

УДК 620.179.4

**ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ
БОРОПЛАСТИКА И СТЕКЛОПЛАСТИКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
ОБЪЕМНОЙ ДОЛИ НАПОЛНЕНИЯ**

Гусева О.В.

студент 4 курса, Аэрокосмический факультет,

Кафедра «Механика композиционных материалов и конструкций»,

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,

Пермь, Россия

Поварницына Н.А.

студент 4 курса, Аэрокосмический факультет,

Кафедра «Механика композиционных материалов и конструкций»,

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,

Пермь, Россия

Аннотация

При проектировании изделия необходимо учитывать коэффициент концентрации напряжения для определения опасных нагрузок. В данной статье представлены результаты расчёта боро- и стеклопластика с тетрагональной структурой армирования, которая часто используется при производстве изделий из композиционного материала. Данные расчёты произведены с помощью ANSYS Mechanical. Определен коэффициент концентрации напряжения для каждого композиционного материала при различной доле наполнения. Построены графики зависимости коэффициента концентрации напряжения от объемной доли наполнения для стекло- и боропластика. По полученным результатам был определен наиболее прочный композиционный

материал при одинаковой доле объемного наполнения, структуре армирования и заданной нагрузке, и так же была найдена область возможного разрушения.

Ключевые слова: коэффициент концентрации напряжения, боропластик, стеклопластик, тетрагональная структура армирования, объемная доля.

***ASSESSMENT OF THE CONCENTRATION FACTOR OF STRESS OF
BOROPLASTICS AND FIBERGLASS DEPENDING ON THE VOLUME
FRACTION OF FILLING***

Guseva O. V.

student 4 course, Aerospace faculty,

Department of “Mechanics of composite materials and structures”,

Perm National Research Polytechnic University,

Perm, Russia

Povarnitsyna N. A.

student 4 course, Aerospace faculty,

Department of “Mechanics of composite materials and structures”,

Perm National Research Polytechnic University,

Perm, Russia

Annotation. For designing a product, the stress concentration factor must be taken into account to determine dangerous loads. This article presents the results of the calculation of Boro-and fiberglass with a tetragonal structure of reinforcement. These calculations were made using ANSYS Mechanical. The stress concentration coefficient for each composite material is determined. Graphs of the dependence of the stress concentration coefficient on the volume fraction of filling for glass and boroplastics are constructed. The value of the coefficient of stress concentration for boroplastics more than fiberglass. Based on the results obtained, the most durable

composite material was determined with the same proportion of volume filling, reinforcement structure and a given load. Also was found the area of possible destruction.

Keyword: the coefficient of stress concentration, boroplastic, fiberglass, the tetragonal structure reinforcement, volume fraction.

Композиционные материалы (КМ) – материалы, в состав которых входят два или более сильно отличающиеся по своим свойствам нерастворимые или малорастворимые друг в друге компоненты, разделенные межфазной границей [6].

При создании композиционного материала происходит выбор необходимых свойств наполнителя и матрицы, их соотношение, геометрическое расположение и технология получения. Полученные материалы обладают свойствами отличными от свойств его компонентов. Данная особенность является основным преимуществом КМ по сравнению с традиционными материалами [5].

Боропластики и стеклопластики используются в авиатехнике и ракетостроении, так как они обладают высокими удельными механическими характеристиками и весом ниже, чем у традиционных материалов, что важно в данных отраслях промышленности.

Боропластики – композиционные материалы, у которых наполнителем являются борные волокна, полученные методом осаждения. В качестве матрицы используются термореактивные материалы, такие как эпоксидные смолы, полиамиды или другие полимеры. Борные волокна имеют большой диаметр и являются хрупкими, из-за этого они не выдерживают перегибов, следовательно, детали не должны иметь большой кривизны. Изделия из такого материала изготавливают методом намотки или послойной выкладки с

последующим формованием под давлением с температурой. Максимальная объемная доля наполнителя в данном КМ составляет 65-70%.

Стеклопластики – композиционные материалы, у которых наполнителем являются стеклянные волокна, полученные вытягиванием стеклянных штабиков. Связующим в стеклопластиках являются терморезактивные синтетические смолы или термопластичные полимеры [1].

Стеклопластики имеют небольшую плотность и обладают высокими прочностными характеристиками, которые превосходят характеристики некоторых традиционных материалов. Механические свойства стеклопластика определяются в основном характеристиками наполнителя и прочностью его связи со связующим материалом [3].

В данной работе был проведен расчет однонаправленного волокнистого композиционного материала с тетрагональной структурой на одноосное растяжение с помощью ANSYS Mechanical. Для расчета были выбраны стекло- и бороволокна, в качестве матрицы – эпоксидная смола. Найдены коэффициенты концентрации напряжений для стеклопластика и боропластика.

Была рассмотрена постановка линейной краевой задачи (1) для определения средних и максимальных напряжений в композиционном материале:

$$\begin{cases} \sigma_{ij,j}(r) = 0; \\ \sigma_{ij}(r) = C_{ijkl}(r)\varepsilon_{kl}(r); \\ \varepsilon_{ij}(r) = \frac{1}{2} [U_{i,j}(r) + U_{j,i}(r)] \end{cases} \quad (1)$$

Граничные условия:

$$U_i(r)|_{\Gamma_u} = U_i^0(r);$$

где C_{ijkl} – тензор модулей упругости, ε_{kl} – тензор малых деформаций, $U_i(r)$ – структурные перемещения [4].

Для этого была спроектирована модель периодической ячейки с тетрагональной структурой (рис.1) и заданы свойства материалов (таблица 1).

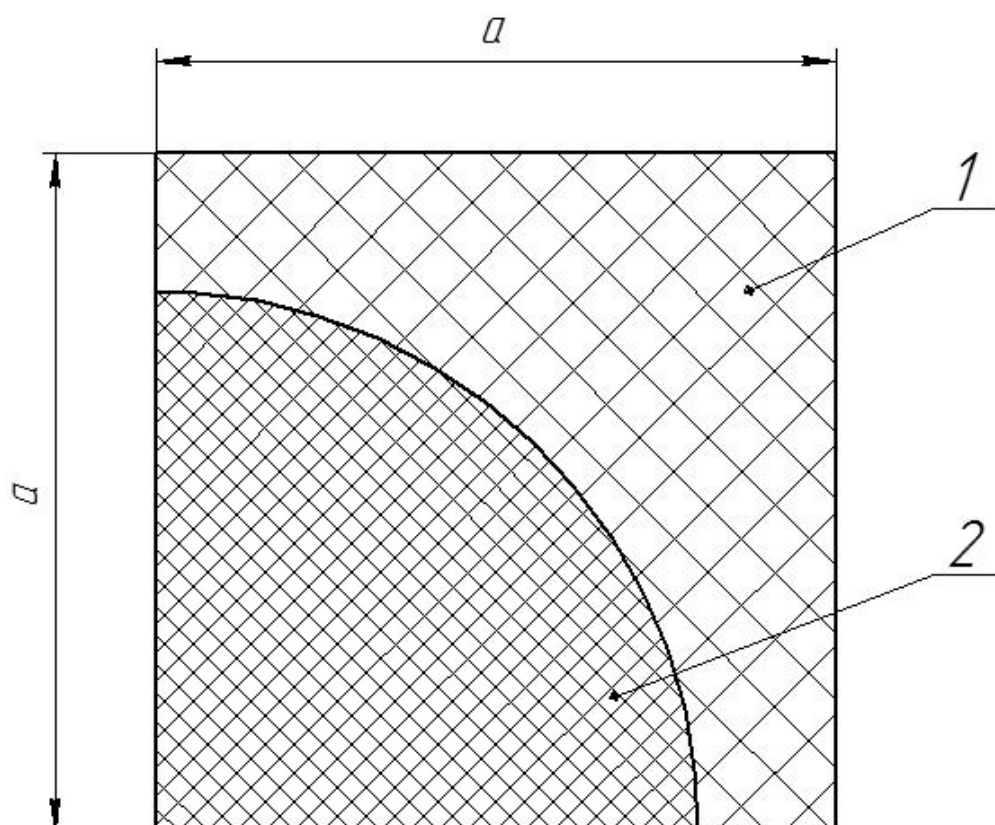


Рис. 1 - Ячейка периодичности с тетрагональной структурой, где 1 – эпоксидная матрица, 2 – волокно

Таблица 1 – Механические характеристики материалов

Материалы	Модуль Юнга, ГПа	Коэффициент Пуассона
Борное волокно	380	0,15
Стекловолоконное волокно	70	0,22
Эпоксидная смола	4	0,34

Смоделировано одноосное растяжение вдоль оси x . Граничные условия заданы в перемещениях $u_x = 0.01 * a$, где a – характерный размер ячейки периодичности.

В ANSYS Mechanical была спроектирована геометрическая модель ячейки с заранее заданными свойствами материалов, а так же заданы условия закрепления и граничные условия в перемещениях (рис.2).

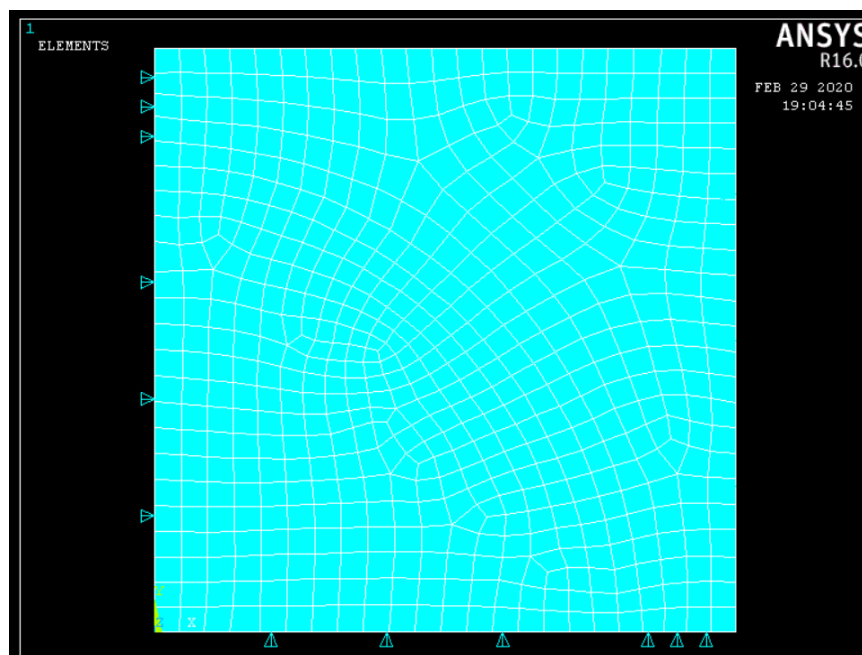


Рис. 2 - Ячейка периодичности, разбитая на конечные элементы и условия закрепления. Материал – стеклопластик, объемная доля волокна равна 0,5.

После было рассмотрено напряженно-деформированное состояние ячейки с объемной долей волокна, варьируемой от 0,1 до 0,7.

Радиус волокна определяется по формуле (2):

$$r = 2 * a * \sqrt{\frac{v_f}{\pi}} \quad (2),$$

где a – характерный размер ячейки, v_f - объемная доля волокна.

После решения задачи теории упругости методом конечных элементов и были определены максимальные и средние напряжения для двух материалов: стекло- и боропластиков с разными объемными долями волокна в матрице. На рис. 3 и рис. 4 представлены поля напряжений для стекло- и боропластика с объемной долей равной 0,4.

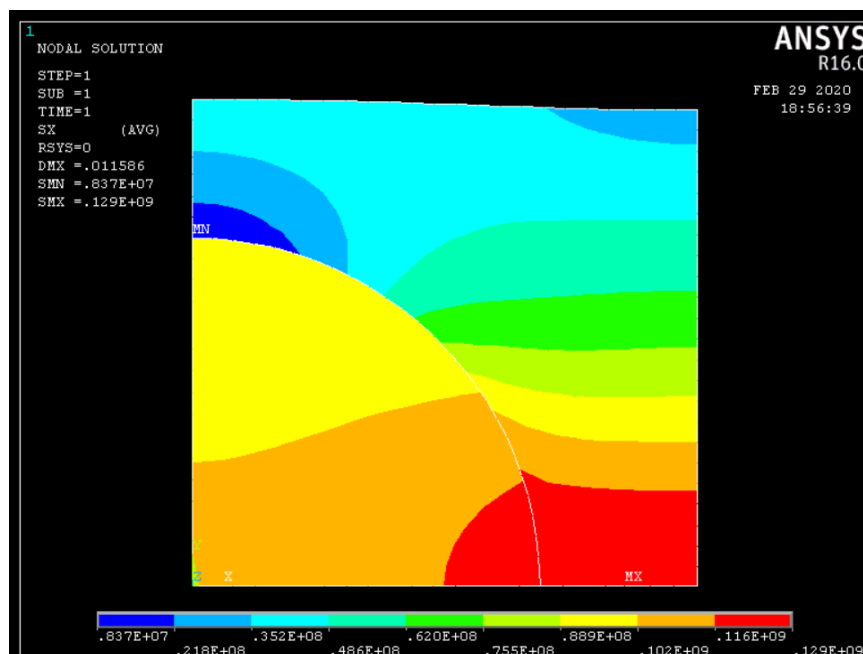


Рис. 3 - Поля напряжений для стеклопластика с объемной долей 0,4

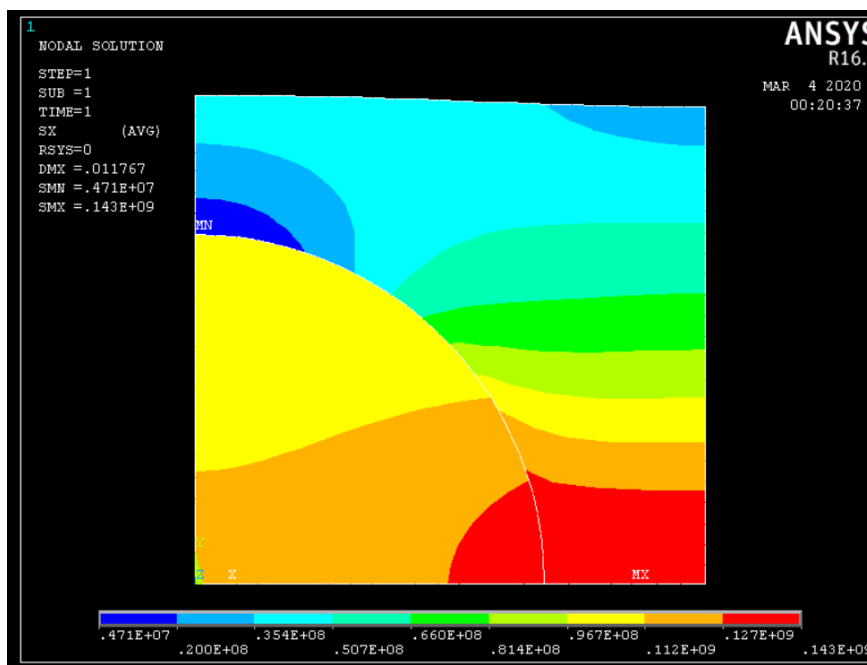


Рис. 4 - Поля напряжений для боропластика с объемной долей 0,4.

В проведенной работе был произведен расчет коэффициента концентрации напряжения для боро- и стеклопластика при изменении объемной доли наполнителя от 0,1 до 0,7 с шагом в 0,1.

Коэффициент концентрации напряжений – это отношение максимального напряжения σ_{max} в области концентратора к осредненному напряжению σ^* , является количественной мерой концентрации напряжений и рассчитывается по формуле (3):

$$K = \frac{\sigma_{max}}{\sigma^*} \quad (3)$$

На рис.5 и рис.6 построена зависимость коэффициента концентрации напряжений в зависимости от изменения объемной доли наполнителя для стекло- и боропластика.

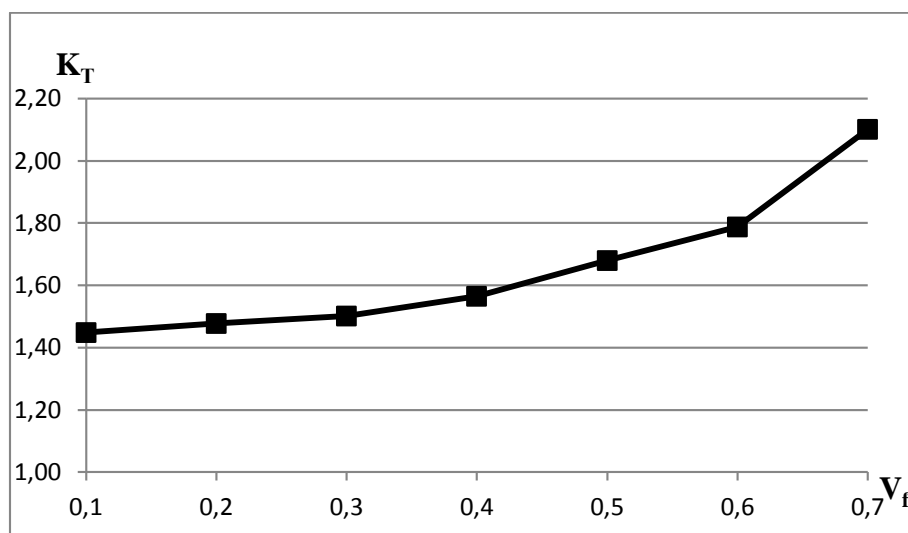


Рис. 5 - Зависимость коэффициента концентрации напряжений от объемной доли. Материал – стеклопластик. Максимальная концентрация равна 2,10 при объемной доле 0,7.

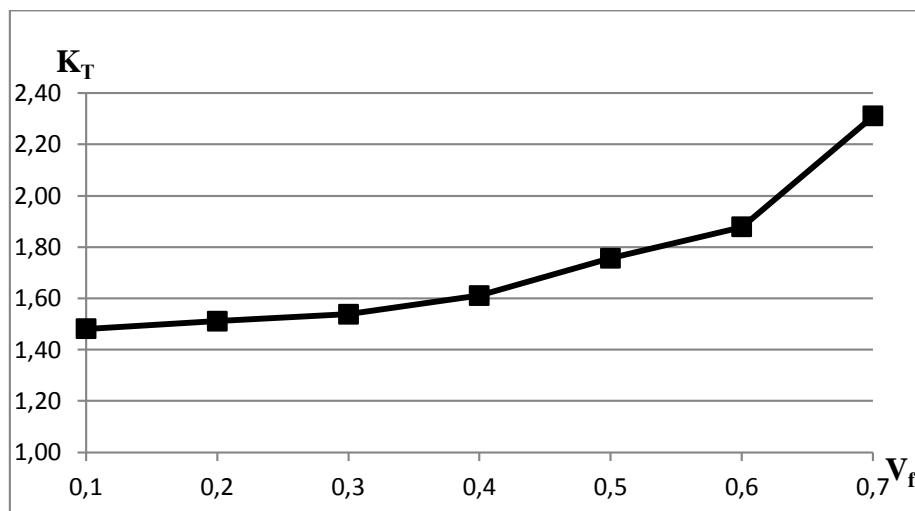


Рис. 6 - Зависимость коэффициента концентрации напряжений от объемной доли. Материал – боропластик. Максимальная концентрация равна 2,31 при объемной доле 0,7.

Таким образом, была выявлена нелинейная зависимость коэффициента концентрации напряжений от объемной доли волокна: при увеличении радиуса включения возрастают и напряжения в материале и, следовательно, возрастает риск разрушения по межфазной границе. Максимальный коэффициент концентрации напряжения боропластика в 1,1 раз больше, чем у стеклопластика. Ещё нужно отметить и то, что при наиболее используемой доле объемного наполнения 0,5-0,7 коэффициент концентрации напряжения боропластика больше, чем у стеклопластика в диапазоне 1,05-1,1 раз. Основываясь на полученных результатах, можно более точно спрогнозировать свойства материала и оценить прочность изделий.

При одинаковых условиях нагружения и объемной доли исследованных композиционных материалов, наиболее вероятно разрушение по межфазной границе боропластика, чем стеклопластика.

Работа выполнена в рамках НИРС [2].

Библиографический список

1. Медведева Г.С., Иванов В.А., Спицын А.Е. Анализ характеристик материалов, используемых в авиастроении // Решетневские чтения. 2016. С. 509-510
2. 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.
3. Преображенский А.И. Стеклопластики – свойства, применение, технологии // Главный механик. 2010. №5. С.27-36.
4. Соколкин Ю.В., Ташкинов А.А. Механика деформирования и разрушения структурно неоднородных тел. М.: Наука, 1984, - 16 с.
5. Соколкин Ю.В., Ташкинов А.А., Вогинов А.М., Постных А.М., Чекалкин А.А. Технология и проектирование углерод-углеродных композитов и конструкций / М.: Наука, Физматлит, 1996-237 с.
6. Сазонов М.А., Чернышова Т.А., Рохлин Л.Л. Композиционные материалы на магниевой основе, армированной частицами: изготовление и свойства // Конструкции из композиционных материалов. 2010. № 2. С. 3-22.

Оригинальность 87%