

УДК 539.3

## Исследование термосилового нагружения термоэлектрических модулей в процессе их эксплуатации

*Горбатовская Т.А., аспирант  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Технологии приборостроения»*

*Москалик В.И., студент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Технологии приборостроения»*

*Научный руководитель: Шашурин Василий Дмитриевич, д.т.н.  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
[schashurin@bmstu.ru](mailto:schashurin@bmstu.ru)*

Применение термоэлектрических модулей (ТМ) при создании информационно-измерительных приборов являются одним из наиболее эффективных инструментов обеспечения заданного температурного режима их функционирования, особенно в условиях «жестких» внешних нагрузок. Малые габариты, отсутствие движущихся частей, бесшумность, малая чувствительность к вибрациям, возможность плавного и точного регулирования температурного режима, малая инерционность, экологичность и простота эксплуатации являются определяющими при использовании в авиационном и космическом приборостроении. Типовая конструкция ТМ представлена на рис. 1.

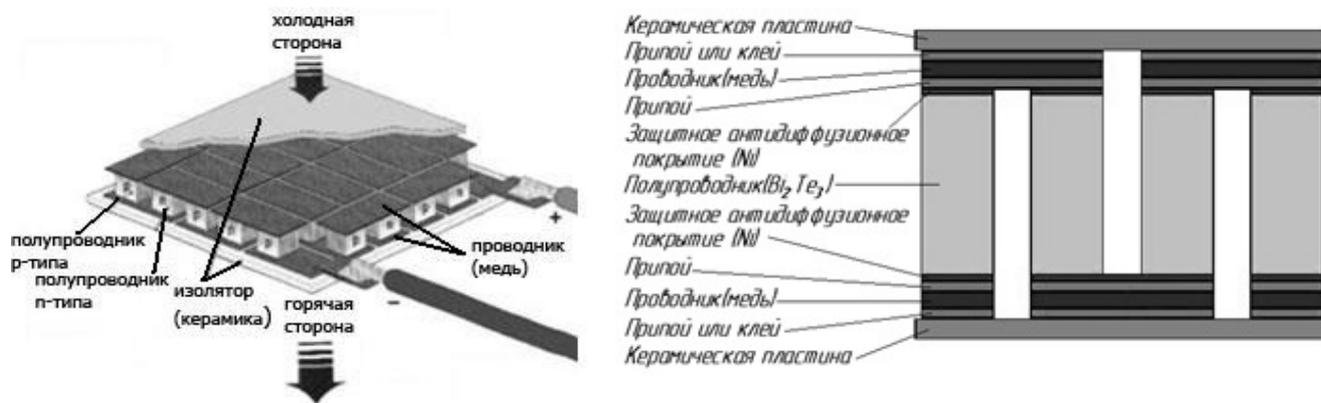


Рис.1. Общий вид и структура термоэлектрического модуля

Вместе с тем, на настоящий момент наиболее значимым фактором, сдерживающим широкое применение ТМ в указанных отраслях техники, является нестабильность их показателей надежности, что обусловлено отсутствием научно-обоснованного расчетно-методического обеспечения выбора рациональных конструкторско-технологических решений при производстве изделий. Указанная цель может быть достигнута при комплексном решении целого ряда научно-технических задач, первоочередной из которых является задача исследования термосилового нагружения ТМ в процессе его эксплуатации.

Деформации, возникающие в элементах конструкции ТМ, определяются двумя факторами: одновременным растяжением (вследствие нагрева) одной из керамических пластин корпуса и сжатием (вследствие охлаждения) другой пластины, и изгибом, вызванным неравномерным нагревом керамических пластин по толщине. Как следствие, происходит деформация базовых функциональных и наиболее «уязвимых» элементов конструкции изделия – полупроводниковых ветвей (ПВ), что может привести к их разрушению. Схемы температурных деформаций ТМ представлены на рисунках 2 и 3. Ниже проведен анализ влияния различных видов деформаций на величину взаимного сдвига полупроводниковых ветвей  $s$ .

Рассмотрим методику расчета деформации полупроводниковой ветви за счёт неравномерности нагрева по толщине керамических пластин (рис. 2).



Рис. 2. Схема деформации ветвей за счет изгиба пластин:  $\rho$  – радиус кривизны пластины,  $s$  – величина взаимного сдвига полупроводниковых ветвей,  $r$  – расстояние от центра пластины,  $c$  – расстояние между пластинами

Поскольку модуль упругости керамики (материала пластины корпуса ТМ) превышает на порядок модуль упругости теллурида висмута (материала ПВ), то можно пренебречь влиянием полупроводниковых ветвей на кривизну рабочей поверхности. В этом случае кривизна пластины (вследствие неравномерности нагрева) равна

$\frac{1}{\rho} = \frac{\alpha \Delta t}{h}$ , где  $\rho$  – радиус кривизны пластины (см. рис. 2);  $\alpha$  – коэффициент линейного

расширения материала пластины;  $\Delta t$  – температурный градиент по толщине;  $h$  – толщина пластины.

Определим сдвиг полупроводниковой ветви  $s$  за счет изгиба пластины. Принимаем, что температурный градиент по толщине идентичен для «горячей» и «холодной» керамических пластин ТМ, а изменение высоты ветвей в результате их сжатия незначительно.

Из рис. 2 следует, что  $r \approx \rho \theta$ , где  $r$  - расстояние от центра пластины. Принимая гипотезу Кирхгоффа-Лява о прямолинейности нормалей к срединной поверхности пластины в процессе деформаций и считая углы поворота нормалей к срединной поверхности пластины малыми, получим:  $s = c \cdot \text{tg} \theta$ , или  $s \approx c \cdot \theta$ , где  $c$  - расстояние между пластинами. Преобразуем данное выражение с учетом полученных ранее зависимостей:

$$s = cr \frac{\alpha \Delta t}{h}$$

Рассмотрим деформации полупроводниковых ветвей за счёт температурного перемещения керамических пластин (рис 3).



Рис. 3. Схема деформации ветвей ТМ за счёт температурных деформаций керамических пластин:  $\Delta$  – сдвиг полупроводниковой ветви

Величину сдвига ПВ ( $\Delta$ ) можно найти как тепловое расширение керамической пластины. При этом усилие  $Q$  возникающее при сдвиге со стороны каждой полупроводниковой ветви можно не учитывать, считая изгибную жёсткость полупроводникового элемента пренебрежимо малой. Центр керамической пластины принимается неподвижным вследствие симметрии нагрева.

Перемещение заданной точки керамической пластины относительно её центра:

$$\Delta = \alpha \cdot \Delta T \cdot r_{ij}$$

где  $r_{i,j} = \sqrt{x_i^2 + y_j^2}$ ;

$r_{i,j}$  – расстояние от начала координат (центр пластины) до ветви с номером  $i$  и  $j$ ;

$x_i$  и  $y_j$  – координаты центров полупроводниковых ветвей относительно центра пластины (начала координат);

$\Delta T$  – разность температур между «горячей» и «холодной» пластинами.

Координаты  $x_i$  и  $y_j$  определяются по следующим зависимостям:

$$x_i = (\delta + b) \cdot (i + 1/2); y_j = (\delta + b) \cdot (j + 1/2),$$

где  $\delta$  – расстояние между соседними полупроводниковыми ветвями вдоль осей  $x$  и  $y$ ;

$b$  – размер поперечного сечения ветви.

Используя полученные выше зависимости, определим численные значения сдвига полупроводниковых ветвей ТМ. При этом учитываем, что сдвиг ветви прямо пропорционален расстоянию от центра пластины до центра ветви. Следовательно, для двух видов деформации целесообразно сравнивать только значения сдвига в угловых ветвях ТМ, так как именно в них возникает максимальная деформация.

Результаты расчета двух видов деформации ветвей для размерного ряда значений  $n$  характеристик ТМ, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения деформаций угловых ветвей ТМ (конструктивные параметры ветви:  
поперечное сечение 1,4мм×1,4мм, высота 1,5 мм,  $\Delta T=60$  К)

Кол-во ветвей	Расстояние до угловой ветви, мм	$\Delta$ , мм	$s$ , мм	$\frac{\Delta}{s}$
14	5.0	$1.22 \cdot 10^{-3}$	$1.7 \cdot 10^{-4}$	7.17
34	8.5	$2.04 \cdot 10^{-3}$	$2.83 \cdot 10^{-4}$	7.2
62	11.9	$2.85 \cdot 10^{-3}$	$3.96 \cdot 10^{-4}$	7.19
142	18.7	$4.48 \cdot 10^{-3}$	$6.22 \cdot 10^{-4}$	7.2
254	25.9	$6.11 \cdot 10^{-3}$	$8.49 \cdot 10^{-4}$	7.19
398	32.3	$7.74 \cdot 10^{-3}$	$1.08 \cdot 10^{-3}$	7.17

482	35.6	$8.55 \cdot 10^{-3}$	$1.19 \cdot 10^{-3}$	7.18
-----	------	----------------------	----------------------	------

Как следует из приведенных данных, деформация ветвей в ТМ является в первую очередь результатом взаимного сдвига торцев полупроводниковых ветвей, возникающего за счет температурного расширения и сжатия керамических пластин в процессе работы изделия. Деформации, возникающие за счет изгиба пластин, незначительны.

#### Список литературы

1. Осипков А.С. Обеспечение надежности термоэлектрических модулей приборов методом акустической эмиссии на этапе их технологических испытаний: Дис. ... канд.тех.наук. Москва, 2010. 150 с.
2. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. М.: Наука, 1966г., 636 с.
3. Филин А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. Т. 2. М.: Наука, 1978. 616 с.
4. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства. – Киев: Наукова думка, 1979. – 766 с.