

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 2. ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ БЕСКОНЕЧНОЙ ПЛАСТИНЫ С ТРЕЩИНАМИ И ОТВЕРСТИЯМИ

Рассматриваем периодическую задачу об одноосном растяжении бесконечной пластины, полоса периодов которой содержит круговое отверстие и прямолинейную трещину. Геометрические параметры:  $2l = 0.02$  м – длина трещины,  $a = 0.05$  м – расстояние между центрами отверстий и трещиной,  $\alpha = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$  – угол наклона трещины к оси ОХ,  $R = 0.03$  м – радиус отверстия,  $H = 0.2$  м – ширина пластины.

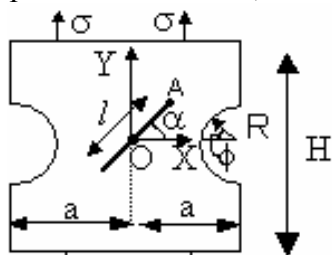


Рис. 1.

Геометрическая модель одного периода пластины представлена на рис.1. Приложенная нагрузка:  $\sigma_y^\infty|_{y=0.2} = 10$  МПа.

Определим значения КИН при  $\alpha = 45^\circ$ . Параметры КЭ модели: число элементов  $NE = 23490$ , число узлов  $NN = 70992$ , число степеней свободы  $NDF = 141984$ .

В качестве исследуемого параметра введём безразмерные коэффициенты:  $k_I = \frac{K_I}{\sigma\sqrt{\pi l}}$ ,  $k_{II} = \frac{K_{II}}{\sigma\sqrt{\pi l}}$ . Сравним полученное

КЭ решение со значениями  $k_I^{C,II}$  и  $k_{II}^{C,II}$ , приведенными в [1] и вычисленными на основании численного решения системы сингулярных интегральных уравнений методом механических квадратур. Для рассматриваемых значений параметров:  $k_I^{C,II} = 1.650$ ,  $k_{II}^{C,II} = 0.794$ . КЭ значения КИН равны:  $k_I = 1.639$ ,  $k_{II} = 0.7988$ . Различие с КЭ решением вычисляется как:

$$\varepsilon = \frac{|K_I^M - K_I^{(i)}|}{K_I^M} \cdot 100\%. \text{ Сходимость значения КИН от NDF задачи представлена в табл. 1.}$$

Таблица 1.

№	NDF	$k_I$	$\varepsilon_I, \%$	$k_{II}$	$\varepsilon_{II}, \%$
1	10454	1.7514	- 6.145	0.8435	- 6.288
2	35120	1.6752	- 1.527	0.8058	- 1.537
3	74368	1.6419	0.491	0.7994	- 0.731
4	141984	1.639	0.667	0.7988	- 0.655

Рассмотрим теперь зависимость значений коэффициентов  $k_I$  и  $k_{II}$  от угла наклона трещины к оси ОХ. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2.

$\alpha, \text{град}$	$k_I = \frac{K_I}{\sigma\sqrt{\pi l}}$			$k_{II} = \frac{K_{II}}{\sigma\sqrt{\pi l}}$		
	[1]	ANSYS	$\varepsilon_1, \%$	[1]	ANSYS	$\varepsilon_2, \%$

0	2.5455	2.5428	0.104	0	0	0
30	2.0909	2.0978	- 0.331	0.6844	0.6782	0.919
45	1.650	1.639	0.667	0.7939	0.7988	- 0.655
60	1.1709	1.173	- 0.252	0.7091	0.7035	0.512
90	0.7059	0.7039	0.323	0	0	0

Необходимо отметить, что значения  $k_I$  сходятся к значению, отличному от приведенного в [1], хотя различие значений менее 1%. Это можно объяснить использованием в решении [1] численных процедур.

На рис. 2,3 приведены зависимости безразмерной величины  $\sigma_\phi / \sigma_{\phi 0}$  от значения угла  $\alpha$  и от угла  $\phi$ , где  $\sigma_\phi$  – окружные напряжений на контуре отверстия при наличии трещины,  $\sigma_{\phi 0}$  – окружные напряжений на контуре отверстия без трещины. Эта величина характеризует перераспределение напряжений при наличии трещины.

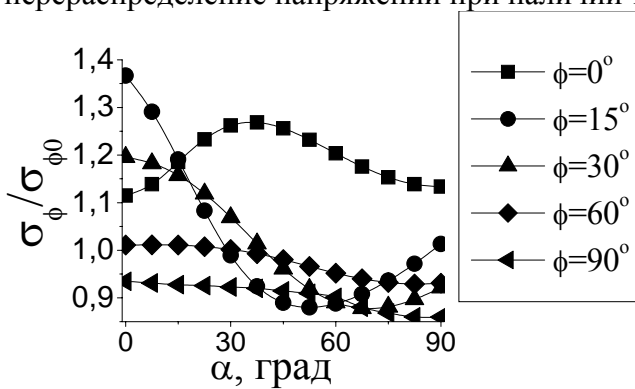


Рис. 2.

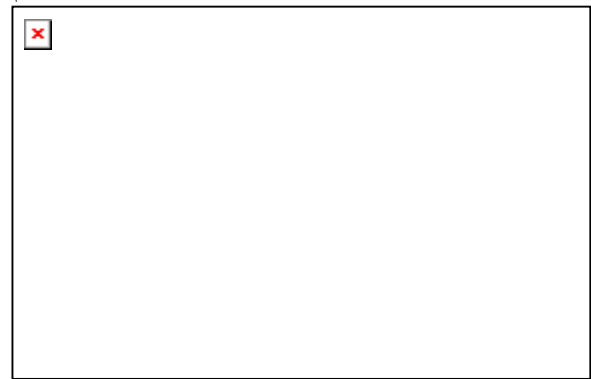


Рис. 3.

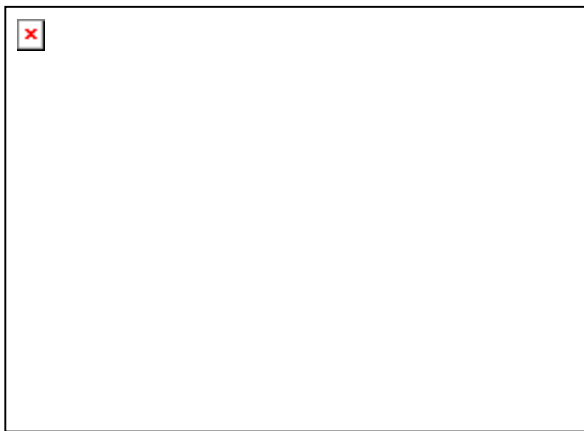


Рис. 4.



Рис. 5.

Из рис. 2,3 можно сделать вывод о том, что при значениях угла  $\phi$  до  $60^\circ$  наличие трещины приводит к увеличению напряжений в пределах  $0-40\%$ , а при значениях больше  $60^\circ$  к уменьшению напряжений  $\sigma_\phi$ . Отметим, что при расположении трещины вдоль оси ОХ ( $\alpha = 0^\circ$ ) максимальное влияние трещина оказывает на участок свободной поверхности отверстия около  $13^\circ$  (а не  $\phi = 0^\circ$ ), следовательно, в этой области и следует ожидать начало разрушения. Данный эффект весьма любопытен, поэтому было принято решение исследовать его более подробно. Получено более точное значение угла  $\phi^* = 12.5^\circ$ , при котором окружные напряжения достигают максимума. Также было проведено исследование зависимости значение угла  $\phi^*$  от значения параметра  $a$  – расстояния между центрами отверстий и трещиной. Результаты исследования представлены на рис.4,5.

Анализ рис. 5 позволяет сделать вывод о том, что полученный эффект есть результат влияния трещины на распределение напряжений на границе отверстия, причём влияние весьма локально, так как малое увеличение параметра  $a$  приводит к исчезновению эффекта.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Саврук М.П., Панасюк В.В. Периодическая задача плоской теории упругости для бесконечной плоскости с трещинами и отверстиями // Проблемы прочности, №6, 1983.