

## 射出成型製程中澆口設計對不同纖維含量膠料之翹曲影響最佳化分析

林肇民<sup>1</sup>、沈晏德<sup>2</sup>、鄭釗瀚<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 國立嘉義大學 機械與能源工程學系

<sup>2</sup> 吳鳳科技大學 光機電暨材料研究所

國科會計畫編號: NSC 100-2628-E-415-001-MY2

### 摘要

在射出成型加工裡常在膠料中加入纖維等補強材料，增加產品強度與減少成品翹曲量。本文利用 Moldex3D 模流分析軟體來探討含纖維重量百分比 0%、10% 及 20% 膠料以一模八穴 H 型流道模型系統在不同澆口形式下進行模擬分析應用田口實驗法找出翹曲最佳化分析。在繪製模型時於元件內部埋設量測節點，取得元件在翹曲與收縮時產生的位移量，透過田口法選用直交表  $L_9(3^4)$  進行變更不同加工參數之模擬，並求出最佳化加工參數。經模擬實驗可得出最佳參數分析為纖維重量百分比 20% 之膠料在模具溫度為 90°C、塑料溫度為 305°C、膠口在原始形式下縮收翹曲位移量較小。

**關鍵詞：**模流分析、纖維、田口方法、翹曲。

### 1. 前言

塑膠製程中常使用含纖膠料是為了增強成品的整體強度與抗性，而含纖膠料是指在膠料中加入纖維材料，使膠料形成一種複合材料。複合材料的種類繁多，其中應用最廣的當屬纖維補強之高分子複合材料，材料基本的組成分為纖維及高分子基材[1]。纖維是決定複合材料機械性質的主因，常用於承受主要負載，限制微裂紋延伸，提高材料剛性與抗疲勞及潛變性能等。高分子基材可分為熱塑性塑膠(thermoplastics)及熱固性塑膠(thermosets)兩大類，而纖維則有不同的材料及形式，常用的有玻璃纖維、碳纖維、Kevlar 纖維、硼纖維、及碳化矽纖維幾種，形式上有短纖、連續長纖、編織纖維及粉狀纖維等[2]，而塑膠材料的範圍與用途還在無限制的發展中。

射出成型加工中含纖材料最常用的加工方法分為熱塑性塑膠在膠料加熱溶解後混入纖維等補強材料與未溶解塑膠材料中加入成品所需的纖維及補強材料，再經由射出機將材料注入模具後射出成型。

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，而含纖維重量百分比越高，會導致塑料黏度變大，造成塑料的流動性變差[3]，因此需要更多的壓力使含纖維材料移動，但剪切應力也將提高大；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、

尺寸改變，含纖維量越多黏度越高[4]。翹曲分析中影響成形收縮條件有材料溫度、模具溫度、射出壓力、射出量、冷卻時間等。

澆口是熔膠流入模穴內的小開口，特定的澆口其設計包括澆口種類、尺寸、和位置選擇。澆口設計受成成品及模具設計、成形規格，所成形的材料種類、充填物、模板種類和經濟因素的影響。因此澆口設計對成成品品質及產量極為重要。纖維材料在充填時需要較大的澆口，使材料通過澆口時可減少纖維的斷裂，若澆口太大時可能會產生噴射流，在保壓時會使保壓無法持久甚至發生回填而導致翹曲降低。[3]。

翹曲中關係與影響成形收縮條件有材料溫度、模具溫度、射出壓力、射出量、冷卻時間等。一般模具溫度越大收縮率越大，射出壓力越高收縮率越小。流動配向依模具的構造或澆口的設置方式等而有不同的變化，同時使成形收縮或機械性質有方向性造成翹曲、扭曲或龜裂等。通常玻璃纖維強化塑膠在流動向收縮率小於垂直流向的收縮率。一般材料在流動方向的收縮率大於垂直流向的收縮率[5]。

田口方法是以實踐為主再以理論為輔，它能夠以較少的實驗次數，經由分析實驗結果並加以統計及計算相關程式，找出較佳組合參數進行最後實驗確認分析，找出對產品最佳組合參數，在射出成型加工中以田口法改善加工品質有較佳的幫助[6]。

### 2. 研究方法

#### 2.1 目的

本文利用 Moldex3D 模流分析軟體配合 Rhinoceros4.0 建模，利用田口實驗方法找出含不同纖維重量百分比膠料與澆口等控制因子之下找出翹曲最佳化分析，研究流程如圖一所示。

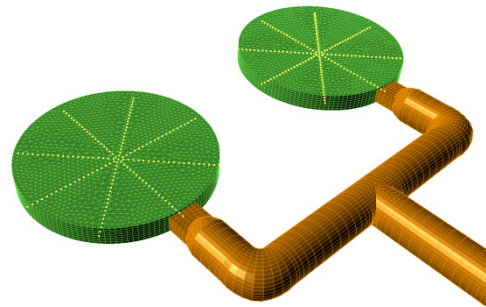
#### 2.2 流道與澆口形式

本文使用一模八穴 H 型流道來進行設計，來探討不同纖維含量與不同控制因子的翹曲之最佳化。圖二為 H 型流道系統圖，由於 H 型流道為幾何平衡流道，其塑料充填流動致各模穴距離相同的對稱關係，並在內外模穴內埋點，如圖三所示。在控制因子中各澆口

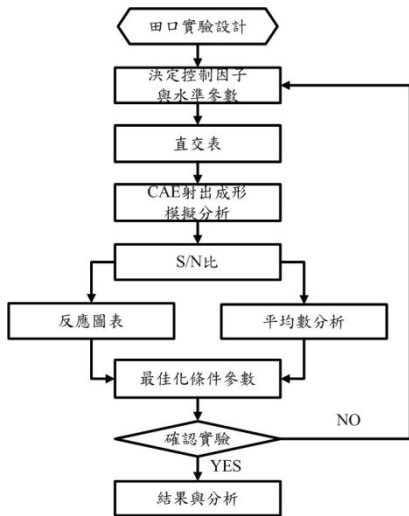
的形式如圖四所示。

### 2.3 田口設計與材料特性

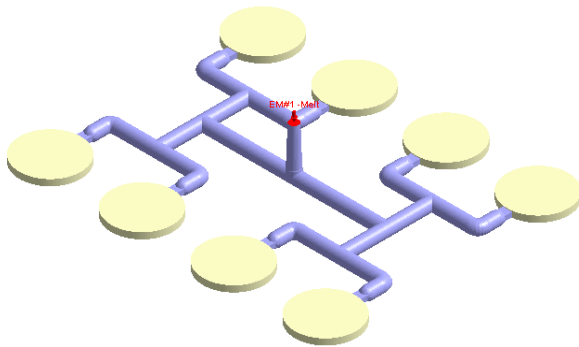
圖五、六、七分別為含纖維重量百分比 0%、10% 及 20% 塑料黏度圖，由圖得知當含纖維量越多時，塑料黏度將會增加，圖八為 3 種材料在 305°C 下黏度特性比較圖。田口實驗設定參數為 4 個控制因子與 3 個水準，如表一所示。文中所使用的為  $L_9(3^4)$  直交表，如表二所示。經由直交表的排列我們可以獲得 9 組加工參數並進行實驗模擬，如表三所示。



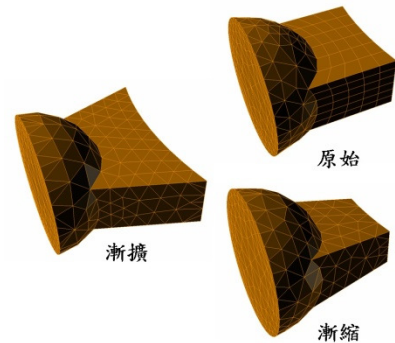
圖三、感測節點設定位置



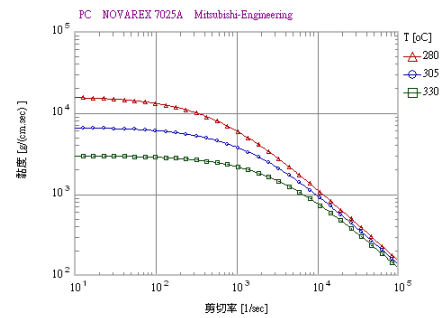
圖一、研究流程圖



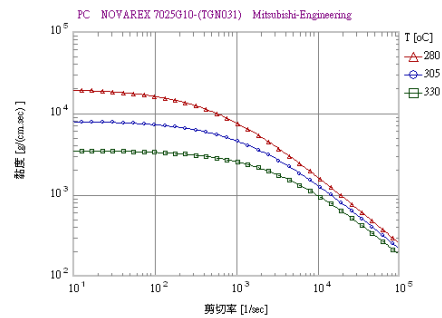
圖二、H型流道系統圖



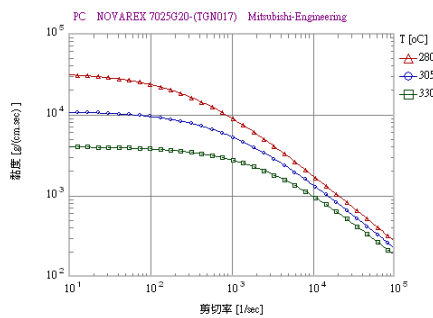
圖四、澆口形式示意圖



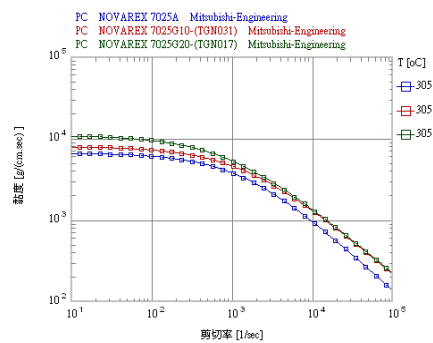
圖五、含纖維重量百分比 0% 塑料黏度圖



圖六、含纖維重量百分比 10% 塑料黏度圖



圖七、含纖維重量百分比 20% 塑料黏度圖



圖八、3 種材料在 305°C 下黏度特性比較圖

表三、加工參數設計

Exp.	含纖維重量百分比	模具溫度	塑料溫度	澆口
1	0%	60	280	漸縮
2	0%	90	305	原始
3	0%	120	330	漸擴
4	10%	60	305	漸擴
5	10%	90	330	漸縮
6	10%	120	280	原始
7	20%	60	330	原始
8	20%	90	280	漸擴
9	20%	120	305	漸縮

2.4 田口方法實驗步驟

(a) 定義目標函數在田口法分析之過程中決定目標函數及其特性為分析之重要的關鍵，根據品質特性的種類將目標函數轉換成信雜比(S/N)，S/N 比公式如下。

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{y^2} + S_n^2 \right) \quad (1)$$

表一、控制因子水準表

因子	說明	Level 1	Level 2	Level 3
A	含纖維重量百分比	0%	10%	20%
B	模具溫度	60	90	120
C	塑料溫度	280	305	330
D	膠口	漸縮	原始	漸擴

表二、L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 直交表

Exp.	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

(b) 定義設計參數及水準表，設計參數在田口法中稱為控制因子，是影響目標函數的因素，也就是目標函數中之獨立變數，如同一般最佳化設計問題，必須對所有的設計參數定義其上下限值。進行田口法分析前，必須先對目標函數的各設計參數設定水準數，並在其適當範圍設定水準值。當各設計參數之水準設定好之後，同時也就決定了目標函數和個別設計參數的總自由度。

(c) 選擇直交表，直交表是進行分析各項設計參數影響目標函數的基礎，所以在進行實驗時必須依照直交表所設定各設計參數水準來進行，否則所有的分析將是無效的。

(d) 平均數分析，平均數分析主要的目的在於明瞭每一個設計參數所設定的各水準下，對目標函數之影響趨勢以及最佳組合水準。在執行平均數分析前必須先行做下列的計算、根據直交表之規劃進行實驗，每一個設計參數在不同水準下實驗所得結果的信雜比平均值以及計算全部實驗結果的信雜比之平均值。

$$M = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (S/N)_j \quad (2)$$

依據上述兩樣條件所得出之信雜比平均數畫出回應圖，並可據以得知各設計參數於各個設計水準之信雜比平均值的變化趨勢，斜率越大者表示該設計參數對目標函數的影響越顯著。同時根據回應圖選取各設計參數的信雜比之平均值最大者，為該設計參數的最佳水準。

(e) 確認實驗，由平均數分析得知之最佳設計參數組合，經由實驗過後確認是否有改善其品質[7-9]。

### 3. 結果與討論

本文以 H 型流道進行不同含纖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 型流道下以田口法得到最佳化翹曲分析，並討論澆口對翹曲之影響。

根據表一控制因子水準中藉由表二的  $L_9(3^4)$  直交表得出表三，並藉由表三中的加工參數進行模擬分析與圖二所設置的感測節點得出各模擬實驗翹曲位移量的數據後整理成表四，並計算各組的 S/N 值。本文所預期目標是翹曲量越低越好，故我們採用望小特性之方程式來計算 S/N 值，經由 S/N 比數據整出每一加工條件在不同條件下的翹曲量 S/N 反應表，如表五所示。表五的翹曲量 S/N 反應表製作成曲線圖，如圖九，其中較為突出的部份為各控制因子影響效果較大的參數。在 S/N 反應圖中以控制因子 A 對本文實驗中影響效果較大，我們採用所有控制因子中最為突出的參數為最佳組合來進行設計並分析，並與其他組別比較，其中我們所採用的參數如下，A 含纖維重量百分比 20%、B 模具溫度為 90°C、C 塑料溫度為 305°C、D 原始型澆口，進行最後的確認模擬實驗。

表六中顯示了各組別的平均位移量與 S/N 比，與前面所找出的最佳參數組合 S/N 比，將其數據結果繪製成圖，如圖十所示。在直交表中以組別 7，含纖維重量百分比 20%、模具溫度為 60°C、塑料溫度為 330°C、原始型澆口其平均位移量比其他實驗組別低。而經由田口法模擬實驗中得出本文中最佳化組別，含纖維重量百分比 20%、B 模具溫度為 90°C、C 塑料溫度為 305°C、原始型澆口的平均位移量比組別 7 低。

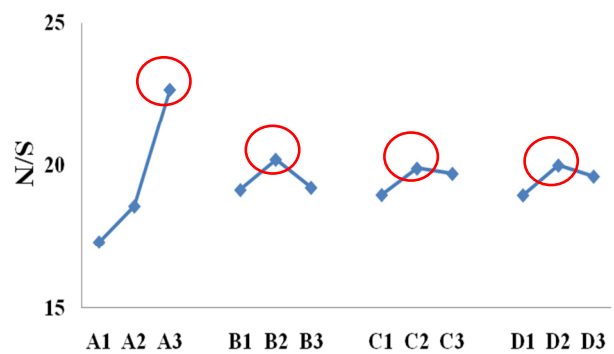
表四、S/N 實驗數據

Exp	A	B	C	D	Ave.	S	S/N
1	0%	60	28	漸縮	0.14306	0.07502	15.83448
2	0%	90	30	原始	0.10105	0.05335	18.8412
3	0%	12	33	漸擴	0.120659	0.06377	17.29878

4	10%	60	30	漸擴	0.102157	0.05656	18.65325
5	10%	90	33	漸縮	0.099407	0.05543	18.87573
6	10%	12	28	原始	0.107348	0.06010	18.19987
7	20%	60	33	原始	0.061821	0.03531	22.95091
8	20%	90	28	漸擴	0.062034	0.03599	22.88699
9	20%	12	30	漸縮	0.06743	0.03886	22.17731

表五、S/N 反應表

	A	B	C	D
Level 1	17.32482	19.14622	18.973779	18.96251
Level 2	18.57628	20.2013	19.890588	19.99732
Level 3	22.67174	19.22532	19.708473	19.61301
Range	5.346914	1.055089	0.9168088	1.034814
Rank	1	2	4	3



圖九、S/N 反應圖

表六、S/N 比與平衡度數據表

實驗組別	Ave.	S	S/N
1	0.14306	0.075023	15.83448
2	0.10105	0.053358	18.8412
3	0.120659	0.063777	17.29878
4	0.1021579	0.056563	18.653253
5	0.099407	0.055433	18.87573



6	0.107348	0.060104	18.19987
7	0.061821	0.035314	22.95091
8	0.062034	0.035997	22.88699
9	0.06743	0.038863	22.17731
最佳化	0.060249	0.034924	23.14289

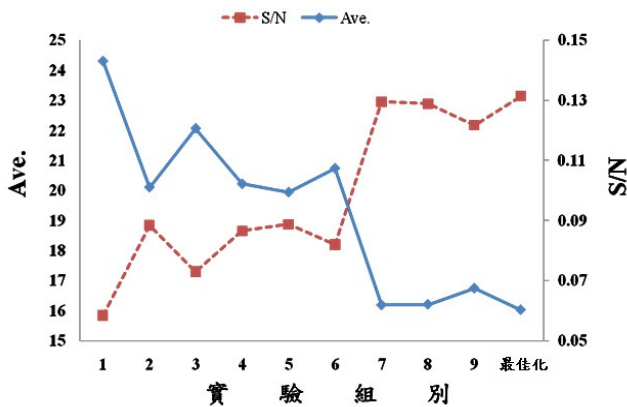
C 塑料溫度為 305°C、原始型澆口；與最佳組別差別在於纖維的含量不同，而纖維的含量越多總位移越小使翹曲縮縮量降低。

#### 4. 結論

本文我們以一模八穴 H 型流道為模型，使用 Moldex3D 模流分析軟進行模擬分析，並使用田口法模擬實驗改變控制因子，變更加工參數，經模擬實驗分析中所得出以 A 控制因子對本實驗影響最大然而 C 控制因子所影響效果較小，由田口法的平均數分析和反應圖表過程之中得出本文最佳參數組合為 A3B2C2D2 組合，經確認模擬實驗後得出翹曲位移量比所有模擬參數組別來的佳。

在充填的過程中因澆口太小，使含纖膠料在充填時產生纖維斷裂而導致翹曲縮收變高；漸擴式澆口由於於充填時可能會產生噴流，在保壓時因澆口太大無法持久而導致翹曲變高。

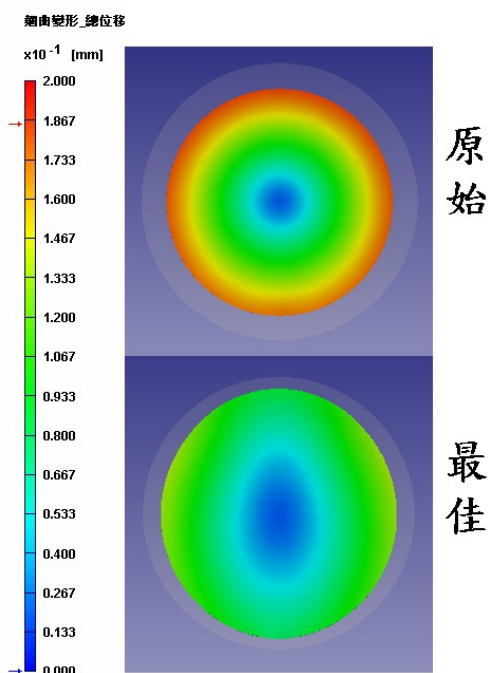
文中使用田口法以含不同纖維重量百分比與澆口進行模擬實驗分析比較後得出纖維含量越多其翹曲位移量就越小。故本文實驗達到使用田口法來改善翹曲的目的，在 S/N 的反應圖表中可以判定出纖維含量對翹曲之影響很大。



圖十、S/N比與平衡度曲線圖

#### 5. 參考文獻

1. 馬振基，高分子複合材料(上冊)，國立編譯館，1995。
2. 張志純，纖維混成複合材料之應用，徐氏基金會，1986。
3. 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。
4. 謝淵清，工程塑膠之特性及其加工，徐氏基金會，1990 年。
5. 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。
6. 王建華、徐佩弦，注射模的热流道技術，機械工業出版社，北京、2005.11。
7. 李輝煌，田口方法-品質設計的原理與實務，國立成功大學工程科學系。
8. 鄭釗瀚，多模穴模組流道系統之流動平衡分析，碩士論文，吳鳳科技大學光機電暨材料研究所，嘉義，2011。
9. 楊偉聖、林肇民、鄭釗瀚、沈晏德、詹明傑，田口法應用於類 MeltFlipper 流道平衡元件之圓角幾何最佳化分析，安全管理與工程技術國際研討會，吳鳳科技大學，2011。
10. 林肇民、沈晏德、鄭釗瀚、朱俊儀，含不同纖維膠料對流動平衡與翹曲之影響分析，中華民國力學學會第 35 屆全國力學會議，國立成功大學。



圖十一、原始與最佳總位移(20X)比較圖

圖十一為原始與最佳總位移放大 20 倍之比較圖，圖中可看出最佳組的位移量比原始組低。原始組的加工參數為含纖維重量百分比 0%、B 模具溫度為 90°C、

# Warpage Optimization considering the Fiber Melt Fraction and Gate Designation in the Injection Molding Processing

Chao-Ming Lin<sup>1</sup>, Yen-Te Shen<sup>2</sup>,

Chao-Han Cheng<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Mechanical and Energy  
Engineering, National Chiayi University

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

## Abstract

In this paper, the Moldex3D software is used to explore the fiber fractions- 0%, 10%, and 20% in the 8-cavity mold of the H-type runner system. The Taguchi method is used to process the optimal warpage analysis of the different gate designations. The measured points are assigned in the injected parts for obtaining the displacements of the warpage and shrinkage. The orthogonal array  $L_9(3^4)$  is used to arrange the factors and levels of the processing parameters. The results show the best parameters combination to satisfy the smallest displacement can be presented as the fiber fraction 20%, the mold temperature 90°C, the melt temperature 305°C, and the original gate.

**Keywords:** Mold Flow Analysis, Fiber, Taguchi  
Methods, Warpage.