

第三章 實驗內容及程序

3-1 實驗材料與試劑

- 1.預浸材 Graphite/epoxy、end-tape 夾持板。
- 2.離型劑：中溫專用噴霧式 C-2 離型劑，至鴻股份有限公司。
- 3.接著劑：CN 接著劑，成分為合成樹脂，使用溫度範圍-30 至 120 ，東京測器研究所製造。
- 4.清洗劑：丙酮，上元化學工業有限公司。

3-2 實驗儀器及設備

本篇論文所使用的儀器包括 Instron-1322 型萬能試驗機、熱壓機、鑽石切割機、噴砂機、鑽孔機，茲分別介紹如下：

3-2.1 加工設備：

- 1.熱壓機：此油壓式壓力機，包含熱模機台、冷模機台、冰水機及電氣控制箱。其中電氣控制箱可控制壓力及溫度範圍為：壓力範圍21.4~178.6 KPa，最高控制溫度可至400 。並有手動及自動操作兩種模式，自動操作需將所需加熱溫度、低壓時間及高壓時間等參數分別輸入電氣控制箱的可程式控制器內，一般為了可隨時更改設定，通常以手動操作為主；由台灣佳鈺工業股份有限公司製造，國立清華大學材料中心奈米複材實驗室財產。
- 2.鑽石切割機(如圖 3-1)：當 Gr/epoxy 積層板熱壓完成後，須以 PSGS-2500H 型鑽石切割機裁切成所需之大小，使用中需注意冷卻水須噴在鑽石刀片之刀口上，以防止刀片過熱，同時切割時的刀片進給速度也會影響試片的裁切品質，進刀速度較慢為

佳，國立清華大學材料中心奈米複材實驗室財產。

- 3.噴砂機：將欲與試片黏合的 end-tape 夾持板作表面處理，利用氣壓將細砂高速且均勻的噴附在夾持板表面，使其與試片黏合時達到最佳的效果，避免有脫膠的情形產生，其後將製作完成的試片，在 end-tape 表面以砂紙沿 ± 45 度的方向研磨，增加其表面粗糙度，使試片在夾持測試時不至於滑脫。
- 4.鑽孔機：5 Speed Bench Drill Press1201 型，Nu-Way Machinery Corporation，Taiwan 製造，國立清華大學動力機械學系複材結構實驗室財產；鑽頭則採用日本 NACHI-FUJIKOSHI 公司製造的 3.0mm 含鈷鑽頭，每根鑽四根試片，以避免磨耗過度造成孔徑大小不一。

3.2-2 測試儀器

Instron-1322 型動態萬能試驗機(如圖 3-2):

為 Instron-1322 型軸向-扭向液壓伺服動態試驗系統，美國 Instron 公司所生產、製造。由控制系統(control system)、負載架(load frame assembly)、液壓伺服致動器(servo hydraulic actuator)、液壓動力供應器(hydraulic power supply)及冷卻系統(cooling system)所構成，可同時進行軸向、扭向，靜態與動態試驗。其重要特性及功能如下：

(1)負載範圍：

(a)軸向負載： $\pm 200\text{kN}$

(b)扭向負載： $\pm 2,000\text{ N}\cdot\text{m}$

(2)行程範圍：

(a)軸向行程： $\pm 50\text{ mm}$

(b)扭向行程： $\pm 50^\circ$

(3)控制模式：

(a)負載控制(load control)

(b)行程控制(stroke control)

(c)應變控制(strain control)

本實驗則用來進行試片的靜態強度及動態疲勞實驗，控制模式在靜態強度測試時使用行程控制，夾頭拉伸速率為 0.01mm/s ；疲勞試驗則是使用負載控制，輸出波形為正弦波，頻率 5Hz ，應力比(最小應力/最大應力) $R=0.1$ 。

3-3 實驗流程

就原始試片、開孔試片、單邊貼片修補後開孔試片以及雙邊貼片修補後開孔試片這四大類型分別作靜態強度與疲勞測試。如圖 3-3。

Gr/Epoxy 試片型態分別為原始試片、圓形缺口試片(孔間中心至中心距離分別為 6mm 、 8mm 、 10mm)之開孔試片、單邊貼片修補再開孔不同間距(孔間中心距離分別為 6mm 、 8mm 、 10mm)之試片與一組雙邊貼片修補再鑽孔(孔間中心距離寬度為 6mm)試片此八種類型，分別作靜態強度與疲勞測試(關於試片尺寸及測試方法詳述於後)。

3-4 試片製作及檢測

1.裁切與疊合

- 、取出置於冰櫃的預浸材 Gr/epoxy，依照纖維方向以 0° 、 45° 裁切成 25cm 見方的大小。
- 、以 $[0/+45/90/-45]_{2s}$ 共 16 層的方式依序堆疊，使成擬均向性疊層，在疊合過程中層與層之間應儘量貼合，避免熱壓後疊層

板內因微小氣泡而成為缺陷；修補片為 $[0]_4$ 共 4 層以及 $[0]_2$ 共 2 層兩類。

2. 疊層板熱壓

、將疊製完成的預浸材依圖 3-4 的順序排列，置於熱壓機中熱壓，熱壓溫度、壓力和壓合時間如圖 3-5 所示，製成步驟大致如下：

- (1) 模具連同預浸材放至熱壓機中預熱到 85°C ，約需 10 分鐘。
- (2) 於 85°C 下持溫 30 分鐘。
- (3) 接著升溫至 125°C ，約需 10 分鐘，同時施加 85psi 的壓力。
- (4) 於 125°C 、85psi 下持溫持壓 70 分鐘。
- (5) 接著使其自然降溫至 85°C ，約需兩個小時，後將 85psi 的壓力釋放。
- (6) 將模具移至冷模中冷卻至室溫。一片疊層板的壓製完成約需四個小時。

3. 裁切、貼修補片與鑽孔

- 、利用鑽石切割機切除疊層板四周各約 1cm 寬度，以消除熱壓過程中因熱預應力產生的 Bending。
- 、原始試片依照 ASTM D3039-95a [39] 裁切成 25mm x 250mm 的尺寸，如圖 3-6；以砂紙磨除因切割所造成的毛邊，並使試片兩側平行。修補片依照單邊疊層及雙邊修補兩類，分別以 $[0]_4$ 及 $[0]_2$ 作疊層熱壓，再裁切成 25mm x 25mm 的尺寸，如圖 3-7 所示，接著分別就單雙邊進行修補。
- 、以固定直徑 3mm 的孔洞，改變間距寬度，分別就貼修補片及未貼修補片兩類進行鑽孔。

- 、為避免試片鑽孔不當使圓孔周圍產生嚴重脫層，影響實驗結果的精確度，所以試片在鑽孔後若纖維撕裂嚴重則淘汰，以去除不良品。

4.貼上夾持板(end-tape)

- 、將 250mm x 40mm 大小的玻璃纖維板以噴砂方法將表面光滑去除，再使用砂輪機研磨夾持板的斜角，使其於實驗中黏合於試片時，不至於因應力集中而產生局部斷裂。
- 、將玻璃纖維板經由剪床裁切成尺寸為 25mm x 40mm 的夾持板，同樣以砂紙磨除因切割所造成的毛邊，接著經丙酮洗淨雜質、並加以乾燥以避免脫膠的產生，之後將 C-N 膠均勻塗佈於試片與夾持板後再予以膠合。實驗前以砂紙將夾持板表面以 $\pm 45^\circ$ 度方向研磨來增加表面粗糙度，進而增加夾頭對試片的夾持力。

5.依照試片種類區分如下：

- (a)原始試片：試片裁切成 25mm x 250mm 尺寸。
- (b)間距不同之鑽孔試片：試片裁切成 25mm x 250mm 尺寸，以試片中心為基準，沿垂直試片的縱向鑽兩個直徑 3mm 的孔，兩孔中心的間距 L 分別為 6mm、8mm、10mm，如圖 3-8 所示。
- (c)單邊貼片修補再鑽孔不同間距之試片(如圖 3-9)：試片裁切成 25mm x 250mm 尺寸後，先於試片其中一面的中間位置以 C-N 膠黏貼上 25mm x 25mm 的修補片，之後再以試片中心為基準，沿垂直試片的縱向鑽兩個直徑 3mm 的孔，兩孔中心的間距 L 分別為 6mm 8mm 10mm(如圖 3-10 至 3-12)。
- (d)雙邊貼片修補再鑽孔不同間距之試片：為了比較單邊修補及

雙邊修補由於彎矩所產生的差異，取裁切成 25mm x 250mm 的試片，於試片兩面的中間位置皆以 C-N 膠黏貼上 25mm x 25mm 的修補片，之後再以試片中心為基準，沿垂直試片的縱向鑽兩個直徑 3mm 的孔，兩孔中心的間距 L 為 6 mm，與其餘兩者相同孔距之下的打孔試片以及單邊修補試片來做比較。

3-5 實驗方法與程序

3-5.1 原始試片

、靜態拉伸試驗

參考 ASTM D3039-95a[39]，對以上八種試片進行實驗，並利用 Instron-1322 型動態萬能試驗機(如圖 3-13)進行試驗時，所採取的控制模式為行程控制(stroke control)，夾頭拉伸速率為 0.01mm/s，以滿足實驗為準靜態之假設，求得材料的抗拉強度(σ_0)，以作為軸向疲勞試驗設計中週次應力最大值的參考。

由各種試片的抗拉強度，可以了解圓孔間距不同對材料強度的影響，比較修補前、後及單面雙面修補的差異，並可由實驗數據來了解每批材料，其機械性質是否有所差異。

、軸向拉伸疲勞試驗

使用 Instron-1322 型動態萬能試驗機，參考 ASTM D3479-96 [40]分別對上述八種試片進行拉伸 - 拉伸疲勞(tension-tension fatigue)試驗，所採取的控制模式為負荷控制(Load control)，應力比為 0.1，頻率 5Hz，測試波形為正弦波，每種試片參考其靜態拉伸破壞應力，分別取四個應力等級，如 70%、65%、60%以及 57.5%，每個應力等級作五根試片，記錄破壞週次數，以取得材料

的應力 - 疲勞壽命曲線(S-N curve)。

由此了解圓孔間距對材料疲勞壽命的影響，並比較修補前、後的差異，了解其修補效益。

3-5.2 間距不同之鑽孔試片

、靜態拉伸試驗

依 3-5.1 之 所述，Instron-1322 之操作模式，可得到材料強度 σ_{h1} ，以作為鑽孔試片軸向疲勞週次應力最大值的參考，其計算公式為：

$$\sigma_{h1} = P/tw \quad (3-1)$$

其中 P 為負荷，為 t 為試片厚度，w 為試片扣除孔徑合的最小寬度

、軸向拉伸疲勞試驗

依 3-5.1 之 所述，Instron-1322 之操作模式，試片分別取 σ_{h1} 的四個應力等級，如：70%、65%、60%、57.5%（依試片情況作調整）為施加應力之最大值進行試驗。並取得材料的疲勞壽命曲線。

3-5.3 單邊貼片修補再鑽孔不同間距之試片

、靜態拉伸試驗

同上 3-5.1 之 所述，Instron-1322 之操作模式，可得到材料強度 σ_{h2} ，以作為修補試片軸向疲勞週次應力最大值的參考，其計算公式為：

$$\sigma_{h2} = P/tw \quad (3-2)$$

其中 P 為負荷，為 t 為試片厚度， w 為試片扣除孔徑合的最小寬度
、軸向拉伸疲勞試驗

同上 3-5.1 之 所述，Instron-1322 之操作模式，試片分別取 σ_{h2} 的四個應力等級，如：70%、65%、60%、57.5%（依試片情況作調整）為施加應力之最大值進行試驗。並取得材料的疲勞壽命曲線。

3-5.4 雙邊貼片修補再鑽孔不同間距之試片

靜態拉伸強度以及軸向拉伸疲勞如同 3-5.3 中之單邊貼片修補再鑽孔不同間距試片的試驗方式。

3-6 試片使用數量

試片共可分為原始試片、開孔試片(間距 L 分別為 6mm、8mm、10mm)、單邊貼片修補再開孔不同間距(間距 L 分別為 6mm、8mm、10mm)之試片、雙邊貼片修補再開孔(間距 L 為 6mm)此八種類型試片。

(1)靜態強度測試：

(8 種試片) \times (每種情況取 7 根試片測試之平均值)，故需 56 根。

(2)軸向拉伸疲勞測試：

(8 種試片) \times (每種試片取 4 種應力等級(如：70%、65%、60%、57.5%)) \times (每個等級做 5 根測試取平均值)，故需 160 根。

故靜態與疲勞試片數總合共為 216 根，但在實驗過程中可能因為製造過程或實驗操作不當，或因其它因素而造成試片損毀，故需增加約 40%的試片製造量，故試片實際使用數量為 300 根試

片。

- (3)修補片：單一類試片靜態與疲勞試片總數合為 27 根，需要貼修補片的試片共四大類，故需 135 片。同樣考量損壞發生的情形，故需增加約 20%的修補片製造量，故修補片實際需求為 162 片。

