

## МОДЕЛЮВАННЯ НАГРОМАДЖЕННЯ ПОШКОДЖЕННЯ В МЕТАЛІ ЗА ЕНЕРГЕТИЧНИМ ПІДХОДОМ

Ярослав Сапужак, Назар Гембара, Михайло Гриненко

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
mykhailogrynenko@gmail.com

На даний час для опису процесів деформування за високих температур широко застосовують підхід Качанова-Работнова [1]. Конкретний вид функцій у співвідношеннях Качанова-Работнова вибирається виключно з міркувань найкращого опису конкретних експериментальних даних.

У рамках представленої роботи вводимо міру енергетичного пошкодження [2] як відношення енергії пружно-пластичного деформування локального об'єму  $W(x, y, z, t)$  до її критичного значення  $W_C$

$$\omega = W(x, y, z, t)/W_C, \quad W(x, y, z, t) = \int_0^t \sigma_{eq}(x, y, z, \tau) \dot{\varepsilon}_{ij}^{cr}(x, y, z, \tau) dt, \quad (1)$$

де  $\sigma_{eq}$  – еквівалентні напруження;  $\dot{\varepsilon}_{ij}^{cr}$  – швидкість деформацій повзучості локального об'єму елемента.

Вважаємо, що якщо  $\omega(x, y, z, t) < 1$ , то локальний елемент моделі незруйнований. Час руйнування  $t = t_*$  елемента визначається з умови  $\omega(x, y, z, t_*) = 1$ .

Для визначення константи  $W_C$  необхідно мати серію кривих стаціонарної одновісної повзучості із початковою ділянкою третьої стадії за декількох значень  $\sigma = const$  в пружній області роботи матеріалу [2]. На цих кривих визначаються точки  $(\varepsilon_*^{cr}, t_*)$ , які відповідають межі між другою і третьою стадіями повзучості. І саме з цього моменту часу починається послідовне руйнування локальних елементів, що і є причиною появи третьої стадії на кривій повзучості. Тому величина  $W$ , яка є нагромадженою енергією в цьому елементі до моменту часу  $t = t_*$ , що відповідає початку третьої стадії повзучості, і приймається за критичну величину  $W_C$ .

Апробація запропонованого підходу здійснена на прикладі розв'язування задачі, для якої є опубліковані експериментальні дані [3,4]. Подано результати числових досліджень для зразка Бріджмана (рис.),

**Конференція молодих учених «Підстригачівські читання – 2020»,  
26–28 травня 2020 р., Львів**

виготовленого зі сталі 0.5Cr0.5Mo0.25V, за умов одновісного розтягу навантаженням, що відповідає 54 МПа та температури 640 °С. Задачу розв'язували методом скінченних елементів за допомогою програмного пакету MSCMarcMentat 2014.0.0. У результаті побудовано криві, що характеризують кінетику нагромадження пошкоджень, як за класичним підходом Качанова-Работнова, так і за енергетичним підходом (1). Встановлено час до руйнування зразка (табл.).

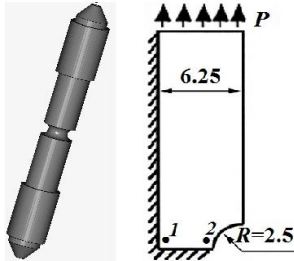


Рис. Розрахункова схема зразка  
Бідржмана

Таблиця

Місце розрахунку	Час до руйнування, h		
	$t_{\text{exper}}$	$t_{\text{energy}}$	$t_{K-R}$
T.1	1450	1380	1596
T.2	1905	1851	1970

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що результати розрахунків, отримані за двома підходами дають задовільну збіжність з експериментальними даними [3,4]. Проте, час до руйнування, розрахований за енергетичним підходом, має вдвічі меншу похибку.

1. *Hayhurst D. R., Felce I. D.* Creep rupture under tri-axial tension // Eng. Frac. Mech. – 1986. – 25. – P. 645–664.
2. *Іваницький Я. Л., Гембара О. В., Чепіль О. Я.* Оцінювання довговічності елементів енергетичного обладнання з урахуванням впливу експлуатаційного середовища // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2015. – 51, № 1. – С. 93–101.
3. *Hyde T. H., Sun W., Tang A.* Determination of material constants in creep continuum damage constitutive equations // Strain – 1998, august. – P. 83–90.
4. *Rouse J. P., Sun W., Hyde T. H., Morris A.* Comparative assessment of several creep damage models for use in life prediction // Int. J. of Pressure Vessels and Piping – 2013. – 108. – 109. – P. 81–87.

## MODELING OF DAMAGE ACCUMULATION IN METAL BY ENERGY APPROACH

*A comparative analysis of the results of calculating the long-term strength according to the classical Kachanov-Rabatnov equations and the energy approach is carried out. The calculation results obtained by the two approaches give satisfactory convergence with experimental data. However, the time to fracture, calculated on an energy approach gives 2 times less error.*