

УДК 620.18

**ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ ОТ
ОБЪЕМНОЙ ДОЛИ ВОЛОКНА В ОДНОНАПРАВЛЕННОМ
СТЕКЛОПЛАСТИКЕ**

Медведев П.С.

Студент 4 курса, Аэрокосмический факультет

Кафедра «Механика композиционных материалов и конструкций»

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Россия, г.Пермь

Долгов А.С.

Студент 4 курса, Аэрокосмический факультет

Кафедра «Механика композиционных материалов и конструкций»

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Россия, г.Пермь

Аннотация: Статья посвящена нахождению зависимости коэффициента теплового расширения стеклопластика от объемной доли волокна. Рассмотрена статистическая краевая задача для структурно - неоднородного тела. Найдены поля напряжений и деформаций в однонаправленном стеклопластике, при разных значениях объёмной доли волокна с помощью метода конечных элементов, в программном комплексе ANSYS. Посчитаны значения коэффициентов теплового расширения. Построен график зависимости коэффициента теплового расширения от объемной доли волокна. Сделан вывод, что полученная зависимость является нелинейной.

Ключевые слова: композиционный материал, стеклопластик, коэффициент линейного теплового расширения, метод конечных элементов, ANSYS.

***THE DEPENDENCE OF THE COEFFICIENT OF LINEAR EXPANSION OF
THE VOLUME FRACTION OF FIBER IN UNIDIRECTIONAL FIBERGLASS***

Medvedev P.S.

Student 4 course, Aerospace faculty

Department of "Mechanics of composite materials and structures"

Perm National Research Polytechnic University

Russia, Perm

Dolgov A.S.

Student 4 course, Aerospace faculty

Department of "Mechanics of composite materials and structures"

Perm National Research Polytechnic University

Russia, Perm

Annotation: The article is devoted to finding the dependence of the coefficient of thermal expansion of fiberglass on the volume fraction of the fiber. The statistical boundary value problem for a structurally inhomogeneous body is considered. The stress and strain fields in a unidirectional fiberglass are found, for different values of the fiber volume fraction using the finite element method, in the ANSYS software package. Calculated values of coefficients of thermal expansion. A graph of the dependence of the coefficient of thermal expansion on the volume fraction of the fiber. It is concluded that the resulting dependence is nonlinear.

Keywords: composite material, fiberglass, linear thermal expansion coefficient, finite element method, ANSYS.

Композиционные материалы — это материалы, состоящие из двух или более компонентов (отдельных волокон или других армирующих составляющих и связующей их матрицы) и обладающие специфическими

свойствами, отличными от суммарных свойств их составляющих компонентов. Компоненты композитов не должны растворяться или иным способом поглощать друг друга. Они должны быть хорошо совместимы. Свойства композиционных материалов нельзя определить только по свойствам компонентов, без учёта их взаимодействия [2].

Стеклопластик представляет собой слоистый материал, наполнителем которого служит стекловолокно, а матрицей фенолформальдегидная смола. Благодаря высоким механическим свойствам, малому удельному весу и высокой теплостойкости стеклопластик является перспективным материалом и широко используется в различных отраслях машиностроения. При этом к ряду деталей из стеклопластиков таких, как корпуса летательных аппаратов, магнитопрозрачные кожухи и корпуса геофизических приборов, высоковольтные электроизоляторы, телескопические шахтные стойки и т.д., предъявляются достаточно высокие требования по точности размеров, точности расположения поверхностей и шероховатости. В данной книге приведены исследования в области обработки стеклопластиков [7].

Данная работа посвящена нахождению зависимости коэффициента теплового расширения стеклопластика от объемной доли волокна. Результаты получены при прохождении научно-исследовательской практики [6]. Для расчёта берется однонаправленный стеклопластик, состоящий из стекловолокна марки Е (электроизоляционное) и эпоксидной матрицы ЭДТ- 10, который находится в состоянии всестороннего сжатия. Расчёты коэффициента Пуассона, модуля Юнга, модуля объемного сжатия и коэффициента теплового расширения проводились по теоретическим формулам, а расчёт полей напряжений и деформаций в программной система конечно-элементного анализа ANSYS [3].

Для расчёта рассмотрен однонаправленный стеклопластик с тетрагональной укладкой цилиндрических волокон. Свойства стекловолокон:

$$E_f = 1.00 * 10^{11} \text{ Па}, \nu_f = 0.210, \alpha = 5.0 * 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} ;$$

Свойства эпоксидной смолы:

$$E_f = 2.91 * 10^9 \text{ Па}, \nu_f = 0.365, \alpha = 5.5 * 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Расчетные объемные доли волокна 0-70% [1].

Рассмотрим статистическую краевую задачу для структурно-неоднородного тела V с границей Γ , состоящую из замкнутой системы уравнений и граничных условий (2).

$$\begin{cases} \sigma_{ij,j}(\vec{r}) = 0 \\ \sigma_{ij}(\vec{r}) = C_{ijmn}(\vec{r})\varepsilon_{mn}(\vec{r}) \\ \varepsilon_{ij}(\vec{r}) = 1/2 [u_{i,j}(\vec{r}) + u_{j,i}(\vec{r})] \\ u_i(\vec{r})|_{\Gamma\chi} = \chi_i(\vec{r}) \end{cases} \quad (1)$$

Для расчета полей напряжений и деформаций в композите используем программный комплекс ANSYS [4;5]. Задача решалась на одной ячейке периодичности, представляющей собой «круг в квадрате». На границах заданы условия в перемещениях $u_x = u_y = 0.01$ метра (Рис. 1).

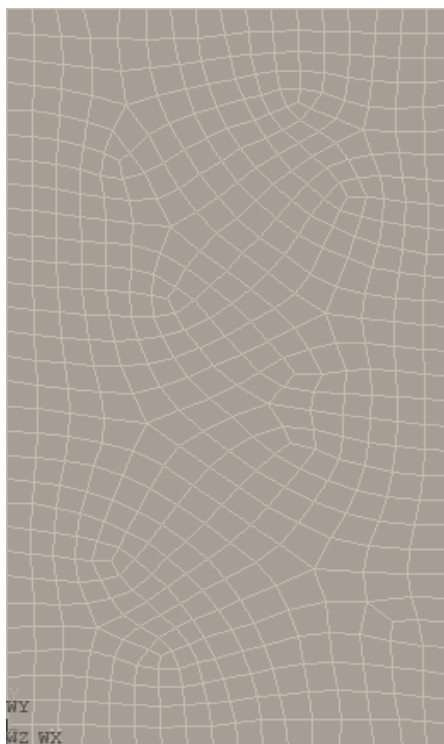


Рис.1 Конечно-элементная сетка

С помощью уравнений, связывающих нормальные напряжения и линейные деформации (2), при $\sigma_{11}^* = \sigma_{22}^*$, $\varepsilon_{11}^* = \varepsilon_{22}^*$, $\varepsilon_{33}^* = 0$. Выражаем эффективный модуль объемного сжатия (3).

$$\frac{1}{2}(\sigma_{11}^* + \sigma_{22}^*) = K^*(\varepsilon_{11}^* + \varepsilon_{22}^*) + l^*\varepsilon_{33}^* \quad (2)$$

$$K^* = \frac{\sigma_{11}^* + \sigma_{22}^*}{2 * (\varepsilon_{11}^* + \varepsilon_{22}^*)} \quad (3)$$

Затем находится коэффициент Пуассона, характеризующий сокращение в плоскости $r_1 Or_2$.

$$\nu_{\perp\parallel}^* = \left(\frac{\nu_f - \nu_m}{\frac{1}{K_f} - \frac{1}{K_m}} \right) * \left(\frac{1}{K^*} - \frac{\nu_f}{K_f} - \frac{\nu_m}{K_m} \right) + \nu_f \nu_f + \nu_m \nu_m \quad (4)$$

По формуле (5) был найден модуль Юнга в направлении армирования.

$$E_{\parallel}^* = E_f v_f + E_m v_m \quad (5)$$

С помощью полученных ранее данных по формуле (6) был получен коэффициент теплового расширения в направлении Ox_3 .

$$a_{\parallel}^* = a_f v_f + a_m v_m + \frac{a_f - a_m}{\frac{1}{K_m} - \frac{1}{K_f}} \left[\frac{3(1 - 2\nu_{\perp\parallel}^*)}{\frac{v_f}{K_f} - \frac{v_m}{K_m}} E_{\parallel}^* - \frac{v_f}{K_f} - \frac{v_m}{K_m} \right] \quad (6)$$

На основе полученных значений построен график зависимости коэффициента теплового расширения от объемной доли волокна (Рис. 2).

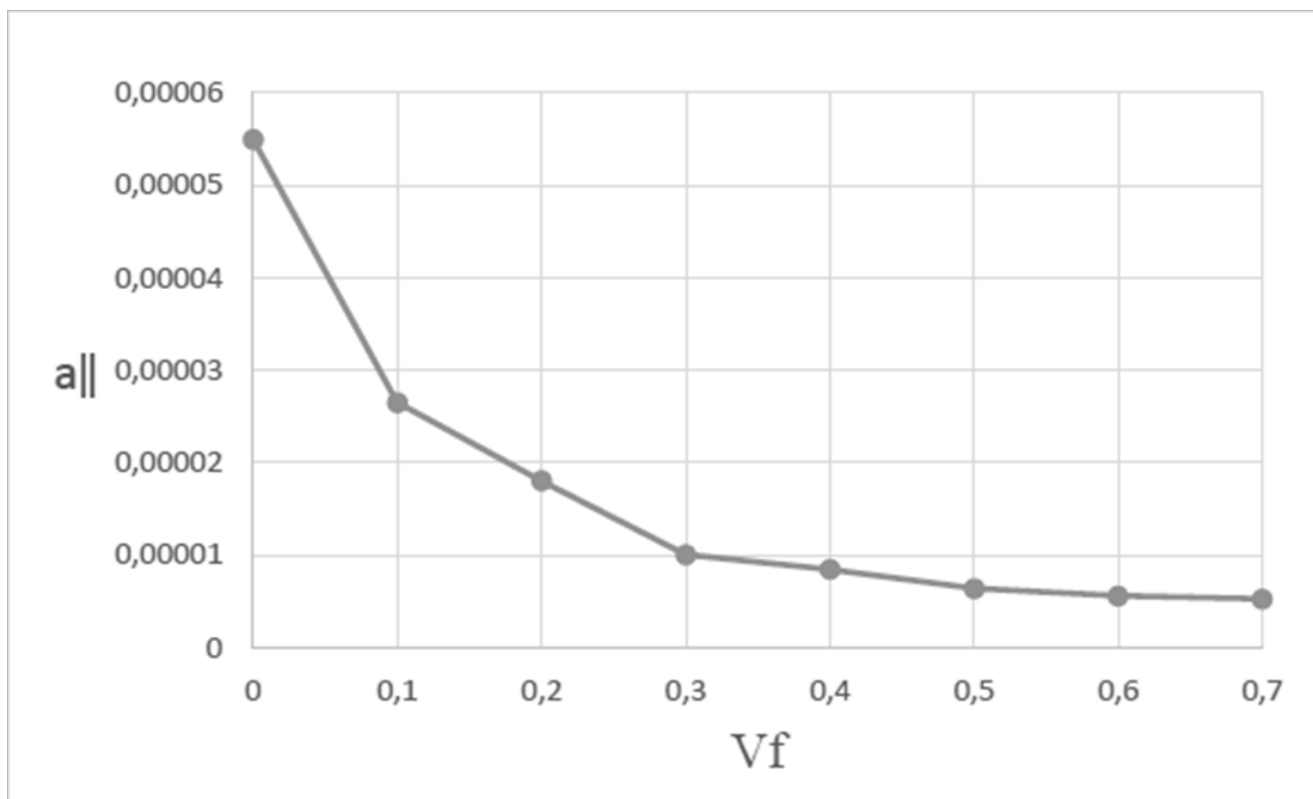


Рис. 2 Зависимость коэффициента теплового расширения в направлении Ox_3 от объемной доли волокна

В заключение [8].

1. Полученная зависимость является нелинейной.
2. С увеличением объёмной доли волокна коэффициент теплового расширения композита стремится к значению, которое соответствует коэффициент теплового расширения для волокна.
3. При нулевом содержании волокна, коэффициент теплового расширения становится таким же, как и у матрицы.

Библиографический список

1. Вильдеман В.Э., Зайцев А.В. О численном решении краевых задач механики деформирования и разрушения структурно-неоднородных тел с граничными условиями третьего рода // Вычислительные технологии. 1996.Т. 1, № 2, С. 65–73.

2. Вильдеман В.Э., Соколкин Ю.В., Зайцев А.В. Эволюция структурных повреждений и макроразрушение неоднородной среды на закритической стадии деформирования // Механика композитных материалов. 1997. Т. 33, № 3, С. 329–339.

3. Динамика и устойчивость композитных конструкций : учебное пособие / А. А. Чекалкин, А. Г. Котов ; Пермский государственный технический университет .— Пермь : Изд-во ПГТУ, 2006 .— 65 с.

4. Лекции по механике конструкций из композиционных материалов / А.А. Чекалкин, А.А. Паньков.— Пермь : Изд-во ПГТУ, 1999 .— 151 с.

5. Любина Дж., Справочник по композиционным материалам. – М.: Машиностроение, 1988. – 185 с.

6. Методические указания по проведению научно-исследовательской работы для студентов бакалавриата по направлению 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» / Е.Ю. Макарова, Ю.В. Соколкин, А.А. Чекалкин. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2017. – 40 с.

7. Мозговой Н.И., Марков А.М. Стеклопластик и особенности его механической обработки, Барнаул, АГТУ, 2012 – 98 с.

8. Соколкин Ю.В., Ташкинов А.А. Механика деформирования и разрушения структурно-неоднородных тел. М.: Наука, 1984. – 17 с.

Оригинальность 74%