

УДК 539.3

И.К.Королёв (6 курс, каф. МПУ), А.И.Боровков, к.т.н., проф.

## КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ ПЛАСТИН С ТРЕЩИНАМИ, ОТВЕРСТИЯМИ И ВКЛЮЧЕНИЯМИ

### 1. ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ БЕСКОНЕЧНОЙ ПЛАСТИНЫ С ТРЕЩИНАМИ И ВКЛЮЧЕНИЯМИ

В линейной механике разрушения коэффициент интенсивности напряжений (КИН) является одним из наиболее важных параметров. Предельное значение КИН, при котором возникает страгивание трещины –  $K_c$ , отражает одну из характеристик материала – вязкость разрушения. Соотношение  $K \geq K_c$  является силовым критерием разрушения.

Для большинства реальных конструкций аналитическое определение КИН не представляется возможным в силу сложной геометрии трещины. В связи с этим большую роль приобретают численные методы определения значений КИН, среди которых наиболее эффективным является метод конечных элементов (МКЭ).

Во второй половине XX века широкое применение в промышленности получили элементы конструкций, имеющие в своём составе перфорированные структуры. В связи с этим весьма актуальным стал вопрос об определении влияния трещины на перераспределение напряжений в такой структуре.

Целью работы является КЭ определение КИН в вершине трещины и напряженного состояния на границе отверстия, а также исследование зависимости их значений от геометрических параметров задачи.

При КЭ решении рассматривается линейная упругая изотропная модель материала. В качестве типа элемента используется плоский квадратичный 8-ми узловый элемент с двумя степенями свободы в каждом узле – компоненты вектора перемещения  $U_x$ ,  $U_y$ . Решается задача теории упругости в рамках гипотезы плоского напряженного состояния.

Рассматриваем периодическую задачу об одноосном растяжении бесконечной пластины, полоса периодов которой содержит круговое включение и прямолинейную трещину. Геометрические параметры:  $2l = 0.02$  м – длина трещины,  $a = 0.05$  м – расстояние между центрами отверстий и трещиной,  $\alpha = 0^\circ, 7.5^\circ, 15^\circ, 22.5^\circ, 30^\circ, 37.5^\circ, 45^\circ, 52.5^\circ, 60^\circ, 67.5^\circ, 75^\circ, 82.5^\circ, 90^\circ$  – угол наклона трещины к оси  $Ox$ ,  $R = 0.03$  м – радиус отверстия,  $H = 0.2$  м – ширина пластины. Физико-механические параметры:  $m = E_2 / E_1 = 0.001, 0.01, 0.1, 1.0, 10, 100, 1000$  – отношение модулей Юнга матрицы и включения. Данная задача не рассматривалась ранее в научной литературе.

Геометрическая модель одного периода пластины представлена на рис. 1. Приложенная нагрузка:  $\sigma_y^\infty|_{y=0,2} = 10 \text{ МПа}$ .

Параметры КЭ модели: число элементов  $NE = 30142$ , число узлов  $NN = 89382$ , число степеней свободы  $NDF = 168274$ . В качестве исследуемого параметра введём безразмерные коэффициенты:

$$k_I = \frac{K_I}{\sigma\sqrt{\pi l}}, \quad k_{II} = \frac{K_{II}}{\sigma\sqrt{\pi l}}.$$

В результате КЭ решения получены следующие результаты для значений КИН  $k_I$  и  $k_{II}$ , представленные на рис. 2–5.

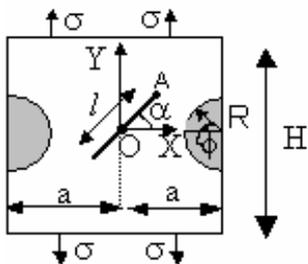


Рис. 1.

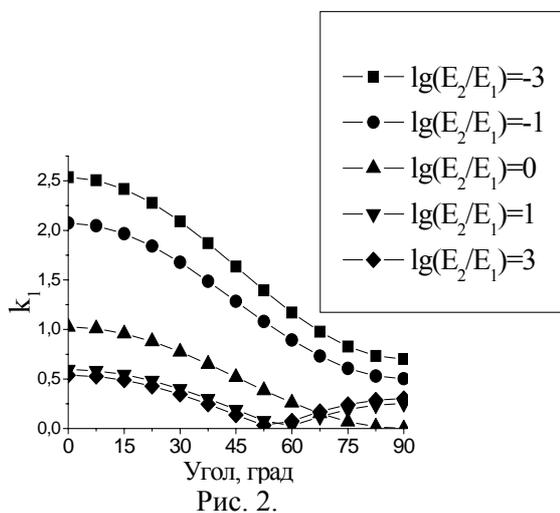


Рис. 2.

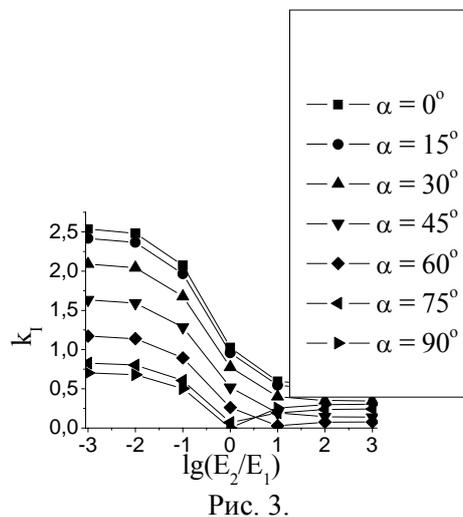


Рис. 3.

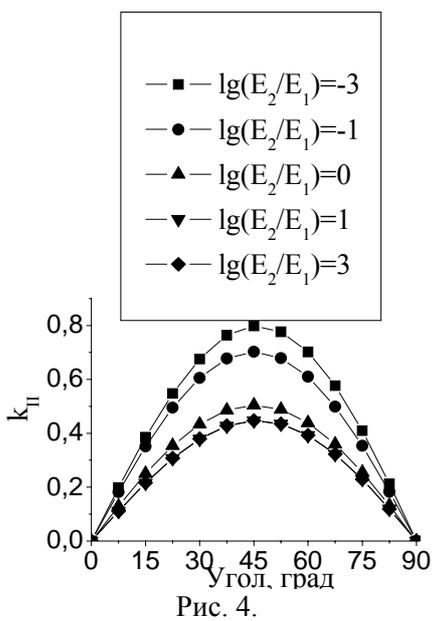


Рис. 4.

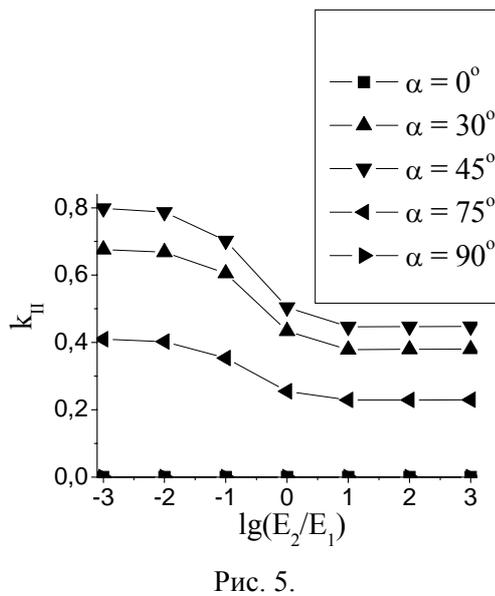


Рис. 5.

Из данных, приведённых на рис. 2.3 можно сделать вывод, что наиболее опасными являются случаи, когда жёсткость включения мала по сравнению с жёсткостью матрицы. Иными словами, наличие отверстия является наиболее опасным случаем с точки зрения разрушения конструкции. Отметим, что при больших углах наклона трещины к оси ОХ (больше 60%) наличие жёсткого включения ( $E_2 > E_1$ ) приводит к уменьшению значения  $k_I$ , а следовательно, позволяет избежать опасности разрушения конструкции.

Из анализа данных рис.4,5 следует, параметр  $k_{II}$  имеет явный максимум при значении  $\alpha = 45^\circ$ . Отметим, что наиболее опасной с точки зрения разрушения является конструкция с малым модулем Юнга для включения, а именно, конструкции с отверстиями.