

# 使用三維厚度變異進行射出成型翹曲變形探討

## THE WARPAGE STUDY IN INJECTION MOLDING BY USING THREE DIMENSIONAL THICKNESS CONTROL METHOD

張英<sup>1</sup> 黃世存<sup>1</sup> 黃松偉<sup>1</sup> 陳夏忠<sup>1,2</sup> 陳孟志<sup>3</sup> 黃招財<sup>3</sup> 楊文禮<sup>3</sup>

Yuing Chang<sup>1</sup>, Shih Tsun Huang<sup>1</sup>, Sung-Wei Huang<sup>1</sup>, Shia-Chung Chen<sup>1,2</sup>, Meng-Chih Chen<sup>3</sup>, Chao-Tsai Huang<sup>3</sup>, and Venny Yang<sup>3</sup>

1. 中原大學 機械工程系  
Department of Mechanical Engineering, Chung Yuan Christian University, Taiwan
2. 中原大學 模具與成型科技研究發展中心  
R&D Center for Mold and Molding Technology, Chung Yuan Christian University, Taiwan
3. 科盛科技股份有限公司  
CoreTech System (Moldex3D) Co., Ltd

### 摘要

射出成型製程中，翹曲是影響產品品質的主要關鍵之一，然而製程中收縮和翹曲是由許多因素所共同引起，因此一般難以界定何項因素是翹曲發生的主因。在此研究中，我們將使用三維厚度變異進行翹曲行為探討。首先我們設計了三維厚度有變異的成型品，之後整合各種射出成型條件(材料溫度，模具溫度，射出時間，保壓時間與保壓壓力)，並搭配不同三維結構設計將可有效的調控射出成型品的翹曲行為。在此研究中，我們也同時進行了實驗與數值模擬比較。由兩者間的結果比較顯示出，數值模擬具有良好的翹曲行為預測性。

**關鍵詞：**翹曲、三維厚度變異方法、U型幾何

### Abstract

Warpage is one of the most crucial problems in injection molding quality control. Since many factors will cause shrinkage and warpage, it is very difficult to distinguish which factor always dominates warpage. In this study, we have developed Three Dimensional Thickness Control Method to study the warpage behavior. Using this method, we will specify the geometry of parts with non-uniform three dimensional structures. After integrated with special material selection, various operation conditions, warpage of injected parts can be managed significantly. Also, to verify our results, both numerical and experimental investigation will be performed in this study. Indeed, both numerical simulation and experimental results are in a good agreement for warpage behavior and deformation prediction.

**Keyword:** Warpage, Three Dimensional Thickness Control Method, U-shape geometry

## 一、前言

近年來由於質輕與成型容易等特性，射出成型產品已廣泛應用於許多領域，例如電腦產業、電子通訊、汽機車、連結器、高精密度產品等等。在射出成型產品開發階段，在每次的製造過程中會常遇見許多缺陷問題，例如翹曲、短射、凹痕、結合線與包封等等。在這許多的缺陷中，翹曲是品質控制中決定性的關鍵之一。由於收縮與翹曲是由許多因素所同時引起，因此一般較難以掌握是哪個因素所主導。例如，當使用一個設計過的幾何形狀並搭配選定的塑料，此時不同的操作條件就會造成不同的收縮與翹曲程度。以往，人們常思考並嘗試去控制射出成型的翹曲問題，然而實際上並不是那麼容易[1-4]。

在此研究中，我們將使用三維厚度變異方法來進行翹曲行為探討。利用不均勻的厚度幾何，我們可從中瞭解充填到最後翹曲階段對產品的影響。此研究將同時進行數值模擬與實驗，並比較與驗證兩者間的分析結果。使用此特殊的幾何結構，可主導流動型態，藉此進一步控制收縮與翹曲的發生，並以此間接控制產品品質。而透過數值模擬與實驗結果比較，兩者對於翹曲變形有著一致性的行為。使用此方法，我們可以同時整合產品設計、模具設計、塑料選擇、和程序條件設定，並可掌控射出件的品質。

## 二、三維厚度變異方法

如前所述，射出成形是非常複雜的系統。如何掌握此系統並得到良好品質的產品，整合產品設計、模具設計、材料選擇與程序控制將會是其中關鍵。在此，我們嘗試在製程前段引入三維厚度變異方法，藉此管理與控制射出成形產品品質。簡單來說，此方法使用特殊三維幾何結構，例如 U 型和數種結構。利用此特殊的三維幾何結構可控制充填階段流動場變化，接著影響後段的保壓與冷卻階段，最後可補償收縮與翹曲問題。為了深入瞭解此方法，在此我們進行模擬與實驗探討，並將相關細節詳於下列章節。

## 三、數值模擬分析

在數值模擬分析部份，我們使用 Moldex3D 軟體進行各種可行性系統之射出模擬分析。而為了得到翹曲行為，射出成形模擬的主要分析程序包含充填、保壓、冷卻與翹曲分析。在充填與保壓階段，熔融塑膠假設為泛牛頓流體(GNF)流動行為，而非恆溫三維流動行為也在此使用數值化描述。由於 FVM (finite volume method) 具有穩健性與高效率的特性，因此使用於此研究中解析複雜三維幾何的暫態流動場。成形冷卻期間，三維、週期性與在冷卻管路和模座表面具有對流邊界條件的暫態熱傳問題，在此研究也被考慮。當塑件從模具頂出後，自由收縮將會因為溫度、壓力和比容間的複雜交互影響而發生，在翹曲分析中此機制特性在此假設為彈性行為[2-4]。

此研究所使用幾何結構如圖 1 所示。基本的平板幾何厚度為 2.5mm，如圖 1(a) 所示。為了得到良好的流動解析結果，我們在厚度方向上建立 10 層的六面體網格。圖 1(b)和(c)為 U 形結構，其中圖 1(c)比圖 1(b)中心厚度較薄。詳細的 U 形結構如圖 2 所示。圖 2(a)為 U05 結構，其中最薄的部份為 2mm 並位於板中心，也就是說此幾何在中心挖深 0.5mm。同樣的，U10 幾何中間最薄厚度為 1.5mm。

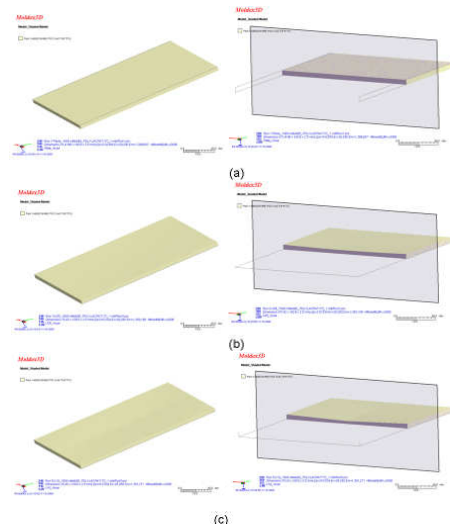
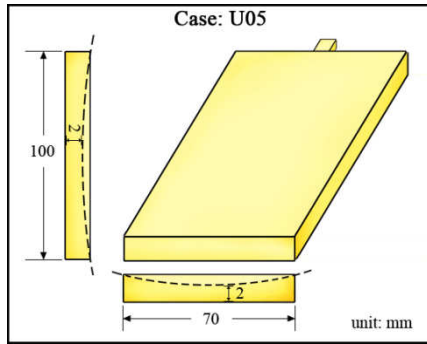
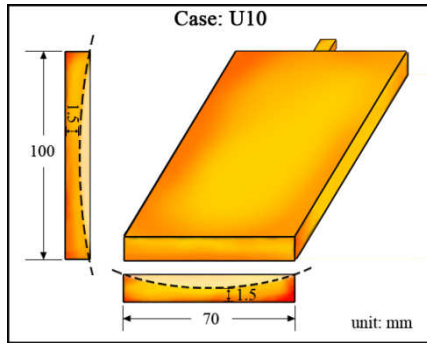


圖 1. 幾何形狀：(a) 厚度為 2.5mm 之均厚平板；(b) U05 幾何中心最薄厚度為 2mm；(c) U10 幾何中心最薄厚度為 1.5mm。



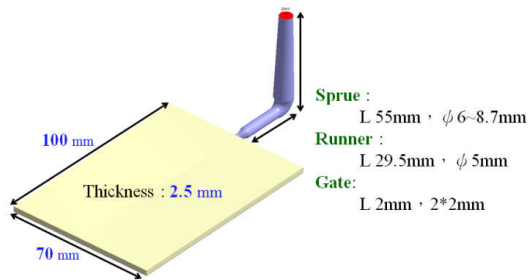
(a) U05



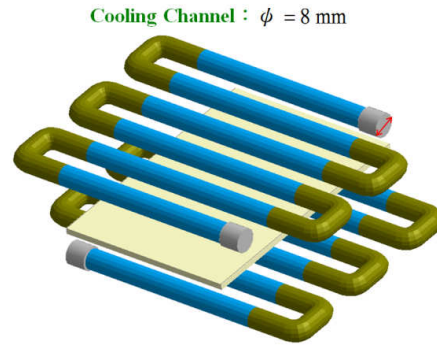
(b) U10

圖 2. 三維變異法之幾何結構：(a) U05 幾何中心最薄厚度為 2mm；(b)U10 幾何中心最薄厚度為 1.5mm。

圖 3 為流道與冷卻水路佈置圖。在圖 3(a)中，其中標示了豎流道、流道與澆口的尺寸大小。圖 3(b)為冷卻水路佈置。為了能得到較好的模溫控制，公模與母模將有個別的冷卻水路控制。同時為了定量上的翹曲量測需求，量測點的位置標示如圖 4 所示。



(a) 塑件與流道系統



(b) 冷卻水路

圖 3. 平板幾何的尺寸大小與模具設計：(a) 塑件與流道系統尺寸；(b) 冷卻水路佈置。

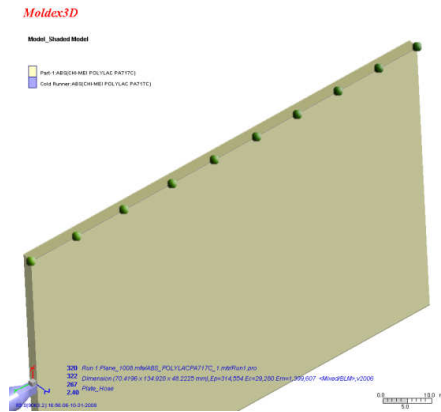


圖 4. 量測點位置。量測點的資料收集將用於翹曲研究探討。

程序條件設定列於表 1 與表 2。在表 1 中為對稱模溫設定，我們將公模與母模溫度皆設定為 50°C。在表 2 中為不對稱的公母模溫設定，此系統中公模為 50°C 而母模為 60°C。此研究所使用塑料為奇美 ABS-717C，其黏度與 PVT 特性繪製於圖 5。

表 1. 對稱模溫系統參數設定

Mold Temperature ( °C )	50 (Core & Cavity)
Melt Temperature ( °C )	200
Filling Time (sec)	1
Injection Ram (mm/s)	32
Packing Pressure (MPa)	50
Packing Time (sec)	5

表 2. 非對稱模溫系統參數設定

Mold Temperature ( °C )	50 (Core) 60 (Cavity)
Melt Temperature ( °C )	200
Filling Time (sec)	1
Injection Ram (mm/s)	32
Packing Pressure (MPa)	60
Packing Time (sec)	5

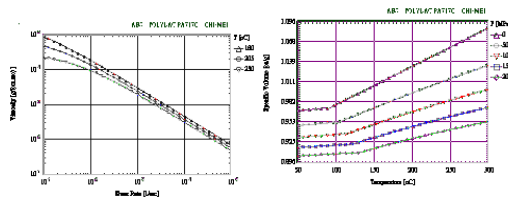


圖 5. 奇美 ABS-717C 材料特性：(a) 黏度特性；(b) PVT 特性。

#### 四、實驗研究

在實驗研究方面，其幾何形狀(包含平板、U05、U10)、流道與冷卻水路佈置，都與前述圖 1 到圖 3 相同。程序條件設定則與表 1 和表 2 相同。射出機為 Sodick HSP100EH2 油電混合機型。此外，為了量測翹曲量值，此研究使用 Micro-Vu 的非接觸式光學設備。實際量測時，在 9 個量測點中第 9 點最接近澆口，而第 1 點最接近流動末端。翹曲的量測方法是觀測量

測點偏離原始直線的偏差值，如圖 7 所示。



圖 6. Micro-Vu 非接觸式光學設備，以此設備量測翹曲量值。

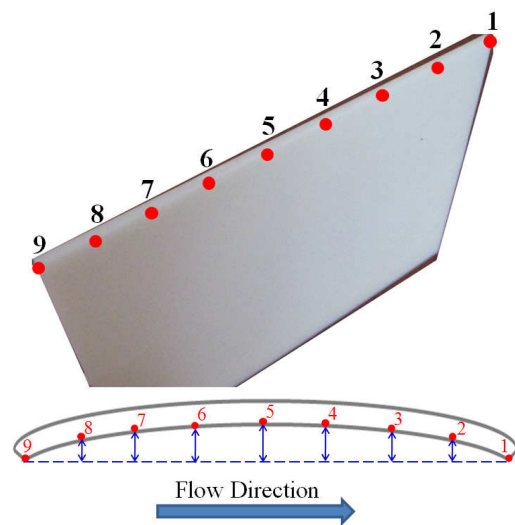


圖 7. 翹曲量值的量測方法是評估量測點偏離原始直線的偏差值。

#### 五、結果與討論

圖 8 為充填階段結果。在短射測試中，當幾何由平板變成 U05 或 U10 時，其充填行為將會有明顯的不同。在充填較早期的階段(30%)，所有幾何的流動行為幾乎一樣。然而，當充填持續進行時，例如在 75%時，平板到 U10 幾何其流動波前將有很明顯的不同。尤其當中心部份較薄時(U10)，其 ear-flow 現象將愈趨明顯，而此現象也將影響後續的保壓、冷卻和翹曲階段。由此結果得知，使用三維厚度變異方法是一個關鍵的因素，其整合產品設

計、模具設計、材料選擇與程序條件後，將可管理與控制產品的品質。

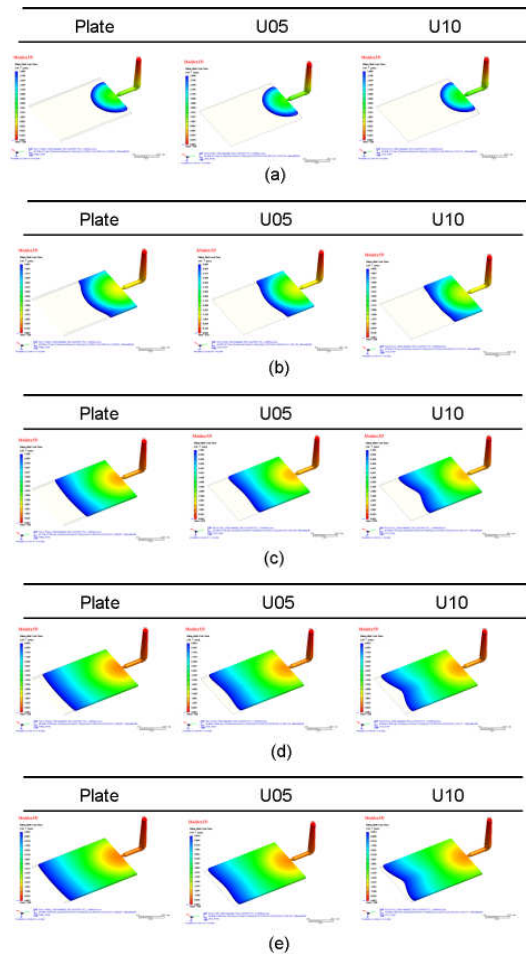


圖 8. 充填階段所有幾何之短射測試：(a) 充填 30%；(b) 充填 50%；(c) 充填 75%；(d) 充填 90%；(e) 充填 95%。

圖 9 是數值模擬與實驗結果的比較。顯而易見的，在所有的幾何結構系統中，其數值模擬與實驗結果有著一致的趨勢。另外，當幾何結構使用三維厚度變異方法改變時(在此研究為 U05 和 U10)，其流動波前也將有顯著的改變。當 U05 和 U10 的中心厚度比平板薄時，其兩側的流動波前將會比中心來的快。

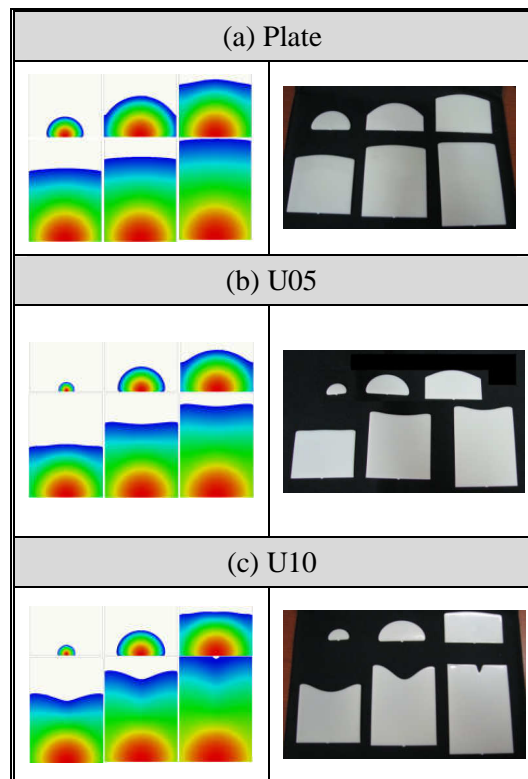
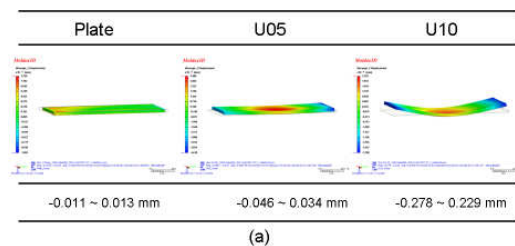


圖 9. 模擬與實驗結果比較：(a) 平板幾何；(b) U05 幾何；(c) U10 幾何。

在經歷充填、保壓、冷卻、脫模之後，其所有幾何之翹曲模擬結果列於圖 10。圖 10(a)為對稱模溫設定下的翹曲行為。其中可看到，當中心厚度較薄時(U10)，翹曲行為會明顯的變成笑臉形狀，而此現象幾乎與中心挖的深度成正比。然而，當系統改為公模 50°C與母模 60°C的非對稱模溫設定時，此時翹曲機制將會變的有點複雜。此系統翹曲的複雜性，可能是因為結構的干涉與熱殘留應力之間的相互作用所造成。



(a)

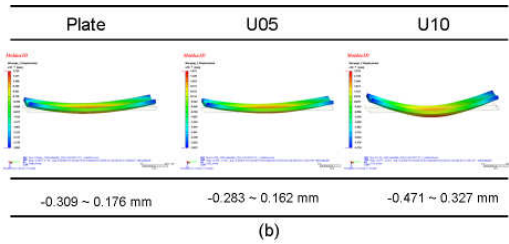
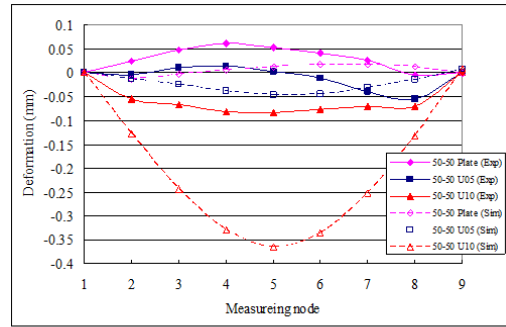


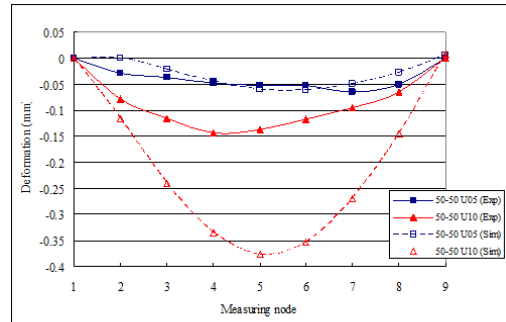
圖 10. 翹曲模擬結果：(a) 對稱模溫設定：公模 50°C，母模 50°C；(b) 非對稱模溫設定：公模 50°C，母模 60°C。

除此之外，所有幾何的翹曲行為也利用實驗分析進行驗證探討。圖 11 顯示在對稱模溫下所有幾何的翹曲結果。在圖 11(a)中，當平板結構改變為 U05 到 U10 的 U 形結構時，其變形量將會增加，而模擬與實驗結果皆符合此趨勢。當平板結構設定為基礎系統時，並以此基礎來研究 U 形結構所造成的變化，進一步的計算平板與 U 結構之間的變形差異，其結果顯示為圖 11(b)。其中清楚可見，當模溫設定為均勻溫度時，U05 與 U10 結構皆會產生笑臉翹曲變形。透過模擬與實驗結果比較，兩者對於 U 形結構的翹曲有著一致性的趨勢。

此外，我們也進行了非對稱模溫系統的翹曲行為探討。在圖 12(a)和(b)中，可發現一些有意思的現象發生。當平板結構改為 U05 到 U10 的 U 形結構時，其變形量會先減少然後增加。比較圖 11 的結果，在相同的 U 形結構下，當模溫從對稱設定改為非對稱設定時，其 U05 的翹曲行為將會由笑臉改為哭臉形狀。而在 U10 的結構系統中，無論是對稱模溫或非對稱模溫皆表現出相同的翹曲行為。同樣的，在非對稱模溫設定下，透過模擬與實驗的比較結果可得知兩者對於 U 形結構也同樣擁有一致性的趨勢。

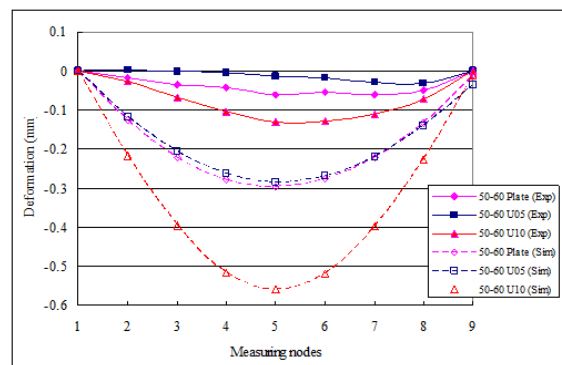


(a)



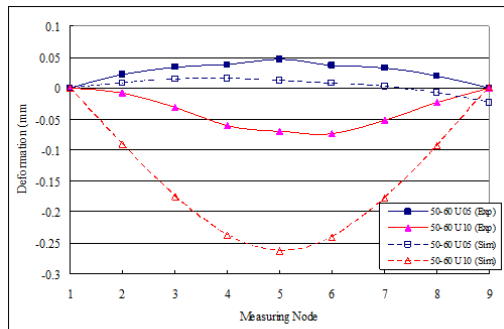
(b)

圖 11. 在公母模為 50°C 的對稱模溫下，數值模擬與實驗的翹曲結果比較：(a) 平板、U05、U10 個別的變形行為；(b) U05 和 U10 的變形結果。



(a)

[4] Tyler Skiba and Nicholas Toomey, SPE-ANTEC Tech. Papers, 2, 955 (2008)



(b)

圖 12. 在公模為 50°C 與母模為 60°C 下的非對稱模溫下，數值模擬與實驗的翹曲結果比較：(a) 平板、U05、U10 個別的變形行為；(b) U05 和 U10 的變形結果。

## 六、結論

在此研究中，我們提出了三維厚度變異方法，並同時整合產品設計、模具設計、塑料選擇和程序條件，以此管理與控制翹曲行為。基本上，在前段的充填到最後的翹曲階段，都會影響到產品品質。而為了闡述此方法，此研究也使用了幾種不同的幾何結構進行探討。同時數值模擬與實驗結果也進行互相比對與驗證。由結果可得知，其數值模擬與實驗對於翹曲行為皆有良好的的一致性趨勢。因此，透過三維厚度變異方法將能有效管理與控制射出產品的品質。

## 七、致謝

本研究的完成，感謝中原大學提供研究場地與相關設備的支援。

## 八、參考文獻

- [1] Mathivanan D. and N.S.Parthasarathy, SPE-ANTEC Tech. Papers, 4, 2126 (2008)
- [2] Rong-Yeu Chang, Yi-Hui Peng, David C.Hsu and Wen-Hsien Yang, SPE-ANTEC Tech. Papers, 1, 496 (2004)
- [3] Yi-Hui Peng, David C.Hsu and Venny Yang, SPE-ANTEC Tech. Papers, 1, 524 (2004)