

## ЛАБОРАТОРНИЙ ЕКСПРЕС-МЕТОД ВОДНЕВОЇ ДЕГРАДАЦІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ ЕНЕРГЕТИКИ

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України

### Анотація

*Розроблено лабораторний експрес-метод водневої деградації конструкційних сталей, який полягає у попередньому електролітичному наводнюванні металу з наступним деформаційним зміцненням та старінням. Метод спричиняє зміни характеристик пластичності сталі подібно як і експлуатаційна деградація та дає змогу отримати консервативні значення її параметрів опору крихкому руйнуванню (ударної в'язкості та опору корозійному розтріскуванню).*

**Ключові слова:** сталь, експлуатація, деградація, водень, метод, механічні властивості, корозійне розтріскування.

Обґрунтування залишкового ресурсу відповідальних конструкцій тривалої експлуатації вимагає врахування можливої деградації вихідних механічних властивостей, насамперед, характеристик опору крихкому руйнуванню. Для прогнозування експлуатаційної деградації сталей важливим аспектом є лабораторне її моделювання. Відомий експрес-метод згідно з ГОСТ 7268-82, яким у лабораторних умовах ініціюють деформаційне старіння сталей. Однак, його застосування не дає змоги отримати зміни у структурно-механічному стані металу подібні до експлуатаційних, оскільки він не враховує умови експлуатації, зокрема, наводнювання [1].

У даній праці досліджували низьколеговану трубну сталь 17Г1С. Визначали механічні та корозійно-механічні властивості сталі у вихідному стані, після 29 років експлуатації та після лабораторної деградації сталі у вихідному стані. Застосували розроблену процедуру експрес-методу лабораторної симуляції експлуатаційної деградації сталей, яка передбачає три послідовні етапи: 1 – електролітичне наводнювання заготовок або зразків; 2 – пластичне деформування (3–4%) розтягом попередньо наводнених заготовок або зразків; 3 – штучне старіння пластично деформованих заготовок або зразків. Електролітичне наводнювання заготовок реалізували у розчині  $H_2SO_4$  з  $pH = 3$  за густини струму  $i = 10\text{--}50$   $mA/cm^2$  впродовж 50 год., що забезпечувало рівномірний розподіл водню по об'єму заготовки. Випробами розтягом зразків після наводнювання встановлено, що за  $i \leq 30$   $mA/cm^2$  абсорбований водень не спричиняє розвиток незворотної пошкодженості сталі 17Г1С як у вихідному стані, так і експлуатованому станах.

Схильність сталей до корозійного розтріскування визначали методом повільного активного навантаження розтягом циліндричних зразків зі швидкістю деформування  $\dot{\epsilon} = 10^{-6}$   $сек^{-1}$  у водному розчині NS4, насиченому  $CO_2$  з  $pH = 5,7$ , яким моделювали кисле ґрунтове середовище. Оцінювали зміну корозивним середовищем відносного звуження  $\psi$  сталей, застосовуючи коефіцієнт  $K_{SCC}^{\psi}$ :  $K_{SCC}^{\psi} = 1 - \frac{\psi_{SCC}}{\psi_{air}}$ , де  $\psi_{SCC}$  та  $\psi_{air}$  – відносне звуження зразків, випробуваних у корозивному середовищі та повітрі, відповідно.

Сталі 17Г1С у вихідному стані властиві високі пластичність та ударна в'язкість (табл. 1). Низьке значення відношення  $\sigma_{0,2}/\sigma_B$  вказує на високу здатність сталі до деформаційного зміцнення. Тривала експлуатація зумовила деяке зниження пластичності металу та суттєве – ударної в'язкості. Подібні закономірності зміни механічних характеристик отримано і для сталі, підданій лабораторній деградації за запропонованою процедурою (табл. 1).

За випроб на корозійне розтріскування сталі у вихідному стані її відносне звуження практично не змінилося (78% у повітрі і 74% у середовищі), що свідчить про її високий опір зародженню та розвитку корозійно-механічних тріщин,  $K_{SCC}^{\psi} = 0,05$ . Тривала експлуатація сталі

спричинила її схильність до корозійного розтріскування: відносне звуження знизилось до 66% і коефіцієнт  $K_{SCC}^{\psi}$  збільшився на порядок –  $K_{SCC}^{\psi} = 0,16$ . Внаслідок лабораторної деградації сталі її опір корозійному розтріскуванню знизився ще суттєвіше: відносне звуження знизилось до 59% і коефіцієнт  $K_{SCC}^{\psi} = 0,24$ .

Таблиця 1 – Механічні властивості сталі 17Г1С

Стан випробуваної сталі	Границя плинності $\sigma_{0,2}$ , МПа	Границя міцності $\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}/\sigma_B$	Відносне звуження $\psi$ , %	Відносне видовження $\delta$ , %	Ударна в'язкість $KCV$ , Дж/см <sup>2</sup>
Вихідний	369	556	0,66	78	25	220
Експлуатований	352	549	0,64	70	22	171
Лабораторно деградований	413	564	0,73	73	21	168

Отже, розроблена лабораторна методика симуляції експлуатаційної деградації спричиняє зміни характеристик пластичності подібно як і експлуатаційна деградація та дає змогу отримати консервативні значення параметрів її опору крихкому руйнуванню, визначеному за показниками як ударної в'язкості, так і опору корозійному розтріскуванню.

*Робота виконана за часткової підтримки проєкту МОН України «Розроблення експрес-методу лабораторної симуляції експлуатаційної деградації конструкційних сталей енергетики для оцінювання їх схильності до корозійного розтріскування».*

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Nykyforchyn H., Tsyurulnyk O., Zvirko O. Laboratory method for simulating hydrogen assisted degradation of gas pipeline steels // Procedia Structural Integrity. 2019. Vol. 17. P. 568-575.

**Цирульник Олександр Тимофійович** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів; otsyurulnyk@gmail.com.

**Никифорчин Григорій Миколайович** – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів; hnykyforchyn@gmail.com.

**Звірко Ольга Іванівна** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів; olha.zvirko@gmail.com.

**Курнат Іван Миколайович** – головний інженер відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів.

## LABORATORY EXPRESS METHOD OF HYDROGEN DEGRADATION OF STRUCTURAL STEELS OF ENERGY INDUSTRY

### Abstract

*A laboratory express method for hydrogen degradation of structural steels has been developed, which consists in preliminary electrolytic hydrogenation of metal with subsequent deformation strengthening and aging. The method causes changes in the plasticity characteristics of steel in the similar way as operational degradation, and enables obtaining conservative values of its parameters of brittle fracture resistance (impact toughness and resistance to stress corrosion cracking).*

**Key words:** steel, operation, degradation, hydrogen, method, mechanical properties, stress corrosion cracking.

**Oleksandr Tsyurulnyk** – D.Sc., Senior Researcher, Leading Researcher of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv; otsyurulnyk@gmail.com.

**Hryhoriy Nykyforchyn** – D.Sc., Professor, Leading Researcher of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv; hnykyforchyn@gmail.com.

**Olha Zvirko** – D.Sc., Senior Researcher, Head of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv; olha.zvirko@gmail.com.

**Ivan Kurnat** – Chief Engineer of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv.