アーク溶接時の冶金反応に関する研究 (第1報)*

—アーク溶融時の脱酸平衡—

常 富 栄 ** 片 山 裕 之 ***

Study on Metallurgical Reactions in Arc Welding (Report 1)*

—Deoxidation equilibriums in arc melting—

by Eiichi Tsunetomi** and Hiroyuki Katayama***

Abstract

Deoxidation equilibriums in Arc melting were studied as the first step in the investigation of metallurgical reactions in arc welding. The iron specimens containing oxygen and some deoxidation alloying elements were melted under arc using a tungsten electrode in an Argon atmosphere, and these deoxidation reactions were investigated.

The results of the Si, Mn, Si-Mn, V, Ti, Al deoxidations and the oxygen solubility in pure iron are as follows.

- (1) Within 100 sec., all the reactions reach the apparent equilibriums.
- (2) Being compared with the thermodynamical equilibrium data, the results of the apparent equilibriums of the Si ($<0.2\%$), Mn, V, Ti deoxidations and the oxygen solubility under the same melting condition are almost consistent with the equilibrium data at the same temperature (e.g., corresponding equilibrium temperature $1640\sim1670^\circ\text{C}$ at Argon pressure 500 mm Hg, current 500 A). With increased Argon pressure or current, the corresponding equilibrium temperature is increased at the rate of $10\sim15^\circ\text{C}/100$ mm Hg or $20\sim30^\circ\text{C}/100$ A in the case of the oxygen solubility. However, the presence of Mn in the Si-Mn deoxidation is not effective as expected and the Al deoxidation is less active than calculated from the data of equilibrium. It is probable that the fact of the latter is caused by the present experimental method.
- (3) The Si and Si-Mn deoxidations ($\text{Si} > 0.5\%$) are very active, and these results can not be interpreted by the SiO_2 forming reaction. It is anticipated that the equilibriums will be controlled by the SiO forming reaction at the constant SiO pressure. This is a characteristic phenomenon in arc melting.

1. 緒 言

アーク溶接時の溶接金属酸素量は一般に通常の鋼材に比較すると著しく高い。溶接金属の成分 Si, Mn, O などとスラグ成分との関係は被覆棒について報告されているが¹⁾, その詳細な反応挙動についてはまだ明確な結論が得られていないように思われる。その反応を考えてみると、棒金属の移行時における溶滴とスラグあるいはガスとの反応、溶融池内における脱酸反応、溶融池表面におけるスラグあるいはガスとの反応、凝固時の反応などが想定され、分析値はこれらの反応過程による結果であると考えられる。このような観点からその第1段階として溶融池内の脱酸反応に着目し、まずアーク溶融時の脱酸

平衡について実験した。

すなわち製鋼反応におけるいわゆる脱酸平衡がアーク溶融時の溶融池でどのように実現されているか、またアーク下にあるために特殊な反応が起こっていないかを明らかにすることを目的とし、Ar 雰囲気下に固定非消耗電極を用いて試料をアーク溶融し、各種脱酸成分を含む場合の酸素量ならびに純鉄の酸素溶解度につきみかけ上の平衡を求め、反応の検討を行なった。実験した脱酸成分は Si, Mn, Si-Mn, V, Ti, Al で、Si ならびに V の結果は既報²⁾のとおりであるが、その後の検討結果もまとめ報告する。

2. 実験方法

実験にあたってはガス雰囲気からの酸素の吸収を避けるため Ar 雰囲気とし、溶融池内の反応のみを明らかにしよう試みた。実験装置の主要部は Fig. 1 に示すように真空タンク内に固定された非消耗電極と水冷銅支持

* 原稿受付 昭和43年8月9日

** 正 員 八幡製鉄(株)東京研究所 Member, Tokyo Research Inst., Yawata Iron & Steel Co., Ltd.

*** 正 員 八幡製鉄(株)技術研究所 Member, Technical Research Inst., Yawata Iron & Steel Co., Ltd.

Fig. 1 The main part of apparatus and the specimen shapes after melting

台からなる。電極（直流正極性）は 1.7% Th を含む径 5 mm の W 棒（先端径 1 mm に円錐状に研削）で、電極間隔は 4 mm にした。試片は酸素のみを含む純鉄（ $C < 0.002\%$, $Si < 0.01\%$, $Mn < 0.01\%$, $N < 0.003\%$, $O = 0.11 \sim 0.12\%$ 、ただし Ti ならびに Al 脱酸では $O = 0.02\%$ ）で、径 30 mm、高さ 18 mm に加工し銅支持台上部 4 mm を残しネジ込み固定した。試片上面の周辺には巾 3 mm、深さ 4 mm の同心円状の溝を切り、脱酸元素はそこに粉状で添加した。

真空タンクは容積 120 l で、0.1 mmHg まで排気、Ar で洗浄後所定の Ar 圧力にした。Ar 圧力はアーク発生後急激に上昇し、約 20 秒後一定となるが、そのときの圧力は封入時圧力の約 6%（アーク電流 400 A）ないし 10%（アーク電流 600 A）増加する（以下圧力は封入時圧力で示す）。実験は圧力 300~700 mmHg、電流 400~600 A（ $\pm 5A$ ）の範囲で実験した（その際の電圧 13~16V であった）。

アークを切った後の試料の冷却は非常に早く、凝固完了まで 1 秒前後で、以下に示す時間はアーク点火よりアークを切るまでの時間である。冷却後溶融部中央から分析試料を採取、各成分の分析を行なった。

3. 実験結果

まず、溶融試料について形状の変化、成分分布を確めた。溶融池の体積は 10 秒溶融した場合定常状態の約 50%，20 秒で約 70%，50 秒では定常状態になり、ほとんど変化しなくなる。いっぽう Si を添加した場合の濃度変化をみると、約 50 秒までは Si 濃度は減少するが、それ以降はほとんど一定で Si 0.1 gr を添加した場合約 0.2%，Si 0.2 gr 添加の場合約 0.55%，Si 0.3 gr 添加の場

合約 0.9% になった。試片には酸素が 0.1% 以上あるので脱酸反応による濃度の減少もあるが、反応後期では脱酸による減少は分析誤差範囲内であり、Si 濃度がみかけ上一定となったことはおもに溶融池の形状が一定になったことに対応しているものと考えられる。その凝固後の断面形状を Fig. 1 に併記したが、圧力ならびに電流が高くなるにつれフィンガー状となり、フィンガー部に空洞が存在するようになってくる。

試片の成分分布を確めるため 50 秒溶融した数試片につき試片断面の各位置で分析を試みた。Si, Mn については中央部では高さ方向に 2 mm ずつ位置をかえて 4 箇所、端部では高さ方向に同様に 2 箇所発光分析した結果、Mn の場合 1% ぐらいになると中央最高部では 0.1% ぐらい低めとなることがあったが、それ以外はいずれも $\pm 0.03\%$ の範囲で一定であった。また酸素については試片を 4 等分し分析した結果 $\pm 0.002\%$ の範囲で一定であった。以上から成分の試料内分布状況はほぼ均一と考えられる。なお混入が予想される W, Th も前者は 0.04% 以下、後者は検出できず、ほぼ問題とならないことを確認した。

反応の進行状況の 1 例は Fig. 2 のとおりで、Si 脱酸の場合には 100 秒以降ではほとんど反応が進まなくなる

Fig. 2 Change of oxygen content with time at Si deoxidation (500 mm Hg, 500 A)

ことが認められた。Si-Mn 脱酸その他の脱酸の場合にも 60 秒以降においてはほとんど酸素量は変化していない。このように反応が進行しなくなるという事実は、溶融池内の温度はアーク直下の高温部から溶鋼の凝固点まで著しい分布を示しているが、溶融池の定常状態的な温度分布に対応してみかけ上反応が平衡になった状態が存在することを示すものである。以下各反応についてこのみかけの平衡（アーク下の脱酸平衡）についての結果を

述べる。

3-1. Si 脱酸²⁾

Ar 圧力, アーク電流を変化した 5 種類の実験を行った。結果の 1 例は前述の Fig. 2 のとおりで, これらを整理した結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 には Si 脱酸

Fig. 3 Apparent Si deoxidation equilibrium

の熱力学的平衡データ³⁾も示したが, これからも明らかに低 Si 領域 ($Si < 0.2\%$) ではいずれの場合でも図の勾配は $-1/2$, すなわち

$$[\%Si][\%O]^2 = \text{一定}$$

で, $Si + 2O = SiO_2$ なる平衡が成立しているものと考えられる。その平衡データは

$$\log \frac{a_{Si} \cdot a_O^2}{a_{SiO_2}} = -\frac{30,720}{T} + 11.76$$

で, これより $a_{SiO_2} = 1$ とおき実験結果に対応する温度を求めると, Ar 圧力 700 mmHg の場合 1670°C, 500 mmHg の場合 1640°C, 300 mmHg の場合 1620°C 前後の値をとり, 電流 400~600 A の実験範囲では電流の影響はほとんど認められない。これらの温度は反応の比較から求めたものであるから, 溶融池の平均温度的性格のものと考えられるが, 一応は単なる反応のパラメーターと考えておく方が妥当であろう。

いっぽう高 Si 領域 ($Si > 0.5\%$) では単純な Si 脱酸と考えることはできない。データにはかなりのバラッキはあるがいずれの場合にも同一傾向をとり, 図の勾配はほぼ -1 で, 実験的には

$$[\%Si][\%O] = \text{一定} \quad (0.0035 \sim 0.0045)$$

が成立し, その値は圧力が高くなるほどやや大きくなる傾向を示している。

3-2. Mn 脱酸

Ar 圧力 500 mmHg, アーク電流 500 A の場合の結果は Fig. 4 のとおりである。Mn 脱酸では脱酸力が弱く試片の酸素量が 0.11% のため, 実験範囲は $[\%Mn] =$

Fig. 4 Apparent Mn deoxidation equilibrium (500 mm Hg, 500 A)

1~3%であったが, 図に示すように60秒でも100秒の結果とはほぼ一致し, 脱酸平衡に達していることがわかる。凝固試片の表面には緑色の酸化膜が生成しているが, これを剝離法⁴⁾で取り出し X 線回折した結果 MnO の存在を確認した。本実験範囲では生成酸化物は固体の $MnO-FeO$ であろうと予想される。この熱力学的平衡データ⁵⁾は

$$\log K_{Mn} = \log \frac{a_{MnO}}{a_{FeO} \cdot a_{Mn}} = \frac{6990}{T} - 3.03$$

$$\log K_{MnO} = \log \frac{a_{MnO}}{a_{Mn} \cdot [\%O]} = \frac{15,050}{T} - 6.81$$

で与えられる。これらの関係から計算した結果も Fig. 4 に示したが, これと実験値を比較してみると実験値に対応する平衡温度は 1660~1670°C と考えられる。

3-3. Si-Mn 脱酸

Ar 圧力 500 mmHg, アーク電流 500 A で 100 秒溶融した結果は Fig. 5 のとおりであった。結果はかなりバラッキが大きい, 傾向的には Si 脱酸とよくにてお

Fig. 5 Apparent Si-Mn deoxidation equilibrium (500 mm Hg, 500 A)

り、低 Si 領域と高 Si 領域とにわけることができる。低 Si 領域では $[\% \text{Mn}]$ が高くなるほどや脱酸力が強くなるように認められるが、高 Si 領域ではあまり $[\% \text{Mn}]$ に関係なさそうである。Si—Mn 脱酸は本質的には Si 脱酸で、 SiO_2 の活量 a_{SiO_2} が Mn の存在によって低下するものと考えられている。この a_{SiO_2} の値は Walsh ら⁶⁾ によれば

$$\log a_{\text{SiO}_2} = \frac{12,700}{T} - 6.85 - 0.5 \log \frac{a_{\text{Mn}}}{a_{\text{Si}}}$$

で与えられる。図には同一溶融条件の Si 脱酸実験結果ならびに 1640°C における $[\% \text{Mn}] = 0.5$ および 1% の平衡値を示したが、低 Si 領域における同一 $[\% \text{Mn}]$ に対する $[\% \text{O}]$ の値は全般に実験結果の方が高めである。すなわち Mn の存在が期待されるよりも効果的でないことを示している。

3-4. V 脱酸²⁾

Ar 圧力 500 mmHg, アーク電流 500 A の結果は Fig. 6 のとおりであった。V > 0.4% では黒褐色の酸化物が生成し、剝離法⁴⁾で採取し X 線回析した結果は V_2O_3 で

Fig. 6 Apparent V deoxidation equilibrium (500 mm Hg, 500 A)

Fig. 7 Apparent Ti deoxidation equilibrium (500 mm Hg, 500 A)

あった。V < 0.2% では青みがかった酸化物が認められた。V 脱酸の熱力学的平衡データ⁷⁾によれば

低 V 領域 (FeV_2O_4 生成)

$$\log a_{\text{V}}^2 \cdot a_{\text{O}}^4 = -\frac{44,850}{T} + 16,602$$

高 V 領域 (V_2O_3 生成)

$$\log a_{\text{V}}^2 \cdot a_{\text{O}}^3 = -\frac{42,610}{T} + 16,862$$

と与えられており、本結果はその 1650°C の値とほぼ一致する。

3-5. Ti 脱酸

Ar 圧力 500 mmHg, アーク電流 500 A の結果は Fig. 7 のとおりである。本実験でも 100 以内で平衡に到達していると思われる。試片の表面には黒紫色の脱酸生成物が認められたが、その成分を同定することはできなかった。Ti 脱酸の熱力学的平衡データについてはどれが確定的かに問題があるが、図に示したように脱酸生成物を $\text{Ti} < 0.03\%$ で $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$, $\text{Ti} > 0.05\%$ で TiO_2 とする三本木らや Samariu の結果⁸⁾と Ti_3O_5 を脱酸生成物とする干野らの結果と比較すると、その勾配は前者と一致し対応する平衡温度は $1650 \sim 1670^\circ\text{C}$ となる。

3-6. Al 脱酸

Ar 圧力 500 mmHg, アーク電流 500 A の結果は Fig. 8 のとおりである。凝固後の試片表面は中央部を除き Al_2O_3 でおおわれ、また 100 秒以内で脱酸平衡に達しているこ

Fig. 8 Apparent Al deoxidation equilibrium (500 mm Hg, 500 A)

とがわかる。図からみると $[\% \text{Al}] = 0.02 \sim 0.04\%$ でやや $[\% \text{O}]$ が高めではあるが、 Al_2O_3 の示性式の勾配とほぼ一致する。熱力学的平衡データ⁹⁾は

$$\log a_{\text{Al}}^2 \cdot a_{\text{O}}^3 = -\frac{64,900}{T} + 20.63$$

と与えられているが、本実験結果をこのデータと比較すると対応する平衡温度は 1800°C 前後となる。

3-7.

以上脱酸平衡を求めるとともに FeO スラグが存在する場合の酸素溶解度を測定した。実験は酸素含量 0.11% の試片に FeO を約 2 gr 添加し, 100秒溶融した。凝固後の試片状況を見ると溶込みが深く, 表面のもり上りは少ない。FeO スラグは中心や周辺に存在し, その接触は充分なように思われる。電極の溶損は他の場合に比較し著しかった。Ar 圧力 200~700 mmHg, アーク電流 400

Fig. 9 Apparent oxygen solubility in pure iron

~550 A の範囲で行なった実験結果は Fig. 9 のとおりである。よく知られているように純鉄への酸素溶解度は¹⁰⁾

$$\log [\%O] = -\frac{6,320}{T} + 2,734$$

で与えられる。図にはその酸素溶解度に対応する平衡温度も示した。図からわかるように 500 mmHg, 500 A の

条件における溶解度に対応する平衡温度は約 1670°C, 電流 100 A の増加は 20~30°C, 圧力 100 mmHg の増加は 10~15°C の上昇に相当する。

4. 考察

4-1. 反応全般

各種脱酸元素による脱酸平衡ならびに純鉄への酸素溶解度について熱力学的平衡データと比較した結果を整理すると Table 1 のとおりである。これらを見ると溶融条件 500 mmHg, 500 A では低 Si 領域の Si, Mn, V, Ti 脱酸ならびに酸素溶解度については対応する平衡温度は 1640~1670°C の範囲で一致した結果を示している。また溶融条件 Ar 圧力, アーク電流を変化するとその温度は変化する。たとえば Ar 圧力を 100 mmHg 増加すると Si 脱酸, 酸素溶解度の結果はいずれも 10~15°C の上昇を示している。アーク電流を 100 A 増加した場合 Si 脱酸ではほとんど変化が認められず, 酸素溶解度では 20~30°C の上昇が認められている。電流変化に対してなぜこのような相違を示したかはよくわからないが, このような一般的傾向は溶融池の平均温度が実際に上昇したものとして定性的には理解できる。これらの結果は上記の脱酸元素を用いた場合アーク下の脱酸平衡が従来求められている熱力学的平衡データで統一的にまとめられることを示している。この平衡データから規定される温度は前述のように一応はパラメーターとして考えた方が妥当とは思われてるが, 以上のように統一的であるという点で溶融池の平均温度を示していると考えてもよい可能性を示している。ただここに示した温度は減圧下の特殊な実験条件における値であって実際の溶接にお

Table 1 The results of deoxidation equilibriums in arc melting

Alloying element	Range of Concentration %	Comparison with equilibrium data			
		Deoxidation product	Corresponding equilibrium temperature °C (500 mmHg, 500 A)	Increasing rate of corresponding equilibrium temperature	
				°C/100mmHg	°C/A
Si	<0.2	SiO ₂	1640	10~15	≒0
	>0.5	SiO?	—	—	—
Mn	1~3	FeO·MnO	1660	—	—
Si-Mn	<0.2	Mn·Silicate	—	—	—
	>0.5	SiO?	—	—	—
V	<0.2	FeV ₂ O ₄	1650	—	—
	>0.4	V ₂ O ₃	1650	—	—
Ti	<0.03	2FeO·TiO ₂	1650~1670	—	—
	>0.05	TiO ₂	1650~1670	—	—
Al	<0.2	Al ₂ O ₃	—	—	—
O		FeO	1670	10~15	20~30

ける温度はその条件によって定まるものであるから、平均温度としても一般の溶融池の平均温度を示しているものはない。

平衡データとの比較から問題となるのは Al 脱酸、Si-Mn 脱酸ならびに高 Si 領域における Si 脱酸である。Al 脱酸については通常の製鋼温度の前述の平衡データと比較すると $[\%O]$ が一桁ぐらい高い結果も報告されている⁹⁾。このような現象について盛¹¹⁾は、Al をレビティション溶融したときの酸化状況の観察から、Al 脱酸の場合その条件によっては溶鋼中で Al の表面に密な酸化膜が生成して Al の均一溶解ならびに反応を阻害する場合があるのではないかと推定している。本実験結果を平衡データと比較すると他の脱酸結果とくらべ対応する平衡温度が相当高いが、これは以上のような点を考慮するとおそらく試片の酸素量や Al の添加法など実験に問題があったためであろうと思われる。また低 Si 領域の Si-Mn 脱酸では Mn が存在してもその効果ははなはだ少ないということで、いいかえれば脱酸生成物の a_{SiO_2} が予想されるよりも大きいということである。実験のパラツキが大きいためから確定的ではないが、このような現象があるとすればアークが存在することによるものであろう。

4-2. 高 Si 領域の脱酸

高 Si 領域における Si 脱酸ならびに Si-Mn 脱酸では脱酸が強くなり、脱酸生成物を SiO_2 とする反応の平衡では説明できない。いま Si 脱酸で予想される反応を示すと、

- (1) $Si + 2Q = SiO_2$ $K_{SiO_2} = a_{SiO_2} / (a_{Si} \cdot a_Q^2)$
- (2) $SiO_2 = SiO + Q$ $K_{SiO-O} = (P_{SiO} \cdot a_Q) / a_{SiO_2}$
- (3) $SiO_2 + Si = 2SiO$ $K_{SiO_2-Si} = P_{SiO}^2 / (a_{SiO_2} \cdot a_{Si})$
- (4) $Si + Q = SiO$ $K_{SiO} = P_{SiO} / (a_{Si} \cdot a_Q)$

などの反応が考えられる。これらの反応はいずれも独立な反応ではないから、平衡にあるとすればすべての反応が平衡にあり、(1) 式が平衡にあれば当然 (4) 式も平衡が成立している。(4) 式の平衡定数を熱力学的データ^{12), 13)}より計算すると

$$\log K_{SiO} = \log \frac{P_{SiO}}{a_{Si} \cdot a_Q} = -\frac{3,750}{T} + 1.07$$

で与えられるが、 a_{Si} や a_Q の値は (1) 式で定まるから P_{SiO} の値は一定とはならない。 P_{SiO} の値は上式と (1) 式の熱力学データから $a_{SiO_2} = 1$ の場合

$$\log P_{SiO} = -\frac{34,800}{T} + 13.05 - \log a_Q$$

で与えられる。たとえば温度 $1600^\circ C$ とすれば $a_Q = 0.01\%$ では $P_{SiO} = 3 \times 10^{-4} \text{Atm}$ 、 $a_Q = 0.001\%$ では $P_{SiO} = 3 \times 10^{-3} \text{Atm}$ であり、温度 $2000^\circ C$ とすれば $a_Q = 0.01\%$ で

は $P_{SiO} = 0.6 \text{Atm}$ 、 $a_Q = 0.001\%$ では $P_{SiO} = 6 \text{Atm}$ となる。

いっぽう実験結果は濃度を活量に等しいと近似すれば $a_{Si} \cdot a_Q = \text{一定} (0.0035 \sim 0.0045)$

ということであって、一見単純には (4) 式による平衡と考えられるが、この関係は (1)~(4) 式が同時に平衡である場合には成立しない。すなわち (4) 式の平衡が成立しているとしても、

$$P_{SiO} = \text{一定}$$

という条件が必要である。この P_{SiO} の値は (4) 式の平衡定数に $a_{Si} \cdot a_Q = 0.004$ を代入して求めると、 $1600^\circ C$ では $5 \times 10^{-4} \text{Atm}$ 、 $2000^\circ C$ としても $1 \times 10^{-3} \text{Atm}$ で、値の絶対値やその温度変化ははなはだ小さく、(1)~(4) 式が成立しているときの P_{SiO} とは全く異なった値を示している。以上のように本実験結果で示される平衡 (一定分圧の SiO が存在するために起こったと予想される平衡) は SiO_2 生成反応も平衡にある SiO 生成反応による平衡とは異なるもので、この両反応はそれぞれ独立な反応と考えることができる。アークが存在しない場合には Si が高くなっても (1)~(4) 式の平衡関係は当然成立するから、高 Si 領域になるとこのような特殊な平衡状態にあるということはアークが存在するための特有な現象で、たとえば SiO が発生してもアークの圧力との何らかのバランスからたまたま反応に関係する部分の P_{SiO} が一定となってしまうというような、アークの存在により発生した現象である。したがってこの現象は Si が低くても起こっている可能性はある。

関係のないそれぞれ独立の脱酸反応—— SiO_2 生成反応と上記の特殊な反応——が同時に起こった場合、平衡を支配する反応はその脱酸成分量に対し平衡酸素量が低い方の反応であるから、これらが同時に起こるとしても Si の低い領域では後者より平衡酸素量の低い前者の反応が平衡を規制し、Si が高くなると後者が反応を規制することになるだろう。低 Si 領域と Si 高領域の二つにわけられる Si 脱酸の結果を平衡論的にみれば以上のように考えることができる。なお附言すれば、溶融池内の Si と O はよく攪拌されているためどこでも均一と考えられるから、この両反応が異なる場所で同時に起こっていてもさしつかえない。たとえば P_{SiO} が一定という現象がアーク直下の高温部で起こり、他の部分で SiO_2 が生成する反応が起こるという場合でも平衡関係は変わらないはずである。ただし P_{SiO} が実際にどのような挙動を示しているのかについての実験的根拠は何もないから、具体的にどのような状況で平衡となっているかは断言できない。したがって上記のような可能性は予想される 1 例にすぎない。

Si-Mn 脱酸においても高 Si 領域では Mn 量にあまり関係なく Si 脱酸と同様の挙動を示すことは、反応の主体が Si による脱酸であり Si 脱酸では上述のような平衡関係を示すことから理解できる。

5. ま と め

アーク溶融時の溶融池における Si, Mn, Si-Mn, V, Ti, Al による脱酸平衡ならびに純鉄への酸素溶解度について実験, 検討した。その結果は次のとおりである。

(1) 反応はいずれの場合でも60秒以上たつとほとんど進まなくなり, 100秒以内でみかけ上平衡状態に達している。

(2) 平衡データとの比較によれば, Si (低 Si 領域), Mn, V, Ti 脱酸ならびに純鉄への酸素溶解度のみかけの平衡値は溶融条件 500 mmHg, 500 A ではほぼ同一温度 1640~1670°C の平衡データと一致する。酸素溶解度からみると Ar 圧力を 100 mmHg 増加すると 10~15°C 温度が上昇し, またアーク電流を 100 A 増加すると 20~30°C 温度が上昇する。

(3) Si-Mn 脱酸 (低 Si 領域) および Al 脱酸の溶融条件 500 mmHg 500 A の結果を 1650°C 前後の平衡データと比較すると酸素量が高い。前者は Mn の存在が平衡データから予想されるほど効果的でないということとでその差はそれほど大きなものではないが, 後者では 1 桁ぐらい異なる。後者の問題は実験方法に問題があるのではないかと予想される。

(4) Si ならびに Si-Mn 脱酸で高 Si 領域では脱酸は著しく強くなる。これはアークが存在するための特有な現象で, 実験的には $[\%Si][\%O] = \text{一定}$ という関係をもち, みかけ上 SiO 分圧が一定な SiO 生成反応による平衡と考えられる。Si ならびに Si-Mn 脱酸では

SiO 生成反応とこの反応が同時に起こり, 脱酸力の強い方の反応で平衡が規制されるため, 低 Si 領域と高 Si 領域で脱酸平衡が異なるという現象を示したものであろうと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 笠松裕 “溶接過程における溶滓と溶鋼の間の化学平衡に関する物理化学的研究” 第1報, 第2報, 第3報, 溶接学会誌, Vol. 30 (1961), No. 4, 260~268; Vol. 30 (1961), No. 11 831~837; Vol. 31 (1962), No. 4, 299~307
- 2) K. Segawa, E. Tsunetomi, Y. Nakamura, H. Katayama “Deoxidation in Arc Welding”, 日ソ製鋼物理化学シンポジウム (モスクワ) 発表, S. 42. 5; Transactions ISIJ 投稿中
- 3) 足立彰 “ $SiO_2(S) = Si + 2O$ 反応の平衡に関する推奨値”, 学振19委, 第三分科会, 製鋼反応協議会資料, 19委 7400 (S. 38. 12)
- 4) 千野博孝, 中村泰, 常富栄一, 瀬川清, “溶鉄中のチタン脱酸”, 鉄と鋼, 52 (1966), No. 6, 959~966
- 5) 足立彰 “ $FeO + Mn = MnO + Fe$ および $Mn + O = MnO$ 反応の平衡に関する推奨値”, 学振19委, 第三分科会, 製鋼反応協議会資料, 19委 7620 (S. 39. 7)
- 6) R. A. Walsh, S. Ramachandran “Equilibrium in the Fe-Mn-Si-O System”, Trans. AIME, 227 (1963), June 560~562
- 7) 佐野幸吉, 坂尾弘 “ $FeV_2O_4(S) = Fe(l) + 2V + 4O$ および $V_2O_3 = 2V + 3O$ 反応の平衡に関する推奨値”, 学振19委, 第三分科会, 製鋼反応協議会資料, 19委 76178 (S. 39. 7)
- 8) 鈴木健一郎, 大森康男, 三本木貞治 “溶鋼のチタン脱酸に関する研究”, 東北大学選鉱製錬研究所彙報, 23 No. 2 (S. 42. 12)
- 9) 盛利貞 “ $Al_2O_3(S) = 2Al + 3O$ 反応の平衡定数に関する推奨値”, 学振19委, 第三分科会, 製鋼反応協議会資料, 19委 7292 (S. 38. 12)
- 10) たとえば “Basic Open Hearth Steel Making, 3rd Ed.” AIME, (1964), P. 650~651
- 11) 盛利貞 論文 “溶鋼の脱酸反応機構に関する一考察” に関する討論, 鉄と鋼, 52 (1966) No. 13, 1843~1847, ならびに論文 “溶鋼の空気酸化によって生成したマクロ介在物の生成機構について” に関する討論, 鉄と鋼, 53, (1967) No. 1, 24~25
- 12) H. F. Ramstad, F. D. Richardson “Thermodynamics of Silicon monoxide”, Trans. AIME, 221, (1961) Oct., 1021~1028
- 13) J. Chipman, R. Baschwitz, “The activity of Silicon in Liquid Fe-Si-C Alloys, Trans. AIME, 227 (1963) April, 473~478