力緩和度合の大きいもの程われ感受性は低い。溶接金属、HAZ部の応力緩和特性はわれ感受性を支配しない。

(2) 母材の応力緩和特性とHAZ部の高温破断強度とにより、継手部の再熱われ感受性を表示出来る。母材の応力緩和度合が大で、HAZ部の高温強度が高い材料の継手再熱われ感受性は低く、母材の応力緩和特性と

HAZの高温破断強度が再熱われ感受性を左右する因子である。

参考文献

- 1) 金沢, 山戸, 武田, 橋本: 応力除去焼鈍われ(再熱われ)に関する研究(第2報), 本誌, 第45巻, 第6号, (1976), p. 479
- 2) 金沢, 山戸, 武田, 橋本: 応力除去焼鈍われ(再熱われ)に関する研究(第1報), 同, 第44巻, 第10号(1975), p. 791

エレクトロスラグ溶解におけるスラグ・メタル反応*

小林卓郎** 桑名 武** 菊地靖志** 古川英俊***

Slag-Metal Reaction in Electro-Slag Remelting*

by Takuro Kobayashi**, Takeshi Kuwana**, Yasushi Kikuchi**
and Hidetoshi Furukawa***

The Slag-Metal reactions in Electro-Slag remelting were studied by using several electrode wires and CaO-SiO₂-CaF₂ flux.

The following results were obtained;

- (1) Manganese in the electrode wire is mainly oxidized after detachment of droplets from the electrode tips.
- (2) Increasing SiO₂ content in the flux, Manganese in the electrode is easily oxidized and Silicon content in the remelted metal increases.
- (3) Equilibrium parameters (K^W) in the slag-metal reactions are as follows;

$$a) (SiO_2) + 2[Mn] = [Si] + 2(MnO)$$

$$K_{SiO_2-Mn}^W = \frac{[\%Si] \cdot (\%MnO)^2}{(\%SiO_2) \cdot [\%Mn]^2}$$

$$\log K_{SiO_2-Mn}^W = -2.261(CaO/SiO_2) + 1.685$$

$$b) (SiO_2) + 2[Fe] = [Si] + 2(FeO)$$

$$K_{SiO_2-Fe}^W = \frac{[\%Si](\%FeO)^2}{(\%SiO_2)}$$

$$\log K_{SiO_2-Fe}^W = -1.384(CaO/SiO_2) + 0.0055$$

$$c) [Mn] + (FeO) = (MnO) + [Fe]$$

$$K_{Mn-FeO}^W = \frac{(\%MnO)}{[\%Mn] \cdot (\%FeO)}$$

$$K_{Mn-FeO}^W = -3.467(CaO/SiO_2) + 6.314$$

$$d) (FeO) = [Fe] + [O]$$

$$L_0^W = \frac{[\%O]}{(\%FeO)} = 0.0051$$

1 緒 言

エレクトロスラグ再溶解法(ESR)では主として非金属介在物の除去, その他の精錬作用に関心がもたれ, ESR過程におけるスラグ・メタル反応, あるいは再溶

*原稿受付 昭和51年10月8日(昭和51年度春季全国大会にて発表)

**正 員 東北大学工学部 Member, Faculty of Engineering Tohoku Univ.

***学生員 東北大学大学院 Student Member, Post Graduate Tohoku Univ.

解法等に関して多くの報告がある¹⁻⁴⁾。

一方, 厚板の高エネルギー溶接法としてのエレクトロスラグ溶接 (ESW) に関しては実用面での研究は多く報告⁵⁾されているがスラグ・メタル反応に関する研究は比較的不少ない。

有井⁶⁾らが分配平衡について, 坪井⁷⁾らが ESR と ESW との反応等の比較を, また B.M. Patchett ら⁸⁾が溶滴がスラグ浴を通過し凝固にいたるまでの過程について考察を行なっている。ESW 過程でのスラグ・メタル反応は溶接金属の化学組成を左右し, その機械的性質に影響をおよぼす。したがって ESW 過程でのスラグ・メタル反応の解明は溶接材料の開発に基礎的なデータを提供するためにも重要である。

本研究では ESW 過程でのスラグ・メタル反応を解析する第1段階として数種の ESW 用電極線と CaO-SiO₂-CaF₂ 三元系溶成フラックスを用い, 母材溶融のない水冷銅鑄型中で溶解を行ない電極線中の元素の挙動を電極線が溶融し離脱する前の溶滴段階と凝固したインゴットまでの段階とに区別して調べ, またインゴットおよびスラグの諸成分を分析しスラグ・メタル反応について二三の考察を試みた。

2 実験方法

2.1 実験材料

用いた電極線の化学成分を Table 1 に示す。このうち Fe-Mn および Fe-C 系電極線は電解鉄を高周波真空溶解し, 電解 Mn, 炭素飽和鉄を添加してインゴットを作り, 鍛造, 引抜き加工し調製した。Fe-Mn-C 系電極線は市販 ESW 用のものである。またフラックスの化学

Table 1 Chemical compositions of the electrodes (3.2 mm ϕ) (wt. %)

system	mark	Mn*	C*	Si*	0 ppm
Fe-Mn	1M	1.10	—	—	220-350
	2M	2.35	—	—	140-250
Fe-Mn-C	1MC	0.72	0.34	0.02	40
	2MC	1.91	0.13	0.03	40-80
Fe-C	2C	—	0.19	—	29

* averaged value

Table 2 Chemical compositions of the fluxes (wt. %)

mark of flux	CaO	SiO ₂	CaF ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	(CaO/SiO ₂)*
D	32.44	22.66	43.55	0.13	0.07	1.43
B	29.93	26.41	42.41	0.16	0.05	1.13
C	25.63	31.68	42.13	0.12	0.08	0.81

成分を Table 2 に示す。

試薬 1 級の CaO, SiO₂ および CaF₂ を用いて CaF₂ 50% 一定とし残りを CaO-SiO₂ 二元系状態図における低融点組成範囲にある CaO-SiO₂ 量比が 0.60, 0.98 および 1.33 となるように配合し, 黒鉛ルツボ中で高周波大気中溶解を行ない金型に鑄込んだ後 14 メッシュ以下に粉碎後 800°C で 5 時間仮焼したものである。これらフラックスは実験前に 150°C で 2 時間乾燥して用いた。

2.2 実験装置および方法

実験装置の概略を Fig. 1 に示す。この装置はサブマージドアーク溶接機 (交流垂下持性電源) をエレクトロスラグ溶解用にワイヤ送給部を改良したものである。水冷銅鑄型の寸法は内径 30 mm, 外径 200 mm, 高さ 300 mm で冷却水量は約 24 l/min とした。鑄型は中心部より 2 つに分割可能となっている。表面の酸化物, 油脂およびメッキ等を除いた電極線を銅ノズルを通して鑄型内に導入し底部の軟鋼板上でアークを発生させたのちフラックスを少量づつ投入しスラグ浴を作った。また一回の溶解にさいして使用するフラックス量は約 120 g とした。本実験では溶解開始後 1 ~ 2 分で電流・電圧は安定し溶解も順調に行なわれるようになり, これを定常状態に入ったものと考えた。Ar はアーク発生以前より鑄型内部へ 6 l/min の割合で送給し空気を排除した。電圧は 40 V 一定とし電流は 400 A, 500 A および 600 A とした。次に分析試料の採取位置を Fig. 2 に示す。電極線先端の溶滴は溶解終了と同時にすばやくスラグ浴から引上げ Ar を吹きつけて冷却して得た。凝固したイン

- 1 Electrode wire
- 2 Wire reel
- 3 Wire feed roll
- 4 Wire feed motor
- 5 Control box
- 6 Copper nozzle
- 7 Transformer
- 8 Primary source
- 9 Quartz tube
- 10 Water-cooled copper mold
- 11 Molten slag
- 12 Molten steel
- 13 Solidified ingot
- 14 Steel plate
- 15 Jack

Fig. 1 Experimental apparatus

Fig. 2 Sample for chemical analysis
(A-droplet, B-ingot)

ゴットからの分析試料は上端・下端を除き定常状態範囲から得た。図中いづれもハッチング部は採取位置を示している。なお元素の偏析が考えられるので本研究では酸素について試料採取位置を変化させて得た試料の分析を行なってみたが明瞭な差は認められなかった。Mn, Si の分析は塩酸溶解法による原子吸光分析法, 炭素, 酸素はアルゴン流動クーロン測定法と真空溶融法を用いた。スラグ分析試料は凝固インゴットの直上部分から採取し粉砕後磁選し主として蛍光X線分析法により分析した。

3 実験結果

3.1 マンガンの挙動

各種電極線を用いて溶解を行なった場合の電極線先端の溶滴およびインゴット中の Mn 含量をフラックスの塩基度との関係で示したのが Fig. 3~Fig. 6 である。Fig. 3 は Mn 2.35% 含有電極線 (2M) の場合で、横軸は溶解前のフラックスの塩基度 ($\%CaO/\%SiO_2$)* を示し、縦軸は Mn 含量を示す。黒い点は溶滴での、白い点はインゴットでの Mn 含量である。また破線は溶解前の電極線の Mn 含量を示す。溶解条件は前述の通り電圧 40 V 一定で電流を 400 A から 600 A まで変化させたが何れの場合も電流値の変化による Mn 含量のはっきりした相違は認められなかった。電極線先端に形成された溶滴の Mn 量は電極線の Mn 含量と比較するとわずかに少なくなっている。このことは電極線先端の溶滴段階ではスラグとの反応が余りすすまないことを示している。また電極線先端の溶滴段階ではフラックスの塩基度の影響もほとんど認められないようである。一方インゴットの Mn 含量は (CaO/SiO_2)* が約 0.8 附近ではば 1% で電極線の Mn 量の 1/2 以下となり、スラグ浴を通過中および溶融池過程で大きく減少することが知られた。塩基度が大きくなると電極線の Mn の減少の割合が小さくなり (CaO/SiO_2)* が 1.4 附近でインゴットの Mn 量は約 1.6% 程度となる。次に 1.1% Mn

Fig. 3 Manganese content of the droplet and ingot as a function of the basicity of the flux (CaO/SiO_2)* used (electrode: 2M)

Fig. 4 Manganese content of the droplet and ingot as a function of the basicity of the flux (CaO/SiO_2)* used (electrode: 1M)

含有電極線を用いた場合の結果を Fig. 4 に示す。傾向は Fig. 3 の場合と同様であり電極線先端では Mn はわずかしこ減少せず、フラックスの塩基度の影響も認められない。インゴットの Mn 含量は (CaO/SiO_2)* が 0.8 附近では電極線の含量の 1/2 以下となるが塩基度の増加と共に Mn 量の減少の割合は小さくなりインゴット中の Mn 量は高い。次に Mn と共に C を含む電極線を用いた場合の結果を Fig. 5 および Fig. 6 に示す。

傾向は Fe-Mn 系電極線を用いた場合と同様であることが知られる。

Fig. 5 Manganese content of the droplet and ingot as a function of the basicity of the flux (CaO/SiO_2)* used (electrode: 2MC)

Fig. 6 Manganese content of the droplet and ingot as a function of the basicity of the flux (CaO/SiO_2)* used (electrode: 1MC)

3. 2 シリコンの挙動

各種組成の電極線を用いた場合のインゴット中の Si 含量をフラックスの塩基度との関係として示すと Fig. 7 が得られる。フラックスの塩基度が小さくなるにつれ Si 量は多くなっている。またインゴット中の Si の増加量と電極線の Mn 量との関係を見ると測定値にバラツキがあるが、Mn 量の多い電極線を用いた場合 Si は増加する傾向があることが知られる。このことはフラックス中の SiO_2 が還元されてインゴット中へ Si が移行したものと考えられる。

3. 3 酸素の挙動

インゴット中の酸素含有量を電極線の Mn 含有量との関係として Fig. 8 に示す。フラックスの塩基度によ

Fig. 7 The relationship between Silicon content of the ingot and basicity of the flux (CaO/SiO_2)* used

Fig. 8 The relationship between Oxygen content of the ingot and Manganese content of the electrodes used

る明瞭な差は認められないが電極線の Mn 含量が増加すると酸素量が減少することがわかる。しかし酸素含量の少ない電極線すなわち 1MC ($Q=40$ PPM), 2C ($Q=29$ PPM) を用いた場合はむしろ酸素はインゴット中では 100~200 PPM と増加している。この増加した酸素は主としてスラグ成分の還元によるものと考えられる。

3. 4 炭素の挙動

C 含有電極線 1MC および 2C を用いて得られたインゴットの C 量は電極線の C 量とほとんど差がないことが知られた (図略)。このことは本研究に用いた電極線

のC量がありにも低くすぎスラグ・メタル反応にほとんど関与しないことを示しておりCとスラグとの反応は無視出来るものと考えられる。

3.5 スラグ中の FeO および MnO について

溶解前のフラックスには FeO および MnO は全く添加されていないが溶解後のスラグを分析した結果これらの成分が存在することが知られた。Fig. 9 は溶解後のスラグに存在する FeO および MnO を示したものである。電流値変化による差が明瞭に認められなかったので図中には電流の区別をしないで示してあるが塩基度が小さくなると反応後のスラグ中の FeO および MnO が増加することが知られる。MnO は同一塩基度では電極線中の Mn 含量が高い程多くなることも知られる。このことは先の Fig. 3~Fig. 6 で示したインゴット中の Mn 含量ともよく対応している。これらのことからインゴット中の Mn とスラグ中の MnO の関係がほぼ平衡状態に近づいているのではないかと考えられる。FeO については電極線による明瞭な差は認められない。

Fig. 9 The relationship between Manganese Oxide (A) or Iron Oxide (B) content of the slag and basicity of the flux (CaO/SiO₂)* used

いずれにせよこれらの酸化物がスラグ中に存在することは溶解過程でいくつかのスラグ・メタル反応が同時に進行していると考えることが出来る。

4 考 察

インゴットおよびスラグを分析して得られた結果から判断して本溶解過程においても複数のスラグ・メタル反応が進行していることが予想される。スラグ・メタル反応を解析するにあたりいくつかの考え方が本研

究では分子論的な考察を試みた。

本溶解過程でスラグ・メタル反応が厳密に平衡状態に達しているかどうか明らかではないが擬平衡状態にあるものとして (SiO₂) と [Mn] および [Fe] との反応、[Mn] と (FeO) との反応および酸素の分配平衡について考えてみることにする。なお、ここではスラグの塩基度 (CaO/SiO₂) は溶解後の分析値でもって示すことにする。

4.1 (SiO₂) と [Mn] との反応

スラグ中の (SiO₂) と溶鉄中の [Mn] との反応は次式で表わされる。

(1・a) 式の平衡定数 $K_{\text{SiO}_2\cdot\text{Mn}}$ は次式で表わされる。

$$K_{\text{SiO}_2\cdot\text{Mn}} = \frac{a_{\text{Si}} \cdot a_{\text{MnO}}^2}{a_{\text{SiO}_2} \cdot a_{\text{Mn}}^2} \quad \dots\dots\dots(1\cdot b)$$

a : 各成分の活量

本実験において活量を濃度 (重量%) で示すと見かけの平衡定数は次のように示される。

$$K_{\text{SiO}_2\cdot\text{Mn}}^W = \frac{[\% \text{Si}] \cdot (\% \text{MnO})^2}{(\% \text{SiO}_2) \cdot [\% \text{Mn}]^2} \quad \dots\dots\dots(1\cdot c)$$

本実験における $\log K_{\text{SiO}_2\cdot\text{Mn}}^W$ とスラグの塩基度 (CaO/SiO₂) との関係を Fig. 10 に示す。図から明らかに $\log K_{\text{SiO}_2\cdot\text{Mn}}^W$ は塩基度の増加にしたがいほぼ直線的に減少する。このことは (SiO₂) が多い場合に Mn の酸化が容易であることを意味する。この結果は平炉製鋼において鋼滓の塩基度が高い程 Mn の歩留り

Fig. 10 The relationship between the reaction parameter $K_{\text{SiO}_2\cdot\text{Mn}}^W$ and the basicity of the slag obtained

が大きくなるという結果⁹⁾と同様な傾向にある。すなわち Fig. 10 で $\log K_{\text{SiO}_2\text{-Mn}}^W$ が塩基度とともに減少することは塩基度の増加と共にスラグ中の (SiO_2) の活量係数が小さくなることおよび H.B. Bell¹⁰⁾ らによって報告されているように (MnO) の活量係数が大になることに起因しているものと考えられる。得られた直線より実験式を求めると次のようになる。

$$\log K_{\text{SiO}_2\text{-Mn}}^W = -2.261(\text{CaO}/\text{SiO}_2) + 1.685 \quad \dots\dots\dots(1\cdot d)$$

4. 2 (SiO_2) と $[\text{Fe}]$ との反応

(SiO_2) と $[\text{Fe}]$ との反応式は次式で表わされる。

(2・a) 式の平衡定数 $K_{\text{SiO}_2\text{-Fe}}$ は次式で示される。

$$K_{\text{SiO}_2\text{-Fe}} = \frac{a_{\text{Si}} \cdot a_{\text{FeO}}^2}{a_{\text{SiO}_2}} \quad \dots\dots\dots(2\cdot b)$$

活量を濃度 (重量%) で示すと見かけの平衡定数は次のように示される。

$$K_{\text{SiO}_2\text{-Fe}}^W = \frac{[\% \text{Si}] \cdot (\% \text{FeO})^2}{(\% \text{SiO}_2)} \quad \dots\dots\dots(2\cdot c)$$

$\log K_{\text{SiO}_2\text{-Fe}}^W$ とスラグの塩基度 (CaO/SiO_2) との関係を図 11 に示す。ここで ($\% \text{FeO}$) は Fe_2O_3 を 1.35 倍して FeO に換算し全 ($\% \text{FeO}$) として示したものである。塩基度の増加により $\log K_{\text{SiO}_2\text{-Fe}}^W$ が減少することがわかる。このことは $[\text{Fe}]$ による (SiO_2) の還元反応が塩基度の大きい方で生じにくいことを意味している。すなわち $\log K_{\text{SiO}_2\text{-Fe}}^W$ が塩基度と共に減少するのは前述のように塩基度の増加と共に SiO_2 の活量係数が小さくなることに起因しているものと考えられる。得られた直線より実験式を求めると次のようになる。

$$\log K_{\text{SiO}_2\text{-Fe}}^W = -1.384(\text{CaO}/\text{SiO}_2) + 0.0055 \quad \dots\dots\dots(2\cdot d)$$

Fig. 11 The relationship between the reaction parameter $K_{\text{SiO}_2\text{-Fe}}^W$ and the basicity of the slag obtained

一方笠松¹¹⁾は被覆金属アーク溶接棒を用いて溶接を行ない (2・a) 式の擬平衡定数と塩基度 (B_L) との関係を報告している。被覆剤の組成が本実験のフラックスと同じ成分ではないが本実験に近い組成のもの (YD シリーズ) について著者らがスラグ中の CaO/SiO_2 と $\log K_{\text{SiO}_2\text{-Fe}}^W$ との関係を計算してみた。その結果は Fig. 12 に示してある。また同図には本結果の他に G.R. Belton¹²⁾ らのサブマージドアーク溶接の結果も示した。いずれの結果も CaO/SiO_2 比の増加にしたがい $\log K_{\text{SiO}_2\text{-Fe}}^W$ は減少しておりその勾配も比較的良く一致していることがわかる。ただ笠松の結果がやや高い値を示しているのはスラグ中に TiO_2 が含まれていたためかあるいは温度の違いによるものと思われる。このように考えるとスラグを用いる各種溶接法でのスラグ・メタル反応に関してはいずれも傾向は同じでありスラグの組成, 成分の活量, 反応時間および温度などの因子を正しく把握することが現象を理解する上で有効な手段であるといえよう。

Fig. 12 The relationship between the reaction parameter $K_{\text{SiO}_2\text{-Fe}}^W$ and CaO/SiO_2 ratio of the slag

4. 3 $[\text{Mn}]$ と (FeO) との反応

$[\text{Mn}]$ と (FeO) との反応は次式で示される。

この反応の平衡定数 $K_{\text{Mn-FeO}}$ は次式で示される。

$$K_{\text{Mn-FeO}} = \frac{a_{\text{MnO}}}{a_{\text{Mn}} \cdot a_{\text{FeO}}} \quad \dots\dots\dots(3\cdot b)$$

活量を濃度 (重量%) で示すと見かけの平衡定数は次のように示される。

$$K_{\text{Mn-FeO}}^W = \frac{(\% \text{MnO})}{[\% \text{Mn}] \cdot (\% \text{FeO})} \quad \dots\dots\dots(3\cdot c)$$

$K_{\text{Mn-FeO}}^W$ とスラグの塩基度の関係を Fig. 13 に示

Fig. 13 The relationship between the reaction parameter K_{Mn-FeO}^W and the basicity of the slag obtained

す。CaO/SiO₂ の増加と共に K_{Mn-FeO}^W は一様に減少することが知られる。これにより [Mn] の酸化が (SiO₂) の多い場合起りやすいことがわかる。 K_{Mn-FeO}^W が塩基度とともに減少する原因としては前述のようにスラグの塩基度の増加と共に (MnO) の活量係数が大きくなることによるものと思われる。得られた結果より実験式を求めると次式のようになる。

$$K_{Mn-FeO}^W = -3.467 (CaO/SiO_2) + 6.314 \cdots (3 \cdot d)$$

笠松¹¹⁾は酸性型のアーク溶接棒を用いた実験で K_{Mn-FeO}^W はフラックスの塩基度 (B_L) によって変化なく $K_{Mn-FeO}^W = 3.08$ としている。この値は本実験の酸性フラックス (CaO/SiO₂ = 0.81) を用いた場合に相当する。なお H.B. Bell ら¹⁰⁾は 1,550°C における平衡測定で塩基性になると K_{Mn-FeO}^W の値は低下するという結果を得ている。

4. 4 酸素の分配平衡

溶鉄とスラグ間の酸素の分配平衡は次式で示される。

$$(FeO) = [Fe] + [O] \cdots \cdots (4 \cdot a)$$

(4・a) 式の分配率 L_0 は次式で示される。

Fig. 14 The relationship between Oxygen content of the ingot and Iron Oxide in the slag

Fig. 15 Effect of Iron Oxide content of the slag on the Oxygen content of the deposited metals by various welding processes

$$L_0 = \frac{[O]}{(\%FeO)} \cdots \cdots (4 \cdot b)$$

スラグ中の (FeO) とインゴット中の酸素含量の関係を Fig. 14 に示す。バラツキはあるが塩基度に関係な

Table 3 Oxygen distribution parameter L_0^W in the various welding processes

Welding process	L_0^W	Composition of flux	Investigator
E S R	0.0051	CaO-SiO ₂ -CaF ₂	This study
E S W	0.0031	CaO-SiO ₂ -MnO	Arii et al. ⁶⁾
Shielded metal arc welding (1)	0.0076*	Low hydrogen type	Kato ¹³⁾
Shielded metal arc welding (2)	0.0097	SiO ₂ -CaO-TiO ₂	Kasamatsu ¹¹⁾
Submerged arc welding (1)	0.0149*	SiO ₂ -CaO-MnO-MgO-Al ₂ O ₃	Tsunetomi et al. ¹⁴⁾
Submerged arc welding (2)	0.0256*	CaO-SiO ₂	G.R. Belton et al. ¹²⁾

* Calculated by the present authors

くほぼ直線の関係にあることがわかる。本実験の見かけの分配率は次式で示される。

$$L_0^W = \frac{[\%O]}{(\%FeO)} = 0.0051 \quad \dots\dots\dots(4\cdot c)$$

この関係については各種溶接法において求められている。各研究者で条件が同一ではないが出来るだけ共通点のある範囲で比べると Table 3 に示すようになる。これを Fig. 15 にまとめて示す。\$L_0^W\$ の値はサブマージドアーク溶接, 被覆金属アーク溶接, エレクトロスラグ溶解 (溶接) の順で小さくなることが知られる。同一 (FeO) 含量でも酸素含量にこのような差があるのは興味ある事実である。これは溶接方法によるスラグ組成のちがい, (FeO) の活量の差, スラグ・メタル反応時間の長短, 温度差, その他の原因が考えられるがさらに検討を要するものと思われる。図中の点線は C.R. Taylor, J. Chipman ら¹⁵⁾ の 1,600°C における FeO-CaO-SiO₂ 系スラグと溶鉄の平衡測定結果の \$L_0\$ の外挿値を示したものである。エレクトロスラグ溶解 (溶接) が反応時間が短いにもかかわらず平衡値に近く \$L_0^W\$ の値も小さいことは興味ある現象である。

5 結 論

CaO-SiO₂-CaF₂ 三元系溶成フラックスと Fe-Mn 系, Fe-Mn-C 系および Fe-C 系電極線を用いてエレクトロスラグ溶解を行ない電極線先端の溶滴およびインゴットでの合金元素の変化ならびにスラグの組成を調べ, 溶解過程でのスラグ・メタル反応について若干の考察を試み次の結論を得た。

(1) Fe-Mn 系および Fe-Mn-C 系電極線を使用した場合, 電極線先端の溶滴段階での Mn の酸化減少量は少なく反応は主としてスラグ浴通過中および溶融池段階でおこる。

(2) 本研究のごときフラックスを用いた場合フラックスの塩基度 (CaO/SiO₂)* が小さい程 Mn は酸化されやすくインゴット中の Si は増加する。

(3) 各種反応のみかけの平衡定数 \$K^W\$ は次の通りである。

$$\log K_{SiO_2-Mn}^W = -2.261(CaO/SiO_2) + 1.685$$

$$\log K_{SiO_2-Fe}^W = -1.384(CaO/SiO_2) + 0.0055$$

$$K_{Mn-FeO}^W = -3.467(CaO/SiO_2) + 6.314$$

(4) 酸素の見かけの分配平衡はスラグの塩基度により変化せず, 次式で示される。

$$L_0^W = \frac{[\%O]}{(\%FeO)} = 0.0051$$

終りに実験に協力された木田明技官, ならびに名村優工学士感謝致します。

参 考 文 献

- 1) H. Miska, M. Wahlster: "Verhalten des Sauerstoff beim Electro Schlacke-Umschmelzen", Arch Eisenhüttenwes. 44 (1973), Nr. 1, 19-25
H. Miska, M. Wahlster: "Verhalten des Schwefels während des Electro-Schlacke-Umschmelzen", Arch. Eisenhüttenwes. 44 (1973), Nr. 2, 81-85
- 2) J. Zeke: イオン理論からみたエレクトロスラグ溶解法における冶金反応, 溶接学会誌, Vol. 39 (1970), No. 3, 118-134
- 3) 井上道雄, 小島 康, 加藤 誠, 冶金物理化学の立場からみたエレクトロスラグ再溶解法の操業上の問題点, 鉄と鋼, Vol. 61 (1975), 139-156
同上, 小型直流 ESR における電極先端での滴生成について, 電気製鋼, Vol. 45 (1974), No. 4, 211-218
- 4) 成田貴一, 尾上俊雄, 岩本勝利, 鋼のエレクトロスラグ融解法に関する研究, 鉄と鋼, Vol. 55 (1969), No. 12, 981-1006
- 5) 石井勇五郎, 田村 博, 加藤昇他, 鋼鉄のエレクトロスラグ溶接, 第1報, 溶接学会誌, Vol. 39 (1970), No. 3, 185-196
同上, 第2報, 溶接学会誌, Vol. 43 (1974), No. 1, 40-49
- 6) 有井 満, 水沼 洋, 粕谷英夫, エレクトロスラグ溶接におけるスラグとメタル間の分配平衡について, 溶接学会溶接法研究委員会資料, 溶接法第20回資料 (1968年8月)
- 7) 坪井潤一郎, 中野昭三郎, 玉置克臣, エレクトロスラグ溶接の基礎的な現象の検討, 日本鉄鋼協会特殊製鋼部会第5分科会資料, 特5-21 (1976年3月)
- 8) B. M. Patchett, D. R. Milner: "Slag-Metal Reaction in Electroslog-Process", Weld J., Vol. 1, 51 (1972), No. 10, 491s-505s
- 9) 新制金属講座, 製鉄篇・鉄鋼製錬(II), p. 232, 日本金属学会
- 10) H. B. Bell, A. B. Murad, P. T. Carter: "Distribution of Manganese and Oxygen Between Molten Iron and FeO-MnO-SiO₂ Slags", J. Metals, 4 (1952), No. 7, 718-722
- 11) 笠松 裕, 溶接過程における溶浴と溶鋼との間の化学反応に関する物理化学的研究(第1報), 溶接学会誌, Vol. 30 (1961), No. 4, 260-268
- 12) G. R. Belton, T. J. Moore, E. S. Tankins: "Slag-Metal Reaction in Submerged-Arc Welding" Weld. J., Vol. 42 (1963), No. 7, 290s-297s
- 13) 加藤和夫, 軟鋼溶着金属中の酸素量(第1報), 溶接学会誌, Vol. 29 (1960), No. 8, 593-598
- 14) 常富栄一, 藤田治男, 溶弧溶接における酸素量と溶接条件との関係について, 溶接学会溶接冶金研究委員会資料, 溶接冶金第33回資料 (1968年8月)
- 15) C. R. Taylor, J. Chipman: "Equilibria of Liquid Iron and Simple Basic and Acid Slags in a Rotating Induction Furnace", Trans. AIME, 154 (1943), 228-247