

第六章 結論

本文主要是研究討論奈米碳管/酚醛樹脂複合材料，考慮此複合材料受到不同環境和熱循環處理後試片之吸濕性質、靜態強度與電性質，並且對一組碳纖維/環氧樹脂疊層板和奈米碳管/酚醛樹脂黏結後的試片做靜態強度及疲勞特性僅供作未來實驗改良參考，經由討論後可得結論歸納為以下幾點：

6-1 吸濕實驗

1. 奈米碳管/酚醛樹脂試片經過兩種不同環境 25 / 85%RH 和 85 /85%RH, 經過七天後的吸濕, 結果顯示試片對於 85 /85%RH 下吸濕較為敏感，幾乎都在一天內就到達穩定，證實溫度會導致材料材料有缺陷存在。
2. 在兩種環境下，隨著碳管含量增加發現有助於水氣抵抗性，但也不是越多越好，仍然有一定的飽和度。

6-2 靜態拉伸和熱循環實驗

1. 由於碳管比表面積遠大於酚醛，機械性質也優於酚醛，並利用界面活性劑改善共價鍵結強度和增加彼此間黏性，碳管會在酚醛內部形成奈米結構，以阻止微裂縫成長，所以奈米碳管當補強之酚醛樹脂試片的靜態強度趨勢會隨的碳管添加量增加而增加，但以添加碳管含量至 2wt%時強度最大。
2. 以 T_g 值當做溫度影響指標，所測試溫度高於室溫低於 T_g 和溫度高於 T_g 主要不同在於基材內部交聯程度和晶胞型態。溫度在高於 T_g 其交聯程度較好，對於原有存在缺陷能在下次交聯時重新組合，

因此其靜態強度下降幅度不大；對於晶胞型態裡面所牽扯到是化學組成，對於它會造成靜態強度影響機制尚不清楚，只知道它會因溫度而增加許多不定型態的移動性，造成材料瑕疵或缺陷；另觀碳管含量時，碳管扮演著補強機制在交聯過程中得以增強基材內部缺陷，橋接裂痕角色，因此強度隨碳管增加而增加。

3. 溼度會降低兩者界面黏性且會造成材料內部孔洞，當有外力存在時，存在孔洞附近碳管缺乏側向支撐，在繼續受力下對碳管和酚醛界面造成脫鍵情況，最後基材無法承受外力而破壞。所以在受到溫度和濕度影響，交聯過程中水氣侵入而使得缺陷更嚴重，因而在強度表現最差。
4. 以本文的分散機制(製程中有提起)經由 SEM 可以得知碳管在酚醛內雖然還是有團聚情況，但整體的分散性尚不錯。比較 SEM 圖，原本純酚醛的平整脆斷面，再添加碳管後，整個斷面呈現龜裂不平整，也可看出碳管和酚醛之間的脫出及壓印狀況。在有濕度情況下所得到的破壞斷面就較為延性，且有孔洞存在。在熱循環部份更可發現纖維和基材之間的熱膨脹係數不匹配而影響整個材料裂縫產生。
5. 熱循環實驗可得基材和纖維間的熱膨脹係數的不匹配，產生基材滑移，材料內變形會引起一系列基材裂縫，裂縫開始僅存在纖維間之基材內，再繼續受循環溫度變化，裂縫可能會成長並觸及纖維，此時裂縫之成長為纖維所阻礙，可能會轉向沿著基材與纖維界面的方向生長，造成纖維與基材剝離，最後使得強度下降，因此強度趨勢隨著溫度循環週次增加而漸減。

6-3 電性質實驗

1. 奈米碳管/酚醛樹脂的電阻會隨著碳管量增加而降低，在經過溫度和濕度考驗下，會使得之間空隙擴大而增加材料內部水氣更多，並破壞碳管之間的導電性而使得電性變得更差。
2. 本文所做電阻測試皆比文獻上的高，推測有幾項原因：本文所用基材不同、碳管純度、及碳管分散性，但是本文所得電阻仍可看出電阻隨碳管量增加而降低趨勢。

6-4 疲勞實驗

1. 本文以碳纖維/環氧樹脂作為加強奈米碳管/酚醛樹脂，在靜態強度大約提升 5 倍，而在疲勞測試方面，當應力等級降到 50% 情況時，對於材料疲勞週次似乎提升不高，顯示奈米碳管/酚醛樹脂屬於脆材。
2. 觀察破壞斷面，在 Gr/epoxy 破壞斷面可分為基材裂紋、脫層、纖維斷裂，屬於韌性破壞。而在兩者接合試片破壞斷面都可發現是外層 CNT/phenolic resin 被剝離斷裂，也可看到剝離那面的 CN 膠有脫膠情況，屬於脆性破壞。
3. 由疲勞實驗也說明黏膠選擇關係到材料強度，當 CN 膠無法承受應力傳遞時，膠層就會先被剝離脫層，而使應力無法傳遞到 Gr/epoxy，結果造成應力皆由 CNT/phenolic resin 承受，最後皆由 CNT/phenolic resin 先破壞而內部卻無破壞情形。

填充物可以增強或降低複合材料的許多性質，然而最後的性質還需視測試機器、填充物種類、填充物和基材間分散、界面黏著性、及相與相之間的黏著性而定，所以真實的效應頗難預測。本文以研究未改質奈米碳管作為填充物加入酚醛樹脂的基材中，希望藉由本文所做

結果與討論，能對後續研究能有更大幫助。

