

局部感應加熱射出壓縮成型微結構於基盤之應用

Micro-injection Compression Molding of Microstructure on Disk with Local Induction Heating

黃志宇、張鈞程、邱俊洋、楊申語*

國立台灣大學機械工程學系

*E-mail: syyang@ntu.edu.tw

摘要

射出成型雖具有高自動化及生產快速之優點，但不易成型有表面微結構之薄件，由於低模溫使熔膠在充填過程中與冷模壁接觸而產生凝固膚層，且高流長比之薄件會因膚層的產生導致流動阻力增加。本研究開發於模仁後方之局部感應加熱系統，透過局部加熱微結構成型區域延緩膚層增厚速度，並使用射出壓縮成型使成品成型壓力均勻，減少光彈條紋產生，以達到高微結構複製轉寫率及良好光學性質。

本研究建置一模內局部感應加熱系統，感應加熱相較於傳統利用水路加熱整副模具，局部加熱具有較低的成型週期時間，於模具設計中採用可替換式模仁鑲塊設計，以因應不同微結構成型應用，並搭配模板設計內部埋入式感應加熱線圈，透過外部設置的感應加熱器與時間控制機構，可與射出成型週期相互搭配，獲得良好之局部感應加熱升溫效果。

模仁鑲塊進行感應加熱升溫實驗，可達到每秒 6°C 升溫，且僅於微結構成型區域升溫，接著進行 V-cut 微結構成型實驗，在無感應加熱時，結構複製轉寫率僅 40%，經由感應加熱後，微結構複製轉寫率可達 97% 以上。實際成型實驗中，對於製程的光學性質進行實驗，於一般射出成型、射出壓縮成型後，使用應力偏光儀對成品進行觀察，可發現射出壓縮製程的成品光學性質較射出成型好，光彈分佈較為鬆散。

關鍵詞：局部式感應加熱，射出壓縮成型，可替換模仁，微結構成型

Abstract

Although injection molding has the advantages of high automation and short production cycle, but it is hard to form thin parts with microstructures. Traditional injection molding would keep the mold temperature under the T_g point of material to reduce cooling time. But skin layer happened when the temperature difference between the mold surface and the polymer as they come into contact during injection.

In this study, a local area induction heating system was developed and applied to micro-injection with compression-mold microstructure to achieve good and uniform replication, low cycle times, and good optical properties. An in-mold local induction heating system was built with a replaceable microstructure mold inserts. It contains induction heating coil and time control mechanism to involve injection molding cycle with induction heating.

The heating test revealed that a temperature heating speed of 6°C per second by induction heating on insert and the heat energy was only increased in limited microstructure molding zone. The V-cut microstructures of insert were applied to molding experiments and the result showed that ICM process with induction heating has the potential to a uniformity of replication and higher replication rate than IM process. In contrast to with and without induction heating, the replication rate of the microstructure can reach over 97% and also reduced the cycle time by using induction heating.

At last, experiment on the optical properties of the process. After injection molding and injection compression molding, use stress polarization to observe the finished product. The optical properties of the finished product of the injection compression process are better than the injection molding.

Keywords: Induction heating in local area, Injection compression molding, Replaceable mold inserts, Microstructure

1. 前言

傳統射出成型模溫較低，造成熔膠產生表皮層(Skin Layer)影響，且高流長比之薄件會因凝固膚層的產生導致流動阻力增加，使微結構成型無法達到精確複製，且精密模仁加工微結構工時長、價格昂貴。過去為了提高微結構轉寫率，透過急冷急熱變模溫控制技術[1]改善微結構區域充填問題，但現有技術都會導致整體模具溫度升高，雖可增加微結構轉寫率，但會拉長產品成型週期，降低生產效益。

本研究開發內埋式線圈進行感應加熱控制模溫，搭配射出壓縮成型[2]，使成品各個部位壓力均勻，減少光彈條紋產生，和替換式模仁鑲塊增加微結構替換的便利性，開發運用射出壓縮成型製程的局部區域變模溫與替換式微結構之模具。

2. 實驗設置

2.1 產品與模具設計及材料參數

本實驗成品如圖1所示，流道採用直接式澆口，免除射出成型受限於流道設計所產生之射出壓力差及流場比長產生之影響，亦可減少成型流道的塑料浪費。本體部分採用如同半導體產業之IC晶片晶圓概念設計一4吋圓盤基底，再將基盤劃分各區域，可於單一模穴上製作多區域不同的微結構，本實驗使用V型溝槽作為實驗之微結構，其高度為23.25 μm、中心間距47 μm及頂角為90度如圖2所示。材料使用奇美PC-175，玻璃轉化溫度為145°C。

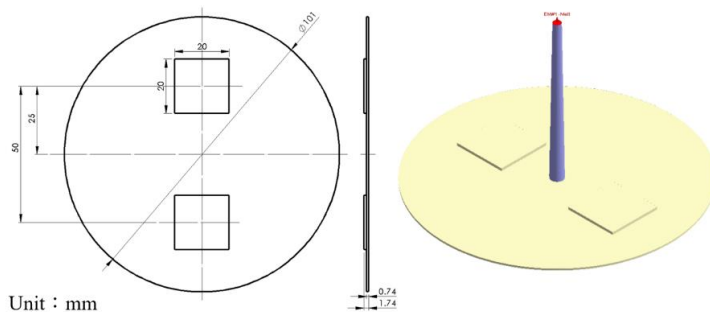


圖1 產品概念設計圖

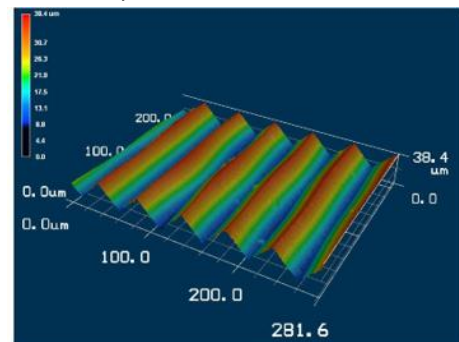


圖2 V型溝槽鑲模仁雷射共軛焦圖

2.2 模仁設計

本模仁設計上，應用感應加熱及鎳模仁鑲塊配合如圖 3 所示，模仁採用上蓋板及感應加熱模塊之設計，透過上蓋板將鎳模鑲塊壓緊與止付螺絲固鎖，使鎳模鑲塊有足夠的壓力與避免脫模造成上蓋的滑移。模溫設定 90°C，並於感應加熱模塊設計一圓槽供 U 型熱電偶插入，應用於成型時之感應加熱升溫量測。

此外，由於採用內埋式感應加熱方式，為考量感應加熱對於模內各區域影響，感應加熱模塊及上蓋板分別採用高導磁性合金元素 SDK61 模具鋼材料，使其有利於感應加熱且足夠的強度承受射出成型壓力，在模塊固鎖螺絲部分則採用 SUS316 材料，避免固鎖區域受到感應加熱的影響，實體模具如圖 4、圖 5 所示。

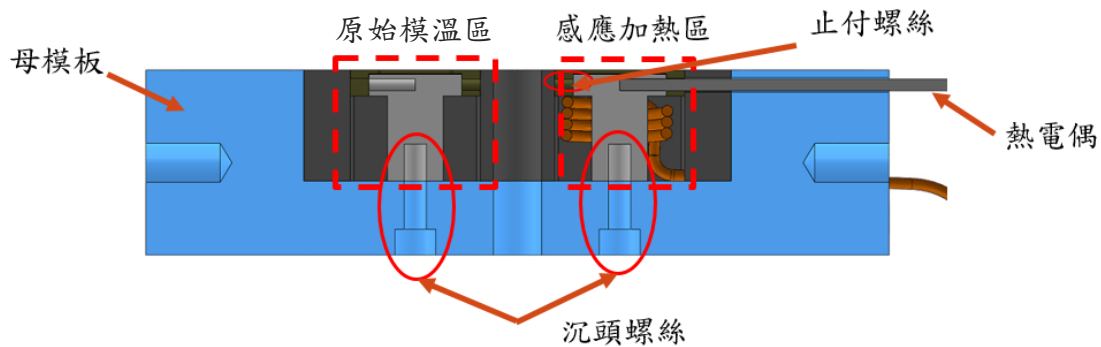


圖 3 模仁鑲塊組合示意圖

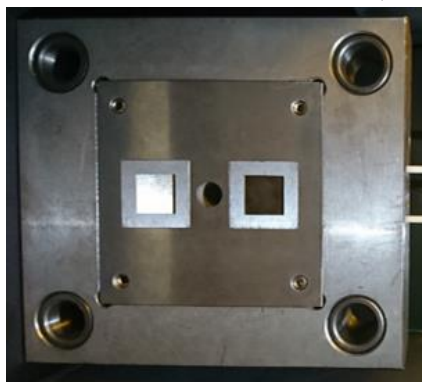


圖 4 母模組立圖

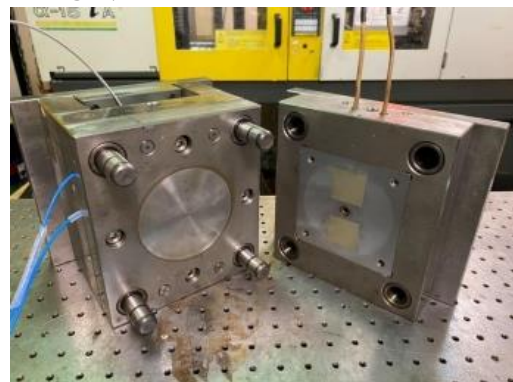


圖 5 實際加工完成之模具

3. 微結構成型與量測

3.1 模具感應加熱升溫實驗

本實驗欲探討局部感應加熱對於射出成型微結構之影響，透過感應加熱機對模仁鑲塊進行升溫，藉此改變局部區域達到不同模具溫度，與無感應加熱的模穴之成品進行成型比較，感應加熱秒數與模具溫度的關係如圖 6 所示，0 秒時為無感應加熱僅透過水路加熱模具。在感應加熱時間溫度曲線中可得出，在感應加熱 0~4 秒時，模具溫度皆沒有超過 PC-175 的玻璃轉化溫度，在感應加熱 8~10 秒時，此時模具內溫度已經超過 PC-175 的玻璃轉化溫度，可大幅降低充填過程中產生凝固膚層，使微結構成型狀況良好，並減少因膚層的產生導致流動阻力上升，減少充填壓力。

在水路溫度設定為 90°C 的條件下進行感應加熱 8 秒，模仁鑲塊可被加熱至 143°C，其溫升約為每秒 6°C，模仁鑲塊內部與鎳模仁表面約有 15~20°C 左右的溫差，推斷是由於鎳模仁與鑲塊間的热傳導損失所造成，在上蓋板的部分溫度僅有 10°C 內的變動，表示僅於微結構成

型區域內有較大的溫升，不易影響模穴內的其餘區域如圖 7 所示。使用局部感應加熱技術可使微結構區域提高溫度，不易影響其他區域，使整體模溫變動幅度較低，相較於外部式感應加熱機構亦或是冷熱水交替式的變模溫技術，局部式感應加熱技術可使冷卻時間縮短，降低成型週期時間。

模具溫度的穩定性對於微結構的品質亦是影響的關鍵，為確保射出成型之成品品質一致，在此針對模仁鑲塊進行反覆的升溫測試，其結果如圖 8 所示，顯示其重複加熱穩定，表示此設計得以穩定的持續進行局部的加熱升溫。

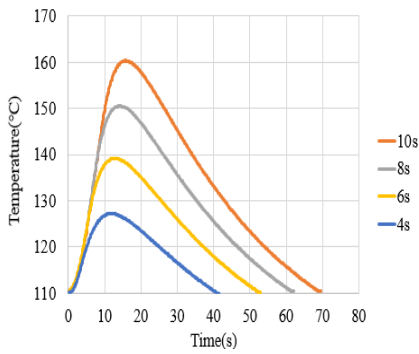


圖 6 感應加熱時間溫度曲線

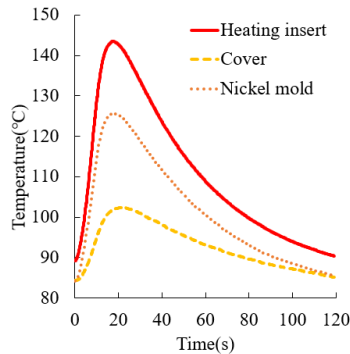


圖 7 模仁鑲塊升溫曲線圖

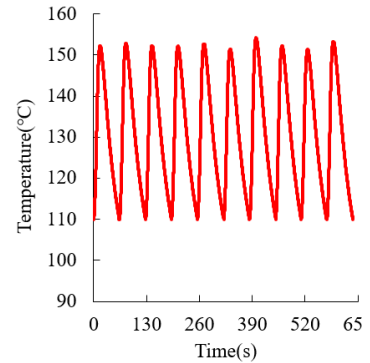


圖 8 模仁鑲塊反覆升溫曲線

3.2 感應加熱時間對轉寫率影響

本實驗透過 V-cut 微結構之鎳模仁作為射出成型微結構，探討傳統射出成型、射出壓縮成型兩種製程及感應加熱時間變化對於微結構成型影響，V 型溝槽與鎳模仁轉寫率比較如表 1、表 2 所示。成型實驗中 IM 及 ICM 皆選擇原始模具溫度及四種感應加熱秒數進行參數設定，探討微結構轉寫率定義為：

$$\text{轉寫率(\%)} = \frac{\text{成品微結構深度}}{\text{鎳模仁結構深度}} \times 100\% \quad (1)$$

比較結果可得，於感應加熱 8 秒後，轉寫率已達 90% 以上，且射出壓縮成型較傳統射出成型複製結構高度較為高且均勻。

表 1 傳統射出成型之 V 型溝槽不同加熱時間轉寫率比較表

PC	Near Gate		Center		Far Gate		Average	
	Height (μm)	Replication rate (%)	Height (μm)	Replication rate (%)	Height (μm)	Replication rate (%)	Height (μm)	Replication rate (%)
IM								
0s	9.10	39.15	9.11	39.18	10.08	43.33	9.43	40.55
4s	10.45	44.94	10.15	43.67	10.56	45.40	10.39	44.67
6s	12.49	53.72	22.46	96.59	12.66	54.44	15.87	68.25
8s	22.23	95.62	22.51	96.80	22.45	96.56	22.40	96.32
10s	22.78	97.99	22.77	97.91	22.46	96.60	22.67	97.50

表 2 射出壓縮成型之 V 型溝槽不同加熱時間轉寫率比較表

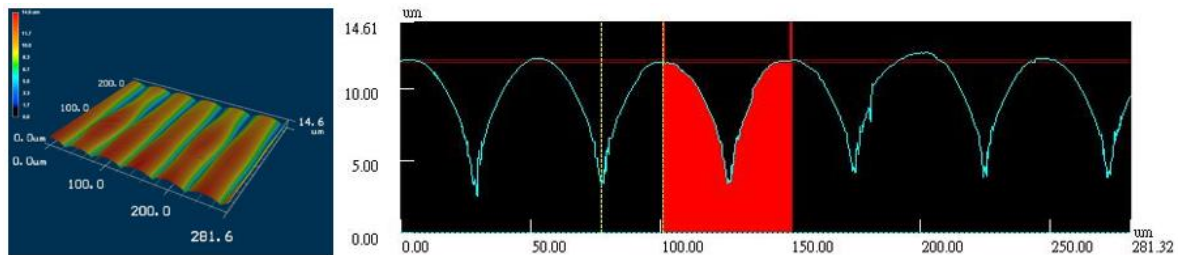
PC	Near Gate		Center		Far Gate		Average	
ICM	Height (μm)	Replication rate (%)	Height (μm)	Replication rate (%)	Height (μm)	Replication rate (%)	Height (μm)	Replication rate (%)
0s	8.58	36.90	8.16	35.08	8.69	37.36	8.47	36.45
4s	12.55	53.97	14.58	62.70	12.71	54.64	13.28	57.10
6s	14.22	61.13	22.40	96.32	14.11	60.69	16.91	72.72
8s	22.25	95.67	22.34	96.06	22.18	95.39	22.25	95.71
10s	22.25	95.67	22.73	97.76	22.17	95.35	22.38	96.26

3.3 微結構量測

本實驗以 V 型溝槽作為可替換式鎳模仁微結構搭配射出壓縮成型[3]，進行成型實驗，比較原始模具溫度及感應加熱 8 秒的複製轉印程度，並拍攝雷射共軛焦圖。

成品於原始模具溫度條件下成型，V 型溝槽尖端呈現圓弧狀，其尖端點由於熔膠與冷模壁接觸產生膚層，導致複製不完全，隨著感應加熱時間提升至 8 秒時，微結構逐漸充填完全，表示此時的模具溫度足以有效減緩熔膠的膚層產生，微結構完整填充，成品轉寫率達 97% 以上，微結構深度良好，透過雷射共軛焦進行量測，結果如圖 9 所示。

(a)



(b)

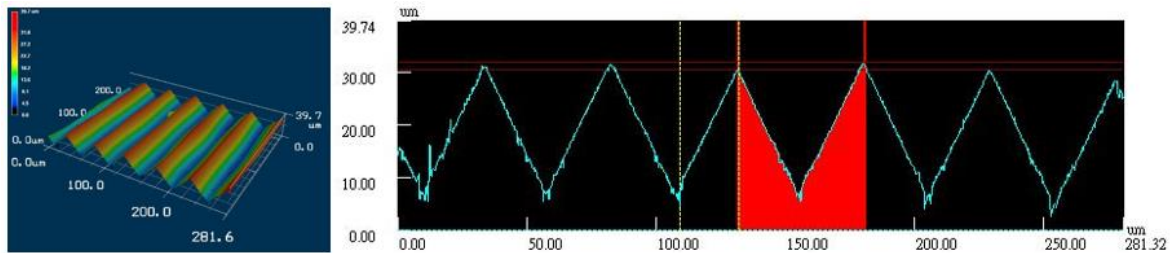


圖 9 感應加熱溫度之雷射共軛焦圖 (a) 加熱時間 0 秒 (b) 加熱時間 8 秒

4. 光學性質檢測

射出成型之成品可藉由光彈應力分析檢測[4]，判斷是否有殘留應力影響光學性質以及尺寸穩定性。成品之光彈應力分析結果如圖 10 所示，傳統射出成型產品中可以看到，由於高流長比之薄件會因膚層的產生導致流動阻力增加，在澆口附近與成品周圍皆有密集的光彈條紋分佈，使此區域在成型過程中有較大的殘留應力存在，而射出壓縮成型產品與傳統射出成型相比，則大幅減少光彈條紋的分佈及數量，因在充填過程中，模穴內保持一壓縮間距，使得熔膠有較大空間進行充填，降低充填時造成的殘留應力，在壓縮過後，產品受到模座底部均勻的鎖模力，所受壓力較傳統射出成型均勻，較少殘留應力的產生，光彈條紋較傳統射出成

型鬆散。



I.M.(Best parameter) I.C.M.(Best parameter)
圖 10 射出成型及射出壓縮成型成品之光彈應力分析

5. 結論

本研究開發局部感應加熱系統應用於微結構成型於基盤上，模具設計具替換式鑲塊可於不同微結構成型應用，並透過內埋式線圈局部感應加熱模仁鑲塊，使用局部感應加熱技術可使微結構區域提高溫度，不易影響其他區域，使整體模溫變動幅度較低，相較於外部式感應加熱機構亦或是冷熱水交替式的變模溫技術，局部式感應加熱技術可使冷卻時間縮短，降低成型週期時間。

首先對感應加熱機構進行升溫測試，可使模仁區達每秒 6°C 之升溫效果，且進行反覆的升溫測試，其升溫穩定且加熱集中於微結構區域內，後續將應用於實際成型微結構之實驗中。

實際成型微結構實驗中，設定模具溫度為 90°C ，其結構複製率僅 40%，藉由感應加熱模仁鑲塊 8 秒後，微結構複製率可上升至 97% 以上，表示此時的模具溫度足以有效減緩熔膠的凝固膚層產生，且在加熱 0~4 秒間，發現 ICM 之微結構複製率優於 IM 且較均勻，代表透過壓縮的作動能提升微結構複製及其均勻度。

本實驗設計之模具及其機構加工完成後，由光學性質結果可以明顯看出射出成型成品上之光彈條紋非常多且密集，有較大的殘留應力存在，而射出壓縮成型成品之光彈條紋較少且疏散，可見較少殘留應力，且壓力均勻分布。

6. 參考文獻

1. Q. Su, N. Zhang, and M. D. Gilchrist, “The use of variotherm systems for microinjection molding,” *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 133, no. 9, 2016
2. S. Y. Yang and M. Z. Ke, “Experimental study on the effects of adding compression to injection molding process,” *Adv. Polym. Technol.*, vol. 14, no. 1, pp. 15 – 24, Spring 1995.
3. S. Hong, I. Min, K. Yoon, and J. Kang, “Effects of adding injection – compression to rapid heat cycle molding on the structure of a light guide plate,” *J. Micromechanics Microengineering*, vol. 24, no. 1, pp. 015009 – 015024, 2014.
4. W. Michaeli, S. Heßner, F. Klaiber, and J. Forster, “Geometrical Accuracy and Optical Performance of Injection Moulded and Injection-compression Moulded Plastic Parts,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 56, no. 1, pp. 545 – 548, 2007.