Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

П. Е. Кичаев, Е. В. Дубовова, Энергетическая концепция разрушения материалов при виброползучести, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2008, выпуск 2(), 258–261

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu641>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.209.52.79

26 апреля 2023 г., 08:21:11

УДК 539.376

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ РАЗРУШЕНИЯ
МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВИБРОПОЛЗУЧЕСТИ

П. Е. Кичаев, Е. В. Дубовова

Самарский государственный технический университет,
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244.

E-mails: subpetro@yandex.ru; dubovova@poria.ru

*Проведен сравнительный анализ результатов эксперимента и расчетов кривых деформирования и разрушения по энергетической модели при сложных режимах изменения амплитудной циклической компоненты напряжения на примере виброползучести сплавов ЭИ 698, ЭП 742 и ВТ 3–1.***Ключевые слова:** виброползучесть, энергетическая концепция разрушения, нестационарное нагружение, циклическая нагрузка, разрушение.

Предложенный в [1, 2] для одноосного и обобщённый в [3] для сложного напряжённого состояний подход для описания неупругого реологического деформирования и разрушения металлов в условиях нестационарного (но квазистатического) нагружения даёт приемлемые результаты, и целесообразность его применения в расчётной практике не вызывает сомнений. Однако для этого необходима широкая экспериментальная проверка модели в области сложных режимов нагружения для статической и циклической компонент напряжений, что и является целью настоящей работы. Область применения данного подхода — структурно устойчивые материалы, в которых удельная работа рассеяния характеризует эквивалентные состояния с момента приложения нагрузки вплоть до разрушения.

Для построения уравнений состояния используются кинетические уравнения Ю. Н. Работнова [4] для разупрочняющихся сред, обобщённые для случая совместного действия циклических и квазистатических нагрузок, при этом неупругая деформация представляется в виде суперпозиции пластической деформации и деформации ползучести. Примем в рассмотрение гипотезу, согласно которой повреждённость от усталости за цикл нагружения пропорциональна подведённой упругой работе истинных амплитудных напряжений за цикл при постоянных $\sigma_{ij}^{m_0}$, $\sigma_{ij}^{a_0}$ и f , где $\sigma_{ij}^{m_0}$, $\sigma_{ij}^{a_0}$ — соответственно тензоры номинальных напряжений от квазистатических и циклических напряжений, f — частота нагружения. При этом под виброползучестью понимаем нагружения, для которых отношение амплитудных значений циклической компоненты к квазистатической не превосходит 10 %. В общем случае определяющие реологические соотношения при постоянной температуре имеют следующий вид:

$$\Phi(\sigma_{ij}^m, \sigma_{ij}^a, p_{ij}, e_{ij}^p, q_1, q_2, \dots, q_n, \omega) = 0, \quad (1)$$

$$dq_k = a_{rs}^k dp_{rs} + b_{rs}^k de_{rs}^p + c_{rs}^k d\sigma_{rs} + d^k dt, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

Кичаев Пётр Евгеньевич — доцент кафедры механики Самарского государственного технического университета; к.ф.-м.н.

Дубовова Елена Валерьяновна — аспирант кафедры прикладной математики и информатики Самарского государственного технического университета.

$$d\omega = \gamma(E_2)\sigma_{ij}^m de_{ij}^p + \alpha(S_{m_0})\sigma_{ij}^m dp_{ij} + g_1(S_{m_0}, S_{a_0}, f)\frac{1}{2}\sigma_{ij}^a e_{ij}^a dN, \quad (3)$$

где e_{ij}^p и p_{ij} — тензоры деформаций пластичности и ползучести; σ_{ij}^m — тензор истинных напряжений от квазистатических нагрузок, а σ_{ij}^a — истинные амплитудные напряжения от циклических нагрузок, связанные с соответствующими номинальными напряжениями соотношениями:

$$\sigma_{ij}^m = \sigma_{ij}^{m_0}(1 + \omega), \quad \sigma_{ij}^a = \sigma_{ij}^{a_0}(1 + \omega); \quad (4)$$

e_{ij}^a — упругие деформации, соответствующие тензору σ_{ij}^a ; $N = f \cdot t$ — число циклов нагружения; E_2 — интенсивность пластических деформаций; S_{m_0} , S_{a_0} — интенсивность напряжений для тензоров $\sigma_{ij}^{m_0}$, $\sigma_{ij}^{a_0}$, соответственно; ω — параметр поврежденности; q_k ($k = 1, 2, \dots, n$) — структурные параметры упрочнения; $\gamma(E_2)$, $\alpha(S_{m_0})$, $g_1(S_{m_0}, S_{a_0}, f)$ — функции, определяемые из эксперимента; Φ — дифференциальный, интегральный или интегро-дифференциальный оператор.

Для получения критерия разрушения воспользуемся термодинамическими соображениями, согласно которым разрушение материала происходит при достижении плотностью внутренней энергии критической величины. Выполненные теоретические и экспериментальные исследования (в основном в области усталости) позволяют считать, что критическая величина плотности внутренней энергии не зависит от процесса нагружения и является константой материала.

Критерий разрушения в одноосном случае ($T = \text{const}$, $f = \text{const}$) принимает следующий вид:

$$\int_0^{t_*} \frac{\sigma de^p}{A_*^p} + \int_0^{t_*} \frac{\sigma dp}{A_*^c(\sigma_0)} + \frac{1}{2E} \int_0^{t_*} \frac{\sigma_a^2 dN}{A_*^y(\sigma_0, \sigma_{a_0})} = 1. \quad (5)$$

В модели (1)–(4) используется скалярный параметр поврежденности ω , что соответствует пространственному (рассеянному) накоплению поврежденности (объемному разупрочнению). Поэтому все параметры модели могут быть определены по результатам одноосных испытаний.

Детализация уравнений состояния (1), (2) может быть выполнена по любой теории ползучести. В настоящей работе используется энергетический вариант теории ползучести, предложенный для сложного напряженного состояния в [5] (в силу громоздкости в данной работе его формулировка не приводится).

Для проверки адекватности модели были использованы одноосные экспериментальные данные по виброползучести сплавов ЭИ 698, ЭП 742, ВТ 3–1 при действии постоянной статической компоненты σ_{m_0} и ступенчатым изменении циклической компоненты σ_{a_0} (частота нагружения — $f = 50$ Гц).

На рис. 1–3 приведены результаты испытаний (сплошные линии) и расчёта по модели (штриховые линии).

Таким образом, выполненные исследования показывают хорошую коррелированность результатов эксперимента и расчётов по модели (1)–(5) при сложных режимах изменения амплитудной циклической компоненты напряжения на примере виброползучести сплавов ЭИ 698, ЭП 742 и ВТ 3–1.

Рис. 1. Кривые виброползучести сплава ЭИ 698 при $T = 750\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\sigma_{m0} = 480\text{ МПа}$:
1 — $\sigma_{a0} = 0\text{ МПа}$; 2 — $\sigma_{a0} = 25\text{ МПа}$; 3 — $\sigma_{a0} = 50\text{ МПа}$; × — момент разрушения

Рис. 2. Кривые виброползучести сплава ЭП 742 при $T = 750\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\sigma_{m0} = 580\text{ МПа}$:
1 — $\sigma_{a0} = 0\text{ МПа}$; 2 — $\sigma_{a0} = 50\text{ МПа}$; × — момент разрушения

Рис. 3. Кривые виброползучести сплава ВТ 3-1 при $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\sigma_{m0} = 500\text{ МПа}$:
1 — $\sigma_{a0} = 0\text{ МПа}$; 2 — $\sigma_{a0} = 50\text{ МПа}$; 3 — $\sigma_{a0} = 100\text{ МПа}$; × — момент разрушения

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 07-01-00478-а).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радченко, В. П. Энергетический вариант одноосной теории ползучести и длительной

- прочности [Текст] / В. П. Радченко // ПМТФ. — 1991. — № 4. — С. 172–179.
2. Радченко, В. П. Энергетический вариант модели реологического деформирования и разрушения металлов при совместном действии статических и циклических нагрузок [Текст] / В. П. Радченко, Е. К. Кичаев, А. В. Симонов // ПМТФ. — 2000. — Т. 41, № 3. — С. 169–176.
 3. Радченко, В. П. Уравнения состояния и критерий разрушения материалов в условиях циклической ползучести [Текст] / В. П. Радченко, П. Е. Кичаев, В. С. Гагаринский // Известия вузов. Машиностроение. — 2006. — № 5. — С. 9–18.
 4. Работнов, Ю. Н. Ползучесть элементов конструкций [Текст] / Ю. Н. Работнов. — М.: Наука. — 1966. — 752 с.
 5. Радченко, В. П. Реологическое деформирование и разрушение материалов и элементов конструкций [Текст] / В. П. Радченко, Ю. А. Еремин. — М.: Машиностроение-1, 2004. — 265 с.

Поступила в редакцию 15/IX/2008;
в окончательном варианте — 20/X/2008.

MSC: 74A45, 74D10

ENERGY-BASED APPROACH TO DAMAGE OF MATERIALS IN VIBROCREEP CONDITIONS

P. E. Kichaev, E. V. Dubovova

Samara State Technical University,
443100, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244.

E-mails: subpetro@yandex.ru; dubovova@poria.ru

Comparative analysis of test results and model calculations at complex modes of amplitude periodic stress component changing was performed, on the example of ÉI 698, ÉP 742 and VT 3–1 alloys.

Key words: *vibrocreep, an energy-based approach to damage, nonstationary loading, cyclic load, damage.*

Original article submitted 15/IX/2008;
revision submitted 20/X/2008.

Kichaev Petr Eugen'evich, Ph.D. (Phis. & Math.), Dept. of Mechanics of Samara state technical university.

Dubovova Elena Valer'janovna, Post graduate student, Dept. of Applied mathematics and computer science of Samara state technical university.