

УДК 621.875:620.193

DOI: 10.15276/pidtt.3.64.2020.04

Немчук О. О.

Одеський національний морський університет

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ СТАЛЕЙ ПОРТОВИХ КРАНІВ

Тривала, часто понаднормова експлуатація порткових конструкцій спричиняє істотне зниження вихідних механічних властивостей сталей, в першу чергу, опору крихкому руйнуванню. Проаналізовано можливості використання електрохімічних підходів для оцінювання експлуатаційної деградації металоконструкцій порткових кранів. За показник, чутливий до експлуатаційної зміни стану сталей, вибрано поляризаційний опір. Показано специфіку практичного застосування електрохімічного методу як неруйнівного методу контролю для прогнозування поточних механічних властивостей сталей.

Ключові слова: морський портковий кран, сталь, неруйнівний метод контролю, експлуатаційна деградація, прогнозування властивостей.

Постановка проблеми. Конструкції морського перевантажувального обладнання відносять до особливо відповідальних, оскільки порушення їх цілісності спричиняє значні економічні, а то і людські втрат. Вони експлуатуються у складних умовах циклічного навантаження [1, 2]: напружений цикл роботи, підвищена асиметрія циклу навантаження, складний напружений стан, агресивний вплив морської атмосфери і ін. До них належать і порткові крани, які часто експлуатуються понаднормово, тобто вже вичерпали свій плановий ресурс і постає питання про можливість подовження їх безпечної експлуатації. В результаті тривалої експлуатації сталь металоконструкцій зазнає істотної втрати вихідних фізико-механічних властивостей, які закладалися у проектний розрахунок і визначають роботоздатність металу і конструкції в цілому. Відповідно періодичний контроль їх технічного стану повинен передбачати не тільки виявлення можливих макродефектів (в першу чергу, втомних тріщин), але і експлуатаційну деградацію металу, бажано з використанням методів неруйнівного контролю.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останнім часом пропонують використовувати електрохімічні методи для

діагностування методами неруйнівного контролю поточного технічного стану конструкційних сталей [3, 4], зокрема, портових кранів [5]. Вони базуються на чутливості низки електрохімічних показників до експлуатаційних змін в стані металу і, відповідно, тих механічних властивостей, які визначають опір металу крихкому руйнуванню. До них належить ударна в'язкість, мінімально допустимий рівень якої регламентують, як правило, у відповідних нормативних документах. Що стосується електрохімічних показників, то для оцінювання експлуатаційної деградації сталей використовують найчастіше струм корозії та поляризаційний опір, вони найчутливіші до експлуатаційної деградації сталей. Ці показники пов'язані між собою, тому не принциповим вибір одного з них як електрохімічної характеристики стану металу. Таким чином, за наявності кореляційної залежності між змінами, з одного боку, ударної в'язкості, для прикладу, зразків Шарпі KCV , а з іншого – поляризаційного опору R_p , та за можливості провести відповідні електрохімічні вимірювання на обладнанні, що підлягає експертизі, можна прогнозувати поточний рівень опору крихкому руйнуванню металу для відповідного висновку щодо можливості його подальшої експлуатації. Такого типу залежності отримані раніше у лабораторних умовах [5–7].

Постановка завдань. Мета роботи полягає у встановленні основних науково-технічних особливостей практичного застосування електрохімічного методу в польових умовах на реальних портових конструкціях для прогнозування можливої втрати металом своїх вихідних механічних властивостей, зокрема, опору крихкому руйнуванню, який характеризується рівнем ударної в'язкості KCV .

Виклад основного матеріалу. Традиційні електрохімічні вимірювання передбачають обов'язкове використання потенціостата та електрохімічної комірки. Польові умови привносять певні складності у проведення таких вимірювань. Вони стосуються низки методичних аспектів, дотримання яких важливе для коректних оцінок електрохімічних властивостей, на основі яких можна було б прогнозувати рівень експлуатаційної деградації металу. Головні з них полягають у наступному.

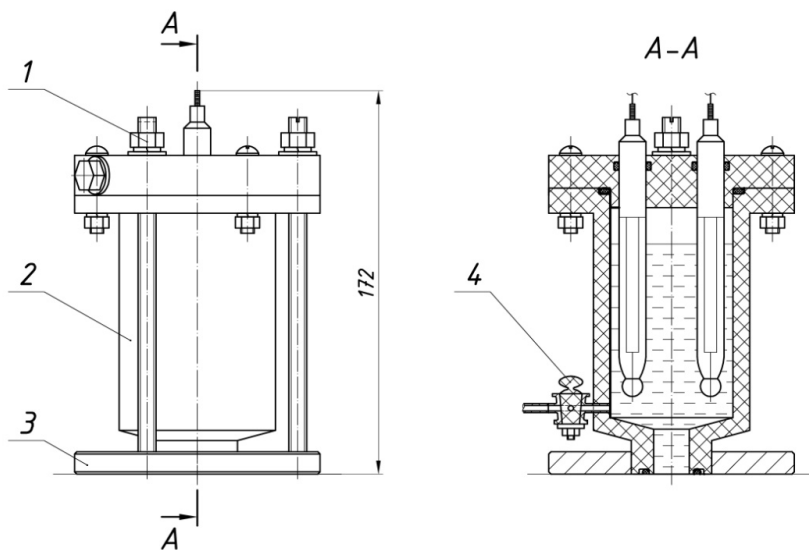
Приготування поверхні конструктивного елемента до електрохімічних вимірювань. В лабораторних умовах такі поверхні доводять до полірованого стану та ізолюють від інших металевих поверхонь. У польових умовах це зробити складніше, але можна використовувати відповідне портативне оснащення.

Використання портативного потенціостата. Це необхідна технічна умова для побудови поляризаційних кривих у польових умовах, які в подальшому потрібні для визначення поляризаційного опору.

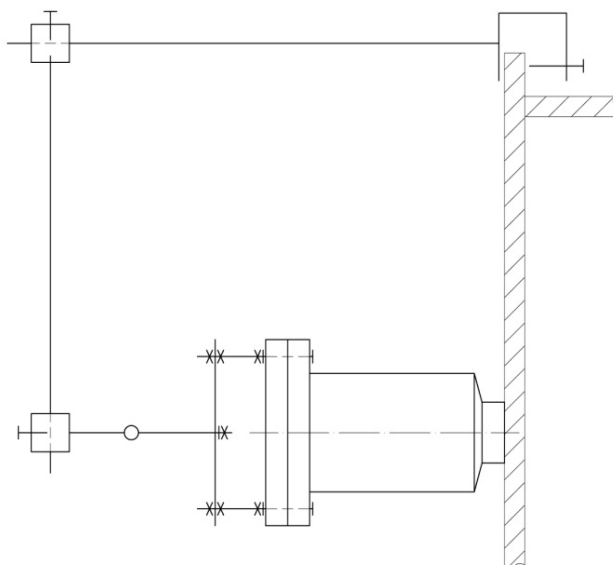
Вибір складу електроліту. Електроліт повинен характеризуватися депасиваційними властивостями, щоби усунути вплив на вимірювання електрохімічних властивостей поверхневих плівок, а отримувати електрохімічний відклик безпосередньо від самого металу. Це може бути 3%-ний водний розчин NaCl або водний розчин H_2SO_4 з pH 3.

Конструкція портативної електрохімічної комірки. Розроблено конструкцію (рис. 1а) циліндричної електрохімічної комірки 2 з хімічно інертного матеріалу (фторопласт), яка за допомогою монтажної шайби 3 (рис. 1а) або шарнірної підвіски (рис. 1б) кріпиться до поверхні ділянки крана, яку діагностують.

Дно комірки, в якому передбачено вихідний отвір діаметром 16 мм, щільно притискають через ущільнення до досліджуваної та відповідним чином приготовленої поверхні. Через цей отвір електроліт (корозивне середовище), яке знаходиться в комірці, контактує з металом. Корпус герметично накривають кришкою з п'ятьма отворами, два з яких призначені для встановлення електрода порівняння та допоміжного електрода, а інші – технологічного характеру для заповнення комірки розчином та виходу з неї повітря. Така конструкція комірки, будучи герметичною, дає можливість встановлювати її у горизонтальному, вертикальному та під нахилом положеннях, окрім стельового. Цього практично достатньо для експертизи стану металу з використанням електрохімічних підходів.



а



б

Рис. 1. Кріплення електрохімічної комірки до поверхні ділянки крана монтажною шайбою (а) або шарнірною підвіскою (б): 1 – елемент кріплення, 2 – корпус комірки, 3 – монтажна шайба, 4 – фторопластовий корковий кран.

Портативний електрохімічний комплекс. Для реалізації методики вимірювання електрохімічних показників у польових умовах запропоновано спеціальний портативний електрохімічний комплекс (рис. 2), який складається з потенціостата 2, комп'ютера з програмним забезпеченням 3 та електрохімічної комірки 6 з електродом порівняння 8 і допоміжним електродом 7, яка фіксується металевим затискачем 1 на досліджуваному елементі металоконструкції крана.

Процедура проведення вимірювань наступна: після встановлення стаціонарного потенціалу E_{cor} задають автоматичну розгортку для побудови поляризаційної кривої струм поляризації i – потенціал поляризації E в околі потенціалу корозії (рис. 3, не більше 30 мВ в анодну і катодну сторони).

Поляризаційний опір R_p визначають як відношення різниці потенціалів $(E_2 - E_1)$ до різниці струмів $(i_2 - i_1)$. Однак на поляризаційній кривій лінійна ділянка існує практично у вузькому діапазоні потенціалів або цілком відсутня. У цьому випадку у точці на кривій $i - E$, що відповідає потенціалу корозії, проводять дотичну і за її нахилом визначають $R_p = (E_2 - E_1) / (i_2 - i_1)$.

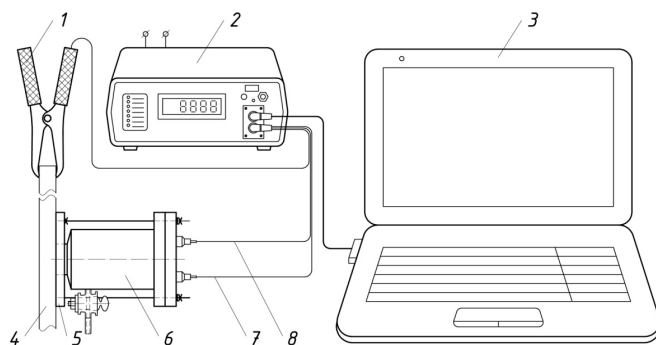
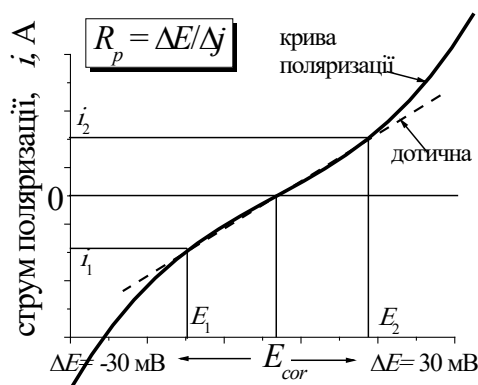


Рис. 2. Портативний електрохімічний комплекс з монтажною шайбою:

- 1 – металевий затискач;
2 – потенціостат; 3 – комп'ютер з програмним забезпеченням; 4 – досліджуваний елемент металоконструкції крана; 5 – монтажна шайба;
6 – електрохімічна комірка;
7 – допоміжний електрод; 8 – електрод порівняння.

Принципова особливість електрохімічного методу прогнозування поточних механічних властивостей експлуатованого металу полягає у використанні кореляційної залежності змін відповідно механічного та електрохімічного показників, для прикладу, ударної в'язкості KCV та поляризаційного опору R_p , а не їх абсолютних значень. Причина в тому, що ці показники для вихідного, неексплуатованого стану металу залежать від багатьох структурно-металургійних і інших чинників і їх вплив на згадані показники прогнозувати складно. Однак тривала експлуатація сталей, особливо за їх циклічного навантаження, спричиняє певні мікроструктурні зміни в металі, головними з яких є розвиток розсіяної мікропошкодженості. Це головний чинник втрати металом опору крихкому руйнуванню, що зумовлює, відповідно, істотне зниження ударної в'язкості.

Рис. 3. Схематичне зображення поляризаційної кривої $i - E$ для визначення графічним методом поляризаційного опору.

З іншого боку, до таких змін в сталях чутливий і поляризаційний опір, тому саме за його зміною, а не абсолютним значенням можна прогнозувати зміну показника KCV . Таким чином, для визначення експлуатаційних змін в показниках KCV та R_p необхідні дані стосовно сталі у вихідному стані. Для розв'язання цього завдання пропонується також вибрати матеріал для досліджень, який зазнавав в процесі експлуатації мінімального навантаження. Тоді стан такого металу можна умовно вважати вихідним і для нього визначати як механічні, так і електрохімічні властивості. Підставою для такого припущення слугувало дослідження [5], в якому показано різний ступінь експлуатаційного зниження ударної в'язкості KCV сталі вальцьованого прокату для різних вузлів порталного крану, який залежить від рівня напруженості елементів конструкції впродовж її експлуатації: що вищий рівень напруженості, то нижчий рівень опору крихкому руйнуванню. На цій основі вважали, що метал певного елемента конструкції крана, який відзначився особливо високим рівнем KCV , більше 300 Дж/см², не зазнав відчутної експлуатаційної деградації і його властивості наближено відповідають вихідному стану металу.

Зазначимо ще одну особливість у прогнозуванні поточного рівня опору крихкому руйнуванню експлуатованих сталей. Металоконструкції портових кранів виготовляють в основному з вальцьованого прокату, відповідно проявляється роль текстури у механічних властивостях сталей, в тому числі стосовно ударної в'язкості. Найнижчий рівень KCV властивий поперечним до напрямку вальцювання зразкам, в яких площа руйнування паралельна волокнам текстури. Проблема ускладнюється тим, що експлуатаційна деградація посилює роль текстури, тобто зростають відмінності у рівнях ударної в'язкості поперечних і повздовжніх зразків. Пов'язано це з мікророзшаруванням вздовж волокон текстури, що чітко виявляється мікрофрактографічними дослідженнями [8]. Виявилось також, що такого типу мікропошкодження може підвищувати рівень KCV повздовжніх зразків, оскільки тоді площа макроруйнування пересікатиме тріщини розшарування, а це підвищуватиме енергоємність руйнування.

Висновки. Тривала експлуатація морських портових кранів актуалізує розвиток неруйнівних методів контролю поточних механічних властивостей сталей, які визначають роботоздатність матеріалу, а відтак і конструкції в цілому. До таких властивостей, які зазнають найістотніших експлуатаційних змін, відносять опір металу крихкому руйнуванню, зокрема ударну в'язкість. Приведені науково-технічні та технологічні особливості застосування електрохімічних підходів для прогнозування деградації сталей за показником ударної в'язкості. За електрохімічний показник, особливо чутливий до зміни

стану металу, використано поляризаційний опір, та проаналізовано специфіку його визначення. Запропонована конструкція електрохімічної комірки, адаптована до умов проведення в польових умовах відповідних вимірювань на горизонтальних, вертикальних та похилих поверхнях елементів конструкцій типу фасонного прокату.

Список використаних джерел

1. Технічна діагностика матеріалів і конструкцій: довідн. пос. / Під заг. ред. З. Т. Назарчука. Т. 8: О. Є. Андрейків, В. М. Пустовий, Д. В. Рудавський, І. Я. Долінська, П. О. Семенов. Методи оцінювання залишкової міцності і довговічності елементів конструкцій за даними неруйнівного контролю. – Львів: Простір–М, 2017. – 462 с.
2. Немчук А. О., Стариков М. А. Определение остаточного ресурса металлоконструкций козлового крана. Тр. Одесск. политехн. ун-та 2 (30), 36–39 (2008).
3. Технічна діагностика матеріалів і конструкцій: довідн. пос. / Під заг. ред. З. Т. Назарчука. Т. 6: В. І. Похмурський, І. М. Дмитрах, М. С. Хома, О. Т. Цирульник, І. М. Зінь, М. Д. Сахненко, Ю. С. Герасименко. Методи моніторингу деградації матеріалу конструкцій. оцінювання залишкової міцності і довговічності елементів конструкцій за даними неруйнівного контролю. – Львів: Простір–М, 2017. – 298 с.
4. Деградація сталей в агресивних середовищах, залишковий ресурс обладнання і корозійний моніторинг / О. Г. Архипов, В. А. Борисенко, М. С. Хома, О. В. Любимова-Зінченко. – Луганськ: Вид-во Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2016. – 203 с.
5. Немчук О. О. Вплив експлуатаційного навантаження на корозійну тривкість сталі морського порталного крана. Фіз.-хім. механіка матеріалів, 54, № 1, 121–125 (2018).
6. Role of in-service conditions in operational degradation of mechanical properties of portal cranes steel / Nemchuk O., Hredil M., Pustovoy V., Nesterov O. Procedia Structural Integrity, v.16, 245-251 (2019).
7. Немчук О. О., Звірко О. І. Електрохімічний метод діагностування деградації сталей морських порталних кранів. Фіз.-хім. механіка матеріалів, 56, № 3, 112–118 (2020).
8. Немчук О. О., Кречковська Г. В. Фрактографічне обґрунтування втрати опору крихкому руйнуванню сталі після експлуатації в елементах морського порталного крана. Металофізика і новітні технології, т. 41, випуск 6, 825–836 (2019).

APPLICATION OF THE ELECTROCHEMICAL METHOD FOR A PREDICTION OF IN-SERVICE DEGRADATION OF PORT CRANE STEELS

Nemchuk O. O.

Long-term, often overtime, operation of port structures leads to a significant reduction in the initial mechanical properties of steels, primarily resistance to brittle fracture. Possibilities of using electrochemical approaches to assess the operational degradation of metal structures of port cranes are analyzed. As indicator sensitive to operational change in a condition of steels, polarization resistance is chosen. The specificity of practical application of the electrochemical method as a non-destructive method for predicting the current mechanical properties of steels are demonstrated.

Key words: sea port crane, steel, non-destructive testing, operational degradation, properties prediction.