

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАПРАЦЮВАННЯ НА ТРИЩИНОСТІЙКІСТЬ СТАЛЕЙ ПОРТАЛЬНИХ КРАНІВ

Об'єктом дослідження є порталні крани, котрі відпрацювали нормативний термін та експлуатуються в річкових портах. Понаднормова та тривала їх експлуатація в режимі інтенсивного циклічного навантаження та в сукупності зі зміною фізико-механічних властивостей внаслідок корозійної деградації металу загострює проблему зниження їх працездатності. За умов відсутності достатнього фінансування актуальною задачею є встановлення ресурсу кранів, що визначається опірністю втомного руйнування порталних кранів. Метою роботи є встановлення впливу напрацювання в умовах агресивного середовища на характеристики тріщиностійкості зразків металоконструкцій порталних кранів. Для досліджень були використані плоскі зразки, виготовлені зі сталі St38b2, які вирізані з нижньої та задньої полиць хобота, а також стріли порталних кранів типу «Альбатрос», що напрацювали 28, 36 і 45 роки в Херсонському порту. Експериментальні зразки навантажували плоским згином на випробувальній машині з жорстким типом навантаження, частотою 16 Гц, асиметрією циклу  $R = 0,05$ . З отриманих експериментальних кінетичних діаграм втомного руйнування матеріалу видно, що збільшення напрацювання призводить до інтенсифікації росту тріщини на низько- та середньоамплітудних ділянках, зокрема в діапазоні значень  $K=12...30 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$  швидкість збільшується у 1,5-2 рази. Однак в межах високоамплітудної ділянки розбіжності між швидкостями незначні, що узгоджується з даними, наведеними в літературних джерелах [5, 13].

Ключові слова: порталний кран, корозія, сталь St38b2, швидкість росту втомної тріщини.

O.O. NEMMCHUK, V.V. STRELBITSKIY

Odessa National Maritime University

## AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE IMPACT OF AGE ON THE CRACK RESISTANCE OF THE PORTAL CRANES

The subject of the study are portal cranes, which have fulfilled the regulatory deadline and are operated in river ports. Overtime and their long operation in the mode of intensive cyclic loading and in combination with the change of physical and mechanical properties due to corrosion degradation of the metal exacerbates the problem of reducing their efficiency. In the absence of sufficient funding, the urgent task is to install a cranes resource, which is determined by the fatigue resistance of portal cranes. The aim of the work is to establish the influence of operating time in an aggressive environment on the fracture toughness characteristics of metal structures of portal cranes. Flat beam specimens with one-sided incision were used for the studies. They are made of sheet low-carbon ferrite-pearlite grade St38b2 steel (similar to St3sp), and are carved from the bottom and back shelves of the trunk, as well as the right wall of the column of portal cranes of the Albatross type, operated for 28, 36 and 45 years in the port of Kherson. The number of samples from each element is 10. The cut-outs of the samples were chosen taking into account the scheme of the acting stresses in the designs of the crane elements. The flat specimens were loaded with a cantilever bend on a rigid load type test machine with a frequency of 16 Hz, with a cycle asymmetry of 0.05 (close to the sinusoidal shape of the cycle) and an ambient air temperature of 20°C. The values obtained were averaged for each sample group. The results of the experimental studies show that: 1) absorbs the experience of gantry cranes on the characteristics of the fracture toughness of St38b2 steel structures; 2) the increase of time leads to the intensification of the growth of the crack in the low- and medium-amplitude sections, in particular in the range of values  $K = 12... 30 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  the velocity increases in 1.5-2 times. However, within the high-amplitude region, the differences between the velocities are insignificant; 3) the characteristics of the fracture toughness of the samples of metal structures of gantry cranes with a time of 28, 36 and 45 years have not changed significantly.

Keywords: gantry crane, corrosion, St38b2 steel, fatigue crack growth rate.

### Постановка проблеми

Найбільш розповсюдженими перевантажувальними машинами річкових портів є порталні крани, за допомогою яких виконують основний об'єм розвантажувальних робіт. Від їх надійної та безперервної роботи залежить продуктивність порту. Особливу увагу приділяють елементам металоконструкцій, так як понаднормова та тривала їх експлуатація в режимі інтенсивного циклічного навантаження та в сукупності зі зміною фізико-механічних властивостей внаслідок корозійної деградації металу загострює проблему зниження їх працездатності [1–8]. Крім того, експлуатаційне наводнення сталей призводить до інтенсифікації їх пошкоджуваності [8–12]. Небезпека корозійних пошкоджень в тому, що вони можуть слугувати концентраторами втомних тріщин. Слід зазначити, що під час їх проектування конструктори установили чималі запаси міцності. За умов відсутності достатнього фінансування актуальною задачею є встановлення ресурсу кранів, котрий визначається опірністю втомного руйнування порталних кранів.

### Аналіз публікацій

Аналіз проведених досліджень [1–12] показав:

1) міцність та пластичність сталі конструкції кранів, які напрацювали більше 30 років, істотно не змінилися, зате погіршилася ударна в'язкість металу, тобто його опірність крихкому руйнуванню [1–7, 13]; тому можна припустити, що погіршиться й опір втомному руйнуванню.

2) корозійні ушкодження металевих конструкцій порталних кранів мають вигляд язв чи поверхневих ушкоджень, носять випадковий характер та істотно впливають на залишкову довговічність [1–7, 13];

3) зі збільшенням терміну служби знижуються механічні характеристики матеріалів [1, 5, 13];

4) вплив напрацювання неоднозначно позначається на механічних характеристиках втомі [1–7, 13].

Метою роботи є встановлення впливу напрацювання в умовах агресивного середовища на характеристики тріщиностійкості зразків металоконструкцій порталних кранів.

### Виклад основного матеріалу

Для досліджень використані плоскі балочні зразки з одностороннім надрізом (рис. 1). Виготовлені з листової низьковуглецевої ферито-перлітного класу сталі St38b2 (аналог СтЗсп) та вирізані з нижньої та задньої полиць хобота, а також правої стріли порталних кранів типу «Альбатрос», що експлуатувалися протягом 28, 36 і 45 рр. в річковому порту Херсона. Кількість зразків з кожного елемента – по 10.

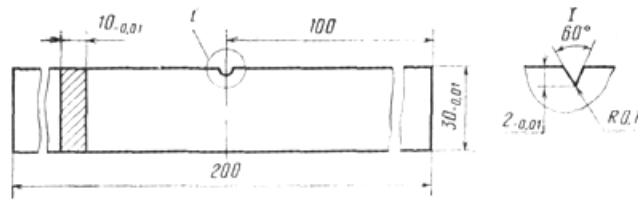


Рис. 1. Експериментальні зразки

Місця вирізання зразків вибирались з врахуванням схеми діючих напружень в конструкціях елементів крана. Для забезпечення необхідних розмірів після вирізання зразки остаточно шліфували (відхилення розмірів не перевищували  $\pm 0,02$  мм). Для покращення спостереження за рухом тріщини бокові поверхні робочої частини полірували, що дозволило за допомогою мікроскопа з точністю до 0,01 мм візуально реєструвати довжину тріщини. У процесі досліджень на заданих режимах випробувань за обома полірованими бічними поверхнями зразків періодично вимірювали довжину тріщини. При цьому фіксувалося відповідне число циклів. Плоскі зразки навантажували консольним згином на випробувальній машині з жорстким типом навантаження, частотою 16 Гц, за асиметрії циклу R 0,05 (наближена до синусоїдальної форми циклу) та температури зовнішнього повітря 20°C.

Отримані значення усереднювали для кожної групи зразків. За отриманими даними будували кінетичні діаграми втомного руйнування «максимальне значення коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН)  $K_{max}$  – швидкість росту тріщини  $da/dN$ » (рис. 2) за методикою [5].

Так як товщини зразків для випробувань на циклічну тріщиностійкість і металевих конструкцій однакові, то з певною ймовірністю можна припустити, що і швидкості росту тріщини для даного мають бути наближені. Це дозволяє використовувати отримані кінетичні діаграми для проведення інженерних розрахунків на довговічність на стадії проектування. Під час досліджень 2 зразки передчасно вийшли з ладу внаслідок прихованих дефектів в металі, крім того на 10 зразках спостерігалось сповільнення швидкості розповсюдження тріщини.

За отриманими експериментальними даними розраховували коефіцієнти  $C$  і  $n$ , характеристики циклічної тріщиностійкості матеріалу на ділянці Періса, за залежністю (1); результати наведені в табл. 1:

$$\frac{da}{dN} = C \Delta K^n \quad (1)$$

Як показав аналіз зразків металоконструкцій корозійні ушкодження проявляються у вигляді язв та поверхневих дефектів. Металографічний аналіз, проведений за допомогою оптичного мікроскопу, показав відсутність міжкристалічної корозії.

За заданої асиметрії циклу експлуатація сталі не вплинула на швидкість росту втомної тріщини.

З отриманих експериментальних кінетичних діаграм втомного руйнування матеріалу встановлено, що збільшення напруження призводить до інтенсифікації росту тріщини на низько- та середньоамплітудних ділянках, зокрема в діапазоні значень  $K_{max}=12...30$  МПа $\cdot$ м<sup>1/2</sup> швидкість збільшується у 1,5-2 рази. Однак в межах низько- та високоамплітудної ділянки розбіжності між швидкостями незначні, що узгоджується з даними наведеними в літературних джерелах [5, 13].

Таблиця 1

Характеристики циклічної тріщиностійкості зразків з сталі St38b2

Елемент крана	Напруження, р.	Характеристики циклічної тріщиностійкості		Коефіцієнт кореляції
		$C$	$n$	
Хобот	28	$6,12 \cdot 10^{-12}$	2,76	0,97
	36	$8,5 \cdot 10^{-12}$	2,74	0,96
	45	$1,4 \cdot 10^{-11}$	2,67	0,98
Стріла	28	$5,81 \cdot 10^{-12}$	2,84	0,97
	36	$8,46 \cdot 10^{-12}$	2,79	0,96
	45	$1,07 \cdot 10^{-11}$	2,81	0,98

### Висновки

За отриманими результатами експериментальних досліджень видно:

1) на характеристики тріщиностійкості зразків металоконструкцій зі сталі St38b2 впливає напруження порталних кранів;

2) збільшення напруження призводить до інтенсифікації росту тріщини на низько- та середньоамплітудних ділянках, зокрема в діапазоні значень  $K=12...30$  МПа $\cdot$ м<sup>1/2</sup> швидкість збільшується у 1,5-2 рази. Однак в межах високоамплітудної ділянки розбіжності між швидкостями незначні;

3) характеристики тріщиностійкості зразків металокопструкцій порталних кранів з напрацюванням 28, 36 і 45 років змінились не суттєво.

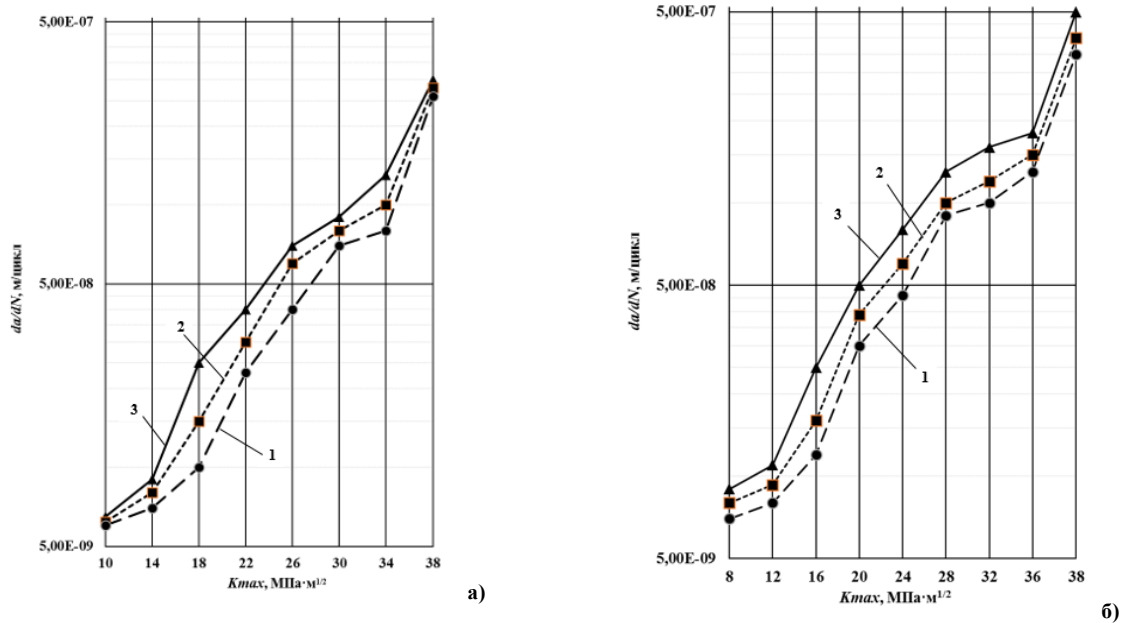


Рис. 2. Кінетичні діаграми втомного руйнування зразків з сталі St38b2, вирізаних з хоботу (а) та стріли (б), що напрацювали 28 (1), 33 (2) та 45 (3) рр.

### Література

- Рещенко І. О. Деградація розрахункових металокопструкцій порталних кранів в умовах тривалої наднормативної експлуатації / І. О. Рещенко, Ю.В. Фуртатов // *Машинознавство*. – 2011. – № 9 – 10. – С. 36–40.
- Немчук О. О. Особливості діагностування технічного стану сталей портового перевантажувального обладнання / О. О. Немчук // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. – 2017. – 53, № 6. – С. 116–118.
- Немчук О. О. Вплив експлуатаційного навантаження на корозійну тривкість сталі морського порталного крана / О. О. Немчук // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. – 2018. – № 5. – С. 121–125.
- Немчук А. О. Определение остаточного ресурса металлокопструкций козлового крана / А. О. Немчук, М. А. Стариков // *Тр. Одесск. политехн. ун-та*. – 2008. – Вып. 2 (30). – С. 36–39.
- Ботвина Л.Р. Высокоцикловое усталостное разрушение малоуглеродистой стали после её длительного старения / Л.Р. Ботвина, И.М. Петрова, И.В. Гадолина, В.П. Левин, Ю.А. Демина, А.П. Солдатенков, М.Р. Тютин // *Заводская лаборатория «Диагностика материалов»*. – 2009. – № 6. Том 75. – С. 44–51.
- Рещенко І.О. Вплив попереднього деформування сталей вантажних портових копструкцій на їх експлуатаційні властивості / І.О. Рещенко, Ю.В. Фуртатов // *Наукові нотатки : міжвуз. зб.* – Луцьк : ЛНТУ, 2011. – Вип. 32. – С. 339–343.
- Харченко Л. Є. Діагностика водневого макророзшарування в стінці гину труби системи магістральних газопроводів / Л. Є. Харченко, О. Є. Кунта, О. І. Звірко, Р. С. Савула, З. А. Дурягіна // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. – 2015. – № 4. – С. 84–90.
- Omura T. Environmental factors affecting hydrogen entry into high strength steel due to atmospheric corrosion / T. Omura, T. Kudo, S.Fujimoto // *Mat. Transactions*. – 2006. – 47, № 12. – P. 2956–2962.
- Никифорчин Г. М. Деградація властивостей сталей магістральних газопроводів упродовж їх сорокарічної експлуатації / Г. М. Никифорчин, О. Т. Цирульник, Д. Ю. Петрина, М. І. Греділь // *Проблеми прочності*. – 2009. – 41, № 5 (401). – С. 66–72.
- Крижанівський Є. І. Особливості корозійно-водневої деградації сталей нафтогазопроводів і резервуарів зберігання нафти / Є. І. Крижанівський, Г. М. Никифорчин // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. – 2011. – 47, № 2. – С. 11–20.
- Никифорчин Г. М. Особливості експлуатаційної деградації копструкційних сталей “в об’ємі” за дії агресивних середовищ / Г. М. Никифорчин, О. Т. Цирульник // *Проблеми прочності*. – 2009. – 41, № 6 (402). – С. 79–94.
- Цирульник О. Т. Деградація властивостей металу зварного з’єднання експлуатованого магістрального газопроводу / О. Т. Цирульник, В. А. Волошин, Д. Ю. Петрина та ін. // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. – 2010. – 46, № 5. – С. 55–58.
- Пустовой В.Н. Металлокопструкции грузоподъемных машин. Разрушение и прогнозирование остаточного ресурса / В. Н. Пустовой. – М. : Транспорт, 1992. – 256 с.

### References

- Reshchenko I. O. Dehradatsiia rozrakhunkovykh metalokonstrukttsii portalnykh kraniv v umovakh tryvaloi nadnornatyvnoi ekspluatatsii / I. O. Reshchenko, Yu.V. Furtatov // *Mashynoznavstvo*. – 2011. – № 9 – 10. – С. 36–40.

2. Nemchuk O. O. Osoblyvosti diahnostuvannia tekhnichnoho stanu stalei portovoho perevantazhuvального obladdannia / O. O. Nemchuk // Fiz.-khim. mekhanika materialiv. – 2017. – 53, № 6. – S. 116–118.
3. Nemchuk O. O. Vplyv ekspluatatsiinoho navantazhennia na koroziiinu tryvkist stali morskoho portального krana / O. O. Nemchuk // Fiz.-khim. mekhanika materialiv. – 2018. – № 5. – S. 121–125.
4. Nemchuk A. O. Opredelenye ostatocnoho resursa metallokonstruktsyi kozlovoho krana / A. O. Nemchuk, M. A. Starykov // Tr. Odessk. polytekhn. un-ta. – 2008. – Выр. 2 (30). – S. 36–39.
5. Botvyna L.R. Vysokotsyklovoe ustalostnoe razrusheniye malouhlerodystoi staly posle eë dlytelnoho starenia / L.R. Botvyna, Y.M. Petrova, Y.V. Hadolyna, V.P. Levyn, Yu.A. Demyna, A.P. Soldatenkov, M.R. Tiutyn // Zavodskaiia laboratoriya «Dyahnostyka materiyalov». – 2009. – № 6. Tom 75. – S. 44–51.
6. Reshchenko I.O. Vplyv poperednoho deformuvannia stalei vantazhnykh portovykh konstruktsii na yikh ekspluatatsiini vlastyvoli / I.O. Reshchenko, Yu.V. Furtatov // Naukovi notatky : mizhvuz. zb. – Lutsk : LNTU, 2011. – Выр. 32. – S. 339–343.
7. Kharchenko L. Ye. Diahnostyka vodnevoho makrorozsharuvannia v stynsi hynu truby systemy mahistralnykh hazoprovodiv / L. Ye. Kharchenko, O. Ye. Kunta, O. I. Zvirko, R. S. Savula, Z. A. Duriagina // Fiz.-khim. mekhanika materialiv. – 2015. – № 4. – S. 84–90.
8. Omura T. Environmental factors affecting hydrogen entry into high strength steel due to atmospheric corrosion / T. Omura, T. Kudo, S. Fujimoto // Mat. Transactions. – 2006. – 47, № 12. – R. 2956–2962.
9. Nykyforchyn H. M. Dehradatsiia vlastyvolei stalei mahistralnykh hazoprovodiv uprodovzh yikh sorokarichnoi ekspluatatsii / H. M. Nykyforchyn, O. T. Tsyrunyk, D. Yu. Petryna, M. I. Hredil // Problemy prochnosti. – 2009. – 41, № 5 (401). – S. 66–72.
10. Kryzhanivskiy Ye. I. Osoblyvosti koroziiino-vodnevoi dehradatsii stalei naftohazoprovodiv i rezervuariv zberihannia nafty / Ye. I. Kryzhanivskiy, H. M. Nykyforchyn // Fiz.-khim. mekhanika materialiv. – 2011. – 47, № 2. – S. 11–20.
11. Nykyforchyn H. M. Osoblyvosti ekspluatatsiinoi dehradatsii konstruktsiinykh stalei “v obiemii” za dii ahresyvykh seredovyshch / H. M. Nykyforchyn, O. T. Tsyrunyk // Problemy prochnosti. – 2009. – 41, № 6 (402). – S. 79–94.
12. Tsyrunyk O. T. Dehradatsiia vlastyvolei metalu zvarnoho ziednannia ekspluatovanoho mahistralnoho hazoprovodu / O. T. Tsyrunyk, V. A. Voloshyn, D. Yu. Petryna ta in. // Fiz.-khim. mekhanika materialiv. – 2010. – 46, № 5. – C. 55–58.
13. Pustovoi V.N. Metallokonstruktsyy hruzopod'emnykh mashyn. Razrusheniye y prohnozyrovanye ostatocnoho resursa / V. N. Pustovoi. – M. : Transport, 1992. – 256 s.

Рецензія/Peer review : 8.12.2019 р.

Надрукована/Printed : 22.01.2020  
Рецензент: д.т.н., проф. Місяць В.П.