

УДК 621.875.56

ДЕГРАДАЦІЯ РОЗРАХУНКОВИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ПОРТАЛЬНИХ КРАНІВ В УМОВАХ ТРИВАЛОЇ НАДНОРМАТИВНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

І. Рещенко

ТОВ «РЕМТЕХМОРПОРТ»,
м. Одеса

Ю. Фуртатов

МТП «Южний»,
Одеська область

Виявлено, що при тривалій експлуатації розрахункових металоконструкцій під впливом циклічних навантажень, агресивних середовищ, експлуатаційних температур відбувається зміна механічних характеристик сталей, що призводить до зниження ударної в'язкості і крихкому руйнуванню металоконструкцій при розрахункових експлуатаційних навантаженнях, без видимих зовнішніх пошкоджень. Аналіз вітчизняних і зарубіжних досягнень у цій області показує, що у світовій практиці відсутні методи неруйнівного контролю, які дозволяли б визначати ступінь деградації, тобто вимірювати механічні характеристики сталей, наприклад, ударну в'язкість, в умовах експлуатації з необхідною метрологічним забезпеченням.

портальні крани, аварійне руйнування розрахункових металоконструкцій, втома, корозія, деградація, методика досліджень, неруйнівний контроль

При експлуатації портальних кранів у морських портах, відпрацювавши свій нормативний термін в 1,5...2 рази, а їх більше 90% парку перевантажувальних портових машин, в останні роки спостерігаються випадки аварійного руйнування розрахункових металоконструкцій при відсутності видимих або прихованих дефектів.

У 2007 році в Херсонському морському порту сталося падіння стріли портального крана через втомне руйнування ділянки металоконструкції стріли (рис. 1). У Запорізькому порту впала стрілова конструкція через втомне руйнування металу (рис. 2). Аналогічна аварія зафіксована на Іллічівському судноремонтному заводі (рис. 3). У Білгород-Дністровському порту впала рухома противага портального крана через втомне руйнування ділянки верхньої полиці важеля коромисла (рис. 4).

Такі аварії призводять до великих матеріальних втрат, простоїв перевантажувальних технологічних ліній, і пов'язані з загрозою для життя і здоров'я робітників.

Вплив втомних пошкоджень. При роботі портальних кранів виникають складні поєднання інерційних навантажень при суміщенні робочих операцій механізмів, динамічні навантаження, впливають агресивні середовища, низькі температури, вітрові навантаження і т.д. Але не тільки повторно-змінні навантаження розвивають значні напруження, які є причиною відмов внаслідок розвитку дефектів і пошкоджень. Тривала дія на метал змінних напружень викликає утворення втомних тріщин і подальше руйнування металоконструкції.

Рекомендовані методи дефектоскопії та дефектометрії для виявлення втомних тріщин: ультразвукові, радіаційні,



Рис. 1. Втомне руйнування ділянки металоконструкції стріли п/к «Альбатрос»

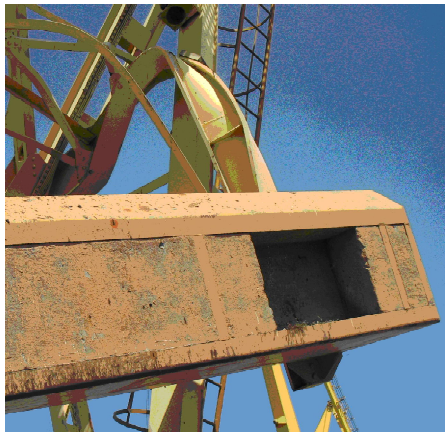


Рис. 4. Руйнування важеля коромисла рухомої протизваги п/к «Альбрехт»



Рис. 2. Втомне руйнування металу стріли КППГ 5-30

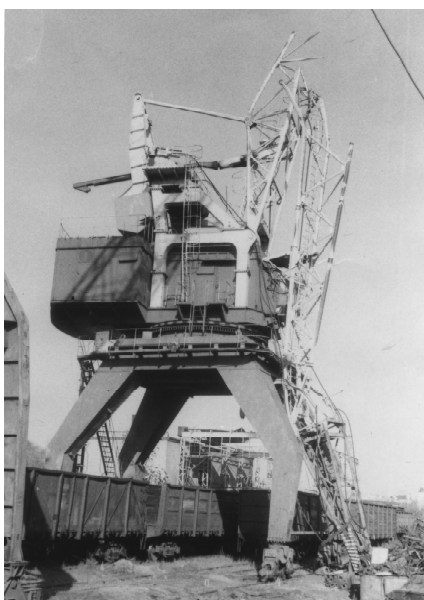


Рис. 3. Втомне руйнування металу стріли п/к «Кіровоць»

магнітні, електро-магнітні, капілярні, візуально-оптичні, метод акустичної емісії.

Вплив корозійних пошкоджень. Портальні крани, як правило, експлуатуються під відкритим небом і підда-

ються дії електрохімічної, рідинної та атмосферної корозії. Особливу небезпеку становлять приховані ділянки корозії в місцях, мало доступних для огляду.

Не менш небезпечною є корозія під напруженням, яка проявляється при одночасній дії деформацій і агресивного середовища, що викликають посилення процесів корозійного і механічного руйнування металів.

Рекомендовані методи дефектоскопії: візуально-оптичні; ультразвукова товщинометрія.

Вплив деградації металу. При тривалій експлуатації порталних кранів у їхніх розрахункових елементах під впливом циклічних навантажень виникає деградація матеріалу, яка передбачає зниження фізико-механічних властивостей металу, а саме: пластичність і ударна в'язкість. Це призводить до зниження опору крихкого руйнування. Такі особливості були виявлені раніше при оцінюванні деградації сталей магістральних газопроводів після їх тривалої (біля 40 років) експлуатації і пояснюється протіканням двох основних процесів: деформаційне старіння і розвитком множинної пошкоджуваності (дефектності) матеріалу в «об'ємі».

Метод контролю: руйнівний метод, електрохімічний, поляризаційний, метод магнітної емісії.

Аналіз аварійних руйнувань показує, що при тривалій експлуатації розрахункових металоконструкцій під впливом циклічних навантажень, агресивних середовищ, експлуатаційних температур відбувається зміна механічних характеристик сталей, що призводить до зниження ударної в'язкості і крихкому руйнуванню металоконструкцій при розрахункових експлуатаційних навантаженнях, без видимих зовнішніх пошкоджень.

Аналіз вітчизняних і зарубіжних досягнень у цій області показує, що у світовій практиці відсутні методи неруйнівного контролю, які дозволяли б визначати ступінь деградації, тобто вимірювати механічні характеристики сталей, наприклад, ударну в'язкість, в умовах експлуатації з необхідним метрологічним забезпеченням.

Наприклад, дослідження сталей розрахункових металоконструкцій порталних кранів руйнівними методами, які відпрацювали понад 36 років, показують зміну механічних властивостей металу.

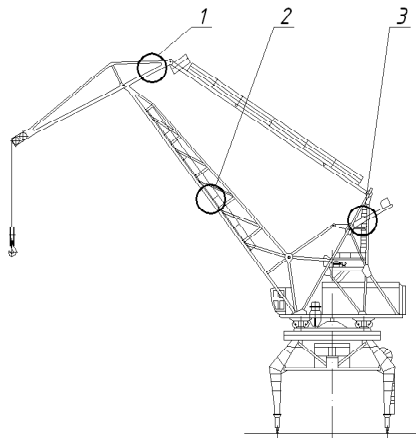


Рис. 5. Схема розташування ділянок металоконструкції кранів типу «Альбрехт» з яких проводиться відбір (вирізка) металу для випробувань: 1 – пояс хобота; 2 – коромисло рухомої противаги; 3 – передній пояс стріли

Методика досліджень. Досліджували механічні властивості сталей тих вузлів кранів типу «Альбрехт», що зазнають найінтенсивніше деформування (рис. 5). Матеріал крана – листова сталь типу St38b-2. Визначали стандартні механічні характеристики розтягом циліндричних зразків та ударну в'язкість KCV на зразках Шарпі (з V-подібним концентратором). Результати, отримані за випробувань експлуатованих сталей, порівнювали їх з вихідними властивостями, наведеними у сертифікатах заводу-виробника. Зразки вирізали з різних характерних ділянок конструкцій вздовж і поперек напрямку вальцювання листового матеріалу.

Результати експериментів та їх аналіз. Тривала експлуатація істотно впливає на усереднені значення певних стандартних механічних характеристик сталей деяких досліджених вузлів вантажних портових конструкцій порівняно з результатами їх випробування у вихідному стані.

Для кранів типу «Альбрехт», незалежно від терміну експлуатації, границя плинності коромисла противаги нижча від мінімально допустимого значення у вихідному стані, а для крана №1 навіть менші від гранично допустимого рівня (рис. 8). Спостерігається також падіння усереднених значень границі міцності сталей всіх досліджених вузлів нижче від їх мінімальних значень у вихідному стані. Також дуже сильно виражений ефект падіння ударної в'язкості сталей практично усіх вузлів кранів, особливо для кранів №2 і №3 (рис. 6). При цьому таке різке зниження опору крихкому руйнуванню сталей спостерігається на фоні незначних змін їх характеристик пластичності (рис. 7).

Звертає на себе увагу надзвичайно сильний розкид експериментальних даних випробувань на ударну в'язкість, яка, на перший погляд, не дає можливості судити про вплив експлуатації на опір сталей крихкому руйнуванню. Конкретні значення KCV можуть бути як більшими, так і меншими від ударної в'язкості вихідного матеріалу.

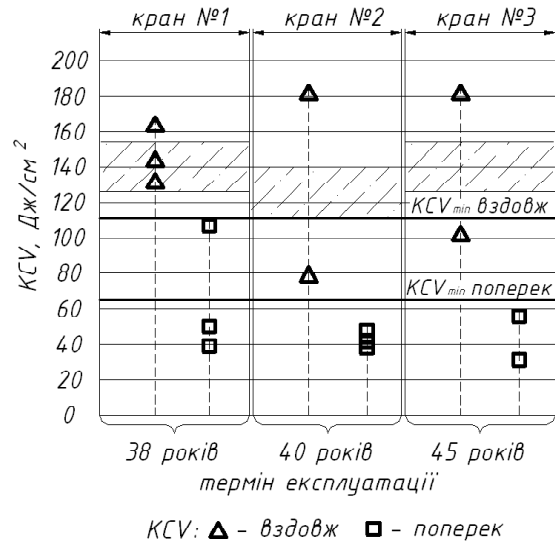


Рис. 6. Графік зміни ударної в'язкості в залежності від терміну експлуатації та напрямку вирізування зразків (заштриховані ділянки відповідають діапазону значень у вихідному стані)

Характер руйнування зумовлений схильністю металопрокату до розшарування, особливо вздовж волокон текстури. Таке розшарування може бути настільки інтенсивне, що деформований зразок не руйнується. Природно, що тоді поширення тріщини при ударному навантаженні пов'язане з додатковими затратами енергії, це відбивається на підвищенні значень формально визначеної ударної в'язкості. Однак такі випадки не слід розглядати як підвищення опору матеріалу крихкому руйнуванню з точки зору фізики деформування і руйнування, оскільки цей феномен пов'язаний з проявом чисто геометричного чинника – галуження тріщини. З огляду на це можна стверджувати, що практично для всіх досліджених вузлів кранів експлуатація зумовлює суттєве зниження їх опору крихкому руйнуванню.

Порівняння характеристик пластичності експлуатованих і неексплуатованих сталей можна було проводити тільки за відносним видовженням, яке загалом мало міняється для всіх кранів (див. рис. 7). Деяко нижче мінімальних значень у вихідному стані отримано лише при випробуваннях сталей, особливо на зразках, вирізаних поперек вальцювання. Умовно за мінімальне значення відносного звуження сталей у вихідному стані прийняли усереднені значення експериментальних результатів, отриманих на експлуатованих сталях, відносно видовження яких відповідає мінімальним значенням відносного видовження сталей у вихідному стані.

З отриманих результатів випливає, що для відносного звуження спостерігається набагато більший розкид даних і сильніший негативний вплив експлуатації порівняно з відносним видовженням.

Загалом можна стверджувати, що тривала експлуатація сталей портових кранів спричиняє помітне зниження їхньої пластичності, при оцінюванні якої слід віддавати перевагу відносному звуженню.

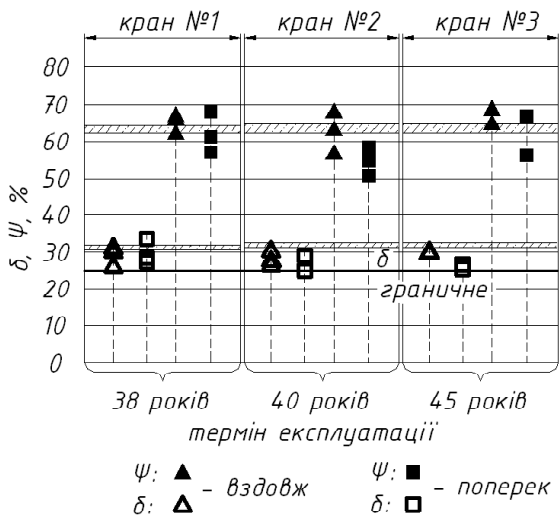


Рис. 7. Графік зміни відносного подовження δ та відносного звуження ψ від терміну експлуатації та напрямку вирізки зразків. Заштриховані ділянки відповідають діапазону значень у вихідному стані

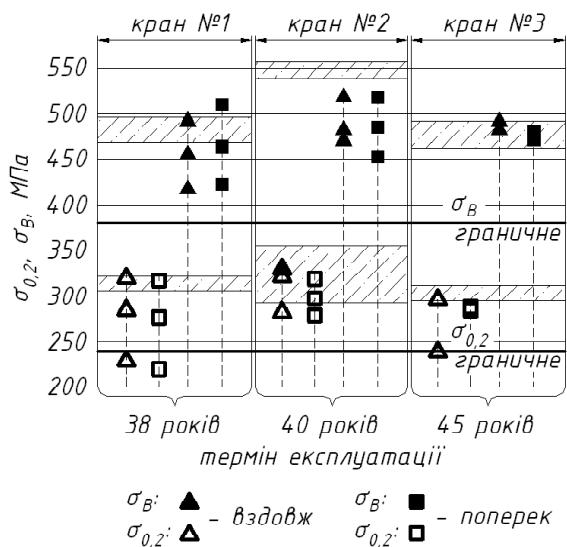


Рис. 8. Графік зміни плинності $\sigma_{0,2}$ та міцності σ_B від терміну експлуатації та напрямку вирізування зразків (заштриховані ділянки відповідають діапазону значень у вихідному стані)

Зниження опору крихкому руйнуванню супроводжується, в основному, зниженням міцності σ_B , а іноді і зростанням, що свідчить про наявність деформаційного зміцнення, яке призводить до підвищення крихкості сталі (рис. 8). Подібні особливості виявлені раніше при оцінюванні деградації сталей магістральних газопроводів після їх тривалої (до 40 років) експлуатації [9, 11].

У вітчизняній практиці в останні роки проводяться дослідження з вивчення механізмів деградації сталей, дослідження зі створення методик неруйнівного контролю механічних характеристик сталей в умовах експлуатації, в тому числі в інститутах Національної академії наук

України (Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка, Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона, Інститут проблем міцності ім. С. П. Тимошенка).

Є деякі попередні результати досліджень зі створення методик неруйнівного контролю, наприклад, з вимірюванням коерцитивних властивостей металів, поляризаційний метод, метод магнітної емісії, метод вимірювання поверхневої твердості сталей та ін.

Методика досліджень включає в себе проведення випробувань на циклічне навантаження сталей металоконструкцій об'єктів підвищеної небезпеки на розрахункову кількість циклів. Типи сталей, характер навантаження, види корозійних середовищ, кількість зразків сталей визначаються умовами навантаження і середовищами, в яких експлуатується об'єкт контролю.

Товщини зразків сталей вибираються з розрахунку товщин реальних конструкцій, з урахуванням конструктивних особливостей і умов навантаження: плоска деформація; плоский напружений стан. У процесі циклічного навантаження зразків сталей проводяться вимірювання діагностичних параметрів неруйнівними методами: параметри коерцитивної сили; поверхневої твердості; параметрів магнітної емісії; параметрів поляризаційного методу. Через розрахункові проміжки в циклічному навантаженні визначаються структурні діагностичні параметри методами руйнування зразків та визначення механічних характеристик сталей за відомими методиками. Будують кореляційні залежності між структурними та діагностичними параметрами для різних методів неруйнівного контролю. За результатами аналізу визначають похибку вимірювань різними методами і визначають рекомендовані методи неруйнівного контролю для конкретних сталей та об'єктів підвищеної небезпеки. Для вибраних методів неруйнівного контролю визначають приладове забезпечення - стандартними приладами, або приладами, які необхідно розробляти. За результатами досліджень розробляються методики неруйнівного контролю ступеня деградації механічних характеристик сталей для конкретних об'єктів підвищеної небезпеки.

Висновки. Проведені дослідження вказують на зниження ударної в'язкості від 8,1 % до 53,2 %, характеристик міцності та пластичності до 23 % нижче паспортних значень. Плинність коромисла противаги дослідженого крана №1 знизилась нижче сертифікованого рівня до 6,2 %, що є критичним значенням, яке відповідає аварійному стану крана.

Проведений аналіз свідчить про істотну деградацію механічних властивостей випробованих сталей, спричинену їх тривалою експлуатацією, що не може гарантувати подальшу безпечну експлуатацію перевантажувальної техніки.

Методика відбору проб та випробувань зразків сталей розрахункових металоконструкцій має певні недоліки, які пов'язані з трудомісткістю операцій відбору проб з навантажених елементів металоконструкцій, ремонтом ділянок металоконструкції в місцях відбору проб, виготовленням дослідних зразків, проведенням механічних випробувань та тривалим часом проведення робіт взагалі.

Створення методик неруйнівного контролю спростить процедуру визначення ступеня деградації механічних характеристик сталей об'єктів підвищеної небезпеки.

Література

1. *Нестеров Е.А.* К вопросу о механизмах деградации расчетных металлоконструкций сталей порталных кранов в условиях сверхнормативной эксплуатации // Проблемы техники: Наук.-виробн.журнал. – 2009. – №1 – С.151-159.
2. *Крани порталні, крани-перевантажувачі.* Експертне обстеження: ОМД 22460848.003-2009; Ред. кол.: В.М. Пустовий (гол.), та ін. – Одеса: ТЕС, 2009. – 248 с.
3. *Нестеров С., Цирульник О.* Деградація механічних властивостей сталі експлуатованих порталних кранів // Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій / Під заг. ред. В.В. Панасюка. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Карпенка НАН України, 2009. – 1024с.
4. *Коррозія.* Справочник. Пер. з англ. під ред. Л.Л. Шрайера. – М.: Металургія, 1981. – 632 с.
5. *Кузнецов В.А., Поляков С.Г., Котлов Ю.Г., Герасименко Ю.С.* Застосування методу поляризаційного опору для дослідження атмосферної корозії металів // Захисту металів. – 1976. – Т. 12, №6. – С. 666-670.
6. *Експлуатаційне окрихчення сталі магістрального нафтопроводу / О.Т. Цирульник, Г.М. Никифорчин, О.І. Звірко, Д.Ю. Петріна // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2004. – № 2. – С. 125-126.*
7. *Цирульник О.Т., Никифорчин Г. М., Петріна Д.Ю. та ін.* Воднева деградація тривало експлуатованих сталей магістральних газопроводів // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2001. – № 5. – С. 97-104.

8. *Никифорчин Г. М.* Mechanical, corrosion-mechanical and electrochemical parameters sensitive to corrosion-hydrogen degradation of structural steels under long-term in-service conditions // *Advances in Materials Science.* – 2007. – V. 7, N. 1(11). – P. 176-18.

9. *Gabetta G., Nykyforchyn H.M., Lunarska E. and at.* In-service degradation of gas trunk pipeline X52 steel // Там же. – 2008. – №1. – С. 88-99.

10. *Дащенко А.Ф., Немчук А.О.* Оценка работоспособности металлоконструкций порталных кранов // Труды Одесского политехнического университета, 2006, вып. 2(26) – С. 1-4.

11. *Цирульник О. Т., Никифорчин Г. М., Петріна Д. Ю. and at.* Воднева деградація тривало експлуатованих сталей магістральних газопроводів // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2007. – №5. – С. 97-104.

Отримана 12.04.10

I. Reshchenko¹, Y. Furtatov²

Degradation of the calculated steel gantry cranes in excess of prolonged operation

¹TOV "Raitechmorport", Odesa;

²PP "Yugnyj", Odesa

Revealed that the prolonged use of calculated metal under the influence of cyclic loads and corrosive environments, operating temperature changes the mechanical characteristics of steel, which reduces the impact toughness and brittle fracture of steel with the calculated operating loads, without any visible external injuries. Analysis of domestic and foreign achievements in this field shows that in the world there are no methods of nondestructive testing, which would allow to determine the degree of degradation, to measure mechanical properties of steels, such as impact strength in operating conditions with the required metrological support.

Діагностика

12-та Міжнародна науково-практична конференція
СПОРІДНЕНІ РЕНОВАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ: ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ, ТЕХНОЛОГІЇ
24 – 28 вересня 2012 р., м. Ялта, Крим, Україна

Тематика конференції:

- Побудова національних систем технічного регулювання в умовах членства у ВТО і ЄС.
- Процесно-орієнтовані інтегровані системи керування: теорія і практика.
- Стандартизація, сертифікація, управління якістю у промисловості, електроенергетиці, сільському господарстві і сфері послуг.
- Впровадження стандартів ДСТУ 9001:2009 у вищих навчальних закладах, медичних закладах і органах державної служби.
- Метрологічне забезпечення і контроль якості продукції у промисловості, електроенергетиці, сільському господарстві і сфері послуг.
- Забезпечення якості і конкурентоспроможності продукції (послуг) на внутрішньому і зовнішньому ринках.
- Впровадження інформаційних технологій у процеси адаптації, сертифікації та управління якістю.
- Проблеми гармонізації законодавчої і нормативно-технічної документації.

Адреса організаторів:

АТМ України,
04074, м. Київ, вул. Автозаводська, 2.
Тел./Факс: +38-044-430-85-00
E-mail: atmu@ism.kiev.ua, kopeykina@voliacable.com, atmu@meta.ua