

7. Павлов, В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений / В.Ф. Павлов // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №8. – С. 29–32.

8. Павлов, В.Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям / В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 125 с.

9. Павлов, В.Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение I. Сплошные детали / В.Ф. Павлов // Известия вузов. Машиностроение. – 1988. – №8. – С. 22–26.

10. Кирпичёв, В.А. Прогнозирование предела выносливости деталей при различной степени концентрации напряжений / В.А. Кирпичёв, А.С. Букатый, А.П. Филатов, А.В. Чирков // Вестник УГАТУ. – 2011. – Т.15. – №4 (44). – С. 81–85.

11. Кравченко, Б.А. Обработка и выносливость высокопрочных материалов / Б.А. Кравченко, К.Ф. Митряев. – Куйбышев: Куйбышевское книжное изд-во, 1968. – 131 с.

12. Кудрявцев, И.В. Повышение сопротивления усталости резьбовых деталей / И.В. Кудрявцев, В.Н. Чижик // Вестник машиностроения. – 1963. – №1. – С. 51–55.

УДК 621.787:4

*Сургутанов Н.А., Сургутанова Ю.Н., Чуриков Д.С.,
Салтанов С.А., Матвеев П.А.*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ РАЗМАХА Порогового Коэффициента Интенсивности Напряжений в Упрочнённых Деталях с Надрезами

В процессе эксплуатации в деталях, работающих при переменных нагрузках, накапливаются дефекты, которые приводят к образованию трещин и последующему нарушению работоспособности деталей. Необходимо анализировать рост трещины и не допускать достижения ею критического размера, при котором

возможно разрушение конструкции. Для определения критической глубины трещины используется такая характеристика повреждённой нагруженной конструкции как коэффициент интенсивности напряжений (КИН).

Следует отметить, что усталостное разрушение конструкций в значительной степени обуславливается наличием дефектов и концентраторов напряжений, таких как крепёжные отверстия, круговые надрезы, галтельные переходы. Указанные концентраторы в процессе эксплуатации становятся центрами зарождения и роста усталостных трещин. С экономической точки зрения дорогостоящие детали и конструкции не могут подлежать замене только лишь потому, что в них обнаружены усталостные трещины. В связи с этим, требуются методы надёжной оценки и прогнозирования остаточного ресурса, позволяющие производить своевременное обслуживание и замену деталей машин и конструкций.

В работе [1] описывается возможность моделирования скорости роста усталостной трещины, позволяющая развить методологию толерантного (допустимого) отношения к трещинам. Получению зависимости увеличения размера трещины t за один цикл нагружения dt/dN от величины размаха КИН ΔK_I (индекс I обозначает тип разрушения – отрыв) было посвящено большое количество исследований, в результате которых был разработан стандартный метод измерения. На рис. 1 представлена типичная диаграмма $(dt/dN) - \Delta K_I$.

Наиболее важным для данной работы является участок I диаграммы, представляющий собой раннее развитие усталостной трещины, для которого скорость роста трещины, как правило, равна 10^9 мм/цикл или ниже. Этот участок развития трещины чрезвычайно чувствителен к изменению размаха КИН ΔK_I из-за влияния особенностей микроструктуры и размера зерна. 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 K_{th} . Данный коэффициент является основной характеристикой, контролирующей начало развития трещины, а, следовательно, и определяющей величину предела выносливости σ_{-1} .

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.

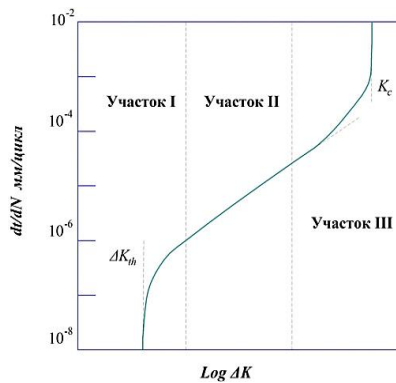


Рис. 1. Типичная диаграмма $dt / dN - \Delta K_I$

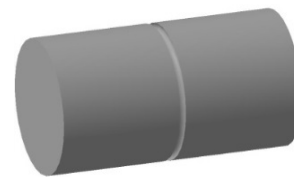


Рис. 2. Цилиндрическая деталь с круговым надрезом полукруглого профиля

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.

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

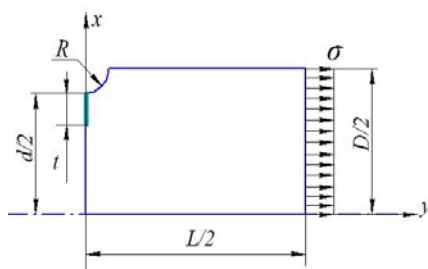


Рис.3. Четверть цилиндрической детали

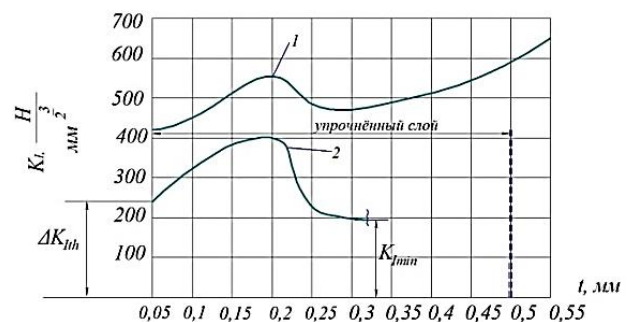


Рис. 4. Изменение $K_I(t)$ в деталях с $D = 10$ мм, $d = 9$ мм, $R = 0,5$ мм:
1 – без упрочнения; 2 – с упрочнением

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 ΔK_{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.

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

Библиографический список

1. Kassim, S. Modeling of fatigue crack growth rate in ore-strained 7475-T7351 aluminium alloys / S. Kassim [et al.] // Materials Science and Engineering. – 2008. – Vol. A486. – P. 585–595.
2. Трощенко, В.Т. Трещиностойкость металлов при циклическом нагружении / В.Т. Трощенко, В.В. Покровский, А.В. Прокопенко. – Киев: Наукова Думка, 1987. – 256 с.
3. Сургутанов, Н.А. Моделирование и определение закономерностей развития трещины усталости в поверхностном слое упрочнённых деталей: дисс. канд. техн. наук: 01.02.066: защищена 13.12.2019: утв. 21.10.2020/Сургутанов Николай Андреевич. – С., 2019. – 128 с. – 9 19-5/1700.

УДК 621.787:4

Сургутанов Н.А., Сургутанова Ю.Н., Матвеева К.Ф., Латыпова А.Р.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ ГЛУБИНЫ НЕРАСПРОСТРАНЯЮЩЕЙСЯ ТРЕЩИНЫ УСТАЛОСТИ В УПРОЧНЁННЫХ ДЕТАЛЯХ ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ

В деталях, подверженных циклическому нагружению, в процессе эксплуатации накапливаются дефекты, которые приводят к образованию трещин и последующему нарушению их работоспособности. Необходимо анализировать рост