

K-34

Al/Cu 摩擦攪拌スポット接合材の界面組織と強度に及ぼす接合ツール保持時間の影響

Effect of tool dwell time on interface structure and strength of friction stir spot welded Al/Cu joint

○潘雨皓¹, 渡邊満洋², 野口祐³, 吉田和範³*Yuhao Pan¹, Mitsuhiro Watanabe², Yu Noguchi³, Kazunori Yoshida³

Abstract: A5052 aluminum alloy sheets and C1100 copper sheets were welded by friction stir spot welding with various tool holding time, and the microstructure of the joint was investigated. When the welding was performed using the tool plunge depth of 2.3 mm, hook was formed at edge of the welded area. Morphology of the hook changed depending on the tool dwell time. Fracture load evaluated by using tensile-shear test increased with increasing the tool dwell time but decreased at the tool dwell time of 30s.

1. 緒言

Cu は良好な導電性及び塑性変形能, 耐食性を有しているため, 広い産業分野で用いられている。特に, 自動車には多くの電子部品が含まれており, それらをつなぐ導電材として Cu は利用されている。しかし, 現代の工業製造業では, 構造性能の優れた安定性を保証すると同時に, 材料の消費を抑え, 製造コストを節約することが求められている。Cu 資源を合理的に使用し, 生産コストを低減するためには, 構造部品を設計する際に, Cu の代わりに他の材料を部分的に採用する必要があると考えられる。Al はその低密度, 高強度と熱安定性, 及び良好な導電・熱伝導性と耐食性などの利点を有している。したがって, Al の低密度かつ高導電性の特性により, Cu 導電材の代替材料候補として挙げられており, Al と Cu の接合技術の確立が求められている^[1]。

摩擦攪拌スポット接合は摩擦攪拌接合に基づいて開発された新しい固相スポット接合技術であり, 先端に突起のある円柱状のツールを高速回転させて被接合材料に挿入することによって摩擦熱で母材を軟化させて塑性流動させることで, 複数の部材を点状に接合する手法である (Fig. 1)。多くの場合, 発生する発熱量は被接合材料の融点より低く, Al-Cu 系金属間化合物の形成を制御して強固な接合を実現する上で大きな優位性があると考えられ^[2], 現在のスポット接合の主流である抵抗スポット溶接に代わる手法として注目されている。

我々はこれまで, Al と Cu の摩擦攪拌スポット接合における押し込み深さと接合強度について検討し, 接合ツールの押し込み深さが深いほど Cu のフックが形成されて強固な接合が達成されることを報告している^[3]。これは, 接合界面縁部に形成されたフックが接合界面に負荷されるせん断荷重に対して抵抗として働く

ことを意味していると考えられる。また, 接合ツールの保持時間を変化させることによって接合材の強度が変化するという報告もある^[4]。そこで本研究では, 接合ツールの押し込み深さ位置における保持時間を変化させ, フックの形態と強度の関係を調査することを試みた。

2. 実験方法

供試材は, A5052 アルミニウム合金板 (以降, Al と記述) と C1100 純銅板 (以降, Cu と記述) を用いた。供試材の寸法は 100 mm×30 mm×2 mm であり, 供試材の表面は接合前に#1000 の耐水研磨紙で研磨した後, アセトンで脱脂し, 十分乾燥させた。用いた接合ツールは SKH51 高速度工具鋼製であり, ショルダー径が 8 mm, プローブ径が 4 mm, プローブ長さが 2.3 mm のものである。また, プローブには M4 のねじが施されている。接合には, 汎用縦型フライス盤を用いた。上板に Al, 下板に Cu を用い, 接合ツールの回転速度は 1735 rpm, 押し込み深さは 2.3 mm に固定した。高速回転させた接合ツールを Al 側から押し込み, プローブ底面が Al 表面から 2.3 mm の深さに達した時点をスタートとし, 5 s~30 s に保持した。得られた接合材は断面を切り出し, 接合界面近傍の組織を光学顕微鏡で観察した。接合材の強度は, 引張せん断試験を用いて評価した。

3. 実験結果及び考察

ツール保持時間を 5 s~30 s の間で 5 s 毎に変化させて接合を行ったところ, 10 s 以上の保持時間で接合が達成された。10 s~30 s のツール保持時間で得られた接合材の断面の光学顕微鏡像を Fig.2 に示す。本研究では, 厚さが 2.0 mm の Al を用いて接合ツールの押し込み深さは 2.3 mm に固定したため, 接合ツールを引き抜いた

1: 日大理工・院 (前)・精機 2: 日大理工・教員・精機 3: 日大理工・教員・工作技術センター

後に形成されるホールの底部は Cu 側に侵入している様子が観察された。また、ツール保持時間に依らず、ホール底部の縁部には Cu が Al 側に立ち上がるフックの形成が観察された。そのフックの形態はツール保持時間によって変化していた。ツール保持時間が 10 s の場合は、フックは接合ツール側面に沿って形成されていた。10 s から 20 s のツール保持時間範囲では、ツール保持時間が増加するほどフック先端が接合ツールから離れていった。ツール保持時間が 20 s より長い場合は、フックは接合ツール側面に沿って観察された。

接合材の引張せん断試験結果を Fig.3 に示す。ツール保持時間が 10 s から 25 s の範囲では、ツール保持時間の増加に伴い、破断荷重が増加した。30 s のツール保持時間で作製した接合材の破断荷重は、25 s のツール保持時間で作製した接合材に比べて低荷重で破断した。30 s のツール保持時間で作製した接合材の断面組織を詳細に観察すると、フックにき裂が観察された (Fig.2 内矢印)。これはツール保持時間が長くなったことにより、フックを形成している Cu への入熱量の増加ならびに接合ツールの高速回転による負荷が増大したためと考えられる。

4. 参考文献

- [1] 福田敏彦：自動車用アルミニウム合金の接合技術，溶接学会誌，Vol.84，P.519-527，(2015)。
- [2] 熊井真次，村石信二，原田陽平，糸井貴臣，前田将克：種々の先端的高速固相接合法により作製したアルミニウム合金同種・異種接合材の組織形成ならびに接合メカニズムの解明，軽金属，Vol.67，P.447-459，(2017)。
- [3] 笹子慎平，渡邊満洋，野口祐，鈴木利一，槻館悦浩，吉田和範：Al 合金/Cu 摩擦攪拌スポット接合材の引張特性に及ぼす接合条件の影響，日本機械学会関東支部第 27 期総会・講演会講演論文集，10B10，(2021)。
- [4] Gaohui Li, Li Zhou, Weilu Zhou, Xiaoguo Song, Yongxian Huang: Influence of dwell time on microstructure evolution and mechanical properties of dissimilar friction stir spot welded aluminum-copper metals, J. Mater. Res. Technol., Vol.8, P.2613-2624, (2019)。

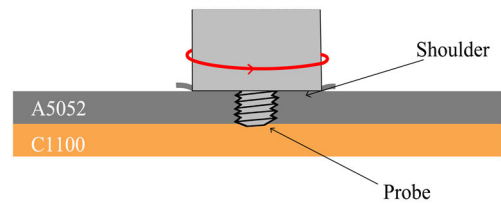


Fig.1 Schematic diagram of friction stir spot welding in this study.

Tool dwell time	Cross-sectional image
10s	
15s	
20s	
25s	
30s	

Fig.2 Optical micrographs of cross section fabricated using several dwell time.

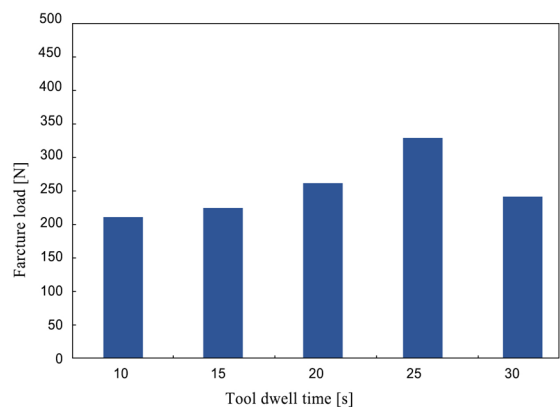


Fig.3 Result of tensile-shear test.