

研究ノート

摩擦攪拌接合を用いた金属積層造形における 銅合金とアルミニウム合金の接合条件の検討

河田圭一^{*1}、児玉英也^{*1}、加藤良典^{*1}

Investigation of Welding Conditions of Copper Alloy and Aluminum Alloy in Metal Additive Manufacturing Using Friction Stir Welding

Keiichi KAWATA^{*1}, Hideya KODAMA^{*1} and Yoshinori KATO^{*1}Industrial Research Center^{*1}

摩擦攪拌接合と切削を組み合わせて行う新しい金属積層造形技術の開発を行っている。異種金属材料を含む積層造形に取り組むため、基礎実験として FSW ツールの挿入深さが銅合金とアルミニウム合金の接合強度に与える影響について調べた。その結果、挿入深さにより接合境界部の様子は異なり、プローブ端面と接合境界との距離が 0.1mm の条件の時に最も引張せん断力が大きくなった。

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同し、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¹⁾の研究開発に取り組んできた²⁾。本技術は、マシニングセンタ内において、板材を FSW により重ね合わせ接合した後、切削による仕上げ加工を 1 層ずつ繰り返すことで三次元造形を行う技術であり、溶接断面積の大きい FSW を利用しているため積層造形時間が比較的短いことや市販の合金板材を利用できることなどが特徴として挙げられる。一方、輸送機器などでは軽量化、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。そこで、本研究では市販の合金板材を利用できる特徴を生かし、異種材料接合の金属積層造形に取り組んだ。本報では、銅合金(以下銅)とアルミニウム合金(以下アルミ)の積層造形を行うための基礎実験として、FSW ツールの挿入深さが接合強度に与える影響について報告する。

2. 実験方法

2.1 接合条件と引張試験片の製作方法

本実験では、アルミの上板と銅の下板を重ね合わせ接合した時の接合強度を調べるため、引張せん断試験を実施した。銅とアルミの接合は、前報²⁾と同様のマシニングセンタと FSW ツールを使用して行った。FSW ツールのショルダ直径は 10mm とし、M3 のねじ山形状を有す

るプローブの長さは 2.3mm とした。アルミ板材には A5052、銅板材には C1100 を使用した。図 1 に、板材に対する FSW ツールの挿入深さの関係を示した模式図を示す。本実験では、(a)(b)に示すようにプローブが上板を貫通しない場合と貫通する場合の 2 種類について検討した。さらに、貫通しない場合は接合境界面からプローブ端面までの距離が 0.3mm と 0.1mm の 2 条件を実施した。本報では、ツール挿入深さを接合境界面とプローブ端との距離と定義し、貫通しない場合をプラス表記、貫通する場合をマイナス表記とした。接合する前にアルミ板材表面を切削して厚みを調整することにより、ショルダの挿入量が 0.1mm で一定となるようにした。

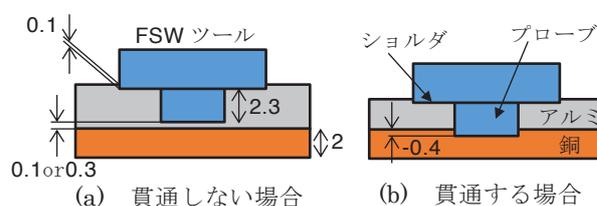


図 1 FSW ツールの挿入深さ

FSW による接合経路の模式図を図 2 に示す。図に示す経路で接合した後、ワイヤ放電加工機により点線部で切り出し、引張試験片として供した。接合状態を安定させるため、評価部の接合を行う前に、温度がなるべく均一となるよう助走部を設けた。評価部は積層造形時を想定し、3 パス分をピッチ 2mm で接合し、接合幅が約 7mm となるようにした。接合条件は、ツール回転数 1000rpm、接合速度 300mm/min とした。

^{*1} 産業技術センター 自動車・機械技術室

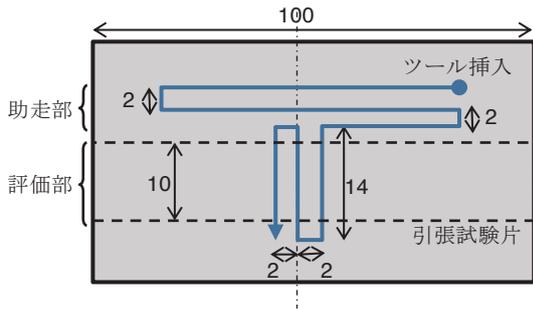


図2 FSWによる接合経路

2.2 接合部の観察と引張試験方法

接合部の観察は光学顕微鏡((株)キーエンス、VHX-6000)を用いて行った。引張せん断試験は引張試験機((株)島津製作所、AGS-X10kN)を用いて行った。試験速度は2mm/secとし、それぞれの接合条件につき2回行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 光学顕微鏡による接合部の観察

光学顕微鏡による接合部の観察結果を図3に示す。挿入深さ0.1mmの条件では、接合境界部に若干の凹凸が見られるものの、欠陥はなく、明瞭な境界が維持されている。0.3mmの条件においても同様な観察結果が得られた。一方、挿入深さ-0.4mmの条件では、ツールにより攪拌された銅がアルミ側にまで盛り上がっている様子が観察された。さらに、プローブ端付近には比較的大きな内部欠陥が観察された。上板がアルミのため攪拌による温度上昇が比較的低く、銅の塑性流動状態が悪かったと推察される。

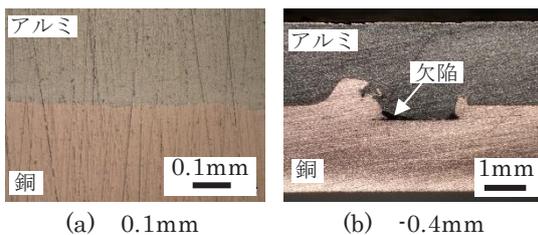


図3 光学顕微鏡による接合部の観察結果

3.2 引張試験機による測定結果

引張試験機による測定結果の一例を図4に示す。挿入深さが0.3mmと0.1mmの条件に対し、-0.4mmの条件では破断までの試験力に大きな変動が見られた。図5に示す破断後の試験片の外観から分かるように、アルミと銅が混在することなく接合された0.1mmの条件では、接合境界で破断したのに対し、アルミと銅が混在して接合された-0.4mmの条件では、接合部分がかぎ爪のように作用し、試験途中に部分的に剥がれても破断までに至らなかったためと考えられる。図5には示していないが、0.3mmの条件も0.1mmと同様、接合境界で破断したこ

とから試験力の変動は小さかったと思われる。

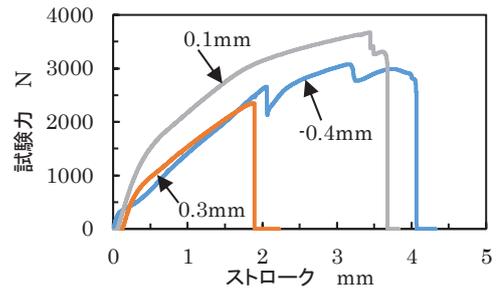


図4 引張試験機による測定結果の一例



(a) 0.1mm



(b) -0.4mm

図5 破断後の試験片の外観

最大せん断力をツール挿入深さで比較した結果を図6に示す。0.3mmと0.1mmの条件を比較すると、接合の境界に近い0.1mmの方が最大せん断力は大きくなった。一方、-0.4mmの条件では、大きな内部欠陥が存在したものの、銅がアルミ部分にかぎ爪のように食い込んでい

る効果により、0.1mmの条件と比較して本条件では大きな強度低下は見られなかった。

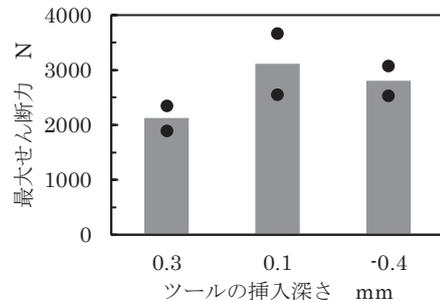


図6 最大せん断力の比較

4. 結び

本研究の結果は、以下のとおりである。

- (1) 挿入深さにより接合境界部の様子は異なった。
- (2) 接合境界からプローブ端までの距離が0.1mmの時に最もせん断力が大きくなった。

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, 11, 54(2022)