

УДК 539.32

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОНАПРАВЛЕННОГО СТЕКЛОПЛАСТИКА

Авраамов И.И.

Студент,

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,

Пермь, Россия

Ужегов Е.Д.

Студент,

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,

Пермь, Россия

Аннотация

В статье показывается как с помощью программной системы ANSYS выполнен расчёт полей напряжений и деформаций однонаправленного композиционного материала с гексагональной структурой. Для расчёта выбраны композиционные материалы, армированные изотропными стеклянными волокнами. Также будут проведены расчёты модуля упругости, модуля сдвига, коэффициента теплового расширения при разных объёмных долях стекловолокна и построены зависимости эффективных свойств композитов от объёмного содержания волокон. В конце получена оценка результатов с помощью вариационных границ Фойгта–Рейса.

Ключевые слова: стеклопластик, композиционные материалы, эффективные упругие характеристики, объёмная доля, ANSYS

DETERMINATION OF THERMAL CHARACTERISTICS OF UNIDIRECTIONAL FIBERGLASS

Avraamov I.I.

Student,

Perm National Research Polytechnic University,

Perm, Russia

Uzhegov E.D.

Student,

*Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russia*

Abstract

The article shows how the stress and strain fields of a unidirectional composite material with a hexagonal structure are calculated using the ANSYS software system. Composite materials reinforced with isotropic glass fibers were selected for the calculation. The elastic modulus, shear modulus, and thermal expansion coefficient will also be calculated for different volume fractions of glass fiber, and the dependences of the effective properties of composites on the volume content of fibers will be constructed. At the end, the results are estimated using Voigt-Reis variational bounds.

Keywords: fiberglass, composite materials, effective elastic characteristics, volume fraction, ANSYS

Композиционные материалы (КМ) – это материалы, состоящие из нескольких компонентов с различными физико-механическими характеристиками, при сочетании которых образуется новый материал со своими свойствами. В данном случае рассматривается волокнистый композит из высокопрочных волокон и полимерного связующего - матрицы, распределяющего нагрузки по этим волокнам и объёму композита. Композиционные материалы уникальны тем, что при проектировании материала можно задать свойства, необходимые для определённой области применения.

Автор статьи [10] отмечает, что на мировом рынке существует тенденция к увеличению доли применения полимерных конструкционных материалов. Анализ зарубежных научно-технических литературных источников, а также общие тенденции развития материаловедения показывают, что в настоящее время интенсивно ведутся разработки и исследования в области полимерных композиционных материалов (ПКМ), армирующих компонентов, связующих для них и технологий их переработки в высокотехнологичную наукоемкую продукцию с большой долей инновационной составляющей. В настоящее время ПКМ нового поколения благодаря использованию новых связующих с различной теплостойкостью и прочностью способны обеспечивать все возрастающие требования как к упруго-прочностным характеристикам и их эксплуатационной стабильности, необходимой для обеспечения работоспособности конструкций, так к технологичности - с учетом современных технологий переработки и различных требований, в том числе экологических. А также прочность, но при этом и лёгкость, что позволит экономить топливо в авиационной

промышленности, как подмечено в статье [11,7], это так же является экологическим преимуществом.

Стеклопластики являются одним из важнейших видов пластических масс, и это было ещё замечено в 60-ые годы, как можно понять из источника [12], так как сочетание высокой механической прочности при малом удельном весе с хорошими теплофизическими свойствами стеклопластики применяются для изготовления самых разнообразных изделий в различных отраслях промышленности и техники.

Исходя из этого можно понять, что, определение теплостойкости и других тепловых характеристик стеклопластиков имеет немаловажное значение при использовании этих композитов в конструкциях, работающих при высоких температурах.

Возможность использования стеклопластиков при высоких температурах течение определенного времени зависит от скорости и характера изменения свойств материалов на поверхности и в глубине образца при нагревании. Это определяется толщиной применяемых образцов и скоростью перепада температур по толщине образца, т. е. коэффициентов теплопередачи связующих и наполнителя. В этом случае термоокислительная стойкость связующего уже не определяет поведения материала в условиях его эксплуатации. Термопластичные материалы в свою очередь используются в современной авиации, как было сказано в статье [9], так же И.Н. Гуляев отметил это в своей статье [8].

Поэтому большое практическое значение имеет исследование термоокислительных свойств стеклопластиков с учетом различных теплофизических свойств исходных материалов.

Изменение коэффициента линейного расширения происходит в определенном интервале температур. Начальное расширение, зависит от изменений объема смолы. С повышением температуры стеклоткань, обладающая низким коэффициентом линейного расширения, препятствует расширению смолы.

Так же расширение материалов важно знать в строительстве, чтобы задать параметры деформационного шва и предотвратить контакт элементов конструкции с последующей передачей напряжений и взаимное смещение.

Для проектирования композиционных материалов и задания свойств используют различные модели и методы моделирования. Важную роль играют модель эффективной среды [13, 5] и метод конечных элементов [14]. Авторами статей [4, 1, 6] замечено, что на свойства композита существенное влияние оказывает объемное содержание его компонентов.

В данной работе исследуются зависимости эффективных характеристик теплового линейного расширения от объёмного содержания волокон. В программе ANSYS высчитываются поля напряжений и деформаций в периодической ячейке выбранного материала, после чего проводится оценка результатов с помощью вариационных границ Фойгта.

Постановка задачи

Эта работа направлена на определение тепловых характеристик однонаправленного стеклопластика с тетрагональной структурой. Матрица взята марки ЭТД-10, изотропные стеклянные волокна будут являться армирующим элементом композита. Работа выполнена в рамках НИРС с соответствующими указаниями [3].

Рассмотрим задачу для стохастического однородного тела объёмом V с границей Γ , состоящую из замкнутой системы уравнений:

$$\begin{aligned}\sigma_{ij,j}(\bar{r}) &= 0 \\ \sigma_{ij,j}(\bar{r}) &= C_{ij,mn}\varepsilon_{mn}, \quad (1) \\ \sigma_{ij,j}(\bar{r}) &= \frac{1}{2}[u_{i,j}(\bar{r}) + u_{j,i}(\bar{r})]\end{aligned}$$

и граничных условий:

$$\begin{aligned}u_i(\bar{r})|_{\Gamma} &= u_i^{\circ} \quad (2) \\ u_j(\bar{r})|_{\Gamma} &= u_j^{\circ},\end{aligned}$$

где $C_{ij,mn}$ – тензор модулей упругости; ε_{mn} – тензор малых деформаций Коши; $u_i(\bar{r})$, $u_j(\bar{r})$ – структурные перемещения, заданные на границе Γ ; u_i° , u_j° – заданные вектора перемещений. [2]

В расчетной схеме представлено стеклянное изотропное волокно в эпоксидной матрице ЭДТ-10, связанное на границе фаз.

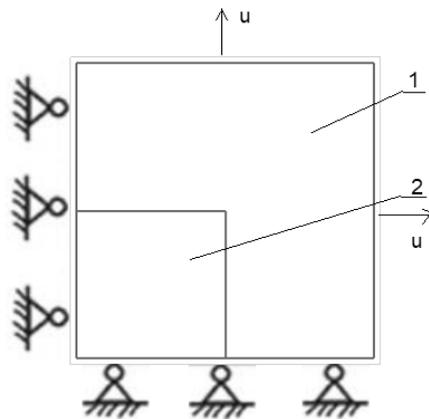


Рис. 1. Схема нагружения и геометрия расчетной области:

1 – Эпоксидная матрица ЭДТ-10

2 – стеклянное волокно

Авторская разработка

Практическая часть в ANSYS

Строим геометрию расчетной области и присваиваем характеристики материалов для компонентов. Геометрия состоит из двух квадратных областей, сторона квадрата матрицы 1, объемная доля волокна равна 0,25.

После разбиваем геометрию на конечные элементы (Рис. 2), задавая граничные условия в перемещениях:

$$u_x = 0,01 \text{ m}$$

$$u_y = 0,01 \text{ m}$$

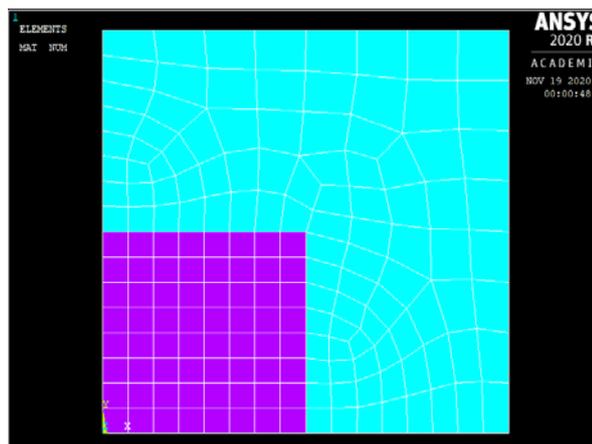


Рис. 2. Сетка конечных элементов

После проведения расчетов можно вывести диаграммы полей напряжений и деформаций (Рис. 3,4):

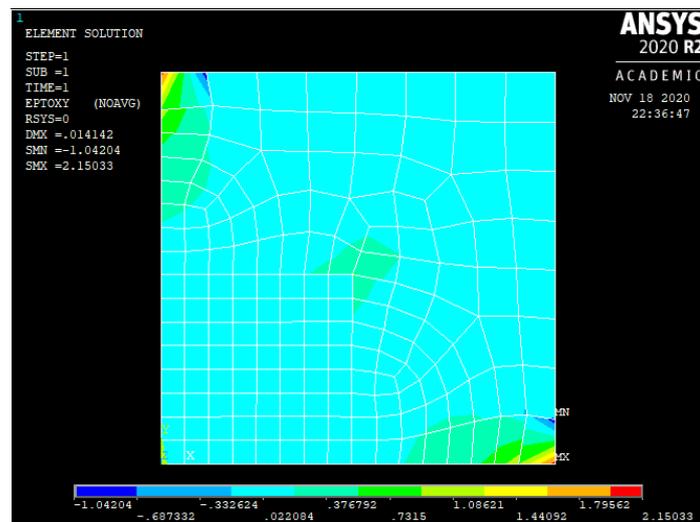


Рис. 3. Диаграмма деформаций XY

Авторская разработка

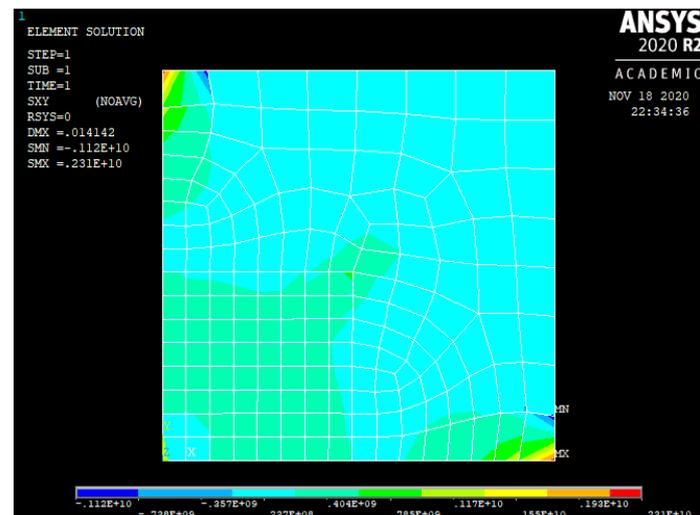


Рис. 4. Диаграмма напряжений XY

Авторская разработка

Физико-механические характеристики компонентов структуры

Физико-механические характеристики компонентов стеклопластика представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики компонентов стеклопластика

Характеристика	Изотропное стеклянное волокно	Эпоксидная матрица ЭДТ-10
Модуль Юнга E, ГПа	100	2,91
Коэффициент Пуассона ν	0,21	0,356
Коэффициент линейного температурного расширения α , K^{-1}	0,0000049	0,000065
Модуль сдвига G, ГПа	4,132	1,073
Модуль объемного сжатия K, ГПа	5,747	3,368

Уравнение, связывающий нормальные напряжения и линейные деформации, из него находим коэффициент объемного сжатия K^* :

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

Если известно значение величины K^* , то коэффициент Пуассона $\nu_{\parallel\perp}^*$ имеет вид:

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

Посчитав коэффициент Пуассона можем найти модуль Юнга:

$$E_{\parallel}^* = E_f \nu_f + E_m \nu_m + \frac{4\nu_f \nu_m (\nu_f - \nu_m)^2}{\frac{\nu_f}{K_m} + \frac{\nu_m}{K_f} + \frac{1}{s}}. \quad (5)$$

В выражении (5) для разных оценок значения s различно.

Для оценки Рейса

$$s = \frac{G_m G_f}{G_f \nu_m + G_m \nu_f}$$

Для оценки Фойта

$$s = G_f \nu_f + G_m \nu_m$$

После всех вычислений, делаем расчет коэффициента линейного расширения:

$$\alpha_{\perp}^* = \alpha_f v_f + \alpha_m v_m + \frac{\alpha_f - \alpha_m}{1/K_f - 1/K_m} \left[\frac{3}{2K^*} - \frac{3v_{\parallel\perp}^*(1-2v_{\parallel\perp}^*)}{E_{\parallel}^*} - \frac{v_f}{K_f} - \frac{v_m}{K_m} \right]. \quad (6)$$

Таблица 2

Эффективные характеристики стеклопластика

v_f	v_m	$\nu_{\perp\parallel}^*$	E_{\parallel}^*	K^*	α_{\perp}^*
0	1	1,350584	2910000000	881685975,6	0,001909933
0,01	0,99	0,54431	3881680599	2195684286	0,000272097
0,04	0,96	0,536588	6796824200	2227480297	0,000257574
0,09	0,91	0,524327	1,1656E+10	2279898208	0,000244739
0,16	0,84	0,508718	1,8458E+10	2350310685	0,000232595
0,25	0,75	0,482973	2,7204E+10	2476456245	0,000215107
0,36	0,64	0,454248	3,7891E+10	2634204594	0,000196648
0,49	0,51	0,402441	5,0518E+10	2976118061	0,000163988
0,64	0,36	0,347037	6,5081E+10	3455824724	0,000129665
0,81	0,19	0,283495	8,1577E+10	4239533840	9,06158E-05
1	0	0,05139	1E+11	24703353659	5,117E-05

Из данных для таблицы (2) строим графики зависимостей эффективных характеристик материала.

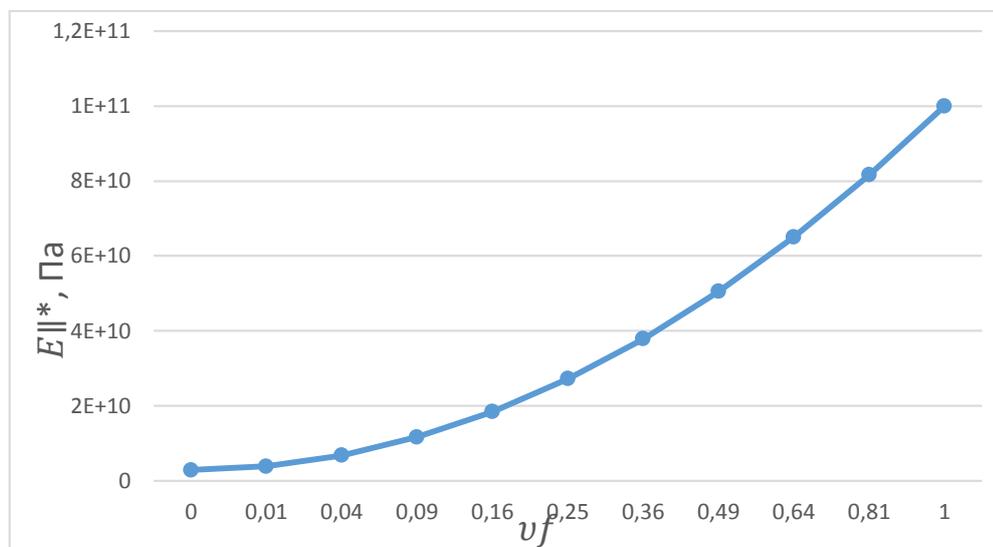


Рис. 5 График зависимости модуля Юнга от объёмной доли стекловолокна

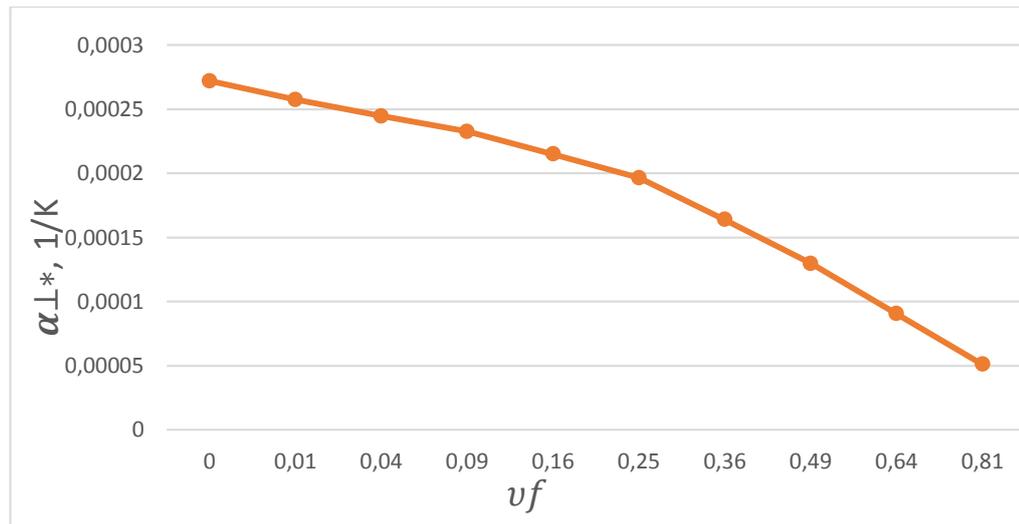


Рис. 6 График зависимости коэффициента теплового расширения
Авторская разработка

Выводы

1. Показаны диаграммы полей напряжений и деформаций материала.
2. Проведён расчёт модуля Юнга, модуля сдвига, коэффициента теплового расширения при разных объёмных долях стекловолокна. Построены зависимости эффективных свойств композитов от объёмного содержания волокон.
3. Получена оценка результатов с помощью вариационных границ Фойгта–Рейса, и по этим результаты данные эффективных свойств не выходят за пределы нижней вариационной границы, поэтому задача решена корректно.

Библиографический список:

1. Биткин В.Е., Жидкова О.Г., Комаров В.А. Выбор материалов для изготовления размеростабильных несущих конструкций // Вестн. Самар. ун-та. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2018. – Т. 17, № 1. – С. 100–117.
2. Чекалкин А.А., Паньков А.А. Лекции по механике конструкций из композиционных материалов. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т., 1999. – 150 с.
3. Методические указания по проведению научно-исследовательской работы для студентов бакалавриата по направлению 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» / Сост. Е.Ю. Макарова, Ю.В. Соколкин,

- А.А.Чекалкин. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017. – 40 с.
4. Советова Ю.В., Сидоренко Ю.Н., Скрипняк В.А. Многоуровневый подход к исследованию влияния объёмного соотношения компонентов волокнистого однонаправленного углепластика на его механические характеристики // Вестн. Том. гос. ун-та. Математика и механика. – 2014. – № 2(28). – С. 77–89.
5. Козлов М.В., Шешенин С.В., Макаренко И.В., Белов Д.А. Моделирование влияния оснастки на конечную форму изделий из полимерного композита // Вычислительная механика сплошных сред. – 2016. – Т. 9, № 2. – С. 145–161.
6. Соловьев А.Н., Зиборов Е.Н., Шевцов С.Н. Определение упругих свойств армированных композиционных материалов на основе конечно-элементного моделирования // Наука юга России. – 2016. – Т. 12, № 2. – С. 3–10.
7. Голованов А.И., Бережной Д.В., Касумов Е.В., Шувалов В.А. Определение характеристик выносливости механической системы из композиционных материалов // Учён. зап. Казан. ун-та. Сер.: Физическо-математические науки. – 2016. – Т. 158, № 3. – С. 307–321.
8. Гуляев И.Н. Опыт ВИАМ в разработке высокотемпературных ПКМ // Полимерные композиционные материалы и производственные технологии поколения: материалы конф. – М.: ВИАМ, 2018. – С. 27–36.
9. Кирин Б.С., Петрова Г.Н., Сорокин А.Е., Ларионов С.А., Малышенок С.В., Лонский С.Л., Куршев Е.В. Перспективные термопластичные композиционные материалы // Полимерные композиционные материалы и производственные технологии поколения: материалы конф. – М.: ВИАМ, 2018. – С. 396–405.
10. Раскутин А. Е. Стратегия развития полимерных композиционных материалов // Авиационные материалы и технологии. – 2017. – № 5. – С. 344–348. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-344-348
11. Тимошков П.Н. Современные полимерные композиционные материалы для применения в авиационной технике // Полимерные композиционные материалы и производственные технологии поколения: материалы конф. – М.: ВИАМ, 2018. – С. 40–56.
12. Киселев Б.А. Стеклопластики // Государственное научно-техническое издательство химической литературы. – М., 1961. – 5-6, 193-197 с.

13. Корчагин С.А., Терин Д.В., Романчук С.П. Синергетика математических моделей для анализа композиционных материалов // Изв. высш. учеб. завед. Прикладная нелинейная динамика. – 2015. – Т. 23, № 3. – С. 55–64.
14. Левин В.Е., Лапердина Н.А., Олегин И.П. Численный подход в определении упругих свойств однонаправленно армированных композитов // Нучнотехнический вестник Поволжья. – 2019. – № 11. – С. 141–145.

Оригинальность 82%