

## 論 文

UDC 620.192.45 : 669.141.4 : 621.746.01

## メカニカルキャップド鋼の介在物について\*

植 田 嗣 治\*\*・野 峯 徳 彦\*\*

丸 川 雄 浄\*\*・豊 田 守\*\*

## Inclusions in the Mechanical Capped Steel

Tsuguharu UEDA, Norihiko NOZAKI,

Katsukiyo MARUKAWA, and Mamoru TOYODA

## Synopsis:

A study on the macroscopic inclusion in the rim and core zones of large mechanical capped steel ingots (23t~34t weight) has been carried out. The slime method was utilized for extracting inclusions.

(1) In the lenticular blow holes in the rim zone there are many large macroscopic inclusions. A part of these inclusions is a glassy oxide which is made from (Fe, Mn)-Si-Al-O, and another part is a large lumpy inclusion which is made from  $Al_2O_3$ .

(2) The former inclusions (glassy oxides) which form a tortoise shell-shape stick on the inner side of lenticular blow holes, and the latter ( $Al_2O_3$ ) which forms a lumpy type pops out into lenticular blow holes.

(3) In the blow holes in the core zone there are large lumpy alumina inclusions, and there are more in the upper part of the core zone than in the middle and the bottom part.

(4) These large lumpy inclusions are caught by the blow holes in the core zone and carried by them into the inner part of the zone.

(5) However, in the blow holes at the core zone no inclusion of the tortoise shell-shape is found.

## 1. 緒 言

リムド鋼の介在物に関する調査研究は数多く、その成果も多数報告されているが、これらのほとんどはコア内の介在物に関するものであり、リム層内の介在物に関する報告は数少なく、特に大型介在物に主眼をおいた調査報告は少ない<sup>1)2)</sup>。

著者らは、メカニカルキャップド鋼のリム層内において多量の大型非金属介在物の存在することを確認し、しかもこれら介在物の大多数は、管状気泡内に捕捉されていることを確かめた。

この気泡内に捕捉されている介在物には二種類あつて一つは Fe-Mn-Al-Si-O 系の低融点酸化物であり、もう一つは塊状の大型単体アルミナである。

前者は亀の形に似ていることから亀甲状介在物と名付け、後者は塊状アルミナと名付けた。

一方、コア内の気泡中にも大型の塊状アルミナが多量

に捕捉されていることが確認された。

本報ではこれら大型介在物についてのリム層内での捕捉状況およびコア内での塊状アルミナについての調査結果を主体に、まとめたものである。なお介在物の抽出量はスライム法によつた。

## 2. 調 査 方 法

調査鋼塊は当所 250 t 転炉で溶製した低炭低 Mn リムド鋼および中炭高 Mn リムド鋼で大型の Bottole type 鋳型に鋳込んだものである。

調査鋼塊の製鋼、造塊条件および鋳型のだいたいの寸法については Table 1 に示すとおりである。

これら鋼塊は冷塊にした後、A 鋼塊については短辺面に平行に幅中心部で縦断して供試材とした。

この A 鋼塊のマクロエッチ写真を Photo. 1 に示し、写真上に黒丸でスライム法用サンプルの採取位置を示した。

\* 昭和49年11月, 昭和50年4月本会講演大会にて発表 昭和50年7月15日受付 (Received July 15, 1975)

\*\* 住友金属工業(株)鹿島製鉄所 (Kashima Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd. 750 Hikari Kashima-chō Kashima-gun Ibaraki 314)

Table 1. The condition of ingot making.

Ingot No.		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Ladle analysis (%)	C	0.06	0.07		0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.18		0.16	
	Si	0.01	0.01		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		0.01	
	Mn	0.22	0.28		0.30	0.28	0.25	0.25	0.27	0.79		0.70	
	P	0.010	0.009		0.010	0.010	0.012	0.009	0.009	0.014		0.011	
	S	0.018	0.010		0.012	0.010	0.014	0.011	0.011	0.010		0.010	
Ladle temperature (°C)		1 575	1 580		1 555	1 560	1 581	1 562	1 540		1 545		
Casting time (min)		3.7	3.0	2.7	2.2	2.2	3.7	3.3	3.8	3.4	3.9	3.0	3.5
Capping time (min)		6.6	6.8	5.0	5.1	6.2	7.6	10.7	9.5	9.8	7.5	5.4	2.3
Al added in mold (g/t)		30	30	9	36	15	15	30	36	2	9	6	0
Ingot weight (t)		33.6						23.0					
Mold dimension (mm)	Width	1 725						1 431					
	Thickness	1 040						889					
	Height	2 950						2 950					



Photo. 1. Position of samples for slime-method.

一方B～Lまでの11鋼塊については、コーナー部を縦断した、いわゆるコーナーサンプルを供試材としMiddle部(50%)およびBottom部(80%)のリム層からスライム法用サンプルを採取した。

また、同時に80%位置からは顕微鏡用のサンプルを切り出しJIS法による介在物清浄度を測定した。

### 3. スライム法について

スライム法については、すでに数件の報告<sup>1)3)4)</sup>がありその方法はよく知られているが、その欠点として大量処理に不向きであること、電解残渣がかなり多量にできて、この残渣からの介在物の分離に数工程を要し、この過程での介在物の紛失が起りやすいなどがある。著者らは、これらの欠点を補う目的で次のような工夫を施した。

(1) 抽出介在物を含む残渣が可能な限り少なくなるように電解中のサンプルの下に受皿を設けた。この方法の採用にあたっては受皿外への介在物の落下のないことを十分確認した後に行なった。このことにより処理残渣量は大幅に少なくなった。

(2) 残渣からの介在物の分離は残渣量を少なくなったことで容易になり、水箒法に棒磁石を若干併用する程度でほぼ完全に介在物のみで分離できた。このことにより処理量、精度ともに大幅に向上した。なお電解条件としては、15%の水酸化第一鉄溶液を電解液とし10～12V、8～10Aで約2週間を要して3kg弱のサンプルを電解した。

### 4. 調査結果

#### 4.1 リム層内の介在物について

##### 4.1.1 大型介在物の抽出結果

リム層内からスライム法により抽出した介在物の定量結果をFig. 1に示す。

この結果によると鋼塊底部側で50～300mg/10kg鋼塊中心部で20mg～180mg/10kgの大型介在物が存在していることが確認された。しかも250 $\mu$ 以上の大型介在

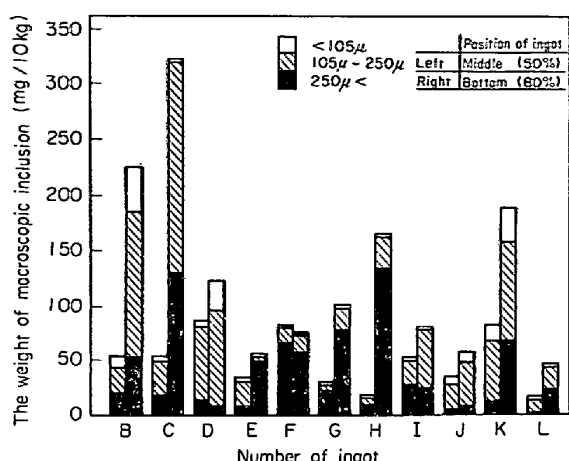


Fig. 1. Weight of macroscopic inclusion with individual size extruded from rim zone.

物の占める割合が非常に大きいこと、さらには低炭リムド鋼 (B~H鋼塊) 中炭リムド鋼 (I~L鋼塊) での量的な差もないことが確認された。

#### 4.1.2 介在物の形態について

リム層内から抽出した大型介在物の外観状況の代表例を Photo. 2 に示す。特徴として球状の介在物よりも亀甲状(左)、平板状(中)さらに碗状(右)の大型介在物が圧倒的に多いことが判明した。この介在物は調査対象鋼塊のすべてから抽出されており、メカニカルキャップド鋼にはすべて存在することが確認された。これら三形態の介在物の抽出傾向としては亀甲状の場合が約 50%、平型、碗型の場合が合せて約 50% 程度であった。この平型、碗型は低炭材のみに見られるもので、中炭材では全く抽出されていない。また大多数の場合ヒートによつてその形態は定つているが、まれには同一ヒート内で鋼塊によつて相違している場合も見られた。

これら三形態の介在物をひつくるめて亀甲状介在物 (Tortoise shell-shape inclusion) と名付けた。(以後、断らない限り三形態を一括して亀甲状介在物という。)

また、砂状のアルミナも認められたが、量的にはそれほど多くはなかつた。しかし大きいものでは  $1000\mu$  にも達するものが見られ、角ばつた結晶質で、ほとんどの

場合半透明である。このアルミナを塊状アルミナ (lumpy alumina) と名付けた。

これらリム層内の大型介在物についての詳細な調査報告は非常に少なくわずかに浅野ら<sup>2)</sup> がオープントップ鋼で調査したのものがあるに過ぎない。その他には梶岡<sup>3)</sup> がオープントップ鋼で久芳ら<sup>4)</sup>、片山ら<sup>7)</sup> がキャップド鋼で調査した結果の概要を報告したものがあるがいずれも亀甲状介在物、あるいは単体の大型アルミナの存在を指摘しているものはみられない。

#### 4.1.3 介在物の捕捉形態

これら介在物がリム層内にどのような形で捕捉されているのかを Photo. 3 上段に示した。

まず亀甲状介在物であるが、写真でも明らかなように気泡の内面に凸状になつて付着しており、これらは円周方向にはランダムに分布し何ら特徴的な偏在は認められていない。一方管状気泡の先端部(鋼塊表面側)から末端部(コア側)へかけての深さ方向への分布には特徴があり、末端部になるほど多く付着していることが確認された。この介在物の顕微鏡写真を下段に示した。白い部分が地鉄、黒い部分が気泡である。このように地鉄に密着して気泡内面に凸状に捕捉されているのがわかる。

一方塊状アルミナは写真のように気泡の内面にはじき出された状態で捕捉されており、さわれば簡単に動く。この塊状アルミナは管状気泡よりもむしろ後述するようにコア内の気泡中に大量に捕捉されていることが確認されている(A鋼塊)。

このように管状気泡内に大型の介在物が捕捉されているという報告例はなく、わずかに久芳ら<sup>4)</sup> がオープントップ鋼の管状気泡内面をX線マイクロアナライザーで観察し数  $\mu$  の微小の FeO-MnO 系の介在物を確認し、これらが低硫材で多いという指摘をしている程度に過ぎない。

#### 4.1.4 リム層内での大型介在物の分布

リム層内における大型介在物の鋼塊高さ方向の分布は Fig. 1, Fig. 6 で明らかなように一般的な傾向としてはやはり鋼塊底部に近づくほど多くなつている。さらに亀

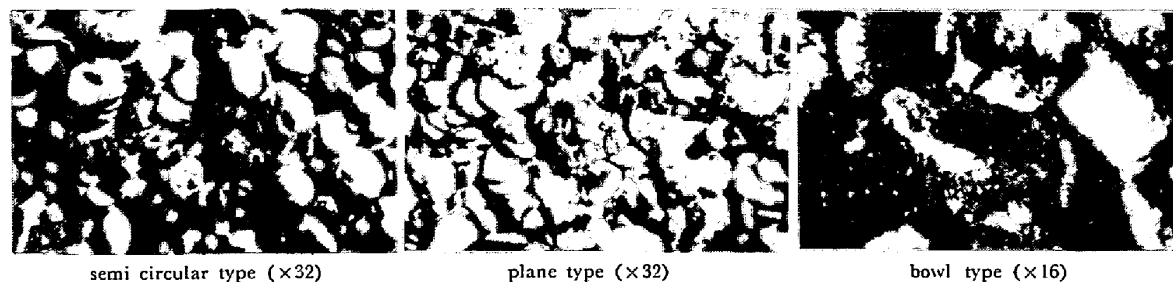


Photo. 2. The tortoise shell-shape inclusion extracted from rim zone.

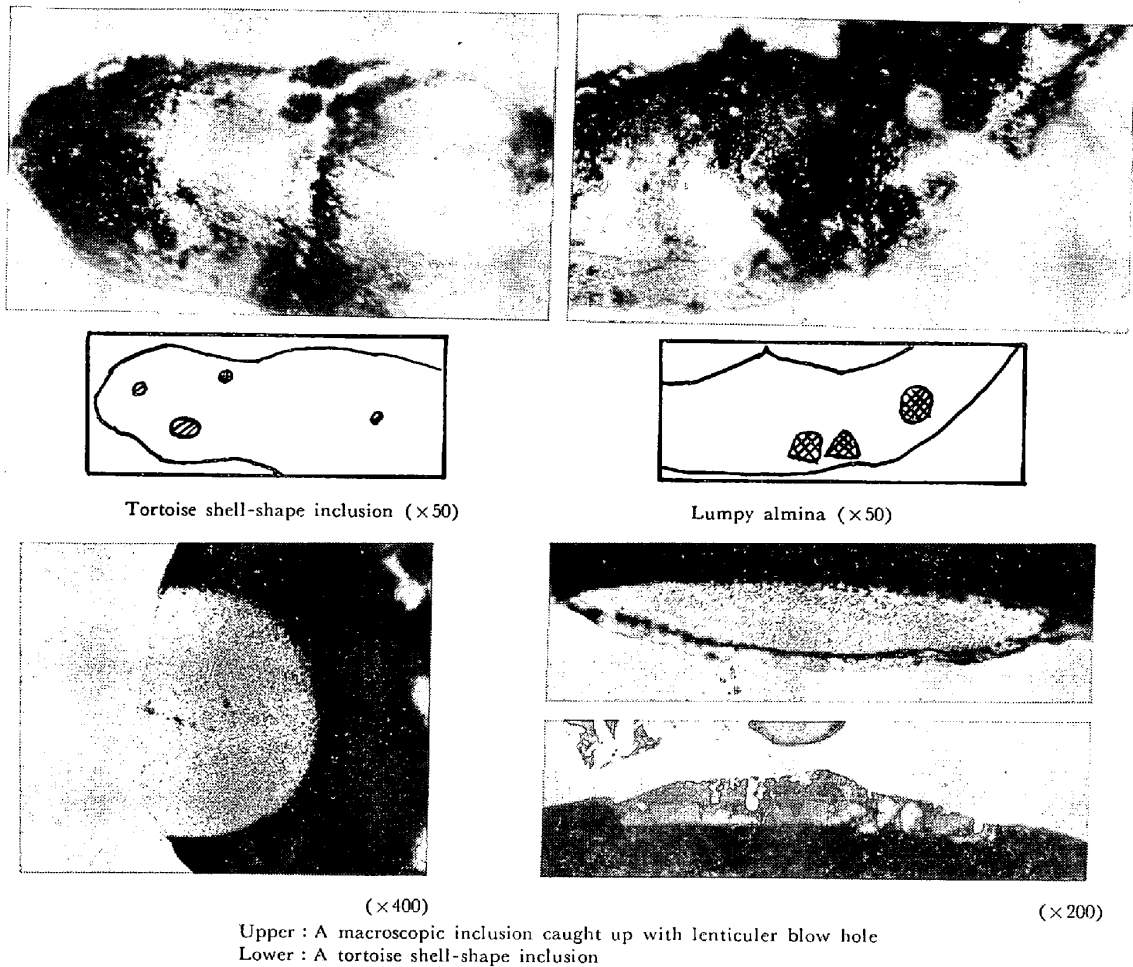


Photo. 3. The sticking state of macroscopic inclusions and the micro photograph of tortoise shell-shape inclusions.

甲状介在物および塊状アルミナはその捕捉形態からも明らかなように気泡の存在しないところには存在しない。したがって管状気泡不発生圏にはこれらは存在しない。

さらに、これら介在物がリム層の厚さ方向でどのような分布をしているかを鋼塊底部から 20% のところで調査した結果を Fig. 2 に示す。

上段のコーナーサンプルのマクロエッチ写真に示すようにリム層 (80 mm~100 mm) を 4 分割し各々のサンプルの寸法、重量および平均の気泡径を測定した後スライムに供した。

さらに電解完了後の残サンプルの重量寸法を測定し、これらの値を用いて各サンプルの気泡量を求めた。

まず、リム層内の気泡の分布は、ソリッドスキン部では針状気泡が若干認められるのみであるのに対して 20 mm~25 mm 内部に入ると急激に増加し、それより内部ではほぼ一定となっている。その量は鋼塊によって相違しているが体積比にして 10~20% であった。

一方管状気泡の平均径は内部に入るほど太くなつてい

る。したがってこれを気泡量との関係で整理すると平均的には内部に入るほど気泡径が大きくなり気泡数は減少するというパターンになっている。

次に大型介在物の分布を見ると亀甲状介在物は内部に入るほど加速度的に増加する傾向が明瞭である。この分布状況と管状気泡の平均直径とは非常によく対応している。この関係を Fig. 3 に示す。

この結果は気泡径が大きくなること、すなわちリミングが弱まってくることによつて捕捉量が増加することを意味している。これは、表層部に大型介在物が多いという浅野ら<sup>2)</sup>の結果とは全く逆である。

この相違は、浅野らの結果が亀甲状介在物について、何ら指摘していないことから考えて、球状介在物の分布としては、オープントップ鋼の場合、表層部で多いのであろうと推察される。

一方塊状アルミナおよび球状介在物は量が非常に少ないこともあつてその分布についての特徴は見られなかつた。なお Fig. 2 で G 鋼塊の気泡量、平均直径が F, H

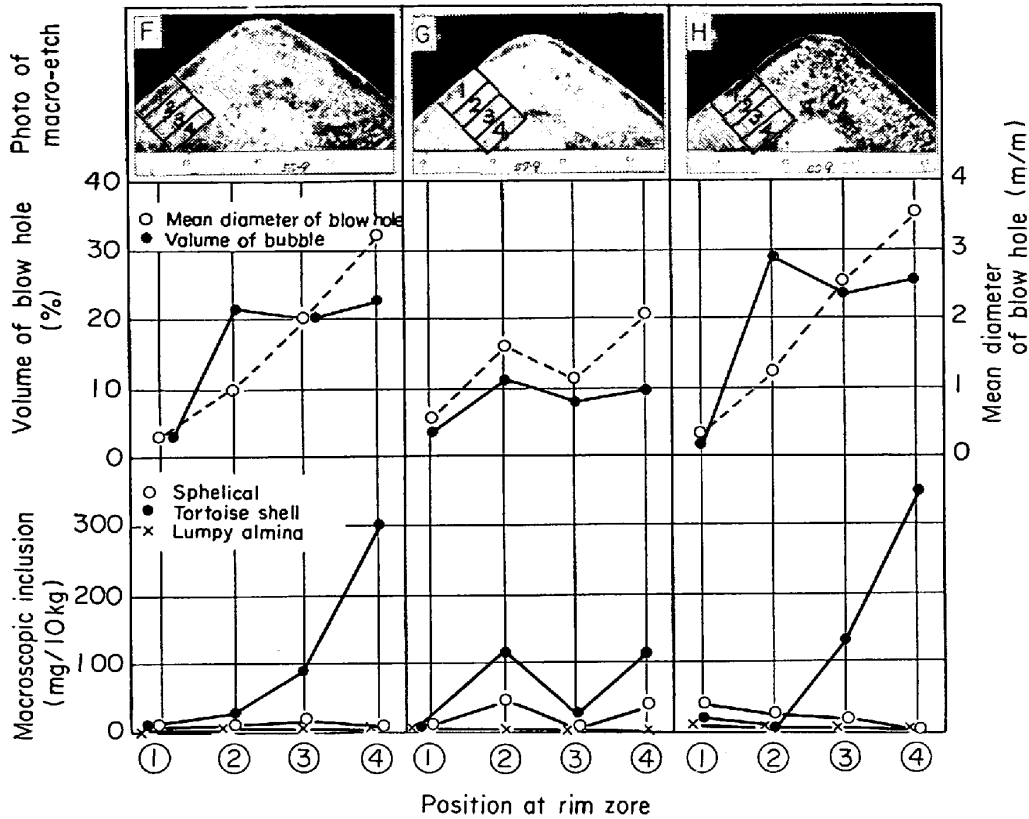


Fig. 2. The distribution of volume and diameter of flow hole, and of inclusion in rim zone (at the level of 20% height from bottom).

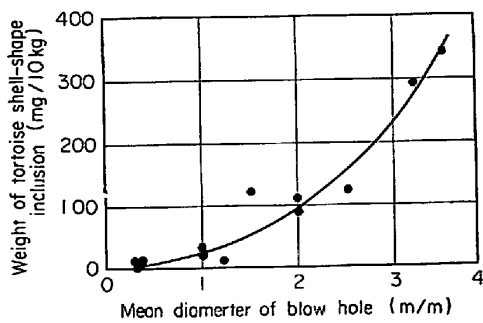


Fig. 3. Relationship between tortoise shell-shape inclusion and mean diameter of blow hole.

両鋼塊に比較して大きく相違しているがこれは上段のマクロ写真で明らかなようにリミングのパターンが大きく異なっていることに起因しており、F、H両鋼塊のそれがリミングの全期間を通して初期に活発で中期から末期へと徐々に弱まるパターンであつたのに対してG鋼塊は、

溶鋼温度が高目であることも影響して初期弱く中期に活発化し末期に再び弱まるというパターンをとつたことによると判断された。

#### 4.1.5 リム層内における小型介在物の分布

リム層内での介在物清浄度およびその測定視野 (60視野) に見られた介在物の平均直径を深さ方向に10mmピッチで測定した。その結果を Fig. 4 に示した。

測定位置は底部から20%のところ、地鉄中の介在物のみを測定の対象とした。

この結果から表層部50mm程度は清浄度に大きな変化はなく、リム-コア層境界に近づく急速に介在物が増加し、コア内に入ったところ、すなわちリミングが停止した直後あたりで最も清浄性は悪くなつている。

しかし中炭リムド鋼では、もともとリミングが弱く凝固の進行につれての沸騰現象の弱小化度合が小さいこともあつて低炭リムドほどには清浄度は悪化していない。

一方介在物粒径は低炭材の場合表層部で $3\mu\sim 5\mu$ リ

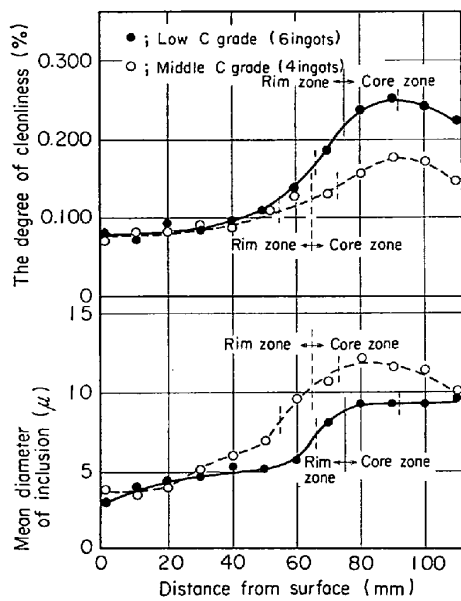


Fig. 4. The degree of cleanliness and the mean diameter of inclusions in the rim zone.

ム-コア層境界あたりで  $8\mu\sim 9\mu$  程度であり非常に小さい。これが中炭高 Mn リムド鋼ではリム-コア層境界で  $10\mu\sim 12\mu$  程度になっており若干大きいものが残留している。さらに各測定点で全視野に見られた介在物の最大粒径は表層部で  $10\mu\sim 30\mu$  特リム-コア境界層付近で  $20\mu\sim 70\mu$  であつた。

このように地鉄中に捕捉されている介在物は一般的には非常に小さいものが多く大型の大部分は気泡内に捕捉されていることが確認された。

#### 4.1.6 大型介在物の組成について

これらリム層内から抽出した大型介在物を EPMA で分析した代表例を Photo. 4 に示す。

左および中が亀甲状介在物であり大型の GALAXITE の析出が見られ MnO, Mn-wüstite, 非晶質の MnO-SiO<sub>2</sub>, (Mn, Fe) S が見られる。また、右端は塊状アルミナであり一部に SiO<sub>2</sub>, CaO が認められるがほぼ完全な Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> である。さらに、これらを亀甲状と球状とに分け平均組成を化学分析により求めた。

低炭リムド鋼の亀甲状介在物では 17~37% FeO, 34~41% MnO, 17~30% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 6~11% SiO<sub>2</sub>, 1~10% CaO であり、球状の場合は抽出量が少なく 2 例のみの結果に過ぎないが 22~23% FeO, 37% MnO, 10~23% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 17~19% SiO<sub>2</sub> であつた。

さらに中炭高 Mn リムド鋼では 10~30% FeO, 40~52% MnO, 4~17% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 11~17% SiO<sub>2</sub>, 2~5% CaO であつた。これらを (Fe, Mn) O-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系平衡状態図<sup>9)</sup> 上にプロットすると Fig. 5 のようになる。

低炭リムド鋼の場合、亀甲状、球状ともに GALAXITE の生成領域にあるが球状の場合、若干 SiO<sub>2</sub> が高い方向にずれている。

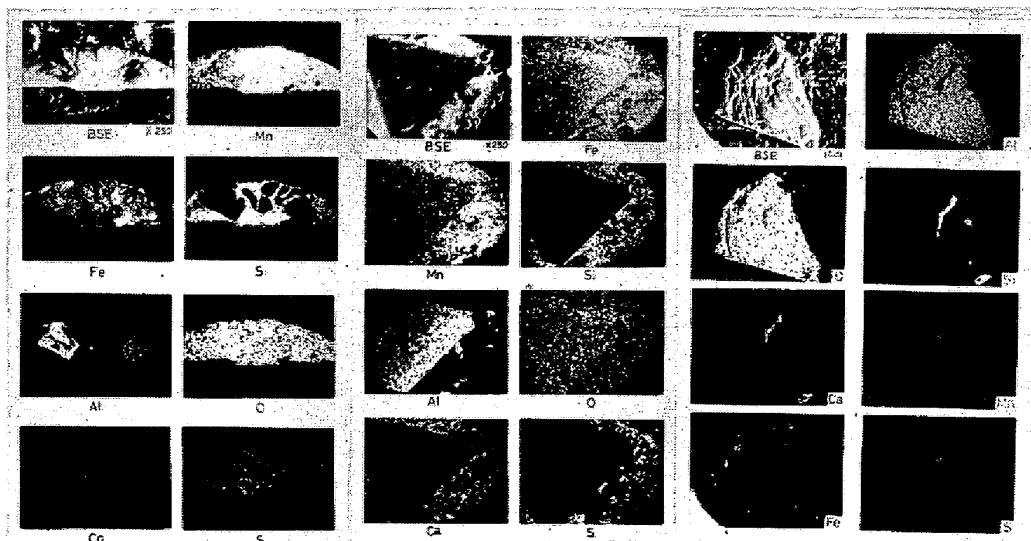
一方中炭高 Mn リムド鋼の場合は MnO rich な領域になつている。

#### 4.2 コア内の大型介在物について

##### 4.2.1 大型介在物抽出結果

A 鋼塊の軸心部各位置での大型介在物の抽出結果を、Fig. 6 に示した。

キャップド鋼のコア内大型介在物に関する従来の結



Tortoise shell-shape inclusion lumpy alumina

Photo. 4. On the result of analyzing tortoise shell-shape inclusion and lumpy alumina with EPMA.

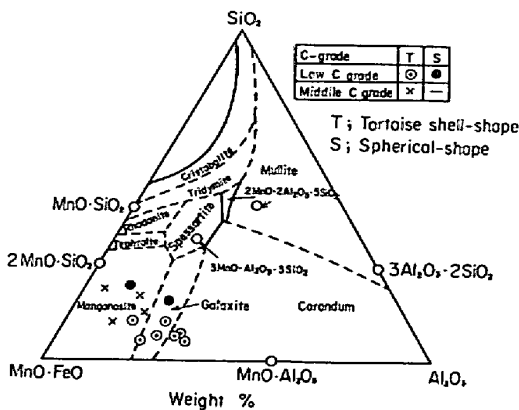
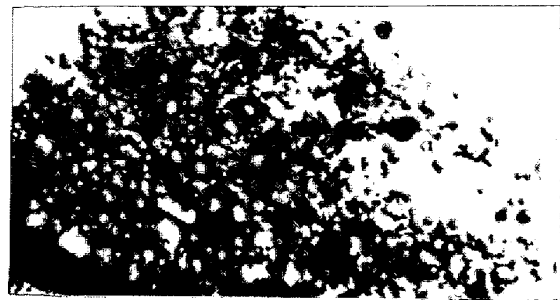


Fig. 5. Composition and oxide phase of macroscopic inclusion extracted rim zone.



Upper : macroscopic inclusion in core zone (at the level of Middle-Bottom and the depth of 240mm from surface : x32)

Lower : lumpy alumina (x10)

Photo. 5. The extracted inclusion.

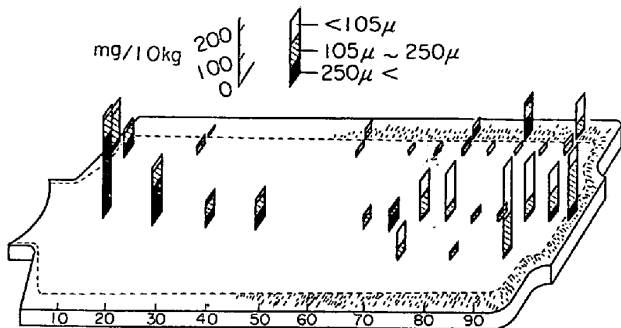


Fig. 6. The distribution of macroscopic inclusion in the ingot.

果<sup>2)</sup>と比較した場合 TM 部(25%)~Bottom 部(100%)までの範囲での結果では分布、量ともに変わった結果は得られていない。

一方 Top~20% の範囲あるいは肩部では特徴が見られ非常に多くの介在物が抽出された。

これらの介在物は大型が非常に多く特に 250 μ ~ 1000 μ 程度の超大型が多いという特徴が見られた。このように頭部で大量の大型介在物が抽出されたという報告例はない。

さらに、これら超大型介在物の大多数は後述するように塊状アルミナであった。

これらコア内に見られる塊状アルミナは頭部側に圧倒的に多いという特徴はあるが、その他のところでは底部のマッシュゾーン内、および濃厚偏析部(T・M部)を除けば量の多少はあるものの各位置で抽出されている。その代表例を Photo. 5 に示す。この介在物は底部から25%のところまで鋼塊表面から 240 mm(幅の 1/4 位置に相当) 内部より抽出したもので角ばった砂状に見えるのが塊状アルミナでかなり大型が多い。

4.2.2 塊状アルミナの捕捉状況

この大型塊状アルミナがコア内でどのような形で捕捉

されているかを種々調査したところ、これらはすべてコア内に存在する気泡内に捕捉されていることが確認された。

その状況はリム層内の管状気泡に捕捉されている状態(Photo. 3の上段右端参照)と何ら変るところはなく気泡内にはじき出された状態で捕捉されているのが確認された。

一方亀甲状介在物については、コア内からはほとんど抽出されずわずかに数個認められたのみであり、コア内の気泡中に捕捉されている亀甲状介在物は非常に少ないことが判明した。

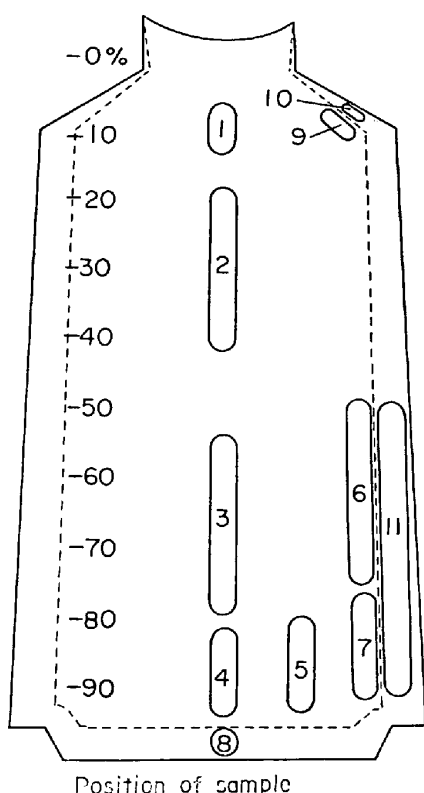
4.2.3 鋼塊各位置の介在物組成について

鋼塊各位置より抽出した介在物を、凝固を考慮して Fig. 7のようにプールし、大きさ別に平均組成を化学分析により求めた。この結果から各位置別の特徴を見ると頭部軸心部(①)では250 μ 以上の大型の90%弱が Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> であり、肩部がコア側(②)で約70%が Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> であった。このように頭部側コア内の大型介在物はほとんどが塊状アルミナである。

濃厚偏析部の大型介在物では、Sが18%もあることでわかるようにフレック状の MnS, FeS が最も多く約50%抽出された。この MnS, FeS は非常に脆く黄金色を呈している介在物である。残りは大部分が Mn-Wüstite であった。

これが 250 μ 以下になると Mn-Wüstite が多くなり特に 100 μ 以下では Mn-Wüstite が圧倒的に多かつた。

一方底部マッシュゾーン内の介在物(④, ⑤)では大型の場合 SiO<sub>2</sub> の占める割合が高く Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が低いという特徴が見られた。これをリム層内の亀甲状介在物との関



Position of sample

Fig. 7. Chemical composition of macroscopic inclusions extracted from the interval zone of ingot.

Position	Size (μ)	Chemical analysis (%)					
		SiO <sub>2</sub>	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	S
①	<250	<1	24.6	34.0	23.2	<1	—
	250<	<1	2.6	88.8	2.6	<1	—
②	<250	<1	56.9	5.3	40.0	<1	10
	250<	<1	52.6	18.9	33.5	<1	18
③	<250	2.1	24.5	17.0	41.3	<1	—
	250<	6.4	11.0	51.0	21.9	<1	—
④	<250	8.6	34.8	20.8	21.9	2.8	—
	250<	21.4	32.2	7.6	21.9	1.4	—
⑤	<250	6.4	36.1	17.0	20.6	2.8	—
	250<	21.4	32.2	11.3	23.2	2.8	—
⑥	<250	8.6	56.9	18.9	24.5	1.4	—
	250<	12.8	37.4	22.7	15.5	<1	—
⑦	53<	10.7	37.4	18.9	19.4	2.8	—
⑧	〃	10.7	56.9	20.8	21.9	2.8	—
⑨	〃	4.3	11.6	69.9	5.2	<1	—
⑩	〃	12.8	40.0	20.8	43.9	2.4	—
* ⑪	T.S	17.1	41.3	18.9	12.9	4.2	—
	S	12.8	56.9	22.7	14.2	4.2	—

\* T,S ; Tortoise shell-shape  
S ; Spherical-shape

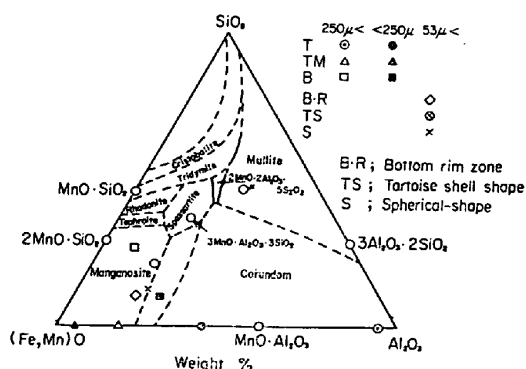


Fig. 8. Comparison and oxide phase of macroscopic inclusions extracted from core zone.

係で見た場合、亀甲状介在物はマッシュゾーン内の大型、小型両介在物をプールした平均値に近いことから考えて、これらは同一時期に生成し捕捉されたものと考えられた。

特にこれら介在物中には、転炉スラグが起源と考えられる CaO が 3~4% 存在すること、転炉スラグあるいは耐火物起源が主体を占めていると考えられる SiO<sub>2</sub> が非常に高いことなどから外来介在物<sup>1)</sup>に空気酸化あるいは、凝固前面で生成した (Fe, Mn)O が合体した介在物と判断される。

これらを (Fe, Mn)O-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 三元状態図<sup>9)</sup>上にプロットして Fig. 8 に示した。頭部側の介在物と底部側の介在物に明瞭な差があるのが特徴的である。

## 5. 考 察

### 5.1 亀甲状介在物について

リム層内に大型の酸化物系介在物が多量に存在しこれらの大部分は管状気泡内面に捕捉されていることが確認できた。

この介在物は、Fig. 3 で明らかなように気泡の量、直径などとの関係があるが、この気泡というのはリミングそのものを代表していると考えてさしつかえない。したがって以下にリミングとの関連で若干考察してみる。

まず、リミングと気泡との関係であるが、リミングが強いということは凝固界面からの CO 気泡の発生量が多いということであり、凝固前面の洗浄力も強い。したがって残留する気泡数も多いが気泡径も小さいことが知られている。これは Fig. 2 の結果とよく一致している。

したがって介在物の気泡への捕捉を考えた場合、気泡の表面積が小さいということで捕捉されにくいということが第一に考えられる。

第二には、洗浄力が強いことにより凝固前面が円滑



(デントライトの再溶解)になつて捕捉されにくいと考えられる。

第三には、離脱する気泡数が多くこの気泡により凝固面への介在物の到達が遮断されること、すなわち気泡カーテンを引いたような現象になり、この気泡に介在物が捕捉されて浮上するために凝固面まで介在物が到達しないことの三つが考えられる。

逆にリリングが弱まってくると洗浄力が弱まり凝固殻からの気泡の離脱がしにくくなり、気泡径は太くなる。したがつて気泡の表面積は大きくなることにより、残留気泡への介在物の捕捉が容易になると同時に気泡自身の分離浮上が遅れることにより気泡内に残留する確率も倍加することが考えられる。

一方溶鋼中の大型介在物は浮上分離が進み鑄込直後と比べると大幅に減少していることが考えられるが、その減少以上にリリングの弱体化による捕捉残留量の方が大きく、したがつて亀甲状介在物が激増するものと考えられる。

これらは定性的な推察の域を出ないが現象面からの説明としては十分納得しうるものである。

## 5.2 大型球状介在物の分布について

亀甲状介在物が内部に入るほど増加し、Fig. 4 の介在物清浄度で示す小型介在物もリム-コア境界に近づくほど増加している。

これに対して大型の球状介在物は Fig. 2 で明らかのようにほとんど増減は見られない。これは次のように考えられる。

凝固殻への介在物の捕捉はリリングの強弱すなわち凝固前面の洗浄力と溶鋼中の介在物量に大きく依存すると考えられる。

したがつて、鑄込中あるいは、鑄込直後には介在物は多量に存在する反面リリングが強くて捕捉されにくいと考えられる。

これは鑄込直後のリリングが弱かつたG鋼塊において鑄込中～鑄込直後に相当する②の位置で球状介在物が増加していることと一致している。

さらに凝固が進行してくるとリリングが弱まると同時に溶鋼中の大型介在物も浮上分離して減少して来る。

このために、大型球状介在物の捕捉量も増加しないものと考えられる。

一方、小型介在物は浮上分離しにくいために、凝固が進行してきてそれほど減少せずリリングが弱まってくるにつれて捕捉量も増加するものと推察される。

## 5.3 コア内の塊状アルミナについて

キャップド鋼においてはリム層、コア層を問わず塊状

アルミナが多く抽出されるということが確認されたが、これらを整理すると

(1) 塊状アルミナはリム層、コア層を問わず全て気泡内に捕捉されている。

(2) 頭部コア内の気泡の集積するところで最も多く抽出される。

(3) 底部に近い(MB部)ところでかつ鋼塊表面から 240 mm も内部からでも抽出される。

この事実に基づいて若干考察してみる。

まず、凝固を考えた場合 240 mm 厚凝固するに要する時間は、 $k$ -factor=25 とすると 1hr 30 min 強になる。この時間は、頭部の 10% 軸心部になるともつとも長時間になる。

したがつて、このような長時間  $50\mu\sim 1000\mu$  もある大型の単体アルミナがどのようにして溶鋼内部に存在していたかである。それには溶鋼中を浮遊しているかあるいは何か他のメカニズムによって内部にとどまっていたかのどちらかである。

前者については、アルミナの大きさあるいは、経過時間、鋼塊内の位置などから考えると無理があるように思われる。もし仮に浮遊し得たとした場合、Fe-Mn-O 系の溶融酸化物の影響を何も受けずに純粋の  $Al_2O_3$  単体で長時間存在し得るかかどうかという疑問が残る。

これは  $Al_2O_3-(Fe\cdot Mn)O$  の平衡関係からも考えにくい。

したがつて後者が可能性として大きいと考えられる。

他のメカニズムとしては気泡による保護運搬が考えられる。

このことは塊状アルミナが気泡内のみで見つかつている事実、さらには頭部軸心部のように浮上してきた気泡が多量に集積したと考えられるところに最も多く存在することなどによく符号する。

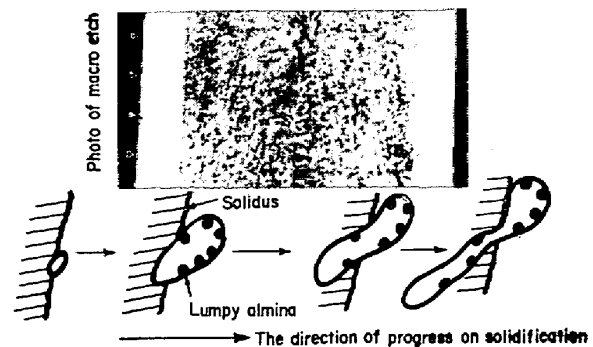


Fig. 9. The distribution of blow holes in the core zone and the model of the lumpy alumina inclusions traveling.

このコア内の気泡は Fig. 9 の上段に示すマクロエッチ写真で明らかなリム-コア境界を起点として軸心に向つて逆V状に連なっているのが認められ、平面的には不連続になつているものの一部連続しているものも確認されている。

この気泡は、凝固の進行→体積の収縮→これを補うためのCO気泡の成長の軌跡である。

すなわちこの気泡が成長しながら塊状アルミナを運搬するという作業にあずかっているのではないかと推察される訳である。これを模式図に表わすと Fig. 9 下段のようになる。

このように考えるとMB部でも大型の塊状アルミナは存在し得るし、気泡の内部に保護されておれば $Al_2O_3$ 単体での存在も可能である。

このように塊状アルミナを内包した気泡が凝固過程で一部離脱浮上したものが頭部側に集積したと考えれば頭部側で多いのも無理なく理解できる。

しかし、疑問点もいくつか残る。その一つはコア内の気泡中には、亀甲状介在物がほとんど存在しないのはなぜか。その二つめは、亀甲状介在物はどうして運搬されないのかということ、さらに三つめとしては、上記の推定が正しいとして塊状アルミナはいつの時点で気泡に捕捉されるのかななどである。

## 6. 結 言

大型のメカニカルキャップド鋼の介在物について調査しいくつかの新しい事実をつかみ得た。これらをまとめると次のようになる。

(1) 大型介在物の最も多い個所は、頭部側コア内で

あり、この介在物の大部分は塊状アルミナである。

(2) 塊状アルミナはリム層、コア層を問わずすべて気泡内に存在する。

(3) リム層内には多量のFe-Mn-Si-Al-O系の亀甲状介在物が存在し、これらはすべて管状気泡内に捕捉されている。一方コア内の気泡中には亀甲状介在物はほとんど捕捉されていない。

(4) この亀甲状介在物の分布は管状気泡の分布、気泡径とよく一致し、その捕捉はリングの影響を強く受けている。

最後に、この研究を終始暖かく御援助、御指導いただきました栗田副所長、西沢技術部長、供試材の銕込ならびにサンプリングに協力いただきました橋尾副長以下、第一製鋼工場の方々ならびに精度の高い膨大な試験を遂行していただきました道免作業長、竹内工長以下確性班の方々には深甚なる敬意と謝意を表します。

## 文 献

- 1) 浅野, 大橋, 塗: 鉄と鋼, 54(1968)6, p. 643
- 2) 浅野, 佐伯, 塗: 鉄と鋼, 57(1971)13, p. 2010
- 3) 池田, 住友, 丸川, 浦: 鉄と鋼, 57(1971)13, p. 2022
- 4) 森永, 大庭, 伊藤: 鉄と鋼, 49(1963)11, p. 1663
- 5) 梶岡: 鉄と鋼, 54(1968)10, S 696
- 6) 久芳, 田阪, 伊藤, 前出: 鉄と鋼, 58(1972)11, S 352
- 7) 片山, 梶岡: 鉄と鋼, 56(1970)11, S 410
- 8) 久芳, 田阪, 伊藤, 前出: 鉄と鋼, 58(1972)1, p. 41
- 9) E. F. OSBORN and A. MUAN: Electric Furnace Steelmaking II (1963), p. 256 [Interscience publishers]