

第七章 擠出成型與模具

【課堂精華】

擠出成型 (Extrusion Molding) 簡介

射出成型可以製造三次元複雜零件，若物件截面積沿軸向不變，則擠出成型最便宜也最有效率。擠出成型 (Extrusion Molding)，亦稱為擠壓成型，或押出成型，為常用的塑膠加工方法之一，許多其他製程，如吹模成型與電線披覆亦需擠出成型做為其製程的一部份。利用擠壓機 (Extruder)，亦可稱為押出機，將塑膠纖維等粒狀或丸狀的聚合體原料加熱熔融，形成融膠物質後再將此融膠物質從定型模(模具) 連續不斷的擠出，經過冷卻後使其形成連續的製品。這些製品包括：

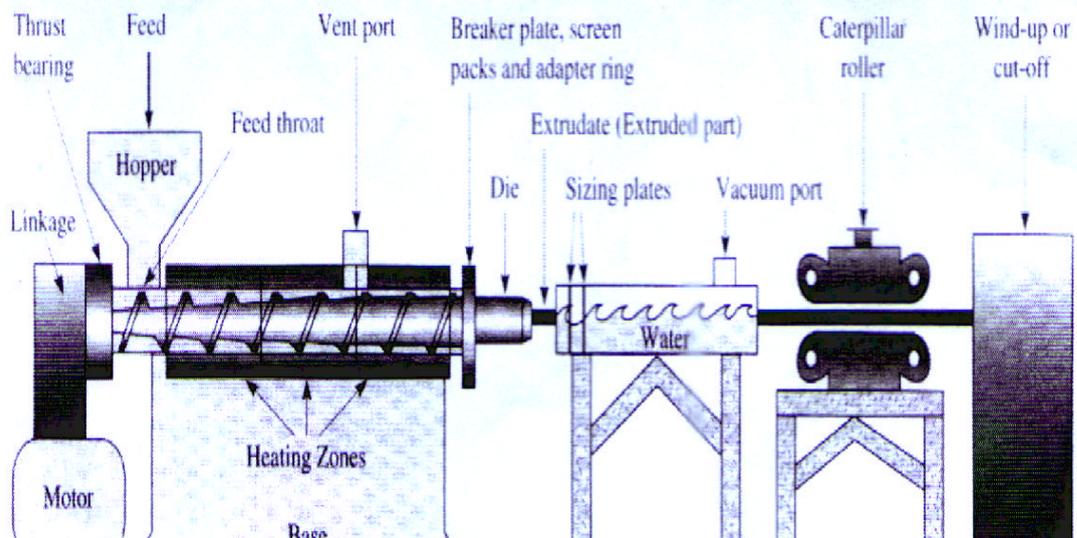
1. 薄膜、膠布、膠片、膠管、細絲、及其它各種斷面製品。
2. 紙張、金屬或布帛的塗膠製品。
3. 電線、電纜的包膠製品。

這種成型法尚可包括很多的後處理操作，例如將長條棒截成短棍，吹壓各型的容器，或將成品打洞，穿孔，印上花紋等。

擠出機一般可分為單螺桿式 (Single-Screw Extruder)、雙螺桿式 (Double-Screw Extruder) 以及多螺桿 (Multi-Screw Extruder) 式，亦有特殊不具螺桿者，在實用上多為單螺桿式。

典型單螺桿式擠出機的內部構造可分為七個部分

- (1.) 加料筒或供料槽(Feeder Hopper)。
- (2.) 擠筒(Barrel)為一中空圓柱體內裝設螺桿，塑料在此熔化為液態，其外部裝有加熱或冷卻系統。
- (3.) 螺桿(Screw)用以混練及加熱塑膠，使成液態並將其輸送至模頭。
- (4.) 過濾網組及多孔板(Screen Pack and Breaker Plate)用以過濾塑膠原料中之雜質及產生背壓(Back Pressure)。
- (5.) 模頭(Die)用以決定擠出物之形狀。
- (6.) 馬達及變速箱(Moter and Gear Reduction System)。
- (7.) 熱電偶壓力計及其他儀器設備。



擠出成型流量估算推導：

擠出是一種連續製程，其流量會決定產能，是重要之相關參數。

如何預估流量，現在將推導流量之相關公式如下。

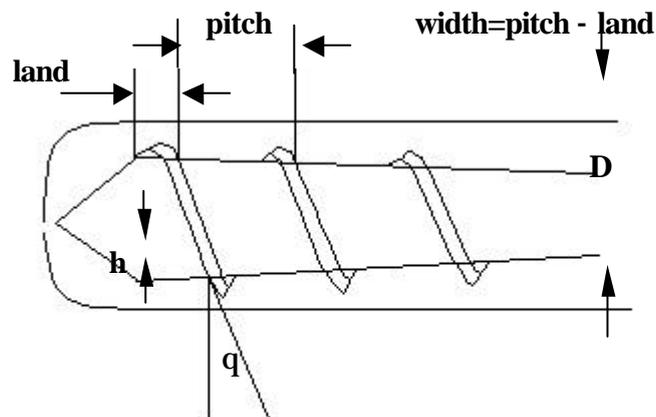
假設：

1. 螺桿內全為均勻融膠
2. 螺桿直徑不變 (D (constant))
3. 黏度不是速度函數 (溫度的函數 ($\dot{\gamma} = \dot{\gamma} (T)$))
4. 則流量是螺桿幾何形狀，融膠材料，操作參數之函

數，亦即 $Q = f(D, h, N \dots \dots)$

(操作參數 (processing condition): N)

(融膠材料 (melt material): μ)



Melt flow in screw extrude

$$Q = Q_{\text{drag}} + Q_{\text{pressure}}$$

Q_{drag} : 增加 Q (拉曳流)

Q_{pressure} : 減少 Q 之前進 (壓力流)

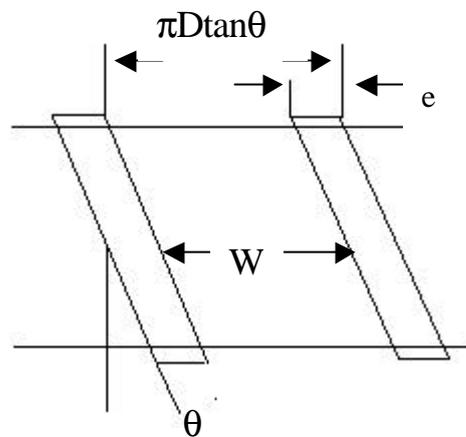
Where $Q_{\text{drag}} = \frac{1}{2} whU$ ($U = \pi DN \cos \theta$)

$$Q_{\text{pressure}} = - \frac{wh^3}{12m} \frac{dp}{dx}$$

$$Q = \frac{1}{2} wh\pi Dn \cos \theta - \frac{wh^3}{12m} \frac{dp}{dx}$$

where $w = (\pi Dn \tan \theta - e)$

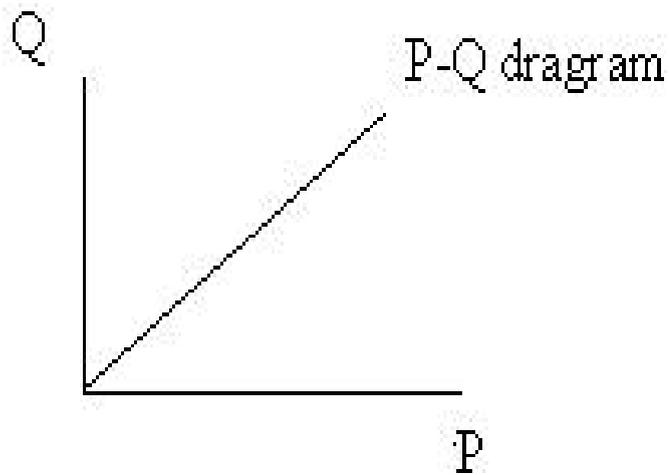
$$\frac{dp}{dx} = \frac{dp}{dl} \sin \mathbf{q}$$



對於模具而言，如果欲成型品之截面為圓形截面，則融膠在模具內之流量可由下式決定。

$$Q = \frac{pR^4}{8mL} \dots \dots \dots (1)$$

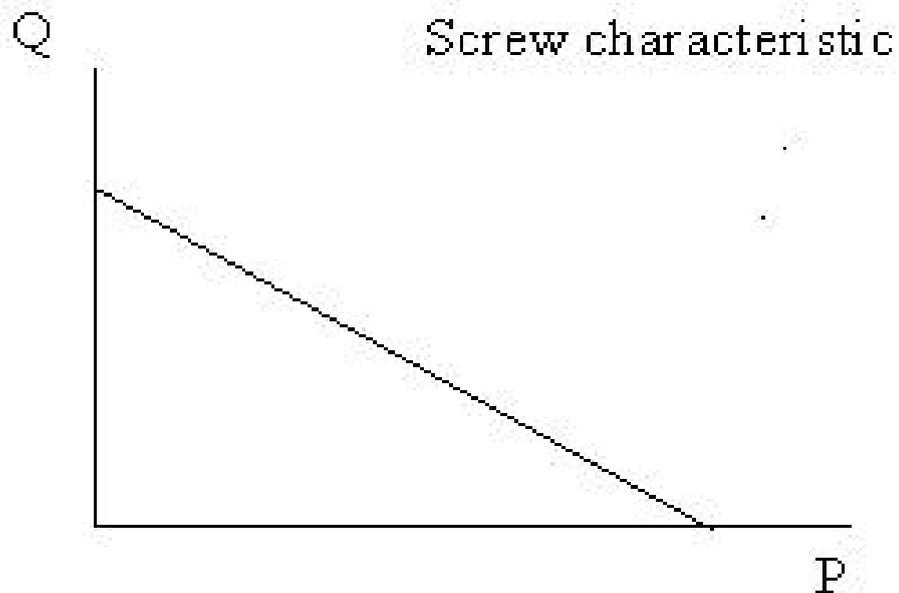
Die characteristic



- Q 隨著 P 增加。
- Q 隨 P 而變，故 Q 非為定值。

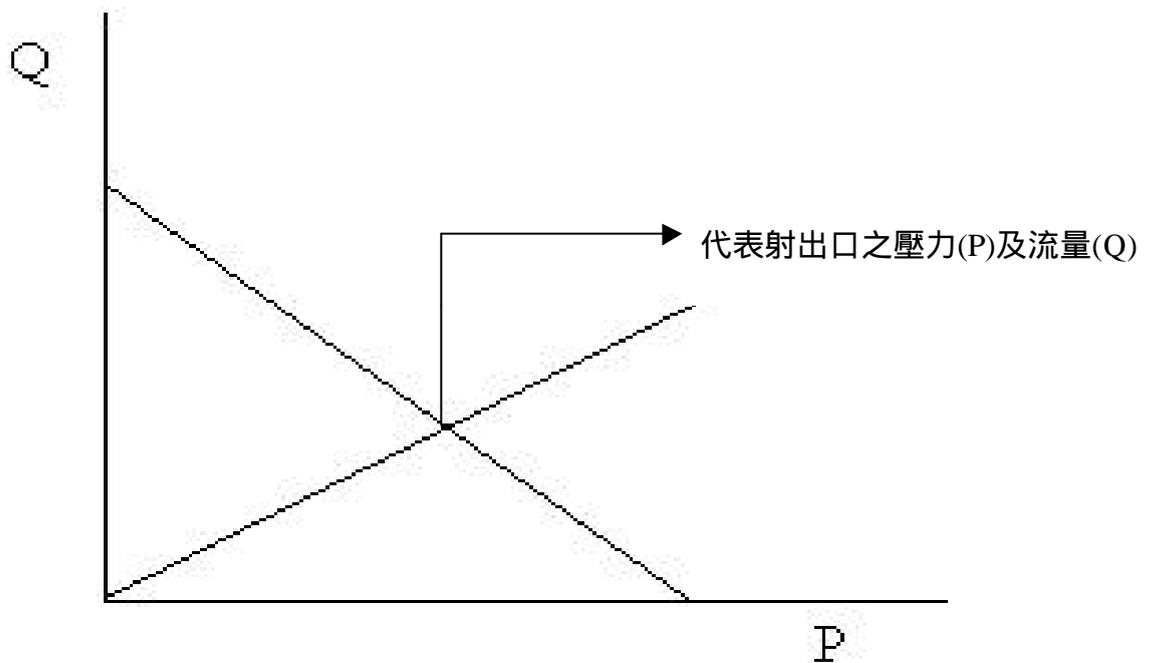
對於融膠在螺桿內流動之流量可由下式決定。

$$Q = \frac{1}{2} wh\pi D n \cos\theta - \frac{wh^3}{12m} \frac{dp}{dx} \quad (2)$$

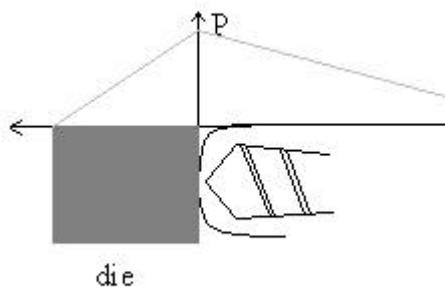


- 當 P 增加時， Q 減少。
- 當 $\pi DN \downarrow$ (轉速慢)， \overline{QP} 線往下移。
- 當 $\pi DN \uparrow$ (轉速快)， \overline{QP} 線往上移。
- P 指射出口壓力。

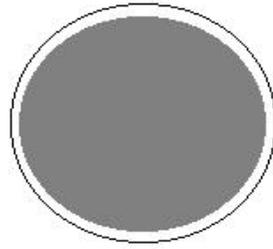
將(1)(2)式所繪製的 P - Q 圖、共同繪製成另一個 P - Q 圖
 則兩斜線所相交之點即代表射出口的壓力(P)及流量(Q)



下圖為壓力在模具及射出螺桿內之分布高低



如今欲射出吸管，截面形狀如下圖、半徑 R 間隙為 $0.1R$



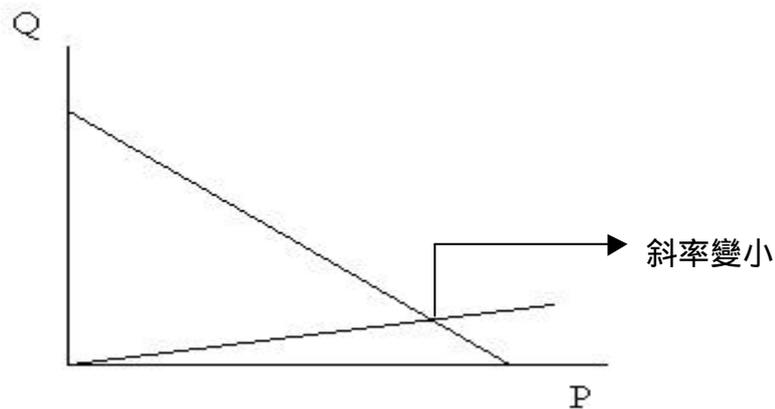
則融膠在模具內之流動情形可視為在寬度等於 $2\pi R$ 、高度等於 $0.1R$ 的平板內之流動來計算 $w=2\pi R$, $h=0.1R$

$$Q = \frac{wh^3 p}{12\eta L} \quad (w=2\pi R, h=0.1R)$$

代入得

$$Q = \frac{2\pi R (0.1R)^3 P}{12\eta L}$$

→ $Q = \frac{(2\pi \cdot 0.001) R^4 P}{12\eta L}$ 則 P-Q 圖變成



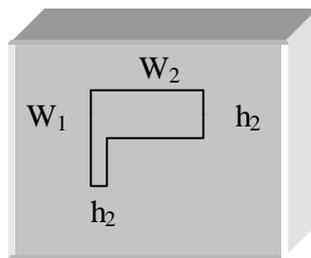
押出成型是高分子加工領域中的一項重要製程，目前已被廣泛地應用於平板、薄膜、圓管等許多日常生活用品的製造，例如壓克力板、玻璃紙、塑膠管等皆是經由押出成型加工生產的產品，常見的高分子塑料如 PE、PS、PVC、ABS 等均可經由押出成型而製成成品。押出成型的製程主要是將高分子塑料經由螺桿押出機的熔融、輸送，至押

出模頭後將熔融塑料展開成平板或薄膜甚至各種所欲生產的成品形狀，最後再擠出模頭出口，經冷卻、固化後再經由輸送、切割等處理程序即為產品。

一般來說，工業用途上的製程設計，除了特殊需求的應用之外，一般產品在厚度上必須達到相當程度的均勻性，而高分子熔膠在押出程序中的流動應避免漩渦(vortex)或靜止區(stagnant area)的產生，因在此區域易有高分子劣化(degradation)的現象，且雜質與氣泡易陷於其中而造成加工的不穩定。

解決產品斷面厚度差異的方法：

假設押出成型模具斷面如圖所示：



工件斷面上 $h_1 w_1$ 的速度 V_1 與流量 Q_1 ，以及 $h_2 w_2$ 的速度 V_2 與流量 Q_2 ，可由下列公式求出。

$$Q_1 = \frac{w_1 h_1^3 P}{12 \mu L}, \quad V_1 = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{P h_1^2}{12 \mu L}$$

$$Q_2 = \frac{w_2 h_2^3 P}{12 \text{ mL}} \quad , \quad V_2 = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{Ph_2^2}{12 \text{ mL}}$$

Case 1 : $h_1=h_2=h$ $w_1 \neq w_2$

當工件斷面厚度相同 $h_1=h_2=h$, 長度不同 $w_1 \neq w_2$ 時 , h_1w_1 的速度 V_1 與流量 Q_1 , 以及 h_2w_2 的速度 V_2 與流量 Q_2 , 可由下列公式求出。

$$Q_1 = \frac{w_1 h^3 P}{12 \text{ mL}} \quad , \quad V_1 = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{Ph^2}{12 \text{ mL}}$$

$$Q_2 = \frac{w_2 h^3 P}{12 \text{ mL}} \quad , \quad V_2 = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{Ph^2}{12 \text{ mL}}$$

因為 $h_1=h_2=h$, 所以 $V_1=V_2$, 可見融膠流速相同 , 沒有成型問題。

Case 2 : $h_1 \neq h_2$ $w_1=w_2=w$

當工件斷面厚薄不同 $h_1 \neq h_2$, 流速 $V_1 \neq V_2$ 時 , 會發生成型問題 ,

$$V_1 = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{Ph_1^2}{12 \text{ mL}} \quad , \quad V_2 = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{Ph_2^2}{12 \text{ mL}}$$

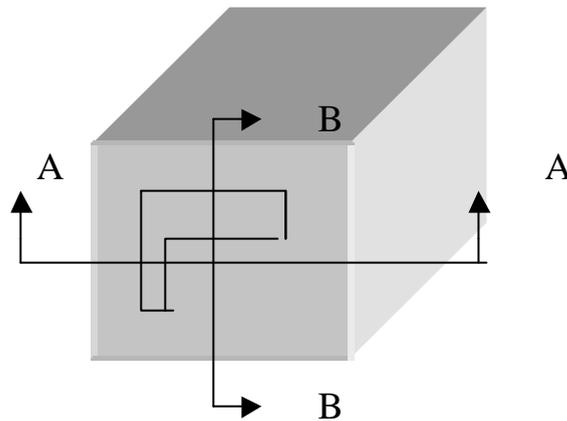
從 V_1 與 V_2 中可發現 , 如果我們要使其流速相等 , 在模具的設計上 , 可以藉著改變 L 的長度 , 來達到流速相等的目標。

如 $h_2=2h_1$, 則流速 $V_2=4V_1$, 假如我們改變 V_2 中的 L , 使其增加為 $4L$, 則 V_1 與 V_2 流速會相等。

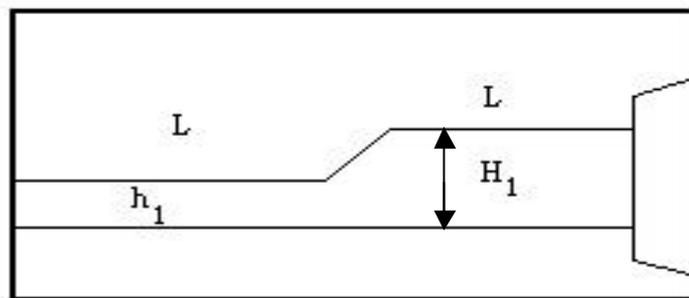
$$V_1 = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{Ph_1^2}{12 \mu L} \quad V_2 = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{P(2h_1)^2}{12 \mu 4L}$$

所以藉著改變工件斷面 h_2w_2 的流動路徑 L ，增加其流動路徑為 $4L$ ，即可達到工件在出模口的流速相等的目標。

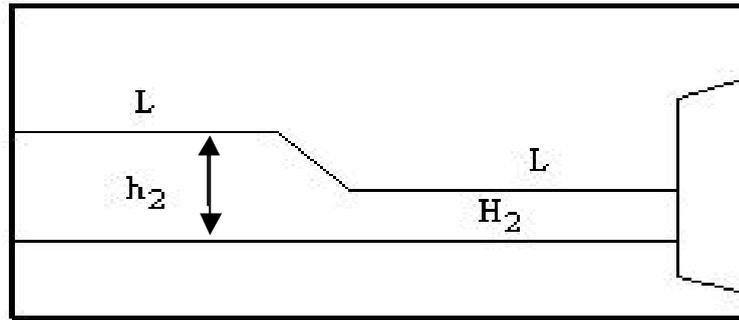
另外還有一種改善方法，利用特殊的模具設計，來達到流量相同的目標。



A - A 斷面之模具剖面圖



B - B 斷面之模具剖面圖



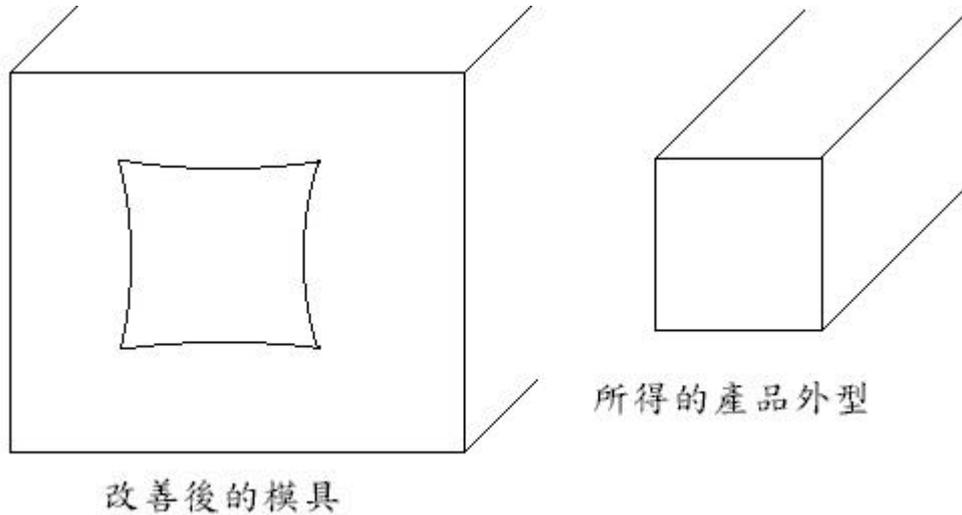
利用此模具設計，可得到下列方程式：

$$\frac{Wh_1^3}{12m} + \frac{WH_1^3}{12m} = \frac{Wh_2^3}{12m} = \frac{WH_2^3}{12m}$$

由方程式可知，工件流出模具時 h_1 部分與 h_2 部分的流量相等。

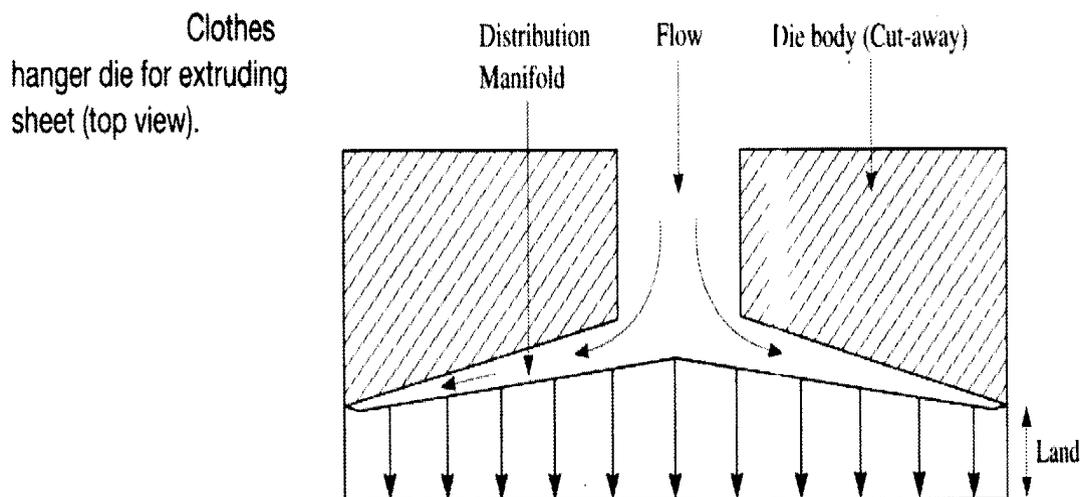
二. 方棒押出模設計：

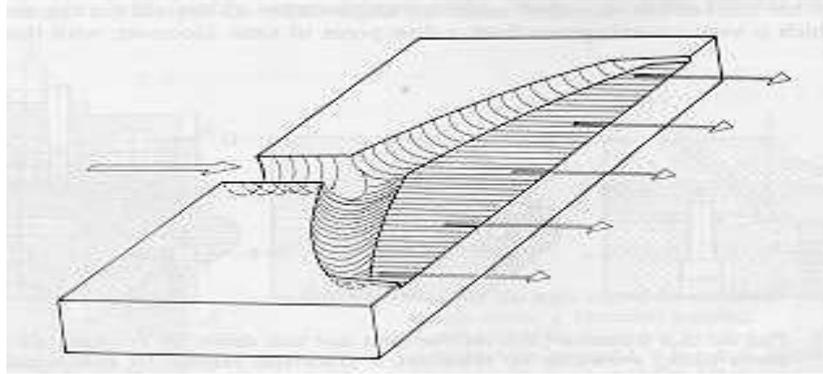
在方棒押出模的設計上，也會利用內凹的設計，來改善 Die swell 所造成的膨脹現象，以得更精確的方棒外型。



三. 平板押出成型：

在薄膜及平板押出成型(Film and Sheet Extrusion), 通常使用衣架形模頭(coat-hanger die)或稱之為魚尾形模頭(fishtail die)的模具，此模具可使融膠達到等速流動的目標，避免成型的問題。





此形式的押出製程除了用來製成薄膜或薄板之外，亦被廣泛地應用於精密的塗佈(coating)製程中，此類的押出成型可說是目前最具應用價值的押出成型形式。

製作群

組 別：第七組

組 員：溫逸隆 (R90522726)、 陳威任 (R90522715)

指導教授：楊申語

日 期：1 月 2 日