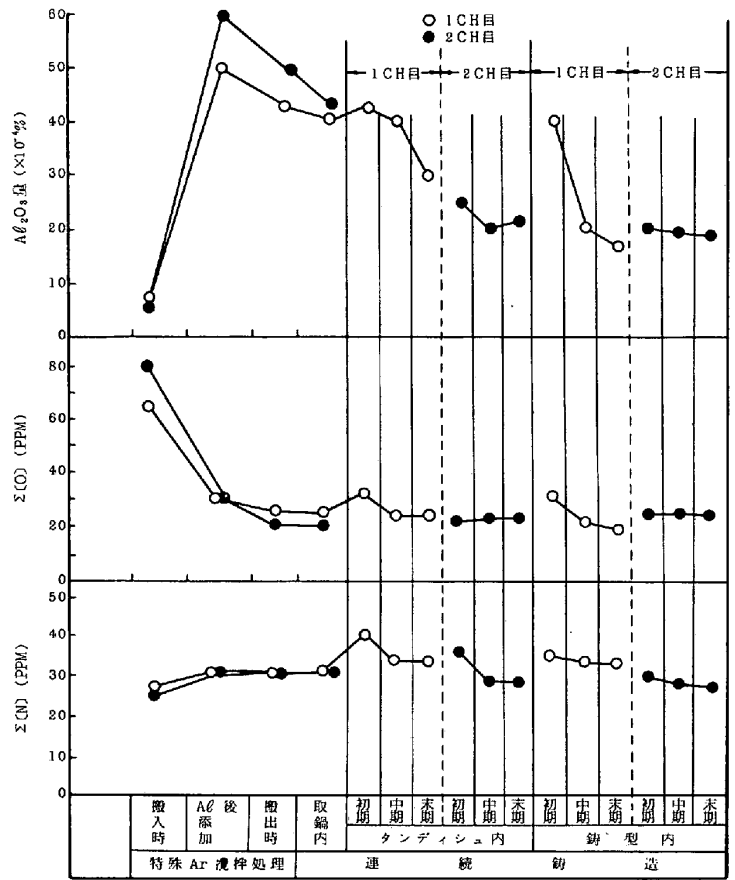


図2 各段階における Al_2O_3 量 $\Sigma[O]$ および $\Sigma[N]$ の関係

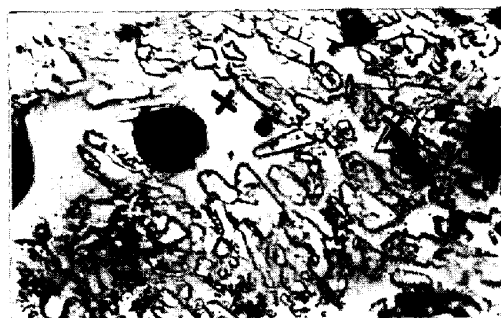
表1 ノズル付着物の化学分析およびX線回折結果

主要組成 (%)				X線回折結果
Al_2O_3	CaO	MgO	FeO	
80~91	2.5~1.5	1.3~1.0	9.1~2.9	$\alpha-Al_2O_3$ $CaO-6Al_2O_3$, $MgO-Al_2O_3$ $FeO-Al_2O_3$

混入した Al_2O_3 が鑄型内溶融パウダーに捕捉・溶解濃化したマトリックス部と未溶解の結晶質部から成るパウダー異常即ちスラグベアの性状を表2および写真2に示す。

表2 スラグベアのEPMA定量結果例 (%)

	Al_2O_3	SiO_2	MnO	MgO	CaO	Na_2O
マトリックス	31.5	36.1	18.5	—	7.8	2.6
結晶質	96.1	—	—	—	—	—



(×400)

写真2 スラグベアの光学顕微鏡による観察

ノズル付着の生因を考える場合 $CaO-6Al_2O_3$, $MgO-Al_2O_3$, $FeO-Al_2O_3$ 等の結合剂的な役割を果す介在物を極力低減, 改質することが対策の一つのポイントとみなされる。従って取鍋材質の選定, スラグカット, 合金鉄中の不純物管理とともに浸漬ノズル段階特有のタンディッシュ~浸漬ノズル間の大気酸化を防止することも重要な対応技術である。大気酸化の影響について実寸大の鑄型内水モデルテストで調査したが, 定常状態(写真3)と非定常状態(写真4)を比較呈示する。



写真3 定常状態



写真4 非定常状態

4-2 湯面変動: 実機でみられる湯面変動を確認するため鑄型内水モデルテストにおいて湯面の急変動, 特に急上昇時の模擬パウダー粒子の挙動を観察した。パウダー粒子の捲込みは著しく, 且つ浸漬ノズル吐出孔からの吐出流量の急増加に起因するフローパターンの乱れも激しくなるため, 捲込まれたパウダーの浮上性が劣ることが判明した。(写真5)製品で問題となる $CaO-SiO_2-Al_2O_3-Na_2O$ 系については, パウダー自体の溶融特性とともに湯面変動によるパウダーの捲込みというパターンが明らかとなった。この湯面変動はパウダー捲込みばかりでなく介在物全般の鑄型内汚染という観点からも重要な非定常事象である。

4-3 鑄型内溶鋼フローパターン不良: 浸漬ノズルからの吐出流フローパターンと介在物の浮上性との観点も非定常挙動の一つとして挙げられるが, 湯面荒れ, 溶鋼の



写真5 湯面変動

流動性特によどみ部の存在および侵入深さ等の面からみて浸漬ノズル形状、吐出孔形状設計の重要性が鋳型内水モデルテストで明らかになった。

5. 介在物対策例：実機における介在物低減技術とその成果を下記に示す。

(1) ノズル付着の低減化技術

- タンディッシュ～浸漬ノズル間のシールの徹底
 - タンディッシュノズルのArフラッシングの導入
- } ノズル付着量の低減

(2) 湯面変動の狭範囲化技術

- タンディッシュ自動注入の採用→湯面変動量±5mm（手動注入時の1/4以内）

(3) 鋳型内溶鋼の適正フローパターン化技術

- 浸漬ノズル条件の適正化→強制侵入深さの低減（従来の1/3以内）

(4) 鋳造段階での清浄化保証技術

- 鋳型内電磁攪拌の採用→大幅な介在物量の低減

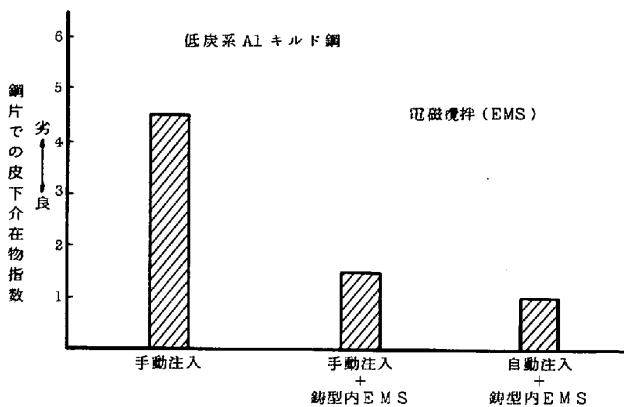


図3 自動注入，鋳型内電磁攪拌の効果

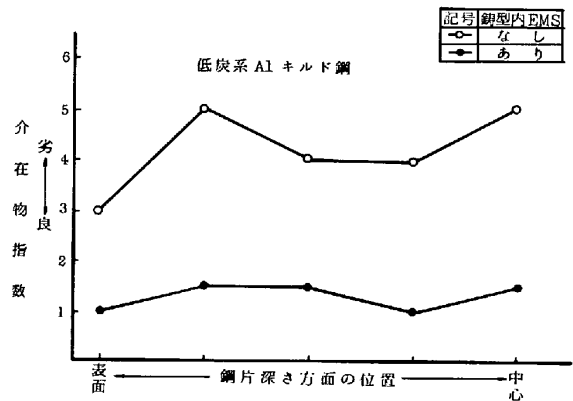


図4 電磁攪拌の効果

6. 結 言：条用特殊鋼を主体とするブルーム連鋳において介在物の低減化を図る上で、吹止～タンディッシュでの溶鋼の清浄化とともに、タンディッシュ～鋳型内におけるノズル閉塞、湯面変動、鋳型内溶鋼フローパターン不良などの非定常要因の影響が極めて大きく、それらの対策効果は著しいことが判明した。さらに積極的な清浄化保証手段としての鋳型内電磁攪拌の採用によって安定した介在物レベルが得られるに至っている。

7. 文 献

- (1) 大西ら 神戸製鋼技報：R & D VoL. 29(1979)
- (2) 第77回製鋼部会(1980) 神鋼(神戸)
- (3) 第76回製鋼部会(1980) 神鋼(神戸)
- (4) 大西ら 鉄と鋼 66(1980) S 794