

ДЕФОРМАЦИИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ НЕГО ТОКА

А. В. Соловьёва, С. В. Бобженко, П. С. Крохин
(НПФ «Модуль», Киев, Украина)

- Исследованы направления и величины деформации поверхностей термоэлектрического модуля при различных значениях проходящего через него тока. Керамические поверхности термоэлектрического модуля при прохождении тока принимают форму эллиптического параболоида, что приводит к росту механических сдвиговых напряжений в спаях термоэлектрических элементов с увеличением координаты элемента относительно геометрического центра модуля. Установлено, что зависимость величины деформации поверхностей термоэлектрических модулей является линейной функцией тока.

Введение

При эксплуатации термоэлектрические охлаждающие модули (ТЭМ) постоянно находятся в условиях изменяющихся тепловых режимов. Разность температур на модуле воздействует на входящие в его конструкцию компоненты. При этом возникают статические и динамические механические напряжения. Циклические тепловые, а значит и механические воздействия на конструктивные элементы модуля, соответственно сжатие, расширение и изгиб, могут приводить к напряжениям, превышающим пределы прочности материалов, входящих в модуль. Усталость материалов при циклических механических воздействиях является причиной разрушения модулей.

В научно-технической литературе рассматриваются деформации пары элементов электронной и дырочной проводимости, входящих в модуль, и предлагаются методы снижения воздействия механических напряжений на спай путем использования различных конструкций соединения полупроводникового материала с медными шинами [1]. Теоретическая модель и практические результаты исследований напряжений в термоэлементе модуля приведены в работе [2]. Однако в ней не рассмотрено влияние координаты элемента в модуле на напряжение сдвига или изгиба элемента. Поэтому ее практическое применение затруднительно из-за того, что реальная конструкция ТЭМ является сложным «сэндвичем» материалов с разными тепловыми и механическими свойствами.

Экспериментальные данные, которые бы описывали зависимости характера деформации ТЭМ от разности температур на модуле, в литературе отсутствуют. Поэтому представляет интерес исследования деформации модулей в рабочем состоянии для прогнозирования их надежности.

Целью настоящей работы является исследование направления и величины деформации ТЭМ при различных значениях тока.

Методика измерений

Для исследований были использованы термоэлектрические модули, произведенные НПФ «Модуль», МТ2-1.6-127eS (размером $40 \times 40 \times 4.0$ мм, высотой элемента 1.6 мм и сечением 2 мм^2 , количество пар элементов 127; модули герметизированы эпоксидной смолой по периметру).

Модули были установлены на плоский теплоотвод, которым был предметный столик микрометрического индикатора часового типа ИЧ 0-10. Погрешность измерения смещений ± 1.0 мкм. Через модули пропусклся ток в прямом направлении (1.2; 1.7; 2.5 А), в результате чего свободная поверхность модуля охлаждалась, и в обратном (0.8 А), при котором свободная поверхность нагревалась.

Поле деформации модуля измеряли в 25-ти точках, равномерно распределенных по поверхности керамической пластины модуля. При прохождении тока через модуль измеряли температуру на поверхности модуля в его геометрическом центре термопарой хромель-копель.

Результаты исследования

Результаты измерений величины деформации приведены на рис. 1 – 5.

При отсутствии тока через ТЭМ его керамическая пластина имела неплоскостность 10^{-2} мм (рис. 1), при этом температура этой керамики была 16°C .

Для наглядности, справа на рис. 1 – 5 приведена цветовая шкала величины деформации.

Графики полей деформации строили по величинам разностей между деформацией поверхностей ТЭМ, измеренной при прохождении через него тока, и между деформацией ТЭМ при отсутствии тока (рис. 1).

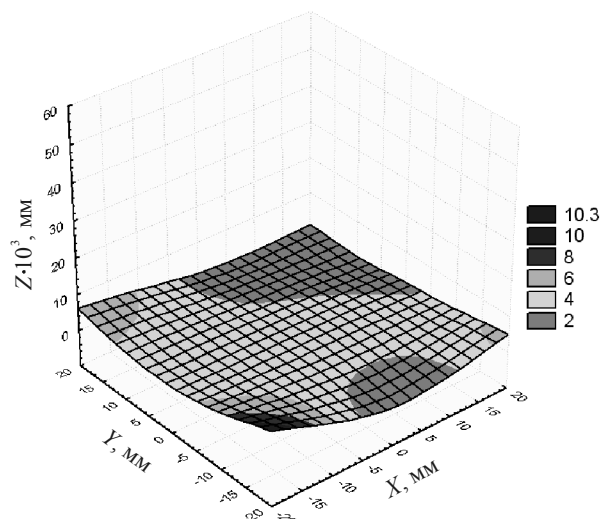


Рис. 1. Форма поверхности ТЭМ при токе равном нулю.

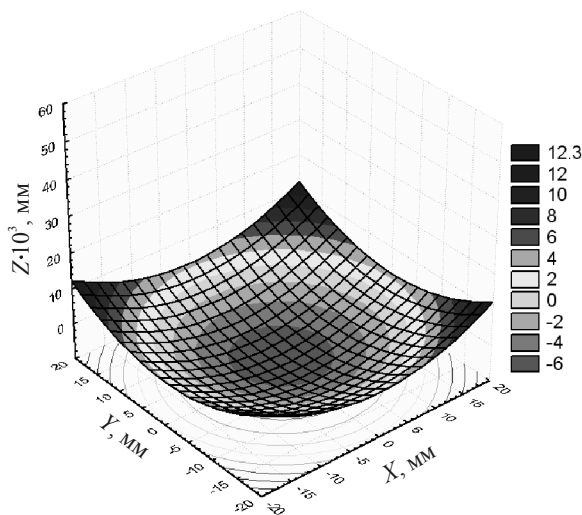


Рис. 2. График поля деформации поверхности ТЭМ при охлаждении, ($I=1.2\text{ A}$).

$$Z = 2.5 \cdot 10^{-3} \cdot (X^2 + Y^2 - 0.3).$$

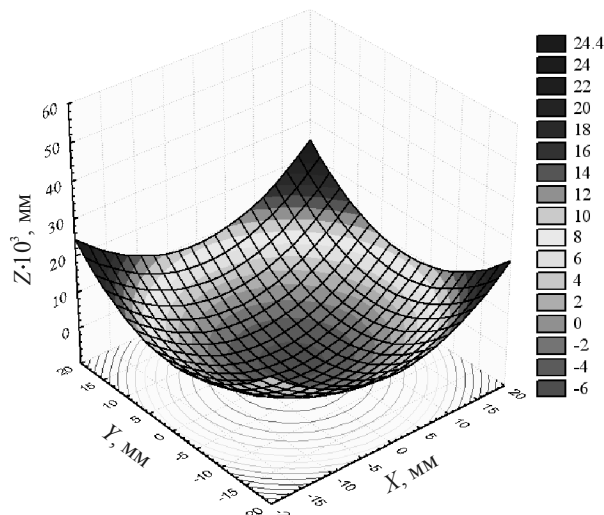


Рис. 3. График поля деформации поверхности ТЭМ при охлаждении, ($I=1.7\text{ A}$).

$$Z = 4 \cdot 10^{-3} \cdot (X^2 + Y^2 - 0.17).$$

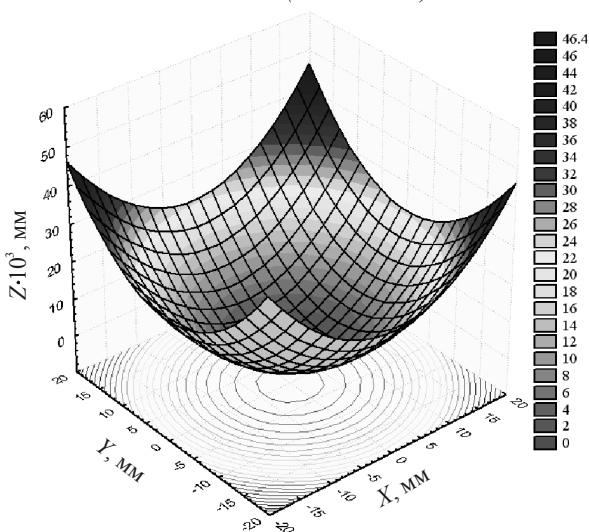


Рис. 4. График поля деформации поверхности ТЭМ при охлаждении, ($I=2.5\text{ A}$).

$$Z = 6 \cdot 10^{-3} \cdot (X^2 + Y^2 - 2 \cdot 10^{-2}).$$

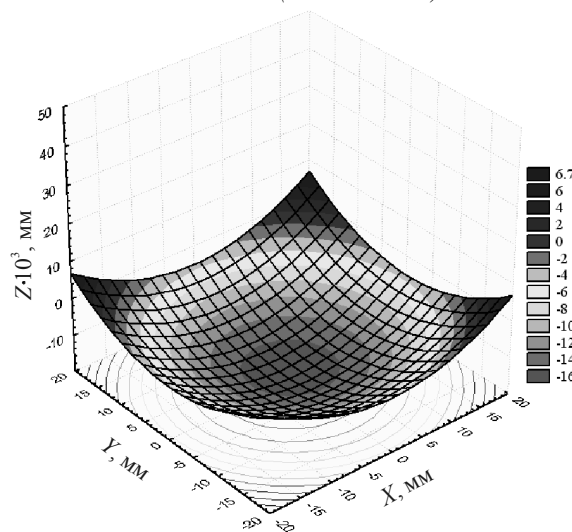


Рис. 5. График поля деформации поверхности ТЭМ при нагреве, ($I=0.8\text{ A}$).

$$Z = 3 \cdot 10^{-3} \cdot (X^2 + Y^2 - 0.58).$$

На рис. 2 – 5 приведены значения поверхностей полей деформаций модулей и проекции линий равных деформаций на координатную плоскость X - Y .

Уравнения поверхностей полей деформаций ТЭМ получены с использованием метода наименьших квадратов. Поверхности деформаций хорошо описываются уравнениями второго порядка, а именно, эллиптическими параболоидами $Z=A \cdot (X^2+Y^2)-B$. Коэффициент пропорциональности A в уравнении зависит от величины тока (в режиме охлаждения) (рис. 6).

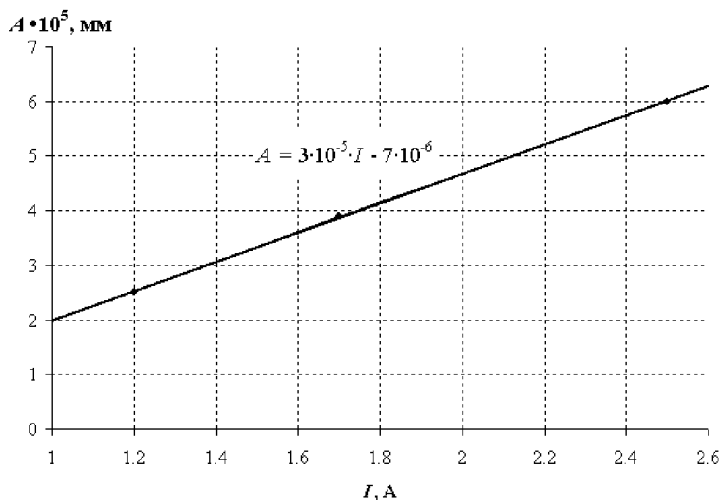


Рис. 6. Зависимость коэффициента пропорциональности в уравнении параболоида от тока проходящего через ТЭМ.

Обсуждение результатов

При прохождении тока через ТЭМ одна из его поверхностей охлаждается, а другая нагревается. В нашем опыте мы не могли одновременно наблюдать деформацию горячей и холодной поверхностей, так как одна из них находилась на теплоотводе. Поэтому, рассматривая деформации одной из поверхностей в режиме охлаждения и в режиме нагрева, мы смоделировали относительное изменение поля деформации холодной и горячей граней и разместили их в общей системе координат. На рис. 7 построены линии сечения полей деформации одного и того же модуля с координатной плоскостью $X = 18.8$ при токах $I = 2.5$ А (холодная грань), $I = 0.8$ А (горячая грань).

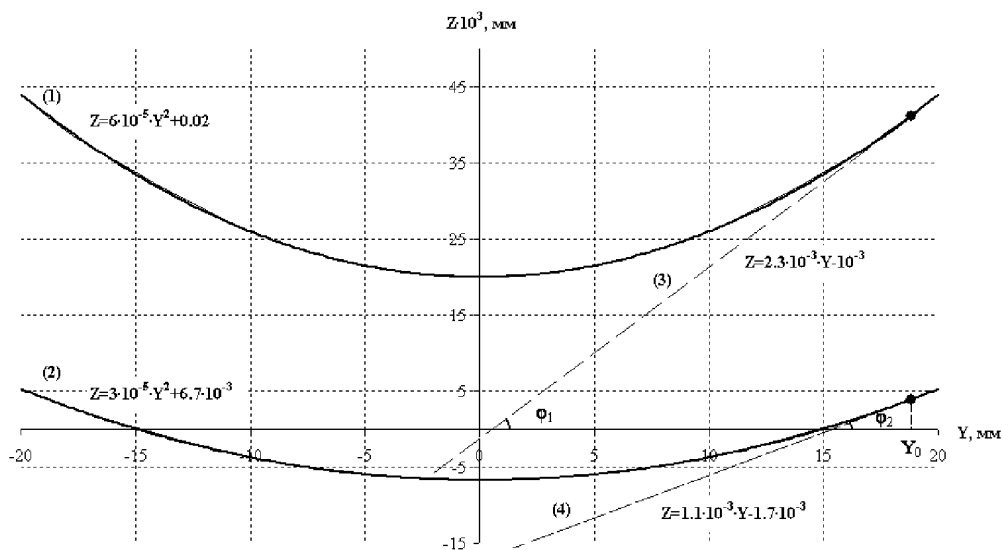


Рис. 7. Кривые сечения поверхностей деформации при $I = 2.5$ А и $I = 0.8$ А. 1 – охлаждение ($I = 2.5$ А), 2 – нагрев ($I = 0.8$ А), 3 и 4 – касательные в точке $Y = Y_0$.

Из полученных результатов видно, что смещение элементов в углах модуля наибольшие (рис. 2–5). Для определения смещения элементов в углах модуля были построены касательные к кривым сечения полей деформации и определены их углы наклона φ_1, φ_2 (рис. 7).

Абсолютная деформация элемента высотой 1.6 мм, относительно холодной стороны, равна $l_1=3.68 \cdot 10^{-3}$ мм, а относительно горячей стороны – $l_2=1.8 \cdot 10^{-3}$ мм.

Поскольку направления деформации для обеих граней совпадают, то деформация элемента представляет собой разность деформаций и равна $1.9 \cdot 10^{-3}$ мм. Относительная сдвиговая составляющая деформации элемента составляет около 0.1%. При циклической работе модуля в режиме «включено» – «выключено» такая величина деформации может оказаться критической и привести к разрушению спаи или элемента.

Для кривых сечения параболоида (рис.7) множитель A при квадратичном члене линейно зависит от тока (рис.6), что, собственно, и является простым подтверждением того, что деформация модуля вызвана термическим расширением его конструктивных элементов. При наличии разности температур на модуле обе грани (холодная и горячая) имеют различную деформацию, так как удлинение твердых тел пропорционально разности температур $\Delta l=(l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T)$, где l_0 – длина при $\Delta T = 0$, α – коэффициент термического расширения, ΔT – разность температур.

Элементы модуля присоединены к «холодной» и «горячей» керамическим пластинам в перпендикулярном направлении (рис.8).

В процессе деформации модуля в элементе возникают напряжения за счет его изгиба и сдвиговых напряжений элементов в местах соединений с керамикой. Угол между перпендикулярами в точках соединения элементов с керамикой (рис. 8) и будет мерой деформации изгиба элемента или мерой сдвиговых напряжений. Этот угол равен углу между касательными к линии изгиба керамики в этих точках. Так как деформационные поверхности – параболоиды, то производные в точках их сечений – линейные функции от координаты Y_0 . Поэтому напряжения изгиба линейно нарастают от центра модуля к его периферии. А значит, модули малых размеров более надежны.

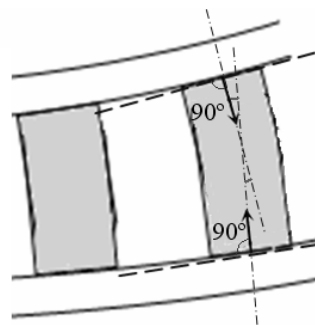


Рис. 8.

Выводы

1. Проведены исследования поля деформации ТЭМ в различных тепловых режимах работы.
2. Деформированная поверхность квадратного ТЭМ представляет собой эллиптический параболоид.
3. Деформация на спае элементов зависит от координаты элемента в модуле и увеличивается с ее ростом относительно геометрического центра модуля.

Литература

1. Коленко Е.А. Термоэлектрические охлаждающие приборы. – Л.: Наука, 1967, 291 с.
2. Ащеулов А.А., Манык О.Н. Исследование термоупругих свойств ветвей термоэлектрических модулей Пельтье // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – №3. – 2005. – С.26 – 29.

Поступила в редакцию 10.02.09.