アーク溶接時の冶金反応に関する研究 (第 3 報)*

— アーク溶接時の脱酸反応 —

常 富 栄 一** 片 山 裕 之**

Study on Metallurgical Reactions in Arc Welding (Report 3)*

—Deoxidation reactions in arc welding—

by Eiichi Tsunetomi** and Hiroyuki Katayama**

Abstract

In our previous papers^{1),2)}, deoxidation reactions in arc melting were reported. According to those results, the following became clear: (1) Deoxidation reaction in arc melting can be treated as a reaction at some mean temperature. (2) The reaction is recognized as a first order reaction. (3) The reaction rate is proportional to the current and inversely proportional to the volume in the molten pool.

In this paper, the Si and Si-Mn deoxidation reactions in arc welding were studied on the basis of the previous results. Weldings, using a mother plate (with or without an oxidizing surface) which contained Si, Mn and a wire in which oxygen was contained, were performed under certain pressures of Argon. This prevents the absorption of oxygen from the atmosphere into the molten pool. From those experiments, the relation between the oxygen content and the welding condition as well as the content of Si, Mn was investigated and analysed using the reaction equation proposed. This equation was obtained under the assumption that the pool was in a state of complete mixing and also by the application of the rate equation reported in our previous paper²⁾, as follows:

$$([\%O]_i - [\%O]) / ([\%O] - [\%O]_e) = k_0 \cdot I / Sf$$

where $[\%O]$ is oxygen content in pool; $[\%O]_i$ is initial oxygen content; $[\%O]_e$ is apparent equilibrium oxygen content in pool; I is current; S is nugget area; f is welding speed; k_0 is rate constant.

The experimental results show that the oxygen content does not change perceptibly, even though the welding speed or the current may change where the initial oxygen content and the content of Si, Mn are constant. On the other hand, the values of I/Sf are almost constant within the limits of this experiment. Therefore, it is understood that the above results are mainly caused by the right side of the equation being constant. Furthermore, the relation between the value of k_0 calculated by the equation and the contents of Si, Mn, shows the same tendency as the one related to arc melting. Therefore, the equation proposed does not contradict the previous result in arc melting.

From the above, quantitative treatment of deoxidation reactions in arc welding may be possible by applying this equation.

1. 緒 言

アーク溶接における酸素の挙動を調べることを目的とし、先にアーク溶融時の脱酸反応について調べた^{1),2)}。その結果、脱酸反応はある平均温度の反応として扱うことができ、反応は 1 次反応と認められ、その速度は溶融池体積に反比例し電流に比例することがわかった。

本報告ではこれらの結果をもとにして、アーク溶接時の Si, Si-Mn 脱酸について調べたものである。溶接は雰囲気から酸素を吸収しないよう Ar 雰囲気中で行な

い、ワイヤーの酸素ならびに母材表面の酸素と母材中の Si, Mn と反応させ、溶接金属酸素量と Si, Mn 量との関係ならびに溶接条件との関係を求めた。この実験結果について、前報の結論にもとずき結果の解析を行ない、溶接時の脱酸反応における酸素量の定量的把握を試みた。

2. 実 験 方 法

実験は雰囲気調節が可能な雰囲気溶接機によった。本装置は当所で試作したもので、内容積 300 l 前後のタンク内に溶接機をおき母材を移動させて溶接する。真空ポンプを附属し、0.1 mmHg まで排気でき各種雰囲気圧力での溶接が可能である。本装置に母材、ワイヤーを取付

* 原稿受付 昭和44年3月18日 (昭43年度春季大会にて発表)

** 正 員 八幡製鉄 K.K. Member, Yawata Iron and Steel Co., Ltd.

け, 系を 0.1 mmHg 前後の真空にし, Ar で洗浄後所定の Ar 圧力にしようえて溶接を実施した. 電源は直流, 定電圧特性で逆極性を用いた. 溶接条件は Ar 圧力 200~550 mmHg, 溶接速度 10~25 cm/min., 溶接電流 400~730 A, 溶接電圧 22~27 V の範囲で, いずれもスプレー移行であった. Ar 圧力は溶接開始直後急激に上昇し, それ以後一定になる (400 A のとき10%上昇, 600 A のとき17%上昇). 以下に示す Ar 圧力は溶接前圧力である.

溶接ワイヤーは径 3.0 mm で, 成分は C=0.011, Si<0.01, Mn=0.04, O=0.10% のものを用いた. 母材は真空溶解して作成した Si 系 (Si=0.08~2.3, Mn<0.01, C<0.004, O<0.003%) ならびに Si-Mn 系 (Si=0.05~1.5, Mn=0.4~3.0, C<0.004, O<0.003%) で, 厚さ 15 mm, 長さ 200 mm, 巾 110 mm とし, 両側に補助鋼板を溶接したのものを用いた. 溶接は平板溶接で, 長さ 18 cm のビードを同一母材上に 2~3 本おいた. なお, 母材は表面を研削したままのものと, これを一定条件 (600°C で 2 時間大気中) で加熱し表面を酸化させたものを用いた.

溶接後の試料はビード巾を測り, マクロエッチしてナゲット面積を求め, また溶込率を算出した. 分析試料は溶接開始位置より 80 mm 以降のビードより採取し, Si, Mn, O を分析した. Si, Mn のビード上における分析値は同一ビード上 5 箇所値のみとすると $\pm 0.03\%$ の範囲 (平均値 0.1~0.6%) にあった. 酸素の場合には 2 箇所値で 0.004% 異なる場合もあり, その精度は $\pm 0.002\%$ と考える必要がある.

反応経過を求めるためには, 反応が起こらないと仮定したとき溶融池に存在する全酸素量 (初期酸素量 $[\%O]_i$) の値が必要である. 母材表面を酸化しない場合酸素はワイヤーから供給されるだけなので, その酸素を初期酸素として $[\%O]_i$ を溶込率から求めた. ワイヤーの酸素量は 0.10% なので, たとえば溶込率 30% とすれば $[\%O]_i = 0.070$ になる. 母材表面を酸化した場合の $[\%O]_i$ の値についてはやや問題があるが, 一応次のように推定した. 母材の酸化は全く同一条件で行なったこと, この際の実験範囲では (ビード巾)/(ナゲット面積) の値はほぼ一定値 (0.18 l/mm 前後) であることから, 酸化皮膜から入る酸素量はほぼ一定と予想された. また溶込率はいずれの場合も 35% 前後で, ワイヤーから入る酸素量もほぼ一定とみられる. これらの実験について Si, Mn の物質収支をとり, 酸化物として除かれた Si, Mn 量より $[\%O]_i$ の値を推定すると, 分析誤差が大きく影響するので確定的ではないが, 多くは 0.12~0.16% の範囲にあった. 以上から表面を酸化した母材を

用いたときの $[\%O]_i$ は一定で, その値は 0.14% として取扱った. なおこの値が変化した場合の影響については後述する.

3. 実験結果

上記により, 溶接金属酸素量に対する溶接条件 (溶接電流, 溶接速度ならびに雰囲気圧力) の影響ならびに成分の影響を求めた.

3.1 溶接条件の影響

Si 脱酸時の溶接電流の影響を Fig. 1 に, 溶接速度の影響を Fig. 2 に, また雰囲気圧力の影響を Fig. 3 に示した. Fig. 1, Fig. 2 の上図および Fig. 3 は母材表面を酸化しない場合で, 初期酸素量が低いときの結果である. また Fig. 1, Fig. 2 の下図は母材表面を酸化させ酸化膜を附着した状態で溶接した場合で, 初期酸素量が高いときの結果である. なお, その際の電圧の変動範囲は前述のように 22~27 V で, その影響はとくに求めなかった. これらの実験で溶込率をみると, 雰囲気圧力 200 mmHg の場合電流 400 A では 25% 前後, 500 A 以上では 35% 前後であった. したがって未酸化母材を用いた場合 $[\%O]_i$ の値は前者では 0.75%, 後者では 0.65% 前後になる. また雰囲気圧力が高くなると溶込率が高くなる (550 mmHg の場合 45% 前後). Fig. 3 に示す $[\%O]_i$ はこの結果によるものである.

Fig. 1 Effect of welding current on oxygen content in Si deoxidation (Ar pressure: 200 mm Hg, welding speed: 20 cm/min)

Fig. 2 Effect of welding speed on oxygen content in Si deoxidation (Ar pressure: 200 mm Hg, current: 500~520 A)

Fig. 3 Effect of Ar pressure on oxygen content in Si deoxidation (current: 500 A, welding speed: 20 cm/min.)

3.1.1 平衡との関連 Fig. 1, Fig. 2 からわかるように、溶接後の $[\%Si]$ が同一でも、 $[\%O]_i$ が変化すると $[\%O]$ が変化してくる。溶接条件が同一ならば $[\%O]_i$ が変化しても溶融池温度はほとんど変化しないとえられるから、反応が平衡にあれば $[\%O]_i$ が異なっても $[\%O]$ は同一でなければならない。したがって、これらの結果からすると反応は進行中で、平衡になっていないといえることができる。

3.1.2 溶接電流の影響 Fig. 1 からわかるように 500 A 以上では同一 $[\%Si]$ ならば $[\%O]$ はほぼ同一の値を示し、とくに相違しているとは認められない。未酸化母材の 400 A の場合には 500 A 以上の場合と $[\%O]$

が異なっているが、この場合 $[\%O]_i$ が変化していると考えられるから、この相違は電流によるものか $[\%O]_i$ によるものかは不明である。

3.1.3 溶接速度の影響 Fig. 2 からわかるように、溶接速度 10~25 cm/min. の範囲では溶接速度によって $[\%O]$ はほとんど変化していない。溶接速度が変化すると反応時間に相当する平均滞留時間 τ (後述 Table 2 参照) は変化するから、常識的には $[\%O]$ は変化してもよいはずである。この点からこの結果ははなはだ注目される結果である。

3.1.4 雰囲気圧力の影響 雰囲気圧力 200~550 mmHg の範囲では、Fig. 3 からわかるように、 $[\%O]$ の値はとくに変化しているとは認められない。ただこの場合には $[\%O]_i$ が変化していると思われるから、反応量 ($[\%O]_i - [\%O]$) は変化していると考えなければならない。すなわち雰囲気圧力が低いほど反応は進むと考えられる。

3.2 成分の影響

酸化母材の場合について、Si, Mn 量と酸素量との関係を求めた結果を Fig. 4 に示す。この実験では溶接速度を 10~25 cm/min. で変化させたが、図からわかるように、ほぼ同一成分の場合 $[\%O]$ が溶接速度によって変化しているとみることができない。これは Fig. 2 の結論と同一である。図には関口理論³⁾の界域 I, II, III を示したが、全般的な傾向としては界域 II で Mn 量が増加するほど酸素量は減少する傾向を示している。

溶接金属の非金属介在物 (一次ならびに二次脱酸生成物) を観察すると、大きくても数 μ で 1μ 以下のものも相当数ある。この介在物をヨウ素アルコール法によって抽出し組成分析した。またビード上に附着している一次脱酸生成物についても組成分析をした。介在物や一次脱酸生成物中の FeO 量をみると、Si 単独脱酸の Si =

Fig. 4 Oxygen content in S-Mn deoxidation. (Ar pressure: 200 mm Hg, current: 500~520 A)

Fig. 5 Relation between MnO/SiO_2 in oxide (inclusion or deoxidation product) and Mn/Si in weld metal.

0.04% の場合ならびに界域Ⅲの $\text{Si}=0.01\%$, $\text{Mn}=0.42\%$ の場合や $\text{Si}=0.03\%$, $\text{Mn}=1.13\%$ の場合には $\text{FeO}>10\%$ になるが, 他の場合には 5% 以下であった。この結果より溶接金属の Mn/Si と酸化物の MnO/SiO_2 の関係を求めると, Fig. 5 のとおりであった。図は定性的な結果と考える必要があると思われるが, 脱酸生成物と介在物とはほぼ同一組成をもつこと, $\text{Mn}/\text{Si}<1$ まではほぼ SiO_2 で, それ以上になると Mn -シリケートになっていくことがわかる。また Mn/Si の値が大きくなると MnO の割合が増加していくことを示している。これらの関係が Fig. 4 の酸素量と密接な関係をもつものと予想される。

以上の実験結果について, Si 脱酸の場合も含めこれらの実験結果で妥当と思われる酸素量を Table 1 に示した。後述の結果の解析にあたってはこれらの値を用いた。

4. 成分均一性の検討

アーク溶融の場合には第1報¹⁾の結果から, 反応はある平均温度における反応として取扱ってよいことがわかった。脱酸実験の結果を解析するにあたって, 溶接の場合にも溶融池内の攪拌によって成分が均一ならばどのように取扱うことができると考え, つぎのような検討を行った。

4.1 成分均一性の実験

母材に埋め込んだステンレス (径 2 mm.) 中の Cr が溶接によって溶接進行方向に対しどのような分布を示すかを求める実験を行なった。実験は脱酸反応実験とまったく同様で, 溶接速度を変化させて実験した。その結果は Fig. 6 のとおりである。

Fig. 6 Distribution of Cr in welding direction in the case where a small piece of stainless steel is inserted in the plate prior to welding (Ar pressure: 200 mmHg, current: 500A)

Table 1 Oxygen content in the weld metal according to the experimental results.

Welding condition	Current (A)	500	400	500~730	500~520	500~520	500~520
	Welding Speed (cm/min)	20	20	10~25	10~25	10~25	10~25
	Ar Press (mmHg)	200* 400 550	200	200	200	200	200
	$[\%O]_i$	0.065* 0.060 0.055	0.075	0.14	0.14	0.14	0.14
Oxygen content (%)	Mn%	0	0	0	0.5	1.0	1.5
	Si%	0	0	0	0.5	1.0	1.5
	0.1	0.048	0.051	0.063	0.047	0.035	—
	0.2	0.041	0.047	0.055	0.044	0.033	0.025
	0.4	0.037	0.045	0.050	0.040	0.033	0.029
	0.6	0.036	0.044	0.046	0.039	0.034	0.031
	1.0	—	—	0.044	0.038	0.035	0.034

* $[\%O]_i=0.065$ corresponds in the case of Ar pressure of 200mmHg, respectively.

最高濃度を示す位置は埋めた位置より約 1cm 進行方向よりも反対側にあるが、これは溶融池の長さが少なくとも 1cm 前後あることを示している。アーク直下にステンレス球がくるまでは母材に Cr は存在しないから、最高濃度以前では急激に濃度は減少するはずであるが、溶接速度によって立上りの勾配が異なるのはステンレスの大きさに問題があると思われる。進行方向については

$$\log [\%Cr] = Ax + B \quad \dots\dots\dots (1)$$

の関係を示し、勾配 A は溶接速度により異なる値を示している。ここに x は進行方向の長さである。

4.2 成分均一性の解析

溶接の場合、溶鋼は母材とワイヤーから供給され、他方では溶鋼が凝固し、その間に定常状態が成立している。いま溶融池内では成分は均一いかえれば完全混合と仮定し、溶鋼の供給と凝固により Cr が薄められていく状況について dt 時間における物質収支をとり、積分すれば、

$$\log [\%Cr] = -\frac{S}{2.303V}x + \log [\%Cr]_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

が成立する。ここに S はナゲット面積、 V は溶融池体積である。(1) 式と比較すると、溶融池が完全混合の状態にあれば、 $A = -S/2.303V$ で与えられることになる。

以上から勾配の比較を行なった結果は Table 2 のとおりである。表で S の値は Fig. 7 (後述) に示した平均値である。また V の値はクレータより推定した。すなわち母板のアーク停止予定位置に FeS を埋め込み、そのサルファプリントを取ってクレータの形状を求め、図上積分で体積を求めた。このようにして求めた V の値の誤差は S の混合状況ならびに図上積分の点から相当大きい。表の結果は計算値と実測値とが比較的近い値を示し、完全混合に近い可能性はあるが、計算値の精度の点からどの程度の混合状態にあるかを断定することはできない。ただし最近、森、堀井⁹⁾は RI トレーサーによって潜弧溶接における溶融池の攪拌状況を調べてい

る。その際本実験と同様の取扱いによって混合状況を求め、溶融池の混合状況は完全混合の 80% 以上であると述べている。

これらの結果からみて、少なくとも本実験範囲以上の大電流溶接では、完全混合ではないとしても近似的には溶融池全体を一つとして反応を取扱っても差支えないであろうといえる。なお Table 2 には平均滞留時間 $\tau(V/Sf, f$: 溶接速度) も示した。この値は溶接速度によっていちじるしく異なることがわかる。

5. 反応の解析ならびに考察

以上から溶融池内の脱酸反応をある平均温度における反応と考え、またアーク溶融時の脱酸反応速度式が溶接の場合にも適用できるとして結果の解析ならびに考察を試みた。

5.1 脱酸反応式

溶融池内の成分が均一であるとすれば、 dt 時間に溶融池に供給される酸素量 ($\rho Sf [\%O]_i \cdot dt$) は溶融池で脱酸反応により除去される酸素量 ($\rho V \cdot d[\%O]/dt \cdot dt$) と凝固金属に移行する酸素量 ($\rho Sf [\%O] \cdot dt$) の和に等しい。ここに ρ は溶鋼密度である。したがって

$$[\%O]_i - [\%O] = \frac{d[\%O]}{dt} \tau \quad \dots\dots\dots (3)$$

の関係が成立する。反応速度 $d[\%O]/dt$ は第 2 報²⁾の結果から、

$$\frac{d[\%O]}{dt} = k([\%O] - [\%O]_e) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$k = k_0 \cdot I/V \quad \dots\dots\dots (5)$$

が成立すると仮定する。ここに $[\%O]_e$ はみかけの平衡値、 k_0 は第 2 報に示したように溶接装置固有の定数で、溶接条件に無関係である。(3)、(4)、(5) 式から

$$\frac{[\%O]_i - [\%O]}{[\%O] - [\%O]_e} = k\tau = k_0 \cdot I/Sf \quad \dots\dots\dots (6)$$

が成立する。(6) 式は溶融池の成分が均一で、アーク溶融時の脱酸反応速度式が溶接の場合にも適用できるとしたときの溶接時の脱酸反応式である。

Table 2 Investigation into the uniformity of the distribution of the components in the molten pool. Comparison of the value of the tangent in Fig. 6 with the one calculated where the pool is in a state of complete mixing.

Welding Speed, f (cm/min)	nugget area, S (cm ²)	Volume of pool, V (cc)	Tangent calc. - $S/2.303V$ (1/cm)	Tangent obs. A (1/cm)	Apparent residence time, τ (S)
10	2.1	6.2	-0.15	-0.15	18
15	1.45	3.7	-0.17	-0.23	10
25	0.95	1.5	-0.27	-0.31	3.8

5.2 反応と溶接条件の関係

(6) 式で反応が表わされるとすれば, 反応に対する溶接条件の影響は I/Sf の項で与えられる. また溶接条件によって溶融池の平均温度が変化するならば, $[\%O]$ も溶接条件によって変化する値である. 実験結果で特徴的なのは, 同一 $[\%O]_i$ で同一脱酸成分量の場合溶接電流 500 A 以上では電流にも溶接速度にも $[\%O]$ は無関係であるということである. この点について (5) 式から実験結果を検討した.

5.2.1 I/Sf の値 ナゲット面積と溶接電流, 速度の関係は Fig. 7 に示すとおりであった. S の平均値をとり, I/Sf の値を求めてみると, この実験範囲では I/Sf の値は $21 \sim 24 \text{ A} \cdot \text{min}/\text{cm}^2$ の範囲にあり, 近似的には一定とみなすことができる. Jackson⁵⁾ によれば, 潜弧溶接や Mig 溶接では $S \propto I^{1.55}/f^{0.903}$ で与えられるから, 上記の結果は Jackson の式よりも電流の影響が小さいことになる. 本実験は圧力 200 mmHg という特殊な状況下で溶接したもので, このようなことが一因であろうと考えられる. なお雰囲気圧力が高くなると S は大きくなる. 電流 500 A, 速度 20 cm/min. の場合, 400 mmHg では $I/Sf = 19 \text{ A} \cdot \text{min}/\text{cm}^2$, 550 mmHg では $18 \text{ A} \cdot \text{min}/\text{cm}^2$ 前後である. 以上のように溶接条件 200 mmHg, 500 A 以上, $10 \sim 25 \text{ cm}/\text{min}$ では I/Sf はほぼ一定値をとる. これはその条件では (6) 式の左辺 $([\%O]_i - [\%O])/([\%O] - [\%O]_e)$ がほぼ一定であることを示し, $[\%O]$ が溶接条件によって変化しなければ, $[\%O]$ は一定になることになる.

5.2.2 $[\%O]_e$ の値 $[\%O]_e$ は溶融池のみかけ平均温度がきまれば求めることができるが, 温度がどのくらいかは実際には不明である. そこで一応みかけ平均温度を 1700°C , 1640°C , 1600°C と3点選び, そのときの k_0 の値を (6) 式から求めてみた. 各温度における

$[\%O]_e$ の値は第1報¹⁾より推定したもので, 1640°C における Si 脱酸の値は第2報²⁾の Fig. 1 に, Si-Mn 脱酸の値の一部は同上 Fig. 2 に示した. 計算に用いた $[\%O]$ は Table 1 の値で, Si 脱酸の場合の k の値は Fig. 8 のとおりである. なお, この際用いた I/Sf の値は図に示した. 図からみると, 1600°C と 1640°C では傾向は一致し, その値も 1600°C のほうがやや低めではあるが $\text{Si} = 0.1\%$ の値以外はそれほど異なっていない. 1700°C ではこれらと逆の傾向で, これはアーク溶融における k の傾向 (第2報 Fig. 5) とは一致しない. また温度が 1700°C よりさらに高くなると, Si-Mn 脱酸の場合も含め Si が低い場合には Table 1 の $[\%O]$ の値では $[\%O]_e$ の値より低くなる場合がでてくる. 成分が変化しても溶接条件が変らなければ温度はあまり変化しないであろうから, ある成分の場合このような矛盾があることは全体的にも矛盾がある可能性がある. これらの点から, 本実験の範囲では温度を 1700°C あるいはそれ以上と考えることにはやや問題があるように思われる. 以上の結果から, 逆に (6) 式の右辺 ($k_0 \cdot I/Sf$) の値をきめて, (6) 式から $[\%O]_e$ が変化するときの $[\%O]$ の変化を求めてみた. たとえば $[\%O]_i = 0.14$ の場合 $k_0 \cdot I/Sf = 2.2$ とおき温度が 1600°C から 1700°C まで変化したときの値をみると, $\text{Si} = 0.2\%$ の場合 0.053% から 0.061% に, $\text{Si} = 0.4\%$ の場合 0.047% から 0.053% になり, Si が高くなるとその変化は小さくなる. $[\%O]_i$ が低いときはその変化はもっと小さい. これらからみると, k_0 が Fig. 8 に示す程度の値でみかけ平均温度が 1700°C 以下ならば, 温度が変化しても $[\%O]$ の変化は実験誤差範囲になってしまうといえる.

Fig. 7 Effect of welding speed and current on nugget area

Fig. 8 Value of rate constant k_0 in Si deoxidation in the case where apparent mean temperature in molten pool is assumed to be 1700°C , 1640°C or 1600°C respectively.

以上のように, $[\%O]$ が溶接条件によりあまり変化しないという本実験の結果は I/Sf ならびに $[\%O]_e$ の値の検討から (6) 式によって近似的に説明することができた。これは (6) 式がほぼ妥当であることを示すものである。なお, 本実験では電圧の影響は求めなかったが, 電圧によって S はあまり変化しないようであるから⁹⁾, 電圧が変化しても $[\%O]$ におよぼす影響は少ないであろうと思われる。

5.3 成分の影響

k_0 におよぼす Si, Mn 量の影響ならびに $[\%O]_i$ の影響について検討した。

5.3.1 Si, Mn の影響, 溶融池平均温度 1640°C , $I/Sf=22\text{ A}\cdot\text{min/cc}$ として, Table 1 の $[\%O]$ の値から Si-Mn 脱酸の場合の k_0 を求めた結果は Fig. 9 のとおりである。なお, 図にはアーク溶融時の k_0 (第2報 Fig. 5 参照) の5倍の値を実線で示した。図から Si, Mn 量と k_0 の関係は溶接とアーク溶融の場合とはほとんど一致した傾向で, Si が低く Mn が高いほど k_0 は増加する。このことはアーク溶融の結果から求めた (4), (5) 式が溶接の場合にも適用できるとして導いた (6) 式の妥当性を示すものと考えられる。 k_0 の絶対値の相違は第2報でも述べたように溶融装置, 溶接法の相違や $[\%O]_i$ の相違によるものと考えられる。

5.3.2 $[\%O]_i$ の影響 Fig. 8 に示したように, $[\%O]_i=0.14$ の場合のほうが $[\%O]_i=0.055\sim 0.075$ の場合の k_0 の2倍強になっている。前述のように表面を酸化した母材を用いた場合には, その $[\%O]_i$ は一定であるとしても, 絶対値をどのように見積るかはやや問題がある。そこで $[\%O]_i=0.14$ の場合のみならず, $[\%O]_i=0.16$ および $[\%O]_i=0.12$ とおいた場合の k_0

Fig. 9 Value of rate constant K in Si-Mn deoxidation in the case where apparent mean temperature in molten pool is assumed to be 1640°C (Ar pressure; 200 mm Hg, current; 500~520A, $[\%O]_i=0.14$)

の値をみかけ平均温度 1640°C の場合について求めてみた。その結果をみると, Si, Mn と k_0 の関係はいずれも傾向的に Fig. 9 はとまったくどうようであるが, k_0 の絶対値は異なっている。アーク溶融時の k_0 の値と比較すると, $[\%O]_i=0.16$ では平均5.8倍, $[\%O]_i=0.14$ では平均5.0倍, $[\%O]_i=0.12$ では平均4.0倍という値であった。この結果から, $[\%O]_i$ の値が少し異なっても Si, Mn と k_0 の関係の傾向は変わらないこと, および $[\%O]_i=0.14$ の k_0 は $[\%O]_i=0.055\sim 0.075$ の k_0 の2倍強であるという結論はあまり変わらないことがわかった。アーク溶融の場合について $[\%O]_i=0.14$ と $[\%O]_i=0.065$ の場合の k_0 の比をとると (第2報 Fig. 6 参照), 低 Si 領域では1.8倍前後で溶接の場合の比に比較的近いが, 高 Si 領域における k_0 の比は1.2~1.3倍である。アーク溶融における高 Si 領域の反応は低 Si 領域の反応と反応機構が異なっている可能性がある。溶接の場合には Si が高くなってもアーク溶融時の低 Si 領域と同一の反応機構であるとすれば, 溶接時の $[\%O]_i$ の影響はアーク溶融における傾向と同一に近いといえることができる。しかしこの点は不明なので本実験から結論することはできない。

6. ま と め

アーク溶接時における Si ならびに Si-Mn 脱酸時の酸素量と溶接条件ならびに成分との関係について求め, その解析と考察を試みた。

(1) 溶融池を均一と仮定し, アーク溶融時の反応速度式が適用されるとすると, 溶接時の脱酸反応式は

$$\frac{[\%O]_i - [\%O]}{[\%O] - [\%O]_e} = k_0 \cdot I/Sf$$

で与えられる。

(2) 実験によれば溶接速度や電流が変化しても, 初期酸素量 $[\%O]_i$ や Si, Mn 量が同一ならば酸素量 $[\%O]$ はほとんど変化しない。これは式からみると本実験範囲ではおもに I/Sf の値がほぼ一定なことによるものである。なお, 溶接条件によって溶融池のみかけ平均温度が変化するならば, 酸素量 $[\%O]$ に対する溶接条件の影響は I/Sf のみならず $[\%O]_e$ の値によってきまるものと思われる。

(3) Si, Mn 量と k_0 の関係は第2報に示したアーク溶融の場合とまったく同一の傾向にあった。このことはアーク溶融の結果と本結果とが矛盾していないことを意味し, 反応式が妥当であることを示している。なお, k_0 の絶対値は数倍大きい, これは溶接法, 装置などの相違によるものと思われる。

これらの結果はある特定条件下に求めたもので, 現在

実施されているような広範囲な溶接条件下において適用できるかどうかにはやや問題があるかもしれない。しかし、これらの結果によって溶接時の酸素の挙動を定量的に検討する可能性は明らかになってきたのではないかと考えられる。

参考文献

- 1) 常富栄一, 片山裕之: "アーク溶接時の冶金反応に関する研究, 第1報" 溶接学会誌, **37** (1968), No. 12, 1374~1380
- 2) 常富栄一, 片山裕之, 藤田治男: "アーク溶接時の冶金反応に関する研究, 第2報" 溶接学会誌投稿中
- 3) 関口春次郎: "心線中にマンガンおよび珪素を特に含有せしめた鋼用溶接棒の研究, 第1報" 溶接学会誌, **19** (1950), No. 3, 40~48
- 4) 森 直道, 堀井行彦: "潜弧溶接における溶融池現象, 第1報, 第2報" 溶接学会昭和44年度春季講演会発表予定
- 5) C.E. Jackson "The science of arc welding" W.J., **39** (1960), No. 6, 225s~230s
- 6) 安藤弘平, 長谷川光雄: "溶接アーク現象, 増補版", 産報, 1967, p. 368

"Current Situation of Welding Materials in Japan" (日本における溶接材料の現状) 英語版の頒布について

IIW 第2委員会では, IIW 第22回年次大会第2委員会提出資料 "Current Situation of Welding Materials in Japan" (日本における溶接材料の現状) を作製致しましたが, 表題のとおり, 我国の溶接材料の現状を知るうえにおいて現場のかたはもちろん, 営業関係のかた, また教材としておおいに有効, かつ, 貴重な資料となりますので会員各位のご要望がございましたら, 頒布致しますので, 送附先(連絡先)および冊数をご連絡下さいますよう, ご案内申し上げます。

記

なお, 本資料の作成の目的・体裁などは次のとおりです。

<作成の目的>

我国の溶接材料の実情として, 製造市販されている被覆アーク溶接棒, 自動・半自動溶接用ワイヤ, フラックスなど各種溶接材料による溶接部の化学成分, 機械的性質, 溶着速度などすぐれた各種性質を図示することにより, また, 新しく開発され, 利用されてその価値の認識されている溶接材料利用技術の進んだ状況, さらに溶接材料生産方式の進歩などを広く海外に紹介し, 我国溶接技術の実情の理解を助けようとするのである。

<体裁>

B5判. 上質70K紙活版刷83頁. 製本は横閉じの包み. 図表は114図, 11表.

<頒価>

1000円.

<申込要領>

○註文書名, 部数, 申込者住所・氏名・印・現品送附先を記載した申込書(様式自由)を溶接学会内, IIW 第2委員会宛お送り下さい。(代金は後日請求致します)

○申込〆切 44年10月末日.

(註) 邦文資料は在庫がなくなりました。