

КИНЕТИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ МЕХАНОХИМИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ

Р. А. Харисов, И. Ф. Кантемиров

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация*

Математическая модель повреждаемости металлов представлена через компоненты тензора деформаций в следующем виде:

$$\frac{d\Pi}{dt} = \frac{d\Pi_0}{dt} \cdot \Phi(\bar{\varepsilon}_i) \bar{\varepsilon}_i^{K_\partial} \cdot \exp[K_n \phi_\sigma \varepsilon_i(\sigma_i)], \quad (1)$$

где $\frac{d\Pi_0}{dt} = \frac{d\Pi}{dt} \Big|_{\varepsilon_i=0}$ – скорость повреждаемости ненапряженного мате-

риала в конкретной рабочей среде при температуре T и давлении P ;

$$\bar{\varepsilon}_i = \varepsilon_i / \varepsilon_{i0};$$

$\varepsilon_i = \frac{d\varepsilon_i}{dt}$ – скорость интенсивности пластической деформации;

ε_{i0} – скорость интенсивности пластической деформации, соответствующая кратковременному статическому нагружению;

σ_i – интенсивность напряжений;

$$\phi_\sigma = \frac{\sigma_i}{\sigma_{cp}};$$

σ_{cp} – шаровой тензор;

K_{cm} , K_∂ и K_n – константы, зависящие от свойств материала и среды.

Установлено, что на стадии деформационного (параболического) упрочнения скорость механохимической повреждаемости практически пропорционально увеличивается с ростом интенсивности предварительной пластической деформации. Коэффициент K_∂ , по данным Э. М. Гутмана и Дж. Бокриса с сотрудниками, для большинства сталей можно принимать равным единице. Экспериментальные исследования механохимической повреждаемости углеродистых и низколегированных сталей при упругих деформациях показали, что коэффициент K_n в инженерных расчетах можно рассчитывать по формуле, предложенной Э. М. Гутманом:

$$K_n = \frac{V}{RT},$$

где V – мольный объем стали;
 R – универсальная газовая постоянная.

Интегрирование уравнения (1) с учетом уравнений равновесия и связи с напряжениями и деформациями дает функцию меры повреждаемости $\Pi = \varphi(t...)$, по которой при $\Pi = 1,0$ устанавливается время до наступления того или иного предельного состояния t_p (долговечность) конструктивного элемента. При упругих деформациях за предельное состояние принимается условие наступления текучести материала (условие Мизеса). Долговечность материала конструктивного элемента за пределами упругости установлена из условия потери устойчивости пластических деформаций с учетом многоосности напряженного состояния и анизотропии пластических свойств.

Наибольшую опасность с точки зрения механохимической повреждаемости представляют циклы нагружения с минимальным значением коэффициента формы цикла $K_{\phi\psi}$ – отношения периода выдержки максимальной деформации к времени полного цикла. На основании кинетического уравнения (1) установлены зависимости поцикловой механохимической повреждаемости от характеристик циклического нагружения.

Малоцикловая механическая повреждаемость оценена на основании уравнения типа Коффина-Мэнсона с учетом охрупчивающего влияния на металл жесткости напряженного состояния и коррозионной среды.

Долговечность в условиях малоцикловой и механохимической повреждаемости определена на основании обобщенного принципа линейного суммирования повреждений.

Экспериментальную оценку механохимической повреждаемости и долговечности конструктивных элементов производили на специально разработанных установках и стендах, позволяющих испытывать образцы в условиях плоского напряженного состояния при постоянных во времени и циклических нагрузках. Установлено, что при двухосном напряженном состоянии металл подвержен более интенсивному коррозионному разрушению, чем при одноосном.

На основе предложенного уравнения разработан комплекс нормативно-технических материалов по расчетам ресурса и безопасного срока эксплуатации объектов нефтегазохимических комплексов страны с учетом старения и дефектности металла, нестационарности и цикличности нагружения, коррозионной активности и температурной среды и др.