

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ РАЗМАХА ПОРОГОВОГО КОЭФФИЦИЕНТА ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ В УПРОЧНЁННЫХ ДЕТАЛЯХ С НАДРЕЗАМИ

Сургутанов Н. А., Сургутанова Ю. Н., Пилипив О. М., Криволапов М. Р., Дюжий Д.А.  
Самарский университет, г. Самара, sprogmat@ssau.ru

*Ключевые слова:* коэффициент интенсивности напряжений, концентратор напряжений, остаточные напряжения.

В процессе эксплуатации в деталях, работающих при переменных нагрузках, накапливаются дефекты, которые приводят к образованию трещин и последующему нарушению работоспособности деталей. Для определения критической глубины трещины используется такая характеристика повреждённой нагруженной конструкции как коэффициент интенсивности напряжений (КИН).

Получению зависимости увеличения размера трещины за один цикл нагружения  $dt/dN$  от величины размаха КИН  $K_I$  (индекс I обозначает тип разрушения – отрыв)  $\Delta K_I$  было посвящено большое количество исследований, в результате которых был разработан стандартный метод измерения, описанный в работе [1]. На рис. 1 представлена типичная диаграмма  $(dt/dN) - \Delta K_I$ .

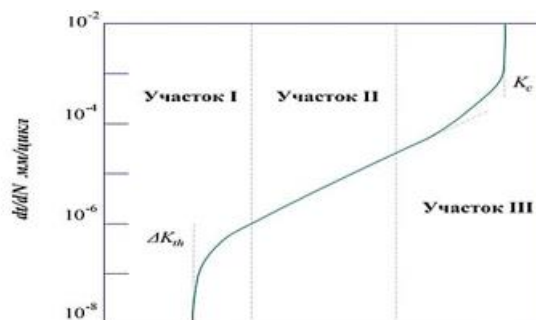


Рисунок 1 – Типичная диаграмма  $dt/dN - \Delta K_I$

Наиболее важным для данной работы является участок I диаграммы. Существенной особенностью этого участка развития трещины является наличие такого значения КИН, ниже которого трещина распространяться не будет. Это значение определяется, как пороговое для усталостного роста трещины и обозначается через  $K_{th}$ . Данный коэффициент является основной характеристикой, контролирующей начало развития трещины, а, следовательно, и определяющей величину предела выносливости.

При построении диаграммы  $(dt/dN) - \Delta K_I$  размах КИН предполагался равным  $K_{max}$  при  $R \leq 0$  и  $K_{max} - K_{min}$  при  $R \geq 0$ , где  $R = K_{max} / K_{min}$  – коэффициент асимметрии цикла напряжений. В работе [2] пороговый КИН  $K_{max/th} (\Delta K_{th})$  принимался как максимальное значение КИН, при котором трещина не растёт в течение заданного числа циклов нагружения.

В работе [3] была предложена методика расчёта КИН  $K_I$  при помощи МКЭ-пакета ANSYS в цилиндрических деталях, ослабленных круговым надрезом полукруглого профиля (рис. 2), испытывающих деформацию растяжения.

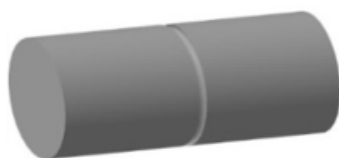


Рисунок 2 – Цилиндрическая деталь с круговым надрезом полукруглого профиля

Четверть цилиндрической детали представлена на рис. 3, где  $L$  – длина детали,  $D$  – диаметр,  $d$  – диаметр в наименьшем сечении,  $R$  – радиус полукруглого надреза,  $t$  – глубина трещины.

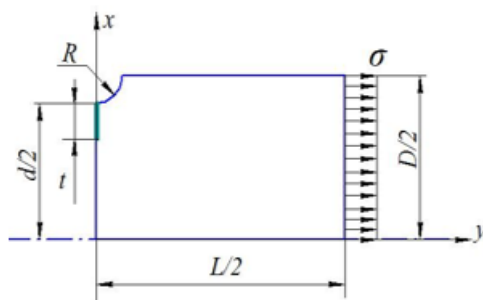


Рисунок 3 – Четверть цилиндрической детали

В данном исследовании задача нахождения размаха порогового КИН  $\Delta K_{th}$  была решена аналитически при помощи МКЭ-пакета ANSYS.

В конечно-элементную модель цилиндрической детали, рассмотренную в работе [3] были введены остаточные напряжения с помощью метода термоупругости. После этого для упрочнённой детали с концентратором напряжений при циклическом нагружении на положительном полупериоде был определён пороговый КИН  $\Delta K_{th}$ , соответствующий начальной глубине структурного дефекта  $t_0 = 0,05$  мм.

На рис. 4 представлены графики изменения КИН в зависимости от глубины трещины для случаев без упрочнения и с упрочнением детали с  $D = 10$  мм,  $d = 9$  мм и  $R = 0,5$  мм.

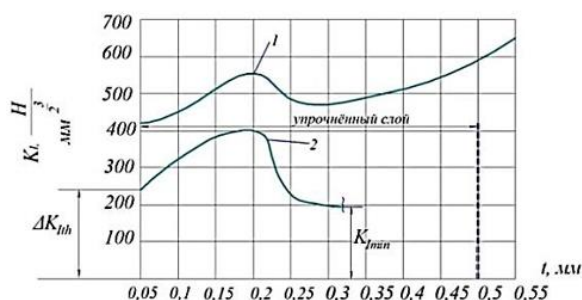


Рисунок 4 – Изменение  $K_I(t)$  в деталях с  $D = 10$  мм,  $d = 9$  мм,  $R = 0,5$  мм; 1 – без упрочнения; 2 – с упрочнением

### Вывод

По результатам исследования было получено значение размаха порогового КИН  $\Delta K_{th} = 247 \frac{H}{3} \text{ мм}^2$  в упрочнённой цилиндрической детали с концентратором напряжений.

### Список литературы

1. Трощенко В.Т., Покровский В.В., Прокопенко А.В. Трещиностойкость металлов при циклическом нагружении. – Киев.: Наук. думка, 1987. 253 с.
2. Сургутанов Н.А. Моделирование и определение закономерностей развития трещины усталости в поверхностном слое упрочнённых деталей: дисс. канд. техн. наук: 01.02.06. защищена 13.12.2019; утв. 21.10.2020 / Сургутанов Николай Андреевич. С., 2019. 128 с. 9 19-5/1700.

### **Сведения об авторах**

Сургутанов Николай Андреевич, к.т.н., без звания, доцент кафедры сопротивления материалов. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Сургутанова Юлия Николаевна, к.т.н., доцент, доцент кафедры сопротивления материалов. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Пилипив Олег Михайлович, аспирант. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Криволапов Максим Романович, студент гр. 1203. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Дюжий Даниил Анатольевич, студент гр. 1203. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

### **DETERMINATION OF THE MAGNITUDE OF THE SPAN OF THE THRESHOLD COEFFICIENT OF STRESS INTENSITY IN HARDENED DETAILS WITH INCISIONS**

Surgutanov N.A., Surgutanova YU.N., Pilipiv O.M., Krivolapov M.R., Dyuzhij D.A.  
Samara University, Samara, Russia, [sopromat@ssau.ru](mailto:sopromat@ssau.ru)

*Keywords: stress intensity coefficient, stress concentrator, residual stresses*

In this study, we considered the problem of finding the range of the threshold stress intensity factor for hardened parts with stress concentrators. A method was proposed for determining analytically using the ANSYS software in hardened cylindrical parts experiencing tensile deformation.