

# 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, 評価技術課 氷見清和

## 1. 緒言

摩擦攪拌接合(FSW)法は、低入熱・低歪の特徴を有する固相接合であり、異種金属材料の新たな接合法の一つとして注目されている。著者らは、FSWを用いた異種材料の接合方法に関する研究を行っている。前報<sup>1)</sup>では、アルミニウム(Al)とマグネシウム(Mg)合金の異種材料の重ね継手における摩擦攪拌接合性について検討した。その結果、Al/Mg合金接合部内部で均一で十分な塑性流動が行われておらず、空洞状の欠陥や割れが発生し、良好な接合継手が得られなかった。そこで本研究では、ツール形状を変化させ、Al/Mg合金の接合性に及ぼすツール挿入量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(日立パワーソリューションズ(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で一定とした。供試材料は、Al合金はA6063-T5、Mg合金はAZ31(三協立山(株)三協マテリアル社製)を用いた。板厚は約3 mmである。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。ツールの形状は、ショルダ径 $\phi$ 15 mmで、プローブ長さ3.0、3.5および5.5 mmとした。ここで、接合時のショルダの押込量は、約0.1 mmとしたので、各ツールの挿入深さは上板の表面から約3.1、3.6および5.6 mmである。接合欠陥の有無は接合部の断面観察により行った。引張せん断試験片は、板幅約50 mm、長さ約150 mmの板材を重ね代約50 mmで配置して、幅方向に接合長さ30 mmで接合し作製した。なお、引張せん断試験時のクランプ間距離は約150 mmとし、クロスヘッドの移動速度は1 mm/minとした。

## 3. 実験結果および考察

図1に $R=2000$  rpm、 $v=100$  mm/minの条件でツールの挿入深さを変化させた接合部断面のマクロ組織を示す。ツール挿入深さ5.6 mmの場合、接合部に楕円形の攪拌部が形成されるが、上下板の境界線は残り、中央部に空洞欠陥が観察された。一方、ツール挿入深さ3.1 mmの場合、攪拌部が減少し、図1Aで示したような空洞欠陥は認められなかった。

図2に図1で示したa、bの領域のマイクロ組織を示す。

ツール挿入深さ5.6 mmの攪拌部において、空洞状の欠陥のみならず、割れが多数発生した。一方、ツール挿入深さ3.1 mmの場合は攪拌部の減少に伴い、図2aのそれと比較して割れは微小で、割れ発生領域は小さくなった。

図3にツール挿入深さ3.1 mm、 $R=2000$  rpm、 $v=700$  mm/minで接合した接合部断面のマクロ組織写真(OM)とBSE組成像およびAl、Mgの特性X線像を示す。図1B( $R=2000$  rpm、 $v=100$  mm/min)と比較して、接合部の

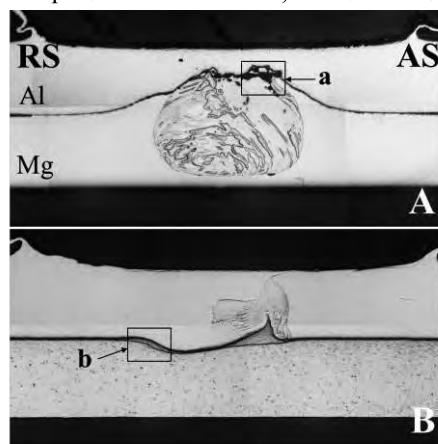


図1 接合部断面のマクロ組織写真(ツール挿入深さ A: 5.6 mm、B: 3.1 mm)

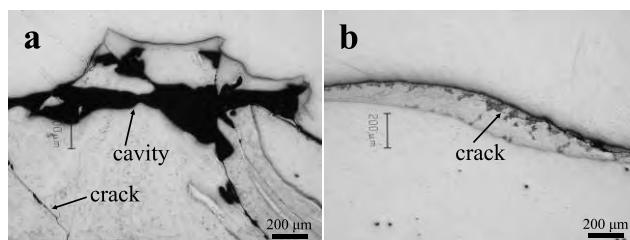


図2 接合部断面のマイクロ組織写真(ツール挿入深さ A: 5.6 mm、B: 3.1 mm)

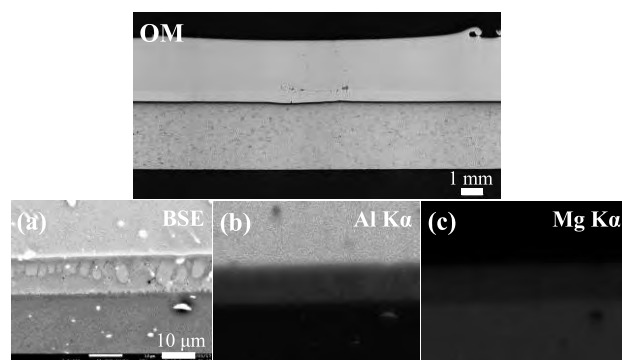


図3 接合部断面のマクロ組織写真(OM)と反射電子組成像(BSE)および特性X線像(ツール挿入深さ: 3.1 mm)

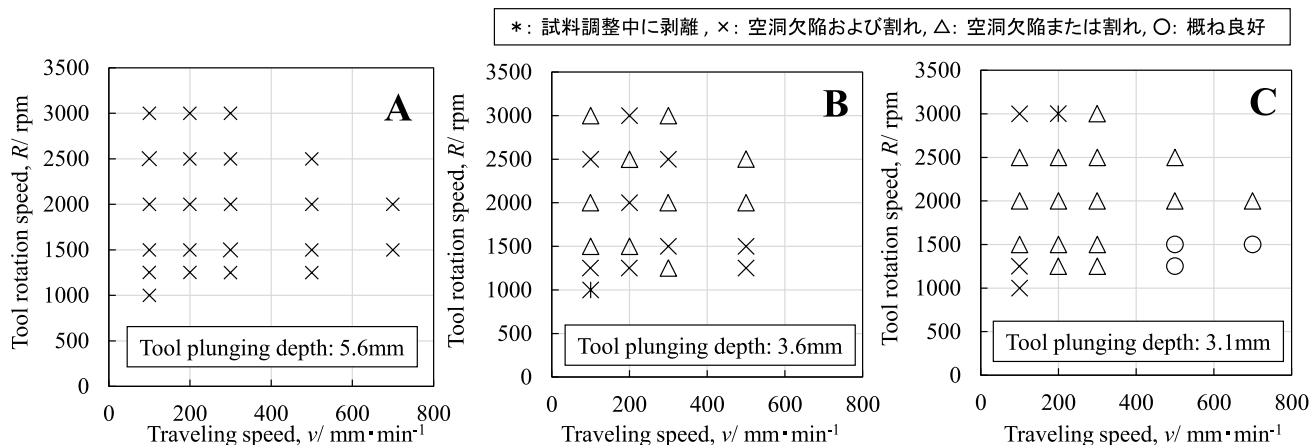


図4 接合欠陥に及ぼす接合条件の影響 (ツール挿入深さ, A: 5.6 mm, B: 3.6 mm, C: 3.1 mm)

変形が小さい。これは移動速度の増加に伴って、Mg 側の塑性流動領域が小さくなったためであると考えられる。接合界面の組成は Al の母材と比較して Al の濃度が減少し、Mg の母材と比較して Mg の濃度が減少した組成であり、接合前の Al/Mg 合金の界面は消失した。

図4に接合欠陥に及ぼす接合条件の影響を示す。ツール挿入深さ 5.6 mm (図4A)の場合、いずれの回転数および移動速度で、空洞欠陥と割れが発生した。このようにツールを下板の Mg 側に深く挿入した場合、極めて接合性が悪い。一方、ツール挿入深さが上板の板厚に近づくにつれ空洞欠陥と割れが同時に発生する接合条件範囲が減少した。

図5に引張せん断荷重に及ぼすツール挿入深さの影響を示す。なお、回転数はいずれも 2000 rpm である。同一移動速度において、ツール挿入深さが増加すると、引張せん断荷重は減少した。これはツール挿入深さが増加するにつれて、下板の Mg 合金が上板の Al 合金中に攪拌され、空洞欠陥や割れ発生領域が拡大したためであると考えられる。ツールの挿入深さが 3.1 mm の場合、3.6 mm と比較して引張せん断荷重は高いが、バラつきが大きい傾向を示した。一方、引張せん断荷重は、ツールの移動速度が増加するにつれて、概ね増加する傾向を示した。なお、破断位置は、いずれも接合部であった。

#### 4. 結言

本研究は Al/Mg 合金の異種材料の重ね継手をプロ

キーワード： 摩擦攪拌プロセス、 異材接合、 ツール形状、 ツール挿入深さ

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

Shigeki KAKIUCHI, Takaaki SHIMIZU, Shogo TOMIDA, Kiyokazu HIMI

In this study, the weldability of Al with Mg alloys by FSW was investigated. As the tool plunging depth was increased, some defects (cracks and cavities) occurring in the stir zone increased. On the other hand, the tensile load at plunging depth 3.1 mm was higher than that of the 3.6 mm.

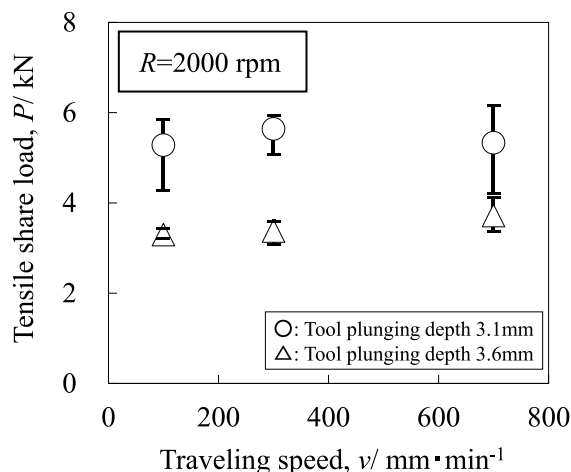


図5 引張せん断荷重に及ぼすツール挿入深さの影響

ブ長さの異なる接合ツールで摩擦攪拌接合し、摩擦攪拌接合性へ及ぼすツール挿入深さの影響について検討した。その結果、ツール挿入深さが減少する(上板の Al 合金の板厚に近づく)につれて、空洞欠陥や割れの発生領域が小さくなり、引張せん断荷重が増加した。

#### 参考文献

- 1) 柿内茂樹, 清水孝晃, 富田正吾: 富山県工業技術センター研究報告書, (2013), 39-40.
- 2) JIS Z3136: 1999, 抵抗スポット及びプロジェクション溶接継手のせん断試験に対する試験片寸法及び試験方法