

# 光學鏡片之考慮材料黏彈性對雙折射的影響

林冠甫

淡江大學化學工程與材料工程學系

廖偉倫、彭文陽

Moldex3D 科盛科技股份有限公司

103/07/01~103/08/31

ACMT 台北技術中心

## 中文摘要

射出成型塑膠光學鏡片已大量運用在各種電子用品及高科技產品中，而近年來對於鏡片的翹曲變形、光彈條紋、雙折射、殘留應力等問題之要求也越來越高。由於塑膠高分子具有部分黏性與部分彈性的性質，而黏彈效應在不同溫度與剪切變形等情況下，其表現出的特性均有所不同。本專題是探討透過 Moldex3D 三維電腦模流分析軟體中的黏彈性分析模組，分別針對只考慮黏性及同時考慮黏彈性時，之間的差異進行分析，尤其針對殘留應力所造成之光彈條紋與雙折射，以提升模流預測之準確性進而提升產品品質。

**關鍵字：**黏彈性、塑膠射出成型、電腦輔助工程、White-Metzner Model。

## 一、前言

近年來科技快速的發展，光學鏡片的使用越來越頻繁，例如智慧型手機、數位相機、投影機、印表機等，在任何產業的光學零組件均是不可或缺的。在如此快速成長的趨勢下，同樣的對產品的品質要求也日漸嚴苛。目前國內以塑膠成型之鏡片，由於具有重量輕、易加工、價格便宜且可大量生產等優點，已大量的取代玻璃材料。而目前市面上鏡片材料繁多，其中又以聚甲基丙烯酸酯 Poly(Methyl Methacrylate) 簡稱 PMMA，又稱壓克力片最為常見。因其具有高透明度、低價格、易於機械加工、耐候性強等優點，所以大量的被使用來替代玻璃材料。而近年來 COP (Cyclo Olefin Polymer，環烯

烴聚合物) 塑料也開始被運用，因為其光學特性非常類似 PMMA，又有更佳的耐熱性及低吸濕性，可在幾乎不用烘料的情況下使用，且其玻璃轉移溫度可依環烯烴單體的含量高低來調整，使 COP 的應用範圍更加廣泛。

塑膠光學鏡片在射出成型製程中，經歷了充填、保壓、冷卻三個階段。期間塑膠高分子歷經了螺桿轉動時的高溫，噴嘴充填時流場急遽的變化，進入模穴後表面受到模壁低溫的影響，接著在保壓階段以高壓將額外的融膠擠入模穴，及最後產品冷卻至足夠的剛性後頂出。塑膠高分子的 PVT 性質、機械性質、材料黏彈特性等，在整個加工過程經歷了劇烈的變化，令其成型品產生許多的缺陷，包含體積收縮、翹曲變形、殘留應力以及雙折射等問題。射出成型時所導致的殘留應力有兩個主要原因，一個是在溫度高於玻

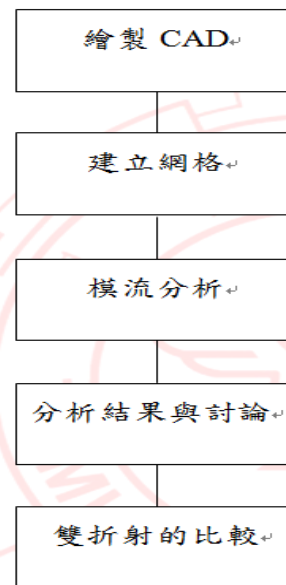
璃轉移溫度時的充填保壓階段，此時屬於高分子黏彈性行為，塑料在熔融狀態下劇烈流動產生高剪切率，靠模壁的塑料快速冷卻分子鏈隨即固化，流動的定向使這些分子排向與應力無法完全鬆弛及釋放，以致引發了流動殘留應力。二則是高溫塑膠材料快速冷卻到玻璃轉移溫度時，不同區域之壓力與溫度的變化歷程皆不同，因而產生不均勻的體積收縮和密度變化，此時分子鏈無法將體積收縮所產生的內部應力完全釋放掉，即造成熱殘留應力[1]。同時塑件在接觸模壁後之冷卻，是由表面開始向產品內部延伸，導致中心冷卻較外層緩慢，使分子鏈之間受到相互牽制也會產生屬於冷卻的殘留應力。

殘留應力直接影響了光學產品的成像品質，因為這些未完全釋放的內部應力，會造成光學產品的光彈條紋及雙折射等問題。根據 Chang 等人研究塑膠射出成型產品，以黏彈性分析預測出流動殘餘應力[2]，對三度空間中的非等向性的分子排向而產生的雙折射現象能有良好的掌握。

2009年 Chang 等人採用真實三維CAE分析工具研究射出成型的光學鏡片，並且整合 White-Metzner模型，可以考慮高分子熔膠流動時的黏彈效應，且透過應力-光學定律將預測的應力轉換求得殘留雙折射。模擬的雙折射的分佈無論在厚度方向或流動方向，均與實驗有相當高的吻合。本文將透過 Moldex3D Viscoelasticity (黏彈性分析模組)模擬射出成型光學鏡片，以分別考慮 White-Metzner 黏彈性行為，及不考慮黏彈性行為作為比較。試討論在考慮材料黏彈性流動行為後，如何減少影響光學鏡片成象品質之殘留應力的產生。

## 二、研究方法

### (一) 實驗架構



### (二) 材料

本專題選用的塑膠原料為 Kuraray GH-1000S 作為材料。

### (三) 模流分析

利用 Moldex3D 專業模流分析軟體進行光學鏡片射出成型模擬分析。本光學鏡片為一個平凸透鏡如圖 2-2，凸面曲率為 70 mm，幾何直徑為 32 mm、厚度 2 mm、澆口厚度則為 0.80 mm。圖 2-3 為 Moldex3D 分析模型示意圖，模型包含進澆口、流道、平凸鏡片。表 2-2 模型網格資訊，冷流道體積 1.96772 (cc)，而模穴充填體積為 1.25814 (cc)。表 2-3 則是本次所設定之成型條件表。

## 三、研究結果

### (一) Moldex3D 模流分析

透過 Moldex3D 模流分析結果，了解塑料在模具內的流動情形、射出過程中有無短射、殘留應力的分布、光彈條紋等現象，分析結果將針對 White-Metzner 與 White-Metzner(Modified)黏彈模式前後結果，比較原參數與實驗數據差別造成殘留應力改

變所導致影響光學產品各項缺陷的不同進行討論。

## (二)改變充填時間

優化充填時間指在可充填完畢的時間下射壓的損失最小，X軸為時間Y軸為進澆口壓力。固定保壓時間及冷卻時間下改變 PMMA 充填時間 0.1、0.3、0.5、0.7、0.9、1.1、1.3、1.5、1.7、1.9 秒共十組如表 3-1，可由圖 3-7 PMMA 改變充填時間充填結果的進澆口壓力可以找出最小的進澆口壓力，最小的進澆口壓力位於充填時間 0.9 秒。

## (三)改變保壓時間

優化保壓時間：設定體積充填至 98%時，V-P 切換由充填階段進入保壓階段，優化保壓時間只從保壓開始至結束(斜率趨近於零)最短時間，保壓時間越短則可以縮短成型週期，使射出成型更有效率。由圖 3-8 可以看出從 V-P 切換點至保壓結束(斜率趨近於零)時，大約 10 秒的時間。

在製程中的保壓時間難以確定，過長的保壓會延長週期時間、不足的保壓又會造成產品在後續冷卻體積收縮率過大，造成產品收縮不均形成翹曲或表面凹痕等缺陷。

## (四)改變冷卻時間

冷卻時間：一旦開始注射階段已完成。熔化塑膠的溫度越高冷卻時間越長，越厚的部分產生的冷卻時間越長。

優化冷卻時間：指利用最少的時間達到最好的冷卻效果，越接近優化冷卻時間則殘留應力的釋放也就越多則殘留應力越小，本次做四組 PMMA 材料分析，冷卻時間 10 秒、15 秒、20 秒、25 秒，固定充填時間 0.9sec，保壓時間 10sec，模溫 80°C，料溫 240°C，由圖 3-9、3-10、3-11、3-12、3-13、3-14、3-15、3-16 四組數值圖 3-9 平均值最低也表

示材料內的殘留應力也就越少，有較少的雙折射現象，所以本次分析 PMMA 材料設定冷卻時間 10sec。由表 3-2 PMMA Von Mises，得到結論冷卻時間過長反而會有較多的殘留應力，冷卻時間過短殘留應力亦會釋放不完全，所以作材料分析前須先優化冷卻時間，使材料在冷卻階段能充分的釋放應力，達到殘留應力最小的數值。

## (五)Relaxing time(鬆弛時間)

由圖 3-17~3-43 及表 3-3，三組比較下 relating time(鬆弛時間)大多在充填階段到保壓階段，在這段期間應力釋放較多也較為快速，而在保壓階段到冷卻階段也有應力的釋放，但是應力釋放較少速度也較為緩慢。應力為材料受到外力時便形體內質點間換產生相互作用的內力而殘留應力為材料成型冷卻之後殘留在成品內的應力，可看出應力大都集中在澆口的位置及與模壁接觸的地方，因為在進澆口地方較小容易產生殘留應力，而在成型的過程中材料的流動與模壁之間會產生剪切力則導致應力的產生。鬆弛時間定義不受外力下為內部應力減低至原本的一半時所需要的時間。較高的鬆弛時間表示有更多的記憶(彈性)效應，固化層有較高的鬆弛時間，而內部熔膠區則有較低的鬆弛時間。由圖 3-44~3-49，可以看出澆口與中心肉厚較厚的地方溫度較高(熔膠區)則有較低的鬆弛時間，而與模壁接觸的地方因為模壁溫度偏低且散熱較為容易，材料容易先固化而形成固化層所以位於靠近模壁的部分有較高的鬆弛時間。

## (六)雙折射

雙折射現主要成因是由高分子的光學非等向所導致，微觀下的高分子在軸向、背脊或側鏈方向的光學偏振特性不同，因此空間上之分子排向不一致，雙折射之程度也就不同。而分子排向在射出成型過程中，主要受到兩

種不同來源的應力所影響，分別為流動殘餘應力與熱殘餘應力。

流動殘餘應力與其所造成的分子排向在充填階段與保壓階段是屬於高分子黏彈性的行為。在溫度高於玻璃轉移溫度之下，塑料處於熔融的階段，高分子鏈將很容易的依據流動方向產生相對應的配向。而射出成型過程中高冷卻率下的快速固化將使得這些應力與分子排向無法被完全的鬆弛及釋放。

熱殘餘應力與其所造成的分子排向之成因，則主要是高溫的熔膠冷卻到室溫後的會產生體積收縮，且不同的位置的溫度與壓力等歷程不同，因而產生空間中的不均勻體積收縮與密度變化。經過分子鏈間的相互牽制與妥協後形成了產品的翹曲與變形，其中無法完全釋放掉的體積收縮所呈現的內應力，就是熱殘餘應力。熱應力一般比流動應力大，但是由於在溫度較低時所產生，造成的分子排向卻相對較流動應力小。

#### 四、結論

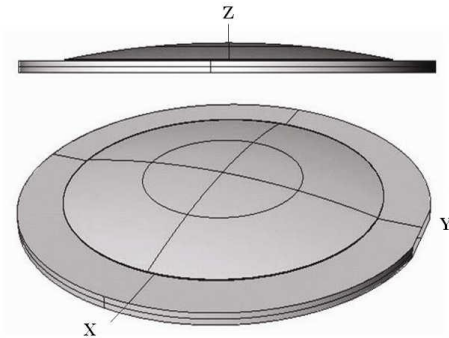
殘留應力（光彈條紋）分布在澆口及與模壁接觸附近較為密集，顯示該處之雙折射較為嚴重。

#### 五、參考文獻

- [1]張元榕、邱顯森、楊文賢、張榮語，應用黏彈性分析於預測射出產品之流動殘留應力，科盛科技股份有限公司、國立清華大學化學工程學系，2008。
- [2]張元榕、楊文賢、游朝凱、張榮語，塑膠射出成型產品之雙折射預測，科盛科技股份有限公司、國立清華大學化學工程學系，2008。

- [3] 張元榕、游朝凱、邱顯森、楊文賢、王培仁，射出成型光學鏡片的模擬與驗證，科盛科技股份有限公司、國立清華大學動力機械工程學系，2009。
- [4] Moldex3D/Solid真實三維模流分析理論與應用，科盛科技股份有限公司，2009年。
- [5] Chang, Y. J., Yu, C. K., Chiu, H. S., Yang, W. H., Lai, H. E. and Wang, P. J., Simulations and Verifications of True 3D Optical Parts by Injection Molding Process, Society of Plastics Engineers Annual Technical Conference (2009).
- [6] Wang, P. J. and Lai, H. E., Study Of Residual Birefringence In Injection Molded Lenses, Asia Pacific Conference on Optics Manufacture, (2007).
- [7] Y, G. D., Isayev, A. I., and Lee, H. S., Numerical Simulation of Flow-induced Birefringence in Injection Molded Disk, Korea-Australia Rheology Journal, 15, 159-166 (2003).
- [8] A simple empirical model describing the steady-state shear and extensional viscosities of polymer melts, H. A. Barnes, G. P. Roberts, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 44, 113-126 (1992)

#### 六、圖表彙整



Curvature: 70mm  
 Diameter: 32mm  
 Thickness: 2mm  
 Gate Thickness: 0.8mm

圖 2-8 平凸透鏡幾何示意圖

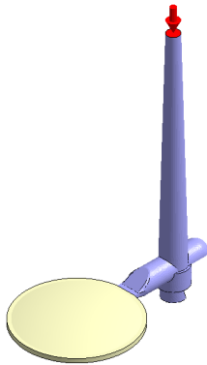


圖 2-9 Moldex3D 分析模型示意圖

塑件尺寸	30.99 x 30.75 x 2.71 (mm)
模穴體積	1.25814 (cc)
冷流道體積	1.96772 (cc)
元素個數	2971650
塑件元素	949717

表 2-2 模型網格資訊

填充時間	0.9 (sec)
料溫	240.0 (°C)

模溫	80.0 (°C)
最大射出壓力	140.00 (MPa)
射出體積	3.22586 (cc)
保壓時間	10.0000 (sec)
最大保壓壓力	140.00 (MPa)
VP 切換(充填體積百分比)	98.00 (%)
開模時間	5.0000 (sec)
頂出溫度	99.8 (°C)
空氣溫度	25.0 (°C)

表 2-3 PMMA 成型條件表

填充時間	2.1(sec)
料溫	240.0 (°C)
模溫	80.0 (°C)
最大射出壓力	250.00 (MPa)
射出體積	3.22586 (cc)
保壓時間	10.0000 (sec)
最大保壓壓力	250.00 (MPa)
VP 切換(充填體積百分比)	98.00 (%)
開模時間	5.0000 (sec)
頂出溫度	99.8 (°C)
空氣溫度	25.0 (°C)

表 2-4 COP 成形條件表

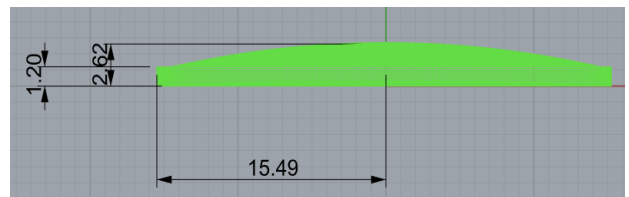


圖 2-14 模具尺寸

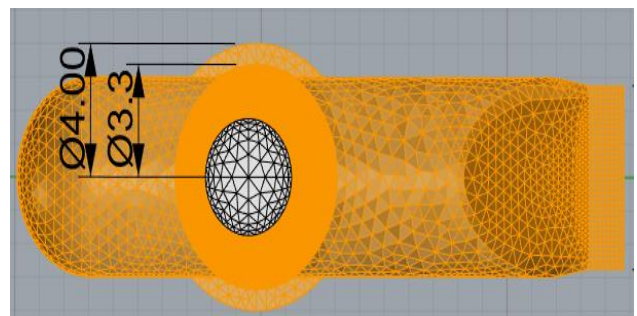


圖 2-10 流道直徑尺寸

表 2-4 PMMA 參數設定

項目	測試組一	測試組三
G(dyne/cm <sup>2</sup> )	1e+006	
Lambdas(sec)		0.325
m		0.34
k		0.249
A1		8.68
A2(K)		181.06
Tf(K)		493

圖 2-11 流道尺寸

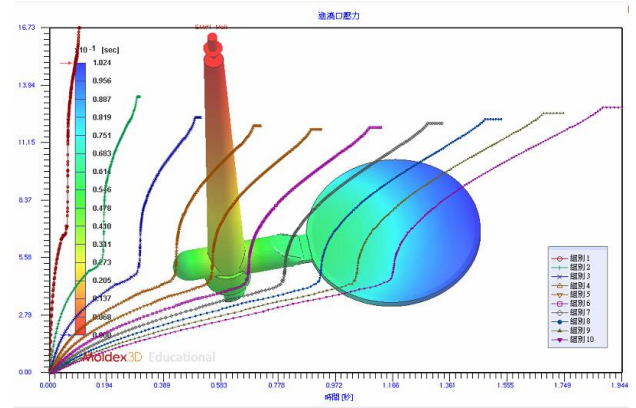
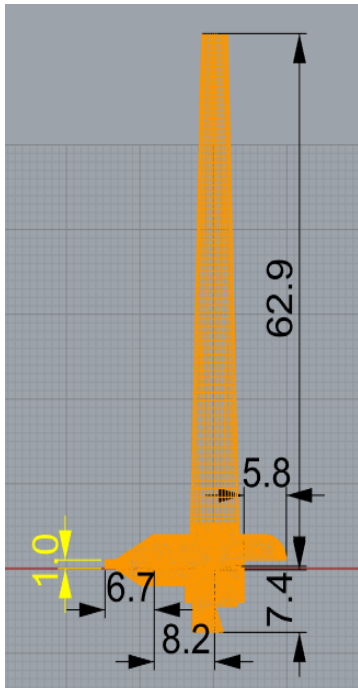


圖 3-7 PMMA 改變充填時間-近澆口壓力

組別	充填時間 (sec)	保壓時間 (sec)	冷卻時間 (sec)
1	0.1	3	10
2	0.3	3	10
3	0.5	3	10
4	0.7	3	10
5	0.9	3	10
6	1.1	3	10
7	1.3	3	10
8	1.5	3	10
9	1.7	3	10
10	1.9	3	10

表 3-1 PMMA 改變充填-充填結果

項目	PMMA(MPa)
冷卻 10 秒	0.69844
冷卻 15 秒	0.703175
冷卻 20 秒	0.705686
冷卻 25 秒	0.708948

表 3-2 PMMA Von Mises

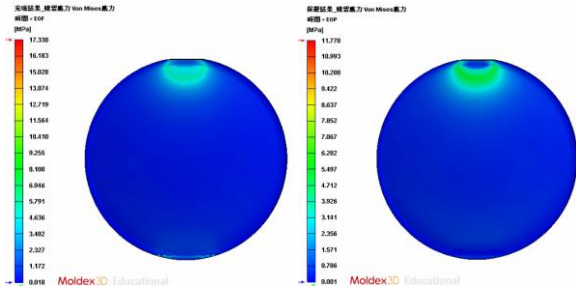


圖 3-17

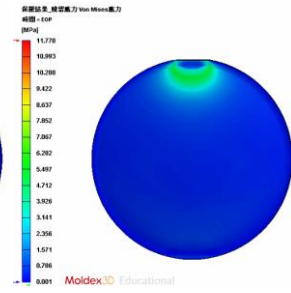


圖 3-18

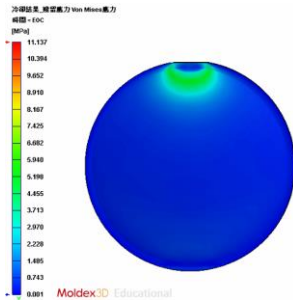


圖 3-19

測試組一:White-Metzner-原參數 PMMA Von mises 圖 3-17 充填結果、圖 3-18 保壓結果、圖 3-19 冷卻結果

測試組三:White-Metzner(Modified)-實驗室參數 PMMA-Von mises 圖 3-23 充填結果、圖 3-24 保壓結果、圖 3-25 冷卻結果

殘留應力 (Von Mises)	測試組一	測試組三
充填階段結束	0.370636	2.8982
保壓階段結束	0.321347	0.710401
冷卻階段結束	0.313502	0.69844

表 3-3 PMMA Von Mises 各階段結果

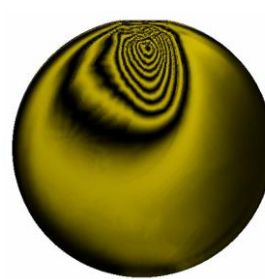


圖 3-26

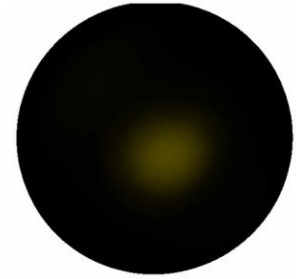


圖 3-27

測試組一:White-Metzner-原參數 圖 3-26 流動導致光彈條紋、圖 3-27 熱導致光彈條紋

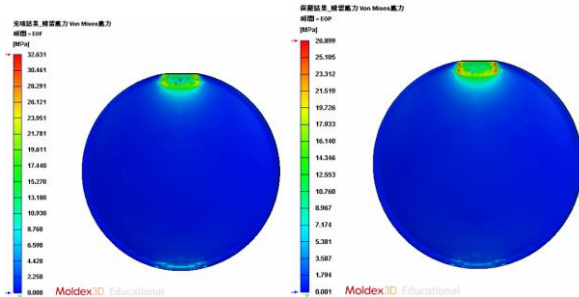


圖 3-23

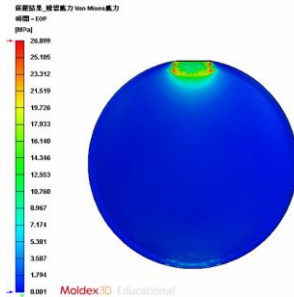


圖 3-24

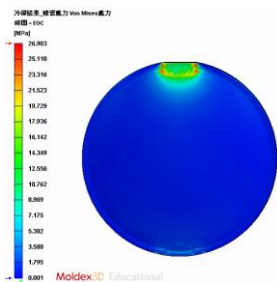


圖 3-25

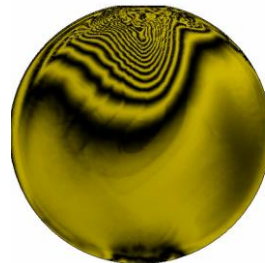


圖 3-30



圖 3-31

測試組三:White-Metzner(Modified)-實驗室參數

圖 3-30 流動導致光彈條紋、圖 3-31 熱導致光彈條紋

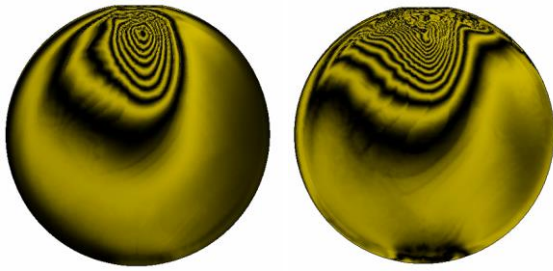


圖 3-32

圖 3-34

圖 3-32 測試組一-總和光彈條紋、圖 3-33 總和光彈條紋、圖 3-34 總和光彈條紋

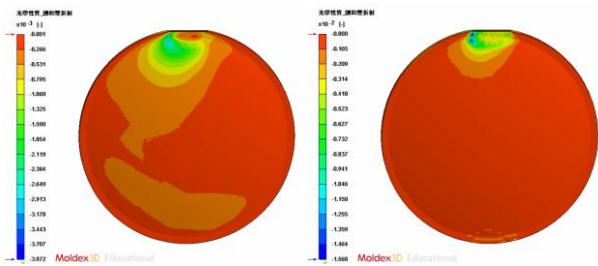


圖 3-35

圖 3-37

圖 3-35 測試組一-總和雙折射、圖 3-36 測試組二-總和雙折射、圖 3-37 測試組三-總和雙折射