

УДК 621.643/644

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СКОРОСТИ РОСТА ПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕЩИН В АЛЮМИНИЕВОМ СПЛАВЕ АК6 И В СТАЛИ 20 ПРИ ДВУХОСНОМ НАГРУЖЕНИИ

© 2013 К.А. Вансович, В.И. Ядров

Омский государственный технический университет

Поступила в редакцию 27.03.2013

Описана методика усталостных испытаний стальных крестообразных образцов с поверхностной трещиной при двухосном нагружении. Предложен образец и приспособления для реализации в рабочей части образца двухосного растяжения и растяжения-сжатия. Приведены результаты испытаний на образцах из алюминиевого сплава АК6 и конструкционной стали 20. Установлено влияние напряжения, параллельного плоскости трещины, на скорость её роста.

Ключевые слова: *поверхностная трещина, двухосное нагружение, циклические напряжения, скорость роста трещины, крестообразный образец*

При проектировании и производстве машин и элементов конструкций очень важным является вопрос предсказания повреждений и разрушений деталей, работающих при циклических нагрузках. Для количественной оценки усталостной долговечности необходимо исследовать законы распространения усталостных трещин, зарождающихся из опасных точек, как правило, на поверхности деталей. С учетом этого обстоятельства конструкция должна быть спроектирована таким образом, чтобы у нее сохранялась способность к восприятию значительных переменных нагрузок даже при наличии трещин. Наибольший интерес у исследователей вызывает изучение роста усталостных трещин на стадии стабильного роста. Именно на этой стадии можно говорить о «контролируемом развитии трещины» и количественной оценке остаточного ресурса. Большинство исследователей проводят испытания по изучению трещин на образцах простой формы при одноосном нагружении, хотя в реальных условиях трещина, как правило, развивается при сложном напряженном состоянии и, в частности, при двухосном напряженном состоянии. В свою очередь немногочисленные результаты двухосных испытаний весьма противоречивы [1, 2]. И такие противоречия, в первую очередь, зависят от формы трещины и толщины образца.

Цель работы: проведение двухосных усталостных испытаний и исследование влияния напряжения, параллельного плоскости поверхностной (несквозной) трещины, на скорость её роста.

Для реализации двухосного нагружения были выбраны образцы крестообразной формы. Отличительной особенностью этих образцов является их значительная толщина, равная 10 мм. Несквозные трещины в процессе своего развития распространяются как по ширине образца, так и вглубь его от передней поверхности, поэтому для получения достаточной информации при испытаниях, необходимо иметь образцы значительной толщины. Предварительно проводилась оптимизация формы крестообразного образца по напряженно-деформированному состоянию с целью снижения концентрации напряжений в его нерабочей зоне. Моделирование формы образца выполнялось методом конечных элементов с помощью программы ANSYS. Окончательная форма крестообразного образца показана на (рис. 1), где a – глубина полуэллиптической поверхностной трещины; c – размер трещины на поверхности образца.

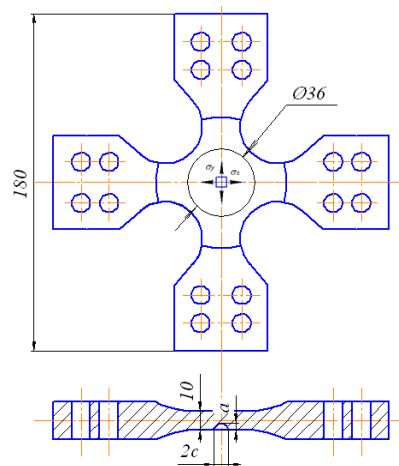


Рис. 1. Образец для двухосных испытаний

Вансович Константин Александрович, кандидат технических наук, доцент. E-mail: vansovichka@mail.ru
Ядров Виктор Иванович, аспирант. E-mail: javi@mail.ru

Усталостные испытания крестообразных образцов проводились на испытательной машине ГРМ-1 с пульсатором, которая создает одноосное циклическое растяжение. Для получения в крестообразном образце двухосного растяжения или растяжения-сжатия были сконструированы и изготовлены специальные приспособления. На рис. 2 показан вариант для растяжения-сжатия. Степень двухосности номинального напряженного состояния (т.е. без учета трещины) в центре крестообразного образца определяется величиной коэффициента двухосности напряжений $\lambda = \sigma_x / \sigma_y$. Вертикальные напряжения σ_y перпендикулярны плоскости трещины и в процессе нагружения раскрывают её. Горизонтальные напряжения σ_x параллельны плоскости трещины.

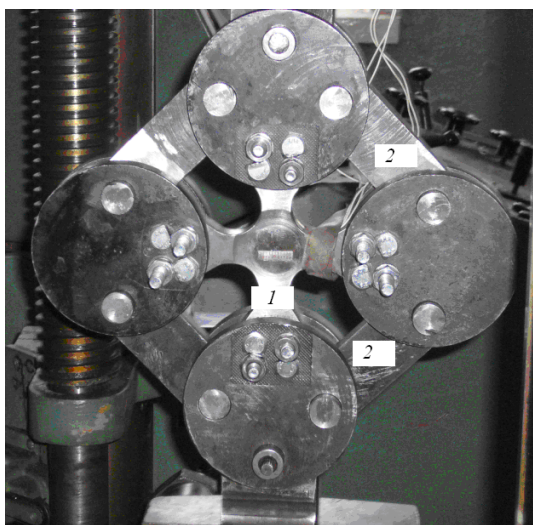


Рис. 2. Приспособление для двухосных испытаний: 1 – крестообразный образец; 2 – тяги

Усталостную трещину в центре крестообразного образца зарождали с помощью специально нанесенного концентратора напряжений. Чтобы определить наиболее подходящий способ нанесения концентратора, был проведен ряд предварительных испытаний, в результате которых установлено, что наилучшим образом поверхностная трещина зарождается в результате разрушения перемычки между двумя близко зашверленными отверстиями (рис. 3). Для наблюдения за ростом трещины по поверхности образца использовался цифровой микроскоп. Изображение рабочей зоны образца с наклеенным полумиллиметровым растром через микроскоп передавалось на USB-вход компьютера и на экран монитора, где могло быть записано.

Усталостные испытания проводились на крестообразных образцах, изготовленных из стали 20 и алюминиевого сплава АК6. Результаты этих испытаний при различной степени двухосности напряжений в зоне поверхностной трещины представлены на рис. 4 и 5.

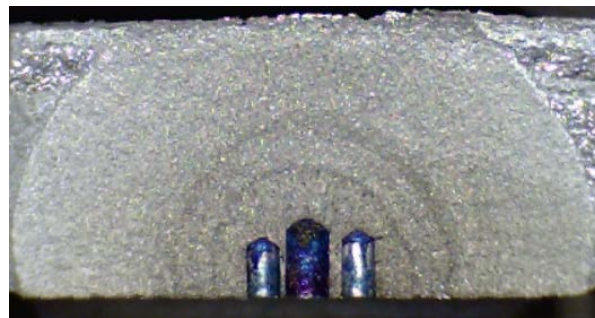


Рис. 3. Концентратор напряжений и поверхностная трещина

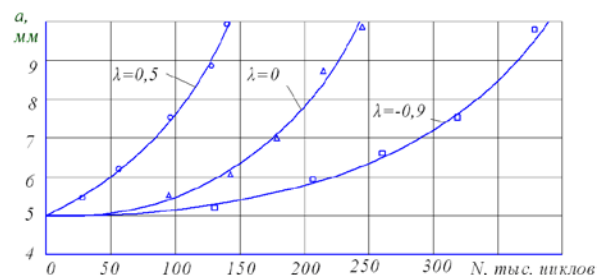


Рис. 4. Влияние способа нагружения крестообразного образца на рост усталостных трещин в стали 20, $\sigma_y = 150$ МПа. 1 – $\lambda = +0,5$; 2 – $\lambda = 0$; 3 – $\lambda = -0,9$

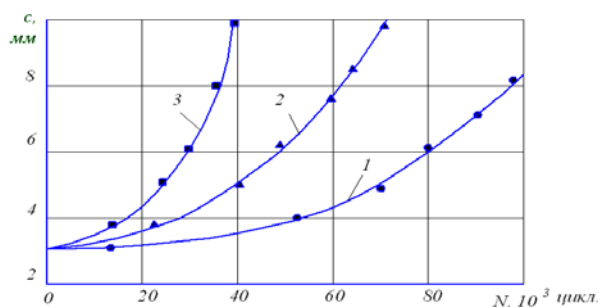


Рис. 5. Влияние способа нагружения крестообразного образца на рост усталостных трещин в сплаве АК6, $\sigma_y = 120$ МПа. 1 – $\lambda = +0,9$; 2 – $\lambda = 0$; 3 – $\lambda = -0,9$

В результате анализа полученных экспериментальных данных установлено, что при сжимающем напряжении σ_x число циклов до разрушения образца увеличивалось, а скорость роста трещины уменьшалась. И, наоборот, при растягивающем напряжении σ_x число циклов до разрушения уменьшалось, а скорость роста трещины увеличивалась. В связи с этим было предложено ввести понятие эквивалентного коэффициента интенсивности напряжений

$$K_I^* = f(\lambda) \cdot K_I, \quad (1)$$

где K_I – коэффициент интенсивности напряжений; $f(\lambda)$ – функция, зависящая от степени двухосности напряженного состояния.

В выражении (1) функция $f(\lambda)$ принята в следующем виде

$$f(\lambda) = \sqrt{1 + k \cdot \lambda}, \quad (2)$$

где k – новая константа материала, характеризующая его чувствительность к двухосному нагружению и подлежащая определению в результате описанных выше испытаний.

Численные значения функции $f(\lambda)$ определены из условия, что при различных видах нагружения одинаковым скоростям роста трещины соответствуют одинаковые значения ΔK_I^* . Найденные значения $f(\lambda)$ использовались для определения константы k , которую следует рассматривать как одну из характеристик материала. В результате были построены обобщенные кинетические диаграммы зависимости скорости роста усталостных трещин от величины ΔK_I^* в логарифмических координатах (рис. 6), на которых зависимости $da/dN - \Delta K_I^*$ удовлетворительно аппроксимируются прямыми линиями.

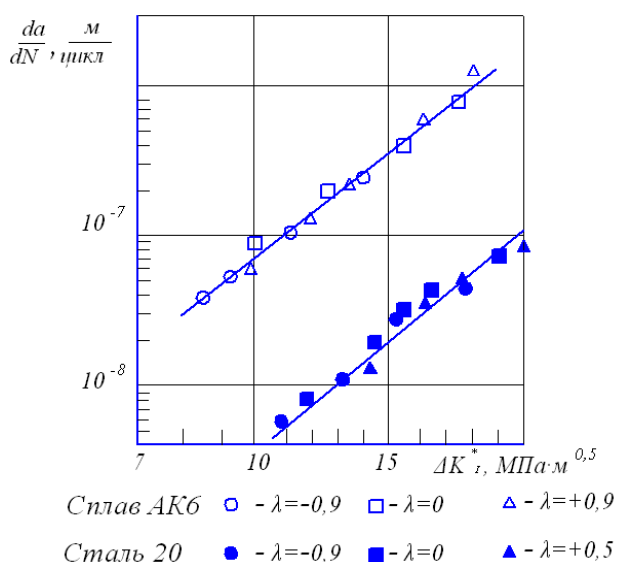


Рис. 6. Обобщенные кинетические диаграммы

EXPERIMENTAL RESEARCH THE GROWTH RATE OF SURFACE CRACKS IN AK6 ALUMINIUM ALLOY AND IN STEEL 20 AT BIAxIAL LOADING

© 2013 K.A. Vansovich, V.I. Yadrov

Omsk State Technical University

The method of fatigue tests of steel crosswise samples with surface crack at biaxial loading is described. The sample and devices for realization in working part of a sample the biaxial tension and tension-compression are offered. Results of tests are given in samples from AK6 aluminum alloy and constructional steel 20. Influence of stress parallel to the plane of a crack, on the speed of its growth is established.

Key words: surface crack, biaxial loading, cyclic stress, crack growth rate, crosswise sample

Это обстоятельство позволило представить зависимости между скоростью роста трещины и величиной размаха коэффициента интенсивности напряжений ΔK_I в виде, аналогичном формуле Пэриса [3]

$$\frac{da}{dN} = C(\sqrt{1 + k\lambda} \cdot \Delta K_I)^n \quad \text{или} \quad \frac{da}{dN} = C(\Delta K_I^*)^n \quad (3)$$

После обработки результатов экспериментов и определения констант были получены уравнения для определения скорости роста трещины при двухосном нагружении в сплаве АК6

$$\frac{da}{dN} = 0,68 \cdot 10^{-11} (\sqrt{1 + 0,28\lambda} \cdot \Delta K_I)^4, \quad K_I^* = \sqrt{1 + 0,28\lambda} \cdot K_I \quad (4)$$

и в стали 20

$$\frac{da}{dN} = 1,14 \cdot 10^{-12} (\sqrt{1 + 0,21\lambda} \cdot \Delta K_I)^{4,5}, \quad K_I^* = \sqrt{1 + 0,21\lambda} \cdot K_I \quad (5)$$

Выводы: предложенная методика экспериментальных исследований позволяет оценивать восприимчивость различных материалов к двухосному нагружению при развитии усталостных трещин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Miller, K.J. Fatigue under complex stress // Metal Science. 1977. V. 2, № 8-9. P. 432-438.
2. Yasumi, I. Fatigue crack propagation of magnesium alloy in biaxial stress fields / I. Yasumi, A. Shimamoto // Mechanical Engineering Papers. 2005. V. 5769. I. 1. P. 89-100.
3. Paris, P. A critical analysis of crack propagation laws / P. Paris, F. Erdogan // Journ. Basic Eng. 1963. V. 85, № 4. P. 528-534.