

ВІДЗИВ
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Кречковської Галини Василівни
“МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ КРИТИЧНОГО СТАНУ ТРИВАЛО
ЕКСПЛУАТОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ ЗА ЗМІНОЮ ЇХ
СТРУКТУРИ, МІКРОМЕХАНІЗМІВ ТА ОПОРУ РУЙНУВАННЮ”,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство,
галузь знань 13 – Механічна інженерія

Актуальність теми дисертації.

В процесі тривалої експлуатації конструкційні матеріали, зокрема, сталі, зазнають змін, які негативно відбиваються на їх здатності чинити опір руйнуванню, що може завершитися порушенням цілісності елементів конструкцій з руйнуванням вартісного устаткування. Як на сьогодні відомо, головну небезпеку експлуатаційної втрати матеріалами своєї роботоздатності пов'язують із значним зниженням їх опору крихкому руйнуванню, який визначають в основному за характеристиками ударної в'язкості та тріщиностійкості. При цьому значну роль відводять розвитку в конструкційних сталях розпорошеної мікропошкодженості, завдяки якій вони стають особливо вразливим ще й до корозійно-механічного руйнування.

Ступінь деградації конструкційних сталей залежить як від їх вихідного структурного стану, так і від середовища та умов експлуатації: особливостей механічного навантаження, теплових потоків та градієнтів температур, наявності та механізмів дії агресивних речовин. З механічних факторів впливу особливо небезпечними є тривалі вібраційні навантаження, які сприяють вичерпуванню мікропластичності матеріалу, зміні механізмів внутрішнього тертя і, як наслідок, зниженню опору крихкому руйнуванню в його локальних об'ємах. Високотемпературний режим експлуатації сталей особливо небезпечний можливістю незворотних змін їх мікроструктури через прискорену дифузію елементів, реалізацію різних механізмів фазових перетворень та створенню умов для реалізації повзучості. Що стосується дії корозивних середовищ на деградацію сталей всередині перерізу елементів конструкцій, то їх роль підвищується в умовах значного впливу наводнювальних факторів. Тоді зміна стану металу, зокрема, розвиток у ньому мікропошкоджень, вже проходить за сумісної дії прикладених напружень і водню.

Належне врахування експлуатаційної деградації тривало експлуатованих сталей з позицій матеріалознавства передбачає створення спеціальної методології оцінювання, яка враховувала би згадані особливості як щодо структурного стану матеріалу, так і щодо впливу на процес деградації різних чинників, а також базувалася би на результатах великої кількості експертних висновків про причини експлуатаційних руйнувань різних елементів конструкцій. Це важлива науково-технічна проблема сучасного матеріалознавства, на вирішення якої спрямована дисертаційна робота Г. В. Кречковської, що робить її актуальною і в науковому, і в практичному сенсі.

Важливо відзначити, що аналізована дисертаційна робота виконувалась у рамках декількох бюджетних тем НАН України, проектів на замовлення Державного фонду фундаментальних досліджень МОН України, гранту НАТО в рамках програми “Наука заради миру та безпеки” та ряду госпдоговорів, що також свідчить про її актуальність та важливість.

Структура і зміст дисертації.

Структурно дисертаційна робота Г. В. Кречковської включає: анотацію, вступ, 7 розділів, висновки, список використаної літератури із 391 найменувань, 3 додатки. У загальний обсяг дисертації входить 418 сторінок (312 сторінок основного тексту), 177 рисунків та 36 таблиць.

У *вступі* дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми, показано її зв'язок із науковими програмами, сформульовано мету, описано об'єкт, предмет та методи дослідження. У *першому розділі* на основі аналізу літературних джерел розкрито основні закономірності експлуатаційної деградації конструкційних сталей різного призначення, роль у цьому процесі агресивних середовищ, а також проаналізовано чутливість різних методів оцінювання до деградації конструкційних сталей. Сформульовано основні завдання дисертаційної роботи та намічено напрями їх вирішення. У *другому розділі* охарактеризовано об'єкти досліджень та описано експериментальні мікроструктурні, фрактографічні, механічні та корозійно-механічні методики, використані для атестації деградованих сталей після їх тривалої експлуатації в різних температурно-силових умовах. Ступінь експлуатаційної деградації сталей визначали порівнянням їх відповідних властивостей після експлуатації та у вихідному стані. *Третій розділ* присвячено аналізу металографічних, фрактографічних і механічних ознак деградації вуглецевих сталей елементів конструкцій кінця ХІХ–початку ХХ сторіч. Для оцінювання експлуатаційної деградації сталей запропоновано використовувати

фрактографічний показник, який враховує особливості механізмів їх руйнування через зміну їх структурно-механічного стану після експлуатації, а міру деградації – за часткою площі мікрофрактографічно визначених елементів окрихчення сталей. У *четвертому розділі* досліджено ознаки експлуатаційної деградації низьколегованих сталей магістральних нафто- та газогонів за їх структурними, механічними і фрактографічними показниками і на цій основі обґрунтовано кількісний мікрофрактографічний показник їх деградації за часткою площі фрагментів зламів, пов'язаних із елементами їх окрихчення у вигляді розшарувань та кризьеренних відколів. Приведено фрактографічну оцінку забрудненості сталей бурильних труб дрібними корозійно-активними неметалевими включеннями і показано їх роль у дочасному руйнуванні труб за дії корозивного середовища. У *п'ятому розділі* представлено результати дослідження властивостей теплотривких сталей із різних конструктивних ділянок парогонів ТЕС (прямі ділянки і згини труб, зварні з'єднання), встановлені експлуатаційні чинники інтенсифікації їх деградації, виявлено спільні фрактографічні особливості на зламах труб і лабораторних зразках. Значна увага в розділі присвячена вивченню мікропошкоджень в експлуатованих сталях, ролі в цьому процесі водню та прояву фрактографічних особливостей руйнування. У *шостому розділі* описано результати ряду експертиз зруйнованих лопаток роторів парових турбін ТЕС, визначено механічні характеристики сталей та досліджено мікроструктурні і фрактографічні особливості їх експлуатаційної деградації. *Сьомий розділ* узагальнюючий, і в ньому **на основі результатів, наведених у попередніх розділах** запропоновано методологію визначення поточного структурно-механічного стану сталей, а також обґрунтовано ознаки їх критичного стану, за досягнення якого зростає ризик неконтрольованого крихкого руйнування. У *додатках* подано 8 актів про використання результатів роботи, 3 деклараційні патенти та перелік із 47 публікацій Г.В.Кречковської.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, та їх достовірність.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень дисертаційної роботи Г. В. Кречковської забезпечується глибоким аналізом літературних джерел, великим обсягом експериментальних досліджень з використанням широко вживаних конструкційних сталей з різних елементів конструкцій та залученням різнопланових методів оцінювання деградації (механічних, структурних, фрактографічних). Для цього в роботі використано різні методи

механічних випробувань з визначенням характеристик міцності і пластичності, ударної в'язкості і твердості, статичної і циклічної тріщиностійкості, опору корозійному розтріскуванню, а також металографічний аналіз структури сталей та мікрофрактографічний аналіз зламів сталей після експлуатації в різних технологічних умовах, у тому числі із залученням комп'ютерних технологій для оброблення і оцінювання характеристик визначальних елементів зламів, пов'язаних з деградацією.

Результати дисертаційної роботи добре узгоджуються з висновками інших дослідників та відомими закономірностями експлуатаційної деградації металів, що підтверджує їх правильне трактування. Основні положення та висновки дисертаційної роботи висвітлені в численних рецензованих наукових публікаціях, у тому числі цитованих в наукометричних базах Scopus і WoS. Індекс Гірша (h-index) Кречковської Г.В. становить 6. Крім того, результати дисертаційної роботи пройшли апробацію під час представлення матеріалів доповідей та їх обговорення на авторитетних наукових конференціях.

Наукова новизна та наукова цінність отриманих в роботі результатів.

Грунтуючись на проведених експериментах і системному аналізі їх результатів, дисертанткою розроблена та апробована оригінальна методологія оцінювання експлуатаційної деградації конструкційних сталей на основі врахування змін їх структури, механізмів руйнування та опору крихкому руйнуванню. До основних наукових здобутків Г. В. Кречковської, які відзначаються суттєвою науковою новизною, належать:

Вперше встановлено порушення лінійної залежності типу Петча-Холла між розміром зерна і твердістю, зумовлене інтенсивним розвитком розпорошених мікропошкоджень, що виникли в об'ємі теплотривкої сталі 15X1M1Ф під час її високотемпературної експлуатації на головних парогонках ТЕС. На цій основі запропоновано неруйнівний метод оцінювання поточного стану сталей парогонів, а також обґрунтовано критерій досягнення їх критичного стану за показником твердості.

Доведено, що експлуатаційні зміни розмірів елементів мікроструктури (карбідів та зерен матричного металу), виміряні поперек стінки труб парогонів, корелюють з розподілом колових напружень, які стимулюють ріст зерен та інтенсифікують коагуляцію карбідів вздовж їх меж, пришвидшуючи деградацію низьколегованих теплотривких сталей.

Вперше на прикладі вуглецевих сталей обґрунтовано вищу чутливість до визначення ступеню деградації фрактографічних кількісних характеристик порівняно із структурними. При цьому металографічно деградацію сталей за кліматичних умов експлуатації оцінювали за площею відшарованих від матриці неметалевих включень на одиницю площі металографічного зображення, а фрактографічно - за площею фрагментів окрихчення на одиниці площі зламів зразків, випробуваних на удар.

Виділено відмінності мікрофрактографічних ознак експлуатаційних змін у механізмах руйнування сталей після експлуатації у кліматичних і високотемпературних умовах: у першому випадку це розшарування та кризьзеренні відколи, а в другому – фрагменти міжзеренного руйнування, сформовані під час експлуатації.

Показано, що крихкий кризьзеренний відкол є мікрофрактографічною ознакою експлуатаційної деградації металу шва зварного з'єднання на нафтогонах, на відміну від мікророзшарувань, характерних для інших зон зварного з'єднання.

Запропоновано новий ефективний показник деградації теплотривких сталей у вигляді відношення KCU/KCV , в основі якого вища чутливість до їх експлуатаційної деградації опору росту тріщини порівняно з опором її зародженню.

Вперше обґрунтовано критичний стан деградованих сталей після їх тривалої експлуатації або за кліматичних, або високотемпературних умов, в основі якого зміна визначальних елементів окрихчення зламів лабораторних зразків. У першому випадку критичний стан досягався за появи на зламах ударних зразків крихких кризьзеренних відколів, а в другому – з появою конгломератів міжзеренних фрагментів руйнування на фоні кризьзеренного втомного рельєфу зразків, випробуваних на циклічну тріщиностійкість.

Практична цінність отриманих результатів.

Сформульовані в роботі висновки щодо виникнення наскрізних пошкоджень у зварних з'єднаннях труб під час їх експлуатації. використані «Укрзахіднафтогазсервіс» для визначення черговості заміни критично деградованих ділянок нафтогону.

Результати фрактографічних експертиз дочасно зруйнованих лопаток роторів парових турбін використані персоналом ТЕС ДТЕК для обґрунтування періодичності контролю роторів і забезпечення їх експлуатаційної надійності.

Отримані залежності між механічними властивостями та структурними і фрактографічними показниками, чутливими до деградації теплотривких сталей парогонів, використані на ТЕС ДТЕК для обґрунтування термінів проведення чергових обстежень парогонів.

Висновки роботи використані на різних ТЕС для встановлення причин руйнувань та розроблення заходів для їх запобігання. Це підтверджено 8 актами використання отриманих результатів.

Повнота викладення результатів роботи у наукових працях.

Основний зміст дисертації Г. В. Кречковської викладено в 47 наукових працях, в тому числі 31 з них в наукових фахових виданнях, з яких 18 включені до наукометричних баз Scopus та Web of Science, 13 в матеріалах міжнародних конференцій і 3 як деклараційні патенти. Опубліковані праці повною мірою відображають зміст дисертації.

Мова та стиль дисертації.

Загалом дисертація написана технічно грамотно, її текст досить легко сприймається. Матеріали роботи викладено в логічній послідовності, розділи взаємопов'язані та цілком розкривають поставлену мету. Висновки, зроблені в кінці окремих розділів та остаточні по роботі, загалом добре обґрунтовані. Тема і зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.02.01 – “Матеріалознавство”.

Недоліки та зауваження до дисертації:

1. У науковій новизні роботи (п. 5) авторка відзначає, що внаслідок тривалої експлуатації труб на магістральному нафтогоні найінтенсивніше деградував метал шва осьового зварного з'єднання, що проявилось у вигляді ділянок крізьзеренного відколу на зламах ударних зразків. Проте руйнування труб в експлуатаційних умовах насправді відбулося біля лінії сплавлення в зоні термічного впливу. Цю невідповідність не пояснено ні в авторефераті, ні в самій роботі.

2. В роботі показано значну негативну роль корозивно активних неметалевих включень у порушенні цілісності бурових труб з незначним терміном експлуатації, однак важливо було б провести подібний аналіз і на тривало експлуатованих трубах.

3. Робота відзначається побудовою універсальних залежностей між різними показниками руйнування експлуатованих сталей, а особливо практично важливу залежність між ефективним порогом втоми та твердістю

побудовано лише для однієї сталі 15X1M1Ф (рис. 17 в авторефераті та рис. 5.16 у дисертації), що не дає відповіді на питання щодо можливості її використання для інших сталей, зокрема, іншої теплотривкої сталі 12X1MФ.

4. В роботі експериментально виявлено та постійно справедливо підкреслюється важливість врахування кількості зупинок блоків ТЕС на накопичення пошкоджень в теплотривких сталях. На мій погляд крім описаних в роботі факторів для товстостінних труб слід врахувати важливий вплив динаміки теплових процесів на виникнення декогезії (відшарування) між включеннями та матрицею. Ці процеси супроводжуються зміною знаку та величини напружень в околі включення та залежать, зокрема, від співвідношення механічних характеристик, теплоємності і теплопровідності включення та матриці.

5. В тексті дисертації трапляються мовні та стилістичні неузгодження:

- на с. 20 автореферату не зрозуміле останнє речення: «Їх вражали структурно-фрактографічними ознаки деградації тривало експлуатованих теплотривких сталей парогонів ТЕС»;

- в пункті 7 новизни в останньому реченні варто записати: «Це пов'язали з тим, що опір поширенню (замість поширення) руйнування деградованих матеріалів знижувався інтенсивніше, ніж опір його зародженню (замість зародження).»;

- в переліку умовних позначень і скорочень дисертації позначено РВТ як «ріст втомної тріщини», а в тексті роботи це позначення використано також як «ротор високого тиску»;

- на рисунок 4.24г відсутній опис та посилання в тексті.

Дані зауваження не знижують загальної позитивної оцінки та значення дисертаційної роботи і рівня достовірності основних її результатів.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам:

Дисертаційна робота Кречковської Галини Василівни “Методологія оцінювання критичного стану тривало експлуатованих конструкційних сталей за зміною їх структури, мікромеханізмів та опору руйнуванню” є завершеною науковою роботою, в якій отримано нові, науково обґрунтовані, результати, які дали змогу авторці вирішити важливу науково-технічну проблему, спрямовану на встановлення обґрунтованих діагностичних ознак досягнення критичного рівня деградації конструкційних сталей різного призначення після їх тривалої експлуатації. як необхідної передумови оцінювання їх поточного структурно-механічного стану. Автореферат за своєю структурою і змістом відображає ключові положення дисертації.

Робота відповідає вимогам паспорту спеціальності, а також вимогам пп. 9, 10, 12, 13 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України (КМУ) від 24.07.2013 р. № 567 (із змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ № 656 від 19.08.2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р. та № 567 від 27.07.2016 р.), а її авторка Кречковська Галина Василівна заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство.

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:

доктор технічних наук, професор,

САВУЛЯК Валерій Іванович

професор кафедри галузевого машинобудування,

Вінницького національного

технічного університету МОН України


В. І. Савуляк

