

(討10) リムド鋼塊の凝固におよぼす傾斜凝固ならびに凝固速度の影響
 (製鋼工場におけるR Iの利用—XVII)

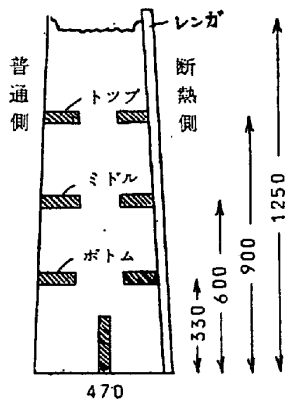
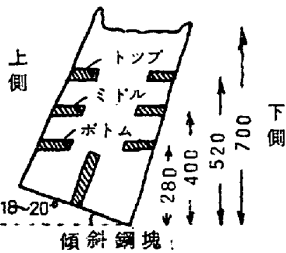
八幡製鉄 技術研究所 森 久, ○谷沢清人,
 山手 実

目的リムド鋼塊の凝固現象についてはすでに多くの研究があるが、ここでは、リム部の負偏析ならびにリミング中の介在物の挙動におよぼす傾斜凝固ならびに凝固速度の影響をしらべてみた。すなわち、鋼塊を傾斜してリミングを行わせた場合、上側は下側よりもCO気泡浮上に伴う攪拌が著しいので、偏析などになんらかの影響をおよぼすはずであり、凝固速度についても、Binnie¹⁾やNilles²⁾が示した偏析などへの影響の他に、介在物にも影響するものと予想した。

方法対象とした鋼塊の造塊条件を第1表に示す。注入終後に定盤ごと約20°傾斜して凝固させた鋼塊、鑄型内面の1面のみを厚さ30mmの煉瓦で内張りして凝固速度をおくらせた片面断熱鋼塊のそれぞれに、注入初期にメタリック¹⁴⁰Laを鑄型内に投入した。リミング中にタコツボおよび石英管で採取した残溶鋼試料、ならびに鋼塊各部から順次平削したチップ試料は、それぞれ放射能定量とC・Sなどの分析を行った。鋼塊からの試料採取位置と試料の名称を第1図に示す。

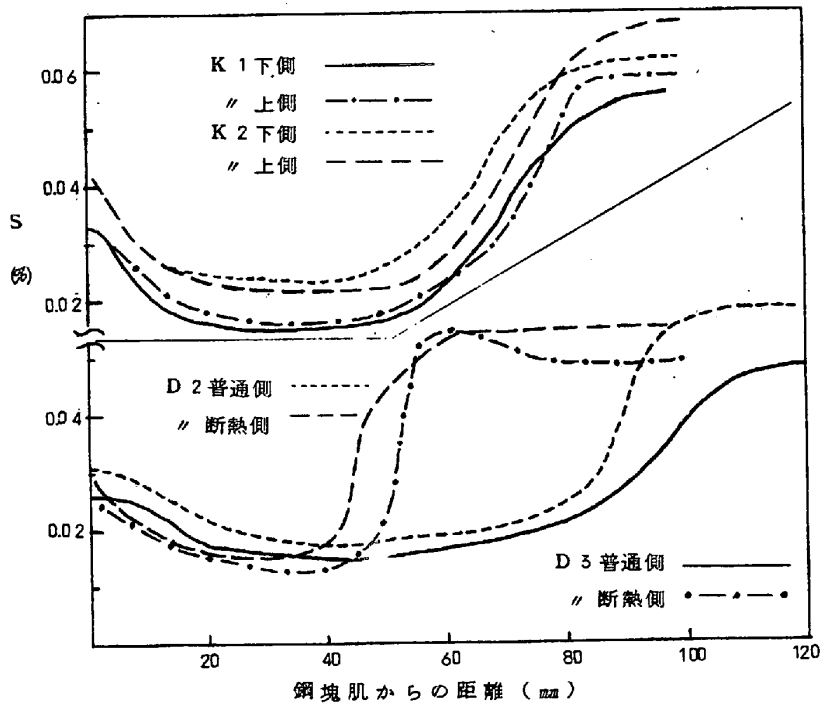
第1表

内 容		傾 斜 凝 固		1 面 断 熱	
符 号		K-1	K-2	D-2	D-3
鋼塊重量(t)		0.62	0.65	1.43	1.35
高 さ(cm)		74	78	123	126
傾 斜 角 度		20°	18°	—	—
取 鋼 下 成 分 (%)	C	0.074	0.084	0.052	0.057
	Si	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Mn	0.35	0.35	0.29	0.25
	S	0.033	0.043	0.031	0.026
注 入 温 度 (°C)		1583	1554	1588	1594
注 入 始 止 傾 斜 注 (min)	R I 添 加	0.38	0.28	0.25	0.87
	注 入 終	1.83	1.58	1.70	1.70
	傾 斜	3.20	2.15	—	—
	注 水	12.0	13.0	17.9	16.6



第1図

× 1/20



第2図 Sの偏析

結果と考察

1 リム部 O・S の偏析

傾斜鋼塊では2鋼塊とも、上側と下側の偏析に有意差は認められない。このことは、溶質元素の偏析がCOガス浮上に伴うマクロ的な攪拌によるのではなく、凝固前面でのCOの発生によることを意味していると考えられる。断熱鋼塊では、Nillesの説のごとく、断熱側のほうが負偏析がやや著しい。(第2図参照)

2 リミング中の残溶鋼中のO・S・O

の変化 省略

3 リミング中の拡散境界層の厚さ

δ の変化 Burton の式により δ を算出してみると、³⁾ 井井ら³⁾ が指摘しているように、 δ の凝固速度依存性が大きく、鋼塊間の差もわずかであり、傾斜鋼塊の上側と下側、断熱鋼塊の普通側と断熱側との有意差は認められない。(第3図参照)

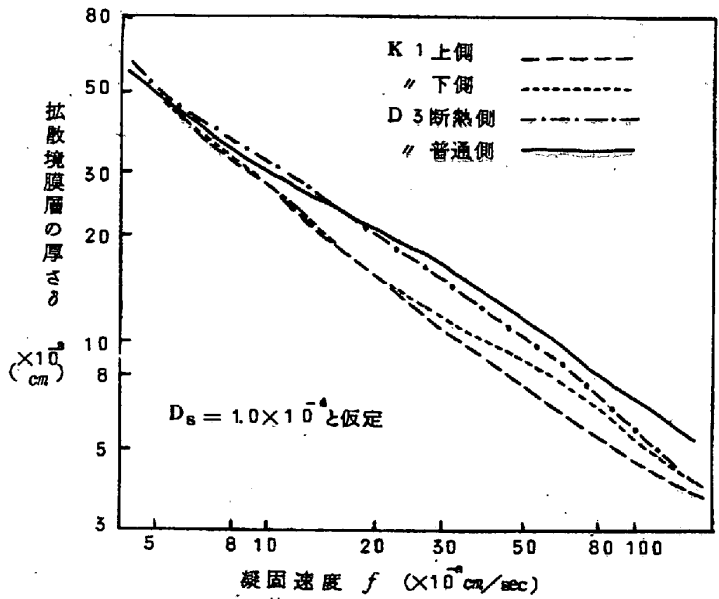
4 リミング中にCO反応で消費される酸素量(O)_∞ 省略

5 凝固鋼中のLa₂O₃の分布 一般的傾向は別報の第1図に示した通りであるが、傾斜鋼塊では、同一の凝固時期においては上側のほうが下側よりも明らかに高く、しかもこの差はトップにおいても最も著しい。断熱鋼塊では、同一深さを比べると普通側のほうが高いが、同一時期で比べるとリミング初期では判然としないが、末期では断熱側のほうがやや低いようである。(第4図参照)

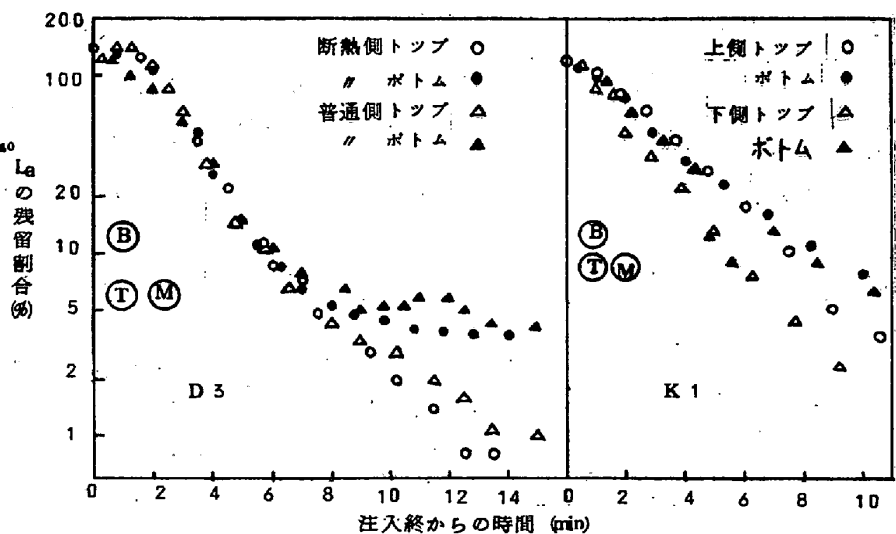
6 リミング中の残溶鋼中のLa₂O₃の推移 リミングの経過と共に残溶鋼中のLa₂O₃濃度は減少している。(第5図)タコツボ試料と内径4mmの石英管吸上げ試料との差は、リミング初期では有意差が認められないが、末期になるにつれてタコツボの値が高くなる。これは、

残溶鋼にサスペンドしてくる結晶片に伴われたLa₂O₃の濃度が、純粋な残溶鋼中の濃度よりも高いと仮定すれば、石英管吸上げ試料には結晶片が入りにくいために末期ほどタコツボよりもLa₂O₃濃度が低いことになるが、想像の域を出ない。

タコツボ試料の放射



第3図 δとfとの関係

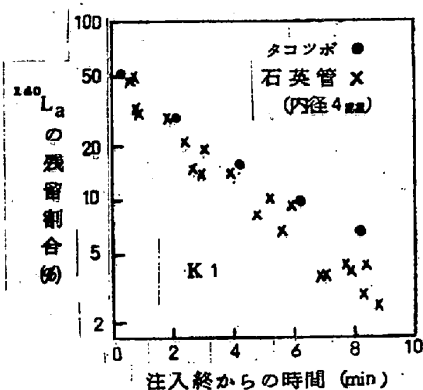


第4図 凝固層中のLa₂O₃濃度の推移

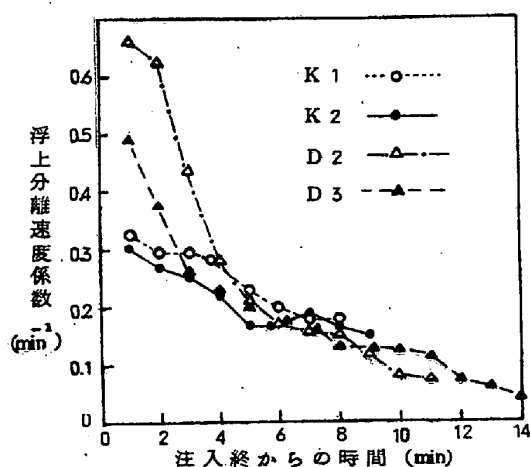
能の時間的变化から、浮上分離が1次則に従うと仮定して浮上分離速度係数 K を算出してみると、第6図のように、リミング初期では $0.3 \sim 0.7 \text{ min}^{-1}$ 程度であつて、凝固の進行につれて減少し、中期以降では 0.2 min^{-1} 以下となり、出鋼中の取鍋内における La_2O_3 の 0.8 min^{-1} よりも小さい。 K が時間と共に減少する理由は、 $f \cdot O_{\text{co}}$ の減少ならびに残溶鋼の粘性の増加に伴う鋼浴の攪拌強度の低下の他に、 La_2O_3 を伴った結晶片が残溶鋼にサスペンドすることによると推測される。また、つぎに述べるような、トラップの確率が時間と共に減少することによる残溶鋼中の La_2O_3 の富化を考えれば、 K の値は図に示した値よりも末期ほど大きくなることになる。

一方、残溶鋼タコツボ試料の La_2O_3 濃度 L_T と同一時期の凝固鋼のそれ L_{SR} とを比べると、第7図に模式的に示すように、リミングの初期ないし中期では残溶鋼のほうが低いが、末期では残溶鋼のほうが高くなる場合が多い。タコツボ採取時に残溶鋼がボイルするため La_2O_3 が浮上分離すると考えられるので、残溶鋼の La_2O_3 濃度 L_L はタコツボの値 L_T よりも高いと推測される。コア部の La_2O_3 濃度 L_{SC} は、リミング停止後の La_2O_3 の浮上が無視できると考えると、リミング停止直前の La_2O_3 濃度 L_L に等しいはずである。そこで、リミング停止時における L_T を L_{SC} の値まで上方に平行移動させて得られた L_L の曲線が残溶鋼の La_2O_3 濃度と考えられる。ここで、タコツボ採取時の La_2O_3 の浮上分離率は凝固時間にかかわらず一定と仮定している。前述したように、 La_2O_3 が浮遊結晶片に伴われていると仮定すれば、タコツボ採取時の浮上分離率は凝固末期ほど小さくなるはずで、 L_T を平行移動すべきではなく、凝固初期ほど大きく移動させて L_L のごとき曲線とすべきことになる。ここで、 L_{SR}/L_L もしくは L_{SR}/L_L は、残溶鋼中の La_2O_3 が凝固層にトラップされる確率となる。 L_{SR}/L_L と凝固時間との関係は、1例を第8図に示すように、注入終からの時間とともに減少している。

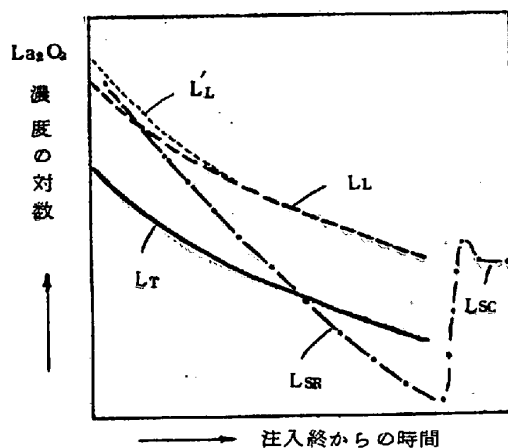
(現象1) 傾斜鋼塊では、いかなる時期においても、上側のほうが下側よりもトラップの確率 P_T が大きい(現象2)。片面断熱鋼塊では、凝固時期別にみると、リミング中期までの差は明らかでないが、リミング末期では断熱側のほうが P_T がやや小さい(現象3)。しかし、凝固速度 \dot{y} と P_T との関係プロットす



第5図 残溶鋼中の La_2O_3 濃度の推移



第6図 リミング中の $^{140}\text{La}_2\text{O}_3$ の浮上分離速度係数



第7図 残溶鋼および凝固層中の La_2O_3 濃度の推移模式図

ると、断熱側のほうが P_T が大きい。(現象4)

なお、片面断熱鋼塊における凝固速度係数は、普通側では $2.5 \text{ mm} \cdot \text{sec}^{-1/2}$ 、断熱側では $1.8 \text{ mm} \cdot \text{sec}^{-1/2}$ であることを、 ^{198}Au 投入—オートラジオグラフ法による別の2鋼塊の調査結果から確かめてあるので、肌からの深さを凝固時間に換算するときは、この凝固速度係数を仮定した。

以上の各現象を解釈する La_2O_3 のトラップの確率を支配する機構は明らかではないが、つぎのような要因が関係すると想像される。

要因1 凝固前面近傍の La_2O_3 が洗滌除去される確率として、 CO 発生速度が大きいほど洗滌除去の確率が大きいと仮定すると、単位凝固厚さ当りの CO 発生量計算値は時間とともに増加する鋼塊も減少する鋼塊もあり、現象1

は解釈できない。また、プリミティブにトラップの確率が溶質元素の偏析におけると同様に拡散境界層の厚さ δ によつてきまると考えると、現象1は解釈できるが、現象2は全く理解できない。

要因2 La_2O_3 が凝固前面の先端にひつかかる確率として、凝固前面の凹凸は凝固初期ほどまた凝固速度が大きいほど大きいと仮定すれば、この凹凸に La_2O_3 がひつかかる確率は現象1の通りとなろう。現象2も同様に解釈される。

要因3 La_2O_3 の残溶鋼中の存在状態を要因と考えると、残溶鋼中の浮遊結晶片はリミング中に増加し、 La_2O_3 はこの結晶片に伴われて富化しており、この結晶片はリミング中は凝固層に付着凝固しないと仮定すると、現象1は理解され、要因2を考えあわせると、現象3と4も一応理解できる。その他、 La_2O_3 がリミング中に他の介在物と凝集生長して変質し、濡れ性などの特性が変化することも、要因として考慮する要がある。

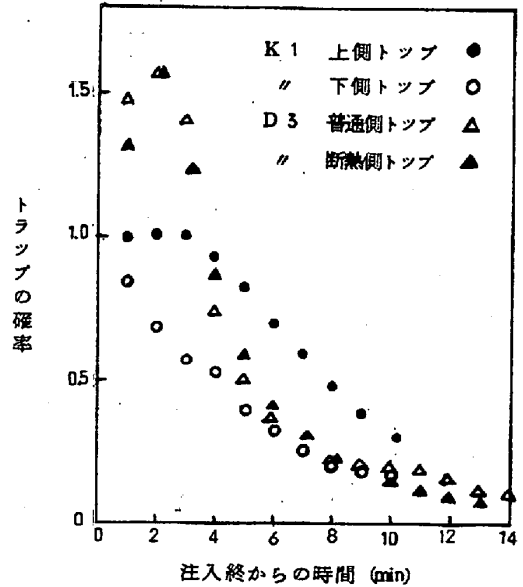
このように残溶鋼中の La_2O_3 が凝固層にトラップされる確率については、それぞれの要因の実在性の実証もなく、いわんや各要因の寄与率も全く不明であり、今後の説明が必要であろう。

7 凝固鋼中の介在物の分布と La_2O_3 の分布との比較 リム部およびリム—コア境界付近までの全介在物面積率は La_2O_3 のそれと定性的には一致するが、肌からの深さ方向の減少勾配は La_2O_3 のほうが大きく、また最低濃度を示す肌からの距離は、 La_2O_3 のほうが深い。全介在物中に占める酸化物系介在物の割合は、肌からの深さとともに減少する。このような現象は、リミング中に硫化物ならびに2次脱酸生成物の析出が進行するためである。

1) D. Binnie : J. Iron and Steel Inst. (U.K.), Oct (1949) P. 159

2) P. Nilles : 同上 (1964) P. 601

3) 榊井, 他 : 鉄と鋼, 53, (1967) P. 382



第8図 残溶鋼中の La_2O_3 が凝固層にトラップされる確率