

アルミニウム合金接着継手の疲労き裂進展に及ぼす水の影響

卒業論文要旨 システム工学群
機能性材料工学研究室 1180109 永井 涼太郎

1. 緒言

近年、接着接合は微小部分の接合が可能であること、異種材料の接合が可能であること、溶接などに比べ接合部で残留ひずみが発生しにくい等の利点から、自動車や、航空機等、多くの分野で使われている。しかし、接着接合は部材の接着強さにばらつきが生じ易いことに加え、接着剤と被着材の間に力学的に複雑な異材界面が存在するため、応力状態が単一のものよりも複雑になる。特に接着継手の疲労挙動については、このような複雑さによりデータが十分蓄積されていないのが現状であり、接着継手の信頼性が必ずしも高いとは言えない。

本研究では接着継手の疲労強度設計の指針となる疲労き裂進展のデータを取得し、これを破壊力学的観点から評価する。特に環境の影響に注目し、水に浸漬した試験片のき裂先端部に水を滴下し、き裂部を湿潤状態としたき裂進展挙動について明らかにする。

2. 試験片及び実験方法

2.1. 試験片

本研究では二重片持ちはり (DCB) 試験片を用いた。被着材にアルミニウム合金 A2017、接着剤に 3M 社の XA7416 を使用した。被着材表面は #500 エメリー紙にて機械的研磨処理を施した後に接着剤を塗布し試験片を作製した。接着剤は塗布前に 20 分間真空中で脱泡させて気泡の混入を抑えた。また接着層厚さを制御する為に被着材の間に厚さ 0.2mm のテフロンシートを挟み接着した。接着剤を塗布した後、試験片を治具を用いて固定した状態で電気オープンを用いて 120°C で 40 分間加熱し硬化させた。硬化後にはみ出した接着剤をスクレイパー等で丁寧に除去した。接着後の試験片寸法を図 1 に示す。

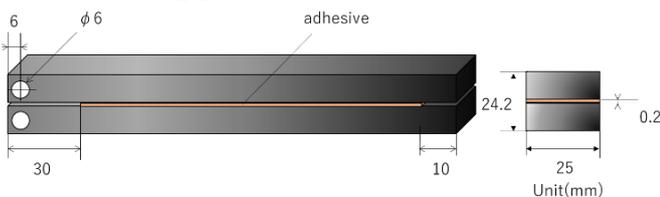


Fig.1 Dimension of Specimen

2.2. 浸漬条件

常温の精製水中に浸漬時間 0 日 (浸漬なし)、20 日、60 日で浸漬した試験片をそれぞれ 2 本ずつ用意した。また、水温 60°C で 30 日浸漬させたものを 3 本用意した。このとき精製水の水温を一定に制御するために、アズワン製の投げ込みヒータ HT-10D を用いた。

2.3. き裂進展試験

き裂進展試験は油圧サーボ式疲労試験機を用いて、周波数 2Hz、応力比 $R \approx 0.1$ 、変位制御の条件で行った。

またき裂部を湿潤環境下においてのき裂進展試験も行った。この試験では試験片のき裂先端部に注射針から直接精製水を滴下しながら繰り返し荷重を负荷した。

2.4. き裂長の測定

き裂長さ a はコンプライアンス C を求めることで算出可能である。本研究で用いた試験片の a と C の関係は先行

研究⁽²⁾から、式(1)が成り立つ事が分かっている。試験中に得られる荷重と変位の関係より C を求め、式(1)からき裂を算出した。

$$C = 1.65 \times 10^{-6} a^3 + 0.184 \quad (1)$$

また、エネルギー解放率範囲 ΔG_I については式(2)から算出した。

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

ここで E はヤング率、 h は板厚、 P は荷重、 B は試験片の板幅である。

3. 実験結果

3.1. 疲労試験

各浸漬材におけるエネルギー解放率範囲 ΔG_I とき裂進展速度 da/dN の関係を図 2 に示す。 da/dN - ΔG_I 関係には一般に知られる指数則が成り立ち、各条件とも両対数プロットの da/dN - ΔG_I において、直線の領域が認められた。また、き裂進展速度が 10^{-7} m/cycle 以下のところから急激に低下しているのが分かる。浸漬時間による大きな差は見られない。接着剤のエポキシ樹脂は、強度が低下するが、接着部の樹脂が水環境にさらされる面積が小さく吸水量が僅かであったため、浸漬時間の影響が見られなかったのだと考えられる。

60°C 30 日浸漬は僅かではあるが、いずれの測定値も常温で浸漬させた試験片よりもき裂進展速度が速い。水温を上げる事によって、常温の条件下よりも接着剤が劣化したためであると考えられる。

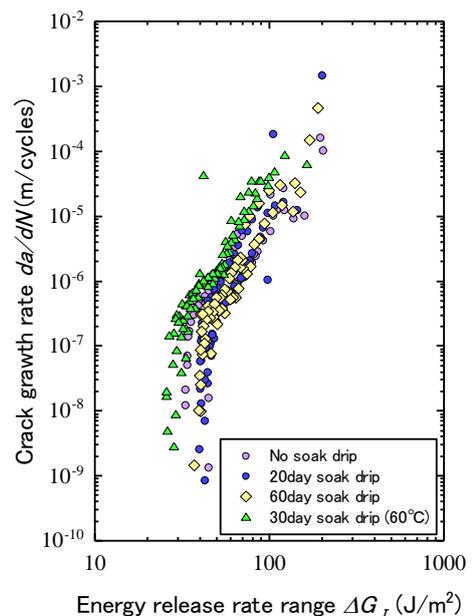


Fig.2 Relationship between da/dN and ΔG_I

次に、無浸漬の滴下ありと滴下なしの条件下での結果を比較する。図 3 は浸漬していない試験片を滴下した場合と

そうでない場合の da/dN - ΔG_I 関係の比較を示している。指数則が成立している ΔG_I の範囲ではき裂部を水環境とすることで da/dN が10倍程度加速する事が分かった。しかし、滴下しない通常的环境下では da/dN の急激な低下が見られず、 ΔG_I の小さい領域では、両条件で da/dN の差は無くなる。

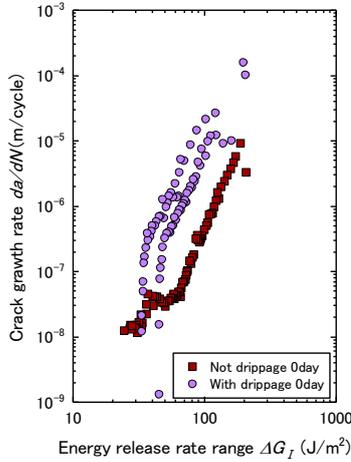


Fig.3 Effect of dripping on da/dN and ΔG_I

60°C浸漬材の滴下ありと滴下なしの場合で比較する。図4は60°Cで30日浸漬させた試験片を滴下した場合とそうでない場合の da/dN - ΔG_I 関係の比較を示している。 ΔG_I が小さい領域でのき裂進展速度が滴下ありの方が速くなっていた。その理由としては無浸漬の試験片と同様の理由であると考えられる。しかし、 ΔG_I が高い領域での da/dN は両条件下でそれほど差が無かった。これは試験開始直後のき裂が滴下の有無に関わらず浸漬の影響が存在する領域で進展しているためと思われる。

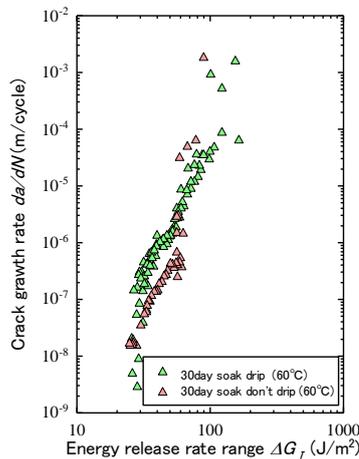


Fig.4 Effect of dripping on da/dN and ΔG_I

3.2. 破面観察

図5は20日浸漬材のき裂先端部の画像であるが、被着材のき裂先端部は腐食していると思われる領域が確認された。その領域をSEMを用いて観察したのが図6である。多数の粒状の生成物が確認できた。0日浸漬、60日浸漬等、同様の領域が確認でき、さらに図2の結果より、20日浸漬で確認された様相と同じものであると推測できる。しかし

無浸漬無滴下の試験片にはこのような様相は確認できなかった。滴下した水により、被着材が腐食し、これにより生成物がき裂面に生じていたと考えられる。この生成物が、き裂進展速度を急激に低下させるき裂開口現象を引き起こしたと考えられる。すなわち生成物がつまったことで、実際にき裂開口に寄与する ΔG_I が小さくなっているものであり、 da/dN が急激に低下した。



Fig.5 Fracture surface of specimen immersed on 20 day

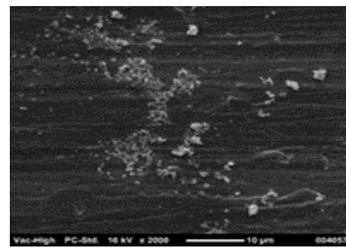


Fig.6 SEM observation of crack tip

図7は60°C30日浸漬滴下ありの破面の一例である。断面観察のために静的破壊させた面を観察すると、側面の水と接する部分とその近辺は界面破壊であった。試験片中央部の浸漬中に水の影響を受けなかった部分は一樣な界面近傍での接着層の破壊が確認できた。疲労破壊された領域は全て界面破壊であった。

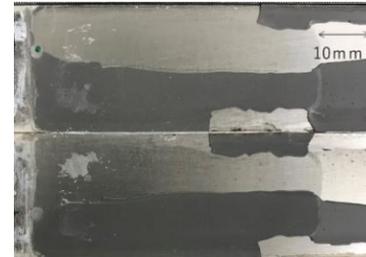


Fig.7 Fracture surface of specimen with dripping 30 day (60°C)

4. 結言

エポキシ樹脂系接着剤によるアルミニウム合金接着継手において、モードI疲労き裂進展挙動に及ぼす水の影響を調査した結果、以下の結言を得る。

- (1) 常温の精製水での浸漬による接着剤のき裂進展速度の変化は微小である。
- (2) 水温60°Cでの浸漬は30日間の浸漬(常温水での浸漬10年相当)でもき裂進展速度に影響がある。また、試験片の端面がエポキシ樹脂の吸水により劣化していた。
- (3) き裂先端部に水が浸入すると、き裂進展速度が速くなる。
- (4) 常温常湿状態の疲労試験では界面近傍凝集破壊と界面破壊が観察できたが、湿潤状態での疲労試験では一樣に界面破壊している。