

光學鏡片製程改善之研究

林文燦^a 謝忠祐^b 陳美子^a 陳明志^a 雒瑋群^b

a 國立勤益技術學院 工業工程與管理系研究所

b 國立勤益技術學院 精密機械與製造科技研究所

台中縣太平市中山路一段215巷35號

lin505@ncit.edu.tw

摘要

近年來，由於科技的進步，光電產品及其零組件，例如光碟機、雷射印表機、傳真機、影像掃描機及數位相機.....等，也不斷地推陳出新，而光學鏡片更是光資訊及光電系統中不可或缺的關鍵性零組件。在面對光電產品需求量大增及品質的嚴苛要求下，光學鏡片除了產品本身需不斷微型外，一般傳統塑膠射出成型所使用的試誤或經驗法早已不符其需求，若能針對塑膠的翹曲變形加以了解與控制，才能充分地掌握到成品的精度與品質。

本研究使用有機玻璃（聚甲基丙烯酸甲酯，PMMA）做為塑膠光學鏡片的材料，運用田口品質工程的參數設計，應用直交表進行實驗設計，以信號雜音比之數據分析方法來探討及改變射出成型機上的相關參數，進行改良塑化與充填品質，並探究各參數因子在其他參數條件變化的情況下，對各項品質特性值的影響效果；同時找出重要的影響參數，同時找出最佳化的加工參數，有效的控制整個製程，期望能提供光電相關產業在推動競爭力與提升經營品質的參考。

關鍵詞：有機玻璃（聚甲基丙烯酸甲酯）、田口方法、射出成型、光學鏡片、翹曲

1.前言

自從高分子工業發展迅速，各種塑膠特性往往都能超越傳統材料，舉凡機械性質、電氣性質、加工性、耐候性等等，都是傳統材料難以與之匹敵的優點[3]。由於塑膠具有加工容易、質量輕、價格便宜、用途廣泛等優越的特性，使得塑膠在目前的各項產業科技中，已大量地取代其他工業用材料[4]。而近年來，更由於光的資訊和通訊等科技神速進步與被廣泛的應用，光電產品及其零組件更是不斷地推陳出新，並迅速成為市場上需求龐大的消費性產品。而在此光電革命中，居於關鍵性地位的光電零組件，更是影響產業發展的重要因素，其中光學鏡片更可說是光資訊與光電系統中不可或缺的零組件[7]。

實驗設備有其限制，本研究由於射出模具是一模兩穴，模穴的配置是採上下側，為避免不同模穴射出鏡片的表面狀況差異過大，因此實驗試片取樣量測時選擇上端試片。

本研究依據專家訪談與文獻整理彙整影響翹曲度的因素，並利用田口式品質工程的參數設計方法，應用直交表進行實驗設計，以信號雜音比之數據分析方法來改變射出成型機上的相關參數，進行改良塑化與充填品質，並探究各參數因子在其他參數條件變化的情況下，對各項(進料溫度、進料位置、射出速度、射出壓力、保壓壓力、保壓時間、模具模溫、冷卻時間)品質特性值的影響效果；同時找出重要的影

響參數，同時找出最佳組合條件，以求得最佳化的加工參數，目的在於利用最少的時間、最低的成本以及有限的資源來求得有效的數據，希望日後對業界在量產相關產品時有所助益。

2.研究方法

研究方法係利用田口品質工程的參數設計，提出下列步驟(如圖1)，利用實驗尋找光學鏡片製程中控制因子的水準組合，使系統對雜音因子的敏感度為最低，進而提升系統的穩健性。

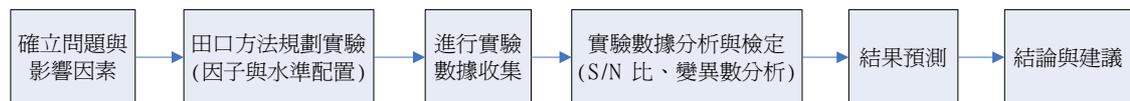


圖 1 研究步驟

2.1.文獻探討

2.1.1 田口方法

田口方法(Taguchi Method) [1] [2]是一套簡單、有效且有系統性的參數設計及實驗規劃工具除用在品質工程外，亦廣泛的使用在工程領域上。田口博士認為品質是設計出來的，雜音因子為產品特性變異的原因，因此在產品設計或製程開發時，即要想辦法降低雜音因子的干擾影響，此稱為生產線外的品質工程。

Tao C. Chang[23]應用田口方法有系統地研究三種塑膠（HPDE、GPS、ABS）在射出成型的製程中，對其收縮的影響，其研究指出模溫、料溫、保壓壓力及保壓時間對此三種材料的收縮影響最為顯著。

Huang and Tai[17]利用 C-Mold 模流軟體配合田口實驗設計來研究薄殼射出物件翹曲的影響因素，結果顯示保壓壓力有最大的影響，其次是模溫、料溫、保壓時間，另具些微影響的是澆口形狀與充填時間。

Wu and Su[8]利用田口方法研究射出參數對厚度有等向變化的背光板的影響狀況，保壓壓力是影響最顯著的射出參數。

陳文凱等[5]以液體輔助射出成型件之表面光澤探討，發現由單一參數實驗可得知影響表面光澤差現象的重要參數為模具溫度、保壓壓力及保壓時間。在田口式實驗法中，對表面光澤差影響最大的製程參數為保壓時間。

陳啓峰[6]以PS為材料，利用單一參數實驗及田口品質方法，以求取製程參數對成形品精度的影響趨勢。研究發現，融膠溫度與成形品精度成反比，射膠壓力、壓縮壓力、壓縮時間、保壓時間及保壓壓力則成正比，PS 非球面透鏡最佳之製成參數為融膠溫度225°C、射膠壓力141.2MPa、射膠速度65.4cm³/s、壓縮壓力169.4MPa、壓縮時間30sec、保壓時間30sec 以及保壓壓力169.4MPa，其中影響力的順序為保壓時間>保壓壓力>壓縮壓力>射膠速度>融膠溫度>壓縮時間>射膠壓力。

2.1.2 射出成型

有關射出成型方面的研究，始於1960年由Toor、Ballman 與Cooper[12]以數值方法分析Power-law 一維流體在長方形薄殼模穴的充填情形，此後便有許多相關的

論文相繼發表，使用不同的方法對充填過程進行研究。射出成型主要由充填(Filling)、保壓(Packing)及冷卻(Cooling)三個階段所組成，每一個階段都必須考慮到材料性質、模具結構及加工條件[14]。

C. Zhao等[9] [18]在射出成型中與加工條件相關的參數中，如冷卻溫度、管口以及加熱筒溫度、射出速度、保持壓力、保壓時間、冷卻時間及射出壓力等等，每個參數幾乎都會對產品的品質產生影響。

在冷卻過程方面的研究，Kamal與Kenig[19][20]以熱傳導方程式來解固態和熔融態部分冷卻的情形。

Gissing[15]研究發現，適當的持壓壓力、持壓時間對產品的穩定度和收縮量影響很大。

K. M. B. Jansen 等[16]有系統性的分析參數對七種熱塑性塑膠材料(PC、PS、ABS、HIPS、PBT 1505、PBT 3235、HDPE)的收縮影響，研究提出保壓壓力與料溫對上述材料有相同趨勢且較大影響，而射出速率與模溫影響較小且無一致性。

Lu 等[24]利用統計實驗方法有系統地分析，在不同的製程參數下對材料為polycarbonate(PC)的光學鏡片外型有何影響，其研究指出模溫對外型所造成的誤差影響最大。

Miguel Pazos 等[21]利用 CAE 軟體 C-Mold 去探討 polycarbonate(PC)雙凸與雙凹鏡片的厚度限制對其成型性與表面外觀的影響。雙凸與雙凹鏡片的厚度在 500 μm ，為成型壓力－厚度曲線的平緩點，但考慮到外觀缺陷(氣孔、融合線)時，雙凸與雙凹鏡片的厚度分別為 500 μm 與 650 μm 有較少的缺陷產生。

Galic等[10]以一非常高的保壓壓力來大量複製PC 材料之穩形鏡片的微表面，而不產生高的雙折射率，且在充填期間減少壓縮將可有效降低雙折射率。

Sone等[22]採用一個具有噴嘴壓力回饋機制的先進保壓壓力控制系統。且設計了三種不同的保壓控制系統，並且利用它們來進行塑膠鏡片成形。由實驗顯示固定的比容壓力控制將可改善射出成型品之尺寸精度及減少應變在三種不同的保壓控制中，平均溫度控制將是改善形狀精度及雙折射率最大的因素。

Hung[13]研究塑膠物鏡之散光對光碟片儲存資料時循跡誤差之影響。塑膠物鏡散光的形成一般是由於成形加工期間非對稱之誤差所導致。經由模擬及實驗發現藉由轉動物鏡角度至一適當角度，將可獲得較佳之光學聚焦。

Guy Courbebaisse等[11]以造型參數〔Shape Parameter〕及射出成型之灌注點位置，來取得最低的射壓，並能讓各模穴同步均勻地充填，減少結合線--外觀面的缺失。

2.2 目的特性的決定

2.2.1 翹曲度

實驗選擇 P_a 代表光學鏡片表面翹曲度， P_a 是在全部總量測長度內，翹曲偏離平均線的算數平均值，它屬於未濾波參數。

$$P_a = \frac{1}{l_q} \int_0^{l_q} |Z(x)| dx \quad (1)$$

其中 l_q : 全部量測長度

$Z(x)$: 在 x 距離的偏移量

鏡片表面翹曲精度量測時，需注意量測方向應具備一致性，避免因量測位置上的不同而造成量測參數的誤差。

2.2.2 光學鏡片射出成型流程

1. 備料。
2. 設定進料溫度，進料位置，模具模溫，進行塑料之預塑化與溶化，完成射出成型前準備。
3. 確認射出壓力、射出速度後，充填融溶塑膠自貫嘴中射入模具中。
4. 設定保壓壓力及保壓時間，使塑料熔膠收縮降至最小。
5. 使用不同的冷卻時間設定實驗參數。
6. 脫模，打開模穴，使用頂針(Ejector Pin)將成品、澆道系統及廢料頂出。
7. 實驗結束後取出光學鏡片，將光學鏡片放至於輪廓儀底下觀測，並紀錄之。
8. 如此依序完成實驗並將結果紀錄之。

2.2.3 實驗器材設備

本研究使用的實驗設備主要可分為精密射出成形設備、實驗光學模具與量測設備三部分，包含精密射出成形機、射出模具及輪廓儀等



圖 2 實驗器材設備圖

2.3 數據的搜集

2.3.1 目的特性的決定

根據前述文獻探討，我們決定以翹曲度作為回應值，也就是目的特性，期望能夠求得最小的翹曲度，故屬於望小特性。

2.3.2 因子與水準的選取

經由經驗與檢閱相關文獻過後，得到影響翹曲度的因素如下：進料溫度、進料位置、射出速度、射出壓力、保壓壓力、保壓時間、模具模溫、冷卻時間。因子與水準的決定如表1 所示。

表 1.控制因子與水準

	水準(1)	水準(2)	水準 3
A.進料溫度 (°C)	230	220	—
B.進料位置 (mm)	17	18	19
C.射出速度(mm/s)	10	30	50

D.射出壓力 (bar)	850	1000	1150
E.保壓壓力 (bar)	1000	1150	1300
F.保壓時間(sec)	6	9	12
G.模具模溫 (°C)	80	90	100
H.冷卻時間 (sec)	10	15	20

2.3.3 因子的配置

本次實驗因子數為8，每個因子皆為3個水準，選擇 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表，並將因子配置於直交表上，如表2所示

表2.實驗因子與水準配置 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表

Exp	A	B	C	D	E	F	G	H	進料溫度 °C	進料位置 mm	射出速度 mm/s	射出壓力 (bar)	保壓壓力 (bar)	保壓時間 (sec)	模具模溫 (°C)	冷卻時間 sec
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	1	1	1	1	230	17	10	850	1000	6	80	10
2	1	1	2	2	2	2	2	2	230	17	30	1000	1150	9	90	15
3	1	1	3	3	3	3	3	3	230	17	50	1150	1300	12	100	20
4	1	2	1	1	2	2	3	3	230	18	10	850	1150	9	100	20
5	1	2	2	2	3	3	1	1	230	18	30	1000	1300	12	80	10
6	1	2	3	3	1	1	2	2	230	18	50	1150	1000	6	90	15
7	1	3	1	2	1	3	2	3	230	19	10	1000	1000	12	90	20
8	1	3	2	3	2	1	3	1	230	19	30	1150	1150	6	100	10
9	1	3	3	1	3	2	1	2	230	19	50	850	1300	9	80	15
10	2	1	1	3	3	2	2	1	220	17	10	1150	1300	9	90	10
11	2	1	2	1	1	3	3	2	220	17	30	850	1000	12	100	15
12	2	1	3	2	2	1	1	3	220	17	50	1000	1150	6	80	20
13	2	2	1	2	3	1	3	2	220	18	10	1000	1300	6	100	15
14	2	2	2	3	1	2	1	3	220	18	30	1150	1000	9	80	20
15	2	2	3	1	2	3	2	1	220	18	50	850	1150	12	90	10
16	2	3	1	3	2	3	1	2	220	19	10	1150	1150	12	80	15
17	2	3	2	1	3	1	2	3	220	19	30	850	1300	6	90	20
18	2	3	3	2	1	2	3	1	220	19	50	1000	1000	9	100	10

2.4 實驗數據分析

本次實驗根據直交表配置並重複3次，其原始數據如表4-1所示

表3.實驗回應值(Pa)

翹曲度(Pa)		
0.993	0.983	0.986
0.533	0.613	0.512
0.202	0.236	0.312
0.764	0.724	0.664
0.281	0.278	0.251
0.784	0.765	0.804
0.973	0.963	0.973
0.343	0.313	0.293
0.555	0.615	0.625

0.512	0.472	0.532
0.989	0.991	0.989
0.930	0.922	0.941
0.433	0.423	0.445
0.837	0.806	0.807
0.970	0.965	0.966
0.773	0.710	0.673
0.969	0.986	0.969
0.729	0.792	0.795

2.4.1 SN比

在通訊上，S/N 比之定義為訊號的強度對雜音的強度之比值。因此，田口博士借用此定義，創造「參數設計」中使用的 S/N 比。基本上，由損失函數可看出，若調整品質特性之平均值至目標值上，可使損失減少，且平均值之調整容易，故平均值可視為「有用的訊號」。品質特性變異增加，將使損失變大，故變異可視為「有害的訊號」。故田口將 S/N 比定義為有用的訊號對有害的訊號之比。

本文將應用望小特性來求得一組最佳實驗參數組合使翹曲之目標值為越小越好。如將 S/N 比單位以分貝(dB)表示，望小特性 S/N 比定義為：

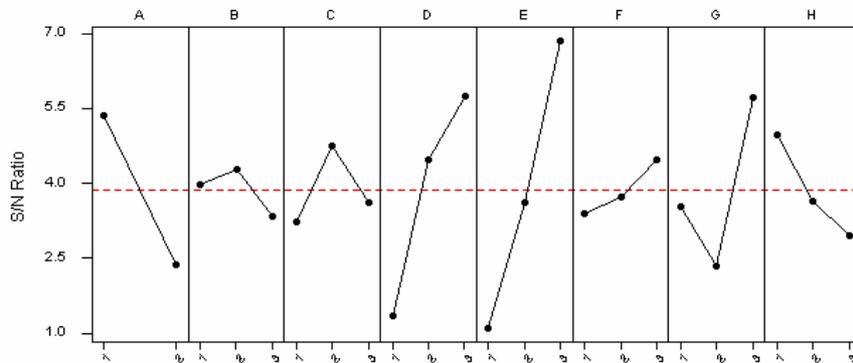
$$SN_{STB} = -10 \log(\text{MSD}) = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (2)$$

SN 比成上負號，可達成 MSD(品質損失)越小則 SN 比會越大的一般性原則。根據式(2)我們得以求得 SN 比如表 4 所示：

表4 SN比

直交表	1	2	3	4	5	6	7	8	SN比
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.1106
2	1	1	2	2	2	2	2	2	5.1239
3	1	1	3	3	3	3	3	3	11.8967
4	1	2	1	1	2	2	3	3	2.8713
5	1	2	2	2	3	3	1	1	11.3619
6	1	2	3	3	1	1	2	2	2.1082
7	1	3	1	2	1	3	2	3	0.2674
8	1	3	2	3	2	1	3	1	9.9788
9	1	3	3	1	3	2	1	2	4.4496
10	2	1	1	3	3	2	2	1	5.9179
11	2	1	2	1	1	3	3	2	0.0902
12	2	1	3	2	2	1	1	3	0.6207
13	2	2	1	2	3	1	3	2	7.255
14	2	2	2	3	1	2	1	3	1.7578
15	2	2	3	1	2	3	2	1	0.2914
16	2	3	1	3	2	3	1	2	2.8551
17	2	3	2	1	3	1	2	3	0.2226
18	2	3	3	2	1	2	3	1	2.2409

接下來，繪製 SN 比的因子效果圖如圖 3



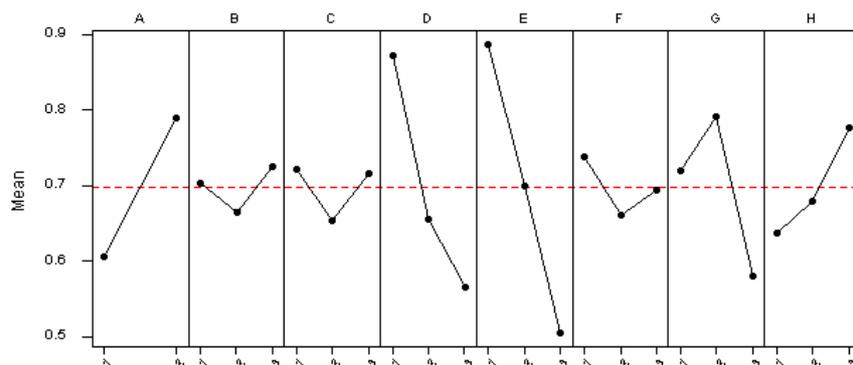
A.進料溫度 B.進料位置 C.射出速度 D.射出壓力 E.保壓壓力 F.保壓時間 G.模具油溫 H.冷卻時間
圖3 SN比之因子效果圖

從圖3中可知，SN比值大的因子組合為A1B2C2D3E3F3G3H1。為了幫助我們判斷SN比，做出表5

表5 SN 比輔助表

平均數輔助表				
要因	1	2	3	MAX-MIN
A				
B				
C				
D				
E				
F				
G				
H				

我們可以依照同樣的方法對平均數做分析的因子效果圖，如圖 4



A.進料溫度 B.進料位置 C.射出速度 D.射出壓力 E.保壓壓力 F.保壓時間 G.模具油溫 H.冷卻時間
圖4 平均數之因子效果圖

從圖4中可知，平均數大的因子組合為A2B3C2D1E1F1G2H3。

表6 Mean 輔助表

平均數輔助表				
要因	1	2	3	MAX-MIN
A				
B				
C				
D				
E				
F				
G				
H				

2.4.2 變異數分析

變異數分析能提供不同因子相對效果客觀的分析，分析結果見表7與表8

表7 SN比變異數分析表

變異來源	自由度	平方合	均方	F值	P值
A*	1	40.251	40.251	77.28	0.013
B	2	2.739	1.369	2.63	0.276
C	2	7.729	3.865	7.42	0.119
D*	2	61.905	30.952	59.43	0.017
E*	2	99.840	49.920	95.85	0.010
F	2	3.637	1.818	3.49	0.223
G*	2	35.670	17.835	34.24	0.028
H	2	12.932	6.466	12.41	0.075
Error	2	1.042	0.521		
Total	17	265.743			

附註：*表示具有顯著影響的因子

由表7分析出A、D、E及G因子具有顯著影響。

表8 平均數之變異數分析表

變異來源	自由度	平方合	均方	F值	P值
A*	1	0.153581	0.153581	96.04	0.010
B	2	0.011082	0.005541	3.47	0.224
C	2	0.017613	0.008807	5.51	0.154
D*	2	0.299424	0.149712	93.62	0.011
E*	2	0.436200	0.218100	136.39	0.007
F	2	0.018118	0.009059	5.67	0.150
G*	2	0.140098	0.070049	43.81	0.022
H*	2	0.061879	0.030939	19.35	0.049
Error	2	0.003198	0.001599		
Total	17	1.141193			

附註：*表示具有顯著影響的因子

由表8分析出A、D、E、G及H因子具有顯著影響。

2.5 結果預測

而本研究原先參數設定為A2B2C3D2E2F2G1H3，根據田口方法參數設計兩階段程序的分析與檢定後，建議採用因子組合A1B2C2D3E3F3G3H1(表9)：

表9 本研究最佳因子組合

要因	設定
進料溫度(°C)	230
進料位置(mm)	18
射出速度(mm/s)	30
射出壓力(bar)	1150
保壓壓力(bar)	1300
保壓時間(sec)	12
模具模溫(°C)	100
冷卻時間(sec)	10

3.結論

3.1 結果與貢獻

本研究運用田口品質工程實驗設計的方法，藉由SN比的ANOVA分析可知A因子(進料溫度)、D因子(射出壓力)、E因子(保壓壓力)與G因子(模具模溫)對變異有顯著影響。從另一個角度對平均數的ANOVA分析，也同樣地找到A因子(進料溫度)、D因子(射出壓力) E因子(保壓壓力)與G因子(模具模溫)及H因子(冷卻時間)對平均值有最顯著影響。

而本研究原先參數設定為A2B2C3D2E2F2G1H3，根據田口方法參數設計兩階段程序的分析與檢定後，建議採用因子組合A1B2C2D3E3F3G3H1，亦即，進料溫度 230°C、進料位置 18 mm、射出速度 30 mm/s、射出壓力 1150 bar、保壓壓力 1300 bar、保壓時間 12 sec、模具模溫 100°C、冷卻時間 10 sec。期望本研究結果能提供相關產業推動品質提升的參考。

3.2 後續研究方向

本研究將焦點放在結合田口品質工程對光學鏡片製程改善之研究，並探究各參數因子在其他參數條件變化的情況下，對各項品質特性值的影響效果。

當確認其田口方式對光學鏡片製程確有改善的功效，可進一步使用六標準差DMAIC模式，評量六標準差對其製程變異數的改善功效。

參考文獻

- 1.田口玄一，品質設計的實驗計畫法，中國生產力中心(1991)。
- 2.李輝煌，田口方法-品質設計的原理與實務，高立圖書有限公司(2000)。
- 3.張榮語，”射出成型模具設計(I) (II) (III)” ，高立圖書有限公司(1995)。
- 4.張榮語，楊文賢，邱淑婷，”CAE 與塑膠射出成型”，化工技術第五卷第七期(1997)。
- 5.陳文凱，”液體輔助射出成型件之表面光澤探討”，私立長庚大學機械工程研究所碩士論文(2003)。
- 6.陳啓峰，”塑膠光學透鏡之射出成型製程探討”，私立長庚大學機械工程研究所碩士論文(2002)。
- 7.劉源昌，賴添興，”聚焦非球面厚透鏡的光學設計”，光學工程第七十九期(2002)。
8. Cheng Hsien Wu, Yi Li Su, “Optimization of wedge-shaped parts for injection molding and injection compression molding”, Int. Comm. Heat Mass Transfer, vol.30, No. 2, pp.215-214(2003)。
9. C. Zhaoand F. Gao, “Melt Temperature Profile Prediction for Thermoplastic Injection Molding”,

- Polymer Engineering and Science, Vol. 39, No. 9, pp. 1787-1801(1999) ◦ .
10. Galic, George J. and Maus, Steven, "Improved plastic molding technology for ophthalmic lens and contact lens", Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Vol. 1529, p. 13-21 (1991) ◦
 11. Guy Courbebaisse & David Garcia, Shape analysis and injection molding optimization, Computational Materials Science 25 (2002) 547-553 (2002) ◦
 12. H. L. Toor, R. L. Ballman and L. Cooper, "Predicting Mold Flow by Electronic Computer", Modern Plastics, Vol. 39, No. 12, p. 117 (1960) ◦
 13. Hung, Kai Man, "Effects of an asymmetrically molded plastic objective lens on the push-pull tracking-error signal in an optical disk drive", Applied Optics, Vol. 39, No. 8, p. 1309-1314 (2000) ◦
 14. J. P. Ibar., "Control of Properties by Melt Vibration Technology: A Review", Polymer Engineering and Science, Vol. 38, No. 1, p. 1-20 (1998) ◦
 15. K. Gissing, K. Knappe, Leoben, "Optimum Holding Pressure Profile During Injection Molding of Thermoplastic", Kunststoffe 77, pp. 15 (1987) ◦
 16. K. M. B. Jansen, D. J. Vandijk, M. H. Husselman, "Effect of processing conditions on shrinkage in injection molding", Polymer Engineering and Science, vol. 38, NO. 5 (1998) ◦
 17. Ming-Chih Huang, Ching-Chih Tai, "The effective factors in the warpage problem of an injection-molded part with a thin shell feature", Journal of Materials Processing Technology (2001) ◦
 18. M. S. Chris, A. D. Alan, and F. George, "Multiobjective Optimization of a Plastic Injection Molding Process", IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol. 2, No. 3, pp. 157-168 (1994) ◦
 19. M. R. Kamal, and S. Kenig, "The Injection Molding of Thermoplastic Part I: Theoretical Model," Polym. Eng. Sci., Vol. 12, No. 4, pp. 294-301 (1972) ◦
 20. M. R. Kamal, and S. Kenig, "The Injection Molding of Thermoplastic Part II: Experimental Test of the Model," Polym. Eng. Sci., Vol. 12, No. 4, p. 302-308 (1972) ◦
 21. Miguel Pazos, Juan Baselga, Julio Bravo, "Limiting thickness estimation in polycarbonate lenses injection using CAE tools", Journal of Materials Processing Technology (2003) ◦
 22. Sone, Junji; Murata, Hiroshi; Takagi, Shoji, "Experimental results of molding pressure control on injection molding process of plastic lenses", Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part C, Vol. 63, No. 611, p. 2552-2557 (1997) ◦
 23. T. C. Chang, "Shrinkage behavior and optimization of injection molded parts studied by the Taguchi method", Polymer Engineering and Science, vol. 41, NO. 5 (2001) ◦
 24. Xuehong Lu, Lau Soo Khim, "A statistical experimental study of the injection molding of optical lenses", Journal of Materials Processing Technology (2001) ◦