

溶融亜鉛めっき材のプロジェクトン溶接による電極劣化およびめっきはがれ問題解決

下田 直紀

(株)向洋技研 技術部

1 はじめに

新型コロナウイルス感染症や世界情勢の変化等により、全世界で物価高騰に悩まされている。溶接業界においても影響は大きく、物価高騰にともない省人化やコストダウンに力を入れている企業が増えている。

その中で材料高騰にともなう対策として、現在使用している材料から、安価な材料に変更する動きが活発になっている。とくにステンレス材のような耐食性に優れた材料から、同様の耐食性に優れた溶融亜鉛めっき材等への変更を検討している企業から、スポット溶接に対する質問が多い。溶融亜鉛めっき材にスポット溶接を適用すると、溶接強度は問題ないが、電極の劣化が早く、電極交換またはチップドレスが頻繁に発生してしまう。さらに溶接後の外観のめっき層がはがれることにより、耐食性が落ちてしまい、それにより外観の修正作業が発生する。以上の問題を解決した溶接工法ならびに検証結果を紹介する。

2 溶融亜鉛めっき材とは

溶融亜鉛めっき材は、高温で溶かした亜鉛に鋼材を浸し、表面に亜鉛皮膜を形成した材料である。溶融亜鉛めっき材にはさまざまな種類があり、JIS (JIS G 3302 溶融亜鉛めっき鋼板および鋼帯) であるSGH材、SHC材やJIS (JIS G 3317 溶融亜鉛-5%アルミニウム合金めっき鋼板および鋼帯) であるSZAH材、SZAC材等がある。

さまざまな種類がある中で今回選定した材料がJIS (JIS G 3323 溶融亜鉛-アルミニウム-マグネシウム合金めっき鋼板および鋼帯) 高耐食溶融めっき鋼板であるSGMH材、SGMC材になる。選定した理由として①本材料に変更を検討している企業から相談が多い②他溶融亜鉛めっき材に比べ切断しても耐食性が損なわれない特

徴を持つためである。

3 溶融亜鉛めっきの溶接性問題

スポット溶接は図1に示したように、重ねた母材を電極で挟み、電流を集中させることで母材間に溶解部（以下、ナゲット）を生成し溶接する溶接工法となる。溶融亜鉛めっき材をスポット溶接すると電極の銅と亜鉛が反応し、電極に付着することで通電経路が拡大し、電流密度が低下する。電流密度が低下すると発熱量低下につながるため、連続溶接する場合は電流値や通電時間を上げる必要がある。溶接を繰り返すことで、電極の亜鉛付着量が増え、電極が劣化する。

外観についてはスポット溶接によってめっき層が蒸発し、加圧されることで外観のめっき層が押し出され、めっき層が薄くなり、めっき層がはがれることもあるため、耐食性が落ちる。

4 溶接実験内容

4.1 工法の選定

抵抗溶接に分類される重ね抵抗溶接はスポット溶接、プロジェクトン溶接、シーム溶接がある。電極が劣化

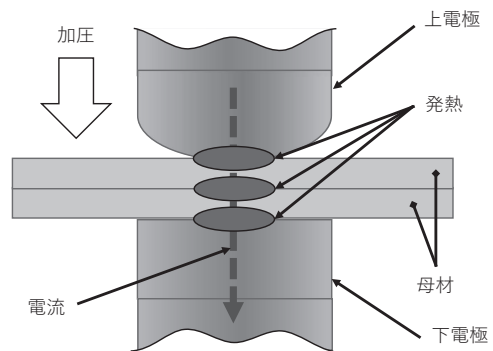


図1 スポット溶接の原理

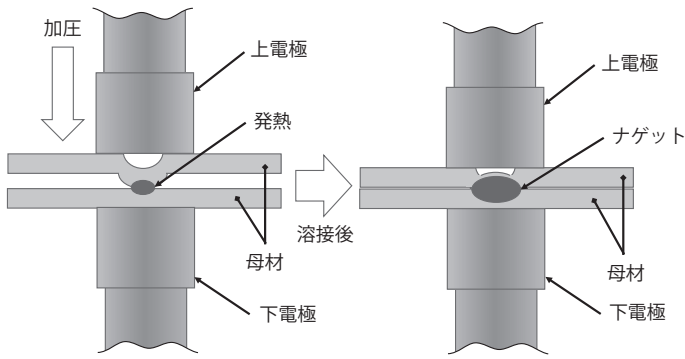


図2 プロジェクション溶接イメージ図

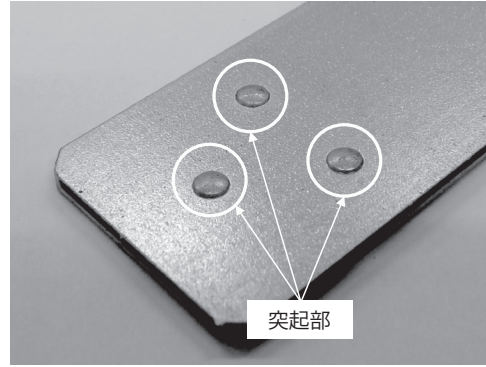


写真2 プロジェクション溶接例

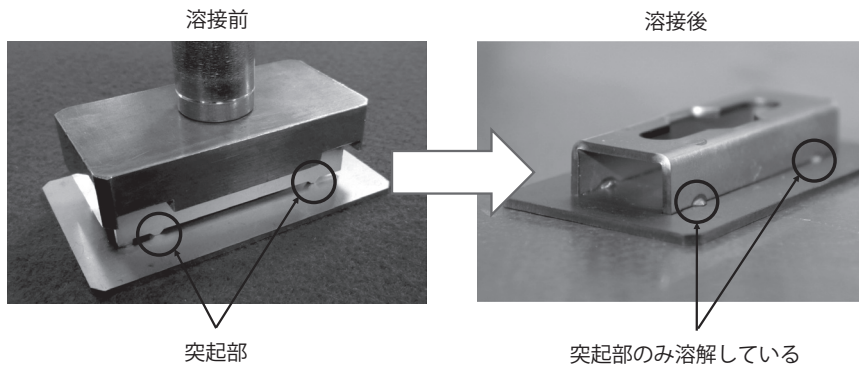


写真1 3点突起部形状（参考）

しにくい溶接方法として、プロジェクション溶接を選択した。プロジェクション溶接とは片側の母材に突起部を作成し、抵抗発熱を突起部のみに集中させる溶接工法になるため、電極と母材間では発熱量が少なく、電極への影響が極めて低くなる。溶融亜鉛めっきへの熱影響が少なくなることで、溶融亜鉛めっきの蒸発を最小限にすることが見込める。プロジェクション溶接のイメージ図を図2に示す。

プロジェクション溶接には利点があり、一度に複数の突起部に電流を流すことで同時に溶接が可能である。溶接例を写真1に示す。この溶接工法を使用することで、板厚の厚い母材であっても溶接を安定させることが可能となる。

4.2 突起部と板厚の選定

プロジェクション溶接は突起部に大電流を流すことで突起部を溶かすことから、突起部の径と同じナゲットが形成される。溶接強度は板厚に相当する強度を要求されるため、板厚に合わせた突起形状を選定する必要がある。プロジェクション溶接は、一度に複数の突起部を同時に溶接できるが、同時に行うと電流が分散する。そのため、突起部の数に応じて電流値を設定する必要がある。今回は突起部を3点とし、1点に対する電流値を分

散させ、母材に対する熱影響を軽減する。さらに突起部が3点のため、平衡が保ちやすく溶接が安定する。突起部形状を写真2に示す。

次に板厚に対して $t2.0\text{mm}$ を選定。理由としてスポット溶接では板厚が厚くなると電流値を高く、通電時間を長く設定する必要がある。つまり溶融亜鉛めっき材の厚板を溶接すると発熱量が上がり、亜鉛付着量が増えることで電極の劣化が早くなる。電極の劣化軽減を目的としているため、厚板溶接にて実験を行い、電極の劣化が軽減できるか確認を行う。

溶接強度基準はJIS (JIS Z 3140 スポット溶接部の検査方法および判定基準) に規定されている $t2.0\text{mm}$ に対するA級ナゲット径 7.1mm を基準に考えた際、今回はナゲット面積を3分割に相当する直径 3mm の突起部形状とした。

5 溶接実験

5.1 実験目標設定

実験を行う上で目標を以下の条件に設定した。

- (1) ナゲット径 2.9mm 以上
- (2) 母材間の隙間（以下、シートセパレーション） 0.1mm 以下

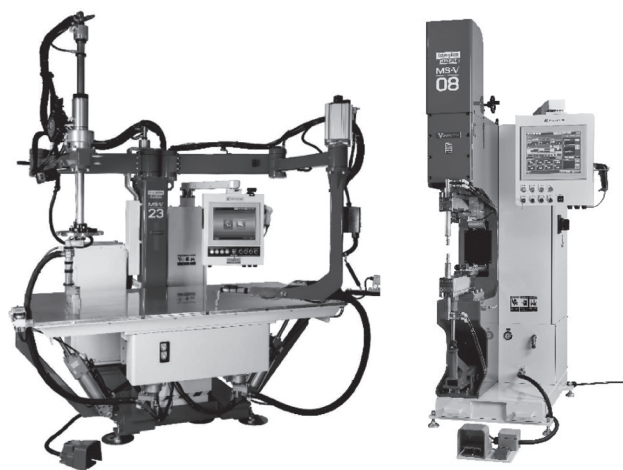
- (3) 溶接個所が母材部で破断（以下、プラグ破断）
 - (4) 中散りなし（中散りとは過熱されて溶解飛散する現象）
 - (5) 電極劣化の軽減
 - (6) 外観の溶融亜鉛めっきはがれ軽減
 - (7) 熱影響を考慮し、可能な限り短い溶接条件
- 上記目標を達成できる溶接条件を作成する。

5.2 溶接機の選定

写真3に示すインバータ溶接機（10kHz）を使用した（主に定置型を使用）。本溶接機は0.1msec単位の通電時間で制御が可能であるため、溶接条件を細かく設定できる特徴がある。

5.3 電流値を変動させた溶接性変化

電流にのみ焦点を当て、溶接性変化の確認を実施。接合面の溶融亜鉛めっきを蒸発させ、ナゲットが形成される電流値を調査する。溶接時間（5 msec）および加圧



テーブル型 定置型
写真3 インバータ溶接機（10kHz）

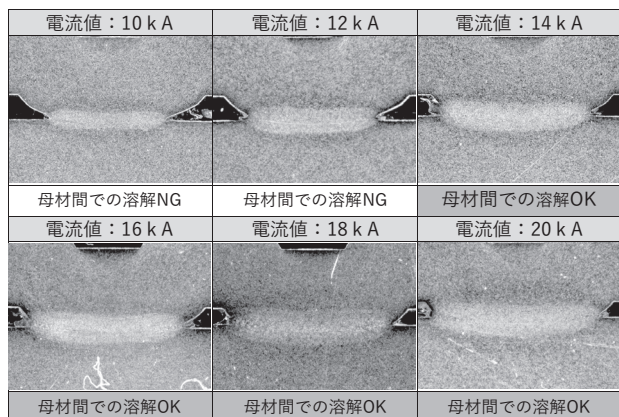


図3 電流値による溶接性の変化

力（3.8kN）を一定にし、電流値のみを変化させて溶接実験を実施。図3に示したように実験結果から電流値：14kA以降から溶融亜鉛めっきが蒸発し、ナゲットが形成され始めた。

5.4 通電時間を変動させた溶接性変化

通電時間を2.5～13msecまで変化させ、溶接性に影響があるか確認を実施。実験結果を図4に示す。実験結果からナゲット径が2.7mmを超えたところから中散りが発生し始めることがわかる。中散りが発生すると中散りが母材間で溶解することで通電経路が拡大し、ナゲットの成長が止まる。よって、溶接強度が落ちる原因につながる。

中散りが発生しないナゲット径の2.7mm以下の条件にすることで、ナゲットを安定して生成することが可能になる。しかし、突起部は3mmのため、中散りが発生しない2.7mm以下の場合、突起部の0.3mm以上がつぶれきれていない。そのため、シートセパレーションが発生することを意味する。シートセパレーションが発生すると、後工程の組立て精度等にも影響が出る。

5.5 通電時間および電流値を変動させた溶接性変化

中散りを発生させずにナゲットを成長させるために第1通電、第2通電の電流値および通電時間を変更することで、中散りおよびナゲット径に対する影響を確認する。各設定パラメータの役割を図5（次ページ）に示す。溶接条件のパラメータを調整する上で2パターンの実験を実施。パターン1：第1通電の電流値を低く、第2通電の電流値を高くする。パターン2：第1通電の電流値を高く、第2通電の電流値を低くする。それぞれのパターンによる溶接状態の変化を確認。実験で使用した溶

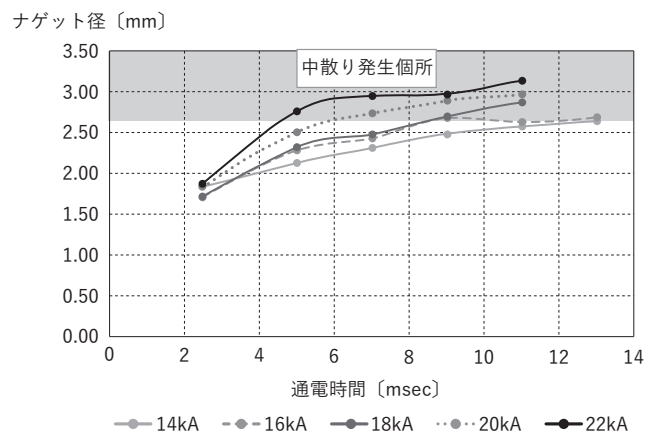


図4 通電時間による溶接性の変化および中散り限界

接条件による電流波形を図6に示す。

パターン1はナゲット径が2.4mmとなり、中心部分は母材同士の溶解が見られない。つまり第1通電時にできたナゲット径から変化量が少ない。そのため、第1通電で必要なナゲット径付近まで確保する必要がある。以上の傾向からパターン2の実験を行ったところ、中散りの発生もなく、ナゲット径は2.9mmを超える結果となった。ナゲット径が2.9mm以上になったことで、シートセパレーションも目標値である0.1mm以下にす

ることができた。さらに突起部に対し、プラグ破断を確認。以上の結果から、パターン2の第1通電で中散りが出ない程度の大電流を流した後に、第2通電で電流値を少し下げることの中散りの発生をなくし、ナゲットを成長させることができる。溶接後の断面マクロを図7に示す。

5.6 連続溶接による母材への影響および電極確認

上記の溶接条件にて溶接を100回行った際の母材外観影響と、電極状態を確認した。外観写真を図8(次ページ)に示す。母材外観はめっき層のはがれが見受けられるが、すべてのめっきがはがれておらず、微量だが付着している。上電極に対してはめっきが付着していることがわかるが、溶接後の電極と母材の溶着はなく、溶接強度もすべてのサンプルで同じナゲット径になっていることを確認。よって少々めっきが電極に付着した程度では、溶接強度に影響がない。どの程度のめっきが蒸発しはがれているのか確認するため、断面マクロにて溶融垂

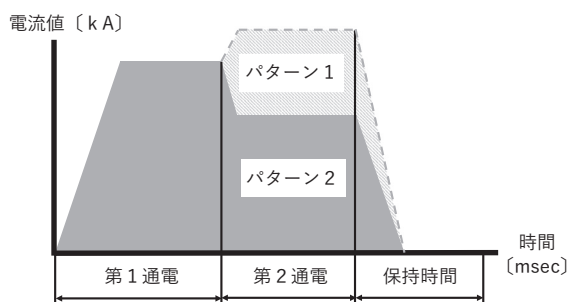
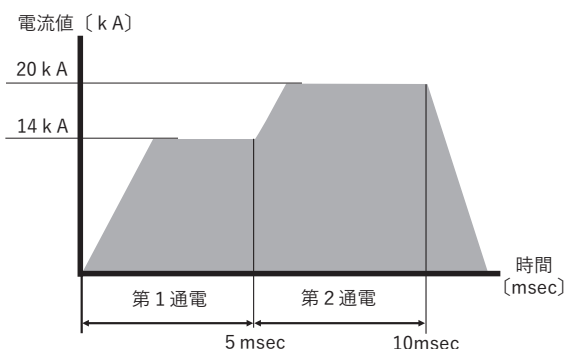
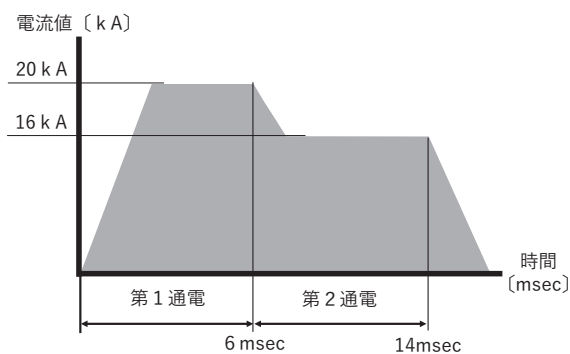


図5 インバータ溶接機(10kHz)による電流波形

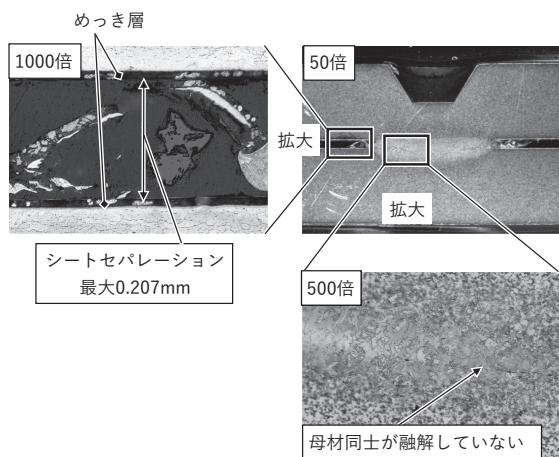


パターン1 溶接条件

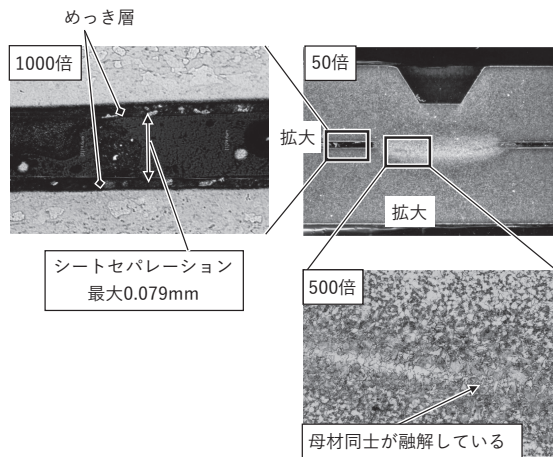


パターン2 溶接条件

図6 パターン1, パターン2溶接条件電流波形



パターン1 断面マクロ



パターン2 断面マクロ

図7 パターン1, パターン2断面マクロ

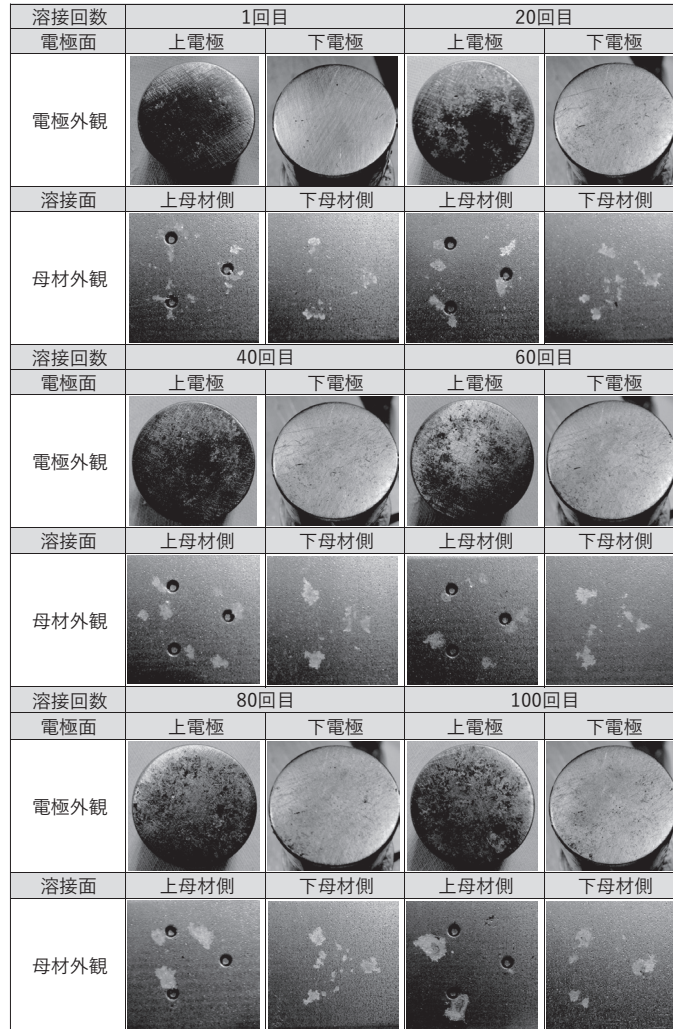


図8 溶接後外観及び電極状態

鉛めっきの膜厚を確認した結果を、図9に示す。上母材面及び下母材面のめっき層は残っているため、外観面に対する耐食性は落ちていないと判断する。

6 おわりに

今回はインバータ溶接機（10kHz）を使用した溶融亜鉛めっき材のプロジェクション溶接工法を紹介した。溶接強度の安定化，見栄え向上，電極の劣化を大幅に軽減可能になる。また，通常のスポット溶接と比較して溶接時のヒュームの飛散を低減できる。

参考文献

- 1) JIS (JIS G 3302溶融亜鉛めっき鋼板および鋼帯)
- 2) JIS (JIS G 3317溶融亜鉛-5%アルミニウム合金めっき鋼板および鋼帯)
- 3) JIS (JIS G 3323溶融亜鉛-アルミニウム-マグネシウム合金めっき鋼板および鋼帯)
- 4) JIS (JIS Z 3140スポット溶接部の検査方法及び判定基準)
- 5) 一般社団法人 日本溶融亜鉛鍍金協会

溶接回数	1回目	20回目	40回目
最小めっき層	3.1 μm	3.6 μm	12.3 μm
上母材めっき膜厚			
最小めっき層	5.8 μm	4.3 μm	7.9 μm
下母材めっき膜厚			
溶接回数	60回目	80回目	100回目
最小めっき層	3.4 μm	2.8 μm	2.9 μm
上母材めっき膜厚			
最小めっき層	4.6 μm	7.7 μm	4.0 μm
下母材めっき膜厚			

図9 溶接後の溶融亜鉛めっき膜厚変化