

第六章 實驗結果與討論

6-1 軟體模擬熱板效能

所使用的模型如圖 6.1，圖 6.1(a)為未使用平板式熱管之模型圖 6.1(b)為使用平板式熱管之模型，將其固定相同加熱溫度、相同模型、相同熱源大小，分別模擬有使用平板式熱管，與不使用平板式熱管的情況下，熱傳的情況分別為何，圖 6.2 為兩者熱傳的結果，由上而下分別為 1 秒、20 秒、40 秒、60 秒時的溫度傳遞變化，由溫度線與顏色的分佈可以看出，有使用平板式熱管的模型，傳熱的範圍明顯較未使用平板式熱管的例子大，溫度分佈也比較均勻。

由先前所設定要觀察的各點中，其關係圖如圖 6.3 所示，60 秒的溫度上升曲線，O 點的關係圖中，一開始未使用平板式熱管的升溫似乎比較快，這是因為本研究所量測的點是模型頂部，未使用平板式熱管的組別因為在熱源與模型之間少了平板式熱管，所以熱源與模型頂部之間的距離比較近，因此初期溫度會較先傳達到頂部，但 40 秒之後，使用平板式熱管的溫度就已經超越未使用平板式熱管的溫度，且最後 60 秒時所達到的溫度也較高，兩者最後達到的溫度大約相差 10 °C，而其他各點的溫度比較圖也都可以看到有使用平板式熱管確實最後達到的溫度比較高，因此可以得到使用平板式熱管可以在相同時間內，使模型加熱到較高的溫度。

而如圖 6.4 與圖 6.5 所示，分別是未使用平板式熱管各點與使用平板式熱管各點的溫度曲線，由兩張圖中比較可以得到，圖 6.4 未使用平板式熱管的各點，其相同時間內溫度明顯差異很大，60 秒時的溫度最高的 O 點 73.9°C 與最低的 C 點 34.7°C 明顯差異頗大，在 C 點 D 點的溫度幾乎上升不多都只有上升至 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ ；反觀圖 6.5 中，各點溫度幾乎相當平均，除了距離中心較遠的 C 點之外，O 點、A 點、B 點、D 點升溫曲線幾乎是相當接近的，在最後 60 秒時也都有達到 80°C 左右的溫度，而距離較遠的 C 點也有 67.8°C 的溫度，比起未使用平板式熱管的 C 點只有 34.7°C 仍然高出許多，由這兩張圖比較可以得到，有使用平板式熱管的升溫在一定時間內可以達到比較高的溫度，而對於較小的熱源來說，平板式熱管可以擴大其加溫的範圍，且使加熱位置到達比較均勻的溫度。

因此由此次模擬結果得到，使用平板式熱管的效能確實比沒有使用平板式熱管的效能還要高出許多，平板式熱管可以擴大傳熱的範圍與速度，證明平板式熱管有其價值在，由模擬的結果趨勢上來看，在相同環境條件下，使用平板式熱管來加熱的方式，確有達到較佳的效果。

6-2 熱傳模擬結果與實驗量測比較

實驗各組升溫情形如表 6.1 所示，當溫度由 65°C 開始加溫時，溫度上升最快的為 10mm130°C 這組實驗，在 60 秒內可以升溫到達約 84 °C，而升溫最慢的則是 20mm110°C，升溫最終只達 73 °C，其實驗各組平均誤差使用標準誤(Standard Error 簡稱 S.E.)來表示，其結果如表 6.2 所示。

實驗完成後，進行實驗與模擬比較，取實驗 10mm110°C 數據當作基準，修正模擬設定參數中介面熱阻這一項，使其模擬結果接近實驗數據，最後得到介面熱阻為 0.25 C/W 時，升溫曲線已達到實驗誤差範圍內，因此將介面熱阻 0.25C/W 帶入另外三組，進行模擬與實驗升溫比較，其結果如圖 6.6~圖 6.9 所示。

藉由此結果，本研究將模具內部模穴表面與熱板間距離設定為 10mm，並藉由加溫熱源溫度為 130°C 進行加溫。

6-3 實驗用模具與加熱機構

本研究設計之加熱機構安裝於模具內部，模具包含模座、加熱機構、拉伸試片模仁與多孔平板模仁皆交由專業模具場幫忙製作，其拉伸試片模具視圖如圖 6.10(a)上視、(b)下視、(c)右視、(d)前視，而多孔平板模仁的視圖如圖 6.11 所示，此模仁可與拉伸試片的模仁共用模座與加熱機構，模具完成圖如附件一模具完成圖中所示。

6-4 製作完成之拉伸試片

利用射出成型所製作的拉伸試片共四種，分別為單邊澆口、雙邊澆口、雙邊澆口利用加熱機構加熱與傳統模溫機加溫 75 度四種，其中使用加熱機構加熱又分為熱源 110°C 與 130°C 兩種加熱溫度，相關射出成型參數如表 6.3 所示，完整試片如圖 6.12(a)、(b)所示分別為有含澆口與不含澆口完整試片，由實驗結果可以發現，與本研究當初所預期的結果相當相近，在單邊澆口的試片沒有結合線的產生，雙邊澆口的試片有明顯的結合線產生，使用加熱機構加溫 100°C 之後的試片，結合線有明顯改善，但是在光源照射下左右移動視角仍然可以看見有結合線的存在，繼續加熱將熱源加熱至 130°C 時，結合線的情況大大改善，原本該有結合線的區域，以肉眼來看已經看不見線的形狀存在，只殘留一點點模糊的狀態。

6-5 製作完成之多孔平板試片

首先由模具廠製作多孔平板之模仁，並且將製作好多孔平板的模仁安裝於與拉伸試片模具相同的模座上，再利用射出成型機製作多孔平板，多孔平板進行射出成型時之相關參數紀錄如表 6-4 中所示，其製作成功之試片結果如圖 6.13(a)、(b)所示，當充填時熔膠每繞過模內障礙物就會產生一次結合線，因此由圖 6.14 熔膠流動示意圖可以預先知道結合線會發生的地點為點 1~8，當試片製作完成後使用肉眼

直接觀察試片上相同位置的這 8 個點，可以看見未加熱的多孔平板試片有清楚的結合線存在如圖 6.15 所示，而使用加熱機構進行熱源 130 °C 加熱的多孔平板則結合線有相當的改善，但是如果將其對著光線不停轉換觀察角度，則還是可以看到結合線的存在如圖 6.16 所示，不過與未加熱時的成品比較，仍然有相當大的改善。

本研究在先前預設方法無法完全將結合線解決的情況下，開始改變原有加熱機構只加熱單邊的構想，改由公模與母模皆同時加熱升溫，但是由於先前設計之模具加熱機構只安裝於公模，因此，母模的加熱則藉由模具內原先用於冷卻的水路，將水路內通入 85 度的熱水進行加熱，開模時母模與成品是分開的，因此將母模加溫其實對於整體成形的時間並不會有太大改變，因此本實驗選擇使用公模與母模雙邊加熱的方式來改進加熱，改進先前加熱方式的不足。

而使用公模母模雙邊加溫的方式所製作的試片，用肉眼已經完全看不到結合線的存在如圖 6.17 所示，這表示使用雙邊加溫的方式，在塑膠充填的時候熔膠有比較好的流動性，這讓結合線的 V 型缺口較小，所以肉眼已經看不見有結合線的產生。

6-6 試片機械強度試驗

6-6-1 拉伸試驗

將先前完成之拉伸試片，利用拉伸試驗機進行拉伸實驗，每種試

片各拉伸五次，四種試片的力量-位移曲線如圖 6.18 所示，最大承受強度依序為，單邊澆口、熱源加溫 110 度、傳統模溫水路 75 度、未加熱雙邊澆口，由圖中可以發現，單邊澆口的曲線在到達強度最大的點時，會進入塑性區，其餘三種試片包括，雙邊澆口(Double gate)、加溫 110 度(Heat source 130°C)、傳統模溫水路 75 度 (Convention Heating) 皆在受力到達最高點時為進入塑性區即由結合線區斷裂，且斷裂面相當平整如圖 6.19(a)所示，而單邊澆口無結合線的試片在拉伸過後斷裂面則不是相當平整如圖 6.19(b)，而若將其受力換算為抗拉強度分別為雙邊澆口 39.2Mpa、加溫 110°C 43.53Mpa、單邊澆口 45.2Mpa、傳統模溫 42.5Mpa，由拉伸實驗上來看，本次實驗的加熱機構所加熱的方式與傳統提升模溫的方式來作比較，使用本研究加熱方式加熱的試片有較佳的抗拉強度，這應該與加熱的溫度有相當大的關係，使用傳統模溫水路加熱即使將水溫提高上限也只到達 100°C，本研究的加熱溫度則是加熱棒功率，可達到比 100°C 高出許多的溫度。

若以拉伸實驗來比較沒有結合線與使用本研究加熱機構加熱的兩種試片，由於在拉伸實驗上可以看出沒有結合線的試片有明顯的降伏點，過降伏點之後會進入塑性區，而使用本研究加熱機構所加熱的試片，卻仍然到達試片本身能承受的最大強度時便在結合線區產生斷

裂，表示結合線雖然外觀上看不見，但並不表示結合線不存在，在結合線產生的區域位置的鍵結還是比較弱，因此本研究所設計之加熱機構並未能將結合線完全消除，但是減輕了結合線所造成的外觀問題與強度減弱問題，強度上皆提昇至與沒有結合線的試片相當接近。

6-6-2 彎曲試驗

彎曲試驗的結果如圖 6.20 所示圖 6.20 為四種不同試片之力量位移關係圖，由圖中可以得到沒有結合線的試片其可承受的最大剪切應力為約 8Mpa 的力，而使用本研究設計之加熱機構所加熱的試片，模具雙邊加熱的試片承受最大剪切應力為 7.36Mpa，單邊加熱的試片為 6.83Mpa，不加熱的試片為 6.21Mpa，由此可以看出有使用加熱機構進行加熱的試片，其最大的承受力提升至沒有結合線試片的 93%，這比未使用加熱機構的試片的 78.6%還要高出許多，其相關比較如表 6.5 所示，這表示使用加熱機構加熱確有達到是其強度提升的效果。不過由圖中也可以觀察出，原本就沒有結合線的試片，在其達到所能承受的最大力量之後，仍然可以進入塑性區繼續承受外力，而原本就有結合線的試片，即使在加熱後外觀看不見結合線的存在，但在彎曲試驗的力量位移曲線中，明顯的在外力到達其本身所能承受的最大力量之後，便幾乎無法再承受外力，會造成這樣的原因是可以由彎曲試驗後試片外觀的破壞情況來得到解釋，圖 6.21 為不同試片經彎曲試驗後

試片的破壞情形，除了原本就沒有結合線的試片外，其餘試片皆在結合線區產生明顯裂痕，這表示結合線位置所能承受最大強度雖然有提升，但結合線位置的韌性卻沒有太大改善，歸咎原因是由於結合線位置 V 型缺口並未完全被消除容易產生應力集中現象，造成試片受力時產生破壞，因此本實驗後續進行的彎曲試驗，將試片切割下來後，先行進行研磨拋光將結合線位置的 V 型凹槽加以去除後再進行彎曲試驗，其試驗後結果與先前有明顯差異。V 型凹槽研磨過後的試片進行彎曲試驗後並不會在結合線位置出現裂痕產生破壞，試片本身的韌性明顯提升許多，其試片受力後結果如圖 6.22 所示，由此實驗中可以得到利用加熱機構在結合線處進行加熱，可以解決結合線位置不完全鍵結的問題，而針對排氣不良造成的外觀缺陷則未能完全解決。

6-7 試片結合線位置幾何形狀的變化

本研究針對拉伸試片與多孔平板的結合線產生位置利用 SEM 電子顯微鏡進行顯微結構觀察，其結果如下：

6-7-1 拉伸試片結合線幾何形狀變化

拉伸試片顯微結構觀察分為四組觀察試片，分別為單邊澆口，雙邊澆口，利用加熱機構熱源加溫 100°C 與 110°C 共四組，其顯微照片如圖 6.23 為放大倍率 1000 倍、圖 6.24 為放大倍率 5000 倍、圖 6.25 為放大倍率 10000 倍，由三種倍率的顯微照片中可以觀察出，單邊澆

口是完全沒有結合線產生；雙邊澆口的試片可以觀察到有明顯的結合線，5000 倍的顯微照片中，更可看到試片有寬 0.0015mm 深 0.003mm 的 V 型缺口，10000 倍的顯微照片更清楚的看到 V 型缺口；由熱源加溫 100°C 的試片結合線有明顯的改善，放大 1000 倍的情況，雖然較難判斷結合線寬度的差異，只能由顏色判斷其結合線深度有較淺，但由 5000 倍與 10000 倍的顯微照片中，可以明顯感受到結合線有相當顯著的改善；熱源溫度 110°C 的試片，已經找不到結合線的存在，且顯微照片中可以看到，熱源溫度 110°C 的試片表面比沒有結合線的單邊澆口試片表面更加平整，這表示本研究的加熱機構確實可以在外觀上解決結合線的問題。



6-7-2 多孔平板結合線幾何形狀變化

依據多孔平板成型條件，將其分類為三種，分別在製作過程模具未經過加熱、模具單邊加熱(公模加熱 130 度)、模具雙邊加熱(公模熱源 130°C 母模 85°C)，將結合線區位置用刀片切割下來，進行電子顯微鏡 SEM 的觀察，圖 6.26 是未加溫的結合線 V 型缺口顯微結構上視圖，圖 6.27 為前視圖，可以明顯的看到流體會合時所造成的 V 型缺口，由比例尺可以看出其 V 型缺口深度約 12um，可以說相當的清楚易見。

圖 6.28 與圖 6.29 分別是單邊加溫試片的上視圖與前視圖，由圖

中可以看到結合線區缺口的地方與未加溫的試片比較已經有明顯改善，由先前的 V 型轉而變成大 U 的形狀，結合線的深度明顯變淺許多，由比例尺可以觀察得到缺口的深度約 2um。

圖 6.30 與圖 6.31 則分別為雙邊加溫試片結合線區域的上視圖與前視圖，圖中幾乎已經看不到 V 形的缺口，只剩餘微微的弧度，結合線的深度變成相當的淺，由比例尺判斷約只有 0.5um 的深度，而結合線區域的寬度變的較大也是因為彎曲弧度的關係，因此更高的倍率已經無法拍進整個彎曲弧度的全貌了，不過由結合線的顯微照片結合線深度的改變，可以判斷結合線改善的情況相當的好，在外觀看不到結合線以外，顯微照片也幾乎不容易發現結合線的存在，這表示本研究所試用的加熱方法，確實有達到其改善結合線甚至完全消除的效果。

time	10(s)	20(s)	30(s)	40(s)	50(s)	60(s)
20mm110°C_1	68.4°C	70.3°C	72.4°C	73.2°C	73.7°C	74.2°C
20mm110°C_2	67.2°C	67.4°C	68.7°C	71°C	72.8°C	73.8°C
20mm110°C_3	66.5°C	68.1°C	69.3°C	70.8°C	72.2°C	73.7°C
20mm130°C_1	66.5°C	69.1°C	70.8°C	71.9°C	74.5°C	76.7°C
20mm130°C_2	65.5°C	68.7°C	70.6°C	73.7°C	76.6°C	78.1°C
20mm130°C_3	66.3°C	68.1°C	70.4°C	72.1°C	74.2°C	77.4°C
10mm110°C_1	69.3°C	71.3°C	72.1°C	73.8°C	76°C	77.2°C
10mm110°C_2	66.9°C	68.4°C	71.1°C	74.1°C	76.6°C	77.5°C
10mm110°C_3	68°C	70.7°C	72°C	73.2°C	76.4°C	78.7°C
10mm130°C_1	67.5°C	72.3°C	74.4°C	76.2°C	79.8°C	83.8°C
10mm130°C_2	69°C	73.4°C	76.1°C	78.3°C	82°C	84.4°C
10mm130°C_3	68°C	72.4°C	75.8°C	79.3°C	83.1°C	85.2°C

表 6.1 溫度量測實驗升溫

	10s	20s	30s	40s	50s	60s	Average
10mm110°C	1.2521	0.8838	0.3179	0.3281	0.1762	0.4583	0.5694
10mm130°C	0.3512	1.0408	1.9519	2.5166	2.1858	1.4847	1.5285
20mm110°C	1.0969	1.1289	1.1465	0.7688	0.4359	0.1528	0.7883
20mm130°C	0.3055	0.2906	0.1155	0.569	0.7523	0.4044	0.4221

表 6.2 實驗平均標準誤

Melt temperature	230°C
Filling time	2 sec.
Packing time	3 sec.
Packing pressure	50 MPa
Cooling time	10 sec.

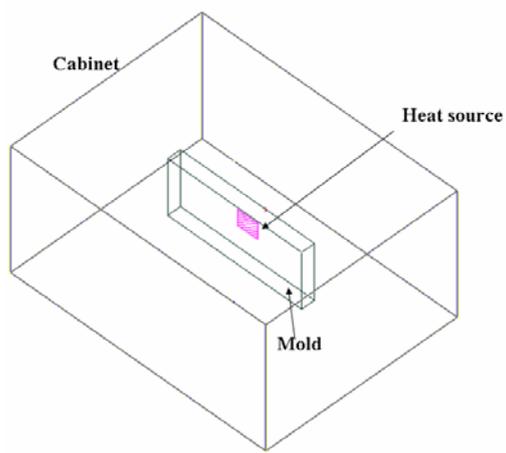
表 6.3 拉伸試片射出成型參數

Melt temperature	230°C
Filling time	6 sec.
Packing time 1	2 sec.
Packing time 2	4 sec.
Packing pressure 1	20MPa
Packing pressure 2	70MPa
Cooling time	20 sec.

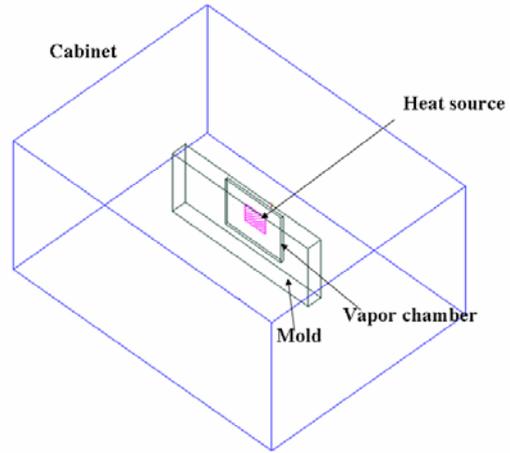
表 6.4 多孔平板射出成型相關參數

	Shear stress	strength
No weld line	8(Mpa)	100%
No Heat	6.21(Mpa)	78.60%
Single side Heat	6.83(Mpa)	86.40%
Two sides Heat	7.36(Mpa)	93%

表 6.5 彎曲試驗結果



(a) 未使用平板式熱管之模型



(b) 使用平板式熱管之模型

圖 6.1 數值分析所建立之模型



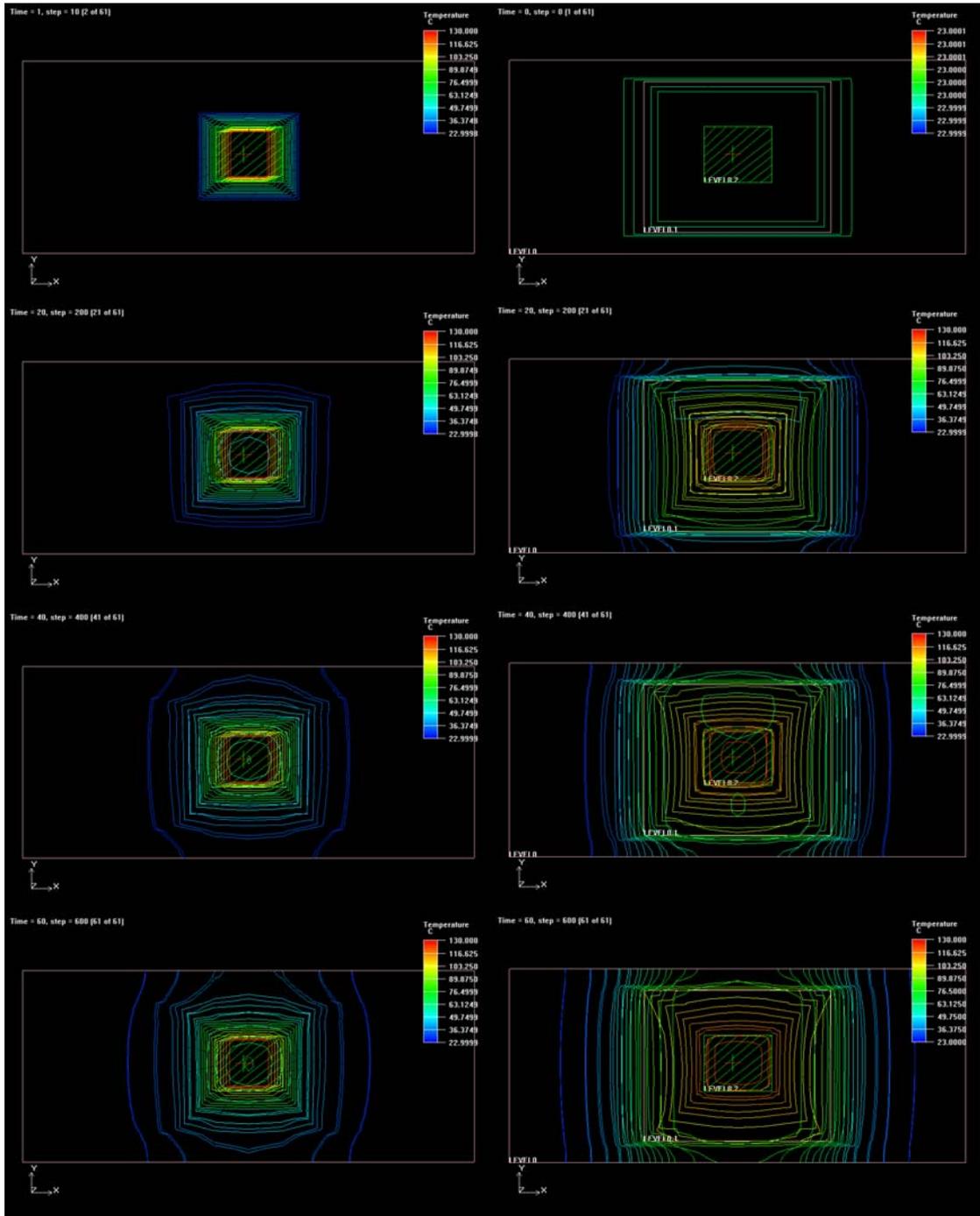


圖 6.2 右邊：使用平板式熱管 1s 20s 40s 60s

左邊：未使用平板式熱管 1s 20s 40s 60s

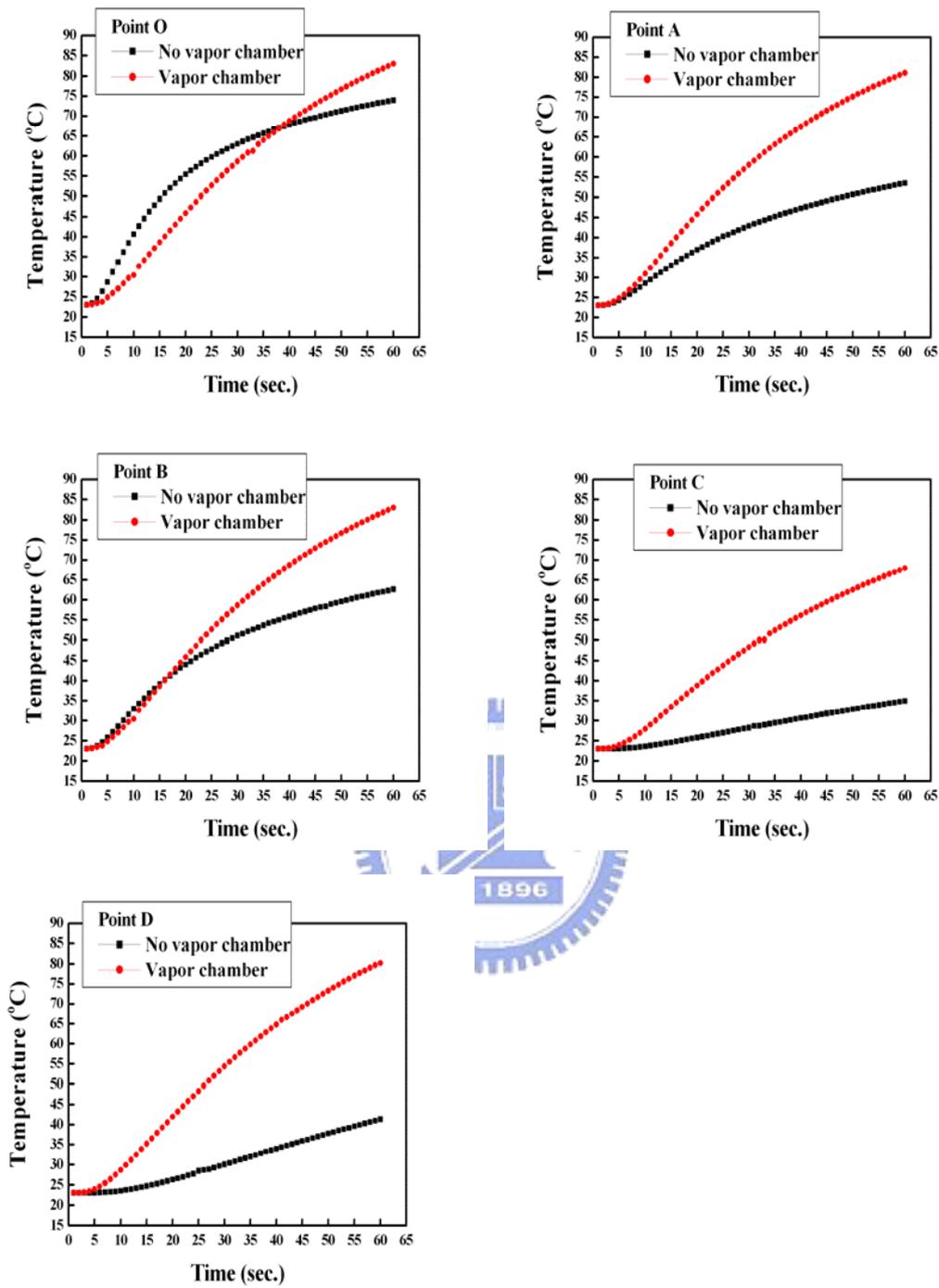


圖 6.3 各點時間溫度曲線比較

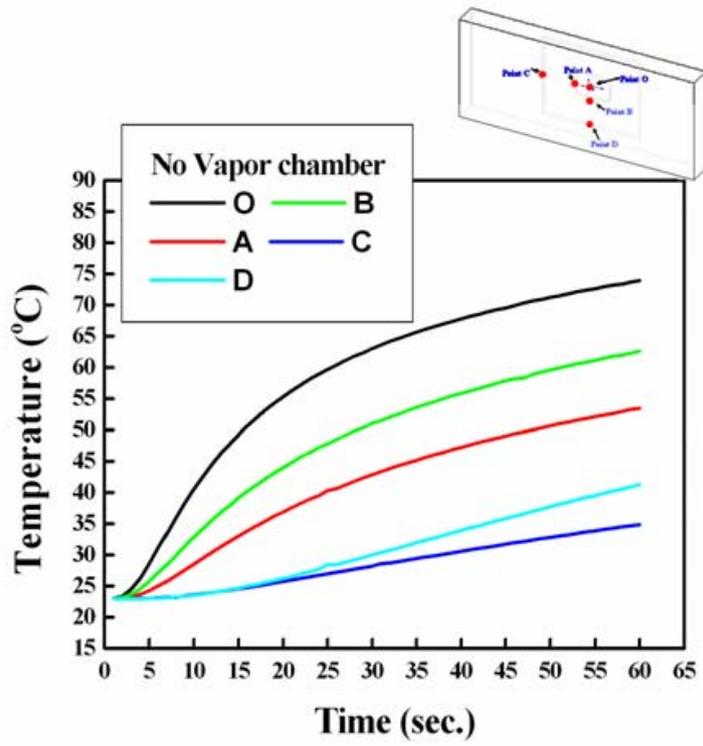


圖 6.4 未使用平板式熱管各點溫度曲線

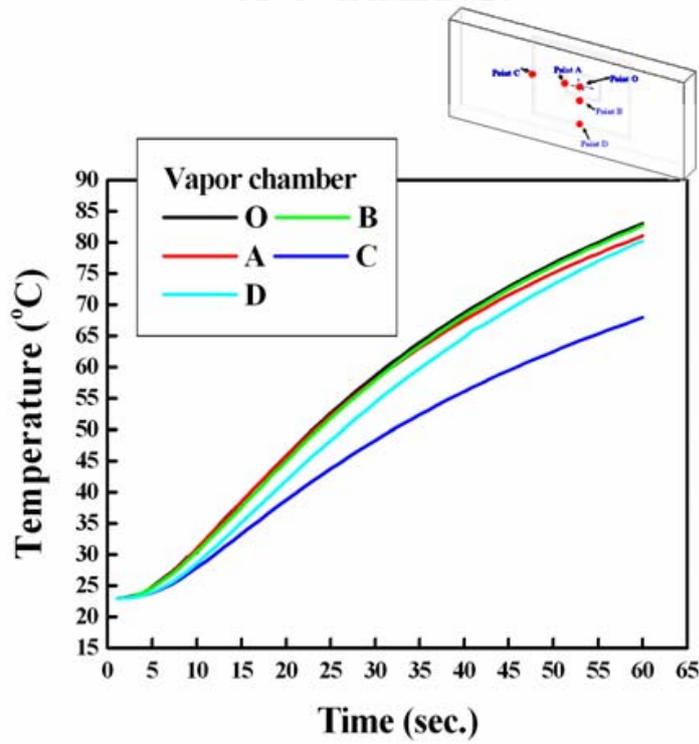


圖 6.5 使用平板式熱管各點溫度曲線

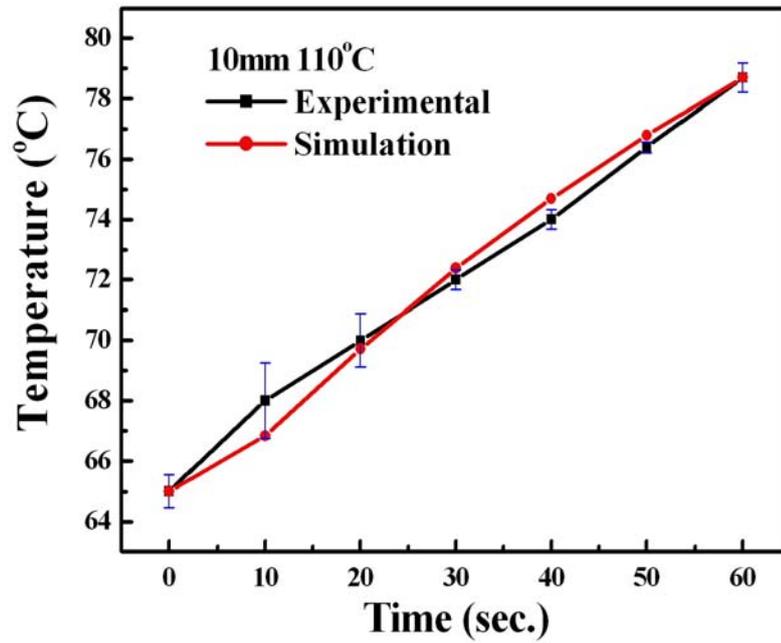


圖 6.6 10mm 厚度鋼板熱源 110°C 實驗模擬曲線比較

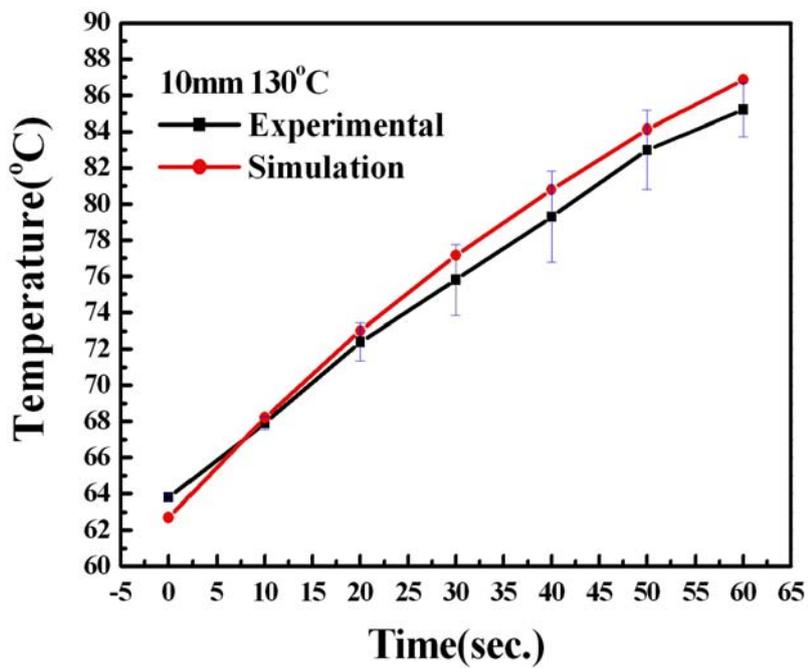


圖 6.7 10mm 厚度鋼板熱源 130°C 實驗模擬曲線比較

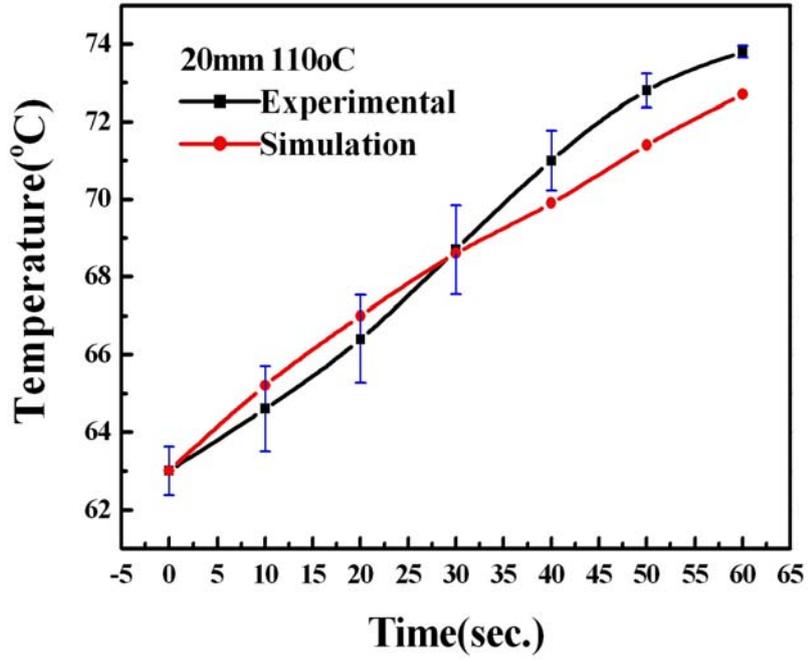


圖 6.8 20mm 厚度鋼板熱源 110°C 實驗模擬曲線比較

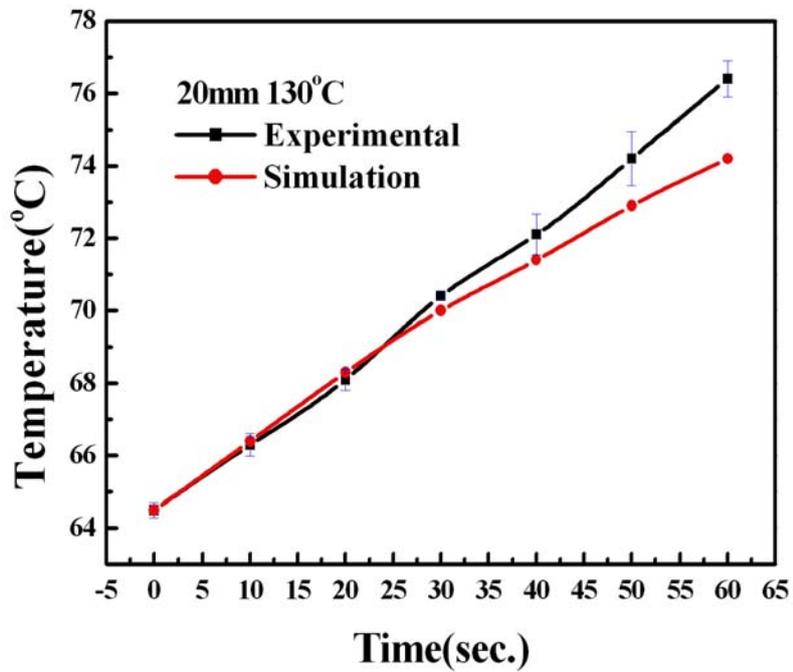


圖 6.9 20mm 厚度鋼板熱源 130°C 實驗模擬曲線比較

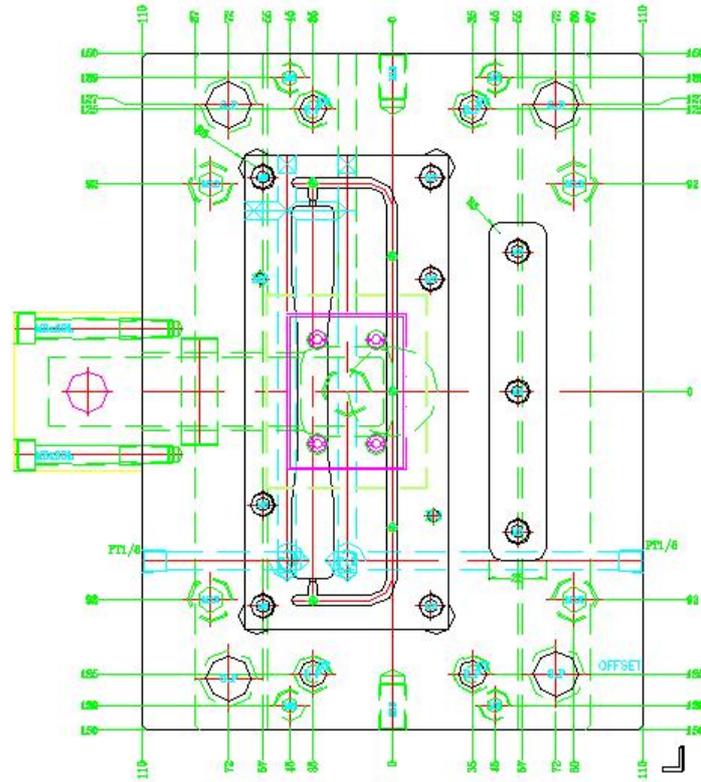


圖 6.10(a) 拉伸試片模具上視圖

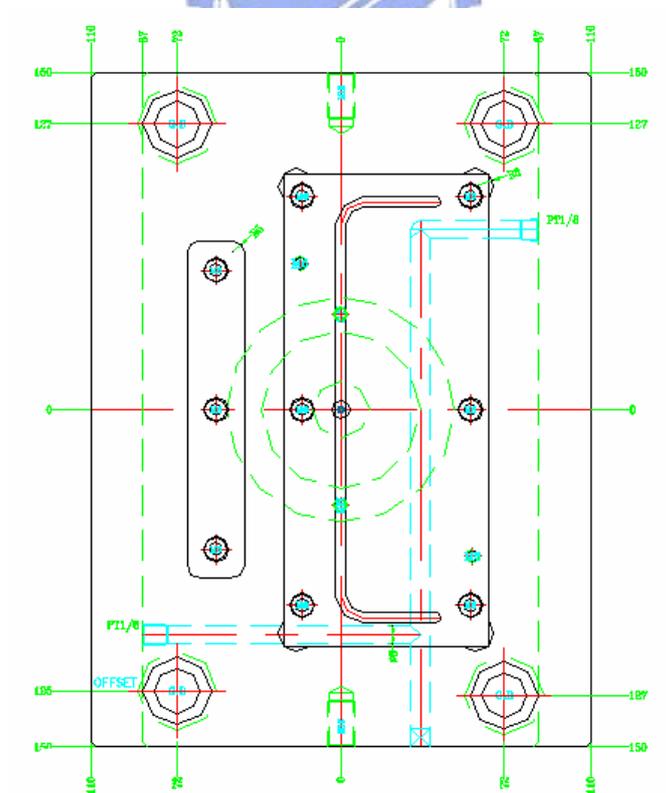
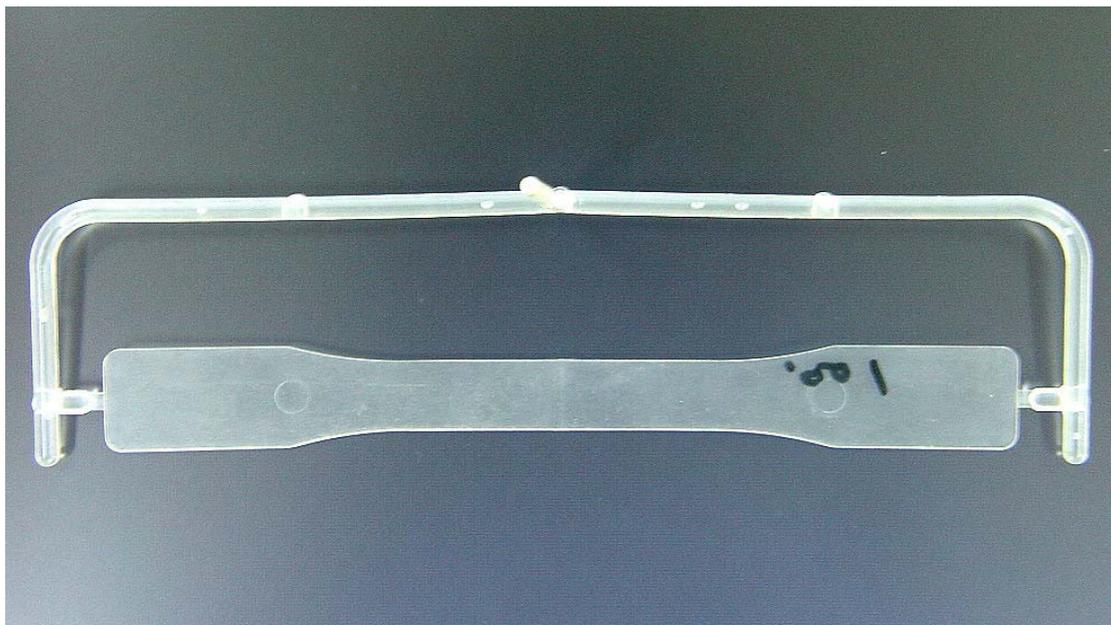


圖 6.10(b) 拉伸試片模具下視圖

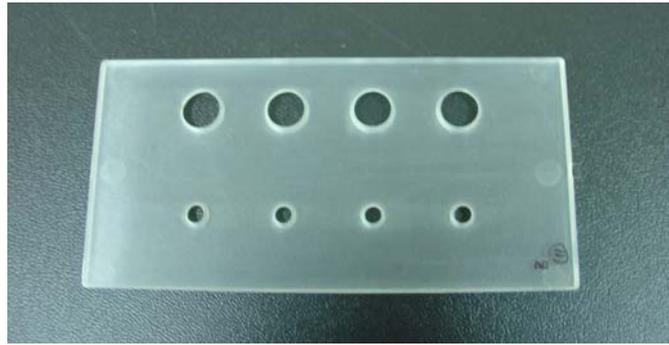


(a)



(b)

圖 6.12 拉伸試片成品 (a) 拉伸試片含澆道 (b) 拉伸試片



(a) 不含澆道



(b) 含澆道

圖 6.13 多孔平板試片成品

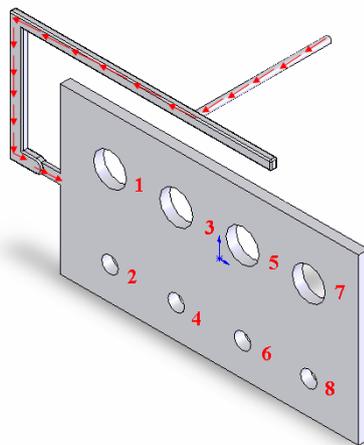


圖 6.14 充填示意圖

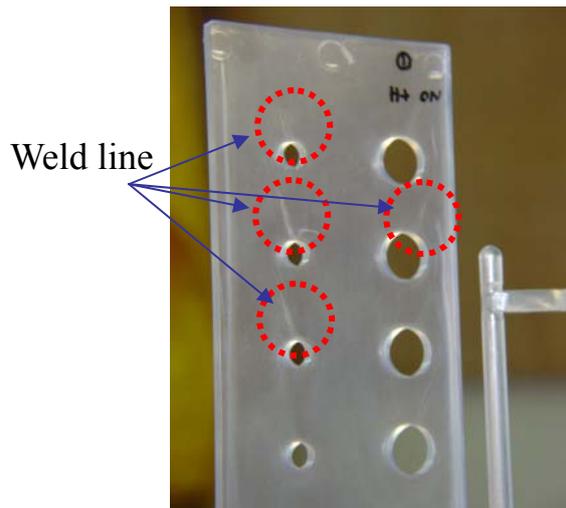


圖 6.15 未加熱多孔平板

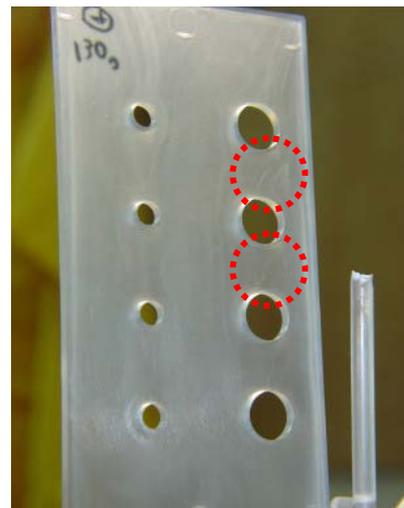


圖 6.16 單面加熱多孔平板

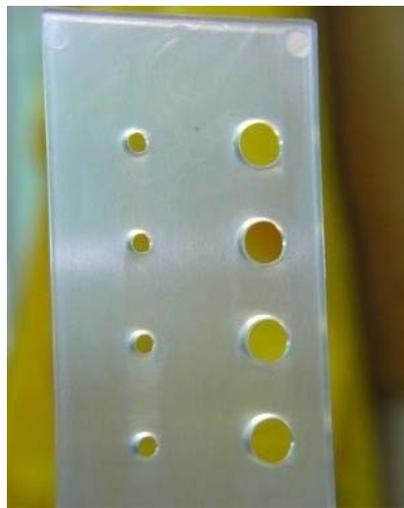


圖 6.17 雙面加熱多孔平板

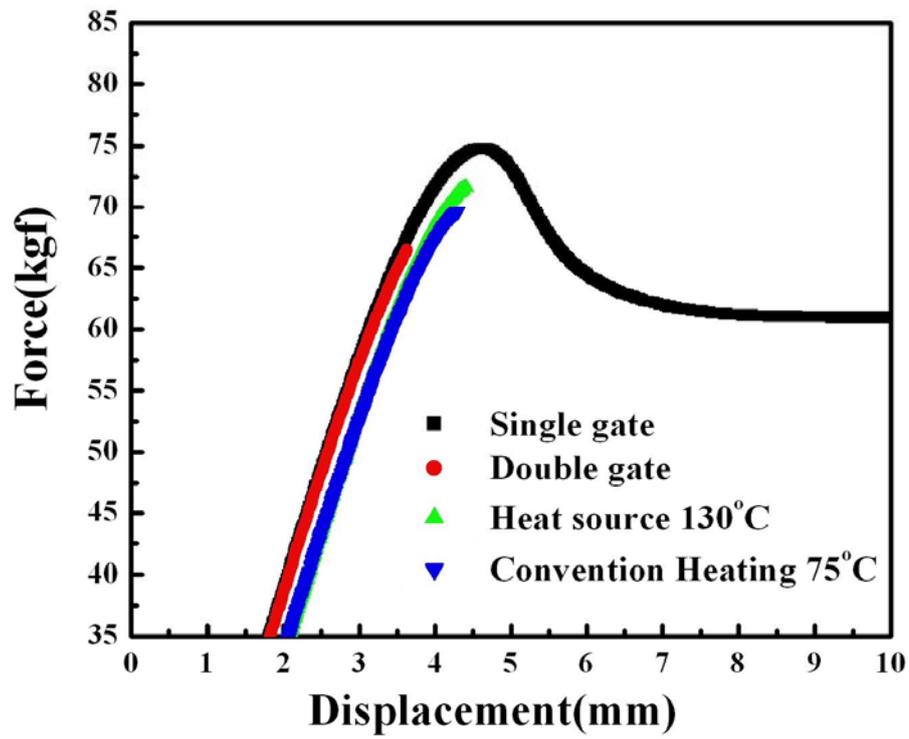


圖 6.18 拉伸試驗力量-位移關係圖





圖 6.19 (a)有結合線之拉伸斷面

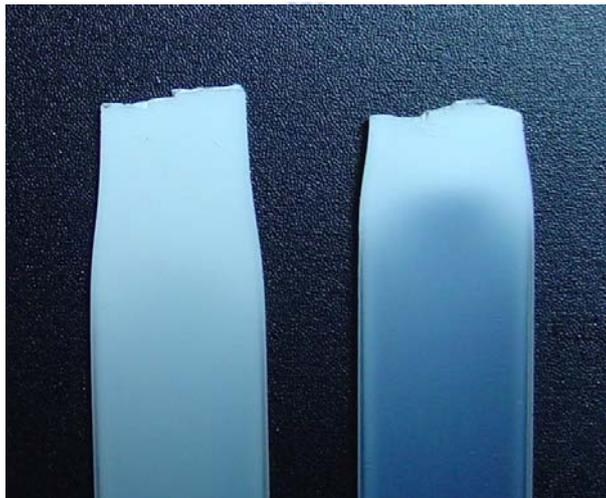


圖 6.19(b) 無結合線之拉伸斷面

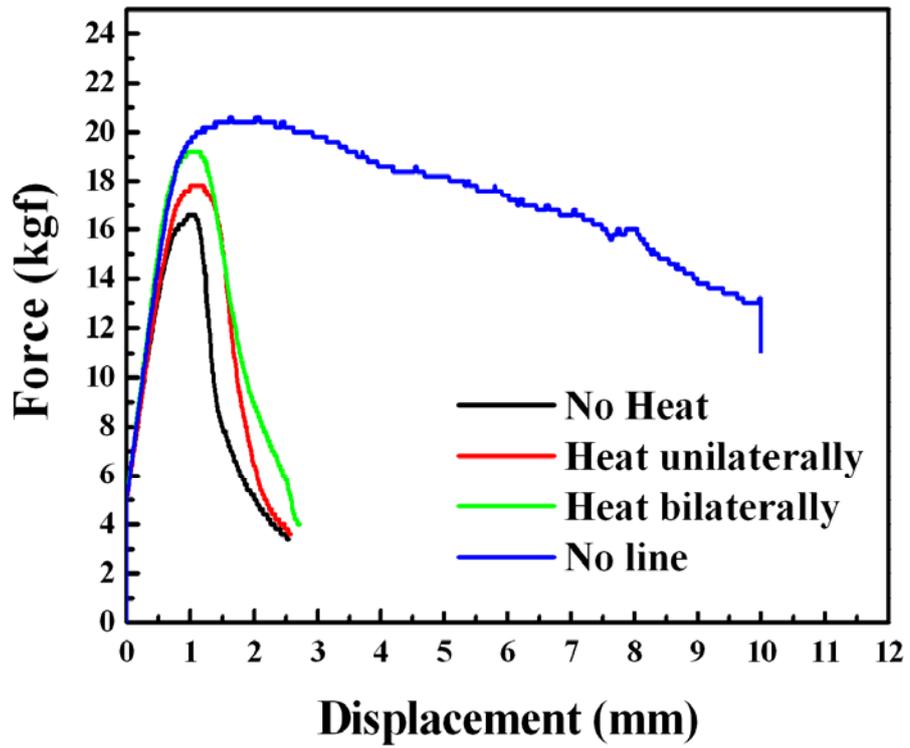
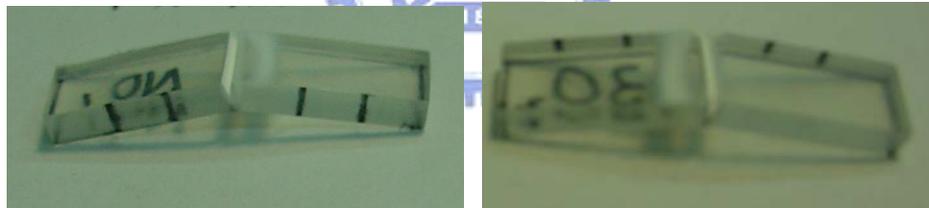
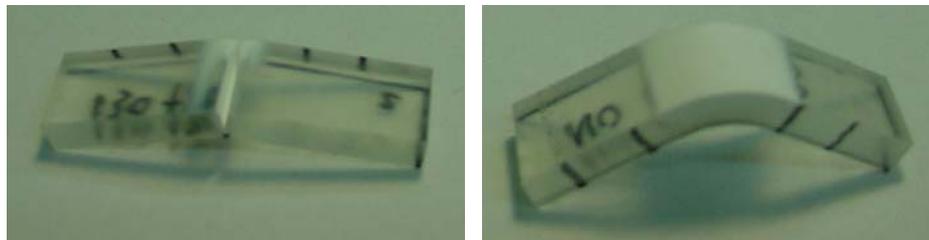


圖 6.20 力量位移關係圖



(a) 未經加熱

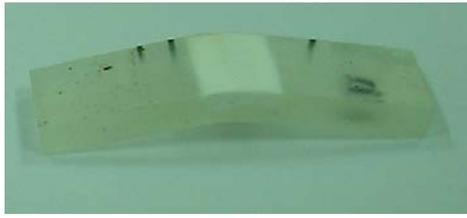
(b) 單邊加熱



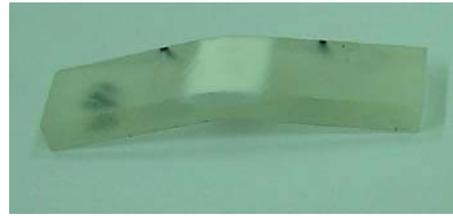
(c) 雙邊加熱

(d) 沒有結合線

圖 6.21 經彎曲試驗後試片破壞圖

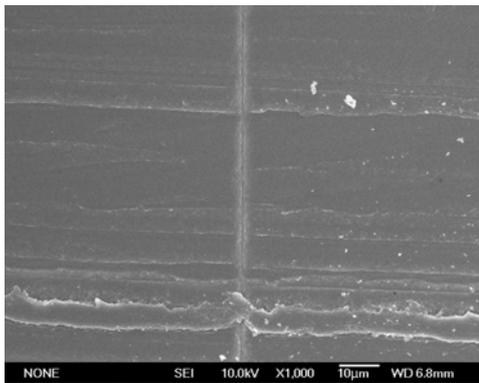


(a) 經加熱機構消除後試片

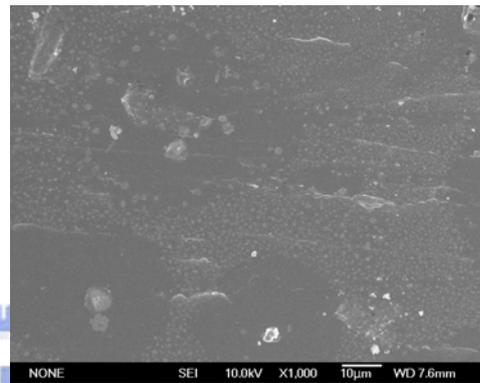


(b) 沒有結合線

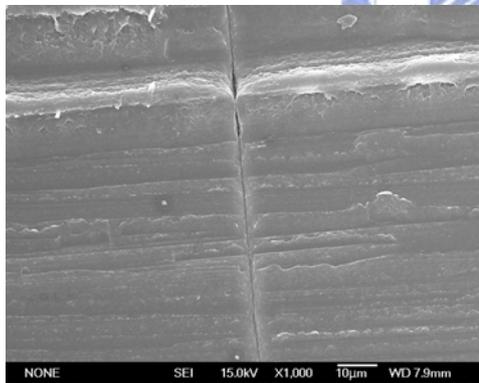
圖 6.22 研磨後經彎曲試驗試片破壞圖



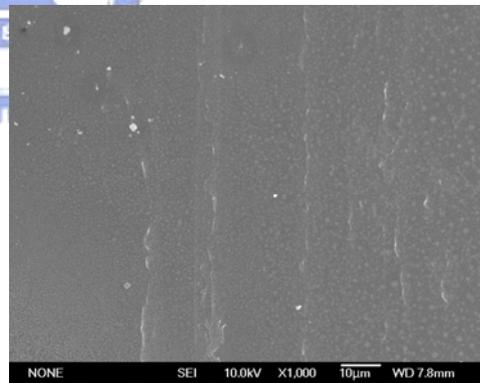
(a) 加熱機構熱源加熱 100°C



(b) 加熱機構熱源加熱 110°C

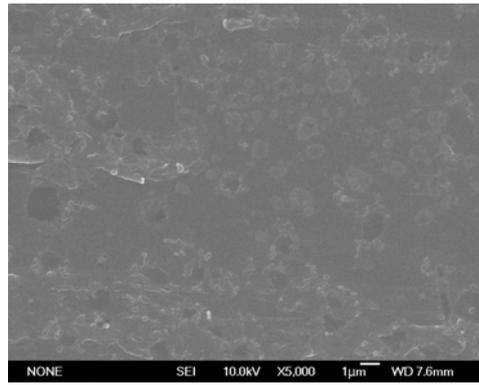
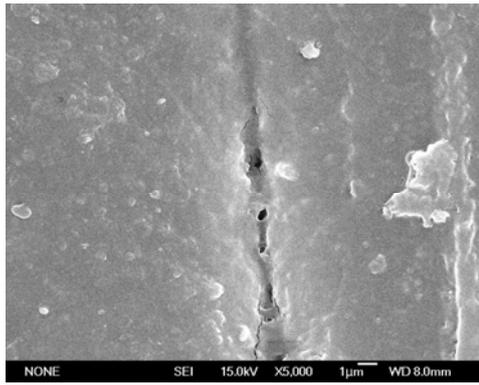


(c) 雙邊澆口不加熱

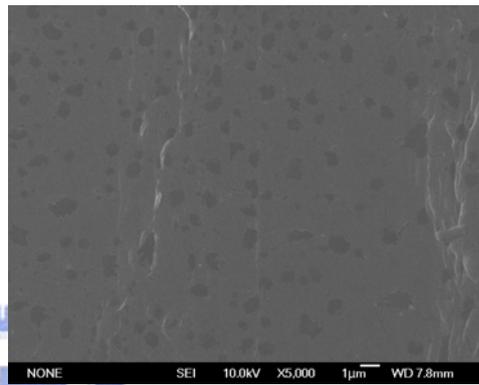
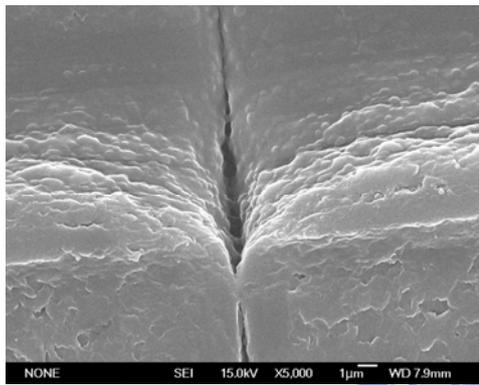


(d) 單邊澆口

圖 6.23 放大 1000 倍顯微照片

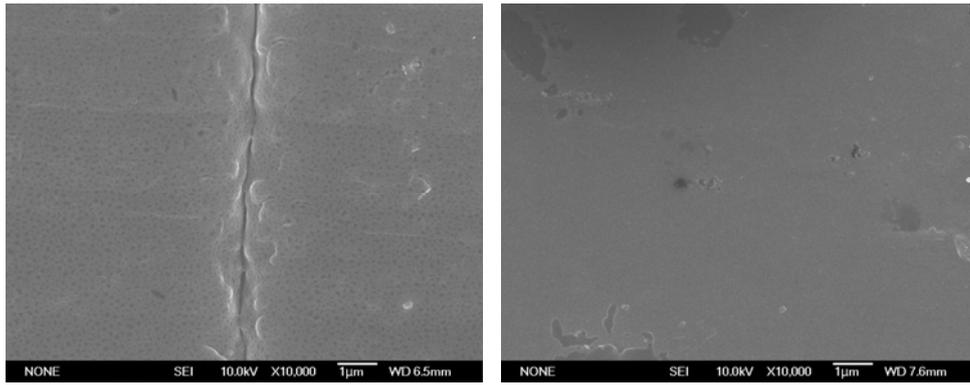


(a) 加熱機構熱源加熱 100°C (b) 加熱機構熱源加熱 110°C

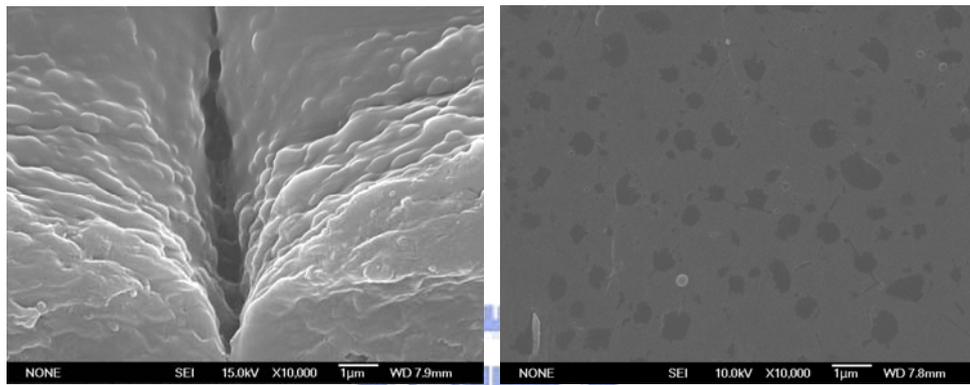


(c) 雙邊澆口不加熱 (d) 單邊澆口

圖 6.24 放大 5000 倍顯微照片

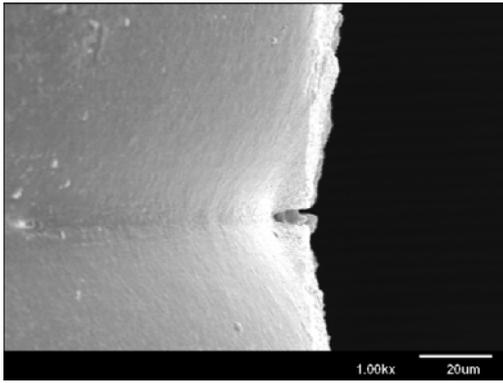


(a) 加熱機構熱源加熱 100°C (b) 加熱機構熱源加熱 110°C

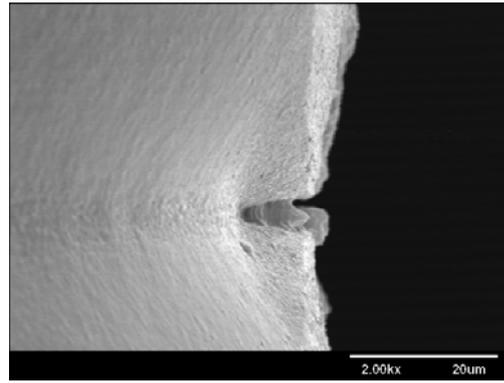


(c) 雙邊澆口不加熱 (d) 單邊澆口

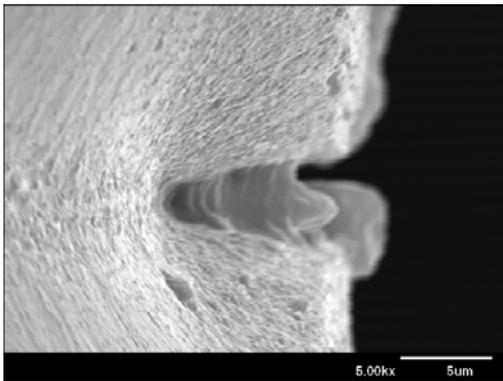
圖 6.25 放大 10000 倍顯微照片



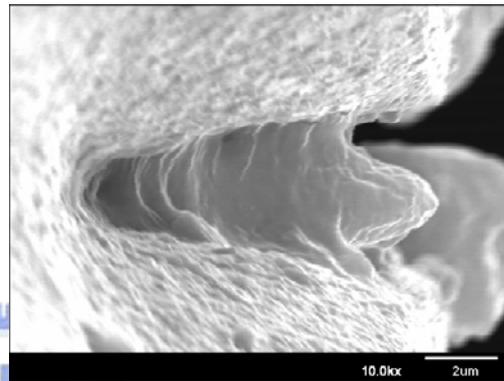
(a) 放大 1000 倍顯微照片



(b) 放大 2000 倍顯微照片

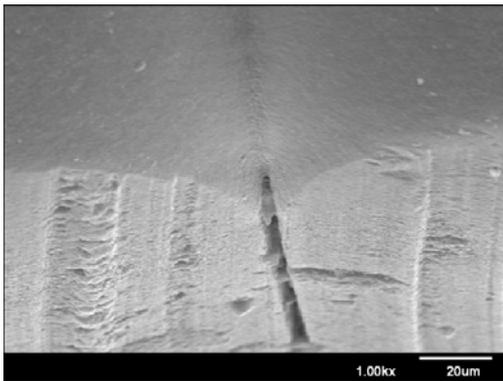


(c) 放大 5000 倍顯微照片

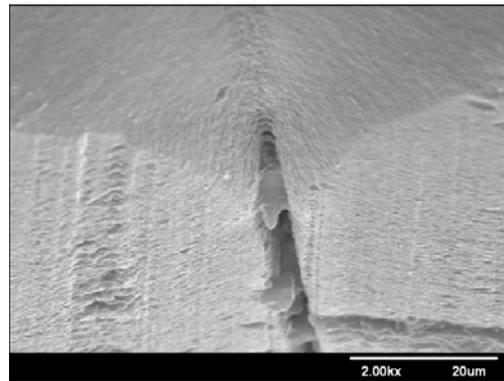


(d) 放大 10000 倍顯微照片

圖 6.26 未經加熱試片顯微照片

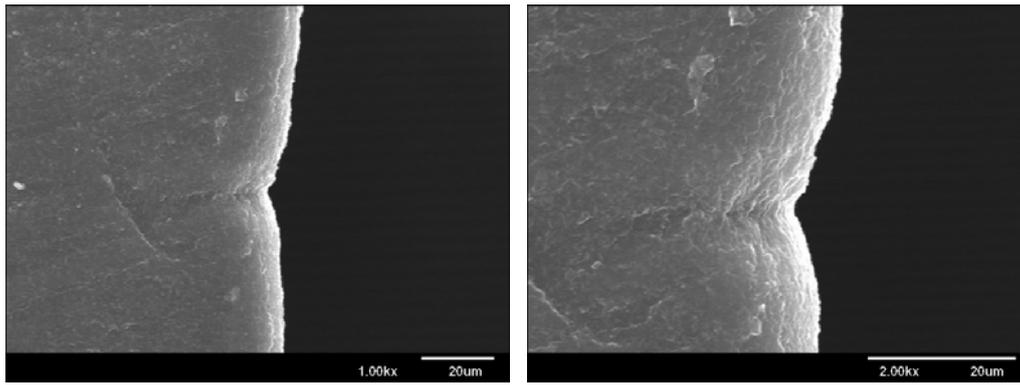


(a) 1000 倍



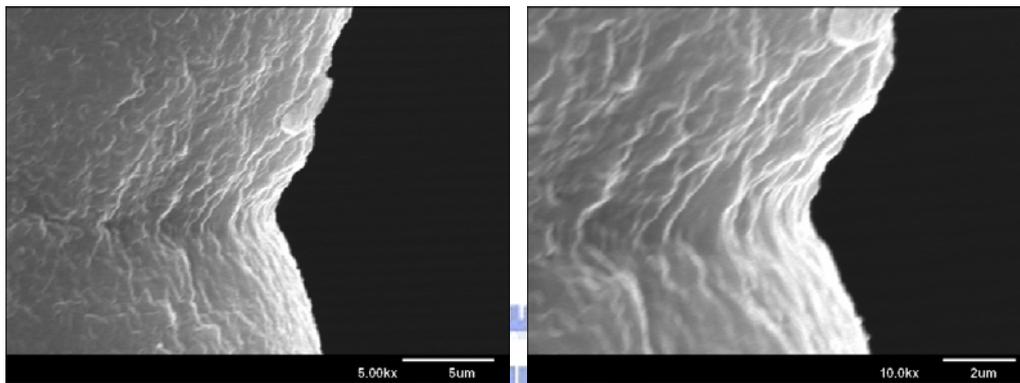
(b) 2000 倍

圖 6.27 未經加熱前視圖



(a) 放大 1000 倍顯微照片

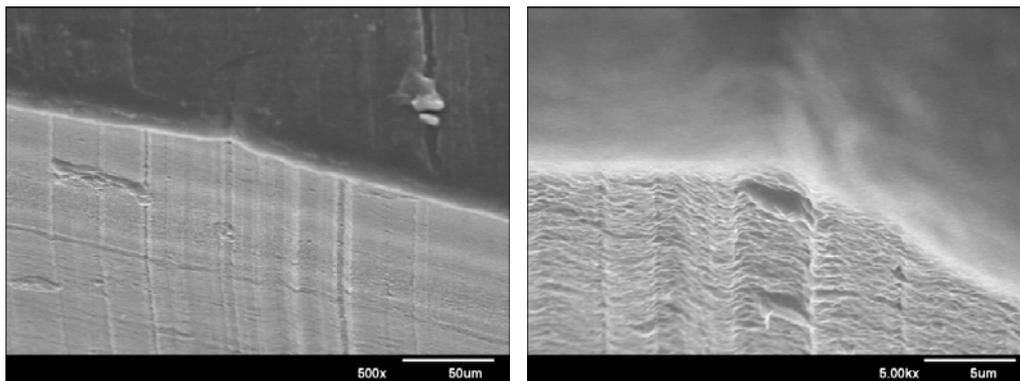
(b) 放大 2000 倍顯微照片



(c) 放大 5000 倍顯微照

(d) 放大 10000 倍顯微照片

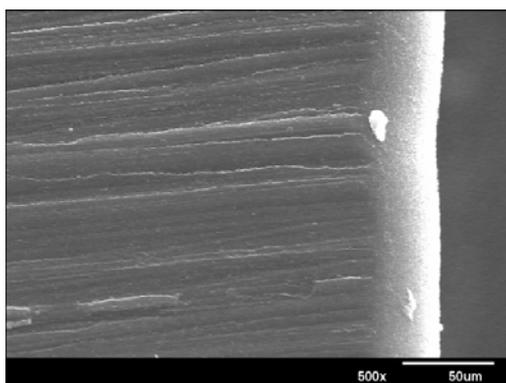
圖 6.28 單邊加熱試片顯微照片



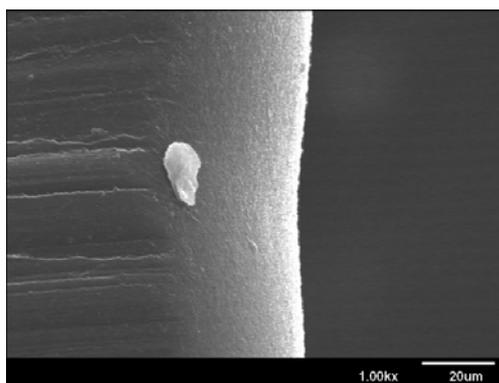
(a) 500 倍

(b) 5000 倍

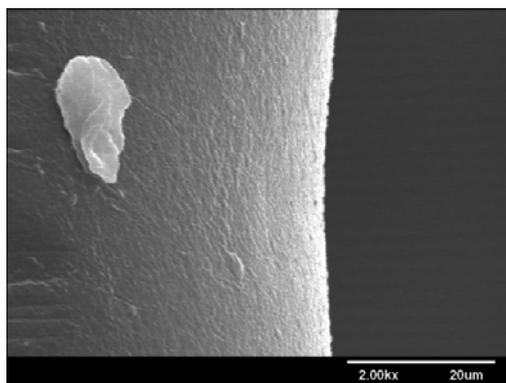
圖 6.29 單邊加熱前視圖



(a) 放大 500 倍顯微照片

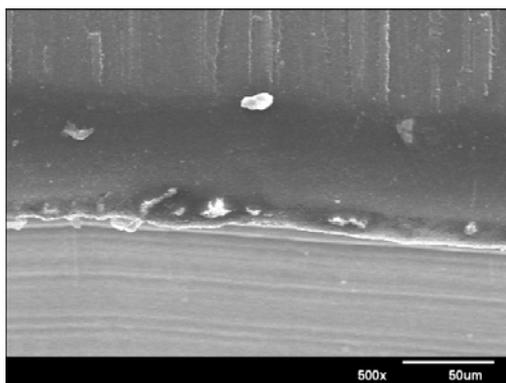


(b) 放大 1000 倍顯微照片

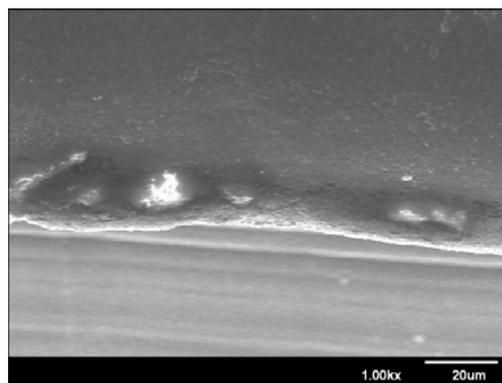


(c) 放大 2000 倍顯微照片

圖 6.30 雙邊加熱試片顯微照片



(a) 500 倍



(b) 1000 倍

圖 6.31 雙邊加熱前視圖