

## 金屬彈片分析驗證

鄭貴華, 郭鐘輝, 陳章志, 陳文吉  
光寶科技股份有限公司 電源事業群

### 摘要

由於全球手持式電子裝置需求上升, 因此帶動相關充電設備產品發展數量, 而內部電路常使用到的金屬彈片, 必須能夠穩定地接觸以利電流傳遞。金屬彈片結構設計於此位於一重要角色, 利用有限元素分析方法將此結構設計預先進行模擬、分析與改進, 可免除因彈片結構問題造成電路不良, 進而增加產品耐用程度以及強化產品競爭力。在金屬彈片製作上, 由於大多使用衝壓成形, 此時是否有退火會影響其金屬材料性質, 大部分消費型電子裝置之金屬彈片皆未施作退火, 本文即考慮殘留應力對金屬彈片之影響。

**關鍵字:** 有限元素法、金屬彈片、接觸阻抗、退火

### 一、研究動機

現今市場上, 由於電路製造成本考量, 可將部分電路使用金屬彈片接觸設計, 其優點為方便組裝, 進而降低製造成本, 但另一面, 如何控制接觸行為的穩定性, 為一重要課題, 越了解彈片接觸情況, 越能排除一些不穩定的突發案例。

由於在使用有限元素分析軟體 ABAQUS 計算彈片行為時, 一直發覺模擬出的彈片應力與應變數值, 或是永久變形的情况與實際不符, 為了此一物理現象, 做了一些研究探討, 期望能夠對於金屬彈片有更進一步的認識。

### 二、文獻回顧

常見的金屬加工分析方法有五種, 如下[1]:

#### 1. 能量法

塑性加工提供能量等於材料變形加上摩擦產生之能量。

#### 2. 切片法

把材料變形區域分割成薄的扁塊元素, 垂直作用於此元素之應力可以視做主應力, 可快速的得到粗略負荷及應力分布。

#### 3. 滑移線場法

滑移線場是在材料成形的塑性區域物理平面上之最大剪應力方向的軌跡, 形成彼此正交之曲線族。

#### 4. 上界限法

利用虛功原理和最大塑性能量原理推導而來, 使用剛塑性體的兩個變分原理和上、下界定理, 求出物體塑性變形在材料內的降伏點負載或變形所需功率的最大與最小值。由於解析值均大於真解, 故稱上界限法。

#### 5. 有限元素法

有限元素法是分析材料塑性變形中最常見的方法, 照物件幾何形狀, 將物品分割成多個元素(三角形或四角形), 以求各元素之勁度矩陣, 再考慮材料的性質參數, 配合力平衡關係式及邊界條件, 透過電腦運算求得外力負荷、變形速度、應力及應變分布等。

有限元素法板金成形有 Mehta 與 Kobayashi[2]給定邊界條件利用有限元素法計算方法, 進而得到金屬板件上受到非軸對稱模具衝擊後的應力與應力分布, 另外在實驗驗證求得縱向有效應變與厚度變形皆與計算結果非常吻合。

Kim 和 Oh 及 Kobayashi[3] [4]利用剛塑性有限元素法作半球形衝頭之板金延展成形, 且分析金屬板件上之應力與應變。而本文即利用有限元素法分析其金屬彈片之受力行為。

### 三、金屬彈片受力變形

#### 3.1 有退火之彈片分析

金屬在冷加工時，作工產生的能量會以熱能消耗掉，另一部分會轉換成應變能殘留在彈片之中，一開始在分析金屬彈片時，由於使用的材料是預期沒有殘留應力，因此皆先假定為有做退火步驟[6]，一共有三步驟，而做完應力釋放後，將材料視作均質。

本文使用的材料為 SUS301 3/4H，依照常見的材料參數[表 1]，代入所建立的有限元素模型[圖 1]，厚度為 0.15mm，當經過預計的壓縮量 1.0mm 下壓計算後，可以得到金屬彈片的最大 von-Mises stress 為 913MPa[圖 2]，另外可以利用下壓行程與金屬彈片的反作用力得到彈片力與壓縮量的關係圖，並且將實際得到的下壓力與壓縮行程試驗做比較[圖 3]，發現 ABAQUS 模擬的數值趨勢與試驗數值不太一樣，而且相當早期即進入永久變形，大約在下壓距離 0.3-0.4mm 即發生永久變形。

#### 3.2 材料參數影響

由於在上一小段文章是考慮正常 SUS301 3/4H 的材料參數，但得到的模擬結果與試驗不太相近，因此思考是否為材料參數設定錯誤，實際將不鏽鋼材做材料測試後[表 2]，將其材料參數代入 ABAQUS 模擬計算後，得到的最大 von-Mises stress 數值為 963MPa[圖 4]，而 ABAQUS 模擬數值與實際試驗結果比較如圖 5，可以看到彈片在約在下壓距離 0.4-0.6mm 發生永久變形，彈片力的數值也上升到 800gf 以上。

至此，已確定金屬彈片的模擬數值與試驗數值差異與材料參數誤差有關，但利用較正確的材料參數雖然能夠有效調整模擬結果，但與實際金屬彈片物理行為還是有些許差距。

#### 3.3 無退火之彈片分析

因為在上一段模擬數值上與實際試驗上依舊有差異，再經過仔細評估整體內容，發現金屬彈片在製作過程中，並沒有特別去實施退火製程，這部分代表實際彈片成型完成後，理論上會有殘留應力發生在彎曲處。為此，本文考慮使用金屬衝壓方式去找出彈片之殘留應力。

在考慮金屬製程時，從平面金屬片開始

計算起，以本文為例，中間經過兩個 R 角，兩道衝壓工法，可以得到金屬彈片成型後含有預應力的情形，其分布情形如圖 6，可以發現 R 角處的應力大約有 300-500MPa 左右殘留，此部分為明顯與前兩段落所模擬的差距。

而繼續利用此含有殘留應力之金屬彈片進行下一步的下壓模擬分析，可以得到如圖 7 的應力分布，最大 von-Mises stress 數值為 1024MPa，而實際試驗與模擬結果比較中[圖 8]可以看出，模擬數值與試驗數值在下壓行程與金屬彈力的曲線吻合許多。另外下壓行程的過程中，可以發現 ABAQUS 計算後，大約到 0.75mm 至 0.85mm 時，考慮含有殘留應力之金屬彈片有發生永久變形，而在實際試驗中，下壓行程也大約至 0.75mm 至 0.85mm 發生了永久變形，這部分模擬數值亦相當靠近試驗數值。

在下壓行程 0.6mm 至 0.75mm 時的彈片力量數值，模擬與試驗值發生較多的偏差，這部分經過分析，猜測應有以下兩點，第一為金屬成型的回彈情況沒模擬仔細，造成彈片外型與實際樣品有些微出入，第二為量測誤差所造成，由於本文所分析的金屬彈片尺寸較小，在實際試驗時，設備精度不足以準確量測記錄出每次下壓行程位移與力量數值，需要相當多次試驗取其較可使用的數據。

依照本文的結果，發現於金屬彈片分析時，模擬數據往往與實際不符，其最大的原因為無仔細考量金屬加工過程中產生的殘留應力，對於之後產品的金屬彈片力與永久變形無法做出準確的評估，因此，導入更精準的材料變化評估為首要課題。

### 四、金屬銅片試驗結果分析

基於前一章節的結果，可應用於更多的材料，像是選擇在金屬彈片常用的磷青銅，依舊取得實際材料並試驗得到材料參數[表 3]，其彈片厚度為 0.2mm，外型與前一章節的不鏽鋼相同，經過含有衝壓成型製程之計算後，其下壓 0.65mm 後，得到的 von-Mises stress 如圖 9，最大值為 602MPa。試驗的彈片力與模擬數值比較圖為圖 10，模擬與試驗數值曲線相當接近，可以提供有效的數值預估。

得到有效的壓縮量與彈片力量後，搭配

接觸阻抗曲線，如圖 11，可以了解金屬彈片需要多少壓縮量或是下壓力可以使其接觸阻抗趨於穩定，進而考量設計數值之大小，得到最佳彈片壓縮量，增進彈片可靠度，不會有損壞風險或是接觸不良之情況。

## 五、結論與未來展望

本文從最初的模擬與試驗差異處，去改善材料參數與加入製造工法的變異，進而改善了一些模擬不盡準確的地方，準確的材料參數，可以確保金屬彈片在衝壓過程中的準確性，導入衝壓的情況模擬，則導正了金屬彈片受過壓力產生永久變形的臨界值。

對於本文所產生的一些不盡理想之處，也許是未來可以繼續探討改進的方向，像是金屬板件衝壓的程序，由於此部分須考慮大量經驗數值，才能快速正確地利用 ABAQUS 去分析模擬，彈片才能回彈成預設的外型，如何精進這部分的參數與模擬方法，應為相當有用之主題，再搭配下一階段設計的機構作動情況，可將此有限元素模擬提升至更方便快速的地步。

另外，由於本文之試驗因為產品與設備的精度關係，其多筆誤差頗大，因此，得到有效且誤差小的試驗數值亦是未來需要好好規劃的重點，才能將各產品之試驗數值準確量化，甚至可以藉此試驗數據去判斷材料的正確性或穩定性。

## 六、參考文獻

- [1] 李榮顯編著，“塑性加工學”，三民書局發行，中華民國 85 年 9 月五版。
- [2] Mehta, H. S. and Kobayashi, S. "Finite Element Analysis and Experimental Investigation of Sheet Metal Stretching." Journal of Engineering for Industry, (1973), pp. 874-880.
- [3] Kim, J. H., Oh, S. I., and Kobayashi, S., "Analysis of Stretching of Sheet Metals with Hemispherical Punch," Int. J. Machine Tool Des.
- [4] Kobayashi, S. and Kim, J. H. "Deformation Analysis of Axi-Symmetric Sheet Metal Forming Processes by the Rigid-Plastic Finite Element Method." Mechanics of Sheet Metal Forming-Material Behavior and Deformation Analysis, Plenum Press, New York, (1978), pp.341-345.

- [5] Lange, K., 1985. Handbook of Metal Forming. McGraw-Hill, New York.
- [6] Verhoeven, J.D. Fundamentals of Physical Metallurgy, Wiley, New York, 1975, p. 326
- [7] Robert E.Reed-Hill、Reza Abbaschian. "Physical Metallurgy Principles 4/E", CI-Engineering, (2009)
- [8] Long, H., 2006. Quantitative evaluation of dimensional errors of formed components in cold backward extrusion. Journal of Materials Processing Technology, 177: 591-595.

## 七、表格

SUS301 3/4H Physical Properties		
Density	Poisson Ratio	Young's Modulus
8 (g/cm <sup>3</sup> )	0.29	193 (GPa)
Yield Strength	Plastic Strain	Ultimate Strength
745 (MPa)	5%	1130 (MPa)

表 1 不鏽鋼材料參數

SUS301 3/4H Physical Properties (Material Test)		
Density	Poisson Ratio	Young's Modulus
8 (g/cm <sup>3</sup> )	X	X (GPa)
Yield Strength	Plastic Strain	Ultimate Strength
X (MPa)	X%	X (MPa)

表 2 不鏽鋼材料參數(實測)

C5210 H Physical Properties (Material Test)		
Density	Poisson Ratio	Young's Modulus
8.8 (g/cm <sup>3</sup> )	X	X (GPa)
Yield Strength	Plastic Strain	Ultimate Strength
X (MPa)	X%	X (MPa)

表 3 磷青銅材料參數(實測)

八、圖片

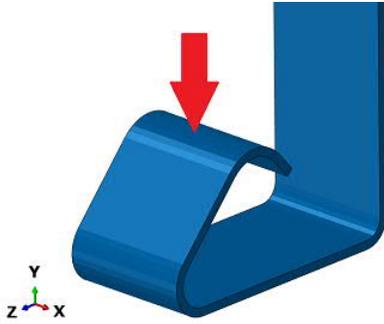


圖 1 金屬彈片有限元素模型

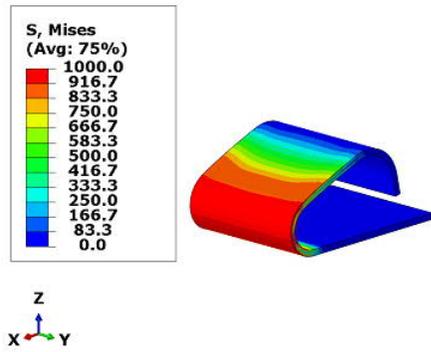


圖 4 von-Mises stress 圖 (實際材料參數)

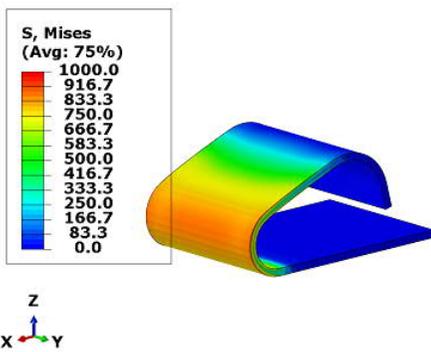


圖 2 von-Mises stress 圖 (原始材料參數)

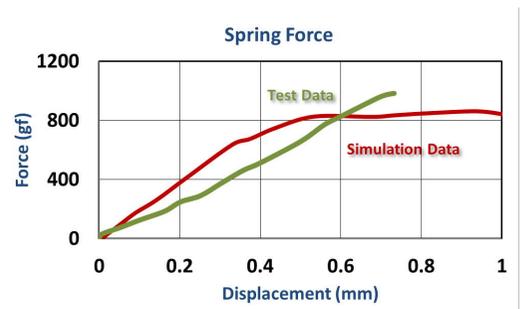


圖 5 模擬與實際彈片力試驗數值比較 (實際材料參數)

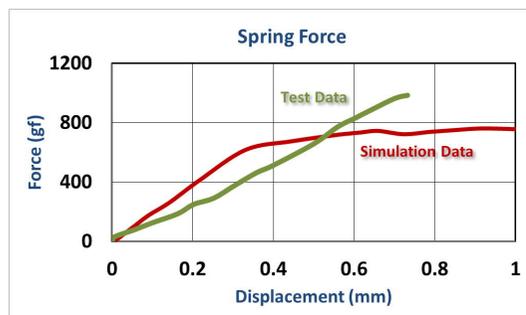


圖 3 模擬與實際彈片力試驗數值比較 (原始材料參數)

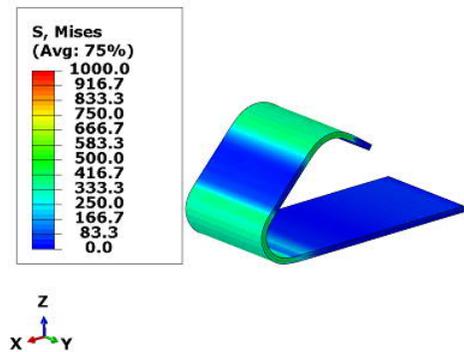


圖 6 金屬彈片之殘留應力圖 (實際材料參數)

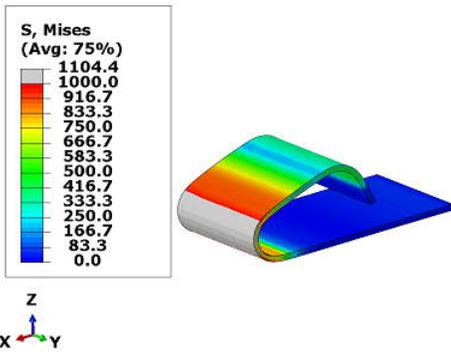


圖 7 von-Mises stress 圖 (實際材料參數+金屬彈片製程)

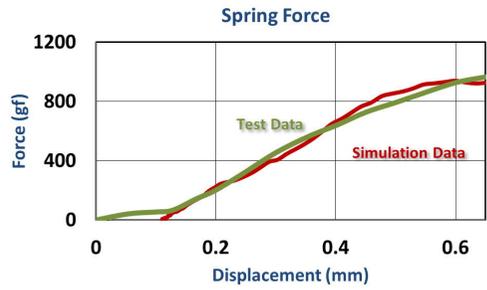


圖 10 模擬與實際彈片力試驗數值比較 (磷青銅實際材料參數+金屬彈片製程)

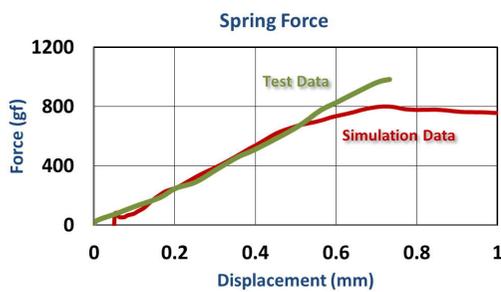


圖 8 模擬與實際彈片力試驗數值比較 (實際材料參數+金屬彈片製程)

接觸電阻與接觸反力關係示意圖

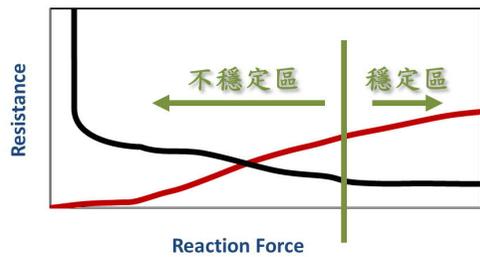


圖 11 接觸電阻與接觸反力關係示意圖

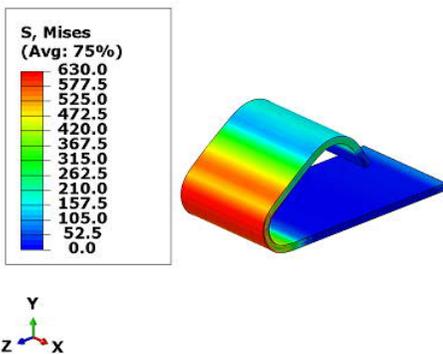


圖 9 von-Mises stress 圖 (磷青銅實際材料參數+金屬彈片製程)