

超高速射出成型製程參數對薄板製品成型性之影響

蘇寶林¹ 郭宏賓² 張萬欽³

¹ 中州科技大學機械與自動化工程系 sb1581@dragon.ccut.edu.tw

² 中州科技大學機械與自動化工程系 hbkuo@dragon.ccut.edu.tw

³ 中州科技大學機械與自動化工程系 mejwc1@dragon.ccut.edu.tw

摘 要

本文使用超高速射出成型機與薄長平板模具分別製作 0.6mm 與 0.4mm 厚度 ABS PA707 薄長平板，探討超高速射出成型製程參數—料溫、模溫、射出速度與保壓壓力等與模穴配置對薄長平板產品重量與流動長度等成型性變化之影響。

從研究結果可知：當料溫、模溫、射出速度與保壓壓力等參數水準值增加時，薄長平板製品的充填流動長度比與重量皆有增加趨勢，其中以料溫變化對熔膠流動長度影響最大，在較低保壓壓力時，螺桿於保壓結束時會有回彈現象，此會導致保壓效果欠佳。單模穴向下進澆之熔膠流動長度明顯大於單模穴向上進澆與雙模穴充填之熔膠流動長度。在超高速射出成型製程中，模具排氣不良會導致熔膠流動有很大的流動阻力，於 V/P 保壓切換點前即出現螺桿嚴重減速的現象。

關鍵字：超高速射出成型、製程參數、熔膠流動長度、模穴配置

壹、緒 論

由於消費性電子產品設計越來越薄，也使得材料供應商、產品設計工程師、模具廠、射出廠和射出機製造商都必須面對這一重要的課題。對薄殼射出成品而言，重量變輕、尺寸減少、循環時間縮短、生產速率增加、成本降低都是製程上的優點，這些優點可以提升產品競爭性是相當大的。

在射出成型中，由於射出壓力與熔融塑料的流動長度具有成正比的关系，尤其成品的厚度越小，熔膠的流動性愈受限制，因此要保持流動的一致性則所需要射出壓力將愈高。換言之，增加流動長度需要增加進口處的壓力，以產生相同的壓力梯度來保持熔膠的充填速度。一般而言，射出機射膠速度在 300mm/sec 以下歸類為傳統射出機，射出能力在 300mm/sec~600mm/sec 歸類高速射出機，而射出能力在 600mm/sec 以上則稱為超高速射出機。而所謂的薄殼產品定義，一般而言是指成型成品的流長對壁厚的範圍為 100:1 到 150:1 或者更大，或壁厚在 1.0~0.8mm 或更小者，皆視為薄殼產品看待[1,2]。

成型品厚度在「1mm 以下」為薄殼的判定基準之一，至於表示材料的流動性或在模具內流動的可能性一般常用流長比大小表示，即流動的長度(L)與壁厚(h)的比率 L/h 可以作為判斷是否為薄殼的另一基準(L/h>150)。

流長比的計算方法，除了在成型品本體的流長比之外，還需加上豎澆道(Sprue)、流道(Runner)、澆口(Gate)部分的流長比[3]。

$$\text{流長比} = \frac{L}{h} = \frac{L_1}{t_1} + \frac{L_2}{t_2} + \frac{L_3}{t_3} + \frac{L_4}{t_4} \quad (1)$$

其中 L_1 、 t_1 為豎澆道的長度與平均直徑， L_2 、 t_2 為流道的長度與直徑， L_3 、 t_3 為澆口的長度與直徑， L_4 、 t_4 為成型品的流動長度與壁厚。

射出成型中主要的熱量是由冷卻過程中移去，因此可忽略充填過程中短時間之冷卻，而假設塑膠在冷卻過程中是從一均勻溫度冷卻下來。雖然成型品一般為三維之物體，但由於熱主要是由成型品厚度方向以熱傳導方式傳出去，因此可用一維暫態之傅立葉(Fourier)方程式描述之。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (2)$$

其中 $T(^{\circ}\text{C})$ 為溫度， $t(\text{s})$ 為時間， $x(\text{mm})$ 為熱傳導方向的固體厚度，利用傅立葉展開式可得到冷卻時間與成型品厚度的關係式(2-3)[10]。

$$t_c = \frac{h^2}{\pi^2 \alpha} \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \left(\frac{T_m - T_w}{T_e - T_w} \right) \right] \quad (3)$$



式中 $h(\text{mm})$ 為成型品厚度， $\alpha(\text{mm}^2/\text{s})$ 為塑料實效溫度傳導率， $T_m(\text{°C})$ 為熔膠溫度， $T_w(\text{°C})$ 為模壁溫度， $T_e(\text{°C})$ 為頂出時塑膠溫度。此式適用於和長度相比較下肉厚很薄之場合。由式(2-3)可知冷卻時間與厚度平方成正比，也就是成型品的厚度減半，冷卻時間減縮為 1/4，因此充填時間應比固化時間短才可能完全充填模穴。

基本上，射出速度控制是使塑料不管流路的斷面積如何改變，其流動前端速度都保持一定，而所謂高速充填也就是模穴填充儘可能在最短時間內完成，以減少塑料形凝固層之機會而使塑料流動性降低，並促使產品之殘留應力降低。尤其在薄件成型時，由於其流動長度與厚度比(L/t)相當大，高速射出技術之需求更為明顯，故熱塑性塑膠之高速射出技術在射出成型機控制技術中，係屬相當重要之技術。

貳、文獻探討

Cosma [4] 研究流長比對薄殼射出成型的重要性，使用多個進澆口來減少流長而較容易成型。另外提到隨著厚度的減薄，射出壓力增加的性質，並且在薄殼成型重要的因素如：有足夠的速度和壓力進行充填及良好的控制壓力避免對模穴過保壓的發生。

Bozzelli [5] 指出薄殼射出成型的要素：料溫、射出壓力、充填速率和冷卻時間，並且利用實驗的方法量測模穴壓力得到射出速度愈快，模穴壓力損失愈小的情況。

Tantakom [6] 則認為對於要減少成品的充填時間可以使用更多的進澆口和更高的射出壓力來解決。

Johanmabar [7] 實驗指出，薄件之射出參數需比厚件要有更大的射出壓力，但是隨著模具溫度的提高，即可降低射出壓力。

Song [8] 等人，在超薄殼塑膠件之模具設計和製造利用田口方法和數值模擬，在考慮影響製程參數(射出率、射出壓力、熔膠溫度、計量大小和壁厚...等)中找出影響成型品性能之大小效應，結果顯示影響成型參數的第一要素為計量大小、射出率，其次則為模溫與射出壓力。

魏 [9] 於研究中提及，在成型薄件時，熔膠很容易就會在充填過程中太快固化，造成模穴未能及時完全充填，解決之道只有提高射出充填速度，利用高速瞬間充填來避免固化層阻塞流道，達到薄件的充填成型；而且於射出成型生產程序中，射出過程已被證實是影響成品殘留應力及收縮程度之相當重要程序。

賴 [10] 研究指出射出壓力與射出速度並不完全聽從油壓回路上控制閥之設定，而受熔融塑料之粘度、流道形狀、模穴阻力及流動速度等種種因素所左右。

綜合上述，本研究使用鏈發射出機公司所生產的 LF107HSS 射出成型機，射速可以高達 2,000mm/sec，分別使用 0.6mm 與 0.4mm 厚度模仁的薄長平板模具，探討不同料溫、模溫、射出速度與保壓壓力等與單模穴、雙模穴配置對於塑膠薄長平板產品重量與熔膠流動長度等成型性變化與射出機製程操控性之影響。

參、研究方法

七. 超高速射出成型機

本研究使用鏈發射出機公司所生產的 LF107HSS 射出成型機，安裝高速射出閉迴路控制器，並搭配射出成型製程監控裝置。射出成型機的螺桿直徑為 18 mm，機器是使用油壓系統作為驅動單元，最高的射出率為 508 cm³/sec，最大射速為 2,000 mm/sec，最大熔膠射出量為 20 g，系統最大油壓為 200 kgf/cm²，最大射壓為 3,240 kgf/cm²，最大鎖模力為 100 ton。

八. 實驗模具

本研究使用薄長平板模具之模穴充填長度為 150mm，可以替換 0.4mm、0.5mm 及 0.6mm 三種不同厚度的模仁，本研究使用 0.6mm 與 0.4mm 厚度的模仁製作薄長平板，其中 0.6mm 厚度的模仁採用一模兩穴進澆方式製作薄長平板產品，0.4mm 厚度的模仁分別採用雙模穴上下進澆、單模穴向下進澆與單模穴向上進澆等三種進澆方式製作薄長平板製品(如圖一所示)。

九. 實驗材料

使用奇美公司 ABS 塑料(Polylac PA-707)，產品電鍍性佳；須於 85°C 下烘料約 2~3 小時，射出套筒溫度介於 190~230°C，模溫為 30~70°C。

一〇. 實驗方法

(一) 基本製程參數設定

1. 蓄壓器設定 160kgf/cm²
2. 一段充填速度
3. 保壓時間 0.6sec

(二) 實驗製程參數：0.6mm 厚度薄長平板製程參數如表一所示，0.4mm 厚度薄長平板製程參數如表二所示。

(三) 實驗方法

本研究之製程參數因子將以影響充填製程比較有相關的料溫、模溫、射出速度與保壓壓力為主。本研究使用之射出成型機可以擷取射出成型製程之射出壓力與射出速度之設定值、螺桿位置、螺桿移動速度、螺桿於製程中所承受壓力值(射出缸油壓進出口壓力差值)，由於各參數之單位不一致，因此統一換算為百分比值，亦即油壓壓力 100%為 200kgf/cm²，速度 100%為 2,000mm/sec，位移 100%為 100mm。

於表一與表二製程參數表中，實驗分為四組，每組實驗只變化一個參數，其餘三個參數不改變，每個參數各有五個水準值。實驗中射出壓力設定值為射出機系統蓄壓器最高壓力的



80% (即 160 kgf/cm^2)，此乃在確保製程中的螺桿射膠速度可以達到速度的設定值。射出成型製程中，每組參數實驗成型 6 片薄長平板製品，並擷取螺桿於射出歷程的時間、位置、速度與壓力等監控曲線的資料(如圖二所示);成形之薄長平板製品使用微量天平(精度為 0.0001g)秤重量，使用數位式游標卡尺(精度 0.02mm)量測製品充填長度，依據實驗量測值探討高速射出成型製程參數與模穴配置對薄長平板製品成型性之影響。

肆、研究結果與討論

三. 製程條件對0.6mm厚度薄長平板重量影響之探討

(一) 料溫對製品充填重量之影響

料溫為高分子材料熔解所需的溫度，料溫高時，熔膠黏度較小，流動阻力小，可以改善模穴內壓力傳遞，對充填階段的成型性有助益，可以擠壓進入模穴之料比較多，對密度有幫助，由圖三可知，料溫增加對產品重量有明顯增加情形。

(二) 模溫對製品充填重量之影響

模溫的大小會影響成品冷卻時間，並使結晶材料內部結構結晶度及結晶形態產生變化，模溫愈高，凝固層薄，可以改善模穴內壓力傳遞，由圖四可知，模溫增加對產品重量有增加趨勢。

(三) 射速對製品充填重量之影響

射速的高低會影響成品內部壓力變化，當射速愈快，通過澆口的剪切率提高，黏度降低，與模壁接觸的黏滯性降低，表面固化層薄，可降低射出壓力，成型性較好，由圖五可知，射速增加對產品重量有增加之情形。

(四) 保壓壓力對製品充填重量之影響

保壓壓力大小會影響成品內部密度變化，保壓壓力愈大，單位時間內擠入成品內的塑料多，有助於成形品的尺寸穩定性，比較高的保壓壓力能夠降低產品體積收縮的機會，密度比較大。由圖六可知，增加保壓壓力對產品重量有明顯增加之情形，尤其在保壓壓力超過 70kgf/cm^2 時，重量增加趨勢明顯；由圖七不同保壓壓力之螺桿位置監控曲線可知，保壓壓力低於 70kgf/cm^2 時，螺桿於保壓結束時(保壓時間 0.6sec)有回彈現象，此導致保壓效果欠佳；當保壓壓力高於 70kgf/cm^2 時，螺桿於保壓結束時即無回彈現象，而且明顯增加成品重量。

四. 製程條件與模穴配置對0.4mm厚度薄長平板製品充填長度影響之探討

(一) 料溫與模穴配置對製品充填長度之影響

由圖八可知，料溫增加對製品充填長度有明顯增加情形，單模穴向下進澆之製品充填長

度明顯大於單模穴向上進澆製品與雙模穴製品之充填長度，此乃因單模穴向下進澆充填流動阻力比較小，因此充填成型性較好。

(二) 模溫與模穴配置對製品充填長度之影響

由圖九可知，模溫增加有助於熔膠流動，對製品充填長度有增加趨勢；單模穴向下進澆製品之充填長度比單模穴向上進澆的製品大，而且單模穴製品之充填長度皆大於雙模穴製品充填長度。

(三) 射出速度與模穴配置對製品充填長度之影響

由圖十可知，射速增加對製品充填長度有增加之情形；單模穴向下進澆之製品充填長度明顯大於單模穴向上進澆製品與雙模穴製品之充填長度，惟於射速1,600mm/sec時，單模穴向上與向下的充填長度都不增反減，雙模穴充填則無此現象。

(四) 不同保壓壓力與模穴配置對製品充填長度之影響

由圖十一可知，增加保壓壓力對後充填的熔膠流動性有幫助，因此製品充填長度皆有增加之情形，單模穴向下進澆之製品充填長度明顯大於單模穴向上進澆製品與雙模穴製品之充填長度。

五. 製程參數水準對0.4mm厚度薄長平板熔膠流動長度影響程度探討比較

超高速射出製程成形薄殼件製品時，製程參數水準的設定需考量能夠克服流動阻力，俾能對熔膠在模穴內充填流動有助益。由圖十二、圖十三與圖十四製程參數對雙、單模穴配置之製品充填長度影響可知，料溫高低變化對於製品充填長度之影響最大，低料溫時熔膠流動性不佳，製品充填長度最短；高料溫時熔膠黏度下降流動性佳，製品充填長度明顯增加。模溫與保壓壓力之參數水準高低變化對本研究0.4mm厚度模穴的熔膠流動長度影響較小，因此製品充填長度的影響變化較小。

射速變化則於射速高於1,400mm/sec時，單模穴與雙模穴製品充填長度有不同的影響趨勢，由擷取射出製程不同設定充填速度時之螺桿實際速度曲線（圖十五）可知，設定速度高於1,200mm/sec時，螺桿實際最高速度明顯無法增加，尤其是單模穴充填於設定速度1,600mm/sec時反而下降；另外在V/P位置保壓切換點前的螺桿充填的速度明顯低於最大速度，而且單模穴的充填速度更低於雙模穴的充填速度。此現象再由圖十六、圖十七與圖十八不同模穴進澆於的不同設定充填速度時之螺桿實際速度曲線可知，本研究之薄長平板模具的排氣設計無法滿足超高速製程的要求，導致超高速充填時排氣不良反而形成很大的流動阻力，使得螺桿速度於V/P位置保壓切換點前即嚴重減速，因此製品充填長度皆無法填滿150mm，此現象顯示超高速充填的模具排氣槽設計必須重新改良，才能改善於V/P位置保壓切換點前即提前減速的現象。



伍、結論與建議

經由本研究探討超高速射出成型製程參數與模穴配置對薄長平板製品成型性之影響，可以得到以下之結論與建議：

- 一、料溫增加時，熔膠黏度降低，流動性比較好，對製品重量與充填長度有明顯增加，而且在料溫、模溫、射出速度與保壓壓力等四個參數中，料溫高低變化對於熔膠流動長度影響最大。
- 二、模溫增加有助於熔膠流動，對製品重量與充填長度皆有增加趨勢，惟不若料溫變化的影響大。
- 三、射速增加對，熔膠與模壁接觸的黏滯性降低，流動性性較好，製品重量與充填長度皆有增加之情形，惟於射速1,600mm/sec時，單模穴向上與向下的充填長度都不增反減，雙模穴充填則無此現象。
- 四、增加保壓壓力對後充填的熔膠流動長度有幫助，因此製品重量與充填長度皆有增加之情形。
- 五、整體而言，單模穴向下進澆之製品充填長度明顯大於單模穴向上進澆製品與雙模穴製品的充填長度。
- 六、超高速射出成型製程中，模具排氣不良會導致熔膠流動有很大的流動阻力，於V/P位置保壓切換點前即出現螺桿嚴重減速的現象，因此需要於模仁增加排氣槽設計。

參考文獻

1. 王珉玟，”淺談超高速射出成形技術”，機械工業雜誌，(2000)。
2. 王振偉，”薄殼射出成型品性質之研究“，中原大學碩士論文，(2000)。
3. 曾賢勳，”超高速薄殼射出成型之製程特性與成型參數對機械性質影響之研究“，中原大學博士論文，(2008)。
4. L. Cosmar, "Molding Engineer Resins Into Thin Wall Applications: Issues and Answers," SPE Tech. Paper, 446 (1997).
5. J.Bozzelli, "Pressure Loss in Thin Wall Moldings," SPE Tech. Paper, 425 (1997).
6. P.Tantakom, "Processing Strategies for Thin Wall Injection Molding," SPE Tech. Paper, 367(1998)
7. F.Johannabar,"Injection Molding Machines a User's Guide", Hanser/Gardner Publications, Inc., Cincinnati, U.S.A.(1985).
8. M.C. Song, Z.Liu, M.J. wang, T.M. Yu and D.Y.Zhao, "Research on Effects Injection Process Parameters on the Molding Process for Ultra-Thin wall Plastic parts", Journal of Materials Processing Technology 187-188(2007).
9. 魏榮輝，”精密塑膠射出成型技術”，中山科學研究院新新雙月刊第 22 卷，第 6 期，pp.161~166，(2004)。

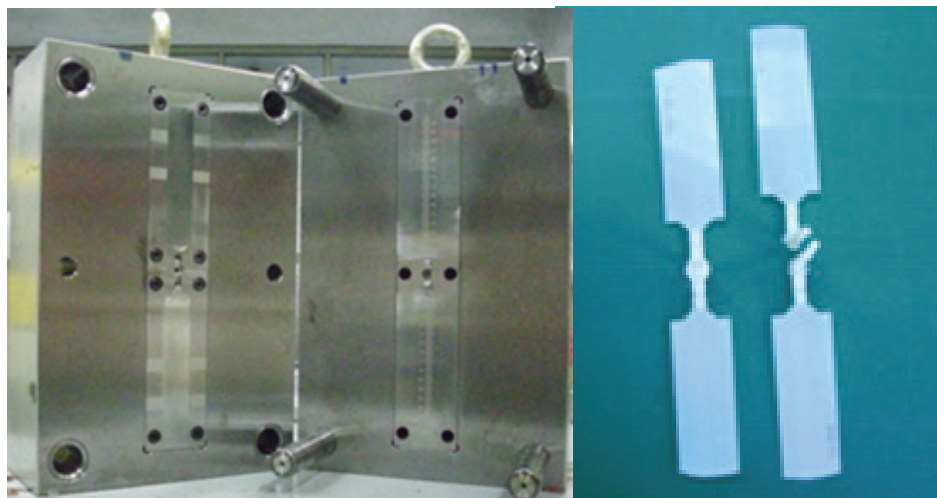
10. 賴文六，”解讀塑膠射出成型機油壓回路”， 機械月刊，0342，pp.97~105，(2004)。

表一 厚度 0.6mm 製程參數表

表二 厚度 0.4mm 製程參數表

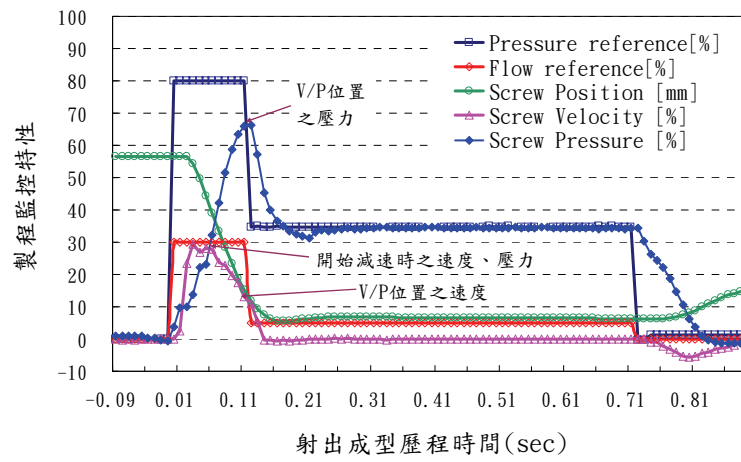
實驗分組	試片編號	料溫 $^{\circ}\text{C}$	模溫 $^{\circ}\text{C}$	射速 mm/sec	保壓壓力 kgf/cm 2
一	1-1	200	50	600	70
	1-2	210	50	600	70
	1-3	220	50	600	70
	1-4	230	50	600	70
	1-5	240	50	600	70
二	2-1	230	30	600	70
	2-2	230	40	600	70
	2-3	230	50	600	70
	2-4	230	60	600	70
	2-5	230	70	600	70
三	3-1	230	50	200	70
	3-2	230	50	400	70
	3-3	230	50	600	70
	3-4	230	50	800	70
	3-5	230	50	1,000	70
四	4-1	230	50	600	30
	4-2	230	50	600	50
	4-3	230	50	600	70
	4-4	230	50	600	90
	4-5	230	50	600	110

實驗分組	試片編號	料溫 $^{\circ}\text{C}$	模溫 $^{\circ}\text{C}$	射速 mm/sec	保壓壓力 kgf/cm 2
一	1-1	200	60	1,200	70
	1-2	210	60	1,200	70
	1-3	220	60	1,200	70
	1-4	230	60	1,200	70
	1-5	240	60	1,200	70
	二	2-1	220	40	1,200
2-2		220	50	1,200	70
2-3		220	60	1,200	70
2-4		220	70	1,200	70
2-5		220	80	1,200	70
三		3-1	220	60	800
	3-2	220	60	1,000	70
	3-3	220	60	1,200	70
	3-4	220	60	1,400	70
	3-5	220	60	1,600	70
	四	4-1	220	60	1,200
4-2		220	60	1,200	50
4-3		220	60	1,200	70
4-4		220	60	1,200	90
4-5		220	60	1,200	110

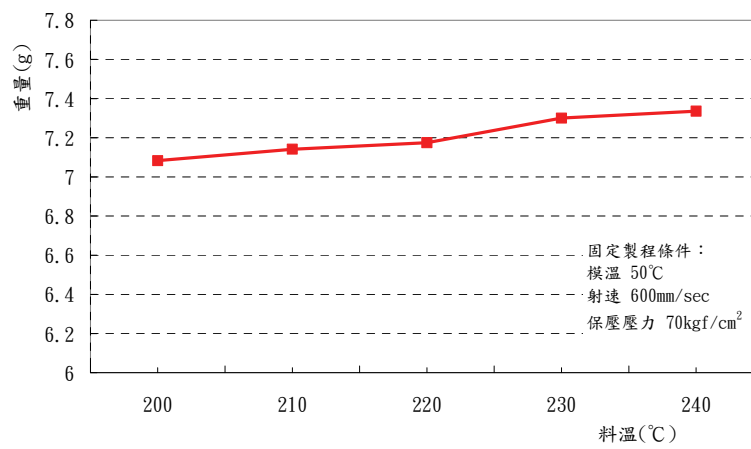


圖一 薄長平板模具與成品照片

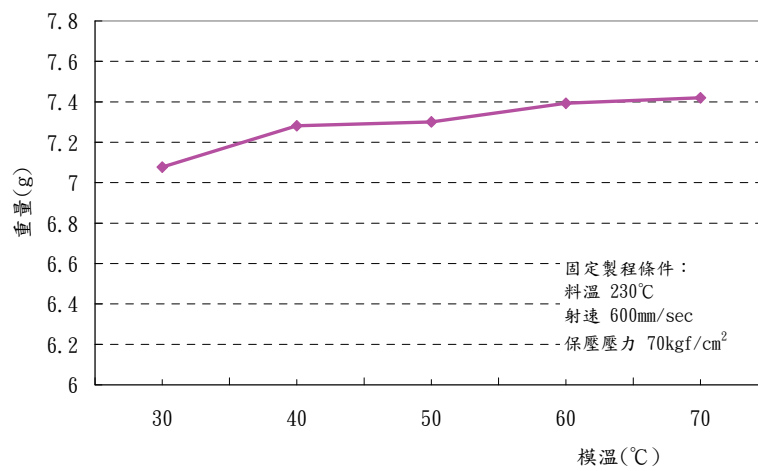




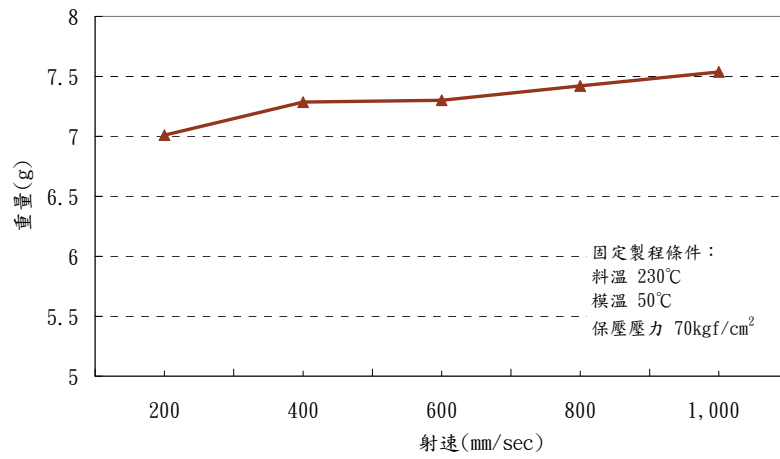
圖二 射出成型歷程之製程監控曲線



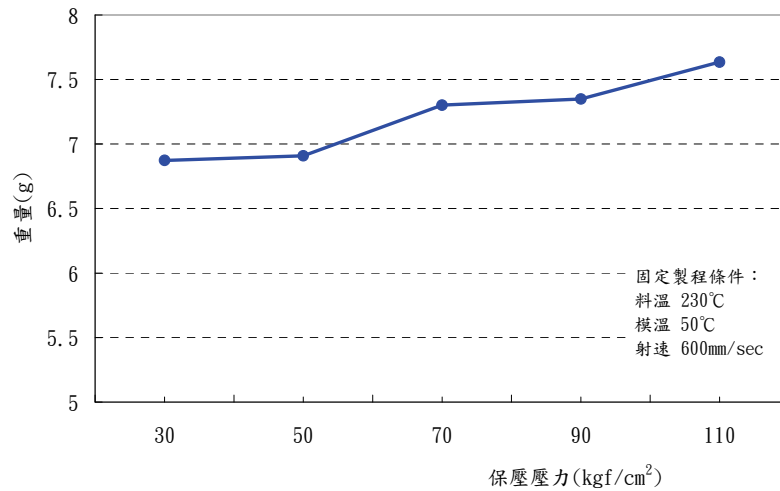
圖三 料溫對充填重量之影響



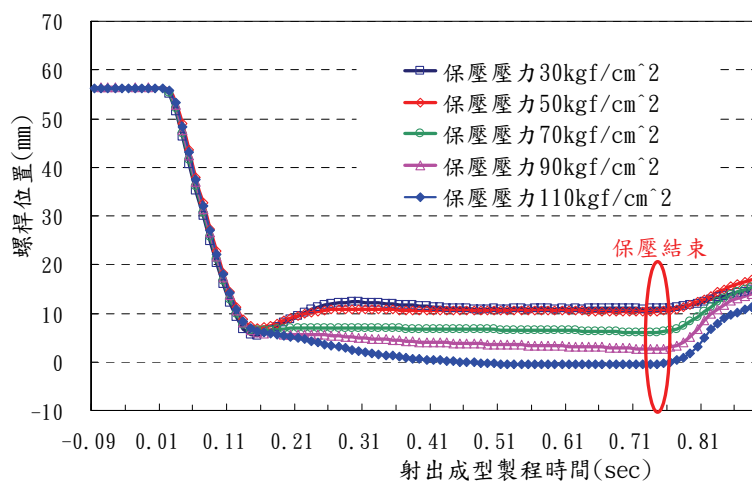
圖四 模溫對充填重量之影響



圖五 射速對充填重量之影響

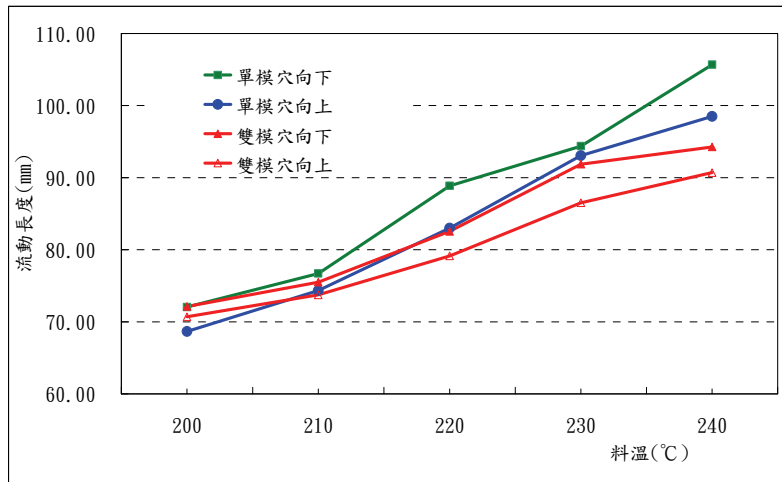


圖六 保壓壓力對充填重量之影響

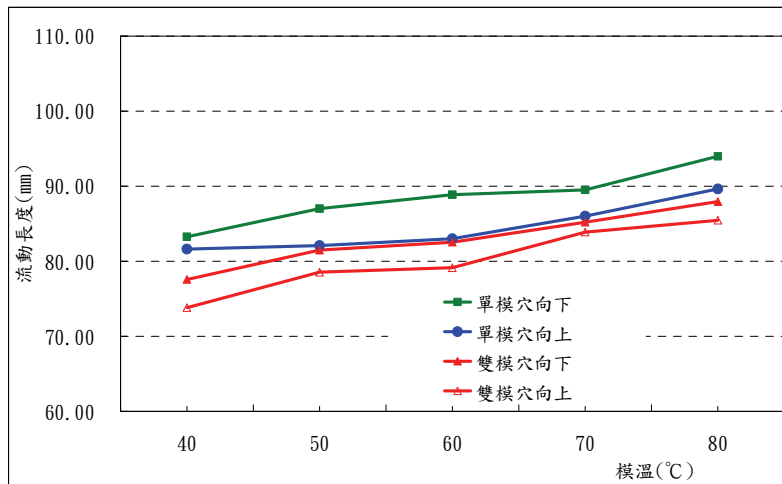


圖七 不同保壓壓力之螺桿位置監控曲線

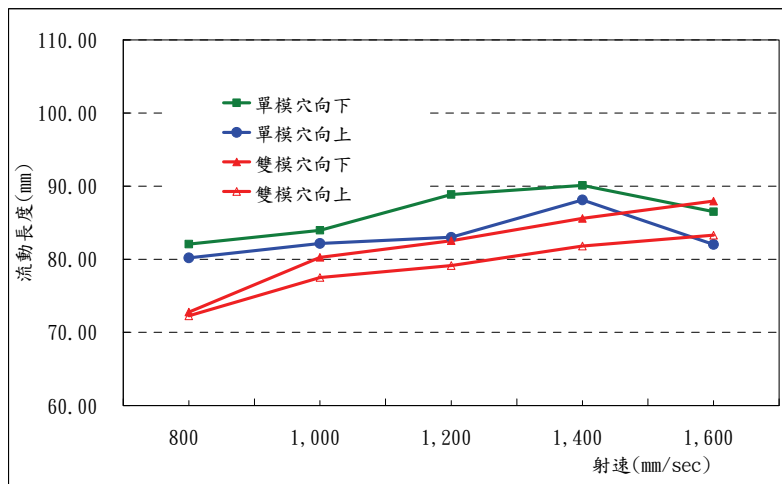




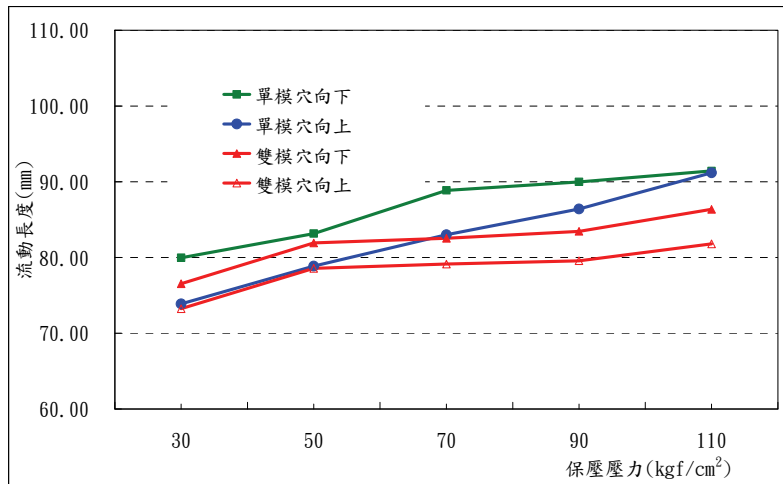
圖八 料溫與模穴配置對製品充填長度之影響



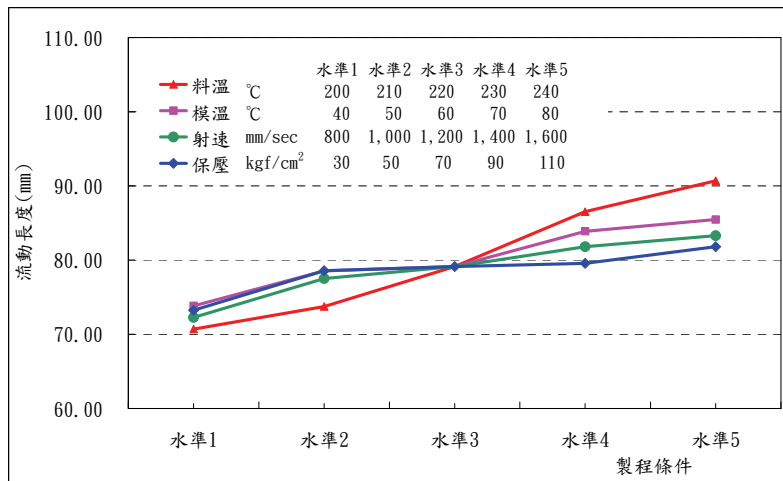
圖九 模溫與模穴配置對製品充填長度之影響



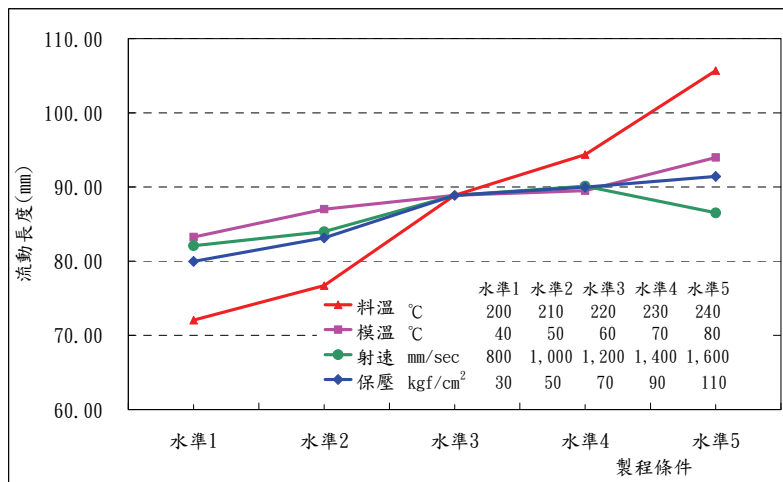
圖十 射速與模穴配置對製品充填長度之影響



圖十一 保壓壓力與模穴配置對製品充填長度之影響

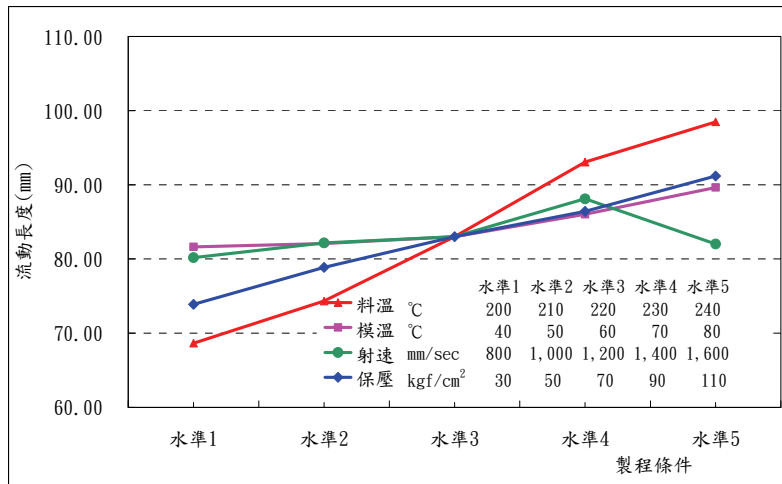


圖十二 製程參數水準對雙模穴製品充填長度之影響

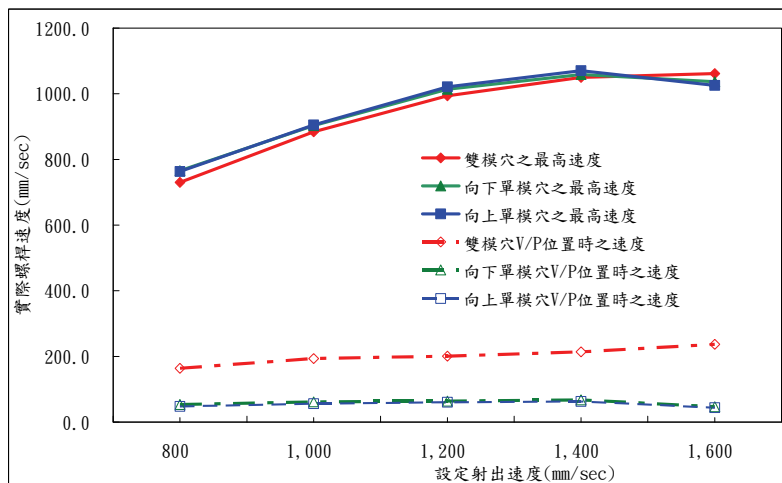


圖十三 製程條件對向下單模穴製品充填長度之影響

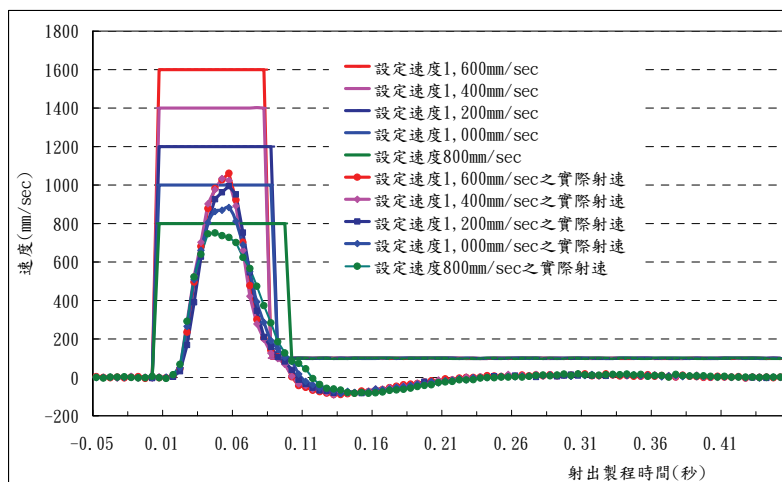




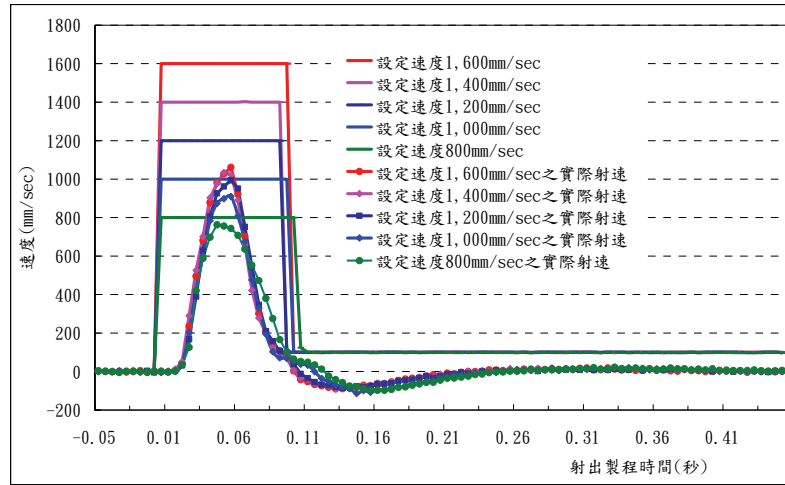
圖十四 製程條件對向上單模穴製品充填長度之影響



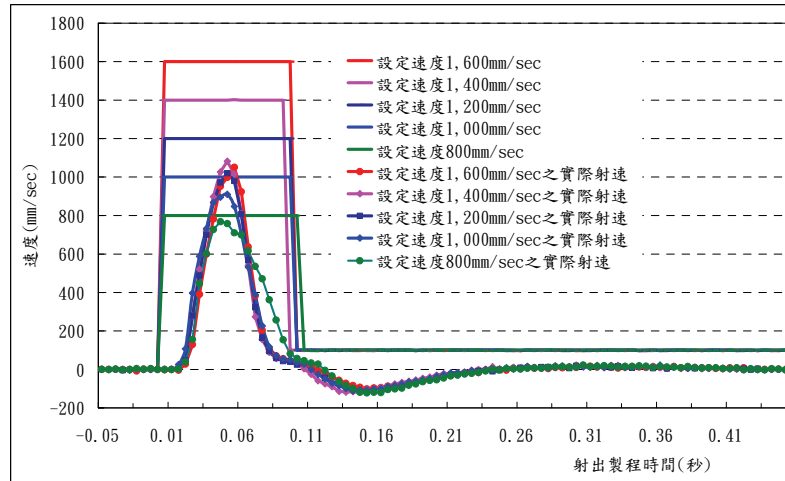
圖十五 不同設定速度時之實際螺桿速度



圖十六 雙模穴不同設定速度時之螺桿速度曲線



圖十七 向下單模穴不同設定速度時之螺桿速度曲線



圖十八 向上單模穴不同設定速度時之螺桿速度曲線

