

# 摩擦攪拌プロセスによる異種材料の接合および 局部改質技術の研究

加工技術課 柿内茂樹、清水孝晃 ものづくり研究開発センター 氷見清和、山岸英樹  
企画管理部 富田正吾

## 1. 緒言

摩擦攪拌接合法は、塑性流動による短時間での固相接合法として知られている。この特徴を応用して近年、アルミニウム(Al)合金の接合のみならず、鉄鋼材料、銅合金、チタン合金などの高融点金属材料の接合や異種材料の接合への適用が検討されている。著者らはアルミニウム合金とマグネシウム(Mg)合金の重ね摩擦攪拌接合法について研究を行っている<sup>1-2)</sup>。前報では、ツール回転数( $R$ )やツール移動速度( $v$ )、ツールの挿入深さを変化させて、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。ツールプローブの侵入位置を下板の表面近傍とした場合、上下板の境界線にAlとMgの中間的な組成を有する反応層が形成され接合した<sup>1)</sup>。一方、バルク状の反応層が形成される場合、内部に割れが観察された。プローブの侵入位置を下板の板厚中心近傍とした場合、低回転数、低移動速度の条件( $R=600$  rpm、 $v=25$  mm/min)で、上下板間で塑性流動が生じ接合した<sup>2)</sup>。しかし、接合メカニズムは不明瞭であった。本研究は、プローブの侵入位置を下板の板厚中心近傍とし、ツール回転数とツール移動速度を変化させて、接合部の組織に及ぼす接合条件の影響について検討した。また、パス回数を変化させて、継手の機械的性質に及ぼす影響について検討した。

## 2. 実験方法

供試材料は、Al合金はA6063-T5合金、Mg合金はAZ31合金を用いた。寸法は幅50mm、長さ150mm、板厚は約3mmである。継手形状は重ね継手とした。上板にA6063合金、下板にAZ31合金を配置した。

接合条件は、ツール回転数( $R$ )=400~600 rpm、ツール移動速度( $v$ )=10~50 mm/minの間で変化させた。ツールショルダの押込量は約0.1mm、ツール挿入後の保持時間は3秒で一定とした。ツールの形状はショルダ径 $\phi$ 14mm、プローブ長4.5mm、プローブ形状M4-M5のテーパ形状である。引張せん断試験片は、板材を重ね代約50mmで配置して、幅方向に30mm接合して、引張せん断試験に供した。パス回数は1~3回とし、パス間隔は7mmとした。

## 3. 実験結果および考察

図1に接合部外観を示す。いずれの接合条件においても上板のA6063合金と下板のAZ31合金は接合した。

また接合部の表面に、溝状の欠陥や割れは認められなかった。 $v=50$ mm/minと比較して、 $v=20$ mm/minで接合した場合、接合部後退側(Retreating Side)のバリは大きくなり、接合部の表面性状は粗くなった。

図2に最大引張りせん断荷重( $P_{max}$ )に及ぼすツール移動速度の影響を示す。 $N=3$ 本の平均値である。 $v=20$ mm/minから $v=50$ mm/minに増加すると $P_{max}$ は減少した。

図3に接合部断面のマクロ組織を示す。いずれも接合条件においても、上下板の境界線が変形した。 $v=50$ mm/minと比較して、 $v=20$ mm/minは下板が大きく変形し、下板のMg合金が上板の内部に侵入し、空洞状の欠陥が減少する傾向を示した。図2において $P_{max}$ が増加したのは低移動速度になるにつれ上下板が十分に攪拌したためと考えられる。

図4に接合部断面のSEM像を示す。接合条件は $R=600$  rpm、 $v=20$  mm/minである。下板のAZ31合金が変形して、上板のA6063合金内部に侵入した。一方、攪拌部の中央部にとRS側に空洞状の欠陥が発生した。

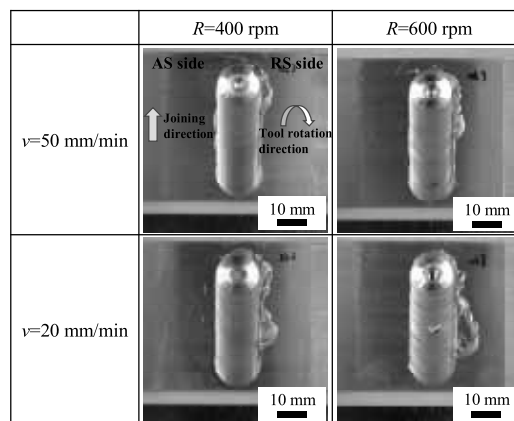


図1 接合部外観

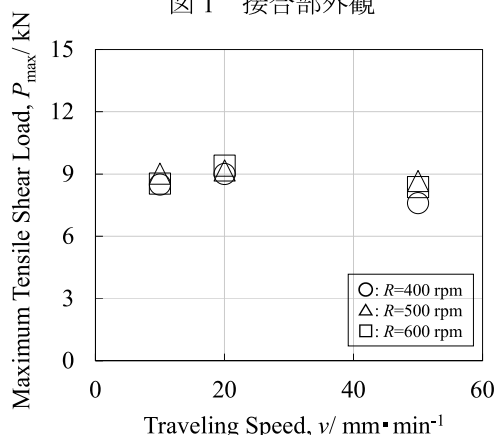


図2 最大引張りせん断荷重に及ぼす移動速度の影響

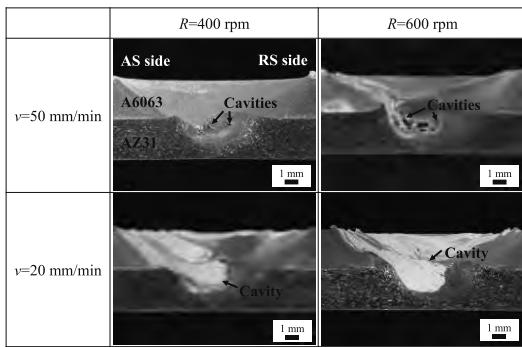


図3 接合部断面のマクロ組織

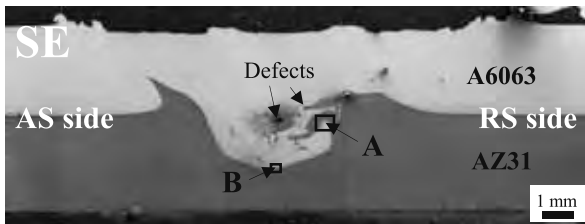


図4 接合部断面のSEM像(R=600 rpm、v=20 mm/min)

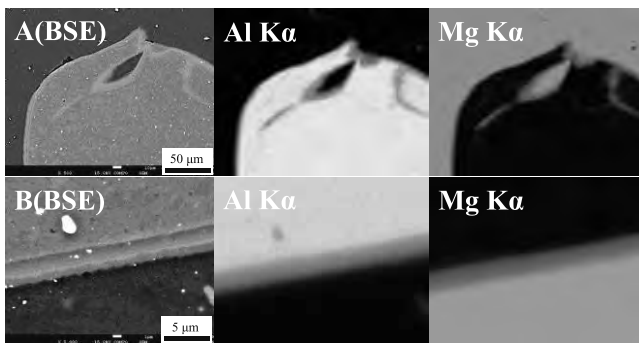


図5 接合部断面の反射電子組成像および特性 X 線像

図5に図4のAとBの領域の反射電子(BSE)組成像とAl、Mgの特性X線像を示す。上下板の境界線に沿って、フィルム状のAl、Mgの中間的な組成を有する反応相が形成された。

図6に最大引張せん断荷重に及ぼすパス回数の影響を示す。接合条件は、 $R=600$  rpm、 $v=20$  mm/minである。

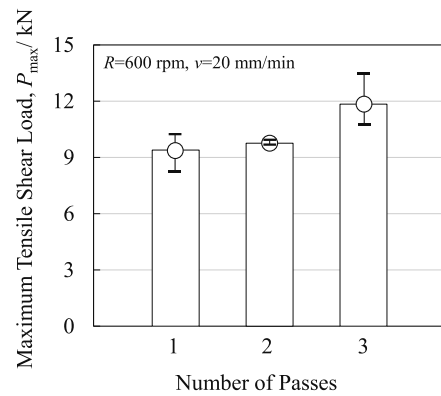


図6 最大引張せん断荷重に及ぼすパス回数の影響

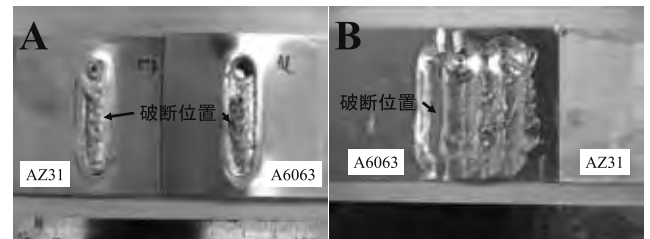


図7 引張せん断試験後の試験片外観

N=3本である。パス回数が増加すると、 $P_{max}$ は増加した。

図7に引張せん断試験後の試験片の外観を示す。パス回数は、図7Aは1回、図7Bは3回である。接合条件は、 $R=600$  rpm、 $v=20$  mm/minである。パス1回の場合、破断位置は上下板の接合部で破断した。この試験片の $P_{max}$ は10.2 kNであった。一方パス回数が3回の場合、上板のA6063合金の攪拌部近傍で破断し、この試験片の $P_{max}$ は13.5 kNであった。

#### 参考文献

- 1) 柿内茂樹, 清水孝晃, 氷見清和, 富田正吾: 溶接学会全国大会講演概要, **95** (2014) 48-49.
- 2) 柿内茂樹, 清水孝晃, 富田正吾, 氷見清和: 富山県工業技術センター研究報告書, **29** (2015) 43-44.

キーワード: 重ね摩擦攪拌接合、異種金属接合、アルミニウム合金、マグネシウム合金

Research of dissimilar material joining and local modification technology by friction stir processing

Processing Technology Section; Shigeki KAKIUCHI, Takaaki SHIMIZU,  
Monozukuri Research and Development Center; Kiyokazu HIMI, Hideki YAMAGISI,  
Planning and Management Department; Shogo TOMIDA

Dissimilar material joining by friction stir welding (FSW) has been investigated widely in recent years. In this study, dissimilar material lap joining in the Al and Mg alloys by FSW was investigated. The tensile shear fracture load was 10.2 kN at the welding conditions with the rotation speed 600 rpm and traveling speed 20 mm/min. Results of the cross-sectional EDS analysis were a film-like inter metallic compound layer formed along the boundary of the upper (A6063 alloy) and lower (AZ31 alloy) plate. In addition, the shear tensile fractured load increased with the number of passes.