

УДК 539.376

В.П. ГОЛУБ

Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины, Киев

МЕТОД РАСЧЕТА УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ДВУХОСНОМ КОМБИНИРОВАННОМ НАГРУЖЕНИИ

Предлагается метод расчета усталостной долговечности элементов конструкций при совместном действии нормальных и касательных напряжений. Метод основан на модели предельного состояния, задающей зависимость между предельными напряжениями в форме степенной трансцендентной функции. Метод апробирован экспериментально на задачах расчета усталостной долговечности призматических стержней при комбинированном нагружении циклическим растяжением-сжатием и циклическим кручением, циклическим изгибом и циклическим кручением. Показано, что в качестве эквивалентных напряжений могут быть использованы максимальное касательное напряжение и напряжение, удовлетворяющее энергетическому критерию Генки-Мизеса.

Ключевые слова: призматические стержни, двухосное нагружение, циклическое растяжение-сжатие, циклический изгиб, циклическое кручение, усталостная долговечность.

Введение

Большинство ответственных элементов авиационных конструкций подвергается воздействию сложного комбинированного циклического нагружения [1, 2]. Одной из основных причин преждевременного выхода из строя таких элементов конструкций является многоосная усталость.

Решение задач многоосной усталости строится, как правило, на основе критериев усталостного разрушения, сформулированных для сложного напряженного состояния. В качестве таких критериев чаще всего используются критерий максимальных нормальных напряжений, критерий максимальных касательных напряжений и энергетический критерий [3 – 5].

Классические критерии усталостного разрушения удовлетворяют некоторым научным концепциям, но их приложение к решению практических задач ограничено. Это связано, по-видимому, с тем обстоятельством, что классические критерии не содержат материальных констант и оказываются справедливыми для ограниченного класса материалов.

В работах [6 – 8] построена нелинейная модель предельного состояния при одноосном асимметричном растяжении-сжатии, изгибе и кручении. Зависимость между предельными напряжениями асимметричного цикла задается степенной трансцендентной функцией, причем показатель степени зависит от свойств материала. В работах [9 – 11] на основе построенной модели предельного состояния с использованием метода эквивалентных напряжений решены задачи расчета усталостной долговечности при одноосном асимметричном нагружении.

В настоящей работе на основе степенной трансцендентной функции строится решение задачи расчета усталостной долговечности при двухосном комбинированном нагружении.

1. Постановка задачи

Рассматривается усталостное разрушение элементов конструкций в многоцикловой области при комбинированном нагружении нормальными и касательными циклическими напряжениями, изменяющимися по симметричному циклу.

Нормальные $\tilde{\sigma}$ и касательные $\tilde{\tau}$ компоненты двухосного переменного напряженного состояния задаются соотношениями

$$\begin{cases} \tilde{\sigma}_{xa} = \sigma_a g(n); & \tilde{\sigma}_{ya} = 0; & \tilde{\sigma}_{za} = 0; \\ \tilde{\tau}_{xya} = \tau_a g(n); & \tilde{\tau}_{yza} = 0; & \tilde{\tau}_{zxa} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где σ_a , τ_a – амплитудные значения нормальной и касательной компонент;

$g(n)$ – некоторая периодическая функция времени, изменяющаяся в пределах от -1 до $+1$;

n – число циклов нагружения.

Условия нагружения (1) отражают условия синфазности напряжений и реализуются при комбинированном нагружении циклическим растяжением-сжатием и циклическим кручением, циклическим изгибом и циклическим кручением.

Модель предельного состояния, устанавливающая зависимость между предельными значениями амплитуд нормальных σ_a и касательных τ_a напряжений в форме степенной трансцендентной функции, записывается в виде

$$\frac{\tau_a}{\tau_n} - \left[\cos \left(\frac{\pi \sigma_a}{2 \sigma_n} \right) \right]^\eta = 0, \quad (2)$$

где τ_n и σ_n – ограниченные пределы усталости при чистом кручении и чистом растяжении-сжатии или изгибе;

η – коэффициент чувствительности материала к двухосности нагружения.

Задача заключается в разработке метода расчета усталостной долговечности элементов конструкций при двухосном комбинированном нагружении и в экспериментальной апробации метода на примере расчета усталостной долговечности сплошных цилиндрических образцов.

2. Метод расчета усталостной долговечности

Метод включает формулировку исходных соотношений и методику определения материальных констант.

2.1. Исходные соотношения метода

Модель предельного состояния (1) приводится к виду

$$\left[\frac{\tau_a}{\tau_n} \right]^\eta + \frac{1}{2} \left[\frac{\pi \sigma_a}{2 \sigma_n} \right]^2 = 1, \quad (3)$$

который получен путем разложения $\cos(\cdot)$ в ряд и удержания в разложении двух членов.

Зависимость между ограниченными пределами усталости τ_n и σ_n в (2) и (3) и соответствующим им числом циклов до разрушения n_R задается уравнениями;

$$n_R = \frac{1}{(1 + q_\tau) D_\tau (\tau_n)^{q_\tau}}; \quad (4)$$

$$n_R = \frac{1}{(1 + q_\sigma) D_\sigma (\sigma_n)^{q_\sigma}},$$

где q_τ , D_τ , q_σ , D_σ – экспериментально определяемые коэффициенты.

Подставляя далее (4) в (3), получаем уравнение для расчета усталостной долговечности n_R

$$\left(\tau_a \right)^\eta \cdot \left[(1 + q_\tau) D_\tau n_R \right]^{\frac{1}{q_\tau}} + \frac{1}{2} \left[\frac{\pi \sigma_a}{2} \right]^2 \cdot \left[(1 + q_\sigma) D_\sigma n_R \right]^{\frac{2}{q_\sigma}} - 1 = 0, \quad (5)$$

позволяющее рассчитывать величину n_R в функции τ_a и σ_a .

2.2. Методика определения материальных констант

Уравнение (5) для расчета усталостной долговечности n_R содержит две группы материальных констант, подлежащих определению из эксперимента.

Первая группа включает коэффициенты q_τ , D_τ , q_σ , D_σ , входящие в уравнения (4), которые задают зависимость между τ_n и n_R и между σ_n и n_R . Значения коэффициентов определяются по результатам аппроксимации экспериментальных данных на чистое кручение и на чистое растяжение-сжатие или чистый изгиб.

Задача определения коэффициентов q_τ и D_τ сводится к минимизации функционала

$$\Phi(q_\tau, D_\tau) = \sum_{j=1}^s \left\{ n_{Rj}(\tau_{aj}) - \left[(1 + q_\tau) D_\tau (\tau_{aj})^{q_\tau} \right]^{-1} \right\}^2, \quad (6)$$

а коэффициентов q_σ , D_σ – к минимизации функционала

$$\Phi(q_\sigma, D_\sigma) = \sum_{j=1}^s \left\{ n_{Rj}(\sigma_{aj}) - \left[(1 + q_\sigma) D_\sigma (\sigma_{aj})^{q_\sigma} \right]^{-1} \right\}^2. \quad (7)$$

Здесь τ_{aj} , σ_{aj} , n_{Rj} – набор дискретных значений амплитуд напряжений и соответствующих им чисел циклов до разрушения.

Во вторую группу коэффициентов входит коэффициент η , характеризующий чувствительность материала к двухосности нагружения. Значения коэффициента η определяются из условия наилучшего согласования экспериментальных значений τ_{aj} , τ_{nj} , σ_{aj} , σ_{nj} с линеаризованной предельной диаграммой

$$\frac{\tau_{aj}}{\tau_{nj}} = \left[\cos \left(\frac{\pi \sigma_{aj}}{2 \sigma_{nj}} \right) \right]^\eta, \quad (8)$$

которая следует из (2) при условии, что значениям τ_{nj} и σ_{nj} соответствует одно и то же число циклов до разрушения n_R .

Задача определения коэффициента η сводится, исходя из (8), к минимизации функционала

$$\Phi(\eta) = \sum_{j=1}^k \left\{ \left(\frac{\tau_{aj}}{\tau_{nj}} \right) - \left[\cos \left(\frac{\pi \sigma_{aj}}{2 \sigma_{nj}} \right) \right]^\eta \right\}^2, \quad (9)$$

где комбинации нормальных σ_a и касательных τ_a напряжений в базовом эксперименте выбираются

таким образом, чтобы удовлетворялись соотношения

$$\frac{\tau_a}{\sigma_a} = \frac{1}{4}; \frac{1}{\sqrt{3}}; 1,0; \sqrt{3},$$

что позволяет охватить наиболее характерные виды двухосного циклического нагружения.

3. Расчет усталостной долговечности

Решаются задачи расчета усталостной долговечности сплошных призматических стержней при комбинированном нагружении циклическим растяжением-сжатием и кручением и циклическим изгибом и кручением. Усталостная долговечность рассчитывается в функции амплитуды нормальных σ_a , касательных τ_a и $\sigma_{eqv a}$ напряжений.

3.1. Исходные данные

Рассматривается усталостное разрушение сплошных цилиндрических образцов, изготовленных из стали JIS SNCM8, титанового сплава ПТ-3Б и стали 30ХНЗМФА. Значения коэффициентов q_τ , D_τ , q_σ , D_σ и η , рассчитанные по изложенной в 2.2 методике, приведены в таблице. Экспериментальные данные, использованные при определении коэффициентов, заимствованы из [12 – 14].

3.2. Зависимость усталостной долговечности от σ_a

Зависимость усталостной долговечности n_R от амплитуды нормальных напряжений σ_a рассчитывается по параметру амплитуды касательных напря-

жений τ_a и по параметру $\nu = \frac{\tau_a}{\sigma_a}$. Здесь и далее параметр ν задается в виде $\nu = 0,29; 0,79; \frac{1}{\sqrt{3}}; \sqrt{3}$.

Для расчета зависимости n_R от σ_a по параметру τ_a из (5) получаем уравнение

$$n_R = \frac{1}{D_\sigma} \left\{ 1 - [(1 + q_\tau) D_\tau n_R]^{\frac{1}{\eta q_\tau}} \left(\frac{\tau_a}{\sigma_a} \right)^{\frac{1}{\eta}} \right\}^{q_\sigma/2} \times \left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi \sigma_a} \right)^{q_\sigma}, \quad (10)$$

где величина τ_a фиксируется.

На рис. 1,а приведены результаты расчетов усталостной долговечности образцов из стали 30ХНЗМФА при комбинированном нагружении циклическим изгибом и циклическим кручением. Здесь и далее расчеты выполняются с использованием коэффициентов, приведенных в таблице, результаты расчетов наносятся линиями, а экспериментальные данные – точками. Уравнение (10) и все последующие уравнения усталостной долговечности решаются численно методом итераций.

Для расчета зависимости n_R от σ_a по параметру ν уравнение (10) преобразуется к виду

$$n_R = \frac{1}{D_\sigma} \left\{ 1 - [(1 + q_\tau) D_\tau n_R]^{\frac{1}{\eta q_\tau}} (\nu \sigma_a)^{\frac{1}{\eta}} \right\}^{q_\sigma/2} \times \left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi \sigma_a} \right)^{q_\sigma}, \quad (11)$$

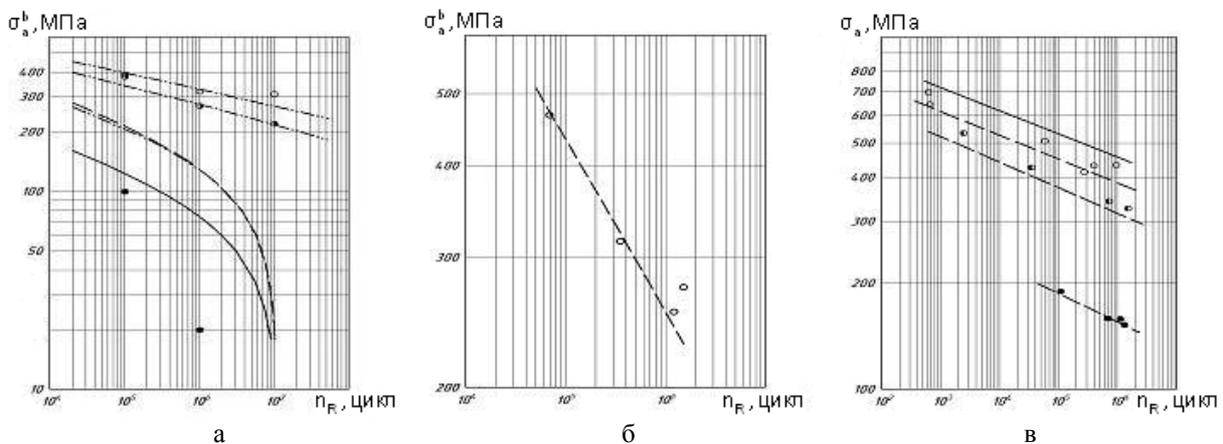


Рис. 1. Расчетные (линии) и экспериментальные (точки) значения усталостной долговечности сплошных цилиндрических образцов из стали 30ХНЗМФА (а) и из титанового сплава ПТ-3Б (б) при комбинированном нагружении циклическим изгибом и циклическим кручением и из стали JIS SNCM8 (в) при комбинированном нагружении циклическим растяжением-сжатием и циклическим кручением:

а – $\tau_a = 123$ (○), 180 (◐), 265 (●) МПа; б – $\nu = 0,79$ (○); в – $\nu = \frac{1}{4}$ (○), $\frac{1}{\sqrt{3}}$ (◐), $\sqrt{3}$ (●)

Таблица

Значения материальных констант

Материал образцов	q_σ		η		D_σ , МПа ^{-q_σ} · цикл ⁻¹		q_τ	D_τ , МПа ^{-q_τ} · цикл ⁻¹
	растяжение-сжатие	изгиб	растяжение-сжатие	изгиб	растяжение-сжатие	изгиб		
30ХНЗМФА	-	13,36	-	0,64	-	$5,40 \cdot 10^{-43}$	31,03	$1,84 \cdot 10^{-84}$
ПТ-3Б	-	5,33	-	0,68	-	$6,76 \cdot 10^{-22}$	3,70	$2,47 \cdot 10^{-16}$
JIS SNCM8	15,17	-	0,519	-	$2,79 \cdot 10^{-48}$	-	11,98	$2,43 \cdot 10^{-37}$

где принято

$$v = \frac{\tau_a}{\sigma_a}; \tau_a = v\sigma_a.$$

Результаты расчетов усталостной долговечности, выполненных по уравнению (11), приведены на рис. 1,б для образцов из титанового сплава ПТ-3Б при комбинированном нагружении циклическим изгибом и циклическим кручением, а на рис. 1,в – для образцов из стали JIS SNCM8 при комбинированном нагружении циклическим растяжением-сжатием и циклическим кручением.

3.3. Зависимость усталостной долговечности от τ_a

Зависимость усталостной долговечности n_R от амплитуды касательных напряжений τ_a рассчитывается по параметру амплитуды нормальных напряжений σ_a и по параметру $v = \frac{\tau_a}{\sigma_a}$.

Для расчета зависимости n_R от τ_a по параметру σ_a из (5) получаем уравнение

$$n_R = \frac{1}{D_\tau} \times$$

$$\times \left\{ 1 - \frac{1}{2} [(1 + q_\sigma) D_\sigma n_R]^{q_\sigma} \left(\frac{\pi}{2} \sigma_a \right)^2 \right\}^{n_{q_\tau}} \cdot \left(\frac{1}{\tau_a} \right)^{q_\tau}, \quad (12)$$

а для расчета зависимости n_R от τ_a по параметру v – уравнение

$$n_R = \frac{1}{D_\tau} \times$$

$$\times \left\{ 1 - \frac{1}{2} [(1 + q_\sigma) D_\sigma n_R]^{q_\sigma} \left(\frac{\pi \tau_a}{2 v} \right)^2 \right\}^{n_{q_\tau}} \cdot \left(\frac{1}{\tau_a} \right)^{q_\tau}. \quad (13)$$

Здесь принято $v = \frac{\tau_a}{\sigma_a}$; $\sigma_a = \frac{\tau_a}{v}$, а в (12) – $\sigma_a = \text{const}$.

На рис. 2, а приведены результаты расчетов усталостной долговечности образцов из стали 30ХНЗМФА при комбинированном нагружении циклическим изгибом и циклическим кручением, выполненных по уравнению (12).

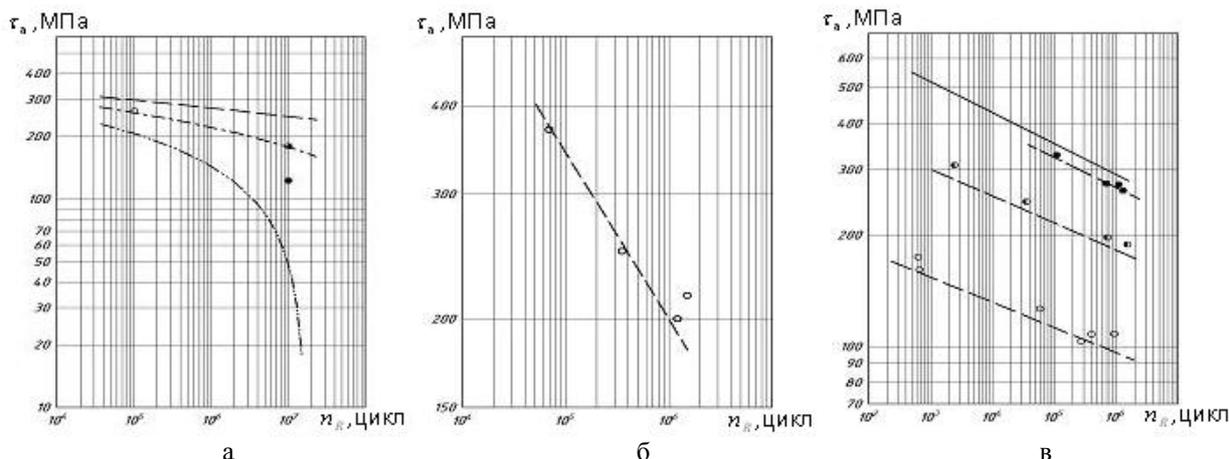


Рис. 2. Расчетные (линии) и экспериментальные (точки) значения усталостной долговечности сплошных цилиндрических образцов из стали 30ХНЗМФА (а) и из титанового сплава ПТ-3Б (б) при комбинированном нагружении циклическим изгибом и циклическим кручением и из стали JIS SNCM8 (в) при комбинированном нагружении циклическим растяжением-сжатием и циклическим кручением:

а – $\sigma_a = 100$ (— —; ○); 220 (— · —; ●); 310 (— · · —; ●) МПа; б – $v = 0,79$ (○); в – $v = \frac{1}{4}$ (○), $\frac{1}{\sqrt{3}}$ (●), $\sqrt{3}$ (●)

Результаты расчетов усталостной долговечности сплошных цилиндрических образцов, выполненных по уравнению (13), приведены на рис. 2, б для образцов из титанового сплава ПТ-ЗБ при комбинированном нагружении циклическим изгибом и циклическим кручением и на рис. 2, в для образцов из стали JIS SNCM8 при комбинированном нагружении циклическим растяжением-сжатием и циклическим кручением.

3.4. Зависимость усталостной долговечности от $\sigma_{eqv a}$

В качестве амплитудных значений эквивалентных напряжений $\sigma_{eqv a}$ выбрано максимальное касательное напряжение τ_{max}

$$\tau_{max} = \sqrt{\sigma_a^2 + 4\tau_a^2} = \sigma_{eqv a} \quad (14)$$

и напряжение σ_{H-M}

$$\sigma_{H-M} = \sqrt{\sigma_a^2 + 4\tau_a^2} = \sigma_{eqv a} \quad (15)$$

которое следует из энергетического критерия Генки-Мизеса.

Для расчета зависимости n_R от τ_{max} из (5) с учетом (14) получаем уравнение

$$n_R = \frac{1}{D_\sigma} \left\{ 1 - [(1 + q_\tau) D_\tau n_R]^{\frac{1}{\eta q_\tau}} \left(\frac{2v\tau_{max}}{\sqrt{1 + 4v^2}} \right)^{\frac{1}{\eta}} \right\}^{\frac{q_\sigma}{2}} \times \left(\frac{1}{\pi} \frac{\sqrt{2(1 + 4v^2)}}{\tau_{max}} \right)^{q_\sigma}, \quad (16)$$

где принято

$$\sigma_a = \frac{2\tau_{max}}{\sqrt{1 + 4v^2}};$$

$$\tau_a = \frac{2v\tau_{max}}{\sqrt{1 + 4v^2}}.$$

На рис. 3, а и 3, б штриховыми и штрихпунктирными линиями нанесены результаты расчетов усталостной долговечности образцов из стали 30ХНЗМФА и из титанового сплава ПТ-ЗБ при комбинированном нагружении циклическим изгибом и циклическим кручением и образцов из стали JIS SNCM8 при комбинированном нагружении циклическим растяжением-сжатием и циклическим кручением, выполненных по уравнению (16).

Для расчета зависимости n_R от σ_{H-M} из (5) с учетом (15) получаем уравнение

$$n_R = \frac{1}{D_\sigma} \left\{ 1 - [(1 + q_\tau) D_\tau n_R]^{\frac{1}{\eta q_\tau}} \left(\frac{v\sigma_{H-M}}{\sqrt{1 + 3v^2}} \right)^{\frac{1}{\eta}} \right\}^{\frac{q_\sigma}{2}} \times \left(\frac{2}{\pi} \frac{\sqrt{2(1 + 3v^2)}}{\sigma_{H-M}} \right)^{q_\sigma}, \quad (17)$$

где принято

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{H-M}}{\sqrt{1 + 3v^2}};$$

$$\tau_a = \frac{v\sigma_{H-M}}{\sqrt{1 + 3v^2}}.$$

Результаты расчетов усталостной долговечности сплошных цилиндрических образцов, выполненных по уравнению (17), нанесены на рис. 3, в штриховыми линиями. Экспериментальные данные нанесены на рис. 3 точками.

4. Обсуждение результатов

В целом, как это видно из данных, приведенных на рис. 1-3, результаты расчетов усталостной долговечности сплошных цилиндрических образцов из изотропных металлических материалов удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными. Максимальная погрешность по числу циклов до разрушения достигает одного порядка и получена для образцов из стали 30ХНЗМФА при $\tau_a = 265$ и $\sigma_a^b = 20$ МПа (см. рис. 1, а). Эта погрешность может быть связана с большими значениями параметра $v = 2,65 \div 13,25$, когда в эксперименте уже на начальной стадии нагружения возникает усталостная трещина и которая в приведенных уравнениях не учитывается. В остальных случаях погрешность не превышает 30%.

Заключение

Метод расчета усталостной долговечности при двухосном комбинированном нагружении, основанный на модели предельного состояния в форме степенной трансцендентной функции, представляется весьма эффективным. Метод позволяет рассчитывать усталостную долговечность элементов конструкций в функции амплитуды нормальных напряжений, амплитуды касательных напряжений и амплитуды эквивалентных напряжений. В качестве эквивалентных напряжений могут быть использованы максимальное касательное напряжений и напряжение, соответствующее критерию Генки-Мизеса.

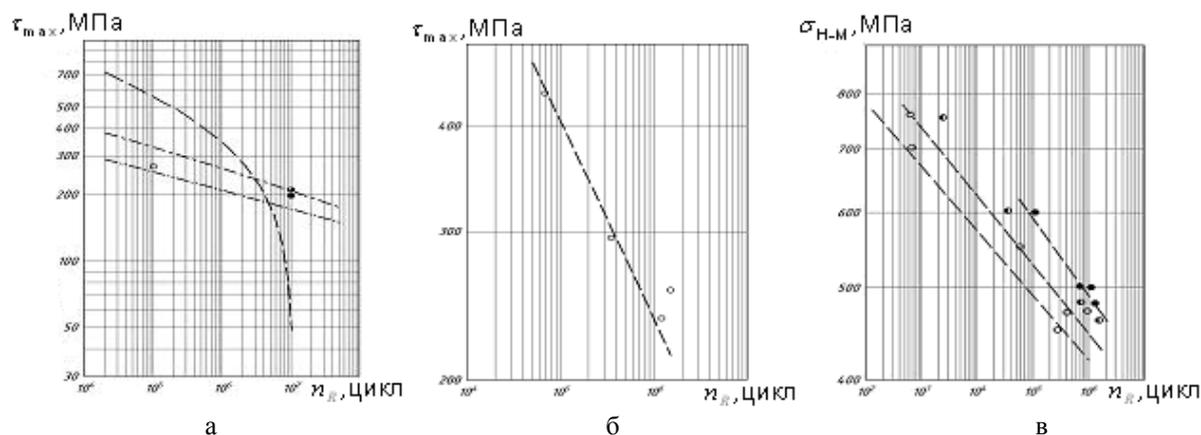


Рис. 3. Расчетные (линии) и экспериментальные (точки) значения усталостной долговечности сплошных цилиндрических образцов из стали 30XНЗМФА (а) и из титанового сплава ТТ-3Б (б) при комбинированном нагружении циклическим изгибом и циклическим кручением и из стали JIS SNCM8 (в) при комбинированном нагружении циклическим растяжением-сжатием и циклическим изгибом:

а – $\nu = 2,65$ (— —; ○); $0,82$ (— · —; ●); $0,4$ (— · —; ●) МПа; б – $\nu = 0,79$ (○); в – $\nu = \frac{1}{4}$ (○), $\frac{1}{\sqrt{3}}$ (●), $\sqrt{3}$ (●)

Литература

1. Конструкционная прочность материалов и деталей газотурбинных двигателей [Текст]: монография / И.А. Биргер, Б.Ф. Балашов, Р.А. Дульнев, Т.П. Захарова, Л.А. Козлов, А.Н. Петухов, Р.Н. Сизова. – М.: Машиностроение. – 1981. – 222 с.
2. Сопротивление усталости элементов конструкций [Текст]: моногр. / А.З. Воробьев, Б.И. Олькин, В.Н. Стебеньев, Т.С. Родченко. – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.
3. Хейвуд, Р.Б. Проектирование с учетом усталости [Текст]: моногр.: пер. с англ. /Р.Б. Хейвуд. – М.: Машиностроение. – 1969. – 504 с.
4. Серенсен, С.В. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. Справочное пособие [Текст]: моногр. /С.В. Серенсен, В.П. Когаев, Р.М. Шнейдерович. – М.: Машиностроение, 1975. – 488 с.
5. Когаев, В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени [Текст]: моногр. /В.П. Когаев. – М.: Машиностроение. – 1977. – 232 с.
6. Голуб, В.П. К оценке предельного состояния материалов при асимметричном многоцикловом нагружении [Текст] /В.П. Голуб, В.И. Крижановский // Проблемы прочности. – 1994. – № 4. – С. 3-15.
7. Голуб, В.П. Усталостная прочность металлических и композитных материалов при асимметричном многоцикловом изгибе [Текст] /В.П. Голуб, А.Д. Погребняк, Е.С. Кочеткова //Прикладная механика. – 2006. – Т. 42, №5. – С. 26-36.
8. Голуб, В.П. Усталостная прочность металлов и композитов при асимметричном многоцикловом кручении [Текст] /В.П. Голуб, А.Д. Погребняк, Е.С. Кочеткова // Прикладная механика. – 2008. – Т. 44, №2. – С. 19-28.
9. Голуб, В.П. Прогнозирование усталостной долговечности призматических металлических стержней при асимметричном растяжении-сжатии методом эквивалентных напряжений [Текст] /В.П. Голуб, В.Н. Пельих, А.Д. Погребняк // Вісник Нац. техн. ун-ту України „КПІ”. Сер. Машинобудування. – 2010. – Вип. 58. – С. 177-182.
10. Пелих, В.М. Визначення довговічності конструкційних алюмінієвих сплавів за умови асиметричного розтягнення-стиснення методом еквівалентних напружень [Текст] /В.М. Пелих // Наук. вісті Націон. техн. ун-ту „КПІ”. – 2011. – №6. – С. 114-119.
11. Голуб, В.П. К задаче расчета усталостной долговечности призматических стержней при асимметричном изгибе и кручении [Текст] /В.П. Голуб, В.Н. Пельих, А.Д. Погребняк // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 8/95. – С. 129-133.
12. Tanaka, K. The strength of JIS SNCM8 steel under combined alternating stresses [Text] /K. Tanaka, S. Matsuoka //Advances in Research on the Strength and Fracture of Materials. – Vol. 28. – New York: Pergamon Press, 1978. – P. 1161-1168.
13. Шаманин, Ю.А. Усталостная прочность α-титановых сплавов при синфазном действии переменных нормальных и касательных напряжений [Текст] /Ю.А. Шаманин // Проблемы прочности. – 1984. – № 12. – С. 26-35.
14. Казенина, А.Д. Сопротивление усталости конструкционных сталей при циклическом кручении с изгибом [Текст] / А.Д. Казенина, С.Л. Маневич, Г.Н. Филимонов // Прочность материалов и элементов конструкций: сб. научн. тр. – Л.: Изд-во ЛКИ. – 1985. – С. 40-46.

Поступила в редакцию 28.05.2013, рассмотрена на редколлегии 14.06.2013

Рецензент: д-р техн. наук, гл. науч. сотрудник В.Г. Савченко, Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины, Киев.

МЕТОД РОЗРАХУНКУ ДОВГОВІЧНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ВНАСЛІДОК ВТОМИ ЗА УМОВ ДВОВІСНОГО КОМБІНОВАНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

В.П. Голуб

Запропоновано метод розрахунку довговічності елементів конструкцій внаслідок втоми за умов спільної дії циклічних нормальних та дотичних напружень. Метод ґрунтується на моделі граничного стану, що задає залежність між граничними напруженнями у формі степеневі трансцендентної функції. Метод апробовано експериментально на задачах розрахунку довговічності суцільних призматичних стержнів за умов комбінованого навантаження циклічним розтягом-стиском та циклічним скрученням, а також циклічним згином та циклічним скрученням. Показано, що у якості еквівалентних напружень можуть бути використані максимальне дотичне напруження й напруження, що задовольняє енергетичному критерію Генкі-Мізеса.

Ключові слова: призматичні стержні, двовісне навантаження, циклічний розтяг-стиск, циклічний згин, циклічне скручення, довговічність внаслідок втоми.

THE METHOD OF THE FATIGUE LIFE-TIME CALCULATION OF STRUCTURAL COMPONENTS UNDER BIAxIAL COMBINED LOADING

V.P. Golub

The method of the fatigue life-time calculation of structural components under combined action of normal and shear stresses has been suggested. The method is based on the limiting state model giving the relation between limiting stresses in an exponential transcendental function form. The method on the problems of fatigue life-time calculation of solid prismatic bars under combined loading with cyclic tension-compression and cyclic torsion as well as with cyclic bending and cyclic torsion has been approved experimentally. As equivalent stresses were demonstrated can be used the maximum shear stress and Hencky-Mises' criterion.

Key words: prismatic bars, biaxial loading, cyclic tension-compression, cyclic bending, cyclic torsion, fatigue life-time.

Голуб Владислав Петрович – д-р техн. наук, проф., заведуючий відділом механіки ползучести Інститута механіки ім. С.П. Тимошенко НАН України, Київ, Україна, e-mail: creep@inmech.kiev.ua.