



次微米光柵結構光學元件之微振動射出壓縮成形分析研究 Research on Grating Optical Element with Submicron Structure by Micro Vibratile Injection Compression Molding

陳姵妤^{1*}、葉名翔²、王立紘²、侯建宇²、賴昶順²、游承凡²、陳炤彰^{2*}

^{1,2} 國立臺灣科技大學機械工程系暨機械工程研究所

*E-mail: ¹M11103226@mail.ntust.edu.tw

²artchen@mail.ntust.edu.tw

摘要

本研究研發微振動射出壓縮成形(Micro Vibratile Injection Compression Molding, MV-ICM)技術製造含次微米結構之離軸非球面反射式光柵光學元件(Off-Axial Aspherical Reflective Grating Optical Element, OAA-RGOE)。成品為一模兩穴之設計，長寬為 4.8 mm，厚度約 0.9 mm，一側為離軸非球面用於控制成形參數，另一側為整合離軸非球面與週期性光柵結構，具有約 1200 個光柵結構，每個光柵結構間距約為 2-4 μm ，微結構平均高度約為 0.46 μm 。模具主要安裝壓電致動器於公模側含次微米結構之模仁入子，利用壓電致動器於射出成形充填階段對熔膠進行微振動，使熔膠更能深入微結構中，改善離軸非球面反射式光柵光學元件於微觀尺度下之次微米結構成形，並利用閉迴路系統控制壓電致動器，及時偵測振動位移量與回饋系統進行補償，改善壓電材料遲滯現象之問題，提升其響應速度，最終以巨觀尺度探討離軸非球面之成形誤差與探討微觀尺度之微結構複製率。實驗結果得知，離軸非球面之光柵元件 PV 值(Peak to Valley)由 19.17 μm 降至 16.05 μm ，透過微振動射出壓縮成形可將含次微米結構之離軸非球面光柵元件的微結構複製率由 73.39%提升至 92.27%。從研究結果得知，通過微振動射出壓縮成形可有效改善次微米光柵結構光學元件成形誤差問題，未來也可將此技術應用於具有次微米結構之光學元件，以提升光學元件之射出成形品質。

關鍵詞：微振動射出壓縮成形、光柵元件、次微米結構光學元件

Abstract

This study aims to fabricate an off-axial aspherical reflective grating optical element (OAA-RGOE) with micro-structures using integration of micro vibratile injection compression molding (MV-ICM) process. The length and the width of the product is 4.8 mm, and the thickness is about 0.9 mm. One side is an off-axis aspheric surface for controlling the forming parameters, and another side is an integrated off-axis aspheric surface and periodic grating structures. The pitch of each grating structure is about 2-4 μm , and the average height of the micro-structure is about 0.46 μm . Utilize the PZT actuator vibratile the microstructure core assisted melt polymer into the microstructure during filling stage. Effects of residual error (Peak to Valley, PV value) of the off-axial aspheric surface and groove filling ratio (GFR) have been discussed. Experimental results show that the PV value of the OAA-RGOE is reduced from 19.17 μm to 16.05 μm . By applying the MV-ICM, the GFR of sub-micron structures in OAA-RGOE improves from 73.39% to 92.27%. Results of this study have verified the sub-micron structured grating by the developed MV-ICM. Future applications can focus on aspheric lens with sub-micron structures.

Keywords: Micro Vibratile Injection Compression Molding, Grating Element, Submicron-structured Optical Element

1. 前言

近年來由於半導體產業、電子、醫學等各領域蓬勃發展，使得3C (Computer, Communication and Consumer Electronics)電子產品朝向輕薄短小之積體化與微小化發展。其精密元件尺寸精度發展已趨向次微米等級甚至奈米等級，微射出成形之微結構元件可廣泛應用於光學量測，如生物醫學量測(Biomedical Measurement)、拉曼量測(Raman spectroscopy)及色彩偵測管理(Color Matching and Management)等[1]。本研究以微振動射出壓縮成形製程應用於離軸非球面反射式光學元件，其為微型光譜儀內部重要的光學解析元件，可分為平面型及凹面型，如圖1所示，可應用於光線之聚光準直功能，將發散的點光源聚光準直後平行傳遞，而離軸非球面可防止反射光與入射光重疊，並改善光線調整後之球差問題，本產品可應用於光學量測儀器之光源校正或照明設備。

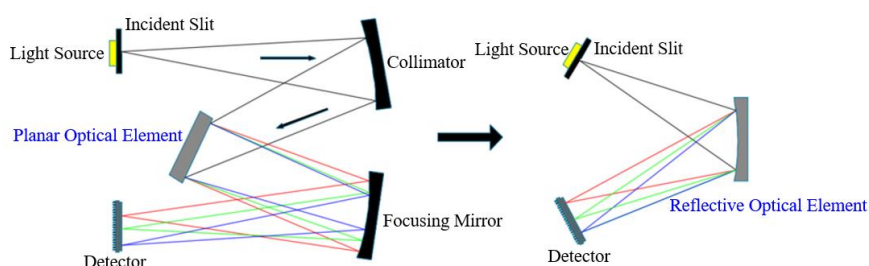


圖1 平面與凹狀反射式元件比較[1]

2. 研究目的與方法

2.1研究目的

本研究目的為透過微振動射出壓縮成形製程應用於離軸非球面反射式光柵光學元件，同時兼顧巨觀尺度(Macro scale, mm)之離軸非球面及微觀尺度 (Micro scale, μm)之週期微鋸齒結構，減少成形體積收縮(Volume Shrinkage)與翹曲(Warpage)問題，降低離軸非球面形狀誤差PV值及提升微結構複製率(Groove Filling Ratio, GFR)。

2.2光學元件(OAA-RGOE)

本研究所用之反射式元件設計如圖2(a)所示，離軸非球面用途為對入射光進行準直及聚焦功能，並防止反射光與入射光相重疊及相交問題，得以應用於光柵分光與聚焦功能，本研究之整合離軸非球面及週期性鋸齒結構形成之OAA-RGOE，如圖2(b)所示，其尺寸為長4.8 mm×寬4.8 mm，厚度約為0.9 mm，範圍內具有約1200個微型鋸齒，每個鋸齒結構間距約為2-4 μm 。

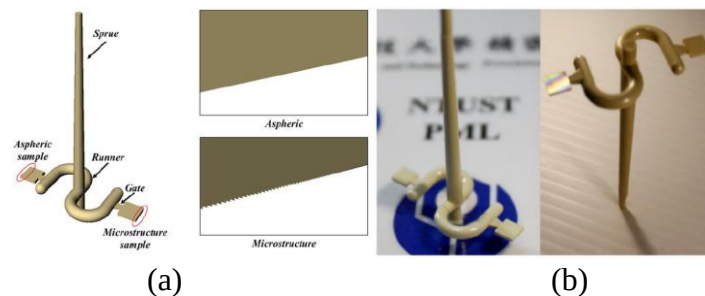


圖2 (a)產品示意圖 (b)產品實體圖[2]

2.3 模具設計

實體模具如圖3(a)所示，本模具設計包含模仁頂出機構、加熱棒孔及水路，並於公模側內安裝壓電致動器，如圖3(b)所示，其可直接對模仁進行微振動，母模側內安裝溫度感測系統及壓力感測系統以精準擷取模穴內部溫度與壓力變化[2]，如圖3(c)所示。

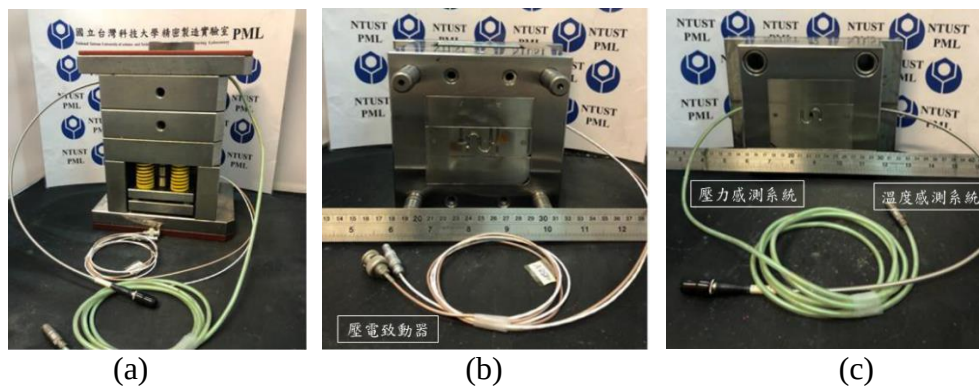


圖3 (a)模具實體圖 (b)公模側 (c)母模側[3]

2.4 成形材料

本研究使用液晶聚合物(Liquid Crystal Polymer, LCP)成形，因LCP在加工熔融狀態下，流變行為趨向於牛頓流體的流變行為，擁有高流動性[4]，本研究選用長春化工所生產純LCP LCR-270N 高分子塑料，如圖4所示。

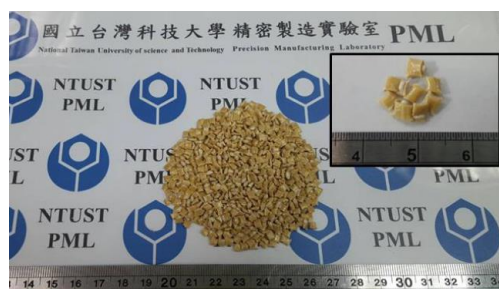


圖4 LCP LCR-270N[5]

2.5 製程參數

2.5.1 微振動製程參數

本研究之PZT振動參數設定為輸出電壓1.6 V、振動頻率200 Hz，透過電壓放大器產生32 V之正弦波電壓(Sine wave)進行微振動實驗[3]。首先利用Moldex3D模流分析軟體，分析各射出成形參數變化對於OAA-ROGE之成形性，分別探討射出速度、保壓壓力與模具溫度參數，透過微結構溫度及固化層厚度模擬進行分析熔膠進入離軸非球面反射式光柵光學元件之微結構產生固化層比例，藉此判定微振動之PZT啟動及關閉時機[6][7]。

由溫度分析得知於充填階段結束(End of Filling, EOF)時，產品前端溫度已小於固化溫度，部分微結構已開始固化，即表示微振動啟動時間應於充填階段開始時。由模流分析之固化層分析得知，熔膠於保壓階段0.792秒後，微結構之固化層厚度比例皆為100%，即表示微振動之PZT停止時間應於保壓階段完成後。

2.5.2 射出成形參數

本研究使用FANUC ROBOSHOT α15-iA射出成形機，射出參數如表1所示[5]，作為傳統射出成形參數，此射出成形參數可得最小PV值19.17 μm與最大GFR值73.39 %。接著利用此組參數進行微振動射出壓縮成形，並選擇於充填時間達98 %時進行壓縮行程之壓縮動作，並將實驗結果與傳統射出成形結果進行比較。

表1 射出成形製程參數[5]

參數 Parameters	階段 Stage	數值 Value	單位 Unit
噴嘴溫度 Nozzle temperature	1 st	315	°C
螺桿溫度 Barrel temperature	2 nd	320	°C
	3 rd	315	
	4 th	310	
模具溫度 Mold temperature		80	°C
最大射出壓力 Max. injection pressure		150	MPa
射出速度 Injection velocity	1 st	160	mm/sec
保壓壓力 / 時間 Packing pressure / time	1 st	110 / 3	MPa/sec
最大保壓速度 Max. packing velocity		40	mm/sec
冷卻時間 Cooling times		15	sec
螺桿計量位置 Screw metering position		8	mm

2.6 離軸非球面與微結構量測

本研究透過OLS5000雷射共軛焦顯微鏡進行離軸非球面量測分析[2]，量測治具如圖5(a)所示，可針對量測物進行3D掃描量測，量測其表面輪廓、形貌、粗糙度。本研究以量測件正中間進行1.2 mm × 4.8 mm範圍進行離軸非球面之量測，如圖5(b)所示，比較非球面模仁設計值(Design Value)與量測值(Measurement value)差異，並計算殘餘形狀誤差，如圖5(c)所示。

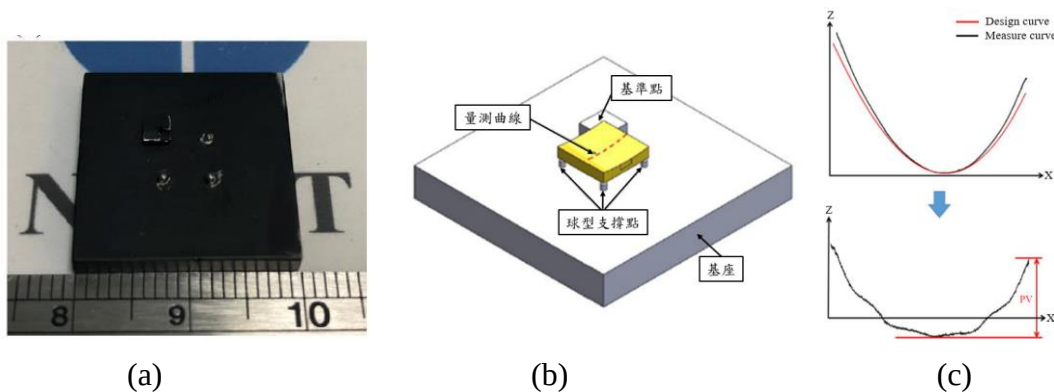


圖5 (a)量測治具圖 (b)量測示意圖 (c)OAA表面成形誤差量測示意圖[5]

本研究透過OLS5000雷射共軛焦顯微鏡對OAA-RGOE產品進行量測，將由所有鋸齒結構中選定正中間區域的固定鋸齒位置進行微結構高度量測，微結構複製率之計算方式如式1，量測示意圖如圖6所示。

$$GFR(\%) = \frac{h}{H} \times 100 \% \quad (1)$$

GFR：微結構複製率(%)

H：模仁微結構平均高度(μm)

h ：成品微結構平均高度(μm)

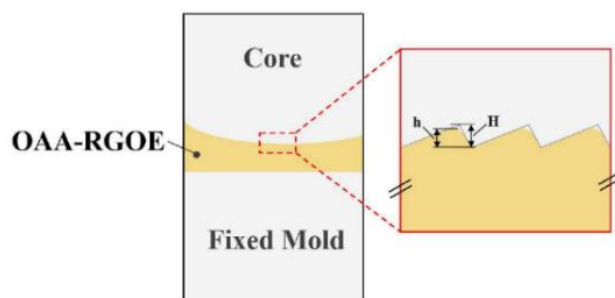


圖6 OAA-RGOE微結構複製率量測示意圖[5]

2.7微振動射出壓縮成形製程

射出壓縮成形(Injection Compression Molding, ICM)為傳統射出成形結合模具合模壓縮之製程，利用射出機的鎖模機構、頂出機構、額外加入之壓縮機構或模具壓縮機構設計達到對模穴進行全面性壓縮，可降低其射出壓力，有效均勻模內壓力、減少翹曲變形及增加結構充填率等。本研究將藉由射出機之頂出機構以模仁頂出的方式進行射出壓縮成形製程，於充填階段欲結束時對熔膠整體進行壓縮，並結合壓電致動器於充填保壓階段進行高頻率微振動，藉由以上輔助技術減少巨觀尺度之成形誤差及增加微觀尺度之微結構複製率，MV-ICM之動作如圖7所示。

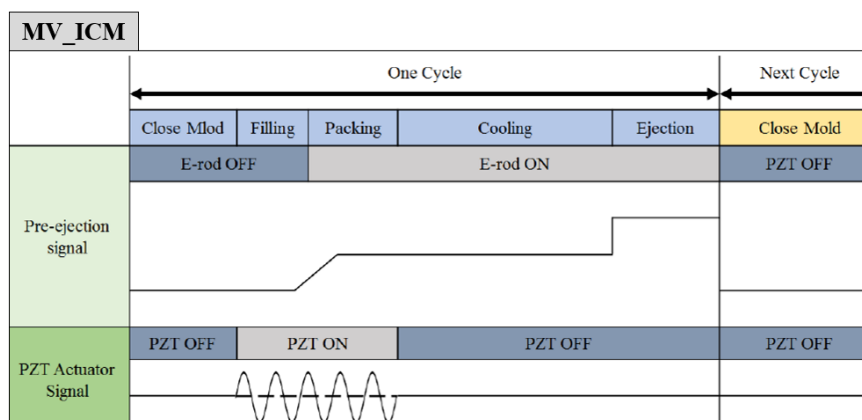


圖7 MV-ICM作動示意圖[6][7]

3. 結果與討論

3.1形狀誤差(PV值)量測結果

由量測結果得知，相較於傳統射出成形(IM)，微振動射出壓縮成形(MV-ICM)因模仁於射出和保壓階段進行微振動，模仁位移使得模穴體積被壓縮得越小，進而影響其離軸非球面成形收縮，降低其殘餘誤差，PV值從 $19.17\ \mu\text{m}$ 降至 $16.05\ \mu\text{m}$ 。

3.2微結構複製率(GFR)量測結果

透過結果得知，微振動射出壓縮成形(MV-ICM)相比於傳統射出成形(IM)，因模仁位移使受壓之熔膠能更有效充填進微結構中，進而成形該微結構，可提升其微結構複製率，GFR值從 73.39% 提升至 92.27% ，鍍膜後成品圖如圖8所示。

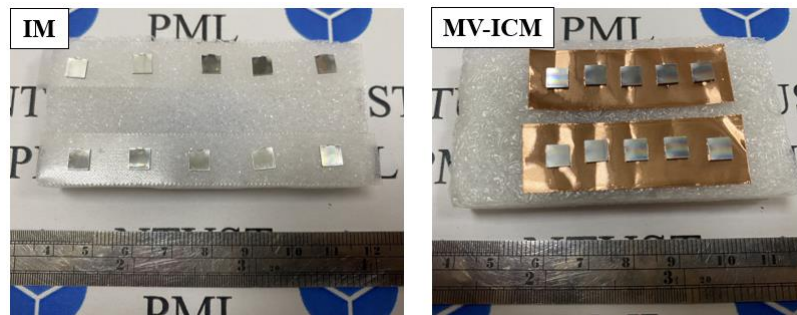


圖8 鍍膜後成品圖

4. 結論

1. 由實驗結果可知，相較於傳統射出成形製程，微振動射出壓縮成形製程可有效降低形狀誤差PV值，由 $19.17\text{ }\mu\text{m}$ 降至 $16.05\text{ }\mu\text{m}$ 。
2. 探討微振動射出壓縮成形製程對光柵元件成形之影響，相較於傳統射出成形，微結構複製率可有效提升，由 73.39% 提升至 92.27% 。
3. 由模流分析顯示充填階段結束時，部分微結構已開始固化，因此微振動系統啟動時間點為充填階段。並且於保壓後 0.792 秒，微結構固化層厚度達 100% ，因此停止時間應為保壓階段結束後。

5. 致謝

本研究為科技部計畫編號MOST 106-2622-E-011-007-CC3，感謝科技部與超微光學的支持，得以順利完成此研究。

6. 參考文獻

1. 游承凡, "微型光柵光學元件製造之射出成形研究," 碩士, 機械工程系, 國立臺灣科技大學, 台北市, 2014.
2. 賴昶順, "含微結構之非軸對稱非球面反射式光學元件射出成形分析研究," 碩士, 機械工程系, 國立臺灣科技大學, 台北市, 2016.
3. 侯建宇, "閉迴路微壓電致動系統之射出壓印製程應用於結構光學元件成形研究," 碩士, 機械工程系, 國立臺灣科技大學, 台北市, 2017.
4. 劉士榮, "高分子流變學", 滄海書局, 2005.
5. 王立紘, "微振動式射出壓印成形於離軸非球面光柵元件之成形誤差分析研究," 碩士, 機械工程系, 國立臺灣科技大學, 台北市, 2019.
6. Chen, C. C., Lee, F. C., Wang, K. L., and Yeh, C. H., "IN-MOLD VIBRATILE INJECTION COMPRESSION MOLDING METHOD AND MOLDING APPARATUS THEREOF," U. S. Pat., 20150336316A1, 2015.
7. 陳炤彰, 游承凡, 賴昶順, 侯建宇, "具有微結構之光學元件的製造方法", 中華民國專利, 公開號201825382A, 2018。