

鍛接法による軽金属材料の高速・高強度異材接合技術の確立

機能素材加工課 山岸英樹

1. はじめに

軽量化のためマルチマテリアル化が進む自動車車体において、組立溶接の生産技術が抱える喫緊の課題に鉄鋼とアルミニウム合金の直接接合がある。現在最も活用されている接手法の一つは、加工時間・コスト及び空間自由度などの生産性に優れる抵抗スポット溶接法である。しかしこれは熔融溶接法のため、 $Fe \times Al$ の異材接合においては金属間化合物(IMC)生成の問題からその適用が困難である。 $Fe \times Al$ の IMC としては一般に Al_3Fe_2 や Al_3Fe などが容易に生成する。これらはすべり系に乏しい結晶構造あるいは成長の過程で欠陥を内包するなどにより、その厚みが $1 \mu m$ を超えたあたりから大きく接合強度が低下することが知られている。

本研究では、上記問題解決のため、筆者らがこれまでに示してきた鍛接法¹⁻⁴⁾を、スポット接合法として適用した。鍛接法とは、界面の酸化物等汚染層を塑性流動により除去し、新生面において短時間で拡散接合するものである。接合界面の反応層(RL)をその脆弱性が顕在化しないメゾスコピック領域に抑制できる。これまでも異材接合部材や鍛造ブランク材、表面改質法のほか、接合機としての活用案を示してきた³⁻⁵⁾。スポット接合機については、多関節ロボットとC型アーム等の単軸アクチュエータにより、現行の抵抗スポット溶接機と同様の構成、使い勝手に実現できるため、現行の組立ラインとの親和性が高いと考えられる。この接合機開発実現に向け、本接合原理を用いた極短時間の異材接合技術を検討、 Fe/Al に限らず幅広い材料間で実質 IMC フリーとなる世界初の革新的な高速固相スポット接合技術を開発した⁶⁻¹¹⁾。高強度な異材接合をきわめて高い生産性で実現した(接合時間は0.1秒以下)。自動車車両における材料制限(生産技術上の適用制限)を打ち破る可能性を有する。本稿では980 MPa級ハイテンへの本法適用例を示す^{10,11)}。

2. 試験結果など

供試材には SPFC980 と AA5083 の短冊材(各 $30 \times 100 \times 1 \text{ mm}^3$)を用いた。AC サーボプレスを用いて、これらの重ね接合をスポット鍛接法^{6,9)}により鍛接径及び圧下比を変化させ実施、継手の最大引張せん断荷重への影響を調べた(Fig. 1)。継手強度は圧下比の増加に伴い上昇し、最大4 kNに達した。抵抗スポット溶接の当該強度規格(JIS Z3140)では、より厳しいA級においても約2 kNであり、これを大きく上

回った。また破壊形態も母材破断(Al側のプラグ破断)であり、自動車業界の内規を満たした。さらに疲労破壊形態においてもプラグ破断となった。この高強度接合の証拠を示す接合界面のTEM明視野像をFig. 2に示す。図中矢印で示すIMCの厚みは比較的均一であり、また強度低下においてクリティカルな厚みとなる約 $1 \mu m$ に対し極めて薄く成長抑制ができていることが分かる(約10 nm)。この観察された厚みは計算値と概ね一致した。本法が低温かつ短時間のプロセスであることで実現された異材接合界面である。

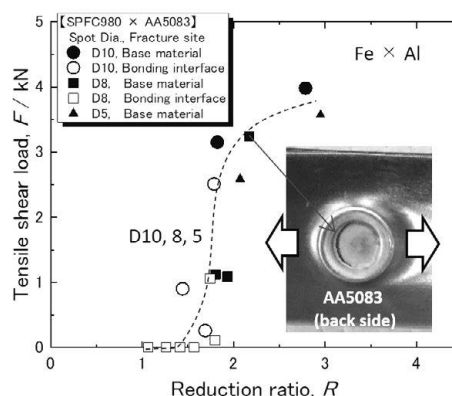


Fig. 1 Tensile shear load as a function of reduction ratio R

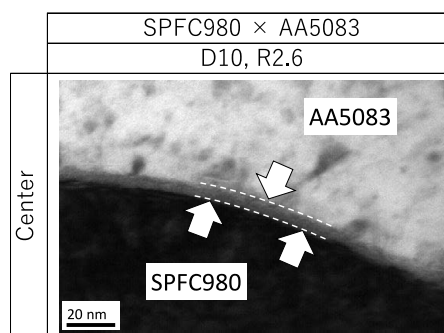


Fig. 2 Transmission electron microscopy bright-field image of the Fe/Al bonded interface

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 20K05110 の助成を受け実施したものである。記して謝意を表す。

参考文献

- 1)山岸ほか: 特許第 5830727 号
- 2)H. Yamagishi et al.: *Metall. Mater. Trans. A*, 46 (2015) pp. 3601-11
- 3)H. Yamagishi et al.: *Metall. Mater. Trans. A*, 49 (2018) pp. 4659-68
- 4)H. Yamagishi et al.: *Metall. Mater. Trans. A*, 51 (2020) pp. 2154-62
- 5)山岸ほか: 特願 2017-243612
- 6)山岸: 特願 2020-057748
- 7)山岸: 溶接学会講演概要, 107 (2020) pp. 262-63
- 8)H. Yamagishi: *Mater. Lett.*, 278 (2020) 128412
- 9)山岸: PCT/JP2021/003018
- 10)H. Yamagishi: *Metall. Mater. Trans. A*, 52 (2021) pp. 741-52
- 11)山岸: 溶接学会講演概要, 108 (2021) pp. 164-65