

樹脂－金属接合体強度の材料組み合わせ依存性

Dependence of Resin-Metal Strength on Material Combination

細野 凌以¹⁾

指導教員 立野 昌義²⁾, 研究協力者 山崎 練³⁾

- 1) 工学院大学大学院 工学研究科 機械工学専攻
 2) 工学院大学 工学部 機械工学科
 3) 元工学院大学大学院 工学研究科 機械工学専攻

樹脂と金属の接合体を加工した後、引張試験を行い得られた引張強度と破断面から界面端形状の角度操作によって異種材料接合体の強度特性にどのような変化があるかを明らかにする。また異なる材料の接合体を用いて材料組み合わせの依存性についても考察する。

キーワード：異材接合体，接合界面，樹脂，材料組み合わせ

1. 緒言

近年、製品の高度化に伴い耐熱性や耐摩耗性、軽量化等の高機能化が求められている。しかし単一素材で高機能化を実現することは困難であるため異なる素材を適材適所で配置する異材接合体の研究が進められている¹⁾。特に樹脂材料は軽く機械的性質も優れていることから、従来の機械や構造物に用いられていた金属材料の代わりに樹脂を適用することも検討されている。このため、樹脂を含んだ接合材料や構造材料における強度特性や長期信頼性を明らかにすることは、重要な課題であると考えられる。

接合材料における温度変化や荷重負荷が生じる場合、その接合界面端部には応力の特異性が生じることが知られており、界面端近傍の応力分布や強度特性を適切に評価することが求められている。弾性理論に基づけば、界面端近傍の残留応力²⁾は、接合材料の組み合わせや界面端形状などの条件に依存する³⁾ことが知られている。しかしながら、樹脂を含んだ接合材料の強度特性と上記因子との関連についてはまだ明らかにされていないのが現状である。

本研究では、高性能エンジニアリングプラスチックと位置付けられる PPS 樹脂 (polyphenylene sulfide) を含んだ樹脂－金属接合体 (Cu/PPS 接合体と Al/PPS 接合体) を対象として、界面端を機械加工した接合体試験片を製作し、引張り強度および破壊様式に及ぼす界面端部形状の影響を明らかにすることを試みた。これらの一連の実験結果に基づき、

PPS 樹脂を含んだ樹脂－金属接合体強度および破壊様式の材料組み合わせの依存性について考察を行った。

Table 1 金属材料の材料定数

物性値	Al	Cu
弾性係数[Gpa]	70	110
ポアソン比[-]	0.33	0.33
熱膨張係数[$\times 10^{-6}/K$]	24	16.8

2. 実験方法

2.1 供試材料および試験片形状

樹脂－金属接合体として、大成プラス社製の Cu/PPS 接合と Al/PPS 接合試験片を本実験に用いた。なお実験に供した接合材は NMT (Nano Molding Technology)⁴⁾により接合されている。製造直後の各接合体試験片の界面は平面に加工されており、接合材料の界面は自由表面とは直交しており、全長が 100 mm の長さの断面形状 (厚さ 5 mm \times 幅 10 mm) を有する直方体形状である。今回樹脂材料 PPS の相手材料である Al 及び Cu の材料定数^{5, 6)}は表 1 の通りである。

2.2 接合界面端形状および接合体強度評価

接合体の界面端形状の設定方法は、接合体表面を正面から見据えて際の界面端を含む接合体の自由縁を円弧状に機械加工にて除去することで界面端形状を設定した。この時の界面端幾何条件を、界面端における接線の傾きと界面とのなす角度を界面端形状

を特徴づける界面端角度 φ と定義し、樹脂側および金属側の界面端角度を φ_1 および φ_2 とした。この界面端角度の変更は、円弧半径を一定条件として、界面端と最小幅部分の位置を調整することで角度を変更し、 $\varphi_1 + \varphi_2 = 180^\circ$ のまま、 φ_1 を $15^\circ < \varphi_1 < 150^\circ$ と設定した。接合処理後の接合体試験片の引張り試験を行った。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た後、クロスヘッド速度 1mm/min で試験片を破断するまで荷重を负荷させた。そして引張強度については破断荷重を界面の面積で除した値とした。その後破断した試験片はマイクロ스코プ（KEYENCE 社製 VHX-1000）と EDX-SEM（日本電子株式会社製 JSM6380A/LV/LA）を用いて観察を行った。

3. 実験結果と考察

事前検討として、接合体製造後100時間以内の接合体試験片および界面端を含む自由縁を $\varphi_1 = 90^\circ$ に機械加工した試験片の強度および接合材を構成する各材料の強度を確認した。代表例としてAl/PPS接合体材料の結果を図1に示す。

この結果、接合体から切り出した各材料の試験片の強度から接合体にすることで強度が低下することが確認できた。ただし、機械加工の有無によらず強度はほぼ一定となり、破断様式も大きく変わらないことから、自由縁を除去することによる強度低下は無いことが確認できた。

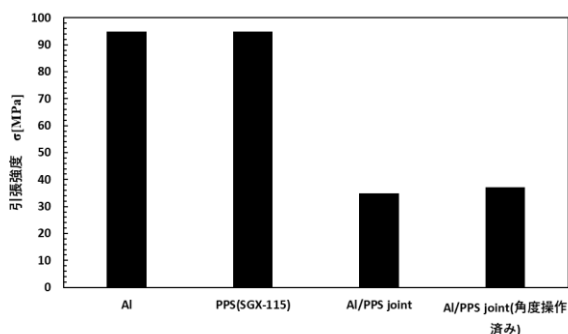


Fig.1 各部材とAl/PPS接合体の強度

さらに事前検討として、接合処理後からの経過時間の影響を確認した結果からも接合処理後 $10^2 \sim 10^4$ 時間経過した試験片に関しては、ほぼ製造後の経過時

間によらずほぼ一定の強度レベルを示していることから、試験後の経過時間の影響に関しても無視することが可能であると考えられる。

これらの結果から、製造後の経過時間および機械加工方法を管理した試験片を用いて、接合強度および破壊様式に及ぼす界面端形状の影響を評価した。その結果の代表例として、Al/PPS接合体の結果を図2に示した。この結果をCu/PPS接合体のそれとを比較し、強度特性における材料組み合わせの依存性について考察することを試みた。

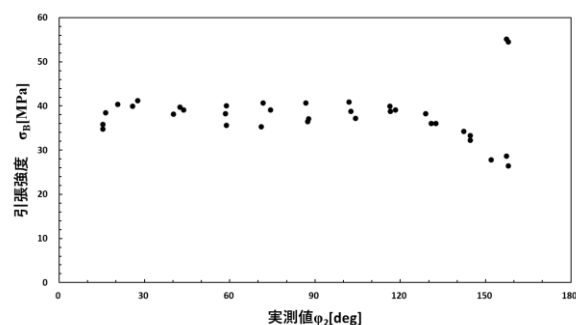


Fig.2 Al/PPS接合体引張試験結果

4. 結言

Al/PPS接合体とPPS/Cu接合体試験片を機械加工により界面形状を操作し、引張り強度と破断面を評価した。

5. 参考文献

- 堀内伸, "樹脂-金属異種材料接合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, (2015)
- 岡部ほか, 材料, Vol.48, No.12, pp. 1416-1422
- 井上ほか, 材料, Vol.48, No.4, pp. 365-375
- 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)
- WITH COPPER, "各種銅及び銅合金の物理的性質 (JIS 合金)", cpd04.pdf (withcopper.jp) (参照 2024-10-30)
- 機械技術ノート, "A1050 とは?【強度・比重・ヤング率・硬度】機械的性質と耐食性", (<https://tec-note.com/835>) (参照 2024-10-30)