

Д. т. н. Е. Н. ПИСЬМЕННЫЙ, к. т. н. В. А. РОГАЧЕВ,
А. В. БАРАНЮК, Е. В. ЦВЯЩЕНКО

Украина, г. Киев, НТУУ «Киевский политехнический институт»
E-mail: kravetz_kpi@ukr.net

Дата поступления в редакцию
15.04 2005 г.

Оппонент к. т. н. А. О. КОСТИКОВ
(Ин-т проблем машиностроения
им. А. Н. Подгорного, г. Харьков)

ТЕПЛООТВОДЯЩАЯ ПОВЕРХНОСТЬ С ПЛАСТИНЧАТО-ПРОСЕЧНЫМ ОРЕБРЕНИЕМ ПРИ НИЗКОСКОРОСТНОМ ОБДУВЕ

Приведены результаты экспериментального исследования и сравнительный анализ тепловой эффективности поверхностей в зависимости от их геометрических характеристик и направления обдува.

Стремительные темпы развития электронно-вычислительной техники выдвигают на первое место вопросы обеспечения надежной ее работы. Конкурирующие между собой фирмы — производители микропроцессоров стремятся увеличить частоту ядра процессора, внутренний и внешний кэш и т. д. за счет увеличения плотности компоновки полупроводниковых элементов в кристалле микрочипов, что приводит к росту удельной тепловой мощности рассеяния. При этом увеличивается перегрев теплонагруженных элементов, ухудшается тепловой режим работы системы в целом.

В настоящее время широко применяются системы воздушного охлаждения микропроцессоров “кулерного” типа, сочетающие оребренную теплоотдающую поверхность и малогабаритный осевой вентилятор [1, 2]. При этом тепловая эффективность такой системы, как правило, определяется тепловой эффективностью оребренной поверхности [3].

В настоящей статье приведены результаты исследования системы охлаждения кулерного типа, содержащей новую высокоэффективную теплоотдающую поверхность с пластинчато-просечными ребрами (рис. 1).

Исследование тепловых режимов выполнено для паяных медных оребренных поверхностей при различных направлениях обдува ребер низконапорным осевым вентилятором (рис. 2). Основные геометрические характеристики теплоотводящих поверхностей приведены в таблице. Поверхности №№ 1—7 имеют различные значения относительной глубины просечки ребер h_p/h и угла поворота ϕ разрезанных частей ребер (“лепестков”) относительно набегающего потока.

Поверхность № 8 представляет собой обычную пластинчато-ребристую поверхность, служащую базовой для сравнения тепловых характеристик.

Для обдува использован вентилятор BS601012H фирмы Bi-Sonic Technology с габаритными размерами $60 \times 60 \times 10$ мм и частотой вращения крыльчатки 4500 мин^{-1} , который закреплялся через теплоизолирующую прокладку непосредственно на оребрении.

Эксперименты выполнены в диапазоне рассеиваемой мощности $Q=15...65$ Вт и температуры окружающей среды $t_c=20...23^\circ\text{C}$. Подвод теплоты к оребренной поверхности осуществлялся с помощью плотно прижатого к основанию тканого резистивного нагревателя, размеры которого совпадают с габаритными размерами основания. Толщина основания поверхностей δ составляла 6 мм.

Измерение температурного поля основания осуществлялось медь-константановыми термопарами с диаметром проводов 0,08 мм, равномерно распределенными и зачеканенными в глухие отверстия на по-

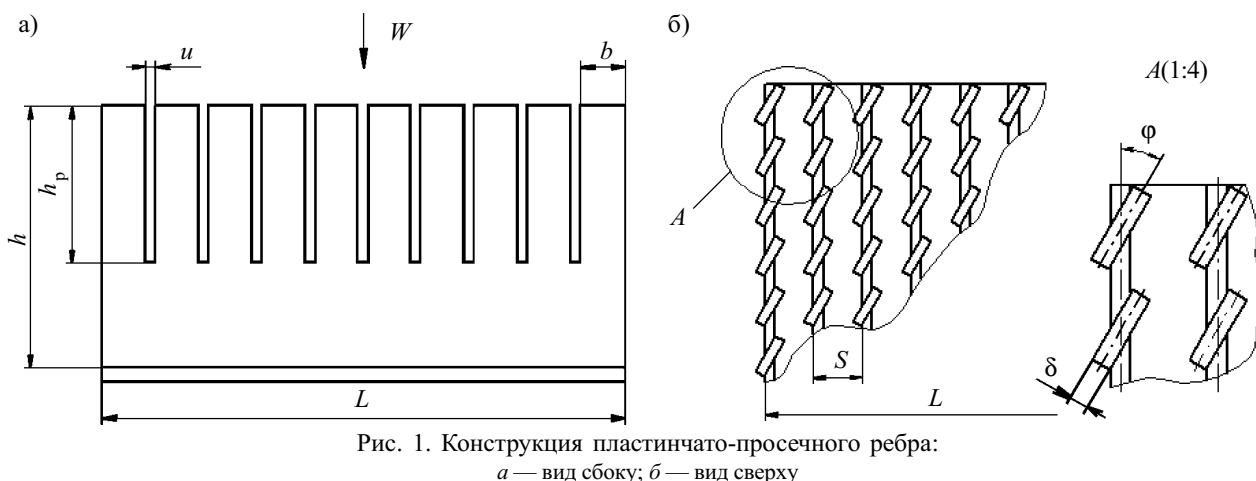


Рис. 1. Конструкция пластинчато-просечного ребра:

a — вид сбоку; b — вид сверху

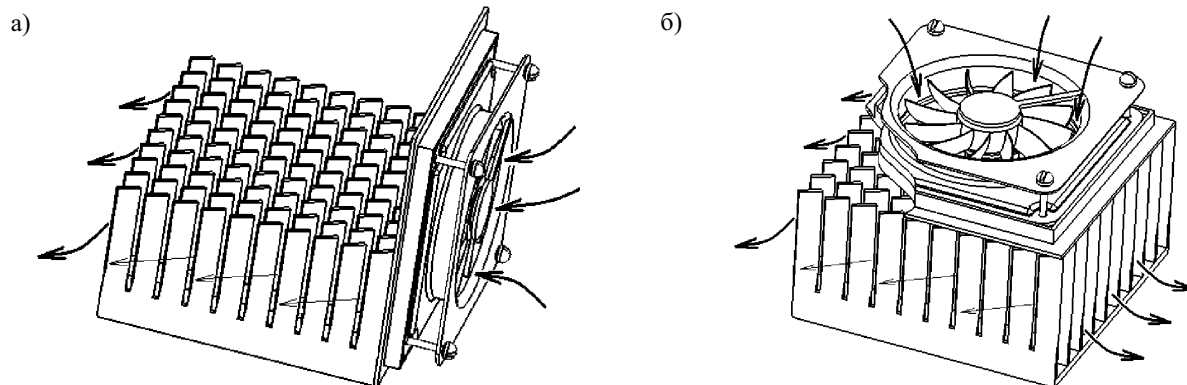


Рис. 2. Схема охлаждения с боковым (а) и верхним (б) расположением вентилятора

верхности основания. Показания термопар регистрировались цифровым многоканальным измерительным преобразователем типа Ш711/1 с выводом на цифропечатающее устройство. Питание электронагревателя осуществлялось переменным током через стабилизатор напряжения, а его мощность контролировалась ваттметром типа Д 529 класса точности 0,5. Температура окружающей среды измерялась лабораторным ртутным термометром с ценой деления шкалы 0,1 °С.

Геометрические характеристики исследованных поверхностей

Параметр	Номер поверхности							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$L \times L$, мм	70×70							
h , мм	35							
S , мм	6,9							
δ , мм	1,4							
h_p , мм	14	21	28	21	28	21	28	—
u , мм	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	—
b , мм	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	—
z	11							
z_p	10	10	10	10	10	10	10	—
ϕ , °	0	0	0	30	30	45	45	—
h_p/h	0,4	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	—
F , мм ²	60332							

Здесь L — линейный размер основания; h — высота ребра; S — шаг между ребрами; δ — толщина ребра; h_p — глубина просечки ребра; u — ширина разрезки; b — ширина лепестка; z — количество ребер; z_p — количество лепестков; F — площадь теплоотдающей поверхности.

Средняя температура поверхности основания $t_{\text{осн}}$ рассчитывалась путем усреднения значений температуры t_i , измеренных на участках площадью F_i по всей поверхности основания:

$$t_{\text{осн}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (1)$$

Средний перегрев (температурный напор) основания вычислялся по соотношению

$$\Delta t = t_{\text{осн}} - t_c \quad (2)$$

Рассеиваемая теплота Q определялась как разность между электрической мощностью, подведенной к нагревателю, и тепловыми потерями (путем теплопроводности) через стенку теплоизолирующей подставки, на которой крепилась исследуемая поверхность.

По результатам экспериментов установлено, что тепловые потери в диапазоне изменения режимных параметров составляли 3...7% от подведенной мощности. Потери теплоты по термоэлектродным проводам оценивались как пренебрежимо малые и при обработке экспериментальных данных не учитывались. Максимальная относительная среднеквадратичная погрешность определения температурного напора Δt для рассматриваемых уровней рассеиваемой мощности не превышала 5%.

Тепловые характеристики исследованных поверхностей при верхнем и боковом обдуве воздухом представлены в виде зависимостей $\Delta t = f(Q)$ на рис. 3. Из анализа экспериментальных данных следует, что наиболее эффективны поверхности № 4 и № 5, у которых $\phi = 30^\circ$.

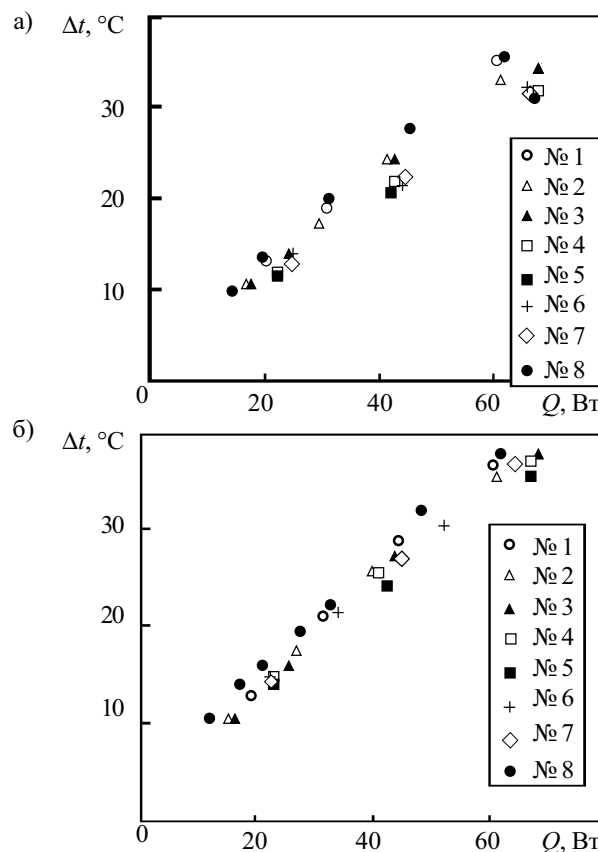


Рис. 3. Тепловые характеристики поверхностей при верхнем (а) и боковом (б) обдуве

Поверхности №№ 1—3, где поворот лепестков отсутствует ($\phi=0^\circ$), имеют тепловую эффективность в среднем на 20—25% ниже, чем поверхности №№ 4—7. Это объясняется наличием поперечной составляющей скорости омывания лепестков, повернутых относительно набегающего потока в поверхностях №№ 4—7, т. к. при поперечном омывании пластины интенсивность теплообмена выше, чем при продольном.

При незначительных мощностях рассеяния ($Q < 20$ Вт) и температурах перегрева ($\Delta t < 12^\circ\text{C}$) в границах экспериментальных погрешностей наблюдается сближение значений тепловой эффективности всех исследуемых поверхностей независимо от геометрических характеристик и формы оребрения.

При боковом обдуве наблюдается меньшее расхождение массива данных по сравнению с верхним обдувом, но самую лучшую тепловую эффективность в обоих случаях сохраняют поверхности № 4 и № 5.

Из анализа экспериментальных данных следует, что независимо от конструктивно-геометрических характеристик оребрения верхний обдув поверхностей на 20—30% эффективнее, чем боковой.

По-видимому, при верхнем подводе охлаждающего воздуха обеспечивается интенсивный теплообмен (за счет небольшой толщины пограничного слоя на ребрах и основании) и турбулизация потока. При боковом направлении обдува происходит продольное омывание ребер и основания с постепенным нарастанием пограничного слоя на них. Это приводит к ухудшению теплоотбора поверхностью в целом несмотря на существование отрывных течений на лепестках ребер, интенсифицирующих теплообмен.

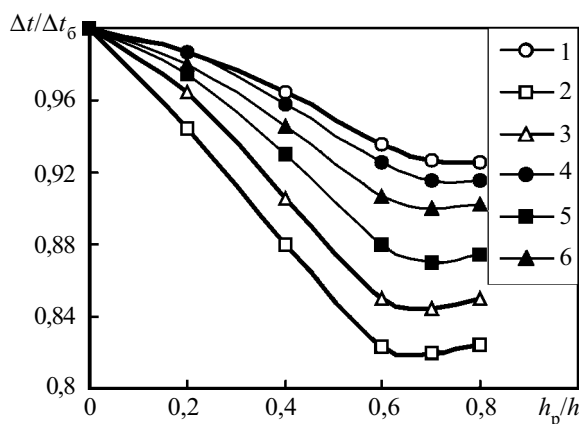


Рис. 4. Влияние глубины разрезки h_p/h на относительный перегрев $\Delta t/\Delta t_6$ при различных значениях ϕ : верхний обдув: 1 — 0° ; 2 — 30° ; 3 — 45° ; боковой обдув: 4 — 0° ; 5 — 30° ; 6 — 45°

С целью выявления влияния основных геометрических характеристик ребер на тепловую эффективность и установления их оптимальных значений экспериментальные данные обобщены и приведены на рис. 4 и 5 в виде графических зависимостей $\Delta t/\Delta t_6 = f(h_p/h; \phi)$ при $Q = 60$ Вт, (Δt_6 — температура перегрева базовой поверхности № 8).

Приведенные на рис. 4 экспериментальные кривые носят экстремальный характер и с ростом параметра h_p/h расслаиваются. Из рисунка видно, что оптимальная относительная глубина просечки ребер находится в диапазоне 0,6—0,7 и не зависит от направления обдува и угла поворота лепестков ϕ .

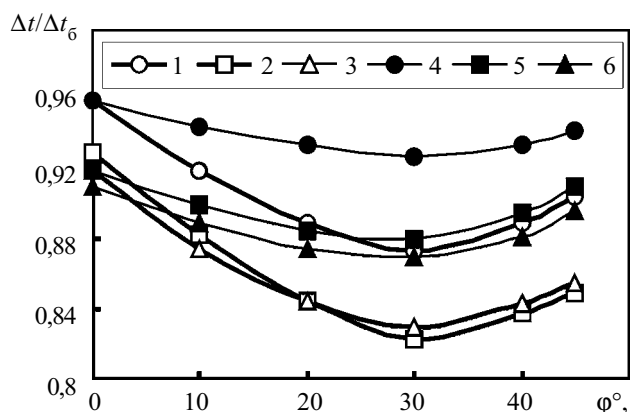


Рис. 5. Влияние угла поворота лепестков ϕ на относительный перегрев $\Delta t/\Delta t_6$ при различных значениях h_p/h : верхний обдув: 1 — $h_p/h = 0,4$; 2 — $0,6$; 3 — $0,8$; боковой обдув: 4 — $h_p/h = 0,4$; 5 — $0,6$; 6 — $0,8$

Наименьшие значения относительной температуры перегрева наблюдаются у поверхностей с $\phi = 30^\circ$, т. е. №№ 4, 5 при верхнем обдуве (кривая 2). Независимо от направления обдува у поверхностей №№ 1—3 с $\phi = 0^\circ$ (кривые 1, 4) относительная температура перегрева самая высокая, т. е. их абсолютная температура близка к температуре базовой поверхности № 8.

Для всех приведенных на рис. 5 зависимостей $\Delta t/\Delta t_6 = f(\phi)$ экстремум соответствует углу $\phi = 30^\circ$. Наименьшую относительную температуру перегрева имеет поверхность № 4 с $h_p/h = 0,6$ при верхнем обдуве (кривая 2). Самый большой относительный перегрев наблюдается для поверхности с $h_p/h = 0,4$ при боковом обдуве (кривая 4). С увеличением угла поворота лепестков ($\phi > 30^\circ$) независимо от направления обдува и глубины просечки ребер тепловые показатели поверхностей ухудшаются и их температура перегрева повышается.

Таким образом, применение просечки ребер на относительную глубину $h_p/h = 0,6 \dots 0,7$ с поворотом лепестков на угол $\phi = 30^\circ$ приводит к повышению тепловой эффективности на 30—35% по сравнению с традиционной пластинчато-ребристой поверхностью. Исследования также показали, что верхний обдув поверхностей более эффективен, чем боковой.

Использование малогабаритных теплоотводящих поверхностей с предлагаемым просечным оребрением в системах низкоскоростного струйного обдува для различных теплонагруженных устройств может на 20—25% снизить их температуру перегрева.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Макаров С. Процессорные кулеры: летнее изобилие // Компьютерное обозрение. — 2001. — № 29. — С. 16—31.
2. Потапов М. Процессорные кулеры: не дай компьютеру “замерзнуть” // Домашний ПК. — 2002. — № 7. — С. 25—31.
3. Письменный Е. Н., Бурлей В. Д., Терех А. М. и др. Влияние разрезки, поворотов и отгибки ребер на теплоаэродинамические характеристики поверхностей теплообмена // Пром. теплотехника. — 2003. — Т. 25, № 1. — С. 10—16.