

# マルチマテリアル部材の創成と高信頼性非破壊評価技術の開発

ものづくり研究開発センター 山岸英樹、 加工技術課 柿内茂樹、清水孝晃、高林外広

評価技術課 宮田直幸、 富山大学 柴柳敏哉

## 1. はじめに

省エネルギー化社会実現のため、エネルギー消費の割合が高い輸送機器の抜本的な軽量化が世界的に求められている。車両の軽量化には、従来の鋼材の改良だけでは大幅な軽量化に限界があるため、近年では、より軽量な高機能素材を適材適所に使用するマルチマテリアル化による最適設計・軽量化のニーズが高まっている。このため自動車分野を中心として、高強度で信頼性の高い異材接合技術の開発が活発化している。

このような中、本県の強みである軽金属および樹脂など「高機能素材」と地域の官学が強みとしている「接合技術」及び県ものづくり産業未来戦略(H26.5 策定)において戦略設備として工業技術センターに導入された次世代の超音波探傷機(PAUT:フェーズドアレイ超音波探傷試験機)を用いた「非破壊検査技術」を組み合わせ発展させることで、本県からマルチマテリアル部材(異材接合)を創成するとともに実用化に必要な高い信頼性(品質健全性の保証)を部材に付与し、市場への参入促進を図ることが可能になると考えられる。

金属における異材接合、特に一般的な溶融溶接の場合は、通常、接合部に脆弱な反応層(金属間化合物相)が形成されやすく、またクラックなどの欠陥が多く生じ、接合が全く出来ない、あるいは非常に強度が小さいという問題が生じる。高強度・高品質のマルチマテリアル部材創成のためには、この接合界面の脆弱な反応層を極力薄くすることが重要である。

本研究では、上記目的の下、反応層の成長を抑制することが期待できる固相接合技術に着目し、アルミニウム合金とマグネシウム合金の組合せにおいて、面接合技術である①「鍛接法」、また線接合技術である②「摩擦攪拌接合(FSW)法」によるマルチマテリアル部材創成に取り組んだ。なお②については、PAUTによる探傷試験についても実施し、高強度な異材接合技術とともに、開口合成法による高感度な非破壊検査技術を蓄積した<sup>1-4)</sup>。また、H26年度経産省補正地域オープンイノベーション促進事業で導入した複合化成形サーボプレス機

(コマツ産機株: H1F200-2)を用いて、炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(CFRTP)とアルミニウム合金の③「かしめ法」によるマルチマテリアル化技術の開発に取り組んだ。

ここでは、①「鍛接法」及び③「かしめ法」について、その結果の一部を示す。

## 2. 実験方法及び結果

### 2.1 アルミニウム合金とマグネシウム合金の鍛接

アルミニウム合金とマグネシウム合金の鍛接法において、インサート材が接合性に及ぼす影響を明らかにするとともに本法の高強度化及び生産性の向上を図るため、種々のインサート材(Cu, Ni, Ti)を用いて予熱温度及び加圧力を変え鍛接加工し、その機械的性質、金属組織及びナノスケールの反応層について調査した<sup>5,6)</sup>。

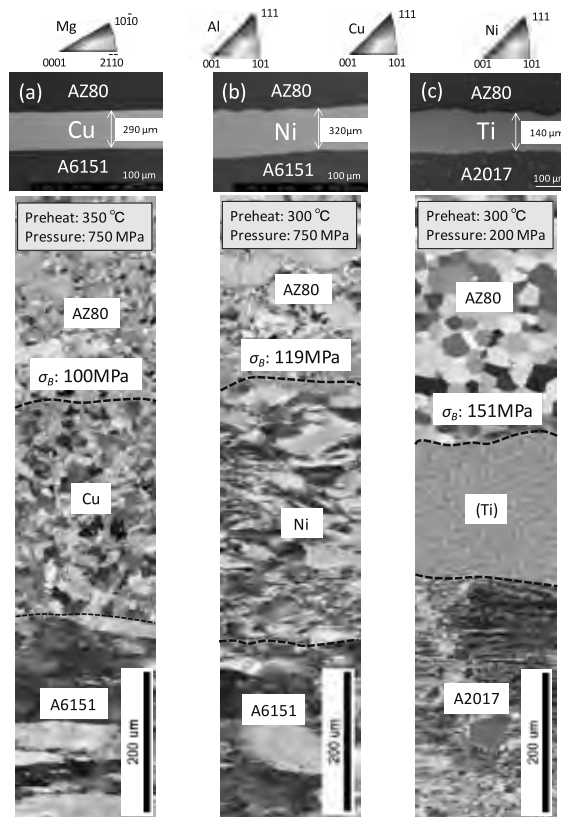


Fig. 1 Inverse pole figure maps of the cross section of the forge-welding, magnesium alloy to aluminum alloy, bounded using a 1 mm thick of (a) Cu, (b) Ni or (c) Ti sheet.

結果、インサート材にTiを用いた場合に最もマイルドな加工条件でありながら最も高い引張強さとなった。そのマグネシウム合金側の反応層の厚みは、概ね20~80 nmの範囲であり、他に比べ薄いものであった(Cu材では約1 μmまで成長)。なお、本材については、接合界面の強度が高くなりアルミニウム合金側で母材破断したことから、鍛接後に適当な熱処理を施している。

Fig. 1に、各インサート材において最高強度を示した鍛接界面近傍の結晶方位解析結果(IPF map)を示す。強加工プロセスのため、いずれも加圧方向に従った比較的強い集合組織(配向)を有していることが分かる。

## 2.2 CFRTPとアルミニウム合金のかしめ接合

外部ヒーターによる温調機構を備え、プレス及びダイクッションとともにACサーボモータ駆動の複合化成形サーボプレス機を用いて、ともに短冊形状(W50×L150×t3 mm)のCFRTPとアルミニウム合金(φ15mm穴加工部)を重ね、CFRTP側からパンチによりかしめ接合し、その引張せん断荷重を測定した。

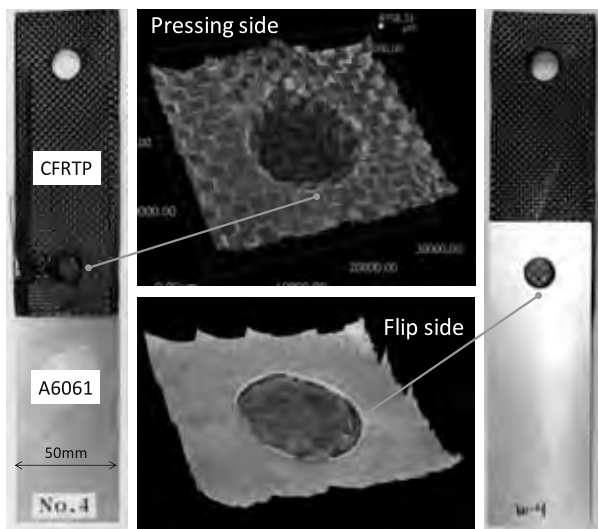


Fig. 2 Appearance of a swaged joint of CFRTP sheet to A6061 sheet using a servo press.

キーワード：マルチマテリアル、鍛接、かしめ、アルミニウム合金、マグネシウム合金、CFRTP

### Development of Multi-Material Joint and its Nondestructive-Evaluation Technique

Toyama Industrial Technology Center; Hideki YAMAGISHI, Shigeki KAKIUCHI, Takaaki SHIMIZU, Sotohiro TAKABAYASHI, and Naoyuki MIYATA, University of Toyama; Toshiya SHIBAYANAGI

The multi-material joints were developed under the various processing methods. Especially, the pressing processes, forge welding and swage, were extensively examined due to the suitability for mass production. In the forge welding process, high-strength Al-Mg bonding was demonstrated using a Ti interlayer. In the tensile shear-strength of a CFRP-Al joint, it was confirmed that the developed swage process was superior to a common acrylic-adhesive bonding.

Fig. 2にかしめ部外観のデジタルマイクروسコープ像を示す。加工条件を整えることで炭素繊維の破断など外観上目立った破壊が無い成形を実現した。

Fig. 3に本継手の引張試験結果を示す。最大引張せん断荷重は5,727 Nであった。かしめ部面積(φ15mm)における相当引張せん断強さは32 MPaとなり、一般的なアクリル系接着剤(18MPa)<sup>7)</sup>以上の強度を示した。

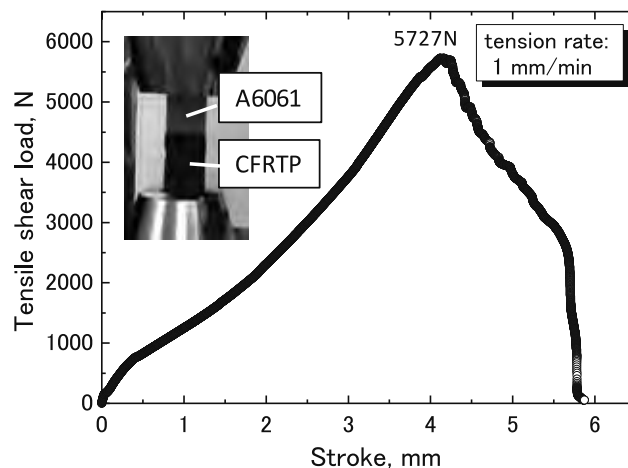


Fig. 3 Tensile shear test of the swaged joint.

### 「参考文献」

- 1) 佐藤ほか：溶接学会秋季全国大会講演概要, 97(2015)4-5.
- 2) 塩谷ほか：第23回超音波による非破壊検査シンポジウム講演概要論文集, (2016)41-42.
- 3) 渡辺ほか：溶接学会春季全国大会講演概要, 98(2016).
- 4) 井上ほか：溶接学会春季全国大会講演概要, 98(2016).
- 5) H. Yamagishi et al.: *Metall. Mater. Trans. A*, 46(2015) 3601-3611.
- 6) 山岸ほか：溶接学会秋季全国大会講演概要, 97(2015)60-61.
- 7) メタルロック, <http://www.shimoda-kaemon.co.jp>, (2016.3).