

摩擦攪拌接合によるアルミニウム合金と銅合金の接合技術の開発

機能素材加工課 柿内茂樹*1、山岸英樹、佐藤智 製品・機能評価課 清水孝晃

デジタルものづくり課 氷見清和 ものづくり研究開発センター 富田正吾*2

1. 緒言

摩擦攪拌接合法は、塑性流動による固相接合法であり、低入熱で接合できる特徴を有する。この特徴を応用して、近年、自動車部品の一部にアルミニウム(Al)合金と鉄鋼材料の異種金属材料の接合法として実用化された。ところで銅(Cu)合金は高い放熱性や電気伝導性を有するため、自動車部品や電力・家電関連機器製造分野などにおいて広く用いられている。一方、比重が大きく、高価であるため、一部は軽量で熱伝導率や電気伝導率が良好なアルミニウム合金に代替されている。前報¹⁾では、A1050 アルミニウムと C1020 無酸素銅の重ね摩擦攪拌接合を行い、Al と Cu の異種金属材料の重ね接合が可能であることを報告した。本研究では、突合せ継手における Al と Cu の異種金属材料の接合方法と継手の機械的性質について検討した。

2. 実験方法

供試材料は、工業用純アルミニウム (A1050 (調質: H24))と、無酸素銅 (C1020)を用いた。寸法はいずれも長さ 250 mm、板幅は 115 mm、厚さ 3 mm とした。母材の引張強さは、A1050 は 111 MPa、C1020 で 256 MPa である。

Fig. 1 に供試材料の拘束状況と接合材料の外観を示す。継手形状は突合せ継手とした。接合中の開先の開口を防止するために、板の表面はクランプユニット、板の側面は M6 のネジを押し付けて供試材料を固定した。前進側 (AS) に C1020 を、後退側 (RS) に A1050 を配置した。接合中の温度を計測するため、裏板に $\phi 0.5$ mm の熱電対を設置した。熱電対は、治具の表面と熱電対の先端が一致するように固定した。ツール形状は、ショルダ径が $\phi 12$ mm、プローブ形状は M4 のストレート形状、プローブ長は 2.5 mm とした。接合条件は、ツールの回転数は 1000 rpm、接合速度は 1000 mm/min、ツールの押込量は、2.9 mm とした。ツールの挿入速度は 30 mm/min、ツール挿入後の保持時間は 3 sec とした。継手の評価は、引張試験、裏曲げ試験、疲労試験により行った。引張試験のクロスヘッドの速度は 1 mm/min とした。裏曲げ試験は、試験片の一端をバイスで固定して、任意の力で接合部裏面に引張の曲げ応力が発生するように行った。裏曲げ試験の曲げ角度は約 90° とした。疲労試験は、応力比 0、加振周波数 20 Hz とした。Fig. 2 に各種試験片の形状・寸法を示す。なお、接合時に形成された表面のバリは研磨により除去した。

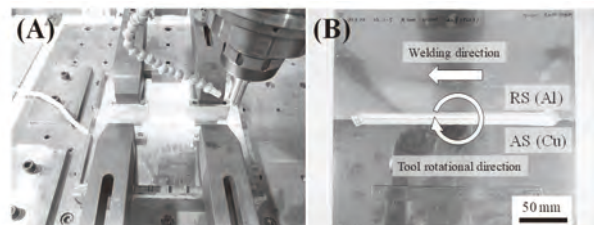


Fig. 1 Appearance of (A) clamped test pieces, (B) joining material of Al and Cu.

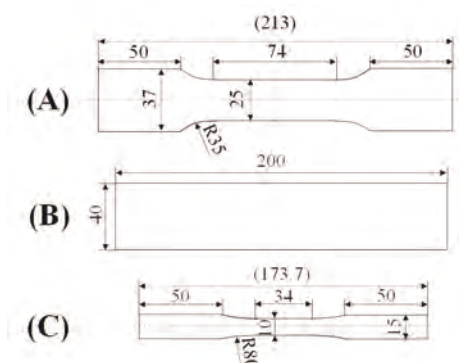


Fig. 2 Shape and size of (A): tensile test, (B): bending test and (C): fatigue test specimens (unit: mm)

3. 実験結果

Fig. 3 に接合部裏面近傍の接合中の温度履歴を示す。接合始端部の最高到達温度は約 390 °C、接合中は約 290 °C を示し、いずれも Al-Cu 二元系合金の共晶温度 (548 °C)²⁾ 未満であった。

Fig. 4 に Al-Cu 接合材料の応力-ひずみ曲線を、Fig. 5 に接合材と引張試験後に採取した断面マクロ組織を示す。引張強さは、3 本の平均値で 103 MPa であった。破断位置は A1050 側でくびれて破断した。亀裂の一部は、A1050 側に埋もれた Cu 片と A1050 の境界を進展したため、Cu 片と A1050 の境界線には接合不完全部が残存し、ひずみ

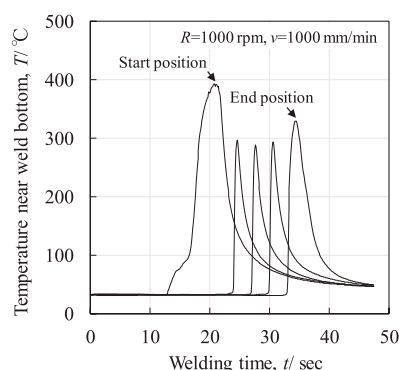


Fig. 3 Temperature history near welding root during FSW

*1 現 企画調整課、*2 現 富山県新世紀産業機構

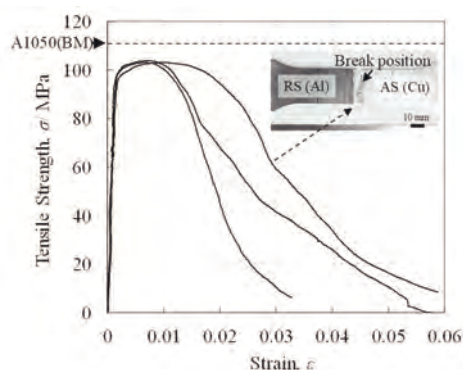


Fig. 4 Stress-strain curves of Al and Cu joint

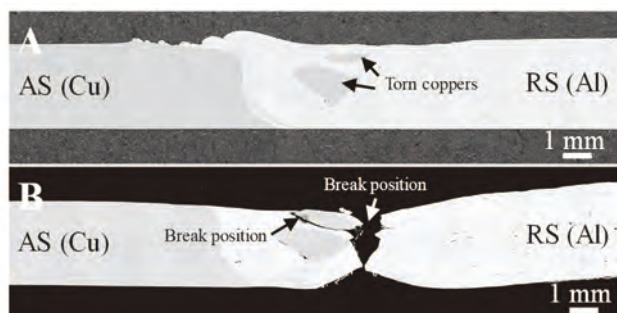


Fig. 5 Cross-sectional observations of Al and Cu joint (A: before tensile test, B: after tensile test)

が小さくなったものと考えられた。A1050 の母材の引張強さから見積もった、継手効率は 93 % であった。

Fig. 6 に裏曲げ試験後の接合部の外観を示す。継手裏面に引張りの曲げ応力を与えても破断しなかった。

Fig. 7 に Al-Cu 接合材料の各応力振幅 (σ_a) における破断サイクル数を示す。 $\sigma_a=40$ MPa (最大荷重 2.34 kN) で 2.2×10^4 サイクルで破断した。破断位置は、引張試験における破断位置と同様に A1050 側で破断した。 $\sigma_a=30$ MPa (最大荷重 1.74 kN) 以下の場合、 1×10^7 サイクルを超えても継手の破断は認められなかった。

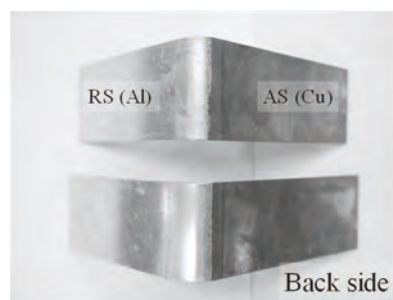


Fig. 6 Appearances of joining material of Al and Cu after back bending test

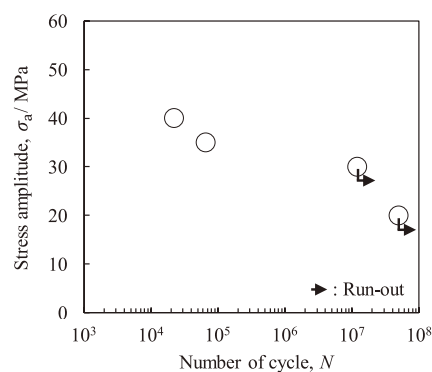


Fig. 7 Number of cycles to failure at each stress amplitude of Al-Cu joint

4. 結言

摩擦攪拌接合により A1050 アルミニウムと C1020 無酸素銅を接合して、継手の機械的性質について調査した結果、A1050 の母材から見積もった継手効率は 93 % であり、接合部裏面を約 90° に曲げて破断しなかった。

参考文献

- 1) 富山県産業技術研究開発センター研究報告, 32(2018) 40-41.
- 2) Thaddeus B. Massalski et al.: Binary Alloy Phase Diagrams, 1 (ASM, 1990) 141-143

キーワード：摩擦攪拌接合、異種金属接合、アルミニウム合金、無酸素銅

Development of Bonding Technology of Aluminum and Copper Alloys by Friction Stir Welding

Functional Material Processing Section; Shigeki KAKIUCHI, Hideki YAMAGISHI, Masaru SATO

Product and Function Evaluation Section; Takaaki SHIMIZU Digital Manufacturing Section; Kiyokazu HIMI

Monozukuri Research and Development Center; Shogo TOMIDA

In this study, A1050 aluminium and C1020 oxygen free copper were welded by friction stir welding. Tensile strength, bending characteristics and fatigue strength of Al-Cu butt joints were investigated. As a result, the average tensile strength of Al-Cu joint materials were 103 MPa. The joint efficiency estimated from the tensile strength of the A1050 base material was 93%. The fracture and cracks did not occur from the back bending test. As a result of the fatigue test, when the stress amplitudes were 20 MPa and 30 MPa, fracture of joint materials did not occur even after more than 1×10^7 cycles were applied.

*1 現 企画調整課、*2 現 富山県新世紀産業機構