

## 高周波誘電加熱を利用した異種材料の接合

焼田 裕之\*<sup>1</sup> 鈴木 昌資\*<sup>1</sup> 関根 正裕\*<sup>2</sup>

### High-frequency Welding of Dissimilar Materials

YAKITA Hiroyuki\*<sup>1</sup>, SUZUKI Masashi\*<sup>1</sup>, SEKINE Masahiro\*<sup>2</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。これまでに我々は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、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を配置して接着材を誘電加熱する手法によりアルミ板とGF-PPの接合に成功している。本研究ではアルマイト処理を行ったアルミ板を用いて同様の手法によりGF-PPとの接合を行った。得られた接合試験片の引張せん断試験では5~7MPaの接合強度が得られた。また、化学エッチング処理とアルマイト処理の両方を行ったアルミ板を用いた試料では9.5MPaまで接合強度が増加し、高周波誘電加熱を用いて高強度の金属-樹脂間の異種材料接合を達成できる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強度に優れる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ポリプロピレン

(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・高強度接合や、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>。

更には、我々は金属と樹脂、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も検討を行ってきた<sup>11)</sup>。化学エッチング処理をしたアルミ板に接着材をあらかじめ熱プレスしておき、その上にGF-PPを配置し誘電加熱を行うことでアルミ板とGF-PPの接合を達成している。接合試験片の引張せん断試験では8.2MPaの接合強度が得られているが、試験後の試料はアルミ板と接着材の界面での破壊が主であったことから接合強度向上の余地が残されていることが示唆されている。

\*<sup>1</sup> 技術支援室 化学技術担当

\*<sup>2</sup> 技術支援室

本研究では、接着材とアルミ板の接合性を向上させるため、アルミ板の表面処理法についての検討を行った。具体的にはアルマイト処理を行ったアルミ板とGF-PPを誘電加熱で接合し、接合強度等について調べた。

## 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、GF-PPとの接合部以外をフッ素樹脂粘着テープでマスキングし、硫酸、シュウ酸、リン酸浴中でアルマイト処理を行ったものを用いた。アルマイト処理を行う際の陰極には純アルミ板を用いた。アルマイト被膜が生成しているかについては、全自動水平型多目的 X 線回折装置(SmartLab、(株)リガク社製)を用いて表面の回折パターンを測定して確認した。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。

接合用接着材の基材はポリオレフィン系接着性樹脂を用いた。接着材に添加するセラミックスは、既報<sup>8)</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(株)社製、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。ポリオレフィン系接着性樹脂に ZnO 粒子を所定量配合し、ラボプラストミル(10C100 R60、(株)東洋精機製作所社製)を用いて 190 $^{\circ}$ C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)、シート状熱可塑性接着材を作製した。

### 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

む、あるいはあらかじめ接着材を熱プレスしたアルミ板の上にGF-PPを配置し、ハイブリッドウェルダー(YRP-400T-A、(株)山本ビニター社製、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。またサーモグラフィ(Ti125、フルーク社製)を用いて、誘電加熱時の発熱挙動について観察を行った。

### 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、万能材料試験機(AG-100KNI、(株)島津製作所社製)を用いて引張せん断試験により評価した。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、JISK6850に準じてつかみ部に被着材と同じ厚さの当て板を使用した。また、試験後にアルミ板に接合した状態を維持した接着材とアルミ板の界面を集束イオン/電子ビーム複合ビーム加工観察装置(JIB-4600F、日本電子社製)を用いて観察した。

## 3 結果及び考察

### 3.1 アルマイト処理したアルミ板と GF-PP との誘電加熱接合

接合に使用するアルミ板は 15%硫酸浴中で電極間電圧 15V の条件で 10~120 分アルマイト処理を行った。図 1 には処理時間を 20 分としたアルミ板を示した。



図1 アルマイト処理したアルミ板  
(処理時間 20分)

アルマイト処理アルミ板表面の X 線回折パターンを図 2 に示した。未処理の Al 板ではみられていない非晶質物質由来のブロードなピークが低角に観測されたことから、 $Al_2O_3$  の被膜が形成されていると判断した。

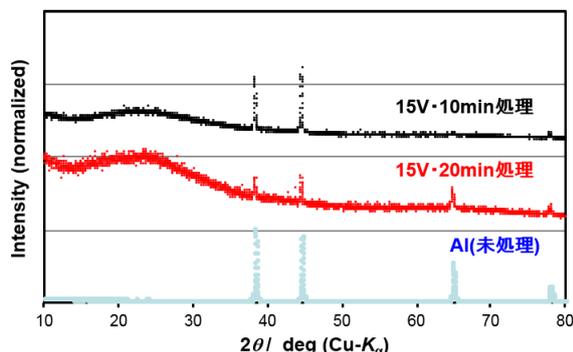


図2 アルマイト処理したアルミ板表面の  
X 線回折パターン

アルマイト処理をしたアルミ板と GF-PP の間に接着材を挟み 200W、20s の条件で高周波印加し接合を試みた。表1にはサーモグラフィで測定した誘電加熱時の接着材の最高温度とアルマイト処理時間の関係を示した。アルマイト処理時間の増加に伴い誘電加熱時の接着材の温度が上昇する傾向がみられたが、これは酸化アルミニウムの熱伝導率が金属アルミニウムと比べて小さい(熱伝導率 Al:  $230Wm^{-1}K^{-1}$ ,  $Al_2O_3$ :  $30Wm^{-1}K^{-1}$ )ため、アルミ板を介した電極への放熱が抑制されたと考えられる。しかし、120分アルマイト処理をしたアルミ板を用いても板に面した接着材の表面はほとんど熔融せず、アルミ板と接着材は接合しなかった。

表1 誘電加熱時の接着材の最高温度と  
アルマイト処理時間の関係

	アルマイト処理時間(分)				
	10	20	40	60	120
最高温度(°C)	52.3	80.8	85.0	91.8	95.3

### 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

アルマイト被膜により放熱を抑制することは出来たが、アルミ板と接着材の接合には至らなかった。そこで、あらかじめ化学エッチング処理したアルミ板に接着材を熱プレス(190°C、1 MPa)し、その後誘電加熱によってGF-PPとの接合試験を実施した。未処理、およびアルマイト処理時間が10分、20分のアルミ板には熱プレスをしても接着材は接合しなかったが、さらに処理時間を長くしたアルミ板に対しては熱プレスにより接着材を接合することができた。

接着材を熱プレスしたアルマイト処理アルミ板とGF-PPは200W、20sの高周波加熱により接着材が熔融し接合した。図3にはアルマイト処理時間を60分としたアルミ板を用いて作製した接合試験片の引張せん断試験後の状況を示した。接着材とアルミ板の界面での破壊が起きていたが、一部では接着材内部での破壊もみられた。



図3 接合試験片の引張せん断試験後の状況  
(アルマイト処理時間60分)

引張せん断試験後のアルミ板と接着材の接合部の界面の二次電子像を図4に示した。アルマイト処理によって粗くなったアルミ板表面(図4下部)に接着材が強固に接合している様子が観察された。

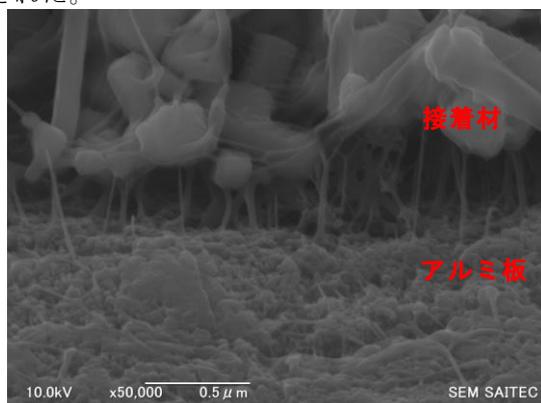


図4 引張せん断試験後のアルマイト処理アルミ板と接着材の界面の二次電子像

表2には様々な表面処理を行ったアルミ板を用いて作製した接合試験片の接合強度を示した。シュウ酸やリン酸によるアルマイト処理を行ったアルミ板においても、引張せん断試験において硫酸アルマイトと同程度の接合強度が得られ、接着材内部での破壊も確認された。さらに、化学エッチング処理に加えてアルマイト処理を行ったアルミ板を用いた試験片では接合強度が9.5MPaまで上昇し、今後表面処理条件を最適化することで、金属-樹脂異種材料間がより高強度で接合する可能性が示唆された。

表2 アルミ板表面の処理方法と引張せん断試験で評価した接合強度

処理方法	接合強度(MPa)
未処理	接合せず
硫酸アルマイト	5.6
シュウ酸アルマイト	6.7
リン酸アルマイト	4.9
化成処理	8.2 <sup>11)</sup>
化成処理 硫酸アルマイト	9.5

#### 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。

最初に、アルマイト処理したアルミ板と GF-PP の間に接着材を挟み、高周波誘電加熱による接合を試みた。アルマイト被膜による放熱を抑制する効果は得られたが、温度上昇が不十分なためアルミ板と接着材の間では接合しなかった。

次にアルマイト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溶融してアルミ板と GF-PP が接合した。さらに化学エッチング処理とアルマイト処理を行ったアルミ板を用いた接合試験片では、引張せん断試験で 9.5MPa の接合強度が得られた。

#### 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).
- 11) 佐野勝, 秋山稔, 関根正裕: 高周波誘電加熱を利用した異種材料の接合, 平成 28 年度埼玉県産業技術総合センター研究報告, 15, (2017).