

6061 アルミニウム合金薄板の高速摩擦攪拌接合に及ぼす工具形状の影響

日大生産工(院) ○橋口 正 日大生産工 前田 将克
元日大生産工 加藤 数良

1. 緒 言

摩擦攪拌接合(Friction Stir Welding:FSW)は摩擦熱と塑性流動を利用した固相接合法の一種であり, 融接と比較して熱による変形が少ない特徴がある. このような特徴から, アルミニウム合金の FSW に関する研究が盛んに行われており, 特に 6000 系アルミニウム合金は回転数 1800rpm で接合速度 35mm/s と広い接合条件範囲での接合が可能と報告されている¹⁾.

著者らは, ツールからの熱を伝えやすい薄板を用いれば, 従来の接合速度より高い速度でも健全な継手の形成が可能であると考え, 6061 アルミニウム合金の高速 FSW を行った. しかし, 選定した条件の多くでキッシングボンドが発生するという問題が生じた²⁾. 接合継手の組織観察解析の結果, 接合中にツールが材料からの反力によって浮きあがり, 底部までの攪拌が不十分であることが明らかとなった. この反力を低減するにはツールから材料への温度を上げる必要があり, ショルダー径を含めたツールの形状を変化させることで入熱の温度を上げることが効果的であると考えられる.

本研究では, 6061 アルミニウム合金薄板の高速 FSW を行い, ツールのプローブ長さおよびショルダー径が接合中の板面方向に受ける力と温度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1mmの6061-T6アルミニウム合金(以下A6061)を圧延方向に長さ200mm, 幅50mmに機械加工後, 酸化膜の除去などの特別な前処理は行わずに実験に供した. 供試材の機械的性質をTable1に示す. 実験には全自動摩擦攪拌接合機を用いて, 予備実験から選定したTable2に示す条件を組み合わせ, ルート間隙なしのI型突合せ接合とした. ツールには合金工具鋼(SKD61)製を用い, ショルダー角 4°, プローブ径3mm, ショルダー径9~15mm, プローブ長さ

0.5~0.9mmに機械加工したものを実験に使用した. ショルダー径9mm, プローブ長さ0.7mmに機械加工したツールを基準とし, プローブ長さを0.5~0.9mmに機械加工したものをPL05, PL07, PL09, ショルダー径を9~15mmに機械加工したものをSD09, SD12, SD15と示す.

Table1 Mechanical properties of base metal.

Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HV0.1)
313	15	113

Table2 Welding conditions.

Rotational speed	N (rpm)	1800
Welding speed	V (mm/s)	20,30,40
Tilt angle	θ (deg.)	3
Probe insert speed	Vp (mm/s)	0.5
Preheating time	T (s)	1.3
Plunging depth	Pd (mm)	0.95

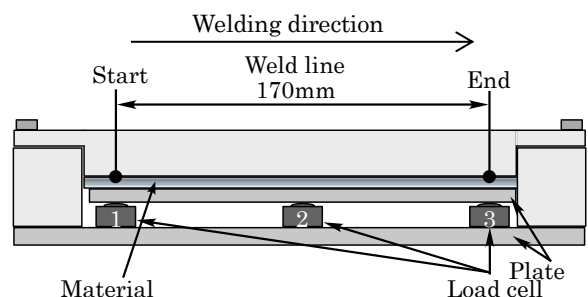


Fig.1 The placement of the load cell.

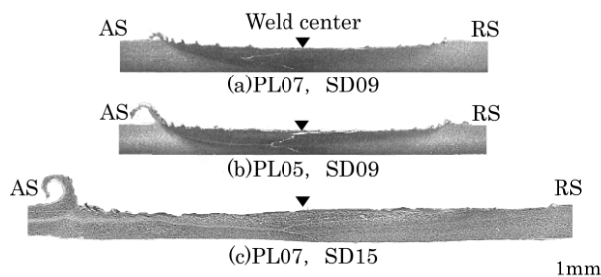


Fig.2 Macrostructures of joints. (V=20mm/s)

Effect of Tool Shapes of High Friction Stir Speed Welding
6061 Aluminum Alloy Thin Sheets

Masashi HASHIGUCHI, Masakatsu MAEDA, Kazuyoshi KATOH

接合時の力はFig. 1に示すように接合長170mm一定とし、継手中央を通過するように接合始端部、中間、終端部の板面方向に発生する力を計測した。

3. 実験結果および考察

Fig. 2に接合速度20mm/sにおける継手中央の巨視的組織観察を示す。Fig. 2(a)から(c)のいずれもRSに排出されたばりは接合中に脱落したため観察されず、ASには押し出されたばりが残存している。ASに押し出されたばりはプローブ長さを長くした条件ほど少なく、ショルダー径を大きくした条件で多くなった。また、図は示さないが接合速度20mm/sより高い接合速度では、プローブ長さおよびショルダー径を変更させても継手底部に未接合部が形成される。

Fig. 3に接合速度20mm/sにおける継手中心位置 (Load cell 2) を通過した際の板面方向の力の測定結果を示す。ツールが継手に挿入された時間では、プローブ長さによる印加力の差異は認められなかった。ショルダー径を変更した条件ではSD15のみ印加力に差異が認められた。これは、ショルダー径を大きくすることで入熱量が増加し、継手に伝わる印加力が低下したことが原因である。接合が開始されてからは中間地点を通過した際に、PL05の条件で最大4.2kNの力が発生した。

Fig. 4に継手接合部板厚中央での温度測定の結果を示す。測定は接合始端部から85mm、ショルダー径相当ASの位置にK種熱電対を挿入して行った。接合中の温度の上昇および減少に関してプローブ長さおよびショルダー径を変更した条件による大きな差異は観察されなかった。最高到達温度はSD15で467K、次いでBaの条件で463Kの温度を示した。また、PL07, SD09の条件と比較して最高到達温度はプローブ長さを変更した条件では20~30K低くなり、SD12の条件においても29K低い温度となった。

Fig. 5に板面方向に負荷される最大の力と最高到達温度の関係について示す。図中において破線で囲った箇所はツールのプローブ長さおよびショルダー径を変更した条件で接合欠陥が認められなかった範囲である。この範囲から、健全な継手を形成するためには最高到達温度440K以上の温度が必要であり、板面方向に負荷される力は4.2kN以下にすることが有効であることが明らかになった。

参考文献

- 1) 中田一博ら：溶接学会秋季全国大会技術セッション資料，(2004，9)，1-15.
- 2) 橋口正ら：2016年度日本設計工学会秋季大会研究発表講演会講演論文集，(2016)，15-16.

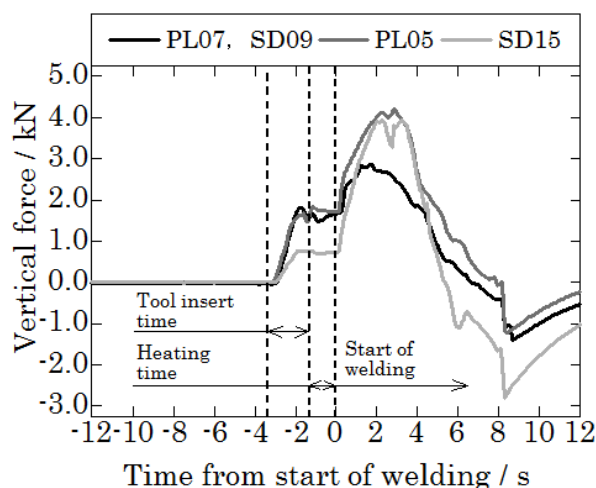


Fig.3 Relation between welding time and vertical force. (V=20mm/s)

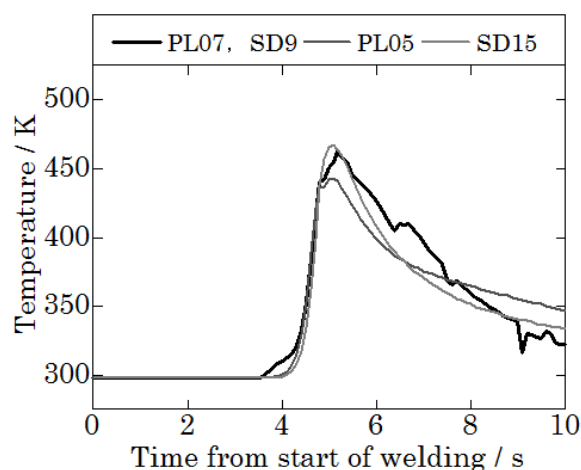


Fig.4 Temperature histories of welding process. (V=20mm/s)

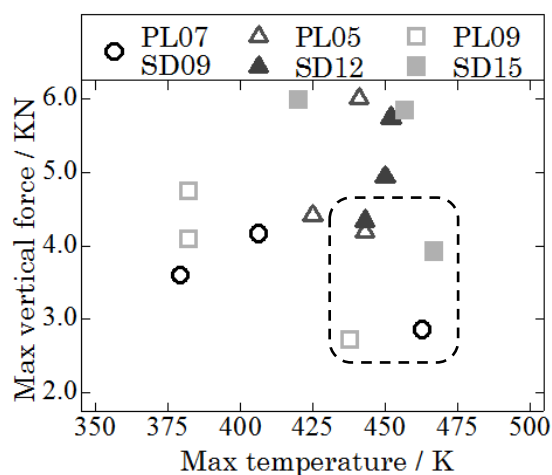


Fig.5 Relation between maximum vertical force and maximum temperature.