

УДК 620.17

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНЫХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

© 2011 г.

А.В. Бабушкин, Д.С. Лобанов

Пермский государственный технический университет

bav651@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Рассмотрены проблемы определения механических характеристик для обеспечения безопасного ресурса композиционных материалов и изделий в условиях усталости и сложнапряженного состояния при действии статических нагрузок и различных (высоких и низких) температур, а также возможности прогнозирования механических свойств перспективных материалов на стадии их разработки.

*Ключевые слова:* экспериментальная механика, механические свойства, порошковые композиты, волокнистые композиты, сложное нагружение, термомеханические воздействия.

Технический прогресс нового тысячелетия будет во многом определяться использованием материалов нового уровня эксплуатационных свойств, в числе которых ведущая роль, несомненно, принадлежит композиционным материалам. Общие тенденции внедрения новых технологий и материалов, повышение эксплуатационных характеристик изделий при снижении материалоемкости новой техники ужесточают требования по надежности в условиях сложных термомеханических воздействий. При внедрении композиционных материалов особое значение приобретает проблема разрушения изделий при действии сложных циклических нагрузок и температуры. Таким образом, актуальной становится проблема определения безопасного ресурса изделий из композитов при действии повторяющихся нагрузок, усталости в сложнапряженном состоянии, при действии различных температур, а также возможность прогнозирования усталостных свойств перспективных материалов на стадии их разработки. При этом попытки применения для композиционных материалов феноменологических моделей деформирования и разрушения приводят к их использованию строго для конкретного материала и вида нагружения, вопросы же прогнозирования вообще часто остаются открытыми.

Объектом исследования являются механические свойства порошковых и волокнистых композитов. Приведены результаты экспериментальных исследований механического поведения волокнистых композитов на полимерных связующих и

порошковых структурно-неоднородных металлических материалов с использованием проверенного и новейшего (INSTRON) экспериментального оборудования. При этом были проведены эксперименты на образцах дисперсно-упрочненных и волокнистых композитов по стандартным и уникальным методикам (сложное нагружение, сложнапряженное состояние, широкий диапазон температурного воздействия).

Приведена постановка нелинейной связанной краевой задачи деформирования и разрушения структурно-неоднородных материалов при квазистатическом и циклическом нагружении [1]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ij}^{a(s)} &= (U_{i,j}^{a(s)} + U_{j,i}^{a(s)}) / 2, \\ \sigma_{ij}^{a(s)} &= C_{ijkl}^{a(s)} (I_{klmn} - \Psi_{klmn}^{a(s)}) \varepsilon_{mn}^{a(s)}, \\ \sigma_{ij,j}^{a(s)} &= \rho^{a(s)} \omega^2 U_i^{a(s)}, \\ \sigma_{ij} n_j \Big|_{\Gamma_2} &= S_i^{(\Gamma_2)}, \quad U_i \Big|_{\Gamma_1} = U_i^{(\Gamma_1)}. \end{aligned}$$

Численная реализация многоуровневого подхода при анализе процессов разрушения и статистических аспектов механического поведения композиционных материалов с неоднородными компонентами и сложной структурой позволяет адекватно прогнозировать их поведение в несущих элементах конструкций при длительном воздействии постоянных и переменных нагрузок, температуры, влажности, агрессивных сред. На рис. 1 представлены реальная (а) и модельная (б) структуры, а также экспериментальная 1 и модельная 2 кривые усталости порошковой стали (в).

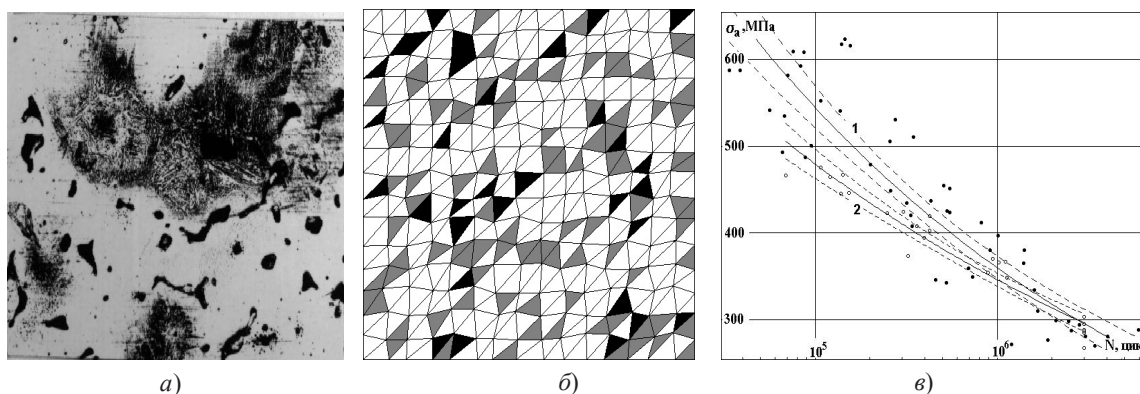


Рис. 1

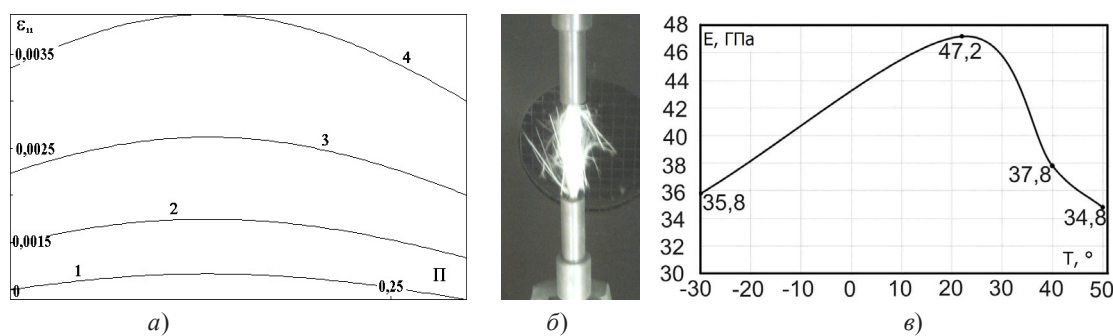


Рис. 2

Проведены компьютерное микросканирование и количественная фрактография пластиков, армированных стеклянными и органическими волокнами, в том числе при повышенных температурах, а также при длительном приложении комплекса силовых, температурных, химических и атмосферных воздействий на элементы конструкций. Проведена цифровая обработка растровых изображений для идентификации реальных микроструктур и компьютерных моделей. Численное моделирование механического поведения композитов при анализе экспериментальных данных осуществлено на основе математического описания и разработки методов моделирования микроструктур порошковых композитов, армированных волокнами пластиков, в том числе статистически разупорядоченных, с дефектами и несовершенствами [2].

В рамках структурного и структурно-феноменологического подхода созданы методики анализа механического поведения и проектирования композитов и композитных конструкций. Проведено исследование деформирования и разрушения порошковых композитов и неоднородных сплавов, однонаправленных, многослойных и пространственно-армированных волокнистых композитных материалов [3, 4]. Результаты исследования приведены на рис. 2, где показано: а – немонотонная зависимость предельной деформации от пористости порошковых металлов при ус-

талостном нагружении (на базах 1 –  $10^7$ , 2 –  $10^6$ , 3 –  $10^5$ , 4 –  $10^4$  циклов нагружения); б – вид разрушения однонаправленных высоконаполненных пластиков при квазистатическом растяжении при температуре  $-30\text{ }^\circ\text{C}$ ; в – зависимость модуля Юнга однонаправленных высоконаполненных стеклопластиков от температуры.

Выявлен ряд эффектов и закономерностей поведения композитов при сложном термомеханическом воздействии.

*Список литературы*

1. Анциферов В.Н., Соколкин Ю.В., Чекалкин А.А., Бабушкин А.В. Численная модель циклической долговечности порошкового материала // Порошковая металлургия. 1994. №5-6. С. 112–118.
2. Соколкин Ю.В., Чекалкин А.А., Бабушкин А.В. Исследование структуры, усталостные испытания и прогнозирование долговечности композитных сталей // Механика композитных материалов. 1998. Т. 34, №3. С. 371–382.
3. Бабушкин А.В., Котов А.Г., Чекалкин А.А., Шаклеина С.Э. Длительная термическая стойкость стеклопластиков при эксплуатации на пульпо- и реagentопроводах // Механика композиционных материалов. 2003. Т. 39, №3. С. 407–420.
4. Бабушкин А.В., Вильдеман В.Э., Лобанов Д.С. Испытания на растяжение однонаправленного высоконаполненного стеклопластика при нормальных и повышенных температурах // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2010. Т. 76, №7. С. 57–59.

**EXPERIMENTAL RESEARCH AND MODELING OF THE PROPERTIES COMPOSITE MATERIALS  
UNDER COMPLEX THERMO-MECHANICAL EFFECTS***A.V. Babushkin, D.S. Lobanov*

The work was aimed at determining the mechanical characteristic for providing a safe resource of composite materials in conditions of fatigue and complex stressed state, under static loads and various (high and low) temperatures. The research also deals with the possibility to forecast mechanical properties of promising materials on the development stage.

*Keywords:* experimental mechanics, mechanical properties, powder composites, fiber composites, complex loading, thermo-mechanical effects.