

No. 10 (1)	Stainless steel 17-7 PH (1)	A (ppm)	127	10	8	8	0	55	1.20(%)
		B (ppm)	36	12	8	5	0	18	1.20(%)
		C (ppm)	91	0	0	3	0	37	0.00(%)
		D (ppm)	43	0	0	2	0	45*	—
		E (%)	96	0	0	4	0	—	—
No. 10 (2)	Stainless steel 17-7 PH (2)	A (ppm)	36	12	8	5	0	18	1.20(%)
		B (ppm)	26	10	6	2	0	9	1.17(%)
		C (ppm)	10	2	2	3	0	9	0.03(%)
		D (ppm)	5	1	2	1	0	9*	—
		E (%)	56	11	22	11	0	—	—
No. 14	Magnetic alloy 50Fe-50Ni	A (ppm)	9	174	16	tr.	122	190	30
		B (ppm)	5	4	11	tr.	12	80	30
		C (ppm)	4	110	5	0	100	110	—
		D (ppm)	2	58	1	0	26	87*	—
		E (%)	2	67	1	0	30	—	—
No. 15	Magnetic alloy 50Fe-50Ni	A (ppm)	10	197	21	tr.	19	180	30
		B (ppm)	3	5	7	tr.	tr.	88	20
		C (ppm)	7	192	14	0	19	92	—
		D (ppm)	3	100	3	0	4	110*	—
		E (%)	3	91	3	0	3	—	—

- A: Air-melted electrode [exceptionally in No. 10, (2) A is consumable electrode arc melted metal]  
 B: Consumable electrode arc melted material.  
 C: Oxide quantity is decreased.  
 D: Decreased oxygen quantity calculated from (C), and sum of them is shown in \* term.  
 E: Ratio of decreased oxygen quantity (D) versus sum of oxygen decreases (\*).

蒸気圧の高い Mn は消耗電極式アーク溶解により明らかに減少する。鋼種、含有量によつてことなるが、アーク溶解材の Mn 含有量は電極材のその約 70% 程度

になる。Mn について蒸気圧の高い Cu, Sn は上述の試験結果では明らかで無い。(37 年 3 月寄稿)

## 酸性溶滓処理した軸受鋼の非金属介在物について\*

(合成スラグによる溶鋼処理に関する研究—I)

加藤 剛 志\*\*

### On the Nonmetallic Inclusions of a Bearing Steel Treated with Acidic Slag.

(Study on the treatment of molten steel with synthetic slag—I)

Koshi KATO

Synopsis:

It is interesting that when molten steel has been treated with various synthetic slags, the latter is presumed to have some effect on the nonmetallic inclusions and the steel quality.

A bearing steel (C 1.0%, Cr 1.5%) treated with synthetic acidic slag (A) was compared

\* 昭和37年4月本会講演大会にて発表 \*\* 大同製鋼株式会社, 研究所

with a non-treated similar steel (B) with respect to inclusions and steel qualities. The deoxidizers used are Al, Al+Ca-Si and Ca-Si.

The steel (A) contained more oxygen than the other steel (B), but with respect to the chemical composition, cleanliness, results of sand mark test and macro-etch test, both (A) and (B) were almost equal.

There were found elongated inclusions (A-type) in a bearing steel added with deoxidizer Ca-Si and treated with acidic slag. An examination of the inclusions by transmission electron diffraction showed that the inclusions consisted of  $\alpha$ -tridymite or fayalite.

Therefore, the elongated inclusions in steel (A) presumably consisted of FeO-SiO<sub>2</sub> system.

Thus the aforementioned on the treatment of molten steel with synthetic slag evidenced that the slag treatment would control nonmetallic inclusions in steel.

## I. 緒 言

溶鋼の迅速脱硫、脱酸に関する研究は鉄鋼業における生産性向上の問題と関連して興味ある問題であり、これを目的とした Perrin 法<sup>1)</sup>によるスラグ処理あるいはソ連における合成固形剤による溶鋼処理<sup>2)</sup>など、若干の報告が見られる。これらの試験に関連する理論的考察<sup>3)4)</sup>の試みもなされているが、その機構は複雑であり、まだ詳細は明らかでない。

筆者は鋼の迅速精錬および品質改善などの問題と関連させてこれを取り上げ、溶鋼を出鋼後、各種の合成したスラグにより短時間処理することによつて、それが介在物の挙動および鋼品質におよぼす影響ならびにその諸々の利点を調査する研究の一環として先ず軸受鋼についてこの問題を検討した。

すなわち、塩基性電気炉で精錬した溶鋼を出鋼後、短時間、酸性溶滓処理することによつて、それが介在物の変化および鋼品質におよぼす効果ならびに両者の関係などを調査する為に軸受鋼溶鋼の酸性溶滓処理の試験を行なつた。第1報として特に介在物の性状、形態などの変化および鋼品質に対する影響などについて検討した結果につき報告する。

## II. 実験方法

### (1) 実験試料の溶製

2 t 塩基性電気弧光炉により、軸受鋼2種 (SUJ2) を溶製し、出鋼時 Al および Ca-Si などの脱酸剤を次の4通りに量を変えて添加した。

- |   |                  |                  |
|---|------------------|------------------|
| ① | 出鋼前炉中 Al 添加; なし, | 取鍋Ca-Si 添加; 4 kg |
| ② | 〃 ; 0.5 kg       | 〃 ; なし           |
| ③ | 〃 ; なし,          | 〃 ; なし           |
| ④ | 〃 ; 0.5 kg       | 〃 ; 4 kg         |

取鍋に出鋼した溶鋼のうち、半分の量を予め酸性スラグ (SiO<sub>2</sub> 約 60%, CaO 約 10%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 約 8%) 約 200 kg を加熱溶融状態として入れた別の取鍋中に攪拌しつつ移し、さらに攪拌を続けた (約 3 mn)。適当なキリング (1~3mn) を行なつた後、それぞれの取鍋 (塩基性スラグおよび酸性スラグ) から各 1 t 鋼塊鑄型に溶鋼を鑄込んだ。途中、出鋼前および取鍋下からそれぞれガス (O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) 分析用および化学成分分析用試料を採取した。また酸性スラグ試料を溶鋼注入前、溶鋼とスラグ攪拌後および鑄込終了後の3ヶ、塩基性スラグ試料を出鋼前、鑄込前および鑄込終了後の3ヶ宛、採取した。各溶解 (①, ②, ③ および ④) について酸性スラグ処理し

Table 1. Chemical composition of specimens.

Charge No.	Addition of deoxidizer (kg)		Chemical composition (%)											
	Al	Ca-Si		(JIS)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Sol. Al	Insol. Al
				0.95 ~1.10	0.15 ~0.35	≤0.50	≤0.030	≤0.030				1.30 ~1.60		
3743	① —	4	(A)-Method (B)- "	0.98 1.00	0.26 0.27	0.33 0.32	0.024 0.024	0.009 0.008	0.10 0.09	0.14 0.14	1.44 1.43	0.005 0.004	<0.002 <0.002	
3744	② 0.5	—	(A)- " (B)- "	0.99 0.99	0.28 0.26	0.25 0.30	0.014 0.015	0.007 0.010	0.09 0.09	0.07 0.06	1.45 1.46	0.007 0.010	0.002 0.002	
3746	③ —	—	(A)- " (B)- "	1.00 0.99	0.28 0.25	0.28 0.31	0.019 0.020	0.010 0.009	0.09 0.09	0.06 0.07	1.46 1.47	<0.002 <0.002	<0.002 <0.002	
3747	④ 0.5	4	(A)- " (B)- "	0.96 1.00	0.28 0.28	0.31 0.30	0.018 0.023	0.008 0.007	0.08 0.09	0.06 0.06	1.45 1.47	0.010 0.012	0.002 0.002	

Table 2. Gas composition of specimens.

Charge No.	Sampling periods		[O]%	[H] cc/100 g
3743	Before tapping		0.0027	3.8
	Ladle	(A)	0.0057	4.5
(B)		0.0048	5.5	
3744	Before tapping		0.0038	4.5
	Ladle	(A)	0.0060	4.7
(B)		0.0045	5.0	
3746	Before tapping		0.0012	3.7
	Ladle	(A)	0.0048	3.7
(B)		0.0029	5.8	
3747	Before tapping		0.0017	3.5
	Ladle	(A)	0.0061	4.7
(B)		0.0033	6.4	

たもの(以下(A)法と呼ぶ)および処理しないもの(以下(B)法と呼ぶ)の化学成分(鑄込中期)をTable 1にガス成分をTable 2に示す。

### (2) 試料の加工および試験

各鋼塊についてソーキング(1200°C×25h)後、95mm丸棒(加工比19.4)に粗圧延し、次いで各溶解の一部を35mm丸棒鋼(加工比142)に残りを5.5mm丸(加工比5750)の線材に加工した。

非金属介在物のミクロ的な調査は95mm丸材について、地キズ、マクロ試験は35mm丸材で行なつた。なお、これらの材料については引き続き疲労試験、寿命試験などの動的試験を実施しつつある。この詳細についてはいずれ報告する。

## III. 実験結果および考察

上述の①,②,③および④のようにAlおよびCa-Siの単独あるいは組み合わせたものを脱酸剤として用い、かつ、同じ塩基性電気炉で溶製した溶鋼から出発し、酸性溶滓で処理したもの[(A)法]とそうでないもの[(B)法]4組の溶解についてそれぞれ、上述のごとき各種の試験を行なつた結果につき、比較検討する。

### (1) 各種成分の変化について

化学成分: Table 1から判るように各組の溶解とも、(A)法および(B)法の間には殆んど差はみられない。これは溶湯と酸性溶滓の接触時間が比較的短かつたためと考えられる。

ガス成分: [H]が(A)法、(B)法ともに出鋼前から鑄込中にかけて多くなつてゐるのは一般的現象である

が、(A)法と(B)法を比較すると(B)法の方が含有量が多い。用いた脱酸剤の種類による差は少い。[O]は[H]と同様、鑄込中で多いが(A)法と(B)法の比較では[H]の場合と逆に(A)法の方が多量。(Table 2)

スラグ成分: Table 3に示すように塩基性スラグについては各溶解とも、SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnOおよびFeOが取鍋から鑄込後にかけて増加の傾向を示し(No. 3747のFeOのみは減少している。)CaOは減少している。一方、酸性スラグについてはSiO<sub>2</sub>が増加の傾向を示し、MnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>にはほとんど変化がみられない。FeOはNo. 3746と3747では増加の傾向がみられるが、No. 3744では逆に減少している。用いた脱酸剤の種類との関係については酸性スラグでAl脱酸剤を用いたNo. 3744, 3747はAlを用いないものと比較して平均してFeOが若干高目の傾向があり、逆にFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は低目の傾向がみられる。

### (2) 介在物に関するマクロ的試験

上述のごとく、種々の成分に関する(A)法と(B)法の差が明らかになつたので、次に介在物に関するマクロ的試験、すなわち地キズ、マクロ試験の結果について比較検討する。

地キズ試験結果についてはTable 4に示すごとく、No. 3746を除いては(A)法と(B)法の間にはほとんど差はなく、いずれも良好である。No. 3746の(A)法の地キズ成績のみが極端に悪い。この組の溶解は出鋼時脱酸剤を用いなかつたものであるが、化学成分、ガス成分とも、他の組と比較して大差はない。また、後述するようにミクロ的な介在物に関する結果についてもいちじるしい特異性は見出し得なかつた。したがつて平均的な各種試験結果からは容易に原因を見出し得ずおそらく鋼塊中の偏析の問題と関連していると考えられるが、これについては別に検討する。

マクロ試験結果についてはJISにしたがつて欠陥をT(ピット), TC(中心部ピット), P(パイプ)などの記号で示し、かつその欠陥の程度については+(軽度), ++(中程度), および+++ (重欠陥)で示した。得られた結果によると各組ともに重欠陥は認められず、(A)法、(B)法の差も少い。しかし平均して若干(B)法が良い傾向はみられる。なお、No. 3746の(A)法はピット欠陥がやや大である。これはやはり偏析の問題と関連しているものと考えられる。

以上、介在物が関連する鋼品位判定の為のマクロ的試験結果については一部のもの(脱酸剤を用いなかつたNo. 3746)を除いては酸性溶滓処理による害は認められ

Table 3. Composition of slag (%).

Charge No.	Sampling period	SiO <sub>2</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	TiO <sub>2</sub>	M.Fe	
3743	(A)	Ladle	63.64	tr.	0.32	6.52	7.95	0.26	0.04	0.75	0.67
		After mixing	63.86	0.29	0.08	7.04	8.40	0.12	0.04	0.60	0.67
		After pouring	64.20	tr.	0.48	7.04	8.34	0.16	0.04	0.50	0.61
	(B)	Before tapping	24.80	0.22	0.40	1.50	62.55	5.52	0.47	0.55	0.22
		Ladle	25.44	1.65	tr.	2.78	59.36	3.96	0.55	0.35	0.17
		After pouring	38.28	0.79	0.08	9.45	39.59	2.52	2.13	0.45	0.22
3744	(A)	Ladle	62.42	0.43	tr.	8.29	8.12	0.20	0.04	0.55	0.56
		After mixing	60.10	0.57	//	8.03	8.48	0.26	0.04	0.50	0.50
		After pouring	64.02	0.36	//	8.24	7.95	0.28	0.04	0.45	0.61
	(B)	Before tapping	24.68	0.50	tr.	1.87	60.51	4.30	0.26	0.45	0.22
		Ladle	26.32	0.57	//	2.47	59.89	4.92	0.38	0.45	0.22
		After pouring	33.30	0.57	//	6.60	49.20	3.86	0.89	0.55	0.22
3746	(A)	Ladle	62.52	tr.	0.24	9.33	7.90	0.26	0.04	0.50	0.50
		After mixing	60.68	0.36	0.16	8.53	8.12	0.26	0.04	0.55	0.50
		After pouring	64.80	0.50	0.24	8.91	8.06	0.12	0.04	0.40	0.17
	(B)	Before tapping	24.56	tr.	tr.	2.29	63.56	3.98	0.30	0.50	0.22
		Ladle	25.86	0.07	0.08	2.24	59.47	5.52	0.30	0.55	0.45
		After pouring	32.54	0.43	0.16	5.18	50.40	4.94	0.64	0.55	0.22
3747	(A)	Ladle	61.04	0.57	tr.	9.45	8.65	0.20	0.04	0.50	0.34
		After mixing	60.76	0.76	0.08	9.50	8.76	0.16	0.04	0.60	0.50
		After pouring	60.98	0.93	0.08	9.61	8.82	0.12	0.04	0.55	0.39
	(B)	Before tapping	23.14	0.72	0.64	2.29	60.42	6.18	0.21	0.55	0.17
		Ladle	23.86	0.65	0.48	2.26	58.52	5.06	0.26	0.55	0.17
		After pouring	28.00	0.36	tr.	3.86	56.42	5.04	0.38	0.50	0.17

Table 4. Sand marks of a 35  $\phi$  bar.

Charge No.	Sampling No.	Total number-(total length)-(sand mark No. of max. length) of sand marks			Macro-etch test	
		1st step spec. dia. 31 mm leng. 63.6 mm	2nd step dia. 23mm leng. 63.6 mm	3rd step dia. 17mm leng. 63.6 mm		
3743	(A)	1 2	0 0	0 0	0 0	TC(+), T(+) TC(+), T(+), P(+)
	(B)	1 2	0 0	0 2.2-4.4(2)	0 0	TC(+), T(+) //
3744	(A)	1 2	0 0	0 0	0 0	TC(+) //
	(B)	1 2	0 1.6-3.2(2)	0 0	0 0	// //
3746	(A)	1 2	43.2-360.0(64) 16.0-180.8(50)	50.6-275.0(10) 33.0-147.4(10)	24.0-59.4(8) 28.6-112.2(6)	T(++) //
	(B)	1 2	0 0	0 0	0 0	T(+), P(+) //
3747	(A)	1 2	0 0	0 0	0 0	T(++) T(+)
	(B)	1 2	0 0	0 0	0 0	// //

Table 5. Cleanliness of 95  $\phi$  specimens.

Charge No.	*	Sampling position	Cleanliness (by JIS)			
			d	d A	d B	d C
3743	(A)	Top	0.06	0.03	0	0.03
		Middle	0.10	0.06	0	0.04
		Bottom	0.10	0.03	0	0.07
	B	Top	0.13	0.02	0	0.11
		Middle	0.08	0.02	0	0.06
		Bottom	0.11	0.01	0	0.10
3744	(A)	Top	0.04	0	0	0.04
		Middle	0.11	0.01	0.01	0.09
		Bottom	0.14	0	0	0.14
	(B)	Top	0.13	0	0	0.13
		Middle	0.07	0	0	0.07
		Bottom	0.07	0	0.01	0.06
3746	(A)	Top	0.06	0.04	0	0.02
		Middle	0.05	0.01	0.01	0.03
		Bottom	0.12	0.07	0	0.05
	(B)	Top	0.10	0.03	0	0.07
		Middle	0.16	0.05	0	0.11
		Bottom	0.07	0.02	0	0.05
3747	(A)	Top	0.14	0.01	0	0.13
		Middle	0.09	0	0	0.09
		Bottom	0.10	0	0	0.10
	(B)	Top	0.17	0.03	0	0.14
		Middle	0.06	0.01	0	0.05
		Bottom	0.08	0	0	0.08

\* (A) is the specimen treated with acidic slag, and (B) is the non-treated specimen.

なかつた。

(3) 介在物に関するミクロ的試験

本研究の主題とするスラグ処理がミクロ的介在物の挙動におよぼす影響について以下に述べる。

清浄度 (JIS による非金属介在物の面積率):

Table 5 にみられるごとく各溶解とも、介在物は主としてA系およびC系から成り、B系は非常に少い。A系とC系ではC系が一般に多い。(A)法と(B)法の差については合計のdでは大差はみられない。用いた脱酸剤の種類に基づく差はAlを用いながつた No.3743 および 3746 のA系介在物はAlを用いたものより多く、また、この両組の(A)法、(B)法の間では(A)法の方が若干多い傾向がみられる。

その他、組織についてはいずれもフリカーバイドは認められず、また、ファイバー組織についても良好であつた。

以上 脱酸剤使用法のことなる4組の溶解の(A)法および(B)法の各種試験結果を比較したが、差としては

(i) (A)法では(B)法より酸素含有量が多い。(水素含有量は少い。) (ii) (A)法ではスラグ中の  $Al_2O_3$ , MnO は造塊過程でほとんど一定であり、FeO は溶解により増減がみられたが、(B)法のスラグでは  $MnO, Al_2O_3$ , FeO などが増加の傾向を示した。(iii) (A)法ではA系介在物が若干多い。などであつた。また、脱酸剤を用いながつた No.3746 を除いては(A)法と(B)法の間には地キズ、マクロ試験、清浄度などによる鋼品位判定の結果に大差はなく良好であつた。そこで (i), (ii), (iii) などの結果が関連する介在物についてさらに次のような詳細な調査を実施した。

非金属介在物の顕微鏡観察: 95  $\phi$  材から試片を切り出し、各試料の介在物を顕微鏡で観察した。全体から見出された介在物を大別 (1  $\mu$  程度以下の微細なものは除いた。) すると Photo. 1 に示す3種類に分けられる。観察した各試料中に認められる主な介在物を Photo. 1 によつて分類すると Table 6 の通りである。I型は圧延方向に長く伸びた灰色状介在物 (JIS のA系に近い)。II型は加工により若干伸びかかつたものもあるが、ほと

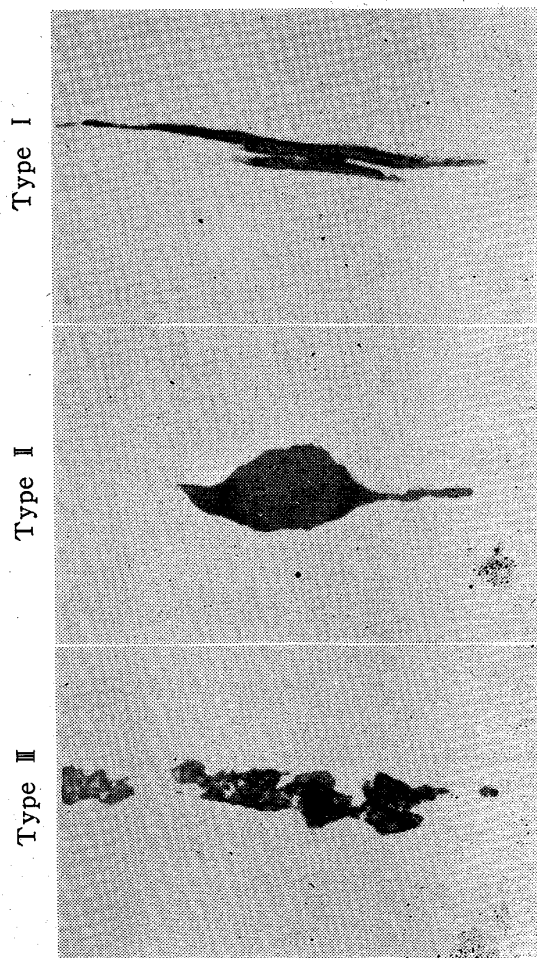


Photo. 1. Types of nonmetallic inclusions in a 95  $\phi$  specimen.  $\times 540$  (2/3)

Table 6. Types of inclusions in each specimens.

	3743		3744		3746		3747	
	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)
Major inclusions	I	II	II	II	I	II	II	II
Minor inclusions	II	—	III	III	II	I	III	III

んどは 10~30 $\mu$  程度の塊状でかつ、二相 (灰色および黒色) から成るものが多い介在物、III 型は圧延方向に点列状にならんでいるものでいわゆる B 系と呼ばれる介在物であるが、稀にしか認められない。Table 6 から判るように各試料に認められる介在物の主な形状は Photo. 1 に示す I 型と II 型様のものである。そこで各組の溶解を (A) 法および (B) 法に分け、かつ、それぞれについて I 型および II 型介在物を圧延方向に直角方向の厚み別にその個数を数え (約 30cm<sup>2</sup> につき) これを単位面積当りの数に直して比較した。その結果を Fig. 1a, 1b, 1c および 1d に示す。これらの結果から判るように No. 3743 および 3746 においては (A) 法の試料は I 型の長く伸びた厚みのうすい介在物が多く、(B) 法の試料は II 型の塊状介在物が (A) 法よりも多いことが目立つ。これらの試料は脱酸剤として Al を使用せず、Ca-Si 添加または何も加えなかつたもので

ある。一方、No. 3744 と 3747 はいづれも Al を脱酸剤として使用したものであるが、(A) 法および (B) 法において I 型あるいは II 型介在物の量には大差なくほとんど同じである。また、全試料を通じて I 型介在物の多いのは No. 3743 および 3746 の (A) 法であつて、これに対し No. 3744 および 3747 の (A) 法では I 型は非常に少い。

以上のごとく、短時間の酸性溶滓処理により、加工時特に長く伸びやすい介在物を有するようになる (Al を使用しない場合) ことを知つたが、このような介在物が如何なるものであるか、また、酸性溶滓処理しない場合の介在物とどのようにことなるかなどについて調査する為各試料につきサンド分析および電解分離法で抽出した介在物について電子回折による同定を行なつた。

サンド分析: 各試料を 950°C で 1h 加熱後、水冷してできる丈、炭化物を溶解させて細かくしてからサンド分析用試料を採取した。分析法は温硝酸法を用いた。分析結果を Table 7 に示す。

No. 3743 および 3746 の (A) 法においては他のものと比較して SiO<sub>2</sub> と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の含有量が近い。すなわち SiO<sub>2</sub> が全酸化物系介在物中に占める量が相対的に多い。他のものは Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の方が遙かに多い。また、介在物の全量を比較すると一般に (A) 法が (B) 法より多い。

もつとも酸法を利用した為、MnO、FeOなどは分解されたものも多いと考えられるので厳密に定量的な比較は出来ないがこれは酸性溶滓処理による酸素の増加は酸化物介在物の増加として表われたと云えよう。

制限視野電子回折: 各試料についてそれぞれ、Klinger-Koch 式電解分離装置により電解残渣を抽出し、これをアルコール中に入れ、先ず、超音波をかけて残渣を分散させた後、直ちに磁気分離装置により炭化物などの磁性体を分離除去してから残つた酸化物系介在物その他を捕集した。電子回折は粉末法により制限視野回折を行なつた。特に電子顕微鏡は 15 万 V の加速電圧を利用して電子線の透過力を増大させ、かつ、試料傾斜装置を活用して回折像のコントラストの向上に努めた。得られた結果の一例を Photo. 2a, 2b,

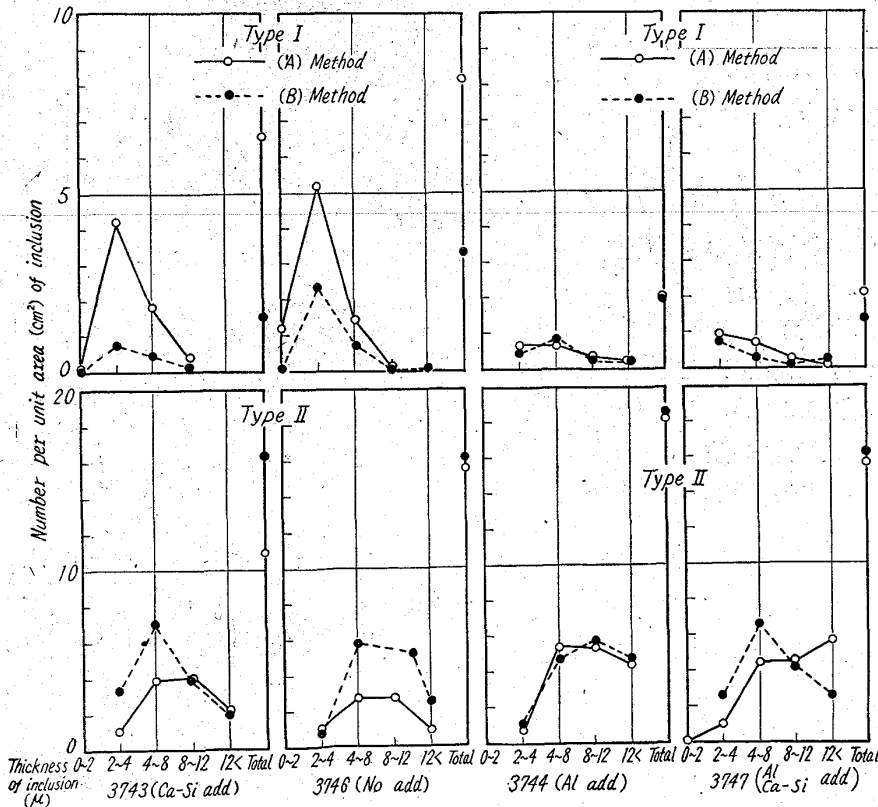


Fig. 1. The number of type-I and -II inclusions in (A) and (B) methods.

2c, 2d および 2e に示す。

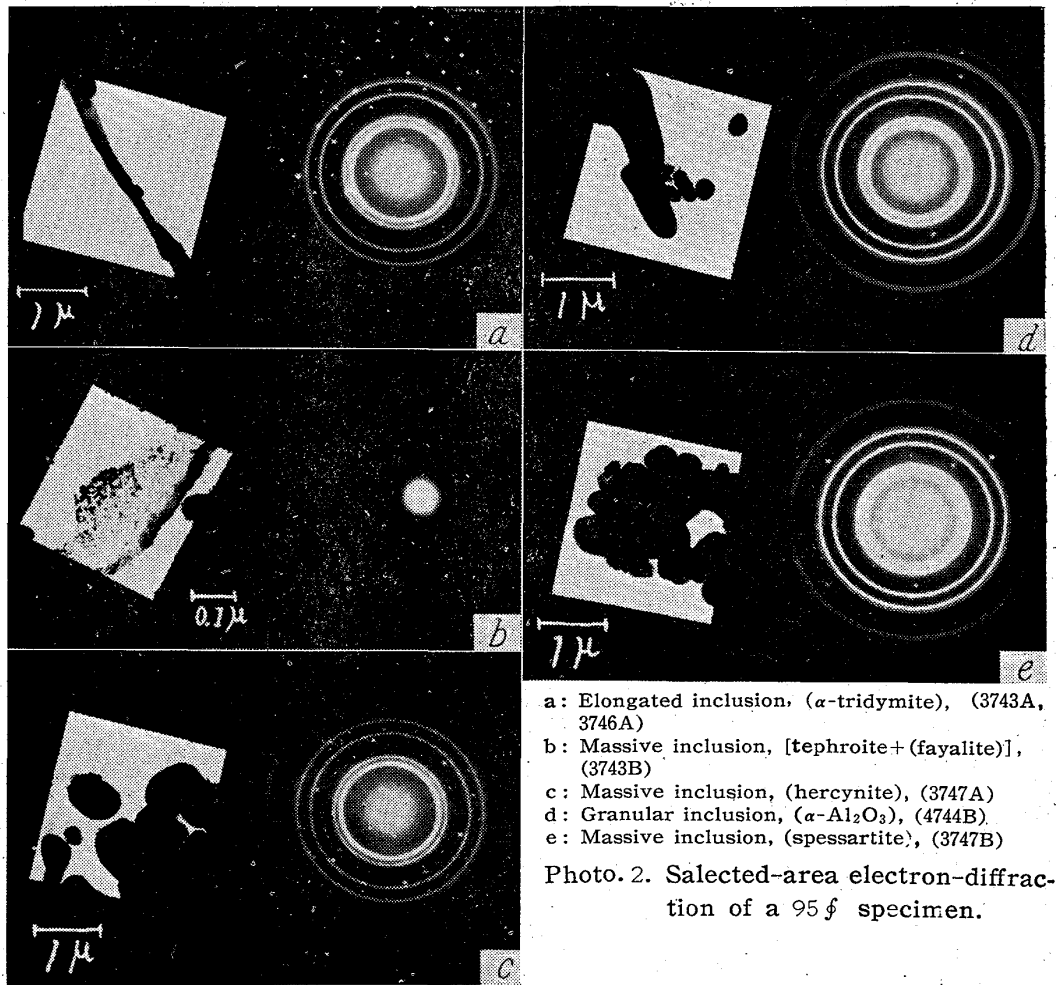
電子回折の結果を整理すると No. 3743 および 3746 (Al 使用せず) の酸性溶滓処理したもの [(A)法] に多く認められる圧延方向に長く伸びた薄い介在物 (I 型, 電顕写真でも透けて見え, 薄いことが確認出来る。) は Photo. 2a に一例を示すように主として  $\alpha$ -

tridymite ( $\text{SiO}_2$ ) および fayalite ( $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ) から成っている回折を行なった範囲では  $\alpha$ -tridymite が圧倒的に多かった。また, これらの試料の一部にみられる比較的塊状をなす介在物にも  $\alpha$ -tridymite, fayalite などの存在が認められた。これらの化合物は  $\text{SiO}_2$ -FeO 系平衡状態図 (Bower-Schairer) によれば  $\text{SiO}_2$  側において生成するものであり, 溶解条件およびその後の熱処理から考えて妥当と思われる。同じ溶解の酸性溶滓処理しない [(B)法] 試料に多い塊状の介在物 (II 型) には Photo. 2b に一例を示すように tephroite ( $2\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$ ), fayalite などが認められ, 生成機構は複雑である。この II 型介在物に Mn, Fe が存在することは X 線マイクロアナライザーによる波長分析の結果からも確認した。

なお, 以上の No. 3743, 3746 の (A) および (B) の何れにも一部に hercynite ( $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ), corundum ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) が検出された。硫化物は検出出来なかつた。X 線マイクロアナライザーによる分析の結果からも S は

Table 7. Composition of oxide inclusions (%).

Charge No.		$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	FeO	MnO	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	Total
3743 (Deoxidizer: Ca-Si)	(A)	0.0015	0.0018	tr.	nil	tr.	0.0033
	(B)	0.0006	0.0016	//	//	//	0.0022
3744 ( " : Al)	(A)	0.0013	0.0052	0.0008	//	//	0.0073
	(B)	0.0002	0.0024	0.0007	//	//	0.0033
3746 ( " )	(A)	0.0018	0.0026	0.0043	//	0.0002	0.0089
	(B)	0.0015	0.0033	0.0005	//	0.0001	0.0054
3747 Ca-Si ( " : Al)	(A)	0.0010	0.0047	0.0001	//	tr.	0.0058
	(B)	0.0018	0.0045	tr.	//	//	0.0063



a: Elongated inclusion, ( $\alpha$ -tridymite), (3743A, 3746A)  
 b: Massive inclusion, [tephroite+(fayalite)], (3743B)  
 c: Massive inclusion, (hercynite), (3747A)  
 d: Granular inclusion, ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), (4744B)  
 e: Massive inclusion, (spessartite), (3747B)

Photo. 2. Selected-area electron-diffraction of a 95 $\phi$  specimen.

含有されていなかった。以上 2 組の溶解の (A) 法と (B) 法の介在物の組成, 構造の差は (A) 法の介在物は主として FeO-SiO<sub>2</sub> 系であり, (B) 法の介在物は FeO-MnO-SiO<sub>2</sub> 系であると云うことである。このことは Table 3 のスラグ成分において No. 3743A および 3746A のスラグ中の SiO<sub>2</sub>, FeO などが出鋼後から鑄込終了にかけて増加しており, これに対し No. 3743B および 3747B においては SiO<sub>2</sub>, FeO, MnO あるいは Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

などが増加していることと関連していると考えられる。

次に脱酸剤に Al を使用した No. 3744 および 3747 の (A) 法の塊状Ⅱ型介在物あるいは点列状Ⅲ型介在物は主として Photo. 2c に一例を示すような hercynite, あるいは No. 3743(A) と同様な  $\alpha$ -tridymite などから成っており, この他に No. 3747(A) には fayalite, および一部に corundum,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  などの存在が認められた。一方, No. 3744 および 3747 の (B) 法の塊状或は点列状介在物は主として corundum ( $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (Photo. 2d), spessartite ( $3\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ ) (Photo. 2e) あるいは tephroite などから構成されており, 他に No. 3744(B) では fayalite, hercynite の存在が認められた。このように Al を使用した溶解の (A) と (B) の特徴はいずれにも  $\text{Al}_2\text{O}_3$  系介在物の存在が認められることである。また, (A) 法と (B) 法の介在物の差は Al を使用しない溶解のごとく明瞭ではなく, いずれも  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$ -(Mn, Fe)O 系から構成されていて強いて差を求めれば (B) 法では介在物組成として MnO の存在が目立つことである。これは Al を使用しない場合と同じ傾向である。F. KÖRBER, W. OELSEN<sup>5)</sup> によれば溶鉄が  $\text{FeO}$ - $\text{MnO}$ - $\text{SiO}_2$  スラグと接触している時, 定性的に溶鉄中の酸素濃度の減少とスラグの MnO/FeO 比の増大が対応する。すなわち溶鉄 (Si, Mn を含む) の酸素濃度が高いとそれと平衡するスラグの MnO/FeO は小, 従つて FeO rich となり, 酸素濃度が低いと逆に MnO rich となる。上述の (A) 法と (B) 法の実験結果の比較は勿論, 平衡状態からかなりズレているであろうし, また, スラグ, 溶鋼の組成も簡単でないので現象は複雑であるが, 定性的な傾向としては F. KÖRBER, W. OELSEN の結果と矛盾しない。

#### IV. 総 括

以上の結果をまとめると軸受鋼の短時間の酸性溶滓処理により, 介在物の形状, 組成, 構造などに顕著な変化

の認められたのは脱酸剤として Al を使用しない (すべての試験結果から特に期待されるのは Ca-Si のみを用いたものである。) もので, 化学成分は塩基性スラグのものほとんど変わらないが, 酸素含有量がそれより多く (結果として酸化物介在物が増加している。) 圧延方向に長く伸びやすい介在物を多く含むことが認められた。かつこれが  $\text{SiO}_2$ - $\text{FeO}$  系の化合物であり, 多くは  $\text{SiO}_2$  あるいは  $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$  などの構造を有していることが判つた。このような塑性変形しやすい介在物は軸受鋼の実用に際し, 寿命が永いと云われる SKF 材の介在物と形状の上で特徴が一致している (B系介在物がほとんどないということも含めて)。このように合成スラグにより溶鋼を適当に処理することにより, 介在物をコントロールし得ることがわかつた。なお, 上記材料の実用的性質に関し, すでに球状炭化物の大きさが Ca-Si を使用して酸性溶滓処理したものは処理しないものに比べ, 平均して小さく, 分布状態も良好であり, また, 圧壊試験の結果も平均して良いという結果が得られているが, これらの結果および他の動的試験の結果については別に報告する。

終りに臨み, 本研究の遂行に対し, 熱心なる御指導御鞭撻をいただいた大同製鋼研究所長, 浅田千秋博士並びに同所化学冶金研究課長, 相山太郎博士に対し, 厚く感謝の意を表わすと共に実験に御協力いただいた同研究所の諸氏に深く感謝する。 (昭和37年4月寄稿)

#### 文 献

- 1) R. PERRIN: J. Metals, 9 (1957), No. 12, p. 1517
- 2) S. G. VOINOV, A. G. SHALIMOV: Stal, 10 (1960), p. 735
- 3) Z. BUJEK, A. M. SAMARIN: Izvest. Akad. Nauk, S.S.S. R., O.T.N. (1957), No. 9
- 4) W. OELSEN, E. SCHÜRMAN, S. OSMAN: Arch. Eisenhüttenw., 29 (1958) Heft 4, p. 205
- 5) F. KÖRBER, W. OELSEN: Mitt. K. W. Inst., 15 (1933), p. 271