

國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程

碩士論文

塑膠射出成型內縮變形改善之研究

Study on the Shrinkage of Injection Molded Product

研究生：邱永福  
指導教授：陳仁浩教授

中華民國 100 年 1 月

塑膠射出成型內縮變形改善之研究  
Study on the Shrinkage of Injection Molded Product

研究生：邱永福

Student : Yung-Fu Chiu

指導教授：陳仁浩

Advisor : Ren-Haw Chen

國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程



Submitted to Degree Program of Automation and Precision Engineering  
College of Engineering  
National Chiao Tung University  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master of Science  
in  
Automation and Precision Engineering  
January 2010  
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 100 年 1 月

# 塑膠射出成型內縮變形改善之研究

學生：邱永福

指導教授：陳仁浩

國立交通大學工學院精密與自動化工程學程

## 摘要

本研究以 USB 隨身碟口型外殼，塑膠成型後所產生之內縮現象為研究的對象；試圖找出有效及快速的改善途徑，作為日後設計提升產品品質、降低開發時程及成本，並兼顧成品組裝後外觀效果為本研究之目的。

研究過程中分別從產品結構設計、CAE 模擬分析、塑膠原料及參數等方面探討，並配合模具實機驗證其改善之結果。其中運用有限元素 CAE 分析軟體之 MOLDEX 3D，試圖在設計階段發現其射出成型時可能遭遇的問題，快速檢驗零件及模具的設計是否合宜，找出成型之最佳化參數，先期預測製品可能發生畸變區域之結構加以預防及改善。模具實機實作方面，實際製作塑膠模具實驗之成品；實驗過程藉由 2.5D 投影、電子高度計、厚度檢測器及 X-RAY 等設備，量測成品發生內縮變形之前、中、後段尺寸，來驗證理論模擬分析的準確性。

# Study on the Shrinkage of Injection Molded Product

Student : Yung-Fu Chiu

Advisor : Ren-Haw Chen

Degree program of Automation and Precision Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

## ABSTRACT

This research focuses on the inwardly-bent deformation of plastic cases of USB flash drives after the injection molding. An attempt to find out an effective and fast solution was made to improve product qualities and to reduce the time and cost of product developments, aiming at the appearance of the final product after component assembly.

The factors of structural designs、CAE simulations、raw materials of plastic resin And molding parameters are discussed and then verified with actual tests of injection moldings. The finite-element-analysis software, MOLDEX 3D, was used for simulations of potential risks during molding process in the design stage, quick checks of part and mold designs, optimizations of molding parameters, and early predictions of defect zones to improve. As for the actual tests of injection moldings, an actual product was made via injection molding process. 2.5D overhead projector, electrical height gauge, thickness detector, and X-ray equipmet are used to measure product dimensions before, during, and after the inward-bent deformations happened to verify the accuracy of simulation results.

## 誌 謝

承蒙恩師 陳教授仁浩這些年來的指導與鼓勵，讓我一步一步有條理有計畫的在進行專業領域的探討及獲取正確的觀念，使得論文得以順利完成。不僅僅在課業上給予我指導外，工作上倘若遇到瓶頸時，有關塑膠成型及塑膠模具上專業問題，卻能不厭其煩一再的給予我教導與協助，在此由衷的獻上十二萬分敬意與謝意。

感謝專科班導師，龍華科技大學機械系主任鄭偉盛教授，感謝你的支持及不離不棄及時時給我鼓勵，讓永福如願考取交通大學研究所的願望。

感謝龍生股份有限公司的劉賢良先生，邱志遠先生、李增義先生、陳郁如小姐與王倖儀小姐等，指導有關塑膠成型、模具設計與 MOLDEX 3D 模擬分析的協助及解析。使得本研究得以實機驗證其相關的理論、分析及探討。

感謝母親這些年來妳的關心與協助照料家庭，讓我無後顧之憂；最後！更感謝我的太太，謝謝妳這些年來默默的支持我、容忍我，同時一邊為了幫我照顧好家庭，照料兒子及女兒，專心一致的準備論文，同時還需要上班分擔家計，辛苦妳、委屈妳了。

這一路上，感謝身邊的親人、同事及朋友的關心，不時給我溫馨的關懷及支持，使我順利的完成論文研究，讓我在求學過程中感到無限溫馨及衝勁，永福將會永遠的銘記在心，謝謝你們。

# 目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
誌謝	III
目錄	IV
表目錄	VI
圖目錄	VII
第一章 緒論	1
● 1.1 研究背景	1
● 1.2 文獻回顧	3
● 1.3 研究動機	9
● 1.4 研究目的	10
● 1.5 研究方法	11
第二章 塑膠射出模具與塑料特性	14
● 2.1 塑膠射出模具簡介	14
● 2.2 塑膠射出成型原理	15
● 2.3 模具設計準則	17
● 2.4 模具設計正確觀念	19
● 2.5 塑膠射出模具設計與製作	21
● 2.6 塑膠原料特性	23
● 2.7 翹曲、變形現象	26
● 2.8 翹曲的原因	28
● 2.9 熔料溫度及模具溫度	29
第三章 電腦輔助工程(CAE)模流分析介紹及應用	31
● 3.1 何謂電腦輔助工程	31
● 3.2 模流分析軟體由來	32
● 3.3 模擬軟體輔助目的	33
● 3.4 CAE 允許誤差	34
● 3.5 模擬分析流程	35
● 3.6 模擬 CAE 操作	36
● 3.7 CAE 解析程序步驟	38
● 3.8 Model 3D 建構	39
● 3.9 網格設定	40



● 6.2 未來之發展-----	86
第七章 參考文獻-----	87

### 表 目 錄

表 4-1 射出成型控制參數因子分析-----	51
表 4-2 塑膠射出成型加工流程-----	51
表 4-3 實驗之塑膠原料-----	52
表 4-4 實驗之成型相關參數-----	63
表 4-5 成型參數條件-正常保壓-----	65
表 4-6 成型參數條件-加大保壓-----	66
表 4-7 成型參數條件-降低保壓-----	67
表 4-8 成型參數條件-正常保壓加大模溫差-----	68
表 4-9 成型參數條件-模具溫度差-----	69
表 4-10 FANUC ROBOSHOT $\alpha$ -100iA 型射出機詳細規格-----	74
表 5-1 不同塑料試驗之量測結果-----	79
表 5-2 AT35 塑料(指定塑料)進行不同參數試驗之量測結果-----	80
表 5-3 AT35 塑料(指定塑料)進行試驗之量測結果-----	81
表 5-4 成品結構設變試驗之量測結果-----	82
表 5-5 實驗結果彙整表-----	84

## 圖 目 錄

圖 1-1 等溫模收縮示意圖( $T_1=T_2$ )	12
圖 1-2 不等模溫收縮示意圖( $T_1>T_2$ )	13
圖 1-3 實驗成品外型	13
圖 2-1 塑膠射出模具結構	14
圖 2-2 塑膠射出主要流程	15
圖 2-3 塑膠射出成型週期	16
圖 2-4 熱熔體流動方向	17
圖 2-5 射出填充細部階段	18
圖 2-6 塑料流動階段	18
圖 2-7 塑料體積收縮性	18
圖 2-8 常用模具結構-二板模	20
圖 2-9 常用模具結構-三板模	20
圖 2-10 結晶性塑膠	24
圖 2-11 非結晶性塑膠	24
圖 2-12 混合性結晶塑膠	25
圖 2-13 結晶性與非結晶性 PVT 圖	25
圖 3-1 CAE 模擬分析流程	35
圖 3-2 模擬 CAE 軟體的操作	37
圖 3-3 CAE 解析程序六個步驟流程	38
圖 3-4 模流 CAE 軟體的操作畫面	39
圖 3-5 模擬 CAE 網格設計	40
圖 3-6 模流 CAE 密度	40
圖 3-7 CAE 前處理程序	41
圖 3-8 CAE 後處理程序-元素切割	42
圖 3-9 切割完成後元素模型	42
圖 3-10 元素密度	43
圖 4-1 內縮變形區域	44
圖 4-2 一模四穴針點進膠	45
圖 4-3 進膠點(GATE)位置	46
圖 4-4 模具規格定義/成品表面處理定義	47
圖 4-5 模具結構圖	47
圖 4-6 模具冷卻水路設計	48
圖 4-7 冷卻過程熱傳導	49

圖 4-8 成型參數設定-----	50
圖 4-9 Gate set up-----	55
圖 4-10 Gate location-----	55
圖 4-11 Injection conditions set up-----	56
圖 4-12 Cooling channel network analysis-----	56
圖 4-13 Filling pattern of the sequential shot analysis-50%-----	57
圖 4-14 Filling pattern of the sequential shot analysis-70%-----	57
圖 4-15 Filling pattern of the sequential shot analysis-90%-----	58
圖 4-16 Filling pattern of the sequential shot analysis-95%-----	58
圖 4-17 Filling pattern of the sequential shot analysis-100%-----	59
圖 4-18 Pressure analysis-----	59
圖 4-19 Temperature analysis-----	60
圖 4-20 Temperature Avg. Analysis-----	60
圖 4-21 Bulk Temperature analysis-----	61
圖 4-22 Cooling Avg. part Temperature Avg. analysis-----	61
圖 4-23 Cooling Avg. Mold Temperature Difference analysis -----	62
圖 4-24 成品結構設計變更-----	70
圖 4-25 增加成品 Rib 結構設計變更前後比較圖-----	70
圖 4-26 成品結構 3D 設計變更前後比較圖-----	71
圖 4-27 成品結構設計與產品檢驗量測規格值對照圖-----	72
圖 4-28 實驗之射出機設備-----	73
圖 4-29 量測儀器-高度規-----	75
圖 4-30 量測儀器-2.5D 投影機-----	75
圖 4-31 X-ray 量測設備-XD7500-----	76
圖 4-32 厚度檢測設備(非接觸式)-LSM300-----	76
圖 5-1 內縮變形區域量測位置點-----	79

## 第一章 緒論

### 1.1 研究背景

在即將邁向二十一世紀的現在，各行各業無不怨聲載道，景氣低迷下面對日常生活所需節節調漲，卻面對入不付出的窘境，人民該如何提升消費能力呢？面對原物料及能源及人力成本的上漲，加上環保意識高漲，原物料的生成及製造無不增加許多成本，這些無不直接衝擊各產業之生存。

有鑑於面臨到未來 4 C 及生物科技產品，無不朝向『輕、薄、短、小』化開發生產，相關的產品從規劃、設計、製造到組裝，其塑膠業者必須要提升本身的製程能力及模具設計能力，朝向更精密且更複雜的產品模具設計；加上節能減碳的意識高漲，如何能在製造過程中精簡製程及人力是刻不容緩。以塑膠模具及射出成型產業來看，從材料選擇上→設備製程能力上→製程管理控制上→人員專業製程訓練上必須加以檢討及改進。【2】

材料節省可從機台結構的輕量化、模具壽命增長化、塑膠產品輕薄化及利用熱膠道減少流道所用的膠量來考量。隨著自動化設備功能提升將其技術灌輸在軟體程式中，加以判斷及預先模擬分析，有效地縮短其開發製作時間。【19】

在加工設備方面，世界各先進塑膠射出機製造廠的發展趨勢為大型化、高速化、精密化、細微化、潔淨化、智能化、網路化以符合未來生產要求。從全球三大橡塑膠展(德國 K 展、美國芝加哥橡塑膠展、日本國際橡塑膠展)，可得知先進塑膠射出機械的生產國家仍以歐、美、日本、加拿大等國家為主。而台灣方面製造業者正朝向節能、短週期快速、精密(精度 0.1~0.001mm)、高速射出機(300mm/sec 以上)、高度自動化、機台高剛性結構和客製化方向發展【19】。

在節能方面，台灣業者積極推出全電式射出機，其省電效果優於油壓射出機，但礙於關鍵零組件還是掌握在日本及歐美等國家，也因為專利與成本因素考量，開發節省能源型的機種如雙泵、可變流量泵、變頻器或伺服器加容量泵浦方式進行節能設計，使其省能達到 30~70%的效果。【19】

射出機鎖模機構改以肘節式機構及三板式夾模機構為主，提供快速開關模動作以縮短開關模時間。同時，研發出射出與保壓機構分離式設計，搭配油路及控制技術達成雙迴路或三迴路設計，大幅減少週期時間。

在快速自動化設備需求方面，如射出機搭配 Tandem mold 與 Stack mold 模具技術就是利用射出中的冷卻時間與兩倍產量來增加產能。業界普遍認為單一塑膠射出機機種已不能滿足全球產業需求，需開發高性能、控制精準、高產能的射出機，以供應全球市場的需要。

在新的技術中，節料製程最有效果仍屬氣體和水輔助射出及超臨界流體發泡。前兩者經過十多年的發展，特別在厚度 2mm 以上產品技術應用有一定的成熟度。在薄件產品方面使用外氣式的輔助未來有相當發展空間。超臨界流體發泡逐漸在本世紀展開應用的舞台，在內裝結構件的應用也證明其效益【19】。

在製程精簡方面，有雙射或多射，簡化多次成型射出再組裝的製程。模內塗裝(IMD:IMF、IMF、IML)則清淨化產品噴塗製程並提高產品外觀多彩功能，但本項技術從膜材、油墨和塗層材、印刷、熱壓剪裁或模捲供應定位等牽涉多道程序；在自動化、精度何良率方面仍面臨挑戰。高附加價值的金屬鍍層技術在特定產品也有相當需求，惟技術門檻也相當高，需達成高良率、高生產速度才能有市場的擴充度。單色彩高亮度免噴塗無表面缺陷的射出是未來 4C 產品重要的生存技術，其關鍵在於快速變模溫方式的應用。目前這方面需求快速成長中，惟在耗能、週期時間、模具與設備成本及產品特徵下，配合不同模溫方式方能達成最有效的應用。【4】

在產品設計方面，以往徒手煉鋼的方式一筆一線的繪製機構工程圖面的方式已不在，取而代之的是 3D 的繪圖軟體即 CAD/CAM 的設計平台，仿間有太多的設計軟體可以直接與設備串連攫取相關所需的 DATA 來分析，加速縮短開發的流程及提高產出效率，使產業更精確更有競爭力。在綠色製造科技推行下，產品開發除要建立環保意識外，還需符合節省能源、輕量化、多樣化、產品結構強化及要有複合功能等需求。

目前模具產業和成型廠仍多以量產導向的模式營運，對於新製程仍以設備引進為主，研發的投入仍偏低，特別是模具方面。事實上電子大廠如鴻海、廣達、綠點就是最好的案例；對於模具與的上下游整合，掌握越順遂，其效益與成本將越精簡，更具市場競爭力。【19】

## 1.2 文獻回顧

塑膠技術的發展可追溯自 1870 年代，1956 年發明螺桿式射出機。近年來有關改善內縮、變形之問題，國內、外相關學者及業者相繼發表相關的論文、期刊、技術報告；在射出機台製程參數的控制及發展有很大的進步。

為了達到此目的，除開發適合的零組件或複合材料外，其射出成型的技術也日益月新，依據各種不同之應用途徑，卻各有其道理存在者，因此與本論文有關的文獻研究列舉數點加以分析說明。

(一、) 於 1986 年 Cox. Howard W. 【46】，研究射出壓力與充填時間的關係為拋物線，當充填時間很小時，射出速率很快，就需要很大的射出壓力，因模穴充填熔膠溫度仍然很高，流動性較佳保壓效果較好，成品與模穴有較佳的接觸情形，故成品比較會有黏膜情形。

(二、) 於 1988 年 Dowler 【47】等人運用有限分析法分析製品由溫度變化而產生的熱殘留應力，利用樑彎曲理論計算翹曲變形。Huiller 【48】將充填後的狀態輸入保壓模型中，以有限元分析法分析簡單幾何模型上的溫度場，質量變動以及隨時間變化的壓力，最後得知成品的局部收縮量與最後的重量。

(三、) 於 1995 年，Jim Fassett 【49】指出，利用在塑膠射出的設備、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為良好，並且能縮短(減)射出產品生產製程週期，來提高品之生產效率的方法。

(四、) 在 1995 年，由 Boitout 等人 【50】，建立一個二維幾何模型來計算射出的殘留應力，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，對膠口塑料凝固後，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。

(五、) 在 1997 年，由 L.W. Seow 等人【51】提出，應用塑膠材料的模具和產品(零件設計)，對射出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須要考慮模具生產的品質，塑料充填進入一個零件模穴時，其過程必須平衡的被充填，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方式，應用電腦與模流分析 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，來找出較優化的製程條件。

(六、) 而在 1998 年，由 K.M.B. Jansen 等人【52】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，對射出品的收縮影響最大，而模具溫度與射膠速度等，對其射出品的收縮影響並不大；因此，可以找出塑膠射出與製程條件間的相互影響關係。

(七、) 於 2001 年，由 Ming - Chih Huang【53】等人提出，產品外殼經過塑膠射出加工，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，為解決上述不良問題，在搜尋時應用田口式實驗設計法來找出射出條件，使用模流分析 C-MOLD 商用軟體來模擬射出的過程，這兩種射出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製作過程中，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，過去只有細微的灌點尺寸與保壓時間在薄殼的射出模具中，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，並找出與得到產品後的最小翹曲、變形品質。

(八、)於 2005 年，由 N.R. Subramanian 等人【56】提出，射出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，將射出模型品降至最小的翹曲、變形，並在射出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、澆口的位置、製程條件的改變，來找出最優的製程方法。

(九、)於 1995 年，由 Willian E. 等人提出【57】，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。

(十、)於 1996 年，由 W.F. Zoerelie 等人【58】，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。

(十一、)於 1998 年，由 P. Tantakom【59】【60】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。

(十二、)於 1990~1991 年，由 T. Matsuoka 等人提出【61】【62】，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 0.1%~0.6%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。

(十三、)於 1998 年，由 K. K. Kabanemi 等人研究【63】，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的接近。其所謂薄殼技術，指的是在適用較少的材料下，而能使薄殼品具有比傳統品相同，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。

(十四、)1990 年 Matsuoka【64】等應用簡單的彈性模型對流動、保壓、冷卻全過程做進行集成分析，預測纖維增強塑料製品的翹曲。

(十五、)Turng【65】等人以 CAE 模擬分析提出保壓時間和保壓壓力對線性收縮影響最大。

(十六、)Matsuoka【66】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，聚合物的充填、保壓、冷卻過程、分子配向、材料性質和應力分析。此方法可由上下表面之間的溫差何溫度分布預測翹曲，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。

(十七、)K. M. B. Jansen【67】有系統的改變保壓壓力、射膠速度、模

具溫度、熔膠溫度來測量七種熱塑性聚合物(PS、ABS、HIPS、PC、PBT、PBTGF30 和 HDPE)的收縮數據，結果發現保壓壓力和熔膠溫度對射出成品的收縮影響最大，而射速和模溫則影響不大。

(十八、)K. M. B. Jansen【68】則應用保壓壓力、時間和模具形狀來研究非晶質聚苯乙烯的成品收縮。其證實增加保壓壓力，在成品平面方向的收縮會在 0.1%~0.6%變化，而在成品上厚度方向的收縮大約 1%~10%之間。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。

(十九、)Huang 和 Tai【69】利用田口方法對一長方型薄殼件進行參數最佳化，並對製程參數做變異分析，結果顯示保壓壓力為影響塑件收縮翹曲的重要因素，尤其當塑件厚度越薄時。

(二十五、)於 2005 年 Shen, Changyu【70】利用田口方法研究了塑料溫度、模具溫度、保壓時間、保壓壓力、膠口尺寸和射出速率對收縮與翹曲的影響度，最後得到塑料溫度、模具溫度、保壓時間與保壓壓力可減少熱殘留應力。尤其是保壓壓力和塑料溫度最顯著。

(二十、)於 1994 年林文欽【25】探討射出成型品內部熱殘留應力對品尺寸收縮的影響。當高分子融熔體在模穴內冷卻固化時，由於內部溫度分佈不均，每一點的熱收縮皆不相同，導致內部應力分佈不平衡，使得品尺寸受到影響。利用熱彈性理論模式處理脫模頂出瞬間，成型品內部應力分佈及尺寸變化情形，並與實驗結果做比較。結果顯示，當增加模溫或融膠溫度時，可降低品內部熱應力，並可減少尺寸收縮量。

(二十一、)於 1997 年，陳劍峰【26】利用 C-MOLD 模擬軟體配合田口實驗設計法，針對五個實驗參數做收縮量之研究，提出保壓壓力愈大收縮量越小、模具溫度越高收縮量越大，之後並使用類神經網路法作更精確的收縮量的量測。

(二十二、)於 2001 年楊景安【30】經由模擬分析結果發現，沿著膠體

流動方向的比容差異量變化明顯地比垂直於流動方向時大，而且整個 IC 厚度方向的溫度差愈小，則厚度方向比容差異量變化愈不明顯。翹曲量最大的地方通常出現在邊界的地方，而且收縮的趨勢通常是往入膠口的方向，而入膠口的地方常會有應力過高，甚至應力集中的現象。

(二十三、)於 2003 年林炫良【34】針對兩種不同的塑料及三種不同的成品厚度對其做不同設定的保壓壓力與保壓時間之射出實驗，結果提出相同保壓壓力下，成品厚度越大，其收縮率越大；不同成品厚度下，增加保壓壓力，其殘留應力也隨之增加。

(二十四、)於 2004 年洪立群【38】研究，加入 P-V-T-C 關係式後，翹曲量的分析預測會比僅考量熱膨脹係數來得準確，同時，從實驗中也可以得到當固化壓力愈大時，其翹曲量亦隨之變大，此外，當溫度愈高時，其翹曲量亦隨之降低。

(二十五、)有關塑膠射出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，如製程條件的安排與設定，共包括了：塑膠材料、熔融溫度、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【39】。

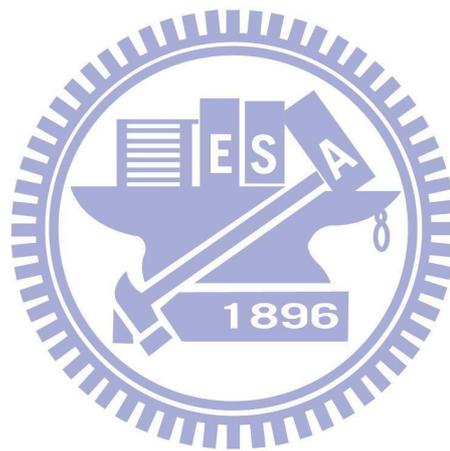
(二十六、)1990 年代以前，大部份對於射出成型產品開發主要著重塑料於模穴內運作之情況，針對熔膠傳遞系統之效應與影響並未深刻了解及探討。隨著製程系統日益複雜，品質與良率常常構成競爭力之主要來源，但許多物理現象發生仍令人困惑。直到 1999 年 John Beaumont 針對熔膠傳遞系統之效應提出一系列之研究，並進一步利用他們累積之經驗彙整一系列相關之 MeltFlipper™、MAX™ 等專利技術，利用剪切熱(shear-inducing)所引導之不平衡現象。

(二十七、)塑膠射出之產品開發因為無法看到螺桿至模具內變化之情形，加上機制與材料特性常為非線性變化，因此開發過程如同製作藝術品一般。常見的問題，如：短射(short shot)、燒焦(burning)、結合線(weld line)、凹痕(sink mark)、翹曲變形(warpage)、毛邊(flash)等等，與材料、成品與模具設計、機台與條件，息息相關。

### 1.3 研究動機

射出產品從 3D 設計、Mock-Up 驗證確認、模具開發設計、技術至產品大量生產 ( Mass production ) 等階段中，常遇見的上問題依不同用途、結構、形狀等，最常見的是產品尺寸及表面品質的問題佔居多，例如外型尺寸、產品平整度(如、翹曲、內縮)、表面品質(如應力痕、縮水、結合線) 等等。

隨著產品的輕、薄、短、小，對於前述尺寸及表面外觀缺陷的抑制之要求也愈趨嚴格，往往僅是數微米的收縮、變形就決定產品的成敗。為了提高成型品的良率以減少材料的耗費，並降低成本，如何避免或減輕成型收縮所造成翹曲和變形乃成為重要的課題。



,

## 1.4 研究目的

由於有關塑膠成型過程中，造成產品表面內縮現象的已知或未知的因數有很多；模具溫度往往會因為模具水路的設計不同，造成模具溫度分布不均。而模具溫度不均勻會造成射出品的變形發生，但並不確定模具溫度為何會造成變形？許多擔任機構設計人員，僅考慮結構強度是否足夠，表面是否有縮水及結合線等外觀問題，對於可能的問題卻交給廠商或模具廠來解決。其實這是對設計人員在經驗上的一大損失，對於"設計一個適合量產的產品"是沒有幫助的，反而會造成與廠商之間溝通上的失調。

本研究的目的，針對一 USB 產品之上蓋作為實驗之對象，如圖 4-1 所示。利用同一塑料商(旭化成)提供同性質之塑料(ABS+PMMA), 但不同型號的塑料(AT35、IM191、IM070)來探討，並以實際模具(一模四穴)在不同的研究方向及條件：(1)塑料(2)模溫差(3)保壓(4)冷卻水路(5)結構設計變更等方向來探討改善此塑件之變形程度；透過 Moldex 3D 模流分析軟體的運用，試圖找出最佳的模具設計及相關中可能產生的問題，來加以考量及避免。

本研究參照相關文獻的內容，找出一個適合進行研究的步驟、程序、方法來完成產品零件翹曲、內縮變形問題的研究分析；以實際模具來進行實驗驗證結果，並深入分析探討以找出最佳的製程條件，來符合客戶的外觀品質的要求，解決產品零件因所產生的翹曲、內縮變形相互間關係，期望在未來的職場中，在從事開發設計有關於塑膠射出製品時，可縮短設計及驗證的時間並能有效及快速導入量產。

## 1.5 研究方法

### (一、)利用模流分析軟體進行數值分析

#### 步驟一：MOLDEX 3D 分析結果(原始條件)

- ◆將塑膠成品 3D 匯入，利用 MOLDEX 3D 的軟體技術【7】，設定相關的參數及條件參考塑料物性表，如表 4-6 所示。
- ◆找出最佳成型參數及模具進點位置，試圖了解塑料在模具流動的情況、模溫分布情況、應力分布情況，視其分析結果為何？作為將來模具開發設計之依據。
- ◆首先希望可以確認的，就是造成成品變形的主因是由於製品為門字型前後兩側有相連接之高牆的結構設計。
- ◆因空間考量成品中間無法增加太多結構來增強其強度，由於較深的結構設計，造成成型過程需要較長的填充時間及冷卻，使得冷卻後塑料應力釋放造成成品內縮現象。
- ◆未來模具增加水路設計控制，可以讓模具的公母模溫度均衡，加以改善內縮的尺寸問題。
- ◆因此初期能藉由模擬軟體分析結果，思考變形的位置及原因，期望能真正解決內縮現象問題。

#### 步驟二：Moldex 3D 不均模溫設定

Moldex 3D 能夠讓機構設計人員直接在 3D 網格架構下指定製品之不同區域的模具溫度，為了避免水路的佈局設定可能會造成溫度的誤差，未來將要求廠以兩台的模溫機分別連接在不同的水路系統上，並以溫度探測計量測模具表面溫度作為表面溫度參考值。【16】【45】

#### 步驟三：流道系統與澆口設計影響品品質好壞第一要素【9】

- ◆觀察流動波前模擬了解熔融塑膠自射嘴注入模穴的行為。
- ◆了解流道與澆口所需的壓力，以評估流道引起的壓力降是否過大。
- ◆同時判斷流道設計與澆口的尺寸是否合理。
- ◆觀察熔融塑料是否能平穩有敘並妥善地完成模穴充填。
- ◆了解模穴內充填平順性，防止短射與過度充填。
- ◆良好的流道與澆口位置選擇需讓充填行為能平順對稱，使塑料能同時充

填滿每一個模穴，確保各模穴品質的一致性。

#### **步驟四：保壓壓力設定影響內陷與翹曲的變化**

觀察保壓壓力是否充分傳遞至塑件各部份，進行有效保壓，以預防品局部內陷與翹曲變化。

#### **步驟五：模具溫度對固化層的影響**

試圖去了解在不同模溫條件下，塑料的固化層是否會因為固化速度的快慢而偏離中立軸。視其在充填剛結束瞬間變化程度，應當可以發現周邊的固化層尚未完全形成，因其中心仍然維持高溫熔融層。

#### **步驟六：製程物理說明【45】**

- ◆將一塊塑膠以切割成多層的形式來說明，如圖 1-1 所示。假定內部切割成多層的塑膠，如果層與層之間不考慮連接，在塑膠表面溫度較低，中心溫度較高的狀態下，當塑膠從高溫降至低溫時，可以發現在高溫區的收縮量較大，而低溫區的收縮量較小。
- ◆當然，塑膠內部不可能是分離的。因此當真實塑膠收縮時，中心承受的收縮應力較大，外測承受的收縮應力較小；當兩側模溫不同時，可以用同樣的方式加以說明，如圖 1-2 所示。
- ◆因此在固化時，成品會側向彎曲；而這也是一般大家認同的經驗，成品會往高溫的方向變形，與實際現有開模的品做比較。
- ◆後所發生的內縮變形，找出造成內縮變形的的主要原因，作為日後檢討品可改善及補強結構或是模具設計上調整。

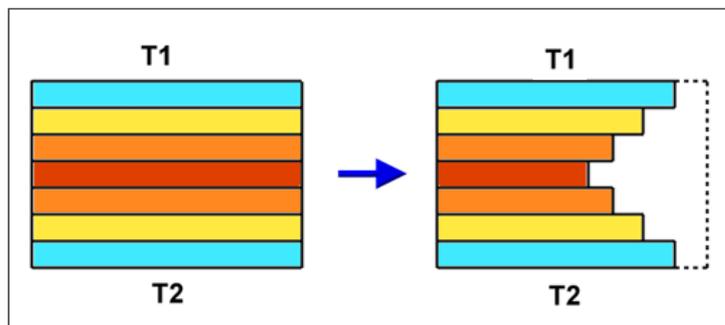


圖 1-1 等溫模收縮示意圖(T1=T2)

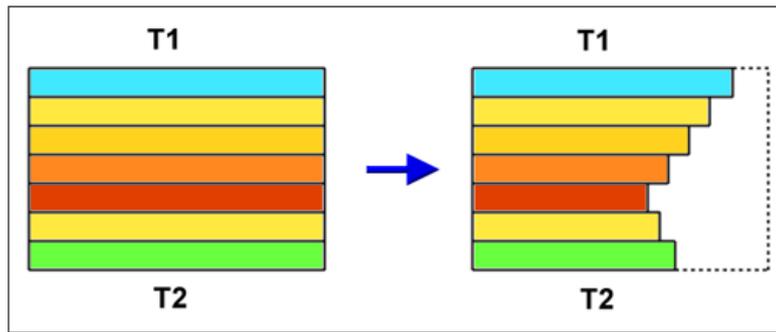


圖 1-2 不等溫模收縮示意圖( $T_1 > T_2$ )

## (二、)利用實驗模具進行驗證實驗

本研究之實驗方法係將實驗成品，如圖 1-3 所示。實際開模具(一模四穴)射出製程來驗證其內縮變形的差異性。

模具鋼材：

公模仁 → NAK-80 鋼材(預硬塑膠模具鋼-硬度 400HRC+20)。

母模仁 → STAVAX 420 鋼材(不鏽鋼-480~520HRC)。

實驗的塑膠原料(ABS+PMMA)分別有：AT35、IM070、IM191。

模具表面處理：鏡面處理(Mirror finish)，#10000 番。

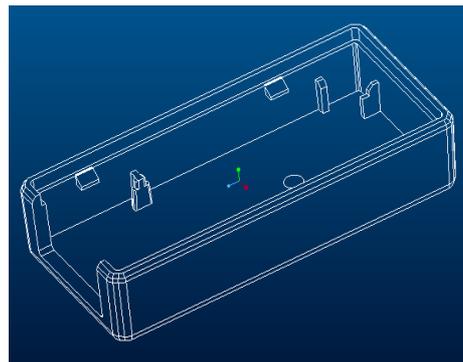
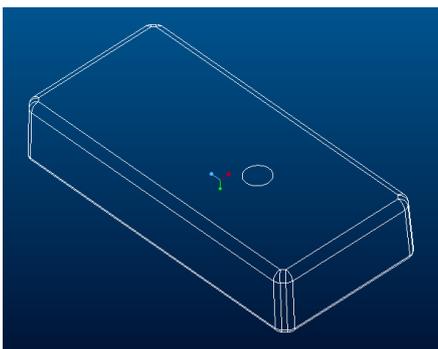


圖 1-3 實驗成品外型

## 第二章 塑膠射出模具與塑料特性

### 2.1 塑膠射出模具簡介

模具是賦予成品固定的幾何形狀，用以重覆大量生產成品的工具。除了產品外形、肉厚設計，還需要考慮澆口位置，流道排列、冷卻管路配置、滑塊、頂針、機構等。【3】

在整個塑膠射出製程中，其模具扮演的角色十分重要，模具設計及製作的優劣直接影響產品外觀效果、成品尺寸公差、產能效率、良率及模具壽命等等，且模具成本的攤提往往在產品成本上佔有一定的比例，由此可知模具的重要性了。在早期國內相關產業上，高精密度或高生產效率之模具大部份都是仰賴日本或歐美國家，模具中之備品及零組件也必須依賴進口，故對於產品成本造成很大壓力，如圖 2-1 所示。為常用之塑膠射出模具結構。【44】

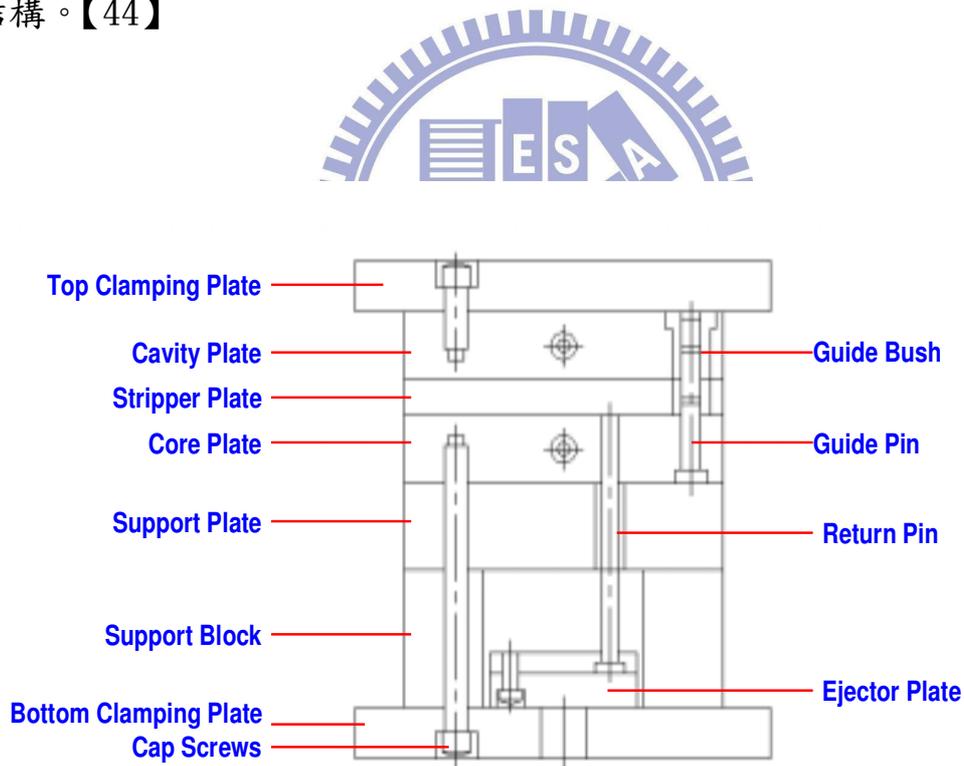


圖 2-1 塑膠射出模具結構

## 2.2 塑膠射出原理

射出成型的原理是將塑膠粒以定量、間歇的方式，自進料漏斗加入，送至加熱管中加熱使其融化後，透過活塞住或推頭向前推進，經過噴嘴射入模具的模穴中。當模穴充滿後，模具的冷卻系統將塑膠料冷卻成固體，待降低到適當溫度後，即可開模頂出成品，然後合模繼續下一個射出循環。射出的主要流程，如圖 2-2 所示。為射出成型周期各部動作圖示，如圖 2-3 所示。【21】

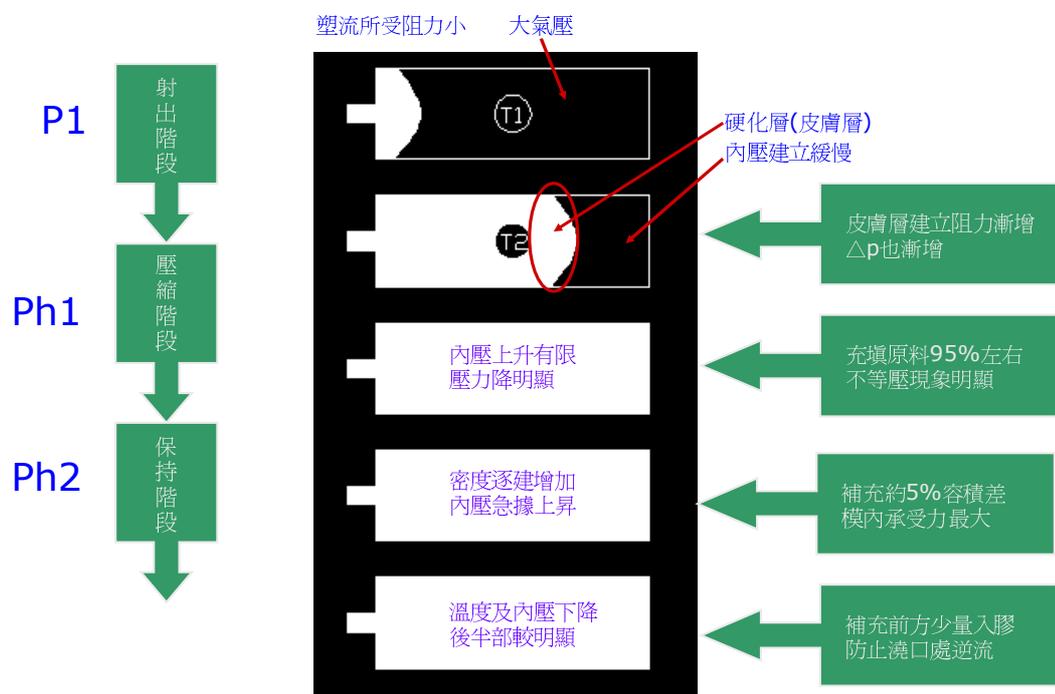
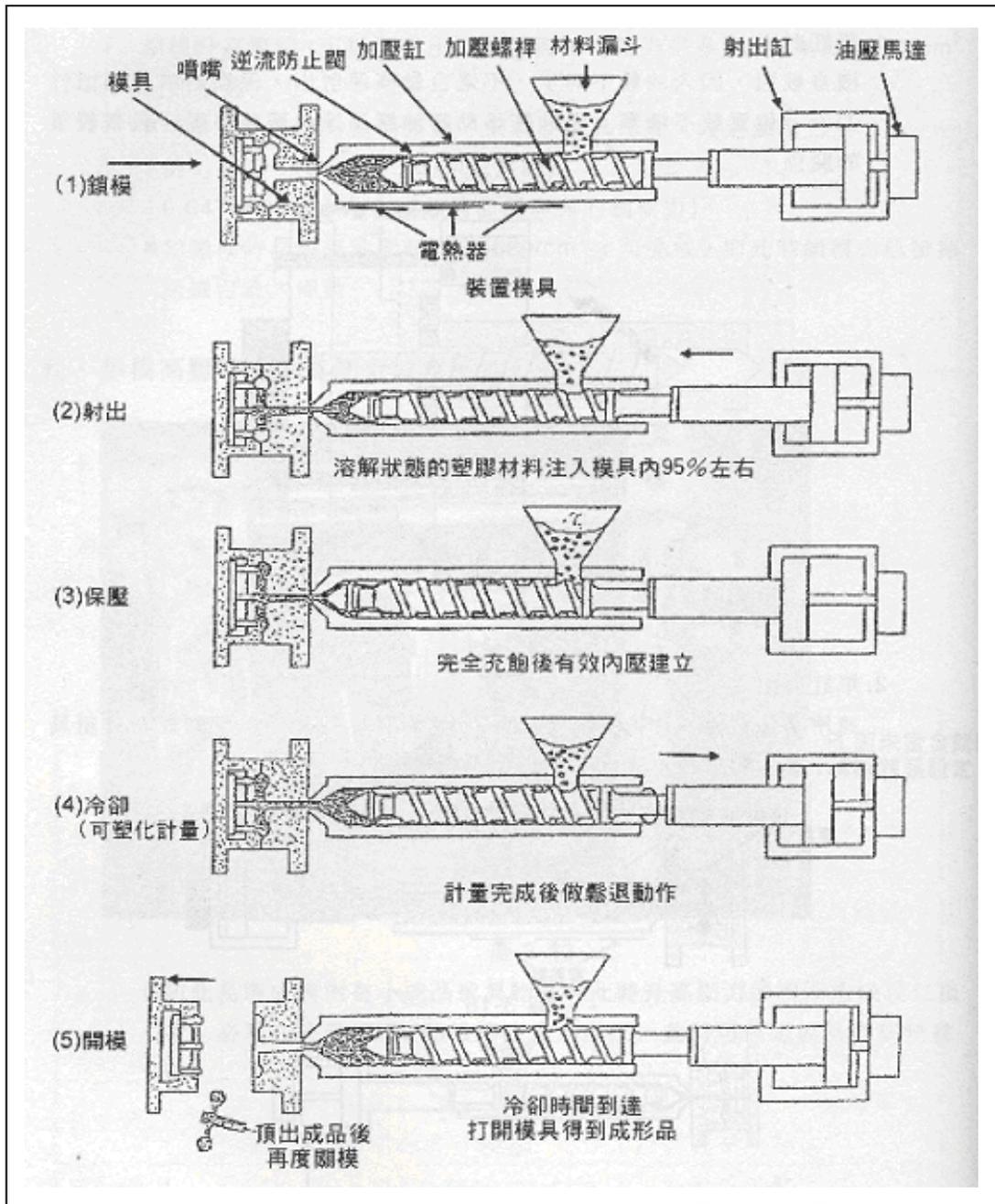


圖 2-2 塑膠射出主要流程



此圖面取自震雄機械型錄

圖 2-3 塑膠射出成型週期

## 2.3 模具設計準則

傳統上在模具設計，首先考量的是機構因素，安排分模面、軸向位置、滑塊頂針、澆口位置、流道排列等，最後才想到塑料應如何充填。

但通常模具設計者本身並不具備的概念，不瞭解究竟多少壓力差才能填滿整組模穴；為了確保性，一般均採取較謹慎保守的方式-加大流道面積，加多澆口數目等；當有了問題，塑料跑不到的地方再多開一個澆口... 這個現象今天在台灣依然普遍。

要得到良好成品，需要瞭解模具內部的流動行為：塑料在高溫下熔融成液態，射出機台賦予一股壓力，熱熔體會因壓力差由高壓往低壓方向流動。模壁兩側速度較中央為慢，是因受到反方向的摩擦力所致，如圖 2-4 所示。 【3】【13】

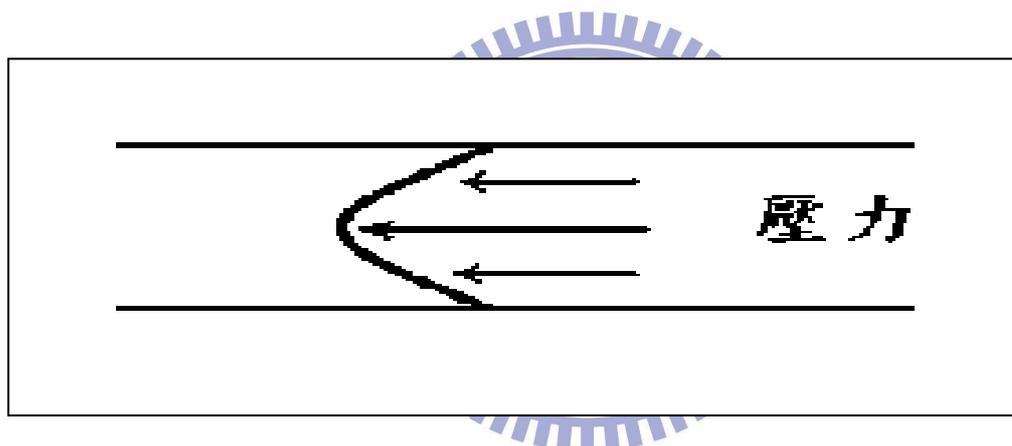


圖 2-4 熱熔體流動方向

事實上，在射出充填階段，仍然可以細分成兩部份流動，如圖 2-5 所示。塑料由噴嘴流出，經主澆道至流道、澆口而注入模穴，由流動起始至剛充滿模穴的瞬間，視為流動階段，如圖 2-6 所示。

保壓【32】：當完全填滿整個模穴後，由於塑膠熔體具有可壓縮性。來自於射座螺桿的壓力持續增加時，此壓力升高可以多填入額外約 15% 的物料。之後，由於冷卻造成體積收縮，保壓後段更隨時填入新塑料以補償收縮減少的體積，正常情況下可填入約 25% 的額外體積，約等於熔融熱塑料與冷固態塑膠的體積變化，如圖 2-7 所示。

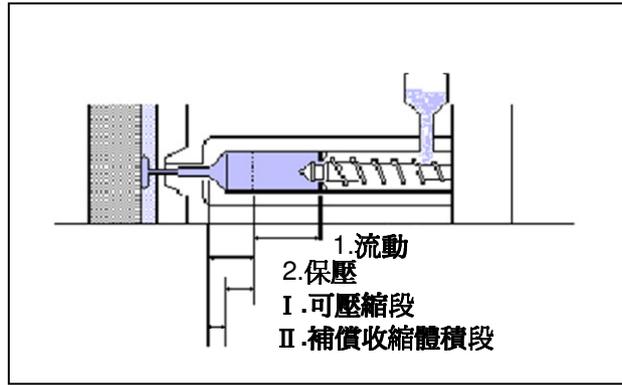


圖 2-5 射出填充細部階段

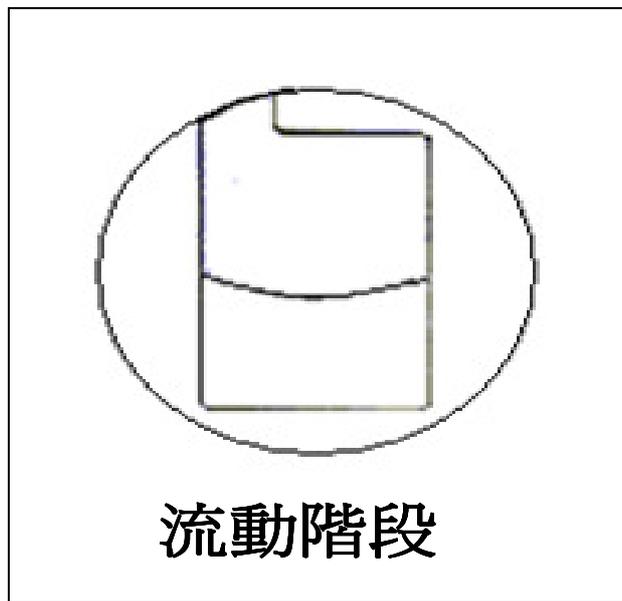


圖 2-6 塑料流動階段

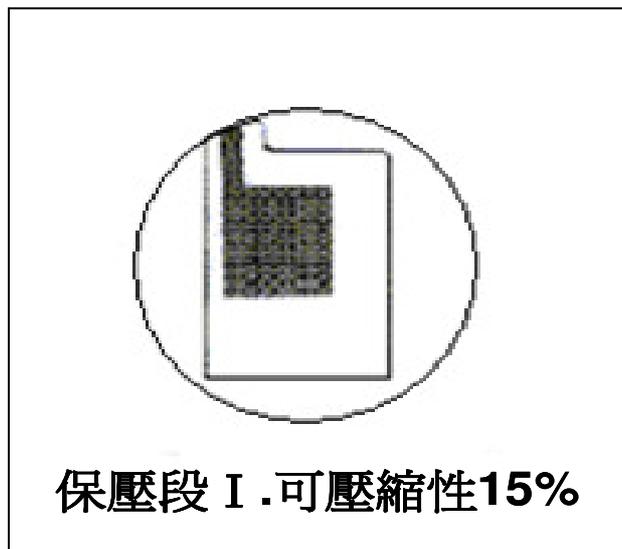


圖 2-7 塑料體積收縮性

## 2.4 模具設計正確觀念

傳統進行一項塑膠製品生產前，造形設計人員首先描繪出抽象的外形，以手工捏製出黏土模型，決定了尺寸後，再交由模具設計人員進行成品圖與模具圖繪製，完成後再去加工模具。

接下來，也許三個月後試模，試模結果經常是發現問題，需要反覆修模，修的不好還需補模，等試好一個產品時，有時模具已是千瘡百孔；而中間過程所浪費的人力與時間更是難以估計！而我們的希望是一次試模就能夠得到良好的產品。

為什麼需要試模？因為沒有人能準確預測塑料在模具內部的情況，而這一部份因素卻決定了產品品質。當得到的產品不是原先所預期而有缺陷時，只能加以修改，以求得較好的產品。

我們能控制的是射出機台上的操作參數，如溫度、射速、壓力、時間等；當完成射出程序後，得到的成品，我們期望是個良好的產品，表面美觀，沒有缺陷，尺寸安定，沒有凹陷變形等。但在模具內部看不到的黑盒子內，到底發生了什麼？中間過程這一部份是我們不瞭解的，為什麼有的產品品質良好，有的卻不良率很高呢？

為達到最佳設計，設計人員應該先瞭解模具內部的結構情形二板模具，如圖 2-8 所示、三板模具，如圖 2-9 所示。在模具設計前就先把相關因素考慮進來，才能獲致良好成品；而 CAE 正是解讀模具內部所有資訊的有效工具。

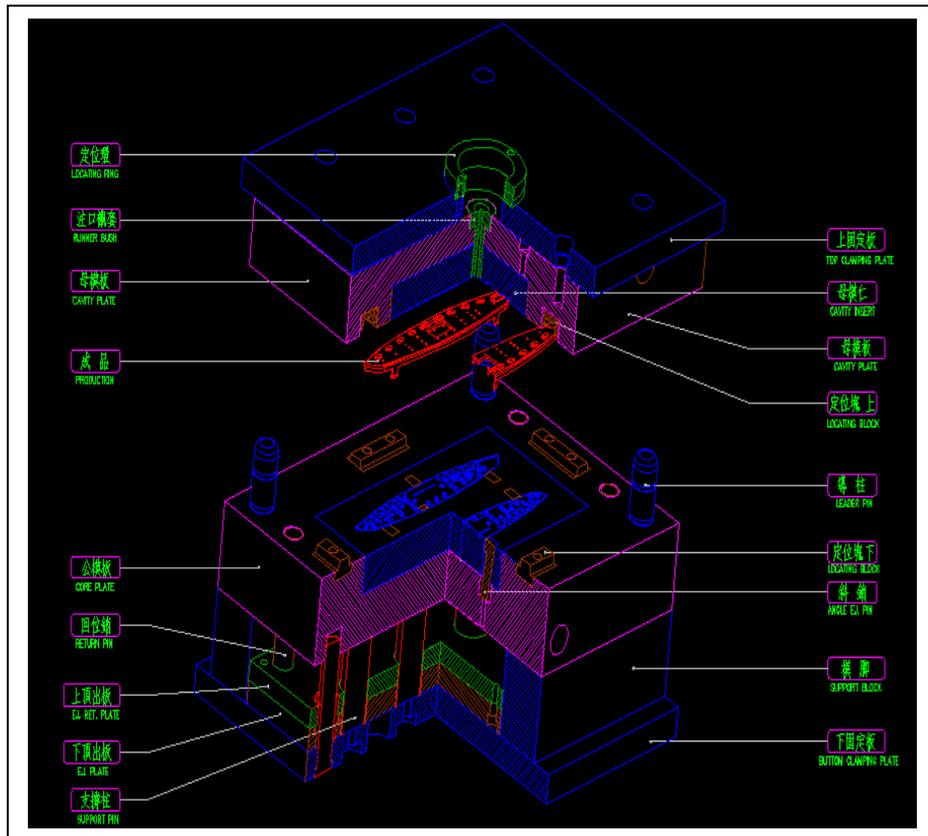


圖 2-8 常用模具結構- 二板模

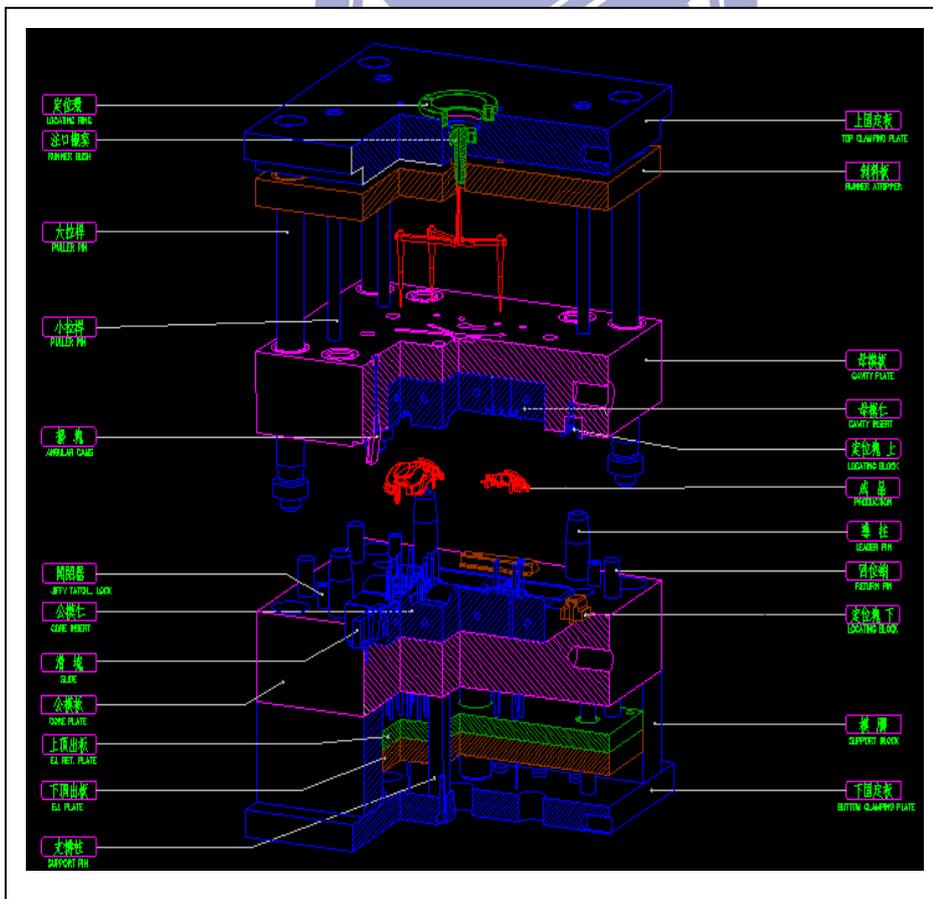


圖 2-9 常用模具結構- 三板模

## 2.5 塑膠射出模具設計與製作

在鏡面(Mirror finish)表面處理之塑膠製造中，而本研究之製品表面即要求鏡面處理；因此在模具材料選擇及加工可說是非常重要的環，其對成型的結果影響可達 80%。然而，基本上，模具的設計大幅影響其表現，例如其流道澆口及模穴等的設計會影響材料充填、冷卻、頂出及成品品質，而模具及模仁材料的選擇和加工則對成品的尺寸與表面精度、二次加工成本等，有很大的影響。

由此可知，模具的設計在整個鏡面拋光製造過程當中是扮演著一個決定性的角色。塑膠之鏡面模具設計的考慮因素如下：【18】【20】

### ●分模面及頂出設計：

1. 脫模時變形的防止
2. 噴砂設計
3. 防止偏心、頂出變形及耐射壓所需之剛性

### ●澆道、澆口設計及模穴數目

1. 澆口設計：有關脫模性、內部壓力、壓力損失及縫合線等因素之考量。
2. 澆口剪斷之作業性

### ●縮收率評估：

1. 外徑之收縮率
2. 偏肉厚程度、形狀因素之修正。
3. 模具構造設計：

### ●調溫設計：

1. 各模穴模溫一致。
2. 感溫器位置設定。

### ●模仁、模具材料選定與加工步驟設定

1. 在材料選擇時考慮非球面加工性、價格、精度、壽命等及加工方式。
2. 透明塑件如何檢查。

### ●尺寸精度：

1. 模具、各零件之基準公差。
2. 嵌合尺寸。
3. 確保透明件偏心精度之模具構造與零件公差。

### ●頂出設計：

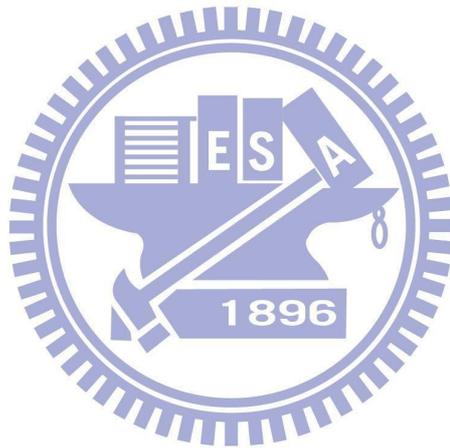
1. 頂出機構。
2. 頂出板之回位機構。
3. 成本計算。

## ● 模具費及成本單價計算

1. 模具規格及加工方式
2. 生產的週期時間、模穴數目、材料費及二次加工費等。

## ● 塑料對模具設計參考因素：

1. MSDS(塑料分析表)
2. SGS(RoSH 檢測報告)
3. 塑料之收縮率、模溫、射壓、烘料溫度、比重、機械性質、耐熱特性等。



## 2.6 塑膠原料特性

一般而言，塑膠原料可大分為兩大類【1】：

一、「熱塑性塑膠」(Thermoplastic)

二、「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，若再次加熱則又會變成熔融的狀態，而可進行再次的塑化。因此，熱塑性塑膠可經由加熱熔融而反覆固化，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」。相反的，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。因此，熱固性塑膠無法經由再加熱來反覆，所以熱固性塑膠的廢料通常是不可回收再利用的。

其工程用塑膠分類【13】包含結晶性及非結晶性塑膠，接下來，說明這倆者的差異為何。

**結晶性塑膠：**構造是由許多線狀、細長之高分子化合物組成的集合體，依分子成正規排列的程度，稱為結晶化程度（結晶度），而結晶化程度可用 X 線的反射來量測如圖 2-10 所示。

有機化合物的構造複雜，塑膠構造更複雜，且分子鏈的構造(線狀、毛球狀、折疊狀、螺旋狀等)多變化，致其構造亦因成型條件不同而有很大的變化。結晶度大的塑膠為結晶性 塑膠，分子間的引力易相互作用，而成為強韌的塑膠。為了要結晶化及規則的正確排列，故體積變小，成型收縮率及熱膨脹率變大。因此，若結晶性越高，則透明性越差，但強度越大。

結晶性塑膠有明顯熔點( $T_m$ )，固體時分子呈規則排列，強度較強，拉力也較強。熔解時比容積變化大，固化後較易收縮，內應力不易釋放出來，成品不透明，成型中散熱慢，冷模生產之日後收縮較大，熱模生產之日後收縮較小。

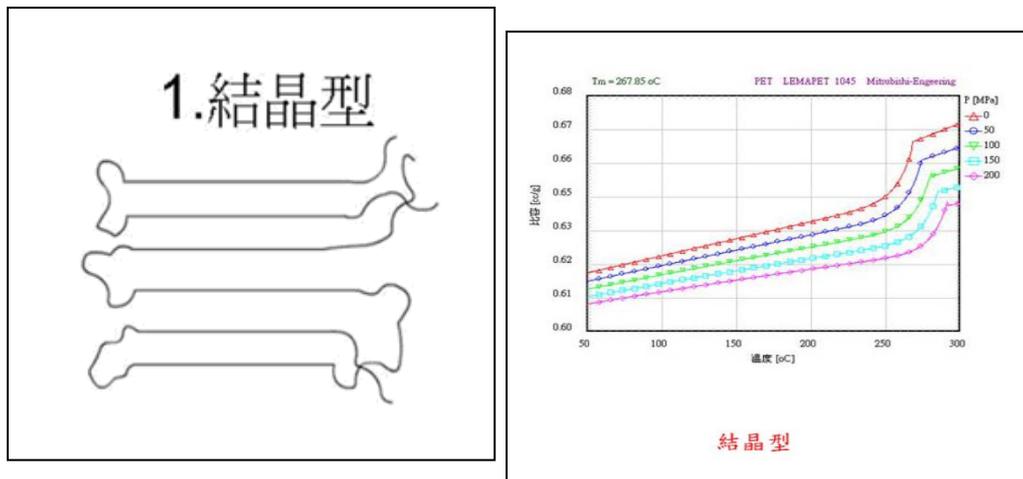


圖 2-10 結晶性塑膠

### 非結晶性塑膠：

非結晶性塑膠，其無明顯熔點，固體時分子呈不規則排列熔解時比容積變化不大，固化後不易收縮，成品透明性佳，料溫越高色澤越黃，成型中散熱快，以下針對兩者物性進行比較。至今尚未有 100% 的結晶性高分子合成出來。如圖 2-11 所示。【13】

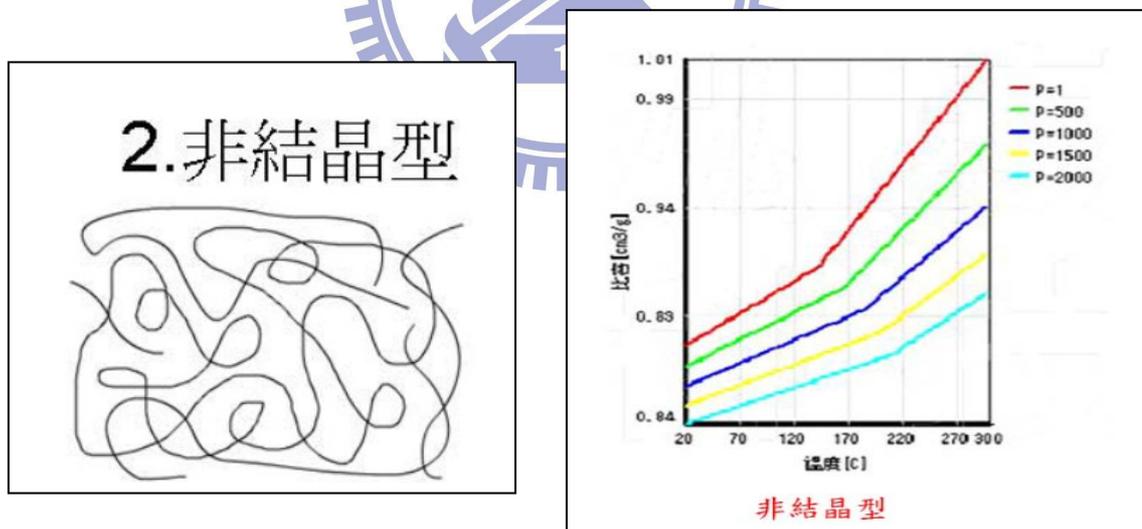


圖 2-11 非結晶性塑膠

混和性結晶塑膠：如圖 2-12



圖 2-12 混和性結晶塑膠

結晶性塑膠與非結晶性塑膠溫度變化時體積產生的變化(即 PVT 圖)如圖 2-13 所示。如果是結晶性塑膠，在未達結晶溶解溫度  $T_m$  前，比容積的變化不大，而達到結晶溶解溫度後，比容積一下子暴增，而非結晶性塑膠完全相反，它沒有較為明顯的結晶溶解溫度，而在經過玻璃轉換溫度  $T_g$  時，會呈現出比較線性的變化。

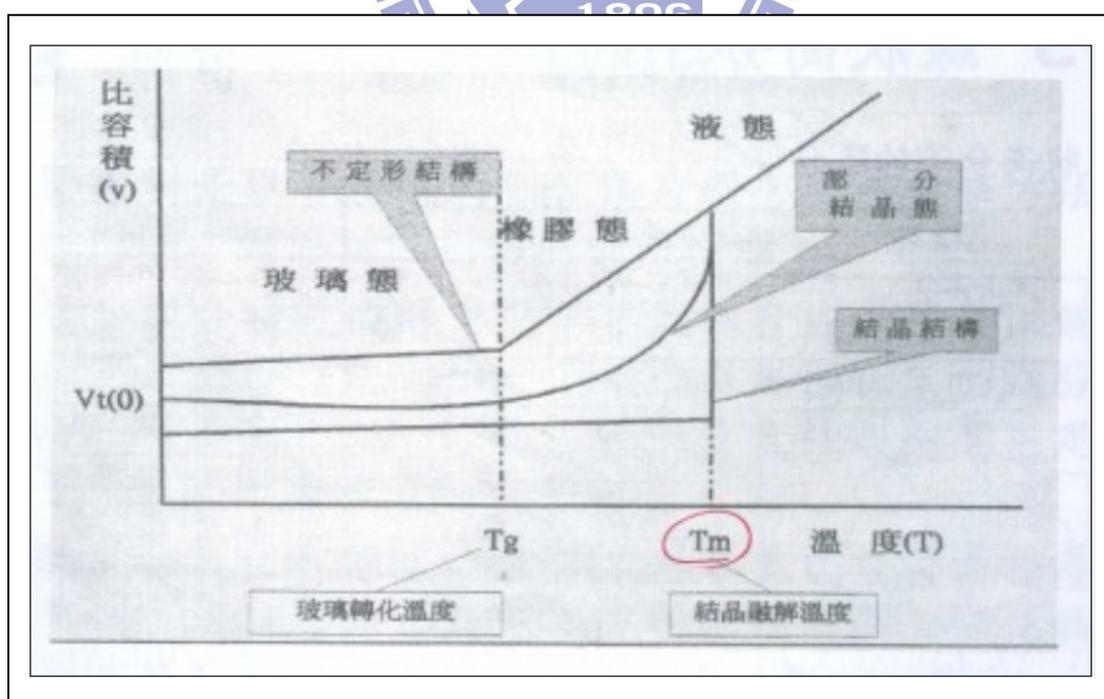


圖 2-13 結晶性與非結晶性 PVT 圖

## 2.7 翹曲、變形現象

翹曲、變形是由射出加工後，其產品零件內部受保壓壓力與內應力收縮變化而造成的，單有收縮並不會造成翹曲，而一個厚度均勻的收縮只會使到物體變小而已。物體發生翹曲，是因為產品零件在收縮時發生不均的現象，故造成內應力（所有的零件均有內應力），而該內應力超過產品零件的剛度，所以就發生翹曲、變形的現象。而翹曲的形成就是由於塑膠件收縮不均所造成；如果元件收縮的區域不均勻，那就會在此元件內產生應力，而該應力得視產品零件的剛度而定，長時間的翹曲則可能會造成產品零件的變形，甚至是產生裂縫等。

射出時，在塑流的方向以及與其直交之方向上，其收縮率並不相同，在塑流方向上，其收縮率較大，兩方向收縮率之差異，在結晶性樹脂之場合，大致達到40/1000之量，此外收縮率亦與肉厚之不同而相異，這種收縮率之差異必然是造成件變形之潛在原因。因此在收縮終了後，因射出壓力已經解除，件將很快地就出現翹曲、變形等現象，嚴重時造成不良的結果。此外，如果品在模具內未能充分予以冷卻固定而即行取出時，亦將受頂出銷衝擊而導致件的變形。

矯正翹曲、變形之對策，除了必須適當地調整製程條件之外，補助矯正的方法有冷卻或使用矯正用夾具的方法，但是這種方法通常只針對固化不完全之品在取出後即行矯正並且要維持數分鐘以上才有效，在生產效率面上，並不值得採用；因此由上述得知導致射出件翹曲、變形等缺陷現象的原因為：

**(1) 收縮不均勻的情況【41】：**常因溫度、壓力、分子配向及壁厚等各種要因而不同；如兩溫度不相等的平板，因溫度較高平板經冷卻階段後收縮量較溫度低平板高，所以溫度較低面會向溫度較高面翹曲；在厚度不均的平板中，因厚度較厚區域收縮量較大，翹曲方向會往厚度較大者；在模型構型中箱型隅角內側較外測不易散熱，所以內側收縮率較大而產生翹曲。

**(2) 冷卻不足的情形【36】：**當成型品在冷卻不足之情況下即從模具內取出時，塑件固化冷卻不全之情況，將因頂出銷之衝力而使品產生變形；其改善的方法為將件在未取出之前，應要完全地給予冷卻固化，但在特殊的情

況之下，會有部份難以完全冷卻的情形，即使以標準之射出條件予以冷卻時，亦很難防止這種變形的發生；因此在這種情形下，必需在冷卻困難之模具部份，另外加裝冷卻配管予以額外處理才可。

**(3) 因頂出銷頂出變形的情形【29】:**除了在固化不足時，容易因頂出銷頂出產生之變形以外，當模具因離模性不良時，所產生之頂出變形亦常有所聞，因頂出力而使物件產生破裂、變形或頂出點出現白點（白化）之現象；其改善的方法是降低射出壓力，並提高加熱氣缸之溫度，以便提高離模性；若仍然無法改善的話，應該修正拔模斜度以利離模之容易性；最後的方法是針對離型不良之部份，另外增加頂出銷或加大頂出銷之直徑亦有顯著之效果。

**(4) 成型時產生變形的情形:**因塑流方向而產生收縮率差，產生翹曲、變形的現象，矯正的方法可以將條件，修正到收縮率差較小的條件；如提高塑膠之溫度，減低射出壓力等，如果仍然無法有效地予以改善時，則應採用補助冷卻或夾具矯正之方法，或將澆注口之位置轉移到最容易產生翹曲、變形的位位置附近。此外，可以在彎曲部份之內側，增加補強肋（rib）【37】以防止變形之發生。



## 2.8 翹曲的原因

塑膠射出後，產品會發生翹曲、變形的原因包括了：溫度差異（主要的因素）-收縮率不均、壓力差異、分子定向（非結晶性材料）、結晶度差異等。當不同層溫度不均、不同點流向不同、不同點冷卻速率不同時，便有可能引起收縮不均勻【42】；例如若零件有不同的厚度，則厚的部分冷卻較慢收縮量較大，薄的冷卻快，收縮量較小，如此便會產生不均勻的收縮，不均勻的收縮會造成零件的內應力而零件是否會翹曲，就須考慮與衡量產品零件的內應力，與剛性兩者間強與弱的問題。

若是剛性較強，有辦法壓過收縮不均，則零件就不會翹曲；反之，若收縮不均勻的很厲害，剛性擋都擋不住，如此便翹曲了。如前收縮的起因所述，可能引起不均勻收縮的情況有很多，上面的厚薄不同只是其一。對晶質材料而言【41】，若有的部份冷卻較快，有的部份冷卻較慢，快的會來不及結晶，收縮量較小，慢的會慢慢結晶，收縮量較大，因此便會造成不均勻的收縮。對非晶質材料來說，順著融膠流向的會收縮較大，垂直融膠流向的收縮較小，於是在兩個方向的收縮便不均勻了。



## 2.9 熔料溫度及模具溫度

塑料對溫度壓力十分敏感，從熔膠保壓、冷卻直到室溫，期間經過熔點、玻璃轉折溫度、分子結構、機械特性、光學性質、比容及壓力等均隨著變化，收縮量因此決定；而塑膠材料的熱傳導率相較金屬相當低（約只11/250），溫度梯度在模具接觸面甚大，而保壓壓力過大或不足，都極易產生殘留應力。所以，為了生產精確的成品，需要注意保壓壓力，及冷卻系統，精確的關鍵步驟不在充填階段，而在後充填。也就是熔膠在後充填階段所受之壓力與溫度，決定品質及尺寸精度。

一般塑料熔膠溫度為 220~250 °C以上，樹脂的平均比熱 0.33 kcal/kg °C，相關塑膠材料參數為：流道位置、塑膠種類、充填時間、熔膠溫度、模具溫度等。而塑膠特性參數為：黏度( Viscosity )、壓力/體積/溫度 (PVT(PVT Relationship))、比熱( Heat Capacity )、熱傳導係數 ( Thermal Conduction )。

溫度的設定，主要包含了熔膠溫度、模具溫度與頂出溫度等。熔膠溫度的設定主要會影響產品加工性的難易，若熔膠溫度過低則塑料黏度較高，成品較難加工而容易發生短射。模具溫度的設定主要會影響模溫分佈與塑料熱傳行為，若模具溫度過低則塑料較易提早冷卻凝結，進而引起成品短射。頂出溫度的設定主要會影響冷卻過程，若頂出溫度過低，則所需要的冷卻時間較長，影響產品所需的週期時間。設定射出機台後，可知道產品所需的條件，是否已超出射出機台的限制【21】。

通常熔料溫度太高或模溫越高，則成品內的殘餘流動應力會降低，因為有更多時間可讓流動應力鬆弛掉；但相反的，熱應力則會增加。此外，熔料溫度太高則會有黏膜、燒焦等現象；而模溫太高，則浪費能源。若模溫不平均，會造成產品不均勻冷卻，則最後品會因不均勻的收縮，而產生翹曲、變形，也會造成射出品，其接合線強度變弱，而產品的表面產生不光澤與少許波紋等現象。模溫一般採用冷模(如50~60°C)，一般而言脫模時其公、母模之溫差越少越好(一般溫差不可超過5°C以上)，脫模後才不易變形，不良率就會降低很多，許可的冷卻管路安排即以達此結果為目標；模具溫度高，其尺寸收縮會增大【16】。

在射出的充填及保壓過程中，熔融的膠料藉由高壓擠入模穴內，但待澆口凝固後的冷卻過程中，模穴壓力已無法再進行控制，因此影響模穴內的比容變化，可說是取決於模穴內的溫度；而溫度控制除熔膠溫度之外，最主要是模內溫度，由於射出是週期性生產，熱量經熔膠充填時定期輸入，這些熱量需經由模具內，所配置的溫度控制系統，利用循環液以熱傳導及熱對流的方式將熱帶走，否則模穴表面溫度會越來越高，而射出模具基本上也是複雜形狀的熱交換器，而溫度控制系統的配置方式及模仁材料，在模具的熱交換過程中扮演重要的角色。

在熔料溫度與模具溫度的關係密切，通常熔料溫度太高或模溫越高，成品內的殘餘流動應力會降低，因而有更多時間可讓流動應力鬆弛掉；但相反的，熱應力則會增加【12】。

此外，熔料溫度太高則會有黏膜，燒焦等現象。而模溫太高，則浪費能源，模溫不平均，造成產品不均勻冷卻，最後品會因不均勻的收縮，而產生翹曲、變形；也會造成射出品其接合線強度變弱，而產品的表面產生不光澤與少許波紋等現象【11】。

。



## 第三章 電腦輔助工程(CAE)模流分析介紹及應用

### 3.1 何謂電腦輔助工程

這是一個革命性觀念的啟示，模具內部的成型型態才真正決定了產品品質，而不僅是機台參數設定或產品外觀設計；最佳產品是需要完整考量，系統化的設計觀念才有辦法得到！但即使瞭解了這個觀念，問題仍未解決，因為在當時，模具內部時的流動形態，仍無法在試模前判斷；而要去預測流動形態，必須依據非常複雜的流體力學與熱傳問題的聯立方程式求解，以人力來做幾乎是不可能。隨著學術理論發展，電腦計算功能的進步，正式為模流CAE開啟了一扇門，1978年，MOLDFLOW【14】公司成立，提供初步的電腦輔助分析技術給世界上不同國家的塑膠製造公司，包括汽車業、家電業、電子業、以及精密模具業等。

現今，模流技術已普遍為世界各國所肯定，功能也加強到各不同階段；而台灣也已開始起步，坊間自三重五股以至於台南高雄鄉間的模具廠，總數可能超過五千家，九成以上仍傳承著師徒相授與摸索得來的經驗，不知其所以然但仍努力接單，持續著台灣經濟的奇蹟；只是訂單愈來愈少，利潤愈來愈薄，競爭愈來愈激烈。．．．現在正是一個轉型的時機，可以預見，當電腦技術幫助縮短成本與時間的同時，沒有跟上腳步的會愈落後愈遠，可能終將被淘汰！

### 3.2 模流分析軟體由來

以下簡單介紹模流 CAE 的起源與歷史，冀能幫助工程人員有不同角度的省思與瞭解。

各領域的 CAE 應用功能不盡相同，早期主要是用在結構體強度計算與航太工業上。但應用於塑膠射出與塑膠模具工業的 CAE 在台灣我們稱為模流分析，這最早是由原文 MOLDFLOW 直譯而來。

MOLDFLOW 是由此領域的先驅 Mr. Colin Austin 在澳洲墨爾本創立，早期(1970~)只有簡單的 2D 流動分析功能，並僅能提供數據透過越洋電話對客戶服務，但這對當時的技術層次來說仍有相當的助益；之後開發各階段分析模組，逐步建立今日完整的分析功能。

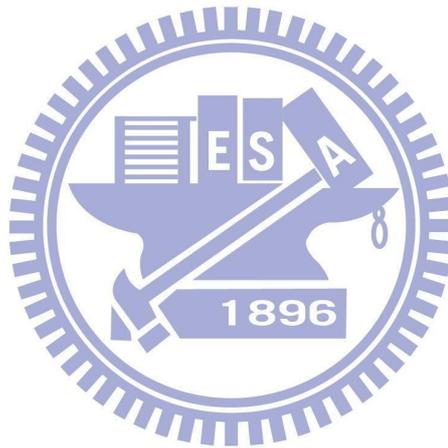
同一年代，美國 Cornell 大學也成立了 CIMP 研究專案，由華裔教授 Dr. K. K. Wang 所領導，針對塑膠射出加工做系統理論研討，產品名為 C-MOLD 自 1980 年代起，隨著理論基礎日趨完備，數值計算與電腦設備的發展迅速，眾多同類型的 CAE 軟體漸漸在各國出現，功能也不再侷限於流動現象探討。約 1985 年工研院也曾有過相似研發，1990 年起清華大學化工系張榮語老師也完成 CAE-MOLD 軟體提供會員使用，目前則由科盛公司代理銷售。

Moldex 3D 模流分析軟體，則是由科盛科技公司所開發而成，科盛科技研發與技術團隊主要利用有限元素(Finite Element Method)法，模擬塑膠射出之加工方法，並將射出各階段的模擬數值，作為實際的模具設計、修改與生產線上製程參數設定之參考【17】。

### 3.3 模擬軟體輔助目的

塑膠射出所牽涉的環節繁雜眾多，具有對技術應用性依賴度很高。隨著 CAE 軟體的應用加上這幾年來軟體不斷的開發及更新，應用的層面逐漸擴展及被重視。讓所有塑膠問題先前可以用 CAE 軟體模擬、分析並找出原因加以預防及改善，減少試模的次數，以滿足客戶需求並提昇產品品質之競爭力及成本價低為優先考量。其模擬分析特性【7】：

- 充填分析
- 保壓分析
- 冷卻分析
- 翹曲分析
- 氣體輔助充填分析
- 由電腦試模尋求最佳化設計，以節省試模次數及開發之成本

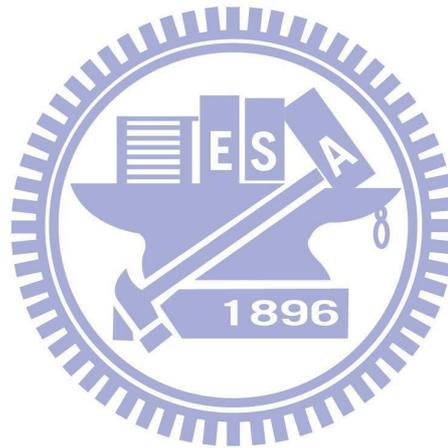


### 3.4 CAE 允許誤差

CAE 是一項電腦工具，其效益大小決定於操作者如何發揮；但錯誤的輸入可能得致反效果，遭受更大的損失。要能發揮 CAE 的功能，關於準確性的一些基本的觀念需要事先瞭解：

- 理論未完全發展完成前，仍有簡化與假設，可能導致誤差。
- 電腦運算與數值方法求解，為達到收斂得解，會有部份計算誤差發生。
- 物性數據的真實性(測試誤差與製程穩定性)。
- 人為操作誤差。(模型建立尺寸精度等)

一般說來，CAE 得解的誤差值不見得都能小於模具容許公差，但這不要認為 CAE 不夠準確或失去實用性；現實上，理論與實務雖仍有差距，但相對的 CAE 提供了詳盡的數據輔助判斷，較之傳統經驗試誤法仍是大幅提升了效益。



3.5 CAE 模擬分析流程，如圖 3-1 所示。

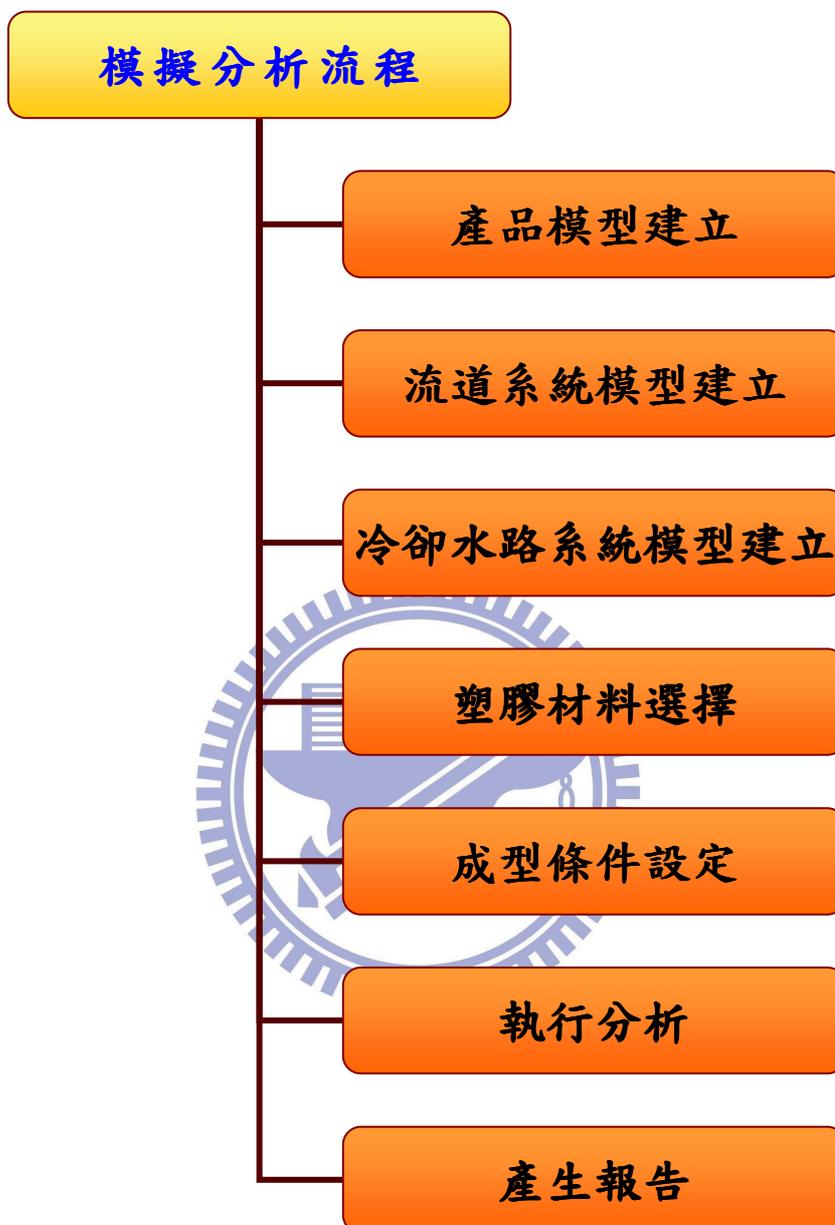


圖 3-1 模擬分析流程

### 3.6 模擬 CAE 操作

模流 CAE 軟體的操作可分成三方面：如圖 3-2 所示。

#### (1) 模型建立(Modeling)：

模型代表著成品幾何形狀與尺寸規格，通常軟體會附有前後處理程式，前處理為 model 建立，後處理為分析結果圖形顯示。另外透過轉換介面也可以接受 CAID 工業設計軟體如 Alias-Wave Front, CAD 軟體如 IDEAS、Pro-E、CATIA 或其他 CAE 軟體如 ANSYS、NASTRAN 等建好的模型。

#### (2) 物性數據(Data Bank)：

所有的物理解析均根據於材料的物性出發做計算，不同物料則有不同的物性，產生不同的情況。CAE 軟體內一般均有內建資料庫，提供操作者呼叫使用。

#### (3) 條件(分析模組)：

完整的射出分為幾個階段，各階段均有不同物理現象在進行，因此也需要分段使用不同模組來做計算。概略來說：充填是一種流動現象，保壓是後續的二次高壓以補償固化收縮的體積；冷卻則計算管路與模具，熱塑料間的熱傳現象。

固化後成品會收縮，收縮不均成品會產生翹曲；受外力時會產生應力變形，添加玻纖的複合材料則有配向性問題，影響結構強度；熱固性材料則需考慮固化反應動力學，氣體輔助射出則有塑膠與空氣兩相流動的問題；另有一些不同於傳統射出的新程序與觀念也正在持續發展中，例如計算模具收縮尺寸、最佳化條件尋找的功能，以及智慧型控制系統等。

固化後成品會收縮，收縮不均成品會產生翹曲；受外力時會產生應力變形，添加玻纖的複合材料則有配向性問題，影響結構強度；熱固性材料則需考慮固化反應動力學，氣體輔助射出則有塑膠與空氣兩相流動的問題；另有一些不同於傳統射出的新程序與觀念也正在持續發展中，例如計算模具收縮尺寸、最佳化條件尋找的功能，以及智慧型控制系統等。

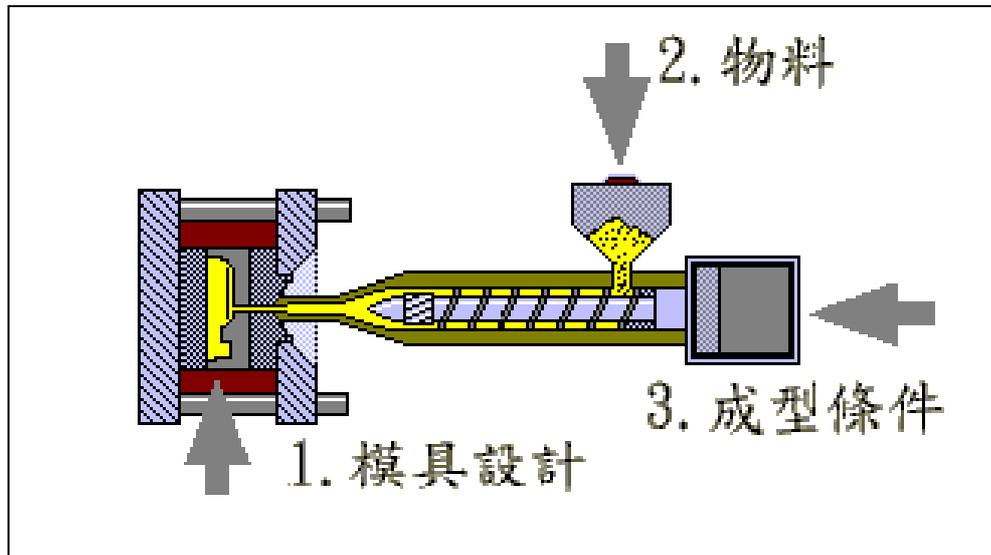
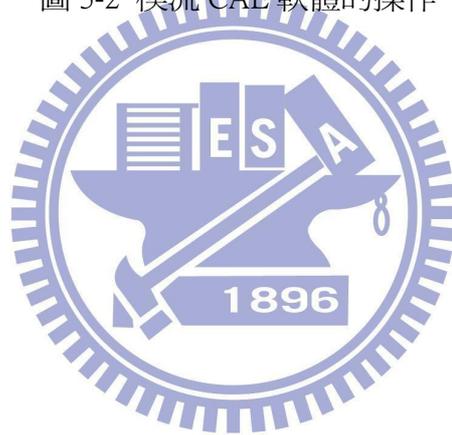


圖 3-2 模流 CAE 軟體的操作



3.7 CAE 解析程序則可以分為六個步驟流程圖，如圖 3-3 所示。

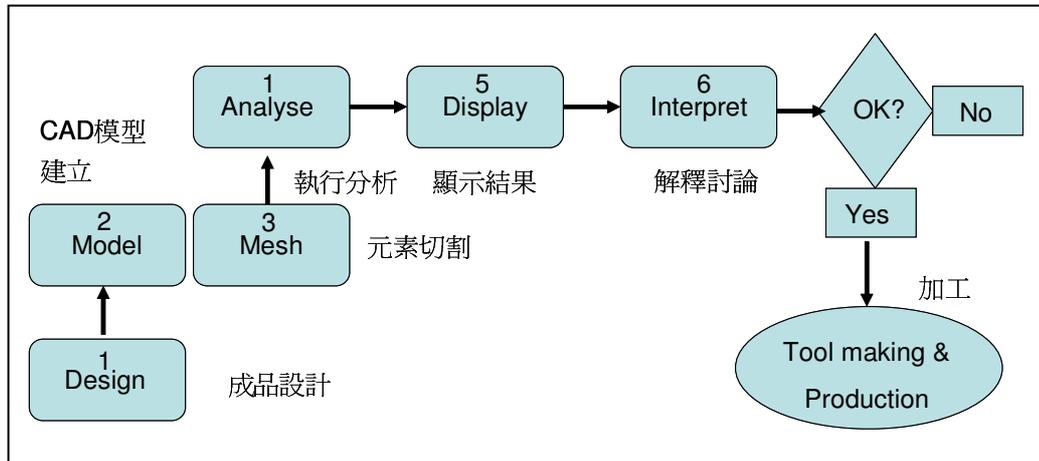


圖 3-3 CAE 解析程序六個步驟流程圖



### 3.8 Model 3D 建構

Model 建立，包括成品幾何尺寸、澆口位置、流道配置等。後處理則是分析結果顯示，包括計算所得的各種物理量，如時間、溫度、壓力等。

另外，當 CAD 已完成 Model 繪製後，可以轉換介面直接讀取，省略二次繪圖時間。目前可接受 IGES、Patran、Ansys、C-Mold(已併購)、STL 及實體元素(Solid element)如 Pro-E 等，如圖 3-4 所示。

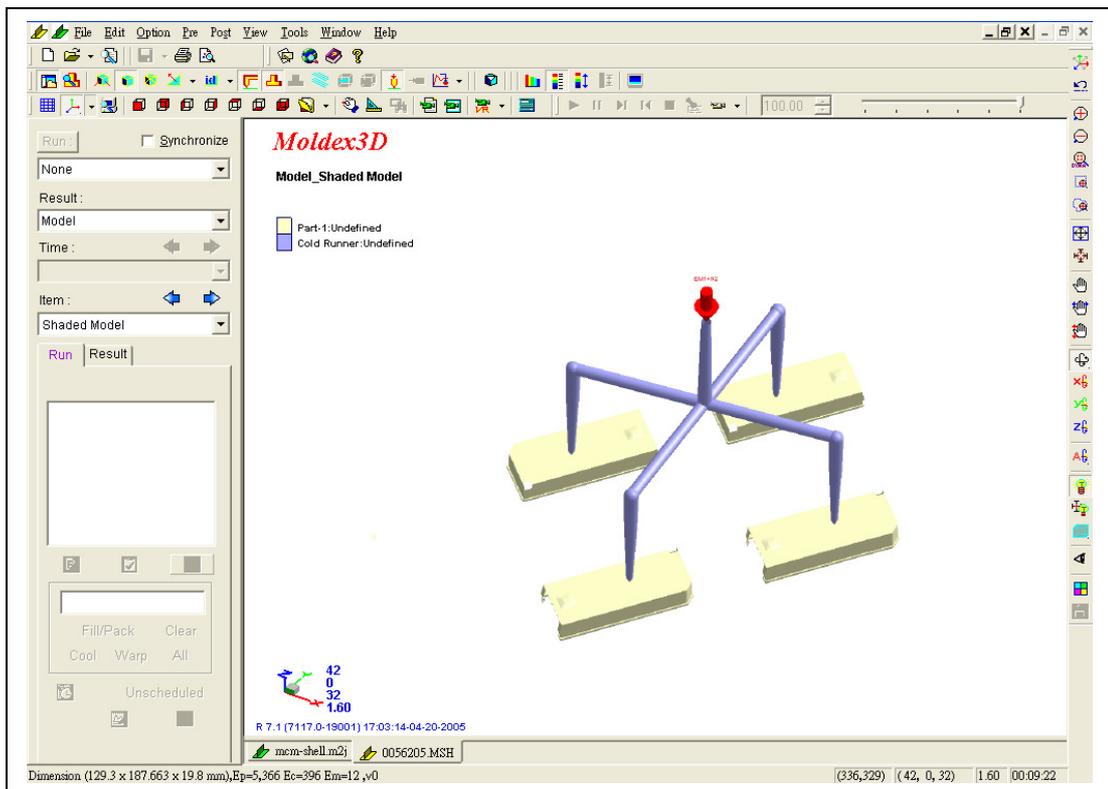


圖 3-4 模流 CAE 軟體的操作畫面

### 3.9 網格設定

建立完成的模型稱為 surface model，是由 surface 所組成；而要進行有限元素計算，則需要將之切割成元素(element)與節點(node)。現今 CAE 軟體大都提供自動切割功能(automesh)，只要指定參數(切割密度)，就可以自動進行元素切割。切割完成的元素模型效果，如圖 3-5 所示。

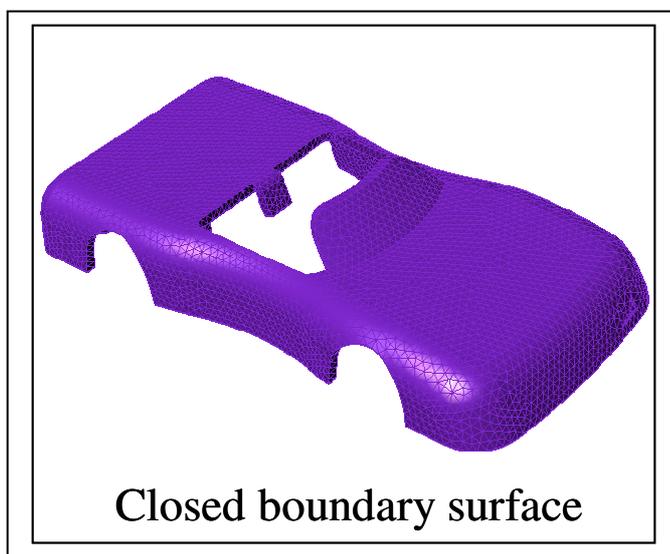


圖 3-5 模流 CAE 網格設定

元素密度會影響正確性與計算時間；若有重要區域，則可以再局部加細密度(refine)，如圖 3-6 所示。

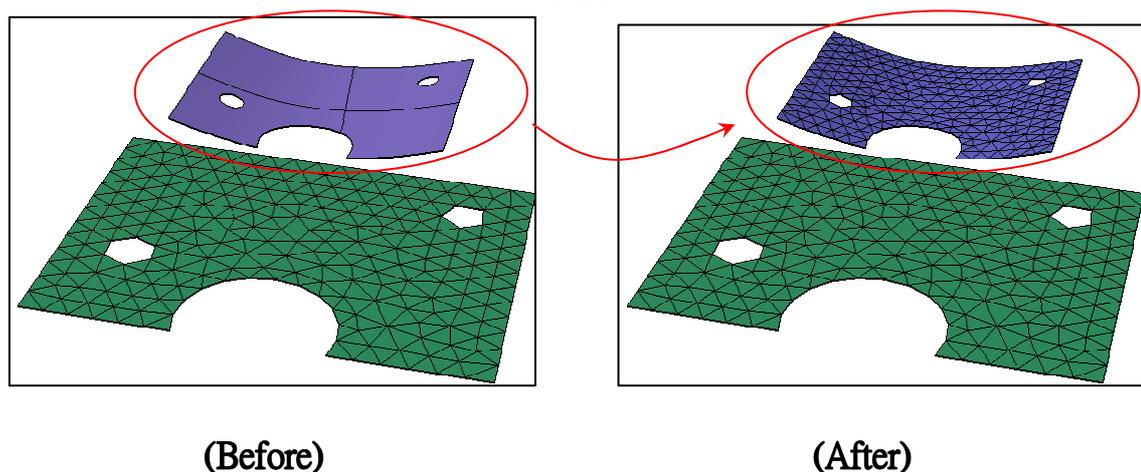


圖 3-6 模流 CAE 密度

### 3.10 CAE 前後處理程序

#### 前處理:

是指 Model 建立，包括成品幾何尺寸、澆口位置、流道配置等，如圖 3-7 所示。

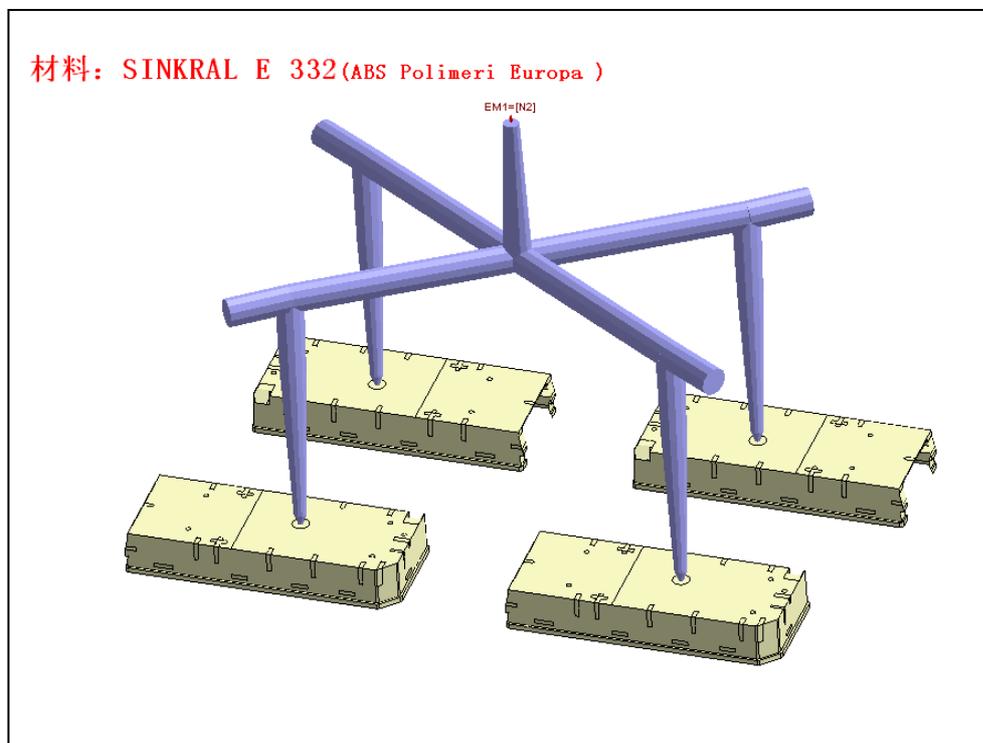


圖 3-7 CAE 前處理程序

#### 後處理:

分析結果顯示，包括計算所得的各種物理量，如時間、溫度、壓力等 MODEL 建立。分析前要先建立一個模型，使電腦能瞭解成品所有幾何性。Model 是由點(point)與面(surface)所組成；範例，如圖 3-8 所示。每一點在空間上都有惟一座標值，面由點所聯結而成，但需注意同一個面上所有點需為共平面，不可以歪斜，否則元素切割(mesh)會有錯誤。面則包含一些屬性，例如幾何厚度、顏色等，用以輔助建立程序與計算進行。

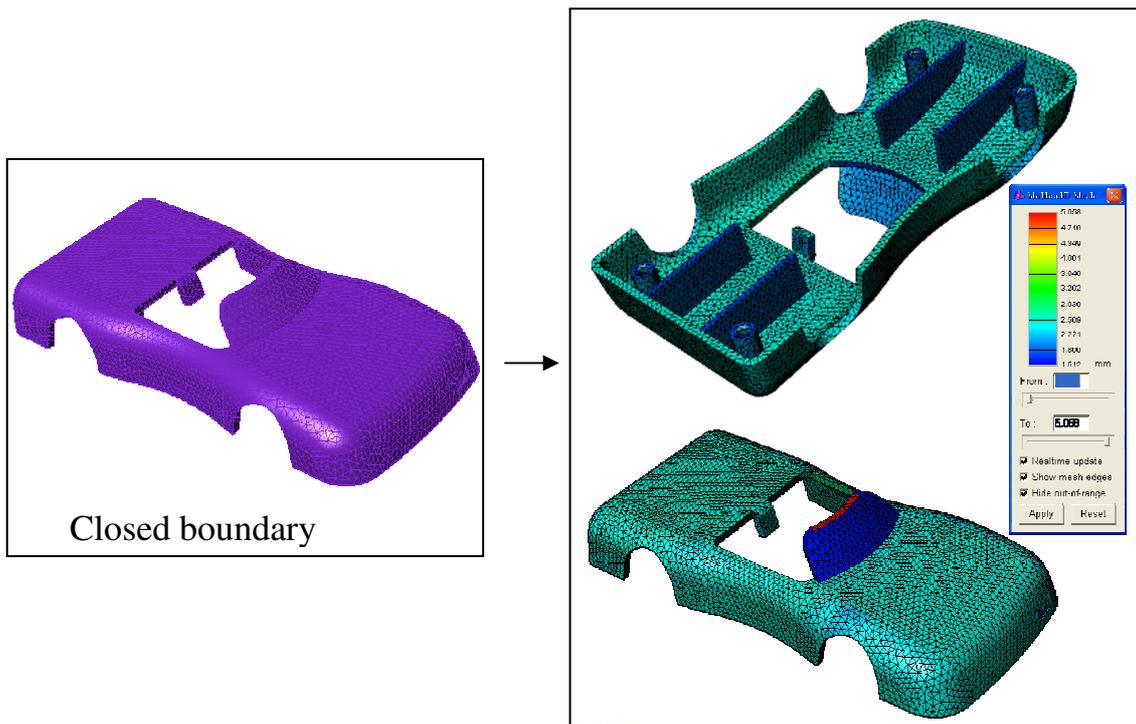


圖 3-8 CAE 後處理程序-元素切割

建立完成的模型稱為 surface model，是由 surface 所組成；而要進行有限元素計算，則需要將之切割成元素(element)與節點(node)。現今 CAE 軟體大都提供自動切割功能(automesh)，只要指定參數(切割密度)，就可以自動進行元素切割。切割完成的元素模型，如圖 3-9 所示。

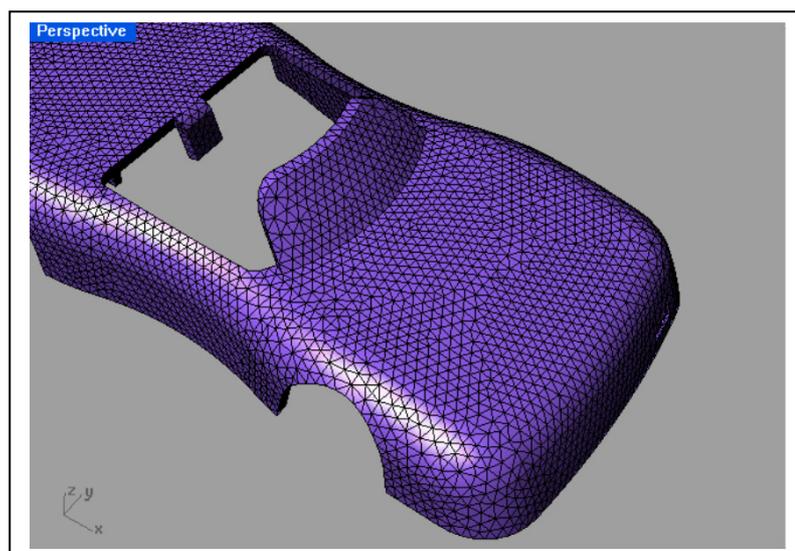


圖 3-9 切割完成後元素模型

元素密度會影響正確性與計算時間；若有重要區域，則可以再局部加細密度(refine)，如圖 3-10 所示。

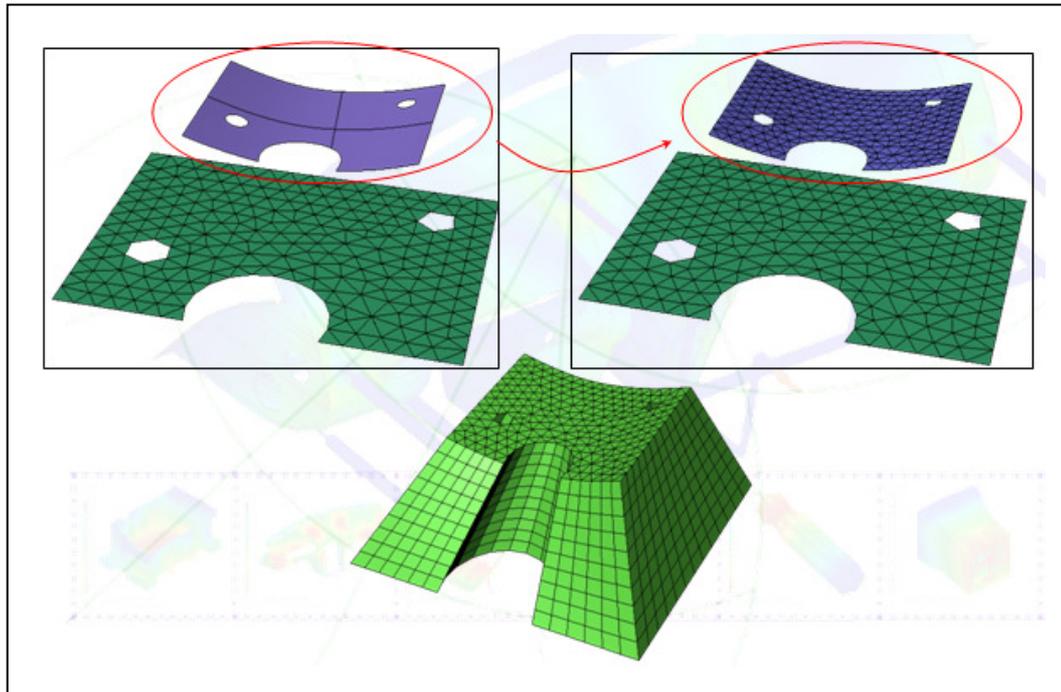


圖 3-10 元素密度



## 第四章 塑膠品內縮變形之改善實驗

### 4.1 實驗之目的

本案所使用之塑料為旭化成 ABS+PMMA 之(1)AT35(2)IM070(3)191 等三種同性質之塑料，由於此系列塑料僅能獲取有限地相關之物性資訊，首先以 ABS 及 PMMA 之特性判斷其縮水率約千分之 3~5 之間做為模具設計依據。然而本實驗對象其上下蓋組立後的間隙設計為 0.05mm，因上蓋外殼成型後恐有內縮變形之虞，如圖 4-1 所示。問題造成整機產品組立後產生異聲問題，希望藉此改善此問題的研究能順利解決異聲問題的發生，有效的控制產品外觀間隙的均勻性，順利完成產品大量生產的目標。

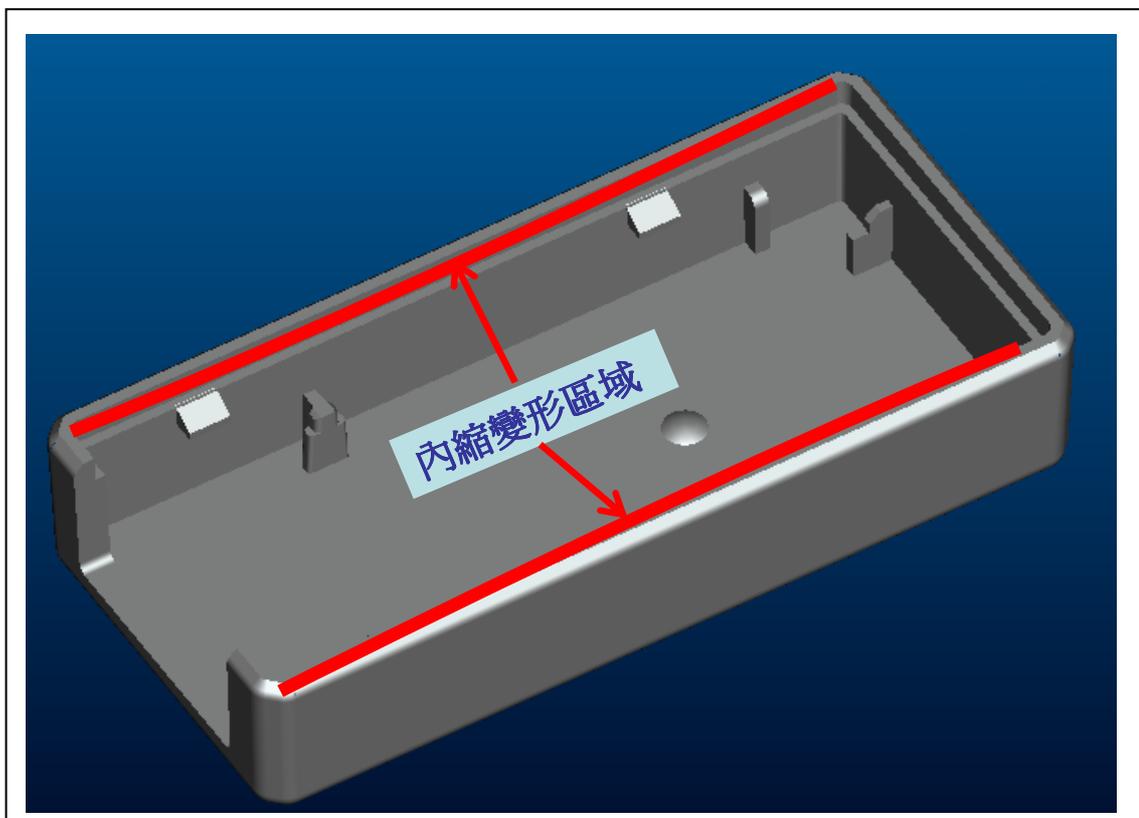


圖 4-1 內縮變形區域

## 4.2 實驗之方法

實驗之上蓋模具設計為一模四穴如，圖 4-2 所示。依據同一廠商所提供之不同型號的 ABS+PMMA 塑料分別進行 AT35、191、IM070 進行試模確認其的尺寸變化，分別以調整不同參數(1)模溫(2)射速(3)保壓分別對於內縮變形之處以 2.5D 之電子量測儀器進行量測，試圖了解依此調整參數對於現有之模具之影響程度。

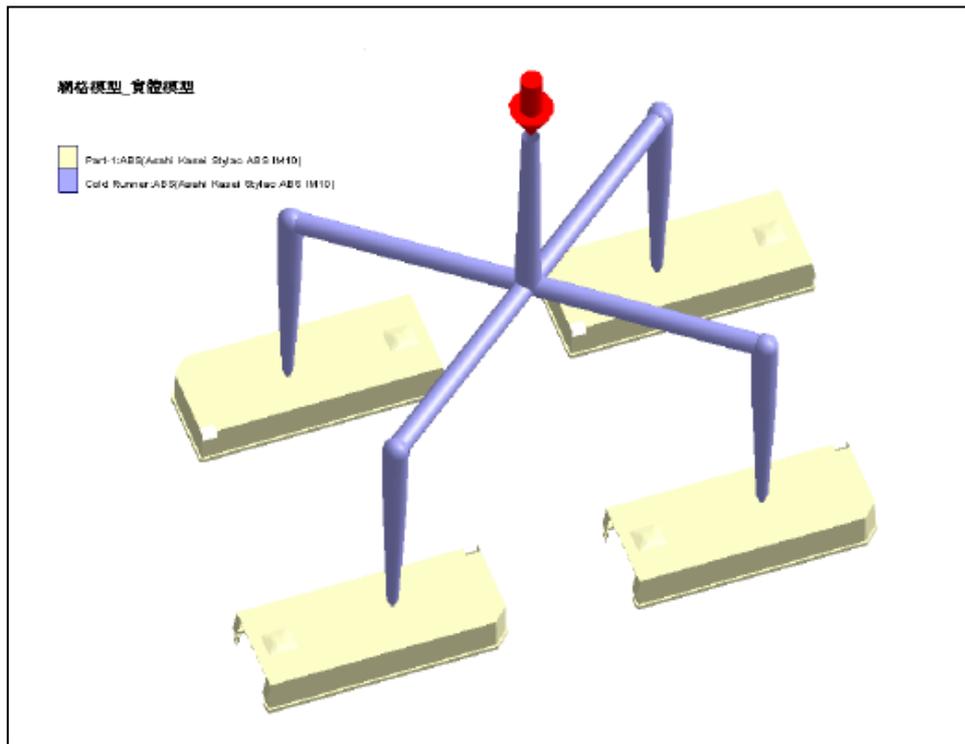


圖 4-2 一模四穴針點進膠

### 4.3 實驗之模具

依據先期模流分析(Moldex3D)及模具廠檢討的結果,找到最佳的進膠點(Gate)位置,如圖 4-3 所示。模具規格定義與成品外觀表面要求鏡面處理(Mirror finish)及模具表面處理規格,如圖 4-4 所示。實驗之成品模具設計圖,如圖 4-5 所示。

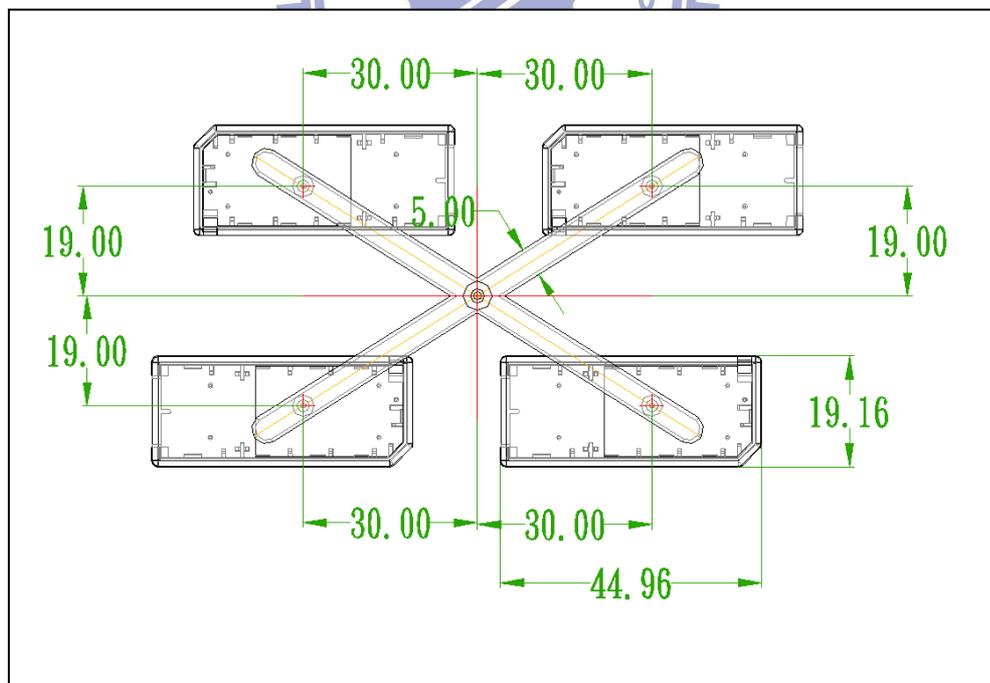
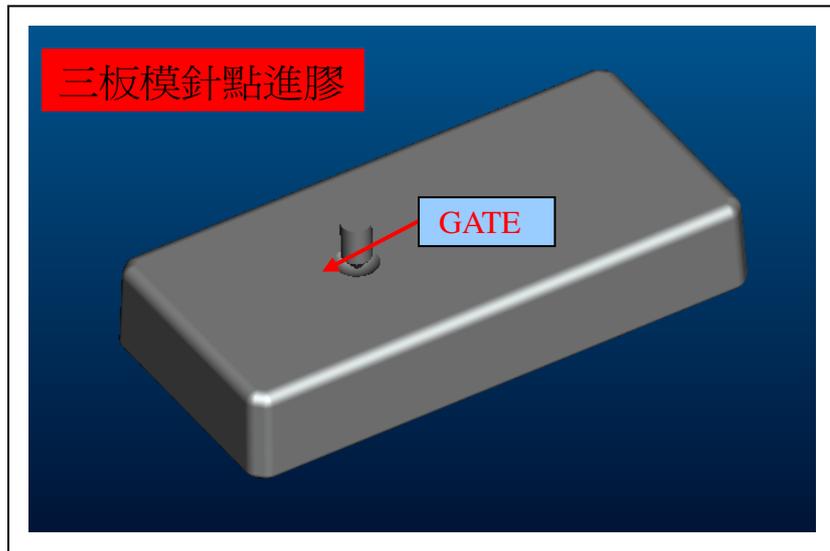


圖 4-3 進膠點(GATE)位置

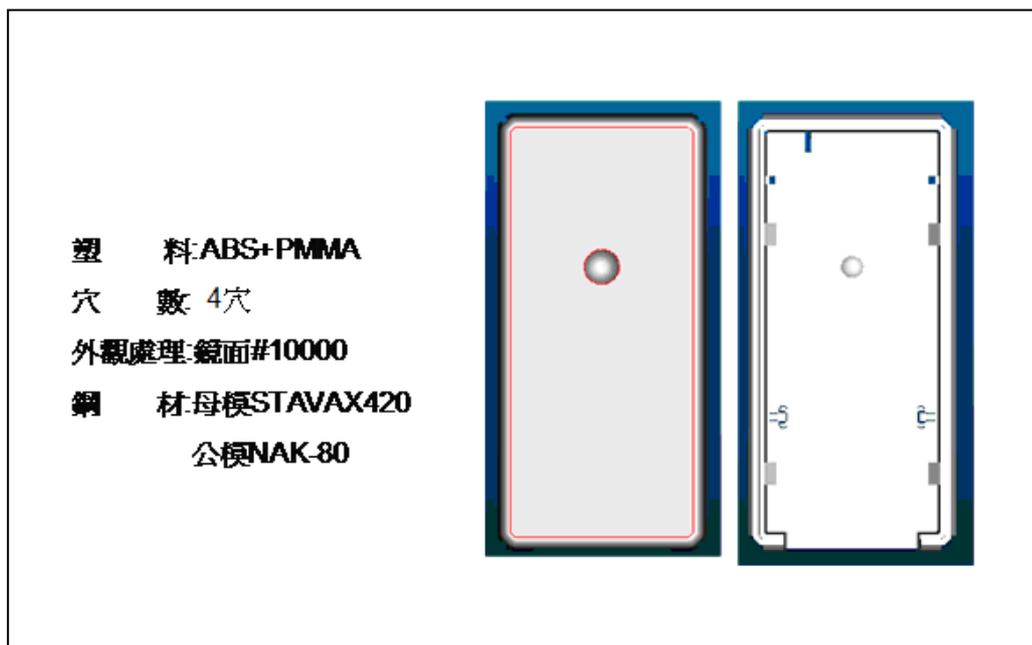


圖 4-4 模具規格定義/成品表面處理定義

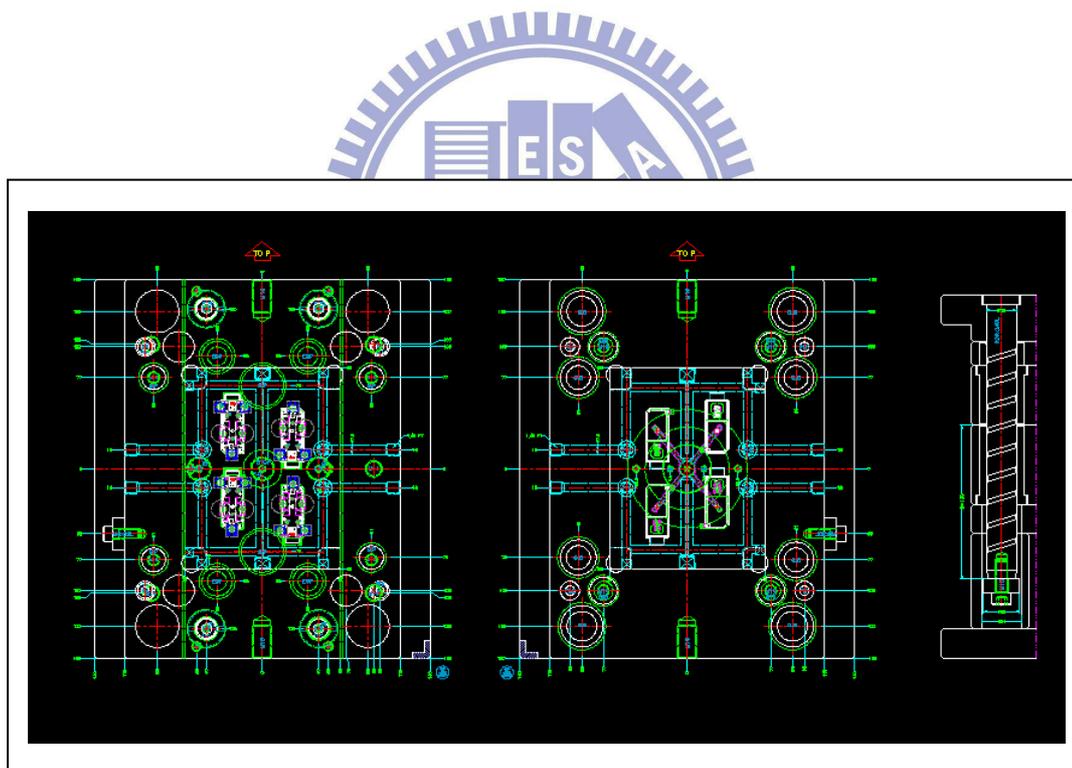


圖 4-5 模具結構圖

#### 4.4 模具水路設計

熱可塑性塑膠之射出模具溫度控制最為常用的方式。模板上設有冷卻孔或者模心的內部設有冷卻用的溝槽等結構，在冷卻環路中使用水、油、多氯聯苯等冷卻用媒體，將模具溫度循環保持在適當的溫度；除了模具溫度的高低之外，還有一項重要的事情就是模具各部份之溫度的保持應該儘量要求均一性，如圖 4-6 所示。

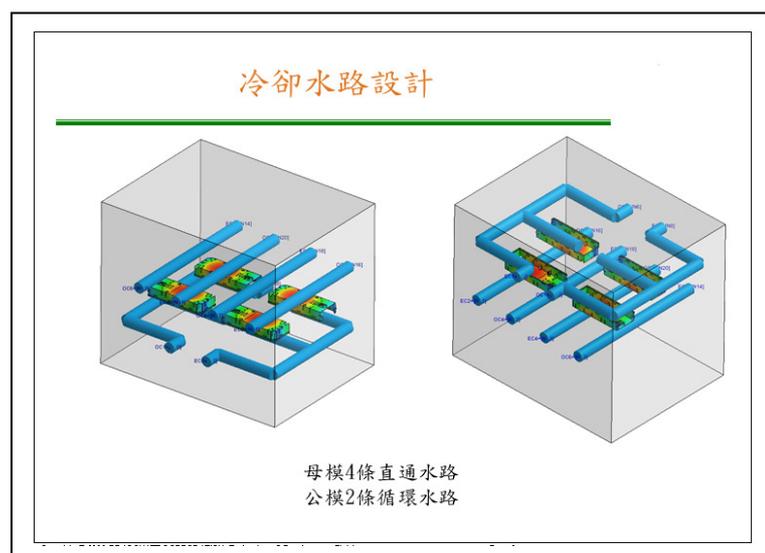


圖 4-6 模具冷卻水路設計

對於生產一般品的模具，模穴各部位的溫度差，應能控制在  $5^{\circ}\text{C}$  以內；至於高精密度的品，溫度差更應控制在  $2^{\circ}\text{C}$  以內。模具的溫度可冷媒的流量、流速來控制；模穴的溫度差雖亦可由冷媒的流量、流速來控制，但會影響模具溫度。一般性之原則介紹如下：

- (1) 在模板開設多數冷卻孔的時候，應該在接近料管的部位(溫度最高的地方)最先通水之後，在使之向外循環。
- (2) 使用其塑料收縮率較大的材料時如聚乙烯(PE)，應該盡量沿著主要的收縮方向開設冷卻溝槽，用以防止變形。
- (3) 進出水孔間距應在 27mm 以上才有空間連接水孔接頭。
- (4) 模仁水孔間距理論應為其直徑的 3~5 倍。
- (5) 冷卻水路出水口不可正對注射機的拉杆，以免造成水路安裝困難。
- (6) 對散熱困難的細長模仁可以使用熱傳導性良好的鈹銅製造。若型芯較粗時(通常 $>8\text{mm}$ )，可在其內部加入銅棒，銅棒一端接到模板水路。
- (7) 冷卻管道至模穴的距離，會影響冷卻效果及溫度的均勻，冷卻管道的溫度分不是成同心圓，當距離模穴近時冷卻效果較好，但會使模穴表面溫

度差距較大。冷卻過程熱傳導的最重要部分是從水管壁到冷卻介質的熱傳導，如圖 4-7 所示。

- (8) 受到從模具材料到冷卻介質熱傳導影響，熱傳導受冷卻液流經模具材料時的紊亂程度、冷卻液進口溫度、冷卻液的性質及冷卻液流速的影響。冷卻液紊亂時混合作用的影響，從水管外壁到冷卻液的熱傳導比層流有效得多。過大的紊亂會浪費泵功率，而且沒有獲得更大的熱傳導能力。在考慮冷卻介質時，要確保廠有能力提供足夠多的冷卻液體積，在足夠的壓力下達到所需的流速，並在一個溫度和所需的速率下釋放熱。因此，設計冷卻管道時應兼顧冷卻效果、溫度均勻、模具強度等因素。

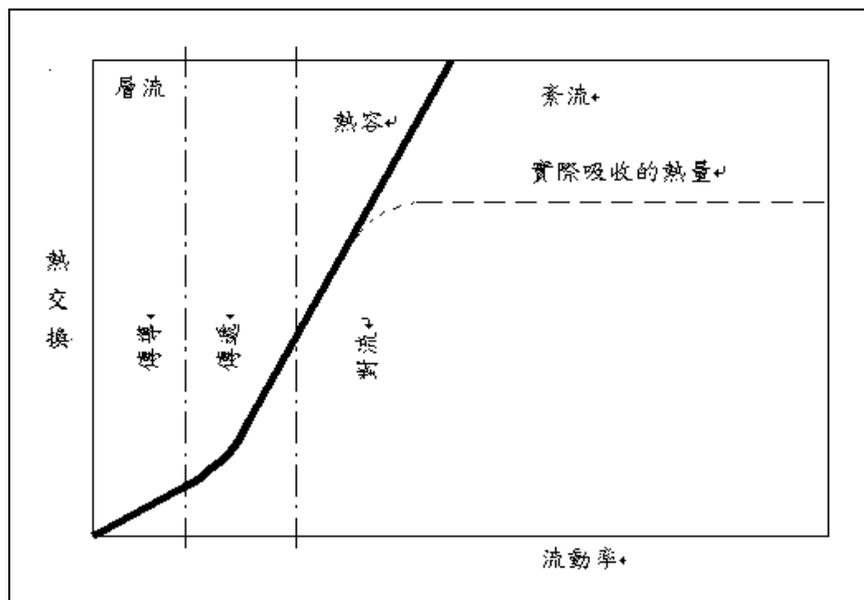


圖 4-7 冷卻過程熱傳導

## 4.5 實驗之參數設定

為滿足客戶所要求之品品質，在射出中調整的參數因子繁多，本實驗之模擬參數設定，如圖 4-8 所示。塑膠射出控制參數因子如射出速度、射出壓力、模具溫度、保壓壓力、冷卻時間等，如表 4-1 所示。塑膠射出加工過程，如表 4-2 所示。製程條件因素有以下：射出速度(包括充填速度、導螺桿轉速、開閉模座速度、成品頂出速度等)；射出壓力(包括充填壓力上限(一段壓)、保壓壓力(二段壓)、導螺桿背壓等)；射出溫度(包括料筒溫度、噴嘴溫度、模具溫度等)；時間(包括充填時間、保壓時間、冷卻時間等)；位置(包括進料位置、充填與保壓轉換位置、頂出量、殘留量等)。

### 成型條件設定

充填/保壓冷卻

充填/保壓設定 (F):

[充填]		
充填時間	0.2	sec
塑料溫度	245	oC
模具溫度	55	oC
最大射出壓力	165	MPa

[保壓]

保壓時間	1	sec
最大保壓壓力	132	MPa
保壓切換	99.5	%

速率多段設定 (G):

射壓多段設定 (H):

保壓多段設定 (K):

充填時間 0.2263sec

壓力 29.966MPa

塑料 Stylac-ABS\_IM10

圖 4-8 參數設定

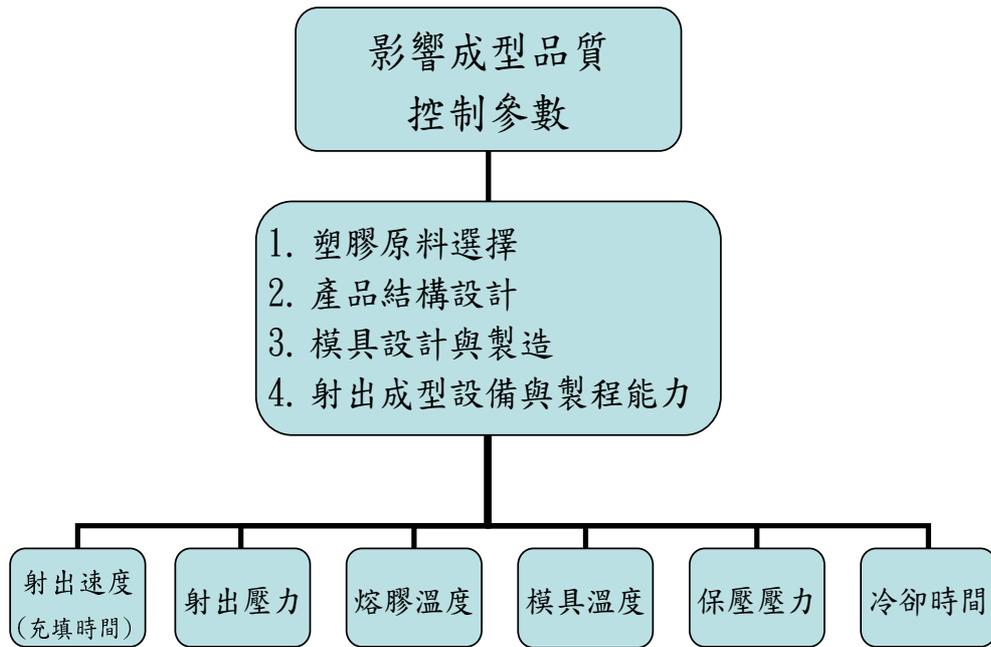


表 4-1 射出控制參數因子分析

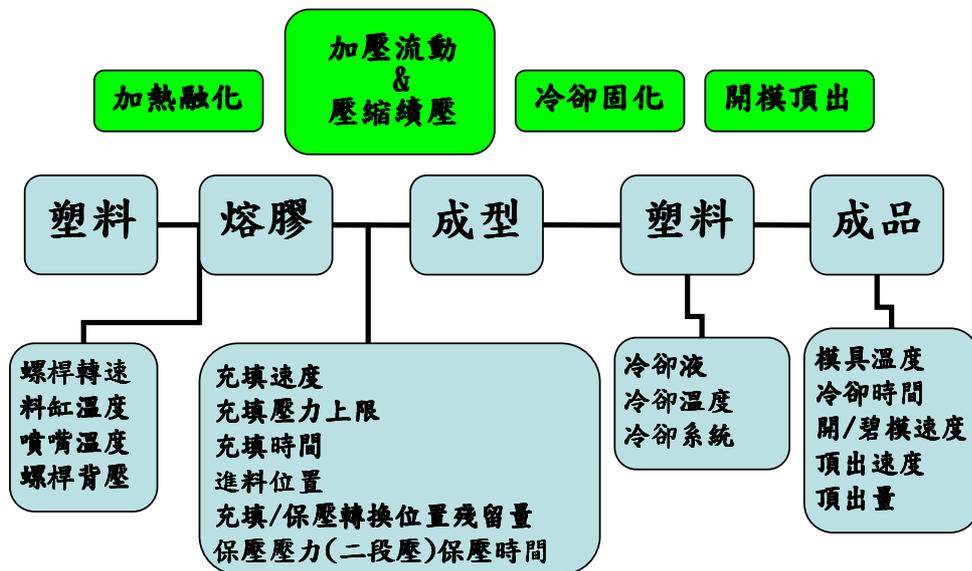


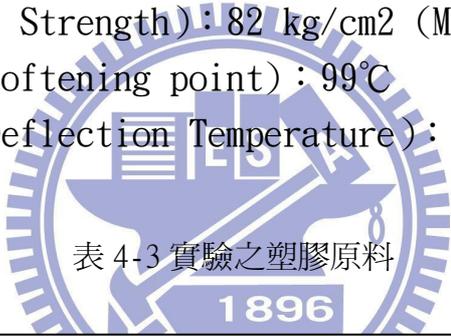
表 4-2 塑膠射出加工流程

#### 4.6 實驗之塑膠原料

實驗之塑膠原料 ABS+PMMA-AT35(旭化成)，物性表，如表 4-3 所示。

- 超高耐衝擊材
- 縮水率約(Molding Shrinkage)：0.4~0.7%
- 射出速度低速～中速
- 熔融溫度 170～250℃
- 乾燥溫度 80～90℃
- 硬度等級：F
- 防火等級(Flammability)：UL 94-HB (普通不防火)
- 熔融指數(Melt Flow Index)：9 (g/10 min)
- 比重(Specific Gravity)：1.12
- 抗張強度(Tensile Strength)：54 kg/cm<sup>2</sup> (MPa)
- 彎曲模數 (Flexural Modulus)：2600 kg/cm<sup>2</sup> (MPa)
- 彎曲強度 (Flexural Strength)：82 kg/cm<sup>2</sup> (MPa)
- 衛式軟化點(Vicat softening point)：99℃
- 熱變形溫度 (Heat Deflection Temperature)：78℃

表 4-3 實驗之塑膠原料



**AsahiKASEI**  
旭化成ケミカルズ株式会社

無塗装・高外観用途ABS系樹脂  
ATシリーズのご紹介 (2007年版)

---

旭化成ケミカルズ株式会社  
スタイラック営業部  
機能樹脂技術開発部  
スタイラックグループ

2007年02月作成

ASAHI KASEI CHEMICALS CORPORATION

## [ I ] スタイラック™-ATシリーズの特徴

AsahiKASEI

- ◆PMMAとのアロイとする事により、
  - (1)優れた着色性があります。  
⇒漆黒調等の深みのある高色調を発現します。
  - (2)一般ABS等と比較して耐傷付性にも優れています。  
⇒一般ABSやPCは鉛筆硬度がBですが、  
ATシリーズは鉛筆硬度がF~2Hです。
- ◆高速ヒートサイクル成形法等の採用によって
  - (3)表面光沢の優れた、ウエルドのない成形体が得られます。

これらより、無塗装で高外観性の樹脂成形体が得られ、  
薄型TVの前面パネルやリモコン等の用途に適しています。

ASAHI KASEI CHEMICALS CORPORATION

2

## ATシリーズと他樹脂の特性比較

AsahiKASEI

	ATシリーズ					(参考)			一般ABS
	AT10	AT900	AT27	AT30	AT35	透明ABS	PC	PMMA	PC/ABS
耐傷付性 (鉛筆硬度)	◎	◎	○	△	△	×	×	◎	×
着色性	◎	△	○	○	○	◎	◎	◎	×
成形性	△	◎	◎	◎	○	◎	○	×	◎
衝撃強度	×	○	○	○+	◎	◎	◎+	×	◎+
特徴 コメント	鉛筆硬度が優れ、最も高色調を発現。(透明品でも使用可能)但し衝撃性、成形性に難あり。PMMAより低比重。	AT10の鉛筆硬度を維持したまま、衝撃強度、成形性を改良。但し着色性は中程度。	鉛筆硬度Hで全ての物性にバランスが取れている。薄型TVベゼル枠等のスタンダード。		鉛筆硬度Fを維持したままAT30の衝撃性を更に高めて、落下等への耐性を高めたグレード。	耐傷付性(鉛筆硬度)劣る。	耐傷付性(鉛筆硬度)劣る。	耐傷付性(鉛筆硬度)は最も優れるが、衝撃強度、成形性に難あり。	耐傷付性(鉛筆硬度)劣る。

\* 鉛筆硬度: 1kgの荷重で実施(JIS K5400に基づく)

→ 2006年度にAT900、AT35を新規開発、上市しました。

ASAHI KASEI CHEMICALS CORPORATION

3

# スタイラック™-ATのグレード一覧

試験項目	規格番号	単位	高剛性	高剛性	硬度/衝撃	衝撃	高衝撃	超高衝撃	参考	
			AT10 一般品	AT10 難型強化	AT900	AT27	AT30	AT35	PC PC110	PMMA 80N
熱和吸水率		%	1.2	1.2	1.5	1.2	1.2	1.2	0.4	2.0
密度	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	1.13	1.13	1.15	1.13	1.12	1.12	1.20	1.19
鉛筆硬度	JIS K5400		2H	2H	2H	H	F	F	B	3H
成形収縮率	ASTM D955	%	0.25-0.5	0.25-0.5	0.3-0.6	0.3-0.6	0.4-0.7	0.4-0.7	1.20	1.19
燃焼性 (1.5mm)	UL94		HB	HB	(HB)	HB	HB	HB	V2	HB
物性(ISO法)										
メルトマスフローレイト(220°C, 98N)	ISO 1133	g/10min	12	16	13	16	15	9	2*	4*
引張降伏(破壊)応力	ISO 527-1	MPa	75*	75*	65	57	52	54	65	75
曲げ弾性率	ISO 178	MPa	3600	3600	2900	3200	2600	2600	2400	3300
曲げ強度	ISO 178	MPa	126	104	95	96	82	82	105	130
ノッチ付きシャルピー衝撃強さ	ISO 179	KJ/m <sup>2</sup>	1.2	1.0	4	5	10	12	65	0.8
ピカット軟化温度(SN)	ISO 306	°C	102	97	103	101	101	99	148	108
荷重たわみ温度(1.8MPa)	ISO 75-1.2	°C	85	79	79	83	78	78	128	85

■ これらの数値は、定められた試験法に基づいて得られた代表値であり保証値ではありません。従って、種々の用途に最適なグレードを選ぶ目安としてご参照下さい。なお、これらの数値は物性改良のため変更することもあります。

■ AT10の引張強度は引張破壊応力になります。またPMMA/PCのMFRは換算値になります。

■ AT900のULは2007/03末迄に取得予定。

■ 成形収縮率は成形条件(金型温度、樹脂温度、射出圧力、保圧等)によって大きく変動します。参考値としてお取り扱い下さい。

■ 【注意】 AT10以外のATシリーズ各グレードに於いては、0°C以下の曝露条件下では成形品に白濁現象が発生する場合があります。従ってご採用時にはこれらの事に十分ご注意下さい。但しAT10に関してはこのような問題は発生致しません。

■ 推奨成形条件  
設定温度が高いとガスが発生し  
易くなる為、全体的に低めの設定  
を推奨します。特に後部を低めに  
設定下さい。

(シリンダー温度設定)  
ノズル 210[°C]~250[°C] 標準:230[°C]  
前部 220[°C]~260[°C] 標準:240[°C]  
中部 200[°C]~240[°C] 標準:220[°C]  
後部 170[°C]~220[°C] 標準:190[°C]

(その他の条件)  
スクリュー回転数: 中速(40~100[rpm])  
射出速度: 低速~中速  
金型温度: 40~80[°C] 標準45~60[°C]  
予備乾燥: 80~90[°C]、3[hr.] 標準80[°C]

ASAHI KASEI CHEMICALS CORPORATION

振取ASAHI KASEI CHEMICALS CORPORATION



#### 4.7 實驗之方法及條件：

4.7.1 Moldex 3D 模擬，如圖 4-9~4-23 所示。

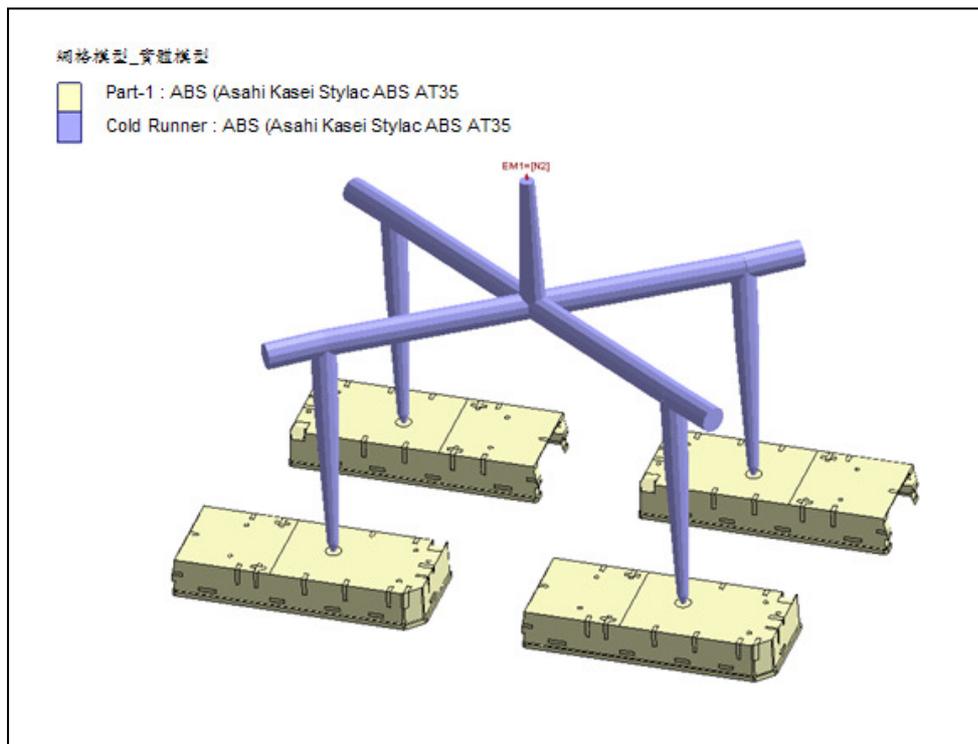


圖 4-9 Gate set up:

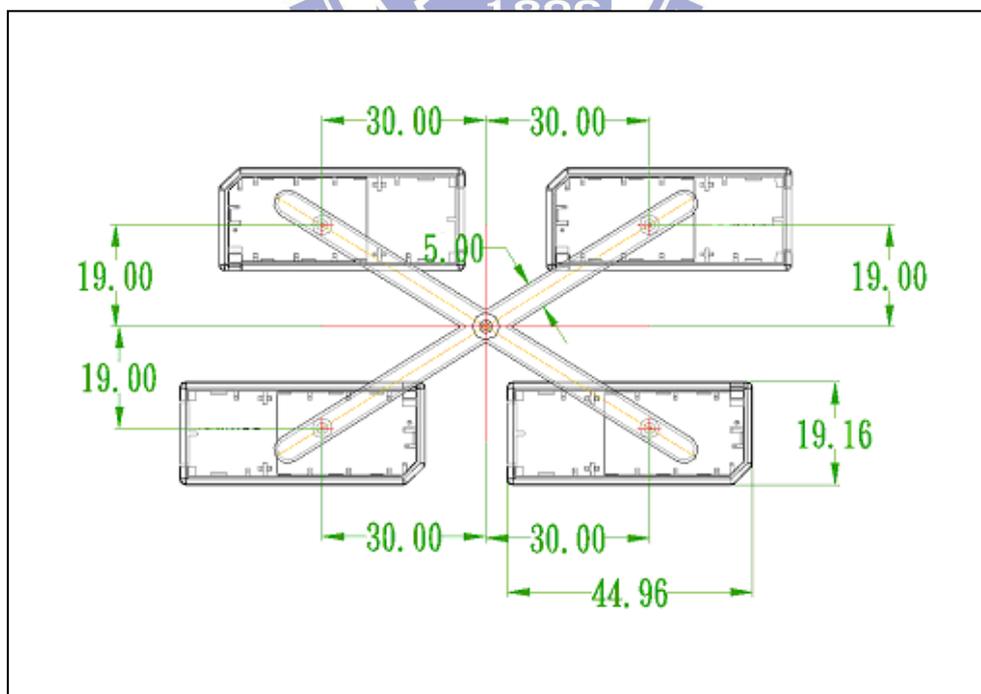


圖 4-10 Gate location



圖 4-11 Injection conditions set up

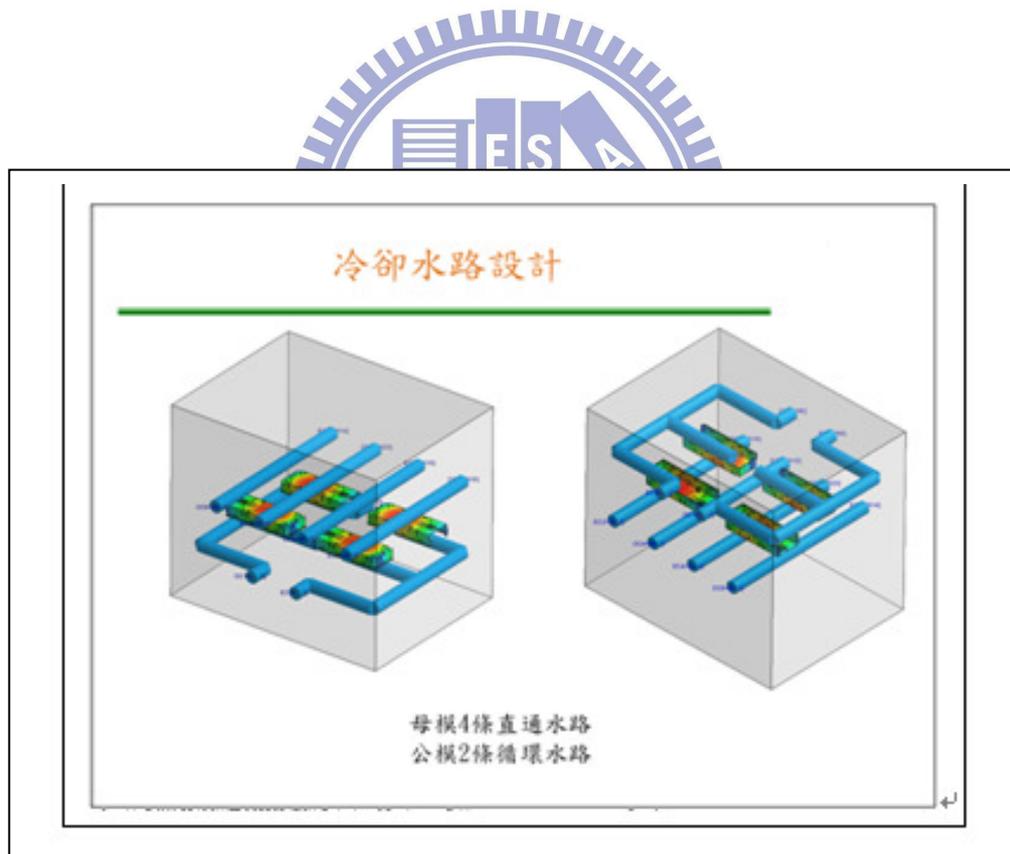


圖 4-12 Cooling channel network analysis

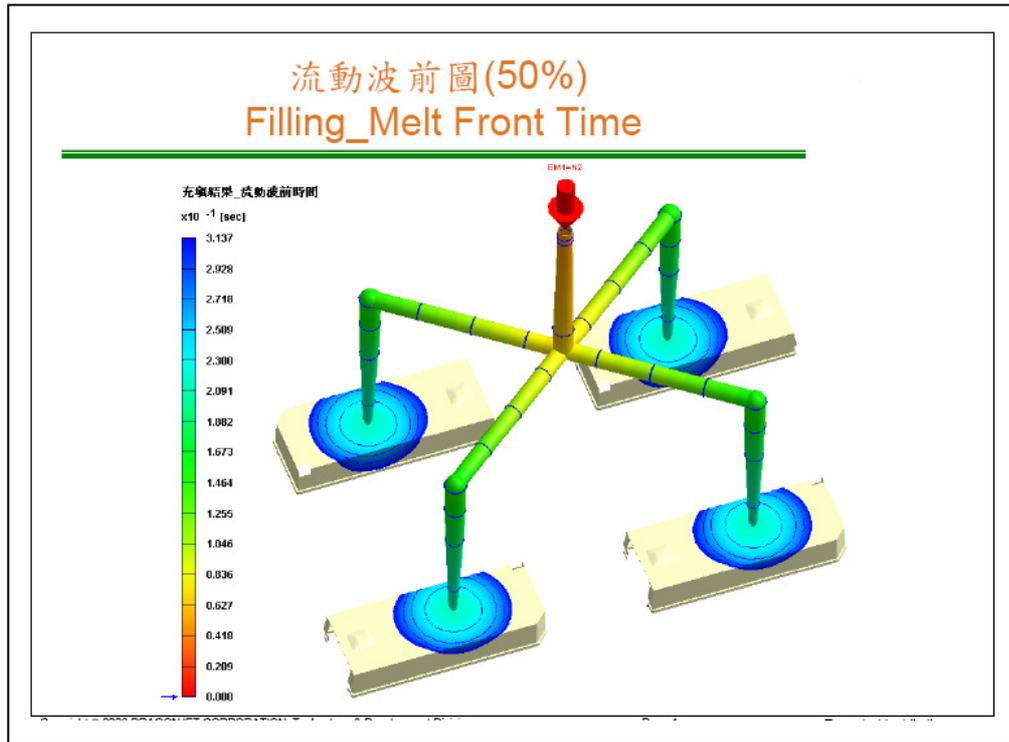


圖 4-13 Filling pattern of the sequential shot analysis-50%

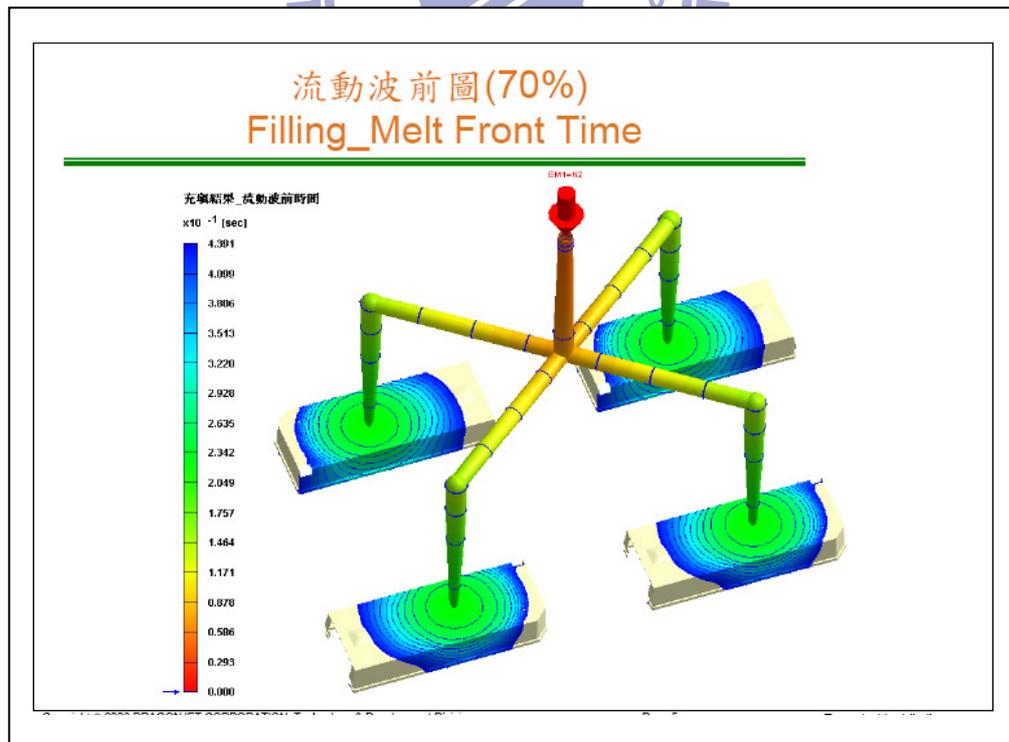


圖 4-14 Filling pattern of the sequential shot analysis-70%

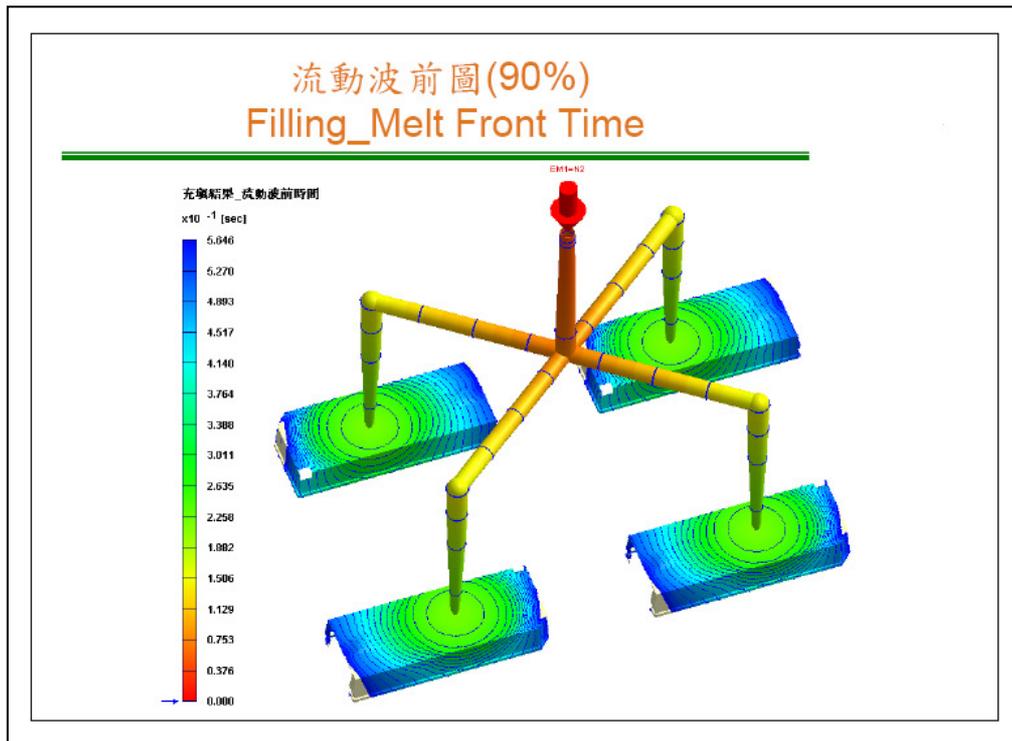


圖 4-15 Filling pattern of the sequential shot analysis-90%

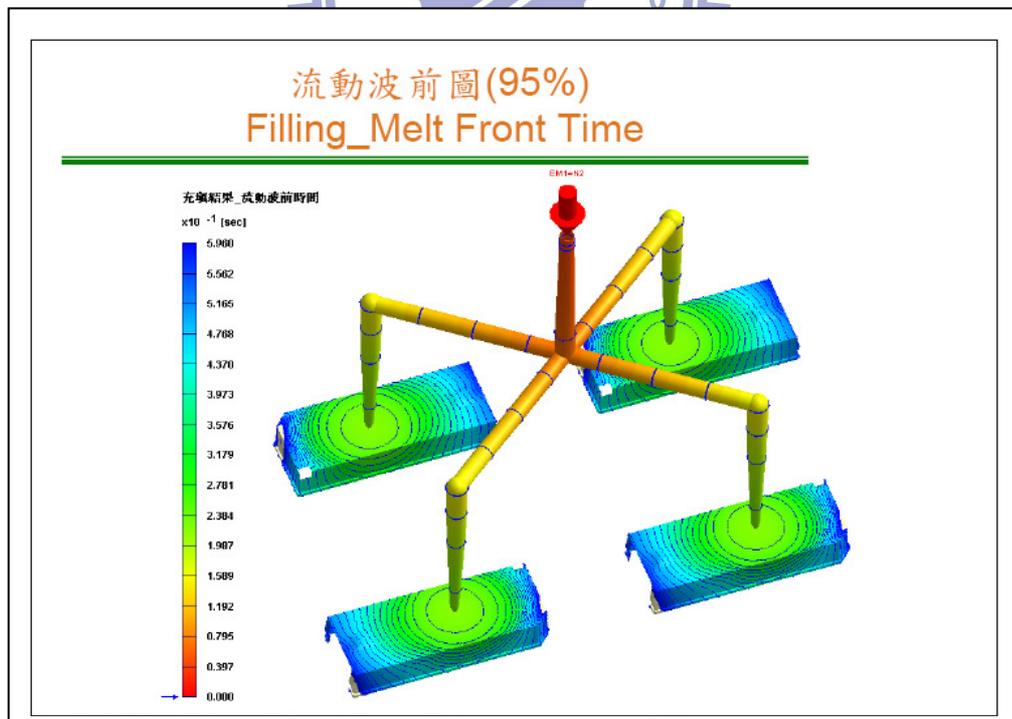


圖 4-16 Filling pattern of the sequential shot analysis-95%

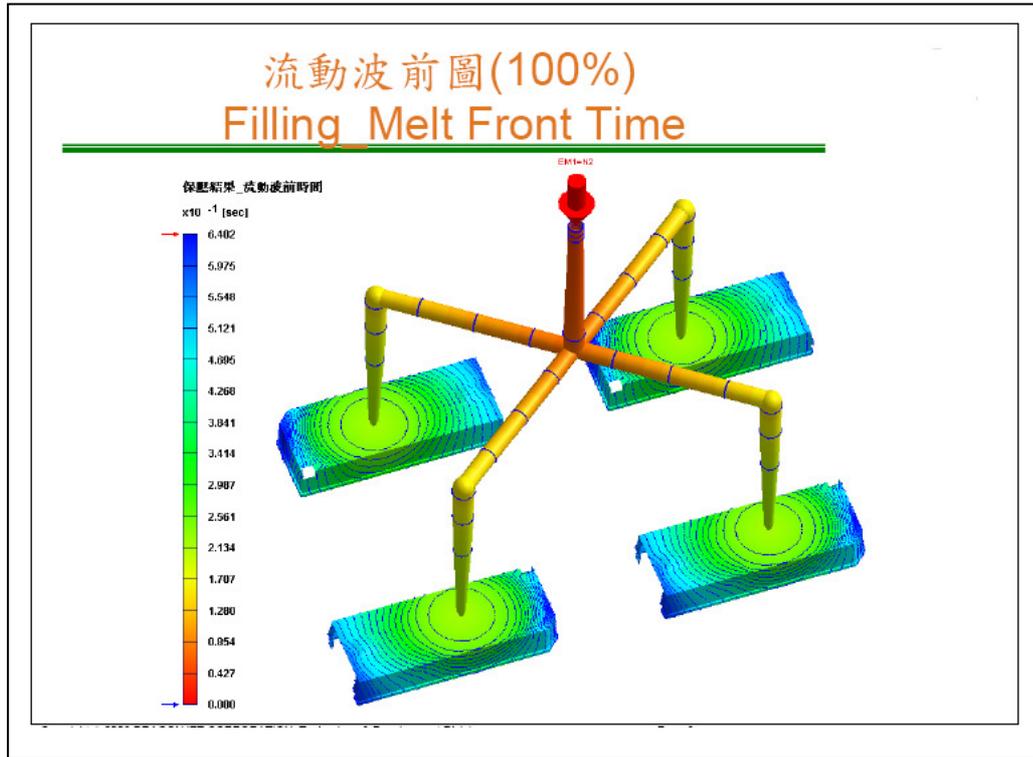


圖 4-17 Filling pattern of the sequential shot analysis-100%

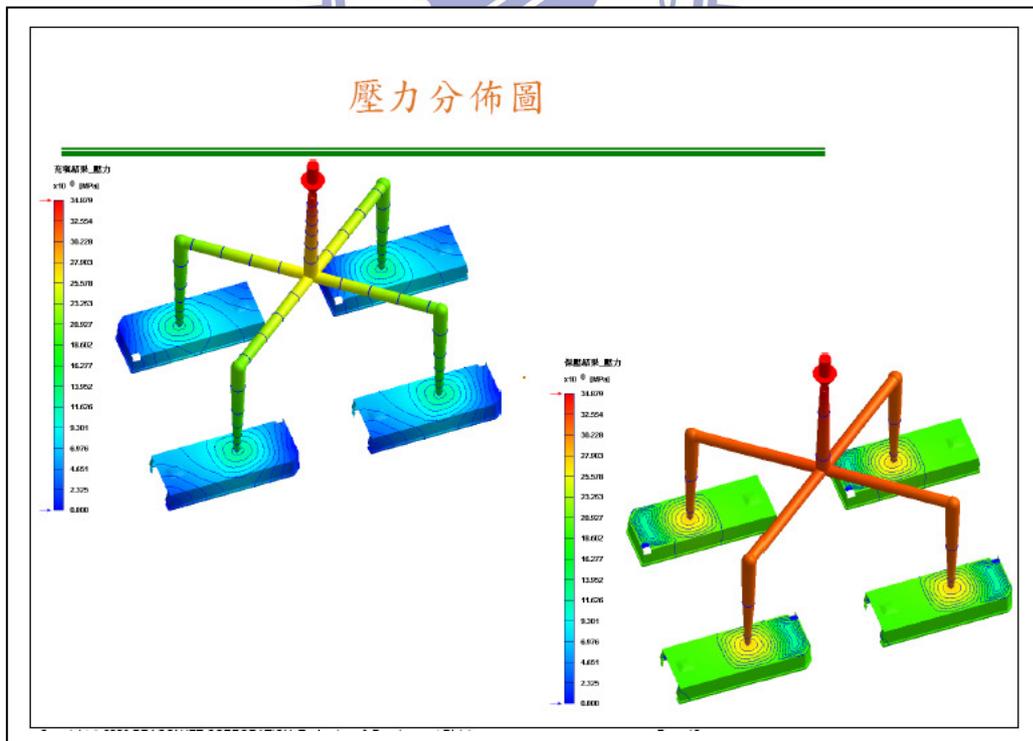


圖 4-18 Pressure analysis

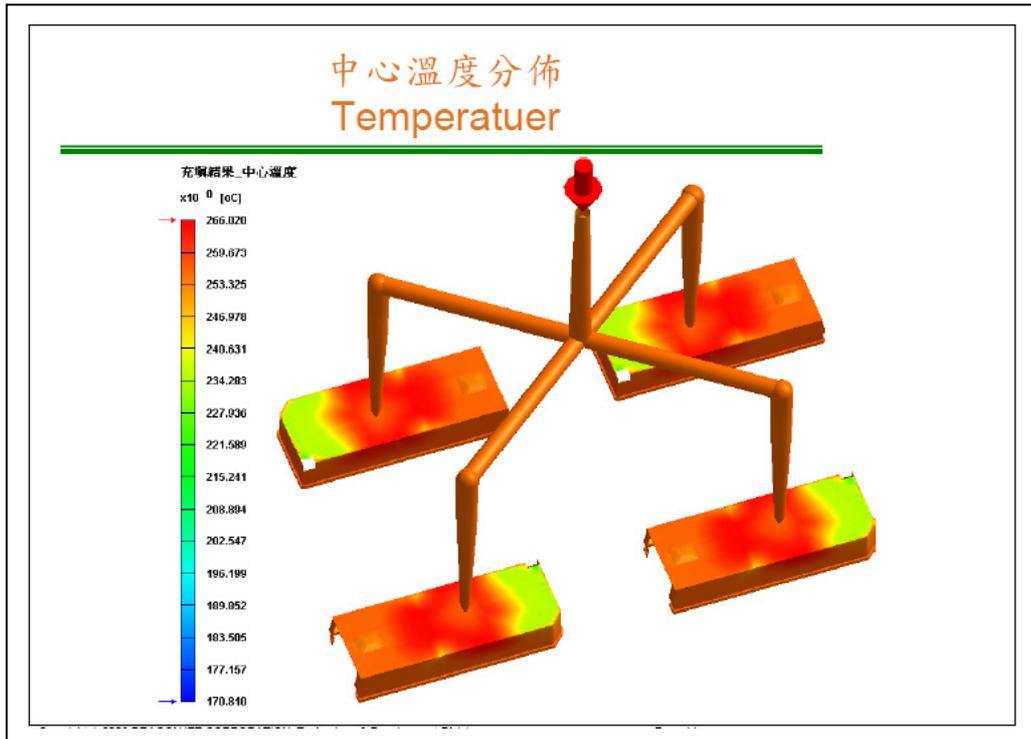


圖 4-19 Temperature analysis

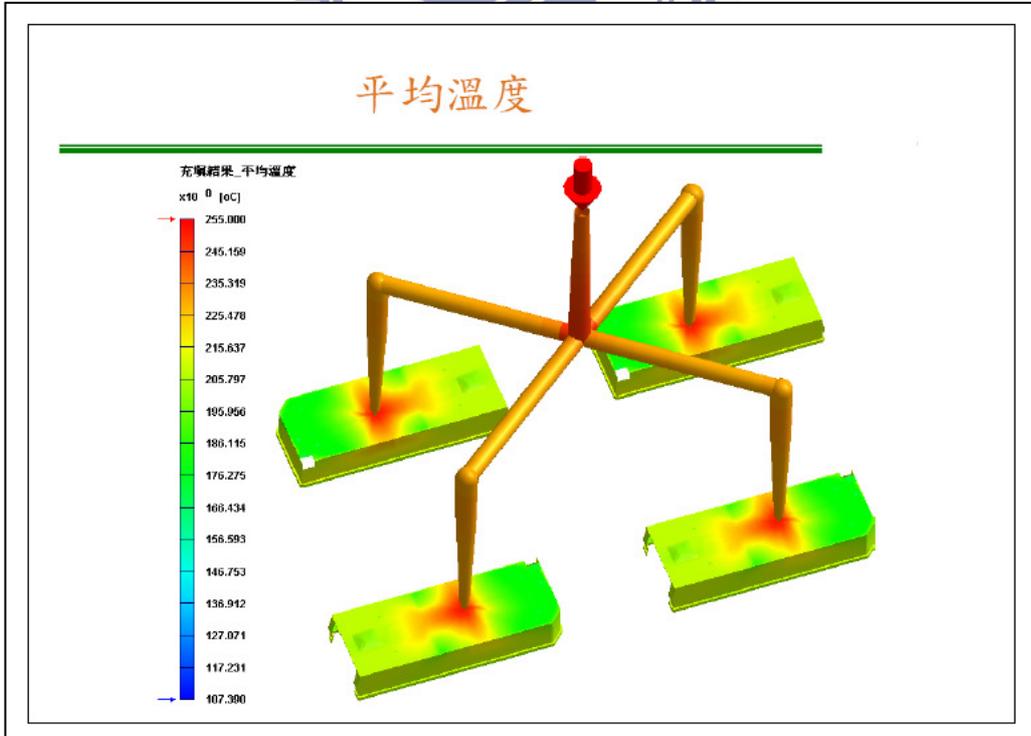


圖 4-20 Temperature Avg. analysis

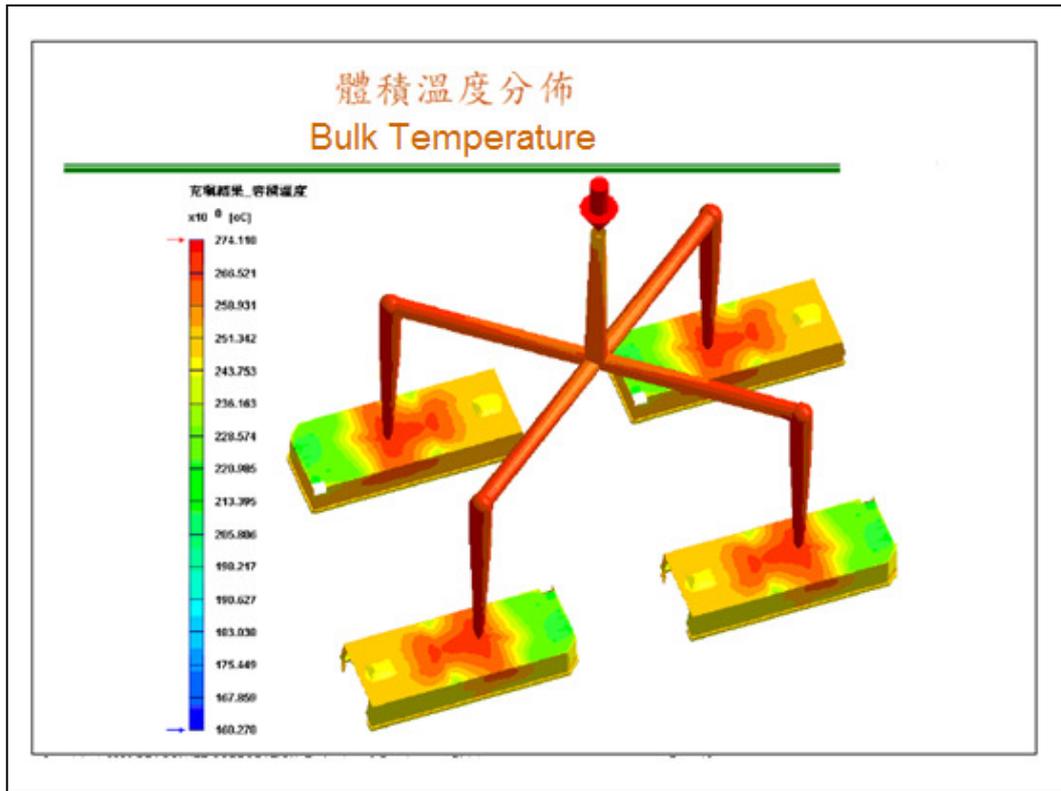


圖 4-21 Bulk Temperature analysis

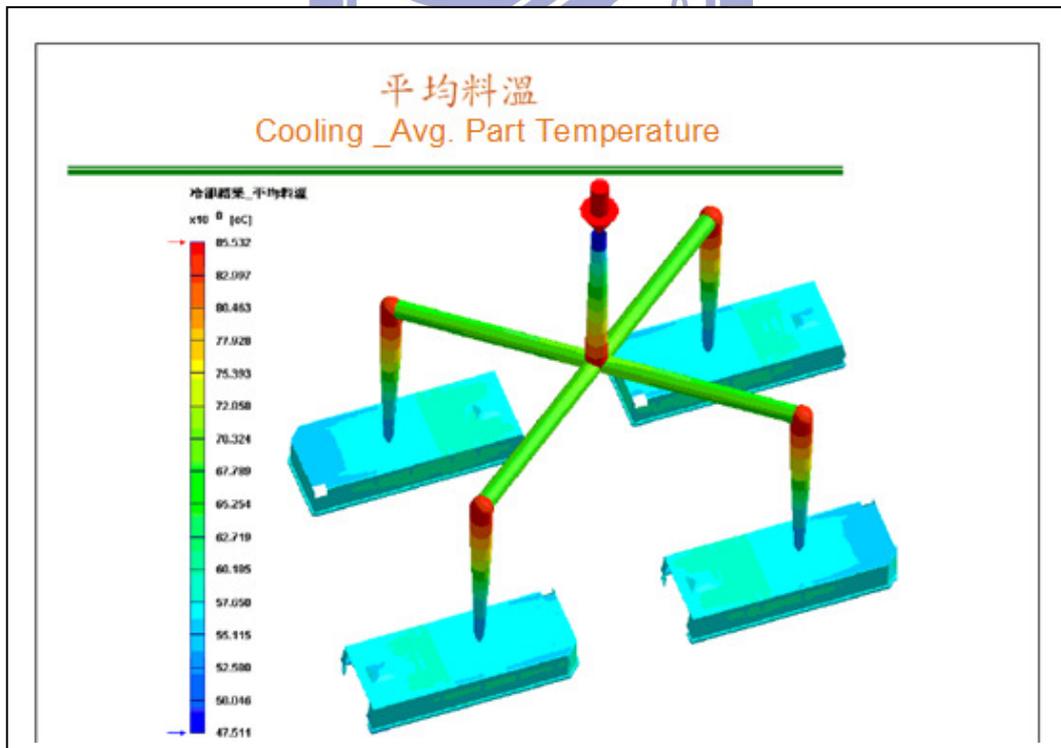


圖 4-22 Cooling\_Avg. part Temperature analysis

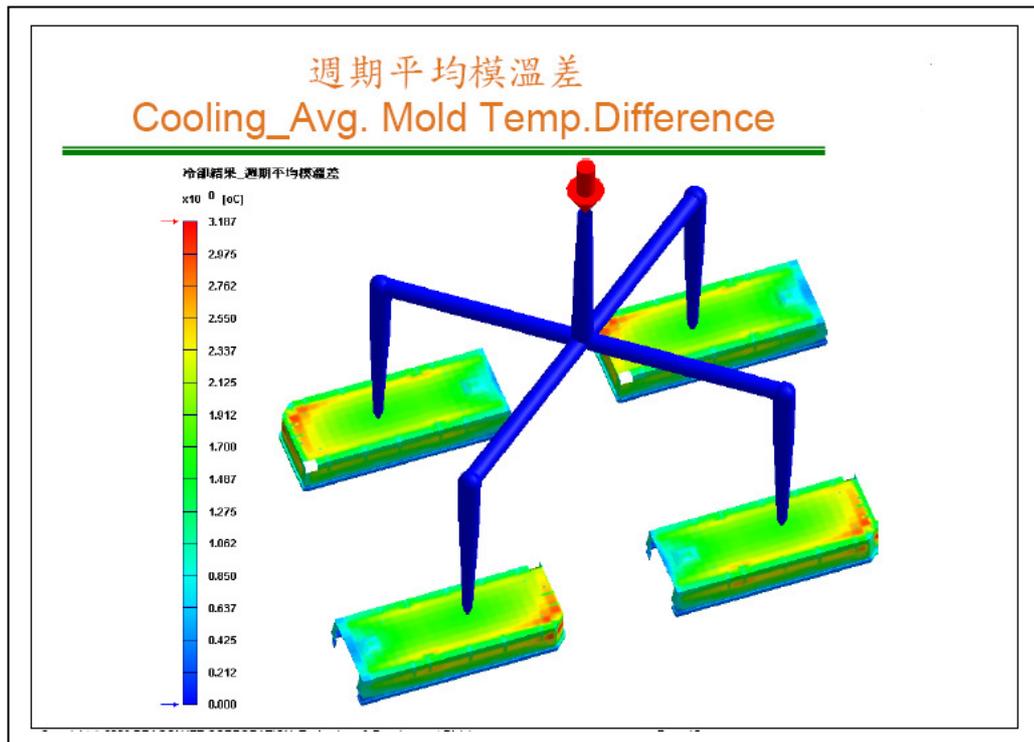
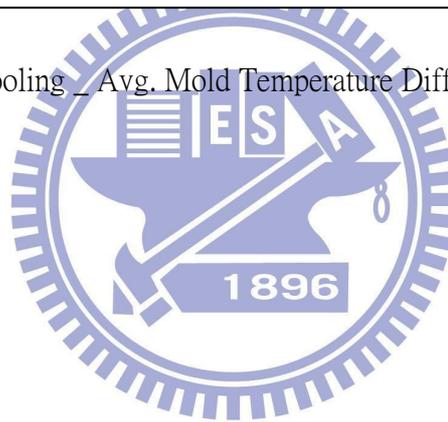


圖 4-23 Cooling\_Avg. Mold Temperature Difference analysis



## 4.7.2 模具成型實驗

<4.7.2.1>依同性質(ABS+PMMA)不同型號之塑料試驗探討其內縮之現象，如表 4-4 所示。

表 4-4 實驗之相關參數

實驗之成形相關參數						
原塑料	IM070-1	IM070-2	AT35-1	AT35-2	191-1	191-2
模具鋼材	HC980911	HC980911	HC980911	HC980911	HC980911	HC980911
烘料時間 (H)	3~4H	3~4H	3~4H	3~4H	3~4H	3~4H
烘料溫度 (°C)	85~90	85~90	85~90	85~90	85~90	85~90
鎖模力 (Ton)	125	125	125	125	125	125
螺桿轉數 (rpm)	55	60	85	85	55	55
計量位置 (mm)	22	22	22	22	22	22
鬆退 (mm)	7.5	7	4	4	7.5	7.5
模溫(公模/母模)	85/105	105/105	85/105	105/105	85/105	105/105
溫度控制水路(公模/母模)	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
噴嘴直徑 (φ)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

實驗之成形相關參數						
原塑料	IM070-1	IM070-2	AT35-1	AT35-2	191-1	191-2
模具鋼材	HC980911	HC980911	HC980911	HC980911	HC980911	HC980911
背壓 (kg/cm <sup>2</sup> )	85	85	85	85	85	85
冷卻時間 (sec)	10	10	12	12	10	10
循環週期 (sec)	25	22	24	24	25	25
加溫方式(油/ 水) (公/母模)	油/油	油/油	油/油	油/油	油/油	油/油
料管溫度 H1(°C)	235	235	235	235	235	235
料管溫度 H2(°C)	235	235	235	235	235	235
料管溫度 H3(°C)	225	225	225	225	225	225
料管溫度 H4(°C)	220	225	225	225	220	220
料管溫度 H5(°C)	75	75	50	50	60	60
段數 1:位置/ 射速/射壓/ 保壓/時間	19/20/1800/1 500/0.5	19/20/1800/1 500/0.5	19/20/1800/1 600/0.5	19/20/1800/1 400/0.5	19/20/1800/1 500/0.5	19/20/1800/150 0/0.5
段數 2:位置/ 射速/射壓/ 保壓切換	17/50/1800/1 500/0.5	17/50/1800/1 500/0.5	17/50/1800/1 600/0.5	17/50/1800/1 400/0.5	17/50/1800/1 500/0.5	17/50/1800/150 0/0.5
段數 3:位置/ 射速/射壓/ 保壓切換	15/50/1800/7 50/0.5	15/50/1800/7 50/0.5	15/50/1800/7 50/0.5	15/50/1800/7 50/0.5	15/50/1800/7 50/0.5	15/50/1800/750 /0.5

<4.7.2.2>依 AT35(指定用料)調整保壓參數實驗探討其內縮之現象。

保壓正常條件：如表 4-5 所示。

表 4-5 參數-正常保壓

保壓條件1:正常條件							
料號				模穴數	1	模具鋼號	HC980911
原料材質	AT35	顏色	白	原料廠商	Mitsubishi	烘料時間	3~4H
機台廠牌	TMC	鎖模力	90Ton	噴嘴直徑	φ2.5mm	烘料溫度	85~90℃
螺桿轉數	35rpm	背壓	8kg/cm <sup>2</sup>	計量位置	20mm	鬆退	6.5mm
冷卻時間： 10 Sec		循環週期： 21 Sec			試模時間： 1 H		
料管溫度	H1 220℃	H2 220℃	H3 215℃	H4 210℃	H5 200℃	實際溫度	
段數	位置 mm	射出速度	射出壓力	保壓切換	段數	位置 8.8 mm	時間 Sec
1	18	25	90	段數	保壓壓力	時間	
2	12	25	90	1	116	0.8	
3		15	90	2	116	0.8	
4				3	45	0.3	
5							
6						15%	
溫度控制水路		溫度設定			加溫方式		
母模： 1 組		母模： 95℃			母模： V 油溫 V 水溫		
公模： 1 組		公模： 75℃			公模： 油溫 V 水溫		
延遲原因：							
模具水路位置圖：							
試模問題點：							
原料：AT35							
正常條件							

保壓加大條件：如表 4-6 所示。

表 4-6 參數-加大保壓

保壓條件2:加大保壓							
料號				模次數	1	模具鋼號	HC980911
原料材質	AT35	顏色	白	原料廠商	Mitsubishi	烘料時間	3-4H
機台廠牌	TMC	鎖模力	90Ton	噴嘴直徑	φ2.5mm	烘料溫度	85-90℃
螺桿轉數	35rpm	背壓	8kg/cm <sup>2</sup>	計量位置	20mm	鬆退	6.5mm
冷卻時間：10 Sec		循環週期：21 Sec			試模時間：1 H		
料管溫度	H1 220℃	H2 220℃	H3 215℃	H4 210℃	H5 200℃	實際溫度	
段數	位置 mm	射出速度	射出壓力	保壓切換	段數	保壓壓力	時間
1	18	25	125			130	1.8
2	12	25	125	1		110	0.3
3		15	125	2		45	0.3
4				3			
5							
6							15%
溫度控制水路		溫度設定		加溫方式			
母模：1組		母模：95℃		母模：V_油溫_水溫			
公模：1組		公模：75℃		公模：_油溫_V_水溫			
延遲原因：							
模具水路位置圖：							
試模問題點：							
原料：AT35							
加大保壓							



保壓降低條件：如表 4-7 所示。

表 4-7 參數-降低保壓

保壓條件3:降低保壓							
料號				模穴數	1	模具鋼號	HC980911
原料材質	AT35	顏色	白	原料廠商	Mitsubishi	烘料時間	3-4H
機台廠牌	TMC	鎖模力	90Ton	噴嘴直徑	φ2.5mm	烘料溫度	85-90℃
螺絲轉數	35rpm	背壓	8kg/cm <sup>2</sup>	計量位置	20mm	鬆退	6.5mm
冷卻時間： 10 Sec		循環週期： 21 Sec			試模時間： 1 H		
料管溫度	H1 220℃	H2 220℃	H3 215℃	H4 210℃	H5 200℃	實際溫度	℃
段數	位置 mm	射出速度	射出壓力	保壓切換	■位置 9 mm □時間 Sec	保壓壓力	時間
1	18	25	110			115	1.8
2	12	25	110	1		80	0.3
3		15	110	2		45	0.3
4				3			
5							
6							15%
溫度控制水路		溫度設定		加溫方式			
母模： 1 組		母模： 95℃		母模： V 油溫 水溫			
公模： 1 組		公模： 75℃		公模： 油溫 V 水溫			
延遲原因：							
模具水路位置圖：							
試模問題點：							
原料：AT35							
降低保壓							



正常保壓加大模溫差條件：如表 4-8 所示。

表 4-8 參數條件-正常保壓加大模溫差

保壓條件4:加大模溫差										
料號				模穴數	1		模具銅號	HC980911		
原料材質	AT35		顏色	白		原料廠商	Mitsubishi		烘料時間	3~4H
機台廠牌	TMC		鎖模力	90Ton		噴嘴直徑	φ 2.5mm		烘料溫度	85~90℃
螺桿轉數	35rpm		背壓	8kg / cm <sup>2</sup>		計量位置	20mm		鬆退	6.5mm
冷卻時間： 10 Sec			循環週期： 21 Sec			試模時間： 1 H				
料管溫度	H1 220℃		H2 220℃		H3 215℃	H4 210℃	H5 200℃		實際溫度	℃
段數	位置 mm	射出速度		射出壓力	保壓切換	■位置 9 mm □時間		Sec		
1	18	25		90	段數	保壓壓力		時間		
2	12	25		90	1	116		0.8		
3		15		90	2	116		0.8		
4					3	45		0.3		
5										
6								15%		
溫度控制水路			溫度設定			加熱方式				
母模： 1 組			母模： 110℃			母模： V 油溫 V 水溫				
公模： 1 組			公模： 60℃			公模： 油溫 V 水溫				
<p>延遲原因：</p> <p style="text-align: center;">模具水路位置圖：</p>										
<p>試模問題點：</p> <p>原料： AT35</p> <p>加大模溫差</p>										

<4.7.2.3>依 AT35(指定用料)調整參數-模具溫差實驗探討其內縮之現象，如表 4-9 所示。

表 4-9 參數條件-模具溫度差

<b>UPPER CASE 外觀尺寸</b>	
<b>條件</b>	<b>條件明細</b>
條件一	母模：110℃；公模：60℃
條件二	母模：105℃；公模：90℃
條件三	母模：105℃；公模：80℃
條件四	母模：105℃；公模：70℃
條件五	母模：105℃；公模：100℃
條件六	母模：120℃；公模：100℃



<4.7.2.4>成品結構設計變更實驗，探討其內縮之現象，如圖 4-24 所示。

針對內縮區域增加 Rib 結構設計，試圖改變薄壁塑料流動之速度及方向，降低此處變形量，如圖 4-25 所示。【37】

- 1) Reduce the depth of “断面 B-B” from 0.30mm to 0.20mm. The reason is too weak structure of mold to designate a long slot .
- (2) Reduce the depth of “断面 A-A” to comply with the change on “断面 B-B”.
- (3) On 断面 B-B, there will be R0.10mm(radius) at this corner due to Grinding treatment. The maximum gap will be 0.30mm.

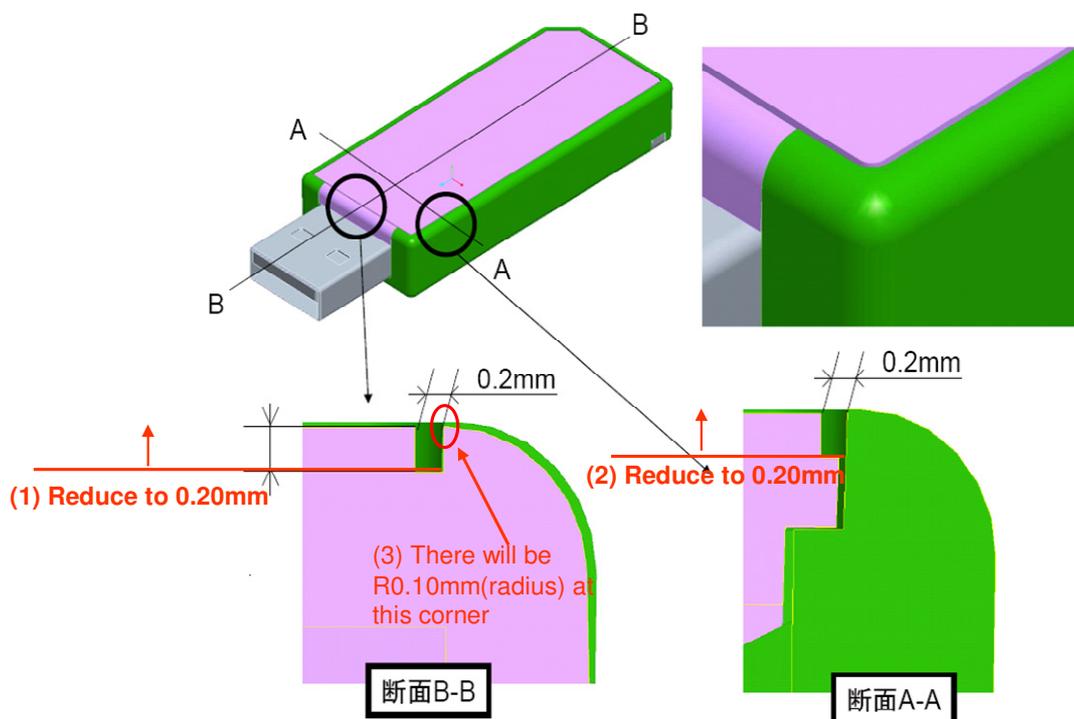


圖 4-24 成品結構設計變更

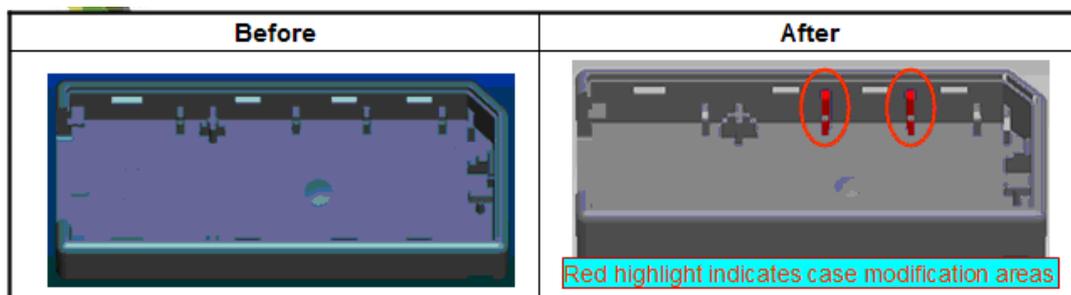


圖 4-25 增加成品 Rib 結構設計變更前後比較圖

<4.7.3>成品結構 3D 設計變更前、後比較對照圖，如圖 4-26 所示。

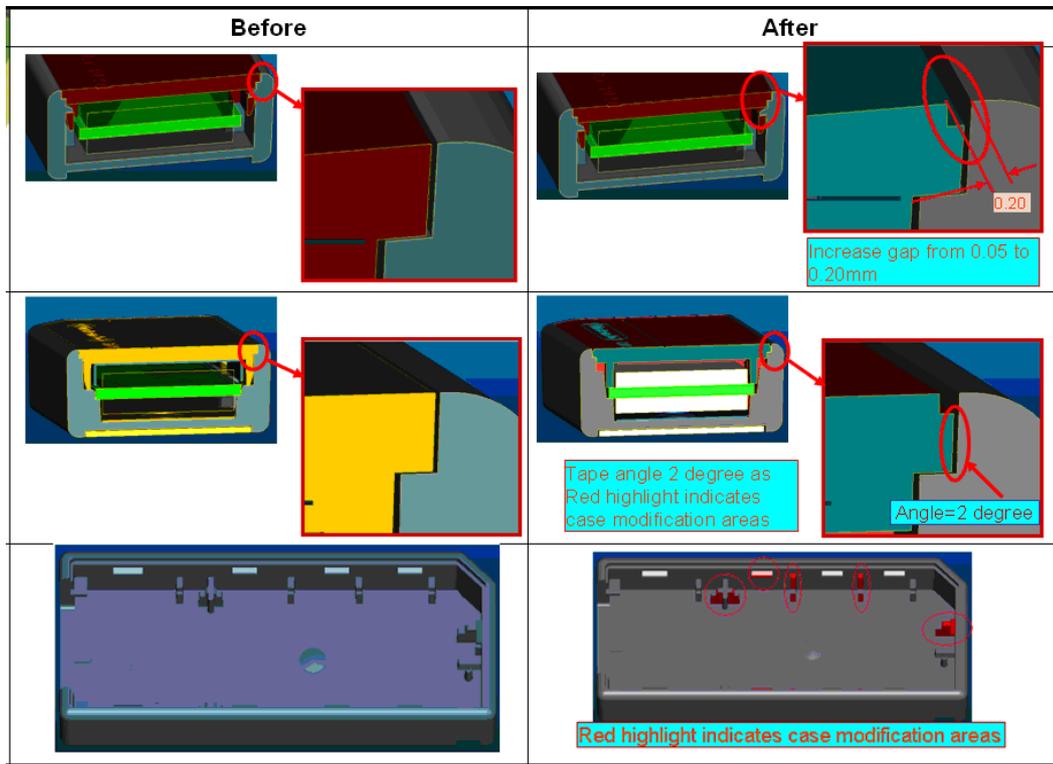


圖 4-26 成品結構 3D 設計變更前後比較圖

<4.7.4>成品結構 3D 設計值 VS 成品量測規格值對照表，如圖 4-27 所示。

	3D data dimension	Product drawing spec
Slot depth	0.2 (± 0.05 mm)	0.15 + 0.1 / - 0 mm
Slot width	0.2 (± 0.05 mm)	0.15 + 0.1 / - 0 mm

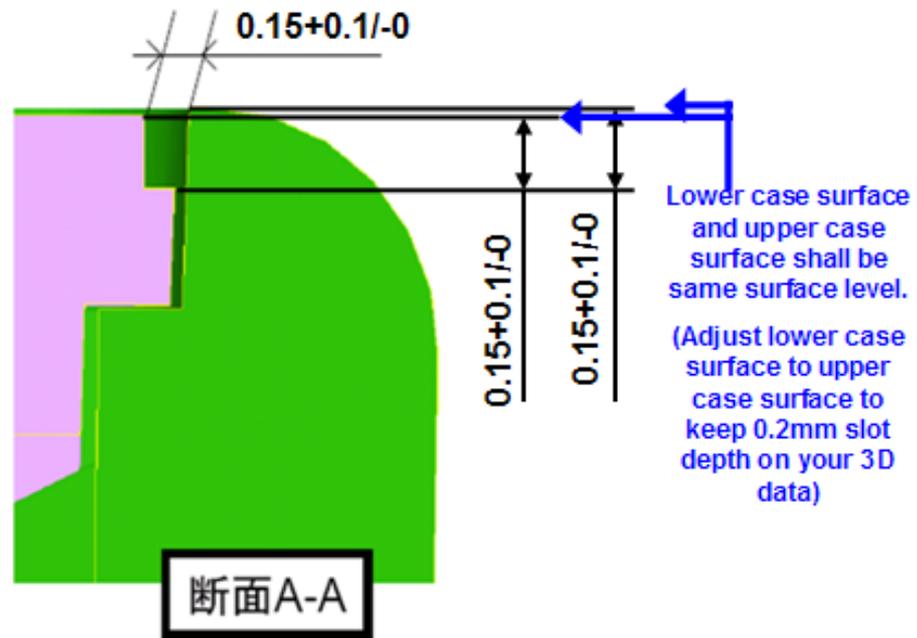


圖 4-27 成品結構設計值與產品檢驗量測規格值對照圖

#### 4.8 射出機之設備

本實驗所使用之射出機為 FANUC ROBOSHOT  $\alpha$ -100iA 型射出成型機，如圖 4-28 所示。

- 射出元件之螺桿直徑 36mm。
- 最大射出速度 200mm/sec，
- 最大射出流率約  $204 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ，
- 射速控制穩定，電子式控制系統，
- 鎖模單元為曲肘式鎖模機構，最小模厚 150mm，
- 最大鎖模力可達 100tons。
- 本射出機可分十階段不同速度、壓力控制，可依不同的射出條件予以改變。
- 射出機詳細規格，如表 4-10 所示。



成型機台規廠牌：  
FANUC  
型號： $\alpha$ -100iA



擷取 DRAGONJET CORPORATION

圖 4-28 實驗之射出機設備

表 4-10 FANUC ROBOSHOT  $\alpha$ -100iA 型 射出機詳細規格

Item		Unit	ROBOSHOT $\alpha$ -100iA	
Clamping Unit 鎖模單元	Tonnage	kN	1000	
	Max. daylight	mm	800	
	Max./min. die height	mm	450/150	
	Clamping stroke	mm	350	
	Locating ring dia.	mm	Ø100	
	Tie bar spacing (H×V)	mm	410×410	
	Platen size (H×V)	mm	610×610	
	Min. mold size (H×V)	mm	240×240	
	Ejector stroke	mm	100	
	Max. ejector force	kN	25	
Injection Unit 射出單元	Screw dia.	mm	36	
	Screw stroke	mm	144	
	Theoretical capacity	cm <sup>3</sup>	147	
	Std.	Max. Inj. Pressure	MPa	170
		Max. pack. Pressure	MPa	150
		Max. Inj. Rate	cm <sup>3</sup> /s	204
		Max. Inj. Speed	mm/s	200
Max. screw rotation speed	1/min	300		
Nozzle touch force	kN	15		
Screw & Cylinder	Number of pyrometers	Cylinder	3	
		Nozzle	1	
	Total heater capacity	kW	9.1	
Machine Weight		ton	4.3	

#### 4.9 量測設備與方法

應用相關測量設備如(1)高度規，如圖 4-29 所示。(2)2.5D 投影機，如圖 4-30 所示。(3)X-RAY 量測設備-XD7500，如圖 4-31 所示。(4)厚度量測設備，如圖 4-32 所示。量測後之受測物件-上蓋外殼相關尺寸. 尤其針對發生內縮變形區域分別量測外徑及內徑的變化量。



圖 4-29 量測儀器-高度規



圖 4-30 量測儀器-2.5D 投影機



圖 4-31 X-ray 量測設備-XD7500

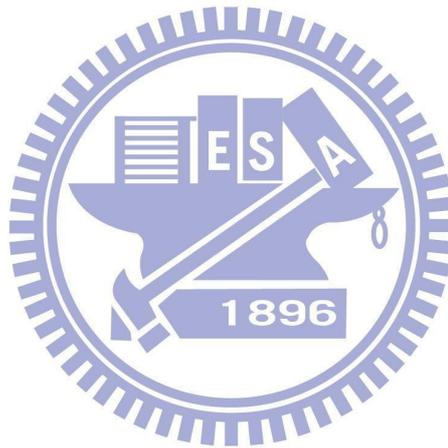


圖 4-32 厚度檢測設備(非接觸式)-LSM 300

#### 4.10 實驗數據分析與討論

由於實驗之實驗步驟二:不同的模具溫度雖然可以調整產品的變形方向，但是利用模具溫度來調整變形容易造成製品在過程中承受過多的殘留應力，而影響結果強度。

從產品變形的原理中，其實可以得知模溫分布會影響到固化層的生成厚度比例，因此，可以利用產品的一些形狀加以調整冷卻的速度。例如利用內側結構變更已增加內部熱傳面積，折彎物件的內側本來就容易因為熱量不容易帶出而造成變形，一昧的利用模具冷卻加以調整並不是最佳的方式，可以的話，利用結構形狀上的改變，增加成品 Rib 結構設計變更，如圖 4-25 所示。【37】增加內側熱傳的面積，進而解決問題，才能讓產品從根本上解決問題。



## 第五章 實驗結果與討論

### 5.1 Moldex 3D 模擬結果

模具設計影響未來射出製程加工品質優劣，尤其是翹曲、變形等因素。故應考慮模具的冷卻效率，並可用來判別冷卻是否均勻，冷卻系統設計是否良好的指標。

然而 CAE 模流分析只是一種電腦工具，使用效益大小取決於操作者要如何發揮其功能，但錯誤的輸入可能得到反效果，遭受更大的損失，若要能發揮 CAE 的功能，關於準確性的一些基本的觀念如下：

- 需要事先了解理論在設計發展未完成前，仍有簡化與假設可能導致些許誤差。
- 利用電腦運算與數值方法求解時，為求達到收斂得解，會有部分計算誤差的發生。
- 物性數據的真實性，含測試誤差與製程穩定性，都可能是人為操作上的誤差。
- 一般說來，模型的建立尺寸精確度，用 CAE 模流分析得解的誤差值，不見得都能小於模具容許誤差，不要認為 CAE 模流分析，不夠準確就失去實用性。
- 在現實上，理論與實務雖仍有差距，但相對的 CAE 模流分析，提供了詳盡的數據輔助判斷，相較傳統經驗試模誤差仍是大幅提升了設計上的效益。

從產品變形的原理中，其實可以得知模溫分布會影響到固化層的生成厚度比例，因此，可以利用產品的一些形狀加以調整冷卻的速度。以利用內側結構變更以增加內部熱傳面積，折彎物件的內側本來就容易因為熱量不容易帶出而造成變形，一昧的利用模具冷卻加以調整並不是最佳的方式，可以的話，利用"結構形狀上"的改變增加內側熱傳的面積，進而解決問題，才能讓產品從根本上解決問題。

## 5.2 實驗模具品量測結果

針對製品發生內縮現象之區域進行確認量測點，如圖 5-1 所示。

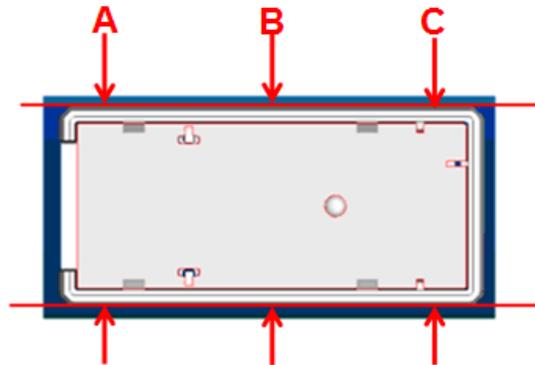


圖 5-1 內縮變形區域量測位置點

### <5.2.1>依同性質(ABS+PMMA)不同型號之塑料成型：

分別以同材質性質(ABS+PMMA)之三種原料包括 AT35、IM070、191，以相同之射出參數進行，量測其內縮區域尺寸，如表 5-1 所示。其結果發現三種塑料內縮情況三者間差異不大。

表 5-1 不同塑料試驗之量測結果

塑料 試驗	IM070	Sample SPEC	sample 1	sample 2	sample 3	
		A	16.91(+0.05/-0.05)	16.86	16.88	16.87
		B	16.91(+0.05/-0.05)	16.86	16.85	16.84
		C	16.91(+0.05/-0.05)	16.83	16.82	16.83
	AT35	Sample SPEC	sample 1	sample 2	sample 3	
		A	16.91(+0.05/-0.05)	16.83	16.85	16.85
		B	16.91(+0.05/-0.05)	16.81	16.83	16.83
		C	16.91(+0.05/-0.05)	16.82	16.82	16.82
	191	Sample SPEC	sample 1	sample 2	sample 3	
		A	16.91(+0.05/-0.05)	16.86	16.83	16.84
B		16.91(+0.05/-0.05)	16.82	16.80	16.78	
C		16.91(+0.05/-0.05)	16.80	16.81	16.79	

**<5.2.2>以 AT35 塑料(指定塑料)進行保壓之成型參數塑料成型：**

以 AT35 此塑料進行參數之保壓不同設定，量測其內縮區域尺寸，如表 5-2 所示。其結果發現壓力的設定對於成型尺寸並沒有顯著影響，但以正常之保壓參數 116 MPA+調整模具溫度差(母模溫 110°C/公模溫 60°C)，對於尺寸就有明顯改善。

在較高的保壓壓力下，由於塑料具有可壓縮性，保壓階段塑料的補充量較低壓時更多、密度更高，因而補償產品的體積收縮率，降低翹曲變形量。

表 5-2 AT35 塑料(指定塑料)進行不同參數試驗之量測結果

成型參數 試驗 (Plastic : AT35)	條件 1:正 常條件		Sample SPEC	sample 1	sample 2	sample 3
		A	16.91(+0.05/-0.05)	16.88	16.89	16.90
		B	16.91(+0.05/-0.05)	16.85	16.84	16.85
		C	16.91(+0.05/-0.05)	16.86	16.85	16.85
	條件 2:加 大保壓		Sample SPEC	sample 1	sample 2	sample 3
		A	16.91(+0.05/-0.05)	16.92	16.90	16.90
		B	16.91(+0.05/-0.05)	16.83	16.84	16.85
		C	16.91(+0.05/-0.05)	16.89	16.88	16.88
	條件 3:降 低保壓		Sample SPEC	sample 1	sample 2	sample 3
		A	16.91(+0.05/-0.05)	16.91	16.91	16.89
		B	16.91(+0.05/-0.05)	16.82	16.83	16.83
		C	16.91(+0.05/-0.05)	16.90	16.90	16.91
	條件 4:加 大模溫差		Sample SPEC	sample 1	sample 2	sample 3
		A	16.91(+0.05/-0.05)	16.92	16.93	16.92
		B	16.91(+0.05/-0.05)	16.87	16.86	16.86
		C	16.91(+0.05/-0.05)	16.87	16.88	16.88

<5.2.3>以 AT35 塑料(指定塑料)調整模溫差之成型參數塑料成型：

以 AT35 此塑料進行參數之模具溫度差設定，量測其內縮區域尺寸，如表 5-3 所示。結果發現溫度差加大的設定對於尺寸有顯著影響，以模具溫度差(母模溫 110°C/公模溫 60°C)，對於尺寸最明顯改善。

表 5-3 以 AT35 塑料(指定塑料)進行模溫差異試驗之量測結果

模溫差 試驗 (Plastic: IAT35)	條件一： 母模(110 °C)/公模 (60°C)		Sample SPEC	sample 1	sample 2	sample 3
		A	16.91(+0.05/-0.05)	16.92	16.92	16.92
		B	16.91(+0.05/-0.05)	16.92	16.94	16.93
		C	16.91(+0.05/-0.05)	16.90	16.93	16.90
	條件二： 母模(105 °C)/公模 (90°C)		Sample SPEC	sample 1	sample 2	sample 3
		A	16.91(+0.05/-0.05)	16.88	16.90	16.88
		B	16.91(+0.05/-0.05)	16.85	16.86	16.85
		C	16.91(+0.05/-0.05)	16.83	16.85	16.83
	條件三： 母模(105 °C)/公模 (80°C)		Sample SPEC	sample 1	sample 2	sample 3
		A	16.91(+0.05/-0.05)	16.91	16.89	16.88
		B	16.91(+0.05/-0.05)	16.88	16.90	16.90
		C	16.91(+0.05/-0.05)	16.88	16.88	16.88
	條件四： 母模(105 °C)/公模 (70°C)		Sample SPEC	sample 1	sample 2	sample 3
		A	16.91(+0.05/-0.05)	16.90	16.90	16.92
		B	16.91(+0.05/-0.05)	16.93	16.91	16.92
		C	16.91(+0.05/-0.05)	16.90	16.90	16.91
	條件五： 母模(105 °C)/公模 (100°C)		Sample SPEC	sample 1	sample 2	sample 3
		A	16.91(+0.05/-0.05)	16.88	16.89	16.88
		B	16.91(+0.05/-0.05)	16.85	16.85	16.82
		C	16.91(+0.05/-0.05)	16.84	16.83	16.84
	條件六： 母模(120 °C)/公模 (100°C)		Sample SPEC	sample 1	sample 2	sample 3
		A	16.91(+0.05/-0.05)	16.86	16.86	16.86
		B	16.91(+0.05/-0.05)	16.77	16.77	16.78
		C	16.91(+0.05/-0.05)	16.79	16.78	16.78

#### <5.2.4>成品結構設計變更之塑料成型：

量測其內縮區域尺寸，如表 5-4 所示。在內縮區域增加數道 Rib 結構，除了增加產品局部剛性外，可充當內部流道，有助於模腔充填，對幫助塑料流入部件的支節部分有很大的作用。

表 5-4 成品結構設變試驗之量測結果

### 成品結構設變試驗

結構設變 試驗	IM070		Sample SPEC	sample 1	sample 2	sample 3
		A	16.91(+0.05/-0.05)	16.96	16.95	16.96
		B	16.91(+0.05/-0.05)	16.97	16.97	16.98
		C	16.91(+0.05/-0.05)	16.94	16.95	16.95
	AT35		Sample SPEC	sample 1	sample 2	sample 3
		A	16.91(+0.05/-0.05)	16.95	16.94	16.96
		B	16.91(+0.05/-0.05)	16.94	16.94	16.95
		C	16.91(+0.05/-0.05)	16.96	16.94	16.95
	191		Sample SPEC	sample 1	sample 2	sample 3
		A	16.91(+0.05/-0.05)	16.94	16.95	16.98
		B	16.91(+0.05/-0.05)	16.96	16.97	16.98
		C	16.91(+0.05/-0.05)	16.94	16.94	16.93

### 5.3 實驗結果

經過從不同塑料選擇及調整不同條件之參數如模溫、保壓、水路、Gate 設計等方向探討，單一參數對於改善產品內縮程度未有顯著效果，最佳化的結構設計仍需與塑料的特性及物性相互對應，適當的調整成型參數條件等配合可以得到最大的改善成效，如表 5-5 所示。

- 熔料溫度太高或模溫愈高，成品內的殘餘流動應力會降低，需要更多的時間好讓流動應力鬆弛掉；相反的，熱應力則會增加。模溫太高則不環保浪費資源，模溫若不平衡，造成產品冷卻不均勻，將造成產品不平均收縮，而產生翹曲、變形情況。
- 已不同的保壓行程，會使產品有不同體積的收縮率發生，保壓不一時體積收縮率會很大、表面容易凹陷、尺寸縮減、；因此！保壓壓力太高或時間太長，易產生毛邊及較高殘留餘應力現象；而保壓壓力太低或保壓時間太短，則容易發生收縮現象；因此！保壓並不是越大越好。
- 冷卻系統已達到最優冷卻效率為最終目標，設計的目標為快速、均勻的收縮；冷卻時間與成型週期為製程中相當重要的關係，冷卻時間太長，會影響成型週期，將低生產力；冷卻時間太短時，將發生黏膜的現象且不易脫模；若成品尚未完全冷卻便脫模，則產品容易受外力影響而造成變形。
- 有限度之產品空間及結構的設計緣故，無法根本的改善內縮問題僅能些微的改善內縮的尺寸，因此思考在有限的空間內增加"數道 Rib 的結構"，來改善塑料流動及冷卻後應力釋放變化量。
- 最終，本研究經過計算及開模實機驗證後，將模具加工、塑膠後縮水率、組裝等等累積公差考量在內，制定產品組合後間隙(Space)由 0.05→0.20mm，如圖 4-27 所示。以利兼顧產品外觀間隙勻稱感，最終獲得客戶端承認並導入正式量產。

表 5-5 實驗結果彙整表

實驗結果彙整表		
X: 內縮改善成效不明顯 O: 內縮改善成效明顯		
實驗一、塑膠原料改善試驗	塑膠型號	內縮改善程度判定
	AT-35	X
	IM-191	X
	IM-070	X
實驗二、成型參數-保壓壓力改善試驗	條件	內縮改善程度判定
	正常情況	X
	保壓壓力-加大	X
	保壓壓力-降低	X
	保壓壓力-正常並加大模溫差	O
實驗三、成型參數-模溫差試驗	條件	內縮改善程度判定
	母模/公模:110/60	O
	母模/公模:105/90	X
	母模/公模:105/80	O
	母模/公模:105/70	O
	母模/公模:105/100	X
實驗四、結構設計變更試驗	塑膠型號	內縮改善程度判定
	AT-35	O
	IM-191	O
	IM-070	O

**本研究實驗後發現：**

- ★ 最佳化結構設計確實能提升產品結構強度及產品壽命週期、縮短開發時程外亦能兼顧產品外觀的要求。
- ★ 產品"結構設計"為此研究中改善因子中之成效最大。
- ★ 眾多參數中單一以"保壓壓力"的調整，對此研究有一定程度改善。
- ★ 眾多參數中單一以"模溫差"的調整對此變異未有很大程度改善。
- ★ 慎選"塑膠原料"須加以考量其物性及特性。
- ★ 模具 GATE 及水路冷卻系統設計，影響塑膠成品之品質不可忽視。

## 第六章結論與未來之發展

### 6.1 結論

經過此次探討塑膠成型後內縮變形之研究，了解到射出成型後會影響產品品質之因子眾多；產品開發過程中是需透過系統化及方法去分析及應用，而非用傳統的模式：想法(試試看)→模具設計變更→結果模式既費時又費力，往往延宕了商品的最佳商機及競爭力。

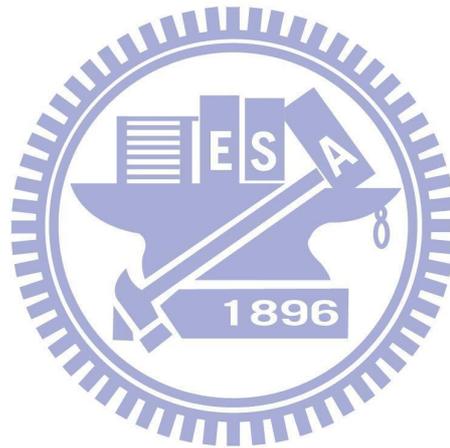
- (1.) 透過初期的結構設計討論、模具設計製作可行性，找出最佳化結構之設計評估。
- (2.) 經與專業射出成型廠、射出模具廠充分討論，將產品品質規格、相關零件組裝規格(組配累積公差)等定義清楚。
- (3.) 透過 CAE 模擬軟體分析，對於有疑慮之處可以透過理論及分析結果加以推導，找出最佳化的設計及射出製程參數，同時提供模擬及實驗後的分析數據佐證，讓設計想法及理論可以實體化。
- (4.) 在產品開發過程中，設計工程師若將射出及模具設計與製作上的因素考量其中，在日後生產時遇到的問題品質問題會減少許多；根據日本相關資料的統計，在日本的塑件開發量產的過程中，產品設計佔的因素佔了 40%；模具設計佔的因素佔了 30%；模具製作佔的因素佔了 20%，而調機的因素僅佔 10%。機構開發人員應該儘可能的了解各種問題發生的原因，利用相關的軟體找出上的問題，在產品設計過程中就加以解決，才是提昇競爭裡的最佳選擇。
- (4.) 塑膠原料選擇：在塑膠製品中，塑膠原料之特性對於設計模具有息息相關，對於射出後之成品的品質也影響甚鉅。擔任設計的工程師須有效地了解所選之塑料的特性。
- (5.) 往往在設計方面的考量，不單單完全依靠廠商的經驗及專業，而是要對於本身的設計法想，理論概念及專業認知外，還要不斷自我學習，在開發階段時可以提出強而有利的設計動機及驗證的結果，不僅可以讓開發時程縮短外，更可提升自己的專業地位。
- (6.) 在產品結構設計上，儘可能考量射出製程及模具結構設計可能影響之因素，就可避免因產品結構複雜性而造成模具作動之設計複雜度，進而產生諸多後外觀上的疑慮。

## 6.2 未來之發展

本身從事機構設計的角色，還需要多了解目前的產業技術，多接觸新技術的機會而不要推諉，同事間可以教學相長、互相學習及激勵，在職場上得到更多的成長。

未來在從事產品設計時，將 CAE 模擬分析導入開發流程中的一部分，儘可能將射出及模具相關條件參數列入考量，模擬結果將會越趨近實際開模結果；累積每次模擬分析與實際開模之間差異化的經驗，作為日後設計之參考，讓製程參數及條件的選定及判斷更合理化。

將理論、實務經驗及分析軟體的應用及結合，使得產品在設計開發中的理念及想法可以實體化，過程中的確節省許多開發階段之驗證時間及費用；因此！透過此次研究之後，未來 CAE 分析軟體的應用層面將擴大在新產品開發案上，有助於提升設計同仁於開發階段更多的佐證資料。



## 第七章 參考文獻

- 【1】張榮語，"射出模具設計-材料特性"，高立圖書，1991年。
- 【2】張文華，"塑膠模具結構與製造實務"，全華圖書，1995年3月出版。
- 【3】張榮語，"射出模具設計-模具設計"，高立圖書，1995年。
- 【4】張榮語，"射出模具設計-操作實務"，高立圖書，1995年。
- 【5】射出不良原因及對策，塑膠世界雜誌社，2001年04月。
- 【6】精密射出技術，塑膠世界雜誌社，2001年09月。
- 【7】科盛科技編著，"CAE模流分析技術入門與應用(MOLD3D步序)"，全華圖書，2002年出版。
- 【8】歐陽渭城，"射出模設計詳解"，全華圖書，2004年1月出版。
- 【9】林朝源，"塑膠射出成型流道系統最佳化之研究"大葉大學工業工程與科技管理學系"，2010產業管理創新研討會報告，2010年05月。
- 【10】施議訓，"模具學"，全華圖書，2006年6月出版。
- 【11】歐陽渭城，"射出的不良對策"，全華圖書，2007年2月出版。
- 【12】林榮德，"產品結構設計實務"，全華圖書，2007年8月出版。
- 【13】胡雲宏，"射出成型寶典"，塑膠工業技術發展中心，2007年3月出版。
- 【14】陳良相、黃子健、劉昭宏，"MOLDFLOW MPI 實驗基礎"，全華圖書，2007年11月。
- 【15】Moldex 3D，"技術季刊第18期"，2008年01月。
- 【16】彭軼暉，"全方位CAE模流分析技術於射出產品開發之應用"，科盛科技股份有限公司，2008年1月。
- 【17】陳良相、黃子健、劉昭宏，"Moldflow MPI 實用基礎"，全華圖書，2005年。
- 【18】張子成、邢繼綱，"塑膠產品設計"，全華圖書，2008年2月出版。
- 【19】陳夏宗博士，"塑膠模具與射出技術的發展趨勢"，2008年8月。
- 【20】張棟瑜，"射出最新發展技術"，財團法人塑膠工業技術發展中心，2008年9月。
- 【21】張永彥，"塑膠模具設計學-理論、實務、製圖、設計"全華圖書，2008年12月出版。
- 【22】陳良相，"CAE在模具設計和解決試模問題之應用"研究專題

報告。

- 【23】 吳仁志，"電腦模擬模流分析技術"，財團法人塑膠工業技術發展中心。2009年09月
- 【24】 曹丙丁，"塑膠射出品收縮與翹曲變形之整合型理論研究"，國立清華大學化工所，博士論文，1994年。
- 【25】 林文欽，"熱殘留應力對射出品收縮影響的研究"，台灣師範大學碩士論文，1994年。
- 【26】 陳劍峰，"電腦輔助工程應用於射出成型品收縮之驗證"，國立清華大學動力機械工程研究所，碩士論文，1997年。
- 【27】 陳俊豪，"薄殼射出之模穴壓力分布量測"，交通大學機械工程學系，碩士論文，2000年。
- 【28】 孫一強，"微量射出之充填特性觀察與玻璃微型模具可行性探討"，台灣大學機械工程研究所碩士論文，2001年06月。
- 【29】 高國智，"薄殼物件的脫模性研究"，國立台灣大學機械工程研究所，碩士論文，2001年06月。
- 【30】 楊景安，"電子構裝元件之翹曲預測"，國立成功大學機械工程學系，碩士論文，2001年。
- 【31】 林盈良，"CAD實體模型重建與網格化"，國立成功大學機械工程研究所，碩士論文，2002年06月。
- 【32】 黃東鴻，"薄殼射出件翹曲變形與殘留應力研究"，成功大學航空太空工程研究所碩士論文，2002年06月。
- 【33】 黃俊偉，"壓力效應對塑料黏度的影響"，國立成功大學航空太空工程研究所，2002年06月。
- 【34】 林炫良，"厚度產品保壓過程對於收縮率與殘留應力影響之研究"，中原大學機械工程研究所，碩士論文，2003年。
- 【35】 詹世良，"模流分析對塑膠射出研究"，國立台灣科技大學機械工程學系，碩士論文，2004年01月。
- 【36】 張沛頌，"熱塑性塑膠微射出技術之研究"，國立成功大學機械工程系，博士論文，2006年06月。
- 【37】 梁晉協，"塑膠肋板射出之研究"，國立成功大學機械工程學系，碩士論文，2006年07月。
- 【38】 洪立群，"IC封裝元件翹曲分析之研究"，國立成功大學機械工程學系，博士論文，2006年07月。
- 【39】 羅壬成，"模流分析與射出控制參數的優化"，交通大學

精密與自動化工程學程，碩士論文。2006 年

- 【40】 魏綸群，"塑膠射出製程時間最佳化設計"，元智大學機械工程研究所，碩士論文，2007 年。
- 【41】 陳昭男，"影響塑膠射出產品翹曲之參數探討"，逢甲大學機械工程研究所，碩士論文，2008 年 06 月。
- 【42】 周家宏，"精密薄殼組件的模流分析與射出參數最佳化"，交通大學機械工程學系，碩士論文，2008 年。
- 【43】 石輝堅，"薄殼件多模穴射出模流分析"，機械工業雜誌，249 期，頁 141~149。
- 【44】 林聰穎，"精密塑膠射出成型品質改進之研究"，中正理工學院機械工程學系，第 10 屆全國品質管理研討會論文集，C1-3，23~32 頁。
- 【45】 蔡毓斌，"從不等模溫談塑膠射出成型件之翹曲變形"，CAE 分析電子報，2006 年 05 月 17 日。
- 【46】 Cox, Howard W.; mentzer, charles c. , "Injection molding : the effect of fill time on properties"polym eng sci. , 26, 7, 488-498, 1986。
- 【47】 Tamma, K.K.; Dowler, B.L.; Railkar, S.B. , "Computer aided applications to injection molding : Transfinite/finite element thermal/stress response formulations , "Polym.Eng.Sci. , 28, 7, 421-428, 1988
- 【48】 Huilier, D.; Lenfant, C.; Terrisse, J.; Deterre, R. , "Modeling the packing stage in injection molding of thermoplastics , "Polym.Eng.Sci. , 28, 24, 1637-1643 , 1988 .
- 【49】 Jim Fassett , "Thin wall molding : differences in processing over standard injection molding" , Annual Technical Conference-ANTEC , Conference Proceedings.vol.1 , Soc. of Plastics Engineers , Brookfield , CT , USA , pp.430-433 , Dec 1995. 。
- 【50】 F.Boitout , J.F.Agassant , M.Vincent , "Elastic calculation of residual stresses in injection molding" , Intern.Polymer processing X.Vol.3 , pp.237-242 , 1995 。
- 【51】 L.W.Seow , Y.C.Lam , "Optimizing flow in plastic injection

- molding" , Journal of Materials Processing Technology  
72(1997)333-341 .
- 【52】 K.M.B.Jansen , D.J.V.Dijk , M.H.Huesselman , "Effect of processing conditions on shrinkage in injection molding" , Polymer Engineering and Science , Vol.38 , No.5 , pp.838-846 , 1998. ◦
- 【53】 Ming-Chih Huang , Ching-Chih Tai , "The effective factors in the Warpage problem of an injection-molded part with a thin shell feature" , Journal of Material Processing Technology 110(2001)1-9. ◦
- 【54】 Y.S. Chang , S.J. Hwang , H.H.Lee , and D.Y.Hwang , "Study of P-V-T-C Relation of EMC , "ASME Journal of Electronic Packaging , vol.124 , pp.371~373 , 2002 .
- 【55】 Y.S. Chang and S.J. Hwang , "P-V-T-C Equation for Epoxy Molding Compound , "IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies , 2004 .
- 【56】 N.R. Subramanian , Lin Tingyu(Leon) , Yak Aik Seng , "Optimizing warpage analysis for an optical housing" , Mechatronics 15(2005)111- 127 .
- 【57】 Willian E. Biles , Timothy J.Gornet , Kenneth Davis , Allen Yi , "Computer-Aided Design and rapid tool development in injection molding processes" , Copyright Elsevier Science Ltd. , 1995. ◦
- 【58】 W.F. Zoetelief , L.F.A. Douven , J. ingen Housz , "Residual thermal stresses in injection molded products" , Polymer Engineering and Science.Vol.36 , No.14 , pp.1886-1896 , 1996. ◦
- 【59】 P. Tantakom , N.R. Schott , "Processing strategies for thin wall injection molding" , Processing Annua Technical Conference-ANTEC , Conference Proceedings , Vol.1 , Soc. of Plastics Engineers , Brookfield , CT , USA , pp.367-371 , 1998. ◦
- 【60】 P. Tantakom and N.R. Scott , "Thin walling is possible with standard equipment" , Molder Plastics , p.73 , March 1999 .

- 【61】 T. Matsuoka , Jun-Ichi Takabatake , A. Koiwai , Y.Inoue , S.Yamamoto , H. Takaaki , "Integrated simulation to predict warpage of injection molded parts" , Polymer Engineering and Science.Vol.31 , No.14 , pp.1043-1050 , 1991. ◦
- 【62】 T. Matsuoka , H. Takaaki , Jun-Ichi Takabatake , Y.Inoue , Yoshinori , Takahashi , Hideroh. , "Prediction of fiber orientation in injection molded parts of short-fiber-reinforced ◦ thermoplastics , "Polym . Eng. Sci . , 30 , 16 , 957-966 , 1991.
- 【63】 K.K. Kabanemi , H. Vaillancout , H. Wang , G. Salloum , "Residual stresses , shrinkage and warpage of complex injection molded products : Numerical simulation and experimental validation" , Polymer Engineering and Science.Vol.38 , No.1 , pp.21-37 , 1998. ◦
- 【64】 Matsuoka , Takasaki ; Takabatake , Jun-Ichi ; Inoue , Yoshinori ; Takahashi , Hideroh. , "Prediction of fiber orientation in injection molded parts of short-fiber-reinforced thermoplastics , "Polym.Eng.Sci. , 30 , 16 , 957-966 , 1991. ◦
- 【65】 Turng , L.S. , Michael Peic and Dave K.Bradley , "Process Simulation and Optimization for Injection Molding -Experimental Verification and Field Application , "Journal of Injection Molding Technology Vol.6 , No.2 , p.143-155(2002)" ◦
- 【66】 Takasaki Matsuoka , Jun-Ichi , Takabatake , Akihiko Koiwai , Yoshinori Inoue , Satoru Yamamoto , and Hideroh Takahashi , "Integrated Simulation to Predict Warpage of Injection Molded Parts" , Polymer Engineering and Science , Vol.31 , No.14 , p.1043-1050 , 1991. ◦
- 【67】 K . M . B . Jansen , D . J . Van Dijk , and M . H . Husselman , "Effect of processing Conditions on Shrinkage in Injection Molding" , Polymer Engineering and Science , Vol.38 , No.5 , p.838-846 , 1998. ◦
- 【68】 K . M . B . Jansen , R . Pantani , and G . Titomanlio ,

"As-Molded Shrinkage Measurements on Polystyrene Injection Molded Products" , Polymer Engineering and Science , Vol.38 , No. 2 , p.254-264 , 1998. ◦

【69】 Huang , Ming-Chih and Ching-Chig Tai , "The Effective Factor in the Warpage problem of an Injection-Molded part with a Thin Shell Feature , "Journal of Materials Processing Technology , Vol.110 , No.1 , pp.1-9(2001). ◦

【70】 Dong , Binbin ; Shen , Changyu ; Li , Qian."Affecting factors of shrinkage and warpage of thin-wall injection molding process" , Huagong Xuebao/Journal of Chemical Industry and Engineering. , 56 , 4 , 727-731 , 2005. ◦

