

Сазанов В.П., Лунин В.В., Мокшин Д.С., Письмаров А.В., Барабанов М.С.

### О ВЛИЯНИИ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА НА РАЗВИТИЕ ТРЕЩИНЫ В УПРОЧНЁННЫХ ДЕТАЛЯХ

Известно, что перепад (размах) коэффициента интенсивности напряжений (КИН) определяет скорость роста усталостной трещины при циклическом характере нагружения [1, 2]. С использованием расчётного комплекса ANSYS методом конечно-элементного моделирования было проведено исследование зависимости коэффициента интенсивности напряжений  $K_I$  от глубины трещины  $t$  в случае симметричного цикла при изгибе неупрочнённых стальных цилиндрических образцов из стали 20 без надреза и с полукруглым надрезом  $R = 0,5$  мм. Данные результаты приведены на рис. 1, 2 для наружных диаметров  $D = 25$  мм и  $D = 50$  мм.

Согласно графикам (рис. 1, 2) влияние концентратора напряжений (надреза) заключается в том, что по сравнению с гладкими образцами на начальном участке зависимости появляется участок с большой нелинейностью и с максимальным значением при глубине трещины примерно  $0,02D_I$ , где  $D_I$  – диаметр в наименьшем сечении образца [3,4]. Диаметр  $D_I$  в этом случае выступает как масштабный фактор, который определяет положение нелинейного участка и, соответственно, характер поведения зависимости. Необходимо отметить, что с увеличением глубины трещины влияние концентратора на величину  $K_I$  полностью исчезает и, в дальнейшем, всё определяет напряжённое состояние при вершине трещины аналогично гладкому образцу.

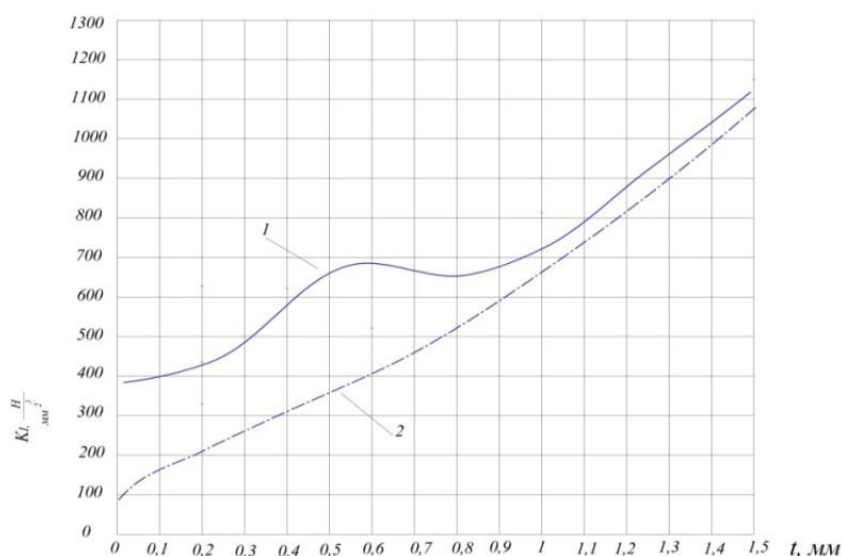


Рис. 1. Изменение коэффициента интенсивности напряжений  $K_I$  при увеличении глубины трещины в неупрочнённых цилиндрических образцах диаметром  $D = 25$  мм:  
1 – с надрезом  $R = 0,5$  мм; 2 – без надреза (гладкий)

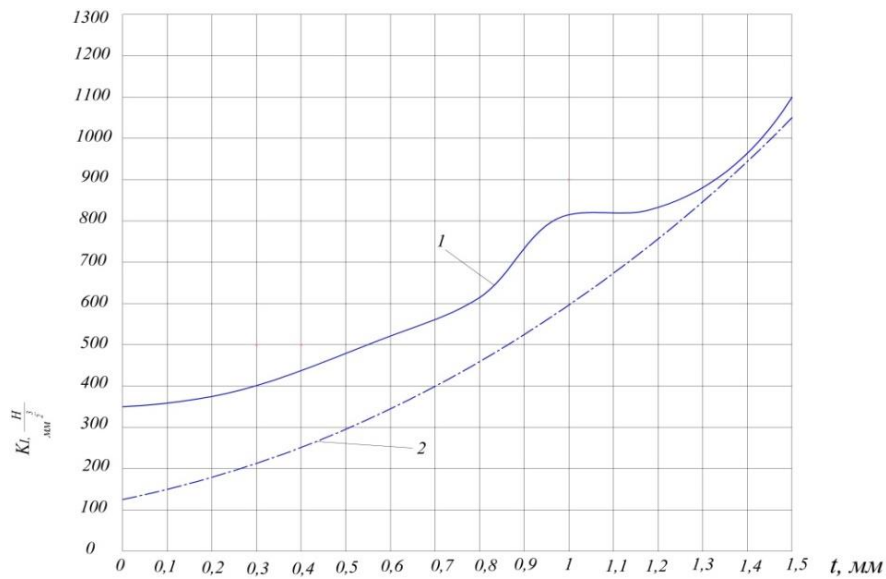


Рис. 2. Изменение коэффициента интенсивности напряжений  $K_I$  при увеличении глубины трещины в неупрочнённых цилиндрических образцах диаметром  $D = 50$  мм:  
1 – с надрезом  $R = 0,5$  мм; 2 – без надреза (гладкий)

С использованием метода термоупругости [5] в конечно-элементных моделях цилиндрических деталей с надрезами были введены поля остаточных напряжений. Глубина упрочнённого слоя с первоначальными деформациями принималась в виде линейной зависимости с максимальным значением на поверхности у гладкого образца  $\varepsilon_0 = 0,001$  и нулевым значением на глубине 0,5 мм. При этом предполагалось, что полукруглые надрезы наносились после технологической операции упрочнения поверхности (опережающее поверхностное пластическое деформирование). Результаты расчётов представлены на рис. 3, 4.

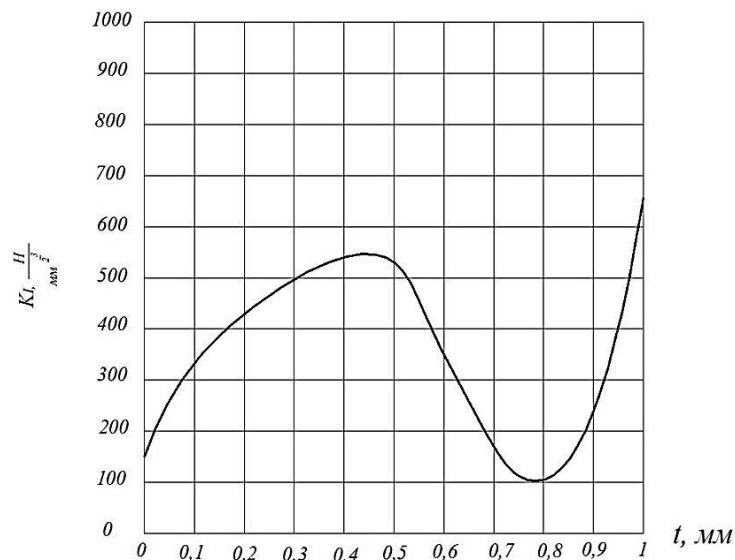


Рис. 3. Изменение коэффициента интенсивности напряжений  $K_I$  при увеличении глубины трещины в упрочнённых цилиндрических образцах диаметром  $D = 25$  мм с надрезом  $R = 0,5$  мм

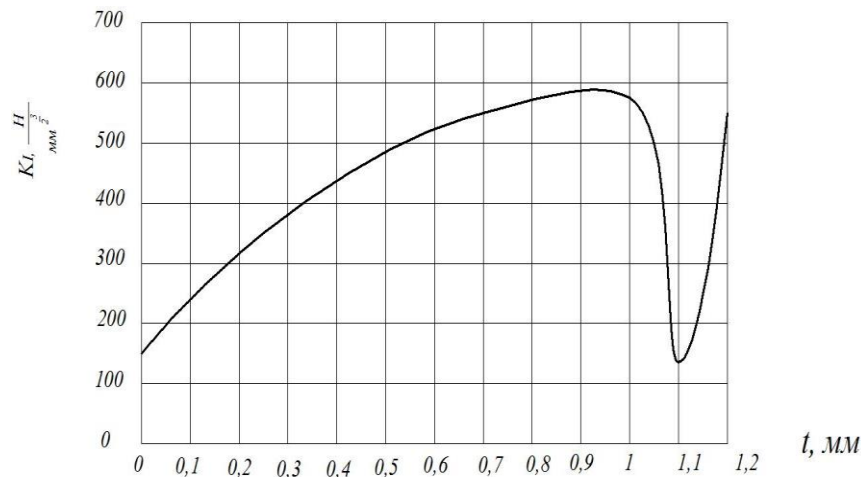


Рис. 4. Изменение коэффициента интенсивности напряжений  $K_I$  при увеличении глубины трещины в упрочнённых цилиндрических образцах диаметром  $D = 50$  мм с надрезом  $R = 0,5$  мм

Анализируя результаты расчётов, представленных на рис. 3, 4, можно сделать следующие выводы по влиянию масштабного фактора, в роли которого выступает минимальный диаметр образцов (деталей) с концентратором напряжений:

- при наличии сжимающих остаточных напряжений в упрочнённом слое цилиндрических образцов с надрезами график зависимости  $K_I(t)$  существенно изменяет свой вид по сравнению с неупрочнёнными образцами, но и вместе с тем сохраняет определённые закономерности;

- практически не изменяет своих границ нелинейный участок зависимости  $K_I(t)$  и при этом экстремальное значение зависимость принимает при достижении глубины трещины  $t=0,02 D_I$  аналогично неупрочнённым образцам;

- при наличии сжимающих остаточных напряжений достаточно резко возрастает размах разницы максимального и минимального значений  $K_I$  на участке с большой нелинейностью.

### Библиографический список

1. Кудрявцев, П.И. Нераспространяющиеся усталостные трещины [Текст] / П.И. Кудрявцев. – М.: Машиностроение, 1982. – 171 с.
2. Трощенко, В.Т. Трещиностойкость металлов при циклическом нагружении [Текст] / В.Т. Трощенко, В.В. Покровский, А.В. Прокопенко. – Киев: Наукова Думка, 1987. – 256 с.

3. Сазанов, В.П. Определение первоначальных деформаций в упрочнённом слое цилиндрической детали методом конечно-элементного моделирования с использованием расчётного комплекса PATRAN/NASTRAN [Текст] / В.П. Сазанов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк, В.Ф. Павлов // Вестник УГАТУ. – 2015. – Т. 19. – №2 (68). – С. 35-40.

4. Сургутанов, Н.А. Исследование влияния глубины трещины на коэффициент интенсивности напряжений в надрезанных и гладких пластинах [Текст] / Н.А. Сургутанов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2017. – Т.16. – №1. – С. 176-185.

5. Сазанов В.П. Исследование закономерностей остановки развития усталостной трещины в цилиндрическом образце с надрезом [Текст] / В.П. Сазанов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2018. – Т.17. – №1. – С. 160-169.