

К. т. н. Ю. Е. НИКОЛАЕНКО, к. т. н. В. Ю. КРАВЕЦ

Украина, г. Киев, Министерство промышленной политики,
НТУУ “Киевский политехнический институт”
E-mail: nikol@industry.gov.ua

Дата поступления в редакцию
21. 06 2001 г.
Оппонент к. т. н. В. Е. ТРОФИМОВ

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИНИАТЮРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

Приведены результаты экспериментального исследования миниатюрных тепловых труб и рассмотрены процессы теплоотдачи внутри них.

Повышение функциональных возможностей персональных компьютеров требует создания более совершенных процессоров (микропроцессоров), которые обладают высоким быстродействием и повышенной потребляемой мощностью. В настоящее время потребляемая мощность процессоров уже приближается к 70 Вт [1]. Интенсивно ведутся разработки более мощных процессоров и персональных компьютеров на их основе. Если учесть, что основное выделение мощности сосредоточено на микросхеме с размерами стороны квадрата 10 мм, то удельные тепловые нагрузки в этом случае могут достигать 70 Вт/см². При таких тепловыделениях традиционными способами довольно сложно обеспечить заданный тепловой режим микросхемы: применение радиатора с вентилятором требует значительного увеличения либо обдуваемой поверхности радиатора, либо скорости обдува. Это приводит к увеличению массы радиаторов, усложнению крепления радиатора и вентилятора на процессоре, увеличению шума радиатора.

Использование в качестве теплоотводов миниатюрных тепловых труб (МТТ) благодаря их высоким теплопередающим способностям, малой массе и небольшим габаритным размерам в ряде случаев может позволить решить задачу обеспечения заданного теплового режима мощных процессоров. Кроме того, разнообразие конфигураций МТТ позволяет использовать их для различных источников тепловыделения. В [2] приведены исследования плоских МТТ и показаны их достаточно высокие теплопередающие характеристики. (Технология изготовления таких плоских МТТ более сложная, чем создание МТТ круглого сечения.)

Настоящее исследование посвящено изучению влияния режимных параметров на теплопередающие характеристики МТТ. Сделана попытка оценить интенсивность теплоотдачи в зонах испарения и конденсации в зависимости от диаметра МТТ и ориентации их в пространстве.

Исследовались медные тепловые трубы внешним диаметром (d) 2, 4, 6 мм (внутренний диаметр 1,3, 3 и 5 мм, соответственно) и длиной $L=100$ мм, заполненные этиловым спиртом. Капиллярная структура у МТТ диаметром 2 и 4 мм была выполнена в виде жгутика из проволок диаметром $30 \cdot 10^{-6}$ м. Пористость такого жгутика определялась объемно-весовым методом и не превышала 50%. Жгутик занимал 1/3 внутреннего пространства МТТ. У МТТ диаметром 6 мм капиллярная структура была выполнена по технологии, описанной в [3, с. 149–156], и припекалась к внутренней образующей трубы. Пористость капиллярной структуры составляла 90%.

Определение теплопередающих характеристик МТТ показало, что температурный уровень и величина передаваемого теплового потока зависят как от режима испытаний, так и от размеров самих тепловых труб и их ориентации в пространстве. Чем меньше диаметр МТТ, тем большее влияние оказывают внешние условия на их теплопередающие характеристики.

Рассмотрим распределение температуры по длине МТТ в зависимости от величины передаваемого теплового потока Q (рис. 1). Показателем нормальной работы МТТ является изотермичность зоны теплообмена. Вид температурной кривой на стыках зон зависит от перетоков теплоты по корпусу МТТ в осевом направлении и определяется теплопровод-

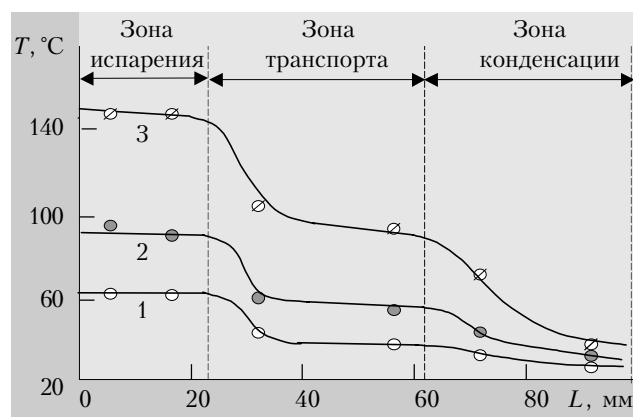


Рис. 1. Распределение температуры по длине МТТ диаметром 2 мм при горизонтальном размещении (расход охлаждающей воды $G=1,85 \cdot 10^{-3}$ кг/с при температуре около 20°C): 1 — $Q=2$ Вт; 2 — $Q=4$ Вт; 3 — $Q=6$ Вт

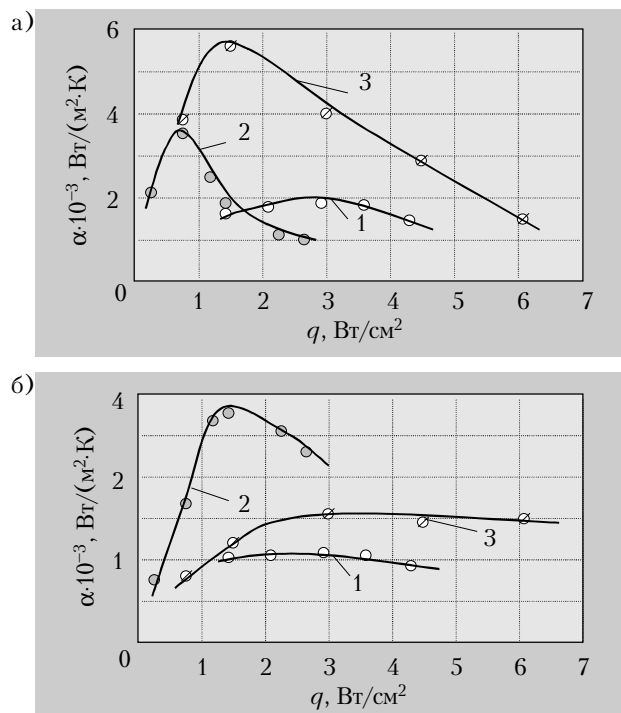


Рис. 2. Зависимость интенсивности теплоотдачи в зонах испарения (а) и конденсации (б) внутри МТТ от подводимой тепловой нагрузки при горизонтальном расположении: 1 – $d=2$ мм; 2 – $d=4$ мм; 3 – $d=6$ мм

ностью корпуса и толщиной его стенки. При повышении передаваемой мощности температура по всей длине МТТ возрастает. Увеличивается также перепад температур между зонами. При этом существенную роль играет площадь поперечного сечения парового пространства внутри МТТ: чем она меньше, тем больше перепад. Это обусловлено, в первую очередь, противотоками пара и жидкости внутри трубы. Если скорость пара достаточно высока, то часть теплоносителя, движущегося из зоны конденсации в зону испарения, может сорваться с поверхности капиллярной структуры и вернуться с потоком пара обратно в зону конденсации. В таком случае избыточное количество теплоносителя заблокирует часть зоны конденсации и интенсивность теплообмена в этой зоне резко снизится. Капиллярная структура не сможет доставить избыточное количество теплоносителя в зону испарения, что приведет к пересыханию части поверхности в этой зоне. Такое ограничение по величине теплового потока характерно для миниатюрных тепловых труб.

При расчете тепловых труб большого размера обычно принимают, что температурный градиент пара в осевом направлении пренебрежимо мал и считают пар несжимаемым. Это допущение верно при условии, что скорости пара соответствует число Маха не выше 0,2 [4, с. 144]. Предварительно проведенные расчеты скорости пара в МТТ показывают, что они могут превышать это значение. При этом течение пара уже нельзя считать несжимаемым и ламинарным. Коэффициенты трения в паровом пространстве в этом случае могут достигать значений, при

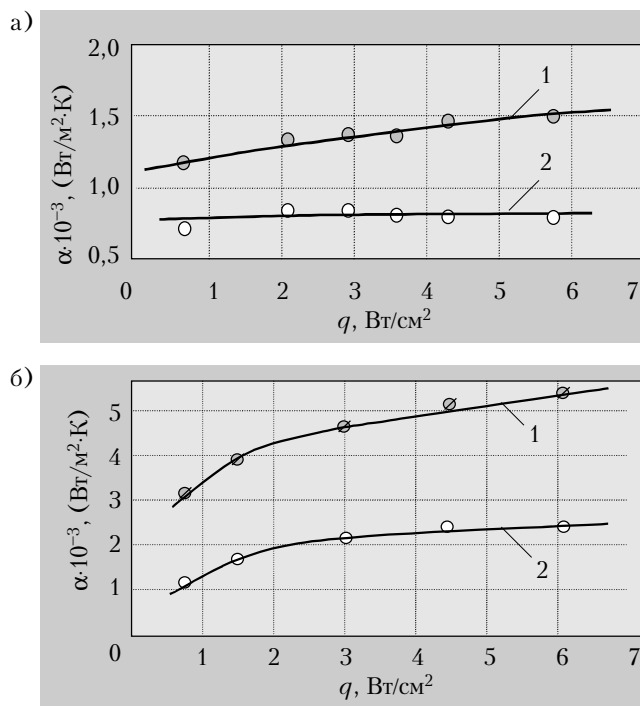


Рис. 3. Зависимость интенсивности теплоотдачи в зонах испарения (1) и конденсации (2) от подводимой тепловой нагрузки при вертикальном расположении МТТ: а – $d=2$ мм; б – $d=6$ мм

которых нормальное функционирование тепловых труб малого размера будет затруднено.

Интенсивность теплоотдачи в зонах испарения и конденсации внутри МТТ во многом определяются диаметром МТТ, длинами зон испарения и конденсации, расположением в пространстве и интенсивностью теплообмена наружной части зоны конденсации. Расчет коэффициентов теплоотдачи (α) в зонах испарения и конденсации производился по измеренным температурам внешней оболочки МТТ. Зная толщину стенки МТТ и материал, можно определить температуры на внутренней поверхности зон. Температура насыщения определялась по показаниям термопары в зоне транспорта.

На рис. 2 приведены зависимости интенсивности теплоотдачи от подводимой тепловой нагрузки в зонах испарения и конденсации при горизонтальном расположении МТТ (в данных условиях гравитационная составляющая не влияет на процессы теплообмена). Возникающий в зоне испарения пар движется в зону конденсации за счет перепада давления по длине МТТ. Конденсат движется в зону испарения за счет действия капиллярных сил. По мере возрастания теплового потока в зону испарения должно подаваться все большее количество теплоносителя. И до тех пор, пока капиллярная структура будет в состоянии обеспечивать возврат достаточного количества теплоносителя из зоны конденсации в зону испарения, интенсивность теплоотдачи будет возрастать. Как только расход испарившегося теплоносителя превысит расход подводимого, интенсивность теплоотдачи и в зоне испарения, и в

зоне конденсации начнет снижаться. Как видно из рис. 2, уровень значений α зависит от диаметра МТТ: при снижении диаметра МТТ величина коэффициента теплоотдачи уменьшается, что, по всей вероятности, объясняется более стесненными условиями для движения пара.

При вертикальном расположении МТТ увеличение тепловой нагрузки не приводит к снижению α (рис. 3). Это можно объяснить тем, что силы гравитации облегчают движение теплоносителя из зоны конденсации в зону испарения, благодаря чему обеспечивается достаточное количество теплоносителя в этой зоне для всех исследованных значений тепловых потоков.

Отметим, что уровень значений коэффициента теплоотдачи при вертикальном расположении МТТ несколько ниже, чем при горизонтальном.

Проведенные исследования показали, что повышение теплопередающих характеристик МТТ можно осуществить за счет улучшения подвода теплоносителя в зону испарения. Для этого необходимо создать капиллярную структуру с высокими транспортными способностями, что, в свою очередь, может привести к увеличению габаритов самой струк-

туры и снижению поперечного сечения парового пространства. Последнее, в свою очередь, может привести к увеличению скорости движения пара, вплоть до значения скорости звука, и повлечь за собой снижение теплопередающих характеристик МТТ.

Таким образом, можно сделать вывод, что повышение теплопередающих характеристик МТТ является достаточно непростой задачей и требует проведения дополнительных исследований в этой области с учетом всего комплекса факторов, влияющих на работу МТТ.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Макаров С. Процессорные кулеры: летнее изобилие // Компьютерное обозрение. — 2001. — № 29. — С. 16–22.
2. Maziuk V., Kulakov A., Rabetske M. et al. Miniature heat pipe thermal performance prediction tool – software development // 11-th Intern. heat pipe conf. – Musashinoshi Tokyo, Japan. – Sept. 14, 1999. – Vol. 1, A 1-2. — P. 7–9.
3. Семена М. Г., Гершуни А. Н., Зарипов В. К. Тепловые трубы с металловолоконистыми капиллярными структурами. — Киев: Вища школа, 1984.
4. Чи С. Тепловые трубы. Теория и практика. — М.: Машиностроение, 1981.

(начало см. на с. 11)

— разработка библиотечных элементов и топологии ПП при помощи технологического редактора PC-CARDS;

— разработка топологии печатных проводников с помощью программы PC-ROUTE;

— представление материалов проекта в виде эскизов чертежей с помощью программ вывода на принтер (PC-PRINT) и плоттер (PC-PLOT);

— разработка конструкторской документации в соответствии с требованиями ЕСКД на основе обмена данными между P-CAD и AutoCAD.

В «Методическое обеспечение» включено описание 11 лабораторных работ, тематическая направленность которых предусматривает разработку функциональной схемы в среде системы P-CAD, элементов символьной библиотеки, принципиальной схемы с использованием библиотечных элементов, элементов технологической библиотеки, конструктива ПП; изучение алгоритмов трассировки; подготовку файла проекта к трассировке и автоматическую трассировку; обмен данными между САПР P-CAD и AutoCAD. Заключительной темой является вывод чертежей проекта на принтер или плоттер. Каждая лабораторная работа включает цель и содержание работы, домашнее задание, необходимые теоретические сведения, порядок выполнения работы, содержание отчета и контрольные вопросы.

За пределами «Методическое обеспечение» остались задачи технологического характера (электрический и технологический контроль проекта, обслуживание библиотек, обработка данных для сверловки и подготовки фотшаблонов и т. д.).

«Методическое обеспечение» может быть использовано в качестве базовых методических указаний для изучения систем проектирования ПП более старших версий, а также для проведения практических занятий, для курсового и дипломного проектирования. Оно может оказаться полезным для студентов других специальностей и для разработчиков, занимающихся проектированием ПП.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Артамонов Е. И. Комплекс программных средств САД/САМ систем ГРАФИКА-81 // Автоматизация проектирования. — 1997. — № 1. — С. 42–45.
2. Артамонов Е. И., Марковский А. В., Шипилина Л. Б. Организация работы пользователей САПР в Internet // Там же. — 1998. — № 4. — С. 21–26.
3. Сучков Д. И. Серия книг: Работа в САПР PCAD. Адаптация САПР PCAD к отечественному технологическому оборудованию. — Обнинск: Призма, 1991–1992.
4. Разевиг В. Д. Применение программ PCAD и Pspice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ. Вып. 1–4. — М.: Радио и связь, 1992.
5. Разевиг В. Д. Система проектирования печатных плат ACCEL EDA 12.1 (P-CAD для Windows). — М.: СК-Пресс, 1997.
6. Разевиг В. Д. Система сквозного проектирования электронных устройств DesignLab 8.0. — М.: Солон, 1998.
7. Разевиг В. Д. PCAD 8.5–8.7. — М.: Солон, 1999.
8. Разевиг В. Д. Система схемотехнического моделирования и проектирования печатных плат Desing Center (PSPic). — М.: СК Пресс, 1996.
9. Сучков Д. И. Проектирование печатных плат в САПР P-CAD 4.5, P-CAD 8.5 и ACCEL EDA. — М.: Малип, 1997.

К. т. н. В. В. СИБИРЯКОВ,
к. т. н. В. Е. ТРОФИМОВ
Украина, г. Одесса

Полный текст «Методического обеспечения» находится в редакции журнала «ТКЭА» и может быть выслан по запросу.