

創新混合成型技術的研發與高性能複材工件的製造
Development of a novel hybrid molding process to manufacture high-performance composite parts

張致遠¹、黃明賢²、李偉聖^{1*}、楊森富¹、毛柏智¹

¹ 國立高雄科技大學模具工程系

² 國立高雄科技大學機械與自動化工程系

*E-mail: F107147129@nkust.edu.tw

摘要

近年來，在射出成型中添加纖維來增加產品的機械強度，已經是各種工業產品輕量化與高值化的趨勢，然而在射出機中添加長纖維補強材，往往因為螺桿的轉動與絞斷，使得纖維長度變短，導致纖維的增強效果不如預期。因此大部分具備連續式長纖維的塑膠複材工件都是採用熱壓成型的方式來生產，此法的製程與模具設計相對簡易，也不會任意剪斷長纖維的結構，但是卻不適合製作形狀複雜與尺寸精密的產品。有鑑於此，本研究提出熱壓成型與射出成形的混合成型技術，希望透過適當的模具設計與製程整合，在一副模具內成功製作出同時具備長短纖維結構之高性能複材工件。

首先將連續式長纖維複材板進行適當的裁切，接著使用遠紅外線加熱器將複材板預熱，再將預熱後之長纖維複材板置於射出模具中進行合模與預成型，最後將具備短纖維補強之塑膠複材射入模穴中，進行材料黏合、冷卻與一體成型，就可以生產出同時具備長短纖維組成特性的複材工件，如此具備輕量化與複雜結構的成型技術，未來可望應用於航太、汽機車零件等產業上。

關鍵詞：射出成型(Injection molding)，熱壓成型(Thermoforming)，混合成型(Hybrid molding)，長纖維複材板(Composite)

英文摘要

In recent years, adding fiber to injection molding to increase the mechanical strength of the product has become a trend of light weight and high value of various industrial products. However, the addition of long fiber reinforcing material in the injection machine is often caused by the rotation and twisting of the screw. The fiber length is shortened, resulting in a fiber reinforcement effect that is less than expected. Therefore, most of the plastic composite parts with continuous long fibers are produced by thermoforming. The process and mold design of this method are relatively simple, and the structure of long fibers is not arbitrarily cut, but it is not suitable for shape complex and

sophisticated products. In the light of this, this research proposes a hybrid molding technology of thermoforming and injection molding, and hopes to successfully produce high-performance composite workpieces with both long and short fiber structures through proper mold design and process integration.

1. 前言

近年來，全世界的塑膠加工與成型產業紛紛都朝向產品輕量化、製造低成本化與製程整合化的目標努力，甚至極力發展出長短纖維複合式的成型技術與工件產品[1-4]，這些高性能複材工件的製造與應用非常適用於各種工業領域，例如：高素質電器、汽機車零件、運動器材、精密機械與航太產業等。現今普遍的技術是以嵌入件模內成型(Insert molding)製程為主，就是先將連續式長纖維複材板放入熱壓成型的模具中，進行第一次的初步塑形，再將此半成品放入射出模具中進行第二次的材料包覆成型，如此便可以完美結合或補償兩種成型技術的優缺點。雖然此技術具備非常優越的製程特性，但是仍然存在許多製程問題與缺失，例如：此技術的製程步驟仍然繁雜，各製程參數與良率也尚待釐清及提升，其週邊設備與機構裝置更是成本昂貴，而且至少需要兩副模具才得以完成最終商品的生產。為了解決這些問題與缺失，以及進一步提升此技術的競爭力，本研究擬簡化此混合成型技術的製程，期望透過特殊模具的設計與立式射出成型技術的整合，在單一副模具中就完成熱壓成型與射出成型的混合製程，並且成功製造出具備長短纖維組成特性的高性能複材工件。

2. 實驗設備與材料

本研究提出一種創新的方式來製作具備長短纖維結構的複合式工件，而且在一副模具中同時具備熱壓成型與射出成型兩種製程。首先，將連續式碳纖維複材板裁切成適當大小後，利用 IR 加熱器預熱至軟化溫度後放入模具內進行合模與預成型(本模具的公模仁上有設計能放置碳纖維複材板的凹槽)，再將具備短纖的熔膠射入模穴中進行充填與黏著成型，待冷卻後開模取出產品，即可獲得具備長短纖維複合式的工件。以下將針對本研究所使用的主要設備、配件、材料等進行介紹與說明。

2.1 實驗設備

如圖 1(a)所示，本研究採用直立式射出成型機，螺桿直徑為 16mm，鎖模力 35ton，螺桿轉速 10~400 rpm，開模行程 250 mm，最大射出率 70 cm³/sec，最大射出速度 280 mm/sec。

圖 1(b)則是本研究所使用之 IR 加熱器，使用電壓為 110V，加熱溫度可由溫度控制箱調整，使用此加熱器可以將碳纖維複材板的預熱時間大幅縮短，進而降低整體的成型週期時間。



(a) 直立式射出成型機



(b) IR 加熱器

圖1 實驗設備

2.2 混合成型的產品設計與實驗材料

圖2則為本研究之產品設計，其產品形狀為一長條的盒子，長度為72mm、寬度為27mm、高度為7mm，中間部分為碳纖維複材板的成型區，長度為66mm、寬度為15mm、厚度為1mm。圖3則是本研究所採用的短纖維強化的塑膠射出料與連續式長纖維的碳纖維複材板，其中，射出料是李長榮化工Globalene SF7351 PP+30%GF，MI 5g/10min，HDT 163°C，收縮率0.18%，密度1.11 g/cm³，纖維長度為2mm、直徑為0.013mm，具備成型性佳、高剛性、低收縮率的特性。連續式長纖維的複材板則是選用PP/碳纖維複合板材，具備3K碳纖維、平紋編織、纖維含量45%、板材厚度0.25mm、碳纖維直徑為0.007mm的特性。

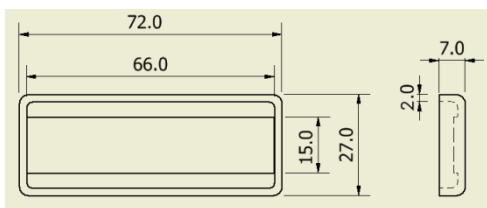


圖2 混合成型的產品設計



(a) 含有30%短玻纖的PP複材 (b) 碳纖維複材板

圖3 實驗材料

3. 實驗方法與流程

本研究的實驗流程可分為六個步驟，首先是將碳纖維複材板裁切成本次實驗所需要的

尺寸，即長度68mm、寬度15mm。接著再將裁切完成的碳纖維複材板放置在IR加熱器下，以163°C的溫度下加熱15秒，使板材軟化。接著將軟化後的複材板放入模穴中進行預成型，完成初步成型後，就在模溫95°C、熔膠溫度195°C下進行短纖維複材的射出成形，最後完成模穴充填與冷卻後，開模與取出產品。接著，本研究將針對純PP塑料工件、純PP+碳纖維工件、含有30%玻璃短纖維的PP工件、含有30%玻璃短纖維的PP+碳纖維板材的機械性質做比較。並且在實驗過程中發現產品冷卻取出後，此複合式工件成品會有翹曲的問題，因此本研究也採用田口實驗法則來降低成品翹曲的現象，以優化整體的製程參數。

4. 結果與討論

(1)各材質工件的機械性質分析與比較：如圖 4 所示，具備長短纖維的複合式工件的拉伸強度、衝擊強度、彎曲強度皆優於純 PP、純 PP+碳纖維、短纖維複材工件的機械強度，而且機械性質提升的幅度很明顯，這是因為在塑膠中添加玻纖或碳纖維等增強材料，會使得成型工件的剛性提高，而同時具有長短纖維特性的複合式工件，其補強效果與機械性質則是更為優越。

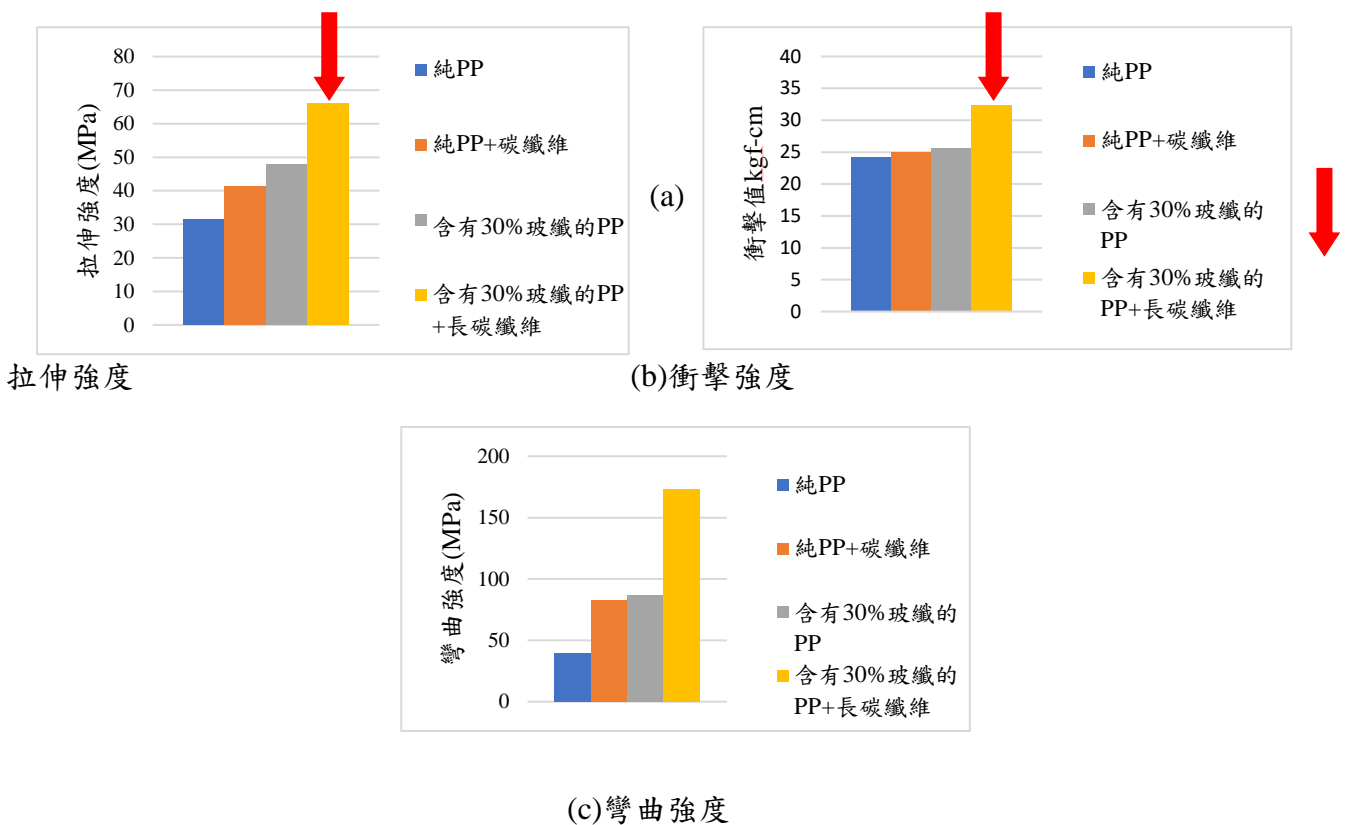


圖4 各材質工件之機械性質比較

(2)田口實驗法對成品翹曲量的改善與製程優化：藉由初步試模的結果可以得知，對成品翹曲量較有影響的製程因子為保壓壓力、熔膠溫度、冷卻時間、模具溫度等。因此本研究針

對這些因子進行田口法實驗，而且採用 L9 直交表與望小型公式來進行實驗分析，製程實驗的三個水準值與四項製程因子如表 1 所示，以及實驗結果之 S/N 因子反應圖表，如表 2 與圖 5 所示。其中，保壓壓力的影響性最大，其次為熔膠溫度，再來為模具溫度，最後則為冷卻時間。根據圖 5 所示，最小之變形量組合參數為 A3B3C2D1，分別為保壓壓力 45kg/cm²、熔膠溫度 205°C、冷卻時間 85 秒、模具溫度 50°C。

表1 田口實驗的製程參數

	保壓壓力 (kg/cm ²)	熔膠溫度 (°C)	冷卻時間 (s)	模具溫度 (°C)
Level 1	25	185	20	50
Level 2	35	195	85	65
Level 3	45	205	150	80

表2 田口實驗的S/N比因子反應表

	A保壓壓力	B熔膠溫度	C冷卻時間	D模具溫度
LEVEL 1	8.282	8.433	8.739	9.585
LEVEL 2	9.108	9.380	9.292	8.984
LEVEL 3	9.868	9.444	9.227	8.689
EFFECT	1.586	1.011	0.553	0.895
RANK	1	2	4	3

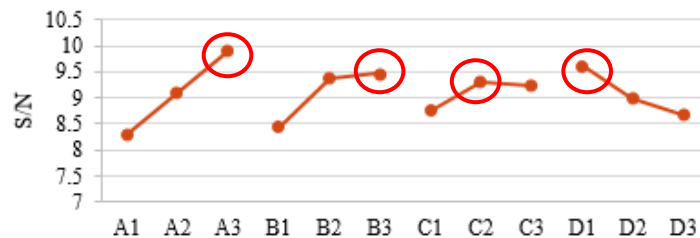


圖5 田口實驗的S/N因子反應圖

隨著保壓壓力的提高，熔膠在模穴內受到持續壓縮與冷卻，因此成品翹曲量有明顯降低的趨勢，隨著熔膠溫度的增加，射出熔膠與碳纖維板材的結合性變好，也有助於成品翹曲量的降低，而隨著模具溫度的提升，此複合式工件成品的翹曲量卻是增大，推測可能是因為較高模溫的設定，使開模時模內溫差較大，所以造成工件翹曲量有稍微變大的趨勢，最後隨著冷卻時間的增加，可有效地將熱量帶走，減少工件開模時與環境的溫度差，因此也可以改善成品的翹曲現象。

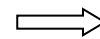
圖6則是長短纖維複合式工件在本製程實驗中的改善情況，由圖中可以明顯看到，經過製程優化與改善後，成品翹曲量有明顯降低之趨勢，工件成品的平均翹曲量可由0.55mm改善至0.25mm，整體的改善程度約為54.5%。



(a)翹曲量0.55mm



(b)翹曲量0.34mm



(c)翹曲量0.25mm

圖6 長短纖維複合式工件翹曲改善

結論

本研究成功開發熱壓成型與射出成型的混合成型製程，而且只使用一副模具就製作出同時具備長短纖維的複合式工件，也進一步證實此長短纖維複合式工件的機械性質(拉伸強度、衝擊強度、彎曲強度)皆優於其他類似材質的工件，實驗過程中也發現熔膠溫度、模具溫度、板材預熱溫度對塑料與碳纖維複材板之間的結合性有正面的影響，也由於短纖維複材與連續式長碳纖的材質與熱膨脹性質之不同，所以造成此複合式工件有翹曲的工程問題，本研究則藉由田口式實驗法則來進一步優化製程參數，促使成品的翹曲量小於0.25mm以下，並且成功得知保壓壓力、模具溫度、熔膠溫度與冷卻時間對於成品翹曲的影響趨勢，如此將有助於了解本技術的製程挑戰與問題，將促使本技術更加的精進與深化，以便未來有機會運用於更多複合式工件的製造與各項工業產品上之實務應用。

5. 誌謝

感謝逢甲大學陳建羽教授與台東專科粘世智教授的熱心指導與技術支援。

6. 參考文獻

1. K. S. Kumar, V. Patel, A. Tyagi, N. Bhatnagar, and A. K. Ghosh, "Injection Molding of Long Fiber Reinforced Thermoplastic Composites", International Polymer Processing, Volume 24, Issue 1, 2009.
2. M. Rohde, A. Ebel, F. Wolff-Fabris and V. Altstädt, "Influence of Processing Parameters on the Fiber Length and Impact Properties of Injection Molded Long Glass Fiber Reinforced Polypropylene", International Polymer Processing, Volume 26, Issue 3, 2011.
3. Marco Fiorotto, Giovanni Lucchetta, "Experimental investigation of a new hybrid molding process to manufacture high-performance composites", International Journal of Material Forming 6, 179-185, 2013.
4. Taiga Saito, Kazuharu Yasuda, Asahi Kasei Corporation Asami Nakai, "CHARACTERIZATION OF DEVELOPED HYBRID MOLDINGS BY TEXTILE AND SHORT FIBER REINFORCED COMPOSITES", Semantic Scholar, 2017.