

成形模面之高效率感應線圈設計

王祥安¹ 張志良¹ 黃榮丞^{1*} 陳志豪¹

摘要

在射出成形製程中，高模溫有助於熔融塑膠在模穴內流動，可提高成形轉寫率，尤其對於高深寬比與具有微結構產品有一定的影響，其中感應加熱技術是目前產業界或是學界，積極開發的高模溫製程。電磁感應加熱製程技術，對於模具有加熱快速的效果，再加上僅對模具表面加熱，相較於一般傳統方法，以模具水路為通道，使用高溫熱油進行熱交換，間接加熱整副模具之方式，更能節省能源的消耗，進而提高能源使用效率。為能夠將電磁感應加熱應用於高模溫製程上，達到有效加熱、均勻加熱，以及控制加熱，對於具有立體結構的感應線圈設計必須有所進步與突破，並須考量加熱負載阻抗匹配。

研究中，設計三款形狀角度(0°、25°、45°)不同感應線圈對具有立體結構的模面進行加熱，以實際主機輸出參數作為邊界條件，利用電腦軟體進行演算分析，篩選加熱效果較佳之形狀角度25°線圈進行實際加熱驗證，將虛擬溫度分布與實際加熱結果進行比較。而結果顯示，雖模擬與實驗溫度數值偏差介於10~20%，但實際線圈能源使用效率大於50%，可符合產業實際產線應用需求，尤其溫度分布場型可做為線圈設計開發參考依據。

關鍵詞：感應加熱、有限元素方法、射出成形

1. 前言

在資訊科技發達，產業急速成長的時代下，塑膠製品由簡單至複雜的設計，由單一至集多功能於一身，舉凡日常用品、3C產品、醫療用品等，廣泛地被使用在日常生活中，塑膠材料的應用逐漸由日常生活用品轉型進入高精密的工業零組件，現今產品除了輕、薄、短、小為基本要求外，其機械強度、產品外觀、精密及輕量化，也都被列為主要的設計考量。射出成形製程除符合品質與精密度的要求，更有低成本、高產能的生產特性，因此成為塑膠加工的重要技術。但射出成形製程中常有些問

題存在，如薄型大尺寸產品會產生縫合線、流痕、短射、翹曲等不良缺陷成品；另外，微結構或含纖維、複合工程塑料，以及高深寬比產品成形時，其成形品容易充填不良、表面產生浮纖，以及轉寫性不佳…等問題。所以如何克服上述的問題，提升產品品質，且縮短成形週期是值得研究的方向。近年來，模具加工技術不斷進步，模具加熱技術不斷突破，高模溫製程常常被利用來增加熔膠流動性、改善微結構成形的問題，達到提高產品品質的目的。基於此背景，發展一套升溫快及低能耗的快速加熱系統，乃射出成形製程技術的一項重要議題(濱田，1993)，而感應加熱 (induction heating) 的加

¹財團法人精密機械研究發展中心 工程師
*通訊作者, 電話: 04-23595968#613, E-mail: e10017@mail.pmc.org.tw

收到日期: 2014年05月09日
修正日期: 2014年06月27日
接受日期: 2014年07月04日

熱效果、能源使用效率及加熱速度相較於其他加熱方式是相當具競爭優勢，所以應用感應加熱來提高模具溫度為射出成形高模溫製程上重要的方法。

2. 電磁熱耦合分析

電磁熱耦合分析是利用有限元素的集合離散架構，分析實體電磁感應線圈的幾何模型，每一個元素代表這個實際架構的一個離散部分。元素和元素中間存在著共用節點來連接，節點和元素的集合稱為網格。在一個區域的網格中存在的元素數目稱為網格密度，每個元素均遵守物理基本理論方程式(ANSYS, 1995)。根據物理場域，介質特性及Maxwell理論，導出電磁問題統御方程式，後續代入熱力與熱流理論方程，並利用餘數加權法對微分形式的統御方程式進行離散化，導出一個具有龐大的稀疏對稱矩陣之代數方程組(Davies, 1990)。利用此法，將感應加熱主機實際輸出之條件作為模擬分析之邊界條件，進行電/磁/熱耦合分析。

2.1 模擬流程

本研究利用有限元素軟體COMSOL Multiphysics 4.4軟體進行模擬分析。演算過程可分為電磁耦合分析及磁熱耦合分析；其模擬流程如圖1所示。

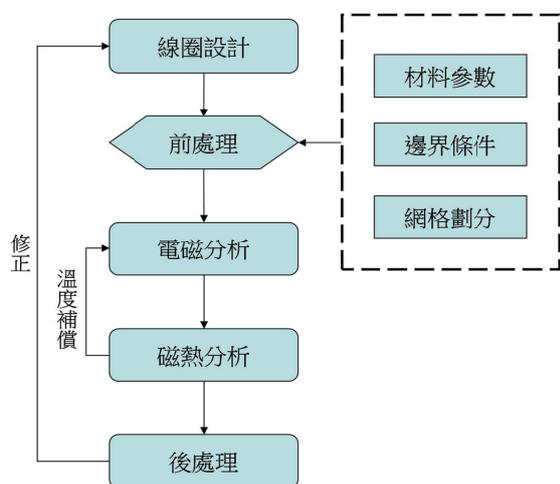


圖1 電磁熱耦合分析模擬流程圖

1. 線圈設計：

針對現有模具規格或結構尺寸，依電磁加熱原理，設計出線圈樣式，並進行模擬。

2. 前處理：

分別須進行材料參數設定、邊界條件設定及網格建立。依據實際使用材料，將參數設定於軟體中，或直接尋找軟體內建雷同之材料，按照感應加熱主機之輸出參數設定為邊界條件，以模擬出較符合實際情況之結果。而網格劃分多寡影響計算結果及收斂性，網格數量多、密，有助於提高結果之準確性及收斂性，但卻易於影響計算時間，故建立網格時需多注意網格大小及分布性。

3. 電磁分析：

屬AC/DC之分析模態，以電流為初始邊界，計算出磁場分布。

4. 磁熱分析：

將電磁分析結果進行固體熱傳分析，考慮熱對導磁係數之影響，可將熱傳計算結果，回傳至電磁分析重新計算。

5. 後處理：

以顏色分布圖、流線、箭頭等方式呈現電磁及磁熱之分析結果，依據計算結果，針對線圈設計不良處予以改良，並重新計算直至預期加熱效果。

6. 參數設定：

本研究以傳統式渦線形線圈進行改良，其待加熱物為射出成形盤形模具，線圈依模具之曲面進行纏繞，如圖2所示。線圈直徑為8 mm、線圈距模面17 mm、線圈間距為16 mm，其線圈材料為紅銅，模具材料為結構鋼，材料參數設定如表1。輸入邊界條件設定：頻率20 kHz、電流約800 A、初始溫度30°C。依邊界條件設定進行多邊型網格劃分，劃分結果如圖3所示。

7. 模擬結果：

感應線圈的設計與模具的幾何形狀有關，而模具的材料特性也關係到整個加熱系統的效率，同時感應線圈的匝數也大幅地影響模具的

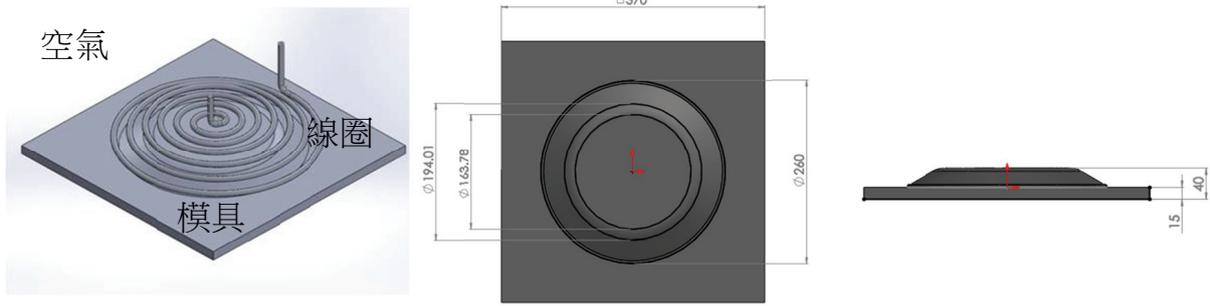


圖2 線圈與模具模擬模型圖

表1 模具材料參數設定(維基百科、中國鋼鐵)

	紅銅	結構鋼
相對導磁係數	1	1,000
相對介電常數	1	1
導電率(S/m)	5.998e7	4.032e6
電阻率($\Omega \cdot m$)	1.72e-8	2.48e-7
常壓熱容(J/kg·K)	385	475
熱傳導(W/m·K)	400	44.5

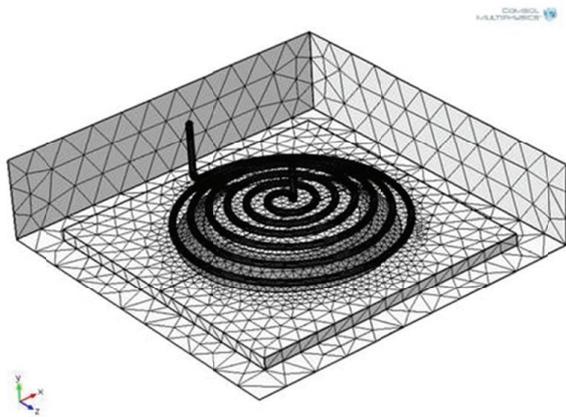


圖3 線圈與模具模擬網格劃分圖

受熱情形。由鄰近效應得知，渦電流的分布與線圈幾何形狀有關，這些整體溫度或區域溫度的提升主要是經由感應電流生成的焦耳熱所產生，剩下未被感應電流影響的區域，其溫度的上升主要是藉由模具本身的熱傳導性質來提升溫度(陳，2001)。因此，線圈設計之前，必須考慮到模具的幾何形狀以及加热的區域，線圈與模具間的距離也是相當重要。本文著重於線圈幾何形狀設計對加熱效果之影響，因此設計

三款不同幾何形狀線圈：第一款為平面渦型線圈，其線圈幾何形狀與模具間距離之定義如圖4。第二款為形狀角度 25° 線圈，其線圈幾何形狀與模具間距離之定義如圖5。第三款為3D適型線圈之形狀角度 45° 線圈，其線圈幾何形狀與模具間距離之定義如圖6。

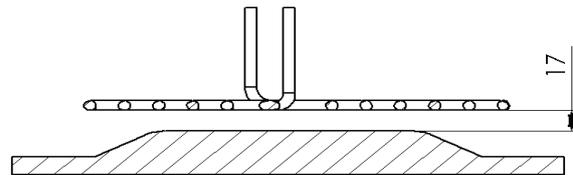


圖4 形狀角度 0° 線圈模型圖

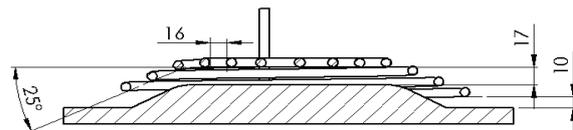


圖5 形狀角度 25° 線圈示意圖

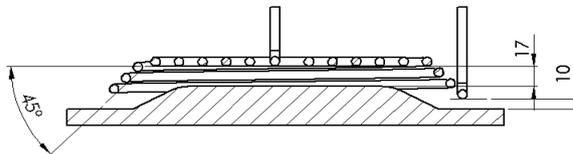


圖6 形狀角度 45° 線圈示意圖

2.2 感應線圈幾何形狀與模具距離定義

此渦型線圈以圓形環繞的方式佈滿模具表面，線圈之間間距為16 mm，最內圈銅管線圈距離模面17 mm，最外圈銅管線圈距離模面10 mm。

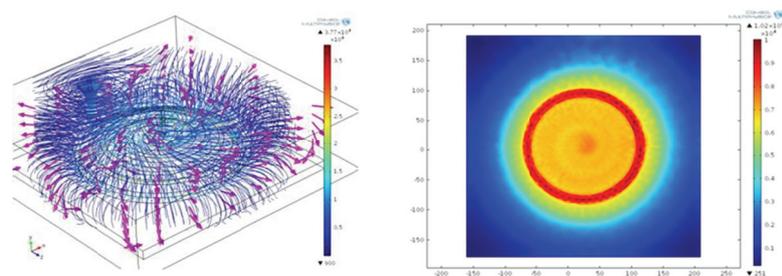
因平面渦型線圈距離盤型模具側面較遠，較無法對整體模具均勻加熱，於是將線圈形狀角度設定為 25° ，希望模具表面加熱距離一致能提升整體模具加熱之溫度。

為求線圈與模具圓角處加熱距離較遠，避免圓角處磁場過度集中，故將線圈形狀角度設定為 45° ，期可使得模面加熱溫度較為平均。

2.3 感應線圈磁場分布與電流方向比較

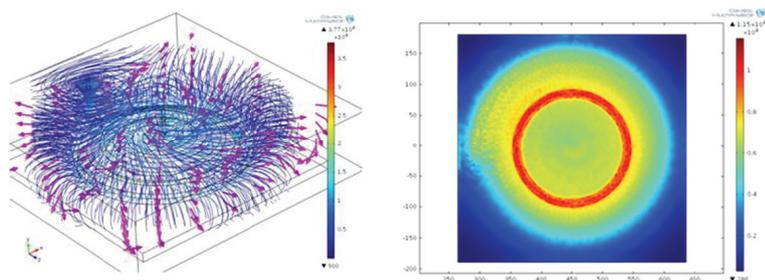
線圈電流方向由最外圈至最內圈之前皆為同向電流，電流所產生的磁場方向一致，故線圈之間的磁場較不會有互相抵消的情況。但最

內圈的線圈電流方向為反向電流，電流之間的鄰近效應使得磁場有互相抵消現象，造成線圈中心磁場較弱(Horoszko, 1975)。如圖7所示，為形狀角度 0° 線圈之磁場分布與方向圖，以及加熱目標模具模面磁場強度分布圖與實際磁場數質分析；形狀角度 25° 線圈電磁分析結果，如圖8所示；形狀角度 45° 線圈之電磁分析結果，如圖9所示。上述三種定義線圈磁場分布圖之磁場強度皆顯示在 500 A/m 以上，而因線圈的電流方向相同，且僅針對角度進行調整，故三種線圈之磁場分布情況非常類似。分析過程可發現，藉由線圈角度的調整，能夠讓線圈各部分與模面距離更一致，模面磁場強度亦隨之均



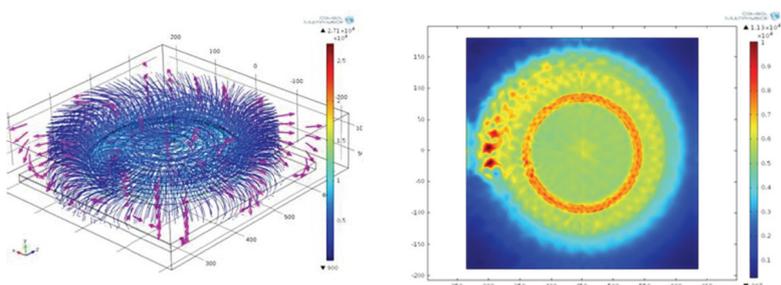
磁場平均值： $3,728.81\text{ A/m}$
 磁通密度平均值： 0.64 T
 磁場面積分： $523.18\text{ A}\cdot\text{m}$
 磁通量面積分： 0.09 Wb

圖7 平面渦型線圈之磁場分布與磁場方向圖



磁場平均值： $4,717.65\text{ A/m}$
 磁通密度平均值： 0.86 T
 磁場面積分： $661.93\text{ A}\cdot\text{m}$
 磁通量面積分： 0.12 Wb

圖8 形狀角度 25° 線圈之磁場分布與磁場方向圖



磁場平均值： $4,026.56\text{ A/m}$
 磁通密度平均值： 0.68 T
 磁場面積分： $564.96\text{ A}\cdot\text{m}$
 磁通量面積分： 0.095 Wb

圖9 形狀角度 45° 線圈之磁場分布與磁場方向圖

勻；針對渦形線圈的甜甜圈加熱效應，模面圓角區域過度加熱的部分，則可透過模面與線圈之間的距離修正，讓磁場強度小幅變動，減少磁場集中現象。由電磁分析結果圖形，可明顯看出形狀角度45°線圈，模面圓角處磁場強度較低於其餘兩款線圈。

2.4 感應線圈加熱場形與溫度分布

感應線圈模擬加熱時間設定在10秒，其平面渦型線圈之模具加熱場形分布圖，如圖10所示，其形狀角度25°線圈之模具加熱場形分布圖，如圖11所示，其形狀角度45°線圈之模具加熱場形分布圖，如圖12所示。觀察三款線圈加熱場形模擬結果可發現，由於三款線圈與盤型模具之間的距離皆不相同，故其加熱場形有所差距，但三款線圈皆有中心溫度較低之狀況，

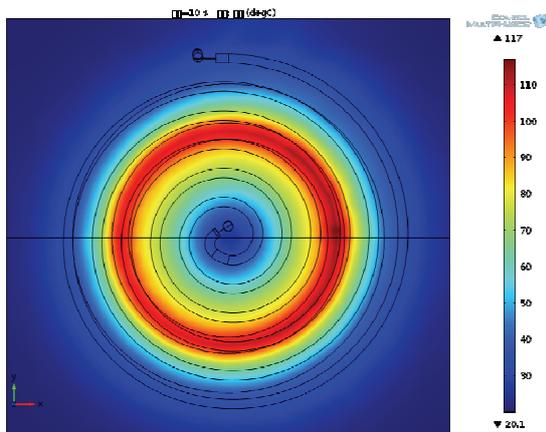


圖10 平面渦型線圈之模具加熱場形分布圖

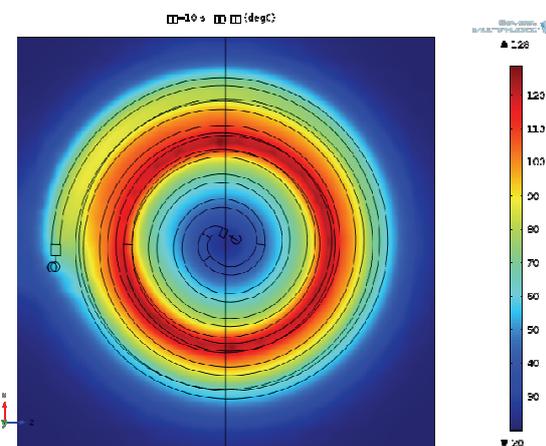


圖11 形狀角度25°線圈之模具加熱場形分布圖

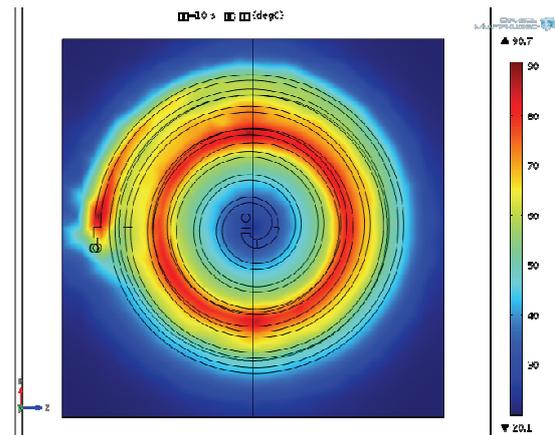


圖12 形狀角度45°線圈之模具加熱場形分布圖

其中形狀角度0°線圈與形狀角度25°溫度太過於集中於模面圓角處(溫度120°C)，與其他加熱區域溫差甚大，而形狀角度45°線圈，雖模面圓角處仍有高溫之現象，但其溫度降為100°C，且加熱區域涵蓋範圍亦較平面線圈大，由以上可知，線圈構型的改變，對於加熱場形具有一定的影響。

若針對模具加熱溫度分布特性探討，則將模具中心線的溫度數據擷取出來，繪製成模具底端到頂端距離與溫度曲線圖。其形狀角度0°線圈之溫度與距離曲線圖，如圖13示，其加熱範圍(50°C以上)為260 mm，最高溫118°C；其形狀角度25°線圈之溫度與距離曲線圖，如圖14所示，其加熱範圍(50°C以上)為295 mm，最高溫129°C。其形狀角度45°線圈之溫度與距離曲線圖，如圖15所示，其加熱範圍(50°C以上)為310 mm，最高溫89°C，從上述三款線圈溫度分布評估後，目前以形狀角度25°線圈較符合產業實際加熱需求。

根據三款線圈之模具中心線所截取的溫度數據，進而統計出平均值、標準差、最大值與最小值，如表2所示。由此表來觀察，形狀角度25°線圈溫度平均值75.42°C與最大值128.28°C，加熱速度10.83°C/s亦為三款線圈當中最高，所以此線圈加熱效率應當是最好的。但由溫度均勻性來看所有線圈，形狀角度45°線圈的標準差18.87最小，表示其分布溫度數據較接近平均值，故溫度均其溫度均勻性較好。

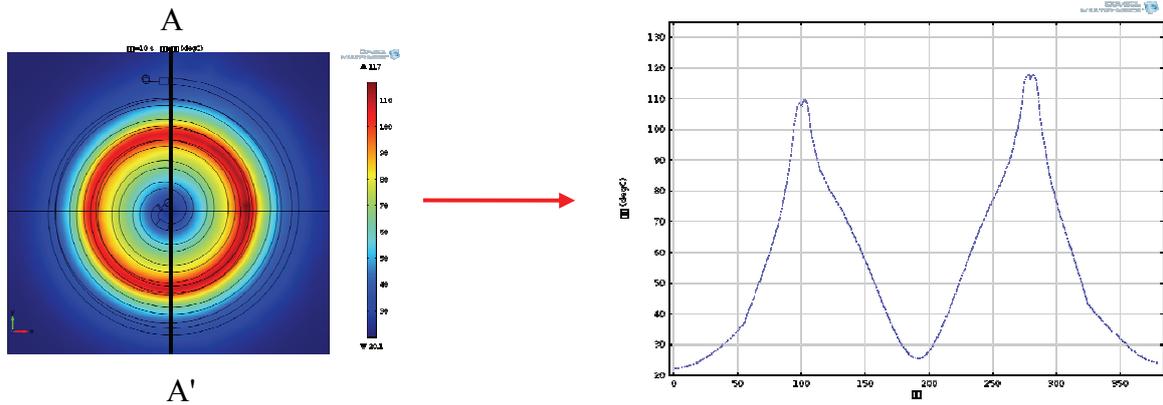


圖13 平面渦型線圈之溫度與距離曲線圖

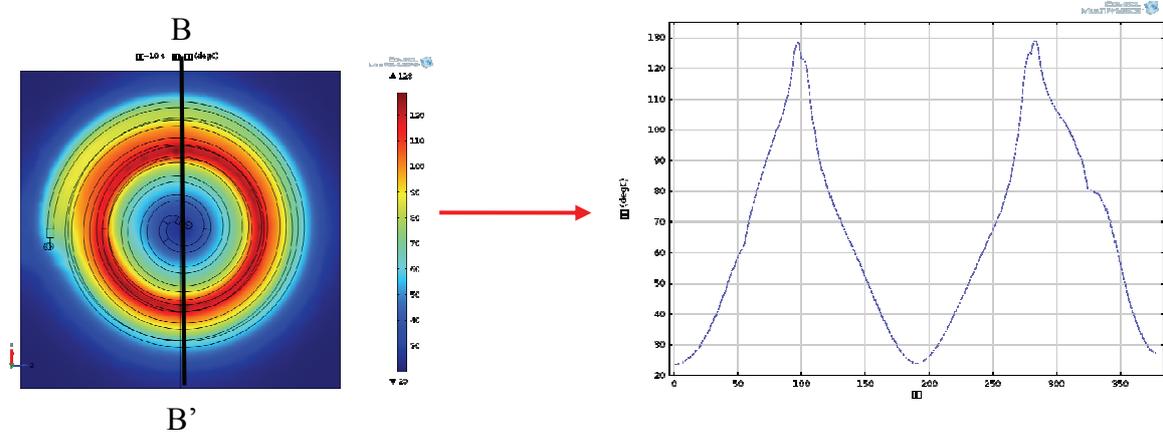


圖14 形狀角度25°線圈之溫度與距離曲線圖

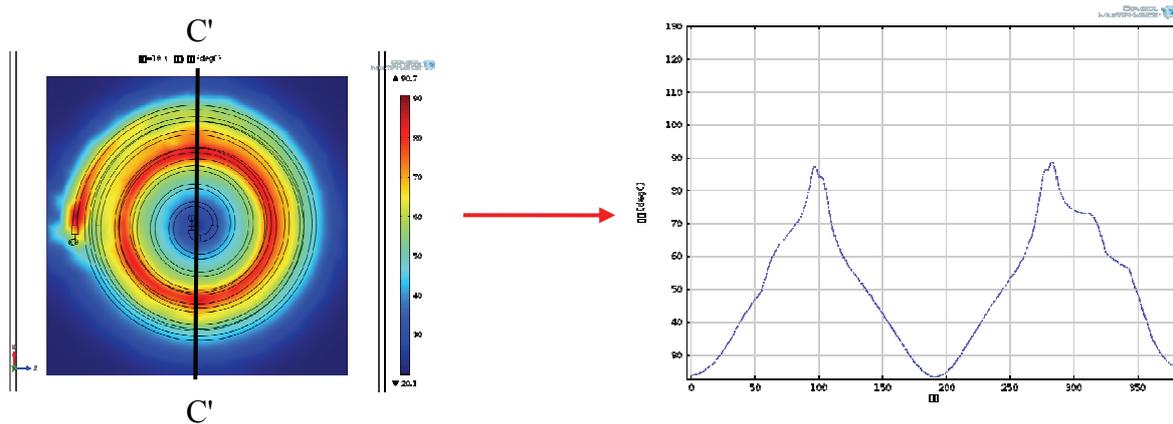


圖15 形狀角度45°線圈之溫度與距離曲線圖

雖每個感應線圈輸入能量一致，而線圈所產生的加熱場與溫度卻完全不同，因線圈長度、幾何形狀、線圈與模具之間的距離...等眾多因素(陳，2001)，皆會影響感應加熱效果。磁熱轉換效率定義為 η ，計算式如(1)所示。其 P_e

定義為電功率， P_h 則定義為熱功率，經計算後感應線圈之磁熱轉換效率比較，如表2所顯示的線圈之效率來看，以平面渦型形狀角度 0° 線圈的效率90.63%最好，結果可發現若線圈可依照模具輪廓纏繞可得較高效率，但若有溫度均勻

表2 三種定義線圈加熱溫度統計表

平面渦型線圈	形狀 角度0°	形狀 角度25°	形狀 角度45°
平均溫度(°C)	66.03	75.42	54.68
標準偏差(°C)	25.25	31.34	18.87
最大溫度(°C)	125.59	138.28	96.06
最小溫度(°C)	36.26	35.91	33.34
溫升速度(°C/s)	9.56	10.83	6.60
磁熱轉換效率(%)	90.63	81.91	73.31



圖16 水冷機

性需求規格，則必須考量實際產線製程要求，因此在磁熱換效率以及加熱溫度分布特性兩個指標評估下，以形狀角度45°線圈為適型感應線圈設計，並進行後續加熱驗證。

磁熱轉換效率： η

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_h}{P_e} \times 100\% \quad (1)$$

總熱功率 = 電磁熱(P_h)

$$P_h = \int_V \vec{J} \cdot \vec{E} \cdot dv \quad (2)$$

線圈功率： P_e

$$P_e = \vec{V} \cdot \vec{I} \quad (3)$$

(1): Fundamentals of Engineering Thermodynamics (Howell, 1987).

(2)(3): Electric power systems: a conceptual introduction (Wiley, 2006).

3. 實驗方法

3.1 實驗設備

本研究使用水冷機(如圖16所示)、主機以及高頻產生器，如圖17，規格如表3，做為感應加熱的驅動來源，感應加熱主機主要用來產生功率輸出，透過高頻產生器將感應加熱主機輸入的電流頻率轉換成20 k ~ 80 kHz，再將所使用之感應線圈接上高頻產生器，其中感應線圈為中空銅管，其目的是利用水在管路中的流動



圖17 主機(左側)及高頻產生器(右側)

表3 感應加熱主機規格

項目	規格
輸入電壓	380 V
輸入功率	35 kW
頻率	9 kHz
輸出電壓	AC 1,200V最大
冷卻水流量	8 L/min, 2.5 Kg-cm ²
面板功能	九段加熱模式 設定儲存功能 數位溫度控制

進行冷卻，冷卻之目的主要是因為製作線圈的銅管會通過電流，金屬本身的電磁性質使得部分能量消耗在銅管上，而造成銅管溫度上升，即為銅損，為維持感應加熱設備的工作效率，便利用水冷卻因銅損而上升溫度的線圈，並不會讓線圈的溫度持續上升，影響加熱效率及累積多餘的熱量。圖18為本次實驗用感應線圈，圖19是將線圈置於模具上示意圖。



圖18 形狀角度25°感應線圈



圖19 感應線圈置於模具上示意圖

為了瞭解不同形狀的線圈之加熱狀況，以及加熱模具的溫度分布情形，因此本實驗使用紅外線熱影像儀做為溫度量測工具，如圖20所示。相較於一般接觸式的熱電偶(thermocouple)只能量測單一點的溫度，且又屬人為操作，



圖20 紅外線熱影像儀

故可能造成量測的誤差及不準確，而紅外線熱影像儀可以同時量測整個模具的溫度。在量測時，各模具有不同之粗糙度，故反射率亦有所差異，而反射率的設定會影響表面溫度，使熱影像儀無法精確測得溫度分布。因此須依照不同模具之反射率調整儀器之放射率(emissivity)，以得到較準確之結果。為了測得準確之反射率，首先利用接觸式熱電偶測量模具溫度，再以該溫度對熱影像儀之反射率進行調整，以達到與熱電偶較接近之溫度。而上述提到的熱影像儀之型號為FLUKE VT02，其規格如表4所示，檢測波長 $6.5\sim 14\ \mu\text{m}$ ，溫度精度 $\pm 2^\circ\text{C}$ ，熱靈敏度 $\leq 250\ \text{mK}$ ，溫度感測範圍 $-10\sim 240^\circ\text{C}$ 。熱影像儀除了可透過LCD顯示器得知即時的溫度分布外，還可以連接至電腦來儲存熱影像檔案，所儲存的熱影像檔案可透過後處理軟體FLUKE SmartView 獲取實驗數據，其功能為區域放射率修改、定點測溫、區域溫度分布圖等，圖21所示即為SmartView的軟體介面。

表4 紅外線熱影像儀的規格

項目	規格
檢測波長	6.5~14 μm
視場	$20^\circ \times 20^\circ$
拍射頻率	8 Hz
檢測溫度範圍	$-10\sim 240^\circ\text{C}$
熱靈敏度	$\leq 250\ \text{mK}$
精確度	$\pm 2^\circ\text{C}$ 或讀取值 $\pm 2\%$ 中較高的數值
焦距範圍	15 ~ 23 cm以上
檢測機能	中心點、最高點/最低點
影像顯示	2.2吋
資料儲存	靜止影像儲存於SD記憶卡
環境條件	工作溫度： $-10\sim 45^\circ\text{C}$ 儲存溫度： $-20\sim 60^\circ\text{C}$ 相對濕度：10~90% (無凝結)

3.2 實驗步驟與流程

(1) 利用接觸式熱電偶量測模具溫度，調整熱影像儀之反射率，使照射到模具之溫度與熱電

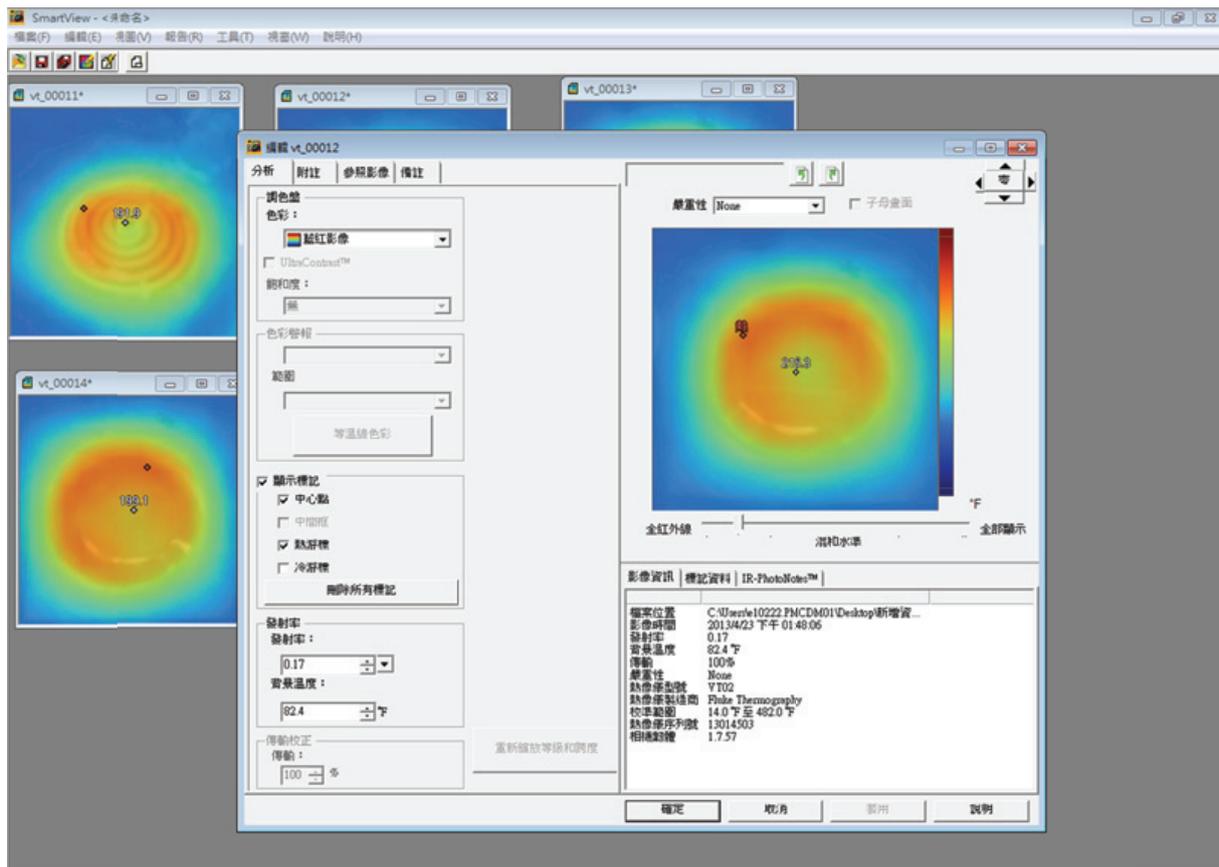


圖21 紅外線顯像儀圖片處理軟體介面

偶相符，同時架設並調整紅外線熱影像儀的位置，以確保熱影像儀的觀測範圍包含整個加熱模具。

- (2) 將感應線圈裝設於主機，並將線圈銅管接於冷卻系統上，調整線圈位置，確認與模面高度後，開啟感應加熱主機進行加熱。
- (3) 待加熱完畢後，移出線圈，並利用熱影像儀自動拍攝加熱模具的溫度分布情形。

4. 實驗結果

當感應線圈距離模具越近，感應電流會升高，升溫速率與溫度也隨之提高，反之，當感應線圈距離模具越遠，感應電流會降低，升溫速率與溫度也隨之降低。本次實驗用的感應線圈為配合模具形狀，並調整不同線圈角度，透過電腦模擬分析結果，篩選出一組符合產線加熱製程需求的線圈設計。另外，對模具加熱

而言，溫度分布越均勻越好，因此感應加熱主機輸出功率必須合理調整，使得加熱速率介於 $2\sim 3^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ，加熱速率與溫度均勻性即可達到較佳的效果。

本次實驗針對形狀角度 25° 線圈設計進行加熱驗證，共進行三次加熱驗證。實驗前測量模具初始溫度約為 30.4°C ，每次加熱10秒後，將感應線圈移開，並以熱影像儀拍下溫度分布圖，其實驗溫度分布結果如圖22所示。由於該款熱顯像儀只能顯示中心溫度及最高溫位置，並未能讀出溫度分布圖之確切溫度，故本實驗主要為檢視實際溫度分布與模擬所呈現之溫度分布的差異，以定性方式評估線圈之均勻性，但單以溫度分布無法真正比較出差異性，為了提升實驗與模擬之比較方法，在熱影像儀拍攝完成後，再以接觸式熱電偶量測影像儀顯示MAX處之溫度值，並以中心溫度與最大溫度來探討實驗與模擬之準確性，實驗結果之數據皆

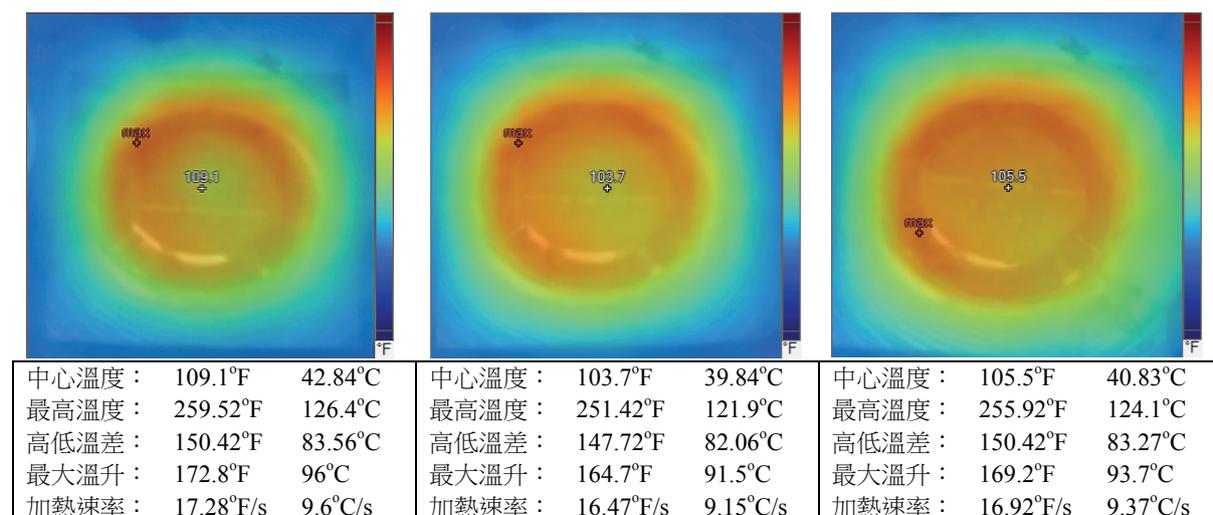


圖22 形狀角度45°線圈實際加熱結果

(最大溫升為最高溫度扣除初始溫度，加熱效率則為最大溫升除以加熱時間。)

列於圖22下方。

如比較模擬溫度分布圖(圖12)與實驗溫度分布圖(圖22)，發現該渦型線圈皆有中間加熱效率差，而最高溫度則在模具圓角處，證明模擬與實驗之加熱分布有類似之結果。而模具中央部分由於熱傳導現象，因此仍有升溫的情況，所以溫度較模擬結果高，如將三次實驗之數據取平均與形狀角度25°線圈之模擬結果進行比較，可將兩者之結果整理如表5，未來針對線圈本身逆向電流所產生的磁場干擾，導致加熱效果不佳之問題，將採取加入導磁塊之方法來設法解決，以期達到更高加熱製程門檻之需求。而技術開發初期，模擬與實驗溫度數值偏差率約10~20%，但模擬分析之參考性已可符合實際產業之應用需求。

5. 結 論

本次目標加熱載具為具有曲率變化與高低差，不同於以往常見的電視框、導光板等，可直接以平面感應線圈進行加熱的射出成形模具，研究內容係以有限元素方法模擬感應加熱電磁熱耦合，經由不同構形線圈設計，篩選出一款適型線圈，並利用實驗驗證模擬分析之準確性，以利後續電磁感應線圈之修正與設計開發。綜合以上之結果，本研究最後可歸納出以下結論：

- (1) 以傳統平面式渦線形線圈，可應用於具立體輪廓之模具加熱，但容易於模具圓角凸面處出現熱集中現象，導致模面溫度均勻性不佳。
- (2) 渦線型線圈電流為環繞式，故在線圈正中央

表5 實驗與模擬之比較表

	實驗	25°線圈模擬	偏差率
初始溫度	30.4°C	30°C	-
中心溫度	41.17°C	35.91°C	12.78%
最大溫度	124.13°C	138.28°C	11.40%
高低溫差	82.96°C	102.37°C	23.40%
加熱速率(最大)	9.37°C/s	10.83°C/s	15.58%

時，環繞直徑過小而產生排斥的鄰近效應，導致模具中央加熱效果不佳，實際應用時須評估其影響程度，未來將採取加入導磁塊之方法來設法解決，以期達到更高加熱製程門檻之需求。

- (3) 經由電腦軟體分析評估加熱效果，以及能源使用效率後，篩選形狀角度 25° 線圈做為驗證線圈，實際數據與模擬數值偏差大約介於10~20%，驗證後加熱效果能源使用效率可達50%以上，模擬分析之參考性已可符合實際產業之應用需求。

6. 謝 誌

本研究計畫承蒙經濟部能源局提供經費補助(計畫編號103-E0208)，特此致謝。

參考文獻

- 李育芸，“感應加熱應用於模具快速加熱之研究”，中原大學機械工程學系，碩士論文，2002。
- 陳秋君，“含加熱系統模具模溫之模擬與驗

證”，私立中原大學機械工程研究所，碩士論文，2001。

濱田修，“射出成型之模溫控制技術”，模具工業雜誌，1993。

A. Hobson, “Physics 5th Editor”, Pearson College Div, 2009.

ANSYS “Structural Nonlinearities User’s Guide”, Volume I, 1995.

E. Horoszko, Kraków, Polen, “Induction Heating of Flat Objects”, Arch. f. Elektrotechn., Bd. 57, H 3, 1975.

E.J. Davies, “Conduction and Induction Heating”, IET Power Engineering Series 1st Edition, 1990.

M. H. Tavakoli, H. Karbaschi and F. Samavat, “Influence of workpiece height on the induction heating process”, Mathematical and Computer Modelling 54(2011): 50-58.

M. Kranjc, A. Zupanic, D. Miklavcic and T. Jarm, “Numerical analysis and thermographic investigation of induction heating”, International Journal of Heat and Mass Transfer 53(2010): 3585-3591.

Design of High Efficiency Induction Heating Coil for Injection Molding

Siang-An Wang¹ Chih-Liang Chang¹ Rong-Cheng Huang^{1*} Chih-Hau Chen¹

ABSTRACT

In injection molding, higher mold temperature contributed to melt flow and improved transcription rate of forming, especially for the high-aspect-ratio and micro-structure product. Induction heating technology, either industry or academia afforded to develop and apply. Induction heating technology heat rapidly and heat the mold surface can save more energy than traditional heat exchange through waterway. Induction heating could be achieved effective heating, uniform heating and control of heating, in order to apply in injection molding process. It must be some progress and breakthroughs in manufacturing a three-dimensional structure induction heating coil and the load impedance matching.

In this study, three induction heating coils (angle 0°, angle 25°, angle 45°) designed for heating the injection mold. We analyzed those coils by computer software with actual parameter as a boundary condition and choice one coil of better heating effect to execute heating experiment. We found the deviation in distribution of temperature between experiment and simulation was 10% to 20%. However, the energy efficiency of heating coil greater than 50%, meet the needs of industry. In particular, the distribution of temperature can be used as reference for the design and development coil of induction heating.

Keywords: induction heating, finite element method, injection molding

¹Engineer, Precision Machinery Research Development Center

* Corresponding Author, Phone: +886-4-23595968#613, E-mail: e10017@mail.pmc.org.tw

Received Date: May 09, 2014

Revised Date: June 27, 2014

Accepted Date: July 04, 2014