

アルミニウム合金接着継手の疲労き裂進展挙動に及ぼす湿潤環境の影響

Effect of moist environment on fatigue crack growth behavior of adhesive joint of aluminum alloy

知能機械システム工学コース

機能性材料工学研究室 1205043 重森 将希

1. 緒言

接着剤を用いる接着接合は面接合のため応力集中を低減できるほか、異種材料同士の接着や凹凸のある複雑な接着面に対応できる。さらに軽量化の面で非常に有効であるため、自動車産業や航空機産業などにも導入されており、幅広い分野で使用されている。

しかし、接着界面は異種材料界面となっており、継手の強度特性、特に疲労挙動は単一材料のそれよりも複雑なものとなっている。また、長期にわたり稼働する機械及び構造物では疲労強度が重要となるが、環境は常に一定とは限らない。特にエポキシ樹脂系の構造用接着剤は水分の含浸により、樹脂が水和反応を起こし、結合が崩壊することが知られており⁽¹⁾、湿度変化が疲労強度に及ぼす環境の影響についても把握しておく必要がある。このような水分含浸効果が疲労強度に及ぼす影響に関するデータはほとんどなく、信頼性向上のため調査が必要である。

本研究では、接着継手試験片を一定期間、水中環境に置いた試験片を用いて、き裂面に水を供給しながらモード I 疲労き裂進展試験を行い、疲労き裂進展挙動に及ぼす湿潤環境の影響について調査した。

2. 実験方法

2.1 試験片

本研究では DCB(二重片持ちはり)試験片を用いた。試験片の寸法を図 1 に示す。被着材にはアルミニウム合金 A2017、接着剤には 3M 社の一液加熱硬化型接着剤 XA-7416 を用いた。

接着面は #500 のエメリーペーパーで研磨処理を施した。接着剤を塗布する前に、接着剤への気泡の混入を避けるため、真空中にて 20min 脱泡した。接着層厚さ t を 0.2mm に制御するため、テフロンシートを挟み、接着剤を塗布した。接着剤塗布後、治具により固定し、炉中 120°C で 40min 加熱し硬化させた。硬化後はみ出た接着剤をリユーターや小刀で除去した。

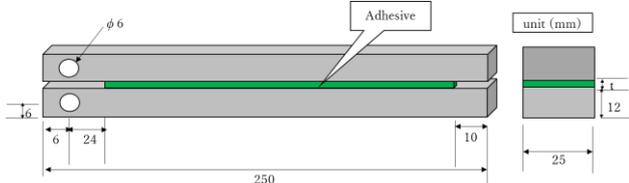


Fig.1 Dimension of DCB specimen

2.2 吸水処理

作製した試験片を一定期間常温(25°C)、及び 60°C の水中に浸漬させ接着剤のエポキシ樹脂への吸水を促した。各浸漬期間条件を表 1 に示す。

2.3 実験方法

疲労き裂進展試験は油圧サーボ疲労試験機を用いて 2Hz の繰返し荷重(応力比 $R=0.1$)の片振り変位制御で行った。

実験中は表 1 に示した条件で浸漬した後、き裂先端に水(25°C)を常時滴下しながら試験を行った。浸漬のみの影響を調べるため、60°C30 日浸漬では、滴下せず実験室環境下での

実験も行い、比較した。

実験中のき裂長さの測定はコンプライアンス法を用い、先行研究⁽²⁾実験式(1)からき裂長さ a を導出した。

$$C^{1/3} = 0.01327a + 0.1839 \dots (1)$$

また、エネルギー解放率範囲 ΔG_I は、はりの理論式より式(2)を用いて導出した。

$$\Delta G_I = \frac{12(P_{max}^2 - P_{min}^2)a^2}{EB^2h^3} \dots (2)$$

ここで P_{max} 及び P_{min} は最大、最小荷重、 B は試験片板幅、 h は板厚、 E は被着材のヤング率である。試験はき裂進展速度が 10^{-8} (m/cycle)を下回るまで行った。

疲労き裂進展試験終了後試験片を強制的に破断させて、その破面を SEM を用いて観察した。

Table.1 Dipping condition and dripping condition

Soaking temperature	Soaking period		
	20days	30days	60days
25°C	○		○
60°C		○	

3. 実験結果

3.1 き裂進展挙動

各処理条件ごと複数本の試験片について得られた疲労き裂進展速度 da/dN とエネルギー解放率範囲 ΔG_I の関係を図 2 から図 4 に示す。まず、水の滴下の有無による da/dN と ΔG_I の関係を図 2 に示す。各試験片で両者の間で直線関係となる指数則が成り立つ。先行研究の実験室環境下での結果と比較すると、同じ ΔG_I の値で da/dN が最大で 2 桁ほど大きくなっており、水滴下によるき裂進展抵抗の低下が確認できる。次に、図 3 に浸漬温度変化による da/dN と ΔG_I の関係を示す。このとき、60°C30 日浸漬させた試験片が常温浸漬時よりもき裂進展抵抗が低下した。60°Cでの浸漬が経年劣化を促進させたことが分かる。また、滴下を行ったすべての試験片において、き裂進展速度が急激に低下するエネルギー解放率範囲の下限が確認できた。

60°C30 日浸漬における試験時水の滴下の有無による da/dN - ΔG_I の関係を図 4 に示す。き裂進展初期のき裂進展速度の高いところでは、き裂先端が吸水により劣化することで da/dN が近い値となった。また、吸水していないき裂長さの大きい領域では、無浸漬無滴下の時に見られたような挙動となり、疲労き裂進展抵抗は水滴下による低下も裏付けられた。

3.2 破面観察

各試験片の破面を観察した結果、破面の様相は界面近傍凝集破壊⁽²⁾、界面破壊に分類できた。

常温浸漬滴下条件での破面の一例と 60°C浸漬滴下条件の

破面の一例をそれぞれ図5に示す。先行研究によるモードIの研磨処理で実験室環境下の疲労試験では、界面近傍凝集破壊から界面破壊に遷移するものであったが、滴下条件ではいずれも様な界面破壊となった。また、き裂進展速度が急激に低下した範囲ではいずれの試験片においても図6に示すように被着材が腐食による変色領域が確認できた。さらに、この領域の境界をSEMで見ると図6(b)に示すように、線状に粒子が存在した。これがき裂閉口現象を引き起こし、急激にき裂進展速度が低下したものである。

更に、60°Cで浸漬させたものでは、接着層端面付近が腐食しており、エポキシの吸水による影響がみられた。無吸水時の静的破壊部は一様に界面近傍凝集破壊であるため、試験後、静的に破壊したことで試験開始時には接着層端面付近の接着力が失われて剥離していたことが分かった。また、この領域をSEMで観察すると図7(c)のように粗い領域となっており、図7(b)のような界面破壊の様相とは異なっていた。

4. 結言

- (1) き裂先端への水の滴下により、疲労き裂進展抵抗が低下した。また、吸水によるき裂進展抵抗の低下も確認した。
- (2) き裂先端への水滴下によって破面の様相は界面破壊となった。
- (3) 水滴下での実験結果において、き裂進展速度のほぼ停留したき裂の先端に腐食生成物が見られた。

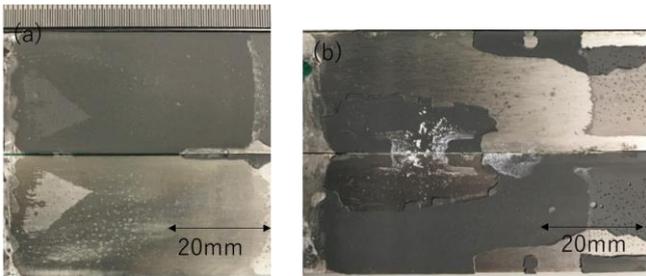


Fig.5 Macroscopic fracture surface (a)25°C 20day (b)60°C 30days

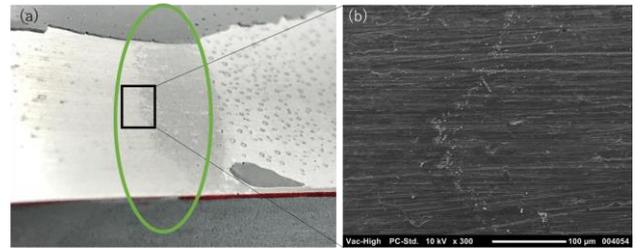


Fig.6 Fracture surface near the arrest crack tip (a) macroscopic fracture surface (b) photograph enlarged view on SEM

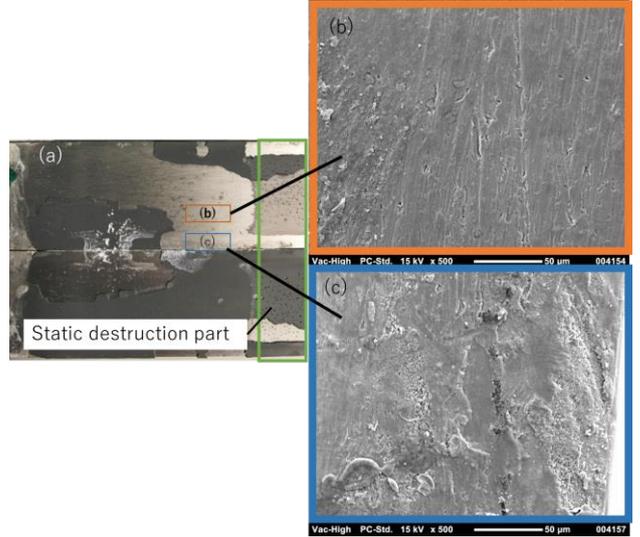


Fig.7 Macroscopic fracture surface and SEM of 60°C 30 days (a)Macroscopic (b)near the center (c)near the side

文献

- (1) 国立研究開発法人土木研究所 (2008) 「複合材料に適用する接合構造の長期耐久性に関する研究」 <https://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-seika/2008/pdf/2008-1-2-1.pdf> , 2018年1月24日アクセス
- (2) 波多野 勇気 (2016), “アルミニウム合金接着継手のモードIおよびモードII疲労き裂進展に及ぼす陽極酸化処理の影響” 高知工科大学平成27年度修士論文

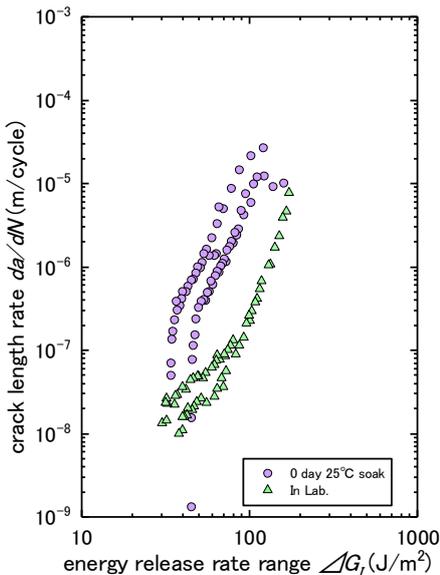


Fig.2 Effect of dripping on da/dN and ΔG_I relation

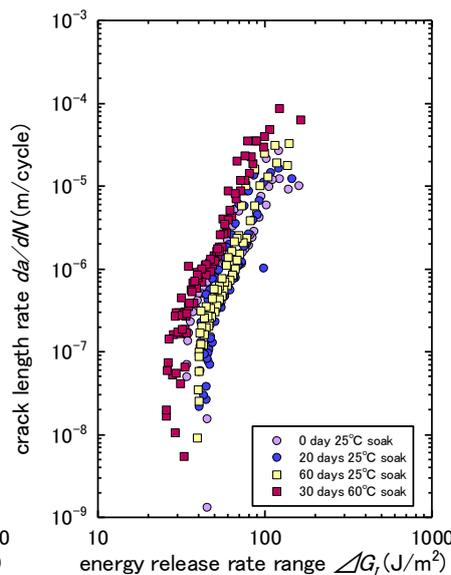


Fig.3 Effect of soaking condition on da/dN and ΔG_I relation

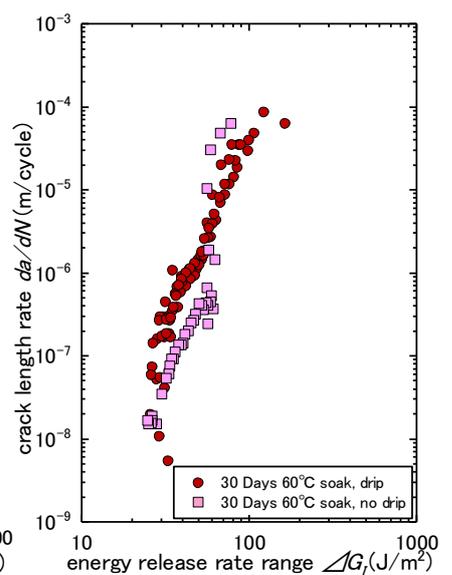


Fig.4 Relationship between da/dN and ΔG_I with dripping in water at 60 °C.