

2024/5052アルミニウム合金異材摩擦攪拌接合における接合時の力学的特性と継手の機械的性質

日大生産工(院) ○松丸 慶成 日大・短大 野本 光輝
日大生産工 加藤 数良

1. 緒言

摩擦攪拌接合 (Friction Stir Welding, 以後FSWと称す) により得られた継手の組織や機械的性質は接合条件によって異なる¹⁾. このことは, 工具形状の相違による攪拌状態の差異²⁾や接合条件の違いによる被接合材に付与される力の大小によるものと考えられる. FSW時に被接合材にかかる力の挙動を検討した研究報告はあるが³⁾, 接合材にかかる力と継手の機械的性質の関係については明らかにされていない部分も多いのが現状である. FSW時の力の挙動と継手の機械的性質との関係を明らかにできれば被接合材の拘束状態や接合条件などの選定が容易になるものとする.

著者らは接合材にかかる力と継手の機械的性質の関係を6061アルミニウム合金や2024アルミニウム合金を用いて報告した^{4),5)}. 特性の異なる素材を組み合わせた異種材料のFSWにおいても同様の傾向が得られるか検討する必要がある.

本研究では 2024 アルミニウム合金と 5052 アルミニウム合金板を組合せた FSW において被接合材に加えられる力と継手の機械的性質との関係を検討した.

2. 供試材および実験方法

供試材には 2024-T3 アルミニウム合金および 5052-H34 アルミニウム合金を長さ 200mm, 幅 50mm に機械加工したものをを用いた. 供試材の機械的性質を Table 1 に示す.

実験には日東制機(株)製FN-II型摩擦攪拌接合機を使用し, 回転工具には合金工具鋼(SKD61)

Table 1 Mechanical properties of base metals.

(a) 2024 Aluminum Alloy		
Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HV0.1)
441	16.6	133.2
(b) 5052 Aluminum Alloy		
Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HV0.1)
192	14.6	75.1

Table 2 Friction stir welding conditions.

Rotational speed	N (rpm)	800, 1100
Welding speed	V (mm/s)	0.5, 1, 3
Preheating time	t (s)	20
Tilt angle	θ (deg.)	3

をショルダー径 $\phi 20\text{mm}$, ショルダー角 4° とし, プローブ部は M6, 長さを 4.7mm に機械加工したものを使用した. 工具の回転方向は反時計回りとした. 接合条件は予備実験より選定した Table 2 に示す条件を組合せ, 突合せ接合した. また供試材の配置は接合方向と工具の回転方向が同一側(Advancing side:AS)に A2024 を配置した場合は AS2024, A5052 を AS 側に配置した場合は AS5052 と称す.

接合時の力は接合距離を 170mm 一定とし, ロードセル (LMR-S-SA2 荷重変換機) を供試材終端部側に配置して接合方向に発生する力 (Traversing force) を測定した. また接合方向に対し垂直方向に発生する力 (Side force) の測定も合わせて行った.

Dynamics Properties during Friction Stir Welding and Mechanical Properties of 2024/5052

Aluminum Alloys Dissimilar Joints

Yoshinari MATSUMARU, Mitsuteru NOMOTO and Kazuyoshi KATOH

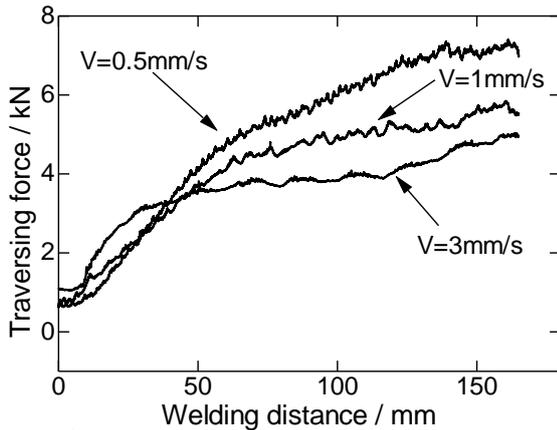


Fig.1 Traversing force - welding distance histories of AS2024. (N=800rpm)

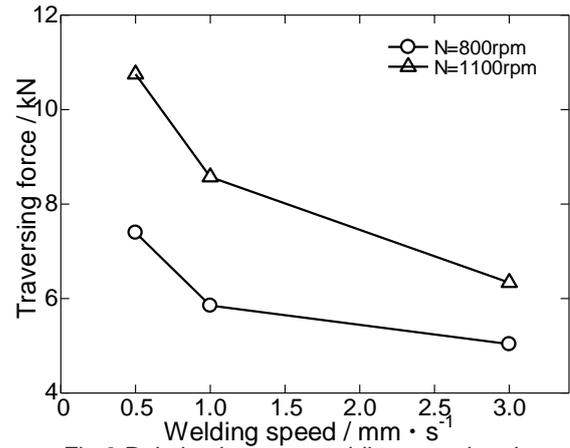


Fig.2 Relation between welding speed and maximum traversing force. (AS2024)

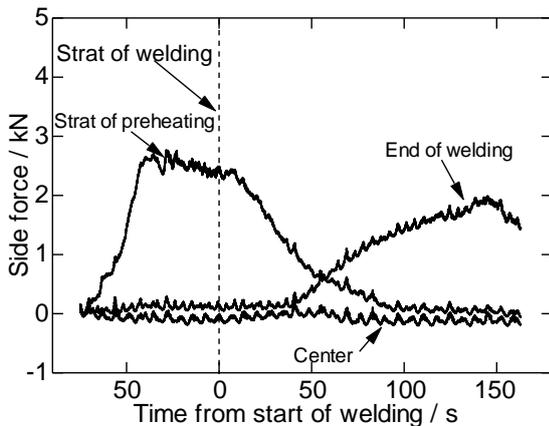


Fig.3 Side force - time histories of AS2024. (N=800rpm, V=1mm/s)

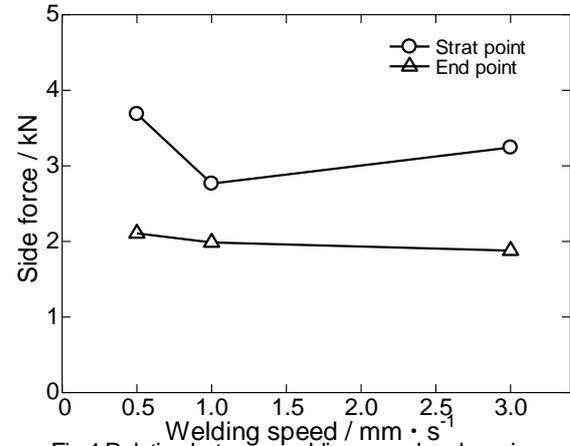


Fig.4 Relation between welding speed and maximum side force. (N=800rpm, AS2024)

3. 実験結果および考察

Fig.1 に接合時の接合方向の力を測定した結果を示す. 接合距離は回転工具の移動開始時を 0 とした. 接合方向の力は接合距離の増加, すなわちロードセルに近づくに伴い増大した. また, 接合開始時に接合方向の力が発生しているが, この現象は被接合材の膨張によるものと考えられる. 接合方向の力は接合開始位置より約 50mm までは接合速度の影響は小さいが, 50mm 以上離れた位置では接合速度の増加に伴い力の増加割合は減少した. 図に示す条件では工具回転数 800rpm, 接合速度 0.5mm/s, AS2024 で最大値 7.4kN を示した.

Fig.2 に接合方向の力の最大値, すなわち接合終端部の力を示す. 最大値は接合速度の増加に伴い減少した. また工具回転数が大きい条件で最高値は高い値を示した. このこと

は工具回転数が大きく接合速度の遅い条件では被接合材に加えらるる摩擦発熱量が増加するためと考える.

Fig.3 に接合方向に垂直方向の力の測定結果を示す. 接合開始地点ではプローブ挿入中に最大値を示し, 接合開始とともに急激に減少した. 終端部では開始地点より約 50mm の位置より増加し, 接合終了時に最大値を示した. 中間地点では垂直方向の力に明瞭な変化は認められなかった.

Fig.4 に接合時の接合方向に垂直方向の力の最大値を示す. 接合開始地点では接合速度 0.5mm/s の時最大値を示したがそれ以上の接合速度には大きな違いはなかった. 終端部においては接合速度の増加に伴い垂直方向の力はわずかに減少した.

Fig.5 に素材の配置を変化させた場合の接合方向の力の最大値を示す. 図には接合速度 1mm/s の継手を示す. AS, RS の配置の違いによる接合方向の力に大きな差異は認められなかったが, いずれの工具回転数においても AS5052 とした時わずかではあるが最高値は高い値を示した.

Fig.6 に始点から 30mm の位置の巨視的組織を示す. 接合速度 3mm/s では左右の組織が不均一に攪拌された様子を呈したが, 他の接合速度では楕円状の組織が観察された. このことは接合速度が速い, すなわち接合方向の力が小さい条件は他の条件と比較して入熱量が小さいため楕円状の組織が観察されなかったと考える. また図は示さないが接合速度 3mm/s, AS5052 において入熱不足による欠陥が認められた.

Fig.7 に始点から 30mm の位置の微視的組織を示す. 攪拌部は母材部と比較し微細であり, 接合速度が増加するのに伴い組織は微細となった. 攪拌部の AS 側では板厚方向に組織の流動が観察され, RS 側では機械的に混合した組織が認められた.

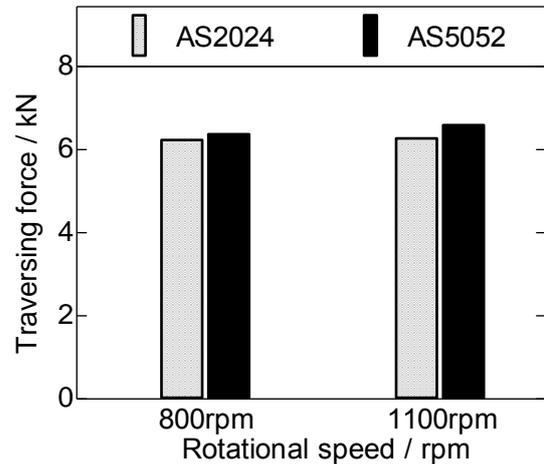


Fig.5 Relation between rotational speed and maximum traversing force (V=1mm/s)

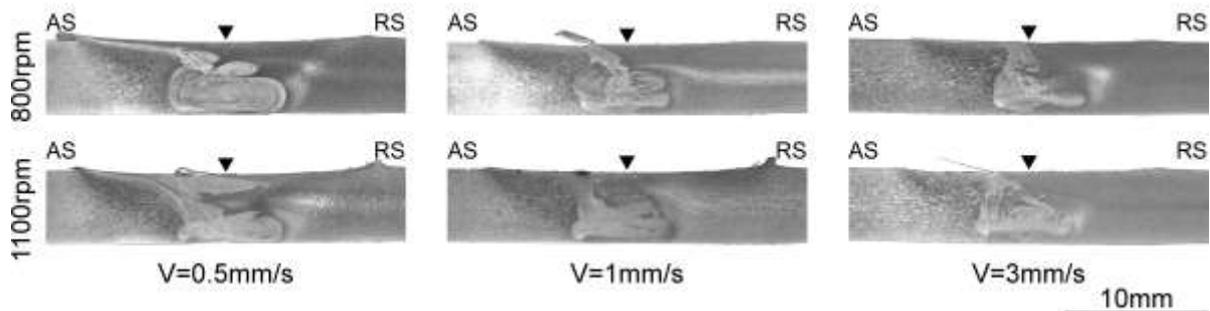


Fig.6 Macrostructures of AS2024 joint.

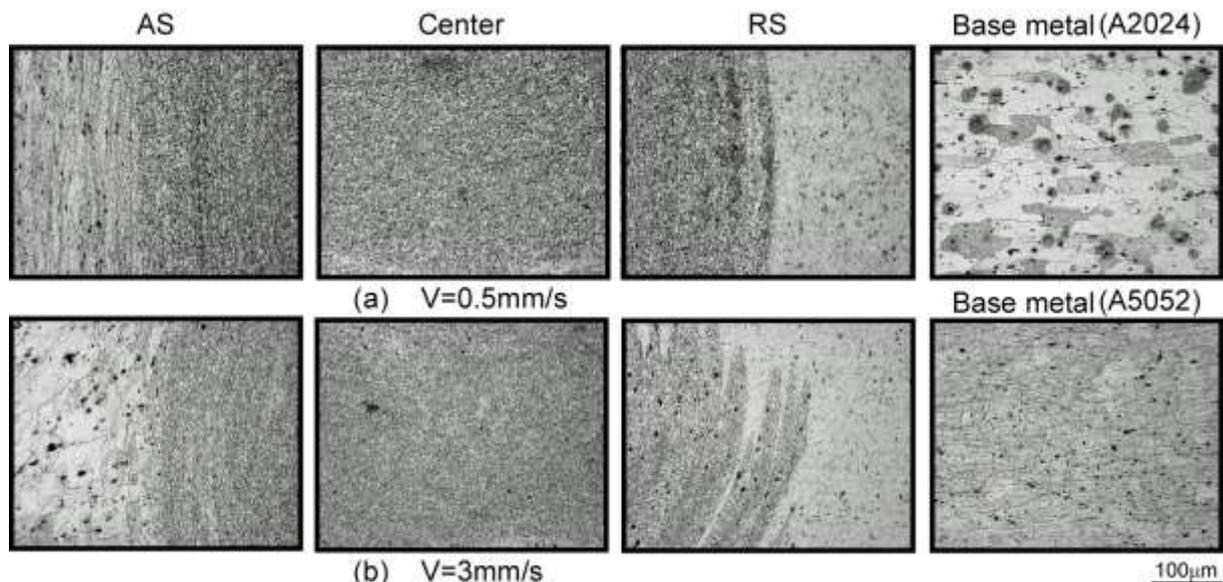


Fig.7 Microstructures of AS2024 joint. (N=800rpm)

Fig.8 に引張試験の結果を示す。AS2024では接合速度の増加に伴い引張強さが向上したが、その差は小さかった。また、AS2024全条件で A5052 母材と同等以上の引張強さが得られた。AS5052 の条件では接合速度 3mm/s では入熱不足による欠陥が原因となり接合界面での破断が認められた。他の条件においては A2024 側の熱影響部と母材の境界部に沿って破断した。

Fig.9 に板厚の中心部を測定した硬さ試験の結果を示す。全条件において A5052 側ではショルダー径に相当する範囲全体で軟化が認められた。また攪拌部は A2024 母材と比較してわずかに軟化が認められた。

Fig.10 に温度測定の結果を示す。測定位置は接合開始地点より 30mm, 80mm, 130mm とした。接合開始地点に近い位置では予熱の影響により予熱時から温度の上昇が認められた。図に示す条件において最高温度は観察位置 130mm, AS 側で 594K が得られた。

4. まとめ

2024 アルミニウム合金と 5052 アルミニウム合金板を組合せた FSW では 2024 アルミニウム合金同種材と比べ接合方向に発生する力の最大値が大きくなった。接合方向に対し垂直方向に発生する力に大きな差異はなかった。組織観察や引張強さの結果より素材の配置は AS 側に A2024 を配置する組合せが適切であると考えられる。

参考文献

- 1) 例えば, 時末 光偏: 「FSW (摩擦攪拌接合) の基礎と応用」, 日刊工業新聞社, (2005), 84.
- 2) 内海貴人, 加藤数良, 時末 光: 溶接学会全国大会講演概要, 第82集, (2008), 54.
- 3) 例えば, 加藤数良, 時末 光, 伊藤 源: 「6061アルミニウム合金摩擦攪拌溶接継手の機械的性質」, 軽金属溶接, 41, (2003),

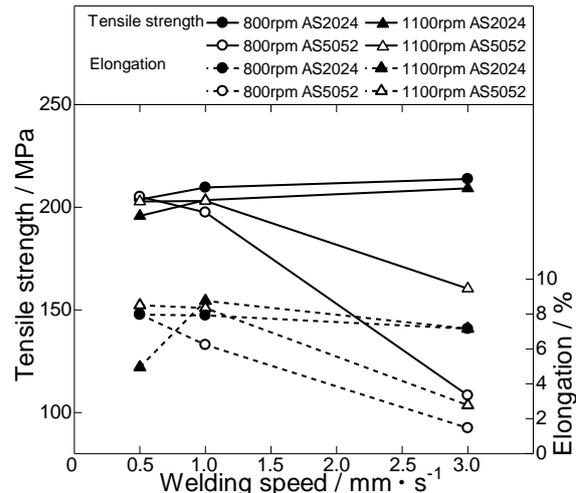


Fig.8 Results of tensile shear test of joint.

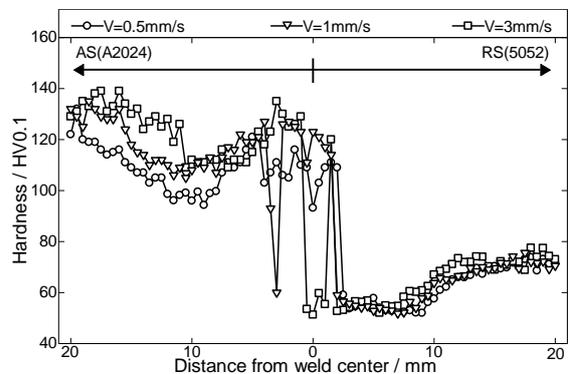


Fig.9 Relation between distance from weld center and hardness. (N=800rpm, AS2024)

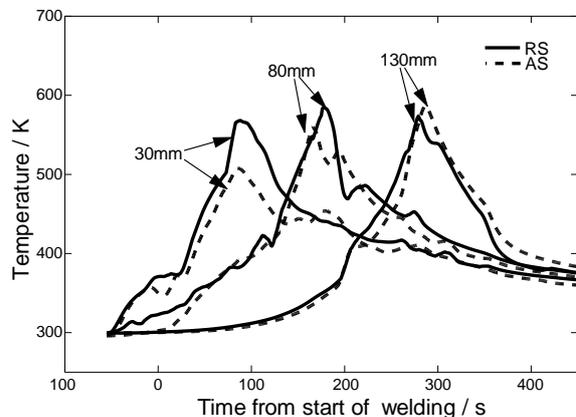


Fig.10 Temperature - time histories of AS2024. (N=800rpm, V=0.5mm/s)

No. 5. 218-226.

- 4) 松丸慶成, 野本光輝, 加藤数良: 軽金属学会第121回秋期大会講演概要, (2011), 229-230.
- 5) 松丸慶成, 野本光輝, 加藤数良: 軽金属学会第122回春期大会講演概要, (2012), 175-176.