

Juli, s. 383~398.

- 2) 川西, 森: 鉄と鋼, 47 (1961) 10, p. 1384
- 3) 北村, 他: 鉄と鋼, 48 (1962) 11, p. 1338
- 4) HELMUT KNÜPPEL et alie: Stahl u. Eisen, 82 (1962) 10, S. 604~612

669,187,251,7-982

(94) 消耗電極式真空アーク溶解における組成変化について

日立金属工業安来工場 63094
 鈴木禎一・伊達山静男・○工藤武司

Change in Compositions on Consumable-Electrode Vacuum Arc Melting. 465~468
 Teiichi SUZUMOTO, Shizuo DATEYAMA and Takeshi KUDŌ.

I. 緒言

真空アーク溶解によつて溶解材中の高蒸気圧成分が蒸発減少する。したがつて目標組成の鋼塊をうるには真空アーク溶解における組成変化を把握し、これを考慮して真空溶解に供する電極材を調製する必要がある。真空アーク溶解による組成変化を知るため 1t 消耗電極式真空アーク炉により各種特殊鋼、耐熱合金を溶解して溶解前後の組成を比較するとともに蒸着物の組成を検討した。

II. 実験方法

使用した真空アーク炉は日本真空技術KK製 1t 消耗電極式真空アーク炉であり、本溶解には 305mm φ 2100 mm ml の電極材を用いた。溶解電流は 8000 A、溶解電圧は 25~30 V (アーク長さが 25~30 mm となるような各鋼種の適当電圧) で溶解速度は 4.5~6.0 kg/mn、真空度はタンク部で 0.7~10 μHg である。

分析試料は電極材では鍛造時の取鍋試料および溶解残材から、真空溶解鋼塊では表面から 8mm 以上の位置または鍛造過程にて採取した。予備実験として真空アーク溶解鋼塊を縦断し、縦断面から 50 個の試料を採取して鋼塊の成分分布を調査した結果、C 0.225%, σ = 0.0097, Si 0.384%, σ = 0.0082%, Mn 0.327%, σ = 0.0179%, Ni 0.217%, σ = 0.0079%, Cr 11.83%, σ = 0.106%, Cu 0.064%, σ = 0.0138%, As = 0.0185%, σ = 0.0029%, Sn 0.0189%, σ = 0.0016% となりいずれも分析誤差以上のバラツキは認められなかつた。また表面部では Mn が富化されているが 6mm 以上では中心部と変りないことが判明した。

合金元素の蒸発を知るため真空アーク溶解における鋳型壁蒸着物を分析した。試料は溶解終了後鋼塊上表面より 150mm の位置から溶鋼スプラッシュなどの含まないものを採取した。

III. 結果および考察

(1) 真空アーク溶解前後の比較

各鋼種の真空アーク溶解前後の分析値を Table 1 に、Ni 基および Co 系耐熱合金の例を Table 2 に示した。組成変化率 (K = V/A) を求めると Mn については鋼種による差異が大きいがその他の元素についてはほぼ同

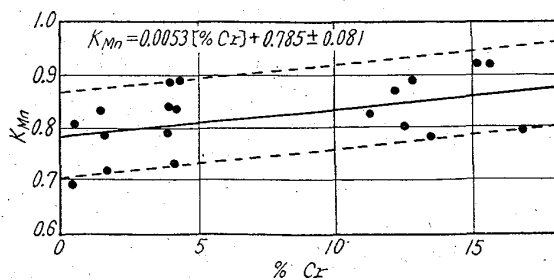


Fig. 1. Relation between K_{Mn} and chromium content of the electrode.

一でありこれらを平均して示してある。Table 1 から S, Cu は約 93%, 96% に各々減少し、また V も多少減少の傾向をもつことが判る。C はわづかに減少の傾向を示しているが明確ではない。P については含有量が低いため変化率は 1 以下であるが実際には変化ないと思われる。その他 Si, Ni, Cr, W, Mo は変化していない。Mn の変化率 (K_{Mn}) について他成分の影響を調査した結果 Fig. 1 のごとく Cr との相関があり Cr 含有量が大なる場合には Mn の減少率が低下することが判明した。この理由は未だ明らかではないが Cr による Mn の活量低下も考えられる。本実験の Cr 含有範囲では K_{Mn} と Cr 含有量との関係は次式で表しうる。

$$K_{Mn} = 0.0053[\%Cr] + 0.785 \pm 0.081 \dots (1)$$

また Table 2 より Fe 基以外の合金では Mn の減少率が極度に低下している。これは溶融 Ni および Co 中では Mn の活量が大きく低下しているためであろう。

(2) 蒸着物分析結果

Table 3 に蒸着物分析結果を溶解材の組成と対比して示した。蒸着物中には Mn, S, Cu が大きく富化されておりまた C, Sn, As も多少富化されている。すなわち真空アーク溶解によりこれらの成分が蒸発していることが判る。真空溶解における合金元素 B の蒸発速度 W は Langmuir の式から次式のごとく表わせる。

$$W = K \cdot \sqrt{\frac{M_B}{2\pi RT}} \cdot A \cdot P_B^{\frac{1}{2}} \cdot \gamma_B \cdot N_B \dots (2)$$

ここに M_B は B 元素の原子量, A は蒸発面積, $P_B^{\frac{1}{2}}$ は B 元素の純粋状態での蒸気圧, γ_B は活量係数, N_B は B 成分のモル分率である。いま Fe-B 2 元素を考え、真空溶解前に Fe が a(g), B が b(g) あつたとし、これが真空溶解によつて各々 x, y(g) 蒸発したとすると次式が誘導される。

$$(1-y/b) = (1-x/a)^\alpha \dots (3)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{M_{Fe}}{M_B}} \cdot \frac{\gamma_B P_B^{\frac{1}{2}}}{\gamma_{Fe} P_{Fe}^{\frac{1}{2}}} \dots (4)$$

すなわち α を知ることにより組成変化が判り α = 1 では不変, α > 1 では B 成分が減少, α < 1 ならば B 成分が増大する。Table 3 の蒸着物組成は溶解材によつてバラツキが大きくこれらを定量的に取扱うことは無理であるが、平均的値を用い、他成分の影響を無視し、また総蒸発量を 4kg, Fe 蒸発量を 2kg と仮定して α を求めた結果を Table 4 に示した。ここで求めた α 値は上述のごとくきわめて粗雑なものであるが M. OLETTE の実測値および筆者らの計算値に比較的近い値を示しており蒸発程度を推定することができる。

Table 1. Change in chemical composition (%) of various steels on vacuum arc melting.

Steels	Sample	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	V	Co	Al	Cu
1% Mn	A	0.12	0.20	0.98	0.016	—	0.14	0.31	—	0.07	—	—	—	0.14
	V	0.12	0.19	0.68	0.017	—	0.14	0.30	—	0.06	—	—	—	0.13
SNC 21	A	0.15	0.27	0.62	0.012	0.007	2.25	0.40	—	—	—	—	—	0.14
	V	0.15	0.26	0.50	0.011	0.006	2.29	0.40	—	—	—	—	—	0.13
SACM 2	A	0.25	0.22	0.65	0.020	0.012	3.20	1.50	—	0.28	—	—	—	0.03
	V	0.26	0.21	0.51	0.019	0.010	3.20	1.49	—	0.28	—	—	—	0.04
SACM 2	A	0.44	0.15	0.43	0.012	0.013	0.10	1.55	—	0.27	—	—	1.08	0.10
	V	0.42	0.15	0.31	0.010	0.013	0.10	1.51	—	0.27	—	—	1.11	0.11
SUJ 2	A	0.95	0.32	0.36	0.013	0.007	0.01	1.42	—	—	—	—	—	0.01
	V	0.96	0.32	0.30	0.013	0.007	0.01	1.48	—	—	—	—	—	0.01
XVC 1	A	1.34	0.23	0.45	0.011	0.009	0.05	4.22	8.85	1.29	4.15	—	—	0.05
	V	1.31	0.25	0.40	0.011	0.007	0.05	4.21	8.85	1.25	4.07	—	—	0.04
HX 2	A	0.79	0.23	0.31	0.013	0.006	0.10	3.95	17.76	0.54	1.05	—	—	0.07
	V	0.78	0.23	0.26	0.013	0.005	0.09	3.94	17.72	0.54	1.02	—	—	0.07
HXV 3	A	0.82	0.24	0.30	0.014	0.004	0.07	4.05	18.14	0.80	1.65	5.14	—	0.07
	V	0.80	0.25	0.22	0.015	0.004	0.07	4.13	17.61	0.78	1.64	5.01	—	0.06
YXM 1	A	0.85	0.20	0.29	0.011	0.008	0.05	3.86	6.50	5.37	2.03	—	—	0.08
	V	0.83	0.23	0.23	0.011	0.007	0.05	3.87	6.24	5.35	1.98	—	—	0.07
YXM 2	A	0.98	0.24	0.37	0.011	0.004	0.10	4.00	6.83	5.27	2.47	—	—	0.08
	V	0.98	0.24	0.33	0.011	0.003	0.09	3.99	6.79	5.30	2.48	—	—	0.07
YXM 3	A	0.99	0.24	0.37	0.019	0.010	0.08	4.05	9.93	2.72	2.79	5.02	—	0.08
	V	0.98	0.24	0.31	0.018	0.010	0.08	4.07	10.03	2.68	2.73	5.02	—	0.07
SLD	A	1.52	0.21	0.46	0.016	0.008	0.09	12.21	—	1.02	0.31	—	—	0.06
	V	1.51	0.21	0.40	0.016	0.007	0.10	11.99	—	0.99	0.30	—	—	0.06
CRQ	A	2.08	0.23	0.48	0.020	0.006	0.12	12.75	—	1.61	1.08	—	—	0.06
	V	2.06	0.24	0.43	0.019	0.006	0.12	13.39	—	1.56	1.02	—	—	0.06
SUS 23	A	0.34	0.34	0.56	0.017	0.010	0.10	13.39	—	—	—	—	—	0.08
	V	0.33	0.34	0.44	0.017	0.011	0.09	13.47	—	—	—	—	—	0.08
SUS 22	A	0.16	0.34	0.41	0.017	0.012	0.23	12.45	—	—	—	—	—	0.11
	V	0.15	0.34	0.33	0.017	0.012	0.23	12.43	—	—	—	—	—	0.11
	A	0.23	0.42	0.77	0.018	0.006	0.77	11.27	1.09	1.01	0.24	—	—	0.10
	V	0.22	0.43	0.64	0.019	0.006	0.77	11.30	1.10	1.00	0.24	—	—	0.08
AISI 440C	A	1.03	0.34	0.53	0.016	0.014	0.22	16.86	—	0.41	—	—	—	0.09
	V	1.04	0.33	0.42	0.015	0.013	0.20	16.96	—	0.40	—	—	—	0.09
SEH 4	A	0.38	1.86	0.51	0.010	0.008	13.55	15.10	2.68	—	—	—	—	0.04
	V	0.36	1.81	0.47	0.010	0.007	13.69	15.07	2.63	—	—	(Ti)	—	0.04
A 286	A	0.05	0.73	2.07	0.007	0.009	25.83	15.59	—	1.38	0.28	2.23	0.17	0.05
	V	0.05	0.74	1.91	0.007	0.008	25.82	15.61	—	1.38	0.28	2.13	0.19	0.06
K (Average)		0.988	1.00	—	0.985	0.928	1.00	1.00	1.00	0.990	0.979	—	—	0.958

A : Chemical composition of the electrode (%).

V : Chemical composition of the vacuum arc-melted ingot (%).

K : Rate of change in chemical compositions. V/A.

Table 2. Change in chemical composition of refractory alloys on vacuum arc melting.

Kinds	Sample	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	Co	Al	Ti	Cu	Nb+Ta	Fe
Ni-Alloy	A	0.05	0.63	1.01	0.010	0.007	71.05	15.26	—	—	0.26	0.81	2.60	0.04	1.42	6.85
	V	0.05	0.62	0.99	0.010	0.007	71.72	15.15	—	—	0.27	0.79	2.64	0.04	1.38	6.33
Co-Alloy	A	0.39	0.60	1.71	0.010	0.010	19.80	19.51	3.61	4.00	41.30	—	—	0.06	4.12	4.88
	V	0.37	0.64	1.70	0.009	0.009	19.40	19.54	4.38	4.15	41.90	—	—	0.06	3.93	4.86

A : Chemical composition of the electrode (%).

V : Chemical composition of the vacuum arc melted ingot (%).

Table 3. Chemical composition (%) of mold-wall deposit on vacuum arc melting.

Steels	Sample	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	V	Co	Cu	Sn	As
SUJ 2	A*	0.98	0.32	0.37	0.015	0.008	0.03	1.40	—	—	—	—	0.05	0.006	0.006
	C**	1.00	0.34	22.20	0.013	0.185	0.02	1.37	—	—	—	—	0.96	0.047	0.013
SACM 1	A	0.44	0.15	0.43	0.012	0.013	0.10	1.55	—	0.27	—	(Al)	0.10	—	—
	C	0.46	0.15	18.08	0.009	0.182	0.08	1.44	—	0.15	—	1.08	1.80	0.086	0.022
SNC 21	A	0.14	0.27	0.56	0.012	0.007	2.26	0.30	—	—	—	0.86	0.16	0.020	0.025
	C	0.70	0.17	36.45	0.009	0.078	1.13	0.92	—	—	—	—	2.40	0.071	0.026
DAC	A	0.41	0.97	0.41	0.018	0.010	0.10	5.06	0.93	1.30	—	—	0.08	—	—
	C	0.51	0.65	43.32	0.016	0.129	0.12	2.92	0.58	0.45	—	—	1.72	0.086	0.016
SUS 22	A	0.17	0.47	0.40	0.018	0.017	0.14	12.19	—	—	—	—	0.11	0.024	0.026
	C	0.66	0.27	28.99	0.012	0.156	0.11	9.50	—	—	—	—	2.23	0.103	0.043
CRQ	A	2.07	0.27	0.48	0.015	0.005	0.12	12.80	—	1.63	1.09	—	0.06	0.014	0.007
	C	1.94	0.20	12.51	0.010	0.039	0.10	10.77	—	1.23	0.77	—	0.45	0.082	0.010
SLD	A	1.58	0.25	0.46	0.016	0.007	0.06	12.16	—	0.99	0.28	—	0.05	0.009	0.012
	C	1.32	0.17	20.70	0.019	0.049	0.07	9.17	—	0.66	0.32	—	0.61	—	—
YXM 2	A	0.97	0.22	0.36	0.013	0.006	0.06	3.94	6.93	5.10	2.49	—	0.09	0.009	0.014
	C	0.78	0.16	7.23	0.012	0.052	0.06	2.98	4.64	3.50	3.49	(Co)	1.23	0.044	0.029
YXM 3	A	1.01	0.25	0.42	0.015	0.008	0.09	4.07	9.96	2.74	2.86	4.76	0.11	0.011	0.015
	C	1.06	0.16	24.27	0.014	0.074	0.07	3.59	6.65	1.95	2.39	3.46	1.01	0.123	0.023
SEH 4	A	0.38	1.89	0.51	0.010	0.008	13.55	15.10	2.68	—	—	—	0.04	0.010	0.012
	C	0.46	1.33	28.01	0.012	0.137	8.64	11.12	1.76	—	—	—	0.63	0.036	0.020
SEH 5	A	0.18	1.00	1.78	0.013	0.009	19.91	24.56	—	—	—	—	0.05	—	—
	C	0.14	0.67	33.27	0.010	0.097	9.98	13.23	(Ti)	—	—	(Al)	0.31	—	—
A 286	A	0.05	0.73	2.07	0.007	0.009	25.83	15.59	2.23	1.38	0.28	0.17	0.05	—	—
	C	0.15	0.38	13.19	0.008	0.044	11.98	7.32	1.64	0.63	0.59	0.12	0.24	0.024	0.011
Ni-Alloy	A	0.03	0.71	1.05	0.008	0.006	70.74	15.42	2.55	—	—	0.75	0.03	—	—
	C	0.24	0.59	5.80	0.010	0.034	56.34	13.05	2.25	—	—	0.62	0.07	0.029	0.012
Co-Alloy	A	0.39	0.60	1.71	0.010	0.010	19.80	19.51	(W)3.61	4.00	(Co)	41.30	0.06	—	—
	C	0.48	0.49	6.20	0.010	0.107	10.32	11.95	2.83	2.60	—	22.94	0.24	0.120	0.020

* Chemical composition of the electrode (%)

** Chemical composition of the deposit (%)

本報告において、実測 α と変化率 K との関係は次式で示され、 α から K を計算すると $K_{Mn}=0.623$, $K_{Cu}=0.915$, $K_S=0.915$, $K_{Sn}=0.96$ となり真空アーク溶解

により蒸発減少することが判明する。

$$K=1.0081(0.9956)^\alpha \dots\dots\dots (5)$$

K_{Mn} が鋼塊分析値より求めた値と大きく相違してい

Table 4. Values of α of different alloying elements.

Element (X)	Vapor. press. at 1600°C (mmHg)	Activity coeff. Fe-X	α obtained by			
			The authors		M. Olette	
			calc.	exp.	calc.	exp.
Si	0.025	0.0174	0.006	1	0.07	10
Mn	42	1.3	546	110	900	150
Ni	0.06	0.7	0.4	0.9	0.32	—
Cr	0.19	1	2.0	1.4	3.3	—
Co	0.05	1	0.5	—	0.5	—
V	4.5×10^{-4}	0.33	—	1.8	—	—
Al	1.8	0.031	0.8	1.4	1.4	—
Cu	1.0	12	112	22	125	60
Mo	2×10^{-8}	1	—	0.9	—	—
Sn	2.0	1	14	11	9.1	18
As	—	—	—	2.9	—	3
P	—	—	—	1	—	0.6
S	—	—	—	22	—	7.5

るが、これは蒸着物組成からの計算で他成分を無視し、平均的値を用いたことが大きく影響していると思われる。

IV. 結 言

特殊鋼および耐熱合金の真空アーク溶解前後の組成を比較し、また蒸着物組成を解析した。

669, 187, 251, 7-982:669, 14
 6018, 8:621, 777, 016, 2
 (95) コンセルアーク溶解せるステン
 レス鋼の直接押出について

(鋼のコンセルアーク溶解に関する研究—I)

神戸製鋼所中央研究所

鈴木 章・徳田祥一・福原義浩

岩屋工場 中島 弘明

On the Direct Extrusion of "Cons-el
 Arc" Melted Stainless Steels.

(Studies on the "Cons-el arc" melting of steels
 —I)

Akira SUZUKI, Shoichi TOKUDA,
 Yoshihiro FUKUHARA and Hiroaki NAKAZIMA.

I. 緒 言

高級ステンレス鋼は継目無管として冷間抽伸を行なつて使用することが多く、それに使用する素管は熱間押出

法により作ることが近年広く行なわれるようになってきた。熱間押出用のビレットとしては普通約 200mm ϕ までのものを使用するので、一般には数トンまでのインゴットを鍛造または圧延して作っている。したがって、もしインゴットを鍛造または圧延せずそのまま熱間押出にかけることができれば、工程が短縮され、歩留りが向上し、鍛造または圧延費が不用となつて押出素管のコストがいちじるしく低減される。そのために鍛造ビレットの熱間押出の試みもあつたが、オーステナイト系のステンレス鋼塊を直接押出すと、フェライトの存在と結晶粒の粗大さのために素管の表面に鱗状の割れが発生して、表面状態の良好な素管を作ることが難しいといわれていた。

コンセルアーク溶解法。すなわち一般に消耗電極式真空アーク溶解法と呼ばれる方法により鋼を溶解すればガス分および非金属介在物の少ないものが容易に得られ、この方法により溶解したステンレス鋼の優れた特性についてはすでに報告されている通りであり、またこの方法では同時に溶解中に溶湯を電磁氣的に攪拌して結晶粒度を極めて細かくすることが可能である。したがって磁気攪拌しながらコンセルアーク溶解して結晶を微細化したステンレス鋼の塊をそのまま熱間押出しすれば、清浄でかつ表面状態のよい素管が作られることが期待されそれによつてコストの大巾な低減の可能性が考えられる。

筆者らはコンセルアーク溶解法の適用が有望な原子炉用ステンレス鋼 (AISI 348) を選んで、その直接押出の可能性を試験したのでここにその結果を報告する。

II. コンセルアーク溶解

コンセルアーク溶解は 230mm ϕ のるつぼを付けた鋼用のコンセルアーク溶解炉により溶解した。溶解条件としては 230mm ϕ のるつぼを使つて鋼を溶解するのに妥当と考えられる 5kA を選び、磁気攪拌の程度はるつぼ軸に並行にかける磁場の強さを 0, 20, 50 ガウスの 3 通りとした。なお溶湯の回転速度は溶解電流が一定のときはかける磁場の強さが強い程大きく結晶粒度は回転速度が大きい程細くなることが定性的に知られている。

Table 1. Melting conditions.

H. No.	Current	Magn. field
V S 33	5kA	0gauss
V S 31	5	20
V S 36	5	50

Table 2. Compositions and amount of ferrite (%).

Designations	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Ta	Ta+Cb	α Fe%	
V S 33	Elect. Ingot	0.05	1.89	0.41	0.010	0.011	12.66	18.73	<0.10	0.75	—
		0.04	1.78	0.39	0.014	0.010	12.66	18.80	—	0.75	1.32
V S 31	Elect. Ingot	0.05	1.88	0.50	0.013	0.023	12.83	19.21	<0.10	0.73	—
		0.04	1.57	0.50	0.012	0.021	12.64	19.48	—	0.73	2.54
V S 36	Elect. Ingot	0.04	1.80	0.40	0.013	0.012	12.52	19.13	<0.10	0.76	—
		0.05	1.58	0.38	0.010	0.013	12.76	19.25	—	0.76	2.36