

不對稱邊界條件之熱盤溫度場均勻性之最佳化分析

郭宗祥

中州科技大學機械與自動化工程系

摘 要

本研究針對橡膠熱壓成型機之熱盤溫度均勻性進行最佳化分析，以二分之一模型將電熱管分成三段，以其發熱功率及長度作為設計變量，並以熱盤頂面溫度作為目標函數，應用不對稱的熱對流邊界條件來進行 ANSYS 最佳化分析，以求出電熱管功率及電熱管長度最佳化之組合。研究結果顯示，在 ANSYS 分析中能有效的將溫度控制均勻，使下熱盤頂面之溫度分佈更趨於均勻。

關鍵詞：最佳化分析、溫度分佈、熱盤

壹、緒論

熱盤為橡膠熱壓成型之重要元件，用以提供熱量至模具進行熱壓成型，而在熱壓成型製程中，熱盤是否能均勻的將熱量傳遞至模具，使橡膠素材保持在均一的溫度下擠壓成型，為此製程成敗之關鍵，故而在熱盤的設計上，如何安排電熱管位置、功率大小及配置等，以使熱盤與模具接觸面之溫度達到最佳的均溫性，為目前產業界所遭遇且亟欲解決的難題。

一、橡膠熱壓成型

典型橡膠熱壓成型是由下列四個主要步驟所組成[1]、[2]，整個橡膠熱壓成型的流程如圖 1 所示。

- (一)、加熱及預壓：熱盤加熱至所設定之溫度後，將橡膠素材置於模具中，透過熱盤將熱能傳遞至橡膠素材使其軟化。
- (二)、熱壓：在高溫狀態下將素材擠壓成型。
- (三)、加硫保壓：加入一些硫化劑，使橡膠料產生化學變化，並保持一段時間，使其產生充份塑性變形。
- (四)、脫模：熱壓模具打開，取出成品。

二、CAE 之優點

傳統熱盤之設計大多單靠工程師之經驗或試誤法(Trial-and-Error)來製造，不但極為耗時且缺乏效率，且很難使熱盤表面之溫度達到較佳之均溫性；後來經學者研發出 CAE (Computer Aided Engineering)分析軟體，透過 CAE 分析軟體的開發為此提供一條解決之道，可帶來的好處及優點如：可有效的縮短產品設計週期、降低熱盤開發之生產成本、提升產品的品質及良率等，這些都是目前各方產業中最為關鍵、也最為重視的一個環節；透過 CAE 軟體工具可以讓業界做為產品開發過程中參考之一大利器，期以獲得最好之成品品質及有效地改善試誤法所造成的設計不確定感，有效的降低成品製作成本，並做為往後相關設計之重要參考依據。



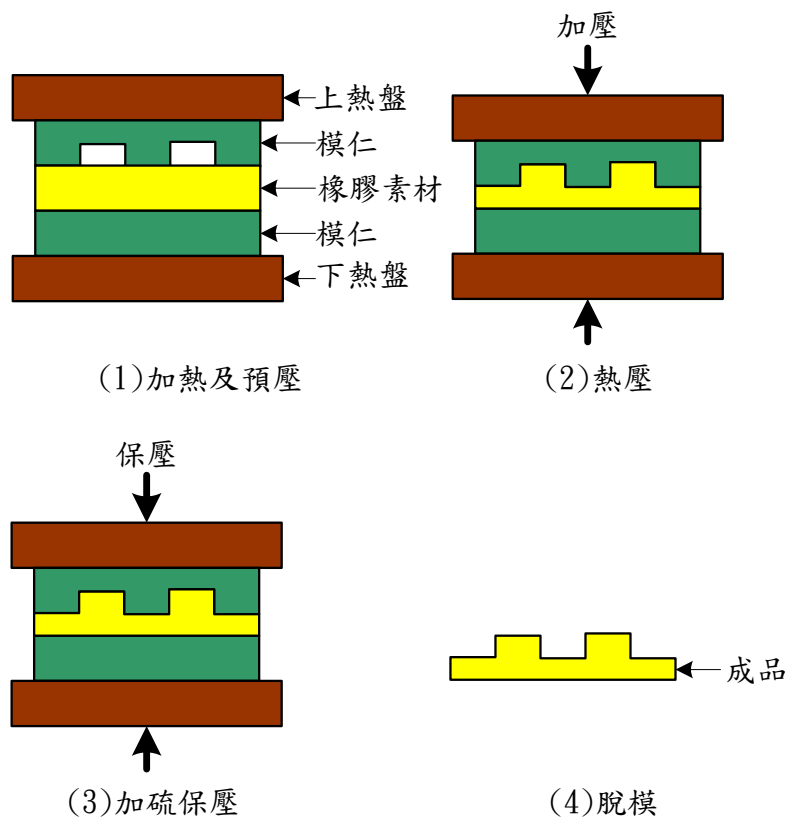


圖 1 橡膠熱壓成型流程圖

三、研究動機

本研究主要目的為改善原先熱盤設計不良的部份，應用不對稱的熱對流邊界條件來進行 ANSYS 最佳化分析，找出較佳的電熱管功率大小、配置及相關設定參數，以達到熱盤頂面溫度分佈均勻性之目標，並改善產品成型品質及降低產品的不良率。

貳、文獻探討

李爽、董林福[3]根據熱傳學理論和噶拉金加權餘量法的變分原理，對電熱板(熱盤)的平面溫度進行理論推導，並結合實際情況及研究需要，建立相應的數學模型，通過對該數學模型的離散化，應用 ANSYS 軟體進行數值求解，模擬結果顯示，電熱平板硫化機熱板表面的溫度差較大，其中 450mm×450mm 和 600mm×600mm 平板硫化機熱板的最大溫度差分別為 12.897℃和 11.053℃。郭宗祥[4]針對熱盤之外型尺寸為 510mm×450mm×70mm，並於底面黏結一塊厚度為 20mm 石棉水泥隔熱板之熱盤，應用四分之一模型並以對稱邊界條件來進行 ANSYS 最佳化分析，模擬結果可有效的將熱盤頂面溫度差縮小至 0.76℃，接著依據最佳化模擬結果重新製作 9 支電熱管來進行實驗，經量測結果顯示熱盤頂面溫度差為 2.2℃，此結果已大幅改善原始之設計。

參、模擬分析

由於橡膠熱壓成型機在熱盤周圍尚有其他設備，導致左右兩側空氣溫度會有差異，為使模擬條件更符合實際狀況，須將此因素納入考慮條件，本文依據郭宗祥[4]之研究，首先量測熱壓成型機左右兩側之空氣溫度，得知左側空氣溫度為 32°C ，而右側空氣溫度為 37.45°C ，如圖 2 所示。若應用相同之空氣溫度來設定邊界條件，將產生較大之誤差，故本文將應用二分之一模型，以不對稱的熱對流邊界條件來進行 ANSYS 最佳化分析，找出較佳的電熱管功率大小、配置及相關設定參數，以達到熱盤頂面溫度分佈均勻性之目標。

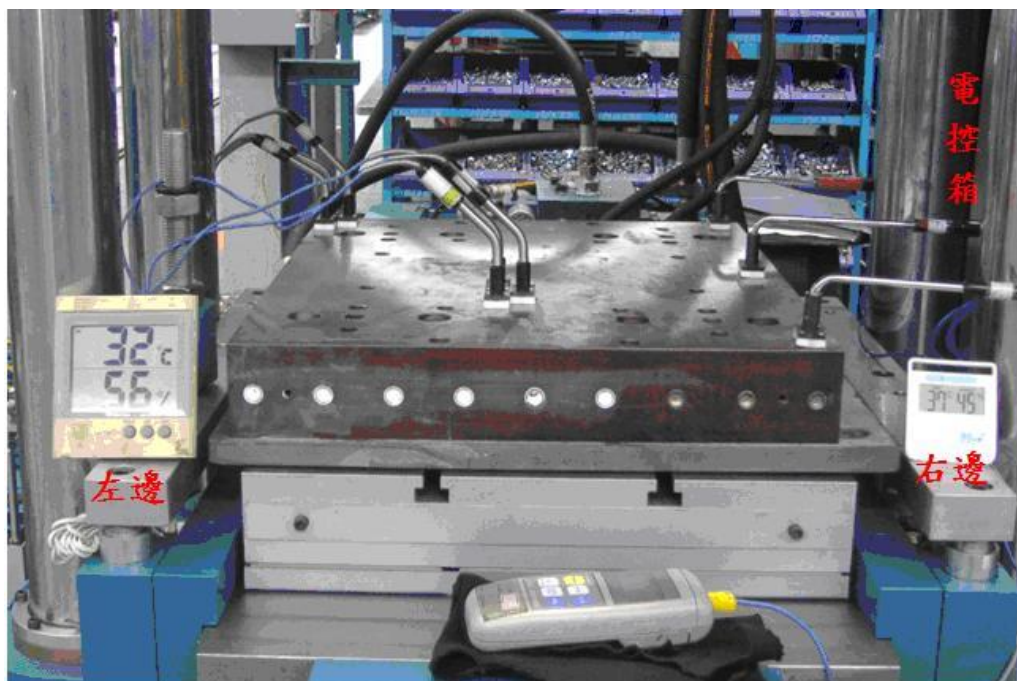


圖 2 熱盤左右兩側空氣溫度量測結果

一、分析模型

如圖 3 所示，熱盤之外型尺寸為 $510\text{mm}\times 450\text{mm}\times 70\text{mm}$ ，並於底面黏結一塊厚度為 20mm 之石棉水泥隔熱板，熱盤內部裝置 9 支電熱管，而每支電熱管分成三段不同的發熱功率，如圖 4 所示，另外在圖 3A 點處裝置一溫度控制器，當測得此點之溫度達到 180°C 時，便關閉 9 支電熱管，而當溫度小於 179°C 時便開啟電熱管繼續加熱，經兩小時後使熱盤溫度變化達穩定狀態後，量測熱盤頂面距離邊緣 30mm 內之溫度(如圖 5 所示)，以觀察其溫度之分佈是否均勻。



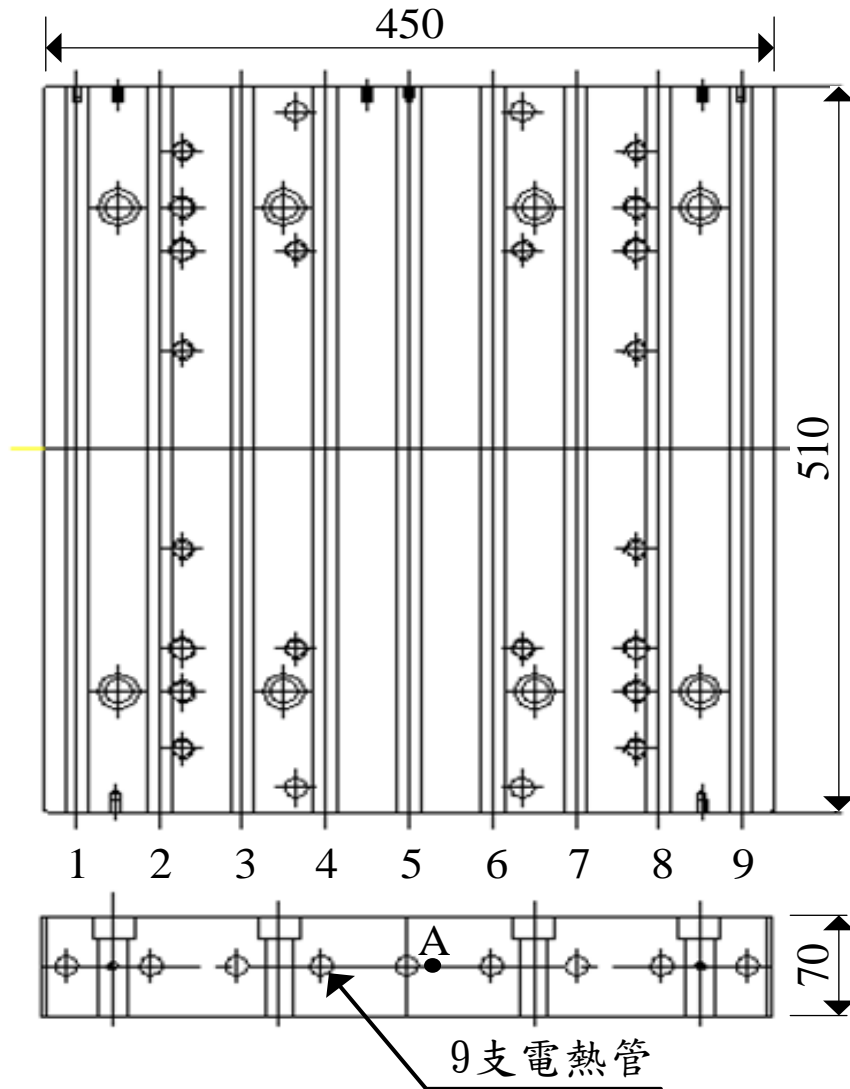


圖 3 熱盤外型尺寸圖

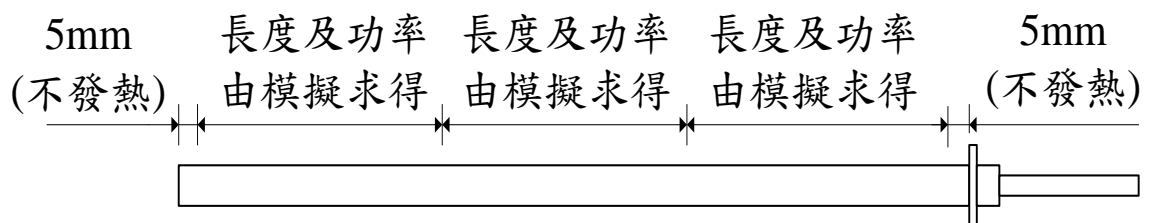


圖 4 電熱管尺寸及發熱功率

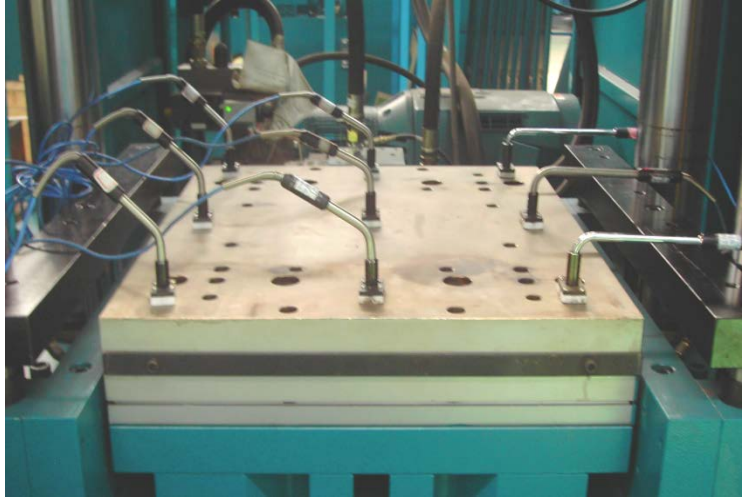


圖 5 溫度量測模組

二、分析流程及製程參數設定

ANSYS 分析流程[5]如圖 6 所示，其說明如下所述：

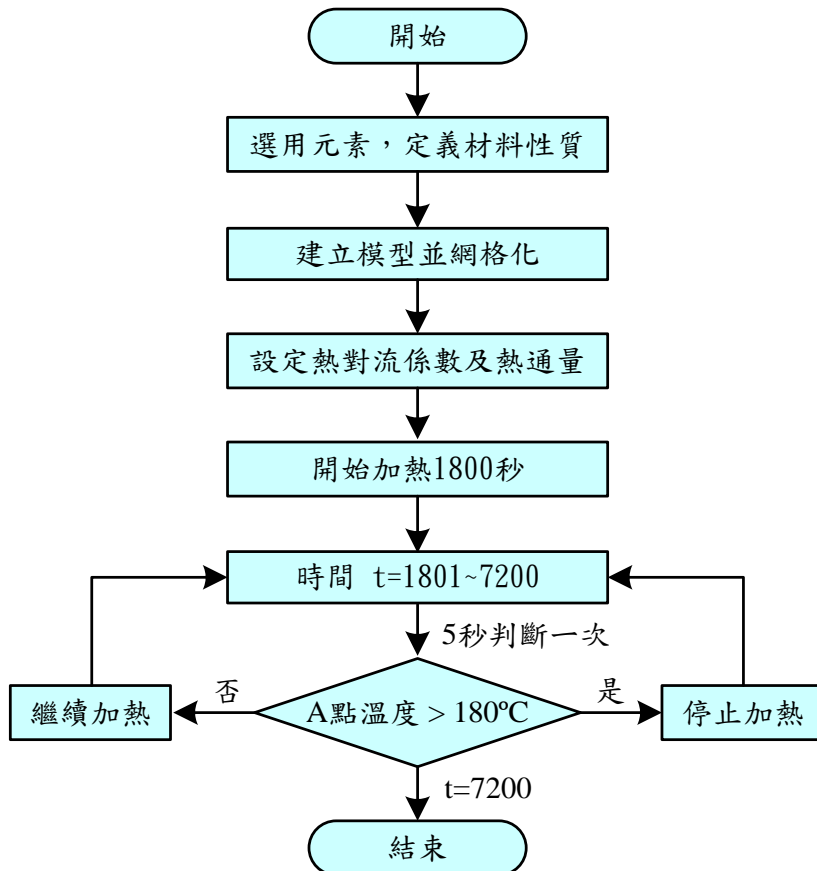


圖 6 分析流程圖



選擇元素、定義材料性質：元素使用 Solid 70，材料性質如表 1 所示。

表 1 熱盤及隔熱板之材料性質

	材質	比重 (kg/mm ³)	比熱 (Kcal/kg°C)	熱傳導係數 (w/mm.°C)
熱盤	S45C	7.854×10 ⁻⁶	0.113	0.054
隔熱板	石棉水泥板	2×10 ⁻⁶	0.24	0.00074

- (一)、建立模型並網格化：為減少分析時間，故僅繪出二分之一模型，如圖 7 所示。
- (二)、設定熱對流係數[6]：由方程式(1)~(8)可算出熱盤頂面、側面及底面之熱對流係數；在側面之熱對流係數計算中，由於左右兩邊之空氣溫度不同，故左側空氣溫度設定為 32°C，而右側空氣溫度設定為 37.45°C。

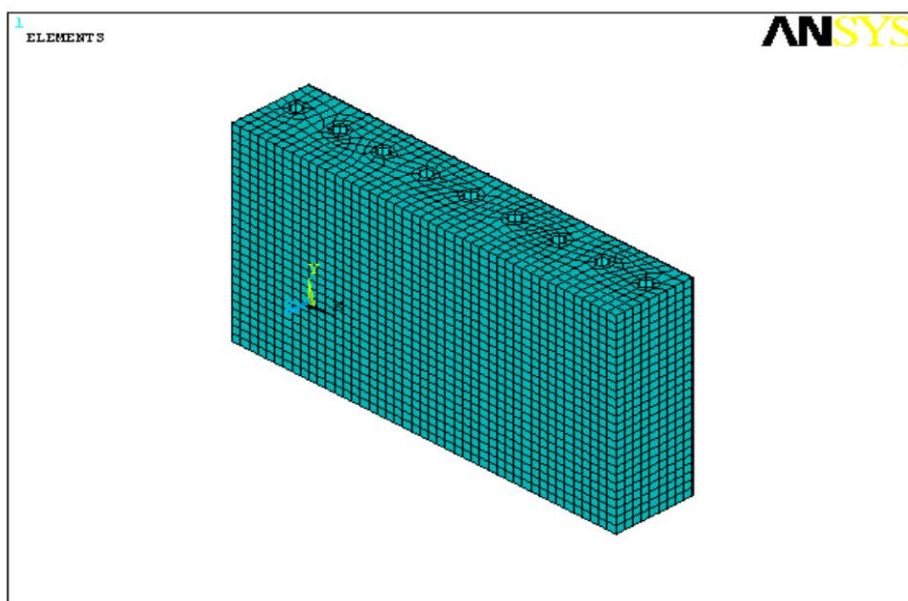


圖 7 網格化之二分之一模型

上表面熱對流係數計算：

首先經由查表得空氣相關之物性，再經由下列方程式可求得總熱對流係數

$$Lc = As / P \quad (1)$$

其中 Lc 為特徵長度， As 為面積， P 為周長

$$Ra_L = [g\beta(T_s - T_\infty)Lc^3 \times Pr] / (v \times \alpha) \quad (2)$$

其中 Ra_L 為雷利數， g 為重力加速度， β 為導熱性之溫度係數， T_s 為熱盤溫度(180°C)， T_∞

為環境溫度， P_r 為普德納數， ν 為動黏度 ($\nu = 2.34542 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$)， α 為熱擴散率 ($\alpha = 1.68 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$)

$$Nu = 0.15 Ra_L^{1/3} \quad (3)$$

其中 Nu 為紐塞爾數

$$h_{conv} = Nu \times k / Lc \quad (4)$$

其中 h_{conv} 為空氣之熱對流係數， k 為導熱性 ($k = 0.0312 \text{W/m} \cdot \text{C}$)

$$h_{rad} = \varepsilon \sigma (T_s + T_\infty)(T_s^2 + T_\infty^2) \quad (5)$$

其中 h_{rad} 為熱輻射對流係數， ε 為放射率 ($\varepsilon = 0.1$)， σ 為 Boltzmann 常數 ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{w/m}^2 \cdot \text{k}^4$)，故在上表面之總熱對流係數為

$$h_{total} = h_{conv} + h_{rad} \quad (6)$$

另外側表面之紐塞爾數計算應用方程式(7)來求得

$$Nu = 0.59 Ra_L^{1/4} \quad (7)$$

而下表面之紐塞爾數計算應用方程式(8)來求得

$$Nu = 0.27 Ra_L^{1/4} \quad (8)$$

依據(7)、(8)兩式及(4)~(6)式可求得側表面及下表面之總熱對流係數。

(三)、設定熱通量：由於每根電熱管功率設定在 1000W 以下，依此條件除以電熱管之表面積，即可求得熱通量之概略大小。

(四)、求解：經由初步模擬分析，A 點溫度須在 2000 秒後才會到達 180°C ，故在模擬過程中為減少分析時間，首先將熱盤直接加熱 1800 秒，接著每 5 秒擷取 A 節點(node)之溫度，判斷其是否到達 180°C ，以作為是否關閉或開啟電熱管之依據。

肆、結果與討論

ANSYS 最佳化[7]提供了一系列的分析、評估及修正的循環過程，也就是對於初始設計進行分析，接著對於分析結果就設計要求進行評估，然後修正設計；這一循環過程重複進行直到所有的設計均滿足為止。在最佳化設計時本文設定電熱管前、後端均為 5mm 不發熱，並簡化為二分之一模型來進行分析；在分析過程中，電熱管仍然分成三段，並以其發熱功率



(H)及長度(L)作為設計變量(如圖 8 所示)，而以熱盤頂面溫度差作為目標函數，最後求出電熱管功率及電熱管長度最佳化之組合。表 2 所示為經由分析後所得之電熱管功率及相對應之電熱管長度最佳化組合，而圖 9 為熱盤頂面距邊界 30mm 內之溫度分佈，由圖中可知此最佳化分析結果可有效的將熱盤頂面溫度差縮小至 0.764°C 。

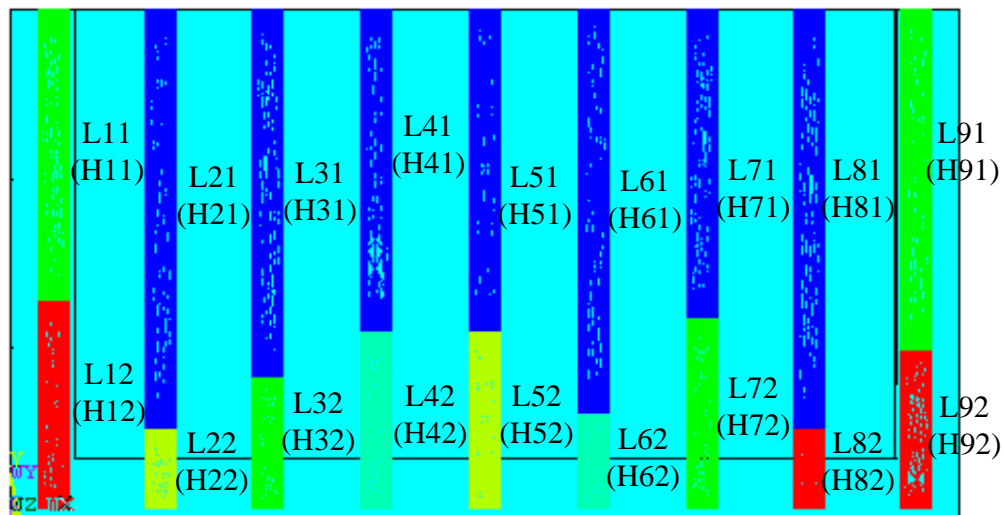


圖 8 電熱管功率及相對長度配置

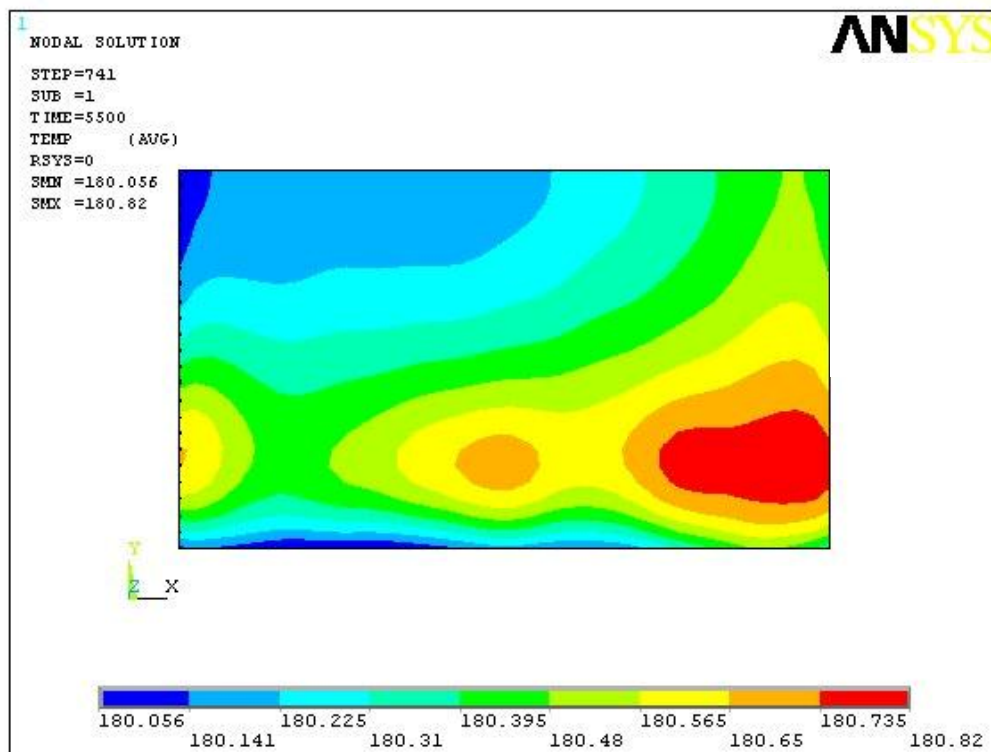


圖 9 最佳化設計熱盤頂面溫度分佈圖

表 2 電熱管最佳化功率及長度

最佳化功率(W)	最佳化長度(mm)
H11 = 190.0	L11 = 146.0
H12 = 205.0	L12 = 104.0
H21 = 114.0	L21 = 210.0
H22 = 56.9	L22 = 40.0
H31 = 115.0	L31 = 184.0
H32 = 85.5	L32 = 66.0
H41 = 93.6	L41 = 161.0
H42 = 98.1	L42 = 89.0
H51 = 92.4	L51 = 161.0
H52 = 128.0	L52 = 89.0
H61 = 122.0	L61 = 202.0
H62 = 53.9	L62 = 48.0
H71 = 87.7	L71 = 154.0
H72 = 119.0	L72 = 96.0
H81 = 132.0	L81 = 210.0
H82 = 73.5	L82 = 40.0
H91 = 221.0	L91 = 170.0
H92 = 146.0	L92 = 80.0

伍、結論

本研究應用最佳化分析來改善原始設計中電熱管配置不恰當之部份，經由模擬可得下列幾點結論：

- 1、經由最佳化分析所得之結果，熱盤頂面距邊界 30mm 內之溫度分佈最高溫為 180.820°C，而最低溫為 180.056°C，即熱盤頂面溫度差為 0.764°C，電熱管功率及相對應之電熱管長度最佳化組合如表 2 所示。
- 2、由於本文所應用之不對稱邊界條件較符合實際狀況，若能依據此模擬結果製作電熱管，其實驗結果將更能使熱盤頂面溫度分佈更趨於均勻。



參考文獻

- [1] 吳守禮,熱壓 PTFE 薄片於水龍頭止水墊圈之效能研究,私立大葉大學碩士論文,2006。
- [2] 東毓油壓機械股份有限公司,工作指導技術報告書,2006。
- [3] 李爽、董林福,平板硫化機熱板溫度場有限元分析,瀋陽化工學院學報,2005。
- [4] 郭宗祥、蘇寶林、朱正民、林明宏,熱盤溫度場均勻性之最佳化分析,中國機械工程學會第二十六屆全國學術研討會,2009。
- [5] 康淵、陳信吉,ANSYS 入門,全華科技圖書股份有限公司,2005。
- [6] Y. A. Cengel, Heat and mass transfer,McGraw-Hill,2006.
- [7] 劉國慶、楊慶東,ANSYS 工程應用教程-機械篇,中國鐵道出版社,北京,中國,2003。

Optimization Analysis in Temperature Field of Heated Plate under dissymmetry boundary condition

Tsung-Hsiang Kuo

Department of Mechanical and Automatic Engineering, Chung Chou University of
Science and Technology

Abstract

This research aims at the heated plate design of rubber thermo-compression molding by using optimization analysis, and to make heated plate top surface temperature uniform. Be divided the electro-thermal tube into three segments by 1/2 model , and uses its power and length as design variable, and temperature difference of top surface as objective function, carries on ANSYS optimization analysis to obtain the best assembly of length and power. From the results, the simulation result can decrease temperature difference of top surface, and makes the temperature distribution more uniform.

Keywords: heated plate, optimization analysis, temperature distribution

