ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/69

**ПРОВЕРКА СПРАВЕДЛИВОСТИ ЗАКОНА ПЭРИСА ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ РОСТА
ТРЕЩИНЫ ПРИ ГИГАЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ**

Баяндин С.Р.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь
Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь*

Усталость – явление, при котором в ходе циклического нагружения и при приложенных напряжениях ниже предела статической прочности, материал может разрушиться после некоторого числа циклов. Экспериментальному [1-2] и теоретическому [3-4] исследованию усталостного разрушения металлов и сплавов посвящен ряд работ. Выделяют мало- (10^1 - 10^4 циклов), много- (10^4 - 10^7 циклов) и гигацикловую (10^8 - 10^{10} циклов) усталость. В случае гигацикловой усталости амплитуды напряжений существенно ниже предела текучести и материал разрушается после 10^8 - 10^{10} циклов. При этом трещина образуется внутри материала (под поверхностью). Поэтому данный тип разрушения является наиболее опасным.

Так как процесс гигациклового нагружения требует огромных временных затрат, рассматривается задача роста подповерхностной трещины после её образования. Диаметры трещины варьировались от 0,1 до 2 мм. В качестве исследуемого материала был выбран сплав АМгб. Его свойства [5-8]: $\sigma_T = 165$ МПа; $\sigma_B = 350$ МПа; $E = 71$ ГПа; $\nu = 0,3$; $\rho = 2640$ кг/м³; $\varepsilon_f = 0,2$; $d = 4,2$; $T_m = 660$ °С $T_t = 25$ °С; $c = 922$ Дж/(К·кг); $\beta = 0,9$; $\alpha = 0$ (в [8] показано, что для скоростей деформации 300 с⁻¹ и выше теплопроводностью для сплава АМгб можно пренебречь. Согласно [6, 7] в исследуемых диапазонах скоростей деформации скоростной чувствительностью материала АМгб можно пренебречь).

Для описания поведения сплава АМгб использовалась упругопластическая модель с разрушением:

$$\rho \dot{\mathbf{v}} = \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma}, \quad (1)$$

$$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}} = \frac{1}{2}(\nabla \mathbf{v} + \mathbf{v} \nabla), \quad (2)$$

$$\boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{\sigma}_s + \boldsymbol{\sigma}_d, \quad (3)$$

$$\boldsymbol{\sigma}_s = \frac{1}{3}(\boldsymbol{\sigma} : \mathbf{E}) \mathbf{E}, \quad (4)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{\varepsilon}^e + \boldsymbol{\varepsilon}^p, \quad (5)$$

$$\boldsymbol{\sigma} = \lambda (\boldsymbol{\varepsilon}^e : \mathbf{E}) \mathbf{E} + 2G \boldsymbol{\varepsilon}^e, \quad (6)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}^p = \frac{3}{2} \frac{\sqrt{\boldsymbol{\varepsilon}^p : \boldsymbol{\varepsilon}^p}}{\sqrt{\boldsymbol{\sigma}_d : \boldsymbol{\sigma}_d}} \boldsymbol{\sigma}_d, \quad (7)$$

$$\sqrt{\frac{3}{2}(\boldsymbol{\sigma}_d - k \boldsymbol{\varepsilon}^p) : (\boldsymbol{\sigma}_d - k \boldsymbol{\varepsilon}^p)} = \sigma_T, \quad (8)$$

$$\rho c \dot{T} = \beta \boldsymbol{\sigma} : \boldsymbol{\varepsilon}^p + \alpha \Delta T, \quad (9)$$

$$\varepsilon_{eq}^p \geq \varepsilon_f \left(1 + d \frac{T - T_t}{T_m - T_t} \right), \quad (10)$$

$$\varepsilon_{eq}^p = \int_0^{t_1} \sqrt{\frac{2}{3} \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}^p : \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}^p} dt, \quad (11)$$

Проведена серия расчётов для начальных диаметров трещины 0,1, 1, 1,5 и 2 мм. Во всех случаях амплитуда напряжений 138 МПа. В результате показано, что при начальном диаметре 2 мм трещина доросла до поверхности за 59 циклов, при 1,5 мм – за 100 циклов проросла на 0,465 мм, при 1 мм – на 0,218 мм, при 0,1 мм трещина не начала расти.

Секция 2. Неустойчивость и локализация деформации и разрушения в материалах с иерархической структурой

В [9] предложена зависимость для прогнозирования роста усталостной трещины:

$$\frac{da}{dN} = l_{sc} \left(\frac{\Delta K}{E \sqrt{l_{sc}}} \right)^{\alpha} \left(\frac{L_{pz}}{l_{sc}} \right)^{\beta}, \quad (12)$$

Согласно (12) рост трещины не должен происходить за 100 циклов ни при одном из начальных диаметров, исследуемых в настоящей работе. Однако, численное моделирование подтверждает предложенную зависимость лишь при начальном размере трещины 0,1 мм. Подобное несоответствие может иметь ряд объяснений. Многие исследователи [10] отмечают, что закон Пэриса работает лишь в ограниченной области, прилегающей к очагу зарождения трещины в объеме материала и способен описывать лишь линейный участок зависимости скорости роста трещины от коэффициента интенсивности напряжений. Ряд несоответствий может быть связан с геометрическими особенностями расположения трещины, которые не могли быть учтены в осесимметричной постановке.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 18-72-00142.

1. Оборин В.А., Банников М.В., Баяндин Ю.В., Сокоиков М.А., Билалов Д.А., Наймарк О.Б. Фрактальный анализ поверхности разрушения сплава АМг6 при усталостном и динамическом нагружении // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2015. – № 2. – С. 116–126.
2. Наймарк О.Б., Банников М.В. Нелинейная кинетика развития поврежденности и аномалии упругих свойств металлов при гигацикловом нагружении // Письма о материалах. – 2015. – Т. 5, № 4 (20). – С. 497-503.
3. Волков И.А., Коротких Ю.Г., Панов В.А., Шишулин Д.Н. Моделирование процессов накопления усталостных повреждений в конструкционных сталях при блочном малоцикловом нагружении // Вычислительная механика сплошных сред. – 2014. – Т. 7, № 1. – С. 15-22.
4. Билалов Д.А., Баяндин Ю.В., Наймарк О.Б. Математическое моделирование процесса разрушения сплава АМг2.5 в режиме много- и гигацикловой усталости // Вычислительная механика сплошных сред. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 323-334.
5. Машиностроение. Том II-3: Цветные металлы и сплавы. Композиционные металлические материалы / Под общ. ред. К.В. Фролова. – М.: Машиностроение, 2001. – 880 с.
6. Глушак Б.Л., Игнатова О.Н., Пушков В.А., Новиков С.А., Гирин А.С., Сеницын В.А. Динамическое деформирование алюминиевого сплава АМг-6 при нормальной и повышенной температурах // Прикладная механика и техническая физика. – 2000. – Т. 41, № 6. – С. 139-143.
7. Билалов Д.А., Сокоиков М.А., Чудинов В.В., Оборин В.А., Баяндин Ю.В., Терёхина А.И., Наймарк О.Б. Исследование локализации пластического сдвига в алюминиевых сплавах при динамическом нагружении // Вычислительная механика сплошных сред. – 2015. – Т. 8, № 3. – С. 319-328.
8. Билалов Д.А., Сокоиков М.А., Чудинов В.В., Оборин В.А., Баяндин Ю.В., Терёхина А.И., Наймарк О.Б. Численное моделирование и экспериментальное исследование локализации пластической деформации при динамическом нагружении образцов в условиях близких к чистому сдвигу // Вычислительная механика сплошных сред. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 103-112.
9. Оборин В.А., Баяндин Ю.В., Билалов Д.А., Сокоиков М.А., Чудинов В.В., Наймарк О.Б. Автомодельные закономерности развития поврежденности и оценка надежности сплавов АМг6 и Д16Т при комбинированном динамическом и гигацикловом нагружении // Физическая мезомеханика. – 2018. – Т. 21, № 6. – С. 135-145.
10. Bathias, C. Gigacycle Fatigue in Mechanical Practice / C. Bathias, P. C. Paris. – Marcel Dekker Publisher Co. – 2005. – 328 p.