620

鉛フリーはんだの低サイクル疲労特性

北海道大学[院]	〇 瓜生淳一	北海道大学	佐々木克彦
北海道大学	石川博將	秋田大学	大口健一

1. はじめに

近年、環境問題から鉛を含まないはんだを電子パッ ケージの微細接続に用いる試みがなされ、鉛フリーは んだの力学的特性および疲労特性を解明することが急 務となっている.

本研究では、電子デバイス接続部の鉛フリー化のた めの新しい材料として有望視されている, すず-銀系 はんだSn-3.5Ag-0.75Cu材の力学的特性を明らかにし, さらに、低サイクル疲労寿命評価法について検討する.

2. 実験方法

鋳造した Sn-3. 5Ag-0. 75Cu 材試験片を用いて,純粋 引張り負荷試験,および疲労試験を行った.試験片は, 試験部外形5mm,ゲージ長さ20mmの中実円筒形であり, 残留応力を除去するため鋳造後2週間室温で放置した 後,実験に使用した.試験には,引張・圧縮試験機 (Instron 社製 Model 5565)を使用し、ひずみは試験機ク ロスヘッド移動距離と試験片の標点間距離から算出し, 応力は試験機設置のロードセルより検出した. すべて の実験は、試験機付属の恒温槽により雰囲気温度を一 定に保ち行った.

3. 実験結果

3・1 純粋引張り負荷試験 図1は303K, 323K, 343K の雰囲気温度下において、それぞれひずみ速度 0.1%/s, 0.01%/s, 0.001%/sでの純粋引張り負荷を温度 ー 毎にまとめた結果である. Sn-3.5Ag-0.75Cu 材は Sn-40Pb材¹¹よりも高い応力値を示し、Sn-40Pb材とほぼ同 様に、いずれの条件においてもひずみ約0.7%以降で一 定応力でひずみが進行する領域が存在する.また,Sn-40Pb材ほど顕著ではないが、いずれの温度においても ひずみ約0.4%以降でひずみ速度依存性,雰囲気温度依 存性が確認できる.

3・2 疲労試験 表1に示す負荷条件で疲労試験 を行った、図2には一例として雰囲気温度343K,ひず み速度0.1%/s, ひずみ振幅1.5%での応力-ひずみ曲線 を示す.図3に雰囲気温度323Kにおいての疲労試験結 果を示す. 各点に付記してある数字は試験片番号であ り、表1に対応している.図3から以下の事が分かる. (1)破断までのサイクル数はひずみ振幅に大きく依存す る.(2)破断までのサイクル数は雰囲気温度の影響をあま り受けない. (3) ひずみ振幅1.0%, 1.5%では実験開始直 後から応力が低下し破断に至るが、それに比べひずみ 振幅0.5%では応力低下の割合は小さく,破断は脆性的 である.

非弾性仕事率密度による疲労寿命評価 $3 \cdot 3$ 法 一般に, 金属材料における塑性変形を伴う低サイ クル疲労では、ひずみ振幅あるいは応力振幅を用いた

Coffin-Manson形の疲労寿命評価法が行われているが, Sn-40Pb材においては、ひずみ速度、雰囲気温度の影響 が著しく、ひずみ振幅が同一であってもループ形状が 大きく異なるため,非弾性仕事率密度を用いた評価法 が適当であった⁽¹⁾. 前述したように, Sn-3. 5Ag-0. 75Cu 材においてもSn-40Pb材ほど顕著ではないもののひず



Fig. 1 Stress-strain curves of pure tension

み速度依存性,雰囲気温度依存性が確認されている.そこで,非弾性仕事率密度を用いた評価法でSn-3.5Ag-0.75Cuはんだ材の低サイクル寿命評価を試みた.非弾性仕事率密度P_{in}は次式で定義する.

$$P_{in} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

ここで, ΔSは, 図2に示したループの安定時の面積で 表される単位体積あたりの塑性ひずみ仕事, Δtは繰返 し負荷1サイクルに要する時間である.ただし前段落 で述べた性質を考慮し,疲労寿命N_eは破断点までのサ イクル数とした.

図4に疲労寿命N_fと非弾性仕事率密度P_{in}の関係を示 す.図4において疲労寿命N_fと非弾性仕事率密度P_{in}の 関係は直線で表現され,Sn-3.5Ag-0.75Cu材においても 非弾性仕事率密度を用いた疲労寿命評価法が有効であ ることが分かる.疲労寿命N_fと非弾性仕事率密度P_{in}の 関係を式で表すと

 $N_f = 2.55 \times 10^5 P_{in}^{-2.31}$

となり,この式により Sn-3.5Ag-0.75Cu 材の疲労寿命 を評価することが出来る.

4. 結論

本研究では、すずー銀系はんだ Sn-3. 5Ag-0. 75Cu 材 の引張り試験,疲労試験を行った. その結果,以下の結 論を得た.

(1)引張り試験において, Sn-40Pb材と同様に, 温度

Tablel Test condition for fatigue tests

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperature(K)	303		323			343		373	393	
Strain amplitude(%)	0.5	1.0	1, 5	0.5	1.0	1.5	1.0	1.5	0.5	0.5
Strain rate(%/s)	0.1	0.1	0, 1	0.1	0.1	0. 1	0.1	0. 1	0.1	0.1





依存性, ひずみ速度依存性が有る. ただし, Sn-40Pb材 ほど顕著ではない.

(2)非弾性仕事率密度を用いた疲労寿命評価法によって, Sn-3.5Ag-0.75Cu材の疲労寿命評価が可能である.

参考文献

1) 大口健一・佐々木克彦・石川博將, 繰返し粘塑 性構成式を用いた60Sn-40Pb材の疲労寿命予測, 機論, 62-594, A(1996), 202-208





Fig. 4 Inelastaic work density per unit time versus fatigue life