

本話より3話にわたって、D社による「亜鉛めっき鋼板の溶接」について、特に電流波形制御法適用による効果を含め関連文献より引用し紹介します。

引用する文献は、溶接技術誌に4回にわたって連載講座「亜鉛めっき鋼板の溶接」として執筆されている文献^{*1) ~*4)}より紹介します。

なお、[第270話](#)においてP社の亜鉛めっき鋼板溶接時の課題解決を可能とした「TAWERS Zi-Tech」の開発について紹介しました。その冒頭に、筆者も大同特殊鋼時代に溶接ワイヤ販売促進のために研究・開発および適用上の課題解決に向けてしっかり取り組んだ経緯があり、詳しくは本溶接技術だより[第70~71話](#)および[第120話~129話](#)、さらには[第130話](#)には「まとめ」として記述していることを書き添えました。併せて参照下さい。

以上の背景もふまえて、本4回の連載講座の目次を示し、本話で引用する項目を示し、その選択した項目について単に引用に留める場合、コメントを入れる場合などその都度説明させて頂きます。

連載講座 第1回 亜鉛めっき鋼板の溶接^{*1)}

恵良 哲生 (株)ダイヘン溶接機事業部 溶接技術誌 2013年9月号 P119~122

- 1 はじめに
- 2 亜鉛めっき鋼板の種類
- 3 亜鉛めっき鋼板溶接のアーク施工
 - 3.1 溶接前処理
 - 3.2 溶接後処理（補修）
 - 3.1.1 高濃度亜鉛末塗料による補修
 - 3.1.2 亜鉛はんだによる補修
 - 3.1.3 亜鉛溶射による補修
 - 4.1 気孔欠陥の発生メカニズム
 - 4.2 気孔欠陥の防止
 - (1) 目付量 (2) シールドガス炭酸濃度 (3) 溶接速度
 - (4) トーチ姿勢 (5) 下進角度 (6) その他
- 4 アーク溶接施工時のポイント
- 5 おわりに

講座の第1回では、亜鉛めっき鋼板の溶接について基礎的なことが述べられています。

実際の亜鉛めっき鋼板の溶接に直結するアーク溶接施工時の記事については、筆者が1990年頃より大手自動車メーカーと実際に係わり、パルスマグ溶接(法)電源+溶接ワイヤ+シールドガス+施工溶接条件の開発、改善業務を通じて把握してきたことと、概ね合致しており、本文献は大いに参考になります。

[表274-1](#)に施工方法と気孔の出やすさについて説明がなされています。筆者の気づいた点を補足する立場で以下にコメントします。

1-(1) 亜鉛めっき鋼板溶接施工時の考え方

継手形状を重ねすみ肉溶接とします。重ね合わせ部には亜鉛めっき層が合わさっています。これらの亜鉛めっき層をむやみに温度上昇させると、めっき層は融点が420°C(沸点906°C)と低いため蒸気化して溶融金属内に侵入し、ブローゴールあるいはピットの溶接欠陥を形成することになります。

表274-1 施工方法と気孔の出やすさ

比較条件	気孔少ない	気孔多い
目付量	少ない	多い
シールドガス 炭酸濃度	多い	少ない
溶接速度	遅い	速い
トーチ姿勢	前進角0°～後退角	過度の前進角
下進角度	0°(水平)	大

のことから、亜鉛めっき鋼板の溶接施工時の基本的な考え方は、むやみに亜鉛めっき層を溶かさないことです。アーカ熱をかけ過ぎ、蒸気化を誘発した後で、プローホール・ピット対策しても防止は困難です。

本溶接技術により**第70話**に掲載した図**70-1**を以下に再掲します。ここでは、トーチ設定条件と重ねすみ肉継手による溶接姿勢の関係を示しています。この図を参照しながら、むやみにめっき層に熱を掛けないようにするにはどうしたらよいか？トーチ設定上の考え方を示しています。なお、**第71話**の解説も併せ参考にして下さい。

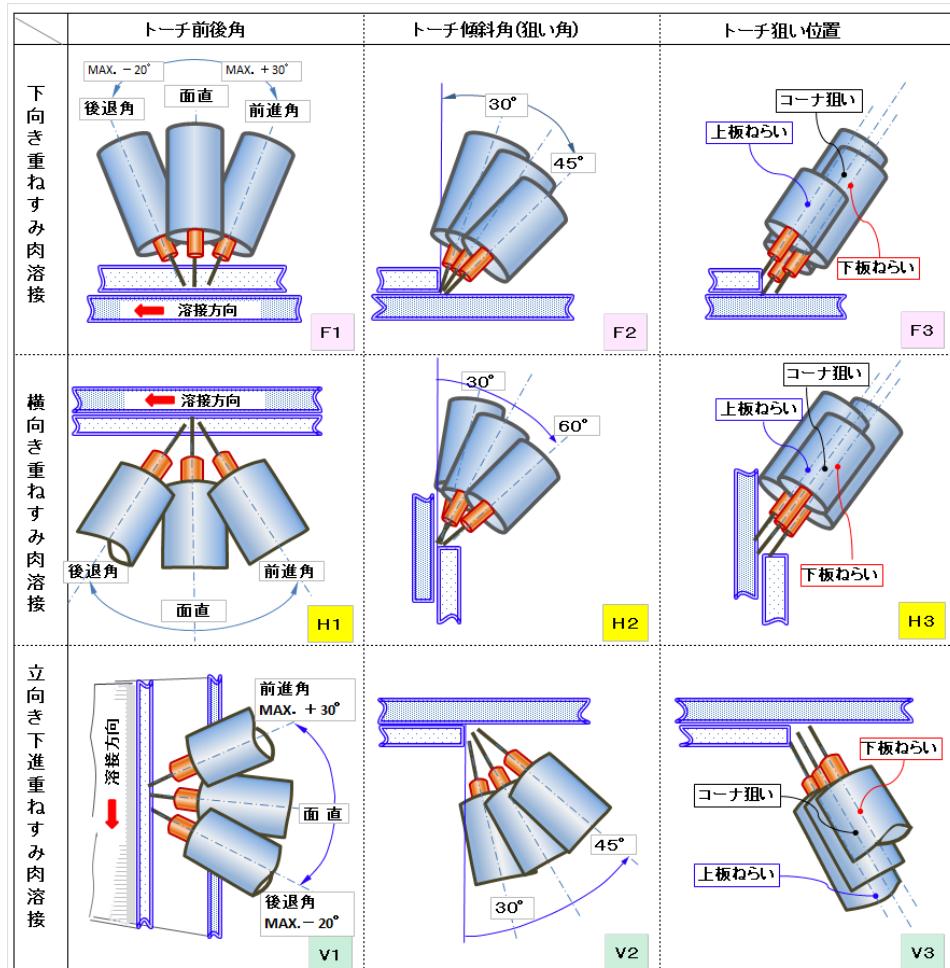


図 70-1 亜鉛メッキ鋼板重ねすみ肉溶接の溶接姿勢とトーチ設定における考え方

1-(2) 溶接姿勢毎のトーチ設定における考え方

- ① トーチ前後角 (F1, H1) . . . 過度の前進角はメッキ層を溶かし過ぎ、追随する溶融池にプローホールをもたらす供給源となる。
- ② 立向下進時の前後角 (V1) . . . この場合の前進角は文字通り亜鉛蒸気を作り、その蒸気が“天”的方向に舞い上がり、溶融池がキャッチするためプローホール源となり易い。
- ③ トーチ傾斜角 (F2, H2, V2) . . . 繼手部直立線より 30 度と 45 度を比較すると、30 度の方が良好。
- ④ トーチ狙い位置 (F3) . . . 上板ねらいは避けること。下板狙いが好都合。
- ⑤ トーチ狙い位置 (H3) . . . この場合は下板ねらいを避けること。コーナ狙いが好都合。
- ⑥ トーチ狙い位置 (V3) . . . この場合は上板ねらいを避けること。コーナ狙い/下板狙いの方向が良好。

なお、シールドガス中の炭酸ガス濃度の影響について表**274-1**で比較されているが、適用する溶接ワイヤ中のとくに Si 量の影響を無視できない。Si 量が高いと折角の酸素成分の高いガスを使用しても、Si の酸化に費やされ、Zn の酸化が遅れる場合があります。また、同じ酸素成分でも CO₂による場合と O₂による場合では O₂による方が、はるかに酸化効果が大きい。よって三元系ガス (Ar+CO₂+O₂) が亜鉛めっき鋼板の溶接には好んで適用されている所以です。

次に、講座の第2回に移ります。

連載講座 第2回 亜鉛めっき鋼板の溶接^{*2)} 電流波形制御による気孔の抑制効果
恵良 哲生 (株)ダイヘン溶接機事業部 溶接技術誌 2013年10月号 P111~114

- 1 はじめに
- 2 電流波形制御による気孔の抑制効果
- 3 ワイヤ送給同期式低周波重畠パルスマグ溶接法
- 4 おわりに
- 2.1 低周波パルス溶接法の原理
- 2.2 低周波パルスマグ溶接法による気孔の抑制
- 3.1 ワイヤ送給制御の性能向上
- 3.2 開発法の原理
- 3.3 溶融池表面におけるアーク現象の観察
- 3.4 適用効果例

電流波形制御による気孔の抑制効果として、低周波パルス溶接法と、さらに抑制効果を高めるためワイヤ送給制御を運動させた新低周波重畠パルスマグ溶接法が開発され、その適用事例が報告されている。本話では、これらの二つの気孔の抑制効果法について紹介します。

2-(1) 低周波パルス溶接法の原理

はじめは、基本的な低周波パルス溶接法であり、図274-1に低周波パルス溶接法の電流波形例を示す。

上段は一般的なパルス波形であるが、説明のため簡単な矩形波パルスと示してある。下段が低周波パルス溶接におけるパルス波形を示しており、高いパルスピーク電流を通電するHigh区間と、低いパルスピーク電流を通電するLow区間を低周波で周期的に変化させているのが特徴である。

図274-2には低周波パルス溶接法の原理図を示す。High区間では高いピーク電流を通電することで溶融池表面に高いアーク力がかかり、それにともない溶融池表面を押し広げる力がかかる。Low区間では逆にアーク力が相対的に下がり、溶融池表面を押し広げる力が弱くなる。本溶接法は、電流波形制御によってHigh区間とLow区間を周期的に繰り返すことでアーク力を周期的に変化させ、溶融池表面を揺らして溶融池を振動させ、溶融池内部に発生した気孔を、溶融池外に吐き出す効果を期待することができる。

2-(2) 低周波パルスマグ溶接法による気孔の抑制

アルミニウムとその合金に適用された低周波パルスマグ溶接法では、アーク力を変化させるためにアーク長を変化させているが、鉄鋼材料に対する気孔欠陥の低減効果は認められなかった、としている。

そこで、薄鋼板の低周波パルス溶接法においては、アーク長の変化を極力抑えつつ、アーク力を周期的に変化させることが可能な溶接電源とパルス波形が検討された。この研究では、アーク長を一定にするためにワイヤ送給速度をできるかぎり一定にする。また、1パルス1溶滴移行が規則的に行うことができるパルス波形を選択した場合について報告している。

板厚2.0mm、Zn目付45g/m²、シールドガスAr+6%O₂、溶接ワイヤYGW171.2Φ、220A・20V・100cm/minの各条件のもとで、パルス条件切替え周波数30Hzを中心に、著しいブローホールの低減効果が見られた、との報告がある。

なお、筆者も1990年代半ばに実際に低周波パルスマグ溶接法の亜鉛めっき鋼板の重ねすみ肉継手による高速溶接にチャレンジしましたが、気孔低減効果は見られませんでした。気孔の抑制には少々のアーク力の強弱では溶接速度との関係において対応に限界があると、当時は考えた次第です。

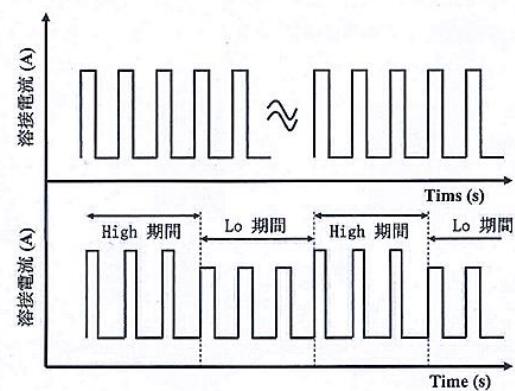


図274-1 低周波パルス溶接法の電流波形例

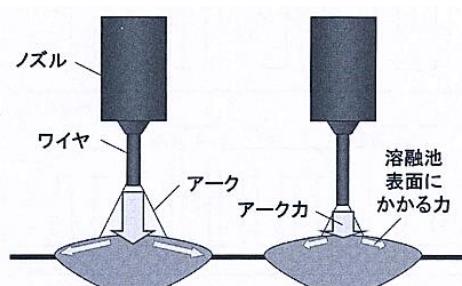


図274-2 低周波パルス溶接法の原理図

2-(3) ワイヤ送給同期式低周波重畠パルスマグ溶接法

2010年以降になるとワイヤ送給制御の性能が促進され、モータの特性を最大限発揮できるようになった。これにより定速送給時の安定性や過渡応答性も改善し、一般的な溶接電源に搭載されている直流モータを5Hz程度まで周期的に変化せることが可能になった。

2-(4) 開発法の原理

図274-3に開発法の原理図を示す。

従来法(図中a)は低周波パルスマグ溶接法であり、パルス条件のHigh, Lowの切り替えとともに出力設定を切り替えることでアーク長の変化を作り出していた。こ

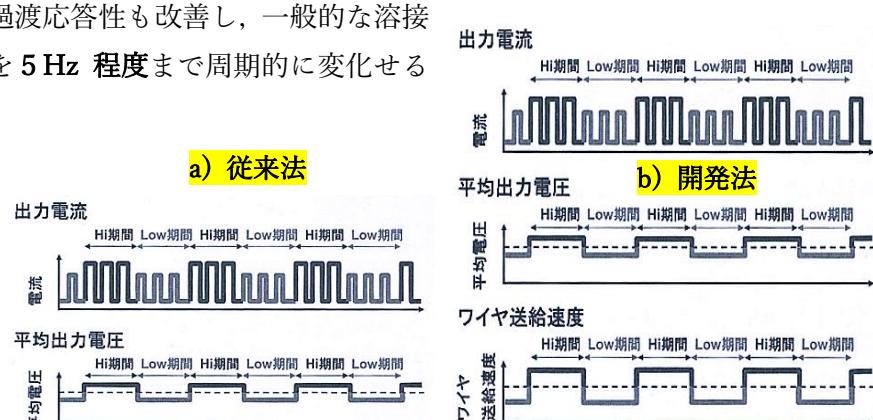


図274-3 ワイヤ送給同期式低周波重畠パルスマグ溶接法の原理図

れにより、アーク長を大きく変化させようとするとHigh期間ではアーク長が伸びやすく、またLow期間では短絡が発生してスパッタが発生するとともに、溶接が不安定になりやすかった。そこで、図中b)に示すように、ワイヤ送給速度をHigh期間では速くし、Low期間では遅くすることで、従来法より安定してアーク長を大きく変化させることが可能になった。

2-(5) 溶融池表面におけるアーク現象の観察

図274-4は、開発法を高速度ビデオカメラ映像により観察した結果を示す。また低周波重畠条件表は表274-2に示す通りである。表中のピーク電流値は二段パルス波形を採用したためです。なお、紙面の都合で図の説明を一部割愛させて頂いております。

図中上段の4つの画像をみるとa), c)ではHigh区間のためアーク力が強くスラグが溶融池後方に押し流され、b), d)ではLow区間でアークの広がりが狭くなっていることが観察できます。このことから溶融池を搅拌して気孔を吐き出す効果が期待できる、と記されている。

2-(6) 適用効果例

開発法の効果を確認するために、気孔が発生しやすい目付け量200g/m²の亜鉛めっき鋼板の溶接に適用した結果を図274-5に示す。板厚9mm、ギャップ0mmのT字隅肉としAr+20%CO₂, YGW15相当1.2Φソリッドワイヤ200A-25V-30cm/min低周波重畠周波数3Hz。裏面を先に溶接しガス抜けを悪くし比較し、気孔の有無を確認した。その結果、通常のパルスマグ溶接法では多数の気孔発生が認められたが、開発法では気孔発生がほとんど認められず、従来法と比べて明らかな気孔抑制効果を確認することができた。

表274-2 低周波重畠条件表

	High区間	Low区間
ワイヤ送給速度	9.2m/min	3.2m/min
平均出力電圧	33.5V	26.5V
ピーク電流	500A→460A	480A→440A
ベース電流	55A	40A

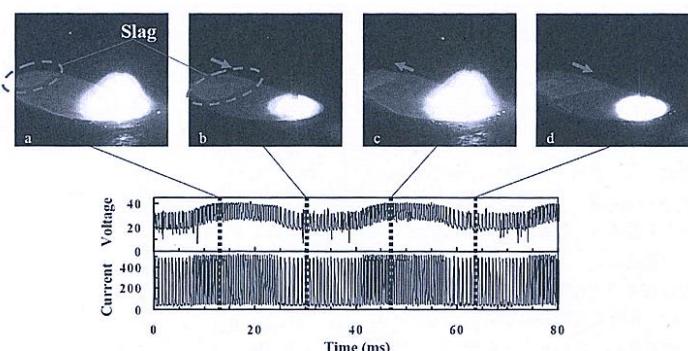


図274-4 ワイヤ送給同期式低周波重畠パルスマグ溶接法のアーク現象

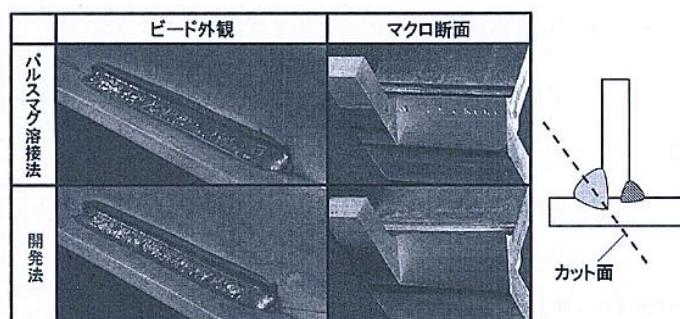


図274-5 ワイヤ送給同期式低周波重畠パルスマグ溶接法の適用効果例

次話では、連載講座 亜鉛めっき鋼板の溶接(第3回)の紹介をします。

以上。