

摩擦攪拌プロセスによる異種材料のスポット接合と鋳鉄の表面改質（第3報）

摩擦攪拌スポット接合による異種材料接合に関する研究

戸崎康成、水谷予志生、細野幸太、大津崇

Spot Welding of Dissimilar Materials and Surface Modification of Cast Iron by Using Friction Stir Process (III)

Study on FSSW of Dissimilar Materials

Yasunari Tozaki, Yoshiki Mizutani, Kota Hosono and Takashi Otsu

固相接合であり、前処理が不要なことから摩擦攪拌スポット接合（FSSW）による異種材料接合が注目されている。本研究では、前報¹⁾で使用したプローブのない渦溝ツールを使用して銅材と A6061-T4 材との FSSW 接合を行い、引張せん断試験および接合断面、破断面の観察を行うことによって接合性能に及ぼす接合時のツール回転数、保持時間、侵入深さ等の接合条件が接合強度に及ぼす影響を明らかにした。さらに、超音波探傷装置を使用して非破壊で接合部の評価を行った。その結果、せん断引張強度 6kN に達し、平面ツールによる FSSW 継手のせん断引張強度を超える結果を得た。また、超音波探傷装置によって観察される接合部と接合部の断面とを比較し、非破壊での接合部評価について検討した。

1. はじめに

環境問題への対応から、輸送車両、機械部品等の軽量化が進められている。それに伴って軽金属材料の使用量が増加し、高強度化、信頼性確保、加工技術の開発等が求められている。自動車に使用されるアルミは約 40% を占めており²⁾、今後もアルミへの置き換えが進むものと考えられる。さらに、電気自動車、HV の生産が本格化されることが予想されることから、さらにアルミの使用が進み、アルミと銅材との接合部位が多くなるものと考えられる。接合方法としてはリベット接合、セルフピアッシングリベットが考えられるが、副資材が必要であること、前処理が必要であることなどの問題がある。

アルミ合金の接合については、1991 年に英国において摩擦攪拌接合（FSW）が開発され、急速に適用範囲を広げつつある。一方、FSW の点接合への応用も FSSW あるいは FSJ として進められており、機械設備の簡素化、省エネルギーの観点から研究が進められている。さらに、FSSW による銅材-アルミ、銅材-アルミといった組み合わせの異種材料接合が試みられており、ショルダーとプローブからなる通常のツールによる溶融亜鉛メッキ鋼板とアルミ合金板との接合事例³⁾、プローブのない平面ツールによる SPCC 材⁴⁾あるいは銅材⁵⁾とアルミ合金との接合等が報告されている。いずれも銅材あるいは銅材を下側に配置し、ツール先端は上側のアルミ材を攪拌して塑性流動を生じさせ、上下材の新生面同士を接触させて接合する方法である。前者のような通常のツールによる FSSW 接合ではプローブ穴が残るために接合面積が少なくなり、一方、後者のような平面ツールによって接合面を広くすることが試みられているが、攪拌効果が少ないものと考えられいずれも接合強度は低いのが現状である。

そこで本研究では、銅材-アルミの FSSW 接合について、FSSW 異種材料接合で一般的に使用されている平面

ツールではなく、ショルダー一面に渦溝を施したツールを使用して、接合性能に及ぼす接合条件の影響について検討し、さらに超音波探傷装置を使用して非破壊での接合部評価を行った。

2. 実験

2.1 供試材

供試材は、Al 合金 6061-T4 と銅材 C1020 である。化学成分 (mass. %) は、6061-T4 が Si:1.0、Fe<0.2、Cu:0、Mn:0.05、Mg:0.6、Cr<0.05、Zn<0.3、Ti<0.05 であり、C1020 が Cu>99.96 である。

2.2 試験片形状

図 1 に示すように、試験片形状は JIS Z3136 に準拠した引張せん断試験片である。試験片は 2mm×40mm×150mm の 2

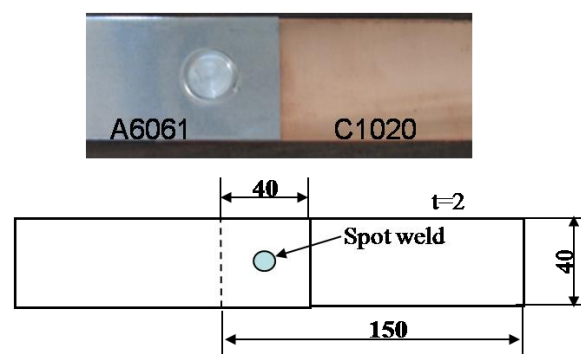


図 1 試験片



図 2 接合ツール

枚の板から成り、40mm×40mm の重ね部の中央に FSSW を施した。

2. 3 ツール形状

図2に FSSW に使用したツール形状を示す。材質は高速度鋼 (SKD61) 製で、前報¹⁾で提案したとおりプローブはなく、深さ 0.5mm の渦溝を有している。

2. 4 FSSW 接合

FSSW 接合に使用した装置は (株) 日立設備エンジニアリング製自動摩擦溶接機で、ツールの垂直移動は位置制御によっている。接合条件はツールの回転速度 2000, 3000rpm、保持時間 0.2~10sec の範囲、押込深さ 0.4~1.0mm の範囲で行った。また、すべての接合においてツール侵入速度を 10mm/min とした。

2. 5 超音波探傷試験

図3に示す局所超音波探傷装置 ((株) I H I 製、AT Mini Scanner) を使用して接合部の超音波探傷試験を行った。図のように試験片接合部にスキャンヘッドを当て、検査を開始する。接触媒質にはゲルを使用した。これによって、非破壊にて内部欠陥等の可視化を行った。また、超音波探傷試験評価と破壊試験評価の比較検討を行い、継手品質に及ぼす接合因子の影響及び可視化情報との相関を検討した。

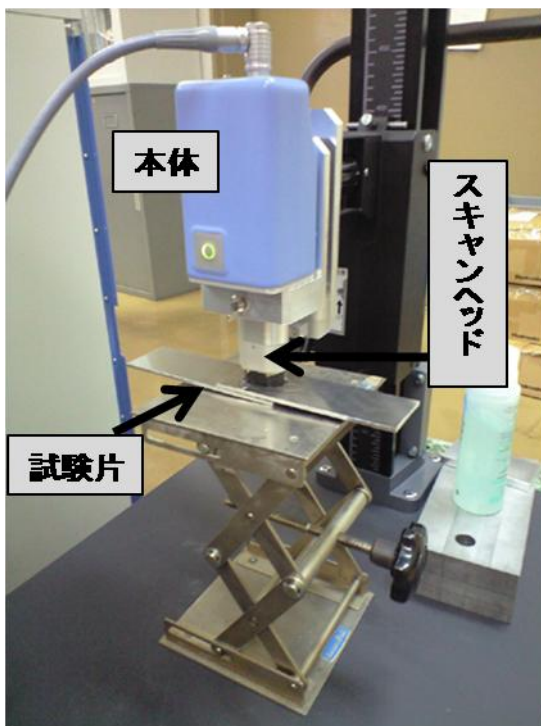


図3 局所超音波探傷装置

3. 結果及び考察

3. 1 接合断面

図4(a)にレーザー顕微鏡による C1020 材と A6061-T4 材との FSSW 接合断面、同(b)には A6061 材を上下に重ね合わせた FSSW 接合断面のマクロ写真を示す。(a)はツール回転数 3000rpm、保持時間 7sec、ショルダー侵入深さ

0.7mm、(b)は保持時間 5sec、ショルダー侵入深さ 0.5mm で、それぞれの上下材組み合わせにおいて高いせん断引張強度を示す接合条件である。前報での SPCC 材とアルミ合金の場合と同様、下板の C1020 材には(b)のような変形が見られない。材料流れの痕跡をみると、アルミ同士の組み合わせ(b)では半球状の流れの痕跡がみられるが、(a)に示す C1020 との重ね合わせでは、ツールによる上板材料の流れが複雑な様相を呈している。すなわち、渦による流動と考えられる(b)に比べると小さい半球状の流れの痕跡が数か所に存在している。これは下板の C1020 材がほとんど変形せず、狭い領域でアルミ材が攪拌され、流動していることによるものと考えられる。ショルダー痕の形状について、(b)ではショルダーの形状を残しているが、(b)ではショルダーの cone-cave 形状を残していないのは、(b)の場合にはショルダー面に材料が付着することによるものである。これも(a)では狭い領域での攪拌流動によるものと考えられる。しかし、境界近傍における A6061 材の結晶粒は流れた痕跡を示しており、水平方向には攪拌されているものと考えられる。

3. 2 引張せん断強度

図5はせん断引張強度と保持時間の関係である。ツール回転数は 3000rpm、ツール侵入深さは 0.7mm である。

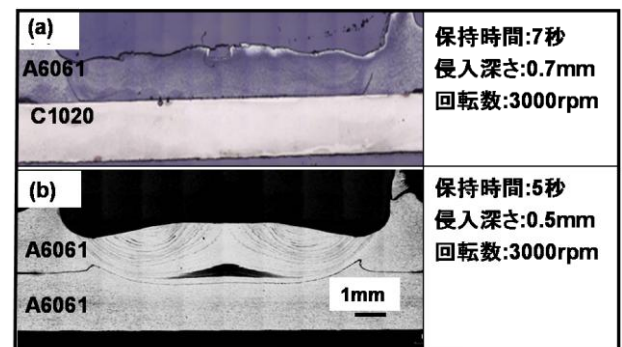


図4 FSSW 接合断面

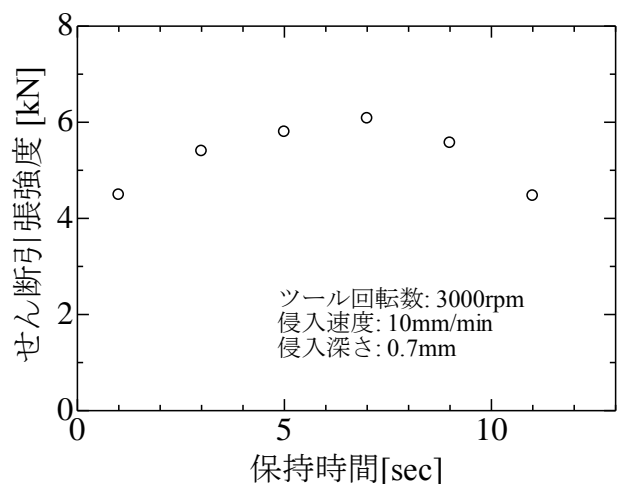


図5 せん断引張強度

図に示すように、保持時間が長くなるとともにせん断引張強度は増加し、7sec を超えると低下している。この結果をもとに、本実験における最適な保持時間を7sec とする。

平面ツールによる銅-アルミ FSSW 接合に関する報告では、ショルダー直径、ワークの板厚等の違いはあるが、継手のせん断引張強度は1 kN 程度である⁵⁾。それらに比べると最大6kN と高い結果が得られた。

3. 3 破断面の様相

図6にせん断引張試験後のC1020 側破断面を示す。接合条件は回転数 3000rpm、押込深さ 0.7mm、保持時間7sec で、高い強度を示した試験片である。(a)は外観写真で、上板のアルミが付着して白く残り、この領域で接合していたものと考えられる。この面積は保持時間と

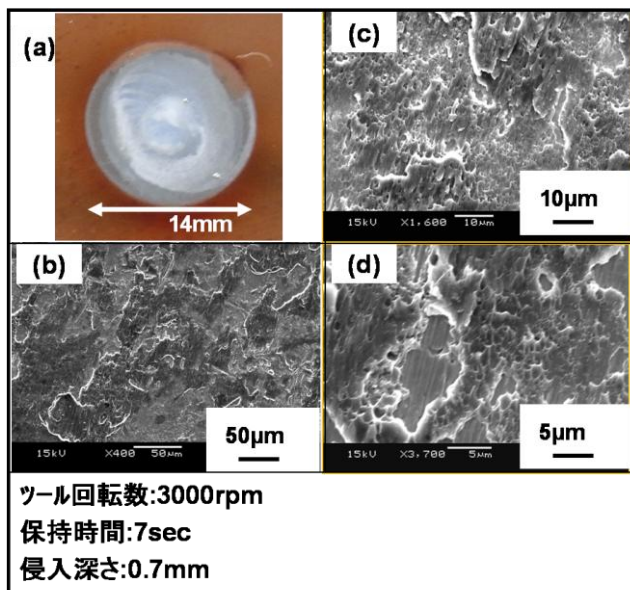


図6 せん断引張後の破断面（銅側）

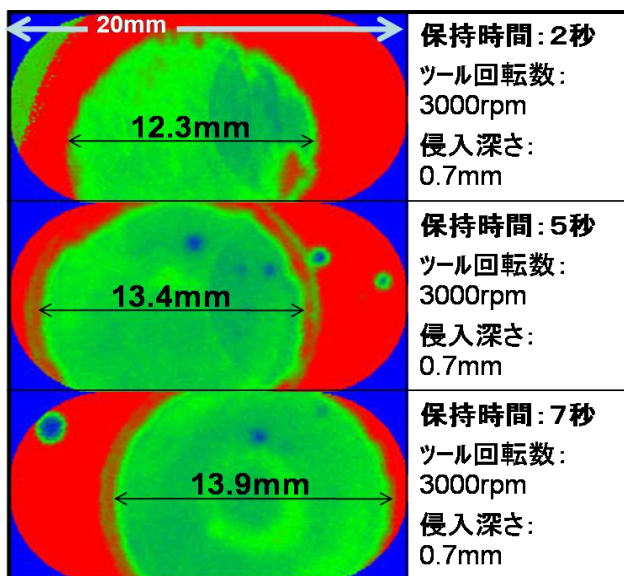


図7 超音波探傷試験結果

もに大きくなる傾向を示している。このことから、保持時間とともに接合面積が大きくなって接合強度が高くなると考えられる。(b)は接合箇所の SEM 写真である。斑に見える引張方向に伸張したデインプルとともに窪みがあり、拡大すると(c)のようにこれも引張方向の細かいデインプルが観察され、前報⁴⁾のアルミ同士の場合と同様の破面様相を呈している。(d)はショルダー周辺にあたる領域で、部分的に接合しており、銅材の生地が見られる。

3. 4 超音波探傷試験結果

図7は超音波探傷試験の結果で、保持時間 2, 5, 7sec、ツール回転数 3000rpm のものである。図中の緑色部分が接合している領域で、赤色の領域は接合していない部分である。これによると保持時間とともに接合領域が増加しており、7sec ではショルダー直径に等しい大きさになっている。これは図6(a)の破断面のアルミ付着領域の大きさと等しくなっており、超音波探傷試験によって接合領域が非破壊で可視化されているものと考えられる。

4. まとめ

プローブのない渦溝ツールを使用して A6061-T4 板材と C1020 板材との重ね合わせ FSSW 接合を行い、FSSW による銅材-アルミ接合継手に関する他の報告²⁾に比べ数倍高い接合強度を得た。さらに、超音波探傷装置によって非破壊状態で接合領域の可視化を行うことができた。

【参考文献】

- 1) アルミ需要動向, アルミニウム協会.
- 2) T. Gendo, K. Nishiguchi, M. Asakawa and S. Tanioka, 2007 SAE World Congress, Paper No.2007-01-1703, Michigan, USA (2007).
- 3) 宮川ら, 溶接学会論文集 第 26 巻 第 1 号 (2008), pp. 42-47.
- 4) 戸崎ら, 岐阜県機械材料研究所研究報告 No. 2, pp29-32, 2009.
- 5) 高田ら, 第 11 回未来ビークルリサーチセンターシンポジウムテキスト, 2009-10-2.

Abstract

Friction stir spot welding using scroll tool was applied to dissimilar lap joint between A6061-T4 alloy sheet and C1020 sheet. A sufficient strength of the welds was obtained. Consequently, maximum tensile share strength of FSSW was 6kN which is higher than the results of other studies about FSSW dissimilar lap joint between copper sheet and aluminium alloy sheet. In addition, the nondestructive test of FSSW welds was done with a ultrasonic testing machine, by which the correlation with the rupture test was clarified.