

3003 アルミニウム合金摩擦攪拌接合継手の組織と機械的性質

日大生産工(院) ○伊藤 豪太

日大生産工 加藤 数良

1. 緒 言

近年，各種輸送機器等の軽量化のため，構造用材料にアルミニウム合金およびマグネシウム合金の適用が積極的に進められている．一方で，板材等の薄肉化も進められており，板材の接合に適し高強度で高品質な継手が得られるとして摩擦攪拌接合(FSW)による接合事例や研究報告が増加している¹⁾．FSWでは，溶接後に問題とされるブローホールが発生せず，熱膨張係数が大きいアルミニウム合金やマグネシウム合金に適用することで，溶接時に必要とされた前処理や不活性ガスによる酸化防止処理を必要とせず接合が可能である²⁾．また，アルミニウム合金を用いたFSWに関する報告によると高強度アルミニウム合金やダイカスト材，異種材料の接合が可能である³⁾⁴⁾，しかしながら，成形性の良い3000系アルミニウム合金を用いた報告は少ないのが現状である．

本研究では3003アルミニウム合金を用いてFSWを行い，接合条件が継手の組織と機械的性質に及ぼす影響について検討した．

2. 供試材および実験方法

供試材には板厚3mmの3003-H24アルミニウム合金板を幅50mm，長さ200mmに機械加して実験に供した．供試材の化学組成および機械的性質をそれぞれTable 1，Table 2に示す．

接合にはFN-II型摩擦攪拌接合機を使用し，予備実験により選定したTable 3に示す条件を組合せ，ルート間隙なしのI型突合

せ接合とした．回転工具は合金工具鋼(SKD61)製とし，ショルダ径15mm，ショルダ角4°，プローブはM6，長さ2.8mmに機械加工したものをを用い，前進角を3°とした．

得られたFSW継手の外観観察，巨視的および微視的組織観察，硬さ試験，引張試験，密着曲げ試験，供試材および回転工具先端部の温度測定をいずれも室温で行った．

3. 実験結果および考察

Fig.1にFSW継手の外観を示す．表面には他のアルミニウム合金FSW継手に⁴⁾類似した，ショルダ径とほぼ同一幅の円弧状の様相を呈した．接合を行った全条件で，大小のバリが(工具回転方向と接合方向が異なる側)RS側，に発生する傾向を示し，接合速度が遅い条件では薄く大きいバリ，速い条件では細かく小さなバリとなった．図は示さないが，FSWで終端部のプローブに

Table 1 Chemical compositions of base metal.

Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Ti	Al
0.23	0.65	0.13	1.17	0.07	0.02	Bal.

Table 2 Mechanical properties of base metal.

Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HV0.1)
145	25	57.8

Table 3 Welding conditions.

Rotational speed	N (rpm)	800, 1200, 1600
Welding speed	V (mm/s)	1 ~ 7
Preheating time	t (s)	10

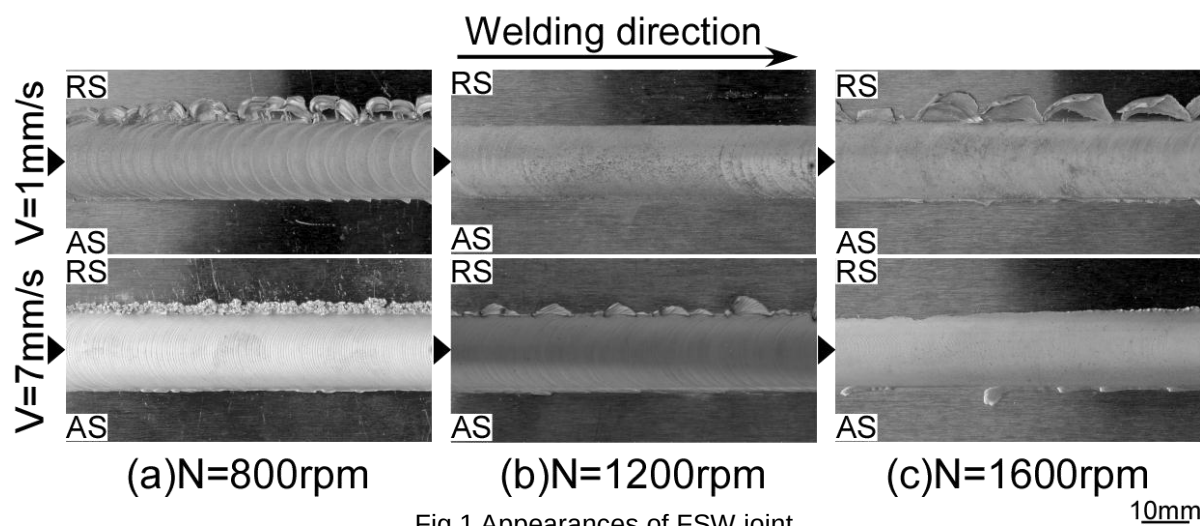


Fig.1 Appearances of FSW joint.

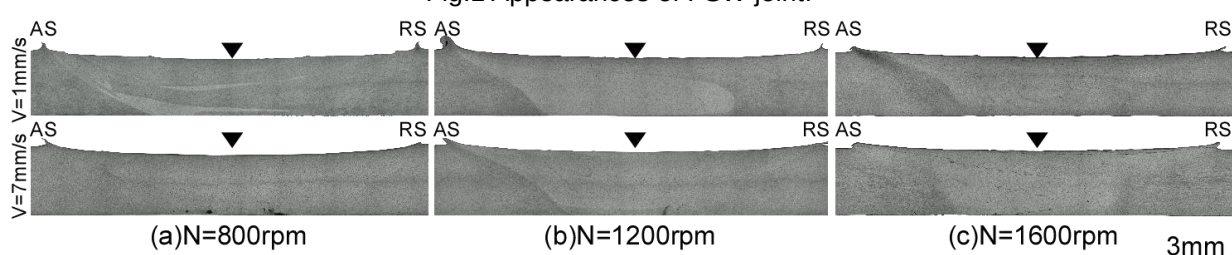


Fig.2 Macrostructures of FSW joint.

よる穴は貫通した状態となった。

Fig.2 に継手横断面巨視的組織を示す。工具回転数の増加に伴い攪拌部にオニオンリングが明瞭に観察され、接合速度が遅い条件ほど明瞭となった。このことは、接合速度が遅いと攪拌の影響が大きくなり、オニオンリングすなわち、層状組織を形成するためと考えられる。工具回転数 800rpm、接合速度 7mm/s の条件では、接合底部に空洞欠陥が観察された。これは、工具回転数に対して接合速度が速いため攪拌不足状態となることによるものとする。

Fig.3 に継手横断面微視的組織を示す。工具回転数の低い条件の AS 側では攪拌部と熱影響部との境界が明瞭に観察され、図には示さないが RS 側においても攪拌部と母材の境界がわずかではあるが観察された。接合底部ではキッシングボンドは観察されず、健全な継手が得られたと考える。

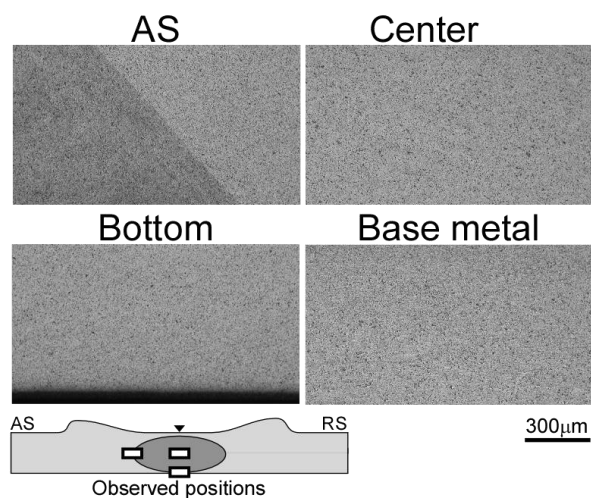


Fig.3 Microstructures of FSW joint.

(N=1200rpm , V=1mm/s)

Fig.4 に継手横断面中央の硬さ分布を示す。全条件において工具径に相当する範囲で軟化し、ショルダ外周部にあたる位置で更に軟化した。接合速度が遅い条件では速い条件と比較して、軟化範囲が広く硬さも低い値を示したが、接合速度の増加に伴い軟化割合は減少し、軟化範囲も狭くなる傾向を示した。

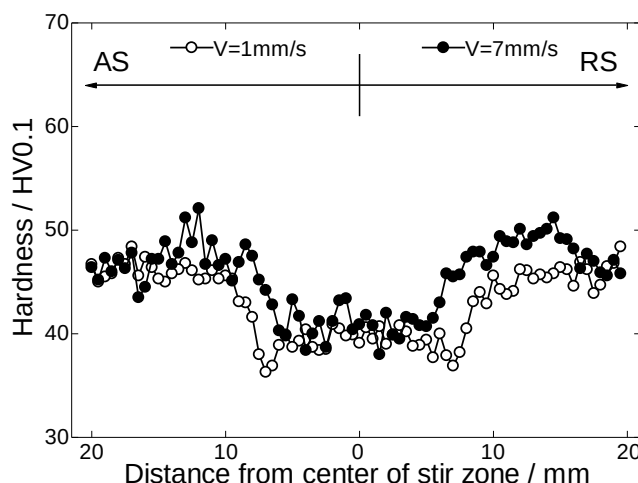


Fig.4 Hardness distributions of FSW joint.

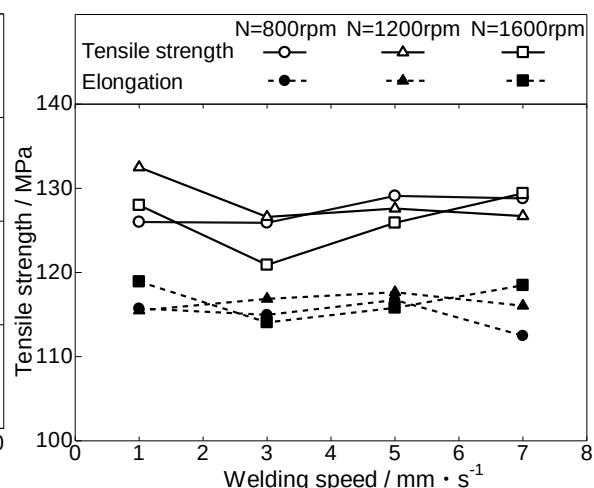


Fig.5 Results of tensile test of FSW joint.

Fig.5 に接合方向と垂直に採取した試験片による引張試験の結果を示す. 全条件において, 接合条件の違いによる引張強さの違いは少なかった. 工具回転数 800rpm では接合速度の増加に伴い引張強さが向上する傾向を示し, 工具回転数 1200rpm では接合速度の上昇により引張強さが低下した. 伸びは引張強さに類似した傾向を示した. 本実験範囲内の引張強さの最大値は工具回転数 1200rpm, 接合速度 1mm/s で 132MPa を示し, A3003 母材の約 91%の値が得られ, 伸びの最大値は工具回転数 1600rpm 接合速度 1mm/s で約 11%と母材に比較して低下した.

Fig.6に引張試験後の試験片の外観を示す. 全条件において破断位置は AS 側または RS 側の攪拌部と熱・機械的影響部 (Thermo mechanically affected zone:TMAZ) 近傍で破断した.

Fig.7 に密着曲げ試験後の外観を示す. 全条件において割れは発生せず, 良好な曲げ状態となった. 曲げ試験後の底部表面は, 接合速度の遅い条件では光沢があり, 接合速度の速い条件では圧延方向に沿った粗い状態となった.

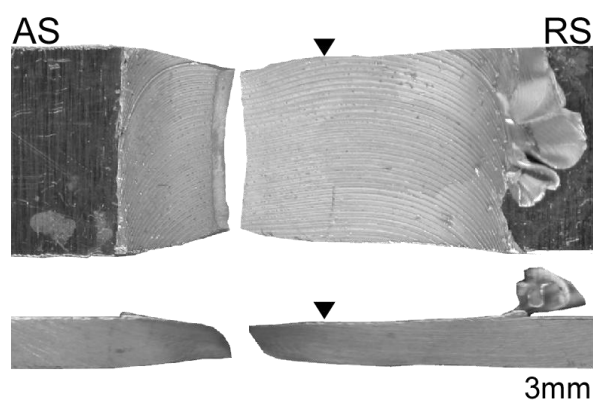


Fig.6 Appearances of tensile tested specimen.
(N=1200rpm, V=1mm/s)

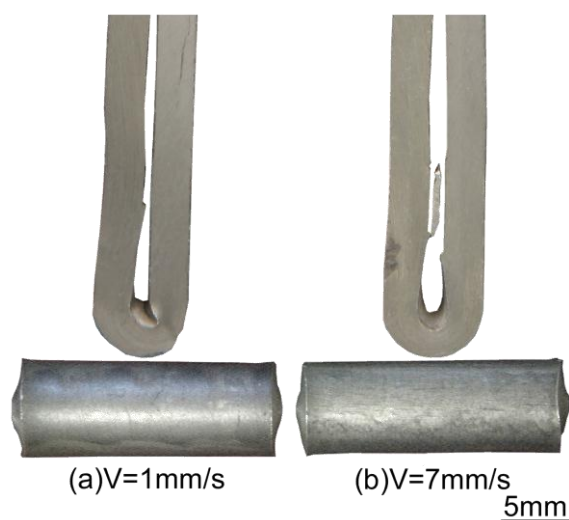


Fig.7 Appearances of bend tested specimens.
(N=1200rpm)

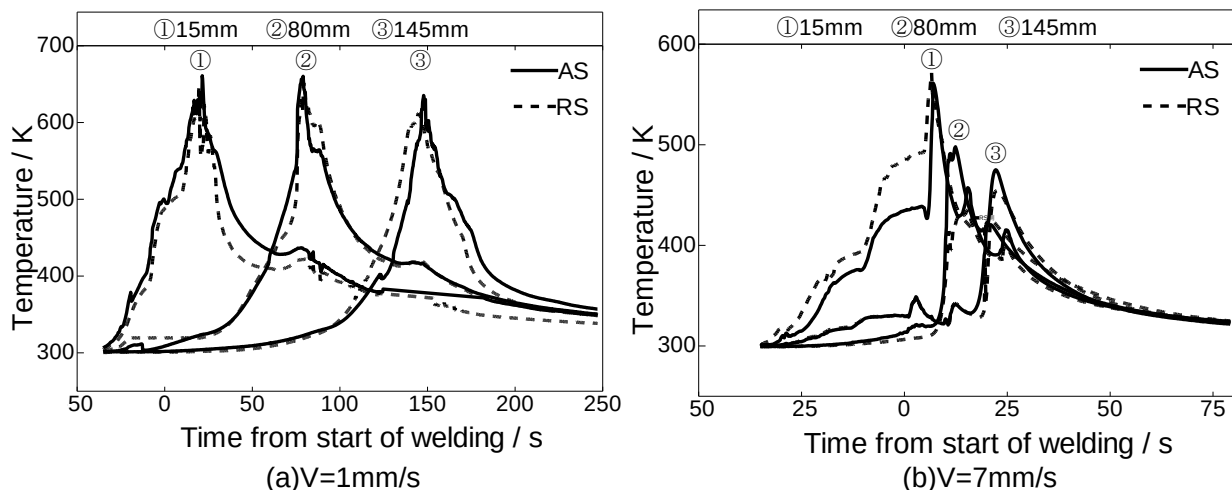


Fig.8 Temperature-time histories during FSW process. (N=1200rpm)

Fig.8 測定位置で測定した温度測定結果を示す。測定位置の温度は回転工具が接近するに伴い急激に上昇した。測定点が接合開始点に近い位置では予熱による影響は認められたが、80mm以上離れた位置には予熱の影響はほとんど認められなかった。また、接合速度が速くなると接合開始点より離れるに伴い最高温度は低くなった。温度は接合速度の遅い条件は最高到達温度660Kを示したが、接合速度7mm/sは最高温度570Kと大きな差が認められた。

Fig.9 に回転工具の温度測定結果を示す。接合速度が遅い条件では予熱時に約700Kとなり以後緩やかに温度は上昇した。接合速度が高い条件では遅い条件と類似の傾向であるが工具の最高温度は643Kと低くなった。

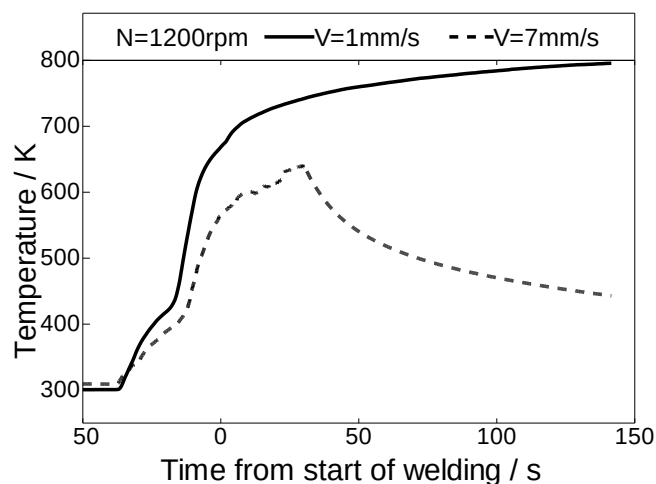


Fig.9 Measuring results of temperature of tool.

4. まとめ

3003-H24 アルミニウム合金FSW継手の諸性質を検討した結果、最適な接合条件を選択することにより継手効率約91%の値が得られた。また回転工具先端の温度は接合速度の影響を大きく受けることが明らかとなった。

参考文献

- 例えば、熊谷正樹：軽金属溶接，46(2008)，358-363.
- 時末 光：FSW(摩擦攪拌接合)の基礎と応用，日刊工業新聞，(2005).
- 吉原晃二，仲間大，加藤数良，時末光：軽金属溶接，49(2011)，281-287.
- 伊藤豪太，加藤数良：第62回塑性加工連合講演会講演概要集，(2011)，217-218.