

УДК 539.3

В.В.Меркушев (асп., каф. МПУ), А.И.Боровков, к.т.н., проф.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ
ЭФФЕКТИВНЫХ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК
МАКРОСКОПИЧЕСКИ АНИЗОТРОПНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.
2. КОМПОЗИТ, АРМИРОВАННЫЙ СТОХАСТИЧЕСКИ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ
ТОНКИМИ ЛЕНТАМИ

Рассмотрим композитный материал, состоящий из двух компонентов – матрицы, занимающей большую часть объема и тонких лент, которые расположены случайным образом и занимают 1-2% объема всего материала. Материал обладает моноклинной структурой, поперечное сечение представительного элемента объема данного материала приведено на рис. 1.

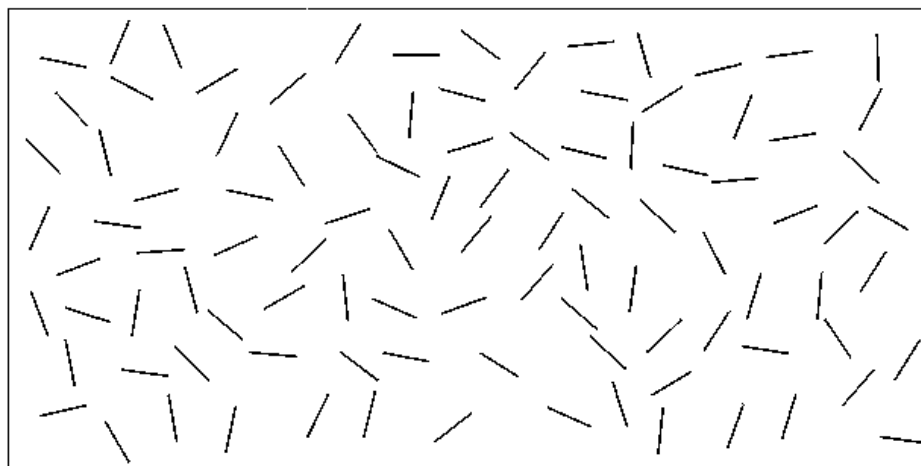


Рис. 1.

Характерные размеры модели: ширина представительного элемента объема $a = 1000$ нм, высота представительного элемента объема $b = 500$ нм, длина ленты $l = 50$ нм, ширина ленты $h = 1$ нм, количество лент $n = 100$, объемная концентрация лент – $V_m = 0.01$. Свойства материалов: модуль Юнга матрицы $E_m = 1$ ГПа, коэффициент Пуассона матрицы $\nu_m = 0.35$, модуль Юнга включений $E_f = 100E_m = 100$ ГПа, коэффициент Пуассона включений $\nu_f = 0.2$.

Для определения эффективных упругих характеристик материала методом статистической прямой гомогенизации с помощью программной системы конечно-элементного анализа ANSYS, была решена серия задач для 100 реализаций модели материала. При этом объемная концентрация лент оставалась неизменной, а их расположение и углы поворота менялись случайным образом. Затем на основе метода Монте-Карло были вычислены значения эффективных упругих характеристик:

эффективные модули Юнга: $E_1^* = 1.1453$ ГПа, $E_2^* = 1.1473$ ГПа, $E_3^* = 1.9900$ ГПа;
эффективные модули сдвига: $G_{12}^* = 0.8017$ ГПа, $G_{13}^* = 0.5828$ ГПа, $G_{23}^* = 0.5849$ ГПа;
эффективные коэффициенты Пуассона: $\nu_{12}^* = 0.4244$, $\nu_{21}^* = 0.4251$, $\nu_{13}^* = 0.1971$, $\nu_{31}^* = 0.1970$, $\nu_{32}^* = 0.3424$, $\nu_{23}^* = 0.3419$;

коэффициенты Ченцова: $\mu_{31,23}^* = -7.8330 \cdot 10^{-4}$, $\mu_{23,31}^* = -9.1583 \cdot 10^{-4}$;
 коэффициенты взаимного влияния 1-го рода: $\eta_{12,1}^* = -9.9148 \cdot 10^{-4}$, $\eta_{12,2}^* = \eta_{12,3}^* = -1.3278 \cdot 10^{-4}$;
 коэффициенты взаимного влияния 2-го рода: $\eta_{1,12}^* = -6.9405 \cdot 10^{-4}$, $\eta_{2,12}^* = -9.2788 \cdot 10^{-5}$, $\eta_{3,12}^* = 1.5427 \cdot 10^{-4}$.

На рис. 2 приведена гистограмма распределения отношения эффективного модуля Юнга E_1^* к модулю Юнга матрицы E_m :

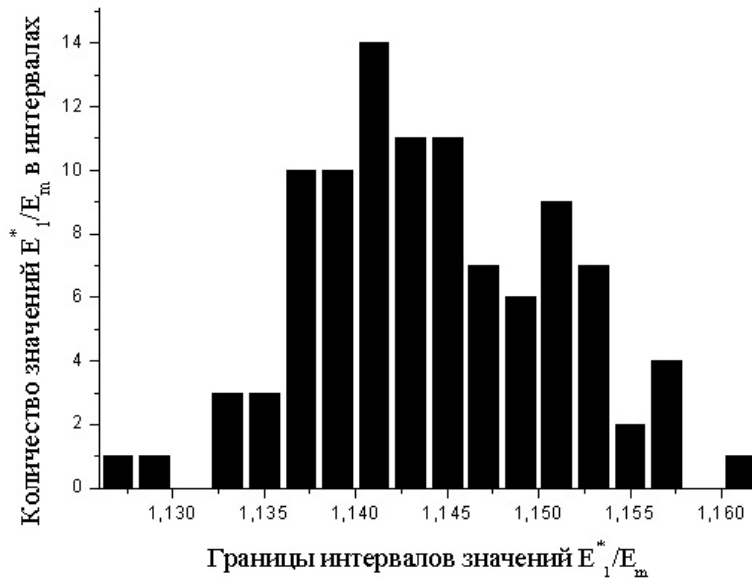


Рис. 2.

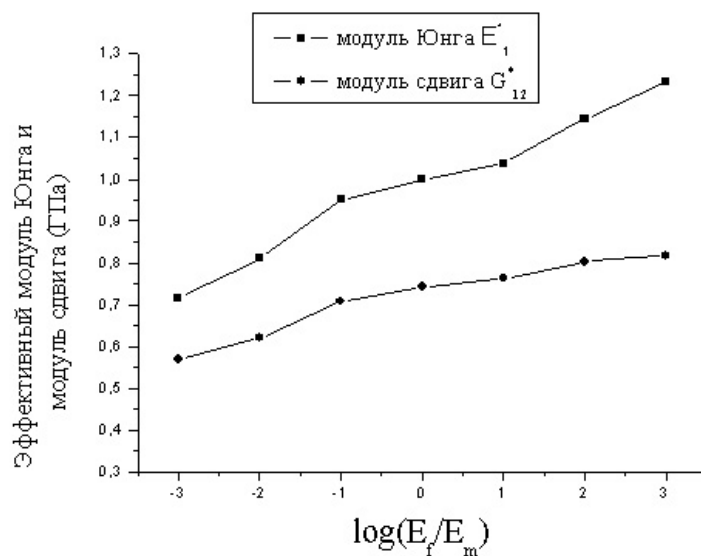


Рис. 3.

Проведено исследование зависимости эффективных упругих характеристик от свойств компонентов композита, решено ~ 3500 задач для представительного элемента объема композита (каждая точка графика – серия из 5 задач метода прямой гомогенизации для 100 моделей). Отношение модуля Юнга включений к модулю Юнга матрицы менялось в пределах $[0.001; 1000]$, найдены 13 эффективных упругих характеристик для композита с моноклинной структурой, графики зависимости эффективного модуля Юнга E_1^* и эффективного модуля сдвига G_{12}^* от модулей Юнга компонентов приведены на рис. 3.