

Glued Setting Application in Cell Phone Bending Analysis

呂紹台

宏達國際電子股份有限公司(hTC)

摘要

本應用研究依據ASTM規範進行雙面膠基礎材料試驗，並利用客製化程式代替公式計算，快速取得膠的材料常數及破壞強度，以膠合元素建立模型模擬單獨膠材的拉伸、剪切破壞，初步驗證程式及元素的可信度。接著應用此材料參數於手機三點彎曲模擬，搭配實驗以驗證此方法能準確預測膠的剝離現象，於設計階段早期發現問題並做改善。

關鍵字：膠合元素、膠合材料、膠合強度、破壞模式

ABSTRACT

This study adopts ASTM standards on double side tape material property test, and using user subroutine to replace formulas obtain the material setting and failure strength. Using cohesive element to simulate the adhesive under tensile and shear test, and verify the suitability of the user subroutine and element. Then apply this method to cell phone 3PB simulation. Through the test and simulate verification, we can predict the possibility of peeling phenomenon in earlier design stage and improve it.

Keywords: cohesive element, cohesive material, adhesive strength, failure mode

一、緒論

隨著智慧型手機日趨輕薄及美型化窄邊框的設計趨勢，使得觸控屏幕與機身結構貼合的面積急遽縮減，造成手機在日常使用環境下，可能因為彎折或掉落原因而出現屏幕與機身分離的情形。

本文針對以上使用情況下膠體所受的兩種受力情形：拉伸(tensile)及剪切(shear)，分別依照ASTM C297 [3]規範，測試正向拉伸強度及楊氏係數；依照ASTM D3165 [4]規範，測試剪切強度及剪切係數。利用客製化程式代替公式計算，快速取得膠體模擬分析時所需的材料常數及破壞強度，並以膠合元素模擬上述實驗的膠合破壞，做客製化程式以及元素初步的驗證。

接著應用此材料參數於手機三點彎曲模擬，搭配實驗以驗證此方法能準確預測膠的剝離現象，於設計階段早期發現問題並做改善。

二、膠合材料行為特性

2.1 膠合接著

在輕薄型的電子產品設計中，主要以機構卡合、螺栓固定以及膠合接著等方法固定元件，而其中又以膠合接著最為節省空間又可以有效分散應力及傳遞力量，但是需要足夠的面積及黏合強度才能確保元件被有效的接著。

2.2 膠合材料破壞模式

膠的結構組成可以分為兩種，(1)無基材膠(圖 1a);(2)有基材膠(圖 1b)，而膠合的破壞模式上也分為兩種(圖 2)，(1)發生在膠和接著物之間的黏合失效稱為 adhesive failure;(2)發生在膠體本身或基體的斷裂稱 cohesive failure。



圖 1(a)、無基材膠

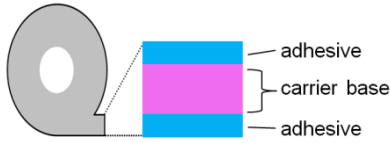


圖 1(b)、有基材膠

實際上膠材接合強度受到接著材料(adherend)、表面處理(surface preparation)、貼合環境如壓力、溫濕度等眾多因素影響，發生膠合破壞時可能是 adhesive failure，也可能是 cohesive failure，或是兩者同時出現。

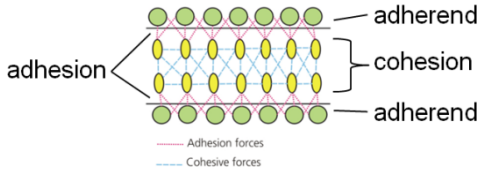


圖 2、膠的破壞模式

考量到手機使用的膠材厚度非常的薄以及模型簡化，在本文中使用的單一層元素模擬膠材的破壞，因此在模擬分析不管實際發生的破壞模式為何，把實驗得到的極限強度(ultimate stress)視為此兩種材料間發生 cohesive failure 的破壞強度。

2.3 力學理論

在 ABAQUS 中以線性彈性(linear elastic)材料來描述膠的力學行為，並忽略膠合層的厚度及 13、23 方向的面外剛性(out of plane stiffness)[1]。且因膠合層的厚度太薄難以在實驗時準確計算應變，因此以 traction-separation law (圖3)來描述膠的力學行為，而不是傳統的應力-應變(stress-strain)曲線，其式如下：

$$t = \begin{Bmatrix} t_n \\ t_s \\ t_t \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{nn} & K_{ns} & K_{nt} \\ & K_{ss} & K_{st} \\ \text{sym.} & & K_{tt} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_n \\ \varepsilon_s \\ \varepsilon_t \end{Bmatrix} = K\varepsilon \quad (1)$$

Nominal strain 定義如下：

$$\varepsilon_n = \delta_n/T_0, \varepsilon_s = \delta_s/T_0, \varepsilon_t = \delta_t/T_0$$

其中：

t_n = normal traction

t_s, t_t = shear traction

δ_n = normal separation

δ_s, δ_t = shear separation

T_0 = thickness

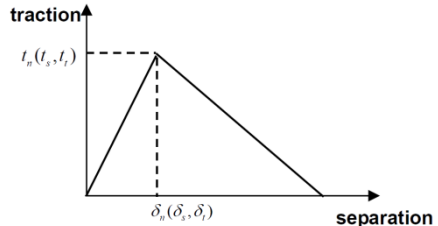


圖 3、traction-separation law

2.4 破壞判準

破壞判準上有一次的最大應力(max. nominal stress)、最大應變(max. nominal strain)判準，及二次應力(quadratic nominal stress)、二次應變(quadratic nominal strain)判準，其式如下：

Max. nominal stress criterion:

$$\max \left\{ \frac{t_n}{t_n^0}, \frac{t_s}{t_s^0}, \frac{t_t}{t_t^0} \right\} = 1 \quad (2)$$

Max. nominal strain criterion:

$$\max \left\{ \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_n^0}, \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_s^0}, \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_t^0} \right\} = 1 \quad (3)$$

Quadratic nominal stress criterion:

$$\left\{ \frac{t_n}{t_n^0} \right\}^2 + \left\{ \frac{t_s}{t_s^0} \right\}^2 + \left\{ \frac{t_t}{t_t^0} \right\}^2 = 1 \quad (4)$$

Quadratic nominal strain criterion:

$$\left\{ \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_n^0} \right\}^2 + \left\{ \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_s^0} \right\}^2 + \left\{ \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_t^0} \right\}^2 = 1 \quad (5)$$

三、材料常數取得

3.1 拉伸測試

依照 ASTM C297 [3] (圖4) 規範，以 1.27mm/min 拉伸速度，以厚度方向拉伸測試尺寸為 25x25 mm 的試片，取得正向拉伸強度及楊氏係數。結果如(圖5)。

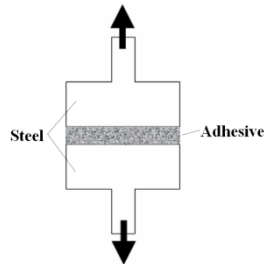


圖 4、拉伸測試試片

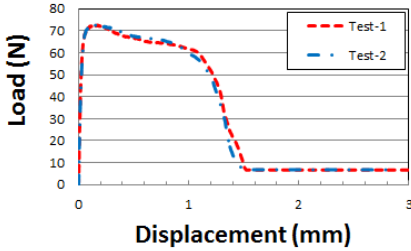


圖5、拉伸測試力量-位移曲線

3.2 剪切測試

依照 ASTM D3165 [6] (圖) 規範，以 1.27mm/min 拉伸速度，測試尺寸為 25x12.5 mm 的試片，取得剪切強度及剪切係數。結果如(圖7)。

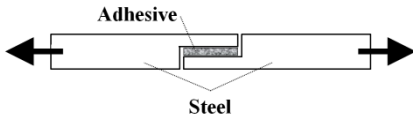


圖6、剪切測試試片

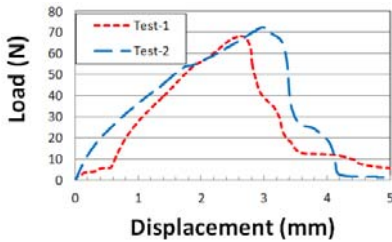


圖7、剪切測試力量-位移曲線

統整上述實驗，由試驗中取得 t_n 、 t_s 、 t_t 及 δ_n 、 δ_s 、 δ_t ，藉由式(1)求得材料常數；除此之外，也可以將計算式寫成 ABAQUS 客製化程式(plug-ins)[2]，快速取得膠體模擬分析時所需的材料常數及破壞強度。

四、初步驗證

4.1 有限元素模型

在有限元素模型中使用一層 COH3D8 膠合元素模擬膠合層的破壞，並根據上述實驗取得的材料常數及破壞強度輸入到 ABAQUS 建立破壞模型以模擬實際膠合破壞的過程。而破壞模型中包含了三個過

程：(1) 初始破壞判準 (damage initiation criterion)、(2) 破壞成長 (damage evolution law)、(3) 元素移除 (element removal)，其中初始破壞判準使用二次應力判準 (quadratic nominal stress criterion)，在滿足了初始破壞判準後，元素可承載的應力開始快速衰減，當元素達到所設定的 fracture energy 後視為完全破壞，即進行元素的移除。

4.2 拉伸測試

以位移控制模擬實際拉伸的情形，直到膠合元素完全破壞，在模型中可觀察到膠合層的初始破壞位置及破壞成長過程 (圖8)，並同時比較實驗的力量-位移曲線，結果如(圖9)。

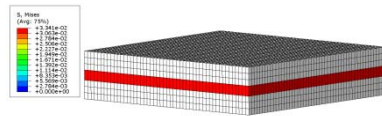


圖8、拉伸測試有限元素模型

實驗中，膠的行為呈現非線性的表現，而在有限元素模型中，破壞判準滿足前後材料的行為則是線性的，因此造成如(圖9)的結果偏差，但仍然可以描述膠合材料的初始破壞強度以及相近的破壞成長行為。

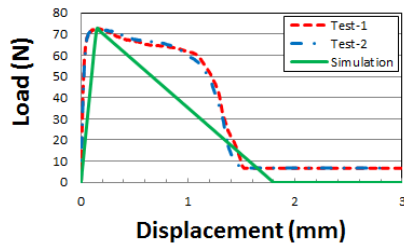


圖9、實驗及分析結果比較

4.3 剪切測試

以位移控制模擬實際拉伸的情形，直到膠合元素完全破壞，在模型中可觀察到膠合層的初始破壞位置及破壞成長過程 (圖10)，並同時比較實驗的力量-位移曲線，結果如(圖11)。

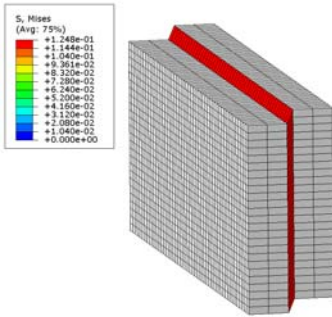


圖 10、剪切測試有限元素模型

實驗中，膠的行為同樣呈現非線性表現，在達到極限強度後，整個膠合層瞬間破壞，力量急劇下降；而有限元素模型中也正確的模擬出此現象，在達到極限強度後，殘留的膠仍承載著一些力量。

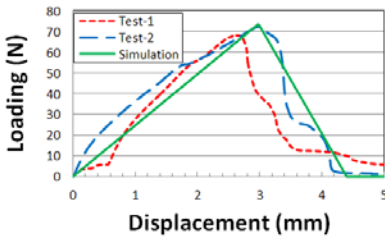


圖 11、實驗及分析結果比較

4.4 結論

本應用研究根據ASTM 規範進行膠的基礎材料試驗取得材料常數及破壞強度，並以ABAQUS 膠合元素建立破壞模型模擬膠的拉伸、剪切、剝離等破壞情形。經過初步的實驗及模擬驗證結果總結如下：

1. 膠材的接著強度隨著接著物表面的不同而有所差異，必須經由實際測試來取得模擬分析時所需的材料常數及破壞強度。
2. 儘管實驗曲線為非線性表現，但模擬中所使用的線性破壞判準仍然可以準確描述膠合材料間發生cohesive failure 的初始破壞強度以及相近的破壞成長結果。

五、應用

5.1 手機三點彎折測試

應用前述方法取得手機觸控屏幕實際

貼合所使用膠材的材料參數，放進整機三點彎曲模擬中，整理結果並同時比較實驗的力量-位移曲線如(圖12)。

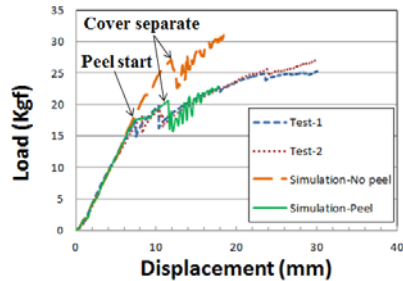


圖 12、實驗及分析結果比較

在模擬結果中，屏幕貼合膠料於17kgf 時開始發生剝離現象，如(圖13)所示，而實驗結果的力量-位移曲線也有相同的強度表現，這顯示雖然在實驗中因為外觀件的遮蔽及膠材的初始剝離現象不易判斷，但搭配觀察到屏幕浮起的現象以及力量-位移曲線斜率改變，推測此時應該已經出現部分膠料貼合失效的狀態，導致明顯的強度降低。

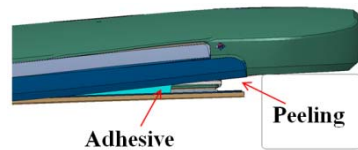


圖 13、膠材剝離初始點(17Kgf)



圖 14、實機測試(25Kgf)

5.2 結論

本文試範利用膠合材料基本拉伸及剪切測試取得貼合強度表現，並利用客製化程式代替公式計算，快速取得膠的材料常數及破壞強度，接著應用此材料參數於手機三點彎曲模擬，搭配實驗以驗證此方法能準確預測膠的剝離現象。

此方法能夠應於早期設計階段，發現膠料貼合強度不足的問題，並藉由更換膠材、改善接著面或著增加貼膠面積來解決屏幕剝離的問題。

六、參考文獻

- [1]馮瑞裕、鄭榮和, "膠合元素的實驗驗證與應用," ABAQUS 使用者大會會議論文, 2007.
- [2]蘇旭民, "膠合材料的行為與設定," ABAQUS 使用者大會會議論文, 2013.
- [3]ASTM C297, "Standard Test Method for Flatwise Tensile Strength of Sandwich Constructions," Annual Book of ASTM Standards, 2010.
- [4]ASTM D3165, " Standard Test Method for Strength Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading of Single-Lap-Joint Laminated Assemblies," Annual Book of ASTM Standards, 2014.
- [5]ASTM D1781, "Standard Test Method for Climbing Drum Peel for Adhesives," Annual Book of ASTM Standards, 2012.

