

脈衝式冷卻之模具溫度歷程探討及模擬應證

Simulation and Verification on Mold Temperature variation of Pulsed-Cooling

陳夏宗¹，謝昀臻¹，董世賢¹，邱彥程²，楊文賢²

1. 中原大學機械工程系

2. 科盛股份有限公司

摘要

現今市面上的所有產品，除了對於表面與光學品質的講究，同時產品本身重量也隨之降低，但是在整體結構要維持一定強度。從文獻可知，我們可以利用提高模具溫度來解決這些問題。但是提升模具溫度卻會增加整個成型週期的時間，是因為較高的模具溫度需要較長的冷卻時間，當我們要保留高模具溫度能提升成品品質的特性並且又不增加冷卻時間時，即利用脈衝式冷卻的方式來達到我們要求的效果。

脈衝式冷卻不僅會產生滯熱效應達到提高模溫的效果，使產品成型時可以有較佳的成型條件，同時可在短時間內就將熱量帶離模具，所以冷卻效率又比傳統式冷卻來著高，使成型週期不因冷卻時間而增加。因此對於此部分實驗與分析，將搭配相同成型參數，以比對脈衝式冷卻與傳統式冷卻的差異，了解其溫度的歷程以及其溫度對於整個週期的影響，以應證論文的理論。

關鍵字：脈衝式冷卻、變溫技術、動態模溫控制。

一、前言

3C(Computer, communication, consumer electronic)產品市場一直隨著科技進步而演進，多半有著重量輕、外殼薄以及外型絢麗的特性，但是較為輕薄的成品必定伴隨著較大的流動阻力，成品受到溫度的影響也隨之提升。除此之外當產品的開發週期越來越短，為了因應提升生產速度而使用多點進澆來成型，卻會有結構強度的問題發生，例如融合線與殘留應力的發生。有融合線處機械強度會較其他部份來的脆弱，而殘留應力過大會使得成品成型後受到外力較易毀損。因此為了避免缺陷的發生，一般會採用提高模溫使熔膠黏度下降來解決此問題，在提高模溫的同時相對的流動性便上升。分子亦具有較長的時間可以結晶，此時產品的成型品質可大幅提升，對於一融合線的強度亦因為成

型溫度較高，使得分子間的混練程度有所提升。

以此成型參數的改變可確實的改善產品的品質，但是唯一的缺點則是整個成型週期會因冷卻時間增加使得整體時間也隨之拉長，為了保留高模溫之優點以及避免增加成型週期，所以使用動態模溫控制來解決所有的問題。動態模溫控制包含火焰加熱、感應加熱、模內鍍層以及脈衝式冷卻，此技術在充填的過程中，可以瞬間給予一高溫於模仁表面，使得熔膠流動性較佳。當進入到冷卻階段時，模具溫度提升僅限於模仁表面，所以可以在瞬間就使溫度下降而不影響整個成型週期。因此能有效的控制溫度歷程，就能精準地設定整個成型參數及其切換時間，無庸置疑的對於整個射出成型產業更是一大推力。

二、研究方法

本研究在硬體架構上主要是將傳統模溫機修改為具有脈衝式冷卻之功能之模溫機，在控制上面有兩種功能，能夠自由切換模式去搭配拉伸試片模具(圖 2)與溫度感測器，並且完整的量測出溫度歷程。對於此溫度歷程所擷取的資料在於穩定後單週期的升溫以及最高溫度(圖 1)，在單週期溫升方面主要是為了瞭解在充填時，模溫可以提高多少溫度已增加流動性。而在最高溫度部分則是能測量出，當我們以一低於傳統冷卻模溫所設計的溫度卻還是有著相同的模溫效果，以至於能達到節省能源的結果。

在實驗部分將搭配設計的製程參數(表 1)去做試驗，其中包含改變料溫和模溫(表 2)。擷取溫度的方式，則是將溫度感應器埋設在距離模面 1mm 的位置(圖 3)，分別記錄脈衝式與傳統式冷卻在模具內連續成型週期的溫度變化歷程。而冷卻方式最大的差別在於脈衝式冷卻的冷卻水會停滯在模具之內，此時冷卻水帶走的熱量大幅減少反而因為熔膠的熱量提升了整體模具的滯熱效果。同時分析部份依舊採用相同的製程參數以 Moldex3D®做分析，模型的建製配合原實體模具繪製而成(圖 4)，使用的參數以及材料也忠實呈現與實驗相同，以 Teijin 公司所生產的 AD-5503 做設定。對於所得到的資料將會搭配實驗的結果做相互比對，比較結果是否趨勢正確，並且以分析的方式探討溫度歷程的真實性是否和實驗一致。

三、結果與討論

在搭配不同的製程參數所得到的結果中，穩定後最高升溫在實驗部份(圖 5)能觀察出會隨著模溫及料溫而提高，雖然幅度並不明顯，但是從數據中有的趨勢可

以證明，當使用脈衝式冷卻可以使模具升高大約 3~5°C。相對的以穩定後的單週期溫升來看(圖 6)，在不同之製程參數所得到的結果顯示傳統式冷卻升溫範圍在 2~2.4°C 的之間，而脈衝式冷卻溫升範圍則是略高於傳統式冷卻模溫的結果。

就分析的資料顯示(圖 7 與圖 8)，其結果在脈衝與傳統式冷卻差異並不大，溫度差異大約都是在小數點下兩位，但是數值以及趨勢則是非常貼近於我們實驗的結果。而在穩定後最大溫度於實驗對分析的比較結果顯示(圖 9 與圖 11)，脈衝式冷卻確實較傳統來的高溫，但差異有限。對於單週期溫升所顯示(圖 10 與圖 12)，在實驗與分析的結果亦如同最高溫度的所得到的結論。除此之外對於模具溫度整體來說，冷卻水路設計並非對稱的關係，使得我們在公母模的模仁溫度會有些許的差異(圖 13 與圖 14)，但是分析顯示的是平均溫度，所以本身公母模並不具太大的溫度差。綜合以上的資訊可以得到實驗設計與分析結果是正確的，使我們將來在使用此製程可以預先知道要怎麼去決定成型參數。

四、結論

脈衝式冷卻在充填階段因為冷卻水沒有繼續帶走熱量，使得塑料的熱量傳遞至模具表面，能夠使塑料本身在充填過程有較高的模溫，以提高轉寫性、結構強度以及表面品質等特性，達到本次研究所要的結果。對於單週期溫升的結果顯示，當通以一樣溫度冷卻水，同時對於流動截面與距離維持定值，由熱傳導公式可知，溫度較高的模具會被帶走比較多的熱量。

$$\dot{Q} = -\lambda A \frac{dT}{dx}$$

所以在達到相同的冷卻時間使用一脈衝

式冷卻可以較傳統式冷卻有更快的冷卻效率。除此之外就其單週期溫升成效來看，脈衝式冷卻只比傳統式冷卻略高0.1~0.2°C，此原因在於模具的冷卻水路設計。當模具的冷卻水路設計較為均勻佈滿於成品之上時，可產生比傳統式冷卻更佳的滯熱效果，使得模具在充填過程會有比較高的成型模溫。

在分析的比較結果中，在穩定後最大溫度以及單週期溫升所呈現的趨勢雖然和實驗是一致的，但是在脈衝與傳統式冷卻數值結果差異卻非常的小，就此也了解本實驗的水路設計不良，在分析也得到相同的結果。從以上的分析結果得到的趨勢非常相似，也增加了軟體分析的可信度，相對的亦對於整個實驗做了強而有利的佐證。

五、參考文獻

1. D. Yao and B. Kim, "Development of Rapid Heating and Cooling System for Injection Molding Applications", Polymer Engineering and Science, Vol.42, No.12, pp.2471-2481. (2002).
2. D. Yao and B. Kim, "Rapid Thermal Response Molding for Cycle Time Reduction", SPE ANTEC Tech. Paper, pp.607-611. (2003).
3. D. H. Kim, M. H. Kan and Y. H. Chun, "Development of A Notebook PC Housing by Using MMSH (Momentary Mold Surface Heating) Process", SPE ANTEC Tech. Paper, pp.3347~3350. (2001).
4. 彭信舒, "射出成型模具表面瞬間加熱建置與分析之研究", 私立中原大學機械工程學研究所博士論文(2003)。
5. 江志良, "動態模溫控制模擬驗證之研究", 私立中原大學機械工程學研究所碩士論文(2004)。
6. 陳彥成, "射出成型模具表面鍍層滯熱方法建置、分析與應用之研究", 私立中原大學機械工程學研究所博士論文(2005)。
7. 劉淞池, "脈衝式冷卻技術對DVD基板微結構及Dummy成型品質之研究", 私立中原大學光機電及資電控研究所技術報告(2007)。
8. 張崇輝, "脈衝式冷卻模溫控制對於藍光光碟片溝軌翹曲及複製率之影響", 私立中原大學光機電及資電控研究所技術報告(2007)。
9. 科盛科技, "CAE模流分析技術入門與應用", 全華書局(2004)。
10. 謝昀臻, "脈衝式冷卻之模具溫度歷程探討及模擬應證", 私立中原大學光機電及資電控研究所技術報告(2008)。

六、圖表彙整

表 1 成型參數

| 成型參數 | |
|------|----------|
| 充填時間 | 0.18 (s) |
| 保壓時間 | 0.2 (s) |
| 冷卻時間 | 15 (s) |
| 成型週期 | 24 (s) |
| 射出速度 | 300 mm/s |
| 射出壓力 | 150 MPa |
| 保壓壓力 | 120 MPa |

| | |
|------|------------------|
| 熔膠溫度 | 330, 345, 360 °C |
| 模具溫度 | 84, 99, 114 °C |

表 2 實驗方法

| | 模溫 | 料溫 | 製成 |
|----|-----|-----|----|
| A1 | 84 | 330 | 傳統 |
| A2 | | | 脈衝 |
| A3 | | 345 | 傳統 |
| A4 | | | 脈衝 |
| A5 | | 360 | 傳統 |
| A6 | | | 脈衝 |
| B1 | 99 | 330 | 傳統 |
| B2 | | | 脈衝 |
| B3 | | 345 | 傳統 |
| B4 | | | 脈衝 |
| B5 | | 360 | 傳統 |
| B6 | | | 脈衝 |
| C1 | 114 | 330 | 傳統 |
| C2 | | | 脈衝 |
| C3 | | 345 | 傳統 |
| C4 | | | 脈衝 |
| C5 | | 360 | 傳統 |
| C6 | | | 脈衝 |



圖 1 拉身試片模具圖

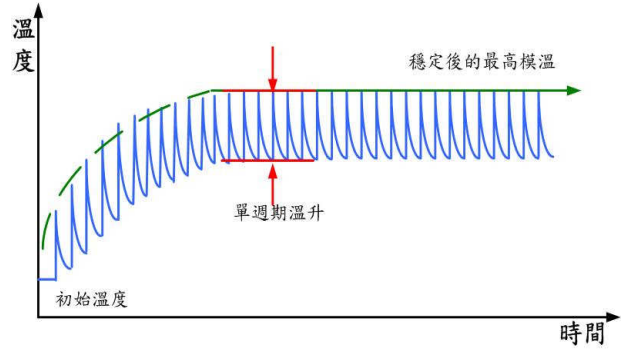


圖 2 穩定後最高模溫所擷取單週期升溫說

明圖

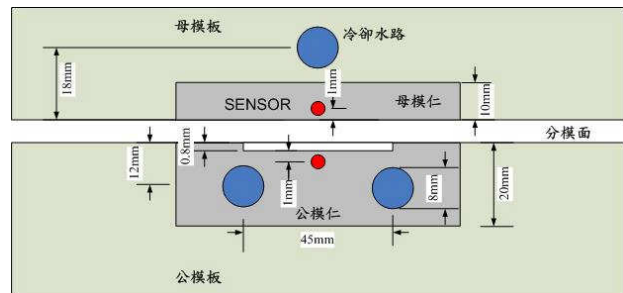


圖 3 sensor 埋設位置剖面圖

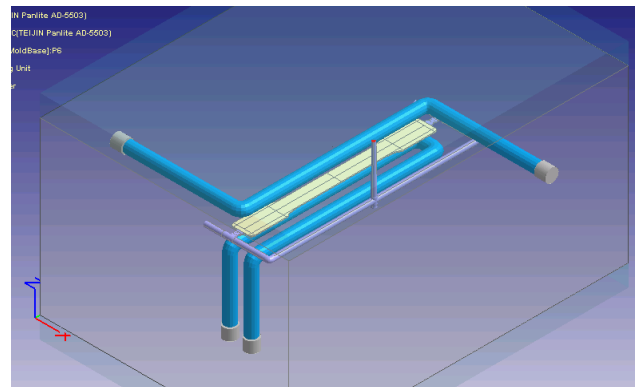


圖 4 Moldex3D 網格建立結果

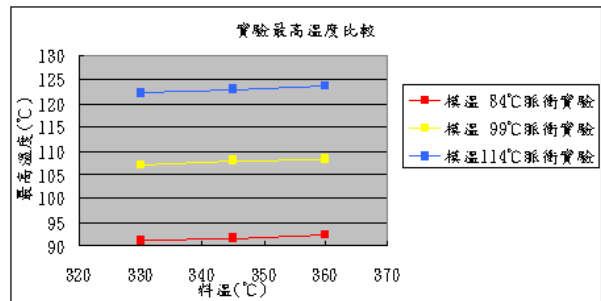


圖 5 脈衝式冷卻實驗最高溫度模溫對料溫比較

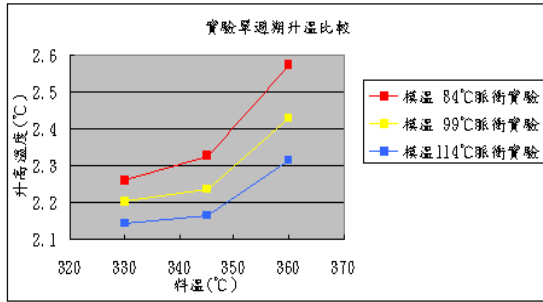


圖 6 脈衝式冷卻實驗單週期溫升模溫對料溫比較

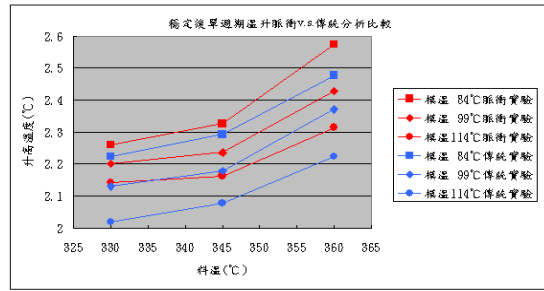


圖 10 穩定後脈衝式冷卻單週期溫升實驗結果比較

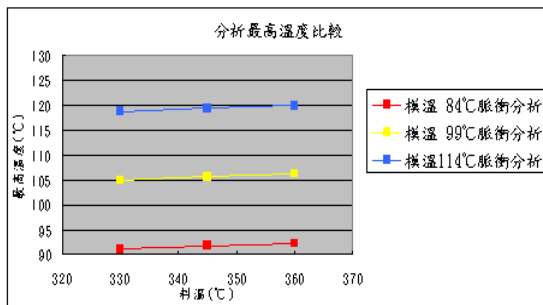


圖 7 脈衝式冷卻分析最高溫度模溫對料溫比較

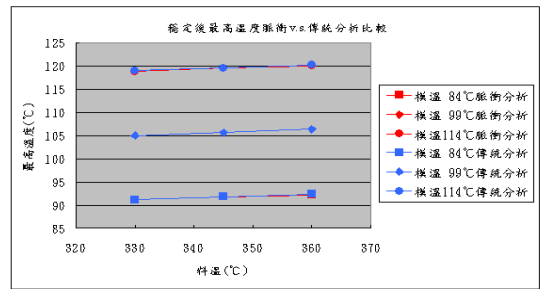


圖 11 穩定後脈衝式冷卻最高溫度分析結果比較

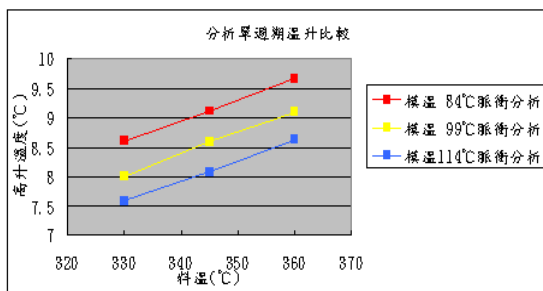


圖 8 脈衝式冷卻分析單週期溫升模溫對料溫比較

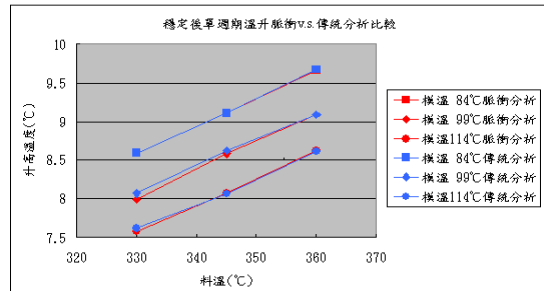


圖 12 穩定後脈衝式冷卻單週期溫升分析結果比較

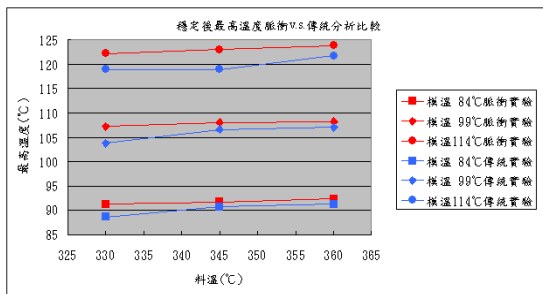


圖 9 穩定後脈衝式冷卻最高溫度實驗結果比較

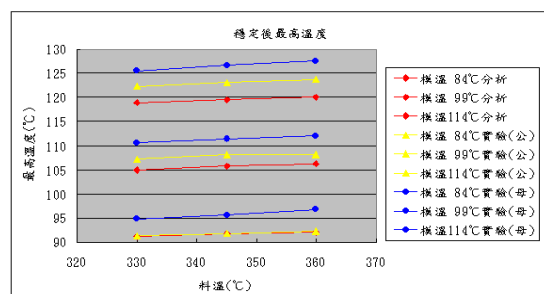


圖 13 穩定後脈衝式冷卻最高溫度分析與實驗比較

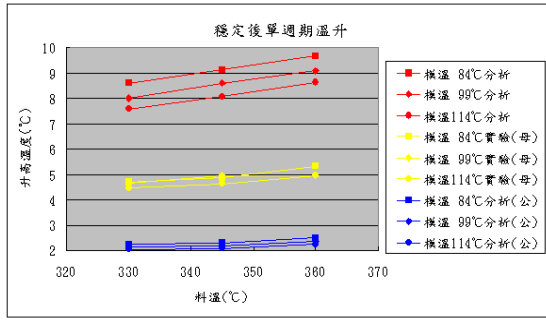


圖 14 穩定後脈衝式冷卻單週期溫升分析與實驗比對