

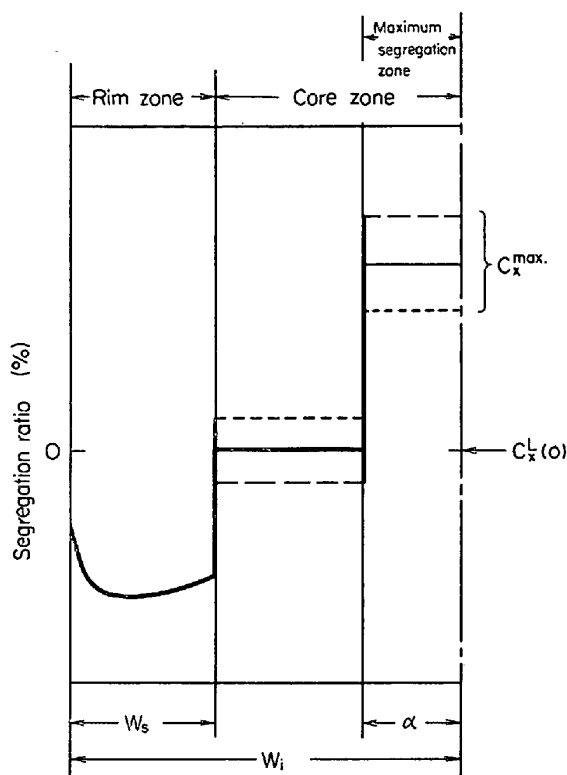


Fig. 7. Segregation model in an ingot.

2) 小鋼塊ではコア部の凝固速度が大きいので凝固鋼の純度が悪くなると考えられる。(2)式に示したものは前述のようにまだ完成されたものでなく、コア部の不純濃度が取鍋値をとるというのは全く理論的でなく、13t鋼塊の経験的なものである。いま私が提案した偏析モデルを図で表わすと Fig. 7 のようになる。すなわちコア部の水平部分では、そこにおける実効分配係数が問題となり、小鋼塊では点線のように上へ上がり、大鋼塊では破線のように下へ下がる。したがって α が同一ならば物質バランスから最高偏析部はそれぞれ下へ下がる場合、上へ上がる場合が生じる。以上のことから凝固条件のいろいろな場合について W_s 、コア水平部分の偏析率、 α 値などを決定することが今後の課題であると考えている。

3) 正確なところはデータが不足なので明らかではないが、最近の基礎共同研究会の神鋼の鋼塊は取鍋 S が0.010~12%で偏析率は最高のもので60%であり、サルファプリントも真白である。この60%の値は今回示した関係のほぼ延長上にある。一方取鍋 S の高い方ではよくわかっていないがFe-S系状態図での包晶点で $K^*=0.015$ であるのでさらに偏析は大となる方向に向かうものと思われる。

4) ここに示した凝固速度は mushy zone も含めたものと考えている。厚い鋼塊では内部の熱含量が大で放熱量が少ないから mushy zone の形成がおくれているものと考えている。

【座長】 Mushy zone については動かない mushy zone と考えているのか。

【荒木】 そうである。

講演：リムド鋼塊凝固におよぼす傾斜凝固ならびに凝固速度の影響*

八幡技研 森 久・谷沢清人・山手 実

【質問】 金材技研 工博 郡司 好喜

1) Fig. 7 の模式図に見られる L_{SR} と L_{SC} の関係は大型鋼塊のそれと多少異なつてはいないか。 La_2O_3 と同じ挙動をすると考えられる Al_2O_3 は、鋼塊の高さによる差はあつてもコア部で増加しないのが普通であると考えられる。またリミング作用があるうちにタコツボを投入しても、 La_2O_3 の浮上分離を著しく促進するほどのポイリングが付加されるというのは疑問であるから、図中の L_L は L_T に割合近い所にあり、 L_{SC} も L_T に近い所にあるのではないだろうか。したがって L_T と L_{SR} は注入後、若干の時間を経てから交差するのではないだろうか。

2) 以上のようにリミング初期には L_T か L_{SR} より下方にあれば、 La_2O_3 がトラップされる確率は1より大きいことも起こり得る。 La_2O_3 がトラップされる大きな要因は凝固前面の凹凸であると考えられるので、その確率は凝固前面の凹凸の性状によるのはもちろんであるが、さらにそこを通過する溶鋼の量とその中の La_2O_3 の濃度すなわち単位時間に通過する La_2O_3 の量に支配されるはずである。リミング作用がある間は、凝固前面で発生したCOガスが凝固前面に沿って上昇するので溶鋼流もそれと同じ方向に流れ、溶鋼中の La_2O_3 の相当部分が凝固前面を通過しながら浮上してゆくだろう。

リミング初期では、 La_2O_3 の濃度も高く、リミング作用も活発で溶鋼の動きも激しいので、単位時間に凝固前面を通過する La_2O_3 の量が多く、したがってトラップの確率も大きいと考えられる。

Fig. 6 に示されるように浮上分離速度係数が大きい時期にはトラップの確率も大きいことは、以上の理由によるものと考えられる。

3) Fig. 8 において正立鋳型におけるトラップの確率がリミング初期において特に大きく、浮上分離速度係数が減少すると急激にトラップの確率が減少するのはこうした要因で説明されると思われる。

傾斜鋳型の上側が常にトラップしやすいのは、凹凸の角度がトラップしやすくなっているばかりでなく、 La_2O_3 を含んだ溶鋼流の通過の多いことも、起因するのではないか。

【回答】

1) ご指摘のように、予講(鉄と鋼, 53 (1967) 10, p. 357)の Fig. 7 の場合と一般の大型鋼塊の Al_2O_3 分布は多少異なつてくることもあると思う。詳しく調査したことはないが、筆者らが大型鋼塊(8~14t)のボトム部について La_2O_3 の分布を調査した結果では、リム部からコア部に入つて多少上昇する傾向は認められるが、この上昇量は今回の実験結果よりも非常に小さくなっている。

また、予講の Fig. 7 においてタコツボ型試料の濃度

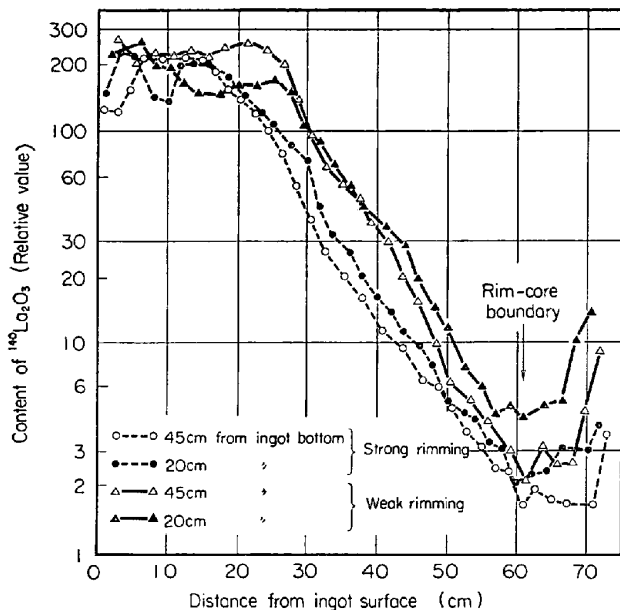


Fig. 8. Relation between $^{140}\text{La}_2\text{O}_3$ distribution and the intensity of rimming action. (at 1t ingots)

L_T と凝固層中のリム部の濃度 L_{SR} およびコア部の濃度 L_{SC} といった値はすべて実験事実であり、 L_{SC} と L_T との間には相当大きな隔たりがあつたことを付記する。

2) お説のように、リミング作用による溶鋼の動きに伴われて凝固前面を通過する La_2O_3 が凝固層にトラップされるという機構については筆者らも検討したが、このように考えるとリム層からコア部にかけて La_2O_3 濃度が上昇するという実験事実を説明することができない。

Fig. 8 は今回の実験とは別に、リミングの状況によって凝固層中の La_2O_3 量がいかに変化するかを調査する目的で、リミング促進剤を添加して、リミングを活発に行なわせた鋼塊と普通鋼塊とを2本立の下注注入によつて調査した結果である。この図からリミングの活発な鋼塊のほうがリム層中の La_2O_3 量が少なくなることがわかる。

Table 1. Non-metallic inclusions in rim zone. (at 1t ingots)

Rimming intensity	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	MnO (%)	FeO (%)
Strong	0.002	0.003	0.012	0.094
	0.002	0.004	0.013	0.090
Weak	0.006	0.030	0.032	0.090
	0.010	0.035	0.032	0.092

また、Table 1 は梶岡ら¹⁾が 1t のリムド鋼塊について調査した結果であるが、この表からもリミングの活発な鋼塊のほうがリム層中の Al_2O_3 量が少なくなることがわかる。

一方、今回の実験結果でも、リミング末期では鋼塊トップ側よりもボトム側のほうが La_2O_3 濃度の高いことが認められている。

これらの事実から、筆者らはリミング作用による溶鋼

の運動で介在物がトラップされる効果よりも、逆に洗浄除去される効果の方が大きいと考えた方が妥当であると思う。このように今回の結果からただちに、浮上分離速度係数が大きい時期にトラップの確率が高いとは断定しがたいと考えるが、本質的に関連があるかどうかについては不明である。

3) 傾斜鋼塊の上側のほうが下側よりも常にトラップの確率が高い原因については、ご指摘のように、凝固前面を通過する溶鋼量が上側のほうが多いことも要因の1つとして十分考えられるが、筆者らとしては、溶鋼と介在物との比重差によつて下から浮上してきた介在物が凝固前面に衝突してひつかかることが主原因ではないかと考える。

【質問】 名古屋大学 工博 森 一美

貴研究で種々興味ある結果が得られているが、これらの結果を凝固機構と関連させて解釈することは現段階においてはきわめて困難であると思われる。多少基礎的な面になるが、以下の諸点についてご見解をうかがいたい。

1. BURTON の式の適用

BURTON の式を適用し、 δ と凝固速度 f の間に Fig. 3 の関係を求めておられる。これは梶井氏らの結果と同じであるが、この結果をどのように解釈しておられるか。神戸製鋼の研究のように δ の溶鋼脱酸度による変化は少なく δ は近似的に f によつて一義的にきまるとの見解もある。BURTON の式の δ は理論的には、 f が大きいところでは f が大きくなるほど δ は小さくなるが、これには液の攪拌強度が影響するし、 f がこの理論があてはまるほど大きいところにあるかどうか不明である。現段階においては凝固速度が大きいほどリミング強度が大きく、これが δ に影響するということが Fig. 3 の結果を説明することができるかどうか。

2. 偏析

溶質元素の偏析が CO ガス浮上に伴うマクロ的攪拌ではなく、凝固前面での CO 発生によるということは具体的にはいかなることか。偏析が凝固前面における溶質の濃縮、拡散に関係するものである限り、ここでの CO 発生による攪拌が溶質の濃化現象に影響し、これが偏析に現われるものと考えておられるのか。

3. La_2O_3 の分布

残溶鋼中の La_2O_3 のトラップに関連して、凝固速度の影響は大きいものと思われるが、それが単に凝固前面の凹凸のみによるものかどうか。凝固面の凹凸とは一応無関係に介在物が凝固面で reject されるかどうかという点でもつと本質的に凝固速度との関連があるように思う。これについて要因 3 として述べている La_2O_3 の他の介在物との凝集成長とか界面張力が関係してくるはずである。この点で、介在物の大きさ、性状と鋼塊位置との間に何らかの関係が見い出されているかどうか知りたい。

4. 溶鋼残液の性状

鋼塊の凝固について解明のおくれているものの1つは住友金属の報告にもあつたようにコア部の凝固に関連した溶鋼残液の性状であろう。浮遊結晶片の存在は介在物のトラップ、凝固速度に密接な関係がある。これについて溶鋼残液温度の時間変化、温度分布など測定されてい

るかどうか。

【回答】

1) 拡散境界層の厚さ δ と凝固速度との関係についての解釈は BURTON 式の適用性に関する問題であり、筆者らも詳細についてはよくわからない。

BURTON 式を用いてリムド鋼の凝固現象を取り扱った報告はすでにいくつか発表されているが、これらは結果的には、Mn の影響やガス量の計算について従来の経験的な観察結果をうまく説明できるようなのである。そこで筆者らは本実験結果の解析に当たって CO ガスの発生状況などを知る目的で一応、BURTON 式を適用してみた。

凝固速度が大きいほどリミング強度が大きく、これが δ に影響するというので、 δ と凝固速度の関係を解釈できるかというご質問であるが、榊井ら²⁾の行なつた大型鋼塊でも、筆者らの小鋼塊の結果でも、ほぼ同じ δ の値が得られていることや本実験結果のみをみても、鋼塊間で有意な差が認められなかつたということからして、リミング強度のみでは説明できないものと思う。

中村ら³⁾の報告などから考えても、本実験のように凝固速度が大きい範囲では、凝固速度が大きくなると必然的に δ が小さくなるのではないかという感じがする。このように、ここで得られた δ は見かけの値であり、この δ の大小がリミングの強さのパラメーターであると結論するのは早計であると思う。

2. 傾斜鋼塊ではリミングの肉眼的観察からして上側の方が負偏析が著しくなるものと考えていたが、実際には上側と下側とで偏析状況に有意差は認められなかつた。この事実から、ご指摘のように、リム層の負偏析はリミングによる溶鋼のマクロ的な攪拌の強弱よりもむしろ、凝固前面で発生した CO 気泡が富化溶鋼をパルクへ押し出すことによる洗浄効果の方が大きく影響するものと考えている。

3. La_2O_3 のトラップの機構として、 La_2O_3 と他の介在物との凝集成長やリミング中の界面張力の変化をその要因の 1 つとして考える必要があることは本講演でも述べたとおりである。今回の実験では介在物の大きさや性状について特に調査していないが、梶岡らの結果¹⁾を考慮に入れても、介在物の性状とトラップの確率との関係についての統一的理解を得るに至っていない。

4. 溶鋼残液の温度の時間的変化や温度分布はご指摘のように非常に重要な問題であり、また大変興味ある実験対象であると考えているが、今までにこれらを詳細に調査したことはない。

【座長】ここに用いられてきた δ は種々の物理的要因を総合したパラメータと考えるか。

【森】そう考えるべきと思う。

【意見】鋼管技研 大久保益太・榊井 明

われわれも以前、14 t 下注ぎキャップド鋼を対象として、成田氏らと同様な手法で解析を行ない、リム層形成時の諸現象を定量的に説明しうることを報告したことがある¹⁾。

その際、リミングが活発に行なわれている場合の凝固前面における境界層の厚さ δ は、リミングの強さには無関係で凝固速度のみに依存することを指摘した。本来 δ は流れの状態により規制されると考えられ、この現象は

われわれの特殊な条件下でのみ成立する現象ではないかとも考えられたが、今回両氏により異なつた条件においても、成立することが確認されたことはまことに喜ばしい。

文 献

1) 大久保、榊井、佐藤、他：鉄と鋼，53 (1967)，p. 382

【質問】住金中研 荒木 泰治

1) f と δ との関係はお説のように榊井氏らの結果とともによい相関がある。いまこの関係を真の相関関係と考えると、これは凝固速度と湯動き速度との関係を暗示しているものと解釈できる。湯動き速度と関係があると考えられるリミング作用の強さは NILLES が $f \cdot (\text{O})_{\text{CO}}$ で与えているがこれならば凝固速度との関係が理解できる。こう考えたとき、 $f \cdot (\text{O})_{\text{CO}}$ と δ との関係があるはずであるがこの関係は貴研究でどうか。またその点を考える上に貴研究で断熱と普通凝固のおおのの面で同一 f の場所における δ の値、また $f \cdot (\text{O})_{\text{CO}}$ の値を比較することは興味があると思われる。これらの点について結果があれば知りたい。

2) 貴論文で要因 1 として La_2O_3 の除去確率と単位凝固厚さ当たりの CO 発生量を考えているが、洗浄効果としては単位時間当たりの発生量が、より重要とは考えられぬか。その場合にはやはり $f \cdot (\text{O})_{\text{CO}}$ が問題となり、これと La_2O_3 の除去確率と関連させて考えてはどうか？

【回答】

1) ご質問の内容は先に名大の森氏からご指摘のあつたものと同じ意味であろうと思う。

前述のように、ここで求めた δ は見かけ上の値であり、湯動き速度のみでは解釈できないのではないかと思う。よつて湯動き速度を表わすと思われる CO ガスの発生速度と δ の関係についても、これらを直接結びつけることはできないと考える。

2) La_2O_3 の洗浄効果の尺度として $f \cdot [\text{O}]_{\text{CO}}$ (CO ガスの発生速度) を考えた方が妥当ではないかというご指摘だが、本講演でも述べたように、凝固する間にその凝固前面がどの程度洗浄されるかによつて決まるのであるから、洗浄効果の尺度としては単位厚さが凝固する間に発生した CO がス量を取るのが妥当であると考えている。

【質問】川鉄千葉研 小川 治夫

1. 以前にもやはり ^{140}La を使用された実験で、鋼塊内の気泡の内面に La_2O_3 が富化していることを発表されているが、今回の実験ではそのようなことはなかつたか。また今回の鋼塊では気泡の分布はどのようなやつていたか。

2. 傾斜鋼塊では、上側のほうが下側よりも La_2O_3 のトラップされる確率が高いという現象 (2) について、上側では CO 気泡の浮上に伴う攪拌が著しいと同時に、下から浮上して来た La_2O_3 が凝固前面に衝突して、その一部分がそこにトラップされることがあるのに対して、下側では CO 気泡による攪拌も弱い、浮上して来た La_2O_3 が凝固前面に衝突することもないので、結局、上側のほうが下側よりも多くの La_2O_3 がトラップされたと考えることはできないか。

【回答】

1) 偏析の機構については凝固前面における溶質の濃縮, 拡散に関係することであるが, マクロ的には石原⁵⁾が溶鋼の性状や凝固前面の凹凸およびガス発生量と関連づけて説明しており, ほぼ, それで解釈できると思う。

前述のようにリムド鋼塊のような激しい攪拌がある場合には凝固前面でのCOガスの発生による濃化溶鋼の押し出しによる洗浄効果が偏析に大きく影響すると考えている。このような考えから, 片面断熱鋼塊の断熱側の方が負偏析がやや大きかったのは, 単位厚さが凝固する間に発生するCO量が, 断熱側のほうがやや多かったためではないかと思う。またSの負偏析が鋼塊肌からのある範囲ではほとんど一定になるということも, 同様の考えで説明されるのではないかと思う。

また, 鋼塊高さ方向のSの偏析状況は本実験では, 高さ方向に顕著な差は認められなかった。これは鋼塊が小さいうに, 試料採取位置もトップからボトムまでの差が小さかったためであろうと考えている。

コア部における硫化物の量, 形態については詳細に調査していないが, Fig. 9に点算法による検鏡結果の一部を示す。一般的傾向としてはFig. 10に示すように, 硫化物系介在物は鋼塊肌からの距離とともに増加し, コア部で急増している。またコア部における量については, 鋼塊のトップおよびミドル部に比べて鋼塊ボトム部のほうが少ないことが認められている。同様の結果は梶岡⁶⁾も大型鋼塊の調査で認めている。この原因は鋼塊底部への浮遊結晶片のサスペンドによつて説明できるものと考えられる。

2) 実験に使用した¹⁴⁰Laの量は鋼塊重量に対して非常に微量であり, 粒度を測定するための実際的方法も見当たらないので, 測定したことはない。

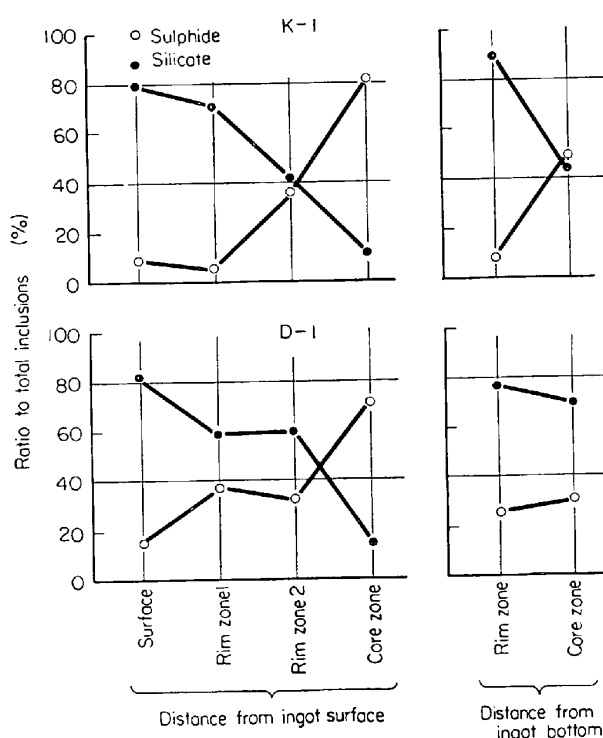


Fig. 9. Distribution of sulphide and silicate.

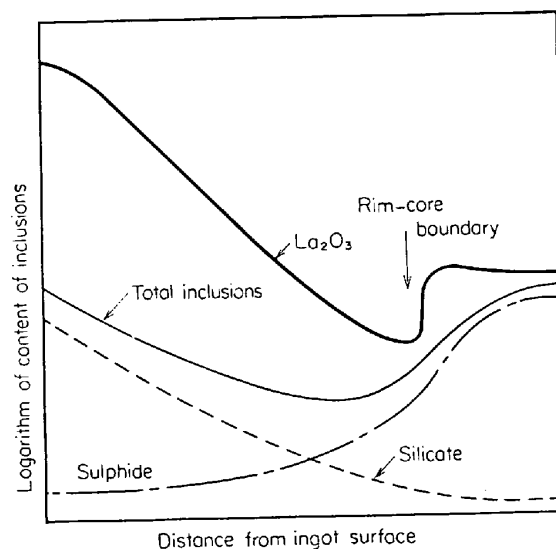


Fig. 10. Distribution pattern of inclusions in rimming steel ingot.

【質問】 北大理 理博 丹羽貴知蔵・新明正弘

1) 片面断熱鋼塊のS偏析の挙動が普通側と断熱側ともに最大偏析の絶対値がほとんど同じ値を与える理由についてどのような解釈をされているのかご説明いただきたい(普通側のS分布が鋼塊肌のある範囲以上で一定値となる点をも含めて)。またこの場合トップとボトムのS分布に差異はないのか。特にコア部における硫化物の量, 形態はどうか。

2) La_2O_3 の挙動追求に際し粒度分布の測定は解析の手がかり上大切に思われるがどうか。

【回答】

1) 実験鋼塊すべてについてオートラジオグラフ調査を行なつたわけではないが, 調査した範囲では前報⁴⁾と同様に気泡内面に La_2O_3 が富化している傾向が認められた。

また, 気泡分布も一部の鋼塊しか調査しておらず, 管状気泡不発生圈などの気泡分布と今回の結果を結びつけて解釈することはしていない。ただ傾斜鋼塊ではその静圧の関係上, 下側のほうが管状気泡の発生範囲がやや高いことが認められた。

2) 傾斜鋼塊の上側のほうがトラップの確率が高い原因については, 筆者らも貴説と同様に考えている。

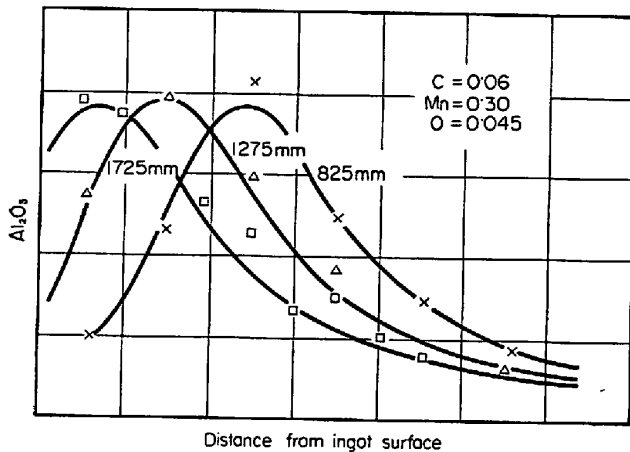
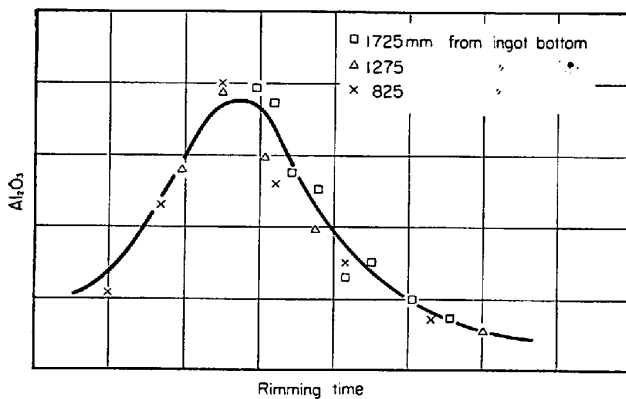
【質問】 鋼管技研 大久保益太・梶井 明

薄鋼板向けリムド鋼の場合にはリム層あるいはその近傍にトラップされた1次介在物に起因する表面欠陥が問題となることがある。その意味から, 1次介在物のトラップ現象を取り扱われたことは意義が深い。

われわれも1次介在物の浮上分離について若干の経験があり, 浮上分離が1次則にしたがい, その恒数は 0.2 min^{-1} 程度ではないかという結果を得ている。

Fig. 11は14t下注キャップド鋼のリム層 Al_2O_3 %をT, MB別に示したもので, 厚さ方向にピークのある分布をしており, ピーク値はT部側の方が外周に寄っている。

Fig. 12は同じデータを $x = 2.85\sqrt{t}$ (x : 表層からの厚さ[cm], t : 铸造開始後の時間[min])なる関係か

Fig. 11. Distribution of Al_2O_3 in rim zone.Fig. 12. Relation between Al_2O_3 in rim zone and rimming time.

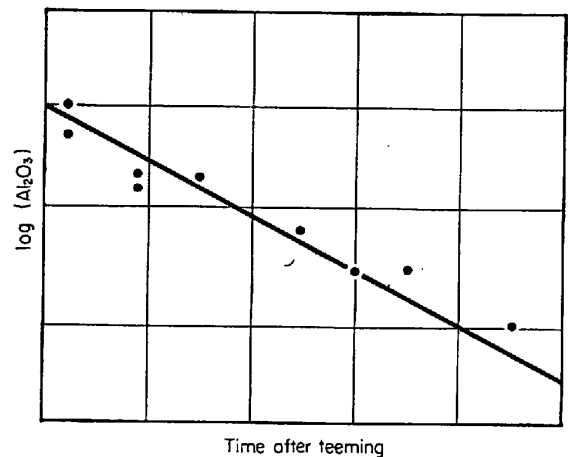
ら位置を鋳込後の時間に換算して示したものである。

図より明かなように、リム層の Al_2O_3 % は位置に関係なく時間のみに規制されている。凝固速度やリミング強度などがさまざまに異なつたデータがこのように時間のみで整理されるのは、ある時点においてトラップされる量はその時点における bulk 中の濃度のみに支配され、しかもトラップ率はほぼ一定となることを意味するのではないかと考えられる。

鋳込終了後は系外からの介在物の流入はないから、以後の濃度変化は bulk の濃度変化のみに対応する。

Fig. 13 は鋳込終了時を原点として Fig. 12 の関係をセミログで示したものであり、直線的関係が得られる。

上述の推定が成立すれば、これより先にわれわれが攪

Fig. 13. Relation between Al_2O_3 in rim zone and time after teeming.

拌浴における 1 次介在物の分離について得た関係²⁾と同様に、bulk 内の濃度は一次則にしたがつて減少し、その勾配から分離速度恒数が求められることになる。

以上の結果は直接 1 次介在物のトラップ現象を取り扱ったものではなくさらに検討を要するが参考までに述べた。

【回答】

1) 凝固速度と δ の関係については BURTON 式の適用性に関する問題であり前述したとおりである。

2) 筆者らの経験では、リムド鋼またはキャップド鋼中の Al_2O_3 は非常に少ないので、 La_2O_3 での実験ほど定量感度がよくないために、鋼塊高さ方向における分布に有意差が認められないことはしばしばあると考える。いずれにせよ、鋼中の Al_2O_3 量が少なく、データの信頼性には多少疑問もあるが、注入末期の一時期に相当多量の Al を投入した場合には筆者らも、貴説とほぼ同様の結果をえたことがある。

しかし、これだけの事実で凝固層中の濃度は、バルク中の濃度のみによつて支配され、トラップの確率は一定であるとするのは、やや早計ではないかと思う。

文 献

- 1) 梶岡, 他: 未発表
- 2) 大久保, 榊井, 佐藤, 三好: 学振, 19委, 8352
- 3) 中村, 常富, 瀬川: 鉄と鋼, 53 (1967), p. 339
- 4) 森, 松尾, 縄田, 谷沢, 山手: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 1973
- 5) 石原: 製鉄研究, 205号, p. 25
- 6) 梶岡, 他: 未発表