

2017 アルミニウム合金摩擦スポット接合継手の機械的性質に及ぼす接合条件の影響

日大生産工(院) ○嵐田 裕樹
日大生産工 加藤 数良

1. 緒言

近年，輸送機器の軽量化を目的にアルミニウム合金などの軽金属材料の使用量が増加している．一方，薄板の点接合に多用されている抵抗スポット溶接ではアルミニウム合金の接合には様々な問題がある．また，固相での点接合には摩擦攪拌作用を利用したFSJ(摩擦攪拌スポット接合)があるが摩擦攪拌接合と類似の回転工具を用いるため，接合部に突起の痕跡が残存する¹⁾．突起の痕跡が残存しないFSJ²⁾も報告されているが，複雑な機構の装置を必要とする．摩擦スポット接合は回転工具に単純丸棒を使用するため，接合部に突起の痕跡は残存しない．著者らはこれまで，5052 および 6061 アルミニウム合金に摩擦スポット接合を適用し，実用上十分な継手が得られることを報告した³⁾

本研究では，航空機用材料として用いられる2017 アルミニウム合金を用いて摩擦スポット接合を行い，継手の機械的性質に及ぼす接合条件の影響を検討した．

2. 供試材および実験方法

供試材は，板厚1.0mmの2017-T3アルミニウム合金板を幅30mm，長さ100mmに機械加工した後，接合面を脱脂洗浄し重ね代が30mmとなるように治具により固定した．供試材の化学組成をTable 1に，機械的性質をTable 2に示す．接合には数値制御全自動摩擦圧接機を使用し，回転工具は直径10mmの円柱状SUS304ステンレス鋼丸棒を用いた．接合は予備実験より選定したTable 3に示す接合条件を組合せて行った．

Table 1 Chemical compositions of base metal. (mass%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Al
0.55	0.2	4	0.65	0.54	0.03	Bal.

Table 2 Mechanical properties of base metal.

Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HK0.05)
390	15.9	113

Table 3 Friction spot conditions.

Rotational speed	N (rpm)	1000
Friction pressure	P (MPa)	140 , 160 , 180
Friction time	t (s)	1.0 , 1.5 , 2.0

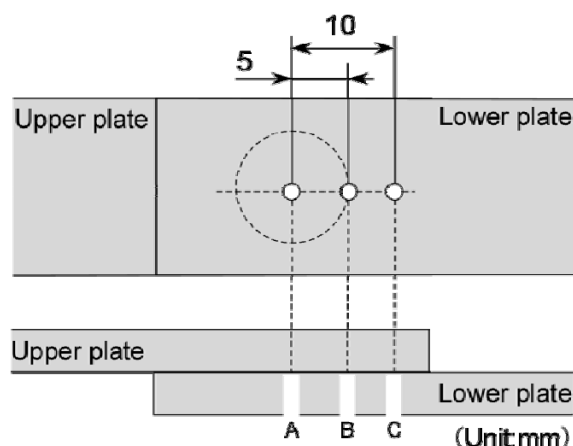


Fig.1 Measuring positions of temperature.

得られた継手の外観観察，組織観察，硬さ試験，引張せん断試験，および十字引張試験を室温で行った．引張せん断試験，十字引張試験はそれぞれ JIS-Z3136, JIS-Z3137 に準じて行った．また，接合中の温度を Fig.1 に示す位置に熱電対を挿入して測定した．

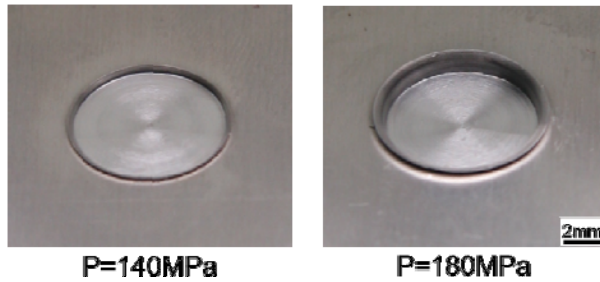


Fig.2 Appearances of friction spot welded joint. (t=1.0s)

3. 実験結果および考察

Fig.2 に接合部外観を示す。接合部表面には回転工具による圧痕が観察され、割れや焼き付きなどの欠陥は観察されなかった。接合部外周にはばりが認められた。外観には他のアルミニウム合金摩擦スポット接合継手と明瞭な差異は認められなかった。

Fig.3 に接合中心部の板厚と接合条件の関係を示す。接合部の板厚は摩擦圧力、接合時間の増加に伴い増大した。また、摩擦圧力 140MPa に比較して摩擦圧力 180MPa は摩擦時間の長短による板厚の差は大きくなった。

Fig.4 に温度測定結果を示す。温度履歴は接合条件に関係なく類似の傾向を示したので、一例として摩擦圧力180MPa、摩擦時間1.0sの結果を示す。接合中心では工具が被接合材に接触した直後に急激に温度は上昇後、温度上昇の割合は小さくなり接合終了時に最高値を示した。接合中心より5mmの位置は接合部中心と類似の傾向を示したが、到達温度はわずかに低くなった。接合部中心より10mmの位置は接合開始から緩やかに温度上昇し、接合終了後0.3~0.5s後に最高値を示した。

接合中心部の最高温度を Fig.5 に示す。最高温度は、摩擦圧力の増加に伴い増大したが、摩擦時間が長くなるのに伴い摩擦圧力の影響は少なくなり、摩擦圧力 180MPa では最高温度の差はわずかであった。

Fig.6 に継手中心部横断面の巨視的組織と接

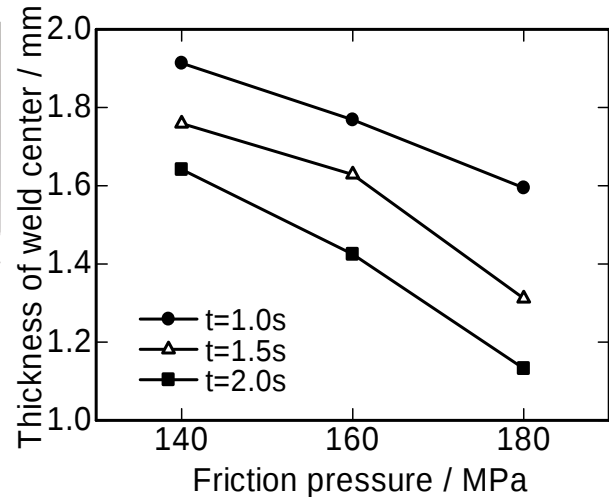


Fig.3 Relation between thickness of weld center and friction pressure.

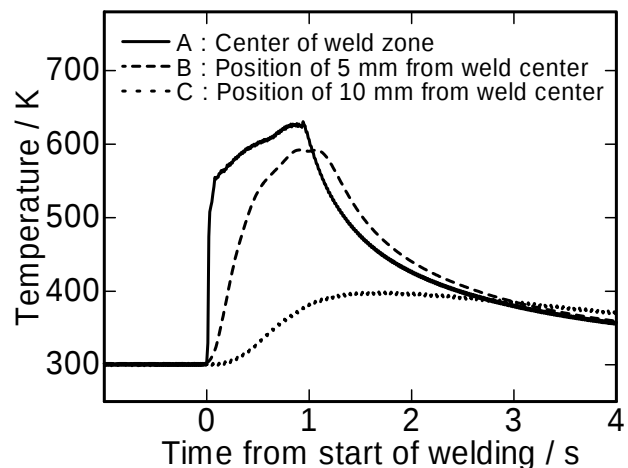


Fig.4 Temperature-time histories of friction spot welding process. (P=180MPa, t=1.0s)

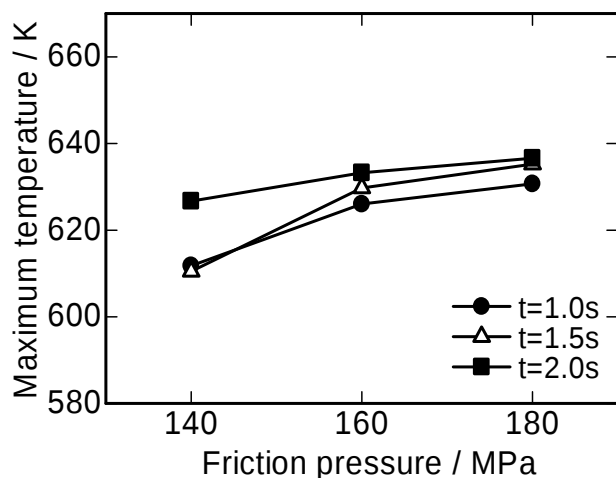


Fig.5 Relation between friction pressure and maximum temperature.

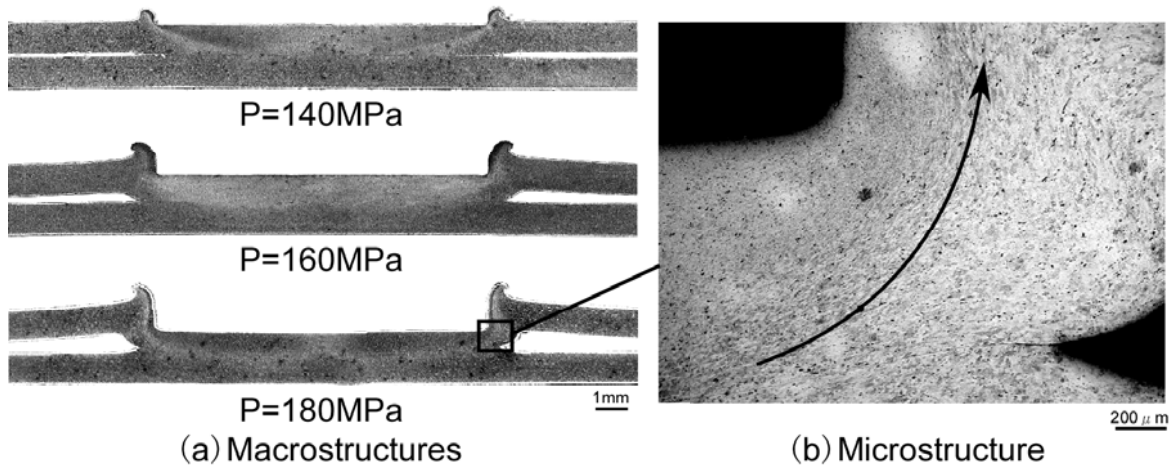


Fig.6 Macro and microstructures of friction spot weld joint. ($t=1.0s$)

合部外周部の微視的組織を示す. 上板は回転工具により押込まれた痕跡が観察され, その周囲には熱影響部が認められた. 接合部外周部にばりが観察され, ばりの排出に伴う上方向への組織流動が認められた. 接合部外周部は上板が浮き上がり, 抵抗スポット溶接に観察されるシートセパレーション現象と類似の様相であった. 巨視的に接合界面は不明瞭で, ナゲットの生成は認められなかった.

Fig.7 に接合界面近傍の微視的組織を示す. いずれの場所も微視的組織は摩擦圧力の増加に伴い微細となり, 接合界面は押し潰された状態となった. 接合部外周では摩擦圧力 140MPa, 160MPa の条件で接合界面に機械的混合が観察され, その近傍の組織は微細となった. 摩擦圧力 180MPa では接合界面は消滅した状態となり, 機械的混合は観察されなかった.

Fig.8 に継手中心部横断面の硬さ分布を示す. 上板と下板は類似の傾向を示したので図には上板の測定結果を示す. 2017 合金の自然時効を考慮して, 硬さ試験は接合直後から硬さが安定した接合後 2 週間後まで測定を行った. 接合直後は接合条件に関係なく工具径より広い範囲で軟化が認められた. 最軟化部の硬さは摩擦圧力, 摩擦時間の増加に伴い軟化割合が僅かに大きくなった. 接合後 2 週間後は若干のばらつきは認められたが, 接合条件および測定位置の違いによる硬さの変化は認められず母材硬度

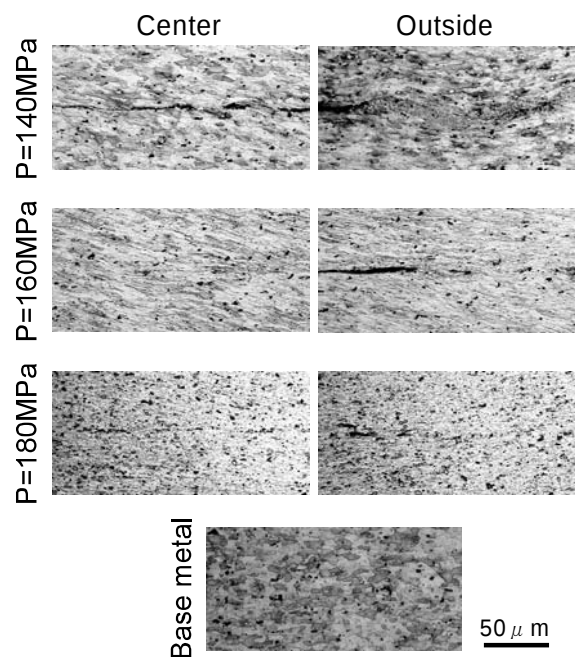


Fig.7 Microstructures of friction spot weld joint. ($t=1.0s$)

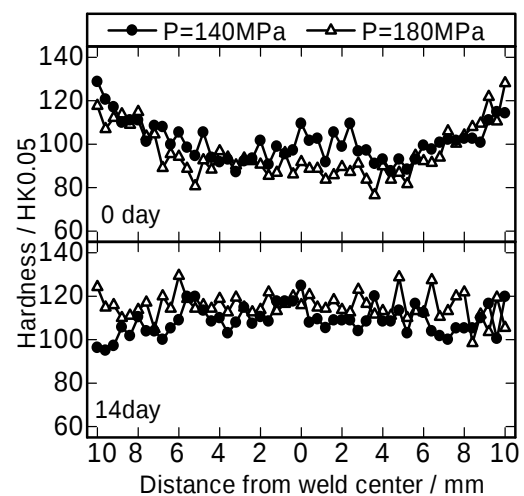


Fig.8 Hardness distributions of friction spot welded joint. ($t=1.0s$)

と同等の値となった。

Fig.9 に引張せん断試験結果を示す。摩擦時間 1.0s では摩擦圧力の増加に伴い、引張せん断荷重は増大したが、摩擦時間 1.5s, 2.0s では摩擦圧力の違いによる引張せん断荷重の差は認められなかった。本実験の範囲内では摩擦圧力 180MPa, 摩擦時間 1.0s の条件で最高引張せん断荷重 3.9kN の値を得た。これは抵抗スポット溶接の A 級要求強度 1.73kN (JIS-Z3140) を上回る値となった。

Fig.10 に引張せん断試験後の接合界面から観察した継手外観を示す。継手の破断形態は接合界面からはく離するものと、接合部上板が下板に残存した状態で破断するプラグ破断とに分類される。引張せん断荷重 3.5kN 以上の継手は、破断形態は全てプラグ破断となった。界面はく離した継手には接合面に拡散が行われたと推測される模様が観察され、摩擦圧力、摩擦時間の増加に伴いこの模様の面積は拡大した。

Fig.11 に十字引張試験結果を示す。摩擦圧力および摩擦時間の増加に伴い十字引張荷重は増大した。摩擦圧力の増加に伴い接合時間の違いによる十字引張荷重の差は小さくなった。本実験の範囲内では摩擦圧力 180MPa, 摩擦時間 1.5s の条件で最高十字引張荷重 0.9kN の値となった。継手の破断形態は摩擦圧力 180MPa で摩擦時間に関係なくプラグ破断となったが、摩擦圧力 140MPa, 160MPa では接合界面からはく離した。

参考文献

- 1) 例えば古賀信次：フリクションスポット接合 (FSJ) の開発，軽金属溶接，42，(2004)，523.
- 2) 熊谷正木：複動式摩擦攪拌点接合法の開発，軽金属溶接，44，(2006)，560.
- 3) 例えば，時末 光：摩擦熱応用接合技術，軽金属，55，(2005)，416.

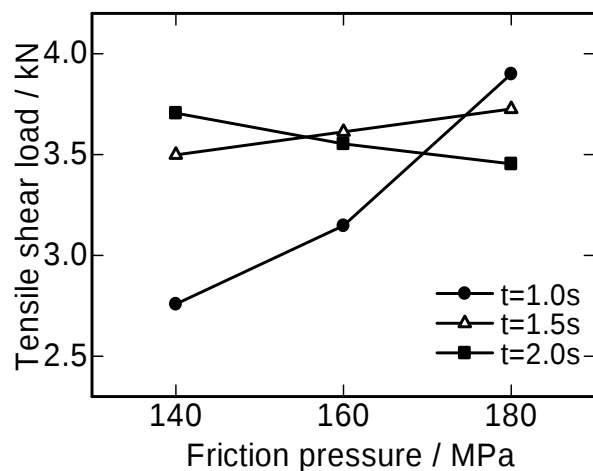


Fig.9 Results of tensile shear test.

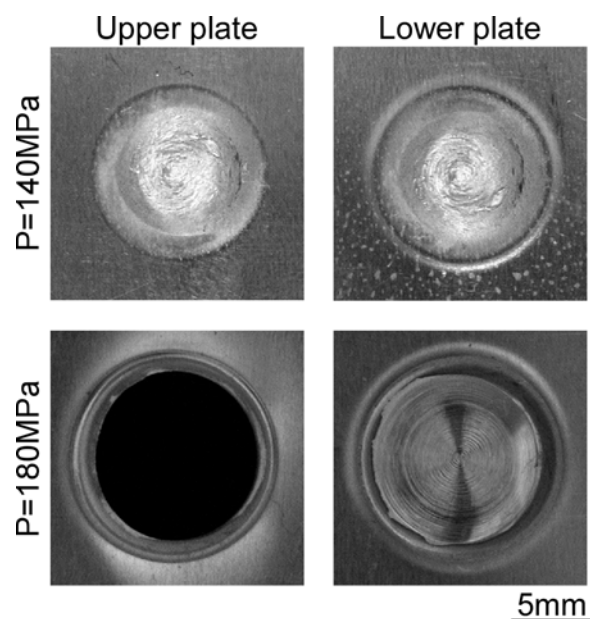


Fig.10 Appearances of tensile shear tested specimens of friction spot welded joint. (t=1.0s)

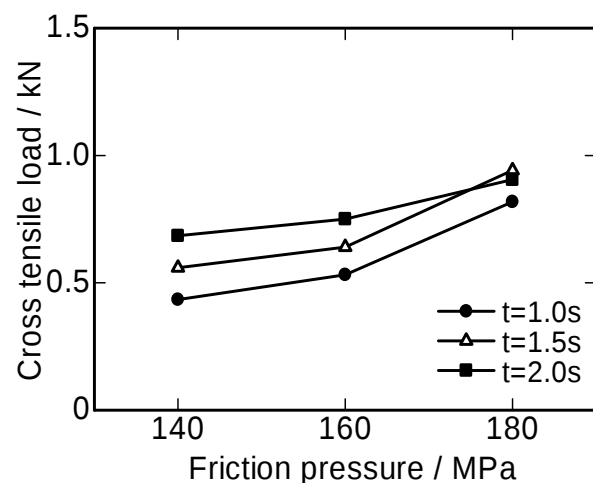


Fig.11 Results of cross tensile test.