

РАЗНОЕ

531.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ КРИВОЙ
УСТАЛОСТИ ДЛЯ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ*Асп. К.В. РОЩИН*

Разработана методика и проведены экспериментальные работы по определению неизвестных в настоящее время параметров кривых усталости выводов радиоэлементов различного конструктивного исполнения, с различными вариантами установки и различной формой выводов и их сечений, необходимых для расчета времени до их усталостного разрушения при вибрационных воздействиях.

Параметры кривой усталости для выводов радиоэлементов (РЭ), необходимые для расчета времени до усталостного разрушения стержневых элементов конструкций бортовой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) при воздействии вибраций и шумов – предел усталости материала вывода σ_0 и параметр m , характеризующий угол наклона кривой усталости к оси абсцисс, не всегда можно найти в справочной литературе. Получить эти данные можно экспериментальным путем. Хотя в справочной литературе [1] и приводятся эти данные для множества металлов и их сплавов, но они определены для машиностроительных конструкций, которые имеют во много раз большие размеры, что существенно влияет на кривую усталости (так называемый масштабный фактор), и в них не учтена конфигурация выводов, а также варианты установки РЭ. Для выводов также часто используются материалы, для которых нет данных по усталостным характеристикам в справочной литературе.

При автоматизированных расчетах времени до усталостного разрушения выводов РЭ необходимую информацию по указанным усталостным характеристикам можно получить из базы данных, включенной в автоматизированную подсистему комплексного анализа конструкций

РЭА на тепловые и сложные механические воздействия. В настоящее время база данных для широкой номенклатуры РЭ формируется данными справочной литературы (в основном приближенная) и результатами экспериментальных исследований выводов РЭ.

Таким образом, при появлении РЭ с новым материалом, новой конфигурацией выводов и новым вариантом установки, не предусмотренными ранее в базе данных, необходимо решать задачу экспериментального определения параметров кривой усталости для выводов РЭ.

Разработанная автором методика для расчета времени до усталостного разрушения выводов РЭ при случайном воздействии дает то преимущество, что не требует получать кривые усталости при случайном нагружении. Получив кривые Веллера для гармонической вибрации, можно их использовать для расчета времени до усталостного разрушения выводов РЭ при случайной вибрации.

Задача экспериментального получения кривых усталости для выводов РЭ усложнялась по следующим причинам. Выводы большинства РЭ имеют достаточно высокие резонансные частоты (как правило, свыше 2000 Гц). В результате в диапазоне частот 20...2000 Гц при номинальных нагрузках достигнуть усталостного разрушения выводов РЭ за приемлемое время практически невозможно. Кроме того, выводы имеют настолько малые размеры в сечении (диаметр около 0,01 мм), что затруднено использование современных датчиков деформаций (тензодатчиков). Если даже и использовать тензодатчики, то нужна особо точная аппаратура. Это увеличивает материальные затраты, и трудоемкость работ при этом еще больше возрастает.

Основным способом форсирования испытаний на усталость является испытание образцов при высоких уровнях амплитуд цикла напряжений, соответствующих левой части кривой усталости в логарифмических координатах (число циклов до усталостного разрушения $N = 5 \cdot 10^4 \dots 5 \cdot 10^6$) с последующей экстраполяцией правой части кривой усталости в логарифмических координатах ($N = 10^7 \dots 10^{10}$). Чтобы добиться больших амплитуд параметров вибрационных воздействий на выводы РЭ, предлагается неподвижно закрепить корпус РЭ, а вибрационные воздействия подавать на свободные концы выводов и подвергать, таким образом, колебаниям сами выводы. При этом корпус РЭ остается неподвижным. Изменение ампли-

туды гармонической вибрации позволяет изменять амплитуды механических напряжений в выводах и, тем самым, число циклов до их усталостного разрушения. Таким образом, можно получить кривую Веллера для выводов данного РЭ за минимальные сроки.

Чтобы не измерять величину механического напряжения в выводе, используются модели в виде балок и рам, для которых известен точный расчет механического напряжения в любой точке вывода при любой нагрузке. Проведение испытаний реальных РЭ с вариантами установки, используемыми в бортовой РЭА, а не образцов материалов позволило учесть влияние масштабного фактора. Автором была сконструирована экспериментальная установка, позволяющая имитировать вибрационный режим РЭ.

Методика определения параметров кривой усталости для стержневых элементов конструкций РЭА на примере выводов РЭ выглядит следующим образом. Для построения кривой усталости и определения параметров σ_0 и m уравнения кривой усталости, соответствующей вероятности разрушения $p = 0,5$, согласно ГОСТ 25502-79 на 15-ти уровнях нагружения испытывают одинаковые РЭ. Частота вибрации, исходя из приемлемого времени испытаний, выбрана 300 Гц. Для каждого РЭ, у которого разрушились выводы, фиксируется число циклов до усталостного разрушения выводов N_{pi} (время до усталостного разрушения). Зная амплитуду вибрационного воздействия на РЭ, рассчитывается механическое напряжение в выводе σ_i в точке излома [2]:

$$\sigma = \frac{Md}{2I},$$

где M – изгибающий момент в сечении вывода, в котором рассчитывается напряжение; d – сторона поперечного сечения вывода, параллельная плоскости изгиба (для круглого сечения – диаметр); I – момент инерции поперечного сечения вывода.

Для статистической обработки результатов усталостных испытаний автор использует аппарат регрессионного анализа. В качестве уравнения эмпирической линии регрессии использу-

ем выражение вида $\bar{Y} = a + b(x - \bar{x})$, где \bar{Y} – оценка математического ожидания величины

$y = \lg N_{pi}$ для заданного значения напряжения $x = \lg \sigma_i$.

Оценка параметров уравнения линии регрессии производится по формулам, вытекающим из метода наименьших квадратов:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad a = \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}; \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})y_i}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

где n – число уровней напряжения; x_i – значение i -го уровня напряжения ($\lg \sigma_i$); y_i – значение долговечности выводов на i -ом уровне напряжения ($\lg N_{pi}$); \bar{x} – математическое ожидание величины напряжения σ_i , в качестве которого используется $\lg \sigma_i$; a , b – параметры уравнения регрессии.

В результате регрессионного анализа определяются параметры уравнения кривой усталости, которое может быть представлено в логарифмических координатах:

$$\lg N_p = \lg N_B - m(\lg \sigma_{\max} - \lg \sigma_0),$$

откуда видно, что $m = -b$.

Величина σ_0 определяется по графику уравнения регрессии – кривой усталости. Автором рассматривается пример регрессионного анализа результатов испытаний на усталость 15-ти резисторов С2-29. Уравнение эмпирической линии регрессии для резистора С2-29 имеет вид: $\bar{Y} = 6,074 - 7,47(x - 8,043)$.

Доверительные границы для параметров уравнения линии регрессии a и b , а также для величины \bar{Y} вычисляются по формулам [3]:

$$\begin{aligned} a - t_{\alpha,k} s_a &< \gamma < a + t_{\alpha,k} s_a; \\ b - t_{\alpha,k} s_b &< \beta < b + t_{\alpha,k} s_b; \\ \bar{Y} - t_{\alpha,k} s_{\bar{Y}} &< \eta < \bar{Y} + t_{\alpha,k} s_{\bar{Y}}, \end{aligned}$$

где γ , β , η – случайные величины соответственно параметров a , b и \bar{Y} ; $t_{\alpha,k}$ – α -предел распределения Стьюдента; $\alpha = 1 - p$ – уровень значимости; $k = n - 1$ – число степеней свободы; $s_a, s_b, s_{\bar{Y}}$ – среднеквадратические отклонения соответственно параметров a , b и вели-

чины \bar{Y} ; p – заданная доверительная вероятность (обычно для усталостных испытаний $p = 0,95$, α составляет порядка 0,05).

Величины s_a^2 , s_b^2 , $s_{\bar{Y}}^2$ (дисперсии) рассчитывают по формулам [3]:

$$s_a^2 = \frac{s^2}{m}; \quad s_b^2 = \frac{s^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; \quad s_{\bar{Y}}^2 = s_a^2 + s_b^2 (x_i - \bar{x})^2, \quad \text{где } s^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2.$$

На рисунке 1 приведены построенные по результатам обработки экспериментальных данных эмпирическая линия регрессии и границы доверительной области в 95% для выводов резистора С2-29. Используя приведенные выше соотношения для определения доверительных границ для параметров уравнения линии регрессии a , b и величины \bar{Y} , для выводов резистора С2-29 были получены следующие численные значения параметров m и σ_0 с учетом доверительных границ: $m = 7,47 \pm 1,34$; $\sigma_0 = (7,5^{+0,9}_{-1,4}) \cdot 10^7$ Па.

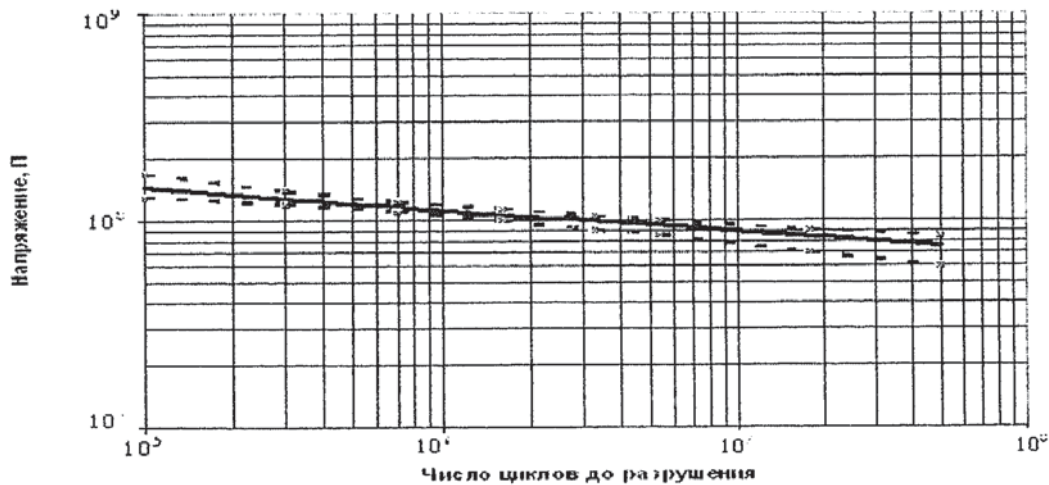


Рис 1 – Эмпирическая линия регрессии и границы 95%-ной доверительной области для выводов резистора С2-29

По описанной выше методике получены параметры кривой усталости σ_0 и m для 26-и РЭ различного конструктивного исполнения и с различными вариантами установки. Полученные экспериментально значения записаны в базу данных комплексного анализа конструкций РЭА на тепловые и сложные механические воздействия. Индексы вверх и вниз около предела усталости σ_0 означают верхний и нижний пределы отклонения величины.

Таким образом, разработана методика и проведены экспериментальные работы по определению неизвестных в настоящее время параметров кривых усталости выводов РЭ различного конструктивного исполнения, с различными вариантами установки и различной формой выводов и их сечений, необходимых для расчета времени до их усталостного разрушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трощенко В.Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов: Справочник / В.Т. Трощенко, А.А. Сосновский. – Киев: Наукова думка, 1987. – 1303 с.
2. Степин П.А. Сопротивление материалов: Учебник для немашиностроит. спец. вузов / П.А. Степин. – М.: Высшая школа, 1988. – 367 с.
3. Степнов М.Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний / М.Н. Степнов. – М.: Машиностроение, 1972. – 173 с.

531.3

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДИФРАКЦИИ ВОЛН ЛЭМБА ДЛЯ ОБЪЕМНЫХ И ПЛОСКОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ

инж. А.А. ДЕРЯБИН

Приведены результаты исследований влияния угла наклона трещины, диаметра поры на распространение волн Лэмба. Решение задачи дифракции для плоскостного дефекта сводилось к решению задач трансформации поперечной волны, падающей на поверхность дефекта, в головную и Рэлеевскую волну, задачу отражения головной волны от конца трещины, формирования краевых продольной и поперечных волн. Расчет задачи дифракции для объемного дефекта сводился к решению задач трансформации поперечной волны, падающей на поверхность дефекта, в Рэлеевскую волну, движения поверхностной волны по вогнутой цилиндрической поверхности и излучения волн со скальзывания.

В настоящее время проблема оценки остаточного ресурса является наиболее актуальной для страны в целом. Большинство техногенных объектов исчерпали свой нормативный срок