

УДК 620.22

***ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МОДУЛЕЙ СДВИГА
УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ***

Бразгина Е.Е

Студент 4 курса, Аэрокосмический факультет,

Кафедра “Механика композиционных материалов и конструкций”,

*Пермский национальный исследовательский политехнический
университет,*

Пермь, Россия

Янчина Д.Е

Студент 4 курса, Аэрокосмический факультет,

Кафедра “Механика композиционных материалов и конструкций”,

*Пермский национальный исследовательский политехнический
университет,*

Пермь, Россия

Аннотация:

В данной работе значения для эффективного модуля сдвига получены с помощью программной системы ANSYS. Был выполнен расчёт полей напряжений и деформаций однонаправленного композиционного материала. Также получены значения эффективного модуля сдвига для выбранной структуры и проведен сравнительный анализ. Для расчёта был выбран композиционный материал с изотропным волокном.

Ключевые слова: углепластик, композиционный материал, модуль сдвига, эффективные характеристики.

PREDICTION OF EFFECTIVE SHEAR MODULES OF CARBON-CARBON COMPOSITE MATERIALS

Brazgina E.E.

4th year student, Aerospace Faculty,

Department of “Mechanics of Composite Materials and Structures”,

Perm National Research Polytechnic University,

Perm, Russia

Yanchina D.E

4th year student, Aerospace Faculty,

Department of “Mechanics of Composite Materials and Structures”,

Perm National Research Polytechnic University,

Perm, Russia

Annotation:

In this work, the values for the effective shear modulus were obtained using the ANSYS software system. The calculation of the stress and strain fields of a unidirectional composite material was performed. The values of the effective shear modulus for the selected structure were also obtained and a comparative analysis was carried out. A composite material with an isotropic fiber was chosen for the calculation.

Keywords: carbon fiber, composite material, shear modulus, effective characteristics.

Углеродные материалы в настоящее время находят широкое применение в аэрокосмической технике, работающей в экстремальных условиях. Высокопрочные углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) со специальными функциональными свойствами наиболее широко используются для ответственных деталей высокоэнергетических изделий, поэтому определение механических характеристик композиционных материалов (КМ), – одна из важнейших задач современной механики КМ, также она приобретает наибольшую актуальность.

Композиционные материалы - это материалы, которые состоят из двух или более компонентов (отдельных волокон или других армирующих составляющих, и связующей их матрицы) и обладающие некоторыми признаками, а именно:

1. Композиционные материалы не встречаются в природе, так как созданы человеком;

2. Материалы состоят из двух или более компонентов, которые различаются по своему составу и разделены выраженной границей (компоненты не должны растворяться или иными способами поглощать друг друга);

3. Композиты имеют свойства, отличные от свойств составляющих их компонентов;

4. На макромасштабе композиционные материалы анизотропные, на микромасштабе – изотропные;

5. При производстве состав, форма и распределение компонентов проектируются на стадии проектировки;

6. Свойства композиционных материалов определяются из взаимодействия его компонентов [2].

За последние несколько лет появились углерод-углеродные композиционные материалы. Они отличаются от других композиционных материалов маленькой плотностью, высокими электрофизическими свойствами. Углерод-углеродные композиционные материалы имеют в составе углеродную матрицу и каркас во всем объеме. Углеродистые волокна применяются для армирования, которые обладают разными характеристиками, и разные пространственные соединения, которые определяют процесс заполнения каркаса углеродной матрицей. Три основные группы волокон: высокомодульные, высокопрочные, волокна с повышенным удлинением. Также имеется две разных технологии получения УУКМ: жидкофазная и газопиролитическая.

В данной работе производится прогнозирование эффективных модулей сдвига для углерод-углеродного композиционного материала. Для определения использовался пакет ANSYS Mechanical. Так же для проверки результатов были получены аналитические значения эффективных модулей сдвига.

Постановка задачи

Данная работа посвящена нахождению и сравнению эффективного модуля сдвига углепластика тетрагональной структуры [4;6]. В качестве армирующего элемента использовалось углеродное волокно. В качестве связующего – углеродная матрица. Работа выполнена в рамках НИРС [3].

Рассмотрим задачу для стохастического однородного тела объёмом V с границей Γ [1].

В качестве расчетной области рассмотрим материал с тетрагональной укладкой волокон (рис. 1). Органоволокна – изотропные и однородные, непрерывно связаны по границе раздела фаз.

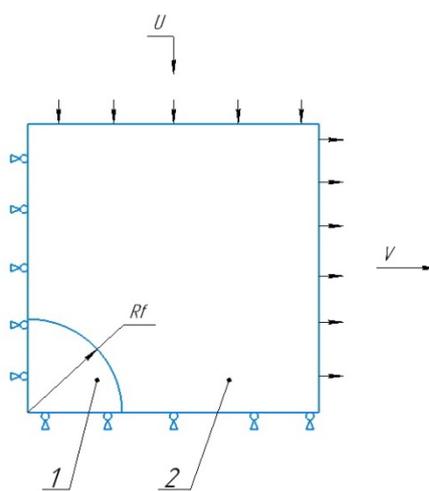


Рис. 1. Геометрия расчетной области и схема нагружения тетрагональной периодической структуры. 1 – углеродное волокно; 2 – углеродная матрица.

Авторская разработка

Таблица 1 - Исходные данные

Название	Углеродная матрица	Углеродное волокно
Модуль Юнга, ГПа	170	200
Коэффициент Пуассона	0,24	0,26

Зададим граничные условия для левой вертикальной грани и нижней грани. Воспользуемся методом конечных элементов. Тогда: $U_x = U_y = 0$.

Зададим перемещения на правой вертикальной грани и для верхней: $U_x = -0,01a$, $U_y = 0,01a$.

Меняя объемную долю волокна V_f в пределах от 0,2 до 0,8 будем получать поле напряжений и деформаций. Сначала разбиваем ее на конечные элементы, далее задаем граничные условия. Далее в полученных результатах делим напряжения на деформации и получаем эффективный модуль сдвига. То же самое повторяем для пределов от 0,2 до 0,8 [5].

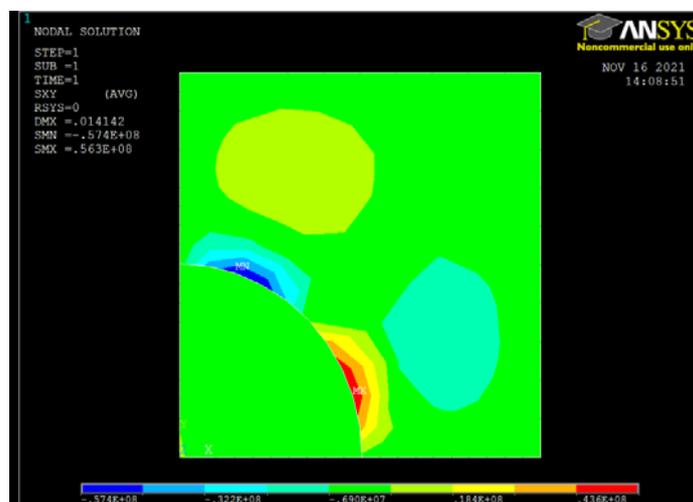


Рис. 1 – Поле напряжений при объемной доли волокна 0,2

Авторская разработка

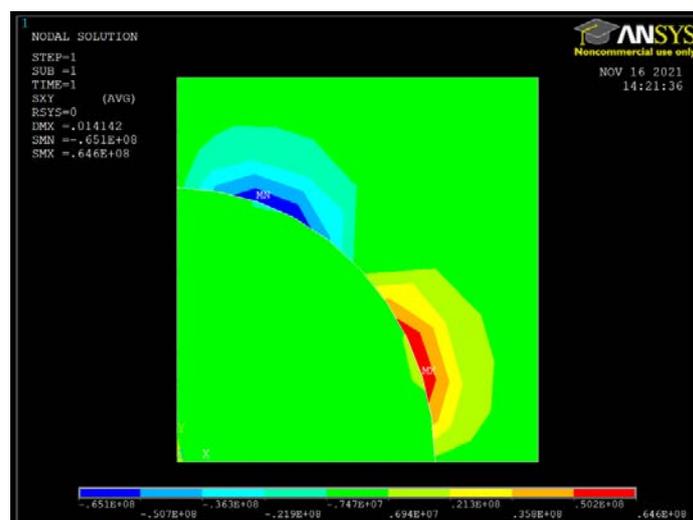


Рис. 2 – Поле напряжений при объемной доле волокна 0,4

Авторская разработка

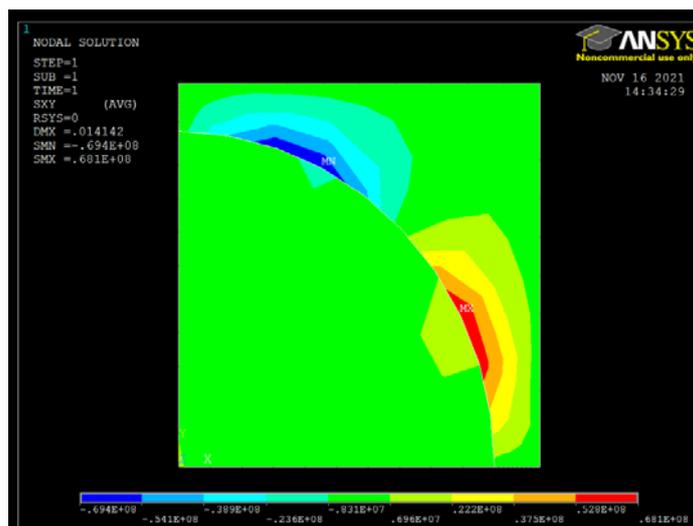


Рис. 3 – Поле напряжений при объемной доли волокна 0,6

Авторская разработка

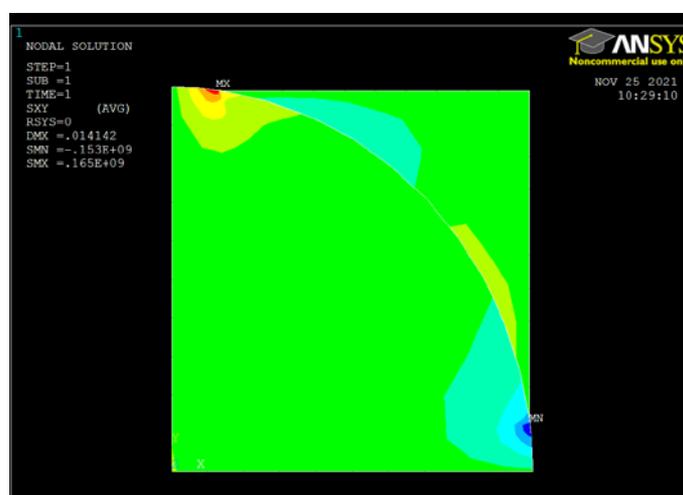


Рис. 4 – Поле напряжений при объемной доли волокна 0,8

Авторская разработка

Значения эффективного модуля сдвига определенного в ANSYS:

V_f	0,2	0,4	0,6	0,8
G^* , ГПа	70,40	72,025	74,765	76,837

Рассмотрим аналитический метод определения эффективного модуля сдвига для углерод-углеродных композиционных материалов.

Для начала рассчитаем по правилу смесей:

$$kf = \frac{E_f}{3 * (1 - 2 * vf)} \quad (1)$$

$$km = \frac{E_m}{3 * (1 - 2 * vm)} \quad (2)$$

$$Gf = \frac{E_f}{2 * (1 + vf)} \quad (3)$$

$$Gm = \frac{E_m}{2 * (1 + vm)} \quad (4)$$

Далее по формуле определим эффективный модуль сдвига аналитическим методом для промежутка от 0,2 до 0,8:

$$mf = \frac{v * Gf + (1 - v) * Gm}{v * (1 - v) * (Gf - Gm)^2} - \frac{(1 - v) * Gf + v * Gm + Gf * \frac{3 * kf + Gf}{3 * kf + 7 * Gf}}{\quad} \quad (5)$$

$$m = \frac{v * Gf + (1 - v) * Gm}{v * (1 - v) * (Gf - Gm)^2} - \frac{(1 - v) * Gf + v * Gm + Gf * \frac{3 * km + Gm}{3 * km + 7 * Gm}}{\quad} \quad (6)$$

Результаты расчетов:

Таблица 2 - значения эффективного модуля сдвига с промежутком объемной доли волокна

V_f	0,2	0,4	0,6	0,8
G^* , ГПа	70	72,019	74,75	76,8

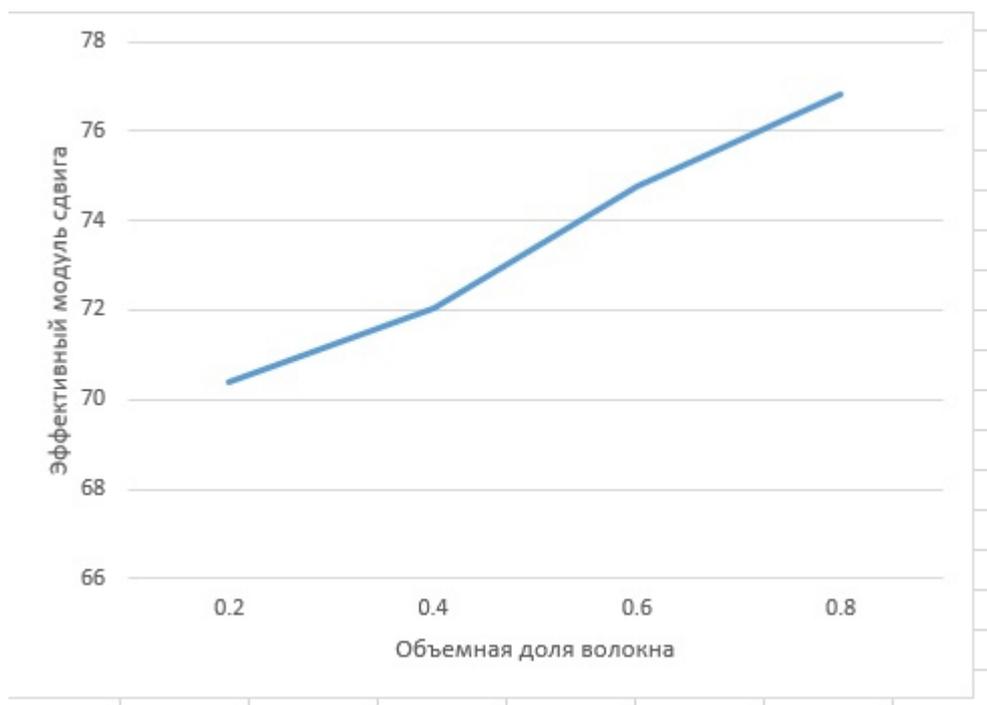


Рис. 5 – График зависимости эффективного модуля сдвига от объемной доли волокна

Авторская разработка

Вывод

Мы вычислили эффективные модули сдвига в программе ANSYS Mechanical и аналитическим методом по известным формулам. Также выявили зависимость, что с увеличением объемной доли волокна увеличивается эффективный модуль сдвига.

Библиографический список

1. Ванин Г.А. Микромеханика композиционных материалов: монография. - Киев: Наук. Думка, 1985 – 304с.
2. Композиционные материалы: Справочник/ В.В.Васильев, В.Д.Протасов, В.В.Болотин и др.; Под общ. ред. В.В.Васильева, Ю.М.Тарнопольского. - М.: Машиностроение, 1990. – 512
3. Методические указания по проведению научно-исследовательской работы для студентов бакалавриата по направлению “Материаловедение и

технологии материалов” / Макарова Е.Ю., Соколкин Ю.В., Чекалкин А.А.
- Пермь: ПНИПУ, 2017 - С.40

4. Лекции по механике конструкций из композиционных материалов,
Чекалкин А.А., Паньков А.А., Пермь, ПГТУ, 1999 – 150 с.

5. САПР изделий из композиционных материалов. Моделирование
процессов деформирования и разрушения в среде ANSYS: учеб.пособие /
А.Г.Котов. - Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. - 351с.

6. Строительная механика, динамика и устойчивость композитных
конструкций: учебное пособие/ Чекалкин А.А., Палкин Д.Д.; М. науки и
высшего образования Рос.Федерации, Перм.нац. Исследовательский
полит.ун-т. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2021. - 229.

Оригинальность 85%