

УДК 539.3

**ЭНДОХРОННЫЕ МОДЕЛИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ,
СТРУКТУРНЫХ ПЕРЕХОДОВ И ПОВРЕЖДАЕМОСТИ СПЛОШНЫХ СРЕД**

© 2011 г.

Г.Д. Федоровский

Санкт-Петербургский госуниверситет

g.fed@pobox.spbu.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Рассмотрено применение обобщенного времени для учета влияния воздействия напряжения и температуры на долговечность, структурный переход и повреждаемость сред. Оценены критерии конечного вида критического состояния среды. Предложено эндохронное обобщение основных теорий долговечности при стационарных воздействиях, для каждой из которых получен масштаб времени. Проанализированы подходы к определению повреждаемости и длительной прочности в переменных процессах.

Ключевые слова: эндохронная концепция длительной прочности и повреждаемости, обобщенное время, физико-механо-временные аналогии.

**Температурно- и напряженно-временные
анalogии. Эндохронные критерии
конечного вида**

Построение эндохронного типа (с обобщенным временем) определяющих уравнений деформирования и разрушения сред основано на использовании наблюдаемых в опытах различных физико-механо-временных аналогий. В [1 и др.] для описания длительной прочности и предела текучести ряда полимерных сред в широком интервале изменения температуры рассмотрено применение «простой» и «сложной» температурно-временных аналогий (ТВА). Изучены обобщенные кривые и коэффициенты редукции ТВА. Для кинетической теории разрушения в областях «надбарьерного» и «подбарьерного» (туннельного) поведения среды в [2] рассмотрены модификации этих соотношений с применением «сложного» по температуре T обобщения времени $\xi^T(t, T)$. В [3 и др.] даны различные критерии достижения предела текучести при сдвиге мягкой стали в динамическом и квазистатическом нагружении в широкой области изменения температуры, базирующиеся на «сложной» ТВА. Для оценки долговечности алюминия при растяжении получены зависимости предела прочности σ_c от лабораторного t и обобщенного ξ_c^σ времени по «сложной» напряженно-временной аналогии (НВА) кривых ползучести при различных уровнях напряжения. Поскольку кривая долговечности алюминия в шкале обобщенного времени имеет значительно более крутую, почти вертикальную s -образную форму, как и для полиметилметакрилата (ПММА)

в аналогичном исследовании, то в качестве критерия длительной прочности при растяжении такого рода материалов введен критерий

$$\xi^\sigma(t) \leq \xi_c^\sigma = \text{const.} \quad (1)$$

Критерий такого типа эффективен и для оценки характерных зон переходов на кривых длительной прочности и предела текучести, например, для выделения области перехода из динамического режима в статический и при переходе среды из одних в другие структурные (физические, фазовые) состояния:

$$\xi^T(t) \leq \xi_{m_i}^T = \text{const},$$

$$m_1 = p, \quad m_3 = st \text{ и т.д.} \quad (2)$$

**Унифицированное по напряжению
и температуре обобщенное время
длительной прочности. Связь масштабов
времени с различными теориями**

Как известно, в настоящее время основной, эталонной теорией длительной прочности является кинетическая теория Журкова. Она выражает наиболее лаконично и ясно глубокий физический смысл самых существенных физических процессов, происходящих в средах при воздействии на них напряжения и температуры, однако дает адекватное описание лишь при определенных ограниченных значениях параметров воздействий t, σ, T . Для расширения возможностей кинетической теории различными исследователями разработаны и другие модели длительной прочности [1]. Для области хрупкого разрушения $T \leq T_{\text{хр}}$: со смещенным «полюсом»; с вырождением после-

днего в параллельные прямые; учитывающую «обычное» и атермическое, туннельное, подбарьерное поведение среды (Регель, Слущер). К более широкой области $T_{xp} < T < T_{тек}$ относятся теории Гуля, Трунина, Регеля.

Можно построить унифицированное обобщенное время для разных теорий при постоянных значениях напряжения и температуры:

$$\xi_c^{\sigma, T}(t |_{\sigma_0, T_0}, \sigma, T) = g^{\sigma, T}(\sigma, T) t |_{\sigma_0, T_0}. \quad (3)$$

Здесь $t |_{\sigma_0, T_0}$ – величина длительной прочности при некоторых произвольно выбранных значениях напряжения σ_0 и температуры T_0 , а $g^{\sigma, T}$ – масштаб (мера) времени $t |_{\sigma_0, T_0}$, являющийся коэффициентом подобия и функцией двух величин – напряжения σ и температуры T , – времени $t |_{\sigma_0, T_0}$, нормированного по значениям σ_0 и T_0 . При напряжении σ и температуре T обобщенное время $\xi_c^{\sigma, T}$ совпадает с лабораторным временем t_c длительной прочности:

$$\xi_c^{\sigma, T} = t_c, \quad g^{\sigma, T} = \frac{t_c}{t |_{\sigma_0, T_0}} = \frac{t_c(\sigma, T)}{t_c(\sigma_0, T_0)}. \quad (4)$$

По последней формуле определены масштабы для перечисленных теорий. Например, в случае теории с вырожденным полюсом

$$g_{\text{выр пол}}^{\sigma, T} = g_1^\sigma g_2^T, \quad g_1^\sigma = B^\sigma \exp(f_4^\sigma),$$

$$g_2^T = B^T \exp(f_5^T), \quad f_4^\sigma = -\alpha\sigma, \quad f_5^T = U_0 / (RT),$$

$$B^\sigma = \exp(-f_4^{\sigma_0}), \quad B^T = \exp(-f_5^{T_0})$$

(входящие в эти выражения величины, кроме σ и T , – постоянные). Разным теориям соответствуют существенно отличающиеся масштабы. Этот факт позволяет единым унифицированным образом по (3) оценивать различие теорий по масштабам, производить расчет долговечности по единой, лаконичной и наглядной формуле в случае постоянных значений параметров воздействия на среды σ и T .

Оценка долговечности и повреждаемости при переменных значениях параметров воздействий

В случае нестационарных процессов воздействий на среду ее длительная прочность может

быть вычислена по линейному или нелинейному закону накопления повреждений, в том числе с использованием обобщенного времени.

При традиционной линейной схеме повреждаемость $0 \leq \omega \leq 1$ и долговечность t_* определяют, применяя интеграл Бейли

$$\omega_1(t) = \int_0^t \frac{d\rho}{t_c[\sigma(\rho), T(\rho)]} \leq 1. \quad (5)$$

Здесь $t_c(\sigma, T)$ – значение долговечности при постоянных значениях σ и T , в момент $t = t_*$, когда $\omega_1(t) = 1$.

Другой способ применения линейной концепции повреждений может базироваться на использовании обобщенного времени и суммировании (интегрировании) повреждений по этому времени:

$$\begin{aligned} \omega_2(t) &= \int_0^{\xi_c^{\sigma, T}} \frac{d\xi}{\xi_c^{\sigma, T}(\sigma, T)} = \\ &= \int_0^t \frac{g^{\sigma, T}[\sigma(\rho), T(\rho)] d\rho}{\xi_c^T[\sigma(\rho), T(\rho)]} \leq 1, \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$\xi_c^{\sigma, T}(\sigma, T) = \int_0^t d\xi = \int_0^t g^{\sigma, T}[\sigma(\lambda), T(\lambda)] d\lambda,$$

$\xi_c^{\sigma, T}(\sigma, T)$ – значение обобщенной долговечности при постоянных значениях σ и T ; $\xi_c^{\sigma, T} = \xi_c^{*, T}$ в момент, когда $\omega_2(t) = 1$.

Второй подход позволяет посредством модернизации масштаба сделать более точную оценку повреждаемости.

Для построения нелинейных схем накопления повреждений в уравнениях (5) и (6) следует вводить разностные ядра.

Список литературы

1. Гольдман А.Я. Прогнозирование деформационно-прочностных свойств полимерных и композитных материалов. Л.: Химия, 1988. 272 с.
2. Федоровский Г.Д. // Вестник Тамбовс. ун-та. 2003. Т. 8. Вып. 4. С. 613–614.
3. Федоровский Г.Д. Проблемы механики деформируемого твердого тела: Межвуз. сб. / СПбГУ. 2002. С. 291–298.

**ENDOCHRONIC MODELS OF LONG DURABILITY,
STRUCTURAL TRANSITIONS AND DAMAGEABILITY OF CONTINUOUS MEDIA**

G.D. Fedorovsky

Application of generalized time for the account of the effect of stress and temperature on durability, structural transition and damageability of media is considered. Criteria of the final kind of the critical condition of media are estimated. Endochronic generalization of the basic theories of durability at stationary impact, for each of which the time scale is obtained, is presented. Approaches of definition of damageability and long durability in variable processes are analyzed.

Keywords: The endochronic concept of long durability and the damageability, generalized time, physics-mechanics-time analogies.