

622.692.4.076 (043)

K 59

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

КОЗАК Ольга Любомирівна

УДК 622.692.4.076:

620.197 (043)

K59



^Е
ВПЛИВ КОРОЗІЙНОГО СЕРДОВИЦА НА ІНТЕНСИВНІСТЬ
РУЙНУВАННЯ ТРУБ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОНАФТОПРОВІДІВ

Спеціальність 05.15.13 – трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2013



Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Петрина Юрій Дмитрович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу, завідувач кафедри
технології нафтогазового машинобудування

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Никифорчин Григорій Миколайович,
Фізико-механічний інститут НАН України,
завідувач відділу корозійно-водневої
деградації та захисту матеріалів;

кандидат технічних наук
Савула Степан Федорович,
УМГ «Львівтрансгаз, ПАТ «Укртрансгаз»,
головний інженер

Захист відбудеться 20 листопада 2013 р. о 13 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий 18 жовтня 2013 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 20.052.04

Пилипів Л.Д.

**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

Актуальність теми. Сьогодні нафтогазотранспортна система України володіє широкою мережею трубопроводів, загальна протяжність яких становить більше 35 тис. км. Надійність внутрішнього постачання енергоносіями так і транзит їх в інші країни залежить від технічного стану трубопроводів.

Більшість магістральних нафтогазопроводів або вже вичерпала свій розрахунковий експлуатаційний ресурс, або на межі цього. Тому особливо актуальним є обґрунтування їх безпечної експлуатації з урахуванням можливої деградації властивостей металу, що визначає його працездатність. Численними дослідженнями доведено, що процеси руйнування трубопроводів під впливом одночасної дії механізму навантажень та корозійних робочих середовищ обумовлені низкою фізико-хімічних локалізованих процесів утворення та розвитку у матеріалі тріщиноподібних дефектів. При цьому ці процеси часто виникають не лише у місцях підвищеної поряд з місцями підвищеної концентрації напружень (отвори, щілини, вирізи тощо), а й на гладких деформованих поверхнях, що зумовлено гетерогенністю їх фізико-хімічного стану. Останніми статистичними даними встановлено, що близько 60-ти відсотків випадків виходу з ладу нафтогазопроводів зумовлено первинними корозійно-механічними пошкодженнями та утворенням і подальшим розвитком поверхневих тріщиноподібних дефектів. У зв'язку з цим виникла гостра потреба в розробленні ефективних методів оцінки цих явищ і адекватних розрахункових моделей для інженерної практики. Значний внесок у розвиток цих методів внесли: Андрейків О.С., Банахевич Ю.В., Білобаран Б.С., Грабовський Р.С., Грудз В.Я., Гумеров А.Г., Івасів В.М., Капцов І.І., Красовський А.Я., Крижанівський Є.І., Лобанов Л.І., Майстренко А.Л., Никифорчин Г.М., Осадчук В.А., Похмурський В.І., Чернов В.Ю., Шлапак Л.С., Ямалєєв К.М. Проте на сьогоднішній день такі наукові розробки розвинуті ще недостатньо, особливо в плані врахування різноманітності умов експлуатації, деградації властивостей трубних сталей в результаті їх старіння і специфіки взаємодії робочого середовища з приповерхневими деформованими шарами матеріалу, закономірностей зародження і поширення тріщини. У зв'язку з цим встановлення умов корозійно-втомного руйнування металу трубопроводів у взаємозв'язку з параметрами фізико-механічного стану його поверхні та механізмами дії робочого середовища є актуальною науковою та прикладною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі технології нафтогазового машинобудування ІФНТУНГ відповідно до плану науково-дослідних робіт університету нафти і газу в межах держбюджетної теми «Удосконалення наукових основ управління технологічними процесами видобування та транспортування нафти і газу з мінімальними енергозатратами», а також Національної програми «Концепція розвитку, модернізації і переоснащення газотранспортної системи України на 2009-2015р.р.», регіональної програми «Визначення залишкового ресурсу конструкцій, споруд і машин тривалої експлуатації та розробка заходів для продовження терміну їх безаварійної роботи на 2007-2012 роки».

an 2417 - an 2418

Мета і задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є встановлення критеріїв тріщиностійкості в сталях магістральних нафтогазопроводів під час їх циклічного деформування в робочих корозійно-агресивних середовищах. Для досягнення поставленої мети слід було вирішити такі задачі.

1. Вивчення впливу низки експлуатаційних чинників на умови корозійно-втомного руйнування сталей нафтогазопроводів.
2. Дослідження методу внутрішнього тертя металів з метою застосування його для оцінювання ступеня деградації трубних сталей. Вивчити вплив деградації трубних сталей на зміну внутрішнього тертя в цих сталях.
3. Вивчення впливу експлуатаційної деградації та легування рідкоземельними металами на періоди зародження і поширення втомних тріщин трубних сталей.
4. Проведення порівняльної оцінки корозійно-механічних властивостей різних зон вихідного та ремонтного зварних з'єднань трубної сталі 17Г1С.
5. Розроблення та впровадження у нафтогазову галузь нових методів і засобів для встановлення технічного стану трубних сталей тривалої експлуатації.

Об'єкт дослідження. Процес руйнування магістральних нафтогазопроводів, що спричинений зародженням та поширенням втомних тріщин під дією експлуатаційних чинників.

Предмет дослідження. Закономірності змін тріщиностійкості трубних сталей під час їх циклічного деформування у водних робочих середовищах.

Методи дослідження. Під час досліджень застосували числові методи розв'язування диференціальних рівнянь, основні положення аналітичної геометрії, теорії ймовірності, механіки руйнування, опору матеріалів, матеріалознавства, електрохімії. Експериментальні дослідження проведені з дотриманням стандартних методик і використанням основних положень математичної статистики.

Положення, що виносяться на захист

1. Закономірності корозійно-втомного руйнування сталей і зварних з'єднань магістральних нафтогазопроводів у залежності від характеру прикладених циклічних навантажень та складу і рН робочого середовища.

2. Встановлення можливості застосування методу внутрішнього тертя металів для оцінювання ступеня деградації трубних сталей.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Вперше одержано нові дані про кінетику розвитку втомних тріщин у досліджуємих сталях 17Г1С, X52 і 10ГС в залежності від низки експлуатаційних чинників, циклічних навантажень та складу і рН корозійно-активного робочого середовища.

2. Вперше встановлено можливість і розроблено наукові основи застосування методу внутрішнього тертя металів для оцінювання ступеня деградації трубних сталей.

3. Отримали подальший розвиток методика та технічні засоби для дослідження тріщиноутворення в трубних сталях а також впливу деградації на періоди зародження і поширення корозійно-втомних тріщин.

4. Вперше здійснено порівняльна оцінка корозійно-механічних властивостей різних зон вихідного та ремонтного зварних з'єднань трубної сталі 17Г1С.

Достовірність отриманих результатів і висновків забезпечується використанням фундаментальних положень методів розв'язання диференціальних рівнянь, аналітичної геометрії, теорії ймовірності, механіки руйнування, опору матеріалів, матеріалознавства, електрохімії; коректним виконанням експериментальних досліджень з дотриманням стандартних методик і використанням основних положень математичної статистики; відтворюваністю експериментальних даних і їх узгодженістю з літературними даними; використанням рекомендацій і висновків дисертації в практичній діяльності підприємств.

Практичне значення отриманих результатів полягає у встановленні умов корозійно-втомного руйнування трубних сталей і їх зварних з'єднань під дією різних експлуатаційних чинників з метою використання отриманих результатів для експертного оцінювання і прогнозування залишкового ресурсу нафтогазопроводів.

Розроблено інженерні характеристики процесу зародження корозійно-втомної тріщини, що враховує як механічні, так і фізико-хімічні параметри взаємодії деформованого металу з робочим середовищем. Встановлено значення кількості циклів навантаження до утворення корозійно-втомної мікротріщини у стінках трубопроводів з урахуванням експлуатаційної деградації металу труб.

Встановлено відмінності між фізико-механічними і електрохімічними властивостями у вихідних і ремонтних зварних з'єднань, що дає можливість врахувати це під час експлуатації магістральних трубопроводів.

Розроблено та впроваджено у трубопровідному транспорті нові методи і засоби для встановлення технічного стану нафтогазопроводів на пізній стадії їх експлуатації. Впровадження виконано в УМГ «Прикарпаттрансгаз».

Особистий внесок здобувача. З усього обсягу представлених матеріалів, які становлять суть дисертації, більшість отримано самостійно. Наукові праці [3, 12] опубліковані одноосібно. У роботах, написаних у співавторстві, здобувачеві належить: створення методики, реалізація експериментів і оброблення одержаних даних [1, 2-5, 6-12].

Апробація результатів дисертації. Наведені в дисертації результати доповідались і обговорювались на міжнародній науково-практичній конференції «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій», що відбулась у Львові 7- 9 листопада 2012 р., а також на міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу» (м. Івано-Франківськ, 15-18 травня 2012 р.) та у міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні екологічно безпечні та енергозберігаючі технології в природокористуванні» (м. Київ, 26-28 квітня 2011 р.).

Результати досліджень дисертаційної роботи доповідались у повному обсязі на науковому семінарі відділу корозійно-водневої деградації захисту матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України (керівник – завідувач відділу, д.т.н., професор Г.М. Никифорчин), а також на розширеному науковому семінарі факультету нафтогазопроводів ІФНТУНГ (керівник – зав. кафедри спорудження і ремонту газонафтопроводів та газонафтосховищ, д.т.н., професор В.Я. Грудз).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 12 наукових праць, у тому числі 8 - у фахових наукових виданнях, решта – у збірниках праць і тезах конференцій, одна робота і одні тези доповіді опубліковані одноосібно.

Структура роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 128 найменувань, викладена на 144 сторінках друкованого тексту, містить 57 рисунків, 12 таблиць і 1 додаток.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подається загальна характеристика дисертації, показано актуальність теми, її зв'язок з науковими програмами, вказано мету і завдання досліджень, їх наукову новизну, особистий внесок автора і структуру дисертації.

Перший розділ присвячено аналізу літературних джерел та уточненню завдань досліджень.

В Україні трубопровідний транспорт є одним із найрозвиненіших за обсягом транспортування і складається з двох частин – газопроводів та нафтопроводів (продуктопроводів).

Надійність внутрішнього постачання енергоносіїв, та транзит їх в інші країни залежить від технічного стану трубопроводів і його збереження. На сьогодні близько 90% нафтопроводів і 29% газопроводів відпрацювали свій амортизаційний термін (експлуатуються вже від 20 до 40 років і більше).

Останніми статистичними даними встановлено, що близько 60-ти відсотків випадків виходу з ладу нафтогазопроводів зумовлено первинними корозійно-механічними пошкодженнями та утворенням і подальшим розвитком поверхневих тріщиноподібних дефектів. У зв'язку з цим виникла гостра потреба в розробці ефективних методів оцінки цих явищ і адекватних розрахункових моделей для інженерної практики.

Внаслідок тривалого впливу експлуатаційних навантажень і навколишнього середовища в трубах поступово накопичуються незворотні пошкодження. Окрім того, в метали навіть неексплуатованих труб вже існують дефекти (металургійні, будівельні, монтажні тощо). Все це приводить до позаштатних ситуацій, а інколи і до масштабних аварій, які зумовлюють не лише значні матеріальні збитки, але і порушують екологічну безпеку довкілля. Тому надійність і безпека магістральних трубопровідних систем є визначальною вимогою їх допуску до експлуатації.

Специфічна робота нафтогазопроводів обумовлена сумісною дією напружено-деформованого стану труби і корозійного середовища. Руйнування труби починається з утворення корозійних виразок. Під дією циклічного навантаження, в місцях концентрації напружень, зароджуються мікротріщини, які в подальшому переростають у макротріщини і поширюються в тіло труби. Від швидкості росту тріщин залежить довговічність трубопроводів. Однак характер росту втомних тріщин залежить від багатьох експлуатаційних чинників.

Кінетичні діаграми втомного руйнування (КДВР) мають три характерних ділянки, які відрізняються за механізмами росту тріщини. Це спричиняє специфічну для різних ділянок реакцію на дію різноманітних механічних, металургійних, фізико-хімічних і геометричних чинників. Наведений у підрозділі 1.4 критичний

аналіз таких досліджень показав обмеженість і суперечливість одержаних результатів. Без врахування цих чинників неможливо отримати достовірні характеристики корозійно-втомного руйнування трубних сталей в лабораторних умовах і забезпечити високі характеристики опору втомному руйнування нафтогазопроводів. У зв'язку з такою невизначеністю подібні дослідження потребують подальшого розвитку.

Більшість магістральних газонафтопроводів України перебувають на пізній стадії експлуатації. Для їх безпечної експлуатації необхідне врахуванням можливої деградації матеріалу трубопроводів. Тому останнім часом значна увага дослідників спрямована на встановлення ступеня деградації властивостей сталі трубопроводів.

Завдання ускладнюється тим, що результати, одержані з показників ступеня деградації, залежать від методів їх оцінювання, і можуть свідчити як про відсутність змін, так і про наявність суттєвих змін. Щоб уникнути неоднозначності результатів у вирішенні різних задач фізичного металознавства можна використати метод внутрішнього тертя. Застосування цього методу для технічного діагностування процесів деградації металів можна вважати досить перспективним для практичного використання, оскільки він відноситься до числа найбільш чутливих до змін структурних властивостей трубних сталей, що відбуваються за час експлуатації. Відзначимо, що на сьогоднішній день такі дослідження в практиці експлуатації магістральних нафтогазопроводів повністю відсутні.

Руйнування нафтогазопроводів під впливом одночасної дії механічних навантажень і корозійно-агресивних робочих середовищ та деградації трубних сталей обумовлено фізико-хімічними локалізованими процесами утворення та поширення тріщиноподібних дефектів. Опираючись на критерії механіки руйнування оцінка працездатності пошкоджених трубопроводів базується на гранично-рівноважному стані труби з різними дефектами. Такий підхід дає можливість оцінити момент настання катастрофічного руйнування труби, не розглядаючи при цьому окремі стадії руйнування, які передують досягненню критичного стану. Однак корозійно-втомне руйнування сталей, яке є основним для магістральних нафтогазопроводів - це багатостадійний процес. Він має два основних періоди - період зародження та період поширення втомної тріщини до руйнування. Однак ці питання вивчені ще недостатньо, що вимагає подальшого розширення досліджень з вивчення впливу довготривалої експлуатації трубопроводів на періоди зародження та поширення корозійно-втомних тріщин в трубних сталях.

В останні роки проведено низку досліджень, в яких показано, що корозійні властивості металу трубопроводів можна підвищувати шляхом мікролегування сталей рідкоземельними металами. Проте, як впливає така обробка на механічні властивості трубних сталей на даний момент не з'ясовано. Це спонукало нас провести такі дослідження і вивчити, в першу чергу, вплив мікролегування сталей рідкоземельними металами на характер руйнування трубних сталей у випадку корозійно-втомного навантаження.

Останнім часом причиною експлуатаційних пошкоджень магістральних нафтогазопроводів все частіше стають зварні з'єднання. Це стосується, перш за все, багат шарових монтажних швів, оскільки після зварювання вони не підлягають технологічній обробці з метою зменшення залишкових напружень. Через наявність

макро- і мікронеоднорідності за хімічним складом, структурою і механічними властивостями, а також за сумісної дії механічних навантажень і корозійних середовищ зварні з'єднання мають підвищену схильність до крихкого руйнування.

В процесі довготривалої експлуатації навіть найбільш якісні матеріали зварних швів деградують, що пришвидшує їх руйнування. Надзвичайно важливо встановити механізми руйнування зварних швів, отриманих за різними технологіями, вивчити їх подібності та відмінності.

Також актуальним є вивчення надійності так званих ремонтних зварних швів. За наявності в тілі труби тріщиноподібних дефектів ця частина вирізається з трубопроводу. На звільнене місце встановлюється кільце з вихідного матеріалу і приварюється до експлуатованої труби. Така технологія суттєво може змінити структурний стан сталі між зварним швом і основним експлуатаційним матеріалом, що призводить до змін корозійно-механічних властивостей металу в згаданому діапазоні. На сьогодні дослідження таких зварних швів повністю відсутні. Тому проведення порівняльної оцінки корозійно-механічних властивостей різних зон вихідного та ремонтного зварних з'єднань сталі 17Г1С є актуальним.

Опираючись на вищенаведені проблеми, що витікають з критичного аналізу наукових публікацій, було сформульовано мету і задачі дисертаційної роботи, які наведені у вступі.

В другому розділі наведено характеристики матеріалів труб і методики їх досліджень.

Для проведення експериментів були використані сталі, які знайшли широке застосування у трубному виробництві. Насамперед – це сталь 17Г1С після експлуатації в межах 28...40 років на магістральних газопроводах. За механічними властивостями і своїм хімічним складом ця сталь відповідала трубній сталі італійського виробництва класу міцності X52 з терміном експлуатації 30 років. Дослідження проводили також на сталі типу 10ГС труб французького виробництва, яка експлуатувалась 28 років на нафтопроводі Кременчук-Херсон. Діаметри труб були в межах 275...1420 мм, товщина їх стінок становила 7...21 мм. З перелічених сталей, а також зі сталей труб запасу виготовляли зразки для проведення різноманітних досліджень, в тому числі і зразки зварних з'єднань.

Механічні випробування зразків проводились в модельному розчині водного конденсату (МРВК), який за хімічним складом відповідав конденсату всередині газової труби, а також в модельному розчині підтоварної води, одержаному збовтуванням рівних об'ємів води та нафти з Надвірнянського нафтопереробного заводу із подальшим відокремленням води. Вплив рН середовища на корозійно-втомне поширення тріщини в трубних сталях вивчали в 3%-му водному розчині NaCl до якого з метою отримання різних величин рН додавали NaOH або HCl. Використовували також дистильовану воду, а для наводнювання зразків – розчин H_2SO_4 (рН = 0) з додаванням 2 г/л тіосечовини.

З метою визначення механічних характеристик σ_b (номінальна границя міцності) і σ_r (границя плинності) трубні сталі піддавали статичному розтягу. Контроль зразків на твердість проводили за Роквеллом на приладі ТК.

Динамічні випробування на ударну в'язкість проводили методом Шарпі. Оцінку параметрів статичної тріщиностійкості визначали за параметрами J-інтегралу, K_c

(K_{1c}). За результатами досліджень на циклічну тріщиностійкість будували КДВР, завдяки яким можна визначати швидкість росту тріщини в широкому діапазоні навантажень за різної довжини тріщини.

З метою удосконалення оцінки ступеня деградації трубних сталей застосовували також дослідження методом внутрішнього тертя.

Корозійне та водневе розтріскування трубних сталей вивчали за впливом середовища на відносне звуження зразків при випробовуваннях на розтяг.

В роботі широко використовували мікроструктурний аналіз, який виконували на оптичних мікроскопах МИМ-7 і МИМ-8. Він слугував для контрольних оцінок якості структур сталей трубопроводів. Особливу роль ці дослідження відіграли для диференціації зон зварних з'єднань. Травлення поверхонь шліфів проводили 4% - ним розчином азотної кислоти в етиловому спирті.

Електронно-фрактографічні дослідження проводили на мікроскопі УЭМ-100. Застосовували метод двоступеневого приготування реплік (целулоїд + вуглець) без відтінення. Попередньо проводився прицільно – статистичний аналіз.

Для проведення досліджень розроблена методична процедура встановлення умов корозійно-втомного руйнування сталей і зварних з'єднань нафто – і газопроводів в різних робочих середовищах. Швидкість корозії сталей вивчали гравіметричним і електрохімічним методами.

Дослідження проводили на стандартному устаткуванні та спеціально створених установках: установці для оцінювання циклічної тріщиностійкості трубних сталей з комп'ютеризованою вимірювальною системою, яка дозволяє контролювати процес втомного навантаження зразка і його деформації; установці для дослідження внутрішнього тертя трубних сталей. Для мікролегування рідкісноземельними матеріалами трубних сталей пристосовано спеціальну установку для реалізації технологічного процесу електрошлакового переплавлення сталей.

Поєднання нових методичних підходів і створеного обладнання а також експериментальної бази університету забезпечило побудову адекватної схеми дослідження сталей трубопроводного транспорту в реальних умовах роботи.

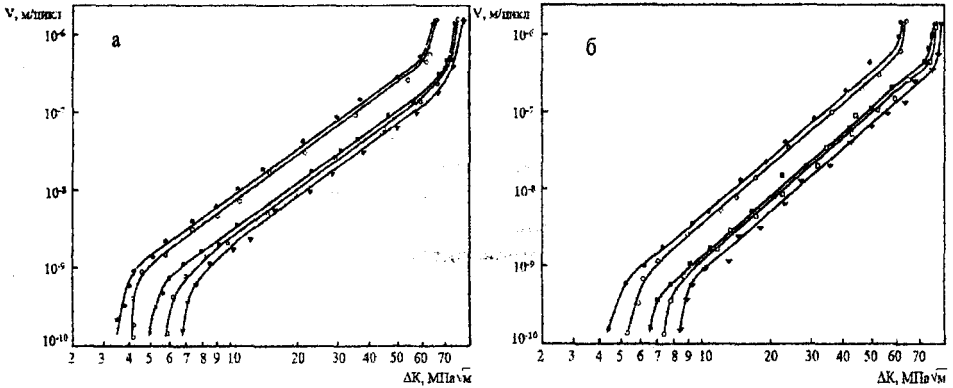
Третій розділ присвячений дослідженню впливу експлуатаційних чинників на корозійно-втомне руйнування сталей магістральних газопроводів.

Вивчали вплив асиметрії циклу на характер поширення втомних тріщин за частоти навантаження $f = 0,3$ Гц, а також частоти циклічного навантаження, різних форм циклів навантаження. Розглянуто також температурні залежності кінетики росту втомних тріщин, товщини зразків, експлуатаційних навантажень. Досліджувались залежності росту корозійно-втомних тріщин в трубній сталі 17Г1С з урахуванням напружено-деформованого стану зразка і системи «сталь - середовище».

Збільшення позитивної асиметрії циклу в межах 0.1...0.7 значно підвищує швидкість росту втомної тріщини (ШРВТ) на припороговій і третій ділянках КДВР (рис. 1). З підвищенням коефіцієнта асиметрії циклу суттєво знижуються як порогові значення амплітуди КІН - ΔK_{th} , так і критичний КІН у випадку циклічного навантаження - ΔK_{fc} .

Виявлено тенденцію до стабілізації кінетики на другій ділянці КДВР, яка незалежно від асиметрії описується єдиною лінією, що свідчить про постійність коефіцієнтів C і n рівняння Періса.

Зростання асиметрії циклу обумовлює зниження параметра ΔK_{th} в корозійному середовищі, в той час як ΔK_{fc} мало залежить від впливу середовища.



○, ● – $R = 0,7$; □, ■ – $R = 0,3$; ▼ – $R = 0,1$;

○, □, ▼ – випробування на повітрі; ●, ■ – в МРВК (а) і підтоварній воді (б)

Рисунок 1 – Вплив асиметрії циклу напружень на характер КДВР сталі 17Г1С (а) і 10ГС (б)

Монотонне зниження ΔK_{th} (рис.2) у зв'язку зі зростанням асиметрії циклу спостерігається до певної величини параметра R , потім значення ΔK_{th} стабілізується на найнижчому рівні.

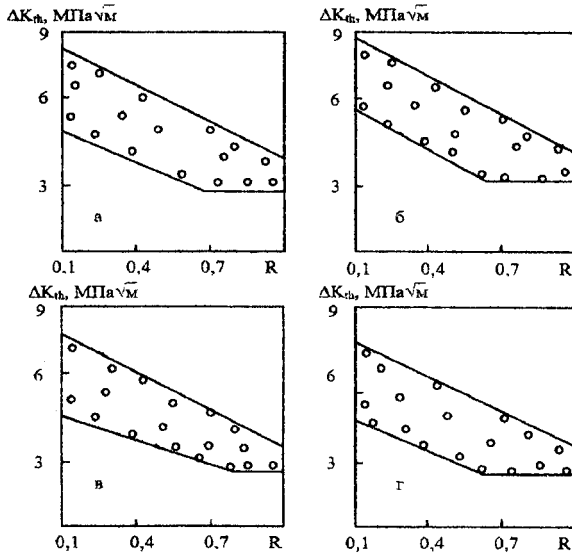
На повітрі частота навантаження практично не впливає на кінетику руйнування трубних сталей. Частотна залежність порогових КІН в корозійному середовищі має монотонний характер з мінімумом порогового розмаху ΔK_{th} за частоти 1 Гц (рис.3).

В середньоамплітудній ділянці КДВР зі збільшенням частоти навантаження дещо знижується ШРВТ. За випробувань у корозійно-активному середовищі ШРВТ трубних сталей більш чутлива до зміни частоти навантаження.

Запропонована аналітична залежність для визначення ШРВТ залежно від частоти навантаження

$$d\ell/dN = k \cdot f + A, \quad (1)$$

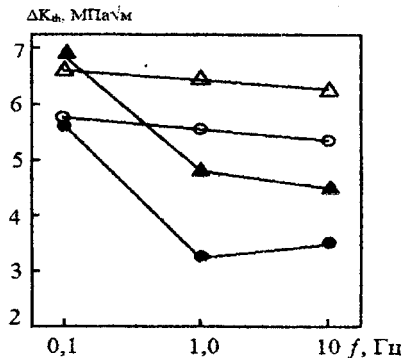
де k і A – постійні для системи „матеріал - середовище”, які визначаються експериментально.



а, в – сталь 17Г1С; б, г – сталь 10ГС; а, б – випробування на повітрі;
в – у МРВК; г – у підтоварній воді

Рисунок 2 – Залежності порогових значень ΔK_{th} від асиметрії циклу

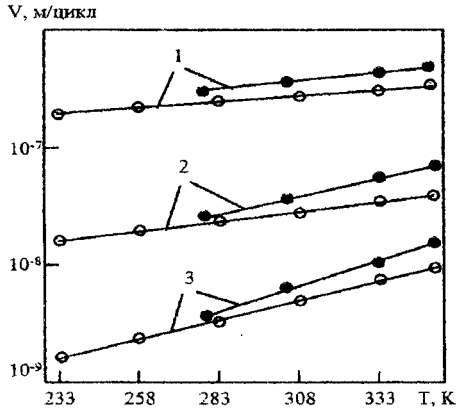
Дослідження, проведені в припороговій та середньо амплітудній ділянках КДВР, показали, що ШРВТ не залежить від форми циклу навантаження.



○, Δ – випробування на повітрі; ● – в МРВК; ▲ – в підтоварній воді

Рисунок 3 – Вплив частоти навантаження на рівень припорогових КІН сталей 17Г1С (○, ●) і 10ГС (Δ, ▲)

З підвищенням температури випробувань ШРВТ монотонно зростає (рис.4). Підвищення температури за випробувань у середовищі інтенсифікує зростання ШРВТ. З ростом рівня розмаху КІН різниця між цими швидкостями постійно зменшується і за високих ШРВТ ($V > 10^{-6}$ м/цикл) практично зникає. Це пов'язано з



1 - $\Delta K = 60 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$; 2 - $\Delta K = 30 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$; 3- $\Delta K = 15 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$;
 о – випробування на повітрі; ● – випробування у МРВК

Рисунок 4 – Температурні залежності ШРВТ в сталі 17Г1С за фіксованих рівнів розмаху КІН

інтенсифікацією дифузійних процесів у високонапруженій зоні вершини тріщини за підвищених температур.

Встановлено щонайменше чотири чинники, здатні вплинути на ШРВТ внаслідок зміни товщини зразків. Це напружено-деформований стан матеріалу у вершині тріщини, його мікроструктура, вид механічного навантаження зразків і корозійно-активне середовище.

За відсутності наводнювання попереднє пластичне деформування (ППД) сталі 17Г1С незначно знижує її короткочасну тріщиностійкість і підвищує опір росту втомної тріщини у припороговій ділянці. Наводнення металу різко зменшує короткочасну тріщиностійкість сталі та інтенсифікує ріст втомних тріщин у середньоамплітудній ділянці низькочастотного навантаження. Максимального пониження статична та циклічна тріщиностійкість сталі зазнають в результаті спільного впливу ППД і наводнювання.

Розвиток корозійно-втомного руйнування - складний процес, що залежить від багатьох чинників, у тому числі електрохімічних характеристик системи «метал-середовище». Тому встановлення достовірних параметрів, які його описують в матеріалах газонафтопроводів, повинно відбуватись в умовах, максимально наближених до експлуатаційних. Отримані в результаті цього значення

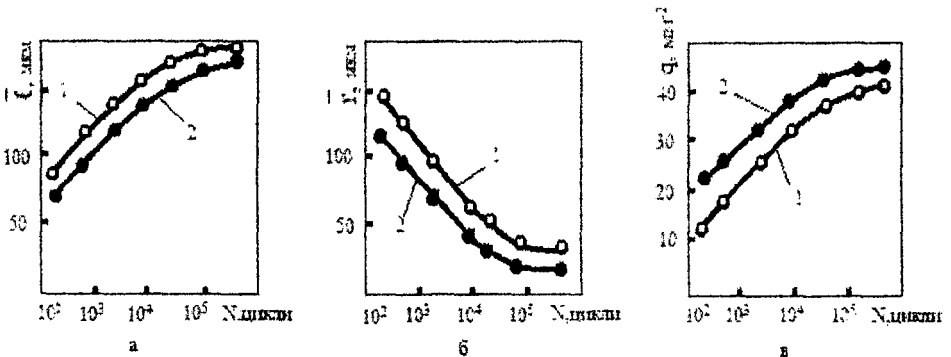
характеристик циклічної тріщиностійкості дозволять найбільш точно описувати кінетику росту втомних тріщин у матеріалах газонафтопроводів.

Професором Никифорчиним Г.М. на основі певних припущень зроблено спробу побудувати модель і розрахункові залежності росту корозійно-втомних тріщин у металевих конструкціях. Нашими дослідженнями показано, що ці залежності можна використовувати для вивчення росту втомних тріщин в сталі 17Г1Сяк на повітрі так і в робочих середовищах.

У четвертому розділі вивчався вплив експлуатаційної деградації та легування рідкоземельними металами на періоди зародження та поширення втомних тріщин трубних сталей.

Більшість вітчизняних магістральних газонафтопроводів (ГНП) експлуатуються уже тривалий час. Чимало з них відпрацювали нормативний термін, що вимагає ретельного експертного обстеження таких ГНП з метою оцінки їх працездатності та визначення залишкового ресурсу. Тривала експлуатація трубопроводів супроводжується втратою вихідних властивостей їх матеріалів, що негативно відбивається на працездатності конструкцій.

Корозійно-втомне руйнування конструкційних сталей, яке є домінуючим для ГНП - багатостадійний процес. Зазвичай його поділяють на два періоди: зародження макротріщини (N_s) і поширення утвореної тріщини до руйнування (N_n). Вивчення цих періодів має важливе значення, оскільки кожен з них здійснює вплив на довговічність труб (рис. 5).



1 – зразки з нової труби запасу; 2 – зразки з експлуатованої впродовж 40 років труби
Рисунок 5 – Залежності середньої довжини мікротріщин (а), середньої відстані між ними (б) і густини мікротріщин (в) від кількості циклів втомного навантаження сталі 17Г1С

Із зростанням агресивності середовища (лабораторне повітря – дистильована вода – модельний розчин водного конденсату – 3%-ний водний розчин $NaCl$) періоди зародження і поширення тріщин як неексплуатованого, так і експлуатованого металу знижуються (табл. 1). При цьому для всіх середовищ випробувань параметри циклічної довговічності експлуатованої сталі 17Г1С є нижчими порівняно з такими ж показниками для неексплуатованої сталі. Однак, якщо період зародження тріщини

зменшується тільки на 10-12%, то спад періоду поширення тріщини становить 17-20%.

З пониженням температури випробувань (рис.6) втомна довговічність гладких зразків зростає, а зразків з кільцевою тріщиною зменшується. Це пов'язано зі збільшенням тривалості періоду зародження тріщини внаслідок гальмування мікропластичних деформацій.

Таблиця 1 - Вплив робочих середовищ на параметри циклічної довговічності сталі 17Г1С

Сталь	Середовище	Параметри циклічної довговічності ($\times 10^5$)		
		N_3	N_n	N
Неексплуатована	Повітря	0,60	0,88	1,48
	Дистильована вода	0,55	0,75	1,30
	МРВК	0,52	0,70	1,22
	3%-ний розчин NaCl	0,56	0,70	1,26
Експлуатована	Повітря	0,54	0,73	1,27
	Дистильована вода	0,50	0,60	1,10
	МРВК	0,46	0,57	1,03
	3%-ний розчин NaCl	0,50	0,52	1,02

Встановлено, що умовна границя втоми зразків, вирізаних перпендикулярно напрямку деформацій, в середньому в 1,4 разів вища, ніж у зразків, вирізаних вздовж напрямку деформацій. Ця тенденція спостерігається як для неексплуатованої, так і експлуатованої сталі X52. Ступінь деградації сталі X52 для обох типів зразків була приблизно однакова.

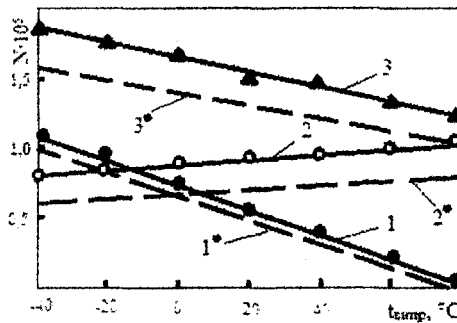


Рисунок 6 – Вплив температури випробувань на тривалість періодів зародження N_3 (1, 1*), поширення N_n (2, 2*) та загальну довговічність гладких зразків N (3, 3*) за втомного навантаження неексплуатованої (1, 2, 3) та експлуатованої (1*, 2*, 3*) сталі 17Г1С

Різниці між швидкостями поширення втомних тріщин в середніх ділянках КДВР у зразках із звичайних сталей і з додаванням РЗМ виявлено ні під час випробувань у повітрі, ні в дистильованій воді.

Вивчали також вплив кількості добавок рідкоземельних металів на корозійну тривкість трубних сталей. Вміст добавок рідкоземельних металів понад оптимальний є нераціональним, оскільки властивості трубної сталі 17Г1С від цього практично незмінюються.

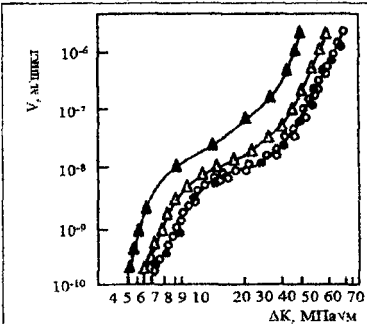
Довговічність труб зі сталі 17Г1С із додаванням РЗМ збільшується на стадії поширення втомної тріщини за рахунок зростання K_{fc} , порівняно із звичайною сталлю.

В п'ятому розділі досліджували корозійно-механічні властивості різних зон вихідного та ремонтного зварних з'єднань (ЗЗ) трубної сталі 17Г1С, статичну та циклічну тріщиностійкість ЗЗ, вплив наводнювання на механічні характеристики сталі 17Г1С і вплив попереднього пластичного деформування та наводнювання на тріщиностійкість ЗЗ.

Різноманітні обстеження магістральних трубопроводів (МТ) показали, що останнім часом причиною їх експлуатаційних пошкоджень все частіше стають ЗЗ. За сумісної дії механічних навантажень і робочих середовищ ЗЗ мають підвищену схильність до крихкого руйнування, цьому сприяє їх макро- і мікронеоднорідність за структурою, хімічним складом і механічними властивостями. Так, наприклад, в червні 2010 на підпорядкованому УМГ «Прикарпаттрансгаз» газопроводі відбулася аварія по кільцевому зварному шву.

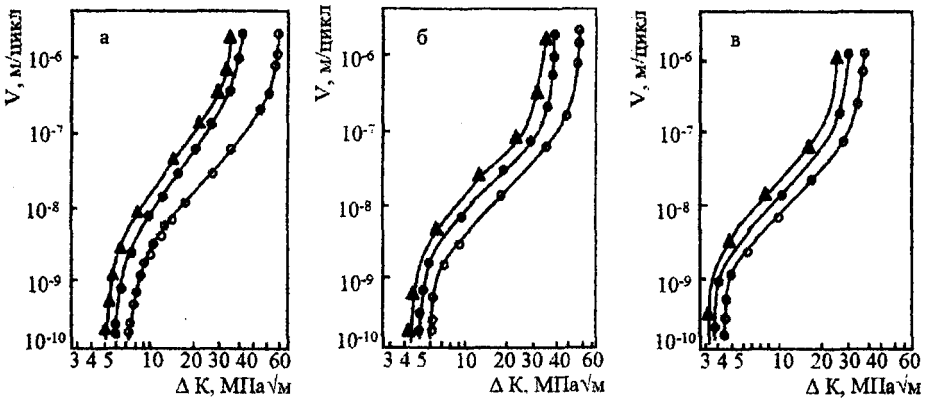
Аналіз конструкції зварних з'єднань газонафтопроводів виявив аномалію у механічній поведінці матеріалу ЗТВ ремонтних зразків, яка властива деградованим сталем. Вона проявляється в зниженні твердості НВ, параметрів міцності σ_s і $\sigma_{0,2}$ за одночасного зменшення відносного звуження ψ , ударної в'язкості KCV та статичної тріщиностійкості J_{1C} . Зона термічного впливу (ЗТВ) ремонтних зразків ЗЗ є найбільш чутливою до спаду J_{1C} під дією робочого середовища (модельного розчину водного конденсату).

Встановлено, що МШ у вихідному стані має $K_{th} = 6,9 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$. З переходом до випробувань вихідних, а потім ремонтних зразків ЗЗ значення ΔK_{th} для ЗТВ зменшується відповідно до 6,1 $\text{МПа}\sqrt{\text{м}}$ і 4,6 $\text{МПа}\sqrt{\text{м}}$. Змінюється характер КДВР (рис.7): суттєво зростає швидкість росту втомної тріщини і зменшуються значення ΔK_{fc} . З підвищенням агресивності середовища (рис.8) циклічна тріщиностійкість зразків знижувалася. Найбільше зростання швидкості росту втомної тріщини спостерігалось у випадку випробувань ремонтних зразків в агресивних середовищах. В той час, як механічні характеристики МШ обох типів зразків не відрізнялися, то метал ЗТВ ремонтних зразків окрихчувався найінтенсивніше.



білі символи – вихідні; чорні –
ремонтні зразки ЗЗ сталі
17Г1С

Рисунок 7 – КДВР для
МШ (○, ●) і ЗТВ (▲, △)



випробування на повітрі (○), у дистильованій воді (●) і МРВК (▲)

Рисунок 8 – КДВР для МШ (а), ЗТВ вихідних (б) і ремонтних (в) зразків 33 сталі 17Г1С

У разі випробування на ЦТ в різних корозійно-активних середовищах ШРВТ підвищувалася порівняно з випробуваннями на повітрі. З підвищенням агресивності середовища (повітря → дистильована вода → МРВК) ЦТ зразків знижувалася. Найбільше зростання ШРВТ спостерігалось під час випробувань ремонтних зразків 33 в середовищі МРВК: порівняно з випробуваннями на повітрі вона була в 1,3 раз вищою. Це свідчить про те, що МТ зазнав спаду загального залишкового ресурсу в 1,3 рази.

Визначенням поляризаційного опору, стаціонарного потенціалу та вивченням взаємної поляризації різних зон 33 у сталі 17Г1С встановлено, що саме на ЗТВ ремонтного зразка найбільше інтенсифікуватиметься корозія. Збільшення часу експлуатації МТ підвищує небезпеку появи тут додаткової вибіркової корозії.

За результатами використання різних схем навантаження та наводнювання дослідних зразків встановлено, що матеріал ЗТВ ремонтних зразків 33 у сталі 17Г1С проявив себе більш чутливим до водневого окрихнення порівняно з матеріалом ЗТВ вихідних зразків.

Вивченням електрохімічної гетерогенності поверхні 33 показано підвищене окрихнення матеріалу ЗТВ ремонтних зразків порівняно з вихідними та підвищенням його схильності до корозійного руйнування.

Ремонтні шви після одночасного впливу ППД розтягом і наводнювання мали на 13% вищу швидкість втомного поширення тріщин за аналогічні шви з вихідного матеріалу.

Відповідальними за руйнування зварних з'єднань є дефекти наводнюваних ділянок, звідки починаються корозійні процеси.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ

У дисертації обґрунтовано і вирішено науково-технічну задачу, яка полягає у встановленні умов корозійно-втомного руйнування сталей нафтогазопроводів у взаємозв'язку з параметрами фізико-механічного стану металу та механізму впливу робочого корозійного середовища. Встановлено характеристики процесу зародження та розвитку корозійно-втомних тріщин у трубних сталях під дією експлуатаційних чинників з метою використання отриманих результатів для експертних оцінок і прогнозування ресурсу трубопроводів. Отримано наступні основні результати дисертаційної роботи:

1. Вивчено вплив таких експлуатаційних чинників як асиметрія циклу, частота навантаження, форма циклу навантаження, температура випробувань, товщина зразків, попереднього пластичного деформування, наводнювання, сумарної дії попереднього пластичного деформування та наводнювання, а також електрохімічних характеристик системи «метал – середовище» на розвиток корозійно-втомного руйнування. Встановлення достовірних параметрів, які його описують в матеріалах нафтогазопроводів, повинно відбуватися в умовах, максимально наближених до експлуатаційних. Отримані в результаті цього значення характеристик циклічної тріщиностійкості дозволяють найбільш точно описувати кінетику росту втомних тріщин в матеріалах нафтогазопроводів.

2. Експериментально встановлено, що метод внутрішнього тертя металів дає можливість якісно оцінювати ступінь деградації трубної сталі 17Г1С під час її експлуатації.

3. Із зростанням агресивності середовища (лабораторне повітря → дистильована вода → модельний розчин водного конденсату → 3%-ний водний розчин NaCl) періоди зародження та поширення тріщин як неексплуатованого, так і експлуатованого металу знижуються. Для всіх середовищ випробувань параметри циклічної довговічності експлуатованої сталі 17Г1С є нижчими порівняно з неексплуатованою сталлю. Однак, якщо період зародження тріщини зменшується тільки на 10...12%, то спад періоду поширення тріщини становить 17...20%. З пониженням температури випробувань втомна довговічність гладких зразків зростає, а зразків з кільцевою тріщиною – знижується, що пов'язано зі збільшенням тривалості періоду зародження тріщини внаслідок гальмування мікропластичних деформацій. Умовна границя втоми зразків, вирізаних перпендикулярно напрямку деформацій, в 1,4 разів вища, ніж у зразків, вирізаних вздовж напрямку деформацій. Ця тенденція спостерігається як для неексплуатованої, так і для експлуатованої сталі X52. Ступінь деградації сталі X52 для обох типів зразків була однаковою.

Довговічність труб зі сталі 17Г1С з додатками рідкоземельних металів збільшується на стадії поширення втомної тріщини за рахунок росту K_{fc} порівняно із звичайною сталлю.

4. Аналіз зварних з'єднань нафтогазопроводів вказав на доцільність використання під час досліджень зразків двох типів: 1 – вихідних зразків (зварне з'єднання двох неексплуатованих труб), 2 – ремонтних зразків (зварне з'єднання кільця труби запасу з експлуатованою трубою). Структури матеріалів швів обох

типів зразків не відрізнялись між собою, проте в зоні термічного впливу мікроструктура стовпчастих кристалітів для ремонтних зразків була більш крупнозернистою порівняно із вихідними зразками.

Механічна поведінка матеріалу зони термічного впливу ремонтних зразків проявляється в зниженні твердості НВ, зменшені параметрів міцності σ_s і $\sigma_{0,2}$ за одночасного зменшення відносного звуження ψ , ударної в'язкості KCV та статичної тріщиностійкості J_{Ic} . Циклічними випробуваннями на повітрі та в середовищі (модельний розчин водного конденсату) показано, що метал зони термічного впливу ремонтних зразків окрихчується найінтенсивніше.

Електрохімічними дослідженнями встановлено, що саме на зоні термічного впливу ремонтного зразка найбільше інтенсифікується корозія. Збільшення часу експлуатації магістральних трубопроводів підвищує небезпеку появи тут додаткової вибіркової корозії.

Показано, що матеріал зони термічного впливу ремонтних зразків зварних з'єднань сталі 17Г1С проявив себе більш чутливим до водневого окрихчення порівняно з матеріалом зони термічного впливу вихідних зразків. Ремонтні шви після спільного впливу попередньої пластичної деформації розтягом і наводнювання мали на 13% вищу швидкість втомного поширення тріщин за аналогічні вихідні шви.

5. Розроблено установки для оцінювання деградації трубних сталей методом внутрішнього тертя та вивчення їхньої циклічної тріщиностійкості з комп'ютеризованою вимірною системою, яка дозволяє контролювати процес втомного навантаження зразка і його деформації. Обидві розробки впроваджені в УМГ «Прикарпаттрансгаз».

Основний зміст дисертації викладено в наступних наукових публікаціях:

1. Петрина Д. Ю. Оцінювання експлуатаційної деградації сталей магістральних нафтогазопроводів методами електрохімічних досліджень / Д.Ю. Петрина, Б.Р. Шуляр, О.Л. Козак, В.М. Гоголь // *Методи та прилади контролю якості*. – 2012. - №2 (29). – С.138-145.
2. Козак Л. Ю. Термодинамічна складова нестійкості кристалічної ґратки / Л. Ю. Козак, О. Л. Козак // *Фізика і хімія твердого тіла*. – 2011. - №3(12). – С. 618-626.
3. Козак О.Л. Прогнозування залишкового ресурсу експлуатації нафтогазопроводів – важлива складова екологічної безпеки / О. Л. Козак // *Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і студентів «Сучасні екологобезпечні та енергозберігаючі технології в природокористуванні»*, м. Київ, 26-28 квітня 2011 р., Національний університет будівництва і архітектури, 2011. – В двох частинах. Ч. 1. – С. 184-185.
4. Козак Л. Ю. Використання механіки руйнування для оцінки циклічної тріщиностійкості трубних сталей / Л. Ю. Козак, В. Г. Панчук, О. Л. Козак // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. – 2011. -№2(39). – С. 44-48.
5. Петрина Д. Ю. Вплив експлуатаційних чинників на корозійно-втомне руйнування сталей магістральних нафтогазопроводів / Д. Ю. Петрина, О. Л. Козак // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. – 2012. -№3(44). – С.106-117.

6. Козак О. Л. Особливості оцінки в'язких властивостей трубної сталі 17Г1С / О. Л. Козак, Б. Р. Шуляр // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу», м. Івано-Франківськ, 15-18 травня 2012 р., – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2012. – С. 308-310.
7. Петрина Д. Ю. Оцінювання деградації трубної сталі 17Г1С методом внутрішнього тертя / Д. Ю. Петрина, О. Л. Козак, Ю. Д. Петрина // Фізика і хімія твердого тіла.– 2012.–№3(13).–с. 770-772.
8. Петрина Д. Ю. Вплив експлуатаційної деградації на періоди зародження та поширення втомних тріщин трубних сталей / Д. Ю. Петрина, О. Л. Козак, Ю. Д. Петрина // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. – №2(43). – С. 66–74.
9. Петрина Д. Ю. Вплив легування рідкісноземельними металами на механічні властивості трубної сталі 17Г1С / Д. Ю. Петрина, О. Л. Козак, Б. Р. Шуляр [та ін.] // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2012. – №5. – С. 21–26.
10. Панчук В. М. Сучасні технології зварювання магістральних нафтогазо-проводів / М. В. Панчук, Л. С. Шлапак, О. М. Матвієнків, О. Л. Козак // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2011. - №3(29). – С. 24-29.
11. Петрина Д. Ю. Корозійно-механічні властивості зварних з'єднань магістральних трубопроводів / Д. Ю. Петрина, О. Л. Козак, Ю. Д. Петрина // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2013. - №1(46). - С.37-49
12. Козак О. Вплив попереднього пластичного деформування та наводнювання на тріщиностійкість зварних з'єднань магістральних трубопроводів / О. Козак // Матеріали 3-ї міжнародної науково-технічної конференції «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій», м. Львів, 7-9 листопада 2012 р. – Львів, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2012 р. – С. 30-31.

АНОТАЦІЯ

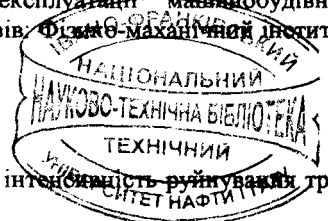
Козак О.Л. - «Вплив корозійного середовища на інтенсивність руйнування труб магістральних газонафтопроводів». – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – трубопровідний транспорт, нафтогазосховища. - Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, - Івано-Франківськ, 2013

У дисертації наведено обґрунтування і вирішення науково технічної задачі, яка полягає у встановленні умов корозійно-втомного руйнування сталей трубопроводів у взаємозв'язку з параметрами фізико-механічного стану металу та механізму впливу робочого корозійного середовища.

Експериментально встановлено, що метод внутрішнього тертя металів дає можливість якісно оцінювати ступінь деградації трубної сталі 17Г1С під час її експлуатації.

Для всіх середовищ випробувань (лабораторне повітря, дистильована вода, модельний розчин водного конденсату 3%-ний водний розчин NaCl) параметри



циклічної довговічності експлуатованої сталі 17Г1С є нижчими порівняно з неексплуатованою сталлю. Однак, якщо період зародження тріщини зменшується тільки на 10...20%, то спад періоду поширення тріщини становить 17...20%.

Довговічність труб зі сталі 17Г1С з додаванням рідкоземельних металів збільшується на стадії поширення втомної тріщини за рахунок росту циклічної в'язкості руйнування K_{fc} порівняно зі звичайною сталлю.

У дослідженнях зварних з'єднань показано, що матеріал зони термічного впливу ремонтних зразків зварних з'єднань сталі 17Г1С є більш чутливим до окрихчення порівняно з матеріалом зони термічного впливу вихідних зразків.

Ключові слова: фізико-механічні властивості та електрохімічні властивості, деградація, зварне з'єднання, працездатність, довговічність, внутрішнє тертя, дефекти.

АННОТАЦИЯ

Козак О.Л. - «Влияние коррозионной среды на интенсивность разрушения труб магистральных газонефтепроводов». - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 - трубопроводный транспорт, нефтегазохранилища. - Иванов-Франковский национальный технический университет нефти и газа. - Иванов-Франковск, 2013.

В диссертации приведено обоснование и решение научно-технической задачи, которая заключается в установлении критериев коррозионно-усталостного разрушения сталей трубопроводов во взаимосвязи с параметрами физико-механического состояния металла и механизма влияния рабочей коррозионной среды.

Изучено влияние таких эксплуатационных факторов, как асимметрия цикла, частота нагрузки, форма цикла нагрузки, температура испытаний, толщина образцов, предыдущего пластического деформирования, наводораживания, суммарного воздействия предварительного пластического деформирования и наводораживания, а также электрохимических характеристик системы «металл - среда» на развитие коррозионно-усталостного разрушения. Установление достоверных параметров, которые его описывают в материалах нефтегазопроводов, должно происходить в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным. Полученные в результате этого значения характеристик циклической трещиностойкости позволяют наиболее точно описывать кинетику роста усталостных трещин в материалах нефтегазопроводов.

Для всех сред испытаний (лабораторный воздух, дистиллированная вода, модельный раствор водного конденсата, 3%-ный водный раствор NaCl) параметры циклической долговечности эксплуатируемой стали 17Г1С ниже по сравнению с неэксплуатируемой сталью. При этом, если период зародения трещины уменьшается только на 10...20%, то уменьшение периода распространения трещины составляет 17...20%.

Экспериментально установлено, что метод внутреннего трения металлов позволяет качественно оценивать степень деградации трубной стали 17Г1С во время ее эксплуатации.

Изучали также влияние количества добавок редкоземельных металлов на коррозионную прочность трубных сталей. Долговечность труб из стали 17Г1С с добавками редкоземельных металлов увеличивается на стадии распространения усталостной трещины за счет роста циклической вязкости разрушения K_{fc} по сравнению с обычной сталью. Содержание добавок редкоземельных металлов сверх оптимального является нерациональным, поскольку свойства трубной стали 17Г1С от этого практически не меняются.

При исследовании сварных соединений испытывали образцы двух типов: 1 - исходные образцы (сварное соединение двух неэксплуатированных труб); 2 - ремонтные образцы (сварное соединение катушки трубы запаса с эксплуатируемой трубой). Показано, что материал зоны термического влияния ремонтных образцов сварных соединений стали 17Г1С более чувствителен к охрупчиванию, чем материал зоны термического влияния исходных образцов.

С использованием разных схем нагрузки и наводороживания опытных образцов установлено, что материал зоны термического влияния ремонтных образцов сварного соединения стали 17Г1С более чувствителен к водородному охрупчиванию по сравнению с материалом зоны термического влияния исходных образцов.

Разработаны установки для оценки деградации трубных сталей методом внутреннего трения и изучения их циклической трещиностойкости с компьютеризированной измерительной системой, которая позволяющие контролировать процесс циклической нагрузки образца и его деформацию.

Ключевые слова: физико-механические свойства, электрохимические свойства, деградация, сварное соединение, работоспособность, долговечность, внутреннее трение, дефекты.

ANNOTATION

Kozak O.L. Influence of corrosive environment on intensity of fracture pipeline steels of main oil and gas pipeline - Manuscript.

Dissertation for Candidate of Technical Science Degree in specialty 05.15.13 – Pipeline Transport, Oil and Gas Storage. – Ivano-Frankivsk National Technical University Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2013.

The Dissertation gives justification and solution to scientific and technical task which is in determination of pipeline steels corrosion and fatigue fracture candidness being interrelated with the parameters of physical and mechanical state of metals and mechanisms of working corrosive medium impact.

It has been experimentally proved that internal fraction of metals enables to qualitatively evaluate the level of pipe steel 17Г1С degradations during its operation.

For all testing environments (laboratory air, distilled water, modal solution of water, modal solution of water condensate 3% aqueous solution NaCl) the parameters of cyclic longevity of operational steel 17Г1С are lower in comparison with non-operational steel.

However if the period of crack initiation decreases only 10-20% then recession period of crack propagation is 17-20%.

Longevity of pipes made from steel 17T1C with the additives of rare-earth metals increases of the stage of fatigue crack propagation of the expense growth of cyclic failure ductility K_{fc} as compared with the commotional steel.

In the case of welded joints study has been shown that the material of the sections of thermal influence of welded joints repaired specimens made of steel 17T1C are more sensible to brittleness as compared with the material from the section of thermal influence of output specimens.

Key words: physical properties, mechanical properties, electrochemical properties; degradation; welded joint, durability, internal friction, defects.