

円筒接着継手の熱歪みの評価

(三菱電機) 稲葉好次、原賀康介、(長崎菱電テクニカ) 近藤正年

Evaluation of Thermal Strain on Cylindrical Adhesive Bonded Joints

Yoshitsugu INABA¹, Kosuke HARAGA¹, Masatoshi KONDO²

¹Mitsubishi Electric Corporation, ²Nagasaki Ryoden Technica Corporation

1.はじめに

円筒材と中実円柱の接着においては、接着部の破壊状態の観察が困難である。また、材質および組合せによっては、線膨張係数の相違からヒートサイクルにおいて非常に大きな熱応力が発生し、接着破壊や材料破壊を生じやすい。円筒材がセラミックなどの脆性材料で円柱が鋼の場合、高温では鋼製円柱および接着剤の膨張により円筒材の表面に円周方向に大きな引張り応力が加わり、円筒材の軸方向にクラックが生じる。低温では、鋼製円柱および接着剤の収縮により円筒材の内面と接着剤の結合界面に引張り応力が加わり、接着剥がれが生じる。

このような温度変化による円筒材の割れや接着剥がれの評価として、ストレインゲージによる円筒材表面の歪み測定を行った。さらに、接着剤の種類、接着厚さ、接着長さの違いが材料破壊や接着剥がれに与える影響について評価したので、その結果を報告する。

2.試料と試験条件

2-1 円筒材表面の歪み測定

円筒材は金属焼結体、円柱は鋼製で S35C を用いた。洗浄、脱脂の後、鋼製円柱および円筒材内面に接着剤を塗布して円筒材を回転させながら挿入し、はみ出した接着剤を拭き取った後、接着剤を硬化させた。ストレインゲージは、ポリイミドをベース材とする特殊合金箔 (Ni-Cr 系 共和電業) を用い、円筒材表面にエポキシ系接着剤 (EP-34 共和電業) を用いて接着した。ストレインゲージは、図 1 に示すように円筒材の両端部の円周方向および長さ方向に 90° おきに各 4 枚接着した。なお、ダミーとして円筒材単体の歪み測定も行った。ストレインゲージは、図 2 に示すように円筒材の中心部に円周方向に 2 枚と長さ方向に 1 枚接着した。

試験は、接着試験体を室温 (25°C) から -20°C に冷却後、再び室温 (25°C) まで戻し、さらに 150°C まで昇温後 30°C まで冷却し、この間の歪みゲージの歪み量を測定した。

2-2 評価項目

(1) 円筒材表面の円周方向と軸方向の歪みの比較

接着試験体およびダミーを用いて、円筒材表面の円周方向と長さ方向の歪み量を測定した。接着剤は、2 液加熱硬化形エポキシ系 (60°C × 10 時間加熱硬化) を用いた。円筒材の寸法は、内径 24.0mm、長さ 24.0mm、接着層厚さは、0.085~0.105mm とした。

(2) 接着剤の種類の影響

2 液加熱硬化形エポキシ系 (60°C × 10 時間加熱硬化)、2 液室温硬化形アクリル系 (室温硬化)、1 液加熱硬化形エポキシ系 (135°C × 15 分加熱硬化) の 3 種類の接着剤を用いた。円筒材の寸法は、内径 36.3mm、長さ 22.5mm、接着層厚さは 0.06~0.105mm とした。

(3) 接着層厚さの影響

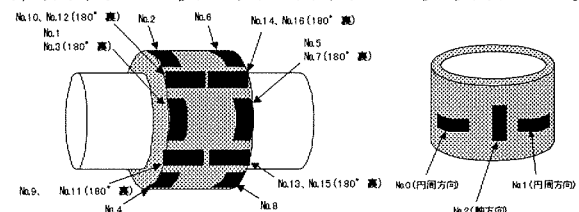


図 1.接着試験体

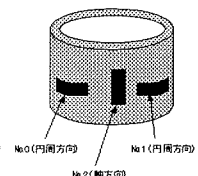


図 2.円筒材単体

接着層の厚さを、0.05mm～0.30mm まで変化させた。接着剤は、2液室温硬化形アクリル系(室温硬化)を用い、円筒材の寸法は、内径 36.3mm、長さ 45mm とした。

(4)接着長さの影響

内径 36.3mm の円筒材の長さを、22.5mm と 45mm の 2種類として接着長さの影響を評価した。接着剤は2液室温硬化形アクリル系(室温硬化)を用い、接着層厚さは0.105mm とした。

3.測定結果

3-1 円筒材表面の円周方向と軸方向の歪みの比較

図3に、円筒材表面の円周方向の歪み測定結果を示した。室温から温度を下げて行くにつれて円筒材表面の歪みが低下しており、鋼製円柱と接着剤が収縮し、円筒材も縮小させられ、円筒材表面では円周方向に圧縮応力が作用している。再び室温に温度を上昇させると、温度を低下させた時とほぼ同じ傾きで歪み値が増加した。室温から昇温するにつれて歪み値は直線的に増加しており、鋼製円柱と接着剤が膨張し、円筒材も膨張させられ、円筒材表面では円周方向に引張り応力が作用している。145℃まで昇温した時、全測定点の歪み値に急激な低下が見られた。これは、円筒材表面の円周方向の引張り応力の増大により、円筒材表面にクラックが生じたためである。サンプルを取り出し観察すると、クラックは円筒材の軸方向に生じていた。

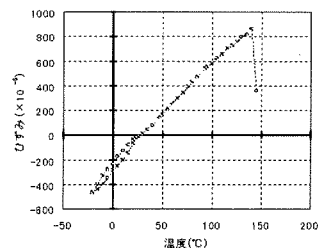


図3.円周方向の歪み変化

図4に、円筒材表面の軸方向の歪み測定結果を示した。軸方向の歪み値は円周方向の歪み値に比べると小さいことがわかった。

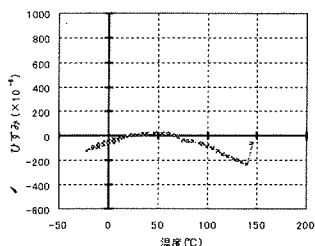


図4.軸方向の歪み変化

図5に、円筒材単体の歪み測定結果を示した。円周方向、軸方向ともに歪み値は小さい。よって、図3に示した接着体の円周方向の歪みは、鋼製円柱と接着剤の変化による影響を表しているものと考えられる。

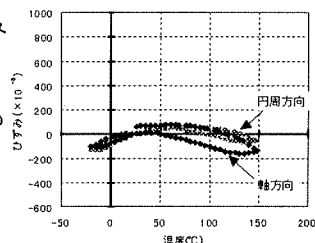


図5.円筒材の円周方向、軸方向の歪み変化

3-2 接着剤の種類の影響

2液加熱硬化形エポキシ系接着剤は、-5℃、75℃で歪み値の急変が観察され、30℃までの温度試験終了後カラーチェックを行うと図6に示すように大きなクラックが確認された。一方、2液室温硬化形アクリル系接着剤および1液加熱硬化形エポキシ系接着剤では、歪み値の急変は観察されず、カラーチェックでもクラックの発生は認められなかった。

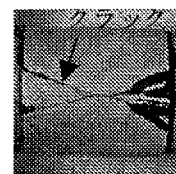


図6.カラーチェック後の試料

3-3 接着層厚さの影響

接着剤は、2液室温硬化形アクリル系を用いた。歪み測定の結果、歪み値が大きく変化した温度を表1に示した。接着層厚さが大きいほど、円筒材割れが生じる温度は高温側にシフトしており、接着層が鋼製円柱の膨張による応力を緩和していると考えられる。

表1.接着層厚さとひずみ変化の温度

接着層厚さ mm	ひずみ変化	
	高温側 温度(°C)	低温側 温度(°C)
0.051	120~125	-20
0.1	125~135	-20
0.2	150	<-20
0.299	140~150	<-20

3-4 接着長さの影響

円筒材の長さが 45mm の場合は約 130℃で大きく歪み値が変化し、割れが生じた。一方、円筒材の長さが 22.5mm の場合は割れが生じなかった。

4.まとめ

円筒接着体の円筒材表面の歪みの温度変化をストレインゲージにより測定した結果、円筒材表面の歪み変化が明確に測定でき、その歪みは円周方向で大きく軸方向では小さいこと、高温でのクラック発生も検出でき、クラック発生時点で円周方向の歪みが急減すること、接着剤の種類、接着層の厚さ、接着長さが鋼製円柱の膨張による応力の緩和に影響することが明らかになった。