

ВІДГУК

офіційного опонента, професора **Дурягіної Зої Антонівни**
на дисертаційну роботу **Кречковської Галини Василівни**
**«Методологія оцінювання критичного стану тривало експлуатованих
конструкційних сталей за зміною їх структури, мікромеханізмів та опору
руйнуванню»**,

подану на здобуття наукового ступеня **доктора технічних наук** за
спеціальністю **05.02.01 – «Матеріалознавство»**

За результатами вивчення дисертаційної роботи Г. В. Кречковської, яка є науковою роботою, що подана у вигляді рукопису і складається з анотації, вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків, що містять 8 актів про використання результатів роботи, розгляду автореферату та ознайомлення з опублікованими роботами здобувачки за темою дисертації, слід відзначити наступне.

Актуальність теми дисертації та зв'язок з науково-технічними програмами. Одним з основних та актуальних завдань розвитку сучасного матеріалознавства є підвищення надійності і довговічності деталей машин, механізмів і споруд, які тривало експлуатуються за складних умов їх навантаження та дії технологічних середовищ. Значну частину таких виробів виготовляють із конструкційних сталей, вихідні фізико-механічні властивості яких беруться до уваги при розрахунку надійності конструкцій на стадії проектування. Але важливо оцінити роботоздатність обладнання на різних стадіях експлуатації з огляду на можливу деградацію їх мікроструктури, а відповідно і властивостей. Це складна науково-технічна проблема, що потребує комплексного підходу від методів *in situ* до тривалого моніторингу технічного стану відповідальних конструкцій. Вирішення таких задач дозволить передбачити передчасне руйнування та використати регуляторний механізм для подовження ресурсу деталей машин та елементів конструкцій.

Дисертаційна робота присвячена побудові кореляційних залежностей між структурою та механічними властивостями сталей, що тривало експлуатуються за впливу кліматичних та технологічних чинників. Це було покладено авторкою за основу методології оцінювання деградації сталей та обґрунтування умов досягнення ними критичного стану.

Дисертаційну роботу виконано відповідно до науково-дослідних програм і тематичних планів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України. Дисертантка була виконавицею низки держбюджетних науково-дослідних робіт на замовлення НАН України: “Закономірності впливу експлуатаційних чинників на деградацію структури і характеристик опору руйнуванню конструкційних сталей у корозійно-наводнювальних середовищах”, “Розроблення науково-методичних підходів до консервативного оцінювання корозійно-водневої деградації конструкційних сталей за їх характеристиками опору крихкому руйнуванню”, “Встановлення

металознавчих, механічних та електрохімічних інформативних ознак діагностування корозійно-водневої деградації конструкційних сталей”, “Розроблення комп’ютеризованих методів кількісного аналізу елементів зламів і структури трубних сталей, спричинених їх деградацією”, “Розроблення наукових засад діагностування технічного стану сталей за кількісними оцінками фрактографічних ознак пошкодженості елементів конструкцій, експлуатованих під впливом корозійних середовищ”. Крім того, вона була виконавицею конкурсних робіт: замовлених Державним фондом фундаментальних досліджень МОН України “Дослідження структурного, механічного та корозійного стану тривало експлуатованих об’єктів типу “гіперболоїдних веж Шухова”, гранту НАТО “Розроблення новітніх методів для запобігання руйнувань трубопроводів задля безпеки”, та науковим керівником молодіжного гранту НАН України “Дослідження механічних, структурних та фрактографічних особливостей високотемпературної водневої деградації металу гинів парогонів ТЕС”, що мають безпосереднє відношення до теми поданої дисертації.

Це дозволяє зробити висновок про актуальність та своєчасність виконання даної дисертаційної роботи.

Загальна характеристика та зміст роботи. Мета роботи у формулюванні дисертантки полягає у встановленні закономірностей зміни структурних, механічних і фрактографічних характеристик, чутливих до деградації конструкційних сталей, тривало експлуатованих на різних об’єктах за впливу кліматичних та технологічних температурно-силових і корозійно-наводнювальних чинників, побудові залежностей між ними та на цій основі розробленні методології оцінювання деградації сталей і обґрунтуванні умов досягнення ними критичного стану. Поставлена мета досягнена вирішенням наступних завдань:

- Встановлення особливостей трансформування мікроструктури конструкційних сталей, що тривало експлуатуються за різних технологічних умов;
- Виявлення та оцінювання металографічних та фрактографічних ознак деградації мікроструктури та механічних властивостей сталей;
- Узагальнення закономірностей зміни механічних властивостей сталей, спричинених їх деградацією під час експлуатації;
- Побудова залежностей між механічними властивостями сталей в процесі експлуатації та структурними і фрактографічними ознаками їх деградації;
- Розроблення методології визначення критичного стану сталей відповідальних елементів конструкцій внаслідок їх тривалої експлуатації за дії температури, навантажень та корозивно-наводнювальних чинників.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, показано зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено мету, об’єкт та предмет

дослідження, сформульовано задачі та окреслено методи дослідження, описано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, особистий внесок авторки та наведено дані про апробацію результатів та публікації.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасного стану досліджень деградації конструкційних сталей за кліматичних та підвищених температур та показана роль у цьому процесі наводнювальних середовищ, описано відомі закономірності деградації експлуатованих сталей різного призначення та наведені їх поточні механічні властивості. Сформульовано мету та основні завдання дисертаційної роботи.

У **другому розділі** висвітленню методичні аспекти роботи. Досліджено тривало експлуатовані вуглецеві сталі конструкцій кінця XIX–початку XX сторіч, низьколеговані сталі магістральних газо- і нафтогонів та бурильних труб, теплостійкі низьколеговані сталі парогонів ТЕС і високолеговані сталі лопаток роторів парових турбін ТЕС. Описано методи і устаткування, використані для оцінювання їх хімічного складу, структури, механічних властивостей та фрактографічних особливостей руйнування зразків. Значну увагу приділено методу кількісного оцінювання структурних та фрактографічних ознак деградації досліджених матеріалів з використанням підходів, розроблених у ФМІ НАН України.

У **третьому розділі** виявлено зв'язок металографічних і фрактографічних ознак деградації з механічними властивостями вуглецевих сталей конструкцій кінця XIX – початку XX сторіч, для яких ланцюжки шлакових включень були спільною структурною ознакою. Досліджено роль цих включень у розвитку мікропошкодженості сталей, експлуатованих понад 100 років за впливу кліматичних умов. Виявлено нетипове поєднання низької твердості та опору крихкому руйнуванню аналізованих сталей. Запропоновано кількісно оцінювати міру їх деградації за фрактографічно визначеною часткою площі елементів окрихчення (розшарування та кризьзеренні відколи) на одиничній площі зламу, а також прогнозувати критичний стан сталей після їх тривалої експлуатації за зміною механізму руйнування.

У **четвертому розділі** досліджено матеріалознавчі ознаки деградації низьколегованих сталей магістральних нафто- та газогонів після їх тривалої експлуатації і сталі 0,28C-1Cr дочасно зруйнованих бурильних труб. Проаналізовано їх мікроструктуру та механічні властивості. Зокрема, для сталей трубопроводів побудовано залежність втрати опору крихкому руйнуванню від частки елементів окрихчення на поверхні зламу. При цьому досліджено різні зони зварного з'єднання за різних напрямів вирізання зразків відносно осі труби. Досліджено мікроструктуру сталі бурильних труб, в якій виявлено дрібні неметалеві включення та обґрунтовано їх негативну роль у прискоренні корозійно-механічного руйнування труб.

У **п'ятому розділі** наведено результати порівняльних досліджень руйнування прямих ділянок, гинів і зварних з'єднань головних парогонів ТЕС та виготовлених з них лабораторних зразків. Визначено механічні властивості сталей, виявлено спільні фрактографічні особливості зламів труб і зразків. Ці

результати були покладені за основу при встановленні структурних ознак деградації сталей під час експлуатації.

Шостий розділ присвячений результатам експертиз зруйнованих лопаток роторів парових турбін ТЕС. Визначено механічні властивості високолегованих лопаткових сталей та виявлено структурні і фрактографічні особливості їх деградації. За результатами випробувань сталей на циклічну тріщиностійкість запропоновано кількісний мікрофрактографічний показник їх деградації за високих температур.

У сьомому розділі узагальнено викладені у попередніх розділах структурно-механічні ознаки деградації сталей з урахуванням впливу кліматичних та експлуатаційних технологічних умов та побудовані кореляційні залежності між металографічними, фрактографічними і механічними показниками деградації. Таким чином запропоновано визначати поточну мікроструктуру, механічні властивості сталей та досягнення ними критичного стану за умов тривалої експлуатації.

У висновках сформульовано основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

Вважаю, що за структурою, мовою та стилем викладення дисертаційна робота є завершеною науковою роботою, що відповідає чинним вимогам МОН України, які ставляться до докторських дисертацій.

Наукова новизна та практична значимість отриманих в роботі результатів. У рамках поставлених та вирішених у дисертації завдань отримано ряд нових наукових та практичних результатів.

Наукова новизна:

- в роботі вперше встановлено порушення лінійної залежності між розміром зерна і твердістю (типу Холла-Петча) для низьколегованої сталі після її тривалої експлуатації за високих температур на парогонках ТЕС, що стало основою для обґрунтування критерію оцінювання їх поточного стану за структурою;

- вперше систематизовано мікрофрактографічні ознаки деградації сталей - розшарування та крізьзеренні відколи за кліматичних умов експлуатації, фрагменти міжзеренного руйнування за високотемпературних умов;

- виявлено мікрофрактографічну ознаку експлуатаційного окрихчення металу шва на трубах нафтогону у вигляді елементів крихкого крізьзеренного відколу на противагу іншим зонам осьового зварного з'єднання, яким було властиве розшарування.

- показано, що відношення значень ударної в'язкості з різною геометрією надрізу KCU/KCV можна використовувати як показник високотемпературної деградації теплотривких сталей;

- розроблено нову методологію оцінювання структурно-механічного стану експлуатованих сталей за кліматичних і високотемпературних умов, основу на побудованих кореляційних залежностях між механічними та металографічними чи фрактографічними показниками. Це дало можливість прогнозувати критичний стан сталей за їх опором крихкому руйнуванню.

Наукове значення дисертації полягає у вирішенні важливої науково-технічної матеріалознавчої проблеми, пов'язаної з розробленням, апробацією та практичною реалізацією нових підходів до оцінювання структурно-механічного стану конструкційних сталей тривалої експлуатації за різних температурно-силових умов та дії корозивно-наводнювальних середовищ та обґрунтування їх критичного стану, сукупність яких покладено за основу нової наукової методології оцінювання експлуатаційної деградації сталей.

Практична цінність отриманих у дисертації результатів полягає у створенні можливостей коректного оцінювання поточного стану сталей з урахуванням механізмів їх руйнування в реальних умовах експлуатації та визначення критичного стану, досягнення якого створює високий ризик неконтрольованого порушення цілісності конструкцій.

Практичне значення отриманих результатів підтверджено актами впровадження від управління «Укрзахіднафтогазсервіс» та низки ТЕС ДТЕК.

Ступінь обґрунтованості, достовірність наукових положень та висновків, сформульованих у дисертації. Обґрунтованість наведених в дисертації наукових положень та висновків підтверджується чітким формулюванням завдань, визначенням напрямів їх вирішення, опрацюванням недоліків та переваг відомих методів, комплексним характером експериментів. Достовірність результатів дослідження підтверджується їх відповідністю сучасним уявленням про експлуатаційну деградацію конструкційних сталей, частковою узгодженістю з результатами інших досліджень та логічним поясненням отриманих результатів. Висновки відображають зміст роботи, кожний з них має підтвердження.

Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації й автореферату. Дисертація написана державною мовою, виклад матеріалу є логічним та послідовним, стиль викладення грамотний, розділи взаємопов'язані та розкривають поставлену мету. Тема і зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.02.01 – «Матеріалознавство». Зміст автореферату відповідає змісту дисертації. Оформлення дисертаційної роботи та автореферату відповідають чинним вимогам.

Повнота викладення основних результатів дисертації. Обсяг публікацій за матеріалами дисертації достатньо презентабельний: опубліковано 47 наукових праць, серед яких 31 стаття у наукових фахових виданнях (18 з них входять до наукометричних баз даних WoS та Scopus), 13 - у матеріалах і тезах доповідей міжнародних конференцій, 3 патенти на корисну модель. Індекс Гірша авторки становить 6. Зміст дисертації достатньо повно відображений в опублікованих роботах.

Повнота викладення основних результатів дисертації відповідає чинним вимогам до публікації результатів дисертації на здобуття наукового ступеня доктора наук та їх апробації.

Зміст автореферату та основних положень дисертації є ідентичним

Зауваження до дисертаційної роботи та автореферату:

1. В роботі розглядаються різні температурні режими експлуатації конструкційних сталей (технологічно висока та кліматично обумовлена температури). В обох випадках фрактографічно виявлена мікропошкодженість розглядається як основний наслідок експлуатаційної деградації сталей. Однак крихке руйнування перетинок між пошкодженнями у першому випадку проходить за міжзеренним, а в другому – за кризьзеренним механізмом. Разом з тим в роботі відсутнє пояснення цього.
2. У третьому розділі роботи під час характеристики мікроструктури вуглецевих сталей авторка говорить про спектр мікроструктур від феритної через ферито-перлітну до ферито-карбідної (стор. 8, табл.1 автореферату), в той час як кількість вуглецю в цих сталях свідчить про наявність переважно ферито-перлітної структури із різною питомою часткою перліту.
3. На мою думку не зовсім коректно називати включення, присутні в мікроструктурі досліджуваних сталей, корозивно активними (за текстом четвертого розділу). Як взагалі можна визначити корозійну активність неметалевих включень? Адже саме границі поділу між включеннями та основою сталі за дії агресивних середовищ або напружень, або під час їх спільної дії на матеріал починають працювати в якості мікрогальванічних пар, ініціюючи процес передруйнування, зародження та подальшого поширення тріщин.
4. Отримана залежність типу Петча-Холла для паропровідної сталі (рис. 17 в авторефераті і рис. 5.16 в дисертації) має практичне спрямування, оскільки твердість та розмір зерен можна визначати на поверхні реальних об'єктів, тимчасово виведених з експлуатації. Однак не зрозуміло, чи можна використовувати отриману залежність для всіх досліджуваних сталей за умов їх високотемпературної експлуатації.
5. На рис. 30 автореферату та рис. 7.12 дисертації наведено дві різні залежності, одна з них для низьколегованих, а друга – для високолегованих теплотривких сталей. Досягнення різного критичного стану для різного класу сталей пояснюється різними умовами навантаження під час експлуатації – в основному статичного (для парогонів) та циклічного (для лопаток). При цьому не враховується різниця в мікроструктурі цих сталей у вихідному стані, що безперечно буде впливати на динаміку деградації їх структури, а відповідно і властивостей.
6. Вважаю, що висновки за експериментальними розділами 3, 4, 5, 6, 7 написані не виправдано розлого та безсистемно. Авторка коротко повторює аналіз результатів з тексту відповідної глави без потрібних для висновків атрибутів - узагальнень та чіткості. Це не дає можливості зосередити увагу на головному, що стосується відповідності одержаних результатів до анонсованих у роботі задач.

Слід зазначити, що зроблені вище зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Заклучна оцінка дисертаційної роботи.

Дисертація Г. В. Кречковської «Методологія оцінювання критичного стану тривало експлуатованих конструкційних сталей за зміною їх структури, мікромеханізмів та опору руйнуванню» є завершеною науковою роботою, в якій отримано нові результати, важливі в науковому і практичному плані, які є суттєвим вкладом у розв'язання науково-технічної проблеми оцінювання експлуатаційної деградації сталей з урахуванням реальних умов їх експлуатації.

Дисертаційна робота відповідає чинним вимогам до докторських дисертацій, а її авторка, Галина Василівна Кречковська, заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – «Матеріалознавство».

Офіційний опонент,
завідувач кафедри прикладного
матеріалознавства та обробки матеріалів
Національного університету
«Львівська політехніка» МОН України
доктор технічних наук, професор

З. А. Дурягіна

Підпис професора З. А. Дурягіної засвідчую:

Проректор з науково-педагогічної
роботи та соціального розвитку
Національного університету
«Львівська політехніка» МОН України
д.т.н., доц.



Р. О. Корж