

УДК 539.4

В. М. Малинський, І. Д. Немикін, М.І. Бобир

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігора Сікорського», м. Київ, Україна

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ ПОШКОДЖУВАНОСТІ МАТЕРІАЛІВ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Основними елементами в оцінюванні ізотропного пошкодження є фізичні критерії та величини, що характеризують пружні властивості матеріалів. До таких величин входить така скалярна змінна як модуль Юнга (модуль пружності) E , що характеризує відношення нормального напруження до відповідної лінійної деформації. Проте з класичної теорії механіки суцільного середовища добре відомо, що ізотропність матеріалу повинна характеризуватися двома незалежними скалярними параметрами. Проте іншу скалярну змінну пошкодження, яка називається змінною пошкодження від зсуву G , було введено для відображення впливу пошкодження на модуль зсуву. [2]

Тому однієї скалярної змінної пошкодження недостатньо для повної характеристики ізотропного пошкодження матеріалу в багатовимірному просторі. Зазвичай, модуль Юнга (E), коефіцієнт Пуассона (ν), модуль зсуву (G) і об'ємний модуль (K) є константами пружного матеріалу, які зазвичай використовуються в інженерії і які мають 4-и відповідні параметри пошкодження: D_E, D_ν, D_G, D_K . Згідно нових теорій ізотропного пошкодження, для кількісної оцінки пошкодження використовуються подвійні скалярні змінні пошкодження, в залежності від значень яких знаходять та оцінюють значення інших скалярних змінних пошкодження.

Метод еквівалентних деформацій визначає параметри пошкодження співвідношенням ефективного значення скалярної змінної до її початкового значення відповідно. В свою чергу, метод еквівалентних енергій пропонує додаткового використовувати для співвідношення радикал.

Таблиця 1. Порівняння методу еквівалентних деформацій та методу еквівалентних енергій для пошкодження за модулем пружності першого роду.

| Пошкодження | МЕД | МЕЕ |
|-------------|---------------------------|----------------------------------|
| D_E | $1 - \frac{\tilde{E}}{E}$ | $1 - \sqrt{\frac{\tilde{E}}{E}}$ |

де E – модуль пружності першого роду, \tilde{E} – ефективний модуль пружності першого роду, D_E – пошкодження за модулем пружності першого роду.

Аналогічні записи матимуть інші 3-и параметри пошкодження відповідно до їхньої скалярної змінної.

Таблиця 2. Порівняння методу еквівалентних деформацій та методу еквівалентних енергій для пошкодження за модулем пружності другого роду, об'ємного модулю та коефіцієнту Пуассона

| Пошкодження | МЕД | МЕЕ |
|-------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| D_G | $1 - \frac{\tilde{G}}{G}$ | $1 - \sqrt{\frac{\tilde{G}}{G}}$ |
| D_ν | $1 - \frac{\tilde{\nu}}{\nu}$ | $1 - \sqrt{\frac{\tilde{\nu}}{\nu}}$ |

| | | |
|-------|---------------------------|----------------------------------|
| D_K | $1 - \frac{\tilde{K}}{K}$ | $1 - \sqrt{\frac{\tilde{K}}{K}}$ |
|-------|---------------------------|----------------------------------|

Залежність похідних параметрів пошкоджень D_v та D_K від обраних змінних пошкоджень D_E та D_G для методу еквівалентних енергій будуть представляти собою наступні формули [1]:

$$D_v = 1 - \sqrt{\frac{E(1-D_E)^2 - 2G(1-D_G)^2}{(1-D_G)^2(E-2G)}} \quad (1)$$

$$D_K = D_E \sqrt{\frac{1-2G}{1-2G(1-D_v)^2}} \quad (2)$$

де E – модуль пружності першого роду, G – ефективний модуль пружності другого роду, D_E – пошкодження за модулем пружності першого роду, D_G – пошкодження за модулем пружності другого роду, D_v – пошкодження за коефіцієнтом Пуассона, D_K – пошкодження за об'ємним модулем.

На основі нержавіючої сталі 12x18н10т було проведено порівняння методу еквівалентної деформації та методу еквівалентної енергії по визначенню пошкоджень за модулями пружності першого роду та другого роду

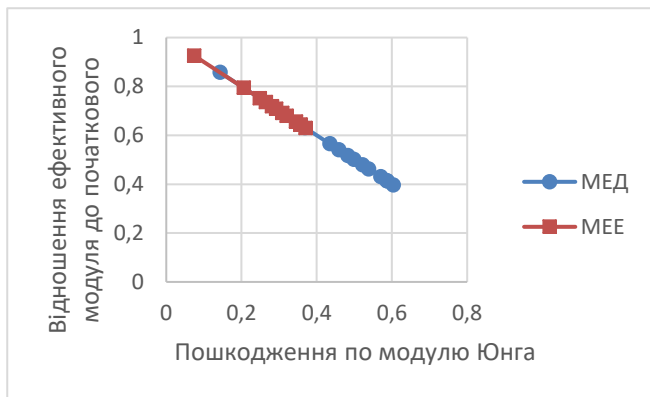


Рис. 1 Залежність відношення E_{ef}/E до пошкодження D_E при МЕД та МЕЕ для нержавіючої сталі 12x18н10т

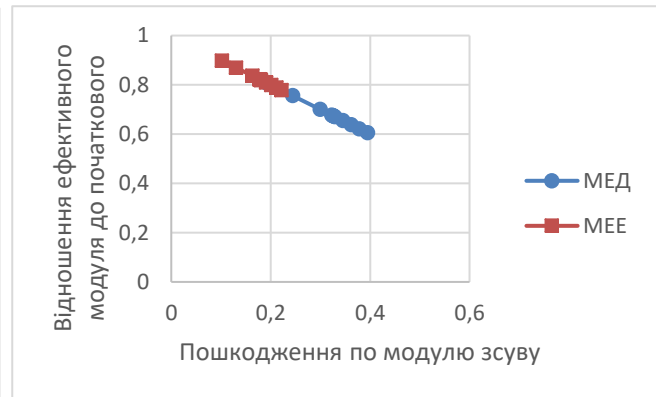


Рис. 2 Залежність відношення G_{ef}/G до пошкодження D_G при МЕД та МЕЕ для нержавіючої сталі 12x18н10т

Висновки

1. Обидва методи - еквівалентних енергій та еквівалентних деформацій - є корисними інструментами для оцінки механічної поведінки матеріалів. Метод еквівалентних енергій надає менші значення для пошкоджень та базується на витраті енергії під час деформації, в той час як метод еквівалентних деформацій видає великі значення та оцінює ступінь пошкодження за допомогою величини деформації.

2. Метод еквівалентних енергій виявляється важливим інструментом для аналізу механічної поведінки матеріалів у багатьох сферах, включаючи інженерію, науку про матеріали та будівництво. Його спроможність враховувати витрату енергії під час деформації, порівнюючи ефективні значення параметрів матеріалу з початковими

Список використаних джерел

1. Tang, C. Y., Shen, W., Peng, L. H., & Lee, T. C. (2002). Characterization of Isotropic Damage Using Double Scalar Variables. *International Journal of Damage Mechanics*, 11(1), 3–25.
2. Писаренко Г. С. Опір матеріалів : підруч. / Писаренко Г. С., Квітка О. Л., Уманський Є. С. – К.: Вища школа, 1993.