

互連接器之圓球和 S 型彈簧導電中介材之

應力應變與接觸電阻分析

Stress-Strain and Contact Resistance Analysis for Spherical Ball and S-Shape Spring Interposers for Electronic Interconnections

計畫編號：NSC 89-2212-E-034-001

執行期限：88 年 8 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

主持人：江毅成 中國文化大學機械工程學系

計畫參與人員：余王傑 中國文化大學材料科學與製造研究所

一、中文摘要

本計畫主要將從事互連接器之 S 型彈簧導電中介材之應力應變與有限元素分析，首先，將先建立 S-型彈簧等電中介材夾在於兩平材之力學模式。然後在接觸壓力和中介材及高分子支撐材的材料性質之變數下進行有限元素分析(FEM)，此研究工作將提供研發S型彈簧導電中介材的理論分析基礎。

關鍵詞：互連接器、中介材、有限元素分析

Abstract

In this proposed project the stress-strain analysis and finite element method (FEM) analysis are conducted for a S-shaped spring interposers for electronic interconnection. First, a model of mechanics for a S-shaped spring conductors sandwiched between two flat surfaces will be established. Then, the FEM analysis under the variable parameters of the contact force and the material properties of conductors and supporting polymers is performed. The proposed work will provide the analytical basis to manufacture the electronic interconnections composed of S-shape spring interposers.

Keywords: Interconnection, Interposer, FEM

二、緣由與目的

近年來連接器隨著電子構裝密度之增加和電子訊號傳遞之加速，傳統連接器之微細化已經面臨其極限點，於是轉向開發更具有潛力之多點微接觸的高密度、高速度連接器和互連接器[1-4]。

在處理高頻問題最簡單的迴避方法就是增加

地線/訊號的比例以便減少交吵(crosstalk)或各種噪音，但今日傳統的彈簧-銷針連接器由於受限於先天條件很難再超越其功能極限，將來在高密度與高頻率的應用上將失去與多點微接觸連接器的競爭能力。

所謂平墊對平墊的多點微接觸方法在機械方面的優點也是明顯的。其中最重要的是磨擦力方向的改變，從傳統的垂直於接觸力方向變成平行於接觸力方向，因而顯著減少插拔過程所引起之磨擦力和磨擦磨耗。

多點微接觸不是創新的視念，賀門(R.Holm)在三十多年前就提出這個概念。IBM 公司也曾花了二十多年開發了以 DendriPlate 為商標的平墊對平墊連接器，唯因仍格昂貴而難以廣泛推廣[5-12]。

本計畫所分析之互連接器為本校工學院院長李豐明教授已申請專利或是申請專利在案之廉價且堅固實用的多點微接觸互連接器，初步驗數據指向未來高密度高速度之多點微接觸互連接器將往此方向發展，透過本計畫期對此新多點微接觸互連接器進行系統和完整之力學分析，為未來設計和製造打下理論分析基礎。

本計畫主要將從事 S 型彈簧導電中介材之完整應力應變的分析，進而能掌握和控制接觸壓力和中介材及高分子支持材的材料性質之變數對應力應變之影響。

三、結果與討論

數學模式

首先以彈性力學基礎，建立 S 形彈簧之數學理論模式，以便導出彎曲應力和彈簧之尺寸、材料性質(彈性係數；E、蒲松比； ν)和負載之間的關係，同時，可求出變形量的大小，如此，將可與有限元素分析(Finite Element Method；FEM)得到之結果，相互比較應證。

所謂『中介層』即是在單位面積上，有部份的

S 型突出於表面上，再由上下面積上每個單位 S 型與上下電站接觸，當上下接觸電站接觸於 S 型彈簧時，由彈簧本身的彈性可增加於接觸介面接觸力，達到緊密接觸及不至於發生接觸不足等現象的目的。由其基本的架構下，可以將單位 S 型彈簧的一半之 C 型彈簧取出，末端固定，並擬出進行數學模式的基本推導。

由於 S 形彈簧的幾何形狀較為複雜，比一般材料力學的彎曲樑 (Curved Beam) 的計算方式，較為不易，因此本文的分析模式則是截取 S 形彈簧的一對稱相等之 C 型簡單幾何形狀，如圖 1 所示，該幾何形狀的條件不但可以代表整體模型的受力分佈外，也可以就此模型的分析結果，推斷整體 S 形彈簧的力學性質。

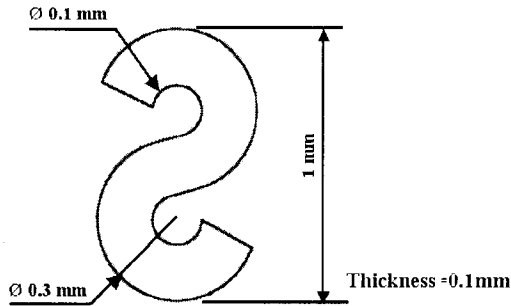


圖 1 中介層 S 形彈簧連接器之單位 S 型彈簧尺寸圖

一般判定規則曲線樑尺寸的定義取決於曲線樑寬度 (h) 與曲線樑中心軸 (Centroida axis) 半徑 (R) 的比例， h/R ，其比值越大則表示曲線樑的寬度越大，反之， h/R 越小則代表曲線樑的樑寬越大。以下係針對下半曲線樑截取部份進行分析，以一截取小段彎曲樑而言，其力平衡關係如圖 2 所示

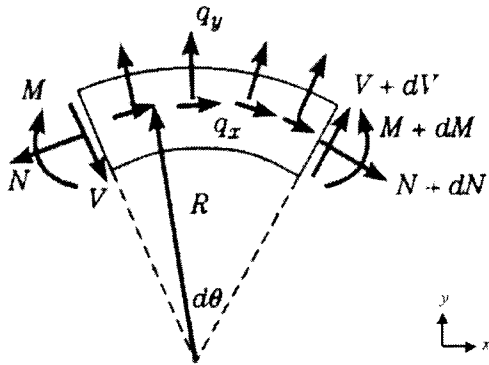


圖 2 曲線樑截取部分之基礎之力平衡圖

其中， q_x 、 q_y =中性軸單位長度之分佈負載

N =截取部份曲線樑斷面之正向合力

(Normal Resultant Force)

V =截取部份曲線樑斷面之剪向合力 (Shear Resultant Force)

M =截取部份曲線樑斷面之力距 (Resultant Moment)

R =中心軸半徑之長度

b =彎曲樑之厚度

在 Kirchoff-Love 之變形假設下，薄板彎曲樑之彎曲應力公式可由應變-位移關係、應力-應變關係及應力平衡可導出如下[13]：

$$\sigma_x = \frac{(1-\nu^2)N - \kappa M}{A(1-\nu^2)} + y \frac{\nu^2 M}{I(1-\nu^2)} - \frac{y}{1+ky} \frac{M}{bI_2} \quad (1)$$

其中

$$\kappa = 1/R$$

$$I = bh^3/12$$

$$I_2 = \int_{-h/2}^{h/2} \frac{y^2}{(1+ky)} dy$$

由公式(1)所顯示彎曲應力 σ_x 分佈之示意圖如圖 3 所示。

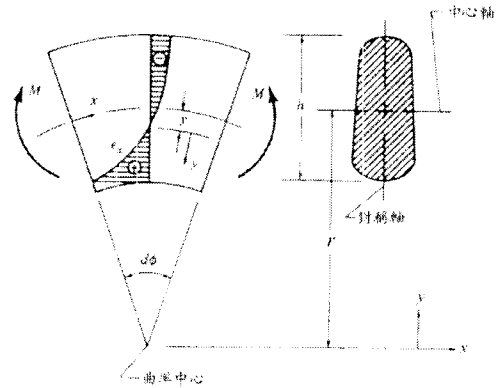


圖 3 彎曲樑之 σ_x 應力分佈

若以 $\frac{h}{R} = 1$ 為例，由以上 σ_x 公式可畫出樑斷

面上的應力分布曲線如圖 4。

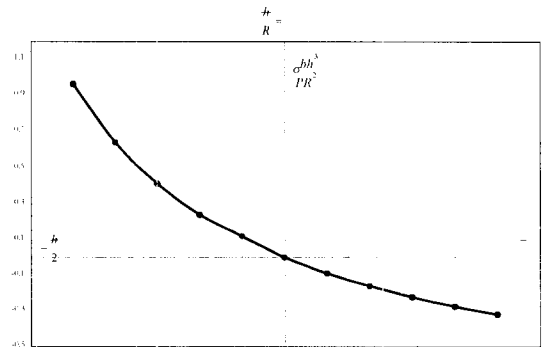


圖 4 對於 C 形樑中間 ($\theta=90$) 最大應力截面上的應力分佈曲線

有限元素分析[14-16]

將 S spring 以對稱之 C spring 建立基本的幾何形狀後，如圖 5 所示，其一共為分別為 341 個節點 (Node)，288 個元素 (Element)，並將上端完全拘束 (Constrained)，下端施加一垂直正向壓力下。為求得客觀的結果。如此設定下，不但會產生一向上方向的位移圖 6，也會造成應力的分佈現象，其 VonMises Stress 應力分佈如圖如圖 7 所示，而平板面平均應力 (Top Plate Means Stress) 如圖 8 所示。

可以清楚的發現，當 C spring 承受一力量荷重時，其內部會造成之應力分佈，並在內圍為壓應力 (Compressive Stress) (圖中以紫色表示)，而在外圍則以張應力 (Tensile Stress) 分佈 (圖中以紅色表示)，且由數值可以發現，其內圍壓應力也比外圍張應力來得高。其意為若發生負荷過大導致塑性變形甚至發生裂痕延伸現象，必定會發生在內圍，換言之，內圍的應力即是我們關注的區域。

在有限元素分析下，包括 C spring 與基板的接觸，其接觸機制以 Slide Line 的方式作為設定，表示其接觸必定在該線範圍內發生，並在接觸點間以設定摩擦係數，並判斷相對摩擦下，彈簧與基板間所造成的應力分佈大小及最大應力發生區域，是否超過材料本身之降伏強度及極限破壞強度。

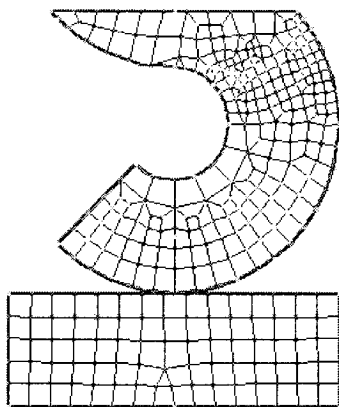


圖 5 以 S spring 對稱幾何形狀 C spring 進行模擬，並分為 341 個節點、及 288 個元素

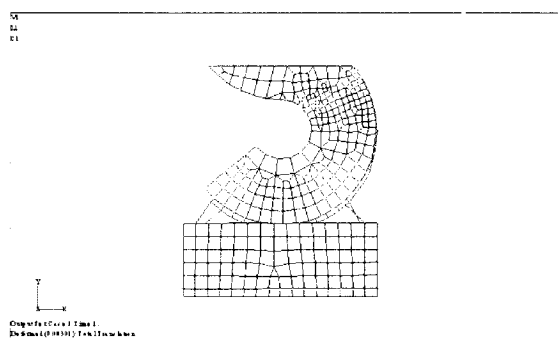


圖 6 將 C spring 上端固定並於底部施加正向荷重且發生變形

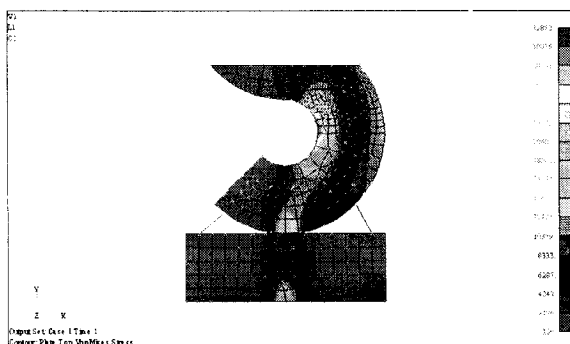


圖 7 C spring 受力變形下，所表現出的 VonMises

應力分佈圖

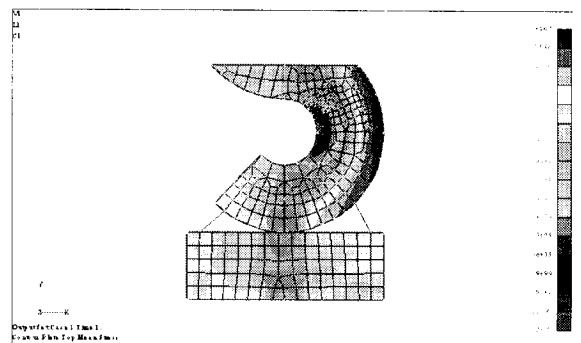


圖 8 S spring 受力下之平板應力分佈圖 (Plate Top Mean Stress)

經由 MSC/NASTRAN 分析 C spring 與基板接觸下，所進行不同邊界條件之有限元素分析，分析針對 (1) 基板施加正向應力時，曲線樑之應力集中處之最大張應力、最小壓應力之關係。(2) 在 C spring 與基板接觸間，因接觸介面刮擦 (Wiping) 所致之 x 方向位移及 y 方向之位移。(3) 在摩擦接觸介面間，不同荷重下所造成之應力及變形量之變化。(4) 改變不同摩擦係數所造成的應力值。將 C spring 站立，上端固定 (Fix) 的方式固定，在外力荷重 100~600g 施加下，C 型曲線樑所造成的最大應力發生於中間邊緣上，外側曲線邊緣為拉應力，內側處則為壓應力，而在彈簧與基板接觸面上，也有應力集中的現象，但其應力值小於彈簧本身中間段之應力。因此，在不同外加應力下，其 VonMises Stress 最大值如圖 7 所示。然而，在 S spring 之幾何尺寸厚度半徑比 (h/R) 的比值為 1 的情況下，其內/外應力比，皆趨近於 3 的倍數，此與前述之數學模式所求之結果，不謀而合。

四、計畫成果自評

本研究分別以數學模式及有限元素分析中介層 S 型鈹銅合金彈簧之應力及變形，計畫成果可以歸納如下：

- 1、以鈹銅合金作為電子連接器材料，比起一般純銅材料而言，其高降伏強度的高彈性條件可以有效的勝任電站間的連接工作。
- 2、對於以本研究之 S 型彈簧之幾何形狀而言，由數學模式的計算及有限元素分析的結果，皆對於內壓應力及外應力比值皆為一致數值。
- 3、數學理論分析的結果導出彎曲平板樑之彎曲應力和材料性質 (彈性係數; E、蒲松比; ν) 之間的關係如公式(1)所示。
- 4、對於 S 型彈簧的寬度 / 半徑比的關係，也將直接影響彈簧受力時所形成的最大應力，寬度越小其產生的應力越大，其比值也為影響應力的重要參數。
- 5、以有限元素模擬分析出 S 型彈簧於正向荷重 300 - 400 g 時其 Von Mises Stress 值約為 900 Mpa，亦為該鈹銅材料的降伏強度。

本研究內容與結果與在 S 型彈簧部分大致達成原計畫預期目標，由於圓球之力學理論分析及有限元分析在文獻已有相當之探討，本研究只專注在 S 型彈簧部分的應力和應變分析。至於接觸電阻方面的研究，由於申請經費不足採購或承租到適合之分析軟體，再加上第一次申請國科會計畫在研究內容和進度上有過分樂觀的預估，這一部份的研究將在未來的國科會計畫或相關之計畫再進行。本計畫的成果可提供 S 型彈簧中介層研發的重要依據，待本研究結果和下年度國科會計畫將執行的相關實驗結果相比較，即能發表在相關的學術期刊。在彎曲平板樑方面的力學理論分析，本人已經投稿到 Mechanics of Materials 期刊。

五、參考文獻

- [1] 許來發, “3C 產業的發展趨勢”, 金屬工業, 5 (1999) 17-20.
- [2] Robert J. Hannemann “Semiconductor Packaging” WILEY (1994) .
- [3] John Lau , C. P. Wong , John L. Prince , Wataru Nakayama “ Electronic Packaging Design , Materials , Process , and Reliability ” (Mc Graw Hill 1998) Chapter 1.
- [4] Philip E. Garrou , Iwona Turlik “ Multichip Module Technology Handbook ” (Mc Graw Hill 1998) Chapter 9.
- [5] E. M. Davis , W. E. Harding , R. S. Schwartz , J. J. Corning “ Solid Logic Technology : Versatile , High-Performance Microelectronic ” IBM J. Res. Develop. , 8 (1964) 102.
- [6] L. S. Goldmann “ Geometric Optimization of Controlled Collapse Interconnections ” IBM J. Res. Develop. , 13 (1969) 251.
- [7] P. A. Totta , R. P. Spopher “ S.L.T Device Metallurgy and its Monolithic Extension ” IBM J. Res. Develop. , 8 (1964) 226.
- [8] L. F. Miller “ Controlled Collapse Reflow Chip Joining ” IBM J. Res. Develop. , 8 (1964) 239.
- [9] K. C. Norris “ Reliability of Controlled Collapse Interconnections ” IBM J. Res. Develop. , 8 (1964) 266.
- [10] D. P. Seraphim , I. Feinberg “ Electronic Packaging Evolution in IBM ” IBM J. Res. Develop. , 25 (1981) 617.
- [11] M. D. Ries , D. R. Banks , D. P. Watson , K. G. Hoebener “ Attachment of Solder Ball Connect (SBC) Packages to Circuit Cards ” IBM J. Res. Develop. , 37 (1993) 597.
- [12] H. V. Mahaney “ Thermal Modeling of the Infrared Reflow Process for Solder Ball Connect (SBC) ” IBM J. Res. Develop. , 37 (1993) 609.
- [13] Y. C. Chiang “Curved Beam Analysis” Submitted to Journal of Mechanics of Materials.
- [14] MSC/NASTRAN Application Manual.
- [15] NSC/NASTRAN Linear Static Analysis User's Guide.