

## 第一章 導論

### 研究動機：

光學鏡片為目前光學產品及光電系統中不可或缺的關鍵零組件之一,例如從普通的眼鏡鏡片到高精密的光碟機讀取頭等等,面對如此龐大的市場需求量,傳統的生產方式恐怕難以滿足其需求,於是便有模造光學的加工技術產生,是利用模仁及模具以壓模的方式,一次成型鏡片的加工技術,所製造出的鏡片已有相當不錯的光學品質,不須再做拋光、研磨這些二次加工,因此可大大的降低生產時間和材料的成本,例如塑膠射出成型(Plastic injection molding)技術,以塑膠射出成型磨造製程的步驟來說,只要包括塑膠光學鏡片設計、模具的設計與製造、射出成型及檢測,其中各步驟的問題如表 1-1 所示.而關鍵技術之一便是鏡片模仁的製程,而模仁的形狀精度不良將會使成品的成像品質影響到原先設計的影響效果.一般對鏡片模仁形狀精度的要求是以境騙用途來決定,例如低精度的如眼鏡鏡片等,高精度的如光學機讀取頭等,通常對形狀精度的要求從 10 $\mu$ m 到 0.1 $\mu$ m 之間,如表 1-2 所示,而判斷模仁好壞的方法便是磨人的形狀精度和表面粗糙度是否再要求範圍內.因此鏡片模仁完成後的檢測工作是非常重要的,一般最常採用的方式是使用 Form Talysurf 以接觸式的探針量測表面,以此作為判斷模仁形狀精度與表面粗糙度.

本研究之目的是檢測鏡片模仁的形狀精度是否達到設計要求的精度範圍之內,以及使用模擬退火法(Simulated annealing SA)的演算來得到一個明確的數值資料,可以表示此鏡片完成後的各項參數數值.

研究的方法分為兩方面進行,首先利用幾組模擬鏡片模仁上的點資料(Data1)以及加入誤差值得點資料(Data2)對模擬退火法中運算,圖 1-1 為研究架構流程圖.

實驗結果後發現度數並不正確,經過以下三點討論之後:(1)中心厚度的原因、(2)成型品曲率的問題、(3)模仁曲率的影響,得到的結論為成型品曲率的問題,即縮水率造成成型品曲率偏差維影響度數準確性的重要因素.

| 製程的步驟    | 問題   |
|----------|--|
| 塑膠光學鏡片設計 | (1) 鏡片有效靜之比及厚比的決定，都足以影響精度。<br>(2) 塑膠材料的問題，如折射率與吸水性等。                         |
| 模具的設計與製程 | (1) 如澆口形狀與位置、冷卻水路、模穴數、產品頂出及模具材質等問題。<br>(2) 模仁加工，尤其是非球面模仁。模仁精度要求包括形狀精度與表面粗糙度。 |
| 射出成行     | 各個製程參數控制的問題，如溫度、壓力及充填速度等。  |
| 檢測       | 檢測儀器的運用，如接觸式與非接觸式。   |

表 1-1 塑膠射出成型模造製程中的問題

| 非球面鏡片 |  |                               |                                       |   |                                    |   |                                |                     |
|-------|--|-------------------------------|---------------------------------------|---|------------------------------------|---|--------------------------------|---------------------|
|       | 超高精度   |                               | 高精度                                   |   | 中精度                                |   | 低精度                            |                     |
| 形狀精度  | <0.1 $\mu\text{m}$                             | 0.1-0.2 $\mu\text{m}$         | <1 $\mu\text{m}$                      | 1-2 $\mu\text{m}$                         | 2 $\mu\text{m}$                    | 2-5 $\mu\text{m}$                                 | 2-10 $\mu\text{m}$             | 6-100 $\mu\text{m}$ |
| 材質    | 玻璃   | 塑膠                            | 玻璃                                    | 塑膠  | 玻璃                                 | 塑膠  | 玻璃                             | 塑膠                  |
| 用途    | 1. 光碟機用物鏡<br>2. 影碟機用物鏡<br>3. CD-R 和 CD-R W 的讀取 | 1. 光碟再生用物鏡<br>2. 雷射唱盤用物鏡<br>鏡 | 1. 史密特透鏡<br>2. 攝影機用透鏡<br>3. 單眼相機用交換透鏡 | 1. 照相機取景透鏡<br>2. 拍立德相機用透鏡<br>3. 自動聚焦用測距透鏡 | 1. 雙眼鏡用物鏡<br>2. 眼鏡<br>3. 投影 TV 用透鏡 | 1. 低價格用雙眼鏡透鏡<br>2. 投影電視光學系統的一部分<br>3. 用一次即丟照相機用透鏡 | 1. 眼鏡<br>2. 光源用光透鏡<br>3. 照明用透鏡 | 1. 眼鏡<br>2. 玩具用透鏡   |

表 1-2 各種非球面鏡片的應用範圍與精度要求

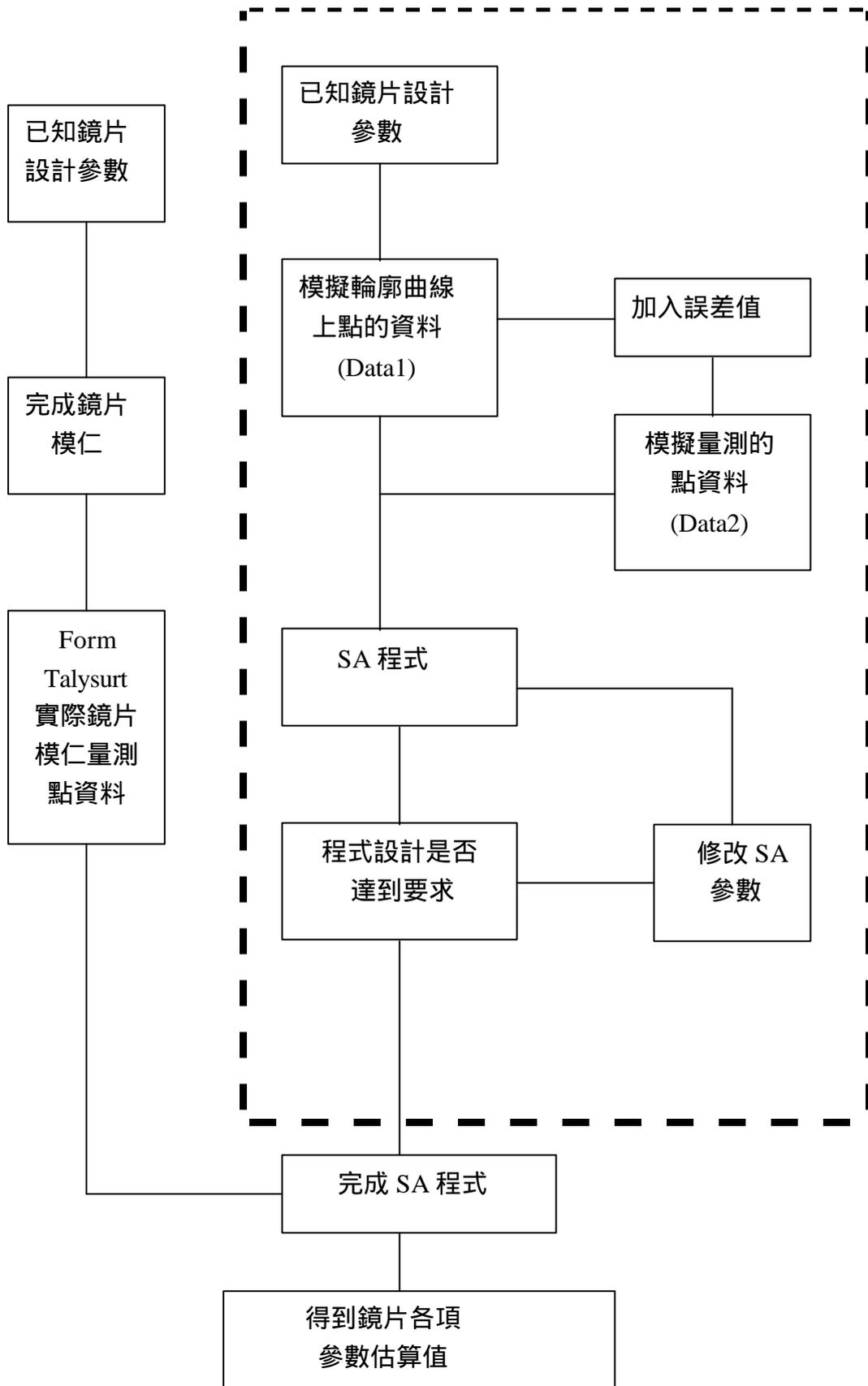


圖 1-1 研究架構流程圖

## 文獻回顧：

首先介紹非球面玻璃模造技術的發展,1970年首先由美國 Kodak 公司開始進行非球面模造玻璃鏡片的計畫,直到 1982 年首度推出以精密模造方式生產的非球面透鏡應用於簡單形相機上,非球面透鏡的開發才逐漸普及開來,雖然在 1980 年代美國 Kodak 公司已有數百萬片的產量,但是在精度上和成本上能有許多困難.幾年後,日本 Hoya Ohara 等公司,開發大量製造非球面的玻璃模造鏡片,成為技術領先的公司.

另外關於非球面塑膠鏡片由美國 polaroid 公司於 1940 年首先發表,在 1980 年代開始使用射出成型技術進行大量生產 1985 年,日本學者內尾舜二也發表了非球面塑膠鏡片在日本的趨勢,並提出三點問題:

- (1)可用光學級塑膠材料種類不多.
- (2)非球面膜仁製造不容易.
- (3)有關成形的問題.

就地一個問題,新光學級的樹脂材料漸漸的被開發出來,並就特殊用途來做研發,例如最近所流行的安全鏡片,其材料具有奈衝擊性極佳的聚碳酸樹脂簡稱 PC.

第二個問題,直到 70 年代初期超精密加工技術的逐步建立,利用 CNC 來做形狀的研磨後續的拋光作業,可直接加工出形狀精度符合設計要求精度的非球面.在日本則邁向非軸旋轉對稱形狀的非球面製造,即所謂 3 次元自由曲面,其加工機需要原有加工機更多自由度之運動機能,在光學領域中形狀精度須達 0.1 $\mu\text{m}$ ,表面粗度則為 0.01 $\mu\text{m}$  Ra 之高精度要求.

第三個問題,是射出成形製程上經常遇到的問題,例如如何控制收縮率已達到精密尺度,避免不均勻收縮所形成的翹曲變形(Warpage),或是控制分子定向(Orientating),使殘餘應力和雙折射率差直下降等,一般可以從製程中最重要的控制參數-溫度、壓力和充填時間來著手.

此外,從模穴大小、澆道流道等模具設計,可以先利用模流分析的軟體建立起來,並進行射出成形的模擬,這可以省下很多試模時藏是錯誤的時間,以及模具設計上的幫助,如圖 1-2 所示.

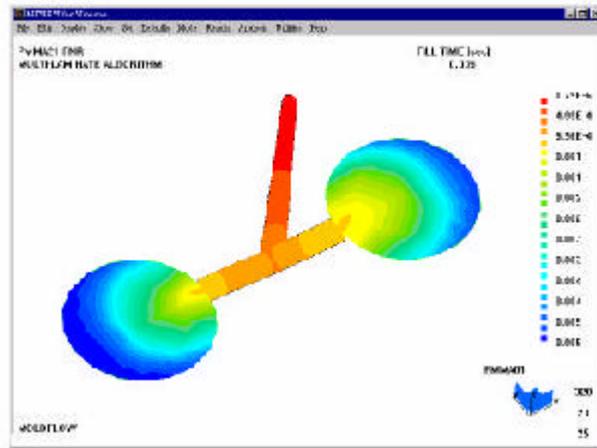


圖 1-2 模流分析軟體之應用

## 5 第二章 光學非球面鏡片

### 2-1 非球面的定義與公式：

就幾何上所知,球面上每一點的曲率半徑皆相同,而所謂非球面(Aspheric Surface),以狹義的觀點來看,其曲率會隨著曲面各點的位置而改變,而非一定值的曲面;包括橢圓面、雙曲面、拋物面等數學曲面;而已廣義的觀點來看,非球面光學應該包含平面和馬鞍面等複雜的曲面.在光學設計上,鏡片大多為旋轉對稱,如此資可以用下列的多項式來定義非球面的輪廓,而球面祇是特例而已.

$$Z = \frac{X^2}{R + \sqrt{R^2 - (1+k)X^2}} + A_4X^4 + A_6X^6 + A_8X^8 + \dots \quad 2-1$$

式中,

X: 距非球面軸之水平距離.

Z: 非球面的旋轉對稱軸.

R: 頂點曲率半徑.

k: 二次曲線常數.

A<sub>4</sub>、A<sub>6</sub>、...: 非球面修正係數.

而當所有的 A<sub>4</sub>、A<sub>6</sub> ..這些係數都設定為零時,則 2-1 式可以寫成 2-2 式,變成二次圓錐曲線方程式,其中當 R 值相同時,k 值得變化與形狀之關係圖如圖 2-1 是以二次曲線為基礎再加高次項.實際上,光學系統在很多的情況之下,使用二次曲面就夠了,並且二次曲面在檢測上也較簡單,因為只有兩個變數 R 和 K.

$$Z = \frac{X^2}{R + \sqrt{R^2 - (1+k)X^2}} \quad 2-2$$

k < -1 雙曲面(Hyperboloid).

k = -1 拋物面.(Paraboloid)

1 < k < 0 橢圓面(Ellipsoid),以長軸為旋轉軸.

k = 0 球面(Sphere).

k > 0 扁橢圓面(Oblate ellipsoid),以短軸為旋轉軸.

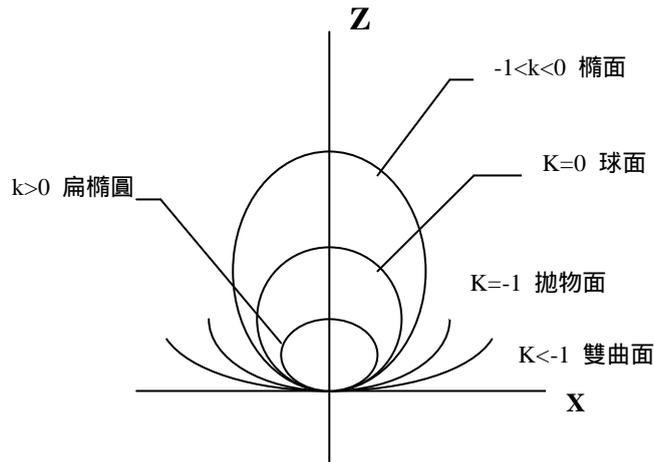


圖 2-1 二次圓錐曲線

## 2-2 非球面的設計：

一般探討光學系統的成像理論,先以進軸光線分析,以了解成像的基本特性,如成像位置及像的放大率等;再來是詳細研究成像的細節,如光學像差等.而了解像差之後,便要設法消除之,以改良光學設計之成果品質,提高其實用性.通常消除像差方法有二:

- (1) 利用球面透鏡的形狀、材質、間距、或光闌之位置及大小等因素,將數個球面透鏡互相調配組合.
- (2) 使用非球面透鏡可以獲得改善.

從圖 2-2 來看,可以更清楚了解到,採用非球面設計的優點.

非球面鏡的種類包括前面介紹的二次曲線鏡面之外,還有史密特(Schmit Surface)修正面、輪胎鏡面(Toroid Surface),如圖 2-3 所示及非涅耳(Fresnel Surface)鏡騙等特殊鏡片.

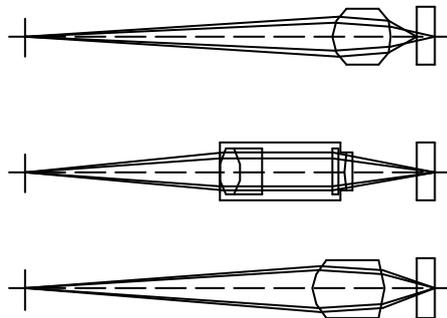


圖 2-2 球面光學與非球面光學之比較

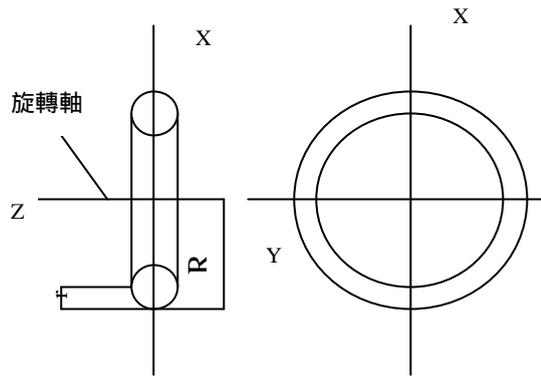


圖 2-3 輪胎面

此外，輕、薄、短、小的產品正是目前潮流的趨勢，非球面的設計剛剛好符合這一方面的需求，利用非球面元件所組成的鏡組，其使用的鏡片數要比同品質的球面鏡組少，若以成本來考量，使用越少的鏡片鏡組，成本當然也就降低下來。

從圖2-4跟圖2-7這兩張球面及非球面老花眼鏡之設計圖來看，對非球面眼鏡鏡片而言，則有下列優點：

- (1) 鏡片較薄、重量較輕。
- (2) 鏡片周圍像差較小。
- (3) 鏡片表面曲面較平緩，較具美觀。

另外，一般為了減少非球面跟眼鏡模仁製作成本，設計上一般是採用非球面模仁(母模)與球面模仁(公模)交互搭配的方式，如圖 2-7 所示。

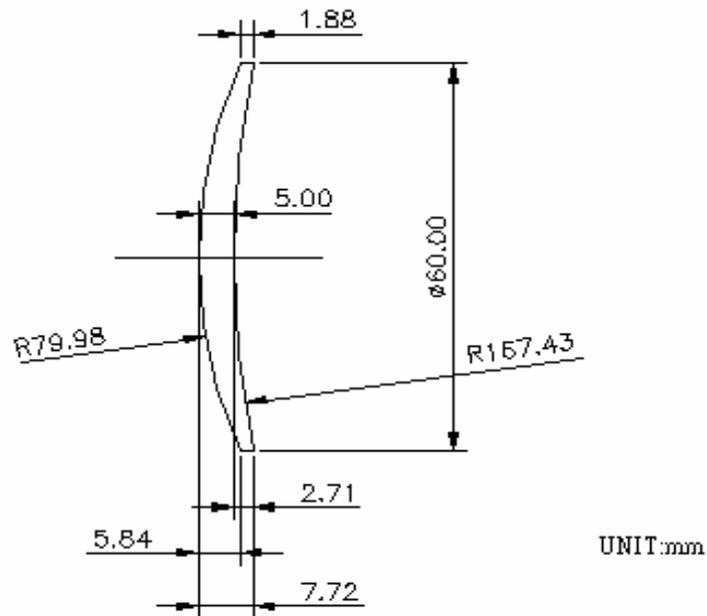
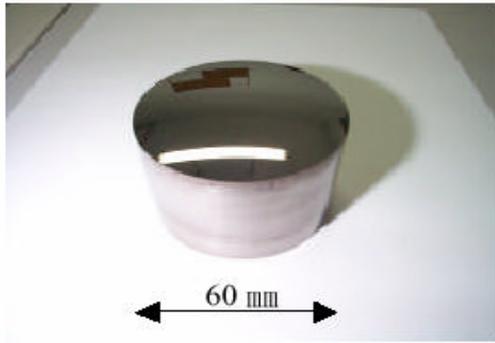
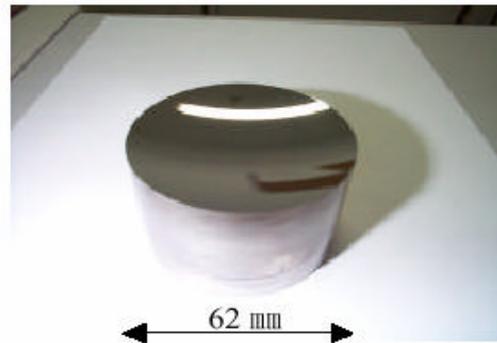


圖 2-4 400 度球面眼鏡鏡片設計圖



(a)公模仁(凸)



(b)母模仁(凹)

圖 2-5 球面模仁表面

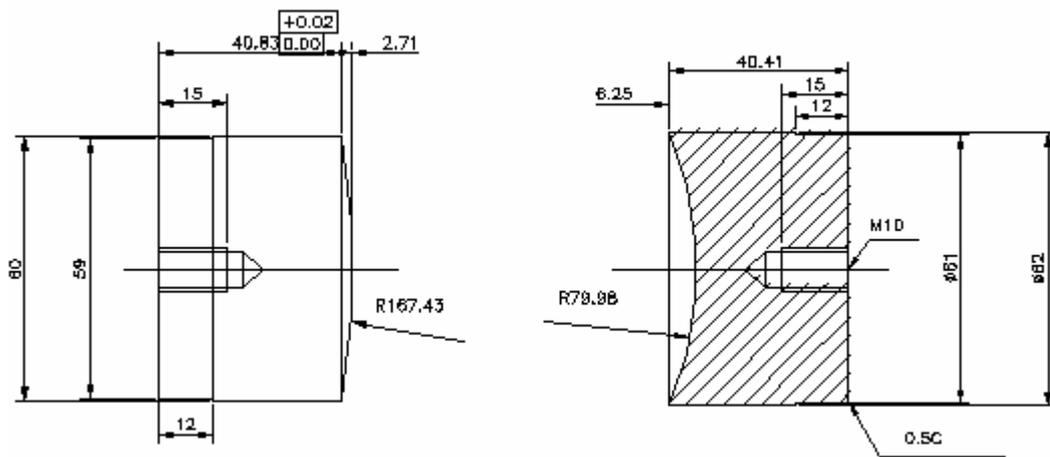
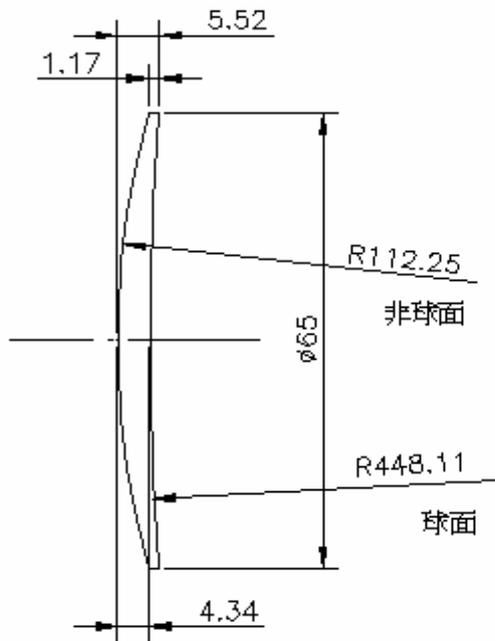


圖 2-6 400 度球面眼鏡鏡片模仁的設計圖



|     |              |
|-----|--------------|
| R   | 112.25       |
| K   | -3.248073    |
| A2  | 0.0          |
| A4  | -2.66482E-06 |
| A6  | 1.37594E-08  |
| A8  | -2.65543E-11 |
| A10 | 1.49532E-14  |

非球面參數表

UNIT:mm

圖 2-7 400 度非球面眼鏡鏡片設計圖

## 2-3 非球面鏡片的應用：

目前非球面模造鏡片的應用,以功能區分成像用、聚光用及掃描用這三方面:

- (1) 成像用:如照相機鏡頭、觀景窗及眼鏡片等.
- (2) 聚光用:如 DVD、CD-RW 及 MO 等光學讀取頭.
- (3) 掃描用:如雷射印表機、條碼機與掃描器.

根據 Dataquest 研究報告指出,全球 CD-RW 市場規模預估由 1999 年的 1,130 萬台成長至 2000 年的 2,300 萬台.而在 DVD-ROM 方面,業界預期 1999 年全球 CD-ROM 光碟機市場規模將擴大為 2000 萬台,為 1998 年的三倍,然而,實際的狀況卻超出業界的預期,一般預估,1999 年全球 CD-ROM 光碟機規模將僅有 1200 萬台左右.相對的,被視為已經沒有成長空間的 CD-ROM 光碟機卻可望成長 20%,達一億台以上.另外在數位像機上面,根據 Lyra Research, Inc. 所做的研究調查顯示 1996 年全球數位像機有 9 億 8400 萬美金的市場,至 2001 年時,則可望成長將近 1,000 萬台,以及創造 36 億美金的盈收,再國內 1997 年數位像機產量為 5 萬台,1998 年起陸續有多家公司推出 35 萬畫數產品,但再數位像機的主流轉為百萬畫數的影響下,預計整體產量只成長至 20 萬台,預估我國可望隨著全球數位像機市場規模的成長,持續成長至 2000 年的 100 萬台,複合年成長率為 170%.

以光學產品為對象就其對光學模造鏡片的需求推估,每一台產品中保守估計最少也需要一片模造鏡片來看,是非常具有市場潛力.因此,我國如要提高競爭力,除了光電產品的研發之外,對於非球面模造鏡片技術的提升,更是不可容緩的工作.

## 2-4 量測技術的介紹：

在玻璃模造成形或塑膠射出成形方面,其模仁與成品都要量測其形狀,平滑度與像差,利用這個結果來評成品的好壞,並提供光學設計及模具家供的修正參考.

光學鏡片的檢驗方式有很多種,一般可分為三種方式:

(1) 輪廓儀法:是利用測頭(接觸式與非接觸式)直接量測非球面輪廓,得到數據,在運用軟體計算與非球面公式或設計取麵線之偏差,適用於鏡片模仁和鏡片成形品上例如 Form Talysurf、原子間力探針式量測等.表 2.3 微各類量測方式的比較.

(2) 幾何光學測試法:例如 Ronchi test,式運用同步相位偵測技術分析 Ronchi 圖形的相位變化,推算出非球面的非球面量,進而量出被測模仁之非球面形狀.

(3) 干涉儀測法:其共同優點微(1)非接觸式,可以保持被測物表面的完整,部會有刮傷的產生、(2)全面的,可以一次測量整個被量物表面,但是有範圍限制.比較常見的如表 2.4 所示.

干涉儀法和輪廓儀法各有其特點,干涉儀屬光學檢測,所得到結果為待測面之間干涉條紋,可以檢測像差,但是它不能得到曲面輪廓的高度與表面粗糙度,而這正式輪廓儀法的優點,而輪廓儀法雖然可獲得相當準確的量測結果,但是量測相當費時.而在製造非球面鏡片,例如射出成形時,模仁的形狀與表面精度為鏡片成品的依據

因此大多採用輪廓儀法來進行模仁的量測,以確定形狀誤差低於所要求的精度;而對於鏡片成品,一般視光學干涉儀法,以達到快速且大量的檢測.

| 項目<br>機種           | 精度<br>( $\mu$ m) | 測定範圍                 | 最大面傾<br>斜角(度) | 無反射表<br>面 | 表面損傷 | 表面粗度<br>測定 |
|--------------------|------------------|----------------------|---------------|-----------|------|------------|
| 原子間力<br>三次元測<br>定機 | 0.01             | ~400mm<br>全面掃射       | 60            | 可測定       | 無    | 正確         |
| 接觸式二<br>次元測定<br>機  | 0.5              | ~120mm<br>1 斷面搜<br>尋 | 35            | 可測定       | 有    | 不能         |
| 接觸式三<br>次元測定<br>機  | 1.0              | ~400mm<br>全面點資<br>料  | 45            | 可測定       | 有    | 不能         |
| 非接觸式<br>三次元測<br>定機 | 0.01             | ~400mm<br>全面掃射       | 30            | 不能測定      | 無    | 可測但不<br>正確 |

表 2-1 各種輪廓儀法測定方式之比較

| 名稱   | 優點   | 缺點   |
|--|--|--|
| Null lens                                    | 可以提供 Null testing 精度極佳的球面波與平面波。  | 不同形狀的非球面鏡需以不同的 Null lens 系統作檢測                       |
| 計算機全像片法<br>(Computer Generate Hologram)      | CGH 可檢驗非球面度極大(數百個波長)且鏡面起伏變化較大的非球面鏡，一但製成一組 CGH，可以在該實驗架構上重複進行許多組同樣元件的預測。 | CGH 之製作不容易、位置誤差所造成的額外誤差以及若只測試一兩片試體時，則費用就太高了，且設備成本太貴。 |
| 散射板干涉法<br>(Scanner-plate Interferometer)     | 參考光與代測物體光所走之路徑相同，故此兩光波受溫度擾動等影響之程度相同。                                   | 條紋對比度太低，難以續取干涉條紋，且一般散涉板不易製作。                         |
| 橫向剪切干涉法<br>(Lateral Shearing Interferometer) | 干涉條紋數少、敏感度低、條紋穩定等多項特性。   | 干涉儀設備較繁複，且其波面設計需經過積分運算，準確度受取樣點樹脂影響。                  |

表 2-2 常見的干涉儀法

### 第三章 射出成型相關理論

#### 3-1 塑膠材料的通性：

塑膠材料是用各種化學原料經化學反應製成，其種類繁多，性質不一，但大部分具有下列共同性質：

- (1) 重量輕-鐵的比重是 7.8，鋁為 2.6，而塑膠比重約為 0.9~2.0。
- (2) 電絕緣性優良-導電性差，可作為隔離電之保護層。
- (3) 耐蝕性強-耐水、油、化學藥品等之腐蝕。
- (4) 成型容易，生產率高-具加熱軟化性質，易於加工成型。
- (5) 色彩鮮明，著色容易-對光澤、透明性良好，且適當加入著色劑，則可改變其色澤。
- (6) 堅固耐用-一般塑膠皆有長久的耐用性，且填加玻璃纖維、雲母等將強化塑膠，使其強度更為提高。

塑膠依其結合方式可分為熱固性塑膠(Thermosetting-Plastics)與熱塑性塑膠(Thermo-Plastics)兩類，其中熱塑性塑膠又分為非結晶性(Amorphous)與半結晶性(Semi-crystalline)塑膠兩種。茲將其特性，分述如下：

##### (一) 熱固性塑膠：

此類塑膠受熱後，初期會軟化，而具一定的可塑性，但隨加熱的進行，塑料中的分子不斷聚合(Polymerization)與交叉聯結(Cross Linking)之化學反應，而形成不融化亦不容於溶劑的材質。因此，一般熱固性塑膠，其强度高且耐熱性良好，但成型時間較長。例如：尿素(UF, urea-formaldehyde)、環氧樹脂(EP, Epoxy)、酚甲醛(電木)(PF, Phenol-formaldehyde)

##### (二) 熱塑性塑膠：

此類塑膠不須鍵結，可重覆地受熱軟化，重新地受熱軟化，重新冷卻凝固而成型，形成可反覆成型使用之材質。然依固態成型時分子排列之情形又可分為兩種：

##### (1) 非結晶性塑膠

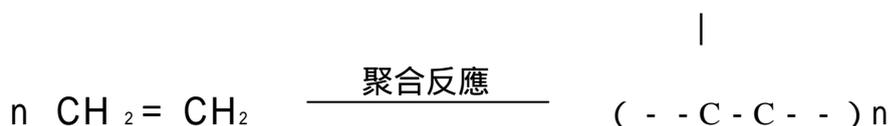
分子在固態時，其分子鍵無規則(Amorphous)的排列，且隨溫度變化排列之情形隨之變化。一般而言，此種塑膠其透明度高。例如：聚苯乙烯、壓克力，聚氯乙烯皆屬之。

##### (2) 半結晶性塑膠

此分子在固態時，其分子鍵為規則的排列，但因塑膠分子巨大，無法使全部分子鍵規則排列，故常用“半結晶”來表示。此類塑膠密度、熔點較高，且加熱時於熔點附近有體積驟增現象。如：聚乙烯、聚丙烯、聚縮醛(塑膠鋼)。

### 3-2 何謂高分子：

"Polymer" (高分子) 起源於希臘語，表示一群小單元結合成巨大單元的意  
思。引用到高分子領域，即是一群較小分子量的分子，鍵結成高分子量的巨大分  
子，而這些小單位之分子稱做"單體"，巨大分子就是高分子或聚合物，如此鍵結  
過程稱為聚合反應。而其原子間的鍵結形式是共價鍵，每一條分子鏈上的單體數  
目  $n$  稱為"聚合度"。高分子可以人工合成，自然界中也有很多天然的高分子，最  
廣為人知就是纖維素和蛋白質，另外有些生化構造的物質往往也都是高分子。人  
工合成的高分子中最耳熟能詳的就是聚乙烯 PE，其反應機構如圖：  
這種加成反應，由於各分子鏈索引入的單體數目可能不同造成最終產品的聚合度  
不會是單一值，所以高分子量必然是呈現一種分佈曲線。



乙烯

PE

單體： $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$

重覆單元： $- \text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$

聚合度： $n$

此外，我們應了解高分子鏈的表示法有各種型態，從最基本的分子模型  
開始，由於鏈結單元間的立體障礙效果存在一最穩定的鋸齒狀排列，但是再高分  
子領域常以一條曲線來代表分子鏈，或卷曲或延伸或成彈簧狀，來描述高分子特  
有的行為，譬如彈簧模型即可敘述高分子的彈性行為。很多特殊的高分子行為往  
往起因於此。殘餘應立即熱殘餘應力，在前面已有許多介紹。而影響殘餘應力之  
因素甚多，例如模溫、熔料溫度、射出速率、射出壓力等。通常模溫與熔料溫度  
愈高，殘餘應力愈低；射出速率與射出壓力愈高，殘餘應力愈高，殘餘應力高的  
成形品，其機械性質較差，減少使用壽命，同時容易產生翹曲變形，增加產品不  
良率。

### 3-3 高分子流變特性：

塑料於充填過程與模壁及塑料相互間發極大的剪應力效應，而正向應力效應較剪應力效應小的多，因而忽略高分子(塑料)流動之正向應力，然其剪應力與剪率 關係如下

=

其中

=非牛頓流體黏性係數，並採用 Cross-WLF 模式表示，即

$$\eta(T, \dot{\gamma}) = \frac{\eta_0(T, p)}{1 + \left\{ \frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_0} \right\}^n}$$

式中

$\eta_0$  = 零剪率牛頓流體黏性係數 (Zero-shear-rate Newtonian Viscosity)

T = 塑料溫度

P = 塑料壓力

N 與  $n$  = 常數 (經由實驗得到之適當值)

至於零剪率牛頓流體黏性係數可由下式決定：

$$\eta_0(T, p) = D_1 \left[ \frac{D_2 + D_3 p}{D_4 + (T - T_0)} \right]$$

其中

$$T(p) = D_2 + D_3 p$$

$$D_2(p) = D_5 + D_3 p$$

$D_1, D_2, D_3, D_4, D_5$  = 常數。

### 3-4 pvT 關係式：

#### (1) 熔化與玻璃轉移溫度：

塑膠加熱熔化時，材料本身因受熱使分子振動加速，當一部分體積的材料開始流動的溫度被稱玻璃轉移點  $T_g$  (Glass-transition Point)。若溫度持續上昇，可完全自由流動的溫度為熔點 (Melting Point)。分子量越大時，玻璃轉移點與熔點的溫度差越大。此外在玻璃轉移點，對塑膠之比熱、應力鬆弛、熱膨脹率亦會有急劇變化。

#### (2) pvT 關係式：

壓力-比容-溫度 (Pressure-Specific volume-Temperature, pvT) 關係式使用漸漸被應用在射出成型數值模擬的 Tait 方程式 (Tait Equation)，且經加入  $v_i(T, p)$  一項，做適當修正，使更精確地描述 pvT 之關係，即

$$v(T, p) = v_0(T) \{1 - C \ln[1 + p / B(T)]\} + v_i(T, p)$$

式中

(1) 當  $T > T_t(p)$  (轉移溫度-決定固態與液態之參考溫度)

$$v_0(T) = b_{1m} + b_{2m} T$$

$$B(T) = b_{3m} \exp(-b_{4m} T)$$

$$v_i(T, p) = 0$$

(2) 當  $T < T_t(p)$

$$v_0(T) = b_{1s} + b_{2s} T$$

$$B(T) = b_{3s} \exp(-b_{4s} T)$$

$$v_i(T, p) = b_7 \exp(b_8 T - b_9 p)$$

$$T = T - b_5$$

$$T_t(p) = b_5 + b_6 p$$

$$C = 0.0894$$

非結晶性高分子， $T_t = T_g$

半結晶性高分子， $T_t = T_c$  (結晶溫度, Crystallization Temperature)

$b_1 \sim b_9$  = 常數 (經實驗以吻合 pvT 關係之係數而得)

下標 m = 熔融狀態 (Molten State, or Liquid)

下標 s = 固態 (Solid)

#### (3) 塑膠加入纖維之 pvT 關係：

塑膠與纖維混合之複材，其中 pvT 關係仍需界實驗以求得 Tait 方程式之係數  $b_1 \sim b_4$ 。若已知塑膠之  $b_1 \sim b_4$  係數，並忽略纖維的可壓縮性 (因與塑膠相比，其纖維之可壓縮性甚小)，則對塑膠為基材 (Matrix) 而纖維為充填物之複材，其  $b_1 \sim b_4$  係可預估如下：

$$b_1 = \phi_{wt} V_f + (1 - \phi_{wt}) b_1$$

$$b_2 = (1 - \phi_{wt}) b_2$$

$$b_3 = [1 + (\phi_{wt} V_f / (1 - \phi_{wt}) b_1)] b_3$$

$$b_4 = (1 - \phi_{wt}) b_1 [1 - \text{Cln}(1 + p / b_3)] / \phi_{wt} V_f + (1 - \phi_{wt}) b_1 [1 - \text{Cln}(1 + p / b_3)]$$

$$* ([1 + (\phi_{wt} V_f / (1 - \phi_{wt}) b_1)] b_3 / b_3 + p) * b_4$$

式中  $b_1, b_2, b_3, b_4$  = 複材 Tait 方程式係數

$b_1, b_2, b_3, b_4$  = 未充填纖維之塑膠 Tait 方程式係數

$\phi_{wt}$  = 複材中纖維重量含量比 = (纖維重量) / (塑膠重量 + 纖維重量)

### 3-5 塑膠射出成型相關理論：

塑膠射出成型品品質，包括其光學性質，機械性質，或最後成品之尺寸等，主要係受到成型塑件之微結構所影響，包括分子結構，分子量分布，分子鏈排向，結晶度等。在材料尚未加工前，先了解這些結構性質，才能生產出好的成品；以成型材料的選擇，其物性、化性與流變性質等，必須先有一番認識。簡單敘述如下：

#### (1) 高分子物性與化性：

近年來高分子工業發展迅速，各種材料特性往往超越傳統材料，例如機械性質、電氣性質等；高分子合金、聚慘、複合材料等，更是將高分子工業推展到較高技術層次，如航太工業、精密工業等。這些新材料的加工性質，大都無法用傳統知識加以理解，因此提高加工的技術能力，必須對高分子性質有所認識。

在射出成型中，首先須根據產品的特性選擇適當的高分子材料，譬如欲生產鏡片，透明度為最基本之要求，所以選擇透明之材料，如果是有度數的鏡片，不僅透明度佳，尺寸安定性也要好，避免變形影響曲率，而且要消除熔合線等。然後考慮成本及是否容易加工；此外，高分子的性質何其加工歷程也有密切關係，由於加工過程，其溫度、剪切率、速度、壓力皆有變化，流變性質何熱性質影響最終產品之物性，所以加工條件左右成品的品質。綜合而言，產品最終之性質和原料性質及加工過程有密切關係。

#### (2) 高分子量測技術：

量測高分子材料性質，主要包括性質檢定與參數檢測；高分子材料的性質檢定，主要目的為建立材料性質資料庫，以提供吾人選擇材料，在最低成本下，達到最高的產品品質要求。參數檢測之目的，為提供電腦輔助工程分析時所需的材料參數，例如高分子密度、比熱、熱傳導係數、或結晶度模式之參數量測等；利用這些參數模式，以描述高分子加工過程，材料性質受到溫度、壓力、速度等加工變數影響的變化歷程，並探討最後成品品質的影響。至於產品最終品質的量測技術，例如殘餘應力的量測、或結晶度的量測、分子配向性的量測，則是驗證理論分析的重要根據。

### (3) 高分子流變學：

流變學為描述物體變形及流動的科學，涵蓋範圍包括流體黏度的量測、分子結構、及壓力、溫度與流變性質之關聯等。由於高分子唯一長鏈型分子所構成的材料，分子鏈在流動過程中會彼此糾纏、受拉伸、鬆弛等，所以具有與一般簡單分子流動迥異的流動性質，甚至還具有類似固體的彈性行為。

在射出成型中，高分子的流變行為亦扮演了舉足輕重的角色。當熔膠射入模穴時，熔膠的流變性質決定了它將如何流動，如何將模穴充填，需要多大的射壓，多高的模溫....等。亦即我們要多大的射壓，才能使熔膠通過澆道(runner)及澆口(gate)擠入模穴之中。如何安排流到進澆位置，以避免不必要的包封、熔合線之產生。充填完畢時分子排列情形，加上熔膠的冷卻，結晶之生成乃應力鬆弛(stress relaxation)又決定成形品的收縮及翹曲變形。此外，正確的流變學觀念，將有助於電腦輔助模具軟體之使用與解釋，從而有效進行射出成行之問題排除，發揮電腦輔助工程分析之最大效益。

## 第四章 射出成型之實務

### 4-1 射出成型設備與流程：

#### 實驗設備與材料

##### (1) 射出成型機

本實驗使用的射出成型機為台中精機公司所生產的VR8000A系列直壓機，型號為VR-40 如圖4-1 所示，其螺桿的直徑為26mm，理論射出容積為48cm<sup>3</sup>，採直壓式的鎖模機構，鎖模力可達42 ton。

表4.1為本實驗VR-40射出成型機的主要規模說明。

##### (2) 模溫控制機

模溫控制機是利用水或熱油作傳熱媒體，以機體內的熱媒將熱傳媒加壓並經由連接管路送至模具水路中再傳送回機體內做循環，並利用溫度控制器自動使電熱器加熱或冷卻系統降溫，以達到自動控溫的效果。本十彥所使用的模溫機為科基企業有限公司所生產，機型為OTC-03S，傳熱媒體為傳熱油，溫度最大可到150℃，模溫機主要的功能在於使模具再成形時間內保持穩定的溫度以確保成形品質和提高生產效率。



圖4-1VR-40射出成型機

| 機 型                |                      | VR-40      |
|--------------------|----------------------|------------|
| 射出單元               |                      |            |
| 螺桿直徑 $\varnothing$ | mm                   | 26         |
| 理論射出容積             | cm <sup>m</sup>      | 48         |
| 實際射出重量 PS          | g                    | 46         |
| 膠化能量 PS            | kg/hr                | 47         |
| 最高射出壓力             | kgf/cm <sup>m</sup>  | 2070       |
| 射出率                | cm <sup>m</sup> /sec | 17         |
| L/D 比              |                      | 20         |
| 螺桿轉速               | rpm                  | 0~215      |
| 射出行程               | mm                   | 90         |
| 射座行程               | mm                   | 249        |
| 射嘴封閉力              | ton                  | 4          |
| 料管總加熱量             | Kw                   | 3700       |
| 鎖模單元               |                      |            |
| 鎖模力                | ton                  | 42         |
| 最大開模行程             | mm                   | 300        |
| 模版全開距離             | mm                   | 500        |
| 容積厚度(最大-最小)        | mm                   | 350-200    |
| 模板尺寸               | mm                   | 450X450    |
| 柱內尺寸               | mm                   | 310X310    |
| 頂出行程               | mm                   | 60         |
| 頂出力                | ton                  | 1.68       |
| 一般說明               |                      |            |
| 電動馬達 HP            | Kw                   | 15(12.5)   |
| 油槽容積               | Liters               | 210        |
| 最高系統壓力             | Kg/cm <sup>m</sup>   | 140        |
| 機器淨重               | ton                  | 2          |
| 機器尺寸               |                      | 315X82X210 |
| 長 X 寬 X 高          | cm                   |            |

表4-1 VR-40射出成型機的主要規格說明

### (3) 模具

本實驗所使用的模具其相關的設計圖如附錄一所示，整個模座的尺寸為長250mm ×寬220mm ×高241mm，為一模一穴的設計，在公模板方面有設計一個可置換型的模仁襯套，水路也沿著襯套邊緣環繞設計，而再母模板方面，沒也在設計模仁襯套，水路採用井字型設計。而公母模仁的材質採用STAVAX # 420的特殊鋼料，而直徑大小分別為O60mm與O62mm，且公母模仁皆為嵌入式可置換型的圓柱體設計。模具的外觀如圖4-2所示。



『公模』



『母模』

圖4-2 鏡片模具

### (4) 塑膠料種類

塑膠材料本身可以用在製造鏡片的種類並不很多，一般常有成形收縮問題、雙折射及吸水率等問題而影響塑膠鏡片品質的好壞，表4-2為各類光學用塑膠材料的特性分析。

本實驗所採用的塑膠料為聚碳酸酯，Polycarbonate，俗稱PC，為熱可塑性樹脂的一種，此材料經加熱熔融後，因黏度高，故必須高壓高溫方可成形。PC的特色是耐衝擊性、耐熱性、折射率高，但是折射率不安定，只小數點以下第2位以內可靠，復折射也強。本實驗所使用的塑膠料號為光學級PC AD5503如圖4-3所示，折射率為 $n_d=1.5803\sim 1.5805$ ，而高溫脆性為成形時的大問題，其材料特性如表4-3所示。另外在成形上有幾點需注意：



圖4-3 光學級PCAD5503

| 特性                 | 單位                | 光 學 塑 膠 |         |         |         |         |       |         |
|--------------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|
|                    |                   | PMMA    | OZ1000  | SAN     | PC      | PS      | CR-39 | MS      |
| 折射率(nd)            |                   | 1.492   | 1.500   | 1.567   | 1.584   | 1.492   | 1.500 | 1.564   |
| 色散率                |                   | 58      | 57-58   | 34-35   | 30      | 58      | 58    | 40      |
| 折射率之溫度<br>變化0~20   | X10 <sup>-5</sup> | -12     | -12     | -14     | -14     | -14     | -     | -14     |
| 光穿透率               | %                 | 92      | 92      | 90      | 90      | 92      | 91    | 89-90   |
| 衝擊強度               | Kg.cm/cm          | 2-3     | 1-2     | 2-3     | 80-100  | 2-3     | 2-3   | 2-3     |
| 洛氏強度               |                   | 80-100  | 90-100  | 70-90   | 70      | 80-100  | 140   | 90      |
| 熱變形溫度              |                   | 90-100  | 103     | 90      | 130     | 94      | 140   | 90      |
| 吸水率<br>(40 ,92%RH) | %                 | 2.0     | 1.0     | 0.8     | 0.4     | 0.2     | 1.0   | 0.8     |
| 比重                 | G/cm <sup>3</sup> | 1.19    | 1.16    | 1.07    | 1.20    | 1.06    | 1.32  | 1.09    |
| 成形收縮率              | %                 | 0.2-0.6 | 0.2-0.6 | 0.2-0.5 | 0.5-0.8 | 0.1-0.6 | 14    | 0.1-0.6 |
| 雙折射                | mm                | <20     | <20     | 20-100  | 20-100  | >100    | -     | 20-200  |

註：

PMMA：聚甲基丙烯酸甲脂樹脂，俗稱壓克力。

OZ100：特殊丙烯樹脂。

SAN：是PS與 Acrylonitrile 的共聚物。

PC：聚碳酸樹脂。

PS：聚苯乙烯。

CR-38：Columbia Resin 39 是二甘醇雙烷基碳酸脂樹脂的商品名。

MS：為 PMMA 與 PS 的共聚物。

表4-2 光學用塑膠材料特性

| 規格             | 型號     | 特性                          | 比重                | 透光率        | 彎曲<br>彈性率          | 衝擊<br>強度                 | 熱變<br>形溫度 | 成形<br>收縮率 |
|----------------|--------|-----------------------------|-------------------|------------|--------------------|--------------------------|-----------|-----------|
|                |        |                             | g/cm <sup>3</sup> | 3mm厚<br>度% | Kg/cm <sup>2</sup> | 3.2m/m厚<br>度<br>Kg.cm/cm | 18.6Kg    | %         |
| 光學級<br>PANLITE | AD5506 | 射出、薄肉<br>厚成形超<br>高流動應<br>力低 | 1.2               | 90         | 24,000             | 8                        | 126       | 0.5-0.7   |

日本帝人化成聚碳酸脂樹脂(聯偉光學提供)

表4-3 本實驗所使用的塑膠料特性

(1) 預備乾燥：通常要使聚碳酸樹脂織成型品達到正常物性，成型之前必須加以乾燥使樹脂含水份達到0.02%以下，否則會產生水解，並使製品亦發生脆裂，因此須嚴格要求成型前的預備乾燥，時間為120 ×4小時以上。

(2) 成型溫度：1.模溫：80~120，模溫太低成型品殘留應力會太高，而生變形、龜裂2.成型溫度：270~320。

## 4-2 射出實驗流程：

### (一)實驗步驟

首先便是鏡片模具的架設至射出機，一般模具都會有定位環，因此這方面只要小心謹慎慢慢的將模具吊起難度上不是很難，架設工作最好有兩人以上；而本實驗的模具剛好沒有定位環設計，因此在架設模具時，注道與射嘴必須非常的準確對準，否則進行射出時，除了射嘴會有溢料之外，更會影響各項的射出參數；

鎖好模具之後便是裝設水路管線，進出的管路最好是分別噴上不同顏色的漆以避免混淆而裝錯管路，本實驗的水路於公母模各一條分開獨立採一進一出的設計，完成以上的步驟之後便可以開始射出的程序。

一般進行射出時必須先把塑膠料烘乾，通常是四個小時以上，於料桶中到進塑膠料之後，依塑膠料的特性設定烘料的溫度，本實驗所用的塑膠料是PC，溫度設定須120，當一切準備工作完成之後便可以開始進行射出實驗，以下步驟為射出實驗前的準備工作，其中（1）（2）（3）項為第一次試模時的工作。

- (1) 模具架設至射出機上。
- (2) 模溫機管線與模具水路的連接。
- (3) 開關模的設定。
- (4) 進行塑膠料的烘乾（須四個小時以上）
- (5) 射出機料管進行加熱。
- (6) 啟動模溫機。

7開始進行射出實驗。

通常在烘料機上有定時裝置，可以預先設定好什麼時候要烘料以及烘料時間，而射出機料管與模溫機的加熱也必須等待20分鐘以上，因此在進行射出實驗時，塑膠料可以提早4個小時之前開始烘料，並在實驗前20分鐘將料管與模溫機加熱即可，節省實驗等待進行的時間。

## (二) 射出參數設定

射出成型的射出控制參數包括料管溫度設定、射速、射壓、保壓、模具溫度、冷卻時間、加料速度壓力等等，因此成形條件相當的複雜，各個參數之間的關係非常密切，尤其是製作高精密度的鏡片更是需要非常的注意。本實驗將會對各射出參數對射出結果的影響做一個探討。

### (1) 料管的溫度設定

熔膠溫度的決定是影響成形品質的重要因素之一，當熔膠溫度太高造

成塑料產生熱分解，使產品有脆化的現象，但是太低的話會影響塑料流動性，產品會有冷料形成的波紋，且料管在進料時攪拌困難，而發生加料異常的警告。因此，料管溫度的設定必須使塑料達到黏度低、流動性佳的效果，本實驗所用的塑料為 PC AD5503，料管加熱控制包含射嘴部分，分為四段如表3.4所示，一般須加熱至270 左右。

表4-4 料管溫度參數設定

|     | 射嘴  | 第一段 | 第二段 | 第三段 |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 加熱值 | 270 | 264 | 260 | 255 |

## (2) 模具溫度

模具溫度主要由模溫控制機來改變，然而實際上模具的溫度和在模溫控制機上所設定的溫度是有些誤差的，原因不外是熱的傳導發散。本實驗參考所使用的塑料物性，並實際量測模具溫度以期調整模溫控制機的溫度來減少溫度設定的誤差，而得到模溫控制機所設定的溫度應該為120 ，此時模具溫度為100 。

## (3) 射速與壓力設定

所謂射速為射嘴射出熔膠的速度，如果射膠速度太低，塑料會失去流動性，以致在模具內緩慢流動，產生過早冷卻硬化或波紋的產生；如果射膠速度太高時，又會有氣泡或包含的缺陷產生。

而射出壓力即熔膠由噴嘴射出時，在螺桿前端所承受每單位面積之壓力，當射出壓力太高時，油壓缸與模具會因受到過大的壓力而縮短使用壽命，並使成形品產生毛邊以及發生殘留應力。

本實驗所設定的參數如表4-5所示，其中射出分為三段射出，採位置與

射出時間一起控制整個射出過程，也就是說當在第三段射出的位置未達0mm時，便以射出時間來控制整個射出過程。

表4-5 射出參數設定

射出<=

|    |     | 第三段射出 | 第二段射出 | 第一段射出 |
|----|-----|-------|-------|-------|
| 速度 | %   | 25    | 10    |       |
| 壓力 | Bar | 70    | 100   |       |
| 位置 | mm  | 0     | 19.2  | 32.5  |

射出時間：8<sub>sec</sub>

(4) 保壓設定

保壓壓力與保壓時間的設定為使射出動作完成之後，確保成形品的品質，給予一個壓力使壓力均衡的傳遞到模具之內，而保壓時間是指整個保壓動作維持的時間，一般保壓時間的設定是依照射出件的大小及澆口大小來判斷，其時間長短直接影響到產品的收縮率及殘留應力的發生。本實驗設定如表4-6所示，為一般保壓，保壓時間為5sec。

表4-6 保壓設定

保壓<=

|    |     | 第三段保壓 | 第二段保壓 | 第三段保壓 |
|----|-----|-------|-------|-------|
| 速度 | %   | 0     | 0     | 0     |
| 壓力 | Bar | 0     | 0     | 0     |
| 時間 | Sec | 0     | 0     | 0     |

### (5) 冷卻時間

當完成保壓之後到開模這段時間便稱為冷卻時間，冷卻時間的長短會影響成形品品質的好壞，尤其是鏡片這種高精度的產品，必須使鏡片在模穴內固化完成才取出，未完全固化就取出會產生損傷或變形，但是時間過長的話卻會增加生產速率，造成時間的浪費。通常影響冷卻時間設定的因素有成形品的厚度及模具溫度。本實驗冷卻時間設定為70sec。

### (6) 加料參數設定

本實驗加料參數設定如表4-7所示，設定速度不可太快，否則容易進料時空氣跑進去使成品會有氣泡的產生，而加料位置可以從射出狀況和成形品填充率來加以判斷。

表4-7 加料參數設定

加料=>

|        | 前鬆退 | 第一段加料 | 第二段加料 | 第三段加料 | 後鬆退 |
|--------|-----|-------|-------|-------|-----|
| 速度 %   | 0   | 0     | 0     | 35    | 0   |
| 壓力 Bar | 0   | 0     | 0     | 100   | 0   |
| 背壓 Bar | 0   | 0     | 0     | 0     | 0   |
| 位置 mm  | 0   | 0     | 0     | 39.0  | 0   |

### 4-3 成型條件對形狀精度之影響：

再探討不同的成型之條件對形狀精度的影響實驗中,我們以不同的射出速度、塑料溫度、保壓壓力來進行成型實驗,並將成型後的透鏡進行量測,探討其成行精度.

成型實驗後之微透鏡模組(一基板上成型兩微小透鏡),再此給兩透鏡一個編號,令靠近澆口端之透鏡為"鏡片一",遠離澆口之透鏡為"鏡片二".然後分別對兩透鏡進行量測其在與流動方向垂直的方向上(TD)之輪廓,並與對應模仁之相同方向上之輪廓進行比較,紀錄不同位子(厚度)上的偏差量,並繪製成關係圖.在此所紀錄的點資料,是以輪廓中心為原點,每隔 28um 量取一次偏差量而作成的關係圖.而影響形狀精度有三項：

#### (一)、塑膠射出成型之充填過程：

塑膠射出成型中,其充填過程時間很短,但由於它是保壓與冷卻過程的起始,且整個成型品的品質幾乎決定于充填過程的好壞,因此了解模穴充填過程及其物理現象是相當重要的。

高分子熔融流體進入模穴後,受到模具的冷卻作用,與模穴表面接觸部分,開始冷卻固化,形成一個固化層:固化層厚度分佈,在澆口與波前位置附近較薄,中間部份較厚;此乃由於塑料由澆口進入模穴初期,熔澆溫度較高,接觸的冷模壁部份少,因此被帶走熱量與固化層厚度均較少;隨著充填過程進行,塑料波前逐漸充填整個模穴,所接觸之冷模壁愈來愈多,散逸之熱量與新進熔膠所帶進著及黏滯生熱之和接近平衡,所以固化層厚度增加不多;在塑料波前位置,由於熔膠的噴泉流動方式,即壁側之塑料為來自中心芯最熱之塑料,因此溫度較高,固化層也較薄.此外,熔膠接觸模穴表面的瞬間固化行為,不僅限制殘留應力或分子鏈的鬆弛行為,同時也使得高分子體積來不及收縮,或結晶性材料來不及結晶;等到產品脫模後,在較高的使用環境溫度下,使得成品產生結晶或分子鏈鬆弛、與體積收縮的情形,同時也會造成產品的翹曲變形行為。流體前端的噴泉流動行為,不僅影響成品表面品質,並且對產品形態學也構成影響,如成品截面的配向性分佈、結晶度分佈或熔接線強度等。成品厚度方向的分子配向性不平均時,由於分子鏈的鬆弛行為不均勻,造成整體的收縮不平均,因此產品會有翹曲變形發生。

射出成型的充填過程,不僅影響成品表面品質,如產品光澤度或留痕等,同時也影響最後成型品之尺寸,包括收縮與翹曲變形等。此外,一些成品品質在充填過程中,就幾乎已被定型,例如流體前端之空氣包封行為、縫合線位置、或多模穴模具是否同時填滿等。當產品有包封現象發生時,在包封位置的產品表面,容易形成凹陷,並且也影響該處的機械強度;通常以修改膠口位置、或更改成品後度來消除包封現象。

由上所述,可知射出成型之充填過程,實在是射出成型最重要的根本;良好

的塑膠充填行為，包括模穴內均勻的溫度、壓力分佈，以及均勻的流場，才能製造出高品質的成品。

## (二) 塑膠射出成型之保壓過程：

在聚合物流體完全填滿整個模穴的瞬間，即充填過程結束，並開始進行保壓過程；由於聚合物熱脹冷縮的行為，熔膠在填滿模穴時，其溫度很高，所以聚合物體積會膨脹，等到熔膠受到模具的冷卻作用，使得溫度逐漸降低，因此體積也會收縮。為了彌補此一收縮行為，再填滿模穴的同時，模穴內部壓力瞬間升高，並保持一段時間，使更多材料擠入模穴內，以減少產品冷卻後的收縮效應。射出成型保壓過程中，最重要的考慮項目為保壓壓力與保壓時間；若保壓壓力太高或保壓時間太長，則產品由於過度的保壓效果，使得產品內殘餘應力增加，不僅會減少產品的使用壽命，並且產品也比較容易有翹曲變形的行為發生；但若保壓壓力太小或保壓時間太短，則保壓效果不夠，並且由於收縮行為的發生，使得成品尺寸太小，或成品表面有凹陷情形發生。

由上所述，可知射出成型保壓過程主要目的在防止成品冷卻固化後的收縮行為發生；另一方面，產品設計時，成品厚度相差太大、或成品某些部位厚度太薄，使得充填過程的壓力，無法將模穴較薄部份填滿，則產品脫模後形成短射的不良品；因此較高的保壓壓力也可讓此較薄的部位填滿，但其餘位置則可能有過度保壓的行為發生，而造成高殘餘應力。因此，適當的保壓壓力與保壓時間，才能提高產品之精密度品質。

## (三) 塑膠射出成型之冷卻過程：

在射出成型中，冷卻過程費時最長，一般而言，約佔整個循環過程時間之70%~80%，因此冷卻系統設計之好壞，將直接影響到產品之品質及其精密度。設計良好的冷卻系統，將可縮短熔膠固化所需之時間，有效的增加生產速率、降低成本，並可使成型品各部份均勻冷卻，防止產品因熱應力所造成之收縮與扭曲變形等不利因素發生。

射出成型保壓過程中，熔膠在模穴內受到模具的冷卻作用，溫度逐漸降低，直到澆口固化後，即可結束保壓階段；所以螺桿可後退，繼續進行下次射出的熔料動作。澆口固化後，螺桿後退的瞬間，模穴內壓力很快降低，一方面由於沒有射出機的保壓壓力支撐，另一方面也因為模具冷卻作用持續進行，所以成品溫度降低，壓力也減少。等到模穴內成品之大部份溫度低於適當溫度時，如熱變形溫度或玻璃轉化溫度等，使成品有足夠的硬度，以抵抗產品脫模時所受到的外力作用，如頂針的撞擊或其它取出工具的作用等，此時即可脫模取出成品。

在射出成型整個過程中，實際的冷卻行為是一直在進行的，並不是澆口固化或保壓過程結束才發生。因此整個成型周其中，模具溫度一直在變化；在填充過程時，由於熱熔膠一直入模穴內，所以模具溫度逐漸升高；當保壓過程持續進行時，一直到脫模取出產品，模具溫度又逐漸的降低，其熱量由冷卻水帶走，或

由模具傳導致外界環境的空氣中。長時間的冷卻過程，最重要的考慮項目為冷卻效果的均勻性；若產品沒有均勻冷卻，則會有不均勻的收縮行為，因此成品容易產生翹曲變形。此外，冷卻時間也是一重要的考慮項目，冷卻時間太長時，不僅浪費能源，同時也影響成型週期；但冷卻時間太短，由於產品未完全固化，脫模時容易受到外力的作用而變形。

由上所述，可知射出成型的冷卻過程，所佔時間很長，不僅影響產品的成型週期，並且也影響最後成品之變形行為；因此適當的冷卻時間與冷卻水管路安排，實為射出成型加工與模具設計的重要項目。

#### 4-4 收縮翹曲之相關理論：

##### 一、粘彈性之重要性及其相關理論

在射出成型過程之溫度範圍內，高分子材料具有粘彈性之特質，以粘彈性理論方能正確的描述加工過程中之殘餘應力。目前在射出成行理論分析所廣泛被使用的分析模式中，皆假設高分子熔膠的流變行為符合泛牛頓模式，而忽略其彈性效應。然而，高分子流體乃由許多長鏈型分子糾纏所構成的，在流動的過程中，會因高分子鏈之間的鏈糾纏而產生明顯的彈性現象，因此高分子流體具有黏彈性特質，有別於一單純黏性模式的泛牛頓流體。採用泛牛頓流體本質方程式來模擬射出成型之加工過程，並不能預測其產品之殘餘應力。

然而，射出成型品在冷卻脫模後之後，會由於流動殘餘應立即熱殘餘應力造成成型品的收縮不均與翹曲變形。因此唯有以較正確的黏彈性理論模式才能正確的預測產品之收縮與翹曲變之行為。

目前描述黏彈性流體流變形之本質方程式型態而言，大致可分為二類：微分型態與積分型態。若就其模式來源而分，大致有三種方式：

(1) 利用流變實驗，經由簡易之流場，如剪切流動或拉伸流動等，流變流場得到流體受力大小與流動情形之經驗式，如幂次流體、線性黏彈性模式等，均可由此方式推導而得。

(2) 由連續力學(continuum mechanics)出發，利用連續力學所提供之公設或限制，推導可能滿足這些限制或公設之應力 - 應變泛函型式或變數展開式，再利用實驗的方式求出本質方程式所引入之經驗常數或物質參數。這種現象學處理方式只牽涉流體之巨觀行為，而未對高分子的分子結構加以探討。以此種方式所得之本質方程式再數學結構上較簡易，亦可藉由材料參數的調整來改善其預測之流變行為。但此種半經驗的推導方式，固然可以保證本方程式滿足連續力學之公設，卻無法彰顯出高分子之特徵；也就是說這種流變模型所含之參數缺乏物理意義，無法與高分子鏈之結構因素找出共聯關係，僅能由實驗或直觀的方式引入，這使模式的合理性與預測之準確上找不出相互關係與限制模式的可改性。常見之連續力學黏彈性模式如 SOF(second order fluid)；UCM(upper convected maxwell),K-BKZ 模式

等,廣見於早期之流變學研究中。

(3) 由分子動學理論(molecular kinetic theory)出發,經由假設之高分子鏈機械模型,透過統計力學的方式,引入鏈節分佈函數,從而找出力平衡的關係,再利用系綜平均(ensemble average)的方式,將分子鏈微觀受立移動變形的關係轉換為巨觀下流體流動或變形的行為。這種由分子理論出發所推得之本質方程式在數學結構上較複雜,不易求解。但推導過程係利用理論分析的方式進行,可清楚定義出引入參數之物理意義及其參數變化情形;同時可藉由機械模型或戀運動機制之修改來修正流變模型,以求較佳之流變行為預測性。且由於引入分子鏈運動及分佈的概念,可使吾人預測流場中可能之分子鏈配向性及分子鏈的拉伸狀況,從而預測出成型品之機械性質及翹曲變形之情形。早期的 Rouse 理論,網絡理論(network theory),近年來的 Doi-Edwards 理論及 Curtiss-Bird 理論均屬於此種高分子動力學理論。

高分子流體之本質方程式種類繁多,其模式之好壞視模擬對象不同而莫衷一是。欲評價一模式好壞可由兩方面著手:一為模式描述流變行為之正確,一為此模式再求解時之難易性。通常愈正確之本質方程式其數學結構必趨然複雜,使可求解性降低;而愈簡單之本質方程式在求解上較容易,但所預測之流變行為不免較差。因此如何再模式正確性及求解性方面作一抉擇,端賴所處理之問題特性而定。

## 二、壓力 - 比容 - 溫度 (P-V-T) 行為之重要性及其相關理論

幾乎所有的流變性質、機械性質、熱性質或其它的物理性質皆與密度有關。尤其在解決加工問題,包含流體流動與熱傳等,經常需要知道壓力、體積、溫度等關係;以及膨脹係數、等溫壓縮比等數據。因此對高分子科學而言,聚合物材料其 P-V-T 關係的研究,將是最基本且重要的課題。

對於熱可塑性塑膠材料經加熱或冷卻後,隨著溫度的變化,其容積也有變化。以一般用途的 PS(Polystyrene)為例,從 20°C 加熱至 200°C 時約膨脹 8.3%。但對結晶性塑膠,如高密度的 PE(Polyethylene),同樣情況下,則膨脹 29%,密度由 0.97g/cm<sup>3</sup>。

由於聚合物體積對溫度和壓力的變化,將會造成密度的改變。如密度太小,將造成產品的強度不購。若密度太大,或不均勻,則造成產品內部殘餘應力的發生,將使產品容易破壞及變形等,所以 P-V-T 關係在產品的品質上時扮演非常重要的角色。

以射出成型為例,此過程中塑膠粒經過擠壓,加熱熔融後,在極短時間內和高剪切率下射出,經由澆注口,流道,進入模穴內,同時在高壓下冷卻成型。目前在解決射出成型問題,大部分皆採用平衡態的模式,如 Tait 模式、Spencer-Gilmore 模式來解決 P-V-T 關係。而忽略冷卻階段時,冷卻速率大小對密度的影響。然而近年來,由於產品物性、化性及精密度的要求日趨嚴格,因此如何精確預測聚合物材料的非平衡行為,進而提升產品的品質,實是一刻不容緩的是。

有關 P-V-T 的研究,最早是由 Tait 在 1888 年所提出。描述沿著零壓等溫線的

壓力、體積、溫度關係式。後來 Zoller 等更進一步推廣至完整的狀態方程式。雖然 Tait 方程式是由實驗求得的關係式,但至今仍是公認最合適且應用最廣的 P-V-T 模式。適用於熔融態或玻璃態,誤差為  $0.0001$  至  $0.0002 \text{ cm}^3/\text{g}$

在非平衡方面,主要有兩個研究方向:一是從非平衡熱力學的觀點出發,另一是從黏彈性的本質方程式著手;前者是 P-V-T - 熱力學關係,而後者則是涵蓋非同向性應力的速率方程式與熱力學機械性質相結合的關係式。

在非平衡熱力學方面,Kovacs 曾做了詳細探討。Kovacs 首先研究聚合物的體積鬆弛,發現聚合物從溫度大於  $T_g$ ,冷卻至小於  $T_g$  時,體積的減少與時間的對數呈線性關係,且在合理的時間尺度內,體積不會達到平衡。Kovacs 並假定了一實驗關係式來描體積老化的現象。

再 1987 年 Bogue 與 ko 使用一廣義壓力,將上述速率方程式擴展至非等向性的形變,並結合現行的黏彈性理論得一完整的本質方程式,其同時滿足速率方程式與本質方程式。

### 三、結晶現象之重要性及其相關理論

高分子結晶時,其體積、密度及其他熱性質合機械性質均會改變。熱性質包括比熱、熱傳導係數等;機械性質則包含彈性係數、降伏強度、柏松比等。因為這些熱性質合機械性質都是成品收縮與翹曲變形的的基本變數,所以高分子的結晶現象為收縮與翹曲變形的一個重要因素。

半結晶性高分子,其結晶度為溫度、冷卻速率及剪切應力的函數;在成形品的厚度方向,由於溫度的差異性,使得結晶度不一樣,其熱傳導係數,也隨之變化。

另外,結晶性高分子與非結晶性高分子,其 P-V-T 行為也有很顯著的差異性。由於非結晶性高分子材料沒有明顯的熔點,其熔點介於某一範圍之間,所以其 P-V-T 曲線、固體與液體沒有明顯的界線;但結晶材料溶解時,為克服結晶熱,所以固體與液體之間,其 P-V-T 曲線可以看到明顯的分界。

對於結晶性材料結晶度的探討,必須從結晶動力學著手。影響結晶速率的因素,包括結晶溫度、結晶度、冷卻速率及剪切應力等。結晶度愈高,結晶速率愈快;冷卻速率愈快,溫度愈低,結晶速率減慢。

## 4-5 影響收縮率翹曲變之原因:

影響塑膠射出成型品收縮與翹曲變形的因素很多,例如模具設計,產品設計,加工條件及材料本身特性等。尤其是材料之溶解、固化、熱脹冷縮、結晶、分子配向性和殘餘應力等,更是對收縮翹曲變形具有決定性的影響。

### (一) 模具設計之影響:

鋼模本在射出加工過程中,由於受到熱脹冷縮及高壓變形,也會影響成行品之精度,在此先行忽略。所謂模具設計,目前只考慮冷卻水管路安排,流到尺寸大小,澆口安排及進澆方式等。通常引起翹曲變形的最大原因是冷卻水管路的設計不當,例如管路安排,管徑分佈,距離模穴表面之遠近,冷卻液之分配等,會

影響正負模面之溫度分佈，以及充填，保壓冷卻過程中產品隻溫度壓力變化。由於不均勻的溫度分佈，產生不均勻的收縮，而正負模面溫差，也會造成不均勻冷卻。不均勻收縮與佈均勻冷卻卻是翹曲變形的主要原因，但澆口的尺寸及進澆位置的選擇，也會影響收縮與翹曲與變形。在成行品內，由於射壓和保壓壓力較大，所以體積收縮較小。但遠離澆口處壓力較小，所以體積收縮較大。同時澆口尺寸大小也會影響澆口固化時間，使得在保壓階段在擠入模穴內熔膠之量受到影響。因此成品脫模後，由於不均勻的體積收縮，而產生翹曲變形。

#### (一) 成品設計之影響：

成行品的機械剛也會影響翹曲變形之大小。不同的成品設計，其機械剛性也不同。機械剛性較佳者，愈不容易產生翹曲變形。通常加一些補強肋時，機械剛性較佳，可以降低變形量。另外，成行品厚度不均勻時，會有不均勻的冷卻現象，因而造成收縮不均勻而產生翹曲。假設成品厚度有突然變化時，通常需加入一段緩衝區，以降低殘餘應力，防止翹曲變形。

#### (二) 加工條件之影響：

影響塑膠射出成型品之收縮與翹曲變形大小之另外重要因素，乃是加工條件之設定，其中包括充填時間或射出速度、保壓時間和冷卻時間、射壓和保壓壓力大小、料溫、模溫等。例如射溫愈大，材料受到較高之壓縮，密度較大，固體積收縮率較小；模溫較高時，產品體積膨脹率較大，但成品脫模後與外界環境溫差大所以體積收縮增加。保壓時間愈長，有更多材料可擠進模穴內，因而降低成品的體積收縮率。另外，冷卻速率的快慢會影響材料的結晶度及其鬆弛行為進而影響其熱性質何機械性質；當冷卻速率增加時，由於高分子鍊突然被凍結駐，而來不及收縮，以至成品體積收縮率較少。此外，結晶度分佈也會影響材料 P - V - T 的變化。快速的射出或高壓及快速冷卻，均會使產品的殘留應力增加，經過長時間的應力鬆弛，而產生翹曲變形。

加工條件對成品表面之凹痕現象亦會有影響；如料溫愈高，材料流動性增加，凹痕愈小；而模溫增加時，材料體積膨脹率增加，等到成品脫模取出後，與外界環境溫差大，相對體積收縮率增加，所以凹痕深度也增加；至於壓力的影響，通常壓力愈高，凹痕深度愈小。此外，填家務（例如加入玻璃纖維）含量對凹痕也會產生以想；填家物半徑愈大，凹痕深度愈大，因為其流動性降低，當肋的厚度增加時，凹痕深度也增加，因為厚度方向內層部份，冷卻速率慢，脫模時溫度較高；等到脫模取出後，才逐漸冷卻收縮，使得收縮率增加。

#### (三) 材料熱性質與機械性質特性：

除了體積與溫度有密切關係外，其他熱性質和機械性質也與溫度有關；例如比熱、熱傳導係數、楊氏係數、柏松比等，溫度不同，各性質大小也不同。例如：對無定型聚合物而言，比熱和熱傳導係數，隨溫度的增加，而逐漸增加。但彈性係數則隨著溫度的增加而降低。

#### (四) 殘餘應力：

射出成型加工條件對殘餘應力有很大的影響，通常可區分為流動殘餘應力即熱殘餘應力，在前面已有許多介紹。而影響殘餘應力之因素很多，例如模溫、熔料溫度、射出速率、射出壓力等。通常模溫與熔料溫度愈高，殘餘應力愈低；射出速率與射出壓力愈高，殘留應力愈高，殘留應力高的成型品，其機械性質較差，減少使用壽命，同時容易產生翹曲變形，增加產品不良率。

#### 4-6 分子配向之影響：

近年來高分子工業發展迅速，各種材料特性往往超越傳統材料，例如機械性質、電氣性質等；高分子合金、聚慘、複合材料等，更是將高分子工業推展到較高技術層次，如航太工業、精密工業等。這些新材料的加工性質，大都無法用傳統知識加以理解，因此提高加工的技術能力，必須對高分子性質有所認識。

在射出成型中，首先須根據產品的特性選擇適當的高分子材料，譬如欲生產鏡片，透明度為最基本之要求，所以選擇透明之材料，如果是有度數的鏡片，不僅透明度佳，尺寸安定性也要好，避免變形影響曲率，而且要消除熔合線等。然後考慮成本及是否容易加工；此外，高分子的性質何其加工歷程也有密切關係，由於加工過程，其溫度、剪切率、速度、壓力皆有變化，流變性質何熱性質影響最終產品之物性，所以加工條件左右成品的品質。綜合而言，產品最終之性質和原料性質及加工過程有密切關係。

#### 4-7 射出速率之影響：

在此探討射出速率對形狀精度影響之實驗中，射出速率的變動範圍為 30、40、50、60cm<sup>3</sup>/s，此實驗之結果整理後如圖 4-4 圖 4-11。

由圖 4-4 圖 4-5 中可以看出射出速率對由收縮所造成之透鏡形狀偏差量之影響。隨著射出速率的增加，微透鏡的形狀偏差愈來愈小，即射出速率越高所得到的精度越高。且由圖形的觀察可知，在徑向方向之不同位置(肉厚)其尺寸偏差量是不一樣的。在中心肉厚的地方其偏差值最大，隨著遠離中心的位子，隨著遠離中心的位子，(肉厚隨之較薄)偏差直是隨著降低的，這是由於球面透鏡的偏肉厚造成不同肉厚(位置)的地方其收縮量的不一致，這也是一般鏡片較難以成型之原因。由圖中可以看出隨著射出速率的降低，再不同肉厚之間的偏差量差異越大，顯示射出速率較低對形狀偏差之影響越大。在此若將不同位子的收縮量(偏差量)除以各位子的肉厚，我們可以得到如圖 4-6、圖 4-7 所示之關係圖。本實驗成型之微透鏡之收縮率大

概在 0.7%~1.2%左右,而在射出速率過低時(30cm<sup>3</sup>/s)其收縮率高達 1.2%左右,而再射出速率過低時(30cm<sup>3</sup>/s)其收縮率高達 2%.由圖中可以看出再較高射出速率時各位子的收縮率較一致,但再射出速率較低的時候(如射速 30cm<sup>3</sup>/s),其再不同肉厚的位子上的收縮率就有明顯的差異,其傾向為在中心肉厚的地方,其收縮率較高.此情形可能由於射出速率的過低,而造成其充填性的降低,導致其壓力及保壓上的不足而使愈厚肉亦即愈慢完全固化的完全的部分的材料音補充較先的固化不份的體積收縮而使自身部分之材料而減少而導致收縮率增大.

由以上結果可以看出,對於微射出成型件而言,提高射出速率對其成型性有較大的幫助.這是由於射出速率提高,使得高分子有較高的剪切率,會使塑料的黏滯性降低,及高分子材料的剪稀薄特性(shear thinning),且再由於射出速率的增加,可以使其模穴衝填時所產生的凝固層,(solid layer)較薄,因而使其流動阻力較小.故射出速率的提高對微射出成型件有較好的充填性,而使其隨後保壓效果亦於發揮,進而可提高成型件的成行精度.且值得注意的是對於微射出件而言,過低的射出速率是無法得到要求之精度的.

其次,我們將鏡片輪廓偏差量,分為近似球面形狀之偏差量和相對於此近似球面之偏差量如圖 4-8~圖 4-11 所示.此次實驗之近似球面形狀之偏差量的範圍大概在 0.9~2.6um,而相對於此近似球面之偏差量的範圍大概到 1.35um,可知整體的收縮量是較大於相對之偏差量,其中相對於近似球面之相對偏差對於曲折率及像差等鏡片的光學特性有密切關係,由圖中可以看出射出速率愈快時其相對偏差愈小,因此其音形狀輪廓之偏差所造成之光學上之偏差影響也越小.

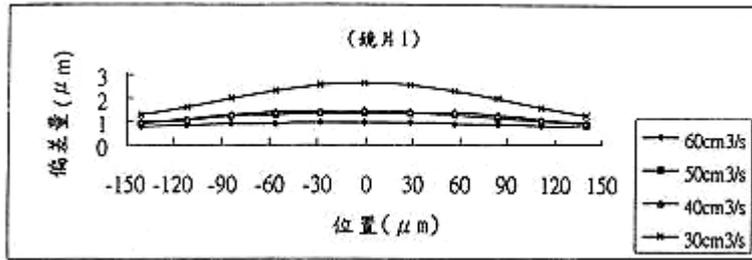


圖 4-4 射出速度與透鏡之形狀偏差關係圖(鏡片 1)

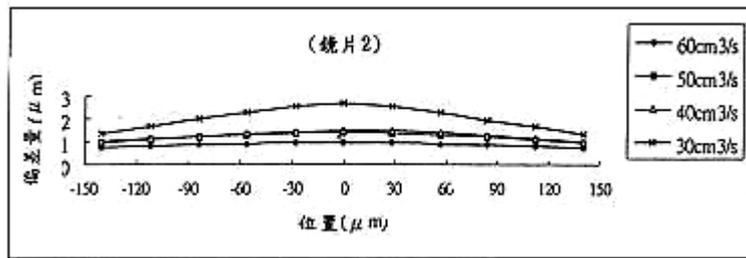


圖 4-5 射出速度與透鏡之形狀偏差關係圖(鏡片 2)

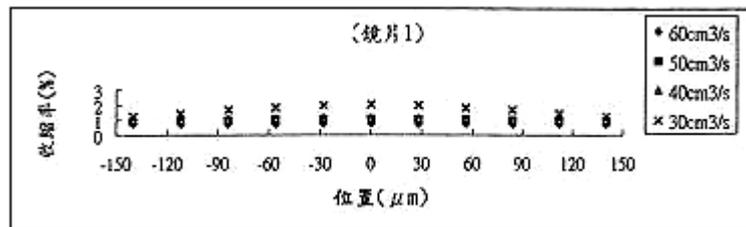


圖 4-6 射出速度與透鏡各位置之收縮率關係圖(鏡片 1)

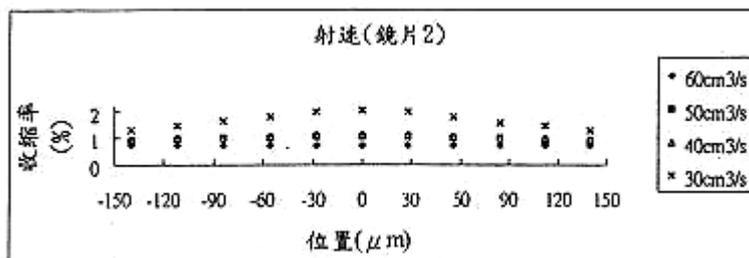


圖 4-7 射出速度與透鏡各位置之收縮率關係圖(鏡片 2)

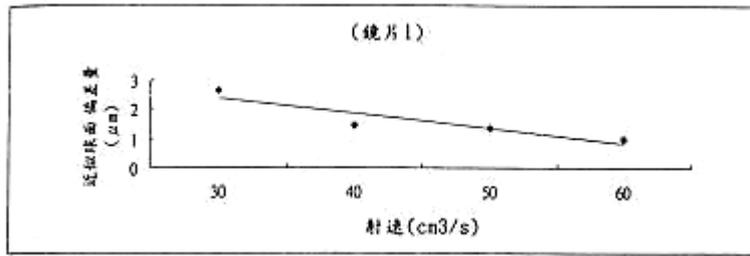


圖 4-8 射出速度與近似之球面形狀偏差量之關係(鏡片 1)

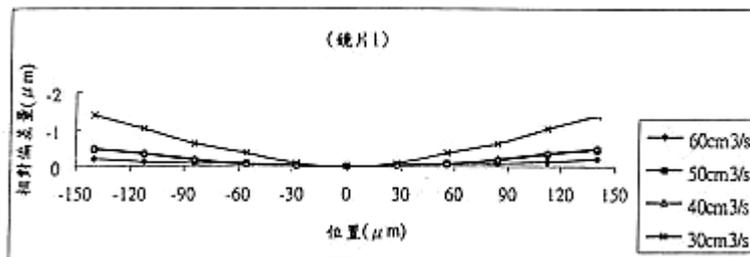


圖 4-9 射出速度與近似球面之相對偏差量關係圖(鏡片 1)

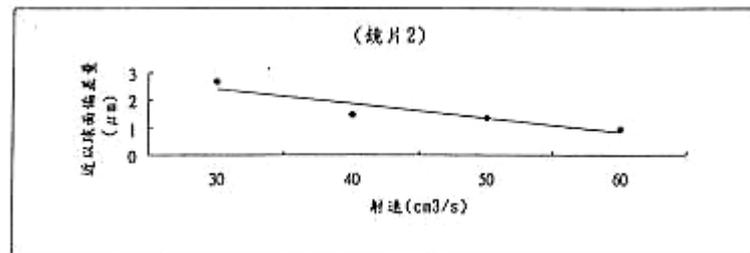


圖 4-10 射出速度與近似之球面形狀偏差量之關係(鏡片 2)

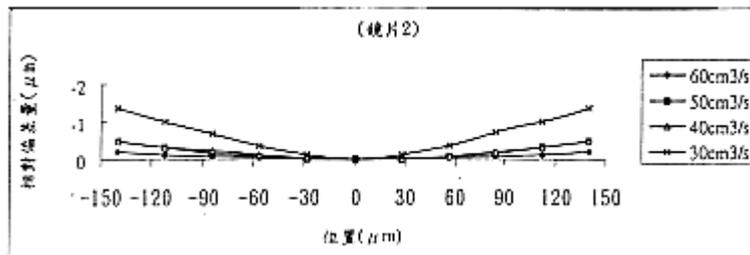


圖 4-11 射出速度與近似球面之相對偏差量關係圖(鏡片 2)

#### 4-8 塑料溫度之影響：

在此探討成型過程中塑料溫度對微小透鏡形狀精度的影響之實驗中,塑料溫度變動的範圍為 240、250、260。C.此實驗之結果整理後如圖 4-12~圖 4-19.

由圖 4-12、圖 4-13 可以看出在不同塑料溫度下透鏡的尺寸偏差是隨著塑料溫度的增加而降低. 在不同位子(肉厚)的地方,隨著肉厚較厚之處其尺寸之偏差量亦隨著較大,但此傾向再料溫較高時有減緩的趨勢.若由收縮率的角度來看,如圖 4-14、圖 4-15 在不同位子(厚度)的收縮率隨著塑料溫度得增加而叫趨於一制,隨著厚度較厚之處,其收縮率愈大.由此觀之,似乎是塑料溫度的提高對於微小透鏡之成型上可以得到較高的形狀精度.其原因應與流動性有關,亦即對於微件或薄件的射出成型品而言,若能提高其充填性,隨著溫度的提高其黏度直將隨之下降,分子運動的自由度將提升,因而在充填過程時其流動阻力將隨之變小.所以在較高的塑料溫度下射出,其塑料的充填性將愈好,使得壓力的傳播將更加的容易,因而充填更緻密,而減少了收縮率,因而可得到較高的成形精度.

將鏡片輪廓偏差量,分為近似球面形狀之偏差量和相對於此近似球面之偏差量則如圖 4-16~圖 4-19 所示.由圖中可以看出整體的收縮量室較大於相對之偏差量,其中塑料溫度愈高其相對於近似球面之偏差愈小,所以其因透鏡輪廓上之差異所造成之光學上之偏差也會愈小.

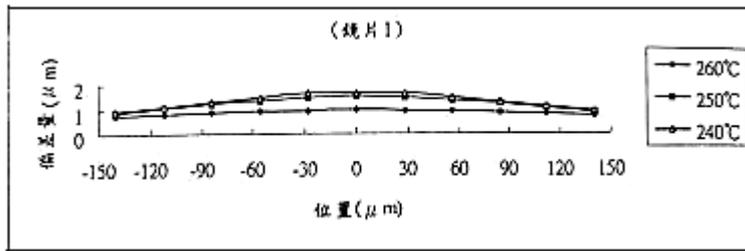


圖 4-12 塑料溫度與透鏡之形狀偏差關係圖(鏡片 1)

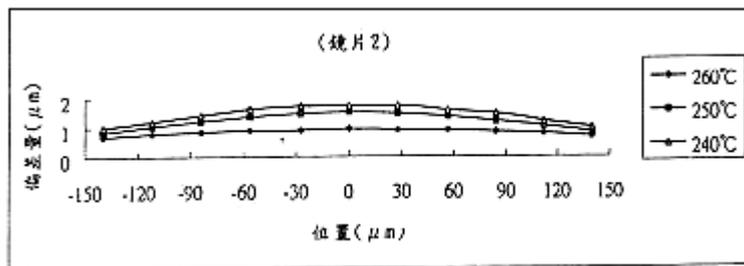


圖 4-13 塑料溫度與透鏡之形狀偏差關係圖(鏡片 2)

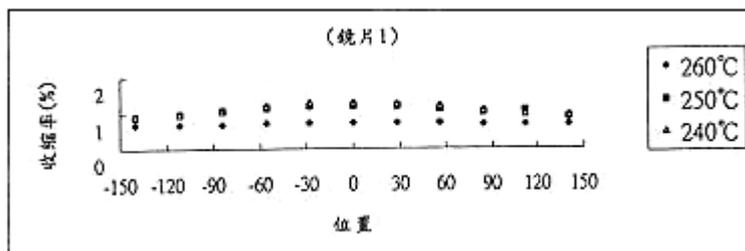


圖 4-14 塑料溫度與透鏡各位置收縮率關係圖(鏡片 1)

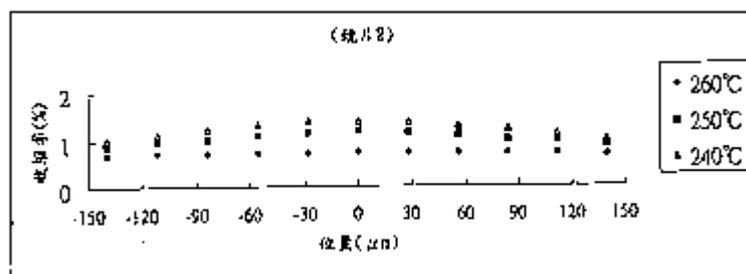


圖 4-15 塑料溫度與透鏡各位置收縮率關係圖(鏡片 2)

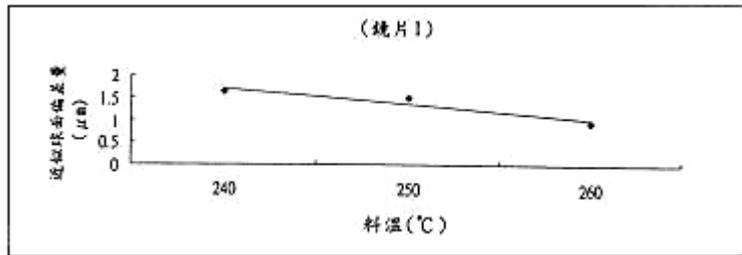


圖 4-16 料溫度與近似之球面形狀偏差量之關係(鏡片 1)

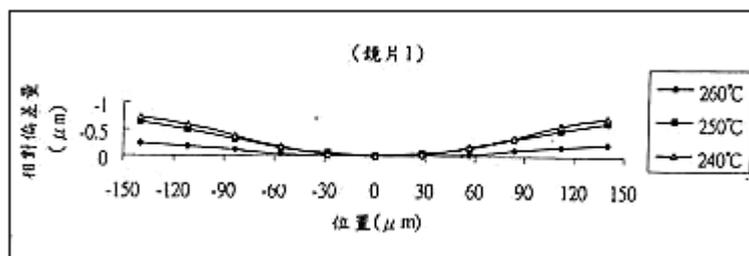


圖 4-17 料溫度與近似球面之相對偏差量之關係(鏡片 1)

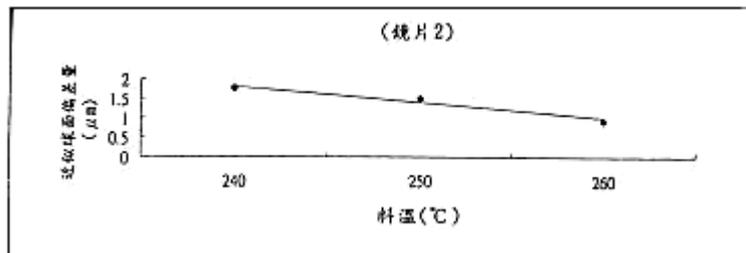


圖 4-18 料溫度與近似之球面形狀偏差量之關係(鏡片 2)

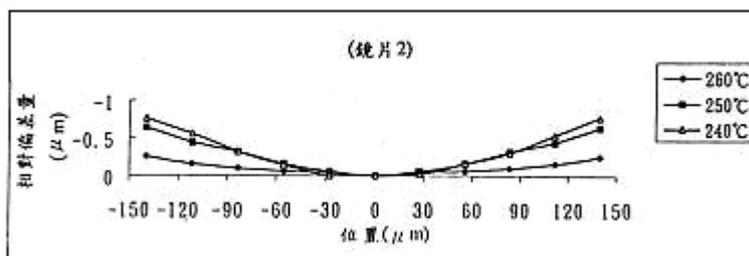


圖 4-19 料溫度與近似之球面形狀偏差量之關係(鏡片 2)

## 第五章 實驗結果與討論

### 5-1 透鏡 3-D 輪廓之評估與兩透鏡的輪廓比較：

在各種成行條件下成行的為透鏡之模組,分別對近澆口端的"鏡片 1"和遠離澆口端的"鏡片 2",量測其充填方向之垂直方向(TD)的輪廓曲線,然後球其近似之曲率半徑的方法為在所成型的輪廓曲線上,將各量測點相對於球面模仁的曲率中心的距離值,加以算數平均而得,即: $R_L=R_1+R_2+\dots R_n/N$

在此,我們在設球面模仁的曲率半徑為  $R_M$ ,則我們定義成形之為透鏡之輪廓相對於球面模仁輪廓之形狀精度變化率  $a$  為透鏡輪廓支取率半徑值除以模仁輪廓之取率半徑值.即: $a^N_D=R_{L,D}^N/R_{M,D}^N$ ,其中  $N=1$  代表鏡片 1, $N=2$  代表鏡片 2,而  $D=TD$ (充填方向), $MD$ =(充填方向之垂直方向).在此,形狀精度變化率  $a$  所代表的含義為,若  $a$  值愈接近 1,即表示透鏡輪廓與模仁輪廓十分接近.

### 5-2 透鏡 3-D 輪廓之評估：

3D 輪廓的評估,對於鏡片之製作而言是非常重要的,若鏡片在各方向之輪廓並不勻稱時,則會影響其光學之成像,使其成差產生型變之虞.在此,我們評估球面 3-D 輪廓之方法為,量策微小透鏡成型時的充填方向(MD)與充填方向(TD)之形狀精度變化率  $a_{MD}^N=R_{L,MD}^N/R_{M,MD}^N$  與  $a_{TD}^N=R_{L,MD}^N/R_{M,TD}^N$  利用此兩項形狀之精度變化率之值來評估其 3D 輪廓精度.若充填方向之  $a_{MD}$  與充填方向之垂直方向之  $a_{TD}$  之值很接近的話,即表示兩方向的形狀輪廓的偏差很街近,意謂的透鏡之 3D 輪廓是十分勻稱.此次評估 3D 輪廓所取的資料點為再各成型條件之實驗中各取一組微透鏡模組加以評估.在此,將量測之充填方向和充填方向之垂直方向的形狀精度變化率  $a$  值,加以作圖觀察,其中橫軸為充填方向的崇值方向之形狀精度變化率  $a_{TD}$ ,縱軸為充填方向之形狀精度變化率  $a_{MD}$ ,則結果如圖 5-1 所示.由圖中的結果可以看出, $a_{TD}$  與  $a_{MD}$  所相對的資料點大部份皆落在斜率為 1 的斜線附近,表示為透鏡再流動與流動方向之垂直方向之形狀輪廓十分街近,亦即意味著所成型之微透鏡再各直徑方向之輪廓是一致的及透鏡之 3D 輪廓是十分對稱的.從成型上之觀點來看,顯示所成型之微透鏡其成型過程為等方向性收縮.這可能由於成型之為透鏡之肉厚十分薄,所以充填後不久可能即固化,所以由於高分子材料特性之分子配向性引起之不同方向之成形收縮率之差異的影響將會很小,所以成形之微透鏡主要之尺寸之偏差微厚度方向的收縮.

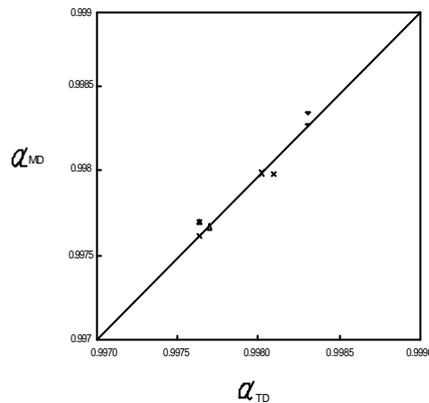


圖 5-1 透鏡之 3D 輪廓評估

### 5-3 兩透鏡輪廓之比較：

對於同時成形的兩透鏡,其成形後的輪廓是否一致則值街影響其光學上的成像,所以對於同時成形的兩微小透鏡之輪廓之比較,是否有過多的偏差,對微透鏡模組之成形上是十分重要的.

在此,我們評估兩透鏡形狀上之偏差,所取的方向為流動方向之垂直方向(TD)上的輪廓曲線,評估的方式微將各種成形條件下成形之兩微小透鏡分別計算其充填方向上之形狀精度變化率  $a$  :  $a^1_{TD}=R^1_{L,TD}/R^1_{M,TD}$ ,  $a^2_{TD}=R^2_{L,TD}/R^2_{M,TD}$ , 若  $a^1_{TD}$  與  $a^2_{TD}$  兩值非常接近,即意謂著兩透鏡之形狀輪廓十分接近.在此,將所量測之鏡片 1 與鏡片 2 的形狀精度變化率,以圖形來表示兩透鏡之形狀輪廓比較之關係,其中橫軸微鏡片 1 之形狀精度變化率  $a^1_{TD}$ ,縱軸為鏡片 2 之形狀精度變化率  $a^2_{TD}$ ,結果如圖 3-35 所示.其中若兩透鏡之輪廓十分接近,則鏡片 1 與鏡片 2 所相對的資料點則愈接近圖形中的斜線.由圖可看出,幾乎大部分的資料點接落在斜線為 1 的線上或斜線附近,顯示由本實驗所成型之微透鏡模組,兩透鏡之輪廓是十分接近.其原因是由於我們成型之微透鏡之模組之尺寸市十分小且兩微小透鏡之相對位置很接近,所以模穴之周圍環境狀態十分接近,因此在成型過程中之兩微透鏡隻成型情況應該是相似的,因而兩透鏡之成型輪廓才如此之接近.這也證明了本實驗構想之微透境的模組化成型之概念,具有實際的可能性.

