

論 文

UDC 669.141.241.4 : 669.046.558

リミングアクションに対する脱酸剤種類の影響*

大河平和男**・岩本 実***・森 久****

The Influence of Kind of Deoxidizer on Rimming Action

Kazuo OKOHIRA, Minoru IWAMOTO, and Hisashi MORI

Synopsis:

The influence of various deoxidizers on the rimming action was studied by making 330 kg ingots. Each deoxidizer was used only during the teeming of an ingot, without the addition of deoxidizers during tapping.

The state of rimming action, the quantity of foam in the solidifying liquid steel, the structure of the ingot, the degree of the negative segregation of carbon in the rim zone, and the characters of deoxidation-products were observed.

It was found that the deoxidizers were classified into the two groups, rimming-promoting deoxidizers and rising-promoting ones, from the different influence on the rimming action.

We presumed that this difference was caused by the different influence of these deoxidation-products on the life of the foam in the liquid steel, which came from the difference of the melting point of each deoxidation-product.

1. 結 言

2. 実験方法

リムド鋼やキャップド鋼の製造において、成品の優れた表面性状を確保するためには、造塊時に適正なリミングアクションをさせることが必要であり、このためには適正な脱酸調整を実施することが不可欠である。出鋼時の脱酸が強すぎると、成品に気泡起因の表面欠陥を生起するため、一般には若干弱目の脱酸をして、造塊時にリミングアクション状況を見ながら、少量の粒状の Al を鋳型内の溶鋼中に投入し脱酸の適正化を計っている。

リムド鋼の出鋼時の脱酸に、種々の脱酸剤を使用し生成する介在物の違いを論じた報告はありあるが、造塊時の脱酸の適正化には、Al, Al-Mg 合金が広く使用されており、他の脱酸剤を使用した例はほとんど報告されておらず、そのフォーミング現象やリミングアクションにおよぼす影響については不明である。

本報告では、市販の各種脱酸剤を造塊時の脱酸調整に使用した際のリミングアクションにおよぼす影響を調査し、その作用機構について若干の考察を加えた。

本実験は当所 1 t 電気弧光炉で、Table 1 に示した成分、ならびに温度を目標に溶製し、各脱酸剤の単独脱酸効果を把握するため、出鋼時には脱酸は行なっていない。溶鋼温度を調整後、頭部 240 φ～底部 320 φ、高さ 700 mm の下広鋳型に、湯上り速度 1 000～1 200 mm/min で上注した。次の要領で鋳型脱酸をして、1 ヒートから、3 本の小鋼塊（約 330 kg）を製造し、下記のごとき調査を実施した。

2.1 脱酸要領

上述のごとく、出鋼時には C, Fe-Mn を投入し成分調整する以外は、脱酸剤の使用はなく、したがって脱酸は鋳型内で次の三通りの脱酸法をした。

- i) 注入中連続投入（各脱酸剤）
 - ii) 注入中脱酸剤無添加、フォーミング中に使用
(Al, Fe-Zr, Ca-Si)
 - iii) 注入中 Al でリミング調整後、Ca-Si 添加する。
- i) の使用法では、Table 2 に示す 3 種類の脱酸剤の

* 昭和 48 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 49 年 7 月 17 日受付 (Received July 17, 1974)

** 新日本製鉄(株)八幡製鉄所技術研究所 Dr. Ing. (Research Laboratories, Yawata Steel Works, Nippon Steel Corp., Edamitsu, Yawata-ku, Kitakyushu 805)

*** 新日本製鉄(株)堺製鉄所 (Nippon Steel Corp.)

**** 新日本製鉄(株)光製鉄所 (Nippon Steel Corp.)

Table 1. Aim compositions and aim temperature of liquid steel.

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P or S (%)	O (ppm)	Aim of teeming temp. °C
0.05~0.07	<0.01	0.25~0.35	≤0.015	450~550	1 560~80

Table 2. Chemical compositions of used deoxidizers.

Kinds of deoxidiser	Chemical compositions (%)					Size (mm)
Shot Al	Al 99.3	—	—	—	—	5φ~3φ
Misch metal	Ce 45	La 30	Nb 15	T. Rem 90<	—	3φ>
Fe-Zr	Zr 20	Fe 79.6	—	—	—	〃
Ca-Al	Al 80	Ca 20	—	—	—	〃
Low-C Fe-B	B 20.9	Al 1.2	Si 0.9	Fe 77	—	〃
Low-C Fe-Ti	Ti 41.5	Fe 58	C 0.03	—	—	〃
Ca-Si	Si 56.7	Ca 31.5	C 0.09	—	—	〃
Si	Si 98.3	—	—	—	—	〃

Table 3. Discussed points and methods of research.

Discussed points	Methods of research
1. Character of rimming action	◦ Observation of rimming action during and after teeming period ◦ Negative segregation of carbon in rim zone of ingot ◦ Observation of distribution of blowholes in ingot
2. Quantity of foams existed in liquid-steel during solidification	◦ Observation of foams on steel shell chilled on 15φ steel rod
3. Characters of deoxidizing products	◦ Observation with optical microscope ◦ Observation with scanning electron microscope ◦ Chemical analysis of extracted deoxidizing products ◦ X-ray diffraction

内任意の3種類、または2種類（この場合残りの1本の鋼塊は脱酸剤無添加）の脱酸剤を速やかに反応させるべく、3mm以下の小粒として、酸素当量*で75~185ppm相当添加した。なお実験の途中で、脱酸剤が後述のごとく2つのタイプに分かれることを発見した後は、同一ヒートで両タイプの脱酸剤の効果を比較できるように選んだ。

使用法ii)はフォーミング抑制効果を比較したもので

* 脱酸剤中の各脱酸元素が全て、Table 4の下端に示す型の酸化物になると仮定した時の、溶鋼中酸素の減少量。

あり、iii)は膨張促進作用を調査するためのものである。

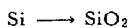
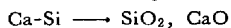
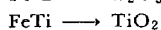
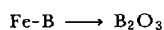
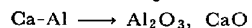
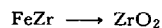
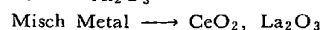
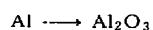
2.2 調査要領

調査項目ならびに方法をまとめてTable 3に示した。溶鋼での観察から、鋼塊切断調査、介在物種類の差の検討まで総合的に行なつた。なお鋳型内で脱酸剤使用前後の自由酸素量を起電力法で測定しようと試みたが、温度が低く、多くの気泡が存在するため、測定ができなかった。しかし考察の項で述べるように、別途実施した小実験で、本実験のごとく溶鋼中酸素レベルが高い際には、脱酸剤種類による脱酸効率は、脱酸力の差から予想され

Table 4. Characters of heats and rimming action.

Kinds of deoxidiser	Used quantity of deoxidiser		Chemical composition of lig. steel (%)					Tap. Temp. (Teem Temp)	** Evaluation of rimming action		
	g / t	* O-equivalents (ppm)	C	Mn	P	S	O (ppm)		First period	Intermediate period	Last period
Al	115	102	0.073	0.32	0.005	0.013	500	1 600 (1 575)	2 3	4 5	S*** 4 3
	130	115	0.085	0.27	0.004	0.012	310	1 580 (1 570)	2 2	3 4	5 4
	155	138	0.068	0.34	0.005	0.011	390	— (1 570)	3	4 5	S 4 3
Misch metal	790	135	0.068	0.19	0.005	0.014	—	1 565 (1 565)	3	4 5	S 4 3
	840	144	0.100	0.35	0.004	0.011	460	1 580 (1 570)	3	4 5	S 4 3
Fe-Zr	355	100	0.066	0.32	0.011	0.013	380	— (1 570)	3 4	5 4	S 3
	420	118	0.070	0.30	0.010	0.015	—	1 580 (1 570)	3 4	5 4	S 3
	420	118	0.062	0.30	0.003	0.015	520	1 580 (1 570)	3 4	5 4	S 3
Ca-Al	133	115	0.061	0.27	0.005	0.016	580	1 575 (1 565)	3	4	5
	145	125	0.100	0.35	0.004	0.011	460	1 580 (1 570)	2	2	S 2
	210	165	0.089	0.30	0.004	0.009	350	— (1 570)	1	1	1
Fe-B	200	87	0.100	0.35	0.004	0.011	460	1 580 (1 570)	1 2	3	2
	265	115	0.061	0.27	0.005	0.016	580	1 575 (1 565)	2	1 1	R*** (Al)*** S 1 2
	400	175	0.068	0.19	0.005	0.014	—	1 565 (1 565)	2	1 1	R*** (Al)*** S 1 2
Fe-Ti	420	118	0.066	0.32	0.011	0.013	380	— (1 565)	2	1 1	R (Al) S 1 2
	420	118	0.053	0.31	0.003	0.015	630	1 590 (1 570)	2	1 1	R (Al) S 1 2
	580	165	0.060	0.30	0.005	0.015	—	1 580 (1 570)	2	1 1	R (Al) S 1 2
Ca-Si	160	75	0.085	0.27	0.004	0.012	310	1 580 (1 570)	2	1 1	R (Al) S 1 2
	190	90	0.062	0.30	0.003	0.015	520	1 580 (1 570)	2	1 1	R (Al) S 1 2
	400	185	0.089	0.30	0.004	0.009	350	— (1 570)	1	1	1
Si	98	112	0.073	0.32	0.005	0.013	500	1 600 (1 575)	2	1 1	R (Al) S 1 2

* It is assumed that used deoxidisers completely react with O, and form following oxides.



** weak —————> violent
1 2 3 4 5

*** S : Sinking, R : Rising, (Al) : Addition of 2 g Al/ingot

る程にはことならず、ほぼ等しいことを確認している。

3. 実験結果

実験結果を、リミングアクション状況、溶鋼中ならびに鋼塊内の気泡分布状況と介在物調査とに分けて、三通りの脱酸剤の使用法別に詳述する。

3.1 注入中連続使用

酸素当量にして 75~185 ppm 相当量の各種脱酸剤を、注入開始から終了までの間連続して投入し脱酸調整した際の、溶鋼組成、脱酸剤使用量、リミングアクション状況をまとめて Table 4 に示した。

Fig. 1 には各ヒートの注入前の C-O の関係を使用し

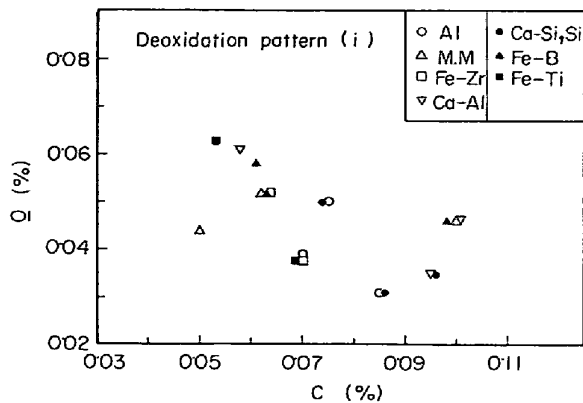


Fig. 1. Relationship between $\underline{C}$ and $\underline{Q}$ before teeming.

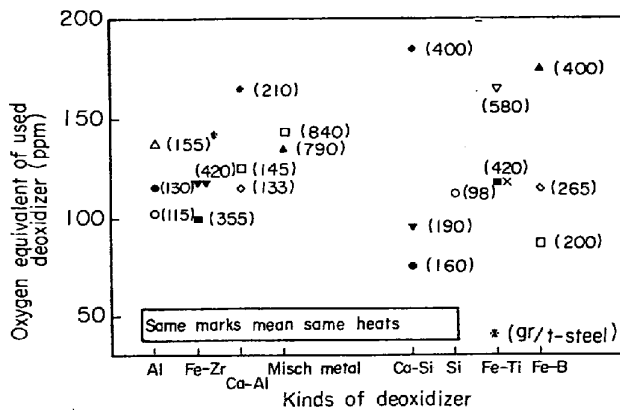


Fig. 2. Oxygen equivalent of each deoxidizer used in each ingot.

た脱酸剤で層別して示したものであり、通常の転炉鋼の吹止め時の酸素レベルとほぼ同じである。Fig. 2には使用した脱酸剤別に使用量と酸素当量をまとめて示した。各マークは同一ヒートであることを示している。

脱酸剤の使用量がかかなり大幅にことなつても、この範囲では、使用量より脱酸剤の種類により、リミングアクション調整機能が規定される。Table 4に示したリミングアクション状況、後述の溶鋼中ならびに鋼塊内の気泡分布状況からも、脱酸剤は機能面から二大別される。

すなわち Al, Fe-Zr, Ca-Al, ミッシュメタルを使用した際には、Table 4にも見るごとく、リミングアクションは、注入直後はやや弱いがいしだいに強くなり、やがて正常なりミングアクションを呈する。これに対して、Ca-Si, Si, Fe-Ti, Fe-B, を使用した際には、フォーミングは防止できるが、注入後正常なりミングアクションを呈することなく、湯面が上昇し（膨張し）鑄型からあふれるほどになる。この際 1~2 g/ingot, 酸素当量にして 10ppm 未満の極少量のショット Al を使用すれば、鑄型内の溶鋼面は急激に降下し、弱いリミングアクション

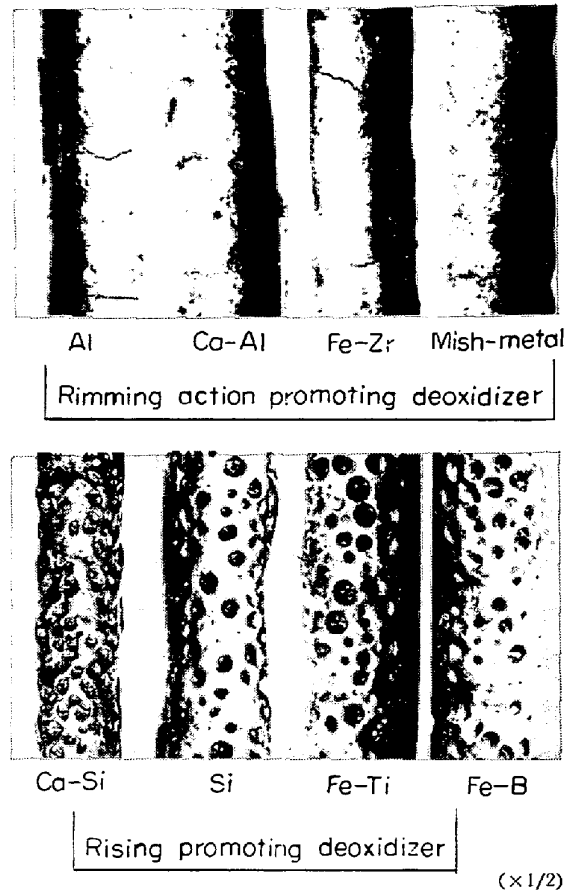


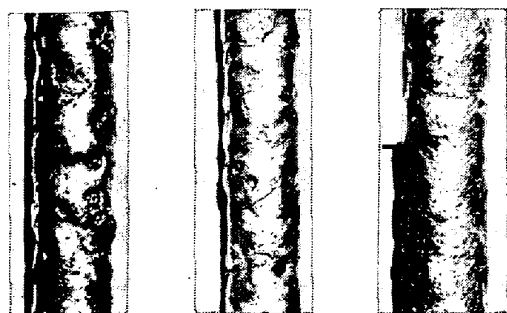
Photo. 1. Relationship between quantity of foam and kinds of deoxidizer.
(sampling period : just after teeming end)

を呈しつつ凝固する。前者のグループに属する脱酸剤をリミング促進型の脱酸剤、後者を膨張促進型の脱酸剤と名づけ、分類した。

このリミング状況の差は、Photo. 1に示したごとく、注入終了直後に溶鋼中に浸漬した 15φ の鉄棒表面に急冷され付着した薄い殻状の鋼内の微小気泡の存在状況に、明りような差となつて現われている。つまりリミング促進型の脱酸剤を使用したものでは微小気泡の付着が全くないのに対し、膨張促進型脱酸剤を使用した際には、多数の微小気泡群が付着しており、溶鋼中多数の微小気泡が存在していることを暗示している。その気泡量は Photo. 2 に示すごとく、時間経過とともに変化し、Ca-Si 使用鋼塊でも少量の Al を使用し、湯引きした後は、鉄棒に付着する気泡の量は著しく少なくなる。

凝固後の鋼塊の頭部形状ならびにリム部の気泡の状態を、鋼塊縦断面で観察し、Photo. 3に示した。リミング促進型の脱酸剤で脱酸調整した鋼塊は、ほぼフラットな頭部形状を呈し、リム部への気泡の残留もなく健全なりム層を形成しているのに対し、膨張促進型の脱酸剤で脱

Case where steel is deoxidized with Al

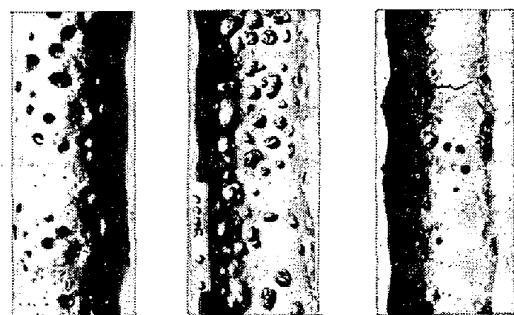


0min

1min

3min

Case where steel is deoxidized with Ca-Si



0min

1.5min

3min

(Completion of teeming) (Rising period) (Sinking period)

Photo. 2. Change of quantity of foam during rimming action.

酸調整した酸塊は、凝固の進行とともに、溶鋼面は注入ラインより 10cm 以上も上昇し、凝固の末期で大きく降下しいわゆるボックス型の頭部形状を呈するとともに、リム部にも気泡の残留がある。Fig. 3 にはリム部の C の負偏析状況を示した。上述のリミング状況の差を反映し、Al 系の脱酸剤を使用した鋼塊に比べ、Ca-Si 系の脱酸剤を使用したものでは、C の負偏析、特にリミング初期の負偏析が弱く、リミングアクションが悪かったことが確認される。

3.2 注入中脱酸剤無添加、フォーミング中の使用

注入中に脱酸剤を全く使用しないと注入後の溶鋼は、フォーミング状態になっている。この状態の溶鋼に Al, Fe-Zr, Ca-Si のいずれか一種の脱酸剤を投入し、フォーミング防止効果を検討した。脱酸剤投入量は酸素当量で約 30 ppm 相当である。Al 使用時と Fe-Zr 使用時はほぼ同様の挙動を示し、その概況を Ca-Si 使用時と比較して Fig. 4 に示す。Photo. 4 には鋼塊の頭部形状とリム部の気泡の分布状況を示す。さらに Photo. 5 には溶鋼中の気泡状況の経時変化を示した。Al, Fe-Zr 使

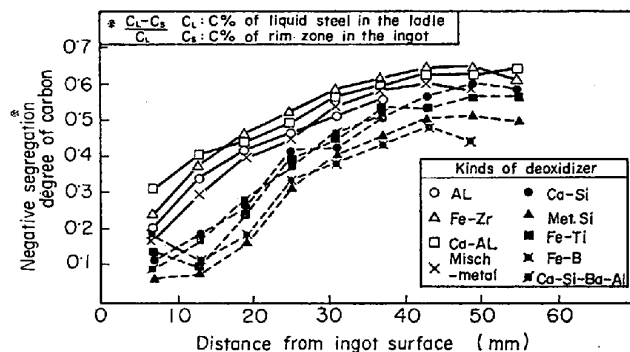


Fig. 3. Comparison of the negative segregation of carbon in the rim-zone of ingots.

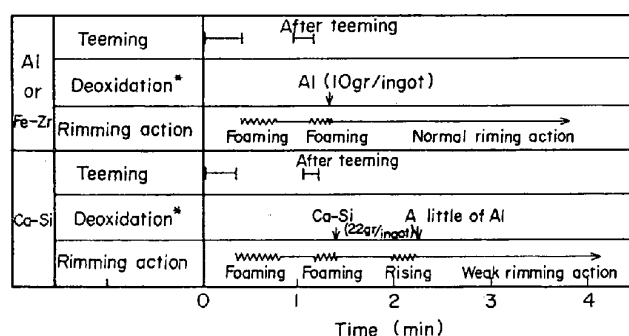


Fig. 4. Diagram of difference in rimming action caused by kinds of deoxidizer.

(* Deoxidizer was added only after the end of teeming)

用後は弱いながらもリミングアクションが継続しているが、Ca-Si 使用時にはフォーミングは一時納まるものの 30 sec ほどすると再び膨張する。この差は鋼塊の頭部形状、リム部の気泡の残留状況、溶鋼中の気泡の状況にもはつきり認められる。つまり Al 投入後は Photo. 5 に示すごとく気泡は全くなり、これに対応して、Photo. 4 に見るごとく溶鋼面が低下し、それ以後に凝固した層には気泡の残留が少ない。これに対して Ca-Si 投入後は鉄棒に付着する気泡の量は少なくなるものの、約 1 min 後には溶鋼面が上昇し始め、気泡の付着量が再び増加し、鋼塊内の気泡の残留も多くなる。

3.3 注入中 Al でリミング調整後 Ca-Si 添加する方法

二種類の脱酸剤の代表である Al と Ca-Si のリミング調整能の比較を更に明確にするため、まず注入中に Al でリミング調整をし、良好なりミングアクションをさせながら、Ca-Si を 20 g/ingot、酸素当量で 28 ppm 相当添加した。しばらくすると、リミングアクションは停止し、湯面は膨張した。しかしさらに 1~2 g/ingot のショット Al を投入することにより再び湯面は低下し、再びリミングアクションを呈するようになる。この状況は鉄

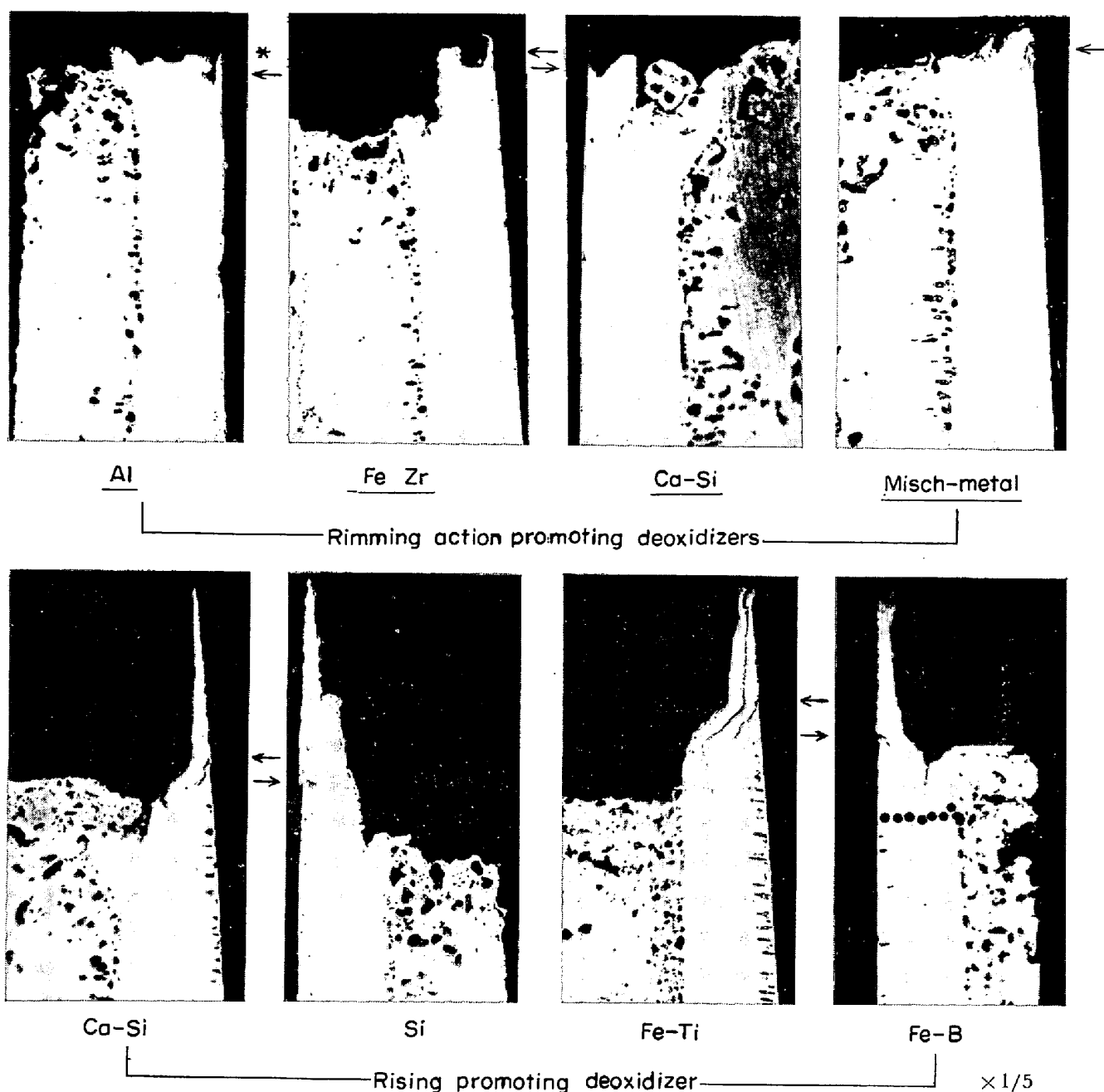


Photo. 3. Relationship between shapes of top parts of ingots and kinds of deoxidizer.
(* ← Liquid steel at teeming end.)

棒に付着した気泡の状況，鋼塊縦断面の気泡状況とサルファープリント上にもはつきりと認められる。

すなわち，Al でリミング調整した直後には Photo. 6 に示すように溶鋼中の気泡はほとんど存在しない。これに Ca-Si を添加後リミングが停止し，膨張が始まった時には溶鋼中の気泡は非常に多くなっている。この状況は Photo. 7 に示した鋼塊のサルファープリント上で，リミングアクションが停止し，膨張した軌跡が，異常偏析となりはつきりと認められている。

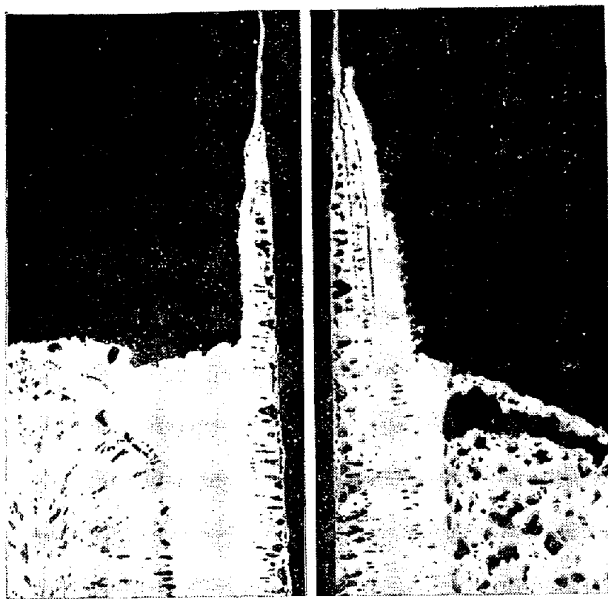
3.4 介在物について

脱酸剤の種類の違いによる介在物形態の変化について

- 鋼塊リム部とコア部の介在物の光学顕微鏡観察
- 酸溶解法で抽出した介在物の走査型電子顕微鏡観察
- X線回折による結晶構造の同定

を実施した。

鋼塊 1/2 高さの位置でリム部とコア部より顕微鏡試料を切り出し，400 倍で観察したが，FeO-MnO 系の球



Al Ca-Si
Shape of part of ingots (vertical section)

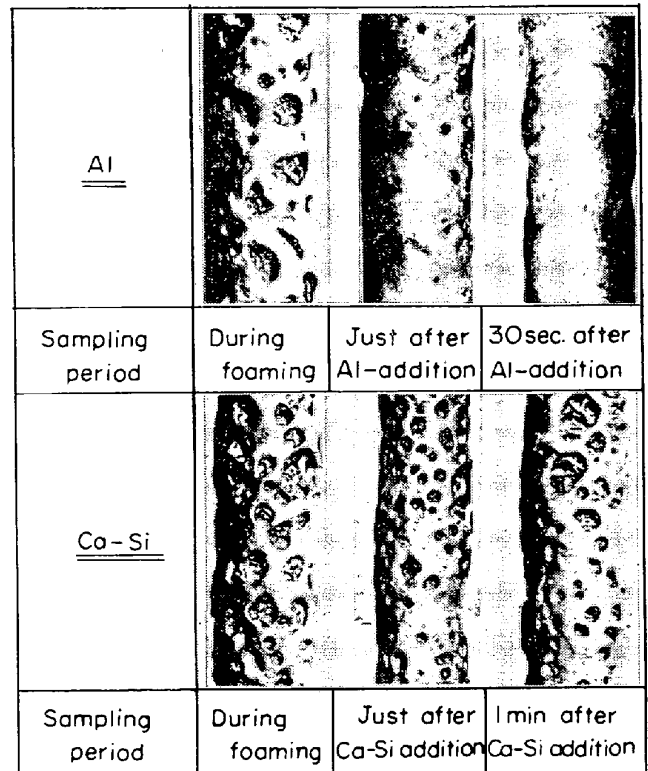


Al Ca-Al
Distribution of blow hole in ingot
(transverse section)

Photo. 4. Comparison of the structures of the ingots which were deoxidized by different kinds of deoxidizers after the end of teeming.

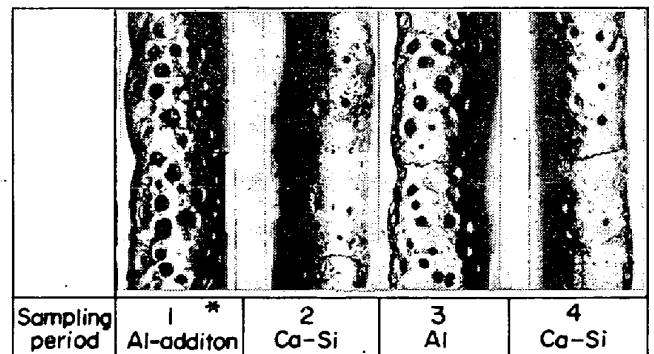
状介在物が多く、少数観察された特殊な形状の介在物についても、EPMA 分析を実施したが、使用した脱酸剤に相当する時有害元素はほとんど検出されなかった。

そこで脱酸剤投入直後の溶鋼試料として、先に述べた溶鋼中気泡状況の観察に使用した鉄棒試料を酸溶解し、FeO や MnO 系の介在物を溶解除去し、残渣として回収された介在物をベリリウム板上にのせ、走査型電子顕微鏡で 500 倍ならびに 2000 倍で観察した結果を Photo. 8 と 9 に示した。Al, Fe-Zr, ミッシュメタルなどリミング促進型の脱酸剤を使用した際には $2\mu\sim 5\mu$ の角ばった介在物が認められるのに対し、Ca-Si, Fe-Ti, Fe-B など膨張促進型の脱酸剤を使用した際には $1\sim 5\mu$ ほどの



($\times 1/2$)

Photo. 5. Observation of foam on steel-shell chilled on 15 f steel rod.
(Non deoxidation during teeming)



($\times 1/2$)

Photo. 6. Change of quantity of foam with kinds of added deoxidizer. (* cf Photo. 7)

丸みをおびた介在物が認められた。

走査型電顕で観察した介在物を定性分析した結果の一例を Photo.10 に示す。Al 使用時の介在物は Al と Mn の酸化物であり、Ca-Si 使用時の介在物は Si, Mn の酸化物であることがわかる。

さらに鋼塊リム部からドリルで採取した試料を用い、ヨーソアルコール法で介在物組成の定量分析と、抽出残渣の X 線解析を行なった。その結果を Table 5 に示す。介在物組成分析結果をみると、投入した脱酸剤種類とよ

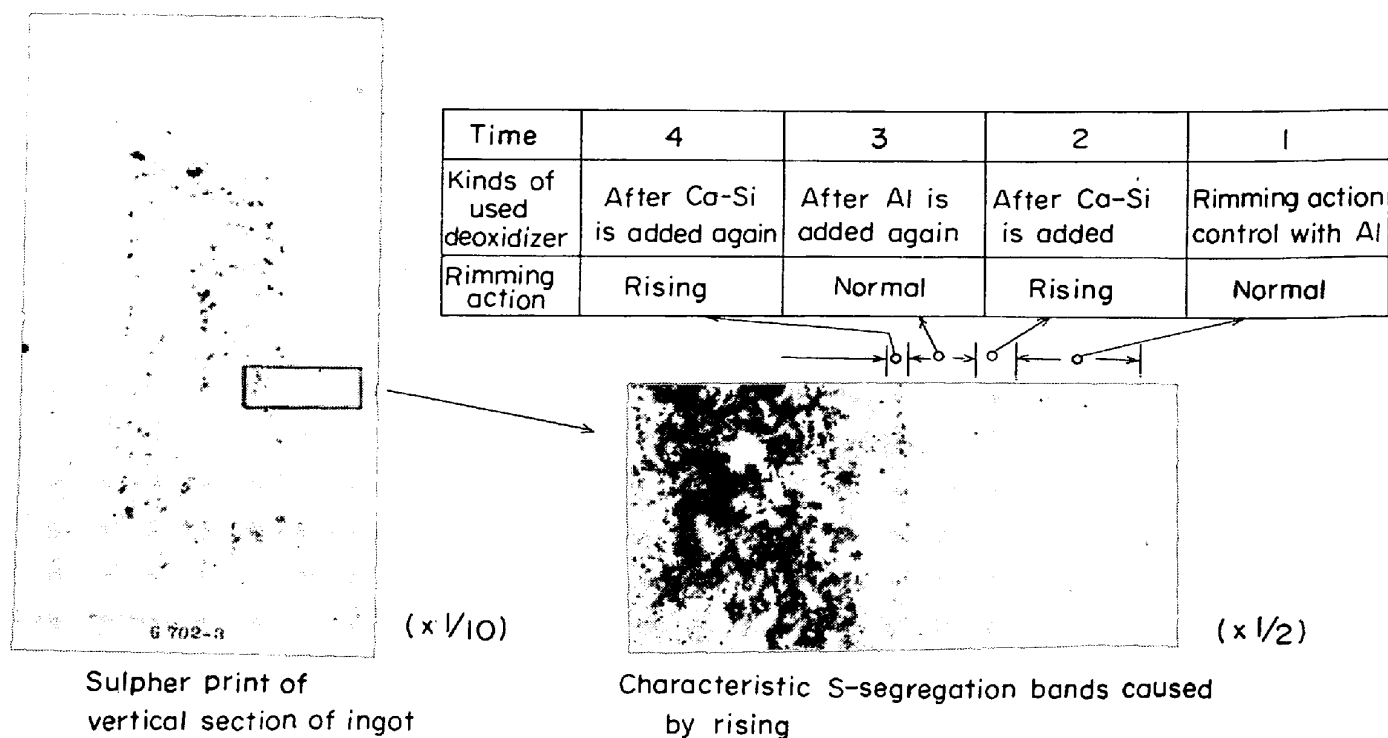


Photo. 7. Structure of the ingot in which Ca-Si was added during normal rimming action.

Table 5. Identification of inclusions.

Kinds of deoxidizer		Al	Ca-Al	Fe-Zr	Misch metal	Si	Ca-Si	Fe-Ti	Fe-B
Chemical analysis (%)	MnO	0.0396	0.0249	0.0163	0.0110	0.0590	0.0435	0.0598	0.0169
	SiO ₂	0.0060	0.0058	0.0050	0.0074	0.0273	0.0171	0.0086	0.0030
	Al ₂ O ₃ ...	0.0218	0.0231	0.0033	0.0021	0.0015	0.0028	0.0084	0.0029
	Special composition owing to addition of each deoxidizer	—	CaO 0.0012	ZrO ₂ 0.0277	Rem oxide 0.0086	—	CaO 0.0014	TiO ₂ 0.0283	B ₂ O ₃ tr
Identification by X-ray diffraction (m. p. of oxide ³⁾) (°C)		MnAl ₂ O ₄ (>1700) FeAl ₂ O ₄ (>1700)	MnAl ₂ O ₄ (>1700) FeAl ₂ O ₄ (>1700)	ZrO ₂ (2700)	CeO ₂ (2600)	2MnO-SiO ₂ (1340)	2MnO-SiO ₂ (1340)	2MnO-TiO ₂ (1360)	B ₂ O ₃ (577)

く対応しているが、Ca-Al あるいは Ca-Si 使用時の CaO の抽出量は Al₂O₃ あるいは SiO₂ の抽出量に比較すると少ない。一方 X 線回折結果によると、Al または Ca-Al 使用時の脱酸生成物は MnAl₂O₄、FeAl₂O₄ が多く、Fe-Zr 使用時には ZrO₂ ミッシュメタル使用時には CeO₂、Si または Ca-Si 使用時には 2MnO・SiO₂、Fe-Ti、Fe-B 使用時にはそれぞれ 2MnO・TiO₂、B₂O₃ が主体となつてゐることがわかつた。これらの介在物の物性のうち融点³⁾を比較してみると、リミング促進型の

脱酸剤使用時の脱酸生成物である MnAl₂O₄、FeAl₂O₄、ZrO₂、CeO₂ などはいずれも融点が 1700°C 以上と溶鋼温度よりはるかに高いのに対して、膨張促進型の脱酸剤を使用した際の脱酸生成物は 2MnO・SiO₂、2MnO・TiO₂、B₂O₃ とともに融点は 1400°C 以下で、溶鋼温度より低いことがわかる。また先に示した Photo.10 の介在物は、Al 使用時は Mn・Al₂O₄ であり、Ca-Si 使用時には 2MnO・SiO₂ であると考えられ、脱酸生成物の融点の差、したがって溶鋼中で固相だつたか液相だつたかの

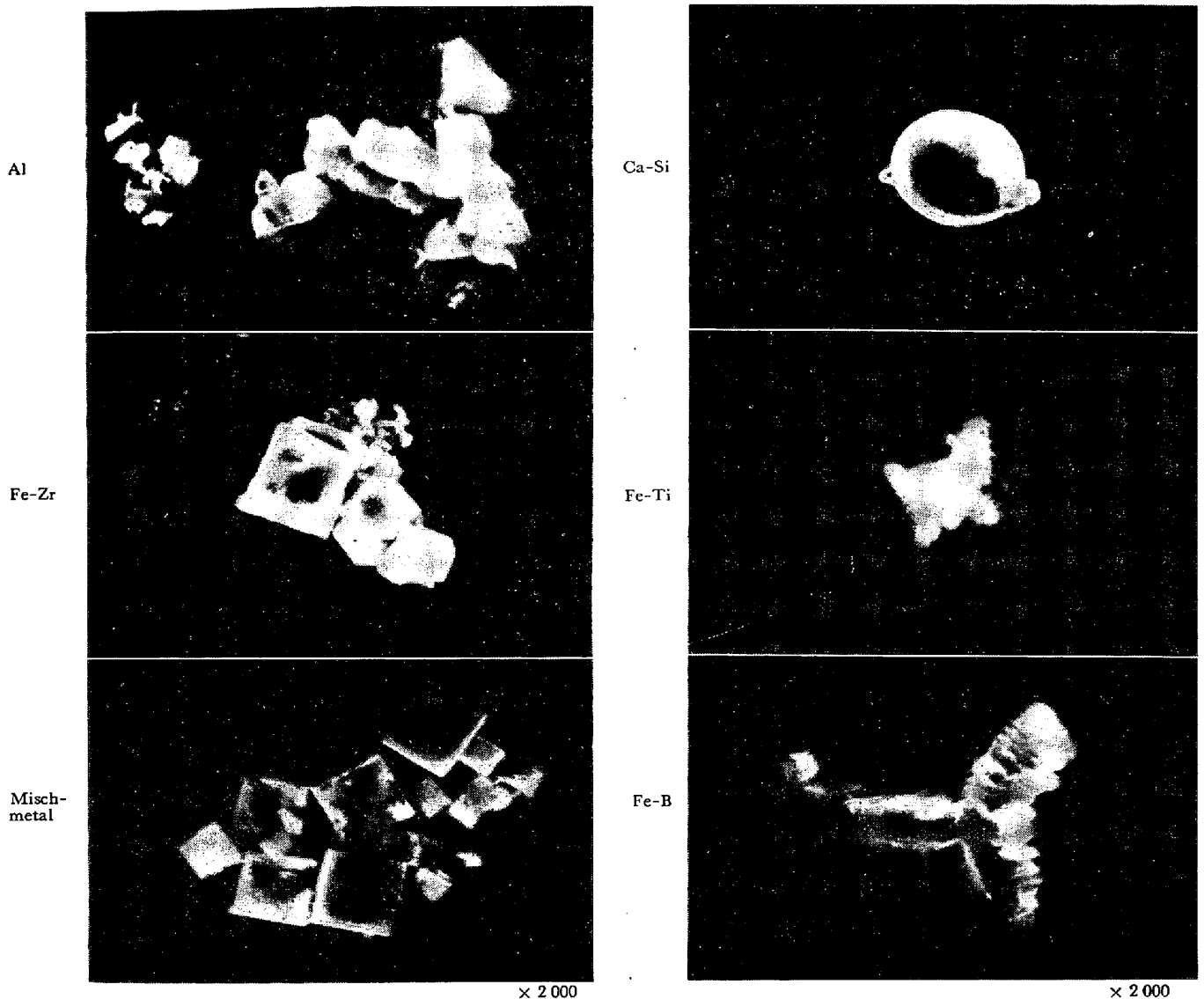


Photo. 8. Scanning electron microphotographs of extracted inclusions.

差が、角ばった介在物と丸みをおよび介在物という外観の差となっている。

4. 考 察

脱酸剤により、リミング調整機能に差があることは上述のごとくである。

この機能の差は溶鋼中の気泡の存在状況の検討より、溶鋼中に存在する微小気泡群の量の差に起因すると考えられる。この微小気泡の存在量は気泡の生成速度と気泡の寿命のバランスで決まるものと考えられる。

このうち気泡の生成速度は溶鋼温度、鑄型、注入速度などの注入条件、 C 、 Mn 、 S レベルがほぼ一定なら、 O 量により決まる。さらに O は表面活性元素として気泡の寿命を長くする要因としても効いてくる。

また脱酸生成物の融点あるいは溶鋼との濡れ性などの

物性の差より、気泡生成の核となりうるか否かという点より、あるいは破泡効果が強いかな否かという点で脱酸生成物の種類が問題になる。

つまり脱酸剤によるリミング調整機能の差を、酸素レベルと脱酸生成物の性状の差より検討した。

4.1 脱酸剤と酸素レベルについて

造塊時の自由酸素値の測定は温度が低く、溶鋼中に気泡が多く存在するなどの悪条件もあり、うまく測定できなかった。そこで別途 100 kg の大気中高周波溶解炉でリムド鋼相当の鋼を溶解し、 $1580\sim 1600^{\circ}\text{C}$ で酸素当量にして、500 ppm 相当の各種脱酸剤を添加し、添加前後の自由酸素値を、 Cr_2O_3 を標準電極とした Leeds & Northrup 社製の検出端を用いて測定し、その結果を Fig. 5 に示した。

Al の脱酸効率が若干よく、Fe-B が若干悪い他は、リ

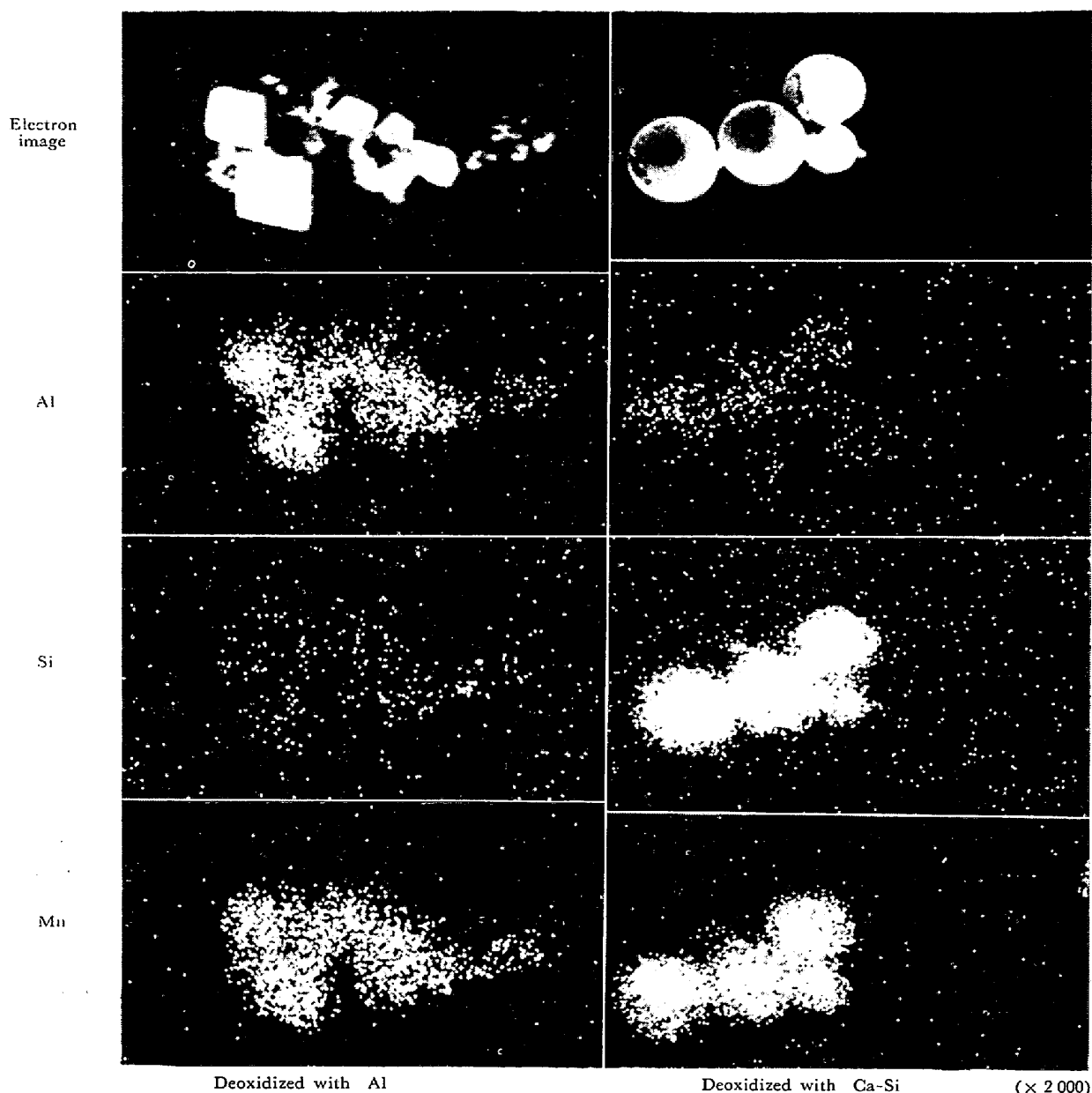


Photo. 9. Qualitative identification of inclusions by EPMA

ミング促進型の Fe-Zr, 膨張促進型の Si, Ca-Si では脱酸効率はほとんど差がない。つまり脱酸剤投入前の酸素レベルが 500~600 ppm と非常に高い際には、脱酸剤の種類と脱酸能の間には、脱酸平衡値から予測されるほどの差はないことを確認した。

さらに本文中でも指摘したように

i) Fig. 2 に示したごとく、脱酸剤添加量を変化させても、脱酸剤の種類による、リミング調整効果の特徴はかわらない。(3.1 項)

ii) Al 系でも、Ca-Si 系脱酸剤でもフォーミングは抑制できるが、Ca-Si 系脱酸剤使用時には、その後膨張する。(3.2 項)

iii) Ca-Si を使用して膨張してきた時に Al を極少量

(1~28/ingot) 使用するだけで、膨張は抑えられる。その酸素当量は 10 ppm ほどと極めて少ない。(3.1 項)

以上の点より使用する脱酸剤の種類により、酸素レベルに差が生じこれがリミング状況の差となつて現われるという仮説は妥当でないと考えられる。

4.2 脱酸剤と脱酸生成物の性状

脱酸生成物の性状は Table 5 に示したように、膨張促進型の脱酸剤を使用した際には、脱酸生成物の融点が溶鋼温度より低く、したがって溶鋼中では液相で存在するため凝固後も球状を呈する。これに対しリミング促進型の脱酸剤を使用した際には、脱酸生成物の融点は溶鋼温度より高く、凝固後の形状は角ばっている。

鑄型内溶鋼の膨張時に 1~2 g/ingot という極少量の

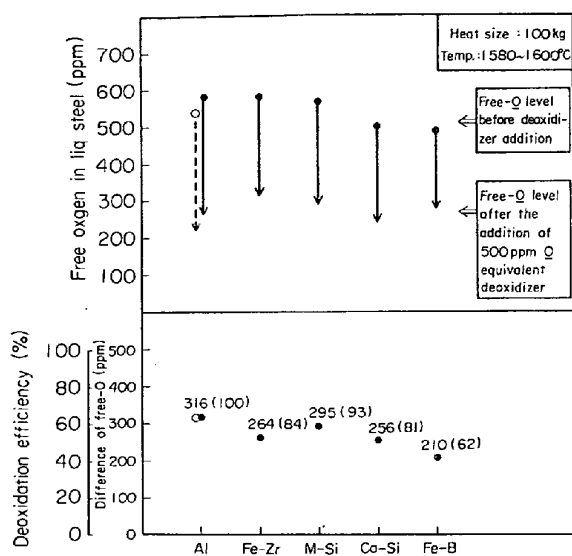


Fig. 5. Comparison of deoxidation efficiencies among different kinds of deoxidizers.

Al の添加で、湯面が急激に低下し、溶鋼中の気泡の存在量が著しく少なくなることは上述のとおりである。

1 g の Al の添加で、生成する Photo. 8 に示したとき $5\mu\text{f} \sim 2\mu\text{f}$ の $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ or $\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ などの微小介在物が、何個できうるかを Al の物質バランスより概算した

$$\rho_{\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3} = 4.084$$

Al のすべてが $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ となる

1 ケの粒子の大きさは $5\mu\text{f} \sim 2\mu\text{f}$ である

と仮定すると、1 g の Al より $10^{10} \sim 10^{11}$ 個の $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ が生成し、これは溶鋼 1cm^3 当り、 $2 \times 10^5 \sim 2 \times 10^6$ 個という膨大な個数になる。

つまり機構の詳細は不明だが、注入中に膨張促進型の脱酸剤を使用した際の注入終了後の膨張現象は、気泡の生成速度の増大によるものではなく、脱酸生成物として低融点で溶鋼と濡れやすい介在物ができ、破泡効果が弱くなるためと考えられる。一方 Al などを使用すると、1 g の Al の使用でも $2 \cdot 10^5 \sim 2 \cdot 10^6 / 1\text{cm}^3 \cdot l\text{-steel}$ という膨大な数の微細な角ばった固相介在物ができる。これら介在物は溶鋼と濡れ難いので、溶鋼中の気泡が速やかに破壊されていき、溶鋼中の気泡存在量は著しく少なくなるものと考えられる。

つまり脱酸剤によるリミング調整機能の差は、脱酸効率の差によるのではなく、脱酸生成物の差により、溶鋼中気泡の寿命に差が生ずるためと考えられる。

5. 結 論

市販の各種脱酸剤をリムド鋼のリミング調整用に使用し、リミング状況の観察、溶鋼中ならびに鋼塊内気泡分布状況、脱酸生成物の性状を比較検討した。脱酸剤は、リミング調整機能より次のごとく二大別される。

リミング促進型：Al, Ca-Al, Fe-Zr, ミッシュメタル
膨張促進型：Si, Ca-Si, Fe-Ti, Fe-B

この機能の差は、脱酸生成物の性状の違いにより、溶鋼中気泡の寿命に差が生ずるためと推察される。

文 献

- 1) K. TÄFFNER and G. TRÖMEL: Arch. Eisenhüttenw. 43(1972) 5, p. 379~387
- 2) 梶岡, 片山: 鉄と鋼, 57(1971) 4, S 95
- 3) 成田: 鉄と鋼, 52(1966) 7, p. 1098~1147
- 4) A.S.T.M.: Index to Xray powder data file