

Fig. 4. Relation between  $\ln k'$  and surface tension.

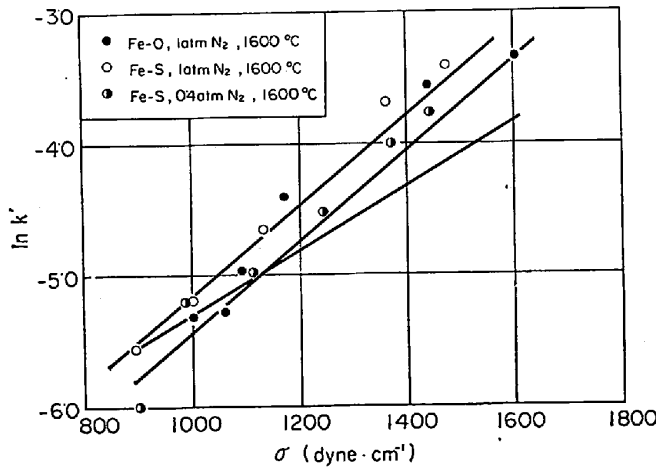


Fig. 5. Relation between  $\ln k'$  and surface tension.

Table 1. Values of constant C, A and  $\beta$  in eq(8), (9) and (10).

System	Temperature (°C)	Partial pressure	C <sub>1</sub>	A	$\beta$
Fe-S	1500	1	3.78	$1.32 \times 10^{-3}$	9.15
Fe-S	1600	1	3.61	$2.08 \times 10^{-3}$	8.58
Fe-O	1600	1	1.26	$1.01 \times 10^{-3}$	7.75
Fe-S	1600	0.4	3.61	$1.58 \times 10^{-3}$	8.85

となり、さきに実験的に決定したAを使用し同時に(8)および(9)式から濃度Cを消去することにより一般に次のような  $k'$  と  $\sigma$  の関係式がえられる。すなわち

$$\ln k' = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma}{\Gamma RT} - \beta \quad \dots\dots\dots (10)$$

なお Table 1 には  $C_1$ , A,  $\beta$  の値を条件により示した。Fig. 4 および Fig. 5 にはそれら計算式と実験結果とをプロットした。Fig. 4 によれば計算式にもとづく直線は Fe-S 系および Fe-O-S 系についてはよく満足するとみなすことができる。また Fig. 5 においても計算式による直線は大體実験事実を説明すると考えられるが、Fe-O 系では直線の勾配と実験点の勾配とが一致していないがこの理由については目下のところ明らかでない。

なお Fig. 5 には窒素分圧を変化した場合の一例として分圧が 0.4 の Fe-S 系の結果をプロットしたが計算式はこれをよく満足している。

5. 結 言

本報では Fe-O 系および Fe-S 系溶鉄に関する窒素吸収速度と既知の表面張力測定値をもとにして窒素吸収速度と表面張力との関係を体系づけることを試みた。その結果、見かけ上の物質移動係数は表面張力が 1000 ~ 1000  $\text{dyn}\cdot\text{cm}^{-1}$  になるまで硫黄あるいは酸素などの成分に関係なく表面張力と温度により決まる直線関係を示した。しかし約 1000  $\text{dyn}\cdot\text{cm}^{-1}$  以下では表面張力が低下しても見かけ上の物質移動係数はあまり大きな変化を示さない。これはこの濃度における毒物による毒作用が最高でしかもほぼ一定な影響力になったとみなすならば理解できることであり、硫黄および酸素濃度が高くなっても毒作用としてでなく主として物質移動におよぼす影響として働くと考えられる。また 1600°C の Fe-S 系と Fe-O 系の  $k'-\sigma$  関係はほとんど同じ曲線のうえにあるので Fe-S 系および Fe-O 系の吸収速度は表面張力を知るならばただちに概算することができると思われる。また  $\Gamma$  が一定な全領域にわたった  $k'-\sigma$  関係は

$$\ln k' = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma}{\Gamma RT} - \beta$$

であらわすことができた。

文 献

- 1) 井上, 長: 鉄と鋼, 52 (1966), p. 1418
- 2) 井上, 長: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 1448
- 3) 井上, 長: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 884
- 4) P. KOZAKEVITCH, et al.: Mém. Scient., Rev. Met., 58 (1961), p. 517
- 5) J. F. ELLIOTT et al.: Thermochemistry for steel-making, (1960)
- 6) J. F. ELLIOTT et al.: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 224 (1963), p. 844

(70) 軸受鋼SUJ-2の交流エレクトロスラグ溶解について

(エレクトロスラグ再溶解法-ESR-に関する研究-Ⅲ)

神戸製鋼所, 中央研究所

理博 草道 英武・○福原 義浩

On A. C. Electroslag Remelting of Bearing Steel SUJ-2

(Studies on electroslag remelting-ESR-Ⅲ)

Dr. Hidetake KUSAMICHI and Yoshihiro FUKUHARA

1. 緒 言

すでに, SF 50 をエレクトロスラグ溶解した結果については報告したが<sup>1)</sup>, 従来いわれているように顕著な脱硫, 脱酸は認められなかつた。その原因は溶解を直流で行なつたためと考えられたので, 交流によるパイロット

Table 1. Composition of electrodes (%).

Electrode	C	Si	Mn	P	S	Cr	O	Σ N	Sol N	Insol N
No. 1	0.97	0.31	0.46	0.013	0.006	1.41	0.0043	0.0087	0.0033	0.0054
No. 2	1.00	0.30	0.41	0.015	0.007	1.35	0.0051	0.0076	0.0038	0.0038

Table 2. Composition of slags before melting (%).

Slags	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	CaF <sub>2</sub>	P	S	TiO <sub>2</sub>	T.Fe
CaF <sub>2</sub>	1.42	—	—	0.76	—	97.29	0.015	0.041	—	0.06
CaF <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10	33.41	—	2.61	—	60.11	0.014	0.013	—	0.11
CaF <sub>2</sub> -CaO	—	—	—	17.66	—	74.80	0.019	0.044	—	0.11
G80	38.42	13.07	7.88	25.80	10.73	—	0.017	0.019	—	0.77
Titania	32.93	9.43	0.74	22.65	6.45	—	0.040	0.025	18.20	0.81
CaF <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -CaO	0.02	23.86	0.28	18.66	3.43	53.10	0.012	0.054	—	0.28

Table 3. Factors and levels.

Order	Factors and levels				
1st order	Slag	A <sub>1</sub> CaF <sub>2</sub> , A <sub>5</sub> Titania,	A <sub>2</sub> CaF <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , A <sub>6</sub> CaF <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -CaF <sub>2</sub>	A <sub>3</sub> CaF <sub>2</sub> -CaO, G80	A <sub>4</sub>
	Quantity of slag	B <sub>1</sub> 8 kg,	B <sub>2</sub> 4 kg		
	Drying of slag	C <sub>1</sub> Dried,	C <sub>2</sub> Not dried		
	Power	D <sub>1</sub> 200kVA,	D <sub>2</sub> 100kVA		
	Electrode	F <sub>1</sub> No. 1	F <sub>2</sub> No. 2		
2nd order	Radial position ingot	G <sub>1</sub> Outer,	G <sub>2</sub> Center		
	Longitudinal	H <sub>1</sub> Top,	H <sub>2</sub> Middle,	H <sub>3</sub> Bottom	

Table 4. Combination of factors.

	A 1~7	B 8	C 9	D 10	F 11	12	13	e <sub>1</sub> 14	15	Order of melting
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6
2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1
3	2	1	1	1	1	2	2	2	2	15
4	2	2	2	2	2	1	1	1	1	16
5	3	1	1	2	2	1	1	2	2	13
6	3	2	2	1	1	2	2	1	1	11
7	4	1	1	2	2	2	2	1	1	7
8	4	2	2	1	1	1	1	2	2	14
9	5	1	2	1	2	1	2	1	2	5
10	5	2	1	2	1	2	1	2	1	8
11	6	1	2	1	2	2	1	2	1	4
12	6	2	1	2	1	1	2	1	2	12
13	2'	1	2	2	1	1	2	2	1	3
14	2'	2	1	1	2	2	1	1	2	9
15	6'	1	2	2	1	2	1	1	2	10
16	6'	2	1	1	2	1	2	2	1	2

プラントを作った。今回は軸受鋼 SUJ-2 について実験したので、その結果を報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 電極材

塩基性電弧炉溶解材 (JIS SUJ-2)

寸法 140 mmφ×1m, 約 100 kg, 表面旋削

再現性をみるために、電極材は 2 種類用意した。

### 2.2 スラグ

使用したスラグの組成は Table 2 に示すが、G80 以外は工業用精製 CaF<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO などを一度溶解したのち、粉碎して用いた。G80 は市販のコニオンメルト溶接用フラックスである。

### 2.3 エレクトロスラグ溶解

交流パイロットプラントによつてエレクトロスラグ溶解を行なった。電源容量は 680 kVA であり、内径 360 mm, 長さ 2m (1 t) および内径 200 mm, 長さ 1m

(100 kg) の 2 種類の水冷鑄型が使用できるが、本実験では 200 mmφ の方の鑄型を使用した。炉底の上には普通鋼の円板をおき、その上に約 20 mm の共金の円板をおいた。この共金の円板の上にカリ硝石, Al 粉, Mg 粉およびスラグの混合物をおいて、その上に消耗電極を接触させ、周囲に詰め込んだ。この状態で通電して溶解を開始した。

溶解条件は直交配列表に割つけ、各鋼塊については縦断面 6 カ所について分析した。データの解析は溶解条件 (直交配列) を 1 次単位、鋼塊内位置 (2 元配置) を 2 次単位として、分割法で行なった。

### 2.4 偏析試験

鋼塊の頭部, 中央部, 底部の各外周部と中心部について 5 元素, Cr, N, O の分析をした。また、各位置の清浄度の測定と非金属介在物の光学顕微鏡による観察を行なった。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 鑄肌と鑄塊性

鑄肌は直流と交流による違いはほとんど認められない。CaF<sub>2</sub>-CaO 系ではブローホールが著しく、CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO 系でもときどきブローホールが認められる。

サルファープリントによる偏析はいずれの鋼塊にも認められない。

3-2 Cの挙動

直流の場合<sup>1)</sup>と同様に底部外周部に脱炭が認められるが、その他の位置ではほとんど偏析は認めない。

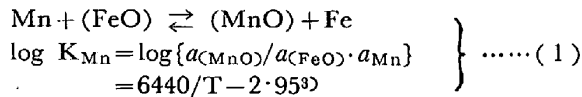
3-3 Siの挙動

おしなべて Si は減少するが、その減少量はスラグの塩基度が高いほど大きい。減少量と塩基度 (B<sub>L</sub><sup>2)</sup> の関係は直流の場合<sup>1)</sup>とほとんど同じ回帰関係である。鋼塊内では底部の減少量が頭部よりやや多い傾向にある。

3-4 Mnの挙動

スラグによつて、底部で増加し、頭部に向かつて増加量が少なくなるもの、底部から頭部までほとんど増減のないもの、底部で減少し、頭部に向かつて減少量が少なくなるものの3種類にわけられる。第1の群には G80 と CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO 系が属する。第2の群には CaF<sub>2</sub>-CaO 系と CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系が属する。第3の群には純 CaF<sub>2</sub> とチタニア系が属する。第2群と第3群のスラグはいずれも MnO を含有しないスラグであるが、Mn の挙動に差が現われた原因はまだよく判らない。

直流による溶解の場合、Mn は次式にしたがつて挙動すると考え



K'<sub>Mn</sub> = (MnO/[%Mn])(FeO) の値を算出したところほぼ 1~2 であつて、これは (1) 式の K<sub>Mn</sub> の 2000°K における値と比較的よい一致を示した<sup>1)</sup>。本実験でも K'<sub>Mn</sub> は 1~2 の値も多いが、ややはずれたものも認められた。

3-5 Pの挙動

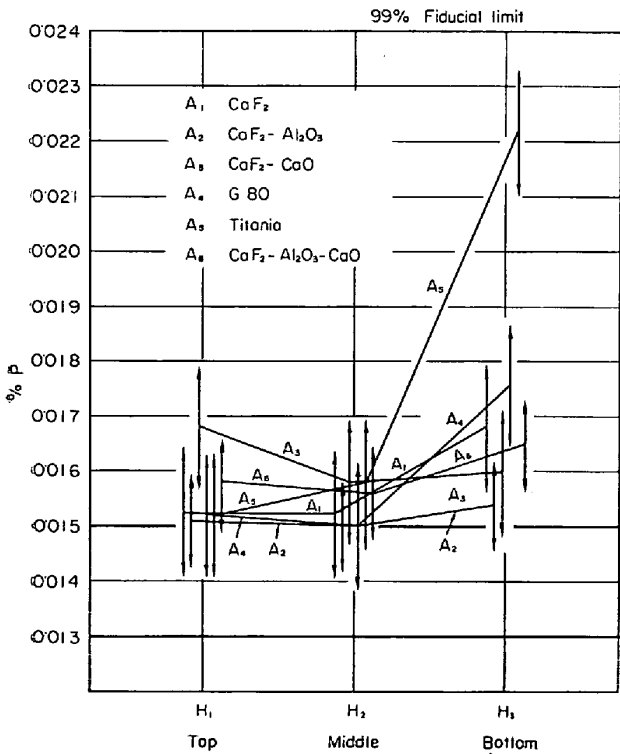
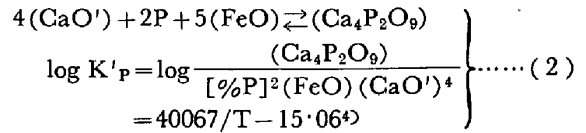


Fig. 1. Behaviour of P.

直流の場合<sup>1)</sup>と同様にいずれのスラグを使用した場合にも増加し、底部の方が増加量が多い。その結果を Fig. 1 に示す。脱磷反応は (2) 式のように有効石灰 CaO' の概念から考えると、よく平炉の実績にもあうとされている<sup>4)</sup>。



そこで、本実験においても (2) 式の反応を考えて、K'<sub>P</sub> を算出したところ、10<sup>11</sup>~10<sup>17</sup> の間にバラツいた。2000°K における K'<sub>P</sub> の実験値および平炉の実績ではほぼ 10<sup>5</sup> であり、大きな差が認められる。K'<sub>P</sub> が大きいことは脱磷に都合がよいのであるが、実際にはスラグ中の FeO が低いために、脱磷は認められない。WILLIAMS<sup>5)</sup> は CaF<sub>2</sub>-CaO 系でも脱磷を認めているが、本実験ではこの系のスラグでも脱磷は認められなかつた。

3-6 Sの挙動

直流による溶解では脱硫は認められかつたが<sup>1)</sup>、本実験では顕著な脱硫を認めた。一般の製鋼反応では S の挙動はスラグメタル反応を主として考え、(%S)/[%S] について論じられている。そこで (%S)/[%S] と塩基度との関係を見ると Fig. 3 のようになり、バラツキが大きくて、これでは実験結果の説明は十分にできない。もし脱硫が分配反応だけによつてすれば、溶解前後において S の総量は等しくなければならないが、実際にはスラグ中の S はほとんどの場合溶解後減少している。したがつて、脱硫は SO<sub>2</sub> または SF<sub>6</sub> のような気体となつて系外に逃げる反応も考えなければならない。一例として SO<sub>2</sub> となる反応を考えると次式のようになり、

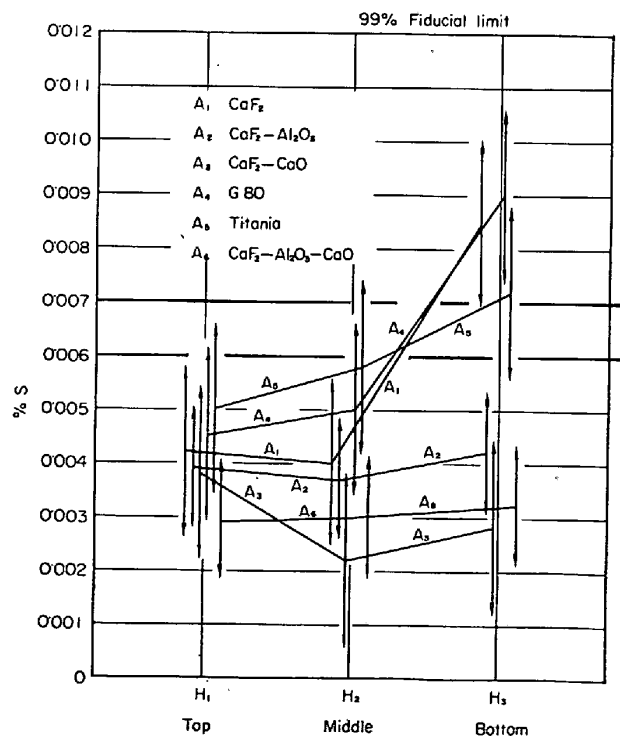
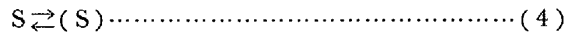


Fig. 2. Behaviour of S.

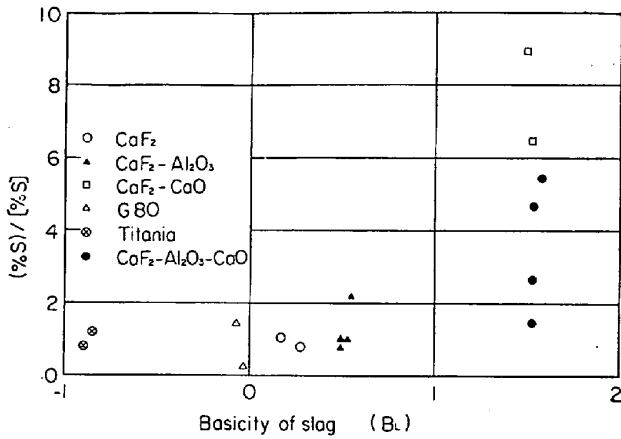


Fig. 3. Partition coefficient of S vs basicity.

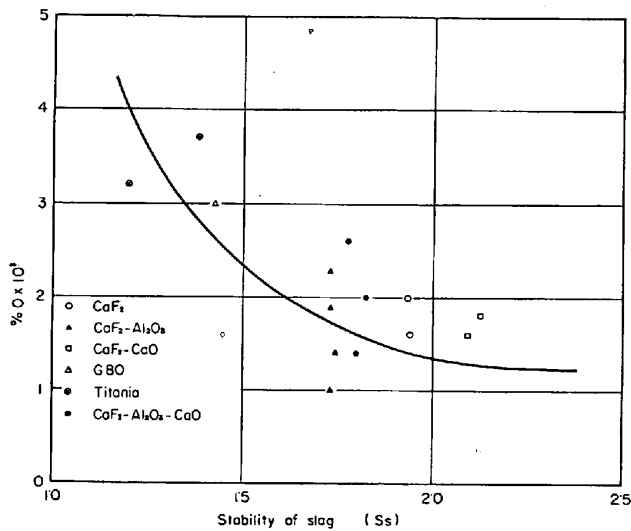
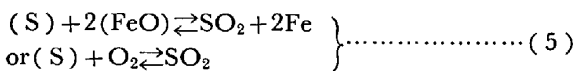


Fig. 4. % O vs stability of slag.



スラグによつて脱硫の程度に差が認められるのは、Sの分配比だけでなく、(4)式または(5)式の反応速度がスラグによつて違うのではないかと考えられる。この点は今後検討していきたい。

3.7 Crの挙動

Crの挙動はCの挙動にやや似ており、底部において減少が認められる。

3.8 Oの挙動

Sと同様に直流による溶解では脱酸が認められなかったが、本実験では顕著な脱酸が認められた。ただし、G80およびチタニア系ではほとんどOの減少は認められない。その他CaF<sub>2</sub>基のスラグではほぼ同程度に減少した。鋼塊内では底部外周部のOがやや高いほかは、ほぼ均一な分布を示した。脱酸の機構は物理的には、スラグによる酸化物系介在物の吸収除去と溶湯プールからの浮揚と考えてよいであろう。化学的には酸化物系介在物がスラグに吸収されるため、その酸化物の活量が低下することにより、脱酸反応がさらに進行して、Oが減少することが考えられる。スラグがSiO<sub>2</sub>, MnO, FeOなどの比較的不安定な酸化物を多量に含有する場合には、

物理的脱酸は期待できるが、化学的には溶鋼中の脱酸元素がこれらの酸化物によつて酸化され、脱酸反応が逆方向に進んで、Oが増加するものと考えられる。そこで、スラグを構成する酸化物の安定性を示す安定度 Ss<sup>6)</sup> と %O との関係を見ると Fig. 4 のとおりであつて、この考えは一応妥当と考えられる。

3.9 Nの挙動

Nは直流の場合と同様にほとんど減少しない。

3.10 非金属介在物の挙動

清浄度の測定結果はかなりバラツキているが、ほぼOの挙動と同じである。介在物の光学顕微鏡観察およびXMAによる定性分析の結果では、スラグ微粒子の混入によると考えられる介在物もかなり見られた。介在物の挙動に関しては今後定量分析およびサンド分析などによつて漸次明らかにしていきたい。

4. 結 言

交流エレクトロスラグ溶解炉による軸受鋼 SUJ-2 の 100 kg 型鋼塊に関する実験結果を直流による溶解結果と対比しつつ述べた。交流と直流とのちがいは前者では脱硫脱酸が顕著であるのに対し、後者では脱硫、脱酸がほとんど認められないばかりか、かえつて増加することもある。

文 献

- 1) 草道, 成田, 福原, 小山: 鉄と鋼, 51 (1965) 4, p. 802
- 2) 森: 鉄と鋼, 46 (1960) 4, p.466, 金属学会誌, 24 (1960), p. 383
- 3) J. CHIPMAN, J. B. GERO, and T. B. WINKLER: Trans. Met. Soc, Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 188 (1950), p. 341
- 4) Basic Open Hearth Steelmaking, A. I. M. E., 1964, New York, p. 707
- 5) A. C. WILLIAMS: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), (1962) July, p. 581
- 6) 成田, 伊藤, 松本: 鉄と鋼, 51 (1965) 10, p. 1948

(71) アーク炉におけるアーク現象について

大同製鋼, 中央研究所 滝波 勝文  
高蔵製作所

工博 江口 勇・○曾根 定家  
東海電極製造 工博 岡田 純  
Electric Arc Behaviour in Steelmaking Arc Furnaces

Katsunori TAKINAMI, Dr. Isamu EGUCHI  
Sadaie SONE and Dr. Jun OKADA

1. 結 言

製鋼用アーク炉の生産性向上について最近いろいろな研究が進められている。しかし基本的なアーク現象の研究は 2, 3 の報告<sup>1)~4)</sup>がされているにすぎず、アーク炉のアーク、すなわち大電流アーク現象については十分