

# 內含纖維膠料之射出成型流動平衡分析

## Study on Fiber Effect of Flowing Imbalances during Injection Molding Processing

林肇民<sup>1</sup>  
Chao-Ming Lin

沈晏德<sup>2</sup>  
Yen-Te Shen

鄭釗瀚<sup>2</sup>  
Chao-Han Cheng

<sup>1</sup>吳鳳科技大學 光機電暨材料研究所 教授

<sup>2</sup>吳鳳科技大學 光機電暨材料研究所 研究生

<sup>1,2</sup>Graduate School of Opto-Mechatronics and Materials, WuFeng University

### 摘要

本文利用模流分析軟體來探討含纖維重量百分比 0%、10% 及 20% 的塑料，在一模八穴 H 型流道內的流動不平衡現象，比較不同含纖量塑料的流動平衡度。因塑料的剪切現象使流道內的塑料溫度分佈不均，而引起各模穴充填時間的不同。結果發現含纖維重量百分比 0% 塑料平衡度較高，而含纖維重量百分比 20% 塑料其流動平衡度較低。

**關鍵詞：**纖維、流動不平衡、H 型流道、模流分析

### Abstract

This paper discusses about the flowing imbalances of the injection molding processing in the geometrical balanced runners with the various fiber contents (0%, 10%, and 20%). The 8-cavity mold runners system of the H-type is used to analyze the fiber effects in the mold filling imbalances. The fiber content is a key issue for changing the structure strength of the molding part and the flowing imbalances of the filling stage. The results show the imbalanced effects of the injection molding increase with the fiber content increasing.

**Keywords :** Fiber, Flowing Imbalances, H-type Runner, Mold Flow Analysis

### 壹、前言

在塑膠加工過程中為了使成品增加強度與抗性，常在塑膠材料中加入纖維材質，形成一種複合材料。塑膠複合材料係指於塑膠材料中滲入不同補強材料、可塑劑、安定劑、填充物及其它添加物等，利用材料特性的優點組合成一種強化塑膠複合材料，以改善其機械性質、物理性質及化學性質，以增加塑料的可塑性和性能。而塑膠之強化材料必須具備下列條件：高強度(high strength)、高彈性係數(high elastic modulus)、低密度(low density)、與塑膠具有優良的接著性、均勻性佳、耐熱、耐蝕、耐磨耗性良好及價格便宜等[1]。



複合材料種類繁多，其中應用最廣泛的就屬纖維補強之高分子複合材料，其基本的組成爲纖維及高分子基材。高分子基材可分爲熱塑性塑膠(thermoplastics)及熱固性塑膠(thermosets)兩大類，然而纖維是決定複合材料機械性質的主要因素，用以承受主要負載，限制微裂紋延伸，提高材料剛性與抗疲勞及潛變性能等。纖維形式主要分爲纖維狀及非纖維狀，非纖維狀是由細小的陶瓷、碳、金屬粉顆粒或板狀金屬薄片均勻的散佈於塑膠基材；纖維狀則是包括玻璃纖維、碳纖維、氧化鋁纖維、硼纖維、碳化矽纖維、金屬纖維、有機纖維等，其中又以硼纖維、碳纖維及玻璃纖維較爲普遍。纖維材料的型態分爲纖維狀(fiber composite)、顆粒狀(particulate composite)、層狀(laminar composite)、片狀(flake composite)及充填型(filled composite)[2]。

日常生活中含玻璃纖維的塑料被廣泛的使用，而含纖維塑料成型加工方法有模壓成型、纏繞成型、拉擠成型、熱壓成型及射出成型。在一般熱塑性塑膠成型方法中以射出成型爲最常用的加工方法，熱塑性塑膠加熱熔解後，可以混入極短的纖維，再經由射出成型機將材料注入模具後成型，與傳統的射出成型相同，只是在塑膠材料中均勻混入不同比例的纖維。

在射出成型過程中，爲了提高生產效率及降低成本，常採用一模多穴的模具來生產小型的塑膠製品，而其流道可分爲幾何平衡流道(geometrical balanced runners)和非幾何平衡流道(non-geometrical balanced runners)兩種，其中前者是指塑料從進澆口到各模穴距離是相等的，具有較佳的品質一致性，稱爲幾何平衡流道系統；相對的後者是指塑料從進澆口到各模穴的距離非等長的，具有較前者產率高的特性，稱爲非幾何平衡流道系統，但不管是配置平衡或非平衡的流道都會有流動不平衡的問題。

在實驗可行性方面，分析方法複雜而且儀器非常昂貴，無法於未加工前事先對各個操作條件的加工方法做預測，必須設定不同條件，以加工後成品來做分析，既不經濟且適用性亦低。若能以理論去預測纖維在模穴中的流動特性，將可省去不少人力和物力，並增加準確度[3]。本研究即是利用 **Moldex3D** 模流分析軟體配合 **Rhinoceros** 繪圖軟體建模，透過含不同纖維重量百分比之塑料，觀察含塑料的流動行爲，來探討因纖維所引起的流動不平衡現象。

## 貳、理論分析

### 纖維塑料流動特性

本文所使用的材料可分無纖維材料與含纖維材料(fiber-filled materials)，透過加入含不同纖維重量百分比的方式來改變塑膠的機械性質與彈性係數等，而纖維結構配置、大小及化學組成，對物理及化學性質有直接的影響[4]。塑膠中的纖維會隨著流動剪切力的變化而使其方向和流動方向平行，此現象稱爲纖維配向[5]。纖維配向並不因充填流動的狀態而限於一定方向的配向性，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。通常在流道內最大剪切率會發生在靠近固化層的區域，接近中心部分的熔膠其剪切率則趨近於零，而高剪切區域對塑料流動的黏度有重要影響。在射出成型過程中塑料流體依靠壓力推動，充填過程的壓力來源爲澆口，故越靠近澆口壓力越高，而流動波前處爲壓力最低處，推動塑料前進既是兩者的壓力差(pressure difference)。



模穴中流動特性和纖維排向分佈是成形過程中的主要關鍵。當塑料加入纖維材料與無纖維材料作比較，含纖維重量百分比越高，會導致塑料黏度變大而造成塑料的流動性改變[6]，因此需要更多的壓力使含纖維材料流動，但剪切應力也將提高；如果在同一個剪變速率下比較，黏度的高低會因纖維含量、形狀、尺寸而改變，其中含纖維量越多黏度將會越大[5]。

## CAE 理論基礎

有限元素法(Finite Element Method, FEM)是工業界中普遍用來計算物理現象所採用的基本理論，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。CAE 軟體皆以發展自 1940 年代的有限元素法為核心，包括結構分析(structural analysis)、熱傳(heat transfer)、流體力學(fluid mechanics)、質傳(mass transport)、與電磁位能(electromagnetic potential)等可解析之典型問題[7]。

## 充填(Filling)分析

在模流分析中假設塑料熔膠是非彈性非牛頓流體(inelastic non-Newtonian fluid)，而黏度可用冪次率(power-law)流體與其修正式來描述，黏度考慮為溫度與剪切率的函數。塑料比容為溫度與壓力函數而熱物性質為溫度函數，因此可用 GHS(Generalized Hele-Shaw)流動模式來描述塑料流動[8]。

## 平衡度

根據文獻中的『平衡度』定義，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

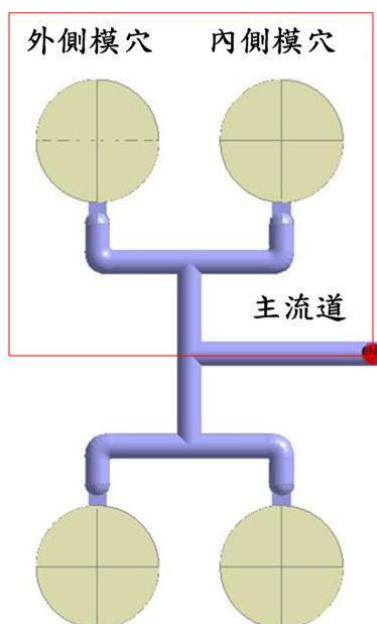
本文中流道形式是使用 Rhinoceros 繪製一模八穴 H 型流道系統並建立網格與匯出檔案至 Moldex3D 模流分析軟體，再利用 Moldex3D 模流分析軟體來進行模擬分析。圖一為 H 型流道系統剖半圖，由於 H 型流道為幾何平衡流道，其塑料充填流動致模穴距離相同屬對稱關係，也能方便比較外側模穴與內側模穴的比較。

本文為了探討不同纖維含量對塑料流動的影響，採用相同的 H 型流道與射出成型加工參數，如表一所示。圖二、三、四分別為含纖維重量百分比 0%、10% 及 20% 塑料黏度圖，由圖得知當含纖維量越多時，塑料黏度將會增加，其特性曲線如圖五所示。

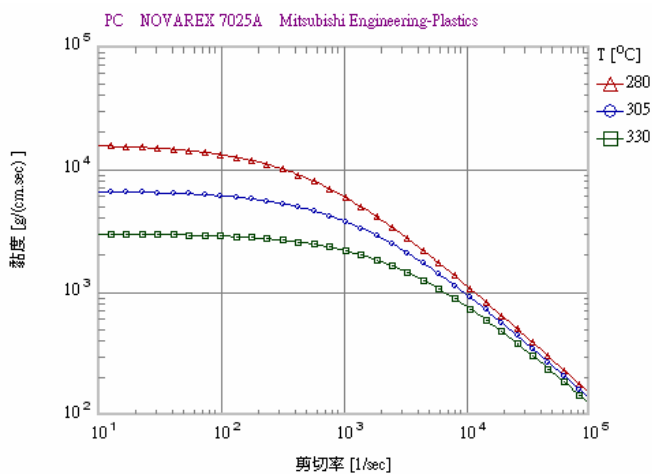


表一、 成型加工參數

充填	
塑料溫度	305 °C
模具溫度	90 °C
最大射出壓力	180 MPa
保壓	
保壓時間	5 sec
保壓壓力	100 MPa
最大保壓壓力	180 MPa

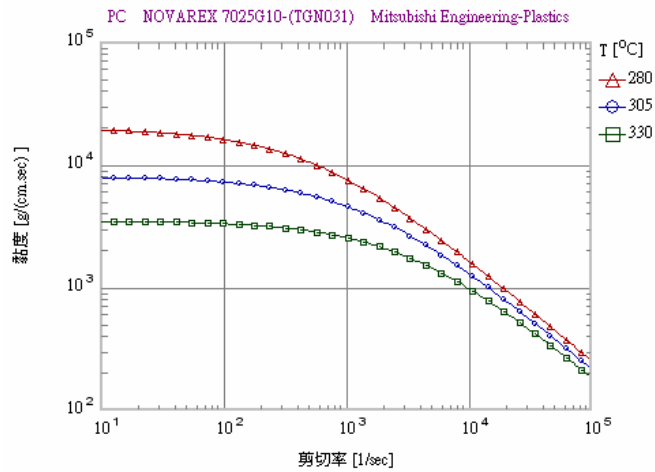


圖一、 H型流道系統剖半圖

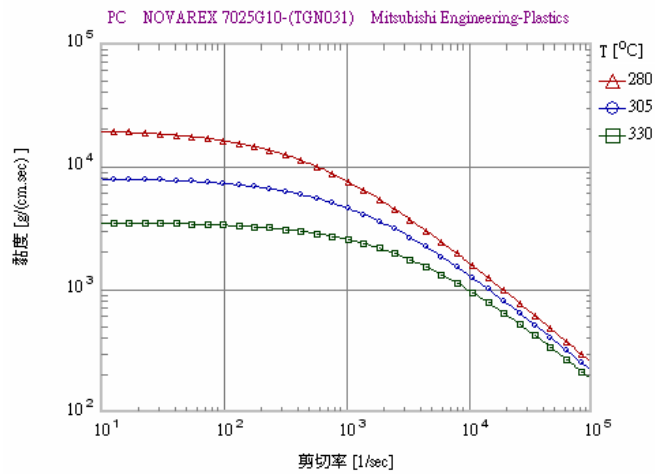


圖二、 含纖維重量百分比 0% 塑料黏度-溫度效應圖

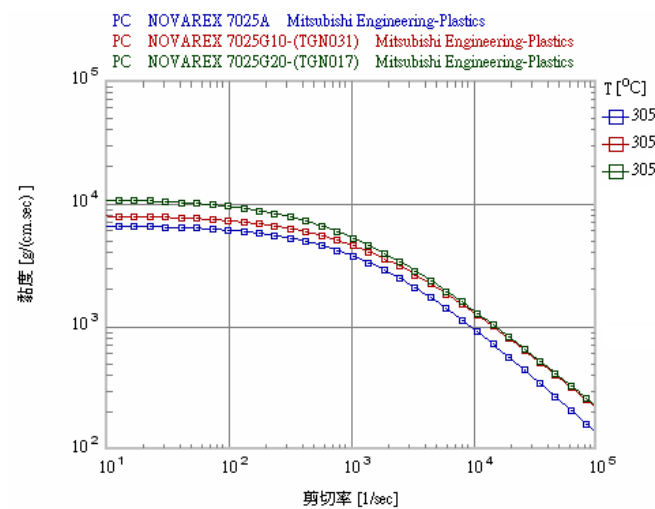




圖三、含纖維重量百分比 10% 塑料黏度-溫度效應圖



圖四、含纖維重量百分比 20% 塑料黏度-溫度效應圖



圖五、三種材料在溫度效應 305°C 下黏度特性比較圖



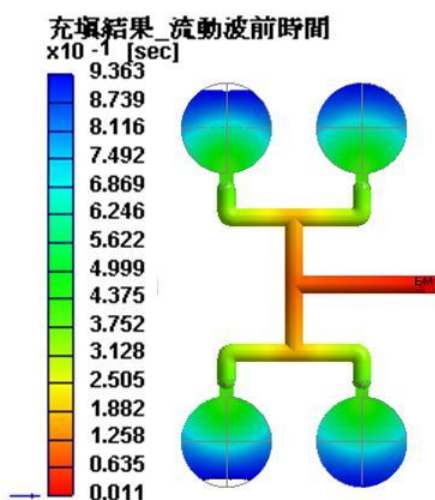


### 肆、結果與討論

本研究以 H 型流道進行不同含纖維量塑料的充填模擬分析，探討含纖維重量百分比 0%、10% 及 20% 之塑料在 H 型流道的流動現象並比較其流動平衡度。以下分為充填流動分析與充填溫度分析兩部份來討論不同含纖維量塑料對流動平衡之影響。

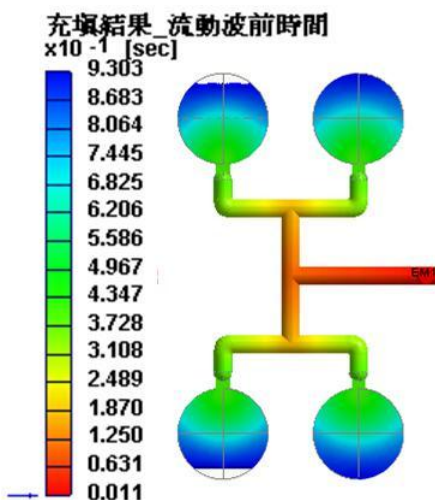
#### (一) 充填流動分析

圖六為 H 型流道以含纖維重量百分比 0% 塑料充填流動波前圖，可以觀察出內側模穴在 936.3ms 完成，外側模穴還尚未充填完成，此問題稱為流動不平衡現象。含纖維重量百分比 0% 塑料充填 H 型流道的完整充填時間為 944.8ms，由平衡度的公式可計算出平衡度為 99%。



圖六、含纖維重量百分比 0% 塑料\_流動波前圖

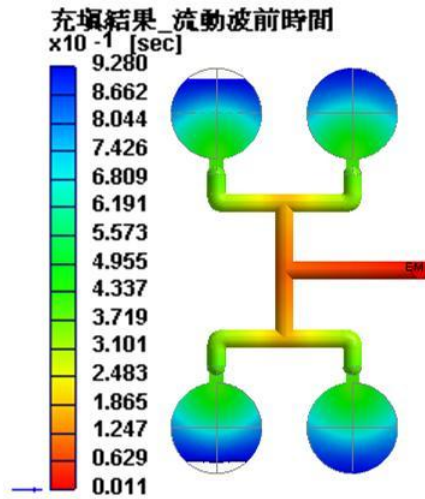
圖七為 H 型流道以含 10% 纖維塑料充填時，內側模穴充填時間為 930.3ms，而充填完成時間為 944.8ms，由平衡度的公式可計算出平衡度其平衡度降低至 98.46%，顯示當塑料加入纖維後，將會降低流動平衡度。



圖七、含纖維重量百分比 10% 塑料\_流動波前圖



圖八為含 20% 纖維塑料的流動波前圖，內側模穴充填時間為 928ms，而充填完成時間為 944.8ms，而充填平衡度降低至 98.22%，相較於含 10% 纖維塑料的充填平衡度又降低 0.24%。由於塑料含纖維量越多其黏度越高，流動阻力越大，流動越困難，剪切率隨之增加，導致流動平衡度降低。



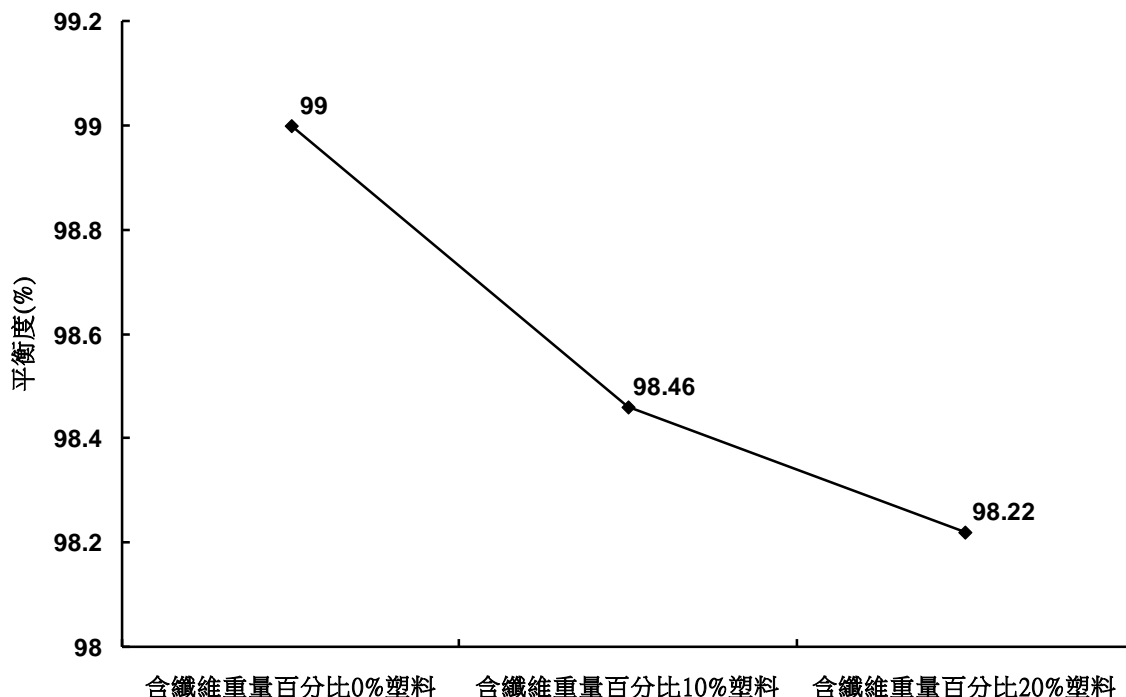
圖八、含纖維重量百分比 20% 塑料\_流動波前圖

根據上述不同纖維含量流動波前分析結果整理，如表二所示。在同一加工參數條件下，以纖維含量較高的塑料充填 H 型流道，其流動平衡度將會降低，因纖維含量的增加，塑料黏度也隨之提高，加上剪切效應的影響，導致流動不平衡現象更加嚴重。

表二、不同纖維含量流動波前分析數據表

	含纖維重量百分比 0% 塑料	含纖維重量百分比 10% 塑料	含纖維重量百分 比 20% 塑料
內側模穴 流動波前時間	936.3 ms	930.3 ms	928 ms
充填完成 流動波前時間	944.8 ms	944.8 ms	944.8 ms
平衡度	99 %	98.46 %	98.22 %



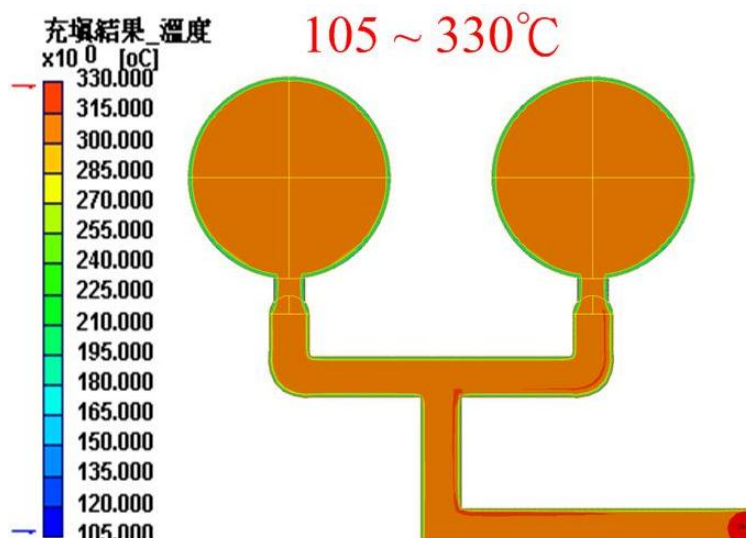


圖九、不同纖維含量充填平衡度曲線圖

(二) 充填溫度分析

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分流後將產生流動不平衡問題。在溫度比較部份以圖一方框中的模穴做為溫度分佈的比較圖。

圖十為充填溫度分佈圖，塑料因剪切效應的影響在主流道中產生高溫圈現象，當塑料充填至分流處時，溫高、低黏度的塑料與溫低、高黏度的塑料將分別流入內側與外側流道，是造成充填不平衡現象的主因，將導致內外側模穴的溫度分佈不均。

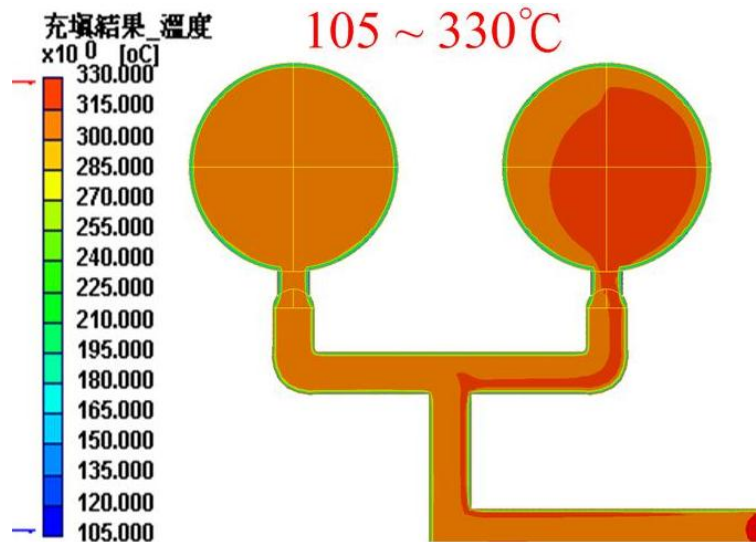


圖十、含纖維重量百分比 0% 塑料\_溫度分佈圖



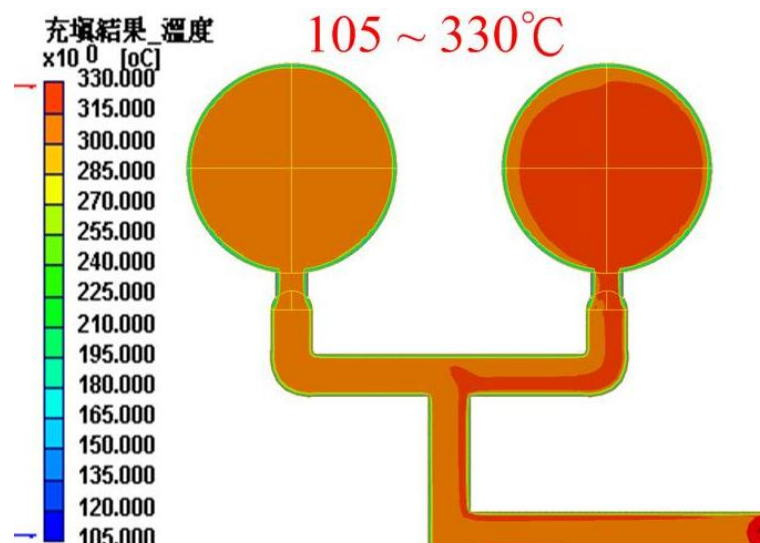


由圖十一所示，當塑料加入纖維材料後，因剪切效應提高的影響，剪切所產生的塑料溫度也相對提高，使流動不平衡的問題更加嚴重。由圖十與圖十一比較可以發現，以含纖維重量百分比 0% 塑料充填的 H 型流道，內外側模穴塑料溫度較為一致，而流道方面在流道內側可以發現有些許高溫現象。含纖維 10% 塑料的 H 型流道中，其內外側模穴的塑料溫度有明顯的差異，在流道分流處因剪切效應影響而使靠內側流道溫度增高，充填時導致內外側塑料溫度不均使其平衡度降低。



圖十一、含纖維重量百分比 10% 塑料\_溫度分佈圖

圖十二為含纖維 20% 塑料的充填溫度分佈圖，比較圖中內外側模穴的溫度而可以發現內側模穴溫度比外側模穴溫度差異甚大。與圖十、十一比較內外側模穴的塑料溫度而發現內圖十二內側模穴中的高溫部分接近圓形充滿整個內模穴，在流道部分可以看出含纖維量越多的塑料其流道內側高溫分佈也越多，因剪切效應提高的影響使整個元件內側的高溫塑料明顯增加，是降低充填平衡度的主因。



圖十二、含纖維重量百分比 20% 塑料\_溫度分佈圖



## 伍、結論

本文主要藉由 Moldex3D 模流分析軟體，來探討含纖膠料在射出成型中的流動不平衡現象，藉由不同含纖量之塑料進行充填分析，比較其流動平衡之差異。

研究結果顯示，含纖維重量百分比 0% 之塑料的流動平衡度較高，而含纖維重量百分比 20% 之塑料的流動平衡度為最低。因塑料在加入纖維後，材料受到纖維的影響使黏度增加、剪切效應變大，導致流動不平衡問題更加嚴重。

## 陸、參考文獻

- [1] 許峻嘉，射出成型製程參數對短玻璃纖維強化聚丁烯對苯二甲酸酯機械性質影響之探討，國立中央大學機械工程研究所博士論文，2004 年。
- [2] 馬振基，高分子複合材料(上冊)，國立編譯館，1995 年。
- [3] 張榮語，射出成型模具設計/操作實務，高立圖書有限公司，1998 年。
- [4] 周文祥，C-MOLD 射出成行模具設計，新文京開發出版有限公司，2008 年。
- [5] 謝淵清，工程塑膠之特性及其加工，徐氏基金會，1990 年。
- [6] 劉佳宙，不鏽鋼纖維/碳纖維/ABS 射出成型之製作及性質，逢甲大學紡織工程研究所碩士論文，1997 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] 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。
- [9] 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。
- [10] 張榮語，射出成型模具設計/材料特性，高立圖書有限公司，1998 年。

