

К. т. н. А. Г. ШАЙКО-ШАЙКОВСКИЙ

Украина, г. Черновцы

Дата поступления в редакцию
08.01 1998 г.

Оппонент д. т. н. А. И. ПОГАЛОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РЭА

Предложена методика определения допустимого разброса значений физико-механических характеристик материалов, используемых для создания изделий радиоэлектронной аппаратуры.

The determination procedure of spread in values of materials physical-mechanical characteristics used for creation of electronic equipment products has been proposed.

Как показывает практика, причиной отказов радиоэлектронной аппаратуры в процессе ее эксплуатации могут послужить не только внешние температурные и механические воздействия, но и недопустимый разброс значений физико-механических характеристик (ФМХ) материалов, которые используются для создания радиоэлектронных изделий. Диапазон разброса обусловлен техническими условиями, особенностями технологии изготовления и точностью ее соблюдения, качеством исходного сырья и множеством других факторов.

При проектировании новых изделий конструктор-разработчик должен подобрать материалы с достаточно близкими значениями ФМХ (температурный коэффициент линейного расширения α , коэффициент Пуассона μ , модуль упругости 1-го рода E , модуль сдвига или модуль упругости 2-го рода G и т. д.). Оценка прочности изделий должна проводиться с привлечением теорий прочности.

Условие прочности по допускаемым напряжениям, например по нормальным напряжениям σ , можно записать в следующем виде:

$$|\sigma| \leq [\sigma], \quad (1)$$

где $[\sigma]$ — допустимое значение напряжения.

Большинство изделий и узлов радиоэлектронной аппаратуры имеет осесимметричную форму тела вращения. Если изделие изготовлено из двух различных материалов, имеет внутренний радиус r_1 , наружный радиус R_2 , радиус сопряжения между внутренним и внешним слоями $r_2=R_1$, а напряжения представляют собой скалярную функцию векторного аргумента размерности, например, «9», то $\sigma=\sigma(x)$, где $x=(\alpha_1; \alpha_2; E_1; E_2; \mu_1; \mu_2; r_1; R_1; R_2)$.

Определим, при каких значениях координат вектора x выполняется условие (1). Найдем такие 9-мерные параллелепипеды, в каждой точке кото-

рых будет выполняться указанное неравенство. Физически это означает, что, если величины физико-механических характеристик и геометрических размеров соединяемых деталей удовлетворяют некоторым неравенствам, то данная конструкция будет удовлетворять условию прочности.

Необходимо заметить, что искомый параллелепипед в общем случае может быть не единственным. Поэтому для конкретизации предположим, что искомый параллелепипед имеет своим центром точку $\bar{x}_0 = (\alpha_1^0; \alpha_2^0; E_1^0; E_2^0; \mu_1^0; \mu_2^0; r_1; R_1; R_2)$, координаты которой являются номинальными значениями соответствующих характеристик. При этом предполагается, что в этой точке условие прочности (1) выполняется.

Для решения задачи рассмотрим вектор

$$\bar{x}^* = \bar{x}^0 + \lambda \bar{x}_0 \text{Sign}[\text{grad } \sigma(\bar{x}^0)], \quad (2)$$

где λ — неизвестный скалярный параметр, выраженный в относительных единицах или в процентах допустимого отклонения ФМХ материалов и геометрических размеров деталей от их номинальных значений;

$\text{grad} \sigma(\bar{x})$ — градиент функции $\sigma(x)$.

$$\text{grad} \sigma(\bar{x}) = \left(\frac{\partial \sigma}{\partial \alpha_1}; \frac{\partial \sigma}{\partial \alpha_2}; \frac{\partial \sigma}{\partial E_1}; \frac{\partial \sigma}{\partial E_2}; \frac{\partial \sigma}{\partial \mu_1}; \frac{\partial \sigma}{\partial \mu_2}; \frac{\partial \sigma}{\partial r_1}; \frac{\partial \sigma}{\partial R_1}; \frac{\partial \sigma}{\partial R_2} \right).$$

Найдем такое значение λ , при котором

$$|\sigma(\bar{x}^*)| \leq [\sigma(\bar{x})]. \quad (3)$$

Анализ вектора $\text{grad } \sigma(\bar{x})$ и его компонент показывает, что при изменении векторного аргумента \bar{x} координаты градиента не меняют своих знаков, т. е. внутри некоторой искомой области сама функция не может иметь экстремальных точек, и условие

$$|\sigma(\bar{x}^*)| = [\sigma] \quad (4)$$

может удовлетворяться только на границе искомой области.

Подставив в (4) выражение (2), получим алгебраическое уравнение с одним неизвестным для определения λ . Это уравнение можно решить, например, методом Ньютона. Найденное значение λ позволяет описать в форме (2) допустимые значения разброса ФМХ, при которых выполняется условие

Разброс значений физико-механических характеристик стекла С52-1 и сплава ковар 29НК

Физико-механические характеристики	Реальный разброс значений	Рекомендуемый разброс значений
$\alpha_1 10^{-7} \text{ K}^{-1}$	46...52	46...49
$\alpha_2 10^{-7} \text{ K}^{-1}$	46...48	46...47
$E_1 10^{11} \text{ Па}$	0,5...0,64	0,53...0,59
$E_2 10^{11} \text{ Па}$	1,47...1,86	1,47...1,7
μ_1	0,24...0,26	0,25...0,26
μ_2	0,28...0,32	0,29...0,31

прочности. Формула (2) в координатах запишется следующим образом ($i=1, 2$):

$$\begin{aligned} \alpha_i^* &= \alpha_i^0 + \lambda \alpha_i^0 \text{Sign} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial \alpha_i} \right); \\ E_i^* &= E_i^0 + \lambda E_i^0 \text{Sign} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial E_i} \right); \\ \mu_i^* &= \mu_i^0 + \lambda \mu_i^0 \text{Sign} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial \mu_i} \right); \\ r_1^* &= r_1^0 + \lambda r_1^0 \text{Sign} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial r_1} \right); \\ R_i^* &= R_i^0 + \lambda R_i^0 \text{Sign} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial R_i} \right). \end{aligned} \quad (5)$$

Знак производной от функции $\sigma(x)$ по соответствующей переменной определяет, должен ли данный параметр увеличить или уменьшить свое значение при возрастании функции, а параметр λ указывает, на какую часть от номинального значения изменяется величина соответствующей переменной.

Таким образом, можно предложить расчетную методику для определения допустимого разброса значений физико-механических характеристик соединяемых в изделии материалов, а также геометрических размеров деталей и узлов.

Методика реализуется следующей последовательностью операций:

1. Проверяется выполнение условия прочности (1) при номинальных значениях ФМХ и геометрических размеров. Если условие (1) не выполняется, то координаты номинальной точки следует изменить, что физически соответствует выбору иных материалов или геометрических размеров детали.

2. Определяется значение координат $\text{grad } \sigma(x)$ в номинальной точке.

3. Составляется выражение (2).

4. Выражение (2) подставляется в уравнение (4).

5. Уравнение (4) решается относительно λ одним из численных методов, например, методом Ньютона [1, с. 53; 2, с. 661].

6. По полученному значению λ записываются границы искомого параллелепипеда в виде формул (3).

По изложенной методике был определен допустимый разброс ФМХ стекла С52-1 и сплава ковар 29НК, используемых при производстве корпусов фотодатчиков СФ-2-5, -2-6, -2-8, -2-12, -2-16, ФРЗ-11. Результаты расчетов приведены в **таблице**.

Изложенная методика может быть использована для расчета допустимого разброса физико-механических характеристик соединяемых в изделии материалов в случаях произвольных законов изменения температуры по радиусу при условии, что в области изменения векторного аргумента \bar{x} градиент функции не меняет знака, т. е. функция не имеет экстремальных точек.

Решение задачи может быть осуществлено и другими способами. Например, прямым перебором всевозможных комбинаций значений координат вектора \bar{x} . С этой целью (при условии соблюдения условия прочности в номинальной точке x_0) каждой n -й координате вектора \bar{x} сообщается некоторое отклонение ($\pm \Delta \alpha_1, \dots, \pm \Delta R_2$), при этом образуется n -мерный параллелепипед. Абсолютные значения отклонений координат увеличиваются до тех пор, пока условие прочности (1) не перестанет выполняться в каждой вершине параллелепипеда. Полученные таким образом значения и следует считать допустимыми.

Использование предлагаемой методики позволяет еще на этапе проектирования обоснованно выбрать материалы и геометрические размеры проектируемого изделия или его узлов. Это дает возможность избежать возникновения возможных отказов готовых изделий, а также сократить сроки их доводки и ускорить внедрение.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Антипова И. А., Ройзман В. П. и др. Использование ЭВМ при исследовании надежности и прочности элементов радиоэлектронной аппаратуры / В кн.: Теоретическая электротехника и электроника. — К. : Наукова думка, 1979.

2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М. : Наука, 1974.