

金属薄板の摩擦攪拌接合技術の開発

デジタルものづくり課 柿内茂樹*1 機能素材加工課 酒井康祐

1. 緒言

金属薄板の接合は、構造物や部品を製造する上で欠くことができない技術である。従来融接法を用いて金属薄板を溶接するとはしばしば溶け落ち、溶け分かれが生じる¹⁾。そこで本研究は、固相接合として知られている摩擦攪拌接合(以下、FSW)に着目した。FSWは材料を溶かさず接合するため金属薄板を接合する際の溶け落ち等の課題はなくなる²⁾。本研究は熱処理型のアルミニウム合金として知られているA6061合金とA2024合金薄板のFSW接合法の開発を目的とした。また、接合した継手の機械的性質に与えるFSWの接合条件の影響について検討した。

2. 実験方法

供試材料はA6061-T6合金とA2024-T3合金を用いた。寸法はいずれも幅115mm、長さ250mm、厚さ1mmである。表1に供試材料の化学組成を、表2に引張特性を示す。接合条件はツールの回転数(以下、 R)は1000~2000rpm、接合速度(以下、 v)は300~4000mm/min、接合長さは200mmとした。ツール形状はショルダ径 $\phi 8$ mm、プローブ形状はM3、プローブ長は0.6mmである。ツールの押込量は0.8mmとした。図1A、図1Bに接合試験と継手の外観写真を示す。継手形状は突合せ継手とした。継手の評価は、断面組織観察と接合部断面の硬さ分布測定により行った。顕鏡試料の調整は、A6061合金は10%NaOH水溶液を、A2024合金はdix-keller試薬(95ml蒸留水、2.5ml硝酸、1.5ml塩酸、1mlフッ酸)を用いた。

表1 供試材料の化学組成

材質	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
A6061P-T6	0.7	0.34	0.28	0.08	1.0	0.18	0.04	0.03	Bal.
A2024P-T3	0.07	0.19	4.4	0.56	1.4	0.02	0.13	0.03	Bal.

表2 供試材料の引張特性

材質	引張強さ (MPa)	耐力 (MPa)	伸び (%)
A6061P-T6	295	245	10
A2024P-T3	440	295	15

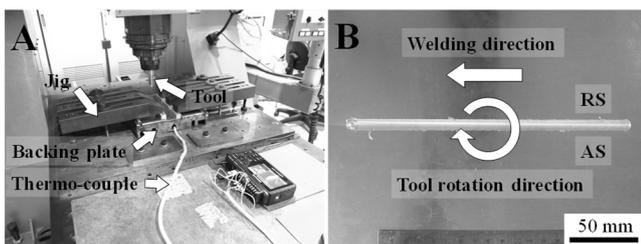


図1 A: 接合試験と B: 継手の外観写真

3. 実験結果

図2にA6061合金の接合部断面のマクロ組織と図の矢印の位置に示す継手底部のミクロ組織を示す。図2A、図2B、図2Cのいずれの接合条件でも接合が可能であった。図2Bは図2A、図2Cと比較して、攪拌部(SZ)が幅方向に小さくなり、図2bにルートフローが観察された。ルートフローは不完全接合部で、継手の引張強さや疲労強度の低下させることが知られている³⁾。ルートフローが観察された接合継手は引張強さが低下するものと考えられる。

図3に $R=1000$ rpm、 $v=4000$ mm/minの条件で接合したA6061合金の接合部断面のマクロ組織と継手底部のミクロ組織を示す。 $v=1000$ mm/min(図2C)から4000mm/minにさらに増加させると、接合には至るものの溝状の欠陥が発生し、ルートフローが観察された。この接合継手は接合部の断面積が減少したことから継手の引張強さが低下するものと考えられた。

次に図4にA6061合金の接合部断面の硬さ分布を示す。硬さの測定位置は母材の板厚の中心で行った。 $R=1000$ rpmから2000rpmに増加させると軟化領域が幅方向に拡大した。最低硬さは図4Aと図4Bはほとんど同等であった。SZを拡大させる接合条件は軟化領域も拡大させた。

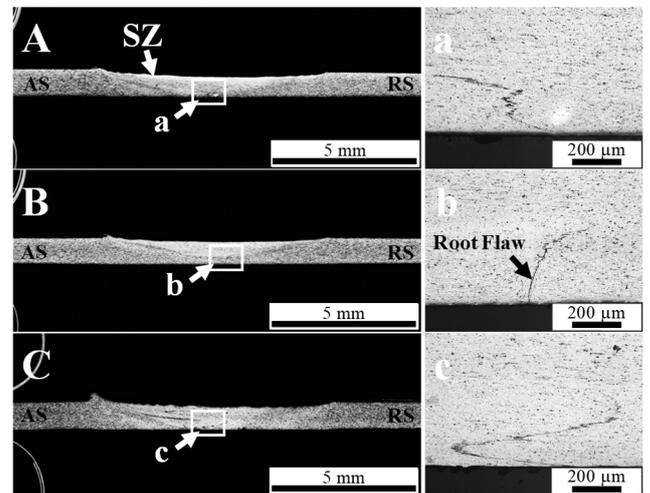


図2 A6061合金接合部断面マクロ組織とミクロ組織 (A, a: $R=1000$ rpm, $v=500$ mm/min, B, b: $R=1000$ rpm, $v=1000$ mm/min, C, c: $R=2000$ rpm, $v=500$ mm/min)

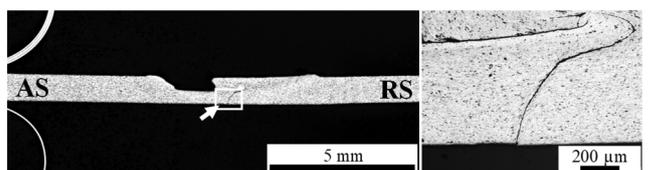


図3 接合部断面のマクロ組織と継手底部のミクロ組織 ($R=1000$ rpm, $v=4000$ mm/min)

*1 現 機能素材加工課

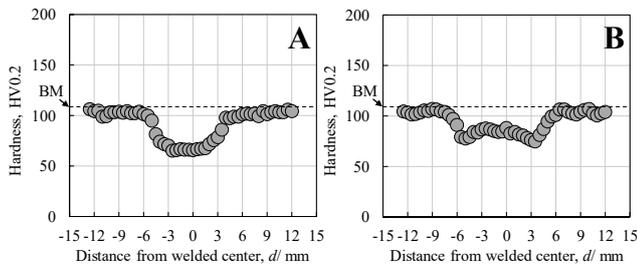


図4 A6061合金の接合部断面の硬さ分布

(A, B: $v=500$ mm/min, A: $R=1000$ rpm, B: $R=2000$ rpm)

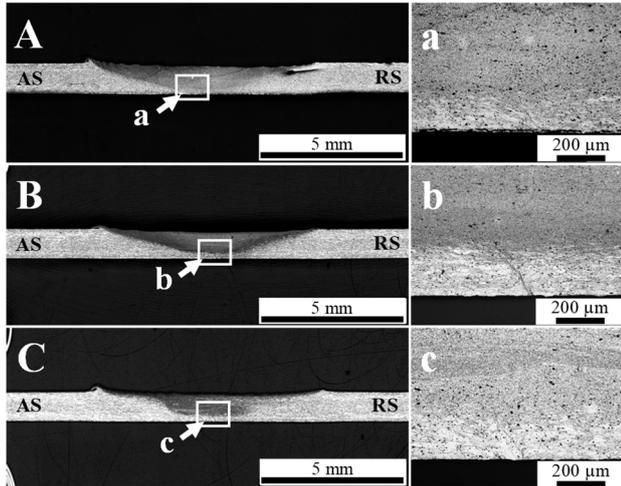


図5 A2024合金接合部断面マクロ組織とミクロ組織

(A, a: $R=1000$ rpm, $v=500$ mm/min, B, b: $R=1000$ rpm, $v=1000$ mm/min, C, c: $R=2000$ rpm, $v=500$ mm/min)

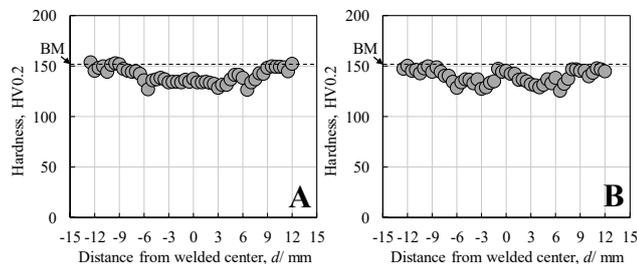


図6 A2024合金の接合部断面の硬さ分布

(A, B: $v=500$ mm/min, A: $R=1000$ rpm, B: $R=2000$ rpm)

図5にA2024合金の接合部断面のマクロ組織と継手底部のミクロ組織を示す。図5A、図5B、図5Cのいずれも接合が可能であったが、SZの下部にルートフローが観察された。図5Aの条件が最もルートフローの高さが低くなった。A2024合金の場合は、A6061合金と同一の接合条件で接合してもSZが継手底部に拡大しがたく、 R 、 v などの接合条件やツールの形状においては、プローブ長さをさらに長くする必要がある。

次に図6にA2024合金の接合部断面の硬さ分布を示す。硬さ測定における接合から図6Aは52日、図6Bは50日経過した後の硬さ分布を示す。 $R=1000$ rpmから2000 rpmに増加させても軟化領域の幅や最低硬さはほとんど同等であった。また同一接合条件の場合、A2024合金の接合部はA6061合金と比較して硬さの減少が小さかった。

4. 結言

本研究は、板厚1mmのA6061-T6合金およびA2024-T3合金薄板のFSW接合法を開発するため、接合パラメータを変化させ、接合欠陥の有無と接合部の継手の機械的性質について検討した。その結果、A6061合金とA2024合金のいずれも接合が可能であった。またA2024合金はA6061合金と比べて接合部の硬さの減少は小さかった。

参考文献

- 1) 物種武士, 竹野祥瑞: 溶接学会全国大会講演概要, (2012), 400-401.
- 2) 佐藤章弘, 平野聡, 青田欣也: 溶接学会誌, **84**, 3 (2015), 189-192.
- 3) Pedro M. G. P. Moreira, Lucas F. M. da Silva, Paulo M. S. T. de Castro (Eds.): *Structural connections for lightweight metallic structures*, (Springer-Verlag Berlin, 2012), pp.85-124.

キーワード: 金属薄板、A6061-T6合金、A2024-T3合金、摩擦攪拌接合

Determination of Friction Stir Welding for Sheet Metals

Digital Manufacturing Section; Shigeki KAKIUCHI*¹ and Functional Metal Processing Section; Kosuke SAKAI

Joining technology for sheet metals is an important technique for manufacturing structures and components. The sheet metals are welded by laser welding, electromagnetic welding, and ultrasonic joining. In this study, it was focused on the friction stir welding, which is a solid phase welding method and enable continuous welding, for joining sheet metals. The aim of propose study was to investigate the joining conditions under which joints of aluminium alloy sheets can be obtained by various tool rotation speed and welding speed.