2017 アルミニウム合金薄板の突合せ摩擦シーム接合継手の 機械的性質に及ぼす工具前進角の影響

日大生産工(院)	〇中井川秀敏,背尾	直彦
日大生産工	加藤 数良	

1. 緒言

近年,環境負荷の低減方法として機器の軽 量化があげられ軽金属材料の使用量が増加し, オールアルミニウム製自動車などを始めとし, 各業界で取組が進められている.また,製品 の組立工程では,溶融溶接や機械的接合など 種々の方法が用いられているが,環境負荷を 考慮すると溶融溶接のようにスパッタやピュ ームの発生がなく熱効率のよい固相接合が注 目されている.

固相接合には、摩擦圧接、摩擦攪拌接合(以下FSW)などが代表的であり、板材同士の接合にはFSWが用いられる.このFSWは溶融溶接に比べ熱変形が小さく高品質な継手が得られるが、薄肉化に移行することを考えると薄板の接合ではFSWは施工上の問題があり、研究報告は少ないのが現状である.

このことより薄板の接合法として摩擦シーム接合が提案され¹⁾,これまで,重ね接合に 適用し十分な継手強度が得られることが報告 されている²⁾.しかし,状況に応じて突合せ 接合も必要であるが,適用例³⁾が少ないのが 現状である.また,高強度合金である2000 系,7000系アルミニウム合金は他のアルミニ ウム合金に比較して溶融溶接性が悪く,薄板 の突合せ接合はより困難を伴うが適用が可能 となれば用途の拡大が期待できる.

摩擦シーム接合は接合時に回転工具を被接 合材に押込むことで摩擦熱を発生し、送りを 与えることで接合を行う.しかし,このとき 工具の押込みにより接合部厚さが減少し,接 合部端部からばりが発生するため,実用的に はこれらの現象を抑制する必要がある.著者 らはこの問題を改善するために,2000系アル ミニウム合金を用いて,工具の押込み量を小 さくし両面から接合する突合せ両面接合を行 いその有用性を示した³.

しかしながら、この方法は両面を接合する ことから生産性が悪く、条件によっては両面 を接合できないなどの問題が考えられる.こ のため片面のみの1パス接合により問題を解 決する必要がある.

本研究では、摩擦シーム接合による 2017 アルミニウム合金薄板の突合せ接合において 回転工具に前進角を与えた1パス接合を試み、 その効果を検討するために、得られた継手の 組織と機械的性質について検討した.

2. 供試材および実験方法

供試材には、板厚 0.8mm の 2017-T3 アルミ ニウム合金薄板を圧延方向に長さ 130mm,幅 70mm に機械加工後,接合面を脱脂洗浄して実 験に供した.供試材の化学組成と機械的性質 および微視的組織をそれぞれ Table 1, Table 2 および Fig.1 に示す.

実験には FN-Ⅱ型摩擦攪拌接合機を使用し, 供試材を冶具により固定した.使用工具は合 金工具鋼 SKD61 丸棒を Fig.2 に示す形状に加

Effect of Tool Tilt Angle on Mechanical Properties of Friction Seam Butt Welded Joint of 2017 Aluminum Alloy Thin Sheat

Hidetoshi NAKAIGAWA, Naohiko SEO and Kazuyoshi KATOH

Table 1 Chemical compositions of base metal (mass%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0.49	0.30	3.95	0.68	0.50	0.02	0.08	0.03	Bal.

Table 2 Mechanical properties of base metal

Tansile strength	Elongation	Hardness	
(MPa)	(%)	(HK0.05)	
401	17	124	



50µm





工したものを使用した. 接合条件を Table 3 に示す. なお, 押込み量は, 回転工具に前進 角を与えた状態で工具端面の 1/2 を素材中に 押込んだ. 押込量は, 前進角 3°のとき 0.26mm, 4°は 0.35mm, 5°は 0.43mm である. また, 接 合は圧延方向に平行とした.

3. 実験結果および考察

Fig.3 に接合部中央部の継手外観を示す. 接 合部は全条件において円弧状の模様が観察さ

Table 3 Friction seam welding conditions

Rotational speed	Ν	(rpm)	1,000
Welding speed	V	(mm/s)	1~4
Tilt angle	θ	(deg.)	3~5
Preheating time	t	(s)	20

れた.工具前進角が大きくなるのに伴いばり の発生が RS 側から AS 側に変化した.このこ とは前進角を与えたことにより素材の流動性 が向上し,素材が RS 側から AS 側へ押し出さ れたためと考える.

Fig.4 に継手横断面の巨視的組織および接 合界面下部の微視的組織を示す. 巨視的には, 工具押込みによる接合部板厚が減少した. 従 来法では接合部に段差が生じたのに対して, 前進角を与えた条件では凹形となり, 接合欠 陥はなかった. また AS 側にはばりの発生が認 められた.

微視的には前進角3°では接合速度の速い 条件で突合せ面下部に未接合状態が認められ た.このことは前進角が小さい条件では,押 込量が少なく接合速度が速い場合には接合部 下部まで接合に必要な熱が到達しないためと 考える.

Fig.5 に継手の接合部厚さを測定した結果 を示す.測定は接合部内の厚さの最小値を示 す部分とした.工具に前進角を付けた条件は 接合部厚さの押込量に比較して厚くなってお り,前進角4°では接合部厚さの最高値は 0.7mmと厚くなった.これらのことは,工具 に前進角を与えることにより素材表面の流動 が大きくなるためであり,前進角5°で接合 部厚さが薄くなったのは,素材表面の流動は 大きくなるが,これに伴ってばりの発生が大 きくなったためと考える.

Fig.6 に継手横断面板厚中央部のヌープ硬 さ試験による継手の硬さ分布を示す. 2017 合金は熱処理合金であることより,図には接 合後直後と硬さ分布に変化が認められなく

Welding direction





なった接合後14日経過後の結果を示した. 熱処理合金である 2000 系や 7000 系アルミニ ウム合金は, 接合時に熱影響を受けることで 軟化するが、その後自然時効(室温放置)に より硬さが回復することが知られている.本 実験においても接合後1時間経過後には接合 部で広い範囲で軟化が認められ, 接合部 AS 側が RS 側に比べ軟化が大きくなった.14 日 間経過後には,回転工具外径に相当する位置 の外側に認められた軟化域は母材硬度と同等 の硬さを示したが,工具径に相当する接合部 内では硬さの上昇は認められたが母材硬さに は達しなかった.この軟化割合は両面接合継 手³⁾に比較して大きかった.このことは工具 に前進角を与えることにより同一の場所での 発熱量が大きくなったためと考える.また, 図には示さないが接合速度の大小に関係なく 類似の硬さ分布を示した.

Fig.7 に得られた継手を平行部幅 12.5mm とし た試験片による引張試験を行った. 試験は接合 部の加工を行わないで行ったため,予め測定し た各部接合部厚さより破断位置に最も近い部 分の断面積を用いて引張強さを算出した.

接合速度 3,4mm/s では前進角 4° で最高値 を示したが、接合速度1,2mm/sの条件ではば





50µm (b) θ =3°, V=4mm/s. Fig.4 Macro - and microstructures of welded joint. The marks are weld interface.





らつきがあり明瞭な傾向は認められなかった. 最高値は回転数 1000rpm,前進角4[°],接合速 度 3mm/s の条件で 385MPa と母材の 96%の値が 得られた.

Fig.8に引張試験後の試験片外観と巨視的組織 を示す.破断位置はどの条件においても接合部内 の厚さが最小となった位置での破断であった.

4. 結言

2017 アルミニウム合金の突合せ接合に摩擦 シームを接合を用いて,ばりの発生および,接 合部厚さの減少の抑制の対策として工具に前 進角を与えて接合した結果,以下の結論を得た.

(1)回転工具に前進角を与えた結果,ばりを 抑制でき,接合部厚さ減少の抑制ができた.ま た,適切な接合条件を選定することで接合欠 陥のない継手が得られた.

(2)継手の引張強さの最高値は回転数1000rpm, 前進角4°,接合速度3mm/sの条件で385MPaと 母材に対しての96%の継手効率の値が得られた.

これらのことより薄板の摩擦シーム接合に おいて回転工具に前進角を与える方法は有用 であることが明らかとなった.

参考文献

- 1) 加藤数良, 時末 光, 特許第 4346282 号 (2009).
- 2) 例えば、加藤数良、時末 光、三浦紘一郎、5052 ア ルミニウム合金重ね摩擦シーム接合継手の組織 と機械的性質、軽金属溶接、45、(2007)、14.



Fig.6 Hardness distributions of welded joint.





Fig.8 Appearances of tensile tested specimen. The marks are weld Interface. (θ=4°,V=3mm/s)

 中村 海,加藤数良,背尾直彦,2017 アルミニウム合 金突合せ摩擦シーム接合継手の組織と機械的性質, 軽金属学会,62,(2012),338-343.