

7 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、例えば銅合金、樹脂およびはんだなど異なった熱膨張係数を有する材料で構成されている。したがって、はんだ接合部は、電源の on/off 等に伴い、接合部品間の熱膨張係数の差により繰返し熱応力を受ける¹⁾。一方、はんだ接合部の形状は、はんだ付けの際、素子からのリードおよび基板側のランド等の被接合物の形状の影響によりフィレットや切欠き状になる場合が多い²⁾。また、はんだは常温でも著しくクリープを呈する材料である。このため、動作中の電子デバイスのはんだ接合部は、応力集中部に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の開発が必要である。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、前報³⁾で報告した Sn-3.5Ag はんだの環状切欠き試験片を用いたクリープ疲労試験と同条件で、切欠き付近の有限要素解析を実施し、切欠き底断面の Mises 型相当ひずみを評価した。さらに、環状切欠き試験片のクリープ疲労寿命評価に適用するため、クリープ疲労試験から得られたき裂発生、き裂伝ばおよび破損繰返し数に及ぼす切欠き底断面の Mises 型相当ひずみの影響を考察した。

2 実験方法および結果

本研究で用いた供試材の化学成分を表 1 に、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 はんだの延べ棒を直径 50mm、長さ 200mm のインゴットに鋳造（594K、空冷）し、図 1 の形状・寸法に切削加工した。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⁴⁾。

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。ひずみ波形は、fast 部、slow 部および引張りひずみ保持部で構成される 5 種類（pp、cc、pc、cp および th 波）のものを用いた³⁾。公称全ひずみ範囲（ D_e ）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

表 1 供試材の化学成分 (wt.%)

Ag	Sb	Cu	Bi
3.51	0.005	0.001	0.001
Fe	As	Pb	Sn
0.003	0.008	0.026	Bal.

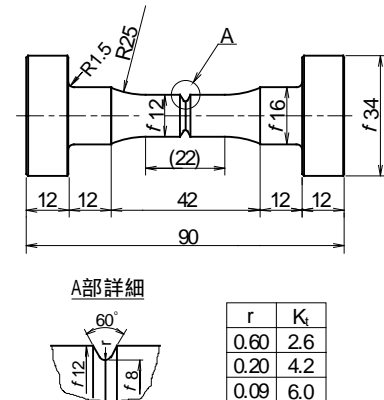


図 1 試験片の形状および寸法 (mm)

により検出し、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。

き裂長さ a と繰返し数の関係を図 2 に示す。ここで、き裂長さ a は、環状切欠き試験片の試験片内部方向へのき裂深さとし、次式⁵⁾から算出した。

$$\frac{V_{\max}}{V_0} = 1 + 18.0 \frac{\sigma a}{\sigma_0} \frac{0.188}{\sqrt{2R}} \quad (1)$$

式(1)で、 V_{\max} は 1 サイクル中における最大引張公称ひずみ時の電位差、 V_0 は実験前の無負荷時での電位差、 R は切欠き底断面の半径である。

図 2 より各ひずみ波形で繰返し数の増加に伴い、き裂長さは線形に増加した。また、き裂伝ば速度（ da/dN ）は、各ひずみ波形であまり K_t に依存していない。

3 解析方法および結果

切欠き底断面の Mises 型相当ひずみを汎用有限要素プログラム MARC により評価した。図 3 に一例として解析に用いた $K_t = 2.6$ の要素分割図を示す。

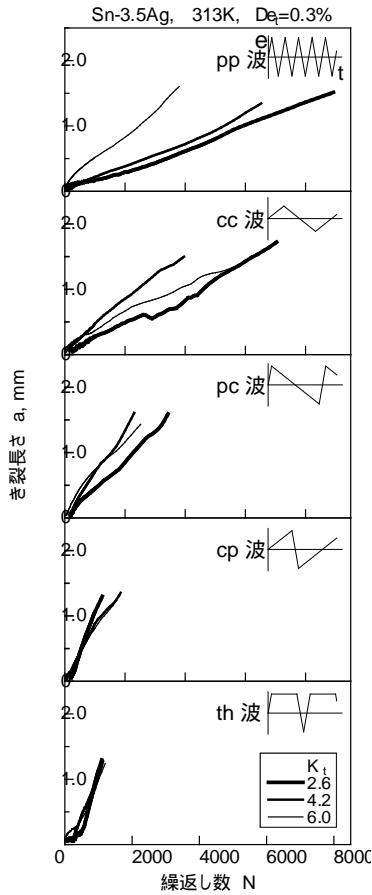


図2 き裂長さと繰返し数の関係

解析で用いた繰返し応力-ひずみ関係は、平滑材の pp 波での応力-ひずみ関係⁶⁾を多直線近似したものである。なお、ヤング率は 35MPa、ポアソン比は 0.3 とし、硬化則には MARC 複合則を使用した。また、クリープ構成関係は、平滑材の th 波⁶⁾のひずみ保持期間中の応力の変化から得られた Norton 則を用いた。

有限要素解析の負荷条件は、図3の上端 AB をひずみ波形に従い3サイクル分変位させた。なお、節点 A は伸び計の先端が接触する点に対応している。

有限要素解析により得られた切欠き底断面の Mises 型相当ひずみ範囲 ($D\epsilon$) の分布を図4に示す。図より、いずれのひずみ波形においても切欠き底からの距離の 0~約 1mm の範囲で、 $D\epsilon$ が著しく大きくなった。このことにより、切欠き底断面における切欠き底からの距離 0~約 1mm の環状部分の $D\epsilon$ が、環状切欠き試験片のき裂発生、き裂伝ばおよび破損繰返し数に主として関与すると推察される。

4 結 論

クリープ疲労における Sn-3.5Ag はんだの環状切欠き試験片のき裂伝ば速度は、弾性応力集中係数にあまり依存しない。また、有限要素解析の結果から、いずれのひ

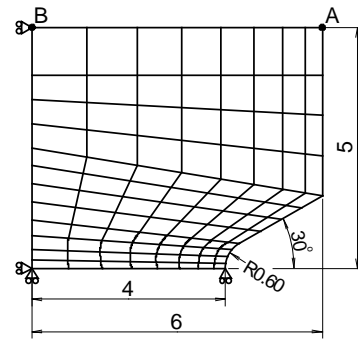


図3 切欠き部 ($K_t = 2.6$) の要素分割図 (mm)

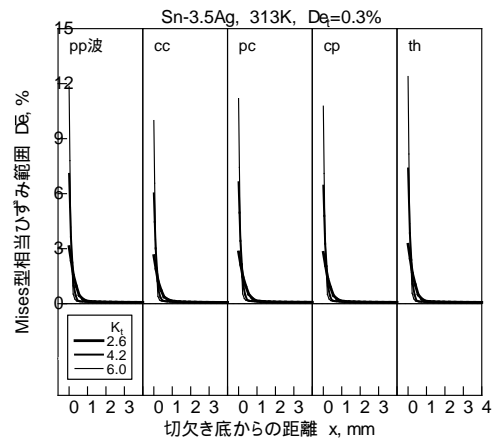


図4 切欠き底断面における Mises 型相当ひずみ範囲の分布

ずみ波形においても切欠き底からの距離の 0~約 1mm の範囲で、Mises 型相当ひずみ範囲が極めて大きくなった。このことにより、切欠き底断面における切欠き底からの距離 0~約 1mm の環状部分の Mises 型相当ひずみは、環状切欠き試験片のき裂発生、き裂伝ばおよび破損繰返し数に著しく影響を及ぼすと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 須賀唯知：鉛フリーはんだ技術，日刊工業新聞社，(1999)，p.57
- 2) 大澤直：はんだ付の基礎と応用，工業調査会，(2000)，p.21
- 3) 野崎峰男，兵庫県立工業技術センター研究報告書，18，43 (2009)。
- 4) はんだのクリープ疲労試験法標準，日本材料学会，(2000)。
- 5) M. Sakane, and M. Ohnami, J. Eng. Mater. Tech., ASME, 110, 247 (1988)。
- 6) 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)