

東京電機電気(株)
電機技術研究所

神津 寛人 小座間正視
小山 充彦 山田 一夫

1 まえがき

エポキシ樹脂は、優れた電気絶縁性を有するため電気部品の注形材料に利用されている。電気部品を埋め込む際、注形品にクラックが発生しない様に注形材料と部品の熱膨張率を小さくしたり、弾性率を変化させたり、硬化収縮ひずみを小さくする方法等が採られている。これらの方法は主材の種類および充填材の種類や配合割合を変化させ用途によって選定している。注形品は機器の運転、停止により温度上昇、下降を繰り返して受ける。このような熱サイクルが注形品に加わることを一種の熱疲労として作用すると考えられる。ここではこの熱応力が繰り返し応力として注形品に加わるものと仮定し、充填材の種類、および主材の種類を変えたときの各々について室温における熱サイクル領域の繰り返し強度について考察した。

2. 供試料及び実験方法

試料の組成は表1に示す様に主材としてビスフェノール系およびこれにシクロ系エポキシ樹脂を添加したものを用いた。充填材としては市販の電気絶縁用シリカ、アルミナ粉末、それにポリグリコールを用いた。引張試験片、繰り返し試験片はASTM-D638に準じた形状のものを金型に注形し、表1に示す硬化条件により製作した。静的、繰り返し共島津オートグラフDSS-ZSTを用いて試験を行った。試験条件は次の通りとした。(1)静的引張速度0.3cm/分。(2)弾性率は標線間50mmの伸び率より求める。(3)繰り返し速度3~5C.P.M.(4)片振引張りでの下限荷重は最大荷重の4~6%。(5)雰囲気は室温(22~24°C)

試験条件は次の通りとした。

(1)静的引張速度0.3cm/分。(2)弾性率は標線間50mmの伸び率より求める。(3)繰り返し速度3~5C.P.M.(4)片振引張りでの下限荷重は最大荷重の4~6%。(5)雰囲気は室温(22~24°C)

3 結果および考察

各試料の応力-ひずみ線を図1に示す。表2は各材料の引張強さおよび弾性率を示す。図からどの材料も脆性的な挙動を示すことがわかり、破断時の伸び率は1.0~1.5%程度である。充填材の効果についてみるとシリカの方がアルミナより強度が高く、高弾性率を示す。

図2~5には各試料の熱サイクル領域における $\sigma_{\text{eff}}-N_f$ の関係を示した。図中の直線は実験値を直線回帰したものであり、 σ_{eff} は繰り返し強度、 N_f は破断繰り返し数、 r は相関係数を示

表1 試料の組成及び硬化条件

成分	A	B	C	D
主 材	ビスフェノール系			ビス系+シクロ系
充 填 材	シリカ		アルミナ	
硬 化 材	酸無水物系		酸無水物系	
可溶性付着剤	—	ポリグリコール	—	—
着色剤	有	有	無	無
硬 化 条 件	一 次	温度	120	120
	一 次	時間	16	15
	二 次	温度	130	130
	二 次	時間	18	10

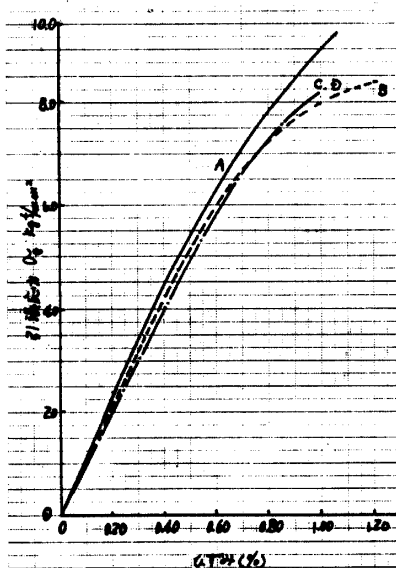


図1 各試料の応力-ひずみ線

表2. 各試料の引張強度, 弾性率

材料	A	B	C	D
引張強さ σ_b (MPa)	84~99	69~85	66~86	64~87
弾性率 E (MPa)	1200	1050	1010	1015

している。rは80%以上と比較的高くどの材料も直線回帰は有用であると考えらる。

材料の基本的な強度を σ_0 としたとき、 $\sigma_b/\sigma_0 - N_f$ の関係を表わしたものが図6である。これらの回帰線の式は次の様になる。

試料A. $\sigma_b/\sigma_0 = 0.990 - 0.098 \log N_f \dots (1)$

B. $\sigma_b/\sigma_0 = 1.007 - 0.088 \log N_f \dots (2)$

C. $\sigma_b/\sigma_0 = 0.983 - 0.100 \log N_f \dots (3)$

D. $\sigma_b/\sigma_0 = 0.983 - 0.090 \log N_f \dots (4)$

以上の結果の中で、図からどの材料も破断繰り返し数 N_f が同定レベルで広い範囲に渡り、破断することわかる。特にアルミナ充填のC, Dが著るしい。これは樹脂と充填材の粒子形状および表面(界面)性質によるものと考えられる。式(1)~(4)を比較すると $\log N_f$ の係数が0.09~0.10とほぼ同様な値を示している。このことは繰り返し強度の低下率に対する充填材の種類の効果が少ないことである。

試料Bの繰り返し破壊面について観察した結果、 N_f の小さい部分では凹凸が分散し荒い表面状態で N_f が大きくなると比較的なめらかな破面を呈する。これらの例を写真1, 2に示した。



写真-1 $N_f=169$
試料B



写真-2 $N_f=6311$
試料B

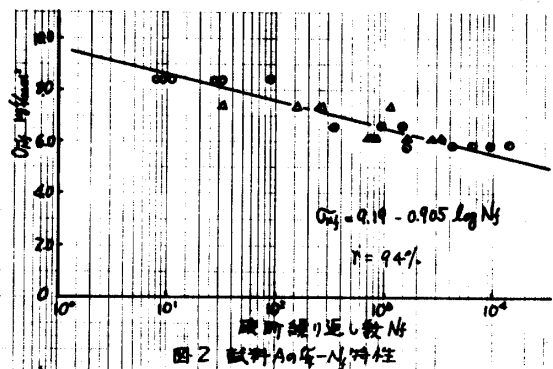


図2 試料Aの $\sigma_b - N_f$ 特性

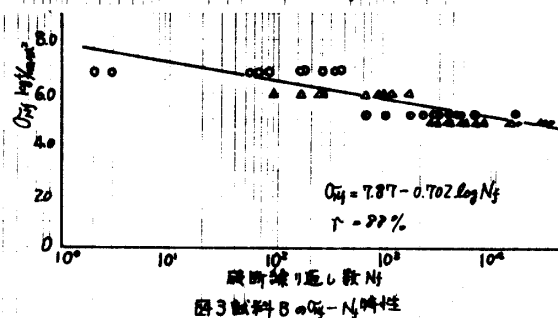


図3 試料Bの $\sigma_b - N_f$ 特性

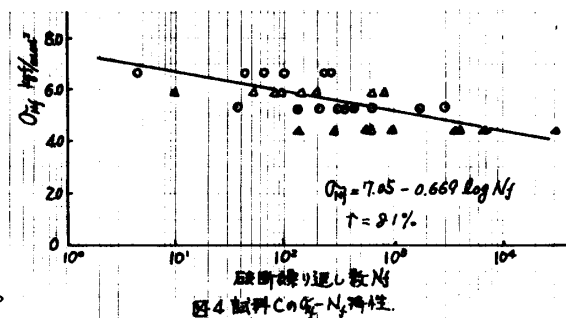


図4 試料Cの $\sigma_b - N_f$ 特性

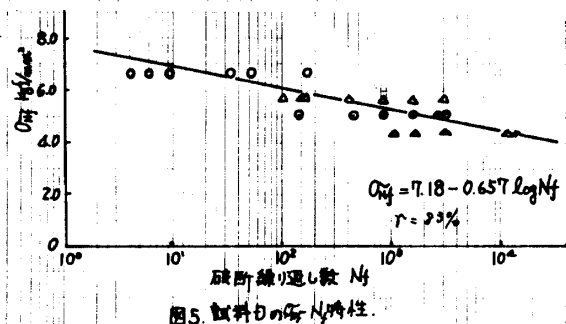


図5 試料Dの $\sigma_b - N_f$ 特性

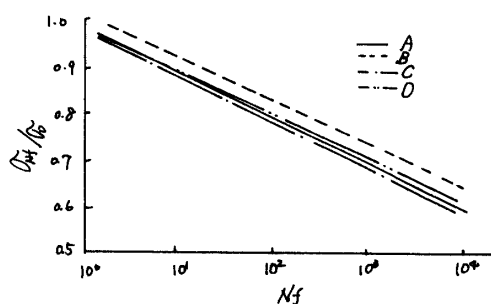


図6 $\sigma_b/\sigma_0 - N_f$ の関係