

**氣體輔助技術應用於金屬粉末射出成型輕量化與品質提升之研究**  
**Study of Gas-Assisted Technology Applied to Lightweight and Quality Improvement of Metal Powder Injection Molding**

李沈濰<sup>1,2,3</sup>、陳夏宗<sup>1,2</sup>、歐陽銘賢<sup>1</sup>、張哲維<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 中原大學智慧製造研發中心

<sup>2</sup> 中原大學機械工程學系

<sup>3</sup> E-mail: lshenw11@gmail.com

### 摘要

金屬粉末射出成型(Metal Powder Injection Molding, MIM)為結合塑膠射出成型特性與粉末冶金材料狀態、特性的近實形成型技術，具有高量產、成型複雜產品的優點。製程從混煉造粒、模具設計、射出成型、脫脂、燒結與二次加工涵蓋多項工程，通常由生胚到最後成型品會有 10~20%之線性收縮，因此尺寸不易控制，所以現今量產之產品尺寸通常小於 110mm，且重量不超過 100 克，且常伴隨著粉膠分離等缺陷，為減低大型品從初坯到燒結其體積收縮導致尺寸差異過大且產品重量過重，輕量化為首要研發目標。

本研究透過氣體輔助技術搭配金屬粉末射出成型達到輕量化之目的，進而降低產品尺寸設計之限制，且氣體輔助技術優點為透過氣體傳遞壓力，可有效降低射出階段熔膠之流動距離與剪切應力產生，如此就可以避免過度剪切產生粉膠分離現象，以及殘留應力造成破裂之缺陷並有效改善收縮率。

研究結果顯示，加入氣體輔助有助於改善粉膠分離的情況，使成品前後端密度分佈均勻性提高，且在不同減重量比較中，減重越高，對於成品的掏空率也有所提升，高減重相較於低減重下掏空率提升了 4.5%，同時可以降低充填壓力達 17.23%；然而因為肉厚的減少，脫脂時間也大幅降低，以目標脫脂率為 3.3%，傳統成型於六天後才達到，而減重 85wt%在第二天就已達到 3.3%脫脂率目標。

**關鍵詞：**金屬粉末射出成型、氣體輔助成型、收縮率、射出壓力、脫脂時間

### Abstract

Metal powder injection molding (MIM) is a near net-shape manufacturing method combining plastic injection molding process with powder metallurgy process which with high production and products shape complex. The MIM process includes several technical steps from the blending of powder feedstock and plastics binder, mold design, injection molding, and the post-processing of de-binding, sintering and other secondary operation to products. Covering a large number of process, usually from the green parts to the final products will have 10 ~ 20% linear shrinkage and size is not easy to control. Until now most of the products size usually less than 110mm, and the weight does not exceed 100 grams. In order to avoid high volume shrinkage and high product weight caused by product size from green part to sintering which will limited in product applications. Among these process steps, the residual stress and plastics-powder separation often appear on surface.

In this study, investigates the light weight of product by using gas-assisted molding with metal powder injection molding. And thus reduce the size of the product design constraints. And the advantages of gas-assisted molding is the transmission pressure through the gas, which can effectively

reduce the flow distance and shear stress of the melt in injection molding. So that it can avoid shear stress cause the plastics-powder separation, and residual stress caused the defects.

The results of the study show that gas-assisted injection molding can improve the defect of powder-binder separation, and the uniformity of the density distribution at the front and rear ends of the finished product, and in the comparison of different weight reductions, the higher weight loss, the higher hollowed-core ratio of the finished product, the higher the weight loss compared with the low weight loss, the hollow-core ratio is increased by 4.5%, and the injection pressure can be reduced by 17.23%; because of the reduction in thickness, the de-binding time was also greatly reduced, with a target de-binding rate of 3.3%, which was achieved after six days of conventional molding, while the weight loss of 85wt% reached the target of 3.3% de-binding rate the next day.

Keywords: Metal Injection Molding, Gas-Assisted Injection Molding, shrinkage, injection pressure, De-binding Time

## 1. 前言

金屬粉末射出成型 (Metal Injection Molding, MIM) 是在 1973 年由美國加州 Parmatech 公司所發明的，這項技術是由陶瓷粉末射出成型 (Ceramic Injection Molding, CIM) 延伸出來的技術，由於兩者的射出成型技術類似，因此又常被稱為粉末射出成型 (Powder Injection Molding, PIM)。

金屬粉末射出成型是結合了射出成型 (Injection Molding) 與粉末冶金 (Powder Metallurgy) 的一種成型技術，此製程會先將金屬粉末與高分子黏結劑 (Binder) 混合，再利用塑膠加熱後的高流動性進行射出，射出成型後的初胚 (Green Part) 經過脫脂、燒結後得到成品 [1]。由於使用模具成型可將成品設計成三維複雜形狀，並能大量生產及獲得高性能成品，突破了傳統粉末冶金的成品形狀與量產的限制。但其缺點在於元件的尺寸精度與穩定性不如一般傳統粉末冶金，尺寸於傳統粉末冶金的公差大約為  $\pm 0.01\%$  之間，而金屬粉末射出成型則落於  $\pm 0.03\%$  之間 [2]，主要原因是在金屬粉末射出成型中，需要經過較多的步驟，且加上燒結後，成品會有 10-20% 的線性收縮所造成的 [3]。為了減少粉膠分離缺陷的產生及降低成品的重量，以氣體輔助技術搭配金屬粉末射出成型，用以減輕重量、降低成本及改善缺陷，以提升成品強度及經濟效益 [4-5]。

金屬粉末射出成型目前多用於 3C 產業，像是手機、筆記型電腦，太空航業等領域上，而電子通訊成品開始崛起，當民眾對成品的需求量大增後，製造大量的電子零件使金屬粉末射出成型發展迅速，而隨著時代的進步，金屬粉末射出成型也開始被廣泛應用在不同領域，像是牙齒矯正器、飾品等...

## 2. 實驗設備與研究方法

### 2.1 實驗設備

#### 2.1.1 實驗材料

本研究所使用的材料是由金上晉科技公司所提供的 316L 不鏽鋼金屬粉末與高分子黏結劑混練所製成，其主要成分為 HDPE、石蠟及 316L 不鏽鋼金屬粉末，如圖(1)。材料所建議脫脂方式為先進行溶劑脫脂，在使用熱脫脂，而溶劑脫脂的脫脂率由廠商建議為 3.3%。

#### 2.1.2 射出成型機

本研究使用 JSW 日本製鋼所公司所生產的 JSW J85-EL II，如圖(2)。其擁有 JSW 獨有的成型專用伺服驅動系統以及高性能 APC 壓力控制功能，其螺桿直徑為 35mm，並專用於金屬

粉末材料，不與塑膠材料混合使用，以避免射出階段與先前塑膠殘料混合。

### 2.1.3 氣體輔助設備

本研究所使用的氣體輔助設備為朔捷科技公司所提供，包含手持控制器與主控制器兩部分，可進行氣體壓力、進氣時間與持壓時間參數設定，此控制器對輸出壓力的控制採用了雙閉環伺服控制，具有控制精確度高及響應速度快的優點，如圖(3)。

### 2.1.4 實驗模具

本研究使用具有一維流動方向的迴紋針產品模型，產品直徑為 10mm 正圓形截面，不含流道的總長度為 478mm，進氣位置於模具上與成品的相對位置，如圖(4)。

## 2.2 研究方法

本研究透過氣體輔助技術搭配金屬粉末射出成型達到輕量化之目的，透過氣體輔助技術以氣體掏空肉厚達到輕量化之目的，而其透過氣體在成品內均勻傳遞壓力用以改善射出階段造成之剪切熱導致粉膠分離情況發生。

氣體輔助技術的成型參數在成品穿透行為的探討上共包含了氣體壓力、氣體延遲時間、氣體持壓時間及模具溫度，各項參數設定可參考表(1)。透過不同參數對初胚之密度、掏空率進行比較，再將成品進行燒結製程後，量測燒結成品的密度、掏空率，並以能達到最多減重量之參數，再進行不同減重量之比較，探討不同減重量之燒結成品的各項結果。

## 2.3 量測方法

本研究將成品以直線和彎道區別切割成七塊，以這七塊量測密度及掏空率，並觀察其結果，如圖(5)。密度量測是利用阿基米德原理測量成品之密度，掏空率量測是先經由影像辨識系統後，使用以 Matlab 所撰寫的程式，利用二質化及霍氏找圓方式找出所選取截面的圓直徑，如圖(6)，透過換算成實際長度，以公式(1)計算成掏空率。

$$\text{掏空率} = \frac{r}{R} \quad (1)$$

$R$  為外部直徑， $r$  為管內直徑。

## 3. 結果與討論

### 3.1 氣體輔助技術參數對於成品密度之影響

藉由加入氣體輔助技術，透過氣體將金屬粉末均勻地往前推進，而使用氣體推動也可減少流動時的剪切效應，進而降低粉膠分離的情況，使密度相對均勻。那也因為導入氣體輔助技術後的密度差異不大，因此主要透過標準差來比較其前後端密度分佈，如圖(7)。

當氣體壓力增加時代表氣體輔助充填的速度越快，也意味著金屬粉末往前充填速度越快，使材料在流動時的剪切力提高，增加粉膠分離情況造成密度差異增加，如圖(8)。

在模穴溫度與氣體壓力不變下，氣體穿透的行進時間均是固定且短暫的，且密度變化在氣體充填結束後已大致以定，因此當持壓時間增加時，密度也不會有太明顯的改變，如圖(9)。

延遲時間越長等同於增加了材料在模具內的冷卻時間，進而改變了材料黏度及表面凝固層的厚度，受到表面凝固層增厚的影響，氣體能推動的截面積變小，意味著氣體充填的速度就會隨之上升，造成其充填時的剪切力提升，增加粉膠分離的情況發生，進而使密度差異增加，如圖(10)。

模具溫度下降會使材料黏度上升並增加表面凝固層的產生的速率，使能推擠金屬粉末變少，且再經過之截面積變小的情況下，氣體充填的速度因此上升，進而造成其充填時的剪切

力增加，進而使密度差異增加，如圖(11)。

### 3.1 不同減重量對於成品掏空率之影響

藉由不同氣體輔助技術參數對於成形結果的影響中，可得知氣體壓力越大、持壓時間越長、延遲時間越短及模具溫度越高的情況下，對燒結後成品的各項結果都是有所提升，然而，在此階段，透過氣體輔住技術參數所得影響性來嘗試最大減重量，經過測試後，透過加大氣體壓力可以將成品重量降低 35%，因此在比較最大減重量以及較低減重量的影響性時，所使用的氣體輔助技術參數為氣體壓力 180bar、持壓時間為 3.5s、延遲時間為 0s、模具溫度 70°C。

在相同氣體壓力下，料量越少會使充填材料減少，進而增加氣體的穿透能力，掏空率會隨之上升，如圖(12)。

在充填階段，可以透過以氣體充填以及降低料量，使射出壓力降低，如圖(13)為不同減重量下的射出壓力，可以看到射出壓力最低是在減重量為 65% 的時候，其射出壓力為 94 kgf/cm<sup>2</sup>，而傳統 MIM 的射出壓力為 114 kgf/cm<sup>2</sup>，因此透過加入氣體輔助技術可將射出壓力降低 17.23%。

脫脂時間以溶劑脫脂為標準，其目標脫脂率為 3.3%，將成品浸泡溶劑不同天數，透過量測重量來計算脫脂率，其結果如表(2)；在相同時間下，減重量越低，脫脂率會開始增加，而傳統滿射在第六天後才到達脫脂率 3.33%，而加入氣體輔助技術的成品在第二天時都已到達目標脫脂率，因此證明氣體輔助技術可大幅降低脫脂時間。

## 4. 結論

本研究應用氣體輔助技術於金屬粉末射出成型，透過氣體良好的流動性以降低金屬粉末在充填時產生的缺陷，並得以下幾點結論：

- (1) 傳統 MIM 射出時，容易因高剪切力造成粉膠分離的缺陷發生；而加入氣體輔助技術後，由氣體輔助充填，將金屬粉末均勻地往前推進，減少了流動時的剪切效應，進而降低粉膠分離的情況，使密度相對均勻；以傳統 MIM 與 GAMIM 比較時，密度標準差可從 0.165 提升到 0.030。然而，降低氣體壓力、減少延遲時間、提高模具溫度，有助於提高密度的均勻性；而持壓時間對密度均勻性影響不明顯。
- (2) 提高氣體壓力、減少延遲時間、提高模具溫度，有助於增加成品的掏空率；而持壓時間對掏空率影響不明顯。當成型品經過燒結後，中空面積的收縮較小，而外部區域收縮較大，因此在經過燒結後，成品的掏空率會有整體上升的情況，而外側的區域會有 27.50% 的面積收縮率，而成型品中心為中空的面積收縮率則為 20.50%。
- (3) 當降低成型品重量時，會提高成型品掏空率，對於其密度均勻性影響則不明顯。然而，當成品重量越低時，可使射出壓力降低，而射出壓力最大可降低 17.23%，進而減少高射出壓力所造成粉膠分離現象，且因肉厚的變薄，有助於減少成品的溶劑脫脂時間。

## 5. 參考文獻

- [1] 謝政璋, "應用氣體反壓技術改善金屬粉末射出成型充填流動特性與品質之研究," 碩士, 機械工程研究所, 中原大學, 桃園縣, 2014.
- [2] 林益樟, "氣體輔助射出成型應用於精密鑄造射蠟製程之系統建置與氣體穿透特性之研究," 博士, 機械工程研究所, 中原大學, 桃園縣, 2011.
- [3] T. A. Osswald, L.-S. Turng, and P. J. Gramann, Injection molding handbook. Hanser New York,

2002.

- [4] S. Supriadi, E. R. Baek, C. J. Choi, and B. T. Lee, "Binder system for STS 316 nanopowder feedstocks in micro-metal injection molding," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 187-188, pp. 270-273, 2007/06/12/ 2007.
- [5] B. Y. Huang, S. Q. Liang, and X. H. Qu, "The rheology of metal injection molding," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 137, no. 1-3, pp. 132-137, Jun 30 2003, Art. no. Pii s0924-0136(02)01100-7.

## 6.圖、表



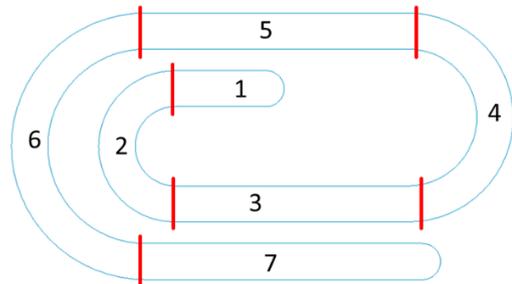
圖(1) 不鏽鋼金屬料



圖(4) 模具成品圖



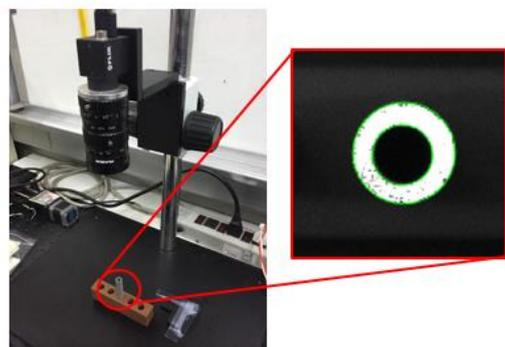
圖(2) JSW J85-EL II



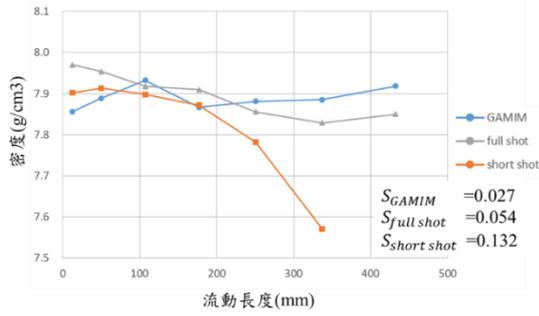
圖(5) 密度及掏空率量測位置



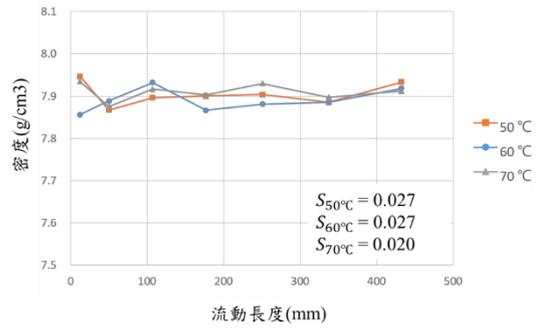
圖(3) 氣體控制系統



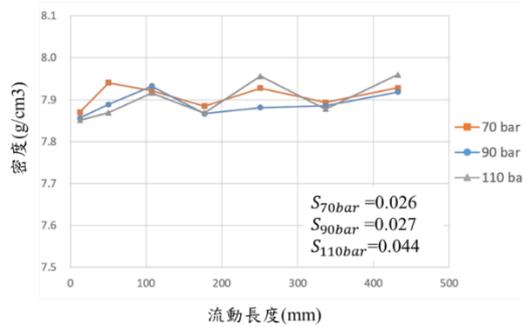
圖(6) 掏空率量測示意圖



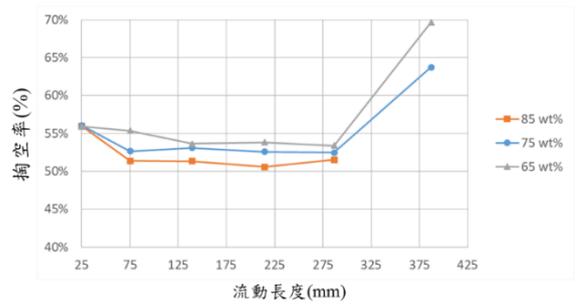
圖(7) 滿射、短射、氣輔密度分佈



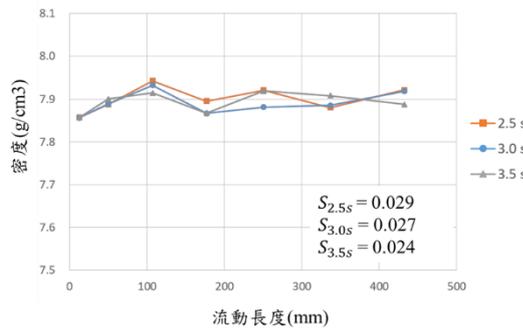
圖(11) 不同模具溫度之密度分佈



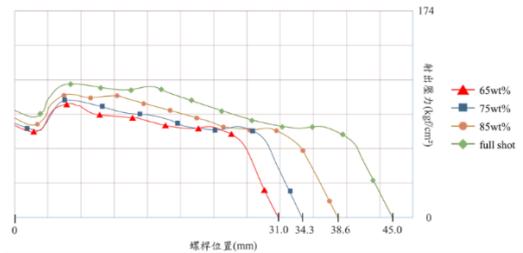
圖(8) 不同氣體壓力之密度分佈



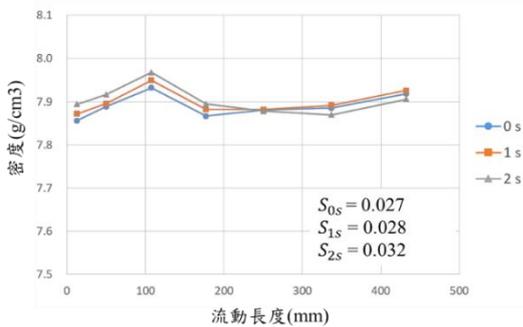
圖(12) 不同短射量之掏空率比較



圖(9) 不同持壓時間之密度分佈



圖(13) 不同短射量之射出壓力比較



圖(10) 不同延遲時間之密度分佈

No.	進氣壓力(bar)	持壓時間(s)	延遲時間(s)	模溫(°C)
1	70	3.0	0	60
2	90			
3	110			
4	90	2.5	1	
5		3.5		
6		3.0		
7	90	3.0	2	50
8	90	3.0	0	
9	90	3.0	0	

表(1) 氣體輔助技術參數表

	掏空率	兩天後	四天後	六天後
65wt%	55.27%	3.38%	3.42%	3.43%
75wt%	53.81%	3.37%	3.41%	3.43%
85wt%	51.22%	3.34%	3.39%	3.39%
full shot		3.25%	3.32%	3.33%

表(2) 不同短射量之脫脂率