サブマージアーク溶接過程における酸素および窒素量について*

清水寛一郎**, 岩本信也***, 巻野勇喜雄***, 赤松泰輔**

On the Oxygen and Nitrogen Contents of Submerged Arc Welding Stage*

by Kanichiro Shimizu**, Nobuya Iwamoto***, Yukio Makino***
and Taisuke Akamatsu**

The change of the contents of oxygen and nitrogen in the electrode wire tip, droplet and weld metal of the submerged arc welding was studied by varying the arc voltage and welding speed.

The results obtained are summarized as follows.

- (1) The oxygen and nitrogen contents in the electrode wire tip are far higher than the level of the wire by the influence of the partial pressure.
- (2) At the electrode wire tip the reactions of the silicon and manganese occur considerably.
- (3) The oxygen and nitrogen contents in the droplet metal increase as the welding speed increases.
- (4) The estimated oxygen and nitrogen contents of droplet metal with the welding speed 40 cm/min decreases than the level of electrode wire metal.
- (5) In the droplet metal deoxidation reaction occur during flight in the arc.
- (6) The oxygen and nitrogen contents are remarkably different by the exposure time in the gas phase and flight pass of droplet metal.
- (7) The oxygen content of weld metal is lower than the level of droplet metal and the nitrogen content of weld metal is higher than it.

Key Words: Submerged arc welding, Oxygen absorption, Nitrogen absorption, Chemical reaction, Electrode wire tip, Droplet, weld metal, welding speed.

1. 緒 言

アーク溶接という融合方式を用いる限り、溶着金属の酸素量は一般に溶接鋼板の酸素量に比較して著しく高くなる。溶着金属の酸素並びに窒素量は機械的及び化学的性質に影響を与えるため、可能な限り低く抑えることが望まれる。サブマージアーク溶接の場合にはフラックスによってアーク雰囲気遮蔽することで、溶着金属の劣化を防ぐ方式がとられるが、この場合にもフラックスの成分によって酸素並びに窒素量は異なる。サブマージアーク溶接の場合、溶接金属の機械的、化学的性質を改善するために、とくにその酸素含有量を 300 ppm 以下¹⁾におさえることが望ましへ、種々の研究が進められている。

溶接においては溶着金属のガス含有量が重要であることは勿論であるが、そこに至る溶接過程、すなわち溶融金属がワイヤ先端において生長し、ワイヤ先端から離脱した溶滴粒子は、フラックスの溶け落ちたワイヤ直下の空洞に生じたアーク中を飛行して、対極鋼板表面に到達するまでの過程におけるガスの吸収あるいは放出などの挙動を明らかにすることは、溶着金属のガス量を論ずる上で重要である。

今日まで溶接過程について種々研究が行われているが、サブマージアーク溶接については T. Lau らの溶接過程における酸素及び窒素の汚染源についての研究¹⁾

があり、また溶接過程におけるガス-メタルスラグ反応についての研究²⁾がある。さらにガス被包アーク溶接における溶接時の溶滴生成過程における合金元素の挙動に関する研究³⁾、アーク溶接過程における鉄溶接金属の酸素吸収と酸化物系介在物についての研究⁴⁾などがある。

溶滴金属粒子の酸素並びに窒素の挙動を明らかにすることは、溶着金属のガス含有量軽減の手掛りとなり得るとの考えから、本研究ではワイヤ先端溶融金属の酸素並びに窒素量及びワイヤ先端から離脱した溶滴粒子がアーク中を飛行して、対極表面に到達する間における酸素並びに窒素の吸収及び放出について調べた。

2. 実験方法

2.1 試片の採取方法

ワイヤ先端金属のガス分析試片の採取方法は、鋼板上にアークを発生して、ワイヤを送りながら規定の溶接速度で溶接を進め、アークが安定した時(電流、電圧の安定時)にアークを消滅させると同時にワイヤを上方に引上げ、ワイヤ先端溶融金属が凝固した後、逃やかにスラグ層から分離して、溶融した部分の先端から $\frac{1}{2}$ を切り取り試片とした。

金属粒子の採取方法は次の通りである。溶接速度が遅い場合には殆ど粒子は母材表面に溶着して採取が困難であるため、金属粒子の採取が可能な速度を選定した。その速度は最低 270 cm/min である。

まずアークの発生を容易にするため、Fig. 1 に示すように長さ 100 mm の鋼板を置き、その先方に冷却銅板(板厚 40 mm)を置く。これらの板上にフラックス充填

*原稿受付 昭和62年10月27日 昭和59年度秋季全国大会で発表

**正 員 工学院大学 Member, Kogakuin University

***正 員 大阪大学 Member, Osaka University

Fig. 1 Dimensions of weld plate

Table 1 Chemical compositions of electrode wire and base metal

Materials	Chemical compositions							wt%
	C	Si	Mn	P	S	O	N	
Electrode wire	0.13	0.03	1.95	0.03	0.03	0.0046	0.0044	
Base metal	0.17	0.19	0.76	0.022	0.015	0.0188	0.0025	

Table 2 Chemical compositions of fluxes

Fluxes	Chemical compositions							mol%	Basicity * BL
	CaO	SiO ₂	MnO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaF ₂		
NO.1	25.0	50.0	25.0						-0.44
NO.2	40.0	40.0		20.0					-1.10
NO.3	17.2	44.6	18.0	2.9	1.3	7.3	8.7		-0.36

*BL = 6.05Na₂O - 6.31Na₂SiO₃ - 4.97NTiO₂ - 0.2Na₂Al₂O₃ + 4.8NMnO + 4.0NMgO

用の枠を置き、その枠内に高さ 35 mm までフラックスを満す。鋼板上にアークを発生し、ワイヤを規定の溶接速度で送る。アークが安定し、冷却銅板上にワイヤ先端がさらに達してからさらに 10 mm 溶接を進行させた後にアークを消滅させる。その後速やかに銅板上に付着しなかった粒子のみをスラグ層から分離して採取した。銅板はあらかじめドライアイス中で約30分間冷却し、速やかに取出して表面をアセトンで洗浄してから設置した。採取した金属粒子はサンドペーパーにて表面を磨き、アセトンで洗浄した後にガス分析を行った。ガス分析の方法は不活性ガス溶解分析法によった。

2.2 溶接条件

溶接には交流溶接機を用い、溶接電流は 380 ± 10 A 一定とし、アーク電圧は 30~45 V の範囲を 4 段階に変えて実験を行った。

使用ワイヤは低 Si、高 Mn 系で、直径 3.2 mm であり、溶接鋼板は SM 41 A 材であって、それらの化学成分を Table 1 に示す。

通常の溶接速度は 40 cm/min であるが、金属粒子の採取の場合は 270~550 cm/min に変えた。

用いたフラックスは熔融型フラックスで、No. 1 及び No. 2 フラックスは塩基度を変えるために試作したものであり、No. 3 は一般市販フラックスである。その化学成分を Table 2 に示す。フラックスの粒度は 14×150 メッシュであって使用前に 300℃、2 時間乾燥した後に用いた。

3. 実験結果

3.1 ワイヤ先端金属の酸素及び窒素量

アーク電圧 40 V、溶接速度 40 cm/min のもとで求め

Fig. 2 Oxygen contents at electrode wire tip metal

Fig. 3 Nitrogen contents at electrode wire tip metal

たワイヤ先端の溶融された金属（以後ワイヤ先端金属と呼ぶ）の酸素量の測定値を Fig. 2 に示す。同図棒グラフには測定値のバラツキ範囲並びにワイヤの未溶解部分（ワイヤと呼ぶ）の酸素量（空白部）を同時に示した。ワイヤ先端金属の酸素量の平均値（斜線部）は著しく高い値を示し、No. 2 フラックスが最も高く、次いで No. 1 フラックスであって、No. 3 フラックスが最も低い。No. 3 フラックスには CaF₂ が含まれているため、その効果により最低値を示したものと解される。このようにフラックスの種類により酸素量は異なる。

次にワイヤ先端金属の窒素量についてみると、Fig. 3 に示すように、No. 1 及び No. 2 フラックスの窒素量はほぼ同程度の値を示すが、No. 3 フラックスの場合にはやや低い値となる。しかし何れのフラックスの場合にも大差はない。

3.2 金属粒子の酸素及び窒素量

3.2.1 溶接速度の影響

Fig. 4 はアーク電圧 40V のもとで溶接速度を 270~550 cm/min に変えた場合の測定結果を示したものである。金属粒子の酸素量は溶接速度が増すにしたがって増加する。この傾向は各種フラックスについても同様であるが、フラックスの種類によって酸素量は僅か異なり、また溶接速度による酸素量の増加率もフラックスの種類によって僅か異なる。酸素量に関してはフラックスの塩基度による影響は必ずしも明確に示されていないが、アーク中のような過度的現象の場合には、平衡状態と異なり、酸素量は必ずしも塩基度と相関性を有さないものも解される。

以上の結果は溶接速度の速い場合であるが、実際に用いられる溶接速度の溶滴粒子の酸素量を、高速における測定値から求めることは無理と考えられるが、次の方法によって求めてみる。すなわち溶滴粒子の酸素量がアーク中の飛行経路に依存するものと考えられ、溶接速度が遅くなるにしたがって、溶滴粒子はアーク外周部から次

Fig. 4 Relation between oxygen content of droplet and welding speed

Fig. 5 Relation between nitrogen content of droplet and welding speed

第に中心部に近づくが、アーク温度も外周部から中心に向かって高くなり、これに伴って反応も起こり易くなるから酸素量は減少する。このように溶滴粒子の酸素量はアーク温度分布曲線にしたがって減少すると考えられる。ここでは近似値を求めるため、Fig. 4 に示す曲線を延長して 40 cm/min における値を求めてみると、No. 1 フラックスで約 1000 ppm、No. 2 フラックスで 920 ppm であり、No. 3 フラックスで 930 ppm となる。ワイヤ先端金属の酸素量に比較すると溶滴粒子の酸素量は大略 40~50% 減少する。

金属粒子の窒素量についてみると、Fig. 5 に示されているように、金属粒子の窒素量は溶接速度が増すにしたがって増加する。この傾向は各種フラックスとも同様に現われ、No. 2 フラックスの場合が最も高く、次いで No. 1 フラックスであり、最も低いのは No. 3 フラックスである。

実際に溶接される 40 cm/min における窒素量を、酸素量の場合と同様に Fig. 5 に示した曲線を延長して求めてみると、No. 1 フラックスで約 50 ppm、No. 2 フラックスで約 70 ppm となり、No. 3 フラックスで約 22 ppm となる。

3.2.2 アーク電圧の影響

電流値 380 A、溶接速度 270 cm/min 一定のもとで、アーク電圧 30~45 V の範囲で 4 段階に変えて実験を行った場合の酸素量の測定結果を Fig. 6 に示した。アーク電圧が増すと金属粒子の酸素量は次第に減少する。この傾向は各種フラックスについて同様に認められ、No. 3 フラックスが最も高い値を示し、次いで No. 1 フラックスの順で、No. 2 フラックスの場合がやや低い値となる。フラックスの塩基度の影響はやはり相関性は明確ではない。

窒素量の測定値を Fig. 7 に示した。金属粒子の窒素量はアーク電圧が高くなると増加する。この傾向は各種フラックスについて同様である。窒素量は No. 2 フラックスの場合が最も高い値を示し、次いで No. 1 フラックスの場合で、最も低い値を示すのは No. 3 フラックスである。

3.3 Si 及び Mn 量

3.3.1 ワイヤ先端金属の Si 及び Mn 量

ワイヤ先端金属の Si 量の分析値 (介在物の Si は含ま

Fig. 6 Relation between oxygen content of droplet and arc voltage

Fig. 7 Relation between nitrogen content of droplet and arc voltage

Fig. 9 Manganese contents of electrode wire tip

Fig. 8 Silicon contents of electrode wire tip

Fig. 10 Relation between silicon content of droplet and welding speed

ない)をFig.8に示した。同図に示したようにワイヤのSi量(下方の空白部)と比較すると、最も高い値を示すNo.2フラックスの場合で約10倍高く、次いでNo.1フラックスの場合で7.3倍、最も低いNo.3フラックスの場合で6.3倍高くなる。このように何れのフラックスを用いてもワイヤのSi量よりもワイヤ先端金属中のSi量は高い値を示すが、この理由はワイヤ先端において溶融金属が生長する過程で次の反応が生じたためと解される。

上記右向きの反応によりフラックス成分中の SiO_2 がアーク熱により解離し、Siがワイヤ先端金属に添加されるためにSi量が高い値を示したものと解される。

次にMn量についてみると、ワイヤ先端金属中のMn量(介在物中のMnを含む)はFig.9に示す通り、No.1及びNo.3フラックスではほぼ同程度の値を示すが、No.2フラックスの場合には前二者よりも著しく低い値を示す。これは表2から明らかなようにフラックス成分に MnO が含まれていないためと解される。ワイヤ先端金属のMn量は何れのフラックスの場合にもワイヤの

Mn量(破線レベル)に比較すると低い値を示し、No.1及びNo.3フラックスでは約16%減少し、No.2フラックスでは46%減少する。このようにワイヤのMn量よりも低下する現象は次の反応が生じたためと解される。

ワイヤ先端金属では主として右向きの反応が起こり、溶融金属のMnが酸素と結合して MnO となり脱炭反応を生じたためである。

3.3.2 金属粒子のSi及びMn量

金属粒子のSi量についてみると、Fig.10に示す通り溶接速度が増すにしたがって次第に減少する傾向がみられる。なお同図中に示した破線はワイヤのSi量を示したものであって、この値に比較すると何れのフラックスの場合にも金属粒子のSi量は高い値を示す。これは溶滴粒子がアーク中を飛行中に式(1)の反応が主として右向きに生じたためと解される。

同図からみられるように、No.1及びNo.2フラックスはほぼ同程度の反応が起こり、No.3フラックスはやや反応の程度が少ない。

次にMn量についてみると、Fig.11に示す通り金属

Fig. 11 Relation between manganese content of droplet and welding speed

粒子の Mn 量は No.1 及び No.3 フラックスでは溶接速度が増すにしたがって減少する傾向がみられるが、No.2 フラックスは溶接速度が速くなるにしたがって増加する。ワイヤの Mn 量(破線)に比較すると何れフラックスについても低い値を示す。この現象は式(2)の反応がアーク中で生じるが、主として右向きの反応が生じる。同図でみられるように No.1 フラックスが最も高く、次いで No.3 フラックスであって、No.2 フラックスは著しく低い値となる。

3.4 各過程の酸素及び窒素量

以上にワイヤ先端金属並びに金属粒子の酸素及び窒素量について述べたが、これらの値を比較してみると Fig. 12 及び Fig. 13 に示す通りとなる。同図には比較のために溶着金属の酸素量及び窒素量をそれぞれ併せて示した。まず Fig. 12 に示す酸素量についてみる。測定値は何れもアーク電圧 40V、溶接速度 40 cm/min における値である。

同図に示されているように、No.1 フラックスについては、ワイヤ先端金属の酸素量は著しく高く、2120ppm であるのに対し、金属粒子の酸素量(推定値)は 1000 ppm であって、約53%減少する。さらに溶着金属では 790 ppm であって、この間において21%脱酸放出したことを示す。このようにワイヤ先端金属の酸素量が最も高く、次いで金属粒子の場合であり、最も低いのは溶着金属の酸素量であって、金属の移行順序にしたがって減少する。この理由はワイヤ先端金属の溶融時に多量の酸素を過度的に吸収し、溶滴粒子となってアーク中を飛行する過程において酸素の吸収及び放出が起こるが、アーク過程の時間は短く、過剰酸素の放出が十分起こり得ないうちに溶融池に到達する。溶融金属の時間は比較的長く約11.4秒⁵⁾であり、溶融池における攪拌作用による効果で酸素の放出が進められるため、最も低い値を示す。このように酸素量の減少順位は何れのフラックスについても同様であるが、酸素量の減少率は多少異なる。

次に窒素量を Fig. 13 についてみると、ワイヤ先端金属の窒素量は No.1 フラックスの場合約 70 ppm であるが、金属粒子では約 50 ppm (推定値)であって約29%減少する。溶着金属では 82 ppm であって再び64%増加する。No.2 フラックスの場合、金属粒子では 8%減少し、溶着金属で20%増加する。さらに No.3 フラックス

Fig. 12 Comparison of oxygen content in weld metal at each welding stage

Fig. 13 Comparison of nitrogen content in weld metal at each welding stage

では金属粒子で55%減少し、溶着金属では12%増加する。このように金属粒子の過程においては推定値を用いたが、何れのフラックスの場合にも減少するが、溶着金属過程で再び増加する。

溶滴粒子がアーク中を飛行する間に高温に曝され、雰囲気ガス中の窒素を吸収するが、一方において窒素ガス並びに脱窒反応などにより放出が起こり、この効果が比較的大きいと解される。しかるに溶融池においてはアーク中に比較して温度は低く、金属粒子の窒素量に加えて、母材の窒素量並びにフラックス、雰囲気ガスなどの巻込みによる窒素の影響を受け、金属粒子の窒素量よりも溶着金属の値が高くなる。

Fig. 12 及び Fig. 13 に示したグラフの下方空白部はワイヤの酸素及び窒素量を示す。ただし溶着金属の場合は金属がガスの吸収及び放出のない場合の母材の酸素及び窒素量がワイヤの値によって希釈された値を示す。

4. 考 察

アーク溶接過程においてはワイヤ先端にアークを発生させると、ワイヤ先端金属は溶接熱によって溶融し、時間の経過とともに生長するが、ある時期になると溶融金属はワイヤ先端から離脱して、アーク中を母材電極面に

向かって飛行する。この間において溶滴粒子は雰囲気ガス、すなわち大気並びにフラックス解離ガスの影響を受け、ガス-メタル反応を生ずるとともに、スラグの影響をも受けてスラグ-メタル反応を生ずると考えられる。

次に各項目について考察する。

4.1 酸素量について

Fig. 2 に示したようにワイヤ先端金属の酸素量は著しく高い値を示すが、この理由は次のように説明される。すなわちワイヤ先端金属の溶融時には雰囲気ガスを構成する大気中の酸素並びにフラックス成分の解離による酸素のため、雰囲気ガス中の酸素分圧が著しく高められ、この酸素を過度的に吸収したため高い酸素量を示したものと考えられる。この際に溶融金属はガス-メタル反応を生ずると解される。

ワイヤ先端金属の酸素量の測定値に大きなバラツキがみられたが、この理由はワイヤ先端金属が雰囲気ガスに曝される時間、すなわち溶融金属に依存すると考えられ、ワイヤ先端金属粒の小さい場合には雰囲気ガスに曝される時間が短かく、酸素の吸収量も少ない。しかるにワイヤ先端金属粒が大きく生長した場合は長時間雰囲気ガスに曝されるため、酸素吸収量は増加すると解される。

ガス被包アーク溶接の場合、溶融金属の生長時間が長くなると酸素吸収量が増加する過程についての詳細な報告⁴⁾がある。

サブマージアーク溶接法においては溶融金属の生長時間を測定することは困難である。そこでワイヤ先端に溶融金属が生長してから離脱するまでの溶滴粒子の大きさ W_d (mm³) (実際にワイヤ先端に付着した大きさ) と、ワイヤが単位時間に溶融した量 W_w (mm³/sec) を求め、次式により溶融金属がワイヤ先端にて生長に要する時間 T (sec) を算出してみる。

$$T = \frac{W_d}{W_w} \quad \dots\dots\dots(3)$$

ワイヤ先端に 2 mm の直径の球に相当する量の粒子が生じた場合には約 0.029 秒であり、4 mm の直径に相当する量の粒子が生長した場合には約 0.232 秒となり、アーク雰囲気ガスに曝される時間に相当の差が認められる。この時間の差により酸素吸収量にバラツキを生じたものと解される。

次にワイヤ先端から離脱した溶滴粒子がアーク中に飛行して対極母材表面に到達する間の酸素量についてみる。

Fig. 4 に示されているように、溶接速度が増すにしたがって金属粒子の酸素量は増加するが、この理由は次のように解される。

溶接速度が遅い場合にはワイヤ先端から離脱した溶滴粒子はアーク中心部を飛行すると考えられ、この飛行過程でガス-メタル反応及びスラグ-メタル反応が起こると考えられる。溶接速度が 40 cm/min のように実際に用いられる速度の場合には、溶滴移行過程において脱炭反応が生じ、酸素量は比較的低い値となる。一方溶接速度が速い場合にはアークは後方に引かれ、かつアーク発生も不安定となり、またアーク温度もやや低下する。このような場合の溶滴粒子の飛行経路はアーク中心部を逸れると考えられる。したがって溶滴粒子がアーク中心部を飛行する場合よりも温度は低く、脱炭反応は起こり難

Fig. 14 Scanning electron micrographs of electrode wire tip (B, A) and droplet (C, D)

くなるから、金属粒子の酸素量は増加すると解される。

次にワイヤ先端金属を顕微鏡で調べてみると、Fig. 14 に示す組織写真(A)は多くの場合にみられるもので、直径 2 mm の全視野について観察し、さらに三試片について観察した結果、介在物は認められなかった。この場合にはワイヤ先端において溶融金属が留まる時間が比較的短かく、介在物を形成する時間的余裕が与えられなかったためと解される。写真(B)は直径 4 mm の場合であって、全視野に亘り、1 個から 4 個認められた場合である。例えば介在物が認められない場合であっても、酸化物は生じ、それが集積して介在物を形成する時間的余裕が与えられないため、介在物として確認が困難であるためと解される。

金属粒子の顕微鏡写真についてみると、金属粒子の場合には Fig. 14(C)に示されているように介在物が認められる。この介在物は主としてワイヤ先端溶融金属において酸化物が集積し得ず介在物を形成できなかった酸化物などが、溶滴粒子過程に至り集積し得る時間的余裕が与えられたため、介在物を形成できたものと解される。金属粒子中の介在物は各種フラックスに認められた。これらの介在物を調べた結果、Si-Mn-O 系が 80% 以上を占め、その他 Mn-Ca-Si-O 系、Mn-Si-S-O 系などである。写真(D)は Si 量を示したものであるが、母地部ではほぼ一様な分布を示すが、介在物部では Si が集積して濃度が高いことが知られる。Mn についても同様である。

次にワイヤ先端金属の Si 及び Mn 量についてみると、Fig. 8 に示したワイヤ先端金属の Si 量はワイヤの Si 量に比較すると各種フラックスとも高い値を示し、また Fig. 9 に示したワイヤ先端金属の Mn 量はワイヤの Mn 量よりも各種フラックスとも低い値を示す。このようなワイヤ先端金属の Si 及び Mn の反応は溶融池における反応⁵⁾に極めて類似している。

もしフラックス成分による反応の影響がないと仮定するならば「フラックス成分に関係なく一定値を示すであろうが、実際には各種フラックス成分による酸素吸収量に明らかに相違が認められる。これはフラックス成分と

スラグ-メタル反応のためと解される。ワイヤ先端金属の Mn 量 (減少量) はフラックスの MnO 量にほぼ比例していることから知られる。また Si 量に関してはフラックスの SiO₂ 量に逆比例の関係にある。

前述のように溶融金属がワイヤ先端に留まる時間が極めて短かいにもかかわらず Si 及び Mn の反応が相当進行していることは注目される。

このようにワイヤ先端金属において既に脱酸反応が生じているにもかかわらず酸素の吸収量が著しく高い値を示すのは、実際にはさらに多量の酸素の吸収が起るが、その一部は脱酸反応により逸出した結果の値と解される。

金属粒子の Si 及び Mn 量についてみる。Fig. 10 に示すように金属粒子の Si 量は溶接速度が増すにしたがって No. 1 及び No. 2 フラックスでは減少する傾向を示す。この理由は溶接速度が増すにしたがって溶滴粒子の飛行経路がアーク中心部より逸れるため、アーク温度の低下にともない反応の進行が生じ難くなるためと解される。これに対して No. 3 フラックスの場合では一定値を保つが、この理由は明らかではないが、このフラックスには多種の成分が含まれているため、それらの相互作用によるためと考えられる。

ワイヤ先端金属並びに金属粒子 (40 cm/min における推定値) の Si 及び Mn の反応を比較してみる。Table 3 はアーク電圧 40V、溶接速度 40 cm/min における値を示したものである。ワイヤ先端金属過程ではワイヤの Si 値に対して、Si で 6.3~10.0 倍近く反応を生じるのに対し、Mn では 0.54~0.84 倍、すなわち 16~46% 減少する。さらに金属粒子の Si 及び Mn 量はワイヤ先端金属の値に対して、Si では 1.7~4.7 倍の反応を生じ、Mn では 0.15~1.09 倍、すなわち 0~85% の脱酸反応を生じていることになる。No. 1 及び No. 3 フラックスの場合には MnO が含まれているから SiO₂ との関係は次式で示される。

上記反応の右向き、左向きの両方の反応が起こるため、Mn 量に関しては金属粒子過程では見掛上零に近い値となる。一方 No. 2 フラックスの場合には MnO が含まれていないため式(2)の右向きの反応を生じるため 85% 脱酸反応を生じたことになる。

このようにワイヤ先端金属の反応はアーク中を飛行する溶滴粒子よりも多くの反応が起こることは注目される。

溶滴粒子が母材表面に到達するまでの時間は極めて短かく、0.01~0.0035 秒⁷⁾程度とされている。このように溶滴粒子の飛行時間が極めて短いいため、ワイヤ先端金属よりも反応の進行が小さいものと解される。

アーク電圧の影響については、Fig. 6 の結果からみら

れるように、アーク電圧が高くなるにしたがい金属粒子の酸素量は減少する傾向がみられる。

ガス被包アーク溶接の場合にはアーク電圧、すなわちアーク長が延びるにしたがい金属粒子の酸素量は増加⁴⁾するが、本研究の場合には、アーク長が延びると反応時間が長くなり、さらに電流値一定で行っているため熱エネルギーが増加したことにより反応が促進され、金属粒子の酸素量は減少した。

さて金属粒子過程の酸素量はワイヤ先端金属の値に比較して約 1/2~1/3 程度減少するが、このような多量の酸素量は、上述の Si 及び Mn の反応量からみて、すべて脱酸反応によって放出したとは考え難い。他の理由としてワイヤ先端溶融金属の酸素の吸収量は、一部ガスの状態で吸収されたものと考えられ、高温アーク中においてこの不安定酸素 (過剰酸素) は放出するものと考えられる。

次に溶融池過程での酸素量についてみると、Fig. 12 に示されているように溶着金属の酸素量は溶滴粒子の酸素量よりもさらに減少する。溶融池においては溶滴粒子が含む酸素以外にスラグ並びに雰囲気ガスをも溶滴粒子とともに溶融池内に巻き込まれる。一方において溶融金属は凝固までの時間が長く、その間にこれらの酸素源は母材中の酸素により希釈され、過剰酸素の放出、介在物、脱酸生成物並びにスラグなどは対流攪拌作用によって浮上、除去されるため、金属粒子過程よりも酸素量は減少する。

4.2 窒素量について

ワイヤ先端金属の窒素量については、Fig. 3 に示されているように、ワイヤ先端金属の窒素量はワイヤの窒素量よりも 68~77% 増加する。この窒素源は主として大気中の窒素である。ワイヤ先端金属の窒素量に関してもバラツキが現われたが、この場合にもワイヤ先端溶融金属が雰囲気ガスに曝される時間、すなわち溶融金属粒の大きさに依存する。

金属粒子の場合には溶接速度が増すにしたがって窒素量は増加する。金属粒子の窒素吸収量は Fig. 5 に示されているように、溶接速度が速くなると金属粒子の飛行経路がアーク中心部より逸れることにより、脱窒反応よりもむしろ窒素の吸収量が勝る結果となり、金属粒子の窒素量は増加したものと解される。

溶接速度 40 cm/min における窒素量の推定値は Fig. 4 に示されているように低い値となる。溶接速度 40 cm/min という遅い場合の溶滴粒子は前述のようにアークの中心部を飛行すると考えられ、アーク中の脱窒反応並びに窒素の放出により低い値を示したものと解される。

アーク電圧が増した場合にはアーク長が延びることにより、雰囲気ガスに曝される時間が長くなり、脱窒反応よりも窒素ガスの吸収量が多かったためと考えられる。

溶融池では溶滴粒子とともに網雰囲気ガス並びにスラグが巻き込まれ、金属粒子の場合よりも高い値となる。この場合にもガス及び反応生成物の浮上を考える必要がある。

5. 結 論

サブマージアーク溶接における溶接過程、すなわちワイヤ先端に生長した溶融金属及びワイヤ先端から溶滴粒子が離脱して母材表面に到達した時の金属粒子並びに溶着金属の酸素、窒素量を測定、検討した結果、次の結論を得た。

Table 3 Comparison of silicon and manganese contents ratio at each fluxes

Fluxes		NO.1	NO.2	NO.3
Wire tip	Si	7.33	10.00	6.33
	Mn	0.83	0.54	0.84
Droplet	Si	4.73	2.67	1.74
	Mn	1.09	0.15	0.94

- (1) ワイヤ先端金属の酸素及び窒素量は雰囲気ガスの分圧の影響を受け高い値を示す。
- (2) ワイヤ先端金属において相当量の Si 及び Mn 反応が生じている。
- (3) 溶接速度 40 cm/min における金属粒子の酸素及び窒素量はワイヤ先端金属の値よりも減少する。
- (4) 金属粒子の酸素及び窒素量は溶接速度が増すにしたがって増加する。
- (5) 金属粒子の酸素及び窒素量は雰囲気ガスに曝される時間及び飛行経路によって著しく異なる。
- (6) 金属粒子がアーク中を飛行する過程においても脱酸反応が生じている。
- (7) 溶着金属の酸素量は溶滴粒子の値よりも低くなり、窒素量は高くなる。

終りに臨み本研究の遂行にあたり、実験資材、その他に御厚意を賜った新日本製鉄株式会社に厚く感謝の意を表わす。

参 考 文 献

- 1) T. Lau, G. C. Weatherly and A. Mclean: The Sources of oxygen and Nitrogen Contamination in Submerged arc Welding Using Cao-Al₂O₃ Based Fluxes. W. J. 1985 December p 343-S
- 2) T. Lau, G. C. Weatherly and A. Mclean: Gas-metal-Slag reactions in Submerged arc Welding using Cao-Al₂O₃ based Fluxes. W. J. 1986 February p 31-S
- 3) 小林卓郎, 桑名武, 木口端, 落合憲一郎, 斉藤晃一: アーク溶接時の溶滴生成過程における合金元素の挙動, 溶接学会誌, 49巻, 9号, p. 30
- 4) 桑名武, 佐藤嘉洋: アーク溶接過程における鉄溶接金属の酸素吸収と酸化物系介在物について, 溶接学会論文集, 5巻, 3号, p. 110
- 5) 清水寛一郎, 岩本信也, 巻野勇喜雄, 赤松泰輔: Ar 雰囲気中におけるサブマージアーク溶接の酸素及び窒素量について, 溶接学会論文集, 5巻, 4号, p. 49
- 6) I. K. Pokhodnya and B. A. Kostenko: Fusion of electrode metal and its interaction with the slag during submerged arc Welding. Automatic Welding, 1965, 18(10), 16
- 7) 桑名武, 佐藤嘉洋: Ar-O₂ 雰囲気における鉄溶接金属の酸素吸収について, 溶接学会誌, 52巻, 3号, p. 52

球状黒鉛鋳鉄固相接合材の疲労強度

—球状黒鉛鋳鉄の固相接合 (第3報)—

迎 静雄**, 西尾一政**, 加藤光昭**, 阿部慎太郎***

Fatigue Strengths of Solid State Bonded Joints of Spheroidal Graphite Cast Irons*

—Solid State Bonding of Spheroidal Graphite Cast Irons (Report 3)—

by Shizuo Mukae**, Kazumasa Nishio**, Mitsuki Katoh** and Shintaro Abe***

Fatigue strengths of diffusion bonded joints of spheroidal graphite cast irons and the spheroidal graphite cast iron to a mild steel have been investigated using the rotating bending fatigue test machine. The results obtained are as follows; (1) When tensile strength of the base metal of the spheroidal graphite cast iron was 500 to 800 MPa, the fatigue limit of these joints was a nearly constant value of 240 to 250 MPa though that of the base metal increased as the tensile strength of the base metal increased. (2) Fatigue strength at 10⁵ and 10⁶ cycles in the spheroidal graphite cast iron joint which was annealed to be changed the structure from ferrite+pearlite to all ferrite was almost the same as that of the base metal of the ferritic spheroidal graphite cast iron. However, the fatigue limit of the joint was lower than that of the base metal by 20 MPa. (3) Fatigue strengths at 10⁵ and 10⁶ cycles in the joint of the cast iron to the mild steel and after ferritizing of the joint were almost the same as that of the base metal of the ferritic spheroidal graphite cast iron. (4) When the joint of spheroidal graphite cast iron having the tensile strength of about 500 MPa was heat-treated at 950°C for 21.6 ks, the fatigue limit was improved up to that of the base metal.

Key Words: Spheroidal graphite cast iron, Fatigue strength, Endurance ratio, Diffusion bonding, Joint strength, Fatigue test

1. 緒 言

著者らは溶融溶接が極めて困難な球状黒鉛鋳鉄に対し

て拡散接合法を適用し、良好な接合性が得られることを明らかにした¹⁾。また、本接合法は球状黒鉛鋳鉄と軟鋼との接合に対しても有別であることを示した。更に、接合後熱処理を行ったときの接合性はインサート金属としてニッケルあるいは鉄箔を用いた場合に最も良好であった²⁾。

拡散接合は通常、面接合として行われることが多く、接合部に繰返し応力が作用する場合にはき裂が接合面を直線的に伝播し、その疲労寿命が低下することが考えら

*原稿受付 昭和62年9月10日 昭和62年度秋季全国大会及び昭和62年8月溶接冶金研究委員会で発表

**正 員 九州工業大学 Member, Kyushu Institute of Technology

*** 九州工業大学 Kyushu Institute of Technology