

軟性結構材質介面黏著強度與疲勞耐久性分析

李詩寧、葉瑞嘉、蔡進源
寶成工業股份有限公司

摘要

本研究主要目的是為提供方法，評估軟質材料之疲勞壽命耐久分析。透過有限元分析軟件ABAQUS模擬進行軟質材料下彎曲試驗疲勞分析。網格模型建立、邊界條件設定及負載施加，並以疲勞實驗SN曲線進行驗證，建立正確分析模型。應用有限元素法搭配應力疲勞壽命曲線圖可以快速和有效評估軟質結構材料壽命破壞形式。研究架構分為實驗與分析兩部分，實驗部分內容為疲勞實驗，並從實驗結果討論不同破壞模式之黏著強度，然後由單邊搭接方式取得應力疲勞壽命曲線圖。藉由實驗結果討論不同破壞模式之黏著強度，以單邊搭接方式取得應力疲勞壽命曲線圖。並建立有限元模型模擬分析法，模擬軟質結構材料用於鞋底受彎曲之狀態並且觀察應力集中區以及應力分佈狀況。最後依照模擬結果比對應力壽命曲線圖並且評估黏著強度壽命；軟性結構材質運用此模擬流程執行疲勞分析，可有效縮短產品開發時程及降低測試成本。

關鍵字：彎曲、疲勞強度、單邊搭接測試、有限元素法

ABSTRACT

The major is purpose to provide methodology to evaluate the lifetime of structure of soft material with fatigue analysis. The fatigue analysis for structure of soft material under bending test is performed by the simulation of finite element software Abaqus. The modeling of mesh size, boundary conditions, and loadings is experimentally verified by the stress measurements. This study consists of the experiment and simulation to the S-N curves have been explored by fatigue test. The results from the tests could investigate the failure modes to structure of soft material adhesive strength by rapid and effective method to study the mechanism and fatigue life in a simulation. The results from the tests could investigate the failure modes of adhesive strength. The S-N curves have been explored by fatigue test. The three dimensional finite element models has been used to analyze bending state of sole by structure of soft material. Observe the position of stress distribution and the location of the maximum stresses, this result could lead to find out the lifetime with S-N curve. The fatigue analysis of structure of soft material by finite element simulation could reduce the development time and testing cost.

Keywords : *bending*、*fatigue*、*single lab joint test*、*finite element*

一、緒論

產品用料於軟性結構材料相互黏著時，介面黏著劑之破壞一直是研發設計時所面臨之問題；以往必須倚靠經驗與測試進行設計修改方能完成，且產品於量產前皆必須經過一連串產品測試，其中以彎折測試(Bending test)做為品檢測試項目。以鞋業為例，每種運動鞋出廠須達至品檢標準(7萬次)，在Bending test測試過程中，

一旦測試次數未達標準值(7萬次)，則須重新修改設計；往覆過程須花費大量時間以及經驗，並且持續循環，直到設計及產品檢測完成後，產品方可進行量產。本研究將設計實驗流程與模擬方法藉以替代Bending test，藉由模擬方法分析不同軟性結構材質黏著介面以及各種力學行為，此力學分析方法可以運用於產品設計；模擬可隨時修改結構，得以快速取得模擬結

果，透過此方法可有效縮短產品開發時程以及減少實驗試驗成本。此外，如預測各膠層之疲勞壽命，可取得每層之疲勞壽命，並且由使用者挑選欲分析之產品，分析力學行為後藉由實驗與模擬互相搭配，比對由實驗取得之 S-N curve 即可預測壽命，爾後如使用相同之材質設計，此實驗數值亦可參考，藉以減少設計與實驗開發之時間。

二、單邊搭接疲勞實驗

試片分為 Rubber 與 TPU(Thermoplastic Polyurethane) 中間交疊區塊以黏著劑黏著(水性膠與油性膠)，試片製作方式參考文獻取得試片規範與實驗條件，實驗結果記錄各種破壞模式以及黏著強度，最後取得疲勞實驗結果繪製應力壽命曲線圖(S-N Curve)。

2.1 實驗儀器

一般實驗分高週疲勞實驗與低週疲勞實驗依據文獻 0，壽命大於 107 壽命稱為高週疲勞實驗(HCF=High cycle fatigue)，反之小於 107 壽命視為低週疲勞實驗(LCF=Low cycle fatigue)，本研究目標壽命為七萬次以及參考文獻 00 可知本實驗屬於低週疲勞實驗。疲勞實驗流程分為四個步驟，定義疲勞之負載、定義疲勞破壞方法(停止實驗)、實驗頻率、最後把兩種黏著劑黏著於 Rubber 之疲勞數據繪製 S-N curve，0 為疲勞實驗之流程圖。

2.2 定義疲勞負載

定義疲勞負載藉由第二章節取得剪向最大極限應力，油性膠黏著 Rubber 之靜態拉伸實驗值 3.351MPa 以及水性膠黏著 Rubber 之靜態拉伸實驗值 2.572MPa，依據單邊搭接取得之靜態極限應力，將靜態極限應力下降百分比後當作疲勞負載，舉例以油性膠之極限拉伸應力值下降 50% 即為疲勞負載如 0，依此方法下降不同百分比取得各疲勞之負載。

2.3 定義疲勞破壞與實驗頻率

一般金屬疲勞實驗通常壽命超過 107

或是更高的壽命，另外複合材料疲勞實驗通常壽命小於 107，所以判斷金屬或複合材料疲勞破壞的方式，主要分為兩種類型：

● Peak load drop force 90% 0：

此方法應用於高週疲勞實驗，大部分使用在金屬材料上，有些材料強度雖然下降 10% 之強度，但有可能壽命已經超過 107 或是更高的壽命，因此為了實驗能夠執行，所以高週疲勞實驗通常採用 Peak load drop force 90% 視為疲勞破壞。

● Peak load drop force 50% 0：

適用於低週疲勞實驗，大部分使用在聚合物材料，一般聚合物材料疲勞壽命都低於 107，所以聚合物材料之疲勞實驗所需的時間會比金屬疲勞時間短，也因此低週疲勞實驗通常採用 Peak load drop force 50% 視為疲勞破壞。

依據業界之測試要求，運動鞋至少必須達到七萬次壽命標準，本實驗採用 Peak load drop force 50% 視為 Fatigue Failure 即為停止實驗之標準，疲勞實驗過程中一旦發現應力下降 50% 即可停止實驗如 **錯誤！找不到參照來源。**，本研究疲勞實驗使用位移控制方式。

本研究之疲勞頻率為 0.1Hz，機台精準度 $3000 \pm 10 \mu m$ 如 0， $R = -1$ (minimum displacement / maximum displacement) 00，本實驗之機台無法紀錄高頻率之負載與位移，所以以下疲勞實驗皆以 0.1Hz，疲勞實驗條件參考依據 0。

2.4 單邊搭接動態疲勞實驗結果

藉由靜態極限拉伸應力此實驗將以位移控制方式進行實驗，疲勞實驗使用油性膠與水性膠黏著 Rubber 並施予往復式負載。0 為油性黏著劑黏著 Rubber 取得之應力壽命曲線圖，0 為疲勞實驗之斷面圖。0 為水性黏著劑黏著 Rubber 取得之應力壽命曲線圖，0 為疲勞實驗之斷面圖。

由疲勞實驗結果發現水性黏著劑與油性黏著劑動態之應力壽命曲線可知油性黏著劑壽命比水性黏著劑壽命長，油性壽命約為水性黏著劑壽命 1.27 倍，討論兩種黏著劑之剪向靜態拉伸實驗與動態疲勞實驗斷面圖。由實驗結果得知油性黏著

劑靜態破壞斷面與動態疲勞破壞斷面，兩者破壞模式皆以底材破壞模式為主，水性黏著劑靜態破壞模式以黏著劑破壞方式，動態疲勞破壞模式以介面破壞模式方式，油性膠、水性膠之動態與靜態破壞模式整理如表1。

三、有限元素模型建立與模擬

本研究使用套裝軟體 Abaqus 模擬運動鞋受 Bending 狀態，藉由模擬軟體，分析軟性結構材質應用於運動鞋之介面黏著受力狀態，鞋體材料界面受拉應力較易受到破壞，一旦確定受力破壞方式即可預估運動鞋材料疲勞壽命，如圖 3-1 為研究流程圖。

3.1 膠合元素材料特性

傳統製程中，材料與材料接合多以螺栓或焊接製程工法，但這些方式皆會對於材料產生破壞或是應力集中，因此設計適當強度之膠合接著可有效分散應力以及增加接著效率。

膠合破壞模式可分成兩種，發生在膠合接著物之間的介面破壞稱 adhesive failure；發生在黏著劑本身之斷裂稱 cohesive failure，但膠材受到黏著時許多外在因素的影響，難以判斷實際發生之破壞模式，所以本文之模擬方式把實驗得到的極限強度視為此兩種材料間發生 cohesive failure 的破壞強度。

因為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 的方法描述膠的力學行為，取代傳統的應力-應變曲線，其式如下及圖 3-2：

其中

tn = normal traction ε = 應變

tt, ts = shear traction

K = 材料剛性矩陣

δn = normal separation

To = 試片原始長度

δt, δs = shear separation

黏著劑破壞準則主要分為四種方法，最大應力(max. normal stress)、最大應變(max. normal strain)準則，及二次應力(quadratic normal stress)、二次應變 quadratic normal strain)準則，其式如下：

Max.normal stress criterion:

$$\max \left\{ \frac{\langle t_n \rangle}{t_n^o}, \frac{t_s}{t_s^o}, \frac{t_t}{t_t^o} \right\} = 1 \quad (3-1)$$

Max.normal strain criterion:

$$\max \left\{ \frac{\langle \varepsilon_n \rangle}{\varepsilon_n^o}, \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_s^o}, \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_t^o} \right\} = 1 \quad (3-2)$$

Quadratic normal stress:

$$\left\{ \frac{\langle t_n \rangle}{t_n^o} \right\}^2 + \left\{ \frac{t_s}{t_s^o} \right\}^2 + \left\{ \frac{t_t}{t_t^o} \right\}^2 = 1 \quad (3-3)$$

Quadratic normal strain:

$$\left\{ \frac{\langle \varepsilon_n \rangle}{\varepsilon_n^o} \right\}^2 + \left\{ \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_s^o} \right\}^2 + \left\{ \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_t^o} \right\}^2 = 1 \quad (3-4)$$

t_n^o, t_s^o, t_t^o = 正向、剪向最大 Traction 值
 $\varepsilon_n^o, \varepsilon_s^o, \varepsilon_t^o$ = 正向、剪向最大應變值
 模擬部份破壞準則皆採用二次應力 (Quadratic normal stress)，此方法考慮三種方向之應力，模擬結果一旦等於 1 即開始破壞。模擬參數由靜態拉伸實驗得知黏著劑正向以及剪向極限應力，經過轉換成 Traction 值與黏著劑材料性值，計算結果如下表 2。模擬之 Traction-separation response 皆以線性方式，原因是套裝軟體輸入的數值即為最小值與最大值的斜率所以表現出來的結果呈現一直線的狀態，另外分離的方式有兩種方式，第一種 Benzeggagh kenane 準則，此方法是設定總能量方式，當內能達到內能總能量立即斷裂，第二種設定 Displacement 方式定義斷裂，也就是當膠合元素之 Traction 達到破壞應力後，再接續設定之位移量使之斷裂，本研究採用設定位移的方式定為分離機制。

3.2 驗證黏著劑參數

進行全鞋模擬前，必須先驗證是否在套裝軟體達到應用的價值，並證明模擬方

法是否可行，驗證完畢即可接續判別運動鞋受力狀態。驗證的模型分為正向以及剪向，驗證工作主要是比對正向之 Traction 值以及剪切之 Traction 值，而 Abaqus 可以直接輸出正向以及剪向 Traction，所以無須另外計算。

第一部分先驗證正向 Traction 值，使用 Abaqus 軟體建立有限元素模型，正向模擬驗證 Traction 結果如圖 3-3。

正向 Traction 值驗證完接著驗證剪向 Traction 值，使用 Abaqus 軟體建立有限元素模型，剪向模擬驗證 Traction 值結果如圖 3-4。

3.3 膠合元素設定

膠合元素選擇在 Rubber 與 TPU 中間鋪一層膠合元素，連接的方式使用 Tie 連接上下兩層材質。

膠合元素之設定程序可由 Abaqus 軟體開啟 Mesh 進入設定介面，使用者選擇膠合元素要鋪陳的表面，在各黏接處鋪一層膠合元素後並由使用者設定其黏著劑厚度以及層數。

運動鞋經過 Bending test 後的結果，發現運動鞋最容易發生脫膠的部分發生在 Rubber(底材)與 TPU 黏接的地方。本研究依照運動鞋容易產生脫膠的部位建立膠合元素並且設定接觸方法。實驗中無法得知黏著劑之厚度，以實驗方法取得黏著劑參數，套裝軟體膠合元素的厚度設定為零，後處理選擇需要分析的膠合元素層，以及各部位之應力圖形以供判斷受力狀態。

建立黏著劑元素的優點：

1. 模擬軟體應力表示方式即為 Traction 值 (S33、S13、S23)，S33 為正向之 Traction，S13、S23 為剪向之 Traction。
2. 越接近運動鞋真實的狀況，黏著劑元素模擬出來的結果已經是黏著劑之 Traction 值，所以在預估介面材料疲勞壽命時無需再經轉換程序。
3. 運動鞋進入模擬後，假如黏著劑元素已經分離，表示運動鞋未達設計疲勞壽命所以必須修改設計，使運動鞋達到品檢的標準(Bending test)。

3.4 邊界條件與材料性質

藉由套裝軟體分析運動鞋受 Bending 狀態，由模擬觀察容易產生應力集中的區域並且判別運動鞋受力之狀態，全鞋模擬使用 Abaqus/Standard 軟體進行模擬，先將膠底、射出片、氣囊與中底由 HyperWorks 所組成之有限元素的模型，並由 HyperWorks 進行模型修改並且網格，網格後之模型導入有限元素軟體 Abaqus 後，利用 Abaqus 進行各元件距離位置與角度之修整。

模擬運動鞋在機台上受彎曲之狀態，運動鞋壓在機台上分析步驟：(1)先將鞋子定位後，(2)設定邊界條件，(3)將頭部壓桿壓下，固定運動鞋前端，(4)驅動滑動桿，使運動鞋產生彎曲現象。

模擬運動鞋彎曲的方式，由實際機台 Bending test 之彎曲角度 60 度設為模擬之邊界條件。

3.5 運動鞋模擬分析結果

藉由模擬方法評估鞋體在運動狀態下受力模式與受力大小，並藉此預估鞋體容易受到破壞的部位以及趨勢。實驗與模擬搭配運動鞋模擬結果判斷受力模式，由材料力學觀念可知在物體受力之狀態其產生應力集中的地方會開始產生破壞，材料體受拉應力之結果會比材料受壓應力容易受到材料破壞，而且破壞的方式以及材料抵抗的能力有明顯的差別。

軟體膠合元素總共可輸出三種應力狀態，S33、S13 與 S23，S33 應力沿著 t 厚度方向之應力即為正向應力，S13 與 S23 為膠合元素表面之剪向應力如圖 3-5。

套裝軟體分析正向應力 S33 之 Traction 值如圖 3-6。最大正向拉應力 Traction 值為 3.24×10^4 (Pa)，最大正向壓應力 Traction 值為 -1.5×10^5 (Pa)，但是對於鞋子來說受力方向未知，對於判斷受力方式可能有誤差，所以需要更明確的受力方向。本研究運用 MATLAB，繪製具有方向之應力圖，由 Abaqus 輸出正向 Traction 值以及節點座標後，匯入 MATLAB 繪出具有方向性之正向 Traction，流程如圖 3-7。

經由 MATLAB 繪製正向應力圖形後

即可判斷膠合元素受拉應力與壓應力之方向，繪製結果如圖 3-8。

四、結論與未來展望

4.1 結論

本研究實驗與模擬分析可得以下之結論：由靜態正向拉伸實驗結果可知，以油性黏著劑黏著之 Rubber 與 TPU，Rubber 破壞模式分為三種，黏著劑破壞、混合式破壞與底材破壞，重現性分析結果以黏著劑破壞為主要方式；TPU 破壞模式有兩種，黏著劑破壞、混合式破壞，重現性分析結果以黏著劑破壞為主要方式。

使用油性膠黏著 TPU，在製作過程中會在 TPU 表面刷一層底漆使之黏著性更好(TPU 表面光滑不易黏著)，所以在實驗結果發現確實發生在介面上之破壞強度有顯著的比黏著劑上破壞強度弱，發生在黏著劑破壞之黏著強度約為介面破壞模式的 3 倍。

以油性黏著劑黏著之 Rubber 與 TPU，靜態剪向拉伸實驗結果可知，Rubber 破壞模式分為兩種，底材破壞模式與混合式破壞模式，重現性分析結果以底材破壞模式為主要，TPU 破壞模式分為兩種黏著劑破壞模式與介面破壞模式，重現性分析結果以黏著劑破壞為主要方式。

油性黏著劑與水性黏著劑靜態拉伸實驗結果可知，歸納兩種黏著劑破壞形式實驗結果，以油性黏著劑黏著之 Rubber 破壞方式以底材破壞為主導，另外以水性黏著劑黏著之 Rubber 破壞模式以黏著劑破壞為主導，兩種黏著劑黏著強度油性黏著劑強度約為水性黏著劑 1.3 倍。

使用油性黏著劑黏著 Rubber 與 TPU，最後實驗結果顯示黏著劑對於不同的結構，破壞的模式以及黏著強度有明顯的差別，正向實驗以表面處理之 TPU 黏著強度約為 Rubber 黏著強度 3 倍。

正向實驗之 Rubber 破壞模式所占的比例，其中黏著劑破壞占 38%、底材破壞模式占 15%、黏著劑破壞占 46%，另外 TPU 實驗結果其中黏著劑破壞模式占 57%、介面破壞模式占 43%。剪向實驗之

Rubber 破壞模式所占的比例，其中底材破壞模式占 33%、混合式破壞模式占 67%，另外 TPU 實驗結果其中黏著劑破壞模式占 67%、介面破壞模式占 33%，綜合性比較破壞強度如表 2。

藉由模擬以及實體驗證可供該鞋型容易受到破壞的部位。並且觀察鞋體彎曲時黏著劑受力狀態以及受力大小，此研究流程方法以及模型，可提供設計師參考依據以及改善方向。

比較水性膠與油性膠之疲勞壽命，結果發現油性膠疲勞壽命比水性膠疲勞壽命長，油性膠疲勞壽命大約為水性膠之 1.27 倍。

由實驗結果得知油性黏著劑之靜態破壞斷面與動態疲勞破壞斷面，兩者破壞模式皆以底材破壞模式為主，水性黏著劑靜態破壞模式以黏著劑破壞方式，疲勞破壞模式以介面破壞模式方式。

由模擬結果比對應力壽命曲線圖，由模擬結果之最大剪應力值為 2.5×10^4 (Pa)，比對未修正之應力壽命曲線圖預估水性膠疲勞壽命約 6.93×10^5 次，油性膠疲勞壽命約 2.34×10^6 次，由模擬結果重新修正應力壽命曲線圖後重新評估黏著劑疲勞壽命，經過重新預估後水性膠之疲勞壽命大約為 4.1×10^5 萬次之壽命，油性膠疲勞壽命大約為 1.4×10^6 萬次之壽命，水性膠預估結果從 13.86 倍降至 8.2 倍。

4.2 未來研究方向

現行使用剪向疲勞壽命預估軟性結構材質應用於運動鞋之材料疲勞壽命，未來研究可以考慮正向的因素，進而改善預估設計材料疲勞以及產品壽命的誤差，目前模擬之模型仍很粗糙，在未來可以修改網格使表面更平滑，藉以提升更準確的模擬數值。此外模擬之鞋面模型採用檯頭的模型代替複雜的鞋面以及鞋帶，真實鞋面的材質是複合材料性質，這也可能使模擬出來的結果不準確的原因，未來可以加入鞋面材料性質。

五、參考文獻

- [1] Chia-Wei Chang and Jiunn-Der Liao "Nano-indentation at the surface contact level: applying a harmonic frequency formeasuring contact stiffness of self-assembled monolayers adsorbed on Au" *Nanotechnology* 19 (2008) 315703 (6pp).
- [2] S. Voyutskii, V. L. Vakula, "The role of diffusion phenomena in polymer-to-polymer adhesion", *Journal of Applied Polymer Science*, Volume 7, Issue 2, pages 475-491.
- [3] Derjaguin, B. V., L. D. Landau, "Theory of Stability of Strong Charge Lyophobic Sols and of the Adhesion of Strong Charged Particles in Solutions of Electrolytes", *Acta Physicochimica URSS*, 14, pp. 633-662, 1941.
- [4] Victor Munoz, Eric R. Henry, James Hofrichter and William A. Eaton. "A Statistical Mechanical Model for β -hairpin Kinetics Acad". *Sci.USA* 1998, 95, 5872-5879.
- [5] 郭金昇 "碳纖維複合材與磚造砌體之黏著強度研究(The Bond Strength between Carbon Fiber Reinforced Polymer(CFRP) Composites and Brick Masonry)" 中華民國九十二年
- [6] Stephan, Alex Gladkov and Avram Bar-Cohen "Parametric Dependence of Fatigue of Electronic Adhesives" *IEEE Transactions On Components And Packaging Technology*, Vol. 22, No. 2, June 1999.
- [7] J.A.M Ferreira, P.NReis, J.D.MCosta, M.O.WRichardson "Fatigue behavior of composite adhesive lap joints" *Composites Science and Technology*, Volume 62, Issues 10-11, August 2002, Pages 1373-1379.
- [8] M. Vural , A. Akkus, B. Eryurek "Effect of welding nugget diameter on the fatigue strength of the resistance spot welded joints of different steelsheets" *Volume 176, Issues 1-3*, 6 June 2006, Pages 127-132.
- [9] G. Mukhopadhyaya, S. Bhattacharyab, K.K. Raya, "Strength assessment of spot-welded sheets of interstitial free steels" *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 209, Issue 4, 19 February 2009, Pages 1995-2007.
- [10] C. Andersson, J. Liu "Effect of corrosion on the low cycle fatigue behavior of Sn - 4.0Ag - 0.5Cu lead-free solder joints" *International Journal of Fatigue*, Volume 30, Issue 5, May 2008, Pages 917-930.
- [11] Yi-Ming Jen , Chih-Wei Ko "Evaluation of fatigue life of adhesively bonded aluminum single-lap joints using interfacial parameters" *International Journal of Fatigue* Volume 32, Issue 2, February 2010, Pages 330-340.
- [12] A.M. Pereira, J.M. Ferreirab, F.V. Antunesb, P.J. Bartoloa "Analysis of manufacturing parameters on the shear strength of aluminium adhesive single-lap joints" *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 210, Issue 4, 1 March 2010, Pages 610-617.
- [13] Sébastien Joannès, Jacques Renard, Vladimir Gantchenko "The role of talc particles in a structural adhesive submitted to fatigue loadings" *International Journal of Fatigue*, Volume 32, Issue 1, January 2010, Pages 66-71.
- [14] Xinran (Sharon) Xiao, Peter H. Foss, Jessica A. Schroeder "Stiffness prediction of the double lap shear joint" *International Journal of Adhesion & Adhesives* 13 October 2003.
- [15] M. Venkateswara, K. Mohana, V. Rama Chandra, V. Bala Krishna, and V. Sridhara "Analysis of Adhesively Bonded Single Lap Joint in Laminated Frp Composites Subjected to Transverse Load" *International Journal of Mechanics and Solids*, Volume 3 Number 1 (2008) pp. 75-86.
- [16] K.B. Katnam, J.P. Sargent, A.D. Crocombe, H. Khoramishad, I.A. Ashcroft "Characterisation of moisture-dependent cohesive zone properties for adhesively bonded joints" *Engineering Fracture Mechanics*, Volume 77, Issue 16, November 2010, Pages 3105-3119.
- [17] H. Khoramishad, A.D. Crocombe, K.B. Katnam, I.A. Ashcroft "Predicting fatigue damage in adhesively bonded joints using a cohesive zone model" *International Journal*

of Fatigue, Volume 32, Issue 7, July 2010, Pages 1146-1158.

[18] “Standard Test Method for Strength Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading of Single-Lap-Joint Laminated Assemblies1”ASTM D 3165.

[19] “Standard Test Method for Flatwise Tensile Strength of Sandwich Constructions1”ASTM C 297.

[20] 任貽明“溫濕度效應對單邊搭接黏著劑接合件靜態及疲勞強度影響之研究”中華大學機械工程學系碩士班,九十八年

[21] P.R. Underhill, D.L. DuQuesnay “The dependence of the fatigue life of adhesive joints on surface preparation” International Journal of Adhesion and adhesive, Volume 26, Issues 1-2, February-April 2006, Pages 62-66.

[22] Theodore Nicholas“ High cycle fatigue: a mechanics of materials perspective”.

[23] H. D. Solomon,Gary R. Halford,L. R. Kaisand,Brian N. Leis“ Low Cycle Fatigue”.

[24] Taeko Ando , Mitsuhiro Shikida , Kazuo Sato“ Tensile-mode fatigue testing of silicon films as structural materials for MEMS” Sensors and Actuators A: Physical, Volume 93, Issue 1, 25 August 2001, Pages 70-75.

[25] By Daan Hein Alsem, Olivier N. Pierron, Eric A. Stach, Christopher L. Muhlstein and Robert O. Ritchie“Mechanisms for Fatigue of Micron-Scale Silicon Structural Films”ADVANCED ENGINEERING MATERIALS 2007, 9, No. 1–2.

[26] 趙永清“電子構裝元件可靠度與電氣特性之量測與分析”國立中正大學機械工程研究所博士論文,2003

[27] Sreeramesh Kalluri,Peter J. Bonacuse“ Multiaxial fatigue and deformation: testing and prediction” ASTM Stock Numbe: STP138.

六、表格

黏著劑	破壞模式
油性膠(靜態)	底材破壞模式
油性膠(動態)	底材破壞模式
水性膠(靜態)	黏著劑破壞模式
水性膠(動態)	介面破壞模式

表1 油性、水性膠之靜態與動態破壞模式

$K_{II}(MPa)^{\circ}$	$K_{IS}(MPa)^{\circ}$	$K_I(MPa)^{\circ}$
2.25 ^o	0.299 ^o	0.299 ^o
$t_n(MPa)^{\circ}$	$t_s(MPa)^{\circ}$	$t_t(MPa)^{\circ}$
3.69 ^o	3.351 ^o	3.351 ^o
Damage displacement ^o	Damage displacement ^o	Damage displacement ^o
3(mm) ^o	13.5(mm) ^o	13.5(mm) ^o

表 2 黏著劑材料系數及破壞強度

破壞強度比較 ^o		
油性膠 ^o	Rubber ^o (正向實驗) ^o	黏著劑破壞>底材破壞>混合式破壞 (A+B) ^o
	TPU ^o (正向實驗) ^o	黏著劑破壞>混合式破壞 (A+D) ^o
	Rubber ^o (剪向實驗) ^o	底材破壞模式>混合式破壞 (A+B) ^o
	TPU ^o (剪向實驗) ^o	黏著劑破壞>介面破壞 ^o

表 3 破壞強度比較

七、圖片

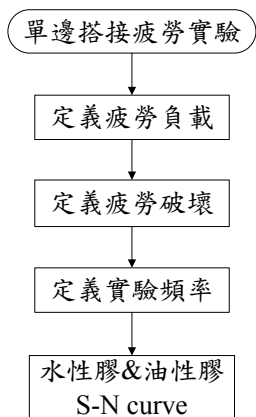


圖 2-1 疲勞實驗流程圖

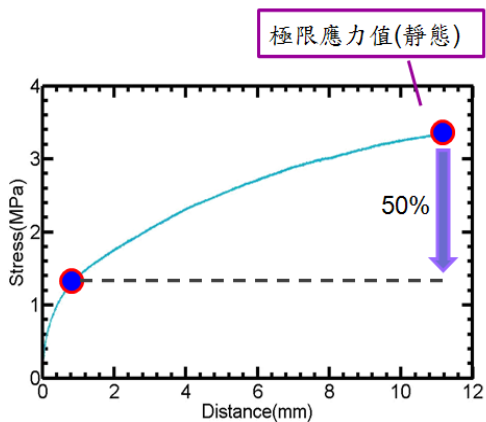


圖 2-2 定義疲勞負載

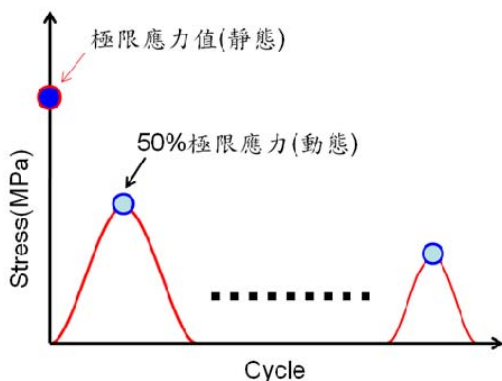


圖 2-3 動態疲勞負載

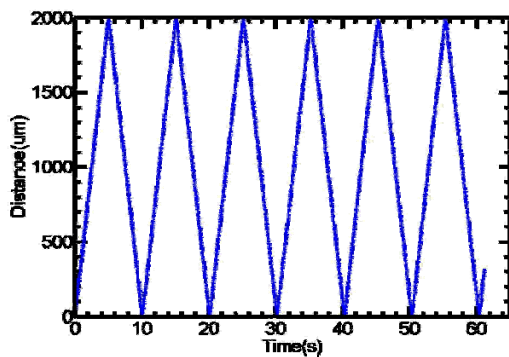


圖 2-4 0.1Hz time-displacement by mini-tester $3000 \pm 10 \mu m$

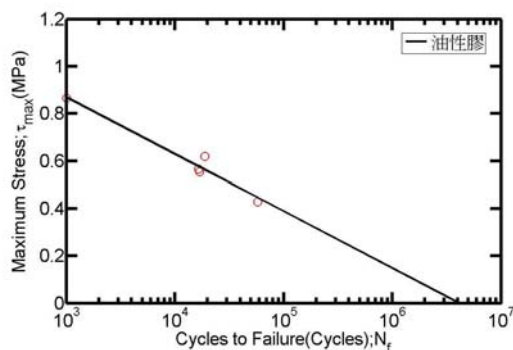


圖 2-5 單邊搭接疲勞實驗之應力-壽命曲線圖

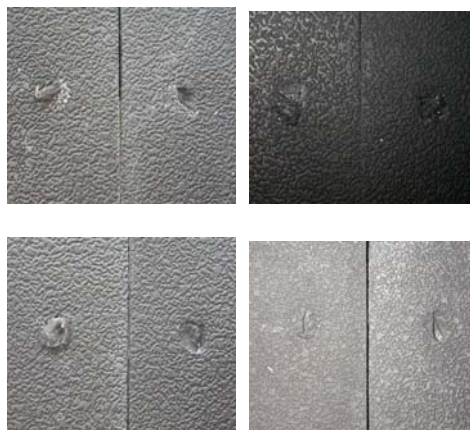


圖 2-6 單邊搭接疲勞實驗之斷面圖

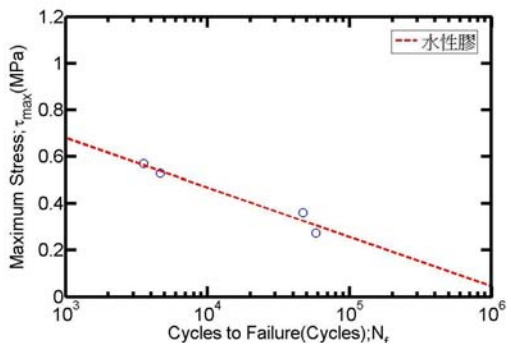


圖2-7 單邊搭接疲勞實驗之應力-壽命曲線圖

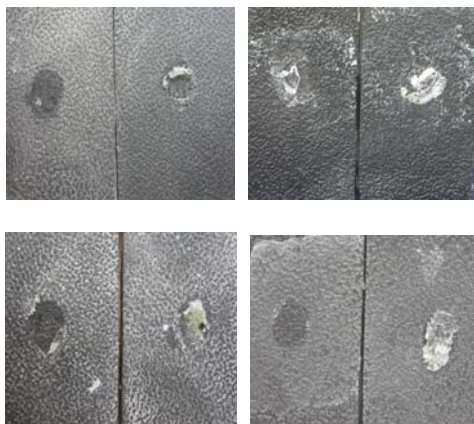


圖2-8 單邊搭接疲勞實驗之斷面圖

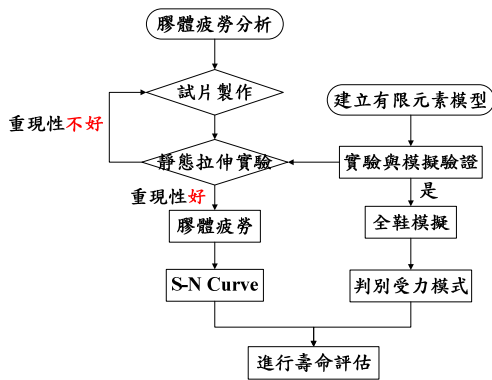


圖 3-1 研究分析流程圖

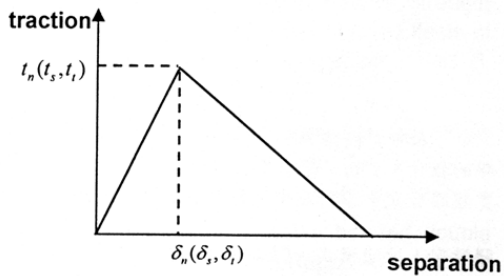


圖 3-2 Traction-separation response

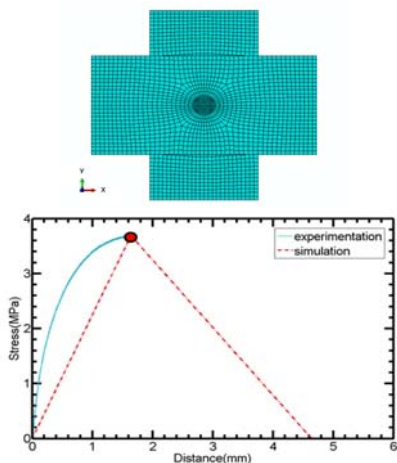


圖 3-3 正向實驗與模擬結果

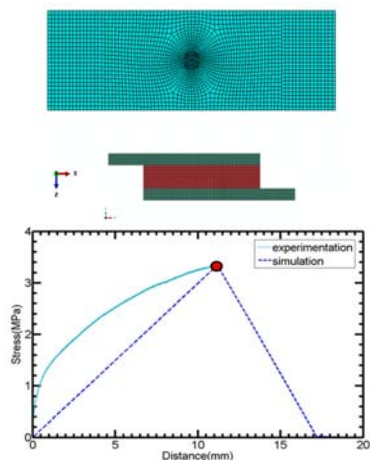


圖 3-4 剪向實驗與模擬結果

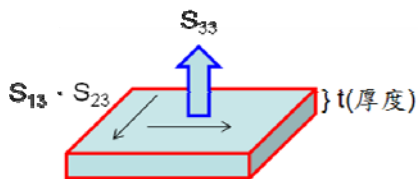


圖 3-5 套裝軟體之膠合元素應力

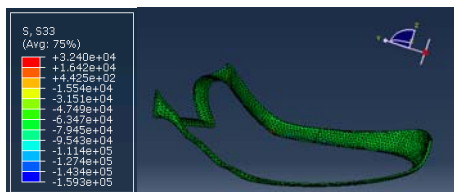


圖 3-6 黏著劑之正向 Traction(S33)值,單位(Pa)

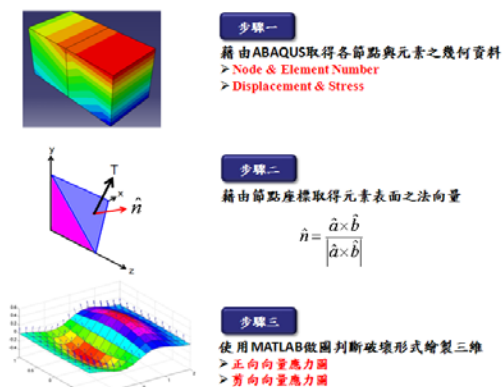


圖 3-7 MATLAB 繪圖步驟流程圖

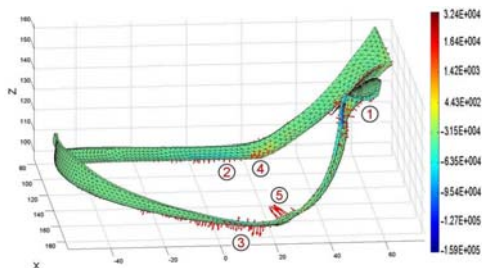


圖 3-8 黏著劑元素之正向應力狀態圖