

## 電 気 機 器 用 接 着 剤

## Adhesives for Electric Parts

元 起 廠\* 時 光 富 士 雄\*  
Iwao Motoki Fujio Tokimitu

## I. ま え が き

電気機器には非常に多くの接着剤が使われ、接着剤を用いて組立てられる機種も家庭電気製品から重電製品まで幅が広い。材料別に見る主な組み合わせは金属材料同士、電気絶縁高分子材料同士、金属—電気絶縁高分子材料、金属—磁器などで、電気絶縁と構造用をかね備えたものが多い。これら組み合わせ材料において相互の密着が悪いと電気的にも機械的にも両者の特長を生かした製品を得ることはできない。ここでは電気機器用一般接着剤の種類と工程の省力化用に各方面で使用されているホットメルト接着系について接着の原理と接着の良否を左右する接着過程、接着法の新技术、熱硬化形ホットメルト接着剤を用いた超音波接着について、その接着挙動と接着物のクリープ特性について述べる。

## II. 電 気 機 器 用 接 着 剤

電気機器には多くの高分子材料が絶縁の目的に使われている。用途は電動機コイルの主絶縁、配電基盤、絶縁ケースや部品など多方面にわたる。用途が多いことは材料の組み合わせ種類も多く、組み合わせ手法もおのずと工程上、簡便な接着に頼る方向となる。

同種熱可塑性高分子材料の接着では似た物同士が良く溶け合うという原則から同種材料の溶剤タイプのものが一般に用いられる。異種材料との接着で熱硬化性高分子材料と金属との組み合わせにおいてはエポキシ樹脂系接着剤、フェノール樹脂系接着剤、ポリウレタン系接着剤、ポリエステル樹脂系接着剤が用いられる。主な電気機器に用いられている接着剤と代表性状を第1表に示す。

これら接着剤はメーカーも多く、商品名で列記すれば数

第1表 電気機器用接着剤の性状

Table 1. Characters of adhesives for electric parts

接着剤種類		酢酸	塩化	アクリル	セルロース	ポリアミド	ポリオレフィン	ニトリル	ネオプレン	シリコン	エポキシ	フェノール	ポリウレタン	エポキシ	ナイロン	アミド	シリレート	嫌気性 接着剤
		ビニル系	ビニル系	スチロール系	系	系	系	系	系	系	系	系	系	系	系	系	系	
タイプ	溶 剤 形	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○			
	エマルジョン形	○	○	○								○						
	無 溶 剤 形					○	○			○	○		○				○	○
接 着 条 件	室 温	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○				○	○
	加 熱					○	○	○	○		○	○		○	○			
機 械 的 用 途	引張、せん断荷重										○	○	○	○	○			
	はくり荷重、振動							○	○				○					
熱 的 用 途	-50°C																	
	↑ 温度	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	50																	
	↓ 100																	
	150																	
接 着 対 象 物	金 属, 磁 器					○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	熱硬化性プラスチック					○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	接着剤組成系材料	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	ゴ ム							○	○	○			○				○	
	布	○						○	○				○					
	紙, 木 工 (充てん用)	○	○		○		○											
耐 絶 縁 油 性											○	○	○	○	○	○	○	

\* 中央研究所

百にもよるが大別してその特性を比較すれば強度的に大同小異である。

接着剤を用いての接着方法は接着しようとする材料の接着面に接着剤をハケ塗り、ヘラ塗り、スプレによってあらかじめ付着させ、しかる後に接着面同士を貼り合わせ、接着剤が固化するまで定置するのが常道である。このような接着作業では量産品に対して、人手と時間と場所を多く必要とするので生産性という立場からは接着の利点、特長を低減させることになる。近年接着手法の省力化がさげばれ作業も機械化の方向にあり、接着剤も作業が簡便で短時間に接着が完了する速硬化形のシアノアクリレート系接着剤、熱溶融形ホットメルト接着剤が種々開発された。

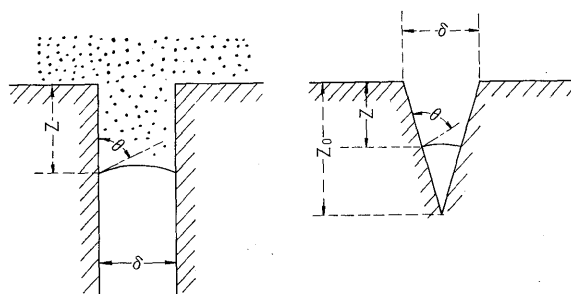
### III. ホットメルト接着剤

ホットメルト接着剤は室温では固体で、高温で溶融し液状となり、液状の状態では接着面に塗布し、接着剤が冷えて固化しない前に接着面を貼り合わせ、接着物が室温の状態にいたって接着が完了する。この接着作業は接着剤を高温で溶融させて、アプリケーションを用いて接着面に塗布し、圧着操作を行えば良く、手を汚さずに簡便に短時間で接合物を作ることができることを特長としているので弱電部品の組立、家庭電気製品、包装、合板関係では多く用いられている。

この系の接着剤は熱可塑性高分子材料が大半で、組成を大別するとエチレン-酢ビ共重合体とパラフィン、低分子量のオレフィンの混合体、ポリアミド樹脂、ロジンと酢ビ、酢ビ-塩ビの共重合体などである。これら接着剤を用いて作られる製品は接着剤が熱可塑性なので、温度が高いふんい気での使用には接着剤が軟化し、接着層にずれを生ずる。すなわち接着層のクリープ変形が顕著なので、接着強度を要する場所、高温ふんい気での使用に制約がある。最近熱硬化形ホットメルト系接着剤が開発され、適用範囲も重要度の高い部品にも使われ始めた。

### IV. 接着速さと接着強度

ホットメルト接着系の原理について、接着という観点から接着現象を理論的に眺めることにする。ホットメルトのような高分子系接着剤では接合部が固定するまでにはつぎに説明する種々の物理的ならびに化学的なメカニズムを経る。接着する工程順序からいえば固体表面に接着剤が塗布される。当然接着剤は液体である必要がある。固体表面は幾何学的に見ればかなりの凹凸がある。接着層の破壊場所が界面でおこる場合には良好な接着強度を得るためには接着剤と固体表面の接触面積がふえることが好ましい。これには表面の凹凸に接着剤が充分浸



第1図 固体表面のクレパスモデル

Fig. 1. Crevasse model on solid surface

透することである。Bikermann は第1図に示すモデルで凹部への流入について液がニュートン流体であればその液の流入深さ(Z)について平行、V字形にそれぞれつぎの関係式を与えている。

$$Z^2 = \left(\frac{t}{3\eta}\right) (S \cdot r \cdot \cos \theta) \dots\dots\dots(1)$$

$$Z_0 \ln \frac{Z_0}{Z_0 - Z} - Z = \left[\frac{t}{6\eta}\right] \cdot Z_0 (\delta_0 \cdot r \cdot \cos \theta) \dots\dots(2)$$

いずれも流入に要する時間と液粘度とが反比例する。接着時間が一定であれば粘度が小さいほど接着強度は高くなることが示される。また接着には毛細管現象だけでなく外部より少なくとも手指圧あるいはそれ以上の圧を加える。

加圧(P)下においては粘度 η は初期の粘度 η<sub>0</sub> に対して近似的に式(3)で

$$\eta = \eta_0 \exp \left[ \frac{1}{f_0 \left( \frac{f_0}{\beta_f \cdot P} - 1 \right)} \right] \dots\dots\dots(3)$$

f<sub>0</sub> は常圧下での自由体積の存在率  
β<sub>f</sub> は自由体積の収縮率

表わされる。この関係は接着操作にあまり圧力を加えすぎても粘度が増大し凹部へのクレパスの流入が防げられてかえって接着力を減少することを意味する。

また粘度は式(4)なる関係を有し、温度が高温側に行くにしたがって低粘度となり、流れやすく、凹部への流入も容易となる。

$$\eta = A \exp U/RT \dots\dots\dots(4)$$

U…流動の活性化エネルギー,  
T…温度, R…ガス定数

これらの関係は、Andrade が求めた。関係式にもつながらる。

$$\eta \cdot v^{1/3} = A \cdot \exp \left( P + \frac{a}{v^2} \right) \frac{b}{T} \dots\dots\dots(5)$$

v は比容 A, a, b は材料によって定まる値  
このような物理的現象に基づいて湿潤、浸透した接着剤は接着剤と接着物界面での結合を形成し、接着剤層において接着剤が物理的に温度の冷却ないし化学反応によ

って固化定着する。F(t) を物理量とすると

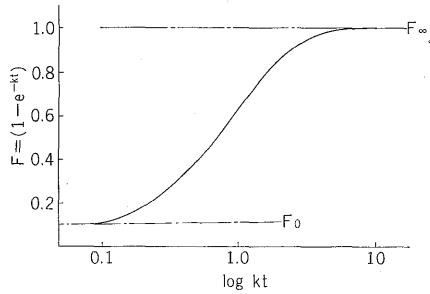
この機構は近似的につぎの関係で与えられる。

$$\frac{F_{\infty} - F}{F_{\infty} - F_0} = \exp(-t/\tau) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\tau = A \exp(E/RT)$$

$$F(t) = F_{\infty} \{1 - \exp(-t/\tau)\} \quad \dots\dots\dots(7)$$

第 2 図に示す S 字曲線で表わされ、固化時間に対し接着の強さを表わす。



第 2 図 接着過程での物理量変化線図

Fig. 2. Master curve for bonding process

接着強度一定とおいたときの接着時間と温度は、式(7)より近似的に

$$\ln t = A + \frac{B}{T} \quad \dots\dots\dots(8)$$

A, B は接着剤によって定まる値

となり、高温では短時間の接着条件でよいが温度が低温側に移行するにしたがってより接着時間を与える必要がある。

ホットメルト接着の場合、一般に接着工程におけるコスト低減に被着体は室温であり、接着剤のみが高温溶融され、塗布される。

塗布される接着層は非常に薄いため被着体の熱伝導が良く、比熱が大きいと、接着剤の熱は短時間に被着体に移行し、接着層が接着結合を形成しないまにに固化し接着障害を起こす。もちろん、接着剤が失う熱量 Q ニュートンの冷却法則による流出熱量は物理的にそれぞれつぎの関係で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} Q &= K \cdot A \left( \frac{T_2 - T_1}{l} \right) \cdot t \\ Q &= S \cdot m (T - T_2) \\ Q &= h \cdot A (T - T_3) \cdot t \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(9)$$

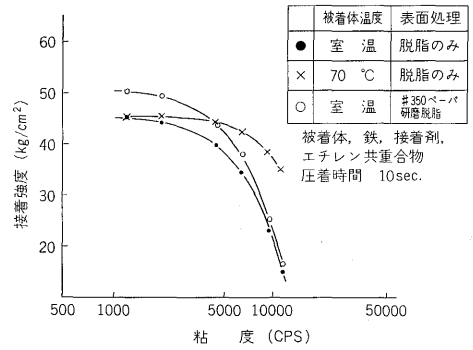
K…熱伝導率 S…比熱 t…時間

A…熱の流出入面積, m…質量

T<sub>i</sub>…温度の状態変化を表わす

l…熱の移動距離, h…定数

第 3 図に市販ホットメルト接着剤について接着時間一定でのその鉄—鉄について、接着剤の粘度—強度、鉄の温度と強度、鉄表面の粗面化と強度との関係を示す。



第 3 図 接着剤粘度と接着強度

Fig. 3. Bonding strength for adhesive viscosity

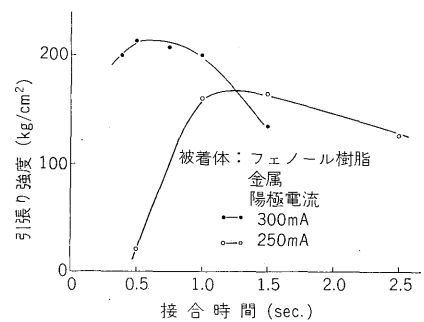
### V. ホットメルト系接着剤接着方法

接着方法は大きく分けて、つぎの 2 方法がある。

- (1) 溶融塗布接着法
- (2) 接着剤熱活性化法
  - インパルス接着法
  - 超高波接着法
  - 高周波接着法

(1)の方法についてはローラコーティング方式、スプレ方式と圧着設備を具備した操作機構からできあがっている。この方法は(2)の方法にくらべて広い面積の積層接着、簡易接着に用いられ設備費も接着処理面積に対し安価である。

(2)項の接着法は超音波、高周波にしても機器の容量からして、大きな面を有する接着には制限がある。



第 4 図 超音波接着法による接着強度

Fig. 4. Bonding strength of phenol resin/metal with ultrasonic method

### VI. 熱硬化形ホットメルト接着

熱可塑性高分子材料同士の接着には超音波接着法が広範囲に用いられているが金属同志、熱硬化性高分子材料同士、金属—熱硬化性高分子材料の組合わせについては少ない。一例として熱硬化形ホットメルト接着剤を用いてフェノール樹脂と金属とを超音波接着した接着挙動を第 4 図に示す。なぜ超音波を接着面に投入すると接着層が数百度となり短時間で接着が完了するかのつぎの操作

によるものと考える。

- 1) 接着剤が粘弾性体として式(10)に示す関係でレオロジカルに導びかれた超音波の振動エネルギーを吸収し、自己発熱により接着反応を行なう。

$$\Delta T \doteq 0.24 I \{1 - \exp(-\omega^2 / \rho v^3 \cdot \eta' d)\} t / \rho \cdot C \cdot d \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$v = \sqrt{G'/\rho}$$

- $\Delta T$ …上昇温度
- $I$ …超音波出力
- $v$ …音波伝播速度
- $G'$ …動的弾性率
- $d$ …接着層厚み
- $\rho$ …接着剤密度
- $C$ …接着剤比熱
- $\omega$ …角振動数
- $\eta'$ …動的粘性率

- 2) 接着剤組成である媒質粒子が超音波振動にもとづく変位によって誘起される摩擦熱との関係から導びくことのできる式(11)に示す発熱で接着剤が接着反応を行なう。

$$\Delta T \doteq \mu \cdot m_1 \cdot \sqrt{\frac{2I}{\rho C}} / J (S_1 m_1 + S_2 m_2 / N) \quad \dots\dots\dots (11)$$

- $\mu$ …摩擦係数
- $m_1$ …媒質粒子質量
- $m_2$ …媒質を囲む接着剤組成質量
- $S_2$ …媒質を囲む接着剤組成比熱
- $J$ …熱の仕事当量
- $N$ …媒質個数
- $S_1$ …媒質粒子比熱

- 3) 接着剤中に含有する微少な気泡がキャビテーション効果により近似的な断熱圧縮によって発生する式(12)に示す発熱により接着反応を行なう。

$$T_m = T_0 \cdot \{ \sqrt{3/2} \cdot V_m \}^{2(1-\gamma)/\gamma} \cdot (\gamma - 1)^2 / \gamma \quad \dots\dots\dots (12)$$

- $T_m$ …気泡の発熱温度
- $V_m$ …気泡収縮の最大速度
- $\gamma$ …定圧, 定容比熱

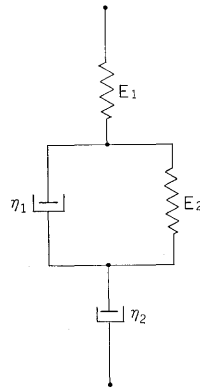
熱可塑性接着剤にあっては接着剤層の発熱による接着剤の流動が必要であり、熱硬化性接着剤にあっては発熱により接着剤を流動させ、かつ化学反応により接着剤を固化定着させる。

最近熱硬化性ホットメルト系接着剤が出現し、各方面で実用段階を向えているので、その適応性が期待される。

### VII. 耐クリープ特性

熱可塑性ホットメルト接着は耐クリープ性が重要な問題点となる。熱硬化性においても同様であるが熱可塑性に比し、クリープ変位ははるかに小さい。

一般にクリープ変位 ( $e$ ) に関してはモデルとして第5図に示す4要素模型で代表される。数式的には式(13)で表わされる。



第5図 プラスチックスのクリープモデル  
Fig. 5. Model for creep character of polymer

$$e = P/E_1 + P/E_2 \cdot \{1 - \exp(-t/\tau)\} + (P/\eta_2) \cdot t \quad (13)$$

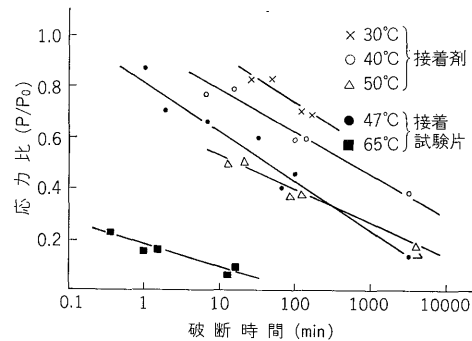
- $e$ …伸び変位
- $P$ …荷重
- $\tau$ … $\eta/E_2$

高分子材料においては耐クリープ特性は荷重もさることながら温度の factor が大きく支配する。

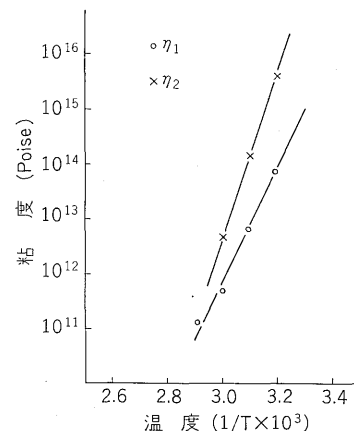
この関係については式(13)から導かれる速度論的な取扱い式 Larson-Miller の関係式、破断時間 ( $t$ ) と温度 ( $T$ ) との関係がよくあてはまる。

$$(\log t + C) \approx U/RT \quad \dots\dots\dots (14)$$

第6図に室温硬化形エポキシ樹脂のクリープ特性について接着剤自体と接着試験片 (Butt Joint 方式) について示すが、温度が大きく影響することがわかる。接着試験片の破壊様式は接着剤層で起こるが接着物となると、接着形状によって応力の分布が異なり、接着剤そのものと



第6図 室温硬化形エポキシ樹脂接着剤のクリープ特性  
Fig. 6. Creep character of room temperature cured epoxy adhesive



第7図 室温硬化形エポキシ樹脂接着剤の内部粘性  
Fig. 7. Viscosity  $\eta_1, \eta_2$  from model for creep character of polymer on room temperature cured epoxy adhesive

は幾分異なった値を示す。クリープ特性は式(19)からもわかるように接着剤の粘性項が支配的となるので、実験に用いた接着剤について参考までにその粘性項と温度との関係を第 7 図に示す。

接着物のクリープ特性は温度による内部粘性項に支配され、温度によって粘性項が大きく変化する。使用にあたっては接着強度そのものを重視することは第一に必要なであるが耐久性の耐クリープ性に関しては粘性項に留意すべきであろう。

### VIII. む す び

接着作業、手法は人海戦術を要し、省力化への道も遅れがちであったが、接着剤自体もその形態を変え、人力がはぶける方向になってきている。一つの例としてホットメル系接着剤を取り上げ、接着原理の再見直しを行なった。現在市販には従来の接着剤の形態から脱皮した新接着剤が接着技術に先きがけて開発されている。本報も最近の接着剤の動向、新接着剤の電気機器への用途などを紹介すべきであったが割愛する。

#### 発明の紹介

#### 保 護 継 電 方 式

(特許 第 604604 号)

この発明は電力系統の多端子の送変電設備、たとえば送電線、変圧器、母線などのための保護継電方式に関するものである。

無電流端子の存在を考慮した上で、電流の極性から見て外部故障と内部故障とを判別すると、内部故障の検出要件としては、

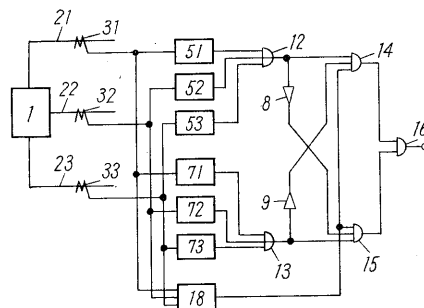
- i) 各端子の電流の少なくとも一つは正(負)極性であること
- ii) 各端子の電流はいずれも正(負)極性ではないことの両者が同時に成立つことが必要である。

ところが各端子の電流を測定する CT が飽和した場合には、実際には外部故障でありながら見掛け上無電流端子のある内部故障と同一状態となることがあり、誤動作を生ずる恐れがある。

この発明は、上記の欠点にかんがみて、CT が飽和を生じる前の適当な時点でのみ前記 2 条件の成立有無を判断する方式を提供するもので、図に示すように、各端子 21~23 の電流の極性を、正極性判別回路 51~53、負極性判別回路 71~73 で検出し、OR 回路 12, 13, 16, AND 回路 14, 15 および NOT 回路 8, 9 により、前述の両条件の成立を判定する論理回路を構成し

たものにおいて、各端子の電流の大きさから判定に最適な時点を求める回路 18 を設け、この回路の出力を AND 回路に付加するようにしたものである。

本発明によれば、入力電流量の量的な点は問題とせず、その極性のみを比較し、さらにその比較時点を最適時点に選べるため、単に CT の不平衡だけでなく、系統容量が著しく大きいために CT が苛酷な飽和状態となった場合にも、支障なく故障の正確な判定ができる利点がある。





\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。