

УДК 621.787.4

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ РАЗВИТИИ ТРЕЩИНЫ В ОБРАЗЦАХ С НАДРЕЗАМИ

Сургутанов Н. А., Денисов Л. В., Сазанов В. П.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

Известно, что прочность является одним из главных параметров, определяющих надёжность работы машин и сооружений, поэтому ей уделяется большое внимание при проектировании современных элементов конструкций, узлов и деталей машин. Под действием внешних нагрузок, в процессе эксплуатации, в деталях накапливаются дефекты, которые при дальнейшей работе под нагрузкой приводят к образованию трещин и последующему нарушению их работоспособности. При достижении трещиной критического размера возможно разрушение конструкции. Для определения критической глубины трещины и скорости её развития 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. Когда напряжения и деформации у вершины достигают критических значений, происходит развитие трещины. Также экспериментально было установлено, что при определённых условиях в деталях с концентраторами напряжений усталостные трещины становятся нераспространяющимися [2-7].

В проведённом исследовании изучено изменение коэффициента интенсивности напряжений в цилиндрических стальных образцах диаметрами $d = 10$ мм, $d = 25$ мм, $d = 50$ мм с концентраторами в виде полукруглого надреза радиусом $R = 0,3$ мм и без них. Изучена также зависимость максимального значения КИН от размера наименьшего сечения детали с концентратором напряжений. Методом конечно-элементного моделирования с использованием программной системы ANSYS был проведён расчёт КИН для гладких образцов и для образцов с концентраторами напряжений в виде полукруглого надреза.

Установлено, что для образцов рассматриваемых размеров с концентраторами на начальном участке увеличения размера трещины наблюдаются два экстремума коэффициента интенсивности напряжений – максимальное и минимальное значение. При исследовании образцов без концентратора на всём участке увеличения размера трещины происходит плавное изменение КИН (рис. 1).

На основании проведённых исследований также установлено, что коэффициент интенсивности напряжений K_I достигает максимального значения при глубине трещины, равной примерно $0,02D$, где D – диаметр образца с концентратором напряжений в наименьшем сечении. Необходимо отметить, что этот результат достаточно точно согласуется с размером критической глубины $t_{кр}$ нераспространяющейся трещины усталости для сплошных цилиндрических образцов и деталей с концентраторами напряжений, определяемый по формуле $t_{кр} = 0,0216D$, которая была получена на основании многочисленных экспериментов в работах [3-5], где D – диаметр наименьшего опасного сечения.

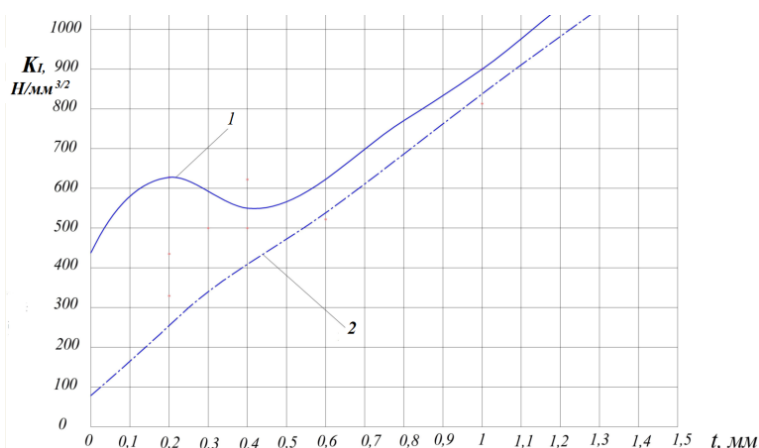


Рис.1. Изменение коэффициента интенсивности напряжений K_I при увеличении глубины трещины в образцах диаметром $d=10$ мм: 1– с надрезом $R = 0,3$ мм; 2 – без надреза

Проведённое исследование зависимости коэффициента интенсивности напряжений от глубины трещины в опасном сечении детали подтверждает обоснованность использования критерия среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ для расчёта приращения предела выносливости $\Delta\sigma_{-1}$ поверхностно упрочнённых образцов и деталей с концентраторами за счёт сжимающих остаточных напряжений [3-5].

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. Нераспространяющиеся усталостные трещины. [Текст] / П.И. Кудрявцев // М.: Машиностроение, 1982. – 171 с.
3. Павлов, В. Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение I. Сплошные детали [Текст] / В. Ф. Павлов // Известия вузов. Машиностроение. – 1988. – №8. – С. 22-26.
4. Павлов, В. Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение II. Полые детали [Текст] / В. Ф. Павлов // Известия вузов. Машиностроение. – 1988. – №12. – С. 37-40.
5. Павлов, В. Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям [Текст] / В. Ф. Павлов, В. А. Кирпичёв, В. С. Вакулюк. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 125 с.
6. 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.
7. 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.