

УДК 621.787.4

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ РАЗВИТИИ ТРЕЩИНЫ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦАХ

Сургутанов Н. А., Швецов Н. Ю., Сазанов В. П.

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

При испытаниях на усталость, а также при анализе эксплуатационных разрушений деталей машин, работавших при переменных нагрузках, наблюдаются случаи, когда возникшая усталостная трещина останавливается в своём развитии [1-3]. Это явление является характерным для деталей или образцов с концентраторами напряжений – галтелями, буртами, надрезами, неподвижными посадками, резьбой и т.д. Но наиболее ярко нераспространяющиеся трещины усталости проявляются в деталях с концентраторами напряжений, подвергнутых различным видам поверхностного упрочнения. В связи с этим принято различать пределы выносливости образцов и деталей по трещинообразованию $\sigma_{-1т}$ и по разрушению $\sigma_{-1р}$. Для гладких поверхностно упрочнённых и неупрочнённых образцов разница между пределами выносливости по трещинообразованию и по разрушению практически отсутствует. Вместе с тем для упрочнённых деталей и образцов с концентраторами напряжений данные характеристики сопротивления усталости могут различаться до нескольких раз.

Из механики разрушения известно, что коэффициенты интенсивности напряжений (КИН) служат мерой сингулярности напряжений при вершине трещины [4]. КИН играет для области при вершине трещины такую же роль, как и коэффициент концентрации напряжений для деформируемых тел в сопротивлении материалов. В исследовании было изучено изменение коэффициента интенсивности напряжений в цилиндрических 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. Методом конечно-элементного моделирования с использованием расчётного комплекса ANSYS был проведён расчёт КИН для гладких образцов и для образцов с концентратором напряжений в виде полукруглого надреза. При моделировании использовались осесимметричные конечные элементы объёмного напряжённо-деформированного состояния. Рассматривались варианты расчётных моделей образцов без упрочнения и с упрочнением поверхности. Моделирование остаточных напряжений выполнено методом термоупругости [5]. Решалась статическая задача с целью получения зависимости КИН от размера трещины.

Анализируя результаты расчётов, необходимо отметить следующее:

– для цилиндрических образцов с концентратором напряжений (надрез полукруглого профиля радиуса $R = 0,3$ мм) на начальном участке увеличения глубины трещины t наблюдаются два экстремума – максимум и минимум коэффициента интенсивности напряжений K_I ;

– для образцов без концентратора напряжений на всём участке увеличения глубины трещины t происходит плавное изменение коэффициента интенсивности напряжений K_I ;

– для образцов с упрочнением поверхности наблюдается значительное снижение K_I , особенно для образцов с надрезами, но при этом сохраняется характер графиков зависимостей и положение экстремальных значений.

Как показывают проведённые исследования, 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. Полученный результат достаточно точно соответствует размеру 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 работе [6], где D – диаметр наименьшего опасного сечения. Нераспространяющаяся трещина усталости размером $t_{кр}$ при испытаниях на усталость наблюдалась только у упрочнённых цилиндрических образцов с концентраторами напряжений, в группу которых входят и исследуемые детали.

Полученные результаты позволяют сделать самый важный вывод исследования о том, что при достаточном уровне остаточных напряжений и глубине упрочнения образцов с концентраторами напряжений минимальное (экстремальное) значение K_I будет ниже порогового значения коэффициента интенсивности напряжений K_{th} . При этом скорость роста становится равной нулю, трещина останавливается в развитии. Данный вывод вполне объясняет результаты испытаний на усталость и возникновения нераспространяющихся трещин усталости. Следует также отметить, что при размере трещины $t_{кр}$ в образцах с надрезами происходит значительное падение скорости роста трещины в случае циклического нагружения.

Библиографический список

1. Кудрявцев, П. И. Нераспространяющиеся усталостные трещины. [Текст] / П. И. Кудрявцев // М.: Машиностроение, 1982. – 171 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. 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.
4. Трощенко, В. Т. Трещиностойкость металлов при циклическом нагружении [Текст] / В. Т. Трощенко, В. В. Покровский, А. В. Прокопенко // Киев: Наукова Думка, 1987. – 256 с.
5. Сазанов, В. П. Моделирование перераспределения остаточных напряжений в упрочнённых цилиндрических образцах при опережающем поверхностном пластическом деформировании [Текст] / В. П. Сазанов, А. В. Чирков, В. А. Самойлов, Ю. С. Ларионова // Вестник СГАУ. – 2011. – №3(27). Ч. 3. – С. 171-174.
6. 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.