含 Al 心線による炭酸ガスアーク溶接について*

守田 貞義** 石崎 敬三*** 西 武 史**

On the Carbon Dioxide Shielded Metal Arc Welding with Steel Electrode containing Aluminum*

By Sadayoshi Morita,** Keizo Ishizaki** and Takeshi Nishi**

Abstract

Eight kinds of Si-Mn steel electrodes and high-Al steel electrodes were manufactured for testing. High-Al and high-Si-Mn electrodes produced sound welds on semi-killed steel plates using carbon dioxide gas. Oxygen content of all weld metals obtained from high-Al electrodes were lower than that obtained from Si-Mn electrodes. The mechanical properties of all weld metals were as follows. Tensile strength : 55.9~62.5 kg/mm², Yield strength : 44.6~51.1 kg/mm², Elongation : 23.8~32.0%, T_{R15} : < -60~-40°C By using two kinds of high-Al electrodes, it was possible to make quality welds on 12 mm semi-killed steel plate with three kinds of joint preparation.

I. 緒 言

鋼の炭酸ガスアーク溶接は、低コストの可視アーク自動溶接法として、近年国内外において急速な発達を示している。炭酸ガスは高温では酸化性であるから、溶鋼中で CO ガス発生反応を起し気泡を生じやすい。しかし適量の脱酸元素を含んだ溶接心線を使用し、溶鋼の酸化を防止すれば、気孔のない健全な溶着鋼が得られることは良く知られている。脱酸元素として Si, Mn を含む溶接心線による炭酸ガスアーク溶接については、多くの研究がなされ国内外での発表論文も非常に多い。しかし Si, Mn よりも脱酸力の強い Al を含む溶接心線については研究報告も少く、その実用性についてもあまり明らかではない。本報告は Si, Mn, Al を含む溶接心線 4 種と Si, Mn を含む溶接心線 4 種を試作し、炭酸ガスシールド雰囲気にて自動溶接した結果について述べる。

II. 実験方法

溶接は全自動で行い、極性は逆極性である。電源には上昇特性を有する MG 型直流溶接機を使用した。送給した炭酸ガスの品質は JIS 第 2 種である。

供試溶接心線の化学成分を Table 1 に示す。すなわち、Si : 0.304~0.428%, Mn : 0.99~1.44% の範囲で Al をそれぞれ 0.464, 0.586, 0.632, 0.880% 含むもの 4 種、

Table 1 Chemical Analysis (%) of Electrodes

Mark	C	Si	Mn	P	S	Al
AL-1	0.17	0.346	0.99	0.024	0.022	0.464
AL-2	0.12	0.304	1.21	0.026	0.020	0.586
AL-3	0.17	0.428	1.34	0.024	0.014	0.632
AL-4	0.12	0.424	1.44	0.022	0.015	0.880
SM-1	0.12	0.382	1.44	0.006	0.013	0.035
SM-2	0.10	0.392	1.41	0.005	0.012	0.036
SM-3	0.11	0.197	1.00	0.006	0.013	0.036
SM-4	0.20	0.019	1.25	0.006	0.014	0.032

および Mn : 1.00~1.44% の範囲で Si をそれぞれ 0.382, 0.392, 0.197, 0.019% 含むもの 4 種を試作した。AL-1 から AL-4 までは 300 kg 鋼塊より、SM-1 から SM4 は 100 kg 鋳塊よりいずれも 70 mm 角のビレットに鍛造、9 mm 径の線材に圧延した後 1.6 mm 径にまで線引、銅メッキを施したものである。供試鋼板の化学成分を Table 2 に示す。A, B 共通通常のセミキルド鋼である。

Table 2 Chemical Analysis (%) of Steel Plates

	Plate thickness	C	Si	Mn	P	S
A	12 mm	0.16	0.09	0.60	0.013	0.020
B	20	0.09	0.09	0.38	0.014	0.025

1) 一層ビード溶接試験

A 鋼板上に種々の溶接条件にて一層ビード溶接を行い、外観および X 線検査を行った。溶接条件は Table 3 に示してある。なお鋼板表面の黒皮はグラインダーにて除去した後溶接した。

* 原稿受付、昭和34年11月 (昭和34年度溶接学会春季学術講演会において発表)

** 正員、八幡製鉄所技術研究所 Member, Technical Research Institute of Yawata Steel Works.

*** 正員、八幡溶接棒 K.K. 研究部 Member, Technical Research Department of Yawata Welding Electrode Co., Ltd.

2) 全溶着鋼試験

B 鋼板の多層溶接を行い、全溶着鋼の引張試験、衝撃試験および化学分析を実施した。開先形状および各試験片の採取要領は Fig. 1 に示す。引張試験片の寸法は

Fig. 1 Location of specimens in multi-pass butt joint

JIS-Z 3211 (1957) により、平行部直径 12.5 mm、標点距離 50 mm である。衝撃試験片は標準の V ノッチシャルピー試験片である。分析試料は破断した引張試験片の平行部より採取した。溶接条件は次に示す通りで、12層で完了し層間温度は 250°C 以下とした。

1～2 層：電流 250～280A、アーク電圧 26～27V、速度 44 cm/min, CO₂ 25 l/min

3～12 層：電流 390～420A、アーク電圧 36～37V、速度 50 cm/min, CO₂ 25 l/min

3) 実合せ溶接試験

A 鋼板を (1) Square Groove (1 pass each side.)

Fig. 2 に示した 3 種の開先形状にて実合せ溶接を行った。溶接条件は次の通りである。

(2) Double Vee Groove (1 pass each side)

(3) Single Vee Groove (2 pass one side)

Fig. 2 Details of joint preparation employed in the welding of 12mm. semi-killed plate.

I 型開先 (両側より各 1 層)：電流 430～450A、

アーク電圧 35～36V、速度 85cm/min, CO₂ 25 l/min

x 型開先 (両側より各 1 層)：電流 430～450A、

アーク電圧 35～36V、速度 89cm/min, CO₂ 25 l/min

v 型開先 (片側より 2 層)

1 層：電流 380～400A、アーク電圧 30～31V、速度 90 cm/min, CO₂ 25 l/min

2 層：電流 470～490A、アーク電圧 36～37V、速度 95 cm/min, CO₂ 25 l/min

Fig. 3 に

示した要領で溶接部より引張試験片、曲げ試験片、衝撃試験片を採取した。引張試験片は

Fig. 3 Location of specimens in 2-pass butt joint

JIS 5 号試験片寸法と同じで、平行部巾 25 mm、標点距離 50 mm、厚さは 12 mm である。曲げ試験片の厚さも 12 mm で表曲げおよび裏曲げを行った。

4) 十字隅肉亀裂性試験

B 鋼板を用い十字隅肉亀裂性試験を行った。試験片寸法を Fig. 4 に示す。各パスは 1, … 4 の順に連続して溶接しクレーター処理は行わなかった。溶接条件はすべて同一で次の通りである。

Fig. 4 Double-tee fillet weld cracking specimen

電流 430～450A、アーク電圧 37～38V、速度 64 cm/min, CO₂ 25 l/min

溶接後室温にまで放冷し、カラーチェックにて亀裂の有無を検査した。

III. 実験結果および考察

1) 一層ビード溶接試験

種々の条件にて溶接した一層ビードの X 線検査結果を Table 3 に示す。Si 含量 0.197 および 0.019 % である SM-3, 4 のビードは中央部が盛り上り表面気孔を生じた。もちろん内部にも気泡多く JIS 6 級である。炭酸ガス雰囲気では、心線中の Si が 0.2% 以下であれば Mn が 1 % 程度あってもセミキルド鋼を満足に溶接できないことがわかる。AL-1, 2, 3, 4 および SM-1, 2 は炭酸ガス雰囲気では全く気泡を生じなかった。しかし酸素を 20% 添加すると、やや気泡を生ずる傾向が認められた。また 40% 酸素を添加するとすべて多孔質なビードとなったので、以下の実験はすべて炭酸ガスのみでシールドして行った。

表面気孔のないビードの外観は電流が増すにつれて美麗になるが、Al を含む AL-1, 2, 3, 4 ではビードの縁に凹点を生じ、SM-1, 2 とくらべて表面はきたない。これは脱酸生成物である Al₂O₃ が高融点のスラグを生じ、凝固前の溶着鋼表面をおさえるためであろう。このスラグは局部的に付着しているので、チップングハンマーに

Table 3 Results of Radiographic Inspection of Bead-on-Plate Specimen

Welding condition			Class of radiography according to JIS							
Welding current	Arc voltage	Gas flow CO ₂ O ₂	AL-1	AL-2	AL-3	AL-4	SM-1	SM-2	SM-3	SM-4
250	25~26	25 0	1	1	1	1	1	1	6	6
"	"	20 5	2	1	1	2	2	1	6	6
"	"	15 10	3	3	3	6	5	2	6	6
300	31~32	25 0	1	1	1	1	1	1	6	6
"	"	20 5	1	1	1	1	1	1	6	6
"	"	15 10	6	4	4	1	1	3	6	6
400	38~39	25 0	1	1	1	1	1	1	6	6
"	"	20 5	1	1	1	1	4	1	6	6
"	"	15 10	6	6	6	3	4	3	6	6

て除去するのはやや困難である。一方 SM-1, 2 はガラス状のスラグを生じ外観は比較的良好である。酸素を添加すればスラグの量は増し、外観はよくなるようである。またスパッターは細粒となり、その除去は非常に容易になる。

2) 全溶着鋼試験

溶接部の X 線検査を行ったところ、一層ビード溶接試験と同様、SM-3, 4 は多孔質なものであった。したがってこの 2 種については引張試験、衝撃試験は行わなかった。

全溶着鋼の化学成分を Table 4 に示す。Al を含む AL-1, 2, 3, 4 心線による溶着鋼中の全酸素量は、SM-1, 2, 3 心線のそれより著しく低い。Fig. 5 に溶着鋼中の全酸素量と全 Al 量との関係を示す。Al は溶着鋼の酸素を著しく減少させる効果がある。全酸素量が 0.07% を越えると溶着鋼は多孔質となることがわかる。含 Al 心線溶着鋼中に Al₂O₃ が多いのは、Al による脱酸が行われるので当然の結果である。Fig. 6 に心線中の Al 量と溶着鋼の Al 量との関係を示す。含 Al 心線では心線中の Si はあまり酸化されず、Al の約 40% 程度が酸化され、脱酸作用を行っていることがわかる。

Fig. 5 Relation between oxygen content and aluminum content of all weld metal.

全溶着鋼の引張試験結果を Table 5 に、衝撃試験結果を Fig. 7 に示す。溶着鋼の抗張力はかなり高くすべ

Table 4 Chemical Analysis (%) of All Weld Metals

Mark	C	Si	Mn	P	S	Al	O	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	FeO	Ceq*
AL-1	0.12	0.314	0.93	0.024	0.020	0.272	0.050	0.0051	0.0000	0.0725	0.0017	0.351
AL-2	0.10	0.303	0.89	0.020	0.018	0.292	0.034	0.0112	0.0043	0.105	0.0035	0.321
AL-3	0.14	0.406	1.25	0.020	0.015	0.472	0.021	0.0157	0.0015	0.101	0.0021	0.448
AL-4	0.14	0.397	1.26	0.022	0.015	0.512	0.024	0.0054	0.0008	0.0655	0.0032	0.449
SM-1	0.11	0.176	1.19	0.005	0.014	0.024	0.059	0.0102	0.0019	0.0061	0.0097	0.373
SM-2	0.09	0.152	1.12	0.007	0.012	0.021	0.067	0.0092	0.0004	0.0067	0.0089	0.336
SM-3	0.10	0.065	0.52	0.007	0.015	0.012	0.078	—	—	—	—	—
SM-4	0.09	0.006	0.63	0.006	0.015	0.009	—	—	—	—	—	—

* Ceq = C + 1/4 Si + 1/5 Mn

Fig. 6 Relation between aluminum content of electrode and that of all weld metal.

Table 5 Mechanical Properties of All Weld Metal

Mark	Y.S. kg/mm ²	T.S. kg/mm ²	El. %	R.A. %	Y.R. %	Tr ₁₅ °C
AL-1	46.5	57.4	23.8	47.0	81.0	-55
	46.9	56.9	28.0	55.9	82.5	
AL-2	47.3	56.5	28.2	59.2	83.9	<-60
	47.4	55.9	27.8	58.2	84.6	
AL-3	48.6	61.7	28.2	53.7	78.8	-44
	48.8	60.8	27.6	55.1	80.3	
AL-4	51.1	62.5	27.2	53.5	81.8	-40
	50.5	61.5	26.8	51.9	82.1	
SM-1	48.2	58.1	28.0	59.9	83.0	-50
	49.1	58.2	26.0	56.3	84.4	
SM-2	44.6	55.9	32.0	61.8	79.8	-46
	47.3	57.6	24.6	48.5	82.1	

て 55 kg/mm² 以上を示し、伸びも二、三の例外を除いては26%以上ですぐれた値である。なお破面に銀点は認められなかった。炭素当量と抗張力の間には良好な直線関係が存在する。これを Fig. 8 に示す。Fig. 7 より求めた Tr₁₅ を Table 5 に示したが、総て -40°C 以下であり、0°C における衝撃値も 5 kg-m/cm² 以上でかなり優れたものといえる。

3) 突合せ溶接試験

多孔質な溶着鋼を与える心線 SM-3, 4 を除いた6種の心線について試験した。溶接部をX線検査した結果、すべて気泡は認められなかった。しかし AL1, 2 心線の溶接部には、クレーター近くに亀裂を発生していた。これは変形による高温亀裂と思われる。接手引張試験の結果は、すべて熱影響部をはずれた母材部より破断した。母材の抗張力は 43.6 kg/mm²、伸び38%であり、溶着鋼

Fig. 7 Impact value vs. temperature curves of all weld metal.

Fig. 8 Relation between tensile strength and carbon equivalent of all weld metal.

の抗張力は 55 kg/mm² 以上であるから当然の結果である。JIS-Z 3211 (1957) に準拠した型曲げ試験を行ったが、AL-1 心線のV型開先の裏曲げの場合のみ 115°で破断した。他はすべて 180°まで曲り、欠陥は認められなかった。AL-1 の破断面は一層目溶着鋼が明りような樹枝状晶を示し、粒界の脆化が起っていたものと考えられる。

溶着鋼の衝撃試験結果をI型開先溶接部、X型開先溶接部、V型開先溶接部にかけて、Fig. 9, 10, 11 に示す。

Fig. 9 Impact value vs. temperature curves of square groove weld metal and base plate.

Fig. 10 Impact value vs. temperature curves of double vee groove weld metal and base plate.

比較のため母材の衝撃値も併記したが、 0°C 以下の低温では溶着鋼のほうがいずれの開先でも優れている。V型開先溶接部が全体的に劣っており、X型開先溶接部が最も優れているようである。

溶接部の硬度を測定した結果、すべて溶着鋼が最高硬度を示した。しかしその値は181~213ピッカース硬度の範囲にあり、いずれの開先形状においても心線による影響は明りようでなかった。

Fig. 11 Impact value vs. temperature curves of single vee groove weld metal and base plate.

4) 十字隅肉亀裂性試験

各心線につき試験片2枚、すなわち8本の隅肉ビードをおき検査したが、ビード亀裂は全く認められなかった。しかしクレーター処理を行わなかったため、クレーター亀裂はかなり発生した。この亀裂発生程度を Table 6 に示す。全溶着鋼の Mn/S と比較すると、Mn/S の

Table 6 Results of Double-Tee Fillet Weld Cracking Test

	AL-1	AL-2	AL-3	AL-4	SM-1	SM-2
Frequency of crater crack	$\frac{4}{4}, \frac{4}{4}$	$\frac{4}{4}, \frac{4}{4}$	$\frac{2}{4}, \frac{3}{4}$	$\frac{2}{4}, \frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}, \frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}, \frac{0}{4}$
Mn/S of all weld metal	46.5	49.5	83.3	84.0	85.0	93.3

Photo. 1 Inclusions in crack $\times 500$

増加とともに亀裂感受性は減少している。これはクレーター亀裂が高温亀裂であることより当然考えられる結果である。Al は粒界の硫化物薄膜を助長するため、高温亀裂発生 の点で問題があるといわれている。Photo. 1 に A 鋼板の I 開先突合せ溶接時に、AL-2 溶着鋼に発生した亀裂を示す。亀裂中に存在する介在物の形状より見て、粒界の介在物がまだ溶融している高温において発生した亀裂であると推定される。いずれにしても、溶着鋼中の Mn/S を大にするほうが亀裂感受性を低める点で有効であり、炭酸ガスアーク溶接においても心線中の S はできるだけ少いことが必要である。

IV. 結 論

本実験の結果を要約すれば次の通りである。

1) Al : 0.464~0.880%, Si : 0.304~0.428%, Mn : 0.99~1.44% の心線により、セミキルド鋼に対して気泡のない健全な溶着鋼が得られるが、溶着鋼表面にスラグでおさえられた凹点を生ずる。

2) 含 Al 心線溶着鋼中の酸素は Si-Mn 心線溶着鋼より低い値を示す。しかし介在物 Al_2O_3 は含 Al 心線溶着鋼に多い。

3) 全溶着鋼の抗張力は 55.9~62.5 kg/mm² 伸びは 23.8~32.0% の範囲にあり、満足すべきものである。抗張力は化学成分と良好な関係を示した。

4) 含 Al 心線溶着鋼は亀裂性に問題があり、Mn/S 低い場合亀裂性が大である。

5) 溶着鋼中の酸素が 0.07% 以上になると多孔質な溶着鋼となる。

6) 12mm 厚セミキルド鋼板の突合せ溶接部の機械的性質は、母材に比し満足すべきものであった。しかし Mn/S の高い含 Al 心線はクレーター近くに亀裂を発生したので、実際には使用できないと思われる。

最後に、本実験に有益な助言を与えられた名古屋大学関口教授および溶接機の使用に種々便宜をたまわった、東亜精機株式会社に対し深甚の謝意を表する。

研究会の動き

◎ 特殊溶接研究委員会

特殊溶接研究委員会は 1 月 31 日、2 月 1, 2 日の三日間にわたり本郷学士会館において D, B, C 分科会をそれぞれ開催し、いずれの分科会も非常な盛会をおさめた。

以下、各分科会の状況を報告する。

1. D 分科会 (1 月 31 日 9.30~16.00)

福田委員長、鈴木主査以下 52 名が出席、次の報告および講演が行われた。

(1) 報告事項

I.I.W.-XII 委員会に次の資料を送付し 1961 年度 New York 大会においてその報告を行う。

1) プラズマ焰による溶接と切断	阪大 岡田実君、丸尾大君
2) エレクトロスラグ溶接	川重 吉田俊夫君
3) 炭酸ガスアーク溶接の応用	新三菱神戸、西 茂君

(2) 講演

主 題「エレクトロスラグ溶接」

1) 「エレクトロスラグ溶接の現状」	材 技 研	稲 垣 道 夫 君
2) 「エレクトロスラグ溶接機について」	大阪変圧器 K K	長 谷 川 光 雄 君
3) 「円筒型構造物のエレクトロスラグ溶接について」	川崎重工業 K K	寺 井 清 君
4) 「圧力容器におけるエレクトロスラグ溶接の適用」	日立製作所、呉	沢 田 昭 二 君
5) 「重機械におけるエレクトロスラグ溶接法の適用」	東芝、鶴見	三 上 博 君
6) 「アーコス・パートマティック溶接機について」	愛知産業 K K	小 林 勲 君
7) 「原子炉におけるエレクトロスラグ溶接の応用」	新三菱、神戸	氏 家 昭 君

次回は 5 月 29 日 (月) 関西で開催の予定。

2. B 分科会 (2 月 1 日 10.00~16.00)

福田委員長、杉原主査以下 54 名が出席、次の議事、資料紹介および講演が行われた。

(1) 議 事

I.I.W. 1961 年度 New York 大会へ提案する資料について、I.I.W.-XII-B の行動計画にもとづき要請された“裸鋼線—CO₂ 法の鋼線組成と CO₂ および CO₂ 混合ガスの組成、後者の水分の問題”等についての情報をあつめる。

(2) I.I.W.-XII-B 分科会よりの資料紹介

- 1) I.I.W.-XII 委員会出席報告

紹介者 電 試

杉原栄次郎君

(62 頁へ続く)