

*Олексій НЕМЧУК<sup>1</sup>, Павло СЕМЕНОВ<sup>1</sup>, Мирослава ГРЕДІЛЬ<sup>2</sup>*

**ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ТА КОРОЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ  
ЕКСПЛУАТОВАНОЇ СТАЛІ ПОРТАЛЬНОГО КРАНУ**

<sup>1</sup>*Одеський національний морський університет  
вул. Мечникова, 34, м. Одеса, 65029, Україна.*

<sup>2</sup>*Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, Україна. E-mail: mysya.lviv@gmail.com*

*Oleksiy NEMCHUK<sup>1</sup>, Pavlo SEMENOV<sup>1</sup>, Myroslava HREDIL<sup>2</sup>*

**ELECTROCHEMICAL AND CORROSION PROPERTIES  
OF THE OPERATED STEEL OF PORTAL CRANE**

<sup>1</sup>*Odessa National Maritime University  
34, Mechnikova St., Odesa, 65029, Ukraine*

<sup>2</sup>*Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine  
5, Naukova St., Lviv, 79060, Ukraine, E-mail: mysya.lviv@gmail.com*

**ABSTRACT**

Portal cranes are subjected to a combined action of working stresses and severe corrosion environment during their operation, which leads to a worsening of mechanical properties and a reduction of their serviceability. Effect of long term operation on the electrochemical properties of see portal crane steels has been investigated in this paper. It has been shown that electrochemical characteristics can worsen notably in a course of operation. Among them, polarization resistance is especially sensitive to in-service degradation of steels.

**KEY WORDS:** *portal crane, steel, operational degradation, polarization resistance.*

**ВСТУП**

Обладнання морських портів упродовж своєї довготривалої експлуатації піддається сумісному впливу механічних напружень та агресивних середовищ, а саме морської атмосфери, що є особливо корозійно-активною через високий вміст хлоридів. Таке середовище також розглядають як наводнювальне [1, 2]. Ці чинники слід враховувати при обґрунтуванні роботоздатності тривало експлуатованих розвантажувальних конструкцій, зокрема, порталних кранів, які експлуатуються у режимі інтенсивного циклічного навантаження. Довготривала експлуатація за згаданих умов призводить до зниження їх опору крихкому руйнуванню, насамперед, ударної в'язкості [3, 4], призводять до розвитку в сталі мікропошкоджень [4]. Погіршення експлуатаційних характеристик такої сталі спостерігали і після циклічного напрацювання в лабораторних умовах [5–7]. Встановлено, що зниження опору крихкому руйнуванню металу суттєвіше за дії на нього більш високих експлуатаційних напружень [3, 8]. Важливо відзначити, що під час експлуатації крана в різних конструкційних елементах виникають різні напруження [9], і тому можна очікувати, що міра деградації металу цих елементів буде також різною [3]. Враховуючи особливості експлуатації портових конструкцій, для оцінки технічного стану металу порталних кранів та їх залишкової довговічності застосовують не лише відомі неруйнівні методи [10, 11], але й адаптовують електрохімічні підходи [12, 13], оскільки електрохімічні характеристики системи “метал-середовище” також реагують на зміну стану металу, схоже як механічні властивості, і можуть бути застосовані для прогнозування експлуатаційної деградації властивостей матеріалів. Таким чином, зміна електрохімічних властивостей сталі внаслідок експлуатації свідчить про її експлуатаційну

деградацію, а побудувавши кореляційні залежності між змінами електрохімічних та механічних властивостей сталі, можна оцінити поточний технічний стан конструкції. Метою даної роботи було встановити зміну електрохімічних властивостей сталі St38b-2 після її експлуатації впродовж більш як 30 років в якості конструкційних елементів порталних кранів.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ

Об'єкт досліджень – порталні крани, виготовлені з листової сталі St38b-2, склад якої подано в Табл. 1, після їх тривалої експлуатації: “Сокіл”, виготовлені в 1971 р (SI-1) та в 1974 р (SI-5), та “Альбрехт”, виготовлений у 1963 р. (AI-1). Вітчизняним аналогом даної сталі є сталь СтЗсп, яку використали у вихідному стані для порівняння з результатами, отриманими за випроб експлуатованої сталі St38b-2 порталних кранів.

Таблиця 1. Хімічний склад сталі St38b-2 порталних кранів, mass. % [14]  
Table 1. Chemical compound of steel St38b-2 portal cranes, mass. % [14]

C	Si	Mn	P	S	Cr+Cu+Ni	Fe
0,12–0,20	0,17–0,37	0,40–0,65	≤0,045	≤0,050	≤0,7	решта

Електрохімічні дослідження проводили у нейтральному розчині 0,3% NaCl (pH 6,5), що моделює морську атмосферу, а також у розчині 0,3% NaCl, підкисленому хлоридною кислотою до pH 2,0. Раніше показано [5], що чутливість електрохімічних характеристик металу до експлуатаційних змін є вищою в кислому середовищі, оскільки воно усуває окисні плівки на металі. Характеристики сталей (стаціонарний потенціал  $E_{st}$ , густину струму корозії  $i_{cor}$ , константи Тафеля анодної  $b_a$  та катодної  $b_c$  реакції) визначали з поляризаційних кривих, отриманих потенціодинамічним методом за швидкості розгортки потенціалу 1 мВ/с на потенціостаті ІРС-Pro. Використали стандартну триелектродну електрохімічну комірку з насиченим хлорсрібним електродом порівняння та допоміжним платиновим електродом. Температура корозивного середовища становила  $289 \pm 1$  К. Поляризаційний опір  $R_p$  розраховували графо-аналітичним методом за рівнянням Стерна-Гірі [15]:  $\Delta E / \Delta i = R_p = K / i_{cor}$ , де  $K = b_a \cdot b_c / [2,3 \cdot (b_a + b_c)]$  – константа. Проводили по 7 замірів для кожного виду сталі в обох середовищах, похибка вимірювання поляризаційного опору не перевищувала 4%.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Отримані поляризаційні криві свідчать, що сталі St38b-2 та СтЗсп кородують в активному стані (рис. 1, 2).

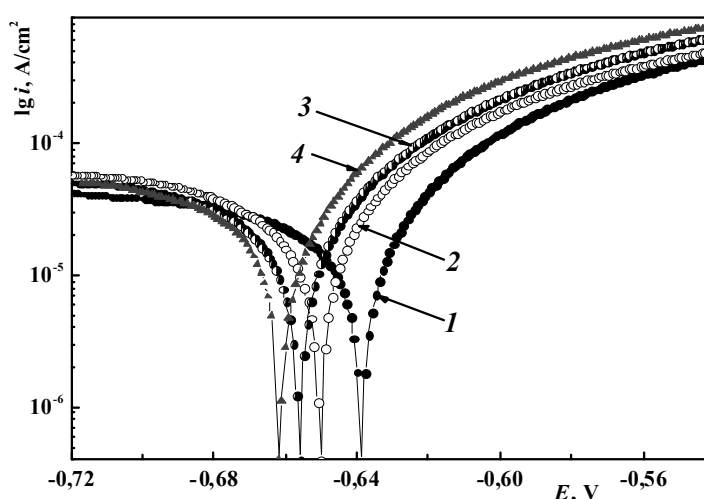


Рис. 1. Поляризаційні криві сталей у 0,3% розчині NaCl з pH 6,5: 1 – СтЗсп, 2 – AI-1, 3 – SI-1, 4 – SI-5.  
Fig. 1. Polarization curves of steels in 0.3% NaCl solution (pH 6.5): 1 – СтЗсп, 2 – AI-1, 3 – SI-1, 4 – SI-5.

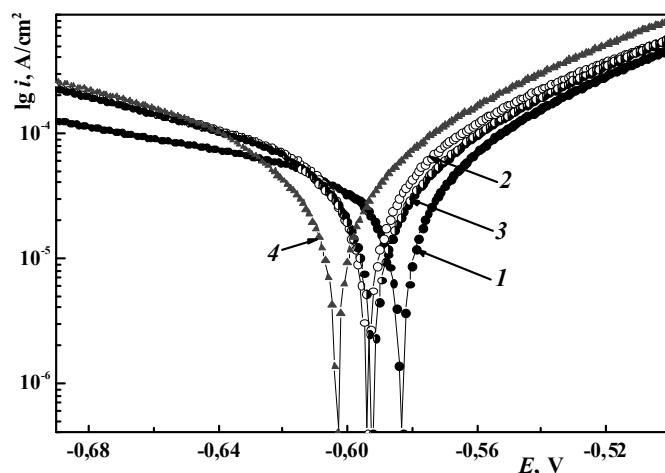


Рис. 2. Поляризаційні криві сталей у 0,3% розчині NaCl з pH 2: 1 – СтЗсп, 2 – Al-1, 3 – Sl-1, 4 – Sl-5.  
 Fig. 2. Polarization curves of steels in 0.3% NaCl solution (pH 2): 1 – СтЗсп, 2 – Al-1, 3 – Sl-1, 4 – Sl-5.

Усім експлуатованим сталям властиве від'ємніше значення  $E_{st}$  та вищі густини струму корозії  $i_{cor}$  порівняно зі сталлю СтЗсп у вихідному стані (табл. 2), що свідчить про електрохімічну активацію сталі внаслідок експлуатації. Інтенсивність протікання як анодних, так і катодних реакцій на експлуатованих сталях є вищою, ніж на сталі СтЗсп.

Таблиця 2. Електрохімічні характеристики досліджених сталей у 0,3% р-ні NaCl з різним pH  
 Table 2. Electrochemical characteristics of investigated steels in 0.3% NaCl with different pH

Матеріал		$E_{st}, V$		$i_{cor} \cdot 10^5, A/cm^2$		$R_p, Ohm \cdot cm^2$	
		pH 6,5	pH 2	pH 6,5	pH 2	pH 6,5	pH 2
СтЗсп		-0,639	-0,583	1,48	1,90	925,6	780,0
St38b-2	Al-1	-0,650	-0,594	1,67	2,49	817,7	595,2
	Sl-1	-0,656	-0,592	1,61	2,22	848,1	667,6
	Sl-5	-0,662	-0,603	1,75	2,37	780,3	625,3

Підкислення корозивного середовища дозволяє усунути поверхневі екранувальні плівки з поверхні кородуючого металу, тому у 0,3% розчині NaCl з pH 2 (рис. 2) корозійна тривкість сталей дещо нижча, ніж у розчині з pH 6,5 (рис. 1), однак тенденція погіршення електрохімічних показників внаслідок експлуатації зберігається. Більше того, у кислому середовищі чутливість електрохімічних властивостей, зокрема, поляризаційного опору, до експлуатаційної деградації сталей зростає (рис. 3).

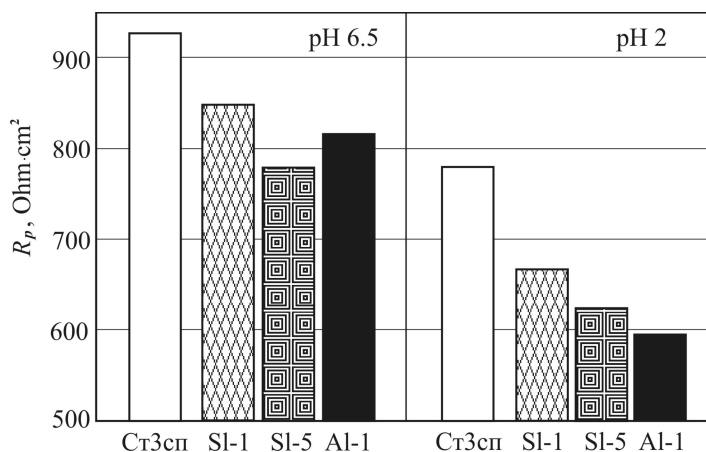


Рис. 3. Поляризаційний опір сталей у 0,3% розчині NaCl з різним pH.  
 Fig. 3. Polarization resistance of steels in 0.3% NaCl with different pH.

Для прикладу, якщо відмінність у поляризаційному опорі сталей СтЗсп та St38b-2 крану Альбрехт у нейтральному розчині 0,3% NaCl становила 11%, то у кислому вона зросла до 24%. Також прослідковується тенденція пониження корозійної тривкості сталі з часом експлуатації, однак маючи лише наявні дані, неможливо стверджувати про певну закономірність, оскільки ступінь деградації металу залежить не лише від тривалості експлуатації, а від сумісної дії усіх експлуатаційних чинників.

## ВИСНОВКИ

Отримано чітку тенденцію до зниження корозійної тривкості сталей порталних кранів після їх тривалої експлуатації. Серед електрохімічних характеристик поляризаційний опір  $R_p$  є достатньо чутливий до експлуатаційної деградації сталей. Чутливість електрохімічних характеристик сталі є вища у кислому середовищі, де усунутий вплив екранувальних плівок на металі.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Hydrogen entry into steel during atmospheric corrosion process / T. Tsuru, Y. Huang, M. R. Ali, A. Nishikata // *Corrosion Science*. – 2005. – Vol. 47, № 10. – P. 2431–2440.
2. Omura T., Kudo T., Fujimoto S. Environmental factors affecting hydrogen entry into high strength steel due to atmospheric corrosion // *Materials Transactions*. – 2006. – №12. – P. 2956–2962.
3. Немчук О. О., Кречковська Г. В. Фрактографічне обґрунтування втрати опору крихкому руйнуванню сталі після експлуатації в елементах морського порталного крана // *Металофізика і новітні технології*. – 2019. – Vol. 41, № 6. – С. 825–836.
4. Немчук О. О., Семенов П. О., Нестеров О. А. Експлуатаційна пошкодженість та її вплив на опір крихкому руйнуванню сталей портових кранів // *Праці VI Міжнародної науково-технічної конференції „Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування“*, 24–27 вересня 2019 р. – Тернопіль: ТНТУ, 2019. – С. 76–79.
5. Пустовой В. М., Рещенко І. О., Звірко О. І. Вплив циклічного напручування на електрохімічну поведінку сталей морських порталних кранів // *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. – 2015. – № 1. – С. 111–115.
6. Рещенко І. О., Фуртатов Ю. В. Вплив попереднього деформування сталей вантажних портових конструкцій на їх експлуатаційні властивості // *Наукові нотатки*. – 2011. – № 32. – С. 339–343.
7. Пустовой В. М., Рещенко І. О. Моделювання експлуатаційної деградації сталей вантажних морських портових конструкцій у лабораторних умовах // *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. – 2012. – № 5. – С. 7–14.
8. Hredil M. Role of corrosion and mechanical factors in operational degradation of sea portal cranes steel. 4th International forum on marine corrosion and fouling (IFMCF 2019): Programme and Abstracts of Int. Conf., 25–26 April 2019. – Ningbo, China. – P. 75–76.
9. Role of in-service conditions in operational degradation of mechanical properties of portal cranes steel / O. Nemchuk, M. Hredil, V. Pustovoy, O. Nesterov // *Procedia Structural Integrity*. – 2019. – 16. – P. 245–251.
10. Технічна діагностика матеріалів та конструкцій: довідн. пос. у 8-ми томах (за заг. ред. З.Т. Назарчука). Т. 8. Методи оцінювання залишкової міцності та довговічності елементів конструкцій за даними неруйнівного контролю / ред. О.Є. Андрейків, В.М. Пустовий, Д.В. Рудавський [та ін]. – Львів: Простір-М, 2017. – 462 с.
11. Nemchuk O. O. Specific features of the diagnostics of technical state of steels of the port reloading equipment // *Materials Science*. – 2018. – 53, № 6. – P. 875–878.
12. Tsyurul'nyk O. T. Application of the electrochemical methods in the diagnostics of the engineering state of structural materials // *Materials Science*. – 2014. – Vol. 49, №4. – P. 449–460.
13. Електрохімічні показники експлуатаційної деградації сталей нафто- і газогонів / О. Цирульник, Г. Никифорчин, З. Слободян та ін. // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. – 2006. – Спецвип. №5, т. 1. – С. 284–289.
14. Schütze M., Roche M., Bender R. Corrosion resistance of steels, nickel alloys, and zinc in aqueous media. – John Wiley & Sons, 2016. – 418 p.
15. Коррозия: Справ. / Под ред. Л. Л. Шрайера: Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1981. – 632 с.