

**А. Н. В л а с о в, П. Е. М а р к е л о в, В. Л. С а в а т о р о в а** (Москва, ИПМ РАН, МИФИ). **Исследование деформационных свойств системы «матрица–слой–включение».**

Сложность пространственной структуры и наличие большого числа веществ в составе композиционного материала существенно затрудняют описание их физических свойств при различных условиях воздействия. Использование различных моделей осреднения позволяет определять эффективные характеристики неоднородных сред, однако затрудняет описание прочностных свойств, во многом связанных с неоднородностью поля напряжений в композиционном материале. В качестве одной из широко распространенных моделей описания композиционных материалов используется подход в рамках модели «матрица–включение».

Рассмотрим неограниченную изотропную среду (матрицу), содержащую изолированное включение цилиндрической формы, характеризуемое радиусом  $R$ , отделенное от матрицы слоем (системой слоев) вещества толщиной  $H$ .

Среди численных методов решения задач теории упругости наибольшее распространение получил метод конечных элементов МКЭ [1]. Для моделирования поведения рассматриваемой системы был использован разработанный пакет UWay численных программ для решения задач МКЭ [2]. На рис. 1 представлена расчетная сетка, позволяющая точно моделировать геометрию задачи и рассчитывать очень тонкие слои, для которых выполняется условие  $H \ll R$ . Рассмотрим случай, когда поверхностный слой состоит из четырех веществ. Сетка позволяет присваивать 11-и тонким слоям различные характеристики. Возьмем внешние два тонких слоя и обозначим их как поверхностный слой 1, далее обозначаем поверхностные слои 2, 3 и 4 последовательно по три тонких слоя. Во всех конфигурациях матрицу будем считать эпоксидной смолой с характеристиками  $E = 3,45$  ГПа,  $\nu = 0,35$ . За включение во всех случаях принимаем сталь  $E = 210$  ГПа,  $\nu = 0,28$ . Слои будем варьировать. Вещества слоев: резина  $E = 10$  МПа,  $\nu = 0,48$ , стекловолокно  $E = 73,1$  ГПа,  $\nu = 0,22$ , пластмасса  $E = 570$  МПа,  $\nu = 0,35$ , керамика  $E = 450$  ГПа,  $\nu = 0,26$ .

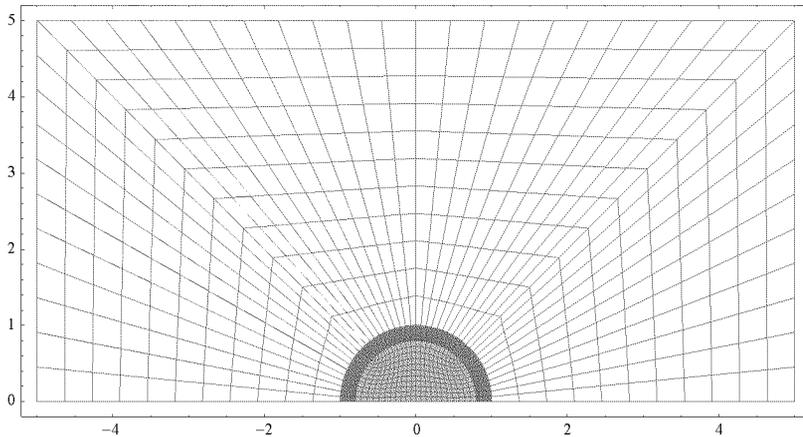


Рис. 1.

В таблице приведены параметры слоев при различных конфигурациях, для которых получены численные решения в случае всестороннего сжатия 5 МПа.

Нагрузка 5 МПа	Конфиг. 3.1	Конфиг. 3.2	Конфиг. 3.3	Конфиг. 3.4	Конфиг. 3.5
Матрица	Эпоксидная смола				
Контактный слой 1	Резина	Керамика	Резина	Пластмасса	Стекловолокно
Контактный слой 2	Стекловолокно	Стекловолокно	Пластмасса	Керамика	Пластмасса
Контактный слой 3	Пластмасса	Пластмасса	Стекловолокно	Резина	Керамика
Контактный слой 4	Керамика	Резина	Керамика	Стекловолокно	Резина
Включение	Сталь				

Для всех конфигураций, представленных в таблице, с помощью МКЭ были проведены расчеты. Так, на рис. 2 представлены результаты расчета поля напряжений для конфигурации 1.

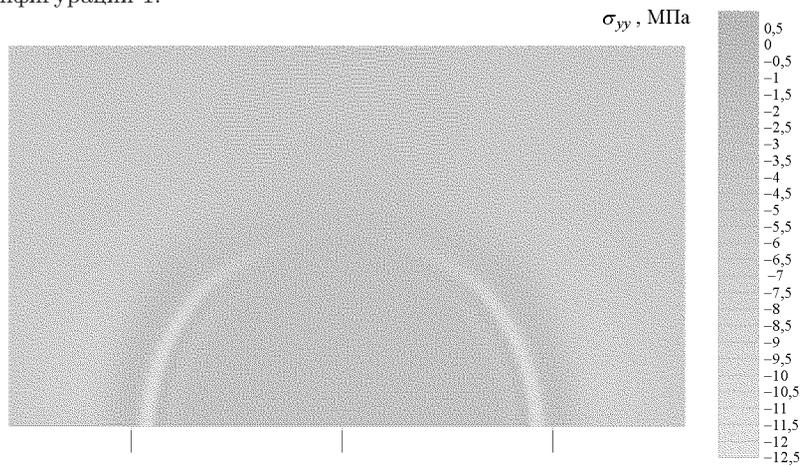


Рис. 2 а. Конфигурация 1.

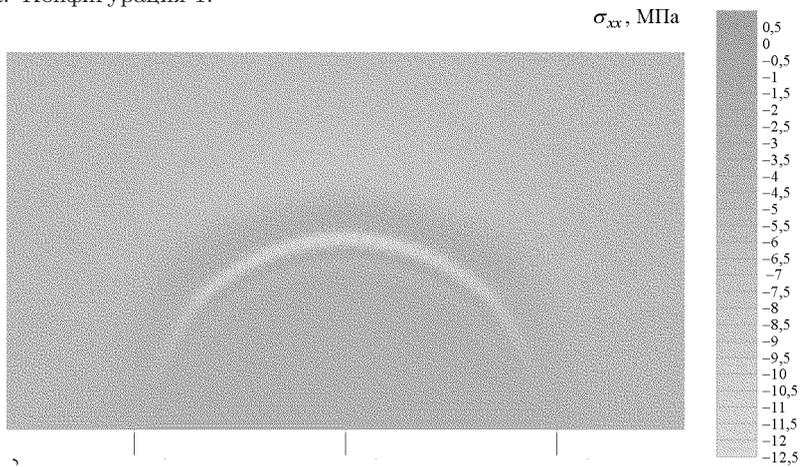


Рис. 2 б. Конфигурация 1. Сравнение результатов расчетов для различных конфигураций показывает, что наличие тонких слоев в системе «включение–слой–матрица» с различными механическими характеристиками приводит к существенному перераспределению напряжений в среде.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов Е. М., Никишков Г. П. Метод конечных элементов. М: Мир, Наука, 1980, 304 с.
2. Ухов С. Б., Власов А. Н., Мерзляков В. П., Талонов А. В. Некоторые процессы, определяющие реологическое поведение мерзлых грунтов под нагрузкой. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1996, № 2, с. 14–19.