

УДК 539.3

Д.А.Белов (6 курс, каф. МиПУ), А.А.Михайлов, асс., А.И.Боровков, к.т.н.

ПРИНЦИП ЛОКАЛЬНОСТИ В МЕХАНИКЕ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ.

2. ВЛИЯНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ЖЁСТКОСТИ И ОБЪЁМНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОЛОКОН КОМПОЗИТА НА МИКРОНАПРЯЖЕНИЯ

В работе представлены результаты многовариантного исследования влияния относительной жёсткости (E_f/E_m) волокна (fiber) и матрицы (matrix) волокнистого композита с регулярной структурой, а также объёмной концентрации волокон на распределение микронапряжений в гетерогенизированной области. Выясним необходимые размеры гетерогенизированной зоны вокруг интересующей точки, требуемые для получения микронапряжений с погрешностью, не превышающей 5% по сравнению с эталонным решением.

Рассмотрим модель однонаправленного волокнистого упругого композита с двоякопериодической структурой. При варьировании относительной жёсткости (E_f/E_m) коэффициент Пуассона для материала матрицы принимается равным $\nu_m = 0.38$, а модуль Юнга матрицы – $E_m = 3.5$ ГПа. Для материала волокон коэффициент Пуассона $\nu_f = 0.2$, а модуль Юнга E_f изменяем таким образом, что отношение E_f/E_m принимает следующие значения: $\{10^{-3}, 10^{-2}, 10^{-1}, 10, 10^2, 10^3\}$. При этом объёмная концентрация волокон фиксируется и равна $\nu_f = 0.2$.

При варьировании объёмной концентрации волокон (ν_f) упругие характеристики матрицы остаются прежними, а характеристики волокна следующие – модуль Юнга $E_f = 34.5$ ГПа, коэффициент Пуассона $\nu_f = 0.2$. Значения объёмной концентрации волокон ν_f в двоякопериодическом композите меняются следующим образом: $\nu_f = \{0.2, 0.4, 0.6\}$. Характерный размер ячейки периодичности

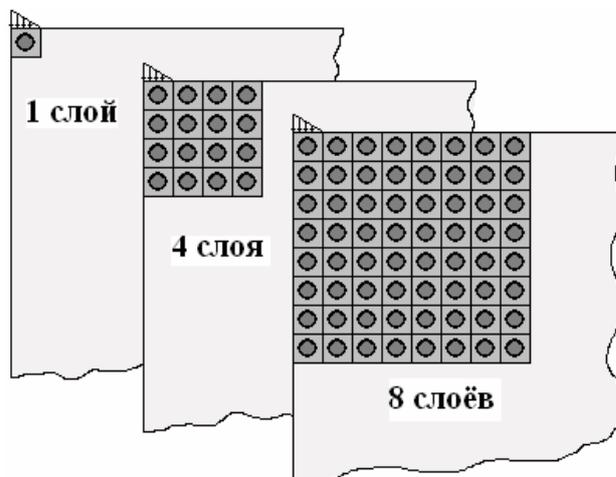


Рис. 1

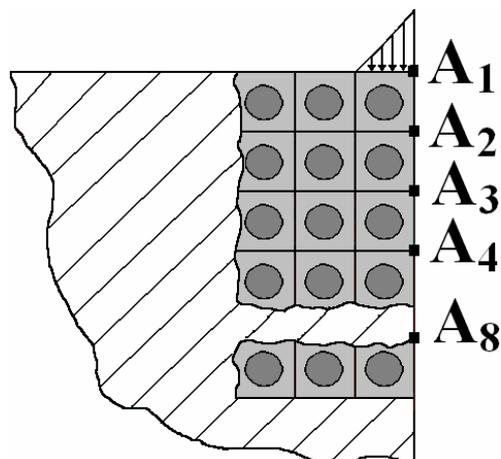


Рис. 2

для всех случаев составляет $a = 20$ мкм, радиус волокна r меняется в зависимости от заданной концентрации волокон.

Сохраним постановку задачи, описанную в первой части работы. Для каждого из вышеперечисленных параметров решим эталонную задачу с размером модели 40×40 ячеек периодичности. Далее с помощью метода прямой гомогенизации определим эффективные упругие характеристики композита и решим ряд задач для гибридных гомогенно-гетерогенных моделей, в которых число слоёв ячеек периодичности изменяется от 1 до 8 (рис. 1). Расчетные исследования выполнены в программной системе КЭ анализа ANSYS в двумерной постановке в

рамках плоского деформированного состояния.

В результате решения серии задач получены значения компонента тензора напряжений σ_{xx} . Эти значения для каждого из вариантов сравниваются с эталонным решением в точках, приведенных на рис. 2, и вычисляется относительная погрешность по формуле:

$$\varepsilon_{hetero} = \left| \frac{\sigma_{N \times N}^A - \sigma_{эталонное}}{\sigma_{эталонное}} \right|.$$

Анализ результатов КЭ решения серии задач свидетельствует, что вывод, сделанный в первой части исследования, справедлив и для рассматриваемых случаев.

Максимальная относительная погрешность при варьировании относительной жёсткости (E_f/E_m) укладывается в 5-% интервал уже при наличии 2-х слоёв ячеек периодичности (рис. 3а), а с увеличением их количества погрешность между значениями в рассматриваемых точках уменьшается (рис. 3б).

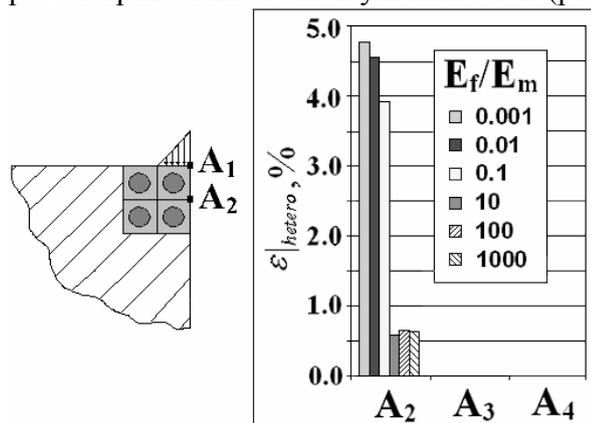


Рис. 3а

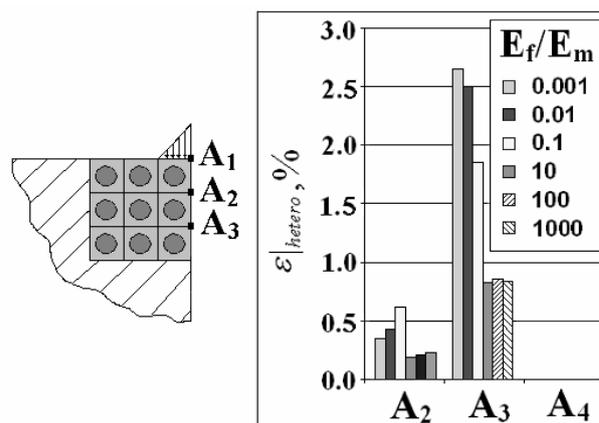


Рис. 3б

Интересно отметить тот факт, что в случае, когда материал матрицы является более жёстким, чем материал волокон $E_f/E_m = \{10^{-3}, 10^{-2}, 10^{-1}\}$, относительная погрешность ε в несколько раз превышает относительную погрешность в случае, когда материал волокон более жесткий, чем материал матрицы (рис. 3а и 3б).

При варьировании объёмной концентрации волокон (v_f) максимальная относительная погрешность также укладывается в 5-% интервал уже на втором шаге процедуры последовательной прямой гетерогенизации для всех рассмотренных случаев (рис. 4). Аналогично, при увеличении количества слоёв ЯП в гетерогенизированной зоне, погрешность между значениями в рассматриваемых точках уменьшается. При этом величина относительной погрешности в одних и тех же точках возрастает при приближении объёмной концентрации v_f к предельному значению – диаметр волокна равен характерному размеру ЯП ($v_f = 0,78$).

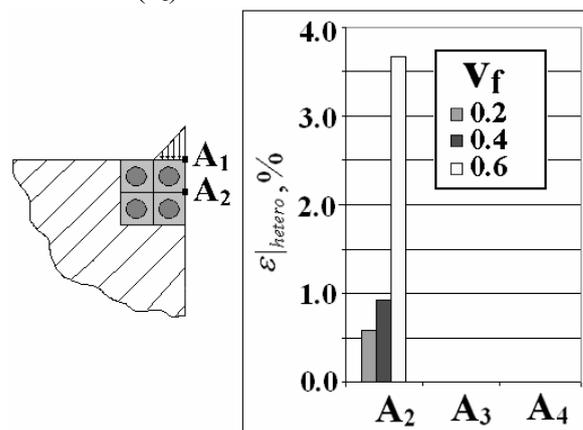


Рис. 4

На основе выполненных КЭ исследований, можно сделать вывод, что для уточнения микронапряжений с точностью до 5% при использовании принципа локальности достаточно взять два слоя ЯП ($k = 2$) при относительных жесткостях E_f/E_m от 10^{-3} до 10^3 , что охватывает практически все мыслимые комбинации компонентов композитов, и для широкого интервала значений объёмных концентраций v_f от 0.2 до 0.6.