

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Лісового Павла Едуардовича

«Стійкість низьколегованих трубних сталей ферито-перлітного класу та їх зварних з'єднань у нейтральному ґрунтовому середовищі за катодної поляризації», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 132 «Матеріалознавство»

Актуальність теми дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Лісового Павла Едуардовича присвячена актуальному питанню сучасності – визначенню стійкості зварних з'єднань магістральних газопроводів України проти корозійного розтріскування у ґрунтовому середовищі з рН, наближеним до нейтрального.

Газотранспортна система (ГТС) України включає мережу магістральних газопроводів довжиною приблизно 40 тисяч км, в основному підземного прокладання. Для захисту трубопроводів від корозійних процесів застосовують комплексний протикорозійний захист (захисними полімерними покриттями та електрохімічний – наведенням катодної поляризації), що дає змогу знизити швидкість корозії сталі до технічно-допустимого рівня (менше 0,01 мм/рік). Проте, впроваджені протикорозійні заходи не забезпечують 100% відсутності протікання корозійних процесів, а частка аварій, спричинена корозійним розтріскуванням досягає 40%. Важливими для подальшої безпечної експлуатації ГТС України є дослідження спрямовані на встановлення впливу катодної поляризації на закономірності корозійних процесів (корозійного розтріскування та анодного розчинення). Тому визначення стійкості сталей ферито-перлітного класу (09Г2С, 17Г1С, 10Г2ФБ), з яких побудовані магістральні газопроводи України проти корозійного розтріскування у ґрунтовому середовищі, є актуальною науково-технічною задачею.

Структура та оформлення

Дисертаційна Лісового П.Е. робота складається з анотації, переліку скорочень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та 2 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 163 сторінки з 53 рисунками, 16 таблицями, бібліографічним списком із 114 найменувань та 2 додатків з методиками досліджень.

У **першому розділі** наведено огляд літературних джерел щодо особливостей корозійного розтріскування підземних магістральних газопроводів. Розглянуто механізм корозії сталі у ґрунті, способи захисту підземних газопроводів від ґрунтової корозії, дано визначення явища корозійного розтріскування, визначено чинники, які його викликають.

У **другому розділі** обґрунтовано вибір об'єктів досліджень: маловуглецеві (09Г2С, 17Г1С) і низьколегована (10Г2ФБ) трубні сталі та зварне з'єднання зі сталі 10Г2ФБ. Наведено методики досліджень. Деформація з малою швидкістю 10^{-6} с^{-1} , вольтамперометрія, потенціометрія, визначення електролітичного наводнювання сталі за катодної поляризації, оптична мікроскопія, сканувальну електронну мікроскопію, візуальний огляд, графічно-аналітичні методи.

Третій розділі присвячено удосконаленню розробленої в Інституті електрозварювання комплексної методики, що застосовується для прискореного дослідження корозійного розтріскування трубних сталей в лабораторних умовах, 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 у зламах зразків після корозійно-механічних випробувань.

У **четвертому розділі** наведено результати дослідження закономірностей процесу корозійного розтріскування маловуглецевих трубних сталей 09Г2С та 17Г1С за впливу катодної поляризації. Підтверджено, що корозійне розтріскування трубних сталей залежно від

потенціалу перебігає за різними механізмами: *локального анодного розчинення, водневого розтріскування та змішаним механізмом*, коли починається проникнення водню в сталь, що відбувається за різних потенціалів: для сталі 09Г2С за -0,850 В, 17Г1С за -0,800 В. Корозійне розтріскування за водневим механізмом, яке є найнебезпечнішим чинником руйнування магістральних газопроводів для сталі 09Г2С починається за потенціалів від'ємніше -0,980 В, для сталі 17Г1С – від'ємніше -1,000 В, що підтверджено результатами оцінювання схильності до корозійного розтріскування за коефіцієнтом K_S , сканувальної електронної мікроскопії та комп'ютерної програми аналізу поверхні руйнування.

У **п'ятому розділі** представлені результати дослідження закономірностей корозійного розтріскування низьколегованої трубної сталі 10Г2ФБ та її зварного з'єднання. Відзначено розширення діапазону дії *змішаного механізму* корозійного розтріскування для цієї сталі від -0,750 В до -1,050 В. Цей діапазон для сталі 10Г2ФБ становить 0,300 В. Корозійне розтріскування за водневим механізмом для сталі 10Г2ФБ починається за найбільш від'ємного потенціалу, -1,050 В порівняно із низьколегованими сталями. При цьому встановлено, що в нормованому діапазоні захисних потенціалів від -0,750 В до -1,050 В схильність до корозійного розтріскування зварного з'єднання сталі 10Г2ФБ нижче, ніж для основного металу. Показано що руйнування зварного з'єднання відбувається по основному металу, що корелює з результатами аналізу випадків корозійного розтріскування на магістральних газопроводах.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій

Сформульовані в дисертаційній роботі наукові положення, висновки та рекомендації достатньо повно обґрунтовані здобувачем, викладені в доказовій формі та відповідають всім вимогам МОН України щодо дисертаційних робіт.

Автором чітко визначено об'єкт та предмет дослідження, його мету, точно сформульовано завдання дослідження. В дисертаційній роботі

опрацьовано і значна кількість літературних джерел як вітчизняних, так і зарубіжних вчених.

Обґрунтованість наукових положень і висновків забезпечено використанням у роботі праць визнаних вчених і фахівців у галузі корозійного розтріскування магістральних трубопроводів; застосуванням добре апробованих методів та методик дослідженні та розробці власних. У роботі використано методи визначення електролітичного наводнювання сталі методом катодної поляризації, деформації з малою швидкістю, оптичної та електронної мікроскопія, потенціометрії та інші.

Обґрунтованість отриманих результатів, наукових положень і висновків також підтверджена успішною апробацією матеріалів дисертації на численних наукових конференціях, в тому числі і міжнародних.

Достовірність та наукова новизна результатів досліджень

Достовірність отриманих результатів забезпечувалася проведенням досліджень у випробувальній лабораторії, акредитованій Національним агентством з акредитації України відповідно до вимог ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019. Найвагоміші результати дисертаційної роботи, які відображають наукову новизну, наступні:

Розширено уявлення про стійкість сталей ферито-перлітного класу 09Г2С, 17Г1С та 10Г2ФБ проти корозійного розтріскування 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 діапазоні захисних потенціалів від -0,750 до -1,05 В, корозійне розтріскування відбувається за механізмами локального анодного розчинення, водневого розтріскування або змішаним. Особливо слід підкреслити, що діапазони потенціалів дії зазначених механізмів відрізняються для сталей різного хімічного складу.

Встановлені границі діапазонів потенціалів, за яких відбувається зміна механізму корозійного розтріскування 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 більш позитивних нижньої границі діє механізм локального анодного розчинення, більш від'ємних верхньої границі – водневого розтріскування.

Встановлено, що зварні з'єднання зі сталі 10Г2ФБ не схильні до корозійного розтріскування 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 корозійного розтріскування на магістральних газопроводах.

Вперше встановлено правомірність застосування коефіцієнту схильності до корозійного розтріскування K_s , введеного для основного металу, для порівняльного оцінювання стійкості бездефектних зварних з'єднань.

Значущість отриманих результатів для науки та практичного використання

Дослідження, які проводилися в рамках даної дисертаційної роботи, вирішили важливе науково-технічне завдання у галузі магістральних газопроводів, зокрема встановлення стійкості зварних з'єднань сталей ферито-перлітного класу, з яких побудовані магістральні газопроводи України: 09Г2С, 17Г1С, 10Г2ФБ, 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. Отримані результати мають важливе значення для подальшої безпечної експлуатації ГТС України.

Практична цінність роботи полягає в наступному:

1. Удосконалено комплексну методику прискореного дослідження стійкості низьколегованих сталей ферито-перлітного класу проти

корозійного розтріскування 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.

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

3. Встановлено, що корозійне розтріскування за водневим механізмом, яке є найнебезпечнішим чинником руйнування магістральних газопроводів, у модельному ґрунтовому електроліті NS4 для сталей 09Г2С та 17Г1С починається за потенціалів, більш від'ємних -0,980 В та -1,000 В, відповідно, що нижче за абсолютним значенням нормованого ДСТУ 4219 максимального захисного потенціалу. На відміну від зазначених сталей, для 10Г2ФБ, легованої ванадієм та ніобієм, корозійне розтріскування за водневим механізмом починається за потенціалів, від'ємніших максимального захисного -1,05 В, що обумовлено наявністю більшої кількості легувальних елементів.

Удосконалена методика використана під час дослідження причин та механізму руйнування магістральних газопроводів України в 2020-2021 рр. для ТОВ «Оператор газотранспортної системи України».

Повнота вкладу результатів дисертаційного дослідження та наукових положень в опублікованих працях

За темою дисертації опубліковано 14 робіт, з них 4 статті у науково періодичних виданнях, що входять до наукометричної бази SCOPUS, 4 статті у фахових виданнях України, 6 публікації у збірниках наукових праць і матеріалах конференцій.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві, зазначена у дисертації.

Апробація роботи: основні наукові положення та результати досліджень доповідалися на 6 науково-технічних конференціях.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації 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.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. В роботі наведено результати досліджень впливу потенціалу катодної поляризації на наводнювання ферито-перлітних сталей різного хімічного складу. Але не зазначено, чи можна досліджувати проникнення водню в метал зварних з'єднань. На мій погляд, це розширило б границі вивчення механізму водневого розтріскування.

2. Відомо, що корозійне розтріскування зазвичай ініціюється на дефектах структури та неметалевих включеннях. Однак, в дисертації цьому питанню не приділено увагу. Поясніть, чи враховували вплив дефектів у проведених дослідженнях?

3. Зауваження стосовно механізму корозійного розтріскування сталей в умовах катодної поляризації. В роботі не тільки показано, але й кількісно оцінено фрактографічні ознаки проявів анодного розчинення чи водневого окрихчення під час досліджень. Доцільно було б конкретніше охарактеризувати, які саме фрактографічні ознаки є ознаками дії механізму локального анодного розчинення, а які характерні для механізму водневого розтріскування?

Висновок по дисертації

Відмічені недоліки та зауваження, які були висловлені щодо окремих аспектів роботи, не впливають на загальний науковий рівень та важливість досліджень, представлених у дисертації. Дисертаційна робота П.Е. Лісового на тему «Стійкість низьколегованих трубних сталей ферито-

перлітного класу та їх зварних з'єднань у нейтральному ґрунтовому середовищі за катодної поляризації» виконана на високому науково-технічному рівні і є самостійним та завершеним науковим дослідженням на актуальну тему. Вона має значний потенціал для подальших досліджень, спрямованих запобіганню корозійному розтріскуванню магістральних трубопроводів, та безсумнівно має практичну цінність для газотранспортної системи України.

Дисертаційна робота 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 №44 від 12 січня 2022 року, а її автор – **Лісовий Павло Едуардович** – заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 132 «Матеріалознавство».

Рецензент:

провідний науковий співробітник
відділу №12 «Нові конструктивні
форми зварних споруд і конструкцій»
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник

Мар'яна РАБКІНА

Підпис Мар'яни РАБКІНОЇ засвідчую:

Вчений секретар
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України
кандидат технічних наук



Ілля КЛОЧКОВ