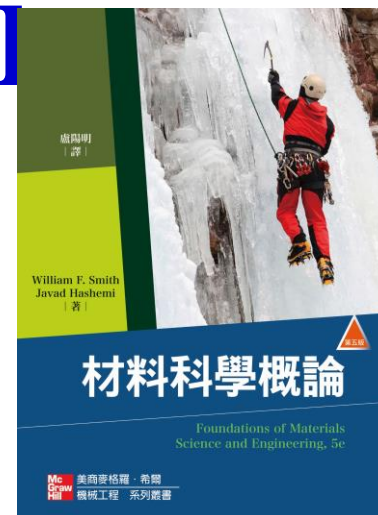


CHAPTER 12

複合材料 Composite Material



緒論

- 複合材料（**composite material**）是一個材料系統，由適當配置的混合物或兩種或更多的微觀或巨觀組成物結合而成。
- 有介面分隔它們，型態及化學成分也不同，本質上彼此之間互不相溶。
- 複合材料的性能可優於其各個組成部分。
- 例子：纖維強化塑膠、混凝土等。

用於強化塑膠樹脂的玻璃纖維

- 玻璃纖維常被用在強化塑膠基材。
 - **E型玻璃**：52%至56% 的 SiO_2 ，12 %至16% 的 Al_2O_3 ，16 %至25% CaO ，以及8 %至13% 的 B_2O_3 。
 - ❖ 拉伸強度 = 3.44 GPa，彈性模數 = 72.3 GPa
 - **S型玻璃**：用於軍事和航空應用。
 - 65% 的 SiO_2 ，25% 的 Al_2O_3 及 10% MgO
 - ❖ 拉伸強度 = 4.48 GPa, 彈性模數 = 85.4 GPa

生產玻璃纖維

- 玻璃纖維是將玻璃置於熱爐中，使其熔融，抽拉成纖維絲，再將纖維絲聚集形成玻璃纖維絲束
- 性質：密度和強度低於碳和醯胺纖維
- 伸長率較高
- 成本低，因此常用

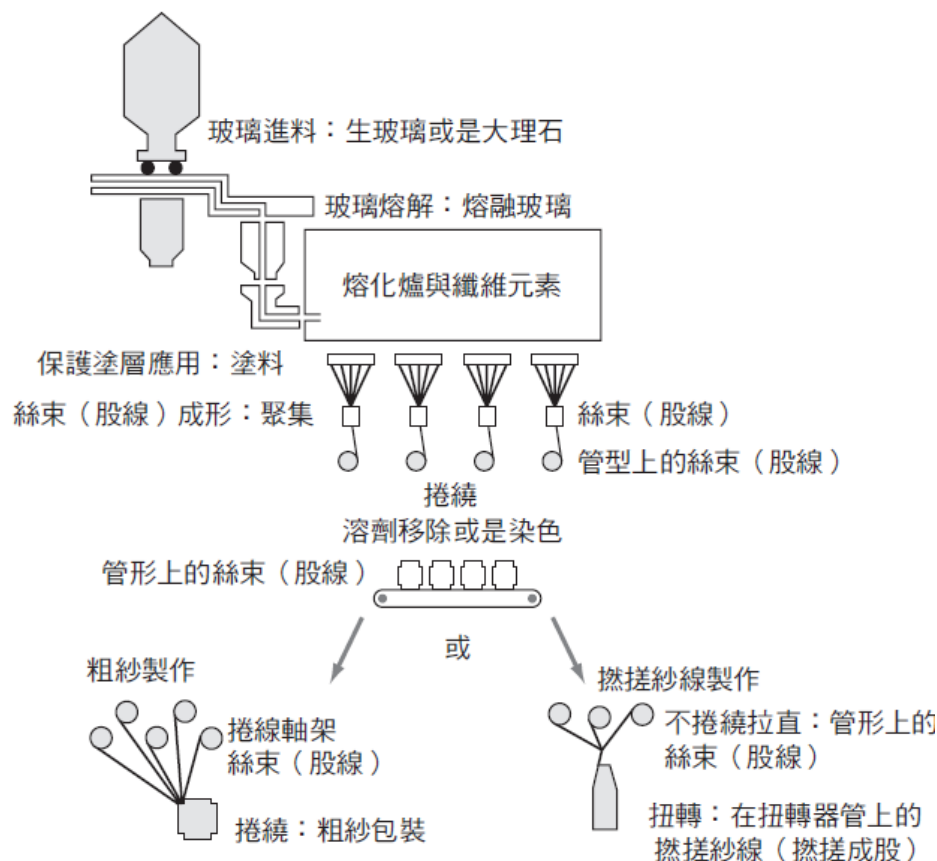


圖 12.2 玻璃纖維之製造流程。

玻璃纖維性質

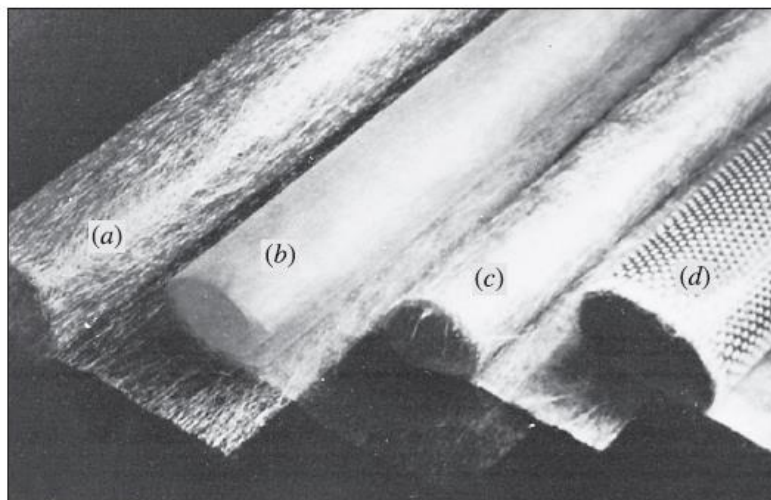


圖 12.3 玻璃纖維強化墊：(a) 連續纖維絲束墊；(b) 表面墊；(c) 短纖維絲束墊；(d) 粗紗編織及短纖維絲束的混紡墊。

表 12.1 塑膠材料纖維強化撚搓紗線的性質比較

性質	玻璃纖維 (E 型)	碳纖維型 (HT 型)	醯胺纖維 (克維拉 49)
拉伸強度, ksi (MPa)	450 (3100)	500 (3450)	525 (3600)
拉伸模數, Msi (GPa)	11.0 (76)	33 (228)	19 (131)
斷裂前的伸長率 (%)	4.5	1.6	2.8
密度 (g/cm ³)	2.54	1.8	1.44

強化塑膠碳纖維

- 重量輕，高強度，高剛度
- 直徑為7到10微米
 - **穩定化**：聚丙炔腈纖維經拉伸過程且保持拉伸在溫度約200度的空氣中氧化
 - **碳化**：穩定碳纖維在**惰性氣氛**中加熱在1000 °C至1500°C的結果，在消除對O，H和N導致增加強度
 - **石墨化**：工作在1800°C，增加彈性模量的力量

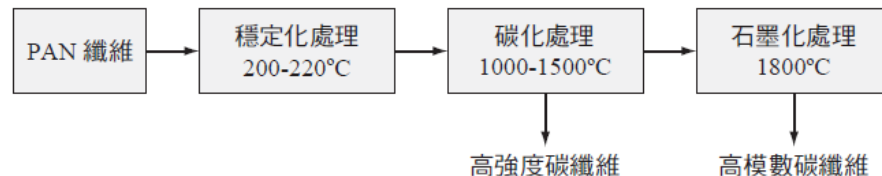


圖 12.4 以 PAN 製作高強度、高模數碳纖維的製程。

醯胺纖維強化塑膠樹脂

- 醯胺纖維 = 芳香族聚醯胺纖維.
- 商品名稱是克維拉(Kevlar)
 - 克維拉29：密度低，強度高，用繩索，電纜。
 - 克維拉49：低密度，高強度，高彈性模量和用於航空航天和汽車應用。

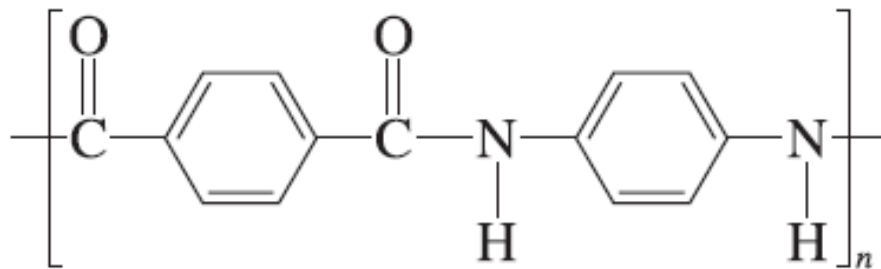


圖 12.6 克維拉纖維之重複化學結構單元

纖維強化塑膠複合材料

- **聚酯**和**環氧樹脂**是兩個重要的塑膠基材。
- 聚酯樹脂：便宜，但強度比不上環氧樹脂。
- 應用：船體，汽車和航空應用。
- **環氧樹脂**：良好的強度，低收縮。
- 常用來作為碳纖和醯胺纖維複合材料之基材。

表 12.2 未加填充料鑄造的聚酯及環氧樹脂的某些性質

	聚酯	環氧樹脂
拉伸強度，ksi (MPa)	6-13 (40-90)	8-19 (55-130)
拉伸彈性模數，Msi (GPa)	0.30-0.64 (2.0-4.4)	0.41-0.61 (2.8-4.2)
彎曲降伏強度，ksi (MPa)	8.5-23 (60-160)	18.1 (125)
衝擊強度 (Izod 衝擊測試)，ft · lb/in. (J/m)	0.2-0.4 (10.6-21.2)	0.1-1.0 (5.3-53)
密度 (g/cm ³)	1.10-1.46	1.2-1.3

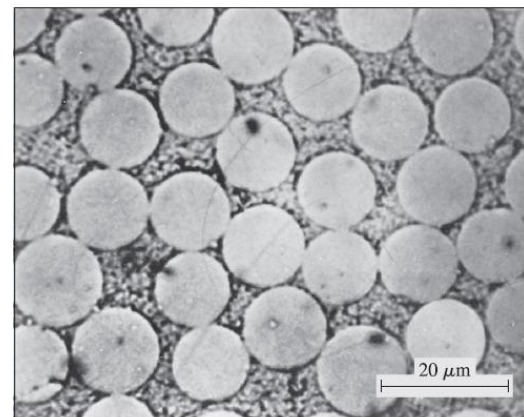


圖 12.9 單向玻璃纖維聚酯複合材料之截面顯微照片。

纖維強化塑膠複合材料

- 玻璃纖維強化聚酯樹脂

- 強化玻璃中的塑膠百分比越高，強度也越高。
- 當玻璃纖維束在材料中的排列方式開始偏離平行排列，其機械強度隨著降低。

- 碳纖維強化環氧樹脂

- 碳纖維複合材料的高拉伸剛性與強度來自纖維，而基材可保持纖維的排列方向，提供衝擊強度
- 最常被使用在碳纖維複合材料的基材是環氧樹脂
- 碳纖維的主要優點：高強度、高彈性模數及低密度
- 在工程設計結構方面，碳纖—環氧樹脂藉由積層板可依據不同的強度要求而堆疊

製造纖維強化塑膠複合材料之開模製程

• 手工推疊法

- 模上塗上一層膠質表層
- 玻璃纖維加固放置在模具
- 再把已混內催化劑之樹脂澆注，粉刷或噴灑到模型上

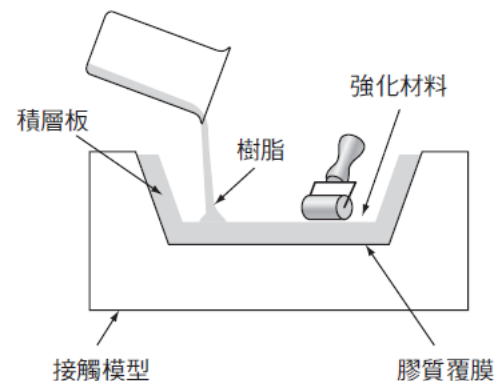


圖 12.13 纖維強化塑膠複合材料的手工堆疊過程。在模內的強化材料上注入樹脂。

• 噴灑法

將玻璃絲束切銷成短纖，與經過反應後的樹脂噴灑於模型上。在利用滾輪押實除去殘留中氣泡。

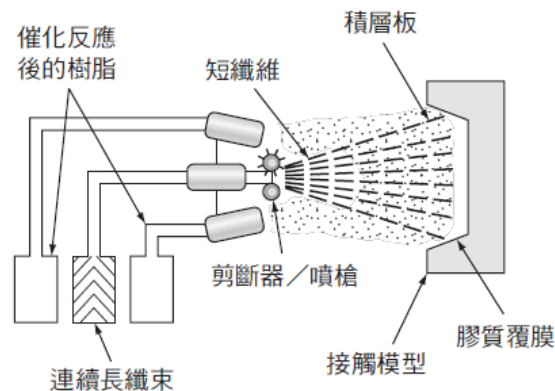


圖 12.14 製作纖維強化塑膠複合材料的噴灑法；優點是製造的模件變化較大，且製程能自動化。

製造纖維強化塑膠複合材料之開模製程

- 真空袋-壓熱器法

- 寬長薄片狀或碳纖-環氧樹脂浸材料平鋪於平台
- 切割，把薄片曾曾推疊於模具-產生一積層板
- 積層板放進真空袋中，抽真空將氣泡除去，在放入熱壓室最後硬化處理

- 纖維纏繞法

- 加強的纖維通過樹脂液槽，纏繞在模蕊上，放在室溫或在高溫的烤箱中進行硬化處理。最後，成形元件會從模蕊上剝離下來

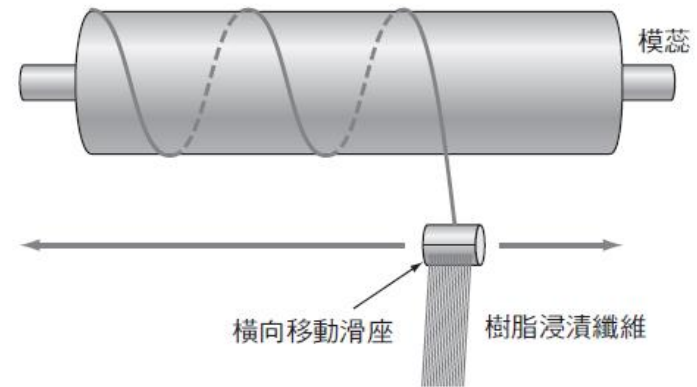


圖 12.17 用以生產纖維強化塑膠複合材料之纖維纏繞製程。纖維首先由塑膠樹脂浸濕，然後再纏繞到旋轉的模蕊上。含有樹脂浸漬纖維的滑座在纏繞過程中橫向移動，放下浸濕之纖維。

混凝土

- 設計彈性大，經濟，防火，耐用，鑄造施工。
- 低抗張強度，韌性和低收縮。
- 混凝土是一種陶瓷複合材料組成的粗顆粒物質埋入式硬水泥漿體基材。
- 混凝土 = 7%至15% 波特蘭水泥，14 %至21%水，0.5%至8%空氣，24%至30%細骨材，31%至51%粗骨材。

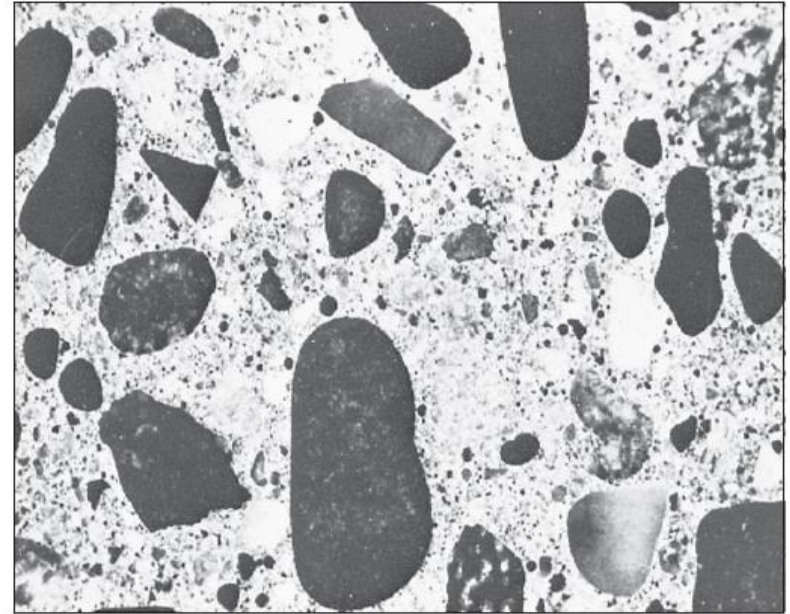
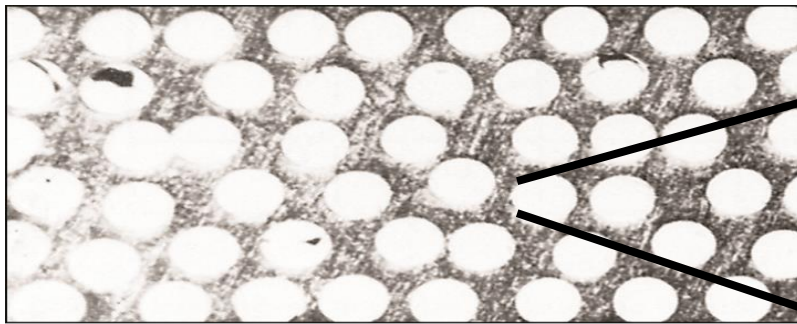


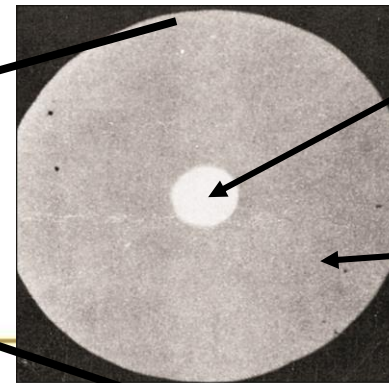
圖 12.20 硬化後之混凝土截面。水泥糊完全被覆每一骨材顆粒且填滿顆粒間之空隙，形成一陶瓷複合材料。

金屬基複合材料(MMC)

- 長纖強化 MMC：添加連續長纖增強其拉伸剛性與強度，應用於航空航天，汽車業和體育器材
- 例子：鋁合金－硼纖維複合材料
 - 硼纖維是由硼氣相沉積鎢基板
 - 成排硼纖維放置於鋁箔膜之間
 - 拉伸強度Al6061增幅為310至1417GPa和彈性模數增幅為69至231GP



(b)



(a)

鎢絲

硼

圖12.30

非連續纖維和顆粒增強金屬基複合材料

- **顆粒強化MMCs**：不規則形狀的氧化鋁和碳化矽顆粒使用
 - 顆粒混合到熔融鋁和鑄鐵錠和鋼錠成。
 - 鋁 6061 + 20% 碳化矽 → 拉伸強度提高到**496 MPa**
彈性模數增加到**103 GPa**
- **短纖強化 MMcs**：針狀碳化矽晶須(1-3微米直徑，長度在20-200微米)混有金屬粉末。
 - 合併混合物通過熱壓，
然後鍛造的或擠壓。
 - 拉伸強度鋁6061升到
480 MPa和彈性模數升到115 GPa

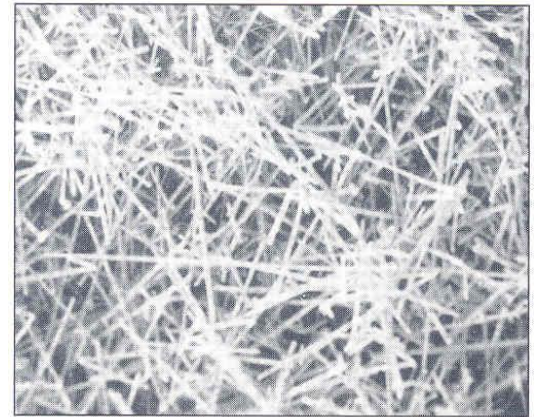


圖12.31(a)

陶瓷基複合材料(CMCs)

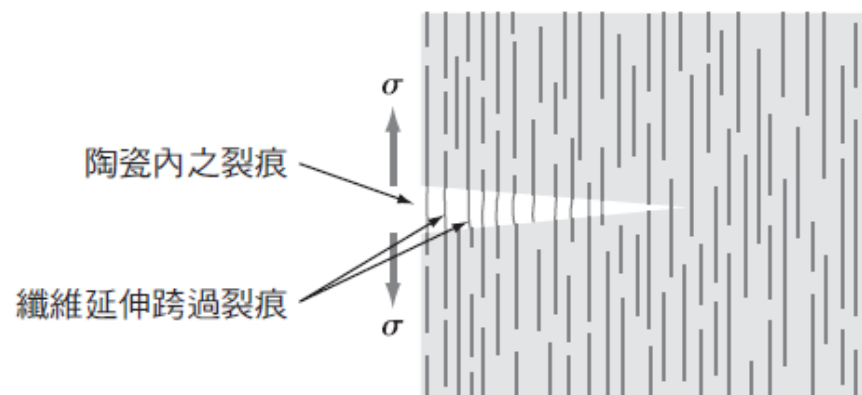
- **連續纖維強化陶瓷基複合材料**
 - 將碳化矽纖維編織成墊，然後再利用化學蒸鍍的方法將碳化矽滲入纖維墊中。
 - 將碳化矽纖維先注入玻璃陶瓷材料中
 - 實際應用相當廣泛，像是熱交換器管件、熱保護系統與防腐蝕／浸蝕材料等
- **不連續纖維（晶鬚）和顆粒強化陶瓷基複合材料**
 - 陶瓷晶鬚能有效地增加整塊陶瓷的破壞韌性
 - 不連續纖維與顆粒強化陶瓷複合材料之優點為可用普通陶瓷材料製程生產，像是熱均壓法

陶瓷基複合材料(CMCs)

表 12.7 室溫下碳化矽晶鬚強化陶瓷基複合材料之機械性質

基材	碳化矽晶鬚含量 (體積百分比%)	撓曲強度		破壞韌性	
		MPa	ksi	MPa√m	ksi√in
Si ₃ N ₄	0	400-650	60-95	5-7	4.6-6.4
	10	400-500	60-75	6.5-9.5	5.9-8.6
	30	350-450	50-65	7.5-10	6.8-9.1
Al ₂ O ₃	0	4.5	4.1
	10	400-510	57-73	7.1	6.5
	20	520-790	75-115	7.5-9.0	6.8-8.2

圖 12.32 陶瓷基複合材料之強化纖維利用裂痕架橋與纖維脫出能吸收，以抑制裂痕擴展。



陶瓷基複合材料之強化機制

- 強化纖維阻擾裂痕的擴展
 - 裂痕折曲：裂痕尖端碰到強化材，使裂紋擴展路徑變的更多蜿蜒折繞
 - 裂痕架橋：纖維可在裂縫兩面間連接，幫助材料，需提高應力才可使裂痕成長
 - 纖維脫出：摩擦造成拉出纖維基體產生更高的韌性
- 奈米技術：碳奈米管結合氧化鋁
 - 斷裂韌性提高5倍
 - 導電性