

はんだミニチュア試験片による 電子デバイスはんだ接合部のクリープ疲労寿命予測法の開発

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、被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。さらにはんだは、室温で著しくクリープを呈するため、動作中の電子デバイスのはんだ接合部は、疲労とクリープによる損傷を受けることが知られている¹⁾。これまで、はんだ接合部の疲労およびクリープ損傷を評価するため、はんだの試験片を用いた数々のクリープ疲労寿命評価が実施されてきた²⁻⁴⁾。しかし、電子デバイスのはんだ接合部の寸法は、約 0.1~1mm であるにもかかわらず、これらのクリープ疲労寿命評価は、ほとんどが直径 10mm 程度の断面形状の試験片(バルク試験片)を用いたものであった。したがって、はんだ接合部の設計への適用を目指したクリープ疲労寿命評価を実施するためには、試験片の寸法をはんだ接合部とできるだけ同等の寸法(ミニチュア試験片)にすることが必要となる。

これまで、電子デバイスのはんだ接合部が受ける複雑なひずみの変化をモデル化したひずみ波形(複合ひずみ波形)を Sn-3.0Ag-0.5Cu ミニチュア試験片に負荷し、Sn-3.0Ag-0.5Cu を接合材として用いた電子デバイス接合部のクリープ疲労寿命予測法について検討した。本研究ではさらに複合ひずみの負荷条件を追加した実験を行い、クリープ疲労寿命予測法の Sn-3.0Ag-0.5Cu はんだ接合部への適用性について明らかにした。

2 実験方法

ミニチュア試験片(標点部断面の直径: 3mm、平行部の長さ約 6.4mm)⁵⁾のクリープ疲労試験は、電気油圧サーボ疲労試験機を使用し、図 1 に示す基本および複合ひずみ波形を用いて温度 313K で実施した。複合ひずみ波形とは波形の異なる基本波形で構成され、TH 波に対して PC 波または CP 波を組み合わせたものである。全ひずみ範囲は、PP 波では 0.5、0.7、1.0、1.2%の 4 レベル、CC、PC、CP、TH、THPC、THCP 波ではそれぞれ 0.7%とした。また破損繰返し数 N_f は、引張側応力振幅が $1/2 N_f$ 時のそれから 25%低下したときの繰返し数として定義した。

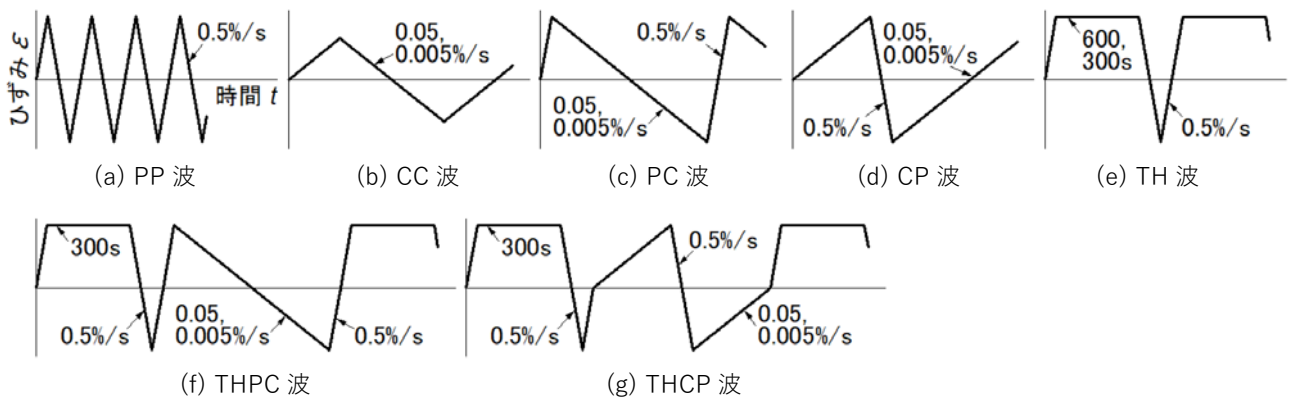


図 1 基本ひずみ波形(上段)および複合ひずみ波形(下段)

3 結果と考察

Sn-3.0Ag-0.5 ミニチュア試験片のクリープ疲労寿命予測に適用した粒界すべり損傷モデル(GBSM)⁴⁾は、はんだのバルク試験片に対して開発されたものである。クリープを含む任意のひずみ波形により負荷された材料は、各ひずみ波形成分で生じる粒界すべりの量 u_{CC} 、 u_{PC} 、 u_{CP} および u_{TH} の和が限界値 u_{CR} に達したとき破壊するという仮定に基づいたモデルである。したがって、同モデルは次式で記述される。

$$\frac{du_{CC}}{dN} + \frac{du_{PC}}{dN} + \frac{du_{CP}}{dN} + \frac{du_{TH}}{dN} = \frac{du_{CR}}{dN} \quad (1)$$

ここで、式(1)の左辺の各項は、CC、PC、CP、TH 波をそれぞれ単独で負荷した場合の 1 サイクルあたりの損傷 $1/N_{CC}$ 、 $1/N_{PC}$ 、 $1/N_{CP}$ 、 $1/N_{TH}$ に比例するとし、右辺は 1 サイクルあたりの全損傷 $1/N_f$ に比例すると仮定すると、式(1)は式(2)に変形でき、この式で評価した N_f が粒界すべり損傷モデルを用いた予測破損寿命である。

$$\frac{1}{N_{CC}} + \frac{1}{N_{PC}} + \frac{1}{N_{CP}} + \frac{1}{N_{TH}} = \frac{1}{N_f} \quad (2)$$

図 2(a)より、Sn-3.0Ag-0.5Cu ミニチュアおよびバルク試験片ともにほぼすべての基本ひずみ波形について、係数 2 の範囲で予測破損寿命と実験破損寿命が一致した。一方、複合ひずみ波形(図 2(b))は、THPC 波および THCP 波について、それぞれ係数 3 および係数 2 の範囲内で評価された。したがって、粒界ひずみ損傷モデルを用いた Sn-3.0Ag-0.5Cu ミニチュア試験片の予測破損寿命は、基本ひずみ波形および複合ひずみ波形ともに実験破損寿命とほぼ良好に一致することが明らかになった。

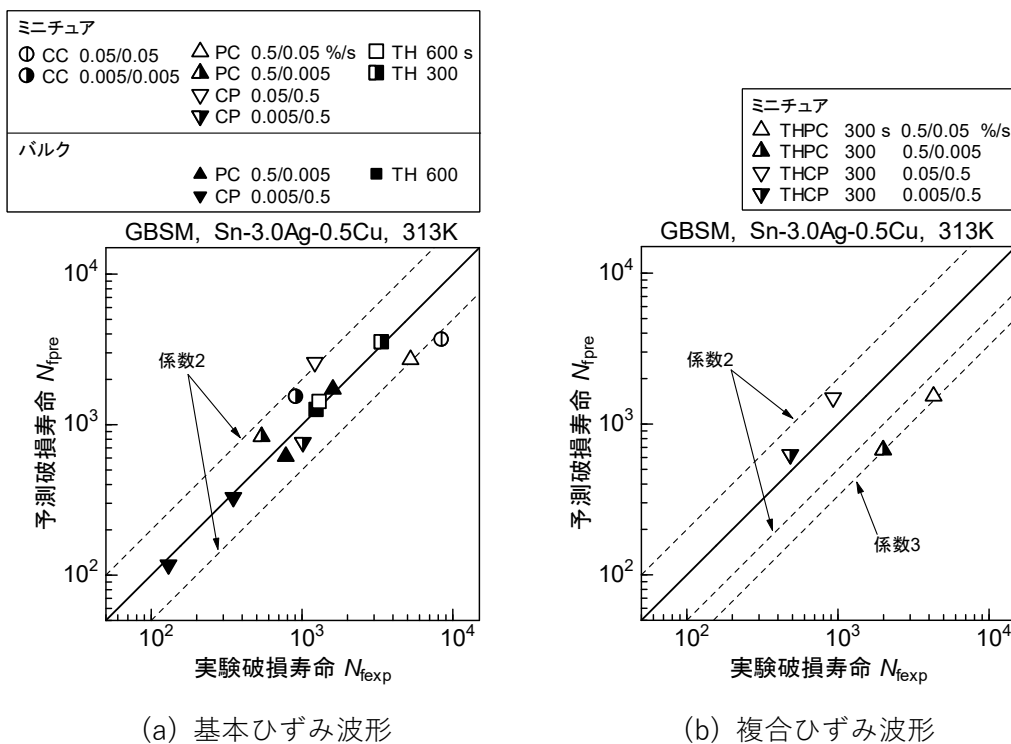


図 2 粒界すべり損傷モデルによる予測破損寿命と実験破損寿命との比較

4 結論

Sn-3.0Ag-0.5Cu ミニチュア試験片を用いた基本および複合ひずみ波形によるクリープ疲労試験を実施し、得られた破損寿命データに粒界すべり損傷モデルを適用した結果、ほぼすべての基本ひずみ波形について、係数 2 の範囲で予測破損寿命と実験破損寿命が一致した。一方複合ひずみ波形は、THPC 波および THCP 波について、それぞれ係数 3 および係数 2 の範囲内で評価された。したがって、粒界ひずみ損傷モデルを用いた Sn-3.0Ag-0.5Cu ミニチュア試験片の予測破損寿命は、基本ひずみ波形および複合ひずみ波形ともに実験破損寿命とほぼ良好に一致することが明らかになった。

参考文献

- 1) 日本溶接協会編：標準マイクロソルダリング技術，日刊工業新聞社，135 (2002)
- 2) X.J.Yang, C.L.Chow, and K.J.Lau, Int.J.Fatigue, 25, 533 (2003)
- 3) Y.Tsukada, H.Nishimura, H.Yamamoto, and M.Sakane, ASME J.Electron.Packag., 127, 407 (2005)
- 4) M.Nozaki, M.Sakane, Y.Tsukada, and H.Nishimura, ASME J.Eng.Mater.Technol., 128, 142 (2006)
- 5) 日本材料学会はんだ強度評価法 WG：はんだのミニチュア試験法標準Ⅲ 低サイクル疲労試験，JSMS-SD-17-20，日本材料学会，5 (2020)

(問合せ先 野崎峰男)