

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

1. 緒言

摩擦攪拌接合法は、アルミニウム合金等の軽量構造材料の接合のみならず、車体の軽量化のためのアルミニウム合金と鉄鋼材料を組み合わせた異種金属材料の接合法としても注目されている。一方、ハイブリッド車や電気自動車において、ガソリン車からの移行が進んでおり、銅と比較して軽量性に優れたアルミニウム合金の置き換えが進められている¹⁾。このため電池やヒートシンクなどへの異種金属材料の接合技術が求められている。しかしながら、銅合金は熱伝導が高く、アルミニウム合金との間に金属間化合物を形成し、深い共晶点を持つため^{2,3)}、従来の熔融溶接法よりも界面反応が制御しやすい固相接合法が期待される。そこで本研究では、固相接合法の一つである摩擦攪拌接合法に着目して、アルミニウム合金と銅の異種金属材料の接合方法について検討した。

2. 実験方法

供試材料は、A6063-T5 アルミニウム合金と無酸素銅を用いた。寸法は、A6063 合金の幅は 70 mm、無酸素銅の幅は 40 mm である。いずれも長さは 150 mm、板厚は約 3 mm である。継手形状は突合せ継手とした。なお、前進側(AS)に無酸素銅、後退側(RS)に A6063 合金を配置した。

ツールの形状はショルダ径 $\phi 12$ mm、プローブ長 2.7 mm、プローブ形状は $\phi 3$ - $\phi 4$ mm のネジなしのテーパ形状とした。

接合条件は、ツール回転数 (R)=1000~2000 rpm、接合速度 (v)=50~1000 mm/min とした。ツールの押込量は 2.9 mm、前進角は 3° とした。

3. 実験結果および考察

図 1 に接合部外観を示す。いずれにおいても、A6063 合金と無酸素銅は接合した。図 1A および図 1B において、接合速度を減少させると、接合部の表面の凹凸が大きくなった。図 1C のように接合速度を 1000 mm/min に増加させると、表面の凹凸が小さくなり、図 1A および図 1B と比較して接合部外観が良好になった。

図 2 に X 線透過写真を示す。いずれにおいても、A6063 側に無酸素銅が侵入した。図 2A および図 2B において、接合速度を減少させると、無酸素銅の侵入が大きくなり、接合速度を 1000 mm/min に増加させると、無酸素銅の侵入は小さくなった(図 2C)。図 2 のいずれも Al と Cu のコ

ントラスト比が高く、X 線探傷試験における接合部の内部欠陥の観察は困難であった。

図 3 に接合部断面のマクロ組織を示す。図 3A および図 3B の場合、Cu と Al が相互に侵入しているものの、接合部内部に粗大な空洞状の欠陥が形成された。また図 3A はツール凝着の影響が大きくなり、接合部表面のかじりが大きい。一方、図 3C のように接合速度を増加させると、A6063 側への無酸素銅の侵入が小さくなるものの、空洞状の欠陥が小さくなり、接合部の表面は滑らかになった。

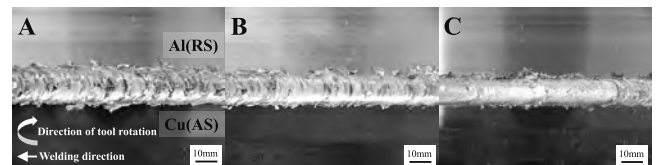


図 1 接合部外観

(A: $R=1000$ rpm, $v=50$ mm/min, B: $R=1000$ rpm, $v=100$ mm/min, C: $R=1000$ rpm, $v=1000$ mm/min)

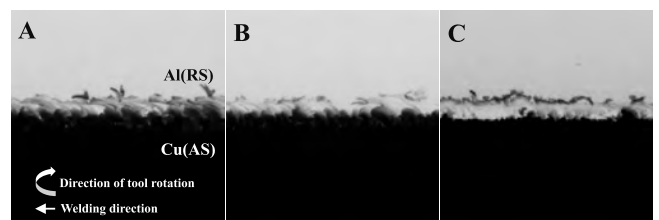


図 2 X 線透過写真

(A: $R=1000$ rpm, $v=50$ mm/min, B: $R=1000$ rpm, $v=100$ mm/min, C: $R=1000$ rpm, $v=1000$ mm/min)

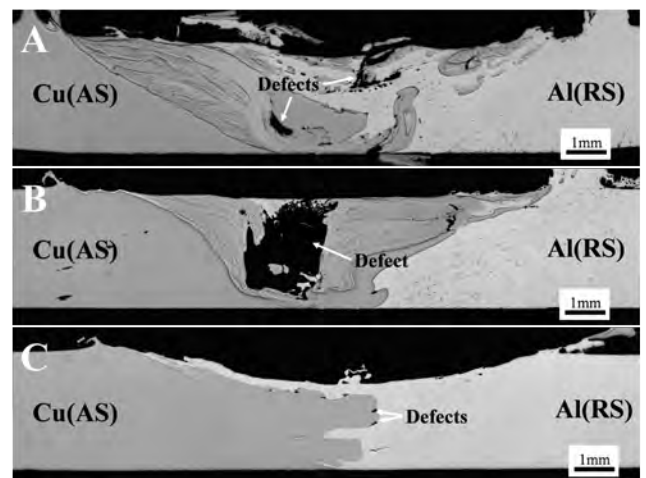


図 3 接合部断面マクロ組織

(A: $R=1000$ rpm, $v=50$ mm/min, B: $R=1000$ rpm, $v=100$ mm/min, C: $R=1000$ rpm, $v=1000$ mm/min)

*1 現 中央研究所

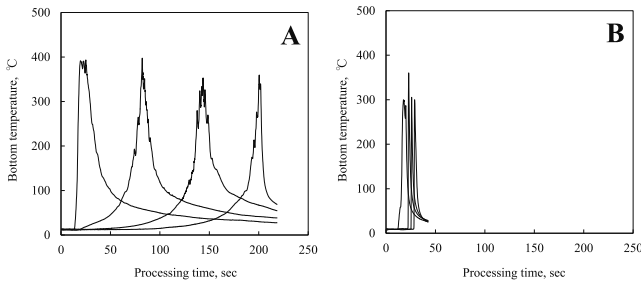


図4 接合部底面近傍の温度履歴
(A: $v=50$ mm/min, B: $v=1000$ mm/min)

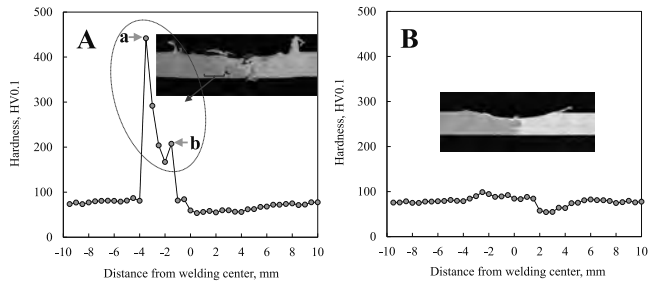


図5 接合部断面の硬度分布
(A: $v=50$ mm/min, B: $v=1000$ mm/min)

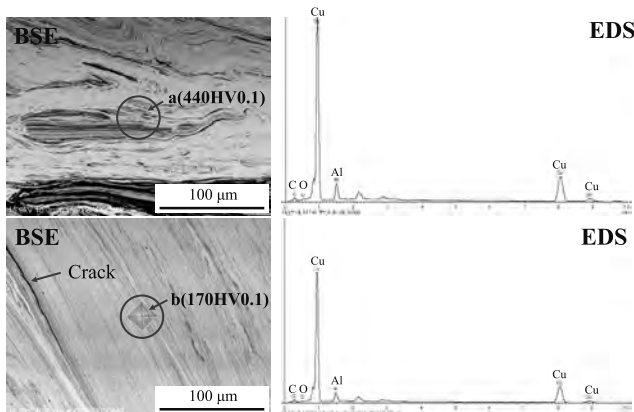


図6 接合部断面の BSE 像および EDS スペクトル

キーワード：摩擦攪拌接合、異種金属接合、アルミニウム合金、無酸素銅

Research of Dissimilar Material Joining and Local Modification Technology by Friction Stir Processing

Shigeki KAKIUCHI, Takaaki SHIMIZU, Kiyokazu HIMI, Hideki YAMAGISI, Shogo TOMIDA

In this research, dissimilar materials joining method of aluminum and copper by friction stir welding was investigated. The test materials used were A6063-T5 aluminum alloy and oxygen-free copper. When the welding speed was increased from 50 to 1000 mm/min, surface smoothness and appearance improved. Furthermore, when the bonding speed was low, the effect of adhesion to the rotation tool was increased, and surface gnaw was occurred in the shoulder of the rotation tool. When the welding speed was 50 mm/min, the hardness was significantly increased in a small region on the area with oxygen free copper. In addition, cracks were observed in the hardening region. When the bonding speed is at 1,000 mm/min., the varying of the hardness distribution became less, cracks were not observed, and good bonding was achieved.

図4に接合部底面近傍の温度履歴を示す。温度測定は、裏板から熱電対を挿入して行った。接合条件は図4Aが $v=50$ mm/min、図4Bが $v=1000$ mm/minである。回転数はいずれも $R=1000$ rpmである。接合速度が増加すると、最高到達温度は減少して、温度変化のピークがシャープになった。すなわち、冷却速度が増大して、接合中の熱影響が小さくなった。図5に接合部断面の硬度分布を示す。接合条件は図5Aが $v=50$ mm/min、図5Bが $v=1000$ mm/minである。回転数はいずれも $R=1000$ rpmである。図5Aの場合、接合部の無酸素銅側で、硬さが著しく増加した領域が形成された。接合速度が増加すると、硬度分布の変化は小さくなり、図5Aに示した硬化領域の生成は認められなかった。

図6に図5Aのaとbの領域のBSE像およびEDSスペクトルを示す。aおよびbの領域のいずれもCuを主成分としたAlの濃度の高い領域であった。硬さが増加した領域はCu-Al系の金属間化合物相と推定される。硬さが減少するにつれて、Alの濃度は減少した。硬さが増加した領域には割れが観察された。先に示した図5Bの場合、図5Aに示した硬さが増加した領域は形成されなかった。また、割れの発生が認められなかったことから、接合速度を増加させると、攪拌領域(Cuの侵入する領域)が小さくなるものの、接合時の熱影響が小さくなり、反応相の生成が抑制される。このため、割れの発生の影響が小さくなり、良好な接合が可能となった。

参考文献

- 1) 熊谷 正樹: UACJ 技術報告, 1 (2014), 92-103.
- 2) 溶接学会編: 摩擦攪拌接合-FSW のすべて-, 産報出版 (2006), 160-161.
- 3) 中田 一博: 溶接学会誌, 74, 3 (2005), 148-151.