

УДК 539.424

КІНЕТИКА НАКОПИЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ І КРИТЕРІЙ ГРАНИЧНОГО СТАНУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Фам Д.К., Бабак А.М., Коваль В.В., Тимошенко О.В.

КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ

***Анотація.** В даній роботі представлена модель кінетики накопичення розсіяних пошкоджень і критерій граничного стану при розтязі, який базується на модернізованій моделі запропонований Бонора та регресійного аналізу відповідних експериментальних даних. Проведено аналіз та обробка результатів експериментальних даних при розтязі ряду металевих конструкційних матеріалів типу: 12Х18Н10Т, 30ХГСА, ВТ22, Д16Т, Сталь 45, 18Х2Н4ВА, 15ХСНД, 07Х16Н6. Побудовано криві накопичення розсіяних пошкоджень для різних конструкційних матеріалів при розтязі, використовуючи енергетичні підходи і підходи заснованих на деградації фізико-механічних властивостей матеріалу. Представлено методику визначення параметрів моделі та критерію, показані результати перевірки збіжності моделі і критерію по відношенню до результатів експериментальних даних і межі застосування для різних типів металевих матеріалів.*

***Ключові слова:** розтяг, пошкодження, пошкоджуваність*

Вступ. У зв'язку з стрімким розвитком галузі машинобудування, з'являються нові елементи конструкції, що працюють в різних термо-силових умовах. В наслідок чого, зростають і нові вимоги до методики прогнозування залишкового ресурсу при експлуатації і прогнозування ресурсу на стадій проектування відповідальних елементів конструкцій. У літературі існують безліч руйнують і неруйнуючих методик прогнозування наявності макротріщини, але не мають можливість описати кількісно.

Так само в літературі представлено безліч критеріїв граничного стану і визначають рівняння для металевих конструкційних матеріалів в основі яких використовують дані результатів накопичення пошкодження при розтязі.

Тому актуальним є розробка феноменологічної моделі кінетики накопичення пошкоджень і критерію граничного стану, які б давали більш точні результати та простими.

Використовуючи постулат еквівалентності деформацій [1], Леметром було запропоновано модель визначення кінетики накопичення пошкоджень через деградацію розрахункового модуля пружності, у вигляді:

$$D = 1 - \frac{\tilde{E}}{E_0} \quad (1)$$

Існують також інші постулати, засновані на еквівалентності енергій. Наприклад, в роботах Луо [2] та Чоу [3], відповідно:

$$D = -\frac{1}{2} \ln \frac{\tilde{E}}{E_0}, \quad (2)$$

$$D = 1 - \sqrt{\frac{\tilde{E}}{E_0}} \quad (3)$$

де E_0, \tilde{E} - початковий модуль пружності і поточний модуль пружності пошкодженого конструкційний матеріал, відповідно.

В роботі Дзюба [4] зазначено, що при руйнуванні матеріалу величина ентропії досягає своєї максимальної величини. Виходячи з цього було запропоновано пошкоджуваність визначати, як:

$$D = \frac{S_i}{S_R} = \frac{F_i T}{T F_R} = \frac{F_i}{F_R}. \quad (4)$$

де F_i - механічна робота, витрачена на руйнування експериментального зразка при розтязі.

На рис. 1. представлено порівняння кінетики накопичення пошкоджень для різних конструкційних матеріалів використовуючи представлені підходи.

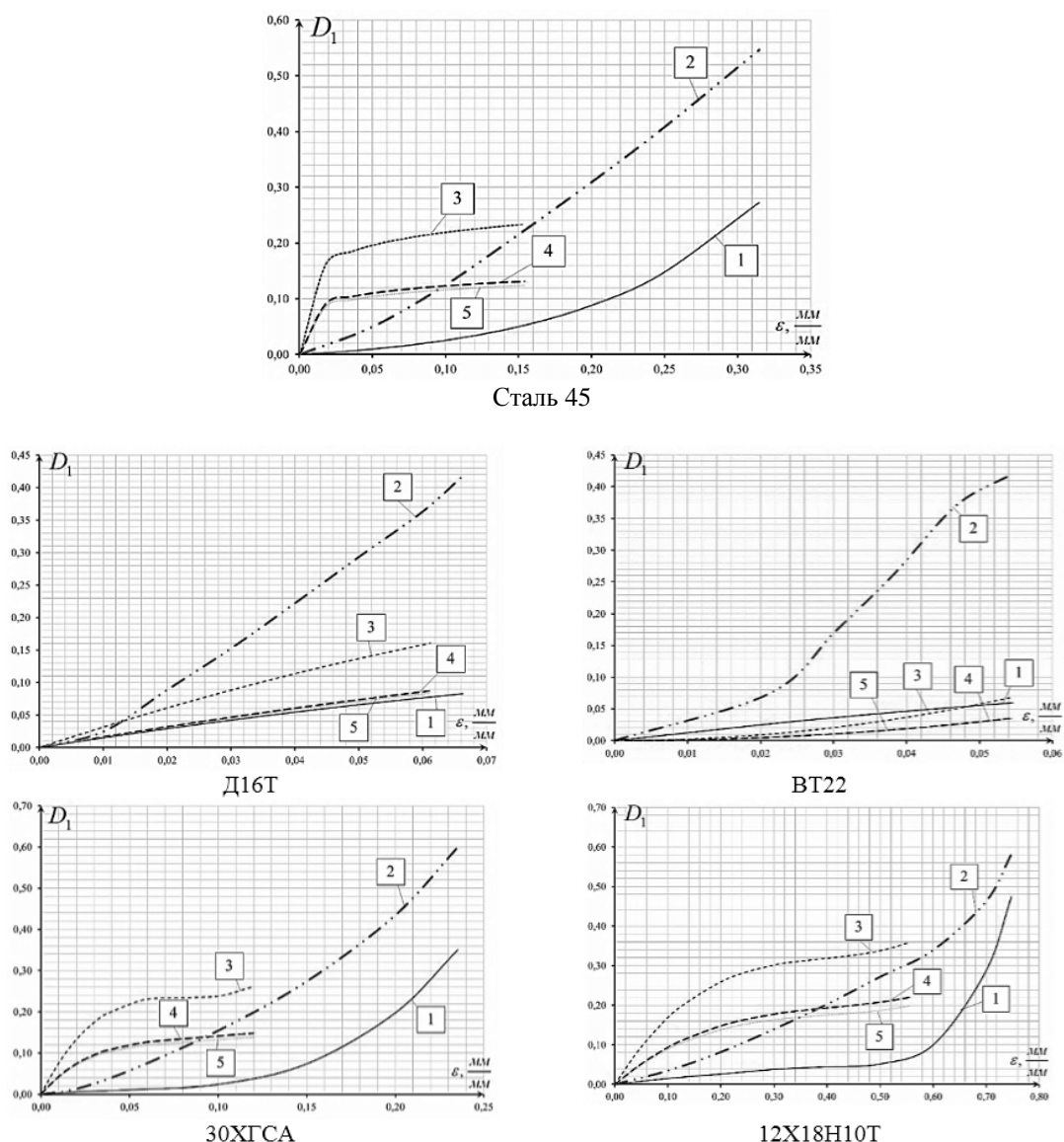


Рис.1 Криві кінетики накопичення пошкоджуваності 1 - експериментальна крива, 2 - теоретична крива за формулою (4), 3 - теоретична крива за формулою (1), 4 - теоретична крива за формулою (2), 5 - теоретична крива за формулою (3)

В роботі запропонована модернізована модель кінетики накопичення пошкоджуваності Бонора [5], як:

$$\frac{D_1}{D_{1R}} = \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_{1R}} \right)^\alpha \quad (5)$$

де $\varepsilon_1, \varepsilon_{1R}$ - Поточні величини деформації та критичне значення деформації.

Параметри моделі були пов'язані з пружно пластичними характеристиками матеріалу за допомогою регресійного аналізу, як:

$$\alpha = \frac{\sigma_B}{S_k} \cdot \left[10,3 \cdot E_0 \cdot 10^{-5} \cdot \varepsilon_{1R} - 2,4 \cdot \frac{\sigma_B}{S_k} + 4,3 \right] - \varepsilon_{1R} [9,1 \cdot \varepsilon_{1R} + 11,5] - E_0 \cdot 10^{-5} \quad (6)$$

$$D_{1R} = \frac{1}{100} \left\{ \frac{\sigma_B}{S_k} \cdot \left[25 \cdot \frac{\sigma_B}{S_k} - 2 \cdot E_0 \cdot 10^{-5} \cdot \varepsilon_{1R} - 7 \right] + E_0 \cdot 10^{-5} \left[9 \cdot E_0 \cdot 10^{-5} - 20 \right] + \varepsilon_{1R} \left[43 \cdot \varepsilon_{1R} - 4 \right] \right\}. \quad (7)$$

де S_k, σ_B - напруження опору руйнування і межа міцності на умовній діаграмі, відповідно.

На рисунку 2, представлено порівняння кінетики накопичення пошкодження за формулою (7) з експериментальною кривою.

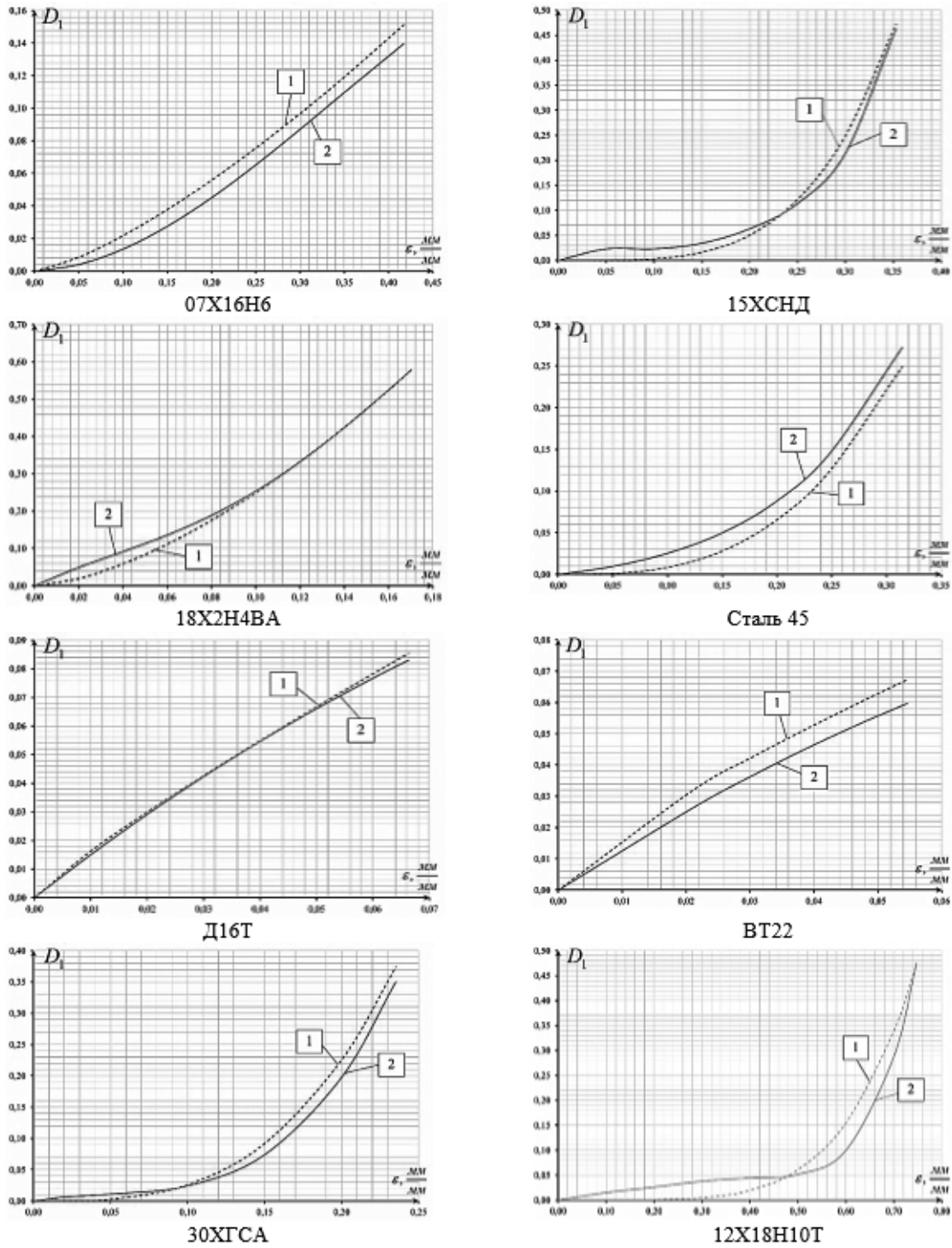


Рис. 2 Криві кінетики накопичення пошкоджуваності 1 - теоретична крива за формулою (7), 2 - експериментальна крива

Висновки

В роботі була запропонована модель визначення кінетики накопичення пошкоджуваності і критерій граничного стану. Представлено порівняння різних моделей кінетики накопичення пошкодження для різних матеріалів. Визначено що, залежність запропоноване Абу-Фарсаком дає велику похибку у визначення кінетики накопичення пошкоджуваності. Гіпотези запропоновані Луо, Чоу і Леметром дають непогану збіжність з експериментальними даними, але межа застосовності можливі до границі міцності і має складну реалізацію, так як вимагають розвантаження для визначення розрахункового модуля пружності. Формула визначення кінетики накопичення пошкоджуваності запропонована Дзюбою, дає непогану збіжність для пластичних матеріалів, але має великі похибки для крихких матеріалів. Модель накопичення пошкоджуваності і критерій граничного стану запропонована в даній роботі дає хорошу збіжність з експериментальними даними, та є простим в реалізації.

Список літератури:

1. *Lemaitre J. Damage measurements. Engineering Fracture Mechanics / J. Lemaitre, J. Dufailly., 1987. – 643 с. – (28).*
 2. *Luo A. C. A large anisotropic damage theory based on an incremental complementary energy equivalence model / A. C. Luo, M. Yanghy, H. Ray. – 1994. – №70. – С. 19–34.*
 3. *Chow C. An anisotropic theory of elasticity for continuum damage mechanics / C. Chow, J. Wang. // International Journal of Fracture. – 1987. – №33. – С. 3–16.*
 4. *Дзюба В. С. Термодинамический подход к оценке повреждаемости армированных пластиков / В. С. Дзюба. // Институт проблем прочности АН УРСР. – 1984. – С. 56.*
 5. *Bonora N. A. Identification of the Parameters of a Non-Linear Continuum Damage Mechanics Model for ductile Failure in Metals / N. Bonora, D. Gentile, A. Pirondi. // J. Of Strain Analysis. – 2004. – №39. – С. 639–651.*
-