

# 低炭素リムド鋼塊底部の大型介在物の 生成に関する 2, 3 の現象について\*

70564

池田隆果\*\*・丸川雄浄\*\*・小林隆衛\*\*・浦 知\*\*

## A Few Phenomena on the Occurrence of Large Inclusion in Bottom Part of Low Carbon Rimming Steel Ingots

Takami IKEDA, Katsukiyo MARUKAWA,  
Taka KOBAYASHI, and Satoru URA

### Synopsis:

In the rimming steel ingots, large inclusions exist characteristically in the bottom part of ingots. The formation of large inclusions is related to the formation of "mushy zone" which grows up from bottom of molten steel in mold during the period of rimming action. "Mushy zone" can be observed macroscopically at the cross-section of solidified ingot.

The result of investigation of tested ingots under the various conditions indicates that amount of large inclusions in "mushy zone" increases with increase of height of "mushy zone". Rimming time and height of ingot have an important influence on the growth of "mushy zone" or amount of large inclusions. It is observed that when rimming time becomes longer or ingot becomes higher, both height of "mushy zone" and amount of large inclusions increase.

(Received Nov. 13, 1969)

## 1. 結 言

リムド鋼塊底部に特徴的に存在する大型介在物はプレス成形性などを害する鋼質上の欠陥の一つである。この大型介在物の発生は種々の製鋼要因によつてももちろん左右されるが、とくにリミング中において溶鋼底部に生成する粘稠層ときわめて密接な関連を有することが推測されている<sup>1)2)</sup>。大型介在物および粘稠層の生成機構がまださだかでない現状では両者の特性および両者間の関連性を現象的に把握することも上記の生成機構を解明する上の一つの手がかりになると思われる。本報では凝固後の鋼塊断面のマクロ性状からこの粘稠層の生成程度が判断できることに着目し、主として粘稠層と大型介在物との関係とそれにおよぼす造塊要因の影響を明らかにした。

## 2. 試 験 方 法

試験の対象とした鋼塊は Table 1 に示す 5 鋼塊である。160 t 転炉で溶製した 1 ヒート内で鋼塊タイプ、鋼塊高さ、添加物などの造塊要因を変化させたもので、鋼塊 A, B, C の 3 者はほぼ鋼塊高さのみが異なり、鋼塊 C, D, E は鋼塊寸法が同一であるが鑄型タイプ、添加物が異なっている。ただし同一ヒート内でのリミングの強弱の影響をみるために鋼塊 D では NaF の添加を試み

たが、この場合、リミング観察上には他の鋼塊との差がみられていない。またボトルタイプの鋼塊 E をのぞくその他のオープンタイプでは蓋置後もリミングが持続しているのでリミング時間は蓋置時間で代表できず、したがって凝固後の断面のリム層厚さから推定することにした。

以上の鋼塊について短辺面に平行に中心部で切断し、その断面のサルファプリント、マクロ組織を観察し、これより粘稠層が形成されていたと推定される領域を実測した。さらに同一断面の各位置よりブロックを切り出しスライム法による大型介在物の電解抽出を行ない、定量および発光分光分析による組成分析、ミクロ観察などを行なった。なおスライム法は 15% 塩化第 1 鉄水溶液中で約 5 kg の試料を陽極、金網を陰極として 7~8 日間の電解を行なうもので電圧、電流はそれぞれ 5V, 15 A である。これによつて電解槽内に堆積した残渣から水簸法、湿式磁選法によつて介在物のみを抽出し定量した。また介在物の選粒にはふるいを用いている。

## 3. 試 験 結 果

### 3-1 凝固後の粘稠層のマクロ性状

Photo. 1 に試験鋼塊のサルファプリント、マクロ組織

\* 昭和44年10月本会講演大会にて発表  
昭和44年11月13日受付

\*\* 住友金属工業(株)和歌山製鉄所

Table 1. Casting conditions of tested ingots.

Condition Ingot	Ingot dimensions		Mold addition (g/t)	Capping time (min)	Ladle analysis (%)
	Type	Thickness × Width × Height (mm)			
A	Open	821 × 1 155 × 1 700	Al 40~50	15.0	C 0.08 Si < 0.01 Mn 0.31 P 0.014 S 0.019
B		821 × 1 155 × 2 030			
C		850 × 1 100 × 2 490	NaF 130		
D					
E	Bottle	Al 40~50	7.3		

Other condition; pouring method; Top pouring  
; pouring time; 2.5~2.8min

Table 2. Coefficient of rate of solidification from ingot bottom.

Ingot	Height of ingot (mm)	Rim thickness (A) (mm)	Height of (B) mushy zone (mm)	$K = (B)/(A)$	Calculated (C) rimming time (min)
A	1 700	130	700	5.4	26.3
B	2 030	120	660	5.5	22.3
C	2 490	110	670	6.1	18.8
D	〃	150	1 170	7.8	35.0
E	〃	70	550	7.9	7.6

(C); Calculated by  $d(\text{mm}) = 25.4\sqrt{t(\text{min})}$

を示す。いずれの鋼塊にもコア底部に比較的清浄な自由晶領域がみられ、上部の逆V偏析線に包まれた形で存在する。とくにサルファプリントでは濃淡によつてこの領域は明りように区分できる。Fig. 1の成分偏析状況から明らかなごとく、点線で示したこの領域内ではリム層と同程度の負偏析を示し、また軸心線上においてはその境界付近の偏析量は側面のリム-コア境界のそれとほぼ一致する。このようにマクロ的に判別された領域が負偏析領域に一致し、またその形状は森りらがRIを利用して確認した形状と類似するところから、リミング中に底部より漸次上方に向かつて粘稠な層を形成し、凝固にいたつた領域であろうと思われる。(以下この領域を粘稠層と呼ぶ) Photo. 1ではその領域の高さが明らかに鋼塊ごとに異なっており、この個々の鋼塊間の差から粘稠層の相対的な生成程度をみる事ができる。

### 3.2 粘稠層の高さにおよぼす造塊要因

Photo. 1での個々の鋼塊の粘稠層の高さはそれぞれのリム層厚さと巨視的に対応しており、粘稠層高さはリム層厚さが厚いほど高くなる傾向を示している。リム層厚さはほぼリミング時間を代表しうるから、これより粘稠層の生成に対するリミング時間の影響が指摘でき、リミング時間の経過とともに粘稠層が上方に成長することが知られる。ここで蓋置時間が同一のオープンタイプの鋼

塊においてリム層厚さに差がでていのはリミング中の湯引けによつて蓋と溶鋼面が接着せず、その後の膨張によつて溶鋼面が蓋と接し、リミングが停止するまでの時間に差が生じたためである。このリミング時間の差はPhoto. 1の鋼塊頭部形状からも明らかなごとく、鋼塊高さが高い鋼塊ほど蓋置後の膨張が大きく、また早期に生じることによるものである。鋼塊DはNaFの添加によつて上述の膨張が抑圧された結果、リム層厚さが最も厚くなつたと考えられる。このように各鋼塊の条件の相異は物理的にリミング時間の差につながり、リム層厚さに反映したとみることができ。粘稠層高さにおよぼすリミング時間の影響についてはパーテストによる調査結果<sup>9)</sup>など2, 3の報告例があり、いずれもリミング時間の経過とともに粘稠層が増大することを認めており、われわれも同様の方法でこの現象を確認している。

つぎに鋼塊高さの影響についてはTable 2に示すごとく、それぞれの鋼塊の粘稠層高さとしリム層厚さの比Kより定性的に知ることができ。すなわち各鋼塊の断面形状がほぼ同一であるので鋼塊側面からの凝固速度は同一とし、一方、粘稠層の成長を底部からの凝固とみなし両者の凝固厚さはいずれもリミング時間の平方根に比例するとして、それぞれの鋼塊について粘稠層高さとしリム層厚さとの比Kを求めてこれを側面凝固に対する相対的

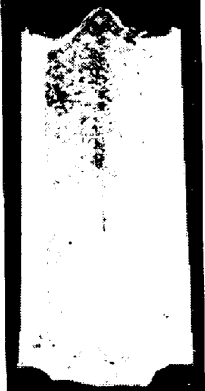
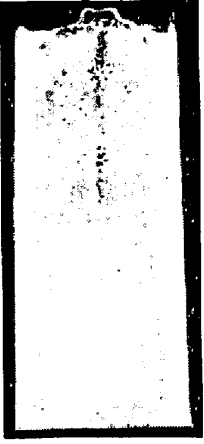
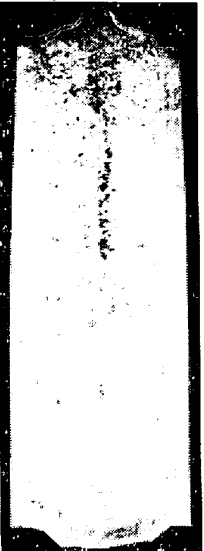
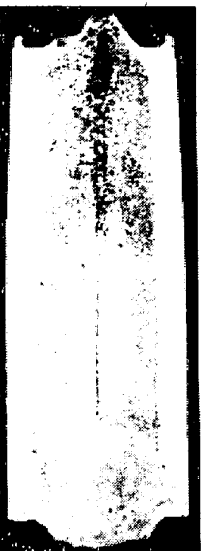
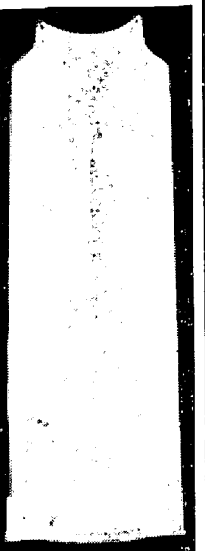
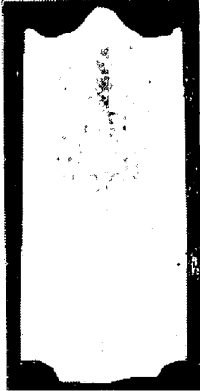
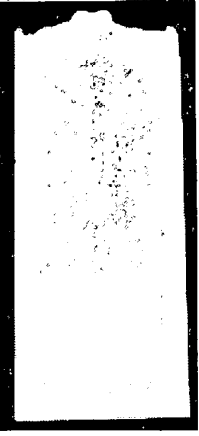
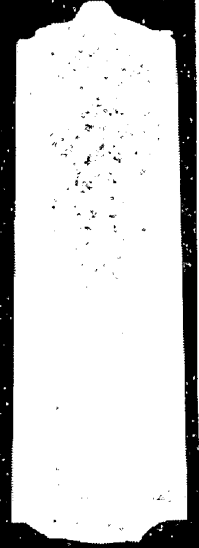
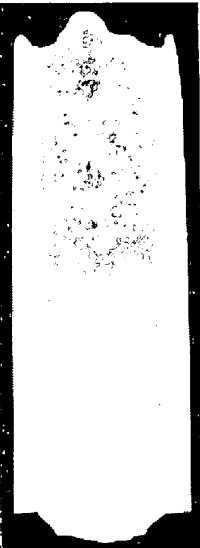
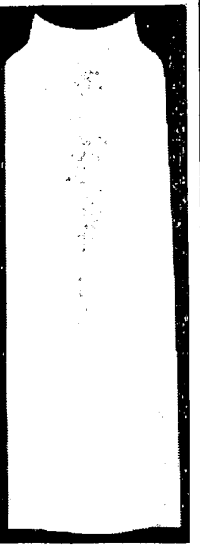
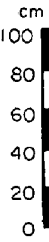
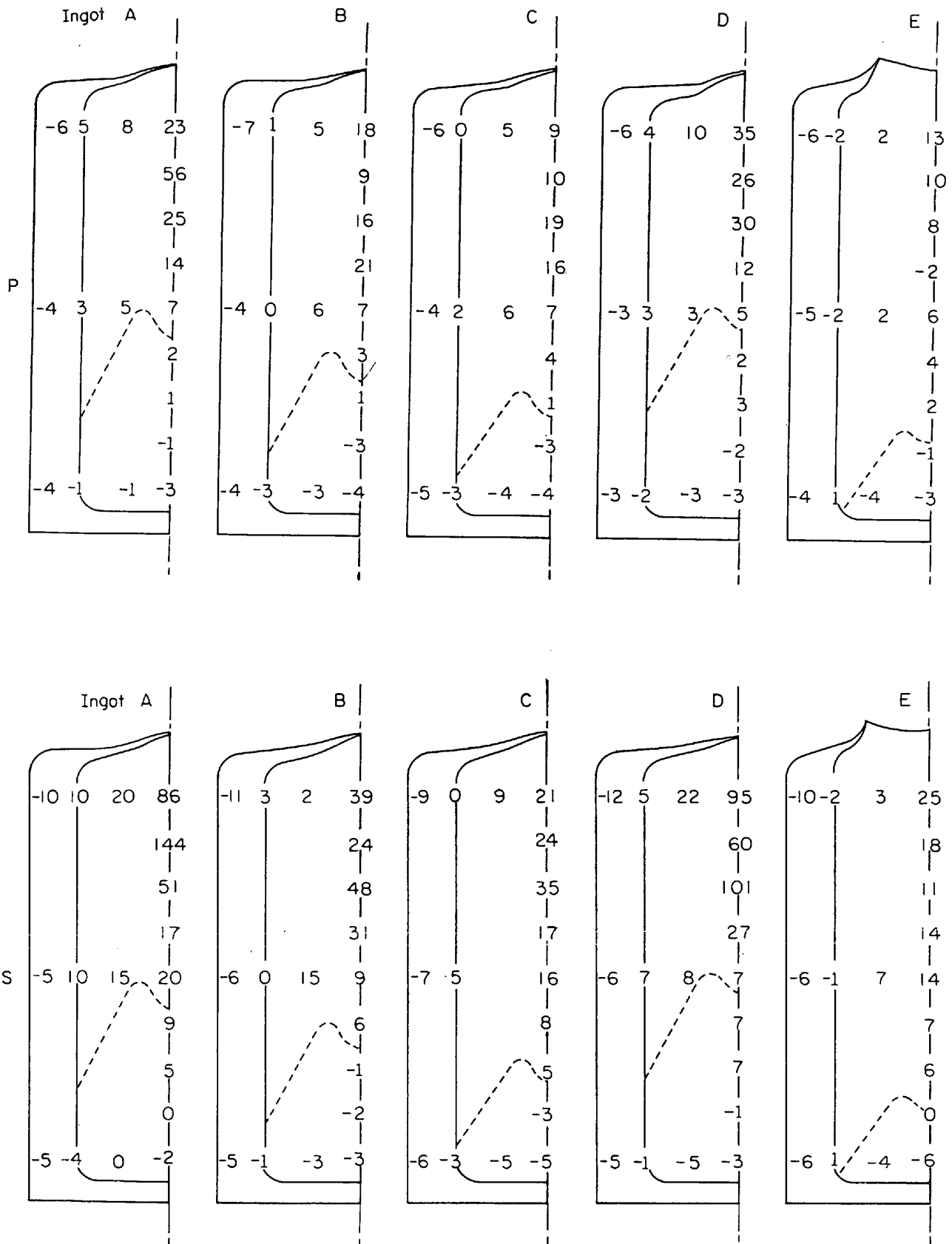
Macro structure					
Sulfur print					
cm					
Ingot	A	B	C	D	E
Height of negative segregation zone in core. (mm)	700	660	670	1170	550
Rim-thickness (mm)	130	120	110	150	70

Photo. 1. Macro-structure of section of tested ingots.

な粘稠層の生成速度の目安とした。その比 $K$ の値は鋼塊高さが高いもので大きい値を示し、鋼塊高さが高いほど粘稠層の成長は早くなることが推測される。

### 3.3 大型介在物の分布状況

鋼塊内の大型介在物の分布状況はすでにスライム法電解抽出によつて明らかにされているがごとく鋼塊底部に圧倒的に多く存在する点の特徴である。Fig. 2 に本試験



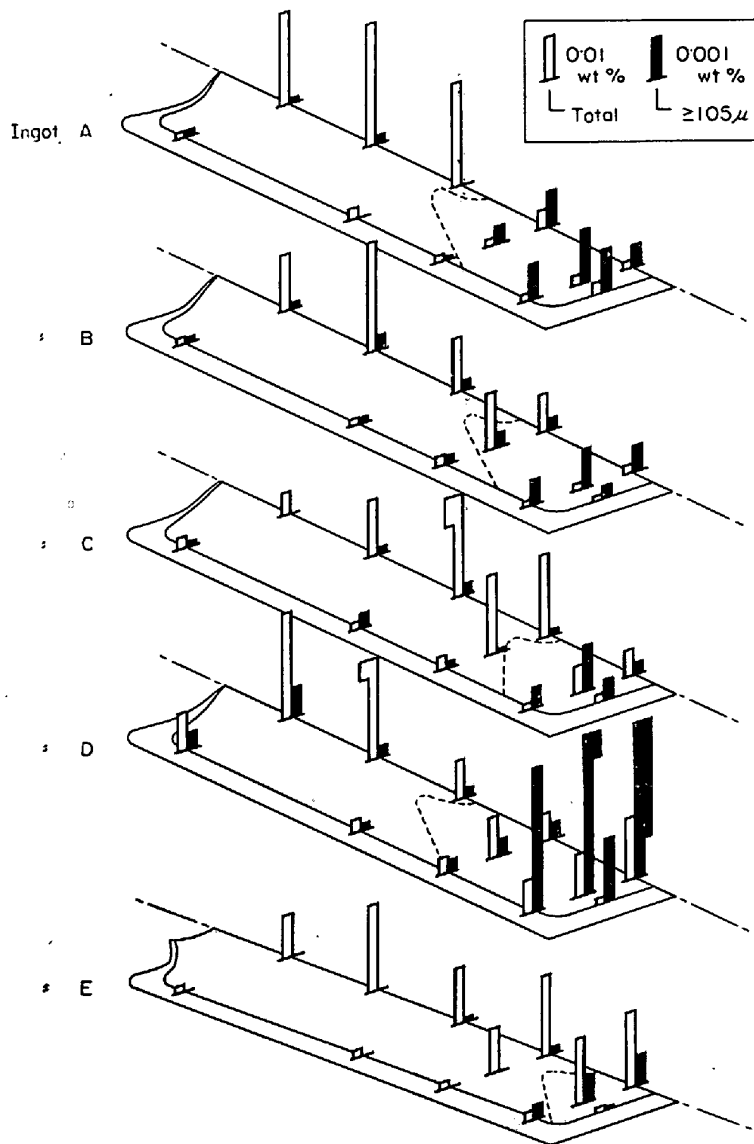


Fig. 2. Distribution of large inclusion in tested ingots.—(I)

鋼塊での大型介在物の粒度別分布状況を示す。いずれの鋼塊も抽出全量(約  $40 \mu$  径以上)は頭部側が多いが、このうちの径が  $105 \mu$  以上のとくに大型の介在物は底部側ほど多くなる点が共通している。Fig. 3に  $105 \mu$  以上の介在物についてさらにこまかな粒度別分布状況を示す。点線で示した粘稠層内ではいずれも底部側ほど大型の介在物が増加する傾向が明りようである。

#### 3.4 粘稠層高さと大型介在物量の関係

Fig. 2, Fig. 3より粘稠層内の大型介在物量は粘稠層の高さとよく対応しており、粘稠層の高さが高い鋼塊ほど粘稠層内の大型介在物量が多く、また大型がふえる状況が認められる。Fig. 4は粘稠層内底部の大型介在物量と粘稠層の高さとの関係を示した1例であり、大型介在物量は粘稠層の高さが増大するにつれて相乗的に増加す

る傾向を示している。

#### 3.5 大型介在物の組成とマイクロ形態

大型介在物の組成には鋼塊による差が認められず、同位置ではいずれもほぼ同様である。Table 3は組成分析結果の一例であるがいずれも鋼塊位置による組成の相異が明らかであり、粘稠層部では中央部に比較して  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  が高値である。

粒度別にはそれほど大きな差は認められない。NaFを添加した鋼塊DについてとくにNaの分析を行なったが全く検出されていない。また鋼塊A, Bについては省略したが、同表と組成上の相異は認められていない。

粘稠層内底部で抽出されたとくに大型の介在物の断面マイクロ状況の一例をPhoto. 2に示す。(a)はその代表的なものであり、E PMAによる同定の結果では白色の

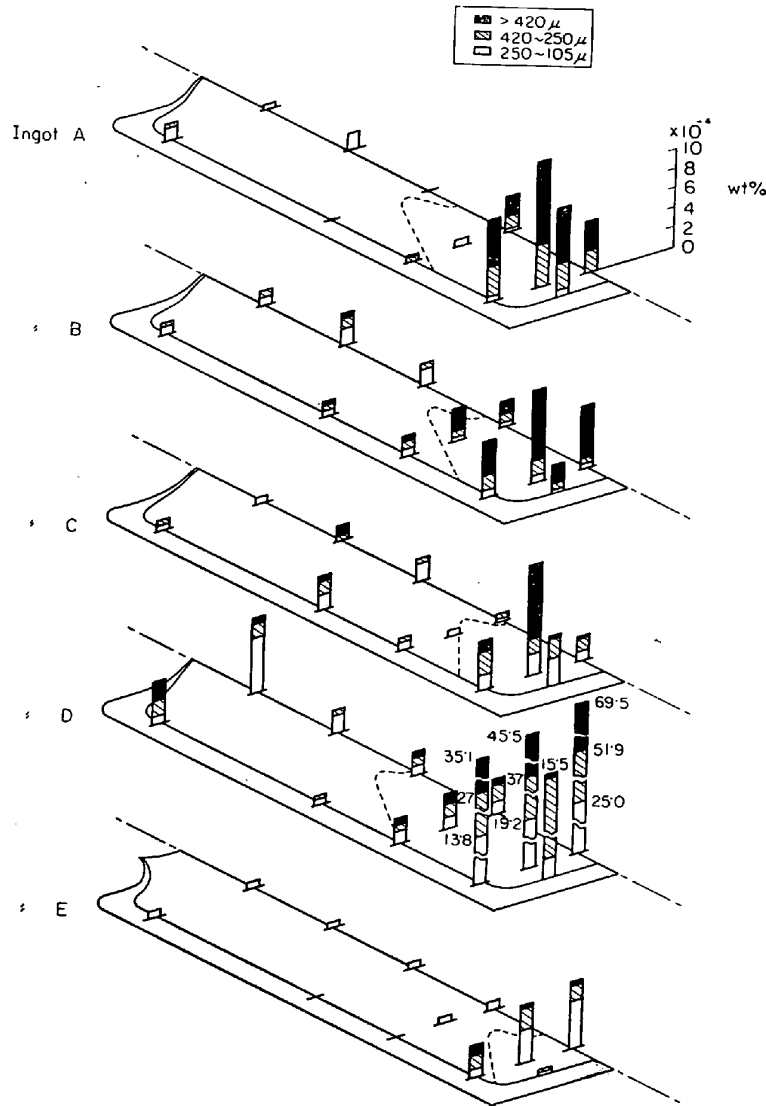


Fig. 3. Distribution of large inclusion in tested ingots.—(I)

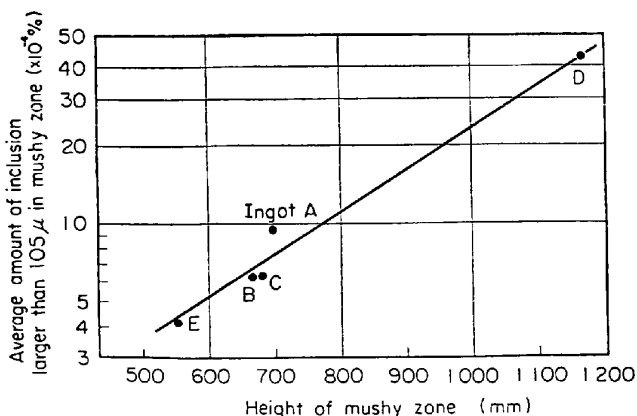


Fig. 4. Relation between height of mushy zone and amount of large inclusion.

MnO, 塊状の  $(\text{Mn, Fe})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , さらに基底は Mn-Si-O で構成されている。(b) はやや形態が異なるものでわずかに晶出したのが  $(\text{Mn, Fe})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , 基底は Mn

-Si-O であり, そのほかに  $2\text{SiO}_2 \cdot \text{MnO}$  なども検出されている。なお, 頭部あるいは中央部ではいずれの鋼塊も MnS-MnO の比較的単純な形態を有する小型介在物が主体である。

#### 4. 考 察

以上の結果に関してつぎに若干の考察を加える。

##### (1) 粘稠層の生成機構

リムド鋼, キルド鋼を問わず凝固過程において残溶鋼中に浮遊している鉄結晶が沈降するといういわゆる沈殿晶説が一般に支持されているが, その結晶の生成場所, 生成原因については種々の論議がある。リムド鋼に関しては凝固前面の激しいリミング流によつて破碎された柱状晶片や, 露出した溶鋼表面での生成などが考えられている。本報の結果にはこれらの生成理由に矛盾する点は

Table 3. Chemical composition of large inclusions at various positions of tested ingots.

Ingot	Position of ingot	Size of inclusion ( $\mu$ )	Chemical composition (%)				
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	Na
C	Middle-Core	>40	< 5	< 5	14	36	—
	Bottom-Core (Mushy zone)	<100	17	10	13	44	—
>100		15	8	20	80	—	
D	Middle-Core	>40	7	8	11	26	0
	Bottom-Core (Mushy zone)	<100	16	9	15	46	0
>100		20	12	16	66	0	
E	Middle-Core	>40	5	< 5	14	66	—
	Bottom-Core (Mushy zone)	<100	15	7	9	43	—
>100		25	14	13	58	—	

Method of analysis; Emission spectroscopic analysis.



Photo. 2. An example of micro-scope structure of large inclusion.

a :  $\times 100$ , b :  $\times 200$  (4/7)

みられず、リミング時間の経過とともに粘稠層が高くなる現象についてはリミング時間の経過とともに沈降した結晶の濃度が高まること、また鋼塊高さが高くなるに従って粘稠層の成長速度が早くなる傾向についても凝固前面積が増大することで容易に説明でき、上述の生成機構

の裏付けともなろうと思われる。

## (2) 大型介在物の生成機構

一次脱酸生成物、二次脱酸生成物のいずれが主体であるのか、また組成的な特徴というべき多量に含まれる Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub> の起源などミクロ的な生因について不明確であるが、容易に浮上すべきはずの巨大な介在物が例外なく存在し、しかも粘稠層の高さと定量的な関係を示したことから大型介在物はつぎのごとく粘稠層によつて捕捉され、あるいは浮上が阻害されて残留することに起因すると考えられる。

i) 沈降する結晶片に浮遊介在物が捕捉され、あるいは浮上が阻害されて底部に残留する。

ii) 底部の凝固前面で気泡とともに生成した二次脱酸生成物が粘稠層下部に捕捉され、集積する。

iii) 粘稠層が形成した後、リミングアクションによる対流によつて上部溶鋼中の浮遊介在物が粘稠層下部に運ばれ ii) と同様に集積する。

以上のすべてかあるいはいずれかの生成原因によつて粘稠層下部に集積し、リミング中において何らかの原因により凝集肥大が生じると思われる。さらにマクロ観察の結果において底部凝固前面から粘稠層内部を気泡が通過した痕跡が認められることから、つぎの現象も考えられる。

iv) 底面の凝固前面で生成した気泡が粘稠層内を通過する際に、粘稠層下部の介在物を多く含む溶鋼が気泡につづいて粘稠層内に流れ込む。

## 5. 結 言

リミング中に漸次成長しながら形成される粘稠層は凝固後の鋼塊断面においてマクロ的に観察でき、またその

粘稠層内および粘稠層底部の大型介在物量は粘稠層高さが高くなるに従って増加する。粘稠層ひいては大型介在物におよぼす造塊要因としてはリミング時間と鋼塊高さの2つが指摘できる。

## 文 献

- 1) 森: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 1879
- 2) 梶岡: 鉄と鋼, 54 (1968) 10, S 696
- 3) 第41回製鋼部会資料: 鋼 41-19
- 4) 浅野, 大橋, 塗: 鉄と鋼, 54 (1968), p. 643