

南亞技術學院教師專題研究計畫
成果報告

ABS 複合材料氣體反壓射出成型案例之研究

計畫編號：教專研 105P-010

計畫類別：個別型計畫

執行年度：105 年度

執行期間：105 年 1 月 1 日至 105 年 12 月 31 日

計畫主持人：李平惠

執行單位：機械工程系

研發小組審查：同意結案不同意結案 簽名：

(審查人不得與計畫主持人相同)

中華民國 105 年 12 月 31 日

ABS 複合材料氣體反壓射出成型案例之研究

李平惠

機械工程系

摘要

氣體反壓法(Gas Counter Pressure, GCP)應用於塑膠射出成型，已具有相當多年研究與結果，其中大部分主要用來改善發泡成型之表面品質、機械性質與產品重量，由研究可知利用氣體反壓法，可藉以控制成型過程之壓力穩定性而得到密度均勻成品。目前將氣體反壓法應用於射出成型纖維配向控制，及其穿透導電度影響，相關文獻與研究並不多，因此反壓壓力及搭配成型條件，對纖維配向、纖維分佈與穿透導電度之效果也不從得知，於是本研究使用將以實驗方式呈現不同成型參數與穿透導電度之影響。氣體反壓法於射出成型過程中，要達到有效之作用，需搭配較高料溫250 °C、高模溫80 °C、適當射速10 cm³/s、高氣體壓力100 bar和持壓時間5s，能使高分子流動行為由噴泉流轉換成柱塞流，以致達到纖維配向角度及分佈之控制，進而使成品穿透導電度為3.31S/cm，改善率為7.6 %。

一、簡介

1-1 研究動機

塑膠為日常生活中被大量使用的材料，其因具有輕量、易加工、精度高、低成本與技術成熟等優點，進而應用於 3C 產業、運動器材、汽車產業、生物醫療、能源領域以及航太應用，但愈往高機械性與高功能性之產品研發，塑膠不再是單純高分子組成，而是在塑膠添加填充材如玻璃纖維、碳纖維、碳黑、石墨、奈米碳管、金屬纖維、木質纖維...等，此種塑膠加入填充材稱為高分子複合材料(Polymer Composites)，其簡稱為複合材料。

複合材料是由兩種以上的材質所組合而成，一般而言由塑膠基材(matrix)及填充材(filler)所構成，其基材是材料組成連續的材質，填充材則為其中不連續的材質，複合材料之性質並不同於其構成的任一材料，而是呈現另一種新的材料性質。複合材料於基礎研究上主要分為加工製程改變、塑膠基材種類變更、填充材種類(Types)、形狀結構(Structure)、配向(Orientation)及含量(Content)等。射出成型製程(Injection Molding Process)加工複合材料之需求功能性產品，不外乎針對產品的機械性質提升、導熱性、導電性、抗化性...等功能，而填充材配向與含量研究為改善上述功能之基礎，因此尋找出影響穿透導電度之射出成型相關製程，已成為現今複合材料成型工業發展首要目標之一。

1-2 研究目的

現今熱塑性複合材料大量應用於綠色能源、汽車輕量化與3C等產業，對材料之功能性如導電、導熱性與機械性質等要求較過去更高。為提升導電性需將碳纖維含量增加，但易造成熔膠黏度變高和成本增加，因此碳纖維含量多寡與穿透導電度息息相關。本研究目的以不同成型參數搭配氣體反壓及持壓時間，探討對穿透導電度影響，並取得較佳成型參數。

二、文獻回顧

在複合材料方面的文獻研究中，應用材料導電度多寡之主要關鍵於填充材，而填充材影響導電度因素，包括添加種類、體積/重量含量、表面/界面性質、展弦比(Aspect Ratio)與填充材本身導電值[1]，其中展弦比與含量關係特別密切，因為較低展弦比往往需添加較多含量，才能達到最低導電之滲透門檻(Percolation Threshold)。Saleem[2]說明充填物中碳纖維之機械性能、導電度與熱傳導皆優於碳粒；Kortscho[3]結果指出碳纖維之間之接觸橋梁愈多，則導電度滲透門檻較低，也因此較大展弦比而造成纖維之間容易形成搭接通路。

Heinzel [4]等人指出成型品所混合之導電性材料，若能正交(Orthogonal)於平板之平面能有效提高導電性。而在 Davenport [5]研究中亦指出導電度隨展弦比(Asspect ratio)增加而增加，較大的展弦比較易形成導電通路，此外展弦比增加亦可降低導電碳纖維量，並且改進塑膠製品機械性質，其展弦比定義為填充材料最大與最小尺寸比值，一般都為纖維長度與直徑之比值且範圍設定於 20~1000 之間。Motlagh 等人[6]提出使用超臨界微細發泡成型製程，使用微細發泡影響碳纖維配向，改善穿透導電度，其厚度方向與橫向方向之導電度相比下至少可改善 10 倍。綜合射出成型製程方面，成型參數與成型製程之所以可提升穿透導電度，乃是控制纖維垂直於橫截面之表面做配向排列，成型參數、射出壓縮與超臨界微細發泡成型製程皆能影響纖維配向，而要能使纖維流動過程中，直接控制纖維流動排列之製程，氣體反壓成型製程提供較佳之選擇，因此本研究中利用氣體反壓控制高分子或複合材料往厚度方向之流動行為，將充填時噴泉流(Fountain Flow)轉成柱塞流(Plug Flow)[7]，並改變反壓壓力以控制高分子鏈或纖維配向。此研究計畫之執行，對於導電複合材料技術之發展將有一定之貢獻。

在解決控制纖維配向之射出成型方案中，氣體反壓法(Gas Counter Pressure Technology, GCP)於傳統射出成型中給予一個反壓壓力，熔膠受反向壓力推擠，進而降低熔膠之剪應力，促使熔膠往成品橫截面厚度方向流動，隨著反壓壓力提升將噴泉流轉成柱塞流，而改善表面品質與發泡尺寸，因此期望應用此法於纖維配向之控制，以達改善穿透導電度。氣體反壓於射出成型製程中之程序(圖 1)為：

- (1) 成型週期開始，合模上高壓將氣體注入模穴中，氣體種類為不易與熔膠反應之惰性氣體；
- (2) 熔膠射出至模穴中，同時對流動熔膠施予穩定之反向氣體壓力；
- (3) 氣體於模穴內之出口以壓力控制元件調整模穴內氣體壓力維持固定，直至射出動作結束；
- (4) 冷卻、開模頂出。

此製程在模具內設計通氣體管路，使之可從模具外連結至模穴內，管路所經之處必須有防止漏氣之機構設計與止洩元件；由於反壓壓力對熔膠之流動波前具有保壓效果，故逐漸被應用在產品表面品質與收縮翹曲的改善。

三、材料與方法

3-1 複合材料與製備

本研究所使用的 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene)樹脂型號為 PA-756+15wt.% 碳纖維(CF)導電性碳纖維高分子複合材料，作為氣體反壓控制穿透導電度實驗。為了進行模穴內維持高壓氣體反壓控制，於模具設計上主要考量為注入高壓氣體時，模具絕氣設計、模具鋼性與氣體注入位置，且避免因加熱整副模具之能源浪費，因此於模具上作絕熱設計，模穴所在的模仁外包覆 10mm 厚的石棉可做為阻隔熱量傳遞的屏障，讓加熱區域主要集中於公母模仁，試片尺寸如圖 2 所示。

3-2 穿透電阻值量測與計算

本研究中穿透電阻量測之示意圖(圖3)，將成品置於正負電極之中，並施與一固定力量夾持，此時成品與電極接觸面放置軟性導電石墨以減少其接觸阻抗。而後將兩端之金屬電極輸入一固定電流，並電源負載器連接電極兩端，讀取其電壓值並經由歐姆定律換算出電阻值。而穿透電阻均勻性量測位置分為近澆、中間與遠澆三個位置。其電源負載器由Gwinstek公司生產GPD-3303D，其機台上限為3 A、30 V，電源精準度達±0.01 %，且可讀取其電壓輸出值，搭配自製組件之穿透電阻量測治具進行量測(圖4)，而在量測過程當中，設定參數為固定電壓30 V和固定電流1 A。

量測時同一材料電阻值會依不同組裝力量有不同電阻，組裝力量愈大則電阻值呈現愈小之趨勢(圖5)[8]。量測電阻前先以扭力扳手進行夾持力之測試，經測試後得適當施壓之扭力為85 kg-cm(圖6)，爾後則固定此扭力作量測比較。其換算公式如下：

$$\tau = F \times x \times d \quad (3-1)$$

其中 τ 為施加之扭矩，F為力量，x為常數(螺桿若有潤滑則為0.2，螺桿若無潤滑則為0.17)，d為螺桿之直徑。

而經由組裝後輸以定電流1 A進行量測，量測區域分為近澆、中間、遠澆三位置(圖7)，量測其電壓經由歐姆定律可換算得電阻值，此時須將所得之電阻扣除原始電阻(未放試片時之電阻)才可得試片真實之穿透電阻值，再經由換算可得穿透電阻率：

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (3-2)$$

其中 ρ 為電阻率(Ω -cm)，R為試片之電阻值(Ω)，A為電流流經試片之截面積(cm^2)，L為電流流經試片之長度(cm)。本研究中，樣品之截面積A為 0.66 cm^2 ，長度L為3 cm。

求得電阻後可經換算為導電(Conductivity)，導電為電阻之倒數常以西門(Siemen)表示，由(3-2)式所得之電阻率，將其值做倒數，便是導電度單位為S/cm。

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (3-3)$$

四、結果與討論

由實驗當中了解氣體反壓搭配射出成型，使表皮層增厚導致穿透導電度降低，因此能夠證明成型參數於氣體反壓法之下，對纖維配向角度分佈與穿透導電度影響之外，並找出不須研磨表皮層，便可直接量測纖維配向影響穿透導電度之主要成型參數，其成型參數為不同料溫、不同射速、持壓時間和較佳參數，如表1所示，而氣體反壓法最重要在於模穴內壓力之穩定，且要確認射出過程中反壓壓力均達到設定值，因此由圖8所示確認在持壓時間下壓力穩定性。接下來將依不同成型參數於氣體反壓下對穿透導電度進行探討：

4-1 氣體反壓於不同料溫之影響

不同料溫搭配持壓時間下，比較穿透導電度效果，氣體反壓持壓時間下，以料溫 250°C 穿透導電度稍微改善(圖9)，各個位置穿透導電度之比較如圖10~圖11所示，以料溫 250°C 遠澆位置穿透導電度最高，且在持壓時間下 250°C 遠澆位置之穿透導電度也有所提升，有足夠反壓壓力推擠纖維。由前述結果可知料溫增加，於氣體反壓下對纖維配向角度分佈、層度與穿透導電度皆有改善，料溫 250°C 影響較大。

4-2 氣體反壓於不同射速之影響

不同射速於持壓時間，對穿透導電度影響之結果(圖12)，曲線趨勢是射速愈快穿透導電度愈低，且持壓時間下，於射速 $20 \text{ cm}^3/\text{s}$ 之穿透導電度有明顯增加，而圖13~圖14顯示

遠澆位置之穿透導電度值最高，其分佈順序為遠澆大於中間大於近澆。結果表現上，射速愈高其穿透導電度愈低，且於射速 $5\text{ cm}^3/\text{s}$ 之穿透導電值最高，但在先期實驗射速 $5\text{ cm}^3/\text{s}$ 於氣體反壓 100 bar 時，成型出成品皆為短射，表示氣體反壓需搭配適當射速，因此在射速參數上以 $10\text{ cm}^3/\text{s}$ 為較佳。

為證明氣體反壓持壓時間能增進穿透導電度，料溫 $230\text{ }^\circ\text{C}$ 、氣體反壓 0 、 50 、 100 bar 於持壓時間 5 sec 下，對穿透導電度影響結果如圖15~圖17所示，當氣體反壓壓力增加，穿透導電度隨之下降，而在持壓時間，反壓壓力 100 bar 下，其各個位置穿透導電度分佈，遠澆位置有稍微提升，其分佈順序為遠澆大於中間大於近澆，而於較佳參數之穿透導電度結果中如圖18顯示，持壓時間能改善穿透導電度，其原因是高料溫能提供反壓壓力有較多時間，來推擠纖維使亂度增加，更證明文獻Chen等人[9]文中提到纖維亂度愈亂其導電度愈佳，圖19~圖20曲線顯示各個位置之穿透導電度，以遠澆位置之穿透導電度較高，且在持壓時間下穿透導電度也有所提升。

由表2顯示穿透導電度於較佳參數，不同氣體反壓壓力，持壓時間下，其反壓壓力 50 和 100 bar 平均改善率各為 1% 及 3% ，而在 100 bar 各個位置改善率最好為遠澆位置 13.1% ，無持壓時間與持壓時間之平均改善率分別為 6% 與 7.6% ，且於持壓時間下各個位置改善率分別為近澆 5.9% 、中間 7.7% 與遠澆 13.1% (表3)，其中表2~表3當中改善率為負值，其表示反壓壓力值不足以影響纖維流動之行為，因此氣體反壓搭配射出成型，於纖維配向分佈與穿透導電度之影響，反壓壓力愈高較能影響各個位置之間纖維配向，且搭配高料溫、高模溫、適當射速及持壓時間下，能有效感提升纖維配向分佈與穿透導電度。

五、結論

本計畫研究由實驗驗證，進行氣體反壓法於穿透導電度效益評估，證明氣體反壓法於穿透導電度增加是成功，其結果歸納結論如下：

1. 以料溫 $250\text{ }^\circ\text{C}$ 遠澆位置穿透導電度最高，且在持壓時間下遠澆位置之穿透導電度也有所提升，有足夠反壓壓力推擠纖維，可知料溫增加，於氣體反壓下對纖維配向角度分佈、層度與穿透導電度皆有改善。

2. 射速增加，高分子和纖維會隨流動方向排列，而在氣體反壓下射速減慢，纖維配向受到剪應力降低之影響，較佳射速為 $10 \text{ cm}^3/\text{s}$ 時，導致纖維配向亂度增加、層度值下降的效果。
3. 持壓時間能改善穿透導電度，其原因是高料溫能提供反壓壓力有較多時間，來推擠纖維使亂度增加，纖維亂度愈亂其導電度愈佳，遠澆位置之穿透導電度值最高，其分佈順序為遠澆大於中間大於近澆。
4. 氣體反壓法於射出成型過程中，要達到有效之作用，需搭配較高料溫 $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 、高模溫 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 、適當射速 $10 \text{ cm}^3/\text{s}$ 、高氣體壓力 100 bar 和持壓時間 5s ，能使高分子流動行為由噴泉流轉換成柱塞流，達到纖維配向角度及分佈之控制，進而改善成品的導電性質。

六、參考文獻

1. V. S. Mironov, M. Park, C. Choe, J. Kim, S. Lim, and H. Ko, "Influence of Carbon Fiber Surface Treatments on the Structure and Properties of Conductive Carbon Fiber/Polyethylene Films", *Journal of Applied Polymer Science*, 84, No.11, (2002) 2040-2048.
2. A. Saleem, L. Frormann and A. Iqbal, "Mechanical, Thermal and Electrical Resistivity Properties of Thermoplastic Composites Filled with Carbon Fibers and Carbon Particles", *Journal of Polymer Research* 14, No. 2, (2007) 121-127.
3. M. T. Kortschot and T. R. Woodhams, "Computer Simulation of the Electrical Conductivity of Polymer Composites Containing Metallic Fillers", *Polymer Composite*, 9, Issue 1, (1988) 60-71.
4. A. Heinzl, F. Mahlendorf, O. Niemzig and C. Kreuz, "Injection moulded low cost bipolar plates for PEM fuel cells", *Journal of Power Sources*, (2004).
5. D. E. Davenport, "Metalloplastics : High Conductivity Materials", *Polymer News*, (1982).
6. G. H. Motlagh, A. N. Hrymak, and M. R. Thompson, "Properties of a Carbon Filled Cyclic Olefin Copolymer", *Journal of Polymer Chemical B: Polymer Physical*, 45, (2007) 1808-1820.
7. J. Y. Xu, "Microcellular Injection Molding", John Wiley & Sons, (2011).
8. W. R. Runyan and T. J. Shaffner, "Semiconductor Measurements and Instrumentation", McGraw Hill, New York, (1998).
9. S. C. Chen, P. H. Lee, J. S. Huang and R. D. Chien, "Effects of Molding Conditions on the Electromagnetic Interference Performance of Conductive ABS Composites", *Journal of Applied Polymer Science*, 98, Issue 3, (2005) 1072-1080.

七、圖表彙整

表 1 實驗參數表

模溫(°C)	料溫(°C)	射速(cm ³ /s)	反壓壓力(bar)	持壓時間(s)
80	210	10	50	5
	230			
	250			
80	230	5	50	5
		10		
		20		
80	250	10	0	5
			50	
			100	

表 2 氣體反壓下較佳參數於穿透導電度之影響

無持壓時間_穿透導電度(S/cm)		
GCP (bar)	50	100
位置		
近澆	2.39	2.48
中間	2.53	2.76
遠澆	4.18	4.4
平均	3.03	3.21
持壓時間_穿透導電度(S/cm)		
GCP (bar)	50	100
位置		
近澆	2.28	2.51
中間	2.51	2.79
遠澆	4.33	4.65
平均	3.04	3.31
改善率		
近澆	-5%	1%
中間	-1%	1%
遠澆	4%	6%
平均	1%	3%

表 3 氣體反壓下較佳參數於各個位置之穿透導電度影響

無持壓時間_穿透導電度(S/cm)					
位置 \ GCP (bar)	0	50	改善率	100	改善率
	近澆	2.37	2.39	0.8%	2.48
中間	2.59	2.53	-2.3%	2.76	6.6%
遠澆	4.11	4.18	1.7%	4.4	7.1%
平均	3.02	3.03	0.3%	3.21	6%

持壓時間_穿透導電度(S/cm)					
位置 \ GCP (bar)	0	50	改善率	100	改善率
	近澆	2.37	2.28	-3.8%	2.51
中間	2.59	2.51	-3.1%	2.79	7.7%
遠澆	4.11	4.33	5.4%	4.65	13.1%
平均	3.02	3.04	0.6%	3.31	7.6%

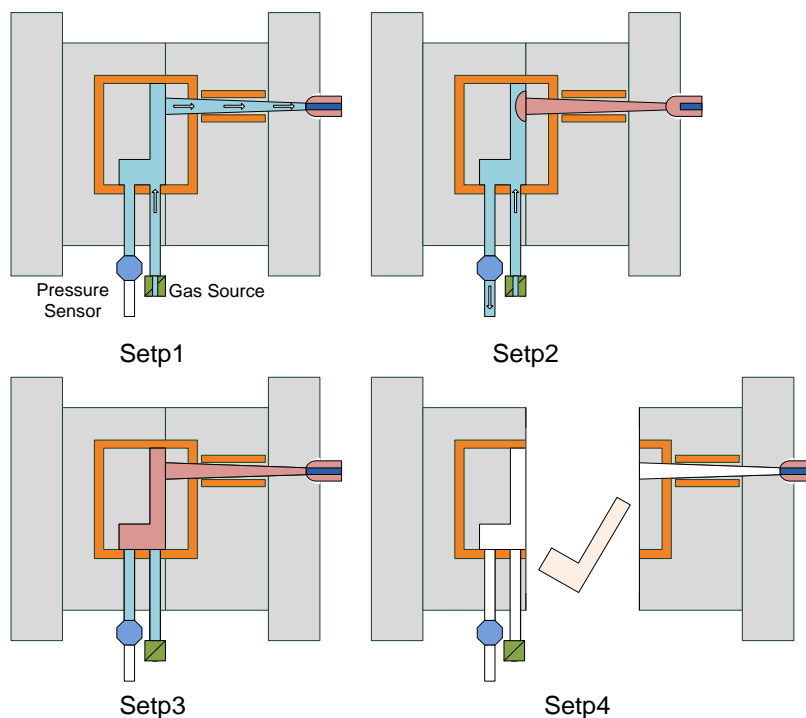


圖 1 氣體反壓法應用於射出成型之程序

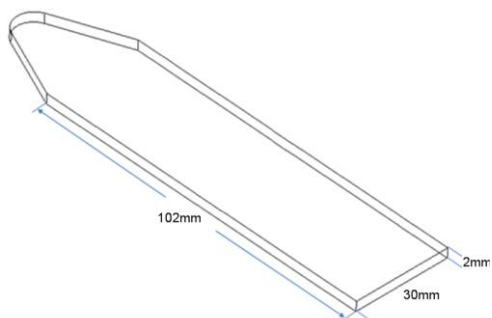


圖 2 試片尺寸示意圖

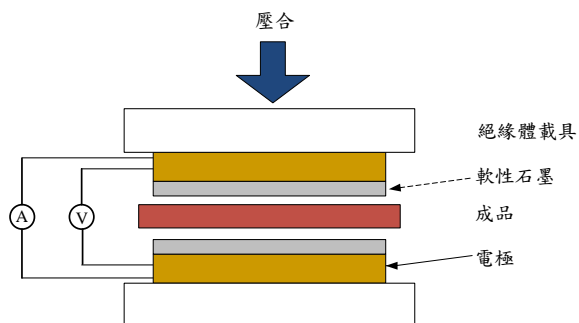


圖 3 穿透電阻量測示意圖



圖 4 穿透電阻量測儀器與治具

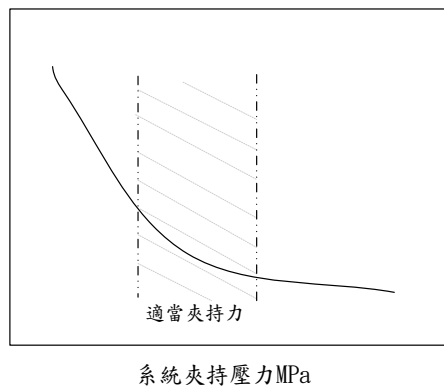


圖 5 夾持力量與電阻值之關係[8]

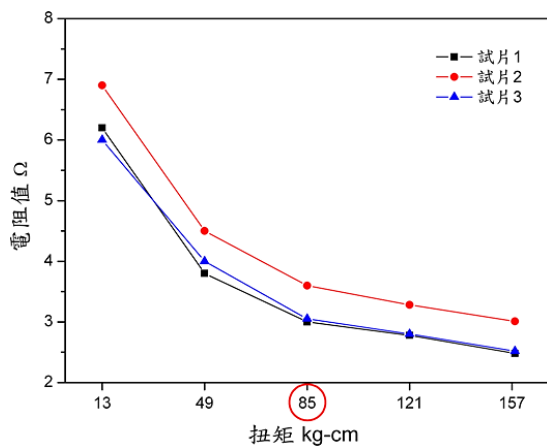


圖 6 扭矩與電阻值測試

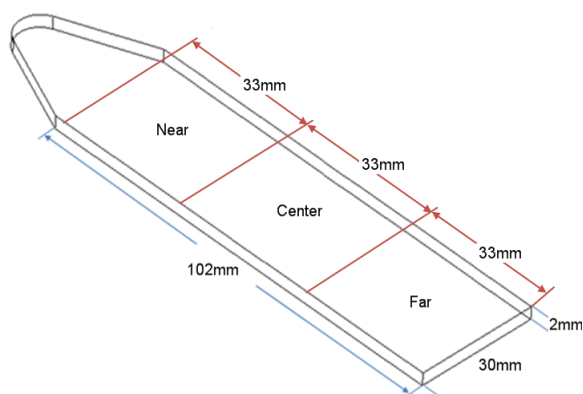


圖 7 穿透電阻量測區域

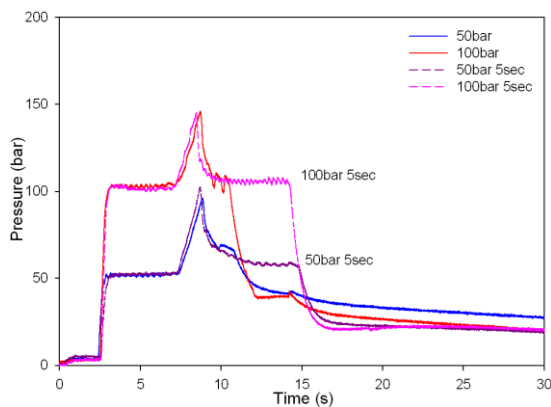


圖 8 氣體反壓於不同持壓時間模內壓力曲線

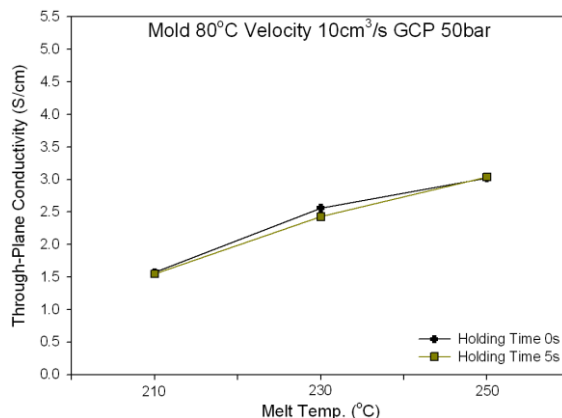


圖 9 不同料溫之穿透導電度比較 (Holding Time 0s,5s)

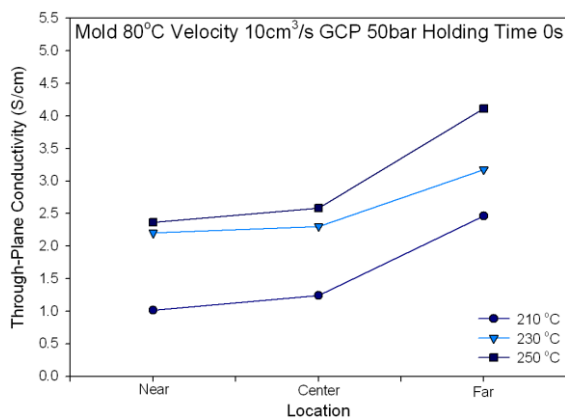


圖 10 不同料溫之各個位置穿透導電 (Holding Time 0s)

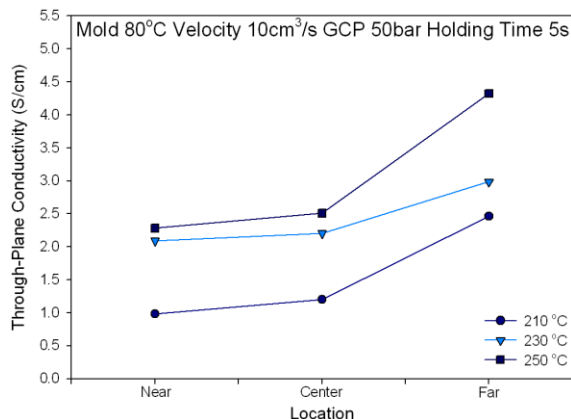


圖 11 不同料溫之各個位置穿透導電度 (Holding Time 5s)

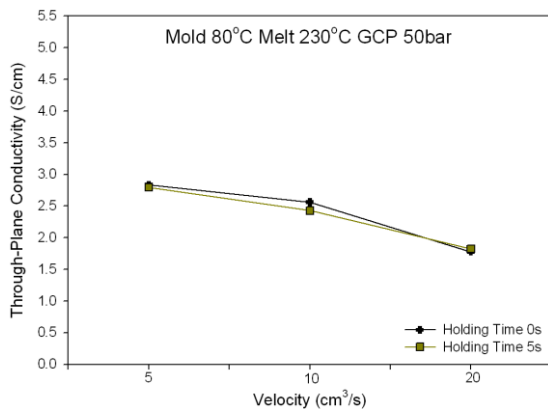


圖 12 不同射速之穿透導電度比較 (Holding Time 0s,5s)

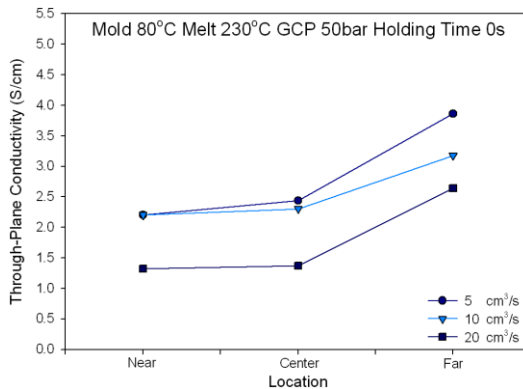


圖 13 不同射速之穿透導電度比較 (Holding Time 0s)

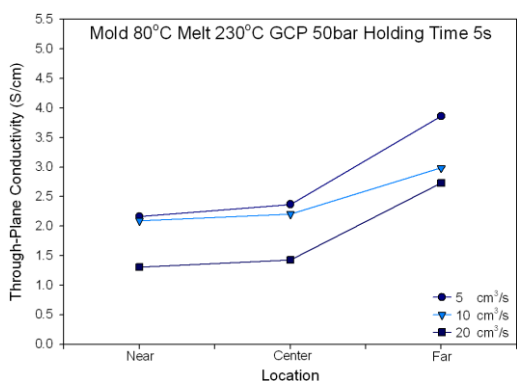


圖 14 不同射速之穿透導電度比較 (Holding Time,5s)

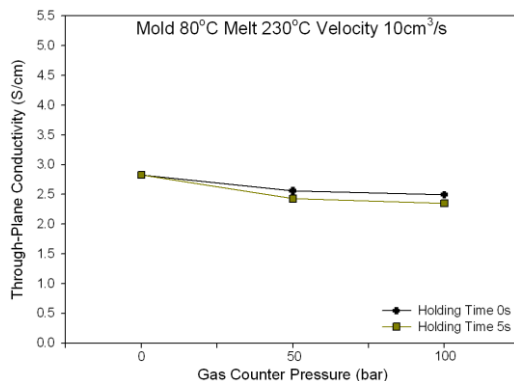


圖 15 不同壓力之穿透導電度比較 (Holding Time 0s,5s)

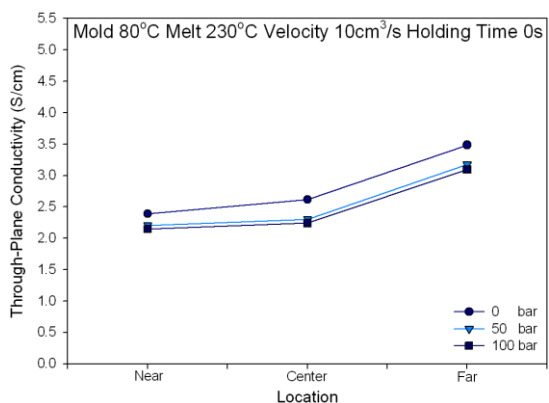


圖 16 不同壓力之穿透導電度比較 (Holding Time 0s)

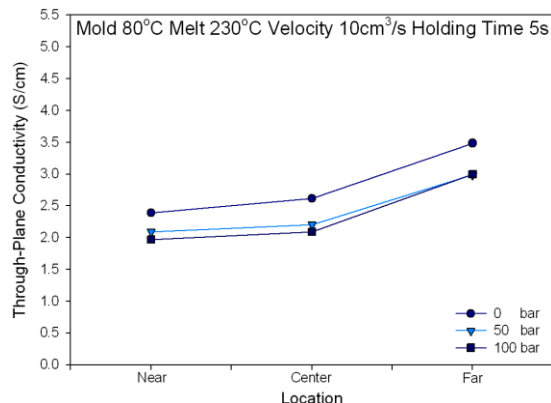


圖 17 不同壓力之穿透導電度比較 (Holding Time 5s)

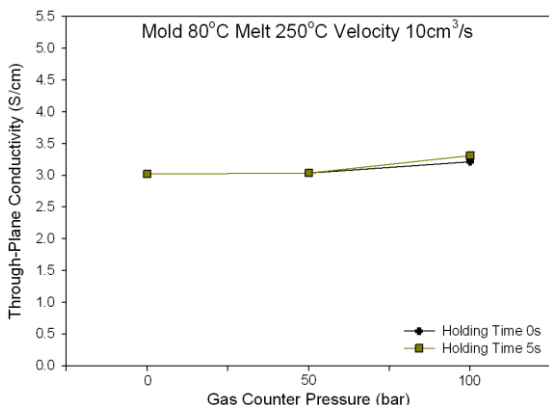


圖 18 較佳參數之穿透導電度比較 (Holding Time 0s,5s)

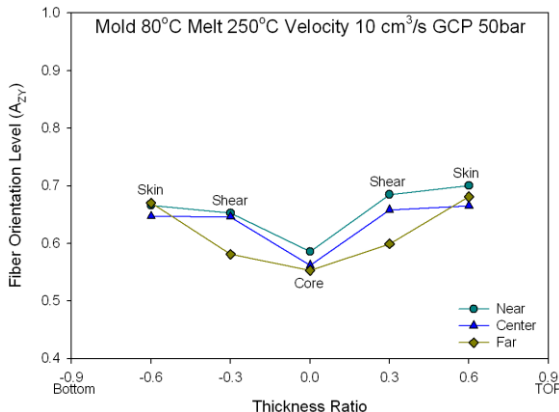


圖 19 較佳參數之各個位置穿透導電度比較 (Holding Time 0s)

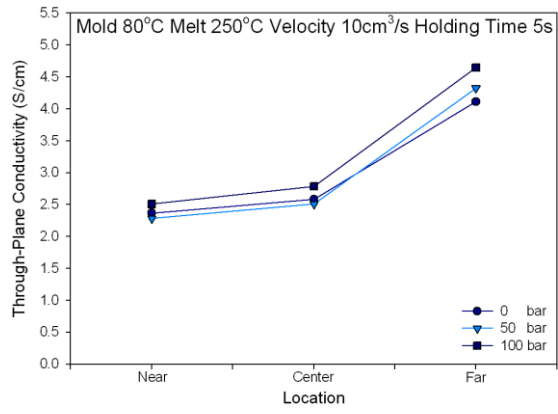


圖 20 較佳參數之各個位置穿透導電度比較 (Holding Time 5s)