

5 電子デバイスの鉛フリーはんだ接合部の強度評価法に関する研究

野崎峰男

1 目的

電子デバイスのはんだ接合部は、電源の on/off に伴い、はんだ接合部を構成する材料の熱膨張係数の差により繰返し熱応力を受ける。また、はんだ接合部は、はんだ付けの際に接合部品の形状の影響を受け、フィレットや切欠きを有する場合が多い。さらに、はんだは常温で著しくクリープを呈する材料である。したがって、動作中の電子デバイスのはんだ接合部は、応力集中を伴うクリープ疲労負荷を受けており、はんだ接合部の品質保証のためには、応力集中部に関するクリープ疲労寿命評価法を開発することが必要である。しかし、これまで、応力集中を伴うはんだ接合部のクリープ疲労寿命評価法に関する実験的研究はあまり実施されていない。

本研究では、これまでの報告書^{1,2)}で述べた Sn-3.5Ag はんだ環状切欠き試験片を用いたクリープ疲労試験結果および同試験片の切欠き底付近の有限要素解析結果に基づき、Sn-3.5Ag はんだ環状切欠き試験片のクリープ疲労寿命評価法を提案した。

2 実験方法

本研究で用いた Sn-3.5Ag はんだ環状切欠き試験片(弾性応力集中係数 $K_t = 2.6, 4.2$ および 6.0)の形状および寸法を図1に示す。試験片は、Sn-3.5Ag はんだの鍛造丸棒材(鍛造条件: 594K、空冷)から、図1の形状・寸法に切削加工して製作した。さらに、組織安定化のため試験直前に試験片の熱処理(430K×1h、空冷)を行った。

電気油圧サーボ疲労試験機により標点距離 10mm での公称ひずみ制御のクリープ疲労試験を実施した。ここで公称ひずみとは、切欠き部を含む標点間の変位を標点距離で除した値である。試験に用いたひずみ波形は、図2に示す pp、cc、pc、cp および th 波である。公称全ひずみ範囲($\Delta \epsilon_f$)は、すべての試験で 0.3% とし、試験温度は 313K(大気中)とした。

本研究では、き裂発生繰返し数(N_c)を交流電位差法により検出し¹⁾、き裂伝ば繰返し数(N_p)を $N_p = N_f - N_c$ で算出した。ここで、 N_f は破損繰返し数で、引張側応力振幅が $1/2 N_f$ サイクル時の引張側応力振幅の 25% に低下したときの繰返し数として定義した。

3 結果と考察

N_c 、 N_p および N_f の整理および予測を行うため、次

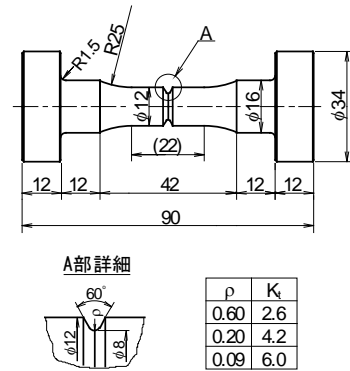


図1 試験片の形状および寸法 (mm)

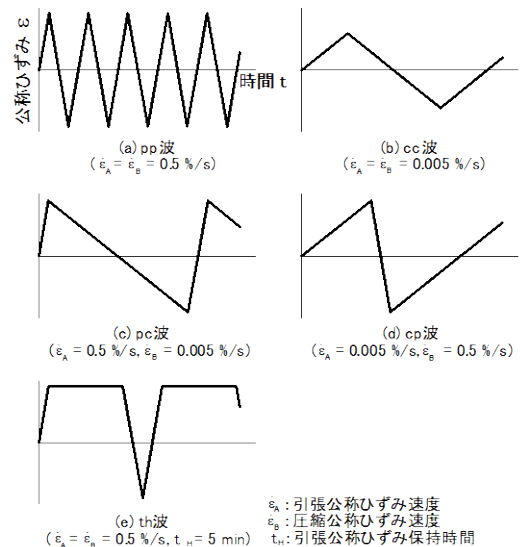


図2 ひずみ波形

式で定義される Mises 型平均ひずみ範囲($\Delta \bar{\epsilon}_{\lambda i}$, $i = c$ or f)を導入した。

$$\Delta \bar{\epsilon}_{\lambda i} = \frac{1}{\lambda_i} \int_0^{\lambda_i} \Delta \bar{\epsilon} d\lambda, \quad \lambda_i = \frac{\bar{a}_i}{R} \quad (1)$$

ここで、 $\bar{a}_c (=0.056 \text{ mm})$ および $\bar{a}_f (=1.194 \text{ mm})$ はそれぞれき裂発生および破損繰返し数でのき裂長さ²⁾の平均であり、 $R (=4 \text{ mm})$ は切欠き底断面の半径である。また、Sn-3.5Ag はんだ環状切欠き試験片を用いたクリープ疲労試験結果から、 K_t は、 N_f よりも N_c に及ぼす影響が大きく、ひずみ波形は、 N_c よりも N_f に及ぼす影響が大きいことが明らかとなっている¹⁾。したがって、 N_c

および N_f に及ぼす K_i およびひずみ波形の影響を考慮し、また、前報²⁾で報告した有限要素解析において、切欠き底から試験片中心軸方向への距離 \bar{a}_c の範囲での Mises 型相当ひずみの平均は、 N_c に影響を及ぼし、切欠き底から試験片中心軸方向への距離 \bar{a}_f の範囲でのそれは、 N_f に影響を及ぼすと仮定すると、 N_c および N_f の評価式は次式となる。

$$N_i = 1.031 \times 10^4 (\Delta \bar{\varepsilon}_{\lambda i})^{-1.947} W \quad (i = c, f) \quad (2)$$

$$W = 1.01 (\dot{\varepsilon}_c)^{0.0169} + (\dot{\varepsilon}_p / \dot{\varepsilon}_c)^{0.444} + (\dot{\varepsilon}_p / \dot{\varepsilon}_c)^{-0.551} + 0.683 \exp(-39.2 t_H) + 0.317 \quad (3)$$

ここで、式(2)は pp 波における Sn-3.5Ag はんだ平滑材³⁾の N_f と全ひずみ範囲との関係であり、 W は Sn-3.5Ag はんだ平滑材の N_f のひずみ波形による低下率を示している。また、式(3)におけるそれぞれの項は、Sn-3.5Ag はんだ平滑材を用いたクリープ疲労試験結果³⁾から得られたものであり、 $\dot{\varepsilon}_c$ および $\dot{\varepsilon}_p$ は、それぞれひずみ波形の slow 部および fast 部のひずみ速度、 t_H は引張りひずみ保持時間である。式(3)の右辺第1項は、Sn-3.5Ag はんだ平滑材の pp 波の N_f を基準にした場合の cc 波による N_f の低下率、第2~4項は、それぞれ pc、cp および th 波による N_f の低下率を示している。なお pp 波での N_i は式(2)で $W=1$ として求め、 N_p の算出には実験値と同様に $N_p = N_f - N_c$ を用いた。

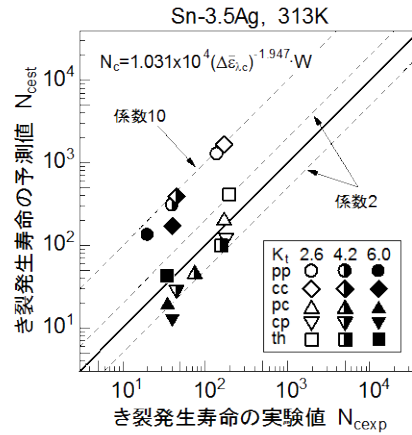
図3に式(1)~(3)より予測した N_c 、 N_p および N_f とそれぞれの実験値を比較したものを示す。図3(a)で N_c の予測値と実験値は、pc、cp および th 波はほぼ係数2の範囲内で整理できたが、pp および cc 波は係数10付近の危険側に整理された。また、図3(b)より N_p の予測値と実験値は、pc および cp 波は係数2の範囲で整理され、pp、cc および th 波は係数2から6までの危険側に整理された。さらに、図3(c)より N_f の予測値と実験値は、pc および cp 波は係数2の範囲内で整理されたが、pp、cc および th 波は係数2から5までの危険側に整理された。

4 結 論

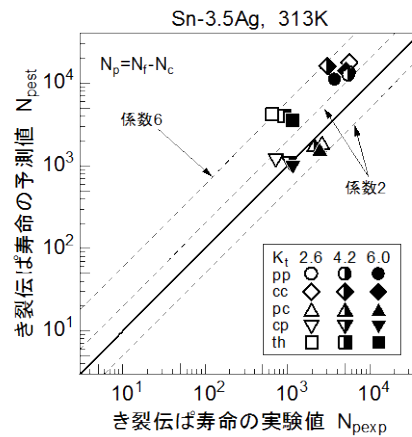
Sn-3.5Ag はんだ環状切欠き試験片を用いたクリープ疲労試験を実施した結果、き裂発生繰返し数は、切欠き底から深さ約 0.06mm までの Mises 型平均ひずみ範囲で十分評価でき、破損繰返し数は、切欠き底から深さ約 1.2mm までの Mises 型平均ひずみ範囲とひずみ波形効果で評価できることが明らかとなった。

参 考 文 献

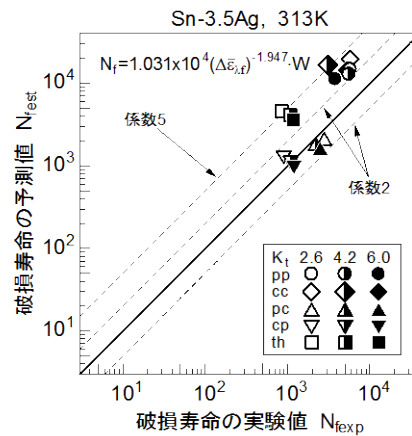
- 野崎峰男, 兵庫県立工業技術センター研究報告書, 18, 43 (2009).
- 野崎峰男, 兵庫県立工業技術センター研究報告書, 19, 11



(a) き裂発生寿命



(b) き裂伝ば寿命



(c) 破損寿命

図3 Mises 型平均ひずみ範囲による寿命予測値と実験値との比較

(2010).

- M. Nozaki, M. Sakane, Y. Tsukada, and H. Nishimura, J. Eng. Mater. Tech., ASME, 128, 142 (2006).

(文責 野崎峰男)

(校閲 福地雄介)