

519 BiおよびIn複合添加Sn-Ag系Pbフリーソルダの引張変形挙動

大阪大学接合科学研究所	○竹本 正
大阪大学大学院（現：田中貴金属工業(株)）	高橋 昌宏
三井金属鉱業(株)総合研究所	二宮 隆二
大阪大学接合科学研究所	松縄 朗

Tensile Deformation Properties of Sn-Ag System Lead-free Solder Alloys with Double Addition of Bismuth and Indium

Tadashi Takemoto, Masahiro Takahashi, Ryuji Ninomiya and Akira Matsunawa

1. はじめに

現在の高密度表面実装に用いられるPbフリーソルダは接合後の優れた機械的性質、特に、耐熱疲労特性の高いことが要求される。Pbフリーソルダ候補合金はSn基であり、本質的にSn-Pb共晶系よりも優れた耐熱疲労特性を有すると考えられる。Sn-Pb共晶温度（183℃）近傍の融点を持つソルダはBiあるいはIn含有合金であり、前回それらの単独添加による機械的特性への影響を明らかにした¹⁾。筆者等の数人はひずみ速度変化法によってひずみ速度感受性指数 m および m のひずみに対するプロットにおける直線の傾き k の双方を評価することによって、ソルダの熱疲労特性が推定できることを示している²⁾。本研究ではこの引張変形挙動を評価する方法を用いSn-Ag系PbフリーソルダへのBiおよびInの複合添加効果を検討し、熱疲労特性を推定することとした。

2. 実験方法

使用したPbフリーソルダはSn-3.5Ag（組成表示はmass%）をベースに、Bi、Inを単独および複合添加したもので、添加量は融点を考慮し単独では各5%、複合では3%以下とした。さらに0.5Cu添加材についても検討した。引張用試験片はソルダを鋳造後、丸棒引張試験片（直径8mm、標点間距離50mm）に加工した。組織変化の引張変形特性への影響を検討するために、393Kにおいて一定時間加熱したものについても検討した。鋳造後10日間室温に放置したものを鋳造状態の試験片（As cast）とし、いずれの時効処理試験片もこの履歴を経た後に時効を行った。

本研究においては引張試験中にひずみ速度を一桁変化させて、ひずみ速度感受性指数(m)を求めた。 m は以下のように定義される。

$$\sigma = A \dot{\epsilon}^m \quad (\sigma : \text{応力}, A : \text{定数}, \dot{\epsilon} : \text{ひずみ速度}, m : \text{ひずみ速度感受性指数})$$

引張試験中にひずみ速度を数回変化させ、 m 値とひずみの関係をプロットした。後述のように m 値とひずみは直線関係を示したので、直線をひずみ=0に外挿し、ひずみ0の m 値(m_0)および直線の傾き(k)を求め、熱疲労特性および組織微細度の指標として検討した。本研究では $\dot{\epsilon}=8.3 \times 10^{-4}/s$ 、 $\dot{\epsilon}'=8.3 \times 10^{-5}/s$ とした。試験後、引張強さおよび伸びも求めた。

3. 実験結果

Fig.1およびFig.2にBiおよびIn添加ソルダの引張強さと伸びを、Bi含有量に対してプロットした結果を示す。Sn-3.5AgへのBi添加は強度を著しく上昇させることをすでに報告しているように、InあるいはCu添加の強度上昇効果は小さく、引張強さはBi含有量で整理できる。伸びもほぼBi含有量の増加と共に低下しているが、3%Biでは0.5%Cu添加材では伸び

がやや高くなっており、微量のCu添加が延性確保に有効であることがわかる。このようにBi含有複合添加Pbフリー溶ダの強度はBi含有量で決まり、Inの添加はほとんど影響がみられず、伸びに対してIn添加効果は顕著には現れないことがわかった。393Kでの時効は5%Biで伸びが低下していくことを除くと機械的性質にはほとんど影響しない。

Fig.3およびFig.4はいくつかの溶ダの引張変形試験で求めた m と m を求めたひずみとのプロットで、それぞれ casting 状態および393K, 605ks 時効後の値を示す。前述のように、いずれのプロットも直線で近似できる。時効状態に関係なくSn-3.5Agは m が大きくまたプロットの傾き(k)が小さい。 m はBi添加により小さくなり、Fig.3で直線は2%Bi以上の合金でほぼ同じ位置にあり類似の傾きを示している。このためひずみ0への外挿値 m_0 もほぼ同じ値となる。Fig.4の時効材ではSn-Ag-3Bi-3In合金で傾きがやや大きくなっていることを除くと直線関係に大きな変化はない。5%Bi以上の添加では時効後に k が負となることから、割れ感受性が高くなると考えられるが、複合添加によりBiを3%程度に押さえれば k は時効後も負にはならない。さらにCuの微量添加により時効後の k が大きくなる傾向も抑制され引張変形特性が劣化しないことがわかった。0.5%Cu含有複合添加材ではCu₆Sn₅が微細に分散していることおよびAg₃Snの分布も細かいことなどを確認しており、 m_0 および k の値から判断して耐熱疲労特性に優れているものと推定できる。

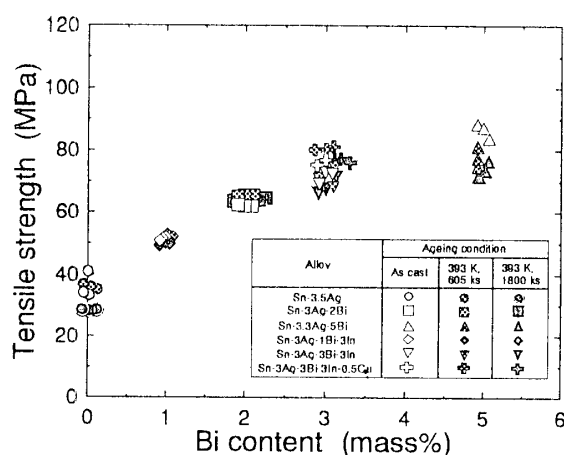


Fig.1 Plots of tensile strength vs. bismuth content

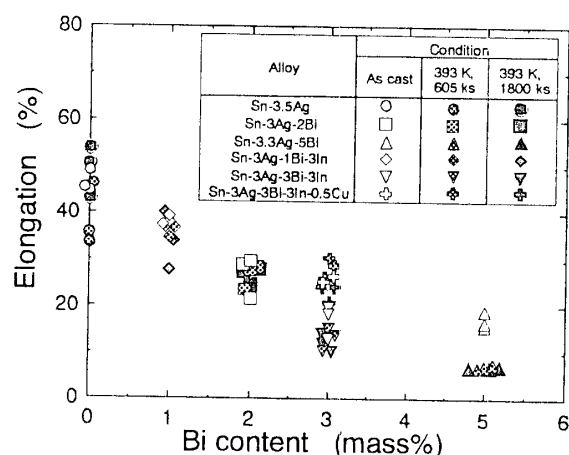


Fig.2 Plots of elongation vs. Bi content

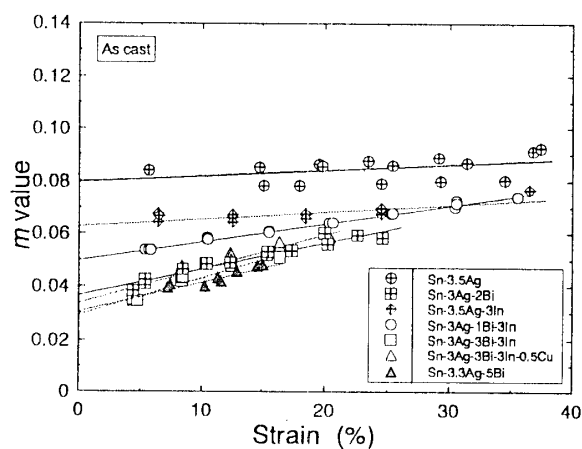


Fig.3 Plots between m value and strain where m was measured for solders in as cast condition

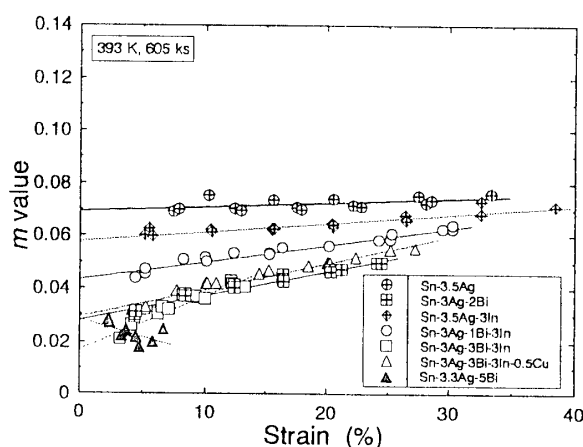


Fig.4 Plots between m value and strain where m was measured for solders after aging

1) 竹本 正 他, 溶接学会全国大会講演概要第59集, (1996) 102. 2) 竹本 正 他, 溶接学会全国大会講演概要第57集, (1995) 288.