

Д.В.Климшин (6 курс, каф. МиПУ), Д.В.Шевченко (асп., каф. МиПУ),
 А.И.Боровков, к.т.н, проф.

МЕТОД КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ ЗОН В КОМПОЗИТНЫХ СТРУКТУРАХ

Моделирование и расчет на прочность композиционных структур (КС) с учетом сложной микроструктуры является трудоемкой задачей. В работе предложен новый метод анализа напряженного состояния КС, позволяющий с достаточной степенью точности определять опасные зоны, в которых возникает критическое напряженное состояние, и затем детально исследовать распределения микронапряжений. Основными шагами применения метода являются:

1. Гомогенизация композиционного материала – вычисление эффективных термомеханических характеристик и тензоров поверхности прочности [1, 3].
2. Макроанализ напряженного состояния конструкции и определение критических зон.
3. Последовательная гетерогенизация в критических зонах и определение микронапряжений.

Предложенный подход основан на новом способе построения Tsai-Wu тензорно-полиномиального критерия прочности [2] и применении современных вычислительных методов, реализованных в программной системе ANSYS. Отличие предложенного способа построения критерия от рассмотренного в работе Tsai-Wu (1966) заключается в определении компонентов тензоров поверхности прочности на основе выполнения вычислительных экспериментов для ячеек периодичности, а не физических экспериментов. Иллюстрация метода проводилась на примере плоского напряженного состояния. Ячейка периодичности, а также постановка вычислительных экспериментов представлены рис. 1, где $a = 25$ мкм, $b = 20$ мкм, $c = 15$ мкм. Объемная концентрация волокна $V^f = 0.3534$. Характеристики материалов приведены в табл. 1.

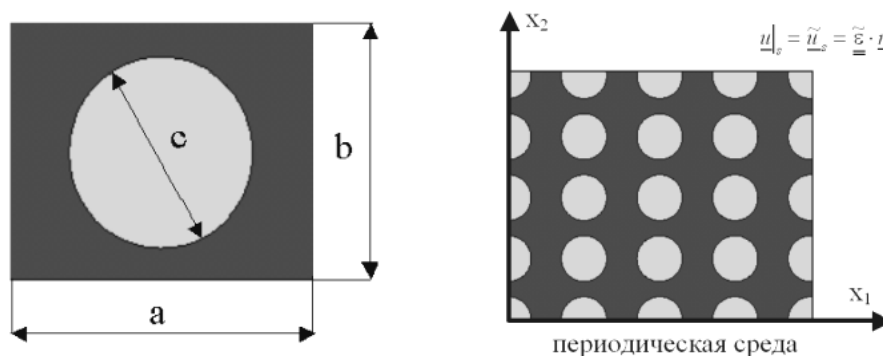


Рис. 1

Таблица 1

	E (GPa)	ν	σ^p (MPa)	σ^c (MPa)	σ^r (MPa)	Y (MPa)
матрица	3.4	0.35	58.8	117.7	51	—
волокно	210	0.3	—	—	—	1400

Далее, на этапе выполнения макроанализа гомогенизированной конструкции с целью определения критических зон применяется тензорно-полиномиальный критерий.

Выполнение критерия эквивалентно попаданию точки, характеризующей напряженное состояние всей ячейки в пространстве осредненных полей напряжений ($\langle \sigma_{11}^* \rangle \langle \sigma_{22}^* \rangle \langle \sigma_{12}^* \rangle$), за некоторую поверхность – эффективную поверхность прочности.

Для построения эффективной поверхности прочности на языке APDL был написан макрос, позволяющий определить ~ 300 точек, описывающих поверхность прочности. Каждая точка является результатом решения задачи на ячейке периодичности при определенных граничных условиях, отвечающих задаваемому пути нагружения.

Используемое в работе количество точек позволяет строить поверхность прочности 4-го порядка (рис. 2), что эквивалентно сохранению в Tsai-Wu тензорно-полиномиальном критерии слагаемых, содержащих тензоры поверхности прочности до 8-го порядка включительно.

Проверка разработанного метода определения опасных зон, в которых достигнуто критическое напряженное состояние, выполнена на серии плоских (plane stress) задач:

- пластина из периодического волокнистого композита при сжатии;
- пластина из периодического волокнистого композита с центральным отверстием, находящаяся в сложном напряженном состоянии.

Для оценки “качества” полученных результатов путем прямого конечно-элементного моделирования получены эталонные решения, учитывающие в полном объеме реальную микроструктуру композиционного материала. Сравнение эталонной задачи и полученных результатов для одной из задач представлено на рис. 3.

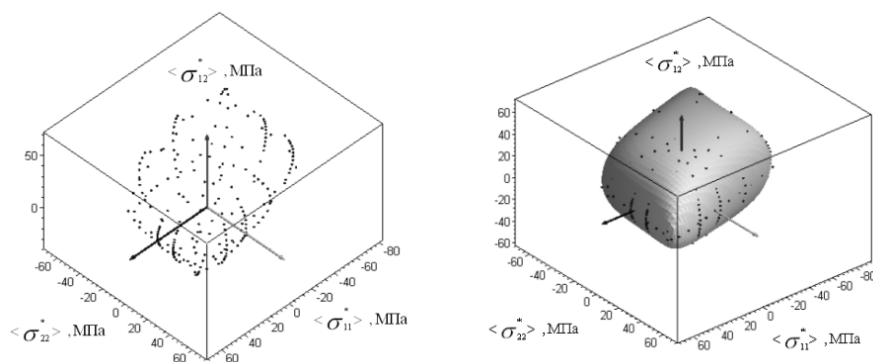


Рис. 2

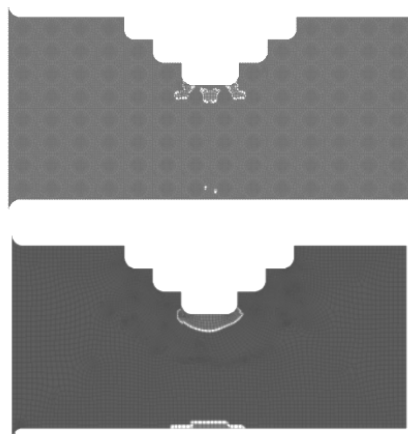


Рис. 3

Установлено, что разработанный метод позволяет эффективно находить все критические зоны в конструкции, а также с достаточной степенью точности определять поля микронапряжений в них.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ванин Г. А. Микромеханика композитных материалов // Киев, Наукова Думка, 1985.
2. Победря Б.Е. Механика композитных материалов // М.:Изд-во Моск. ун-та, 1984.
3. Borovkov A.I. Finite Element Macro- and Micromechanics of the Complex Composite Structures // 3rd EUROMECH Solid Mechanics Conf. Stockholm. Sweden. 1997.