

数結晶粒よりなる微細すず試験片のひずみ測定と有限要素法を用いた変形挙動解析

鹿児島大学 理工学研究科 機械工学専攻 修士2年 柳瀬 篤志

1. 緒言

近年, SnAgCu などの鉛フリーはんだ合金がはんだ材として用いられているが, その主成分は β -Sn である. β -Sn は, 複雑な正方晶構造を有するため, 結晶特性やすべり系の数など十分に明らかになっていないのが現状である. また, 電子機器の小型化に伴い, はんだ接合部のサイズは数十 μm のオーダーに達している. そのため, はんだ接合部内は 1 個もしくは数個程度の結晶粒から構成されるため個々の結晶粒の特性を考慮した強度評価が必要になっている. そこで, 本研究では微細すず試験片を用いて引張試験および Hill の異方性弾塑性論, 結晶塑性論を用いた FEM(有限要素法)解析を行い異方性の影響を検討し, 定量的・定性的に評価する手法を確立することを目的とした.

2. 実験方法および解析手法

論文に記載しているため省略.

3. 実験&解析結果および考察

3-1 応力-ひずみ曲線

実験により得られた応力-ひずみ曲線と FEM(Hill)解析より得られた応力-ひずみ曲線を図 1(a)に示す. また, 結晶塑性解析から得られた応力-ひずみ曲線を図 2 に示す(計算の都合上 A, B, C のみ). 図 1 より, 試験片 F が特に大きな降伏応力を示し, 試験片 E が最小となった. 結晶方位や結晶粒数の影響により降伏応力には 4~9MPa, 引張強度で 2 倍の差が生じている. 解析モデルでは E の見かけの降伏応力が最大となった. また, 試験片 G は FEM の結果と一致しているがそれ以外の試験片は異なる結果となり, FEM(Hill)では加工硬化が起きている. 図 1(b)よりモデル A は実験結果に比べ, 降伏応力に差があるが公称ひずみ 7.5% 時の応力は近い値を示した. モデル B, C は降伏応力に 2 倍ほど差がある. すべてのモデルで加工硬化が起きており, 結晶粒拘束硬化が働いたと考えられる.

3-2 活動すべり系と分解せん断応力

引張試験を行った試験片において最初に活動した結晶粒を DICM 計測により特定し, その結晶粒の活動すべり系を検討した. 最初に活動した結晶粒の活動すべり系と図 1 で計測した降伏応力から各すべり系の臨界分解せん断応力 τ_0 を算出した. β -Sn の活動すべり系と臨界分解せん断応力は, 最初に活動した結晶粒の結晶格子, EBSD 解析より取得した面方位, すべり線との兼ね合いから推定した. 表 1 は本研究で算出した臨界分解せん断応力と文献値を比較したものでありほぼ近い値を示している. すべり系によって臨界分解せん断応力に差が生じたのは結晶粒の形状, 大きさ, 結晶方位の組み合わせによって変形の様子や降伏応力が変わってくるためだと考えられる.

3-3 DICM 計測と FEM 解析結果

図 2 は試験片 A, B の金属顕微鏡で観察した引張試験後の画像, DICM および FEM(Hill), 結晶塑性解析によるひずみ分布結果である. 紙面の都合上試験片 A, B の結果のみ示す. すべり変形が起こった結晶粒と起こっていない結晶粒が存在し, すべり線が観察された結晶粒にひずみが集中している. DICM と FEM 解析結果より試験片 A, B それぞれ FEM(Hill)は DICM 結果と一致しておらず, Sn は直交異方性

ではないため一致しなかったと考えられる. 一方, 結晶塑性解析と比較すると, モデル A は DICM 結果と定性的に一致し, B は異なる結果となった. 今回考慮した β -Sn のすべり系は 5 つであるため, 変形を予測できるものとそうではないものがあつたと考えられる. FEM(Hill)解析でひずみ分布が一致していなかった試験片が結晶塑性解析では一致しているものも存在するため, 他のモデルでもひずみ分布が一致するのではないかと考えられる. しかし, 解析精度は低い今後すべてのすべり系を考慮しての結晶塑性解析を行う必要がある.

4. 結言

本研究では, 数結晶よりなる微細すず試験片の引張試験および FEM 解析を行い, 以下のことが明らかになった.

- 1) β -Sn の数結晶構造において異方性の影響は消失せず, 変形に強く依存する. また, 臨界分解せん断応力はすべり系ごとに顕著な差がある.
- 2) FEM(Hill)解析では β -Sn は直交異方性ではないため一致しなかったと考えられる. 一方, 結晶塑性解析では定性的に一致するモデルもあるため, FEM(Hill)解析よりも変形を予測するのに効果的であることを示唆している.

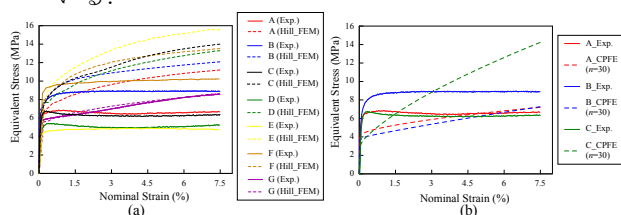


Fig. 1 Stress-Strain curves of the experiment and FEM ((a) is FEM (Hill) and (b) is CPFEM method).

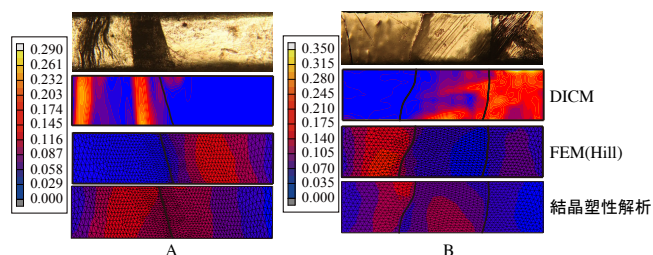


Fig. 2 Microphotographs taken by an optical microscope (top), distributions of equivalent strain measured by the DICM (mid), and calculated by the FEM (bottom).

Table 1 Critical resolved shear stress, τ_0 .

Slip system	τ_0 (MPa)	Reference ⁽¹⁾
{100} < 011 >	3.31	3.80
{110} < 001 >	1.10	1.30
{110} < 1 $\bar{1}$ 1 > / 2	2.50	2.30
{101} < 10 $\bar{1}$ >	1.90	1.60
{211} < 0 $\bar{1}$ 1 >	2.26	1.70

参考文献

M. A. Matin, et al. Microstructure evolution in a Pb-free solder alloy during mechanical fatigue, Materials Science and Engineering A 431, (2006), pp. 166-174.