

摩擦シーム接合における回転工具径が 2017 アルミニウム合金薄板の 突合せ継手の機械的性質に及ぼす影響

日大生産工(院) ○中井川秀敏 日大生産工 加藤 数良
日大生産工 野本 光輝 日東制機(株) 背尾 直彦

1. 緒 言

薄板の固相接合法として摩擦シーム接合が提案され、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¹⁾。しかし、摩擦シーム接合では、接合時に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。この問題を改善するために、2000 系アルミニウム合金薄板を用いて、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、ばりの発生も少なく接合部厚さの減少を抑制することが可能であり高い継手効率が得られたことが報告されている²⁾。両面を接合する方法は生産性が悪く、環境によっては両面を接合できないなどの問題が挙げられる。

著者らは改善方法として回転工具に前進角を与え、片面突合せ接合する方法を提案した。これにより両面接合と比較してばりの発生および接合部厚さの減少は認められたが、継手効率は従来法の片面突合せ接合に比べ高い値を示すことを報告した³⁾。

摩擦シーム接合の回転工具径は 10mm 程度であったが、接合部が十分な範囲を確保できない場合や、ばりの発生の原因となる熱影響を受ける範囲を減少させるためには回転工具径を小さくする方法が考えられる。そこで回転工具径を変化させて、5052 アルミニウム合金薄板を用いて片面突合せ接合を行い、回転工具径を小さくした場合に接合部を減少する

ことが可能であり、継手効率は母材と同等の値が得られたことを報告した⁴⁾。

本研究では、5052 アルミニウム合金に比べて高強度の 2017 アルミニウム合金の薄板を用いて突合せ摩擦シーム接合を行い、回転工具径が継手の組織と機械的性質に及ぼす影響を検討した。

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 65mm 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、数値制御全自動摩擦攪拌接合

Table 1 Chemical compositions of base metal.

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.

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

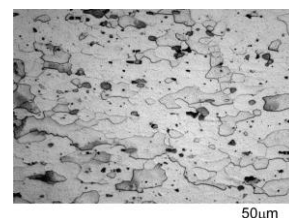


Fig.1 Microstructure of base metal.

Effect of Rotational Tool Diameter of Friction Seam Welding on Mechanical Properties of 2017
Aluminum Alloy Thin Sheet Butt Joint

Hidetoshi NAKAIGAWA, Naohiko SEO, Kazuyoshi KATOH and Mitsuteru NOMOTO

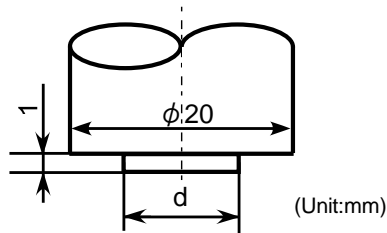


Fig.2 Shape and dimensions of tool.

機を使用し、供試材を治具により固定した。使用工具は合金工具鋼 SKD61 丸棒を Fig.2 に示す形状に加工したものを使用し、工具回転方向は正転方向とした。本実験の接合条件を Table 3 に示す。使用する段付き工具は、Table 3 に示すように押込み量を 0.4, 0.5mm と設定していることで FSW のようにショルダー部の発熱を期待するものではなく、接合時に回転工具を被接合材に押込み排出されたばりをショルダー部で押し潰し、外観上ばり低減をさせる効果を期待したものである²⁾。

3. 実験結果および考察

Table 4 に Table 3 の条件の範囲で接合の可否を判定した結果を示す。

回転工具径の小さい条件は工具回転数、押込み量が多い条件で接合可能であり、回転工具径の大きい条件は工具回転数、押込み量が小さい条件で接合が可能となる傾向にあった。

Fig.3 に継手中央部の外観を示す。全条件で円弧状の模様が観察され、接合部両側にばりの発生が認められた。ばりは、AS 側（工具回転方向と接合方向が一致する側、反対側を RS 側と称す）に比べ RS 側に多く発生し、回転工具径が小さくなるに伴いばりは減少した。RS 側のばりは、接合時に回転工具のショルダー部に接触し押込まれた状態となり平滑であった。

Fig.4 に継手横断面の巨視的組織を示す。接合部は、工具押込みにより接合部厚さが減少し、接合部 AS 側および RS 側に段差が認めら

Table 3 Friction seam welding conditions.

Rotational speed	N (rpm)	1000, 2000
Welding speed	V (mm/s)	1
Pushing depth	D (mm)	0.4, 0.5
Preheating time	t (s)	20
Tool diameter	d (mm)	4 ~ 10

Table 4 Results of possibility of welding.

		d=4	d=6	d=8	d=10
N=1000	D=0.4	×	×	○	○
	D=0.5	×	○	○	○
N=2000	D=0.4	×	×	○	○
	D=0.5	○	○	○	×

○ : Excelent × :Wrong

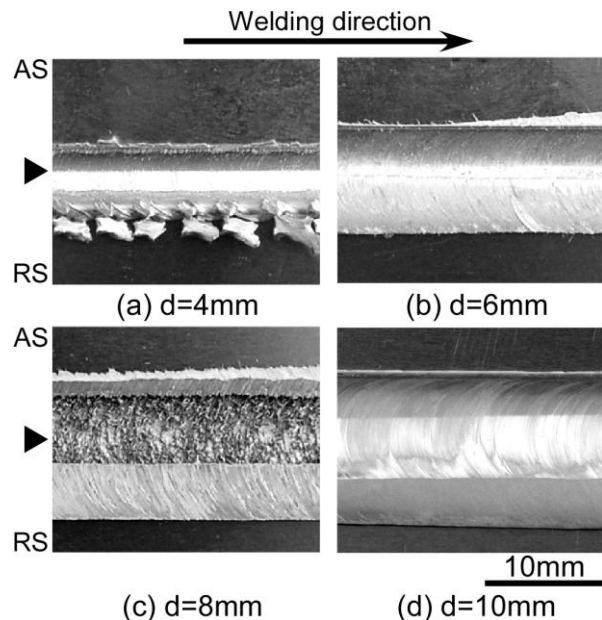


Fig.3 Appearances of welded joint.
(The marks are weld interface.)

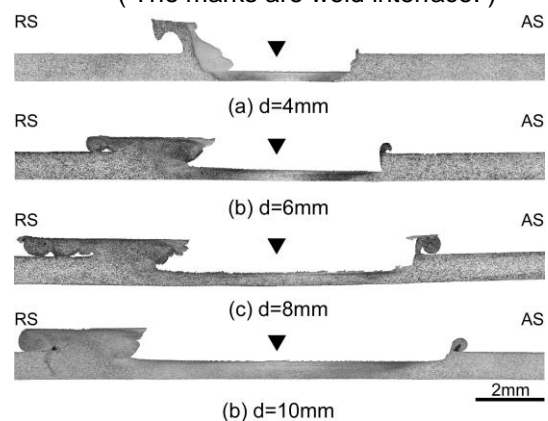


Fig.4 Macrostructures of welded joint.
(The marks are weld interface.)

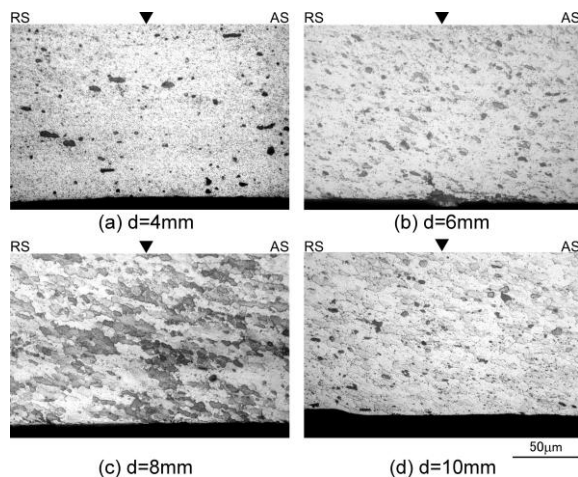


Fig.5 Microstructures of welded joint.
(The marks are weld interface.)

れた。また、同一の押込み量であっても回転工具径が小さくなると接合部厚さが薄くなった。このことは、接合時に回転工具により摩擦熱が発することで素材を塑性流動させるが、回転工具径が小さい条件では発生する熱量が少なく塑性流動が起きにくい。よって、回転工具の前方で押し出された素材が後方まで到達する量が少なく、ばりとして排出されたためと考える。

Fig.5 に接合界面近傍下部の微視的組織を示す。接合可能な条件ではキッシングボンド等の接合欠陥は認められなかった。全条件で母材に比べ組織は微細であったが、回転工具径が小さくなるに伴い組織はさらに微細になった。このことは、回転工具径が小さくなるのに伴い、接合部での摩擦発熱が小さくなり強加工状態になるためと考える。

Fig.6 に継手横断面板厚中央部のヌープ硬さ分布を示す。2017 アルミニウム合金は熱処理合金であり、接合時の熱影響により軟化するが、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⁵⁾。回転工具径 $d=4\text{mm}$ では接合後 3 時間後では接合界面近傍と接合部幅より広い範囲で軟化が認められたが、接合後 14 日後では接合界面近傍の硬さは若干の回復が認められ、その外側では硬さは大きく回復した。回転工具径 $d=10\text{mm}$ の条

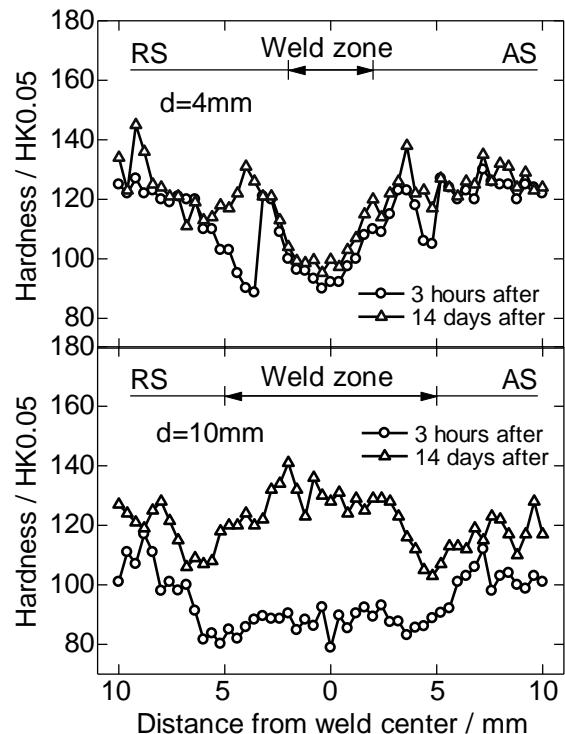


Fig.6 Hardness distributions of welded joint.

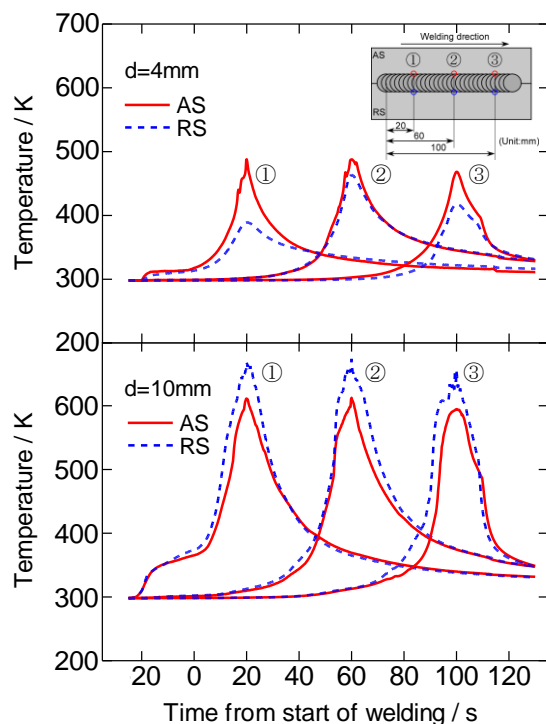


Fig.7 Temperature-time histories of welding process.

件では 3 時間後は回転工具径に相当する範囲で軟化し、接合後 14 日後は回転工具径に相当する範囲の硬さは母材と同等もしくは母材以上の値を示した。

Fig.7 に接合中の温度履歴を測定した結果を示す。測定は図中に示す位置を熱電対によ

り測定した。回転工具径の大小に関係なく接合開始位置での予熱の影響により測定位置 20mm で温度上昇が認められたが、60mm 以上離れた位置では予熱の影響はなかった。また、回転工具が測定位置に到達すると同時に最高温度を示した。各測定位置では回転工具径 $d=4\text{mm}$ では AS 側、 $d=10\text{mm}$ では RS 側が高い温度を示した。最高温度は測定位置による差は小さく回転工具径 $d=4\text{mm}$ では 480K、 $d=10\text{mm}$ では 670K であった。このことは回転工具径が小さいと摩擦による発熱が小さく、接合部の塑性流動が小さくなるためと考える。

Fig.8 に Table 4 に示した接合可能であった条件の継手を平行部幅 12.5mm とした試験片による引張試験の結果を示す。引張試験は接合部の加工を行わないで実施し、あらかじめ測定した各部の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。回転工具径 6mm では押込み量 0.5mm、工具回転数 1000rpm、回転工具径 8, 10mm では押込み量 0.4mm、工具回転数 2000rpm の条件で引張強さは低い値を示したが、他の条件ではほぼ同等の引張強さを示し、80%以上の継手効率が得られた。

Fig.9 に引張試験後の試験片外観を示す。破断位置は引張強さが高い条件は AS 側および RS 側の段差部であった。また、図に示さないが引張強さの低い条件では突合せ界面近傍で破断した。

4. 結 言

板厚 0.8mm の 2017 アルミニウム合金薄板の摩擦シーム接合による突合せ接合を行い、回転工具径の影響を検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) 回転工具径が異なっても、適切な接合条件を選定することで接合欠陥の無い継手を得られた。
- (2) 接合部の組織は回転工具径が小さいほど微細となった。

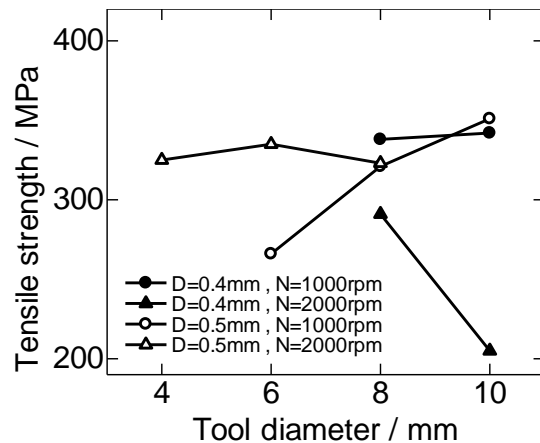


Fig.8 Results of tensile test of welded joint.

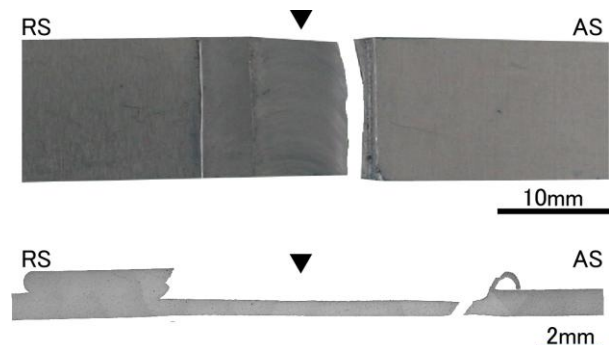


Fig.9 Appearances of tensile tested specimen.
The marks are weld interface.
($d=10\text{mm}$, $N=1000\text{rpm}$, $D=0.5\text{mm}$)

- (3) 継手引張強さは工具径に適した条件の選定により、継手効率 80%以上の高強度の継手を得られた。

参考文献

- 1) 例えば、加藤数良, 時末 光, 三浦紘一郎, 軽金属溶接, 45, (2007), 14-22.
- 2) 中村 海, 加藤数良, 背尾直彦, 軽金属, 62, (2012), 338-343.
- 3) 中井川秀敏, 加藤数良, 背尾直彦, 溶接学会全国大会講演概要, 第 91 集, (2012), 214-215.
- 4) 中井川秀敏, 加藤数良, 野本光輝, 背尾直彦, 軽金属学会第 124 回春期大会講演概要, (2013), 13-14.
- 5) 加藤数良, 時末 光, 軽金属, 34, (1984), 325-330.