

УДК 539.376; 539.42

**ДЛИТЕЛЬНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ПЛАСТИН ПРИ ИЗГИБЕ  
С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ**

**Локощенко А.М., Фомин Л.В.**

*НИИ механики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова,  
Москва, e-mail: loko@imec.msu.ru, lef1975@rambler.ru*

Исследуется рассеянное разрушение прямоугольной пластины при изгибе в условиях нестационарного сложного напряженного состояния с учетом влияния агрессивной сред. С помощью кинетической теории Ю.Н. Работнова определены времена до разрушения такой пластины при последовательном ступенчатом изгибе во взаимно перпендикулярных плоскостях. Проведено сравнение времен до разрушения при использовании скалярного и векторного параметров поврежденности и при использовании степенной и дробно-линейной моделей ползучести и длительной прочности. Исследованы отклонения суммы парциальных времен от единицы в случае кусочно-постоянной зависимости уровня изгибающего момента от времени. Показана аналогия с результатами испытаний на длительную прочность стержней при кусочно-постоянном растягивающем напряжении.

**Ключевые слова:** прямоугольная пластина, длительное разрушение, ступенчатый изгиб, скалярный параметр поврежденности, векторный параметр поврежденности, сумма парциальных времен

**CREEP RUPTURE OF THE BENDING PLATES WITH ACCOUNT  
THE INFLUENCE OF AGGRESSIVE MEDIA**

**Lokoshchenko A.M., Fomin L.V.**

*Research Institute of Mechanics Lomonosov Moscow State University,  
Moscow, e-mail: loko@imec.msu.ru, lef1975@rambler.ru*

A dissipated destruction of a rectangular plate in bending under non-stationary complex stress state with account the influence of aggressive medium is investigated. The times to failure of such plate with sequential stepwise bending in mutually perpendicular planes are defined using the Rabotnov's kinetic theory. A comparison of the time to failure using scalar and vector parameters of damage with account of the power and linear fractional models of creep and creep rupture is made. The deviations of the sum of the partial times from unity in the case of piecewise constant depending on level of the bending moment on the time are investigated. The analogy with the results of the creep rupture tests of the rods under the action of the piecewise constant tensile stress is shown.

**Keywords:** the rectangular plate, long-term fracture, stepwise bending, scalar parameter of damage, vector parameter of damage, the sum of the partial times

При решении задач об изгибе стержней и пластин в присутствии агрессивной окружающей среды используется выражение интегрально средней концентрация  $\bar{c}_m(\bar{t})$  агрессивной среды в объеме стержня [1, 2]:

$$\bar{c}_m(\bar{t}) = \begin{cases} \frac{1}{3}\sqrt{\bar{t}}, & \bar{t} < 1, \\ 1 - \frac{2}{3}\exp\left(-\frac{\bar{t}-1}{4}\right), & \bar{t} \geq 1, \end{cases}$$

где  $\bar{c} = c/c_0$ ,  $\bar{t} = 48Dt/H^2$ ,  $H$  – толщина поперечного сечения стержня,  $c$  – концентрация агрессивной среды,  $c_0 = \text{const}$  – концентрация на поверхности стержня,  $D$  – коэффициент диффузии,  $t$  – время.

Исследуется рассеянное разрушение прямоугольной пластины при чистом изгибе в условиях нестационарного плоского напряженного состояния с учетом влияния агрессивной среды. Влияние агрессивной среды моделируется с помощью введения в определяющие и кинетические соотно-

шения функции от интегрально средней концентрации элементов среды в материале пластины  $f(\bar{c}_m(\bar{t}))$ . В качестве определяющих соотношений ползучести (при малых деформациях) используются или степенная, или дробно-линейная зависимости интенсивности скоростей деформаций ползучести  $\dot{p}_u$  от интенсивности напряжений  $\sigma_u$ .

С помощью кинетической теории Ю.Н. Работнова определяются времена до разрушения такой пластины при последовательном приложении изгибающих моментов  $M_1$  и  $M_2$  во взаимно перпендикулярных плоскостях. Время до разрушения при использовании кинетического уравнения со скалярным параметром поврежденности  $\omega_{sc}$  определяется следующим образом:

$$d\omega_{sc}/dt = K\sigma_u^n f(\bar{c}_m(\bar{t})).$$

Для исследования постепенного рассеянного разрушения пластины с использованием векторного параметра поврежденности  $\omega_v$ , рассмотрим следующую систему кинетических уравнений:

$$d\omega_i/dt = \begin{cases} K\sigma_i^n f(\bar{c}_m(\bar{t})) & \text{при } \sigma_i > 0 \\ 0 & \text{при } \sigma_i \leq 0 \end{cases},$$

$$i = 1, 2,$$

$$\omega_v(\bar{t}) = \sqrt{(\omega_1(\bar{t}))^2 + (\omega_2(\bar{t}))^2},$$

$$\omega(\bar{t}^*) = 1,$$

$\omega_1$  и  $\omega_2$  – проекции вектора поврежденности на оси 1 и 2 в плоскости пластины. В результате расчета получены времена до разрушения для различных соотношений изгибающих моментов  $b = M_2/M_1$ . Анализ показывает, что времена до разрушения  $\bar{t}_{sc}^*$  и  $\bar{t}_v^*$  удовлетворяют неравенству  $\bar{t}_{sc}^* < \bar{t}_v^*$  при различных значениях  $b$ .

Дополнительно исследованы суммы парциальных времен  $S$  как при  $b > 1$ , так и при  $0 < b \leq 1$ . Показано, что эти суммы  $S$  удовлетворяют следующим неравенствам:  $S > 1$  при  $M_1 > M_2$  и  $0 < S \leq 1$  при  $M_1 \leq M_2$ . Проведена аналогия с результатами испытаний на длительную прочность стержней при кусочно-постоянном растягивающем напряжении.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-08-00528-а.*

#### Список литературы

1. Локощенко А.М. Ползучесть и длительная прочность металлов в агрессивных средах. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. – 178 с.
2. Локощенко А.М. Моделирование ползучести и длительной прочности металлов: Монография. – М.: МГИУ, 2007. – 264 с.