

國立高雄應用科技大學
模具工程系碩士班
碩士論文

射出成型參數對光學鏡片表面粗糙度的影響

The Effect of Optical Lens Surface Roughness
to Injection Conditions

研究生：陳信瑋

指導教授：黃俊欽 教授

中華民國 九十六 年 七 月

射出成型參數對光學鏡片表面粗糙度的影響

The Effect of Optical Lens Surface Roughness to Injection Conditions

研 究 生：陳信瑋

指導教授：黃俊欽教授

國立高雄應用科技大學
模具工程系碩士班
碩士論文

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

July 2007
Kaohsiung, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年七月

國立高雄應用科技大學研究所學位論文考試審定書

本校 模具工程 系(所) 碩士班
 博士班
研究生 陳信瑋 所提之論文

射出成型參數對光學鏡片表面粗糙度的影響

The Effect of Optical Lens Surface Roughness to Injection Conditions

合於 碩士 博士 資格水準，業經本委員會評審認可。

學位考試委員會

召集人

 李祥峰 簽章

委員

 李祥峰
 黃聖杰
 黃俊欽
 李銀秋

指導教授

 黃俊欽 簽章

研究所所長

 邱武輝 簽章

中華民國 九十六年 七月 十九日

射出成型參數對光學鏡片表面粗糙度的影響

研究生：陳信瑋

指導教授：黃俊欽 教授

國立高雄應用科技大學模具工程系碩士班

摘 要

塑膠鏡片具有重量輕且大量生產的優點，因此塑膠光學鏡片在光學系統中扮演越來越重要的角色。但由於塑膠鏡片成型過程中，會因為收縮導致鏡片的輪廓產生形狀誤差或表面粗糙產生散射現象，這些都會對鏡片的品質造成影響。對於粗糙的鏡片表面而言，入射光的反射分為鏡像反射和散射，然而散射的產生會減少到達成像面的光通量，降低圖像的對比度和光學系統的分辨率，故追求較佳的表面粗糙度可降低散射光，有效的提升鏡片成像的品質。關於鏡片的研究，大都集中在形狀誤差，表面粗糙度則鮮少有人提出，但鑒於品質要求的提昇，因此，本研究即藉由改變射出成型參數，如熔膠溫度、模具溫度、保壓壓力、保壓時間及射出速度，並分別利用表面輪廓儀及白光干涉儀進行鏡片曲率及表面粗糙度的量測，來探討成型參數對鏡片曲率及表面粗糙度的影響。其結果顯示，使用較高的模具溫度，明顯改善鏡片表面的粗糙度，尤其在模溫 90°C 的成形條件下，表面輪廓儀量測鏡片表面粗糙度降低至 Ra 9.5nm，白光干涉儀的量測降低至 Ra10.5nm，均接近模仁表面粗糙度值 Ra 8.5nm。因此，藉由調整成型參數可改善鏡片表面粗糙度，降低散射光，有效提升鏡片成像的品質，可做為成型鏡片時所參考的依據。

關鍵字：射出成型；表面粗糙度；散射

The Effect of Optical Lens Surface Roughness to Injection Conditions

Student: Hsin-Wei Chen

Advisors: Professor Chun-Chin Huang

Institute of Mold and Die Engineering,
National Kaohsiung University of Applied Sciences

Abstract

The plastic lens has light and advantage produced in a large amount, so the plastic optics lens is more and more important in the optical system. But plastic lens is having the form error that is shrinkage and scattering result from bad surface roughness after injecting. These will make effect quality of lens. As to surface roughness bed, the reflection of enter light separate to mirror reflection and scatter, however scatter will reduce luminous flux of image, decrease the contrast of the picture and resolution ratio of the optical system, so good surface roughness can reduce scatter and improve image quality of lens. Therefore, this study is by changing various injection conditions, such as melt temperature, mold temperature, packing pressure, packing time and injection speed. Then we use the Form Talysurf and white light interferometer to measure the surface roughness and to probe into injection conditions. Its result shows, use higher mold temperature, obviously improve the roughness of the lens surface, especially under mold temperature 90°C, reduce the roughness to Ra 9.5nm, close to Ra 8.5nm of the mold. So, by changing injection conditions can improve the roughness of lens, reduce the scatter, and get high image quality, it can be the base of injection of the lens.

Keyword: Injection, Surface roughness, Scatter.

誌 謝

首先感謝我的指導教授－黃俊欽老師，在五專、二技和研究所九年的高應大求學階段裡，給予我相當多的指導、鼓勵和照顧。在學業上，讓學生獲得許多專業的塑膠模具與射出成型知識；在生活上，老師處理事情的態度與效率，也是學生學習的榜樣；在實驗或研究中，每當遇到瓶頸時，也總是在老師細心的指導下逐一的解決問題點。另外，這幾年也接觸了廠商合作計畫與參關發表會和展覽，這些都要再次感謝我的指導教授，給予學生的栽培。也感謝口試委員李輝煌教授、黃聖杰教授及王珉玟教授對本論文的指導與建議，使本論文得以更加充實、完善。

在研究期間，感謝黃彥文、蔡俊欽、馮旭斌、宋昱廷、施志展及陳勇志學長們，不辭辛勞的指點迷津，尤其是勇志學長，總是和我一同思考解決問題。也感謝同窗好友明峰、品翰這兩年來協助處理研究室事務，並互相學習、鼓勵、安慰與支援。還要感謝研究室學弟俊男、名洲、輝堂、建智、竹申在論文實驗上的協助幫忙，並在撰寫論文期間，幫忙處理研究室事務。此外，特別感謝美商翟柯公司－陳志強工程師對本論文儀器上的使用，不厭其煩的協助和指導。

最後，更要感謝我的父母，感謝您們的支持、體諒和栽培。父親本身對塑膠模具和射出成型的專業技術，讓我能將書本裡的理論與實務的經驗結合，而母親給予我的鼓勵，讓我能順利的完成求學生涯和碩士學業，也感謝女友瑾萱的陪伴和鼓勵。最後，將此論文獻給我的父母以及所有教導過我的師長們和支持我的朋友，謝謝您們。

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
一	導論 -----	1
1.1	前言 -----	1
1.2	研究動機 -----	2
1.3	塑膠光學鏡片 -----	3
1.4	文獻回顧 -----	7
1.5	論文架構 -----	8
二	基本理論 -----	12
2.1	光的反射 -----	12
2.2	光的折射 -----	12
2.3	光的散射 -----	13
2.4	表面粗糙度的定義 -----	13
2.5	散射與表面粗糙度的關係 -----	14
2.6	表面粗糙度的表示方法 -----	15
2.7	表面粗糙度的量測 -----	16
三	實驗材料與設備 -----	22
3.1	表面輪廓儀 -----	22
3.2	白光干涉儀 -----	25
3.3	射出成型機 -----	27
3.4	實驗材料 -----	27
四	模具設計與成型分析 -----	39
4.1	模具設計 -----	39

	4.2	模流分析 -----	40
五		光學鏡片成型實驗與檢測 -----	48
	5.1	實驗流程 -----	48
	5.2	參數條件設定 -----	48
	5.3	鏡片的檢測 -----	49
六		結果與討論 -----	55
	6.1	模仁量測結果 -----	55
	6.2	表面輪廓儀量測結果 -----	56
	6.3	白光干涉儀量測結果 -----	57
	6.4	模仁與塑膠表面的比較 -----	58
七		結論與未來研究方向 -----	68
	7.1	結論 -----	68
	7.2	未來研究方向 -----	69
參考文獻		-----	70
附錄 1		-----	72
附錄 2		-----	79
附錄 3		-----	84



表 目 錄

表 1.1	傳統玻璃研磨與玻璃模造式及塑膠射出鏡片之製程比較 -----	9
表 1.2	光學材料之特性 -----	10
表 2.1	接觸式與非接觸式比較 -----	18
表 3.1	表面輪廓儀規格表 -----	28
表 3.2	切斷值的選擇 -----	28
表 3.3	ZYGO NewView 6300 白光干涉儀儀器規格 -----	28
表 3.4	物鏡規格 -----	29
表 3.5	各種放大倍率時物鏡參數 (640x480 圖元 CCD) -----	29
表 3.6	Sodick-TR30EH 射出成型機規格表 -----	30
表 3.7	Kuraray PMMA GH-1000E 物性表 -----	31
表 4.1	Kuraray PMMA 建議成型參數 -----	41
表 4.2	模擬的成型參數 -----	41
表 5.1	單因子成型參數設定 -----	50
表 5.2	固定參數 -----	50
表 6.1	模仁量測結果 -----	59
表 6.2	不同保壓壓力的量測結果 -----	59
表 6.3	不同保壓時間的量測結果 -----	59
表 6.4	不同熔膠溫度的量測結果 -----	60
表 6.5	不同模具溫度的量測結果 -----	60
表 6.6	不同射出速度的量測結果 -----	60

圖目錄

圖 1.1	塑膠光學鏡片製造流程區分 -----	11
圖 2.1	光的反射 -----	18
圖 2.2	光的折射 -----	18
圖 2.3	散射現象 -----	19
圖 2.4	不同表面對光線的影響 -----	19
圖 2.5	表面特徵的組成 -----	19
圖 2.6	不同的表面粗糙度與波長對散射強度的影響 -----	20
圖 2.7	Ra 的圖形導出 -----	20
圖 2.8	利用標準塊規與試片比較 -----	21
圖 3.1	Taylor Hobson Laser 635 表面輪廓儀 -----	32
圖 3.2	探針的作動及尺寸 -----	32
圖 3.3	表面輪廓儀收錄器構造圖 -----	33
圖 3.4	測定、評估與樣本長度的關係 -----	33
圖 3.5	最小平方平均線 (LS Line) -----	34
圖 3.6	最小區域線 (MZ Line) -----	34
圖 3.7	最小平方弧線 (LS Arc) -----	34
圖 3.8	連續樣本長度的中心線 -----	35
圖 3.9	不同切斷值所產生的結果 -----	35
圖 3.10	濾波的過程 -----	36
圖 3.11	ZYGO NewView 6300 白光干涉儀 -----	36
圖 3.12	Mirau 干涉儀光路示意圖 -----	37
圖 3.13	Sodick-TR30EH 射出成型機 -----	38
圖 3.14	Sodick-TR30EH 之 V 型機構塑化單元 -----	38
圖 4.1	模具實體圖 -----	42
圖 4.2	噴泉管內冷卻液的流動圖 -----	42
圖 4.3	產品設計圖 -----	43
圖 4.4	網格模型 -----	43

圖 4.5	建議加工時間和成型溫度 -----	44
圖 4.6	U 型曲線圖 -----	44
圖 4.7	流動波前圖 -----	45
圖 4.8	包風產生位置 -----	45
圖 4.9	澆口的凝固時間 -----	46
圖 4.10	充填結束最高壓力 -----	46
圖 4.11	冷卻所需的時間 -----	47
圖 5.1	實驗流程圖 -----	51
圖 5.2	射出鏡片圖 -----	51
圖 5.3	表面輪廓儀量測的軸線 -----	52
圖 5.4	Cut-Off 0.08 mm 濾波前與濾波後 -----	52
圖 5.5	Cut-Off 0.25 mm 濾波前與濾波後 -----	53
圖 5.6	Cut-Off 0.8 mm 濾波前與濾波後 -----	53
圖 5.7	Cut-Off 2.5 mm 濾波前與濾波後 -----	54
圖 5.8	鏡片收縮造成曲率半徑與高度的變化 -----	54
圖 6.1	表面輪廓儀模仁的量測 -----	61
圖 6.2	白光干涉儀模仁的量測 -----	61
圖 6.3	保壓壓力對粗糙度的影響 -----	62
圖 6.4	保壓壓力對曲率的影響 -----	62
圖 6.5	保壓時間對粗糙度的影響 -----	63
圖 6.6	保壓時間對曲率的影響 -----	63
圖 6.7	膠溫對粗糙度的影響 -----	64
圖 6.8	膠溫對曲率的影響 -----	64
圖 6.9	模溫對粗糙度的影響 -----	65
圖 6.10	模溫對曲率的影響 -----	65
圖 6.11	射出速度對粗糙度的影響 -----	66
圖 6.12	射出速度對粗糙度的影響 -----	66
圖 6.13	模仁與塑膠鏡片 3 維表面特徵 -----	67

一、導論

1.1 前言

光學鏡片在光學系統上的應用相當廣泛，包括攝影機、影像器、數位相機、印表機、光碟機等所用的鏡片與鏡頭組，都有光學鏡片的蹤跡，可見，光學鏡片是光學產品及光電系統中不可或缺的零件。

而光學鏡片又以塑膠鏡片與玻璃鏡片為兩大宗。其中，以塑膠成型的鏡片由於具有重量輕、易加工、價格便宜且可大量生產的優點，已大量的取代玻璃材料。另外，近幾年由於光電產業蓬勃發展，產值不斷提昇，在光電產品不斷地推陳出新與需求越來越大的情形下，如何將產品在最短的時間推上市場，便是很重要的一個問題。若能藉由射出成型大規模地生產塑膠光學零件，便可有效的提昇市場競爭力。

目前，我國精密塑膠鏡片模具市場現況與發展趨勢[1]顯示，塑膠鏡片模具需求量以數位相機最大，其次為光碟機，而手機內建相機功能是未來的趨勢。此外，隨著視訊及網路的盛行，數位產品也紛紛應運而生，因此其成長潛力不容忽視，若再考慮其他頗具發展性的光電產品，如光通訊用耦合鏡頭、掃描機、多功能事務機等精密光學鏡片或光學繞射元件的使用量，則潛在的塑膠光學元件模具市場，其需求與成長的空間，將非常的可觀。

而要生產塑膠光學鏡片，除了模具要有高度精密等級之外，成品成型後本身所需要的曲率形狀和表面高精度品質，已經是製造高階鏡片者不可或缺的條件。本論文將以一光學鏡片來探討在不同的成型參數下，對表面曲率及粗糙度的影響。

1.2 研究動機

在我們的日常生活中，隨處可見的消費性電子產品，已經可以找到越來越多的塑膠鏡片的蹤影，舉凡照相手機、網路攝影機、電子攝影機和投影式電視等等，塑膠鏡片的市場和產值可說是越來越大。

然而塑膠鏡片雖然具有重量輕、易加工且大量生產的優點，但由於每種塑膠材料都有收縮的特性，導致鏡片在成型後因收縮造成曲率的改變，進而影響成像的品質。所以如何以補償的方式來使塑膠鏡片的曲率在成型後與設計值相符，或藉由調整成型參數來降低收縮量，是近幾年研究受矚目探討的問題。

目前產業界在大量生產中，能夠做出保持精密度的鏡片廠商不少，但是要能做到高品質高精密度的塑膠高階鏡片者，卻是鳳毛麟角。以光學塑膠鏡片的開發設計以及製造的技術而言，向來以歐美及日本的光學元件領導廠商為先驅，且現階段能製造出高階鏡片的廠商亦以歐美及日本廠商為主，國內雖然在射出加工技術的領域已逐漸成熟，但如何將塑膠射出成型的光學元件品質大幅提高，是值得研究探討的。

探討國外業者能製造出高階鏡片的主要原因，是其對於鏡片成型後，形狀精度以及表面粗糙度有相當嚴格的要求。可見形狀精度以及表面粗糙度兩個品質的要求，是製造出高品質鏡片的關鍵。目前國內雖然研究利用鏡片收縮補償法的方式，已可以有效的控制成型收縮後形狀的精度，但對於鏡片表面粗糙度對光學成像的影響，卻鮮少有人提出。

而光學鏡片在模具製造及射出成型的製造成型兩階段，均會對表面產生不同的粗糙度。在模具製造上，以超精密車削為例，有很多因素都會對表面品質產生影響。如刀具的幾何參數、主軸回轉精度、滑軌精度、自振與共振、系統穩定性等。而在射出成型中，調整不同的射出成形參數，如模溫、膠溫、射出壓力、射出速度、保壓壓力等，亦會影響成品成型後的表面精度；若更進一步討論，不同形狀的鏡片是否會造成塑膠成型時流動的難易度，進而造成表面精度的差異。因此，光學鏡片為了獲得良好的表面精度，需進一步對模具與射出成型階段有更進一步的討論和研究。

有鑑於此，本研究即以一透鏡來探討在不同的成型條件下，對成型品質的兩個重要因素，形狀精度以及表面粗糙度鏡片有何影響。希望鏡片在成型後，能同時擁有高精度的形狀與表面精度。

1.3 塑膠光學鏡片

光學鏡片若以其使用的材料來區分，可分為玻璃鏡片及塑膠鏡片兩大部分。若以其製造方法來區分有傳統之研磨玻璃鏡片、模造玻璃鏡片、射出成型等三大部分，其中，塑膠光學鏡片的製造方式大部分是以射出成型為主。

由表 1.1[14]可看出，玻璃的加工是一項費時費力的工程。從光學玻璃毛坯加工到一枚合格的光學透鏡，必經切料、滾圓、粗磨、精磨、拋光、磨邊定中心這些不可缺少的程序，其生產成本就可想而知。這也正是光學產品價格昂貴的原因所在。伴隨著愈來愈多的光學產品走入了大眾的日常生活中，光學廠商對於光學零件效率的提高以及生產成本的降低，提出更新更高的要求。塑膠光學在這方面的研究已經逐漸為人重視。然而玻璃鏡片在非常高精度需求時仍有其不可或缺的地位，尤其在某些環境條件非常糟糕情況，例如溫度非常高的條件發生時，非玻璃無法成事，不過塑膠鏡片的材料也持續改善之中，已經越來越多的玻璃光學系統被取而代之了。

而早期由於塑膠成型的材料本身性能較差，且塑膠加工成形的技術仍未建立，製成的光學元件應用範圍大都侷限在放大鏡等傳統的光學器材。近年來，隨著工業的快速發展，塑膠光學鏡片在超精密的加工技術與成型機械技術的進步與活用下，塑膠光學鏡片的品質不斷提升，已成為許多光電產品關鍵的零組件。這些以塑膠光學系為基礎的光電相關產品，諸如眼鏡、望遠鏡、照相機、影印機以及雷射印表機、光碟機等，都有塑膠鏡片的蹤跡，也可見其應用越來越廣泛。

而塑膠鏡片最大的優勢在於可藉由射出成型大量生產，是一直被看好取代玻璃鏡片成為時代潮流的籌碼。但因為塑膠鏡片的設計、成型與模具製作和檢驗方式異於一般的塑膠件及傳統光學玻璃鏡片。所以，塑膠鏡片在射出成型的技術上、檢驗的技術上以及模具的設計製造和量測能力，都將是影響和決定鏡片品質的關鍵。

由光學特性、機械特性以及加工的能力而言，塑膠鏡片的優缺點可區分為下列所述：

一、優點

- (1)重量輕：塑膠鏡片材料的比重介於 1.0~1.35，與玻璃鏡片比重 2.27~4.20 比較，為玻璃鏡片重量的 1/2~1/4。因此在大尺寸鏡頭開發設計上，塑膠鏡片有相當大的優勢，有利於光學儀器的輕型化。
- (2)大量快速生產：由表 1.1[14]可明顯看出，傳統研磨鏡片、玻璃模造式和塑膠射出成型製造流程之間的差異性，塑膠鏡片生產的時間比傳統式可節省 6 至 8 倍的時間。且塑膠鏡片是利用塑膠模具射出成型的優點，所以可以一步到位，玻璃鏡片畢竟還是需要數道製造工法，所以較難採用自動化量產技術，但是塑膠鏡片一旦製程調整完畢，大量塑膠射出製造的自動化生產就可輕易達成。
- (3)耐衝擊性高：塑膠鏡片具有高的耐衝擊性且不易破裂的特點，即使損壞也不會產生碎片，適用在面罩或眼鏡鏡片上，可達美觀又安全的效果。
- (4)非球面鏡的製作：容易製造非球面鏡片。在光學系統的應用上，可藉由非球面來消除系統的球面像差，並可減少系統的鏡片使用數量，大幅縮小系統體積，降低成本和重量。但目前非球面鏡的製作易受成型收縮後不穩定的影響，鏡片品質有待提升。

二、缺點

- (1)成型收縮不易控制：在鏡片射出成型後，塑膠材料在冷卻過程中易造成成品收縮變形，收縮量和收縮方向不易控制。
- (2)光學級塑膠材料種類少：光學級塑膠材料種類約數十種，而光學玻璃材料有 300 多種之多，且光學級塑膠材料折射率值都不高，介於 1.49 至 1.60，色散率值介於 30~58，所以在光學設計上的自由度不大，也是目前無法完全取代高級光學系統的原因。
- (3)膨脹係數大：如表 1.2[14]所示，塑膠的線膨脹係數為玻璃的十倍之多。如BK7 在-30~70°C 時為 $7.1 \times 10^{-6}/K$ ，而PMMA 為 $70 \times 10^{-6}/K$ 。
- (4)熱變形溫度低：如表 1.2[14]所示，BK7 的變形溫度為 559°C，而 PMMA 為 95°C，顯示塑膠容易受溫度的影響而變形。
- (5)吸水性大：在 40°C 時，BK7 吸水性在 0.1% 以下，PMMA 為 2%。
- (6)折射率隨溫度變化大：如表 1.2[14]所示，在 0~20°C 時，BK7 的變化量為 $0.7 \times 10^{-6}/K$ ，PMMA 為 $-12 \times 10^{-6}/K$ 。

目前光學塑膠材料的種類有百種以上，然而真正工業化生產的僅有數十種。常見的光學塑膠有 PMMA、PC、PS、CR39 等，有關其特性如下：

(1) PMMA (Polymethyl methacrylate)

PMMA 俗稱壓克力，折射率 1.492，全光線穿透率 92%以上。與其它塑膠原料比較，具有與光學玻璃同等優異的透明性，而且成型後表面硬度高，不易刮傷。且因紫外光而引起的透明性劣化亦呈現良好的耐久性，在射出成型時發生雙折射現象極少。但此種材料亦有缺點，就是吸水性比其它光學塑膠原料大，故隨著溫度環境的變化，其尺寸及折射率變化亦較大，因此在高精度的光學系統上，其用途有一定程度的限制。

(2) PC (Polycarbonate)

PC 材料有高的韌性及高折射率，且溫度適應能力強，可耐熱至 120°C，所以能在較寬的溫度範圍內保證光學系統的品質。但 PC 成形的鏡片表面較易刮傷，因此常用在光學系統的內部零件，以避免與外界直接接觸。

(3) PS (Polystyrene)

PS 是光學塑膠材料中折射率最高的，在設計時可使鏡片曲率較大且厚度薄些。且光學設計常需要幾片折射率不同的透鏡，來校正球面鏡片產生的像差。因此，PS 可與 PMMA 或其他光學塑膠搭配，來消除光學系統中的像差和色差。

(4) CR39 (Columbia Resin 39)

CR39 為熱固性塑膠，具有良好的光學性，容易染色，且耐摩耗與耐藥品性佳。但使用此材料的成型耗費時間較長，且硬化收縮比大至 13%，因此不適用於精密的光學系統，一般廣泛使用於眼鏡的鏡片。

塑膠鏡片加工可將流程區分為四大要件，如圖 1.1 所示。分別為塑膠原料、模具、成型以及量測，而這四項在設計與製作的階段應考慮的事項如下列所述：

(1) 塑膠原料

不同的塑膠材料有不同的吸水性，這種吸水的現象容易使鏡片在成型後收縮或膨脹，使得材料的折射率及鏡片的尺寸變動大，進而影響光學系統的精度。所以在設計時應考慮材料對溫度的變化，可在系統設計上設計補償對策或藉由後續的模具設計與成型條件來加以控制。

(2) 模具

鏡片製造的好壞與否，大部分在模具設計階段就已經決定了。因為設計澆口和澆道所產生的問題，是很難用成型條件來解決和克服的，所以模具設計的優劣牽涉很廣泛，包括塑料充填、冷卻、頂出及成品的精度以及模具的耐久度和成本，都受到模具設計的影響，尤其是為了確保鏡片的尺寸及形狀精度應更加注意這些重點。

(3) 成型

塑膠鏡片之成型法有壓縮成型、射出成型、射出壓縮，由於壓縮成型生產方式速度太慢不具量產的經濟效益。所以後兩者才是當今塑膠鏡片成型的主流。尤其以射出壓縮成型法最看好，是因為射出成型方式有收縮的問題待克服。

而在成型機台的配合上，一般而言，主要選擇高射壓大鎖模力，低射速穩定性佳及料溫均勻穩定佳的機台。

至於成型的問題，若仍用修改模仁的方式來補償收縮量，此種嘗試錯誤方式往往會浪費許多時間和人力。因此要掌握成型條件必須要從材料的特性著手，從材料的流動性、熱變形溫度、成型收縮率、膨脹係數都相關特性來了解各材料間的差異，以調整出最佳的成型條件。

(4) 量測與檢驗

塑膠鏡片的量測有鏡片的尺寸、形狀精度、曲率半徑、偏心率等，這些可用表面輪廓儀、干涉儀和偏心測定器等測試。至於成像品質可用投影方式檢查，以了解系統成像的品質。

未來塑膠鏡片將朝多元用途、精度化、低成本化等多方面發展，因此在鏡片的開發過程中，各種技術都是層層相扣，從光學設計、模具設計、材料、成型到量測，每一樣缺一不可，應在設計時便導入評估，才能獲得最大的效益。

1.4 文獻回顧

1987年 Petr Beckmann 與 Andre Spizzichino[2]提出，粗糙的表面會影響反射光的散射方向與能量，並推倒週期性與非週期性表面的粗糙度與反射光能量的關係，詳述了光散射理論的基礎。

1989年，美國光學學會第一位女主席 J. M. Bennett 博士，同時也是光學表面學術研究專家，與 L.Mattsson[3]提出，光的散射來自於粗糙的表面，且在實際的應用上有很大的變化。在 1993年，J. M. Bennett 博士對於表面粗糙度的涵義提出說明[4]，指出表面粗糙度的產生有很多種型式，例如加工拋光後隨機方向上殘留的微小痕跡，金剛石機床車削金屬反射鏡遺留的微細溝槽結溝，或人工不慎觸摸光學表面造成的劃道等。

1987年黃志德[5]探討鏡片表面粗糙度與光散射之關係，指出越大的表面粗糙度會產生越大的散射強度，且波長越短越容易造成散射的現象，因此鏡片的表面粗糙度由於產生散射的原因，會影像光學的成像品質。

2005年尼啓良等人[6]認為，光學元件的散射會減小到達成像面的光通量，降低圖像對比和光學系統的分辨率。因此利用散射法來測量表面粗糙度的特徵，以固定的波長和入射角的情形下進行實驗，結果利用軟 X 射線測量入射光學元件，顯示會因不同的表面粗糙度，對散射產生很大的影響，也就是隨著表面粗糙度的增加，散射現象會越來越嚴重。

1996年國際標準組織(ISO)對粗糙度作了定義，在 ISO 4288[7]中，說明粗糙度的樣本長度與評估長度和粗糙度參數三者之間數據選用的規定。而在 ISO 11562 [8]是說明相位校正濾波的特性，從中可以了解濾波計算的定義。在 1997年，ISO 4287 [9]說明表面粗糙度參數的計算方式，並將其個別列出，並且對粗糙度、波紋和中心線等定理做詳細的介紹。

2005年刑玉璽[10]以 PMMA 材料的光學透鏡，分別用 C-MOLD 分析和實際射出成型，並搭配田口做實驗組的規劃，量測鏡片在澆口、中心和結束位置的收縮量，其結果顯示，分析與實際成型的最大影響參數均為保壓壓力。

由以上相關文獻的參考，藉以吸取經驗以及實驗的方法，對本論文提供相當大的思考方向。

1.5 論文架構

本論文內容依下列過程陳述：

1. 第一章 導論

說明塑膠光學鏡片近來年發展的趨勢、背景、問題和研究的動機，以及鏡片射出成型與檢測相關研究之文獻回顧。

2. 第二章 基本理論

介紹本研究所用到的理論，如表面粗糙度與散射，並探討其相對的影響。

3. 第三章 實驗材料與設備

介紹實驗所使用的材料以及設備。

4. 第四章 模具設計與成形分析

介紹鏡片的模具設計與加工重點，以及藉由模流分析軟體來提供射出成型的參數設定。

5. 第五章 鏡片成形實驗與檢測

本章說明鏡片進行成型實驗的方法，以及量測鏡片其檢測的方法。

6. 第六章 結果與討論

針對實驗量測所得的結果，以鏡片曲率與表面粗糙度作為品質特性，來對不同的成型參數進行結果討論。

7. 第七章 結論

對分析與實驗的結果作總結，以及提出未來研究的方向。

表 1.2 光學材料之特性

特 性	單位	光學玻璃		光學塑膠			
		BK7	SF2	PMMA	PC	PS	CR-39
折射率(nd)		1.516	1.647	1.492	1.584	1.592	1.500
色射率(vd)		64.17	33.85	58	30	29.9	58
折射率之溫度變化 (0~20°C)	$\times 10^{-5}/K$	0.7	6.2	-12	-14	-12	—
光穿透率	%	92	89	92	90	92	91
衝擊強度	kg.cm/cm	—	—	2-3	80-100	2-3	2-3
洛式強度		—	—	80-100	70	80-100	140
熱變形溫度	°C	559	428	90-100	130	94	140
吸水率 (40°C, 92%RH)	%	—	—	2.0	0.4	0.2	1.0
線膨脹係數 (-30°C~70°C)	$\times 10^{-6}/K$	7.1	8.8	70	70	80	117
比重	g/cm ³	2.51	3.86	1.19	1.20	1.06	1.32
成型收縮率	%	—	—	0.2-0.6	0.5-0.8	0.1-0.6	14
雙折射	mm	—	—	< 20	20-100	> 100	—

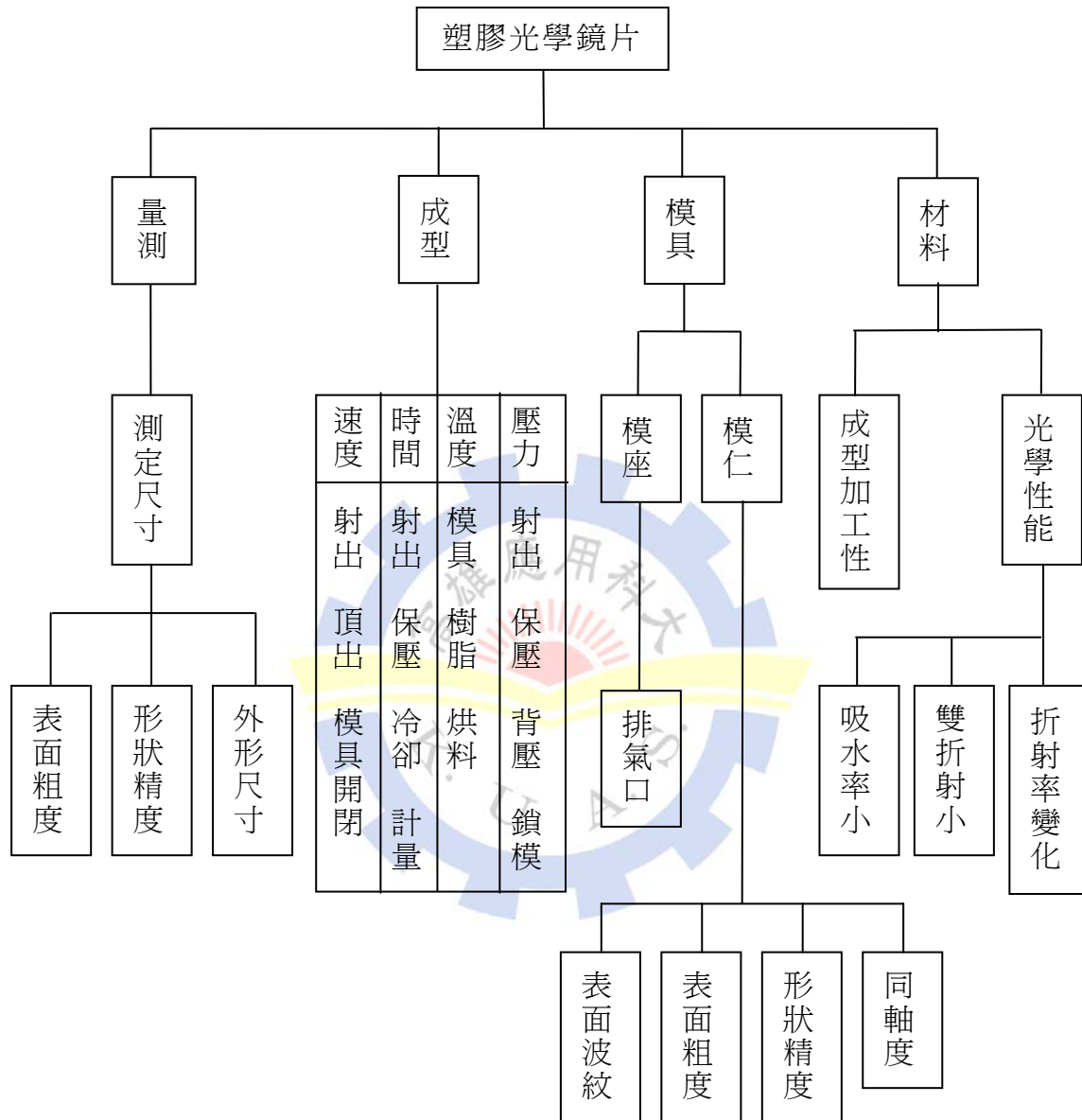


圖 1.1 塑膠光學鏡片製造流程區分

二、基本理論

2.1 光的反射

光在空氣中傳播，一般是循著直線前進，但如果遇到不透明物質時，光線就會改變其路徑，此種現象稱為光的反射(Reflection)，如圖 2.1 所示。假設此不透明物體的表面為光滑平面時，光線就循著某一固定方向反射回去，而入射光與反射光兩者之間的關係，遵循兩個原則。

- (1) 入射線、反射線與法線三者都在同一平面上，且入射光線、反射光線在法線的兩側。
- (2) 入射角等於反射角。

在鏡片的使用中，光線的反射會影響鏡片的清晰度，而且在鏡片表面產生干擾性反射光，通常，鏡片材料的折射率越高，因反射而損失的光線就越多，而干擾性反射光可以在鏡片表面鍍多層減反射膜而相應抵消。

2.2 光的折射

如圖 2.2 所示，當入射光線行進遇到不同介質(玻璃)的介面時，會有部份的光反射，反射的光滿足反射定律，其餘的光則進入新介質(玻璃)，透過玻璃的光線會在玻璃的介質表面發生折射偏離的現象，此種現象稱為折射(Refraction)，折射的現象必須遵守 Snell's Law。

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r \quad (\text{Snell's Law}) \quad (1)$$

折射的現象起源於光在不同介質內不同的行進速率，而光線的偏離幅度由材料的折射率和入射光線在鏡片表面的入射角度來決定。在光學中，折射率是很重要的光學性質，而所謂折射率，是定義光在真空中的行進的速度和光在介質中行進速度的比值，這個比值稱為此物質的折射率，一般使用符號 n 來表示。

$$n (\text{折射率}) = \frac{C (\text{真空中的光速})}{V (\text{介質中的光速})} \quad (2)$$

2.3 光的散射

散射(Scattering)是光在各個方向上被散播的一種現象。在物理學上，散射現象是英國科學家瑞利(Rayleigh)勳爵於 19 世紀時，研究光線遇上分子時會出現改變方向的現象，而命名為瑞利散射，如圖 2.3 所示。其指出散射光的強度與散射的方向有關，且散射強度與入射光波長 4 次平方成反比。亦即波長越短，越容易散射，因此散射對於短波段光學系統而言更為嚴重。

$$\text{Scattering index} \propto \frac{1}{\text{wavelength}^4} \quad (3)$$

以幾何光學為理論基礎，一束平行的入射光線射到光滑的表面，其入射角等於反射角。同樣地，當光線進入粗糙界面時，粗糙的表面會使入射光的反射分為鏡像反射和散射(Scattering)，如圖 2.4 所示。

2.4 表面粗糙度的定義

不論材料的表面外觀看起來是如何的平整，如果加以詳細檢驗，以微觀的形式來看，即可發現有高低或凹凸等不規則的痕跡，這種表面上具有微小間距和峰谷組成的微觀幾何形狀特性，為其表面的特徵，其狀態會隨著材料的種類，不同的加工方法以及條件而有所改變。

而一個光學元件的表面特徵，實際上是表面某些偏差的綜合，分為形狀(Form)、波紋度(Waviness)和粗糙度(Roughness)這三種，如圖 2.5 所示。這三種是根據表面不同的測量空間尺度和頻率來劃分的。表面粗糙度為表面的高頻分量，而低頻分量為形狀精度，介於兩者之間的中頻分量即為波紋度。這三者之間依照需求不同而必須透過濾波器(Filter)的使用，以達到所需的評估結果。

以光學鏡片而言，造成表面輪廓組成的因素為：

- (1) 形狀(Form)：又稱為形狀誤差，主要是射出成型後，因收縮或翹曲變形所引起的形狀誤差。
- (2) 波紋(Waviness)：由於加工時所產生的低頻震動、或機器震動、機器及

工件撓曲等因素所引起的低頻波形。

- (3) 粗糙度(Roughness)：為濾除前兩種形狀。是因射出成型條件因素所引起的高頻不規則表面，與塑件轉寫性有關。

一般要求高精度的光學產品非常重視表面粗糙度的資訊，若能精確的量測表面粗糙度並加以分析，有助於修正加工的條件，並且增進加工的精度，因此，對光學鏡片而言，形狀精度和表面粗糙度是評定鏡片品質的重要指標。

2.5 散射與表面粗糙度的關係

在光學系統中，光學元件的表面粗糙度優劣與光散射亦與光學元件質量密切相關。低散射光的透鏡、反射鏡、濾光鏡及其他光學元件是人們所追求的，努力降低散射光不僅改善望遠鏡、顯微鏡等傳統光學儀器的成像質量，而且對於提升顯示器、光學鏡片及影像光碟機等現代光電儀器品質是極具關鍵性的。

對於光學表面而言，形狀誤差所反應的是光線行經表面後走向的準確性，而表面粗糙度則與散射有關。前述提到粗糙的表面，會使入射光的反射分為鏡像反射和散射，而散射的產生會減少到達成像面的光通量，降低圖像的對比度和光學系統的分辨率，就短波段光學系統而言更為嚴重，在應用時要特別注意。

由於表面粗糙度所造成的散射，會是影響其光學系統成像品質的一個重要因素，因此研究與檢測塑膠光學鏡片表面散射，是高性能光學系統質量評估不可缺的一部分。而造成表面散射的主要因素有三個：

- (1) 光學元件加工不良所造成表面細微的缺陷，或由外界的侵蝕造成的坑洞、刮線所形成的缺陷散射。
- (2) 由外在灰塵和細小微粒附著在光學表面造成的散射。
- (3) 由拋光過程或其他處理後，而近乎沒有缺陷，亦即排除上面兩種因素，此時散射主要來自表面微細不規則的結構。

所以要能生產出高品質及高精密度的塑膠高階鏡片，應在檢測塑膠光學鏡片時，除了有好的形狀精度外，也應同時具備更光滑的表面粗糙度來

降低散射量，如此才能大幅的提升鏡片品質。

圖 2.6[5]所示為不同的表面粗度，從 2 \AA 到 200 \AA ，對照理論預測的散射光強度。對角實線表示散射光強度，虛線顯示不同種類的拋光表面的粗度，而 Y 軸是指從紫外線到紅外線範圍對數座標。圖中顯示，短波長有較大的散射強度，且同樣拋光方式的表面粗度，會隨著表面粗糙度的增加而增強散射強度。因此可知，短波長容易散射，且越大的表面粗糙度其散射強度越強。

2.6 表面粗糙度的表示方法

有關表面粗糙度表示法，近年來國際間已進行大幅度的修正且逐漸達成標準化，依據 ISO-4287[9]，將表面粗糙度量測表示法規納為三種型式，其細部分類如下：

(一) 振幅參數類：與不規則點在輪廓高度方向性質有關者

1. 中心線平均粗糙度 (Ra, Roughness Average)
2. 均方根值 (Rq, Root Mean Square (RMS) Roughness)
3. 最大波谷高度 (Rv, Maximum Profile Valley Depth)
4. 最大波峰高度 (Rp, Maximum Profile Peak Height)
5. 最大粗糙高度 (Rt, Maximum Height of the Profile (Rv+Rp))
6. 十點平均粗糙度 (Rz, Ten Point height)

(二) 波長或間距參數類：與不規則點在輪廓間隔方向性質有關者

1. 波峰數 (Pc)
2. 平均波峰間距 (Sm)

(三) 綜合參數類：與不規則點分布狀況有關者

1. 承壓比值 (BAC)
2. 振幅分布之偏斜度 (Sk)
3. 振幅分布之陡峭度 (Ku)

而表面粗糙度在塑膠射出成品的運用上，最常用 **Ra** 值來表示。**Ra** 值的定義是在表面的粗糙曲線上，截取一段測量的樣本長度 L ，其中心線為 x 軸。將樣本長度中心線以下的部分被倒置在中心線之上，然後計算中心線上方以及經倒置後之全部曲線所涵蓋面積，再以測量長度除之，所得數值以 μm 為單位，即為該表面測量長度範圍內之中心線平均粗糙度值，如圖 2.7 所示。其數學定義為：

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |z(x)| dx \quad (4)$$

另外，**RMS** 為另一種計算平均值的方法，又稱為均方根值 **Rq**，其數學定義為公式(5)。與算數平均數 **Ra** 比較，**RMS** 對於較高的數值有特別的加權效果，可避免具有高波峰或高波谷的效果被平均掉，而忽略其表面特徵。

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L z^2(x) dx} \quad (5)$$

表面粗糙度的表示方法有許多種，本研究選擇**Ra**與**RMS**兩種來表示鏡片的表面粗糙度。

2.7 表面粗糙度的量測

表面微觀幾何形狀特性的測量，常用的測量方法有比較法、觸針法和干涉法等。然而，在光學鏡片開發及生產過程中，是否有精密的量測能力，便是相當重要的一個關鍵。

在傳統生產中，表面粗糙度的量測常常利用比較法，如圖 2.8 所示。是將表面粗糙度比較樣塊與被測表面比較，判斷被測表面粗糙度相當於那一數值。雖然利用這種評定表面粗糙度的方法很簡便，但會受到主觀因素影響，常不能得出正確的表面粗糙度數值。所以這種憑人的肉眼視覺或利用手指觸摸比較標準樣塊的方式，來和被加工表面來互相比較鑑定其粗糙度，所能得到的精度相當低，不適用於要求精密度的光學元件。

近年來加工精度迅速提升，為了迎合這個趨勢，必須在製造與檢測方

面都加強，一方面製造上要達到精密化的生產，另一面在品質檢測上也需精密的檢測設備。因此表面測量法近幾年來也迅速進步，發展出不同的測量原理可運用，利用電子儀器或光學儀器測量出表面粗糙度的數值即可定量評定表面粗糙度，且表面檢測的技術在奈米與三維全域的測量有重大的突破。在奈米量測方面，突破傳統的量測精度限制，幾何尺寸的微觀量測的精度可達到奈米的等級。在三維全域量測方面，可定量的量測待測物三維的表面資訊，更是突破傳統僅能量測二維輪廓的技術。

而現階段能量測光學鏡片表面粗糙度的方式，可大致分為兩大類，為接觸式及非接觸式，兩者的比較如表 2.1。

接觸式最常用的是探針式輪廓儀(Stylus Profiler)的方法。是用探針沿著被測表面緩慢滑行，以固定的移動速率掃描試片的表面，探針的上下位移量由電學式長度傳感器轉換為電信號，經放大、濾波、計算後由顯示儀錶指示出表面粗糙度數值，也可用記錄器記錄被測截面輪廓曲線。一般將僅能顯示表面粗糙度數值的測量工具稱為表面粗糙度測量儀，若能同時能記錄表面輪廓曲線的稱為表面粗糙度輪廓儀。這兩種測量工具都有電子計算電路或電子計算機，它能自動計算出 R_a 、 R_q 、 R_z 以及其他多種評定表面粗糙度的參數，測量效率高。

非接觸式是利用光波干涉原理，將被測表面的形狀誤差以干涉條紋圖形顯示出來，並利用放大倍數高的顯微鏡將這些干涉條紋的微觀部分放大後進行測量，以得出被測表面粗糙度，應用此法的表面粗糙度測量工具稱為顯微干涉輪廓儀(Micro-Interferometer Profiler)。

而使用接觸式與非接觸式這兩種形式，用來量測表面粗糙度的最大差異在於，接觸式所能測量的表面粗糙度為一個基準線段的量測，而非接觸式為整個面表面粗糙度的量測，達到全面的量測。另外，接觸式由於直接接觸表面，來獲得試片表面的高度變化，若探針量測力道太強會刮傷表面，容易造成待測物表面接觸破壞，且目前接觸式的量測精度為奈米，而非接觸式的量測精度可到達 0.1nm，是非接觸式較具優勢的地方。

總合來說，兩種方式各有其特點，而適用於不同的檢測需求。接觸式量測法精度雖然略低、量測上存在有檢測速度慢、費時及探針容易刮傷待測物表面的缺點，但操作方便且測量範圍大；而非接觸式量測法精度高，但需要耗費較多的校正時間，也較易受到週遭光源的影響產生測量誤差，且對於特殊曲率的球面有量測的極限存在。

表 2.1 接觸式與非接觸式比較

	接觸式	非接觸式
優點	有大的橫向及縱向測量範圍 價格較低	不損壞表面 3D 輪廓 在亞奈米區域靈敏度最高
缺點	一維測量 測量時間相對較長	橫向及縱向測量範圍小 價格高

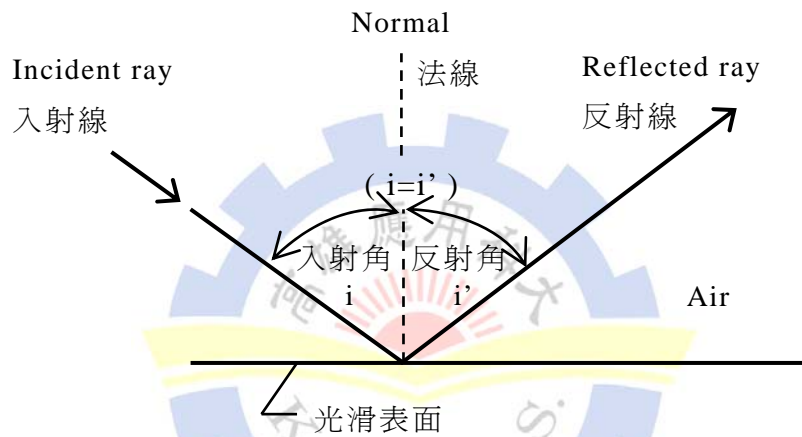


圖 2.1 光的反射

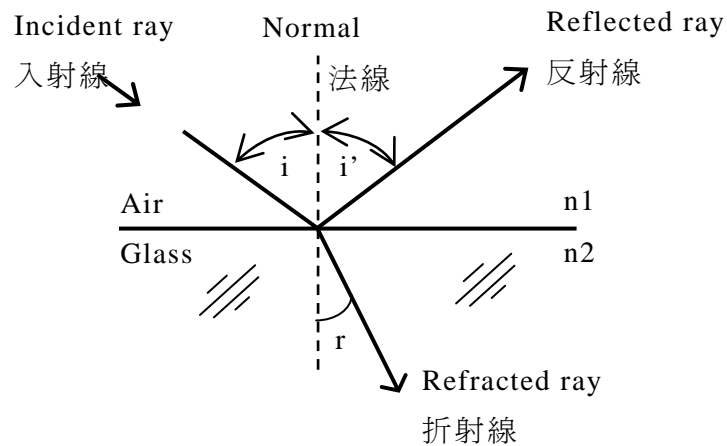


圖 2.2 光的折射

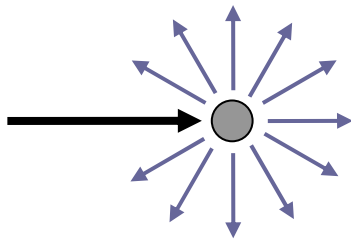
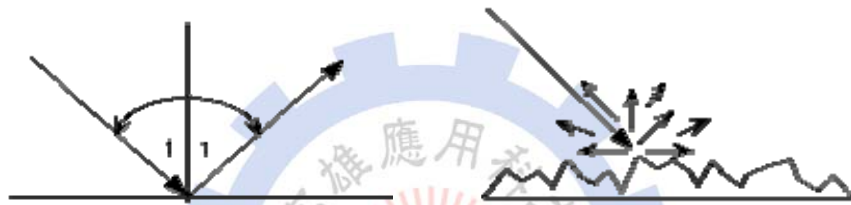


圖 2.3 散射現象



(a)光滑表面的反射

(b)粗糙表面的散射

圖 2.4 不同表面對光線的影響

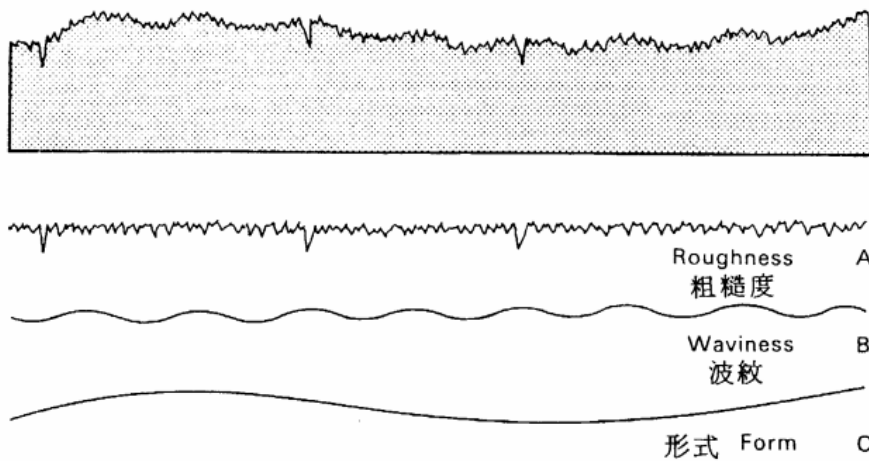


圖 2.5 表面特徵的組成

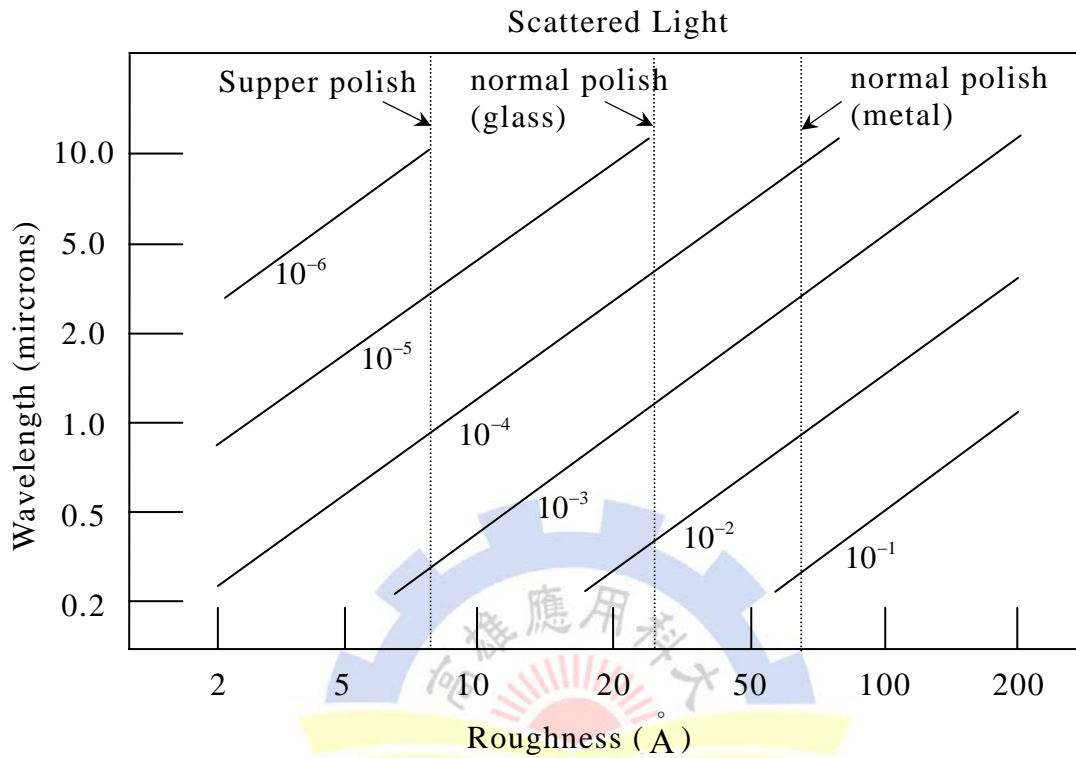


圖 2.6 不同的表面粗糙度與波長對散射強度的影響

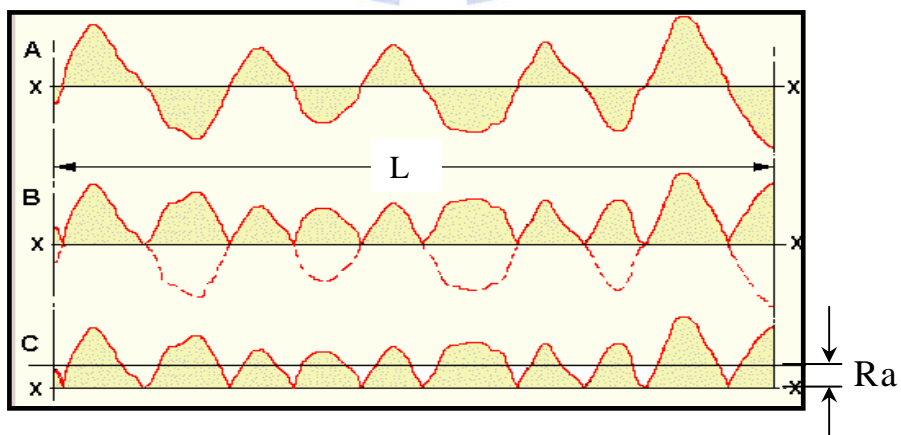


圖 2.7 R_a 的圖形導出

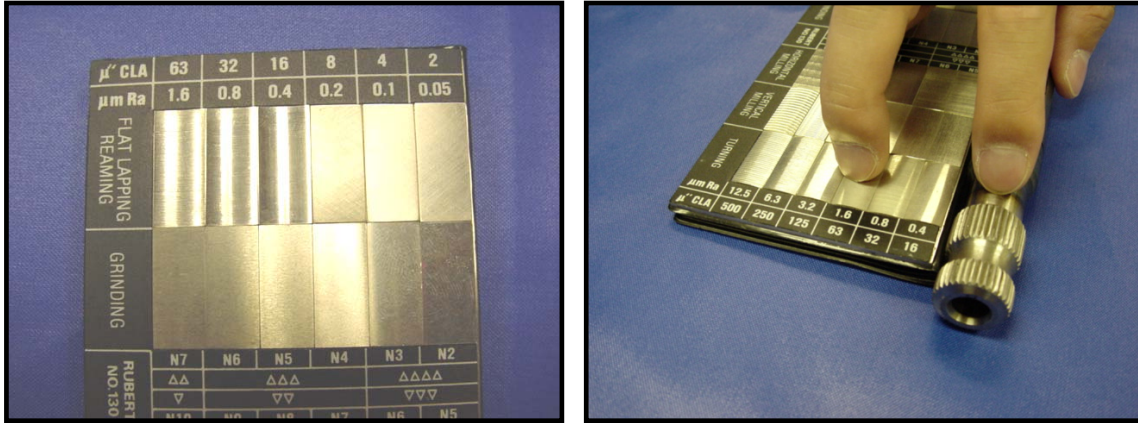


圖 2.8 利用標準塊規與試片比較



三、實驗設備與材料

3.1 表面輪廓儀

本研究使用英國 Talor Hobson 公司的 From Talysurf Laser 635 表面輪廓儀來進行鏡片量測。儀器外形如圖 3.1 所示，儀器規格如表 3.1 所示。

表面輪廓儀為接觸式量測的一種，可用於量測光學元件及非光學元件微小的表面幾何尺寸特徵和表面粗糙度，使用者可以自訂鏡片欲量測的距離後，輪廓儀便可以以探針將鏡片表面輪廓的資訊完整的紀錄，且搭配軟體可自動將所得到的數據加以最佳化的方式，來取得球面鏡片的曲率半徑、形狀誤差、最大高度差 PV、各種粗糙度值的表示方法皆可由量測的數據求取。

本研究使用此表面輪廓儀量測鏡片的表面，鏡片的檢測包括了曲率半徑以及表面粗糙度。雖然使用表面輪廓儀可以方便取得鏡片表面的形狀特徵，但其每一次量測的範圍侷限在經過鏡片中心點的一直線，無法一次快速取得整個球面的表面形狀特徵為其缺點。

3.1.1 量測原理

其工作原理是利用針尖曲率半徑為 $2\mu\text{m}$ 的鑽石探接觸工件表面，接著由驅動器(Traverse Unit)拖曳探針(Stylus)，使其隨著工件表面的輪廓隨之變化，做機械式的上下運動，其輪廓藉著收錄器(Laser Pick-Up)，將探針的機械式起伏轉換成電壓信號後，再經由放大器放大，接著進入濾波器，濾波器將信號所含的頻率成分中選出需要的並讓其通過，以便求得形狀、波紋或粗糙度值等參數，其探針的作動及尺寸如圖 3.2 所示。

圖 3.3 為收錄器(Laser Pick-Up)的簡圖，是利用雷射同調光干涉的特性。雷射光從右側入射到分光鏡(Beam Splitter)上而分成兩道光，分別為參考光與物光，而探針的末端連接一個菱鏡，當探針隨著待測表面起伏時，會使得物光的光程改變，而與參考光形成干涉，經由 Diode 接收其干涉資訊而算出 Z 軸探針起伏的量。

3.1.2 量度長度

使用表面輪廓儀將一個表面輪廓完成量測後，可將量測的區域分為三種型式，為測定長度、評估長度以及樣本長度，如圖 3.4 所示。而這三者的關係為：

(1) 測定長度(Traverse Length)：

要比評估長度還要長，因為考慮探針在一開始以及末端時，各需要一段長度來排除機械或電氣的瞬變現象，以減少誤差產生。

(2) 評估長度(Evaluation Length)：

是用來分析計算的數據長度，通常評估長度至少為樣本長度的五倍以上，因為少於五倍的樣本長度會降低分析的準確度。

(3) 樣本長度(Sampling Length)：

與切斷值(Cut-Off-Value)為相當量，是用來濾波時的基準長度，若選擇不適當的切斷值，將會影響表面粗糙度的分析結果。

3.1.3 參考線(Reference Line)

量測粗糙度需要有一個基本的需求，就是在外形要提供一個基準，因此必須要建立一條參考線來界定波峰與波谷，參考線有三種型式：

(1) 最小平方平均線(LS Line, Least Squares Line)：

如圖 3.5 所示，最小平方平均線是使 $a^2+b^2+c^2+\dots+n^2$ 之總和為最小而定位之線段。

(2) 最小區域線(MZ Line, Minimum Zone Lines)：

如圖 3.6 所示，最小區域線是兩最小距離之平行線，其量測結果被包含於兩平行線內。

(3) 最小平方弧線(LS Arc, Least Squares Arc)：

若量測外形為圓弧，則以最小平方弧線為中心線，如圖 3.7 所示，是使 $a^2+b^2+c^2+\dots+n^2$ 之總和為最小而定位之圓弧。

3.1.4 切斷值

待測物表面凹凸不平的形狀是由許多不同成份的波形所合成的，而此成份中較短的波長稱為粗糙度，比較長的波長就稱為波紋，被刪除之較長的波長部份就稱為切斷值(Cut-Off-Value)，在表面輪廓儀裡是使用高頻濾波器消除較長波長成份。

如圖 3.8 的 A 所示，波紋已由外形中排除後在每條樣本長度上劃其中心線，則它將形成一連續的直線，但如果外形上的粗糙度以及波紋兩者都存在時，這些中心線會隨著表面的一般形狀而變化，如圖 3.8 的 B 所示，為去除前的圖形。

而選用適當的 Cut-Off (L 長度)可去除波形，對表面粗糙度的評估有很大的影響。

圖 3.9 所示，為外形上存在粗糙度與波紋兩種型式，若選定切斷長度為 L 的 A 為代表，則與同樣長度 T 的 B 點，兩個粗糙度在型式上只有很細部的差異。值得注意的是，選定較短的切斷長度 T，則 C 與 D 兩個粗糙度型式上，非常不相同。因此，在量度時會造成對粗糙度高度上的誤解。

而切斷長度 L 的 A 點，可以足夠顯示整個粗糙的型式，在此長度內波紋的效應也極少，倘若增加切斷值的長度，雖然可以包含更多的粗糙點，但只是重複到切斷值長度，對粗糙度數值沒有太大的影響，反而太長的長度會使得波紋被視為粗糙度的一部份，因此，亦不希望切斷值長度的增加超出粗糙度代表性評估所需的長度。

而 Cut-Off 的選擇，以往是隨著加工方式的不同而有不同的選擇，在 ISO 4288[7]的規範裡，不同加工法成形的表面，依其精度在量測分析時須選擇不同的 Cut-Off 值進行分析，原則上以此 6 種為準，分別為 0.08、0.25、0.8、2.5、8、25 mm，如表 3.2。不同精度的表面可適當的選取 Cut-Off 值。

然而，目前 ISO 對於塑膠光學元件射出成型後的表面，尚未有明文的規範，因此量測塑膠光學鏡片在採用 Cut-Off 值的選擇上，必須依循上述的重點來選用適當的 Cut-Off 值，太短會造成對粗糙度高度上的誤解，太長又使得波紋被視為粗糙度的一部份。

3.1.5 濾波的過程

由於一個複雜的表面輪廓可分為三類空間頻率成分，分別為形狀、粗糙度以及波紋。所以要分析輪廓的表面粗糙度，則必須經由濾波的方法才能得知。濾波的過程如圖 3.10 所示，一個量測後的圓弧表面經由最小平方弧線(Least Squares Arc)去除表面形狀(Form)後；接著，由濾波器依照所選定的 Cut-Off 值進行濾波，將波紋去除；最後，依不同的粗糙度參數表示方式進行計算，以求得最終的表面粗糙度值。

3.2 白光干涉儀

本研究使用美國 ZYGO 公司的 NewView 6300 白光干涉儀來進行鏡片表面特徵的量測。儀器基本架構如圖 3.11 所示，儀器規格如表 3.3 所示。

白光干涉儀為非接觸式量測的一種，此儀器特色為 3 維輪廓測量，基本上是包含顯微鏡與干涉儀於一體的儀器，是利用光干涉的原理來檢測待測物表面的形貌，除了量測精度可達到奈米級外，一次可以測定一定的面積內的全面性表面微觀的形狀，並獲得所有的被測參數，具有極高的精密度和準確度。

在干涉儀光源使用上，目前干涉儀的光源有雷射光或白光，各有優缺點。雷射的光源有高同調長度的特性，所以干涉條紋容易取得，當待測光和參考的基準光的光程即使拉長時，仍存在干涉的現象，但取得的干涉條紋不明顯且不易判斷干涉條紋為其缺點。而白光其同調長度低於雷射光源，所以能出現干涉現象的光程距離的範圍低於雷射光源，但低同調性的特性，反而使白光干涉儀可以獲得高解析度的表面形貌量測，且使用白光的光源可以獲得相當漂亮、彩色且對比明顯的條紋，因此白光干涉儀較易判斷干涉條紋。

在影像倍率放大上，白光干涉儀配合高倍率顯微鏡的架構，利用顯微鏡系統可將物體影像放大的特性，且顯微鏡又可提供不同的放大倍率，可針對不同大小的物體檢測需求進行量測，因此可檢測的精度相較於傳統的干涉儀要更高，未來在精密表面檢測中有很大的發展。

3.2.1 量測原理

在光學量測的領域中，干涉儀為一非常重要且實用的量測工具，其量測原理是利用光的干涉現象，以用來檢測包含光學元件表面品質、曲率半徑、表面粗糙度等參數。

而光的干涉現象可依波動學來解釋，光以正弦波的波形前進時，當兩光波滿足相同的頻率、振動方向相同及相同相位的光波向同一方向前進，即波峰對波峰，波谷對波谷時，會產生光波增強的現象，該處為明亮的條紋；若兩相同頻率，其相位差為 180 度，即波峰對波谷或波谷對波峰時，則兩光波會互相干涉而抵銷掉，該處為黑暗的條紋；其餘位置的光干涉，產生的亮度則在上述兩極端值之間，利用條紋數以及分佈的情形即可對待測物進行分析。

3.2.2 Mirau 干涉儀原理

目前白光干涉儀有四大類別，分別為 Mirau、Fizeau、Michelson 以及 Linnik 四種干涉儀的型式。而本研究所使用的白光干涉儀為 Mirau 類型，其光路圖如圖 3.12 所示。

圖 3.12 顯示，白光光源由上方入射在第一片分光鏡上，在穿透到 Mirau 物鏡，Mirau 物鏡內具有一片參考鏡和第二片分光鏡，白光於第二片分光鏡處分成兩道光，分別為參考光與物光，參考光於物鏡內經由參考鏡反射，物光則入射至待測物體表面並反射回到物鏡，兩者於物鏡再次交會後，一同向上通過第一片分光鏡，並且反射於 CCD 上，紀錄其光的強度。

由於白光低同調性的特性，當參考光與物光的光程差接近零時，便開始發生干涉現象，而最大干涉強度發生在光程差為零的位置，接著，透過精密位移致動器驅動，Mirau 物鏡在縱軸方向進行掃描，隨著 Mirau 物鏡相對於待測物體的距離改變，在物鏡視野內的每一個像素點會產生干涉條紋，解析這些干涉條紋，即可得到物體的表面形貌。

表 3.4、3.5 為物鏡規格及參數，目鏡採用 0.5X，而物鏡採用 10X，解析度為 640×480，掃描出的圖元數目為 307200 畫素，其 XY 的量側範圍為 1.41×1.06 mm。

3.3 射出成型機

本研究使用的射出成型機為日本 Sodick Plustech 公司所生產的，型號為 TR30EH，是油電複合機，規格如表 3.6，外觀如圖 3.13 所示。其最大的特色是射出單元採用 V 型機構的方式，所謂 V 型機構的塑化為結合螺桿與柱塞兩者射出單元的優點，來進行塑化和射出的功能。

如圖 3.14 所示，塑膠原料經由料筒進入後，首先先經由螺桿將原料塑化，螺桿的塑化可以使塑膠材料均勻的加熱，接著熔融的塑料再由柱塞推進射出成型。因此整個成型過程可以避免傳統單純利用螺桿時，塑料會從螺桿溝紋逆流的問題發生，因為使用柱塞可以精確的計量。

本研究為了讓成型的鏡片能用擁有好的表面特徵，選用的射出成型機特別需要有精準的計量，每一模次間的計量不能有太大的差異，否則將會難以控制鏡片的成型品質。

3.4 實驗材料

本研究使用 PMMA 的塑膠材料來射出成型，廠牌為 Kuraray，型號 GH-1000E，其材料物性如表 3.7 所示。此材料透明度佳，透光率達 92%，有良好的光學性質，且表面硬度相當的高，故適合作為外觀件的光學鏡片，因此選用此材料來進行實驗。

而 PMMA 的材料具有吸濕性，吸濕的特性會使得材料內部含有水氣，在成型時成品便容易有氣泡的產生，造成外觀的缺陷，尤其成型透明的鏡片時更應注意材料要充分的乾燥。因此在射出成型前必須將成型的材料預備烘乾，以烘料筒 60~80℃ 的溫度下，至少 3 小時的預烘時間，以確保成品的品質。

表 3.1 表面輪廓儀規格表

量測長度[X 軸] Max/Min	120mm/0.1mm
橫向解析度[X 軸]	0.125 μ m
量測範圍[Z 軸]	6 mm
解析度[Z 軸]	3.2 nm
量測速度	0.1、0.25、0.5、1、10 mm/sec

表 3.2 切斷值的選擇

	Ra (μ m)	λ c (mm)	λ c(mm)/L
超光面	< 0.02	0.08	0.08/0.4
精切面	> 0.02-0.1	0.25	0.25/1.25
細切面	> 0.1-2	0.8	0.8/4
粗切面	> 2-10	2.5	2.5/12.5
光胚面	> 10	8	8/40

表 3.3 ZYGO NewView 6300 白光干涉儀儀器規格

物鏡	干涉物鏡系列 1X, 2X, 2.5X, 5X, 10X, 20X, 50X, 100X 及長焦系列物鏡
放大透鏡	高質量離散放大透鏡，0.5X, 0.75X, 1.0X, 1.5X, 2.0X
光源	經篩選 LED 濾光長壽鎢鹵白光燈
CCD 採樣範圍	992 \times 1004, 640 \times 480, 320 \times 240, 160 \times 120
測量範圍	0.04-21.9mm，根據物鏡特性
垂直掃描範圍	150 μ m，可達到 15mm
垂直解析度	可達 0.1nm
側向解析度	0.45-11.8 μ m
RMS 重複率	<0.1nm RMS

表 3.4 物鏡規格

物 鏡 放大倍數	干涉種類	數位口徑	工作距離 (mm)	側面解析度 (μm)	等焦面深度 (μm)
2.5X	Micelson	0.075	10.3	4.64	80.1
5X	Micelson	0.13	9.3	2.67	56.5
10X	Mirau	0.30	7.4	1.16	56.5
20X	Mirau	0.40	4.7	0.87	56.5
50X	Mirau	0.55	3.4	0.63	56.5
100X	Mirau	0.80	0.55	0.43	56.5

表 3.5 各種放大倍率時物鏡參數(640×480 圖元 CCD)

物 鏡	目鏡 0.5X	
	XY 成像範圍 (mm)	採樣區間 (μm)
2.5X	5.65×4.24	8.84
5X	2.83×2.12	4.42
10X	1.41×1.06	2.21
20X	0.71×0.53	1.10
50X	0.28×0.21	0.44
100X	0.14×0.11	0.22

表 3.6 Sodick-TR30EH 射出成型機規格表

合模裝置	
合模方式	直壓式油電混合鎖模裝置
最大合模力	294 kN(30 tf)
連桿間隔(橫×縱)	260 mm × 260 mm
壓板尺寸(橫×縱)	390 mm × 390 mm
間隙	400 mm
最小/最大模具厚度	150 / 300 mm
頂出方式	電動伺服球形螺絲驅動
頂出力	7.3 kN(0.74 tf)
頂出行程	50 mm
塑化射出裝置	
塑化射出方式	螺桿預塑、柱塞射出
螺桿直徑	18 mm
柱塞直徑	16 mm
最大射出壓力	262 MPa (2679 kgf/cm ²)
理論射出容積	14 cm ³ (0.5oz)
射出率	100 cm ³ /sec
柱塞行程	70 mm
最大射出速度	500 mm/sec
最大螺桿旋轉速度	400 rpm
溫度控制區數	4 段
射出裝置移動行程	230 mm

表 3.7 Kuraray PMMA GH-1000E 物性表

	特性	單位	試驗方法	測試條件	GH-1000E
光學性質	穿透率	%	ISO 13468-1	試樣厚度 3mm	92
	折射率	-	ISO 489	nd	1.49
機械性質	引張破壞應力	MPa	ISO 527-2		72
	引張彈性率	MPa	ISO 527-2		3300
	曲張破壞應力	MPa	ISO 178		102
	曲張彈性率	MPa	ISO 178		3300
	衝擊強度	KJ/m ²	ISO 179		20
	硬度		ISO 2039-2	M scale	101
熱性質	荷重溫度	°C	ISO 75-1	1Af	95
				1.8MPa	
	軟化溫度	°C	ISO 306		104
	MFR	g /10min	ISO 1133	230°C	5
				37.3N	
	比熱		JIS K7123	J/(kg*K)	1.5
	線膨脹係數		JIS K7197	1/°C	6×10 ⁻⁵
	熱傳導率		JIS KA1412		0.2
密度	g /cm ³	ISO 1183		1.19	
成型性	吸水率(23°C)	%	ISO 62	24hrs	0.3
	成型收縮率	%	ISO 8328		0.2~0.6

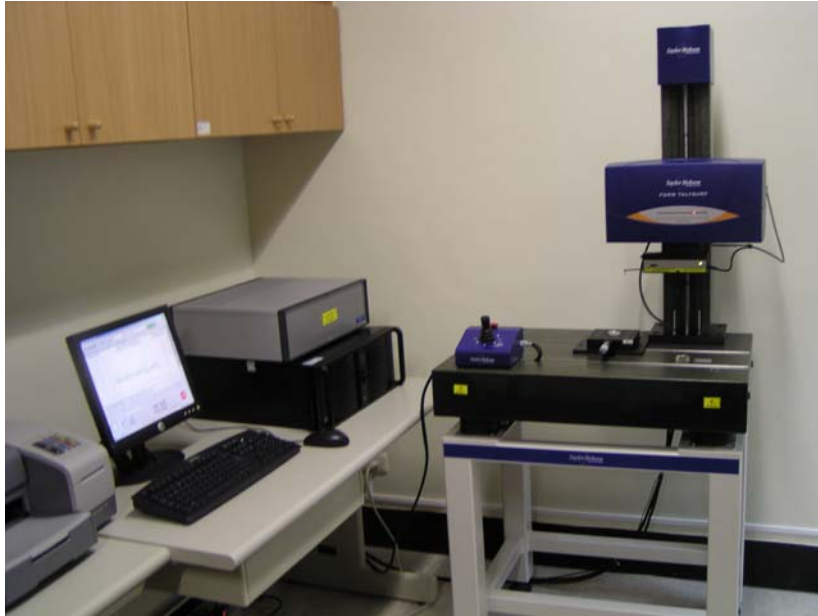


圖 3.1 Taylor Hobson Laser 635 表面輪廓儀

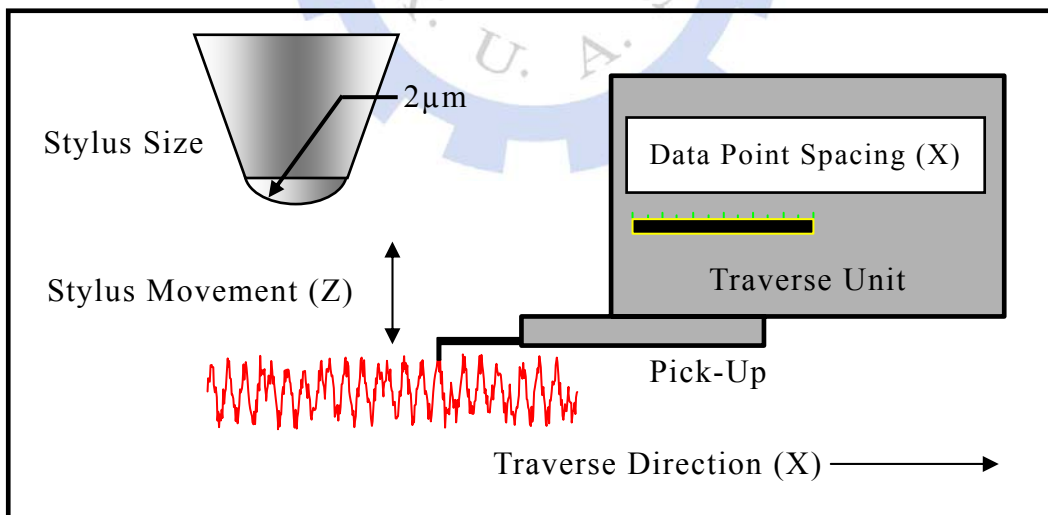


圖 3.2 探針的作動及尺寸

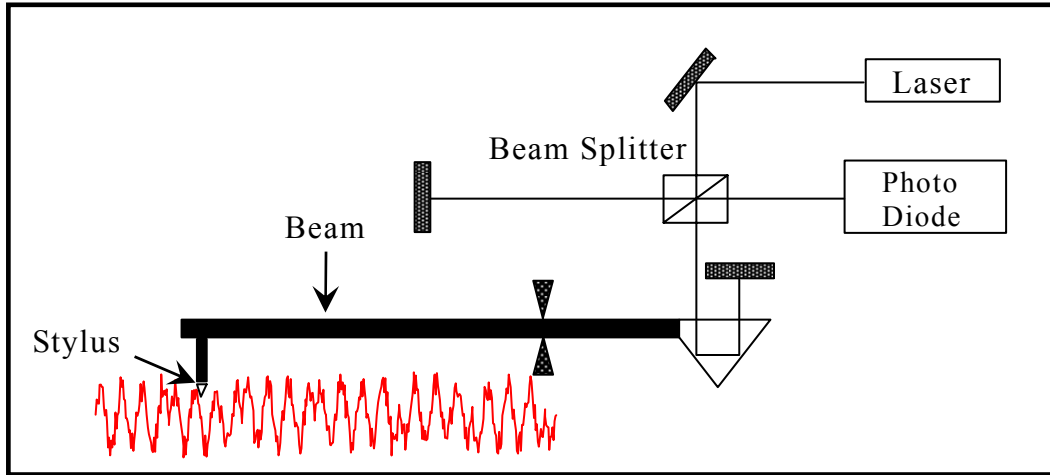


圖 3.3 表面輪廓儀收錄器構造圖

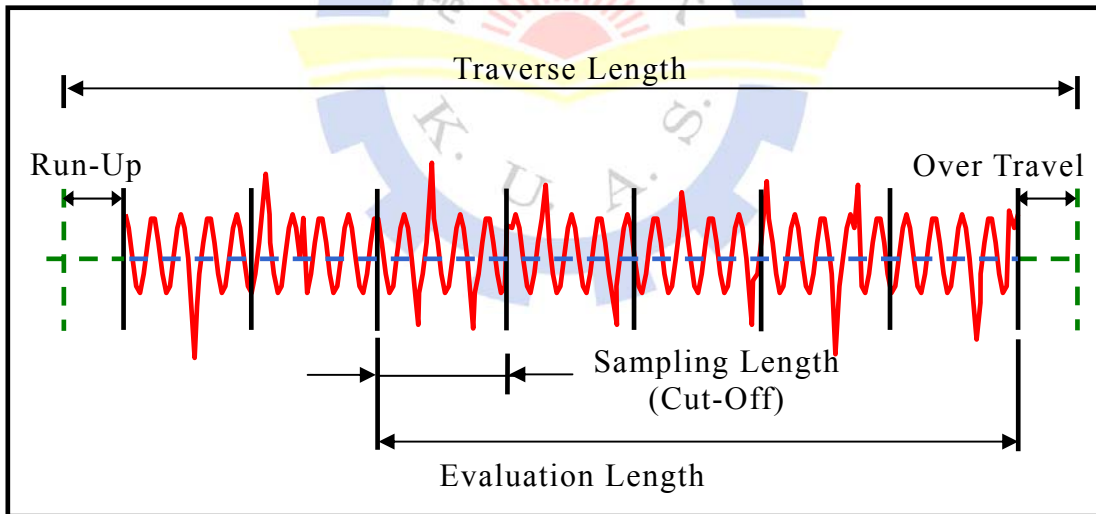


圖 3.4 測定、評估與樣本長度的關係

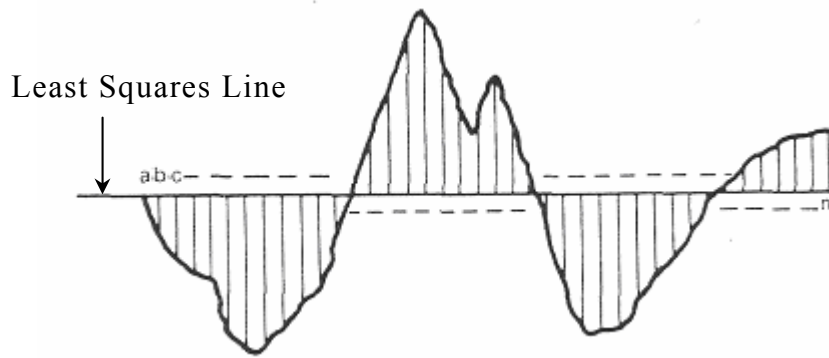


圖 3.5 最小平方平均線(LS Line)



圖 3.6 最小區域線(MZ Line)

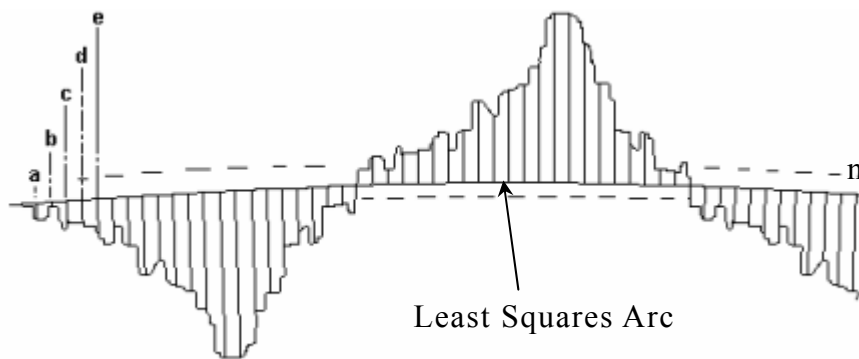


圖 3.7 最小平方弧線(LS Arc)

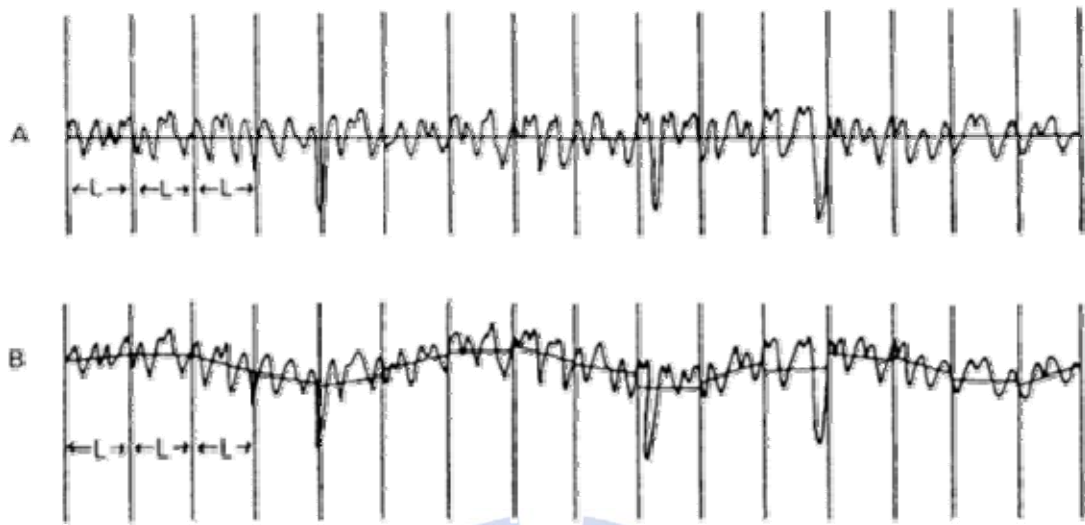


圖 3.8 連續樣本長度的中心線

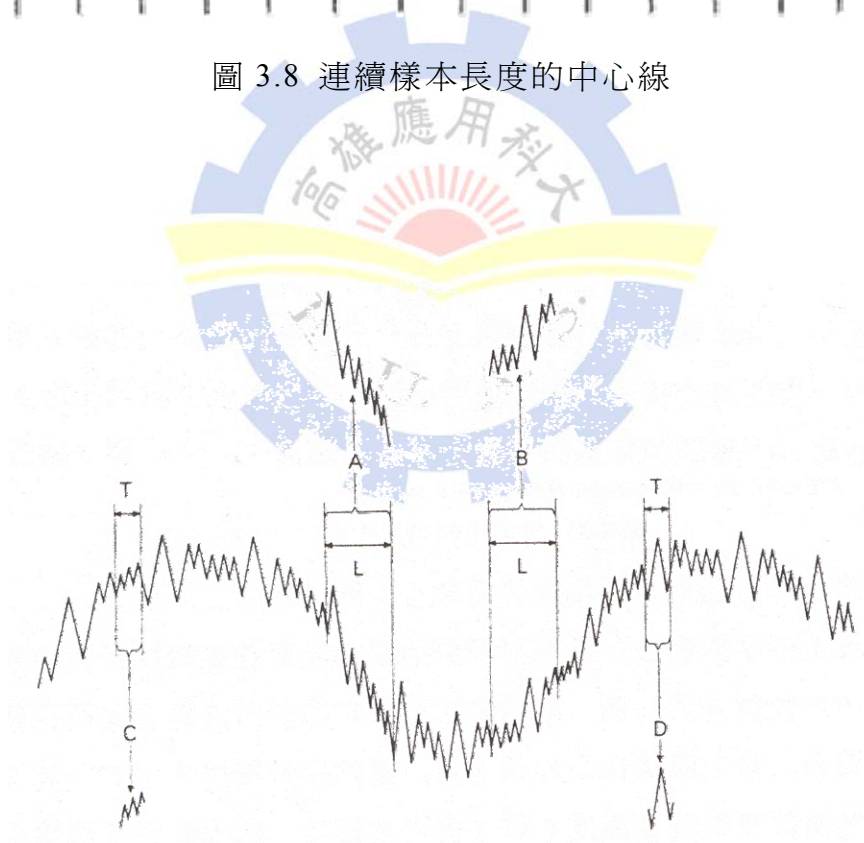


圖 3.9 不同切斷值所產生的結果

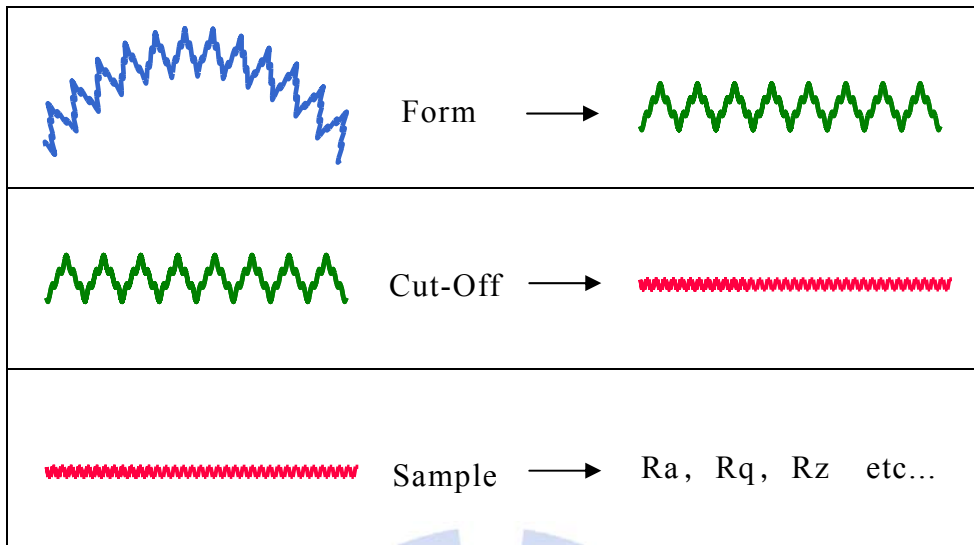


圖 3.10 濾波的過程

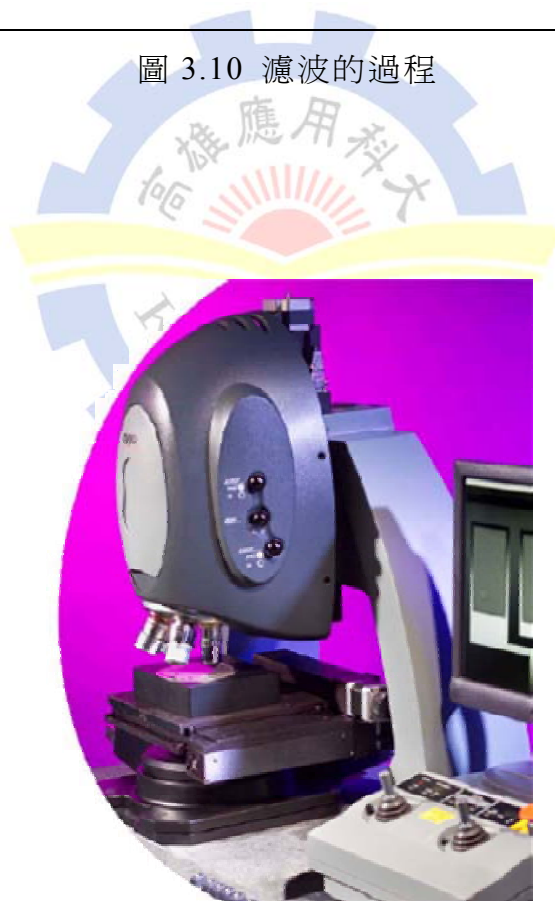


圖 3.11 ZYGO NewView 6300 白光干涉儀

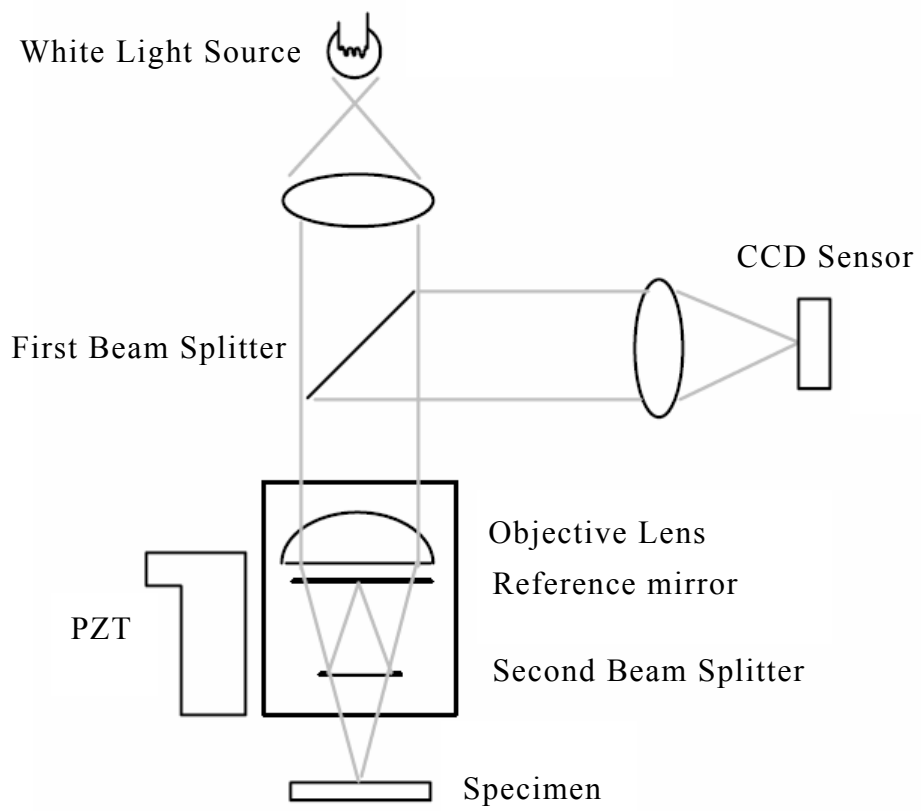


圖 3.12 Mirau 干涉儀光路示意圖



圖 3.13 Sodick-TR30EH 射出成型機

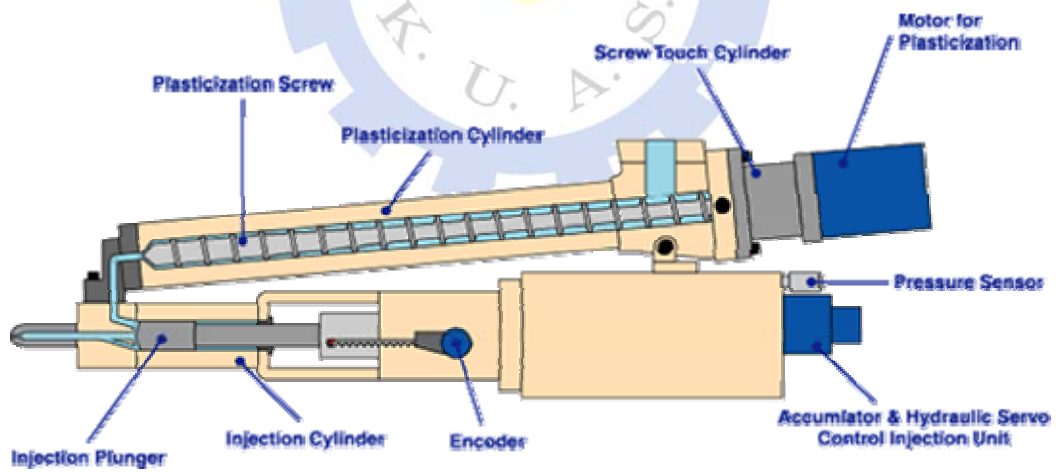


圖 3.14 Sodick-TR30EH 之 V 型機構塑化單元

四、模具設計與成型分析

4.1 模具設計

本研究以設計一曲率為 52.35mm，直徑為 40mm 的平凸透鏡來做成型實驗，模具採用兩板式一模一穴的配置。實體模具如圖 4.1 所示，詳細的模具圖參照附錄 1。

而適切的模具設計是製造良好塑膠產品的先決條件，因為模具設計的好壞不僅影響到產品之品質、產能、操作難易，更直接關係到整個成本結構。以本研究的平凸鏡片為例，由於鏡片重視外觀以及精度，因此在設計，將以這兩個成型重點做為設計的考量，以下將對於模具各個重要的構造來探討。

在流道設計上，由於鏡片為中心厚度較厚的平凸透鏡，因此採用圓形流道的設計，讓塑料在充填時，有較高的流動效率以及較小的流動阻力。在澆口的設計上，由於鏡片為透明且重視外觀的產品，因此在澆口設計採用扇型澆口(Fan Gate)由鏡片的側邊進膠，厚度由 2.2mm 漸薄至 0.6mm，是利用扇型澆口可以均勻且分散在大面積上充填的特點，讓鏡片得到良好的外觀。

而為了避免噴嘴前端在射出後，仍有少量熔融材料殘留，造成下一個成形品有流痕的產生。因此在澆道尾端設置一個冷料井，使前一模留存在射嘴前端較冷的塑料先進入此區，而溫度較均勻的熔融塑料則進入模穴內，使成品成形密度及品質較為均勻，防止成形品的外觀不良。此冷料井亦配合作 Z 型的拉料設計，使在模具打開時能把冷料鉤住，隨頂出行程而向前移動把成品頂出。

另外，在鏡片充填的尾端設置一個溢料部，由於光學鏡面的表面無法放置頂出銷，因此在鏡片後方的溢料部作頂出的功用，以避免傷及鏡片的光學鏡面。

在冷卻水路的設計上，公母模仁的位置皆採用噴泉管(bubbler)的設計方式，即在冷卻道上插入一環狀管，使冷卻液由內管進入後，直衝外管再回到冷卻道上，產生如噴泉般的效應以增加渦流，此方式可比層流多 3 至 5 倍的熱交換。且噴泉管要與鏡片中心軸同線，以避免因熱傳不對稱的問題而造成鏡片的變形。噴泉管內冷卻液的流動如圖 4.2 所示。

綜合上述考量製造與成型的重點，其產品如圖 4.3 所示。

4.2 模流分析

CAE(Computer-Aided Engineering)是結合塑料加工的理論基礎，利用電腦繪圖，快速計算，數據處理及分析的功能，來預告實際成型時會遇到的問題。在傳統上，產品設計完後即馬上開模，經由不斷的試模與修模，不僅耗費時間且增加生產成本，若使用 CAE 分析，即可在電腦上模擬射出成型的過程，使射出成型條件量化，以得到合理的加工條件，提高效率。

4.2.1 成型視窗

本研究使用模流分析軟體 Moldflow MPI 5.0 進行鏡片的分析。首先，先將產品匯入並建立網格模型，如圖 4.4 所示，使用的塑膠材料為 Kuraray PMMA，其建議加工成型的範圍如表 4.1 所示。並選用實驗用的射出成型機 Sodick-TR30EH。在將 Model 建立完成後，決定材料與成型機後，便可進行成型視窗的分析。

圖 4.5 所示，為分析後軟體建議的加工時間和成型溫度範圍；而圖 4.6 所示，為 U 型曲線圖，是在最小射出壓力下的充填時間範圍。經由成型視窗的分析可以得到，在充滿模穴為基準下的加工參數，分別為模溫 63°C、膠溫 228°C 及成型時間 0.8 秒，並取其整數為模溫 60°C 和膠溫 230°C 來進行保壓的分析。

而本研究所成型的透鏡，在充填時的控制方式，將以位置 vs.射速的型態控制，因此將成型時間 0.8 秒以射出速度的型態表示為 60mm/sec。

4.2.2 成型分析

進行充填和保壓分析，以決定適當的保壓時間和保壓壓力，並觀察其結果。圖 4.7 為流動波前圖，採用扇型澆口的設計使熔膠有效的全面充填。圖 4.8 為包風產生的位置，均在產品邊緣，因此空氣可由模仁的間隙有效的逸出。圖 4.9 所示為澆口凝固所需的時間為 3.6 秒，扣除充填的時間 0.8 秒，因此保壓時間至少需要 3 秒的時間才足夠。圖 4.10 為充填完成的最大壓力圖，顯示充填結束後最大壓力為 122MPa，採用最大壓力的百分之 80%

為保壓壓力，因此取其整數為 100MPa。而圖 4.11 所示為冷卻至頂出溫度低於 95°C 時所需的時間，因本研究成型的透鏡為一中心厚度為 5mm 的平凸透鏡，因此中心溫度冷卻最慢，由圖可知至少需要 20 秒的冷卻時間才足夠。

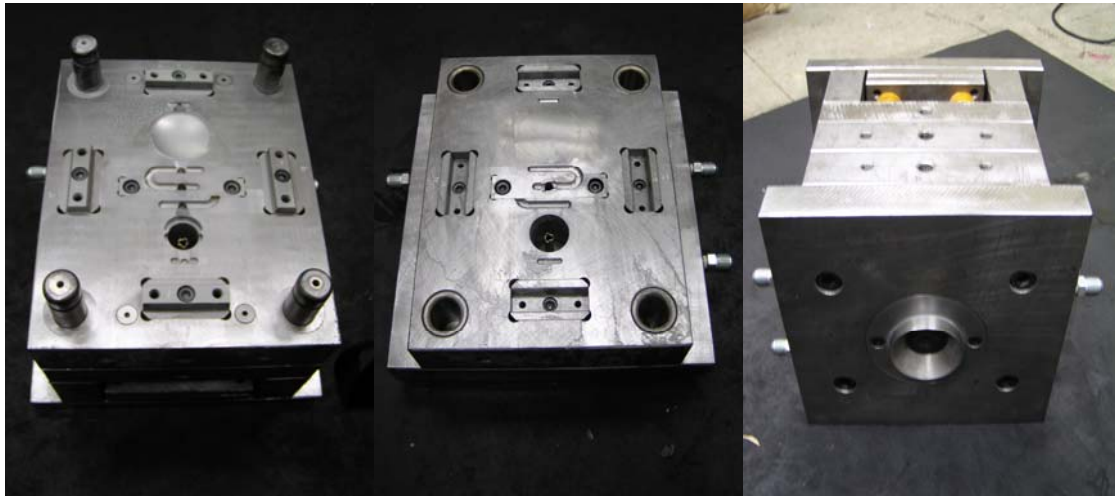
經由成形視窗、充填以及保壓分析後，所得的成形初步參數，如表 4.2 所示。

表 4.1 Kuraray PMMA 建議成型參數

模具溫度	50~90°C
熔膠溫度	210~230°C
頂出溫度	95°C
最高剪切率	21000 1/sec
最高切應力	0.41MPa

表 4.2 模擬的成型參數

保壓壓力	100MPa
保壓時間	3sec
熔膠溫度	230°C
模具溫度	60°C
射出速度	60mm/sec
冷卻時間	20sec



(a)公模

(b)母模

(c)模具組立圖

圖 4.1 模具實體圖

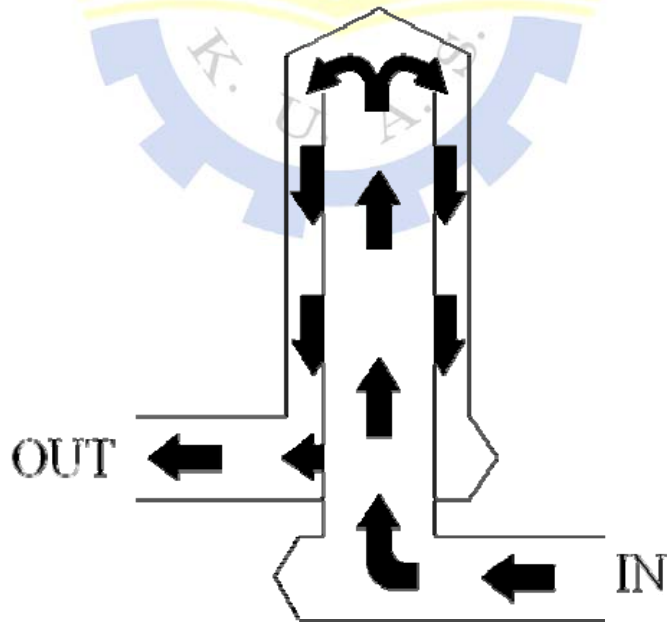


圖 4.2 噴泉管內冷卻液的流動圖

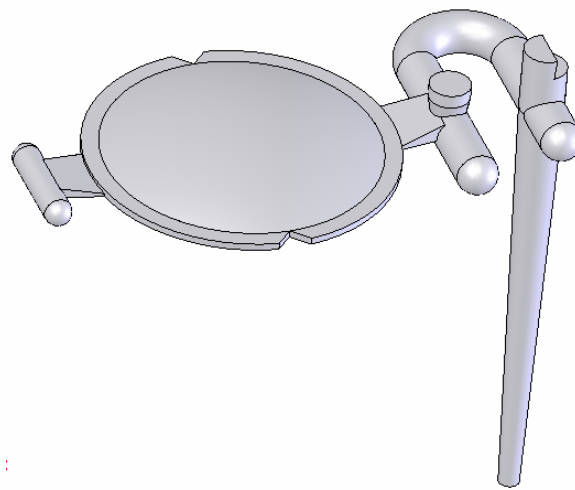


圖 4.3 產品設計圖

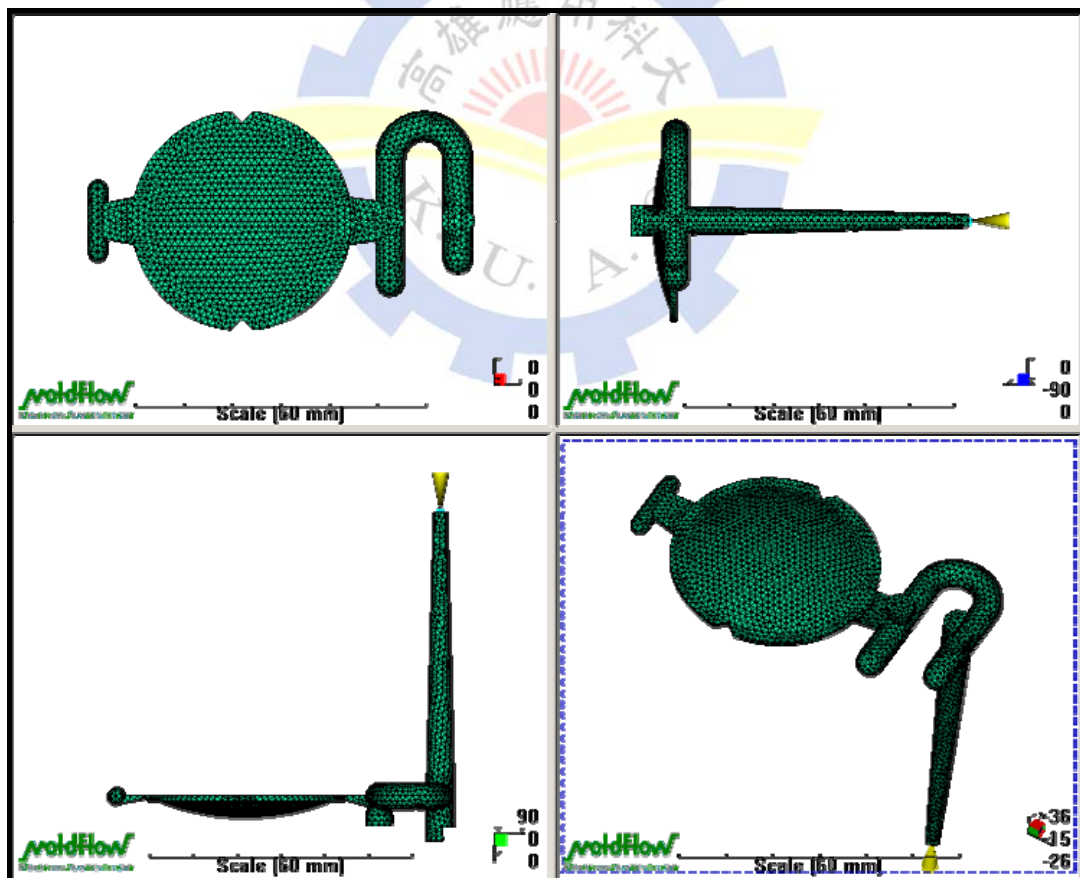


圖 4.4 網格模型

Limits for calculation of preferred molding window		
Shear rate limit factor	=	1.00
Shear stress limit factor	=	1.00
Flow front temperature drop limit	=	10.00 C
Flow front temperature rise limit	=	10.00 C
Injection pressure limit factor	=	0.90
Clamp force limit factor	=	0.90
Maximum Design Clamp Force	30.00 tonne	
Maximum Design Injection Pressure	:	262.00 MPa
Recommended Mold Temperature	:	63.33 C
Recommended Melt Temperature	:	228.95 C
Recommended Injection Time	:	0.8037 s

圖 4.5 建議加工時間和成型溫度

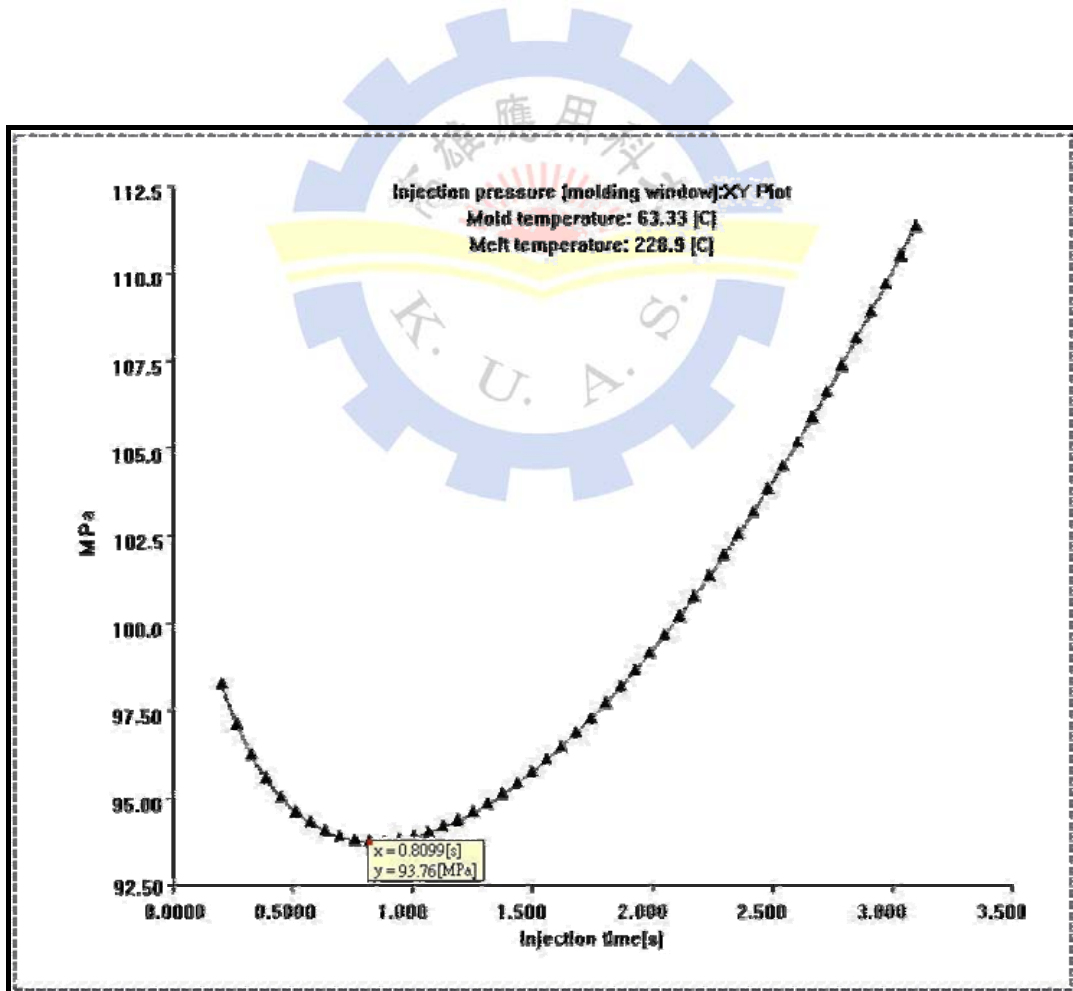


圖 4.6 U 型曲線圖

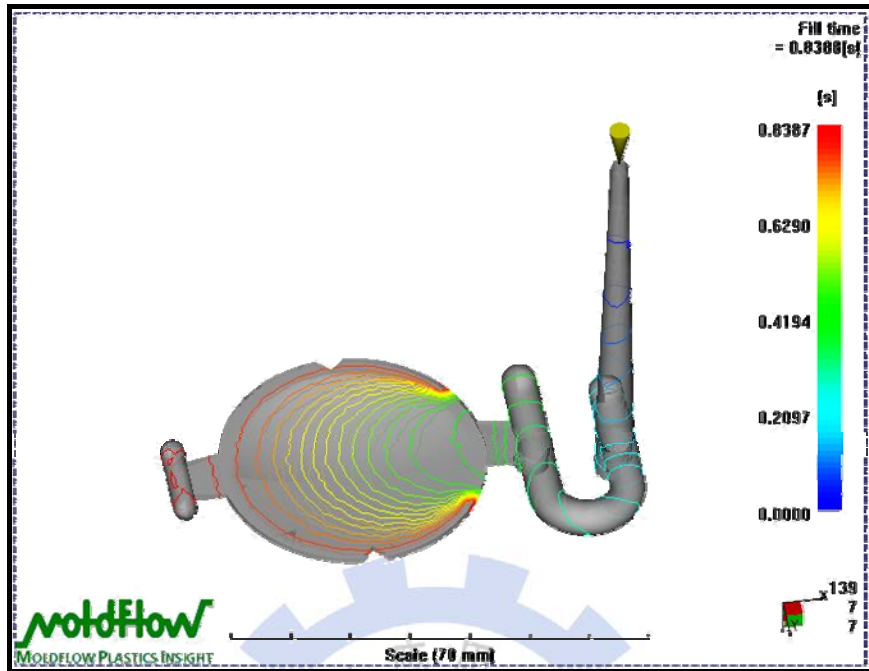


圖 4.7 流動波前圖

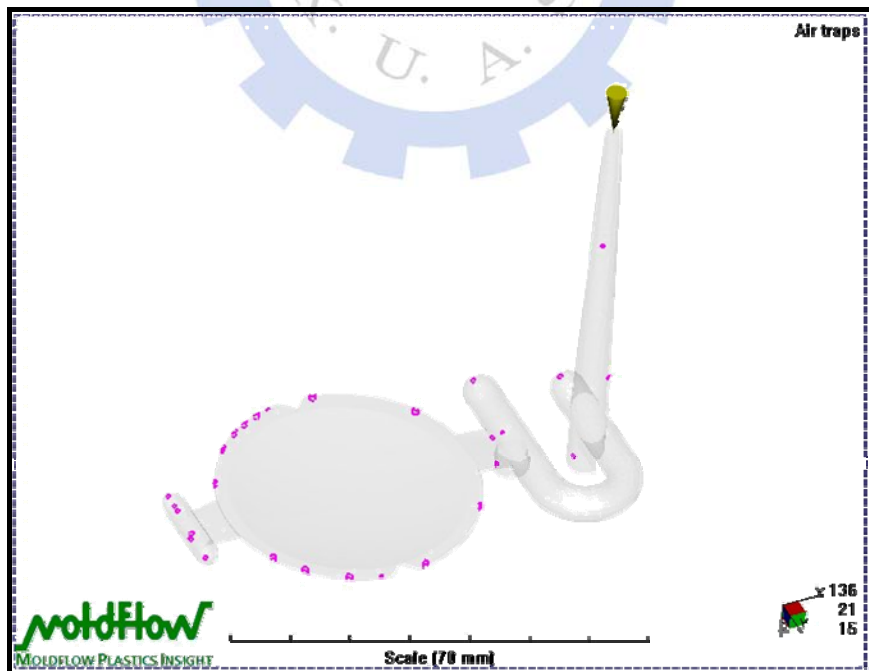


圖 4.8 包風產生位置

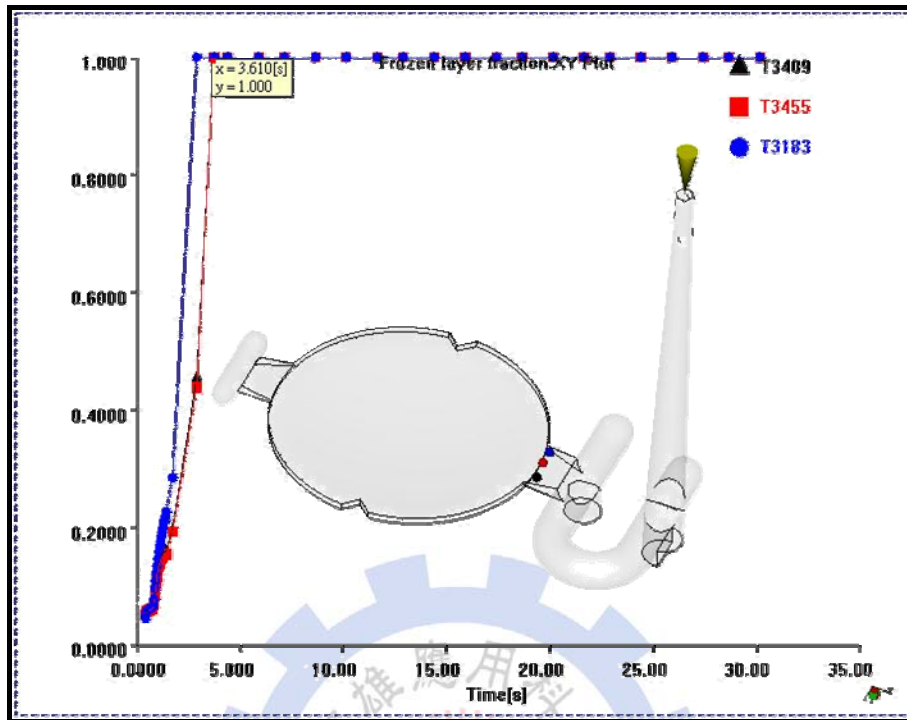


圖 4.9 澆口的凝固時間

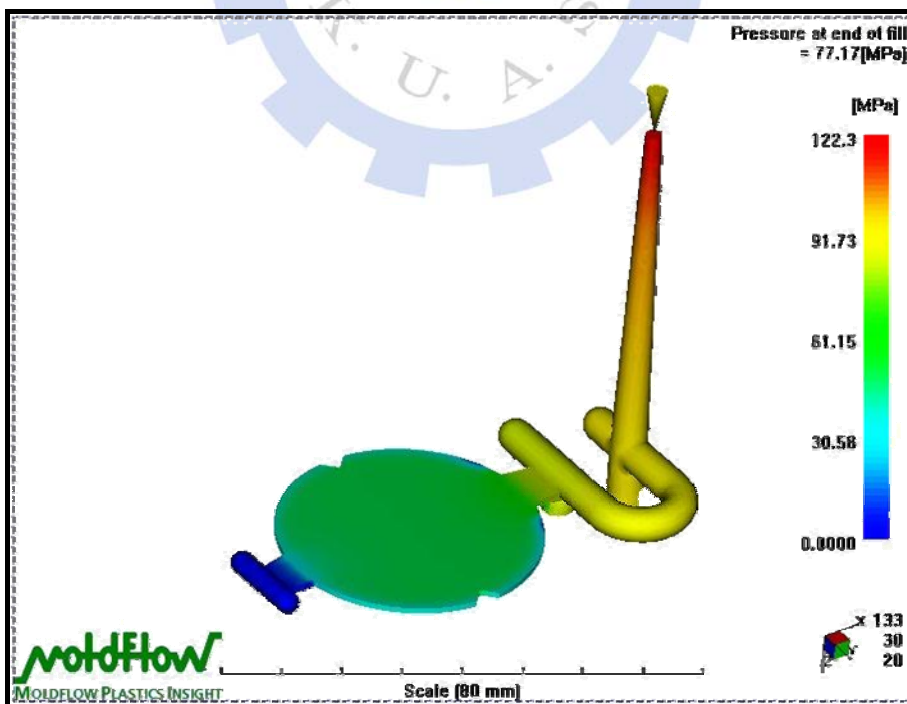


圖 4.10 充填結束最高壓力

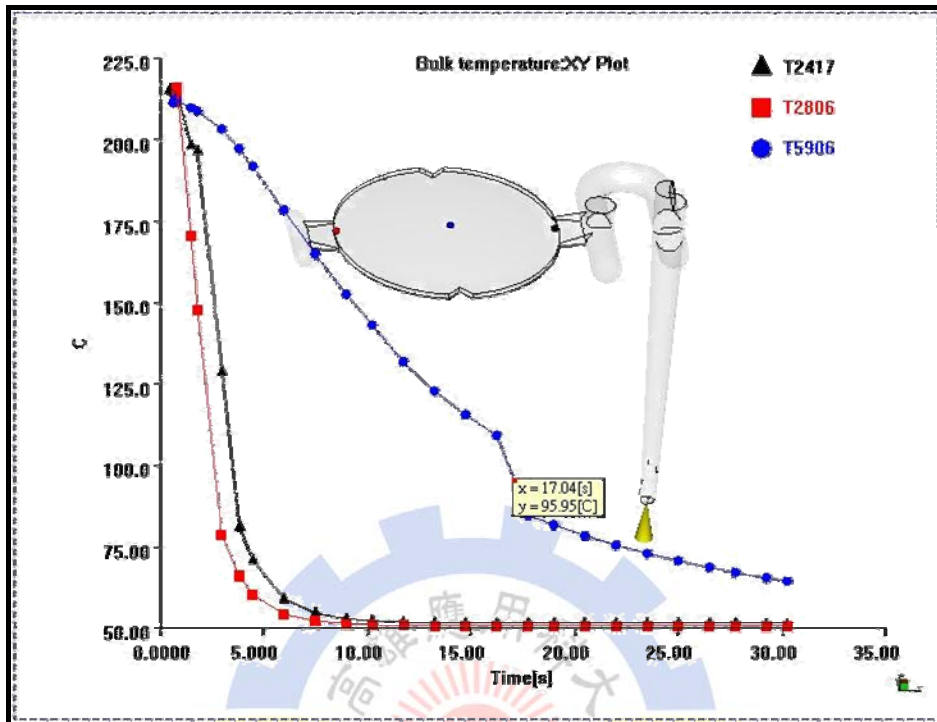


圖 4.11 冷卻所需的時間

五、光學鏡片成形實驗與檢測

5.1 實驗流程

圖 5.1 即為本研究實驗流程圖。本研究以一曲率為 52.35mm，直徑為 40mm 平凸透鏡，作成型量測實驗，所使用的塑膠材料為 Kuraray 的 PMMA 材料。由於射出成型的塑膠光學鏡片，其模具設計與成型參數的改變，均對鏡片成型後有關鍵性的影響。因此，本研究分為三個部份來進行探討：

- (1) 以電腦模流分析軟體(CAE)Moldflow MPI 5.0 來找出合理的成型參數，其中探討成型參數為模溫、膠溫、保壓壓力、保壓時間、射出速度和冷卻時間的選定，也對成型時可能會發生的缺陷預先探討，並同步與模具設計進行檢討。
- (2) 進行射出成型實驗，以模擬分析所得的成型參數為原始設計，再個別改變參數進行成型，改變的參數為膠溫、模溫、保壓壓力、保壓時間以及射出速度。
- (3) 模仁與成型後的鏡片，分別利用表面輪廓儀與白光干涉儀來進行量測，以鏡片成型曲率與表面粗糙度作為品質特性，找出影響其變化的成型參數。

5.2 參數條件設定

本研究在射出成型的參數條件設定上，以利用表 4.2 模流分析軟體所得的成型條件為原始固定參數，再分別對膠溫、模溫、保壓壓力、保壓時間以及射出速度做單一因子的實驗，改變的參數如表 5.1，而固定的參數如表 5.2 所示，成型的鏡片如圖 5.2。

由於塑膠光學鏡片有厚薄不同的外形，容易因收縮造成尺寸偏差，但難以判斷這些偏差對微小特徵的表面粗糙度是否產生影響。因此在製作上除了要求好的外形輪廓尺寸精度，其產品複製的精密度也是相當關鍵的因素。故本實驗每個條件均成型三個鏡片，以檢測其曲率和粗糙度的再現性。

5.3 鏡片的檢測

鏡片經由射出成型後，要如何去量測出真實的精度是相當重要的。本研究鏡片的量測，分別利用 Taylor Hobson 表面輪廓儀以及 ZYGO Newview 白光干涉儀來進行表面曲率和粗糙度的量測，並對兩種量測的結果進行比對。

在表面輪廓儀的量測上，是以探針在待測物上刮上量測的長度，本實驗每個鏡片共量測兩個線段，如圖 5.3 所示，分別為 X-X 和 Y-Y 兩個線段，並且以鏡片中心作為基準，量測的評估長度為 4.8mm，而切斷值(Cut-Off)取 0.8mm。

在 Cut-Off 值的選用上，前述已提過選用適當的 Cut-Off 值，將對表面粗糙度的評估有很大的影響。如圖 5.4~5.7 所示，為本實驗量測後選用不同的 Cut-Off 值濾波前後的比較，當 Cut-Off 值為 0.08 mm 和 0.25 mm 時，每條樣本長度上劃其中心線，將其連成線段後，與原本的表面的輪廓貼近，會造成對粗糙度高度上的誤解；而 Cut-Off 值為 0.8 mm 時，在此長度內波紋的效應極少，足以顯示整個粗糙的型式；在 Cut-Off 值為 2.5 mm 時，很明顯的波紋將被視為粗糙度的一部份。綜合上述分析的結果，本研究 Cut-Off 值的選用上取 0.8 mm。

在白光干涉儀的量測上，量測時同樣以鏡片中心位置為基準，量測的面積為 1.41×1.06 mm，解析度為 640×480 圖元。

本研究所使用的鏡片由於中間厚度較厚，此部位容易受塑膠收縮的影響，造成中心曲率大於設計值。如圖 5.8 所示，在同樣量測距離為 X 的情形下，左邊為原設計值 R52.35 mm 的高度，右邊為收縮後的曲率半徑高度，由於收縮後的高度較低，故曲率半徑較大，因此造成 Y 值的高度落差，導致形狀精度不良，所以，檢測曲率是否符合設計值亦是檢測的重點。

表 5.1 單因子成型參數設定

保壓壓力 MPa	保壓時間 sec	膠溫 ℃	模溫 ℃	射速 mm/sec
40	0.5	210	30	40
60	1.0	220	40	50
80	1.5	230	50	60
100	2.0	240	60	70
120		250	70	80
140			80	
			90	

表 5.2 固定參數

保壓		射速/位置				
2sec	1sec	9.5 mm	10.5 mm	13 mm	45 mm	50 mm
25MPa	100MPa	40 mm/s	50 mm/s	60 mm/s	45 mm/s	

膠溫	模溫	冷卻	V-P 壓力	最大壓力	最小緩衝	充填時間	循環時間
230℃	60℃	20sec	98MPa	117MPa	4.19mm	0.79sec	33sec

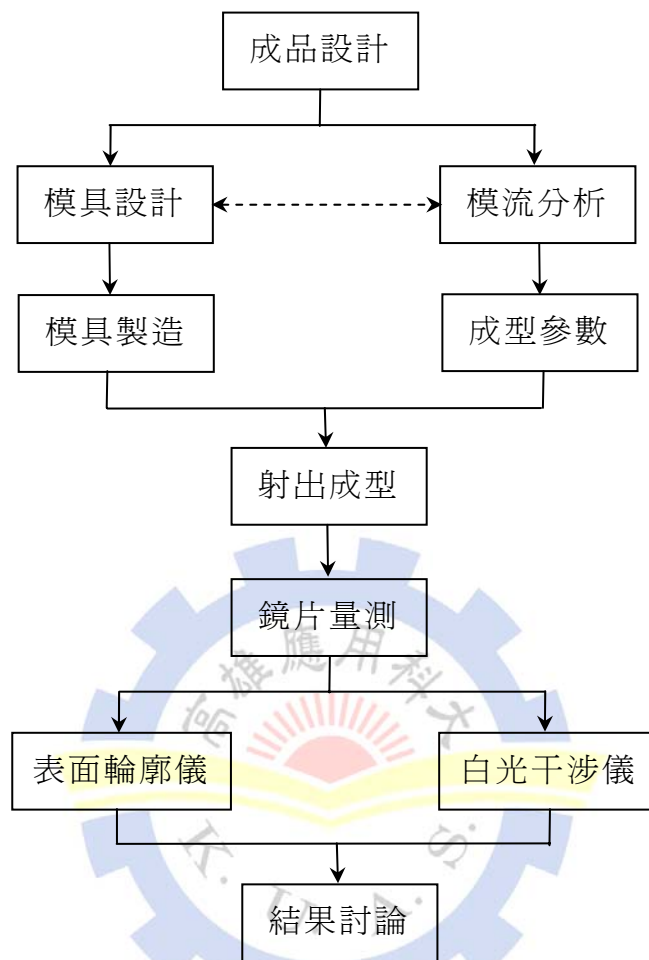


圖 5.1 實驗流程圖

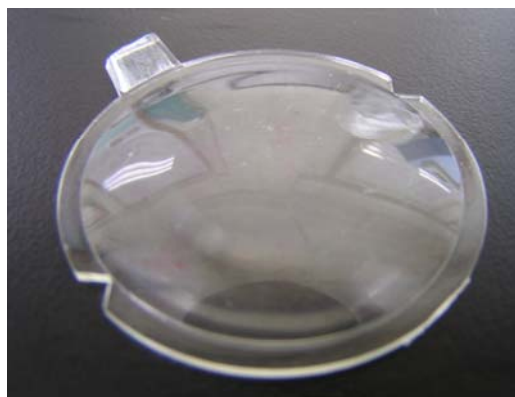


圖 5.2 射出鏡片圖

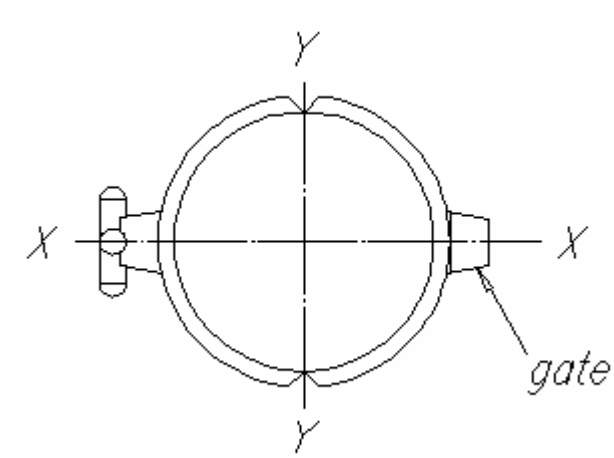
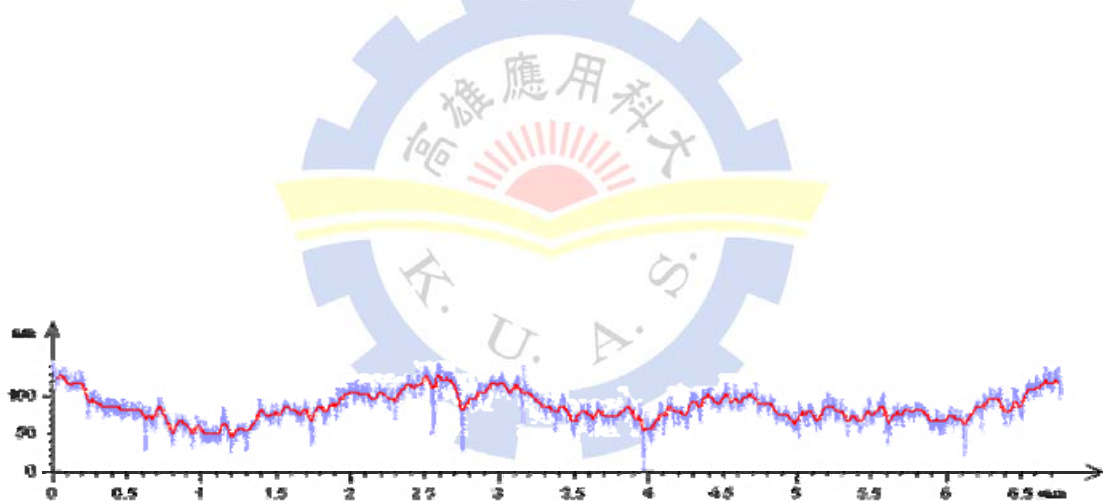
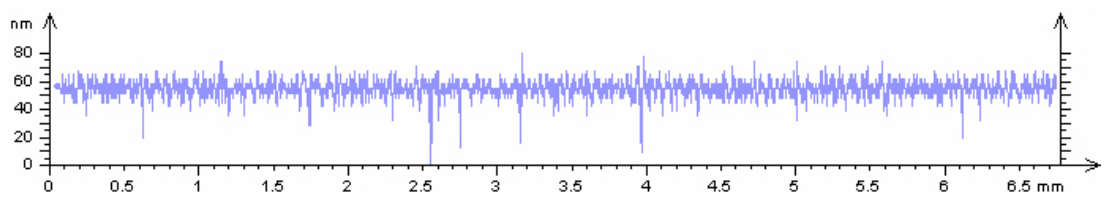


圖 5.3 表面輪廓儀量測的軸線

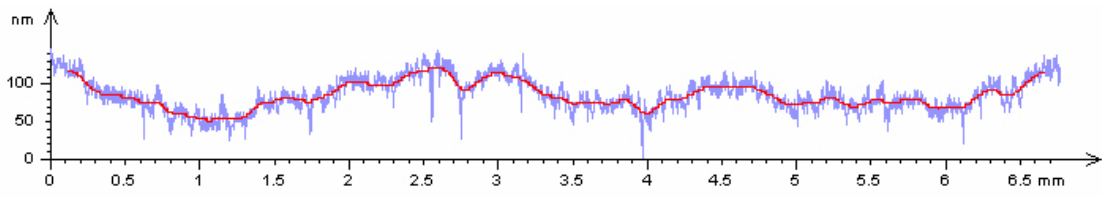


(a) 濾波前

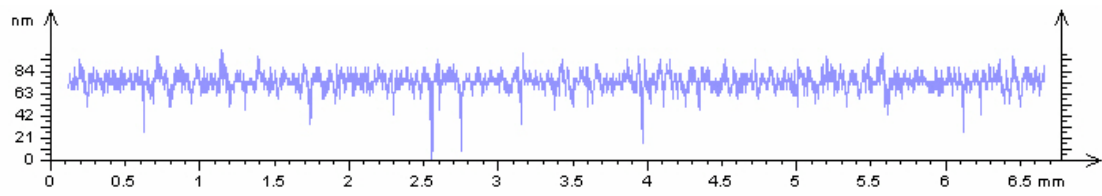


(b) 濾波後

圖 5.4 Cut-Off 0.08 mm 濾波前與濾波後

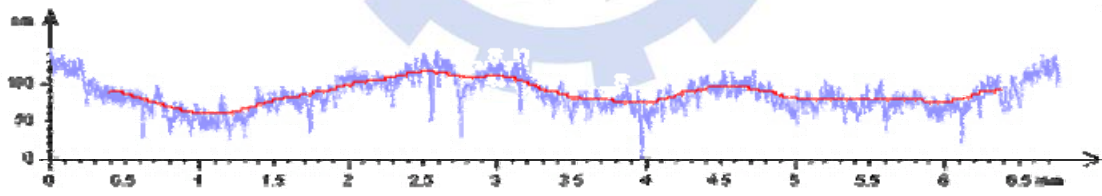


(a) 濾波前

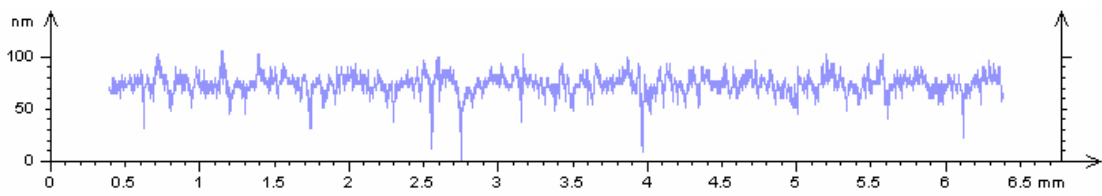


(b) 濾波後

圖 5.5 Cut-Off 0.25 mm 濾波前與濾波後

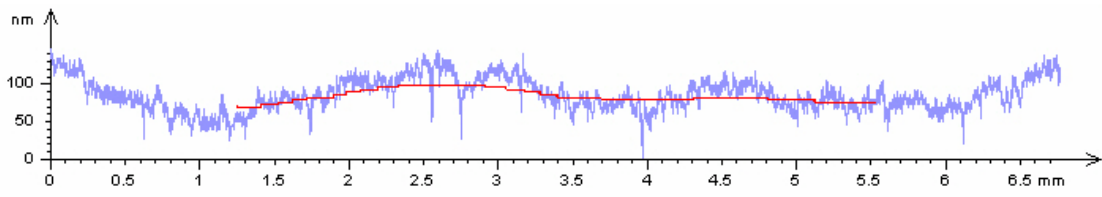


(a) 濾波前

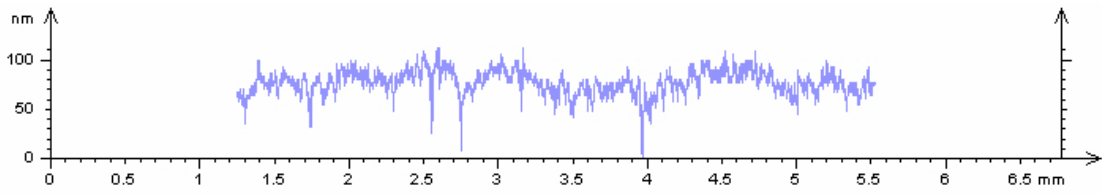


(b) 濾波後

圖 5.6 Cut-Off 0.8 mm 濾波前與濾波後



(a) 濾波前



(b) 濾波後

圖 5.7 Cut-Off 2.5 mm 濾波前與濾波後

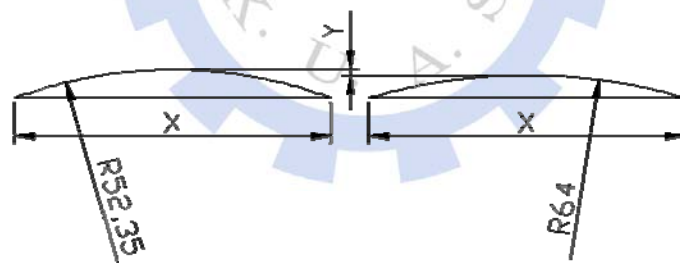


圖 5.8 鏡片收縮造成曲率半徑與高度的變化

六、結果與討論

6.1 模仁量測結果

雖然塑膠射出的鏡片模具設計不複雜，但是精度的要求卻比一般的模具高出許多，因為模仁的精度是決定成品精度的重要因素。也就是說，模具模仁的加工成了最主要的關鍵點，因為模仁做的不好，所生產出來的鏡片的精度絕對不佳。所以，加工後的模仁必須檢測曲率與粗糙度，確保模仁與鏡片的精密度之間的關係。

圖 6.1、6.2 所示，為分別由表面輪廓儀以及白光干涉儀量測模仁的結果，將其數據結果整理如表 6.1 所示。由量測的結果與原始設計的曲率 R 值 52.35mm 比較，差異極小，顯示加工後的模仁有良好的精度。

6.2 表面輪廓儀量測結果

本研究由於每個成型條件均成型三個鏡片，以檢測其曲率和表面粗糙度的再現性。因此，每個成品量測完成後，再將同條件的三個量測值取其平均數，來與各個不同成型條件的值比較。

附錄二即為每個成品量測的數據資料，將其 R_a 、 RMS 、曲率的數據平均整理後如表 6.2~6.6 所示，並將其繪製成圖 6.3~6.12 來進行比較。

(1) 保壓壓力對曲率與粗糙度的影響

由圖 6.3 顯示可知，保壓壓力從 40MPa 增加至 140MP 時，其表面粗糙度 R_a 值整體差異僅 3 nm 之內，並無明顯的變化。而圖 6.4 可知，隨著保壓壓力的增加，鏡片的曲率越小，尤其在保壓壓力為 140MPa 時，曲率半徑為 53.12mm，與原設計值 $R52.35mm$ 異甚小，表示藉由保壓壓力的增加使鏡片收縮減少，越趨近設計值曲率。

由上述結果可知，保壓壓力的增加可以補償塑料，增加模穴內塑料的密度，避免鏡片表面的凹陷，使鏡片曲率能符合設計值，但對於表面粗糙度的變化沒有顯著的影響，所以，曲率與表面粗糙度之間並沒有直接影響的關係。

(2) 保壓時間對曲率與粗糙度的影響

由圖 6.5 可知，保壓時間為 0.5 秒時，粗糙度明顯不佳，在保壓時間足夠的 1 至 2 秒之間，有較小的粗糙度，但 Ra 值差異在 4nm 內並不大。而圖 6.6 顯示，當保壓時間同樣在 0.5 秒時，由於保壓時間不足的情形下，曲率相當大，表示收縮甚鉅；可見太短的保壓時間，即在澆口尚未凝固就停止保壓，會導致模穴內壓比流道的壓力大，因此塑料會有逆流現象而使鏡片表面產生凹陷。另外，增加保壓時間對粗糙度無明顯影響。

(3) 膠溫對曲率與粗糙度的影響

由圖 6.7 可知，當膠溫為 240°C 及 250°C 較高的溫度時，粗糙度明顯增加，且 RMS 值高達 48nm，表示高膠溫的表面具有高波峰或高波谷的特徵，而膠溫在 210~230°C 時，有較小的粗糙度，且 Ra 值差異在 4nm 內，變化不大。

圖 6.8 顯示，膠溫在 230°C 時曲率最小，太高或太低的膠溫曲率明顯變大，此原因在高膠溫的部份，其需要較長的冷卻時間以避免收縮，而本實驗成型時冷卻時間為固定 20 秒，因此，在使用高膠溫的情形下，不足夠的冷卻時間為收縮的主因。低膠溫的部份，其流動性較差、充填阻力較大，導致成形精度不良。

(4) 模溫對曲率與粗糙度的影響

由圖 6.9 可知，模溫由 30°C 提高至 90°C 時，表面粗糙度明顯的降低，尤其在模溫為 90°C 時，Ra 值達 9.5nm，與模仁值相當接近，且對高波峰和高波谷較敏感的 RMS 值而言，亦減少為 15.12nm。而由圖 6.10 顯示，模溫的增加也使曲率變小，尤其在模溫 80°C 時，曲率半徑為 53.53mm，與原設計值 R52.35mm 近。

由上述可知，在低模溫的時候，熔融的塑料與模壁處有較高的溫差，此時熱傳速率快，模具表面冷卻也較快，保壓無法有效補償；反之在高溫時，模溫料溫相差小，模壁表面冷卻慢，經由保壓的補償使表面有良好的轉寫性。

(5) 射速對曲率與粗糙度的影響

由圖 6.11 可知，顯示低於射速 60mm/sec 時，粗糙度明顯增加，而較高的射速在 60~80mm/sec 時，粗糙度降低至 16nm 上下，差異僅在 1nm 內。另外圖 6.12 亦顯示，射速低於 60mm/sec 時，曲率較大，形狀精度較差，而射速在 60~80mm/sec 時有較低的曲率，其中又以射速在 60mm/sec 最佳。可見射出速度加快，可以使塑料在還未冷卻前，提早充滿模穴，改善模具內壓力傳送，同時模具內熔膠溫度分佈較為均勻，使鏡片收縮較一致，有較佳的曲率和粗糙度。

6.3 白光干涉儀量測結果

本研究使用白光干涉儀量測同條件的三個鏡片成品，量測其曲率和表面粗糙度。與表面輪廓儀一樣，三個成品量測完成後取其平均數，來與各個不同成型條件的值比較。

附錄三即為每個成品量測的數據資料，將其 Ra、RMS、曲率的數據平均整理後如表 6.2~6.6 所示，並將其繪製成圖 6.3~6.12 來進行比較。

(1) 保壓壓力對曲率與粗糙度的影響

由圖 6.3 顯示，表面粗糙度排除保壓不足的 40MPa 外，其 Ra 值差異少於 2nm，無明顯的變化。而圖 6.4 顯示，隨著保壓壓力的增加曲率越小，在 140MPa 時曲率為 52.93mm，趨近設計值曲率 52.35mm，表示保壓壓力的增加使鏡片收縮減少。

(2) 保壓時間對曲率與粗糙度的影響

由圖 6.5、圖 6.6 顯示，保壓時間在不足的 0.5 秒時，有較大的粗糙度值，且曲率明顯變大，表示鏡片明顯的收縮。而保壓時間在 1~2 秒時，粗糙度與曲率的變化不大。

(3) 膠溫對曲率與粗糙度的影響

由圖 6.7 顯示，膠溫在 210~240°C 時，Ra 值的變化量不大，但在 240°C 和 250°C 的高膠溫時，RMS 值明顯升高，表示高溫具有高波峰和

高波谷的特徵，而白光干涉儀在高溫的量測值明顯低於輪廓儀的值，可見輪廓儀在具有高波峰和高波谷的特徵時，其線段量測的位置在高波峰波谷處，容易造成值的偏高，而白光干涉儀全區域的測量，可排除這種誤差的產生。

而圖 6.8 顯示，在材料建議加工的溫度範圍內，高溫 250°C 和低溫 210°C 的膠溫會使曲率明顯變大，成形精度不良。

(4) 模溫對曲率與粗糙度的影響

由圖 6.9 顯示，模溫從 30°C 提高至 90°C，表面粗糙度明顯降低。尤其在模溫 90°C 時，Ra 值為 10.43nm。而圖 6.10 顯示，模溫在 80~90°C 時，與鏡片設計曲率值較接近，尤其模溫在 80°C 時，曲率為 53.79mm。因此，使用較高的模具溫度，對降低表面粗糙度與曲率有相當顯著的影響。

(5) 射速對曲率與粗糙度的影響

由圖 6.11 顯示，射速在 60~80mm/sec 時有較低的粗糙度，但差異量僅在 1nm 內，可見改變射速對降低粗糙度無顯著的影響。而圖 6.12 顯示，射速在 60mm/sec 時，鏡片曲率最低，比低射速有較佳的形狀精度。可見較高的射出速度，有利於獲得較佳的曲率。

6-4 模仁與鏡片表面特徵的比較

利用白光干涉儀觀測模仁與塑膠光學鏡片的 3 維表面特徵，如圖 6.13 所示，可明顯看出塑膠鏡片的成型表面特徵，呈現許多凹陷的地方，有相當大的波谷產生，和模仁平整的表面相差甚大。

而塑膠表面特徵具有這些波谷的特徵，由 RMS 值可以明顯的觀察出，因為 RMS 值對於高波峰或高波谷的現象有加權的作用。另外，從實驗數據的 RMS 值也可以明顯觀察出，藉由成形參數的改變，會影響這些波谷的產生，而影響 RMS 值的大小。

表 6.1 模仁量測結果

	Ra(nm)	RMS(nm)	曲率(mm)
表面輪廓儀	8.5	10.9	52.36
白光干涉儀	8.71	11.30	52.18

表 6.2 不同保壓壓力的量測結果

保壓壓力 (MPa)	表面輪廓儀			白光干涉儀		
	Ra (nm)	RMS (nm)	曲率 (mm)	Ra (nm)	RMS (nm)	曲率 (mm)
40	17.3	24.3	63.99	20.93	33.38	64.49
60	14.6	20.9	66.12	16.04	25.90	66.59
80	17.0	24.4	66.40	16.29	27.88	65.06
100	16.2	26.3	58.24	17.63	32.68	61.05
120	14.2	21.8	55.70	14.75	31.19	56.52
140	14.4	22.5	53.12	17.52	31.33	52.93

表 6.3 不同保壓時間的量測結果

保壓時間 (sec)	表面輪廓儀			白光干涉儀		
	Ra (nm)	RMS (nm)	曲率 (mm)	Ra (nm)	RMS (nm)	曲率 (mm)
0.5	27.1	37.5	128.24	21.77	35.17	125.44
1.0	16.2	26.3	58.24	17.63	32.68	61.05
1.5	20.2	29.9	67.75	19.48	30.92	67.07
2.0	19.4	28.7	61.06	18.53	33.63	62.34

表 6.4 不同熔膠溫度的量測結果

熔膠溫度 (°C)	表面輪廓儀			白光干涉儀		
	Ra (nm)	RMS (nm)	曲率 (mm)	Ra (nm)	RMS (nm)	曲率 (mm)
210	20.5	32.2	72.70	20.52	30.60	74.85
220	18.5	30.3	63.63	17.06	34.20	65.14
230	16.2	26.3	58.24	17.63	32.68	61.05
240	34.3	49.7	76.50	19.83	39.21	68.73
250	35.4	48.9	80.13	24.14	46.13	91.87

表 6.5 不同模具溫度的量測結果

模具溫度 (°C)	表面輪廓儀			白光干涉儀		
	Ra (nm)	RMS (nm)	曲率 (mm)	Ra (nm)	RMS (nm)	曲率 (mm)
30	29.4	52.7	57.87	29.68	54.94	59.06
40	25.3	42.2	59.63	29.49	50.86	61.27
50	22.2	33.3	58.82	22.35	40.23	61.53
60	16.2	26.3	58.24	17.63	32.68	61.05
70	17.0	22.8	60.02	15.68	23.05	59.19
80	13.6	18.0	53.53	11.56	18.23	53.79
90	9.5	15.1	54.22	10.43	16.57	54.68

表 6.6 不同射出速度的量測結果

射出速度 (mm/sec)	表面輪廓儀			白光干涉儀		
	Ra (nm)	RMS (nm)	曲率 (mm)	Ra (nm)	RMS (nm)	曲率 (mm)
40	23.7	35.1	78.51	19.75	32.55	83.02
50	26.8	36.2	86.45	20.60	32.13	86.68
60	16.2	26.3	58.24	17.63	32.68	61.05
70	15.6	24.5	62.35	18.13	36.62	63.77
80	16.2	22.6	61.20	18.28	35.53	64.29

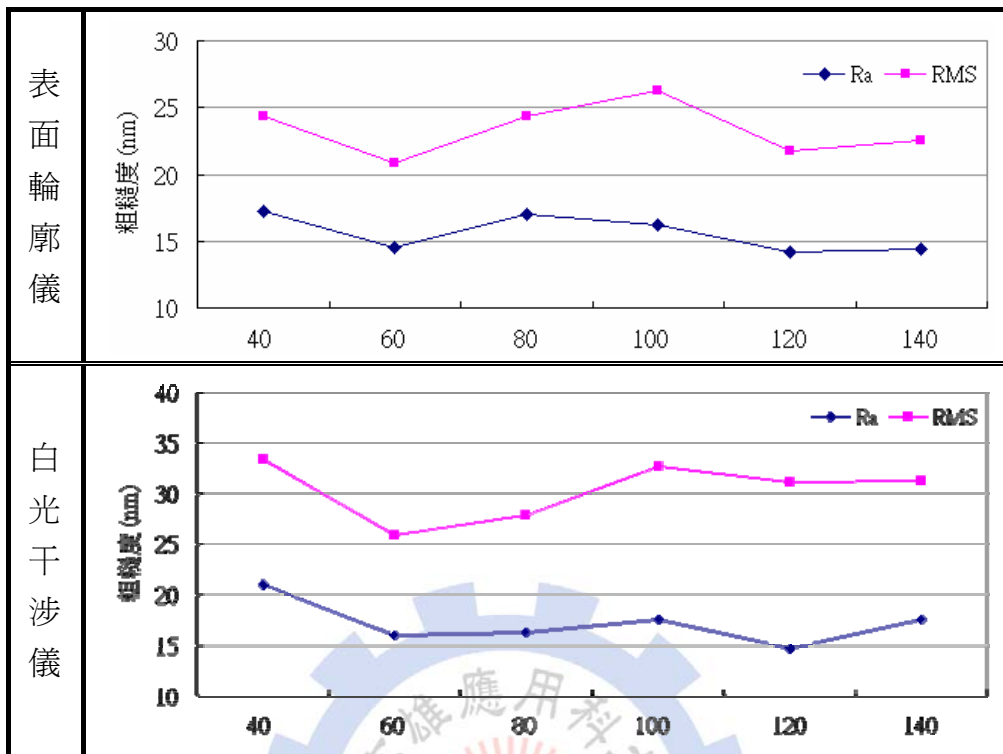


圖 6.3 保壓壓力對粗糙度的影響

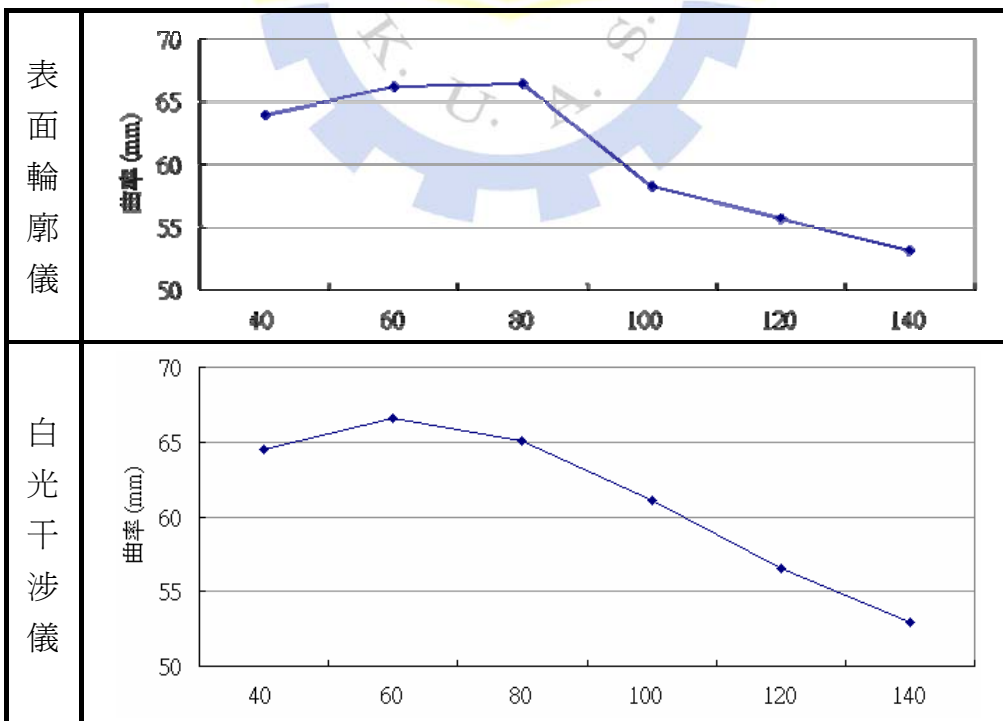


圖 6.4 保壓壓力對曲率的影響

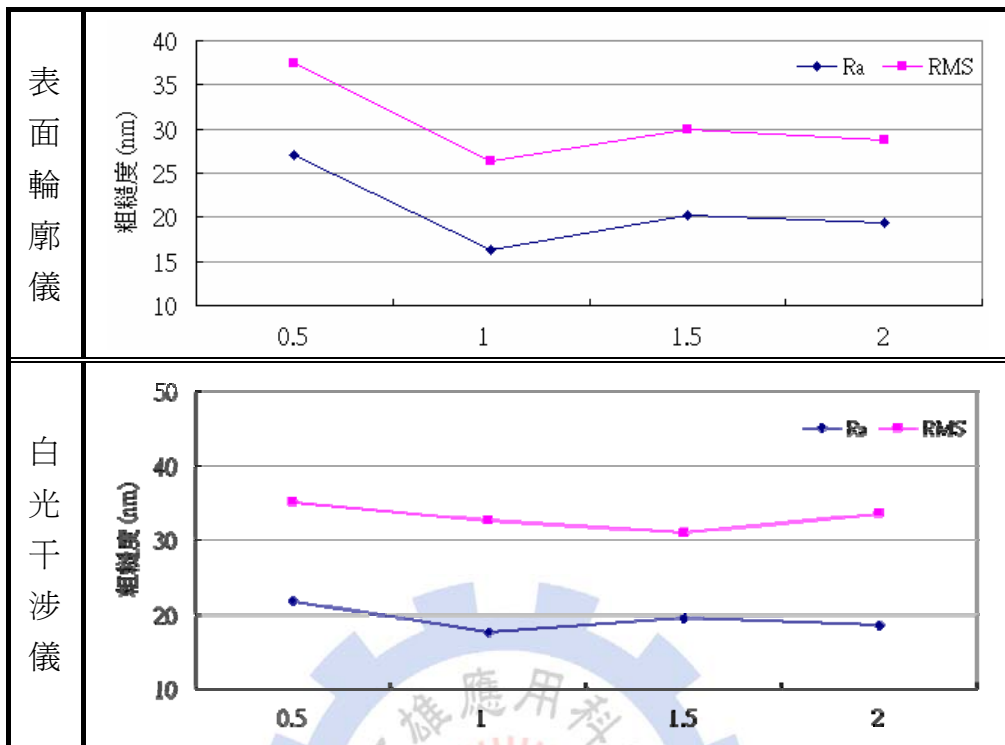


圖 6.5 保壓時間對粗糙度的影響

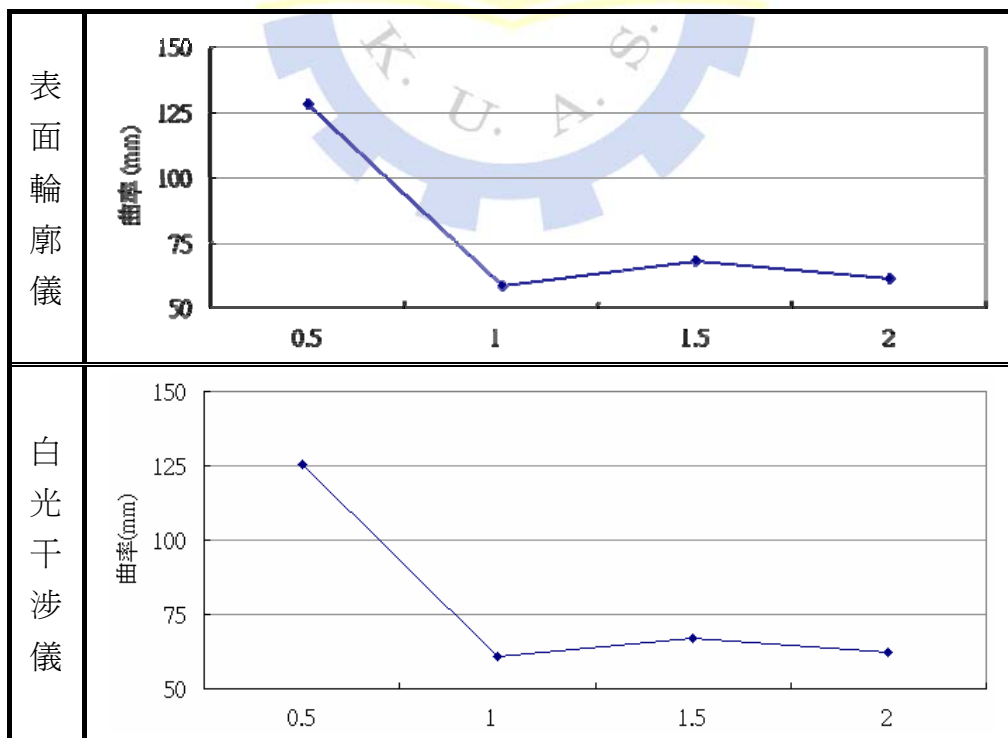


圖 6.6 保壓時間對曲率的影響

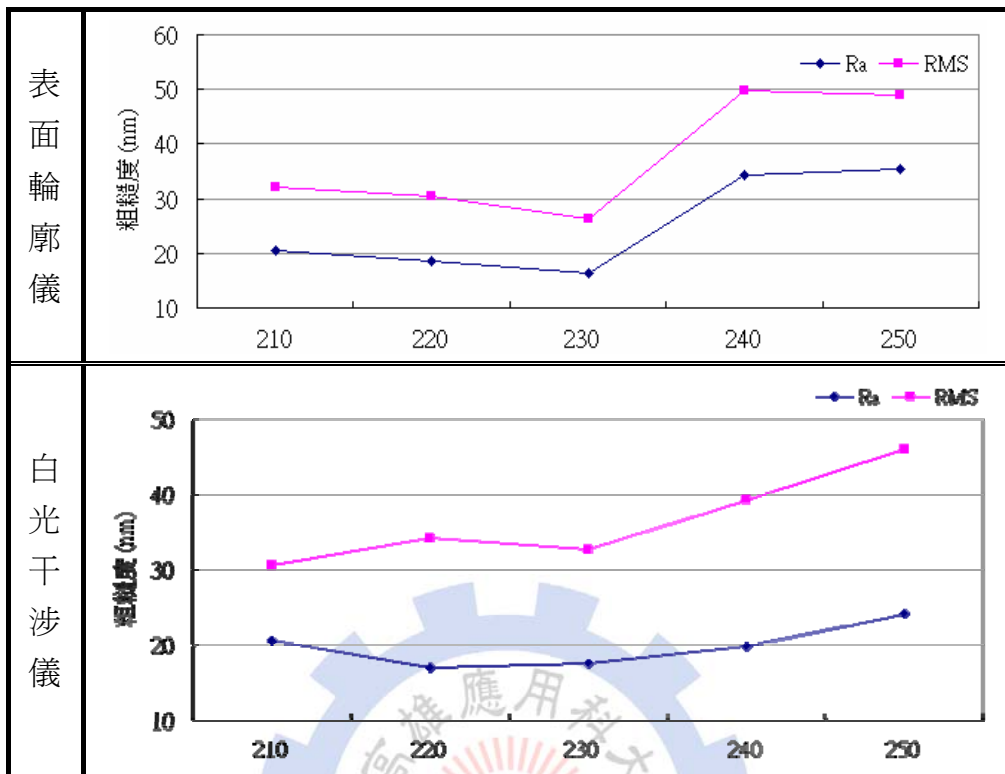


圖 6.7 膠溫對粗糙度的影響

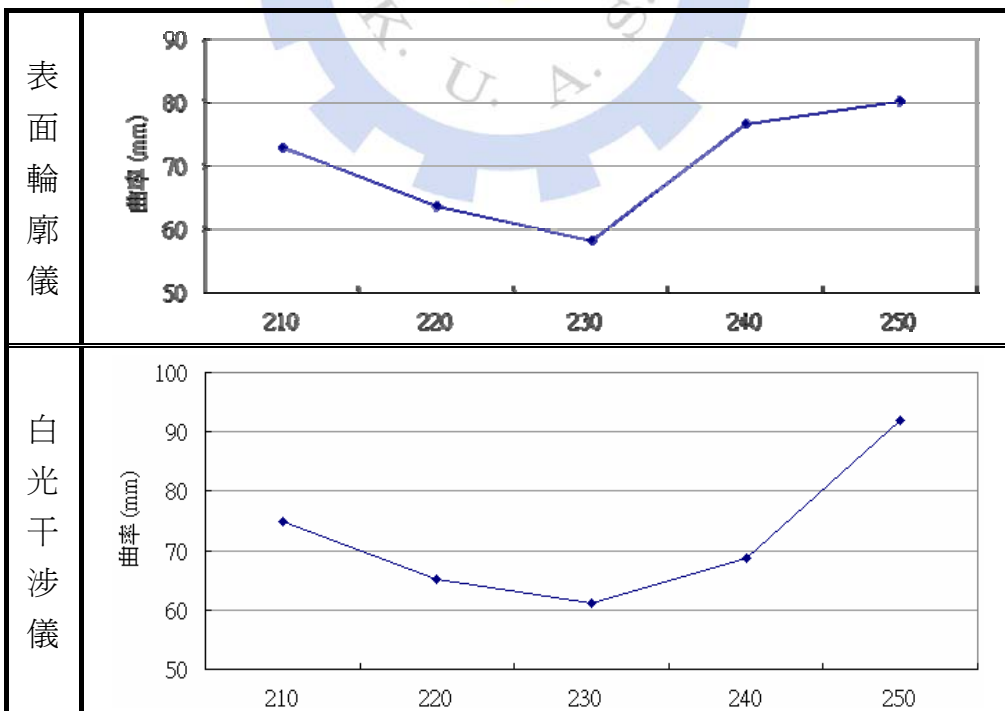


圖 6.8 膠溫對曲率的影響

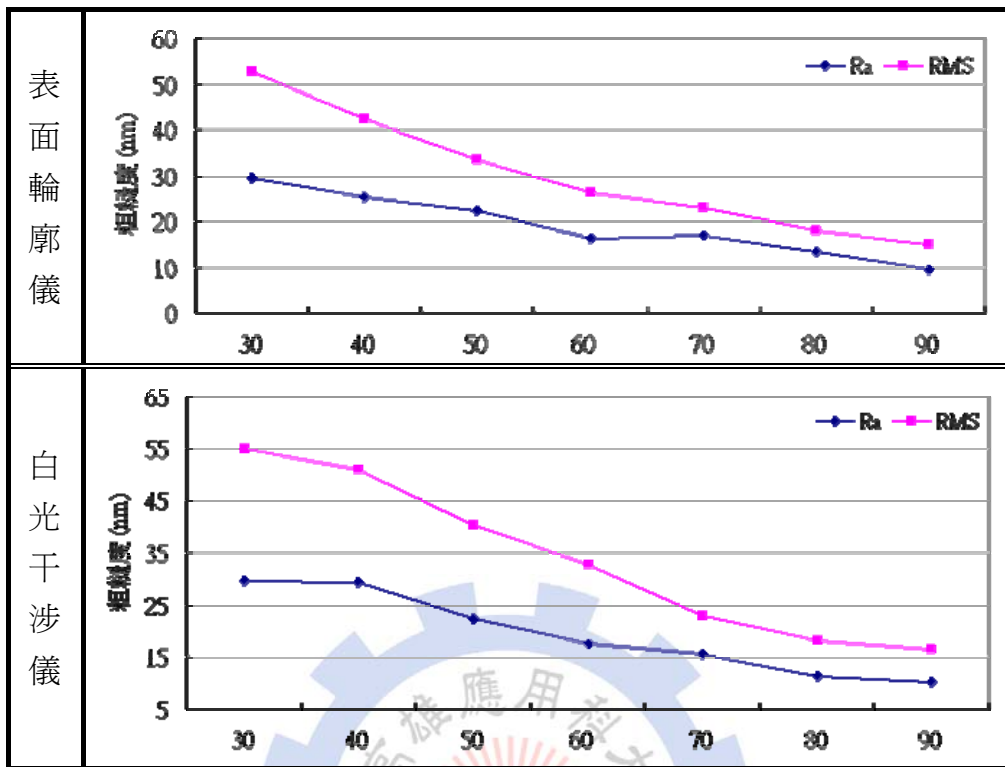


圖 6.9 模溫對粗糙度的影響

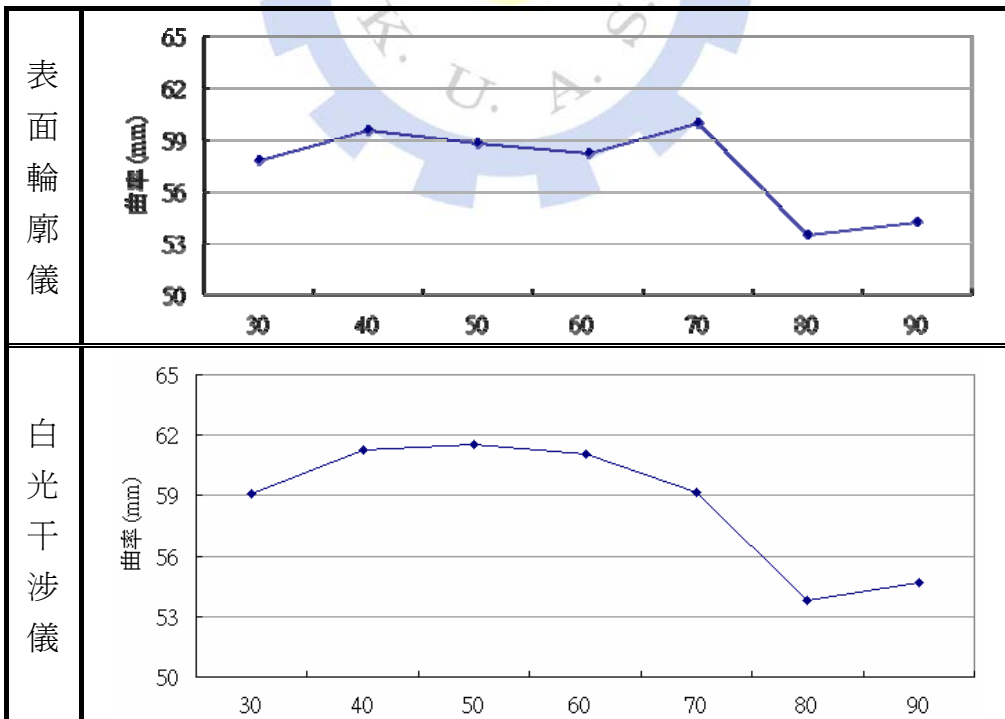


圖 6.10 模溫對曲率的影響

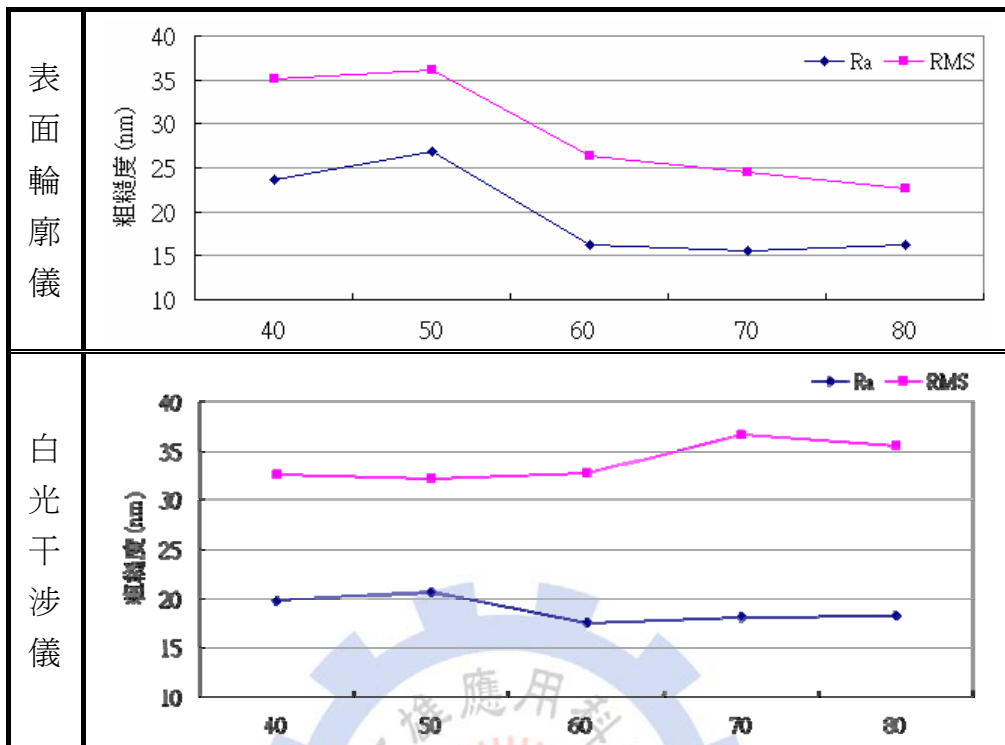


圖 6.11 射出速度對粗糙度的影響

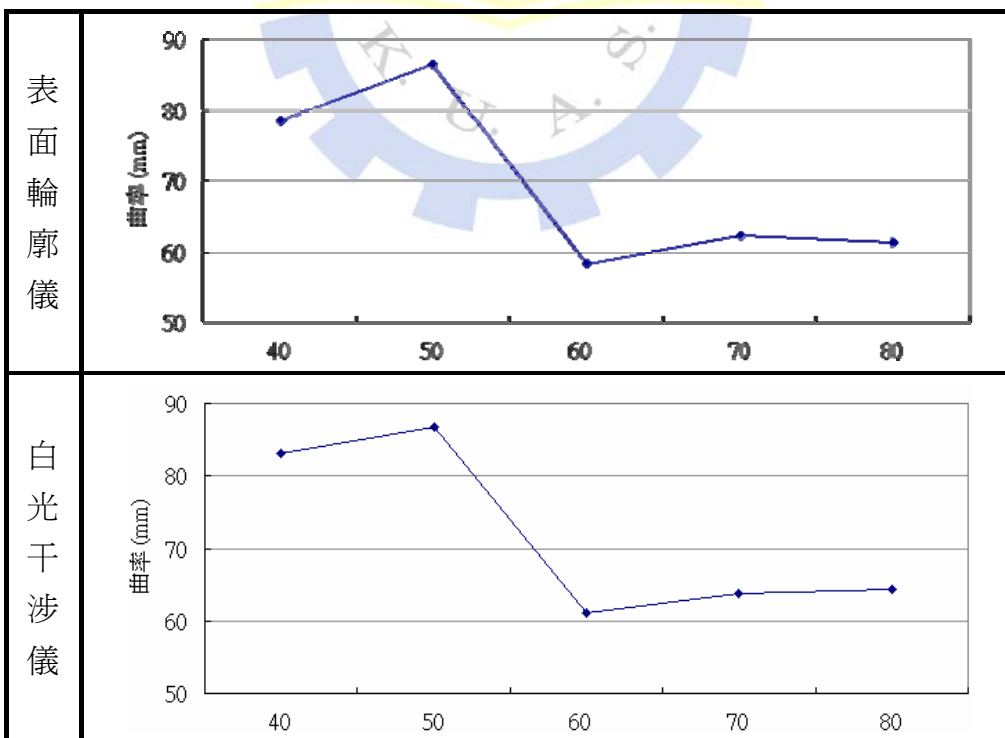
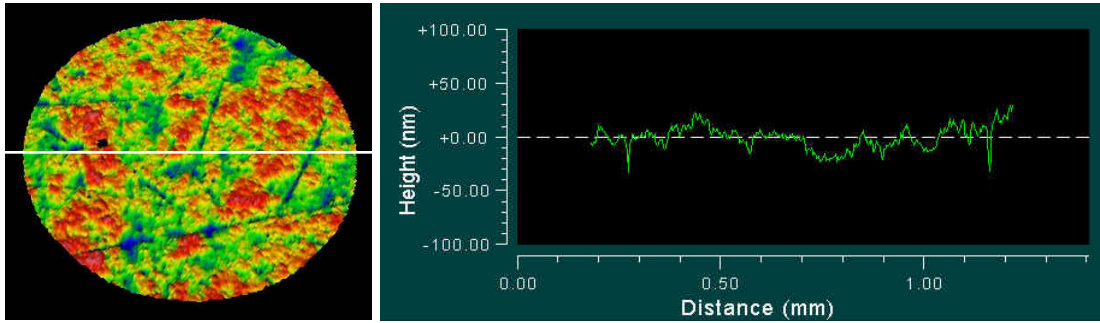
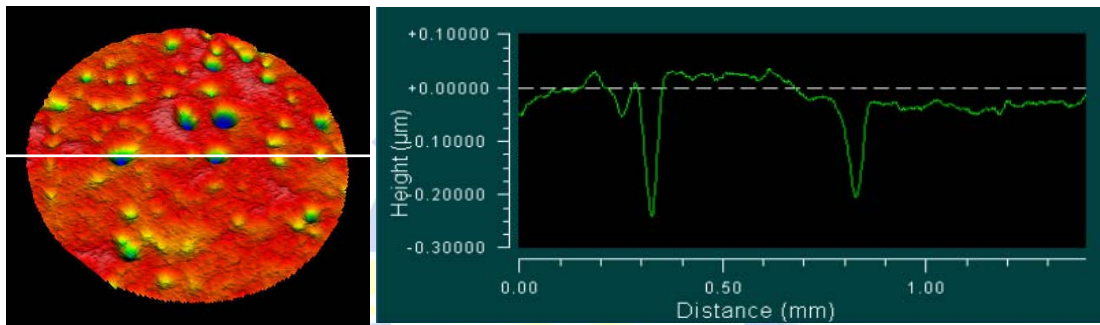


圖 6.12 射出速度對曲率的影響



(a) 模仁表面特徵



(b) 塑膠鏡片表面特徵(保壓壓力 100Mpa, NO.2)

圖 6.13 模仁與塑膠鏡片 3 維表面特徵

七、結論與未來研究方向

7.1 結論

一個好的塑膠光學鏡片，成形後除了能符合設計值的曲率外，亦即擁有好的形狀精度下，也應同時具備低的表面粗糙度，以降低散射對光學成像品質的影響。本研究即藉由一光學鏡片，在參數條件不同的情形下，來探討對曲率和粗糙度的影響，而由上述的實驗及結果可得到以下結論：

- (1) 藉由調整保壓壓力、保壓時間、熔膠溫度及射出速度的參數，對於降低表面粗糙度無顯著的影響，其 Ra 值的最大最小差異量在 4nm 內，變化不大。但要特別注意的是，在不足的保壓壓力與保壓時間下，或使用高的熔膠溫度，會使得粗糙度明顯提高，且表面特徵有高波谷的現象非常顯著。
- (2) 在參數條件為保壓壓力、保壓時間、射出速度以及熔膠溫度下，其表面粗糙度 Ra 值最低不低於 15nm，而在改變模溫的條件下，能將 Ra 值降低至 10nm，可見提高模具溫度，可明顯降低表面的粗糙度，尤其在模溫 90°C 的成形條件下，表面輪廓儀量測鏡片表面粗糙度降低至 Ra 9.5nm，白光干涉儀的量測降低至 Ra 10.5nm，均接近模仁表面粗糙度值 Ra 8.5nm。而模溫在高低溫時，表面粗糙度值變化的趨勢相當明顯。
- (3) 改變保壓壓力與模具溫度的條件，對曲率的變化影響最大，且使用較大的保壓壓力與較高的模具溫度，鏡片成品的曲率與設計值的差異甚小。而保壓時間、射速及膠溫對曲率的影響較小，使用較高的射速、適中的膠溫以及配合澆口凝固所需的保壓時間，可獲得接近設計值的曲率成品。
- (4) 表面粗糙度與曲率兩者之間並沒有直接影響的關係，亦即有與設計值相符的曲率，但並非有低的表面粗糙度值。
- (5) 表面輪廓儀切斷值(cut-off)的選擇對粗糙度的評估影響很大，若選擇過小，會造成對粗糙度高度上的誤解；選擇過大，會使得波紋被視為粗糙度的一部份。而輪廓儀與干涉儀的數值比較，因干涉儀為面形量測，故數值都略大，但結果趨勢一致。

(6) 在相同的成形條件下，各組鏡片的曲率與表面粗糙度具有再現性。

7.2 未來研究方向

在光學鏡片設計上，未來可朝向不同透鏡的種類來探討，例如雙凹、雙凸、平凸、平凹等等，因為這些形狀不同的透鏡在射出成型時流動的趨勢不一樣，因此影響鏡片最終品質的參數是否一樣，是值得研究探討的。

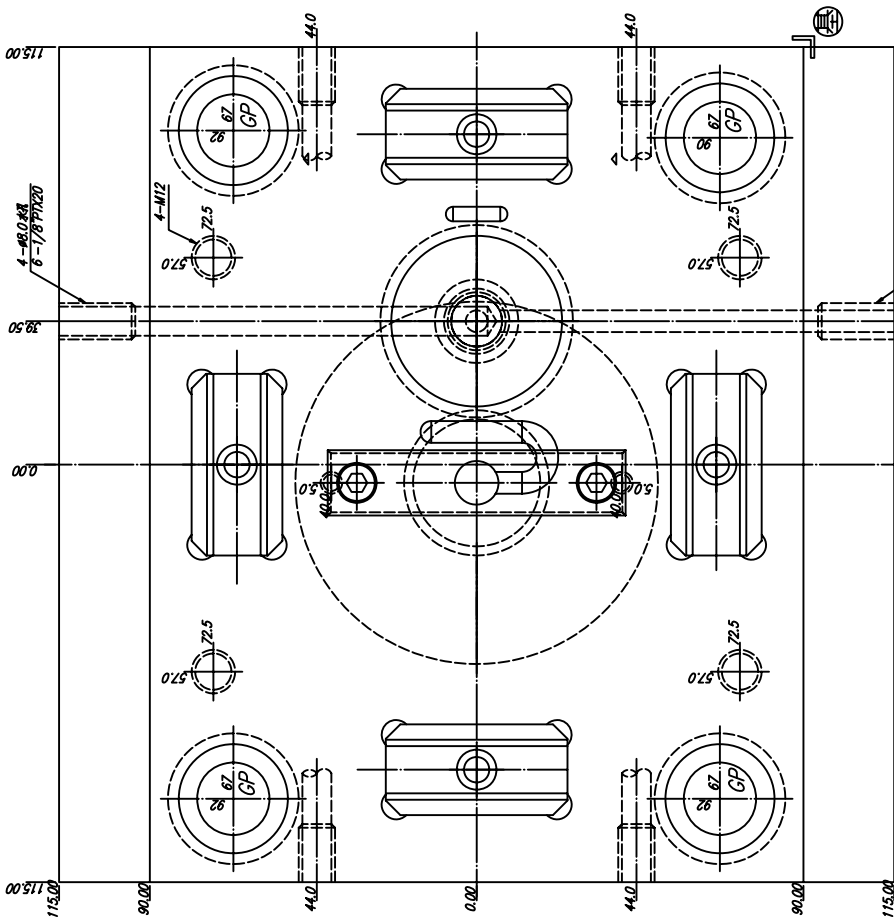
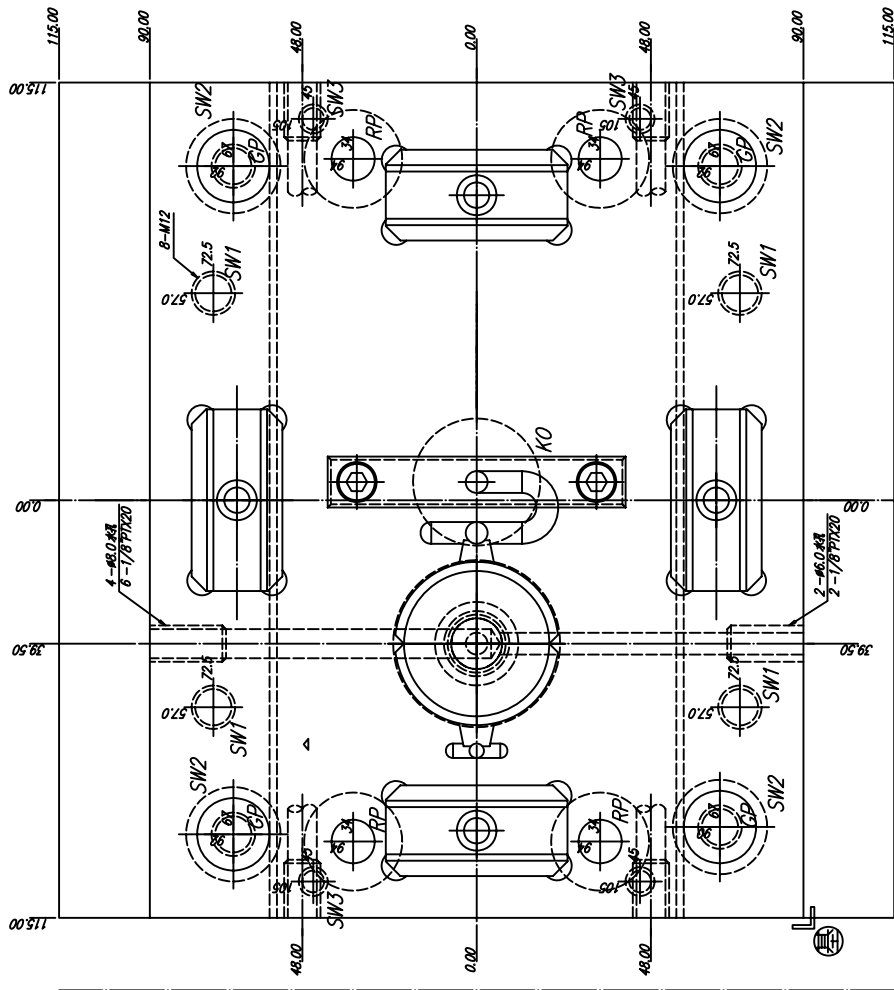
在製程方面，可以導入田口式實驗計劃法，因為利用一次只對一個因子作實驗的最適化研究，無法決定交互作用，而藉由田口直交表來進行實驗，有能力來偵測有無交互作用，且可看交互作用與主效果相比是否太大，而由於直交表存在直交性，對任一個因子的任一個水準而言，其他因子的高低水準都是成對出現，因此經由計算以後，其他因子的影響效果將會互相抵銷，而可增加實驗的再現性，因此，直交表的應用使得所需做的實驗數減少，所以大量的減少了時間與成本。此外，在不同的參數水準組合下，產品之品質特性的平均值及變異均不相同，藉由變異數分析可以找到一組最佳的參數水準組合，找出最佳的製程條件以及成型參數的影響性。綜合上述，未來在實驗時便可導入田口為實驗主軸，來尋找改善鏡片粗糙度和曲率的最佳因子組合。

參考文獻

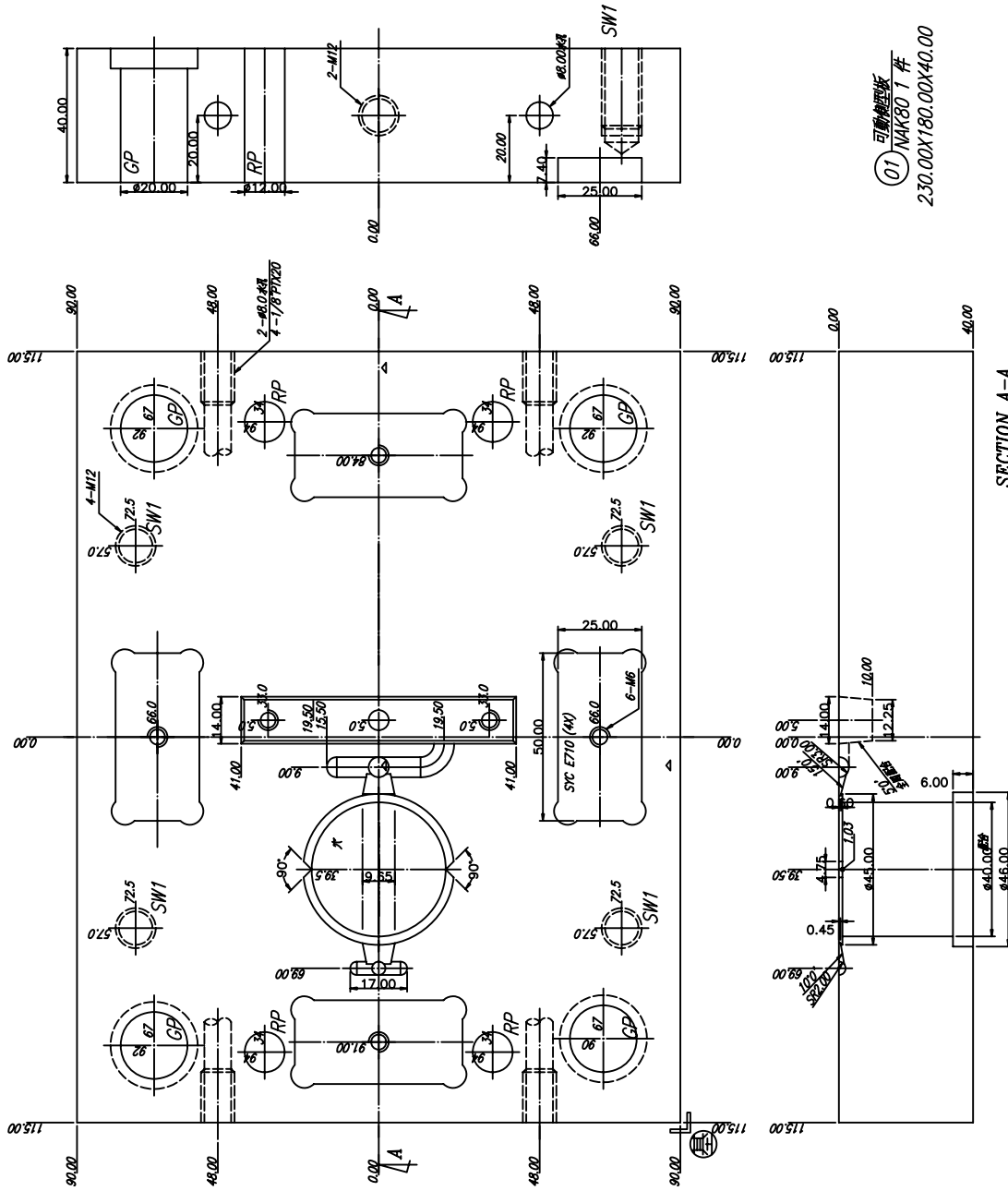
- [1] 陳仲宜，2006 年，“我國精密塑膠鏡片模具市場現況與發展趨勢”，ITIS 智網，4 月 23 日。
- [2] Petr Beckmann, Andre Spizzichino, 1987, “The Scattering Of Electromagnetic Waves From Rough Surfaces”, Pergamon Press Ltd., Chap.1-5.
- [3] J.M. Bennett, L. Mattsson, 1989 “Introduction to Surface Roughness and Scattering”, Optical Society of America.
- [4] J.M. Bennett, 1993, “Recent developments in surface roughness characterization”, Engineering Optics, p1-9, v6, n1, Feb.
- [5] 黃志德，1986，鏡片表面粗糙度與光散射之關係，輔仁大學，碩士論文。
- [6] 尼啓良、陳淑妍、陳波，2005，“表面特徵與軟X射線掠入射光學散射”，中國科學院光譜實驗室期刊，22 卷，3 期，頁 669~672，5 月。
- [7] ISO, 1996, “Profile method-Rules and procedures for the assessment of surface texture”, ISO 4288.
- [8] ISO. 1996, “Profile method-Metrological characteristics of phase correct filters”, ISO 11562.
- [9] ISO, 1996, “Profile method-Terms definitions and surface texture parameters”, ISO 4287.
- [10] 刑玉璽，2005，射出成型之塑膠光學讀取透鏡收縮，成功大學，碩士論文。
- [11] 陳勇志，2006，非軸對稱型變形補償法在射出成型塑膠光學鏡片模具之研究，高雄應用科技大學，碩士論文。
- [12] 卓君翰，2004，探針式表面粗度儀之量測不確定度分析，台灣科技大學，碩士論文。
- [13] 鄭穎聰，2004，鏡片射出成形分析與模具設計，高雄應用科技大學，碩士論文。
- [14] 李星明，1991，“漫談精密塑膠鏡片之成型與模具製作”，機械工業雜誌，頁 218~226，10 月。

- [15] H. Dagnall M.A.,1985，表面組織解說，王廷飛譯，前程出版社，高雄。
- [16] 張榮語，1995，射出成形模具設計:模具設計，高立圖書有限公司。
- [17] 張永彥，1998，實用塑膠模具學，全華科技圖書有限公司。
- [18] 范光照、張郭益，1998，精密量具及機件檢驗，高立圖書有限公司。
- [19] 陳金亮，2006，“白光干涉儀垂直掃描範圍判定”，量測資訊，110 期，頁 37~42，7 月
- [20] 宋友華、張郭益，2001，“表面粗糙度量測參數之新趨勢”，機械月刊，
，
27 卷，11 期，頁 378~391，11 月。
- [21] 徐德衍，1999，“光學表面微輪廓測試與相關技術概述”，科儀新知，20 卷，5 期，頁 31~44，4 月。



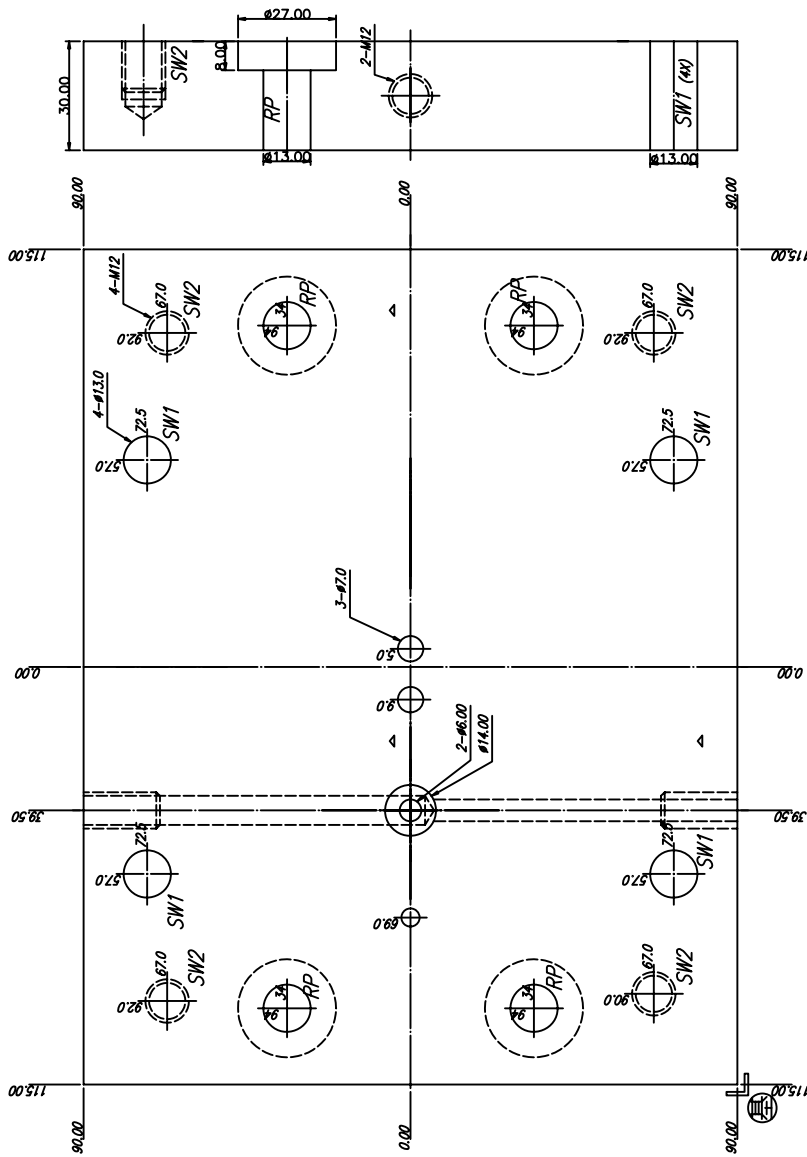


國立高雄應用科技大學模具工程系	
圖名	公母模平面圖
比例	
投影	第三角法
單位	mm
材料	
製圖	陳信璋
圖號	KUAS-MDE-002



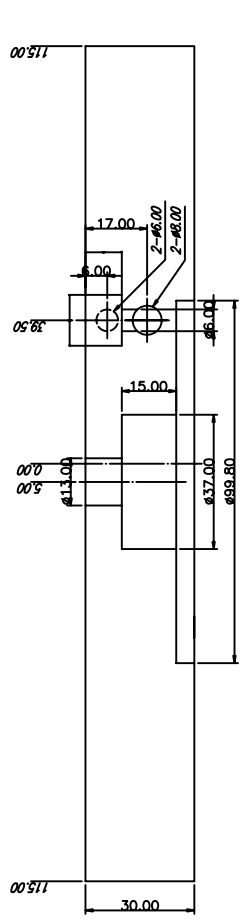
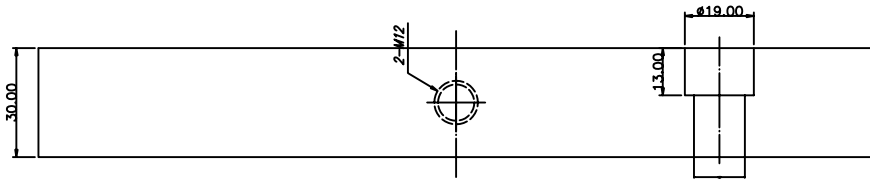
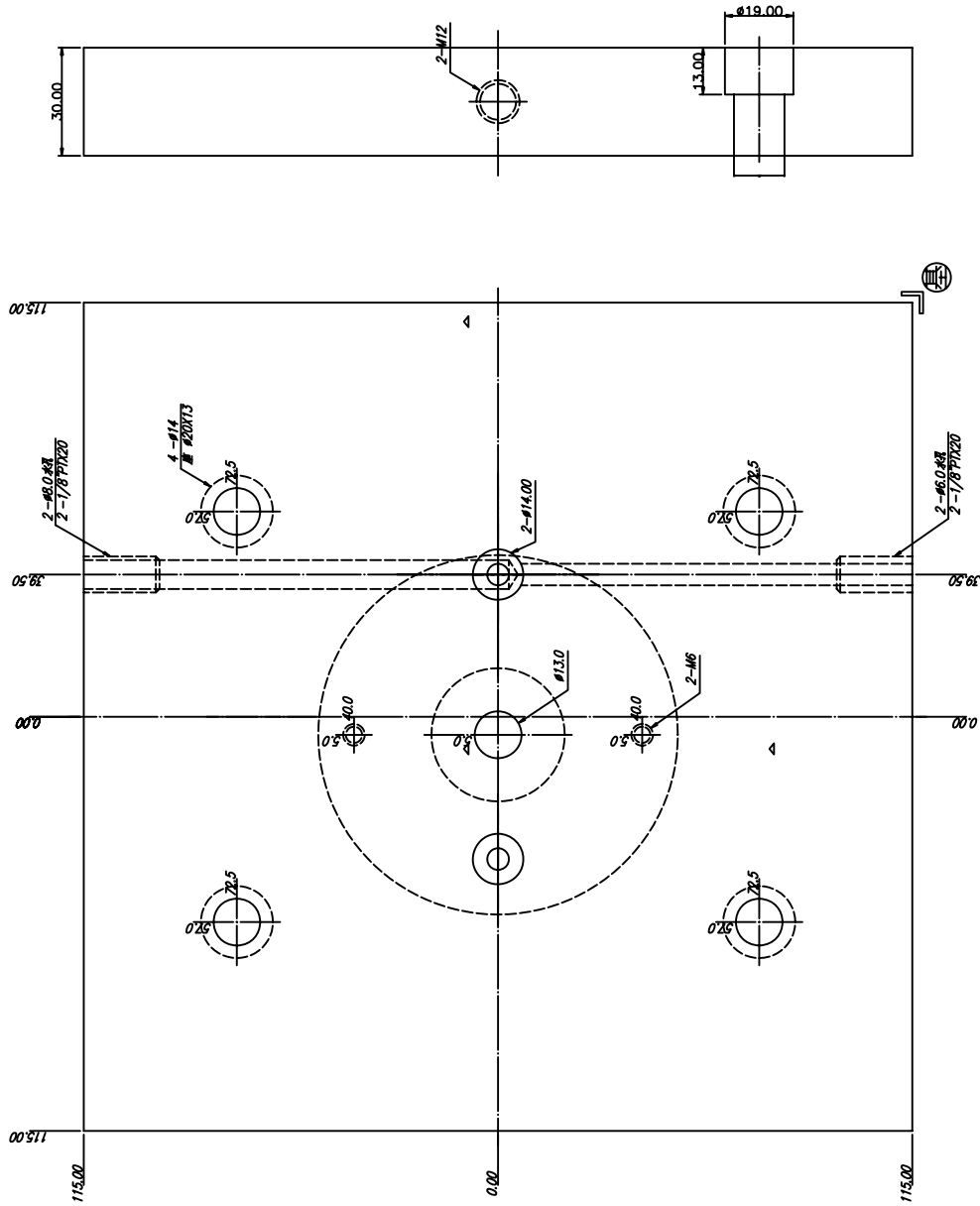
可動組板
 01 NAK30 1 井
 230.00X180.00X40.00

國立高雄應用科技大學模具工程系	
圖名	公模圖
比例	1:1
投影	第三角法
單位	mm
材料	
製圖	陳信璋
圖號	KUAS-MDE-003



可動板位板
 (03) S55C 1 #
 230.00X180.00X30.00

國立高雄應用科技大學模具工程系	
圖名	公模固定板
圖號	KUAS-MDE-006
比例	
投影	第三角法
單位	mm
材料	
製圖	陳信璋



04 固定板
S55C 1 件
230.00X230.00X30.00

國立高雄應用科技大學模具工程系	
圖名	母模固定板
第三角法	mm
製圖	陳信璋
材料	
圖號	KUAS-MDE-007

附錄二

保壓壓力 40MPa			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	18.2	25.1	65.47
1-y	12.6	16.6	62.23
2-x	18.0	24.0	66.75
2-y	15.0	25.1	64.21
3-x	19.2	25.5	62.94
3-y	20.6	29.5	62.36
avg.	17.3	24.3	63.99

保壓壓力 100MPa			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	17.3	29.9	58.27
1-y	15.6	29.2	58.65
2-x	17.0	24.4	59.31
2-y	16.6	23.8	58.65
3-x	15.6	21.3	58.43
3-y	15.3	29.2	56.11
avg.	16.2	26.3	58.24

保壓壓力 60MPa			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	15.1	20.0	67.34
1-y	13.9	18.9	65.00
2-x	18.3	25.0	67.53
2-y	13.4	22.6	64.86
3-x	12.8	19.0	66.93
3-y	13.8	19.8	65.04
avg.	14.6	20.9	66.12

保壓壓力 120MPa			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	12.8	19.6	56.76
1-y	10.6	14.3	54.50
2-x	10.4	16.2	53.46
2-y	20.2	35.8	53.38
3-x	14.7	21.6	57.77
3-y	16.2	23.0	58.33
avg.	14.2	21.8	55.70

保壓壓力 80MPa			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	16.4	26.2	66.25
1-y	15.1	16.3	63.73
2-x	17.9	27.6	66.44
2-y	16.1	26.2	65.26
3-x	16.8	26.3	69.67
3-y	19.7	23.7	67.02
avg.	17.0	24.4	66.40

保壓壓力 140MPa			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	11.0	15.0	54.51
1-y	16.9	27.8	54.33
2-x	13.0	19.0	52.96
2-y	13.7	19.5	52.80
3-x	11.2	17.8	51.91
3-y	20.7	36.1	52.21
avg.	14.4	22.5	53.12

註:每個條件成形三個鏡片,量測軸線XY如圖 5.3所示

附錄二

保壓時間 0.5 sec			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	21.5	31.4	157.20
1-y	27.7	41.6	147.02
2-x	21.8	27.6	127.39
2-y	25.0	31.9	134.76
3-x	33.9	46.9	94.23
3-y	32.4	45.6	108.81
avg.	27.1	37.5	128.24

保壓時間 2.0 sec			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	19.5	31.1	60.43
1-y	25.1	40.2	60.52
2-x	19.3	26.4	60.97
2-y	15.2	23.8	60.42
3-x	21.5	26.4	61.83
3-y	15.9	24.5	62.20
avg.	19.4	28.7	61.06

保壓時間 1.0 sec			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	17.3	29.9	58.27
1-y	15.6	29.2	58.65
2-x	17.0	24.4	59.31
2-y	16.6	23.8	58.65
3-x	15.6	21.3	58.43
3-y	15.3	29.2	56.11
avg.	16.2	26.3	58.24

保壓時間 1.5 sec			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	19.5	22.1	65.11
1-y	20.4	30.7	65.12
2-x	20.9	32.7	70.99
2-y	20.5	29.3	70.29
3-x	20.2	26.6	68.27
3-y	19.6	37.9	66.69
avg.	20.2	29.9	67.75

註:每個條件成形三個鏡片,量測軸線XY如圖 5.3所示

附錄二

熔膠溫度 210 °C			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	23.1	33.3	71.84
1-y	16.8	20.9	73.86
2-x	23.1	33.6	70.03
2-y	16.0	21.4	73.23
3-x	27.2	57.8	72.23
3-y	16.6	25.9	74.98
avg.	20.5	32.2	72.70

熔膠溫度 240 °C			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	21.3	30.3	64.77
1-y	22.4	40.8	67.48
2-x	54.9	64.0	81.30
2-y	44.9	58.1	102.94
3-x	26.1	41.1	67.55
3-y	36.0	63.9	74.97
avg.	34.3	49.7	76.50

熔膠溫度 220 °C			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	18.6	25.8	63.25
1-y	12.8	17.3	63.85
2-x	17.4	25.6	63.17
2-y	18.2	26.2	64.87
3-x	24.5	56.6	62.75
3-y	19.4	30.4	63.88
avg.	18.5	30.3	63.63

熔膠溫度 250 °C			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	40.8	54.3	64.72
1-y	14.6	20.6	72.58
2-x	49.6	60.8	75.59
2-y	45.2	70.2	102.41
3-x	33.9	46.7	77.89
3-y	28.2	40.8	87.59
avg.	35.4	48.9	80.13

熔膠溫度 230 °C			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	17.3	29.9	58.27
1-y	15.6	29.2	58.65
2-x	17.0	24.4	59.31
2-y	16.6	23.8	58.65
3-x	15.6	21.3	58.43
3-y	15.3	29.2	56.11
avg.	16.2	26.3	58.24

註:每個條件成形三個鏡片,量測軸線XY如圖 5.3所示

附錄二

模具溫度 30 °C			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	37.5	69.5	57.11
1-y	21.4	34.5	57.80
2-x	28.1	49.5	58.60
2-y	14.6	26.6	58.70
3-x	43.6	76.0	57.94
3-y	31.3	60.3	57.06
avg.	29.4	52.7	57.87

模具溫度 70 °C			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	14.4	22.0	55.85
1-y	18.5	22.2	56.81
2-x	19.2	28.5	59.95
2-y	17.3	23.4	60.21
3-x	15.2	20.2	65.45
3-y	17.2	20.7	61.83
avg.	17.0	22.8	60.02

模具溫度 40 °C			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	27.9	42.0	57.23
1-y	21.9	44.4	56.66
2-x	40.3	76.0	57.33
2-y	20.6	36.9	57.39
3-x	23.9	30.3	65.19
3-y	17.4	23.7	63.95
avg.	25.3	42.2	59.63

模具溫度 80 °C			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	11.9	16.7	53.02
1-y	16.2	23.7	53.36
2-x	11.2	13.9	54.26
2-y	14.5	18.1	53.57
3-x	12.5	16.9	52.57
3-y	15.3	18.6	54.40
avg.	13.6	18.0	53.53

模具溫度 50 °C			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	18.9	29.7	55.64
1-y	19.8	30.9	56.28
2-x	27.3	46.7	61.91
2-y	12.1	19.6	61.60
3-x	26.7	36.3	59.03
3-y	28.4	36.6	58.44
avg.	22.2	33.3	58.82

模具溫度 90 °C			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	10.3	14.1	53.46
1-y	9.2	12.4	53.29
2-x	10.4	27.8	55.34
2-y	9.8	13.5	54.00
3-x	8.9	11.7	54.85
3-y	8.4	11.2	54.38
avg.	9.5	15.1	54.22

模具溫度 60 °C			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	17.3	29.9	58.27
1-y	15.6	29.2	58.65
2-x	17.0	24.4	59.31
2-y	16.6	23.8	58.65
3-x	15.6	21.3	58.43
3-y	15.3	29.2	56.11
avg.	16.2	26.3	58.24

附錄二

射出速度 40 mm/sec			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	20.9	27.2	79.89
1-y	19.1	27.9	76.11
2-x	29.3	45.8	78.45
2-y	21.8	35.3	76.53
3-x	34.0	51.3	81.29
3-y	16.9	22.9	78.79
avg.	23.7	35.1	78.51

射出速度 70 mm/sec			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	17.0	24.8	62.32
1-y	12.6	18.1	62.76
2-x	18.0	31.2	62.69
2-y	12.8	19.2	63.22
3-x	19.9	33.1	61.10
3-y	13.1	20.7	62.00
avg.	15.6	24.5	62.35

射出速度 50 mm/sec			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	31.9	44.7	84.73
1-y	23.0	29.5	82.31
2-x	22.2	28.2	84.98
2-y	21.2	27.5	81.80
3-x	25.1	32.0	93.68
3-y	37.3	55.3	91.19
avg.	26.8	36.2	86.45

射出速度 80 mm/sec			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	19.0	29.1	60.02
1-y	14.3	21.0	62.02
2-x	20.5	33.7	63.49
2-y	15.6	26.0	64.65
3-x	16.0	9.1	53.45
3-y	11.7	16.5	63.59
avg.	16.2	22.6	61.20

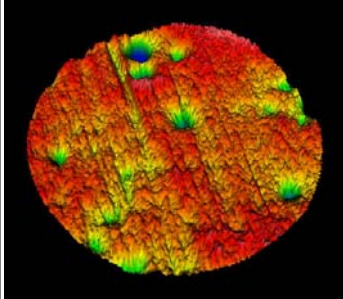
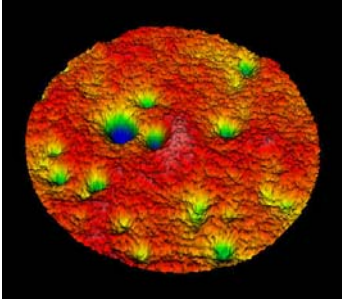
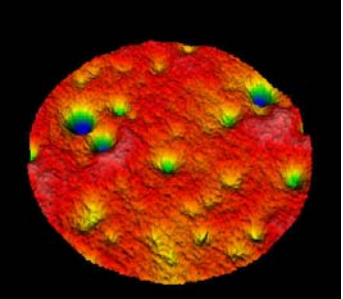
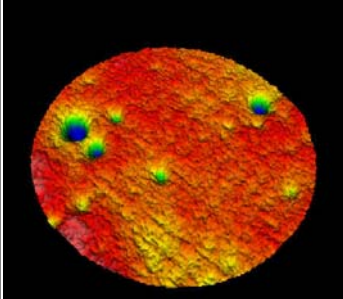
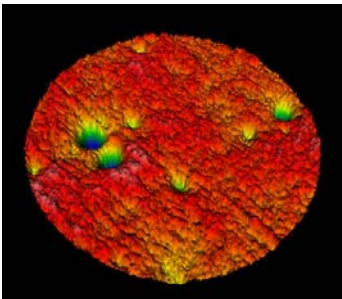
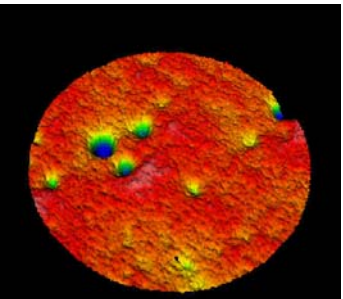
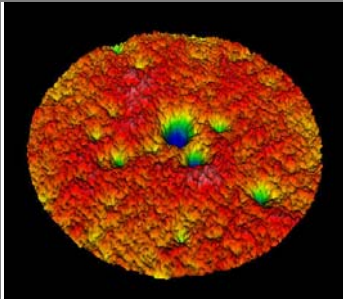
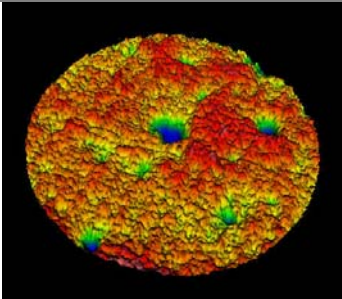
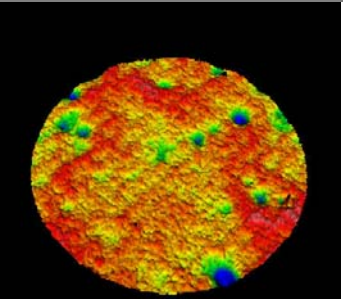
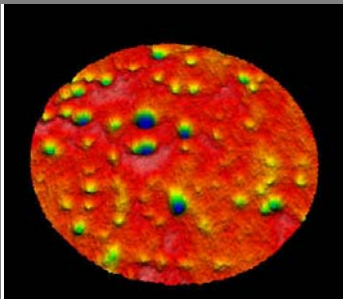
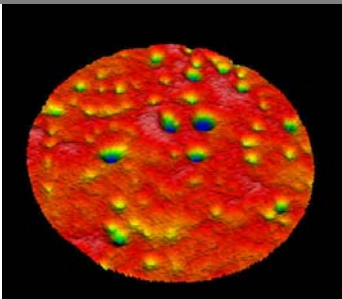
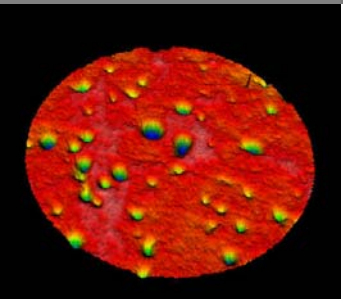
射出速度 60 mm/sec			
	Ra (nm)	Rms (nm)	曲率(mm)
1-x	17.3	29.9	58.27
1-y	15.6	29.2	58.65
2-x	17.0	24.4	59.31
2-y	16.6	23.8	58.65
3-x	15.6	21.3	58.43
3-y	15.3	29.2	56.11
avg.	16.2	26.3	58.24

註:每個條件成形三個鏡片,量測軸線XY如圖 5.3所示

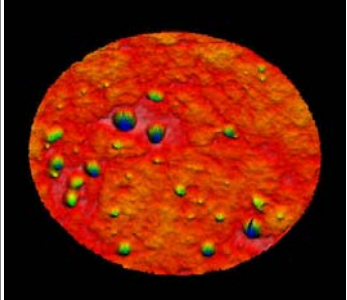
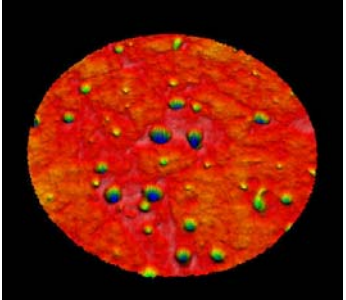
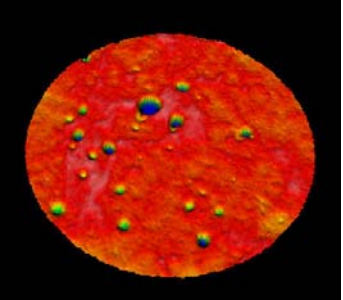
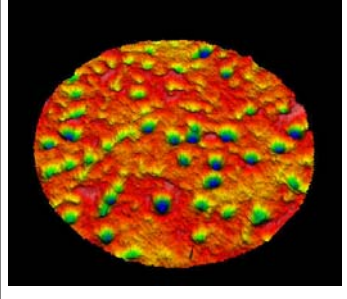
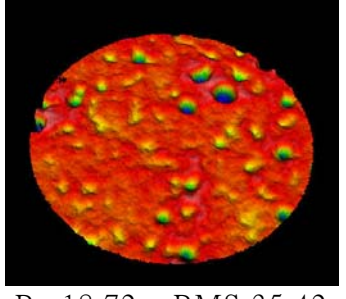
附錄三

不同保壓壓力量測數據

單位：nm

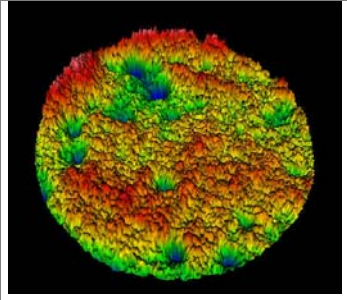
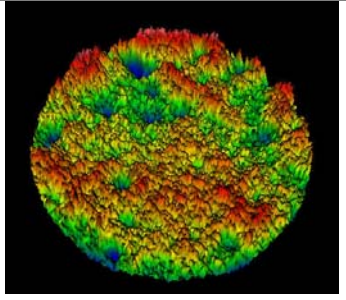
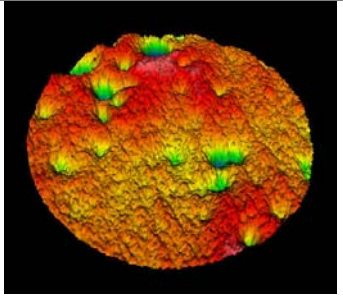
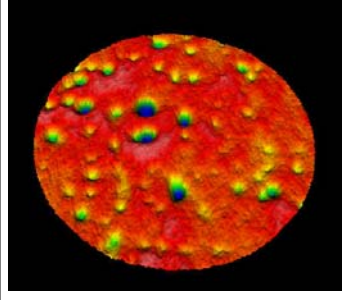
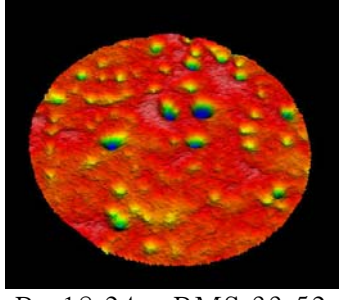
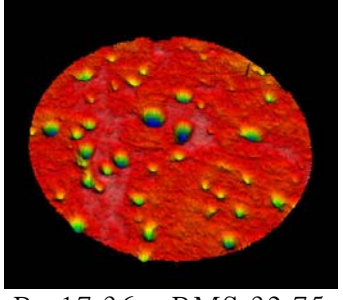
	No. 1	No. 2	No. 3
40 MPa	 Ra 18.96 RMS 29.26	 Ra 18.47 RMS 29.96	 Ra 25.36 RMS 40.91
60 MPa	 Ra 16.53 RMS 27.43	 Ra 15.28 RMS 23.55	 Ra 16.32 RMS 26.72
80 MPa	 Ra 16.86 RMS 28.68	 Ra 15.32 RMS 27.64	 Ra 16.70 RMS 27.31
100 MPa	 Ra 17.30 RMS 31.78	 Ra 18.24 RMS 33.52	 Ra 17.36 RMS 32.75

附錄三

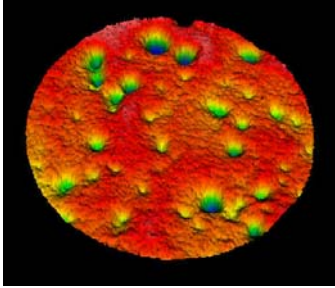
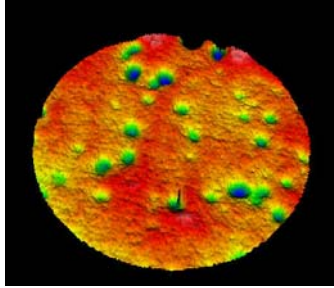
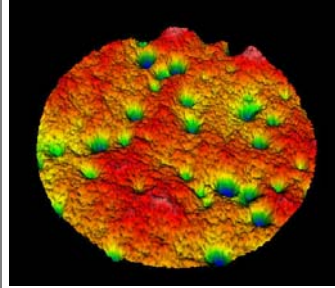
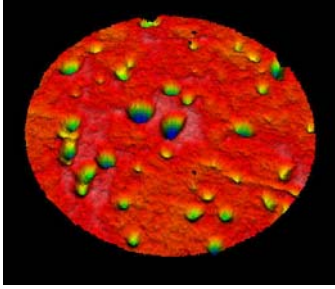
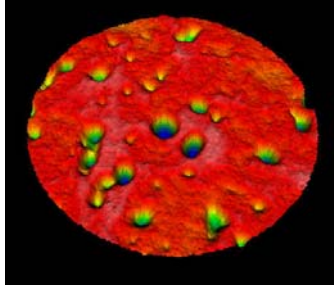
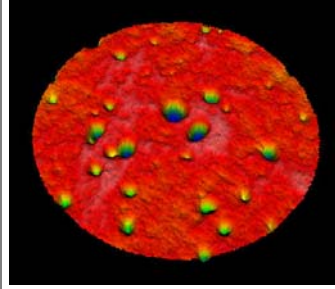
120 MPa			
	Ra 14.12 RMS 31.35	Ra 14.74 RMS 31.35	Ra 15.40 RMS 30.86
	140 MPa		
Ra 16.59 RMS 24.24		Ra 18.72 RMS 35.42	Ra 17.24 RMS 34.34

不同保壓時間量測數據

單位：nm

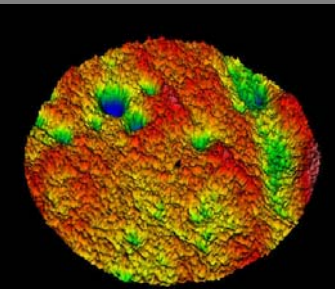
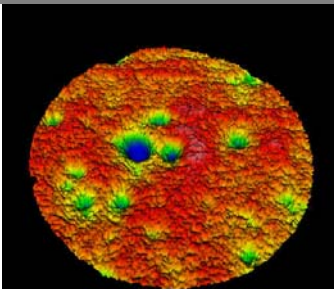
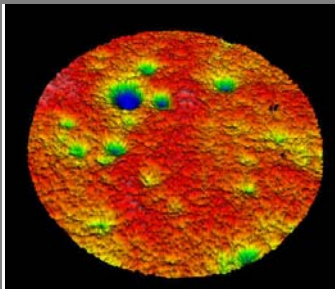
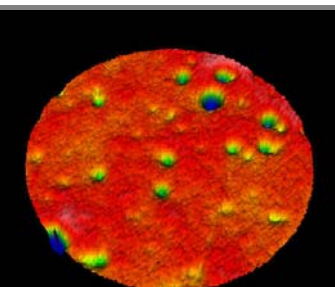
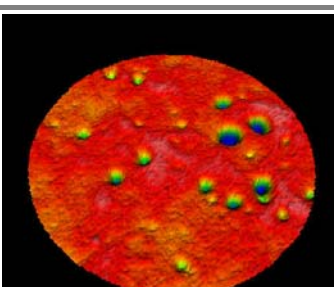
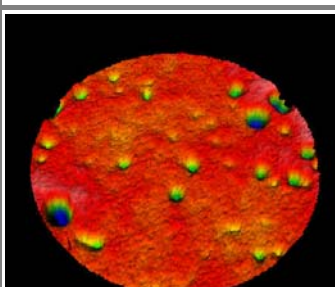
	No. 1	No. 2	No. 3
0.5 sec			
	Ra 23.19 RMS 37.79	Ra 21.30 RMS 34.76	Ra 20.83 RMS 32.97
1.0 sec			
	Ra 17.30 RMS 31.78	Ra 18.24 RMS 33.52	Ra 17.36 RMS 32.75

附錄三

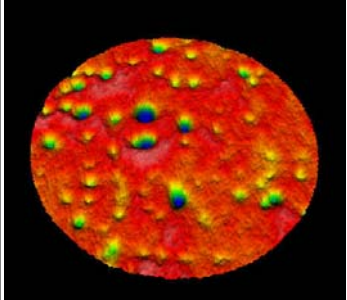
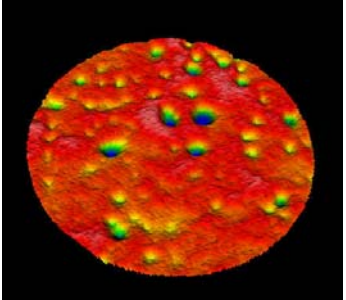
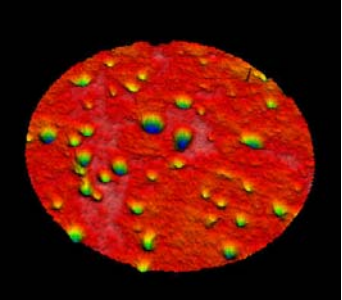
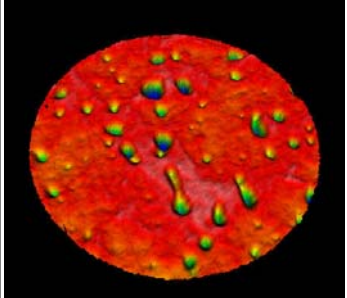
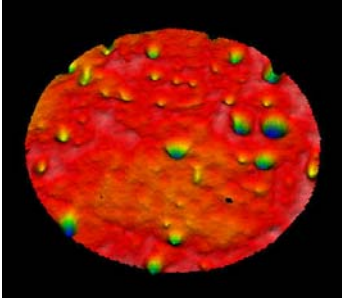
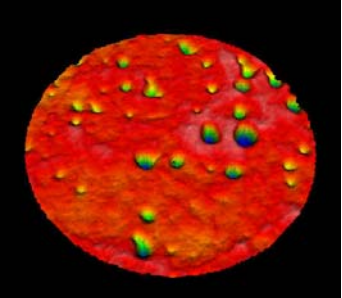
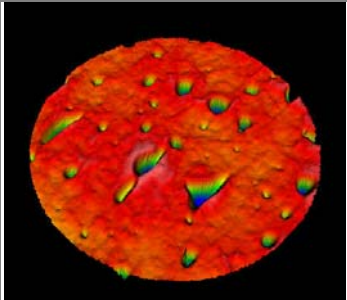
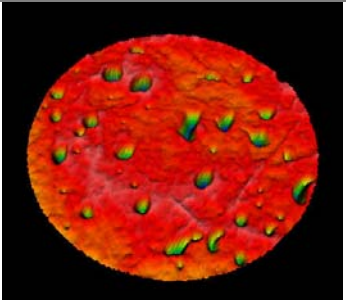
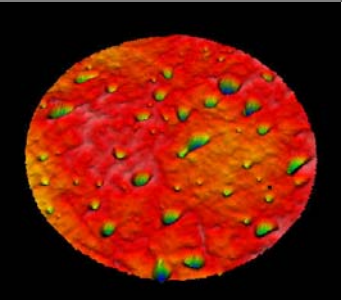
1.5 sec	 Ra 20.62 RMS 34.33	 Ra 19.25 RMS 31.37	 Ra 18.56 RMS 27.07
2.0 sec	 Ra 19.61 RMS 33.58	 Ra 20.13 RMS 33.10	 Ra 15.85 RMS 34.21

不同熔膠溫度量測數據

單位：nm

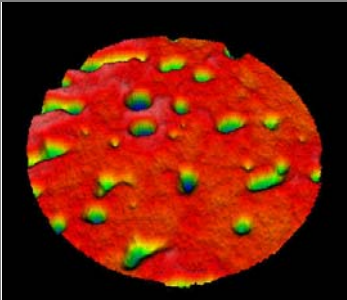
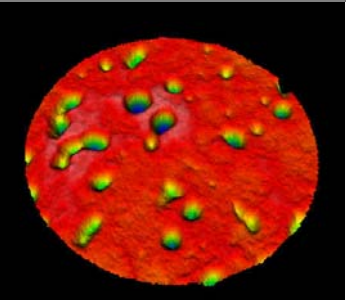
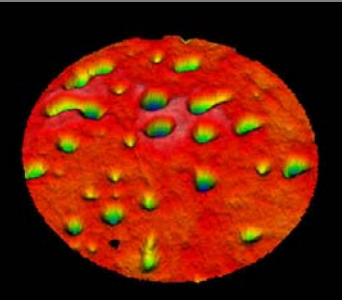
	No. 1	No. 2	No. 3
210 (°C)	 Ra 24.25 RMS 33.99	 Ra 18.49 RMS 28.22	 Ra 18.83 RMS 29.59
220 (°C)	 Ra 17.08 RMS 33.48	 Ra 15.10 RMS 31.09	 Ra 18.99 RMS 38.04

附錄三

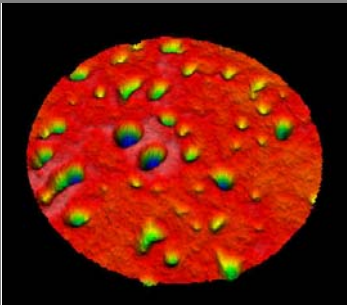
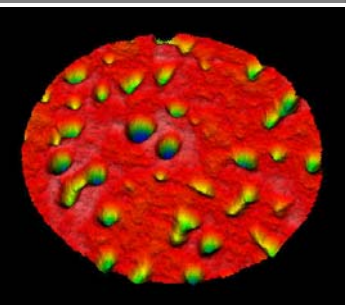
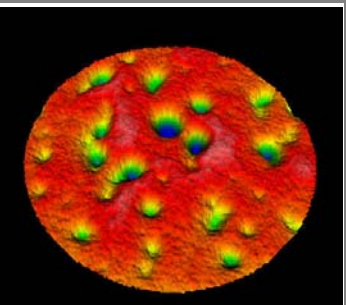
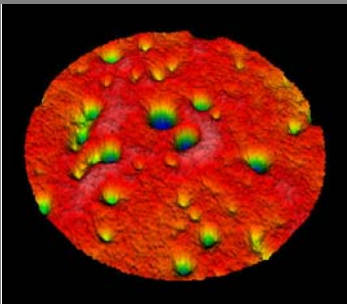
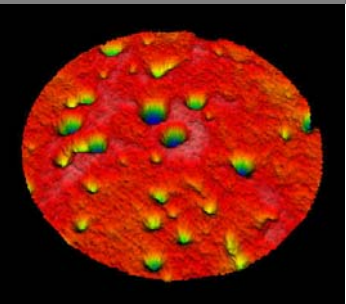
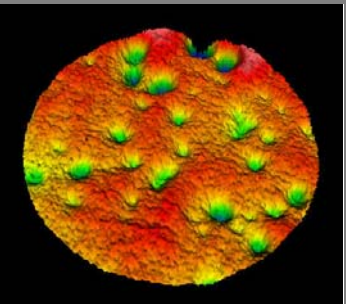
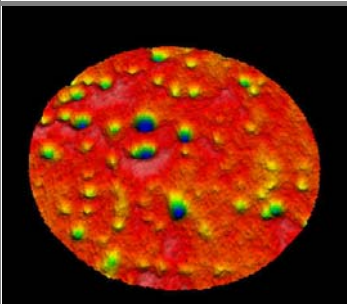
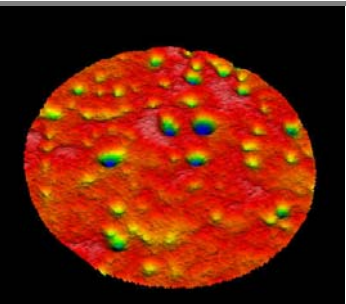
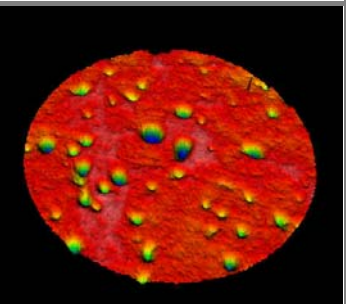
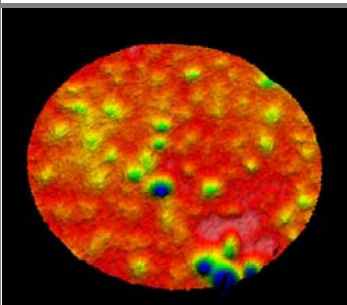
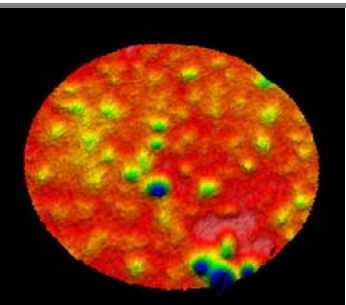
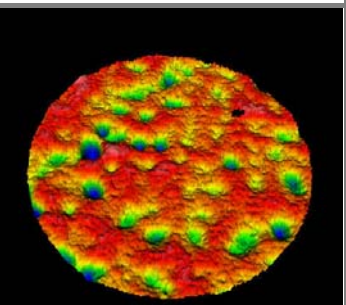
230 (°C)	 Ra 17.30 RMS 31.78	 Ra 18.24 RMS 33.52	 Ra 17.36 RMS 32.75
240 (°C)	 Ra 20.67 RMS 41.47	 Ra 20.34 RMS 38.32	 Ra 18.49 RMS 37.83
250 (°C)	 Ra 24.06 RMS 47.91	 Ra 24.46 RMS 46.48	 Ra 23.90 RMS 43.99

不同模具溫度量測數據

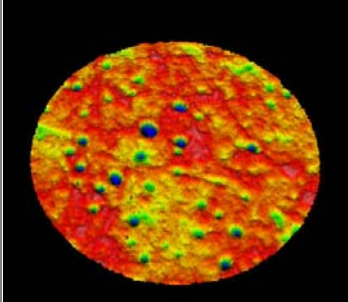
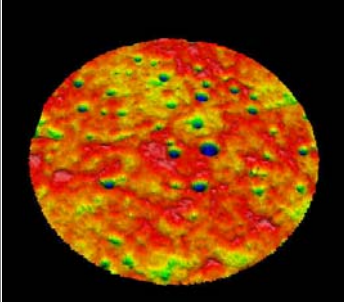
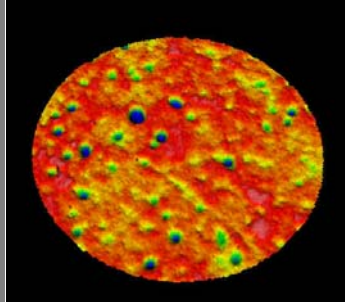
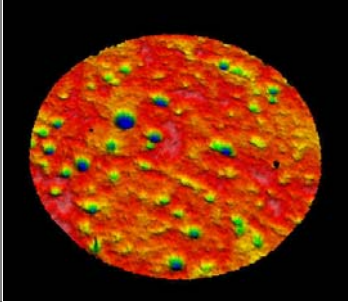
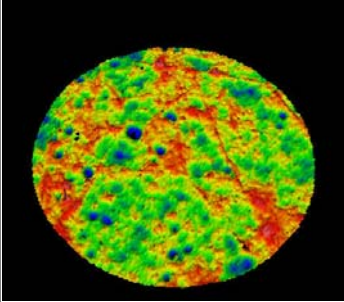
單位：nm

	No. 1	No. 2	No. 3
30 (°C)	 Ra 31.69 RMS 56.68	 Ra 27.91 RMS 53.94	 Ra 29.44 RMS 54.20

附錄三

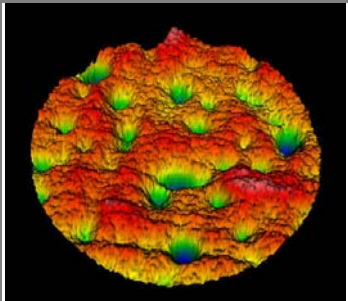
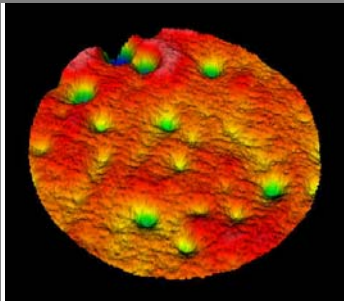
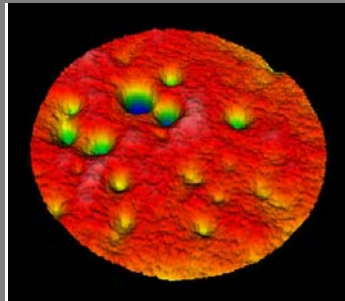
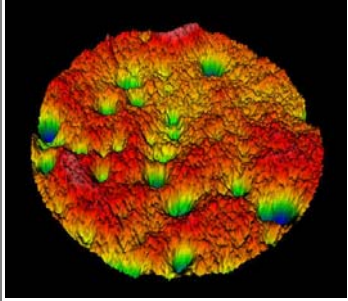
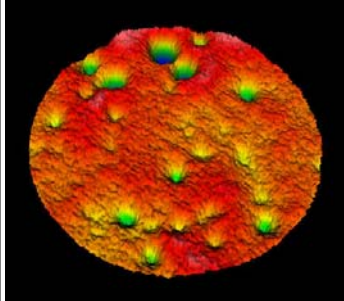
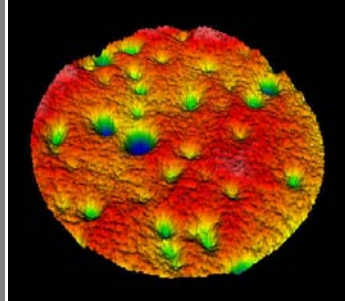
40 (°C)	 <p data-bbox="331 618 651 651">Ra 27.40 RMS 51.05</p>	 <p data-bbox="687 618 1007 651">Ra 30.69 RMS 53.24</p>	 <p data-bbox="1043 618 1362 651">Ra 30.37 RMS 48.29</p>
50 (°C)	 <p data-bbox="331 976 651 1010">Ra 21.57 RMS 40.84</p>	 <p data-bbox="687 976 1007 1010">Ra 20.70 RMS 41.07</p>	 <p data-bbox="1043 976 1362 1010">Ra 24.78 RMS 38.78</p>
60 (°C)	 <p data-bbox="331 1335 651 1368">Ra 17.30 RMS 31.78</p>	 <p data-bbox="687 1335 1007 1368">Ra 18.24 RMS 33.52</p>	 <p data-bbox="1043 1335 1362 1368">Ra 17.36 RMS 32.75</p>
70 (°C)	 <p data-bbox="331 1693 651 1727">Ra 15.48 RMS 22.64</p>	 <p data-bbox="687 1693 1007 1727">Ra 16.55 RMS 21.17</p>	 <p data-bbox="1043 1693 1362 1727">Ra 15.01 RMS 25.35</p>

附錄三

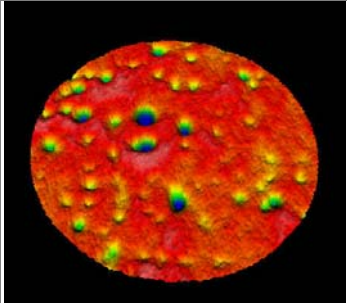
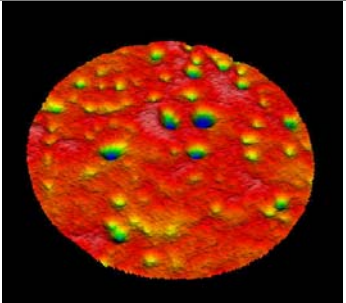
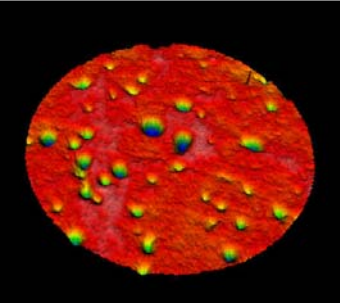
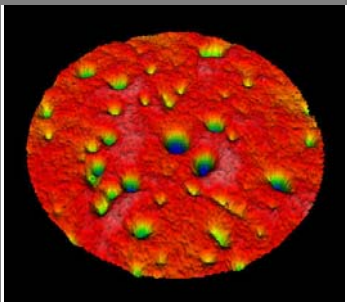
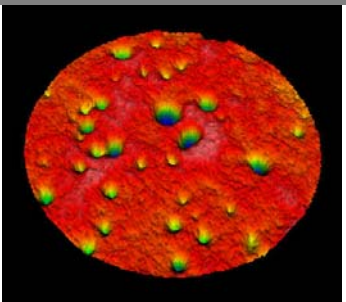
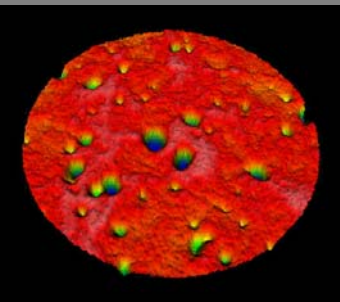
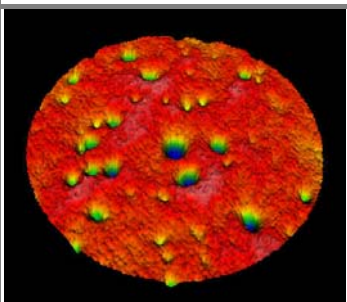
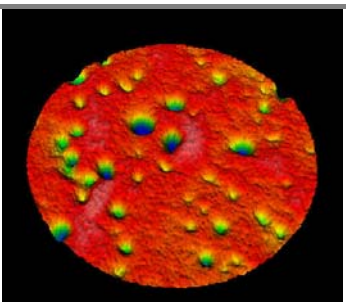
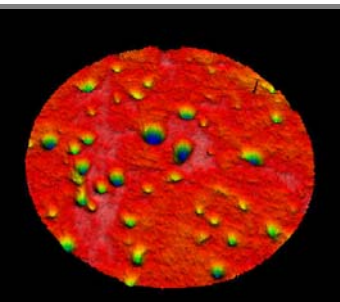
80 (°C)			
	Ra 10.99 RMS 17.10	Ra 12.30 RMS 18.37	Ra 11.40 RMS 19.22
	90 (°C)		
Ra 12.46 RMS 22.39		Ra 9.47 RMS 13.13	Ra 9.35 RMS 14.20

不同射出速度量測數據

單位：nm

	No. 1	No. 2	No. 3
40 (mm /sec)			
	Ra 21.88 RMS 38.79	Ra 19.82 RMS 33.50	Ra 17.55 RMS 25.36
50 (mm /sec)			
	Ra 18.42 RMS 26.63	Ra 20.49 RMS 34.95	Ra 22.89 RMS 34.82

附錄三

60 (mm /sec)			
	Ra 17.30 RMS 31.78	Ra 18.24 RMS 33.52	Ra 17.36 RMS 32.75
70 (mm /sec)			
	Ra 19.60 RMS 37.41	Ra 17.92 RMS 36.36	Ra 16.88 RMS 36.10
80 (mm /sec)			
	Ra 16.48 RMS 32.81	Ra 20.59 RMS 37.33	Ra 17.77 RMS 36.46

附錄三

單位 : MPa		曲率 (mm)			avg.
保 壓 力	40	63.80	66.71	62.97	64.49
	60	66.57	66.81	66.40	66.59
	80	66.16	66.09	62.92	65.06
	100	61.08	60.71	61.35	61.05
	120	56.43	53.83	59.29	56.52
	140	54.51	52.53	51.74	52.93

單位 : sec		曲率 (mm)			avg.
保 壓 時 間	0.5	124.99	129.71	121.63	125.44
	1.0	61.08	60.71	61.35	61.05
	1.5	65.82	68.79	66.59	67.07
	2.0	62.05	61.94	63.02	62.34

單位 : °C		曲率 (mm)			avg.
膠 溫	210	74.13	75.39	75.04	74.85
	220	65.51	65.92	63.99	65.14
	230	61.08	60.71	61.35	61.05
	240	67.85	62.19	76.14	68.73
	250	73.05	111.69	90.88	91.87

單位 : °C		曲率 (mm)			avg.
模 溫	30	59.11	58.80	59.28	59.06
	40	58.09	58.48	67.25	61.27
	50	57.58	63.00	64.00	61.53
	60	61.08	60.71	61.35	61.05
	70	57.96	59.81	59.79	59.19
	80	52.92	52.78	52.66	52.79
	90	53.60	55.25	55.18	54.68

單位 : mm/sec		曲率 (mm)			avg.
射 出 速 度	40	84.13	81.09	83.85	83.02
	50	87.31	88.26	84.47	86.68
	60	61.08	60.71	61.35	61.05
	70	63.96	64.38	62.96	63.77
	80	62.77	65.37	64.74	64.29

簡 歷

姓 名	陳信瑋	性 別	男	
生 日	72/09/12	手 機	0952016737	
E-mail	mde433@yahoo.com.tw			
地 址	台南市長和路四段 160 巷 76 弄 10 號			
求 學 經 歷				
起訖年	學 校 名 稱	科 系	學 位	
93~95	國立高雄應用科技大學	研究所模具所	碩 士	
91~93	國立高雄應用科技大學	二技部模具系	學 士	
86~91	國立高雄應用科技大學	五專部模具科		
論 文 與 專 題				
1	射出成型參數對光學鏡片表面粗糙度的影響（研究所論文）			
2	導光板微結構之成型分析與探討（2005 模具技術與論文發表會論文集）			
3	多模穴塑膠射出成型流動平衡探討（2003 模具技術與論文發表會論文集）			