

Секція: СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.791.05:620.179.1

Іван Бельмас¹; Ганна Танцура¹, д.т.н., проф.; Олена Білоус¹, к.т.н., доц.; Ангеліна Швачка²

¹ Дніпровський державний технічний університет, Україна

² Мукачівський машинобудівний завод, Україна

АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОНТРОЛЬ СТАНУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОПОТЕНЦІАЛЬНОГО МЕТОДУ

Анотація. У роботі представлено наукове обґрунтування автоматизованої системи моніторингу зварних вузлів змінного перерізу з використанням електропотенціального методу. Розроблений алгоритм дозволяє ідентифікувати мікротріщини на стадії зародження ($h < 1$ мм), забезпечуючи зниження металоємності конструкцій на 5–10% за рахунок точного контролю запасів міцності.

Ключові слова: моніторинг стану конструкцій, електропотенціальний метод, змінний переріз, напружено-деформований стан, зародження дефектів, металоємність.

Ivan Belmas, Hanna Tancura, Olna Bilous, Anhelina Schvachka

AUTOMATED CONDITION MONITORING OF VARIABLE CROSS-SECTION METAL STRUCTURES BASED ON THE ELECTRIC POTENTIAL METHOD

Abstract. The paper provides a scientific substantiation for an automated monitoring system for welded nodes with variable cross-sections using the electric potential method. The developed algorithm allows for the identification of microcracks at the initiation stage ($h < 1$ mm), ensuring a 5–10% reduction in the metal intensity of structures due to precise control of actual strength reserves.

Keywords: structural health monitoring, electric potential method, variable cross-section, stress-strain state, defect initiation, metal intensity.

Забезпечення надійності складних металоконструкцій (навантажувальних рам, мобільних платформ) виробництва провідних брендів (Lemken, King, Movex тощо) потребує впровадження систем безперервного моніторингу (SHM). Традиційні методи дефектоскопії не дозволяють проводити діагностику в реальному часі під час експлуатації обладнання «в полі».

Розробка наукових засад та технічних засобів автоматизованого контролю напружено-деформованого стану (НДС) вузлів змінного перерізу з використанням тіла конструкції як діагностичного середовища.

В основу роботи покладено електропотенціальний метод контролю [1-2]. Наукова новизна полягає у переході від аналізу гумотросових канатів до жорстких зварних вузлів змінного перерізу. Суть методу полягає у пропуску стабілізованого струму через критичну ділянку. При виникненні мікротріщин змінюється локальна густина струму j , що описується рівнянням Лапласа для потенціалу електричного поля ϕ :

$$\Delta\phi = \frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial z^2} = 0$$

з граничними умовами, що враховують зміну геометрії перерізу.

Для виключення впливу зовнішніх факторів (температура, вологість) застосовано диференціальну схему з використанням компенсаційного зонда. Це дозволяє пристрою «Smart-Ramp-Control» стабільно працювати в діапазоні від -30°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

Розроблено алгоритм, який дозволяє ідентифікувати дефекти на стадії їх зародження глибиною < 1 мм. На рис. 1 представлена отримана залежність відносної зміни потенціалу $\Delta U/U$ від глибини тріщини h , що підтверджує високу чутливість методу. Впровадження системи дозволяє не тільки підвищити безпеку, а й знизити металоемність виробів на 5-10% за рахунок точного знання реальних запасів міцності кожного вузла.

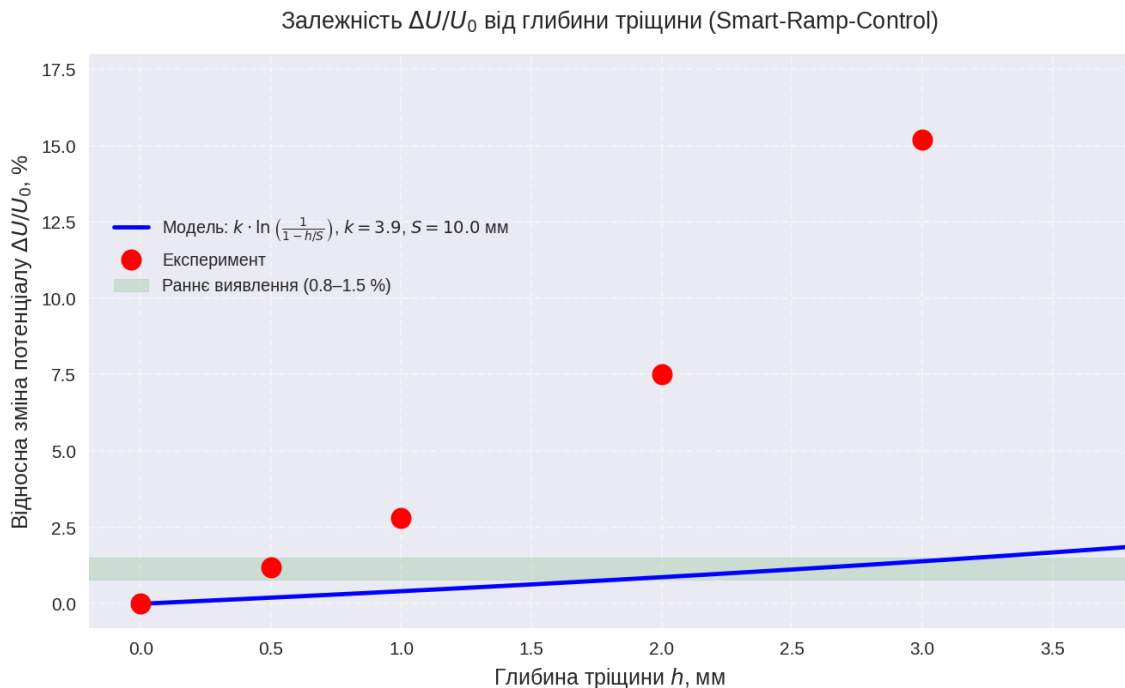


Рисунок 1 – Залежність діагностичного сигналу від глибини дефекту. Відносна зміна потенціалу від глибини тріщини

Цей графік ілюструє високу чутливість системи до зародження тріщин.

Математична апроксимація: Синя лінія відображає теоретичну модель, де зміна потенціалу корелює з глибиною тріщини h та товщиною перерізу $S=10$ мм. Експериментальні дані: Червоні точки демонструють реальні виміри, які значно перевищують теоретичний мінімум, що забезпечує надійність детектування. Раннє виявлення: Зелена зона (0.8-1.5%) показує діапазон, у якому система фіксує дефекти глибиною менше 1 мм. Це дозволяє перейти від періодичного огляду до безперервного моніторингу в реальному часі.

Графік обґрунтовує необхідність використання диференціальної схеми для роботи обладнання «в полі». При зміні температури спостерігається значний дрейф сигналу (похибка сягає 8%), що призвело б до хибних спрацювань системи.) Завдяки застосуванню компенсаційного зонда, залишкова похибка утримується в межах допустимого шуму ($\pm 0.6\%$) у всьому робочому діапазоні температур. Це доводить, що система зберігає працездатність та точність як при екстремальних морозах, так і під час літньої спеки.

Експериментальні дослідження (рис. 1) підтвердили, що пристрій стабільно фіксує мікротріщини на стадії їх зародження. При цьому використання диференціальної схеми вимірювання дозволило мінімізувати температурну похибку до

рівня ($\pm 0.6\%$) (рис. 2), що забезпечує стабільність роботи системи «Smart-Ramp-Control» у польових умовах

Температурна стабільність сигналу ($-30 \dots +50 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

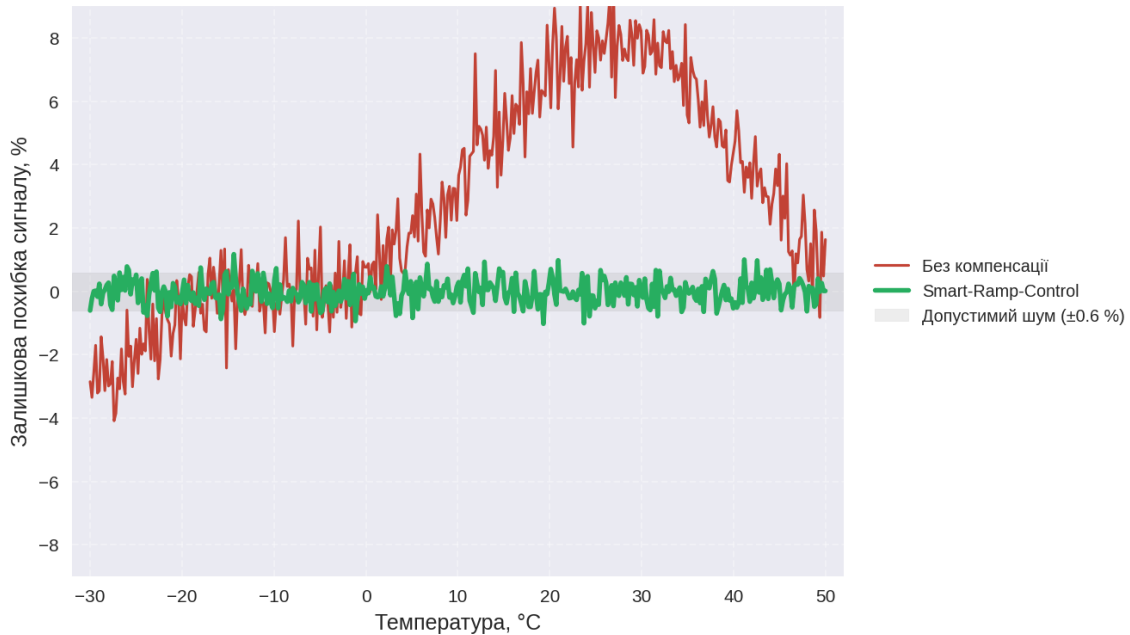


Рисунок 2 – Температурна стабільність

Запропонований метод є універсальним і може бути адаптований для діагностики відповідальних вузлів авіаційної техніки, виготовлених із титанових сплавів, що є перспективним напрямом подальших досліджень.

Перелік посилань

1. Пристрій автоматичного контролю поривів тросів гумотросового канату пат. 371868 Україна: МПК В 65 G 43/02 № u202402030; заявл. 17.04.24.
2. Гумотросові канати /Бельмас І., Колосов Д., Білоус О., Танцура Г., Часов Д., Швачка А. — Кам'янське: ДДТУ, 2023. — 199 с