

#### УДК 539.4

Георгій Писаренко<sup>1</sup>, д.т.н., проф.; Андрій Майло<sup>1</sup>, к.т.н.; Андрій Бялонович<sup>1</sup>, к.т.н.; Олександр Войналович<sup>2</sup>, к.т.н., доц.

<sup>1</sup> Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, Україна

<sup>2</sup> Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМІНЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНОГО РЕЛЬЄФУ ПЛАСТИЧНОСТІ ПОВЕРХНІ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ ЗА ЦИКЛІЧНОГО НАВАНТАЖУВАННЯ

Анотація. З використанням методу когерентно-оптичного сканування zdeформованої поверхні зразків металоконструкції виявлено закономірності впливу циклічного навантажування на зміну деформаційного рельєфу поверхні, що дозволило запропонувати критерій межі мікропластичності за втоми металів і сплавів.

Ключові слова: циклічне навантажування, деформаційний рельєф, когерентно-оптичне сканування, мікропластичне деформування.

Georgiy Pysarenko, Ph.D., Prof.; AndriyMailo, Ph.D.; AndriyByalonovich, Ph.D.; OleksandrVoinalovych, Ph.D., Assoc. Prof.

### STUDY OF THE PROCESSES OF CHANGING THE DEFORMATION RELIEF OF THE PLASTICITY OF THE METAL STRUCTURE SURFACE UNDER CYCLIC LOADING

Abstract. Using the method of coherent-optical scanning of the deformed surface of metal structure samples, regularities of the influence of cyclic loading on the growth of the deformation relief of the plasticity of the surface were revealed, which made it possible to propose a criterion for the microplasticity limit under fatigue of metals and alloys.

Keywords: cyclic loading, deformation relief, coherent optical scanning, microplastic deformation.

Для гетерогенних конструкційних матеріалів втомне пошкодження характеризується спрямованою еволюцією дискретної структури до критичної стадії, що передує зруйнуванню металоконструкції. За циклічного деформування пружно-пластичного матеріалу на поверхні зразків металоконструкції формується деформаційний рельєф(деформаційних дефектів)[1]. Функція розподілу дискретних деформаційних дефектів поверхні характеризується нормальним розподілом внаслідок випадкового характеру процесу локалізації зсувів у смугах ковзання полікристалічної структури матеріалу поверхні циклічно деформованого зразка. Пластичні зсуви полікристалу проявляються у вигляді системи екструзій та інтрузій, які виникають на поверхні за амплітуди циклічних напружень навіть нижче межі витривалості.

Форма амплітуди профілю накопиченого деформаційного рельєфу поверхні в локальних зонах втоми характеризує швидкість формозмінення та порушення суцільності, що можна розглядати як критерій пошкодження [2]. Пластична деформація розвивається в обмеженій кількості мікро об'ємів, кількість яких зростає зі збільшенням циклів навантаження. Стадійність руйнування в багатоцикловому діапазоні аналізують на основі деформаційних ознак пошкоженості поверхні полікристалу.

Для контролю втомних змін деформаційного рельєфуметалоконструкції використовують методи аналізу параметрів дифузного відбиття мікродеформованою поверхнею когерентного світлового випромінювання, тобто методи спекл-кореляції поверхневих деформацій [3, 4].

Метою роботи є дослідження умов накопичення граничного втомного пошкодження у зразках металокопструкцій на основі безконтактного методу оптичного сканування контрольованої зони поверхні.

У даній роботі деформовану поверхню контрольованої зони матеріалу на певних етапах циклічного навантажування сканували когерентним пучком проміння світла з довжиною хвилі, яка співвимірна з масштабом локалізації розсіяного пошкодження (мікропластичних деформацій у вигляді піків та впадин смуг ковзання, створюваних відповідно екструзіями і інтрузіями) поверхні зразка металокопструкції. Внаслідок цього на реєструвальній матриці отримували двовимірне відображення поля спеклів у вигляді контурних топограм, що дозволяє реєструвати відносне змінення площі піків та впадин рельєфу поверхні зразка.

Використовуючи програми цифрового оброблення зображень, визначали топографічні параметри контурних топограм спеклових зображень (співвідношення площі поверхні піків та впадин деформаційного рельєфу зразка – світла зона відповідає зоні піків рельєфу, а темна зона – зоні впадин рельєфу), а далі будували кінетичні залежності топографічних параметрів контурних топограм (зміни площі світлих і темних зон) за відносної довговічності зразків металокопструкції до 100%, та визначали точку перетину між собою побудованих залежностей площ піків і впадин. Ця зона відповідає досягненню межі взаємного збільшення (зменшення) площі зон піків та впадин (екструзій та інтрузій), тобто межі переходу мікропластичного деформування поверхні металокопструкції до стадії виникнення і поширення втомної макротріщини.

На рис. 1 представлено 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). Внаслідок тривалості циклічного навантажування від  $N = 10^3$  цикл до  $N = 10^6$  цикл площа світлої зони  $S$ , отримана у відсотках щодо загальної вибірки спеклів, зменшилася від  $S = 72,9 \%$  до  $S = 39,31 \%$ .

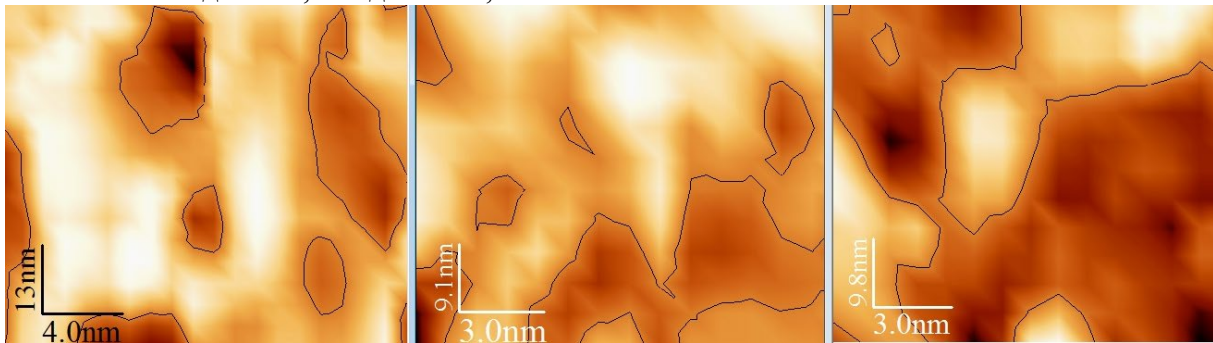


Рис. 1. Спеклові зображення поверхні зразка за різної кількості циклів навантажування

На рис. 2 у координатах: відносна довговічність (у відсотках) до моменту зруйнування зразка металокопструкції (вісь абсцис) та коефіцієнт здеформування поверхні зразка металокопструкції щодо початкового відполірованого стану поверхні представлено графіки, які характеризують змінення площі окреслених на топограмах зон відповідно піків та впадин рельєфу мікропластичного деформування у разі збільшення тривалості циклічного навантажування до виникнення і поширення макротріщини. Точка перетину графіків 1 і 2 (або ліній тренду цих графіків, представлених степенною та експоненційною формулами з високим ступенем достовірності  $R^2$ ) відповідає тривалості циклічного навантажування  $N_{lim}$ , коли сумарні площі піків і впадин топограм досягають взаємного узгодження, що свідчить про вичерпання пластичності здеформованих елементів поверхні та є межею переходу

мікропластичного деформування поверхні металоконструкції до наступної стадії виникнення і поширення втомної макротріщини.

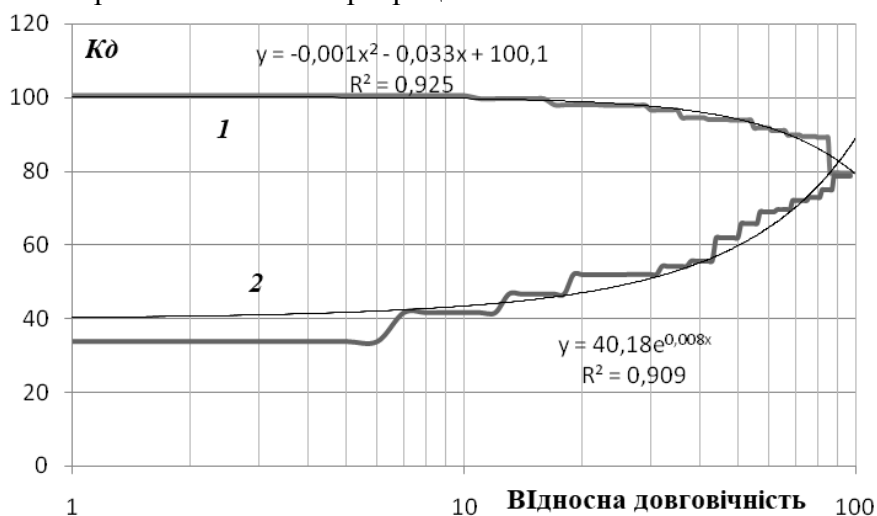


Рис. 2. Кінетичні залежності параметрів деформаційного рельєфу зразків металоконструкції за циклічного навантажування

### Висновки

Розроблено експериментально-інформаційну систему аналізу кількісних характеристик розсіяного пошкодження зразків металоконструкції методом когерентно-оптичного сканування деформованої поверхні з високою роздільною здатністю.

Представлені результати дослідження статистичних параметрів деформаційного рельєфу зразків металоконструкції, що дозволяють рекомендувати розроблений метод для визначення межі зміни деформаційного рельєфу пластичності поверхні металоконструкції за циклічного навантажування.

### Перелік посилань

1. Georgy Pysarenko, Oleksandr Voynalovych, 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.

2. Бялонович А.В., Писаренко Г.Г., Писаренко С.Г., Войналович О.В. Аналіз зображень спекл-структур поверхні матеріалу в процесі накопичення пошкоджень за циклічного навантаження із застосуванням нейронних мереж. *Матеріали XXIII Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивна техніка, технологія та професійна освіта»*, 2023. № XXIII. С. 97-100.

3. 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.

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). 25-32.