

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 光學玻璃（微）熱壓成形之有限元素分析研究(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2212-E-009-015-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：國立交通大學機械工程學系(所)

計畫主持人：洪景華

計畫參與人員：蔡宇中、洪榮崇、羅正展、曾煌&#26826；

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 5 月 25 日

## 中文摘要

本計畫將針對光學玻璃材料熱壓及微熱壓製程進行有限元素分析，預定進行全程三年之研究。第一年完成了在材料模型之驗證，針對光學玻璃材料性質收集相關文獻，並採用三款適合進行玻璃熱壓製程之光學玻璃進行各項材料試驗，建立模擬所需之材料模型；接著利用本實驗室自行設計之熱壓機台完成了初步光學玻璃透鏡熱壓實驗，尋找出適當的製程參數，建立了與模擬分析對照用之數據資料，並找出最合理的製程模擬方式。

關鍵詞：有限元素分析、光學玻璃、熱壓成形、微熱壓成形、光學玻璃透鏡

## Abstract

In this research, scheduled for total three years, finite element analysis will be performed on the analysis and design of hot embossing and micro hot embossing process of optical glasses.

In the first year, this research focused on the verification of glass model used in the FEM simulation. Relevant references about optical glass material has been studied and material tests were performed on three kinds of optical glasses suitable for hot embossing to establish adequate material model for the simulation. Preliminary hot embossing with self-designed apparatus has been conducted on optical glass lenses to determine proper forming parameters and to construct the database for the comparison with FEM simulation results.

Keywords: Finite element analysis, optical glass, hot embossing, micro hot embossing, optical glass lenses

## 一、前言與目的

近年來由於數位科技的發展，3C 產業快速成長，全球數位產品的需求量大增，其中光學鏡片供應量不足的窘境在此時即被凸顯出來。所以如何增進光學鏡片的產量成為目前產學界積極研究的重點之一。

光學鏡片依使用的材質可以區分為光學玻璃 (Optical Glass) 與高分子材料 (Polymer Material) 兩大類，目前光學用高分子材料尚不斷的開發，以降低材料成本、降低製程成本、提高光學性質 (Optical Property) 為主要目標；玻璃鏡片的製造程序較繁複，且材料與製程成本較塑膠鏡片為高，但玻璃鏡片具有較佳的機械性質 (Mechanical Property)、熱穩定性 (Thermal Stability)、光學性質等特性，所以在要求高精密度的光學儀器設備中，玻璃鏡片仍保有塑膠鏡片所無法完全取代的優勢，再加上現在 3C 產品如：具有照相功能的手機，為求更高的解析度，其鏡頭所需之光學以及機械性質已非塑膠鏡片能滿足，但又需降低製造成本，開發大量製造光學玻璃鏡片的方法勢在必行。

傳統光學玻璃球面透鏡藉由研磨、拋光加工成形，即使同一模碗的球面透鏡也無法很精準的控制鏡片尺寸的均一性，且無法對非球面透鏡進行加工，已經無法滿足市場的需求；近年來亦有以單點鑽石 (Single Point Diamond) 為刀具，對玻璃進行超精密加工，即在成形機完成玻璃球面透鏡，然而超精密成形機的設備費用昂貴，且刀具成本高，目前尚未被廣用於鏡面的加工。玻璃熱壓成形技術，具有材料流動距離短、成形精度高、設備簡單等特性，任何一種製程所製作出來的模仁皆能經由熱壓成形技術來達到批量複製的目的，因此被認為是光學透鏡製造中用以降低成本，提高產量之關鍵技術。

然而，目前在玻璃熱壓成形技術上，仍有許多問題亟待克服，像是成形與冷卻過程中產生的殘留應力若過高，稍受外力或接觸時會在成形品表面或內部形成龜裂，造成元件損壞；透鏡中若含有殘留應力時更會導致散射中心的誤差，影響光學性質；以及在溫度、壓印力、持壓時間這些製程參數的設定上，現在仍須以試誤法進行多次的實驗才能得到較佳之設定。當胚料不同時，則需再重

複試驗，耗費成本及時間。

所以本研究的目的在以有限元素數值模擬的方式，模擬光學玻璃材料之性質，進行光學玻璃成形製程之模擬分析，探討製程參數對於元件成形性以及殘留應力之影響，作為製程參數調整與模具設計之參考，以縮短製程研發所需之時間，降低製造成本，並增進產品品質與競爭性。

## 二、文獻探討

目前國外有 Saotome 等 [1] 對兩種光學玻璃在  $T_g$  點到  $T_g$  點 + 30 度的溫度範圍條件下進行壓縮實驗，得到不同溫度下真實應力與應變率的關係，證實了該溫度區間玻璃可視為牛頓黏滯流 (Newtonian viscous flow) 亦即表示黏度係數 (Viscosity coefficient) 為一常數；Shishido 等 [2] 針對玻璃熱壓時玻璃與模仁間之貼合程度進行研究，發現貼合程度將隨著玻璃表面張力的變化而改變，而貼合度的變化也會影響成形後的複製精度；D. Zhong 等 [3]，對於玻璃模造裡模仁進行熱機械特性的有限元素分析，探討模仁幾何形狀、材料，以及鍍膜層材料對於鍍膜模仁的影響；Anurag Jain 等 [4-6] 以商用 FEM 軟體建立 2D 軸對稱模型進行分析，將成形時的玻璃視為牛頓流體 (Newtonian fluid)，且具有黏彈性 (viscoelastic) 的材料行為，並將黏度與溫度的相關性以及模仁與胚料界面的熱傳皆考慮進去，探討模造製程參數對成品品質的影響。國內則有邱 [7] 以數值方法分析玻璃鏡片壓製成形整個製程中的溫度場；王 [8] 以陣列式 V 形槽結構分別對 FCD1 及 SF2 光學玻璃材料進行微熱壓印實驗，探討製程中各種參數對玻璃微熱壓成形特性的影響，且對成形中產生的缺陷探討其原因及改善方法，得知 FCD1 材料較適合應用在微熱壓成形製程，適合的壓印溫度介於轉移點與軟化點之間。

本實驗室的黃 [9] 自行設計與製造球面透鏡的模仁，並探討不同材質與鍍膜之模仁表面的品質，並以 FCD1 光學玻璃胚料製成平面透鏡，使用實驗室自行設計之熱壓設備 (如圖一)，藉由熱壓技術將平面透鏡壓印成球面透鏡，得到下述結論：壓印時階段式升、降溫可以避免玻璃於升、降溫過程中破

損；熱壓這種開模式壓印成形當壓印力越大時，玻璃在模仁內的填充性越佳，但也會使玻璃的中心厚度減小，所以在此製程上，除了壓印壓力會影響填充性，持壓時間亦會明顯的影響填充性；此實驗壓印出之球面透鏡，其透鏡中心較外圍部分具有較低的殘留應力。

### 三、研究方法

由於應用於光學玻璃熱壓模擬分析之材料性質目前在相關文獻探討中並無定論，所以本計畫一開始即針對適合進行玻璃熱壓製程之光學玻璃進行各項材料試驗。採用的是日本 OHARA 公司所生產，三種各具有不同玻璃轉移點溫度，且玻璃轉移溫度皆低於 500°C 以下之光學玻璃。利用試驗結果，輔以各式材料性質相關文獻進行比對，評估材料模組之可行性，並進一步規劃是否需要其他的材料試驗，以修正並取得最適當之材料模型，提供下階段模擬分析所用。接著利用本實驗室自行設計之熱壓機台進行初步光學玻璃透鏡熱壓實驗，最初先採用黃[7]所採用的實驗參數，並搜尋業界目前在光學玻璃熱壓上的製程參數，接著再配合本研究採用之光學玻璃進行實驗參數的調整，最後以調校後的參數如：升降溫時間、持溫時間、持壓時間等，建立與模擬分析對照用之數據資料，找出合理的製程模擬方式。

### 四、結果與討論

研究中首先針對三種各具有不同玻璃轉移點 ( $T_g$ ) 之熱壓用光學玻璃材料 (S-FPL51、S-FPL52 和 S-FPL53) 進行材料試驗，以數種不同溫度條件分別進行壓縮試驗。由壓縮實驗結果 (如圖二至圖四) 可以得知：在熱壓成形溫度下，玻璃的應力—應變行為無法單純使用線性彈性行為表示，此時已接近超彈性 (hyperelastic) 此種非線性彈性之行為。而從以往的文獻中得知玻璃亦具有黏彈性的行為，因此在本計畫中也在數種不同溫度條件下分別進行了應力鬆弛試驗來驗證玻璃的黏彈性行為，並取得模擬此種材料行為所需之數據。實驗結果如圖五至圖七。綜合上述兩實驗結果可知：光學玻璃在進行熱壓時，

單一的材料行為並無法完全的描述此時的力學狀況，而是需要以複合式的材料行為來做解釋。所以在進行下一階段研究時，將以黏彈性與超彈性複合之材料模型進行模擬分析。

研究中另針對模擬所需用到的熱膨脹係數委託台北科技大學的奈米光電磁材料技術研發中心進行量測，實驗結果如圖八至圖十。在先前文獻裡，對於玻璃於製程中的熱膨脹係數一般是以未超過玻璃轉移點之溫度下取定值進行探討；然而對熱壓成形而言，因於製程中溫度的歷程會經過玻璃轉移點，所以在模擬分析裡必須將超過玻璃轉移點之熱膨脹係數也考慮進來，如此才能使模擬分析更貼近實際狀況。

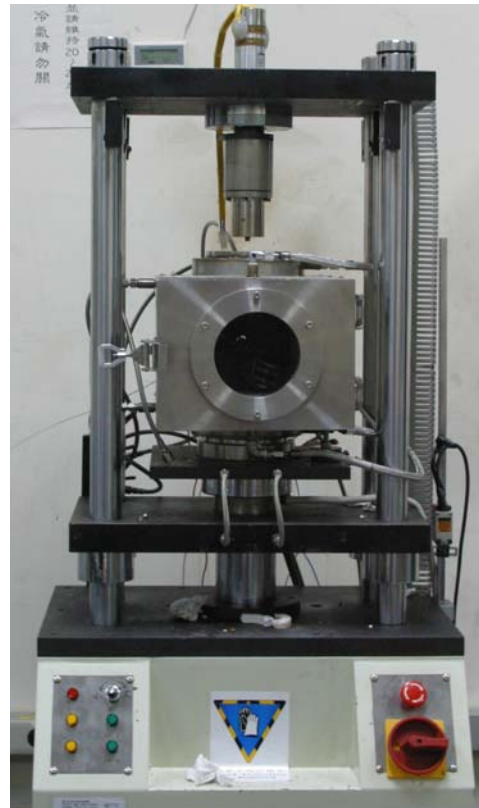
除了以上對於材料性質的試驗外，本研究更進行了初步光學玻璃透鏡熱壓實驗。在實驗中，使用玻璃珠作為粗胚 (如圖十一)，模仁採用的是日本 Toshiba Tungaloy 公司生產的碳化鎢；由先前之文獻討論[3]、[9]可得知：在進行熱壓成形時，直接以碳化鎢模仁進行熱壓在脫模時玻璃會沾黏在模仁上，而藉由模仁表面的鍍膜處理可以降低此沾黏狀況。在本研究中採用的鍍膜層為氮化鉻鈦。由於熱壓實驗裡欲製作的光學玻璃成品為兩面皆為凸面的球面透鏡，因此在模仁幾何外型的設計上，將模仁製作成上 (下) 兩面皆為凹面之形狀 (如圖十二)。實驗裡將製程環境升溫至玻璃轉移點以上，其中製程溫度對時間的關係如圖十三，實驗結果如圖十四。從製程實驗中，可以得到下階段模擬分析對照用之數據，且製程參數如：升降溫過程對時間的關係、持溫與持壓時間等，則可帶入模擬分析中，取得初始模擬結果，與實驗對照之後可再進行回歸分析，取得最佳製程參數。

### 五、計劃成果自評

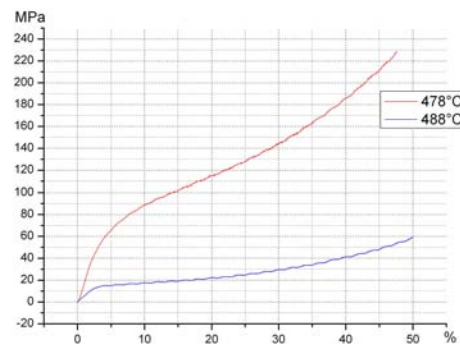
本研究已達成本年度中之預期目標，已藉由各項材料試驗，找出適當之材料模型；並進行初步熱壓成形製程實驗，取得下階段模擬分析對照用之數據資料，現可進入後續計畫之執行。

## 六、參考文獻

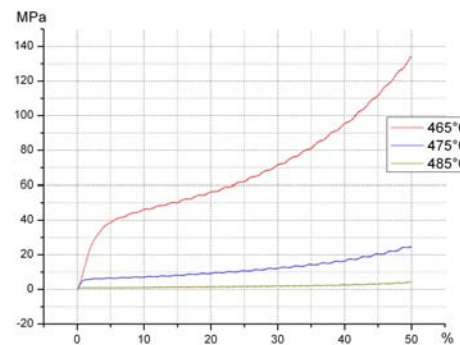
1. Yasunori Saotome, "Microformability of optical glasses for precision molding", Journal of Materials Processing Technology, 140, pp. 379-384, Step 2003.
2. Koro Shishido, Masao Sugiura, and Tetsuo Shoji, "Aspect of glass softening by master mold", Proceedings of SPIE, v. 2536, pp. 421-433, 1995.
3. D. Zhong, G.G.W Mustoe, J.J. Moore, J. Disam, "Finite element analysis of a coating architecture for glass-molding dies", Surface and Coatings Technology, 146-147 pp.312-317, 2001.
4. Anurag Jain, Allen Y. Yi, "Numerical Modeling of Viscoelastic Stress Relaxation During Glass Lens Forming Process", J. Am. Ceram. Soc., 88 [3] pp.530-535, 2005.
5. Anurag Jain, Gregory C. Firestone, and Allen Y. Yi, "Viscosity Measurement by Cylindrical Compression for Numerical Modeling of Precision Lens Molding Process", J. Am. Ceram. Soc., 88 [9] pp. 2409-2414, 2005.
6. Allen Y. Yi, Anurag Jain, "Compression Molding of Aspherical Glass Lenses-A Combined Experimental and Numerical Analysis", J. Am. Ceram. Soc., 88 [3] pp.579-586, 2005.
7. 邱志宏, 玻璃鏡片壓製成形過程之傳熱分析, 國立清華大學動力機械工程研究所碩士論文, 1995年6月。
8. 王興邦, 玻璃微熱壓之成形特性研究, 國立交通大學機械工程研究所碩士論文, 2002年6月。
9. 黃建溢, 光學玻璃球面透鏡熱壓成形研究, 國立交通大學機械工程研究所碩士論文, 2004年6月。



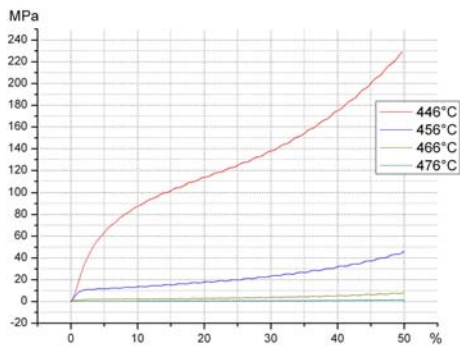
圖一 熱壓設備外觀圖



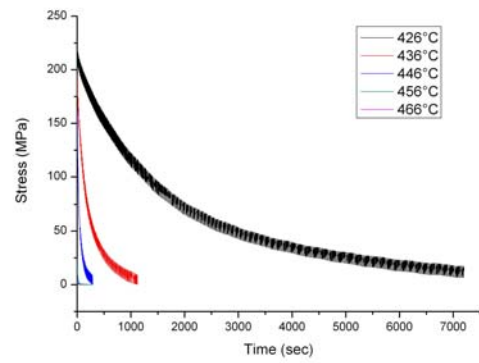
圖二 玻璃壓縮實驗結果 I (S-FPL 51)



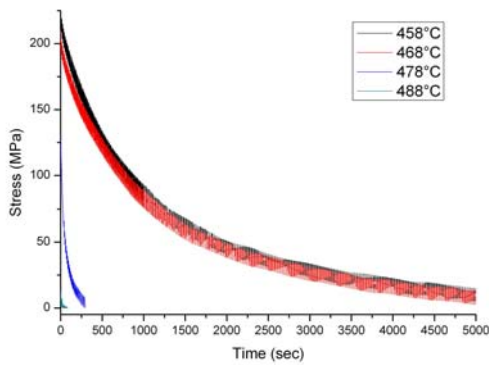
圖三 玻璃壓縮實驗結果 II (S-FPL 52)



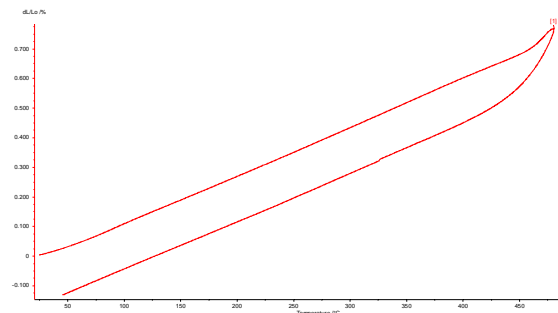
圖四 玻璃壓縮實驗結果 III (S-FPL 53)



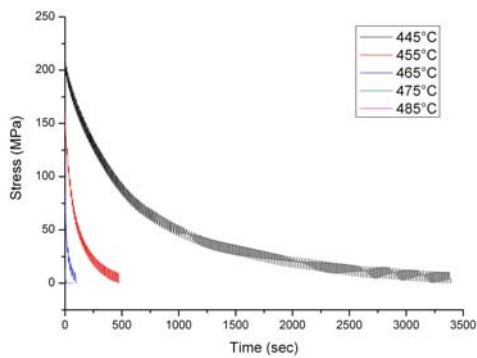
圖七 應力鬆弛實驗結果 III (S-FPL 53)



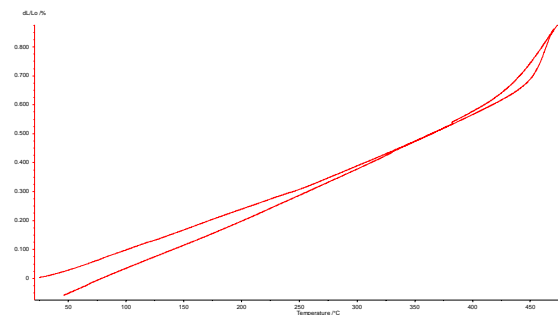
圖五 應力鬆弛實驗結果 I (S-FPL 51)



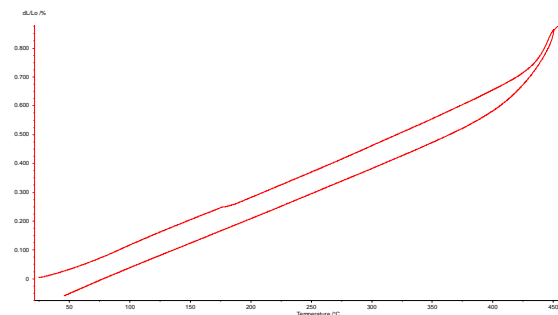
圖八 熱膨脹量測結果 I (S-FPL 51)



圖六 應力鬆弛實驗結果 II (S-FPL 52)



圖九 熱膨脹量測結果 II (S-FPL 52)



圖十 熱膨脹量測結果 III (S-FPL 53)



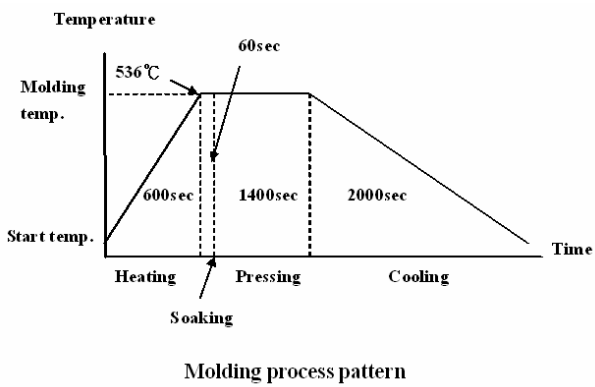
圖十一 以玻璃珠作為粗胚



圖十四 上下兩面皆為凸面之透鏡成品



圖十二 具有凹面之上模仁（與下模仁形狀相同）



圖十三 製程溫度對時間關係圖