

國立高雄應用科技大學
模具工程系碩士班

碩士論文

利用模板變形與回彈克服塑品收
縮不均之研究

**Study of a method to overcome the non-uniform shrinkage by
using the deformation and relaxation of mold plate**

研究生：王威琹

指導教授：黃俊欽 教授

中華民國九十九年七月

利用模板變形與回彈克服塑品收縮不均之研究

**Study of a method to overcome the non-uniform shrinkage by using
the deformation and relaxation of mold plate**

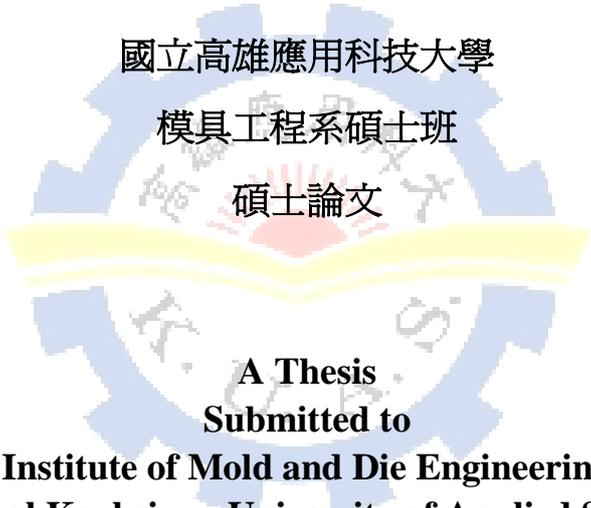
研究生：王威斑

指導教授：黃俊欽 教授

國立高雄應用科技大學

模具工程系碩士班

碩士論文



**A Thesis
Submitted to
Institute of Mold and Die Engineering
National Kaohsiung University of Applied Sciences
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Engineering
in
Mold and Die Engineering**

July 2010

Kaohsiung, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年七月

博碩士論文電子檔案上網授權書

(提供授權人裝訂於紙本論文書名頁之次頁用)

本授權書所授權之論文為授權人在 國立高雄應用科技大學 模具工程系 _____ 組 98 學年度
第二學期取得 碩士學位之論文。

論文題目：利用模板變形與回彈克服塑品收縮不均之研究

指導教授：黃俊欽

茲同意將授權人擁有著作權之上列論文全文（含摘要），非專屬、無償授權國家圖書館及
本人畢業學校圖書館，不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或其他各種數位化方式將上
列論文重製，並得將數位化之上列論文及論文電子檔以上載網路方式，提供讀者基於個人
非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

- 讀者基非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印上列論文，應依著作權法相關規定辦理。

授權人：王威珽

簽名：_____ 王威珽

中華民國 99 年 08 月 13 日

利用模板變形與回彈克服塑品收縮不均之研究

研究生：王威瑋

指導教授：黃俊欽 教授

國立高雄應用科技大學模具工程系碩士班

摘要

在射出成形的製程中，爲了避免塑品收縮，在保壓階段常施與高的保壓壓力來滿足塑品的質量與尺寸精度的要求。但此壓力在模穴中卻常集中在澆口附近，造成應力集中及塑品收縮不均等現象，並且也造成模板的變形。當熔膠逐漸冷卻，由於體積收縮減少的緣故，模板的回彈將對模穴內的熔膠施予壓縮的作用力，如果能夠善用此作用力，將可彌補模穴內的熔膠因壓力差異所造成的收縮不均現象，使塑品具有均勻的收縮，達到避免翹曲變形的目的。

本文以厚度 1mm 之 6 吋導光板爲例，探討射出成形時，保壓壓力的控制對模板變形及模穴壓力的影響，並且藉由壓力感測器及位移計的訊號量測，在整個成形過程中，同步觀察模穴壓力的變化與模板變形及回彈的關係，藉此找出最佳的保壓壓力設定，使熔膠在成型及固化過程中，整個模穴具有比較均勻的收縮，能夠使導光板的厚度均勻。研究結果顯示，射出成形過程中，在保壓的第一段(壓縮段)應有足夠的壓力，使遠澆口端的熔膠具有足夠的密度，在保壓的第二段(持壓段)應降低壓力，並且配合模板回彈所產生的壓縮力，使澆口附近的熔膠與遠澆口端的熔膠能夠具有一致的收縮，並且避免應力集中。保壓壓力的轉降點是關鍵因素，壓力轉降點太早，則塑品重量不足，整體收縮率提高。反之，若太接近澆口凝固時間，則易造成澆口附近有過高的應力殘留。

關鍵字：模板變形、模板回彈、模穴內壓、保壓壓力、均勻收縮、導光板

Study of a method to overcome the non-uniform shrinkage by using the deformation and relaxation of mold plate

Student : Wei-Ting Wang

Advisors : Professor

Chung-Ching Huang

Institute of Mold and Die Engineering,

National Kaohsiung University of Applied Science

Abstract

Injection molding process, to avoid the plastic goods contraction, often used the high pressure to meet the plastic goods quality and dimensional accuracy requirements in the packing stage. However, this pressure in the cavity is often concentrated in the gate in the vicinity, resulting in stress concentration and plastic goods uneven shrinkage, and also causes deformation of template. When the melt gradually cooled, due to reason of the volume shrinkage reduction, the relaxation of template will cause the melt imposed on compression force. If we can make good use of this force will be able to compensate for melt for pressure differences caused by the contraction inequality, so that plastic materials have a uniform shrinkage, to prevent warping deformation purposes.

This research with 6 inches of the thickness 1 mm LGP for example of injection, the packing pressure control on the template deformation and cavity pressures, and by the pressure sensors and displacement of thousands of signal measurements, the whole forming process, the simultaneous observation of cavity pressure changes and the relationship between the template deformation and relaxation, so as to find the best packing pressure set to melt in the molding and curing process, the entire cavity with a

relatively uniform shrinkage. The results showed that the process of injection molding, the first paragraph of holding pressure (compressed) should be sufficient to pressure from the far side of the gate melt adhesive has sufficient density, in the second paragraph of holding pressure (holding pressure) should be reduce the pressure and relaxation of template with generated by the compression force, so that near the gate melt and far side of the molten plastic can have the same contract, and avoid stress concentration. Packing pressure switch to drop is a key factor, the pressure switch to drop points early, and then the plastic good weighs less than the overall shrinkage rate. Conversely, if too close to the gate solidification time, it could easily lead to the gate near the high residual stress.

Key word: Deformation of Template, Relaxation of Template, Holding Pressure, Uniform Shrinkage, LGP (Light Guide Plate)

誌 謝

首先感謝指導教授 黃俊欽教授在這二年來不斷的悉心指導與栽培。並提供豐富的資源及經驗，除了授予專業的知識外，也鼓勵學生參加創業競賽和各項展覽等活動，更給予學生和業界廠商合作與接觸的機會，讓學生在碩士兩年的求學過程中獲益良多。

感謝口試委員黃聖杰教授以及王珉玟教授給予專業的建議與指導，並分享學、業界最新的相關資訊，增加學生見聞，特別感謝黃聖杰教授對本研究的支持與鼓勵。

在研究期間，感謝信宏、耀逸、有鎰、益嘉、苡任學長們，指導學弟在研究上的經驗與知識。更要感謝成功在論文上大大的幫忙，還有裕峰、岳鋒、耀竣、昆霖以及君達在我這兩年研究生涯的幫助。在此亦感謝試閱及乙玄學弟妹在論文實驗的大大協助，以及鈺鈞、宏偉、一帆學弟的幫忙。

最後，僅將本文獻予我最摯愛的父母及家人，感謝他們在我求學期間的關心、支持與鼓勵，讓我得以無後顧之憂地完成學業，並以此微小之成就與所有曾經關心我的長輩、朋友們一起分享。

目 錄

| | |
|---|-----------|
| 中文摘要 | i |
| 英文摘要 | ii |
| 誌 謝 | iv |
| 目 錄 | v |
| 表 目 錄 | vii |
| 圖 目 錄 | viii |
| 第一章 緒 論 | 1 |
| 1.1 前言 | 1 |
| 1.2 研究動機與目的 | 2 |
| 1.3 背光模組簡介 | 3 |
| 1.4 導光板簡介 | 4 |
| 1.5 材料 PvT 性質簡介 | 5 |
| 1.6 文獻回顧 | 6 |
| 1.7 論文架構 | 8 |
| 第二章 基本原理 | 14 |
| 2.1 高分子加工 | 14 |
| 2.2 精密射出成形之關鍵[31] | 15 |
| 2.3 塑料收縮因素[13, 16, 18, 30] | 16 |
| 2.3.1. 塑料種類 | 16 |
| 2.3.2. 產品設計 | 18 |
| 2.3.3. 模具設計 | 18 |
| 2.3.4. 成形參數[18] | 19 |
| 2.4 殘留應力簡介[32] | 20 |
| 2.5 光彈法原理 | 21 |
| 2.5.1. 光-應力定律(Stress-optical Law) | 22 |
| 2.5.2. 平片偏光場光彈分析 | 23 |
| 2.5.3. 圓偏光場光彈分析 | 25 |
| 2.6 射出成形 | 27 |

| | | |
|------------|----------------------------|-----------|
| 2.7 | 模具強度計算 | 30 |
| 2.7.1. | 模內平均壓力 | 30 |
| 2.7.2. | 承板厚度計算 | 30 |
| 第三章 | 保壓設計與 CAE 模擬分析..... | 39 |
| 3.1 | 保壓曲線分析 | 39 |
| 3.1.1 | 保壓曲線功用 | 39 |
| 3.1.2 | 一般保壓曲線設定 | 39 |
| 3.1.3 | 最佳化保壓曲線設定 | 40 |
| 3.1.4 | 模穴壓力曲線[5] | 40 |
| 3.2 | CAE 模擬分析 | 41 |
| 3.2.1 | 製程參數設定 | 42 |
| 3.2.2 | 保壓曲線分析結果比較 | 42 |
| 第四章 | 射出成型實驗與成品檢測..... | 53 |
| 4.1 | 實驗流程 | 53 |
| 4.2. | 實驗材料與設備 | 54 |
| 4.2.1. | 實驗材料 | 54 |
| 4.2.2. | 實驗設備 | 54 |
| 4.3 | 導光板檢測 | 57 |
| 第五章 | 結果與討論 | 72 |
| 5.1 | 保壓大小對產品厚度的影響 | 72 |
| 5.2 | 保壓時間對產品重量的影響 | 72 |
| 5.3 | 最佳保壓曲線調整 | 73 |
| 5.4 | 保壓壓力對模板變形之比較 | 74 |
| 5.5 | 成品檢測 | 75 |
| 5.5.1. | 產品厚度 | 75 |
| 5.5.2. | 殘留應力 | 76 |
| 第六章 | 結論 | 93 |
| 6.1. | 結論 | 93 |
| 6.2. | 未來研究方向 | 94 |
| | 參考文獻..... | 95 |

表目錄

| | |
|--|----|
| 表 1-1 導光板組件功能..... | 10 |
| 表 2-1 Panlite-AD5503 材料 PvT 係數..... | 32 |
| 表 2-2 一般塑料的模內平均壓力(Pm)..... | 32 |
| 表 3-1 製程參數..... | 44 |
| 表 3-2 Decay 壓力設定方法..... | 44 |
| 表 4-1 Panlite-AD5503 光學級導光板級聚碳酸脂(PC)物性表..... | 58 |
| 表 4-2 ARBURG All Rounder 320C 射出成形機規格表..... | 59 |
| 表 4-3 壓力感測器技術規格表..... | 60 |
| 表 4-4 KEYENCE 渦電流式計量感測器規格..... | 61 |
| 表 4-5 NI USB-6211 資料擷取卡規格..... | 62 |
| 表 4-6 數字溫度計規格..... | 64 |
| 表 5-1 壓縮段壓力控制變數..... | 77 |
| 表 5-2 保壓時間控制變數..... | 77 |
| 表 5-3 產品厚度比較..... | 77 |
| 表 5-4 殘留應力量測結果..... | 78 |

圖目錄

| | |
|---------------------------------------|----|
| 圖 1-1 實驗規劃研究流程圖..... | 11 |
| 圖 1-2 背光模組結構圖..... | 11 |
| 圖 1-3 側光式背光模組(來源：大億科技)..... | 12 |
| 圖 1-4 直下式背光模組(來源：大億科技)..... | 12 |
| 圖 1-5 射出成形過程中的壓力、比容和溫度[14]..... | 13 |
| 圖 1-6 不同保壓壓力對收縮影響之 PvT 圖 [2]..... | 13 |
| 圖 2-1 結晶性塑料的壓力-比容-溫度(P-v-T)圖[30]..... | 33 |
| 圖 2-2 成品厚度與收縮率關係圖..... | 33 |
| 圖 2-3 成品厚度變化之設計..... | 34 |
| 圖 2-4 冷卻不均造成的收縮..... | 34 |
| 圖 2-5 平面偏光場暗廠設置圖..... | 35 |
| 圖 2-6 圓偏光場暗場設置圖..... | 35 |
| 圖 2-7 暗場圖像..... | 36 |
| 圖 2-8 明場圖像..... | 36 |
| 圖 2-9 射出成形流程示意圖..... | 37 |
| 圖 2-10 承板厚度計算..... | 38 |
| 圖 3-1 常見的保壓曲線設定..... | 45 |
| 圖 3-2 充填末端壓力曲線..... | 45 |
| 圖 3-3 典型模穴壓力時序曲線..... | 46 |
| 圖 3-4 成品尺寸..... | 46 |
| 圖 3-5 模流分析塑料物性資料(AD-5503)圖..... | 47 |

| | |
|--|----|
| 圖 3-6 ARBURG 射出成形機資料 | 47 |
| 圖 3-7 模流分析的有限元素模型 | 48 |
| 圖 3-8 模擬分析澆口凝固時間 | 48 |
| 圖 3-9 不同型式的保壓曲線設定 | 49 |
| 圖 3-10 不同型式近澆口過剩壓力之比較 | 49 |
| 圖 3-11 不同型式比容之差異 | 50 |
| 圖 3-12 模擬與實際模仁 | 51 |
| 圖 3-13 不同型式收縮之比較 | 52 |
| 圖 4-1 實體模具圖 | 65 |
| 圖 4-2 實驗之 PC 塑料(Panlite AD-5503) | 66 |
| 圖 4-3 ARBURG 320C 射出成形機 | 66 |
| 圖 4-4 T=35mm 實體公模板圖 | 67 |
| 圖 4-5 位移計治具滑塊 | 67 |
| 圖 4-6 模板位移量測點 | 68 |
| 圖 4-7 PRIAMUS 壓力感測器 | 68 |
| 圖 4-8 PRIAMUS 壓力感測器尺寸圖 | 68 |
| 圖 4-9 KEYENCE 渦電流式計量感測器 | 69 |
| 圖 4-10 NI USB-6211 資料擷取卡 | 69 |
| 圖 4-11 數字溫度計 | 70 |
| 圖 4-12 外徑分厘卡 | 70 |
| 圖 4-13 精密電子天秤(METTER TOLEDO AG135) | 70 |
| 圖 4-14 光測彈性力學儀 | 71 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| 圖 4-15 量測成品厚度的 9 點位置..... | 71 |
| 圖 5-1 厚度、重量與保壓關係..... | 79 |
| 圖 5-2 模內壓力、模板位移與保壓關係..... | 79 |
| 圖 5-3 50%保壓壓力對產品重量的變化 | 80 |
| 圖 5-4 60%保壓壓力對產品重量的變化 | 80 |
| 圖 5-5 70%保壓壓力對產品重量的變化 | 81 |
| 圖 5-6 澆口凝固模內壓力變化..... | 82 |
| 圖 5-7 壓力計感測位置示意圖..... | 83 |
| 圖 5-8 保壓型式設定..... | 83 |
| 圖 5-9 型式一之壓力/位移/體積收縮/產品厚度..... | 84 |
| 圖 5-10 不同型式模擬之模內壓力..... | 85 |
| 圖 5-11 型式二之壓力/位移/體積收縮/產品厚度 | 86 |
| 圖 5-12 型式三之壓力/位移/體積收縮/產品厚度 | 87 |
| 圖 5-13 產品末端流動痕跡..... | 88 |
| 圖 5-14 保壓大小所造成的變形量..... | 88 |
| 圖 5-15 不同形式保壓所造成的變形量..... | 89 |
| 圖 5-16 模穴壓力歷程..... | 89 |
| 圖 5-17 不同型式的壓力模式在 PVT 圖上的軌跡 | 90 |
| 圖 5-18 殘留應力量測示意圖..... | 91 |
| 圖 5-19 殘留應力量測試片比較..... | 91 |
| 圖 5-20 CAE 之體積收縮與澆口凝固層..... | 92 |

第一章 緒論

1.1 前言

塑膠材料發明後，由於種類繁多用途廣泛，且具備機械强度高、耐腐蝕性良好、成本低、質量輕、加工成形成容易、色澤美觀等特性，因而被普遍應於各種產業的製品上：如機械、化工、紡織、建築材料、通訊產品、電子零件、光學元件、運動設備、醫療器材、汽車及航太工業等方面，並有逐漸取代金屬、木材、玻璃、皮革等傳統材料的趨勢。隨著科技的快速發展，塑膠材料的研發及各種加工技術也隨著進步，像射出成形法、擠製成形法、中空成形法、真空成形法、輥軋成形法、發泡成形法、壓縮成形法等，配合各種塑膠材料的性質及製品的用途，而被廣泛的使用。在眾多的塑膠成形法中，射出成形法(Injection Molding Method)是塑膠成形法的代表。它具有可縮短製品的生產週期以提高生產率、可成形外形複雜的製品、塑料損耗少、製品尺寸精確度高、穩定性良好、製程可完全自動化等優點，為塑膠成形加工最廣泛使用的量產技術。

近年來電子、通訊等塑膠製品均朝向輕、薄、短、小的目標發展，精密度的要求也愈來愈高。對筆記型電腦、語言翻譯機、個人數位助理器(PDA)及行動電話機殼等薄殼製品的需求日益殷切，薄殼成形的技術便成為重要的研究方向。由於薄殼製品的厚度較小，所需的成形壓力較一般傳統成形製品高，造成成形時壓力梯度(Pressure gradient)變化太大。因成形壓力及模具溫度的不均勻分佈，導致成形品產生收縮(Shrinkage)和翹曲變形(Warpage)的現象。而影響產品品質及尺寸的精確性主要因素為收縮和翹曲變形，包括長度方向的收縮和整體的體積收縮與變形。為應付塑膠產品的多樣化，及對製品逐漸趨向高精密、高品質的要求。對於

如何控制收縮率以達到精密尺寸，及避免不均勻的收縮形成的翹曲變形、凹痕所產生的缺陷，實有賴於塑膠之加工技術及製程不斷的改進與研發。因此，精密的塑膠加工技術將成為新世紀的前瞻科技。

1.2 研究動機與目的

資訊電子產業快速成長，在世界市場上漸漸展露頭角，但這些所謂光電通訊產品，如喇叭振動膜片、手機外殼、CD、DVD 等產品，都是薄殼結構，製造困難度相當高，甚至發展中的微機電或生化醫療零組件，皆俱有精度高、需大量生產等特點，且逐漸朝向輕、薄、短、小的趨勢，使得零件複雜度也相對提高，基於此因，對於原料特性、模具精度及射出成形設備的要求也越來越高，對製程的精確性與控制性也要求日益嚴格。

薄型化的導光板可以使背光模組的厚度降低，並減少材料的使用，在製程上還可以縮短成形的週期，隨著產品的薄型化，模具也為了減少成本，往往模板的厚度也會隨著減少，然而薄型化塑品在射出成形時，為了避免塑品收縮與翹曲，在保壓階段常施與高的保壓壓力來滿足塑品的質量與尺寸精度的要求，但此壓力在模穴中卻常集中在澆口附近，造成應力集中及塑品收縮不均等現象，並且也造成模板的變形，將使產品的尺寸超出規格，特別在超精密零件，數微米的變形即可能導致塑品品質不良。

本文以厚度 1mm 之 6 吋導光板為例，探討射出成形時，因保壓壓力不同，所對應於模板產生的變形及模穴壓力的影響，並且藉由壓力感測器與位移計所量測的訊號，在射出成型過程中，同步觀察模穴壓力的變化與模板變形及回彈的關係，並找出最佳的保壓壓力設定方式，使熔膠在成形及固化的過程中，讓整個模穴具

有較均勻的收縮，降低導光板因近澆口與遠澆口的壓力不同，所造成的翹曲變形，研究流程如圖 1-1 所示。

1.3 背光模組簡介

背光模組(Backlight)是整個顯示器光源亮度的來源，其構造包括發光源、導光板、擴散片、菱鏡片、反射片與外框所組成，而其組件功能如表 1-1。基本原理是把採用的點或線光源，透過導光板將有效光轉化成高亮度且均齊性良好的光源，背光模組的構造如圖 1-2。一般而言，背光模組可分為前光式(Front Light)與背光式(Back Light)兩種，其中背光式以光源位置的區別，有側光式(Edge lighting)與直下式(Bottom lighting)兩種，依據不同需求，應用的方面也不同。

1. 側光式(Edge lighting)：

側光式背光模組，是將發光源擺放於顯示器側邊，一般常用於中小型顯示器，結構如圖 1-3，光源的使用上以冷陰極管與發光二極體為主，側邊入光在設計上，有輕量化、薄型化，低耗電率的特色，在側邊的入光的條件下，邊緣光源必須經過導光板內部的全反射原理將光導向光源遠端，內部全反光線在經過導光板的擴散點擴散或利用微特徵的疏密分佈使光線均勻的分佈，破壞全反射條件再將光線導向正向視線方向出光，對於側光式背光模組而言，導光板掌控了的光源的輝度與均齊性的好壞，因此必須利用導光板的設計，來加強對光源分佈的控制。

2. 直下式(Bottom lighting)：

直下式背光模組為大尺寸液晶顯示器的光源技術主流，結構如圖 1-4，其設計概念為滿足更高亮度的需求，將光源放置於液晶面板的下方，大多採用冷陰極管為光源，藉由直下式的線光源打到擴散板與雜散光的反

射後，使光線打散並均勻的分佈為面光源，進入液晶面板，直下式背光模組具有均齊性低、模組厚度增加、發光效率高與組裝零件減少的特性，在直下式的設計上，高亮度的需求與模組的厚度、重量、耗電量成了相對犧牲的考慮，而因直下式的燈管所造成的明暗條紋，影響了均齊度，但也因為燈管的分佈，使得邊緣不足光源的部分得以改善，提升了整體的發光效率，除此之外，直下式背光模組少了側光式背光模組中所使用的導光板，其光源的平面化只需要擴散膜來完成，在大尺寸液晶顯示器要求高亮度、高對比度與視角大的需求下，直下式背光模組在未來的發展下依然具有必然的優勢，在推出新式產品中，可以發現薄型化與低工作溫度的概念應用，直下式背光模組的冷陰極管，已被發光二極體所取代，但體積小的 LED 在大尺寸的應用上必須使用更多的 LED 模組，提高了製造成本，而且 LED 使用溫度的上升，將會影響其發光效能，降低了模組的使用壽命，因此目前在直下式光源使用的考量上，還有很大的設計空間。

1.4 導光板簡介

將點或線光源引導成平面光源的零組件稱為導光板，其厚度佔背光模組總厚度的 50%以上，成本約佔背光模組總成本的 17%。其原理是在平面上以微細之微結構分佈來破除光線的全反射，造成擴散效果，使整個背光模組之光線柔和且輝度均勻，導光板的成形好壞對背光模組影響甚鉅，是影響光效率的關鍵零組件之一。一般使用的塑料為壓克力(PMMA)、聚碳酸樹脂(PC)或新世代工程塑膠(COC)，在大型尺寸之導光板目前以 PMMA 為主要材料，中小尺寸則為 PC。而導光板的形狀可分為楔形板和平板兩種。楔形導光板之背光模組，一般適用在筆記型電腦、

手機、PDA 等需輕薄化的設計上。而平板式導光板之背光模組，一般適用在桌上型電腦、監視器等大尺寸產品，因目前可攜式產品的輕量化、薄型化及降低成本趨勢下，手機、PDA 等小尺寸用的背光模組，其導光板外形設計由楔形導光板轉變成均一厚度之導光板，厚度約為 1mm 以下。

隨著液晶顯示器製造技術提昇，以及 LED 的微小化發展，背光模組未來將朝向輕量化、薄型化、低耗電、高亮度及降低成本的趨勢發展，導光板的厚度亦將隨之變薄，這將使得導光板在傳統射出成形時面臨高射壓及高射速所引起的模具變形、內應力及成品翹曲，這些將是導光板薄型化所面臨的問題。

1.5 材料 PvT 性質簡介

每個塑膠原料，都有其各自的 PvT 特徵曲線圖(P：壓力，pressure；v：比容，specific volume；T：溫度，temperature)，所以若能掌握塑膠的 PvT 特徵曲線和加工條件，那麼塑膠的收縮就可以事先預測。但實際上，射出加工的所有條件是無法都在可控制的範圍，不過塑膠的 PvT 曲線可以讓我們理解塑膠在射出成形中，各個階段塑料的體積收縮 PvT 曲線，如圖 1-5 所示。詳細軌跡說明如下：

- 1：塑料在母模進澆口的壓力。
- 1-2：充填模穴。
- 2：充填瞬間到達流動末端壓力 0 的時候。
- 2-3：保壓或壓縮階段。
- 3：到達模穴壓力的最高點以及轉換至持壓的開始點。
- 3-4：轉換到持壓壓力會有一些壓力損失，原因是因為持壓後通常壓力設定比較小。

- 4：持壓階段開始。
- 4-5：壓力會因為冷卻和固體凝固層的增加而下降。材料繼續流動並對體積因為收縮而減少的部分加以補償。
- 5：澆口凝固阻止材料流動，持壓階段中止。
- 5-6：壓力因為成品冷卻以及成品沒有補償收縮而導致下降。
- 6：達到大氣壓力，產品的大小等於模穴外形，模穴收縮開始。
- 6-7：在模具裡等壓冷卻。
- 7：模具開模頂出。
- 7-8：等壓冷卻。
- 8：熱平衡-最終成品體積(忽略一些形態或水氣對體積改變的關係)。

1.6 文獻回顧

Michaeli 等人【1】說明在射出成形中，基本的品質特性是由保壓過程所決定，依循圖 1-5 等比容的製程控制下，會有兩個標準：一是分子的配向一致、應力及翹曲會減少，二是比容達到壓力 1bar 時，是決定體積收縮的因素；確定了最佳保壓曲線後，邊界條件的變動依然影響成品的質量，利用相似 PvT 性質的 PMT 來控制保壓階段的等容製程參數，保壓壓力、保壓時間、噴嘴凝固的溫度變化，將會影響產品的重量與尺寸。

Greener【2】將射出成形分為充填過程(Filling stage)與後充填過程(Post-Filling stage)兩階段，並提出後充填過程的重要性及不同保壓壓力對收縮量的影響，如圖 1-6 所示，並以 PvT 圖來說明保壓壓力的影響性。

Y. T. Koita【3】針對射出成形中的保壓壓力與保壓時間做實驗並以光彈法檢

測射出件，其結果指出保壓壓力與保壓時間對於射出件之重量、外形尺寸、內應力與機械強度有顯著的影響。重量、外形尺寸與內應力隨著參數設定的增加而增加，機械強度相反之。

Kamal 等人【4】中說明精密重量控制仍具有相當大的商業價值，尤其小型零件產品，很小的變異就會造成相當大的尺寸精度影響，因此發展一套可行的控制方法去控制成品重量便顯得相當重要。實驗結果顯示控制模穴壓力與保壓階段的熔膠溫度，能在很少模次內達到相當小的重量偏差，而且當熔膠溫度與模穴表面溫度都達到穩定時，模穴壓力變化與重量變化情形有非常大的關聯性。

陳克昌【5】說明使用模穴壓力切換保壓為最佳控制成品重量品質的方法，分別控制射出時間與螺桿位置，實驗結果顯示，利用模穴壓力進行控制的方法對成品品質的均有較明顯之影響，模穴壓力值與成品重量之關聯係數達八成以上。

Carpenter 等人【6】利用兩種不同有限元素結構模型(模具、模具加射出機台)，預測模具變形，並安裝 4 個應變規在模具上，量測並驗證因射出壓力所造成的模具變形。實驗結果顯示最大模具變形量發生在最大保壓壓力期間，並且在射出成形過程中，模具變形會造成模穴內的成品發生尺寸變化，導致成品不符合要求嚴格的公差

Pantani 等人【7】進行不同保壓壓力的測試，並與數值模擬的結果作比較，當壓力大到足以讓模板產生變形的時候，若將模板視為剛體，則會使模穴內壓力變化的模擬結果與實際量測結果有很大的偏差。其主要原因是由於模穴內的高熔膠壓力使模板產生變形，其變形主要是垂直於模面的方向，因此造成模穴膨脹，模穴厚度有輕微的增加。

Chen 等人【8】研究射出成形製程參數，包括射出速度、熔膠和模具的溫度、

充填/保壓的切換以及保壓壓力等，在不同鎖模力下，薄殼成形的模具分離。預測與實驗量測的模具分離相比，預測值低於實測值。

Boitout【9】確定在射出成形的三個主要彈性變形的模式：1. 模具在分模面撐開，原因是由於不足的鎖模力。2. 模具在射出和保壓壓力作用下的變形。3. 由於模穴壓力導致模具的彎曲，增加模穴體積。

黃裕仁【10】對射出成形所產生的模具變形作整體分析，首先由分析熔膠充填及保壓過程所產生的壓力變化，將此壓力及射出機的合模力當作模具的負荷條件，利用結構分析軟體進行模板的應力/應變分析，計算出模板的變形量，並且在引入模板變形量的情形下，分析射出塑品的收縮和翹曲。

陳信宏【11】利用不同的模板厚度及保壓壓力，探討在射出成形模具變形對於導光板厚度以及殘留應力的影響；實驗結果顯示，模流分析的結果未考慮模具變形，因此比對公模板厚度 100mm 的模擬與實驗結果，發現在模內壓力和模具變形的趨勢非常吻合，但隨著熔膠的冷卻收縮，模穴內的壓力降低，公模板回彈使得變形量逐漸降低，但無法歸零，表示公模板有壓縮產品，是造成產品內部應力殘留的原因之一。

1.7 論文架構

本文架構及內容依下列過程陳述：

第 1 章 緒論

簡介 TFT-LCD 液晶顯示器以及背光模組的結構、種類與本論文的實驗規劃流程，並說明本文的研究動機以及相關文獻回顧。

第 2 章 基本原理

本章介紹高分子加工及塑料收縮的因素，並敘述射出成形、殘留應力計算、保壓原理以及模具強度的計算。

第 3 章 保壓設計與 CAE 模擬

本章節首先介紹保壓曲線的功用，解說一般的保壓設計與最佳化保壓設計的觀念，以及因為保壓設計不同會直接影響到模穴內壓力的變化，之後說明如何利用 CAE 模擬軟體，找出一組較佳的保壓曲線。

第 4 章 射出成形實驗與產品檢測

介紹本文之實驗設備、方法與流程，並對模擬獲得的保壓曲線，同步觀察模內壓力監控及模具變形量測，並加以修改模擬的保壓曲線，最後量測成品厚度。

第 5 章 結果與討論

說明實驗結果與討論，探討在模板會變形的情況下，保壓的調整對成品尺寸精度和殘留應力之影響。

第 6 章 結論

對實驗結果做一總結，並探討未來研究方向。

表 1-1 導光板組件功能

| 組件名稱 | 功能 / 要求 | 材料 |
|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 光源 (Light Source) | 高輝度、高效率、色再現性、壽命 | 熱陰極陰極螢光燈 (HCFL) / 冷陰極螢光燈(CCFL) ; LED |
| 導光板 (LGP) | 控制光的方向、提高輝度，且使面板輝度均一化。 | 板面上施予光學特徵之壓克力或PC板 |
| 擴散板 (Diffusion Sheet) | 將來自導光板之光源加以擴散 | PET 或 PC 樹脂 |
| 稜鏡片 (Prism Lens) | 將經擴散板之散漫光，透過稜鏡之折射，使光線垂直向上，亦即有聚光作用 | 透鏡材料、3M 專利 "BEF"光學膜 |
| 反射板 (Reflector) | 防止冷陰極螢光燈光源外漏之遮蔽板 | PC 樹脂、鋁板、發泡 PET 膜 |

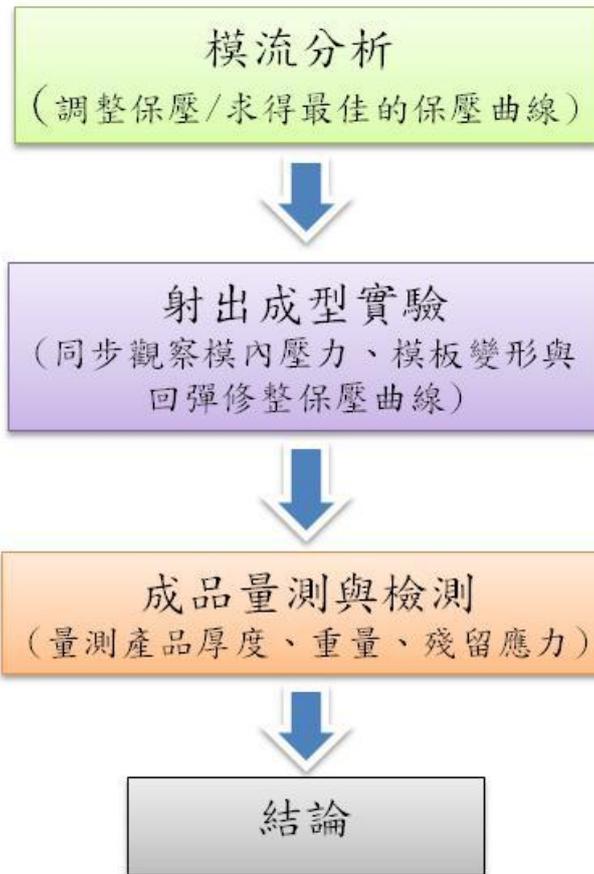


圖 1-1 實驗規劃研究流程圖

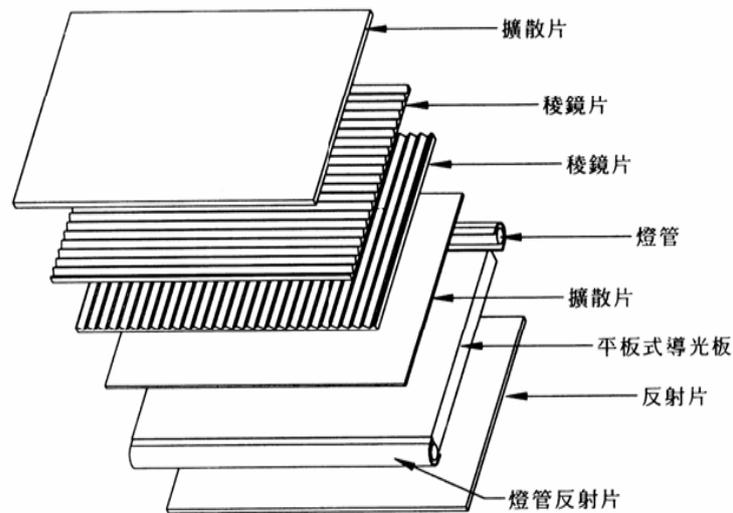


圖 1-2 背光模組結構圖

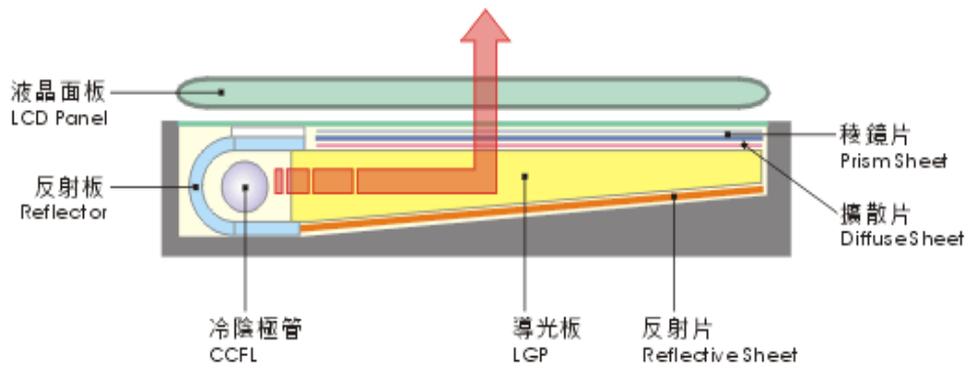


圖 1-3 側光式背光模組(來源：大億科技)

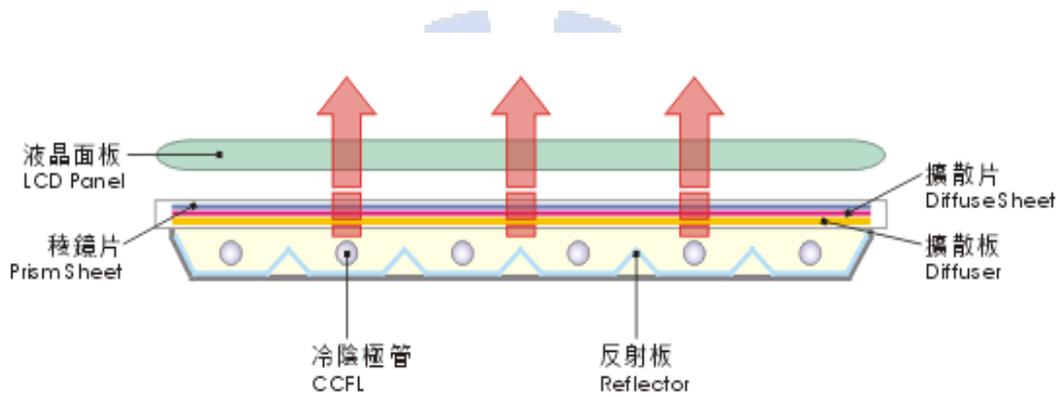


圖 1-4 直下式背光模組(來源：大億科技)

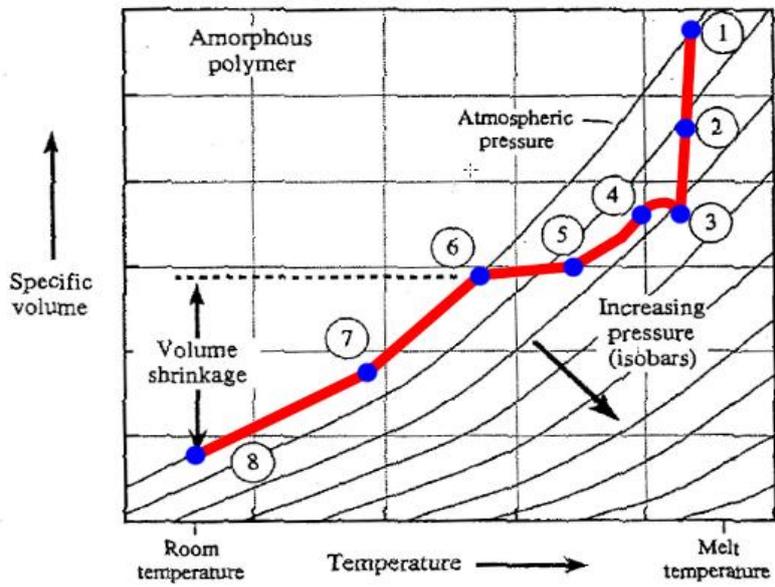


圖 1-5 射出成形過程中的壓力、比容和溫度[14]

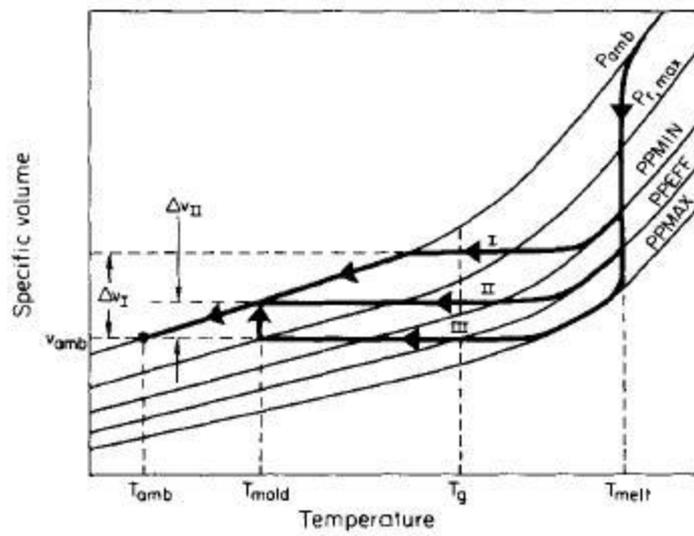


圖 1-6 不同保壓壓力對收縮影響之 PvT 圖 [2]

第二章 基本原理

2.1 高分子加工

塑膠材料是由許多的基本單體(Monomers)經由聚合反應程序而形成的一種長鏈高分子聚合體(Polymer)。一般而言可分為兩大類：「熱塑性塑膠」(Thermoplastic)與「熱固性塑膠」(Thermosetting)。熱塑性塑膠在常溫下通常為顆粒狀，加熱到一定溫度後變成熔融的狀態，將其冷卻後則固化成型，若再次加熱則又會變成熔融的狀態，而可進行再次的塑化成型。因此，熱塑性塑膠可經由加熱熔融而反覆固化成型，所以熱塑性塑膠的廢料通常可回收再利用，亦即有所謂的「二次料」。反之，熱固性塑膠則是加熱到一定溫度後變成固化狀態，即使繼續加熱也無法改變其狀態。

高分子常被稱為聚合物，最簡易的定義為由許多單位以鏈狀組成的一個大分子，而高分子流體大多具有剪切致稀、正向力差異等特性，因此流動行為通常與一般的牛頓流體不同，所謂牛頓流體(Newtonian fluid)是指流體在層流時，流動行為符合牛頓黏度定律者稱之。牛頓流體的黏度不隨速度而變，而速度分佈呈拋物線形，而大部份流體如水、酒精、空氣等屬於此類；非牛頓流體(non-Newtonian fluid)是指流體行為不符合牛頓黏度定律者，且無法使用牛頓定律來描述基本應力和速度梯度的關係式。由於高分子流體同時具有黏度和彈性的特質，故也有人將高分子流體稱為黏彈體(viscoelastic fluid)。典型高分子加工程序主要包含以下三個階段：

1. 將固態高分子經由加熱使其成為熔融態，若有需要可將具有調整高分子流體特性的添加劑(additives)加入高分子流體中，使其均勻混合。

2. 高分子流體經由模口(Die)成爲押出物(Extrudates)。
3. 將押出物導入不同的產品模型中成型固化。

因此在高分子加工技術的應用有混合、押出、射出、吹瓶、熱成膜、壓縮及輪壓等。

2.2 精密射出成形之關鍵[31]

塑料的P-v-T關係指的是塑料在加工過程中，在某溫度、壓力下的體積變化情況。由於塑料的熱膨脹係數爲正值，導致有受熱膨脹現象，加上塑料在高壓下具有可壓縮性(Compressibility)，因此塑料體積對溫度與壓力的變化，將會造成密度的改變。塑料之密度爲溫度與壓力的函數，其關係可由P-v-T圖得知，隨著溫度的上升，體積膨脹、密度變小，將造成塑件的強度不足，而隨著壓力變大，體積收縮、密度變大，但若密度太大，或不均勻，則將造成塑件內部殘留應力的發生，導致塑件容易破壞及變形，因此塑料的P-v-T 行爲乃是造成塑件收縮現象的根本因素。

本研究利用雙域(2-domain)泰勒方程式來代表實驗的塑料聚碳酸脂：

$$v(T, p) = v_0(T) \left[1 - C \ln \left(1 + \frac{p}{B(T)} \right) \right] + v_t(T, p) \quad (1)$$

當C=0.0894時，會得到：

$$v_0(T) = \begin{cases} b_{1m} + b_{2m}T & \text{if } T > T_t \\ b_{1s} + b_{2s}T & \text{if } T < T_t \end{cases} \quad (2)$$

$$B(T) = \begin{cases} b_{3m} \exp(-b_{4m} \bar{T}) & \text{if } T > T_t \\ b_{3s} \exp(-b_{4s} \bar{T}) & \text{if } T < T_t \end{cases} \quad (3)$$

$$v(T, p) = \begin{cases} 0 & \text{if } T > T_t \\ b_7 \exp(b_8 \bar{T} - b_9 p) & \text{if } T < T_t \end{cases} \quad (4)$$

當 $\bar{T} \equiv T - b_5$ ，因此轉換溫度被假設為線性函數的壓力：

$$T_t(p) = b_5 + b_6 p \quad (5)$$

而本實驗塑料為帝人化工 Panlite-AD5503，以上係數如表2-1所示，以下針對各個常數加以說明：

1. **b_{1m} 至 b_{4m}** 是熔化轉換的溫度和壓力常數。
2. **b_{1s} 至 b_{4s}** 是玻璃轉換的溫度和壓力常數。
3. **b_5** 是玻璃轉換溫度。
4. **b_6** 是玻璃轉換溫度的壓力轉換常數。
5. **b_7 至 b_9** 特別是半結晶(semicrystalline)材料描述熔化過渡形狀的溫度和壓力常數。

2.3 塑料收縮因素[13, 16, 18, 30]

影響產品收縮之因素主要為塑料種類、產品設計、模具設計、成形參數，以下針對各個影響因素作簡介：

2.3.1. 塑料種類

1. 結晶性(Crystalline)塑料與非結晶性(Amorphous)塑料：

塑料PvT性質是只塑料在加工過程中，加工的溫度與壓力對於其體積

變化關係，如圖2-1所示。由於塑料的熱膨脹係數為正值，導致有受熱膨脹現象，再加上塑料在高壓下具有可壓縮性，因此塑料體積對於溫度與壓力的變化，將會造成密度上的改變。從塑料的PvT性質關係圖可得知，隨著溫度上升，體積膨脹、密度變小，將造成塑品強度的不足，隨著壓力變大，體積收縮、密度變大，則將會造成塑品內部的殘留應力，因此塑料PvT性質乃是造成塑品收縮的因素。

結晶性塑料在分子鏈排列上較規則，所以有較明顯的熔點溫度；而非結晶性塑料之比容，在定壓下會因熱膨脹(Thermal expansion)隨溫度增加而增加；在定溫下會因壓縮效應(Compressibility effect)隨壓力增加而降低，而結晶性塑料從熔融狀態冷卻至玻璃轉換溫度這期間，分子鏈開始有規則性之排列動作，因此塑料比容呈現階躍式變化(Step change)，所以收縮率較非結晶性塑料大。

非結晶性塑料沒有明顯的熔點，只有一個大的軟化溫度範圍。分子以不規則雜亂性排列，當熔膠溫度低時，塑料開始成橡膠狀(Rubbery)，低於玻璃轉換溫度時，便形成了玻璃狀(Glassy)塑料，因此非結晶性塑料的收縮較不明顯。

2. 熔融指數(Melt Flow Rate)：

熔融指數(Melt Flow Rate, MFR)，是一種表示塑膠材料加工時流動性的數值，其標準的量測規範(ASTM D1238)為十分鐘內所流出之溶膠克數(g/10min)。熔融指數較高之塑料，其流動性較佳，較容易進行保壓之動作，因此其收縮率較低。

2.3.2. 產品設計

1. 成品厚度

成品厚度較厚之區域，其保壓與冷卻均不容易，因此會有較大之收縮現象發生，所以在選擇進澆位置應置放在成品厚度較厚之地方，有利於保壓，以減少收縮量，成品厚度與收縮率關係如圖2-2所示。

2. 成品厚度變化

在產品設計中，要避免產品厚度有很大的變化，若厚度分佈不均，會產生不同收縮量而造成產品發生翹曲變形，盡可能保持厚度均一，假如不行就在成品厚度變化區域採用厚度漸縮變化之設計，如圖 2-3 所示。

2.3.3. 模具設計

1. 澆口位置

澆口位置通常選擇在射出成品厚度最厚的地方，通常成品厚度越厚收縮量越大，便能補充塑料收縮行爲。

2. 澆口形式與尺寸

在模具設計中，選擇適當澆口形式與尺寸是重要的，雖然有許多文獻可以參考，但最主要還是取決於工程師的經驗。澆口截面越大有利於塑料之流動與壓力的傳遞。

3. 流道系統

流道系統在設計時盡量不要太長，過長的流道系統會產生壓力降及溫度下降之問題，使塑料流動不易，而發生收縮現象。

4. 冷卻系統

產品的冷卻是影響收縮量之主要因素之一。冷卻系統包括水路安置位置、流路管徑大小、距離模穴表面的遠近。冷卻系統設計不良會造成模具溫度分布不均，而在模具溫度較高處則會產生較高之成品收縮率，如圖 2-4 所示。

5. 模具強度

在射出成形過程中，模具要承受熔膠射出壓力與保壓壓力，如果模具強度不足的情況下，會造成模板變形，模穴體積增加，產品厚度過厚，這也是另一種收縮不均的情況。

2.3.4. 成形參數[18]

1. 保壓壓力

保壓壓力是影響收縮最顯著參數，設定較高保壓壓力與較長的保壓時間有助於收縮量的降低，因此保壓壓力應控制適當，恰好足夠補充收縮效應，過高的保壓壓力會使射出件有殘留應力產生，間接影響光學光元件之光學特性。

2. 熔膠溫度

在保壓階段，較高的熔膠溫度使塑料黏度降低，流動性增加，提高壓力的傳遞，使產品密度增加，有利於降低收縮行為。但設定過高的熔膠溫度反而使塑料比容差異過大，而發生縮收現象。

3. 模具溫度

當澆口凝固後，模具溫度開始對射出件的收縮現象產生作用。模具溫

度越低，使熔膠的高分子鏈迅速凍結，無法有次序地排列高分子鏈，因此能降低收縮量。

4. 射出壓力

射出壓力增加，則充填塑料密度提高，所以能降低收縮量，但若射出壓力過大，反而會產生殘留應力及模具變形，使射出件用壽命降低及引起收縮不均勻的現象。

5. 冷卻時間

冷卻時間的長短對於成品的收縮與形狀精度也有影響，而冷卻時間需隨著模溫與料溫增加而增加，兩者成正比之關係，假如冷卻時間不足會造成產品的嚴重變形或豎澆道因來不及凝固而卡在固定側，造成成品無法脫模。但冷卻時間過久，會造成產品收縮量變大及循環時間過長。

2.4 殘留應力簡介[32]

當塑膠製品在應用上發生破裂或破壞時，就材料力學的觀點，即表示該塑膠件在破壞區域上，其所承受之應力數值總合超過了該材料之材料強度數值。因此要解決製品在使用上的破壞或破裂問題，就必須要增加材料強度或減少製品之應力值。塑膠製品承受的應力作用通常可依照來源區分為外部應力及內部應力兩種，外部應力是製品在使用時因遭受外力作用而造成之應力，此部分應力將依產品應用場合而定，通常無法控制其程度，一般產品設計者會依照常態之外部應力值，乘上一安全係數值來設計產品之強度。而內部應力通常是塑膠製品在加工成形過程中所產生而留存在於成品內部。所以有效解決塑膠製品之破壞產生，唯有降低內部殘留應力作用或提高材料強度兩種方法。

塑膠材料由於具有高黏度特性，所以一般在成形加工時都需要利用高溫、高壓、高剪切等加工條件，來有效降低塑膠熔膠黏度至容易成形加工之範圍，另外由於塑膠具有較低之熱傳導係數，是熱的不良導體，所以在高溫成形後需要長時間才能達到均勻溫度之冷卻。而現代塑膠射出成形製程，一般為求經濟效益快速生產，所以對於射出成形週期都盡量縮短，而所對應之射出成形條件就需要要求射速快、冷卻時間短等等，而對於塑膠射出成形製品而言，受到過大之速度差或不均勻冷卻等等因素影響，往往會造成塑膠製品內部產生殘留應力。

所謂塑膠殘留應力就是指塑膠製品在經過成形或二次加工過程後，在無外力作用下或無溫度梯度存在時，物體內部仍然維持承受應力之狀況。所以所謂殘留應力就是指在塑膠成形過程中，造成塑膠分子結構不是處在最低能量之最穩定狀態，分子鏈受到流動定向影響或是受到周圍分子鏈之拘束，而呈現不穩定之高能量狀態，所以一旦有外界能量給於此受應力作用之分子鏈時，則此分子鏈將極易釋放出應力而達到其最穩定之組態。

2.5 光彈法原理

光彈是一種光學式的全域性應力量測方法，採用具有雙折射的透明光彈材料，製成與實際物件形狀相似的模型，並施加與實際情況相似之負荷，當光入射時會產生暫時性雙折射現象，此種現象稱之為光彈效應。若將其置於偏光場中，由於應力造成偏振光的相位差所產生的干涉作用，形成明暗相間的條紋，這一些條紋即代表著模型內部各點的應力分佈情形，並以光彈理論加以分析，便可確定模型內部各位置之應力，可作為實驗的分析與比較。

2.5.1. 光-應力定律(Stress-optical Law)

1853年Maxwell提出了受力透明體之光折射率大小與主應力值關係[28] [29]：

$$\begin{aligned}n_1 - n_0 &= c_1 \sigma_1 + c_2 (\sigma_2 + \sigma_3) \\n_2 - n_0 &= c_1 \sigma_2 + c_2 (\sigma_3 + \sigma_1) \\n_3 - n_0 &= c_1 \sigma_3 + c_2 (\sigma_1 + \sigma_2)\end{aligned}\tag{1}$$

其中：

n_0 : 材料未受力時之折射率

$\sigma_i : i=1\sim 3$: 材料受力時之主應力

$n_j : j=1\sim 3$: 在各主應力方向之折射率

$c_k : k=1\sim 3$: 光-應力常數

其相對關係式：

$$\begin{aligned}n_2 - n_1 &= (c_2 - c_1)(\sigma_1 - \sigma_2) + C(\sigma_1 - \sigma_2) \\n_3 - n_2 &= (c_2 - c_1)(\sigma_2 - \sigma_3) + C(\sigma_2 - \sigma_3) \\n_1 - n_3 &= (c_2 - c_1)(\sigma_3 - \sigma_1) + C(\sigma_3 - \sigma_1)\end{aligned}\tag{2}$$

C：相對光-應力係數(Stress-optical coefficient)

則相對相位角差 Δ 為：

$$\Delta = \frac{2\pi h C}{\lambda} (\sigma_1 - \sigma_2)\tag{3}$$

若定義

$$N = \frac{\Delta}{2\pi} : \text{條紋序數(Fringe order)}\tag{4}$$

$$f_{\sigma} = \frac{\lambda}{C} : \text{材料條紋常數(Material fringe value)} \quad (5)$$

則上式可改寫成：

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{Nf_{\sigma}}{h} \quad (6)$$

則相對遲滯量 δ 為：

$$\delta = hC(\sigma_1 - \sigma_2) \quad (7)$$

由(3)、(4)、(5)式之關係可得：

$$\delta = N\lambda = hC(\sigma_1 - \sigma_2) \quad (8)$$

2.5.2. 平片偏光場光彈分析

光彈實驗裝置如圖2-5所示，偏光鏡(Polarizer)P與分析鏡(Analyzer)A的主軸方向互相垂直，成暗場(Dark field)設置，試件置於其間，光源為單色生，當光通過偏光鏡後之偏極光可依Maxwell的電磁波理論，將光場向量以指數型式表示成：

$$E_p = a \cdot e^{i\omega t} \quad (9)$$

其中：

a : 入射光之最大振幅

ω : 入射光之振動頻率

t : 時間

經進入具雙折射性之受力試件時，光場向量會沿著主應力方向分成兩個分量 E_1 與 E_2 ，

$$E_1 = E_p \cdot \cos \theta = a \cdot e^{i\omega t} \cdot \cos \theta \quad (10)$$

$$E_2 = E_p \cdot \sin \theta = a \cdot e^{i\omega t} \cdot \sin \theta$$

其中 θ 為試件的主應力方向和偏光鏡主軸的夾角，定義為等傾線角；由於 E_1 與 E_2 在受力試件中傳遞速度不同，所以在通過試件後光場向量 E_1 與 E_2 會有一相對相位角差 Δ ，此相對相位角差 Δ 與主應力差有關；通過光場向量 E'_1 與 E'_2 為：

$$\begin{aligned} E'_1 &= E_1 = a \cdot e^{i\omega t} \cdot \cos \theta \\ E'_2 &= E_2 \cdot e^{-i\delta} = a \cdot e^{i(\omega t - \Delta)} \cdot \sin \theta \end{aligned} \quad (11)$$

則最後進入分析鏡之合成的光場向量 E_A 為：

$$E_A = E'_1 \sin \theta - E'_2 \cos \theta \quad (12)$$

$$E_A = a \sin 2\theta \cdot e^{i(\omega t - \frac{\Delta}{2})} \cdot i \sin \frac{\Delta}{2} \quad (13)$$

因為光強度正比於振幅的平方，所以通過分析鏡後的光強度 I 為：

$$I = a^2 \sin^2 2\theta \cdot \sin^2 \left(\frac{\Delta}{2} \right) = a^2 \sin^2 2\theta \cdot \sin^2 (N\pi) \quad (14)$$

1. 主應力方向角之影響

當 $2\theta = k\pi (k=0, 1, 2, \dots)$ ， $\sin^2 2\theta = 0$ 即光強度為零所形成的暗點，此時偏光鏡、分析鏡的方向與主應力方向一致；吾人可藉設定不同的偏極軸方向，得到試件任意點之主應力方向，由各方向暗點所形成的條紋稱為等傾線(Isoclinic)。

2. 主應力差之影響

當 $\Delta/2=k\pi(k=0, 1, 2, \dots)$ ， $\sin^2(\Delta/2)=0$ 即光強度為零所形成的暗點，由(3)式，主應力差值增大，相對相位角差每成 2π 的倍數，就會形成暗點；此由主應力差值造成的暗點，所形成的條紋稱為等色線(Isochromatic)。若光源為白光，則顏色相同的點即代表主應力差值相同。

2.5.3. 圓偏光場光彈分析

光彈實驗設置如圖2-6所示，除了平面偏光鏡的設置儀器外，另外加上兩片四分之一波板(Quarter-wave plate)；此波板具有雙折射性，光經此波板可分成兩個具有相位角差之垂直偏極光，若產生的相位角差為 $\pi/2$ ，則稱此波板為四分之一波板。

當光通過偏光鏡形成偏極光後，再進入第一個四分之一波板時，其光場向量被分為兩個垂直具 $\pi/2$ 相位角差之 E'_f 與 E'_s ，以指數表示成：

$$\begin{aligned} E'_f &= \frac{a}{\sqrt{2}} \cdot \cos \omega t = \frac{a}{\sqrt{2}} \cdot e^{i\omega t} \\ E'_s &= \frac{a}{\sqrt{2}} \cdot \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = \frac{a}{\sqrt{2}} \cdot \sin \omega t = -i \frac{a}{\sqrt{2}} \cdot e^{i\omega t} \end{aligned} \quad (15)$$

在進入受力試件後，光場沿著主應力方向振盪，同樣地試件具有雙折射性，所以其光場向量被分為兩個垂直具相位角差 Δ 之 E_1 與 E_2 ，此相對相位角差 Δ 與主應力差有關。

$$\begin{aligned} E_1 &= E'_f \cos\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right) + E'_s \sin\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right) = \frac{a}{\sqrt{2}} \cdot e^{i(\omega t + \theta - \frac{\pi}{4})} \\ E_2 &= E'_s = E'_s \cos\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right) - E'_f \sin\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right) = \frac{-ia}{\sqrt{2}} \cdot e^{i(\omega t + \theta - \frac{\pi}{4} - \Delta)} \end{aligned} \quad (16)$$

當光進入第二個四分之一波板時，又沿著其快、慢軸方向分成兩個光場向量 E''_f 與

E's爲：

$$E''_f = \frac{a}{\sqrt{2}} \cdot \left[\sin\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right) - ie^{-i\Delta} \cos\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right) \right] \cdot e^{i(\omega t + \theta - \frac{\pi}{4})} \quad (17)$$

$$E''_s = \frac{a}{\sqrt{2}} \cdot \left[e^{-i\Delta} \sin\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right) - i \cos\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right) \right] \cdot e^{i(\omega t + \theta - \frac{\pi}{4})}$$

則最後進入分析鏡後合成的光場向量 E_A 爲：

$$E_A = -ia \cdot \sin \frac{\Delta}{2} e^{i(\omega t + 2\theta - \frac{\Delta}{2})} \quad (\text{暗場}) \quad (18)$$

$$E_A = a \cdot \cos \frac{\Delta}{2} e^{i(\omega t + 2\theta - \frac{\Delta}{2})} \quad (\text{亮場}) \quad (19)$$

因爲光的強度正比於振幅的平方，所以通過分析鏡後的光強度 I 爲：

$$I = a^2 \cdot \sin^2 \frac{\Delta}{2} = a^2 \cdot \sin^2(N\pi) \quad (\text{暗場}) \quad (20)$$

$$I = a^2 \cdot \cos^2 \frac{\Delta}{2} = a^2 \cdot \cos^2(N\pi) \quad (\text{亮場}) \quad (21)$$

上式之光強度值 I 與主應力方向角無關，僅取決於相對相位角差 Δ ，即與主應力差有關。

1. 暗場(Dark field)設置

其設置將偏光鏡與分析鏡調至垂直，當 $\Delta/2=k\pi(k=整數)$ 時，則 $\sin^2(\Delta/2)=0$ ，即光強度爲零所形成的暗點，此暗點所構成的條紋序數稱爲整數條紋序數(Integral fringe order)，即條紋序數爲0、1、2、...，如圖2-7所示。

2. 亮場(Light field)設置

其設置將偏光鏡與分析鏡調至平行，當 $\Delta/2=(k+1/2)\pi$ (k =整數)時，則 $\cos 2(\Delta/2)=0$ ，即光強度為零所形成的暗點，此暗點所構成的條紋序數稱為半整數條紋序數(Half fringe order)，即條紋序數為0.5、1.5、2.5、...，如圖2-8所示。

2.6 射出成形

射出成形是目前最廣泛應用於塑膠成品的成形法，其原理是利用螺桿將顆粒狀塑料加熱成熔融態，再以高壓推動熔融塑料注入模穴內，待成品冷卻固化後再開模將成品頂出。射出成形常用於熱塑性塑膠，因其可生產複雜性較高的製品，且射出成形較符合大量生產的經濟效應，在產品設計上的自由度亦高，更可採用活動與固定式接頭來將製品互相接合，但上述各項優點的先決條件是：產品與模具必須有適當的設計，且要能搭配適當的射出成形機。目前產品與模具的開發皆可採用電腦模流分析軟體來輔助挑選塑料與射出成形機，更可預測不同的成形參數對於射出成形的影響，讓設計者在設計時可了解塑料流動過程，促使塑膠產品的設計更加快速。

射出成形會隨塑料種類與成品形狀的不同而須做調整，但其原理不外乎是熔化、流動、保持、凝固四個基本變化，因此將整個射出成形過程分為五個階段，如圖 2-9：

1. 烘料、模具加熱與合模階段：

在進行射出成形前，須先將塑料預熱烘乾，排出塑料內的水分，以避免產品出現水氣。烘料結束後，將塑料倒入料桶內，並設定料管溫度。

模具溫度是由模溫機所控制，可在進行射出成形前先設定，使其逐漸加溫。當準備好這些動作後，模具關閉，將射座向模具移動，使噴嘴與注道襯套互相接合。

2. 充填階段：

塑膠射出成形過程中，高溫熔融塑膠經由澆道進入模穴，在低於塑膠玻璃轉移溫度的模壁上，會立即出現凝固塑膠層，使得流動截面積減少，流動速度因此增加，在凝固層上的塑膠液因流動速度加快而產生高黏滯熱，在能量不平衡下，凝固界面開始溶解，直到能量平衡為止。這時候流動截面積增大，流動速度也漸緩，流體區因流動產生的黏滯熱降低，凝固界面又開始凝固直到能量平衡為止。維持熔點溫度進行充填，此時充填壓力上升，且隨著充填動作的進行，熔融態的塑料逐漸凝固，造成密度上升、比容下降，但此時塑件尚處於高溫未穩定狀態，故整體溫度分佈均勻。此階段因決定成品外觀、結晶度及分子配向性，所以塑料的流動係數便顯得更加重要。若塑料流動性差的話，可能導致短射現象，但若塑料流動性佳的話，有可能因為成形壓力過大而產生毛邊，因此在射出成形前，須先了解塑料的物理性質。

3. 保壓階段：

熔融樹脂開始充填模穴至模穴完全充滿樹脂為止，此過程稱為射出過程，射出完成後若不續加壓力即讓其冷卻，因冷卻收縮的關係所得的成型品會有許多凹陷，因此在射出完成後，為補充因冷卻而收縮的部分，需施加保壓過程。一般而言，射出過程有速度控制，保壓過程則要控制壓力。最近開發出來的射出機，已可對射出過程設定多段射出壓力，也

可對保壓過程設定速度，使得射出過程與保壓過程的區別漸漸模糊，但欲得較大速度，油壓驅動時要驅動大量的動作油；保壓過程時不要求速度，可限制動作油的吐出量，以節約能量，由機械設計的觀點來看，明顯區分出保壓過程與射出過程是有利的，現在的機器已可自動控制動作油的吐出量，達到自動節約能源的效果。保壓階段可視為前冷卻階段，雖其時間短暫，但塑件已開始定形，此時塑料密度上升、比容下降，塑件重量更接近預定重量。此階段決定成品的輪廓外形，只是可能因為壓縮過度而發生毛邊或損壞模具，故須注意保壓壓力的調整。

4. 冷卻階段：

成品的冷卻動作在保壓階段便已開始，保壓結束後，澆口雖已冷卻，但成品尚處於高溫，因此以模具內的冷卻水路帶走熱量，惟因冷卻須維持一段時間，直到成品硬化到足以承受頂出而不變形。塑件固化至頂出溫度，持續將塑件置於模穴中冷卻收縮，造成壓力下降。當模穴壓力降至常壓時，塑件體積與模穴體積相同，此時塑件開始模內收縮。此階段會影響產品的翹曲變形與平均厚度，故須設計適當的冷卻水路，以使產品達到均勻冷卻。

5. 開模與頂出階段：

成品完成冷卻後，射出機便開始進行開模動作，但因成品冷卻收縮的關係，須以頂出機構來使成品與模穴分離。此階段須注意頂出機構的設計，因不均勻的頂出會導致成品嚴重變形。

2.7 模具強度計算

2.7.1. 模內平均壓力

在射出成形過程中，模具所承受的射出壓力是很高的，因此，在設計模具時，須考慮模具的各部份是否有足夠的強度來承受射出壓力，才不至於產生模具變形，而影響產品的尺寸精度。在計算模具強度前，可先參考表 2-1 內的模內平均壓力，PC 為本研究所選用的成形塑料，而經模擬分析所得 $P_m=600 \text{ kgf/cm}^2$ 來做為模穴平均壓力。

2.7.2. 承板厚度計算

承板經由成形壓力可導致變形，變形大時，成形品肉厚產生變化，或產生毛邊，最大變形量(δ)必須在 0.1~0.2mm 以下，在此設定 $\delta=0.09\text{mm}$ 。參照圖 2-10 得知：

P =成形壓力(kgf/cm^2)； h =承板厚度(mm)； L =間隔塊距離(mm)； l =承受成形壓力之長度(mm)； b =承受成形壓力之寬度(mm)； B =模板寬度(mm)； δ =容許變形量(mm)； E =彈性係數(鋼為 $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$)，為簡化計算，設定 $l=L$ ，則計算公式如下：

$$\delta = \frac{5PbL^4}{384EI} = \frac{5PbL^4}{384 \frac{1}{12} Bh^3E} = \frac{5PbL^4}{32EBh^3} \quad (1)$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{5PbL^4}{32Eb\delta}} \quad (2)$$

在本設計中， $P=600\text{kgf/cm}^2$ 、 $L=164\text{mm}$ 、 $b=172.167\text{mm}$ 、 $B=350\text{mm}$ 、 $\delta=0.09\text{mm}$ ，

承板厚度計算如下所示：

$$h = \sqrt[3]{\frac{5PbL^4}{32Eb\delta}} = \sqrt[3]{\frac{5 \times 600 \times 172.167 \times (164)^4}{32 \times 2.1 \times 10^6 \times 350 \times 0.09}}$$

=56.09 (mm)

將此厚度加上公模仁厚度 26.1mm 與產品厚度 1mm，所計算出的總厚度為 83.19mm，因承板厚度可再加大，以加強模塊所能承受的強度，故在此採用承板厚度為 100mm，而 100mm 公模板經由公式計算所得變形量為 0.0158mm，約 0.016mm。

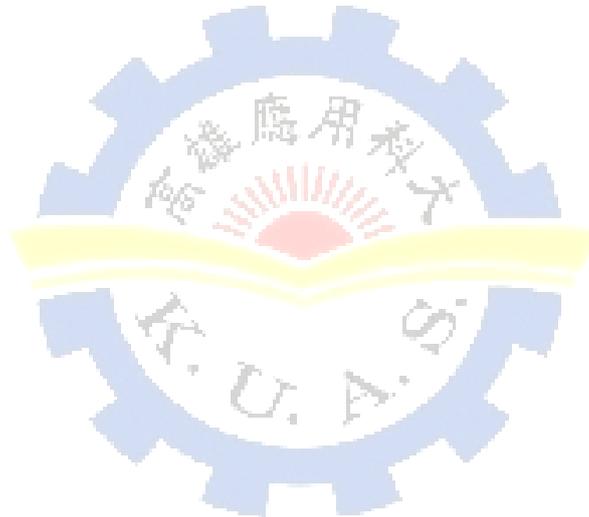


表 2-1 Panlite-AD5503 材料 PvT 係數

| 符號 | 值 | 單位 |
|---------|------------------------|------------------|
| $b1, m$ | 0.000877 | m^3/kg |
| $b2, m$ | 6.06×10^{-7} | $m^3/kg^\circ K$ |
| $b3, m$ | 1.83701×10^8 | Pa |
| $b4, m$ | 0.004518 | $^\circ K^{-1}$ |
| $b1, s$ | 0.000877 | m^3/kg |
| $b2, s$ | 2.708×10^{-7} | $m^3/kg^\circ K$ |
| $b3, s$ | 2.57191×10^8 | Pa |
| $b4, s$ | 0.003198 | $^\circ K^{-1}$ |
| $b5$ | 414.15 | $^\circ K$ |
| $b6$ | 3.418×10^{-7} | $^\circ K/Pa$ |
| $b7$ | 0 | m^3/kg |
| $b8$ | 0 | $^\circ K^{-1}$ |
| $b9$ | 0 | Pa^{-1} |

表 2-2 一般塑料的模內平均壓力(Pm)

| 成形材料 | Pm(kgf/cm ²) |
|-----------------------|--------------------------|
| PS , PP , PE | 250~300 |
| ABS , SAN , PA , POM | 300~400 |
| PC , PMMA , PPO , PVC | 400~600 |

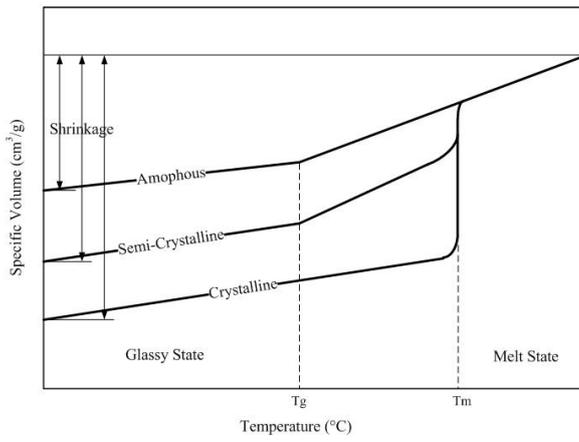


圖 2-1 結晶性塑料的壓力-比容-溫度(P-v-T)圖[30]

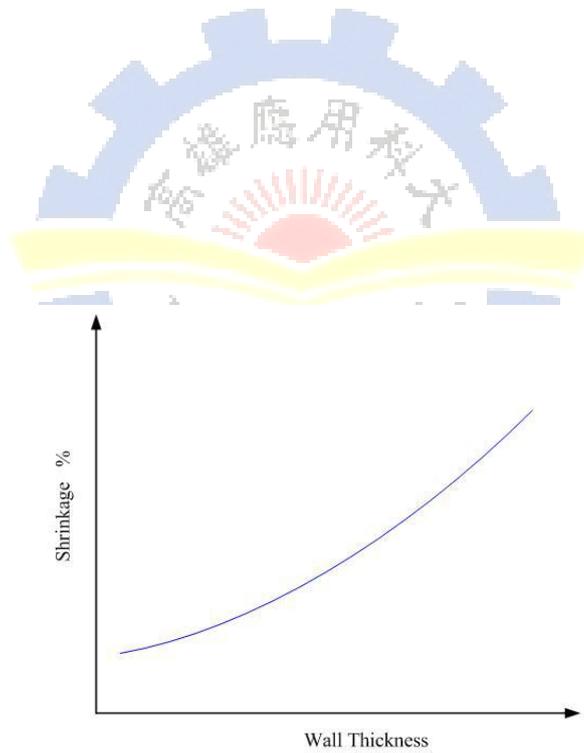


圖 2-2 成品厚度與收縮率關係圖

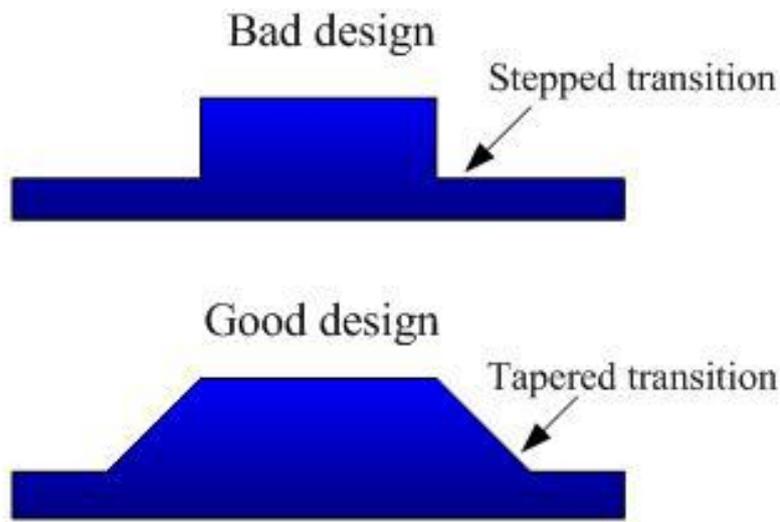


圖 2-3 成品厚度變化之設計

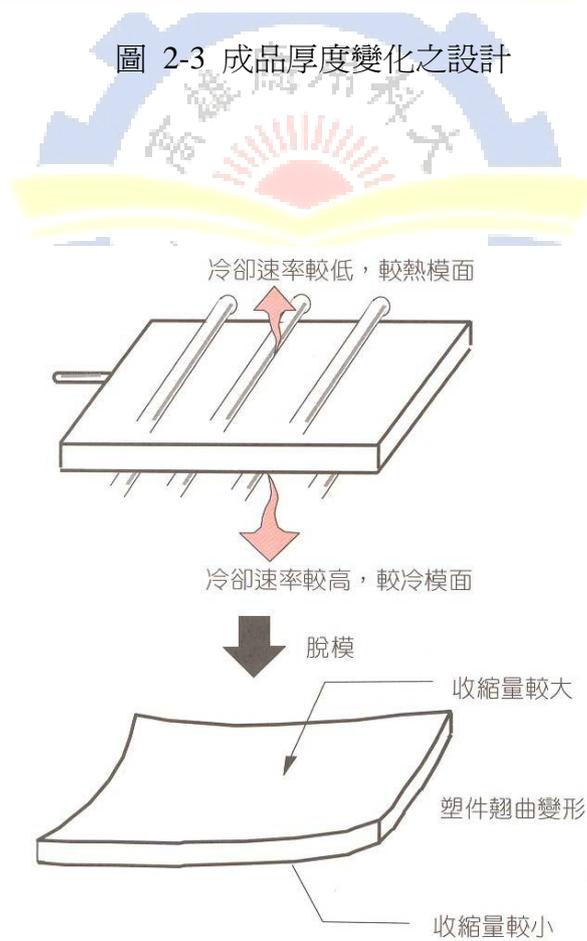


圖 2-4 冷卻不均造成的收縮

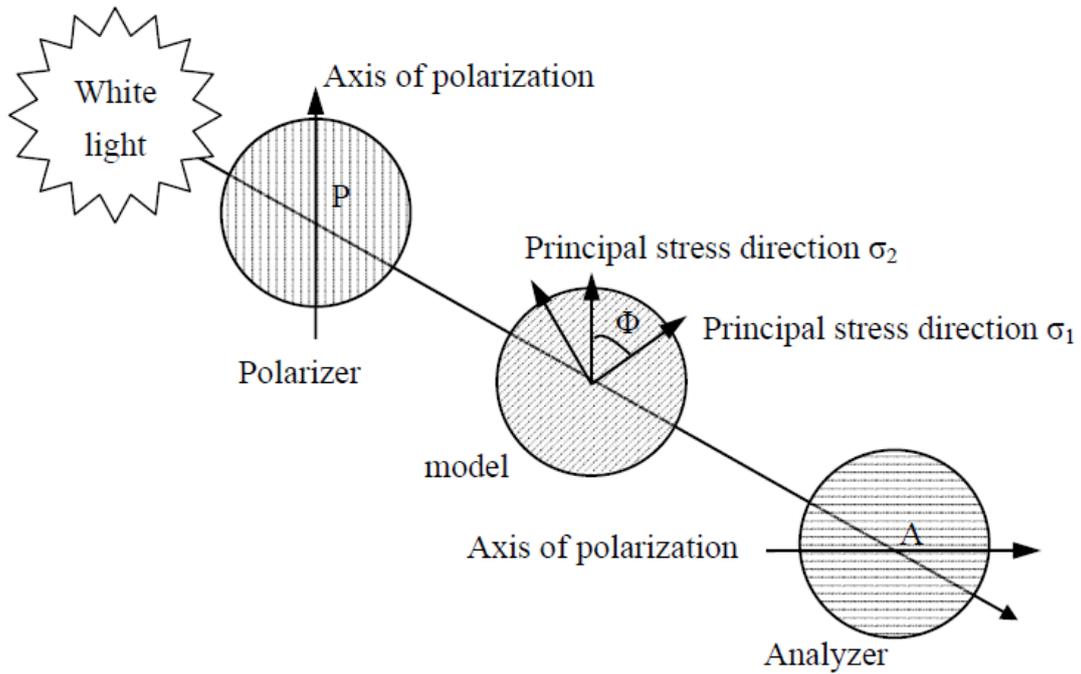


圖 2-5 平面偏光場暗廠設置圖

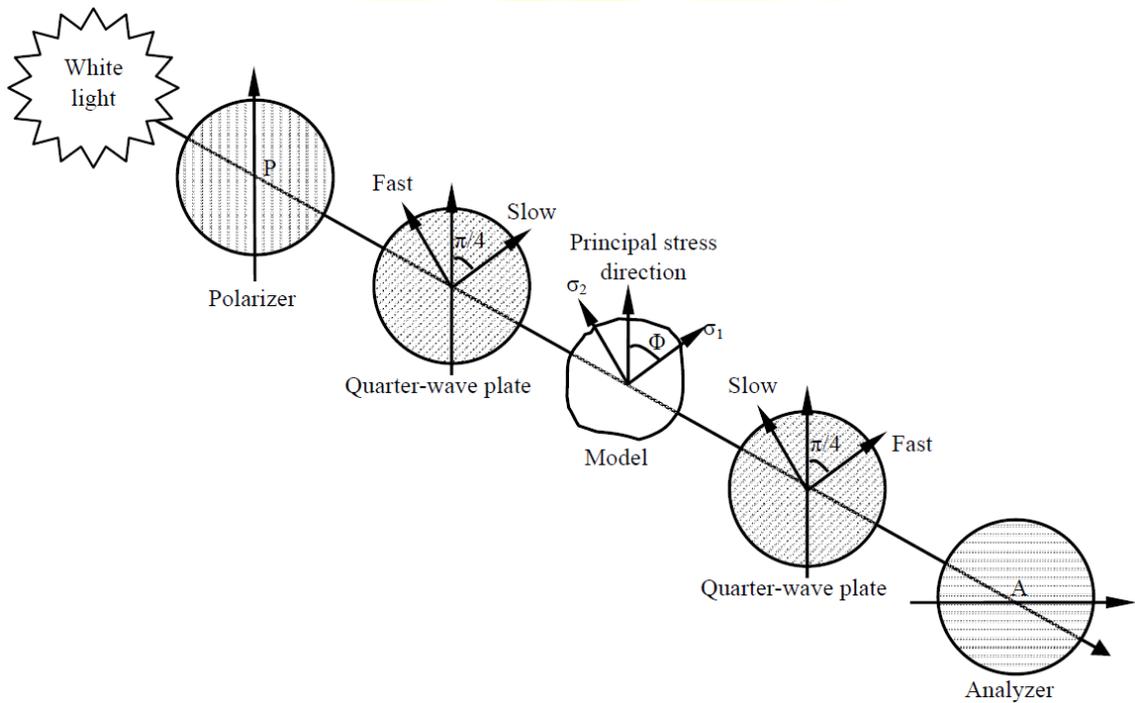


圖 2-6 圓偏光場暗場設置圖

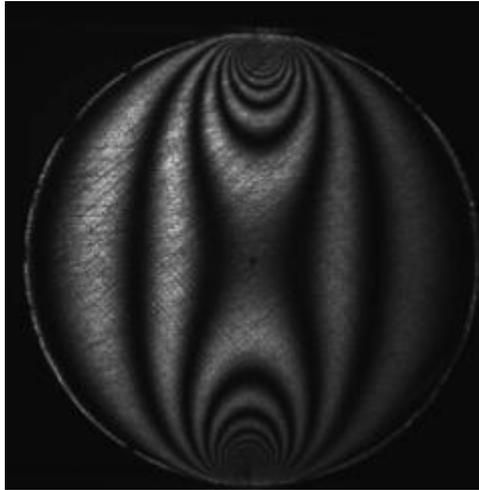


圖 2-7 暗場圖像



圖 2-8 明場圖像

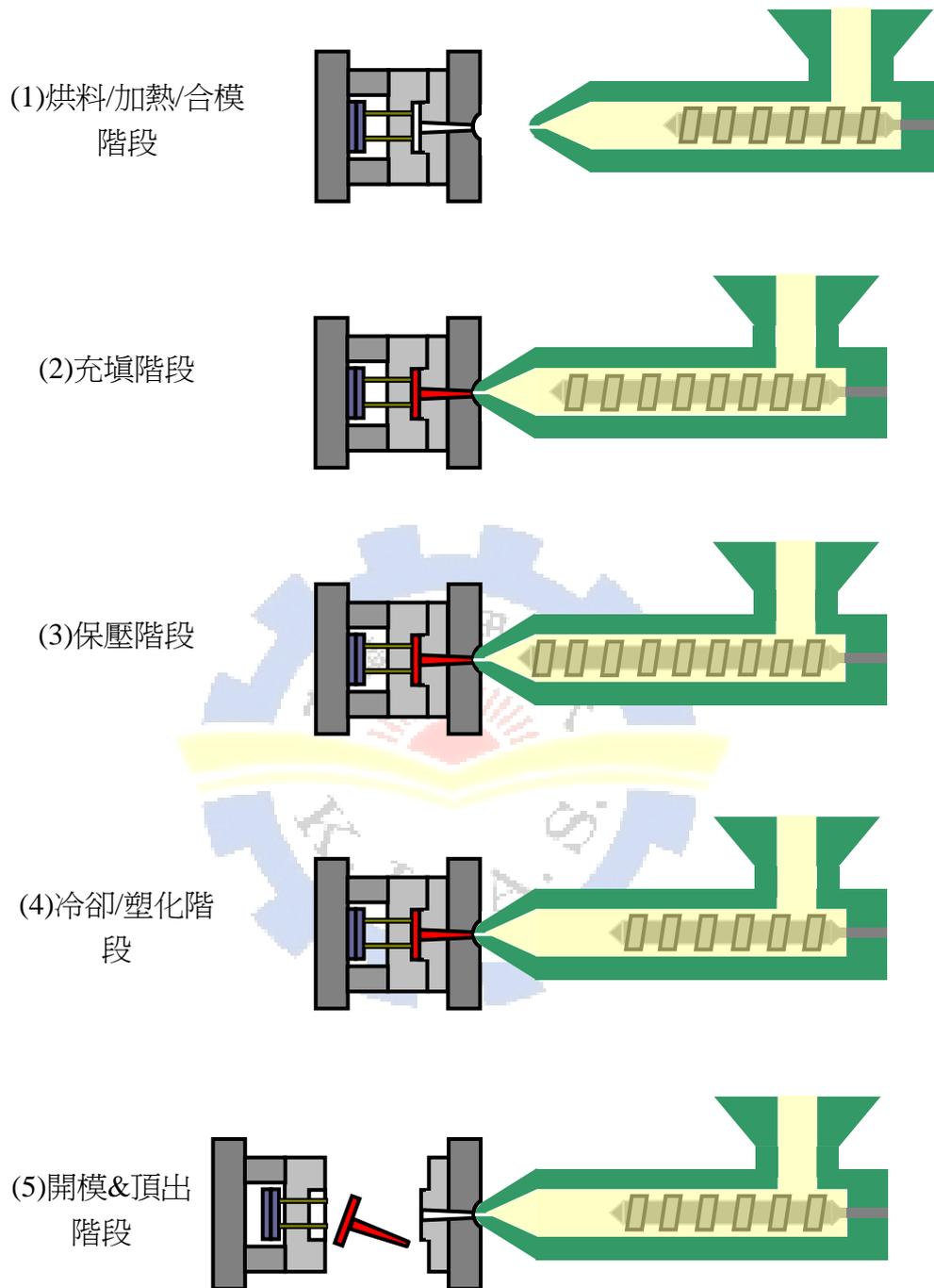


圖 2-9 射出成形流程示意圖

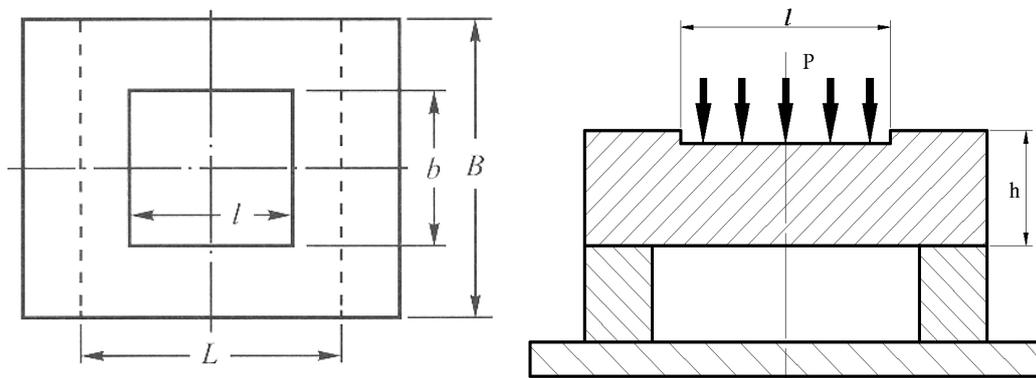
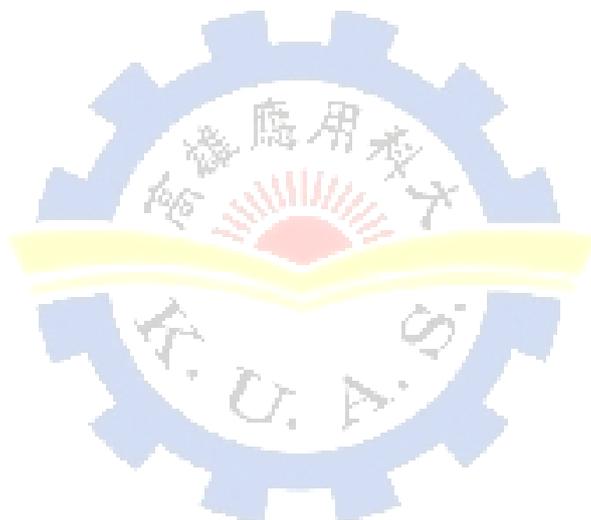


圖 2-10 承板厚度計算



第三章 保壓設計與 CAE 模擬分析

在射出成形的製程中，保壓階段主要是用來控制成形品的質量及尺寸精度，保壓不足容易造成成形品質量偏低，以及收縮、凹痕、真空孔的缺陷，保壓壓力過高或持續時間過長，則容易造成過保壓，成形品澆口附近會有殘留應力等缺點。因此當熔膠充填滿模穴之後，藉由保壓階段建立適當的壓力曲線，利用壓力與時間的控制來滿足塑品的質量要求與尺寸精度，並且避免應力殘留及翹曲，是射出成形中非常重要的關鍵技術。本章節介紹射出成形中，保壓曲線各個部份的意義以及功用，並以 CAE 模擬軟體模擬求得較好的保壓曲線。

3.1 保壓曲線分析

3.1.1 保壓曲線功用

1. 使產品質量達到要求，體積收縮一致，避免翹曲

產品澆口的凝固時間決定了保壓壓力以及體積收縮，壓力越高則體積收縮越少。

2. 減少澆口附近的壓力，並免壓力過剩

保壓過程期間，在澆口凝固前，減少保壓壓力會造成澆口附近體積收縮變大以及降低或排除有過剩的壓力在產品內，造成殘留應力及過保壓的現象。

3.1.2 一般保壓曲線設定

一般常見的保壓曲線設定，如圖 3-1 所示，保壓階段可分為壓縮(Pack)及持壓

(Hold)兩部份，壓縮部份(如 ca 段)是指當熔膠填滿模穴之後，由於質量尚不足，因此必須藉由高壓將熔膠進一步注入模穴，使模穴內的質量達到規格要求。接下來隨著熔膠逐漸冷卻，必須適度地降低壓力，使模穴內的熔膠維持固定的比容，直至開模頂出，並且避免應力殘留，此部份稱之為持壓(如 ab 段)。欲使塑膠製品維持穩定的質量及尺寸精度確保品質，在壓縮(Pack)段利用壓力的大小及持續的時間，調整並確認模穴內的熔膠質量達到規格要求，以及在持壓(Hold)段，隨著溫度的降低，逐步調降壓力，使熔膠固化過程在 PvT 圖上的軌跡能夠維持穩定的比容，所以先以模流分析評估保壓曲線的設定。

3.1.3 最佳化保壓曲線設定

從圖 3-1 來看，cab 段是射出機所設定的保壓曲線，c 是切換點，ca 段的壓力一般約為切換點的充填壓力之 80%~90%。當保壓壓力持續到 a 點開始下降，a 點一般是充填末端的壓力曲線出現最高值的時間與澆口凝固的時間，兩者的平均值，如圖 3-2 所示。了解保壓轉降點的時間，就能決定持壓(Hold)的型式。

調整持壓(Hold)的型式如表 3-2 所示，由於已經知道了澆口凝固與保壓轉降點時間，所以採用型式三的保壓型式來做為本實驗的最佳保壓曲線的設計依據。

3.1.4 模穴壓力曲線[5]

保壓壓力的設定與模穴壓力有相當大的關係，典型的模穴壓力曲線，如圖 3-3 所示，可區分為四個階段；充填階段(Filling phase)、壓縮階段(Melt Compression phase)、持壓階段(Holding phase)及冷卻階段(Cooling phase)。A 點為開始進行射出動作，熔融塑膠流經射嘴、流道及澆口，進入模穴內，在 B 點是熔膠充填接觸到

感測器，因此對模穴壓力而言從 A 到 B 的射出過程是空白的。此後持續充填，在 C 處充填階段結束，此時熔膠充飽整個模穴但並未壓實，該點又稱為模穴體積充滿點(P_{fill})；之後開始進入壓縮階段，此階段模內融膠受持續充填壓縮造成壓力陡昇；D 處為最大壓力點(P_{max})；此後融膠開始進行靜態持壓階段；在 E 處為保壓階段的結束，位於澆口熔融塑膠已凝固，模穴內外的塑膠被隔絕；之後進入冷卻階段，在 F 處是完全固化後的壓力值，如果該值不為零，代表該模穴壓力感測器仍然受壓力，該狀態會持續到開模為止。整體而言，從 A-B-C 所需時間稱為充填時間(t_{fill})，從 C 至 D 為壓縮時間(t_{comp})，從 D 至 E 為持壓時間(t_{hold})，從 E 以後一直到開模為冷卻時間($t_{cooling}$)，這四個階段的時間總和加上開模、頂出及關模時間就是射出成形的全週期。

3.2 CAE 模擬分析

本研究的射出成形分析主要是以模流分析軟體 MoldFlow 2010 進行模擬分析。首先利用 Pro/E 建立成品模型，包含流道、澆口及成品外形，成品尺寸如圖 3-4 所示，並以實際成形機台的參數和材料的特性設定進行模擬。導光板為一光學產品，其外觀須具有透明性與高透光率，因此選用 Teijin 公司所生產的 PC 塑料，型號為 AD-5503，其加工參數、黏度、PvT 如圖 3-5 所示，本實驗選用的 ARBURG 320C 射出機在 MoldFlow 的射出機資料如圖 3-6 所示。由於厚度過薄的公模板不易加工冷卻水路，因此本研究的模流分析的模型中沒有建立冷卻水路系統，模流分析的有限元素模型，網格數：16246 個網格，如圖 3-7 所示。

3.2.1 製程參數設定

在本實驗的製程參數中，保壓壓力為影響模具變形的最大因素，因此製程參數中以保壓壓力為變因進行分析，其他參數如表 3-1 所示。沒有冷卻水路控制模溫，因此先實際射出成形使模穴表面溫度呈現穩定狀態，再利用數字溫度計量取模穴表面溫度。並將此溫度值回饋給 MoldFlow 計算，使模擬分析的參數設定能更貼近實際射出成形。設定成形模組中，射出成形為熱塑性射出成形分析 (Thermoplastics Injection Molding)，因為無冷卻水路，故分析模式選用充填(F)、保壓(P)進行分析。

3.2.2 保壓曲線分析結果比較

經由 MoldFlow 模擬後得到此導光板澆口凝固時間，如圖 3-8 所示，依照 3.1.3 節的設計概念，設計了 3 組保壓曲線與原始設計的保壓曲線作比較，3 組的保壓曲線設計分別為型式一(壓力先緩降再劇降)、型式二(壓力以線性遞減)、型式三(壓力先劇降再緩降)，如圖 3-9 所示，射出機在保壓設定，大多以階段式控制，所以利用階段擬合線性設計的保壓曲線；較佳的保壓曲線設計是在產品達到頂出溫度時，澆口沒有過剩的壓力和前後澆口的比容比對 PvT 圖差異最小以及體積收縮差異最小，比容與體積收縮率差異小代表收縮一致，產品厚度均一。最後模擬結果分澆口過剩壓力與比容以及體積收縮差異做比較：

1. 在澆口是否有過剩的壓力，比較結果如圖 3-10 所示，從圖中可看出，保壓在轉換點過後，壓力遞減的程度有助於改善產品澆口附近的過剩壓力；壓力先緩降再劇降，澆口仍有許多應力，以線性方式降低，雖然有改善澆口過剩的壓力，但還是有少許的應力集中於澆口，而以先劇降再

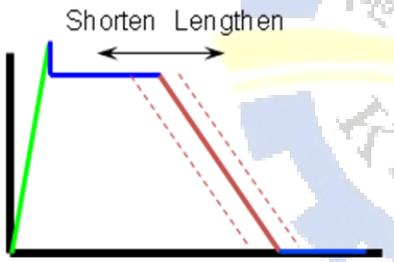
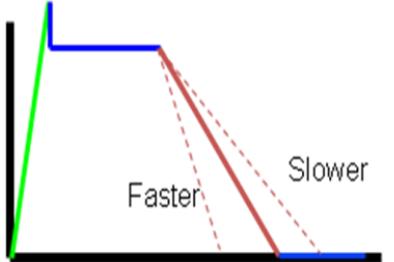
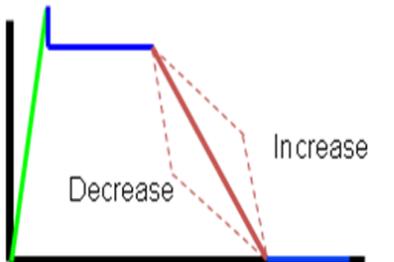
緩降的設計，澆口就不再有過剩的壓力集中。

2. 在頂出溫度時的比容差異如圖 3-11 所示，前後澆口的感測點是依照實際模具感測點的位置做模擬分析，如圖 3-12 所示，PvT 圖上的曲線軌跡是利用數學方程式所建立，因為模擬時會有壓力與溫度在模穴內的變化，就能利用壓力隨著溫度的變化而在 PvT 曲線上描繪出模內成形壓力的軌跡；以成形角度來看，模穴內不同的點，如果成形的壓力軌跡一致，就表示成形的壓力均勻，而從圖 3-11 中可以發現，型式 3 的保壓曲線，在產品到達頂出時的比容相差最小，近澆口的收縮也跟著提高，使前後收縮差異降低，如圖 3-13 所示，雖然型式三的體積收縮差異最小，不過在整體的收縮來看，型式三的收縮是較大的，因此一澆口無過剩壓力以及在頂出時，比容與體積收縮最小，所以將型式 3 的保壓當作實驗上的保壓曲線。

表 3-1 製程參數

| | |
|------------|---------|
| 模溫(°C) | 50 |
| 熔膠溫度(°C) | 300 |
| 射出速度(mm/s) | 60 |
| 保壓時間(s) | 5 |
| V/P 切換點 | 總體積 90% |

表 3-2 Decay 壓力設定方法

| 型式 | 方法 | 說明 |
|---|-------------------------|------------------------|
|  | 調整末端區域 調整持續不變壓力 | 縮短，提升體積收縮 變長，降低體積收縮 |
|  | 調整澆口區域 改變壓力 Decay 比率 | 緩慢，降低體積收縮 快速，提升體積收縮 |
|  | 調整中間區域 設定 Decay 比率梯度 | 增大，降低體積收縮 減少，降低體積收縮 |

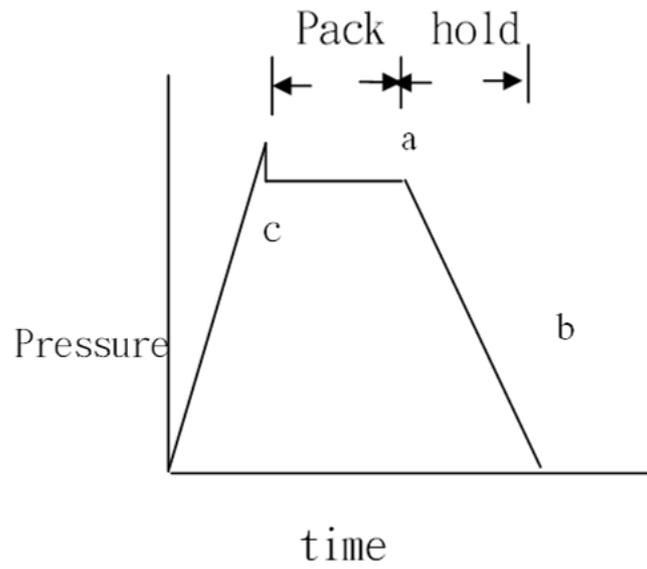


圖 3-1 常見的保壓曲線設定

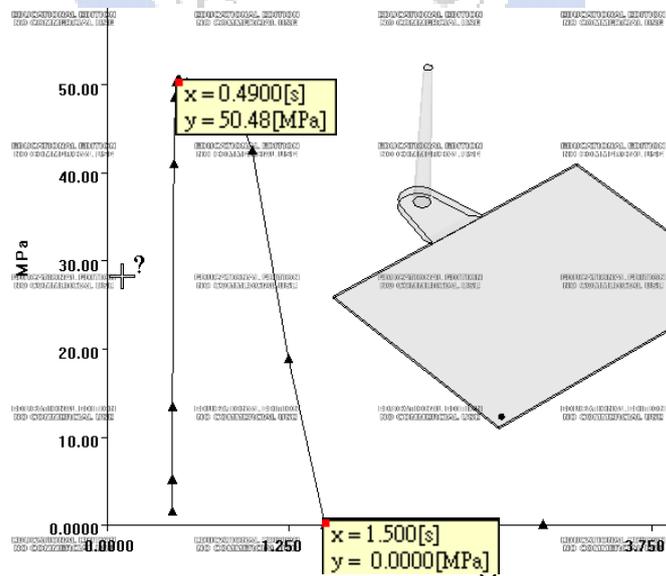


圖 3-2 充填末端壓力曲線

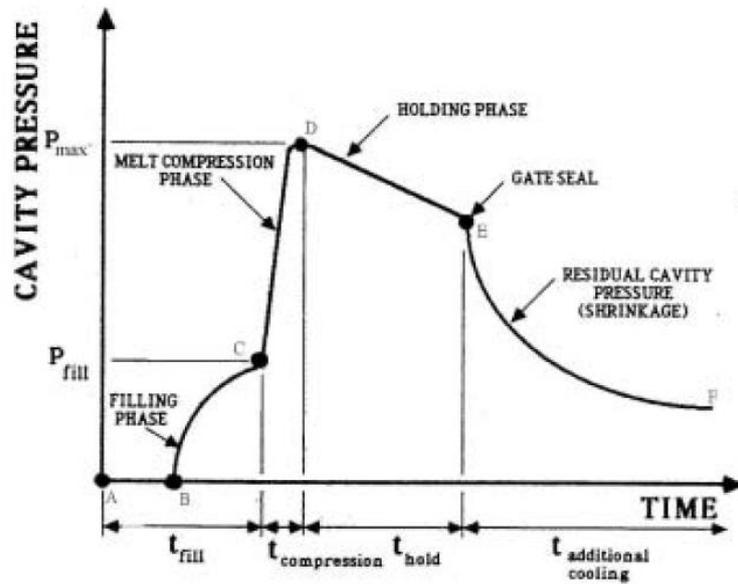


圖 3-3 典型模穴壓力時序曲線

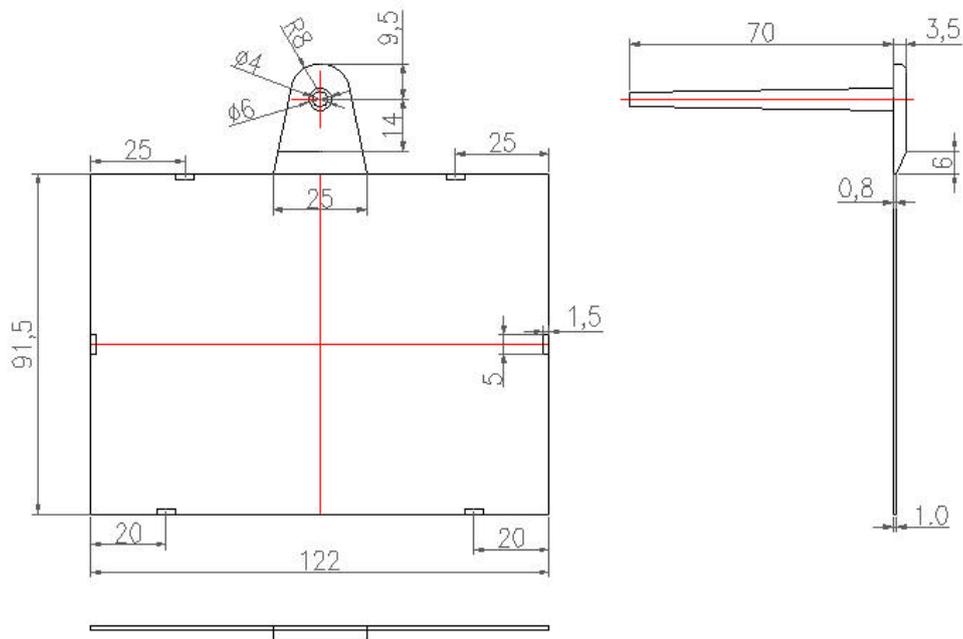


圖 3-4 成品尺寸

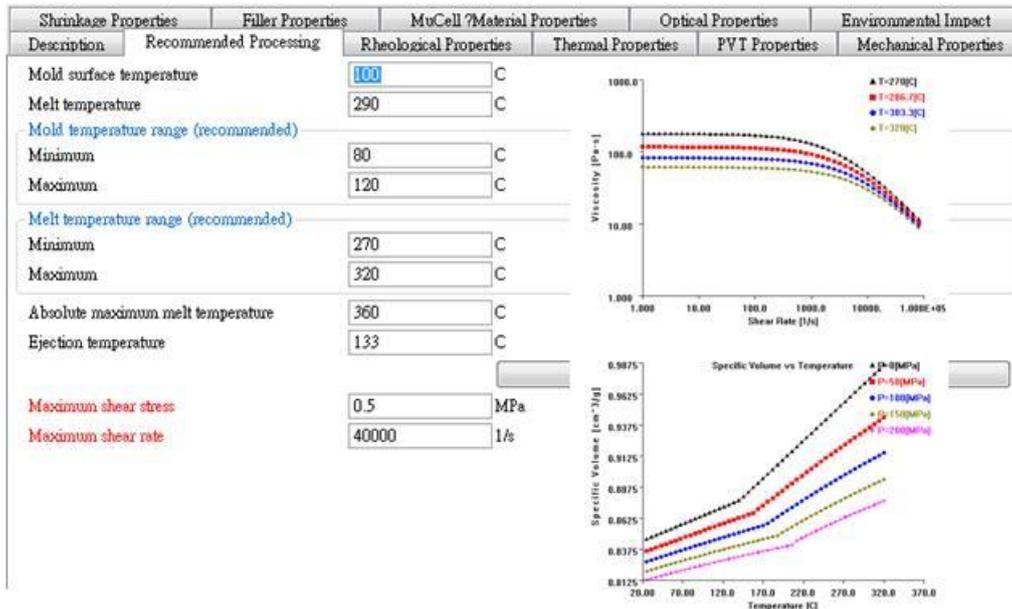


圖 3-5 模流分析塑料物性資料(AD-5503)圖

Injection molding machine [?] [X]

Description **Injection Unit** Hydraulic Unit Clamping Unit

Maximum machine clamp force 60 tonne (0:70002.2)
 Do not exceed maximum clamp force

Maximum machine injection stroke 150 mm (0:5000)
 Maximum machine injection rate 154 cm³/s (0:1e+004)
 Machine screw diameter 35 mm (0:1000)

Machine pressure limit
 Maximum machine injection pressure [v] at 182 MPa [0:500]

Name Arburg 270, 320C

圖 3-6 ARBURG 射出成形機資料

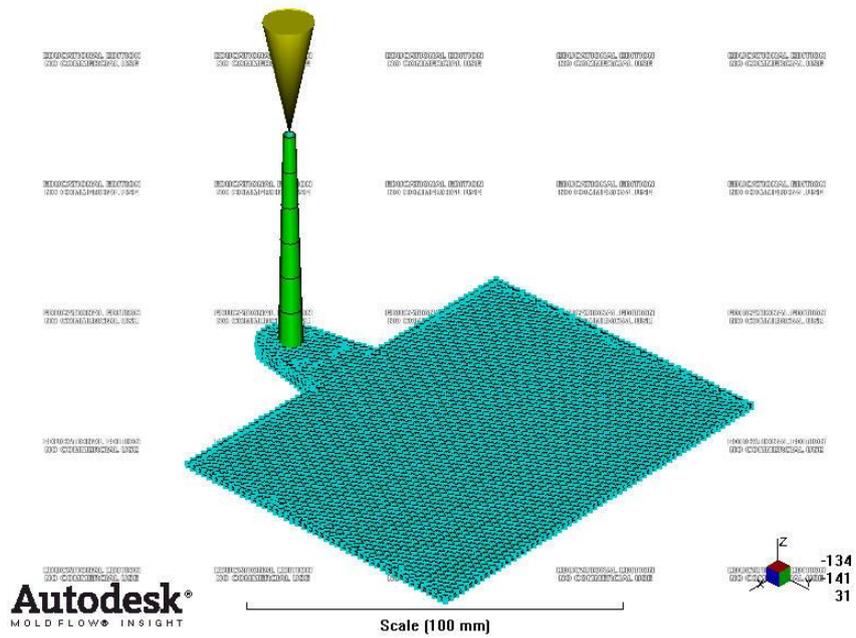


圖 3-7 模流分析的有限元素模型

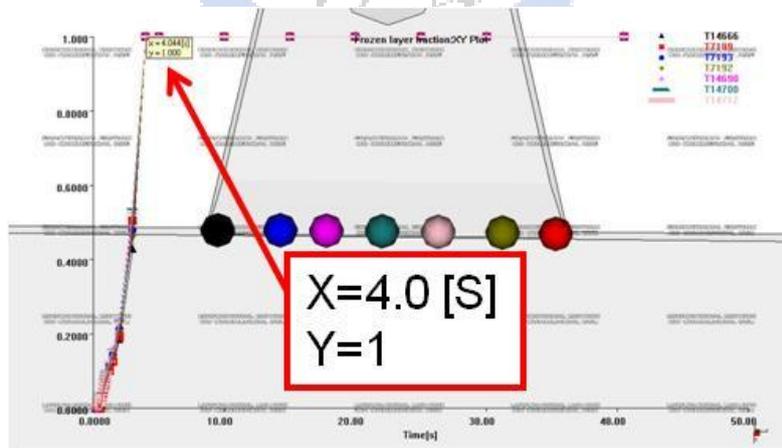


圖 3-8 模擬分析澆口凝固時間

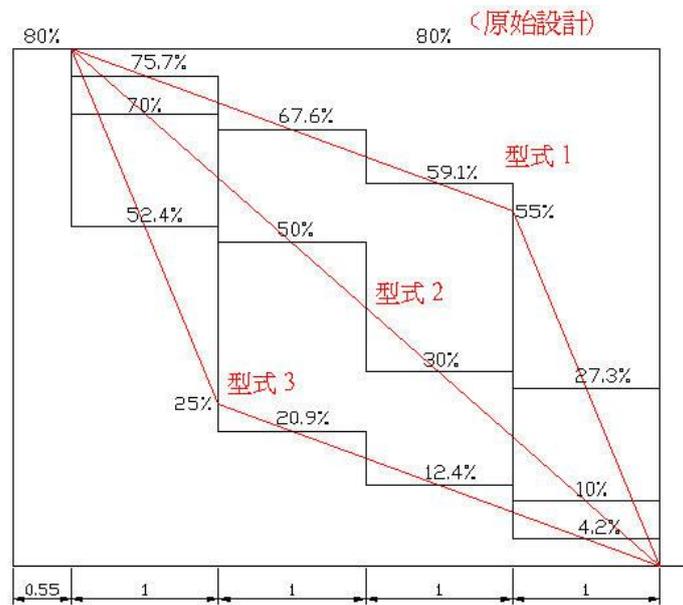


圖 3-9 不同型式的保壓曲線設定

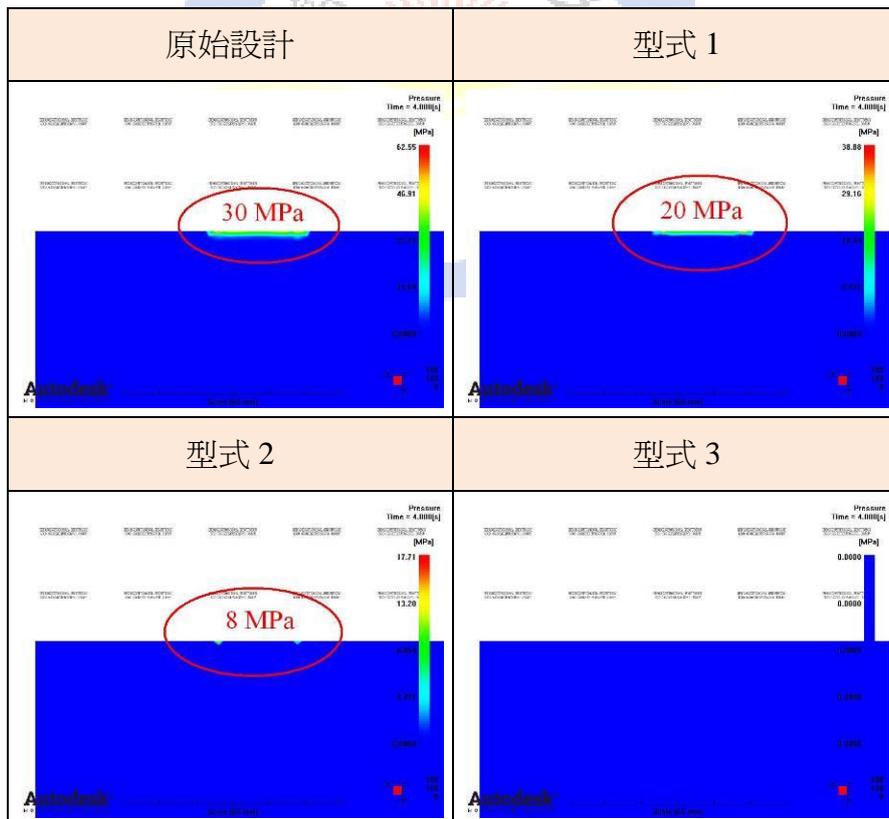


圖 3-10 不同型式近澆口過剩壓力之比較

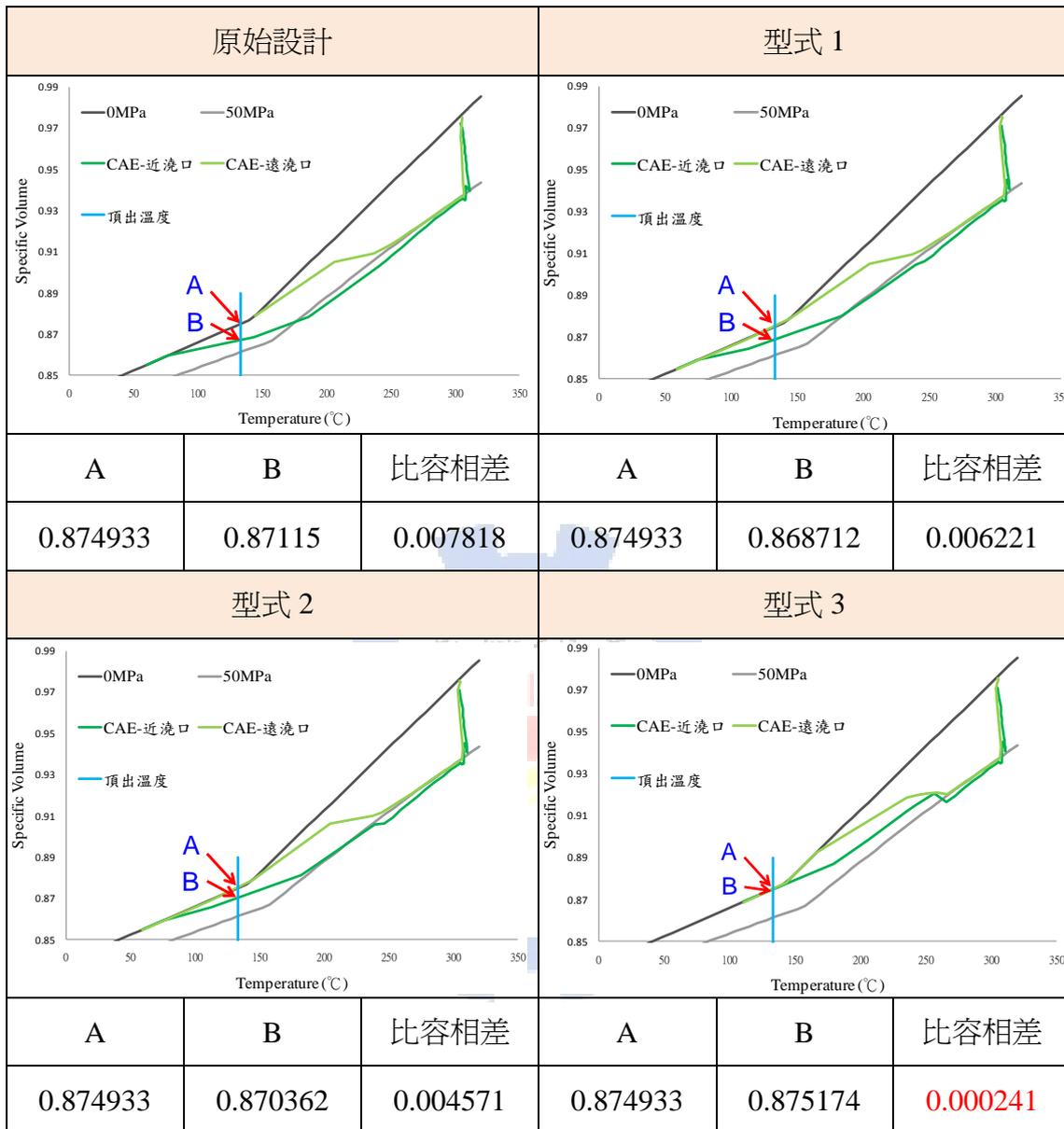
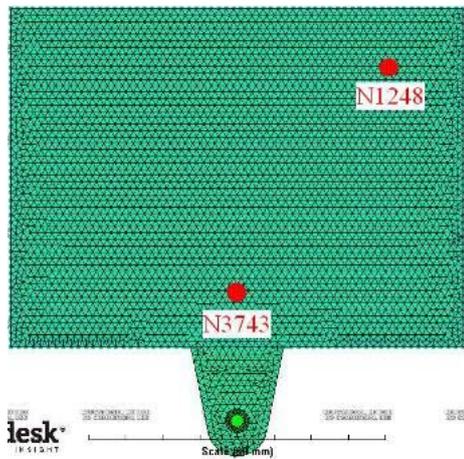


圖 3-11 不同型式比容之差異



(a)CAE 產品模仁



(b)實體產品模仁

圖 3-12 模擬與實際模仁



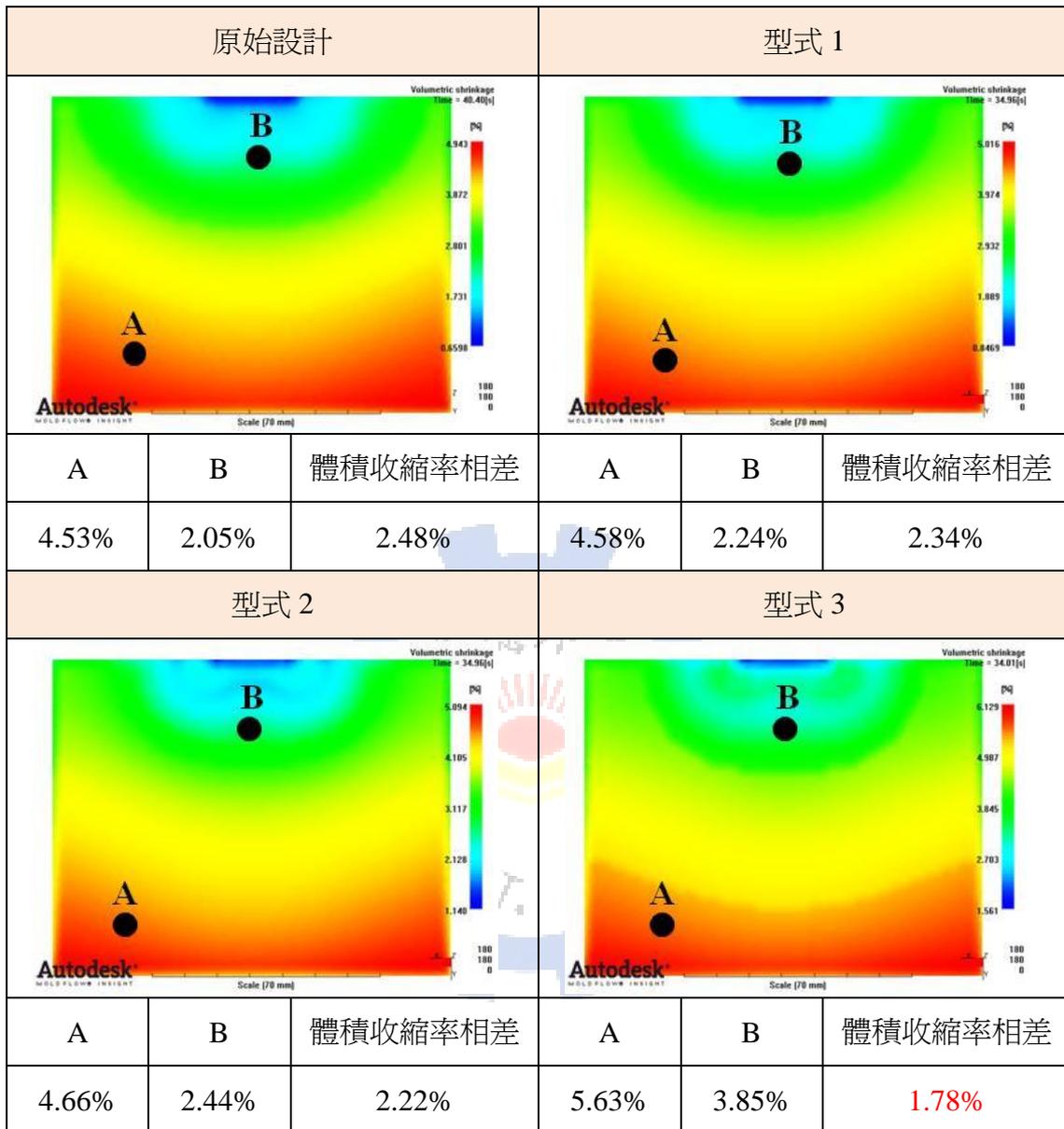


圖 3-13 不同型式收縮之比較

第四章 射出成型實驗與成品檢測

4.1 實驗流程

本文實驗以一 6 吋導光板為例，尺寸為長 122(mm)、寬 91.5(mm)、厚度為 1(mm)。實驗沿用楊明峰[12]所設計的模具以及陳信宏[11]所設計公模板以及安裝位移計的滑塊，實體模具如圖 4-1 所示。在射出成型實驗的製程條件與 MoldFlow 設定相同。實驗步驟如下：

1. 先利用模流分析獲得初步的製程參數。
2. 本實驗模具無安裝冷卻水路系統，因此公模板須射出成形 50~100 模成品後，使模穴表面溫度達到穩定狀態。
3. 接著在實驗過程中並使用數據溫度計控制模穴表面溫度約在 50°C 左右，而模流分析亦將此模穴表面溫度值納入設定，使模擬更接近真實情況，並找出一組較好的保壓曲線。
4. 利用模擬所找到的保壓曲線進行射出成型實驗。
5. 因為模具強度不足的情況下，而模流分析不考慮變形，所以同時觀察模內壓力感測器及位移計，並修改模擬的保壓曲線，而調整出一組較好的保壓曲線。
6. 最後量測導光板 9 點位置的厚度，以及檢測導光板的殘留應力。

4.2. 實驗材料與設備

4.2.1. 實驗材料

在本實驗中，使用的塑膠原料為帝人化工 Panlite-AD5503 光學級聚碳酸酯 (PC)，如圖 4-2 所示，其特性為光穿透率高(90%)，具有良好光學性質及材料穩定性佳等特質，其基本性質如表 4-1 所示。在進行射出成形實驗前，須先將塑料充分烘乾，避免因水氣殘留於塑膠原料內，而造成導光板在射出成形後有氣泡產生。此光學級聚碳酸酯的乾燥溫度為 120°C，乾燥時間為 4~8 小時，因 PC 的吸濕性較高，乾燥需注意到環境溼度，才能達到好的乾燥效果。而其成型的塑料溫度為 270~320°C，塑料溫度不可過高或在料管內停留太久，否則會引起熱分解使塑料變黃，影響導光板的物理性質。

4.2.2. 實驗設備

1. 射出成形機

本實驗所使用的射出成形機為德國 ARBURG 公司所製造，其型號為 All Rounder 320C，射出機外觀如圖 4-3 所示。此射出成形機為高度自動化設備，具閉迴路之控制系統，使用者可藉由電腦視窗來編輯成形參數與循環程序，意即能夠直接調整射出壓力、射出速度、塑料溫度、螺桿計量位置、鎖模力、保壓壓力、保壓時間、冷卻時間等成形參數，並可編輯動作延遲時間，以達到穩定的塑化效果與精確的計量。其鎖模裝置是採用全液壓鎖模系統，最大鎖模力為 60 噸，其鎖模動作可分成多段來編程調控，使合模動作順暢且不導致模具損壞，且此射出成形機具備射出壓縮功能，可

將射出壓縮功能編輯到循環程序中進行射出壓縮成形，其詳細規格如表 4-2 所示。

2. 公模板與治具的選用

爲了觀察在模板會發生變形的狀態下，模具變形與模內壓力關係，進一步改善因模具變形回彈現象所造成導光板的厚度不均，本研究依楊明峰 [12] 設計的模具及依照 2.5 節的設計公式，原本公模板厚度至少要選用 51mm 以上，但本文主要研究模具變形回彈對產品的影響，所以選用了陳信宏 [11] 設計較薄的公模板 (35mm) 以及治具安裝位移計，如圖 4-4、4-5 所示，文獻 [11] 中提及，礙於頂針位置無法量測公模板最大變形位置 (模穴中心)，但經由模擬發現，在圖 4-6 中的感測點位置與最大變形量相差不遠，故採用此點做爲模板最大變形的依據。

3. 模內壓力感測裝置

本實驗所使用的模內壓力感測裝置爲瑞典 PRIAMUS 公司所製造的壓電式感測器，型號爲 6001B，其外觀與尺寸如圖 4-7 與圖 4-8 所示。由於成形過程的壓力極高，感測器須能夠承受高溫高壓，因此本實驗選用壓力量測範圍 0~2000bar、熔膠溫度範圍 0~450°C 及模具溫度範圍 0~200°C 的壓電式壓力感測器，其詳細規格如表 4-3 所示。

4. 位移感測裝置

爲了量測公模板在開模方向的變形量，加上感測位置、溫度、精度等考量，本實驗選用 KEYENCE 所製造的渦電流式計量感測器 EX-200 系列，其中感測頭和控制器分別選用 EX-110 和 EX-202，如圖 4-9 所示。並搭配 NATIONAL INSTRUMENTS (NI) 的 USB-6211 資料擷取器，如圖 4-10 所

示。利用 NI 軟體 LabVIEW SignalExpress 3.0 擷取並顯示模具變形的數值。詳細規格分別如表 4-4 和表 4-5 所示。

5. 數字溫度計

本實驗因使用較容易變形的公模板，所以無法建立冷卻水路系統，因此需使用數字溫度計控制模穴表面溫度，並且將實際量測的模穴表面溫度值輸入模流分析軟體，使分析結果更趨近於射出成形實驗。數字溫度計為廣華電子生產，其外觀如圖 4-11 所示，詳細規格如表 4-6 所示。

6. 外徑分厘卡

本實驗量測導光板厚度是使用 Mitutoyo 112-153 的尖頭式外徑分厘卡，其量測範圍 0-25mm，精度達 0.01mm，量測頭尖端的角度為 15°，其外觀如圖 4-12 所示。

7. 精密電子天秤

本實驗量測導光板重量是使用 METTER TOLEDO AG135，其量測範圍 0~101g，精度達 0.0001g，其外觀如圖 4-13 所示。

8. 光測彈性力學儀

本實驗是使用光彈儀檢測導光板上的應力分佈情況，並比較不同條件下導光板殘留應力的分佈，其原理是外力作用下，會產生雙折射的透明材料製作光彈性模型，在偏振光場中，導光板在載荷作用下，能觀察到反映主應力差的干涉條紋，這些條紋和導光板的應力分佈有關，這就是光彈效應，這種技術可讓我們得到全場應力分佈情形、主應力方向、應力集中點及可計算出各點的應力大小，也可直接得到邊界應力，其外觀如圖 4-14 所示。

4.3 導光板檢測

將不同條件下所射出成形的導光板，分別取五個樣品，取樣後放置在常溫下靜置 12 個小時待其性質穩定之後才開始進行量測的動作。利用外徑分厘卡量測導光板 9 點位置的厚度，如圖 4-15 所示。並比較不同條件下導光板厚度變化趨勢；此外，利用光彈儀觀察不同形式下的保壓壓力對於公模板在變形後回彈後，對導光板殘留應力的影響。

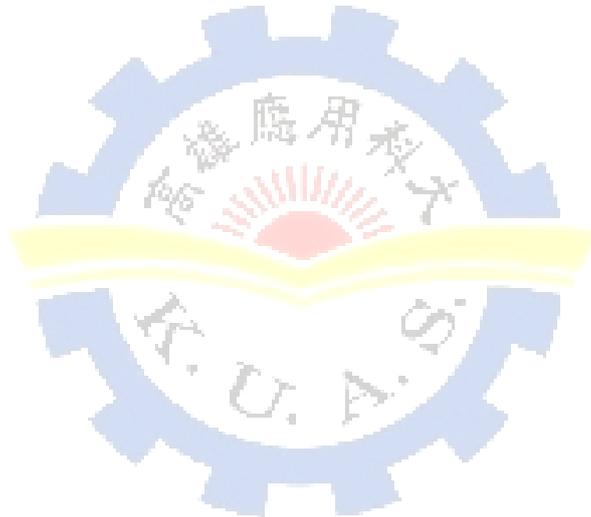


表 4-1 Panlite-AD5503 光學級導光板級聚碳酸酯(PC)物性表

| 特性 | 試驗方法 | 單位 | 測試條件 | 光學用 |
|-------------|-------------------------------|------------------------|--------------------|------------|
| | | | | AD-5503 |
| 熔融體積流量 | ISO 1133 | cm ³ /10min | 300°C 負荷 1.2kg | 54 |
| 密度 | ISO 1183 | kg/m ³ | - | 1200 |
| 吸水率 | ISO 62 | % | 放置在 23°C 水中 24h | 0.2 |
| 透光率 | ASYM D1003 | % | 試樣厚度 3mm | 90 |
| 折射率 | ASYM D542 | - | - | 1.585 |
| 拉伸模量 | ISO 527-1 and ISO 527-2 | MPa | 1mm/min | 2450 |
| 拉伸屈服應力 | | MPa | 50mm/min | 63 |
| 拉伸屈服伸長率 | | % | 50mm/min | 6 |
| 拉伸斷裂伸長率 | | % | 50mm/min | > 50 |
| 彎曲模量 | ISO 178 | MPa | 2mm/min | 2400 |
| 彎曲強度 | | MPa | 2mm/min | 96 |
| 懸臂梁 衝擊強度 | ISO 179 | KJ/m ² | 沒缺口 | NB |
| | | | 帶缺口 | 3 |
| 熱撓曲 溫度 | ISO 75-1 and ISO 75-2 | °C | 1.80MPa | 124 |
| | | | 0.45MPa | 138 |
| 維卡特軟化點 | ISO 306 | °C | 50°C/h 50N | 143 |
| 成形 收縮率 | 本公司的 測定法 | % | 平行方向 | 0.5~0.7 |
| | | | 垂直方向 | 0.5~0.7 |
| 線膨脹 系數 | x10 ⁻⁴ /°C | ISO 11359-2 | 平行方向 | 0.7 |
| | | | 垂直方向 | 0.7 |
| 成形條件 | 乾燥條件 | °C & hr. | | 80~100&4~6 |
| | 成形溫度 | °C | | 260~300 |
| | 模具溫度 | °C | | 80~120 |

表 4-2 ARBURG All Rounder 320C 射出成形機規格表

| 裝置項目 | 單位 | ARBURG 320C |
|-----------|----------------------|-------------|
| 合模裝置 | | |
| 合模方式 | | 全液壓鎖模系統 |
| 最大合模力 | ton | 60 |
| 開模行程 | mm | 350 |
| 拉桿淨距 | mm | 320×320 |
| 裝模板面(寬×高) | mm | 446×446 |
| 模板間距 | mm | 550 |
| 最小模具厚度 | mm | 200 |
| 頂針前頂力 | kN | 30 |
| 頂針行程 | mm | 125 |
| 注射裝置 | | |
| 螺桿直徑 | mm | 35 |
| 螺桿行程 | mm | 150 |
| 螺桿行程 | mm | 150 |
| 理論注射量 | cm ³ | 144 |
| 最大射出壓力 | bar | 1820 |
| 最大射出速度 | mm/sec | 160 |
| 射出率 | cm ³ /sec | 154 |
| 溫度控制區數 | | 5 |
| 最大射台平移距離 | mm | 120 |

表 4-3 壓力感測器技術規格表

| 項目 | 單位 | PRIAMUS 6001B |
|---|--------|------------------------------|
| Measuring Range | bar | 0...2000 |
| Overload | bar | 2500 |
| Sensitivity | pC/bar | Ca. - 10 |
| Maximum Melt Temperature (Plastics) in the Cavity | °C | no limitation |
| Maximum Mold Temperature | °C | 200 |
| Deviation of Linearity | % | < ±1 |
| Natural Frequency | kHz | > 80 |
| Insulation Resistance | Ω | > 10 ¹³ (at 20°C) |

表 4-4 KEYENCE 渦電流式計量感測器規格

| | | |
|--------|------|---|
| 型式 | | 螺紋型 |
| | | M10 |
| 型號 | 感測頭 | EX-110 |
| | 控制器 | EX-202 |
| 量測距離 | | 0 至 2 mm |
| 類比輸出 | 輸出電壓 | 0 至 5 V (輸出阻抗：100 Ω) |
| | 輸出電流 | 4 至 20 mA (可加的負載：0 至 350 Ω) |
| | 解析度 | F.S. 的 0.04% (反應頻率：低) |
| | 線性度 | F.S. 的±1% |
| | 反應頻率 | 高 |
| 低 | | 1.3 kHz (-3 dB) |
| 斷線警報輸出 | | NPN 開集極：最多 100mA(40 V)，殘餘電壓：最多 1 V (N.C.) |
| 功能 | | 自動歸零功能／反應頻率選擇功能 |
| 溫度浮動 | 感測頭 | F.S. 的 0.03%/°C |
| | 控制器 | F.S. 的 0.04%/°C |
| 電源電壓 | | 12 至 24 VDC±10% |
| 消耗電流 | | 最多 240 mA |
| 環境溫度 | 感測頭 | -10 至 +60°C (14 至 104°F)，無凍結 |
| | 控制器 | 0 至 +50°C (32 至 122°F)，無凍結 |
| 相對溼度 | | 35 至 85%，無凝結 |
| 保護等級 | | 感測頭：IP-67 |
| 重量 | 感測頭 | 大約 55 g |
| | 控制器 | 大約 285 g |

表 4-5 NI USB-6211 資料擷取卡規格

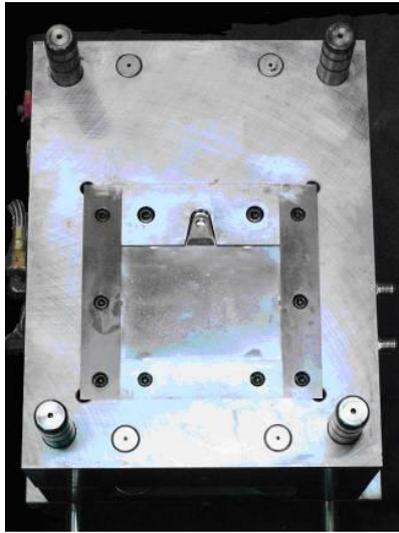
| 通用 | |
|----------|------------------------|
| 外觀尺寸 | USB |
| OS 支援 | Windows, Linux, Mac OS |
| 量測類型 | 相位差編碼, 伏特 |
| DAQ 系列產品 | M 系列 |
| 類比輸入 | |
| 通道數量 | 16 SE/8 DI |
| 取樣速率 | 250 kS/s |
| 解析度 | 16 bits |
| 同步取樣 | 否 |
| 最大電壓範圍 | -10..10 V |
| 範圍準確度 | 2.69 mV |
| 範圍敏感度 | 91.6 μ V |
| 最小電壓範圍 | -200..200 mV |
| 範圍準確度 | 0.088 mV |
| 範圍敏感度 | 4.8 μ V |
| 輸入範圍數量 | 4 |
| 內建記憶體 | 4095 樣本 |
| 類比輸出 | |
| 通道數量 | 2 |
| 更新速率 | 250 kS/s |
| 解析度 | 16 bits |
| 最大電壓範圍 | -10..10 V |
| 範圍準確度 | 3.512 mV |
| 最小電壓範圍 | -10..10 V |

| | |
|--------------|-------------|
| 範圍準確度 | 3.512 mV |
| 電流驅動(通道數/總數) | 2 mA/4 mA |
| 數位 I/O | |
| 通道數量 | 4 DI/4 DO |
| 時脈 | 軟體 |
| 邏輯準位 | TTL |
| 最大輸入範圍 | 0..3.8 V |
| 最大輸出範圍 | 0..5.25 V |
| 輸入電流 | 汲極 |
| 可程式化輸入濾波器 | 否 |
| 輸出電流 | 源極 |
| 電流驅動(通道數/總數) | 16 mA/50 mA |
| 監視計時器 | 否 |
| 支援可程式化的啟動狀態? | 否 |
| 支援訊號交換 I/O? | 否 |
| 支援圖形 I/O? | 否 |
| 計數器/計時器 | |
| 計數器/計時器數量 | 2 |
| 解析度 | 32 bits |
| 最大源極頻率 | 80 MHz |
| 邏輯準位 | TTL |
| 最大範圍 | 0..5.25 V |
| 時基穩定度 | 50 ppm |
| GPS 同步化 | 否 |
| 脈衝產生 | 是 |
| 緩衝作業 | 是 |
| 彈跳/突波移除 | 是 |

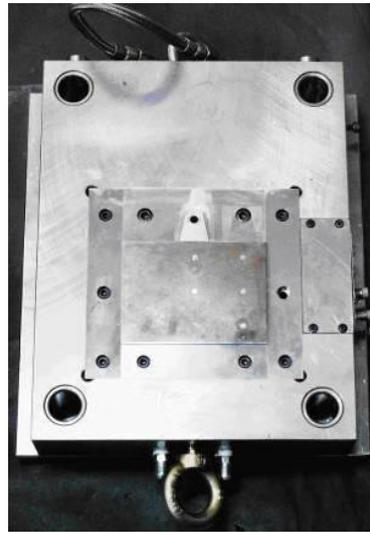
| 時序/觸發/同步化 | |
|-----------|---------|
| 觸發 | 數位 |
| 產品規格 | |
| 長度 | 16.9 cm |
| 寬度 | 9.4 cm |
| 高度 | 3.1 cm |
| I/O 接頭 | 螺絲固定端點 |

表 4-6 數字溫度計規格

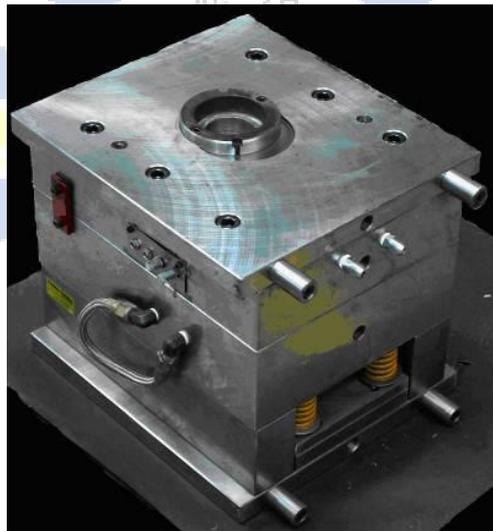
| | DE-3003 (Type K) |
|---------------------|-------------------------------|
| Measurement range | -50°C~1300°C or -50°C~199.9°C |
| Resolution | 0.1°C or 0.1°F, 1°C or 1°F |
| Input protection | 60V DC or 24Vrms AC max. |
| Sampling rate | 2.5 times/sec. |
| Low batt. indicator | Yes |
| Overload indicator | Yes |



(a) 公模



(b) 母模



(c) 模具組立圖

圖 4-1 實體模具圖



圖 4-2 實驗之 PC 塑料(Panlite AD-5503)



圖 4-3 ARBURG 320C 射出成形機



圖 4-4 T=35mm 實體公模板圖

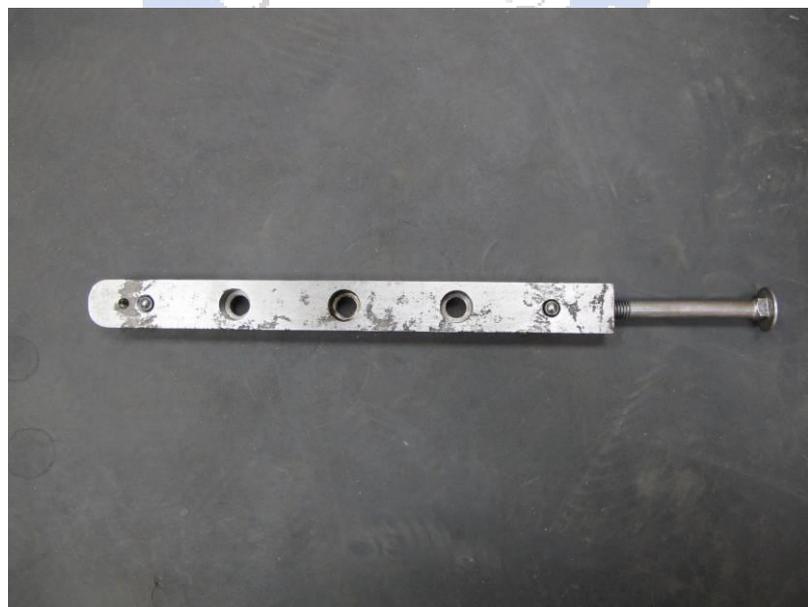
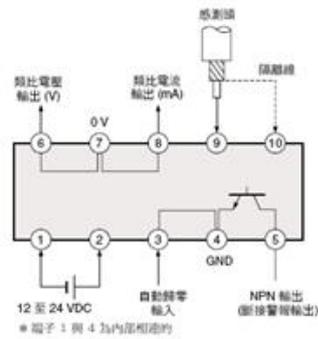


圖 4-5 位移計治具滑塊

控制器 EX-200



感測頭 EX-110

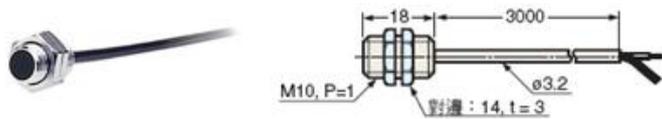


圖 4-9 KEYENCE 渦電流式計量感測器



圖 4-10 NI USB-6211 資料擷取卡



圖 4-11 數字溫度計



圖 4-12 外徑分厘卡



圖 4-13 精密電子天秤(METTER TOLEDO AG135)

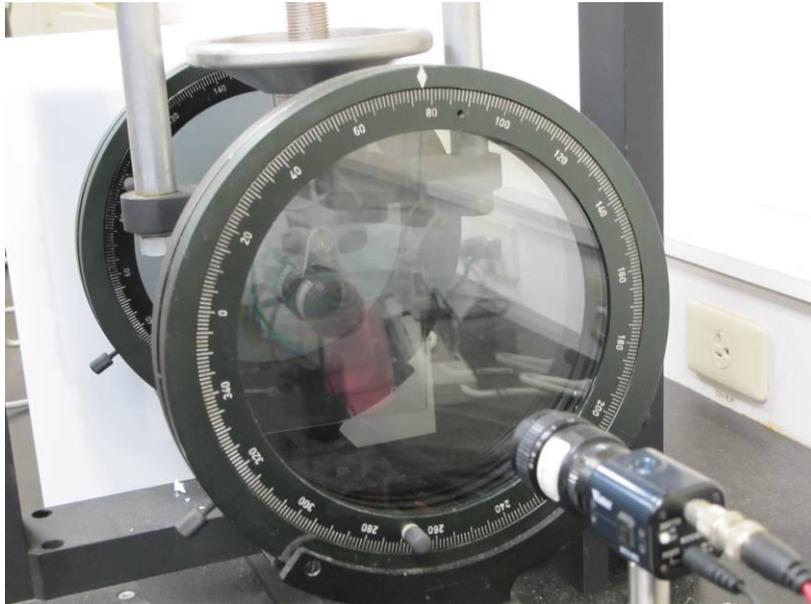


圖 4-14 光測彈性力學儀

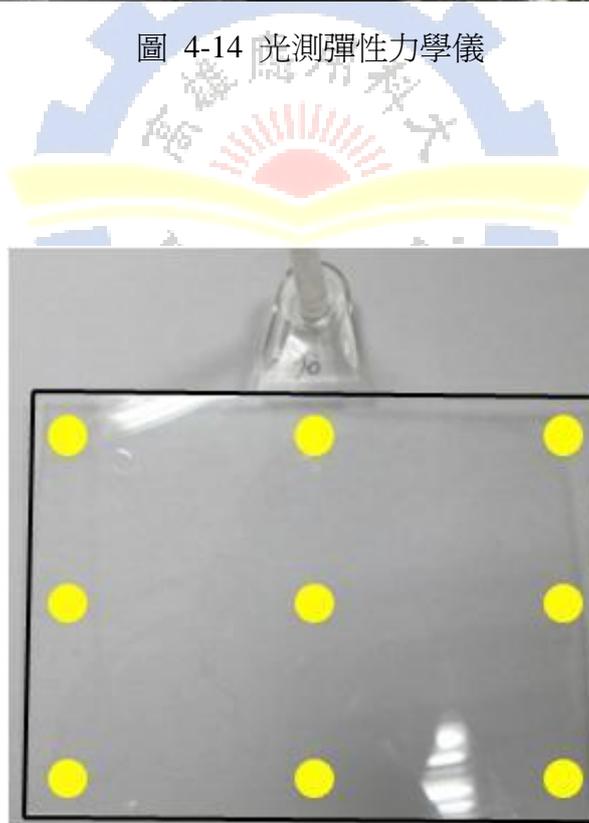


圖 4-15 量測成品厚度的 9 點位置

第五章 結果與討論

本章節將針對保壓曲線-壓縮段(Pack)與持壓段(Hold)的不同設計，對產品厚度、重量以及殘留應力的影響，並同時觀察模內壓力感測器與位移計，找出在模具強度不足的情況下，保壓曲線的最佳化設計。

5.1 保壓大小對產品厚度的影響

首先以壓縮段做為控制變數，如表 5-1 所示，藉由控制壓縮段壓力大小，來探討對產品的影響。實驗中發現，當壓縮段的壓力不斷提高時，產品的厚度跟重量也會跟著增加，如圖 5-1 所示，同時模內壓力與位移計所量測的壓力及位移也跟著壓力大小而改變，如圖 5-2 所示，因為保壓壓力從 50% 升高至 70%，模板的變形量也跟著增加，由 0.35mm 增加到 0.55mm，在 70% 保壓壓力會使模板變形達到最大，而模穴體積也隨之增加。

5.2 保壓時間對產品重量的影響

而後根據上述實驗得知，壓縮段的大小是影響產品厚度與重量的主要因素，那麼也可能因為產品厚度變厚，而使澆口凝固時間增加，所以接下來針對時間做改變進行認證實驗，確認是否因為模具變形而使模穴體積增加，而讓澆口凝固時間變長，實驗參數如表 5-2 所示，取樣到的產品放置在常溫下 12 小時待其性質穩定之後才開始進行量測的動作，結果如圖 5-3~5-5 所示，保壓壓力 50%、60%、70% 可以清楚發現，重量在 4sec(50%)、4sec(60%)、5sec(70%) 時，產品重量達到一個定值，同時也可以驗證在 CAE 模擬的澆口凝固時間，如圖 3-8 所示，而 70% 的保

壓壓力模具變形較大，影響了澆口凝固的時間。

從模內壓力感測器的變化來評估澆口的凝固時間，如圖 5-6 所示，紅圈處可看出在澆口凝固時，模板就沒有回彈的現象，因為澆口未凝固，會有逆流的現象發生，逆流的現象會使模板瞬間回彈，加上熔膠此時還未凝固，是一種彈性體會受壓縮，而造成壓力感測器有凸起現象。從圖中也可以發現，保壓作用後的回彈現象，只會出現在澆口附近，遠離澆口則無，也可證明保壓壓力對產品末端較沒有效果。

5.3 最佳保壓曲線調整

本實驗主要在探討保壓壓力的設定對於模具變形的影響，模內壓力感測主要是在近澆口處與遠澆口處安裝壓力感測器，如圖 5-7 所示，感測射出成形過程中的壓力變化，以下分別對保壓壓力的設計及研究結果：

1. 依照前一節的實驗結果，因為有模板變形關係，所以變更模擬的保壓曲線，50%保壓壓力與原始產品設計尺寸較為相近，因此將保壓曲線第一段改為 50%，持壓(Hold)部分依照比例降低，如圖 5-8(a)所示；保壓的時間跟比模擬的時間多 1sec，因為在 50%時，澆口凝固時間為 4sec，實驗結果如圖 5-9 所示，從產品厚度來看，雖然已達到前後澆口的厚度差異不大，但模板變形還是太大，造成產品厚度大於原本設計尺寸，中間厚度比周圍來的厚，因保壓的段數過多，會讓過多的壓力在模穴裡，使模板變形，產品厚度過厚，而從模擬與實際模穴內壓力比較可以發現，模擬在保壓結束時，模穴壓力已歸零，如圖 5-10 所示，但是實際量測模穴內壓力仍然一直有壓力存在，而如位移計所量測值，由 0.34mm 到 0.28mm，代表模板有回彈壓縮產

品而造成壓力持續至開模。

2. 型式一因為模穴裡有過多的壓力，所以將保壓段數減少，如圖 5-8(b)所示，從實驗結果如圖 5-11 所示，讓模穴內的壓力降低，減少持續在模穴的壓力，有稍改善產品厚度，其他結果也如同型式一。
3. 從型式二的實驗結果發現，改變持壓段的壓力型式，只能微微改變產品厚度，因為壓力在模穴內的時間持續至澆口凝固，其他則無太大的變化。
4. 以型式三的保壓結果，如圖 5-12 所示，所以將保壓時間縮短，讓壓力迅速釋放，如型式三圖 5-8(c)所示。縮短保壓時間，減少持續在模穴內的壓力時間，在產品末端有流動的痕跡，如圖 5-13 所示，類似模板壓縮熔膠，使產品充填完整；從模內壓力感測器也可明顯發現模板回彈壓縮產品，使壓力值變大。

5.4 保壓壓力對模板變形之比較

從以上實驗結果比較，模板因為保壓壓力的不同而造成的變形量也不同，隨著保壓壓力由 50% 增加致 70%，模板變形量也從最大變形量 0.35mm 增加致 0.54mm，如圖 5-14 所示，因此模板的變形量會因保壓壓力的增加而增加；而不同型式的保壓壓力也會造成模板變形，如圖 5-15 所示，型式一與型式二因為保壓的時間相同，所以模板的變形也較一致，而型式三的保壓，因為在澆口還沒凝固前，就將保壓壓力終止，使得模穴內壓力較低，所造成的模板變形也較少；但隨著熔膠的凝固，模穴壓力逐漸降低，模板有回彈現象，這也證明公模板回彈給成品一個壓縮力量。

在其他製程參數中的位移變形，模具變形不是只發生熔膠進入模穴的過程

中，一開始合模時，位移感測器也會量測到些許的變形 0.024~0.025mm，如圖 5-14、5-15 紅圈處所示。

圖 5-16 為不同保壓壓力在模穴內的歷程，隨著保壓壓力增大，遠澆口的壓力感測器所量測的壓力也逐漸增加；保壓壓力 50%時，壓力較小，模板的變形量也較小，壓力傳達不到產品末端，所以由圖 5-16 可看出在 50%時，前後澆口壓力差異較大；70%的保壓壓力會有明顯的轉折現象，因為模具被撐開，模穴體積增加，讓塑料更好流動，所以感測到的壓力在 390 bar 過後會緩緩升高，而因模具被撐開，讓模穴內的壓力更加容易傳遞，所以當壓力逐漸提高，近澆口與遠澆口的壓力也較一致。

從模擬與實際實驗對應於材料 PVT 圖，如圖 5-17 所示，因為模板變形而回彈，壓縮產品，造成模內壓力一直都存在，一直到開模頂出為止，這是因為模擬把模具視為剛體，所以不會因射出壓力而變形，但實際模具並非剛體，故在射出成形時會因成形壓力而使得模板產生變形。

5.5 成品檢測

5.5.1. 產品厚度

依上述實驗，藉由同步觀察模穴壓力和位移計所調整的保壓對產品厚度結果來看，對這個產品而言，型式三設計的保壓曲線為較好的保壓曲線，如表 5-3 所示，因為平均厚度最接近 1 而標準差及均勻性最接近 0。

位移計所感測在保壓壓力 50%、60% 冷卻階段時的變形，是與產品平均厚度相符的，依照位移計所量測到的模板變形來看，在 70% 保壓壓力，模穴設計為 1mm，變形量為 0.547mm，產品厚度應為 1.547mm，平均厚度為 1.608mm，可證明模板

不只有變形也有被撐開，或者是在開模後的塑品膨脹。

5.5.2. 殘留應力

從產品殘留應力來看，圖 5-18 為產品殘留應力量測示意圖，因為導光板為對稱型產品，所以取一半來看澆口附近的殘留應力，分別針對不同保壓壓力以及不同型式的保壓做為量測，量測值如表 5-4 所示，量測樣品如圖 5-19 所示；由表 5-4 可發現，保壓曲線壓縮(Pack)壓力的大小對於產品的殘留應力變化會隨著保壓壓力的增加，澆口附近的應力也會跟這增加。

表 5-4 可得知型式一與型式二的保壓，雖然對於產品厚度上沒有明顯的變化，但在殘留應力上，型式二卻比型式一在澆口附近高，因為型式二的保壓末端採取類似持續一壓力作用於產品，讓壓力維持在一定值的狀態。型式三的保壓，因模板回彈壓縮產品，而使殘留應力提高，從圖 5-20 模擬的體積收縮及澆口凝固層來看，保壓 1.55sec 是在澆口還未凝固，將保壓終止，而近澆口也逆流的現象，如圖 5-20(a)所示，因逆流而使模板回彈壓縮模穴內未凝固的熔膠，使熔膠的分子鏈互相拉扯，所產生較高的應力。

由表 5-4 也可發現，100mm 的公模板，因為模具強度較強，在射出成形時，模板較沒有變形，所需充填壓力較高，所以應力值會比其他的製程參數還來的高，而從圖 5-19 可以看出，在 100mm 的公模板，產品內部的殘留應力條紋較有層次也較明顯。

表 5-1 壓縮段壓力控制變數

| | | | |
|------------|------|----|----|
| 保壓型式(%) | 50 | 60 | 70 |
| 壓縮段時間(sec) | 0.55 | | |

表 5-2 保壓時間控制變數

| 保壓壓力(%) | 保壓時間(sec) |
|---------|-----------|
| 50 | 1~7 |
| 60 | 1~7 |
| 70 | 1~8 |

表 5-3 產品厚度比較

| 保壓型式 | 平均厚度 | 標準差 | 均勻性 |
|------|--------------|---------------|---------------|
| 型式一 | 1.269 | 0.0886 | 0.0835 |
| 型式二 | 1.236 | 0.0882 | 0.0832 |
| 型式三 | 1.131 | 0.0613 | 0.0578 |

表 5-4 殘留應力量測結果

| Gate | | 50%(型式一) | | | | 平均值 |
|------|------|----------|------|------|------|------|
| 3.9 | 4.6 | 7.1 | 7 | 7 | 6.3 | 6.12 |
| 5.8 | 6.2 | 6.4 | 6.6 | 6.4 | 5.4 | |
| 7.1 | 6.2 | 6.2 | 6.3 | 6.2 | 6 | |
| 8 | 6.6 | 6.3 | 5.8 | 5.5 | 5.5 | |
| 7.4 | 6.5 | 6.1 | 5.4 | 5.1 | 4.7 | |
| Gate | | 60% | | | | 平均值 |
| 4 | 3.6 | 7.1 | 6.9 | 6.9 | 6.8 | 6.31 |
| 8.7 | 6 | 6.5 | 6.4 | 6.5 | 6.4 | |
| 7.3 | 6.4 | 6 | 6.2 | 6.1 | 5.8 | |
| 9 | 7.3 | 6.4 | 5.4 | 5.5 | 5.5 | |
| 8.8 | 7.1 | 6.2 | 5.3 | 4.6 | 4.6 | |
| Gate | | 70% | | | | 平均值 |
| 8.3 | 8.7 | 3 | 2.8 | 4.1 | 2.8 | 7.43 |
| 8.8 | 8.9 | 9.4 | 9.7 | 6.5 | 6.4 | |
| 8.5 | 7.8 | 9.6 | 9.5 | 6.5 | 6.4 | |
| 9.2 | 8.9 | 10.1 | 7.7 | 6.4 | 6 | |
| 9.8 | 10.2 | 8.4 | 7 | 6.2 | 5.3 | |
| Gate | | 50%(型式二) | | | | 平均值 |
| 3.6 | 3.4 | 3 | 7 | 6.8 | 6.7 | 6.26 |
| 8.5 | 6.2 | 6.3 | 5.8 | 6.3 | 6 | |
| 9.6 | 6.8 | 5.8 | 6.2 | 6.2 | 6.1 | |
| 9.7 | 6.6 | 5.7 | 6 | 5.8 | 5.8 | |
| 9.2 | 6.5 | 5.6 | 5.8 | 5.7 | 5.1 | |
| Gate | | 50%(型式三) | | | | 平均值 |
| 5.1 | 2.8 | 7.9 | 8.2 | 8.2 | 9 | 8.19 |
| 6.9 | 7.8 | 8.1 | 8.7 | 8.7 | 10.1 | |
| 7.3 | 7.7 | 8 | 9.1 | 9.8 | 10.3 | |
| 6.5 | 6.5 | 7.3 | 9.4 | 10.1 | 10.2 | |
| 5.8 | 7.2 | 9.4 | 10.2 | 10.3 | 9.2 | |
| Gate | | 100 mm | | | | 平均值 |
| 7.7 | 8.1 | 8.3 | 8.7 | 10 | 5.6 | 8.10 |
| 7.4 | 7.3 | 7.7 | 8.2 | 8.3 | 8.7 | |
| 7.1 | 7.3 | 7 | 8.2 | 9.2 | 9.3 | |
| 7 | 6.7 | 7.8 | 8.9 | 9.3 | 9.7 | |
| 6.7 | 6.5 | 8.1 | 9 | 9.6 | 9.5 | |

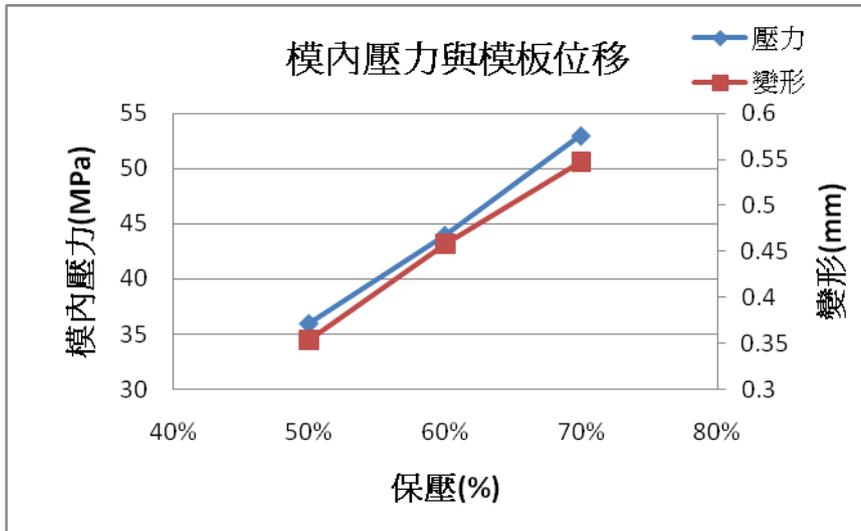


圖 5-1 厚度、重量與保壓關係

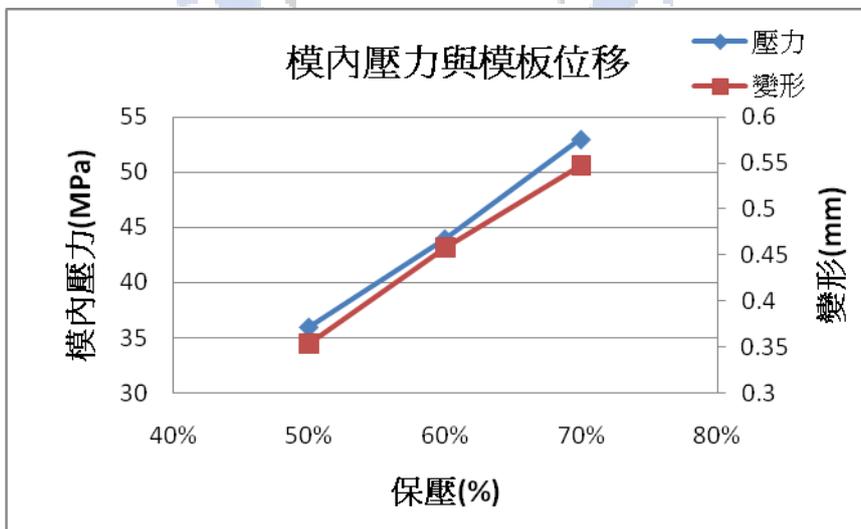
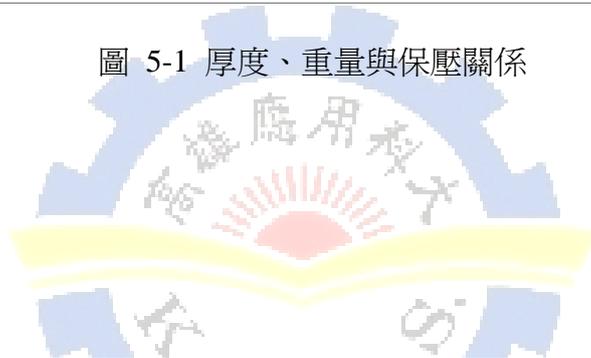


圖 5-2 模內壓力、模板位移與保壓關係

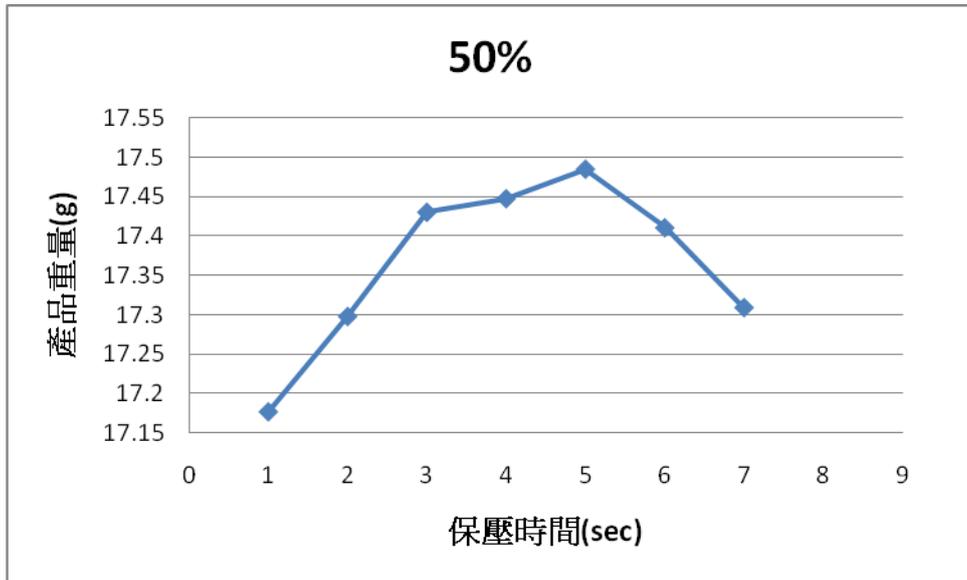


圖 5-3 50%保壓壓力對產品重量的變化

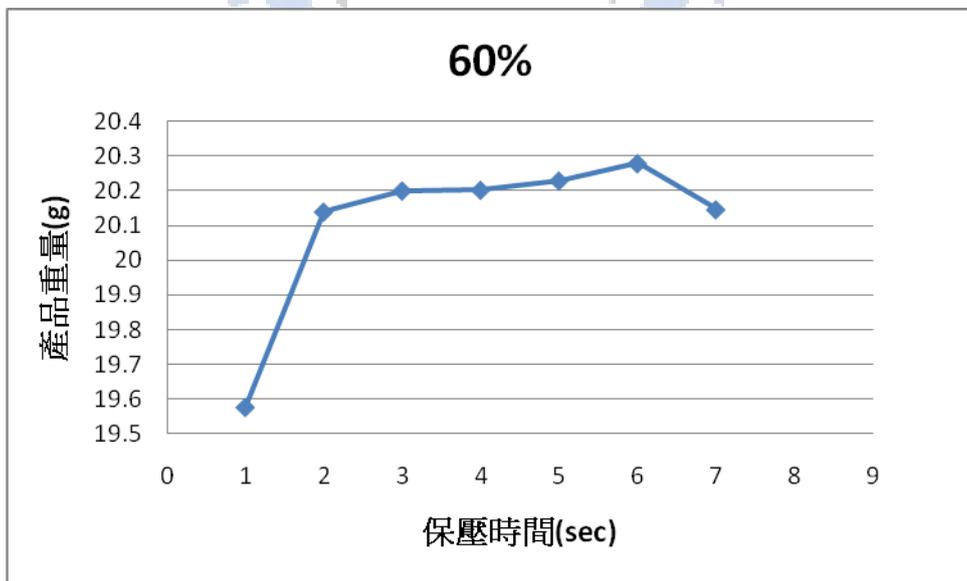


圖 5-4 60%保壓壓力對產品重量的變化

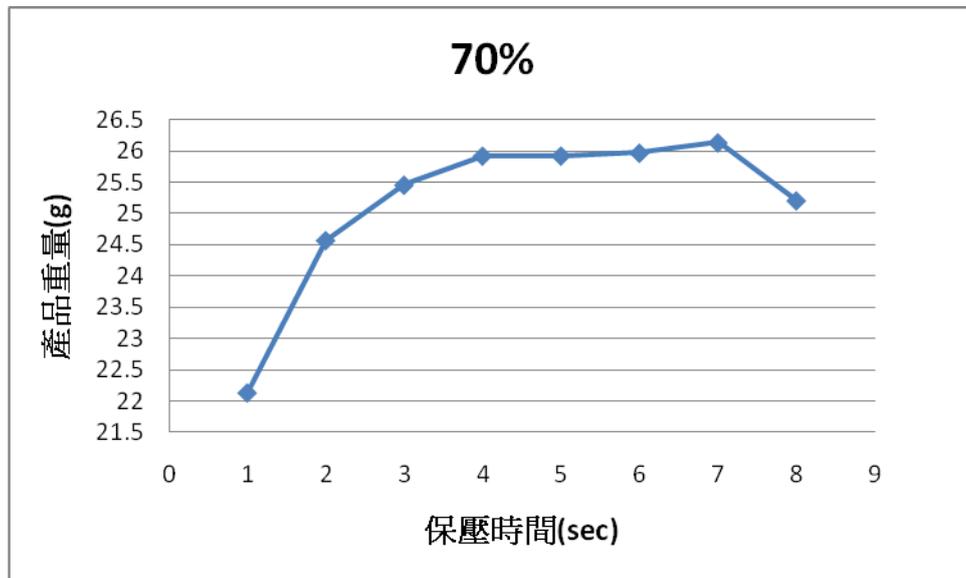


圖 5-5 70%保壓壓力對產品重量的變化





圖 5-6 澆口凝固模內壓力變化

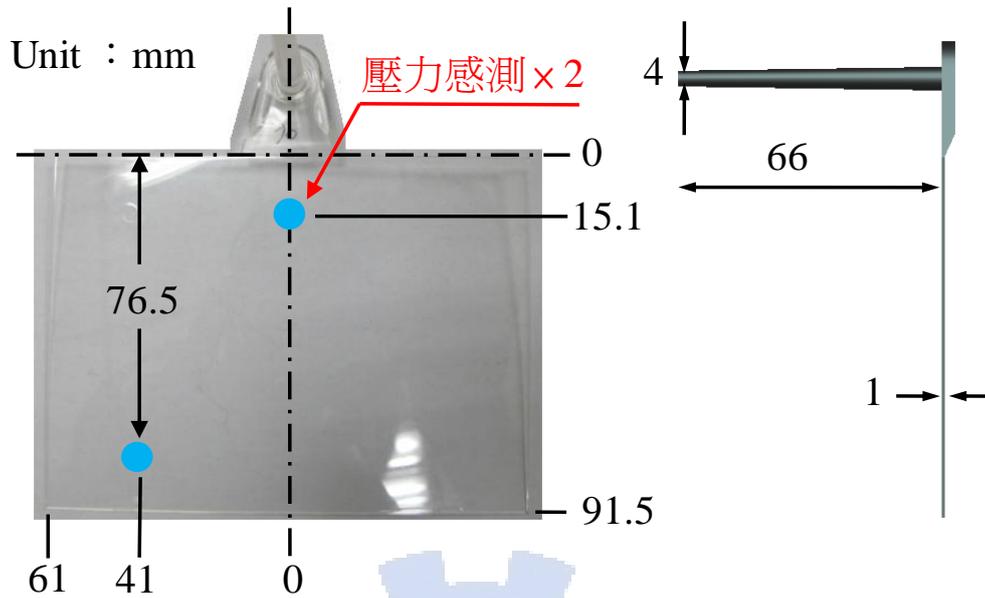


圖 5-7 壓力計感測位置示意圖

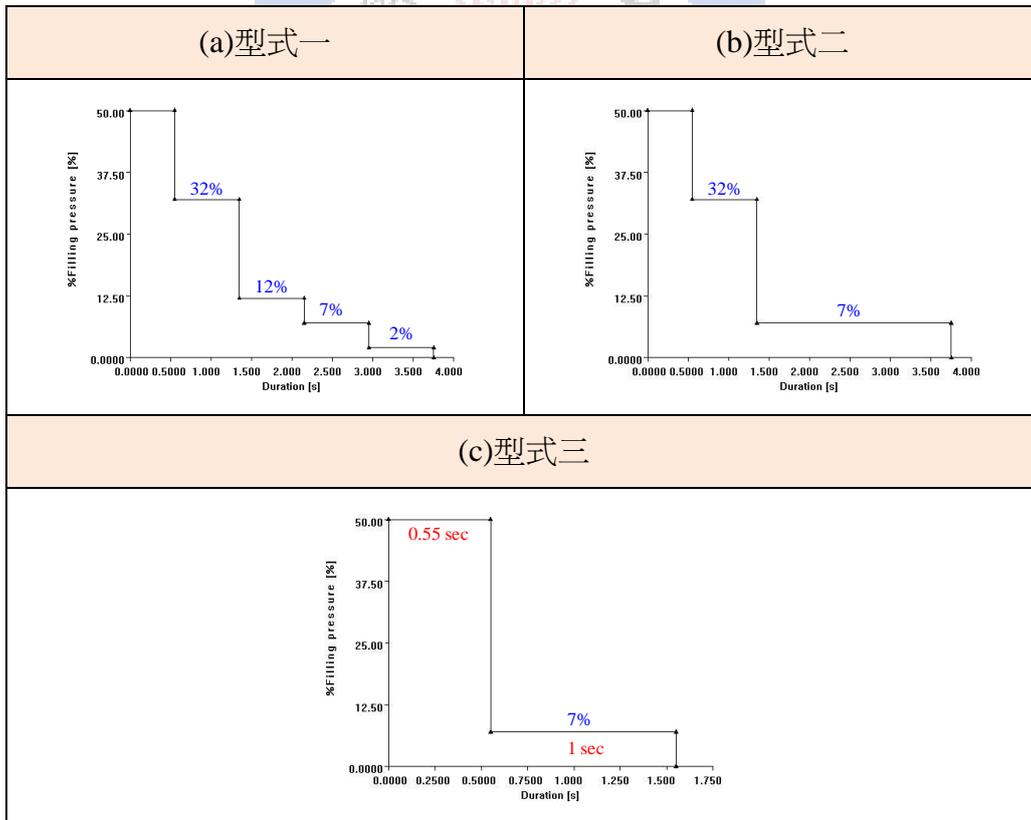


圖 5-8 保壓型式設定

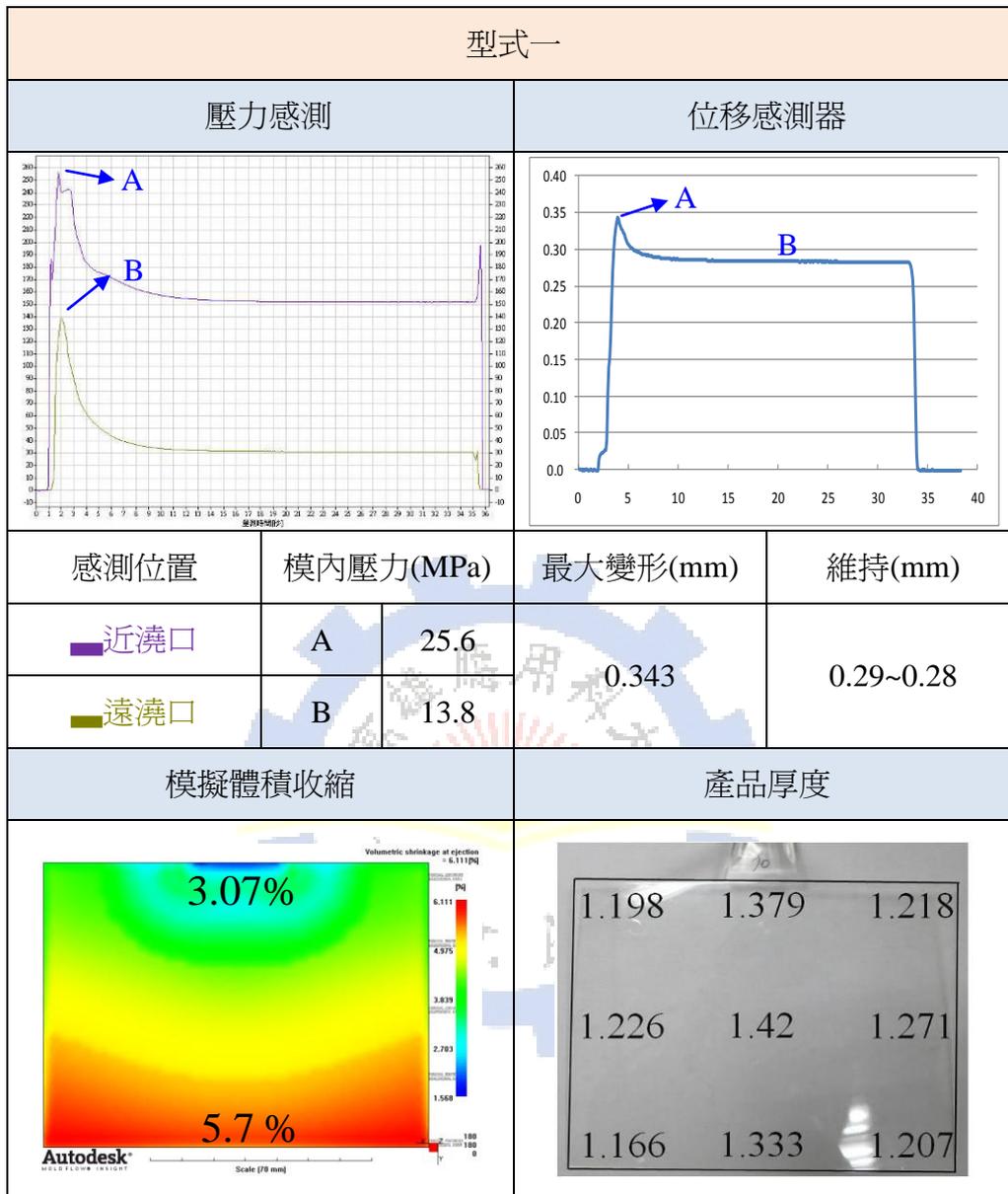


圖 5-9 型式一之壓力/位移/體積收縮/產品厚度

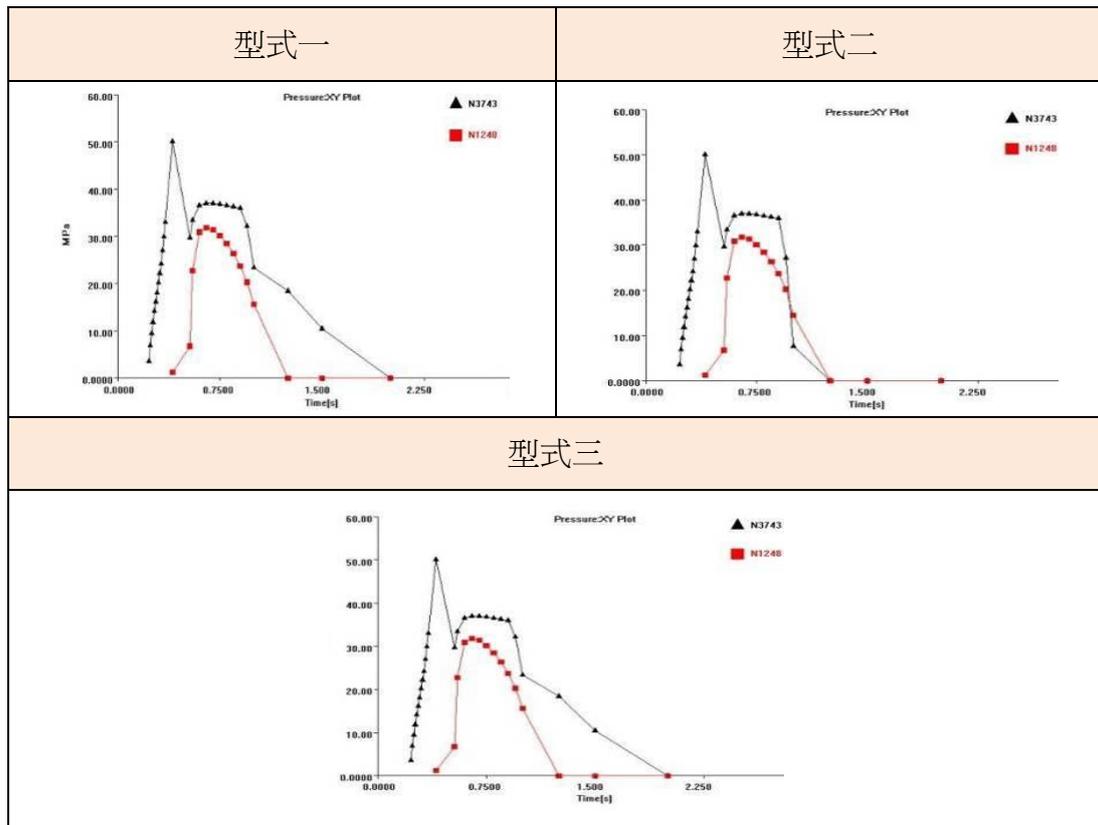


圖 5-10 不同型式模擬之模內壓力

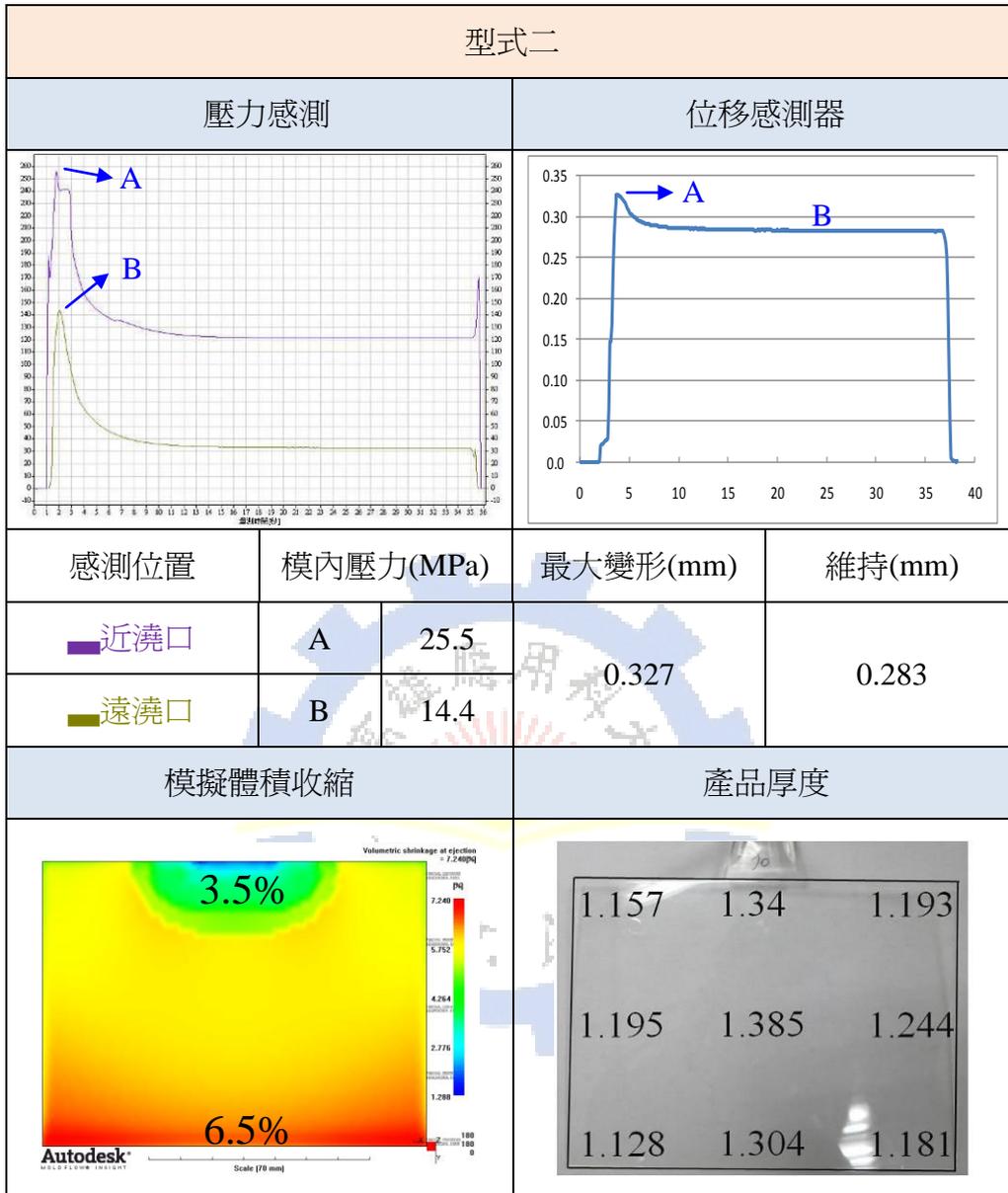


圖 5-11 型式二之壓力/位移/體積收縮/產品厚度

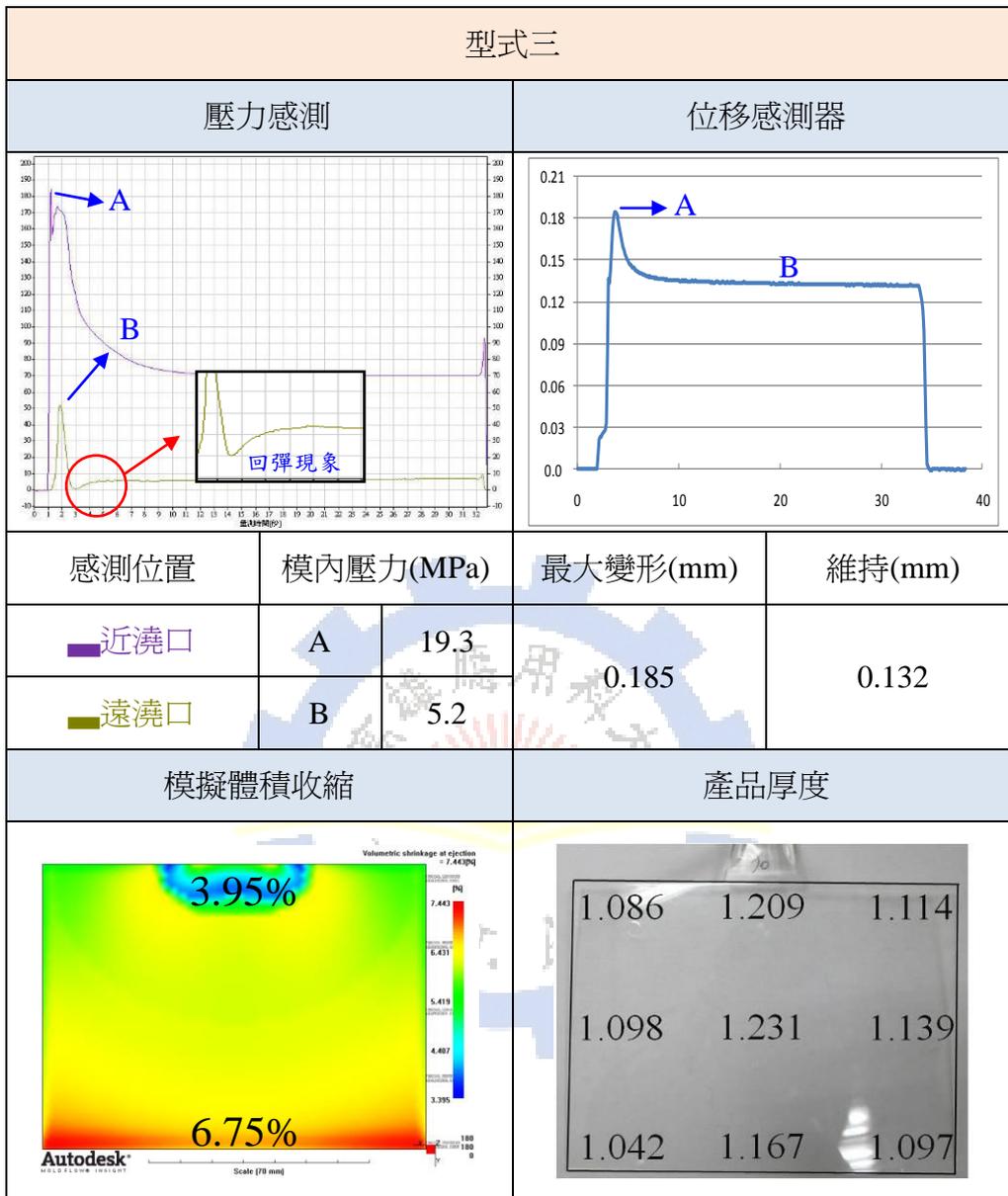


圖 5-12 型式三之壓力/位移/體積收縮/產品厚度



圖 5-13 產品末端流動痕跡

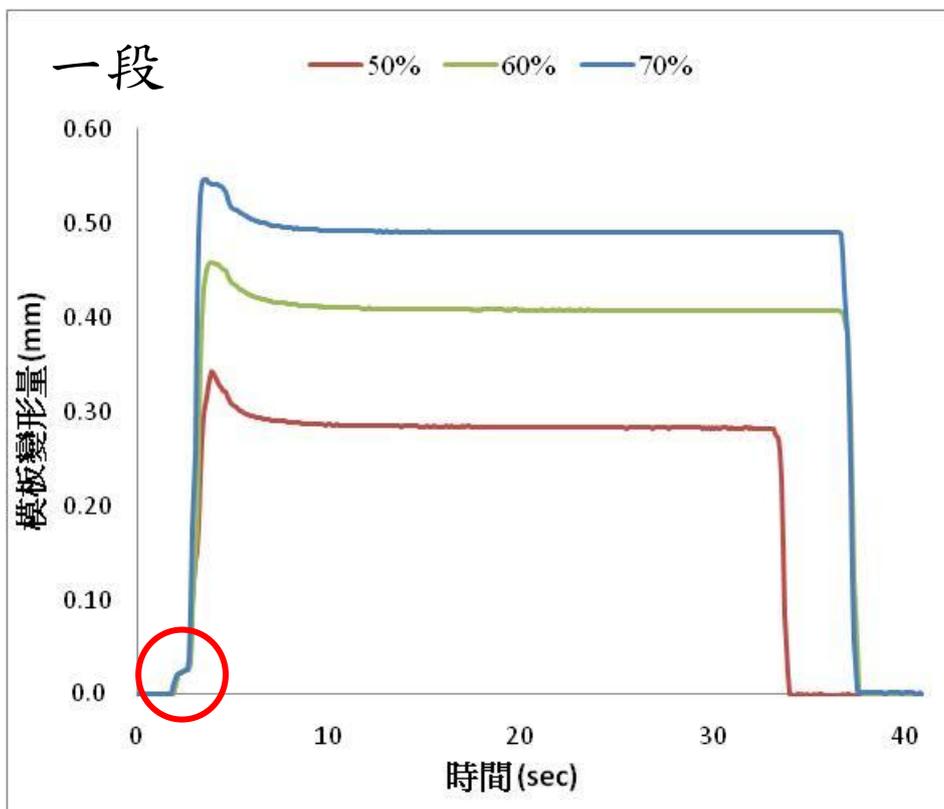


圖 5-14 保壓大小所造成的變形量

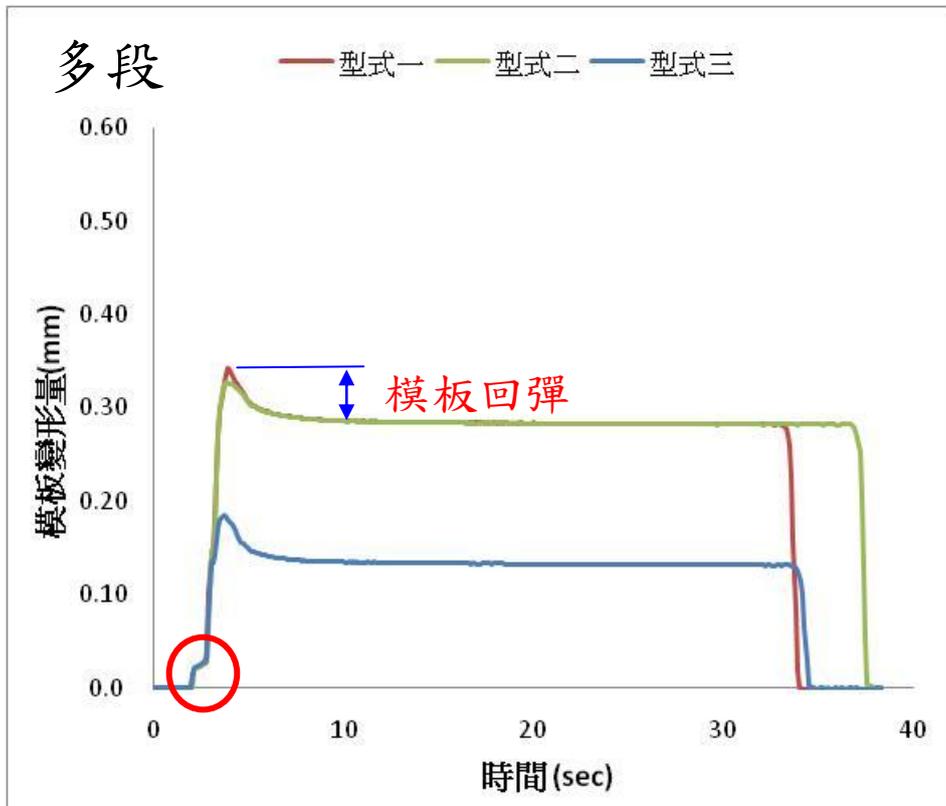


圖 5-15 不同形式保壓所造成的變形量

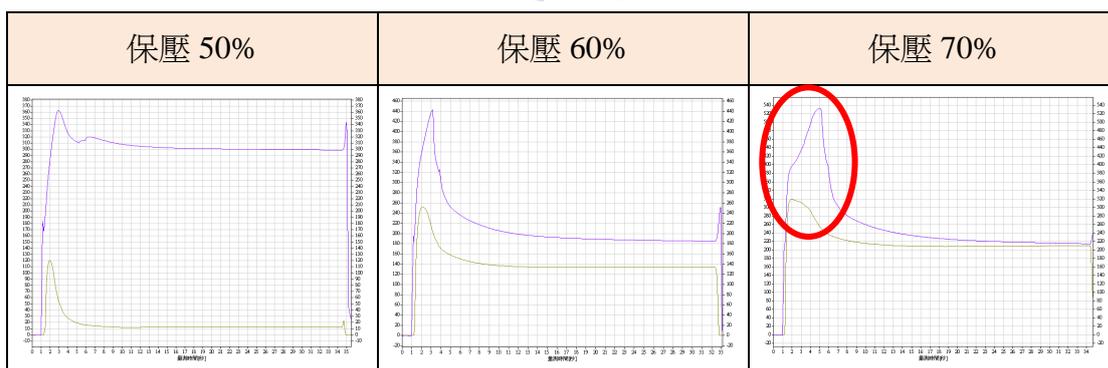


圖 5-16 模穴壓力歷程

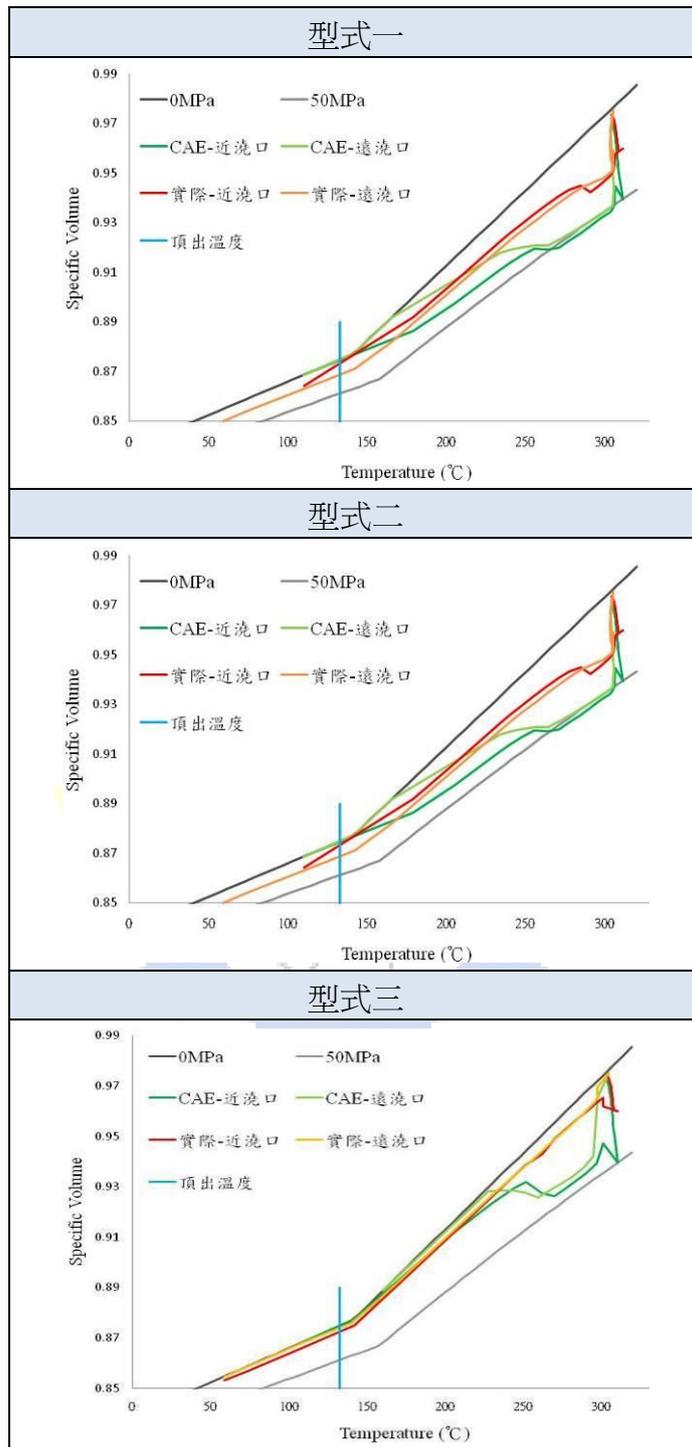


圖 5-17 不同型式的壓力模式在 PVT 圖上的軌跡

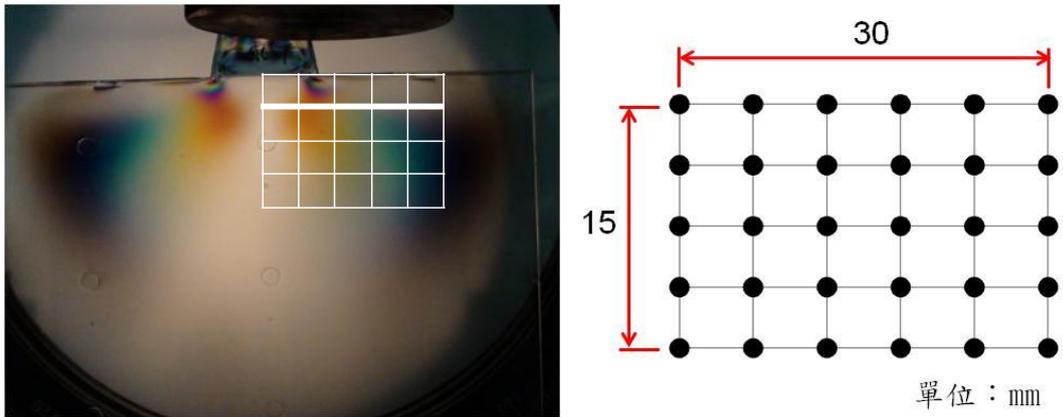
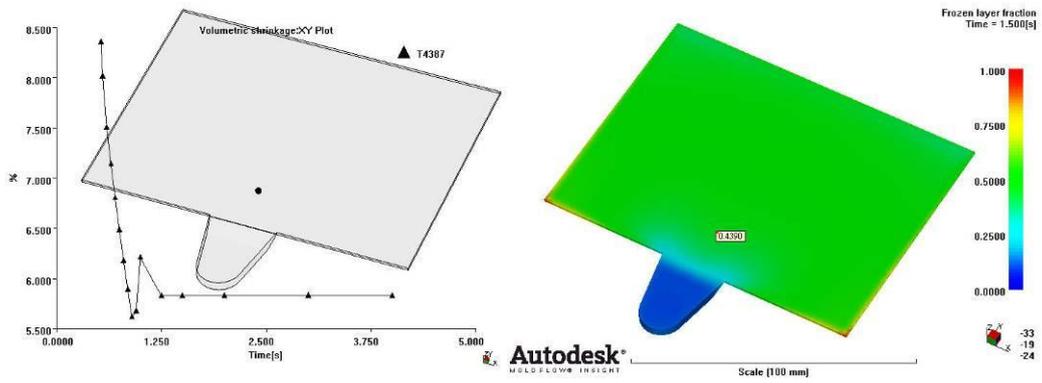


圖 5-18 殘留應力量測示意圖

| 50%(型式一) | 60% | 70% |
|----------|-----|-------|
| | | |
| 型式二 | 型式三 | 100mm |
| | | |

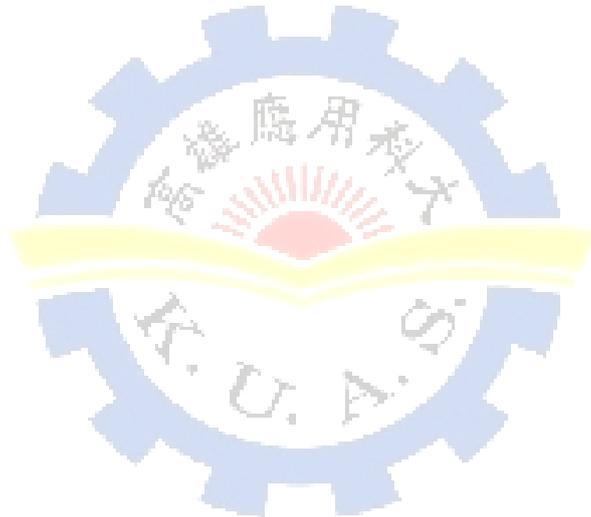
圖 5-19 殘留應力量測試片比較



(a) 體積收縮

(b) 澆口凝固層(1.55 sec)

圖 5-20 CAE 之體積收縮與澆口凝固層



第六章 結論

本研究針對模具強度不足時，利用模具變形的特性，調整適當的製程參數，而達到產品均一厚度的目標。研究架構以保壓曲線設計為主軸，先完成模流分析所得到的最佳保壓曲線，進而探討保壓曲線各個部分對產品的影響。

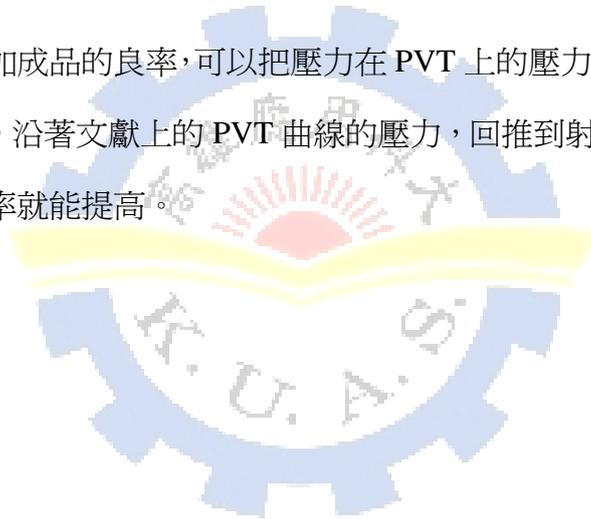
6.1. 結論

1. 因公模板強度不足而產生變形，改變了原本模穴內的壓力歷程，導致模擬與實驗的差異，因為模板變形而回彈，壓縮產品，造成模內壓力一直都存在，使得在開模頂出時，壓力還維持在一個值，這是因為模流分析軟體未將模具變形的因素考慮進去所造成的差異。
2. 厚度較大的公模板變形量較小，但模穴內的壓力持續較高，近澆口處與遠澆口處的壓力差距較大，容易產生應力殘留。
3. 厚度較小的公模板變形量大，使得成形壓力降低，雖然容易造成成品厚度尺寸增大且不均，但模板的回彈與壓縮，卻使模穴內的壓力較均勻，因此產品尺寸較一致。
4. 透過不同型式的保壓控制，也能證明保壓壓力的持壓段(Hold)對於產品尺寸及殘留應力有很大的影響。
5. 欲降低產品殘留應力，在持壓段(Hold)應有多段的降壓，避免壓力持續一個定值，就能改善殘留應力的大小。
6. 在模板變形的情況下，降低保壓壓力與保壓時間，避免壓力在模穴裡的持續時間太長，在澆口凝固前，使模板有足夠的回彈力壓縮產品，就能克服因模具變形造成產品收縮不均的現象。

7. 爲了減少模具成本而改變了模具強度，如果搭配好的製程，也是可以達到良好的品質。

6.2. 未來研究方向

1. 目前模流分析軟體已逐漸發展與其他 CAE 軟體的共用性，未來考慮模具變形的模流分析技術發展以後，將模流分析結果完整導入結構分析，可使模內壓力和模具變形在模擬與實驗的趨勢更加吻合。
2. 如果想增加成品的良率，可以把壓力在 PVT 上的壓力歷程考慮到射出的製程參數上，沿著文獻上的 PVT 曲線的壓力，回推到射出機的壓力設定，這樣產品良率就能提高。



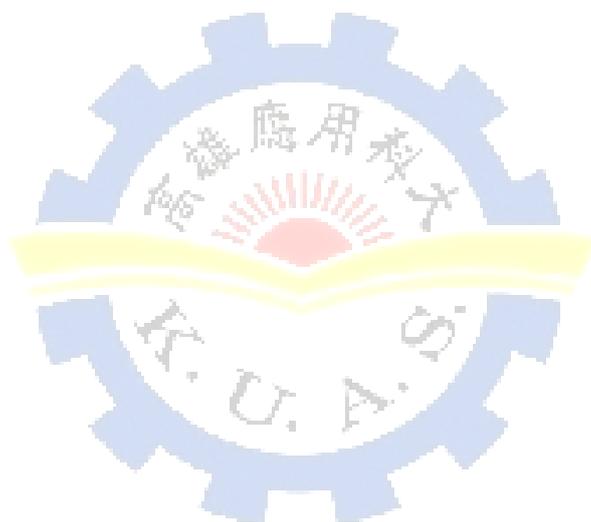
參考文獻

- [1] W. Michaeli and M. Lauterbach, “Quality Control for the Packing Pressure Phase-with pmT Control” , *Kunststoffe – German Plastics* 79 (1989) 9, p.852
- [2] Greener, J. (1986). “General Consequence of the Packing Phase in Injection Molding”, *Polymer Engineering and Science* , 26(12), 886-892.
- [3] Koita, Y. T. (1974). “Packing and Discharge in Injection Molding”, *Polymer Engineering and Science* , 14(12), 840-847.
- [4] Kamal, M.R., Varela, A.E. and Patterson, W.I., 1996, “Control of Part Weight in Injection Molding of Amorphous Thermoplastics”, *Polymer Eng. Sci.*, Vol.39, No.5, pp.940-952.
- [5] 陳克昌，”射出成形機射出切換保壓控制方法之研究”，國立高雄第一科技大學，機械與自動化工程系，2001。
- [6] B. Carpenter, S. Patil, R. Hoffman, “Effect of Machine Compliance on Mold Deflection During Injection and Packing of Thermoplastic Parts”, *Polym. Eng. Sci.*, 46, 844(2006).
- [7] R. Pantani, V. Speranza, G. Titomanlio, “Relevance of Mold-Induced Thermal Boundary Conditions and Cavity Deformation in the Simulation of Injection Molding”, *Polym. Eng. sci.*, 41, 11, 2022(2001).
- [8] S. C. Chen, W. L. Liaw, P. L. Su, M. H. Chung, “Investigation of Mold Plate Separation in Thin-Wall Injection Molding” *Journal of Advances in Polymer Technology*, Vol. 22, No. 4,1-14, (2003).
- [9] F. Boitout, PhD Thesis, CEMEF Sophia Antipolis, France (1997).

- [10] 黃裕仁，“射出壓縮成型模具之精度分析”，大葉大學，機械工程系碩士論文，2003。
- [11] 陳信宏，“模具變形對薄殼製品在尺寸精度和殘留應力的影響”，國立高雄應用科技大學，模具工程系，2009。
- [12] 楊明峰，“薄形導光板模內監控與製程參數最佳化之研究”，國立高雄應用科技大學，模具工程系，2007。
- [13] Fischer, Jerry M. (2003)“Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage”, William Andrew, 17-103。
- [14] Plastic Part Design for Injection Molding, Robert A.Malloy, HANSER.
- [15] Injection Molding Machines, A User's Guide, HANSER.
- [16] 科盛科技 (2002)“CAE 模流分析技術入門與應用”，全華圖書，8-1 – 8-13。
- [17] 張簡文龍，“射出成型參數條件對於藍光光碟片外殼收縮率之研究”，中原大學，機械工程研究所，2006。
- [18] 張鮮文，“光學元件射出成形體積收縮與光學均勻性之研究”，國立台灣科技大學，機械工程系，2007。
- [19] Jian Wang, Pengcheng Xie, Yumei Ding, Weimin Yang*, “On-line testing equipment of P–V–T properties of polymers based on an injection molding machine”, Polymer Testing 28 (2009) 228–234.
- [20] Rosato, D. V., et al., 1995, Injection Molding Handbook, 2nd Edition. , Chapman & Hall, New York, p.513.
- [21] N. Rudolph, I. Kuhnert, E. Schmachtenberg, G.W. Ehrenstein, “Pressure Solidification of Amorphous Thermoplastics” Polymer Engineering And Science, 2009

- [22] G. Menges and P. Thienel, “Pressure-Specific Volume-Temperature Behavior of Thermoplastics Under Normal Processing Conditions”, Polymer Engineering And Science, October, 1977, Vol. 17.
- [23] P. Postawa*, D. Kwiatkowski, “Residual stress distribution in injection molded parts”, Volume 18 Issue 1-2 September–October 2006.
- [24] Cody D. Greene, Donald F. Heaney, “The PVT effect on the final sintered dimensions of powder injection molded components”, Materials and Design 28 (2007) 95–100.
- [25] 邱聖文, ”射出成型條件對 PC 薄成型品雙折射效應之影響”, 國立中興大學, 機械工程所, 2006。
- [26] 黃東鴻, ”薄殼射出件翹曲變形與殘留應力研究”, 國立成功大學, 航空太空工程研究所, 2002。
- [27] 鄭穎聰, ”鏡片射出成形分析與模具設計”, 國立高雄應用科技大學, 模具工程系, 2004。
- [28] Frocht, MM., “Photoelasticity”, Vol. I, II, John Wiley and Sons, New York, 1984.
- [29] Dally, J.W. and Riley, W.F., “Experimental stress Analysis”, 3rd Ed., McGraw Hill, 1991.
- [30] Fischer, Jerry M. (2003)“Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage” , William Andrew , 17-103。
- [31] Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage, 4 Causes of Molded-Part Variation: Material, P41.

[32] 韋仁旌，”以熱處理方式消除射出成型製品殘留應力之研究”，國立交通大學，
機械工程學系，2008。



作者簡介

| | | | |
|-----------|----------------------------|-------|------------|
| 姓名 | 王威斑 | 性別 | 男 |
| 生日 | 75/03/11 | 手機 | 0912764322 |
| E-mail | w017214@gmail.com | | |
| 地址 | 台南市南區新建路 25 巷 15 號 3F | | |
| 求學經歷 | | | |
| 起迄年月 | 學校名稱 | 科系 | 學位 |
| 97/9~99/6 | 國立高雄應用科技大學 | 模具工程所 | 碩士 |
| 93/9~97/6 | 國立高雄應用科技大學 | 模具工程系 | 學士 |
| 90/9~93/6 | 國立台南高工 | 製圖科 | |
| 論文與專題 | | | |
| 1 | 利用模板變形與回彈克服塑品收縮不均之研究(碩士論文) | | |
| 2 | 熱壓模仁製作報告—相異材料(學士專題) | | |