

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу **Павла Едуардовича Лісового**

«Стійкість низьколегованих трубних сталей ферито-перлітного класу та їх зварних з'єднань у нейтральному ґрунтовому середовищі за катодної поляризації»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 132 «Матеріалознавство»

Актуальність теми дисертації

Роботоздатність газотранспортної системи України складає важливий аспект її енергетичної безпеки. Одним із важливих негативних чинників її порушення вважають руйнування підземної частини магістральних газопроводів зі сталей ферито-перлітного класу від сумісної дії корозивно агресивного ґрунтового середовища та механічного навантаження. Для усунення такої небезпеки використовують комплекс науково-технічних заходів, серед яких виділимо електрохімічний захист катодною поляризацією, який ефективно знижує швидкість корозії сталі, однак посилює ризик корозійно-механічного руйнування, особливо зварних з'єднань. Цій проблемі надають значну увагу десятиліттями, однак вода досі не вирішена. Надалі трапляються випадки раптового корозійного розтріскування (КР) трубопроводів з відповідними втратами, фінансовими, технологічними, екологічними, а то і людськими. Це обґрунтовує високий рівень актуальності рецензованої роботи, спрямованої на подальше вивчення КР магістральних газопроводів зі сталей ферито-перлітного класу в умовах застосування катодного захисту.

Оцінювання змісту дисертації, її завершеності та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, списку використаних джерел та двох додатків. У *вступі* відповідно до формальних вимог обґрунтовано актуальність науково-практичної проблеми, сформульовано мету та на її виконання перелік завдань досліджень, особливості застосованих експериментальних методик, відзначено наукову новизну та практичну цінність отриманих в роботі результатів. Наведено інформацію щодо особистого внеску здобувача, кількості публікацій, структури та обсягу роботи, зазначено зв'язок із науковими темами.

У *першому розділі* викладено аналіз літературних джерел щодо закономірностей КР підземних магістральних газопроводів. Розглянуто механізм та способи захисту підземних газопроводів від ґрунтової корозії, дано визначення явища КР та визначено чинники, які його спричиняють. Обговорено КР сталей трубного сортаменту в умовах катодної поляризації, вплив електролітичного наводнювання в лабораторних умовах та вплив рівня потенціалу катодного захисту на їх чутливість до КР.

Другий розділ присвячено методичним аспектам роботи. Вивчали ферито-перлітного класу маловуглецеві 09Г2С, 17Г1С і низьколеговану 10Г2ФБ трубні сталі та зварне з'єднання сталі 10Г2ФБ. Застосовували такі методи досліджень: деформацію розтягом за малою швидкістю 10^{-6} c^{-1} (метод «slow strain rate tension»), вольтамперометрію, потенціометрію, визначення електролітичного наводнювання сталі за катодної поляризації, оптичну мікроскопію, сканувальну електронну мікроскопію, візуальний огляд, графічно-аналітичні методи.

У третьому розділі описано удосконалену розроблену в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона комплексну методику, що застосовується для прискореного дослідження КР трубних сталей в лабораторних умовах. Методику удосконалено в частині вольтамперометричного визначення діапазону потенціалів зміни механізму КР, швидкості залишкової корозії та оцінювання частки крихкої складової у зламах зразків після їх корозійно-механічних випробувань із застосуванням комп'ютерної програми аналізу зображень.

У четвертому розділі наведені отримані закономірності КР сталей 09Г2С та 17Г1С за впливу катодної поляризації. Підтверджено, що КР трубних сталей залежить від потенціалу катодної поляризації за різними механізмами: локального анодного розчинення, водневого розтріскування та змішаним механізмом. Корозійне розтріскування досліджених сталей за змішаним механізмом, коли починається проникнення водню в сталь, відбувається за різних потенціалів: для сталі 09Г2С за потенціалу $-0,850 \text{ В}$, 17Г1С за потенціалу $-0,800 \text{ В}$. Корозійне розтріскування за водневим механізмом, яке є найнебезпечнішим чинником руйнування магістральних газопроводів для сталі 09Г2С починається за потенціалів від'ємніше $-0,980 \text{ В}$, для сталі 17Г1С – від'ємніше $-1,000 \text{ В}$, що підтверджено результатами оцінювання схильності до КР за показником K_s , сканувальної електронної мікроскопії та комп'ютерної програми аналізу поверхні руйнування.

П'ятий розділ присвячено дослідженню закономірностей КР низьколегованої трубної сталі 10Г2ФБ та її зварного з'єднання. Відзначено розширення діапазону дії змішаного механізму корозійного розтріскування для цієї сталі від $-0,750$ до $-1,050 \text{ В}$. Цей діапазон для сталі 10Г2ФБ становить $0,300 \text{ В}$, на відміну від низьколегованих сталей, для яких діапазон змішаного механізму дорівнює для сталі 09Г2С $-0,150 \text{ В}$; для 17Г1С $-0,180 \text{ В}$. Корозійне розтріскування за водневим механізмом для сталі 10Г2ФБ починається за найбільш від'ємного потенціалу, $-1,050 \text{ В}$ порівняно із низьколегованими сталями. Вперше встановлено, що в нормованому ДСТУ 4219 діапазоні захисних потенціалів від $-0,750 \text{ В}$ до $-1,050 \text{ В}$ схильність до КР зварного з'єднання сталі 10Г2ФБ нижче, ніж для основного металу: показник K_s змінюється від 1,0 до 1,09. Для зварного з'єднання із зростанням потенціалу катодної поляризації не виявлено стійкої тенденції до зростання схильності до корозійного розтріскування. Показано що руйнування зварного з'єднання відбувається по основному металу, що задовільно корелює з аналізом випадків КР на магістральних газопроводах. Встановлено правомірність застосування

коефіцієнту K_S , введеного для основного металу, для оцінювання схильності зварного з'єднання до корозійного розтріскування.

Сформульовані *висновки* дисертаційної роботи наголошують на науковій новизні та прикладній цінності отриманих результатів. *Список використаних джерел* вказує на сучасний аналіз наукової літератури у напрямі, пов'язаному з виконанням автором досліджень.

Підсумовуючи аналіз результатів досліджень зазначимо, що дисертаційна робота П. Е. Лісового є завершеною науковою працею, свідчить про наявність особистого внеску здобувача і повністю відповідає стандарту вищої освіти за спеціальністю 132 «Матеріалознавство». З аналізу звіту щодо подібності дисертаційної роботи на текстові співпадиння можна зробити висновок, що робота є результатом самостійних досліджень здобувача, не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї та результати інших авторів підкріплені відповідними посиланнями.

Оцінювання мови та стилю дисертаційної роботи

Дисертація написана українською мовою, текст викладено зрозуміло та послідовно, оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами, внесеними згідно з наказом МОН України від 31 травня 2019 № 759).

Оцінювання ступеню обґрунтованості результатів дисертаційної роботи, їх достовірності та наукової новизни

Високий рівень досліджень корозійного розтріскування ферито-перлітних сталей в умовах катодної поляризації в модельному ґрунтовому електроліті NS4 досягнуто здобувачем завдяки використанню комплексу сучасних експериментальних методів та оброблення отриманих даних, застосуванням каліброваного обладнання. Наукові положення та висновки, які зроблені за результатами дисертаційної роботи, достатньо обґрунтовані та узгоджуються із результатами, отриманими в світовій літературі, що підтверджено критичним аналізом сучасних літературних джерел, електронних ресурсів та нормативних документів.

Положення наукової новизни та практичне значення результатів роботи.

До результатів, що були отримані під час виконання дисертаційної роботи, та мають **наукову новизну**, треба віднести наступні:

- розширено уявлення про стійкість сталей ферито-перлітного класу 09Г2С, 17Г1С та 10Г2ФБ проти КР у ґрунтовому середовищі, з рН, наближеним до нейтрального (модельному ґрунтовому електроліті NS4), за катодної поляризації, яке полягає у тому, що залежно від рівня катодної поляризації в нормованому ДСТУ 4219 діапазоні захисних потенціалів від -0,750 до -1,05 В КР відбувається за механізмами локального анодного розчинення, водневого розтріскування або змішаним, а діапазони потенціалів дії зазначених механізмів відрізняються для сталей різного хімічного складу.

- вперше встановлені границі діапазонів потенціалів, за яких відбувається зміна механізму КР сталей ферито-перлітного класу модельному ґрунтовому електроліті NS4 в нормованому ДСТУ 4219 діапазоні захисних потенціалів. Для сталей 09Г2С, 17Г1С та 10Г2ФБ змішаний механізм реалізується в діапазонах: від -0,850 В до -1,000 В, від -0,800 В до -0,980 В, від -0,750 до -1,050 В, відповідно. За потенціалів, позитивніших нижньої границі, діє механізм локального анодного розчинення, від'ємніше верхньої границі – водневого розтріскування.

- вперше встановлено, що зварні з'єднання зі сталі 10Г2ФБ не схильні до КР за водневим механізмом в нормованому ДСТУ 4219 діапазоні захисних потенціалів від -0,750 до -1,05 В у модельному ґрунтовому електроліті NS4. Руйнування зварного з'єднання відбувається по основному металу, що доведено металографічними дослідженнями та узгоджується з випадками КР на магістральних газопроводах.

- вперше встановлена правомірність застосування коефіцієнту схильності до корозійного розтріскування K_S , введеного для основного металу, для порівняльного оцінювання стійкості зварних з'єднань.

Практичне значення результатів роботи полягає у наступному:

1. Удосконалено комплексну методику прискореного дослідження КР трубних сталей в частині вольтамперометричного визначення діапазону потенціалів зміни механізму корозійного розтріскування, швидкості залишкової корозії та оцінювання частки крихкої складової у зламах зразків із застосуванням комп'ютерної програми аналізу зображень. Удосконалена методика використана під час дослідження причин та механізму руйнування магістральних газопроводів України в 2020-2021 рр. для ТОВ «Оператор газотранспортної системи України».

2. Розроблено лабораторний стенд для визначення швидкості залишкової корозії трубної сталі за катодного захисту, що дає змогу встановити значення мінімального потенціалу, за якого досягається технічно достатній захисний ефект (межа 0,01 мм/рік).

3. Встановлено, що КР за найнебезпечнішим водневим механізмом реалізується для сталей 09Г2С та 17Г1С за потенціалів, від'ємніших -0,980 В та -1,000 В, відповідно, що нижче за абсолютним значенням нормованого ДСТУ 4219 максимального захисного потенціалу. На відміну від зазначених сталей, корозійне розтріскування сталі 10Г2ФБ за водневим механізмом починається за потенціалів, від'ємніших максимального захисного -1,050 В.

Повнота викладення матеріалу та оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертаційної роботи висвітлені у 14 працях, серед яких 4 статті у наукових періодичних виданнях, що входять до наукометричної бази SCOPUS, 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України, 6 публікацій у збірниках наукових праць і матеріалах конференцій, у тому числі міжнародних. Участь

здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві, зазначена у дисертації. Представлені в дисертаційній роботі наукові результати повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача та відповідають вимогам пункту 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року.

За критичним аналізом дисертаційної роботи здобувача сформульовано низку зауважень:

1. Для низьколегованої сталі 10Г2ФБ виявлено переваги порівняно з іншими досліджуваними в роботі сталями щодо схильності до корозійного розтріскування, особливо за механізмом водневого розтріскування. Цей важливий аспект застосування водневого матеріалознавства варто було дослідити глибше.
2. В роботі слід було провести системний аналіз оцінювання чутливості сталей до КР за зміною характеристик пластичності з огляду на можливі переваги одного з показників пластичності, відносного подовження, чи відносного звуження. Поодинокі спостереження з цього приводу здобувачем даються, однак цього недостатньо.
3. Звертають на себе увагу різкі відмінності у ході діаграм розтягу на повітрі і в середовищі вже на початках пластичного деформування зразків (для прикладу, рис. 4.3), в той же час аналіз схильності сталей до КР проведено на основі інтегрального аналізу з урахуванням всіх стадій деформування аж до руйнування. Варто би було порівняти такі оцінки з метою виявлення найчутливіших показників.
4. Викликає сумнів коректність у трактуванні збільшення наводнювання зі зростанням ступеня катодної поляризації як схильність до наводнювання. З іншого боку виглядає, що приведені матеріали дають можливість порівняти різні сталі саме за схильністю до наводнювання.
5. Зауваження технічного характеру: а) в переліку скорочень, умовних позначень подано подовження зразка за випробувань на повітрі і як δ , і як ε ; використано термін границя текучості замість плинності; б). можна зустріти випадки відсутності квадратних дужок при цитуванні літератури; випадки русизму: стакан (стор. 63).

Вказані зауваження не змінюють загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи П. Е. Лісового «Стійкість низьколегованих трубних сталей ферито-перлітного класу та їх зварних з'єднань у нейтральному ґрунтовому середовищі за катодної поляризації».

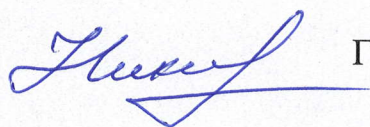
Висновок щодо дисертаційної роботи

Дисертаційна робота П. Е. Лісового «Стійкість низьколегованих трубних сталей ферито-перлітного класу та їх зварних з'єднань у нейтральному ґрунтовому середовищі за катодної поляризації» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності

та є завершеним дослідженням, у якому виконано актуальне науково-практичне завдання – визначено стійкість сталей ферито-перлітного класу, з яких побудовані магістральні газопроводи України, 09Г2С, 17Г1С, 10Г2ФБ та зварних з'єднань, проти корозійного розтріскування у ґрунтовому середовищі з рН, наближеним до нейтрального (модельному ґрунтовому електроліті NS4), за катодної поляризації в нормованому ДСТУ 4219 діапазоні захисних потенціалів від -0,750 до -1,050 В. Дисертаційна робота за актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю повністю відповідає вимогам пунктів 6, 8 та 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор Лісовий Павло Едуардович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 «Матеріалознавство» галузі знань 13 «Механічна інженерія».

Офіційний опонент:

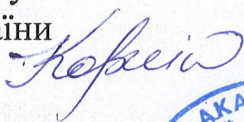
провідний науковий співробітник відділу
діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів
Фізико-механічного інституту
ім. Г.В. Карпенка НАН України
доктор технічних наук,
професор



Григорій НИКИФОРЧИН

Підпис Григорія НИКИФОРЧИНА засвідчую:

Вчений секретар
Фізико-механічного інституту
ім. Г.В. Карпенка НАН України
кандидат технічних наук



Валентина КОРНІЙ

