

亜鉛メッキ鋼板のガス被包金属アーク溶接

松田 一夫*, 長谷川 正義*

Gas Shielded Metal Arc Welding of Zinc Plate Steel

Kazuo MATSUDA* and Masayoshi HASEGAWA*

(Received August 22, 1970)

Using various supplied gases of $\text{CO}_2\text{-O}_2$ and $\text{CO}_2\text{-Ar}$ systems, the gas shielded metal arc welding of zinc plate steel was studied and compared to Ar or Ar- O_2 shielded metal arc (MIG) of welding.

The experimental results were as follows;

1) In using the supplied gas of $\text{CO}_2\text{-O}_2$ system the suitable oxygen contents is less than about 50%.

2) It is vital to use the electrode wire containing much deoxidizing elements in welding the zinc plate steel with supplied gas of $\text{CO}_2\text{-O}_2$ system. In using the electrode wire not containing the deoxidizing elements with any composition of supplied gas the sound welded joint can not be obtained.

3) In using the electrode wire containing much deoxidizing elements the welded joint of zinc plate steel with supplied gas of $\text{CO}_2\text{-O}_2$ system shows nearly the same mechanical properties, as compared with that of the MIG welding process.

4) It was reported that in the fillet welding of zinc plate steel there occurred the segregation layer of zinc. So far as the present experiment is concerned, however, such a layer is not found at all.

1. 緒 言

現在、亜鉛メッキ鋼板の溶融溶接は、一般にその板厚によりMIG溶接法あるいは被覆アーク溶接法により溶接されている。ガス被包金属アーク溶接の保護ガスとしてのアルゴンはまだかなり高価であるから、ほかの安価なガスに置換えることができれば溶接費の軽減に役立つものと思われる。また薄鋼板の溶融溶接においては歪が大きいので、できるだけ溶接熱を集中した高速、高能率の溶接法が望ましい。この点についてはMIG溶接法は比較的優れているが、板厚があまり薄い場合には適用し難いようである。一方、炭酸ガスを主とした送給ガスによるガス被包金属アーク溶接法を普通の構造用鋼に適用する場合、細径電極鋼線を用い短絡移行の溶接条件を採用すれば板厚1mm程度の薄鋼板にも、きわめて能率的かつ経済的に溶接できることが明らかになっている。^{1,2)}

そこで炭酸ガスを主とした送給ガスによるガス被包金属アーク溶接法を亜鉛メッキ鋼板に適用し、その溶接部の外観、内部的欠陥、機械的諸性質その他が満足しう

程度のものであれば、種々の板厚の亜鉛メッキ鋼板をMIG溶接法あるいは被覆アーク溶接法により溶接する代りに、前者の方法を採用できる可能性がある。そしてこの方法によれば溶接費が低下し、しかも作業能率が大幅に向上する見込がある。

本研究ではこのような観点から、炭酸ガスを主とした種々の混合ガスを送給して、脱酸剤を多量に含んでいる電極鋼線を用い亜鉛メッキ鋼板の溶接を行ない、得られた溶接金属の諸性質と送給ガスの組成および溶接条件との関係を調べ、アルゴンに代る安価な保護ガスを探究する目的で実験を行なったものである。

以下これらの実験結果について要点を報告する。

2. 実験方法

以下の溶接実験において溶接電源には、定電圧特性の容量500Aのシリコン整流式直流溶接機を用い、溶接はすべて $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 半自動溶接用のトーチを電動台車に取付け自動的に走行させ、逆極性で、種々の被包ガスのもとでビード溶着実験および亜鉛メッキ鋼板の突合せ溶接を行なった。

2.1 供試材および被包ガス

* 機械・生産機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

Table 1 Chemical compositions of base metals and electrode wires and mechanical properties of base metals.

Chemical compositions									
Materials		Thickness or diameter, mm	Elements, %						
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Ti
Base metals	X	3.2	0.04	0.004	0.33	0.011	0.014	0.07	—
	Y	1.2	0.05	0.004	0.35	0.012	0.010	0.05	—
Electrodes	I	1.2	0.05	0.77	1.64	0.009	0.014	0.23	0.25
	II	1.2	0.05	Tr	0.43	0.008	0.012	0.04	—

Mechanical properties					
Materials		Thickness, mm	Yield point, kg/mm ²	Tensile strength, kg/mm ²	Elongation, %
Base metals	X	3.2	30.0	36.3	53.6
	Y	1.2	33.9	38.8	39.1

供試亜鉛メッキ鋼板は Table 1 に記号 X および Y で示す板厚 3.2mm および 1.2mm の軟鋼で、いずれも亜鉛付着量 (3 点平均) 90gr/m² (片面メッキ厚さ約 0.010 mm) のものを用いた。その化学組成および機械的性質を同表に示す。

また供試電極鋼線には、同表に示す化学組成を有するいずれも直径 1.2mm の電極鋼線 I および II を用いた。電極鋼線 I は軟鋼用 CO₂-O₂ アーク溶接用のものでアルミニウムでキルされ、脱酸剤としてけい素およびマンガン を多量に含有し、ほかにチタンを 0.25% 含んでいる。電極鋼線 II は脱酸剤としてけい素およびマンガンを含んでいないものである。

被包ガスの種類としては次の 3 つの系の被包ガスを、全送給ガス流量は 20ℓ/min で一定とし、それぞれ送給して実験を行なった。

系 i CO₂-O₂ (O₂, 0~100%)

系 ii CO₂-Ar (Ar, 0~100%)

系 iii Ar-O₂ (O₂, 0~100%)

送給ガスの混合は、それぞれのポンペに取付けた流量計付調整器により流量を変え、Y 字管によって行なった。

溶着金属中の亜鉛定量分析は主としてキレート試薬を用いる容量法により行なった。なお実験結果で示す亜鉛分析値は試料中の全亜鉛である。

2.2 ビード溶着実験

Table 1 に記号 X および Y で示す化学組成を有する板厚 3.2mm および 1.2mm の 50×150mm の短冊型亜鉛メッキ鋼板上に、同表に記号 I および II で示す化学組成を有するいずれも直径 1.2mm の電極鋼線を用いて、短絡移行の溶接条件を含め、種々の溶接条件 (溶接電流 90~320A, アーク電圧 16~36V, 溶接速度 350~1200

mm/min およびチップ間隔 8~15mm) で、CO₂-O₂, CO₂-Ar および Ar-O₂ 系の被包ガスをそれぞれ送給し、Fig. 1 に示すごとく溶接長 130mm のシングルビー

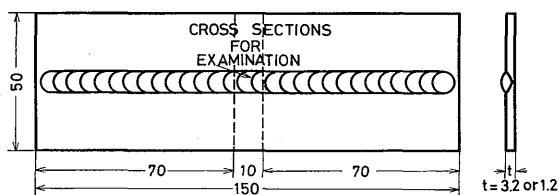


Fig. 1 Bead-on-plate test piece, unit of length: mm

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 線透過試験を行なった後、同図に示すごとく分割し、巾 10mm の試片の端面を研磨腐食して、Fig. 2 に示すビード断面の形状、すなわち溶込み (P),

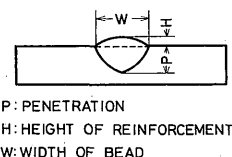


Fig. 2 Cross-section of bead for examination.

ビード巾 (W) および余盛高さ (H) を測定した。なお顕微鏡観察および溶着金属のビッカース硬さの測定を行なった。また短冊型試験片の残りの部分のビードを切削して、化学分析用の試料を採取した。

2.3 溶接継手の機械試験

2.3.1 板厚 3.2mm の亜鉛メッキ鋼板の突合せ溶接 ビード試験片と同一化学組成の板厚 3.2mm の 125×250mm の短冊型亜鉛メッキ鋼板を母材として、Fig. 3 に示すごとく I 型に突合せ、表側から 1 パスで板を拘束

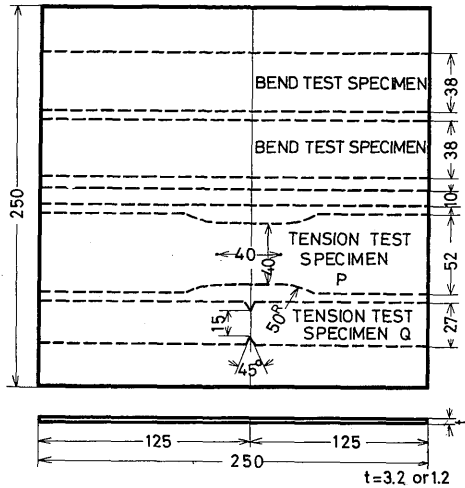


Fig. 3 Positions of specimens of welded joint, unit of length: mm

して溶接を行なった。

電極鋼線には ビード試験の場合と同様、Table 1 に記号 I および II で示すものを用いた。電極鋼線 I による場合は Table 2 に総括して示す適正溶接条件で、被包ガスについての比較のため 100%CO₂、75%CO₂-25%O₂、50%CO₂-50%O₂、75%CO₂-25%Ar、50%CO₂-50%Ar、25%CO₂-75%Ar、100%Ar、75%Ar-25%O₂、

65%Ar-35%O₂ および 50%Ar-50%O₂ のそれぞれの送給ガスのもとで溶接を行なった。電極鋼線 II による場合は同表に示す適正溶接条件で、被包ガスとして 100%CO₂、75%CO₂-25%O₂、100%Ar および 75%Ar-25%O₂ のそれぞれの送給ガスのもとで溶接を行なった。なおメッキ亜鉛が継手の機械的性質におよぼす影響を調べるため、亜鉛メッキ鋼板のメッキ亜鉛をバンドグラインダで完全に除去し、継手開先面が清浄な状態の鋼板を母材とし、電極鋼線 I を用い同表の適正溶接条件で、被包ガスとして 75%CO₂-25%O₂ の混合ガスのもとで溶接を行ない、いずれの場合も各送給ガスにつき 2 枚ずつの溶接継手を作製した。溶接完了後、溶接部の外観検査、X線透過試験を行なった後、同図に示すごとく 1 枚の試験材からそれぞれ継手引張試験片 (P および Q 各 1 個ずつ) 2 個と巾 38mm の型曲げ試験片 (表曲げおよび裏曲げ用各 1 個ずつ) 2 個および顕微鏡観察用試料を採取した。

2.3.2 板厚 1.2mm の亜鉛メッキ鋼板の突合せ溶接

ビード試験片と同一化学組成の板厚 1.2mm の 125×250mm の短冊型亜鉛メッキ鋼板を母材として、Fig. 3 に示すごとく I 型に突合せ、表側から 1 パスで板を拘束して溶接を行なった。

電極鋼線には Table 1 に記号 I で示すものを用いた。この場合の溶接条件はビード溶着実験結果から得られた

Table 2 Welding conditions of butt joints.

Mark of used electrode	Thickness of base metal, mm	Root gap, mm	Welding condition			Supplied gas		Chip gap, mm
			Welding current, A	Arc voltage, V	Welding speed, mm/min	Mixed gas	Mixed ratio, %	
I	3.2	0	300	30	1100	CO ₂ -O ₂	0%O ₂	15
		"	"	"	"		25%O ₂	"
		"	"	"	"		50%O ₂	"
		"	"	"	900	CO ₂ -Ar	25%Ar	"
		"	"	"	"		50%Ar	"
		"	"	"	"		75%Ar	"
		"	280	28	600	Ar-O ₂	0%O ₂	"
		"	300	30	900		25%O ₂	"
		"	"	"	"		35%O ₂	"
		"	"	"	"		50%O ₂	"
II	3.2	"	"	"	1000	CO ₂ -O ₂	0%O ₂	"
		"	"	"	"		25%O ₂	"
		"	280	26	550	Ar-O ₂	0%O ₂	"
		"	300	30	800		25%O ₂	"
I	3.2*	"	"	"	1100	CO ₂ -O ₂	25%O ₂	"
I	1.2	"	110~130	18~20	850	CO ₂ -O ₂	25%O ₂	8
		"	"	"	500	Ar-O ₂	0%O ₂	"

Note: * Removed zinc layer of zinc plate steel.

短絡アーク溶接適正条件, すなわち溶接電流110~130A, アーク電圧 18~20V, 溶接速度 500~850mm/min およびチップ間隔 8mm を採用し, 75%CO₂-25%O₂ および 100%Ar のそれぞれの送給ガスのもとで溶接を行ない, 各送給ガスにつき2枚ずつの溶接継手を作製した。溶接完了後, 溶接部の外観検査, X線透過試験を行なった後, 同図に示すごとく1枚の試験材から継手引張試験片(PおよびQ各1個ずつ) 2個と巾38mmの型曲げ試験片(表曲げおよび裏曲げ用各1個ずつ) 2個および顕微鏡観察用試料を採取した。

2.4 板厚3.2mmの亜鉛メッキ鋼板のすみ肉溶接試験
ビード試験片と同一化学組成の板厚 3.2mm の50×250mmの短冊型亜鉛メッキ鋼板を母材として, すみ肉溶接試験を行なった。試験はJIS Z3181(1962), すなわち溶接棒のすみ肉溶接試験方法におおむね準拠して行なった。

電極鋼線にはTable 1に記号Iで示すものを用いた。この場合の溶接条件は溶接電流 280A, アーク電圧30V, 溶接速度 1000mm/min およびチップ間隔 15mm で, 被包ガスとして75%CO₂-25%O₂の混合ガスを送給し,

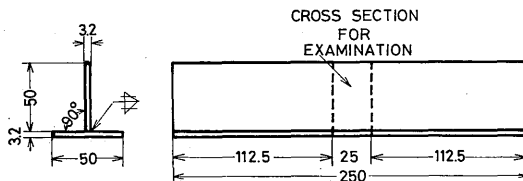


Fig. 4 Size and shape of fillet welded joint, unit of length: mm

Fig. 4に示すごとくT型すみ肉溶接を水平姿勢で行ないT継手を作製した。溶接完了後, 溶接部の外観検査, X線透過試験を行なった後, 同図に示すごとく分割し, 巾25mmの試片の端面を研磨腐食して, Fig. 5に示すごとくすみ肉の形状, すなわちすみ肉のサイズ(S), 脚長

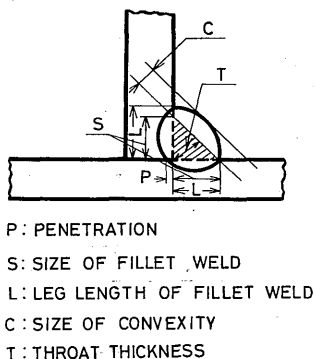


Fig. 5 Shape of fillet weld.

(L), のど厚(T), ふくらみ(C), 溶込み(P)の測定および顕微鏡試験を行なった。

3. 実験結果

3.1 種々の被包ガスによるビード溶着実験結果

3.1.1 送給ガス組成の影響

脱酸剤としてけい素およびマンガンを多量に含有し, ほかにチタンを0.25%含んでいる電極鋼線Iを用いて, CO₂-O₂, CO₂-Ar および Ar-O₂系のそれぞれの被包ガスのもとでビード溶着実験を行なった。この場合の溶接条件とビード外観および溶着金属の気孔数との関係を, X線透過試験により検査した結果をTable 3に総括して示す。同表の気孔率(relative porosity)はX線透過写真によりビードに発生した気孔の数をかぞえ, ビード長さ1cm 当りについての数を表わしたものである。

送給ガス中の酸素あるいはアルゴン混合率がスパッタの量および粒の大きさにおよぼす影響については, CO₂-O₂系被包ガスの場合は酸素混合率の増加にともなうスパッタ量の変化はほとんど認められなかった。しかしスパッタ粒の大きさはその増加とともに大きくなる傾向が認められた。CO₂-Ar系被包ガスの場合はアルゴン混合率がそれらにおよぼす影響は, アルゴンを75%添加した場合にスパッタの量が著しく減少し, その粒の大きさも著しく小さくなる傾向が認められた。またAr-O₂系被包ガスの場合は, 酸素を5%まで添加した場合にスパッタはほとんど発生せず, さらに60%まで添加した場合でもスパッタの量は少なく, その粒の大きさも比較的小さい傾向が認められた。

送給ガス中の酸素あるいはアルゴン混合率がビード外観におよぼす影響については, CO₂-O₂系被包ガスの場合は酸素混合率が20%から55%までの範囲において比較的優れたビード外観を呈している。CO₂-Ar系被包ガスの場合はアルゴンを75%添加した場合, またAr-O₂系

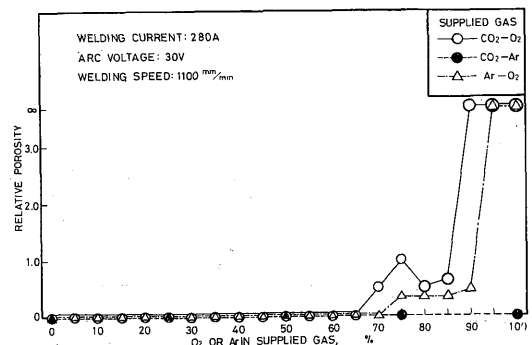


Fig. 6 Effect of supplied gas on the relative porosity in single bead.

Table 3 Welding condition, appearance, relative porosity and Vickers hardness of single bead.

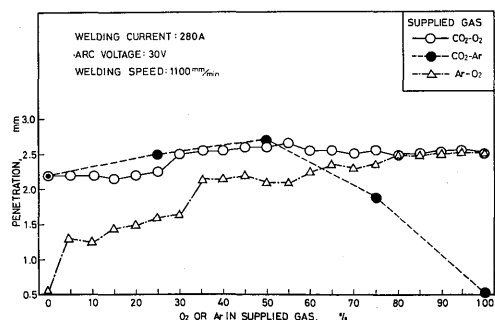
Mark of used electrode	Thickness of base metal, mm	Supplied gas		Welding condition			Appearance of bead	Relative* porosity	Vickers hardness
		Mixed gas	Mixed ratio, %	Welding current, A	Arc voltage, V	Welding speed, mm/min			
I	3.2	CO ₂ -O ₂	0% O ₂	280	30	1100	good	0	201
			5% O ₂	〃	〃	〃	〃	〃	203
			10% O ₂	〃	〃	〃	〃	〃	201
			15% O ₂	〃	〃	〃	〃	〃	204
			20% O ₂	〃	〃	〃	very good	〃	197
			25% O ₂	〃	〃	〃		〃	201
			30% O ₂	〃	〃	〃		〃	209
			35% O ₂	〃	〃	〃		〃	201
			40% O ₂	〃	〃	〃		〃	208
			45% O ₂	〃	〃	〃		〃	205
			50% O ₂	〃	〃	〃		〃	201
			55% O ₂	〃	〃	〃	good	〃	198
			60% O ₂	〃	〃	〃		〃	187
			65% O ₂	〃	〃	〃		〃	203
			70% O ₂	〃	〃	〃		0.5	196
			75% O ₂	〃	〃	〃		1.0	178
			80% O ₂	〃	〃	〃		0.5	192
			85% O ₂	〃	〃	〃		0.625	178
			90% O ₂	〃	〃	〃		〃	176
			95% O ₂	〃	〃	〃	poor	〃	171
			100% O ₂	〃	〃	〃		〃	170
		CO ₂ -Ar	0% Ar	〃	〃	〃	good	0	201
			25% Ar	〃	〃	〃	〃	〃	221
			50% Ar	〃	〃	〃	excellent	〃	218
			75% Ar	〃	〃	〃		〃	227
			100% Ar	〃	〃	〃	good	〃	232
		Ar-O ₂	0% O ₂	〃	〃	〃	〃	〃	232
			5% O ₂	〃	〃	〃	〃	〃	230
			10% O ₂	〃	〃	〃	〃	〃	238
			15% O ₂	〃	〃	〃	〃	〃	224
			20% O ₂	〃	〃	〃	excellent	〃	233
			25% O ₂	〃	〃	〃		〃	213
			30% O ₂	〃	〃	〃		〃	205
			35% O ₂	〃	〃	〃		〃	205
			40% O ₂	〃	〃	〃		〃	196
			45% O ₂	〃	〃	〃	〃	〃	200
			50% O ₂	〃	〃	〃	〃	〃	190
			55% O ₂	〃	〃	〃	〃	〃	205
			60% O ₂	〃	〃	〃	〃	〃	192
			65% O ₂	〃	〃	〃	〃	〃	187
			70% O ₂	〃	〃	〃	〃	〃	189
			75% O ₂	〃	〃	〃	good	0.375	181
			80% O ₂	〃	〃	〃		〃	186
			85% O ₂	〃	〃	〃		〃	182
			90% O ₂	〃	〃	〃		0.5	179
			95% O ₂	〃	〃	〃	poor	〃	175
			100% O ₂	〃	〃	〃		〃	170

Note: *Number of blow hole of bead in 1cm length by radiograph.

被包ガスの場合は酸素混合率が25%から75%までの範囲において、いずれもビード表面のリップル（さざ波）はきわめて小さく、なめらかな美しいビード外観を呈している。

Fig. 6 は送給ガス中の酸素あるいはアルゴン混合率がビード溶着金属の気孔率におよぼす影響をX線透過写真により調べた結果を図示したものである。CO₂-O₂ 系被包ガスの場合は酸素を65%まで、Ar-O₂ 系被包ガスの場合は酸素を70%までそれぞれ添加した場合でもいずれも溶着金属に気孔の発生は全然認められなかった。またCO₂-Ar 系被包ガスの場合は炭酸ガスへのアルゴン混合率に関係なく、いずれの場合についても気孔の無い健全な溶着金属が得られている。

Photo. 1 は脱酸剤としてけい素およびマンガンを多量に含有し、ほかにチタンを0.25%含んでいる電極鋼線 I を用いて、CO₂-O₂、CO₂-Ar および Ar-O₂ 系のそれぞれの被包ガスのもとでビード溶着を行ない、得られ

**Fig. 7** Effect of supplied gas on the penetration of single bead.

たビード溶着部のX線透過写真を示す。

Fig. 7 は送給ガス中の酸素あるいはアルゴン混合率が溶込みにおよぼす影響を図示したものである。CO₂-O₂ 系被包ガスの場合は酸素混合率の増加による溶込みの変化はわずかである。Ar-O₂ 系被包ガスの場合は酸素35%までの範囲では酸素混合率の増加とともに溶込みは著

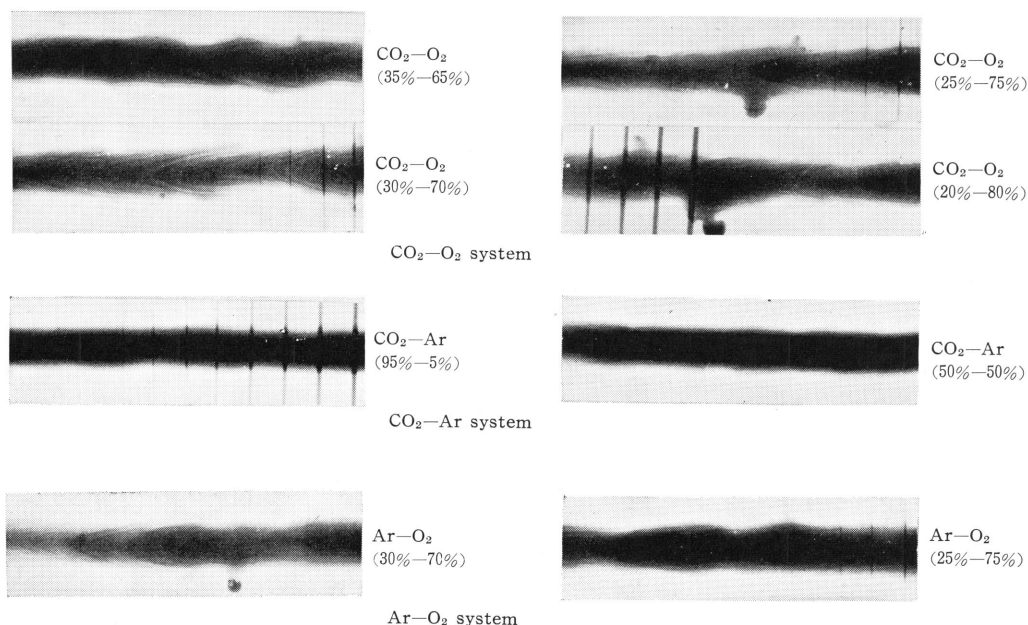


Photo. 1 Radiographs of single beads with various shielding gases of $\text{CO}_2\text{-O}_2$, $\text{CO}_2\text{-Ar}$ and Ar-O_2 systems using electrode wire I.

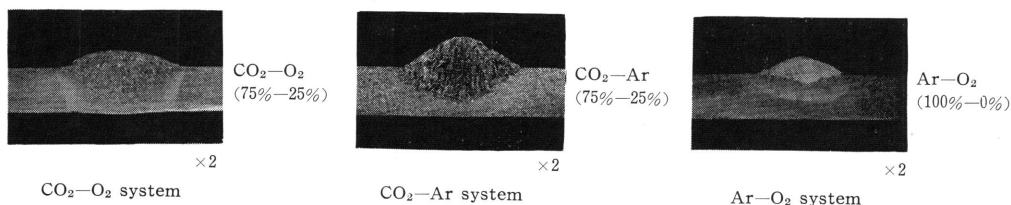


Photo. 2 Macro photographs of cross-sections of deposited metals with various shielding gases of $\text{CO}_2\text{-O}_2$, $\text{CO}_2\text{-Ar}$ and Ar-O_2 systems using electrode wire I. ($\times 2$)

しく増大し、それ以上の酸素混合率においてもわずかに増大する傾向を示している。また $\text{CO}_2\text{-Ar}$ 系被包ガス

の場合はアルゴン混合率が50%までの範囲では溶込みはわずかに増大し、それ以上のアルゴン混合率においては、それが逆に著しく減少する傾向を示している。

Photo. 2 は Photo. 1 に示したビードの横断面の写真を示す。

溶込み形状は $\text{CO}_2\text{-O}_2$ および $\text{CO}_2\text{-Ar}$ 系被包ガスの場合は溶込みが深く U 字状となっているが、 Ar-O_2 系被包ガスの場合は溶込みが浅くいわゆるフィンガー状になっている。

Fig. 8 は送給ガス中の酸素あるいはアルゴン混合率がビード巾におよぼす影響を図示したものである。 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 系被包ガスの場合は酸素混合率の増加とともにビード巾はごくわずかに増大する傾向を示している。 $\text{CO}_2\text{-Ar}$ 系被包ガスの場合はアルゴン混合率が50%までの範

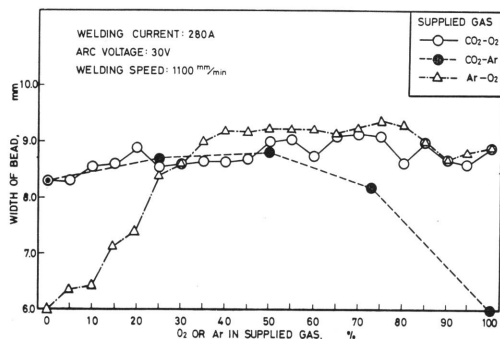


Fig. 8 Effect of supplied gas on the width of bead.

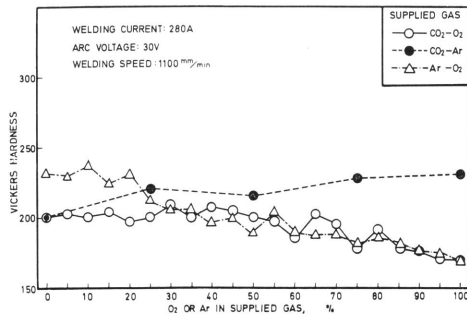


Fig. 9 Effect of supplied gas on the Vickers hardness of deposited metal.

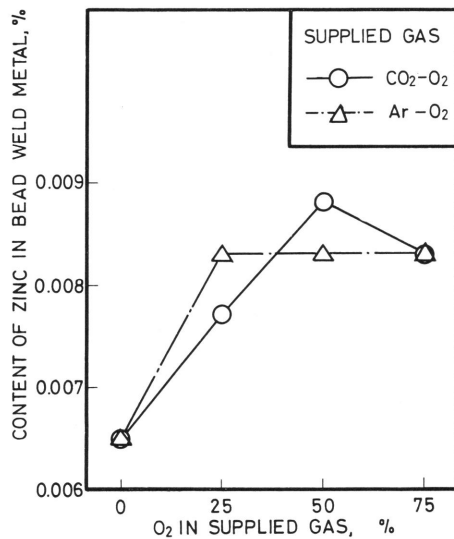


Fig. 10 Effect of oxygen in supplied gas on the content of zinc in deposited metal.

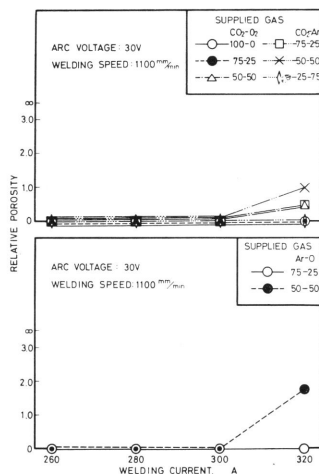


Fig. 12 Effect of welding current on the relative porosity of the bead on plate.

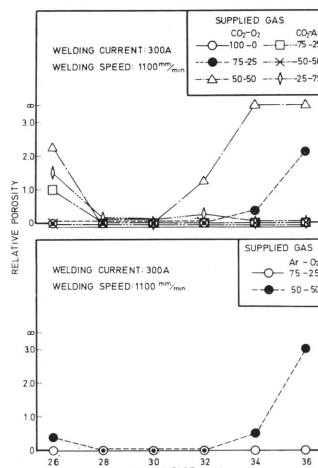


Fig. 13 Effect of arc voltage on the relative porosity of the bead on plate.

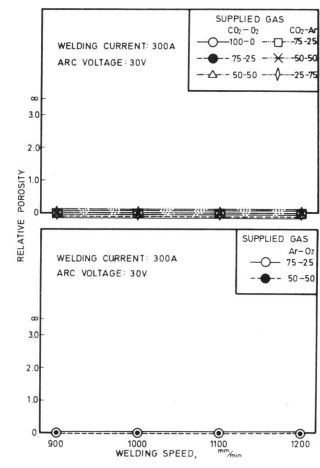


Fig. 14 Effect of welding speed on the relative porosity of the bead on plate.

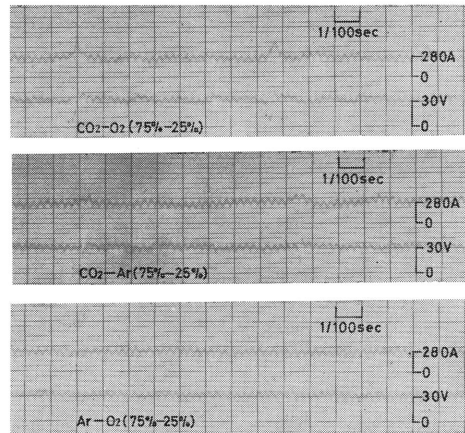


Fig. 11 Oscillograms of welding current and arc voltage.

囲ではごくわずかに増大し、それ以上のアルゴン混合率においては、著しく減少する傾向を示している。また Ar-O₂ 系被包ガスの場合は酸素混合率が 40% までの範囲ではビード巾は著しく増大し、それ以上の酸素混合率においては、ほとんど変化しない傾向を示している。

Fig. 9 は送給ガス中の酸素あるいはアルゴン混合率がビード溶着金属のビッカース硬さにおよぼす影響を図示したものである。CO₂-O₂ および Ar-O₂ 系被包ガスの場合は酸素混合率の増加とともにいずれの場合もビッカース硬さは低下する傾向を示している。また CO₂-Ar 系被包ガスの場合はアルゴン混合率の増加とともにそれが逆にわずかに増大する傾向を示している。

Fig. 10 は送給ガス中の酸素混合率がビード溶着金属中の亜鉛含有量におよぼす影響を図示したものである。CO₂-O₂ および Ar-O₂ 系被包ガスのいずれの場合につ

いても、酸素混合率の増加とともに溶着金属中の亜鉛含有量はごくわずかに増大する傾向を示している。

Fig. 11 は $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 、 $\text{CO}_2\text{-Ar}$ および Ar-O_2 系のそれぞれの被包ガスのもとで、ビード溶着を行なった場合の溶接電流およびアーク電圧波形を示す。いずれの被包ガスによる場合もアークは安定していることが認められる。

3.1.2 溶接条件の影響

Fig. 12~14 は溶接電流、アーク電圧および溶接速度がそれぞれビード溶着金属の気孔率におよぼす影響をX線透過試験により調べた結果を図示したものである。溶接電流については、アーク電圧30Vおよび溶接速度1100 mm/min で一定とし、溶接電流 260~300A の範囲では、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 、 $\text{CO}_2\text{-Ar}$ および Ar-O_2 系のいずれの被包ガスのもとで得られた溶着金属にも気孔は全然認められなかった。なおアーク電圧については、溶接電流300Aおよび溶接速度 1100mm/min で一定とし、アーク電圧 28~30V の範囲では、いずれの被包ガスのもとで得られた溶着金属にも気孔はほとんどあるいは全然認められなかった。また溶接速度については、溶接電流 300Aおよびアーク電圧30Vで一定とし、溶接速度 900~1200 mm/min の範囲では、いずれの被包ガスのもとで得られた溶着金属にも気孔は全然認められなかった。

3.1.3 電極鋼線中の脱酸剤の影響

脱酸剤としてけい素およびマンガンを多量に含有し、ほかにチタンを 0.25% 含んでいる電極鋼線 I を用いて、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 、 $\text{CO}_2\text{-Ar}$ および Ar-O_2 系のそれぞれの被包ガスのもとで、溶接電流 280A、アーク電圧30Vおよび溶接速度 1100mm/min の溶接条件でビード溶着を行な

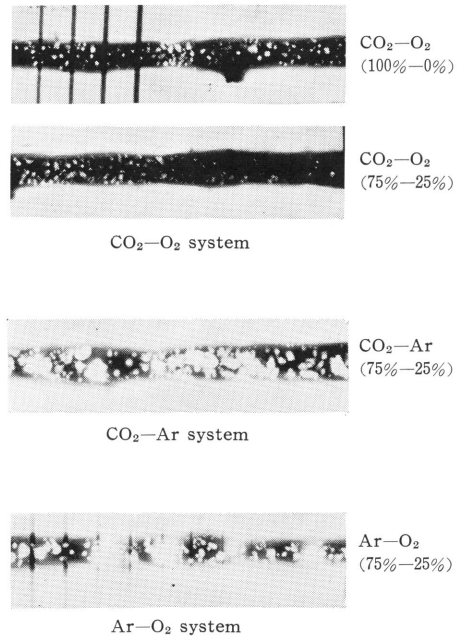


Photo. 3 Radiographs of single beads with various shielding gases of $\text{CO}_2\text{-O}_2$, $\text{CO}_2\text{-Ar}$ and Ar-O_2 systems using electrode wire II.

い得られた溶着金属についてみれば、気孔は全然発生せず健全である。しかしながら脱酸剤を含んでいない電極鋼線 II を用いて得られた溶着金属は、いかなるガス組成の被包ガスによる場合もビード表面に開口穴が発生し、X線透過写真にも多数の気孔が認められた。

Table 4 Proper welding conditions of single beads.

Mark of used electrode	Thickness of base metal, mm	Supplied gas		Welding condition			Appearance of bead	Relative* porosity
		Mixed gas	Mixed ratio, %	Welding current, A	Arc voltage, V	Welding speed, mm/min		
I	3.2	$\text{CO}_2\text{-O}_2$	0% O_2	280~300	28~30	1000~1200	good	0
			25% O_2	〃	〃	〃	very good	〃
			50% O_2	〃	〃	〃	〃	〃
		$\text{CO}_2\text{-Ar}$	25% Ar	〃	〃	900~1100	good	〃
			50% Ar	〃	〃	〃	〃	〃
			75% Ar	〃	〃	〃	excellent	〃
		Ar- O_2	0% O_2	〃	〃	600~700	〃	〃
			25% O_2	〃	〃	900~1100	〃	〃
			50% O_2	〃	〃	〃	〃	〃
	1.2	$\text{CO}_2\text{-O}_2$	25% O_2	110~150	18~20	800~900	〃	〃
		Ar- O_2	0% O_2	〃	〃	500~650	good	〃

Note: * Number of blow hole of bead in 1cm length by radiograph.

Photo. 3 は脱酸剤を含んでいない電極鋼線Ⅱを用いて、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 、 $\text{CO}_2\text{-Ar}$ および Ar-O_2 系のそれぞれの被包ガスのもとでビード溶着を行ない、得られたビード溶着部のX線透過写真を示す。

以上のビード溶着実験により得られた適正溶接条件をTable 4 に総括して示す。

3.2 継手引張試験および型曲げ試験結果

ビード試験片と同一化学組成の板厚3.2mm および1.2 mm の亜鉛メッキ鋼板を母材として、脱酸剤含有電極鋼線Ⅰおよび脱酸剤を含んでいない電極鋼線Ⅱを用い、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 、 $\text{CO}_2\text{-Ar}$ および Ar-O_2 系のそれぞれの被包ガスのもとでⅠ型突合せ溶接を行なった。これらの突合せ溶接部の外観検査、X線透過試験、継手引張試験、ビッカース硬さの測定および型曲げ試験の結果をTable 5 に総括して示す。なお同表中には亜鉛メッキ鋼板のメッキ亜鉛をバンドグラインダで完全に除去し、継手開前面が清浄な状態の鋼板を母材として、脱酸剤含有電極鋼線Ⅰを用い、75% CO_2 -25% O_2 の送給ガスによる溶接継手の機械的諸試験結果を比較のため示した。同表の試験結果に示すごとく、脱酸剤含有電極鋼線Ⅰを用いて、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 、 $\text{CO}_2\text{-Ar}$ および Ar-O_2 系のそれぞれの被包ガスのもとで得られた溶接継手は、脱酸剤を含んでいない電極鋼線Ⅱによるそれと比べ、いずれも継手外観はなめらかで優れている。溶接部の気孔発生程度の差については、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 系被包ガスによる溶接継手は、100% CO_2 および 75% CO_2 -25% O_2 の送給ガスによる場合はいずれも気孔は全然生じていない。しかし 50% CO_2 -50% O_2 の送給ガスによる場合はわずかに気孔が認められた（気孔率0.358）。これは多量の酸素を送給し過ぎたため電極鋼線Ⅰの脱酸剤含量でも不十分になったためと考えられる。 $\text{CO}_2\text{-Ar}$ 系被包ガスによる溶接継手は、75% CO_2 -25%Ar、50% CO_2 -50%Ar および 25% CO_2 -75%Ar の

送給ガスによる場合はいずれもわずかに気孔が発生している（気孔率0.105~0.632）。また Ar-O_2 系被包ガスによる溶接継手は、100%Ar、75%Ar-25% O_2 および 65%Ar-35% O_2 のそれぞれの送給ガスによる場合はいずれも気孔が全然生じていない。しかし 50%Ar-50% O_2 の送給ガスによる場合はわずかに気孔が認められた（気孔率0.420）。すなわち脱酸剤含有電極鋼線Ⅰを用いて、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 、 $\text{CO}_2\text{-Ar}$ および Ar-O_2 系のそれぞれの被包ガスのもとで得られた溶接部の気孔発生程度の差はわずかである。しかしながら脱酸剤を含んでいない電極鋼線Ⅱを用いて、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 、 $\text{CO}_2\text{-Ar}$ および Ar-O_2 系のそれぞれの被包ガスにより得られた溶接継手の外観は悪く、ビード表面に開口穴が生じ、X線透過写真にも多数の気孔が認められた。

Photo. 4 は脱酸剤含有電極鋼線Ⅰおよび脱酸剤を含んでいない電極鋼線Ⅱを用いて、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 、 $\text{CO}_2\text{-Ar}$ および Ar-O_2 系のそれぞれの被包ガスにより得られたⅠ型突合せ溶接部の外観およびX線透過写真の一例を示す。

溶接継手の引張試験結果によれば、脱酸剤含有電極鋼線Ⅰを用いて、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 、 $\text{CO}_2\text{-Ar}$ および Ar-O_2 系のそれぞれの被包ガスのもとで得られた溶接継手の引張強さはいずれも母材の強さ（36.3~38.8kg/mm²）に比べほとんど等しく（35.9~39.9kg/mm²）、Photo. 5 に示すごとくいずれも母材部で破断しており、しかも伸びは比較的高い値（27.1~36.3%）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は、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 、 $\text{CO}_2\text{-Ar}$ および Ar-O_2 系のいずれの被包ガスによる場合もその差はわずかである。絞りおよびビッカース硬さについても同様である。しかしながら脱酸剤を含んでいない電極鋼線Ⅱを用いて、100% CO_2 および 75%Ar-25% O_2 のそれぞれの送給ガスにより得られた溶接継手

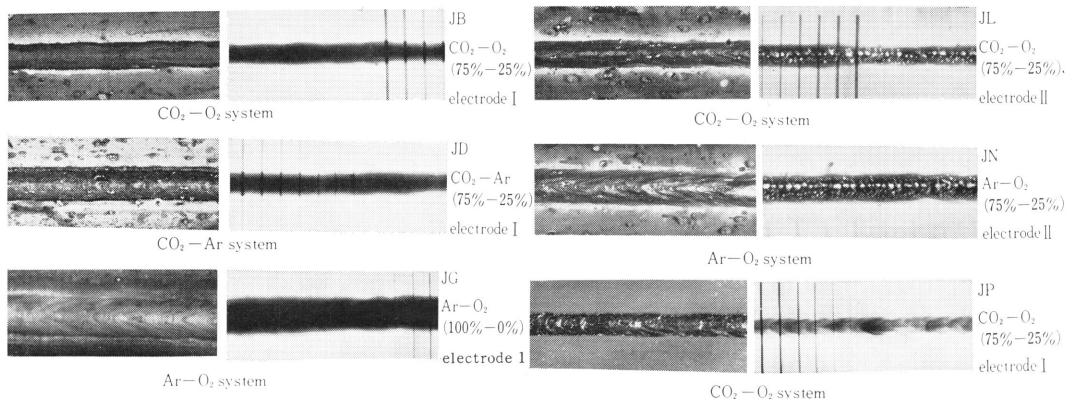


Photo. 4 Appearances and radiographs of welded joints with various shielding gases of $\text{CO}_2\text{-O}_2$, $\text{CO}_2\text{-Ar}$ and Ar-O_2 systems using electrode wires I and II. ($\times 1/3$)

Table 5 Effect of various shielding gases of CO₂-O₂, CO₂-Ar and Ar-O₂ systems on the appearance, relative porosity and mechanical properties of welded joints.

Mark of used electrode	Thickness of base metal, mm	Mark of joint	Supplied gas		Appearance of bead	Relative* porosity	Tension test		Yield point, kg/mm ²	Ultimate tensil strength, kg/mm ²	Elongation, %	Reduction of area, %	Vickers hardness	Broken part	Guide bend test			
			Mixed gas	Mixed ratio, %			Shape	Gauge length, mm							Face bend		Root bend	
															angle, °	Crack length, mm	angle, °	Crack length, mm
I	3.2	J A	CO ₂ -O ₂	0%O ₂	good	0	P P Q	40 40 —	31.8 32.8 —	38.6 38.8 53.8	30.8 30.7 —	57.1 53.3 —	215	Base metal Base metal —	180	0	180	0
		J B		25%O ₂	very good	0	P P Q	40 40 —	30.9 31.4 —	37.6 38.3 52.1	27.5 31.4 —	58.1 57.9 —	218	Base metal Base metal —	〃	〃	〃	〃
		J C		50%O ₂	good	0.358	P P Q	40 40 —	30.4 32.9 —	36.9 39.7 54.6	28.7 30.1 —	51.8 59.1 —	215	Base metal Base metal —	〃	1.3	〃	0.8
		J D	CO ₂ -Ar	25%Ar	good	0.421	P P Q	40 40 —	30.7 32.7 —	36.5 38.5 54.6	30.4 31.2 —	47.9 51.3 —	213	Base metal Base metal —	〃	0	〃	0
		J E		50%Ar	good	0.632	P P Q	40 40 —	33.5 32.2 —	39.6 38.3 53.0	27.1 30.6 —	62.8 58.2 —	228	Base metal Base metal —	〃	〃	〃	〃
		J F		75%Ar	good	0.105	P P Q	40 40 —	31.5 32.2 —	37.5 38.1 56.9	29.3 28.6 —	57.2 55.1 —	216	Base metal Base metal —	〃	〃	〃	〃
		J G	Ar-O ₂	0%O ₂	good	0	P P Q	40 40 —	32.1 32.4 —	37.8 38.8 48.2	33.0 36.3 —	57.9 56.6 —	236	Base metal Base metal —	〃	〃	〃	〃
		J H		25%O ₂	very good	0	P P Q	40 40 —	30.8 32.8 —	37.9 39.9 56.9	30.1 31.1 —	57.2 54.7 —	216	Base metal Base metal —	〃	〃	〃	〃
		J I		35%O ₂	very good	0	P P Q	40 40 —	28.4 30.8 —	35.9 37.0 55.0	29.9 30.5 —	62.7 58.2 —	206	Base metal Base metal —	〃	〃	〃	〃
		J J		50%O ₂	good	0.420	P P Q	40 40 —	31.9 30.1 —	38.9 37.5 50.9	28.1 34.3 —	52.9 50.1 —	224	Base metal Base metal —	〃	〃	〃	4.4
II	3.2	J K	CO ₂ -O ₂	0%O ₂	poor	∞	P P Q	40 40 —	— — —	17.9 16.1 15.8	2.5 2.5 —	1.3 1.5 —	167	Weld metal Weld metal —	Broken		Broken	
		J L		25%O ₂	poor	∞	P P Q	40 40 —	— — —	23.2 21.3 22.9	3.0 2.9 —	2.1 2.3 —	169	Weld metal Weld metal —	〃		〃	
		J M	Ar-O ₂	0%O ₂	poor	∞	P P Q	40 40 —	31.8 32.5 —	37.9 37.6 44.8	35.1 31.7 —	54.1 57.9 —	183	Base metal Base metal —	180	0.5	180	15.3
		J N		25%O ₂	poor	∞	P P Q	40 40 —	— — —	12.5 19.8 20.6	2.0 2.3 —	2.2 3.5 —	173	Weld metal Weld metal —	Broken		Broken	
I	3.2	J O**	CO ₂ -O ₂	25%O ₂	very good	0	P P Q	40 40 —	31.9 31.7 —	38.2 37.5 52.8	33.9 28.7 —	55.9 58.4 —	215	Base metal Base metal —	180	0	180	0
I	1.2	J P	CO ₂ -O ₂	25%O ₂	very good	0	P P Q	40 40 —	— — —	38.7 38.4 53.3	21.2 17.2 —	33.9 19.9 —	213	Base metal Base metal —	〃	〃	〃	〃
		J Q	Ar-O ₂	0%O ₂	good	0	P P Q	40 40 —	— — —	38.6 38.8 44.8	24.9 17.7 —	50.1 45.0 —	274	Base metal Base metal —	〃	〃	〃	〃
Base metal	3.2	—	—	—	—	—	P Q	40 —	30.0 —	36.3 41.0	53.6 —	56.3 —	120	—	—	—	—	
Base metal	1.2	—	—	—	—	—	P Q	40 —	33.9 —	38.8 40.9	39.1 —	44.8 —	126	—	—	—	—	

Notes: * Number of blow hole of bead in 1cm length by radiograph.

** Removed zinc layer of zinc plate steel

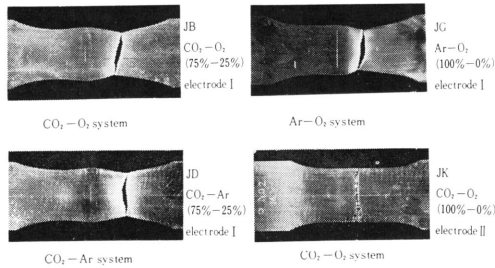


Photo. 5 Results of tension test of joints with various shielding gases of $\text{CO}_2\text{-O}_2$, $\text{CO}_2\text{-Ar}$ and Ar-O_2 systems using electrode wires I and II. ($\times 1/2$) ($\times 1/3$)

の引張強さは不十分で ($12.5\sim 23.2\text{kg/mm}^2$), 伸びおよび絞りも特に低い値 (2.0% および 1.3%) であった。また切欠引張試験片 (Q) による溶接金属の引張強さについても特に低く (15.8kg/mm^2), 電極鋼線中の脱酸剤の効果が明らかに認められた。

Photo. 5 は脱酸剤含有電極鋼線 I および脱酸剤を含んでいない電極鋼線 II を用いて, $\text{CO}_2\text{-O}_2$, $\text{CO}_2\text{-Ar}$ および Ar-O_2 系のそれぞれの被包ガスにより得られた溶接継手の引張試験片 (P) の破断後の外観写真を示す。電極鋼線 I による溶接継手はいずれの被包ガスによる場合も母材部で破断している。しかしながら電極鋼線 II による溶接継手は $100\%\text{Ar}$ 送給ガスによる場合を除いていずれも溶接部で破断している。

型曲げ試験結果においては, 送給ガス中の酸素あるい

はアルゴン混合率の影響が顕著にあらわれている。すなわち脱酸剤含有電極鋼線 I を用いて, $\text{CO}_2\text{-O}_2$, $\text{CO}_2\text{-Ar}$ および Ar-O_2 系のそれぞれの被包ガスのもとで得られた溶接継手は, $100\%\text{CO}_2$, $75\%\text{CO}_2\text{-}25\%\text{O}_2$, $100\%\text{Ar}$, $75\%\text{Ar-}25\%\text{O}_2$ および $65\%\text{Ar-}35\%\text{O}_2$ のそれぞれの送給ガスによる場合は型曲げ試験により表曲げ, 裏曲げとも 180° 曲げて無欠陥であった。しかし $50\%\text{CO}_2\text{-}50\%\text{O}_2$ の送給ガスによる場合は曲げ表面に幾つかの欠陥を生じている。また $\text{CO}_2\text{-Ar}$ 系被包ガスによる溶接継手は, $75\%\text{CO}_2\text{-}25\%\text{Ar}$, $50\%\text{CO}_2\text{-}50\%\text{Ar}$ および $25\%\text{CO}_2\text{-}75\%\text{Ar}$ のそれぞれの送給ガスによる場合はすべて表曲げ, 裏曲げとも 180° 曲げて無欠陥であった。しかし

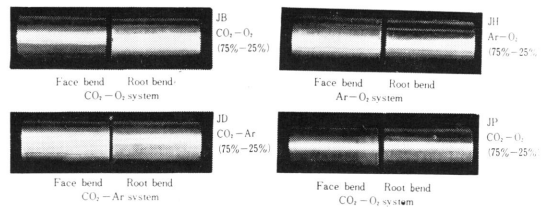


Photo. 6 Results of guide-bend specimens of welds with various shielding gases of $\text{CO}_2\text{-O}_2$, $\text{CO}_2\text{-Ar}$ and Ar-O_2 systems using electrode wire I. ($\times 1/4$)

ながら脱酸剤を含んでいない電極鋼線 II による溶接継手は $100\%\text{Ar}$ 送給ガスによる場合を除いて, $100\%\text{CO}_2$, $75\%\text{CO}_2\text{-}25\%\text{O}_2$ および $25\%\text{CO}_2\text{-}75\%\text{Ar}$ のそれぞれの送給ガスによる場合でも表曲げ, 裏曲げ両方とも破断している。

Photo. 6 は型曲げした試験片の一例を示す。

Photo. 7 は脱酸剤含有電極鋼線 I を用いて, $\text{CO}_2\text{-O}_2$,

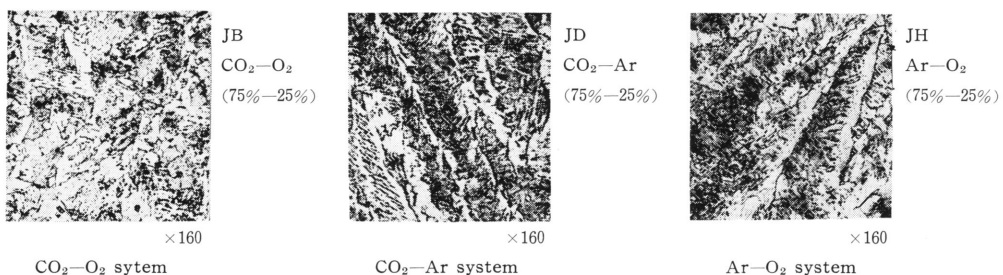


Photo. 7 Microstructure of weld metals with various shielding gases of $\text{CO}_2\text{-O}_2$, $\text{CO}_2\text{-Ar}$ and Ar-O_2 systems using electrode wire I.

Table 6 Appearance, relative porosity and shape of fillet weld.

Mark of used electrode	Thickness of base metal, mm	Supplied gas		Appearance of bead	Relative* porosity	Shape of fillet weld				
		Mixed gas	Mixed ratio, %			Size of fillet weld, mm	Penetration, mm	Leg length of fillet weld, mm	Size of convexity, mm	Throat thickness, mm
I	3.2	$\text{CO}_2\text{-O}_2$	$25\%\text{O}_2$	good	0	4.5	1.4	4.5	1.0	3.3

Note: * Number of blow hole of bead in 1cm length by radiograph

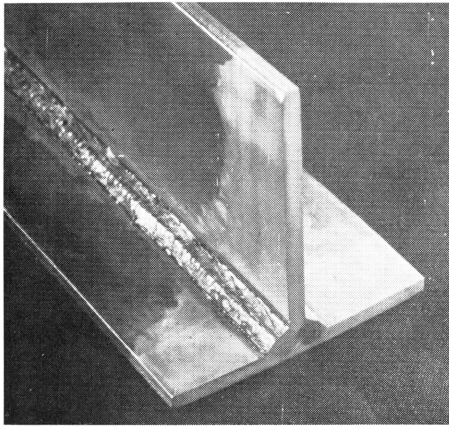


Photo. 8 Appearance and radiograph of fillet welded joint with shielding gas of 75%CO₂-25%O₂ using electrode wire I. (×1/2)

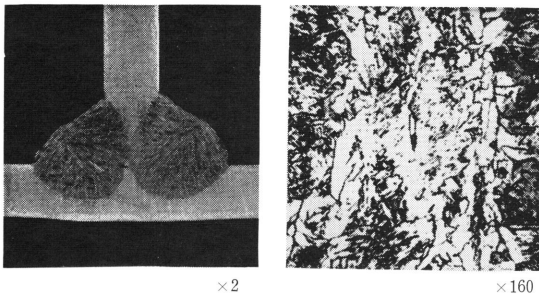


Photo. 9 Macrograph of cross-section and microstructure of fillet welded joint with shielding gas of 75% CO₂-25%O₂ using electrode wire I.

CO₂-Ar および Ar-O₂ 系のそれぞれの被包ガスにより得られた溶接金属の顕微鏡写真を示す。CO₂-O₂ 系被包ガスによる溶接金属も地は比較的清浄である。

3.3 すみ肉溶接試験結果

脱酸剤含有電極鋼線 I を用いて、75%CO₂-25%O₂ の給送ガスのもとで水平すみ肉溶接を行ない得られた溶接継手の外観検査、X線透過試験、顕微鏡試験およびすみ肉断面の形状を測定した。その結果を Table 6 に総括して示す。

Photo. 8 は水平すみ肉溶接部の外観およびX線透過

写真を示す。溶接部の外観はなめらかで優れており、気孔も全然認められなかった。

Photo. 9 は Photo. 8 に示した水平すみ肉溶接継手の横断面および顕微鏡写真で、亀裂、アンダカット、オーバラップ、スラグ巻き込みおよび亜鉛の偏析層もなく健全である。

4. 結 言

亜鉛メッキ鋼板のガス被包金属アーク溶接を行なう場合の保護ガスとして、アルゴンに代る安価な被包ガスを探究する目的で、脱酸剤含有電極鋼線および脱酸剤を含んでいない電極鋼線を用いて、炭酸ガスを主とした CO₂-O₂ および CO₂-Ar 系被包ガス、また比較のために Ar および Ar-O₂ 系のそれぞれの被包ガスのもとでビード溶着実験、溶接継手の機械試験およびすみ肉溶接試験を行なった。その結果をまとめると次のようである。

(1) CO₂-O₂ 系被包ガスを採用する場合、その酸素混合率は50%以下が適当である。

(2) CO₂-O₂ 系被包ガスによる亜鉛メッキ鋼板の溶接には、脱酸剤を多量に含んでいる電極鋼線が不可欠であって、これを含んでいない電極鋼線では、いかなるガス組成の被包ガスを用いても健全な溶接継手は得られない。

(3) 脱酸剤を多量に含んでいる電極鋼線を用いた場合には、CO₂-O₂ 系被包ガスによる亜鉛メッキ鋼板の溶接継手および溶接金属は、じゅうらいの MIG 溶接法によるそれらと比べて、ほぼ同程度の機械的性質を有する。

(4) 亜鉛メッキ鋼板のすみ肉溶接では亜鉛の偏析層が生じ、クラックはその層から発生するとの報告⁴⁾があるが、本実験ではそのような層は認められなかった。

終りに臨み、本研究を遂行するにあたっては、昭和45年度本学特別研究費によってこの実験の一部が行なわれたことを特に記し、本学関係各位に対して深く感謝の意を表する。

なお実験には、本学機械工学科卒業研究学生上正三ならびに浜田秀樹両君の熱心な御協力を得たことを記し、心からの謝意を表する。

文 献

- 1) 益本; “CO₂ および CO₂-O₂ アーク溶接における溶接条件の選定について” 溶接学会誌, Vol. 29 (1960), No. 11
- 2) 関口, 益本; “CO₂-O₂ アーク半自動立向および横向溶接の適正条件について” 名古屋産業科学研究所研究報告 (1960) No. 12
- 3) 益本, 松田; “ガス被包アーク溶接部の気孔生成および電極鋼線組成の影響について” 溶接学会誌, Vol. 37 (1968), No. 8
- 4) 吉田, 松永, 金谷, 小野; “塗装面に対する溶接施行について” 溶接学会誌, Vol. 28 (1959), No. 5