

S0301-4-2

摩擦攪拌表面改質を施したアルミニウム合金 AC4CH の疲労挙動

Fatigue Behaviour of Cast Aluminium Alloy AC4CH Surface-modified by Friction Stir Processing

正 ○植松 美彦 (岐大工) 戸崎 康成 (岐阜機材研) 柴田 英明 (岐阜機材研)

Yoshihiko UEMATSU, Gifu University, Yanagido, Gifu 501-1193

Yasunari TOZAKI, Gifu Prefectural Research Institute for Machinery and Material

Hideaki SHIBATA, Gifu Prefectural Research Institute for Machinery and Material

The fatigue behaviour of cast aluminium alloy, AC4CH-F, surface-modified by friction stir processing (FSP) was investigated. Plane bending fatigue tests have been performed using as-cast, FSPed and post heat-treated FSPed specimens. The fatigue strength of the FSPed specimen was nearly the same as that of the as-cast specimen. This was because casting defects were successfully eliminated by FSP, but FSP developed a texture which was detrimental to crack initiation. Post heat treatment could enhance the fatigue strength of the FSPed specimen.

Key Words: Fatigue, Cast aluminium alloy, Friction stir processing, Surface modification, Crack initiation

1. 緒 言

鋳造アルミニウム (Al) 合金は、軽量構造材として多くの機器で使用されているが、鋳巣のような鋳造欠陥が疲労破壊起点となることが知られている。鋳造欠陥は鋳造プロセスのみで消し去ることは困難なため、組織改質による欠陥の除去が鋳造材の機械的性質の向上に有効と考えられる。

組織改質のひとつに摩擦攪拌改質 (Friction Stir Processing: FSP) がある。これはプローブとショルダーから成るツールにより改質するものであり、プローブの長さに対応した深さまで改質が可能である。しかし、終端部にプローブ孔が残る欠点も有している。曲げ負荷を受ける部材の場合、必ずしも深部まで改質する必要はなく、表面近傍のみの改質で有効な効果が得られる可能性がある。

そこで本研究では、プローブのない特殊な形状のツールを用いて AC4CH-F 材の表面改質を行い、曲げ疲労強度の向上に対する有効性について検討した。

2. 実験方法

2.1 供試材および FSP 条件 供試材は AC4CH-F 材であり、化学成分[wt.%]は Cu: 0.016, Si: 6.94, Mg: 0.3, Zn: 0.008, Fe: 0.137, Mn: 0.007, Ni<0.05, Ti: 0.097, Al: bal. である。鋳造舟形

から厚さ 5mm の板材を採取し、上下面に FSP を施した。FSP にはプローブが無く、ショルダー径が 10mm でショルダー面に深さ 0.5mm の渦溝を施したツールを用いた。FSP 条件はツール押し込み量 0.5mm, 回転速度 3000rpm, 送り速度 200mm/min である。以降、納入材を as-cast 材, FSP を施したものを FSP 材とする。なお, FSP 材はツール押し込み量が上下面でそれぞれ 0.5mm あるため, as-cast 材については片面を 1mm フライス盤で除去し, 厚さ 4mm の板材とした。また, FSP 後に 498K で 5 時間の後熱処理を施した。これを FSP/T5 材とする。各板材より, 最小部断面幅 8mm の板状試験片を採取した。試験片をエメリー紙で順次研磨し, パフ研磨後, 試験に用いた。

2.2 実験方法 疲労試験には共振型曲げ疲労試験機を用い, 室温大気中, 繰返し速度 $f=33.3\text{Hz}$, 応力比 $R=-1$ の条件下で平面曲げ疲労試験を行った。レプリカ法により表面におけるき裂発生および微小き裂成長挙動を観察した。

3. 実験結果

3.1 組織様相 図 1(a)に FSP 材の断面組織を示す。表面から約 1mm の深さまで改質層が存在することがわかる。非改質部と改質部の組織をそれぞれ図 1(b), (c)に示す。非改質部では網目状に共晶 Si が分布したデンドライト組織であるが, 改質部ではデンドライト組織が消失し, 共晶 Si が均一に分布している。また, 改質部の試験片表面様相を図 2 に示す。図より巨視的には FSP 時にツールが引き起こす塑性流動痕

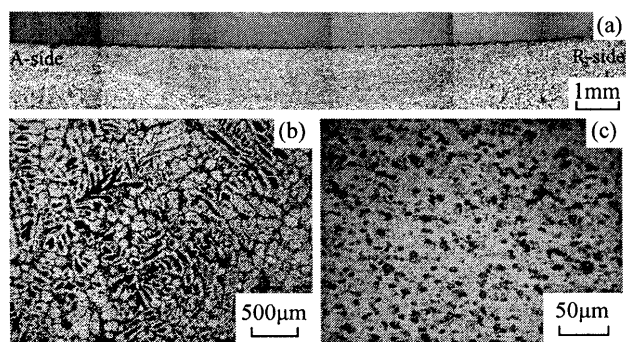


Fig.1 Microstructures of FSPed specimen: (a) Macroscopic view, (b) Parent metal, (c) Microstructurally modified zone.

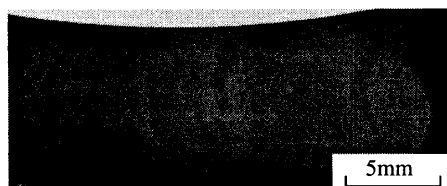


Fig.2 FSPed specimen surface.

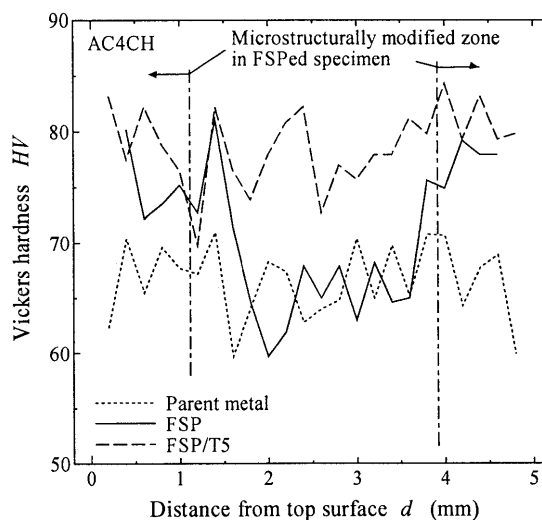


Fig.3 Vickers hardness profiles on the cross section.

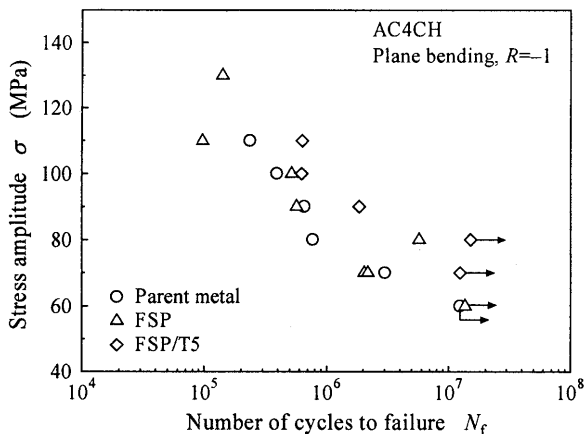


Fig.4 S-N diagram.

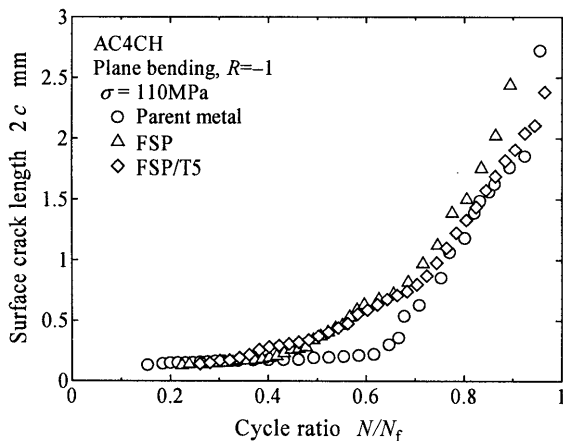


Fig.5 Surface crack length as a function of cycle ratio.

が層状組織として存在していることがわかる。なお、後熱処理は微視組織にほとんど影響を与えなかった。

3.2 硬さ分布 図3に各材の横断面で計測した深さ方向の硬さ分布を示す。FSP材では、改質層で母材よりも硬さが上昇している。また、FSP/T5材では、熱処理によって全体的に硬さが上昇している。

3.3 疲労挙動 図4に各材のS-N曲線を示す。FSP材の疲労強度はas-cast材とほぼ同程度である。一方FSP/T5材では、後熱処理によって疲労強度が向上している。表面のき裂全長 $2c$ と繰返し数比 N/N_f (N_f : 疲労寿命) の関係を図5に示す。き裂発生寿命は各材でほぼ同程度であるが、FSP/T5材がわずかに遅い。また、図6にき裂成長速度 da/dN と最大応力拡大係数 K_{max} の関係を示す。As-cast材とFSP材の da/dN はほぼ同程度であるが、FSP/T5材のみき裂成長抵抗が若干向上している。

4. 考 察

き裂発生起点を詳細にSEM観察したところ、as-cast材では全て鑄造欠陥からき裂が発生したが、FSP材とFSP/T5材では欠陥は認められず、すべりによりき裂が発生したことが確認された。すなわち、FSPにより鑄造欠陥が有効に消失したことを示している。しかし、き裂発生抵抗に差はなかった。そこで、母材とFSP材の疲労き裂を試験片表面で観察した例をそれぞれ図7(a), (b)に示す。母材では、き裂は矢印で示す鑄造欠陥で発生し、巨視的には荷重軸直角方向に成長している。これに対してFSP材では、き裂は図2で示した材料の流動痕に沿って発生し、成長していることがわかる。一般に、プローブのあるツールでFSPを行った場合、プローブの周りに優先すべり面が集積する集合組織が形成される場合がある。本研究のプローブのない渦溝ツー

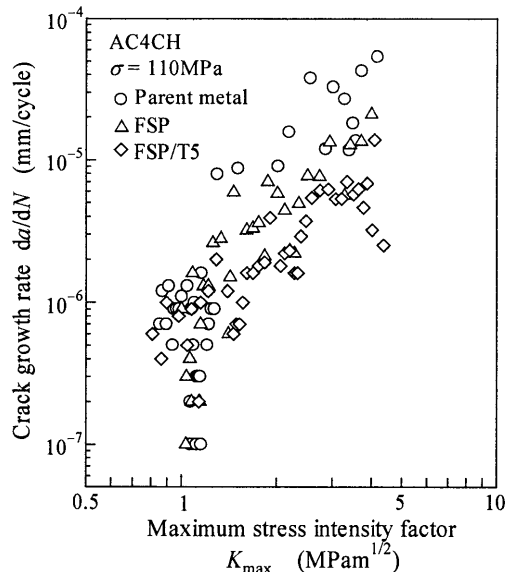


Fig.6 Relationship between da/dN and K_{max} .

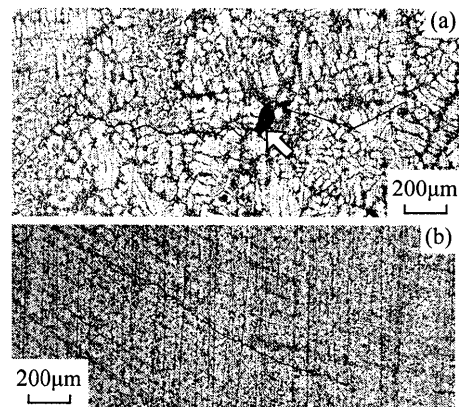


Fig.7 Crack growth paths: (a) Parent metal, (b) FSP. The specimen axis is the vertical direction.

ルでも集合組織が形成され、FSP痕が優先的なき裂発生箇所と成長経路になったと考えられる。その結果、母材と比べてFSP材の組織は均一化し、鑄造欠陥が除去されているにもかかわらず、疲労強度は向上しなかったと考えられる。

FSP/T5材でもき裂はすべりにより発生した。また、き裂発生抵抗と成長抵抗がわずかに向上した。き裂はFSP材と同様に、FSP痕に沿って湾曲して成長するが、き裂成長方向は徐々に荷重軸直角方向へ遷移しており、集合組織の影響はFSP材よりも小さかった。すなわちFSP/T5材では、後熱処理によって図3に示したように硬さが上昇しただけでなく、熱処理温度が再結晶温度に近かったため、FSP材の集合組織が若干低減されたことによってき裂発生と成長抵抗が向上し、疲労強度が向上したと考えられる。

以上のように、FSPによって鑄造欠陥は消失するが、き裂発生抵抗を低下させる集合組織が発達するため、その適用には注意が必要である。

5. 結 言

FSPによって表面改質した鑄造Al合金AC4CH-F材を用いて疲労試験を行い、疲労挙動に及ぼすFSPおよび後熱処理の影響について検討した。その結果、FSPによって鑄造欠陥は消失するが、集合組織の発達によりき裂発生抵抗が低下し、疲労強度は向上しないことが判明した。また、後熱処理によってFSP材の疲労強度は向上することを明らかにした。(参考文献省略)