外部氣體輔助射出成型對補強肋成品表面品質之研究

陳夏宗[1] 蘇建嘉[2] 林明俊[3*]

[1]中原大學機械工程學系

[2]奇美電子公司Cell製造工程處

[3*]南亞技術學院機械系

南亞技術學院計畫編號：教專研097P-029

摘　要

在本研究中，利用長 100mm、寬 50mm、以及厚度 1.5mm 的平板，搭配四種與平板厚度不同比例之肋的設計（分別為 0.6、0.8、1 與 1.2 倍），並採用一般拋光表面與鏡面拋光 8000 表面等兩種不同表面成型方式，以及以 ABS 塑料為成型材料，來探討外部氣體輔助射出成型各製程參數對產品表面收縮凹痕深度之影響。然後再根據前項實驗結果，設計一組外部氣體輔助射出成型最佳化製程參數並與傳統射出成型製程做一比較，藉以分析比較外部氣體輔助射出成型對產品表面收縮凹痕深度品質改善之最大效益。研究結果顯示，製程參數中以模具溫度、氣體壓力及氣體保壓時間為影響產品品質的三個關鍵參數。模具溫度影響熔膠充填入模穴後凝固層的厚薄，進而影響氣體保壓的效果，因此影響最大；其中產品表面品質會隨著模具溫度升高而提升，但效果會趨於緩和；產品表面收縮凹痕深度會隨著氣體壓力增加而降低，且達到一極限值；氣體保壓時間亦有類似氣體壓力之影響。而在肋厚較大之區域則需要較大的氣體壓力及較長之氣體保壓時間將熔膠不斷的推擠向模面，以獲得較佳的產品表面品質。

關鍵字：肋，收縮凹痕，凝固層

*E-mail： lmgm@nanya.edu.tw　Tel：03-4361070#6302　Fax：03-4384670

STUDY ON THE PART SURFACE QUALITY OF RIB WITH EXTERNAL GAS-ASSISTED INJECTION MOLDING

Shia-Chung Chen[1], Chien-Chia Su[2], Ming-Chung Lin[3*]

[1] Department of Mechanical Engineering, Chung Yuan Christian University

[2] Cell Manufacturing & Engineering Division Chimei Innolux Corporation

[3*] Department of Mechanical Engineering, Nanya Institute of Technology

N.I.T Project No.: 097P-029

Abstract

In this study, a plate part (with dimensions of L100mm×W50mm×T1.5mm) associated with different ratio (0.6, 0.8, 1.0 and 1.2) of rib height to plate thickness were designed to conduct the experiments. ABS resin and two different shaping surface including surface polishing and 8000 mirror polishing, respectively, were External Gas-Assisted Injection Molding to investigate the effects of processing parameters on the surface shrinkage depth of molded parts. Meanwhile, according to the result of the experiments, we developed the optimal processing parameter for External Gas-Assisted Injection Molding and to compare with the Traditional Injection Molded parts in order to observe the best benefit of improving products' appearance. From the measured results, it was found that the mold temperature, gas pressure, and gas packing time are the three key parameters affecting products' shrinkage depth. Among them the surface quality of the products was improved as the temperature of the mould raised, but the result tended towards the stability. The surface shrinkage depth of molded parts decreased with the gas pressure and reached limited values. Gas packing time shows similar influence on the surface shrinking depth of molded parts as the gas pressure. Mold temperature is the primary key parameter because higher mold temperature resulting in thinner freeze layer that can help to raise the effect of gas packing. The thicker width of rib area needs the higher gas pressure and the longer gas packing time to push melt forward to the surface continually to acquire better quality.

Keywords: rib, sink mark, freeze layer

*E-mail： lmgm@nanya.edu.tw Tel：03-4361070#6302 Fax：03-4384670

壹、前言

塑膠材料具有質輕、易加工、良好的電氣特性及機械性質，而且新塑膠不斷的開發、改良，配合大量生產的低價化與高精密度，塑膠製品的使用範圍日益成長，包括電腦相關之用品及其週邊設備、汽機車的零組件、家電用品、運動器材以及高精度的光學產品如光碟片、鏡片、導光板、…等。對於塑膠加工的製程中，射出成型製程是其中最重要的加工技術之一。隨著 3C (Computer, Communication, Consumer Electronics)產業的進步，市場對於產品的要求日新月異，產品在設計上也就隨之複雜，產品不但追求輕、薄、短、小，同時在產品的強度、厚度、外觀與輕量化之間也必須取得適當的平衡，在結構設計常會使用肋(Rib)來彌補強度上的不足，而肋與產品銜接處的肉厚卻容易產生收縮凹痕(Sink Mark)，形成不良的產品，因此如何在產品設計與製程技術上做改變來提升良率已成為重要的課題。

氣體輔助射出成型(又稱中空射出成型)具有革新性的塑膠成型技術，此成型技術對於節省塑料成本、降低能源花費、提升成品品質與精密度都有非常顯著的效果。其主要方法是在傳統射出成型過程中，先射入固定量的熔膠，然後再由澆口或是預置的進氣口射入可控制量的惰性氣體(通常使用氮氣)於模穴中熔膠的核心。由於氣體壓力能夠在模穴內迅速且均勻的分佈，因此藉由氣體的輔助可以將壓力傳至遠離澆口處，以幫助熔膠完整充填模穴成型。氣體從進入模穴至熔膠充填完成，主要是為了彌補塑膠短射的料量，此階段稱為氣體的一次穿透或主要穿透(Primary Gas Penetration)；在後續的保壓過程中，由於熔膠的收縮，氣體波前會繼續往前移動，此階段的氣體穿透稱為二次穿透(Secondary Gas Penetration)[1]。相對於傳統射出製程，氣體在二次穿透時，壓力能從肉厚中心有效且均勻的施於成品表面，這對於成品的收縮率及凹痕的改善有很大的效果。在傳統的射出成型中，熔膠的流動長度與射出壓力成正比，故當熔膠流動長度愈長時，噴嘴所需的射出壓力也隨之增高；而在氣體輔助射出成型時，由於氣體波前(Gas Front)的速度較熔膠波前(Melt Front)的速度快，氣體波前與熔膠波前的相對距離不僅不會增加，反而還會減短；因此，所需的射出壓力反而是可以降低的[2]。

許多關於氣體輔助射出成型的改良技術不斷湧現，它們的出現是為了補償原有技術的不足，而非取而代之，外部氣體輔助射出成型(External Gas-assisted Injection Molding)就是其中的技術之一。對於許多零組件而言，由於產品的要求，不允許氣體通道併入成品設計中，若使用高壓的傳統成型製程又無法滿足幾乎

沒有翹曲的表面品質要求，而外部氣體輔助射出成型具備能夠產生內部氣體輔助射出成型的表面品質的好處，且在成品中也無需氣體通道的設計。外部氣體輔助射出成型是當熔膠把模穴完全充填滿後，將氣體注入模穴表面(通常是公模側)與熔膠之間，如圖一；氣體在預先設定的表面上施壓，將熔膠推擠至另一面，補償塑膠在冷卻過程中的體積收縮，可使肋(Rib)與厚壁部分產生凹痕的機會降至最低，得到完美的表面品質；圖二示為一有肋狀結構的成型品，熔膠在平板與肋結構交接處形成較厚的區域，當收縮時肉厚區易造成表面凹痕，而使用外部氣體輔助射出成型時，氣體壓力會將熔膠推向模壁，抵抗收縮時表面產生的凹陷，但相對在氣體接觸的表面，由於氣體的擴散，則會產生類似波浪形狀的表面，故此技術通常不用在透明顏色的產品上[3]。由於結晶性材料之熔融狀態與固態的比容差值較非結晶性材料大，在脫模後可能出現後收縮的情況，但外部氣體輔助射出成型製程只能控制產品在模穴內的收縮情況，故此製程較不適用於後收縮大的結晶性材料。

Ogando[4]、Knights[5]、Mapleston[6]皆提出使用外部氣體輔助射出成型製程可以有效減少收縮痕的產生而得到完美的表面品質；且因氣體充填時注入模壁與熔膠之間時，能將熱量大量帶走，因而縮短冷卻時間、降低成型週期。氣體充填進入模穴時，也同時破除真空狀態，有助於頂出行程的順暢，並減少頂出痕的發生。三人並指出因為氣體流動的均壓性，相對於傳統射出成型可以大大減少保壓壓力，進而生產出低殘留應力的產品，不但降低的鎖模噸數，也可延長模具壽命。

Knights[7]認為外部氣體輔助射出成型製程不但能減少產品表面的收縮痕，更由於保壓方式的不同，相對於傳統射出成型製程還可以節省塑料、減輕產品重量。Knights 也提出用於增加產品強度設計的肋，在使用傳統射出成型製程時，肋與產品厚度比限制約為 0.5 至 0.75，而外部氣體輔助射出成型製程可以增加肋與產品厚度比的限制，進而增加產品強度。

Smock[8]、Hansen[9]指出由於外部氣體輔助射出成型製程於產品內不需要設置氣體通道，故在產品設計上獲得較大的設計視窗。Knights[10]於 2006 年發表的文獻中提到，將內部氣體輔助射出成型與外部氣體輔助射出成型製程同時應用於生產大型貨車嵌板上；前者用來掏空轂與產品邊緣肉厚，後者則得到高品質的產品外觀，成功的將氣體輔助射出成型製程優點集合應用，生產出高品質之產品。

相對於內部氣體輔助射出成型製程，許多產品在設計的要求上不容許氣體通道的出現，因此外部氣體輔助射出成型製程的研發，對於現今追求輕、薄、短、

小的 3C 產品而言，此製程更容易獲得完美的外觀表面與結構強度。

氣體輔助射出成型製程已發展多年，目前對於內部氣體輔助射出成型所發表的文獻資料，包含氣道型式、製程參數對製品品質之影響的研究相當多，而外部氣體輔助成型對產品表面品質相關的數據文獻則相當的缺乏，許多資訊都僅在少數設備供應商與成型廠內部流通，雖然此技術已被提出多年，但在業界實際應用上仍尚未達到普及階段，在學術上實驗的研究成果並不多。由文獻中提到，外部氣體輔助射出成型能有效減少補強肋對產品表面的收縮情形，但對於製程參數、肋厚限制與不同成型表面對產品表面品質之影響，則缺乏有系統的研究。本研究主要目的在於探討外部氣體輔助射出成型製程參數對於各種不同比例厚度的補強肋與各種外觀面之表面品質的影響，針對各製程參數所呈現的表面凹陷程度、輪廓做一系統研究，最後也就傳統射出成型製程與外部氣體輔助射出成型製程對產品表面品質的效益做比較。

貳、實驗方法

一、實驗材料

本研究中使用的材料為現今廣為應用在 3C 產品上的 ABS，由奇美公司所生產型號為 PA-757，其材料建議加工溫度為 190～230℃，模具溫度為 30～70℃。

二、實驗模具

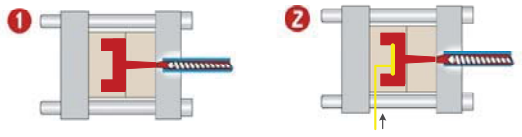
為探討外部氣體輔助射出成型製程對產品補強肋寬度與成型品表面品質的關係，因此設計產品為一長 100mm、寬 50mm、厚度 1.5mm 的平板，在平板上設計四種與產品厚度不同比例的肋，分別為 0.6 倍、0.8 倍、1 倍與 1.2 倍，肋的相關尺寸設計如圖三；為防止在氣體進行保壓時產生氣體外漏，而使保壓效果不佳，在產品公模面最外圍設計一寬 1mm、高 0.5mm 之設計，用來做為密封、防止氣體外漏之用途；產品詳細尺寸如圖四。在模仁部分設計二塊即二種成型表面，用來探討各種表面與肋厚之間成型品質的關係，分別為一般拋光表面與鏡面拋光 8000 表面。圖五為本實驗所使用之整副模具圖。

三、實驗參數

本研究使用的射出成型機為台灣全立發公司所生產的 CLF-80T 射出成型機。此成型機鎖模機構為雙肘節式，最大鎖模力為 80 噸，最大射出速度 90mm/s

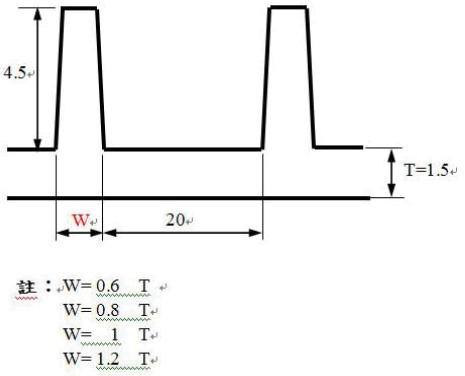
。在本研究所使用的氣體壓力及流量調控系統為朔捷科技有限公司所生產，採用雙閉環伺服控制輸出壓力，具有控制精度高與回應速度快的特點。最高控制壓力 350bar，氣體升降壓斜率 100～9900psi/s，壓力重複控制誤差小於 3%，回應時間 0.5 秒；本系統在氣體射出部份可控制氣體壓力、氣體保壓時間、氣體射出延遲時間以及氣體射出的斜率，可藉由氣體射出斜率來控制達到設定最高壓力之時間。

本研究實驗使用傳統射出成型製程與外部氣體輔助射出成型製程成型產品，成型條件使用固定的射出速度 80 mm/s，在外部氣體輔助射出成型製程搭配不同的模具溫度、熔膠溫度、氣體壓力、氣體延遲時間及氣體保壓時間等製程參數，觀察各項製程參數對產品表面品質的影響趨勢。參數設定 40℃、55℃、70℃三種模具溫度；200℃、210℃、220℃三種熔膠溫度；20 bar、60 bar、100 bar 三種氣體壓力；0 秒、0.5 秒、1 秒三種氣體充填延遲時間；5 秒、10 秒、15 秒三種氣體保壓時間；其中氣體充填延遲時間定義為熔膠射出終止起算。每改變一項參數時，其餘參數維持其中間值，藉以觀察該項參數影響產品表面品質的趨勢。其中以模具溫度 55℃、熔膠溫度 210℃、氣體壓力 60 bar、氣體充填延遲時間 0.5 秒、氣體保壓時間 10 秒為實驗製程參數對照組。

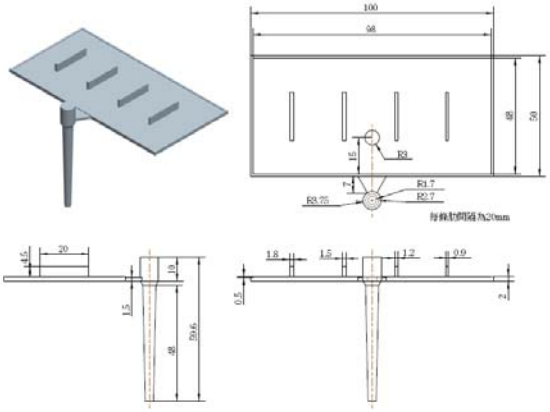


圖一　外部氣體輔助射出成型

圖二　氣體對肋狀結構造成的影響



圖三　產品厚度與肋尺寸關係圖

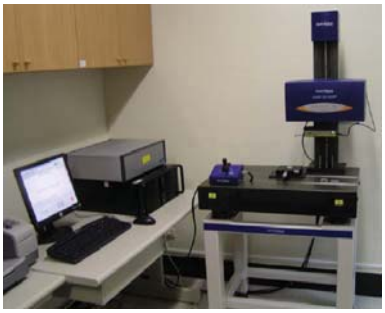


圖四　產品尺寸工程圖

四、產品表面品質量測

本實驗所使用的表面輪廓量測儀器(Form Talysurf PGI 635)來自 Taylor Hobson 公司，如圖六所示，表面輪廓儀的量測原理是利用探針(Stylus)接觸表面，由收錄器將探針在表面的起伏轉成電訊號，而由軟體收成點資料進行分析，量測精度極高，Z 軸的解析度可達 3.2 nm。產品表面品質量測主要為觀察產品補強肋對成型品表面收縮凹陷之影響程度，每組實驗參數取樣 5 件產品進行量測分析後求其平均值。

圖五　實驗模具圖



圖六　Form Talysurf PGI 635 表面輪廓儀

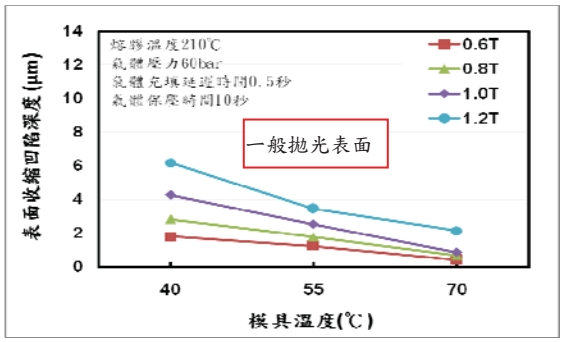
叁、結果與討論

實驗結果中，一般拋光表面（鏡面拋光 8000 表面）模溫由 40℃升高至 55℃和 70℃時，產品表面收縮凹陷皆成減少趨勢，如圖七(圖八)；當模溫為 55℃時，四種與產品厚度比不同之肋造成表面凹陷深度約為 1.2 ~3.5 μm（0.75～3.9 μm），在模溫為 70℃、肋厚與產品厚度比為 1 以下時，表面凹陷深度更可減少至 1 μm 以下，與產品厚度比為 1.2 之肋所造成的產品表面收縮凹陷深度也在 2.1μm（3.1μm）。其原因為在充填階段時，熔膠充填進入模穴後即開始冷卻，但較高的模具溫度使其冷卻速度減緩、冷凝層較薄，進而在氣體進行保壓時能更有效的將熔膠推向模壁，補償產品表面因收縮而導致的凹陷情形，以獲得較高的表面品質。

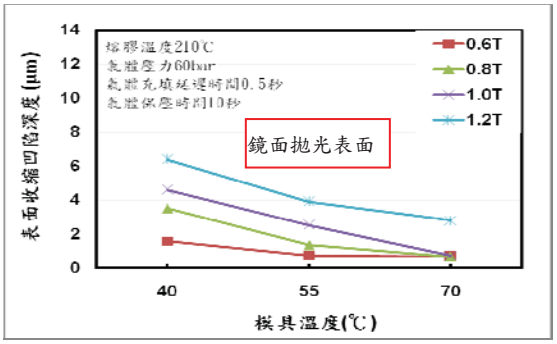
當熔膠溫度由 200℃提高至 210℃時，產品表面凹陷深度並沒有太大的變化，如圖九（圖十），皆維持在 1 ~ 3.7 μm（0.7 ~ 3.9 μm）左右，當熔膠溫度提高至 220℃時，產品表面收縮凹陷成微小的上升，唯與產品厚度比為 1.2 之肋造成

產品表面收縮凹陷增加的趨勢較明顯，約上升了 0.8 μm。其原因為不同溫度的高溫熔膠射入相同溫度的冷模穴中，冷卻速率差異不大，瞬間皆會造成一定厚度的冷凝層，使氣體保壓的效果受到限制，無法將熔膠完全推向模具表面彌補收縮所造成的凹痕，由此可知熔膠溫度對於外部氣體輔助射出成型製程降低產品表面收縮凹陷的影響並不明顯。

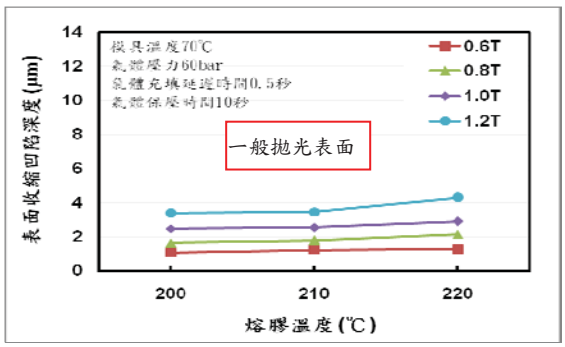
由圖十一（圖十二）可得到當氣體壓力從 20 bar 增加至 60 bar 時，產品表面收縮凹陷深度成減少趨勢，分別從 1.5 ~ 5 μm（0.8 ~7.4 μm）減少到 1.2 ~ 3.5 μm（0.7 ~3.9 μm），而當氣體壓力增大至 100 bar 時，表面收縮凹陷並沒有明顯的改善。由上述結果可知對於此產品，20 bar 的氣體壓力明顯不足，而增加氣體壓力有助於提高保壓效果，厚度較大的肋也需要較大之氣體壓力才能有效的達到保壓效果，以減少產品表面的收縮凹陷；但過大的氣體壓力並無法進一步的改善成品表面品質，故選擇適當的氣體壓力來有效減少收縮凹陷的情況，也是節省能源與成本的重要課題。



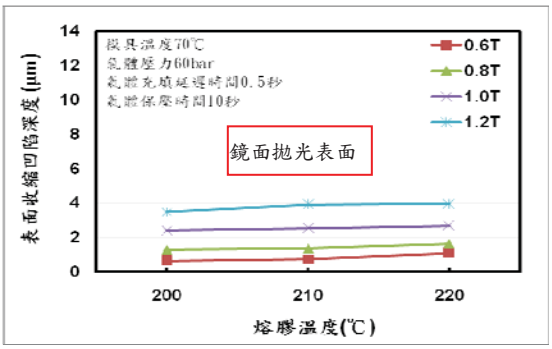
圖七 模具溫度影響產品表面收縮趨勢圖



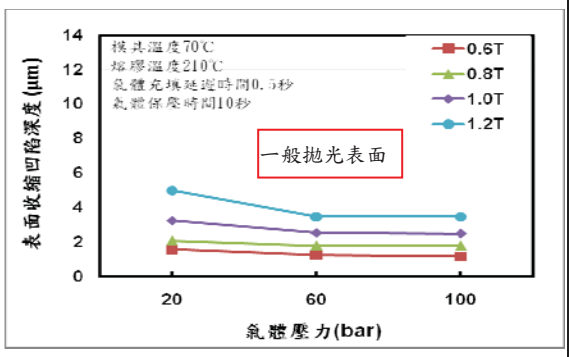
圖八 模具溫度影響產品表面收縮趨勢圖



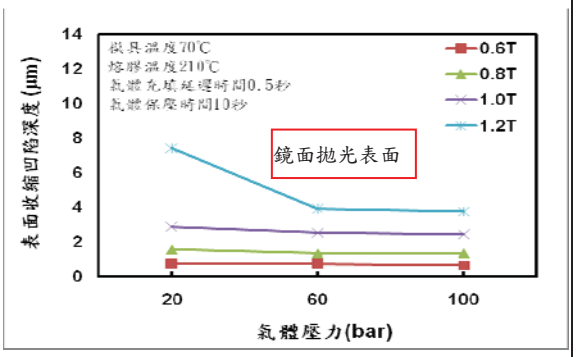
圖九 熔膠溫度影響產品表面收縮趨勢圖



圖十 熔膠溫度影響產品表面收縮趨勢圖

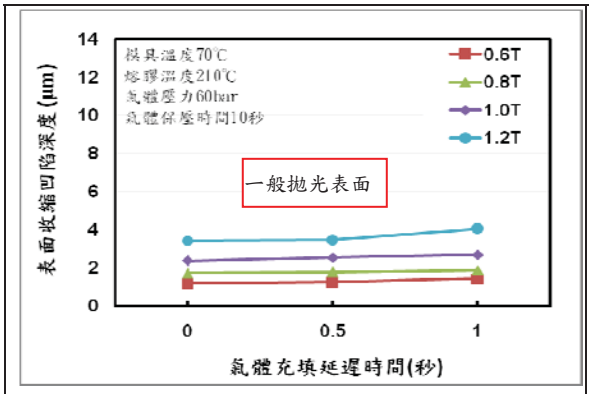


圖十一 氣體壓力影響產品表面收縮趨勢圖

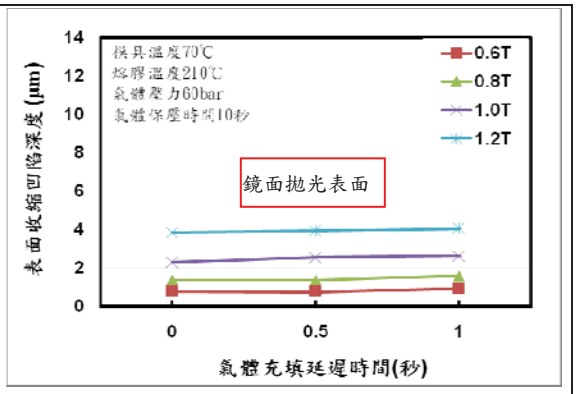


圖十二 氣體壓力影響產品表面收縮趨勢圖

如圖十三（圖十四），氣體充填延遲時間從 0 秒加長至 0.5 秒和 1 秒時，表面收縮凹陷沒有明顯變化，不同厚度比例的肋所造成的收縮凹陷深度約 1.2 ~ 4.0 μm（0.7 ~3.9 μm）。其原因是當熔膠充填入模穴後即開始冷卻，凝固層厚度雖隨時間的增加而增厚，但凝固層尚未超過某一厚度時，此時間內氣體皆能有效的進行保壓；然而肉厚較大區，可能因容易收縮且氣體充填延遲時間過長，出現保壓不足的現象。由此結果可知對於此產品，當氣體充填延遲時間為 1 秒時，氣體仍然可以有效的達到保壓作用，將熔膠推向模面補償收縮所產生的凹陷。



圖十三 氣體充填延遲時間影響產品表面收縮趨勢圖

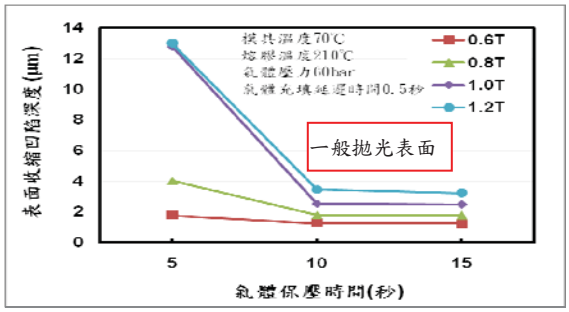


圖十四 氣體充填延遲時間影響產品表面收縮趨勢圖

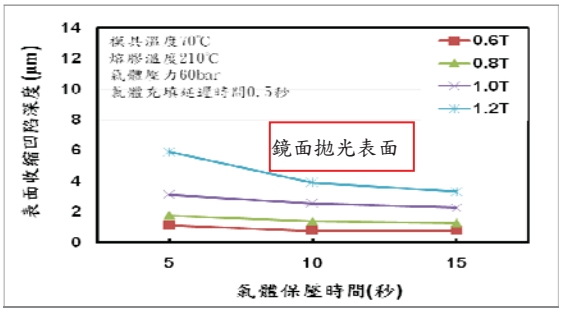
由圖十五（圖十六）可看出氣體保壓時間於外部氣體輔助射出成型製程上對收縮凹陷的影響，當氣體保壓時間 5 秒時，與產品厚度比為 1 及 1.2 之肋造成產品表面收縮凹陷深度達到約 12 μm（5.9μm），與產品厚度比為 0.6 及 0.8 之肋也造成產品表面收縮凹陷深度約為 1.7 μm（1.1μm）及 4 μm（1.2μm）；當氣體保壓時間增加至 10 秒時，四種與產品不同厚度比之肋所造成產品表面收縮凹陷深

度大幅減低至 3.5 μm（3.9μm）以下，再將氣體保壓時間延長至 15 秒，收縮凹陷的深度仍與氣體保壓 10 秒時相差不多（鏡面拋光表面最多可減少 1.2μm），並無明顯改變的趨勢。其原因是當氣體保壓時間 5 秒時有保壓不足的現象，尤其以肋厚較大處更為明顯；而保壓時間增長至 15 秒（20 秒）時產品收縮凹陷並沒有再進一步的降低可知，過長的氣體保壓時間並沒有辦法持續減少表面收縮的情況，故選擇適當的氣體保壓時間就足以有效的減少產品表面收縮凹陷情形，也可達到縮短成型週期、節省成本等優點。

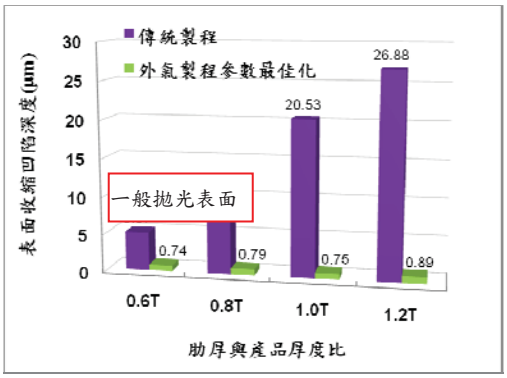
由上述實驗結果得到以模具溫度 70℃、熔膠溫度 210℃、氣體壓力 100 bar、氣體充填延遲時間 0.5 秒、射速 80mm/s 與氣體保壓時間 15 秒為最佳製程參數，比較最佳化製程參數的外部氣體輔助射出成型與傳統射出成型製程之產品表面品質。使用參數最佳化的外部氣體輔助射出成型製程能將四種與產品厚度比不同之肋所造成的產品表面凹陷深度皆減少至 0.9 μm（0.7 μm）以下，如圖十七（圖十八），大大的提高產品表面品質。透過視覺觀察成型品表面，使用外部氣體輔助射出成型能將產品表面收縮凹陷之情形完全消除，而使用傳統射出成型製程則還有收縮痕的產生。其原因是高的模具溫度使冷卻速度較慢及凝固層較薄，搭配足夠的氣體壓力與氣體保壓時間能不斷的將熔膠推擠向模壁，補償熔膠因收縮所產生的空間，直到產品完全固化，將產品表面收縮痕降到最低。



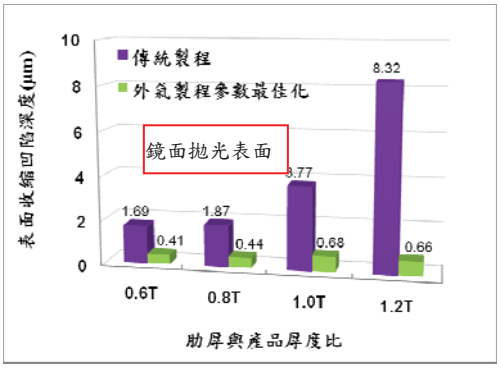
圖十五 氣體保壓時間影響產品表面收縮趨勢圖



圖十六 氣體保壓時間影響產品表面收縮趨勢圖



圖十七 傳統射出成型製程與外部氣體輔助射出成型製程參數最佳化之產品表面收縮凹陷比較圖



圖十八 傳統射出成型製程與外部氣體輔助射出成型製程參數最佳化之產品表面收縮凹陷比較圖

伍、結論

本研究於外部氣體輔助射出成型製程中，分別探討模具溫度、熔膠溫度、氣體壓力、氣體充填延遲時間與氣體保壓時間對產品表面品質之影響，並將其與傳統射出成型製程做比較，觀察兩製程於產品表面品質的差異。本論文從研究實驗結果可得到以下幾點結論：

1. 在外部氣體輔助射出成型製程參數對產品表面品質之影響研究中，以模具溫度、氣體壓力及氣體保壓時間為三個影響產品表面收縮凹陷的關鍵參數，模具溫度影響熔膠充填入模穴後凝固層的厚薄，進而影響氣體保壓的效果，因此影響最大。
2. 產品表面品質會隨著模具溫度升高而提升，但效果會趨於緩和；產品表面收縮凹痕深度會隨著氣體壓力增加而降低，且達到一極限值；產品表面收縮凹痕深度亦會隨著氣體保壓時間增加而降低，且達到一極限值。
3. 在肋厚較大之區域則需要較大的氣體壓力及較長之氣體保壓時間將熔膠不斷的推擠向模面，以獲得較佳的產品表面品質。
4. 在參數最佳化的外部氣體輔助射出成型製程與傳統射出成型製程對產品表面品質之研究中，兩種成型表面使用外部氣體輔助射出成型製程可完全消除產品表面收縮凹陷之情形發生，不但提高了產品的表面品質，且將肋與產品厚度比例提高為1.2，打破傳統射出成型肋與產品厚度0.5 ~ 0.75比例的設計限制，可進而增加產品結構強度。

陸、誌謝

感謝南亞技術學院提供本研究相關設備與經費支援（計畫編號：南亞技術學院教專研 097P-029），使本文得以順利完成。

參考文獻

1. 董志剛，1996，“氣體輔助射出成型影響成型視窗與表面品質製程參數之研究”，私立中原大學機械工程學研究所碩士論文。
2. T. A. Osswald, L. Turng, P. J. Gramann, 2001, “Injection Molding Handbook”, Carl Hanser Publishers.
3. Li, L. M., Lee, K. K., Suen, K. W., Cheng, K. L., 2003, “Technical Handbook for External Gas-Assisted Injection Moulding Process”, The Hong Kong Productivity Council Publishers.
4. J. Ogando, 1998, “Fight Sinks with External Gas Assist”, Plastics Technology, Vol.44, pp.45-46.
5. M. Knights, 2001, “External Gas Molding Squeezes Out Sinks”, Plastics Technology, Vol.47, pp.54-59.
6. P. Mapleston, 1994, “External Gas New Variant of Low-Pressure Injection”, Modern Plastics, Vol.71, pp.23-25.
7. M. Knights, 2004, “Three New Ways to Cut Costs Highlight Injection Molding Conference”, Plastics Technology, Vol.50, pp.47-49.
8. D. Smock, 2007, “What’s New in Plastics Design”, Design News, Vol.62, pp.79-84.
9. M. Hansen, 2006, “Building a Beter Plastic Part”, Medical Design News, Vol.6, pp.37-40.
10. M. Knights, 2006, “Dual Gas-Assist Techniques Advance Large-Part Molding”, Plastics Technology, Vol.52, pp.45-46.