

# 中間材を使用したアルミニウムと鉄鋼の超音波接合に関する研究 ( )

増井孝実\* 伊藤雅章\*

## The Research on the Ultrasonic Joining of Aluminum and Steel using Intermediate Material. ( )

by Takami MASUI and Masaaki ITO

In the first report, the bond strength based the ultrasonic joining method of aluminum and steel was reported. It was possible to get the good joint by beforehand inserting silver solder, etc. on the steel. In this paper, bonded interface of silver solder and aluminum was investigated. The chemical compound phase existed even in the minimum about  $0.5 \mu\text{m}$ . There was partially and some it on the place of the width of  $10 \mu\text{m}$ . Then, there was a trace of the agitation by the plastic flow at the width of about  $10 \mu\text{m}$ .

Key words : Dissimilar Metal Junction, Ultrasonic Joining, Aluminum, Silver Solder

### 1. 緒言

近年、自動車は環境性能が最重要視され、燃費向上のための軽量化は必須問題である。そのことからアルミニウム部材の使用量は、軽量性と比強度の高さから増える一方で、すべてをアルミニウム合金で構成した高級車も市販されるようになってきた。しかしながら一般大衆車においては、コストの問題から大型部品へのアルミニウムの利用は、エンジン以外ではまだ例が少ない。現状は、高張力鋼板を用いて板厚を薄くすることで軽量化に対応しているが、プレス加工の成型性、溶接性等がデリケートになり加工性の問題が生じてきている。そこで本研究は外装部品への応用を想定し、面積の広い外板部にアルミニウム合金を、強度の要する骨格部分には安価な鉄鋼材で組み立てることにより、軽量化とコスト低減の両立を目指している。

アルミニウム材と鉄鋼材等の異種材の結合は、溶融接合法によると脆い化合物層が界面に生成されて

しまうため、現状はボルト止め、リベット止め、接着などの機械的接合方法が取られている<sup>1)2)</sup>。

そこで入熱が少なく物理的接合が可能とされる超音波接合法を用い、アルミニウム合金と鉄鋼の重ね合わせ接合が提案されている<sup>3)</sup>。

第1報では鉄鋼板の上に銀口ウなどの中間材料をあらかじめ肉盛りし挟み込むことで、アルミニウム合金材と接合が可能になり、良好なせん断引張り強度が得られたことを報告した<sup>4)</sup>。本報においては、せん断引張り強度が高かった銀口ウ材とアルミ合金の接合界面の物性について調査し、超音波金属接合法の特性について考察を行った。

### 2. 研究方法

#### 2.1 接合方法

試験材にはアルミニウム合金 A5052(H34)、自動車加工用高張力鋼板 SPFC590 を選択し、 $25 \times 100\text{mm}$ の短冊形状で1mmの板厚のものを用いた。鋼板側接合面にはあらかじめ銀口ウ材(BAg8)を、ガス燃焼炎加熱により平面が約12mm程の円形で、厚さ0.2~0.4mmになるように肉盛り加工を行った。

---

\* 機械情報グループ

肉盛りされたロウ材の表面はフラックスなどの汚れを落とすためエメリーペーパー#80で研磨を行った。

超音波接合装置は周波数15kHz、定格3000Wで、接合部のホーン先端はφ8mmの円形状、反射局側の接触部は10mm角の矩形型である。接合条件は、加振時間0.5sec、加圧加重を1kNとし一定で行った。装置概略図を図1に示す。

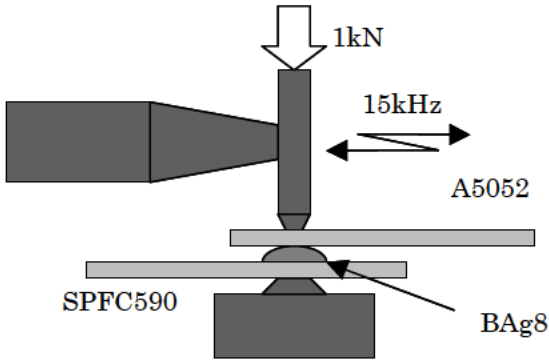


図1 超音波接合装置概略図

## 2. 2 評価方法

試験体についてはせん断引張試験にて強度の確認を行い、その破断面については走査電子顕微鏡(SEM)とエネルギー分散型X線分析(EDX)装置を用い、破面観察、元素分析を行った。またX線回折により結晶構造の確認をした。接合部断面からも同様に微小領域での観察を行い、接合界面に生じる化合物相および、超音波摩擦によって生じる表面の塑性流動の形態について調査を行った。

## 3 結果と考察

アルミ合金A5052とロウ材BAg8を肉盛りした高張力鋼板を超音波接合した試験体について、せん断引張試験を行った。5試験体の平均は150N/mm<sup>2</sup>と、アルミ合金の母材強度と同等であった。図2にせん断引張試験後のマクロ写真を示す。この試験体のせん断引張強度は158N/mm<sup>2</sup>で、最終破断箇所は接合界面であるが、アルミ合金母材にプラグ抜けの亀裂も生じている。BAg8側の接合部周囲にはアルミ合金母材の付着が確認できる。

図2の破断面をSEMにて観察を行うと、リバーパターンの脆性破面が7割をしめ、残りの3割がディンプルパターンの延性破面であった。図3にBAg8側の脆性破壊、延性破壊の混在する部分のSEM写真を示す。また各個所のEDX分析の結果を表1に

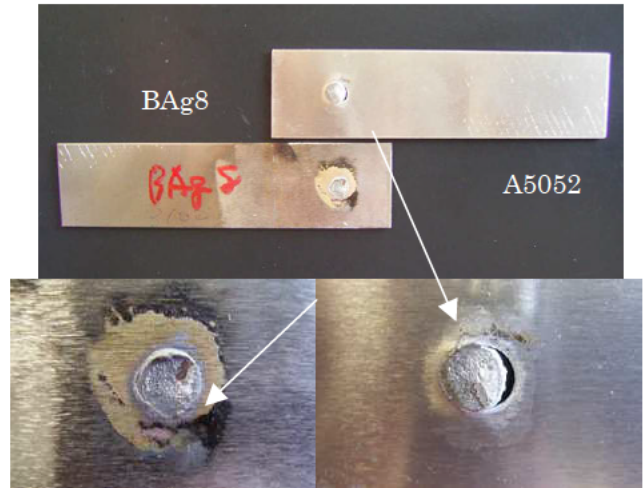


図2 せん断引張試験後のマクロ写真  
(下は破断面拡大、右BAg8側、左A5052側)

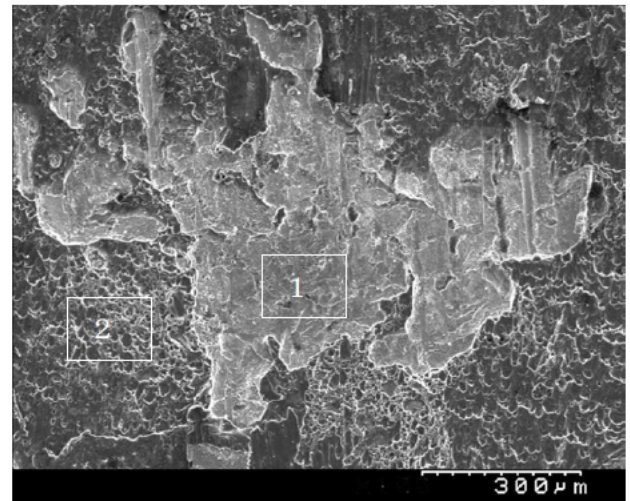


図3 破断面SEM写真 BAg8側

表1 図1の各個所のEDX分析結果 (wt%)

測定箇所	Al	Mg	Ag	Cu
1	93.7	3.1	3.2	—
2	30.8	—	52.1	17.1

示す。1の部分は延性破面部で元素分析を行うとほぼアルミ合金の成分であるため、アルミ合金母材側での破断であるが、Agが3wt%程検出されていることから、銀の拡散が早い速度に進んだと考えられる。2の部分は脆性破面で脆い層の存在を示しており、分析結果は銀ロウ成分のAgとCuに加えAlが30wt%程検出されていることから、接合界面に生成した化合物相と考えられる。

図2の破面のBAg8側、A5052側双方について、

X線回折を行った結果を表2に示す。母材成分のAg, Cu または Al 以外に化合物相である  $Ag_2Al$ ,  $CuAl_2$  のピークが検出された。これらの化合物相の存在は、表1の脆性破面部のEDX分析結果とも一致する。この結果から超音波接合においても化合物相が生成されることが確認された。

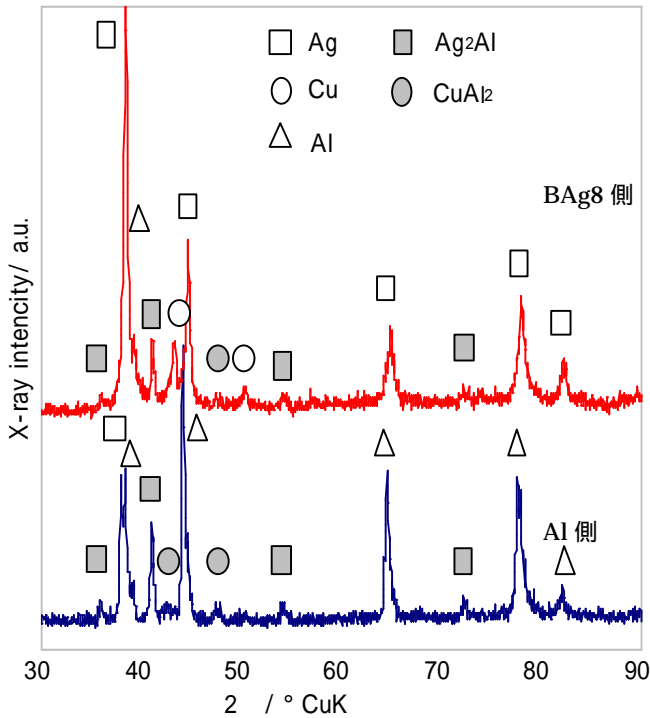


図4 X線回折結果

次に、接合部断面をSEM観察すると、化合物相が確認できた。最低で  $0.5\mu m$  程の厚さで存在し(図5参照)、最も厚いところでは  $10\mu m$  程であった。

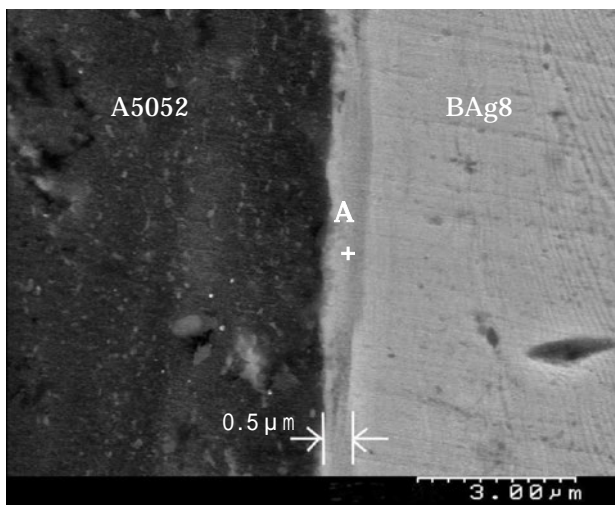


図5 断面の化合物相SEM写真

またその化合物相の厚い部分、つまり摩擦による入熱が大きかったと考えられる部分では、図6に示すような、塑性流動によりアルミ合金材とロウ材部が攪拌されて生じた、アルミ側に放射状に差し込まれた化合物相、ロウ材側への包まれるように入り込んだアルミ合金材または化合物相が確認できた。

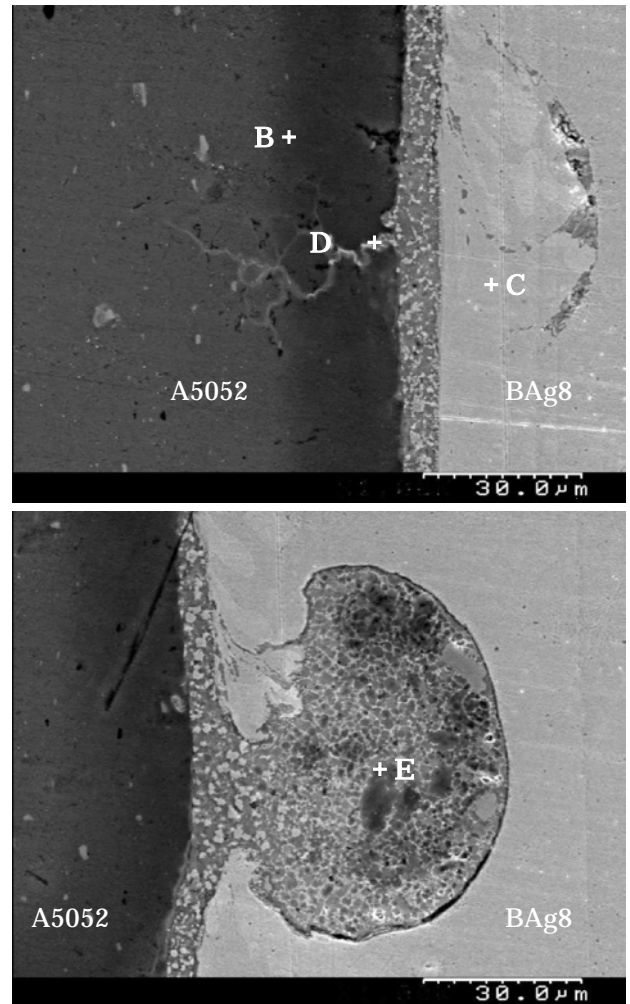


図6 接合界面における塑性流動の跡

上：アルミ側に入り込んだもの

下：BAg側に巻き込まれたもの

表2 図5,6における各個所のEDX分析(wt%)

測定箇所	Al	Mg	Ag	Cu
A	21.5	-	56.6	21.9
B	96.1	2.8	1.1	-
C	-	-	70.9	29.1
D	58.6	-	8.8	32.6
E	68.3	-	22.7	9.0

図 5,6 の各個所の EDX 分析結果を表 2 に示す。

接合スタート時には硬度的に柔らかい銀口ウ側に塑性変形が大きく、次第に摩擦により加熱されるにしたがいアルミ合金の表層も軟化し攪拌が進み、化合物も生成される。アルミ合金内に放射状に入る化合物相は、超音波振動によりアルミ合金母材側にクラックが入り、そこを軟化した口ウ材成分が入り込んだものと考えられる。

測定個所の A, D, E の各部分は  $\text{CuAl}_2$ ,  $\text{Ag}_2\text{Al}$  の化合物相で構成されることが考えられる。また、アルミ母材側の B の部分で Ag が 1.1wt% 検出されており、銀の拡散が数  $10\ \mu\text{m}$  のオーダーで進んでいることを示すもので、表 1 に示す破面からの EDX 分析結果とも一致する。

この接合界面の化合物相の薄い部分ではアルミ合金側の母材内での延性破壊が起こり、 $10\ \mu\text{m}$  もの厚さで存在する部分は化合物相内で脆性破壊するものであった。今回の接合条件では化合物相での破断面積が大きいため、入熱量が過剰であったと考える。

## 4 結言

鋼板の上の銀口ウ材 BAg8 とアルミ合金 A5052 の超音波接合した界面について、 $\text{CuAl}_2$ ,  $\text{Ag}_2\text{Al}$  の化合物相が  $0.5 \sim 10\ \mu\text{m}$  程の厚さで存在することがわかった。せん断引張りを行うと、化合物相での破壊を示す脆性破面が観察された。化合物相の生成を制御するため、さらに加圧荷重や加振時間を減らした接合条件の検討が必要である。

## 参考文献

- 1) 自動車技術会 構造コンカレント技術専門委員会：“自動車における環境負荷と低減と材料ハイブリッド車体( )”。軽合金溶接, 41(8), p1-11(2003)
- 2) 佐藤章仁ほか：“自動車車体の軽量化とその課題”。塑性と加工, 44(506), p8-12(2003)
- 3) 名久井慎：“超音波接合の適用”。溶接技術(7), p70-73(2002)
- 4) 増井孝実ほか：“中間材を使用したアルミニウムと鉄鋼の超音波接合に関する研究”。三重県科学技術振興センター工業研究部研究報告, No.28, p75-77(2004)