

УДК 629.7.018:539.43

Х.С.Хазанов, А.А.Чураков

СОПОСТАВЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ
ПО МОМЕНТУ ОБРАЗОВАНИЯ ВИДИМОЙ ТРЕЩИНЫ
И ПО РАЗРУШЕНИЮ ОБРАЗЦОВ

Анализ кривых усталости образцов и элементов конструкции, полученных при различных характерах нагружения, показал, что эквивалентный гармонический режим нагружения, определяющийся экспериментальным путем на основании критерия равенства повреждения на стадии до появления макротрещины усталости заданных размеров, может быть при определенных условиях эквивалентным по времени разрушения.

Рассмотрим рисунок 1, на котором представлены кривые усталости, построенные в двойных логарифмических координатах, для гармонического (1а) и случайного (1б) нагружений. Пусть кривые усталости для гармонического нагружения по моменту появления трещины усталости и по разрушению имеют соответственно вид

$$S_T = a_1^r T_T + b_1^r, \quad S_P = a_2^r T_P + b_2^r. \quad (1)$$

Аналогично записываются и кривые усталости для случайной нагрузки

$$S_T = a_1^{ca} T_T + b_1^{ca}, \quad S_P = a_2^{ca} T_P + b_2^{ca}. \quad (2)$$

Пусть некоторому уровню среднеквадратичного напряжения S случайной нагрузки соответствует время появления трещины T_T и время разрушения T_P , т.е. имеет место равенство

$$S = a_1^{ca} T_T + b_1^{ca} = a_2^{ca} T_P + b_2^{ca},$$

откуда

$$T_P = \frac{a_1^{c\lambda} T_T + b_1^{c\lambda} - b_2^{c\lambda}}{a_2^{c\lambda}} \quad (3)$$

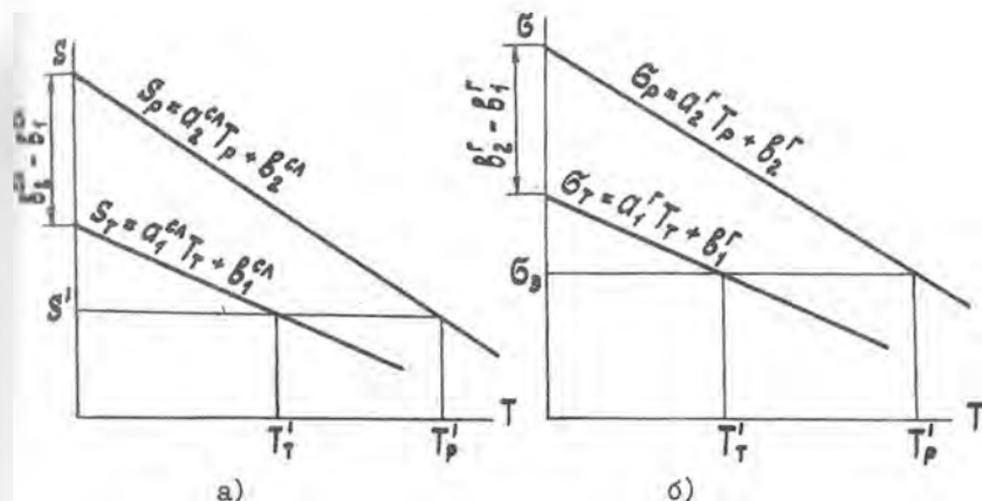


Рис. I

Если подставить указанные выше значения T_T и T_P в равенства (1), то получим амплитуды B_T^3 и B_P^3 гармонических нагрузок, эквивалентных по долговечности случайной нагрузке. Пусть найденные эквивалентные режимы по моменту появления трещины и по разрушению равны, т.е.

$$a_1^r T_T + b_1^r = a_2^r \frac{a_1^{c\lambda} T_T + b_1^{c\lambda} - b_2^{c\lambda}}{a_2^{c\lambda}} + b_2^r \quad (4)$$

Отсюда имеем

$$a_1^r T_T + b_1^r = \frac{a_2^r \cdot a_1^{c\lambda}}{a_2^{c\lambda}} T_T + \frac{a_2^r}{a_2^{c\lambda}} (b_1^{c\lambda} - b_2^{c\lambda}) + b_2^r \quad (5)$$

Равенство (5) позволяет получить условия, которым должны удовлетворять коэффициенты уравнений кривых усталости (1) и (2), чтобы имело место равенство эквивалентных режимов нагружения

$$a_1^r = \frac{a_2^r \cdot a_1^{c\lambda}}{a_2^{c\lambda}}, \quad b_1^r = \frac{a_2^r}{a_2^{c\lambda}} (b_1^{c\lambda} - b_2^{c\lambda}) + b_2^r \quad (6)$$

Таким образом, для того чтобы эквивалентный режим гармонического нагружения, определяемый по критерию равенства повреждения

на стадии до появления трещины усталости, был эквивалентным и по разрушению, необходимо выполнение двух условий, определяемых соотношениями (6).

Если уравнения (1) и (2) записать в общепринятых обозначениях

$$\lg T_T = A_T^r - m_T^r \lg S, \quad \lg T_P = A_P^r - m_P^r \lg S, \quad (1a)$$

$$\lg T_T = A_T^{cA} - m_T^{cA} \lg S, \quad \lg T_P = A_P^{cA} - m_P^{cA} \lg S, \quad (2a)$$

то условия (6) примут вид:

$$m_P^r / m_T^r = m_P^{cA} / m_T^{cA}, \quad (7)$$

$$\left(\frac{A_T^r}{m_T^r} - \frac{A_P^r}{m_P^r} \right) \left(\frac{A_T^{cA}}{m_T^{cA}} - \frac{A_P^{cA}}{m_P^{cA}} \right)^{-1} = m_T^{cA} / m_T^r. \quad (8)$$

На основании проведенных экспериментальных исследований на плоских образцах с концентратором в форме отверстия и на простейших деталях (фитинг) получены уравнения кривых усталости для 50-% вероятности, которые представлены в графе 3 таблицы I. Форма и размеры образцов и детали приведены в работах [1,2], там же приведены и некоторые результаты испытаний. В таблице I даны также подсчитанные значения правой и левой частей условий (7) и (8). Видно, что расхождение между правыми и левыми частями не превышает 5%. Таким образом, для рассмотренных случаев эквивалентные режимы нагружения по моменту образования трещины и по моменту разрушения получаются практически одинаковыми. Однако осторожности ради отметим, что для получения более общего вывода необходимо проведение дополнительных исследований.

Обращает внимание тот факт, что правая и левая части равенства (7) для всех рассмотренных нами случаев лежат в довольно узком диапазоне значений (0,8-0,86), т.е. отношение угловых коэффициентов кривых усталости по разрушению и по моменту появления макротрещины усталости не зависит от характера нагружения, от материала, формы и геометрических размеров испытываемых объектов.

Близкие результаты получены и другими авторами. На основании анализа результатов испытания при изгибе с вращением стандартных образцов, изготовленных из некоторых марок конструкционных

Таблица I

Материал, объект испытаний	Характер нагружения	Уравнение кривой усталости	Условие (8а)			Условие (9а)		
			Левая часть	Правая часть	Расхождение в %	Левая часть	Правая часть	Расхождение в %
X18H10T образец	гармонический	$\lg T_T = 23,7 - 12,8 \sigma$ $\lg T_P = 21,1 - 10,9 \sigma$	0,8I	0,85	4,9	0,26	0,25	4
	случайный	$\lg T_T = 7,95 - 3,39 \sigma$ $\lg T_P = 7,52 - 2,74 \sigma$						
X18H10T образец	гармонический	$\lg T_T = 23,7 - 12,8 \sigma$ $\lg T_P = 21,1 - 10,9 \sigma$	0,86	0,85	1,2	0,42	0,40	5
	случайный	$\lg T_T = 11,8 - 4,88 \sigma_{\max}$ $\lg T_P = 11,1 - 4,2 \sigma_{\max}$						
AMT-6M образец	гармонический	$\lg T_T = 16,6 - 10,3 \sigma$ $\lg T_P = 14,7 - 8,26 \sigma$	0,80	0,8I	1,2	0,38	0,40	5,2
	случайный	$\lg T_T = 7,26 - 3,9 \sigma$ $\lg T_P = 6,92 - 3,14 \sigma$						
X0X7CA образец	гармонический	$\lg T_T = 10,4 - 4,53 \sigma$ $\lg T_P = 9,85 - 3,65 \sigma$	0,80	0,8I	1,2	0,56	0,57	1,8
	случайный	$\lg T_T = 6,49 - 2,57 \sigma$ $\lg T_P = 6,76 - 2,07 \sigma$						
X18H10T детали	гармонический	$\lg T_T = 9,51 - 4,1 \sigma$ $\lg T_P = 9,33 - 3,5 \sigma$	0,85	0,85	-	0,58	0,57	1,7
	случайный	$\lg T_T = 6,28 - 2,35 \sigma$ $\lg T_P = 6,52 - 2 \sigma$						

сталей (I2XНЗА, 40XНМА), С.В.Серенсен [3] установил, что отношение угловых коэффициентов кривых усталости по моменту образования трещины и по разрушению равно 0,8. М.Н.Степнов и М.А.Трушкин [4], анализируя результаты массовых усталостных испытаний образцов из алюминиевых сплавов при плоском консольном изгибе, получили для этого отношения величину 0,79-0,8.

Л и т е р а т у р а

1. Чураков А.А. К определению эквивалентных режимов нагружения. - В кн.: Вопросы прочности элементов авиационных конструкций. Межвузовский сборник, изд. КуАИ, вып.2, 1975, с.112-116.
2. Мостовой А.С., Козлов А.А., Фролова Л.К., Чураков А.А. Определение долговечности конструктивного элемента на основе некоторых представлений о механизме усталостного разрушения. - Проблемы прочности. № 3, 1972, с. 21-27.
3. Прочность при нестационарных режимах нагрузки. Под ред. С.В.Серенсена. - Киев: изд. АН УССР, 1961, 295 с.
4. Степнов М.И., Трушкин М.А. Вторичные кривые усталости для деформируемых алюминиевых сплавов. - В кн.: Усталостная прочность и долговечность авиационных конструкций. Межвузовский сборник, изд. КуАИ, вып. I, 1974, с. 4-14.