

## (2) 焼 結 層

1400°C で 2.02% の膨張率を示し、表面反応層よりも 0.7% 少ない。鉄の固溶が少なく  $MgO \cdot Al_2O_3$  の生成量が多いため比較的膨張率が小さい。耐火材を成形し、1500°C に加熱した試料の膨張率と類似している所から表面より 10~30mm の範囲で約 1500°C の熱効果を受けているようである。

## (3) 非焼結層

表面反応層と 1400°C において同じ膨張率を示している (2.52%)。しかし膨張過程をみると 1000°C 以下の膨張係数は  $1.3 \times 10^{-5}$  で 1000°C~1400°C の膨張係数は  $3.0 \times 10^{-5}$  で約 2.3 倍である。加熱効果を受けていない耐火材の膨張率と 1000°C まではよく類似している。すなわちスピネルの生成が完全に進行していないためと考えられる。

## 3. 一般物理性質

各層別の一般物理性質を Table 1 に示す。

Table 1. Physical properties of different zones.

	Attaching zone (A)	Sintering zone (B)	Non-sintering zone (C)	Green body
Apparent porosity %	0.06	1.81	23.3	21.6
Bulk density	3.27	2.69	2.53	2.55

これらの数値より明らかなように、使用中の温度勾配による温度効果は明瞭に現われている。(A) においては溶鋼と反応し、また侵透によりペリクレス中へ固溶した Fe が当然考えられる。耐火材の緻密さは侵透物との反応により気孔率がほとんど零に近く、緻密な組織となつている。(B) においては、1550°C~1300°C の温度効果を受け明らかに焼結性を示している。1000°C 以下と考えられる (C) の見掛気孔率は加熱前の試料のそれよりも大きくなつている。これは 1000°C 以下において強度の弱くなる点が存在するという点より、粒子の膨張、反応層、焼結層の膨張による圧力によるずれ、ゆるみ、焼結始発による結果と考えられる。

## IV. 結 言

大型高周波誘導炉—とくに出鋼能力 3t 以上—の内張耐火材として、酸性耐火材の使用によりかなりの成績を収めているが、従来満足すべき結果があまり期待されなかつた塩基性耐火材とくにマグネシヤタイプによつて内張した結果を要約するとつぎのようである。

(1) 使用後の内張材の破断面より鉄の侵透は表面よ

り 5~10mm でその部分の色が黒褐色に変じ、約 30mm は緻密な焼結組織となりコイルに近づくにしたがい未焼結で多孔性である。

(2) 溶鋼に接した面の焼結がよくコイルに近づくにつれてスピネル結合による安定な組織を呈し、温度勾配による緩衝材的效果を得ているようである。

(3) 高純度 ( $MgO > 96\%$ ) の電融マグネシヤを使用することにより、スピネル結合と相俟つて、溶鋼ならびに鉍滓に対する耐食性にすぐれた結果をえた。

(4) 出鋼能力 3t 以上の大型高周波誘導炉において、従来使用困難と考えられていたマグネシヤタイプで  $MgO > 96\%$  の電融マグネシヤを使用することにより充分 (3t 炉で耐用回数 200 回以上) 使用に耐えることができる。

## 文 献

- 1) J. H. CHESTERS: Steel Plant, (1957) p. 526~544.
- 2) 錦織清治, 丹羽庄平: 電気製鋼 21 (昭和 25 年) 6, p. 213~225.

## (79) 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)

神戸製鋼所中央研究所

西原 守・〇八木 芳郎

工博 成田 貴一・栗原 正男

Change of Composition between before and after Consumable Electrode Arc Melting.

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

Mamoru NISHIHARA, Yoshiro YAGI,

Dr. Kiichi NARITA and Masao KURIHARA

## I. 緒 言

消耗電極式アーク溶解法 (以下コンセルアーク溶解法と略称する) における精練作用を究明することは、本溶解法の応用上、あるいはその発展のためにきわめて重要であるが、従来これに関する報告はいまだ見られない。これは本溶解法の歴史が比較的浅いことと、溶湯面における温度、真空度の測定などの実験上の困難さが原因であろう。

筆者らは従来よりコンセルアーク溶解した各種材料の材質上の優位性についてしばしば言及してきたが、今回

その精練作用について実験ならびに考察を加えた。第 1 報において多数の鋼種について実施したコンセルアーク溶解前後における成分変化について述べる。

II. 実験方法ならびに結果

使用した溶解炉は試験用コンセルアーク溶解炉 (ルツボ径 130 mm φ, 電流量 2,500A, 溶解中の真空度約 1×10<sup>-3</sup>mm Hg) および工業用コンセルアーク溶解炉 (ルツボ径 300~500mm φ, 電流量 20,000A, 溶解中の真空度約 10<sup>-2</sup>~10<sup>-3</sup>mm Hg) である。消耗電極は空气中溶解した材料を鑄造または鍛造により製作し, それらを再溶解してコンセルアーク溶解インゴットとした。分析試料を電極材および溶解材より採取し, 化学成分, ガス分析 (酸素は NRC ガス分析装置により, 窒素は チェルダール法による) および代表的な鋼種についてはサンド分析を実施した。Table 1~2 にこれらの分析結果の代表例を示す。また Table 3 は実施したサンド分析結果と酸素分析結果を総括したものである。

III. 結果の総括

1. 酸素

(1) ほとんどの鉄鋼材料, 耐熱合金すなわち普通炭素鋼, 合金鋼, ステンレス鋼, 耐熱鋼, Ni 基合金においてコンセルアーク溶解により酸素量が電極材の 50% 以下に減少している。

(2) Table 2 よりわかるように, ほとんどすべての種類の酸化物がコンセルアーク溶解によりいちじるしく減少し, 酸化物減少による酸素量減少の総和とガス分析による全酸素量の減少はほぼ匹敵する。

(3) 炭素鋼, 低合金鋼, ステ

Table 1. Chemical compositions of air-melted and consumable electrode arc (Cons-el arc) melted metals.

Kind of metals	Composition (%)		C	Mn	Si	P	S	Cu	Sn	Ni	Cr	Al	Mo	Cb	Ti	V	Fe	Co	N	O	H
	Air melted	Cons-el arc melted																			
Carbon steel S S-41	Air melted	0.16	0.54	0.23	0.015	0.040	0.26	0.040	<0.10	<0.10	<0.10	0.009							0.0055	0.0070	
	Cons-el arc melted	0.16	0.40	0.25	0.016	0.038	0.23	0.036	<0.10	<0.10	<0.10	0.008							0.0046	0.0036	
Ni-Cr-Mo steel S A E4340	Air melted	0.36	0.68	0.27	0.010	0.009	0.17	0.17	1.76	0.82	0.15	0.28							0.0097	0.0043	
	Cons-el arc melted	0.37	0.57	0.27	0.010	0.008	0.17	0.17	1.77	0.84	0.13	0.26							0.0065	0.0016	
Bearing steel S U J 2	Air melted	1.01	0.35	0.29	0.015	0.008	0.11	0.11	0.05	1.40	0.13								0.0091	0.0047	
	Cons-el arc melted	1.00	0.29	0.29	0.013	0.008	0.11	0.11	0.05	1.39	0.14								0.0071	0.0030	
Stainless steel A I S I 304	Air melted	0.06	1.23	0.34	0.025	0.009			8.63	17.85	0.10	0.10							0.029	0.0107	
	Cons-el arc melted	0.04	1.09	0.35	0.025	0.009			8.62	17.79	0.10	0.11							0.029	0.0044	
Stainless steel 17-7 PH	Air melted	0.061	1.27	0.48	0.013	0.016			7.08	16.7	1.20								0.020	0.0055	
	Cons-el arc melted (1)	0.062	0.85	0.48	0.014	0.014			7.12	16.6	1.20								0.017	0.0018	
	Cons-el arc melted (2)*	0.061	0.84	0.47	0.015	0.016			7.02	16.5	1.17								0.014	0.0009	
Magnetic alloy 50Fe-50Ni(1)	Air melted	0.013	0.20	0.03	0.006	0.010			Bal.		0.003								0.0028	0.019	
	Cons-el arc melted	0.013	0.21	<0.01	0.003	0.010			〃		0.003								0.0028	0.008	
Titanium	Melted in Ar (A-Ar)	0.030		0.010															0.0060	0.090	0.0042
	Vacuum melted (A-V)	0.029		0.01															0.0060	0.087	0.0022

\* "(2)" was produced by cons-el arc remelting "(1)".

Table 2. Results of sand analysis of air-melted and Cons-el arc melted metals.

Kind of metals	Classification	Composition (%)				
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	FeO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO
Carbon steel S S-41	Air melted	0.0060	0.0004	0.0005	None	None
	Cons-el arc melted	0.0050	0.0004	0.0005	//	//
Ni-Cr-Mo steel S A E4340	Air melted	0.0072	0.0002	0.0006	tr.	None
	Cons-el arc melted	0.0021	tr.	0.0005	//	//
Bearing steel SUJ 2	Air melted	0.0058	0.0001	0.0004	None	None
	Cons-el arc melted	0.0030	0.0001	0.0005	//	//
Stainless steel AISI 304	Air melted	0.0118	0.0021	0.0006	0.0037	0.0081
	Cons-el arc melted	0.0060	0.0006	0.0005	0.0002	tr.
Stainless steel 17-7 pH	Air melted	0.0127	0.0010	0.0008	0.0008	None
	Cons-el arc melted(1)	0.0036	0.0011	0.0008	0.0005	//
	Cons-el arc melted(2)*	0.0026	0.0011	0.0006	0.0002	//
Magnetic alloy 50Fe-50Ni	Air melted	0.0009	0.0174	0.0016	tr.	0.0122
	Cons-el arc melted	0.0005	0.0004	0.0011	//	0.0012

\* as well as shown in Table 1.

Table 3. Decreased quantity and its ratio of various oxides after consumable electrode arc melting.

Kind of metals	Classification	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
Carbon steel S S-41	A (ppm)	60	5	5	0	0	70	
	B (ppm)	5	4	5	0	0	36	
	C (ppm)	55	1	0	0	0	34	
	D (ppm)	26	0.5	0	0	0	26.5*	
	E (%)**	98	2	0	0	0		
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		
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		
Stainless steel AISI 304	A (ppm)	118	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		
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
	D (ppm)	43	0	0	2	0	45*	
	E (%)**	96	0	0	4	0		
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		
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	10	5	0	110	110	
	D (ppm)	2	58	1	0	26	87*	
	E (%)**	2	67	1	0	30		

A: Air-melted, B: Cons-el arc melted, C: Decreased oxide quantity,

D: Decreased oxygen quantity calculated from (C), and sum of them was shown in \* term.

E: Ratio of decreased oxygen quantity (D) versus sum of oxygen decrease (E).

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、 $Al_2O_3$  の減少が全酸素の減少中占める割合が炭素鋼 SS-41 においては 98%、Ni-Cr-Mo 鋼 SAE 4340 においては 95%、軸受鋼 SUJ 2 においては 98~100%、ステンレス鋼 AISI 304 においては 42%、ステンレス鋼 17-7 PH の第 1 次溶解で 95%、第 2 次溶解では 50% を占める。また 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酸素が  $SiO_2$ 、 $MnO$  などとして多く存在しているものでは、これらはコンセルアーク溶解により明瞭に減少する。50 Fe-50 Ni 磁性材料においては  $SiO_2$ 、 $MnO$  の減少が全酸素量の減少中に占める割合がそれぞれ 58%、26% に達する。すなわち電極中に存在する酸化物はその形のいかんをとはずコンセルアーク溶解により顕著に減少する。

### 2. 窒素、水素

窒素の減少は酸素ほどいちじるしくない。減少の多い場合で、その率は 30% 程度である。

水素は鉄鋼材料ではもともと含有量が少なく、またコンセルアーク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、分析を実施した鋼種では減少がいちじるしく、またチタンの場合真空中でコンセルアーク溶解すれば明瞭に減少するのが認められる。

### 3. 合金元素

蒸気圧の高い Mn はコンセルアーク溶解により明らかに減少する。鋼種、含有量により異なるが、コンセルアーク材は電極材の約 70% 程度になる。ついで蒸気圧の高い Cu、Sn は普通のコンセルアーク溶解では減少が目だたない。

## (80) 消耗電極式アーク溶解における精錬作用について

(消耗電極式アーク溶解法の基礎研究—II)

神戸製鋼所中央研究所

西原 守・〇八木 芳郎

工博 成田 貴一・栗原 正男

Study on the Refining Process in Consumable Electrode Arc Melting.  
(Basic study on the consumable electrode arc melting method—II)

Mamoru NISHIHARA, Yoshiro YAGI,

Dr. Kiichi NARITA and Masao KURIHARA

### I. 緒 言

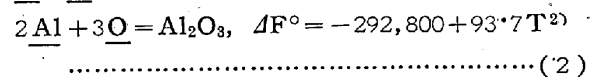
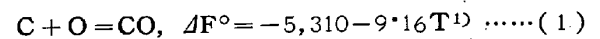
前報に述べたコンセルアーク溶解前後における各種成分の変化とさらに実施した実験の結果に基づき、コンセルアーク溶解中における精錬作用について考察を行なった。

### II. 精錬作用の考察

#### 1. 酸素について

(1) 前報に述べたごとく、コンセルアーク溶解により  $Al_2O_3$  がいちじるしく減少する。まず  $Al_2O_3$  の C による還元を熱力学的にしらべた。ただし以後溶湯中の各元素の活量はそれぞれの%濃度に等しいとする。

溶鋼中での C、O の反応および Al、O の反応における標準自由エネルギー変化は次式であたえられる。



(1) 式より、溶解中の真空度が高くなると炭素の脱酸力がいちじるしく大となることはよく知られている。したがって真空中でコンセルアーク溶解すれば溶湯温度の高いことと相まって  $Al_2O_3$  が還元される可能性は大きい。その関係をみるため (1) 式より各種炭素含有量、各種 CO 分圧における  $RT \ln [\%O]$  と温度の関係を、また (2) 式より Al を 0.02% としたときの同様の関係を求めて Fig. 1 に示した。前者の直線群と後者の直線との交点以上の温度では  $Al_2O_3$  が溶湯中の炭素により還元されることとなる。コンセルアーク溶解時の溶湯温度を 1600~1800°C<sup>2)</sup> とすれば、Fig. 1 からみて充分還元される可能性がある。

(2)  $SiO_2$ 、 $MnO$ 、 $Cr_2O_3$  などはいずれも  $Al_2O_3$  より還元されやすい。

