

Пустовий В. М.¹
Немчук О. О.¹
Семенов П. О.¹
Греділь М. І.²

ЛАБОРАТОРНИЙ ЕКСПРЕС-МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ СТАЛЕЙ ПОРТОВИХ КРАНІВ

¹Одеський національний морський університет МОН України

²Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України

Анотація

Експлуатаційну деградацію металоконструкцій портових кранів змодельовано у лабораторних умовах багатоцикловим навантаженням. Виділено три стадії деградації механічних властивостей сталей портових металоконструкцій. На першій стадії чутливі до циклування характеристики змінюються практично в однаковій мірі: підвищується твердість і значно знижуються відносне видовження і ударна в'язкість. Другій стадії властива поява і розвиток мікротріщин, що майже наполовину знижує ударну в'язкість. Після утворення макротріщини на третій стадії подальше циклічне навантаження практично не впливає на механічні властивості сталей.

Ключові слова: портові крани, експлуатаційна деградація, сталі, циклічне навантаження.

Металоконструкції портових кранів експлуатуються за умов багатоциклового навантаження, Традиційні підходи до оцінки їх планового ресурсу є малоприматні для обґрунтування наднормативної безпечної експлуатації таких конструкцій. Вони оперують вихідними характеристиками металу, а тривала експлуатація, особливо в режимі інтенсивного циклічного навантаження, спричиняє деградацію механічних властивостей. Врахування цього чинника в прогнозуванні залишкової міцності металоконструкцій портових кранів принципово змінює його методологію [1–4]. В її реалізації важливо опиратися на лабораторні експрес-методи деградації сталей, які би максимально враховували умови їх експлуатації.

У роботі досліджували вплив попереднього циклічного навантаження розтягом на механічні властивості сталей 09Г2С та 17ГС портових вантажопіднімальних кранів. Твердість сталі після циклування істотно (до 20%) підвищилась, границя плинності $\sigma_{0,2}$ дещо зросла, границя міцності σ_B та відносне звуження ψ практично не змінилися, тоді як відносне видовження δ має чітку тенденцію зниження до 15%. Найбільше знизилася ударна в'язкість, до 55% від рівня KCV вихідного металу.

Досліджено також вплив тривалості циклування (кількість циклів навантаження N_k) на базові механічні властивості сталей за певного рівня напружень σ_{\max} – 380 і 350 МПа для сталей 09Г2С і 17ГС відповідно. Рівень прикладених до зразка напружень представили відношенням N_k / N_f , де N_f – прогнозована, за кривою обмеженої довговічності, кількість циклів до руйнування (рис. 1). На отриманих залежностях для найчутливіших до циклування характеристик (δ , HRB та KCV) виділили три характерні стадії: I стадія – до 30% втомної довговічності, інтенсивна зміна цих властивостей (інкубаційний період); II стадія – від 30 до 70% довговічності, стабільне відносне видовження на гранично низькому рівні, подальше незначне зростання твердості і ще різкіший спад ударної в'язкості (період інтенсивного розвитку розсіяної пошкодженості на мікрорівні); III стадія – практична незмінність вказаних характеристик (період розвитку макротріщини до критичного розміру).

Зміну механічних властивостей сталей внаслідок їх циклування можна пов'язати з певними процесами у низькоміцних сталях за багатоциклового навантаження. Зокрема, стадії I властиве деформаційне зміцнення і вичерпання пластичності, тоді як стадії II – інтенсивний розвиток множинної мікропошкодженості. На стадії III розвитку макротріщин, вони, очевидно, розвантажують матеріал в інших локальних областях, тому процес втоми в них припиняється.

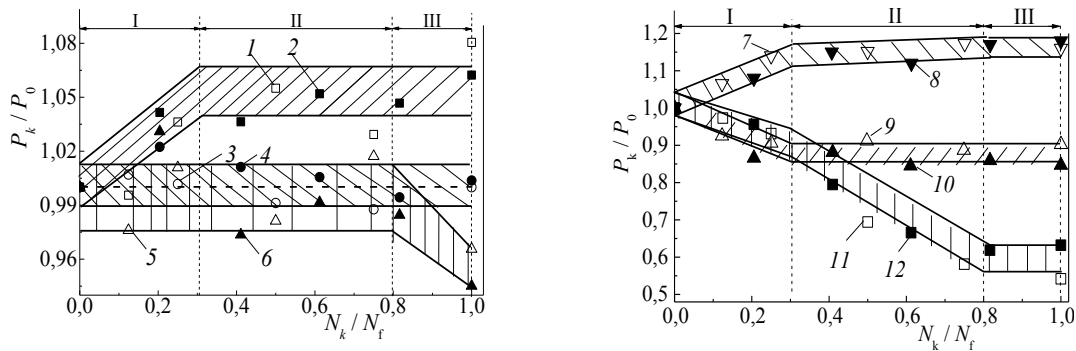


Рис. 1. Відносна зміна механічних властивостей сталей P_k/P_0 сталей 09Г2С (непарні числа) і 17ГС (парні) після навантаження впродовж різної кількості циклів N_k . 1, 2 – $\sigma_{0.2}$; 3, 4 – σ_b ; 5, 6 – ψ ; 7, 8 – δ ; 9, 10 – HRB; 11, 12 – KCV.

Важливим аспектом аналізу змін механічних властивостей за багатоциклового навантаження є їх використання для прогнозування безпечної експлуатації конструкцій. Стадію I процесу втоми, а це зародження і розвиток субмікротріщин у металі, можна розглядати як безпечну з огляду контрольованого вичерпування довговічності. Її можна діагностувати за зміною твердості до 15 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Nemchuk O. Specific features of the diagnostics of technical state of steels of the port reloading equipment. *Materials Science*. 2018, 53(6). P. 875–878.
2. Nemchuk O., Hredil M., Pustovoy V., Nesterov O. Role of in-service conditions in operational degradation of mechanical properties of portal cranes steel. *Procedia Structural Integrity*. 2019, 16. P. 245–251.
3. Nemchuk O. O., Krechkovska H. V. Fractographic substantiation of the loss of resistance to brittle fracture of steel after operation in the marine gantry crane elements. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*. 2019, 41(6). P. 825–836.
4. Nemchuk O. O., Nesterov O. A. In-service brittle fracture resistance degradation of steel in a ship-to-shore portal crane. *Strength of Materials*. 2020, 52(2). P. 275–280.

Пустовий Віталій Миколайович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри підйомно-транспортних машин та інжинірингу портового технологічного обладнання Одеського національного морського університету МОН України, Одеса

Немчук Олексій Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, проректор з наукової роботи Одеського національного морського університету МОН України, Одеса. alnemchuk@gmail.com

Семенов Павло Олександрович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри підйомно-транспортних машин та інжинірингу портового технологічного обладнання Одеського національного морського університету МОН України, Одеса. p.a.semenoff@gmail.com

Греділь Мирослава Іванівна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів. mysya.lviv@gmail.com

LABORATORY EXPRESS-METHOD FOR MODELLING THE OPERATIONAL DEGRADATION OF PORTAL CRANE STEELS

Abstract

Operational degradation of metal structures of portal cranes has been simulated in laboratory conditions by high-cycle loading. Three stages of degradation of mechanical properties have been distinguished for steels of port metal structures. At the first stage, characteristics sensitive to cycling loading change almost equally: the hardness increases and the elongation and impact toughness significantly decrease. The second stage is attributed to the initiation and propagation of microcracks which reduces the impact toughness by almost half. After the formation of a macrocrack at the third stage, further cyclic loading has practically no effect on the mechanical properties of steels.

Key words: portal cranes, operational degradation, steels, cyclic loading.

Vitaliy Pustovoy – D. Sc., Professor, Head of Department of Hoisting and Transport Machines and Engineering of Port Technological Equipment, Odessa National Maritime University, Odessa

Oleksiy Nemchuk – Ph.D., Associate Professor, Vice-rector for scientific work of Odessa National Maritime University, Odessa. alnemchuk@gmail.com

Pavlo Semenov – Ph.D., Senior Lecturer of Department of Hoisting and Transport Machines and Engineering of Port Technological Equipment, Odessa National Maritime University, Odessa. p.a.semenoff@gmail.com

Myroslava Hredil – Ph.D., Senior researcher, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv. mysya.lviv@gmail.com