

第三章 光學玻璃平板熱壓實驗

3.1 熱壓技術介紹

熱壓成形技術原是一種傳統的機械加工技術，目前是微機電系統 (Micro-Electro-Mechanical System, MEMS) 製造高精度高品質塑膠微結構的重要成形技術之一。

熱壓成形技術係將模仁與被加工材置於上、下兩塊加熱板中央，先行將模具與材料進行預壓動作；預壓之目的主要有二，主要是欲固定初始壓印的位置，其次是讓上、下加熱板的溫度迅速且均勻地傳遞到模仁與材料；然後利用上、下兩塊加熱板的加熱，將溫度傳至模仁與材料，使材料溫度到達 T_g 以上，當材料在 T_g 以上才會開始軟化，在加熱過程中，加熱溫度太低則材料成形困難甚至造成材料的破壞，溫度太高則會影響成形品質與降低模具壽命。

當溫度達到工作溫度後，需加壓使之變形充填模穴達到壓印成形之目的，在壓印的過程中，過小的壓印壓力則會造成充填不足，無法達到壓印成形目的；過大的壓力雖可使材料在模穴中充填完整，但相對於模具而言，過大的壓力亦是一種損傷，會縮短模具的壽命。

壓印步驟完成之後，必須進行保壓動作，將溫度降至 T_g 點以下，方能卸載壓力進行脫模動作，保壓地目的是避免材料在降溫過程中產生收縮造成收縮變形，熱壓成形步驟示意圖如圖 3-1 所示。

透過文獻回顧整理可得知，熱壓成形過程中會對成品的影響參數與模具損耗的主要因素：

1. 溫度：溫度過低不但會使成形過程的充填性不足，亦會造成材料的損壞，但溫度過高時，不但影響品質，還會使模具壽命降低，

亦可能造成脫模困難。

2. 壓印壓力：在閉模熱壓時，壓印力越大，充填效果佳、形狀越精準，但會縮短模具的壽命；在開模熱壓時，過大的壓力，則會使胚料變形過度，反而無法達到所需的形狀精度。
3. 持壓時間：持壓時間不足，則玻璃在模仁內部充填不足，持壓時間過長不僅增加時間成本，亦會使玻璃過度變形，無法準確控制玻璃鏡片的外形尺寸。
4. 模仁的表面品質：模仁的表面粗度決定了成品的表面粗度；此之，模具過於粗糙會使充填效果差且在脫模時產生過大的摩擦力，會影響成品外觀精度及光學性質，模仁的表面品質過於良好雖可避免上述缺點但徒增模仁成本。
5. 脫模劑：脫模劑的添加有助於脫模的動作避免材料與模仁的黏著，但不當的脫模劑則會造脫模劑在成品表面的殘留，殘留在成品上的脫模劑亦會影響表面品質。
6. 殘留應力 (Residual Stress)：在成形與冷卻過程中，常使成形品內部產生的應力，若在成形品內部有過高的殘留應力，有時稍受外力或接觸時，成形品表面或內部會形成龜裂，造成元件日後的損壞，透鏡中若含有殘留應力時更會導致散射中心的誤差。

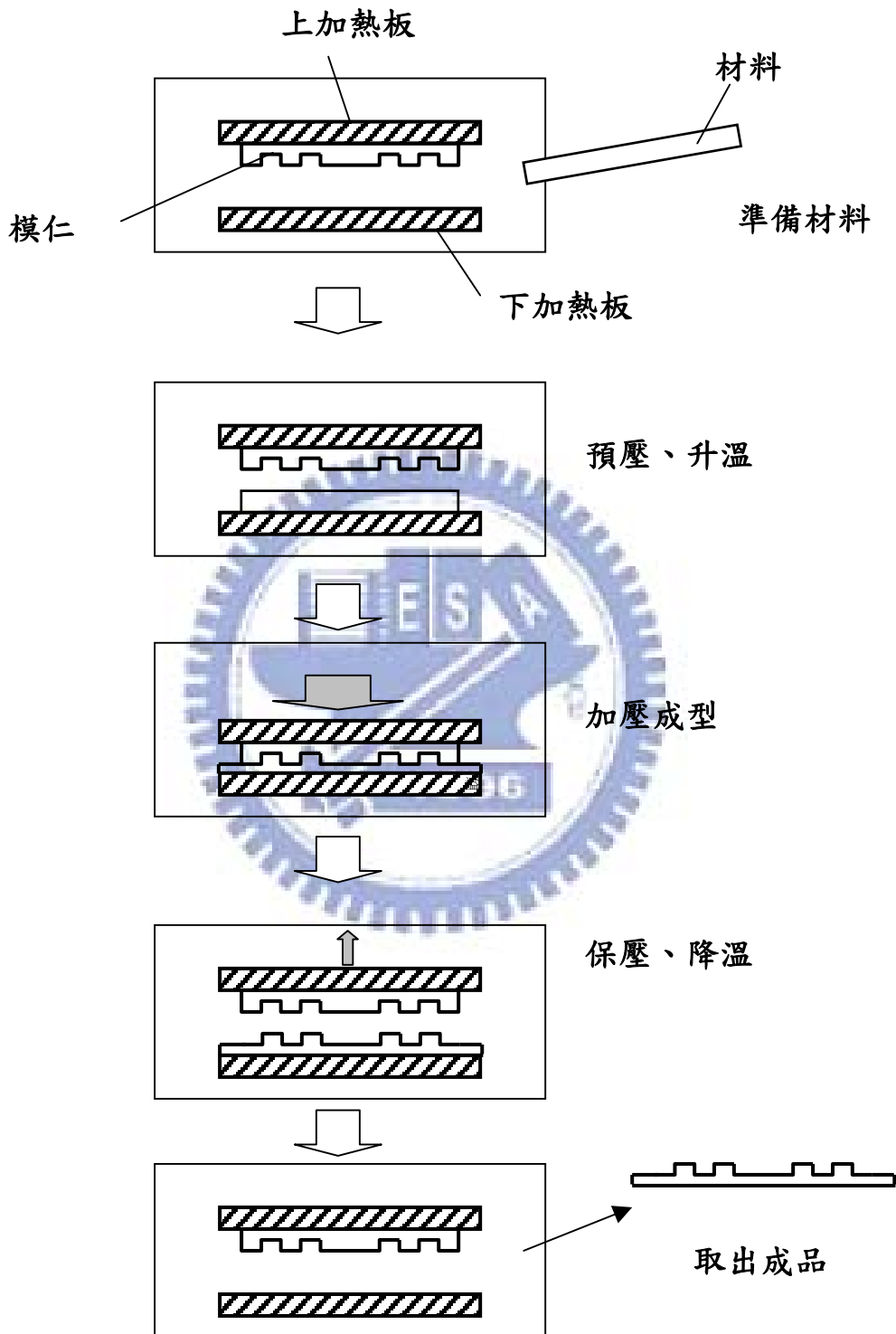


圖 3-1 熱壓成形步驟示意圖

3.2 實驗目的

本初步實驗主要目的有二；第一個目的在確認玻璃熱壓成形各項重要參數，並了解該組合參數對光學玻璃平板熱壓的影響，以取得較佳的光學玻璃熱壓參數組合，以俾往後的球面透鏡熱壓實驗，因此本階段的實驗設計為針對壓印溫度、持溫時間、脫模溫度、不同表面介質的鏡面板等重要參數進行初步實驗，而本實驗所探討的表面介質僅在於玻璃與介面層之間的黏著問題，故並未對鏡免板表面的粗糙度進行量測；由於本實驗所使用的熱壓成型機為塑性加工實驗室自行設計，並委外廠商製造，故另一個目的在於測試並修正此熱壓成型機的效能與誤差。

3.3 實驗器材

3.3.1 光學玻璃

本實驗所使用的為日本HOYA公司所製造編號為497816的FCD1光學玻璃壓胚品，FCD1是屬於極低色散玻璃(Extremely Low Dispersion Glass)品種，該型號光學玻璃是屬於含鉛玻璃，且具有較低的熔點，為HOYA公司針對玻璃模造技術所生產的胚料之一。

壓胚品是由光學玻璃廠先行加工的預成形體，主要供應球面透鏡研磨、拋光的加工廠，壓胚品製法是先將玻璃板切割成玻璃塊狀，而玻璃塊的大小依照壓胚品的重量來決定，其壓胚製程是以高溫衝壓方式成形；以FCD1的壓胚製程為例，先將塊狀玻璃毛胚放置於輸送帶，輸送帶會通過不同溫度區間的加熱爐，加熱爐的溫度範圍在400~600°C之間，最後再以900°C以上的高溫進行衝壓，即得玻璃壓胚品。

壓胚品的壓模是由海藻萃取物加工所製成的，壓模表面並非光滑的表面，所得到的壓胚品表面仍有明顯可見的孔洞；本階段所使用的壓胚品外觀圖與尺寸圖分別表示於圖 3-2、圖 3-3，其重要性質如表 3-1 所示。



圖 3-2 FCD1 壓胚品外觀圖

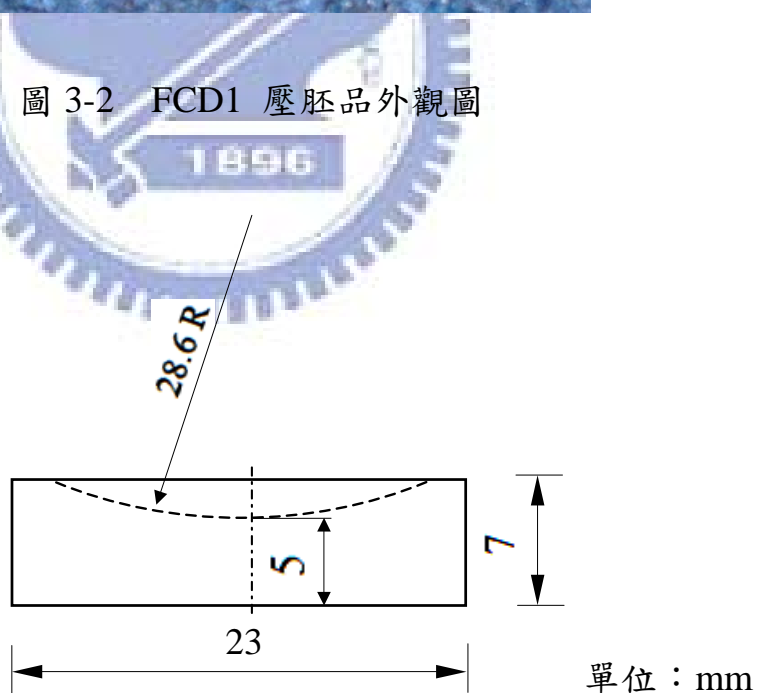


圖 3-3 FCD1 壓胚品尺寸圖

表 3-1 FCD1 性質表

玻璃轉移點 T_g (°C)	455
降伏點 A_t (°C)	485
線膨脹係數	-30~+70 (°C) : 133
α ($10^{-7}/^{\circ}\text{C}$)	+100~+300 (°C) : 155
應變點 S_{tp} (°C)	429
Knoop 硬度	345
n_d	1.497
ν_d	81.6

3.3.2 模仁-鏡面板

本階段實驗所使用的模仁尺寸為 50x50x2 (mm) 的鏡面板，鏡面板的材料是使用 SK3 工具鋼，分別以兩種不同的表面層條件，進行熱壓實驗，一是 SK3 板直接拋光而成的鏡面板，另一是 SK3 板拋光後表面層鍍膜，如圖 3-7 所示；其鍍膜層是由巨擘科技公司所提供，以物理氣相沉積法 (Physical Vapor Deposition; PVD) 在 SK3 鏡面板表面鍍 TiAlN 硬膜，該度膜層具備高耐氧化溫度，適用於高硬度模具鋼材之高速、乾式切削等各類切削刀具，及需耐溫、耐腐蝕性場合之模具、工具零配件，其鍍層資料如表 3-2 所示，外觀如圖 3-4 所示。

表 3-2 鍍膜層資料表

特性	品名	微硬度 (50g 荷重)	庫倫摩 擦係數	顏色	耐氧化溫度 (°C)	處理溫度
	氮化鋁鈦 TiAlN	Hv 3000~3500	0.4	暗紫色	850~1000	PVD 400~450



圖 3-4 鏡面板表層鍍 TiAlN (右) 與鏡面板 (左) 外觀圖

3.3.3 實驗設備-熱壓機

實驗所使用之熱壓機設備，其外觀如圖 3-5 所示，該設備是由本實驗室自行設計再委外製作的實驗專用機，為四柱式實驗專用機。此設備

是由材料壓縮試驗機、加熱板、隔熱板、溫度控制器等組成，控制器如圖 3-6 所示；位移控制是由伺服馬達驅動滾珠螺桿搭配減速機，驅使下壓板往上移動達到壓印的效果，再搭配旋轉編碼器(Rotary Encoder)來控制位移量；壓力控制部分使用壓力感測器(Load Cell)控制，由壓力感測器測定出壓力值，將數值傳回電腦經由計算再進行補償，溫度控制則使用熱電偶(Thermocouple)配合溫控表進行檢測與補償；熱壓設備之重要性能如表 3-3 所示。

表 3-3 熱壓設備重要性能表

最高荷重 (Kg)	2000	最小位移精度 mm	0.005
動力系統	伺服馬達 搭配減速機	溫度控制 ($^{\circ}\text{C}$)	500 ± 1
控制精度 (mm/min)	0.5~500	控制迴路	閉迴路 控制



圖 3-5 熱壓設備外觀圖



圖 3-6 控制器外觀圖

3.4 實驗步驟

本階段所使用的膜仁分為兩種不同表層條件，一為無鍍膜鏡面板，另一為表層鍍氮化鋁鈦板，其實驗步驟敘述如下：

1. 準備動作：將相同表層條件之兩鏡面板分別置於上、下加熱板表面；將熱電耦固定於鏡面板表面上，以最接近材料的位置為佳，然後將欲加工之光學玻璃置於兩鏡面板之中，其相關配置如圖 3-7 所示。
2. 預壓、升溫：將模具與工作物接觸施予預壓力後進行加熱。
3. 持溫、壓印操作：當溫度達到工作溫度後予以持溫，持溫之目的是欲使玻璃內外達到均溫，然後給定荷重進行壓印。
4. 保壓、降溫：壓印完成後進行保壓以防止被加工物在冷卻過程變形。
5. 脫模取出試片，並進行問題分析及參數修改。
6. 更換試片，並重複操作上述步驟。

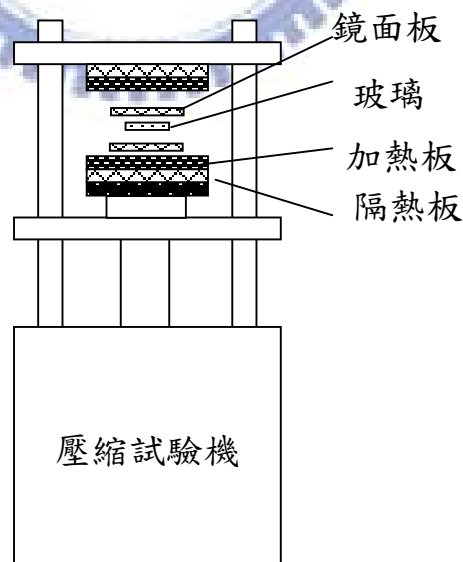


圖 3-7 玻璃平板熱壓主要配置圖

3.5 平板熱壓實驗結果與討論

3.5.1 實驗結果-鏡面板

實驗結果發現，表層未鍍膜的鏡面板在 490°C 的工作環境下已經氧化脫碳，如圖 3-8 所示，且其氧化層會污染玻璃表面，如圖 3-9；表面有鍍氮化鋁鈦硬膜層的鏡面板，鏡面板表面沒有脫碳現象，玻璃的表面沒有污染，且在脫模時不會有黏著的現象，如圖 3-10 所示，藉由此結果，以下的實驗將全部以鍍有 TiAlN 硬膜層的鏡面板進行實驗。

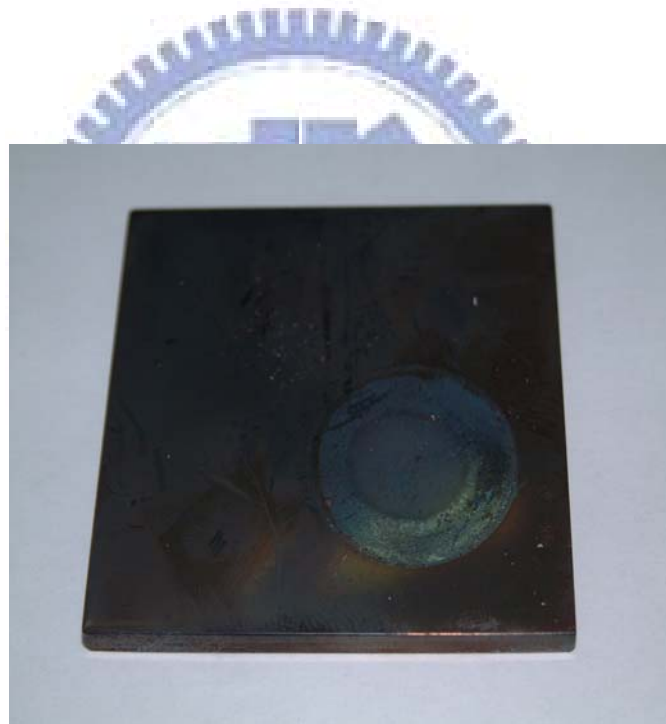


圖 3-8 未鍍膜鏡面板脫碳圖



圖 3-9 脫碳層污染玻璃表面圖



圖 3-10 有鍍氮化鋁鈦的鏡面板圖

3.5.2 實驗結果- FCD1 光學玻璃

在 FCD1 光學玻璃熱壓實驗中，根據文獻回顧所得到的資料，將實驗參數初步設定如表 3-4 所示，其熱壓結果如圖 3-11 所示。

表 3-4 平板熱壓實驗參數之初步設定表

預壓力 (N)	壓印溫度 (°C)	壓印力 (N)	壓印力速度 (N/min)
98	490	1177	980
持溫時間 (Sec)	持壓時間 (Sec)	保壓力 (N)	脫模溫度 (°C)
1200	180	98	160



圖 3-11 FCD1 光學玻璃邊緣崩裂圖

由實驗結果得知玻璃邊緣崩裂，根據判斷是由於持溫時間不足所造成的，當溫度升高至 490°C 時持溫 20 分鐘，而玻璃內部與玻璃表面會有溫度差，當施加壓力時則會造成玻璃邊緣的崩裂；根據此一結果，將實驗參數修正如表 3-5 所示，其熱壓結果如圖 3-12 所示。

表 3-5 平板熱壓第一次修正後的熱壓參數表

預壓力 (N)	壓印溫度 (°C)	壓印力 (N)	壓印力速度 (N/min)
98	490	980	980
持溫時間 (Sec)	持壓時間 (Sec)	保壓力 (N)	脫模溫度 (°C)
3600	180	98	160



圖 3-12 FCD1 光學玻璃碎裂圖

經由壓印過程中觀察得知，玻璃在壓印過程中碎裂，造成此一現象的主要原因是壓印力速度過高所導致；而導致玻璃最終僅剩 3mm 的主要原因是保壓力，使材料在保壓過程中持續變形；根據此一結果，將修改壓印力速度與保壓力等參數如表 3-6 所示，其熱壓結果如圖 3-13 所示。

表 3-6 平板熱壓第二次修正後的熱壓參數表

預壓力 (N)	壓印溫度 (°C)	壓印力 (N)	壓印力速度 (N/min)
98	490	980	490
持溫時間 (Sec)	持壓時間 (Sec)	保壓力 (N)	脫模溫度 (°C)
3600	180	49	160

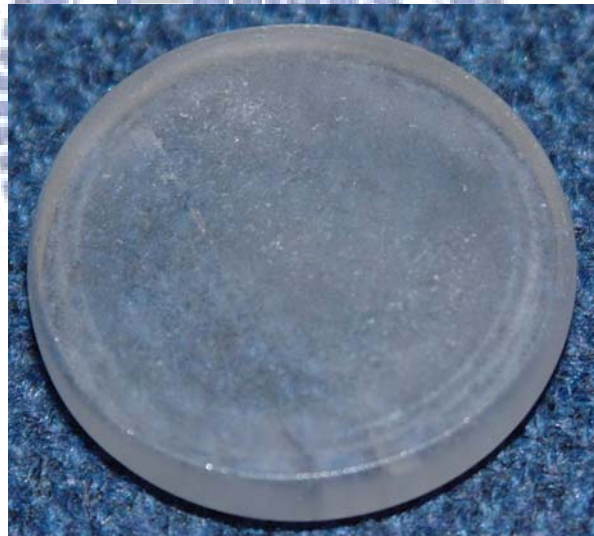


圖 3-13 玻璃內部有裂痕圖

經由壓印過程中觀察得知，即使壓印力速度降至 490 N/min 的壓印速度，玻璃仍然在壓印過程中內部有裂痕，為避免此一缺陷；則必須再將壓印力速度降低，修正後的熱壓參數如表 3-7 所示，其熱壓結果如圖 3-14 所示。

表 3-7 平板熱壓第三次修正後的熱壓參數表

預壓力 (N)	壓印溫度 (°C)	壓印力 (N)	壓印力速度 (N/min)
98	490	980	245
持溫時間 (Sec)	持壓時間 (Sec)	保壓力 (N)	脫模溫度 (°C)
3600	180	49	160



圖 3-14 FCD1 光學玻璃完整無裂痕圖

使用第三次修正的熱壓參數可以順利完成平板熱壓實驗，最終成品尺寸為外徑與厚度分別為 24.3mm 及 5.5mm，其壓印過程溫度-力量-時間如圖 3-15 所示。

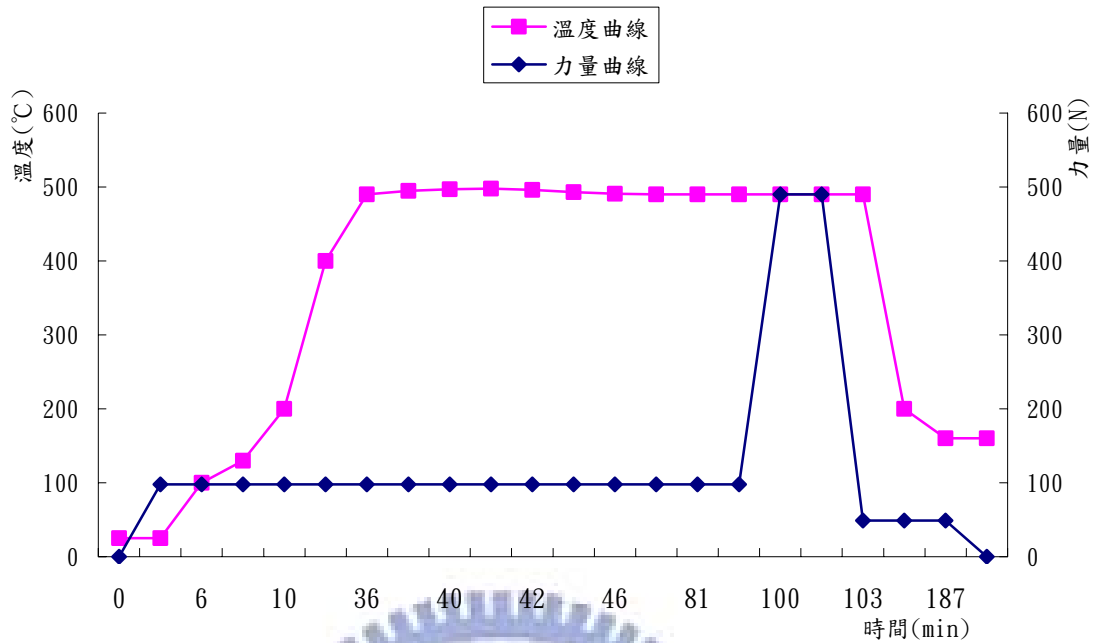


圖 3-15 玻璃平板熱壓之溫度-力量-時間圖

3.5.3 平板熱壓實驗結果討論

玻璃熱壓在高溫環境下操作，所使用的鏡面板若表層沒有鍍膜層會產生氧化，不僅損傷鏡面板亦會污染玻璃表面；本實驗用所使用的鍍氮化鋁鈦硬膜層鏡面板，適用於 FCD1 的熱壓作業環境。TiAlN 鏡面板對 FCD1 進行熱壓的結果，在壓印過程中沒有黏著現象

實驗過程中所量測到的溫度為模仁表面溫度，並非玻璃的真實溫度，唯有靠持溫讓玻璃整體達到工作溫度；當完成壓印行程進入保壓動作後，由於玻璃的溫度尚於 T_g 點以上，過大的保壓力將會使玻璃持續變形，故保壓力的作用不僅防止材料在冷卻過程的翹曲變形，亦是影響尺寸的重要因素，在脫膜時欲取出玻璃時應注意挾持與裝盛器具，該器具

若在無預熱情況下直接挾持、裝盛玻璃，則玻璃因受到熱衝擊而造成玻璃破損。

在玻璃的選擇方面，本實驗中所使用 FCD1 玻璃材均為壓胚品，而壓胚品是適用於研磨製程，其初始表面品質不佳，且藉由熱壓過程亦無法明顯改善表面品質，故欲以熱壓技術進行透鏡加工必須選用玻璃毛胚，且胚料表面的初始品質，會直接影響成品的表面品質，所以要進行玻璃透鏡的熱壓成形時，玻璃的前處理亦是重要的一環，在下一章將會有進一步的實驗與探討。

