

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

顯示屏光學元件之有限元素模擬分析

計畫編號：NSC 90-2212-E-009-032

執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

主持人：洪景華 國立交通大學機械工程學系

一、中文摘要

顯示屏光學元件是一種大尺寸具微細結構的元件，通常利用高分子材料熱壓製造。

本研究利用有限元素軟體 ABAQUS，模擬高分子薄板之熱壓成形製程。在材料性質方面，以非線性黏彈性 (Nonlinear viscoelastic, NVE) 之數學模式來表現高分子材料在橡膠態 (Rubber-like) 時之材料特性，並透過單軸壓縮試驗、平面壓縮試驗及剪應力潛變試驗，以取得相關的材料參數。模擬所得試片之徑向壓力分布與實驗結果相接近，證實所建立之模組能有效模擬高分子薄板之熱壓成形製程。

關鍵詞：ABAQUS，有限元素法，高分子薄板，非線性黏彈性，橡膠態

Abstract

Finite element simulation of the hot pressing process has been performed using ABAQUS. The viscoelastic polymer (Polymethyl Methacrylate) used in this study has mechanical properties that depend on temperature and working pressure. Based on the nonlinear viscoelastic model, the polymer material behavior is successfully simulated with the data obtained from material tests. Simulation results conform to related experiments, indicating that the approach can accurately predict pressure distribution within polymer hot pressing.

Keywords: Finite element method, Hot pressing, Polymer, Nonlinear viscoelastic,

二、緣由與目的

高分子 (Polymer) 是一種由無數個分子 (Molecules) 以長鏈狀態所結合而成的物質。一般而言高分子材料包含塑膠 (Plastics) 與橡膠 (Rubber) 兩大類。根據統計，全球塑膠的體積使用量已於 1981 年超越了鋼鐵的體積使用量，可見塑膠的使用已明顯地影響人類的的生活。

日常生活中所接觸到的塑膠製品，大多數是以射出成形法加工製造的，但是受限於射出成形機本身之限制，大尺寸的產品無法以射出成形法製造。另外像目前很熱門之微機電系統 (MEMS)，其主要之微製造技術 - 光刻電鑄模造技術 (LIGA process) 的最後一道製程 - 微成形 (Micromolding)，常利用熱壓成形法來製造微細結構或光學元件等產品。所以熱壓成形這種適合於形狀較複雜或尺寸較大的工件或對變形速率敏感的材料之製程，有其產業界與學術上之研究價值。

民生消費市場中的內投影電視機 (圖 1) 之顯示屏 (圖 2) 有兩個主要構件：Fresnel 透鏡和分光片；不論是單層板顯示屏、雙層板顯示屏或是交叉分光顯示屏，均是利用 Fresnel 透鏡來聚光，另外以分光片將光線均勻擴散。而以光學塑膠作為材料之分光片在設計上考慮的重點有三：第一，如何將影像光更有效地分配至觀賞者的方向。第二，如何提高對比。第三，如何使畫面的亮度均一。而這些因素又受熱壓成形時的製程參數所影響。

熱壓成形法如圖 3 所示，它是屬於擠壓方式的鍛造法，能在低的、固定的工作速率下維持穩定的力量作用在工件上，在製程上，熱壓成形可分為三步驟：

步驟一：升溫。將模具、工件加熱至工作溫度。

步驟二：加壓。以模具對工件加壓。

步驟三：保壓降溫。維持一定的壓力大小，將模具、工件冷卻至室溫後脫模取出完成品。

為瞭解熱壓製程中，材料之力學機制及製程參數對產品之影響，本研究以有限元素數值模擬的方法研究熱壓成形；首先進行各種材料實驗以取得高分子材料在工作溫度時之材料特性，並結合非線性黏彈性數學模式以表現材料之行為；接著進行高分子薄板之熱壓模擬，模擬材料在熱壓時之表面壓力分布情形，再與實驗結果進行比較，藉以釐清高分子熱壓成形之力學機制，瞭解製程中材料之流動特性，並建立可行的顯示屏元件熱壓模擬模組。

三、材料特性

為了瞭解壓克力在橡膠態時之材料特性，並取得模擬所需之材料參數，研究中對壓克力進行下列材料實驗：

(1)單軸壓縮實驗

試片規格及試驗參數參考 ASTM 695[4]，試片直徑為 12.7mm，長度為 25.4mm，測試速度為 0.1mm/sec，位移為 8mm，實驗溫度為 160°C。

(2)平面壓縮實驗

試片直徑為 81.6mm，厚度為 2.02mm，測試速度為 0.1mm/sec，位移為 1mm，實驗溫度為 160°C。實驗過程中材料與模具之接觸面積不斷變大，所以在計算材料之應力時，必須使用實際的接觸面積，才能獲得真實的應力值。

(3)剪應力潛變實驗

高分子材料在高溫下具有很明顯的潛變現象，所以必須進行潛變實驗，以瞭解壓克力在熱壓製程中的材料時間效應；實驗試片的直徑與厚度分別為 25.4mm 與 1.8mm，實驗溫度為 180°C，施加負荷為 1000Pa 之固定剪應力，測試時間為 900 秒。

(4)熱膨脹係數

參考文獻[5]中所使用之線膨脹係

數值，在玻璃轉移點(Tg)以上為 $7e-5$ °C⁻¹，而 Tg 以下為 $4.5e-5$ °C⁻¹。

由單軸壓縮實驗與平面壓縮實驗可獲得壓克力之應力-應變關係，代入有限元素軟體中，可表現出材料的非線性彈性特性；而剪應力潛變實驗所獲得之應力鬆弛模數(Stress relaxation modulus)與時間的關係，代入程式中則可表現出材料的時間效應。

四、數值模擬

在 ABAQUS 軟體中，使用 HYPERELASTIC 配合 VISCOELASTIC 的指令來表現壓克力的非線性黏彈性行為，再利用壓克力材料試驗所得之數據換算出適當的黏彈性材料參數。

試片為半徑 55mm，厚度為 2mm 之壓克力板，模擬時以混合的 4 節點、軸對稱 CAX4H 元素，並採用與壓縮試驗相同之材料參數；模具則設為剛體，模具與工件間之邊界條件為不滑動；工作溫度 160°C，施加負荷為 75194N，加壓時間取 100、200 及 300 秒三種；模擬後擷取工件表面中心及距中心 15、30、45mm 處之壓力值，並與實驗量測值作比較。

五、結果與討論

圖 4 中的兩條曲線分別為單軸壓縮實驗與平面壓縮實驗所得之應力-應變曲線，圖中的曲線為非線性曲線，且觀察試驗結果得知，試片在負荷解除後幾乎回復至初始長度，顯示出壓克力在 160°C 時呈現非線性的彈性行為；平面壓縮產生的應力值大於單軸壓縮所產生的應力值，顯示壓克力在橡膠態的材料性質受到試片尺寸的影響。在模擬中同時採用此兩組數據，以充分顯現出材料的行為特性。

圖 5 為壓克力在 180°C 時之應力鬆弛模數、潛變順從(Creep compliance)與時間之關係，從圖中可看出在 150 秒內應力鬆弛模數快速下降，顯示在熱壓的過程中材料的時間效應不容忽略。另外，流變學[6]

的書中提到，高分子材料的應力鬆弛模數具有時間與溫度的加成特性，其應力鬆弛模數曲線會隨著溫度變化而平移；而橡膠態的高分子應力鬆弛模數曲線，可用 WLF 方程式來預測其隨溫度變化而平移的程度，所以可以將 180°C 的實驗數據帶入 WLF 方程式中，換算出所需的 160°C 應力鬆弛模數曲線。

圖 6 為 75194N 負荷下之壓力分布結果，可看出模擬與實驗量測結果相當吻合，證實所建立之高分子熱壓成形之模擬模組已相當可信。

本研究以非線性黏彈性的數學模式，搭配由單軸壓縮實驗、平面壓縮實驗及潛變實驗所得之材料參數，模擬高分子薄板之熱壓成形製程，經由與實驗結果相較，證實所建立之高分子熱壓成形之模擬模組已相當可信；若數值運算的能力能進一步加強，相信在模擬具有細微表面結構之顯示屏分光片或 Fresnel 透鏡等元件時將是可行的。

六、計劃成果自評

本研究已達成最初之預期目標，並發表一篇論文於國際期刊上[8]

六、參考文獻

1. L.S. Schmidt, and J.F. Carley, "Biaxial Stretching of Heat-Softened Sheets: Experiments and Results", Polymer Engineering and Science, Vol. 15, no. 1, 1975.
2. A.J. Day, J.M. Allport, W.P. Fischer, P.D. Coates, A. Mimaroglu, "Finite element modeling of Polymer Deformation Process", ABAQUS User's Conference, pp. 151-163, 1993.
3. P. Krishnaswamy, M.E. Tuttle and A.F. Emery, "Finite Element Modeling of Crack Tip Behavior in Viscoelastic Materials. Part 1 : Linear Behavior", International Journal for Numerical Method in Engineering, Vol. 30, pp. 371-387, 1990.
4. "Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics", ASME, D695-80.
5. 林建中，"聚合物物性(高分子機械性質)"，1999。
6. 劉士榮，"高分子流變學-塑膠之加工特性"，1995。

7. ABAQUS User's Manual Version 6.2, HKS, Inc., 2001.
8. C.-R. Lin, R.-H. Chen and C. Hung, "The Characterisation and Finite-Element Analysis of a Polymer under Hot Pressing", the International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 20, pp. 230-235, 2002

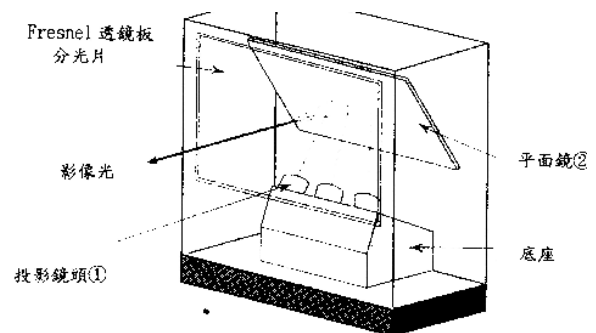


圖 1 內投影電視機

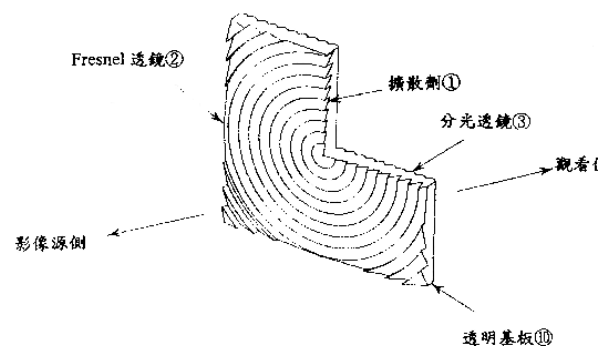


圖 2 顯示屏

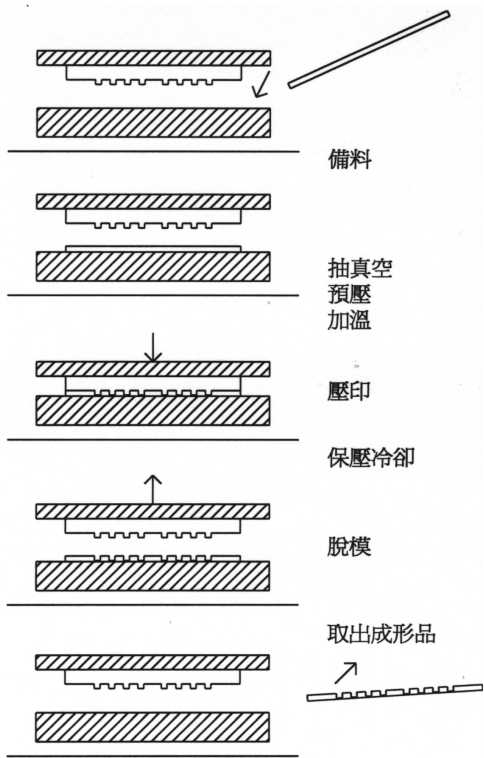


圖 3 熱壓成形示意圖

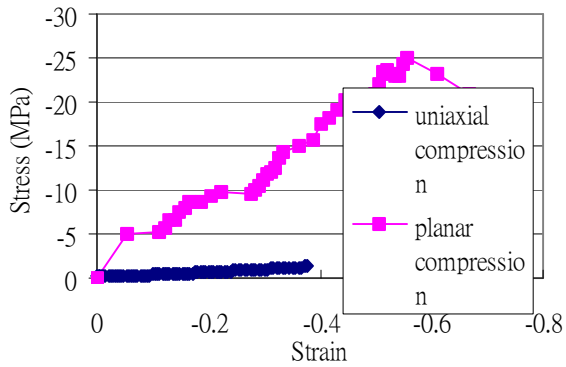


圖 4 應力-應變之實驗值

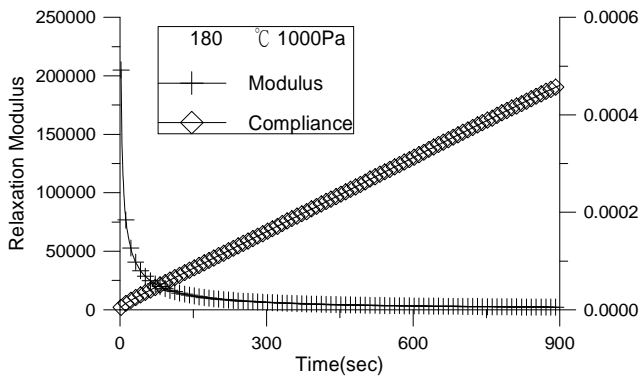
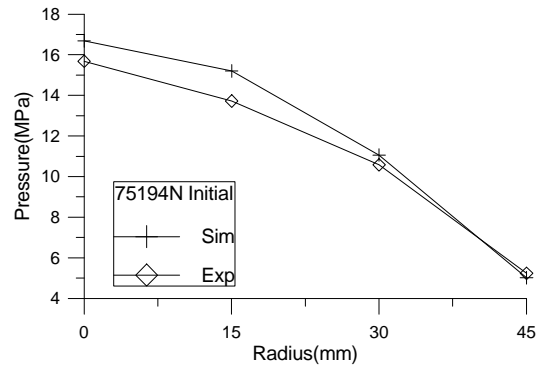
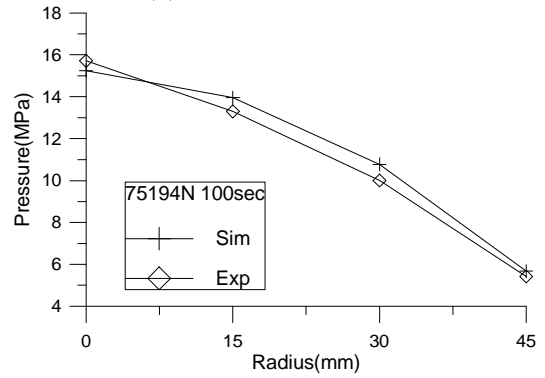


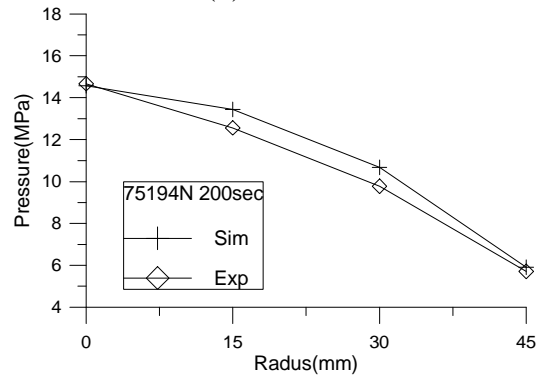
圖 5 潛變實驗



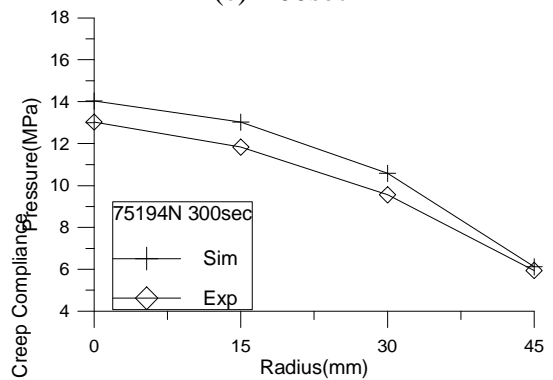
(a) Initial of contact



(b) 100sec



(c) 200sec



300sec

圖 6 75194N 負荷下之壓力分布結果

