

УДК 539.82; 624.014

Давиденко М.О.¹⁷ к.т.н, доц.,
Давиденко А.И. д.т.н., проф.

Национальный университет
биоресурсов и природопользования Украины

Кирияев П.Н. к.т.н., доц.
Донбасский государственный технический университет, г. Киев

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ СТАЛИ С ПОМОЩЬЮ ВК «ЛИРА WINDOWS»

В статье предложена методика оценки достоверности определения параметров трещиностойкости методом математического моделирования.

Ключевые слова: трещиностойкость, коэффициент интенсивности напряжений, вычислительный комплекс «Лира Windows».

Введение и постановка задачи. Методы оценки трещиностойкости в механике разрушения основаны на определении размеров дефекта (трещины). Учитывая, что наиболее опасными с точки зрения влияния на прочность конструкции являются трещины отрыва, в качестве способа определения критических параметров трещиностойкости может быть предложен способ, основанный на полных диаграммах деформирования малогабаритных образцов [1, 2, 3]. Определив экспериментально [1, 2, 3] критические параметры трещиностойкости δ_{kp} , l_{kp} , K_{1c} для данного типа трещины, предельное состояние трещины типа I записывается в виде:

$$K_1 = K_{1c} .$$

Вычисления K_1 для конструкции с трещиной может быть выполнено методом математического моделирования с использованием вычислительного комплекса «Лира Windows».

¹⁷ © Давиденко М.О., Давиденко А.И., Кирияев П.Н.

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1 (13) 2015

Решение задачи. Ниже приведены результаты определения коэффициента интенсивности напряжений в шейке экспериментального малогабаритного образца с трещиной критического размера методом математического моделирования и его сопоставление со значением K_{IC} , вычисленным согласно методики [3]. Схема разбивки и численные значения напряжений

при шаге разбиения пластины на конечные элементы $\frac{1}{2\pi}$ мм приведена на рис. 1.

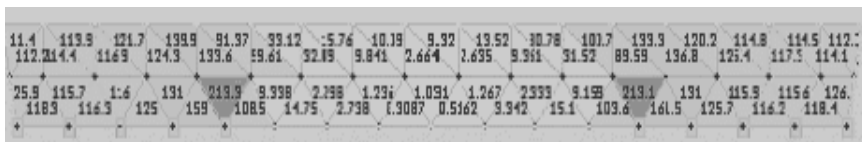


рис. 1 Численные значения напряжений при заданном шаге разбиения при длине трещины $l=1,12$ мм.

Как видно из рис. 1, значение коэффициента интенсивности напряжений соответствовало $K_1 = 1,61$ кН/мм^{3/2}, что превышает критическое значение $K_{IC}=0,96$ кН/мм^{3/2}. Таким образом, критическая длина трещины, соответствующая нестабильному развитию, находится в интервале между $l=0,16$ и $l=1,12$ мм, что соответствует экспериментальным данным малогабаритных образцов.

Оценка достоверности определения коэффициента интенсивности напряжений по величинам главных напряжений, вычисляемых с помощью вычислительного комплекса «Лира Windows», выполнена на основе сопоставления результатов расчета на ПЭВМ с численными результатами решения задачи о растяжении прямоугольной пластины конечной длины, приведенных в работе проф. Г.П. Черепанова (табл. 2) [4].

Последовательность расчета была принята следующая:

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1 (13) 2015

– прямокульні пластини кінцевої довжини (рис. 2) розбивали рівномірної і нерівномірної сітками кінцевих елементів з дотриманням співвідношень розмірів L/b і b/l , наведених в табл. П 2 [4].

– урахувавши симетрію розрахункової схеми, розраховували 1/4 і 1/2 частини прямокутних пластин;

– тріщину моделювали серією парних вузлів з однаковими координатами, розташованими вздовж довжини тріщини;

– розмір ячейки сітки кінцевих елементів (2x2 мм і 0,5x0,5 мм) приймали таким чином, щоб визначати головні напруження в центрі кінцевого елемента, розташованого на відстані 1 мм від вершини тріщини;

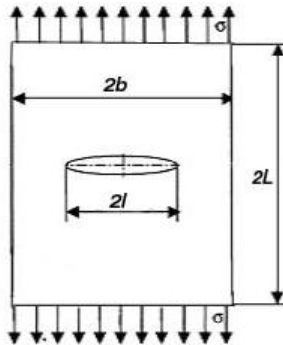


рис. 2. Пластина з центральним розрізом.

– значення головних напружень, визначуваних в кінцевих елементах на відстані 1 мм від вершини тріщини, множили на $\sqrt{2\pi}$ і підставляли в формулу Ісида [4]:

$$K_1 = \sigma \sqrt{\pi l} F(l/b),$$

затем визначали значення функції $F(l/b)$. По результатам співставлення значень $F(l/b)$, визначених с

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1 (13) 2015

использованием «Лира Windows» и ее табличных значений, приведенных в табл. П 2 [4], определяли процент ошибки.

Сравнение значений функции $F(l/b)$, полученных с использованием вычислительного комплекса «Лира Windows», с известным решением Исида [4], приведено на рис. 3.

Расхождение в определении функции $F(l/b)$ и, следовательно, коэффициента интенсивности напряжений в сравнении с известным аналитическим решением [4] увеличивается с приближением длины трещины к размеру конечного элемента. Для повышения точности определения функции $F(l/b)$ и, следовательно, вычисления коэффициента интенсивности напряжений была выполнена ориентация диагонали прямоугольного конечного элемента, расположенного на расстоянии 1 мм от вершины трещины, вдоль линии распространения трещины (рис.4).

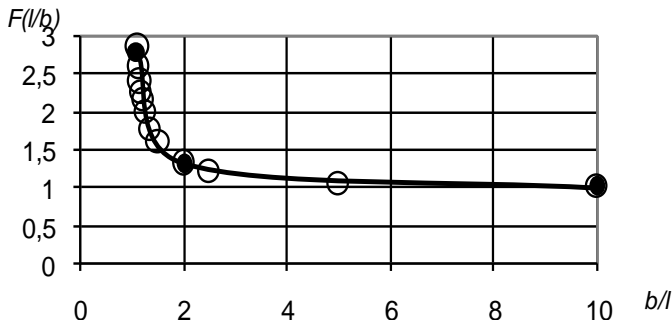


Рис. 3. Зависимости функций от длины трещины для прямоугольной пластины конечной длины с центральным разрезом:

○ ○ ○ - результаты, полученные Исида [4];
— результаты, полученные с использованием вычислительного комплекса «Лира Windows»

Средняя ошибка вычисления функции $F(l/b)$, полученная с использованием вычислительного комплекса «Лира Windows» для конечноэлементной аппроксимации с равномерной сеткой разбиения в сравнении с решением Исида [4] составила 3,46%. Для

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1 (13) 2015

конечноэлементной аппроксимации пластины с ориентацией диагонали элемента, расположенного в вершине трещины, (рис. 4, 5) и соотношении размеров $b/l=2$ и $L/b=1$, ошибка в определении функции Исида [4] составила 1,39%.

рис. 4. Ориентация диагонали конечного элемента, расположенного в вершине трещины, вдоль линии распространения трещины.

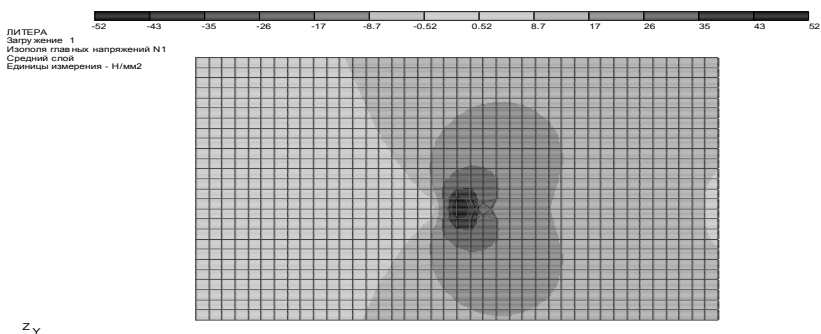


рис. 5. Фрагмент изолиний распределения главных напряжений пластины с центральным разрезом при соотношении размеров $b/l=2$ и $L/b=1$ и размером сетки конечных элементов $0,5 \times 0,5$ мм.

Таким образом, адаптивное программирование программного комплекса «Лира Windows» для решения краевых задач, точность определения коэффициентов интенсивности напряжений связаны с правильным выбором конечно-элементной аппроксимации объекта.

Выводы. 1. Определение коэффициентов интенсивности напряжений по величинам главных напряжений на расстоянии 1

мм от вершины трещины в направлении ее развития позволяет выполнять решение краевых задач металлических конструкций с использованием программного комплекса «Лира Windows» при соответствующей конечно-элементной аппроксимации объектов.

2. Предложенный способ оценки достоверности коэффициентов интенсивности напряжений по величинам главных напряжений позволил выбрать наиболее рациональную схему разбиения пластины на конечные элементы (рис. 5) для вычисления параметров трещиностойкости с минимальным процентом ошибки.

Литература:

1. Лебедев А.А. К оценке трещиностойкости пластичных материалов: / А.А. Лебедев, Н.Г. Чаусов // Проблемы прочности – 1982. – № 2. – С. 7–13.

2. Лебедев А.А. Феноменологические основы оценки трещиностойкости материалов по параметрам спадающих участков диаграмм деформаций / А.А. Лебедев, Н.Г. Чаусов // Проблемы прочности. – 1983. – № 2. – С. 6–10.

3. Давиденко А.И. Трещиностойкость и несущая способность конструкций при повторных нагружениях /А.И. Давиденко/– Алчевск.: "Ладо" ДГМИ, 1999. – 188 с.

4. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения / Г.П. Черепанов/ - М.: Наука, 1974. – 640 с.

Анотація

В статті запропонована методика оцінки достовірності визначення параметрів тріщиностійкості за методом математичного моделювання.

Ключові слова: тріщиностійкість, коефіцієнт інтенсивності напруження, обчислювальний комплекс «Ліра Windows».

Annotation

In the article the technique of an estimation of certain of definition of parameters crack toughness on a method of mathematical modelling is offered.

Keywords: crack, the stress intensity factor, computing complex "Lira Windows».

Стаття надійшла до редакції у березні 2015 р.