

# ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ПОШКОДЖЕНІСТЬ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ОПІР КРИХКОМУ РУЙНУВАННЮ СТАЛЕЙ ПОРТОВИХ КРАНІВ

О. О. Немчук, П. О. Семенов, О. А. Нестеров

Морський національний університет, Одеса, Україна

**Abstract.** Degradation of the mechanical properties of operated portal crane rolled steel is studied. Impact strength *KCV* of the transverse specimens relative to the rolling direction is lower than the longitudinal ones and a strong dependence between the assessed level of in-service stresses and a drop of *KCV* level is established. Fractography analysis showed that the *KCV* decrease is connected with the intensive microdelamination along the rolling direction.

## Вступ.

Понаднормова експлуатація портових кранів в режимі інтенсивного циклічного навантаження загострює проблему зниження їх роботоздатності через деградацію фізико-механічних властивостей металу порівняно з вихідним станом, які принципово важливі для обґрунтування продовження експлуатації конструкцій. Головно це характеристики крихкого руйнування, для прикладу, ударна в'язкість. Зазначимо, що основним конструкційним елементом портових кранів є сталевий фасонний прокат, відповідно, при оцінюванні експлуатаційної деградації сталей слід враховувати текстуру металу, спричинену її вальцюванням [1, 2].

Розглядають різні стадії експлуатаційної деградації сталей, серед яких найнебезпечнішою вважають розвиток мікропошкоджень. Цей чинник ускладнює аналіз механічних властивостей, оскільки попри реальне зменшення опору крихкому руйнуванню може приводити до нетипового, з одного боку, зниження міцності та твердості, а з іншого – до зростання відносного видовження.

Відомо також, що експлуатаційне наводнювання сталей інтенсифікує їх пошкодженість. У цьому зв'язку зазначимо, що морську атмосферу теж вважають наводнювальним середовищем [3], відповідно її слід розглядати агресивною не тільки з огляду корозії металу на поверхні елемента конструкції, але й розвитку пошкоджень “в об'ємі матеріалу”.

Такі підходи в оцінюванні експлуатаційної деградації розвиваються і стосовно сталей морського перевантажувального обладнання [4–6]. Мета даної роботи – проаналізувати роль експлуатаційної мікропошкодженості у формуванні опору крихкому руйнуванню вальцованих сталей портального крану урахуванням текстури матеріалу.

## Методичні особливості експериментальних досліджень.

Об'єкт досліджень – морський портальний кран марки «Сокіл» після 33 років експлуатації, матеріал конструкції – листова низьковуглецева ферито-перлітного класу сталь марки St-38b-2 (вітчизняний аналог сталь СтЗсп). Вибрали низку характерних вузлів з профільним прокатом різної товщини *t*: нижня полиця хобота 16 мм, задня полиця стріли 12 мм, верхня полиця коромисла противаги 10 мм, права стінка колони в районі кронштейна кореневих шарнірів 10 мм, задня стінка колони над машинним відділенням 25 мм. Для кожного з вибраних вузлів виділили дві ділянки, для яких, з одного боку, оцінили відносний рівень експлуатаційного навантаження, а з іншого – ударну в'язкість.

Розрахунковим та експериментальним тензометричним методами [7] визначали розмах напружень  $\Delta\sigma_e$  на поверхні листового прокату вибраних вузлів за навантаження крана, близького до експлуатаційного. Схема навантаження моделювала не лише граничну вагу вантажу 32 т на заданому вильоті стріли, але й розгін механізму підйому та його поворот. Цим максимально наближали умови навантаження під час тензометрії до граничних експлуатаційних. Оскільки реальне навантаження крана було, очевидно,

меншим, то нижчим був і усереднений експлуатаційний рівень напружень. Однак співвідношення між  $\sigma_e$  для різних вузлів крана повинно зберігатися.

Металографічний структури та макрофрактографічний аналіз зламів проводили на оптичному мікроскопі Neophot-21, а мікрофрактографічний – на сканувальному електронному мікроскопі Carl Zeiss EVO-40XVP.

**Залежність опору крихкому руйнуванню від рівня експлуатаційної напруженості.**

Результати експериментів наведені в таблиці та на рис. 1.

**Таблиця.** Рівень  $KCV$  сталі різних елементів крана, Дж/см<sup>2</sup>

Позначення	Елемент крана	$\Delta\sigma_e$ , МПа	Зразки	
			Повздовжні	Поперечні
1	Нижня полиця хобота	130	159	60
2		110	220	95
3	Задня полиця стріли	48	299	114
4		55	310	123
5	Верхня полиця коромисла	45	303	127
6		50	363	177
7	Права стінка колони	120	150	45
8		145	189	53
9	Задня стінка колони	70	227	125
10		100	312	137

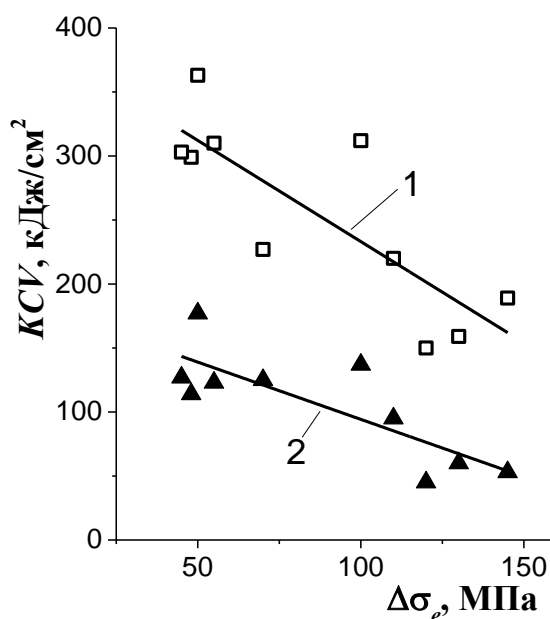


Рис. 1. Залежності  $KCV - \Delta\sigma_e$  для повздовжніх (1) і поперечних (2) зразків, вирізаних з різних ділянок крана.

Отриманий нижчий рівень ударної в'язкості  $KCV_c$  поперечних зразків у порівнянні з повздовжніми ( $KCV_l$ ) загальновідомий для вальцованих сталей, в нашому випадку він зберігається і у випадку досліджень експлуатаційної деградації сталі та узгоджується з літературними даними для експлуатованого металу [8, 9]. Зазначають також, що експлуатаційна деградація металу посилює відмінності у значеннях  $KCV_c$  та  $KCV_l$ . Це однозначно вказує, що деградація металу нерівномірна, вона інтенсивніша в площині вальцювання, що слід пов'язувати зі схильністю сталі до розшарування в результаті тривалої експлуатації крана.

### Фрактографічні дослідження експлуатаційного розшарування.

Порівнювали фрактографічні особливості руйнування зразків з двох ділянок крана, випробуваних на ударну в'язкість. Їх вирізали із найслабше (поз. № 6) і найсильніше (поз. № 7) навантажених під час експлуатації елементів крану. Виділили ділянку зламу одразу за концентратором напружень, яка характеризувала початковий етап руйнування зразка. Стартовій ділянці властивий типовий для ударних випроб таких сталей в'язкий механізм із формуванням ямкового рельєфу (рис. 2).

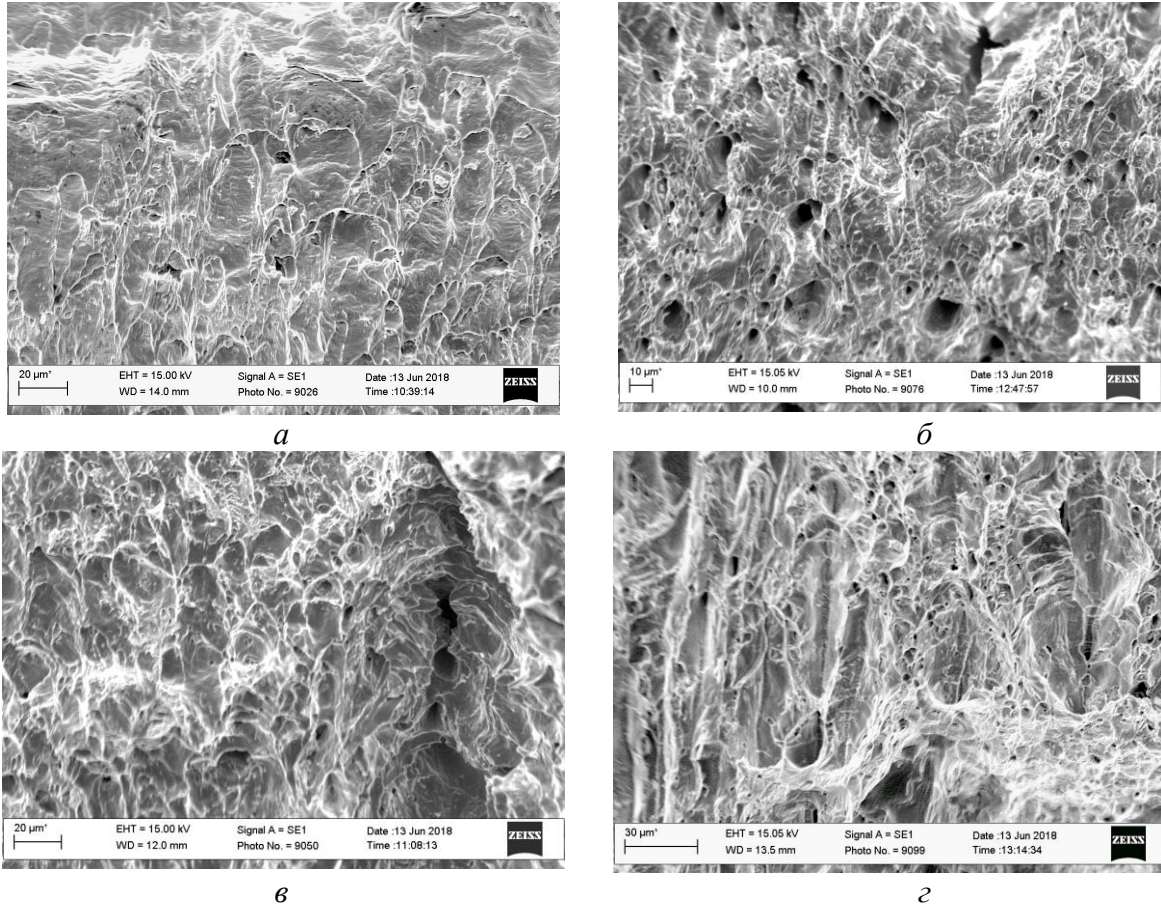


Рис. 2. Мікрофрактограми зламів поблизу концентратора напружень повздовжнього (а, б) і поперечного (в, г) зразків, вирізаних із елементів № 6 (а, в) і № 7 (б, г).

Однак відзначили певні відмінності для зразків різної орієнтації. На зламах повздовжніх зразків виявили плиткі ямки параболічної форми (рис. 2а, б), причому незалежно від рівня експлуатаційних напружень під час експлуатації елемента. На мікрорівні це ознака домінування зсувного механізму деформування металу аж до руйнуванням перетинок між порами. Спостерігали також сліди від включень на зламах у формі доволі великих за розмірами (до 7 мкм) та ще й глибоких ямок. На зламі зразка з металу менш навантаженого елемента (поз. № 6) такі ямки траплялися рідше (рис. 2), тоді як на зламі зразка з максимально навантаженого елемента (поз. № 7) вони домінували (рис. 2б). Звідси зробили висновок, що саме експлуатаційні навантаження відповідальні за декогезію включень від матриці.

У рельєфі зламу поперечних зразків (рис. 2в, г) домінували довгі розшарування в напрямі руйнування, що виникли ще на етапі експлуатації металу вздовж меж неметалевих включень з матрицею. На їх дні спостерігали чіткі сліди цих включень. Розташовані між розшаруваннями прошарки неушкодженого металу поділили робочий переріз зразка на тонкі фрагменти. В межах цих прошарків руйнування відбувалося шляхом утворення об'ємніших, ніж на зламах повздовжніх зразків, практично рівновісних та дрібніших ямок, сформованих за механізмом відриву. В більшій мірі це стосувалося зламу металу, експлуатованого за жорсткіших силових умов експлуатації

(рис. 2з). Відповідно для металу, експлуатованого за нижчого рівня навантаження (рис. 2в), зсувна природа формування ямок залишалася відчутнішою.

#### **Висновки.**

1. Тривала експлуатація крану інтенсивніше знижує ударну в'язкість поперечних зразків, ніж повздовжніх, вирізаних вздовж напрямку вальцювання прокату. Це свідчення інтенсивнішої деградації металу вздовж волокон мікроструктури, що посилює схильність металу до розшарування.

2. Виявлена узгодженість рівня експлуатаційних напружень в конструкційних елементах крану з опором крихкому руйнуванню та виявленими фрактографічними ознаками експлуатаційної деградації сталі: що вищий рівень напружень в елементі під час експлуатації, то нижчий рівень опору крихкому руйнуванню та чіткіше візуалізувалися мікророзшарування в металі між матрицею і витягнутими вздовж волокон текстури вальцювання неметалевими включеннями.

#### **Список використаної літератури**

1. 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.
2. Вплив текстури експлуатованих сталей газопроводів на їх опір крихкому руйнуванню / О. І. Звірко, Н. В. Крет, О. Т. Цирульник, Т. П. Венгринюк // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2018. – 54, № 3. – С. 101–106.
3. Hydrogen entry into steel during atmospheric corrosion process / T. Tsuru, Y. Huang, M. R. Ali, A. Nishikata // Corrosion Science. – 2005. – 47, № 10. – P. 2431–2440.
4. Решенко І.О., Фуртатов Ю.В. Деградація розрахункових металоконструкцій порталних кранів в умовах тривалої наднормативної експлуатації // Машинознавство. – 2011. – № 9 – 10. – С. 36–40.
5. Немчук О. О. Особливості діагностування технічного стану сталей портового перевантажувального обладнання // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2017. – 53, № 6. – С. 116–118.
6. Немчук О. О. Вплив експлуатаційного навантаження на корозійну тривкість сталі морського порталного крана // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2018. – № 5. – С. 121–125.
7. Немчук А. О., Стариков М. А. Определение остаточного ресурса металлоконструкций козлового крана // Тр. Одесск. политехн. ун-та. – 2008. – Вып. 2 (30). – С. 36–39.
8. Krasowsky A. Y., Dolgiy A. A., and Torop V. M. Charpy testing to estimate pipeline steel degradation after 30 years of operation // Proc. “Charpy Centary Conference”, Poitiers. – 2001. – Vol. 1. – P. 489–495.
9. Nykyforchyn H. M., Zvirko O. I., Tsyurulnyk O. T. Hydrogen assisted macrolamination in gas lateral pipe // Procedia Structural Integrity. – 2016. – Vol. 2. – P. 501-508.