

矩形微槽微冷系统相变换热实验的研究

李 蓓¹, 赵孝保¹, 刘 瑛¹, 刘志刚²

(1. 南京师范大学 动力工程学院, 江苏 南京 210042; 2 山东省科学院能源研究所, 山东 济南 250014)

[摘要] 对不同尺寸的矩形竖直微槽群表面相变换热微冷系统在液位高度及微槽表面尺寸等因素影响下的相变换热效果进行了实验研究. 实验确定了获得最大热流密度时的微槽表面尺寸为槽宽、槽深以及槽间距分别为 0.2 mm、0.8 mm、0.2 mm 以及槽道数目为 50 的微槽; 实验表明液位高度与相变换热强度有很大的关联, 并且液位高度在加热中心时获得最大热流密度, 当液位高度低于加热中心的时候, 液位越高, 换热强度越好, 当液位高度高于加热中心的时候, 液位高度与换热强度没有很大的关联.

[关键词] 微槽群, 液位高度, 微槽尺寸, 相变换热, 热流密度

[中图分类号] TK 124 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1672-1292(2007) 04-0045-03

An Experimental Study on Phase-Change Heat Transfer in Rectangular Micro-Capillary Grooves Cooling System

Li Bei¹, Zhao Xiaobao¹, Liu Ying¹, Liu Zhigang²

(1. School of Power Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

(2. Energy Research Institute of Shandong Academy of Sciences, Jinan 250014, China)

Abstract An experimental study is conducted where a phase-change heat transfer performance was investigated in a rectangular vertical micro capillary grooves cooling system under the potential influence of such factors as grooves surface size and liquid height. When the maximum heat flux density is acquired, the experiment confirms the groove surface size as follows: 0.2 mm in width, 0.8 mm in depth, and 0.2 mm in space between, and the number of grooves is 50. The experiment shows a strong relationship between the performance of heat transfer and liquid height. It is when the heating center and liquid height are at the same level that the cooling system runs with maximum efficiency. When the liquid height is lower than heating center, the higher liquid height level is, the more heat transfer effect it will be. When the liquid height is higher than the heating center, there is no significant relationship between liquid height and phase-change heat transfer.

Key words micro capillary grooves, liquid height, groove size, phase-change heat transfer, heat flux density

0 引言

随着高性能计算机以及激光技术的微型化发展, 笔记本电脑、航空技术等行业对小空间内散热的要求越来越高. 美国半导体业界 SIA 的数据整理后认为, 预计 3 年后, 高性能芯片的发热密度将达到 $50\text{W}/\text{cm}^2$ 的程度. 如果热量不及时地散发出去, 而是聚集在微尺寸结构处, 那么将会严重地影响系统运行的稳定性, 从而降低设备的使用寿命. 尽管 Pentium V 或 Cmos6 等低功耗的芯片出现, 但长期看来, 发热密度将会不断增大的趋势是不容否认的. 因此微制冷与微传热学正在成为国内外的一个研究热点问题^[1-5].

Ma 和 Peterson^[6]对槽宽不同但其他参数相同的 10 块三角形微槽板的毛细传热极限进行了实验研究. 其结果表明, 实验中存在一个最佳的毛细微槽尺寸使得毛细驱动力达到最大值. 文献 [6] 研究表明, 选择

收稿日期: 2007-05-26

基金项目: 江苏省自然科学基金 (2006222) 资助项目.

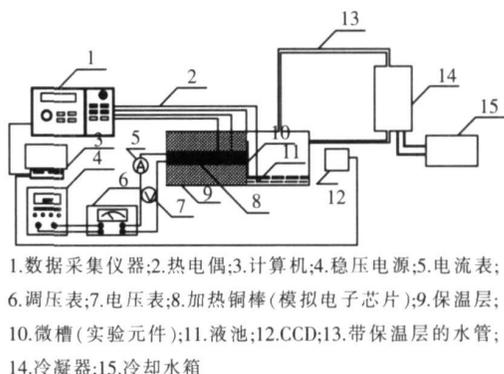
作者简介: 李 蓓 (1985-), 女, 硕士研究生, 主要从事高效传热及应用技术的学习与研究. E-mail: bear_be@163.com

通讯联系人: 赵孝保 (1962-), 教授, 博士, 主要从事高效传热及应用技术的教学与研究. E-mail: zhaoxiaobao@njnu.edu.cn

一个比较适中的充液率能在一定程度上提高系统的散热能力. 本文将延续前人的研究, 通过对不同表面尺寸

1 实验装置

矩形微槽群微冷系统相变换热的实验装置如图 1 所示, 实验系统主要是由微槽群蒸发换热元件、冷凝器及循环回路组成. 实验中加热铜棒与实验元件微槽紧密相连, 接触面均经过打磨, 以便减小接触热阻, 进而降低实验误差对结果的影响. 在铜棒的周围塞上保温材料保温, 并在铜棒的上表面等间距的埋入 3 根铠装热电偶, 每根热电偶之间的距离为 5 mm, 中间的热电偶起检验左右两边热电偶正确与否的作用. 整个过程可以近似地认为是一维导热问题, 所以利用一维傅立叶导热公式得到该系统的热流密度. 同时与数据采集仪相连接的另一热电偶伸到液池内测量液体的温度, 进而得出壁面的过热度. 本实验所用的液体为超纯水. 连接液池的器皿与冷凝器的是可以耐 250℃ 高温的塑料管, 并在外面套上保温材料, 防止气体冷凝成液体回流. 系统采用的是一个相对于液池体积大很多的冷凝器. 这样做的目的是使气体能够完全冷凝成液体后再回到液池中. 液池的一边采用玻璃, 从而实现用电荷耦合装置 (Charge Coupled Device CCD) 对实验段微槽表面的蒸发换热的可视化观察. 微槽表面由线切割方法得到, 具体的槽宽、槽深、槽间距以及槽道数目如表 1 所示.



1. 数据采集仪器; 2. 热电偶; 3. 计算机; 4. 稳压电源; 5. 电流表; 6. 调压表; 7. 电压表; 8. 加热铜棒 (模拟电子芯片); 9. 保温层; 10. 微槽 (实验元件); 11. 液池; 12. CCD; 13. 带保温层的水管; 14. 冷凝器; 15. 冷却水箱

图 1 微槽群相变换热系统结构的示意图
Fig.1 Diagrammatic sketch of micro grooves phase-change cooling system

2 实验结果及讨论

2.1 微槽尺寸对相变换热特性的影响

该系统的传热过程可近似看作是一维傅立叶导热. 忽略加热铜棒与微槽之间的接触热阻是本实验过程中的主要误差, 但由于实验数据的线型误差不大于 3%, 因而测量误差可忽略不计.

图 2 所示是壁面过热度对相变换热特性的影响. 根据前人的研究成果^[6], 在热流密度较小的情况下, 微槽群壁面的过热度较小, 相变换热形式主要是三相接触线附近的蒸发换热, 在热流密度较大的情况下, 微槽群壁面的过热度也随之增加, 此时相变换热形式主要是沸腾换热. 由图 2 可知, 热流密度和微槽群壁面的过热度基本上是呈线性关系. 在槽宽、槽间距及槽道数目相同的情况下, 槽深为 0.8 mm 的微槽的相变换热情况要优于槽深为 0.6 mm 和 1.0 mm 的微槽. 因为当槽深较小的时候, 槽道的水力直径也较小, 导致液体向上流动时的阻力较大. 不仅如此, 由于槽深较小, 依靠毛细力向上流动的液体的量也随之减少, 导致参与相变换热的工质减少, 甚至当热流密度较大时会出现传热恶化的现象; 而当槽深较大的时候, 虽然此时微槽的水力直径较大, 流动阻力较小, 但槽道较深使得微槽表面产生的气泡由于阻力较大而不能及时的排出.

表 1 4 组微槽尺寸
Table 1 4 groups size of micro grooves

| 编号 | 槽宽 /mm | 槽深 /mm | 槽间距 /mm | 槽深 /槽宽 | 槽道数目 |
|----|--------|--------|---------|--------|------|
| 1 | 0.2 | 0.6 | 0.2 | 3 | 50 |
| 2 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 4 | 50 |
| 3 | 0.2 | 1.0 | 0.2 | 5 | 50 |
| 4 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 4 | 33 |

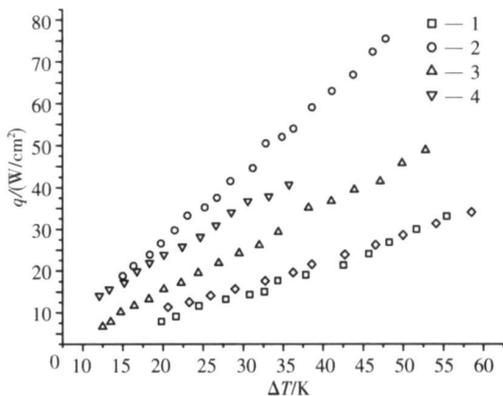


图 2 壁面过热度对相变换热效果的影响
Fig.2 The performance of phase-change heat transfer under the influence of superheat of surface of micro grooves

第 2 组和第 4 组的微槽在热流密度较小时, 过热度相差并不大, 但随着热流密度的增大, 第 2 组的微槽的上升趋势明显大于第 4 组的微槽. 这是由于当热流密度增加后, 微槽表面的换热形式由三相接触线处

的蒸发换热起主导作用转变为沸腾换热起主导作用, 此时微槽表面槽道数目的多少成了影响相变换热的主导因素. 因为在相同的较大热流密度的情况下, 槽道较多的微槽单个槽道承担的热流较小, 因而对应的壁面过热度较槽道较少的微槽小.

在本实验中, 获得最大热流密度的微槽尺寸是槽宽 0.2 mm, 槽深 0.8 mm, 槽间距 0.2 mm, 槽道数目为 50 的微槽. 本实验结果与文献 [6] 报道的最佳相变换热的微槽尺寸为槽宽 0.2 mm, 槽深 0.7 mm, 槽间距 0.2 mm 的结果很接近.

2.2 液位高度对相变换热特性的影响

图 3 分别给出了 4 组不同尺寸的微槽的液位高度对相变换热特性的影响. 本次实验取的液位高度为 -10 mm、-5 mm、0 mm、+7 mm、+12 mm 及 +17 mm (正负是以加热中心为基准). 从图中可以看出, 相变换热能力与液位高度有着密切的关系.

当液位高度与加热中心在一条水平线上时是该微冷系统高效运行的最佳高度. 随着液位的升高, 换热效果随之降低, 但是当液位高度高于加热中心后, 液位高度与相变换热的效果之间并没有很密切的联系; 当液位高度低于加热中心时, 相变换热能力会随着液位高度的降低而降低. 这是因为当液位高度与加热中心处于同一水平线上时, 液面受到的加热效果最好. 而当液位高度低于加热中心时, 液位高度越低, 液池内的液体并不能满足相变换热的需要, 甚至会出现部分传热面的干涸, 导致相变换热能力的降低.

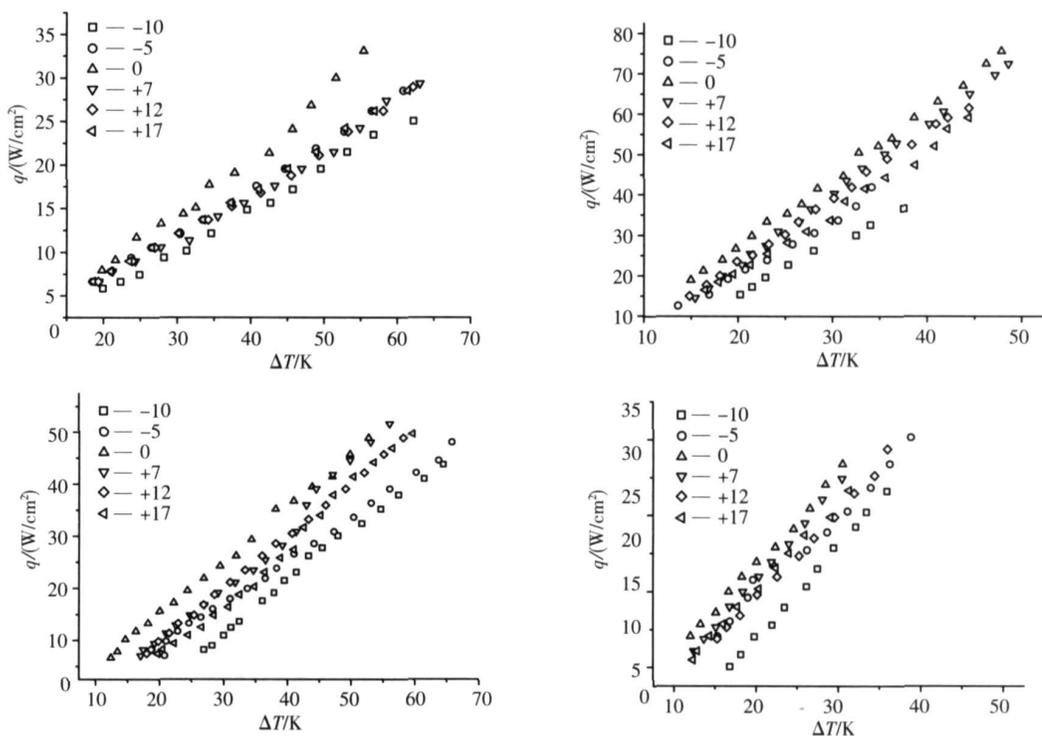


图 3 液位高度对相变换热效果的影响

Fig.3 The performance of phase-change heat transfer under the influence of various liquid height levels

3 结论

本文对不同液位高度及不同尺寸的微槽群表面对相变换热效果的影响进行了研究, 实验结果表明:

(1) 本实验中获得最大热流密度的微槽尺寸是: 槽宽 0.2 mm, 槽深 0.8 mm, 槽间距 0.2 mm, 槽道数目为 50. 对于槽宽为 0.2 mm 的微槽, 当槽深是槽宽的 4 倍时获得最大的热流密度. 当槽深较小时, 水力直径过小导致流动阻力过大; 当槽深较大的时, 微槽表面产生的气泡不能及时排出.

(2) 在液位高度相同的情况下, 当热流密度较小的时候, 槽宽、槽深及槽间距是影响相变换热效果的主要因素. 随着热流密度的增加, 槽道数目的多少也是影响相变换热效果的主要因素. 槽道数目多的微槽单根槽道承担的热流少, 所以较槽道少的微槽过热度小.

(下转第 58 页)

1979.

- [4] Geke F. Effect of hexachlorobenzene on some growth parameters of *Chlorella pyrenoidosa* [J]. *Bull Environ Contam Toxicol* 1976, 15(6): 670–677.
- [5] Courtney K D. Hexachlorobenzene (HCB) [J]. *A Review Environ Res* 1979, 20: 225–266
- [6] Reinke W, Knackmuss H J. Microbial metabolism of haloaromatic: isolation and properties of a chlorobenzene-degrading [J]. *Appl Environ Microbiol* 1984, 47(2): 395–402
- [7] Berry D F, Francis A J, Bollag JM. Microbial metabolism of heterocyclic and heterocyclic aromatic compounds under anaerobic conditions [J]. *Microbial Rev* 1987, 51(1): 43–59.
- [8] Nishino S E, Spain J C, Belcher L A, et al. Chlorobenzene degradation by bacteria isolated from contaminated groundwater [J]. *Appl Environ Microbiol* 1992, 58(5): 1719–1726
- [9] 罗日新, 李顺鹏. 邻单胞菌 L1 对氯代苯的降解特性的研究 [J]. *中国环境科学*, 1998, 18(3): 272–273
Luo Rixin, Li Shunpeng. Degradation characteristics of chlorobenzene by *Plesiomonas* sp. L1 [J]. *China Environmental Science* 1998, 18(3): 272–273 (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]

(上接第 47 页)

(3) 液位高度与换热效果有着密切的关系。当液位高度与加热中心在同一水平线上时是该系统高效运行的最佳高度。随着液位的升高, 换热效果随之降低, 但是当液位高于加热中心时, 液位高度与相变换热效果之间并没有过多的联系; 当液位高度低于加热中心时, 相变换热能力会随着液位高度的降低而降低。

[参考文献] (References)

- [1] Delea D, Nishio S, Takano K, et al. The experimental research on microtube heat transfer and fluid flow of distilled water [J]. *Int J Heat Mass Transfer* 2004, 47(13): 2817–2830.
- [2] Lee P S, Garimella S V, Liu D, et al. Investigation of heat transfer in rectangular microchannels [J]. *Int J Heat Mass Transfer* 2005, 48(9): 1688–1704.
- [3] Li Z X, Du D X, Guo Z Y, et al. Experimental study on flow characteristics of liquid in circular microtubes [J]. *Microscale Thermophysical Engineering* 2003, 7(3): 253–265.
- [4] Li J, Peterson G P, Cheng P, et al. Three-dimensional analysis of heat transfer in a micro-heat sink with single phase flow [J]. *Int J Heat Mass Transfer* 2004, 47(19): 4215–4231.
- [5] Mah B, Peterson G P. Experimental investigation of the maximum heat transport in the triangular grooves [J]. *ASME J Heat Transfer* 1996, 118(3): 740–746.
- [6] 胡学功. 高性能微槽群相变散热系统的研究 [D]. 北京: 中国科学院热物理研究所, 2005.
Hu Xuegong. A study on a micro groove phase-change cooling system with high performance [D]. Beijing: Physics Institute of Chinese Academy of Science, 2005. (in Chinese)

[责任编辑: 刘健]