亜鉛メッキ鋼板のアーケ溶接*

益本 功** 松田 一夫*** 長谷川正義***

Metal Arc Welding of Galvanized Steel*

by Isao Masumoto**, Kazuo Matsuda*** and Masayoshi Hasegawa***

Abstract

The experiment on galvanized steel plate was carried out by manual welding with various types of electrodes and automatic gas-shielded metal-arc welding.

The experimental results were as follows:

1) Good-appearance beads and sound welded joints were obtained by ilmenite, lime-titania and high titanium oxide type electrodes. Appearances of beads by high cellulose and low hydrogen type electrodes were good, but blowholes or slag inclusion in weld metals were observed by the X-ray.

On the other hand, good appearances and sound welded joints were obtained by CO_2 , $\text{CO}_2\text{-O}_2$, Ar-CO_2 or Ar-O_2 shielded-gas metal-arc welding.

2) Sound welded joints were satisfactory in tensile strength and ductility in comparison with the base metals. Zinc content of weld metal showed no detrimental effect on its mechanical properties.

3) Zinc content of weld metal was the highest by low hydrogen type electrode (0.054%) and it was the lowest by high cellulose type electrode (0.025%).

On the other hand, zinc content of weld metal was the highest by $\text{CO}_2\text{-O}_2$ shielding gas (0.037% and 0.044%) and the lowest by Ar-O_2 shielding gas (0.010% and 0.024%) in the case of high current, high voltage condition and short circuit transfer condition, respectively.

4) Amount of fume of the galvanized steel plate about 2 times as much as that of the not galvanized steel plate in the case of coated electrodes and it was several times with gas-shielded metal-arc welding, especially it was the highest by $\text{CO}_2\text{-O}_2$ shielding gas.

And so, it seems that the arc welding of galvanized steel plate has no special difficulty with the precaution of ventilation.

1. 緒 言

軟鋼板のメッキの種類としては、亜鉛、アルミニウム、ボンダ、ターン鉛、ニッケル、クロム、カドミウム、錫などがあるが、耐食性および塗装性の良さから最もよく使用されるのは亜鉛メッキ鋼板である。

しかし、一般に亜鉛メッキ鋼板は、軟鋼に比較して、溶接性が悪いといわれている。すなわち、アーケ溶接では、溶接部近傍の亜鉛はアーケ熱によって、酸化亜鉛のヒュームや亜鉛蒸気となるばかりでなく、溶接金属に気孔あるいは亀裂の発生や、スラグ巻込みなどの欠陥を生じやすい。また、溶接金属に亜鉛を含有し、溶接継手の機械的性質を劣化するおそれもある。

そこで、本研究ではまず被覆アーケ溶接棒による手溶

接の実験を行ない、さらに、全自動ガス被包アーケ溶接による実験を行なった。実験の目的としては、まず欠陥のない健全な溶接継手を得る条件について検討し、さらに、継手の機械的性質におよぼすメッキ亜鉛の影響についても調べた。ガス被包アーケ溶接についても実験を行なったのは、亜鉛を含む銅合金(黄銅)の溶接では、亜鉛の蒸発を防ぐため酸化炎でのガス溶接が一般にすすめられるので、亜鉛メッキ鋼板のアーケ溶接に対しても、酸化性雰囲気の効果があるか否かを知るためである。

また近年、アーケ溶接時に発生する溶接ヒュームの問題が注目されはじめ、溶接作業者の健康や作業環境についての議論が活発になされており、これらの問題に関する研究が多く見られる。¹⁾²⁾³⁾そこで、亜鉛メッキ鋼板のアーケ溶接時に発生するヒューム量の測定ならびにヒュームの化学分析を行ない検討した。

2. 供試材料および溶接電源

本実験に供した亜鉛メッキ鋼板は、板厚1.2および

* 原稿受付 昭和48年5月28日(48年度春季全国大会に発表)

** 正 員 名古屋大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Nagoya University.

*** 正 員 中部工業大学 Member, Chubu Institute of Technology.

Table 1 Chemical compositions of galvanized steel plates and bare electrode wire

Materials		Thickness of galvanized steel plate or electrode diameter, mm	Elements, wt. %						
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Ti
Galvanized steel plates ¹⁾	A	1.2	0.040	tr.	0.29	0.015	0.019	—	—
	B	3.2	0.038	0.01	0.31	0.012	0.016	—	—
Bare electrode wire (DS-1)		1.2	0.05	0.77	1.64	0.009	0.014	0.23	0.25

1) zinc coating weight: 381g/m² (zinc coating thickness: about 0.052 mm)**Table 2** Mechanical properties of galvanized steel plates

Base metals		Yield point, kg/mm ²	Tensile strength, kg/mm ²	Elongation, %	Reduction of area, %
Galvanized steel plates	A	33.9	38.8	39.1	44.8
	B	30.0	36.3	53.6	56.3

3.2 mm の軟鋼で, 3 カ所所で測定した亜鉛付着量は, いずれも 381 g/m² (メッキ厚さ約 0.052 mm) であった。

被覆アーカ溶接棒としては, 棒径いずれも 3.2 mm のイルミナイト系 (D 4301), ライムチタニヤ系 (D 4303), 高セルローズ系 (D 4311), 高酸化チタン系 (D 4313) および低水素系 (D 4316) の 5 種類の軟鋼用被覆アーカ溶接棒を用いた。低水素系溶接棒は 300~350°C, その他の溶接棒はすべて 70~100°C に 1 時間溶接前に乾燥した。また, CO₂ 溶接用電極ワイヤとしては, 直径 1.2 mm の DS-1 を用いた。これら供試材料の化学組成を Table 1 に, 母材の機械的性質を Table 2 に示す。

ガス被包アーカ溶接の被包ガスとしては, CO₂(20 l/min), CO₂(15 l/min)+O₂(5 l/min), Ar(15 l/min)+CO₂(5 l/min) あるいは Ar(19 l/min)+O₂(1 l/min) の 4 種類を用いた。

溶接電源としては, 被覆アーカ溶接棒による手溶接の場合は容量 300 A の垂下特性の交流アーカ溶接機を用いた。

ガス被包アーカ溶接の場合には, 容量 500 A の定電圧特性セレン整流式直流溶接器を用い, 逆極性とした。

3. 実験方法および実験結果

3.1 被覆アーカ溶接棒による手溶接

(i) ビード溶着実験

Table 1 に示す化学組成を有する板厚 3.2 mm の 50 × 150 mm 短冊型亜鉛メッキ鋼板上に前述の各種被覆アーカ溶接棒を用い, 溶接電流 50~150 A, アーク電圧 20~34 V および溶接速度 70~430 mm/min の種々の溶接条件でシングルビードを溶着した。

そして, 得られたビード溶着試験片について, 外観検査, X線透過試験, ビード断面形状, 顕微鏡組織観察, ビッカース硬さの測定および溶接金属の亜鉛定量分析を

行なった。さらに, 溶接時に発生するヒューム量の測定ならびにヒュームの化学分析を行なった。

Fig. 1 は各種被覆アーカ溶接棒を用い, 亜鉛メッキ鋼板およびメッキしない鋼板 (亜鉛メッキ鋼板の亜鉛メッキ層をバンドグラインダで完全に除去し, 表面が清浄な状態の鋼板) 上に種々の溶接電流でビード溶接した場合の溶込みを比較して示したものである。イルミナイト系, ライムチタニヤ系および高酸化チタン系溶接棒の場合は, メッキの有無による溶込みの差はわずかであるが, 高セルローズ系と低水素系溶接棒の場合は, 亜鉛メッキ鋼板の溶込みはメッキしない鋼板の場合に比べ, かなり浅いことが認められる。

Fig. 2 は亜鉛メッキ鋼板上にビード溶接して得られた溶接金属の気孔率におよぼす溶接電流の影響を調べた結果を示したものである。気孔率は X線写真により, 溶接金属に発生した気孔の数を調べ, ビード長さ 10 cm

Fig. 1 Effect of welding current on penetration of welds by various coated electrodes

- Ilmenite type electrode
- Lime titania type electrode
- △---△ High cellulose type electrode
- High titanium oxide type electrode
- ×----× Low hydrogen type electrode

Remarks: arc voltage : 20~34V

welding speed: 110~120 mm/min

Fig. 2 Effect of welding current on relative porosity of beads by various coated electrodes

Remarks: see Fig. 1 referring to symbols in the figure

arc voltage : 20~34V

welding speed: 110~120 mm/min

についての数を表わしたものである。同図によれば、溶接電流 70~140 A の範囲では、いずれの溶接棒の場合も、全然あるいは、ほとんど気孔を生じない溶接ビードが得られ、被覆剤の相違による差は余り認められない。しかし、70 A 以下の低電流では、高セルローズ系と低水素系溶接棒とは気孔を生成しやすいようである。

溶接電流 90 A で、溶接速度 300 mm/min 以下では、いずれの溶接棒の場合も気孔の発生が認められず、健全なビードが得られた。また、溶接棒の運棒角度の気孔発生におよぼす影響も、30~75° の範囲ではほとんど認められなかった。

Fig. 3 は溶接速度を 110~120 mm/min に一定として、溶接電流がビード溶接金属中の亜鉛含有量におよぼす影響を調べた結果を示す。溶接金属中の亜鉛定量分析は原子吸光光度法により行なった。なお、実験結果で示す亜鉛分析値は固溶亜鉛と酸化亜鉛との全亜鉛である。同図によれば、溶接電流による溶接金属中の亜鉛含有量

Fig. 3 Effect of welding current on zinc content of deposited metals by various coated electrodes

Remarks: arc voltage : 20~34V

welding speed: 110~120 mm/min

の変化はほとんど認められない。これは、溶接アークにより、亜鉛メッキ層が大部分燃えて、酸化亜鉛のヒュームとなるためと思われる。しかし、被覆剤の相違による差は顕著で、低水素系溶接棒の場合は0.064~0.068%で最も多く、イルミナイト系とライムチタニヤ系溶接棒の場合がこれに次ぎ、高セルローズ系および高酸化チタン系溶接棒の場合が最も少なく0.013~0.020%の値である。

Fig. 4 は溶接電流 90 A、溶接速度 110~120 mm/min に一定として、溶接棒の運棒角度が溶接金属の亜鉛含有量におよぼす影響を調べた結果を示す。運棒角度が15~120°の範囲では、溶接金属の亜鉛含有量にほとんど影響をおよぼさないように見られる。しかし、被覆剤の相違による差は、Fig. 3 の場合と同様の傾向が認められる。

Fig. 4 Effect of electrode angle on zinc content of deposited metals by various coated electrodes

Remarks: welding current: 90A

arc voltage : 22~28V

welding speed: 110~120 mm/min

Fig. 5 はイルミナイト系溶接棒を用い、亜鉛メッキ鋼板上にビード溶接して得られたビード溶接部の硬さ分布をビッカース硬度計(荷重 1 kg)により測定した結果で、メッキしない鋼板の場合と比較して示した。亜鉛メッキ鋼板上のビード溶接金属の最高硬さは Hv 191 で、メッキしない鋼板上のビード溶接金属の値とはほぼ同程度である。

Fig. 6 はイルミナイト系および低水素系溶接棒を用い、亜鉛メッキ鋼板上にビード溶接した場合の溶接電流およびアーク電圧波形をメッキしない鋼板の場合と比較して示した。いずれの溶接棒の場合も、亜鉛メッキ鋼板上のアークに特別な変化なく、安定であることが認めら

Fig. 5 Hardness distribution of welds by ilmenite type electrode

Remarks: welding current: 90A
arc voltage : 24V
welding speed: 120 mm/min

(a) Ilmenite type electrode
(Base metal : Galvanized)

(a') Ilmenite type electrode
(Base metal : Not galvanized)

(b) Low hydrogen type electrode
(Base metal : Galvanized)

(b') Low hydrogen type electrode
(Base metal : Not galvanized)

Fig. 6 Oscillograms of welding current and arc voltage by ilmenite and low hydrogen type electrodes

れる。

(ii) 溶接ヒューム量の測定

Photo. 1 に示す汙過式ヒューム捕集装置を用い、各種被覆アーカ溶接棒による亜鉛メッキ鋼板上のビード溶接時に発生するヒューム量の測定を行なった。アーカの発生位置の直上 100 mm の位置に、Fig. 7 に示す内径 45 mm の汙紙ホルダを同図に示すように取付け、真空ポンプ (吸引速度 55.0 l/min) を用いて一定量 (10 l) のヒュームを汙紙ホルダ内の硝子繊維汙紙 (厚さ 0.30 mm, 気孔径 0.0080 mm および繊維直径 0.0003 mm) を通して吸引し、汙紙に付着したヒュームの重量を秤量した。

Fig. 8 は各種被覆アーカ溶接棒を用い、亜鉛メッキ鋼板上に種々の溶接電流でビード溶接した場合のヒューム発生量をメッキしない鋼板の場合と比較して示したものである。

いずれの溶接棒および溶接電流の場合も、亜鉛メッキ鋼板を溶接して発生するヒューム量は、メッキしない鋼

Photo. 1 Welding fume collecting equipment by filter paper method

Fig. 7 Size and shape of filter paper holder, unit: mm

Fig. 8 Effect of welding current on amount of fume by various coated electrodes

Remarks: see Fig. 1 referring to symbols in the figure

arc voltage : 20~32V

welding speed: 110~120 mm/min

Fig. 9 Effect of welding speed on amount of fume by various coated electrodes

Remarks: see Fig. 1 referring to symbols in the figure

welding current: 100A

arc voltage : 23~30V

板の場合に比べ、著しく多量である。また、溶接電流の増加とともにヒューム発生量は増大する傾向を示している。

Fig. 9 はヒューム発生量におよぼす溶接速度の影響を調べた結果を示す。この場合も亜鉛メッキ鋼板では、メッキしない鋼板よりも多量のヒュームを発生しているが、溶接速度の影響は見られない。

Table 3 は溶接電流 100 A の場合の各種被覆アーク

溶接棒による亜鉛メッキ鋼板のヒューム発生量を比較して示したものである。

(iii) 溶接ヒュームの化学分析

各種被覆アーク溶接棒による溶接時に発生するヒューム量の測定の際に、汙紙ホルダ内の汙紙に付着したヒュームの化学分析を行なった。溶接ヒューム中の ZnO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, TiO₂, CaO, MgO, Na₂O および K₂O の分析は原子吸光光度法で、F⁻ の分析は

Table 3 Amount of fume by various coated electrodes

Types of coated electrodes	Core diameter, mm	Welding current, A	Arc voltage V	Welding speed, mm/min	Amount of fume, ¹⁾ mg/l g deposit metal	Melting rate g/sec	Amount of fume, ²⁾ mg/sec
Ilmenite	3.2	100	26~36	118	7.70	0.37	2.88
Lime titania		"	24~26	119	6.52	0.34	2.20
High cellulose		"	"	118	6.55	0.34	2.25
High titanium oxide		"	26~28	"	4.96	0.35	1.75
Low hydrogen		"	23~26	115	7.69	0.33	2.48

1) mean value of four times determination

Table 4 Analytical results of fumes by various coated electrodes

Base metals	Types of coated electrodes	Amount of fume, mg/sec	Chemical compositions ¹⁾ wt. %										
			ZnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	F ⁻
Galvanized steel plate	Ilmenite	2.88	40.90	2.95	0.90	34.02	6.32	1.57	0.24	0.21	5.54	1.45	—
	Lime titania	2.20	47.75	3.87	0.90	26.35	4.22	4.15	0.51	0.36	8.27	2.46	—
	High cellulose	2.25	38.68	5.75	0.88	34.31	2.97	0.85	0.26	0.44	6.28	1.87	—
	High titanium oxide	1.75	49.18	6.43	1.19	20.54	2.30	2.32	0.31	0.17	7.40	1.60	—
	Low hydrogen	2.48	26.11	2.56	0.55	19.99	2.02	1.20	8.04	0.21	8.45	14.92	8.42
Not galvanized steel plate	Ilmenite	1.84	0.15	12.03	0.90	57.37	7.81	2.04	0.20	0.23	8.34	2.24	—
	Lime titania	0.63	0.16	12.72	0.98	46.49	6.99	7.72	0.66	0.84	13.06	5.71	—
	High cellulose	1.43	0.19	13.83	0.87	58.64	4.06	1.44	0.34	1.14	8.86	3.40	—
	High titanium oxide	0.94	0.21	26.89	1.20	45.98	3.67	4.78	0.40	0.22	10.89	2.59	—
	Low hydrogen	1.10	0.16	6.30	0.60	21.98	3.52	1.46	10.17	0.26	14.02	22.86	16.16

1) mean value of three times determination

welding current: 100A

arc voltage : 23~30V

welding speed : 114~119 mm/min

sample weight : about 50 mg

ジルコニウム-アリザリン法により行なった。

Table 4 は溶接電流 100 A の場合の各種被覆アーカ溶接棒によるヒュームの分析値を, 亜鉛メッキ鋼板の場合とメッキしない鋼板の場合とで比較して示したものである。亜鉛メッキ鋼板のヒュームは ZnO が 26.11~49.18% を占めているが, メッキしない鋼板のヒュームの 21.98~58.64% は Fe_2O_3 である。

亜鉛メッキ鋼板の溶接など有害なヒュームを発生するアーカ溶接については, ACGIH (American Conference of Gavermental Industrial Hygienists) で, 溶接ヒュームに対する許容限を, たとえば鉄ヒューム (10 mg/m^3), 亜鉛ヒューム (5 mg/m^3), マンガンヒューム (5 mg/m^3), 弗化物 (2.5 mg/m^3) と規定し⁴⁾, また, これに対する排気装置の寸法, 機能などについて細かく規定している。⁵⁾⁶⁾⁷⁾

(iv) 溶接継手の機械試験

ビード試験片と同一組成の板厚 3.2 mm の 125×250 mm 短冊型亜鉛メッキ鋼板を母材として, Fig. 10 に示すごとく I 型に突合せ, 各種被覆アーカ溶接棒を用いて 1 パスで, 板を拘束して溶接を行なった。溶接に当たっては, じゅう分裏波がでるように, 溝付銅裏あて金を用いた。溶接条件は, 溶接電流 90~95 A, アーク電圧 22~26 V および溶接速度 95~105 mm/min とした。溶接完了後, 溶接部の外観検査を行ない, X 線透過写真を撮影した後, 同図に示すごとく, 一枚の試験材から継手引張試験片 (P および Q 各 1 個づつ) 2 個と幅 38 mm の型曲げ試験片 (表曲げおよび裏曲げ用各 1 個づつ) 2

Welding process	t, mm	a, mm
Manual welding	3.2	1.6, 2.0, 2.3, 2.5
Gas-shielded arc welding	1.2	0
	3.2	0

Fig. 10 Joint design and locations of test specimens, unit: mm

個を採取し, 機械的諸試験を行なった。

Photo. 2 は各種被覆アーカ溶接棒を用いて得られた溶接継手の外観および X 線写真を示す。イルミナイト系, ライムチタニヤ系および高酸化チタン系溶接棒による継手は, 外観が良好で, 気孔およびスラグ巻込みも全然またはほとんど生じていない。しかし, 高セルローズ系および低水素系溶接棒による継手は, 外観は良好でも, 気孔あるいはスラグ巻込みが認められる。

Photo. 2 Appearance and radiographs of welded joints by various coated electrodes, $\times 1$
Remark: Base metal: Galvanized
(Thickness: 3.2 mm)

溶接金属の顕微鏡観察結果によれば, 亜鉛メッキ鋼板の溶接金属の非金属介在物は角ばった微細なものが多かった。これに反し, 亜鉛を含まない溶接金属の非金属介在物はやや大きな球状のものが多かった。これは, 亜鉛を含まない溶接金属の非金属介在物が FeO-MnO 系または FeO-MnO-SiO_2 系の低融点酸化物が主成分であるのに対し, 亜鉛を含む場合は, 酸化物生成自エネルギーの比較から見て, FeO より ZnO の方がより安定で生成するためと考えられる。すなわち, 亜鉛はやや脱酸剤の効果を示すが, その生成物 ZnO の融点が約 1800°C で, きわめて高く, このため, 角ばって微細に分散したものと思われる。Photo. 3 はイルミナイト系溶接棒による溶接金属の比較の一例である。

Table 5 は各種被覆アーカ溶接棒による溶接継手の機

Table 5 Mechanical properties of welded joints by various coated electrodes

Types of coated electrodes	Root gap, mm	Tension test		Yield point, kg/mm ²	Ultimate tensile strength, kg/mm ²	Elongation %	Reduction of area, %	Vickers hardness	Broken part
		Shape	Gauge length, mm						
Ilmenite	2.0	P	40	31.8	38.2 47.0	24.5	57.1	192	Base metal
Lime titania	2.3	P	40	32.8	38.0	24.4	57.6	187	Base metal
		Q	—	—	48.2	—	—	—	—
High cellulose	1.6	P	40	31.5	36.5	31.4	54.1	187	Base metal
		Q	—	—	46.4	—	—	—	—
High titanium oxide	2.5	P	40	31.4	37.6	28.1	57.6	195	Base metal
		Q	—	—	49.2	—	—	—	—
Low hydrogen	2.0	P	40	33.3	38.3	30.7	57.0	186	Base metal
		Q	—	—	49.2	—	—	—	—
Galvanized steel plate	—	P	40	30.0	36.3	53.6	56.3	120	—
		Q	—	—	41.0	—	—	—	—

(a) Galvanized (b) Not galvanized

Photo. 3 Inclusions of weld metals by ilmenite type electrode, $\times 100$

Remark: Thickness of base metals: 3.2 mm

機械試験結果を総括して示したものである。同表によれば、各種被覆アーク溶接棒による継手の引張強さは、いずれも母材の強さ (36.3 kg/mm²) に比べ、十分な強さ (36.5~38.3 kg/mm²) を有し、すべて母材部で破断しており、しかも、伸びは比較的高い値 (24.4~31.4%) が得られている。切欠引張試験片 (Q) による溶接金属の引張強さも、いずれの溶接棒による場合も高い値 (46.4~49.2 kg/mm²) で、被覆剤の相違による差はわずかである。Photo. 2 では高セルローズ系および低水素系溶接棒による場合、X線写真に欠陥が認められたが、これらの欠陥は主として裏波の余盛部に発生したものであるため、機械試験片作製過程で除去され満足な機械的性質を示している。

すべての溶接棒による溶接継手の型曲げ試験結果も、表曲げ、裏曲げともに180°曲げて無欠陥で、十分な延性を示している。以上の機械試験結果から見て、亜鉛メッキ鋼板の被覆アーク溶接継手の機械的性質は十分満足し得るものであると思われる。

Table 6 は各種被覆アーク溶接棒を用いて得られた溶接金属の亜鉛定量分析結果を示す。低水素系溶接棒による溶接金属の亜鉛含有量は、他の溶接棒による場合に比べ、やや高い値を示している。

Table 6 Zinc content of weld metals by various coated electrodes

Types of coated electrodes	Zinc content of weld metal ¹⁾ , wt. %
Ilmenite	0.035
Lime titania	0.039
High cellulose	0.025
High titanium oxide	0.037
Low hydrogen	0.054

1) mean value of three times determination

3.2 全自動ガス被包アーク溶接

(i) ビード溶着実験

Table 1 に示す化学組成を有する直径 1.2 mm の CO₂ 溶接用電極ワイヤ (DS-1) を用い、溶接電流 90~320 A、アーク電圧 16~36 V、溶接速度 750~1500 mm/min およびチップ間隔 8~15 mm の種々の溶接条件で、CO₂(20 l/min)、CO₂(15 l/min)+O₂(5 l/min)、Ar(15 l/min)+CO₂(5 l/min) あるいは Ar(19 l/min)+O₂(1 l/min) の各被包ガスのもとで全自動ガス被包アーク溶接機により、ビード溶着実験を行なった。

そして、得られたビード溶着試験片について、前述の被覆アーク溶接棒によるビード溶着実験の場合と同様の諸試験を行なった。

Fig. 11 はアーク電圧 30 V、溶接速度 1100 mm/min に一定として、溶込みにおよぼす溶接電流の影響を、亜鉛メッキ鋼板の場合とメッキしない鋼板の場合とで比較して示した。

同図によれば、いずれの被包ガスおよび鋼板の場合も、溶接電流の増加とともに溶込みはほぼ一様に増大する傾向が見られる。また、Ar-CO₂ および Ar-O₂ 被包ガスによる溶込みは、CO₂ および CO₂-O₂ 被包ガスによる溶込みと比べ、著しく浅いことが認められる。さらに、亜鉛メッキ鋼板の溶込みとメッキしない鋼板の溶込みとを比較すれば、CO₂、CO₂-O₂ および Ar-CO₂ 被包

Fig. 11 Effect of welding current on penetration of welds by various shielding gases

- $\text{CO}_2(20 \text{ l/min})$
 ●---● $\text{CO}_2(15 \text{ l/min}) + \text{O}_2(5 \text{ l/min})$
 △---△ $\text{Ar}(15 \text{ l/min}) + \text{CO}_2(5 \text{ l/min})$
 □---□ $\text{Ar}(19 \text{ l/min}) + \text{O}_2(1 \text{ l/min})$

Remarks: arc voltage : 30V
 welding speed: 1100 mm/min

ガスの場合、その差はごくわずかである。しかし、Ar- O_2 被包ガスの場合は、亜鉛メッキ鋼板の溶込みはメッキしない鋼板の溶込みに比べ、かなり浅いことが認められる。Photo. 4 はマクロ断面の例である。この実験結果では、Fig. 1 の被覆アーカ溶接棒の場合に比べ、鋼板のメッキ亜鉛の溶込みにおよぼす影響は一般に小さいように思われる。

溶接電流 260~300 A, アーク電圧 28~32 V および溶接速度 900~1200 mm/min の範囲では、いずれの被包ガスでも溶接金属は健全で、メッキの有無による差は認められなかった。

Photo. 5 は CO_2 , $\text{CO}_2\text{-O}_2$, Ar- CO_2 あるいは Ar- O_2

(a) $\text{CO}_2(15 \text{ l/min}) + \text{O}_2(5 \text{ l/min})$

(b) $\text{Ar}(19 \text{ l/min}) + \text{O}_2(1 \text{ l/min})$

Galvanized Not galvanized

Photo. 4 Macro-photographs of cross-sections of welds by shielding gases of $\text{CO}_2(15 \text{ l/min}) + \text{O}_2(5 \text{ l/min})$ and $\text{Ar}(19 \text{ l/min}) + \text{O}_2(1 \text{ l/min})$, $\times 2$

Remark: Thickness of base metals: 3.2 mm

(a) $\text{CO}_2(20 \text{ l/min})$

(b) $\text{CO}_2(15 \text{ l/min}) + \text{O}_2(5 \text{ l/min})$

(c) $\text{Ar}(15 \text{ l/min}) + \text{CO}_2(5 \text{ l/min})$

(d) $\text{Ar}(19 \text{ l/min}) + \text{O}_2(1 \text{ l/min})$

Photo. 5 Appearance and radiographs of beads by various shielding gases, $\times 1$

Remark: Base metal: Galvanized
 (Thickness: 3.2 mm)

の各被包ガスを用いて得られた亜鉛メッキ鋼板上のビードの外観およびX線写真を示す。 CO_2 および $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 被包ガスによるビードの外観は、Ar- CO_2 あるいは Ar- O_2 被包ガスによる場合に比べ、やや劣るが、溶接金属には気孔が全然認められない。

溶接金属の非金属介在物については、被覆アーカ溶接棒の場合と同様の傾向が認められた。すなわち、ガス被包アーカ溶接による亜鉛を含む溶接金属の非金属介在物は、角ばって微細に分布する傾向が認められた。Photo. 6 は $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 被包ガスによる溶接金属の比較の一例である。

短絡移行溶接による亜鉛メッキ鋼板のビード溶着実験結果によれば、いずれの被包ガスの場合でも、溶接電流 110~150 A, アーク電圧 18~20 V および溶接速度 750

(a) Galvanized (b) Not galvanized

Photo. 6 Inclusions of deposited metals by shielding gas of $\text{CO}_2(15 \text{ l/min}) + \text{O}_2(5 \text{ l/min})$, $\times 400$

Remark: Thickness of base metals: 3.2 mm

～1050 mm/min の範囲では、ビードの外観は滑らかで優れており、気孔も全然認められなかった。

Photo. 7 は各種被包ガスのもとで、短絡移行溶接により得られたビードの外観およびX線写真を示す。

Fig. 12 は $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 被包ガスを用い、亜鉛メッキ鋼板上にビード溶接して得られたビード溶接部の硬さ分布をビッカース硬度計(荷重 1kg)により測定した結果で、メッキしない鋼板の場合と比較して示した。亜鉛メッキ鋼板上のビード溶接金属の最高硬さは Hv 208 で、メ

Photo. 7 Appearances and radiographs of beads by various shielding gases with short circuit transfer condition, $\times 1$
Remark: Base metal: Galvanized
(Thickness: 3.2 mm)

Fig. 12 Hardness distribution of welds by shielding gas of $\text{CO}_2(15\text{ l/min})+\text{O}_2(5\text{ l/min})$
Remarks: welding current: 280A
arc voltage : 30V
welding speed: 1100 mm/min

キしない鋼板上のビード溶接金属の値とほぼ同程度である。

Fig. 13 は各種被包ガスのもとで、大電流溶接条件および短絡移行溶接条件により得られた溶接金属の亜鉛含有量におよぼす溶接電流の影響を比較して示した。いずれの被包ガスおよび溶接条件の場合も、溶接電流の増加とともに溶接金属の亜鉛含有量はわずかに減少の傾向が見られる。

しかし、被包ガスの相違による差は顕著で、大電流溶接条件による $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 被包ガスの場合は $0.037\sim 0.044\%$ で最も多く、 CO_2 および Ar-CO_2 被包ガスの場合がこれに次ぎ、 Ar-O_2 被包ガスの場合が最も少なく $0.009\sim 0.016\%$ の値である。また、短絡移行溶接条件でも、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 被包ガスの場合が最も多く ($0.040\sim 0.045\%$)、 CO_2 および Ar-CO_2 被包ガスの場合がこれに次ぎ、 Ar-O_2 被包ガスの場合が最も少ない ($0.019\sim 0.026\%$)。

Fig. 14 はアーク電圧が溶接金属の亜鉛含有量におよぼす影響を、大電流溶接条件の場合と短絡移行溶接条件の場合とで比較して示した。いずれの被包ガスおよび溶接条件の場合も、アーク電圧による溶接金属の亜鉛含有量の変化はほとんど認められない。しかし、被包ガスの

Fig. 13 Effect of welding current on zinc content of deposited metals by various shielding gases

Fig. 14 Effect of arc voltage on zinc content of deposited metals by various shielding gases

相違による差は, Fig. 13 の場合と同様の傾向が認められる。

Fig. 15 は溶接金属の亜鉛含有量によらず溶接速度の影響を示す。いずれの被包ガスおよび溶接条件の場合も, 溶接速度による溶接金属の亜鉛含有量の変化はほとんど認められない。しかし, 被包ガスの相違による差は

Fig. 15 Effect of welding speed on zinc content of deposited metals by various shielding gases

(a) $\text{CO}_2(15\text{ l/min}) + \text{O}_2(5\text{ l/min})$
(Base metal: Galvanized)

(a') $\text{CO}_2(15\text{ l/min}) + \text{O}_2(5\text{ l/min})$
(Base metal: Not galvanized)

(b) $\text{Ar}(19\text{ l/min}) + \text{O}_2(1\text{ l/min})$
(Base metal: Galvanized)

(b') $\text{Ar}(19\text{ l/min}) + \text{O}_2(1\text{ l/min})$
(Base metal: Not galvanized)

Fig. 16 Oscillograms of welding current and arc voltage by shielding gases of $\text{CO}_2(15\text{ l/min}) + \text{O}_2(5\text{ l/min})$ and $\text{Ar}(19\text{ l/min}) + \text{O}_2(1\text{ l/min})$

Fig. 13 および Fig. 14 の場合と同様の傾向が認められる。

Fig. 16 は $\text{CO}_2\text{-O}_2$ および Ar-O_2 被包ガスのもとで, 亜鉛メッキ鋼板上にビード溶接した場合の溶接電流およびアーク電圧波形をメッキしない鋼板の場合と比較して示した。いずれの被包ガスの場合も, 亜鉛メッキ鋼板上のアークに特別な変化なく, 安定であることが認められる。

Fig. 17 は $\text{CO}_2\text{-O}_2$ および Ar-O_2 被包ガスのもとで, 亜鉛メッキ鋼板の短絡移行溶接を行なった場合の溶接電流およびアーク電圧波形をメッキしない鋼板の場合と比較して示した。いずれの被包ガスの場合も, 亜鉛メッキ鋼板上のアークに特別な変化なく, 規則的な短絡移行を繰返し, 安定であることが認められる。

(ii) 溶接ヒューム量の測定

CO_2 , $\text{CO}_2\text{-O}_2$, Ar-CO_2 あるいは Ar-O_2 の各被包ガ

(a) $\text{CO}_2(15\text{ l/min}) + \text{O}_2(5\text{ l/min})$
(Base metal: Galvanized)

(a') $\text{CO}_2(15\text{ l/min}) + \text{O}_2(5\text{ l/min})$
(Base metal: Not galvanized)

(b) $\text{Ar}(19\text{ l/min}) + \text{O}_2(1\text{ l/min})$
(Base metal: Galvanized)

(b') $\text{Ar}(19\text{ l/min}) + \text{O}_2(1\text{ l/min})$
(Base metal: Not galvanized)

Fig. 17 Oscillograms of welding current and arc voltage by shielding gases of $\text{CO}_2(15\text{ l/min}) + \text{O}_2(5\text{ l/min})$ and $\text{Ar}(19\text{ l/min}) + \text{O}_2(1\text{ l/min})$ with short circuit transfer condition

スのもとで、亜鉛メッキ鋼板上のビード溶接時に発生するヒューム量の測定を前述と同様にして行なった。

Fig. 18 は各種被包ガスによる溶接時のヒューム発生量におよぼす溶接電流の影響を、亜鉛メッキ鋼板の場合とメッキしない鋼板の場合とで比較して示した。亜鉛メッキ鋼板の各種被包ガスによるヒューム発生量をメッキしない鋼板の場合と比較すれば、いずれの被包ガスおよび溶接電流の場合も、亜鉛メッキ鋼板のヒューム発生量は著しく多く、溶接電流の増加とともにわずかに増大する傾向が見られる。しかし、メッキしない鋼板のヒューム発生量は、いずれの被包ガスの場合もわずかで、溶接電流による変化も認められない。また、亜鉛メッキ鋼板の各種被包ガスによるヒューム発生量を比較すれば、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 被包ガスによるヒューム発生量は、 CO_2 、 Ar-CO_2 および Ar-O_2 の各被包ガスによる場合に比べ、著しく多いことが認められる。

Fig. 19 はアーク電圧がヒューム発生量におよぼす影響を示す。この場合も、亜鉛メッキ鋼板のヒューム発生量は、メッキしない鋼板の場合より著しく多く、また、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 、 CO_2 、 Ar-CO_2 あるいは Ar-O_2 の順に雰囲気

の酸化性が大なるほど大であり、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ および CO_2 被包ガスの場合は、アーク電圧の増加とともにヒューム発生量のわずかに増大の傾向が見られる。しかし、これに比べ、 Ar-CO_2 および Ar-O_2 被包ガスの場合は、アーク電圧による変化はわずかである。

Fig. 20 は溶接速度がヒューム発生量におよぼす影響を示す。いずれの被包ガスの場合も、亜鉛メッキ鋼板のヒューム発生量は、溶接速度の増加とともにわずかに減少の傾向が見られる。また、メッキの有無による相違は、Fig. 18 および Fig. 19 の場合と全く同様で、亜鉛メッキ鋼板の場合に比べ、はるかに少なく、溶接速度の影響も認められない。

Fig. 20 Effect of welding speed on amount of fume by various shielding gases
Remarks: welding current: 280A
arc voltage : 30V

Table 7 は各種被包ガスのもとで、亜鉛メッキ鋼板上にビード溶接した場合のヒューム発生量を比較して示したものである。 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 被包ガスによる単位時間当たりのヒューム発生量は、 Ar-O_2 被包ガスの場合に比べ、大電流溶接条件の場合約 1.5 倍、短絡移行溶接条件の場合約 1.9 倍の値である。また、Table 3 の被覆アーク溶接棒の場合と比較すれば、大電流溶接条件の場合約 2.4 ~ 2.5 倍、短絡移行溶接条件の場合約 1.3 ~ 1.5 倍の値を示している。

(iii) 溶接ヒュームの化学分析

ガス被包アーク溶接時に発生するヒューム量の測定の際に、汙紙ホルダ内の汙紙に付着したヒュームの化学分析を前述と同様にして行なった。

Table 8 は溶接電流 280 A の場合の各種被包ガスによるヒュームの分析値を、亜鉛メッキ鋼板の場合とメッキしない鋼板の場合とで比較して示したものである。亜鉛メッキ鋼板のヒュームは、 ZnO が 47.15 ~ 68.09% を占めているが、メッキしない鋼板のヒュームの 66.88 ~ 70.70% は Fe_2O_3 である。

(iv) 溶接継手の機械試験

ビード試験片と同一組成の板厚 3.2 および 1.2 mm の

Fig. 18 Effect of welding current on amount of fume by various shielding gases
Remarks: arc voltage : 30V
welding speed: 1100 mm/min

Fig. 19 Effect of arc voltage on amount of fume by various shielding gases
Remarks: welding current: 280A
welding speed: 1100 mm/min

Table 7 Amount of fume by various shielding gases

Welding condition	Flow of shielding gas, (l/min)	Welding current, A	Arc voltage, V	Welding speed, mm/min	Amount of fume, ¹⁾ mg/lg deposited metal	Melting rate, g/sec	Amount of fume ¹⁾ , mg/sec
High current and high voltage	CO ₂ (20)	280	30	1100	3.17	1.54	4.87
	CO ₂ (15)+O ₂ (5)	"	"	"	4.41	1.56	6.86
	Ar(15)+CO ₂ (5)	"	"	"	2.90	1.49	4.34
	Ar(19)+O ₂ (1)	"	"	"	3.01	1.51	4.54
Short circuit transfer	CO ₂ (20)	120	19	800	8.19	0.40	3.29
	CO ₂ (15)+O ₂ (5)	"	"	"	10.49	0.42	4.45
	Ar(15)+CO ₂ (5)	"	"	"	6.69	0.40	2.65
	Ar(19)+O ₂ (1)	"	"	"	5.83	0.40	2.36

1) mean value of four times determination

Table 8 Analytical results of fumes by various shielding gases

Base metals	Flow of shielding gas, (l/min)	Amount of fume, mg/sec	Chemical compositions, ¹⁾ wt. %						
			ZnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CuO	TiO ₂
Galvanized steel plate	CO ₂ (20)	4.87	47.99	3.79	0.35	33.35	4.56	0.29	tr.
	CO ₂ (15)+O ₂ (5)	6.86	47.15	3.54	0.25	35.61	3.35	0.29	tr.
	Ar(15)+CO ₂ (5)	4.34	53.68	1.97	0.39	29.94	2.84	0.24	tr.
	Ar(19)+O ₂ (1)	4.54	68.09	1.91	0.27	18.82	2.84	0.16	tr.
Not galvanized steel plate	CO ₂ (20)	1.03	0.56	8.55	0.67	66.88	10.40	0.43	tr.
	CO ₂ (15)+O ₂ (5)	1.00	0.36	8.86	0.68	67.16	10.87	0.51	tr.
	Ar(15)+CO ₂ (5)	1.29	0.33	7.79	0.35	69.53	10.96	0.83	tr.
	Ar(19)+O ₂ (1)	0.73	0.42	8.08	0.68	70.70	12.07	0.86	tr.

1) mean value of three times determination

welding current : 280A

arc voltage : 30V

welding speed : 1100 mm/min

sample weight : about 50 mg

125×250 mm 短冊型亜鉛メッキ鋼板を母材として, Fig. 10 に示すごとく I 型に突合せ, 1 パスで, 板を拘束して溶接を行なった. 溶接に当たっては, 十分裏波がでるように, 溝付銅裏あて金を用いた. 被包ガスとしては, CO₂(20 l/min), CO₂(15 l/min)+O₂(5 l/min), Ar(15 l/min)+CO₂(5 l/min) あるいは Ar(19 l/min)+O₂(1 l/min) のもて, 直径 1.2 mm の溶接ワイヤ (DS-1) を用いて溶接を行なった. 溶接条件を Table 9 に示す. 溶接完了後, Fig. 10 に示す諸試験片を採取し, 機械的諸試験を行なった. 試験結果を Table 9 に総括して示す.

Table 9 の溶接継手の引張試験結果によれば, いずれの被包ガスの場合も, 大電流溶接条件による板厚 3.2 mm の継手の引張強さは, 母材の強さ (36.3 kg/mm²) に比べ, 十分な強さ (37.8~38.7 kg/mm²) を有し, すべて母材部で破断しており, しかも, 伸びは比較的高い値 (29.0~34.7%) が得られている.

切欠引張試験片 (Q) による溶接金属の引張強さも高い値 (48.2~56.9 kg/mm²) で, 被包ガスの相違による差はわずかである. また, 短絡移行溶接条件による板厚 1.2 mm の継手の引張試験結果も同様であった.

すべての被包ガスによる板厚 3.2 および 1.2 mm の溶接継手の型曲げ試験結果も, 表曲げ, 裏曲げともに 180° 曲げて無欠陥であった. 以上の機械試験結果から見て, 亜鉛メッキ鋼板のガス被包アーキ溶接継手の機械的性質は十分満足し得るものであると思われる.

4. 結 言

亜鉛メッキ鋼板の被覆アーキ溶接棒および全自動ガス被包アーキ溶接による諸実験を行ない, 次の結論を得た.

(1) イルミナイト系, ライムチタニヤ系および高酸化チタン系溶接棒によるビードは外観が良好で, 健全な溶接継手が得られた. しかし, 高セルローズ系および低水素系溶接棒による継手は, 外観は良好でも, X線により気孔あるいはスラグ巻込みが認められた.

一方, ガス被包アーキ溶接の場合は, CO₂, CO₂-O₂, Ar-CO₂ あるいは Ar-O₂ のいずれの被包ガスによる場合も, 外観が良好で, 欠陥もなく, 健全な溶接継手が得られた.

(2) 健全な溶接継手は, いずれも母材と同程度以上の引張強さを有し, 延性も優れており, 継手部に亜鉛を

Table 9 Welding conditions of butt joints and mechanical properties of welded joints by various shielding gases

Flow of shielding gas, (l/min)	Thickness of galvanized steel plate, mm	Extention, mm	Root gap, mm	Welding current, A	Arc voltage, V	Welding speed, mm/min	Tension test		Yield point, kg/mm ²	Ultimate tensile strength kg/mm ²	Elongation %	Reduction of area, %	Vickers hardness	Broken part
							Shape	Gauge length mm						
CO ₂ (20)	3.2	15	0	300	30	1100	P	40	32.3	38.7	30.8	55.2	215	Base metal
CO ₂ (15)+O ₂ (5)		"	"	"	"	"	Q	40	—	53.8	—	—	—	—
Ar(15)+CO ₂ (5)		"	"	"	"	900	P	40	31.2	37.9	29.5	58.0	218	Base metal
Ar(19)+O ₂ (1)		"	"	"	"	600	Q	40	—	52.1	—	—	—	—
CO ₂ (20)	1.2	8	0	110~130	18~20	900	P	40	31.9	37.8	29.0	56.2	216	Base metal
CO ₂ (15)+O ₂ (5)		"	"	"	"	"	Q	40	—	56.9	—	—	—	—
Ar(15)+CO ₂ (5)		"	"	"	"	800	P	40	32.3	38.3	34.7	57.3	236	Base metal
Ar(19)+O ₂ (1)		"	"	"	"	700	Q	40	—	48.2	—	—	—	—
CO ₂ (20)	1.2	8	0	110~130	18~20	900	P	40	—	39.1	29.6	41.5	223	Base metal
CO ₂ (15)+O ₂ (5)		"	"	"	"	"	Q	40	—	48.3	—	—	—	—
Ar(15)+CO ₂ (5)		"	"	"	"	800	P	40	—	39.6	29.2	41.3	229	Base metal
Ar(19)+O ₂ (1)		"	"	"	"	700	Q	40	—	47.0	—	—	—	—
Galvanized steel plates	1.2	—	—	—	—	—	P	40	33.9	38.8	39.1	44.8	126	—
	3.2	—	—	—	—	—	Q	40	—	40.9	—	—	—	—
	3.2	—	—	—	—	—	P	40	30.0	36.3	53.6	56.3	120	—
							Q	40	—	41.0	—	—	—	—

含有していることによる機械的性質の劣化は認められなかった。

(3) 突合せ継手部の亜鉛含有量は, 低水素系溶接棒による場合が最も多く (0.054%), 高セルローズ系溶接棒による場合が最も少ない (0.025%)。

一方, ガス被包アーカ溶接の大電流溶接条件では, $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 被包ガスによる場合が最も多く (0.037%), Ar-O_2 被包ガスによる場合が最も少ない (0.010%)。また短絡移行溶接でも, $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 被包ガスによる場合が最も多く (0.044%), Ar-O_2 被包ガスによる場合が最も少ない (0.024%)。

(4) 亜鉛メッキ鋼板のアーカ溶接時に発生するヒューム量は, メッキしない鋼板を溶接した場合に比べ, 被覆アーカ溶接棒の場合約2倍, ガス被包の場合数倍に達し, 特に, $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 被包ガスによる場合が最も多い。

したがって, 換気にじゅう分注意を払えば, 亜鉛メッ

キ鋼板のアーカ溶接に, 特別な困難はないようである。

参考文献

- 1) M. Pantucek: "Influence of Filler Materials upon Air Contamination in Manual Electric Arc Welding" 本誌, 39-8 (1970)。
- 2) A. Fogh, J. Forst, J. Georg, G. Vinter: "Report on a Danish investigation into the health and working environment of arc welders" Welding in the World, Vol. 10 (1972), No. 3/4。
- 3) E.N. Gregory: "Arc Welding of Galvanized Steel" Steel Metal Industries, No. 7, 1968。
- 4) 多田: "ACGIH (1966) の有害物質許容濃度表", 労研維持会資料, No. 398, 1967。
- 5) T.B. Jefferson: "Ventilation for Welding" Weld. Eng. No. 10, 1970。
- 6) L. Wildenthaler and H.B. Cary: "A Progress Report on Fume Extracting System for Gas Metal Arc Welding Unit" Weld. J. Vol. 50, No. 9, 1971。
- 7) A.W.S.: "Safety in Welding and Cutting" USA Standard Z49-1, 1967。

第9回 腐食防食懇談会

主題 装置工業の防食対策

主 催 日本材料学会
共 催 化学工学協会, 溶接学会他14学協会
期 日 昭和49年3月7日(木), 8日(金)
会 場 大阪科学技術センター401号室

大阪市西区うつば1丁目118 地下鉄四ツ橋線本町下車北150m

第1日 (3月7日)

9.00~10.50	腐食防食の概要	名 工 大 日 根 文 男
11.00~12.00	新製品紹介(1)防食材料	
1.00~ 2.50	金属材料の腐食と要因	住 金 中 研 小 若 正 倫
3.00~ 4.50	腐食環境とその要因	味の素中研 鈴 木 紹 夫

第2日 (3月8日)

9.00~10.50	防食設計と防食管理	近畿大理工 木 島 茂
11.00~12.00	新製品紹介(2)測定機器, 試験機器	
1.00~ 2.50	腐食事故の調査	三 菱 神 研 栄 幸 雄
3.00~ 4.50	懇談 装置工業の防食対策	

司 会 山 崎 精 機 山 崎 正 八 郎

参 加 料 共催学協会会員 9,000円 非会員 14,000円 (テキスト含)

申込期限 昭和49年2月15日(金) 定員 100名

申込方法 氏名, 所属, 連絡先, 所属学協会名を記し, 参加料を添えて日本材料学会懇談会係 606京都市左京区吉田泉殿町1の101 Tel.(075)761-5321 へお申込み下さい。