

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

日大生産工（院） ○中村 海, 背尾 直彦
日大生産工 加藤 数良

1. 緒 言

近年、高齢化問題や環境負荷低減の対策の一つとして、昨今では製品の軽量化に対する要求が高まっている。軽量化を進めていく上で既存の材料から軽金属材料への転換や薄肉化が考えられる。いずれにおいても組立に際しては接合に関する検討が必要となる。著者らは溶融溶接に比較して接合後の変形が少なく、消費電力が低いなどの利点が多い薄板の接合法として摩擦シーム接合を提案した¹⁾。

これまで、摩擦シーム接合による重ね接合を適用し十分な継手強度が得られることを報告してきた。しかし、状況に応じて突合せ接合も必要となるが、適用例が少ないのが現状である。また、高強度合金の接合が必要となるが、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い。薄板突合せ接合はより困難であると考えられる。また、摩擦シーム接合では接合後回転工具の押込み量分の板厚が減少するが、水田らはこの改善方法として重ね突合せ接合法を考案し²⁾、十分な継手強度が得られた。しかし、この方法は被接合材の他に重ね材を必要とするため、コスト削減の観点から一考を要する。よって、他の材料を必要としない、かつ板厚が減少しない接合法の開発が求められる。そこで、回転工具の押込み量を少なくし、両面から接合を行う方法を考案したが³⁾、まだまだ不明な点が多くより詳細なデータが必要と考える。

本研究では、2017アルミニウム合金薄板に突合せ摩擦シーム接合を適用し、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 アルミニウム合金板 ($\sigma_B=401\text{MPa}$, $\delta=17\%$, 124HK0.05) 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実験に供した。

実験には FN-II 型摩擦攪拌接合機を使用し、供試材を治具により固定した。使用工具は Fig.1 に示す合金工具鋼 (SKD61) 丸棒を用い、接合は圧延方向と平行とした。回転工具形状は単純突合せ接合ではばり低減型の段差 1mm の付いた形状 (Fig.1(a)) を、両面突合せ接合では押込み量が少ないため単純円筒型 (Fig.1(b)) とした。Table 1 に従来法である単純突合せ接合の条件を、Table 2 に両面突合せ接合の条件を示す。両面突合せ接合では、接合条件を一定とするために表面からの接合後、一旦継手温度が常温になった後、AS 側と RS 側が表面と同じ向きになる

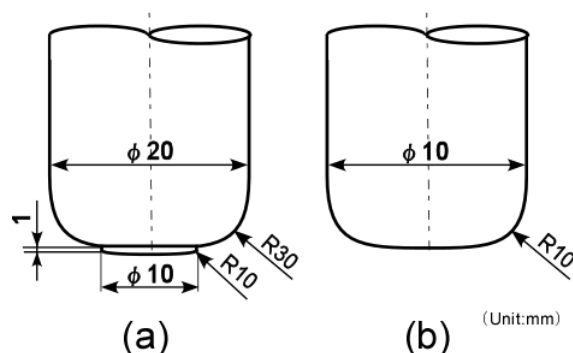


Fig.1 Shape and dimensions of tool.

Microstructures and Mechanical Properties of Friction Seam Butt Welded 2017 Aluminum Alloy Joint

Wataru NAKAMURA, Naohiko SEO and Kazuyoshi KATOH

Table 1 Single side pass butt welding conditions.

Rotational speed	N (rpm)	800 , 1000 , 1200
Welding speed	V (mm/s)	1 ~ 4
Pushing depth	D (mm)	0.4
Preheating time	t (s)	20

ように裏面の接合を行った。裏面から接合する際に表面のぼりの発生を最小にするため表面の押し込み深さは 0.05mm 一定とした。また、押し込み量の表記方法は D_1/D_2 で示し D_1 を表面の押し込み量、 D_2 を裏面の押し込み量とする。

得られた継手の外観観察、組織観察、硬さ試験、引張試験を室温で行った

3. 実験結果および考察

3. 1 単純突合せ接合

Fig.2に継手外観を示す。接合部では回転工具よりもわずかに広い範囲で円弧状の模様が観察され、RS側に段差が認められた。この段差は回転工具の段差部によってこれまでばりとして排出されていた素材が押し潰されたことによるものと考える。

Fig.3に継手横断面の巨視的組織を示す。巨視的には接合欠陥は認められず健全な継手が得られ、接合部は回転工具の押し込みによる板厚の減少が認められた。接合部RS側には板厚増大部ができ、工具回転数が大きくなるのに伴い板厚はわずかに増大する傾向を示した。また、接合部AS側にもわずかにぼりが発生し、接合速度が大きくなるに伴いぼりは増大した。

Fig.4に接合界面下部の微視的組織を示す。接合速度1~3mm/sでは接合欠陥は認められなかったが、接合速度4mm/sの条件では、突合せ面下部にFSW継手の欠陥の一つであるキッシングボンドと呼ばれるものと同じの接合欠陥が生じた。また、接合速度の低い条件では結晶粒が微細化した。これは、FSW継手

Table 2 Double side pass butt welding conditions.

Rotational speed	N (rpm)	1000
Welding speed	V (mm/s)	1 , 2 , 3
Pushing depth (Surface)	D_1 (mm)	0.05
Pushing depth (Back)	D_2 (mm)	0.05 , 0.1 , 0.15
Preheating time	t (s)	20

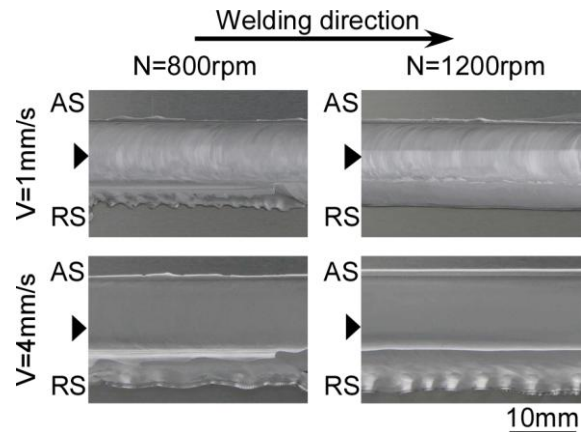


Fig.2 Appearances of single side pass joint.

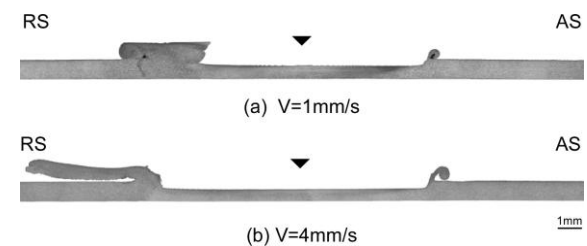


Fig.3 Macrostructures of single side pass joint. (N=1000rpm)

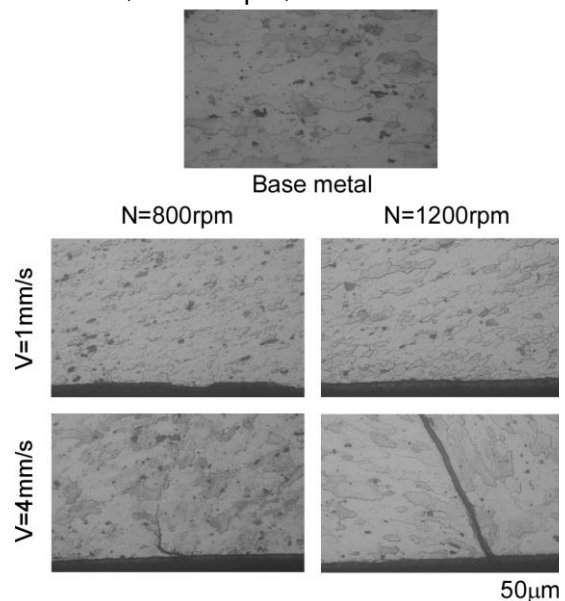


Fig.4 Microstructures of single side pass joint. (N=1000rpm)

と同様に工具の回転による影響であると考えられる。接合速度の大きい条件では回転工具の影響をあまり受けなかったため、結晶粒は微細にはならなかった。

Fig.5に板厚中央部の硬さ試験結果を示す。熱処理材である2000, 7000系のアルミニウム合金は接合時に軟化するが自然時効によって硬さが回復する。本実験の供試材である2017合金は14日後に硬さの回復が終了することが確認されたことから、14日後に硬さ試験を行った。回転工具径に相当する接合部で軟化が認められた。接合速度の遅い条件では回転工具径内で母材よりも硬化した。これは工具回転により結晶粒が微細になったことと析出物が分散したことによるものとする。

Fig.6に接合方向と垂直に採取したJIS13B号試験片による引張試験結果を示す。接合速度4mm/sの条件で引張強さが著しく低下した。このことは、前述したキッシングボンドが発生したためと考える。また、工具回転数の違いによる引張強さへの影響は小さく、最高値を示したのは、工具回転数1000rpm、接合速度2mm/sの条件で374MPaと母材の93%の値が得られた。

図は示さないが破断は引張強さの低い条件では接合界面、他の条件では接合部AS側であった。

3. 2 両面突合せ接合

Fig.7に継手外観を示す。工具押込み量の少ない条件は、両面ともに円弧状の模様が観察されたのに対し、工具押込み量の多い条件では表面は裏面から接合を行ったことにより平滑となり、裏面に円弧状の模様が観察された。

Fig.8に継手横断面の巨視的組織を示す。工具押込み量の小さい条件では両面にわずかな凹凸が観察され、工具押込み量の大きい条件では両面ともに平滑であった。また、単純突合せ継手に比較すると板厚減少がほとんどない継手を得られた。

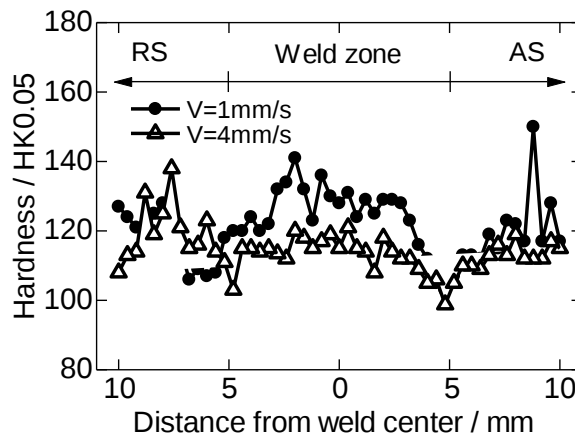


Fig.5 Hardness distributions of single butt joint. (N=1000rpm)

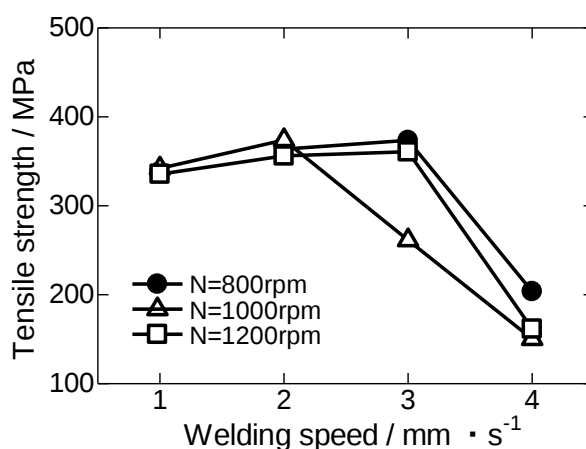


Fig.6 Results of tensile test. V=1mm/s

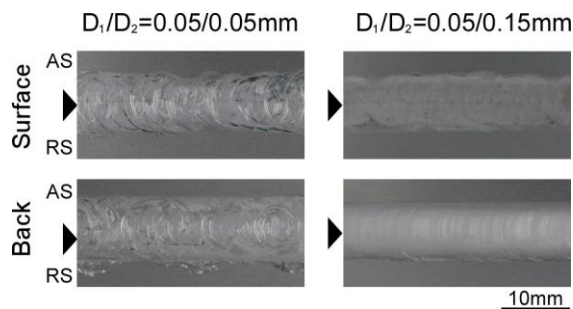


Fig.7 Surface appearances of weld zone. (V=1mm/s)

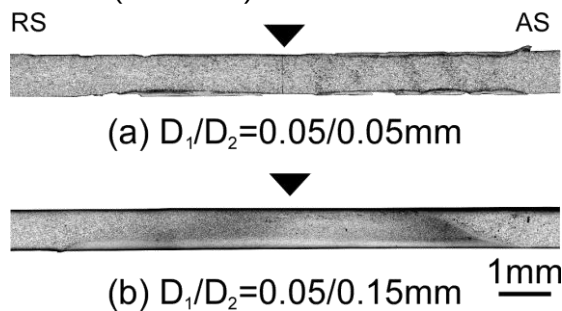


Fig.8 Macrostructures of double side welded joint. (V=1mm/s)

Fig.9に板厚中央部の接合界面近傍の微視的組織を示す。工具押込み量の小さい条件では接合界面は明瞭に識別できたが、工具押込み量の大きい条件では接合界面は認められず微細な組織を呈した。

Fig.10に板厚中央部の硬さ試験結果を示す。工具押込み量の少ない条件では接合部全域で軟化は認められず、中央部では硬化した。これは、工具押込み量が少ないことにより熱影響が少なかったことによるものであり、硬化は組織の微細などによるためである。工具押込み量の大きい条件では回転工具径に相当する範囲で軟化した。軟化割合は単純突合せ接合に比較して大きかった。このことは、両面接合により熱影響を受けたためと考える。

Fig.11に接合方向と垂直に採取したJIS13B号試験片による引張試験結果を示す。工具押込み量0.05/0.05mm、0.05/0.1mmの条件では満足な継手強度が得られなかったため、工具押込み量0.05/0.15mmの条件を示す。接合速度の低下に伴い引張強さは向上した。最高値を示したのは、工具押込み量0.05/0.15mm、接合速度1mm/sの条件で343MPaと母材の86%の値が得られた。

図は示さないが、破断は最高値を示した条件では接合部AS側およびRS側であったが、他の条件では界面破断であった。

4. まとめ

単純突合せ接合に比較して、両面突合せ接合の引張強さは若干低下したが、板厚減少を抑制する効果は明瞭に認められた。

「参考文献」

- 1) 例えば、三浦紘一郎，加藤数良，時末 光，AZ31マグネシウム合金摩擦シーム接合継手の機械的性質，溶接学会全国大会講演概要，第73集，(2003)，76-77.
- 2) 水田知宏，加藤数良，摩擦シーム接合によった6061アルミニウム合金突合せ継手

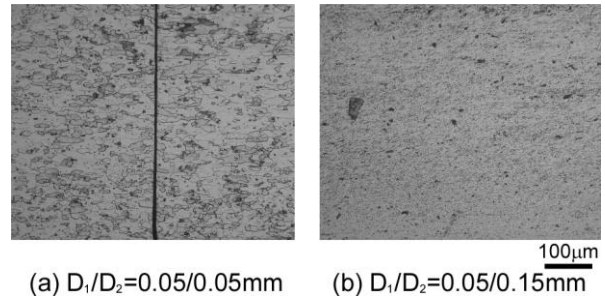


Fig.9 Microstructures of double side butt joint. (V=1mm/s)

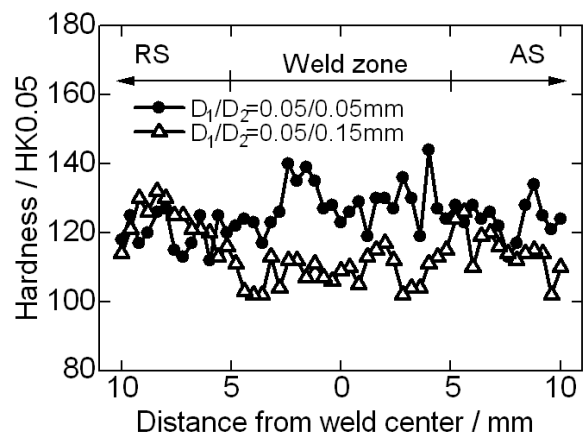


Fig.10 Hardness distributions of double side butt joint. (V=1mm/s)

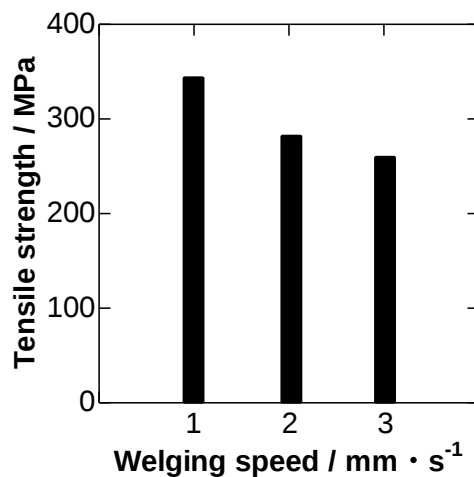


Fig.11 Results of tensile test.

の機械的性質，軽金属学会第116回春期大会講演概要（2009），225-226.

- 3) 中村 海，背尾直彦，仲間 大，加藤数良，5052/6061アルミニウム合金薄板の突合せ摩擦シーム接合，軽金属学会第120回春期大会講演概要（2011），67-68.