

КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ****Исроилов Шерзод Нарказакевич**

ассистент кафедры Теоретическая и прикладная механика
Самаркандского государственного университета,
Узбекистан, г. Самарканд
E-mail: arzikulovfazliddin1997@gmail.com

Чориев Элдор Элмурод угли

учитель информатики средней общеобразовательной школы № 41
Каттакурганского района Самаркандской области,
Узбекистан, Талибарзу

MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE**Sherzod Isroilov**

Assistant of the Department of Theoretical and Applied Mechanics
of Samarkand State University,
Uzbekistan, Samarkand

Eldor Choriyev

teacher of informatics of secondary school No. 41
of Kattakurgan district of Samarkand region,
Uzbekistan, Talibarzu

АННОТАЦИЯ

Размерность задачи трехмерная. Известно, что для экспериментальных испытаний на растяжение применяются плоские образцы. В рамках численного моделирования расчет деформации проводился для модельного объема рабочей части образцов. Механическое поведение среды задается в лагранжевой системе отсчета. Система уравнений, описывающая механическое поведение системы включает: уравнения сохранения массы, импульса, энергии, кинематические уравнения, определяющее уравнение, в котором конкретизируются механические свойства рассматриваемой среды, начальные и граничные условия.

ABSTRACT

The dimension of the problem is three-dimensional. It is known that flat samples are used for experimental tensile tests. Within the framework of numerical modeling, the deformation calculation was carried out for the model volume of the working part of the samples. The mechanical behavior of the medium is given in a Lagrangian frame of reference. The system of equations describing the mechanical behavior of the system includes: equations of conservation of mass, momentum, energy, kinematic equations, a defining equation in which the mechanical properties of the medium under consideration, initial and boundary conditions are specified.

Ключевые слова: деформирования высокохромистых, лагранжевой системе, девиатора напряжений, мезоскопической трещины.

Keywords: deformations of high-chromium, the Lagrangian system, voltage deviator, mesoscopic crack.

Для исследования механического поведения сталей Fe-Cr в широком диапазоне температур применялись методы численного моделирования. Методика численного исследования включает

а) создание вычислительной модели, включая ее численную имплементацию, задание начальных и

граничных условий, описывающих способов нагружения;

б) валидацию модели с целью адекватного описания механических свойств высокохромистых сталей;

в) получение и анализ теоретических прогнозов закономерностей деформирования высокохромистых сталей в зависимости от температуры и др. факторов.

Рассматривается задача о растяжении стальных образцов при постоянной скорости деформации. Разрешность задачи трехмерная. Известно, что для экспериментальных испытаний на растяжение применяются плоские образцы. В рамках численного моделирования расчет деформации проводился для модельного объема рабочей части образцов. Вычислительная модель, описывающая процесс упруго-пластической деформации при растяжении, разработана на математическом аппарате механики деформируемого твердого тела. Модель включает систему уравнений, описывающих механическое поведение на макроскопическом уровне (кинематические уравнения, законы сохранения массы, импульса и энергии). Механическое поведение среды задается в лагранжевой системе отсчета. Система уравнений, описывающая механическое поведение системы включает: уравнения сохранения массы, импульса, энергии, кинематические уравнения, определяющее уравнение, в котором конкретизируются механические свойства рассматриваемой среды, начальные и граничные условия.

Закон сохранения массы:

$$\dot{\rho} / \rho_0 = (\rho / \rho_0) \nabla_i u_i, \quad (1)$$

где ρ_0 – начальная массовая плотность, u_i – компоненты вектора массовой скорости, ∇_i – оператор Гамильтона.

Закон сохранения количества движения:

$$\rho \frac{du_j}{dt} = -\nabla_i u_{ij}, \quad (2)$$

Закон сохранения энергии:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{1}{\rho} \sigma^{ij} \frac{d\varepsilon_{ij}}{dt}, \quad (3)$$

σ^{ij} – компоненты тензора напряжений Коши;
 $\frac{d\varepsilon_{ij}}{dt}$ – компоненты тензора скорости деформации;

E – удельная внутренняя энергия.

Кинематические соотношения:

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\nabla_i u_j + \nabla_j u_i \right), \quad \dot{\varepsilon}_{ij} = \dot{\varepsilon}_{ij}^e + \dot{\varepsilon}_{ij}^p. \quad (4)$$

Физические соотношения для упругой и пластической областей:

Граница между упругой и пластической областями в координатах компонент тензора напряжений – поверхность текучести – определяется условием Мизеса:

$$\sigma_i = Y(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T \dots). \quad (5)$$

В упругой области производные по времени от компонент девиатора тензора напряжений связаны с компонентами тензора скорости деформации соотношением:

$$\frac{dS_{ij}}{dt} = 2G \left(\dot{\varepsilon}_{ij}^e - \frac{1}{3} \dot{\varepsilon}_{kk}^e \delta_{ij} \right), \quad (6)$$

где $\dot{\varepsilon}_{kk}^e = \dot{\varepsilon}_{xx} + \dot{\varepsilon}_{yy} + \dot{\varepsilon}_{zz}$ – объемная деформация, G – модуль сдвига.

В динамических задачах определяющее уравнение записывают, учитывая разложение тензора напряжений на шаровую p и девиаторную S_{ij} составляющие.

$$\sigma_{ij} = -p \delta_{ij} + S_{ij}, \quad (7)$$

где σ_{ij} , p и S_{ij} – компоненты тензора напряжений, давление и компоненты девиатора напряжений, соответственно, δ_{ij} – символ Кронекера.

Уравнение состояния имеет вид :

$$p = p(\rho, E). \quad (8)$$

Учитывая специфику решаемой задачи, для описания механического поведения исследуемого материала была выбрана модель Джонсона-Кука (6), учитывающая влияние температуры и скорости деформации на напряжение течения и предельную степень деформации материала. В рамках данной работы исследовалось влияние температуры на напряжения течения с учетом изменения механического поведения материала после фазового перехода при постоянной скорости деформации.

$$\sigma = \left(A + B \varepsilon_{eq}^n \right) \left(1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}_{eq}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right) \left(1 - \left(\frac{T - T_0}{T_m - T_0} \right)^m \right). \quad (9)$$

Для участка температур до фазового перехода предлагается брать оригинальную модель Джонсона-Кука, а после температуры фазового перехода T_{ph_tr} – уравнение (9), в котором $T_0 = T_{ph_tr}$.

Модель для учета повреждаемости и разрушения материала включает уравнение поверхности пластического течения поврежденной среды Гурсона-Твергаарда (10) и уравнение кинетики зарождения и роста повреждений в форме, предложенной Ниддеманом (11) [1].

$$(\sigma_{eq}^2 / \sigma_s^2) + 2q_1 f^* \cosh(-q_2 p / 2\sigma_s) - 1 - q_3 (f^*)^2 = 0, \quad (10)$$

где σ_s – предел текучести, q_1 , q_2 и q_3 – параметры материала, p – давление, f – параметр поврежденности.

$$\begin{aligned} \dot{f} &= \dot{f}_{nucl} + \dot{f}_{growth}, \\ \dot{f}_{nucl} &= \varepsilon_{eq}^p (f_N / s_N) \exp\{-0.5[(\varepsilon_{eq}^p - \varepsilon_N) / s_N]^2\}, \\ \dot{f}_{growth} &= (1 - f) \dot{\varepsilon}_{kk}^p, \end{aligned} \quad (11)$$

где ε_N и s_N – средняя деформация, при которой зарождаются повреждения, и стандартное отклонение, соответственно.

Количество зародившихся повреждений зависит от величины параметра f_N .

$$\begin{aligned} f^* &= f \text{ if } f \leq f_c; \\ f^* &= f_c + (\bar{f}_F - f_c) / (f_F - f_c) \text{ if } f > f_c, \end{aligned} \quad (12)$$

где $\bar{f}_F = (q_1 + \sqrt{q_1^2 - q_3}) / q_3$.

В расчетах вязкого разрушения высокопрочных сталей были использованы значения параметров, предложенные Твергаардом: $q_1=1.5, q_2=1, q_3=q_1^2$.

В качестве локального критерия разрушения материальных частиц среды принималось условие:

$$f = 1. \quad (13)$$

Модель локального разрушения применялась совместно с эрозионной моделью развития разрушения в объеме деформируемых тел, используемой в WB ANSYS 14.5.

В данной работе представлены результаты исследования механических свойств высокопрочных сталей в диапазоне скоростей деформации от 0.1 до 1000 с⁻¹ методом численного моделирования. Целью исследования было установление закономерностей деформационного упрочнения, зарождения и роста повреждений высокопрочных марганцовистых и высокохромистых сталей при растягивающих динамических нагрузках. Для достижения целей проведена модификация вычислительной модели. Модель была использована для анализа протекания процессов деформирования ряда высокопрочных сталей (09Г2С, 14YWT) при динамических механических воздействиях.

Список литературы:

- 1 Skripnyak V. V Mechanical properties of weld joints of high-strength steel under dynamic loading / V.V. Skripnyak, A. Kozulin, V.A. Skripnyak, A. Bezv and E.G. Skripnyak // 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE), 2020, pp. 1190-1194.
- 2 Hume-Rothery W. The Valencies of the Transition Elements in the Metallic State / W. Hume-Rothery, H.M. Irving A., R.J.P Williams // Proc. Roy. Soc. – 1951. – 208. – P. 431-443.
- 3 Gao N. Tribological properties of ultrafine-grained materials processed by severe plastic deformation / N. Gao, C.T. Wang, R.J. Wood, T.G. Langdon // Journal of Material Science. – 2012. – Vol. 47(12). – P. 4779-4797.
- 4 Sobirovna T.R. Issues of further improvement of water cadastre legislation of Uzbekistan // ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal. – 2021. – Т. 11. – №. 4. – С. 1241-1253.
- 5 Huang S.J. Tribological properties of the low-carbon steels with different micro-structure processed by heat treatment and severe plastic deformation / S.J. Huang, V.I. Semenov, L.S. Shuster, P.C. Lin // Wear. – 2011. – Vol. 271(5). – P. 705-711.
- 6 Sun C. In situ neutron diffraction study on temperature dependent deformation mechanisms of ultrafine grained austenitic Fe–14Cr–16Ni alloy / C. Sun, D.W. Brown, B. Clausen [et al.] // International Journal of Plasticity. – 2014. – Vol. 53. – P. 125-134.

- 7 Song M. Microstructure refinement and strengthening mechanisms of a 12Cr ODS steel processed by equal channel angular extrusion / M. Song, C. Sun, J. Jang [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. – 2013. – Vol. 577. – P. 247-256.
- 8 Maltseva L.A. The effect of intense external influences on the structure and properties of alloys / L.A. Maltseva, T.V. Maltseva, N.N. Ozerets [et al.] // La Metallurgia Italiana. – 2013. – Vol. 1. – P. 31-34.