

УДК 614.82

ДОСЛІДЖЕННЯ НАКОПИЧЕННЯ ВТОМНОЇ ПОШКОДЖЕНОСТІ ЗА ДЕФОРМАЦІЙНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ІНЖЕНЕРНОЇ ПОВЕРХНІ

О. В. ВОЙНАЛОВИЧ, к.т.н., доц.

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

Г. Г. ПИСАРЕНКО, д.т.н., проф.,

А. М. МАЙЛО, к.т.н.,

А. В. БЯЛОЛОВИЧ, к.т.н.

Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України

E-mail: voynalovich@nubip.edu.ua, georgiy.pysarenko@gmail.com

Відомо, що часто причиною передчасного зруйнування деталей, вузлів і машин є неврахування конструкторами механічних властивостей конструкційних матеріалів, що зумовлюють втомне пошкодження за тривалої експлуатації, зокрема через відсутність обґрунтованої методології оцінення характеристик опору втомі металоконструкцій за змінами деформованих параметрів інженерної поверхні. Необхідно враховувати результати втомних випробувань, що характеризують природну неоднорідність конструкційного матеріалу, як чинник технологічного впливу на розсіювання даних експерименту, а також на кінетику пошкоджуваності за циклічного навантажування [1]. Дослідження характеристик деформаційного пошкодження поверхні сталей та сплавів за впливу експлуатаційних чинників є актуальним науково-технічним завданням, вирішення якого створює нові можливості для ефективного підвищення експлуатаційної надійності сучасних машин.

У цій роботі на вібростенді з електрострикційним збудженням коливань випробовували на втому плоскі зразки двоступінчастої форми з конструкційної сталі марки Ст 20. Втомні випробування проводили з частотою навантажування близько 13 кГц. Амплітуду коливань зразків під час циклічного навантажування підтримували на частоті резонансу коливальної системи.

На окремих етапах втоми, припиняючи циклічне навантажування, послідовно отримували спеклограми поверхні у зоні максимальних циклічних напружень у зразках. Ступінь локалізації втомного пошкодження оцінювали за зміною зображення спеклограм щодо амплітуди деформаційних локальних максимумів (мінімумів) вибірки даних, що корелюють з характеристикою розподілу середньоквадратичного значення амплітуди виміряного значення

локальних максимумів (мінімумів) рельєфу поверхні у зоні максимальних деформацій зразка.

Згідно з розробленим методом мікрорельєф розвинених смуг ковзання, сформований на поверхні зразків, у проміжках припинення циклічного навантажування освітлювали когерентним промінням (рис. 1), а у напрямку відбитого від поверхні проміння на світлодіодній матриці з'являлося поле віртуальних спеклів з дискретним розподілом яскравості. Аналіз структури спеклограм дозволяє кількісно оцінити ступінь накопичення дефектів поверхні зразка [2].

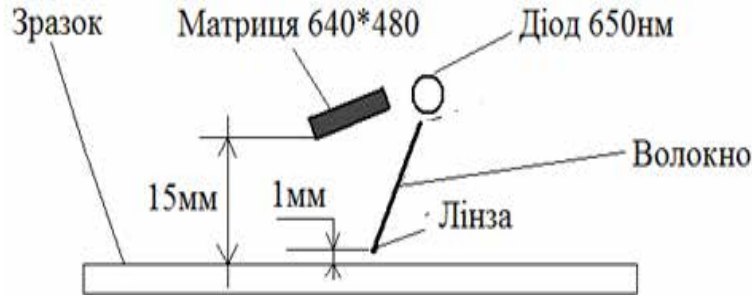


Рис. 1. Оптико-механічна схема реєстрації зображення спеклограм

Щоб зареєструвати параметри просторового вимірювання мікропластичних деформацій поверхні, використано метод подвійного віддзеркалення когерентного проміння та програми цифрового оброблення статистичних параметрів розподілу дискретних деформацій поверхні [3]. Використано алгоритми програм цифрового оброблення просторових зображень «PAST» та «WSxM». Для аналізу кореляційних характеристик спеклструктури було застосовано методичні підходи згідно з вимогами ISO 25178.

Аналіз еволюції рельєфу поверхні полікристалу на стадіях втоми показує, що макроруйнування є переходом розсіяного руйнування матеріалу від накопичення мікропластичних дефектів до порушення цілісності конструкційного елемента, як це зазначено на діаграмі Такахаші-Кітагави [4]. Накопичення пластичних деформацій на стадії зародження макротріщини досягає критичного стану, який характерний для рельєфу поверхні на стадії переходу від розсіяного пошкодження до зародження макротріщини на поверхні у разі локалізації втоми гетерогенного матеріалу.

На основі кореляційних залежностей пошкодженості, накопиченої на стадіях втоми зразків, побудовано кінетичну характеристику, з якої можна виявити тривалість навантажування, коли розсіяне пошкодження переходить до іншої стадії втоми із зміненням механізму руйнування (рис. 2). За відносної довговічності понад 80 % нахил графіка змінюється так, що стає практично горизонтальним [5]. Для оцінення кількісного впливу тривалості навантажування на кінетику пошкодженості у відносній формі запропоновано використати значення індексу навантаженості (індексу деформування) K , який визначають за формулою

$$K = [-I_{min}/I_{max}] \cdot 100\%.$$

де I_{max} - амплітуда локального максимуму, I_{min} - амплітуда локального мінімуму.

Висновок. У роботі було отримано експериментальні ознаки того, що локальному руйнуванню металу за циклічного навантажування передують наявність мікропластичної деформації поверхневого шару, як характеристики пошкодження, що виникає на стадії розсіяного руйнування за пружно-пластичного деформування. Це узгоджується із загальною ознакою розвитку руйнування за механічного навантажування, незалежно від його виду, і є мірою вичерпання пластичних властивостей металу в локальній зоні зародження макротріщини на поверхні металоконструкції за динамічного і статичного навантажування.

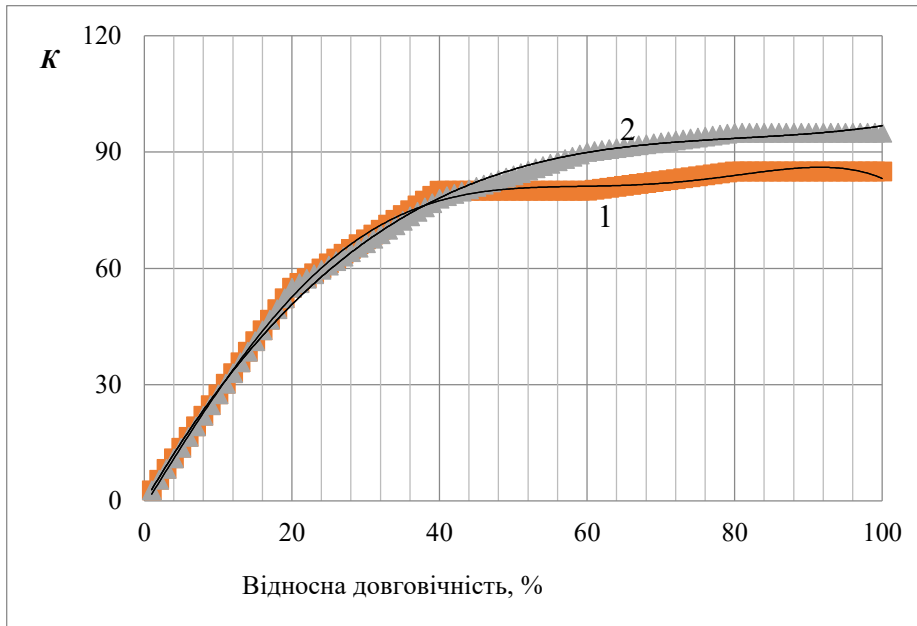


Рис. 2. Кінетичні характеристики накопичення втоми пошкодження зразків Ст 20 (1 – графік розраховано за експериментальними даними; 2 – апроксимація степеневою функцією)

Список використаних джерел

1. Pysarenko G., Voynalovich O., Maylo A., Pysarenko S. Deformation defects of the structural material as a factor of life aging. *Procedia Structural Integrity. 1st Virtual International Conference "In service Damage of Materials: Diagnostics and Prediction"*. 2022. Vol. 36. pp. 30-35.
2. Georgy Pysarenko, Oleksandr Voinalovych, Andriy Mailo, Stepan Pysarenko. A methodical approach to determining the damage characteristics of cyclically loaded samples of metal structures. *Machinery & Energetics*. 2022. Vol. 13, No. 4. pp. 28-37.
3. Писаренко Г.Г., Бялонович А.В., Матохнюк Л.Є., Войналович О.В., Лиманський І.В., Гопкало О.Є., Майло А.М. Кореляційні характеристики

деформаційного рельєфу алюмінієвого сплаву за багатоциклової втоми. *Проблеми міцності*, 2024. № 1. С. 1-10.

4. 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.

5. Писаренко Г.Г., Войналович О.В., Бялонович А.В., Майло А.М., Лиманський І.В. Характеристика пошкоженості конструкційної сталі за багатоциклової втоми на межі непружного деформування. *Проблеми міцності*, 2024. № 6. С. 11-20.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ТА АВТОМАТИКИ АПВ НААН
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



***ЗБІРНИК
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ***

***XII Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди
118-ї річниці від дня народження
доктора технічних наук, професора,
віцепрезидента УАСГН
КРАМАРОВА
Володимира Савовича
(1906-1987)***

«КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ»

***20-21 лютого 2025 року
м. Київ***

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL
SCIENCES OF UKRAINE
INSTITUTE OF MECHANICS AND AUTOMATICS OF
AGROINDUSTRIAL PRODUCTION OF THE NATIONAL
ACADEMY OF AGRARIAN SCIENCES OF UKRAINE
STATE BIOTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



PROCEEDINGS

*XII International Scientific and Technical Conference dedicated
to the 118th anniversary of the birth of
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Vice President of the UAAS
KRAMAROV
Volodymyr Savovych
(1906-1987)*

«KRAMAROV'S READINGS»

*February 20-21, 2025
Kyiv*

УДК 631.17+62-52-631.3

Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 118-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 20-21 лют. 2025 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2025. 662 с.

Proceeding of the XII International Scientific and Technical Conference dedicated to the 118th anniversary of the birth of Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice President of the UAAS Kramarov Volodymyr Savovych (1906–1987), February 20–21, 2025, Kyiv / MES of Ukraine, National University of Life And Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv: Publishing center of NULES of Ukraine, 2025. 662 p.

В збірнику представлені тези доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, аспірантів та студентів НУБіП України, провідних вітчизняних і закордонних вищих навчальних закладів та наукових установ, в яких розглядаються завершені етапи розробок.

The Proceedings presents abstracts of reports of scientific and pedagogical workers, research staff, graduate students and students of the NULES of Ukraine, leading domestic and foreign higher educational institutions and scientific institutions, in which completed stages of development are considered.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ:

- Ткачук В. А.** – ректор НУБіП України, голова організаційного комітету;
Тонха О. Л. – проректор з наукової роботи та інноваційної діяльності НУБіП України, заступник голови організаційного комітету;
Ружило З. В. – декан факультету конструювання та дизайну НУБіП України, заступник голови організаційного комітету;
Мельник В. І. – доцент кафедри надійності техніки НУБіП України, секретар організаційного комітету;
- Члени організаційного комітету:**
Автухов А. К. – завідувач кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні імені О. І. Сідашенка ДБУ;
Адамчук В. В. – директор «ІМА АПВ НААН», академік НААН;
Альмейда А. – професор Політехнічного університету Браганси (Португальська Республіка);
Аулін В. В. – професор кафедри експлуатації та ремонту машин ЦНТУ;
Арак М. – директор Тартуського технічного коледжу м. Тарту (Естонська Республіка);
Банний О. О. – заступник декана факультету конструювання та дизайну НУБіП України;
Бєлоєв Х. – радник ректора Університету «Ангел Кънчев» в м. Русе, академік Болгарської АН (Республіка Болгарія);
Борак К. В. – заступник директора ЖАТФК;
Братішко В. В. – декан МТФ НУБіП України;
Будяй О. В. – директор ТОВ «Манн+Хуммель Фільтрейшн Текнолоджі Україна»;
Булгаков В. М. – завідувач кафедри механіки НУБіП України, академік НААН;
Василенко М. О. – завідувач відділу «ІМА АПВ НААН»;
Васильковський О. М. – завідувач кафедри сільсько-господарського машинобудування ЦНТУ;
Войтюк Д. Г. – професор кафедри сільськогосподарських машин та системотехніки ім. акад. П.М. Василенка НУБіП України, член-кореспондент НААН;
Герук С. М. – завідувач кафедри агроінженерії ЖАТФК;
Джеонг Ілля – Голова представництва в Україні «HYUNDAI XITESOLUTION» (Республіка Корея);
Домейка Р. – декан відділення Агроінженірингу, Університету Вітаутаса Великого (Литовська Республіка);
Захарчук О. В. – завідувач відділу ННЦ «ІАЕ», член-кореспондент НААН;
Іванишин В. В. – ректор ЗВО «Подільський ДУ», академік НААН;
Ковалишин С. Й. – декан факультету механіки, енергетики та інформаційних технологій ЛНУП;
Коренко М. – професор Інституту проєктування та інженерних технологій Словацького аграрного університету в м. Нітра (Словацька Республіка);

- Кувачов В. П.** – декан МТФ ТДАТУ імені Дмитра Моторного;
- Кульгавий В. Ф.** – генеральний директор ВГО «Українська асоціація аграрних інженерів»;
- Кюрчев С. В.** – ректор ТДАТУ імені Дмитра Моторного;
- Литовченко О. В.** – директор ВСП «Ніжинський ФК НУБіП України»;
- Ловейкін В. С.** – завідувач кафедри конструювання машин і обладнання НУБіП України;
- Лопатько К. Г.** – завідувач кафедри технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства НУБіП України;
- Лукач В. С.** – директор ВП «Ніжинський агротехнічний інститут» НУБіП України;
- Мельник В. І.** – провідний науковий співробітник відділу науково-технічної інформації НДЧ НУБіП України;
- Мельник В. І.** – професор кафедри оптимізації технологічних систем в рослинництві ДБУ;
- Надикто В. Т.** – професор ТДАТУ імені Дмитра Моторного, член-кореспондент НААН;
- Науменко О. А.** – професор кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні імені О. І. Сідашенка ДБУ;
- Новак Я.** – професор Університету природничих наук у Любліні (Республіка Польща);
- Новицький А. В.** – завідувач кафедри надійності техніки НУБіП України;
- Ольт Ю.** – професор Інженерного інституту Естонського університету наук про життя (Естонська Республіка);
- Паскуці С.** – професор Департаменту агроекологічних і територіальних наук (DISAAT) університету Альдо Моро в м. Барі (Італійська Республіка);
- Пилипака С. Ф.** – завідувач кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну НУБіП України;
- Полянський П. М.** – завідувач кафедри загальнотехнічних дисциплін МНАУ;
- Пона Лукреція** – науковий дослідник Національного інституту досліджень і розробок машин і установок для сільського господарства та харчової промисловості (Румунія);
- Продеус О. В.** – керівник відділу збуту Манн+Хуммель GmbH;
- Роговський І. Л.** – завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту імені М. П. Момотенка НУБіП України;
- Ромасевич Ю. О.** – заступник декана факультету конструювання та дизайну НУБіП України;
- Ревенко Ю. І.** – доцент кафедри надійності техніки НУБіП України;
- Русінс А.** – директор Улброкського наукового центру Латвійського університету природничих наук і технологій (Латвійська Республіка);
- Саченко В. І.** – Голова Ради Асоціації «Укрмашибуд»;
- Савченко В. М.** – доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу ПНУ;
- Сайчук О. В.** – директор ХДФПК імені В. І. Вернадського;
- Сиволапов О. В.** – директор ТОВ «Індустрія техногруп»;

Тін Ю Чен - голова китайського офісу філії університету в Лінї (Китайська Народна Республіка);

Фіндура П. – проректор Словацького аграрного університету в м. Нітра (Словацька Республіка).

Шарибура А. О. – завідувач кафедри агроінженерії та технічного сервісу ім. О. Семковича ЛНУП;

Яковенко І. А. – завідувач кафедри будівництва НУБіП України.