

# ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОСМИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЁТОМ ПОЛЗУЧЕСТИ И РАЗМЕРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Радченко В. П.<sup>1</sup>, Биткин В. Е.<sup>2</sup>, Стекольников Д. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Самарский государственный технический университет, г. Самара,

<sup>2</sup> ООО «СКТБ «Пластик», г. Сызрань, [sopromatt@mail.ru](mailto:sopromatt@mail.ru)

*Ключевые слова:* несущая способность, размеростабильные конструкции, композиционные материалы, волокнистые композиты, ползучесть композитов

Создание современной и новых поколений ракетно-космической техники с высокими тактико-техническими характеристиками является важной задачей. Её успешное решение опирается на современные достижения в области аэродинамики, управления, строительной механики и механики деформируемого твёрдого тела, проектирования и конструирования, технологии изготовления и сборки, новых конструкционных материалов. Однако в этой области, как показывает современный опыт авиационно-космической промышленности, далеко не полностью решены проблемы рационального проектирования и технологии изготовления силовых размеростабильных конструкций космических аппаратов, учитывающие, в частности, ползучесть волокнистых композиционных материалов, позволяющие обеспечивать их высокое конструктивно-весовое совершенство, прочность, ресурс и надёжность [1].

Одной из важных характеристик материалов, предназначенных для прецизионных конструкций, является способность этих материалов обеспечивать геометрическую стабильность конструкций в течение планируемого срока эксплуатации, а также быстро и с минимальными остаточными деформациями восстанавливать свои размеры после значительных силовых воздействий [2].

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований характеристик размерной стабильности (ползучесть, скорость ползучести, остаточная деформация, восстановление, скорость восстановления) углепластика КМУ – 4Л.

Для оценки указанных свойств материала были изготовлены образцы углепластика КМУ – 4Л (на основе химически обработанной углеродной ленты ЛУ-П/0,1А и связующего ЭНФБ) в виде полосы прямоугольного сечения  $1 \times 10 \times 250$  мм со схемами армирования ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ) и ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $\pm 45^\circ$ ), разработаны методика и экспериментальное оборудование, а характеристики размерной стабильности определялись при растяжении и сдвиге при следующих режимах нагружения:

- режим кратковременной ползучести (при 10 минутном цикле нагружения);
- режим длительной ползучести (при длительности цикла нагружения 100 и более часов).

Испытания были проведены на 3-х образцах по 3 цикла нагружения-разгрузки на каждом образце, т.е. результат для каждого уровня напряжений и каждой временной точки получен статистической обработкой результатов 9 опытов.

Анализ полученных результатов показывает, что углепластик КМУ-4Л обладает высокими характеристиками размерной стабильности при растяжении в направлении армирующего волокна. Ползучесть и остаточная деформация при кратковременной ползучести (10 минутный цикл нагружения) при уровне напряжений до 68,7 МПа и при длительной ползучести (100 часовой цикл нагружения) при уровне напряжений до 6,9 МПа не превышают  $1 \cdot 10^{-3}$  %.

Материал КМУ – 4Л обладает заметной ползучестью при сдвиге в плоскости укладки армирующего волокна. При напряжении сдвига  $\tau = 6,9$  МПа ползучесть в конце 10 -минутного цикла нагружения составляет  $1,7 \cdot 10^{-3}$  %, при  $\tau = 14,7$  МПа –  $2,5 \cdot 10^{-3}$  % и при  $\tau = 19,6$  МПа достигает  $3,5 \cdot 10^{-3}$  %. Время полного восстановления материала КМУ – 4Л по остаточной деформации сдвига составляет для  $\tau = 6,9$  МПа – 40 минут,  $\tau = 14,7$  МПа – 50 минут и для  $\tau = 19,6$  МПа – 1 час. Остаточная деформация сдвига после разгрузки коррелирует с величиной ползучести сдвига в конце цикла длительного нагружения.

Обобщая результаты проведённых исследований, можно сделать вывод о высоких потенциальных возможностях углепластика КМУ – 4Л с точки зрения применения его в размеростабильных конструкциях, однако необходимо отметить, что его прочностные и упругие свойства могут быть существенно улучшены оптимизацией схемы армирования. Принимая во внимание, что помимо силовых воздействий на конструкции оказывает влияние также факторы среды эксплуатации и хранения (влажность, температура и т.п.), технологические факторы (остаточные напряжения), для более полной оценки потенциальных возможностей прецизионных размеростабильных конструкций из углепластиков целесообразно продолжить исследования характеристик размерной стабильности углепластиков с учётом влияния факторов среды эксплуатации, хранения и технологических факторов.

### Список литературы

1. Молодцов Г.А., Биткин В.Е., Симонов В.Ф., Урмансов Ф.Ф. Формостабильные и интеллектуальные конструкции из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 2000. 352 с.
2. Работнов Ю.Н., Степанычев Е.И. О методических особенностях испытаний армированных полимеров на ползучесть / Заводская лаборатория, 1973. № 11. С.1374 -1379.

### Сведения об авторах

Радченко Владимир Павлович, д.ф.-м.н., профессор. Область научных интересов: математическое моделирование, упругость, пластичность, реология, прочность, композиционные материалы.

Биткин Владимир Евгеньевич, первый зам.генерального директора – генеральный конструктор по специальным изделиям ООО «СКТБ «Пластик». Область научных интересов: композиционные материалы, размеростабильные космические конструкции, прочность, реология, интеллектуальные материалы.

Стекольников Дмитрий Алексеевич, главный инженер ООО «СКТБ «Пластик». Область научных интересов: композиционные материалы, размеростабильные конструкции, прочность, реология.

## INCREASING CARRYING CAPACITY OF THIN-WALLED ELEMENTS OF SPACE STRUCTURES TAKING INTO ACCOUNT CREEP AND DIMENSIONAL STABILITY OF FIBROUS COMPOSITE MATERIALS

Radchenko V.P.<sup>1</sup>, Bitkin V.E.<sup>2</sup>, Stekolnikov D.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Samara State Technical University, Samara, Russia

<sup>2</sup> LLC Special Development and Technology Bureau Plastik, Syzran, Russia, [sopromatt@mail.ru](mailto:sopromatt@mail.ru)

*Keywords: bearing capacity, dimensionally stable structures, composite materials, fiber composites, creep of composites*

This paper presents the results of experimental studies of the dimensional stability characteristics (creep, permanent deformation, recovery, recovery rate) of carbon fiber. Summarizing the research results, it can be concluded that the high potential of carbon fiber in terms of its use in structures of stable dimensions, however, it should be noted that its strength and elastic properties can be significantly improved by optimizing the reinforcement scheme.