

# PVT控制法優化射出壓縮工藝參數的研究

## Research of optimizing parameter for injection compression process using PVT control method

陳夏宗<sup>1</sup>、朱奕鋁<sup>1\*</sup>、梁雁翔<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 中原大學智慧製造中心

\*E-mail:vincent8802171@gmail.com

### 1. 摘要

近年來，塑膠製品以其加工簡單、成本低、產品幾何形狀不受限制、原材料選擇多樣化等優點，被廣泛應用於日用品、精密醫療器械乃至航空航太等行業。隨著時代的進步，射出成型的標準已經逐步提高，因此，產品或生產方法的精度和質量需要提高才能進入市場。

### Abstract

In recent years, plastic products have been widely used in daily necessities, precision medical devices and even aerospace industries because of their simple processing, low cost, unrestricted product geometry and diversified selection of raw materials. With the progress of the times, the standard of injection molding has been gradually improved. Therefore, the accuracy and quality of products or production methods need to be improved before they can enter the market.

### 2. 前言

目前，在射出壓縮成型過程中，還沒有控制產品質量的指標，無法知道工藝性能是否優於傳統注射。在本研究中，我們將通過PVT（Pressure-Temperature-Specific Volume）技術探索射出壓縮成型過程中的比容值與實際收縮差的差異，看看它是否具有比傳統的數值更好的性能，對薄型產品進行射出成型，並找到一套基於PVT系統可以提高產品質量並且可監控生產時是否發生變異的射出壓縮參數及模組。

### 3. 實驗

#### 3.1 實驗設計

本實驗分為兩部分，分別使用了兩種厚度不同的產品，分別為1.5mm和0.6mm。首先，在1.5mm 產品上採用田口實驗設計方法確定射出壓縮參數：壓縮力、壓縮速度、延遲壓縮時間、預開量和模具溫度（表 1 和表 2）對 PVT 產品比容的影響程序，確定各因素對收縮的影響值後，調整兩個主要因素，用2.5D測量產品尺寸。將結果與程式計算的比容值進行比較，觀察是否有相關趨勢，然後進行實驗。1.5mm實驗流程如圖1所示。

對於0.6mm，使用單因子實驗表3來確定哪些因素會影響產品的比容和收縮率。將各個因素調整到機器的上下限，觀察產品的收縮率和比容後，發現只有延遲壓縮時間對比容有影響。如圖2中的流程圖所示，其他因素對比較體積值沒有影響，因此，僅使用延遲壓縮來觀察產品的比容和收縮率。實驗流程如圖3所示。

表1 1.5mm第一組設計參數

組別 1	壓縮力	壓縮速度	延遲壓縮時間	預開量
Level 1	20 ton	0.01 s	0.17 s	0.45 mm
Level 2	45 ton	0.05 s	0.28 s	0.75 mm

Level 3	70 ton	0.1 s	0.46 s	1.2 mm
---------	--------	-------	--------	--------

表2 1.5mm第二組設計參數

組別	壓縮力	壓縮速度	延遲壓縮時間	模溫
Level 1	20 ton	0.01 s	0.17 s	30°C
Level 2	45 ton	0.05 s	0.28 s	50°C
Level 3	70 ton	0.1 s	0.46 s	70°C

表3 0.6mm單因子實驗法

壓縮力	壓縮速度	預開量	延遲壓縮時間
80 ton	1.5 s	0.6 mm	90%
10 ton	0.1s	0.1mm	10%

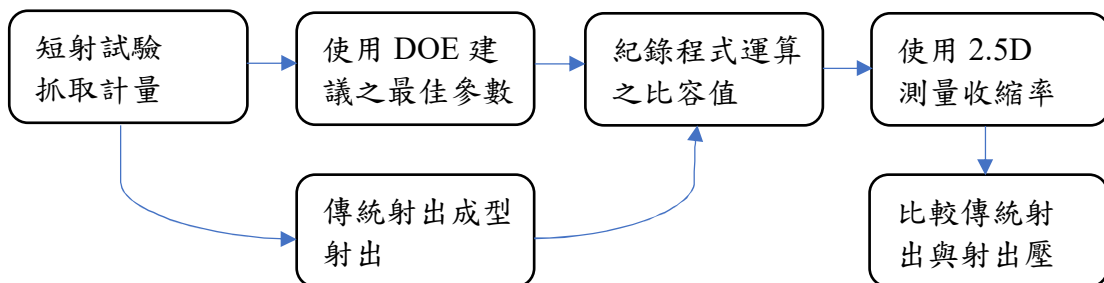


圖 1 1.5mm 實驗流程圖

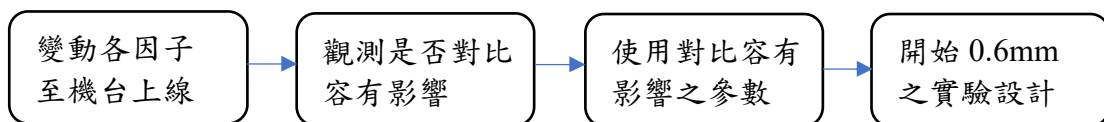


圖 2 0.6mm 單因子實驗流程圖

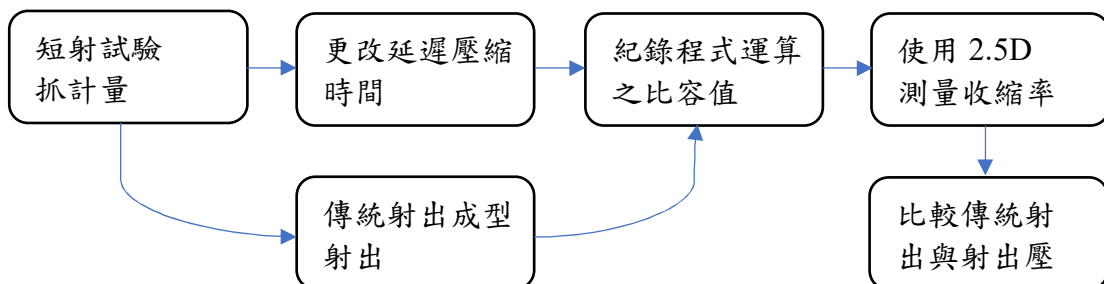


圖3 0.6mm實驗流程圖

### 3.2 PVT程式

PVT程式是通過使用Tait模型和材料固化溫度時預測產品零件的比容，理論上來說不同位置上若比容一致，各區之密度應當一致，在密度一致之情況下期收縮量差異應減少許多。其中，通過使用分析軟體基本資訊（如比容、加工溫度、壓力等）獲取Tait模型的係數來做為程式計算之標準。

### 3.3 2.5D量測儀

在量測中，感測器的位置（距澆口10mm，距產品端部10mm）如圖4所示，因此將產品分為七個部分，以距澆口10-20mm，距產品端部10-20mm作為圖5中的量測點，並在圖6和圖7中使用2.5D進行量測。

在報告中，實際體積和收縮值將分為兩部分。兩個感測器點的比容值將通過PVT程式計算，如圖8所示。通過調整工藝參數，可以控制兩點之間的比容差；在表示方法中，2.5D圖5將用於量測兩個長度的收縮是否均勻一致，從而確認產品收縮可通過PVT程式進行監控。在產品取樣方面，機器穩定後，十個模次無明顯缺陷後開始取樣。以連續五模的產品為樣本，對這五模次進行量測。產品的重複性將通過大量產品的量測結果來確定。

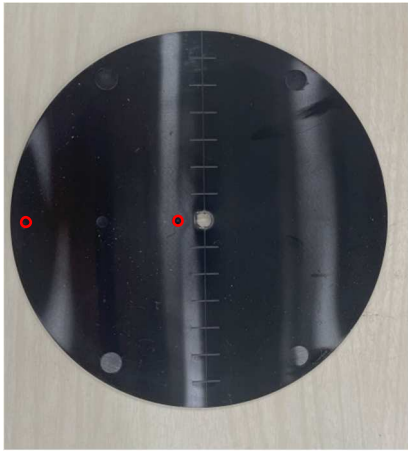


圖4 感測器安裝位置

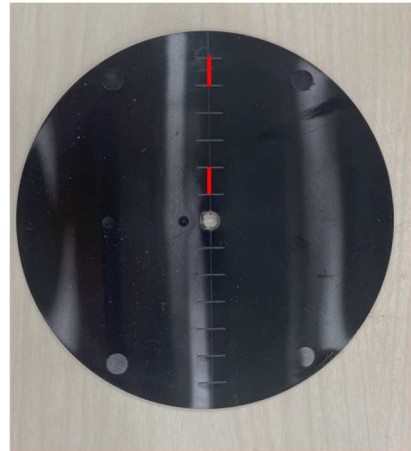


圖5 2.5D量測位置

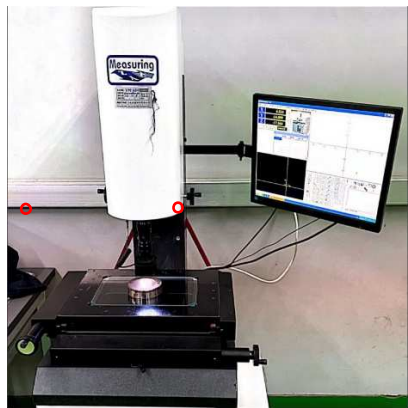


圖6 2.5D量測儀

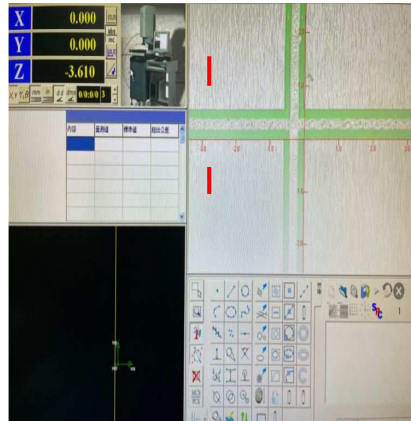


圖7 2.5D量測畫面

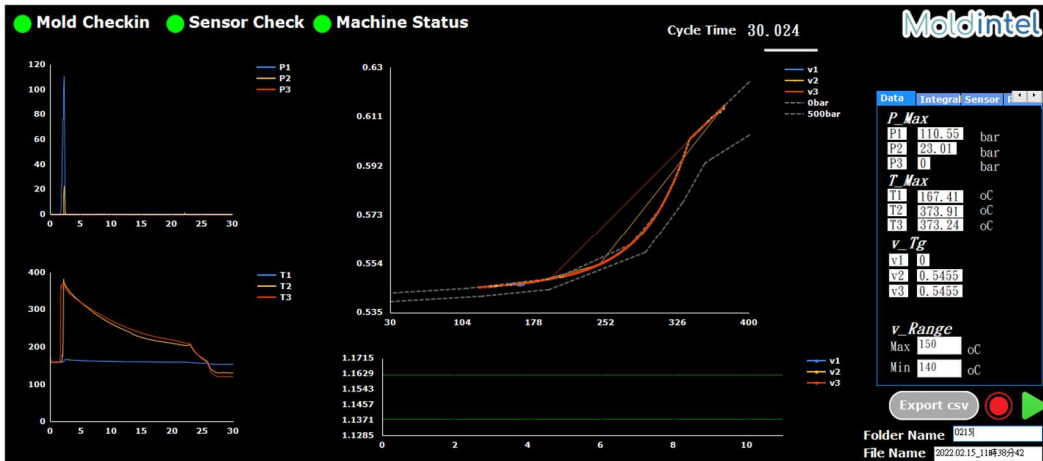


圖8 2PVT程式畫面

### 3.4 田口實驗設計法

田口實驗設計法用直交表代替傳統實驗設計中的基礎因子設計或分數因子設計實驗，在實驗組數最少的情況下，明確因子貢獻度，優化因子設定。根據以上實驗中得到的重要因子，進行因子少量多次的實驗計畫，如L9正交表。找出各因子的實際影響趨勢，選擇最佳參數設置。

### 3.5 實驗設備

#### 3.5.1 射出機

本實驗採用JSW J85-ELII，如圖9所示，螺桿直徑為35mm，採用JSW獨特的成型專用伺服驅動系統和高性能APC壓力控制功能。最大熔體注射量為 $115\text{cm}^3$ ，最大射出壓力為 $1670\text{kgf/cm}^2$ ，最大鎖模力為85ton，最大燃燒速率為320mm/s，規格見表4。

#### 3.5.2 模溫機

本實驗使用的模溫機為cw-021010fs，如圖10。溫控表採用日本原裝進口“Yamatake”，除自動計算外，控溫準確穩定。管殼式冷凝器和蒸發器為ISO認證品牌。故障率低，效率高，可節電30%以上。實際控溫範圍為 $8^{\circ}\text{C}$ - $120^{\circ}\text{C}$ 或 $8^{\circ}\text{C}$ - $160^{\circ}\text{C}$ ，具有很大的靈活性，並具有管道內自動補水、排氣功能。

#### 3.5.3 實驗材料

本實驗以PA757為實驗資料，我們使用PA757的Tait模型作為計算圖11，然後使用該程式觀察模具中的熔體。我們量測了固化過程中熔體的比容。

表4 射出機規格

射出單位		鎖模單位	
螺桿直徑	35 (mm)	鎖模方式	雙軸式
射出壓力	$1670 (\text{kgf/cm}^3)$	鎖模力	85 (ton)
熔膠射出量	$115 (\text{cm}^3)$	間距	650 (mm)

射出速度	320 (mm/sec)	模板行程	300 (mm)
可塑化能力	76(kg/hr)	模具厚度	180~350 (mm)
螺桿旋轉數	330 (rpm)	導桿間距	360~360 (mm)
螺桿行程	120 (mm)	模板尺寸	530~530 (mm)
噴嘴接觸力	2.0 (tonf)	推頂力	3.3 (tonf)
噴最進入量	50 (mm)	推頂行程	80 (mm)
<b>電器裝置</b>			
電源電壓	AC220、200 (V) 60、50Hz (Hz) 3-phase 3-wire		
控制電壓	DC24. AC220/200 (V)		
射出伺服電機	11 (kw)		
可塑化伺服電機	7.5 (kw)		
鎖模伺服電機	7.5 (kw)		
頂針伺服電機	2.9 (kw)		



圖9 射出機



圖10 模溫機

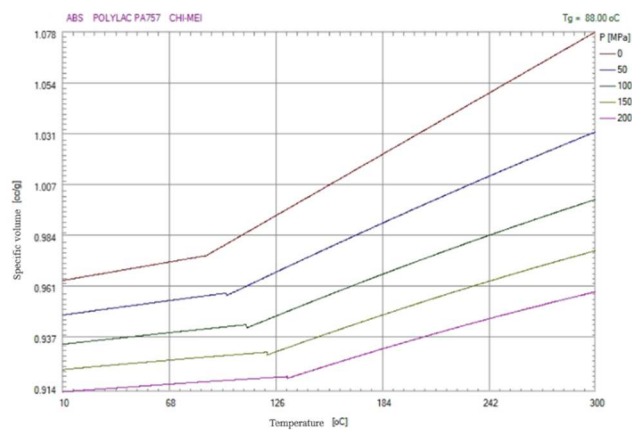


圖11 PA757 Tait模型

## 4. 結果與討論

### 4.1 厚度1.5mm之產品參數

第一階段是尋找1.5mm產品的影響參數。田口法用於四因子三水準實驗設計。為判斷實驗參數設計是否合理，改變表1中影響最小的因子（預開量）。改變後，壓縮力、延遲壓縮和壓縮速度的影響仍然最大。

1.5mm這兩組因子的影響大致相同，所以將兩組因子的最佳參數表5進行射出，而傳統射出組以通用參數設置。找出主要影響因子後，通過PVT程式記錄兩段的比容差，然後用2.5D測量兩段的長度（對應傳感器位置），觀察比容的變化趨勢和表現兩個部分之間的收縮差異。

表5 1.5mm兩組田口實驗最佳參數

	壓縮力	壓縮速度	延遲壓縮時間	預開量	模溫	料溫
組別 1	20 ton	0.05 s	0.17 s	0.75 mm	70°C	220°C
組別 2	70 ton	0.1 s	0.28 s	0.75 mm	70°C	220°C

### 4.2 厚度0.6mm之產品參數

在這部分發現影響0.6mm產品的射出壓縮參數只有延遲壓縮時間，所以對於其他參數，將它們設置為中間值。在0.6mm的實驗中，只改變了延遲壓縮時間，觀察到了比容值以及收縮值所呈現的結果，但在傳統射出參數下難度更大。由於產品太薄，參數設置難以調整，只能在產品參數比較齊全的情況下進行射出。

### 4.3 厚度1.5mm之結果

經過2.5D量測，從表6和表7可以看出，1.5mm在比容值和收縮差方面明顯優於傳統射出成型。在程式和2.5D(圖12和圖13中)量測的平均值和誤差為1.5mm。

表6 1.5mm射出壓縮成型

組別 1	point1	point2	差異
平均	1.0820	1.0814	0.000556
比容(PvT program)			
平均	9.998653	9.99864	0.00013
長度(2.5D,mm)			
組別 2	point1	point2	差異
平均	1.0700	1.0693	0.000628
比容(PvT program)			
平均	10.0071	10.0073	0.0002
長度(2.5D,mm)			

表7 1.5mm傳統射出成型

傳統射出	point1	point2	差異
平均	1.2489	1.2014	0.0475
比容(PvT program)			
平均	9.3983	9.4005	0.0257
長度(2.5D,mm)			

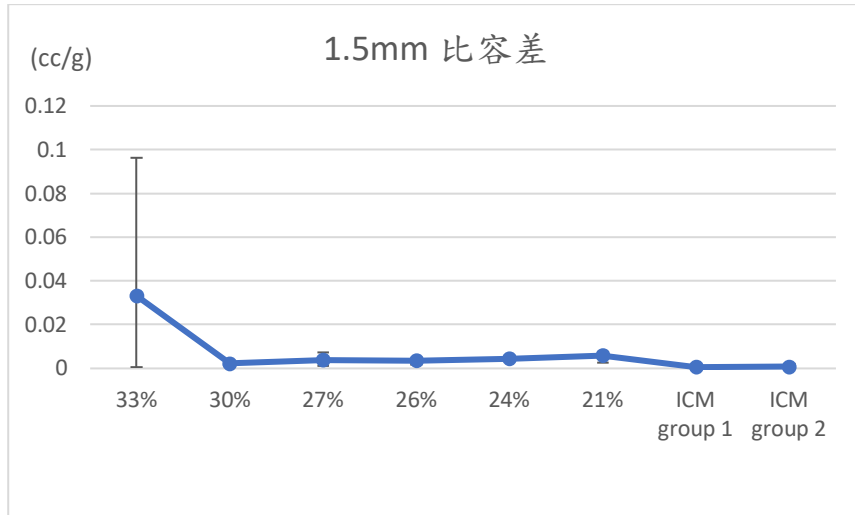


圖12 1.5mm比容差

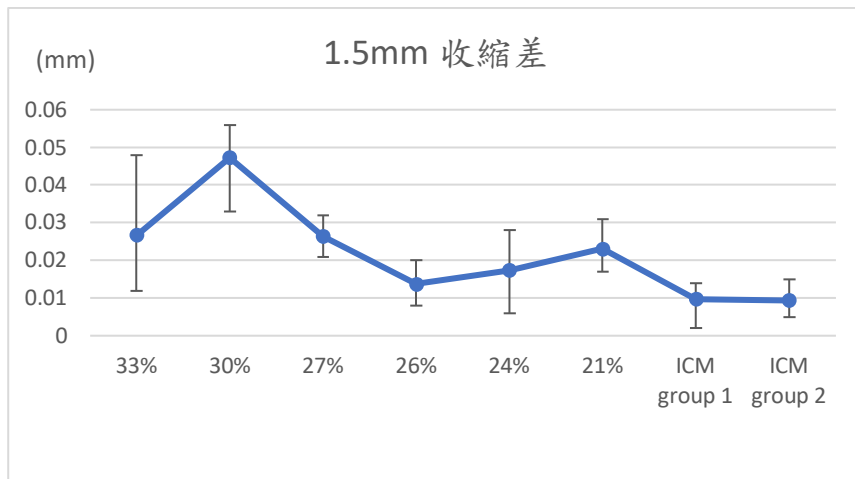


圖13 1.5mm收縮差

#### 4.4 厚度0.6mm之結果

在第三階段，進行了0.6mm的參數設置。由於預測試發現只有延遲壓縮才會影響比容值，因此使用不同的延遲壓縮時間來尋找最佳參數。實驗流程圖如圖3所示。我們發現，當延遲壓縮率為80%和85%時，比容值的差異最小。因此，80%和85%的產品用於量測，然後，在傳統射出成型過程中，發現產品太薄，導致一些空氣夾雜。圖14不會出現在射出壓縮中，射出壓縮與傳統射出在收縮差異和比容方面的差異較小，如表8和表9。

在程式和2.5D(圖15和圖16中)量測的0.6mm的平均值和誤差。

表8 0.6mm射出壓縮成型

80%	point1	point2	差異
平均	1.2184	1.2184	0
比容(PvT program)			
平均	9.3932	9.3862	0.007
長度(2.5D,mm)			
85%	point1	point2	差異
平均	1.2271	1.2264	0.00074
比容(PvT program)			
平均	9.387	9.38	0.007
長度(2.5D,mm)			

表9 0.6mm傳統射出成型

傳統射出	point1	point2	差異
平均	1.1981	1.2284	0.03036
比容(PvT program)			
平均	9.4138	9.3772	0.0366
長度(2.5D,mm)			



(a)射出壓縮成型



(b)傳統射出成型

圖14 0.6mm在傳統射出以及射出壓縮的差異

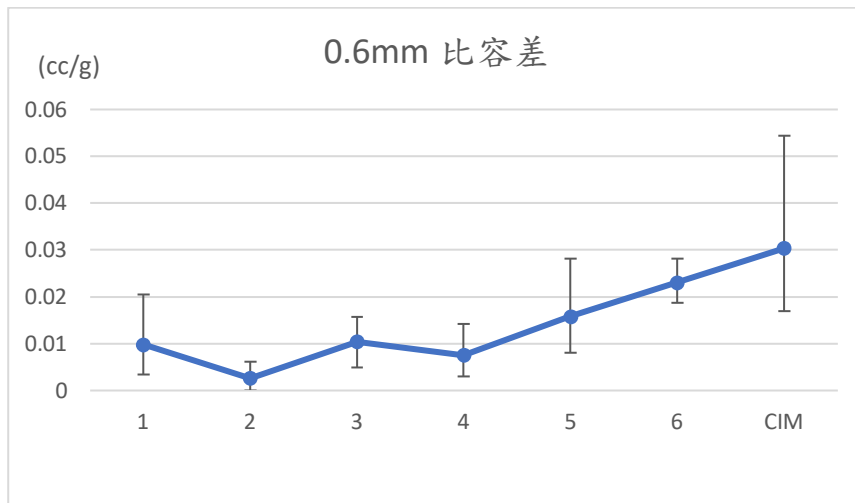




圖15 0.6mm比容差

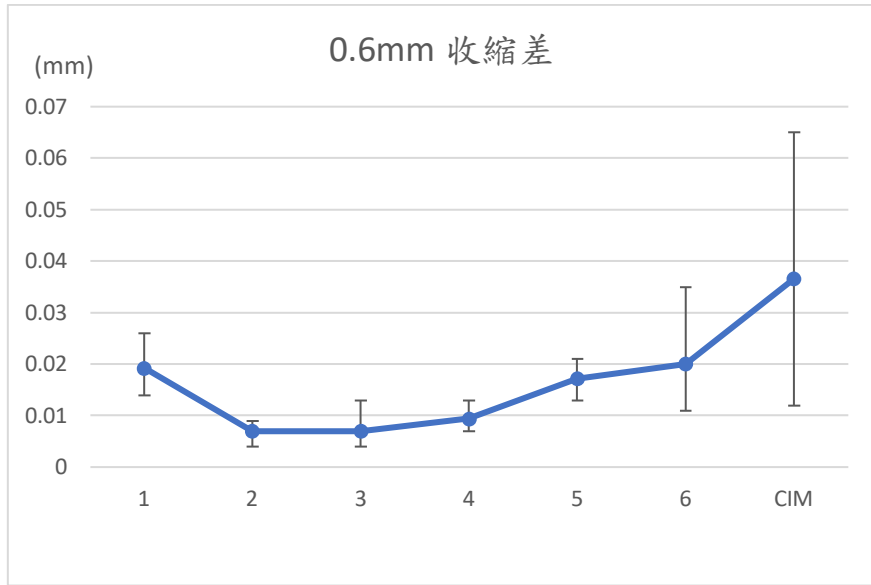


圖16 0.6mm收縮差

## 5. 結論

射出壓縮（1.5mm）在厚件最優參數組的比容值比傳統射出改善了97.9%，收縮率比CIM改善99.2%。

射出壓縮（0.6mm）在薄件最優參數組的比容值比傳統射出改善了5.9%，收縮率改善了6.6%，並且沒有缺陷（排氣不良）的產生。

本實驗驗證了PVT程式獲得的比容值與射出壓縮成型中2.5D量測的收縮有關，並通過PVT監測發現了不同產品厚度下射出壓縮成型的重要控制因子，而射出壓縮成型的最佳參數優於傳統射出成型，並且發現了傳統射出成型在產品厚度較薄的情況下容易產生排氣不良以及包風的現象，而在射出壓縮製程卻沒有發生，結果顯示確實使用PVT模組進行監控可以進一步增強射出壓縮的優勢。

## 6. 參考文獻

- 1.S. Supriadi,E.R.Baek,C.J.Choi and B.T.Lee,"Binder system for STS 316 nano-powder feed-stocks in micro-metal injection molding",Journal of Materials Processing Technology,Vol.187-188,No.12,pp.270-273 (2007).
- 2.P.Thomas-Vielma,A.Cervera,B.Levenfeld and A.Varez,"Production of alumina parts by powder injection molding with a binder system based on high density polyethylene",Journal of the European Ceramic Society,Vol.28,No.4, pp.763-771(2007).
- 3.S.C.Hu and K.S.Hwang,"Length change and deformation of powder injection-molded compacts during solvent debinding",Metallurgical and Materials Transactions A,Vol.31A,pp.1473-1478(2000)
- 4.S.C.Hu and K.S.Hwang,"Dilatometric analysis of thermal debinding of injection molded iron compacts" Powder Metallurgy,Vol.43,No.3,pp.239-244 (2000)

- 5.P.Setasuwon,A.Bunchavimonchet and S.Danchaivijit,"The effects of binder components in wax/oil systems for metal injection molding",*Journal of Materials Processing Technology*, Vol.196,No.1-3,pp.94-100 (2007).
- 6.R.Raman,W.S.III and R.M.German,"Homogeneity of mixed feedstock in powder injection molding",*Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials*,Metal Powder Industries Federation.Princeton.N.J.,Vol.5,pp.1-16 (1993).
- 7.胡紹中，“粉末射出成型工件之尺寸穩定性研究”·國立台灣大學材料科學與工程學研究所·博士論文(2000)。
- 8.J.R.G.Evans,"Particle contact before firing",*Journal of the European Ceramic Society*,Vol.17,No.2-3,pp.161-169 (1997).
- 9.S.Krug,J.R.G.Evans and J.H.H.ter Maat,"Differential sintering in ceramic injection moulding :particle orientation effects",*Journal of the European Ceramic Society*,Vol.22,No.2,pp.173-181(2002).
- 10.許宏全，“316L 金屬粉末射出成型製程最佳化之研究”，高雄第一科技大學碩士論文(2008)。
- 11.陳裕元·洪勵吾，“金屬粉末射出成型毛細吸附脫脂之實驗觀察與分析”·國立中央大學碩士’論文(2004)。
- 11。李邵緯，“射出壓縮裝程對光碟片雙折射影管之研究”·中原大學碩士論文(2007)。
- 12.W.B.Young."Effect of Process Parameters on Injection Compression Molding of Pickup Lens",*Applied Mathematical Modelling* 29(2005).
- 13.S.Y.Yang and L.Lien,"Experimental Study on Injection Compression Molding of Cylinder Parts"*Advances in polymer processing*,Vol.15,No. 3,pp.205-231(1996).
- 14 B.Friedrichs,W.Friesenbichler and K.Gissing."Injection Compression Moulding of Thin-Wall Thermoplastic Parts",*Kunststoffe*,80,5,p13,1990.
- 15.張汶雅·“射出壓縮成型之三維 CAE 分析”·國立清華大學化學工程學系碩士論文·(19996)·
- 16.簡惠民，“不等行程射出壓縮惠用於精密楔形板件及表面微結構成型性探討”·國立台灣大學機械工程研究所碩士論文·2001/6。
- 17.S.Y.Yang and M.Z.Ke,"Influence of Processing on Quality of Injection Compression Molding Disks" *Polymer Engineering and Science*,v.35,n.15, pp1206-1212(1995/8)
- 18.Yang.S.Y.and M.Y.Hon,"Analysis of Post-filling Process During Injection Compression Molding",中國工程師學會第十三屆學術研討會，pp.143-150 (1996)
- 19.柯茗種，“射出壓縮成型過程的基本探討”，台大碩士論文(1992)·
- 20.R.M.German,A.Bose,Injection molding of metals and ceramics, *Metal Powder Industries Federation*,Princeton,N.J.,pp.220-221,14-17,83-98, 83-86,55-57.163.155(1997)