

# 摩擦攪拌プロセスによる異種材料の接合 および複合材料創生の可能性調査研究

加工技術課 柿内茂樹, 清水孝晃, 富田正吾

## 1. 緒言

摩擦攪拌接合 (FSW)法は、自動車、鉄道車両、船舶等の輸送機器や土木・建築等、構造材料の接合法として適用されている<sup>1,2)</sup>。近年ではアルミニウム合金よりも高い融点を有する金属、例えば銅、鉄鋼、チタン<sup>3)</sup>の接合に関する研究がなされている。また、本接合法は塑性流動による短時間の固相接合法のため反応相などの生成がほとんどないことから、アルミニウム/鉄鋼<sup>4)</sup>等、異種材料の接合法について検討されている。異種材料の接合は、例えば構造部材の軽量化<sup>5)</sup>につながることから今後広範囲に普及拡大すると期待される。しかしながら、本接合法を用いた異種材料の接合可能な組み合わせや接合性、接合部の特徴については、未だ不明瞭な点や課題も多く、殆どが研究段階である。そこで本研究では、軽量構造材として期待されるアルミニウム合金およびマグネシウム合金の重ね継手における接合の可能性について検討した。

## 2. 実験方法

供試材料としては、Al 合金は A6063-T5、Mg 合金は AZ31 (三協マテリアル株式会社製)を用いた。寸法は Al および Mg 合金のいずれも、幅約 70×長約 200×厚約 3 (mm)である。接合試験は二次元摩擦攪拌接合装置 (日立設備エンジニアリング(株)製、2D-FSW 型)により行った。接合条件は、回転数 (R)=1000~3000 rpm、接合速度 (v)=100~700 mm/min の間で変化させた。ショルダの押込量は約 0.1 mm、ツール挿入時の保持時間は 10 sec、接合長は 150 mm で一定とした。接合継手は重ね継手とし、上板に Al 合金、下板に Mg 合金を配置した。ツール形状は、ショルダ径φ15 mm、プローブ長さ 5.5 mm、プローブは M4~M6 のテーパ状で左ネジ加工を施した。接合後、接合部の外観観察、断面観察・分析および X 線探傷装置 (エクスロン・インターナショナル(株)製、Y.XP0225/XRD0820) により、X 線透過像を撮影し、接合内部の欠陥の有無について調査した。

## 3. 実験結果および考察

図 1 に接合部表面の外観写真の一例を示す。v=100 mm/min では R=1000 rpm (図 1A)に比べて、2000 rpm 以上ではバリの発生が顕著であった。また、v=300 mm/min、R=3000 rpm (図 1C)の場合、バリの発生は小さくなったものの接合部表面に線状の溝状欠陥が認められた。

図 2 に図 1 の接合部の X 線透過像を示す。接合部は周囲と比較して板厚が薄いためコントラストが低く明るく現れている。いずれも接合部中央には白色の領域があり、内部に空隙が存在していた。

図 3 に図 1 の接合部の断面マクロ組織を示す。図 2 で示したように攪拌部には空洞状の欠陥が認められた。

図 4 に v=200 mm/min、R=3000 rpm の条件での接合部断面のマクロ組織を示す。攪拌部中央下では材料が層状に重なったオニオンリングが観察されたが、上板 (A6063-T5)側では、塊状の組織も形成された。母材と攪拌部の境界付近には約 100 μm の微小な空洞状の欠陥が生じていた (図 4B、C)。また、攪拌部の一部には割れが発生していた (図 4D)。

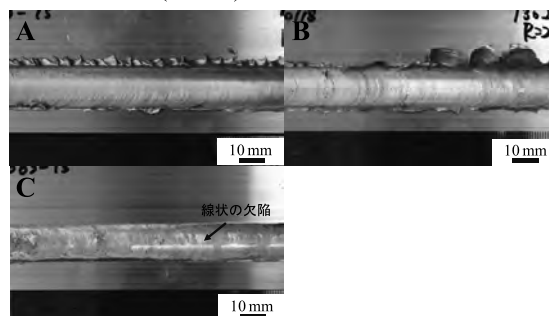


図 1 接合部表面の外観写真

(A: v=100 mm/min, R=1000 rpm, B: v=100 mm/min, R=2000 rpm, C: v=300 mm/min, R=3000 rpm)

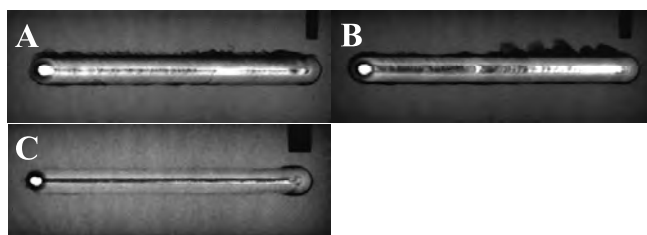


図 2 接合部の X 線透過像

(A: v=100 mm/min, R=1000 rpm, B: v=100 mm/min, R=2000 rpm, C: v=300 mm/min, R=3000 rpm)

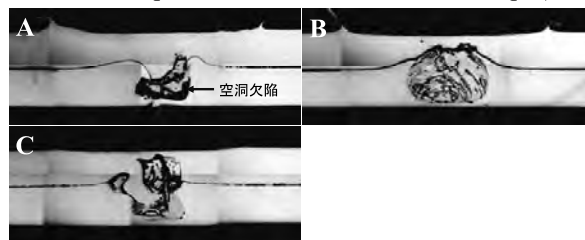


図 3 接合部の断面マクロ写真

(A: v=100 mm/min, R=1000 rpm, B: v=100 mm/min, R=2000 rpm, C: v=300 mm/min, R=3000 rpm)

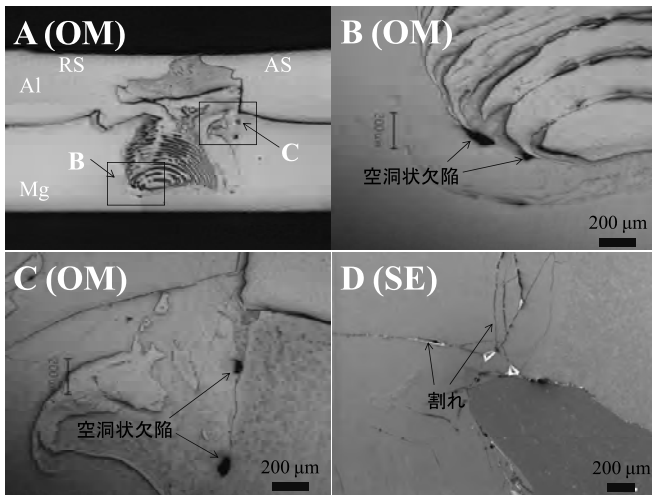


図4 接合部の断面マイクロ組織  
(A, B, C: OM, D: SEM)

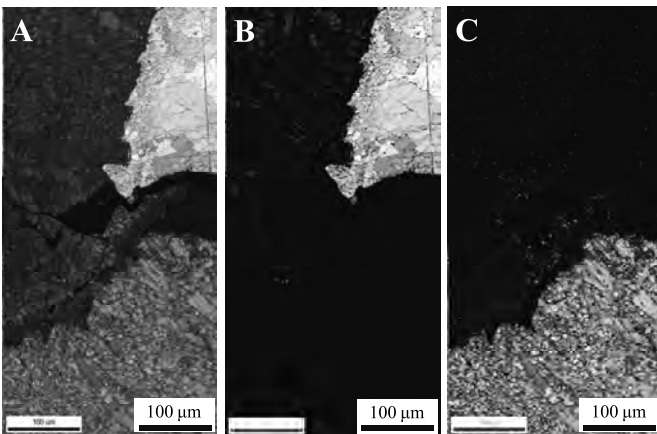


図5 割れ発生部近傍のIQマップ (A)  
およびPhaseマップ (B: Al, C: Mg)



図6 割れ発生部近傍のSEM像および特性X線像

図5に割れ発生部近傍のEBSD解析によるIQ (Image Quality)マップおよびAl (図5B)およびMg (図5C)のPhaseマップを示す。なお、接合条件は $v=200$  mm/min、 $R=3000$  rpmである。上板のAlおよび下板のMgはそれぞれ一致していたものの、割れ発生領域ではAl、Mgのいずれも良好な一致は認められなかった。

そこで、この領域のEDXによる組成分析を行った結果を図6に示す。割れ発生部近傍の成分は、上板のAl合金と比較して、Alが減少し、Mgが増加していた。また、下板のMg合金と比較して、Mgが減少し、Alが増加していた。すなわち、割れ発生領域の組成は、上板のAl合金、下板のMg合金とは異なる組成となっており、割れ発生領域にはAl、Mgの金属間化合物<sup>6,7)</sup>が生成したものと推定された。

#### 4. 結言

アルミニウム合金 (A6063-T5)/ マグネシウム合金 (AZ31)の異種材料の重ね継手を摩擦攪拌接合を行った結果、本研究の接合条件において接合継手は形成できたが、接合部内部では均一で十分な塑性流動が行われておらず、空洞状の欠陥および割れが発生した。今後はツール形状、押込量などを変化することにより、塑性流動が十分に行われる加工条件を見出す必要がある。

#### 参考文献

- 1) 溶接学会編: 摩擦攪拌接合, 産報出版, (2006), 13.
- 2) 時末光: FSWの基礎と応用, 日刊工業新聞社, (2005), 130-161.
- 3) 佐藤裕, 粉川博之: 金属, **83**, No.3 (2013), 223.
- 4) 岡村久宣, 青田欣也, 高井英夫, 江角昌邦: 溶接学会誌, **72**, 5, (2003), 134.
- 5) 中田一博, 牛尾誠夫: 溶接学会誌, **71**, 6, (2002), 6.
- 6) 山本尚嗣, 廖金孫, 渡辺修平, 中田一博: 日本金属学会誌, **73**, 2, (2009), 103.
- 7) 平野聡, 岡本和孝, 土井昌之, 岡村久宣, 稲垣正寿, 青野泰久: 溶接学会論文集, **21**, 4, (2003), 539.

キーワード: 摩擦攪拌接合、異材接合、接合欠陥

Research on weldability of dissimilar materials and formation of composite materials by friction stir welding

Shigeki KAKIUCHI, Takaaki SHIMIZU, Shogo TOMIDA

In this study, the weldability of aluminum with magnesium alloys by friction stir welding was investigated. Bonded joints were lap joints, the upper plate was Al alloy and the lower plate was Mg alloy. The joining conditions were that the rotation speed was varied from 1000 to 3000 rpm and the traveling speed was varied from 100 to 700 mm · min<sup>-1</sup>. The defects were that a sort of cavity occurred in the cross section of the joint in each of the joining conditions. And some cracks also occurred. More Mg but less Al was seen in the cracking region with Al alloy. This suggested that the intermetallic compounds were formed in the cracking region.