

の間に次の関係が認められた。

$$\log[(\%S)/a_{[S]}[\%Si]^{1/2}]$$

$$=0.867 \log[N_{CaO}^2/N_{SiO_2} + N_{Cr_2O_3}] - 0.723$$

8) 鋼浴 Si%, スラグ成分が一定ならば, S の分配比は温度上昇とともに大となる. すなわち除滓前, 出鋼前をまとめて次式が得られた.

$$\log K_1 (=C_S/V_m \cdot N_{CaO}) = -3040/T + 0.704$$

9) 出鋼前スラグ成分で  $N_{FeO}/V_m \cdot N_{CaO}$  の値が大になると ( $>16 \times 10^{-2}$ ) レードル S% は急激に増大する傾向がある. (昭和37年3月寄稿)

## 文 献

- 1) E. T. TURKDOGAN: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 179 (1955), p. 147
- 2) J. CHIPMAN: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 180 (1955), p. 97
- 3) 足立, 森田: 鉄と鋼, 46 (1960), p.1241
- 4) N. J. GRANT & J. CHIPMAN: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 167 (1946), p. 134
- 5) M. R. KALYARAM & T. G. MACFARLANE: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 195 (1960), p. 57
- 6) N. J. GRANT & J. CHIPMAN: J. Metals, (1951) April, p. 319
- 7) P. HERASYMENKO & G. E. SPEIGHT: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 166 (1950), p. 169

## 消耗電極式アーク溶解前後における成分変化\*

(消耗電極式アーク溶解法の基礎研究—I)

西原 守\*\*・八木芳郎\*\*・成田貴一\*\*・栗原正男\*\*\*

### Change in Compositions of Various Metals before and after Consumable Electrode Arc Melting.

(Basic study on consumable electrode arc melting method—I)

Mamoru NISHIHARA, Yoshiro YAGI, Kiichi NARITA and Masao KURIHARA

#### Synopsis:

In order to study the refining process by the consumable electrode arc melting method, many kinds of metals such as carbon steels, low-alloy steels, bearing steels, stainless steels, heat-resistant alloys, magnetic alloys and titanium are melted by this method, and analyses of chemical components and oxide inclusions are carried out with the materials before and after the consumable electrode arc melting, that is, with the electrodes and the ingots.

The results obtained were as follows:

By the method every oxide content in various steels and alloys was decreased, which resulted in a decrease of the oxygen content as much as by 50% of that of electrode. In the metals containing more or less Al, the  $Al_2O_3$  was decreased mainly; and in the steels scarcely containing Al, the MnO and the  $SiO_2$  were mainly decreased. The decrease of nitrogen content, being not so markedly as of oxygen content, was as much as by about 30%. In the alloying elements, the content of Mn was decreased as much as by about 30%.

## I. 緒 言

消耗電極式アーク溶解法(コンセルアーク溶解法)は溶解すべき材料自身を電極として真空中または不活性ガス中で水冷銅ルツボ中にアーク溶解する方法で, 溶湯は電極から湯滴となつて落下する. したがって溶湯は高温, 高真空に曝され, 溶解中の化学反応が速やかに行な

われ, 各種化合物は熱分解, 蒸発, 還元によつて除去され, また分解し難い不純物はいわゆる浮揚精錬作用によつて溶湯表面に浮上して除去される. この反面, 本溶解法の性質上溶湯は下方から比較的速やかに順次凝固する

\* 昭和36年10月本会講演大会にて発表

\*\* 株式会社神戸製鋼所中央研究所, 工博

\*\*\* 株式会社神戸製鋼所中央研究所

ため溶湯状態に長く保持されず、したがって溶解中に生ずる諸反応が十分完了しないうちに凝固する。この点が高周波真空溶解とことなる特性である。

以上のごとき精錬作用を究明することは、きわめて重要であるが、それらに関する研究は国内は勿論、国外においてもほとんど報告されていない。その理由としては本溶解法が開始されてから未だ日が浅いことと、反応の生ずる溶湯の状態を直接観測すること、その温度を測定することが困難であることなどの研究上の困難さがあげられよう。

筆者らは数年前消耗電極式アーク溶解法の研究を開始して以来各種金属材料を多数溶解し、それらの電極ならびにインゴットの化学成分、ガス成分を調査し、また代表的な鋼種については介在物分析を実施してきた。第1報においてはそれらの結果を総括し、溶解前後における各種成分の変化について報告する。

## II. 実験方法

通常の方法で大気中溶解した材新を鑄造または鍛造して消耗電極を製作し、それらを真空中または不活性ガス中で消耗電極式アーク溶解した。使用した溶解炉は試験用消耗電極式アーク溶解炉（ルツボ径 130mm  $\phi$ 、電流容量 2,500A、溶解中の真空度約  $1 \times 10^{-3}$ mmHg）および工業用消耗電極式アーク溶解炉（ルツボ径 300~500mm  $\phi$ 、電流容量 20,000A、溶解中の真空度  $10^{-2} \sim 10^{-3}$ mmHg）である。

溶解した材料の種類は Table 1 に示すごとくであるが、このうち No. 3, No. 6~9, No. 16~18 は工業用消耗電極式アーク溶解炉により、他は試験用消耗電極式アーク溶解炉により溶製した。またタイムケン 16-25-6 は窒素含有量の減少を防ぐため圧力 100mmHg のアルゴン中で溶解し、チタンの場合は同一スポンジチタンを用いてアルゴン中で消耗電極式アーク溶解して2本のインゴットを製作し、その各々を圧力 780mmHg のアルゴン中または真空中で再溶解し、それぞれアルゴン溶解材および真空溶解材とした。これら以外はすべて真空中で溶解を行なった。

分析試料は消耗電極ならびにアーク溶解インゴットより採取し、各種成分の化学分析、ガス分析および代表的鋼種については介在物分析を行なった。このうち酸素、水素は NRC ガス分析装置により、窒素はケルダール法により行ない、また介在物分析は炭素鋼 SS-41, Ni-Cr-Mo 鋼, SAE 4340, ステンレス鋼 304L および析出硬化型ステンレス鋼 17-7PH は温硝酸法により、磁性材料 50Fe-50Ni 合金は温硫酸法により、また軸受鋼

SUJ-2 は温硫酸法に準じて炭化物が残らないように留意して行なった。

## III. 実験結果

Table 1 は各種材料の電極材およびアーク溶解材の化学分析ならびにガス分析結果を、Table 2 は代表的鋼種のサンド分析結果を総括したものである。Table 3 は介在物分析結果と酸素分析結果を総括したものである。各種酸化物の減少量を C 項に示し、それより計算によつて求めた酸素減少量を D 項に示した。それらの和は \* 項のごとくで酸素分析結果とほぼ同様の値を示している。さらに各種酸化物の減少による酸素減少量の割合を求めるため、D の各項とそれらの和 (\* 項) との比を E 項に示した。

## IV. 総括

### 1) 酸素について

(i) Table 1 に示した実験結果より、普通炭素鋼、合金鋼、ステンレス鋼、耐熱合金、Ni 基合金においては消耗電極式アーク溶解することにより酸素量ははじめの 50% 以下に減少するのが認められる。

(ii) Table 2 に示した介在物分析結果から、あらゆる種類の酸化物が消耗電極式アーク溶解によつていちじるしく減少しており、Table 3 に示したごとく酸化物の減少による酸素量の減少の総和はほぼガス分析より求めた全酸素量の減少に相当する。

(iii) 炭素鋼、低合金鋼、ステンレス鋼においては  $Al_2O_3$  の減少がとくにいちじるしく、Table 3 に示すごとく各種酸化物の減少による酸素の減少において、 $Al_2O_3$  の占める役割は炭素鋼 SS-41 においては約 98% Ni-Cr-Mo 鋼 SAE 4340 においては約 95%、高炭素低クロム軸受鋼 SUJ 2 においては約 98~100%、ステンレス鋼 AISI 304 においては約 42%、Al 含有量の多い析出硬化型ステンレス鋼 17-7PH の第1次消耗電極式アーク溶解においては約 95%、第2次消耗電極式アーク溶解においては約 50% になつている。これらはいずれも電極材中に含まれる酸素が  $Al_2O_3$  の形として最も多く含有されているものである。

本試験に使用した各種の鋼は標準組成と考えられ、その Al 含有量も普通である。この程度の Al を含有する時は、Al と酸素の親和力がきわめて強いため前述したごとく酸素量の大部分が Al との化合物の形で存在する。したがって消耗電極式アーク溶解によりこれが減少することは大きな意味をもつものといえよう。

(iv) Al をほとんど含有しないか、あるいは比較的含有量の少ない鋼種では酸素は他の脱酸素素と結合している。すなわち  $SiO_2$ ,  $MnO$  などとして多く存在してい

Table 1. Chemical compositions of various metals before and after

Test No.	Kind of metals	Composition (%)		C	Mn	Si	P	S	Cu
		Classification							
No. 1	Carbon steel S S-41	Air-melted electrode	Arc-melted material	0.16 0.16	0.54 0.40	0.23 0.25	0.015 0.016	0.040 0.038	0.26 0.23
No. 2	Carbon steel S S-41	Air-melted electrode	Arc-melted material (1) Arc-melted material (2)	0.17 0.18 0.18	0.44 0.33 0.21	0.19 0.18 0.19	0.024 0.026 0.027	0.027 0.026 0.024	
No. 3	Ni-Cr-Mo steel SAE 4340	Air-melted electrode	Arc-melted material	0.36 0.37	0.68 0.57	0.27 0.27	0.011 0.010	0.009 0.008	0.17 0.17
No. 4	Bearing steel SUJ 2	Air-melted electrode	Arc-melted material	1.01 1.00	0.35 0.29	0.29 0.29	0.015 0.013	0.008 0.008	0.11 0.11
No. 5	Bearing steel SUJ 2	Air-melted electrode	Arc-melted material	1.02 1.02	0.48 0.31	0.31 0.30	0.014 0.012	0.009 0.008	0.11 0.10
No. 6	Stainless steel AISI 304	Air-melted electrode	Arc-melted material	0.06 0.04	1.23 1.09	0.34 0.35	0.025 0.025	0.009 0.009	
No. 7	Stainless steel AISI 316L	Air-melted electrode	Arc-melted material	0.030 0.029	1.84 1.42	0.76 0.75	0.011 0.011	0.013 0.013	0.05 0.05
No. 8	Stainless steel AISI 347	Air-melted electrode	Arc-melted material	0.022 0.027	1.66 1.13	0.11 0.11	0.011 0.011	0.010 0.009	0.12 0.12
No. 9	Stainless steel E-312	Air-melted electrode	Arc-melted material	0.11 0.11	1.72 1.48	0.29 0.28	0.016 0.016	0.020 0.019	0.06 0.07
No. 10	Stainless steel 17-7 PH	Air-melted electrode	Arc-melted material (1) Arc-melted material (2)	0.061 0.062 0.061	1.27 0.85 0.84	0.48 0.48 0.47	0.013 0.014 0.015	0.016 0.014 0.016	
No. 11	Timken 16-25-6	Air-melted electrode	Arc-melted material	0.085 0.095	1.43 1.26	0.35 0.35	0.016 0.016	0.016 0.017	
No. 12	Heat-resistant alloy A-286	Air-melted electrode	Arc-melted material	0.074 0.075	2.68 2.51	1.08 1.02	0.018 0.017	0.006 0.006	
No. 13	Ni-base alloy Hastelloy W	Air-melted electrode	Arc-melted material	0.016 0.017	0.68 0.62	0.67 0.61	0.009 0.012	0.001 0.001	
No. 14	Magnetic alloy 50Fe-50Ni	Air-melted electrode	Arc-melted material	0.013 0.013	0.20 0.21	0.03 <0.01	0.006 0.003	0.010 0.010	
No. 15	Magnetic alloy 50Fe-50Ni	Air-melted electrode	Arc-melted material	0.013 0.013	0.13 0.13	<0.01 <0.01	0.003 0.003	0.010 0.010	
No. 16	Titanium	Argon-melted material	Vacuum melted material	0.030 0.029		0.010 0.011			

Note "(1)" melted by consumable electrode arc method.

"(2)" is remelted by consumable electrode arc method "(1)"

る。例えば 50Fe-50Ni 磁性材料においてはその電極材中に  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  の形で存在する酸素がそれぞれ全体の約 66%, 28% を占めている。これを真空中で消耗電極式アーク溶解すれば、それらはいちじるしく減少し  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  の減少による酸素の減少がそれぞ全酸素減少量の 58%, 26% に達する。

またステンレス鋼 AISI 304 においては  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$

の形で存在する酸素が比較的多くそれぞれ 12%, 19%, でこれらは消耗電極式アーク溶解によりいちじるしく減少し、それらによる酸素の減少はそれぞれ全体の 17%, 28% である。かくのごとく  $\text{Al}_2\text{O}_3$  以外の形で存在する酸化物も消耗電極式アーク溶解によりいちじるしく減少する。

以上要するに電極中に存在する酸化物はその形のいか

consumable electrode arc melting.

Sn	Ni	Cr	Al	Mo	Cb	Ti	V	Fe	CO	N	O	H
0.040 0.036	<0.10 <0.10	<0.10 <0.10	0.009 0.008							0.0055 0.0046	0.0070 0.0034	
										0.0033 0.0030 0.0017	0.0051 0.0010 0.0006	
	1.76 1.77	0.82 0.84	0.015 0.013	0.28 0.26						0.0097 0.0065	0.0043 0.0016	
0.019 0.014	0.05 0.05	1.40 1.39	0.013 0.014							0.0091 0.0071	0.0047 0.0030	
0.016 0.014	0.05 0.05	1.48 1.46	0.025 0.024							0.0089 0.0060	0.0042 0.0015	
	8.63 8.62	17.85 17.79	0.010 0.010	0.10 0.11						0.029 0.029	0.0107 0.0044	
	11.10 11.19	18.29 18.46		2.76 2.75						0.017 0.017	0.0084 0.0033	
	10.61 10.48	19.39 19.71			0.90 0.89					0.014 0.014	0.043 0.017	
	9.65 9.73	30.33 30.78		0.04 0.03						0.044 0.044	0.0243 0.0128	
	7.08 7.12 7.02	16.7 16.6 16.5	1.20 1.20 1.17							0.020 0.017 0.014	0.0055 0.0018 0.0009	
	25.05 25.18	16.78 16.80		5.92 6.10						0.12 0.12	0.020 0.0038	0.0010 0.0005
	27.45 27.60	15.53 15.72	0.15 0.16	1.48 1.44		1.52 1.57	0.27 0.26			0.0085 0.0065	0.043 0.009	
	Balance "	4.92 5.04		23.82 23.64			0.21 0.24	6.25 6.97	2.42 2.47	0.0058 0.0044	0.0113 0.0060	0.0006 0.0001
	Balance "		0.003 0.003					50.1 49.4		0.0028 0.0028	0.019 0.008	
	Balance "		0.003 0.002					49.8 49.8		0.0018 0.0017	0.0180 0.0088	
								0.060 0.062		0.0060 0.0060	0.090 0.087	0.0042 0.0022

んを問わず消耗電極式アーク溶解により顕著に減少する。

2) 窒素, 水素について.

窒素の減少は酸素ほどいちじるしくなく, 比較的減少のいちじるしい低合金鋼, 軸受鋼の場合で減少率は約30%である. ステンレス鋼ではほとんど減少が認められない.

水素は鉄鋼材料ではもともと含有量が少なく, またアーク溶解材からは水素分析用試料を普通溶解におけるごとき方法で採取することができないが, アーク溶解インゴットについて分析を実施した鋼種では減少がいちじるしく, またチタンの場合は真空溶解材がアルゴン溶解材に比し明瞭に減少するのが認められる.

3) 合金元素

Table 2. Results of oxide inclusion analyses of various metals before and after consumable electrode arc melting.

Test No.	Kind of metals	Composition (%)		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	FeO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO
		Classification						
No. 1	Carbon steel SS-41	Air melted electrode	Arc melted material	0.0060 0.0005	0.0004 0.0004	0.0005 0.0005	None //	None //
No. 3	Ni-Cr-Mo steel SAE 4340	Air melted electrode	Arc melted material	0.0072 0.0021	0.0002 tr.	0.0006 0.0005	tr. //	None //
No. 4	Bearing steel SUJ 2	Air melted electrode	Arc melted material	0.0058 0.0030	0.0001 0.0001	0.0004 0.0005	None //	None //
No. 5	Bearing steel SUJ 2	Air melted electrode	Arc melted material	0.0075 0.0012	0.0002 0.0001	0.0004 0.0003	None //	None //
No. 6	Stainless steel AISI 304	Air melted electrode	Arc melted material	0.0118 0.0060	0.0021 0.0006	0.0006 0.0005	0.0037 0.0002	0.0081 tr.
No. 10	Stainless steel 17-7 PH	Air melted electrode	Arc melted material (1) Arc melted material (2)*	0.0127 0.0036 0.0026	0.0010 0.0011 0.0011	0.0008 0.0008 0.0006	0.0008 0.0005 0.0002	None // //
No. 14	Magnetic alloy 50Fe-50Ni	Air melted electrode	Arc melted material	0.0009 0.0005	0.0174 0.0004	0.0016 0.0011	tr. //	0.0122 0.0012
No. 15	Magnetic alloy 50Fe-50Ni	Air melted electrode	Arc melted Material	0.0010 0.0003	0.0197 0.0005	0.0021 0.0007	tr. //	0.0019 tr.

\* As well as shown in Table 1

Table 3. Decreased quantities and ratios of oxygen contents corresponding to various oxides contained in various metals before and after consumable electrode arc melting.

Test No.	Kind of metals	Composition		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	FeO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	O	Al
		Classification								
No. 1	Carbon steel SS-41	A (ppm)		60	5	5	0	0	70	—
		B (ppm)		5	4	5	0	0	34	—
		C (ppm)		55	1	0	0	0	36	—
		D (ppm)		26	0.5	0	0	0	26.5*	—
		E (%)		98	2	0	0	0	—	—
No. 3	Ni-Cr-Mo steel SAE 4340	A (ppm)		72	2	6	tr.	0	43	150
		B (ppm)		21	tr.	5	tr.	0	16	130
		C (ppm)		51	2	1	0	0	27	20
		D (ppm)		24	1.1	0.2	0	0	25.3*	—
		E (%)		95	4	1	0	0	—	—
No. 4	Bearing steel SUJ 2	A (ppm)		58	1	4	0	0	47	130
		B (ppm)		30	1	5	0	0	30	140
		C (ppm)		28	0	0	0	0	17	0
		D (ppm)		13	0	0	0	0	13*	—
		E (%)		100	0	0	0	0	—	—
No. 5	Bearing steel SUJ 2	A (ppm)		75	2	4	0	0	42	250
		B (ppm)		12	1	3	0	0	15	240
		C (ppm)		63	1	1	0	0	27	10
		D (ppm)		29	0.5	0.2	0	0	29.7*	—
		E (%)		98	1.7	0.3	0	0	—	—
No. 6	Stainless steel AISI 304	A (ppm)		18	21	6	37	81	107	—
		B (ppm)		60	6	5	2	tr.	41	—
		C (ppm)		58	15	1	35	81	66	—
		D (ppm)		27	8	0.2	11	19	65.2*	—
		E (%)		42	12	0.3	17	28	—	—

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