

被着体の初期変形により生じる残留応力と接合部のはく離現象

(東工大院) 大淵竜也¹, (東工大精研) 佐藤千明²,
(電気化学工業株式会社) 宮崎隼人³, 須藤洋³, 楊瀾³, 原賀康介³

Residual stress caused by initial deformation of adherends and debonding phenomenon of adhesive joints

¹Tatsuya OBUCHI, ²Chiaki SATO, ³Hayato MIYAZAKI,

³Hiroshi SUTO, ³Lan YANG, ³Kosuke HARAGA,

¹Graduate School, Tokyo Institute of Technology

²Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology

³Denki Kagaku Kogyo Kabushiki Kaisha

obuchi.t.ac@m.titech.ac.jp, csato@pi.titech.ac.jp

1. 緒言

接着接合法には、異種材料の接合が可能である、他の接合法と比較して軽量である等の利点がある。そのため近年では、板金の接合部にも接着接合が用いられている。この際、金属被着体が予め変形していると、接合部を加圧しながら接着剤を硬化させる必要が生じる。またこの時、接着剤中に残留応力が生じる。これは、常温ではあまり問題とならないが、塗装の焼付け時など、高温に曝される場合、接着接合部のはく離の原因となる。この現象は、製品の生産性を低下させるにも関わらず、未だ十分な知見があるとは言い難い。そこで、本研究では、接着接合法により接合した板金接合部のはく離現象について調べる。具体的には 2 液性アクリル接着剤 (SGA) を用い、接着剤の各物性値を異なる温度で測定し、その値を用いて有限要素解析と強度評価を行い、実際のはく離試験の結果と比較する。

2. 物性値の測定

2.1 熱機械特性

SGA の熱軟化特性および線膨張係数を熱機械測定装置 (TMA) で測定した。ここでは、 $\phi 6\text{mm} \times 6\text{mm}$ の円柱試験片を使用した。図 1 に SGA の熱軟化特性を示す。この結果、図に示すような 2 段階特性が観察された。膨張試験でも同様に、熱膨張特性が 2 段階であることがわかった。また、2 段階以上 (高温側) の線膨張係数は $2.31 \times 10^{-4} (1/\text{K})$ であった。

2.2 引張試験

接着剤バルクを作成し、熱軟化特性の結果をもとに各温度 (23, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 200°C) における応力 - ひずみ特性を測定した。この際、SGA のヤング率は 20~40°C では 289MPa, 50~60°C では 3.59MPa, 80°C 以降では 2.38MPa であった。引張試験と TMA 試験の結果より、熱軟化特性

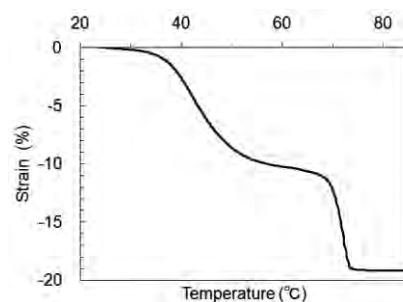


Fig.1 Thermal softening of SGA

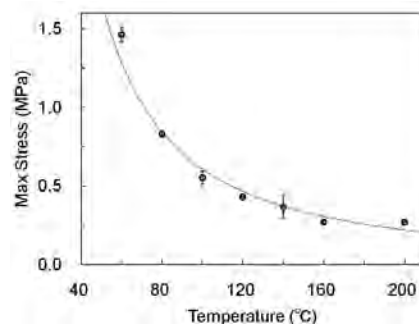


Fig.2 Relation between maximum stress and temperature

が同様の範囲において SGA のヤング率は一定であることがわかった。図 2, に破断応力-温度の関係を示す。図より破断時の最大応力は, 温度の上昇と共に単調に減少していくことがわかった。また同様の傾向は, 最大ひずみ - 温度関係にも見られた。

3. 曲率を有する被着体のはく離試験

曲率を有する被着体を, 平面に対して加圧しつつ接着し, その後加熱して被着体のはく離を観察した。接合時には, 被着体が平面になるよう治具で加圧し, 接着剤の硬化後に治具を取り除いた。試験片には, 端部が 2mm 反った被着体 (200×25×t3) を用いた。また, はく離の同定は, 被着体先端に設置した高温用ひずみゲージで行った。測定結果を図 3 に示す。60℃付近までひずみが徐々に減少するが, これは SGA の熱軟化により被着体が曲率を回復し, ひずみゲージに圧縮力が生じたためと考えられる。また, 70℃付近でひずみが急速に減少しており, この温度域で被着体のはく離したものと考えられる。

4. Dillard モデル計算

曲率を有する被着体を加圧しつつ剛平面に接着した場合, 接着剤に生じる最大応力およびひずみは, 式(1)および(2)に示す Dillard の式より算出できる。ここで D_{max} は端部の反り, l は長さ, E はヤング率, t は厚さを表す。また, 添字の A は接着剤, S は被着体を表す。図 4 に, Dillard モデルより算出した, 接着剤層の最大ひずみと, 接着剤バルクの引張試験結果を示す。この図において, Dillard モデルの計算結果と接着剤バルクの引張試験結果が交差する点で, 接合部のはく離が生じると予想され, 70℃付近と予想される。また, この予想値は, はく離試験の結果と一致する。

$$\sigma_{max} = \frac{4\sqrt{3}}{3} \sqrt{\frac{E_A E_S t_S^3 D_{max}}{t_A l^2}} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{\sigma_{max}}{E_A} \quad (2)$$

5. 結言

SGA は温度の上昇とともに, 熱軟化し, また最大ひずみも徐々に低下することがわかった。また, Dillard モデルによるはく離温度の予測値は, はく離試験の結果とほぼ一致した。したがって, SGA による接着接合部のはく離現象は, ある程度予測可能であると考えられる。

<参考文献>

David A. Dillard, “Stress between Adherends with Different Curvatures”, The journal of Adhesion, Vol.26, No.1, pp.59-69 (1988)

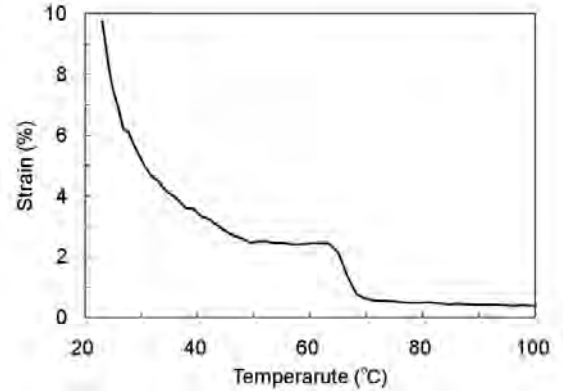


Fig.3 Result of debonding test

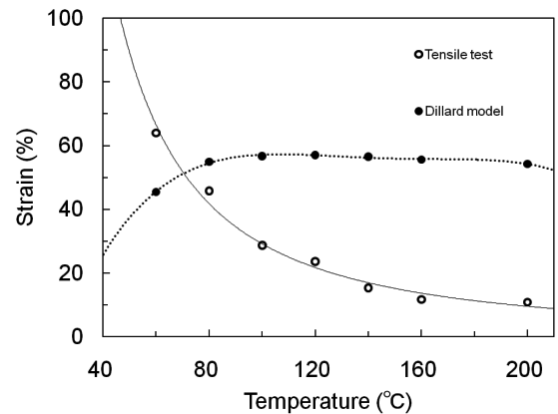


Fig.4 Comparison of tensile test and Dillard model

第49回年次大会

講演要旨集

会 期：2011年6月17日(金)・6月18日(土)

会 場：愛知工業大学 八草キャンパス

共 催：協 賛

応 用 物 理 学 会
強 化 プ ラ ス チ ッ ク 協 会
近 畿 化 学 協 会
高 分 子 学 会
色 材 協 会
自 動 車 技 術 会
織 維 学 会
精 密 工 学 会
電 気 学 会
土 木 学 会
日 本 化 学 会
日 本 機 械 学 会
日 本 包 装 技 術 協 会
日 本 建 築 学 会
日 本 航 空 宇 宙 学 会

日 本 ゴ ム 協 会
日 本 材 料 学 会
日 本 電 子 材 料 技 術 協 会
日 本 複 合 材 料 学 会
日 本 木 材 学 会
日 本 木 材 加 工 技 術 協 会
日 本 レ オ ロ ジ ー 学 会
日 本 バ イ オ マ テ リ ア ル 学 会
日 本 セ ラ ミ ッ ク ス 協 会
溶 接 学 会
プ ラ ス チ ッ ク 成 形 加 工 学 会
日 本 信 頼 性 学 会
表 面 技 術 協 会
エ レ ク ト ロ ニ ッ ク ス 実 装 学 会