

# 合金化溶融亜鉛めっき鋼とアルミニウム合金の摩擦アンカー接合における界面反応に関する考察

坂村 勝, 松葉 朗, 大田 耕平, 船木 開<sup>\*1</sup>, 青木 祥宏<sup>\*2</sup>, 藤井 英俊<sup>\*2</sup>

## Study on Interface Reaction of Friction Anchor Welds between Galvannealed Steel and Aluminum Alloy

SAKAMURA Masaru, MATSUBA Akira, OTA Kohei, FUNAKI Kai<sup>\*1</sup>, AOKI Yasuhiro<sup>\*2</sup> and FUJII Hidetoshi<sup>\*2</sup>

摩擦アンカー接合をアルミニウム合金と合金化溶融亜鉛めっき鋼 (GA 鋼) に適用すると, GA めっき層とアルミニウム合金の界面反応に起因する大量の Fe-Al 系金属間化合物の生成によって十分な接合強度が得られないという問題がある。本研究では, A5052 と GA 鋼の摩擦アンカー接合において接合ツールの回転速度を小さくすることで, 接合時に問題となっている GA めっき層とアルミニウム合金の界面反応を抑制することができるかを検証した。その結果, 回転速度を 100rpm にまで低減することで界面反応を抑制できることが分かった。

キーワード: 摩擦アンカー接合, 亜鉛めっき鋼 (GA 鋼), アルミニウム合金, 摩擦攪拌接合

### 1. 緒 言

筆者らは軟質金属と硬質金属の重ね点接合の手法として, 先端が球面の接合ツールを用いる接合方法を考案し (以下, 摩擦アンカー接合<sup>1)</sup>と称す), これまでアルミニウム合金等非鉄金属と鋼の接合<sup>2-5)</sup>に適用して, 特に本接合法で得られた継手の十字引張強度 (引き剥がし強度) が高いことを報告してきた。しかし, 本手法をアルミニウム合金と合金化溶融亜鉛めっき鋼 (GA 鋼) の重ね継手に適用した際に, 以下の現象が発生し十分な継手強度が得られないことが判明した<sup>6)</sup>。①めっきなし鋼

(SPCC) とアルミニウム合金 A5052 の場合に比し鋼突起は高さが低くなり, ひだ形状を呈する。②鋼突起の周辺に多量の化合物層が存在する (図 1 参照)。これらの原因は, GA めっき層とアルミニウムの直接接合の際の界面反応であると考えている。一方, 宮本ら<sup>7)</sup>は GA 鋼とアルミニウム合金の拡散接合実験を行い, 接合温度 450℃以上で瞬時に界面反応が起こることを明らかにしている。そこで本研究では, 接合時の回転速度を小さくし, 接合界面の温度を低温化することで界面反応を抑制できるのかについて明らかにすることを目的とした。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試材料及び接合方法

供試材としては, 厚さ 1.0mm のアルミニウム合金 A5052 (以下 A5052 とする) と厚さ 1.2mm の合金化溶融亜鉛めっき鋼 (めっき厚さ 8 μm, 引張強度 330MPa, 以下 GA 鋼とする) を用い, 形状は 30mm×80mm とした。そして, 上側に A5052, 下側に SPCC, 重ね代を 30mm とし, 先端に窒化珪素球を埋め込んだ接合ツールを用いて, 最大垂直荷重 50kN の位置制御型摩擦攪拌接合装置で接合した。接合ツールは, 図 2 に示すように, 先端の球径が φ 12.7mm で鋼製ホルダーからの突出量は 5mm とした。また接合条件は, 狙いツール押込量 1.5mm, 押込速度 0.1mm/s とし, ツール回転速度を 1000rpm から 100rpm で変化させ, シールドガスは用いなかった。

#### 2.2 接合材の断面評価

得られた接合材の実際のツール押込量をレーザ変位計で測定した後, 切断及び研磨を行って接合材の断面観察

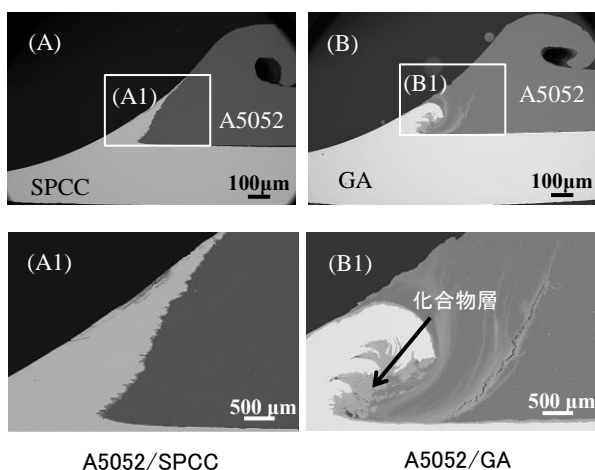


図 1 A5052/SPCC 及び A5052/GA 接合材の断面 SEM 写真

2019. 6. 30 受理 加工技術研究部

\*1 東芝マテリアル株式会社

\*2 大阪大学接合科学研究所

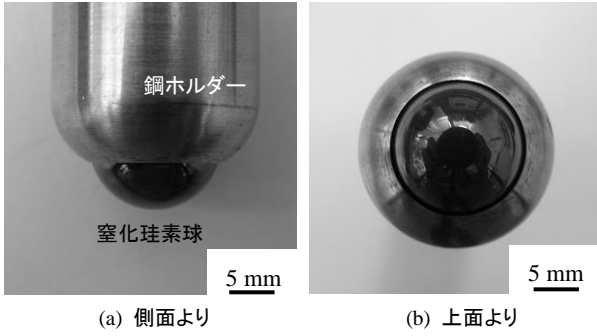


図2 摩擦アンカー接合用ツール外観

を行った。なお、観察は日本電子(株)製走査型電子顕微鏡 JSM-6010LA(エネルギー分散型X線分析(EDS)装置付属)を用いて行った。

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 接合材の外観及び押込量

図3に接合後の外観写真を示す。回転速度 1000rpm と 800rpm では接合が可能であったが、600rpm 以下では接合出来なかった。また、600rpm, 400rpm, 200rpm では A5052 に貫通穴が形成されたのに対し、100rpm では貫通穴は形成されなかった。図4にレーザ変位計で測定した、実際のツール押込量を示す。接合が可能であった 1000rpm, 800rpm では狙い押込量 1.5mm に達しているのに対し、600rpm 以下では狙い押込量まで接合ツールが達しておらず、100rpm では GA 鋼側に 0.1mm 程度しか押し込めて

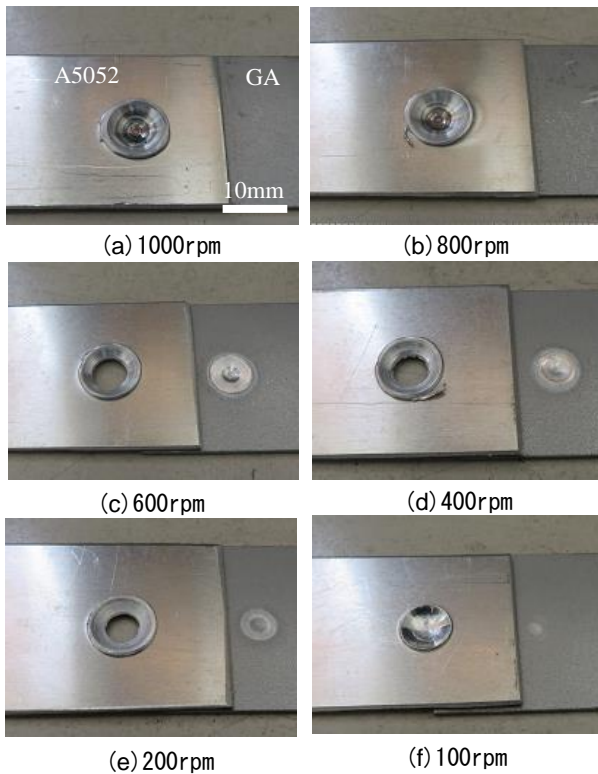


図3 各回転速度の A5052/GA 接合材外観写真

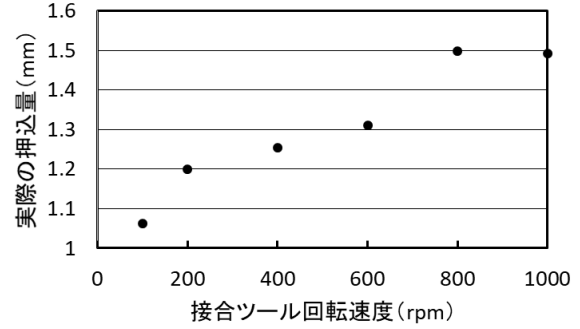


図4 ツール回転速度とツール押込量の関係

いないことが分かる。100rpm のみ貫通穴が形成されなかったのは、ツール押込量が極めて小さかったことに起因するものと考えられる。また、狙い押込量まで接合ツールを押し込めなかったのは、GA 鋼が十分に軟化していなかったため、ツール押し込み方向 (Z 方向) の変位の一部分が治具等の変形に費やされるという位置制御装置の特徴に起因していると推察している。仮に 50kN の荷重が GA 鋼に付与されたと仮定すると、設定押込量まで接合ツールを押し込めることは簡単な計算で確認でき、この確認から前述の推察に至っている。

#### 3.2 接合材の断面

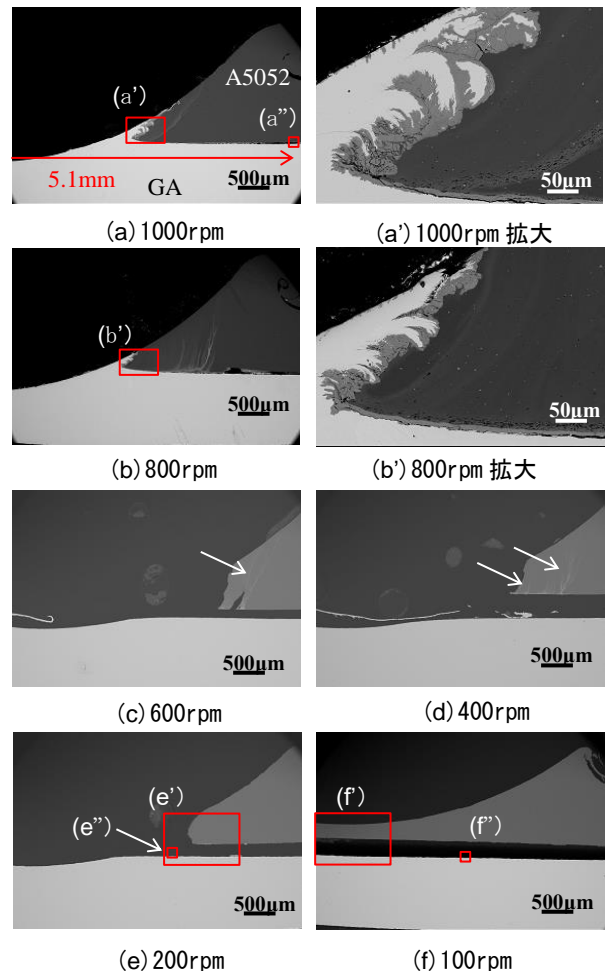


図5 各回転速度の A5052/GA 接合材断面 SEM 反射電子像

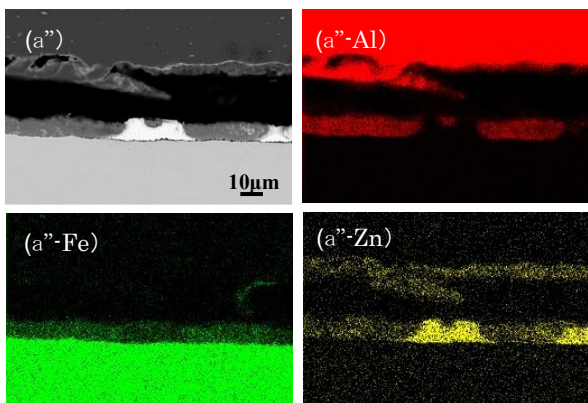


図6 1000rpm の A5052/GA 接合材断面 SEM 反射電子像及び面分析結果

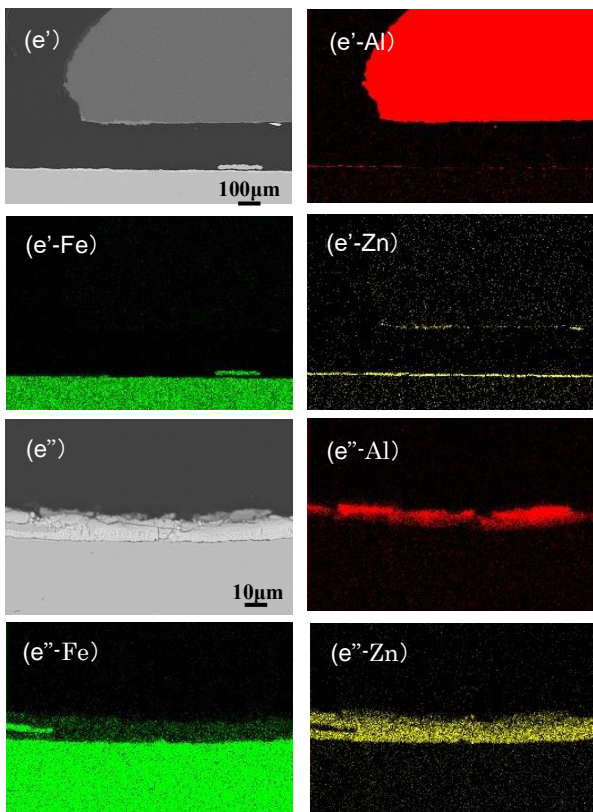


図7 200rpm の A5052/GA 接合材断面 SEM 反射電子像及び面分析結果

図5に接合材の断面 SEM 反射電子像写真を示す。回転速度 1000rpm, 800rpm ではひだ状の鋼突起が形成されている。600~200rpm では鋼突起は形成されず, A5052 が欠損している。600rpm と 400rpm の写真を見ると, 矢印で示す位置に白色の筋が認められ, EDS による分析の結果, この筋は Zn であることが分かった。したがって, A5052 中に Zn が流入し Zn-Al 共晶液相化によって A5052 の欠損が発生しているものと推察される。また, 100rpm では接合ツールが上板の A5052 を貫通していないことが分かる。

図6~8には接合材の断面 SEM 写真及び面分析結果を示す。なお, 観察位置は図5中に□で示した位置であり,

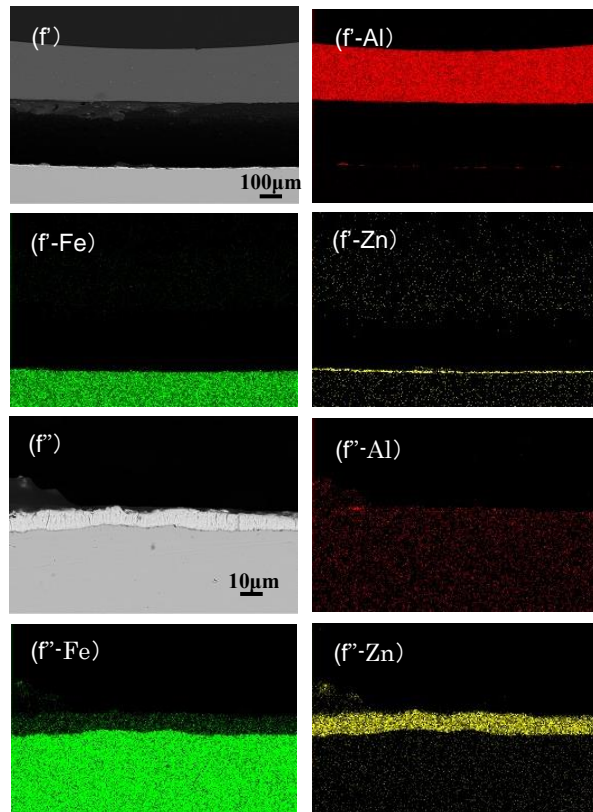


図8 100rpm の A5052/GA 接合材断面 SEM 反射電子像及び面分析結果

同じ記号 ( a' ) , ( f' ) 等) を用いて表現している。図6に示すように, 回転速度 1000rpm では接合ツール押込み中心部から約 5.1mm の外周位置においても GA めっき層中に Al が流入し, A5052 中に Zn が流入する現象が認められる。また, 回転速度 200rpm でも, 図7 ( e' - Al ) に示すように, GA めっき層中への Al の流入, 及び図7 ( e' - Zn ) に示すように, A5052 中への Zn の流入が認められる。一方, 回転速度 100rpm では, 図8に示すように, GA めっき層中への Al の流入及び A5052 中への Zn の流入は認められなかった。宮本らの GA 鋼とアルミニウム合金の拡散接合実験結果では 450°C 以上で GA めっき層とアルミニウム合金の界面反応が起こると報告している<sup>7)</sup>。このことから, GA めっき層と A5052 の界面の温度は, 回転速度 100rpm では 450°C に達しておらず, 200rpm 以上では 450°C 以上になっていたものと推察される。

以上の結果から, 回転速度を 100rpm まで低減すると, 今回の実験では下板の GA 鋼を塑性流動させることはできなかったものの, GA めっき層とアルミニウム合金の界面反応を抑制できることが分かった。

#### 4. 結 言

本研究では, GA 鋼と A5052 の摩擦アンカー接合において接合ツールの回転速度を小さくすることで, 接合時に問題となっている GA めっき層とアルミニウム合金の界

面反応を抑制することができるかを検証した。その結果、回転速度を 100rpm にまで低減することで界面反応を抑制できることが分かった。

本研究は大阪大学接合科学研究所共同研究員制度を利用して行いました。

## 文 献

- 1) 大石郁, 坂村勝, 竹保義博: 日本国特許第5854451号.
- 2) 大石郁ほか3名: 溶接学会論文集, **32**(1), 1 (2014).
- 3) 坂村勝ほか5名: 軽金属溶接, **52**(12), 453 (2014).
- 4) 坂村勝ほか4名: 溶接学会論文集, **34**(2), 123 (2016).
- 5) 大石郁ほか4名: 広島県立総合技術研究所西部工業技術センター研究報告, **59**, 21 (2016).
- 6) 坂村勝ほか5名: 溶接学会論文集, **34**(1), 8 (2016).
- 7) 宮本健二ほか8名: 溶接学会論文集, **32**(1), 15 (2014).