

Sn-3.5Ag はんだの熱疲労寿命評価

石川高専
福井大○旭吉雅健
伊藤隆基

立命大 坂根政男

Thermo Mechanical Fatigue Life for Sn-3.5Ag Solder

Noritake HIYOSHI, Masao SAKANE and Takamoto ITOH

1 緒 言

電子デバイスのはんだ接合部では、電源の ON/OFF の繰返しに伴い、被接合部材間の熱膨張係数の違いにより温度変動下での疲労損傷、つまり熱疲労が生じる。はんだについては、低サイクル疲労やクリープ、クリープ疲労などに関する研究は報告^{1),2)}されているが、それらのほとんどが等温下での知見であり、実環境下により近い熱疲労に関するデータの蓄積が望まれている。本研究では、はんだ用熱疲労試験装置を用いて Sn-3.5Ag の熱疲労実験を行った。得られた熱疲労寿命と、等温下での低サイクル疲労寿命との比較・考察を行った。

2 熱疲労試験装置および実験方法

2.1 はんだ用熱疲労試験装置 島津サーボパルサーシリーズの標準的の本体である E50kN 型に温度制御装置を取付けることによって熱疲労試験を行った。加熱には 5kw の高周波誘導加熱装置を用い、出力を PID で調整して高温側の温度を制御した。実験機での環境温度が室温以下となることが多いことから、熱疲労試験の温度範囲の下限はサブゼロの温度域が要求される。本試験装置では、コンプレッサーおよび 2 元冷凍式冷風発生装置を用いて、試験槽内の試験片に冷風を吹付けることによって -20℃ まで冷却した。試験槽内の様子を Fig. 1 に示す。なお、昇降温速度は 1℃/s である。

試験装置の性能確認結果の一例を Fig. 2 に示す。温度サイクル -20℃ ~ 150℃、機械的ひずみ範囲 $\Delta \epsilon_{mech}$ が 1.5% の in-phase 型 (高温・引張 - 低温・圧縮) の熱疲労試験を行った。なお、ここで機械的ひずみ ϵ_{mech} は、伸び計で計測される全ひずみ ϵ_{total} から熱ひずみ $\epsilon_{thermal}$ を差し引いた値である。同図は 1 サイクル中の試験片温度 (太実線)、全ひずみ (破線)、機械的ひずみ (実線) を示したものである。温度プロファイルには大きな乱れもなく試験片は目標温度サイクルである -20℃ ~ 150℃ を達成している。機械的ひずみ ϵ_{mech} は、試験ソフトウェアの熱ひずみ補正機能によって、高温引張側、低温圧縮側ともに 0.75% のひずみ振幅であり、所望の三角波が得られた。

2.2 実験方法 非鉛系はんだである Sn-3.5Ag を供試材として、機械的ひずみ制御の in-phase 型熱疲労試験を行った。温度サイクルは -20℃ (253K) ~ 80℃ (353K) とした。試験片は外径 10mm、平行部長さ 15mm を有する中実試験片である。試験片標点部をエメリー紙およびバフで研磨し、その後組織安定化のために融点の 87% の

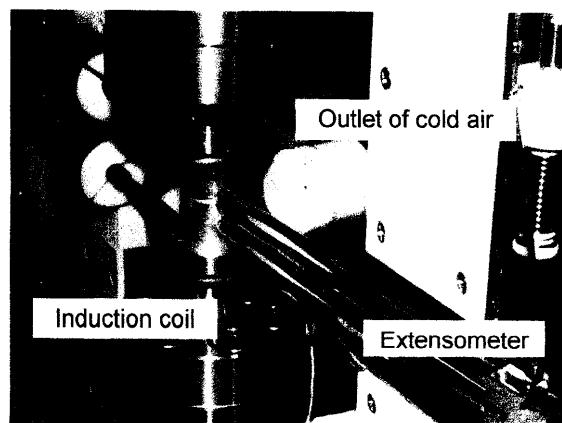


Fig. 1 Induction heating coil and cold air outlet.

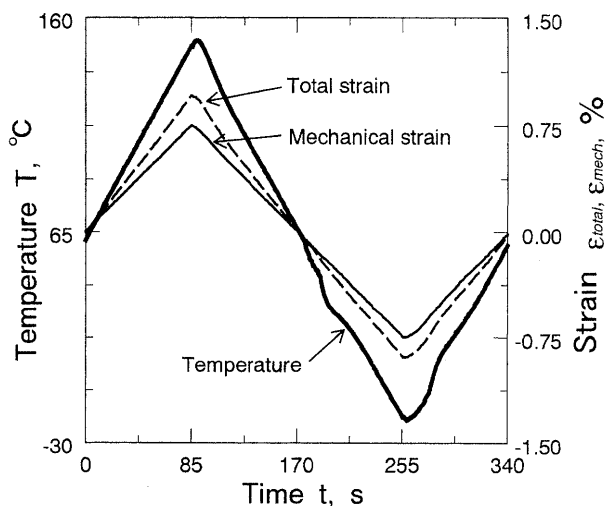


Fig. 2 Waveforms of temperature, total strain and mechanical strain as a function of time in a cycle.

温度 (157℃) で 1 時間の熱処理を施した。

伸び計の固定には、等温下での低サイクル疲労試験やクリープ疲労試験で推奨³⁾されているように、試験片の表面に塗布した少量のエポキシ樹脂にくぼみを設け、そのくぼみに伸び計先端を押し当てる方法を採用した。温度降下過程の冷風吹付け時には伸び計先端にも冷風が当たるが、Fig. 2 に示したように伸び計からの信号の乱れはほとんどなく、上述した固定方法は熱疲労試験にも効果的であることを確認した。

熱ひずみ補正を行うためには、試験片の加熱膨張に伴う熱ひずみ量をあらかじめ求めておく必要がある。試験開始前に、荷重ゼロ制御のもとで数サイクルの加熱冷却を行い、熱ひずみ曲線を計測した。なお、熱疲労寿命の

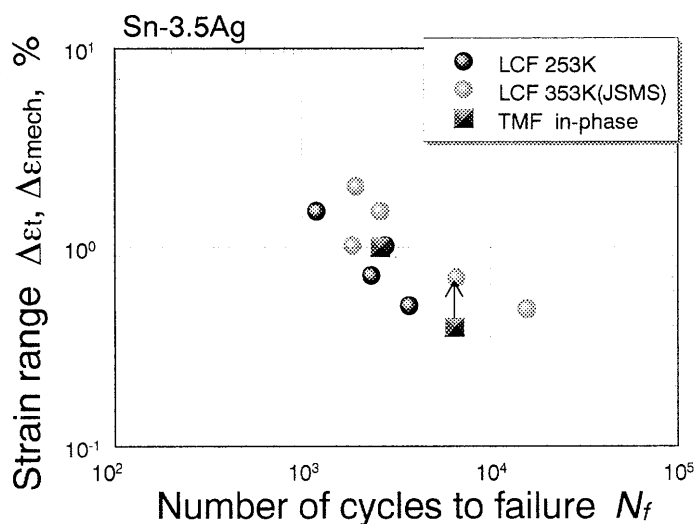


Fig. 3 Correlation of fatigue lives with total strain and mechanical strain ranges.

定義は引張側の最大荷重振幅が 75%に低下した時点のサイクル数とした。

3 実験結果

熱疲労 (TMF) 寿命と等温下での低サイクル疲労 (LCF) 寿命²⁾との比較を Fig. 3 に示す。熱疲労については機械的ひずみ範囲 $\Delta\epsilon_{mech}$ を用いて、低サイクル疲労での破損寿命と比較した。これまで、耐熱合金では熱疲労の上限温度での等温低サイクル疲労と比較して、熱疲労寿命が短寿命であることが知られている。しかし、Sn-3.5Ag の in-phase 型の熱疲労寿命は、上限温度である 353K での低サイクル疲労と同程度であった。すなわち、 $\Delta\epsilon_{mech}=0.7\%$ では 353K での低サイクル疲労寿命は 6650 サイクルであるのに対し、熱疲労寿命は 6500 サイクルであった。 $\Delta\epsilon_{mech}=1.0\%$ については、353K での低サイクル疲労よりも熱疲労が長寿命となる結果であったが、概して熱疲労のデータは低サイクル疲労を近似した曲線上にプロットされることがわかる。したがって、はんだの in-phase 型の熱疲労寿命評価には、温度サイクルの上限温度での低サイクル疲労寿命データが活用できることが示唆される。

Fig. 4 は、機械的ひずみと応力とのヒステリシスループであるが、等温疲労試験でのものと大きく異なっている。ループ形状は、応力とひずみゼロ点を中心とした点対称性がなく、応力も高温引張側と低温圧縮側とで大きく異なる。in-phase 型の熱疲労試験では、高温引張側の応力振幅は +25MPa 程度であるのに対し、低温圧縮側のそれは -36MPa と約 1.4 倍の応力差を生じていた。低温圧縮側で応力が高くなるのは、低温度でははんだの変形抵抗が大きくなることによるものと思われる。また、最大圧縮応力は最大圧縮ひずみ時に見られるが、引張側の最大応力はひずみゼロ付近であった。

Fig. 5 は熱疲労試験終了後の試験片写真であるが、いずれのひずみレベルでも巨視き裂は観察できなかった。

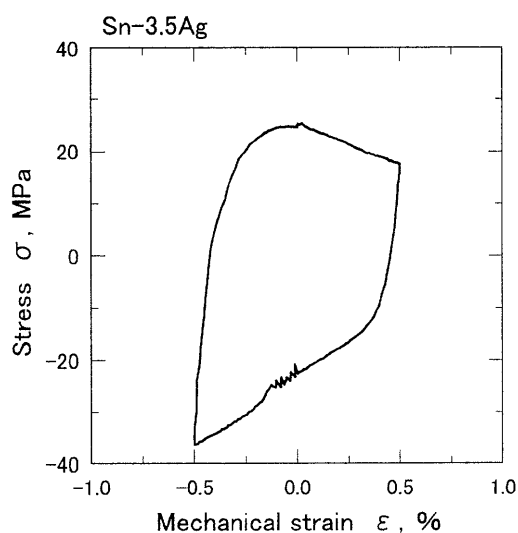


Fig. 4 Relationship between stress and mechanical strain.

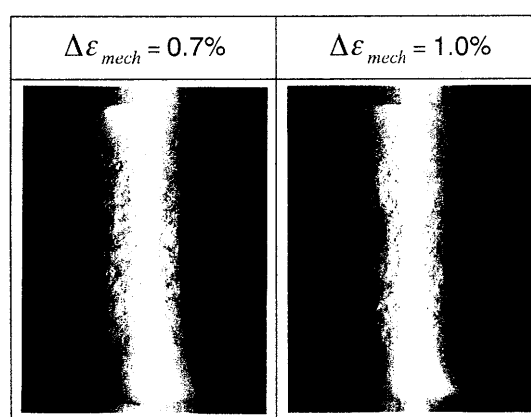


Fig. 5 Surface crack observations after tests.

試験前にはバフ研磨を施しており金属光沢も見られていたが、試験終了後の表面には、多数の凹凸が観察された。実験中に粒界がすべるなどして剛性が低下し、破損に至ったと思われる。

4 結 言

- (1) Sn-3.5Ag の in-phase 型の熱疲労寿命は、熱疲労の上限温度での等温低サイクル疲労寿命と同程度であった。
- (2) 高温引張時よりも低温圧縮時のほうが高い応力を示した。

今後、さらに熱疲労データの蓄積を図り、機械的ひずみレベルが寿命に及ぼす影響や、in-phase 型以外の位相差が寿命に及ぼす影響について検討する予定である。

参考文献

- 1) Factual Database on Creep and Creep-Fatigue Properties of Sn-37Pb and Sn-3.5Ag Solders, The Society of Materials Science, Japan (2004).
- 2) Factual Database on Tensile and Low Cycle Fatigue Properties of Sn-37Pb and Sn-3.5Ag Solders, The Society of Materials Science, Japan (2001).
- 3) はんだの低サイクル疲労試験法標準, 日本材料学会, (2000).