

УДК 539.3

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

ПРИНЦИП ЛОКАЛЬНОСТИ В МЕХАНИКЕ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ.

1. ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА ЛОКАЛЬНОСТИ

В последнее время композиционные материалы (композиты) играют всё большую роль в различных отраслях промышленности. Учитывая эти тенденции, можно с уверенностью утверждать, что разработка эффективных методов механики композитов на основе конечно-элементного (КЭ) моделирования является актуальной задачей. Одним из современных эффективных методов механики композитных структур является метод прямой гомогенизации [1], позволяющий вычислить эффективные упругие характеристики и в дальнейшем заменить композитную структуру эквивалентным гомогенным материалом с эффективными анизотропными упругими свойствами.

Цель работы – иллюстрация применения принципа локальности в механике композитов [2], позволяющего получить значения микронапряжений, микродеформаций и микроперемещений вблизи интересующих точек путём замены эффективного гомогенного материала в их окрестности на реальные микронеоднородные ячейки периодичности. Этот подход известен как метод последовательной прямой гетерогенизации [2].

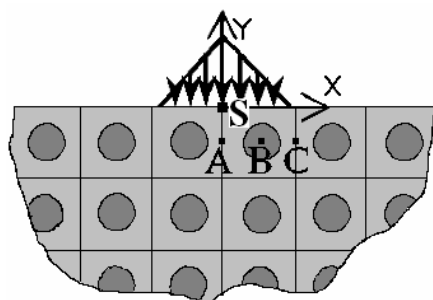


Рис. 1

Принцип локальности в механике композитов можно сформулировать следующим образом: гомогенизированная область композита с регулярной структурой влияет на

напряжения в точках гетерогенной области, расположенных не далее, чем на k характерных размеров ячеек периодичности (ЯП) от границы раздела гетерогенной и гомогенной областей.

Выполним исследования, позволяющие оценить размеры гетерогенной области (число ЯП k) вокруг интересующей точки для получения “точного” значения микронапряжений (с погрешностью, не превышающей 5%). При этом выбран самый “тяжелый” случай – точка располагается на границе, где приложено внешнее давление (точка S на рис. 1).

Рассмотрим однонаправленный волокнистый композит двоякопериодической структуры, компоненты которого идеально связаны между собой. Характерный размер ЯП составляет $a = 20$ мкм, диаметр волокон – $d = 10$ мкм (рис. 2). Концентрация волокон в композите равна $v_f = 0.2$. ЯП состоит из двух компонентов, имеющих следующие упругие свойства: матрица (эпоху matrix) – модуль Юнга $E_m = 3.5$ ГПа, коэффициент Пуассона $\nu_m = 0.38$; волокно (carbon fiber) – модуль Юнга $E_f = 34.5$ ГПа, коэффициент Пуассона $\nu_f = 0.2$. Расчетные исследования выполнены в программной системе КЭ анализа ANSYS в 2-D постановке в рамках плоского деформированного состояния с использованием изопараметрических квадратичных КЭ.

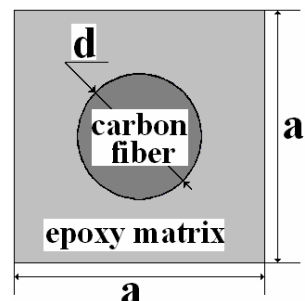


Рис. 2

Основные этапы исследования:

1. КЭ моделирование композитной структуры размером 40×40 ЯП, находящейся под действием локальной неравномерной нагрузки, приложенной к внешней границе двух ЯП (рис. 1). Получим КЭ решение задачи с полным учетом микроструктуры композита – решение эталонной задачи.

2. КЭ вычисление эффективных упругих характеристик однонаправленного волокнистого композита с помощью метода прямой гомогенизации [1].

3. Выполнение последовательной прямой гетерогенизации и КЭ решение задач для серии гибридных гомогенно-гетерогенных моделей.

На основе гибридных гомогенно-гетерогенных моделей исследуем зависимость компоненты напряжений σ_{xx} в точках А, В и С (рис. 1) от числа слоёв ЯП, расположенных вокруг точки S. По результатам КЭ расчётов построен график (рис. 3), где нулю на оси абсцисс соответствует гомогенная модель. Установлено, что сходимость напряжений в рассматриваемых точках наблюдается уже при наличии двух слоёв ЯП.

В рамках последовательной прямой гетерогенизации число слоёв ЯП варьируется от 1 до 10. Сравним полученные КЭ результаты с КЭ решением эталонной задачи – эталонным решением.

Установлено, что погрешность укладывается в 5-% интервал уже при наличии двух слоёв ЯП, а с их увеличением погрешность уменьшается. При этом влияние скачка значений компонента напряжений σ_{xx} на границе раздела гомогенного и гетерогенного материалов становится несущественным уже на расстоянии одной ЯП даже при рассмотрении модели с одним слоем (см. рис. 4, где приведены распределения компонента тензора напряжений σ_{xx} вдоль вертикальной координаты, как для эталонной и гомогенной моделей, так и для гомогенно-гетерогенной модели с одним слоем ЯП).

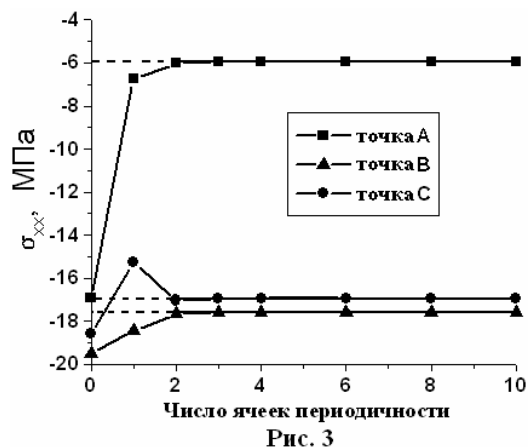


Рис. 3

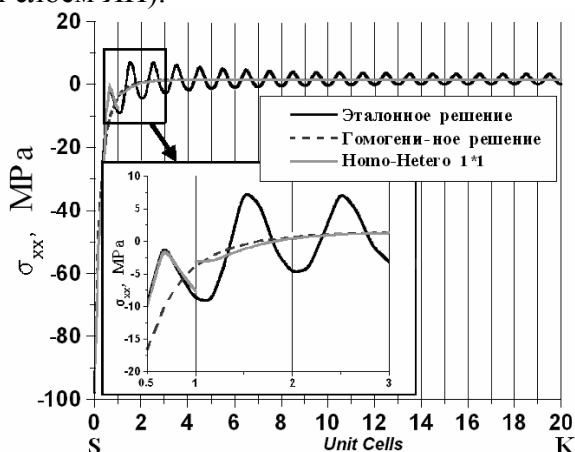
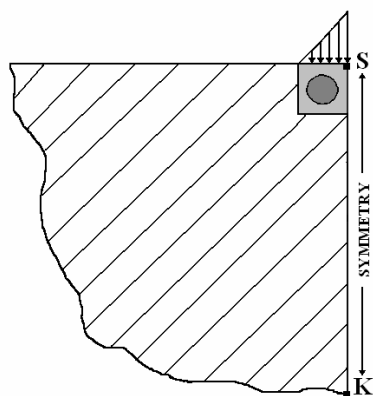


Рис. 4

Таким образом, значение коэффициента k , о котором говорится в принципе локальности, получили равным 2 для волокнистого композита с вышеперечисленными свойствами и концентрацией волокон $v_f = 0.2$.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Боровков А.И. Эффективные физико-механические свойства волокнистых композитов – М.: Изд-во ВИНТИ, 1985.
2. Borovkov A.I., Palmov V.A. Preprints 3rd Int. Workshop NDTCS'99. St.Petersburg. Russia. 1999. H6-H7.