

УДК 539.3

А.А.Ивушин (4 курс, каф. МиПУ), Д.В.Шевченко, асс., А.И.Боровков, к.т.н., проф.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ В СЛУЧАЕ ДУГОВОЙ ТРЕЩИНЫ

В линейной механике разрушения коэффициент интенсивности напряжений (КИН) является одним из наиболее важных параметров. Именно поэтому существует огромное количество научных статей и исследований, посвященных аналитическому определению КИН для трещин различной формы. В большинстве из них рассматриваются прямолинейные или кусочно-прямолинейные трещины. Однако в конструкциях часто встречаются трещины криволинейной формы, в том числе дуговые трещины (например, конструктивные непровары, которые следует моделировать как криволинейные трещины).

В работе рассмотрена плоская круговая область с малой дуговой трещиной вокруг центра (рис. 1). Радиус области $R = 10$ см, радиус дуговой трещины $r = 1$ см. Значение угла β меняется в пределах от 90° до 175° с шагом 5° . Область находится под действием внешнего гидростатического давления $P = 100$ МПа.

В силу симметрии конструкции и приложенных нагрузок относительно оси OY рассматриваем лишь половину исследуемой области. С помощью метода конечных элементов (КЭ) определены соответствующие КИН в вершине трещины, исследована зависимость их значений от геометрических характеристик конструкции, а также проведено сравнение КЭ результатов с теоретическими [1].

Для построения КЭ модели используем плоский квадратичный 8-ми узловый элемент Plane85 с 2 степенями свободы в каждом узле – компонентами вектора перемещения U_x , U_y . Для каждого варианта ($\beta = 90^\circ; 95^\circ; \dots; 175^\circ$) типичная КЭ модель имеет характеристики: число элементов – $NE = 6\ 250$, число узлов – $NN = 17\ 500$, число степеней свободы – $NDF = 35\ 000$. Вершину трещины окружим 6-ти узловыми сингулярными элементами. У таких КЭ, в отличие от обычных, центральные узлы на сторонах, прилежащих к вершине трещины, смещены к вершине на четверть длины стороны. Благодаря этому искомые напряжения вблизи вершины трещины имеют такой же порядок сингулярности, как и в линейной теории упругости ($\sim \frac{1}{\sqrt{r}}$, r – радиус в полярных координатах с центром в вершине трещины). Таким образом, применение сингулярных элементов позволяет значительно увеличить точность получаемого решения. Радиальные размеры первого и второго слоев КЭ вокруг трещины – 0.2 мм, число КЭ, окружающих вершину трещины, – 15.

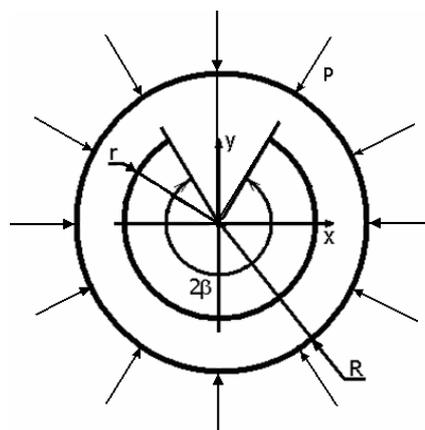


Рис. 1. Схема исследуемой конструкции

КЭ модель (для случая $\beta = 60^\circ$, с учетом симметрии конструкции) приведена на рис. 2, а КЭ сетка из сингулярных элементов, окружающих вершину дуговой трещины – на рис. 3. Сравнение результатов КЭ и аналитического решения для КИН в вершине трещины представлено на рис. 4 и 5, соответственно. Уже при $NDF = 17\ 500$ наблюдается практическая сходимость КЭ

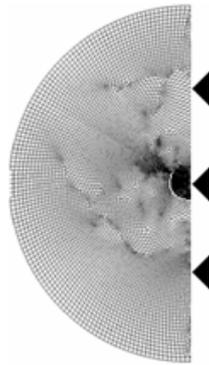


Рис. 2. КЭ модель

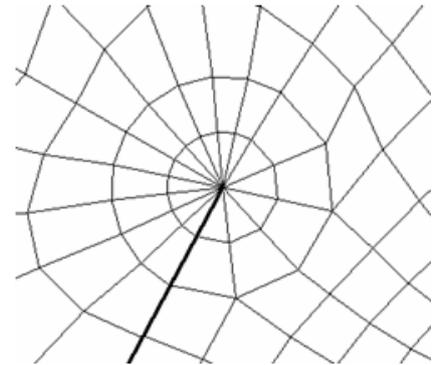


Рис. 3. КЭ сетка вблизи трещины

решения к теоретическому значению (относительная погрешность составляет $\delta \sim 1\%$).

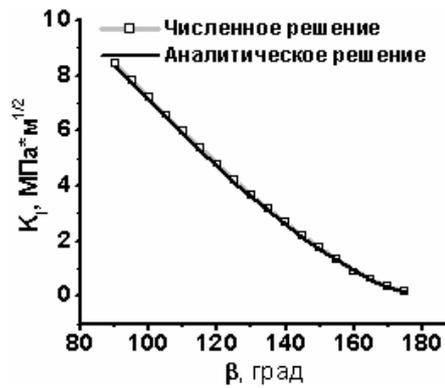


Рис. 4

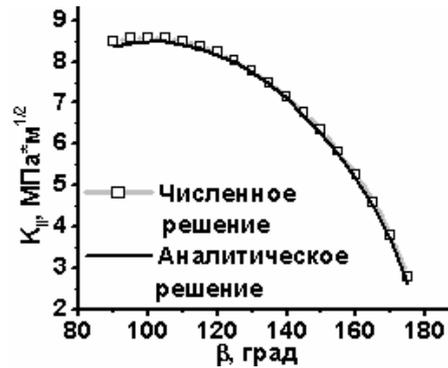


Рис. 5

Из графиков зависимостей КИН от угла β , приведенных на рис. 4 и 5, можно сделать вывод о том, что наименее опасными с точки зрения разрушения являются случаи, когда угол β имеет значения, близкие к 180° , т.е. когда трещина является почти замкнутой.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Prasad P.B.N., Simha K.R.Y. Disc analogy for approaching circular arc cracks // Int. J. Fracture, **125**: 51-71, 2004.