

樹脂/金属接合体における強度と破壊様式

Strength and Fracture Pattern of A Resin-to-Metal Joint

澤入奎矢¹⁾, 橋本隆斗¹⁾, 村岡俊輔²⁾

指導教員 立野昌義³⁾

1) 工学院大学 工学部機械工学科 材料力学研究室

2) 工学院大学大学院 工学研究科機械工学専攻 3) 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, 残留応力

1. 緒言

通信モバイル機器の多くは、さらなる薄型小型・軽量化が求められ、自動車分野においても環境負荷軽減への配慮から燃費向上の要求が厳しくなり、軽量化を意図した生産体制への取組みが行われつつある⁽¹⁾。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。しかしながら、樹脂材料は強度が金属材料に比較して相対的に低いいため、単一材料としての使用範囲が限られる傾向にある。このため、高い剛性・熱伝導率・電磁波特性を有する金属材料と接合させ、両材料の長所を活用できるような異材接合材料の開発が期待されている。樹脂と金属の接合にはねじによる締結、カシメなどの機械的接合方法ほかに接着などの接合方法が開発されている⁽¹⁾、これらの技術を電子機器の小型・軽量化の改善などへの効果が期待され、一部応用されている。今後も樹脂と金属の信頼性を確保するためには、強度特性や長期信頼性についても明らかにしておくことが重要である。既報⁽¹⁾に基づけば、ISO4587(せん断接着強度測定方法)に基づく接着特性の評価が行われ、接合界面以外の領域で破壊するなど接合界面の結合力が十分に確保されている接合体も開発されている。このため、接合処理後の試験片自由縁を機械加工することで強度特性改善の可能性も期待できる。

本研究では PPS 樹脂/Al 接合体試験片を対象とし、樹脂/金属接合処理後の界面修正加工技術による強度向上効果の可能性を明らかにするために、除去加工により接合体自由縁界面端を操作した試験片の引張り強度を評価する。事前検討として、接合体の保管方法を変えた際の強度や破壊様式の経年変化について明らかにし、界面端部自由縁を修正することによる強度や破壊様式を明確にすることを試みた。

2. 実験方法

外力負荷（軸方向引張り）に対する抵抗性を把握することを目的として、引張り試験を行う。

2.1 供試材料および試験片保管方法

供試材料には、大成プラス社製の PPS/Al 接合体⁽¹⁾を用いた。この接合体試験片の外観は図 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 (Al : 4 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。出来上がった PPS/Al 接合体試験片の界面は Al 材料の被接合面(幅 10mm×厚さ 5mm)に接合されており、この界面と両材料自由縁面は 4 面ともほぼ直交している。

接合体試験片を図 2 に示すような保管場所にそれぞれの試験片を無作為に分けて保管した。なお保管方法は(i)真空デシケータ内にて保管および(ii) デシケータ内にて乾燥保持 および (iii) 大気中に放置 に分類した。

2.2 引張り試験および破断試験片観察

自由縁を機械加工により修正することによる強度改善に及ぼす効果を評価する際には、機械加工方法や保管方法ならびに経過時間などの要因が強度に関与する可能性がある。このため強度評価を行う際の基準となる接合体強度および破壊様式を接合処理直後の試験片で取り扱うことが望ましい。ただし、実際の試験片の送付および管理の時間を考慮して、“接合処理直後からおよそ 100~150 h 程度経過した接合体試験片の引張り強度および破壊様式”を基準として、各要因がどの程度関与するかを上記に基づく試験結果からの変化を見ることで考察した。

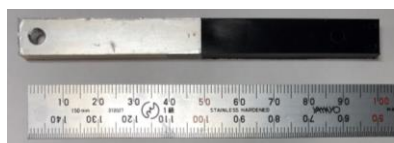
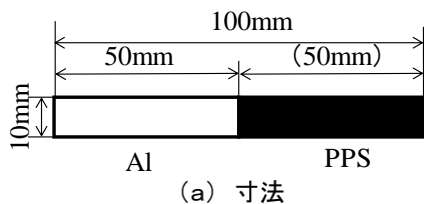
ここでの接合体強度は、界面に対して垂直方向の引張り荷重に対する抵抗とし、接合体試験片をそのまま引張り試験に供し、このときの破断荷重を界面面積で除した値を引張り強度と定義し、このときに観察される破壊様式を基準として各種要因に対する変化を確認することを試みた。接合体強度評価は引張荷重試験にて行い、クロスヘッドスピードは 1mm/min とする。なお事前検討において、接合処理後の 100~200 h 程度では引張り強度はほぼ一定であることを確認している。

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フライス盤に固定した状態で、エンドミル(直径 6.0mm)を接合体自由縁に送りハンドルをゆっくり回しながら接触させることで界面端を含む自由縁を除去した。ここで自由縁を円弧状に除去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 、Al 側界面端角度を ϕ_2 、と定義した。界面端自由縁を加工後に顕微鏡の計測モードにて計測した PPS および Al 側の界面端角度はほぼ 90 度であることを確認している。

3. 実験結果及び考察

3.1 接合体強度と破壊様式

接合体構成材料の強度レベルに対する接合体強度の比較結果を図 3 に示す。純 Al 材料および PPS 樹脂材料の強度レベルは、それぞれ 70~90MPa および 59.2MPa に対して、接合体試験片の破壊強度 (100~150 h 程度経過時) の平均値は 41.13 ± 1.00 MPa を得た。さらに接合体は接合界面または界面端近傍の樹脂から破断した形跡が確認できた。このことから、接合体強度は母材強度より低く、界面の存在により接合体構成材料の強度よりも低下することが確認できた。さらに本実験にて得た接合体強度は、既報⁽¹⁾の引張り強度の平均値 44.6MPa に対して約 1



(a) 寸法
(b) 外観画像
図.1 樹脂金属接合体 (t=5mm)



(i) 真空中保管



(ii) 乾燥中保管

図.2 各保管条件の概略図

割程度低い結果となった。この結果は製造におけるバラツキの範囲であると考えられる。

3.2 保管方法および自由縁加工による影響

入手した接合体試験片を対象として、乾燥および真空デシケータ内で保管した接合体の強度は、 $10^2 \text{ h} < t < 10^4 \text{ h}$ (およそ 1 年以内程度) おいてほぼ一定である。経年による強度低下は真空および乾燥デシケータ内で保存する限りにおいては、強度低下が無いことおよび破断様式が変化していないことを確認した。研究室内大気中に放置した試験片については、強度低下した結果も見られたがバラツキの範囲である可能性もあり、現在調査を継続中である。

加工した試験片についても接合処理したままの接合体試験片とほぼ同様の傾向を得た。すなわち界面端自由縁の加工の有無によらず、乾燥および真空デシケータ内で保管した接合体の界面端角度を 90°に再加工することにより、 $10^2 \text{ h} < t < 10^4 \text{ h}$ の期間においては基準強度とほぼ同等な評価を得ることが確認できた。補足として、研究室内大気中に放置した試験片の界面端部を再加工した試験片に関しては、 $10^2 \text{ h} < t < 10^4 \text{ h}$ の期間で強度低下は見られなかった。接合処理後試験片の結果と異なるため、今後も継続中となる。この結果に基づき、接合界面端角度を、 $15^\circ < \phi_1 < 165^\circ$ ($\phi_1 + \phi_2 = 180^\circ$) に設定した試験片を対象として、引張り強度および破断様式に及ぼす界面端形状の影響を明らかにすることを試みた。

4. まとめ

本研究では PPS 樹脂/アルミニウム接合体試験片を対象とし、除去加工により界面形状を操作し、引張り強度を評価する。事前検討として界面端部の加工時の影響を明らかにすることについて試みた。あわせて、接合体の耐候性及び経年劣化の影響について明確にし強度と破壊様式の関係について考察を行った。

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ルディングテクノロジー (NMT)”, 表面技術, Vol.66, No.8, pp.23-26(2015).

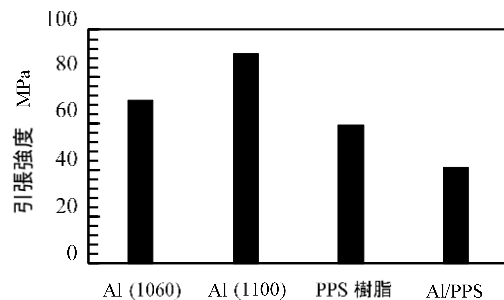


図.3 各引張強度