

金属/樹脂接合材自由縁の加工による強度と破壊様式

Strength and Fracture Patterns of Metal-Resin Joints with Free Edge

山崎 練¹⁾, 鈴木 雅人¹⁾
指導教員 立野 昌義²⁾

1)工学院大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 材料力学研究室
2)工学院大学 工学部 機械工学科

キーワード：異材接合体，接合界面，樹脂

1. 緒言

樹脂材料は、比較的加工が容易であり、形状設定の自由度が高く、軽量であるが、その反面強度が金属材料に比較して相対的に低いため、単一材料としての使用範囲が限られる傾向にある⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

金属やセラミックスを埋め込んだ樹脂の成型プロセスの冷却過程において、樹脂内部や接合界面で応力やき裂が生じる可能性がある。冷却過程は特に温度変化量が大きく、冷却過程における樹脂の機械的性質は著しく変化することから、樹脂/金属接合体の製作過程でも接合界面端応力集中も無視できないと考えられる。そのため、接合界面端または内部で生じる応力と接合体システムとしての強度との関連を明確にする必要があるが、樹脂の機械的性質と界面周辺の応力並びに強度との関連は明らかにされていないのが現状である。

本研究では、樹脂/金属接合体引張り強度および破壊様式に及ぼす界面端部形状の依存性を明らかにすることを試みた。事前検討として、樹脂の強度特性は環境の雰囲気や時間に依存する可能性があることから、これらの影響を明確にした。加えて、界面端部自由縁を形状操作することによる強度特性や破壊様式を明らかにした。

2. 実験方法

接合処理後の試験片の界面端部自由縁形状を機械加工により操作し、強度特性を把握する。なお事前に機械加工による強度と破壊特性および製作直後からの材料特性評価までの保管方法および時間経過の

影響を把握して実験を試みた。

2.1 試験片形状

本実験では、大成プラス社製の PPS/A1 接合体⁽¹⁾を用いた。接合試験片形状を Fig.1 に示す対象試験片の界面を平面に加工された板状のアルミニウム材料(A1:長さ 50mm × 幅 10mm × 厚さ 5mm)を PPS 樹脂と射出成形機を用いて接合させている。PPS/A1 接合体試験片の界面は A1 材料の被接合面(幅 10mm × 厚さ 5mm)に接合されている。

2.2 界面端形状操作方法

接合体界面端の加工においては、接合体試験片を固定した専用治具を汎用フライス盤に固定した状態で、エンドミル(直径 6.0mm)を用いて界面端を含む自由縁を加工した。ここで自由縁を円弧状に加工された界面端自由縁の形状の関係から、正面に見据えた状態で界面端における接線と界面とのなす角度を界面端角度として、PPS 側界面端角度を ϕ_1 、A1 側界面端角度を ϕ_2 と定義した。Fig.2 に界面端形状操作の概要を示す。なお界面端形状操作は界面幅を 8mm として、A1 側界面端角度 ϕ_2 が 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, 135°, 150°, 165° となるように加工した。

2.3 引張り試験および破断面の観察

上記の機械加工を施した試験片を引張り試験機(株式会社東京試験機社卓上試験機ミドルセンスター-MSC-10/500-2)に試験片を取り付けクロスヘッドスピードを 1mm/min に設定して試験片を破断するまで荷重負荷させた。破断荷重を界面の面積で除した値を接合体強度とした。破断した試験片はマイクロ

スコープ(KEYENCE社製 VHX-100)を用いて観察した。

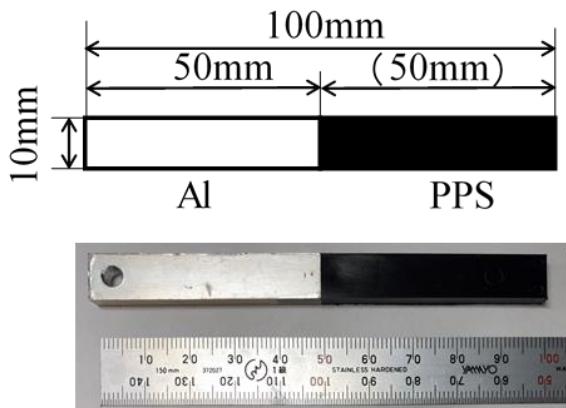


Fig. 1 樹脂金属接合体($t=5\text{mm}$)

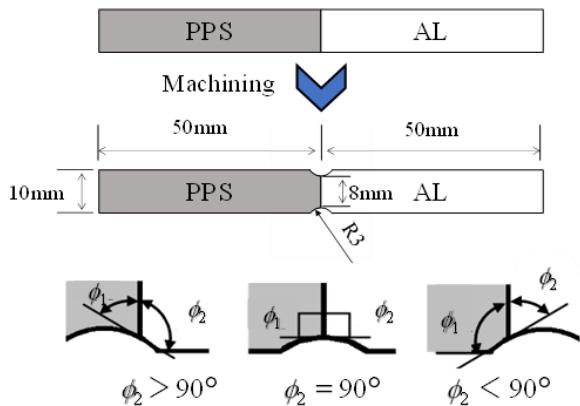


Fig. 2 界面端形状操作概要

3. 実験結果と考察

Fig. 3に界面端部自由縁形状を円弧状に加工した接合体の平均引張り接合強度 σ におよぼす界面端角度 ϕ_2 の影響を示す。なお破壊様式は界面端角度に依存し、樹脂側界面端および界面の剥離を伴った破壊となった。

$\phi_2 > 150^\circ$ では接合強度が最も小さく、破壊様式も樹脂の最小断面から破壊した。接合強度が小さいのは接合界面の面積で破断荷重を除したためであり、破断荷重を最小断面で除した接合強度は 60.4 MPa である。この値は樹脂の強度であるため、強度は樹脂の物性値に依存する。

界面端角度を変化させると、 $45^\circ < \phi_2 < 105^\circ$ では $\phi_2 \approx 60^\circ$ で接合強度の極小値を示し、界面端角度

ϕ_2 を $\phi_2 \approx 60^\circ$ から変更することで、接合強度が向上していた。最大接合強度は $\phi_2 < 90^\circ$ では $\phi_2 \approx 45^\circ$ および $\phi_2 > 90^\circ$ では $\phi_2 = 105^\circ$ で得られた。

$\phi_2 < 45^\circ$ の場合、界面端角度を小さくしても接合強度は向上しない。同様に、 $\phi_2 > 120^\circ$ の場合、界面端角度を大きくしても接合強度は向上しない。このことは、界面端角度の修正により界面端近傍の応力分布が変化し、強度の界面端角度依存性に関連したものと考えられる。界面端角度の修正により強度の改善効果を得る上で有効な界面端形状が存在し、その範囲を明確にした。

4. 結言

PPS 樹脂/Al 接合体の試験片を対象にして機械加工により界面形状を操作し、引張り強度を評価した。界面端角度の修正により強度の改善効果を得る上で有効な界面端形状が存在することが確認できた。

5. 参考文献

- (1) 板橋雅巳, "金属と樹脂の直接接合を可能にしたナノモールディングテクノロジー(NMT)", 表面技術, Vol. 66, No. 8, pp. 23-26 (2015)
- (2) 井上忠信, 久保司郎, 異材界面端の熱応力場, Vol. 48 No. 4, pp. 365-375 (1999)
- (3) 堀内伸, "樹脂-金属異種材料複合体接合特性の評価試験方法の国際標準", 計測と制御 Vol. 54, No. 10, pp. 743-747 (2015)

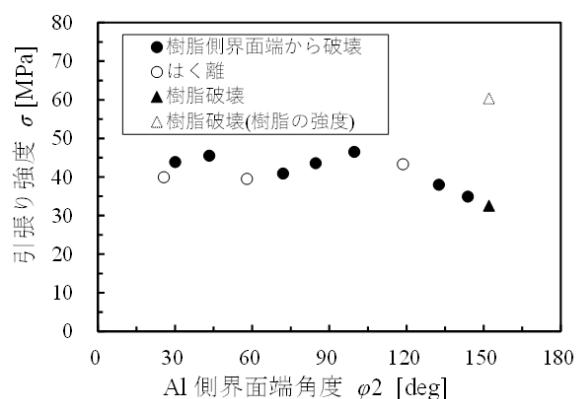


Fig. 3 角度ごとの接合体強度