

**68. Войналович О.В., к.т.н., доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна. Писаренко Г.Г., Майло А.М., Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, м. Київ, Україна.**

#### **ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНОГО РЕЛЬЄФУ НА ПОВЕРХНІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА БАГАТОЦИКЛОВОГО НАВАНТАЖУВАННЯ**

Деталі та елементи конструкцій сільськогосподарських машин та обладнання за тривалої експлуатації зазнають пошкодження, зокрема втомного. Інтенсивність накопичення пошкодження здебільшого визначають умови експлуатації техніки (силове навантаження у вузлах, корозійний вплив довкілля, температурні режими роботи деталей тощо) [1, 2].

Щоб контролювати пошкодженість конструкційного матеріалу, потрібно відстежувати кінетику пошкодження на різних структурних рівнях, забезпечивши застосування структурно-чутливих методів дослідження [3]. Однак нині не погоджено єдиної прийнятної концепції щодо аналізу закономірностей формування та накопичення пошкодження у зразках металоконструкцій, що ускладнює вибір критеріїв для оцінення граничного накопичення пошкодження та інтенсивності такого накопичення [4].

Останнім часом застосовують міждисциплінарний підхід, що дозволяє описати кінетику пошкодження конструкційного матеріалу з позицій механіки та з врахуванням фізичних аспектів пошкодження матеріалу на різних масштабних рівнях [5, 6]. Розвиваються нові підходи для дослідження деформаційного рельєфу, створеного під час циклічного навантажування, що дозволяють комплексно досліджувати деформаційну поведінку конструкційних матеріалів.

Кінетичні статистичні характеристики процесу накопичування пошкодження у конструкційному матеріалі внаслідок циклічного навантажування корелюють з параметрами структури, зокрема мікроструктури поверхні [7]. Величина виявленої кореляції суттєво залежить від чутливості методу контролю ступеню пошкодженості матеріалу за умов циклічного деформування. Зокрема, чутливість методу оцінення кінетики мікропластичного деформування матеріалу за втомі дозволяє оцінити зміни фізико-механічних властивостей відповідного структурного рівня [8]. Кінетика характеристичного параметра відповідає еволюції структури конструкційного матеріалу на кожному структурному рівні, а інтегральна характеристика пошкодження виявляє велику дискретність стадій пошкоджуваності.

Тому актуальним є розроблення нових методів дослідження накопичення експлуатаційного пошкодження в елементах конструкцій, що дозволять оцінювати граничні рівні питомої щільності мікропластичних деформацій, які зумовлюють утворення макродефектів критичного розміру. Методом кількісного оцінення мікро- і мезоструктурних змін поверхневого шару металоконструкції є оптико-електронний метод [9], що дозволяє вимірювати не тільки характеристики морфології структури поверхні, але й амплітуду мікропластичних деформацій, що відіграють важливу роль у формуванні пошкодження структури металів та сплавів за циклічного навантажування.

Згідно з методом [10] у даній роботі мікрорельєф розвинених смуг ковзання, сформований на поверхні лабораторних сталевих зразків, у проміжках припинення циклічного навантажування освітлювали когерентним промінням, а у напрямку відбитого від поверхні проміння на світлодіодній матриці з'являлося поле віртуальних спеклів (спеклограма) з дискретним розподілом яскравості. Аналіз структури спеклограм дозволяє кількісно оцінити ступінь накопичення дефектів поверхні зразка. Виокремівність розробленої експериментально-інформаційної системи аналізу кількісних характеристик розсіяної пошкоженості пружно-пластичного матеріалу методом когерентно-оптичного сканування становить до 0,2 мкм/пкс. [11].

На рис. 1 представлено кінетичні діаграми коефіцієнта пошкоджуваності зразків сталі Ст 45 і Ст 20, побудовані за результатами випробувань з рівними циклічними напруженнями вище і нижче відповідних меж витривалості, що зумовило різну тривалість циклічного навантажування. Випробування зразків сталі Ст 45 проводили за циклічних напружень  $\sigma_a = 120$  МПа (рис. 1, б), а зразків Ст 20 – за циклічних напружень  $\sigma_a = 240$  МПа (рис. 1, а) та  $\sigma_a = 200$  МПа (рис. 1, б).

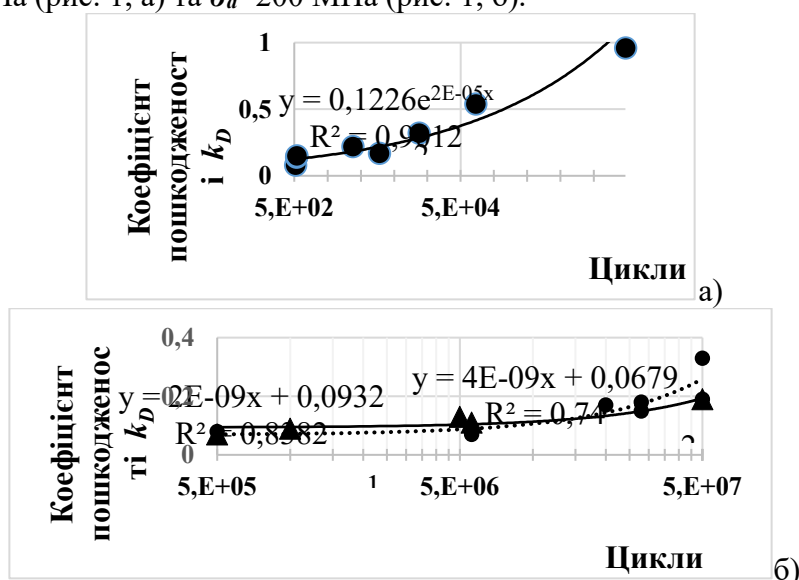


Рис. 1. Характеристики пошкоджуваності сталей Ст 45 (діаграма 1) і Ст 20 (діаграми 2) за різних циклічних напружень ( $R^2$  – характеризує ступінь достовірності апроксимації експериментальних даних наведеними на рисунку рівняннями)

Для кількісного відстеження стану пошкоженості поверхні конструкційних металевих матеріалів запропоновано визначати коефіцієнт пошкоженості (мікропластичності)  $k_D$ , як кореляційну характеристику деформаційних властивостей поверхні конструкційного матеріалу. Цей коефіцієнт, який є кількісною мірою деформаційного рельєфу, поверхні, розраховують за формулою:

$$k_D = (I_i - I_0)/I_i,$$

де різниця  $(I_i - I_0)$  характеризує ступінь пошкодження поверхні мікропластичних деформацій у площі вікна базової матриці;  $I_0$  – значення параметра площі пошкоджень перед початком циклічного навантажування;  $I_i$  – поточне значення параметра площі пошкоджень. У випадку цифрового аналізу спеклограм параметр  $I$  потрібно розглядати як величини яскравості спеклограм у діапазоні відтінків сірого (0-255) для досліджуваних етапів циклічного навантажування.

Представлені діаграми можна описати експоненційними залежностями. З рис. 1, б видно, що рівняння діаграм для обох досліджених сталей подібні, нахил залежить від величини циклічних напружень у розглянутому їх діапазоні, що узгоджується з малою інтенсивністю накопичення деформаційного мікрорельєфу на поверхні зразків за напружень близьких до меж витривалості.

Результати, отримані у цій роботі, сприяють створенню науково-методичних засад експериментально-розрахункових методів визначення залишкового експлуатаційного ресурсу

металоконструкцій за умов дії циклічного навантажування, а також методів відстеження накопичення деформаційних дефектів на поверхні відповідальних елементів металоконструкцій за дії багатоциклової втоми.

#### **Список використаних джерел**

1. Попович П.В., Довбуш Т.А., Олексюк В.П., Миць В.І. Аналіз впливу корозійно-експлуатаційних факторів на залишковий ресурс елементів металоконструкцій сільськогосподарських машин. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 2015. Вип. 45. Ч. II. С. 194-199.
2. Писаренко Г.Г., Войналович О.В., Майло А.М. Вплив експлуатаційних чинників на закономірності розподілу дискретних деформацій поверхневого шару металоконструкцій за багатоциклового навантажування зразків. *Mechanics and Advanced Technologies*, 2018. Т. 84. № 3. С. 39-44.
3. Younghune Kim, Woonbong Hwang. High-cycle, low-cycle, extremely low-cycle fatigue and monotonic fracture behaviors of low-carbon steel and its welded joint. *Materials*, 2019. 12(24). 4111.
4. Okuda K., Ogawa K., Ichikawa Y., Shiozaki T., Yamaguchi N. Influence of microstructure on fatigue property of ultra high-strength steels. *Frat. Integrita Strutt.*, 2019. 13. pp. 125-134.
5. Jiali Lin, Yehan Liu, Dean T.A. A review on damage mechanisms, models and calibration methods under various deformation conditions. *International Journal of Damage Mechanics*, 2005. 14 (4). pp. 299-319.
6. Grabovsky A., Bondarets O., Babiienko I. Kinetics of damage of materials under various regimes of re-changeable loads. *Mech. Adv. Technol.*, 2021. Vol. 5. No. 3. pp. 325-331.
7. Миндюк В.Д., Карпаш М.О., Доценко Е.Р. Експериментальна перевірка характеру зв'язку між параметрами мікроструктури і фізичними властивостями матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації для оцінки ступеню їх деградації. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*, 2013. № 3 (71). С. 153-163.
8. Nao Fujimura, Takashi Nakamura, Kosuke Takahashi. Changing mechanisms of surface relief and the damage evaluation of low cycle fatigued austenitic stainless steel. *MATEC Web of Conferences*. 12<sup>th</sup> International Fatigue Congress (FATIGUE 2018), 2018. Vol. 165 (2). pp. 256-262.
9. Laura Aulbach, Félix Salazar Bloise, Min Lu and Alexander W. Koch. Non-contact surface roughness measurement by implementation of a spatial light modulator. *Sensors (Basel)*, 2017. Vol. 17. Iss. 3. 596.
10. Войналович О.В., Писаренко Г.Г., Майло А.М. Спосіб вимірювання ступеню мікроздеформованості поверхні металоконструкцій із застосуванням когерентного випромінювання. Патент на корисну модель № № 134268. Бюл. № 9 від 10.05.2019 р.
11. Писаренко Г.Г., Войналович О.В., Майло А.М., Писаренко С.Г. Метод безконтактного визначення амплітуди деформації накопиченого експлуатаційного пошкодження металоконструкції. *Machinery & Energetics. Journal of Production Research*. Kyiv. Ukraine, 2021. 12(3). С. 25-32.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ**



# **ЗБІРНИК ТЕЗ**

*XI Міжнародної науково-практичної конференції*  
**«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій  
та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»**

<https://doi.org/10.64165/proceeding-ptdstsamt.2025>



**11 квітня 2025 року**  
**м. Житомир**

<https://doi.org/10.64165/proceeding-ptdstsamt.2025>

УДК 631.2:621.017:615.281:340(477)

Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь. PTDSTSAMT-2025» з нагоди 30-річчя започаткування підготовки ОС «Бакалавр» за спеціальністю «Агроінженерія». 11 квітня 2025 року. МОН України. Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Житомир. 2025. 333 с. <https://doi.org/10.64165/proceeding-ptdstsamt.2025>.

***Рекомендовано до друку методичною радою Житомирського агротехнічного фахового коледжу МОН України (протокол від 10.04.2025 р. № 6)***

Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference "Prospects and Trends in Development of Structures and Technical Service of Agricultural Machinery and Tools. PTDSTSAMT-2025." on occasion of the 30th anniversary of the initiation of the preparation of the Bachelor's Entity in the specialty "AgroEngineering". April 11, 2025. Ministry of Education and Science of Ukraine. Zhytomyr Agrotechnical Professional College. Zhytomyr. 2025. 333 p. <https://doi.org/10.64165/proceeding-ptdstsamt.2025>.

В збірнику представлені тези доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, аспірантів та студентів Житомирського агротехнічного фахового коледжу, провідних вітчизняних і закордонних закладів вищої освіти та наукових установ, в яких розглядаються завершені етапи розробок.

The collection presents abstracts of reports by scientific and pedagogical workers, researchers, postgraduates and students of the Zhytomyr Agrotechnical Professional College, leading domestic and foreign higher educational institutions and scientific institutions, which consider the completed stages of development.

*Передрук або інше відтворення в будь-якій формі в цілому або частково матеріалів, опублікованих у цьому віданні, дозволено лише за посиланням на джерело і дотриманням вимог законодавства*