102 Sn-3.5Ag-0.7Cu はんだ接合部の疲労き裂進展挙動 Behaviors of Fatigue Crack Growth in Sn-3.5Ag-0.7Cu Solder Joints

正 上西 研 (山口大工)
学○市川 哲也 (山口大院)

正 種田 元治 (福山大工)

Ken KAMINISHI, Yamaguchi University, 2557, Tokiwadai, Ube, Yamaguchi
Motoharu TANEDA, Fukuyama University, Gakuen Cho 1, Fukuyama, Hiroshima
Tetsuya ICHIKAWA, Yamaguchi University
Key Words : Pb-free solder, Joint of surface mount type, Fatigue life,
Crack growth

1. 緒言

地球環境保護の観点から、鉛フリーはんだ材の開発が積極的に進められ、様々な鉛フリーはんだ材が従来のすず-鉛系共晶はんだ材の代替材候補と検討されている。中でも Sn-3.5Ag-0.7Cu はんだ材は融点が高い問題点があるものの耐疲労特性に優れているため、その有力候補の一つとして注目されている。

そこで本研究では、Sn-3.5Ag-0.7Cu はんだ材を用いた QFP 型表面実装はんだ接合部の実物大模型 (Gullwing 型) の疲労試験を行い、はんだ接合部のき裂発生および進展寿命について調べた。さらに、著者らが開発したき裂進展解析プログラム⁽¹⁾を用いて、はんだフィレット部の疲労き裂進展挙動について検討した。

2. 実験方法

Gullwing 型はんだ接合部の形状および寸法を図 1 に示す。試験片は LSI パッケージ、リード、はんだ接合部および基板より構成されている。リードは 42 合金 (Ni-Fe 合金) で基板はガラスエポキシ樹脂製である。

供試体取り付け部の詳細を図 2 に示す。定盤 (ステンレス製) 上には 90mm×90mm のステージを繰返し往復運動させることのできる自動 X 軸パルスステージ (中央精機 PSH-30) が設置されている。これをまたいで設置された門型フレームの水平材下面には、手動 Z 軸ステージが取り付けられている。

試験条件は、強制変位量 δ を $\pm 25, \pm 50 \mu\text{m}$ の 2 種類とし、繰返し速度 ν を 0.1Hz、雰囲気温度 T を 303K とした。試験中は、はんだフィレット表面のき裂発生および進展状況を実体顕微鏡 (オリンパス (株), SZ6045TR) に CCD カメラ (松下電器産業 (株), GP-KS1000) を接続して 20 インチモニター (ソニー (株), KV-20VWS2) で拡大して観察した。

Fig.1 Geometry of Test Model

Fig.2 Fitting of test model to fatigue testing system

3. 実験結果

全ての実験に対して、き裂ははんだフィレット上部から発生し、その位置は、相当非弾性ひずみ範囲が最大となる位置とほぼ一致した。き裂の進展状況を調べるために、はんだフィレット部中央を長手方向に切断し、その断面を金属顕微鏡により観察した。その一例を図 3 に示す。Sn-Pb 共晶はんだ等と同じように、き裂はフィレット上部より斜め下方に進展し、リードとの界面付近に達すると、それ以後は界面の内側を長手方向に進展し、き裂長さが約 0.2mm で停留した。

Fig.3 Cracked solder joint of specimen

リード長手方向き裂に沿った長さ a と繰返し数 N との関係を図 4 に示す (強制変位量 $\delta = 25 \mu\text{m}$ では、発生したき裂が進展しなかったため省略した)。これまで著者らは、Gullwing 型はんだ接合部の寿命曲線は破断に至るまでにき裂発生寿

命 (I)、き裂発生後き裂進展速度が極端に遅くなる (停留) までの寿命 (II)、停留寿命 (III) および再びき裂が急速に進展し破断に至るまでの寿命 (IV) の4つのプロセスに特徴づけられることを示した⁽¹⁾。しかし、今回の Sn-3.5Ag-0.7Cu はんだ材の場合 δ が $50\mu\text{m}$ でも破断せず、領域 (IV) は存在しなかった。また、他の材料では 0.3mm 付近で停留したのに対し、Sn-3.5Ag-0.7Cu 材は 0.2mm 付近で停留した。

Fig.4 Experimental results of crack length against number of cycles

各寿命の平均値を他の材料と比較した結果を図5に示す。Sn-3.5Ag-0.7Cu 材は他のはんだ材に比べ極端に疲労寿命が長いことが確認できる。

Fig.5 Fatigue lives divided into four phases

4. き裂進展解析および考察

著者らは既報⁽²⁾で、き裂先端よりある一定の距離 (はんだ材の平均結晶粒径: $r=3.5\mu\text{m}$) における $\Delta\sigma_\theta$ の最大値は、はんだ材の疲労き裂のプロセスゾーンを代表する量となることを示した。そこで、本研究でもこの $\Delta\sigma_\theta$ を $(\Delta\sigma_\theta)_{CT}$ と定義し、その値が最大となる方向にき裂を進展させた。なお、計算に用いた材料定数を表1に示す。

き裂長さ a と $(\Delta\sigma_\theta)_{CT}$ の関係の代表例を図6に示す。同図より、 $(\Delta\sigma_\theta)_{CT}$ はき裂長さが約 0.3mm 付近までは徐々に減少しているのがわかる。そこで、計算により得られた $a-(\Delta\sigma_\theta)_{CT}$ 関係と実験により得られた $a-da/dN$ 関係より a を消去すると、 da/dN と $(\Delta\sigma_\theta)_{CT}$ との間には次式が成立した。

$$da/dN = \beta \{ (\Delta\sigma_\theta)_{CT} - \gamma \}^\alpha \quad (1)$$

ここで、 $\alpha=2.0$ 、 $\beta=2.5 \times 10^{-9}\text{MPa}$ 、および $\gamma=230\text{MPa}$ である。このようにして求めた α 、 β 、 γ の値を用いて、 $\delta=50\mu\text{m}$ の場合の計算値と実験値とを比較したものを図7に示す。繰返し数とき裂長さの関係に対する計算結果と実験結果とはよく一致しており、今回求めたパラメータが妥当であることがわかる。また、図6(b)の計算結果より、Sn-3.5Ag-0.7Cu はんだ材の場合、 $\delta=25\mu\text{m}$ では疲労き裂が発生したとしても進展する応力まで達しないことがわかった。

Table 1 Mechanical properties used for numerical simulation ($T=303\text{K}$, $\nu=0.1\text{Hz}$)

Young's module E, GPa	28.0
Yield stress σ_Y , MPa	28.0
Poisson's ratio	0.30

(a) $\delta=50\mu\text{m}$

(b) $\delta=25\mu\text{m}$

Fig.6 Plot of maximum tangential stress range against crack length

Fig.7 Comparison of calculated result with experimental ones

参考文献

1. K.Kaminishi et al., Proc. ATEM'99, Vo.2, (1999), 721-726
2. K.Kaminishi et al., JSME Int. J., Vol.42, No.2, (1999), 272-279