

**ЗАКОНОМІРНОСТІ НАКОПИЧЕННЯ НЕЛОКАЛІЗОВАНОГО
ПОШКОДЖЕННЯ У ПОВЕРХНЕВИХ ШАРАХ
КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Г. Г. Писаренко, доктор технічних наук
ORCID 0000-0002-5381-5386**

**Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України
О. В. Войналович, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-9321-2672**

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України**

**А. М. Майло, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-4762-0886**

**Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України
e-mail: voynalov@bigmir.net, mayloa@ukr.net**

Анотація. У даній роботі оцінювали статистичні характеристики розсіяння енергії пружних коливань за параметрами дисперсії виміряного зсуву фаз напружень хвилі пружних деформацій, локально ініційованих у зоні контакту з поверхневим шаром металу хвилеводу резонансної коливальної електромеханічної системи. Метод дозволяє виявити закономірності накопичення розсіяного пошкодження конструкційного елемента за експлуатаційного навантажування, використавши методологічні підходи, застосовані у роботі до лабораторних зразків сталей і сплавів, як модельних об'єктів металокопункцій.

Встановлено, що зниження дисперсії дискретної непружності спричиняє зміцнення конструкційного матеріалу, а зростання – знеміцнення. Виявлена циклічність кінетики непружності не залежить від амплітуди напружень циклу і проявляє стохастичну закономірність. Для аналізу отриманої експериментальної послідовності використано рекурентну формулу, що характеризує еволюцію енергетичного стану перед зруйнуванням локального об'єму полікристалічного матеріалу і використовує універсальну сталу руйнування.

На основі запропонованої методики встановлено, що кількість циклів навантажування N_1 відповідає стану конструкційного матеріалу першої точки біфуркації. Розраховані наступні значення (N_2, N_3, N_4, N_5, N_6) кількості циклів відповідають певним точкам

біфуркацій на діаграмі накопичення втомного пошкодження за даними дискретного вимірювання, що дозволяє спрогнозувати довговічність до зруйнування дослідженого зразка поверхневою макротріщиною.

Запропонований підхід до аналізу характеристик розсіяного пошкодження на основі локальних властивостей непружності конструкційних матеріалів зберігає переваги прямих методів дослідження опору втомі матеріалу лабораторних зразків і створює нові можливості для визначення поточного стану пошкодження елемента конструкції.

Ключові слова: *втома, непружність, розсіяне пошкодження, мікропластичні деформації, точки біфуркації*

Поставлення проблеми. Статистичні закономірності накопичення масиву тріщин втоми у деталях (вузлах) тракторів після тривалої експлуатації (до 17 років) проаналізовано у роботі [1]. Кінетику цього статистичного процесу можна з певним ступенем достовірності апроксимувати експоненційною функцією. Закономірності кінетики накопичення експлуатаційних дефектів у масиві деталей окремих систем (вузлів) тракторів аналогічні кінетиці деформаційного гістерезису поверхневого шару металоконструкції, представленої у термінах фрактальної розмірності поверхні параметром Херста H [2]. Відмінність полягає у різних швидкостях динамічних процесів механічного навантажування лабораторних зразків і натурних деталей. Тому для встановлення критичної тривалості експлуатації тракторів за критеріями безпеки доцільно визначати граничні характеристики накопичення втомного пошкодження в лабораторних зразках та спрогнозувати їх для реальних об'єктів, скориставшись методами формальної аналогії.

Отримання характеристик витривалості конструкційних матеріалів із заданою достовірністю пов'язано з руйнівними випробуваннями значної кількості зразків. Зруйновані за ідентичних умов лабораторні зразки характеризуються ідентичним ступенем локалізації структури, якої можна досягти за різної кількості циклів навантажування. Однією їх причин цього є відмінність початкових значень індивідуальних характеристик локального руйнування зразків з неоднорідною структурою фізико-механічних властивостей.

Основою розрахунків довговічності конструкційних матеріалів є дані втомних випробувань, в яких використовують середнє значення накопиченої енергії за результатами інтегральних методів вимірювань. Як відомо, метод дає медіанне або усереднене поточне значення інтегральної енергії накопиченої деформації, розсіяної у

зразку, миттєве значення якої в дискретній точці поверхні зростає з нерегулярною монотонністю до стадії локального руйнування.

Механічні властивості сталей і сплавів за змінного навантажування виявляють певну нестабільність, змінюючи їх дисипативні характеристики, зокрема небезпечну щодо зруйнування частину розсіяної у циклічно навантаженому матеріалі енергії. Зазначена нестабільність ускладнює отримання достовірних значень механічних властивостей матеріалу, адже для визначення характеристик опору втомі здебільшого використовують усереднене значення дисипативної енергії.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні методи дослідження нелокалізованого пошкодження [3] дозволяють врахувати локальні особливості структурних елементів пружно-пластичного тіла щодо накопичення енергії пластичного деформування за цикл навантажування. Тобто з'являється можливість безпосередньо оцінити граничну величину питомої енергії деформування на стадії зароджування магістральної втомної тріщини, врахувати ступінь пошкодженості матеріалу в початковому стані, визначити поточні значення накопиченого втомного пошкодження, спричиненого мікропластичним перетворенням структури матеріалу під час циклічного деформування лабораторних зразків.

Характерною особливістю кінетичних характеристик структурних властивостей сталей і сплавів є прояв нестабільності під час навантажування до остаточного зруйнування [4]. Загальну довговічність за втомі матеріалу визначають згідно із підсумованою тривалістю стадій інкубаційного розвитку тріщини і активного поширення макротріщини [5]. Достовірність результатів прогнозування забезпечується ймовірнісними характеристиками визначеної границі витривалості за даними усереднення результатів руйнівних випробувань лабораторних зразків.

У роботах дослідників групи академіка Троценка [6] широке застосування отримав інтегральний метод аналізу міцності і довговічності за параметрами площі петлі гістерезису, що характеризує енергію, накопичену в матеріалі за цикл, та забезпечує контроль поточного стану пошкодження, розсіяного у структурі матеріалу, а також цикли зміцнення і знеміцнення.

З огляду на те, що умови зародження макротріщини характеризуються локальними структурними особливостями напружено-деформованого стану [7], то можлива причина розкидання експериментальних результатів втомних випробувань полягає у відмінності розрахункових значень напружень і місцевих, які діють у мікроструктурі зони локалізації процесу зародження малих тріщин. Періодичність процесу розсіяного руйнування проявляється і у зміні

мікромеханізмів деформування на стадії інкубаційного процесу розвитку втоми, пов'язаній з впливом локальних механізмів розсіяного руйнування.

З позицій застосування такого підходу з'являється можливість оцінити циклічність характеристики накопичення пошкодження у навантаженому матеріалі як результат спільної реакції різних масштабних рівнів на циклічне деформування. Таку взаємодію різних процесів можна врахувати за допомогою синергетичної моделі [8, 9]. У літературі накопичено значний обсяг експериментального матеріалу щодо впливу циклічного навантажування на дискретні процеси, що відбуваються у структурі різних класів матеріалів за втоми, а також про вплив технологічних, конструкційних і експлуатаційних факторів [10]. Модельні уявлення про механізм накопичення втомного пошкодження враховують загальні положення механіки деформованого твердого тіла і є відображенням процесу вичерпання ресурсу пластичності, який однаковий для всіх стадій руйнування матеріалу [11].

Мета досліджень. Виявлення закономірностей накопичення розсіяного пошкодження у поверхневих шарах матеріалу за змінного навантажування лабораторних зразків сталей і сплавів, як модельних елементів поверхні конструкційного елемента.

Результати досліджень. У даній роботі параметри розсіяння енергії пружних коливань на елементах нелокалізованого пошкодження у локальному об'ємі матеріалу оцінювали у вигляді статистичних характеристик вимірюного зсуву фаз напружень і деформацій хвилі, локально ініційованої у зоні пружного контакту з поверхневим шаром металу хвилевводу резонансної коливальної електромеханічної системи [12] з високим коефіцієнтом електромеханічного зв'язку, що забезпечує контроль параметра пошкоженості у локально навантаженої зоні досліджуваного матеріалу для заданого рівня еквівалентних напружень.

На рис. 1 і рис. 2 показано кінетичні характеристики розсіяного пошкодження конструкційних сплавів, на яких нестабільність непружних деформацій проявляється за циклічного навантажування через процеси зміцнення-знеміцнення матеріалу.

Зниження характеристики пошкоджуваності свідчить про зменшення ступеню неоднорідності розподілу мікропластичних деформацій щодо початкового стану матеріалу. З огляду на розсіяний характер пошкодження за втоми матеріалів, більша дисперсія кута зсуву фаз відповідає більшому пошкодженню, а менша – меншому. Отже, зниження характеристики пошкодження асоціюється із зміцненням конструкційного матеріалу, а зростання – з його знеміцненням.

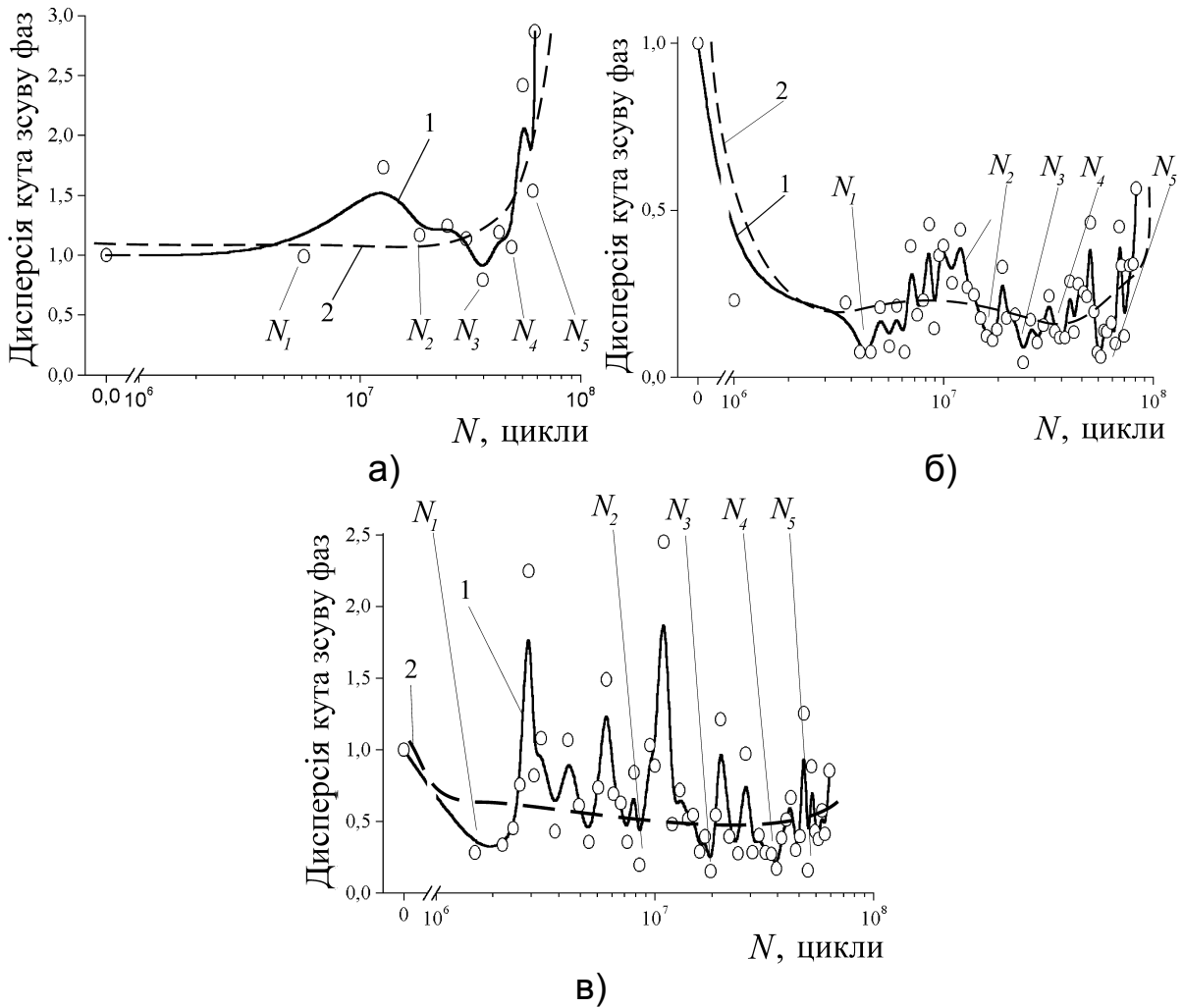


Рис. 1. Кінетичні характеристики (1 – експериментальна; 2 – усереднена) розсіяного пошкодження зразків алюмінієвого сплаву АМг6Н для різних значень амплітуди циклічних напружень ($a - \sigma_a = 65$ МПа; б – $\sigma_a = 73$ МПа; в – $\sigma_a = 84$ МПа) та виділені екстремуми зміцнення N_i .

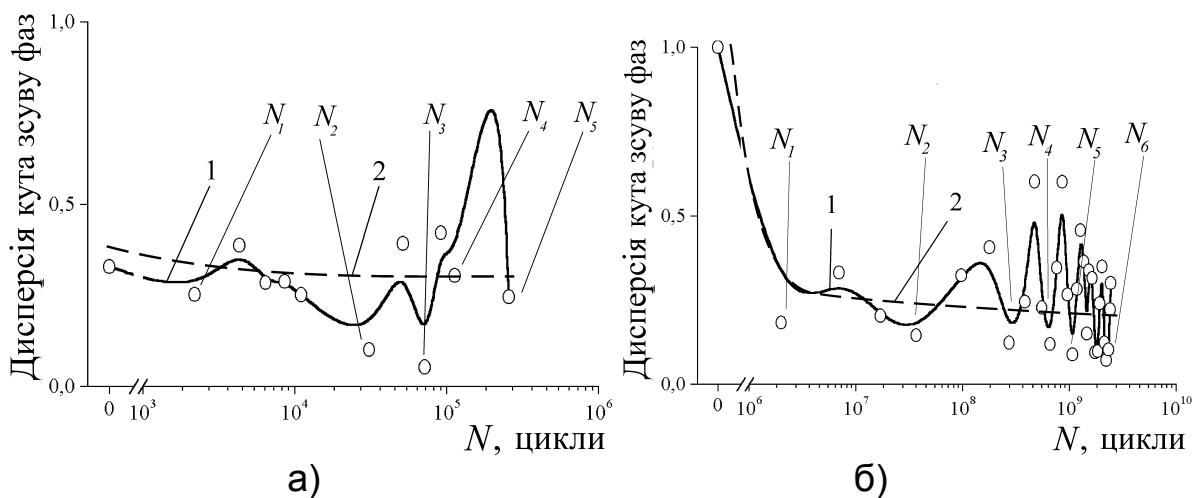


Рис. 2. Кінетичні характеристики (1 – експериментальна; 2 – усереднена) розсіяного пошкодження титанових сплавів (а – ПТ-5В, $\sigma_a = 300$ МПа; б – ОТ4-1, $\sigma_a = 122$ МПа) та виділені екстремуми зміцнення N_i .

Початкове зниження характеристики розсіяного пошкодження під час циклічного навантажування відбувається до певного значення відносної довговічності, що зафіксовано на кожній з представлених діаграм, на рівні близько 10% N/N_p . Наступне навантажування супроводжується зростанням характеристики. Отже, на кінетичній характеристиці існує екстремум (перший мінімум зміцнення N_1), що відповідає 10% N/N_p . Така динаміка пошкодження на початковому етапі навантажування відповідає циклічно зміцнюваному матеріалу. Першій стадії втоми (інкубаційній) з узагальненої діаграми втоми відповідає період 10% навантажування, отже, перший екстремум на характеристиці пошкодження відповідає переходу від інкубаційної стадії втоми до наступної (утворення субмікроскопічних тріщин), а у матеріалі відсутні незворотні пошкодження, які мають властивість «заліковуватися». На діаграмах втоми такий стан пошкодження матеріалу відповідає лінії Френча.

З рис. 1 і рис. 2 видно, що виявлена повторюваність екстремумів кінетичної характеристики непружності проявляє стохастичну закономірність, для аналізу якої було використано рекурентну формулу:

$$\frac{N_n}{N_{n+1}} = \Delta^{1/2^{(n+1)}}$$

де: N_n – кількість циклів напрацювання, що відповідає n -ному члену ряду; $N_n + 1$ – кількість циклів для наступного члена ряду, $n = 1, 2, 3, \dots, i$; Δ – універсальна стала руйнування, що характеризує енергетичний стан навантаженого локального об'єму полікристалічного матеріалу.

Для досліджених матеріалів (алюмінієві та титанові сплави) середні значення сталих руйнування відповідно дорівнюють 0,22 і 0,12. То ж було отримано наступні розрахункові члени ряду: $N_1/N_2 = 0,22$; $N_2/N_3 = 0,47$; $N_3/N_4 = 0,68$; $N_4/N_5 = 0,82$; $N_5/N_6 = 0,91$... – для алюмінієвих сплавів та $N_1/N_2 = 0,12$; $N_2/N_3 = 0,34$; $N_3/N_4 = 0,59$; $N_4/N_5 = 0,76$; $N_5/N_6 = 0,87$... – для титанових сплавів.

Проаналізувавши рекурентний ряд, можна зробити висновок, що якщо відомо кількість циклів N_1 , що відповідає стану матеріалу першої точки біфуркації, то можна розрахувати наступні значення (N_2, N_3, N_4, N_5, N_6) кількості циклів, які відповідають точкам біфуркації визначеної серії.

Як перший член рекурентного ряду N_1 вибирали кількість циклів, що відповідала першому мінімуму на характеристиці пошкоджуваності (перший екстремум зміцнення), і розраховували наступні значення (N_2, N_3, N_4, \dots) за рекурентною формулою. Якщо похибка розбіжності експериментального і розрахункового рядів

перебувала у межах допустимої, то значення кількості циклів першого екстремуму зміцнення вибирали за дійсне N_1 , в іншому випадку розрахунок продовжували за методом послідовних наближень. У наступному наближенні вважали, що кількість циклів першого екстремуму відповідає другому члену розрахункового ряду (N_2) і повторно проводили розрахунок членів ряду (N_3, N_4, \dots) з подальшим оціненням похибки. Розрахунок продовжували, поки похибка між значеннями розрахункового і експериментального рядів не ставала менше допустимих значень. Отже, кількість циклів, що відповідають кожній зоні екстремуму зміцнення ($N_1, N_2, N_3, N_4, \dots$) на характеристиках пошкодження, відповідає одній серії розрахункового ряду. У діапазоні довговічностей спостерігається чергування таких екстремумів, періодичність яких не залежить від амплітуди напружень циклу. Відповідно до формули рекурентного ряду було проведено зіставлення екстремумів кожної з отриманих характеристик дискретної моделі пошкоджуваності з членами розрахункового ряду.

Викладена вище методологія узгоджується з положеннями про те, що структурно-неоднорідний матеріал – це енергетично нестабільна система, про що свідчить нелінійність характеристики деформування в координатах «напруження-деформація» [13]. Під час навантажування полікристалічний матеріал виявляє динамічну нестійкість структуру багаторівневої дисипативної системи. За механічного навантажування такої системи відбуваються зміни у структурі полікристалічного матеріалу, що визначають його граничний стан. У момент досягнення граничного стану відбуваються стрибкоподібні зміни енергетичного стану за умови готовності матеріалу до переходу до іншого стану, що реалізовується фазовим переходом або біфуркацією.

Точка біфуркації характеризує досягнення критичного рівня збереженої енергії в локальному об'ємі, за якого незначні її зміни здатні під дією внутрішньої енергії ініціювати процес самоорганізації дисипативної структури. Характеризується стрибкоподібною зміною механізму, яка може бути реалізована у вигляді переходу на інший масштабний рівень розсіяного пошкодження структури або до локального руйнування.

Висновки. Запропонований підхід до аналізу характеристик розсіяного пошкодження на основі локальних властивостей непружності конструкційних матеріалів зберігає переваги прямих методів дослідження опору втомі матеріалу лабораторних зразків і створює нові можливості для визначення поточного стану елемента конструкції. Запропонований статистичний підхід забезпечує достовірну реалізацію локального визначення експериментальної характеристики непружності з виокремленням по площі поверхні, яку

можна порівняти з розміром зони локалізації втомного руйнування у разі пружно-пластичного деформування.

Список літератури

1. *Voinalovych A. V., Motrich M. N.* Control of technical state of agricultural aggregates by facilities of fault detection. *Mechanization in agriculture*. 2015. Issue 12/2015. Bulgaria. P. 29–31.
2. *Pisarenko G. G., Voynalovich O. V., Mailo A. M.* Damaging of structural steel under monotonic and cyclic deformation. Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування. Праці V Міжнародної науково-технічної конференції (Тернопіль 19-22 вересня 2017 року). Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. 2017. С. 38–41.
3. *Писаренко Г. Г., Майло А. Н.* Определение закономерностей повреждаемости стали X18H10T при циклических нагрузках R/S методом. Вібрації в техніці та технологіях. 2015. № 1 (77). С. 28–33.
4. *Ботвина Л. Р.* Гигацикловая усталость новая проблема физики и механики разрушения. *Зав. лаб. диагностирования материалов*. 2004. Т. 70. № 4. С. 41–51.
5. *Ботвина Л. Р., Тетюева Т. В., Иоффе А. В.* Стадийность множественного разрушения низколегированных сталей в среде сероводорода. *МиТОМ*. 1998. № 2. С. 14–22.
6. *Трощенко В. Т.* Усталость металлов при неоднородном напряженном состоянии. Киев. Институт проблем прочности имени Г. С. Писаренко НАН Украины. 2011. 129 с.
7. *Миндюк В. Д., Карпаш М. О., Доценко Е. Р.* Експериментальна перевірка характеру зв'язку між параметрами мікроструктури і фізичними властивостями матеріалів металокопункцій довготривалої експлуатації для оцінки ступеню їх деградації. Вісник Тернопільського національного технічного університету. 2013. № 3 (71). С. 153–163.
8. *Трубецков Д. И.* Введение в синергетику. Хаос и структуры. 4-е изд. Москва. URSS. Либроком. 2011. 235 с.
9. *Иванова В. С., Баланкин А. С., Бунин И. Ж.* Синергетика и фракталы в материаловедении. Москва. Наука. 1994. 383 с.
10. *Данилов В. И., Зуев Л. Б.* Макролокализация пластической деформации и стадийность пластического течения в поликристаллических металлах и сплавах. *Успехи физики металлов*. 2008. № 8. С. 371–422.
11. *Яковлева Т. Ю.* Локальная пластическая деформация и усталость металлов. Київ. Наукова думка. 2003. 236 с.
12. *Войналович О. В., Писаренко Г. Г., Майло А. Н.* Спосіб визначення стану граничного пошкодження металокопункцій за кінетичними параметрами нелокалізованого пошкодження. Патент України на корисну модель № 118616. Бюл. № 15 від 10.08.2017 р.
13. *Мишакин В. В., Родюшкин В. М.* Нелинейность как индикатор преддефектного состояния материала. *Вестник научно-технического развития*. 2010. № 10. С. 18–25.

References

1. *Voinalovych, O. V., Motrich, M. M.* (2015). Control of technical state of agricultural aggregates by facilities of fault detection. *Mechanization in agriculture*. Issue 12/2015, Bulgaria. 29–31.

2. *Pisarenko, G. G., Voynalovich, O. V., Mailo, A. M.* (2017). Damaging of structural steel under monotonic and cyclic deformation. Damage of materials during operation, methods of diagnosing and forecasting. Proceedings of V International scientific-technical conference (Kiev 19-22 September 2017). Ternopil: Ternopil national technical University named after Ivan Pului. 2017. 38–41.
3. *Pisarenko, G. G., Mailo, A. M.* (2015). Determining patterns of damage of steel X18H10T under cyclic loads R/S method. Vibration in engineering and technology. No 1 (77). 28–33.
4. *Botvina, L. P.* (2004). Gigacycle fatigue, a new problem of physics and mechanics of destruction. Head. lab. diagnostic materials. Vol. 70. No 4. 41–51.
5. *Botvina, L. G., Tetyueva, T. B., Joffe, A. B.* (1998). Stages of multiple fracture of low alloy steels in the environment of hydrogen sulfide. Duty. No 2. 14–22.
6. *Troshchenko, V. T.* (2011). Fatigue of metals under nonuniform stressed state. Kiev. Institute for problems of strength named after G. S. Pisarenko NAS of Ukraine. 129.
7. *Mendyk, V. D., Karpash, M. A., Dotsenko, E. G.* (2013). Experimental verification of the nature of the relationship between microstructure parameters and physical properties of metal materials long-term operation to assess the degree of degradation. Bulletin of the Ternopil National Technical University. No 3 (71). 153–163.
8. *Trubetskov, D. S.* (2011). Introduction to synergetics. Chaos and structure. 4-e Izd. Moscow. URSS. Librokom. 235.
9. *Ivanova, V. S., Balankin, A. S., Bunin, I. Zh.* (1994). Synergetics and fractals in materials science. Moscow. Science. 383.
10. *Danilov, V. I., Zuev, L. B.* (2008). Microlocalization plastic deformation and stages of plastic flow in polycrystalline metals and alloys. The successes of physics of metals. No 8. 371–422.
11. *Yakovleva, T. Yu.* (2003). Local plastic deformation and fatigue of metals. Kiev. Scientific thought. 236.
12. *Vojnalovykh, O. V., Pysarenko, G. G., Majlo, A. N.* (2017). Method of determining the limit of damage of the metal on the kinetic parameters of non-localized damage. Patent of Ukraine for useful model No. 118616. Bull. No. 15 of 10.08.2017.
13. *Myshakyn, V. V., Rodjushkyn, V. M.* (2010). Nonlinearity as indicator preddefoltnom state of the material. Bulletin of scientific-technical development. No 10. 18–25.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ НЕЛОКАЛИЗОВАННОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Г. Г. Писаренко, А. В. Войналович, А. Н. Майло

Аннотация. В данной работе оценивали статистические характеристики рассеяния энергии упругих колебаний по параметрам дисперсии измеренного сдвига фаз напряжений волны упругих деформаций, локально инициированных в зоне контакта с поверхностным слоем металла волновода резонансной колебательной электромеханической системы. Метод позволяет выявить закономерности накопления рассеянного повреждения элемента конструкции при эксплуатационной нагрузке, используя методологические подходы, примененные в работе к лабораторным образцам сталей и сплавов, в качестве модельных объектов металлоконструкций.

Установлено, что снижение дисперсии дискретной неупругости приводит к упрочнению конструкционного материала, а рост – к разупрочнению. Обнаруженная цикличность кинетики неупругости не зависит от амплитуды напряжений цикла и проявляет стохастическую закономерность. Для анализа полученной экспериментальной последовательности использована рекуррентная формула, характеризующая эволюцию энергетического состояния перед разрушением локального объема поликристаллического материала и использующая универсальную постоянную разрушения.

На основе предложенной методики установлено, что количество циклов нагружения N_1 соответствует состоянию конструкционного материала первой точки бифуркации. Рассчитанные следующие значения (N_2, N_3, N_4, N_5, N_6) количества циклов соответствуют определенным точкам бифуркаций на диаграмме накопления усталостного повреждения по данным дискретного измерения, что позволяет спрогнозировать долговечность до разрушения исследованного образца поверхностной макротрещиной.

Предложенный подход к анализу характеристик рассеянного повреждения на основе локальных свойств неупругости конструкционных материалов сохраняет преимущества прямых методов исследования сопротивления усталости материала лабораторных образцов и создает новые возможности для определения текущего состояния повреждения элемента конструкции.

Ключевые слова: усталость, неупругость, рассеянное повреждение, микропластическая деформация, точки бифуркации

REGULARITIES OF ACCUMULATION OF NON-SCALED DAMAGE IN SURFACE LAYERS OF CONSTRUCTION MATERIALS

G. G. Pisarenko, O. V. Voinalovych, A. M. Maylo

Abstract. *In this paper, the statistical characteristics of scattering of energy of elastic oscillations according to dispersion parameters of measured phase shift of stresses of wave of elastic deformations locally initiated in contact area with the surface layer of the waveguide metal of the resonant vibrational electromechanical system were estimated. The method allows to reveal the regularities of accumulation of scattered damage of the design element for the operational loading, using the methodological approaches applied in the work to the laboratory samples of steels and alloys as model objects of metal structures.*

It is established that the decrease of the dispersion of discrete inelasticity causes the strengthening of structural material, and the growth-

strengthening. The cyclicity of the kinetics of inelasticity is found not to depend on the amplitude of the stresses of the cycle and manifests the stochastic regularity. For the analysis of the experimental sequence obtained, a recurrent formula characterizing the evolution of the energy state prior to the destruction of the local volume of polycrystalline material, which is based on the energy of universal sustained destruction, is used.

On the basis of the proposed method, it is established that the number of loading cycles N_1 corresponds to the state of the structural material of the first point of the bifurcation. The following values (N_2, N_3, N_4, N_5, N_6) of the number of cycles are calculated, correspond to certain points of bifurcations in the diagram of accumulation of fatigue damage according to discrete measurements, which allows predicting the durability of the destruction of the surface macrocrack of the sample.

The proposed approach to the analysis of the characteristics of scattered damage on the basis of the local properties of the inelastic structural materials retains the advantages of direct methods for investigating the resistance of the fatigue material of laboratory samples and creates new possibilities for determining the current state of the degree of damage to the structural element.

Key words: *fatigue, inelasticity, scattered damage, microplastic deformation, bifurcation points*

УДК 634.1/.7:631.332:631.164/165

ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ САДОСАДИЛЬНОЇ МАШИНИ

***I. В. Тимошок, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0003-3830-0407***

***Інститут садівництва НААН України
P. В. Шатров, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-3596-0146***

***Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: sad-institut@ukr.net, RVSatrov@outlook.com***

Анотація. Існуючі робочі органи садосадильних машин активного та пасивного типу не в повній мірі відповідають критеріям якості виконання технологічної операції, надійності та енергоефективності. Відтак існує необхідність розробки такого

© I. В. Тимошок, P. В. Шатров, 2018