

## 研究ノート

## 摩擦攪拌接合による A5052 と C1100 の積層造形

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

## Additive Manufacturing Using A5052 and C1100 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>

摩擦攪拌接合を利用した新しい金属積層造形技術を用いて異種金属の金属積層造形に取り組んでいる。本報では、アルミ材の上に銅材を積層造形するための重ね接合条件について調べた。また、アルミ材で銅材を挟んだサンドイッチ構造の異種金属造形を行った。その結果、本技術により内部欠陥の無いアルミと銅の異種金属積層造形が可能であることを示した。

## 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同で、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 に取り組んでいる。前報<sup>3)</sup>では、銅材の上にアルミ材を AM するための重ね接合条件について調べた。より複雑な造形を行うためにはアルミ材と銅材の上下に関係なく重ね接合できる必要がある。そこで、本報ではアルミ材の上に銅材を AM するための重ね接合条件について調べた。さらに、アルミ材で銅材を挟んだサンドイッチ構造の異種金属 AM を行い、内部欠陥の有無について検討した。

## 2. 実験方法

## 2.1 銅材(上板)/アルミ材(下板)の重ね接合試験

銅材(上板)とアルミ材(下板)の重ね接合条件を調べるため、立形マシニングセンタ(安田工業(株)製、YBM640V)を用いて実験を行った。使用した FSW 工具と接合試験方法を図 1 に示す。(a)のように、プローブは直径 3mm、長さ 1.8mm とし、右ねじ構造とした。ショルダは直径 10mm とし、図に示すような渦巻き状の溝を設け接合中のバリ発生を抑えた。(b)のように、60mm×100mm の接合試験用のアルミ板と銅板を治具にねじで固定した。板厚は 2mm とし、アルミ材には A5052、銅材には C1100 を使用した。本実験では、

FSW 接合時の欠陥の有無を調べるため、白矢印に示す位置を 3 回連続して接合した。白矢印の右端で工具を挿入し、-X 軸方向に 60mm 接合後、左端位置で工具を引き抜いた。単パス終了後、Y 軸方向に -10mm 移動し同様の接合を繰り返した。工具回転数 800rpm、挿入深さは 1.9mm とし、送り速度 100、300mm/min の 2 条件を実施した。板厚は 2mm のため、プローブは銅板を貫通しておらず、アルミ板との境界から 0.1mm 以上上側の銅板部分のみを攪拌して接合を行った。サーモグラフィ(日本アビオニクス(株)製、TS300SW)を用いて接合時の工具ショルダ部の温度を測定した。接合部の観察は、光学顕微鏡((株)キーエンス製、VHX-6000)を用いて行った。

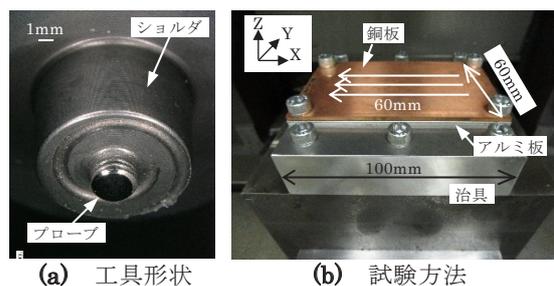


図 1 FSW 工具の形状及び試験方法

## 2.2 異種金属 AM による試作

異種金属積層の試作形状及び接合経路を図 2 に示す。ベース材であるアルミ材の上に、銅板を 2 枚、さらにアルミ板を 1 枚積層するサンドイッチ構造の AM を目標とした。板材は重ね接合試験と同じものを使用した。接合後表面の凹凸がバリなどの影響により大きく、そのまま次の板を重ねることが出来ないため、接合後は表面から 0.3mm を切削により除去し平らにした後、次の板をの

\*1 産業技術センター 自動車・機械技術室

せ接合した。そのため、各積層高さは 1.7mm となる。接合経路を(b)に示す。黒丸位置で工具を挿入し、反時計回りの黒矢印方向に一周した後、次の外側経路へ白矢印方向に移動した。経路が渦状になるように、合計 5 周した後、白丸位置で工具を引き抜いた。各経路のピッチは 2.1mm とした。各層の接合条件は、アルミ(上)/銅(下)の場合、回転数 1000rpm、送り 300mm/min とした。銅(上)/アルミ(下)及び銅(上)/銅(下)の場合、回転数 800rpm、送り 100mm/min とした。工具の挿入深さは 1.9mm に統一した。試作後、X 線 CT((株)島津製作所製、inspeXio SMX-225CT)を用いて積層内部を観察した。

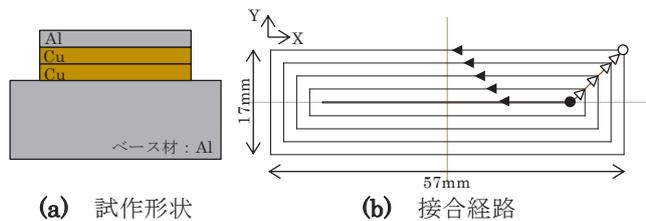


図 2 異種金属積層の試作形状及び接合経路

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 銅材(上板)/アルミ材(下板)の重ね接合試験結果

接合試験後の表面及び断面の観察結果を図 3 に示す。どちらの送り条件とも接合後の表面に欠陥は見られなかった。しかし、断面観察したところ、図 3(b)の 3 パス目以外の条件において内部欠陥が生じていることが分かった。送り 100mm/min の条件では、パスが進むごとに内部欠陥が小さくなっており、接合時の温度が影響していると考えられる。そこで、送り 100mm/min で接合時のショルダ部の温度を測定した。測定結果を図 4 に示す。(a)に示すように、ショルダ部の温度は材料に挿入後約 350℃まで上昇するが、未接合部の温度が低い方に工具が移動すると、約 280℃まで温度が下がる傾向が見られた。ここで、温度が下がり安定している状態での平均温度をパスごとに示した図を(b)に示す。接合回数が増えるほどショルダの平均温度は上昇しており、本実験では平均温度が 330℃に達すると内部欠陥が消失することが分かった。

#### 3.2 異種金属 AM による試作

前報及び 3.1 項において内部欠陥を生じにくい接合条件を見出したことから、異種金属の AM を行った。試作した異種金属積層材の外観および X 線 CT 観察結果を図 5 に示す。積層後、未接合部を切削により除去し、(a)の外観で示すように各層の接合部を目視観察したが境界部に欠陥は見られなかった。また、X 線 CT を用いて観察後、欠陥検出評価を行ったが、本条件では内部欠陥を検出することはできなかった。

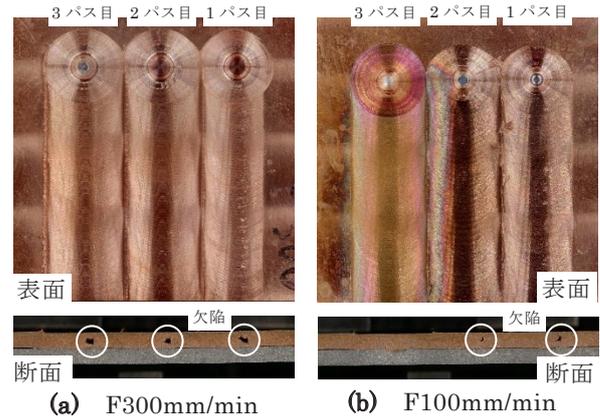


図 3 接合後の表面及び断面の様子

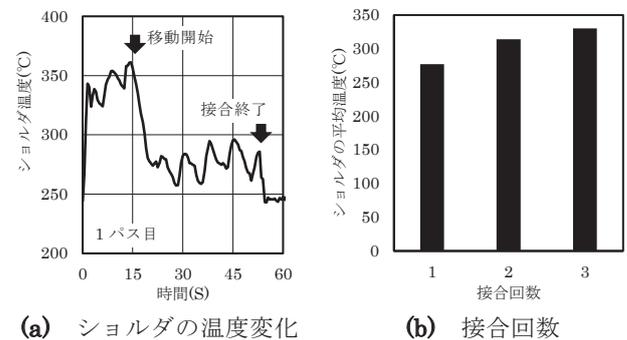


図 4 ショルダ部の温度測定結果(F100mm/min)

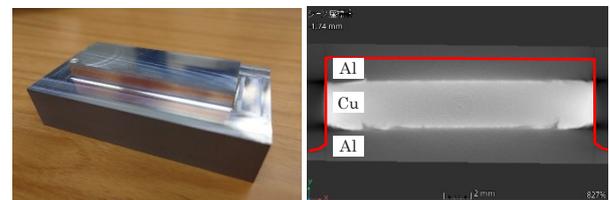


図 5 異種金属積層材の外観及び X 線 CT 観察結果

### 4. 結び

本研究の結果は、以下のとおりである。

- (1) アルミ材の上に銅材を AM するための重ね接合条件について調べた結果、送り 100mm/min の条件において、ショルダ平均温度が 330℃に達すると欠陥が生じず接合できることが分かった。
- (2) アルミと銅の異種金属 AM を行った結果、欠陥なく造形できることが分かった。

### 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)