亜鉛めっき鋼板用溶接ワイヤの開発

平井宏樹*

Development of Welding Wire for Arc Welding of Zinc Coated Steel Sheets

Hiroki Hirai

Synopsis

Arc welding of zinc coated steel sheets generates many pits and blowholes. A solid wire, "DS1Z", to reduce pits and blowholes in arc welding of zinc coated steel sheets has been developed.

In this paper the characteristics in terms of welding parameters like wire feeding rate, arc voltage, welding speed, and welding position, which affected pits and blowholes and spatter loss, were described.

1．はじめに

自動車産業においては、北米および北欧における腐食に対するガイドラインに対応するため、これら地域への輸出車を中心にして、防錆性能に優れた亜鉛めっき鋼板が適用され始め、現在では国内向けについても適用されている。また、建築・住宅の分野においても亜鉛めっき鋼板は多く使用され、特に防錆性能の要求が強いところでは、亜鉛の目付け量の多い厚めっき鋼板が使用されている。しかし、亜鉛めっき鋼板をアーク溶接すると溶接金属中にピット、ブローホールといった気孔欠陥が発生しやすく、また、普通鋼板に比べてスパッタ発生量が著しく増加するなど、健全な溶接を行うことが困難であるという問題があり、これらを解決できる溶接ワイヤが求められていた。

今回、これらの要求に対応するため、亜鉛めっき鋼板の溶接において気孔欠陥の発生が少ない溶接が可能な溶接ワイヤDS1Zを開発したので、その特性を報告する。

2．気孔欠陥発生の原因と防止

Fig.1¹⁾に示すように、亜鉛めっき鋼板のアーク溶接における気孔欠陥は、ビードオン溶接では発生しないが、重ねすみ肉溶接の場合に多発し、特に鋼板の重なり部が密着している場合に気孔欠陥の発生が著しいことが知られている²⁾。重ね溶接における気孔欠陥はFig.2に示すよ

Steel sheet surface	Joint	Blowhole
No coat		No
Two side Zinc-coat (45g/m ²)	Lap joint	Blowhole
	No

Fig. 1. Condition of blowhole formation.

1996年7月12日受付

* 大同特殊鋼 株 技術開発研究所(Research & Development Lab., Daido Steel Co., Ltd.)

Fig. 2. Example of blowhole.

うに鋼板の重なり部分から溶接ビード表面に向かって成長した形状になっている（ブローホール）．これが溶接ビード表面に達して開口したものはピットと呼ばれる．

これらのことから，亜鉛めっき鋼板の重ねすみ肉溶接においては，重ね部の亜鉛が低沸点（906℃）のために溶接アーク熱によって気化し，亜鉛蒸気が溶融金属中を浮上していき，完全に離脱する前に溶融金属が凝固してピット，ブローホールになると考えられている．

気孔欠陥を防止するためには，溶接を行う箇所の亜鉛めっきをあらかじめ機械的に除去しておく方法がある．しかしながら，この方法は非常に手間がかかり効率が悪い．

鋼板が密着した重ねすみ肉溶接においては，実際的には亜鉛蒸気が溶融金属中に進入すること避けることはできない．そこで，気孔を防止する方法としては，
(1)溶融金属が凝固する前に亜鉛蒸気を溶融金属の外に離脱させる方法，
(2)溶融金属中に発生した気孔の成長，浮上を妨げる方法，
などが考えられる．

3．開発ワイヤの考え方

亜鉛めっき鋼板は主として薄板で使用され，鋼板どうしを密着させた重ねすみ肉溶接することが多い．従って，溶接継手ののど厚は小さくなるので，溶融金属に進入した亜鉛蒸気は容易に離脱し，その成長，浮上を妨げる方法は困難であると考えられる．そこで，開発ワイヤは溶融金属中に進入した亜鉛蒸気の離脱を促進させるため，溶融金属の粘性の低減を図り，さらに亜鉛蒸気の離脱した跡が表面欠陥として残らないことを狙って，溶融金属の表面張力が高くなるようワイヤ組成を調整した．

Table 1にDS1Zの組成例を示す．

Table 1. Typical composition of welding wire DS1Z (mass%).

C	Si	Mn	P	S	O
0.06	0.55	1.80	0.015	0.002	0.003

4．DS1Zの特性

4．1 気孔の形成

亜鉛目付け量45g/m²の薄めっき鋼板を用いて，重ね部が密着するように2枚の鋼板を重ね合わせ，そのヘリ部を下向き溶接した．そして，板の重ね面に沿って溶接ビードを縦方向に切断し，溶接金属中のブローホールを観察した．その溶接条件をTable 2に，溶接ビードの縦断面をFig.3に示す．

Table 2. Welding condition.

Base metal : 45g/m ² Zinc-coated steel sheet	
Power source : Inverter controlled	
Shielding gas : CO ₂ (2ℓ/min)	
Contact tip-Base metal Distance : 15mm	
Welding position and joint : Flat, edge joint	
Root gap : 0mm	
(1)Wire feeding rate : 3.0m/min-Welding speed : 40cm/min	
(2)Wire feeding rate : 6.0m/min-Welding speed : 80cm/min

Fig. 3. Longitudinal section of edge joint.

ブローホールは溶接ビードの底部から発生し，直上よりやや溶接方向へ成長していた．溶接速度が40cm/minの場合には，DS1Zの溶接ビードではブローホールがほとんど残っていないが，従来ワイヤYGW12の溶接ビードではブローホールが大きく成長していた．また，溶接速度が80cm/minになるとDS1Zの溶接ビードでは，細長く

成長したブローホールが多く観察されたものの、溶接ビード表面にピットは認められなかった。一方、YGW12の溶接ビードでは、ブローホールの幅が大きく、ブローホールの浮上はほとんどみられなかった。これらのことから、DS1ZはYGW12に比べて、亜鉛蒸気が離脱しやすいことを確認できた。

4.2 重ねすみ肉溶接性

耐ピット、ブローホール性を調査するため、DS1Zと従来ワイヤYGW12を用いて、気孔欠陥の発生が最も顕著に現れる亜鉛めっき鋼板どうしが密着した重ねすみ肉継手の特性評価を行った。母材として亜鉛目付け量45g/m²の薄めっき鋼板と190.5g/m²の厚めっき鋼板の2種類を用いた。標準溶接条件をTable 3に示す。また、溶接ビード表面のピット発生数を目視測定し、ブローホール発生数は溶接ビードのX線透過写真から測定した。

Base metal : Zinc-coated steel sheet
Coated Zinc : 45g/m ² (t2.0)
(one-side) 190.5g/m ² (t2.3)
Power source : Inverter controlled
Shielding gas : CO ₂ (20R/min)
Contact tip-Base metal Distance : 15mm
Welding position and joint : Flat,Lap joint
Root gap : 0mm

4.2.1 ワイヤ送給速度、アーク電圧と耐気孔性

Fig.4に薄めっき鋼板(板厚:2.0mm)溶接部のピット、ブローホール発生数に及ぼすワイヤ送給速度およびアーク電圧の影響を、Fig.5に厚めっき鋼板(板厚:2.3mm)溶接部のピット、ブローホール発生数に及ぼすワイヤ送給速度およびアーク電圧の影響を示す。

ピット、ブローホール発生数ともに、厚めっき鋼板の高ワイヤ送給速度の結果を除いて、DS1Zの方が従来ワイヤYGW12より大幅に少なく、良好な結果を示した。

4.2.2 溶接速度と耐気孔性

Fig.6に薄めっき鋼板溶接部のピット、ブローホール数に及ぼす溶接速度の影響を、Fig.7に厚めっき鋼板溶接部のピット、ブローホール発生数に及ぼす溶接速度の影響を示す。それらの溶接条件をTable 4,5に示す。

ピット、ブローホール発生数はいずれの条件においてもDS1Zの方が少なく、溶接速度が高くなるにつれて増加する傾向を示した。これは、溶接速度が高くなるほど

(a)

(b)

Fig. 4. Influence of welding conditions on (a)pit and (b)blowhole. (45g/m²Q Zinc-coated, welding speed:80cm/min)

溶融金属の凝固速度が高くなり、亜鉛蒸気の離脱が困難になったためと考えられる。

4.2.3 溶接姿勢と耐気孔性

薄めっき鋼板の重ねすみ肉継手を水平姿勢、45° 下進、立向き下進の3種類で溶接を行った。その結果をFig.8に示す。

ピット、ブローホール発生数はいずれの条件においてもDS1Zの方が少なかった。水平溶接に比べ下進溶接においては従来ワイヤYGW12のピット発生数は急激に増加したが、DS1Zはピット発生数の増加は少なかった。ブローホール発生数はいずれのワイヤも水平姿勢、45°

(a)

(b)

Fig. 5. Influence of welding conditions on (a)pit and (b)blowhole. (190.5g/m² Zinc-coated, welding

下進, 立向き下進の順に増加した。これは, 下進溶接では溶融池が下方に移動していくため, 鋼板の重ね面より発生した亜鉛蒸気は離脱できないので, 水平溶接に比べて離脱が困難になり, ブローホールが増加したと考えられる。また, 下進溶接では, のど厚が減少するため, 水平溶接においてはブローホールとなっていた気孔が溶接ビード表面に現れやすくなり, YGW12のピット発生数が急増したが, DS1Zは, 後述するように熔融金属の表面張力が高いために開口部の跡が残りにくく, ピット発生数が急増しなかったと考えられる。

(a)

Fig. 6. Influence of welding speed on (a)pit and (b)blow-hole. (45g/m² Zinc-coated)

4.3 スパッタ発生量

Fig.9にスパッタ発生量の測定結果を, Table 6に溶接条件を示す。溶接姿勢はビードオン溶接で, 母材には板厚3.2mmの軟鋼板, 薄めつき鋼板および厚めつき鋼板を用いた。スパッタ発生量は, 母材に付着したスパッタを採取し, その総重量で評価した。

亜鉛めつき鋼板では, 亜鉛蒸気の吹き上がりにより, 溶接アークが乱され, 軟鋼板に比べてスパッタ発生量が増加したが, DS1Zの方がややスパッタ発生量が少なかった。

Fig. 7. Influence of welding speed on (a)pit and

Welding speed (m/min)	(cm/min) Arc voltage	Wire feeding rate (V)
60	4.0 (160A)	17
80	5.0 (185A)	18
100	6.0 (210A)	20
120	7.0 (235A)	22

4 . 4 溶着金属の機械的性質

DS1Zを用いてCO₂溶接で多層肉盛り溶接を行い，全溶着金属の機械的性質を調査した．溶接条件をTable 7に，化学組成をTable 8に，機械的性質をTable 9に示す．

Welding speed (cm/min)	Wire feeding rate (m/min)	Arc voltage (V)
40	3.0(135A)	17
60	4.5(170A)	18
80	6.0(210A)	20
100	7.5(245A)	22
120	9.0(285A)	24

Fig. 8. Influence of welding position on (a) pit and (b) blowhole. (45g/m² Zinc-coated)

引張性能，シャルピー衝撃性能ともに JIS Z3312 YGW14を十分に満足した良好な値を示した．

Fig. 9. Influence of welding conditions on spatter weight.

Table 6. Welding condition.

Base metal : Mild steel
45g/m ² Zinc-coated steel
190.5g/m ² Zinc-coated steel
Size : t3.2-w50-L500
Bead on plate
Wire feeding rate : 5.0m/min (185A)
Welding speed : 80cm/min
Welding length : 400mm
Shielding gas : CO ₂ (20R/min)

Table 7. Welding conditions of all deposited metal test.

Welding wire	Shielding gas	Welding current (A)	Arc voltage (V)	Welding speed (cm/min)
DS1Z (1.2mm)	CO ₂ (20l/min)	180	21	40

Table 8. Chemical composition of all deposited metal (mass%).

C	Si	Mn	P	S
0.06	0.30	1.33	0.016	0.002

Table 9. Mechanical properties of all deposited metal.

Tensile properties				Charpy impact properties	
YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	RA (%)	Absorbed energy (J)	
				-20	0
567	661	24	59	65	103

5. 表面張力推定試験

5.1 実験方法

特に下進溶接において従来ワイヤYGW12よりDS1Zのピット発生数が少ないことは、熔融金属の表面張力が高いためと考えられたので、TIG溶接による溶落ち現象を利用した熔融金属の表面張力を推定する試験を行った。この方法は、トーチを固定して試験片である鋼板を溶加材なしで溶接した場合の、溶け落ちる瞬間の力関係を利用したものであり、次式³⁾により表面張力を近似算出した。

$$= (F_A + F_G + F_D) / 1.4 \quad D$$

ここで、 σ : 熔融金属の表面張力

F_A : アーク力

F_G : ガスの吹付け力

F_D : 溶落ちた溶滴の重量

D : 溶落ちにより生じた穴の直径

実験鋼板としてはTable 10に示す組成の鋼塊を焼きならし処理し、幅110mm、板厚2.5~3.5mmに機械加工したものをを用いた。なお、溶接電流は150A、ガス流量は15l/min一定とし、 F_A 、 F_G は内田⁴⁾の値を用いた。

Table 10. Chemical composition of steel sheet (mass%).

Steel	C	Si	Mn	P	S	O
DS1Z	0.05	0.55	1.84	0.010	0.003	0.002
A	0.04	0.70	1.24	0.017	0.019	0.001
B	0.04	0.85	1.38	0.018	0.020	0.002
C	0.04	1.29	1.51	0.023	0.020	0.003

5.2 実験結果

Fig.10に各鋼板の板厚と表面張力の推定値の関係を示す。いずれの鋼板においても板厚が大きくなるにつれて、算出した表面張力は大きい値を示したが、DS1Zと同等組成の鋼板は、YGW12相当の鋼板Bに比べて表面張力は高かった。

6. おわりに

亜鉛めっき鋼板の溶接性に優れた溶接ワイヤDS1Zを開発し、重ねすみ肉溶接における耐気孔性を中心に、その良好な溶接特性について紹介した。今後さらに多くのユーザーにおいて亜鉛めっき鋼板の溶接品質の向上に役立つと確信する。

Fig. 10. Relationship between steel sheets thickness and calculated surface tension value.

(文 献)

- 1) 安田 ,中野 ,小松 ,中島 :溶接技術 ,37(1989) ,94
- 2) 山本 ,原田 ,安田 :溶接技術 ,37(1989) ,67
- 3) 藤田 ,森田 :日新製鋼技報 ,18(1968) ,1
- 4) 内田 :溶接学会誌 ,29(1960) ,453