

金属薄板の摩擦攪拌接合技術の開発

機能素材加工課 柿内茂樹、酒井康祐

1. 緒言

金属薄板の接合は、構造物や部品を製造する上で欠くことができない技術である。従来融接法を用いて金属薄板を溶接するとしばしば溶け落ち、溶け分かれが生じる¹⁾。このため前報では、固相状態で接合可能な摩擦攪拌接合(以下、FSW)に着目し、板厚1 mmの6061 アルミニウム(以下、Al)合金の接合方法について検討し、接合可能な条件を見出した²⁾。一方、板厚や材質が異なる板材を繋ぎ合わせた一枚のプレス素材をテーラード・ブランクという³⁾。テーラード・ブランク材はしばしば高張力鋼板や薄鋼板が使用される。そして構造物の軽量化の手法の一つとして、鉄鋼からAl合金への転換が挙げられる。そこで本研究では、異なる板厚のAl合金薄板を突き合わせてFSWにより接合し、テーラード・ブランクの開発を目的とした。

2. 実験方法

供試材料はA6061-T6合金を用いた。寸法はいずれも幅115 mm、長さ250 mmである。板厚は、1 mmと1.6 mmである。ツール形状はショルダ径φ12 mm、プローブ形状はM4の逆ネジ形状、プローブ長さは1 mmである。接合条件は、ツールの回転数(以下、 R)は1000~1000 rpm、接合速度(以下、 v)は100~3000 mm/minとした。前進角は3°とした。なおツールの押込量は板厚1.6 mmの表面から約1.5 mmの位置となるように設定した。継手の評価は、断面組織観察、引張試験、接合部断面の硬さ分布測定、裏曲げ試験により行った。

3. 実験結果

図1にA6061合金接合部断面のマクロ組織とミクロ組織を示す。接合の板厚は板厚1.6 mmよりも薄くなり、板厚1 mmよりも厚くなった。接合部の両端にバリが形成された。一方、接合部中心の図1Cの領域は、攪拌部(以下SZ)で、図1Bの母材(以下BM)と比較して、微細な等軸粒を呈した。一方、SZの外側の図1Dの領域は、塑性流動の影響を受けて伸長した熱加工影響部(TMAZ)組織である。

図2に接合部断面の硬さ分布を示す。図2Aは $v=100$ mm/min、図2Bは $v=1000$ mm/minである。いずれも $R=1000$ rpmである。なお、BMの硬さは $t=1.6$ mmは106HV0.2、 $t=1$ mmは109HV0.2であった。 v を増加させると接合部断面の最低硬さは60HV0.2から73HV0.2に増加した。ま

た、母材と比較して軟化した領域の幅は狭くなった。すなわち熱影響が小さくなった。

図3に $R=1000$ rpmで $v=500\sim 3000$ mm/minに変化させたときの断面マクロ組織に及ぼす v の影響を示す。 v を増加させるとSZの幅と深さが減少し、ルートフロー(ルート部の接合不完全部(図3b))が残存した。さらに v を増加させると、ルートフローとトンネル状の欠陥が残存した(図3C、図3c)。

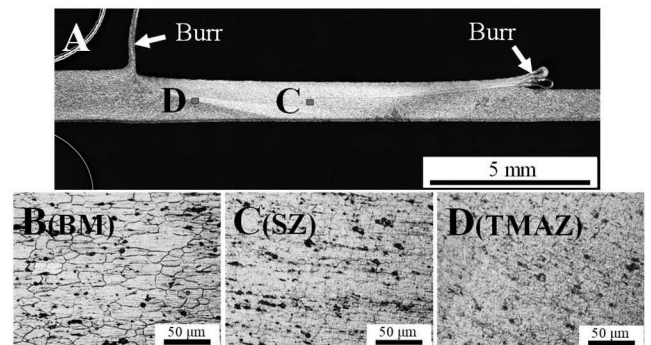


図1 接合部断面マクロ組織とミクロ組織 ($R=1000$ rpm、 $v=500$ mm/min)

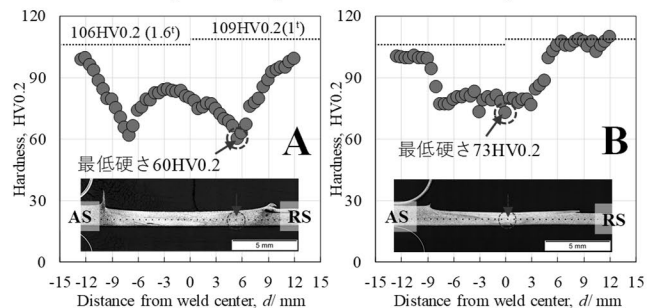


図2 接合部断面の硬さ分布

($R=1000$ rpm、A: $v=100$ mm/min、B: $v=1000$ mm/min)

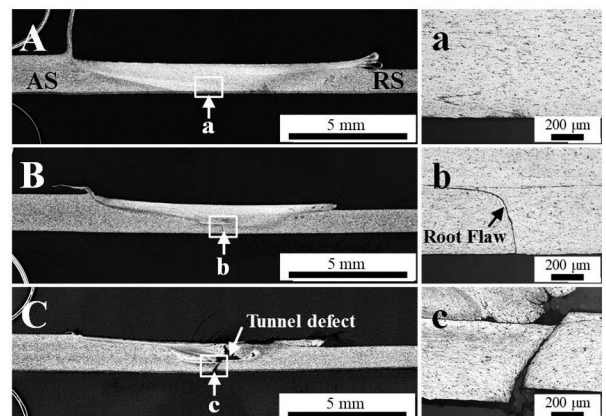


図3 接合部断面のマクロ組織に及ぼす接合速度の影響 ($R=1000$ rpm、A: $v=500$ mm/min、B: $v=1500$ mm/min、C: $v=3000$ mm/min)

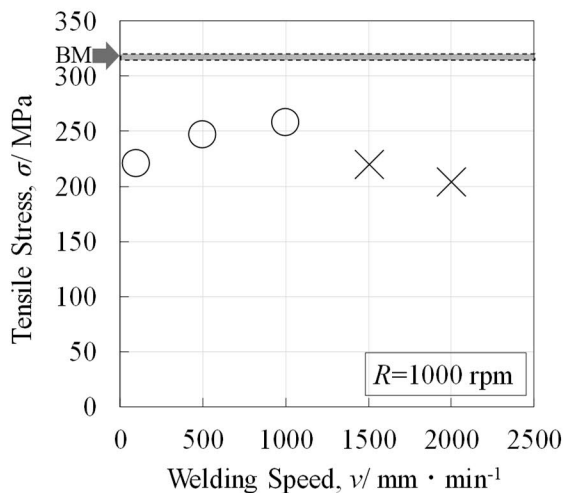


図4 引張強さと破断位置に及ぼす接合速度の影響

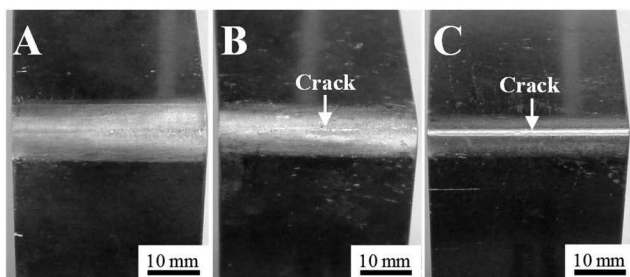


図5 裏曲げ試験結果

(R=1000 rpm, A: v=500 mm/min, B: v=1000 mm/min, C: v=1500 mm/min)

図4に継手の引張強さと破断位置に及ぼす接合速度の影響を示す。いずれもR=1000 rpmである。なお、図中の○は継手が熱影響部近傍で破断、×はルートフローで破断したことを示す。接合速度が増加すると、一旦引張強さは増加した。一方、v=1000 mm/minを超えると引張強さは減少した。これは、図2に示したように接合速度を増加させると、熱影響が小さくなることで、接合部断面の最低硬さが大きくなり軟化領域の幅が狭くなるためである。一方、さらにvを増加させると、SZが狭くなりルートフ

ローが残存することにより、ルートフローで破断し引張強さが減少したものと考えられた。

図5に継手の裏曲げ試験結果を示す。図5Aはv=500 mm/min、図5Bはv=1000 mm/min、図5Cはv=1500 mm/minである。いずれもR=1000 rpmである。図5Cの場合、全長にわたって割れが発生したが、vを減少させると、部分的に割れが発生し、さらに減少させると割れなくなった。このことは、攪拌不足により図3Bに示したルートフローが残存した場合、引張強さを減少させるのと同時に、裏曲げの際の割れ発生の原因になることが明らかになった。

4. 結言

本研究は、板厚1 mmと1.6 mmのA6061-T6合金薄板テーラード・ブランクを開発するため、接合パラメータを変化させ、接合欠陥の有無と接合条件が継手の機械的性質に与える影響について検討した。その結果、接合速度の増加は熱影響を減少させ、引張強さを増加させるが、ルートフローが残存した場合、引張強さの低下、裏曲げ試験による割れの発生の原因となることが明らかになった。

参考文献

- 1) 物種武士, 竹野祥瑞: 溶接学会全国大会講演概要, (2012), 400-401.
- 2) 柿内ら, 富山県産業技術研究開発センター研究報告, 37 (2023), 27-28..
- 3) S.M.O. Tavares, J. F. dos Santos, P. M. S. T. de Castro: Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 65(2013), 8-13.

謝辞

本研究の一部は、(公財)タナカ財団2022年度上期助成事業から研究活動助成金を受けて行った。ここに謝意を示す。

キーワード: アルミニウム合金薄板、テーラード・ブランク、摩擦攪拌接合

Development of Friction Stir Welding for Thin Metal Sheets

Functional Metal Processing Section; Shigeki KAKIUCHI and Kosuke SAKAI

In this study, A6061-T6 alloy thin plate tailor welded blanks with thickness of 1 mm and 1.6 mm were developed. The joining parameters were varied to investigate the occurrence of joining defects and effect of joining conditions on the mechanical properties of the joints. The results showed that an increase in welding speed decreased the thermal effects and increased the tensile strength, but root flaw resulted in a decrease in tensile strength and cracking by root-bend test.