

變模溫控制之下溫度變化特性

The Variation Characters Of Mold Temperature Under Variotherm Mold Temperature Control

邱彥程¹ 王宏洲¹ 邱顯森¹ 游朝凱¹ 楊文賢¹ 張榮語²

Yan-Chen Chiou¹, Hung-Chou Wang¹, Hsien-Sen Chiu¹, Chau-Kai Yu¹, Wen-Hsien Yang¹, and Rong-Yeu Chang²

1. 科盛科技股份有限公司
CoreTech System (Moldex3D) Co., Ltd
2. 國立清華大學化學工程系
Dept. of Chemical Engineering, National Tsing-Hua University

摘要

近年來由於變模溫技術的發展，射出成型在模溫控制上呈現更多樣的可能性，其考慮的不只是設定模溫高低，也需考慮模具溫度的前後狀態變化，以掌握成型過程之中，模具整體溫度狀態。尤其是模具之中的溫度控制元件，包含了加熱及冷卻等不同溫度來源，更增添了溫度操作上的變數。因此，我們藉由 CAE 工具研究模溫變化，討論在變模溫下溫度變化特性，進而協助決定最佳成型條件。

關鍵字：變模溫製程，模溫控制，熱電偶

Abstract

With the development of variotherm mold temperature control, people use this technique to fit the different demands in injection molding. Not only the present mold temperature settings, but also the temperature distribution of the previous state will affect mold temperature. Especially, when there are several layouts of mold temperature controls with different heating sources and cooling sources, whole mold temperature properties would be very sensitive. As a consequence, we study mold temperature control system through CAE simulation, and discuss thermal features of variotherm processes.

Keyword: variotherm, mold temperature control, thermal couple

一、前言

冷卻系統的設計，一向是影響射出成型成品好壞的重要因子，良好的冷卻系統，可以縮短週期，同時改善產品品質。透過 CAE 模擬可以驗證事先構想的冷卻系統，並提供使用者找出最佳的設計方向。在 CAE 模擬之中，普遍將水管及模座的溫度分佈假設為穩態，並用來計算塑件隨時間的變化是較為快速並且可行的，然而在動態模溫的製程下，水路的溫度不再保持不變，將模座假設為一穩定狀態的方式已不適用，因此，模擬出模座隨時間變化的溫度分佈情形是十分重要的。藉由暫態的模擬，方能在動態模溫的製程下，清楚看出當水管設定改變時影響溫度分佈的情形。

在射出成型的充填過程中提高模溫有許多好處，不只是提高流動性，產品的成型品質可大幅提升，融合線強度亦因而提高，然而高模溫也會增加所需要用來冷卻塑件的時間，因此可變模溫的製程，便是兼具於充填時提高模溫的優點。動態模溫控制的方式包含急冷急熱(Rapid Heat Cycle Molding)、脈衝式冷卻(Pulsed-Cooling)、水管溫度的冷熱切換等。

在動態模溫的製程中，比一般傳統製程的模溫變化更為顯著的，考慮的因素也很多，像是變換模溫需要多少時間，模溫分佈是否均勻…等等，也因此，如何控制製程以確保預定模溫目標，便是值得我們去研究的課題。

在本篇研究中，以水管溫度的冷熱切換時間點為研究對象，利用 CAE 工具找出加熱及冷卻時間的最佳切換時機，作為使用變模溫製程的參考。

二、理論

能量守恆

整體的熱傳現象主要是由三維的 Poisson 方程

式所控制，如下所示

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

其中 T 代表溫度， t 代表時間， x, y, z 分別為卡氏座標中的三個向量， ρ 是密度， C_p 是比熱， k 為熱傳係數，其中模座及塑件的熱力性質均以此統御方程式來計算

初始條件

初始模溫是假設與所給定的初始設定值相同，而初始塑件溫度分佈則是藉由充填與保壓結束時的溫度分佈結果所獲得，如下所示

$$T(0, \bar{r}) = \begin{cases} T_c, & \text{for } \bar{r} \in \Omega_m \\ T_p(\bar{r}), & \text{for } \bar{r} \in \Omega_p \end{cases} \quad (2)$$

邊界條件

藉由水管的流動，會帶走塑件於熔融狀態下的熱量，而周圍的空氣也會藉由熱對流的效應帶走模座表面的熱量，在此研究中，將忽略熱幅射的效應，其中模座的表面及介面間的狀態如下

$$\text{for } t \geq 0, \quad -k_m \frac{\partial T}{\partial n} = h(T - T_o) \quad (3)$$

n 代表模座邊界的正向，在模座外表面的邊界條件：

$$h = h_{air}, T_0 = T_{air} \quad \text{for } \bar{r} \in \Gamma_m \quad (4a)$$

在冷卻水路表面的邊界條件：

$$h = h_c, T_0 = T_c \quad \text{for } \bar{r} \in \Gamma_c \quad (4b)$$

熱傳係數 h_c 和 h_{air} 是藉由在傳輸現象中的實驗公式所取得。

數值離散方法

在這份研究中，數值方式是使用有限體積法(Finite Volume Method)來計算此統御方程式，這個解算器已經成功應用在射出成型的模擬中，並藉由許多實驗結果來確保其可靠性及

其效率，選擇合適的解算器可以處理包含四面體、六面體、角柱體、金字塔體，當沒有對網格做額外強化時，角柱體元素也被用來改善對熱邊界的解算，此種方法已被應用於處理百萬級元素的模座冷卻分析。

三、結果與討論

在變模溫製程中，管路除了通過冷卻液冷卻模具之外，也會利用其它高溫物質如油、水蒸氣來提高模具溫度，本研究則是選擇高溫水作為加熱來源，在充填及開模階段進行加熱，另外在保壓及冷卻階段進行冷卻。圖一顯示本研究的幾何模型及水路設計，此模座大小為 17.5 公分 x 21.2 公分 x 8.9 公分，塑件厚度為 1 公釐，圖二顯示感測點在模座的位置。

在本篇研究中，分成兩個部份。先採用以固定時間控制的變模溫製程，作為最佳化之前的對照組，在這個製程之中，冷卻加熱的切換時間，在射出之前就已經決定了，其製程溫度設定列於表一。另外一個製程，則以模溫及塑件溫度作為最佳化條件，針對冷熱切換的時間點進行最佳化，其條件列於表二，加熱溫度選擇 120°C，以便減少加熱時間，在這個分析之中將根據結果，提供一個最佳化的冷熱切換時間，將於後文進一步討論。

固定時間變模溫製程

表三列出切換冷熱水溫的時間長度，利用這個時間設定進行分析，其分析之後的週期變化歷程顯示於圖三，圖四(a)顯示在加熱階段模具的溫度分佈，圖四(b)顯示在冷卻階段模具的溫度分佈。

在進行以上分析之前，為了提早達到穩定週期狀態，需要先對模具進行預熱，讓模具從室溫上升達到指定初始溫度，適當的預熱時間可以確保在第一射就達到工作溫度。如何知道所需之預熱時間，讓模具整體都達到指定溫度，此時就可以利用 CAE 分析提供預測的方向，方便觀察並統計模具各個位置的溫度。圖五即顯示從室溫加

熱至模溫 100°C 所需時間及溫度歷程，此分析結果就可以知道至少要多久時間，才能開始第一次射出。

時間最佳化變模溫製程

變模溫製程中一項重要的問題是如何決定加熱與冷卻的時機，而這個時機由模溫決定，由於塑件接觸模座的區域只有在模穴表面，因此考慮時，只需要量測模穴表面的溫度變化。

透過 CAE 分析，就能輕易地監控任意區域的溫度。在加熱時，可監測並統計模穴表面的溫度，而在冷卻時，亦可觀察塑件內部的溫度狀態，以得知塑件整體溫度是否已經降到頂出溫度。利用加熱及冷卻的兩種條件(表二所示)，CAE 分析時自動調整加熱及冷卻時間，其分析過程的溫度歷程顯示在圖六。最後一個週期即為最佳化之加熱及冷卻時間，最佳時間結果列在表四。再利用此最佳化時間進行分析，其溫度歷程顯示於圖七。從表三及表四的結果得知，未最佳化前週期時間為 35 秒，最佳化之後時間為 31 秒，縮短了 4 秒的週期時間，提高了生產效率。

圖八顯示靠近模穴表面的溫度歷程，圖九顯示靠近水管附近的溫度歷程，圖十顯示靠近模座表面的溫度歷程，由上三圖比較可以知道，離水管越遠，溫度變化越趨緩，且變動範圍並沒有改變，顯示以此冷熱時間設定，可提供模具一個穩定的模溫環境，模溫變動範圍不會有持續改變之慮。

四、結論

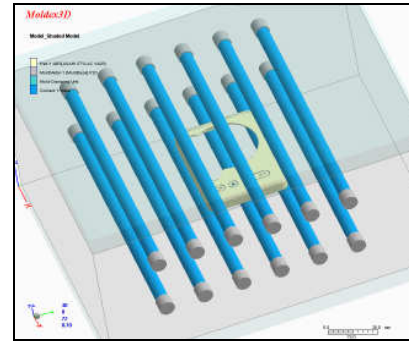
在本篇研究中，可以觀測模具內任意位置之溫度歷程，由不同位置的溫度變化可以發現不同的熱傳特性，進一步利用這些資訊，可以找到預熱所需時間，也可找出射出所需的最佳加熱冷卻時間，藉此增加變模溫的效率，並達到節能減碳的目的，同時也能減少週期時間，協助掌握最佳之變模溫製程。

表四 最佳化的預熱時間，冷卻時間及加熱時間。

預熱時間	51 秒
冷卻時間	6 秒
加熱時間	26 秒

五、參考文獻

- [1]. R. Y. Chang and W. S. Yang, "Numerical Simulation of Mold Filling in Injection Molding Using a Three-dimensional Finite Volume Approach", Int. J. Numer. Meth. Fluids, Vol.37, 125-148(2001)
- [2]. YuFeng Chen, Venny Yang, WenHsien Yang and Rong-Yeu Chang, "Temperature characteristics of moldbase in RHCM process with 3D Fully Transient Simulation", 1295, ANTEC 2006
- [3]. J. A. Chang, S. C. Chen and J. C. Cin, "Rapid Mold Temperature Control on Micro Injection Molded Parts with Aspect Ratio Micro-features", 1275, ANTEC 2006
- [4]. Y. C. Chiou, Y. Y. Chou, H. S. Chiu, C. K. Yu and C. H. Hsu, "Integrated true 3d simulation of rapid heat cycle molding process", ANTEC 2007

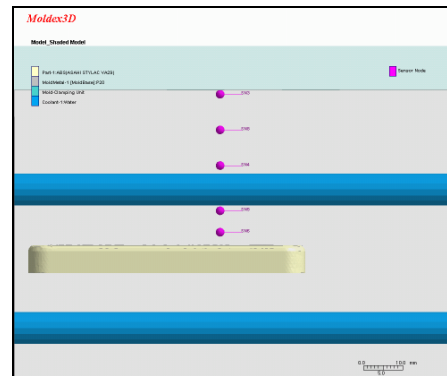


圖一、模具塑件跟水管的幾何形狀

七、圖表彙整

表一 以固定時間切換水溫的變模溫製程設定

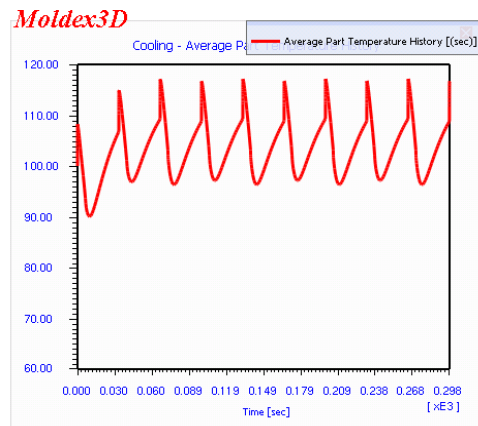
熔膠溫度	225°C
頂出溫度	110°C
冷卻液溫度(加熱狀態)	100°C
冷卻液溫度(冷卻狀態)	25°C



圖二、感測點在模具中的位置

表二 以溫度條件切換水溫的變模溫製程設定

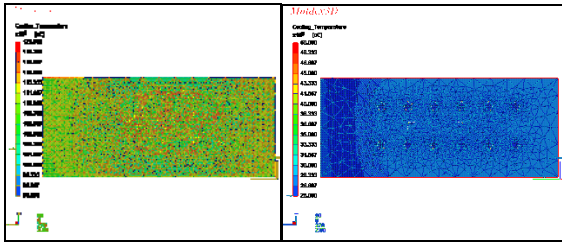
加熱狀態條件 (冷卻液溫度 120°C)	模溫大於 100°C
冷卻狀態條件 (冷卻液溫度 25°C)	塑件溫度小於 110°C



圖三、平均模溫隨週期變化(未最佳化之前)

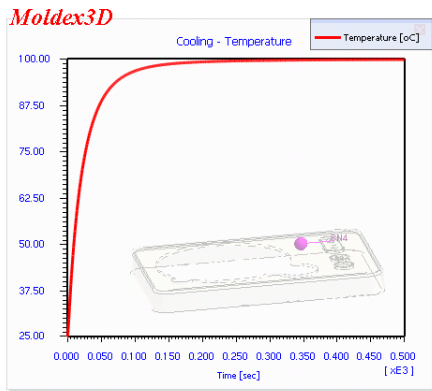
表三 以固定時間控制變模溫製程，未最佳化前所設定之切換時間

預熱時間	124 秒
冷卻時間	5 秒
加熱時間	30 秒

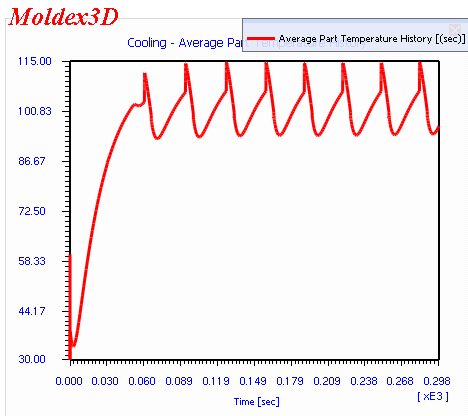


(a) (b)

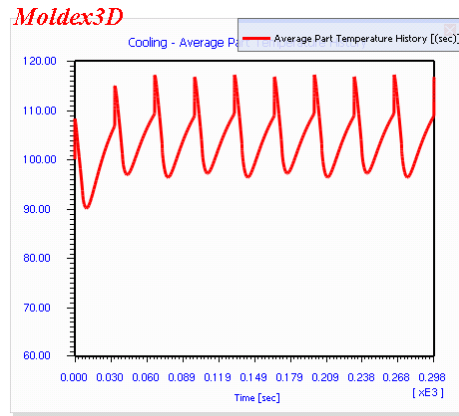
圖四、模溫分佈剖面(a) 加熱狀態模溫 (b)冷卻狀態模溫



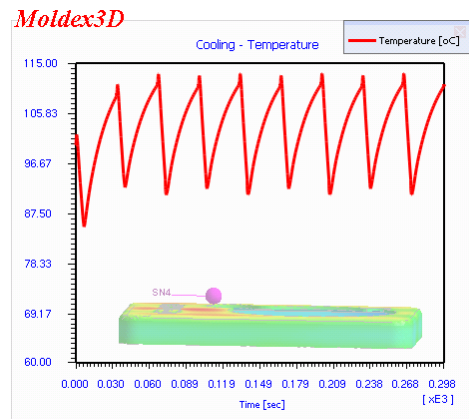
圖五、從室溫加熱至工作溫度的平均模溫變化



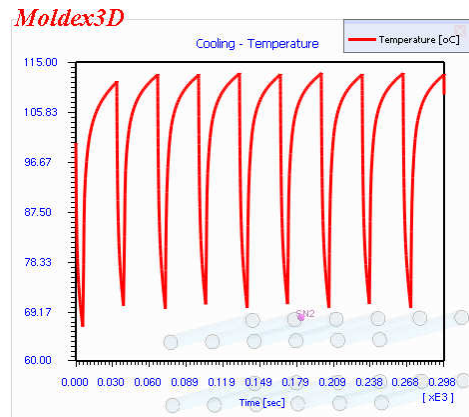
圖六、尋找最佳化過程的溫度歷程曲線



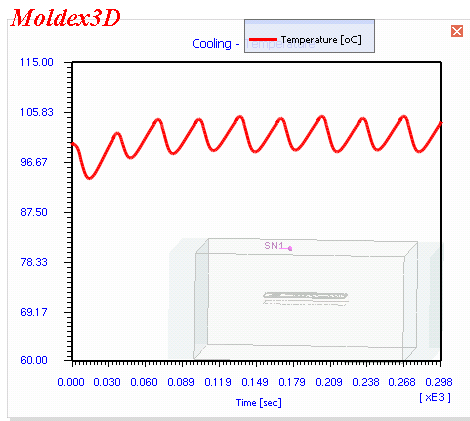
圖七、以最佳化條件計算的溫度歷程曲線



圖八、以最佳化條件計算的感測點溫度歷程曲線 (塑件附近)



圖九、以最佳化條件計算的感測點溫度歷程曲線 (水管附近)



圖十、以最佳化條件計算的感測點溫度歷程曲線
(模座表面附近)