

アルミニウム合金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

Takami MASUI and Masaaki ITO

The melting junction of aluminum and steel is impossible, because the fragile chemical compound is formed. Then, the junction was tried using ultrasonic joining method, which was one of the solid phase bonding. In the ultrasonic joining, though the material combination in which the hardness differed was difficult, it was possible to get the good junction joint of aluminum alloy and steel by adjusting bonding.

Key words : Dissimilar Metal Junction, Ultrasonic Joining, Aluminum Alloy, High Tensile Steel

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である。そのことからアルミニウム合金部材の採用は、軽量性と比強度の高さから増える傾向である。特に高級車分野において、その採用は盛んで、主要部位をすべてアルミニウム合金で構成したのも多く見られる。しかし、一般向け小型車においては、コストの問題から、エンジン以外では、アルミニウム合金の利用はまだ少ないのが実状である。大きなウェイトを占めるボディ部品では、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、製造現場での問題が生じてきている。

そこで本研究では、外装パネル部品において面積の広い外板部にアルミニウム合金を、強度を要する骨格部分には安価な鉄鋼材の複合構造を想定し、その組み立てのために必要な、異種金属接合技術の研究を行った。このことにより軽量化と低コスト化の両立を目指した。

一般にアルミニウムと異金属との結合は、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い、十分な接合強度が得られないため、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¹⁾²⁾。

一方、超音波接合法は、入熱が少なく物理的接合が可能とされるため、アルミニウム合金と鉄鋼の重ね合わせ接合への応用が紹介されている³⁾。しかし異種金属接合の場合、双方の硬さの差が大きいと接合が困難とされる。本研究では鉄鋼材に高張力鋼を想定しており硬さの差は非常に大きいため、最初、柔らかい中間材を鉄鋼側に薄く肉盛りし、そこにアルミニウム合金薄板を重ねて、超音波接合する方法を提案した⁴⁾⁵⁾。

さらにアルミニウム合金と高張力鋼の直接接合について、接合条件の検討を進めたところ、中間材を用いなくても重ね合わせ接合が可能であることが確認されたので、本報告では、これら接合体のせん断引張り強度、および接合界面の物性についての調査結果を述べる。

* 電子・機械情報グループ

2. 研究方法

2. 1 接合方法

試験材には自動車に用いられるアルミニウム合金2種類 A5052(H34), A6061(T6)と, 鉄鋼材には機械構造用鋼板 SS400, 自動車加工用高張力鋼板 SPFC590 を選択した. 試験片は 25×100mm の短冊形状で板厚は1mm のものを用いた.

超音波接合装置は周波数 15kHz, 定格 3000W で, 接合部治具のホーン先端は 8mm 角の矩形型, 反射局側(下側)の接触部は 10mm 角の矩形型である. 接合条件は, 加振時間 1sec, 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.

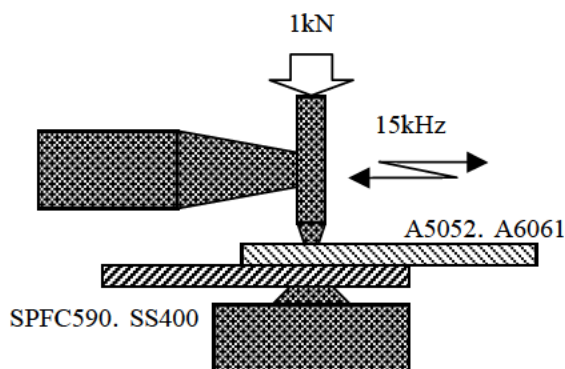


図1 超音波接合装置概略図

2. 2 評価方法

アルミニウム合金 A5052, A6061 と鉄鋼 SS400, SPFC590 の組み合わせの各接合体について, せん断引張試験にて強度の評価を行った.

接合界面で破断したものの破面については, 走査電子顕微鏡(SEM)とエネルギー分散型X線分析(EDX)装置を用いて, 破面観察, 元素分析を行った. また, X線回折により破断面の結晶構造の確認を行った.

また, 接合部の断面についても同様に観察を行い, 接合界面に生じる化合物層についての確認を行った.

3. 結果と考察

アルミニウム合金と鉄鋼の超音波接合体のせん断引張試験結果を表1に示す. アルミニウム合金 A5052(H34)(母材強度 244N/mm²)材との組み合わせにおいては, 双方の鉄鋼材で 3000N以上の良好な接合強度が得られた. 母材強度の高い A6061(T6)(母材強度 355N/mm²)材との組み合わせにおいて, せん断引張強度が低いのは, 接合時の入熱により調質(焼入焼

戻)された母材強度が低下するためである.

表1 せん断引張り結果 (N)

アルミと鉄鋼 組み合わせ	高張力鋼板 SPFC590	機械構造用鋼板 SS400
アルミニウム合金 A5052(H34)	3150 ○	3160 △
アルミニウム合金 A6061(T6)	2040 △	2450 ○

△ 界面破断 ○プラグ破断

ここで参考値として JISZ3141「スポット溶接部の検査方法」に基づき1mm厚のアルミニウム合金同士の接合として, 接合強度の計算を行うと, A5052(H34)材のA級(特に強さを要する溶接部)の平均せん断引張り強度は2342Nである. (A6061(T6)では 3408N)

図2に A5052 と SPFC590 の接合体のせん断引張りにより界面破断したものの, アルミ側の破断面のマクロ写真を示す.

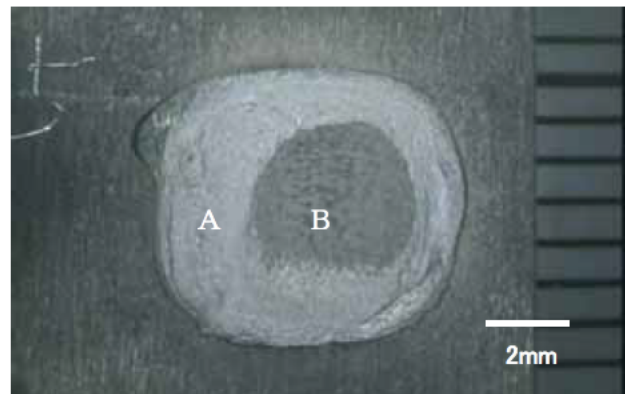


図2 破断面のマクロ写真(A5052側)

図2の写真の中央のドーナツ型の部分が接合面である. ドーナツ型の周部分(A部)をSEMにて破面観察を行うと, 延性破壊を示すディンプルパターンであり, EDX分析によると, 検出される成分はアルミの母材成分のみであった. このことからこのせん断破壊はアルミ母材内で発生している. 図2のA, B各部のSEM写真をそれぞれ, 図3, 図4に示す.

ドーナツ型の中心部分Bは図4に示されるように, ポーラスな付着物が一面に形成されており, 部分的にSPFC側から容易に剥がれた跡と見られる平坦部も存在する. EDX分析を行うと, Fe 9at% Al 88.5at%, Mg 2.5at%であった.

よってこのB部ポーラス部分は接合されておらず, 接合強度に寄与しているのは周辺部のドーナツ形状の部分のみである.

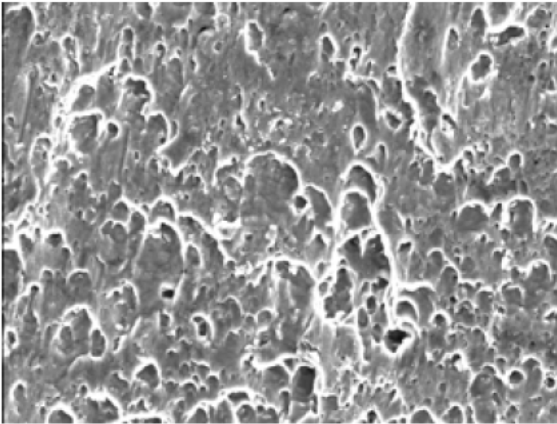


図3 A部のSEM写真 20 μm

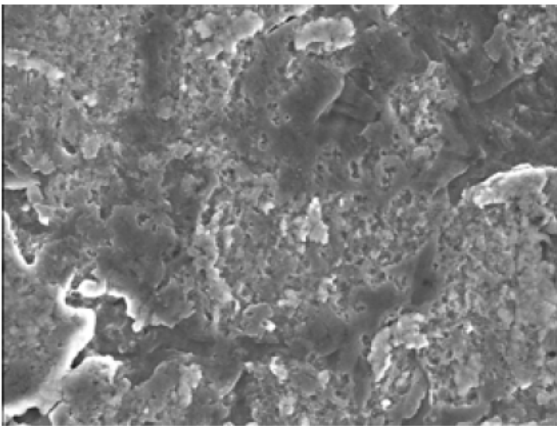


図4 B部のSEM写真 10 μm

図2の写真の破断面、およびその相手側のSPFC590側の破断面のX線回折の結果を図5に示す。

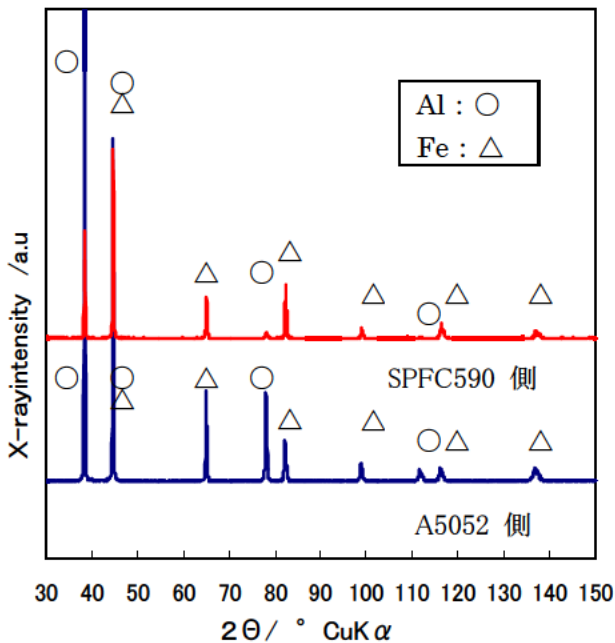


図5 X線回折結果

接合面の両面でX線回折を行ったが、検出されたのはFeとAlの母材材料のピークのみであり、FeとAlから成る金属間化合物は検出されなかった。よって図4の写真のポラス形状部分は、超音波接合時の表面摩擦により熔融したアルミニウム合金がドーナツ状に接合された内側で再結晶したものと考えられる。

次にA5052とSPFC590の接合体の、図2のドーナツ周部分(A部)の断面のSEM写真を図6に示す。また各部位でのEDX分析結果を表2に示す。

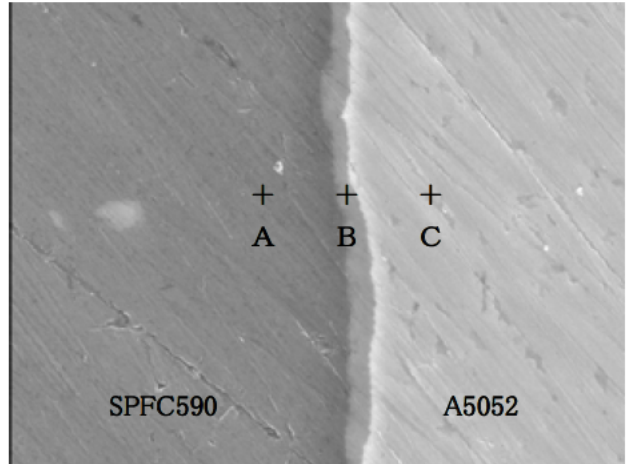


図6 接合部断面のSEM写真 2 μm

表2 図3の各箇所でのEDX分析結果 (wt%)

測定箇所	Fe	Al	Mg
A	100	—	—
B	28	72	—
C	—	97	3

接合界面に0.5 μm程の厚さで金属間化合物層と考えられる層が存在した(B部)。EDX分析結果から、その金属間化合物はFeAl₂、Fe₂Al₅、FeAl₃等であると考えられる。せん断引張り試験時の破断が、当部分の金属間化合物層内で発生せず、アルミ母材内で延性破壊として生じるのは、その厚さがきわめて薄いとき、金属間化合物内での割れの発生は抑制されると考える。

4. 結言

超音波接合法を用いアルミニウム合金と鉄鋼の薄板の重ね合わせ接合を行った結果、アルミニウム合

金 A5052(H34)と鉄鋼材料 SPFC590 または SS400 の組み合わせで良好な継手が可能となった。せん断引張り試験を行うと、アルミの母材内での延性破断またはプラグ破断しアルミニウム合金母材強度以上の接合強度が得られた。このことから当接合は構造材への応用が可能であると考えられる。アルミニウム合金 A6061(T6)については、本実験条件の範囲内では、入熱による母材強度の低下により十分な接合強度は得られなかった。

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の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)
- 5) 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.29，p20-23(2005)

(本研究は法人県民税の超過課税を財源としています)