

УДК 539.3

А.С.Шанина (5 курс, каф. МиПУ), Д.В.Климшин, асс., А.И.Боровков, к.т.н., проф.

ОБОБЩЕННЫЙ КРИТЕРИЙ МАКРОРАЗРУШЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ СТРУКТУР В ПРОСТРАНСТВЕ ГЛАВНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Композитные структуры состоят из микронеоднородных фрагментов, которые в расчетных исследованиях, как правило, гомогенизируются – микронеоднородный материал заменяется эквивалентным макроскопически анизотропным материалом [1,2]. После выполнения расчета и определения макронапряжений возникает естественный вопрос – как определить те зоны, где могут возникнуть критические (с точки зрения прочности) зоны макронапряжений.

С этой целью в работе [3] сформулирован, обоснован и применен новый критерий макроразрушения композитных структур в пространстве макроскопических (осредненных) напряжений. Данный подход достаточно хорошо себя зарекомендовал при решении задач о плоском напряженном состоянии и плоском деформированном состоянии композитных структур, но применение данного метода для пространственных композитных структур является достаточно трудоемким, т.к. в этом случае необходимо работать в шестимерном пространстве напряжений $\langle \sigma_{11} \rangle \langle \sigma_{22} \rangle \langle \sigma_{33} \rangle \langle \sigma_{12} \rangle \langle \sigma_{13} \rangle \langle \sigma_{23} \rangle$.

Цель работы – построение критерия макроразрушения композитных структур [3] (построение эффективной поверхности прочности) в пространстве осредненных главных напряжений $\langle \sigma_1 \rangle \langle \sigma_2 \rangle \langle \sigma_3 \rangle$.

Алгоритм решения задач механики композитных структур [1]:

1. Гомогенизация композитного материала периодической структуры – определение эффективных упругих свойств композита на основе решения серии задач на ячейке периодичности [1,2]. Построение критерия макроразрушения композитной структуры в пространстве осредненных главных напряжений $\langle \sigma_1 \rangle \langle \sigma_2 \rangle \langle \sigma_3 \rangle$.

2. Анализ макронапряженного состояния композитной конструкции и определение с помощью критерия макроразрушения критических зон в композитной структуре.

3. Применение метода последовательной гетерогенизации в критических зонах и определение макронапряжений.

В основе разработанного подхода лежит модификация и обобщение тензорно-полиномиального критерия прочности Tsai-Wu [4]. Компоненты тензоров эффективной поверхности прочности определены на основе серии вычислительных (конечно-элементных) экспериментов для ячейки периодичности, а не физических экспериментов. Принципиально важно отметить, что компоненты композитной среды могут иметь различные пределы прочности на растяжение, сжатие, сдвиг (для хрупких материалов) и пределы текучести (для пластичных материалов).

В работе сформулирован обобщенный критерий макроразрушения для случая плоского напряженного состояния композитного материала – на рис. 1 представлены различные варианты построения замкнутой кривой разрушения для рассматриваемого композитного материала.

Проверка работоспособности построенного критерия макроразрушения и метода определения критических зон в композитной среде, в которых реализуются критические макронапряженные состояния, проведена на серии плоских (plane stress) тестовых задач.

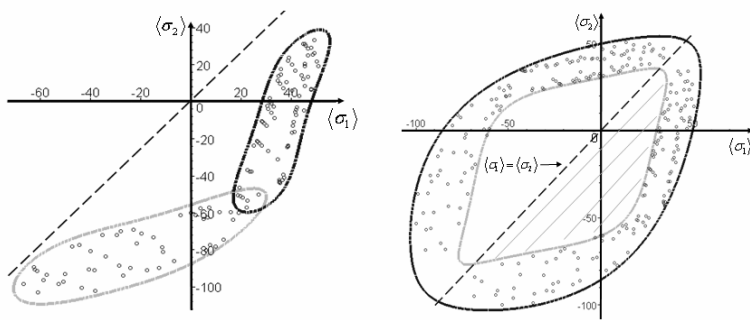


Рис. 1. Варианты построения замкнутой кривой разрушения

Сравнение критических зон, полученных для различных формулировок обобщенного критерия макроразрушения – в компонентах осредненных напряжений $\langle \sigma_{11} \rangle \langle \sigma_{22} \rangle \langle \sigma_{12} \rangle$ и усредненных главных напряжений $\langle \sigma_1 \rangle \langle \sigma_2 \rangle$, представлено на рис. 2.

Установлено, что построенный обобщенный критерий макроразрушения в пространстве усредненных главных напряжений позволяет эффективно определять критические зоны в композитных структурах.

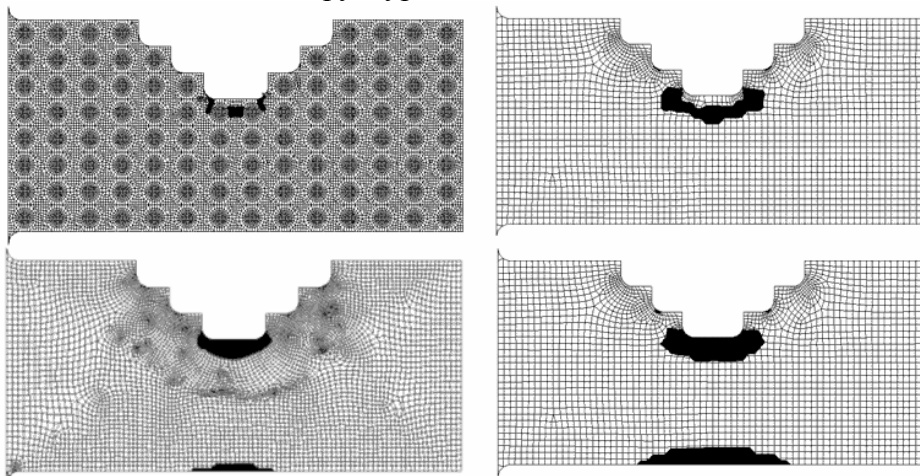


Рис. 2. Сравнение критических зон, полученных для различных формулировок критерия

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бахвалов Н.С., Панасенко Г.П. Осреднение процессов в периодических средах. Математические задачи механики композиционных материалов. – М.: Наука, 1984.
2. Боровков А.И. Эффективные физико-механические свойства волокнистых композитов. – М.: Изд-во ВИНТИ, 1985.
3. Боровков А.И., Климшин Д.В., Шевченко Д.В. Материалы VIII Всероссийской конф. по проблемам науки и высшей школы “Фундаментальные исследования в технических университетах”. СПб. Изд. СПбГПУ. 2004. 185–186.
4. Tsai S.W., Wu E.M. J. Compos. Mater. – 1971. Vol. 5. p. 58–80.