

Fig. 3. Relation of molten metal pool depth and current.

6.2 介在物の粒度分布におよぼす電圧の影響

エレクトロスラグ溶解した鋼塊の1つの特徴として非金属介在物が減少することが挙げられる。この介在物の分離機構として、1)溶鋼滴がスラグ層を落下する途中において分離される。2)溶鋼プールにおいてスラグ層へ浮上分離される。この2点が考えられる。そこで先に40Vおよび50Vの電圧で溶解を行なった鋼塊について介在物の粒度分布状態を調べた。測定は清浄度測定用の格子(20×20)の中に入つたものの粒度を調べ60視野3回の平均をとつた。Table 2にその結果を示す。

定常層とは一定の電流電圧で溶解が行なわれ水冷凝固された部分で急冷層とは溶鋼プールの深さを測定するために鉄片を投入して溶鋼が攪拌、急冷された層である。定常層では5μ以上の介在物は外側より中心部に向つて減少しているが急冷層ではその傾向はみられない。

溶湯はlayer by layerに凝固しているために溶湯状態に保たれる時間は中心から周辺に行くにつれて短くなつていく<sup>10)</sup>。したがつて介在物がストークスの法則にしたがつて浮上しているため中心部よりも外周部の方が粒度の大きな介在物が多くなつたと推定される。しかし急冷層においては攪拌凝固されるためこの法則にしたがつていない。

また溶解電圧が50Vになれば10μ以上の介在物は非常に少なくなつた。これは粒度の大きな介在物は溶鋼プールに落下してくるまでにすなわちスラグ層で分離されるものと思われる。

7. 結 言

エレクトロスラグ再溶解法における溶解時の現象について実験を行なった結果、次のようなことが推定される。

- a) 鋼塊肌は電流変動、電極寸度などに影響されD/dが大きくなるにしたがつて電流密度を増す必要がある。
- b) 溶鋼滴の大きさは約12mm程度の球と推定される。

る。

c) スラグの運動はスラグ表面において中央から外周に向つて流れている。

d) 溶解速度は電圧が50Vになれば40Vにおけるよりも約17%速くなるがプールの深さは浅くなる。また電圧が一定であれば溶鋼プール深さは大体電流に比例して深くなる。

e) 介在物はストークスの法則にしたがつて浮上分離されているが粒度の大きいものはスラグ層中でも分離されていると思われる。その分布は外周の方に粒度の高いものが多い。

文 献

- 1) A. F. TREGUBENKO, S. A. LEIBENZON: エレクトロスラグ再溶解法(昭39-5)日ソ通信社
- 2) N. ROBINSON and J. A. GRAINGER: Metallurgia, 67 (1963) 4, p. 161
- 3) B. E. PATON and B. I. MEDVAR et al: Iron and Steel, 34 (1961) 3, p. 102
- 4) B. I. メドワル, Yu. V. ラタシュ: ソ連冶金技術シリーズ, No. 1
- 5) 出口, 吉村, 他: 鉄と鋼, 50 (1965) 4, p. 791
- 6) 草道, 成田, 他: 鉄と鋼, 50 (1965) 4, p. 302
- 7) 実用金属便覧: p. 179
- 8) I. A. GAREVSKIKH, Yu. A. SHUL'TE et al: Stal in English, (1962) 1, p. 32
- 9) V. V. TOPILIN, M. M. KLYUEV et al: Stal in English, (1963) 9, p. 700
- 10) 西原, 八木, 他: 鉄と鋼, 49 (1963) 2, p. 144

(92) 交流小型エレクトロスラグ再溶融炉による反応機構の検討

(エレクトロスラグ再溶解法に関する基礎的研究-I)

神戸製鋼所, 中央研究所

成田 貴一・○伊藤 孝道  
松本 重喜

Slag-Metal Reaction in the Electro-Slag Remelting Process.

(Fundamental studies on electro-slag remelting -I)

Kiichi NARITA, Takamichi ITō and Shigeki MATSUMOTO.

1. 結 言

エレクトロスラグ再溶解(ESR)法は金属、特に鉄鋼材料の品質を改善する目的でソ連のウクライナ科学アカデミー, E. O. PATON 電気溶接研究所において開発された技術であり、本法を適用することにより、均一な凝固組織を有する鋼塊が得られ、OならびにSは減少し、非金属介在物の少ない清浄度のすぐれた鋼材が得られる

Table 1. Chemical composition of electrodes. (%)

No.	C	Si	Mn	P	S	O	N	Added element
1	0.25	0.25	0.46	0.013	0.018	0.0023	0.0044	—
2	0.23	0.31	0.70	0.006	0.009	0.0105	0.0066	Cr 0.60
3	0.24	0.36	0.72	0.005	0.009	0.0099	0.0086	Ni 0.49
4	0.27	0.33	0.68	0.005	0.009	0.0078	0.0074	Ti 0.47
5	0.27	0.32	0.69	0.006	0.009	0.0079	0.0069	W 0.34
6	0.25	0.34	0.61	0.006	0.010	0.0060	0.0124	V 0.51
7	0.26	0.36	0.72	0.006	0.010	0.0089	0.0072	Nb 0.51
8	0.26	0.43	0.84	0.006	0.010	0.0023	0.0036	Al 0.77
9	0.26	0.34	0.68	0.006	0.010	0.0063	0.0063	Mo 0.47
10	0.22	0.45	0.69	0.032	0.019	0.0078	0.0057	Y 0.49
11	0.29	0.27	0.54	0.009	0.015	0.0070	0.0060	Ta 0.56
12	0.29	0.32	0.61	0.006	0.017	0.0069	0.0023	Zr 0.43
13	0.78	0.25	0.50	0.015	0.022	0.0026	0.0066	—

Table 2. Chemical composition of slags. (%)

Slag	Component	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	CaF <sub>2</sub>	FeO	P	S	TiO <sub>2</sub>
G80		37.44	13.12	7.49	16.04	10.89	0.05	6.57	4.30	0.032	0.008	3.66
FTs7		38.47	0.55	17.95	2.74	14.86	1.36	6.09	—	0.064	0.007	—
AN22		18.86	17.61	6.24	15.16	11.32	3.14	20.38	—	0.098	0.037	—
AN8		41.08	12.28	15.50	8.43	4.61	—	15.24	1.57	0.070	0.010	2.50
ANF6		—	34.75	—	0.34	—	—	63.00	—	<0.001	0.013	—
ANF7		—	—	—	19.40	—	—	72.94	—	0.020	0.024	—
48OF6A		—	25.27	—	20.09	—	—	54.47	—	0.021	0.022	—
48OF6		—	25.89	—	20.42	3.76	—	48.36	0.86	0.108	0.042	—
48OF6c		—	23.34	—	21.49	9.80	—	39.05	1.87	0.102	0.064	—
AN25		7.75	—	—	16.56	5.01	—	33.75	—	0.058	0.023	34.84

とされている<sup>1)~3)</sup>。

しかしながら前報<sup>4)</sup>においてESR時における溶鋼の清浄化作用ならびに脱酸効果は使用する電源(交, 直流)の種類, スラグおよび電極材の化学成分組成ならびに再溶解条件などによつて著しく左右されることを明らかにし, ESR法によつて材質の向上をはかるためには, まず上記の諸点について統一的な見解を明確に把握する必要のあることを指摘した。そこでESR法に関する基礎的研究の一環として本報においてはまず再溶解過程における各種合金元素の挙動について検討をおこなつた結果を報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 電極材

100kVA 塩基性高周波誘導炉を用いて炭素鋼(0.30% C)を溶製し, これに Ni, W, Mo, Cr, V, Nb, Ta, Y, C, Ti, Zr および Alなどを添加したのち, 溶鋼を100kg丸型鋳型に鋳込んだ。このようにして造つた鋼塊を直径11mmおよび13mmに鍛造し, 電極材として用いた。それらの電極材の化学成分組成を示すと, Table 1のとおりである。

### 2.2 スラグ

スラグはソ連のエレクトロスラグ溶接用スラグ規格<sup>1)</sup>に準じて溶製した AN 22, FTs 7, AN 8, 48-OF-6, ANF 6, ANF 7, AN 25ならびに市販ユニオンメルトコンポジション G80, さらに当所において調製した 48-OF-6A および 48-OF-6c の9種類を用いた。これらのスラグの化学成分組成を示すと Table 2のとおりで

Table 3. Slag stability coefficients of various oxides.

Oxide	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	FeO
Mi	2.16	1.61	1.37	1.14	1.00	0.71	0.26

Table 4. Slag stability of the slags used in this experiment.

Slag	FTs7	AN8	G80	AN22	ANF6	48-OF-6	ANF7
Ss	1.1	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	2.0

あり, スラグはいずれも使用前に十分よく乾燥して使用した。

### 2.3 再溶解

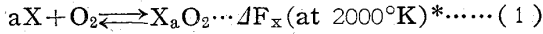
底面の内径 35mm, 高さ約 200mm, テーパー 1/40 の水冷銅ルツボを用い, 32kVA の交流トランスを使用して溶解電圧約 30V, 溶解電流約 280A, 電極材の溶解速度約 100g/min のもとでESRをおこなつた。なお再溶解の始めには点弧材として炭素鋼の切屑と, また始動スラグとして AN 25 を用いた。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 Oの挙動

本実験結果によれば, 再溶解材中のO量はスラグおよび電極材の化学成分組成によつてほぼ一義的に決まる。そこで実験結果の考察にあたり, スラグの化学的な安定

度を  $S_s$  とし、つぎのように定義する。すなわちスラグを構成している金属元素  $X$  が(1)式の反応によつて酸化物  $X_aO_2$  を生成する場合の標準自由エネルギーの変化を  $\Delta F_x$  とし、比較の基準に  $Si$  をとりあげ、 $Si + O_2 \rightleftharpoons SiO_2$  反応の標準自由エネルギーの変化  $\Delta F_{Si}$  をえらび酸化物  $X_aO_2$  に対する安定度係数をかりに(2)式で示すと、スラグの安定度  $S_s$  は便宜的に(3)式をもつて表わすことができる。



$$M_{X_aO_2} = \frac{(\Delta F_x / \Delta F_{Si})^2}{(\Delta F_i / \Delta F_{Si})^2} \cdots \cdots (2)$$

$$S_s = \sum M_i N_i \cdots \cdots (3)$$

$M_i$  はスラグ中の酸化物 ( $i$ ) の安定度係数、 $N_i$  はそのモル分率である。以上の定義にもとづいて種々の熱力学的数値<sup>5)</sup>より計算によつて求めた各種酸化物の安定度係数  $M_i$  の値を参考までに示すと Table 3 のとおりであり、また上記の定義にもとづいて、本実験に使用したスラグの安定度  $S_s$  を計算した結果を示すと Table 4 のとおりである。このようにして求めたスラグの  $S_s$  とエレクトロスラグ再溶解材中の  $O$  量との関係を示すと Fig. 1 のとおりであり、これより再溶解後の  $O$  量は電極材の化学成分組成とスラグの  $S_s$  とによつて決まることがわかる。すなわち電極材中の  $O$  量が Fig. 1 に示した  $O$  水準曲線よりも多い場合には、再溶解後の鋼塊中の  $O$  量はその曲線まで減少し、逆に  $O$  水準曲線よりも少なければ、再溶解によつて  $O$  量はその水準まで増加する。

また電極材中に添加した合金元素の  $O$  に対する親和力が大きく、スラグの  $S_s$  値の小さいほど、再溶解材中における  $O$  量は多くなり、またスラグの  $S_s$  値が大きいは  $O$  量は少なくなることがわかる。

3.2 Nの挙動

再溶解材中の  $N$  量におよぼすスラグの影響についてはあまり明白でない。しかしながら  $Ti, Zr, Al$  などのように  $N$  に対する親和力の強い元素を含む場合には、エレクトロスラグ再溶解によつて  $N$  の低減を図ることは困難である。

3.3 Sの挙動

本実験結果より脱硫比  $(S\%)/[S\%]$  とスラグの塩基度  $B_L$ <sup>6)</sup>との関係を示すと Fig. 2 のとおりである。この結果には実験の性格上かなりのばらつきがあるが、ANF 7 や 48-OF-6 のように  $CaO$  を含むフッ化物系スラグの脱硫力は、酸化物系スラグのそれに較べて著しく大きいことがわかる。Fig. 2 において  $B_L$  が約 3.5 以上の範囲では曲線の傾きが小さくなっているが、これは  $B_L$  の計算に際し、 $CaF_2$  を中性成分と考えたことに起因するものである。なお一般の平炉操業における脱硫比が10程度であることを考慮すると、エレクトロスラグ再溶解は平炉よりも脱硫が容易であり、ANF 7 や 48-OF-6 のようなスラグを用いれば、 $S$  量が 0.01% 程度の電極材を用いても 40~60% の脱硫が可能である。

3.4 Pの挙動

本実験の範囲内においては脱リン現象は認められず、むしろスラグの種類によつては復リンする傾向が認めら

れた。これはエレクトロスラグ再溶解時における温度が比較的高く(推定温度: 約2000°K)、スラグの酸化力が弱いためである。再溶解過程における合金元素の酸化を防止し、歩留りをあげるためには中性または還元性スラグを用いる必要があるため、エレクトロスラグ再溶解において脱リンを期待することは困難である。

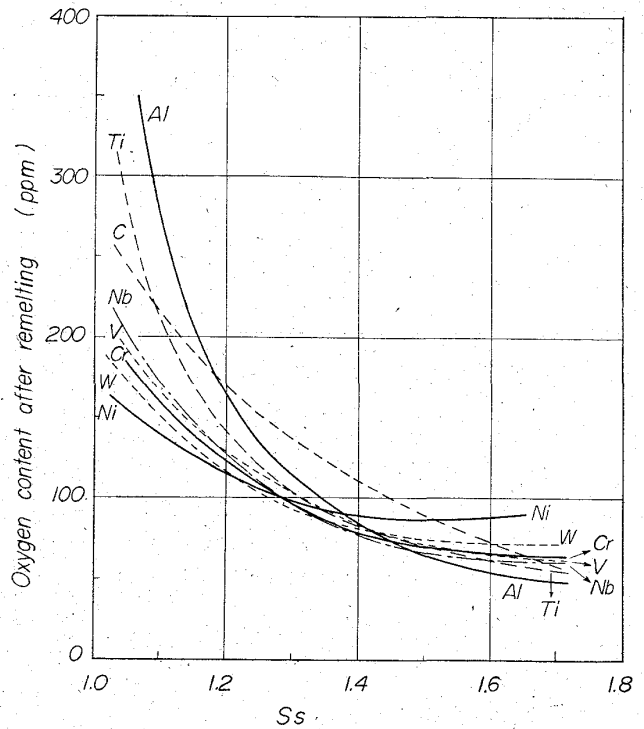


Fig. 1. Variation of oxygen content with slag stability and added element.

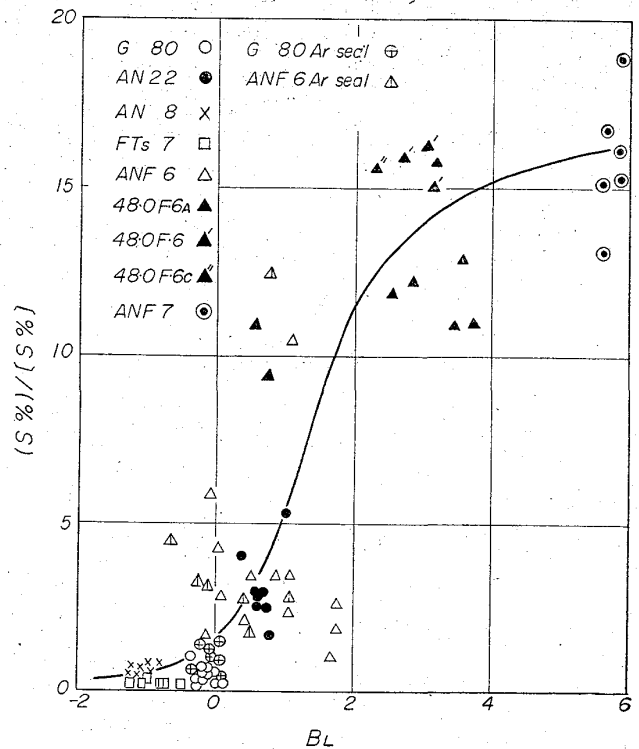


Fig. 2. Variation of sulfur distribution ratio with the basicity of slag.

\* (注) 文献<sup>6)</sup>および前報の実験結果<sup>4)</sup>より再溶解時の温度を一応約 2000°K と推定した。

Table 5. The recovery of alloying elements. (%)\*

Slag \ Added element	Al	Zr	Ti	Ta	**C	***Si	Y	Nb	V	Cr	Mo	W	Ni
FTs7	39	—	38	—	101	96	—	69	92	87	102	103	106
AN8	49	35	38	41	102	84	106	77	94	87	108	97	104
G80	42	33	27	36	102	96	67	82	100	102	100	97	96
G80Ar seal	42	44	27	38	—	—	53	82	—	—	—	—	106
AN22	40	—	40	—	100	76	—	100	98	100	96	100	104
ANF6	69	23	45	64	101	64	100	102	102	88	98	102	100
ANF6 Ar seal	79	26	53	73	—	—	67	100	—	—	—	—	106
48OF6A	68	—	47	—	100	48	—	94	106	88	89	103	94
48OF6	70	—	49	—	—	—	—	70	—	—	—	103	106
ANF7	49	—	55	—	101	—	—	100	98	97	89	102	108

\* electrode=100%, \*\* recovery in the case of 0.8%C steel, \*\*\* recovery in the case of 0.3%C steel.

3.5 合金元素の歩留り

電極材を基準にして再溶解材中における合金元素の歩留り率を計算した結果を示すと Table 5 のとおりである。なお Table 5 において、合金元素はOに対する親和力の大きなものから順に左から右に、また S<sub>8</sub> は上から下に順次大きくなるようにならべた。この結果からあきらかなように、炭素鋼中には規格成分上Si, Mnが含まれているので、炭素鋼にいろいろな合金元素を添加した場合、Oに対する親和力がCrよりも弱い元素では再溶解材中にはほぼ定量的に残り、歩留り率は約100%を示すが、Oに対する親和力の強い元素では再溶解材中における歩留り率は低くなる。なお Al の歩留り率が一般に Ti よりも高く一見矛盾するようであるが、これは本実験に使用したスラグの大半が Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成分をかなり含有しているためであり、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> も TiO<sub>2</sub> 成分も含まないスラグ ANF7 ではやはり Ti の歩留り率の方が Al よりも高くなっている。各種合金元素の脱酸力に関する現在の熱力学的数値についてはなお若干検討の余地はあるが、本実験結果から、Nb のOに対する親和力はVよりもやや大きく、またYはNbとほぼ同程度であると推定される。再溶解時に系内をAr雰囲気保持した場合には、やはり合金元素の歩留り率の向上が認められる。

4. 結 言

交流電源によるエレクトロスラグ再溶解法について2, 3の化学冶金学的検討をおこなった。その結果を要約するとつぎのとおりである。

- (1) エレクトロスラグ再溶解後の鋼中のO量は電極およびスラグの化学成分組成によつてきまる。スラグの安定度 S<sub>8</sub> が大きくなるにつれて溶解後の鋼中のO量は少なくなる。
- (2) 実用鋼材の場合、CrよりもOに対する親和力の弱い合金元素は再溶解によつてほとんど酸化消費せず歩留りはほぼ100%となる。
- (3) 電極材中に約0.01%以上のSが含まれる場合、塩基度の大きいスラグを用いることにより40~60%の脱硫が可能であるが、本溶解法の性格上、脱リンは期待できない。
- (4) 再溶解時におけるN量は電極材およびスラグの化学成分組成によつてほぼきまる。

文 献

- 1) W. RICHLING: Neue Hütte, 6 (1961), p. 565
- 2) I. A. GAREVSKIY et al.: Stal in English, (1964), Jan., p. 33
- 3) A. C. WILLIAMS: J. Iron & Steel Inst., (U.K.), (1962), July p. 581
- 4) 草道, 成田, 福原, 小山: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 805
- 5) J. CHIPMAN: Electric Furnace Steelmaking, 2 (1963), p. 135
- 6) 森: 鉄と鋼, 46 (1960), p. 466, 金属学会誌, 24 (1960), p. 383

(93) 介在物の生成ならびに分解挙動について

(Fe-Cr-O 系鋼での非金属介在物に関する基礎的研究—VI)

大阪大学工学部  
 工博 足立 彰・O岩本信也  
 川崎製鉄 四十万 小二

About the Formation and Decomposition Behavior of Inclusions.

(Fundamental studies on the nonmetallic inclusions in steels of Fe-Cr-O system—VI)

Dr. Akira ADACHI, Nobuya IWAMOTO and Shōji SHIJIMA.

1. 結 言

クロム鋼, ステンレス鋼に生ずる酸化物介在物に関する基礎研究として、もつとも単純な Fe-Cr-O 系鋼について研究をすすめた。最初にある特定の添加クロム領域について出現する一次生成介在物について調査し報告してきた<sup>1)</sup>。この時の添加剤としては、工業上一般にもちいられるフェロクロムを溶鉄に投入した結果であり、不純物特にシリコンの影響はさげられない。この影響を除くためには、添加剤として電解クロムをもちいて不純