

カーボンナノファイバー／アルミニウム複合材料の開発

製品・機能評価課 丹保浩行*1 清水孝晃 岩坪聡*1 デジタルものづくり課 氷見清和

機能素材加工課 柿内茂樹*2 機械電子研究所 角田龍則

1. 緒言

電子デバイスの小型化・高密度化により発熱密度が増大するため、優れた熱伝導性を有する放熱材料の開発が求められている。自動車や航空機などの輸送分野では、軽量小型の高密度電子デバイスが搭載されており、多くの用途で加工性の良い軽量なアルミニウムが用いられている。近年、カーボンのみで構成される材料の研究が進められ、アルミニウムよりも軽量・高熱伝導率のファイバーが開発されている。また、電子部品の接合には、スズを主成分としたはんだが広く用いられている。カーボンナノファイバー、アルミニウムおよびスズの熱伝導率は、それぞれ 1500、200 および 70 W/mK 程度である。

摩擦攪拌接合(FSW)は、ツールを回転させながら材料に接触させることにより、固相状態で接合する特長を有している。これまで、アルミニウムと銅の突合せ継手の開発を報告してきており、接合部底面近傍の温度は 400°C 程度に達することを確認している¹⁾。カーボンナノファイバーの分解温度は 550°C 程度であり、アルミニウムおよびスズの融点は 660 および 230°C 程度であることから、複合させる材料の中でスズは、低温で流動性を有する液相状態となる。また、界面における接触熱抵抗は、接触面の状態により変化する。

本研究では、カーボンナノファイバーを複合したアルミニウム薄板の界面接合のため、摩擦攪拌接合におけるツール回転数を検討した。

2. 実験方法

カーボンナノファイバーは繊維径 150 nm 程度、純アルミニウム(A1050)薄板は 0.5 mm × 40 mm × 200 mm、スズ箔は厚さ 0.05 mm を用いた。①摩擦攪拌による接合(図 1) : ツール形状は、ショルダ径 φ8 mm、プローブ形状 M3、プローブ長さ 0.6 mm とした。接合条件は、ツール挿入速度 30 mm/min、挿入後の保持時間 0.5 sec、ツール押込量 0.65 mm、接合速度 50 mm/min とし、ツール回転数(R)を 50、100、150 rpm と変化させた。試験片は、上下板の重ね代が 150 mm になるように配置して、ツールを矢印方向に進行させ接合した。なお、前進側(AS)および後退側(RS)は、接合部の外周および内周とした。外乱が大きくなることが予想される接合部の始端を再度通過させ、終端を A1050 とツールの非接触点とした。

②押圧加熱による接合 : ホットプレート上に A1050 を設置して行った。加熱された A1050 上にスズ箔を堆積し、スズの融点以上で押圧加熱して、A1050/スズ/A1050 を接着した。③はんだこてによる接合 : カーボンナノファイバーをスズ箔上に堆積し、箔を折り畳むことによりカーボンナノファイバーを包み、箔の外周をはんだこてを用いて加熱し接着した。

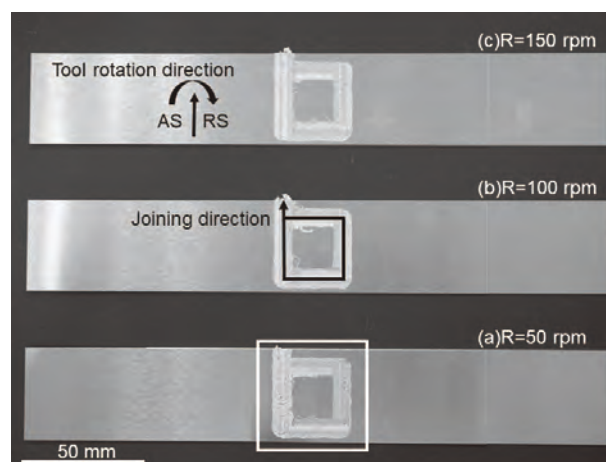


Fig. 1 Appearance of tensile shear test pieces jointed at various tool rotation speed; (a)50 rpm, (b)100 rpm, (c)150 rpm

3. 実験結果および考察

図 2 に白線枠内(図 1)の摩擦攪拌接合部を拡大した試験片の外観を示す。重ね継手により板厚 0.5 mm の A1050 を接合できることがわかった。ツールの回転数を増加させるにつれて、接合部表面の凹凸は低くなり平坦性が向上する傾向を示した。これらの試験片は接合部の内周よりも外周付近に孔が多く観察された。また、ツールの回転数をこの条件よりも格段に減少あるいは増加させたとき、固相状態の薄板は折曲がり変形した。

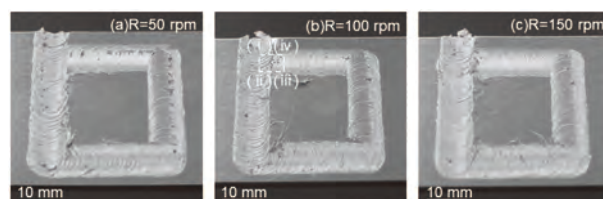


Fig. 2 Appearance of aluminum test pieces jointed at various tool rotation speed; (a)50 rpm, (b)100 rpm, (c)150 rpm

図 3 に接合部の断面をナノフォーカス X 線 CT スキャンした結果を示す。ワイヤーカット放電加工機を用いて、

*1 現 デジタルものづくり課、*2 現 企画調整課

試験片を 5 mm × 20 mm に加工し、図 2 の白点線枠内 (1 mm × 5 mm × 5 mm) の範囲をスキャンした。ツールを 2 回通過させた接合部の(ii)-(i)は接合方向、(iv)-(iii)は接合方向に対して垂直方向の断面である。

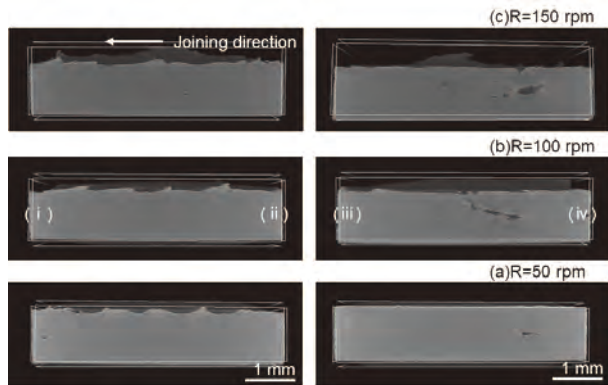


Fig. 3 Cross-sectional images for aluminums jointed at various tool rotation speed; (a)50 rpm, (b)100 rpm, (c)150 rpm

上下板の境界面付近に空洞化が生じており、いずれのツール回転数においても、(iv)付近で大きな空洞が観察された。この空洞化は、接合部の外周付近に生じており、表面観察された凹凸 (図 1) から外周付近に多く欠陥が生じていると考えられる。

図 4 に試験片の最大引張せん断荷重を示す。クロスヘッドの速度は 5 mm/min とした。ツール回転数を増加させるにつれて、引張せん断荷重は増大した。純度 99.5 wt% 程度のアルミニウムの再結晶温度は 200°C 程度であることが報告されている²⁾。ツール回転数が増加し摩擦エネルギーが増大することにより、接合部の温度は上昇していると考えられる。さらに、接合表面からの空洞は減少したため、A1050 薄板の接合強度が増大したと考えられる。

キーワード：アルミニウム、摩擦攪拌接合、カーボンナノファイバー

Development of Composite Technology for Carbon Nanofiber and Aluminum

Product and Function Evaluation Section; Hiroyuki TAMBO, Takaaki SHIMIZU and Satoshi IWATSUBO
 Functional Material Processing Section; Shigeki KAKIUCHI, Digital Manufacturing Section; Kiyokazu Himi
 Mechanics and Electronics Research Institute; Tatsunori KAKUDA

Joining of aluminum thin plates using friction stir has been investigated to combine with carbon nanofiber. It was found that when the tool rotation speed was increased from 50 to 150 rpm, defects of joint surface decreased and maximum tensile shear load increased. With tool rotating speed at 150 rpm, the maximum tensile shear load was approximately 1200 N. From the cross-sectional images, cavities were observed between the aluminum plates. It is considered that joint strength of the aluminum thin plates increases because cavity defects of joint surface decrease.

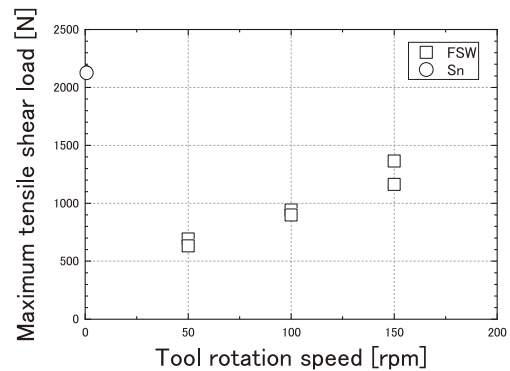


Fig. 4 Influence of tool rotation speed on maximum tensile shear load of aluminums lap joint

スズを押し加熱接合した試験片の最大引張せん断荷重は、2100 N 程度を示した。スズは 30 mm × 30 mm の面で接合させており、アルミニウムで破断した。このため、A1050 薄板の引張せん断荷重を示していると考えられる。

スズ箔の中心にカーボンナノファイバーを堆積し、箔を折り畳み、外周を加熱したところ、外周付近は凹凸しているが、中心付近に比較的平坦な複合材料を形成した。

4. 結言

摩擦攪拌接合を用いて A1050 薄板を重ね継手接合した。ツール回転数を増加させるにつれて、接合表面の空洞は減少し、最大引張りせん断荷重は増大した。スズを用いて接合した試験片は A1050 で破断し、スズ接合を確認した。カーボンナノファイバーをスズ箔で折り畳み包んだ。

参考文献

- 1) 柿内ら:富山県工業技術センター研究報告 31 (2017) 50
- 2) N. Kawashima et al.:日本金属学会誌 16 (1952) 72