

3448 摩擦攪拌スポット接合継手の 強度特性に与える接合ツール形状の影響

Effect of Tool Geometry on Static Strength of Friction Stir Spot Welded Joints

正 ○植松美彦 (岐阜大工) 正 戸崎康成 (岐阜県産業技術センター) 正 戸梶 恵郎 (岐阜大工)

Yoshihiko UEMATSU, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1193
Yasunari TOZAKI, Gifu Prefectural Industrial Technology Center
Keiro TOKAJI, Gifu University

The effect of tool geometry on microstructure and static strength in friction stir spot welds of 6061 aluminium alloy sheets was studied. Tools with three different probe lengths were evaluated. The weld microstructures varied depending on probe length, tool rotational speed and tool holding time. Two particular aspects in the microstructures were identified: the thickness of the upper sheet under the shoulder indentation and the actual nugget size. The tensile shear strength increased with increasing probe length, while the cross tension strength was not affected significantly by probe length. Two fracture modes were observed in both tensile shear and cross tension tests. The dependence of static strength on probe length and the fracture mechanisms were discussed based on observation of the microstructures.

Key words: Friction stir spot weld, Static strength, Tool geometry, Aluminium alloy, Fracture mechanism

1. 結 言

摩擦攪拌接合 (Friction Stir Welding, FSW) は、取扱いが容易、異種材料の溶接や溶融溶接の困難な材料の接合が可能、変形が小さい、機械的性質に優れる、環境負荷が小さいなど、溶融溶接を上回る多くの利点を有する。今後、アルミニウム (Al) 合金やマグネシウム (Mg) 合金などの軽金属材料を中心として、使用の拡大が予想される。

最近、FSW を応用した新しい接合法として、摩擦攪拌スポット接合 (Friction Stir Spot Welding, FSSW) が開発された。FSSW の特徴をそのまま有する FSSW が、抵抗スポット溶接に代わって、輸送機器、とりわけ自動車の車体部材への応用の期待が高まっている。しかし、接合継手の強度や破壊機構についてはほとんど知られていない。

著者らは前報において、強度特性に及ぼす接合条件の影響について検討した⁽¹⁾。本研究ではそれに続いて、Al 合金 6061-T4 を異なるプローブ長さのツールで FSSW 接合した重ね継手試験片と十字継手試験片を用いて引張試験を行い、継手の静的強度に及ぼすツール形状の影響と破壊機構について検討する。

2. 試験方法

2.1 材料 供試材は 2 種類の板厚 2mm の Al 合金 6061-T4 である。それぞれ 6061-T4(A), 6061-T4(B) とする。化学成分 (mass.%) は、6061-T4(A) では Si: 1.0, Fe<0.2, Cu: 0, Mn, 0.05, Mg: 0.6 Cr<0.05, Zn,<0.3, Ti<0.05, 6061-T4(B) では Si: 0.63, Fe:0.29, Cu: 0.27, Mn: 0.07, Mg: 1.0, Cr: 0.17, Zn: 0.01, Ti: 0.02 である。組織評価には上板に 6061-T4(A) を、

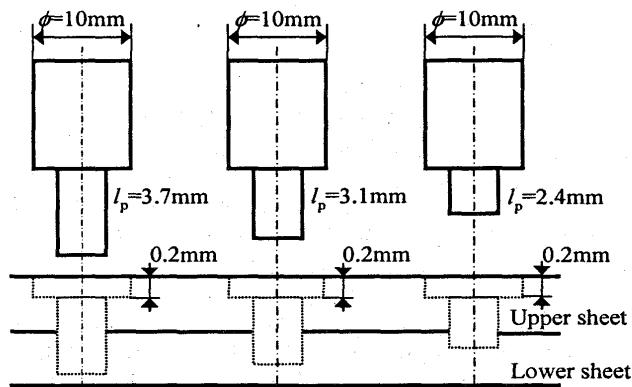


Fig.1. Geometry of tools employed.

下板に 6061-T4(B) を用いた。これは両材料間でエッチングの程度が若干異なることを利用して、接合過程における上下板の材料流動の観察を容易にするためである。また、継手の強度評価には、上下板とも 6061-T4(A) を用いた。

2.2 接合条件 図 1 に用いたツールの形状を示す。ツールには高速度鋼 (SKD61) 製の凹面状のショルダーを有するものを用いた。ショルダー径を 10mm 一定とし、プローブ長さを 2.4mm, 3.1mm, 3.7mm の 3 種類とした。プローブにはいずれも M3.5 の左ねじが切られている。なお、他の接合条件として、ツール回転速度を 2000rpm, 2500rpm, 3000rpm, 保持時間を 0.2, 1, 3 秒とし、すべての場合、ツール侵入速度を 20mm/min 一定、ショルダーの侵入深さを上板表面から 0.2mm として接合を行った。

2.3 試験片 引張せん断試験および十字引張試験をそれぞれ JIS Z3136 および JIS Z3137 に準拠して行った。両試験片とも 40mm×150mm の 2 枚の板から成り、40mm×40mm の重ね部の中央に FSSW を施した。

3. 実験結果および考察

3.1 接合過程における材料流動 ツール回転速度 3000rpm の場合の接合部断面組織観察例を図 2 に示す。上板と下板が混合している混合域 (Mixed zone) が認められ、その周囲で下板の材料が上板方向へ流動していることがわかる。前報⁽¹⁾で示したように、接合部の形状は図中に示す距離 d_n (実質的な接合部寸法 (Nugget size) に対応) と t_n (ショルダー痕跡下部の上板の厚さ) で代表される。図より、同一接合条件下ではプローブが長いほど d_n が増加する

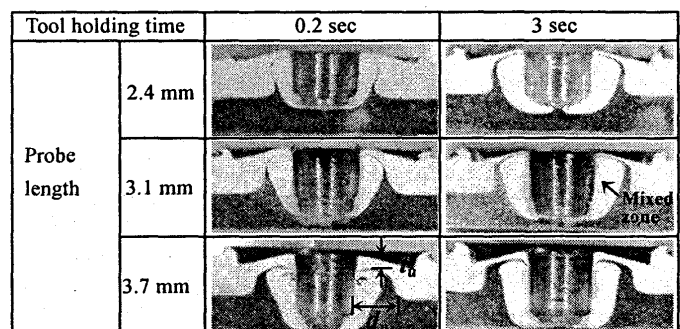


Fig.2. Microstructures of the cross section of friction stir spot welds for different probe lengths and tool holding times at a tool rotational speed of 3000 rpm.

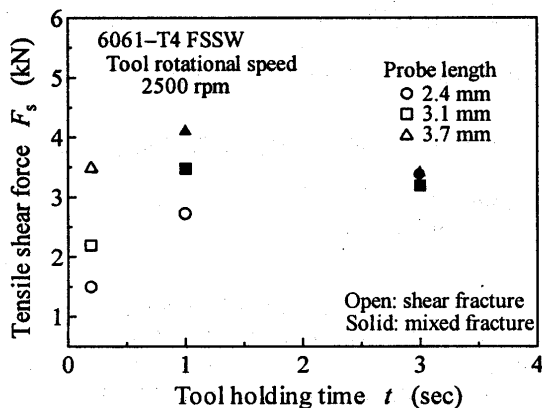


Fig. 3. Tensile shear force as a function of tool holding time at a tool rotational speed of 2500 rpm.

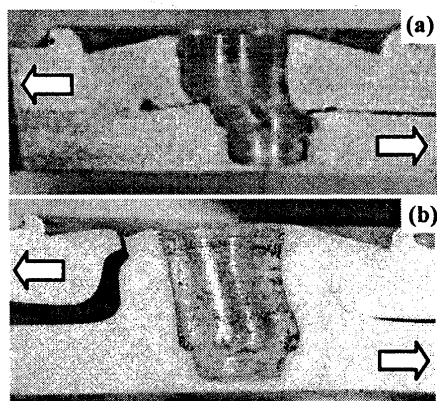


Fig. 4. Fracture modes observed at cross section of a partially loaded weld under tensile shear loading: (a) shear fracture, (b) tensile/shear mixed fracture. The arrows indicate the loading direction.

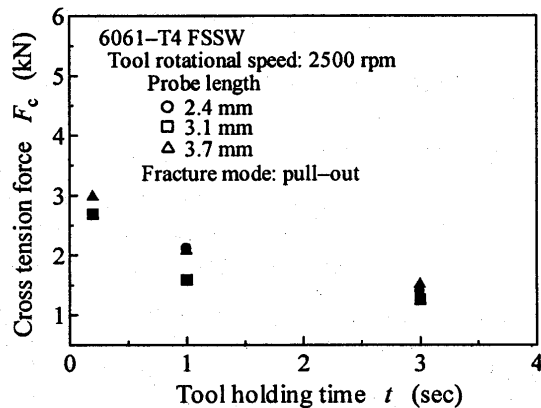


Fig. 5. Cross tension force as a function of tool holding time at a tool rotational speed of 2500 rpm.

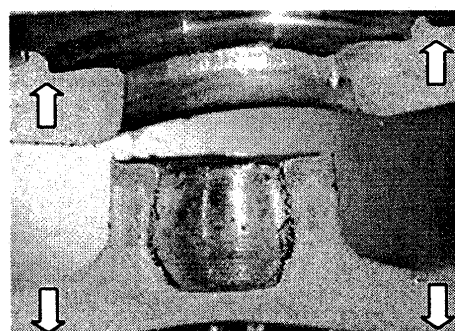


Fig. 6. Pull-out of the nugget observed under cross tension loading. The arrows indicate the loading direction.

ことがわかる。また、ツール保持時間や回転数にかかわらず同様の傾向が見られた。一方 t_h についても、プローブが長くなるほど増加する傾向があるが、 d_n と比較するとプローブ長さに対する依存性は小さい。

3.2 引張せん断試験 図3にツール回転数 2500rpm の場合の引張せん断強度とツール保持時間の関係を示す。引張せん断強度は、保持時間の増加に伴って増加する傾向がある⁽¹⁾。また、プローブが長いほど強度は増加するが、保持時間の長い領域では強度差は小さい。ほぼ同様の傾向が、他の回転数の接合条件下でも得られている。

引張せん断試験を負荷途中で中断し、試験片の接合部断面様相を観察した例を図4に示す。せん断と引張/せん断混合の2種類の破壊様式が観察された。図4(a)は接合部のせん断破壊である。一方図4(b)は引張/せん断混合破壊であり、上板が最初に引張破壊し、その後接合部がせん断破壊した。図3中にこのような破壊形態を区別して示しているが、ツール回転数にかかわらず、高い引張せん断強度が得られる場合には混合型破壊が支配的であった。

同一接合条件の場合、プローブが長いほど材料が広範囲に攪拌されて実質的な接合部寸法である d_n が増加するため、引張せん断強度は増加する。しかし、十分に攪拌が生じると t_h が逆に減少する。比較的高い引張せん断強度が得られる接合条件やプローブ長さでは t_h が d_n に比べて相対的にかなり小さくなるため、まずショルダー痕跡下部の薄くなった上板で引張破壊が始まり、外周に沿って拡大したのち接合部のせん断破壊が生じると考えられる。また、図2で示したようにツール保持時間が長い場合には、短い場合

に比べて d_n のプローブ長さ依存性が小さくなり、その結果強度差も小さくなったと考えられる。

3.3 十字引張試験 図5にツール回転数が 2500rpm の場合の十字引張強度とツール保持時間の関係を示す。前報と同様、保持時間の増加に伴って強度は単調に減少する⁽¹⁾。また、プローブが長いほど強度も増加する傾向があるが、引張せん断と比較すると強度のプローブ長さ依存性は小さい。他のツール回転数でもほぼ同様の結果が得られた。

十字引張試験においても2種類の破壊形態が観察されたが、一例を除いて図6に示すような接合部の引き抜けであった。この破壊形態の場合、 t_h が十字引張強度を支配すると考えられる。前報⁽¹⁾で示したように、 t_h はツール保持時間の増加に伴って小さくなるため、十字引張強度も保持時間の増加と共に減少した。また図2で示したように、同一の接合条件の場合、プローブ長さの d_n に及ぼす影響は大きい、 t_h に対しては小さい。したがって、十字引張強度のプローブ長さ依存性も小さくなったと考えられる。なお、引張せん断強度や十字引張強度のツール回転数依存性については詳細を省略するが、強度特性の傾向は接合部の代表寸法である d_n と t_h で同様に説明できる。

4. 結 言

本研究では、Al 合金 6061-T4 を摩擦攪拌スポット接合した重ね継手試験片と十字継手試験片を用いて引張試験を行い、静的強度に及ぼすプローブ長さの影響について検討した。その結果、引張せん断強度はプローブ長さの増加に伴って増加すること、十字引張強度はプローブ長さに対する依存性が小さいことなどを明らかにした。

参 考 文 献

- (1) 戸崎康成, 植松美彦, 戸根憲一郎, 摩擦攪拌スポット接合継手の強度特性に及ぼす接合条件の影響, 日本機械学会 H18 年度材料力学部門講演会講演論文集 (2006-8).