

いわゆる固液共存状態が形成される時期と考えられ、凝固後の鋼塊中に発生している粗大化した介在物の大部分はこの時期に形成される。

3) 珪酸塩系介在物の粗大化は、個々に成長した介在物の結合作用に因るものと推定され、 $Al_2O_3 \cdot MgO$  のような結晶質の介在物があるとそれを包含して粗大化は一段と促進される。

文 献

- 1) 中川, 百瀬: 鉄と鋼, 52 (1966) 3, p. 428
- 2) 中川, 百瀬: 鉄と鋼, 52 (1966) 3, p. 431
- 3) 中川, 百瀬: 鉄と鋼, 52 (1966) 3, p. 434
- 4) 中川, 百瀬: 鉄と鋼, 52 (1966) 9, p. 1535
- 5) 中川, 百瀬: 学振資料, 19 委 8046 (1966)

(102) 3t Al 脱酸砂型鋼塊凝固過程における  $Al_2O_3$  の挙動について

(大型鋼塊負偏析部の生成機構と酸化物系介在物の成因との関係に関する研究—Ⅵ)

日本製鋼所, 室蘭製作所研究所

理博 中川 義隆・○百瀬 昭次

On Behaviour of  $Al_2O_3$  in 3t Al Deoxidized Sand Steel Ingot during Solidification Process  
(Studies on relation between mechanism of formation of inverse segregation and formation of oxide inclusions in large steel ingots—Ⅵ)

Dr. Yoshitaka NAKAGAWA and Akitsugu MOMOSE

1. 緒 言

従来、介在物は溶鋼中に懸濁し、鋼塊の凝固に際して結晶核的に作用を与えるとされ、特に  $Al_2O_3$  のように固体粒子として存在しているものは、その傾向が大であると考えられてきた。また、このような考えが基盤となり、いわゆる沈澱晶説が提起され、負偏析部の生成機構ならびにこの部分に多発する大型酸化物の成因が論じられてきた。

しかしながら、このような考え方に対し、われわれは幾つかの実験結果から多くの疑問点を投げ、再検討の必要性を指適してきた。本報告で述べる試験もその一環として行なつたものであり、3t Al 脱酸砂型鋼塊を用い、上述の作用を促進すると考えられる  $Al_2O_3$  の挙動を凝固過程を中心に調べたものである。

2. 実験ならびに調査要領

20 t 塩基性電気炉で溶製した中炭素鋼 (取鍋化学成分: C 0.24%, Si 0.33%, Mn 0.71%, P 0.018%, S 0.016%) を一連の試験<sup>1)</sup>と同一形状の砂型に 1,540 °C で下注法により鑄込み、保温剤および藁で押湯を保温した。その際、脱酸剤として 0.08%Al を取鍋にて添加した。ついで試料採取器<sup>1)</sup>により鑄込後 1, 2, 3, 4 hr の各時期に軸心部の各位置 (Si-Mn 脱酸試験の場合と同様<sup>1)</sup>) の溶鋼から同時に試料採取を行ない水冷した。

これら凝固過程で採取した試料および凝固後鋼塊軸心部をはじめ各位置から採取試料につき一定面積 50 mm<sup>2</sup> の範囲内に発生している全酸化物系介在物を倍率 400 倍

で隈無く検鏡した。また、温硫酸法、X線回折によりサンド量ならびにその形態分析も併せて行なつた。

3. 実験結果

検鏡ならびにX線回折結果によれば、酸化物系介在物の大部分が  $\alpha-Al_2O_3$  で軸心部について凝固過程と凝固後を較べた場合、6  $\mu$  以上のサイズのものについては後者の方が量も多く、サイズも大である。また、クラスターも後者に多くみられ、サイズも著しく大である (紙面の都合上詳細略)。特に負偏析部においてこのような傾向が大である。一方、鋼塊周辺部に着目すると表面から 5 mm のいわゆるチル品部では、負偏析部と較べた場合  $Al_2O_3$  粒子のサイズは同等であるが、クラスターのサイズは小さい。しかし、量は同等もしくは多い。また、柱状晶部 (dendritic なものも含む) ではいずれの部分をとつても発現状態はほぼ同一であり、負偏析部と較べた場合、粒子のサイズはほぼ同等であるが、量は少なく、

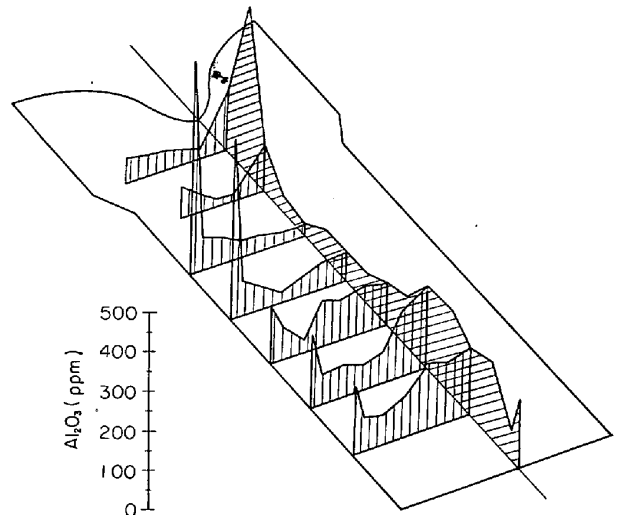
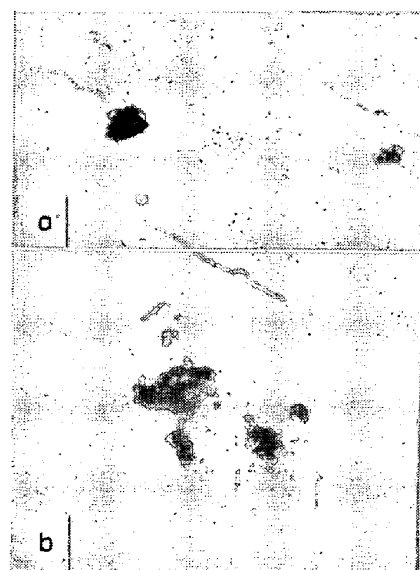


Fig. 1. Distribution of  $Al_2O_3$  in Aluminum deoxidized 3t sand steel ingot.



a)  $Al_2O_3$  found in un-solidifying zone  $\times 400$  (1/1)  
b)  $Al_2O_3$  found in solidifying zone  $\times 400$  (1/1)

Photo. 1. Typical images of  $Al_2O_3$  found in solidification process.

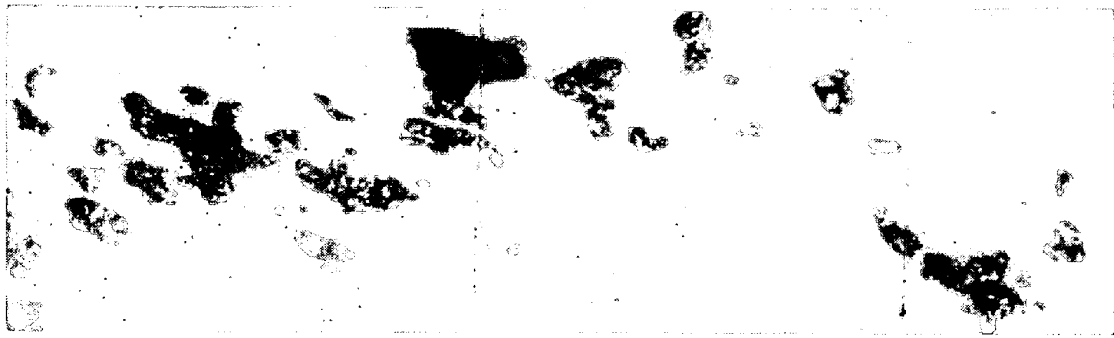
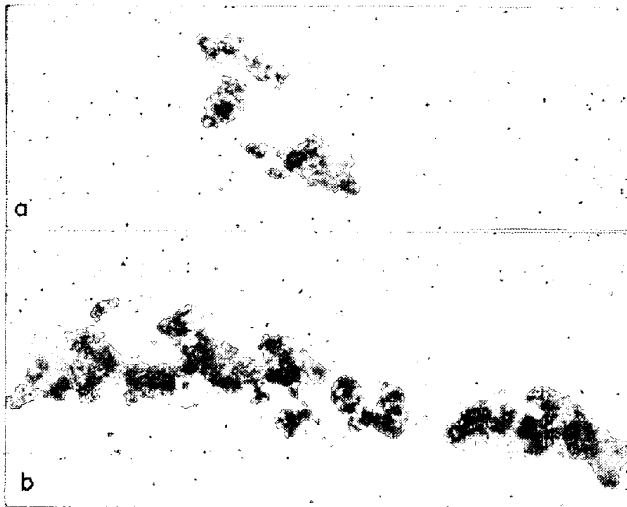


Photo. 2. Typical images of cluster-like  $\text{Al}_2\text{O}_3$  found in negative segregation zone after solidification.  $\times 400$  (5/7)



a)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  found in chilled zone  $\times 400$  (9/10)  
b)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  found in columnar crystal zone  $\times 400$  (9/10)

Photo. 3. Typical images of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  found in chilled and columnar crystal zones after solidification.

クラスターのサイズも小である。しかし、チル晶部よりは大きく、この部分にみられるクラスターは柱状晶の成長方向に平行に発現し、凝固過程で柱状晶間隙に捕捉された様相を呈している。

Fig. 1 に鋼塊縦断面における  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の分布状況を Photo. 1~Photo. 3 に凝固過程、凝固後の各位置にみられる代表的な  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粒子およびクラスターの顕微鏡像をそれぞれ示す。柱状晶部、負偏析部にみられるものの中には硫化物をともなっているものが比較的多い。

また、鋼塊軸心部における凝固過程および凝固後の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の分布状況は Fig. 2 のとおりである。

#### 4. 考 察

##### 1. $\text{Al}_2\text{O}_3$ が負偏析部に多発する理由

Fig. 2 において負偏析部中心部が凝固しつつある時期と凝固後の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  量を比較すると、前者は後者よりも低値を示している。この位置での最終試料採取時から凝固終了までは 1 hr 以内（少なくとも偏析中心部の凝固終了時期は鑄込後 3 hr 以内である）と思われるがその間に  $\text{Al}_2\text{O}_3$  が 2 倍近くに増加している理由としては一応つぎのことが考えられる。

- i) 上方から沈澱による
- ii) 凝固にともない周囲から排出されたものが捕捉さ

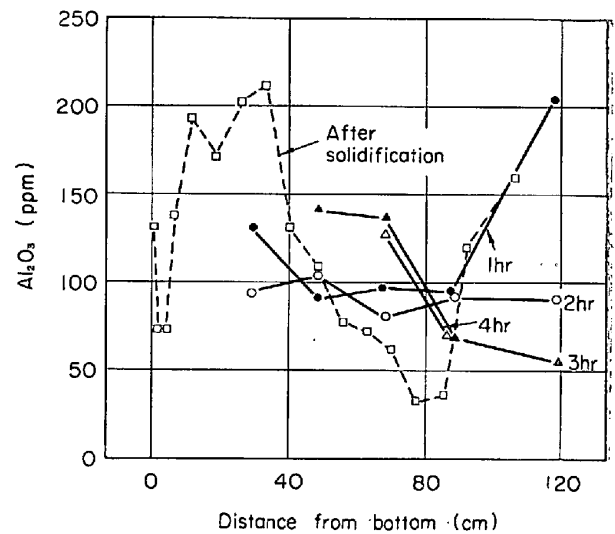


Fig. 2. Change of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  during solidifying process and after solidification in 3t sand steel ingot deoxidized by aluminum.

れる。

##### iii) 新たに生成される

しかし、鑄込後 3 hr において負偏析部の上方の溶鋼中で  $\text{Al}_2\text{O}_3$  が 2 hr 後の約 1.5 倍に増加し、しかもこの部分より上方ではまだ凝固が開始されていないと推定される<sup>2)</sup>。このことから、この増加は結晶の沈澱作用によるものとは考えられない。したがって負偏析部における凝固後の増加が上方からの沈澱によるものと考え、この部分の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  は減少していなければならないはずであり、1.5 倍の増加の説明がつかないことになり、i) の可能性は少ないといえよう。つぎに ii), iii) であるが、柱状晶部を詳細に調べてみると、どの部分をとつても  $\text{Al}_2\text{O}_3$  は 60~80 ppm とほぼ一定値を示し、鑄込時の約 150 ppm に較べ半分程度に減少している。このことから  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粒子が柱状晶間隙に捕捉されながらも内部に向い排出されたことが推察される。また、このような現象は自由晶部においても起こりうると思われる。一方、負偏析部が形成される際には、この部分に高粘性の半融状領域が形成されるので、排出された粒子は微細であることも加わってデンドライトと間隙に捕捉されながら、徐々に内部に押しやられ凝固終了時に自由晶粒界に留まるものと考えられる。

このように考えると、凝固した外周部の容積は残存溶

鋼部の容積に較べ時間の経過とともにかなり大になるので、柱状晶部をはじめ外周部から排出された  $Al_2O_3$  粒子の量は多量となり、これに濃化にともない凝固過程で生成される量を加えると、自由晶粒界部が凝固末期においては、 $Al_2O_3$  はかなり過飽和になるものと推定され、負偏析部を中心に  $Al_2O_3$  が多発する理由も成立つものと考えられる。したがって上述の鑄込後 3 hr における 1.5 倍の増加は負偏析部での凝固が進行するにともない排出されたと考えの方が妥当であろう。また、凝固開始前には  $Al_2O_3$  があまり多くない鋼塊軸心部の頭部において凝固後多量の  $Al_2O_3$  が発現しているが、この現象も ii), iii) を組合せると説明がつくであろう。

## 2. $Al_2O_3$ クラスターの生成機構

$Al_2O_3$  クラスターの生成機構についてまだ定説がなく<sup>4)~5)</sup>、また冷却条件との関係についても急冷するほど、生成しやすいという報告<sup>5)</sup>と逆に徐冷される程生成しやすいという報告<sup>6)</sup>とがある。

筆者らの実験結果によれば、Photo. 1~Photo. 3 に示したようにクラスターは急冷部、徐冷部を問わず大なり小なり発現しているが、クラスターのサイズは冷却速度が遅くなるほど増大する傾向が認められた。しかし、溶鋼中では  $Al_2O_3$  粒子は個々に独立して存在し、凝固過程においても単独に発現しているものも認められた。

また、発現位置は泉田<sup>7)</sup>も指摘しているように、柱状晶、自由晶粒界が大部分で硫化物をとまなつているものも多く認められた。

これらの事実から、 $Al_2O_3$  クラスターは少なくとも最終凝固相において形成されることは確かであろう。また  $Al_2O_3$  粒子が集積される確率の高い部分ほど、大型なクラスターが形成されると考えられる。したがって、もし凝固が理想的徐冷下で行なわれ、その過程で  $Al_2O_3$  粒子が捕捉されることがないと仮定すると、有限凝固においてはすべての  $Al_2O_3$  は最終凝固相に集積され、おそらくクラスターは形成されずに完全に  $Al_2O_3$  だけの集合体が生成されるであろう。このことはクラスターを形成している個々の  $Al_2O_3$  の中にも明らかにいくつかの  $Al_2O_3$  粒子が集合したと思われるものが多く認められたことから推定されよう。また、このような現象は  $Al_2O_3$  と溶鋼間の界面張力が大なため、凝固過程に未凝固部に排出されたことを示している。

しかしながら実際鋼塊の場合には凝固は有限速度で行なわれ、しかも最終凝固相ではミクロ的な熱移動ならびにそれに関連した結晶の成長時の挙動に支配されるので、 $Al_2O_3$  が塊状に集積するようなことはない。すなわち最終凝固相では成分元素の濃化が著しく、未凝固部全体が過冷却状態になるので（これはチル晶部におけるような熱的過冷却の場合にもいえることであるが）その部分の溶鋼は全体と同時に結晶の核生成ならびに成長を速に行なう。その結果、すでに移動しにくい状態にある  $Al_2O_3$  粒子間の間隙は晶出した結晶で埋められ、 $Al_2O_3$  はクラスター状に発現するものと考えられる。しかしこれはあくまでも 1 つの考え方であり、確証をつかむためにはさらに詳細な研究が必要である。

## 5. 結 言

3 t Al 脱酸砂型鋼塊について凝固過程、凝固後試料

採取を行ない、凝固過程における  $Al_2O_3$  の挙動を追究した。結果を要約するとつぎのとおりである。

1.  $Al_2O_3$  は負偏析部に多発する。その要因としては、凝固にともない  $Al_2O_3$  粒子が周囲から排出されることと、 $Al_2O_3$  の濃化と温度降下により  $Al_2O_3$  が新たに生成されることが掲げられる。

2.  $Al_2O_3$  クラスターは最終凝固相において生成され、徐冷部のように  $Al_2O_3$  が多量に集積しやすい部分ほど大型なものが発現する。

## 文 献

- 1) 中川, 百瀬: 鉄と鋼, 52 (1966) 3, p. 431
- 2) 中川, 百瀬: 鉄と鋼, 52 (1966) 3, p. 434
- 3) 泉田: 学振 19 委 7326, 介在 99 (1963)
- 4) 一安: 鉄と鋼, 48 (1962) 4, p. 409
- 5) LUDIRING: Arch. Eisenhüttenw., 34 (1963) 4, p. 235
- 6) 小柴: 学振 19 委 6284, 介在 46 (1961)
- 7) 泉田: 鉄と鋼, 51 (1965) 10, p. 1962

## (104) 急冷鋼塊中の非金属介在物について

(18-8 ステンレス鋼中非金属介在物の研究—I)

日本ステンレス, 直江津製造所

○高橋市朗・栄 豊幸・吉田 毅

On the Nonmetallic Inclusion in Quenched Ingot

(Study on the nonmetallic inclusion in 18-8 stainless steel—I)

Ichiro TAKAHASHI, Toyoyuki SAKAE and Takeshi YOSHIDA

## 1. 緒 言

近来、ステンレス鋼中の酸化物系非金属介在物（以下介在物と称す）に関する研究は数多く報告されている。

今回、筆者らは 18-8 ステンレス鋼について、溶解造塊法や酸素量が異なり、18-8 ステンレス鋼の JIS 規格範囲内での化学組成の異なる数多くの鋼塊を用い、地金の化学組成が介在物組成におよぼす影響や、酸素量と介在物量との関係などについて調べた。

## 2. 試 験 方 法

鋼の溶解は 6~15 t エル炉, 1~2 t 高周波炉などでおこない、試験鋼塊は 1~10 kg の小型鋼塊で、いずれも炉中から湯を汲み出して鑄鉄製の鑄型に鑄込んだものである。エル炉での採取時期は、除滓（還元期終了後から仕上期に入る前の除滓）直後、除滓後約 15 min 経過後、出鋼前ならびに鍋中である。溶鋼採取時における溶鋼温度は精錬初期から中期のものは 1650~1700°C, 出鋼前は 1650°C, 鍋中では 1620~1650°C である。試料として用いた鋼塊は SUS 27 または SUS 28 の成分範囲で次のごときものである。

C: 0.010~0.063%, Si: 0.32~0.84%,  
Mn: 0.78~1.70%, P: 0.004~0.032%,  
S: 0.005~0.013%, Cr: 17.91~19.98%,  
Ni: 7.94~9.72%