

改變平衡元件與分流處之距離來改善流動不平衡之分析

Effect Analysis of Distance between the Flowing Imbalances Device and Divergence

林肇民¹
Chao-Ming Lin

劉宗諭²
Jhong-Yu Liou

鄭釗瀚³
Chao-Han Cheng

吳鳳科技大學 光機電暨材料研究所 教授¹ 研究生³

吳鳳科技大學 機械工程系 大學部學生²

Graduate School of Opto-Mechatronics and Materials, WuFeng University^{1,3}

Department of Mechanical Engineering, WuFeng University²

摘要

在射出成型充填過程中，塑料與固化層間因摩擦形成不對稱的剪切分佈現象，導致塑料分流後，流道內的溫度分佈不對稱；當持續充填進入模穴時，將引起流動不平衡現象發生，造成各模穴間彼此性質的差異。本文利用 **Moldex3D** 模流分析軟體探討塑料充填 H 型流道的流動不平衡問題，藉由在主流道嵌入流動平衡元件來改善塑料分流後左右性質不對稱的現象，並討論流動平衡元件與分流處的距離對流動平衡度之影響。結果顯示流動平衡元件設置距離越接近第一分流道，改善平衡度效果越明顯。

關鍵詞：流動不平衡、多模穴、流道、H 型流道

Abstract

This paper discusses the distance effect between the balancing device and divergence place about the system balancing of the multi-cavity mold during the injection molding process. In the numerical simulation, the Moldex3D package is used to analyze the flowing, packing, cooling, and warpage behaviors. The results show the user can decrease the distance between the balancing device and divergence place for increasing the flowing balancing.

Keywords : Flowing Imbalances, Multi-cavity, Runner, H-type Runner

壹、前言

塑膠成型加工的方法有很多種，例如吹塑成型、擠壓成型、轉移成型、射出成型等，其中射出成型具有短週期、操作方便、生產效率高、易自動化及可精密化的優點，因此為熱塑性塑料的主要加工方法。

射出成型中充填的過程全為壓力推動塑料熔膠前進，由壓力差使熔膠波前(melt



front)前進充填模穴。而充填過程的壓力來源為進澆口，其壓力最高；離進澆口位置越遠，流體流動摩擦損耗壓力，使壓力逐漸降低，至熔膠波前位置壓力為最低。塑料在模穴中的充填行為是趨向阻力最小的部分流動，若單位時間內塑料流動距離越大，代表該區域的流動阻力較小，黏度也較低；反之，若移動越慢，則代表該區域流動阻力越大、黏度也高，所以塑料局部黏度大小可以視作是流動阻力的度量。塑料黏度受溫度及剪切率影響較大，因此局部溫度大小、熱傳導速率以及塑件肉厚均影響局部黏度大小，也視為流動阻力大小的依據[1]。

1840年，德國工程師海根(G. Hagen)提出，流體的流動可分為層流(laminar)與紊流(turbulent)兩種。1883年，英國科學家雷諾(Osborne Reynold)証實了層流與紊流的基本特性[2]。而塑膠在一般加工的熔融狀態下，由於黏度較高，其雷諾數極低，流動形式為層流狀態。Oswald[3]在文獻中提到，熔膠在充填過程中，依流道路徑分為不同的層流層，故截面的剪切率、溫度、黏度均不相同，固化層靠內區域的剪切率為最大，流道中心區域的剪切率幾乎趨近於最小值。因此，即使在幾何平衡的流道系統配置下，仍然會因塑料的剪切效應產生不同性質的塑流，無法達到同步填滿每一個模穴，造成流動不平衡的問題。

以幾何平衡流道為例，實際的充填狀況，可能是靠近豎澆道的內側模穴先行充滿。因此，經過研究發現流動不平衡的原因，可能是塑料在流道中不對稱剪切現象所導致使模具內熔膠溫度不同、壓力傳遞不同進而造成流動不平衡現象。這樣的結果將會影響到成型品的機械性質，造成各模穴彼此性質的差異等[4]。

由於流道幾何的影響使進入模穴的塑料物理性質產生差異，或材料本身特殊的流動性質所造成的充填不平衡現象，無法單純以幾何對稱的流道設計或調整澆口的大小來獲得改善，必須設法將塑料在流道中的溫度和剪切率分佈等物性差異降至最低，才能使各模穴達到真正的流動平衡狀態。其原理即是將塑料在流入次流道前，重新配置溫度與剪切率分佈，促使各模穴內具有對等的壓力、溫度及黏度，使各模穴充填達到平衡，且不易受材料種類與加工參數影響的可行性技術[5]。本研究以科盛股份有限公司所研發之模流分析軟體 **Moldex3D** 進行充填模擬分析，配合 **Rhinoceros** 專業繪圖軟體設計 H 型流道，並加入三種不同位置的流動平衡元件，探討流動平衡元件與分流處之距離對流動平衡之影響問題。

貳、理論分析

流動平衡

本文所指的 H 型流道，為一模多穴對稱性流道設計。此多模穴模具，即使在幾何完全對稱的流道設計下，仍然會有充填不均的現象。此充填不均現象來自於充填階段，因為熔膠在流道中的流動特性影響非常複雜，其剪切率(shear rate)、溫度及黏度會隨著熔膠的流動方向或徑向位置影響而有所不同。通常最大剪切率會發生在靠近固化層的區域，而流動中心部分熔膠的剪切率為零。此高剪切現象會影響靠近固化層區域的熔膠溫度，即黏度會因非牛頓流體(non-Newtonian fluids)的剪切稀薄(shear thinning)特性及剪切熔膠溫度會高於流道中心的熔膠溫度[6]。此摩擦生熱現象會導致



流道外層固化層區域溫度高於流道中心熔膠溫度，而造成內側模穴充填過早。模穴過早充填有可能造成在充填階段因壓力過大而產生毛邊或因溫度降低而影響了保壓階段的壓力傳遞；而模穴太慢填滿有可能因熔膠溫度降低而需要較高的射壓，除了容易產生應力外，甚至造成短射，因此適當的流道設計使各模穴同時填滿，不但可避免毛邊、短射的問題，而且亦利於後續保壓階段的進行。

CAE 理論基礎

所有 CAE 軟體皆以發展自 1940 年代的有限元素法(Finite Element Method FEM)為核心，這是用來解決工程與數學物理問題的數值方法，包括結構分析 (structural analysis)、熱傳 (heat transfer)、流體力學 (fluid mechanics)、質傳 (mass transport)、與電磁位勢 (electromagnetic potential) 等可解析之典型問題。所謂的有限元素分析法是預先將物體的結構，分割為有限量的微小元素，各元素的物理性質(材料或厚度等)各有不同，最後再應用電腦的數值處理能力分析出各項物理量。FEM 假設將此未知連續體分割成有限個「局部」，稱之為元素 (element)，元素之邊界點稱之為節點 (node)，每個節點上攜帶一條數學方程式，稱之為內插函數方程式 (interpolation equation)，藉由有限個內插函數方程式表達該連續體之分析行為，此群有限個方程式之解稱為內插近似解 (interposition approximation)。只要連續體之場變數與各條件假設正確，則在誤差容忍度之內，近似解可視為取代精確解[7]。藉此 **Moldex3D** 模流分析軟體也是以此理論基礎進行複雜的模流模擬分析。

平衡度

根據內外側模穴先後充填程度定義『平衡度』，假設模具進澆口到各模穴底部的時間為 t_a 、 t_b ，時間長短為 $t_a > t_b$ 。因此，定義各個模穴的平衡度為 t_{cav} / t_{ref} ，其中 t_{cav} 為填滿該模穴所需時間， t_{ref} 為參考時間。如我們採 $t_{ref} = t_a$ ，則可定義模穴 B 平衡度為 t_b / t_a ，而因為我們使用的為一模八穴，只有兩種塑流情形，所以可以將 B 的平衡度表示為該模具整體平衡度來表示[9, 10]。以數學方式表示如下：

$$\text{平衡度} = t_{cav} / t_{ref} = t_b / t_a \times 100\%$$

參、模擬條件

本研究是利用 **Moldex3D** 模流分析軟體配合 **Rhinoceros** 繪製一模八穴 H 型流道系統進行充填分析，藉由嵌入三種流動平衡元件，探討流動平衡元件離分流處的距離與流動平衡度之影響。

流道形式

本文使用一模八穴 H 型流道來進行設計變更，分別在第一分流道前設置三個流動平衡元件，依不同的間隔距離以 1.5、3、4.5 公分來進行分析比較，其流道形式如圖一、二所示。其中一模八穴 H 型流道為幾何對稱流道，以豎澆道為中心的左右兩側模穴，流動特性也屬對稱關係，因此圖一的原始 H 型流道為一模八穴的剖半圖。



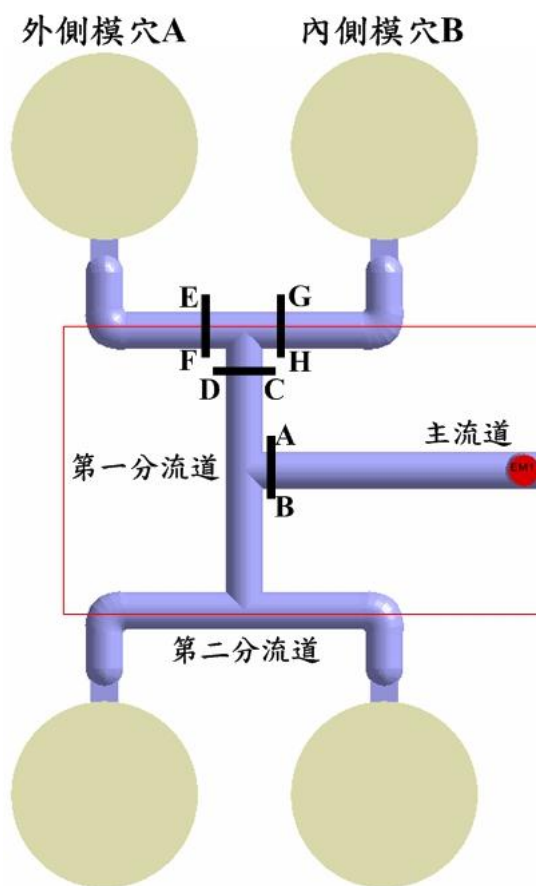
而圖一紅框處為加入不同流動平衡元件的地方，加上原始 H 型共四組流道系統，並在模穴上分別定義 A 模穴及 B 模穴。

材料與加工方式

塑料材料選擇聚碳酸酯(Polycarbonate, PC)，材料型號為 Apec2095，材料黏度、比容特性及黏度關係式如圖三、四、五所示。其射出成型相關加工參數，如表一。

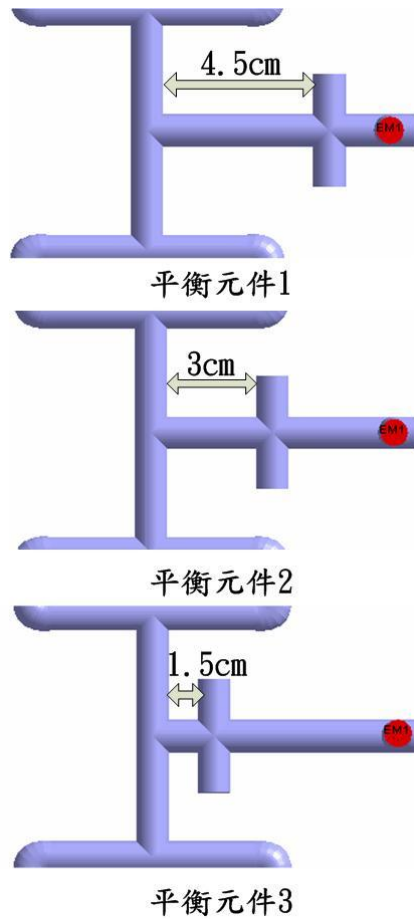
表一、成型加工參數表

充填	
塑料溫度	335 °C
模具溫度	140 °C
最大射壓壓力	300 MPa
保壓	
保壓時間	5 sec
最大保壓壓力	300 MPa

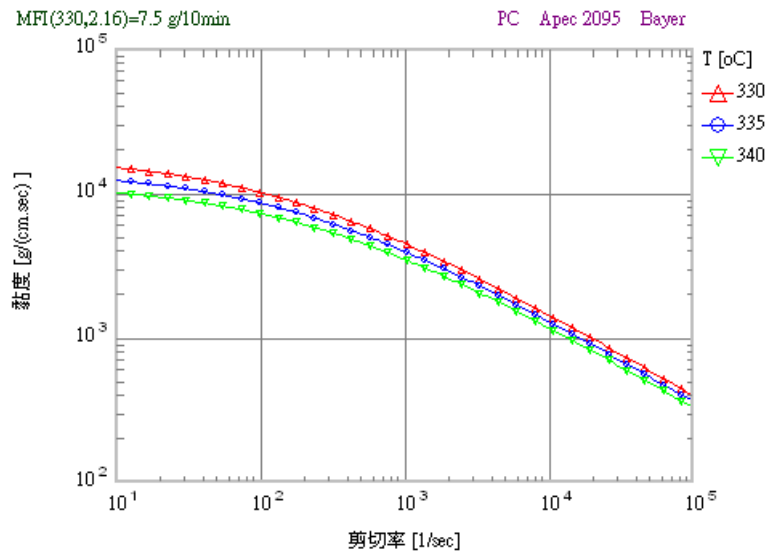


圖一、原始 H 型流道



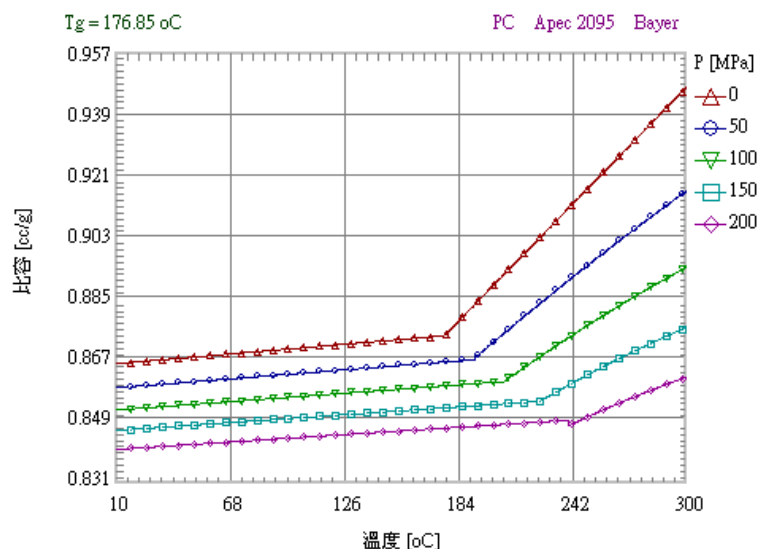


圖二、各組流動平衡元件



圖三、PC Apec2095 材料黏度特性圖





圖四、PC Apec2095 材料比容特性圖

$$\tau + \lambda \left(\frac{\partial \tau}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla \tau - \nabla \mathbf{V}^T \cdot \tau - \tau \cdot \nabla \mathbf{V} \right) = \eta (\nabla \mathbf{V} + \nabla \mathbf{V}^T)$$

$$\lambda(T, \dot{\gamma}) = \frac{\eta(T, \dot{\gamma})}{G}$$

圖四、PC Apec2095 材料黏度關係式

肆、結果與討論

進行 H 型流道的模擬分析時，先觀察塑料的流動不平衡現象，再加入三組不同距離之流動平衡元件，改善流道之流動平衡度。比較各組充填流動情形與流道截面溫度分佈，並討論流動平衡元件離分流處的距離之影響。

(一) 充填流動分析

H 型流道的流動不平衡現象，是因為塑料與固化層間摩擦導致流道內的溫度分佈不均，當溫度分佈不均的塑料進入分流後，將產生流動不平衡問題。因此，我們加入三種流動平衡元件目的在於分散主流道內因剪切效應所產生的高溫塑料，使塑料在進入分流前溫度能更加平均，以改善流道的流動不平衡現象。

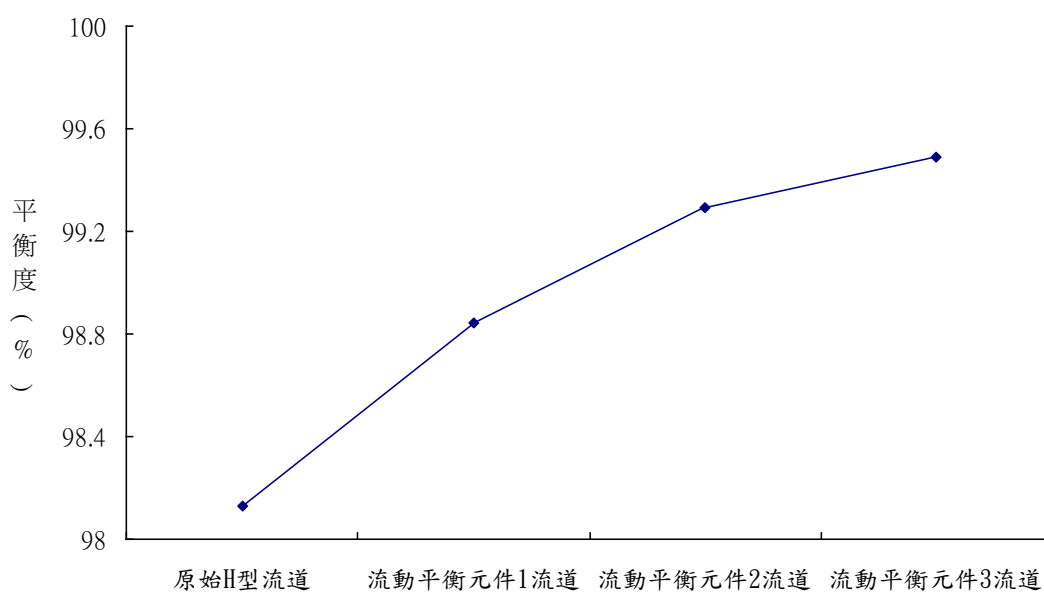
圖六為原始 H 型流道內側模穴充填完成瞬間的流動波前圖，可以觀察出在充填時間 927.2ms 內側模穴充填完成時，外側模穴還尚未充填完成，此現在稱為流動不平衡現象，而此流道的完整充填時間為 944.9ms，由平衡度的公式可計算出平衡度為 98.13%；圖七為流動平衡元件 1 流道，元件離分流道距離最遠，經由平衡度的公式計算出平衡度為 98.84%；圖八為流動平衡元件 2 流道，經由平衡度的公式可計算出平衡度為 99.29%；圖九為流動平衡元件 3 流道其間隔距離最近，經由平衡度的公式可計算出平衡度為 99.49%。



由表二各組流道充填時間及平衡度的數據得知，加入流動平衡元件後的流道，流動平衡度也隨之提升，其中以流動平衡元件3流道的平衡度較高，整體顯示流動平衡元件的嵌入位子離分流處越近，提升平衡度的效果越佳。圖五為各組流道平衡度趨勢圖，依此圖可看出各組流動平衡元件間隔不同距離對流動平衡的改善幅度。

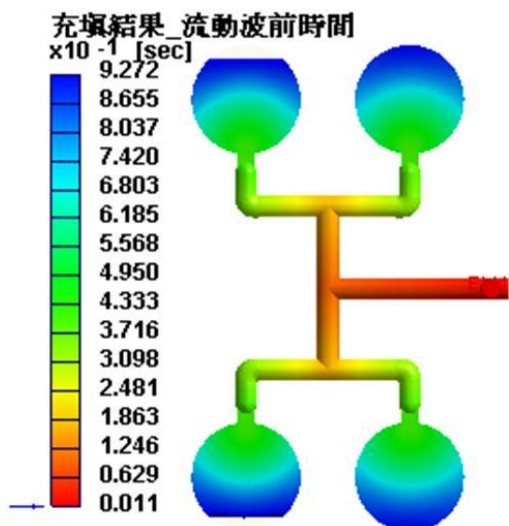
表二、各組流道充填時間及平衡度

流道名稱	外側模穴 充填時間	內側模穴 充填時間	平衡度
原始 H 型流道	944.9 ms	927.2 ms	98.13 %
流動平衡元件 1 流道	975.1 ms	963.8 ms	98.84 %
流動平衡元件 2 流道	974.3 ms	967.4 ms	99.29 %
流動平衡元件 3 流道	974 ms	969 ms	99.49 %

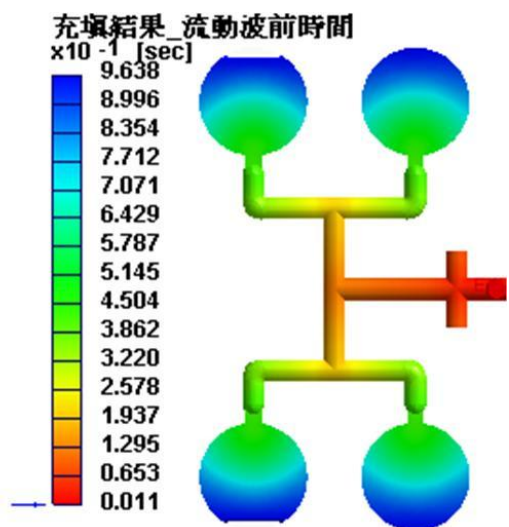


圖五、各組流道平衡度趨勢圖

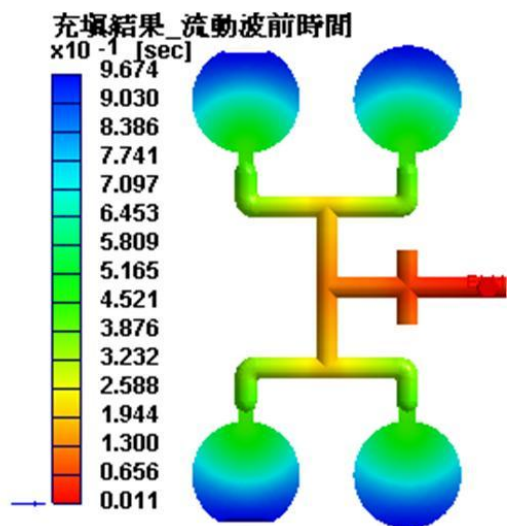




圖六、原始 H 型流道流動波前圖

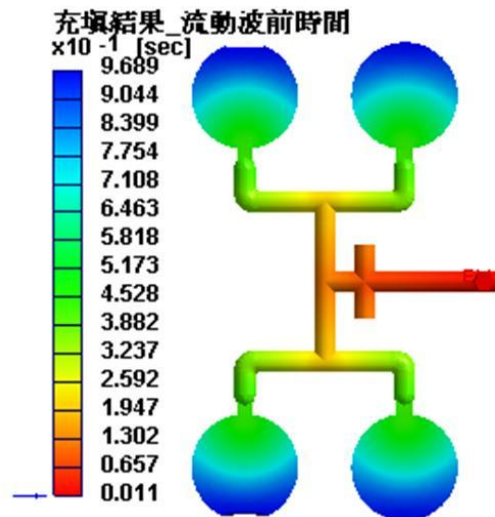


圖七、流動平衡元件 1 流道流動波前圖



圖八、流動平衡元件 2 流道流動波前圖





圖九、流動平衡元件 3 流道流動波前圖

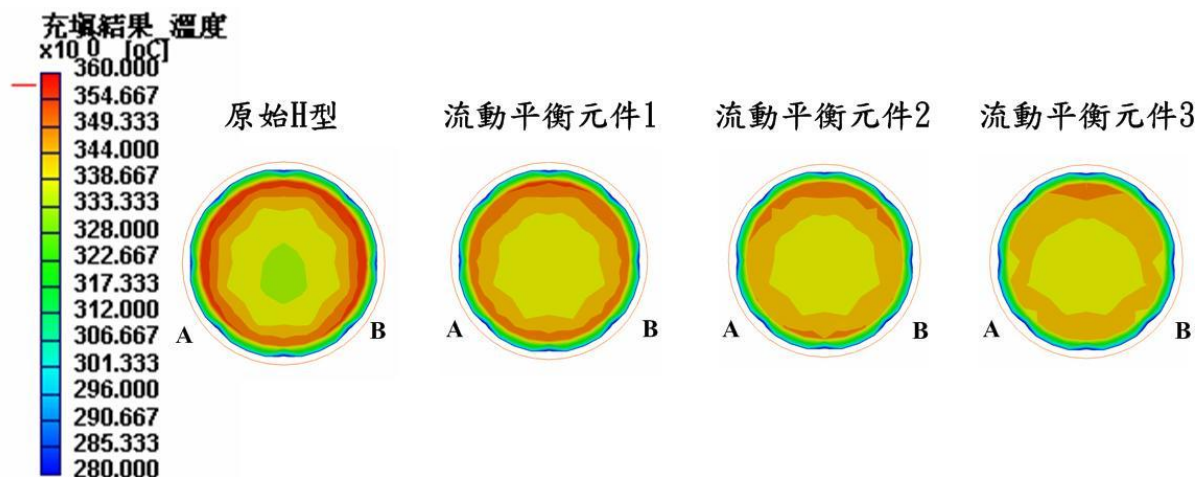
(二) 充填溫度分析

圖十是主流道內的 A-B 剖面溫度分佈，圖中 H 型流道內，因受到高剪切效應導致塑料在流道內摩擦生熱的影響，產生了高剪切、高溫度的塑料，形成一個非常明顯的高溫圈現象，因此現象的發生會使塑料在分流後內外側流道中的塑料溫度不同，導致整體模穴充填不平衡，而加入流動平衡元件後的流道，事先將主流道內的高溫塑料填入至平衡元件中，藉此降低剪切效應所產生的溫度不均，使進入第一分流道的塑料溫度分佈更加均勻；其中平衡元件 3 流道的高溫圈現象最不明顯，因流動平衡元件離分流處距離較近，塑料的剪切效應尚未在溫度上產生劇烈變化，這也將降低第一分流道內的溫度差異性。

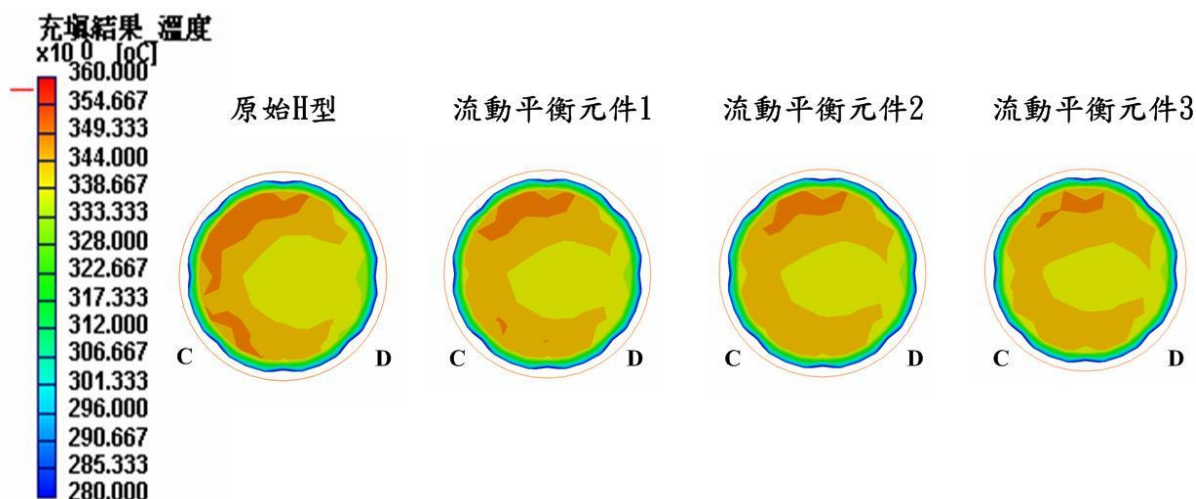
圖十一所示，當主流道內的塑料流至第一分流處時，高溫塑料將延著模壁流動，導致第一分流道內的塑料溫度分佈呈現 C 字型，而在分流前的高溫圈現象越明顯，分流至流道內的塑料溫度分佈將越不對稱。

圖十二為塑料流過第一分流處後內、外側模穴流道的溫度分佈圖，由上述充填流動分析可得知，流動平衡元件與第一分流處的距離越近，平衡度越高，而圖中平衡度越低的流道，其內外側模穴溫度差異越大，平衡度最高的平衡元件 3 流道與 H 型流道的模穴溫度差異性明顯降低許多。

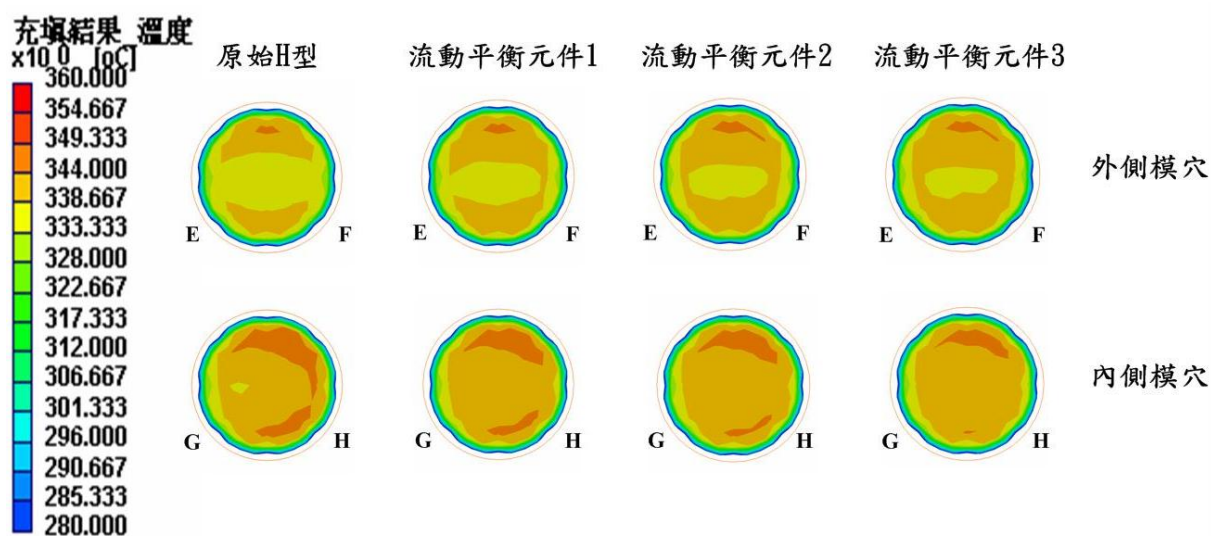




圖十、A-B 剖面流道溫度分佈圖



圖十一、C-D 剖面流道溫度分佈圖



圖十二、外側模穴與內側模穴流道溫度分佈圖



伍、結論

本文主要利用 **Moldex3D** 模流分析軟體模擬射出塑料充填 H 型流道的流動不平衡現象，藉由嵌入三種離分流處不同距離的流動平衡元件，重新分配塑料的溫度分佈，以達到改善流動不平衡的情形。

結果顯示加入流動平衡元件後的流道其平衡度確實有提高，而在三種流動平衡元件流道裡，離分流處距離越近的流動平衡元件，內外側模穴的溫度差異性越小，其平衡度也隨之提高。這是因為流動平衡元件事先將剪切效應所產生的熱塑料填入至平衡元件內，使進入第一分流道前塑料溫度差異更小；而塑料在進入第一分流道前還有一段距離，此段距離仍然會使塑料在充填時產生剪切現象，所以流動平衡元件的嵌入位置距離分流道越近，使塑料充填至分流道的距離減短，降低剪切現象所引起的溫度不均，達到提高流動平衡之效果。

陸、參考文獻

- [1] Moldex 使用手冊，科盛股份有限公司，2002 年。
- [2] 劉士榮，“塑膠加工學”，滄海書局，第一章 塑膠材料與特性，第 1-34 頁，1999 年。
- [3] Oswald, Turng, Gramann, “Injection Molding Handbook”, Hanser Gardner Publications Inc. Cincinnati, pp.272-280 (1997).
- [4] 柯岱佑，“一模多穴流動平衡之實驗探討”，國立台灣大學機械工程所論文，2004 年。
- [5] 劉斌、王敏杰，多型腔注射成型的流動平衡度分析，大連理工大學模具研究所，2002 年。
- [6] “模具設計解決方案/MeltFlipper”，科盛科技股份有限公司，2008 年。
- [7] 林肇民、黃進財、張維霖、趙國勝，“多模穴模組流道設計分析之流動平衡比較分析”，吳鳳學報 第 383 ~ 396 頁，2007 年。
- [8] 林肇民、林芳宇、張維霖、許祥璋，“自然與非自然平衡於射出成型流道之比較分析”，國際會議安全及保安全管理與工程技術研討會 第 240 頁，2008 年
- [9] 王克勤，新型微混合器之設計與流場分析，國立成功大學機械工程學系碩士論文，2002 年。
- [10] 張榮語、陳彥成、王宇寧，塑膠射出成型流道平衡與流道設計最佳化，模具技術資訊第 44 期，1998 年。

