

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫一：楔型板件精密射出與射出壓縮成形研究（II）

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2212-E-002-071-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學機械工程學系暨研究所

計畫主持人：楊申語

共同主持人：楊申語

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 12 月 13 日

計畫名稱：光學精密元件射出成型之整合研究(II)-子計畫

一：楔型板件精密射出與射出壓縮成型研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 92 - 2212 - E - 002 - 071

執行期間： 92年 08月 01日至 93年 07月 31日

計畫主持人：楊申語

共同主持人：陳炤彰、沈永康

計畫參與人員：粘世智、柯岱佑

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣大學機械工程學系

中 華 民 國 93年 10月 31日

可供推廣之研發成果資料表

可申請專利

可技術移轉

日期：__年__月__日

國科會補助計畫	計畫名稱：光學精密元件射出成型之整合研究（II）-子計畫一：楔型板件精密射出與射出壓縮成型研究 計畫主持人：楊申語 計畫編號：NSC 92 - 2212 - E - 002 - 071 學門領域：固力學門
深技術/創作名稱	不等行程射出壓縮成型（VDICM）
發明人/創作人	楊申語、粘世智
技術說明	中文：本計劃中所設計之不等行程壓縮機構，針對楔形板的厚度差異而施以不等的後壓縮行程。當成型厚薄不均的元件時，同樣壓縮行程，厚端被壓縮的比例會比薄端壓縮比例為少；厚薄兩端壓縮的差異性，影響成型品質。不等行程射壓成型壓力分佈的均勻性又優於等行程射出壓縮成型，且光彈量測發現其殘留應力也較小。 英文：“Variable-Distance Injection Compression Molding, VDICM” Significantly better flatness is observed in wedge plate molded with VDICM and ICM than those molded with IM. Pressure difference in plated molded with VDICM is smaller than these molded with ICM; as a result, the flatness is better.
可利用之產業及可開發之產品	光學及 LCD 背光模組相關產業 相關產品如光學鏡片、導光板
技術特點	運用本案中所設計之不等行程之射出壓縮方式，加工厚度不同之產品，進而改善傳統射出壓縮製程中厚端與薄端之壓縮不均之情況。
推廣及運用的價值	此案中所設計織布等行程射出壓縮方式，可減少楔型導光板之應力分布不均，進而可改善產品之翹曲與增加尺寸精度。

1. 每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。
2. 本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。
3. 本表若不敷使用，請自行影印使用。

(二)中、英文摘要及關鍵詞

中文摘要

本計畫探討楔型板件之精密射出成型與精密射出壓縮成型之應用，第一年已針對14.1吋楔型板件的精密射出影響。設計包括逃氣設計及冷卻管道配置，成型參數包括變模溫，探討設計及成型對精度的影響。

第二年主要研究提昇楔型板精密成型為目標。第二年設計裝置一套不等行程壓縮機構，針對楔形板的厚度差異而施以不等的後壓縮行程。比較傳統射出(IM)、射出壓縮(ICM)及不等行程射出壓縮成型(VICM)三種成型方式對楔形板之平面度、殘留應力及表面微結構複製性等之間的差異。並探討製程參數對品質的影響。本研究也探討楔形板表面微結構的成型性。

在本計劃中由實驗結果得知傳統射出壓縮及不等行程射出壓縮成型成品平面度都高於射出成型。而不等行程射壓成型壓力分佈的均勻性又優於等行程射出壓縮成型，且光彈量測發現其殘留應力也較小。微結構成型在深寬比不高的情況下，三種製程都可以成型。

英文摘要

This research is devoted to investigate the molding of wedge-shaped plates. The wedge-shaped plates demand high contour accuracy, flatness, and uniform thickness. For above-mentioned requirements, a new injection compression molding process called "Variable-Distance Injection Compression Molding, VDICM" is put to use. The compression distances of VDICM on various locations of wedge-shaped plate are tuned to be in proportional to their thicknesses. The VDICM process will yield uniform degree of densification. The quality of wedge-shaped plates molded with injection molding (IM), injection compression molding (ICM), and variable-distance injection compression molding (VDICM) are compared.

Significantly better flatness is observed in wedge plate molded with VDICM and ICM than those molded with IM. Significant pressure difference in VDICM is smaller than ICM, and more uniformity. Less birefringence difference is observed in wedge plates molded with VDICM and ICM than those molded in IM, that is to say less residual stress. Additionally, the wedge-shaped plates molding micro v-grooves on the surface, we also get accurate replication of the features in all processes.

關鍵詞：射出壓縮成型 (Injection Compression Molding)、楔型板件(wedge-shaped plates)、精密射出成型 (precision injection molding)

(三)報告內容

前言與研究目的

傳統射出成型具有高生產率且易自動化生產形狀複雜、尺寸精密的成品，是熱塑性塑膠主要的成型方法之一。早期之射出成型，主要要求在於射出件的完整，為避免短射(short-shot)，重點集中在填充階段，然而隨著成品之精度要求越來越高，射出件的品質要求除了射出件完整外，尺寸的精確性、分子定向(molecular orientation)、翹曲(warpage)、凹痕(sink marks)及光學性質等，均有嚴格要求，所以後充填的模溫控制及保壓機構更是影響品質的關鍵[2][3]。

傳統之射出成型之保壓方式乃是藉由澆口將融膠高壓擠入之方式，以補充冷卻所造成之體積收縮及壓力下降，因此欲減少收縮則必須加大保壓壓力與保壓時間，但卻增加了分子定向與內應力，易造成產品內部光學性質不均及日後因應力釋放導致之翹曲變形。而另一方面提高模溫與塑料熔融溫度可減少壓力損失與分子定向，卻會因此增加產品之收縮及翹曲，所以傳統射出成型很難同時兼顧減少體積收縮、降低成型壓力及分子定向等三方面要求，很難滿足品質要求嚴格之精密零件如 DVD、光纖連結器、及導光板等的生產。因此，如何改善傳統保壓方式之缺失，生產尺寸精確、性質優異的產品遂成精密射出成型之一大課題

射出壓縮成型(injection compression molding)是在傳統射出成型後充填過程加一壓縮步驟，不再單靠融膠自澆口傳輸壓力，而由壓縮機構自模壁全面施壓，因此可以整個控制射出的後充填階段，不會因澆口的凝固而無法提供壓力的控制，兼且避免了融膠由澆口擠入所造成的高壓流動，可大幅的降低分子定向與內應力的產生。圖一為射出成型(IM)及射出壓縮成型(ICM)之 P-V-T 圖，由圖中可看出 ICM 可以以較低之壓力維持模內融膠的壓力，並可以保持到較低的融膠溫度，所以射出壓縮可降低鎖模及射出壓力，得到較佳之壓力分佈，達到精密成型之目的[4-11]。

在精密度要求高的導光板製程中，我們可導入射出壓縮製程來增進成品的品質[12]。一般射出壓縮成型均使用固定行程的壓縮方式，故其應用的領域大都為單一厚度，或厚度變化較小之幾何形狀單純的零件，如 DVD 光碟片，其記錄層的 pit 微結構不但可達 0.4 μm 精度且表面平坦度及內部光學參數均可達到高標準要求。由此可看出射出壓縮成型的確改善了射出件之收縮翹曲、殘留分子定向、內應力等問題，為精密之零件生產提供了另一選擇。但因成品各部位被壓縮的距離是相同的，應用於成品厚度變化較大的製品(如導光板)時則會產生壓縮不均的情形。楊及粘[13,14]曾將射出壓縮成型應用於高厚薄比凸透鏡的成型上，發現射出壓縮雖能改善凸透鏡的成型精度，但凸透鏡中間較厚部分與周圍較薄部分的尺寸誤差有明顯的差異，如圖二所示。原因是相同壓縮距離所造成厚端被壓縮的比例遠比薄端壓縮比例小，造成薄端的過度壓縮及厚端因收縮量較大所造成的壓縮不足現象，影響成品曲面精度。

為使楔形板的厚薄端壓縮比例均勻，本研究設計具不等行程壓縮功能的模具，針對楔形板的厚度變化差異而能予以不同的壓縮行程。本論文主要將此不等行程射出壓縮成型製程用於楔形平板的成型，並與傳統射出成型、射出壓縮成型比較，以了解模內壓力變化及對楔形板件平面度及分子定向的影響。另外藉著改變製程參數，如膠溫、模溫、保壓壓力(時間)、後壓縮力及後壓縮時間等變數，探討其對品質的影響，做一詳細研究。

研究方法

實驗所用之射出成型機為震雄 SM-80，最大射膠壓力為 1890 kg/cm²，最大射出率為 65 cm²/sec，射出機並經原廠加裝一後壓縮機構，該後壓縮機構為彈簧回復式之中空環狀油壓缸，與頂出梢成同心安裝於可動側之增壓模板內，壓縮力最高可達 25tons。

圖三為楔型版件之幾何尺寸及資料量測點，成品採扇形澆口側邊進膠，其長寬尺寸各 60mm，厚度方向厚端為 2.5mm 及薄端為 1mm 的正方楔形，為瞭解充填及後壓縮時模穴內壓力的變化，在固定側模穴內薄端(P1)及厚端(P2)處裝置兩個壓力計(KISTLER 6159A)。

為讓此楔形板模具能夠進行傳統射出、等距射出壓縮、不等距射出壓縮三種成型方式，而以替換不同厚度尺寸之嵌入式模仁因應，圖四為射出壓縮成型(ICM)及不等行程射出壓縮成型(VICM)之模具作動示意圖。在 ICM 製程裡，我們先預放 0.2mm 的壓縮空間，待充填完成後予以壓縮，所以最厚端的壓縮比例為 20%，最薄端為 8%。在 VICM 製程裡，我們藉由厚端和薄端預放不同壓縮間隙(薄端 0.1mm，厚端 0.25mm)的模仁設計方式，達到楔形板件具有均一壓縮比例(10%)的要求。圖五為本計畫中之楔型版件實驗模具設計圖。

本實驗藉由調變 IM、ICM 及 VICM 的操作參數，以研究製程及其操作參數對於楔型版件的平面度影響。

表一為射出成型(IM)的單一參數設定，格內被塗黑參數為實驗之基準參數。其他的基本操作設定包括射速 80%及冷卻時間 15 秒。

表二為射出壓縮成型(ICM)及不等行程射出壓縮成型(VICM)的單一參數設定，相同地，格內被塗黑參數為實驗之基準參數。其他的基本操作設定包括射速為 80%、冷卻時間 15 秒及澆口阻斷前保壓 10%壓力一秒。

結果與討論

1. IM、ICM、VICM 製程對楔型板件平面度之影響

圖六為保壓(IM 製程)及後壓縮(ICM, VICM 製程)壓力對楔型板件平面度之影響，其結果顯示較高之保壓及後壓縮壓力有助於楔型板件平面度之提升，後壓縮的加入對平面度之提升也有明顯的效果，尤其以 VICM 的平面度最佳，顯見不等行程壓縮對楔型板件品質提升具良好效果。圖七為保壓(IM)及後壓縮(ICM, VICM)時間對楔型板件平面度之影響，其結果顯示較長之保壓(IM 製程)及後壓縮(ICM, VICM 製程)時間有助於楔型板件平面度之提升，值得注意的是 IM 的成品平面度於 4 秒以後及維持一樣的水準，其原因為澆口於 4 秒時已凝固，故融膠無法進入模穴以補充收縮，其可由成品重量於保壓時間超過 4 秒以後即不再增加得到驗證。

2. IM、ICM、VICM 在精密成型能力原因之探討

a. 壓力分布

圖八為射出成型之 P1 及 P2 點壓力曲線分佈圖，其中 P2 大於 P1，且隨著冷卻時間的拉長其差距越大，開模前 P1 及 P2 之壓力差距可達 80 bar。圖九為 50%及 90%壓縮壓力下之 ICM 及 VICM 壓力曲線圖，在 ICM 製程下，由於薄端的壓縮比較厚端大，所以於壓縮的瞬間薄端(P1)有較大的壓力昇，而在 VICM 製程下薄端(P1)及厚端(P2)於壓縮的瞬間具有相同的壓力昇。隨著冷卻時間的進行 ICM 及 VICM 的薄端(P1)壓力隨著時間增加，而厚端(P2) 壓力隨著時間下降。經由 IM、ICM 及 VICM 三種製程之模內壓力歷程比較，

IM 具有 475bar 的最大壓力峰值，而 VICM 具有最小的 250bar 壓力峰值，IM 及 VICM 具較小的開模前 P1、P2 壓力差。

b. 雙折射紋階分佈

圖十為 IM, ICM 及 VICM 製程之楔型板件雙折射紋階分佈狀態。其結果顯示 IM 較 ICM 及 VICM 製程之楔型板件有較密集的雙折射紋階分佈，表示 ICM 及 VICM 製程具有較低的殘留應力及分子定向，這是 ICM 及 VICM 提升平坦度的主因。零件的殘留應力及分子定向對成品平坦度、尺寸穩定性及光學性質具有關鍵性之影響[15-22]，是導光板射出成型之品質關鍵。

3. IM、ICM、VICM 溫度成型條件對精密成型品質之比較

在導光板的製程中，模具溫度是影響品質的很大因素，圖十一及圖十二為模具溫度對楔型板件平面度之影響，其結果顯示而較高的模具及融膠溫度會降低楔型板件的平面度，而 VICM 於模溫 60°C 時具有最佳的平面度。

結 論

本研究比較一般傳統射出(IM)、射出壓縮成型(ICM)及不等行程射出壓縮成型(VDICM)三種成型方式的楔型板品質，有後壓縮的製程(ICM, VICM)成品平坦度明顯提升。觀察其雙折射紋階遠低於一般傳統射出，射出壓縮和不等行程射出壓縮成型相較於傳統射出成型，有較小的分子定向與殘留應力。

而不等行程射出壓縮成型相對於射出壓縮成型又有更佳的平面度。由量測之壓力曲線得知，在不等行程射出壓縮成型的後壓縮階段時其壓力分佈的均勻性比射出壓縮成型，而均勻的壓力壓縮會使成品內部密度的差異減小，增加產品穩定性。

對 IM、ICM 及 VICM，較高的保壓(後壓縮)壓力及較長的後壓縮時間會提高成品平面度。而高模溫、高膠溫皆會降低楔形板成型後的平面度，而 VICM 於模溫 60°C 時具有最佳的平面度。

參考文獻

1. 王東釧，"光電特集-LCD 背光技術"，工業材料 162 期，95 頁，89 年 6 月
2. J.Greene, "Pressure-Induced Densification in Injection Molding", Polymer Engineering and Science, 1986, vol.26, No.8, p534
3. 張永彥，實用塑膠模具學，全華圖書，83 年
4. 柯茗種，"射出壓縮成型過程的基本探討"，台灣大學機械工程研究所，碩士論文(1992)
5. S.Y. Yang and M.Z. ke, "Experimental Study on the Effects of Adding Compression to Injection Molding Process", Advances in Polymer Technology, 1995, Vol.14, No.1, pp.15-24
6. S.Y. Yang and M.Z. ke, "Influence of Processing on Quality of Injection-Compression-Molding Disks" Polymer Engineering and Science, Mid-August, 1995, Vol.35, No. 15
7. S.Y. Yang and S.C. Nian, "Experimental Study on Injection Compression Molding of Cylindrical Parts", Advances in Polymer Technology, 1996, Vol.15.No.3 pp. 205-213
8. 陳裕承，"短射壓縮成型的基本應用及應用"，台灣大學機械工程研究所，碩士論文

(1996)

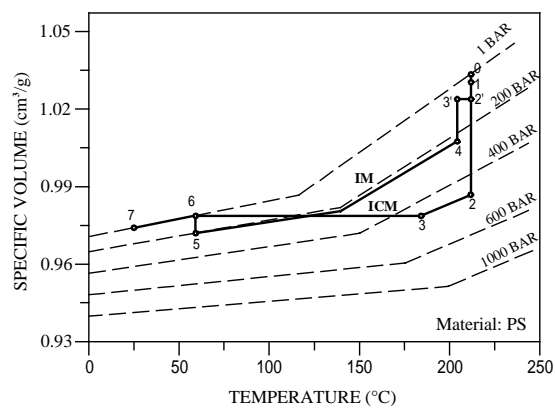
9. 劉熙銘, "射出壓縮在粉末射出的應用探討"台灣大學機械工程研究所碩士論文 (1997)
10. 曾義翔, "陶瓷薄件與厚件射出成型改善", 台灣大學機械工程研究所, 碩士論文 (1998)
11. 吳宗祐, "射出壓縮成型在精密圓筒件與表面微肋件之應用探討", 國立臺灣大學, 碩士論文(2000)
12. 馮文宏, "楔形板件精密射出與射出壓縮成型探討", 國立臺灣大學, 碩士論文(2001)
13. 粘世智, "射出壓縮於精密成型的應用與探討", 台灣大學機械工程研究所, 碩士論文 (1995)
14. S.Y. Yang and S.C. Nian, "Experimental Study on the Injection Compression Molding of Parts with Precision contours", Intern. Polymer Processing, XI, 1996, 2, pp. 188
15. A.I. Isayev, "Orientation Development in the Injection Molding of Amorphous Polymers", Polymer Engineering and Science, Mid-April 1983, Vol.23, No5, p271
16. A.Siegmann, " Residual Stresses in Injection-Molded Amorphous Polymers", Polymer Engineering and Science, 1987, Vol.27, No14, p1069
17. A.Siegmann, " Residual Stresses in Polymer :The Influence of Injection-Molding Process Conditions ", Polymer Engineering and Science, 1982, Vol.22, No9, p560
18. K.Yoon, "Birefringence Measurements of Injection-Molded Disks", ANTEC'91, p333
19. K.Yoon, "The Effect of Holding Pressure on Frozen-in Birefringence in Injection-Molded Disks", ANTEC'92, p2221
20. Pham, "Residual Stresses in Injection Molded Polycarbonate Rectangular Bars", Polymer Engineering and Science, 1993, Vol.33, No24, p1634
21. T.Oshiro, "Experimental Study of DVD Substrate Quality by Operating Condition in Injection Molding", ANTEC'97, p234
22. 林賢樑, "壓克力鏡片之射出成型模擬及其殘留應力之探討", 國立臺灣科技大學, 碩士論文(1994)

表一 射出成型(IM)對楔型板件平面度之影響的單一參數設定

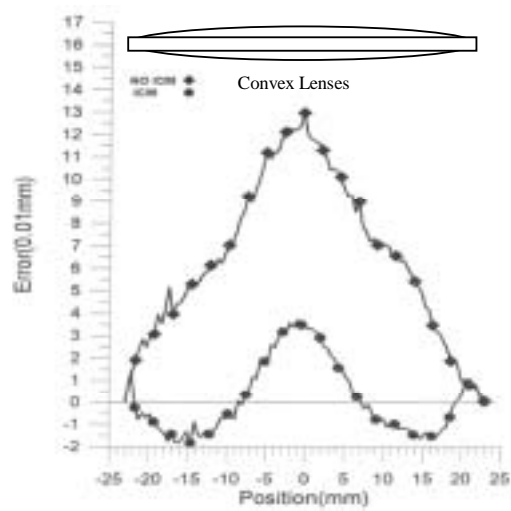
參數	保壓壓力	保壓時間	模具溫度	融膠溫度
1	10 %	1.0 s	40	210
2	20 %	2.0 s	50	230
3	30 %	4.0 s	60	250
4	40 %	6.0 s	80	270
5	40 %	8.0 s	100	290

表二 ICM 及 VICM 對楔型板件平面度之影響的單一參數設定

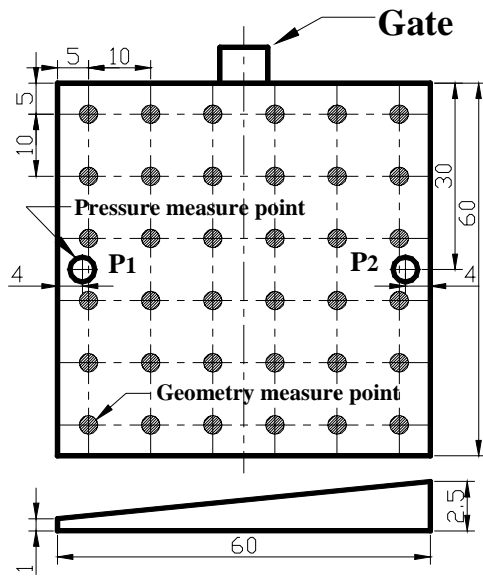
參數	壓縮壓力	壓縮時間	模具溫度	融膠溫度
1	10 %	1.0 s	40	210
2	30 %	2.0 s	60	230
3	50 %	4.0 s	80	250
4	70 %	6.0 s	100	270
5	90 %	8.0 s	120	290



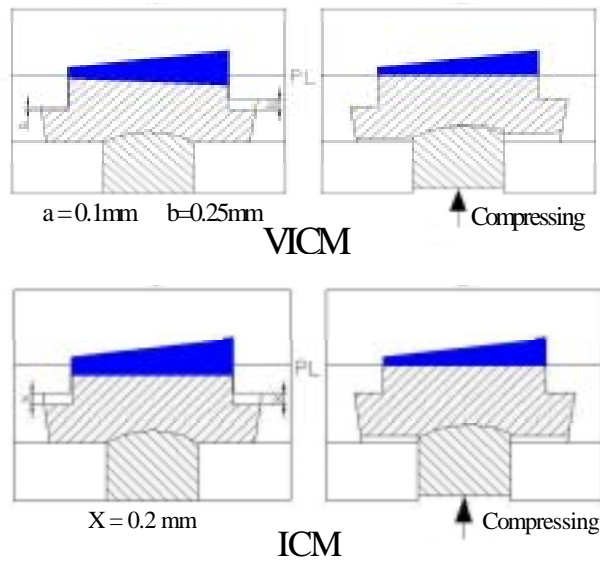
圖一 射出成型 (IM) 及射出壓縮成型 (ICM) 之 P-V-T 圖



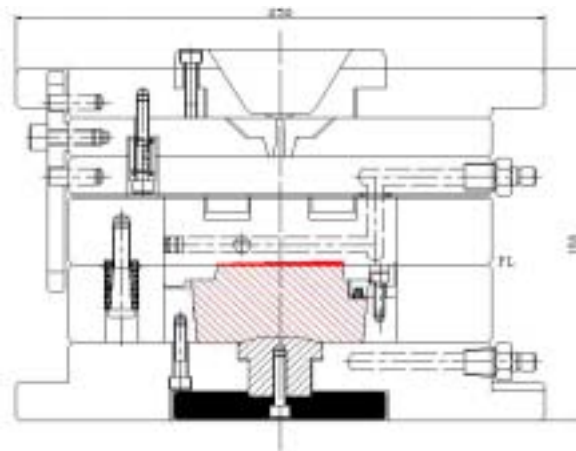
圖二 壓縮製程對凸透鏡表面曲線誤差的影響



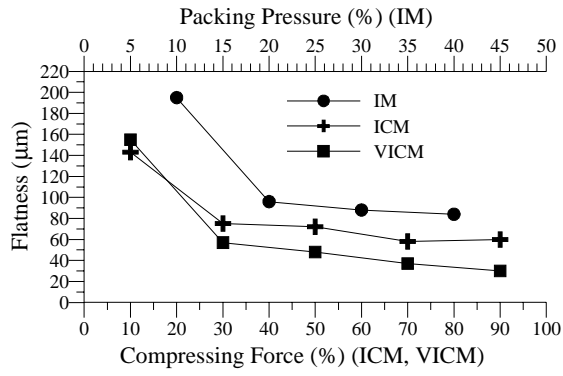
圖三 楔型版件之幾何尺寸及資料量測點



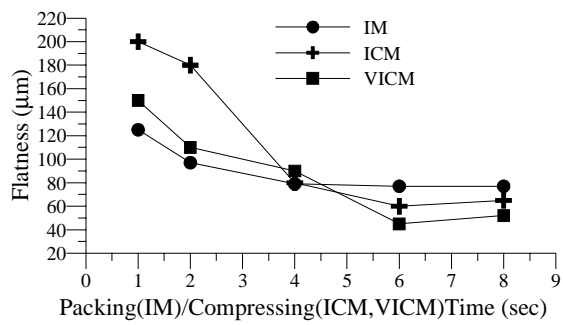
圖四 射出壓縮成型 (ICM) 及不等行程射出壓縮成型 (VICM) 之模具作動示意圖



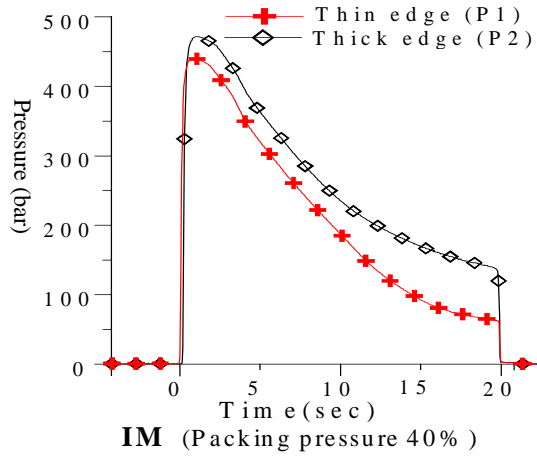
圖五 楔型版件之模具設計圖



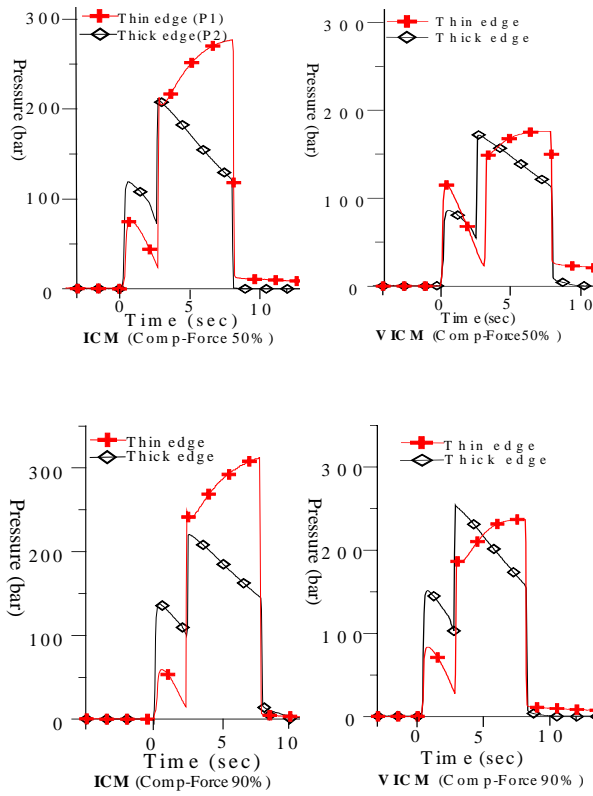
圖六保壓(IM)及後壓縮(ICM, VICM)壓力對楔型板件平面度之影響



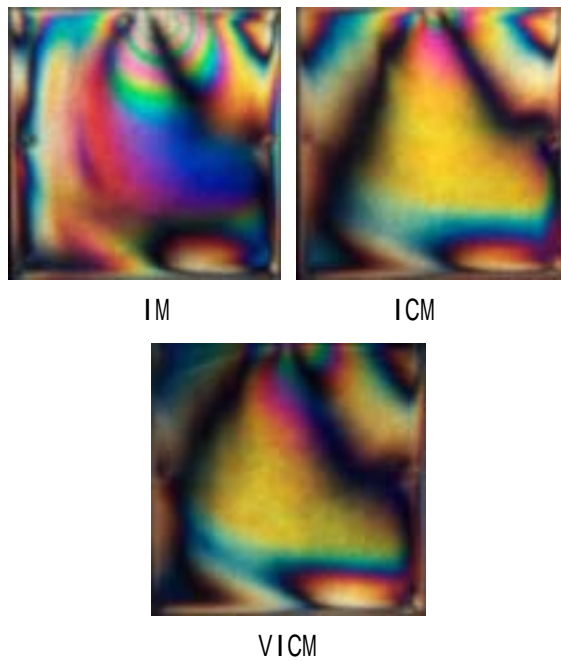
圖七 保壓 (IM) 及後壓縮 (ICM, VICM) 時間對楔型板件平面度之影響



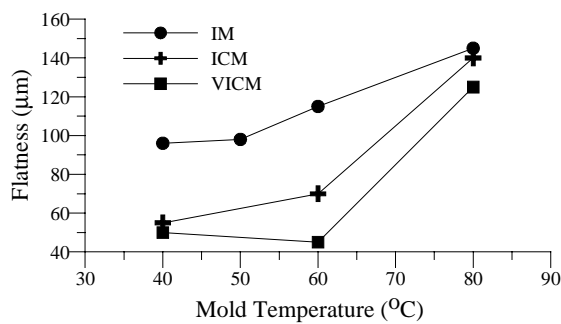
圖八 射出成型之 P1 及 P2 點壓力曲線



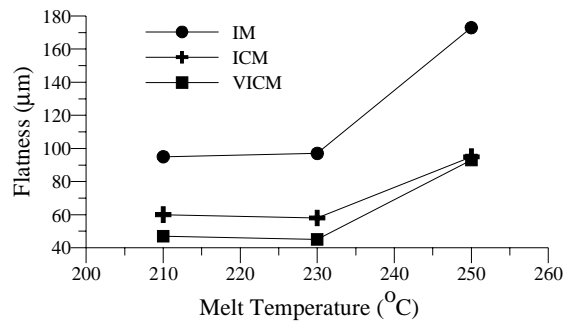
圖九不同壓縮壓力之 ICM 及 VICM 壓力曲線



圖十 IM, ICM 及 VICM 製程之楔型板件雙折射紋階分佈



圖十一 模具溫度對楔型板件平面度之影響



圖十二 融膠溫度對楔型板件平面度之影響

參加 PPS-20 年會報告

2004 年六月二十日與博士班學生張志遠一起赴俄亥俄州阿克隆市 (Akron, Ohio) 參加塑膠加工學會第二十屆年會 (6/20-6/24, 20th Annual Meeting of Polymer Processing Society.) 由於該學會是二十年前誕生於阿克隆市，所以大會特別選定今年回到原地舉行，榮譽大會主席是 Dr. James .L. White . 會中共分為十七組：

一、複合材料(Composites)；二、擠出技術(Extrusion Tech)；三、綠色材料 (Green Material and tech)；四、模擬與分析模型 (Models and simulation)；五、射出成型技術 (Injection Molding)；六、黏結與接著劑 (Adhesion and Adhesives)；七、混鑄 (Blending and Compounding)；八、導電塑膠 (Conductive Polymers and Electro Optics)；九、製程監控 (Process Monitoring and Control)；十、放射製程 (Radiation Processing)；十一、纖維與膜 (Fiber and Films)；十二、奈米技術 (Polymer Nanotechnology)；十三、流變 (Rheology and Rheometry)；十四、發泡技術 (Foam Tech)；十五、橡膠成型 (Rubber Processing)；十六、結構組織與製程 (Structure Development in Processing)；十七、尖端科技 (Frontier Processing Tech)。

在微機電的技術中，塑膠加工式複製最主要的方法。雖然微射出成型沒有像去年在葡萄牙那麼明顯被安排在射出成型的開場數場，但今年已在單獨一小組「尖端技術」中佔相當部份。內容包括展望、塑膠在低溫的 3D 組合、在光電、噴墨的應用、塑膠奈米複材、原子力顯微鏡針尖位移形成膜上奈米微結構的機制。其中俄亥俄州州立大學李教授 (Prof. James. Lee) 在一場特邀演講中

提到：講到微結構的製造，一般都不外乎由下(Bottom-Up)及由上(Top-Down)兩種作法。問題是 Bottom-Up 是可達到很小的奈米尺寸，但難累積到適合量產的面積。另一方面 Top-Down 作法固易達到大面積，但 MEMS 很難做到幾十或幾奈米的尺寸。他覺得最有希望的作法就是二者的整合。先用 Top-Down 作法作出雛形或樣片，再進一步於其微結構上以 Bottom-Up 繼續微細化。例如：可先用微細加工，微放電作出相當面積，但仍只達次微米(Sub Micro)尺寸的結構。於次微米結構部份再以雷射加工細化；再有一例：以 MEMS 製出許多次微米微尖塔母模，澆鑄塑膠於其上，撕下來就得次微米孔洞的薄膜，其上再以自組(Self-Assembly)使這些孔洞微細化到奈米(Nano Scale)。

這次本人按預定發表一篇 "Flow Visualization of Filling with Aid of Colored Billets During Impact Micro-Injection Molding."，內容是講述以有色塑膠粒填入衝擊式微射出機料槽內，射入螺旋狀模具(Spiral Mold)內。該模具有透明視窗，可以觀察充填過程，並用高速攝影機記錄下來以供分析。由於另有機會，徵得主席同意，另外口頭發表一篇 "Fluid-Based Rapid Heating and uniform Pressing for Micro Hot-Embossing."，將台大機研所新創的流體微印刷系統作一簡介，該系統已獲中華民國專利、美國專利公告中。博士班學生張志遠代為發表一篇 "Precision Injection Molding of V-grooved Micro Parts." 有關微 V 型結構元件的微射出。三篇論文均獲一些回響。與許多國際學者討論，台灣來的另有劉大倬教授、劉士榮教授、沈永康教授，均有深入交通。

此次出席 PPS-20，在微成型方面也看到美國的大學(以 Ohio State

University 為例)一投入就是大批的老師、助理、博士班、碩士班學生，成果醒目。深覺塑膠加工廣度與深度均與年俱增，在台灣塑膠加工的學者不但要精選方向，更需通力合作，以便能在國際學術研究上有所貢獻，這是台灣的大學極需思考如何整合，以便在塑膠加工研究有貢獻。