

Рис. 11. Інтерфейс вводу

Таким образом, команда специалистов, применяющих метод FMEA на своем предприятии и используя аппарат нечеткой логики, сможет более точно определять ПЧР для своих конструкций, а также самостоятельно, в зависимости от отрасли и целей предприятия, заводить характер совместной работы факторов (критериев значимости, возможности обнаружения и частоты возникновения).

Список литературы: 1. ГОСТ Р 51814.2 – 2001 Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. 2. М.И.Розно. Как научиться смотреть вперед? Внедрение FMEA – методологии // Методы менеджмента качества. – 2000. - №6. – С.25 – 28. 3. М.И.Розно. Проектирование: с FMEA или без? // Стандарты и качество. – 2001. - №9. – С.74 – 78. 4. Анализ видов и последствий потенциальных дефектов (FMEA). Методическое пособие. – Нижний Новгород: СМЦ «Приоритет», 2002. – 57с. 5. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480с.

Сдано в редакцию 26.05.06
Рекомендовано д.т.н., проф. Михайлов А.Н.

ВПЛИВ ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ

Бобир М.І., Грабовський А.П., Халімон О.П., Тимошенко О.В.

(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Using parameters of variations of the elastic modulus and specific resistivity the research method of damage for elastic-plastic deformation of structural materials is considered. A detailed description of the damage test for structural materials of types steel 45, an stainless steel 12X18H10T, aluminum alloy Д16Т and titanic alloy BT22 is performed. Comparison of calculated results according to the offered model and results of damage tests for some metal constructional materials is carried out.

Активне пружно-пластичне деформування, процеси повзучості та малоциклової втоми елементів конструкцій в зонах їх підвищеної навантаженості супроводжується накопиченням мікропошкоджень (виникненням мікропор та мікротріщин) в матеріалі. Підвищення точності прогнозування ресурсу експлуатації таких елементів конструкції на стадії їх інженерного проектування, або при конкретизації залишкового ресурсу на

стадії експлуатації, в першу чергу залежить від достовірності системи визначальних рівнянь, в яку повинні входити параметри пошкоджуваності.

Континуальна механіка пошкоджень (КМП) використовується для опису явища накопичення пошкоджень та руйнування конструкційних матеріалів [1-3]. Основоположником КМП є Качанов [4], який представив змінну пошкоджуваності D для опису явища повзучості. З того моменту було опубліковано багато робіт на цю тему і запропоновано багато теорій, для вивчення пошкоджуваності при пружно-пластичному деформуванні конструкційних матеріалів при статичному і динамічному режимах навантаження [5-7].

У випадку ізотропної і гомогенної пошкоджуваності змінна пошкоджуваності D пов'язана із щільністю мікродфектів в матеріалі. Успішне використання КМП для передбачення руйнування тісно пов'язане з точними дослідженнями пошкоджуваності.

Постулат еквівалентності деформацій за Леметром [8,9] стверджує, що визначальні співвідношення для пошкодженого матеріалу можуть бути отримані заміною напруження σ в непошкодженому матеріалі ефективними напруженнями $\tilde{\sigma} = \sigma / (1 - D)$, де $\tilde{\sigma}$ - зусилля поділене на площу поперечного перетину, що ефективно сприймає навантаження. Так, пошкоджуваність може бути представлена зміною модуля пружності:

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

де \tilde{E} - модуль пружності пошкодженого матеріалу; $E = E_{CT}$ - усталена величина модуля пружності матеріалу на початку навантаження (див. рис.1).

Інший постулат, відомий як еквівалентність енергій [10] також пов'язує пошкоджуваність із зміною модуля пружності рівнянням:

$$D = 1 - \sqrt{\frac{\tilde{E}}{E}}. \quad (2)$$

Найбільш достовірним при дослідженні пошкоджуваності є вимірювання зміни питомого електричного опору при пружно-пластичному деформуванні на робочій довжині зразка згідно методики [11] за рівнянням:

$$D = \frac{\rho_i - \rho_0}{\rho_0} = \frac{F_i V_i l_0 I_0}{F_0 V_0 l_i I_i} - 1; \quad (3)$$

$$\rho_0 = \frac{l_0 \cdot I_0}{U_0 \cdot F_0}; \quad \rho_i = \frac{l_i \cdot I_i}{U_i \cdot F_i},$$

де l_0, l_i - початкова та поточна довжина робочої зони зразка при деформуванні; ρ_0, ρ_i - початковий та поточний питомий електричний опір зразка; I_0, U_0, I_i, U_i - відповідно, величини струму та напруження перед деформуванням та під час деформування конструкційного матеріалу; F_0, F_i - початкова та поточна площі поперечного перерізу при пружно-пластичному деформуванні.

Експериментальна зміна модуля пружності для конструкційних матеріалів від пружно-пластичної деформації до руйнування показана на рис.1.

Аналіз кривих зміни модуля пружності на приведених графіках рис.1 показує, що для пластичних матеріалів модуль пружності різко зменшується на початковій стадії пластичного деформування і майже монотонно зменшується при більш високих пластичних деформаціях. Згідно співвідношень (1), (2) для визначення пошкоджуваності при пружно-пластичному деформуванні за величину E_{CT} приймається перетин лінії

математичної екстраполяції зміни модуля пружності в матеріалі від відносного видовження ε , при пружно-пластичному деформуванні, з віссю абсцис.

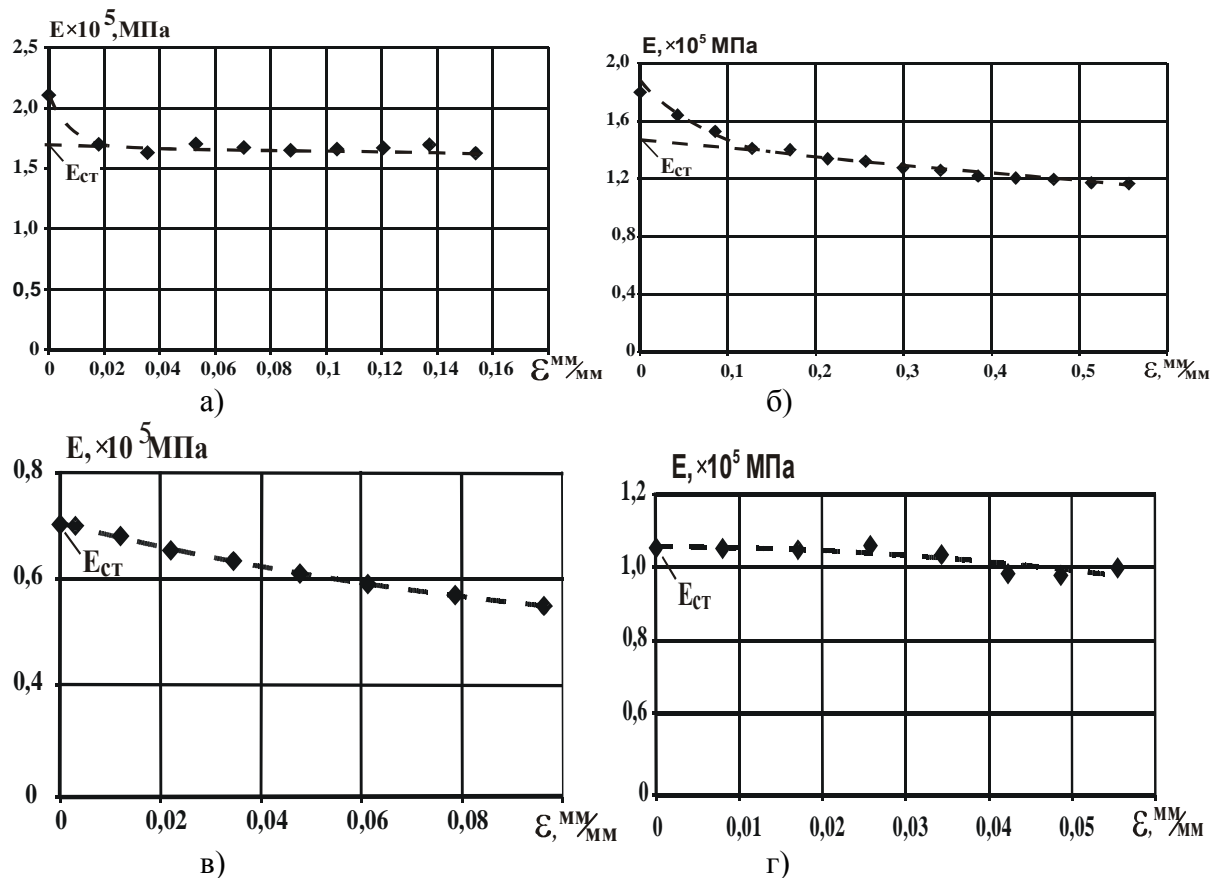


Рис.1 Зміна модуля пружності при пружно-пластичному деформуванні:
а) сталь 45; б) сталь 12X18H10T; в) сплав Д16Т; г) сплав ВТ22

В роботі [12] запропонована континуальна модель накопичення пошкоджень в конструкційних матеріалах при складному напруженому стані, яка виражається відношенням:

$$D = D_c \left(\frac{(\varepsilon_i^p)^b H_\sigma^m - (\varepsilon_{iD}^p)^b}{(\varepsilon_{iR}^p)^b - (\varepsilon_{iD}^p)^b} \right) \quad (4)$$

$$\text{де } H_\sigma = \frac{2}{3}(1+\nu) \left(\chi + (1-\chi) \frac{\sigma_1}{\sigma_i} \right)^2 + 3(1-2\nu) \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_i} \right)^2 ;$$

$$b = \frac{2m+n}{n},$$

де m - параметр, що характеризує нелінійність накопичення пошкоджень; n - показник зміцнення матеріалу (згідно закону Рамберга-Осгуда $n > 1$); D_c - критичне значення параметру пошкоджуваності при якому настає руйнування; ε_{iD}^p - порогове значення деформації при якій починається процес пошкодження; ε_i^p - поточна накопичена пластична деформація; χ - параметр матеріалу (згідно критерію Писаренко-Лебедева

$0 \leq \chi \leq 1$); σ_i - інтенсивність напружень; ε_{iR}^p - гранична деформація руйнування; ν - коефіцієнт Пуансона; σ_0 - середнє напруження; σ_1 - максимальнє значення напруження при складному навантаженні.

При одновісному навантаженні $H_\sigma = 1$.

Параметр кінетики накопичення пошкоджень при одновісному навантаженні до руйнування має вигляд:

$$D = D_c \left(\frac{\left(\varepsilon^p \right)^b - \left(\varepsilon_D^p \right)^b}{\left(\varepsilon_R^p \right)^b - \left(\varepsilon_D^p \right)^b} \right) \quad (5)$$

На рис.2 приведені криві зміни накопичення пошкоджень при пружно-пластичному деформуванні конструкційних матеріалів, які отримані згідно співвідношень: (3) – крива 1, (2) - крива 2, (5) - крива 3, (1) - крива 4.

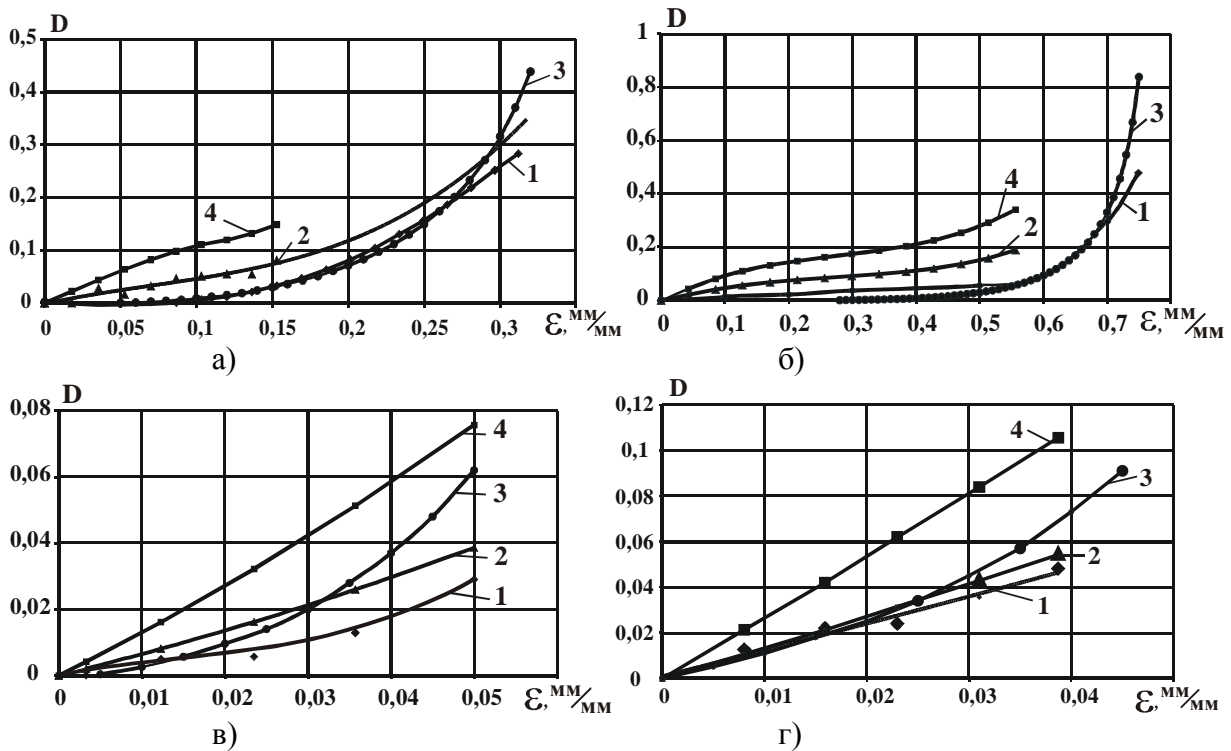


Рис. 2. Кінетика накопичення пошкоджень для: а) сталі 45; б) сталі 12X18H10T; в) сплаву Д16Т; г) сплаву ВТ22

Аналіз експериментальних результатів по визначенню кінетики накопичення пошкоджень при пружно-пластичному деформуванні (рис. 2), показує, що континуальна модель, що описується рівнянням (5), добре корелюється з експериментальними даними за рівняннями (2), (3). З нелінійного характеру кривих накопичення пошкоджень, можна зробити висновок, що рівняння (1) не може описати кінетику накопичення пошкоджень з достатньою точністю.

Таким чином в роботі приведені результати експериментальних досліджень кінетики накопичення пошкоджуваності при пружно-пластичному деформуванні конструкційних матеріалів за параметрами зміни модуля пружності і зміни питомого електричного опору для: сталі 45, нержавіючої сталі 12X18H10T, алюмінієвого сплаву Д16Т,

та титанового сплаву ВТ22. Проведено порівняння результатів згідно континуальної моделі і експериментальних даних по кінетиці накопичення пошкоджень за зміною модуля пружності та питомого електроопору в конструкційних матеріалах при їх пружно-пластичному навантаженні.

Список літератури: 1. Лебедев А.О. Методика та результати досліджень процесів накопичення пошкоджень в металевих матеріалах при різних умовах навантаження: Вестник «КПИ» серия «Машиностроение». №44. 2003. с.9-12. 2. Бобир М.І., Грабовський А.П., Яхно Б.О. Моделі накопичення пошкоджень при складному мало цикловому навантаженні: Вестник «КПИ» серия «Машиностроение». №44. 2003. с.13-15. 3. Тамуж В.П., Куксенко В.С. Микромеханика разрушения полимерных материалов: Рига, «Знание», 1978, с.167. 4. Качанов Л.М. Основы механики разрушения: М., Наука, 1974, 308с. 5. Голуб В.П. Нелинейная механика континуальной поврежденности и её приложение к задачам ползучести и усталости: Прикладная механика, том 36, №3, 2000, с.31-66. 6. Чаусов Н.Г., Маковецкий И.В. Моделирование кинетики рассеянных поврежденных в металлических материалах на разных стадиях деформирования при статическом нагружении: Вестник НТТ «КПИ», серия «Машиностроение», №43, 2002, с.6-9. 7. Болотин В.В. Трещиностойкость материалов и континуальная механика повреждений: ДАН России. 2001 -376 №6, с.760-762. 8. Lemaitre J. Mechanics of solids materials. Springer-Verlag, 1994. 9. Леметр Ж. Континуальная модель повреждения, используемая для расчета разрушения пластичных материалов.// Теоретические основы. №1. – 1985. – т.108. – С.90 – 98. 10. Hansen N.R., Schreyer H.L., A thermodynamically consistent framework for theories of elastoplasticity coupled with damage // Int. J. Solids Structures, vol. 31, No.3, 1994. – P. 359-389. 11. Бобир М.І., Грабовський А.П., Тимошенко О.В. Спосіб визначення кінетики руйнування матеріалів в процесі їх пружно-пластичного деформування. Патент України №65499А Бюл. №3, 15.03.2004. 12. Бобир М.І., Масло О.М. Узагальнена феноменологічна модель пошкоджуваності при складному навантаженні // Вісник НТУУ "КПІ". - 2003.– №4.– С. 26-29.

Сдано в редакцию 10.05.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Михайлов А.Н.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОДУКТА СИНТЕЗА КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

Богатырева Г.П., Майстренко А.Л., Олейник Н.А., Базалий Г.А., Зайцева И.Н.
(ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина)

The article is dedicated to the research of influents the technological factors at characteristics of compositional technological material and methods of increase ecology and economy of treatment the product of cubic boron nitride synthesis.

Введение. Порошки кубического нитрида бора получают путем переработки продукта технологического назначения, который образуется в процессе синтеза кубического нитрида бора (сBN) и содержит кристаллы и их сростки с сBN до 25 % по массе, гексагональный нитрид бора (hBN) до 50 %, металлсодержащие фазы ($Mg_3B_2N_4$, MgB_2 , h- Mg_3BN_3 , l- Mg_3BN_3 , MgO , оксиды и гидроксиды бора B_2O_3 , $B(OH)_3$, HBO_2) до 25 % по массе [1].