

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

近年開発された低温鍛接法(Cold forge welding: CFW)は、フラックスやインサート材を用いずに直接金属を低温(T/T_m は0.3~0.7程度)かつ短時間で拡散接合するもので、異種金属においては反応層を無害化できる実質“IMCフリー”の接合方法である。一瞬で成形と同時に接合を実現でき、非常に生産性が高いマルチマテリアル法として幅広い分野での活用が期待されている¹⁻³⁾。

本研究では、本法の実装分野として最も有望な一つである電極等電気機能部品への適用可能性検討のため、バスバーを模擬したCu/Al継手の接合性について、接合条件が接合強度及び界面反応層成長に及ぼす影響を検証した⁴⁾。

2. 実験方法及び結果

ACサーボプレス機を用いて、低温鍛接法により、無酸素銅C1020とアルミニウム合金A1050の短冊材(各1mm厚)の重ね接合を行った。接合径は8mm、接合温度は室温(20°C)~335°C、圧下比 R は1.1~6.4と変化させた。Fig. 1に継手外観の一例を示す(接合温度290°C, R 4.4)。加圧時間0.1秒を切る高速接合である。

Fig. 2に継手の引張せん断試験の初期ピーク荷重 F_P に及ぼす接合温度及び圧下比 R の影響を示す。予熱データは本法の特徴である放物線的な立ち上がりとなり(拡散の接合機構を示す)、接合温度間の強度序列が明確となっている。一方、室温データは予熱をしたものと接合機構の大きな相違を示唆しており(R に対してリニア挙動)、接合界面の断面観察試験からも冶金学的接合が全くない(全域に隙間)、縁辺部でのわずかな機械的接合機構であることを確認している。

本法において、接合温度は拡散の駆動力、 R は反応の効率に影響する(汚染層の拡散障害性が R により低減される)。Fig. 3は本実験における接合温度及び R に対する反応拡散層(RL)の厚さ変化を示す。RLは、290°C辺りから急激に増加すること、また R に対してはリニアな増加挙動であることが整理された。なお、335°C、 R 4.3ではRLの厚みは約350nmとなり、一部にクラックも認められた。335°Cの継手強度が290°Cより低下した要因として、塑性流動の温度依存性に基づくAl材の相対的な薄肉化のほか、RLの脆化及びき裂欠陥の発生などが考えられた。いずれにしても引張試験また接合界面から判断した最適な冶金学的接合条件は、290°C、 R 4.5であった。この最適条件におけるRL厚は約170nmで実質IMCフリー接合であった。本界面のRLは主に2相のIMCから成り、

TEM-SADよりAl材側が $Al_2Cu(\theta)$ 、またCu材側が $Al_4Cu_9(\gamma)$ と指数付できた。これらIMCは電気抵抗値がAl材より高いため、電気機能部品としては接合強度・冶金学的反応を確保した上でなるべく薄い状態が望ましい。本法のCu/Al電気機能部品への十分な適用可能性が示された。

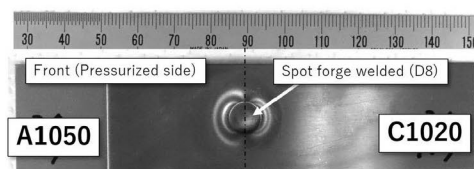


Fig. 1 Appearance of Cu/Al dissimilar joint

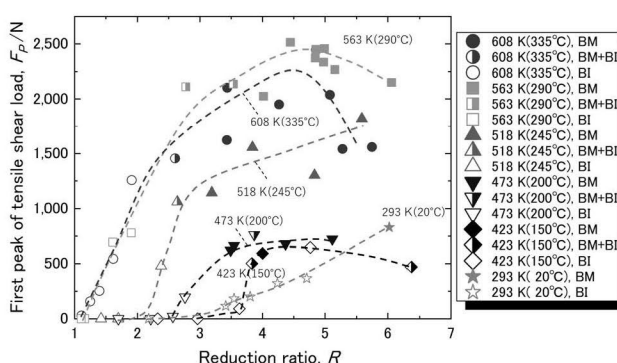


Fig. 2 Tensile shear load of Cu/Al cold spot forge-welded joints as a function of reduction ratio at each bonded temperature

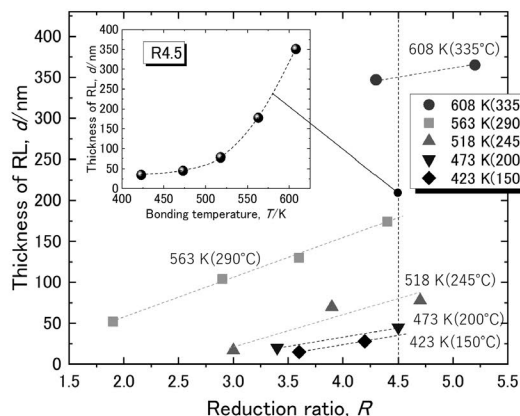


Fig. 3 Effects of bonded temperature and reduction ratio on Cu/Al bonded interface reaction layer growth

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)PCT/2021/003018 「金属材料の接合方法」
- 2)山岸: アルトピア, カロス出版, 53, 12 (2023) pp. 5-12
- 3)山岸: 軽金属溶接, 軽金属溶接協会, 62, 2 (2024) pp. 51-60
- 4)H. Yamagishi: *Metall. Mater. Trans. A*, 54 (2023) pp. 3519-3536