

講演：厚鋼板超音波検査不良部にみられる 大型介在物の組成と成因について*

八幡技研 工博 一戸正良・広瀬 豊
工博 渡辺司郎・田中 新
八幡八幡 鈴木康夫

【追加討論】 八幡技研 広瀬 豊

テーマ討論に当たり、八幡技研からの報告について、誤解を避けるために、2、3 付言させていただきたい。

1) 造塊終了後の鑄型内溶鋼に対流があり、これによって介在物が下降し、ボトム部に持来されるであろうことに異論はないと思うが、この点を補足すると下記のごとくである。

Stokes の法則で $0.1\text{ mm } \phi$ の介在物の静止浴中での浮上速度は各研究者の間で毎秒数センチメートルの水準に計算される例が多いようである。しかし実験で求めた浮上速度は Stokes の法則からの計算値の $1/10$ という報告¹⁾ もありかなり大きな介在物でも溶鋼の対流でボトムに持来される可能性は推定されよう。鑄型側壁側凝固前面に沿う対流の下降流の速さは鋼塊の形にもよるが先の報告²⁾ にも述べたごとく毎分数センチメートルの水準であると推定される。これに対して上昇流はパラフィン実験でも指摘されたようにきわめて遅い。上述の対流に伴われて下降する介在物は浮上速度の遅いものであるといえる。

対流に伴われて下降した介在物が鋼塊ボトム部に捕捉されるであろうことは考えられるところであろう。講演原稿に示したパラフィンとコルク粉を用いた実験は、この両者の比重差が小さいことおよび一回の実験で沈殿晶部に沈積したコルク粉のみを再度使用しても浮上するものと沈殿するものとがでてくるところから、上述の浮上しがたい介在物をモデルしたものと解釈していただきたい。

この対流に伴われて下降する介在物は浮遊結晶片に付着したものと溶鋼中に懸濁しているものの双方をわれわれは考えている。

2) 鋼塊ボトム部に捕捉された介在物が凝固の進行に伴って成長肥大することは十分考えられるところであり、われわれの実験例でも湯道までの介在物内の CaO 濃度は沈殿晶部における介在物のそれよりも高い。ちなみに写真 1 に示した介在物にも $< 2\%$ のオーダーで CaO が存在していることを付言する。既存の介在物に SiO_2 、 MnO などが析出し、これを成長肥大させるとともに CaO 濃度を下げたものと考えられる。この点で丹羽氏、中川氏の報告はわれわれの発表を補言させている。

いわゆる地疵あるいは UST 不良の要因となる介在物はある程度以上大きいものであると考えられる。

われわれの調査結果では注入湯熱の高いとき UST 不良は減少消失する。注入湯熱の高い場合は鑄型内溶鋼に対流が永く継続し、かつ溶鋼の流動性も良好に保たれるゆえに、浮遊している介在物が少なくなり、沈殿晶部分に捕捉される介在物も少なくなかつ微細になり、その後成長肥大しても UST 不良にならない程度に留まるとする考え方は一応筋のおつたものである。

3) 大型介在物の起源として講演原稿には明らかに示さなかつたが、上述の対流に伴われて下降する介在物以外にも下記の要因をわれわれは想定している。

造塊において、今回調査結果を示した鋼種は下注造塊が行なわれ、注入流は鋼塊ボトムから鑄型内に送り込まれる。造塊終了後も注入流の残像効果は残ると思われるが、その継続時間を推定するに足る実験データはない。

写真 1 に示した UST 不良部分の介在物は鋼塊内では直径換算で数ミリメートル程度の大きさであつたと考えられる。このような大型介在物は低熱造塊の際にしか見出されないが、鋼塊底部の粘調層の生成が早く、下注注入流に伴われてきた介在物が浮上しきれないでそのまま捕捉されたと考えれば一応の説明になる。われわれの原稿の中の第 1 図中に、注入中の鑄型内溶鋼面に浮上してきたスカムの組成が鋼塊ボトム部の大型介在物のそれにきわめて近似している点から、この考え方は成立するようと思われる。この点実験的な例証が少なく、講演原稿には検討を割愛してあるが、中川氏の報告の中の“通常の作業では予想しえないような条件”に相当するものであろう。

4) 上述の調査に際して、大型鋼塊切断による調査確認は今までのところ実施していない点は付言しておく。

以上説明したごとく鋼塊ボトム部に捕捉された介在物の成長肥大については丹羽氏、中川氏の見解に対しわれわれは異論を唱えるところはないが、その他についていろいろと考え方に相異があり、これについて中川氏に尋ねたい。

1) われわれは注入後鑄型内残留溶鋼の湯動きに重大な関心を持つている。中川氏の発表の中で“沈殿晶説によれば残存溶鋼内の任意の位置で結晶片が析出し下方へ沈降する”と述べられている点はわれわれの見解からすれば結晶片の生成は鑄型側壁に沿う凝固前面で、柱状晶の成長に伴う不純元素濃化層の内側である。この濃化層は厚みは薄くかつ融点が降下しているためにその内側の温度が下がり、微細介在物などを核として結晶片が生成し、同時に対流が起こると考えている。すなわち基本的には沈殿晶説に立脚しているが、未凝固相の中央では結晶片の生成する確率は低いと見ている。

このような結晶片の生成と対流を組み合わせれば沈殿晶の生成は理解できるように思われるが、中川氏の報告には対流の考え方が全くない点について中川氏ならびに丹羽氏のご意見をうかがいたい。

文 献

- 1) 宮下, 西川: 鉄と鋼, 52 (1966), p. 552~554
- 2) 森, 谷沢: 鉄と鋼, 52 (1966), p. 419~423

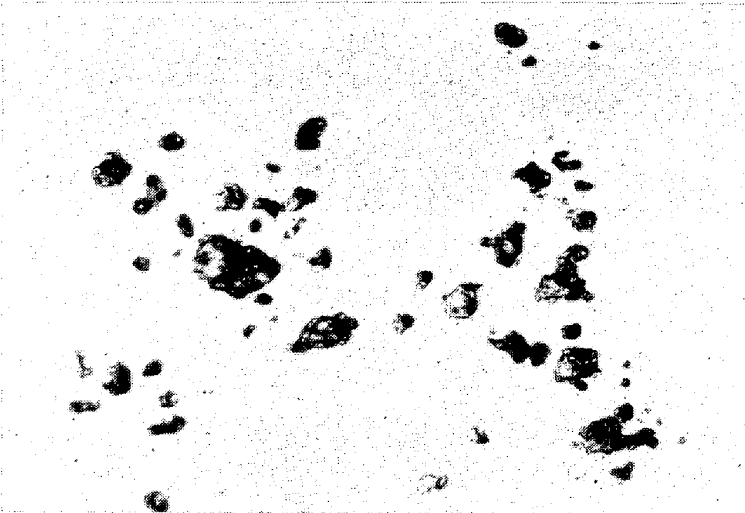
【回答】 日鋼室蘭 中川 義隆

Al_2O_3 や SiO_2 は写真 1, 写真 2 のとおりである。

1) 沈殿晶に関する問題は、別途、詳細検討したいと考えているが、私は未凝固相の中央ではもちろん、貴説の「鑄型側壁に沿う凝固前面で、柱状晶の成長に伴う不純元素濃化層の内側」においても、いわゆる沈殿晶説的な現象を生ずる程度の結晶片の析出はないのではないかと考えている。

私どもの考え方の中に対流の考え方が全くないとの指摘であるが、対流現象が全くないとは考えていないが、

* 鉄と鋼: 53 (1966) 10, p. 1681~1685

写真1 SiO₂系介在物 ×750 (4/5)写真2 Al₂O₃系介在物 ×750 (4/5)

今問題としている大型介在物に対してあまり大きな影響をおよぼさないのではないかと考えている。たとえば、貴説の中で浮上速度の評価をきわめて過少評価されているが、(たとえばStokesの式によつて計算された1/10などと)最近の浮上に關する研究は、むしろその逆のものが多く、貴説で引用されている宮下、西川両氏の報告(鉄と鋼, 52 (1966), p. 552)でも、浮上速度がむしろStokesの式よりの計算値の10倍という結果さえ示している。これらの数値を採用すると、貴説の対流による下降流と介在物の浮上速度との關係は、むしろ再検討されるべきではないかと考える。

【質問】 富士広畑 浅野 鋼一

1) 鋼塊内の大型介在物集積位置は沈殿晶とのことであるが、その測定方法を知りたい。

当所でも、ほぼ同一鋼種の鋼塊について調査を行なつており、その結果によれば、沈殿晶帯は比較的清浄で、むしろ鋼塊底部柱状晶と測面柱状晶との合致部に大型介在物が集積している。これは電解残渣抽出法により確認したものである。

介在物の鋼塊内の集積位置および集積機構は脱酸方法や鑄型形状などにより相当異なると思われるが、この点に

關する実験結果または意見を聞きたい。

2) 取鍋内では、介在物は時間経過について増加の傾向にあるとのことだが、当所の調査では、全介在物量および大型介在物ともに時間経過につれて減少している。したがつて、取鍋保持時間を長くすることは、大型介在物減少にきわめて効果的と考えられる。

この点に關し、取鍋保持時間と UST 不良発生率、また注入順序と UST 不良発生率との対応を調査された結果があれば聞きたい。

3) 当所の調査においても、取鍋内介在物、鋼塊内介在物ともに CaO が検出されており、大型介在物の起源の1つとしてスラグの出鋼時捲込みも十分考えられるが、さらに当所で調査したところ、取鍋上部の介在物や鋼塊のスカムには CaO が高いが、鋼塊内に残留する介在物には比較的 CaO が少ない。この1例を表1に示す。

したがつて、取鍋底部の介在物や、鋼塊内介在物は捲込みスラグやスカムの浮上しきれなかつたものとは考えられず、1次および2次脱酸生成物がより大きく關与しているものと考えられる。すなわち捲込みスラグは比較的早期に浮上しやすく、直接鋼塊内の大型介在物とは結びつかないのではないか。この点に關する意見をうかがいたい。

4) 鋼板の UST 不良部に見られる介在物の外觀、組成は当所の調査結果と類似しているので、ほぼ同一欠陥と考えられるが、当所の結果では、鋼塊内介在物は主として Mn-Silicate に Al₂O₃ が加わつたものであるのに反し、スラブ、鋼板と工程を経るにつれて、次第に介在物中に Al₂O₃ が富化してくる現象が見られている。したがつて、鋼板欠陥部の介在物と鋼塊内介在物とを直接結びつけて云々するのには問題があると考えられ、途中工程での介在物の変化が重視されるが、これに關するご意見をお聞きしたい。

Table 1. Composition of ingot scum and non-metallic inclusions in ingot.

| | Ingot scum | Non-metallic inclusions |
|--------------------------------|------------|-------------------------|
| SiO ₂ | 26.40 | 32.50 |
| Al ₂ O ₃ | 2.84 | 29.00 |
| MnO | 1.84 | 8.13 |
| FeO | 0.28 | 15.92 |
| CaO | 56.56 | 12.51 |

【質問】 富士室蘭 伊藤 幸良

1) 鋼塊内介在物中の MnO-SiO₂ は溶鋼中の Al によつて還元されずに残っているのに反し、出鋼時に混入する鋼滓中の SiO₂ は取鍋投入 Al によつてほぼ完全に還元され CaO-Al₂O₃ 系介在物となつている。このような鋼滓の完全な還元は Al の投入方法に關係していると考えられるが、どのような脱酸方法を採用したか。

2) 厚板キルド鋼の超音波探傷欠陥の原因となる大型介在物がスカムと同一組成であり、スカムとして浮上で

きなかつたものが大型介在物となつているという結論は鋼の sol. Al が 0.03% で鋼塊凝固過程での 2 次脱酸反応はあまり進行しないであろうことからもうなずける。しかし溶鋼中の介在物の何%がスカムとして浮上するかが重要な問題であり、また高温注入での超音波探傷欠陥の激減もこの介在物の浮上分離の面での作用で考えるべきである。ご見解をお聞きしたい。

【質問】 鋼管技研 大久保益太・榊井 明

本論文に対して下記の 2 点につき質問する。

1) 1513 ページの表に示した組成の介在物が講演その 3 の論文で扱っている素鋼成分とほぼ等しい成分の鋼に見られた。この介在物は下注 14 t 鋼塊底部に存在していた。CaO が含まれることは非常にまれであるが、これは前討論の考えどおりスラグに起因するものであろう。しかしその他の成分は前に検討している以外に耐火物の浸食が考えられ、とくに Mn 含有量の高い鋼では耐火物の SiO₂ は MnO に変化し、(sol. Al が高いので Al₂O₃ もできる) 表に示すような低融点酸化物へと変わり、浸食がさらに進行する。現在のわれわれには空気酸化の介在物であるか、耐火物浸食の介在物であるかを定めるデータはなにもない。

2) 前 7 討論の報告中取鍋介在物はスラグが Al で還元されて Al₂O₃-CaO となつているにもかかわらず、空気酸化などでできた介在物で鋼塊中に最後まで残留し、超音波探傷の不良原因となる介在物中にはなぜ SiO₂ が Al で還元されずに残っているのか。

文 献

- 1) P. H. SALMON COX: J. Iron Steel Inst., 201 (1963) 10, p. 863
- 2) 大久保, 榊井: 鉄と鋼, 52 (1966) 4, p. 560, p. 563

【質問】 川崎千葉 中西 恭二

1) 当社厚鋼板(貴社 B grade に相当) のスーパー欠陥部付近の大型介在物を分析したところ MnO は確認されていない。また不活性雰囲気造塊も実施してみたがスーパー欠陥に差がみられなかつた。したがって空気酸化による大型介在物がスーパー欠陥の原因と考えることはできないが貴社では雰囲気造塊などの action をとられているか。

2) 下注湯道レンガ内メタルの清浄度が悪いのはレンガ溶損とは考えられないか。湯道レンガの組成はどんなものを使っているか。

【質問】 住金中研 工博 山上 豊助

Al キルド鋼厚板に現われる大型介在物の生因についてスラグと脱酸アルミニウムとの反応および空気酸化生成物の関与を指摘された点、きわめて興味深く共感するところが大きいと思う。また沈殿晶部の介在物の富偏析に対し、凝固中の浴流れに関する流体力学的作用を指摘して浮揚阻止作用ないしは集積作用を考えられている点は介在物偏析機構解明の重要なポイントではないかと思う。

質問したいことは空気酸化によるシリケートの生成についてであるが、われわれは Sol. Al 0.030% 程度の Al キルド鋼であれば、平衡論的考えから、溶鋼が酸化された場合にはアルミナが生成し、Sol. Al が 0.010% 程度以

下にまで極端な低下を示さない限り、シリケートの生成は起こりえないだろうと考えていた。シリケートの生成理由についての考えをうかがいたい。

【質問】 名大工 佐野 幸吉

キルド鋼厚板中の大型介在物と鑄型内溶鋼表面に注入中に浮上したスカムとの分析値がほとんど同一であり、両者は本来同一のものであるということは、この両者と溶鋼との反応は溶鋼の凝固温度において、平衡に達し、凝固後は熱間処理などによつても、固体の鋼とは反応しないことを意味するか。あるいは、反応するとしても、その反応層は非常に薄いので、分析精度からは決められないと考えられるか。

【質問】 北大理 丹羽貴知蔵

貴研究の結論によると、アルミキルド細粒鋼中に発現する大型介在物はスラグもしくはスカムと脱酸剤アルミニウムとの反応生成物、および注入流の空気酸化生成物のみであり、凝固過程における生成物がないとのことだが、少し説明に無理があるのではないか。すなわち、(1) FeO-MnO-SiO₂ 3 元系スラグと Al との反応を考えると、その被還元性は FeO, MnO, SiO₂ の順であつて、Al により SiO₂ のみが選択的に還元されるとの説明に無理があること、(2) Fe, Mn, Si などと結合していない O があれば、まずこの O Al とが一番先に反応するはずで、Al が O と反応しないでスラグ中の酸化物と反応するとの説にも無理があること(あるいは、局所的にはそんな現象も起こる可能性はあるが)などである。

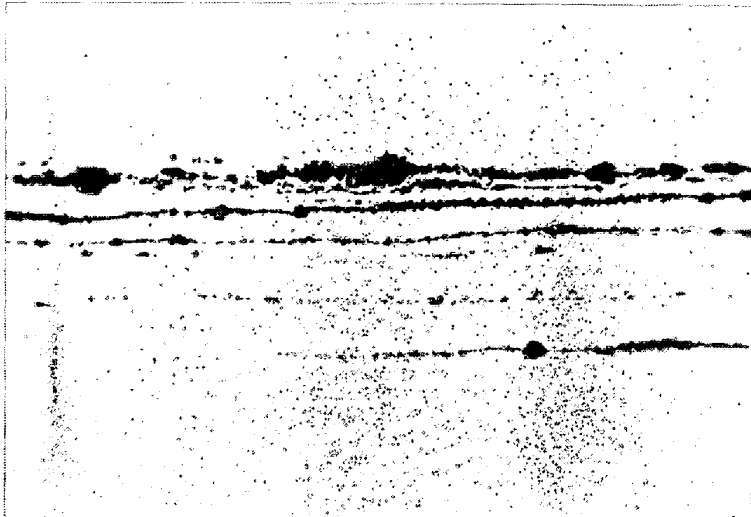
貴研究の結果はむしろつぎのように考えた方が無理がないと思うがいかがか。1) 凝固中に凝固先端部の O, Mn, Si が非常に濃化された状態では Fe, Mn, Si と O との反応により FeO, MnO, SiO₂ が生成されるのは当然と考えられる。かつ、試験鋼種の組成をみると Mn = 1.10~1.30%, Si = 0.2~0.5% であり、Fe はもちろん高く、Mn が高いところから O との親和力順とは逆に Fe, Mn と O が選択的に反応した結果、SiO₂ のない、もしくは少ない FeO-MnO 系の酸化物系生成物の発現がある。2) これに脱酸生成物の Al₂O₃ が加われば貴研究の介在物組成となる。このように考えるのが自然だが介在物がスラグ起源のみであるという確証があるのか。

お考えにしたがうと凝固過程とは無関係に溶鋼中にすでに介在物ができていたとの結論だが、空気酸化によるスカムの生成にしても、いつたん溶鋼中にまきこまれた空気中の酸素が溶鋼成分となつて凝固過程に介在物として発現するとも考えられ、大部分の酸化物は早い機会に浮揚すると思うがいかがか。もちろん CaO などのようにスラグ起源が明確な介在物があることは筆者も否定はしないが、凝固過程の寄与も大きいと考える。

【総合回答】

1) 介在物の組成について

介在物の形態、組成はいろいろで、予稿 Photo. 1 a) に示した形のものが 50% 以上を占め、同じく Photo. 1 b) のごとき介在物はむしろ少数で、ほかに B 系 Al₂O₃ の層状に重なつたものがかなり多く見出される。(写真 1) このものには MnO はほとんど検出されていない。また予

EPM-analysis(%) MnO Al₂O₃ SiO₂ CaO FeO ×100(6/7)

| | | | | | |
|------|---|-----|---|---|---|
| No 1 | 8 | 92 | — | — | — |
| No 2 | — | 90 | — | 9 | — |
| No 3 | 2 | 92 | 6 | — | — |
| No 4 | — | 100 | — | — | — |

写真1 超音波試験によつて検出された介在物

稿 Photo. 1 b) の介在物には CaO がほとんどない。同じ鋼塊ないし成品板の中にもこれら組成の異なる介在物が共存する。

佐野、浅野両氏から指摘、質問のあつた鋼塊凝固後の介在物の変質は今のところ検討していない。しかし介在物の中での変態ないし、析出はありうると考えている。すなわち分塊均熱以降の熱履歴によつて Al₂O₃ の析出があり、これが加工後にその並び方が変わつて Al₂O₃ だけが目につくようになることは予想している。

スカムと大型介在物の対応について浅野氏はスカムには CaO が高く、UST 不良部の介在物は CaO が減少し Al₂O₃ が高いことからスカムと大型介在物を同一視できないといわれるが、CaO の問題、スカムと大型介在物の対比の2つに分けて考えたい。

介在物中の CaO についてはその起源は炉内スラグであることはほぼまちがいないと思う。CaO% について、浅野氏は 12.5% 大久保氏は 8.3% の例を示されたがわれわれの実験で得られたものは < 2% である。また大久保氏は CaO を含む介在物はまれであるとされている。介在物に CaO があるということは炉内スラグの起源がこれにより標識されていると解釈したい。それ以上の意味を持たせることはかえつて混乱をきたすと考える。すなわちスカム性の介在物はすべて CaO% が高くかつ浮上しなくてはならぬと考えることが無理ではなからうか。

スカムと大型介在物の対比については予稿 Fig. 1 の3元状態図中にも見られるごとく両者がよく近似していることから同質と見たのである。またスカムの EPMA 定量値と化学分析値の比較では、全分析である化学分析値は EPMA によるマトリックス組成に近い点に興味があり、大型介在物についても化学分析で平均組成を求める方向で今後検討したい。ただし UST 不良部の介在物には層状のB系 Al₂O₃ もあるので抽出物の分析では Al₂O₃ が高く示されることはありうると考えている。

2) Al による脱酸について

田上氏は 0.030% Al sol. であれば脱酸生成物はすべて Al₂O₃ で、これがシリケートのみとなるのは < 0.010% Al sol. の範囲であると指摘されたが、これは平衡実験の結果であろう。また伊藤、大久保両氏もスラグが Al で還元されるのに、介在物中に MnO などが残る点を質問されたが、Al の投入は棒状インゴットで取鍋内に投入しておりこれが溶解する初期の段階ではスラグの SiO₂ も還元しうる濃度を十分に持ちうると思う。出鋼を終わり鍋内鋼浴中に Al sol が均一化した状態では、Al の脱酸力はスラグの CaO 以外のすべてを還元しうるほどとは考えられない。

注入流の空気酸化はその表面の酸化反応でありその酸化生成物ないし溶解 \bar{O} はその後の過程で Si, Al などで還元されていくであろうことは常識的にもいえる。佐野氏からもスカムと大型介在物が同質である件に関し、溶鋼と介在物の間の平衡到達はきわめて短時間で可能かとの質問があつたが、これについては速度論的検討が必要で、本報中の一部でのべた空気酸化とも関連して究明

したいと考えている。

3) 耐火物起源介在物

大久保、中西氏より耐火物も着目すべきとの指摘を受けたが、鉄と鋼, 47, p. 1400 および 48, p. 460 に報告したごとく、取鍋耐火物、ノズル耐火物起源の介在物はそれぞれに全介在物量の 1% 以下と見られ、また注入管、湯道はごく普通のシャモット質レンガを使用しているがその溶損は多くない。これらの理由で今回は耐火物起源のものは考慮外に置いた。また介在物の組成、外観上からは耐火物起源であるかどうかの識別ははなはだ困難であるが、いずれにしてもその存在は確かであるので、われわれは別の手段で探究を行なつている。

4) 取鍋沈静 (浅野氏の質問に対する回答)

取鍋沈静による脱酸生成物、スラグ系介在物の浮上分離促進については 1 t 電炉実験では効果がなかつたが、60 t 電炉でのスラグ系介在物の場合効果が一応認められたことをスライドで示した。しかし現実問題としては取鍋沈静時間延長によつて UST 成績向上が認められていない。これは究極的にはその時点での温熱の問題であつて鋳型内での湯熱が十分に高ければ取鍋沈静を行なわなくても介在物の浮上分離が良く行なわれることを示していると考えている。

5) UST 不良出現の位置 (浅野氏の質問に対する回答)

厚板成品での UST 欠陥部は鋼塊ボトム相当部に多いが、ボトム部中心軸線上に限られるわけではなく、幅方向のサイド寄りから斜上方に伸びるものもあり、厚み方向でも中心部とは限らない。成品板よりの見方であるがご指摘のように介在物が沈殿晶部の中心部ではなく、沈殿晶の外側あるいは柱状晶部との境界面上に多いということはあると考える。

6) その他

i) スカムになるべき大型介在物が何%鋼塊内に留るかは、湯熱との関連もありきわめて表現しがたい。

ii) 注入流の空気酸化が大型介在物の一因となりうることは指摘したが、条件のいかんによつてはこれのみで UST 不良は出現しない。この意味でガスシール造塊は当面考えていない。また過去に他鋼種で実験したが効果はなかつた。

iii) 成田氏の後述されるごとく、鋼塊内の大型介在物の成因は一つではなく、広い視野から見るべきである点には全く同感である。鍛造用菊型鋼塊と圧延用偏平鋼塊の差については経験不足でお答えできない。

iv) 丹羽、泉田両氏の介在物は析出によるという考え方について、たとえば泉田氏の示された Al_2O_3 系の介在物は必ずしも析出のみでなく説明できそうな感じがする。また成田氏の所感にもあるごとく、流動性の失われた状態で Si, Mn, O などの元素が都合よく集中して大型介在物にまで発達する考え方には完全に賛意を表することはできない。介在物は始めからかなりの大きさがあつて、その上に冷却、凝固時に析出がともなわれると考えた方が良く考えられる。

【意見】 三菱長崎 竹下 勝人

出講 3 氏の論文の趣意についてはそれぞれに一般に製造される鋼塊においてわれわれもまたほぼ同様な経験を有するものである。3 氏はそれぞれの実験事実からご意見を提出され、その解釈もそれぞれの実験事実からは妥当であるかもしれないが、実験の間に差があるために解釈が異なつてくるのは否めない。3 氏の論文の類似点および相異点から検討を加えてみたい。

1) 大型介在物の組成と起源

中川氏、一戸氏らともに大型介在物中に CaO が EPMA によつて検出されていることから、介在物中の CaO の起源を電炉滓であるとし、さらに中川氏は Al 脱酸しない鋼中介在物中に Al_2O_3 が相当量検出されていることから取鍋耐火物からの混入を考慮し、一戸氏は Al 脱酸鋼を対象としているために介在物中の MnO, SiO_2 の多量の存在が空気酸化によるとして取鍋耐火物からの混入を取鍋における溶鋼保持時間が長い場合をのぞいては考慮に入れていない。

筆者も大型介在物のほとんどに CaO が存在していることを確認しており、その起源として電炉滓を考えることが最も妥当と考えられるが、Zr 系耐火物を取鍋に使用した鋼塊に観察される大型介在物の多くに Zr が検出されることから取鍋耐火物成分の混入は、取鍋における溶鋼保持時間が必要最短時間（炉内溶鋼が取鍋に移された時溶滓の大部分が浮上分離させるに要する時間）であつたとしても無視できないと考えられる。

なお一般に介在物中の Ca の起源としては、取鍋煉瓦が溶滓により変質している場合（これは 2 次的に起源としては電炉滓となるが）また耐火物には一般に CaO が含有されているために電炉滓のみを起源と断定するのは必ずしも妥当ではないであろう。

2) 大型介在物の分布

一戸氏らは鑄型内における溶鋼流の存在を基盤として、パラフィンとコルクによる実験により、鋼塊の沈殿晶部に相当するがごとくコルクの堆積を観察したことより、沈殿晶的な考察を行なつてはいるが、鋼塊においては低温で注入された場合がよりパラフィンの実験結果と

似るとしている。

中川氏は沈殿晶部に相当する部位の凝固前後の O のみを比較して、沈殿晶なる現象の存在を否定し、沈殿晶部における多量の介在物の存在を凝固過程における介在物の生成、凝集肥大によつて説明しようとしている。他の元素においては沈殿晶部が負偏析であるのに対し、Fig. 2 からは O が正偏析を示していることについては説明が明瞭ではない。

3) 介在物の肥大化

丹羽氏は介在物肥大の主因を化学反動的に拡散肥大を主因としているが、中川氏はむしろ凝集肥大がその要因の大きなものとしている。われわれの観察でも凝集と推測される場合があり、一般実用鋼塊においては存在する介在物核の組成の差による各種物理的条件の差を考慮すれば、介在物の肥大は拡散成長よりむしろ凝集成長が主因であろうと考えられる。

文 献

- 1) D. L. SPONSELLER and R. A. FLINN: Trans. AIME, 230 (1964) Jun., p. 876~887

全般に対する討論

【討論】「介在物の組成と生成機構」

関東特鋼 理博 泉田 和輝

いろいろの形をした、またかなり広い範囲にわたる重量の鋼塊において、沈殿晶部や表面近辺にはマクロ介在物が多発することが知られている。この事実は鋼塊におけるマクロ介在物の分布に相似性があることを示していると考えられる。このような分布の相似性からは、どんな鋼塊の場合でもそれらの特徴ある分布がいつも同一原因によつて生じ、そこにある介在物も同一の生成機構によつて生成されたことを連想させる。ところが分布状態の相似性にもかかわらず介在物の種類は Ca, Al, Si, Mn, Fe などの酸化物から硫化物を含むものなどさまざまである。それゆえ介在物の組成からその生成機構を推論するならば、それぞれの場合において組成が違うので、いろいろの生成機構が考えられることになってしまう。

すべての介在物を鋼の凝固時に析出した脱酸生成物であるとする一元論的な私の観点からすれば、上述の矛盾は生じない¹⁾²⁾。介在物の組成は溶鋼の組成、つまり酸素や脱酸元素の量および種類によつて大きく影響されるということになる。それゆえ従来の手法に見られるように、介在物の生成機構を解明するためにその組成を知ることが、第一義的な意味があるようには思われない。

介在物中に含まれる Ca

ここでとくに問題になるのは介在物中に含まれる Ca の解釈であろう。溶鋼の空気酸化を助長して故意にマクロ介在物を生成させる実験において、溶鋼の空気酸化によつても Ca を含んだマクロ介在物が生成され、Ca を含んだマクロ介在物をスラグ起源であると断定するのは誤りであることをさきに述べた¹⁾。さきの実験では Ca を含んだ介在物は Ca を含んだ脱酸剤を使用しない場合にもしばしば検出された。したがつて Ca を含んだ介在物の起源は単純にスラグが粒子となつて捕捉されたのでは