

УДК 621.875

DOI 10.47049/2226-1893-2023-4-96-102

**ПІДВИЩЕННЯ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ  
ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ПОРТАЛЬНОГО КРАНА  
ОБРОБКОЮ СПЕЦІАЛЬНИМ ТЕХНОЛОГІЧНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ**

**О.А. Нестеров**

аспірант кафедри «Підйомно-транспортні машини  
та інжиніринг портового технологічного обладнання»

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8717-5289>

e-mail: [shury.nesterov@gmail.com](mailto:shury.nesterov@gmail.com)

*Одеський національний морський університет, Одеса, Україна*

**Анотація.** На прикладі вантажної лебідки порталного крана опрацьовано технічну реалізацію методу підвищення втомної міцності відповідальних елементів конструкцій використанням спеціального технологічного середовища.

Розроблено конструкцію камери з інертного матеріалу, яка герметично оточує ділянку з високим ризиком зародження втомної тріщини, в яку подають водний розчин запропонованого технологічного середовища.

**Ключові слова:** вантажна лебідка, вуглецева сталь, втомний ріст тріщини, границя витривалості.

UDC 621.875

DOI 10.47049/2226-1893-2023-4-96-102

**FATIGUE STRENGTH INCREASE OF PORTAL  
CRANE STRUCTURAL ELEMENTS  
BY THE SPECIAL TECHNOLOGICAL ENVIRONMENT TREATMENT**

**O. Nesterov**

PhD student of the Department of «Hoisting and Transport Machines  
and Engineering of Port Technological Equipment»

*Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine*

**Abstract.** The method of increasing the fatigue strength of a cargo winch made of St.3sp steel, in the wall of which operational fatigue cracks appear in the zone of the welded joint with the shaft, is substantiated. The basis of the strengthening method is the usage of a special technological environment with the unique ability of completely retard the growth of fatigue cracks in structural steels.

© Нестеров О.А., 2023

*A significant increase in the endurance limit of steel was revealed by experiments of the fatigue strength under the influence of the technological environment. It demonstrated that the method is effective not only for retarding fatigue crack growth, but also for increasing fatigue strength in general. Accordingly, the method can be used for increasing the durability of local areas of crane structures with a significant risk of fatigue damaging.*

*The technical implementation of the method has been worked out. The construction of a chamber made of inert material, surrounding the winch area with a high risk of fatigue crack initiation hermetically and filling in with the aqueous technological solution, has been developed.*

**Keywords:** cargo winch, carbon steel, fatigue crack growth, endurance limit.

**Постановка проблеми.** Основні конструкції перевантажувального обладнання експлуатуються в режимі інтенсивного циклічного навантаження, тому їх руйнування часто зумовлене зародженням та розвитком втомних тріщин. Звідси розроблення методів гальмування цих стадій втомного руйнування важливе для підвищення довговічності елементів конструкцій з високим ризиком порушення їх цілісності.

Зазначимо, що нормативи експлуатації такого обладнання не допускають продовження їх експлуатації при виявленні дефектів типу тріщин. Однак актуальне використання методів для запобігання появи та гальмування поширення втомних тріщин і за рахунок такого ефекту підвищення довговічності металоконструкції. Одним з таких методів є використання спеціального технологічного середовища (СТС) [1], яке може повністю загальмувати ріст втомних тріщин у конструкційних сталях навіть за порівняно високих швидкостей їх поширення, як це описано у низці публікацій [2-4]. Механізм позитивного впливу СТС полягає у штучному створенні так званого закриття втомної тріщини за рахунок інтенсивного утворення твердих продуктів взаємодії металу берегів тріщини з СТС. Ці продукти заповнюють порожнину тріщини і запобігають закриттю тріщини у півциклі розвантаження, що в кінцевому результаті мінімізує розмах циклічних деформації в околі вершини тріщини. З іншого боку, це технологічне середовище виявилось високо-ефективним і для підвищення втомної витривалості сталей, які використовуються у нафтовидобуванні та експлуатуються в режимі багатоциклового навантаження [5]. Однозначно, що гальмування стадії росту тріщини сприятиме цьому, однак не виключено, що СТС уповільнює і стадію зародження тріщини.

**Ціль праці** – на прикладі вантажної лебідки порталного крану обґрунтувати використання СТС для підвищення втомної міцності конструкційних сталей перевантажувального обладнання.

**Результати досліджень.** Проблема полягає у порушенні цілісності корпусу лебідки в зоні зварного з'єднання між торцевою стінкою корпусу з листової сталі Ст.Зсп та валом зі сталі 20 (рис. 1 а). Експертиза стану лебідок такого типу часто виявляє тріщину у зоні зварного з'єднання, яка поширюється в бік стінки (рис. 1 б).

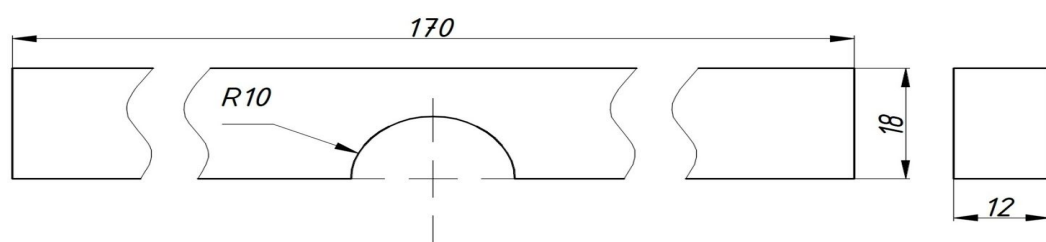


Рис. 1. Вигляд фронтальної частини вантажної лебідки портального крана (а) і тріщина у стіні корпусу лебідки (б) після 35 років експлуатації

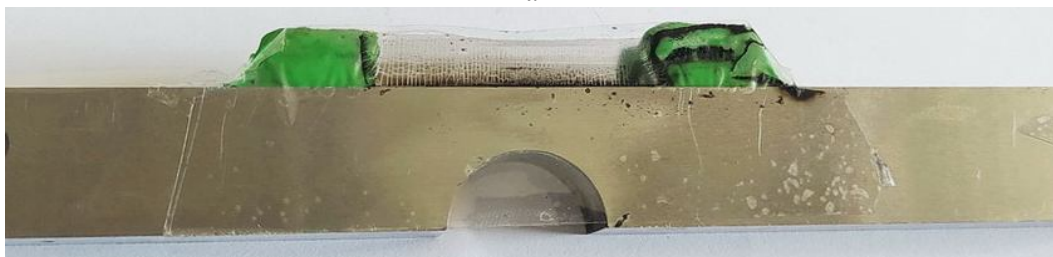
Провели експерименти на втомну міцність сталі Ст.3сп феритно-перлітного класу стінки вантажної лебідки, використовуючи спеціальної геометрії призматичні балкові зразки (рис. 2 а), вирізані вздовж напрямку вальцювання, січенням 12x18 мм і довжиною 170 мм. Зразки в центральній частині мали круговий піввиріз радіусом 10 мм. Зразки навантажували циклічним консольним згином за жорсткою схемою, при цьому розтягувальні напруження залягали на гладкій поверхні, тоді як стискальні – на поверхні вирізу. Така схема за пульсуючого циклу навантаження давала можливість проводити дослідження втомної міцності гладкої поверхні з локалізацією над вирізом місця зародження та поширення втомної тріщини. Частота циклічного навантаження  $f$  була 10 Гц за випробувань у повітрі та 3 Гц за експериментів у СТС. Допускали, що втомна міцність у повітрі не буде залежати від частоти  $f$ , тоді як за випробувань в СТС ефект середовища очікується сильнішим при її зменшенні.

Результати втомних випробувань представляли у вигляді кривих втомної витривалості, які будували у напівлогарифмічних координатах  $\sigma_{\max} - \lg N$ , де  $\sigma_{\max}$  – максимальне напруження циклу,  $N$  – кількість циклів навантаження. Під час експерименту підтримували постійний рівень циклічних напружень на базі  $2 \cdot 10^6$  циклів. На їх основі визначали границю витривалості за віднульового циклу навантаження  $\sigma_0$ .

СТС подавали на плоску поверхню зразка, відкриту до атмосфери. Застосовуючи буртики з інертного матеріалу, а також бокові обмежувачі з клейкої прозорої стрічки, регулювали робочу частину зразка і висоту розчину над його верхньою поверхнею біля 2-3 мм (рис. 2 б). Після подавання СТС поверхня зразка, яка з ним контактувала, набувала впродовж 5-10 хв. темного кольору (рис. 2 в). Це вказує на високу активність СТС у взаємодії зі сталлю феритно-перлітного класу.



a



б



в

*Рис. 2. Геометрія балкового зразка  
для визначення втомної витривалості сталей (а), його адаптація  
для використання СТС (б) та поверхня після витримуванні в СТС (в)*

На рис. 3 наведено криві витривалості сталі для двох варіантів випробувань, у повітрі та в СТС. Отримано істотний позитивний вплив СТС, особливо на границю витривалості, її рівень зріс від 220 до 255 МПа. Водночас відмінності для високих рівнів  $\sigma_{\max}$  незначні. Це вказує на важливу роль чинника часу в ефекті від застосування СТС, подібно як за дії корозивних середовищ на втомну міцність сталей. Тобто зниження частоти циклічного навантаження посилює вплив технологічного чи корозивного середовищ. Однак існує принципова відмінність у прояві СТС і корозивних середовищ на втомне руйнування: у першому випадку властивий позитивний ефект, тоді як в другому – негативний.

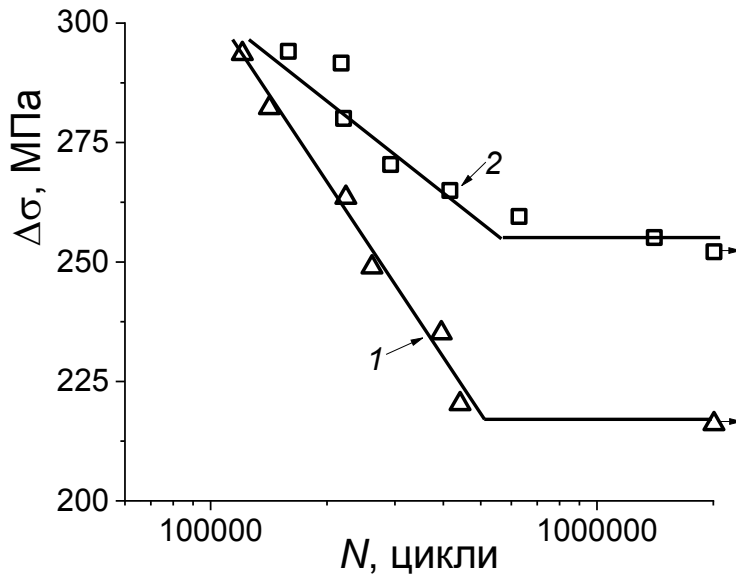


Рис. 3. Криві витривалості сталі Ст.3сп у повітрі (1) та в СТС (2)

Отримані результати можна аналізувати з двох позицій, беручи до уваги, що довговічність зразка складається з тривалості стадій зародження та поширення тріщин. Застосування СТС однозначно гальмує ріст втомних тріщин в середньо-амплітудній області навантаження аж до їх повної зупинки через штучне створення ефекту закриття тріщини [2-4]. Тобто потенційне утворення втомної тріщини супроводжувалося би її подальшим нерозповсюдженням. Прояв тільки цього чинника міг би вплинути позитивно на втомну міцність сталі. Разом з тим рис. 2в демонструє формування темної плівки внаслідок взаємодії СТС з металом, яка може слугувати бар'єром для виходу дислокацій на поверхню, підвищуючи цим опір зародженню тріщини і, відповідно, границю витривалості [7]. Не виключено, що реалізуються два механізми позитивного впливу СТС на втомну міцність сталі. Таким чином, незалежно від механізму позитивного впливу СТС, відкриваються перспективи для практичної реалізації даного методу на реальних об'єктах морського портового обладнання.

Опрацьовано технічну реалізацію застосування СТС на прикладі вантажної лебідки. Сконструйовано прозору, виготовлену з інертного матеріалу, камеру, яка герметично охоплює перехід від валу до стінки корпусу лебідки і саму стінку (рис. 4), тобто зону з високим ризиком втомного руйнування. Камера заповнюється СТС та, обертаючись разом з корпусом, сприяє перемішуванню розчину.

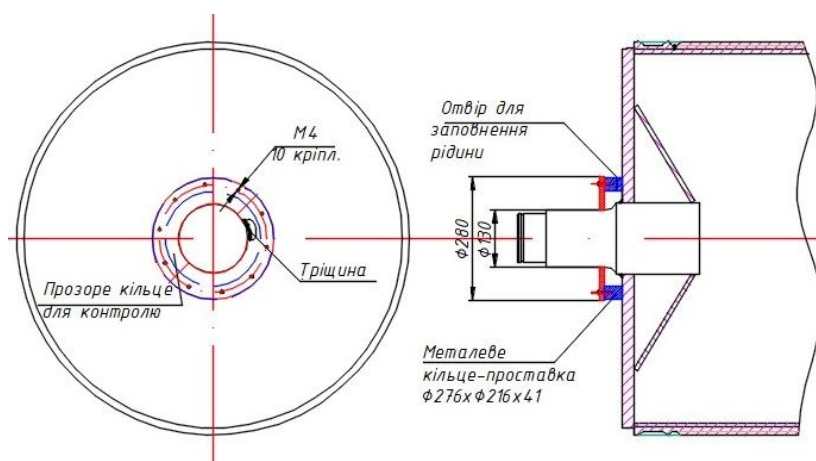


Рис. 4. Схематичне зображення камери для кріплення на вантажній лебідці

**Висновки.** Встановлено позитивний вплив спеціального технологічного середовища на втомну витривалість вуглецевої сталі Ст.3сп стінки барабана вантажної лебідки тривало експлуатованого порталного крана. Середовище утворює на сталі темну поверхневу плівку, як продукт взаємодії з металом, яка утруднює утворення втомних тріщин. Розроблено технологічну процедуру використання методу в польових умовах.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент України № 128514. Спосіб гальмування росту втомної тріщини / Г.М. Никифорчин, З.В. Слободян, Я.М. Хабурський, В.М. Пустовий, О.І. Звірко, Н.В. Крет – Бюл. № 18. – 2018.
2. Khaburskyi Ya., Nykyforchyn H. Chemical method of fatigue and corrosion fatigue crack growth arrest in steels by metal treatment with the special technological environment // *Procedia Structural Integrity*. – 2018. Vol. 13. – P. 1651-1656.
3. Effective method for fatigue crack arrest in structural steels based on artificial creation of crack closure effect / Ya. Khaburskyi, Z. Slobodyan, M. Hredil, H. Nykyforchyn // *International Journal of Fatigue*. – 2019. – Vol. 127. – P. 217-221.
4. Lesiuk G., Nykyforchyn H., Zvirko O., Mech R., Babiarczuk B., Duda S., Farello J.M.A., Correia J.A.F.O. Analysis of the Deceleration Methods of Fatigue Crack Growth Rates under Mode I Loading Type in Pearlitic Rail Steel // *Metals* – 2021, 11(4). – P. 584, 13 p.
5. Kopei B.V., Zvirko O.I., Venhrynyuk T.P., Slobodyan Z.V., Shtoiko I.P. Elevation of the fatigue strength of pump rods as a result of treatment with a special medium // *Materials Science*. – 2020. Vol. 56. – P. 125-131.

6. Волошин В. Корозійно-втомна міцність вуглецевої сталі з урахуванням кавітаційної дії водогінної води // Фізико-хімічна механіка матеріалів. Спец. випуск № 12. – 2018. – С. 54-57.
7. Polak J., Man J., Mechanisms of extrusion and intrusion formation in fatigued crystalline materials // Materials Science Engineering, ser. A. – 2013. – Vol. 596. – P. 15-24.

#### REFERENCES

1. Patent of Ukraine N 128514. The method of fatigue crack growth retardation / H.M. Nykyforchyn, Z.V. Slobodyan, Ya. M. Khaburskyi, V.M. Pustovyi, O.I. Zvirko, N.V. Kret. – Bul. N 18/ 2018.
2. Khaburskyi Ya., Nykyforchyn H. Chemical method of fatigue and corrosion fatigue crack growth arrest in steels by metal treatment with the special technological environment // Procedia Structural Integrity. – 2018. Vol. 13. – P. 1651-1656.
3. Effective method for fatigue crack arrest in structural steels based on artificial creation of crack closure effect / Ya. Khaburskyi, Z. Slobodyan, M. Hredil, H. Nykyforchyn // International Journal of Fatigue. – 2019. – Vol. 127. – P. 217-221.
4. Lesiuk G., Nykyforchyn H., Zvirko O., Mech R., Babiarczyk B., Duda S., Farelo J.M.A., Correia J.A.F.O. Analysis of the Deceleration Methods of Fatigue Crack Growth Rates under Mode I Loading Type in Pearlitic Rail Steel // Metals. – 2021, 11(4). – 584 p.
5. Kopei B.V., Zvirko O.I., Venhrynyuk T.P., Slobodyan Z.V., Shtoiko I.P. Elevation of the fatigue strength of pump rods as a result of treatment with a special medium // Materials Science. – 2020. Vol. 56. – P. 125-131.
6. Voloshyn V. Corrosion-fatigue strength of the carbon steel with taking into account of taper water cavitation action // Physico-chemical Mechanics of Materials. Spec. issue N 12. – 2018. – P. 54-57.
7. Polak J., Man J., Mechanisms of extrusion and intrusion formation in fatigued crystalline materials // Materials Science Engineering, ser. A. – 2013. – Vol. 596. – P. 15-24.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2023

**Посилання на статтю: Нестеров О.А.** Підвищення втомної міцності елементів конструкцій порталного крана обробкою спеціальним технологічним середовищем // Вісник Одеського національного морського університету: 36. наук. праць, 2023. № 4 (71). С. 96-102. DOI 10.47049/2226-1893-2023- 4-96-102.

Article received 20.03.2023

**Reference a journalartic: Nesterov O.** Fatigue strength increase of portal crane structural elements by the special technological environment treatment // Herald of the Odesa national maritime university: Coll. scient. works, 2023. № 4 (71). 96-102. DOI 10.47049/2226-1893-2023-4-96-102.