

# 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, 清水孝明, 富田正吾\*1, 評価技術課 氷見清和\*2

## 1. 緒言

近年、アルミニウム(Al)合金の構造材料を中心に、摩擦攪拌接合法による接合が注目されている。本接合法は従来の熔融溶接法と比較して、低入熱・低歪で接合できるため、Al合金と鉄鋼材料の異種材料の接合法としても一部実用化されている<sup>1)</sup>。異種材料の接合は輸送機器における軽量化の観点から注目されている。一方、本接合法を用いた異種材料の接合は、接合が可能な材料の組み合わせや接合部の特徴は未だ不明瞭で、殆どは研究段階である。そこで本研究は、軽量構造材料として広く知られているAl合金とマグネシウム(Mg)合金の重ね摩擦攪拌接合法による接合方法を開発するため、2種の接合ツールを用いて、ツール回転数や、ツール移動速度、ツール挿入深さを変化させ、継手の機械的性質に及ぼす接合条件の影響について検討した。

## 2. 実験方法

接合試験は二次元摩擦攪拌接合装置(日立パワソリュレーションズ(株)製)により行った。接合条件は、ツール回転数( $R$ )=400~2000 rpm、ツール移動速度( $v$ )=25~700 mm/minの間で変化させた。ショルダの押込量は約0.1 mmとした。ツールの形状はショルダ径 $\phi$ 15 mm、プローブ長2.5、プローブ形状M4-M6のテーパ形状(ツール1)と、ショルダ径 $\phi$ 14 mm、プローブ長4.5 mm、プローブ形状M4-M5のテーパ形状(ツール2)を用いた。

供試材料は、Al合金はA6063-T5合金、Mg合金はAZ31合金を用いた。板厚は約3 mmである(試料寸法1:幅70 mm、長さ200 mm、試料寸法2:幅50 mm、長さ150 mm)。接合継手は重ね継手とし、上板にA6063合金、下板にAZ31合金を配置した。

接合欠陥の有無は接合部の断面観察(試料寸法1、接合長さ150 mm)により調査した。引張せん断試験片は、試料寸法2の板材を重ね代約50 mmで配置して、幅方向に30 mm接合して、引張せん断試験に供した。

## 3. 実験結果および考察

図1にプローブ長2.5 mm(ツール1)の引張せん断荷重に及ぼすツール移動速度の影響を示す。 $R=2000$  rpmから $R=1000$  rpmに減少させ $v$ を増大させると引張せん断荷重は増加した。破断位置はいずれも接合部であった。

図2にプローブ長2.5 mmの接合部の反射電子組成像

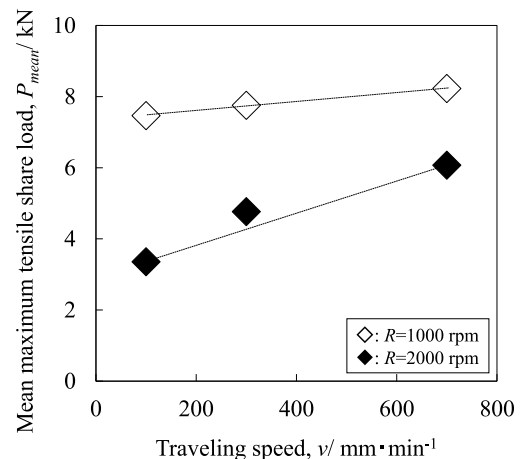


図1 最大引張せん断荷重に及ぼすツール移動速度の影響 (Probe length: 2.5 mm).

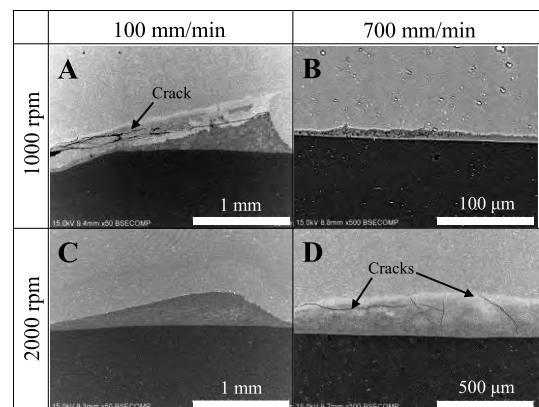


図2 接合部断面の反射電子組成像 (Probe length: 2.5 mm).

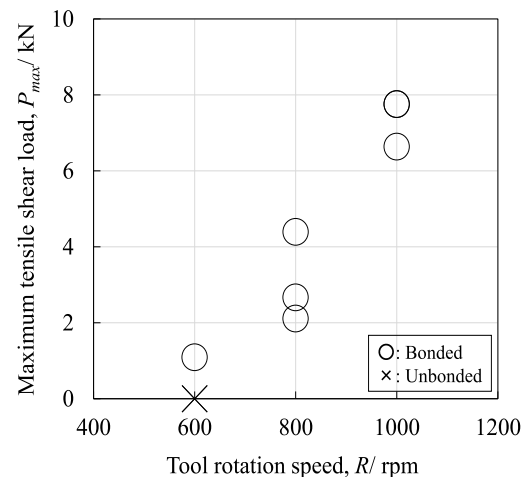


図3 最大引張せん断荷重に及ぼすツール回転数の影響 (Probe length: 2.5 mm).

\*1 現 企画管理部、\*2 現 ものづくり研究開発センター

を示す。 $R=2000$  rpm の場合、 $v=100$  mm/min と  $700$  mm/min のいずれも、上下板の境界線にバルク状の反応層が形成された。 $R=1000$  rpm の場合、 $v=100$  mm/min でバルク状の反応層が形成された。バルク状の反応層の一部に割れが発生した。一方、 $R=1000$  rpm、 $v=700$  mm/min の場合、図 2A、C、D と比較して薄いフィルム状の反応層が形成された。

図 3 にプローブ長  $2.5$  mm の引張せん断荷重に及ぼすツール回転数の影響を示す。いずれも  $v=700$  mm/min である。 $R=1000$  rpm よりもさらに  $R$  を減少すると引張せん断荷重は減少した。

図 4 にプローブ長  $2.5$  mm、 $R=1000$  rpm、 $v=700$  mm/min の(a)断面マクロ組織と図 4(a)における(b)の領域の反射電子組成像および(c)EDS による線分析結果を示す。上下板の境界線は平坦で、上板の A6063 合金の攪拌部(SZ)は下板の AZ31 合金の表面に達した。上下板の境界線には Al と Mg の中間的な組成を有する反応層が形成され、その厚さは約  $2\ \mu\text{m}$  であった。

図 5 にプローブ長  $4.5$  mm (ツール 2)の接合部の断面マクロ組織を示す。 $R=600$  rpm と  $800$  rpm のいずれも、 $v=100$  mm/min から  $v=25$  mm/min に減少すると、上下板の攪拌部が拡大した。

図 6 にプローブ長  $4.5$  mm の引張せん断荷重に及ぼすツール回転数の影響を示す。いずれも  $v=25$  mm/min である。引張せん断荷重は、 $R$  の減少に伴って増大する傾向を示した。破断位置はいずれも接合部であった。

参考文献

- 1) 畑恒久ら：溶接学会全国大会講演概要，93 (2013) 40-41.

謝 辞

本研究の一部は、大阪大学接合科学研究所接合科学共同利用・共同研究拠点により行われたものである。研究の遂行にあたり様々な支援をいただいた関係各位に感謝の意を表します。

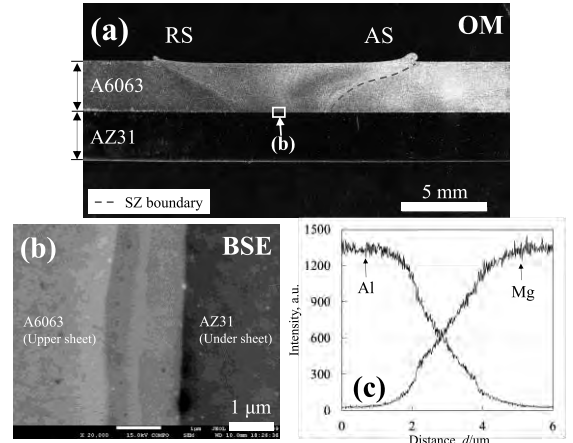


図 4 接合部断面の(a)マクロ組織、(b)反射電子組成像、(c)EDS 線分析結果(Probe length:  $2.5$  mm).

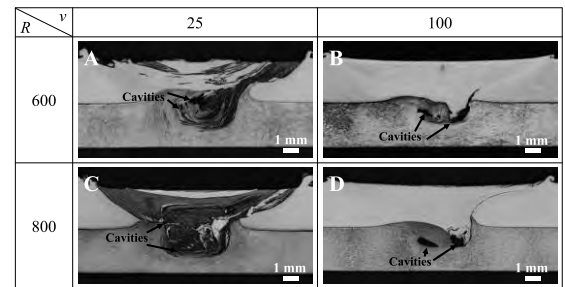


図 5 接合部断面のマクロ組織写真 (Probe length:  $4.5$  mm).

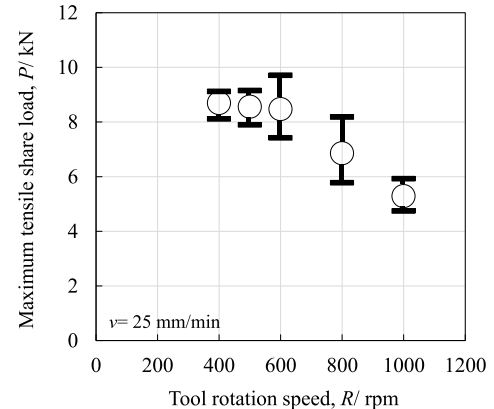


図 6 最大引張せん断荷重に及ぼすツール回転数の影響(Probe length:  $4.5$  mm).

キーワード：摩擦攪拌プロセス、異材接合、アルミニウム合金、マグネシウム合金、ツール挿入深さ

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

Processing Technology Section; Shigeki KAKIUCHI, Takaaki SHIMIZU, Shogo TOMIDA\*1,  
Evaluation Engineering Section; Kiyokazu HIMI\*2

In this study, the weldability of Al with Mg alloys by FSW was investigated. Two kinds of tool shape were used for the lap joint bonding tests. In the welding conditions with the probe length  $2.5$  mm, the rotation speed  $1000$  rpm and the traveling speed  $700$  mm/min, a film-like intermediate layer was produced. When the bulk-like intermediate layer was produced, the tensile shear load was reduced due to the occurrence of cracks in the intermediate layer. On the other hand, in the welding conditions with probe length  $4.5$  mm and the traveling speed  $25$  mm/min, when the rotation speed was decreased from  $1000$  rpm to  $600$  rpm, the tensile share load increased noticeably.