

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

金屬射出成形零件在脫脂及燒結時之變形研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC 89 - 2216 - E - 002 - 045

執行期間： 89 年 08 月 01 日至 90 年 07 月 31 日

計畫主持人：黃坤祥 教授

共同主持人：

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立台灣大學材料科學與工程學研究所

中 華 民 國 89 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告  
金屬射出成形零件在脫脂及燒結時之變形研究  
Distortion of MIM parts during debinding and sintering  
計畫編號：NSC 89-2216-E-002-045  
執行期限：89 年 08 月 01 日至 90 年 07 月 31 日  
主持人：黃坤祥 國立台灣大學材料科學與工程學研究所 教授  
[kshwang@ccms.ntu.edu.tw](mailto:kshwang@ccms.ntu.edu.tw)  
計畫參與人員：陳淑貞、晏國俊

## 一、中文摘要

粉末射出成形製程產品的尺寸穩定性較傳統粉末冶金來得差，主要的原因為此製程的步驟較多，而有較大的累積公差所導致。本實驗的主要目的即是在調整黏結劑配方與選擇粉末以改善 MIM 工件的抗變形能力及尺寸穩定性方面的問題。

在探討黏結劑配方方面，結果顯示以聚乙烯(LDPE)作為骨架黏結劑時，其工件較使用二元骨架黏結劑(PP/LDPE、POM/LDPE 及 HDPE/LDPE)有較佳的尺寸穩定性。而在比較不同特性的粉末對 MIM 工件變形行為的影響方面，以球形粉作為基礎粉末時，其尺寸穩定性及抗變形能力均較不規則粉末差，但本實驗顯示此仍可藉由提高粉體固含量而得到改善。

關鍵詞：金屬粉末射出成形、尺寸穩定性、脫脂、變形、尺寸控制

## Abstract

The MIM process has inferior dimensional control compared to the traditional powder metallurgy process due to the large amount of shrinkage and the complicated processes. The objective of this study was thus to improve the distortion and the dimensional stability of MIM compacts through binder design and powder selections.

The results show that when LDPE is used as the backbone binder, better dimensional stability is attained than that using binary backbone binders, such as PP/LDPE, POM/LDPE, and HDPE/LDPE. The study also shows that the poor dimensional control of MIM compacts which are made from spherical powders can be

improved by increasing the solid content.

**Keywords:** powder injection molding, dimensional control, binder design, defects

## 二、緣由及動機

金屬粉末射出成形(Metal Injection Molding, 簡稱 MIM)製程的優點為可以一次成形出淨形或近淨形的產品，且經燒結後的零件具有優異的物理及機械性質。但 MIM 製品的尺寸穩定性卻較傳統粉末冶金來得差，主要原因是此製程的步驟較多，而有較大的累積公差所導致。本實驗之目的即是藉由調整黏結劑配方與粉末特性兩方面來改善 MIM 工件的抗變形能力及尺寸穩定性。

對於黏結劑的要求，一般要滿足以下的條件：1. 低黏度以提供粉末良好的流動性，且黏度受溫度的影響程度低 2. 與粉末間有良好的結合力，可防止粉末與黏結劑分離而造成不均勻的現象，並可提供試片適當的強度 3. 脫脂容易，且不會留下有害的殘留物[1-6]。在粉末方面，一般說來，氣噴球形粉末間的摩擦力較小，脫脂、燒結後尺寸公差的維持不容易[7]，相對的，不規則的水噴粉則有較佳的尺寸穩定性[8]。

本研究即針對不同的黏結劑系統以及不同特性的粉末對整個製程和尺寸變化進行研究，希望能找出其在製程中所扮演的角色和控制試片尺寸穩定性的參數，以

作為今後設計 MIM 製程和改善工件尺寸穩定性的依據。

### 三、結果與討論

在探討骨架黏結劑的影響方面，分別探討了低密度聚乙烯 (LDPE)、聚丙烯 (PP)、聚縮醛(POM)、及高密度聚乙烯(LDPE) 四種，茲將結果分述如下：

#### PP 系列：

本部分的實驗 LDPE/PW/SA 系統（重量比為 40：55：5）做為對照組實驗，圖 1 為 LDPE 摻和不同 PP 比例時的熱重損失曲線，由圖可知 LDPE 的熱分解溫度較 PP 高出許多。而隨著 PP 含量的增加，可使熱分解溫度提早且緩和熱分解速率。此有助於缺陷之減少。圖 2 為三組射料在不同溫度之黏度測試結果，由圖可看出所有射料均具有隨剪應變速率增加而黏度下降的擬塑性流變行為，且溫度的上升及 LDPE 之增加可造成黏度的下降。40PP 射料在 140 時，黏度超過儀器可量測的上限值。圖 3 為燒結後的試片尺寸比較圖，40LDPE 維持最佳的尺寸穩定性，其次為 40PP，而以 20PP/20LDPE 為最差。表 1 為 PP 系列的三種試片在各階段製程所得之尺寸與標準差百分比一覽表。

#### POM 系列：

本實驗選用 POM 取代 LDPE，本欲以 POM 取代 LDPE 的一半，但混煉後的黏度值太高，且成形不易，故改以 POM：LDPE = 1：3。基礎粉末仍使用羰基鐵粉且對照組實驗仍沿用 LDPE/PW/SA 系統，此二組試片的代號分別為 14POM

（14POM/29LDPE/52PW/5SA，和 40LDPE（40LDPE/55PW/5SA）。圖 4 為各骨架黏結劑的熱重損失曲線，由圖可知 LDPE 的熱分解溫度較 POM 高出許多。而 LDPE 和 POM 摻和後，可較原 LDPE 的熱分解溫度提早，並緩和熱分解速率。各組射料之黏度於 140 和 150 的測試結果，如圖 5 所

示。圖 6 為燒結後的尺寸比較圖，由結果可知 14POM 經燒結後的尺寸穩定性仍較差。綜合以上各結果，可知欲以 POM 部分取代 LDPE 以提高試片的強度或尺寸穩定性的機會並不大。

#### HDPE 系列：

圖 7 為 HDPE 系列之試片在燒結後的尺寸比較圖，可看出 HDPE/LDPE 的尺寸穩定性變差且持續至燒結後。為了對上述的現象有更深入的了解，以下再分別就脫脂變形量方面作進一步的探討。

圖 8 為兩組試片之測試結果，結果顯示，脫脂溫度升高皆會使兩組試片的變形量增加，此因膨潤較多及高溫時強度降低所導致。但在同樣 40 的脫脂溫度下，HDPE/LDPE 的變形量較 40LDPE 來的低，且即使溫度升至 50 的高溫時，HDPE/LDPE 的變形量仍優於 40LDPE 於 40 的變形量，所以 HDPE/LDPE 的試片於溶脫時有較高的耐變形強度及較高的形狀維持能力。圖 9 為在氫氣中以 5 /min 升溫至 700 並持溫一小時而冷卻後平放在兩支點之試片其中點下垂之變形量，此兩組試片熱脫脂變形量的差異性並非很大，故若欲由此點評估其對形狀維持能力不佳似乎不夠充分，所以再對其熱脫脂時線上實際變形量做量測。將經溶劑脫脂後試片以懸臂之方式擺放，量測其下垂量，結果如圖 10 所示，由圖可知雖 40LDPE 一開始發生軟化時的溫度較低，但隨著溫度升高，HDPE/LDPE 亦發生軟化，且因軟化造成的變形量較 40LDPE 來得更高，表示在熱脫脂過程中，HDPE/LDPE 對試片抗變形能力具有較負面的影響。

#### 粉末特性的影響

在本部分的實驗中，選用三類共六種的粉末作為基礎粉末，其基本特性見表 2。為了解試片在脫脂過程中，對零件形狀的維持能力，量測試片在 40 正庚烷槽內的線上實際變形量。圖 11 及 12 顯示提高粉

末的固含量，如 Gloria-4.8B 和 UFP-5.5B 可以提高試片於溶劑脫脂期間的抗變形能力，此原因為當試片的粉體固含量高至某一程度時，粉末間的摩擦力亦對試片強度提供了相當大之貢獻。圖 13 及 14 顯示當黏結劑少時，變形量可降低，所以藉由適當黏結劑的調配，可克服球形粉對形狀維持能力不佳的問題。

#### 四、結論

本實驗採用具較高強度的塑膠，如 PP、POM、HDPE，將之摻合 LDPE 做為 MIM 製程中的骨架黏結劑時，其所得結果以純 LDPE 最佳。

使用 PP 時，生胚強度隨 PP 含量增加而降低，但脫脂、燒結後之變形量不佳。當使用 POM/LDPE 作為骨架黏結劑時，整體的 MIM 製程穩定性皆較單純使用 LDPE 時來得差。此可能因 POM 和 LDPE 分子結構相差甚大所致。且結果未能如文獻上所提到的 POM/PE 高分子分子有很好的抗熱脫脂變形能力，此可能應藉加入界面劑以改善之。

HDPE/LDPE 二元骨架黏結劑的使用，可提供良好的生胚尺寸穩定性，在抗變形能力方面，也可提供試片在溶劑脫脂期間的抗變形強度，甚且在 50 正庚烷槽中，其變形程度仍小於 LDPE 試片在 40 的變形程度。但於熱脫脂後，尺寸穩定性亦變差。

在粉末特性方面，球形粉末一般普遍被認為其抗變形能力不佳，而鮮少單獨使用於 MIM 製程。但經由實驗結果可知，藉由提高粉體固含量，即可得到高生胚強度和較佳抗變形能力的試片。

#### 五、計畫成果自評

本計畫探討黏結劑配方與粉末之比例

對 MIM 工件的抗變形能力及尺寸穩定性之影響。結果顯示以聚乙烯作為骨架黏結劑時有較佳的尺寸穩定性。而在粉末方面，以球形粉作為基礎粉末時，其尺寸穩定性及抗變形能力雖較不規則粉末差，但仍可藉由提高粉體固含量而得到改善。本研究與預期成果相當接近。

#### 六、參考文獻

- [1] R. M. German, Powder Injection Molding, Metal Powder Industries Federation, Princeton, NJ, 1990.
- [2] V. N. Shukla and David C. Hill, J. Am. Ceram. Soc., Vol. 72, No. 10, 1989, pp. 1797-1803.
- [3] C. I. Chung et al., Adv. Powder Metall. Part. Mater., Vol. 3, 1989, pp. 67-78.
- [4] K. C. Hsu and G. M. Lo, Powder Metall., Vol. 39, No. 4, 1996, pp. 286-290.
- [5] S. J. Stedman et al, Ceram. Int., Vol. 16, 1990, pp. 107-113.
- [6] 林恆光, “金屬射出成形溶劑脫脂製程缺陷之成因探討,” 1996, 國立台灣大學碩士論文.
- [7] R. H. Hershberger et al, Adv. Powder Metall. Part. Mater., Vol. 6, 1995, pp. 89-94.
- [8] 黃 衛, “黏結劑配比、粉體形狀及製程參數對射出成形缺陷的影響,” 1997, 國立台灣大學碩士論文.

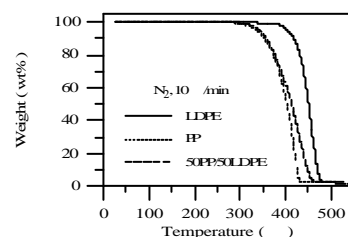


圖 1 PP 系列骨架黏結劑的熱重損失曲線

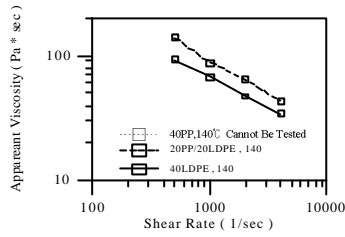


圖 2 PP 系列射料在 140 的視黏度值

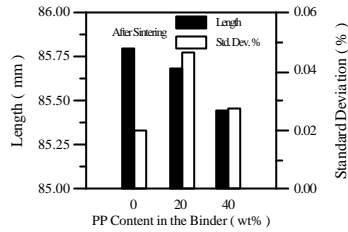


圖 3 PP 含量對燒結後試片尺寸及穩定性的比較圖  
表 1 PP 系列試片各製程尺寸與標準差百分比比較表

|       | 40LDPE  | 20PP /20LDPE | 40PP    |
|-------|---------|--------------|---------|
| 生胚尺寸  | 99.62mm | 99.64mm      | 99.81mm |
| 標準差   | 0.0094% | 0.0136%      | 0.0066% |
| 溶脫後尺寸 | 99.55mm | 99.54mm      | 99.68mm |
| 標準差   | 0.0073% | 0.0098%      | 0.0069% |
| 熱脫後尺寸 | 98.02mm | 97.82mm      | 97.85mm |
| 標準差   | 0.0078% | 0.0223%      | 0.0179% |
| 燒結後尺寸 | 85.80mm | 85.69mm      | 85.45mm |
| 標準差   | 0.0200% | 0.0469%      | 0.0273% |

表 2 各組射料的配方，粉體固含量及其代號一覽表

|               |                         | Binder Content (Wt %) | 實驗代號        | Solid Loading (Vol. %) |
|---------------|-------------------------|-----------------------|-------------|------------------------|
| Carbonyl Iron |                         | 7                     | Fe-7B       | 61.74                  |
| 316L          | Gas-atomized (Gloria)   | 4.8                   | Gloria-4.8B | 69.98                  |
|               | Water-atomized (PF-20F) | 5.5                   | PF20F-5.5B  | 66.52                  |
|               |                         | 7                     | PF20F-7B    | 60.57                  |
|               | Water-atomized (PF-20)  | 8.5                   | PF20-8.5B   | 55.34                  |
| 17-4PH        | Gas-atomized (UFP)      | 4.5                   | UFP-4.5B    | 71.71                  |
|               |                         | 5                     | UFP-5B      | 69.41                  |
|               |                         | 5.5                   | UFP-5.5B    | 67.23                  |
|               | Water-atomized (MHT)    | 7                     | MHT-7B      | 61.41                  |

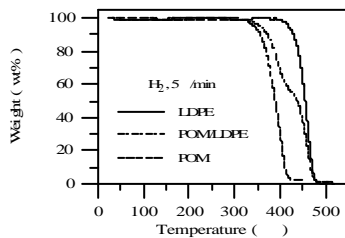


圖 4 POM 系列骨架黏結劑 5 /MIN 熱重損失曲線

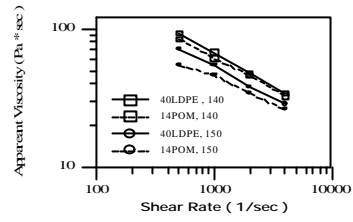


圖 5 POM 系列射料的視黏度值測試

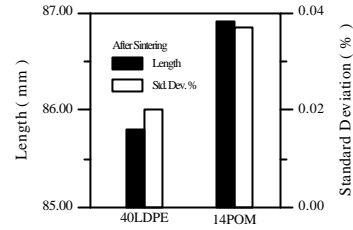


圖 6 POM 部分置換 LDPE 對燒結後試片尺寸及穩定性的比較圖

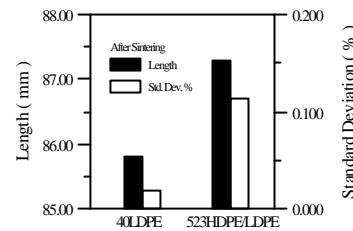


圖 7 HDPE 部分置換 LDPE 對燒結試片尺寸及穩定性的比較圖

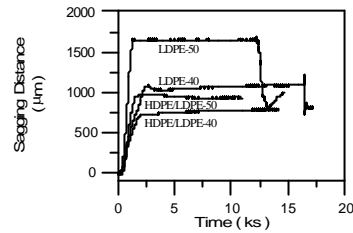


圖 8 HDPE 部分置換 LDPE 在溶劑脫脂變形量的比較圖

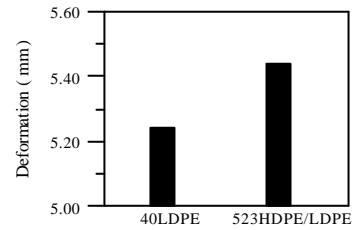


圖 9 HDPE 部分置換 LDPE 在熱脫脂變形量的比較圖

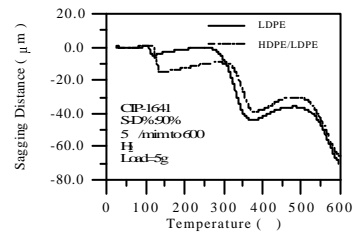


圖 10 HDPE 部分置換 LDPE 在熱脫脂線上實際變形量的比較圖

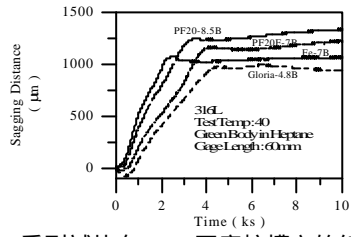


圖 11 316L 系列試片在 40 正庚烷槽內的線上實際變形量

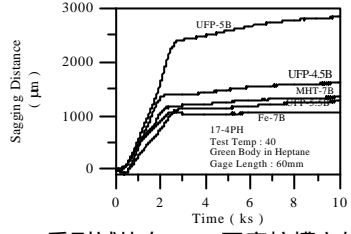


圖 12 17-4PH 系列試片在 40 正庚烷槽內的線上實際變形量

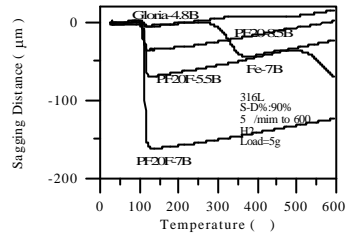


圖 13 316L 系列試片模擬熱脫脂時線上實際變形量

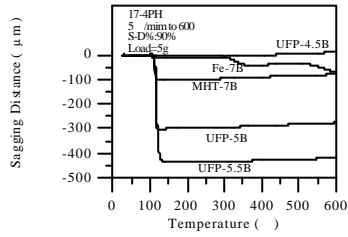


圖 14 17-4PH 系列試片模擬熱脫脂時線上實際變形量