

## 第八章 塑膠材料及加工

### 一、塑膠材料 (Plastics)

塑膠材料可以說是現今應用最廣的非金屬材料，雖然它的發展歷史很短，僅在廿世紀初才開始真正的使用，但是由於不斷創新發展，使它的種類繁多，並且廣泛使用於各種不同的領域。

塑膠和一般金屬材料比較起來，最大的優點就是質量輕、具有可塑性、絕緣性和腐蝕抵抗性佳，即使在強度上，相當多的塑膠材料比較金屬材料也毫不遜色，因此許多場合都可以看到它的蹤影。以我們日常生活及工程應用而言，熟知的產品例如：PE 保鮮膜、塑膠袋、保特瓶、尼龍繩、電話機、電視機、塑膠齒輪、汽車零件、壓克力鏡片、洗衣機外殼、電腦顯示器外殼等不勝枚舉，另外，近年來在醫學、國防工業、太空科學各方面，所發展的人工心臟瓣膜、外科縫線、火箭外圍的隔熱層等也都採用塑膠材料。塑膠的主要缺點則是不耐高溫，這一點在材料的選擇上，也要同時考慮。

根據美國材料試驗協會 (ASTM) 的定義，塑膠乃是一種高分子量有機物質形成的材料，它在製造過程中可以「流動」(flow)，以完成製品的造形。由此我們可以瞭解塑膠具有以下幾項性質：

- 它是由許多重覆的單體所組成的高分子材料。
- 它的種類繁多，不同的單體可以組成不同的塑膠。
- 它具有可塑性可以造形 (moldable)。

塑膠屬於聚合物 (Polymer)，它並非是自然的產物，而是經由稱為單體 (Monomer) 的基本化學小分子合成。在材料學上，由許多單體互相作用並且連接起來，所形成的一種高分子量聚合體我們稱之為聚合物 (Polymer)，或高分子材料 (Macromolecules)。這種高分子材料，其分子量多在 10,000-1,000,000 g/g.mol 之間，它包括了化學合成的塑膠和天然形成的彈性體 (橡膠)。

由上述說明可以推知：我們常用的聚乙烯 (PE 塑膠) 就是由許多乙烯單體反應所形成的高分子聚合物，聚丙烯則由許多丙烯單體反應所形成，同理聚丁烯、聚氯乙烯等都是分別由丁烯、氯乙烯等單體反應而成的高分子材料，因此只要是不同的單體就可能造就千百種不同的聚合物。

目前商業上常用的塑膠大概可分為四十類左右，每類又有數百種不等的產品，並且又不斷有新產品問世。塑膠聚合物的種類雖然很多，但是基本元素卻只有八種，其中碳是主要元素，另外有氫、氮、氧、氯.....等。

#### (一) 塑膠的基本分類

塑膠原料受熱時容易軟化而具有流動性，稱為塑性 (plasticity)，塑性依化學結構而異，有的塑膠在成形之後再次加熱依然有塑性，有的則不具有塑性。因此在分類上，我們又常依此性質，將塑膠區分為兩大類，第一類塑膠在加熱時軟化，成形後冷卻變硬，但是如果再予加熱又可以軟化再次成形，稱為熱塑性 (thermoplastic type) 塑膠，這一類的產品多製成保鮮膜、化學纖維、塑膠瓶、接著劑和塗料等等。第二類塑膠在加熱到某一溫度後就硬化而永久成形，即使再度加熱也不再軟化，稱為熱固性 (thermosetting type) 塑膠，這一類的塑膠製品由於一般強度較高、尺寸安定性好、絕緣性佳，多

使用於電氣零件、器具結構、外殼等，常見的塑膠種類及其用途如表一所示。

表一 常見的塑膠種類及其用途

熱 塑 性 塑 膠	熱 固 性 塑 膠
聚乙烯塑膠 (PE 塑膠) 塑膠袋、塑膠瓶、撓性水管	酚甲醛塑膠 (電木) 電器零件、炊具把手
聚丙烯塑膠 (PP 塑膠) 玩具、容器、漁網、繩索	聚酯 鈕扣、塗料、光板表層
聚氯乙烯塑膠 (PVC 塑膠) 水電管、電線外皮、塑膠布	三聚氰胺塑膠 (美耐皿) 餐具、裝潢家具桌面、美耐板
聚苯乙烯塑膠 (PS 塑膠) 電器外殼、保利龍 (發泡)	聚胺基甲酸酯塑膠 (PU 塑膠) 泡綿、塗料、人工跑道、床墊
ABS 塑膠 (丙烯、丁二烯、苯乙烯的共聚物) 安全帽、工具箱、電器外殼	環氧塑膠 防水、接著劑、直升機螺旋槳
纖維素塑膠 牙刷柄、眼鏡框、方向盤	尿素塑膠 電話機外殼、接著劑
聚醯胺塑膠 (尼龍) 降落傘、漁網、塑膠齒輪	矽膠 塗料、脫模劑、美容
氟碳塑膠 (鐵氟龍) 不沾鍋內塗層、軸承	聚酯塑膠+玻璃纖維 (FRP) 遊艇、浴缸、汽車車體
聚對苯二甲酸乙脂 (PET) 保特瓶、容器	
壓克力塑膠 廣告招牌、採光罩建物招牌	

事實上，塑膠的種類很多，以上熱塑性及熱固性塑膠的區分法也只是概略性的分類，且由於科技的進步，這樣的分類原則並非一成不變。例如：過去我們會認定聚乙烯是一種典型的熱塑性塑膠，如今則認為也可能成為一種熱固性塑膠，這個理由正如聚脂是熱固性塑膠，現在也可以是一種熱塑性塑膠（聚對苯二甲酸乙脂 PET）一樣。另一方面，熱固性之原意是塑膠受熱固化，但聚脂、矽膠雖不受熱也能固化。因此以直鏈或交鏈來區分反而明確，或許這點可以是未來塑膠分類的方向，所以瞭解直鏈和交鏈的差異就非常重要。

簡單來說，熱塑性塑膠就如同臘一般，加熱即可融化，而再度加工成形；熱固性塑膠則如同雞蛋一樣，經過加熱硬化成形之後，即使再次加熱也不會再軟化融解。如果深究其差異形成的原因，會發現原來是在分子聚合的過程中產生了不同反應所致，熱塑性塑膠的分子在造形 (Molding) 之後形成直線式 (Linear) 的構造，而熱固性塑膠則產生三度空間的交鏈 (Crosslinked) 結構。

線性結構的塑膠材料由於造形前後並未發生化學變化，因此可以再次加熱成形，而交鏈結構的塑膠材料在造形之前也是線性結構，但造形之後，分子間互相作用的結果成為了空間網狀結構，所以無法再次成形。

以下就舉出幾種常見的塑膠材料分別說明：

## ■ 熱塑性塑膠

在較高的溫度即軟化，冷卻後即硬化，當再度升溫及冷卻，又行軟化與硬化。

### □ 聚乙烯 (Polyethylene PE)

聚乙烯，英文簡稱為 PE。由於在聚合物中，乙烯是一種很簡單的單體，因此很適合以它反應的過程來說明典型熱塑性塑膠的聚合情況。乙烯是一種氣體，它的化學式是  $C_2H_4$ ，其內部兩個碳原子之間本來是以雙鍵結合，而且每個碳原子又分別各結合兩個氫原子的不飽和鍵結構，接著當熱、壓力或觸媒存在時，碳原子間的雙鍵就會斷掉，以致於每一個碳原子都有一個未結合的單鍵，隨聚合反應發生，另外的單體就可以持續結合，最後將產生一條以碳原子為骨幹的直鏈，這樣的乙烯分子長鏈就稱為聚乙烯。

聚乙烯雖然是一種很簡單的聚合物，但卻是熱塑性塑膠中使用最多的材料，它有許多種類且各具不同的特性和規格，但隨分子量的大小基本上可以區分為低密度聚乙烯 (LDPE)、中密度聚乙烯 (MDPE)、高密度聚乙烯 (HDPE) 三種，一般來說，它的優點是加工性好、磨擦係數低、極小的吸濕度等。

PE 塑膠常使用於保鮮膜、防水布、塑膠袋、容器等。分子量超過 2,000,000 的超高分子量聚乙烯 (UHMWPE) 還具有高度耐磨性，是製造齒輪、凸輪的適合材料。

### □ 聚丙烯 (Polypropylene PP)

聚丙烯 英文簡稱 PP，它是由精煉石油的副產品-丙烯氣經反應所形成，聚丙烯的成品外觀和高密度聚乙烯 (HDPE) 類似，比重在 0.90 至 0.94 之間也差不多，不過聚丙烯的耐衝擊力強、熱變形溫度高、著色性很好，因此適合做為汽車電池、玩具、錄音帶外殼、布丁盒等。

聚丙烯耐化學性極佳，縱使在高溫下也不受無機鹽類及酸鹼的侵蝕，由於結晶性好，因此成品外表清澈美觀。

### □ 聚苯乙烯 (Polystyrene PS)

聚苯乙烯 英文簡稱 PS，它的單體苯乙烯 (styrene) 是由苯 (benzene) 和乙烯經脫氫化合而得，這種單體呈液態，將之聚合即得固體的聚苯乙烯。聚苯乙烯加壓製成薄板，再切成膠粒，即可成為射出成形的加工原料。

聚苯乙烯的特性是高溫穩定性、好的電氣性、高的抗化學性及機械強度，如果發泡還具有保溫的效果。因此廣泛用於電氣、電子、工業機械及食品業。

聚苯乙烯依其用途可分為三級：

通用級 (general purpose PS)    GPS

耐衝擊級 (high impact PS)    HPS

發泡級 (expandable PS)    EPS

其中耐衝擊級 (HPS) 泛用於家電用品、電腦週邊、電視機外殼等場合，發泡級 (EPS) 聚苯乙烯則使用於免洗餐具，是我們熟知的塑膠材料，但是由於環保問題，因此目前也有替代性的有機塑膠材料出現。

### □ 聚氯乙烯 (Polyvinyl Chloride PVC)

聚氯乙烯簡稱 PVC，是由氯乙烯單體 (vinyl chloride monomer, VCM) 聚合而成，它的開發已有 100 年的歷史，1925 年首先使用於商業用途。

氯乙烯單體 VCM 的製造是以乙烯為原料，再與氯化氫作用分解。

將 500~2000 單體的 VCM 聚合，即成為 PVC。由於一般 VCM 為氣態，因此必須在加壓下進行觸媒反應，才能得到固態的 PVC。

聚氯乙烯的特性為抗腐蝕、電的絕緣性良好、耐候性佳等，而且由於可以和其它樹脂共聚，並可

與各種可塑劑等混合以改變其物理性質及增進機械性質，因此在工程上應用甚廣，硬質的 PVC 有時還被稱為『窮人的工程塑膠』。

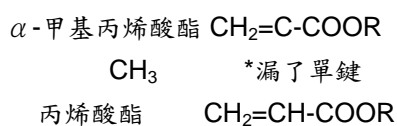
聚氯乙烯以擠製成形，常被用於水管、電路導管或窗框材料，軟質混合材料的 PVC 管可以使用於電線、電纜的絕緣外皮，軟質 PVC 膜可做為浴簾、椅套等。

#### □尼龍 (Nylon, Polyamides)

尼龍 (Nylon) 即聚醯胺 (Polyamides) 是美國杜邦公司為尋求替代絲製品而研究開發，也是第一種工程用的樹脂。它堅韌耐化學品，而且尺寸安定、具難燃性、電性優良，也是汽車工業的重要原料。除了在紡織品上仍有其應用，也適於製造塑膠齒輪、軸承、定時鏈輪、冷卻風扇等。除此之外，也可以作為樹脂、接著劑等。

#### □壓克力 (Acrylic)

壓克力是丙烯酸酯 (Acrylic ester) 的聚合體，它的單體有以下兩種：



甲基丙烯酸酯簡稱 MMA。它的製造方式是以氰化氫和丙酮、甲醇反應所生成，將 MMA 在觸媒存在之下聚合，可得固體的聚合物，簡稱 PMMA，為清澈、透明的成形材料，將之製成膠粒，可供射出成形。有易加工和特有的光學性質以及良好的耐候性，因此而泛用於招牌、汽車燈殼和文具禮品等。

#### □ABS 塑膠 (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene)

ABS 塑膠是由丙烯 (Acrylonitrile)、丁二烯 (Butadiene)、苯乙烯 (Styrene) 三種成分所組成的共聚物 (Copolymer)，它的發展主要是為了結合三種成分的優點。因為丙烯具有耐候性和耐熱性、丁二烯具有耐衝擊性、而苯乙烯有光澤及成形性佳的各項特點，特別是由室溫到零下 40°C 仍有相當優秀的耐衝擊性。因此早期對材料工程師而言，ABS 這樣的塑膠材料自然是引頸企盼，即使到了今日，ABS 以其優異的性能和它平易的價格，讓它在各方面的應用與日俱增。值得一提的是，由於製程品質的不斷發展提昇，目前我國奇美實業公司佔這項塑膠材料世界總產量的首位。

### ■熱固性塑膠

由原料作成製品的過程中，由加熱成形，其間可以加壓，也可以不加壓，但一經成形後，即永久保持其硬度，且不論溫度高低，皆不再變形。

#### □酚樹脂 (Phenolic Resins)

酚樹脂是使用最普遍的一種熱固性塑膠材料，酚由石油或煤中產生，如果和甲醛產生縮合聚合反應就可以形成一種樹脂，稱為酚醛塑膠，俗稱電木。

所謂的縮合聚合，簡單的說是指單體在聚合反應的過程中，除了產生主要的聚合物，同時也產生了副產品，這與之前所提到的聚合反應 (即沒有副產品的加成聚合) 是不同的。

酚樹脂所用的填充劑種類很多，可能為無機物或有機物。通常以木粉為填充料時，成本較低，主要用於一般電氣開關、斷電器等。

如果加入礦物或無機填充料，可以增加尺寸的安定性，主要應用範圍為汽車剎車零件。

耐熱型酚樹脂，用於鍋、壺的把手及高溫下的電氣零件，內含礦物無機纖維，可用來承受 200°C

左右的高溫。

耐衝擊型的酚樹脂，內含玻璃纖維或其它纖維用以強化，可做為整流子、馬達外殼等。

特殊用途射出成型用酚樹脂特別注重尺寸及安定性，例如蒸氣熨斗、咖啡壺及汽車變速箱用零件，必須依特殊條件而調配。

酚樹脂的其它用途還包括做為製造輪胎的合成橡膠，機油濾心、來令片等組成材料。

#### □環氧樹脂 (Epoxy)

環氧樹脂的結合力很強，最常應用的場合是做為接著劑或是塗料，此外它的機械及電氣性質優良，並且可以抵抗化學腐蝕，因此也可以做為航空零件。

環氧樹脂也經常加入其它物質強化，例如：玻璃纖維、石棉、金屬，以做為印刷電路板等使用。

#### □聚酯 (Polyester)

聚酯是由醇 (ROH) 及酸 (RCOOH) 反應而得的一種製品，在第二次世界大戰期間，以玻璃纖維強化的熱固性聚酯 (Thermosetting polyester)，就已經廣泛的應用在許多工程結構用途，例如：汽車車體、船殼等，熱塑性聚酯則在其後陸續發展，而熱固性聚酯後來更發展為應用很廣泛的纖維強化樹脂 (FRP Fiber Reinforce Plastics)，用以做為製造浴缸、長椅的材料，尤其玻璃纖維達 75% 時，FRP 強度足可以替代鋼鐵材料。

聚酯也可以是熱塑性樹脂，例如：日常生活看到的汽水瓶、醬油瓶、沙拉油瓶所用的材料 PET 即是，PET 學名聚對苯二甲酸乙酯，可耐衝擊，我們通常稱它們為寶特瓶。不過熱塑性樹脂 PET 的耐熱性並不好，因此當水溫超過 50°C 就不適合，另外，一般常用的礦泉水包裝瓶也可以使用熱塑性 PVC，做資源回收時要特別注意。

#### □矽膠 (Silicone)

矽膠是一種包含有機物質和無機物質的熱固型塑膠 (所謂無機是指它的成分中不含碳元素而言，例如氧化矽、氧化鋁等礦物)，矽膠是所有塑膠中耐熱性最傑出的種類，一般耐溫在 500°F (260°C) 以上，如果以玻璃纖維強化可以達到 900°F (480°C)，它的產品有幾百種之多，並且由液態、固態或彈性體都有。

矽膠的主要分類如果以用途區分，可以分為：積層用樹脂、成型用材料、電氣材料、防護塗料、灌鑄、密封和填縫劑等。積層用樹脂可用在不同種類的複合材料層間作為接著劑，此種積層品多使用於熱負載體或電氣上，如電路裝配板等；防護塗料使用於馬達、變壓器的絕緣塗料，至於無溶劑的矽膠彈性體以液態呈現，也是常見的密封材料。此外，由於矽膠安定性佳，有極完全的化學惰性，因此近年來也嘗試使用於人體組織器官。

#### □聚氨基甲酸乙酯 (Polyurethane PU)

聚氨基甲酸乙酯屬於聚尿酯樹脂 (Polyurethane)，簡稱 PU，即是俗稱的泡棉，尿酯聚合物可以是熱塑性也可以是熱固性塑膠，它的性質居於塑膠和彈性體 (橡膠) 之間，物理特性差異很大，密度分佈可以由 0.03~5 kg/cm<sup>3</sup>。熱塑性 PU 可以提供很好的韌性和加工性，熱固性 PU 則大多使用於耐磨性很好的用途上。

軟質泡棉使用於機車空氣濾清器、音響吸音組件、衣物內襯、汽車座椅等，最近的人工跑道及球場。硬質泡棉使用於冰箱絕熱層、電纜被覆或屋頂絕熱材料等。

## (二) 彈性體

天然聚合物或合成線形聚合物在受力時產生大量彈性變形，而能在短時間內回復，稱為彈性體 (Elastomers)。例如橡皮筋就是典型的代表。但是彈性體與橡膠 (Rubber) 有何差異？根據 ASTM D1566 的定義：彈性體是指『一種巨形分子材料，在室溫下當使之變形的外力移除之後，可以回復到原有的外形和尺寸者』，而橡膠的定義為：『一種材料能由劇烈變形中，很快恢復原來狀態』而且

『在不含稀釋劑時，可以在室溫下拉伸至本身長度的 1.5~2 倍，維持一分鐘以上，除去外力後材料能在一分鐘以內回復至原狀態的者』，由此可知所有的橡膠都是屬於彈性體，而且有些塑膠等高分子材料也屬於彈性體，因此彈性體的範圍更廣。

彈性體之所以會具有彈性主要是依靠硫化 (Vulcanization) 所產生的交鏈 (Cross-linking) 作用，這種交鏈作用的發生，是利用天然橡膠、合成橡膠或聚合物長鏈中的不飽和鍵 (雙鍵) 由硫原子所滿足，因而形成了另一種交鏈，而其彈性及勁度則依硫的含量而定。

在從前，彈性體只有自然界的橡膠，並且足以供應需求，但是隨著工業的發展和汽車業的大量需求，許多人工合成橡膠及新的彈性體陸續被開發，橡膠工業也日新月異。

製造與天然橡膠相似的合成橡膠是研究者最初的意念，第二次世界大戰前就有 Thiokol (聚硫化物 polysulfide) 和 Neoprene (氯丁乙烯 chloroprene) 等在無意間被製造出來，隨後又有 Buna (丁二烯 苯二烯 Buna S, Buna N) 的發展，雖然這些材料的品質很差，比不上天然橡膠，但是這樣的製造技術經過許多改進修正之後，卻成為日後合成橡膠的基礎。

天然橡膠有其先天上的優點，例如：可撓性、抗張強度、極佳的變形能力等，這些都是合成橡膠無法取代的，但是合成橡膠改良了天然橡膠耐油、耐熱性差，而且易於老化的缺點，因此，合成橡膠應用的範圍更廣。

## ■天然橡膠

天然橡膠的原料稱為橡漿 (Latex)，是橡樹內的白色乳汁，在天然橡膠中加酸可以使之凝固為生橡膠，但缺乏彈性且在大氣中易氧化。

1839 年由於固特異 (Charles Goodyear) 發明硫化法，提供彈性體交鏈用途，克服了天然橡膠的膠黏性 (tackiness)，天然橡膠的強度及硬度提升，天然橡膠開始應用於輪胎、避震座、彈簧或其它能量吸收裝置，含硫量少於 15% 的橡膠，質軟而富有彈性，稱為軟質橡膠，多使用於製造飛機、車輛輪胎、橡皮管，含硫量在 30% 以上的橡膠，性質較硬、絕緣性佳、耐酸鹼也較不易老化，稱為硬質橡膠，用於製造鋼筆套、傢俱材料、電氣絕緣材料，但是含硫量最高只能到 40%，否則容易變脆。

天然橡膠的使用需經多種處理，除硫化處理之外尚需經過促進處理、填充處理、軟化與著色處理，防老處理等始能用以製造工業產品。

## ■合成橡膠

由於從天然橡膠分解蒸餾可以得到異戊二烯 (isoprene)，因而激起人類對合成橡膠的研究。從石油及天然氣中所得到的甲烷、乙烯、丁二烯等等具有不飽和鍵的碳氫化物，就是製造合成橡膠的初始原料。聚異戊二烯 (polyisoprene) 就是合成橡膠中化學成分最接近天然橡膠的一種，它具有與天然橡膠相似的特性，但價格較便宜，接著丁二烯、苯乙烯以及丁二烯、丙烯火青的乳化共聚反應也可以製出丁二烯合成橡膠，其餘的像是多硫化物 (polysulfide)、矽膠 (silicon) 等都是常用的合成橡膠。

合成橡膠除了部分取代天然橡膠，由於耐油性及抗老化性的提昇，因此應用範圍更廣，諸如：油

封、滾輪、緩衝器接頭、鞋底、外科材料等都是。

## ■熱塑性彈性體 (Thermoplastic elastomers)

熱塑性彈性體又稱彈性塑膠，性質與硫化彈性體及橡膠類似，但是它的製造方法更容易，速度也更快速，這是因為合成橡膠通常用移轉模壓縮成形法，較一般熱塑性塑膠之標準成形法成形週期要長的緣故。

彈性塑膠大多數屬於共聚物，因此可以使用聚合技術，例如：移植聚合或方塊聚合的方法，使其聚合分子橡膠化或玻璃化，或調整組織成分中的軟硬比例，以得到不同的效果。主要的彈性塑膠有：聚脂共聚物、苯乙烯共聚物、烯烴類、聚胺基甲酸乙酯等，並可加入玻璃纖維來強化。

## 二、加工材料的準備

塑膠的加工過程，係在樹脂中加入一種或多種添加物，以產生某些性能或特質，而所製成的塑膠製品則具有重量輕、耐濕、耐蝕及絕緣，顏色多樣化，能吸音防震，較金屬低廉且易於加工等優點，但是其強度、硬度皆遠較金屬低，而不耐熱、易變形、缺少韌性等亦為其缺點。

塑膠工業可依流程分成兩個階層：

- 樹脂及有關化學成品的製造。
- 塑膠加工。

### (一) 添加物

添加物的功用在於減少純塑膠的使用量、降低成本、減少變形、增加對熱的抵抗、增加耐衝擊的強度及產生其他必要的性質。

常見的添加物包括：

- 填料 (Filler)：有木粉、石英粉、石灰石、棉花、抹布纖維、金屬粉末、石墨粉、黏土、矽藻土等，可降低成本，增加強度。
- 加強劑 (Reinforcements)：有瓊麻、黃麻、玻璃絲、石墨、陶瓷、尼龍絲、棉花、奧龍絲等，可增加強度。
- 火燄抵抗劑 (Flame Retardants)：主要為磷酸脂，具抵抗火燄燒損的功能。
- 安定劑 (Stabilizer)：有「含鋅肥皂加入乙烯」與「酚加入苯乙烯」，可避免氧化失去可塑性。
- 靜電防止劑 (Antistatics)：加入弓，以防止塑膠粒間的靜電電荷。
- 著色劑 (Colorants)
- 潤滑劑 (Lubricants)：有石蠟、鋅氧粉及硬脂酸鈣等，可增加塑膠在模中的流動性。
- 增塑劑 (Plasticizers)：有 Phthalate，可增加製品的柔韌性。
- 紫外線保護劑 (Ultraviolet Protector)：主要為碳煙，可防止陽光紫外線的傷害。

## (二) 混合及預行造形 (Compounding and Preforming)

塑膠的混合，大多為先將定量的塑膠、安定劑、顏料、增塑劑及填充物等，共同置於拌合機內實施混合，然後再送到饋給漏斗中，準備進行模中注射、擠製或軋滾等。

對熱塑性材料而言，可先作成適當大小與形狀的小塊，然後送入模中加壓，以節省加工時間增加生產量。

對熱硬性材料而言，則只能在冷模中加壓成粉粒狀或小塊，以防止其產生聚合作用。

下圖為一旋轉式預熱壓床，用來製造各種模塑用混合物。



## 三、加工方法

- 壓力模製法 (Compression Molding)
- 移轉模壓製法 (Transfer Molding)
- 熱塑性塑膠注射模製法 (Injection Molding of Thermoplastics)
- 熱硬性塑膠注射模製法 (Injection Molding of Thermosets)
- 擠製法 (Extruding)
- 旋轉模製法 (Rotational Molding)
- 吹模製法 (Blow Molding)
- 袋裝 (Potting) 與封裝 (Embedding)
- 軟片及薄片的製造
- 加熱造形法 (Thermoforming)
- 加強塑膠 (Reinforced Plastics) 的製造
- 夾層塑膠 (Laminated Plastics) 的製造



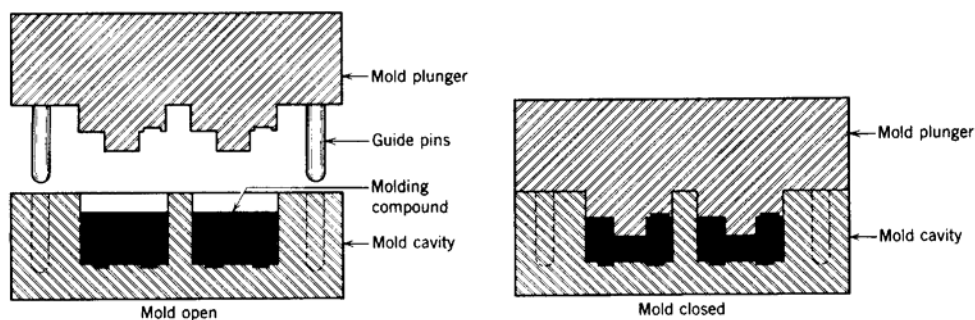
## (一) 壓力模製法 Compression Molding

壓力模製法的工作原理如圖所示，包括：

- 先將金屬模加熱至適當溫度（由 120~205°C）。
- 加入適當數量的塑膠原料。
- 合模加壓（約 0.7~5.5Mpa）使塑膠軟化隨模穴的形狀流動。

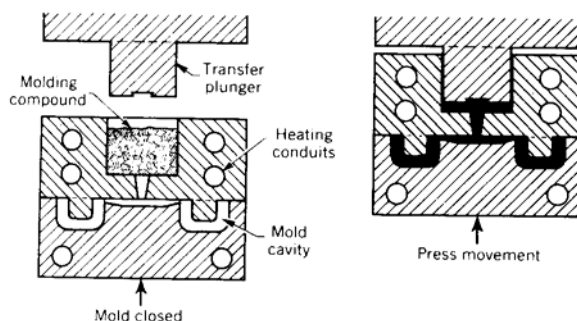
其中，所使用的原料可以是粒狀的塑膠，也可以是預壓成形的小塊。此外，在操作上必須注意：

- 若原料為熱硬性塑膠，則因壓製過程是先塑化而後聚合，故加熱溫度必須予以嚴格控制，且注意保持內部溫度。
- 若原料為熱塑性塑膠，則必須等模子冷卻之後，始可自模中取出製品，因此，模子的加熱冷卻循環必須加快。



## (二) 移轉模壓製法 Transfer Molding

係將熱固性塑膠粉或預行壓製的小塊置於模子上方的加壓穴內，經加溫塑化後變成液體，在壓力下射入下方的模穴中。



**優點：**

- 因原料大都為預行壓製，體積小且密實，因此，裝料及加熱時間短。
- 原料為熱固性塑膠，一經聚合即不再軟化，可不必等到模子冷卻，即可脫模，節省整體工作時間。

- 進入模穴的材料為液體或可塑性極高的近似液體，所需壓力不必太大。
- 進入模穴的材料為液體或可塑性極高的近似液體，因此，可適用於複雜而不規則或切面變化甚大的工件。

**缺點：**

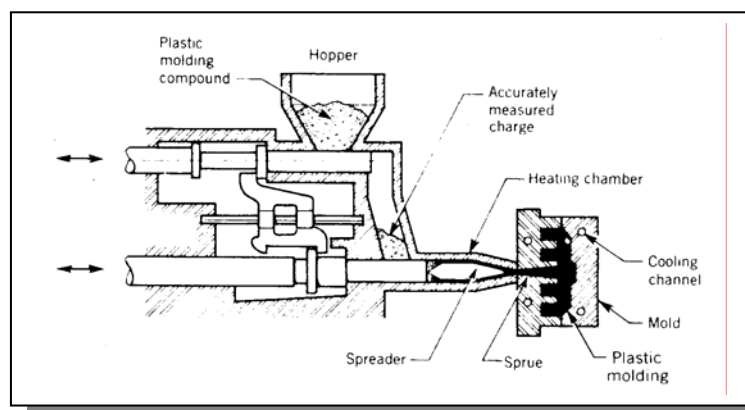
- 原料為熱固性塑膠，一經聚合即不能再使用，所切除的澆口、進模道及其他剩餘材料均成廢品，不能重複使用。
- 模子造價高。

### (三) 熱塑性塑膠注射模製法 Injection Molding of Thermoplastics

注射模製法的機器與壓鑄機甚為相似。圖示為塑膠注射機的示意圖，其注射模的工作程序為：

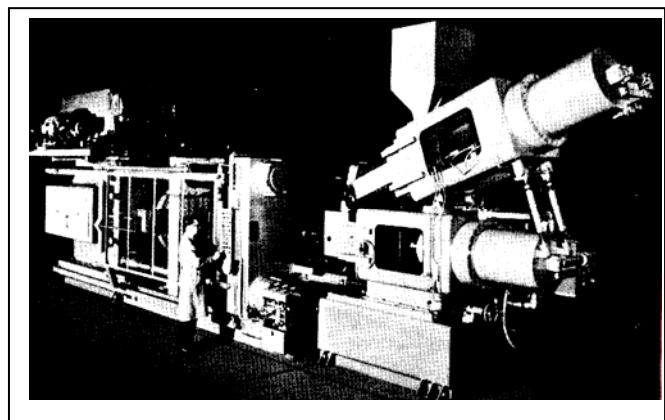
- 顆粒狀的熱塑性材料先在加熱室中加熱塑化。
- 施以壓力，將之注射入模穴。
- 待凝固後，自模中挺射出模。

其中，兩個關鍵的因素為：注射時模內外的壓力與熔體塑膠的溫度。模外的壓力來自柱塞，其目的是為了將塑膠壓到模內，並使原料能充滿模內，而模內的壓力則源自加熱圓筒中，由柱塞產生，其目的是為了使塑膠在冷卻時能維持其與模穴的尺寸關係，防止因凝固而縮小。至於溫度方面，則視其所需要的黏性而定，溫度愈高，黏性愈低，流動性愈高，愈容易充滿於模穴中的細微部位。



圖中，模子的構造與冷卻條件，可以控制冷卻速度，一般而言，冷卻速度愈高，塑膠硬化所需的時間愈短。此外，在加熱室部份，裝有一魚雷形擴散器（Torpedo-Like Spreader），其目的在於使材料分佈成薄層，以能均勻而迅速地塑化。

右圖為一塑膠射出成型機外觀照片。

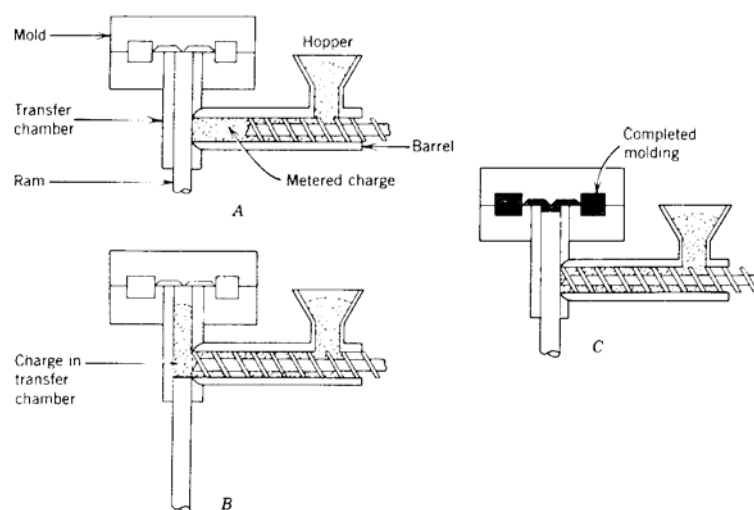


#### (四) 熱硬性塑膠注射模製法 Injection Molding of Thermosets

熱硬性塑膠製模機可以利用一般標準的熱塑性模機為基礎，改良噴射嘴，使其能在每一個注射程序中，具有加熱與冷卻循環的能力。

如圖所示的螺桿式注射模製法的過程，材料自漏斗中下落於螺筒內，受筒內加熱及摩擦生熱的作用而塑化，塑化後的材料受螺桿的推動前移，並聚集在前端，直到適當的數量，然後柱塞下降，螺桿停止旋轉並直接向前推進，使定量的材料進入移轉室，然後以液壓推動柱塞上升，使塑化的材料注射入模。

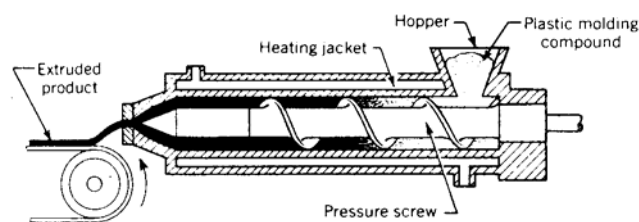
其中，塑膠在注射入模前，必須以循環水冷卻擠壓缸的頭端，以防止材料在此即進行聚合的化學變化，一旦入模後，則必須等到完全聚合後，才可以脫模。



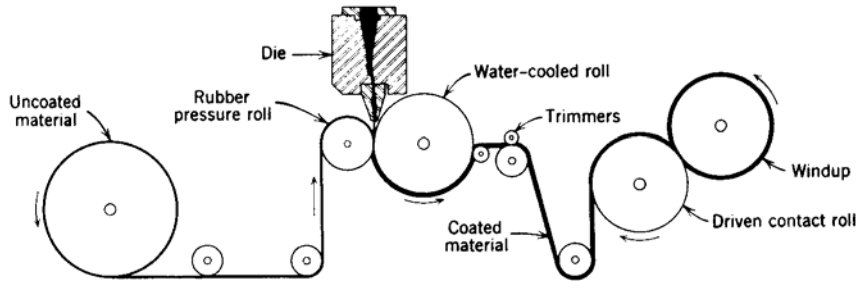
#### (五) 擠製法 Extruding

擠製法可適用於熱塑性塑膠（如各種纖維素衍生物、乙烯樹脂、聚苯乙烯、聚乙烯、聚丙烯及尼龍等），以擠製成任何長度的簡單型材。此外，長條的管、桿、各種特殊斷面、電線導管與化學品輸送管等皆可用此法製造。

圖示為擠壓機的簡圖，其中，粒狀或粉狀的材料裝在上方的漏斗中，然後受螺旋的推動送到加熱室中，在塑化成濃厚而黏性大的流體，被迫自模中擠出，再利用空氣、水、或與激冷的金屬面相接觸，逐漸硬化，並置於輸送帶上隨同向前移動。



下圖所示為一覆蓋擠製法（Extrusion Coating），其係將熱塑性塑膠經過一個薄扁形模孔，落在其下方的板料上，當擠製品尚在柔軟狀態時，受到橡膠輥子的壓力，而與板片板料粘合，至於，不整齊的毛邊，則以隨後的輥子剪除，最後，再於壓力下捲繞成品。

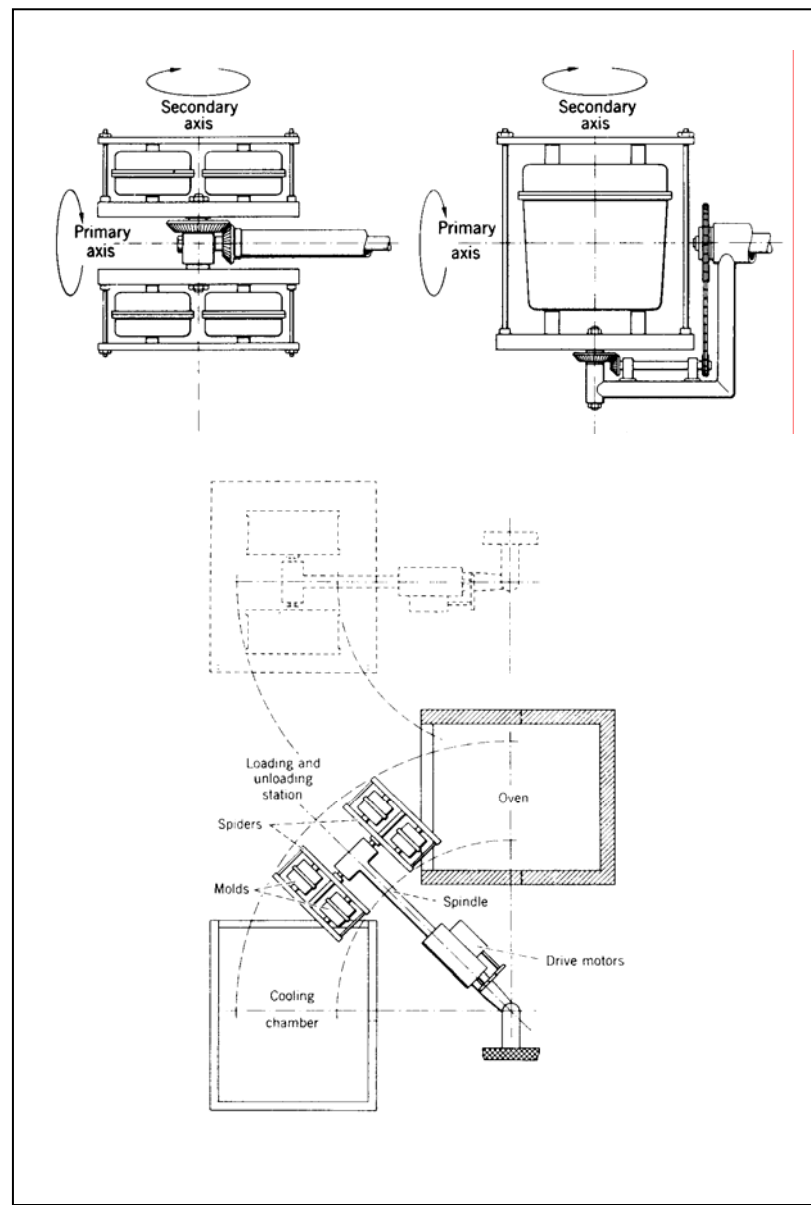


### （六）旋轉模製法 Rotational Molding

圖示為旋轉模製法的工作原理，其是使用一種薄殼構造的模，圍繞在兩個互相垂直的軸旋轉，並利用離心力使塑化的塑膠在殼模內造形。模體本身則可裝置在一懸臂上，以便能使旋轉模分置在加熱爐與冷卻室中，作交互循環操作。

旋轉模除了採用上述搖擺式的設計方式外，亦可將之置於一軌道上，分別在裝料、加熱、冷卻及卸件的各站循環工作。

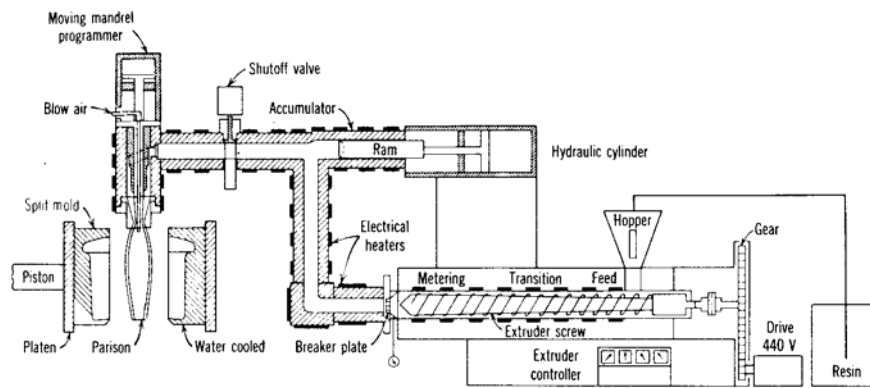
此法主要是用於熱塑性塑膠中空件的製造，而所使用的模可以是薄鋁鑄件，也可以是電積銅或板金，而模的尺寸必須精確，配合緊密，避免濕氣侵入，以防止製品扭曲或不平；至於旋轉模的旋轉速度，則視模的大小，塑化後材料的流動性，及製品厚薄要求等不同而異。



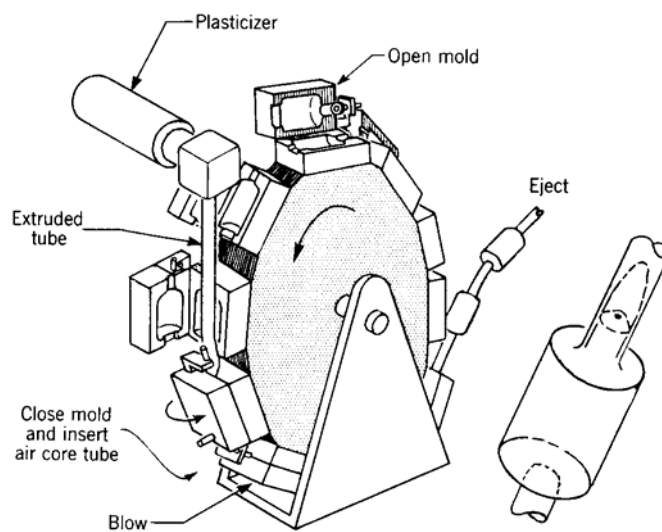
## (七) 吹模製法 Blow Molding

如圖所示，主要用於熱塑性塑膠中空薄壁容器的製造。其操作程序為：

- 塑化材料先擠製成圓管形的胚料。
- 快速送到分裂式的模內。
- 模子閉合，管的兩端夾緊並切斷。
- 壓縮空氣由擠製端吹入，使模內的管子脹大而與模壁相貼（模子必須留下通氣孔）。
- 維持壓力並降溫。
- 打開模子，取出製品。



圖示為一八站連續式用夾捏管子法吹製瓶子的機器，此法的製品有化妝品盒子、瓶子、沉浮子、汽車加熱器導管、液體清潔劑容器與熱水瓶等。



## (八) 袋裝 (Potting) 與封裝 (Embedding)

將電氣或機械機件包裝入塑膠體或容器內，以資保護時所用的方法：

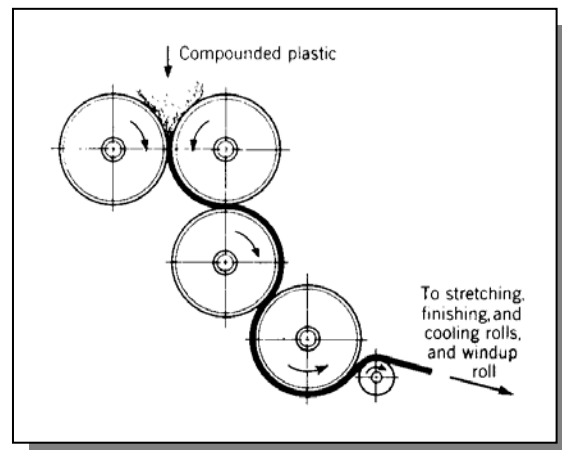
- 袋裝：將零件置於模中，裝於塑膠體之內，以將該零件載置於一定位置或利用塑膠作為絕緣體。
- 封裝：將零件封於透明的塑膠內，以資保護或作為展覽用。

### (九) 軟片及薄片的製造

塑膠軟片與薄片的製造方法，依熱塑性塑膠的種類不同而異，而塑膠的選用，又與製品要求的性質有關，常用的方法有：滾壓法、擠製法、吹管擠製法（Blow Tubular Extrusion）、軟片鑄造法（Film Casting）與板槽鑄造法（Cell Casting）。

#### 1. 滾壓法

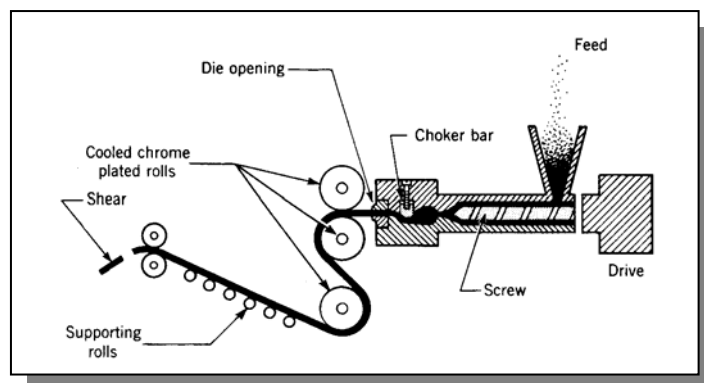
如圖所示，將塑膠粉料置於兩個軋子之間，經軋子軋壓後，熱塑性塑膠即形成薄片，其中，加入的材料包括樹脂、塑化劑、填充料及顏料等，而板片的厚度則與軋子間的間隙及最後一道軋子的拉伸程度有關。



軟片在最後捲繞前，須先經水冷軋子予以冷卻之。常用來製造聚乙烯、乙烯及醋酸纖維的軟片或薄片、乙烯塑膠地板與烤補輪胎的未熟化橡膠布。

#### 2. 擠製法

如圖所示，將塑膠材料混合後，置於饋斗子之中，加熱至  $315^{\circ}\text{C}$  以下，用螺旋輸送機加壓，送至擠壓模中，擠製完成後，塑膠底片表面鍍鉻，且用油或水冷卻的軋子加以軋壓成形。其中，板厚係以阻塞桿及模口間隙的聯合作用來控制。常用來製造聚丙烯、聚乙烯及聚苯乙烯板片。



#### 3. 吹管擠製法 Blow Tubular Extrusion

塑膠先經一環形的擠製模，擠成直徑較大的薄管，同時吹入空氣使其膨脹，使直徑與圓管內徑相同，再用空氣冷卻之，然後用兩個軋子將其壓平，捲繞成軸。常用於塑膠袋、垃圾袋及塑膠紙等的製造

## 4. 軟片鑄造法 Film Casting

將塑膠溶於溶劑之中，然後傾倒於極為光平且連續式的金屬上，使其能均勻分佈，經加熱去除溶劑，並熟化塑膠，再經過軋滾及冷卻步驟，即可捲繞成軸。

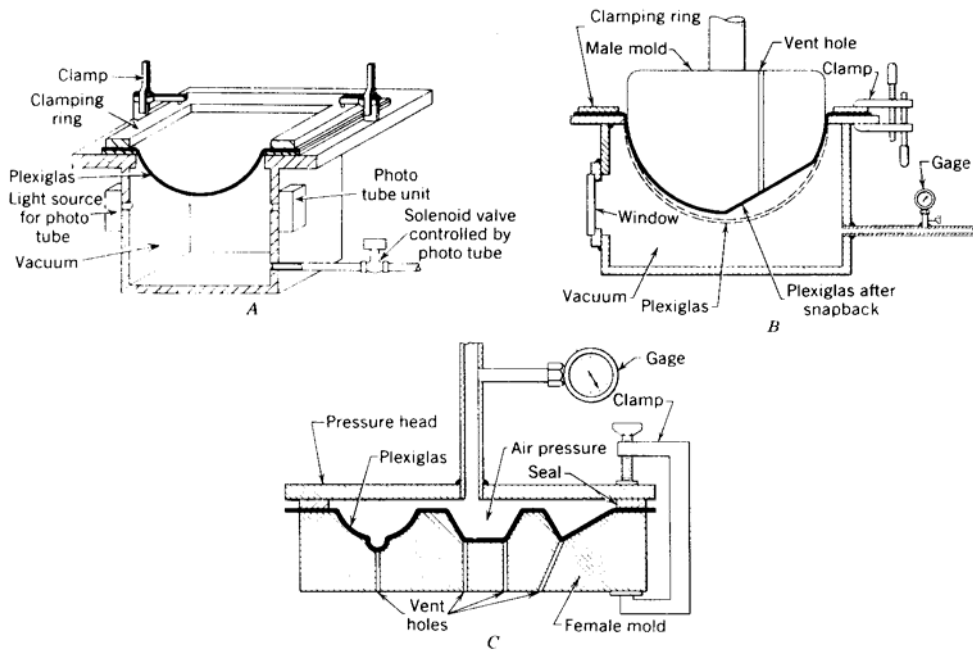
## 5. 板槽鑄造法 Cell Casting

用兩塊光平的玻璃板，並在其間墊入適當厚度的間隔墊條，形成一種薄板形的槽，中間注入經觸媒催化的單體液體塑膠，然後加熱至適當溫度使其完全熟化。常用於丙烯透明塑膠板的製造。

### (十) 加熱造形法 Thermoforming

先將熱塑性塑膠板加熱軟化，然後利用空氣壓力差或某種機械方法加壓，使其與模子的形狀相同；其中，加壓的方法有：

- 空氣壓力差自由造形法（圖 A）：利用兩面壓力的不同，令樹脂玻璃依表面張力的自然法規而成形，不需要陰模或陽模。
- 真空反彈造形法（Vacuum Snapback Forming）（圖 B）：樹脂玻璃經加熱並夾妥當後，在下方的真空室中抽取真空，平板樹脂即如圖中虛線所示的球面，裝上陽模後，減低下方的真空度，平板即逐漸彈回，最後完全貼於陽模之上，得到與陽模完全一樣的製品。
- 模中抽空或正壓造形法（Blowing Forming）（圖 C）：利用正壓力將平板樹脂壓於模內造形，此法可在模內塗上一層特殊的合成樹脂，以利滑動。
- 覆蓋造形法（Drape Forming）：將樹脂玻璃夾持，加熱後在陽模壓緊抽拉，或將陽模壓向板上，平板即隨模的形狀而凹凸。
- 由柱塞協助的真空或壓力造形法：先將平板加熱，而後封夾於模穴面上，再用略小於模穴的陽模壓入，使平板近乎貼於模穴的最深處，最後自底面用真空或上面加壓使其與模穴完全相符。
- 配合模造形法（Matched Mold Forming）：先將樹脂玻璃加熱，再以普通板金的陰陽模壓製法造形。



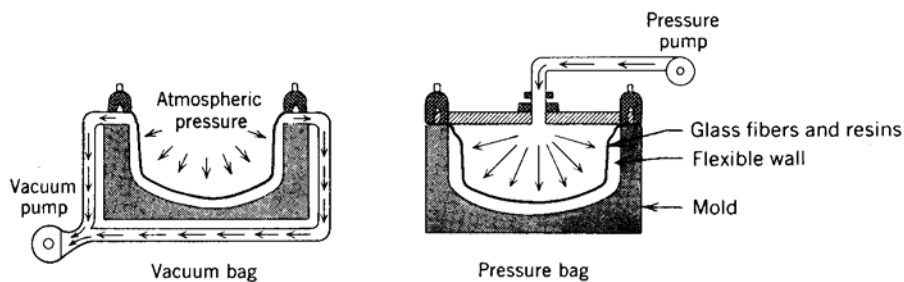


### (十一) 加強塑膠 (Reinforced Plastics) 的製造

加強塑膠是用熱硬性塑膠及散亂或編織的纖維作成，其中，纖維就是塑膠的加強材料。除了玻璃纖維外，石棉、棉紗及合成纖維亦經常用來作為加強材料，而所使用的塑膠，則有多元脂樹脂、環氧材料、矽酮等。

加強塑膠的製造方法大抵可分成：

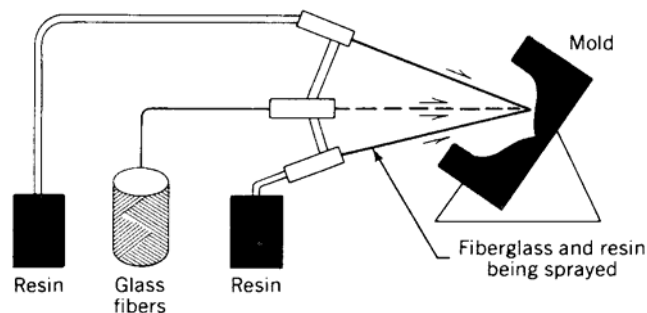
- 敞開模 (如圖示)：只使用一個模子，將玻璃纖維及塑膠混合體均勻佈置在模內，然後用真空或壓力袋以產生額外的壓力。此法可用來製造飛機零件、行李箱、大型容器等。



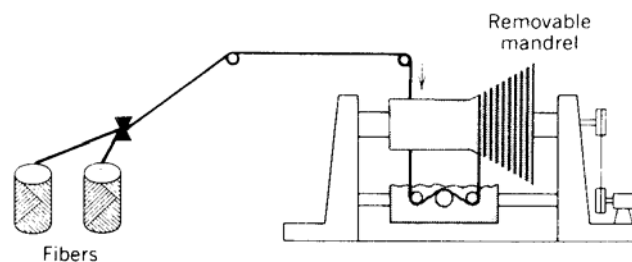
- 閉合模：包含陽模及陰模，其間間隙即為製品的厚度。模子常以金屬製造，表面光平，且模子可以加熱，生產速度頗快。常用於製造行李箱、頭盔、煙盤、機器殼子等。

除此之外，亦有：

- 將纖維玻璃及塑膠同時噴射在模子上，常用於製造大尺寸件，如船體等。



- 用線繩捲繞法，如圖示，其中，成股的線或繩通過液體樹脂，經飽和後，繞於圓軸形的模型上。



## (十二) 夾層塑膠 (Laminated Plastics) 的製造

所謂『夾層塑膠』係指利用紙張、纖維板、石棉板或木材薄片等板片材料，浸蘸或覆蓋塑膠，經加壓及加熱熟化而製成的板材。此種材料具有堅而強、耐衝擊、防水、耐熱且具有電氣用途上的各種優良性質。

夾層塑膠的製造(圖示)是先將樹脂溶於溶劑之中成為液體，令成捲的紙張、木片或纖維板通過此溶液，以吸取飽和的樹脂液，然後利用壓擠軋子擠去多餘的樹脂，經烘乾，並切成適當的長度，即成為夾層塑膠的層料。

此後，再依最後製品厚度的需要，將若干層料疊置起來，置於兩個光面金屬板之間，予以加壓加熱，熟化後即成為堅硬的板材，稱之為夾層塑膠。若為管子的製造，則是將浸滿樹脂的薄板捲繞在鋼軸上，或直接置於管子模中，加壓加熱。

夾層塑膠可依板狀材料的不同，區分成：

- 紙基夾層塑膠：用於電氣製品。
- 纖維基夾層塑膠：用於製造高應力製品。
- 帆布基夾層塑膠：用於製造齒輪(運轉聲音小)。
- 木材基夾層塑膠。
- 安全玻璃。

