

行政院及所屬各機關出國報告  
(出國類別：研究)

(民生材料科專計畫赴美訪廠並參加研討會公差報告)

服務機關：中山科學研究院  
第一研究所  
出國人職稱：聘任技正、  
聘任技士  
姓名：莊毓蕙、林永崑  
出國地區：美國  
出國期間：91.09.19 至 91.09.28  
報告日期：91.12.26

60 / C09200033

CSIPW-91F-D0001

# 國外公差報告

報 告 資 料 頁			
1.報告編號：	2.出國類別：	3.完成日期：	4.總頁數：
CSIPW-91F-D0001	研究	91.12.26	55 頁
5.報告名稱：			
民生材料科專計畫赴美訪廠並參加研討會公差報告			
6.核准文號	人令文號	(91)詮鑑字第 005602 號	
	部令文號		
7.經 費		新台幣：218,180 元	
8.出(返)國日期		91.09.19 至 91.09.28	
9.公差地點		美國	
10.公差機構		中山科學研究院第一研究所	
11.附 記			

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：民生材料科專計畫赴美訪廠並參加研討會公差報告

頁數 55 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：中科院一所/莊毓蕙/04-27023051 轉  
503914

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

莊毓蕙/中科院/一所/簡聘技正/04-27023051 轉 503914

林永崑/中科院/一所/荐聘技士/04-27023051 轉 503714

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：

91.09.19-91.09.28

出國地區：

美國

報告日期：91.12.26

分類號/目

關鍵詞：複合材料、奈米材料、奈米結構、真空注入成形技術。

內容摘要：（二百至三百字）

本報告中內容涵蓋赴美國 Hitco 公司參訪，研討高溫隔熱複材與高導熱複材技術，及其在市場上之應用領域與商機；參加 Nanocomposites 2002 奈米塑膠材料技術研討會，探討奈米塑膠材料與製程技術及市場應用發展趨勢，瞭解奈米技術對傳統高分子塑膠業之衝擊，及可能帶來之材料性能的突破和無限商機；參加複材製造協會（CFA）舉辦之新產品展示會，了解複合材料之新材料與製程開發應用與趨勢，及符合市場需求之複材新穎設計與應用。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網（<http://report.gsn.gov.tw>）

# 目 錄

壹、出國目的及緣由.....	1
貳、公差心得	
2.1 參加 Nanocomposites 2002 研討會.....	3
2.2 參訪 HITCO 碳複合材料公司.....	17
2.3 參訪 CFA COMPOSITE 2002 新產品展示會之紀要	24
參、效益分析.....	50
肆、國外工作日程表.....	53
伍、社交活動.....	54
陸、建議事項.....	55

## 壹、出國目的及緣由

本院為推廣軍民通用科技，由經濟部委辦「民生材料發展應用」第二期五年計畫，以建立民生產業所需之關鍵材料技術開發等相關能量，為充份掌握全球新材料與製程技術發展趨勢與市場需求，吸取國外先進國家發展經驗及技術，於 91 年度計畫內編列國外公差項目，赴美國 Hitco Carbon Composite 公司參訪研討特殊碳材料之製作與應用技術；並參加 Nanocomposites 2002 奈米塑膠材料技術研討會，及參加 Composites Fabricators Association 和 Boat Building 協會合辦之複合材料展覽及研討會，蒐集奈米塑膠技術之研發趨勢，及觀摹最新複合材料相關之製程技術發展趨勢，以作為科專計畫研發創新之重要參考，有助於計畫執行與未來研發方向之訂定，且有利於尋找適合的業界合作廠家，持續順利推動科專計畫。

本次公差之主要任務如下：

- (1) 參加 Nanocomposites 2002 奈米塑膠材料技術研討會，瞭解奈米技術對傳統高分子塑膠業之衝擊，及可能帶來之材料性能的突破和無限商機。
- (2) 赴美國 Hitco Carbon Composites 公司參訪，了解該公司之高溫隔熱複材及高導熱複材技術，並

討論此技術在市場上之應用領域與商機。

- (3) 參加 Composites Fabricators Association 和 Boat Building 協會合辦之複合材料展覽及研討會，了解複合材料之新材料與製程開發應用與趨勢，及符合市場需求之複材新穎設計與應用。

## 貳、公差心得

### 2.1 參加 Nanocomposites 2002 研討會

Nanocomposites 2002 研討會之重點在於奈米技術使高分子材料價值提昇之方法與應用，與會人員約 150 人，研討會全程兩天半，在美國加州聖地牙哥市舉行，共包含 6 個場次共 32 個演講，由於此次行程安排緊湊，因此第三天早上的二個場次無法參加。台灣除了中科院、工研院外，尚有許多學術單位也有參與此次技術研討，其中工研院蔡宗燕博士也在會中提報環氧／粘土奈米材料於電子封裝技術之應用。本次會議之重要主題如下：

- 奈米複合材料之新製程技術
- 奈米粉體、碳管及奈米纖維之創新
- 奈米複合材料之阻火特性
- 奈米複合材料之晶相、機械強化等特性
- 奈米複合材料之醫藥、生化及其他特殊應用
- 奈米複合材料之商業契機

本報告主要針對材料製程作進一步之探討，其重點與心得如下：



### 2.1.1 奈米複合材料之新製程技術

學術界在塑膠與奈米添加劑之研究已有一段時間，為了使奈米粉粒能充分脫層或分散，必須克服其大表面積及表面能的問題。為了達到均勻分散之有機／無機奈米複合材料，主要有五種方法；(1) 溶凝膠 (sol-gel)，(2) 原位聚合 (in-situ polymerization)，(3) 溶液混合 (solution blending)，(4) 插層聚合 (intercalative polymerization) 及 (5) 熔融插層 (melt intercalation)。這些方法中，除溶液混合及熔融插層外，皆使用單體在奈米添加劑存在下進行聚合，這些反應條件通常較複雜，因此要藉以在工業上大量生產不太可行。因此製程開發研究人員投入在熔融插層反應的人愈來愈多，大部份以較昂貴雙螺桿裝置執行加工，所得到分散效果不錯。其中，關鍵技術在於高分子與奈米添加劑間介面之控制問題，例如添加劑之種類、尺寸、含量及所選用之表面改質劑，皆會影響到分散結果，及最後成品性質。尤其當高分子本身缺乏極性官能基時，界面改質劑之應用便更為重要。亦有在 PP 或 PE 高分子上直接接枝極性官能基，例如馬來酸鹽基 (maleate) 等，以改善其與奈米添加劑間之性質。至於加工條

件則以剪力，溫度之控制為關鍵，目的在於得到良好的分散，及最少之材料劣化與氧化為目的。此類製程被討論最多的應屬於聚丙烯／粘土之熔融插層及超流體發泡技術，主要在於聚丙烯在汽車工業上的用量很大，有極大的商機。其他尚有 PMMA 及 PS 較便宜之單螺桿製程的探討，亦顯出不錯的效果。

在聚丙烯之發泡技術上，主要利用二氧化碳在超臨界流體狀態下當發泡劑，以所謂微纖維束 (micro cellular) 射出成型法製造發泡材料，可得到特殊之性質，除了質量變輕了外，其他如隔熱、隔音、彈性及介電性質皆有特定之功能用途。而加入二氧化碳超臨界流體，也使得原來之黏度下降及降低成形週期 (cycle time)。聚丙烯加入粘土後再進行超臨界流體之發泡所得之發泡孔徑更小，但機械性質卻得到粘土之提昇。其反應系統示意圖如圖 1，粘土之添加在熔融塑膠內產生類似錨錠之作用而控制發泡之尺寸在 10-1000nm 之間，如圖 2 所示。藉著控制不同的製程條件，由 SEM 圖 3、4 和 5 可知原本不含粘土之大尺寸圓形發泡 (圖 3)，尺寸約在 10-200  $\mu\text{m}$  可改變成大小尺寸不同形狀之發泡形式 (圖 4 和 5)。

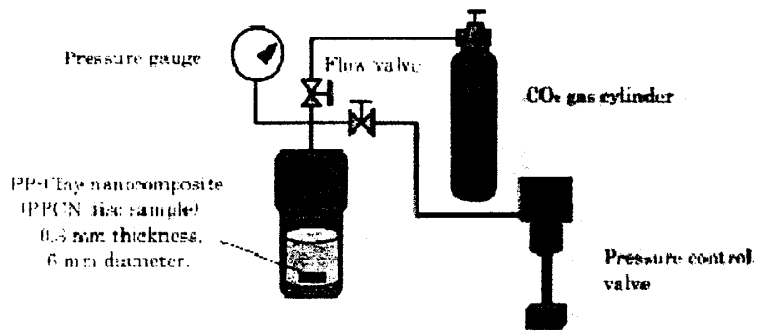


圖 1 利用壓力釜發泡聚丙烯及其黏土奈米材料之系統

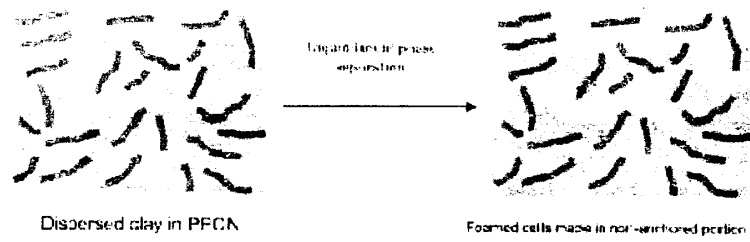
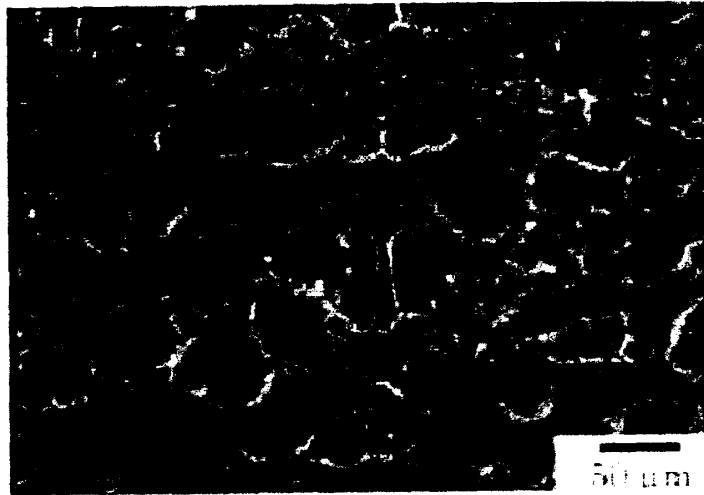


圖 2 聚丙烯/黏土奈米材料發泡機制示意圖



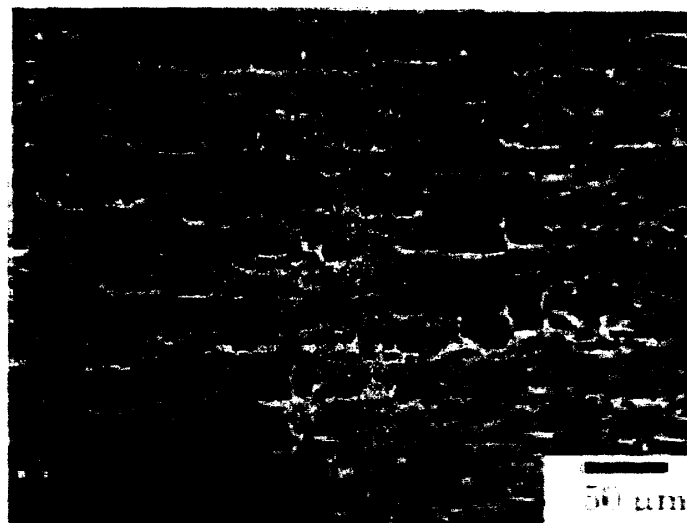
Foamed porous structure (PP)  
<SEM observation>

圖 3 聚丙烯發泡之 SEM 圖



Foamed porous structure (PPCN)  
<SEM observation>

圖 4 聚丙烯/黏土奈米材料發泡之 SEM 圖



Foamed gallery structure (PPCN)

圖 5 條柱型聚丙烯/黏土奈米材料發泡之 SEM 圖

## 2.1.2 奈米碳管及奈米纖維之應用

多層奈米碳管(multiwall nanotubes)在1983年被合成，利用連續催化低分子量碳氫化合物之氣相反應，目前此法正在量產開發中，圖6為其示意圖，而圖7則為其TEM圖，圖8則為奈米碳管分散後之情形。而奈米碳管之大小尺寸，可由圖9中看出來。奈米碳管之縱橫比約為1000:1，加上其良好的導電與導熱性質，使其能在很低含量下就可提昇塑膠之導電及導熱性。以PC/ABS樹脂為例，碳管之添加量在7%左右，其效果已為碳纖維及碳黑在15%添加量的100倍。且由於添加量少，所以更能保持塑膠材原有之韌性，其7%時之韌性為相對碳纖維及碳黑15%時之三倍。同樣的，少的添加量及奈米碳管之尺寸小，所以加工時的黏度低成品翹曲變形量小，且表面光滑度也較佳。

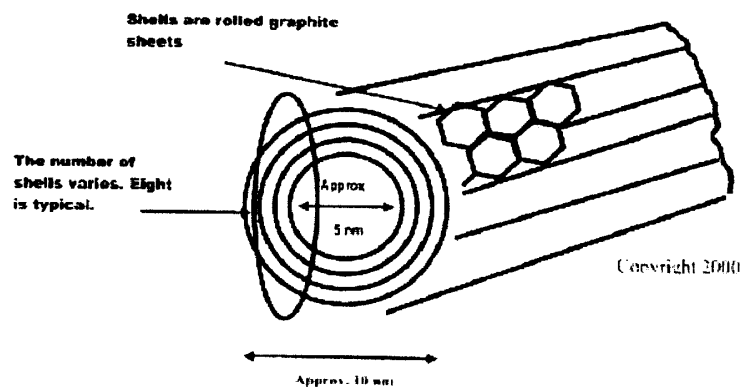


圖6 多層奈米碳管之結構

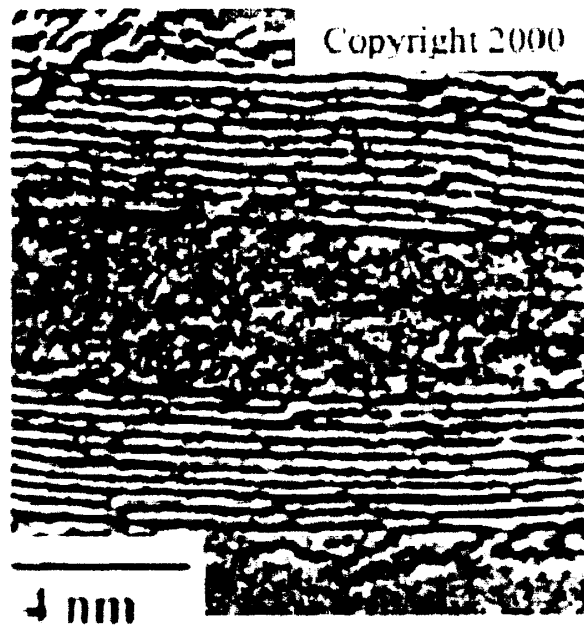


圖 7 多層奈米碳管管壁之顯微圖

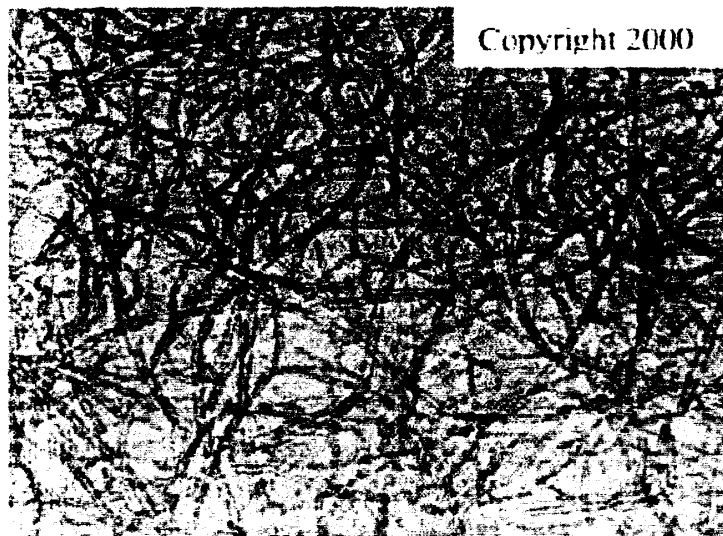


圖 8 分散後的奈米碳管之顯微圖

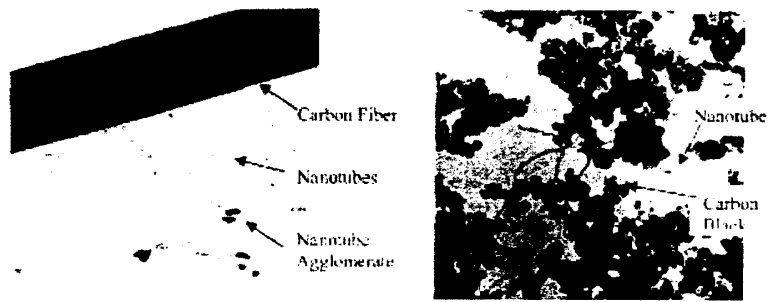


圖 9 奈米碳管、奈米纖維及碳黑之比較

奈米碳管塑膠之另一特點為低脫落 (sloughing) 性質，尤其成品若用於無塵室中時，無論是成品中釋放出的小分子，或磨擦產生的粉粒，皆會造成污染。由圖 10 可看見奈米碳管之添加效果，其結果比已被認為是低脫落的碳纖維還要好。其一部份原因可能也來自於其耐磨效果良好，且低氣體釋放率之故，如圖 11 和 12。

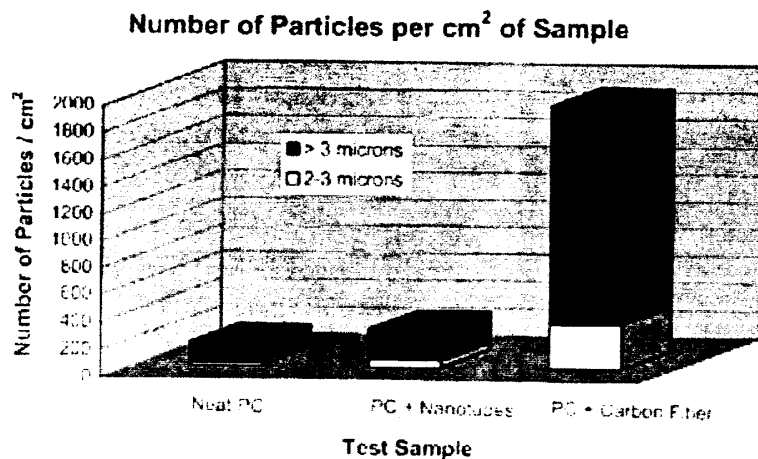


圖 10 相對脫落阻抗性質比較

### Relative Compound Outgassing

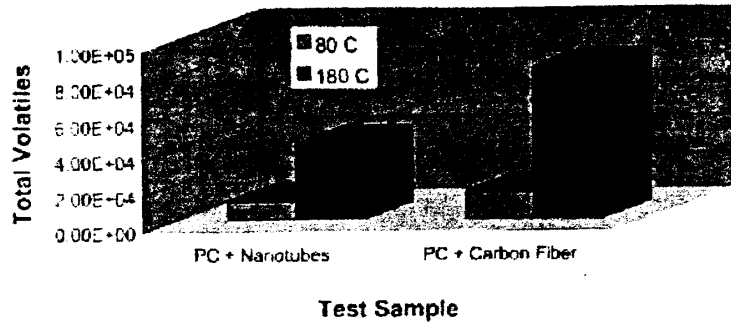


圖 11 相對氣體釋放率性質比較

### Susceptibility to Abrasion

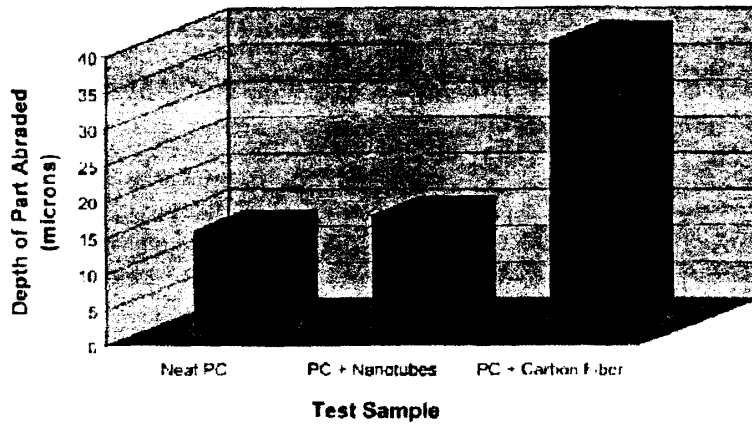


圖 12 相對耐磨耗性質比較



奈米碳管塑膠在北美、歐州及日本已被用於汽車工業之汽油管路上。因為汽油管路一般採用 Nylon 12，主要因為其耐汽油性佳，但油路常會堆積靜電，添加奈米碳管之 Nylon 12 則可解決此一問題，且保有 Nylon 12 在低溫下之韌性及耐油氣之阻隔性質。另一個應用領域為熱塑性汽車葉子板之靜電塗裝。因為當葉子板導電時，則塗裝上導電之底膠及導電之面漆，較不會有噴塗過量或不均勻的結果，且塗層也可變薄。

奈米碳管塑膠之另一應用領域為電子工業。在半導體製程中，晶片製作在超無塵室中進行，因此少量的粉塵便可影響晶片的品質。因此所有製程中，晶片所接觸到之塑膠件，除了要高勁度，抗靜電外，還要有很低之脫落特性。相類似的要求也可見於電腦硬碟趨動元件之製程中。

除了奈米碳管外，另一領域為奈米纖維之應用。奈米碳纖維主要為高石墨化之纖維，其直徑約 10~200nm，長度 > 100  $\mu$ m，其應用於複合材料之效果受到愈來愈多的注意。然而由於奈米碳纖維一般呈鳥窩形式在樹脂中之分散不易，常常需要運用高剪力加工，而導致犧牲纖維之縱橫比，而降低其在機械性能之強化作用。奈米碳纖維一般經過熱處

理後會出現不同的導電性質，由數據顯示在 1500 °C 左右熱處理的結果，導電性最佳（如圖 13）。而機械強度也隨著熱處理的溫度而有所改變，由實驗數據結果顯示，在 1500 °C 至 1800 °C 間熱處理所得之強度最高（如圖 14）。兩者皆顯示在石墨化以下之溫度熱處理可得到較佳之結果。而且，低剪力之製程加工，使最後奈米碳纖維／高分子塗層在防雷擊及無線電波阻擋（RFI Shielding）上的效果較為良好。且多層膜的效果也比單層膜佳。

**Heat Treatment Temperature Dependence:  
Bulk fiber at 40 vol% and PP composite at 12 vol%**

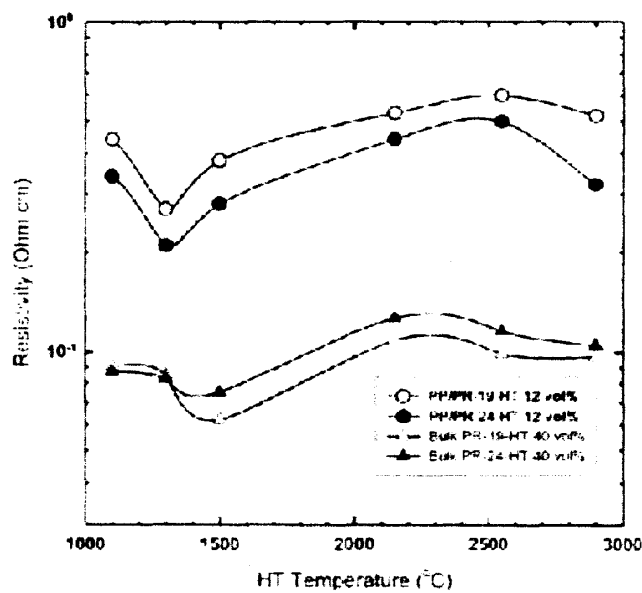


圖 13 奈米碳纖維複合材料之熱處理溫度對導電性質之影響

Tensile Properties: PP/PR-24-HI  
Heat Treatment Temperature Dependence

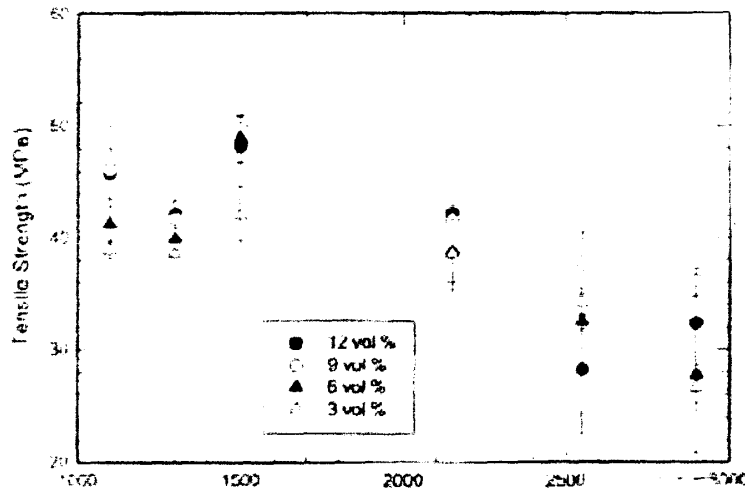


圖 14 奈米碳纖維複合材料之熱處理溫度對拉伸強度之影響

Metal Matrix Composite 公司研製之高縱橫比奈米鎳纖維長度在 100~2000nm 間縱橫比在 50:1~250:1 間，且其以有機金屬前趨物熱分解後所得塊材，呈 99%孔洞連續開放型孔洞之海綿體結構，密度約 0.1gm/cc，可用於導電樹脂、膠料、塗料之添加，由於其開放結構更能成為良好之觸媒載體，濾材或儲能材料。高縱橫比的纖維材料在導熱與導電之應用極有價值，在製造奈米鎳纖

維時加入磁場的效應，可得到較高縱橫比的奈米纖維。同樣的，當奈米鎳纖維混入高分子材料時，也可利用磁場來控制纖維方向的分佈。奈米鎳纖維在樹脂中之分散極為容易，尤其是直徑小且縱橫比大（又細又長）之纖維分散在樹脂中，其導電性較等長度大直徑之纖維維為佳。這可能與細纖維柔軟性佳，加上表面化學效應容易聚集，因此分散後彼此接觸的機會較多之故，因此高縱橫比奈米鎳有時效果比奈米碳管好。圖 15 顯示不同奈米材料對環氧樹脂的導電性質之影響。

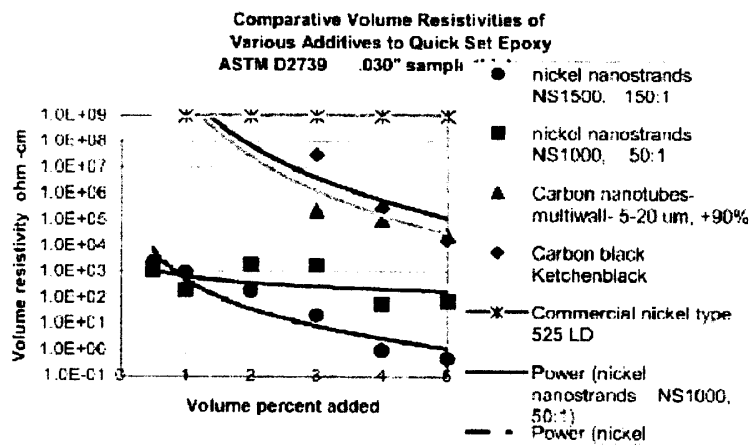


圖 15 不同奈米材料對環氧樹脂的導電性質之影響

### 2.1.3 奈米複合材料之商業契機

由於目前塑膠奈米複合材料之應用主要以黏土為主，因此其主要之特性為機械性能、阻油阻氣性能及耐火性之提升，因此其未來之商業用途包含：

(1)黏土補強航空級環氧樹脂可達到同時提升勁度及韌性，並降低吸水率之效果，在航太之應用上具有極大之潛力。(2)透明硬塗層(hard coating)材料，其中主要為高分子與陶瓷奈米填充劑(organic inorganic hybrid)之組合，一般用於聚碳酸酯及光學顯示器之表面硬化處理。(3)黏土高分子材料用於阻氣應用，例如：例如增加耐隆(Nylon)之阻氣性用於包裝密封用途，及用於食物儲藏容器之材料。(4)黏土/環氧樹脂材料用於電子鍍銅基層板之材料，提供較高之熱穩定性、低熱膨脹係數及低吸水性，預估產值效益很大。

## 2.2 參訪 HITCO 碳複合材料公司

美國 HITCO 公司成立於 1922 年佔地 26 英畝，為德國 SGL 碳集團之子公司，主要供應航太市場所需之複材結構組件及高溫材料。該公司有 150 人平均年資大於 14 年，在複雜之航太複材件上有深厚經驗，研發成本低以符合顧客之需求。

該公司於 8 年前開始實施“製程瘦身”計畫進行工程再造。工廠視覺控制，統計製程控制及 5 S 皆在計畫階段就導入，以達到前置時間短（short lead-time）與低單價之目標。該公司之主要幾項同步工程結果如下：

- Delta IV：複雜噴嘴組件，從構想、設計、工具到製造完成不到 12 個月。
- C-17：大型（12 呎高 14 呎寬）複雜結構件，含 3500 扣件，在 1000 小時內完成製作。
- Boeing767：副翼整流片（Flap Track Fairings）含 18 個金屬／複材次組件，20 個製造天完成。

以上皆說明 HITCO 之特色為同步開發工具與零件，尤其是在大型高風險高附加價值之開發計畫，為該公司之專長。

在原料之開發上該公司主要從事於兩個高附

加價值之材料為碳／碳複合材料及矽纖維材料。

### 2.2.1 碳／碳複合材料

該公司在碳／碳複合材料工業已有 30 年之歷史，居於領導地位。他們開發第一個二維碳／碳出氣錐罩，用於高性能固體火箭噴嘴，如圖 16。首先引進飛機用之耐磨材料，及具抗氧化塗覆之碳／碳複合材料，用於航太工業之推進系統。是目前全世界大量生產碳／碳複材之少數幾家公司之一。生產元件可大到 11 呎直徑，溫度至 5000°F(2760°C)，及使用機械手臂加工能量，如圖 17。



圖 16 高性能固體火箭噴嘴

該公司在液態樹脂含浸法 (Liquid Phenolic Impregnation, LPI) 與化學蒸氣滲透法 (Chemical Vapor Infiltration, CVI) 皆有能量，產品密度在 1.5 到 1.6g/c.c。此材料之特點在於質輕、化學鈍性、高溫強度等。在導熱的應用上，性能比銅及金還好，且熱膨脹系數低不變形。此材料目前之主要市場為高性能飛機與太空梭之高溫結構件、飛機剎車片 (圖 18)，真空高溫爐零件，化學反應爐等。例如圖 19 即為化學物品蒸餾塔，其中蒸餾柱內的填充材、蒸餾盤、進出料管、熱牆等高腐蝕區之元件，皆以碳/碳複材製作。



圖 17 機械手臂加工能量



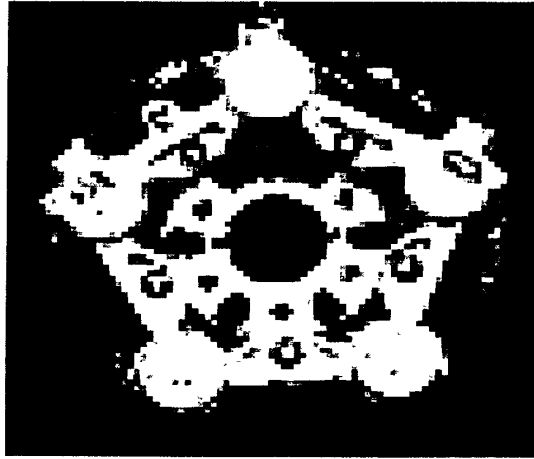


圖 18 飛機煞車用碳碳複合材料

碳／碳表面之塗覆材料包括：(1)金屬塗層，使材料密封且低磨擦性及(2)碳化矽 (Silicon Carbide) 塗層以防止材料氧化。但在高氧化溫度之環境下，只靠碳／碳中添加抗氧化劑及抗氧化塗層是不夠的，例如太空梭進出大氣層時之溫度便是 1500°C 左右，有賴碳化矽纖維強化碳之複合材料，該公司之 CERACARB<sup>®</sup> 便是此類產品。而碳纖維補強碳化矽則是以 LPI 製程製造，再將碳化矽轉化成碳而不影響承受負載之碳纖維，特點在於結合高溫強

度與抗氧化性，主要用於航太衛星結構。



圖 19 化學物品蒸餾塔中含多種碳/碳複材結構

### 2.2.2 矽纖維

矽纖維是由低價格之玻璃纖維經過酸化等處理程序後，產生質量為原來一半，價格卻為原來4倍之非結晶相（amorphous）矽纖維紗，屬於高附加價值之產品。可以玻纖編織布或不織布直接產生相對應之矽纖維產品。此材料之連續使用溫度高至1800°C，且在1800°C保持良好之強度與柔軟度。主要用於衛星之桅索、飛機之防火牆、隔熱防護、電焊毯及吸音制振材料。可取代石棉，具有隔熱防火、抗輻射熱、可抵抗熔融金屬、低發煙量、低成本等特點。矽纖維尚可與玻纖、礦物纖維（Basalt）等混紡成不同等級之矽纖維。該材料可在2000°F下先預收縮（pre-shrunk）成更高強度之材料，如圖20。



圖 20 預收縮之矽纖維矽纖維

HITCO 公司小而美且靈活的團隊，加上特殊領域的技術能量，使其在航太產業上仍保持良好的競爭力。在管理上採自動化又人性化之方式。機械手臂之應用以減少人力需求，及彈性上班工時。夏天中午休息三小時以節省冷氣，及排班配合最佳能源效益，皆顯示該公司管理者在許多地方之用心設計，以達低成本高附加價值之競爭力。

## 2.3 參訪 CFA COMPOSITE 2002 新產品展示會之紀要

COMPOSITE 2002 新產品展示會係由複材製造協會 (Composites Fabricators Association) 與造船協會 (Boat Building) 所合辦之年度盛會，有超過 250 家的複材廠商及 150 家的造船業者參展，推出相關的複材新產品與製程技術，並希望藉由參展的機會獲得商機。

### 2.3.1 參展產品介紹

本次參展的複材新產品與製程技術，其中以造船業居多，汽車業次之。列舉重要者如下：

#### (1) 船體之設計與製作

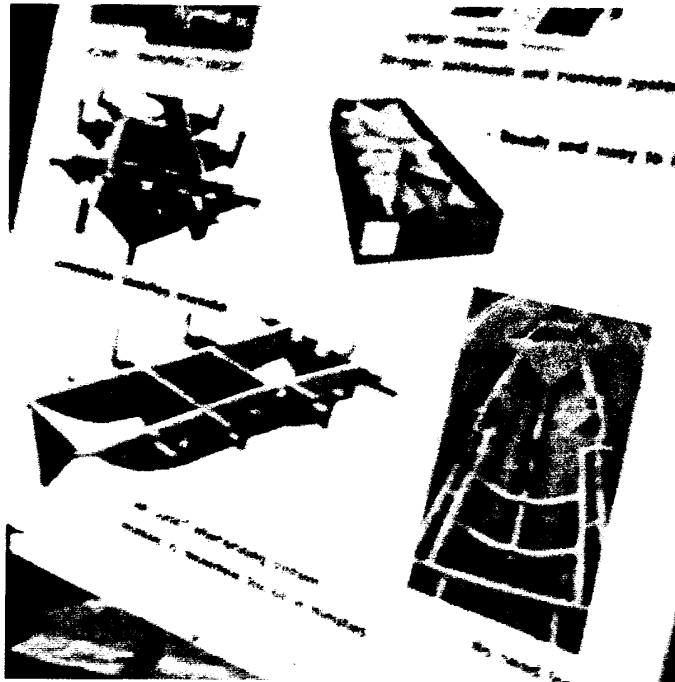


圖 21 組合式之船體骨架設計



圖 22 組合式之船體設計

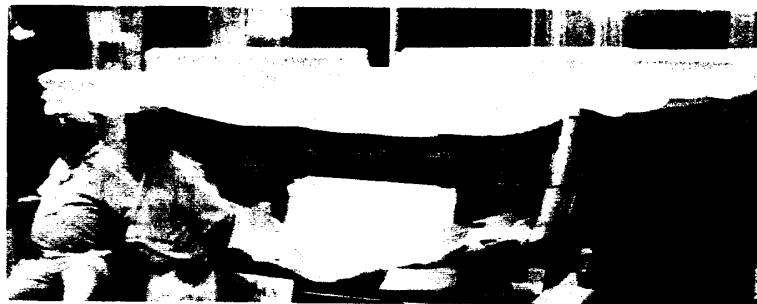


圖 23 一體成形式之船體設計

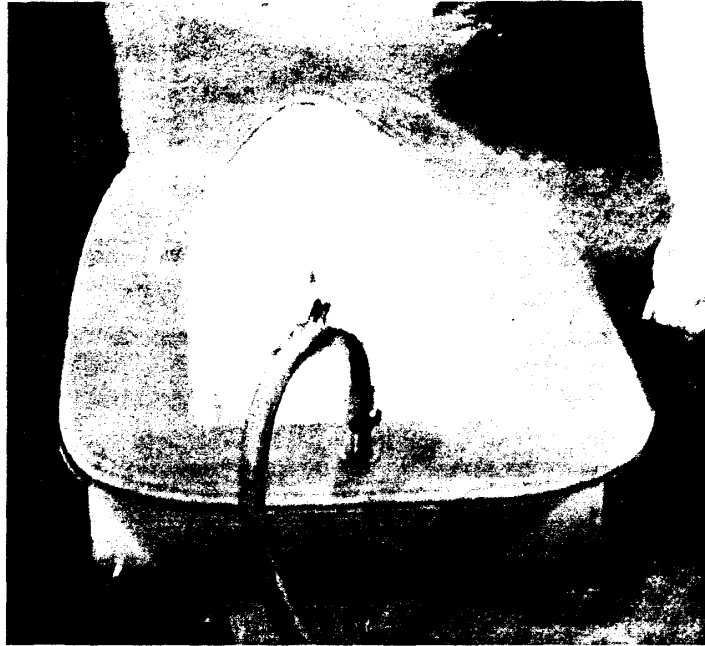


圖 24 以真空注入成形技術製作船體結構

(2) 車體之設計與製作



圖 25 複合材料在汽車上之應用

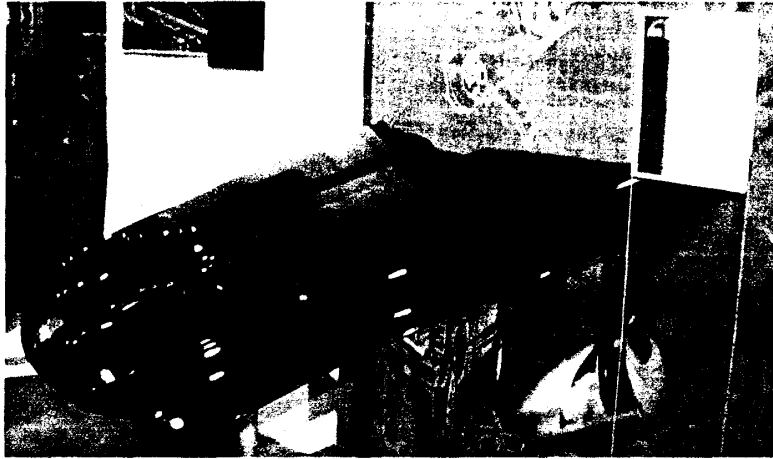


圖 26 汽車引擎蓋之設計與製作



圖 27 一體成形之車身與防撞桿



### (3) 模具之設計與製作

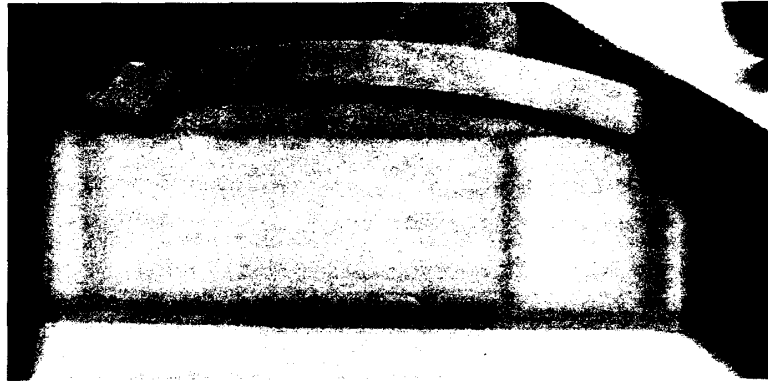


圖 28 單面複材模具之設計與製作

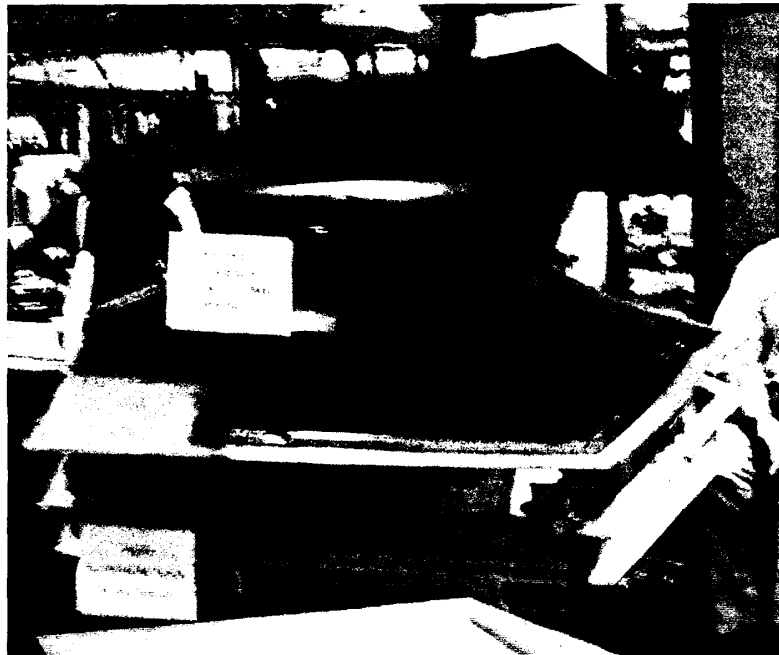


圖 29 雙面複材模具之設計與製作

(4) 熱塑性複材之應用



圖 30 熱塑性複材螺桿之設計與製作

(5) 新材料之開發

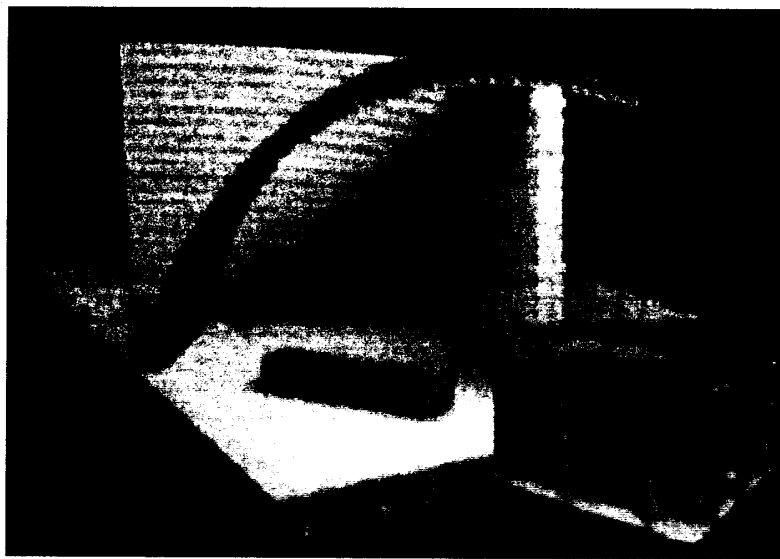


圖 31 3D 編織纖維蕊材之設計與製作

### 2.3.2 少量生產模具製作技術

少量生產模具製作技術(Limited Production Mold, LPM)是一種快速有效製作模具的技術，此種模具適用於製作大型且少量的複材零件上，廣泛應用於產品開發及評估上，可縮短研發時程及降低研發成本，目前已應用於航太、潛艇及運輸工業上，其製作流程如圖 32 所示。

在研發階段中，零件構型會因不同之設計考量或功能驗證而有所變更，在零件構型尚不穩定情形下，就冒然開發金屬模具，其承受風險相當大。因此藉由 LPM 技術所製造的模具，尺寸精確度及重現性高，展示整體技術成果及生產可行性，並可驗證產品各項性能需求，避開構型不穩定之研發風險，減少模具開發費用，縮短模具開發時程。

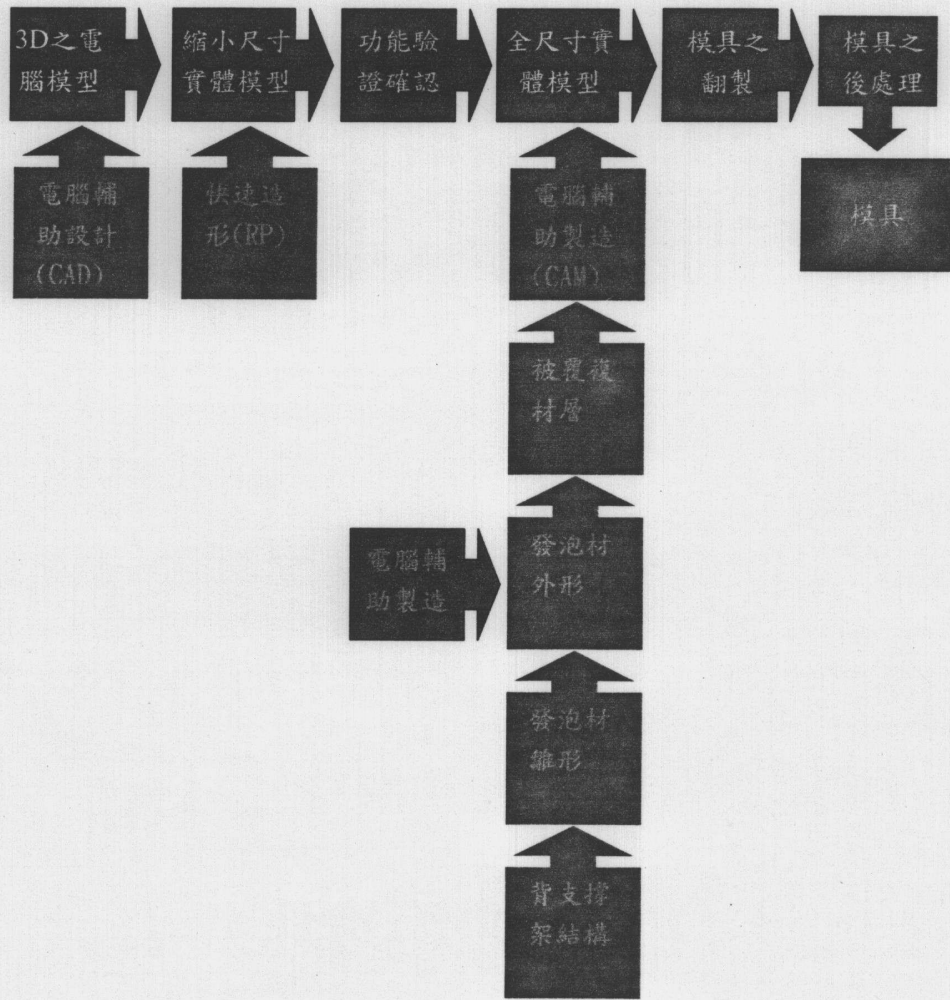


圖 32 少量生產模具之製作流程

首先以電腦輔助設計（Computer Aided Design, CAD）技術，建立 3 D 產品模型檔案後（如圖 33 所示），經由快速造形技術（Rapid prototyping）產生一個縮小尺寸的設計模型，利用這個模型進行外形檢視及相關功能的模擬測試，經確認無誤後，再執行全尺寸模型的製作。

在執行全尺寸模型製作之前，必須先用金屬鋼管當作模型的背支撐架結構（如圖 34 所示），再以 PU 發泡材排出模型之基本雛形（如圖 35 所示），經由 CNC 加工成較模型尺寸為小的發泡材外型（如圖 36 所示）。於此外型上被覆一層複材層後（如圖 37 所示），以 CNC 機器細加工（如圖 38 所示）成所需之模型（Master Model）（如圖 39 所示），最後再以此模型翻製成所需之模具（如圖 40 所示）。

目前所內對於大型機具設備之取得相當不易，但我們若能結合具有大型 CNC 工具機與快速造形（RP）製造能量的廠商，發展少量生產模具製作（LPM）技術，此不僅可提昇廠商之技術能量，並可縮短航空產品之研發時程與縮短研發成本，並可提昇研發產品品質，擴展國內配合廠商機具能量之應用領域與技術層次的提昇。

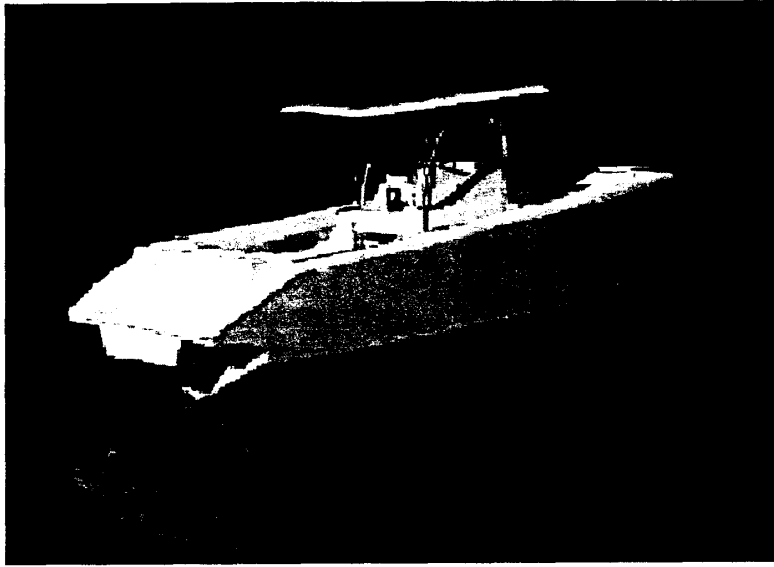


圖 33 3D 電腦模型

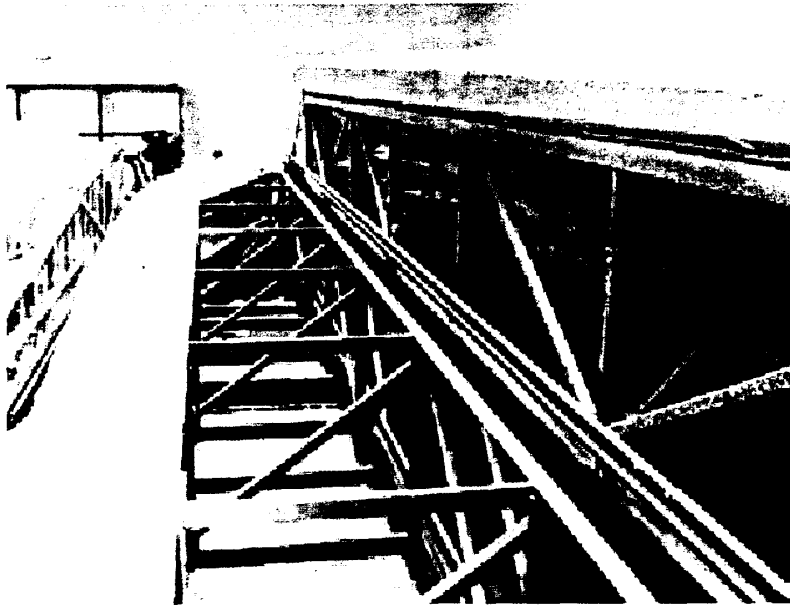


圖 34 模型背支撐架結構之安裝情形

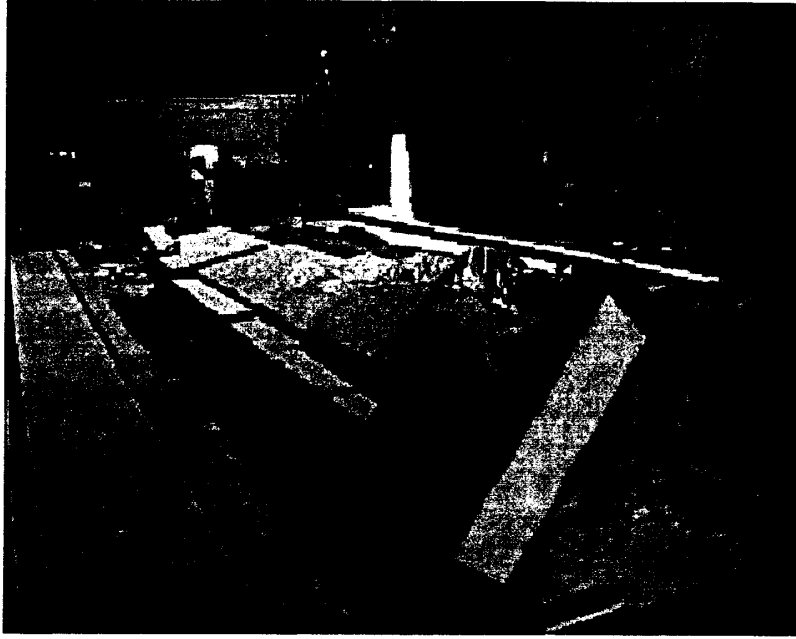


圖 35 模型雛形之安排情形

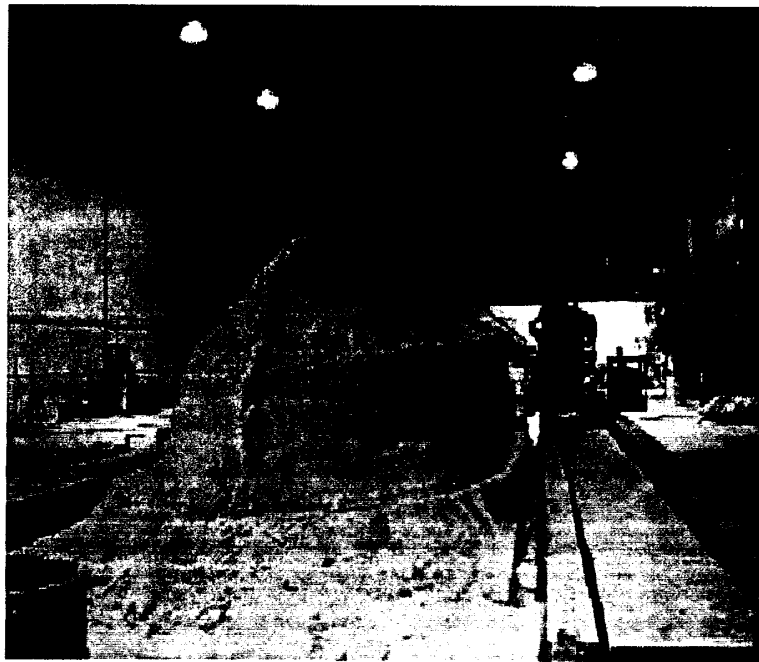


圖 36 發泡材外形之加工情形



圖 37 被覆複材層之施工情形

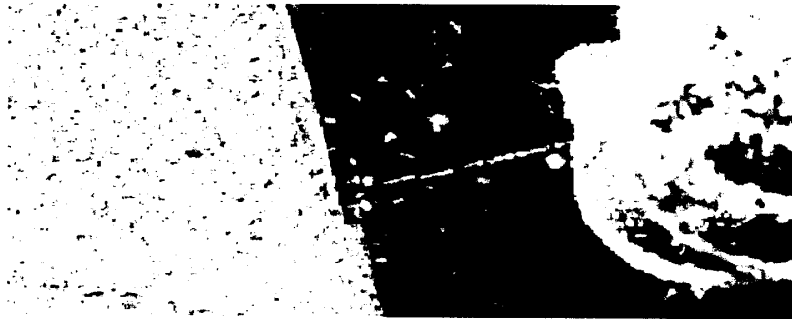


圖 38 CNC 機器細加工之情形



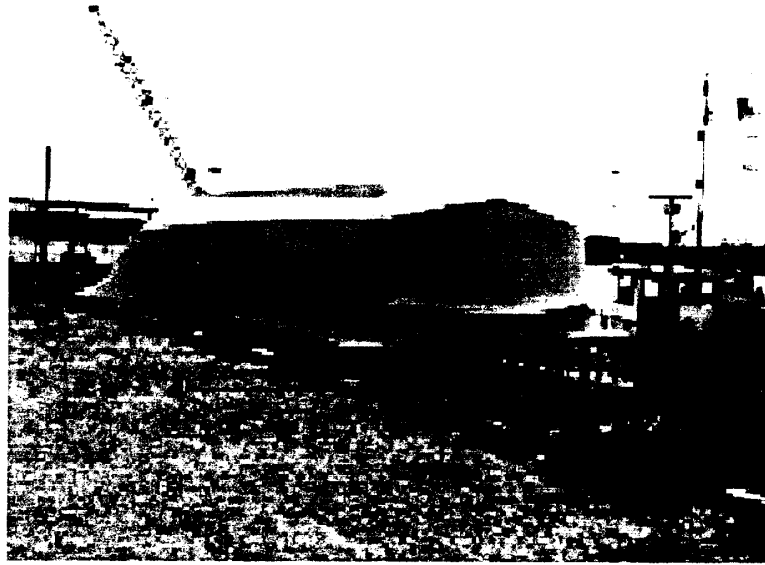


圖 39 完成之模型 (Master Model)

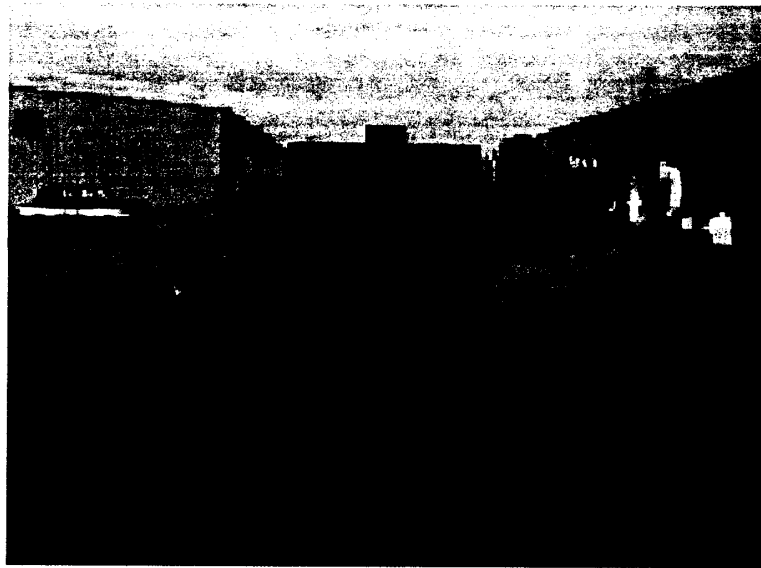


圖 40 完成之模具

### 2.3.3 真空注入成形技術製作複材三明治結構之流道設計

真空注入成形技術 (Vacuum Infusion Processing, VIP)，是一種製造高品質複合材料結構的製程，具有較少有機物質 (Volatile Organic Chemical) 外洩量及製程設計多樣化等特性。

此技術可製作高纖維含量(50%以上)、連續纖維強化之高性能複合材料，它係將具反應性之低黏度熱固性樹脂藉抽真空方式注入模具中，模穴內已事先放妥纖維預成形物，俟注模完成後，升溫硬化樹脂而成。其製程優點包括，僅需藉由抽真空方式完成零件製作，及機具設備與模具成本低。它屬於閉模製程，有機物質外洩量低，因此適合製作大型且外型複雜之一體成型複合材料零件。

複材三明治結構(Sandwich structures)是利用低密度蕊材和高剛性面板組合而成，其具有重量輕且高強度高剛性的結構特性，常被廣泛應用於大型結構物上。典型的三明治結構含有上、下各一層較薄的高強度面板(Facings)，膠合一層較厚的輕質材料(Core)於中間，形成一個如三明治式的結構體。在兩種不同材質中，面板材質於平面強度及剛性均佳，但面板通常厚度甚薄，因此其抗彎曲之強度及剛性有限；蕊材通常為密度低之材質，相對強度及

剛性均遠低於面板，但與面板組成三明治式的結構體後，其墊出面板有效抗彎力臂深度，大幅提昇結構體之抗彎強度及剛性，然重量的增加卻極為有限。

三明治結構除了重量輕、高強度、高剛性等結構特性外，並具有絕熱效果佳、耐衝擊能力優異、吸音效果良好及可作為電磁遮蔽或電波穿透用途等特殊功能。複合材料面板主要承受彎曲負荷 (Bending loads)，中間層芯材則是承受剪力負荷 (Shear loads)，中間層芯材所受的剪應力可視為均勻分佈於整個厚度斷面中。其示意圖如圖 41 所示。

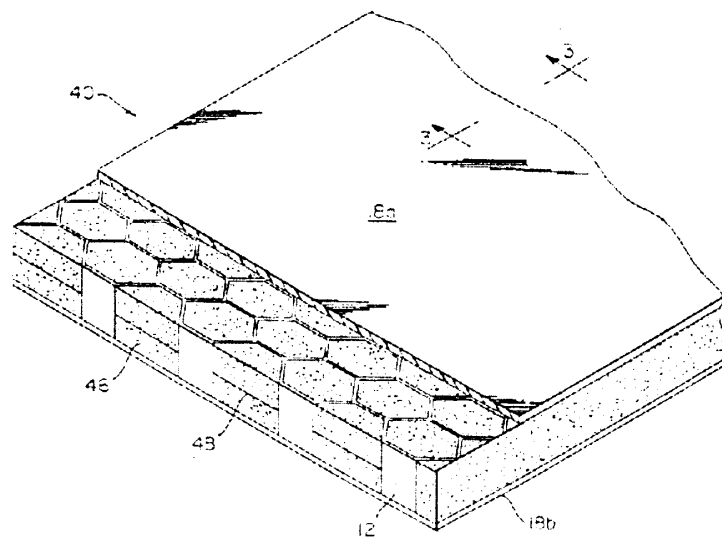


圖 41 複材三明治結構之示意圖

以真空注入成形技術製作複材三明治結構，常使用於大型船體之製造，在製造過程中，當樹脂由進膠口進入零件後，再經由心材之流道擴散至纖維材並加以含浸。流道的設計主要是為了降低樹脂流動之阻力，增加空氣與樹脂交換空間，使樹脂可完全含浸纖維，而空氣則可藉由流道經抽氣道排出，降低空孔產生之機會。因此纖維材對於樹脂含浸效果之良否，在於流道之設計。而良好之流道設計方式，可縮短注膠時間，增加零件之樹脂含浸效果，降低空孔含量。

此次參展廠商(DIAB)針對以真空注入成形技術製作複材三明治結構之不同流道設計進行探討，其之安裝方式如圖 42 所示，零件大小為 24" \*48"，PVC 發泡材厚度為 1" (密度為 5 lb/ft<sup>3</sup>)，疊層順序為 [+45°<sub>g</sub>/+45°<sub>g</sub>] 玻纖 1708 + Peel Ply + Core + [+45°<sub>g</sub>/+45°<sub>g</sub>] 玻纖 1708 + Peel Ply，樹脂系統之主劑採用鄰苯二甲酸聚酯(orthophthalic polyester resin)，硬化劑為過氧化丁酮(methyl ethyl ketone peroxide; MEKP)，主劑與硬化劑之混合重量比為 1.5%，樹脂黏度為 280cps，成化時間 60 分鐘(70°F)。

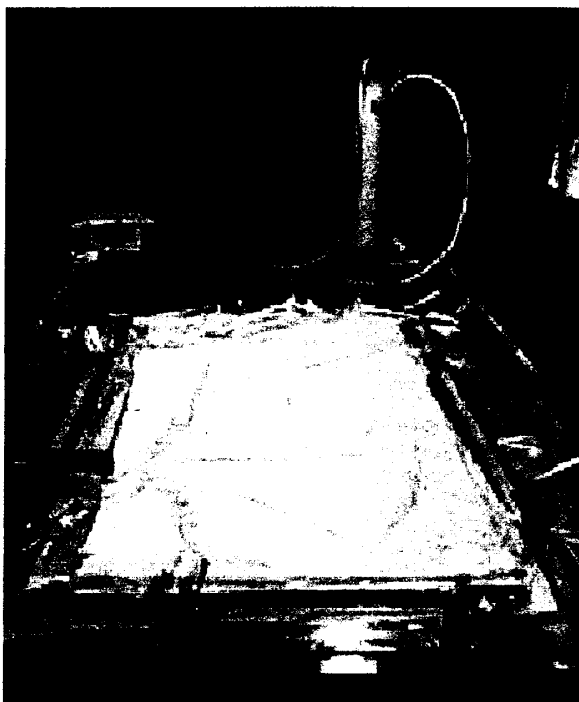


圖 42 複材三明治結構流道設計之安裝示意圖

一般貫穿孔(Plain Perforated, PP)之流道設計如圖 43 所示，孔徑為  $1/16$ " (或  $1/8$ " )，孔距為  $2$ " (或  $6$ " )，並於上蒙皮上面放置一導流網(約  $1/8$ " 厚)，當樹脂注入時，其下蒙皮之樹脂含浸情形如圖 44 所示。經由製作結果顯示，此種流道設計，具有最少纖維含浸時間(上蒙皮約為 1.33 分鐘，下蒙皮約為 1.5 分鐘)，但也產生最低之纖維含量(上蒙皮約為 60%，下蒙皮約為 59%)，而且在孔徑為  $1/8$ " (孔距為  $6$ " )時，會有纖維未含浸樹脂的情形產生如圖 45 所示。

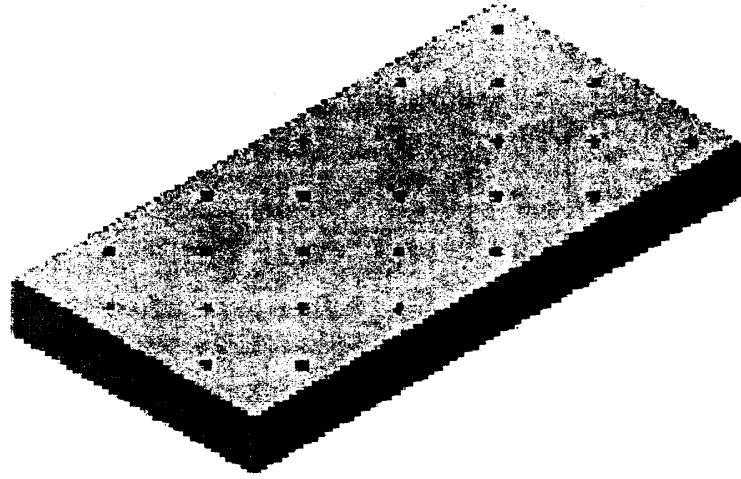


圖 43 一般貫穿孔(PP)流道設計之發泡材



圖 44 下蒙皮之樹脂含浸情形

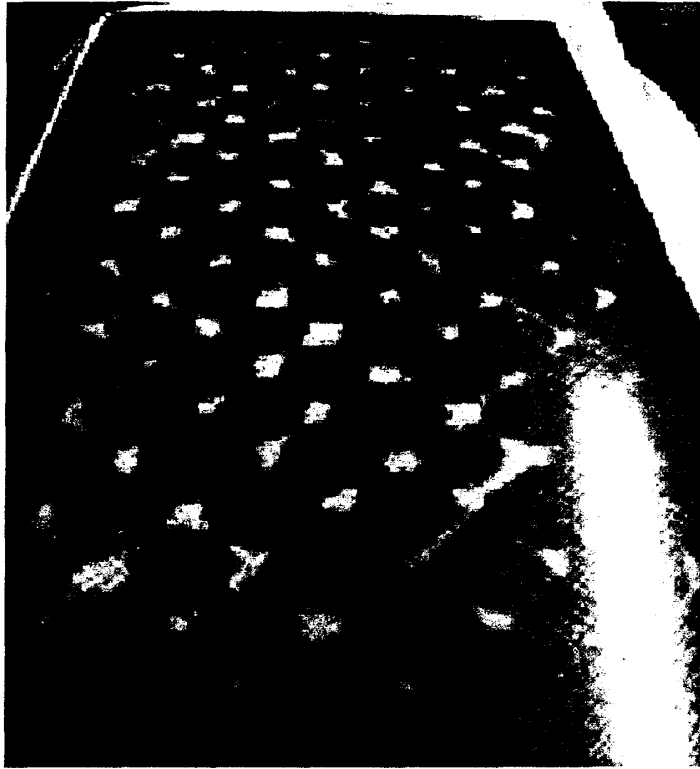


圖 45 纖維未含浸樹脂的情形(PP)

雙面輪廓線(Double Contoured, DC)之流道設計如圖 46 所示,雙面流道的深度皆為發泡材厚度之 60%高,中間部分有 10%高度係為貫穿的。經由製作結果顯示,此種流道設計,其纖維含浸樹脂的情形非常良好,上下蒙皮纖維的含浸時間都為 11.75 分鐘,上蒙皮纖維含量約為 64%,下蒙皮纖維含量約為 62%,但發泡材流道內殘留較多的樹脂,因此這種流道設計應該使用在具有大圓角外形輪廓且減重需求小的零件。

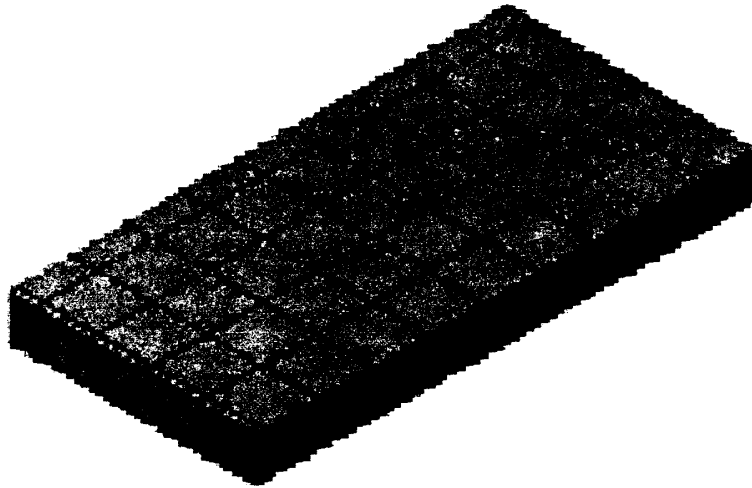


圖 46 雙面輪廓線(DC)流道設計之發泡材

格線刮痕(Grid Scored, GS)之流道設計如圖 47 所示，單面流道的深度為發泡材厚度減去 2mm，另面則無流道，但有部分係為貫穿的。經由製作結果顯示，此種流道設計，其纖維含浸樹脂的速度非常慢，上下蒙皮纖維的含浸時間都為 17.5 分鐘，發泡材流道內亦殘留較多的樹脂，而且有纖維未含浸樹脂的情形產生如圖 48 所示。



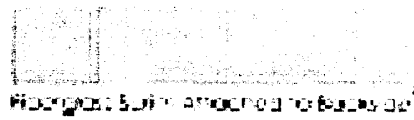
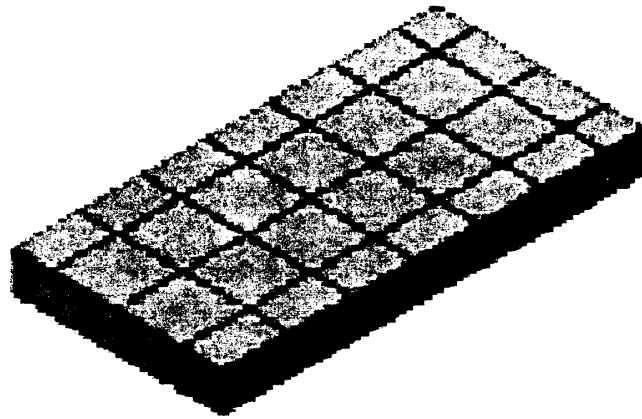


圖 47 格線刮痕(GS)流道設計之發泡材



圖 48 纖維未含浸樹脂的情形(GS)

格線刮痕(Grid Scored, GS)及注入路徑(Infusion Path, IP)之流道設計如圖 49 所示,此流道的設計為 GS 流道加上 IP 之流道(具有 45° 小刮痕之流道)。經由製作結果顯示,此種流道設計,其纖維含浸樹脂的速度較 GS 流道設計為快,上下蒙皮纖維的含浸時間都為 14.5 分鐘,上蒙皮纖維含量約為 65%,下蒙皮纖維含量約為 60%,發泡材流道內亦殘留較多的樹脂,而且有纖維未含浸樹脂的情形產生如圖 50 所示。

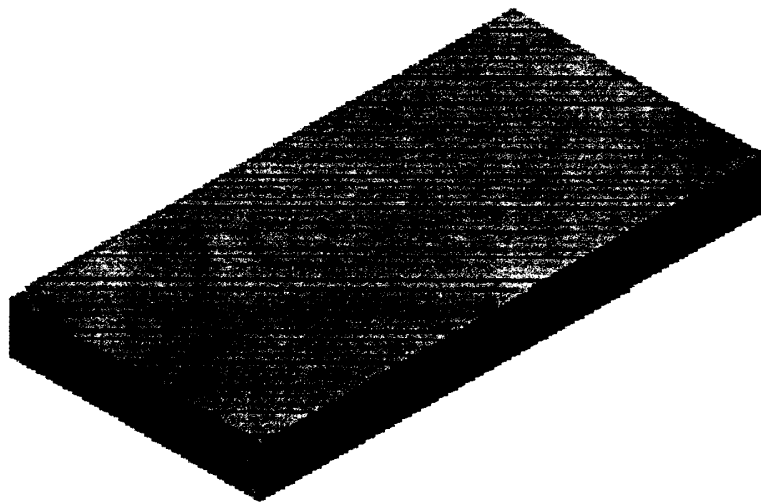


圖 49 注入路徑(IP)流道設計之發泡材



圖 50 纖維未含浸樹脂的情形(GSIP)

表面溝槽(Surface Groove, GV)之流道設計如圖 51 所示，雙面流道的深度皆為淺鋸齒狀，間距分為 30mm 及 60mm，貫穿部分的孔徑為 1/8"，孔距為 6"。經由製作結果顯示，此種流道設計，產生較高之纖維含量(GV30 之上蒙皮約為 67%，下蒙皮約為 68%)，而且纖維含浸樹脂的情形良好如圖 52 所示。但流道間距為 60mm 時，離進膠口較遠處，略有樹脂含浸不完全的情形如圖 53 所示。



圖 51 表面溝槽(GV)流道設計之發泡材



圖 52 纖維含浸樹脂的情形(GV30)

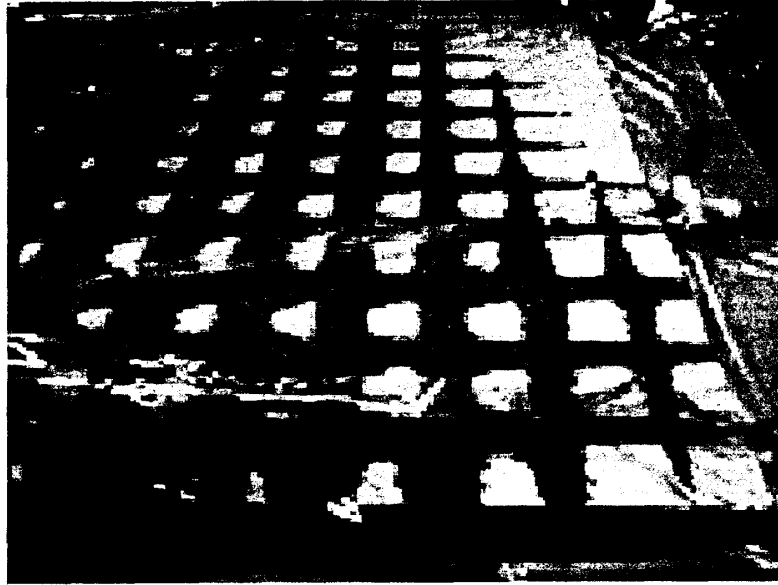


圖 53 纖維未含浸樹脂的情形(GVIP60)

總而言之，以真空注入成形技術製作複材三明治結構之流道設計中，GS 流道設計如果沒有藉由導流網及導流管，纖維是無法含浸樹脂完全的。PP 流道設計則能藉由適當的導流網及孔距，使纖維含浸樹脂完全。GV 流道設計則能產生最佳纖維含量的蒙皮，而且發泡材流道內亦殘留最少的樹脂。IP 流道設計則能產生較佳蒙皮表面。

目前本所在真空注入成形技術製作複材三明治結構方面以有些基礎，但對於流道設計之探討則較為缺乏，未來若能深入探討流道設計問題，配合纖維編織管之應用，使零件設計製作更富多樣性變化，且可縮短製作工時及降低製造成本，更可考慮

擴大真空注入成形技術製作複材三明治結構之應用範圍，如機體、車體、船體及大型結構體之研製，以減輕結構件重量、增加纖維含量及提昇結構件強度，此將逐步提昇本所複材結構件研製技術層次，且將使複材結構件更具有市場競爭力。

## 參、效益分析

本次公差已達成目標如下：(1) 參加 Nanocomposites 2002 研討會，其重點在於奈米技術使高分子材料價值提昇之方法與應用。(2) 參訪 Hitco Carbon Composite 公司，了解其碳複合材料之技術能量及研發方向，供本組導熱碳纖維技術開發之參考。(3) 參加 Composites Fabricators Association 與 Boat Building 協會合辦之複材技術展覽及研討會，瞭解國際間複合材料相關材料與製程的最新發展與應用趨勢。

### 3.1 參加 Nanocomposites 2002 研討會中獲致之效益如下：

- (1) 參加 Nanocomposites 2002 奈米塑膠材料技術研討會，瞭解奈米技術對傳統高分子塑膠業之衝擊，及可能帶來之材料性能的突破，提升塑膠材料之功能性及附加價值，實為國內產業可重新思維及積極參與開發之領域，如此業者可免於被大陸削價競爭，且可開拓更多之商機。
- (2) 目前奈米塑膠技術中，黏土材料之應用佔很重要之地位，此與本組目前在奈米技術之研發方向極為吻合。雖然本所在奈米材料研發之投入，時間上較四所與五所為晚，但組裡多年在彈性材料配方累積之經驗，投入奈米彈性材料之開發，是很合適的起點。

- (3) 透明奈米塗層材料可應用於高附加價值之光電顯示器，因此是奈米塑膠材料中具有高產值潛力之方向。其中高分子材料與陶瓷奈米材料之設計組合、及介面性質之控制為其關鍵技術，但此領域工研院已提很多計畫在執行，要再建案不易。
- (4) 黏土補強航空級環氧樹脂可達到同時提升勁度及韌性，並降低吸水率之效果，在航太之應用上具有極大之潛力。金屬主要結構的防蝕處理所需之奈米塗層材料，亦為本所航空定位下適合發展之題目。
- (5) 奈米碳管(CNT)相關導電、導熱、以及複合材料的應用也是本所須持續注意之主題之一，因其潛在之高結構性能結合電熱之功能，及可能為下一代航太多功能材料之革命性產物。本所國防計畫也應適時納入評估，以免與國外差距太遠。

### 3.2 赴 Hitco Carbon Composite 公司的參訪研討，獲致下列具體成果與效益：

- (1) 了解該公司之高溫隔熱複材及高導熱複材技術，並討論此技術在市場上之應用領域與商機。
- (2) 該公司在碳／碳複合材料工業居於領導地位，尤其在產品開發方向上，總是以核心技術導向高附加價值之商品，此理念之落實與產品化之方法很值得學習。



(3)HITCO 公司小而美且靈活的團隊，加上特殊領域的技術能量，使其在航太產業上仍保有良好的競爭力。

### 3.3 參加 Composites Fabricators Association 與 Boat Building 協會合辦之複材技術展覽及研討會中獲致之效益如下：

- (1)了解複合材料之新材料與製程開發及其應用趨勢，尤其是在造船領域的製造技術，更有多樣化之產品展示，可供本所服務國內業界設計時參考。
- (2)本次會議中針對真空樹脂注入成形技術，有許多廠商已應用於各式模具與零件之製造生產中。其中結合流道設計，及纖維之鋪設技巧，在此次會議中皆有充分的揭露，對本所執行科專或國防計畫之複材零件研發很有幫助。

#### 肆、國外工作日程表

時 間	工 作 內 容
12/19	搭機至美國 Hitco 公司所在地加州洛杉磯市。
12/20	赴 Hitco 公司，研討熱管理材料及特殊複材加工技術。
12/21	綜整研討資料
12/22(週日)	赴聖地牙哥行程。
12/23-12/24	參加奈米複材 2002 國際會議，研討複合材料製程技術與奈米結構相關設計技術最新技術成果；觀摹分析奈米結構技術研發方向與趨勢；並蒐集奈米結構複合材料資訊，分析在各領域的創新應用發展前景，並尋找具潛力產品項目。
12/25	搭機至喬治亞州亞特蘭大市行程。
12/26	參加複材製造協會（CFA）舉辦之廠商新產品展示會，蒐集複材產品設計製造與市場發展資料。
12/27-12/28	搭機經加州洛杉磯市返國。

#### 伍、社交活動

此行公差中所接觸人士包括與所參訪的 Hitco Carbon Composites 公司副總經理 Leslie Cohen 博士及工程師會談，以及與國際奈米結構材料會議出席之各國人士進行奈米技術相關議題之討論，並無額外的社交活動。

#### 陸、建議事項

- (1) 雖然本所在奈米材料研發之投入，時間上較工研院、四所與五所為晚，但多年在材料配方與航空材料累積之經驗，在奈米航空級樹脂及航空結構之奈米防蝕技術上，應有很好之發揮空間。
- (2) 工研院在經濟部科技專案未來規劃工作內，已將奈米技術應用於光電產業之相關研究題目大幅納入，因此要再建相關計畫不易。奈米技術對傳統高分子橡塑膠業可能帶來之功能性及附加價值，實為本所較易切入之領域。
- (3) 奈米科技研發，須要多種新型儀器設備，如原子力顯微鏡 AFM，高解析電子顯微鏡(SEM、TEM)、X 光繞射儀、奈米凹陷儀等。建議本院可考量成立精密儀器中心，而價格較低的 AFM 等儀器則可由各所中心自行採購建立能量。
- (4) 奈米科技之研發，除了以化學、材料為主，進行材料製程開發應用外，若能以電子、機械為輔，進行週邊檢測及製程自動化設備之開發，以加速研究的進行，相信很快就可跟上國際的腳步。
- (5) 目前本所在真空注入成形技術製作複材三明治結構方面已有些基礎，但對於流道設計之探討則較為缺乏，未來若能深入探討流道設計問題，配合纖維編織管之應用，使零件設計製作更富多樣性變化，且可縮短製作工時及降低製造成本，且將使複材結構件更具有市場競爭力。