

多層式燒結熱管之性能增強研究

NSC 89-2212-E-002-140-

執行機關：國立台灣大學機械工程學研究所

主持人：陳瑤明

摘要

本文旨在研究微熱管之熱傳增強效應。燒結實驗結果可發現：隨孔洞成型劑添加比例之增加，孔隙度先增後減，在最大孔隙度時可找出一最佳混合比例。實驗結果可發現：隨孔隙度提高，燒結層內空孔增多，液體流回蒸發段的通道增加，因而使工質更易在熱管內流動完成工作循環，熱傳量確有提升效果。

前言

在科技日新月異的今日，產品的開發常有輕量化、小型化的趨勢。以電子產品來說，許多晶片由於製程的改良，使得單位面積有效晶體數增加，同時也帶來高功率密度的發熱量問題。熱管是利用內部工作流體在相變化時可以吸收或是放大量潛熱來傳送熱量。在操作溫度範圍內，其傳熱能力約為銅等高熱傳導性材料的數十甚至數百倍之多，因而有熱的超導體之稱。熱管除了有效解決小空間散熱的問題，同時兼顧到無噪音、不須提供額外能量的優點。

溝槽或網目式毛細結構其特點包括成本較低、製造容易。然而使用這些形式的毛細結構都無法提供較大的毛細壓差，造成微熱管在操作上無法提升使其性能。相關重要文獻回顧如下：

1942 年 Gaugler 首先提出熱管的概念，一直到 1963 年 Grover 申請「蒸發—凝結的熱輸送裝置」專利後，熱管才開始被廣泛應用與研究。1970 年 Tien & Sun 利用半經驗半理論的方式，歸納出各種毛細結構之有效毛細半徑，為毛細構造特徵幾何長度與有效孔隙率的函數，其中溝槽式、網狀、纖維狀與燒結球粉均有良好的預測結果。1974 年 Tien & Rohani 使用數值計算研究圓柱形熱管內壓力變化對熱管性能的影響。其中指出由於液汽交界面熱力平衡關係，當壓力變化大時，熱管的溫差會增加，尤其在某些情形下，蒸汽壓變化影響熱管性能頗大。

1989 年 Mantle 等利用實驗研究燒結纖維粉末之有效熱傳導率，並與前人做比較。文中指出有效熱傳導率為燒結纖維粉末與工質熱傳導率並聯及串聯間。而有效熱傳導率與孔隙度有關，孔隙度越大，工質佔據空孔比例就越多，因此有效熱傳導率越低。最後，並提供一經驗公式，其與實驗之標準差約為 10.9%，相較前人公式準確度大幅提高。1990 年 Peterson 等實作以水為工質的平板式熱管並加以測試，截面為 $1 \times 2 \text{ mm}$ ，長度為 60 mm，最大熱傳量為 1.3W，所對應之熱通量為 $5\text{W}/\text{cm}^2$ 。

1991 年 Pruzan 等以一維液、汽流動的理論，預測燒結式熱管在乾涸(dryout)之前，可達之最大熱傳量，並以實驗驗證，其結果顯示實驗與理論值之誤差為 10%。1998 年 Xie 等指出熱管應用於筆記型電腦將有助於解決 CPU 散熱的問題。其方式包括 Hinged Heat Pipes、RHE (Remote Heat Exchanger) 和 Roll-Bond Heat Pipes。2000 年 Sobhan 等以水工質，利用數值模擬計算熱管內蒸汽與液體暫態與穩態下的速度、壓力與溫度，計算得到微熱管的有效傳導性與輸入功率有關。

從熱管相關文獻可以發現，大多數研究是以應用為主，製作方面又以溝槽及網目式為主，針對燒結式微熱管的討論較少，為因應未來更高功率之發熱量以及輕、薄、短、小之趨勢，如何在限制下提升熱管熱傳性能實為重要課題。綜整文獻可知，針對燒結式微熱管毛細結構參數，孔隙度對熱管熱傳性能影響最大。因此本文研究主要目的為在熱管外部幾何尺寸固定在外徑 3mm 之小尺寸下，以添加孔洞成型劑來提升燒結層之孔隙度以增強熱管之熱傳性能，並進一步瞭解燒結式微熱管操作角度對熱傳性能之影響。

方法

本實驗研究燒結式微熱管中毛細結構參數中孔隙度之效應影響。熱管性能指標包括最大熱傳量 (Q_{max}) 和熱阻 (R)。測試時，蒸發段輸入一定功率記錄整根熱管的溫度分佈圖。若蒸發段溫度溫差大幅增加，表示熱管無法正常運作，此時可找出熱管的最大熱傳量。本實驗主要目的在提高燒結層孔隙度，以提升熱管之最大熱傳量，在實驗中將選用水為工質液體，固定銅管的外部幾何尺寸為 $\psi 3 \times 200\text{mm}$ ，管壁壁厚為 0.3mm，在燒結層方面，在提高孔隙度的實驗中，將以孔洞成型劑與銅粉以不同比例混合，以達到孔隙度不同的目的，其混合比例 (重量比) 分別為 1:20、1:10、1:5 與 1:2.5。

結果討論

本實驗利用碳酸鈉 (孔洞成型劑) 與樹枝狀銅粉加以混合成重量比為 1:20(5%)、1:10 (10%)、1:5 (20%)、1:2.5 (40%)等四種比例，並與未混合碳酸鈉的情形相比較，進行孔隙度與熱傳性能之測試。圖 1 為不同粉末混合比例與孔隙度之關係圖，由圖中可發現隨孔洞成型劑添加越多，孔隙度大致上亦隨之加大，當以當混合比例 1:5 (20%)時，孔隙度已由 51.6%提升至 57.7%。而提高孔隙度是否能增強熱管的熱傳性能，則需要再進行熱性能量測。圖 2 為不同碳酸鈉與銅粉混合比例之量測結果。當未添加孔洞成型劑之前，孔隙度為 51.6%，最大熱傳量為 12W。當以較少的碳酸鈉加以混合為 1:20(5%)的比例時，孔隙度已些微提昇至 53.1%，最大熱傳量亦略提升至 12.9W，增加碳酸鈉比例至 1:10 (10%)，孔隙度為 55.9%，最大熱傳量為 14.4W。當將碳酸鈉混合比例提昇至 1:5 (20%)，此時孔隙度為 57.7%，最大熱傳量為 16.5W，當混合比例再增加至 1:2.5 (40%)時，已如前所述，因為在昇溫過程中發生變形，孔隙度反而降低為 47.1%，熱傳量也降

低為 11.2W。

若將以上結果加以整理，可得圖 3 與圖 4。圖 3 為碳酸鈉與銅粉混合比例與熱管最大熱傳量的關係圖，圖 4 為熱管燒結層孔隙度與最大熱傳量的關係圖。由實驗結果可得，隨孔隙度的增加，熱管的熱傳性能亦隨之增強。這是因為當孔隙度越大時，燒結層內空孔越多，液體流回蒸發段的通道增加，使工質更易在熱管內流動完成工作循環，使熱傳量增加。並且實驗結果在粉末混合比例為 1:5 (20%)時，能得到最大的孔隙度與熱傳量，最大熱傳量相較於未混合孔洞成型劑時，性能增強 37.5%。

由圖 4 中，可比較出先前以球粉所預測的理論值較實驗值高出許多，並未能完全符合。將球狀與纖維狀粉之經驗公式兩者加以擬合已得到較佳的理論預測值，當將兩種經驗公式針對未混粉的情形加以擬合，以約 1:1 的方式加以近似，可得到對未混粉之熱管良好的理論預測值，但仍與混合碳酸鈉之實驗值有些為誤差，其誤差來自混粉後化學反應增加所產生的不良因素。

結論

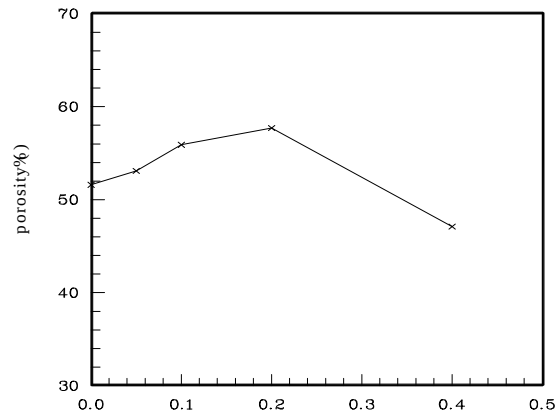
實驗利用添加孔洞成型劑與銅粉混合進行燒結以提高孔隙度，並進一步瞭解燒結式微熱管熱傳性能之影響。綜合量測結果，歸納得到以下結論：

以碳酸鈉為孔洞成型劑可成功提高燒結層孔隙度由 51.6%至 57.7%，並且添加比例有一最佳混粉量為 1:5，當混合比例增加至 1:2.5 時，在昇溫過程中會產生變形，反而使孔隙度降低。

孔隙度提高時由於燒結層內空孔增多，液體流回蒸發段的通道增加，使工質液體更易在熱管內流動完成工作循環，使熱傳量增加。本實驗以提高孔隙度之方法已有效將外徑 3mm 之熱管熱傳量由 12w 增強至 16.5w，性能提升 37.5%，並且熱阻無顯著增加。

參考文獻

- Cotter, T.P., "Heat Pipe Startup Dynamics," *Proc. 1967 Thermionic Conversion Specialists Conf.*, Palo Alto, CA., 1967, pp.344-348.
- Mantle, W.J., and Chang, W.S., "Effective Thermal Conductivity of Sintered Metal Fibers," *IEEE*, 1989.
- Pruzan, D. A., Klingensmith, L. K., Torrance, K. E., and Avedisian, C. T., "Design of High-performance Sintered-wick Heat Pipes," *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, Vol. 34, No. 6, pp. 1417-1429, 1991.
- Sobhan, C., B., Huang, Xiaoyang, and Liu, Chang Yu, "Investigations on Transient and steady-State Performance of a Micro Heat Pipe," *Journal of Thermophysics and Heat Pipe*, Vol.14, No.2, 2000.
- Tien, C.L., and Sun, K.H., "Minimum Meniscus Radius of Heat Pipe Wicking Materials," *Int. J. Heat Mass Transfer*, 1970, Vol.14, pp.1853-1855.
- Tien, C.L., and Rohani, A.R., "Analysis of The Effects of Vapor Pressure Drop on Heat Pipe Performance," *Int. J. Heat Mass Transfer*, 1974, Vol.17, pp.61-67.
- Xie, H., "The Use of Heat Pipes in Personal Computers," *1998 InterSociety Conference on Thermal Phenomena*, 1998.



碳酸鈉與銅粉混合比例 (%)

圖1 粉末混合比例與孔隙度關係圖

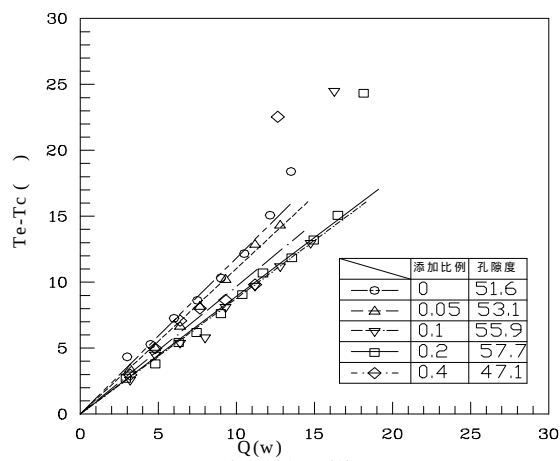


圖2不同混粉比例之量測結果

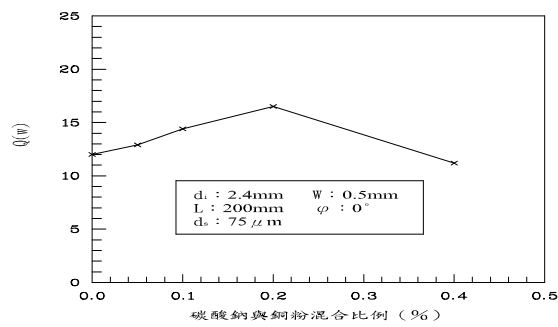


圖3 粉末混合比例與最大熱傳量關係圖

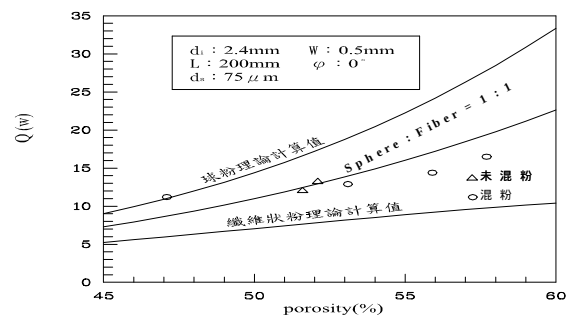


圖4 孔隙度與最大熱傳量理論與實驗對照圖