

共射成型製程皮/芯層界面滲透之動態行為探討與其具體量化之研究

Study on the Dynamic Behavior of Skin/core Interface and its quantification in Co-injection Molding

柯冠瑜¹、黃招財^{1*}、饒又禎¹、林國廣¹、徐志忠²、周祐陞²、許嘉翔²、張榮語²、曾世昌³
Kuan-Yu Ko¹, Chao-Tsai (CT) Huang^{1*}, You-Ti Rao¹, Gwo-Geng Lin¹, Chih-Chung Hsu²,
Tim Chou², David Hsu², and Shi-Chang Tseng³

¹ 淡江大學化學工程與材料工程學系

¹ Department of Chemical and Materials Engineering, Tamkang University

² 科盛科技股份有限公司研發部

² R&D Department, CoreTech System Co. Ltd

³ 國立雲林科技大學機械工程系

³ Department of Mechanical Engineering, National Yunlin University of Science Technology

*Corresponding author email: cthuang@moldex3d.com; cthuang@mail.tku.edu.tw

摘要

共射成型製程已被廣泛地應用於日常生活或許多產業中，它的特點是利用皮層與芯層之間的組合創造出許多新穎的產品，例如：獨特設計的傢俱(例如：Lattoflex 的 Winx300 產品)，或栩栩如生的玩具(例如：Lego 玩具)，還有許多日常用品。其中共射成型製程不只達成產品複合品質規格，進一步提昇產品的美感價值。其中，共射成型技術創造美感主要核心技術之一為獨特的皮/芯層界面行為。然而，回到此等製程之本質，要掌握皮/芯層界面滲透行為是一大挑戰，須同時整合材料組合、產品設計、模具設計、以及操作條件之變化，以上成型條件之間的交互作用造就了其皮/芯層界面詭譎多變，不易定量掌控之特點。為此，本研究之目標是希望建立一套能具體掌握共射成型產品皮/芯層界面滲透行為與其具體量化之方法。具體的作法是採用標準拉伸試片做為系統，同時利用 CAE 理論模擬分析(Moldex3D)及實際實驗研究，透過(1)流場基本特性探索；(2)吹穿特性探索；(3)流率效應探索；(4)不同皮/芯層材料交互效應探索；(5)皮/芯層界面滲透長度檢測等步驟深入探究。再者，選定純 PP 材料(簡稱材料 PP)及含 30%纖維 PP 複材(簡稱材料 30SFPP)做為研究，並進行一系列模擬分析與實驗後，結果顯示，目前針對 30SFPP/30SFPP 材料組合，對於皮/芯層界面滲透長度檢測，模擬分析結果及實驗驗證在定性及定量上都相當吻合。

關鍵詞：共射成型製程，CAE模擬分析，皮/芯層比例效應，芯層界面滲透長度。

Abstract

The co-injection molding process has been widely used in daily life or in many industries. Its characteristic is to combine different color or different materials to make the skin and core structure products, such as: uniquely designed furniture (for example: Lattoflex's Winx300 product), or toys (for example: Lego toys), and so on. The co-injection molding process no longer only meets the composite quality specifications of the product, and further enhances the aesthetic value of the product. However, due to too many factors which can affect its processing, it is very difficult to obtain good quality of co-injected products all the time. One of the major challenges is that the prediction

and management of the advancement of core material is very difficult. In this study, both CAE simulation (Moldex3D) and experimental methods have been applied to investigate the advancement distance of core material in co-injection molding based on the standard tensile bar system. Specifically, a series of testing procedures for co-injection have been performed, including (1) the basic flow behavior evaluation; (2) break-through phenomena investigation; (3) flow rate influence study; (4) different material arrangement effect; and (5) the core material penetration distance measurement. Moreover, the materials of pure PP and PP with 30% short fiber (called 30SFPP) are utilized. Finally, to quantify the advancement of the core material in co-injection molding, both simulation prediction and experimental observation were performed. Results showed that the advancement of the core material is strongly proportional to the core ratio in co-injection molding system. Moreover, the flow rate and the different skin/core material arrangement also can influence the advancement of the core material significantly.

Keywords: Co-injection molding process, CAE simulation, skin/core ratio effect, core material penetration distance.

1. 前言

共射成型製程已經廣泛地應用於汽車、日常用品等，比如：柔軟之表皮層(skin layer)加上強韌之核心層(core layer)構成之產品；內層是含纖維、表皮層是純料之結構補強件；或內層是含回收料，外表皮層是純料之回收再利用產品。此類製程與產品，有許多特點，包括：可像製作如三明治般，將不同材料或不同顏色之物質複合成型，創造多種可能，或是整合回收再用，以降低成本。此技術最早在1971年，由P.J. Garner and D.F. Oxley提出，開啟利用共射之產業應用[1]，之後不斷地在產業間應用並修正。到了2002年，V. Goodship and J.C. Love曾針對多材質射出進行一系列之研究，介紹各種不同之共射技術，包括：最簡單又最經濟之方式為「依序式共射(sequential co-injection)」，但此方式對象皮/芯層之組合後，無法有效控制皮/芯層個別之速度；另外，由Kortec 射出機廠提出「多流道共射(Multi-channel co-injection)」，可有效控制其個別之速度，但須牽涉到射出機機構整合設計，複雜性不低[2]。之後，2000-2010年期間，許多研究專家著重於學理之探索，其中特別針對核心與皮層材料分佈及操作條件等影響因子。一般而言，當核心層材料是黏度較低物質時，核心材料往流動方向穿透性較佳，穿透厚度也較均勻。再則，射速較高時，核心材料往厚度方向穿透性較佳，往流動方向穿透性則反而較短[3-7]。但整體而言，學術研究之應用與實務應用差距不小，單純之材料特性及操作條件所提供之訊息，難以應用於複雜之共射系統與產品。其中，共射成型技術創造美感核心技術之一為皮/芯層界面行為。然而，回到此等製程之本質，要掌握皮/芯層介面滲透行為為一大挑戰，須同時整合材料組合、產品設計、模具設計、以及操作條件之變化，以上成型條件之間的交互作用造就了其皮/芯層界面詭譎多變，不易定量掌控之特點。

有鑒於此，本研究之目標是希望建立一套能具體掌握共射成型產品皮/芯層界面滲透行為與其具體量化之方法。其中具體的作法是採用標準拉伸試片做為系統，同時利用CAE理論模擬分析(Moldex3D)及實際實驗進行研究。結果顯示，目前針對同質材料(30SFPP/30SFPP)，以及異質材料(PP/30SFPP及30SFPP/PP)組合，對於各項特性探索，以及皮/芯層界面滲透長度檢測，模擬分析結果及實驗驗證在定性及定量上都相當吻合。

2. 研究之模型與相關資訊

本研究使用 ASTM D638 TYPE V 做為研究模型，產品幾何模型與模座尺寸及冷卻水路配置，如圖 1 所示。另外，實驗採用大愛機械廠股份有限公司所製造之 TA-4.0ST-2ST-80T 油壓式立式雙射出成型機，如圖 2 所示。再者，本研究採用兩種不同 PP 材料進行研究，詳如表 1

所示，至於相關之操作參數如表 2 所示。另外，為掌握共射成品的機械性質量測，此處使用萬能拉力機(Lloyd LS5 Universal Test Machine)來測試。

3. 結果與討論

3.1 探討共射系統中皮/芯層比例效應

圖3. 顯示在不同皮/芯層比例下芯層滲透行為，當皮/芯層比例從90/10到60/40時，芯層比例越高，芯層滲透距離就會越長。然而，當皮/芯層比例為50/50時，就會出現吹穿現象。這意味著芯層將從內部區域穿過皮層材料，接著變成新的皮層進行充填。此外，當該比例由50/50變為10/90時，皮層被吹穿面積會擴大；最終的核心穿透位置將從模穴的末端移動到模穴的入口，甚至移動到流道部分。很明顯，皮/芯層比例對吹穿發生的確切位置影響很大，實際上很難事先預估。為此，在CAE模擬預測協助下，可以精確地捕捉芯層滲透位置。此外，當皮/芯層比例為60/40時，皮層材料未被吹穿且皮/芯層滲透分布最均勻，此為可包覆最大芯層材料之皮/芯層比例。另外，圖3(b)顯示實驗結果，與模擬分析結果相當吻合。再者，圖4(a) 顯示模擬分析動態流動行為；圖4(b)則為實驗結果，明顯地，實驗之芯層流動行為與模擬分析一致。

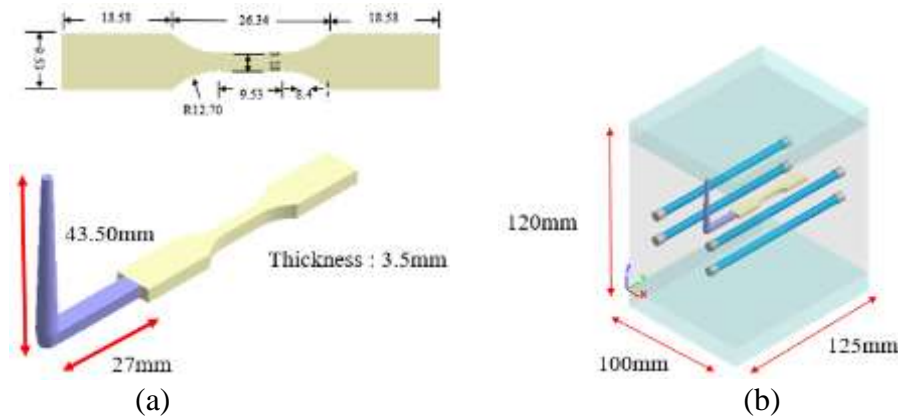


圖1. (a)幾何模型尺寸(b)模座尺寸及冷卻水路配置

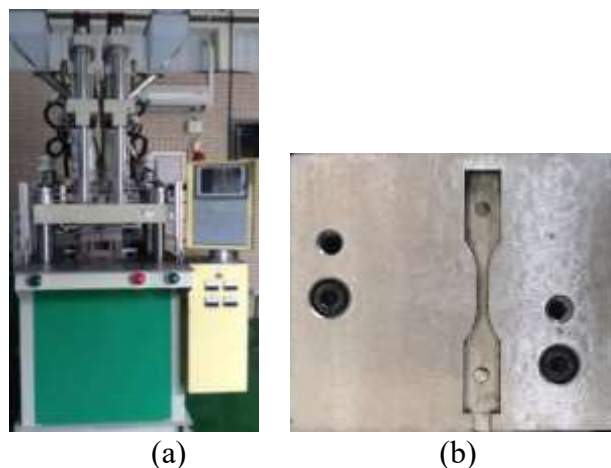


圖 2. (a)共射成型系統，(b)模穴之產品幾何

表1 材料資訊

項目	塑膠基材	玻璃纖維	材料型號	製造商
PP	PP	X	Globalene ST868M	LCY Chemical
30SFPP	PP	30%, 3 mm	Globalene SF7351	LCY Chemical

表 2 操作參數

參數	條件
充填時間 (s)	0.3
體積流率 (cm ³ /s)	10
熔膠溫度 (°C)	230
模具溫度 (°C)	35
射出壓力 (MPa)	175
芯層進入時間 (%)	60

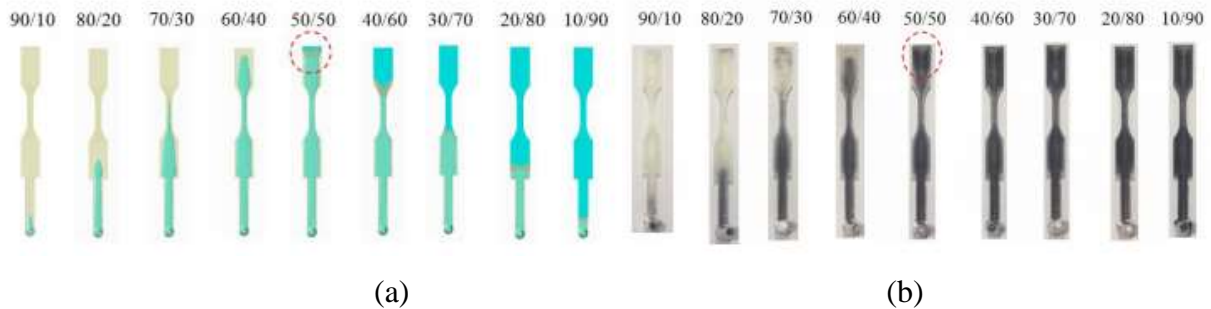


圖3.共射系統皮/芯層比例效應之比較：(a)模擬分析結果，(b)實驗結果。

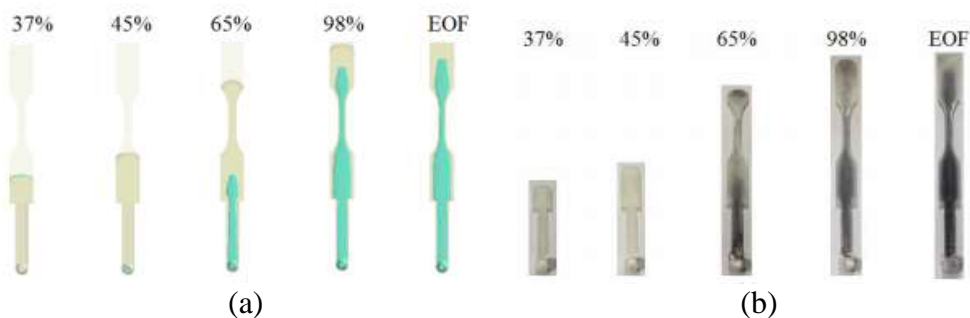


圖4. 共射系統中皮/芯層比例為60/40之流動行為探討；(a)模擬結果，(b)實驗結果

3.2 針對不同流率對芯層滲透行為之探討

另外，流率也是影響芯層滲透行為的重要因子之一，此處當固定皮/芯層比例為60/40，並將流率由10 cm³/s 增至50 cm³/s，結果顯示，隨著流率增加，芯層滲透距離明顯變短。我們利用CAE進行可視化分析探討流率導致芯層滲透距離改變之原因，如圖5及圖6所示，發現當流率增加時，熔膠因為進入模穴較早，溫度較高，芯層材料往厚度方向移動比例增加，導致芯

層材料滲透距離會變短。

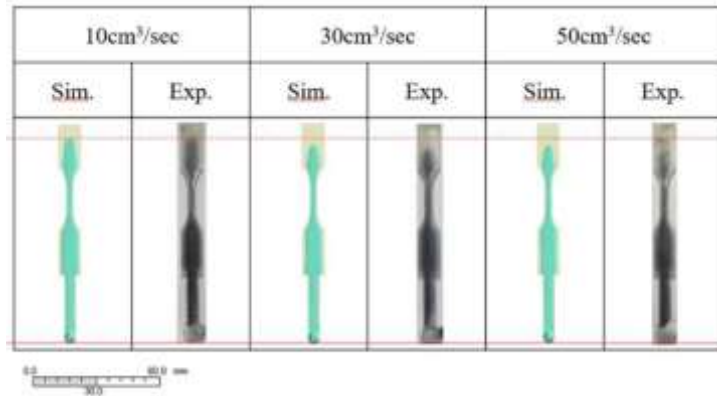


圖5. 共射系統中流率對芯層滲透行為之影響

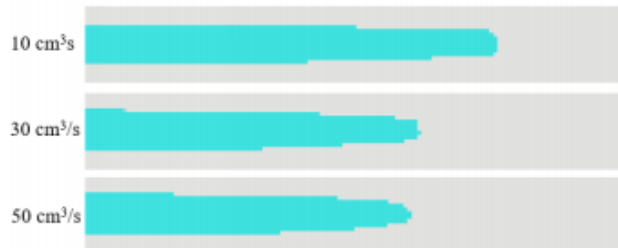


圖6. 利用模擬分析不同流率之芯層滲透距離

3.3 共射系統中芯層滲透效應量化

如同前述，針對共射成型系統進行一系列模擬預測與實務上的驗證後，我們發現定性上CAE模擬與實驗結果十分吻合。不過，本研究希望能進一步獲得定量比對之結果。為此針對芯層滲透距離進行模擬分析，再與實際量測結果進行比較。模擬分析先固定流率為 $10\text{ cm}^3/\text{s}$ 並控制不同皮芯層比例，比較芯層滲透距離的差異。舉例來說，針對同質材料系統(30SFPP/30SFPP)，芯層材料滲透距離從 0 mm (皮/芯層比例為90/10)增加至 58.6 mm (皮/芯層比例為60/40)；之後，當吹穿行為發生時芯層滲透距離為 66.5 mm (皮/芯層比例為50/50)；接著，隨著芯層佔模穴中比例越高，滲透距離會越長，在皮/芯層比例為10/90時，芯層滲透距離為 127 mm 。圖7顯示實驗量測之芯層滲透距離與模擬數值之比較，兩者相當接近。

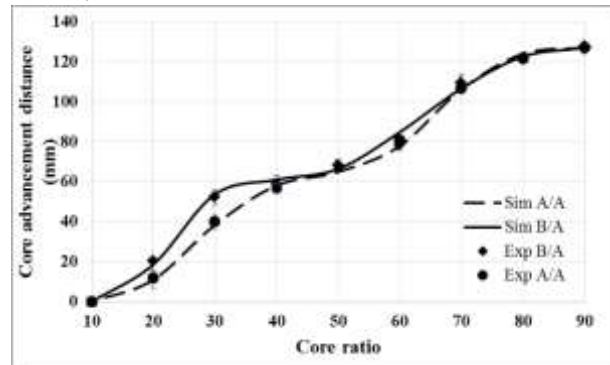


圖7. 固定流率且不同皮/芯層比例之芯層滲透量化比較: A為30SFPP，B為PP材料

3.4 共射產品中芯層滲透行為對機械性質影響之探討

另外，此研究也探討不同皮/芯層比例對其所構成之共射成型成品機械性質的影響，以PP/30SFPP組合為例，將PP材料作為皮層並將含纖複合材料作為芯層以強化其機械強度，調整

皮/芯層比例從0/100至100/0，進行拉伸測試，其結果如圖8所示。當芯層比例在20以下時，芯層材料未滲透至拉伸試片頸縮段，其拉伸應力與PP單射系統很接近。但當皮/芯層比例為70/30，拉伸應力會因為含纖材料進入頸縮段，提升機械強度；之後，隨著芯層材料比例越高，拉伸強度會變強；當芯層材料比例為100%時，其拉伸強度最強。有此可知，在PP/30SFPP組合中控制皮/芯層比例將共射成型產品達到相對應的機械強度。

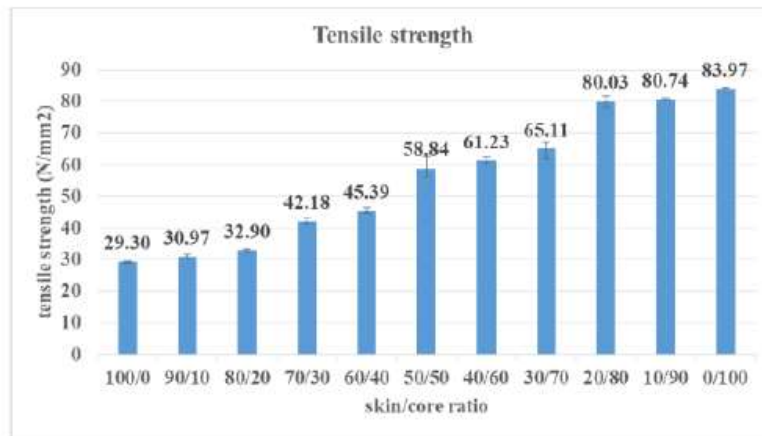


圖8. 不同皮/芯層比例拉伸應力比較圖

5. 結論

本研究利用ASTM D638 標準拉伸試片作為研究之系統平台，選定PP及30SFPP進行研究，並且透過模擬與實務驗證進而探討共射成型中芯層滲透對機械強度之影響。其中，利用同質材料30SFPP/30SFPP組合進行基本流場探討及不同皮/芯層比例找到最佳皮/芯層分佈為60/40以及當皮/芯層比例在50/50發生吹穿效應，此等模擬預測經過實驗驗證十分吻合。之後，藉由不同材料PP/30SFPP組合時，發現當芯層滲透行為會受到材料黏度差異產生變化。接著，固定皮/芯層比例，將流率增加，使芯層滲透距離減少。再者，透過改變皮/芯層材料組合，可以發現在某些皮/芯層比例組合下，PP/30SFPP之滲透的距離較長。最後，使用PP/30SFPP系統之共射成品進行拉伸強度測試，在芯層材料未滲透至頸縮段時，其拉伸強度與純料PP相近；然而，隨著芯層材料滲透比例越高，試片內部含纖複合材料越多，其拉伸強度也會隨之增加。

6. 參考文獻

1. P.J. Garner and D.F. Oxley, British Patent 1,156,217 (1971)
2. V. Goodship and J.C. Love, "Multi-Material Injection Molding", Rapra Review Report
3. R. Seldén, Polymer Engineering & Science, 40, 1165 (2000)
4. D. Messaoud, B. Sanchagrin, and A. Derdouri, Polymer composites, Vol. 26, No. 3, pp.265-275 (2005)
5. M. Gomes, D. Martino, A. Pontes, , and J. Viana, Polymer engineering science, Vol. 51, No. 12, pp.2398-2407 (2011).
6. S.-P. Sun, C.-C. Hsu, C.-T. Huang, K.-C. Huang and S.-C. Tseng, SPE Technical Papers, Paper No.1575837, pp.1-5. (2013).
7. W. M. Yang, H. Yokoi, 2003. Polymer Testing, vol. 22, issue 1, p37-43