

# 摩擦攪拌による展伸／鋳造アルミニウム合金 異種材接合継手の疲労挙動

岐阜大学[院] ○中村充良 岐阜大学 植松美彦  
岐阜県機械材料研 戸崎康成 岐阜大学 戸梶恵郎

## Fatigue Behaviour of Dissimilar Friction Stir Welds between Wrought and Cast Aluminium Alloys

Mitsuyoshi NAKAMURA, Yoshihiko UEMATSU, Yasunari TOZAKI and Keiro TOKAJI

### 1 結 言

近年、輸送機器産業では軽量化のために種々のアルミニウム (Al) 合金が多用され、主として車体部には展伸合金、複雑形状部には鋳造合金が用いられている。したがって、展伸／鋳造 Al 合金のような異種材接合や、実用上問題となる接合材の疲労挙動を検討する必要があるが、そのような研究はほとんど行われていない。

そこで本研究では、異種金属接合に適するとされる摩擦攪拌接合 (Friction Stir Welding: FSW) によって展伸 Al 合金と鋳造 Al 合金の異種材接合継手を作製し、その疲労挙動について検討した。

### 2 供試材および実験方法

**2.1 供試材** 供試材は、展伸 Al 合金の A6061-T6 材および鋳造 Al 合金の AC4CH-T6 材である。各材の化学成分を Table 1、微視組織を Fig.1 に示す。AC4CH ではデンドライト組織、A6061 (横断面) では圧延により扁平となった結晶粒が認められる。

**2.2 接合条件および試験片** AC4CH の鋳造ブロックより厚さ 5mm の板を採取し、同じ厚さの A6061 板材と突き合わせ接合した。接合ツールのショルダーとピンの直径は、それぞれ 14mm、6mm である。また、ツールの回転速度を 1000rpm、走行速度を 150mm/min とし、ツールの回転方向と移動方向が一致する Advancing side に A6061 を配置して接合した。接合板の上下 0.5mm をフライスにより除去し、荷重軸が接合方向に対して直角で、接合線が試験片中央となるように平板試験片を採取した。試験片は表面をエメリー紙で研磨後、バフ研磨を施して試験に供した。

接合材の疲労試験にて、後述するように AC4CH 側の鋳造欠陥から破断する例が見られた。そこで、接合材の突き合わせ面から AC4CH 側に 6mm、12mm の位置に順番に接合ツールを挿入し、接合同一条件で 2 回の摩擦攪拌改質 (Friction Stir Process: FSP) を施して鋳造欠陥を除去した。また、FSP 後に再度 T6 処理を施した試験片も用意した。以後、接合材を as-weld 材、FSP したものを FSP 材、

FSP 後に T6 処理したものを後熟処理材とする。

**2.3 実験方法** 疲労試験には容量 49kN の電気油圧式サーボ疲労試験機を用い、室温大気中、応力比  $R = -1$ 、繰返し速度 10Hz で実験を行った。

### 3 実験結果および考察

**3.1 接合部組織** as-weld 材の接合部組織を側面から観察した例を Fig.2 に示す。また Fig.3 は、Fig.2 中の領域 A~C を拡大したものである。Fig.2 より、as-weld 材では異種金属が接合部で複雑に攪拌されていることがわかる。また、AC4CH の単一組織部 (Fig.3(a)) ではデンドライト組織が消失して共晶 Si が均一に分布し、A6061

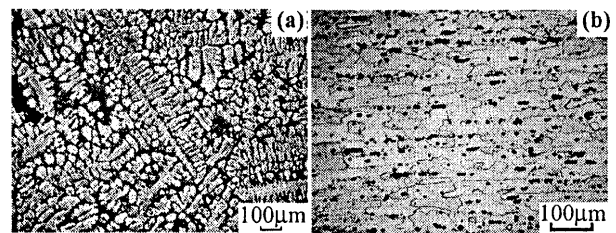


Fig.1 Microstructures of parent metals: (a) AC4CH, (b) A6061.

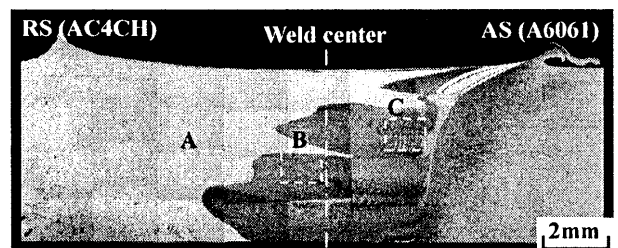


Fig.2 Macroscopic appearance in cross section of as-welded joint.

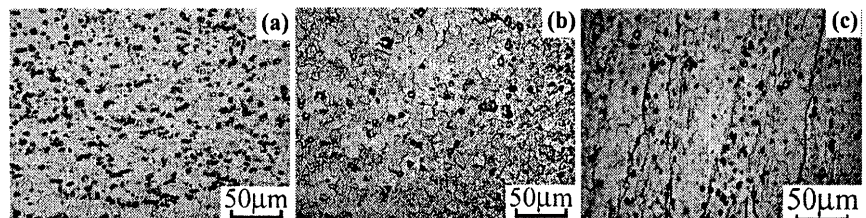


Fig.3 Microstructures of as-welded joint: (a), (b), (c) Magnified views of region 'A', 'B' and 'C' in Fig.2, respectively.

Table 1 Chemical compositions of materials (wt.%).

Material	Si	Mg	Zn	Fe	Ni	Ti	Sr	Cu	Mn	Cr
AC4CH-T6	7.1	0.36	0.01	0.12	0.022	0.11	0.005	—	—	—
A6061-T6	0.58	0.96	0.02	0.41	—	0.04	—	0.28	0.03	0.23

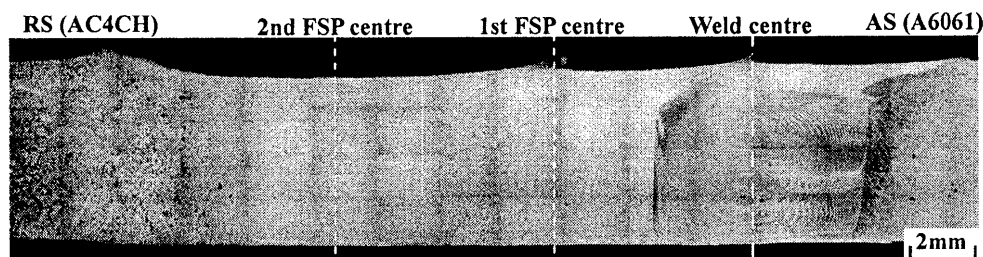


Fig.4 Macroscopic appearance in cross section of as FSPed joint.

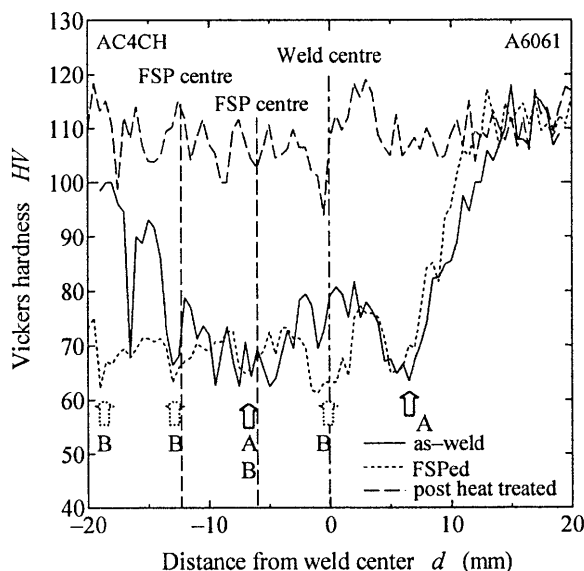


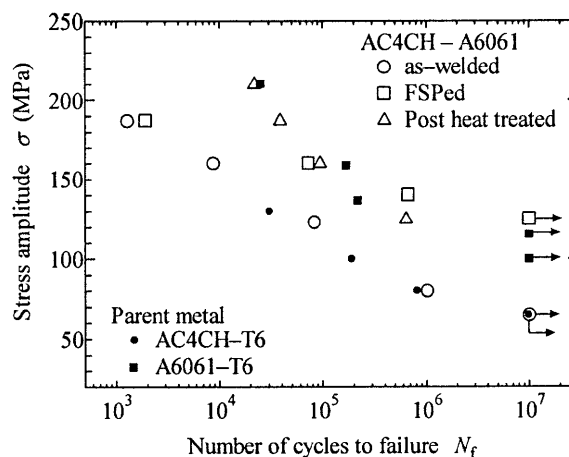
Fig.5 Hardness profiles.

の単一組織部 (Fig.3(b)) では微細化した等軸粒となっている。さらに、両材の複合組織部 (Fig.3(c)) では AC4CH と A6061 が層状に分布し、FSW が固相接合であることを示している。FSP 材の接合部組織を Fig.4 に示す。図中の破線が FSP 時のツール中心である。FSP 材では、接合部中央での両材の攪拌がさらに進行し、AC4CH 側で Fig.3(a) に類似した組織となっている。なお後熱処理材では、AC4CH 側の微視組織に変化は見られなかったが、A6061 側で結晶粒の著しい粗大化が認められた。

**3.2 硬さ分布** Fig.5 は各材の接合部における硬さ分布である。as-weld 材では、接合時の入熱によって析出強化物が再固溶するため、接合部の硬さが低下している。また、矢印 A で示す位置で硬さが極小値を取る傾向が見られる。このような傾向は 6061-T6 合金の同種材継手でも得られており、極小値を取る位置はツールのショルダー端 (直径 14mm) とほぼ一致する。FSP 材では軟化域が FSP を施した AC4CH 側に拡大しており、矢印 B で示すように各 FSP 時のショルダー端部で硬さは極小値を示す。また後熱処理材では、硬さが母材と同程度まで回復し、矢印部で硬さが極小を取る傾向は消失する。

**3.3 引張強度** 引張試験は 3 本の as-weld 材を用いて行った。得られた引張強さは 198MPa であり、軟化のため母材 (AC4CH:230MPa, A6061:310MPa) より低下した。なお、破断箇所は例外なく Fig.5 で示した、A6061 側の硬さの極小部であった。

**3.4 疲労強度** Fig.6 に各材の  $S-N$  曲線を示す。図中に

Fig.6  $S-N$  diagram.

は母材の  $S-N$  曲も併示している。as-weld 材の疲労強度は AC4CH 材と一致する。as-weld 材は AC4CH 側の母材部で破断しており、破面観察によってき裂発生起点に casting defects が認められた。このように、as-weld 材は母材部の casting defects からき裂が発生して破断するため、AC4CH 材と同じ疲労強度になったと考えられる。一方、FSP 材の疲労強度は高応力域では as-weld 材と一致するが、低応力域では著しく改善され、疲労限度は A6061 材と同程度である。破断箇所は、Fig.5 で示した硬さの極小部 (矢印 B 部) であった。FSP 材では破面に casting defects は認められず、FSP によって AC4CH 側の casting defects が消失し、疲労き裂発生機構が変化したために疲労強度が向上したと考えられる。さらに、後熱処理材の疲労強度は A6061 材と同程度である。これは熱処理による硬さ上昇に起因すると考えられる。破断箇所は Fig.5 で示した矢印 B 部、すなわち FSP のツールが移動する際の境界部であった。

以上の結果より、展伸/鋳造 Al 合金の FSW 異種材継手は、低強度側の鋳造材と同程度の疲労強度を有し、FSP や後熱処理によって高強度側の展伸材と同程度の疲労強度を達成できることが判明した。しかし FSP 材では、FSP によって生じる硬さの極小部が破壊起点となり、また後熱処理材でも、FSP 時のツールの移動痕が破壊起点となる。

#### 4 結 言

展伸 Al 合金 A6061 と鋳造 Al 合金 AC4CH の FSW 異種材継手を用いて疲労試験を行い、その疲労挙動について検討した。その結果、FSW 継手の接合部微視組織が疲労強度に強い影響を与えることを明らかにした。

(参考文献省略)