

## 高周波誘電加熱を利用した異種材料の接合

佐野 勝\*<sup>1</sup> 秋山 稔\*<sup>2</sup> 関根 正裕\*<sup>3</sup>

### High-frequency Welding of Dissimilar Materials

SANO Masaru\*<sup>1</sup>, AKIYAMA Minoru\*<sup>2</sup>, SEKINE Masahiro\*<sup>3</sup>

抄録

近年、複数の材料を適材適所に用いるマルチマテリアル化の要求に対し、異種材料を接合する技術の重要性が増加している。そこで熱可塑性接着材を用いた高周波誘電加熱によるアルミ板とガラス繊維強化ポリプロピレン (GF-PP) の接合を検討した。まず、湿式研磨処理あるいは化学エッチング処理したアルミ板とGF-PP間に誘電加熱用の接着材を挟んで誘電加熱接合を試みたが、GF-PPと接着材間のみ接合し、アルミ板と接着材は接合しなかった。次に化学エッチング処理したアルミ板に接着材をあらかじめ熱プレスし、その後GF-PPを配置して誘電加熱したところ、出力200W、20s間の高周波印加で接着材が溶融してGF-PPと接合し、アルミ板とGF-PPが接合した。得られた接合試験片の引張せん断試験では8.2MPaの強度が得られ、高周波誘電加熱を用いた金属-樹脂間の異種材料接合の可能性が示唆された。

キーワード：誘電加熱，異種材料接合，アルミ，ガラス繊維強化ポリプロピレン

## 1 はじめに

近年、自動車分野等において燃費の向上を目的として、軽量化が進められている。軽量化の手法としては普通鋼から薄くて強いハイテン鋼への置換、比重が小さいアルミ材への転換、さらに軽量の樹脂及び樹脂複合材料の採用が挙げられ<sup>1)~4)</sup>、近年では特に、これら種類の異なる材料を適材適所に使用するマルチマテリアル化が重要といわれている。このマルチマテリアル化の実現には金属と樹脂等の異種材料を接合する技術の開発が要求されている<sup>1), 5), 6)</sup>。

これまで我々は、熱可塑性接着材を使用した誘電加熱による手法を用いて、通常の

接着剤による接合が困難なPP板<sup>7)</sup>、ガラス繊維強化ポリプロピレン (GF-PP)<sup>8)</sup>及びポリアセタール<sup>9)</sup>の短時間・高強度接合を可能とした。更には、異種材料であるGF-PPとガラス繊維強化ポリアミドの誘電加熱による接合も可能とした<sup>10)</sup>。

本研究では、マルチマテリアル化への社会的要求を踏まえ、金属と樹脂、具体的にはアルミ板とGF-PPの異種材料間の高周波誘電加熱による接合について検討した。

## 2 実験方法

### 2.1 供試材料

被着材として用いたアルミ板 (100mm×25mm×1.5mm、材質：A5052) は、#800のサンドペーパーによる湿式機械研磨処理したもの或いは化学エッチング処理をした市販

\*<sup>1</sup> 現 企画・総務室 企画担当

\*<sup>2</sup> 北部研究所 材料・機械技術担当

\*<sup>3</sup> 技術支援室

のものを用いた。同じく被着材とした GF-PP は 3mm 厚の TEPEX dynalite104 (Bond-Laminates GmbH) を 100mm×25mm の大きさに切断し、試験に供した。また、分析走査型電子顕微鏡 (JSM-IT300LA、日本電子) を用いて、接着材を熱プレスしたアルミ板の断面観察を行った。

接合用接着材の基材は、ポリプロピレンペレット (ノバテック MH4、日本ポリプロ) とポリオレフィン系樹脂改質剤を 8:2 (樹脂①) 及び 6:4 の割合で混合したもの (樹脂②) 非晶質ポリアルファオレフィン系ホットメルト接着剤 (樹脂③)、ポリオレフィン系接着性樹脂 (樹脂④) を用いた。接着材に添加するセラミックスは、既報<sup>3)</sup>にて GF-PP の短時間接合が可能であった ZnO (和光純薬工業、メジアン径: 0.96 $\mu$ m) を用いた。

## 2.2 熱可塑性接着材の作製

アルミ板と GF-PP との接合用の接着材は以下の手順で作製した。2.1 で示した 4 種類の接着剤基材 (樹脂①~④) それぞれに ZnO 粒子を所定量配合し、ラボプラストミル (10C100 R60、東洋精機製作所) を用いて基材樹脂の種類に応じて 175~200℃ で 6 分間混練した。その後、この混練物を混練と同様の温度で熱プレスして (圧力は全て 1MPa)、基材樹脂が異なる 4 種類のシート状熱可塑性接着材を作製した。またこの接着材のアルミ板へのコーティングも上記同様の熱プレス条件で行った。

## 2.3 高周波誘電加熱による接合試験

接合試験は 2.2 で作製した 23×11×1mm の熱可塑性接着材をアルミ板と GF-PP との間に挟み、ハイブリッドウェルダ (YRP-400T-A、山本ビニター、発振周波数: 40.68MHz) の電極間に 0.4MPa の圧力で固定した。この状態で所定の出力・時間の高周波を印加して接着材を加熱溶解させた後に高周波の印加を停止した。その後所定の時間放冷し、圧力

を解除して接合試験片を作製した。

## 2.4 接合試験片の接合強度の評価

高周波誘電加熱により接合した試験片の接合強度は、万能材料試験器 (AG-100KNI、島津製作所) を用いて引張せん断試験により評価した (N=3)。試験条件は、つかみ具間距離 90mm、試験速度は 2mm/min. で行った。また、試験の際に接合面に荷重が正しくかかるように、つかみ部には被着材と同じ厚さの当て板を使用した。

## 3 結果及び考察

### 3.1 表面処理したアルミ板と GF-PP との誘電加熱接合

図 1 に #800 のサンドペーパーによる湿式研磨処理をしたアルミ板の表面を示した。

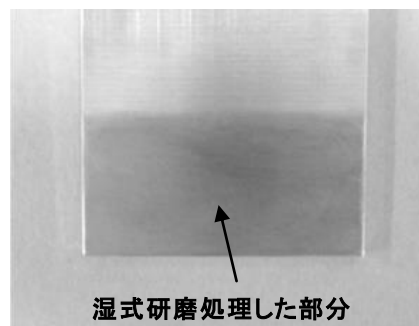


図 1 #800 のサンドペーパーによる湿式研磨処理をしたアルミ板

図 1 に示した湿式研磨アルミ板と GF-PP の被着材に対し、樹脂①を基材とする接着材を用いて誘電加熱接合試験を実施した結果を図 2 に示した。



図 2 樹脂①を使用した接着材による湿式研磨アルミ板と GF-PP の誘電加熱接合

GF-PPに面した接着材は200W、16sの高周波印加で加温溶融し、接着材とGF-PPは接合したが、アルミ板に面した接着材の表面はほとんど溶けておらず、アルミ板と接着材は接合しなかった。この現象は他の接着材の基材(②、③及び④)を用いた場合、あるいは化学エッチング処理をしたアルミ板(化学エッチングアルミ板)を用いた場合にも見られ、接着材とGF-PPは接合したが、アルミ板と接着材は接合しなかった。これについては、高周波印加によって接着材が加熱されても、熱伝導率が高いアルミ板に面した側はアルミへの放熱が起り易いため溶融しなかったと考えられた。

そこで、あらかじめ誘電加熱接着材と同様の成分をコーティングしたアルミ板を用いることによって、高周波印加でコーティング膜が自己発熱するとともに、加熱された接着材からアルミ板への放熱が抑制され、アルミ板とGF-PPが接合するか検討した。図3に、化学エッチング処理したアルミ板に樹脂④を用いた接着材をあらかじめコーティングし(コーティングアルミ板:膜厚約80 $\mu$ m)、樹脂④を用いた1mm厚の接着材を用いてGF-PPとの誘電加熱接合試験を行った後の試験片を示した。



図3 樹脂④を用いた接着材をコーティングしたアルミ板とGF-PPの誘電加熱接合

GF-PPに面した接着材は高周波により十分に溶融して接着材とGF-PPは接合したが、コーテ

ィングアルミ板に面した接着材の表面中心部はほとんど溶けておらず、コーティングアルミ板と接着材は接合しなかった。

### 3.2 あらかじめ接着材を熱プレス(熱圧着)したアルミ板とGF-PPとの誘電加熱接合

3.1において、高周波を印加してもアルミ板に面した接着材表面はほとんど溶けずに、アルミ板と接着材は接合しなかった。そこで、あらかじめ化学エッチングアルミ板に接着材(樹脂④使用)を約0.8mmの厚さに熱プレスし(図4上図)、その後誘電加熱によってGF-PPとの接合試験を実施した。

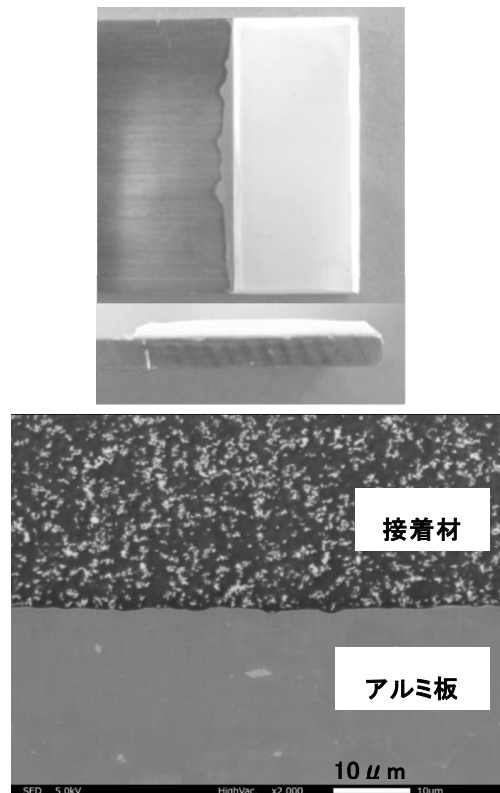


図4 樹脂④を用いた接着材を溶着熱プレスした化学エッチングアルミ板(上図)及び接着材をアルミ板に熱プレスした後の断面SEM像(下図:2,000倍)

接着材を190 $^{\circ}$ Cで熱プレスした後の断面のSEM像を図4下図に示したが、接着材が化学エッチングアルミ板の表面に隙間なく接触してい

ることが確認された。

続いて、図4上図の様にあらかじめ接着材を熱プレスしたアルミ板を用いてGF-PPとの誘電加熱接合を行ったところ、200W、20Sの高周波印加で接着材が十分熔融してGF-PPと接合し、化学エッチングアルミ板とGF-PPが接合した。また、接合試験片の引張せん断試験では8.2MPaの強度が得られた。図5に引張せん断試験後の試験片を示したが、GF-PPの一部表層が接着材に付着している部分（丸囲い部分）や、接着剤内部での破壊も一部見られた。しかし、化学エッチングアルミ板と接着材との界面破壊もまだ多く見られており、この部分の接着性の改善により、さらなる接合強度の向上が期待できる。

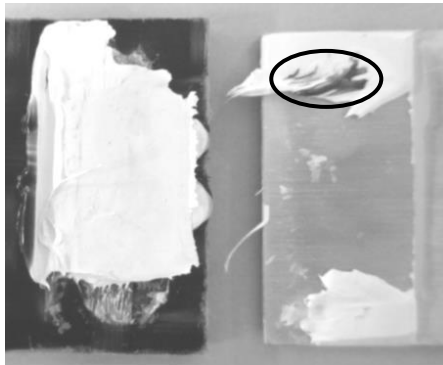


図5 接合試験片の引張せん断試験後の状況

#### 4 まとめ

高周波誘電加熱を利用したアルミ板とGF-PPの異種材料間接合方法について検討した。

まず、湿式研磨処理あるいは化学エッチング処理により表面処理したアルミ板とGF-PPの誘電接合を試みた結果、いずれもGF-PPと接着材の間のみ接合し、アルミ板と接着材の間では接合しなかった。

次に化学エッチング処理したアルミ板にあらかじめ接着剤を熱プレス（圧着）し、その後GF-PPを配置して誘電加熱したところ、200W、20s間の高周波印加で接着材が熔融してGF-PPと接合し、アルミ板とGF-PPが接合した。接合試験片の引張せん断試験では8.2MPaの強度が得られた。

#### 参考文献

- 1) 永塚公彬, 田中宏宜, 肖伯律, 土谷敦岐, 中田一博, 摩擦重ね接合によるアルミニウム合金と炭素繊維強化樹脂の異材接合特性に及ぼすシランカップリング処理の影響, 溶接学会論文集, 33, 4, (2015)317-325.
- 2) 影山裕史, 自動車用CFRP技術の最新動向, まてりあ, 53, 12, (2014)612-615.
- 3) P. Amend, S. Pfindel, M. Schmidt,: Thermal joining of thermoplastic metal hybrids by means of mono- and polychromatic radiation, Physics Procedia. 41 (2013) 98-105.
- 4) M. Goede, M. Stehlin, L. Rafflenbeul, G. Kopp, E. Beeh: Super Light Car-lightweight construction thanks to a multi-material design and function integration, Eur. Transp. Res. Rev. 1 (2009) 5-10.
- 5) 小椋智, 廣瀬明夫, アルミニウム合金/鋼異種金属接合における界面組織制御と機械的特性, 軽金属, 66, 9, (2016)503-511.
- 6) 堀内伸, 樹脂-金属異種材料複合体接合特性の評価試験方法の国際標準, 計測と制御, 54, 10, (2015)743-747.
- 7) M. Sano, H. Oguma, M. Sekine, C. Sato: High-frequency welding of polypropylene using dielectric ceramic compounds in composite adhesive layers, Int. J. Adhes. Adhes. 47 (2013) 57-62.
- 8) M. Sano, H. Oguma, M. Sekine, Y. Sekiguchi and C. Sato, High-frequency welding of glass-fibre-reinforced polypropylene with a thermoplastic adhesive layer: Effects of ceramic type and long-term exposure on lap shear strength, Int. J. Adhes. Adhes. 59 (2015) 7-13.
- 9) 佐野勝, 関根正裕: 高周波誘電加熱を利用した軽量・高強度部材の接合技術の実用化, 平成26年度埼玉県産業技術総合センター研究報告, 13, (2015).
- 10) 佐野勝, 鈴木啓介, 関根正裕: 高周波誘電加熱を利用した軽量・高強度部材の接合技術の実用化(II), 平成27年度埼玉県産業技術総合センター研究報告, 14, (2016).