

10 摩擦アンカー接合によって得られたアルミ合金/鋼/鋼三枚重ね異材接合継手の塑性流動に関する調査

大田耕平, 坂村 勝*, 大石 郁

Examination of plastic flow of Al Alloy/Steel/ Steel joint produced by friction anchor joining

OTA Kohei, SAKAMURA Masaru* and OHISHI Kaoru

The Friction Anchor Joining(FAJ) have been developed for joining steel and aluminum alloy. In this method, the phenomenon of plastic flow is different from ordinary friction stir spot joining because of using a tool with a spherical ceramic tip. This study investigated development of the stir zone during friction anchor joining and influence of plunged depth of tool.

キーワード：摩擦アンカー接合, 摩擦攪拌接合, 異材接合, 鋼板, アルミニウム合金

1 緒 言

近年, 自動車軽量化を目的として, アルミニウム合金と鋼からなるハイブリッド構造部材が, ドアやルーフなどのボディ部材に数多く適用されている。従来, 自動車車体を構成する部材の接合は, 抵抗スポット溶接, リベット接合などで行われてきたが, アルミニウム合金は熔融溶接が困難であるため, 部材を溶かすことなく部材の塑性流動を利用した摩擦攪拌点接合が注目されている。摩擦攪拌点接合の優れた特徴として, 接合コストや汎用性, 作業環境性の良さが挙げられる。一方, 課題として, ツールの耐久性の問題や, 接合時の品質管理手法が確立されていないことが挙げられる。

著者らは, ツールの耐久性向上を目的とし, 図1に示すプローブ部にセラミックス製の球体を用いた接合ツールを開発した。また, 開発したツールを用いて, 上板がアルミニウム, 下板が鋼となる異材継手において, ツールを回転させながら下板の鋼まで押し込み, 鋼からなる突起を形成させ, 上板のアルミをかしめる形で接合する手法を“摩擦アンカー接合”として提案している。

1), 2)

これまで, 摩擦アンカー接合によって得られた継手の機械的性質について, 様々な検討を行ってきた

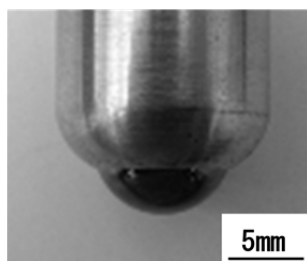


図1 接合ツール外観

*東部工業技術センター

が, 接合時の塑性流動については未だ不明な部分が多い。摩擦アンカー接合では, 塑性流動によって形成された鋼の突起形状が, 接合強度と大きな相関を持つことから, 塑性流動を把握し鋼の突起形状を制御することができれば, 強度的により安定した接合が可能になる。

本研究では, アルミ/鋼/鋼からなる三枚重ね異材接合継手において, EBSP (Electron Backscattered Diffraction Pattern) 解析を用いて, 接合部の結晶粒径と塑性流動が起きる領域が, ツール押込量によってどのように変化しているのか調査した。

2 実験方法

2.1 接合方法・条件

実験概略図を図2に示す。供試材は自動車車体に広く用いられているアルミニウム合金 (A5052) と冷間圧延鋼板 (SPCC) を用いた。供試材寸法は, 最上部の A5052 が長さ 110mm, 幅 80mm, 厚さ 1mm, 中間部の SPCC は長さ

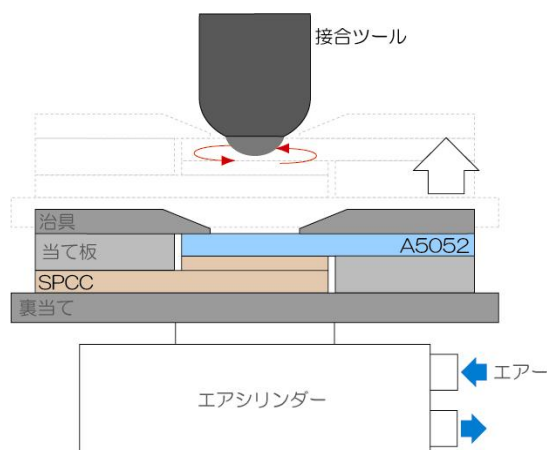


図2 実験概略図

110mm, 幅 40mm, 厚さ 0.6mm, 最下部の SPCC は長さ 110mm, 幅 80mm, 厚さ 1mm のものを用いた。供試材を上から A5052, SPCC, SPCC の順に重ねて固定し, エアシリンダを使用してテーブルごと上昇させ, 回転するツールに押し当てることで接合を行った。ツールはプローブ球の球径が $\phi 12.7\text{mm}$, 突出し量が 5mm のものを用いた。接合条件はツール回転数 1500rpm, 接合時間 2.5 秒とし, ツール押込量は 1.4mm, 2.0mm, 2.4mm の 3 条件で接合を行った。

2.2 EBSP 解析箇所

摩擦アンカー接合によって得られた三枚重ね継手のサンプル写真を図 3 に, ツール押込量 1.4mm で得られたサンプル接合部の断面写真を図 4 に, 図 4 中の鋼の突起周辺部 (□領域) を拡大した写真を図 5 に示す。図 5 中に示す領域 A (突起周辺部), B (ツール直下部), C (母材部) の部分で EBSP 解析を行った。各領域の解析範囲は $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ とした。なお, ツール押込量を 2.0mm, 2.4mm として得られたサンプルについても, 同様の領域で EBSP 解析を行った。

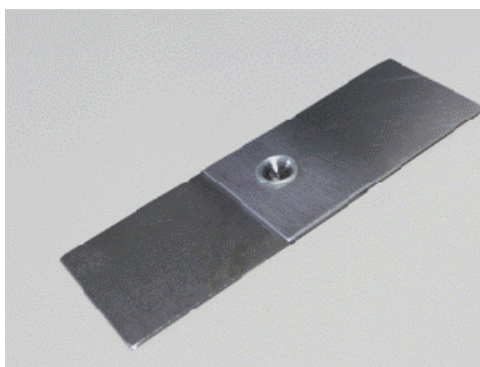


図 3 接合サンプル外観 (ツール押込量 1.4mm)

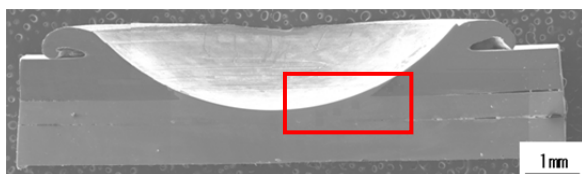


図 4 接合部断面写真 (ツール押込量 1.4mm)

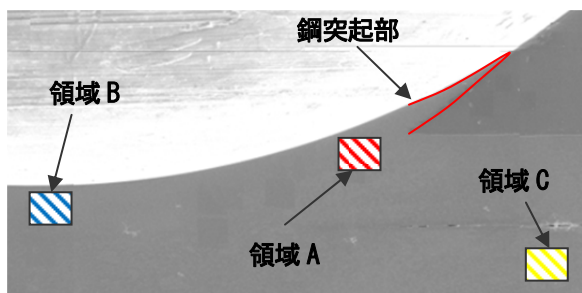


図 5 突起部拡大写真

3 結果

3.1 EBSP 解析結果

図 6 にツール押込量 1.4mm, 2.0mm, 2.4mm の接合サンプルで領域 A, B, C を EBSP 解析によって得られた結晶方位マップを示す。領域 C は母材部であり, 塑性流動が起こっていないため, 領域 C の結晶粒と比較して微細化された結晶粒からなる領域であるならば, 塑性流動が起きたと判断した。

ツール押込量と塑性流動範囲の関係について, 領域 A では, 押込量 1.4mm と 2.0mm の場合, 塑性流動によって結晶粒が微細化した部位が見られるのに対して, 押込量が 2.4mm の場合は母材部と同等の結晶粒径となっていることがわかる。これはツールを深く押し込むことでツールと被接合材の接触領域が広がり, 摩擦による発熱量の増加によって再結晶し, 粒成長によって粒径が母材と同等になったと考えられる。

領域 B ではツール押込量によらず, 全域で結晶粒は微細化しているが, 結晶粒の平均粒径はツール押込量によって異なり, 押込量 1.4mm と 2.0mm の場合で約 $3.5\mu\text{m}$, 押込量 2.4mm の場合で $8.0\mu\text{m}$ となり, 押込量を増やすと, 結晶粒径が大きくなるという結果になった。この現象については現在調査中である。

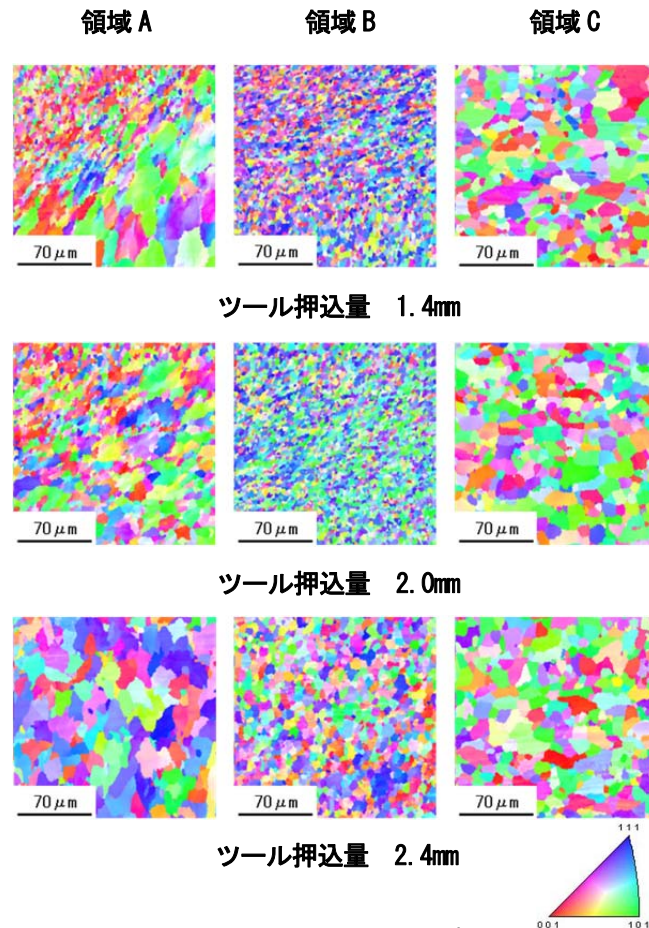


図 6 結晶方位マップ

また、結晶方位については A, C 領域ではツール押込量によらず、ランダム組織となっており配向性は認められないが、B 領域のツール押込量 1.4mm, 2.0mm の場合に (1 1 1) 面に配向していることが確認できた。これは領域 B 付近で、ツール荷重が最大となることが影響している。

3.2 塑性流動範囲

図 7 にツール押込量 1.4mm の場合の塑性流動範囲を拡大表示した突起部周辺写真を示す。EBSP 解析の範囲を広げて行い、結晶粒が微細化した領域を図示している。ツール押込量 1.4mm とした場合の塑性流動範囲は、ツール直下部で約 $400\mu\text{m}$ 、鋼の突起周辺部で約 $100\sim 200\mu\text{m}$ となっており、ツール直下部で塑性流動が広い範囲で起こっていた。ツール押込量 2.0mm ではツール直下部で約 $600\mu\text{m}$ 、鋼の突起部周辺で約 $300\mu\text{m}$ となっており、押込量 1.4mm の場合と同様の傾向にあったが、塑性流動の範囲は若干広がっていた。ツール押込量 2.4mm の場合では、ツール直下部等、結晶粒微細化が確認される領域はあったが、上述した再結晶化が考えられるため、塑性流動範囲は不明瞭であった。

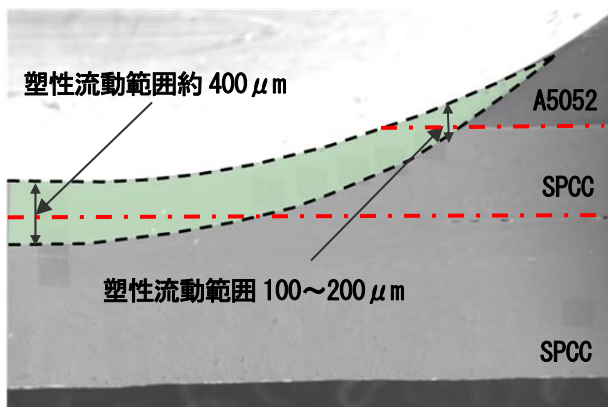


図 7 塑性流動範囲 (ツール押込量 1.4mm)

4 結 言

本研究では、異なるツール押込量によって得られたアルミ/鋼/鋼からなる異材三枚継手の接合断面の接合界面部分を中心に EBSP 解析を行い、結晶粒径を調べることで塑性流動の起こった領域を明確にすることを旨とした。その結果、ツール押込量を 1.4mm または 2.0mm とした場合では、ツール直下部が鋼の突起部周辺と比べてより広い範囲で塑性流動が起こっていることが分かった。また、ツール押込量を 2.4mm とした場合、摩擦による発熱量の増加により、再結晶、粒成長が起こり、結晶粒が微細化した領域が不明瞭であったため、塑性流動領域を特定することができなかった。

文 献

- 1) 大石他：広島県立東部工技研究報告，24(2010)，1
- 2) 坂村他：広島県立東部工技研究報告，25(2012)，1