ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

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

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/88

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ СПЛАВА АМГ2.5 В РЕЖИМЕ МНОГО- И ГИГАЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ

Билалов Д.А., Баяндин Ю.В., Наймарк О.Б.

Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь, Россия

Работа посвящена теоретическому исследованию процесса разрушения материала АМг2.5 при усталостном нагружении. Моделирование процессов усталостного разрушения испытуемого образца при количестве циклов нагружения $10^7 - 10^9$ требует огромных вычислительных мощностей, что делает решение краевой задачи затруднительным. Для экономии времени расчётов в настоящем исследовании рассматривалось поведение представительного объёма (нуль-мерная задача) при циклическом нагружении.

Математическая постановка деформирования твёрдого тела с мезоскопическими дефектами [1, 2] в нуль-мерном одноосном случае имеет следующий вид:

$$\dot{\varepsilon}^p = \Gamma_1 \sigma - \Gamma_2 \frac{\partial F}{\partial p}, \quad (1)$$

$$\dot{p} = \Gamma_2 \sigma - \Gamma_3 \frac{\partial F}{\partial p}, \quad (2)$$

$$\dot{\delta} = -\Gamma_4 \frac{\partial F}{\partial \delta}, \quad (3)$$

$$\frac{F}{F_m} = \frac{p^2}{2} - \frac{p^2}{2\delta} + c_1 p + c_2 \ln(c_3 + c_4 p + p^2) - \frac{\sigma \cdot p}{2G}, \quad (4)$$

где: ε^p – пластическая деформация, p – деформация, обусловленная дефектами (микросдвиги и микротрещины); σ – напряжения; δ – параметр структурного скейлинга, равный отношению расстояния между дефектами к размеру дефектов; $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4$ – положительные кинетические коэффициенты; G – модуль сдвига; $c_1, c_2, c_3, c_4, \delta, F_m$ – константы потенциала неравновесной свободной энергии F .

Кинетические коэффициенты Γ_i в общем случае зависят от параметров состояния и представимы в следующем виде:

$$\Gamma_i = \frac{1}{G\tau_i}, \quad (5)$$

где τ_i – характерные времена релаксации, которые в общем виде можно представить в виде зависимостей:

$$\tau_i = \tau_i^0 \exp\left(-\frac{f(p, \dot{p}, \delta, \sigma)}{kT}\right), \quad (6)$$

где T – температура, k – постоянная Больцмана, $f(\cdot)$ – некоторая функция.

Принимается гипотеза о том, что при усталостном нагружении времена релаксации зависят только от параметра $\dot{p}$, который в данном случае можно интерпретировать, как скорость роста усталостной трещины. Предполагается зависимость следующего вида:

$$\tau_i = \tau_i^0 \exp\left(-\frac{\dot{p}^{n_i} - U_0}{kT}\right), \quad (7)$$

где $(\dot{p}^{n_i} - U_0)$ – энергия активации, n_i – константы, отражающие скоростночувствительность, U_0 – характерная энергия.

Для идентификации неизвестных параметров модели использовалась методика, согласно которой минимизируется невязка между экспериментальной и теоретической диаграммами деформирования [1]. Экспериментальные данные для сплава АМг2.5 были взяты из работы [3]: предел текучести $\sigma_T = 94$ МПа, предел прочности $\sigma_b = 282$ МПа, деформация разрушения $\varepsilon_b = 0.23$, модуль Юнга $E = 71,5$ ГПа. Расчётная диаграмма деформирования изображена на рис. 1.

На рис. 2 представлены усталостные кривые, полученные в расчёте при различных частотах нагружения: 100 Гц и 20 кГц. Расчёт хорошо согласуется с экспериментальными данными в режиме многоциклового усталости. Эксперимент для гигациклового усталости для рассматриваемого материала отсутствует в литературе. Численно описан эффект дуальности усталостной кривой: качественное изменение зависимости количества циклов до разрушения от амплитуды приложенной нагрузки.

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

Рис. 1. Расчётная диаграмма деформирования для сплава АМг2.5

Качественная смена поведения материала в режиме гигацикловой усталости связывается с уменьшением амплитуды напряжений менее предела текучести, когда материал нагружается в упругой области, а накопление повреждений связывается с микропластическими деформациями. Участок малоциклового усталости качественно и количественно является достоверным, несмотря на отсутствие экспериментальных данных, т.к. при количестве циклов менее 10^4 амплитуда нагружения стремится к пределу прочности.

Рис. 2. Усталостные кривые для сплава АМг2.5. Пунктирные линии – границы статистического разброса экспериментальных данных [3] при частоте 100 Гц, точки – расчёт при частоте 100 Гц, квадраты – расчёт при частоте 20 кГц.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты № 18-08-01186_а, 17-41-590149-р_а, 17-08-00905_а).

Литература

1. Билалов Д.А., Соколов 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.
2. Билалов Д.А., Соколов 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.
3. Froustey C., Lataillade J.L. Influence of the microstructure of aluminium alloys on their residual impact properties after a fatigue loading program // Materials Science and Engineering A. – 2009. – Vol. 500. – P. 155-163.