

УДК 614.82

**ОЦІНЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ НАКОПИЧЕННЯ  
ДЕФОРМАЦІЙНОГО ПОШКОДЖЕННЯ ПОВЕРХНІ  
МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ ЗА ЦИКЛІЧНОГО НАВАНТАЖУВАННЯ  
НА ВЕЛИКИХ БАЗАХ**

*Войналович О. В.*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*Писаренко Г. Г., Майло А. М., Бялонович А. В.*

*Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України*

Дослідження інтенсивності накопичування втомного пошкодження в металоконструкції є важливими для оцінення довговічності та експлуатаційного ресурсу конструкційних елементів. Тривалість докритичного поширення втомної тріщини становить більше половини відносної довговічності металоконструкції, то ж у випадках прогнозування довговічності машин і устаткування тривалого використання врахування стану пошкоженості може суттєво впливати (до 30 %) на результати прогнозування за великих баз навантажування конструкційних сталей та сплавів. Тож актуальним є розроблення методичних підходів для кількісного оцінення ступеню втомного пошкодження металоконструкцій, зокрема параметрів дискретного деформаційного рельєфу поверхні в інженерній практиці діагностування поверхні елементів конструкції за багатоциклової втоми.

Мікропластичне деформування у формі піків і впадин рельєфу поверхні металоконструкції проявляється в обмеженій кількості локальних об'ємів матеріалу, кількість яких зростає внаслідок тривалості циклічного навантажування, формуючи рельєф незворотних деформацій [1]. Поточний

стан сформованої структури рельєфу поверхні відображає процеси пошкодження матеріалу,

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 [2]. 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.

За циклічного навантажування мікропластичне деформування конструкційних сталей і сплавів є локально вибіркоким. Особливістю мікрооб'ємів структурних змін поверхні є підвищена чутливість до зовнішнього навантаження, обумовлена концентрацією напруження внаслідок близькості до вільної поверхні металу. Зміни форми рельєфу деформованої поверхні характеризують еволюцію фізико-механічних властивостей матеріалу за втоми [3].

Накопичення непружних деформацій на поверхні конструкційного матеріалу дозволяє застосувати оптико-комп'ютерні засоби для прямого оцінення кінетики характеристик локального деформування поверхневого шару металокопонування [4].

Мета досліджень. Визначення взаємозв'язку статистичних параметрів спеклограм рельєфу здеформованої поверхні та еволюції дискретних деформацій поверхні конструкційних металевих матеріалів на стадіях багаточислової втоми.

У даній роботі згідно з методом подвійного віддзеркалення когерентного проміння мікрорельєф смуг ковзання, сформований на поверхні зразків, у проміжках припинення їх циклічного навантажування освітлювали когерентним промінням, а у напрямку відбитого від поверхні проміння на світлодіодній матриці реєстрували спеклограми (поля віртуальних спеклів) з дискретним розподілом яскравості (рис. 1). Аналіз структури спеклограм дозволяє кількісно оцінити ступінь накопичення дефектів поверхні зразка [5].

Для аналізу кореляційних характеристик спеклоструктури було застосовано методичні підходи згідно з вимогами ISO 25178, а для аналізу цифрових спеклоінтерферометричних зображень поверхні зразків було використано програми цифрового оброблення просторових зображень «WSxM». Отримані результати дозволили проаналізувати закономірності еволюції накопичення площ та об'ємів локальних максимумів та мінімумів у досліджуваних діапазонах циклів навантаження та амплітуд циклічних напружень.

Контурні топографи спеклограм, що відображають відносне зміння площі піків та впадин рельєфу поверхні зразка на різних стадіях циклічного навантажування представлено на рис. 1.

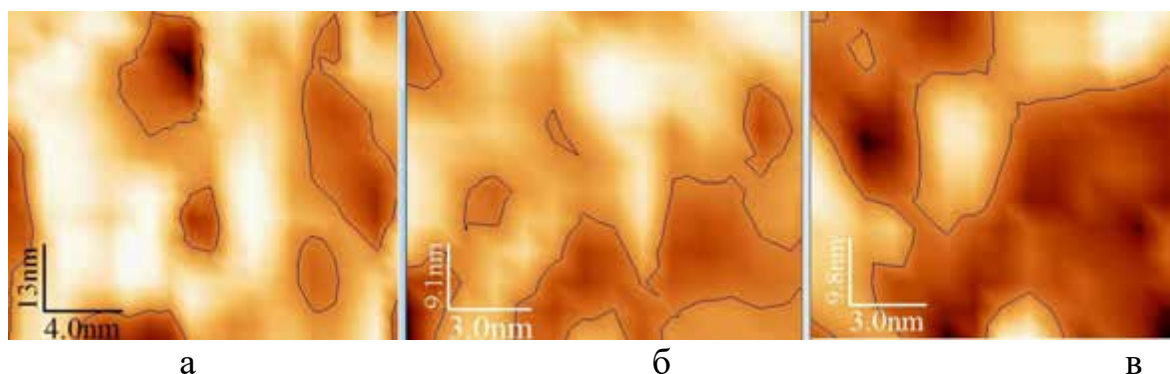


Рис. 1. Спеклові зображення поверхні зразка за різної кількості циклів навантажування з позначенням ліній контуру рельєфу однакових амплітуд (світла зона відповідає зоні піків рельєфу, а темна зона – зоні впадин рельєфу; площу світлої зони  $S$  оцінено у відсотках щодо загальної вибірки спеклів): а –  $10^3$  цикл,  $S= 72,9 \%$ ; б –  $10^5$  цикл,  $S= 70,7 \%$ ; в –  $10^6$  цикл,  $S= 39,31 \%$

Виконаний аналіз показав, що відношення загальної площі зображення окремих елементів на спеклограмі до площі одиничного елемента спеклограми можна розглядати, як топографічну характеристику структури деформаційних дефектів поверхневого шару матеріалу за втоми, з чого випливає, що відношення площі рельєфу деформованої поверхні елементів зображення до площі спеклів генеральної вибірки визначає поточний стан накопиченої деформації, що є визначальним для оцінювання втомного пошкодження на стадії локального руйнування полікристала [6].

Було отримано експериментальні ознаки того, що локальному руйнуванню металу за циклічного навантажування передують накопичення мікропластичних деформацій поверхневого шару на стадії розсіяного руйнування за пружно-пластичного деформування. Це узгоджується з тим, що загальною ознакою розвитку руйнування за механічного навантаження, незалежно від його виду, є вичерпання пластичних властивостей металу в локальній зоні зародження макротріщини на поверхні металоконструкції за динамічного і статичного навантаження.

Висновки. Розроблено метод безконтактного оцінювання деформаційних характеристик у поточному режимі експлуатації металоконструкції, що корелюють з параметрами втомного пошкодження металу. Аналіз послідовності кореляційних характеристик деформаційних дефектів поверхні виявив кореляційну залежність параметрів розподілу дискретних параметрів рельєфу деформованої поверхні від амплітуд деформації в діапазоні реалізованого коефіцієнта навантаженості.

Встановлено, що швидкість збільшення площі zdeформованої поверхні монотонно зростає в діапазоні досліджених кількості циклів і амплітуди циклічного навантажування,

Список використаних джерел

1. Natālija Bulaha, Jānis Rudzītis, Jānis Lungevičs, Oskars Liniņš, Juris Krizbergs. Research of Surface Roughness Anisotropy. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*. 2017. Vol. 54. Is. 2. 46-54.

2. Suhartono H.A., Kirman K., Prawoto Y. On the influence of the initial shear damage to the cyclic deformation and damage mechanism. *Metals*. 2022. 12(7). 1-24.

3. Pogrebniak A., Kasperska V. Fatigue resistance of metal construction materials and its relationship with changes in the state of thin surface layers. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2022. 6(2). 143-150.

4. 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. 28-37.

5. G. Pysarenko, O. Voynalovich, A. Maylo, S. Pysarenko. 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. 30-35.

6. 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. 1-10.

ISBN 978-617-8102-06-7

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України  
Механіко-технологічний факультет  
Кафедра сільськогосподарських машин  
та системотехніки імені академіка П. М. Василенка

**ЗБІРНИК**  
**ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ**  
**XXV МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**  
**"Сучасні проблеми землеробської механіки"**  
**(17–19 жовтня 2024 року)**

*присвяченій 124-й річниці з дня народження академіка  
Петра Мефодійовича Василенка, 95-й річниці з дня заснування  
механіко-технологічного факультету НУБіП України*



**Київ – 2024**

**ББК40.7**

**УДК 631.17+62-52-631.3**

**JEL CLASSIFICATION Q 01; D 24; P 42**

**З 38**

*Рекомендовано до друку збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" вченою радою механіко-технологічного факультету Національного університету біоресурсів і природокористування України від 15 жовтня 2024 року протокол № 3.*

Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. 527 с.

**ISBN 978-617-8102-06-7**

В збірнику тез представлено анотований зміст доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів НУБіП України, провідних вітчизняних і закордонних вищих навчальних закладів та наукових установ, в яких розглядаються завершені етапи розробок з: розвитку сучасної землеробської механіки; механіко-технологічних процесів, робочих органів та машин для рослинництва; механіко-технологічних процесів, робочих органів та машин для тваринництва; смарт-технологій машиновикористання, інженерного менеджменту, технічного сервісу; транспортних технологій та логістики; історії аграрної освіти і науки; будівництва сільських територій; надійності машин для сільського, лісового і водного господарств та харчових технологій; удосконалення та нові розробки біотехнологічних процесів і технічних засобів.

**Організаційний комітет:**

*Ткачук В.А. – д.е.н., проф., ректор Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП), голова.*

*Ніколаєнко С.М. – д.п.н., проф., академік НАПН, академік НААН, президент НУБіП, співголова.*

*Тонха О.Л. – д.с.-г.н., проф., проректорка з наукової роботи та інноваційної діяльності НУБіП, співголова.*

*Братішко В.В. – д.т.н., проф., декан НУБіП, співголова.*

- Войтюк Д.Г. – к.т.н., проф., член-кор. НААН, професор кафедри НУБіП, співголова.
- Адамчук В.В. – д.т.н., проф., академік НААН, директор ІМА АПВ.
- Аулін В.В. – д.т.н., проф., професор кафедри ЦНТУ.
- Барановський В.М. – д.т.н., проф., ТНТУ імені Івана Пулюя.
- Борак К.В. – д.т.н., проф., заступник директора ЖАТФК.
- Бредихін В.В. – д.т.н., доц., декан ДБУ.
- Вергунов В.А. – д.с.-г.н., д.і.н., проф., академік НААН, директор ННСГБ НААН.
- Вечера О.М. – ст. викл. кафедри НУБіП, секретар оргкомітету конференції.
- Гуменюк Ю.О. – к.т.н., доц., завідувач кафедри НУБіП.
- Гуцол О.П. – к.т.н., доц., керівник приватного підприємства.
- Зубко В.М. – д.т.н., проф., декан СНАУ.
- Іванишин В.В. – д.е.н., проф., академік НААН, ректор ЗВО «ПДУ».
- Іценко Т.Д. – к.п.н., проф., директор ДУ «НМЦВФПО».
- Калетнік Г.М. – д.е.н., проф., академік НААН, президент ВНАУ.
- Кірчук Р.В. – к.т.н., проф., декан ЛНТУ.
- Кобець А.С. – д.н. з держ. упр., проф., ректор ДДАЕУ.
- Ковалишин С.Й. – к.т.н., проф., декан ЛНУП.
- Гуцол О.П. – к.т.н., власник і бенефіціар аграрних компаній.
- Козаченко Л.П. – президент Української аграрної конфедерації.
- Кравчук В.І. – д.т.н., проф., академік НААН, директор УМІ АПІ.
- Кропівний В.М. – к.т.н., проф., ректор ЦНТУ.
- Кульгавий В.Ф. – генеральний директор ВГО «Українська асоціація аграрних інженерів».
- Кюрчев В.М. – д.т.н., проф., член-кор. НААН, радник ректора ТДАТУ імені Дмитра Моторного.
- Кюрчев С.В. – д.т.н., проф., ректор ТДАТУ імені Дмитра Моторного.
- Лавріненко О.Т. – к.т.н., доц. кафедри НУБіП.
- Лукач В.С. – к.п.н., проф., директор ВП НУБіП «НАТІ».
- Маруцак П.О. – д.т.н., проф., проректор ТНТУ імені Івана Пулюя.
- Мельник В.І. – д.т.н., проф., професор кафедри ДБУ.
- Мироненко В.Г. – д.т.н., проф., ІМА АПВ.
- Мороз О.О. – Голова Верховної Ради України двох скликань.
- Надикто В.Т. – д.т.н., проф., член-кор. НААН, професор кафедри ТДАТУ імені Дмитра Моторного.
- Панцир Ю.І. – к.т.н., доц., декан ЗВО «ПДУ».
- Пастухов В.І. – д.т.н., проф., професор кафедри ЦНТУ.
- Пилипака С.Ф. – д.т.н., проф., завідувач кафедри НУБіП України.
- Пугач А.М. – д.н. з держ. упр., проф., декан ДДАЕУ.
- Пушка О.С. – к.т.н., доц., проректор УНУС.
- Ребенко В.І. – к.т.н., доц., доцент кафедри НУБіП.