РАЗДЕЛ XI. МЕХАНИКА

Черных А.Д.

Исследование зависимости механических характеристик КМ от формы волокна

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет
(Россия, Пермь)*

doi: 10.18411/lj-03-2021-60

idsp: ljournal-03-2021-60

Аннотация

С помощью программной системы ANSYS выполнен расчёт полей напряжений и деформаций однонаправленного композиционного материала. Были выделены две ячейки периодичности с одинаковой объемной долей наполнения, но разной формой. Для расчета выбран композиционный материал, в котором использовалась эпоксидная матрица, армированная стеклянными волокнами.

Ключевые слова: композиционный материал, стеклопластик, упругие характеристики, форма волокна

Abstract

The ANSYS software system was used to calculate the stress and strain fields of a unidirectional composite material. Two periodicity cells were identified with the same volume fraction of filling, but different shapes. For the calculation, a composite material was selected in which an epoxy matrix reinforced with glass fibers was used.

Keywords: composite material, fiberglass, elastic characteristics, fiber shape

Введение

Композиционные материалы (КМ) – это материалы, состоящие из двух или более компонентов (отдельных волокон или других армирующих составляющих, и связующей их матрицы). В качестве армирующего компонента в КМ часто выбирают волокна, среди них особенно распространены стеклянные.

Стеклянные волокнистые наполнители вводят в термоактивные и термопластичные полимеры. При введении в ПКМ повышают физико-химические показатели, понижают коэффициент трения, улучшают диэлектрические свойства. Эффективность применения волокон в КМ возрастает с увеличением их длины.

Непрерывные волокна выпускаются с треугольной, квадратной, прямоугольной, шестиугольной и круглой формой поперечного сечения, что позволяет получить более плотную упаковку их в композиции и таким образом обеспечить повышение ее прочности и жесткости. Непрерывные волокна, имеющие форму сечения отличную от круглой, называются профильными. Применение профильных волокон дает возможность снизить плотность пластиков, увеличить удельную жесткость, повысить диэлектрические и теплоизолирующие свойства. Это дает возможность повысить плотность упаковки волокон в композиции и повысить прочность пластика [1,2].

Основными характеристиками стеклянных волокон являются прочность и модуль упругости. Высокая прочность стеклянных волокон заложена в самой природе стекла: теоретически рассчитанное разрушающее напряжение при растяжении стекла составляет 1000-1400 кгс/мм² в случае многокомпонентных составов и 2500 кгс/мм² для плавленого кварца. Выпускаемые в настоящее время промышленностью стеклянные волокна помимо структурной неоднородности, имеют механически и химически поврежденную поверхность, прочность таких волокон зависит от числа и характера наиболее опасных поверхностных дефектов. Поэтому, измеряя прочность

промышленных одиночных волокон, оценивают не действительную прочность, характерную для волокна данной структуры и состава, а лишь прочность дефектного образца, зависящую от его предыстории и степени дефектности [2].

Наличие дефектов поверхности приводит к снижению средней прочности стеклянных волокон и увеличению разброса показателей по сравнению с «нетронутыми» волокнами [3].

Механические свойства композитов, содержащих волокна, определяются такими показателями как: фактором формы волокна, его концентрацией, ориентацией, состоянием дисперсности [4].

Прочность композиционных (волоконистых) материалов определяется свойствами волокон; матрица в основном должна перераспределять напряжения между армирующими элементами. Поэтому прочность и модуль упругости волокон должны быть значительно больше, чем прочность и модуль упругости матрицы [1].

Постановка задачи

Рассмотрим тетрагональную ячейку периодичности волокнистого композиционного материала, задав на нем граничные условия, соответствующие условию одноосного растяжения. Проведем исследование зависимости полей напряжений и деформаций от формы волокна, предполагая, что между матрицей и волокном существует идеальный контакт.

В качестве изотропной эпоксидной матрицы использовалась матрица марки ЭДТ-10. В качестве армирующего элемента использовались стеклянные изотропные волокна.

Рассмотрим задачу для квазиоднородного тела объемом V с границей Γ , состоящую из замкнутой системы уравнений [6].

Данные упругие характеристики компонентов стеклопластика представлены в таблице 1.

Таблица 1

Упругие характеристики компонентов стеклопластика [6]

Характеристики	Стеклянные изотропные волокна	Эпоксидная матрица ЭДТ-10
Модуль Юнга E , ГПа	10	2,91
Коэффициент Пуассона ν	0,21	0,356
Модуль сдвига G , ГПа	4,132	1,073
Модуль объемного сжатия K , ГПа	5,747	3,368

Модуль сдвига и модуль объемного сжатия для матрицы и волокна рассчитан по формулам 1 и 2.

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (1)$$

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)} \quad (2)$$

Реализация в программном комплексе ANSYS Mechanical

Классический подход к решению задачи с применением комплекса ANSYS реализуется следующим образом:

Строится геометрия, выбираются свойства материала и задаются его характеристики. Сторона ячейки принимается $a=1$. Волокно в первом случае задается как четверть окружности радиусом

$$r_f = 2 * a \sqrt{\frac{V_f}{\pi}} \quad (3)$$

где V_f - объемная доля волокна. $V_f = 0,58$.

Форма волокна во втором случае задается как квадрат стороной $b=0.761$.

Затем разбивается конструкция на конечные элементы, и задаются граничные условия в перемещениях (рис. 2): $U_x=0,05$, $U_y=0$

Рис. 1. Разбиение ячейки периодичности на конечные элементы и задание граничных условий с круглым (а) и квадратным волокном (б).

На основе разработанной модели получены поля напряжений (рис. 2) композитного материала в состоянии одноосного растяжения.

Рис. 2. Диаграмма полей напряжений вдоль оси X для элемента с круглым (а) и квадратным волокном (б).

Рис. 3. Деформация элемента с круглым (а) и квадратным волокном (б).

Результаты, полученные с помощью расчетов модели в программе ANSYS, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчета модели

Форма волокна	Сумма напряжений каждого элемента, Па	Сумма деформаций каждого элемента
круг	$-0.2799 \cdot 10^8$	$0,2278 \cdot 10^{-3}$
квадрат	$-0.1584 \cdot 10^7$	$-0,2022 \cdot 10^{-3}$

Расчет показал, что суммарное значение средних напряжений ниже в волокнах с квадратным поперечным сечением, что сказалось и на средних деформациях, суммарные значения которых оказались меньше, чем в волокнах с круглым поперечным сечением.

При заданных параметрах нагружения для обеспечения большей прочности рекомендуется использовать квадратные волокна.

Работа выполнена в рамках НИРС [7].

1. Медведева С.В., Мамзурина О.И. Материаловедение. Неметаллические материалы/ Курс лекций, МИСиС, 2012 – 52 с.
2. Гутников С.И., Лазорак Б.И., Селезнев А.Н. Стекланные волокна. Учебное пособие для студентов по специальности «Композиционные наноматериалы»/ - Москва, 2010 – 53 с.
3. Вшивков С.А., Тюкова И.С. Учебно-методический комплекс дисциплины "Технология получения композиционных полимерных наноматериалов" // Электронный научный архив УрФУ. – 2011.
4. Никулин С.С., Пугачева И. Н., Черных О. Н. Композиционные материалы на основе бутадиен-стирольных каучуков/ Академия Естествознания, 2008
5. Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С. Полимерные композитные материалы. Свойства. Структура. Технологии. Учеб. пособие/ - СПб: Профессия, 2008 - 560 с.
6. Чекалкин А.А., Паньков. А.А. Лекции по механике конструкций из композиционных материалов / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 1999. - 150 с.
7. Макарова. Е.Ю., Соколкин Ю.В., Чекалкин А.А. Методические указания по проведению научно-исследовательской работы для студентов бакалавриата по направлению 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017 – 40 с.