

**Ольга ЗВІРКО<sup>1</sup>, Тетяна ВЕНГРИНЮК<sup>2</sup>, Звеномира СЛОБОДЯН<sup>1</sup>,  
Ярослав ХАБУРСЬКИЙ<sup>1</sup>**

## **ПРОТИКОРОЗІЙНИЙ ЗАХИСТ НАСОСНИХ ШТАНГ ВІД ВТОМНОГО РУЙНУВАННЯ**

<sup>1</sup>Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, Україна. E-mail: olha.zvirko@gmail.com

<sup>2</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
вул. Карпатська, 15, 76019, м. Івано-Франківськ, Україна.

**Olha ZVIRKO<sup>1</sup>, Tetiana VENHRYHYUK<sup>2</sup>, Zvenomyra SLOBODYAN<sup>1</sup>,  
Yaroslav KHABURS'KYI<sup>1</sup>**

## **CORROSION PROTECTION OF SUCKER RODS AGAINST FATIGUE FAILURE**

<sup>1</sup>Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine  
5, Naukova St., Lviv, 79060, Ukraine. E-mail: olha.zvirko@gmail.com

<sup>2</sup>Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas  
15, Karpatska St., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine.

### **ABSTRACT**

In the paper, the causes of integrity loss of steel sucker rods under operation were analysed. The sucker rods are made of a full-profile round section of low-alloyed steel and serve to transfer power from the surface to the subsurface pump. Polished rod is one of the most important elements of the sucker rod pump system since it is exposed to the highest loads. It takes maximum load capacity. To increase the lifetime of rods it was proposed to use a special liquid technological environment, which retards fatigue cracks growth due to creation of artificial crack closure effect. Scaled-down experiments on high cycle fatigue of long-term operated sucker rods made of the 20H2M and 35XM steels were carried out. It was revealed, on the one hand, the considerable negative influence of 3% aqueous NaCl solution and, on the other hand, – the significant positive effect of technological environment on fatigue durability of the investigated steels. The noticeable increase in fatigue durability of rods in the technological environment in comparison with that in corrosion environment and in air was observed.

**KEY WORDS:** *steel sucker rod, operational degradation, crack closure effect, fatigue durability.*

### **ВСТУП**

Насосні штанги зазвичай виготовляють зі суцільних циліндричних стержнів з висадженими на кінцях головками з легованих сталей та використовують для передачі зворотно-поступального руху від головки балансира верстата-качалки до плунжера свердловинного штангового насоса. Вони експлуатуються в складних умовах, а саме дії різноманітних навантажень, корозивно-активного середовища за високого тиску, підвищених температур, тощо, що зумовлює часті обриви штанг. Для відновлення работоздатності штангової свердловинної насосної установки проводять дороговартісні ловильні роботи і спуско-підіймальні операції.

Зважаючи на механічні умови експлуатації насосних штанг однією з найважливіших механічних властивостей вважають характеристики багаточислової втомної міцності, а з рахуванням дії корозивно агресивного середовища – корозійно-втомної міцності. Тому підвищення саме втомної довговічності штанг є актуальною науково-технічною проблемою, вирішення якої здатне значною мірою підвищити ресурс цих виробів [1, 2].

Одна із особливостей корозійно-втомного руйнування конструкційних сталей порівняно з руйнуванням у повітрі полягає у посиленні середовищем ролі стадії росту тріщини у

довговічності елементів конструкцій [3], оскільки зниження руйнівних напружень через дію середовища означає перехід до спонтанного руйнування за більшої глибини тріщини. Звідси підвищення корозійно-втомної витривалості сталевих штанг слід розглядати як важливий спосіб підвищення їх довговічності, що було метою даної роботи.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Досліджували насосні штанги діаметром 19 mm двох марок сталей, 20Н2М та 35ХМ, після вичерпання їх планового ресурсу ( $\sim 20 \cdot 10^6$  cycles навантаження), тому можна було очікувати впливу як експлуатаційної деградації металу, так і поверхневої пошкодженості за їх випроб.

Механічні характеристики сталі 20Н2М: границя міцності  $\sigma_b = 750$  МПа, границя плинності  $\sigma_T = 650$  МПа, відносне видовження  $\delta_5 = 18\%$  відносне звуження  $\psi = 56\%$ ; сталі 35ХМ:  $\sigma_b = 588$  МПа,  $\sigma_T = 382$  МПа,  $\delta_5 = 21\%$ ,  $\psi = 56\%$ . Слід відзначити незначні відмінності у характеристиках пластичності за істотної різниці у міцності досліджуваних сталей.

На втому випробувували частину (зі сторони головки) попередньо експлуатованої штанги із загальною довжиною 350 mm. Таким чином, основну частину такого напівнатурного зразка складала робоча частина штанги, яка, як показала практика експлуатації, найвразливіша до руйнування від циклічного навантаження [1]. Для експериментів на втому використали спеціальну установку ЗКШ-25 з консольним навантаженням таких штанг-зразків обертовим згином частотою  $\sim 16$  Hz [4]. За застосованої схеми навантаження штанга руйнувалася на робочій частині відразу за гальмівним переходом від головки. Для випадку випробувань у рідкому середовищі на частині зразка у місці його ймовірного руйнування кріпили відповідну камеру, яку заповнювали корозивним чи технологічним середовищем. Будували криві витривалості “напруження  $\sigma$  – кількість циклів до руйнування  $N$ ”. База випробувань була в області багатоциклової втоми ( $10^7$  cycles). Корозивне середовище – 3%-ий водний розчин NaCl.

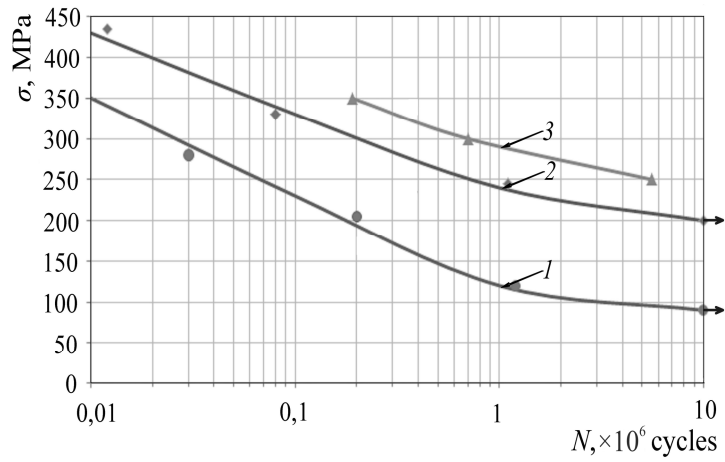
Спосіб підвищення втомної міцності насосних штанг полягав у використанні спеціального рідкого технологічного середовища [5], яке за механізмом штучного створення закриття втомних тріщин гальмує їх ріст [6, 7]. Зазначимо, що це загалом відомий спосіб [8–10], однак, виникають складнощі щодо технологічності його використання. Технологічне середовище, подібно як корозивне, подавали в камеру, у яку занурювали робочу частину зразка.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

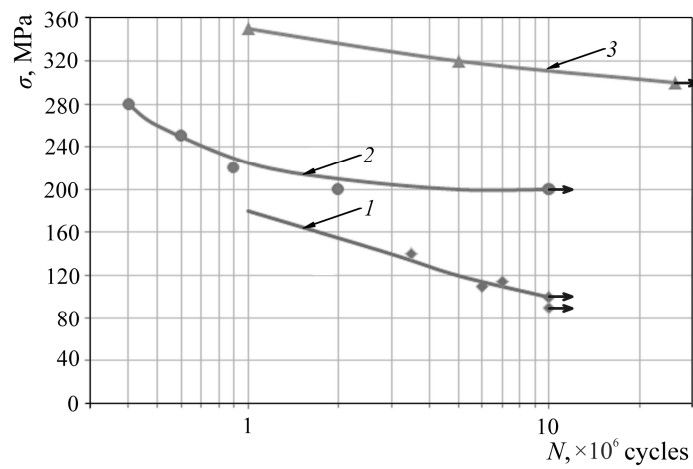
Результати циклічних випроб досліджуваних сталей наведено на рис. 1. Спостерігали значне зниження втомної міцності обох сталей у корозивному середовищі. Так, умовна границя витривалості на базі  $10 \cdot 10^6$  cycles у корозивному середовищі була приблизно вдвічі нижчою за границю витривалості у повітрі для обох сталей і склала  $\sim 200$  МПа. Цей рівень корозійно-втомної міцності відповідає загальним закономірностям впливу водних середовищ на умовну границю витривалості конструкційних сталей [11].

Використання спеціального технологічного середовища не тільки усунуло негативний вплив корозивного середовища, що можна було б розглядати як його інгібіторний ефект, але й істотно підвищило втомну міцність сталей порівняно з випробами у повітрі (рис. 1). Тобто спостерігали зміцнювальний вплив технологічного середовища, який можна пояснити саме гальмуванням росту втомної тріщини за рахунок штучного створення ефекту закриття тріщини.

На рис. 2 наведено приклад макрозламу штанги після її випроб на втомну міцність у спеціальному технологічному середовищі. Спостерігали обширну зону втомного росту тріщини з боку зовнішньої поверхні штанги, яка займала більшу частину зламу, що підтвердило висловлене раніше припущення про важливу роль стадії поширення тріщини у руйнуванні насосних штанг. Зона доламу займала центральну частину поверхні руйнування і відзначалася плоским макрокрихким характером. Крім того, поверхня зламу була покрита темними продуктами взаємодії металу з технологічним середовищем, при цьому зона втомного росту тріщини була істотно темнішою, що вказує на інтенсивнішу взаємодію металу з середовищем в процесі втомного росту тріщини.



*a*



*b*

Рис. 1. Криві втомної міцності сталей 20H2M (а) і 35XM (b) під час випроб у повітрі (1), 3% NaCl (2) і за використання спеціального технологічного середовища (3).

Fig. 1. Fatigue strength curves for the 20H2M (a) and 35XM (b) steels tested in air (1), in 3% NaCl solution (2) and the special technological environment (3).



Рис. 2. Втомний злам штанги зі сталі 20H2M.

Fig. 2. The fatigue fracture surface of the rod of 20H2M steel.

Щільна плівка продуктів корозії могла виконувати також роль покриття на штанзі і чинити таким чином опір виходу ліній ковзання на поверхню в процесі циклічного навантаження, тобто механічно зміцнювати робочу поверхню штанги, подібно як зміцнюють та гальмують втомні тріщини на зовнішній поверхні газопроводів нанесенням ремонтних покривів під тиском [9]. Оскільки робоча поверхня штанги могла вже містити експлуатаційні пошкодження у вигляді дрібних втомних тріщин, то за таких умов стадія зародження тріщини могла бути відсутньою. У такому випадку експериментально отриманий позитивний ефект можна пояснити тільки гальмуванням росту втомної тріщини за рахунок зменшення розмаху циклічних напружень, спричинених збільшенням закриття тріщини.

## ВИСНОВКИ

Досліджено втомну міцність насосних штанг проведенням напівнатурних експериментів. Показано, що 3%-ий розчин NaCl істотно знижує багатоциклово втомну міцність тривало експлуатованих сталей 20Н2М і 35ХМ насосних штанг. Використання спеціального технологічного середовища не тільки усунуло негативний вплив корозивного середовища на втомну міцність штанг, але й істотно підвищило втомну міцність сталей порівняно з випробами у повітрі. Це вказує на зміцнювальний ефект технологічного середовища. Застосування технологічного середовища при експлуатації насосних штанг шляхом наповнення спеціальних камер на ділянках тіла штанг, які є найвразливішими до втомного руйнування (поблизу головок), є перспективним методом підвищення їх втомної витривалості у польових умовах.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Копей Б. В., Копей В. Б., Копей І. Б. Насосні штанги свердловинних установок для видобування нафти. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. 2009. – 406 с.
2. Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. пос. / Під заг. ред. В. В. Панасюка. Т. 10: Міцність та довговічність нафтогазового обладнання / В. І. Похмурський, Є. І. Крижанівський, В. М. Івасів та ін. Під ред. В. І. Похмурського, Є. І. Крижанівського. – Львів; Івано-Франківськ: Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України; Івано-Франк. нац. техн. ун-т нафти і газу, 2006. – 1193 с.
3. Механика разрушения и прочность материалов: Справ. пос. в 4-х т. / Под общ. ред. В. В. Панасюка. – Т. 4: Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов / О. Н. Романив, С. Я. Ярема, Г. Н. Никифорчин и др. – К.: Наук. думка, 1990. – 680 с.
4. Копей Б. В., Кузьмін О. О., Онищук С. Ю. Обладнання для попередження відкладень асфальтосмолистої речовини, парафіну та піску: Т. 3: Нафтогазове обладнання. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. – 216 с.
5. Патент на корисну модель № 128514. Спосіб гальмування росту втомної тріщини. Никифорчин Г. М., Пустовий В. М., Слободян З. В., Хабурський Я. М., Барна Р. А., Звірко О. І., Крет Н. В. Заявл. 05.03.2018. Публ. 25.09.2018 р. Заявка № U 2018 02248, Бюл. № 18. 4 с.
6. Khaburskiy Ya., Nykyforchyn H. Chemical method of fatigue and corrosion fatigue crack growth arrest in steels by metal treatment with the special technological environment // Proc. Struct. Integrity. – 2018. – 13. – P. 1651–1656.
7. Effective method for fatigue crack arrest in structural steels based on artificial creation of crack closure effect / Ya. Khaburskiy, Z. Slobodyan, M. Hredil, H. Nykyforchyn // Int. J. of Fatigue. – 2019. – 127. – P. 217–221.
8. Новый способ повышения циклической трещиностойкости деталей конструкций / Г. Н. Никифорчин, О. Н. Романив, Б. Н. Андрусив, В. Г. Здановский, А. В. Василик, Б. И. Чемеринский // Физ.-хим. механика материалов. – 1985. – 21, № 2. – С. 92–93.
9. Венгринюк Т. П. Гальмування втомних тріщин нанесенням на газопроводи під тиском ремонтного покриву // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2012. – № 6. – С. 45–48.
10. Tagawa T., Aoki H. Fatigue crack retardation by silicon carbide powder paste infiltration under different cyclic stress conditions // Welding Int. – 2016. – № 12. – P. 899–907.
11. Похмурський В. І., Хома М. С. Корозійна втома металів та сплавів. – Львів: Сполом, 2008. – 304 с.