

1 緒 言

エレクトロニクス実装の分野では、毒性のある鉛を含む Sn-Pb 共晶はんだを鉛フリーはんだに代替する動きが進んでいる。代表的な鉛フリーはんだの一つに Sn-Ag-Cu 系はんだがある。

我々は、代表的な鉛フリーはんだの一つである Sn-3.5Ag-0.75Cu と Sn-Pb 共晶はんだとの機械的特性の違い、特に応力緩和特性の違いに着目して、表面実装用途に使用した場合の注意点について考察した。

また、Sn-3.5Ag-0.75Cu はんだは応力緩和しにくいことから、従来の弾クリープモデルではシミュレーション精度が悪いと考え、ひずみを弾性ひずみ、塑性ひずみ、クリープひずみの和で表した 3 要素 Maxwell モデルによる粘塑性構成式を提案し、汎用有限要素法ソフト ANSYS に組み込んだ。これを用いて、モバイル機器の鉛フリーはんだ実装評価用曲げ試験に対して寿命予測を試みた。

2 材料実験

はんだ材料の機械的特性は、平行部長さ 5mm のダンベル形状の試験片により、Instron 5567 を用いて測定した。試験片の寸法および試験治具を Fig.1 に示した。応力緩和試験は単軸引張り試験中に一定ひずみでクロスヘッドを停止させて行った。

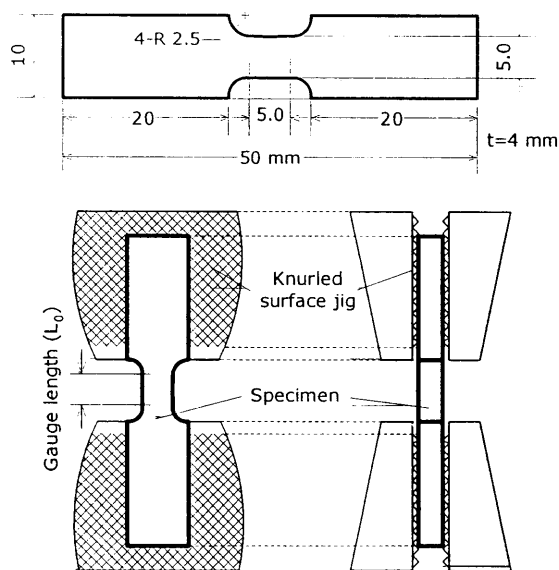


Fig.1 Dimensions for mechanical test specimens and jig.

ひずみ速度 0.1%/sec で引張り、ひずみ 0.5% で停止させた時の応力緩和試験結果を Fig.2 に示す。クロスヘッド停止と同時に急速に応力が低下する。Sn-Pb 共晶はんだは、1 時間後には応力が 5 分の 1 に低下するのに対して、Sn-3.5Ag-0.75Cu 鉛フリーはんだは応力半減程度である。応力緩和のしやすさの違いがある。これは両者のクリープ特性の違いに起因しており、弾性ひずみがクリープひずみに変わる過程で応力が低下すると考えられる。

このはんだ材料特性の違いは、電子部品の実装においては、重要な問題と考えられる。はんだによる表面実装後に温度を下げ室温においた状態での、電子部品や回路基板の残留応力が Sn-Pb 共晶はんだと Sn-3.5Ag-0.75Cu では異なると考えられ、温度サイクル試験などのはんだ接続信頼性の違いとして表れると予想される。

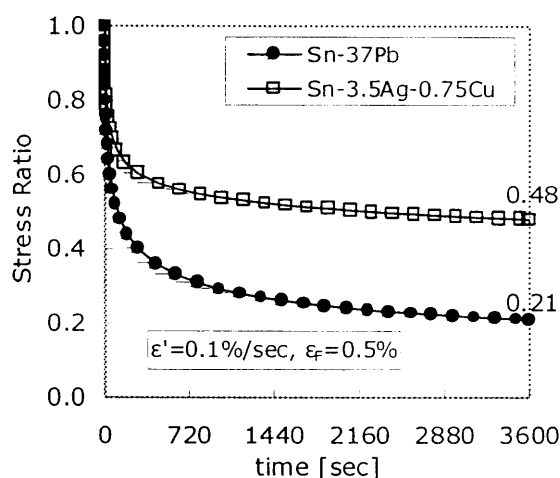


Fig.2 Result of stress relaxation test at R.T., strain ratio: 0.1 %/sec, fixed strain: 0.5 %.

3 鉛フリーはんだの力学的構成式

温度サイクル試験や曲げ試験など、電子部品の信頼性評価では結果的にひずみ制御で試験されることが多いため、より精度の高い Maxwell 型のモデル⁽¹⁾を選んだ。

ここでは、はんだに生じる全ひずみを弾性ひずみ、塑性ひずみ、クリープひずみの和で表されるとする 3 要素 Maxwell モデルを考えた (式 1)。

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_p + \varepsilon_c \quad \cdots \text{(式 1)}$$

ここで ε_e は弾性ひずみ、 ε_p は塑性ひずみ、 ε_c はクリープひずみである。

弾性ひずみおよび塑性ひずみは時間依存性がないとして

Ramberg-Osgood の式を用いて近似し、クリープひずみは Norton 則を用いて記述した。

単軸の力学的構成式を式2に増分形式で示した。

$$d\varepsilon = d\sigma / E + B \sigma^m d\sigma + A \sigma^n dt \quad \dots \quad (式2)$$

ここで $d\varepsilon$ はひずみ増分, $d\sigma$ は応力増分, A, B, m, n は材料定数, E はヤング率である。実際には背応力を考慮してバウシinger効果を表現できる工夫などを行った⁽²⁾。

Fig.3 は 50℃における引張り-圧縮繰返し試験 (ひずみ振幅 0.5%) の実験結果と構成式によるシミュレーション結果を重ねて示したものである。両者は良く一致している。

この構成式を、汎用有限要素法ソフトANSYSにユーザサブルーチンとして組み込んだ。

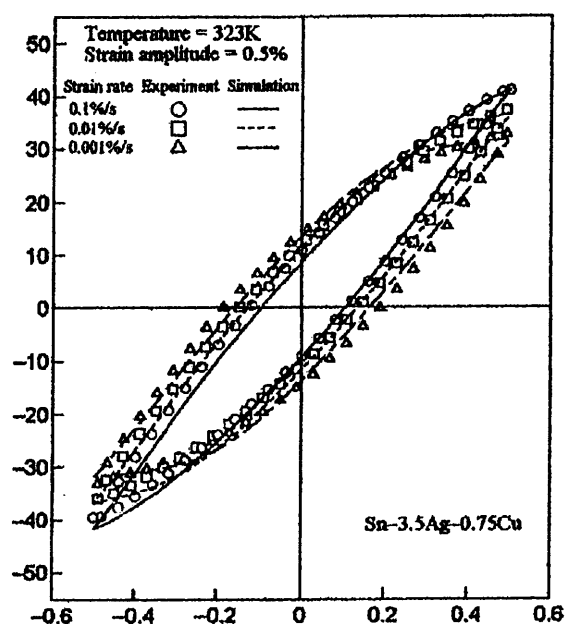


Fig.3 Comparison of experimental and simulation results. Strain amplitude=0.5%, Temperature=50℃

4 モバイル機器の寿命予測

鉛フリーはんだで実装されたモバイル機器用電子部品の接続信頼性評価試験の一つである3点曲げ試験の模式図と有限要素法モデルを Fig.4 に示した。

寿命予測は、シミュレーションにより得られた相当応力と非弾性ひずみから損失エネルギーを求める方法を探った。結果、実験における曲げ寿命 10,500~31,000 に対して、3,500~10,300 回という結果が得られた。

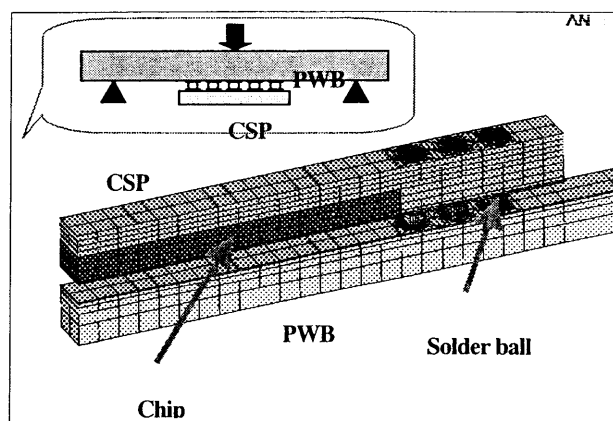


Fig.4 3point bending test for Chip Size Package mounted on PWB by Pb free solder.

参考文献

- 1) 山田嘉昭著, 「塑性・粘塑性」
- 2) 大口健一, 佐々木克彦, 計算力学講演会論文集, 01-10, 493 (2001).