TOPICS

# 微細材料および実製品の機械的特性の取得

## 1. はじめに

細線，薄膜といった微細材料が先端製品で大いに活用されているが，微細材料はバルクとは異なる特性を示すことがある．また一般に，製品を構成する材料は製造工程の履歴を受けていると考えられ，試験機に応じて作製した試験片と実際の製品材料とが同じ特性である保証はない．したがって，各種製品の信頼性確保のためには，製品材料の機械的特性を実測するのが望ましいが，これはなかなか難しい．

本稿では，極細線や実製品に対する微小試験結果と有限要素法解析（Finite Element Analysis，FEA）結果とを照合して，当該部品の弾塑性特性を決定する手法について紹介する．

## 2. 白金極細線の例

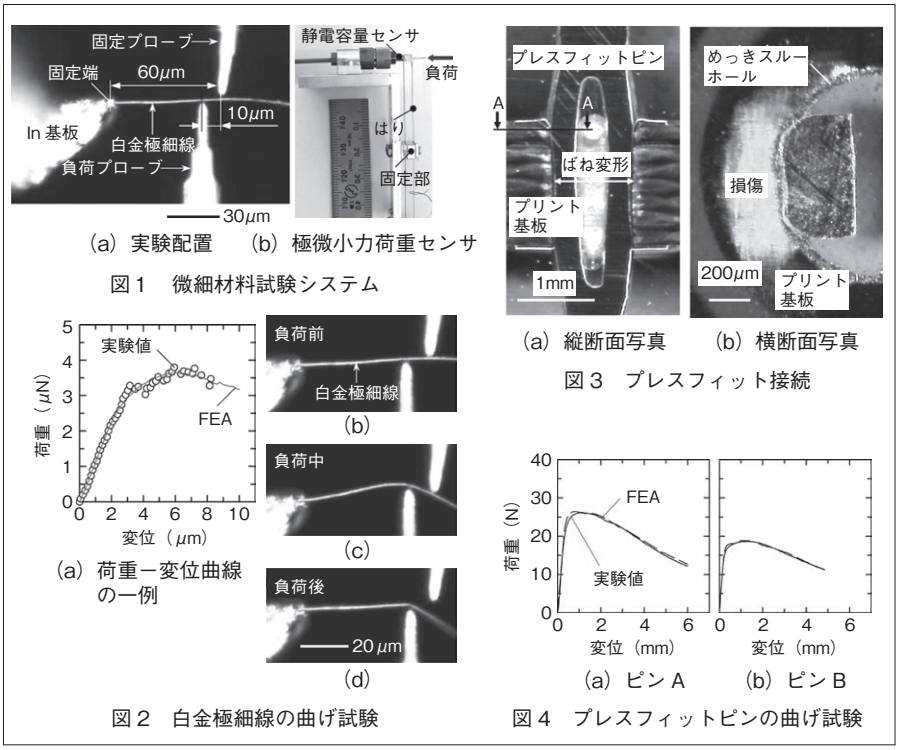
供試材は公称直径 625nm の白金極細線であり，長手方向に結晶が伸展されたバンブー構造を有していた[1]．白金極細線を線形硬化則に従う弾塑性体と仮定すれば，応力（$\sigma$）とひずみ（$\varepsilon$）関係は $\varepsilon=\sigma/E$ ［$\sigma \le \sigma_Y$］，$\varepsilon=\sigma_Y/E+(\sigma-\sigma_Y)/E'$ ［$\sigma > \sigma_Y$］と表される．ここで $\sigma_Y$ は降伏応力，$E$ は縦弾性係数，$E'$ は加工硬化係数であり，これら三つの未知数を知ることで極細線の弾塑性特性が決定できる．

**図 1 (a)** に試験部の顕微鏡像を示す．試験対象の白金極細線は一端が In 細線基板上にジュール熱接合されており，他端は固定プローブにより単純支持されていた．単純支持端の極めて近くに負荷プローブを配置して圧電ステージにより一定割合で変位を与えた．この時の負荷プローブに作用する反力を微小力検出センサ[2]**図 1 (b)** で測定することで，白金極細線の荷重（$P$）－変位（$\delta$）曲線を得た．

**図 2 (a)** に非対称曲げ試験により得た $P-\delta$ 曲線の例 **(a)** と負荷前 **(b)**，負荷中 **(c)** および負荷後 **(d)** の顕微鏡像を示す．$P-\delta$ 曲線では明瞭な降伏点が観察された．また図中には弾塑性 FEA により得たフィッティング後の $P-\delta$ 曲線を示したが，解析結果と実験結果とはよく一致している．このことは弾塑性特性（$E$，$\sigma_Y$，$E'$）が精度よく算出できたことを示唆している．この白金極細線の機械的特性の平均値は $E$=159GPa，$\sigma_Y$=550MPa，$E'$=17.6GPa と算出され，通常のバルクとは明らかに異なる特性であった[1]．

## 3. プレスフィット端子の例

プレスフィット接続は**図 3** に示すようにスルーホールにプレスフィット端子を挿入し，変形した端子の反力によって両者を接続する方法である．1970年代に開発された技術であるが，




(a) 実験配置　(b) 極微小力荷重センサ

図 1　微細材料試験システム

(a) 荷重－変位曲線の一例

図 2　白金極細線の曲げ試験

(a) 縦断面写真　(b) 横断面写真

図 3　プレスフィット接続

(a) ピン A　(b) ピン B

図 4　プレスフィットピンの曲げ試験

電子部品とプリント基板間の無はんだ接続技術として最近再び注目が集まっている．

実際の使用条件下でプレスフィット接続部の電気的接続を保証するためには，満足な保持力を長期にわたり維持する必要があるが，ピン挿入時にプリント基板が損傷した場合には絶縁不良を生じる．そこで挿入時の保持力と基板損傷領域を FEA 等のシミュレーションにより把握することが重要となるが，これには実際の部品の機械的特性値を知る必要がある．

2 種類のプレスフィットピン（ピン A，およびピン B）の材質はいずれもりん青銅であった．小型三点曲げ試験により得たピン A，およびピン B の荷重（$P$）－変位（$\delta$）曲線をそれぞれ**図 4 (a)**，**(b)** に示す．前節と同様にして，実験により得た $P-\delta$ 曲線を FEA により再現することで，ピンの弾塑性特性を求めた．ピン A の弾塑性特性は $E$=77.5GPa，$\sigma_Y$=731MPa，$E'$=103MPa と求まった．一方，ピン B の弾塑性特性は $E$=107GPa，$\sigma_Y$=615MPa，$E'$=201MPa と求まった．同じ材質のピンであっても製造工程等の相違により弾塑性特性が異なる点は注意が必要である[3]．

また，同様に実験と FEA を融合することにより，ピンとスルーホール間の摩擦係数も算出できる[4]．実験により得たピン挿入時の荷重―曲線より算出した本事例の場合の摩擦係数は 0.28 であった．さらに実製品より得た諸物性値を用いて，ピン保持力と基板損傷面積の関係を FEA により知ることも可能であった[3]．

## 4. おわりに

先端製品の信頼性を確保するうえで，各種シミュレーション技術の高度化と活用が大いに期待される．一方，高精度なシミュレーションのためには入力する物性値が正しいことが前提であり，微細材料や実製品から直接，機械的特性を評価する技術が大変重要となる．

（原稿受付　2010 年 9 月 26 日）

〔燈明泰成　東北大学〕

●文　献

（1）Tohmyoh, H., Akanda, M. A. S. and Saka, M., Small-Span Bending Test for Determination of Elastic-Plastic Properties of Ultrathin Pt Wires, *Appl. Phys. A*, (2010), 印刷中.

（2）Akanda, M.A.S., Tohmyoh, H. and Saka, M., An Integrated Compact Unit for Wide Range Micro-Newton Force Measurement, *J. Solid Mech. Mater. Eng.*, **4**-4 (2010), 545-556.

（3）Tohmyoh, H., Yamanobe, K., Saka, M., Sunomiya, J., Nakamura, T. and Nakano, Y., Analysis of Solderless Press-Fit Interconnections During the Assembly Process, *J. Electron. Packag.*, 130-3, 031007 (2008), 6.

（4）Tohmyoh, H., Yamanobe, K., Saka, M., Sunomiya, J., Nakamura, T. and Nakano, Y., Determination of Friction Coefficient of a Press-Fit Pin in Thin Plating, *JSME Int. J.*, **49**-3 (2006), 363-369.