

УДК 620.178.15/179.119

П. Булах, к.т.н., О. Масло, к.т.н., В. Швець, к.т.н

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАНУ, Україна

**ВПЛИВ ДЕГРАДАЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ НА КІНЕТИКУ ПОШКОДЖУВАНOSTІ МАТЕРІАЛУ В
УМОВАХ ЦИКЛІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

P. Bulakh, Ph.D., O. Maslo, Ph.D., V. Shvets, Ph.D.

G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the NASU, Ukraine

**INFLUENCE OF DEGRADATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL
PROPERTIES ON THE KINETICS OF MATERIAL DAMAGE UNDER CYCLIC
LOADING CONDITIONS**

Abstract. The article shows that at deformations of the material, the level of which exceeds the deformation corresponding to the limit of proportionality, the modulus of elasticity of the first kind and the homogeneity parameter of the material, which was determined by the LM-hardness method, are in a correlation relationship.

З точки зору дослідження процесу накопичення пошкоджень в матеріалі, його деградацію під дією статичного навантаження можна вважати достатньо швидкоплинною, що характеризується одночасним протіканням двох основних процесів - зародження пошкоджень і їх зростання [1, 2], внаслідок чого можуть змінюватися властивості матеріалу. Дослідження дозволяють розділити вплив різних типів пошкодження структури на механічні характеристики. Зокрема, розсіяння значень границі текучості пов'язане, головним чином, із пошкодженнями зсувної природи, а значень границі міцності - з пошкодженнями, що виникають внаслідок розпушування і відриву матеріалу. Окремий клас пошкоджень викликає розсіювання значень характеристик пружності - модуля нормальної пружності і коефіцієнта поперечної деформації.

Виходячи з постулату про еквівалентність пружної енергії для випадку пошкодженого та непошкодженого стану авторами [3] було запропоновано оцінити параметр пошкодження за допомогою гіпотези про деградацію модуля пружності, проте у дещо іншому формулюванні:

$$D_E = 1 - \sqrt{\frac{E_i}{E_0}},$$

де E_i - поточне значення модуля пружності при розвантаженні; E_0 - вихідне значення модуля пружності, визначається з ДСТУ 2825-94.

Модуль пружності при розвантаженні визначався за допомогою лінійної апроксимації ділянки розвантаження за допомогою методу найменших квадратів.

У зв'язку з тим, що пластичні деформації, які виникають раніше, ніж напруження у металі досягнуть границі текучості, модуль пружності не лишається постійною величиною навіть на пружній ділянці кривої деформацій [4]. Це є причиною таких явищ, як пружна післядія і релаксація, що виникають при статичних навантаженнях і суттєво впливають на поведінку металів у пружному стані. Як відомо [5], пластичні деформації відбуваються внаслідок руху дислокації, що володіє власним полем напружень. Під дією зовнішніх прикладених до кристалу напружень, коли рух дислокацій відбувається у всіх зернах зразка, реалізується пластичний стан, що приводить до зміни структури і властивості металу. Звідси, приходимо до висновку, що

розвинені пластичні деформації, які перевищують границю текучості, призводять до вагомої зміни модуля пружності металу. Тобто, з ростом пластичної деформації відбувається зменшення величини модуля пружності.

Твердість матеріалу, як і модуль пружності першого роду E , є інтегральною характеристикою механічних властивостей структурного стану матеріалу. Зменшення модуля пружності при циклічному навантаженні пов'язане зі зниженням несучої здатності матеріалу, за рахунок накопичення структурних пошкоджень. Як показано в [6-8], за величиною зміни модуля пружності можна прослідкувати кінетику пошкоджуваності матеріалу в процесі експлуатації матеріалу, маючи вихідні характеристики.

Для зручності аналізу експериментальних даних, підставимо значення коефіцієнтів гомогенності в вираз для розрахунку пошкоджуваності:

$$D_m = 1 - \sqrt{\frac{m_i}{m_0}},$$

де m_0 – величина коефіцієнта гомогенності металу зразка у вихідному стані перед початком випробувань; m_i – значення коефіцієнта гомогенності, що отримані на основі обробки результатів вимірів твердості після встановленої кількості циклів навантаження зразка.

Зменшення однорідності структури матеріалу в оцінці коефіцієнтом гомогенності m при циклічному напрузованні добре корелює із деградацією модуля пружності I роду E (рис. 1).

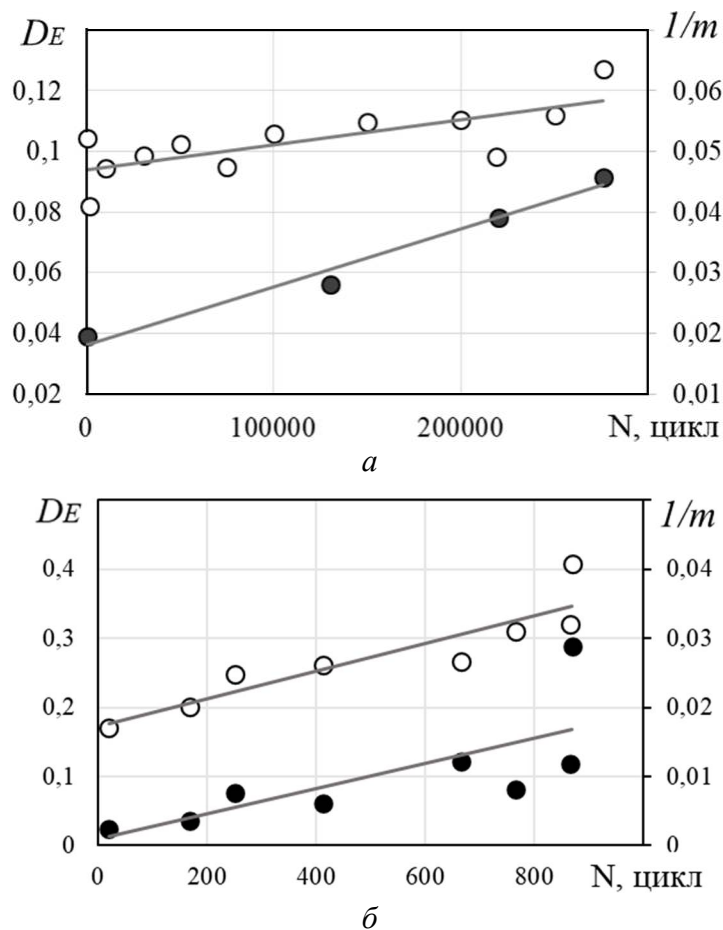


Рис.1. Кореляція деградації модуля пружності D_E (світлі точки) сталей 20(*a*) та 10ГН2МФА (*б*) з коефіцієнтом гомогенності m (темні точки) при циклічному навантаженні

Перебудова структури металу і, як наслідок, збільшення дефектів, що відбувається в результаті пластичної деформації, знижує модуль пружності. Після кожної такої перебудови структури на площадці текучості метал повертається до пружного стану, але вже з іншими пружними властивостями.

Враховуючи вище сказане, можемо вважати, що модуль пружності першого роду, як і коефіцієнт гомогенності, є показовим і чутливим до зміни структурного стану параметром, який для деформованого матеріалу відрізняється від свого вихідного значення, внаслідок накопичення у матеріалі розсіяних пошкоджень різної природи, що виникають при його опорі дії як дотичних, так і нормальних напружень.

Оцінюючи практичну доцільність отриманих експериментальних даних, відмітимо ефективність достатньо простого у застосуванні методу LM-твердості при оцінці поточного стану матеріалів що можуть дозволити істотно спростити отримання експериментальних даних, які необхідні для розрахунків довговічності елементів конструкцій, що працюють в умовах малоциклового навантаження. Таким чином, проведені дослідження показали, що при деформаціях матеріалу, рівень яких перевищує деформацію, що відповідає границі пропорційності, модуль пружності першого роду та параметр гомогенності матеріалу перебувають у кореляційному зв'язку, який наближається до прямопропорційної залежності.

Література.

1. Lemaitre J., Chaboche J.-L. *Mechanics of Solid Materials*. Cambridge University Press, 1990. 584 p.
2. Лебедев А. А., Маковецкий И. В., Музыка Н. Р., Волчек Н. Л., Швец В. П. Оценка поврежденности материала по рассеянию характеристик упругости и статической прочности. *Проблемы прочности*. 2006. № 2. С. 5–14.
3. Marcilio A., Jilin Y., Norman J. On the elastic modulus degradation in continuum damage mechanics. *Computers and Structures*. 2000. №76. С. 703–712.
4. Скрипник Ю.Д. Определение некоторых упругих характеристик материалов при помощи параболической интерполяции диаграмм деформирования. *Проблемы прочности*. 1982. № 11. С. 86-89.
5. Фридель Ж.. Дислокации. Москва, 1967. 626 с.
6. Lemaitre J. *A Course on Damage Mechanics*. Springer Verlag, 1992. 247 p.
7. Фридман Я. Б. Механические свойства металлов. В 2. ч. Часть 1. Деформация и разрушение. Москва, 1974. 472 с.
8. Лебедев А. А., Чаусов Н. Г., Богинич И. О. и др. Влияние размера зерна на рост поврежденности металла при пластическом деформировании. *Проблемы прочности*. 1997. №5. С. 5 – 13.