

速度に依存して生長するが、脱酸生成物の種類によつては、粒子の衝突凝集による成長の方が支配的なものもある。

珪素脱酸の場合につき、酸素の拡散だけで生成物が成長し、Stokes の法則に従つて浮上すると仮定して、本実験の条件から計算すると、核生成後高々 10s で浴から離脱し、最後の大きさが  $40\mu$  以上にはならない。この値が、実際に観察された生成物の最大径とよく一致していることから、珪素脱酸の場合には、粒子相互の凝集が考えられず、また添加後相当時間が経過しても、核が生成し続けていると思われる。

他方、マンガン脱酸や特に、複合脱酸の場合は、観察された生成物の大きさが、上述の仮定に基く計算に比べ遙かに大きいことから、凝集が生成物の成長分離の大きな要因になつている。

添加順序を変えた場合は、このような機構の他に、例えば、懸濁 MnO-FeO が一部 Si で還元されるといつた脱酸生成物表面での、いわゆるメタル-スラッグ界面反応によつて、脱酸生成物が生長することも想像できる。

Table 1. Chemical analysis of sample. No. 1 (%)

C	Si	Mn	P	S	Al
0.007	0.010	0.020	0.009	0.008	0.009

Table 1 の如くである。

試料 2: 市販軟鋼 (S10C) 60kg を大気中で再溶解 Al を 0.4% 加えて取鍋脱酸し、1500~1520°C で上注法により、次の 5 本の鋼塊を得た。

- 20kg 角型鋼塊…… 1 ( casting temperature 300°C )
- 10kg 丸型鋼塊…… 2 ( casting temperature 80°C と 230°C )
- 5kg 丸型鋼塊…… 1 ( casting temperature 190°C )
- 3kg 丸型鋼塊…… 1 ( casting temperature 350°C )

これらの鋼塊の化学分析を、各鋼塊内の各部位について採取した試料について行なつたが、紙面の都合で省略する。

(2) 熱間加工

非金属介在物に対する熱間加工の影響を調べるために次の処理を施した。

試料 1: 20kg 鋼塊 4 本をそれぞれ 1300~1200°C, 1200~1050°C, 1050~900°C, 900°C 以下の各温度範囲で、それぞれ鍛圧比として 10, 30, 50 および 100 になるように鍛造および圧延し、棒材とした。

試料 2: 各鋼塊を縦方向に切断して、その半分 (他の半分は分析、検鏡用) を更に 1/2 に縦方向に切断、それぞれ部分を 1250~1100°C および 1050~900°C の温度で鍛造、圧延、鍛圧比として 30 および 50 の棒材および板材とした。

(3) 観察方法

(i) 鋼塊中の非金属介在物の分布および偏析状況をマクロ的に鋼塊切断面について観察した。

(ii) 鋼塊中の介在物を光学顕微鏡で観察、X線マイクロアナライザーで調べた。

(iii) JIS 0555 (1956) “鋼の非金属介在物の顕微鏡試験方法” により、非金属介在物の分布状況を面積率で調べた。

III. 観察結果および考察

(1) 铸造状態における鋼塊中の非金属介在物

試料 1 と 2 においては、介在物の種類と分布、凝集状況にやや差がある。すなわち、試料 1 においては、酸素量が多いために FeO (若干の Mn が固溶) が数多く散在し、FeO 型介在物中にアルミナ系介在物が混入したもの、さらに密集したもの、個々のアルミナ系介在物の存在などが種々見られた。密集したものは、極めて局部的に偏析している。個々のアルミナ系介在物は鋼塊表面近辺に存在、若干のスラッグの巻込みのある所から、注入の際の条件によつて表面近傍に現われたものと考えられる。

試料 2 においては、主として球状のアルミナ系介在物であり、硫化物は鋼塊頭部にごく僅か認められるのみであつた。また、球状介在物は、かなり凝集偏析を起し、所謂クラスター状になつているものも多く、その 1 例を Photo. 1 に示す。

669.046.558.52669.712620.19245

(76) Al 脱酸と非金属介在物 (鋼中非金属介在物の研究-V) 63076

金属材料技術研究所 ○山内 郁

Al Deoxidation and Nonmetallic Inclusions in Steels. 431~433

(Study on nonmetallic inclusions in steels-V) Iku UCHIYAMA.

I. 緒 言

鋼中の非金属介在物に関する研究は、数多く発表されており、漸次、介在物自体の性質や材質におよぼす影響などが明らかにされつつある。しかし、非金属介在物の生成過程、介在物自身の組成および性質などの複雑性、溶鋼中または鋼塊の凝固過程その他における非金属介在物の挙動に関する知識の乏しいことなどにより、非金属介在物について多くの問題点が残されている。

本研究は、脱酸生成物としての非金属介在物、特に Al で脱酸した場合に生ずる非金属介在物について種々の観点から検討を加え、解明する目的で実施するものである。

先づ、予備的に、小規模実験における非金属介在物の鋼塊内分布の調査、非金属介在物におよぼす熱間加工の影響について実験を行なつたので、その結果について述べ若干の考察を加えた。

II. 実験方法

(1) 供試材および溶製

次の 2 種類を 100kg 高周波誘導電気炉 (ライニング: マグネシア) で溶解した。

試料 1: 電解鉄 100kg を大気中溶解し、酸素を富化させ (酸化第二鉄粉末を、酸素量として 0.5% 添加) した後、Al を 0.02% 炉内添加して脱酸、1580°C で 20kg 鋼塊 5 本 (角型) を上注ぎにより得た。化学分析値は

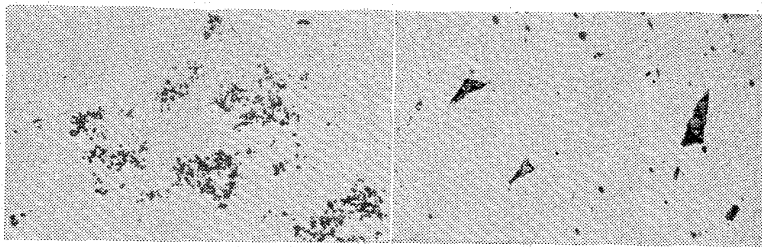
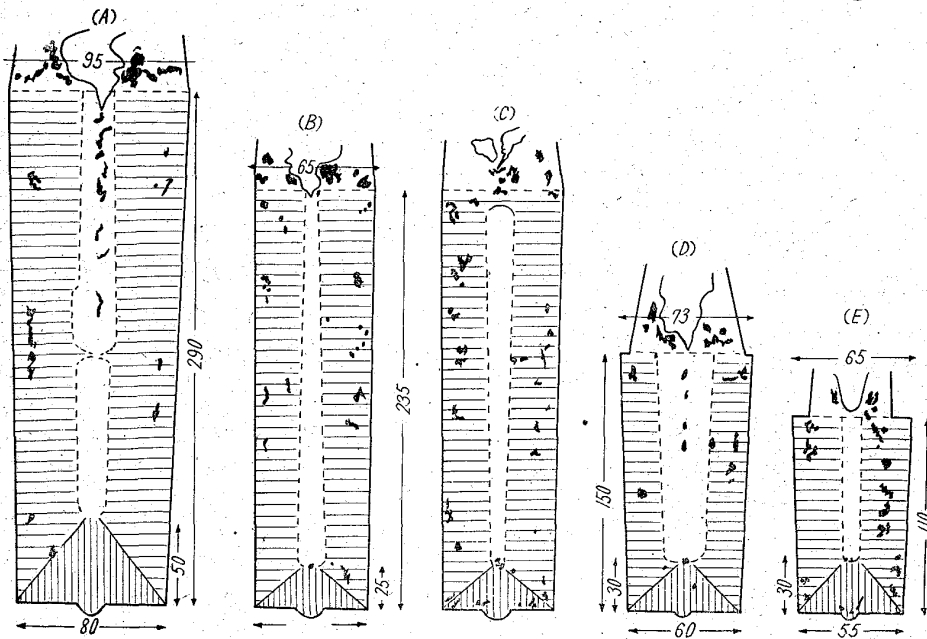


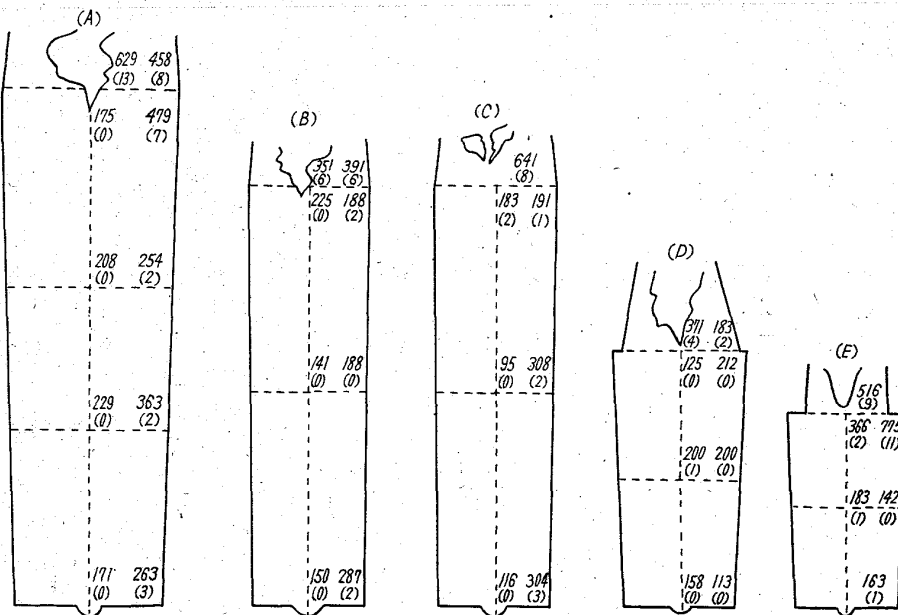
Photo. 1. Nonmetallic inclusions in sample 2.  $\times 400$  (1/2)

Photo. 2. Nonmetallic inclusions in a hot-treated steel specimen.  $\times 400$  (1/2)



(A) 20 kg ingot, (B) and (C) 10 kg ingot, (D) 5 kg ingot and (E) 3 kg ingot. Dimension: mm.

Fig. 1. Macrotest of various steel ingots.



(A) 20 kg ingot, (B) and (C) 10 kg ingot, (D) 5 kg ingot, (E) 3 kg ingot. ( ) : Index for clustered inclusions.

Fig. 2. Areal proportion of C-type nonmetallic inclusions.  $\times 10^{-3}\%$

(2) 非金属介在物の鋼塊内分布および凝集  
 試料 2 における鋼塊内の非金属介在物の分布  
 および凝集状況をマクロ的に調べた結果を Fig.  
 1 に例として示した。横線部は、樹枝状晶部分  
 を示す。黒点部は、何れも介在物が密集してい  
 わゆるクラスターを形成している個所を明示し  
 たもので、各鋼塊共、鋼塊表面より 10~15mm  
 内部に入った部位および頭部に多く見られる。  
 その他、若干、鋼塊底部にも散見された。しか  
 し、何れの場合にも樹枝状晶部の中に観察され  
 20 kg および 5 kg 鋼塊の頭部に僅かに凝集偏  
 析が見られる他は中央自由晶部  
 にはなかつた。これらの結果を  
 見ると、鋼塊の大きさによる差  
 はこの範囲内ではあまり認めら  
 れないが、何れの場合も冷却速  
 度逆に鋼塊の凝固速度がかなり  
 早いために、介在物の浮上、凝  
 集などについて考察する場合  
 には、不都合ではないかと考えら  
 れる。すなわち、鑄込の際に、  
 ある部分はその都度凝固してゆ  
 き、介在物の浮上、凝集の余裕  
 がなく、大型鋼塊の場合とは異  
 なつた現象を伴なっていると考  
 えられる。従つて、今回の予備  
 実験においては、介在物は最終  
 凝固相に凝集しやすいと言われ  
 ている点について確かめるこ  
 とはできなかつた。個々に分散  
 分布した介在物は表面層より 1  
 ~2mm の部位にかなり見られ  
 た。

なお Fig. 2 に JIS 法によ  
 つて測定した C 系介在物 (殆ん  
 ど全部がアルミナ系介在物) の  
 面積率を各鋼塊部位について示  
 した。( ) 内の数値は、介在  
 物が密集していて検鏡の際に一  
 視野内で 5 以上と判定された場  
 合の視野数を示した。

(3) 鋼塊を熱間加工した後  
 の非金属介在物

試料 1 について、前記熱間加  
 工処理を施した結果、FeO 型  
 介在物は、各温度の場合共、鍛  
 圧比に応じて延ばされているが  
 一定の関係はない。Al 酸化物  
 の混入したものは 1050°C 以下  
 の温度で特に鍛圧比 30 以上の  
 場合に、その内部に割れと思わ  
 れる黒い線状または穴の如きも  
 のが見られた。一方、個々に散  
 在するアルミナ系介在物および  
 クラスター状になつているもの

には形状の変化は認められなかつた。しかし、若干の個々のアルミナ系介在物の周辺には尾を引いたような黒い部分(恐らく凹んでいると考える。Photo. 2)があるものがあつた。近年、延びない介在物特にシリカ型の介在物においては、熱間加工後、その近辺にいわゆるダイヤモンドキャビティーが存在すると言われてきているが、本観察で見られるものがそれに相当するかどうかは、更に検討する必要がある。

基礎的な系から実用鋼種に到るまで、逐次脱酸剤の量と脱酸生成物の形状や組成との関係とか、熱間加工による介在物の変形能などについて体系的に研究して行こうとするもので、先に Fe-Mn-O 系の介在物について報告した。これに引続き Fe-Cr-O 系の脱酸生成物について実験を行なつたので報告する。

II. 実験方法

高周波炉を用いて、Ar ガス気流中にてマグネシアルツボ内で電解鉄(99.9%)を溶解した。溶落ち後1600°Cにて保定して、脱酸剤(99.1% 電解Cr)を投入した。脱酸剤投入後1600°Cにて5mn間保定し、そのままツボ内で空冷し約6kgの試験鋼塊(90φ×100mm)を溶製した。脱酸剤投入直前と投入後5mnして石英管にて試料を吸上げ前者は酸素分析試料に後者は酸素および鋼の各成分の分析試料に供した。次にこれらの試験鋼塊より各種の試料を主として鋼塊中心部より採取して、光学顕微鏡による観察、電解抽出法により分離した氧化物系介在物の化学分析およびX線解析、更にelectron-probe-microanalyser(以下E.P.M.A.と略す)による介在物の直接分析などを行なつた。また介在物の形状におよぼす熱間加工の影響をみるために、鋼塊より切り出した試料を加工率90%で1000~1200°Cにて圧延しその圧延方向を検鏡した。

III. 実験結果

Table 1 および 2 に実験結果を示す。Table 1 より脱酸前の鋼中酸素量はややバラツキがあるが0.11%~0.14

66 9.046, 558.5, 669.26, 620.192, 45  
(77) Fe-Cr-O 系の非金属介在物に

ついて 63077  
(脱酸生成物に関する研究-I)

八幡製鉄所技術研究所 433~435  
工博 瀬川 清・工博 渡辺 司郎  
○福山 尚志・原口 博

Nonmetallic Inclusions in Fe-Cr-O System.

(Study on deoxidation products-I)

Dr. Kiyoshi SEGAWA, Dr. Shirō WATANABE, Takashi FUKUYAMA, and Hiroshi HARAGUCHI.

I. 緒言

鋼中の非金属介在物のうちまづ脱酸生成物について、これまでに開発された各種の介在物同定法を活用して、

Table 1. Experimental results.

Ingot	Metal analysis (wt%)						O <sub>2</sub> before Cr addition (wt%)
	C	Si	Mn	S	Cr	O	
A	0.009	0.012	0.01	0.007	0.023	0.108	0.141
B	0.008	0.018	0.01	0.007	0.027	0.067	—
C	0.012	0.020	0.00	0.008	0.028	0.071	—
D	0.012	0.030	0.00	0.011	5.06	0.027	0.125
E	0.021	0.033	0.01	0.012	9.15	0.014	0.133
F	0.024	0.023	0.03	0.013	16.19	0.030	0.112

Ingot	Inclusion analysis						X-ray diffraction patterns
	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	FeO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Amounts (wt%)	
A	1.3	7.7	1.1	75.5	14.8	0.1677	FeO Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> and Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> strong
B	1.5	6.0	trace	77.5	15.0	0.2115	
C	3.9	6.7	〃	24.8	65.0	0.2019	FeO·Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> strong
D	8.3	22.9	〃	11.0	58.8	0.0638	FeO·Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> moderate and Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> weak
E	4.7	11.0	〃	6.0	78.3	0.1310	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> weak
F	6.5	27.2	3.8	14.3	48.2	0.0419	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> strong