

## 研究ノート

# 摩擦攪拌接合による積層造形における

## アルミニウム合金とステンレスの接合条件の検討

河田圭一<sup>\*1</sup>、児玉英也<sup>\*1</sup>、加藤良典<sup>\*1</sup>

### Study on Joining Conditions of Aluminum Alloy and Stainless Steel in Additive Manufacturing by Friction Stir Welding

Keiichi KAWATA<sup>\*1</sup>, Hideya Kodama<sup>\*1</sup> and Yoshinori KATO<sup>\*1</sup>Industrial Research Center<sup>\*1</sup>

本研究では、摩擦攪拌接合を利用した異種金属の積層造形を実現するため、アルミ A5052 とステンレス SUS304 の積層造形条件について検討した。重ね合わせ接合においてプローブ端と接合界面からの距離について検討した結果、最大約 75MPa の接合強度を得ることができた。接合境界付近には 0.2 $\mu$ m 以下のポイドが確認され、接合強度の向上にはプローブ形状の最適化が必要であることが分かった。

### 1. はじめに

近年、航空機部品や樹脂成形用金型などの製造工程を中心に、金属積層造形(Additive Manufacturing、以下 AM)の実用化が進んでいる。これまで名古屋大学及び企業と共に、摩擦攪拌接合(Friction Stir Welding、以下 FSW)を利用した新しい金属 AM 技術<sup>1)</sup>の研究開発に取り組んできた<sup>2)</sup>。一方、輸送機器では軽量化、省エネルギー化を目的とした異種材料接合の利用が増えている。

本研究では、一般的な板材を使用して造形ができる本技術の特徴を生かし、異種金属の AM に取り組んだ。これまで、アルミと銅の重ね合わせ接合条件について検討し、本手法により内部欠陥の無い AM が可能なことを示した<sup>3)、4)</sup>。本報では、適用分野をより拡げるためアルミとステンレスの積層条件を検討した結果について報告する。

### 2. 実験方法

実験は、立形マシニングセンタ(安田工業(株)、YBM640V)を用いて FSW による重ね合わせ接合を行った。使用した FSW 工具の外観を図 1 に示す。工具材種は SKH56 とした。プローブは、直径 3mm、長さ 1.8mm とし、右ねじ形状を付与した。ショルダは、直径 10mm とし、接合時に発生するバリを抑えるため端面に渦巻き状の溝を設けた。接合素材は、アルミ材として A5052-H34、ステンレス材として SUS304(2B)の板材を用いた。板厚は、アルミ材は 2mm、ステンレス材は 1mm とした。図 2 に示すように、ステンレス材の上

にアルミ材を重ね FSW 工具の挿入深さを調節して、プローブ端と接合界面との距離 L が接合強度に及ぼす影響について調べた。L が 0、0.1、0.2mm の 3 条件について検証した。

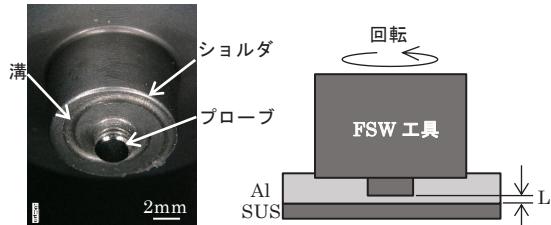


図 1 FSW 工具

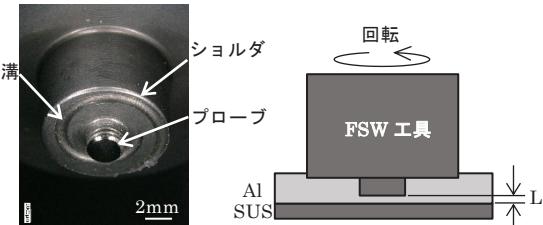


図 2 挿入深さ

接合経路と接合後の様子を図 3 に示す。重ねた 2 枚の素材は(a)の黒丸で示す 4 か所の位置で治具に固定した。FSW 工具を灰色丸で示される位置で挿入し、黒矢印の経路により上下の素材を接合した後、白丸で工具を引き抜いた。工具の回転数は 2000rpm、送り速度は 300mm/min とした。接合後、図 3(a)で示す破線の位置をワイヤ放電加工機(三菱電機(株)、MV1200R)で切断し、幅 20mm の引張せん断試験用供試材を 3 枚作製した。引張せん断試験は、万能試験機(株)島津製作所、AGS-X10kN)を用いて、各条件につき 3 回実施した。引張速度は 1mm/min とした。試験後、剥離部の観察を光学顕微鏡(株)キーエンス、VHX-6000)及び走査型電子顕微鏡(日本電子(株)、JCM-6000、以下 SEM)により行った。また、切断後の試料から接合部を切り出し樹脂に埋めたのちバフ研磨した表面の観察を SEM(日本電子(株)、

\*1 産業技術センター 自動車・機械技術室

JSM-IT710HR)により行った。

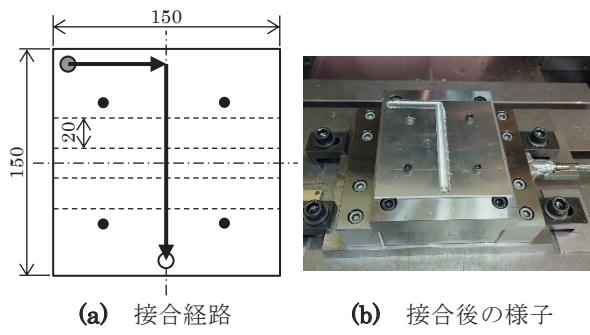


図3 接合経路と接合後の様子

### 3. 実験結果及び考察

引張せん断試験結果を図4に示す。距離Lの減少とともに試験力は大きくなつた。L0の条件で最大となり、約4500Nであった。しかしながら、どの条件においてもアルミ母材の破断までには至らず、接合境界部でアルミとステンレスが剥離した。接合部がプローブ径の幅で接合しているとすると最大の接合強度は約75MPaとなり、本実験で使用したアルミ母材強度の約30%程度となつてゐた。積層造形の場合、接合面積を大きくできるので、内部配管構造物などの荷重負荷の小さいものであれば、本接合強度でも異種金属の積層造形が可能と考えている。しかしながら、本造形法の適用範囲を広くするためには、接合強度をさらに向上させる必要がある。

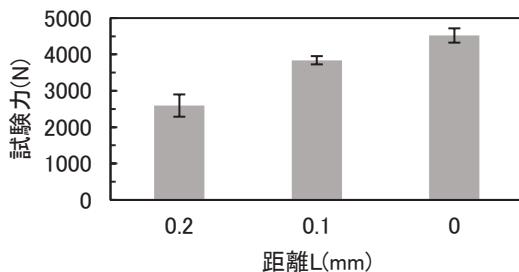


図4 引張せん断試験結果

剥離したステンレス表面を光学顕微鏡により観察した結果を図5に示す。図中の二重丸は、工具のプローブとショルダの通過位置を示している。工具は反時計回りに回転し、左から右に移動して接合しており、図の上側がRS(Retreating Side)、下側がAS(Advancing Side)となる。L0.2では、ステンレス表面にアルミの付着はほとんど見られなかつた。一方、L0では、RSにおいてアルミが凝着していたが、ASにおいてアルミの付着はほとんど見られなかつた。図5(b)に示す①、②の位置をSEMで観察した結果を図6に示す。凝着しているアルミは、(a)に示すように、せん断方向に延びて破断している様相を呈していた。一方、②部分のASのステンレス

表面にはアルミが確認できなかつた。

SEMによる接合部の観察結果を図7に示す。AS、RSともに接合境界付近に0.2μm以下のポイドが観察され、特にRSに多く見られた。このポイドの影響による強度低下が考えられるので、ポイドを低減するプローブ形状や接合条件を検討する必要があることが分かつた。

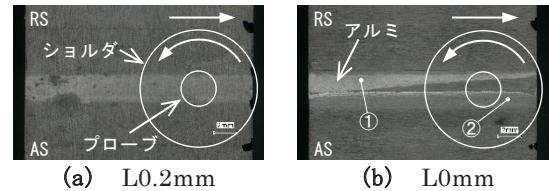


図5 光学顕微鏡による剥離部の観察結果

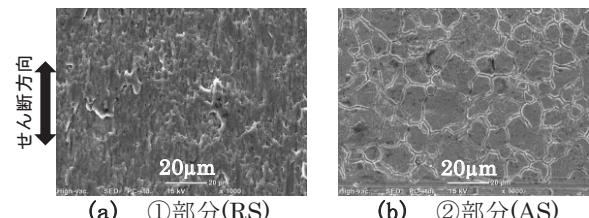


図6 SEMによる剥離部の観察結果

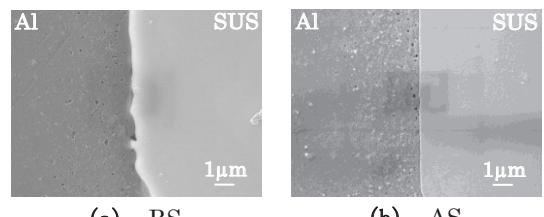


図7 SEMによる接合部の観察結果

### 4. 結び

本研究の結果は、以下のとおりである。

- (1) 引張せん断試験による接合強度は、最大約75MPaであった。
- (2) L0の条件において、RSの剥離部でアルミが破断している様子が見られた。
- (3) 接合境界付近で0.2μm以下のポイドが存在することが分かつた。

### 文献

- 1) 特許第6587028号
- 2) 河田圭一, 児玉英也, 菅野祐介, 廣澤考司, 横山博: あいち産業科学技術総合センター研究報告, 10, 44(2021)
- 3) 河田圭一, 児玉英也, 加藤良典: あいち産業科学技術総合センター研究報告, 12, 42(2023)
- 4) 河田圭一, 児玉英也, 加藤良典: あいち産業科学技術総合センター研究報告, 13, 72(2024)