

高耐食亜鉛めっき鋼板用タッチアップレス溶接ワイヤの開発

Touch-up Less Welding Wire for High Corrosion Resistance Galvanized Steel Plates

児玉 真二*
Shinji KODAMA石田 欣也
Yoshinari ISHIDA宮崎 康信
Yasunobu MIYAZAKI野瀬 哲郎
Tetsuro NOSE

抄 録

建材分野を主体に高耐食亜鉛めっき鋼板が使用されている。しかし、溶接部は溶接時の入熱によりめっき成分が蒸発するため、後塗装を行うことによって耐食性を確保している。一方、ステンレス鋼溶接ワイヤを用いることによって溶接金属の耐食性確保が可能となるが、溶接金属の亜鉛脆化割れの発生が問題となる。この問題を解決するため、亜鉛脆化割れ抑制可能なステンレス鋼溶接ワイヤを開発した。Cr, Ni量の適正化を図り、溶接金属のフェライト量を増加させることによって割れを抑制した。また、溶接継手は優れた耐食性と共に適正な機械性能を示すことを確認した。

Abstract

High corrosion resistance galvanized steel sheets are widely used in the building members to provide structural members. When galvanized sheets are welded, zinc near a weld portion evaporates. As a result, the corrosion resistance is deteriorated and repair coating treatment is required after welding. The use of stainless steel welding wires with high corrosion resistance appears to be beneficial. However, the conventional welding wires have such problems that zinc embrittlement cracks likely to occur in their weld metals. To solve this problem, a stainless steel welding wire was developed. Susceptibility to zinc embrittlement crack was improved by increasing the ferrite content in the weld metal through the adjustment of Ni and Cr contents. The joints welded by the newly developed welding wire exhibited suitable mechanical properties and satisfactory corrosion resistance evaluated by salt spray testing.

1. はじめに

亜鉛めっき鋼板は、建築や自動車などの分野において耐食性向上の観点から幅広く用いられている。また最近では、耐食性を更に向上させた、高耐食亜鉛めっき鋼板 (Zn-11% Al-3%Mg-0.2%Si 系合金めっき) が開発され、建材を主体に適用が拡大している。

しかし、高耐食性めっき鋼板を使用しても、溶接時に鋼板表面のめっき成分が蒸発し、溶接部の耐食性が劣化するという課題があった。そのため、亜鉛めっき鋼板を溶接する場合には、溶接施工後に刷毛塗りやスプレーによって防錆材を塗装するタッチアップ処理が行われており、その塗装作業による生産性の低下が課題となっていた。また、溶接部表面に塗装した防錆塗料は、永年の使用環境において溶接部から剥離する事があり、耐食性そのものにも課題があった。その防止策として、溶接後の塗装無しで、溶接部の耐食性を確保できるタッチアップレス溶接技術が強く求

められていた。

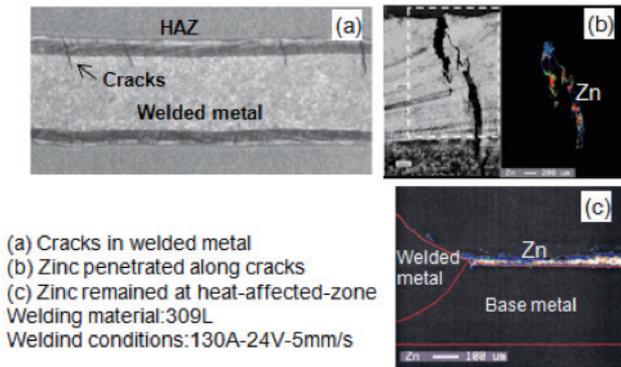
2. 亜鉛めっき鋼板用ステンレス鋼溶接ワイヤの開発

2.1 ステンレス鋼溶接金属の亜鉛脆化割れ

溶接部の耐食性を確保する手段として、ステンレス鋼溶接ワイヤの適用が考えられる。しかしながら、亜鉛めっき鋼板にステンレス鋼溶接ワイヤを適用すると、溶接金属に亜鉛脆化割れが生じるため、その適用は不可とされていた。亜鉛脆化割れとは、液体金属脆化の一種で、溶接部の冷却過程で溶けた亜鉛が母材熱影響部や溶接金属の結晶粒界に侵入し、割れを引き起こすものである。特に、オーステナイト系ステンレス鋼における亜鉛脆化割れは従来からよく知られており、熔融亜鉛めっき鋼板にステンレス鋼溶接ワイヤを使用した検討例²⁾では、溶接前にグラインダ等で亜鉛めっきを除去する必要があると報告されている。

図1に、亜鉛めっき鋼板をステンレス鋼溶接ワイヤ (JIS

* 鉄鋼研究所 接合研究部 主幹研究員 工博 千葉県富津市新富 20-1 〒293-8511



(a) Cracks in welded metal
(b) Zinc penetrated along cracks
(c) Zinc remained at heat-affected-zone
Welding material: 309L
Welding conditions: 130A-24V-5mm/s

図1 ステンレス鋼溶接金属の亜鉛脆化割れ
Liquid zinc embrittlement in weld metal of stainless steel

Z 3323 YF309LC) でビードオンプレート溶接した結果を示す。溶接ビードの上面を研削し、研削した面を王水で腐食することによって溶接金属の割れを確認した。割れは溶接線と垂直方向に発生し、溶接止端部を起点に溶接金属内に進展した。EPMA (Electron Probe X-ray Microanalysis) による観察では、割れ部に亜鉛が侵入しており亜鉛脆化割れであることが確認できた。また、母材表面に残存する亜鉛は溶接止端部の近傍にも存在しているため、この亜鉛が溶接止端部からステンレス鋼溶接金属の結晶粒界に侵入したと考えられる。

2.2 溶接金属の亜鉛脆化割れ抑制

溶接金属のフェライト量増加による割れ抑制を狙い、亜鉛めっき鋼板に適用可能なステンレス鋼溶接ワイヤを開発した³⁾。表1に試作溶接ワイヤを示す。なお、溶接ワイヤは、合金成分の調整が容易なフラックス入りワイヤ (FCW) とし、Ni, Cr 量を変化させることによって、A からD の順で溶接金属のフェライト量が増加するように設計した。

図2に割れ発生状況を示す。ビードオンプレート溶接した後、浸透探傷試験により割れの有無を確認した。FCW A (309L系FCWに相当) では、溶接止端部から溶接金属にかけて過大な横割れが発生したのに対し、Ni量を低くしたFCW Bは小さな割れとなり、更にCr量を増やしたFCW C, Dは割れが確認されなかった。

割れの進展状況を観察するためミクロ組織観察を行った。図3に割れの進展状況を示す。割れが発生したFCW Aは、結晶粒内にバミキュラーフェライトやレーシーフェライトが観察されるオーステナイト主体の組織で、結晶粒界での粗大な割れが観察された。一方、割れの発生が確認できなかったFCW Cは、フェライト-オーステナイトの二相組織を示しており、ミクロ観察においても割れは確認されなかった。

ところで、一般の炭素鋼においても、非めっき材の溶接構造物を溶融亜鉛浴に浸漬する後めっきの分野で、溶接時の残留応力に起因する亜鉛脆化割れが知られてい

表1 溶接ワイヤの化学成分
Chemical compositions of welding wires

Welding wire	Chemical composition (wt%)							Ferrite content (%)
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	
FCW A	0.02	0.32	1.25	0.02	0.004	24	12	16
FCW B	0.02	0.32	1.25	0.02	0.004	24	8.7	35
FCW C	0.02	0.32	1.25	0.02	0.004	27	8.6	65
FCW D	0.02	0.32	1.25	0.02	0.004	29	8.6	80

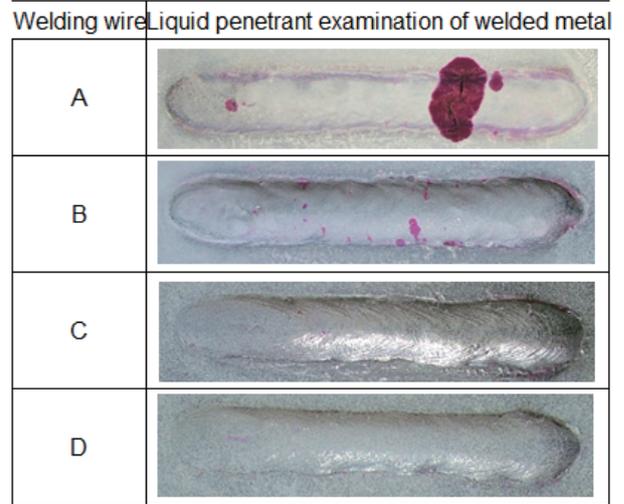


図2 浸透探傷試験結果
Results of liquid penetrant examination

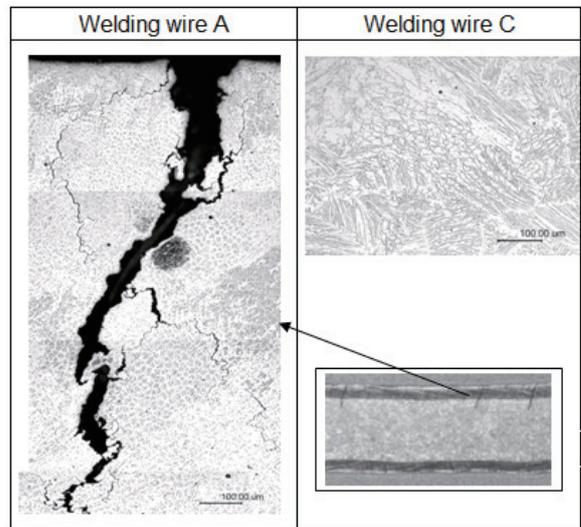


図3 溶接金属の割れ発生状況
Propagation of zinc embrittlement cracks

る。特に 590 MPa 級以上の高強度鋼で、溶接熱影響部の旧オーステナイト粒界に溶融亜鉛が侵入し割れが発生しやすいとされている。このため、亜鉛の侵入を防止するには、溶接金属の焼き入れ性を低下させオーステナイト粒界にフェライトを生成させることによって、不鮮明な結晶粒界にすることが有効とされている⁴⁾。これは、ステンレス鋼溶接金属においても同様であり、FCW A, B は凝固時に

形成される鮮明なオーステナイト粒界が凝固後も残るため、亜鉛の侵入による割れが発生しやすくなると考えられる。一方、FCW C, D はフェライト単相で凝固が完了するが、変態時のオーステナイトの晶出により不鮮明な結晶粒界となるため耐亜鉛割れ性が良好となったと考えられる。

以上の知見を基に、亜鉛めっき鋼板用タッチアップレス溶接ワイヤを開発した。Cr 当量増, Ni 当量減により溶接金属の高フェライト化を指向する一方、過度なフェライト増加による溶着金属の延性低下を抑制した、亜鉛めっき鋼板溶接用のステンレス鋼溶接ワイヤとした。

2.3 新開発溶接材料の継手性能

開発した亜鉛めっき鋼板用溶接ワイヤを Zn-11%Al-3%Mg-0.2%Si 系合金めっき鋼板に適用し、継手性能を評価した。突合せ継手から引張試験片およびシャルピー試験片を採取し、機械性能を評価した。表2にその結果を示す。板厚 3.2mm, 5.8mm, 8.2mm の鋼板を、各々1パス, 2パス, 3パスで溶接した。板厚, 溶接条件に関わらず、引張試験はいずれも母材破断であり、衝撃吸収エネルギーも良好な値を示した。

耐食性能はすみ肉継手を塩水噴霧試験 (1000 時間) にて評価した。図4に耐食試験結果を示す。普通鋼溶接材料を使用した継手では後塗装の有無に関わらず溶接部に赤さびが発生したが、開発ワイヤを適用することにより後塗装無しでも良好な耐食性を確保することが可能となった。

表2 突合せ溶接継手の機械性能
Mechanical property of butt weld joints

Thickness of steel sheet (mm)	Welding conditions	Tensile test		Charpy test	
		Tensile strength (MPa)	Fracture position	Sample size	vE 0°C (J/cm ²)
3.2	170A-25 V-6.7 mm/s-1 pass	469	Base metal	2.5 mm sub-size	12
5.4	180A-26 V-6.7 mm/s-2 passes	422	Base metal	5 mm sub-size	19
8.2	200A-30 V-6.7 mm/s-3 passes	451	Base metal	5 mm sub-size	20

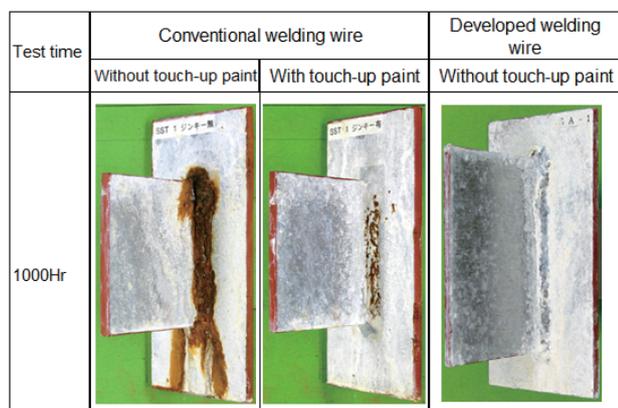


図4 耐食試験結果
Results of corrosion test

3. 溶接裏面熱影響部の耐食性

高耐食亜鉛めっき鋼板用タッチアップレス溶接材料の適用により、溶接金属部での良好な耐食性が確認された。しかしながら、薄鋼板の溶接への適用を想定すると、溶接裏面熱影響部においても耐食性を確保する必要がある。すなわち、ステンレス鋼溶接金属で保護される溶接表面に比べて、溶接裏面はめっき損傷部が広範囲に残る場合がある。

そこで、溶接裏面熱影響部の耐食性を評価した⁵⁾。図5に溶接裏面熱影響部のめっき損傷状況を示す。外観写真において母材表面が露出し、酸化した亜鉛が付着している領域 (めっき蒸発範囲)、めっき成分は残存しているが溶融した痕跡が残る領域 (めっき損傷範囲) が観察された。しかし、めっき残存状況を EPMA で観察すると、めっき損傷部には不均一であるが Zn, Al, Mg が残存すると共に、めっきが蒸発したと思われた場所においても Al が残存することが確認された。

図6に、複合サイクル腐食試験による溶接裏面熱影響部の耐食試験結果を示す。供試材はめっき付着量 180g/m² 及び 270g/m² の Zn-11%Al-3%Mg-0.2%Si 系合金めっき鋼板とし、ステンレス鋼ワイヤを用いて溶接を行った。

赤さびが発生するまでの期間は、めっき付着量 180g/m² で 120 サイクル程度、270g/m² では 180 サイクル程度であり、優れた耐食性を示すことが確認できた。高耐食めっきによる犠牲防食効果に加え、見掛けのめっき蒸発部に残存する

(a) Cross-section of weld bead (b) Appearance of heat affected zone



(c) EPMA analysis of coating compositions

	Damaged area	Evaporated area
Zn		
Al		
Mg		

図5 熱影響部のめっき損傷状況
Damage of the coating compositions in heat affected zone

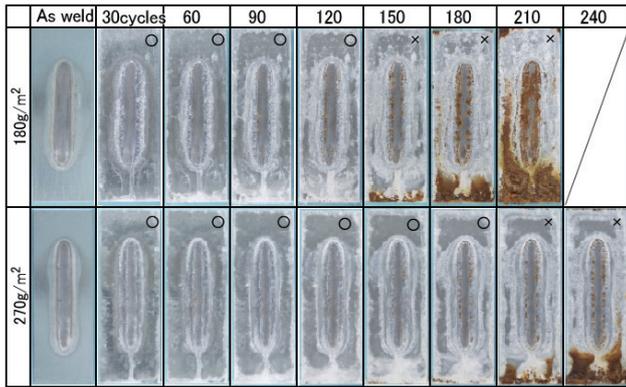


図6 耐食試験結果
Results of corrosion test of heat affected zone

AI が耐食性の確保に寄与したと考えられる。

4. まとめ

亜鉛めっき鋼板に適用可能なステンレス鋼溶接ワイヤを開発した。本溶接材料を高耐食亜鉛めっき鋼板に適用することにより、良好な溶接部耐食性を確保すると共に、めっき金属と同等の光沢を持つ溶接金属を得ることが可能となり、亜鉛めっき鋼板溶接部のタッチアップレス化を実現することができた。

本溶接材料は、建材分野での適用のための国土交通大臣特別認定を取得しており、今後の適用拡大が期待されている。



図7 開発ワイヤの適用状況
Applications of developed welding wire

る。既に、デッキプレートや工場用スチールラック等を対象に適用（図7参照）されており、溶接部タッチアップレスによる工程省略効果に加えて、スパッタ除去の工数削減や良好な溶接外観による溶接部意匠性向上に好評価を得ている。

参考文献

- 1) 森本康秀, 本田和彦, 西村一美, 田中暁, 高橋暁, 新頭英俊, 黒崎将夫: 新日鉄技報. (377), 22 (2002)
- 2) Bruscato, R.M. et al.: Weld. J. 71 (12), 455 (1992)
- 3) Kodama, S., Ishida, Y., Asai, K.: Welding in the World. 54 (1/2), R1 (2010)
- 4) 武田鉄治朗: 金属. 69 (3), 229 (1999)
- 5) 児玉真二, 石田欣也, 浅井謙一: 溶接学会全国大会講演概要. (86), 64 (2010)



児玉真二 Shinji KODAMA
鉄鋼研究所 接合研究部 主幹研究員 工博
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



宮崎康信 Yasunobu MIYAZAKI
鉄鋼研究所 接合研究部 上席主幹研究員



石田欣也 Yoshinari ISHIDA
君津技術研究部 主任研究員



野瀬哲郎 Tetsuro NOSE
鉄鋼研究所 接合研究部部長 工博