

接著劑技術在複材產業的應用與趨勢

文◎韓志超

複合材料擁有優秀的比強度（Strength Weight Ratio）及質量輕、剛性高、振動衰減性高等優點，被廣泛應用於航空、交通工具、運動器材等工業。熱固化環氧樹脂接著劑（One part Heat cure Epoxy Adhesive-OHEA）則是目前上述工業領域中使用在碳纖複材與各種金屬、合金，做為異材工件組裝上的接著膠合（搭接）最普遍使用的膠種。本文主要陳述與探討熱固化環氧樹脂接著劑（OHEA）及熱壓型環氧樹脂片膠（Film Epoxy-FE）在碳纖複合材料與鋁合金、鎂鋁合金、鈦合金的接著應用。

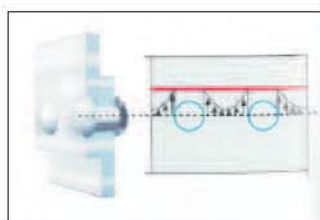
背景

環氧樹脂對各種材質如碳纖複合材料以及各種金屬、合金均有良好的異材接著，膠材固化後具有高韌性、接著強度高、高耐候性、高耐化性、高絕緣性、高剝離強度、耐衝擊、耐疲勞和低收縮（膨脹）率等優點；而上述各種基材目前均廣泛的應用在自行車產業（車架、前叉、座管、把手等）及高爾夫球頭製造業中，使整體工件或成品達到工程師們所追求的工程材料特性的極致表現。

複合材料之搭接

複合材料的搭接（joint）可決定複材

整體結構負載能力與使用壽命，熱固性複材搭接法可分為兩種。一是機械搭接法，採用鉚接，材料鑽孔後以鉚釘將工件栓緊；二是接著劑搭接法，採用膠合，利用膠料（環氧系統）將工件黏合。

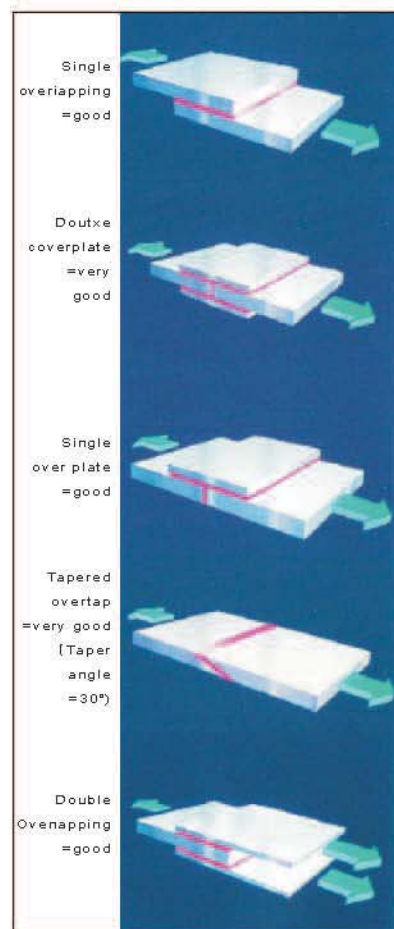


▲機械搭接的主要形式，在搭接鑽孔處易造成應力集中。

黏著搭接法優於機械搭接法之處，為可解決大部份的應力集中現象，可消除部分因鑽孔造成的脫層傷及結構內部應力集中的現象，輕量化，擁有較圓滑的搭接面，成本較低，較不受循環外力影響；且對於較薄的材料，機械搭接不見得有效。

而機械搭接法優於黏著搭接法之處，為機械搭接較不受蠕變（creep）影響，可被

設計為方便拆解、取出，較不易受熱、濕氣等環境因素影響，且黏著法不易測定接著有效面積。



▲接著劑搭接的五種基本形式。

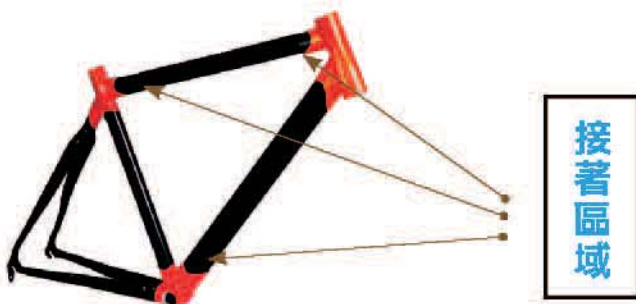
複合材料與金屬工件之接著 (Adhesion)

(一) 表面處理

複合材料在製作中為便於脫模而加入脫模劑，表面處理是為了避免脫模劑殘留在複材工件接著區域中，而影響接著（搭接）強度。在碳纖複材工件接著區域作表面處理的方式一般為以定量號數的噴砂，做表面粗糙化處理、清潔。對應接著的金屬合金工件接著區域表面亦是做表面粗糙化噴砂處理、清潔的動作。接著區域表面粗糙化噴砂處理，亦有助於提升工件的最終接著強度。

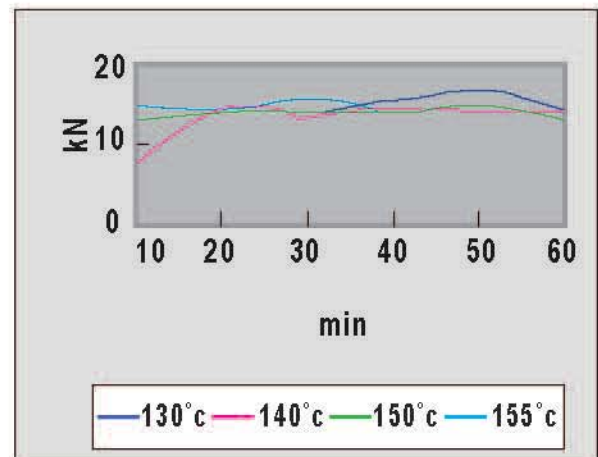
(二) 黏度對手動塗膠及熱烤的影響

不管是自行車或是高爾夫球頭的工件，目前均是以手工塗膠為主，故膠材在常溫黏度的高低，便直接影響到手工塗膠操作上的方便性。膠材黏度值太高，膠材的挖取、塗佈均不易；若膠材黏度值太低，則塗佈在工件上後易導致垂流。又熱烤固化的過程中，在某一初始時段，膠材的黏度值又會變得比在常溫時低，易形成膠往低處流的現象，也就是說工件在熱烤的過程中，其接著塗膠區域的相對低點會有較多的膠聚集，如此便會導致膠材無法均勻填充在接著區域的間隙，導致應力負荷不均。理想的膠材在常溫的黏度值大約像是花生醬一般，且不管是塗佈在工件上，或是在熱烤的過程中均不會垂流。



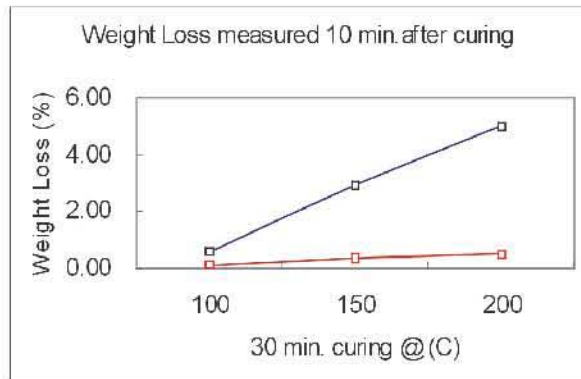
(三) 熱烤固化

將工件塗膠、組裝、固定在夾具上定位確定後，便整批推入烤箱，此階段為膠材的熱烤固化。圖示為一種膠材在相同的基材組，但不同的固化時間、不同的固化溫度條件下，所得到的接著強度（力的單位：kN）曲線圖。哪一組參數（溫度、時間）可獲致最高的接著強度，可與膠材供應商的技術服務工程師討論，以達到最佳的製程與最好的接著強度。



▲熱烤溫度與時間對接著強度的影響

亦可借助熱示差掃描卡量計（Differential Scanning Calorimeter：DSC），量測膠材的固化反應起始溫度、T_g 點、不同溫度，膠材反應完成（100%）所須的時間，將此測得的數據做為製程參數的設定參考，亦可做為實驗計畫（DOE）各個重要參數排列組合組數的篩選，以節省實驗成本。接著後的工件強度或疲勞等各種測試，一般均是出烤箱後置於常溫 48~72 小時後才開始，且一個工件只能測試一種項目；例如不可以把通過疲勞測試的工件，再拿來做強度測試。膠材本身若含有揮發性成份，如溶劑、低分子量的樹脂等，則在熱烤過程中便會有氣體從膠材溢散出來，如此便會使尚未全固化的膠從工件的間隙被推擠出



▲熱重損失。

來，而且膠材本身也容易形成空孔，熱重損失也將會很嚴重。

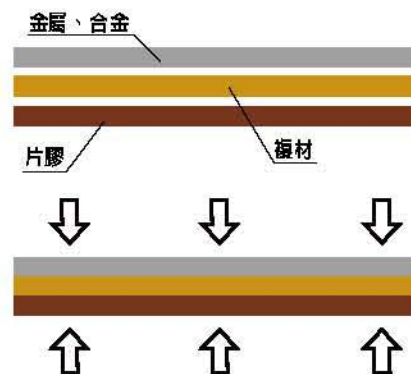
熱烤固化後的工件，其後製程也還會有經過二至三道的熱烘（熱烘溫度略低於熱烤的溫度）烤漆製，故對於已固化膠材的再次加熱的耐受性，是否會影響其各種機械特性與耐候（化）性，也是在導入膠材上線前考慮的重點。

熱壓型環氧樹脂片膠（Film Epoxy-FE）

片膠（FE），簡單一點說，就好像是雙面膠，是片狀的，使用的概念、場合、接著方式與熱固化環氧樹脂接著劑（OHEA）大同小異。對於金屬、合金與複材的接著亦是其主要的應用領域。片膠接著強度除了熱烤的溫度、時間以外，還須對兩黏著基材施以一平均一定的壓力。

因片膠的厚度為其中的一種規格，若考慮使用片膠作為接著方式，則兩接著基材的間隙公差最好是控制在片膠厚度的容許範圍內，如此便會有較好的接著效果。由實驗顯示，以片膠作為接著的工件，其抗剝離強度值均很穩定，對於產品製程及品質控管是一極大的利基。

有些型號的片膠其內亦含有不織布，片膠本身就像是一複合材料。當然，使用此類的片膠來接著工件，工件整體的機械性能也會有較好的表現。



▲接著時必須對兩黏著基材施以一平均一定的壓力。

總結與前景展望

先進的接著與拼合技術已進入了許多工業領域，但膠材技術的發展與應用仍有很大的空間，在本文所討論的應用領域中，還可發展更簡便的操作性，更低的固化溫度，更短的固化時間，具韌性且更強的機械性質與耐候性，而符合歐盟 RoHS 指令的膠材將是複材應用組裝產業夢寐以求以及膠材製造供應商努力的方向。 ■

參考文獻：

1. 工業用接著劑與施工—ISDN 957-584-609-5。
2. 接著劑全書—材料與技術／薛敬和編譯。
3. Loctite Aerospace-Structure products for Composite Assembly。
4. 葉道與聚脂交聯環氧樹脂複合材料之研究—韓錦鈴、張昭蔭、游象銀、李家裕。
5. 經濟部—技術尖兵碳纖維輕巧上手 量身訂做世界級高桿—明安股份有限公司／技術尖兵 曾建榮。

作者簡介：

韓志超，現任台灣漢高股份有限公司技術工程師。