

Сазанов В.П., Сургутанов Н.А., Петрова Ю.Н., Катанаева Ю.А.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СХОДИМОСТИ ДВУХ МЕТОДОВ РАСЧЁТА КОЛЬЦЕВОЙ ТРЕЩИНЫ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ДЕТАЛИ

При проектировании современных элементов инженерных конструкций, узлов и деталей машин большое внимание уделяется их конструкционной прочности. В процессе эксплуатации под действием внешних нагрузок в деталях накапливаются дефекты, которые при дальнейшем нагружении приводят к образованию трещин и последующему нарушению работоспособности деталей [1-4]. Необходимо анализировать рост трещины и не допускать достижения её критического размера, при котором возможно разрушение конструкции. Для определения критической глубины трещины и для определения скорости роста трещины используется такая характеристика повреждённой нагруженной конструкции как коэффициент интенсивности напряжений (КИН) [1]. Коэффициенты интенсивности напряжений служат мерой сингулярности напряжений около вершины трещины, то есть области предразрушения, и играют для этой области такую же роль, как коэффициенты концентрации напряжений в сопротивлении материалов для макрообъёмов тела. Когда напряжения и деформации у вершины трещины достигают определённых значений, то происходит развитие трещины.

При определении коэффициента интенсивности напряжений используются два метода: аналитический с использованием справочной литературы и метод конечных элементов с использованием современных расчётных комплексов. Метод конечных элементов является наиболее универсальным и позволяет решать сложные задачи, но требует достаточно высокой квалификации расчётчика и тщательного моделирования трещины в конструкции.

Для проверки двух методов решения задачи по трещине проведено сравнение результатов, полученных при помощи МКЭ-пакета ANSYS, с аналитическим решением [5] для случая гладкого (без концентратора напряжений) стального цилиндрического образца диаметром  $D = 25$  мм с кольцевой трещиной (рис. 1).

Обозначения на рис. 1:  $t$  – глубина трещины;  $b$  – расстояние от оси цилиндра до вершины трещины;  $R = D/2$  – радиус цилиндра;  $P$  – суммарная нормальная растягивающая сила.

Граничные условия при моделировании детали с трещиной назначались исходя из симметрии модели. На правом торце задавалась внешняя нагрузка в виде растягивающих напряжений  $\sigma = 300$  МПа.

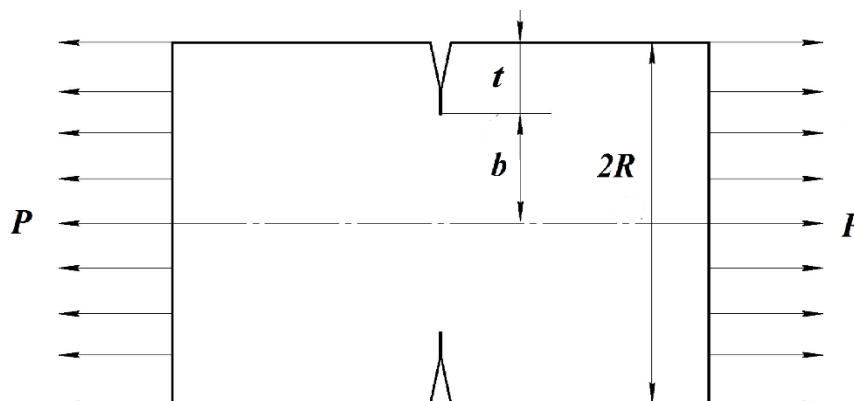


Рис. 1. Цилиндрический образец без концентратора напряжений

С применением метода объёмных сил коэффициент интенсивности напряжений находится следующим образом [5]:

$$K_I = \frac{P}{\pi b^2} \sqrt{\pi b} F(\alpha), \quad (1)$$

где  $F(\alpha) = 0,5(1 + 0,5\alpha + 0,375\alpha^2 - 0,363\alpha^3 + 0,731\alpha^4) \sqrt{1 - \alpha}$ ;  $\alpha = \frac{b}{R}$ .

Формула (1) позволяет вычислить коэффициент интенсивности напряжений в образцах с трещиной, глубина  $t$  которой превышает значение 1,0 мм. Поэтому с целью сравнения численного и аналитического решения для гладкого образца диаметром  $D = 25$  мм были выполнены расчёты в среде программного продукта ANSYS и была получена зависимость  $K_I$  от глубины трещины в интервале от 1,0 до 2,0 мм. Данные по исследованию изменения коэффициентов интенсивности напряжений  $K_I$  при увеличении глубины трещины  $t$  сведены в таблице 1.

Таблица 1 – Определение  $K_I$  аналитическим и численным методами

Глубина трещины $t$ , мм	$K_I$ по формуле (1), Н/мм <sup>3/2</sup>	$K_I$ по методу конечных элементов, Н/мм <sup>3/2</sup>
1	607,83	626,27
1,2	670,07	692,12
1,4	728,97	754,46
1,6	785,60	814,39
1,8	840,72	872,69
2,0	894,96	931,50

Графики зависимостей  $K_I$  от глубины трещины  $t$ , построенные по данным табл. 1, представлены на рис. 2.

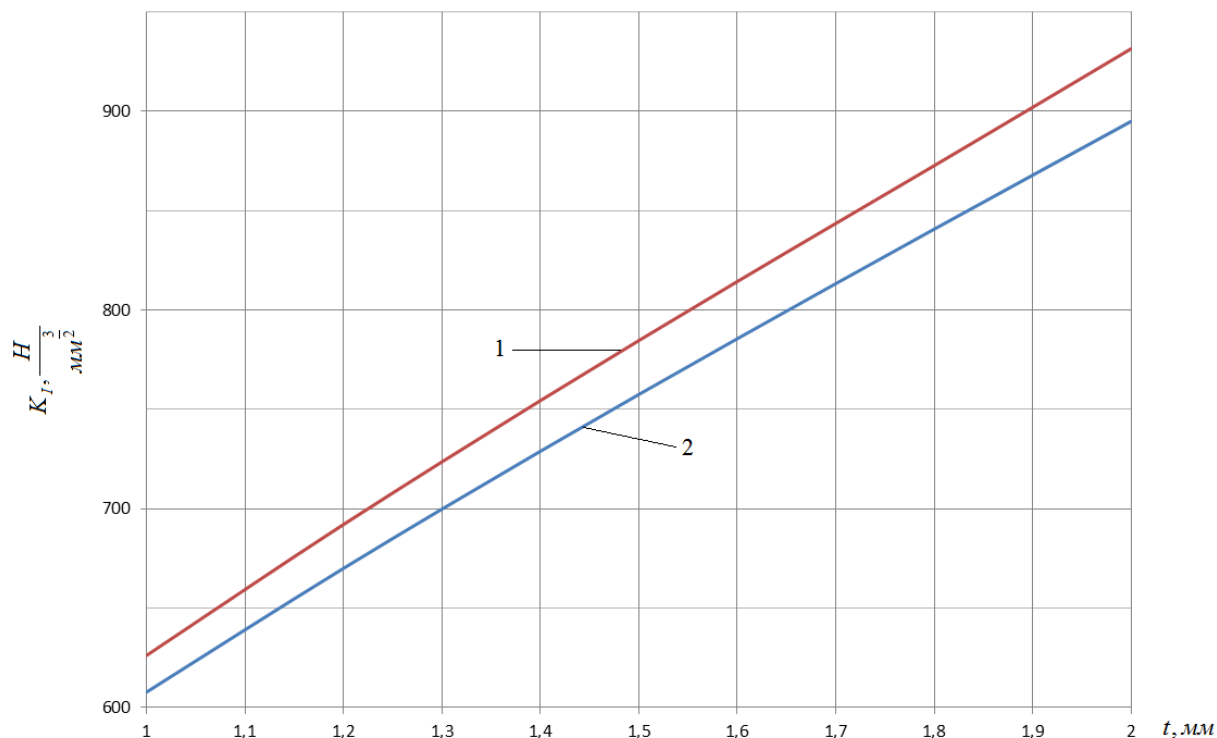


Рис. 2. Изменение коэффициента интенсивности напряжений  $K_I$  при увеличении глубины трещины в гладких цилиндрических образцах: 1 – решение методом конечных элементов; 2 – решение аналитическим методом

Результаты проведенного исследования показали достаточно высокую сходимость численного и аналитического решений задачи по трещине в гладком цилиндрическом образце. При этом расхождение результатов двух решений не превышает 3,92 %.

#### Библиографический список

1. Трощенко, В.Т. Трещиностойкость металлов при циклическом нагружении [Текст] / В.Т. Трощенко, В.В. Покровский, А.В. Прокопенко. – Киев: Наукова Думка, 1987. – 256 с.
2. Кудрявцев, П.И. Развитие усталостных трещин в сталях в связи с поверхностным наклёпом [Текст] / П.И. Кудрявцев, Т.И. Морозова // Исследования по упрочнению деталей машин. М.: Машиностроение. – 1972. – С. 194-200.
3. Кудрявцев, П.И. Нераспространяющиеся усталостные трещины [Текст] / П.И. Кудрявцев. – М.: Машиностроение, 1982. – 171 с.
4. Кудрявцев, П.И. Некоторые особенности строения трещин усталости в низкоуглеродистой стали [Текст] / П.И. Кудрявцев // Повышение прочности и долговечности деталей машин. Кн. ЦНИИТМАШ, М.: Машиностроение. – 1969. – №110. – С. 105-113.
5. Мураками, Ю. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений [Текст] / Ю. Мураками. – М.: Мир, 1990. – Т 1. – 448 с.