

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РОСТА УСТАЛОСТНОЙ ТРЕЩИНЫ ПРИ НЕОДНОРОДНОМ НАГРУЖЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОРРЕЛЯЦИИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В. ЗАРЕЧНЕВ¹, А.В. ЕРЕМИН²

¹ Томский политехнический университет

² Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: ave@ismps.tsc.ru

Процесс усталостного разрушения является сложным для прогнозирования и математического описания, в первую очередь, потому что он зависит от множества факторов, среди которых: амплитуда цикла, его асимметрия, параметры материала, последовательность прикладываемых нагрузок и многих других. Дополнительная сложность возникает при наличии нерегулярного нагружения, где величины закрытия трещины, а также остаточные напряжения в вершине трещины постоянно изменяются в зависимости от прикладываемых циклов перегрузки, недогрузки или их комбинаций [1].

В случае неоднородного нагружения более важную роль начинают играть процессы, происходящие непосредственно в окрестности вершины трещины, а также впереди нее. Как известно, при приложении циклической нагрузки к образцу с трещиной у ее вершины возникают растягивающие и сжимающие напряжения, формируются соответствующие монотонной и циклические пластические зоны. Приложение периодических перегрузок/разгрузок существенно изменяют поведение трещины за счет изменения, как остаточных напряжений, так и влияния на процесс формирования циклической пластической зоны. Масштаб происходящих изменений имеет порядок десятка микрометров, поэтому важной проблемой остается поиск точных и достоверных способов получения информации в процессе нагружения для исследования поведения материала у вершины растущей трещины.

Цель работы: оценить деформацию материала в области вершины трещины и ее влияние на скорость распространения трещины в испытании с единичной перегрузкой с использованием метода корреляции цифровых изображений.

Для оценки параметров роста трещины при циклическом нагружении с единичной перегрузкой использовался плоский образец с боковым надпилем, рисунок 1, вырезанный электроэрозионной резкой из листа алюминиевого сплава Д16Т толщиной 3 мм.

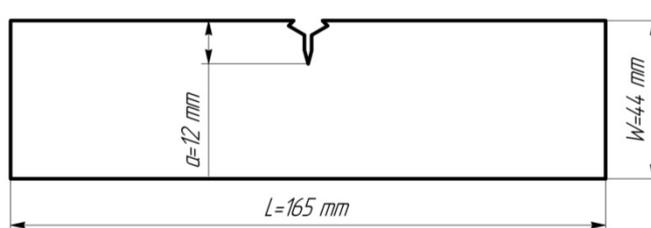


Рисунок 1 – Форма тестового образца

Параметры испытания: $P_{max} = 2,5 \text{ кН}$, $P_{min} = 0,28 \text{ кН}$, асимметрия $R = 0,1$. Перегрузка $P_{OvL} = 3,75 \text{ кН}$. Длина трещины в эксперименте после предварительного прорастивания $a = 14,5 \text{ мм}$. Коэффициенты интенсивности $K_{max} = 12,86 \text{ МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$, $K_{min} = 1,29 \text{ МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$, $K_{OvL} = 19,3 \text{ МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$.

Схема проведения испытания и последовательность приложения нагрузок представлена на рисунке 2.

В процессе распространения усталостной трещины после приложения единичной перегрузки производилось периодическое фотографирование поверхности образца в

течение полного цикла нагрузки-разгрузки с целью последующей обработки изображений методом корреляции цифровых изображений.

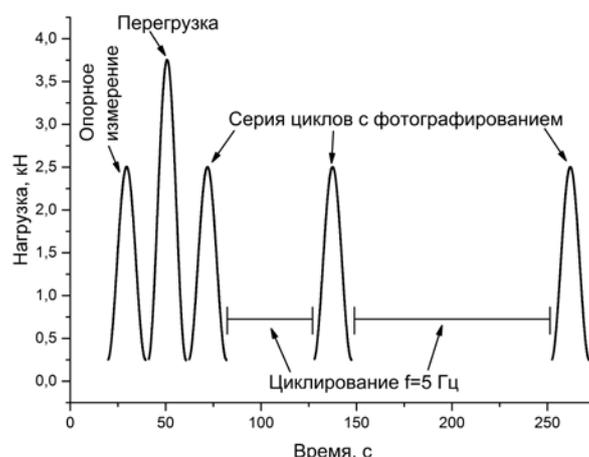


Рисунок 2 - Схема проведения испытания и последовательность приложения измерительных циклов и цикла перегрузки

В работе продемонстрирована экспериментальная оценка влияния цикла перегрузки на реакцию материала образца в области вершины трещины. Для анализа были выбраны два параметра: скорость роста трещины (da/dN), определяемая по изображениям образца, и максимальная деформация ε_{max} , определяемая при помощи программного экстензометра, размещаемого в области вершины трещины.

По результатам проведённых экспериментальных исследований показано, что скорость роста трещины снижается после приложения перегрузки в течение 15000 циклов, трещина при этом распространилась на расстояние 180 мкм или приблизительно 30% от радиуса пластической зоны (r_{OvL}), вызванной перегрузкой. После чего происходит повышение скорости роста усталостной трещины и через примерно 350 мкм (70% r_{OvL}) влияние перегрузки исчезает.

Значения максимальной деформации ε_{max} вели себя также нелинейно. Установлено, что минимум значения ε_{max} коррелируют с изменением скорости роста трещины, достигая своих минимальных значений при тех же длинах трещины. Схожее поведение двух анализируемых параметров объясняется влиянием величины деформации, которую испытывает материал вблизи вершины трещины на скорость её распространения. Полученные результаты согласуются с аналитической моделью О. Уиллера [2], а также результатами, полученными ранее с использованием РЭМ фрактографического анализа [3] и демонстрирует работоспособность метода и перспективность его дальнейшего применения [4].

Список литературы

1. Crack nucleation in persistent slipbands / A. Hunsche, P. Neumann. – American Society for Testing and Materials, 1988. – V. 1. – P. 26 – 38.
2. Spectrum Loading and Crack Growth / O.E. Wheeler. – Basic Engineering, 1971. – V. 94. – P. 181 – 186.
3. Sunder R. et al. Synergy of crack closure, near-tip residual stress and crack-tip blunting in crack growth under periodic overloads – A fractographic study // Int. J. Fatigue. 2016. Vol. 93. P. 18–29.
4. Effect of overload on crack closure in thick and thin specimens via digital image correlation / F. Yusof, P. Lopez-Crespo, P.J. Withers. – International Journal of Fatigue, 2013. – V. 56. – P. 17 – 24.