

第一章 緒論

1.1 前言

資訊產品設計與製造科技的日新月異，好的產品不斷的被推陳出新，許多『可攜式消費性的電子產品』，帶給消費者(使用者)更多輕巧性、多功能性、可提昇工作效率的產品設計，消費性資訊產品除了設計多樣化，亦提昇產品的功能，在設計上也朝向輕、薄、短、小來發展。

產品的設計上，材料的選用逐漸以塑膠材料(如 ABS、(ABS + PC)、(ABS + PC 混合玻纖)、或其他塑膠工程材料等來取代其他材料。塑膠材料的比重為 0.95~1.20 間，遠比如鐵(比重為 7.9)、鋁(比重為 2.8)等所有結構用金屬材料小，具有質輕、高製造性、永不生鏽、強度大、具吸震性、價廉、與製造取得方便等諸多優點。由於具有可回收性，故在其產品設計、製造工程、環保上具有實質的需要，其材料應用的廣泛，是其他材料無法相抗衡的。因此塑膠材料在 3C(電腦、通訊、消費性電子)產品的機殼，或汽機車非結構件材料上是最佳選擇用料，也應用最多，尤其是應用於筆記型電腦、手機、PDA、MP3、LCD 的面板等機殼上，逐漸取代金屬、玻璃、木材等，成為『民生工業，國防工業的重要材料』，更顯示出精密塑膠成型的重要性[1]。

產業界生產塑膠成品的方法，以射出成型為最主要；成型件具有尺寸精確、外觀品質優良、不需額外做加工，如補土、噴漆、烤漆、電鍍等的後加工處理；因具有低成本、高生產率及品質穩定等優勢，並可 24 小時全天候可大量生產的優點；因此塑膠射出成型件的需求量與日激增，成為工業界非常重要的材料。

1.2 文獻回顧

近年來許多專家、學者們，在對產品開發設計時，均提到目前有關電子與通訊產品的研發均朝向輕、薄、短、小的設計，為能達到產品內部最大的包覆與組裝的空間設計，就必需縮小尺寸、降低產品零件整體的厚度，或使用特殊與複合材料來做成型；因此射出成型的生產技術與薄殼成型技術品質，是變得更加重要，因此與本論文有關的文獻研究加以分析說明。

(1) 有關射出成型加工研究

於 1995 年，[2] J. Fassett 指出，利用在塑膠射出成型設備、模具設計與製造加工以及塑膠材料等三方面的選擇，找出如何將製程做改善，才能獲得劣化程度降至最低、

製品內部的殘留應力為最小、產品的外觀面為最優且最良好，並且能縮短(減)射出成型產品生產製程週期，來提高成型品之生產效率的方法。

在 1995 年，[3] 由 Boitout 等人，建立一個二維幾何模型來計算射出成型的殘留應力，在於分析熔融塑料的壓力和模具變形對殘留應力分佈的影響，其非晶質聚合物被考慮成為熱彈性，等向性和分子均勻性等；假設彈性行為允許聚合物和模具可黏附接觸，需精確分析熔融塑料的壓力變化，尤其是在澆口凝固後，其壓力不再是由射出機提供時，要將模具變形也一起列入計算。經分析後發現兩個曾被忽略的重要的現象為：(a) 模具的變形，對澆口塑料凝固後，模穴內液態塑料的壓力過程和殘留應力有很大的影響。(b) 導致非晶質聚合物的殘留應力，最為重要影響為凝固時壓力；在充填和保壓時，液態塑料存在的應力可以補償成固態時的應力，並且可分為保壓應力和熱應力等兩種。

到了 1997 年，[4] 由 L. W. Seow 等人提出，應用塑膠材料的模具和產品(零件設計)，對射出成型來說是一個非常複雜的過程，對於生產一個零件產品的生產結構考慮，須包括：生產成本、製程速度，人因工程學與美學等，當設計一個產品時必需要考慮模具生產的品質，塑料充填進入一個零件模穴時，其過程必需平衡的被充填，這牽涉控制塑膠在充填階段的流動，如此塑料進入模具的充填過程是相同的時間，這是過去調整每一剖面厚度與繁雜的生產過程的一大考驗，在這文獻中，描述使用一種方法、稱做那個厚度的整體設計，能被自動的找出一個最優化程度，這是使用厚度需求到平衡這個模具的模穴的方式，應用用電腦與模流分析 Moldflow 商業軟體來相互搭配，使用這個方法以取得數個基本幾何模型的結果，來找到較優化的製程條件。

而 1998 年，[5] 由 Jansen et al. 等人研究提出，有系統的改變保壓壓力、射膠速度、模具溫度和熔膠溫度來量測七種熱塑性聚合物，包括了(PC、PS、ABS、HIPS、PBT、HDPE 與 PBT-GF30)的收縮數據，結果發現塑膠的熔膠溫度與保壓壓力等，對射出成型品的收縮影響最大，而模具溫度與射膠速度等，對其射出成型品的收縮影響並不大；因此，可以找出塑膠射出成型與成型製程條件間的相互影響關係。

於 2001 年，[6] 由 Ming-Chih Huang 等人提出，產品外殼經過塑膠射出成型加工，其形成的品質缺陷的成因有許多，如充填不良、翹曲、變形、收縮、模痕、內應力等，為解決上述成型不良問題，在搜尋時應用田口式實驗設計法來找出射出成型的條件，使用模流分析 C-MOLD 商用軟體來模擬射出成型的過程，這兩種射出成型條件與製程因子的種類，是決定了較薄殼產品翹曲、變形的程度，而這些缺陷的成因是顯示過去成型製做過程中，依仍存有過大的保壓壓力的存在，因而產品的內部積存許多的壓力，並形成內部應力於其中；這射出成型製程是依照模具溫度、熔膠溫度、保壓時間等來進行設定，無論如何薄殼產品發生翹曲、變形的程度，過去只有細微的澆口尺寸與保壓時間在薄殼的射出成型模具中，但為節省許多成本與找尋製程相關條件的時間，應用田口式實驗設計法去找出射出成型的優化的條件，是一個相當有效率的方法，因而可以獲得設定最優

的製程條件因子，並找出與得到產品成型後的最小翹曲、變形品質。

於2005年，[7] 由 N.R. Subramanian 等人提出，射出成型製造過程的模擬與最優化的方法，這是應用模型到改進製程的穩定狀況與達到產品精確度的要求度，在細小微細階段的精度，應用在一透明 CD 塑膠外殼為結構考量，這最優的方法為機構的組成與使用複合的方式，將射出成型模型品降至最小的翹曲、變形，並在射出成型製造過程中應用翹曲、變形分析模擬，並應用在這 CD 透明外殼上，並將改變產品結構的設計與製程條件的選擇與控制，如肋的厚度、澆口位置、製程條件的改變，來找出最優的製程方法。

(2) 有關數值模擬方面研究

於1995年，[8] 由 Willian E. 等人提出，利用快速原模型是依照產品規格用最快速、最短時間將塑膠產品推到市場中是最重要的，這應用了電腦技術來做 3D 的 CAD 實體的模型與模擬，本文獻中描述 CAD 的技術如何應用於射出成型模具與製程條件的選用，連繫選擇性，準備好生產相關事務，比較使用傳統模式的製造方法到新模具的技術研發應用上的差異。

在1996年，[9] 由 W. F. Zoerelie 等人，應用線性黏彈構成方程式的模擬與實驗來比較 PS 與 ABS 的結果，模擬的結果顯示在保壓狀態時，射出件表面的抗張應力會增加，此抗張應力是由模穴內的高壓環境所造成，黏彈的模擬會比實驗更好，因其能對殘留應力的產生、性質能清楚的理解。

到了1998年，[10] 由 P. Tantakom 等人提出，目前在數值模擬方面，大多數的研究都是利用套裝軟體來進行模擬與分析，其文獻中提出採用控制模具溫度的方法，使得傳統射出機能進行單一模穴之薄壁射出成型製造與實驗，其應用實驗材料則是使用三種單體的聚合物(ABS ，丙烯晴、丁二烯和苯乙烯等)與(PC ，聚碳酸酯樹脂)等，利用數據擷取系統來獲得模穴內壓力和溫度曲線，並分析製程參數對成型品重量的影響，並且利用 C-MOLD 來進行模擬實驗，並將數據與實驗的結果來作為比較。

(3) 有關成型翹曲、變形方面研究

於西元1991年，[11] 由 T. Matsuoka 等人提出，對有關翹曲的研究採用模擬與實驗的整合分析方法，包括模具的冷卻方法、模具的冷卻、塑膠(聚合物)的充填、保壓、冷卻過程、分子配向、材料性質、與應力分析等；此方法可由上、下表面之間的溫差和溫度分佈，來預測翹曲，流動產生的剪應力、收縮和由分子配向性造成的非等向性的機械性質進行完整的模擬。但其結果顯示針對四個肋的強化聚丙烯的成品收縮，並且證實增加射出保壓壓力，其整個平面上的收縮會在 0.6%~0.1% 變化，在成品上厚度的收縮大

約 1%~10% 之間；由此可以知道，射出成型的保壓時間只在小於澆口固化時間才會影響成品收縮，若沒在保壓狀態時擠入更多的塑料，則在成品流動方向的收縮會增加，影響整個射出成品的品質狀況。

在 1998 年，[12] 由 Kabanemi et al 等人研究，對於較複雜形狀的薄件而言，採用數值模擬何時來驗證的方法，應用黏彈力的寬鬆體積模型，配合薄殼理論的有限元素法，來預測每一分層的殘留應力的殘留應力和變形，極像一個三維空間計算，經實驗後證實與數值模擬非常接近。其所謂薄殼成型技術，指的是在適用較少的材料下，而能使薄殼成型品具有比傳統成型品相同，甚至更強大的功能，此一技術約從 1992~1993 年左右，才開始蓬勃的被應用後而被發展出來。

有關塑膠射出成型的壓力與成型後產品零件的翹曲、變形量的大小，有著許多相互間的關係，如成型製程條件的安排與設定，共包括了：塑膠材料、熔膠溫度、射出壓力、保壓壓力、模具溫度等，都是極適合去做分析與研究的課題，故本論文研究參照本成型相關文獻內容，找出一個適合進行研究的步驟、程序、方法來完成產品零件的翹曲、變形問題的研究分析，並利用田口實驗設計法來進行實驗數據的取得，並深入分析探討找出最優製程條件，來解決產品零件的翹曲、變形間相互數據關係，來進行具有許多學術及產業應用上的核心技術價值的研究。

1.3 研究目的與動機

射出成型的過程是由成型機將塑料以高溫加熱熔融，並經高壓射入於模具中，待完全充滿於模穴中，經由保壓來完成充填作業，然後經模具冷卻及脫模，完成塑膠成品的製造。但在成型時常造成無法完全有效充填於模穴中，造成產品的品質不良；成型件表面常見的缺陷有短射、表面流痕、內有氣孔、翹曲變形、收縮不均、毛邊等[13]；均需依靠人工挑選、毛邊刮除、塑件整形等後加工方式、均需耗費相當大的人工成本與加工時間。由於產品外殼設計逐漸的由厚變薄及內部結構設計微小尺寸的運用，所以產品常造成翹曲(Warpage)、收縮(Shrinkage)、凹陷(Sink mark)和殘留應力(Residual stress)等現象更為相對的明顯，嚴重的影響產品外觀的品質、精度及成品外觀；因此，有關薄形外殼射出成型技術更具重要。

影響塑件射出成型的因素，可分兩大類為成型條件的選定與模具的設計。以往模具的設計，主要依靠的是師徒經驗相承，以及個人耗費生產成本的無數次試模所累積下來經驗，因此對新開發之產品，經常需要經過多次現場試模與修模的試誤程序(Trial and Error)，才完成模具設計，解決成型件之缺陷。而成型製造過程裏，分別在入料階段、充填階段、保壓階段、壓縮階段、冷卻階段、脫模階段等；有很多製程參數需要正確控制，這些控制參數往往又互相影響，以經驗傳承及試誤程序來選定，純粹以實做試驗法

則，不但效率低，也浪費經費。

在日新月異的成型技術發展精進下，利用以往師徒經驗傳承的方式，已經無法滿足目前工業界對產品的品質、速度、精確性的要求；產品開發時若能從射出成型製造條件的觀點，充分利用資訊以確認設計結構、模具設計開發、模具製造加工等，將可降低生產成本及增進產品的品質。因此，成型模具開模前，應進行成型模具的模擬[14]，經由模流分析驗證，以掌握產品設計時可能產生之品質缺陷，與發覺射出成型的可被製造性的問題，並運用參數設計的方法，找出一最優製程參數水準組合，降低系統對各種雜訊之敏感度，以提昇產品穩定性。然而現今產業界對於塑膠件的射出成型模擬研究，並未完全有效的利用與應用；因此本論文希望能從塑件射出成型的模流分析、模擬的技術、結合電腦輔助工程(CAE)[15]，有效的整合塑膠射出成型產品的設計、結構強度的驗證、模具的澆道與塑膠流道的設計、以及製程參數組合的優化成一貫作業、有效率地改進產業的競爭性。

1.4 研究的方法

科技不斷的進步現今塑膠產品，在射出成型的零組件應用，特別在 3C 產品上非常注重產品外觀，與表面品質，對成型件的品質要求相對提高。因此，國內外廠商(如科盛)、專家(如楊文禮、蔡銘宏等人)、學者(如張榮語、洪榮哲等人)，皆已爭相投入射出成型的研究生產及應用[16]，目前大都以流動理論為基礎、數值分析(有限差分法及有限元素法)的方法，來建構塑膠射出成型製程的模流分析軟體，引進電腦輔助工程(CAE)分析的技術，以縮短產品開發時程來提昇研發產品的品質，及降低生產成本的問題[17]。

隨著電腦輔助工程 CAE (Computer - Aided Engineer)分析技術進步，為提昇產業的競爭力，及減少現場實際試誤的成本與時程浪費，使業者邁向更快速及更精密生產流程，幫助與引導使用者在最短時間內學會，操作 CAE 模流分析軟體，並且熟悉指令操作，並可依照模流分析，進行產品設計，開模前模擬與測試，以達到效果事半功倍[18]。然而當射出成型產品尺寸小且精密度高時，其產品不良率也可能隨之升高，此時更需要利用 CAE 模流分析，來提昇產品良率及可靠度。

當熔膠在模具的微小流道流動時，熔膠的流道分析變得更為重要；本論文的研究擬以理論及數值模擬分析來進行探討熔膠在模具充填過程中，如何受塑膠射出成型操作條件與模具(流道)設計參數的影響，並進行多維綜合優化。在利用 CAE 模流分析技術，選定模具、塑膠材料、射出機台後，就可自動的轉換成 CAE 分析，所需要的加工條件參數，因此使得現場實務與模擬分析，可達到同步化的設計目的[19]。

日本田口玄一博士曾提出一種實驗設計法(Taguchi Methods)[20]，能以較少的實

驗次數，快速得到最優化的塑件射出成型製程參數的組合。因此本研究擬結合 CAE 電腦輔助工程應用的『Moldex3D 模流分析』軟體，以及運用田口實驗設計法，先行模擬設定塑膠射出成型製程參數範圍，能使熔膠完全充填模穴，再藉由對系統特性的瞭解，來決定射出成型製程參數範圍，配置合適的直交表，再經由 Moldex3D 進行模擬，最後依模擬所得之觀測值，計算出射出成型製程的射出壓力分析，決定較優製程參數組合，優化射出成型製造條件。

1.5 研究步驟

本文之研究擬分為先前準備與作業、要因分析、田口實驗分析、CAE 模流分析，與實驗結果分析等五大步驟，其說明如下：

- (1) 塑膠射出成型的技術探討：如蒐集塑膠射出成型相關文獻、資料研究、問題現況分析、研究規劃實驗流程等。
- (2) 影響製程品質的要因分析：如問題擬定、現況分析與生產製程改善、對各種塑膠材料射出成型後做要因分析、檢討與選擇(定)等。
- (3) 田口實驗分析：以田口實驗設計法選定 $L8(2^7)$ 直交表配置，選定成型控制要因與實驗水準，來進行實驗測試與數據收集，以選擇最優製程參數之選擇。
- (4) CAE 模流分析：模擬射出成型的製程條件，探討不同的製程參數如流道設計、塑膠材料、充填時間、熔膠溫度、與模具溫度等，進行 CAE 模流分析。
- (5) 實驗結果分析：依據上述實驗方法及步驟，以選擇射出成型澆注口壓力最低與翹曲、變形量最小，為較優化評估的標準，以求出射出成型的較為優化的製程條件。

1.6 本文架構

本文共分為七章節，其各章內容詳細說明如下：第一章：緒論。第二章：塑膠射出成型方法與塑膠材料特性。第三章：探討塑膠射出成型常見的缺陷、成因與對策。第四章：塑膠射出成型件產生翹曲、變形等缺陷。第五章：射出成型的參數控制。第六章：介紹 CAE 模流分析技術的應用。第七章：考慮多維變量的射出成型製程改善。最後一章第七章：對本研究結果做結論及建議。