

622.692.4.076
0-58

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ОНИЦУК ОЛЬГА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 622.692.4

**ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ НАФТОГАЗОПРОВІДІВ
ПРИ ВНУТРІШНЬОТРУБНІЙ КОРОЗІЇ**

Спеціальність 05.15.13 – Нафтогазопроводи, бази і сховища

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2005

22.692.4.076:620.197(093)

0-58

Дисертацію 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
“Технологія нафтогазового машинобудування”,
м. Івано-Франківськ.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Капцов Іван Іванович,** Український науково-дослідний інститут природних газів, завідувач відділом транспорту газу, м. Харків;

кандидат технічних наук, доцент **Кичма Андрій Олексійович,** доцент кафедри “Деталі машин” Національного університету “Львівська політехніка”, м. Львів.

Провідна організація **ВАТ ІВП ВНПІтрансгаз,** м. Київ

Захист відбудеться 1 липня о 14 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

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

Автореферат розповсюджено з 10 липня 2005 року.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради Д20.052.04
канд. техн. наук, доцент

О.В. Корбут

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Технічна діагностика відповідальних конструкцій, що експлуатуються в умовах сумісної дії силових навантажень та корозійно-агресивних середовищ є актуальною науково-технічною проблемою, зокрема для визначення ресурсу об'єктів тривалої експлуатації. Трубопроводи, що застосовуються для видобутку і транспортування нафти і газу, постійно контактують з корозійно-агресивними продуктами, які зумовлюють інтенсивну внутрішню корозію, а їхнє руйнування супроводжується великими матеріальними збитками і важкими екологічними наслідками.

Численними дослідженнями доведено, що процеси руйнування конструкцій під впливом сумісної дії механічних навантажень і корозійних робочих середовищ обумовлені рядом фізико-хімічних локалізованих процесів утворення та розвитку в матеріалі тріщиноподібних дефектів. При цьому поряд з місцями підвищеної концентрації напружень (отвори, вирізки, щілини та інші технологічні та конструктивні концентратори напружень), ці процеси часто виникають і на гладких деформованих поверхнях, що зумовлено гетерогенністю їх фізико-хімічного стану. Це підтверджено, зокрема, останніми статистичними даними, а саме: майже 80% усіх відмов нафтогазопроводів зумовлено первинними корозійно-механічними пошкодженнями та утворенням і подальшим розвитком поверхневих тріщиноподібних дефектів в місцях корозійних каверн і зварних з'єднань.

Таким чином, виникає гостра потреба в розробці ефективних методів оцінки цих явищ і адекватних розрахункових схем для інженерної практики. На сьогодні такі методи розвинуті в літературі недостатньо, особливо в плані врахування специфіки взаємодії робочого середовища з приповерхневими деформованими шарами матеріалу. У зв'язку з цим, визначення характеристик і критеріїв оцінки технічного стану нафтогазопроводів і взаємозв'язку з параметрами фізико-механічного стану їх матеріалу та механізмами дії робочого середовища є актуальною науковою та прикладною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась в рамках Національної програми „Нафта і газ України до 2010 року”, теми №326/02 УМГ „Прикарпаттрансгаз” 2002-2004.р.р. „Контроль працездатності підземного газосховища та магістральних газопроводів в складних гірських умовах”.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення надійності нафтогазопроводів на основі розробки та вдосконалення методів оцінки характеристик матеріалів трубопроводів при внутрішньотрубних корозійно-механічних пошкодженнях.

Ця мета досягається шляхом розв'язання таких задач.

1. Визначити залежності швидкості корозії трубної сталі від дії сірководневого середовища з такою ж кількістю молекулярних карбонових кислот індивідуально



2. Встановити і обґрунтувати базові параметри досліджуваних процесів, зокрема характеристичні значення концентрації сірководню та карбонових кислот, з досягненням яких відбувається суттєве зростання швидкості корозії поверхні труб для даних систем „матеріал-серовище”.
3. Дослідити визначальні причини корозійних пошкоджень внутрішньої поверхні трубопроводів і міри окрихчення сталі в серовищах, що містять агресивні компоненти.
4. Вивчити залежність електрохімічної гетерогенності зварних з’єднань трубопроводів від їх термічної обробки.
5. Вибрати раціональні режими термічної обробки зварних з’єднань з урахуванням їх корозійно-механічних властивостей.
6. Розробити методіку оцінки тріщиностійкості трубопроводів за критичними коефіцієнтами інтенсивності напружень K_{IC} шляхом інших механічних випробувань.
7. Оцінити сумарний вплив перевантажень магістральних нафтогазопроводів і наводнювання на опір поширенню тріщин трубної сталі 17Г1С.

Об’єкт дослідження: процес внутрішньотрубної корозії нафтогазопроводів.

Предмет дослідження: вплив експлуатаційних чинників на інтенсивність корозії та розробка і вдосконалення методів оцінки характеристик матеріалів трубопроводів при їх корозійно-механічних пошкодженнях.

Методи дослідження. Постановка задач обумовила широке застосування експериментальних досліджень з використанням сучасних методів і засобів для механічних, електрохімічних випробувань і електроннофрактографічних досліджень з дотриманням стандартних методик. Оцінка тріщиностійкості трубної сталі 17Г1С базується на основних положеннях лінійної механіки руйнування. При розробці методики визначення величини K_{IC} за результатами випробувань на розтяг використовували положення аналітичної геометрії. Експериментальні дослідження проводились з використанням методів математичної статистики та планування експерименту. Основні висновки роботи узгоджуються з відомими даними теоретичних і експериментальних досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів. Вивчені природа і механізм корозії трубної сталі 17Г1С під впливом сірководню, а також вуглекислого газу та низькомолекулярних карбонових кислот в широкому діапазоні зміни температур, тисків і концентрації агресивних компонентів, що дозволило повному оцінити вплив останніх на її кінетику.

Вперше отримані статистичні моделі, які дозволяють чисельно визначити міру дії парціального тиску вуглекислого газу та концентрації карбонових кислот на корозійну проникність трубопроводів.

Введено та обґрунтовано новий параметр – характеристичне значення концентрації агресивних компонентів C^S , з досягненням якого різко зростає швидкість корозії сталі 17Г1С.

Дістали подальший розвиток знання про вплив сірководню на корозійно-механічні властивості зварних з'єднань трубопроводів з урахуванням їх термообробки.

Вперше запропонований кореляційний зв'язок параметра K_{1C} з границями міцності σ_B та течіння σ_T трубної сталі 17Г1С.

Вперше встановлений суттєвий спад тріщиностійкості трубної сталі 17Г1С внаслідок сумарної дії перевантажень трубопроводів і наводнювання.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці інженерної оцінки швидкості корозійного руйнування нафтогазопроводів, що враховує як механічні, так і фізико-хімічні параметри взаємодії деформованого металу з робочим середовищем. Запропоновані статистичні моделі дозволяють з достатньою для інженерної практики точністю $\pm 5\%$ чисельно визначати міру дії парціального тиску вуглекислого газу та концентрації карбонових кислот на корозійну проникність трубної сталі для відповідних температурних умов. Показана доцільність при діагностуванні трубопроводів враховувати їх окрихчення, яке є наслідком експлуатаційного старіння (деградації) сталі.

Для зварних з'єднань трубопроводів, які працюють в сірководневому середовищі, запропоновані оптимальні режими термообробки з метою одержання найвищих показників корозійно-механічної міцності.

Розроблена і запропонована для інженерної практики методика визначення величини K_{1C} за результатами випробувань на розтяг.

Показана доцільність застосування кінетичних діаграм втомного руйнування для оцінки експлуатаційного окрихчення трубних сталей, пов'язаного з підростанням тріщини та впливом робочого середовища.

Результати роботи були використані в УМГ „Прикарпаттрансгаз” для експертного аналізу причин експлуатаційного руйнування трубопроводів з метою встановлення механізму корозійно-механічних пошкоджень і вироблення рекомендацій щодо їх профілактики.

Особистий внесок здобувача. Основні результати та положення, які становлять суть дисертації, отримані автором самостійно. Зокрема, вивчений вплив сірководню, а також вуглекислого газу та низькомолекулярних карбонових кислот в широкому діапазоні зміни температур, тисків і концентрації агресивних компонентів на характер корозії трубної сталі 17Г1С [5, 7, 8]; запропоновані раціональні режими термообробки зварних з'єднань трубопроводів і вивчені їх корозійно-механічні властивості [4, 9]; досліджена статична [1, 2, 3, 6, 8,] та циклічна [3, 6, 8,] тріщиностійкість сталі 17Г1С а також вплив на неї робочих середовищ [3, 6, 8]; на основі вивчення характеру крихко-в'язкого переходу сталі 17Г1С запропонована методика визначення величини K_{1C} за результатами випробувань на розтяг [2]; сформульовані основні причини низької втомної міцності трубопроводів [3, 4, 8].

Постановка задач, аналіз і трактування результатів проведено спільно з науковим керівником. Автор брав безпосередню участь у впровадженні розробок у виробництво.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на науково-технічних конференціях

професорсько-викладацького складу національного технічного університету нафти і газу (Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 1999–2004р.р.); шостому міжнародному симпозіумі українських інженерів-механіків (м. Львів, 2003р.); другій всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених і спеціалістів „Зварювання та суміжні технології” (м. Київ, 2003р.); міжнародній конференції Карпатського регіону (м. Бая-Маре, Румунія, 2003–2004р.р.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 9 наукових праць, з них – 7 статей у фахових виданнях України.

Структура і обсяг дисертації.

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел, який містить 142 найменування, і 1 додатка. Текстова частина викладена на 125 сторінках комп'ютерного набору і містить 33 рисунки і 7 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми досліджень, показаний зв'язок роботи з науковими програмами, сформульовані мета й задачі досліджень і описані методи дослідження. Висвітлені наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача у публікаціях і рівень апробації дисертації й описана структура роботи.

У **першому розділі** проаналізовано причини корозійно-механічних пошкоджень нафтогазопроводів. Наявність дефектів у процесі експлуатації може призвести до передчасного руйнування трубопроводу. Однією з причин виникнення їх у метали труб і зварних з'єднаннях є корозія. Практика показує, що термін експлуатації трубопроводів у значній мірі визначається корозійною тривкістю та тріщиностійкістю трубних сталей і їхніх зварних з'єднань. Тому ці питання були предметом досліджень багатьох вчених: Айбіндера О.Б., Андрейківа О.С., Березіна В.Л., Білобрана Б.С., Бородавкіна П.П., Грудза В.Я, Капцова І.І., Кир'яна В.І., Красовського А.Я., Крижанівського Є.І., Кичми А.О., Лобанова Л.М., Недосеки А.Я., Никифорчина Г.М., Ориняка І.В., Осадчука В.А., Перуна Й.В., Полякова С.Г., Чернова В.Ю., Шлапака Л.С. та інших.

Проте й зараз у місцях із дефектами та у зварних з'єднаннях сумарна доля всіх відмов магістральних трубопроводів складає до 80%. Це пов'язано, в першу чергу, з відсутністю належного контролю за їх дефектністю. Ця проблема особливо актуальна при внутрішньотрубній корозії, оскільки методи її діагностування дуже дорогі і виконуються періодично через великі проміжки часу. Проблема ускладнюється тим, що при експлуатації трубопроводів, навіть коли нормативні експлуатаційні напруження не перевищені, дефекти в стінці труби розвиваються і, досягнувши критичних розмірів, можуть викликати аварійні ситуації. Враховуючи це, у вітчизняній та зарубіжній практиці набули поширення методи оцінки матеріалу трубопроводів з позиції механіки руйнування.

Наведено основні визначення та положення механіки руйнування матеріалів у корозійних середовищах, оскільки останнє також створює негативний вплив на тріщиностійкість матеріалу труби. Особливо небезпечним в цьому плані є водневе окрихчення. Під час експлуатації конструкцій, що працюють на втому, у водневмісних середовищах їх загальна довговічність значно знижується внаслідок шкідливого впливу наявного в зовнішньому середовищі водню, який, потрапляючи у внутрішній об'єм металу, полегшує зародження та поширення у ньому втомних тріщин. Тому проблема міцності наводнених магістральних трубопроводів під час дії змінних навантажень є однією із найбільш актуальних.

Зроблено критичний аналіз сучасного стану проблеми оцінки технічного стану нафтогазопроводів при внутрішньотрубній корозії, на основі якого сформульовано мету та задачі роботи.

Другий розділ присвячено методології дослідження.

Відповідно до викладеної постановки задач дослідження в роботі вивчалися закономірності корозійно-механічних руйнувань нафтогазопроводів. Тому в експериментах використовувались зразки, вирізані з труби діаметром 1020 мм (товщина стінки 12 мм). Сталь знаходилась у нормалізованому стані, що відповідало заводському технологічному процесу виготовлення труб. Оскільки для їх виготовлення останнім часом широке застосування має сталь 17Г1С, то ця марка була прийнята основною в дослідженнях. В основному використовувались зразки, вирізані з нових труб. При вивченні впливу експлуатаційного окрихчення (деградації) матеріалу на його корозійно-механічні властивості використовували зразки з труб, які пропрацювали 29 років.

Корозійні випробування проводили на дискових зразках діаметром 20 мм і товщиною 1 мм. Для встановлення впливу різних факторів на корозію трубопроводів і їх взаємозв'язків дослідження проводились у автоклавній установці, де моделювались умови експлуатації магістральних трубопроводів (тиск, температура, співвідношення компонентів). В процесі експерименту здійснювали контроль за величиною температури з допомогою термопари хром-алюміній, а величину тиску контролювали манометром. Швидкість корозії визначали ваговим методом.

Наведена установка та методика мікроелектрохімічних досліджень металевих зразків при різних видах навантажень. Криві холодноламкості будували за результатами серійних випробувань стандартних зразків Менаже та зразків з наперед нанесеною втомною тріщиною. Короточасні статичні випробування на розтяг проводили на машині УМ-5А (швидкість деформації 0,6 мм/хв).

Випробування на циклічну тріщиностійкість проводили на призматичних зразках у вигляді балки з одностороннім бічним надрізом при віднульовому циклі навантаження. Частота циклічного навантаження становила $f=10\text{Гц}$.

Оцінку в'язкості руйнування сталей проводили на балочних зразках з односторонньою тріщиною (чотириточковий згин).

Наводнювали зразки з крайовим концентратором, напружень і виведеною з нього втомною тріщиною. Використовували електролітичний спосіб наводнювання шляхом його катодної поляризації. Специфіка наводнювання залежала від виду механічних випробувань.

Для контрольних оцінок якості структури зразки після термообробки підлягали систематичному контролю за твердістю та мікроструктурному аналізу. Електронно-фрактографічний аналіз зламів зразків проводили на мікроскопі УЕМ-100.

У третьому розділі вивчено вплив експлуатаційних чинників на корозійну тривкість трубною сталі 17Г1С. Показано, що найбільшу небезпеку для внутрішньотрубною корозії несе наявність сірководневих домішок в природному газі.

Підвищення температури сірководневих газів до 350К призводить до різкого росту інтенсивності корозії сталі 17Г1С при робочому тиску 0,1МПа (рис.1). В інтервалі температур 280...313К проявляється лінійна залежність, де зростання швидкості корозії найбільш інтенсивне. Так, при підвищенні температури агресивного середовища від 293К до 313К швидкість корозії зросла в 3,2 рази. Максимального значення корозійна проникність досягає при температурі близько 350К. При подальшому підвищенні температури швидкість корозії суттєво зменшується, що пояснюється швидким висиханням поверхні металу.

П, мм/рік

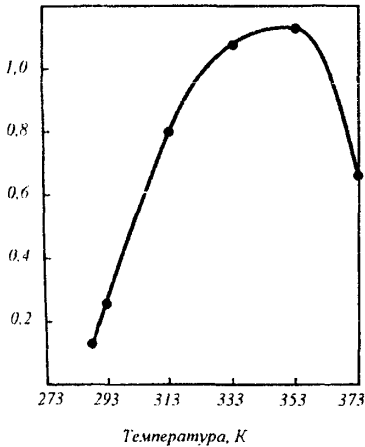


Рис.1. Залежність проникності сталі корозії сталі 17Г1С від температури

П, мм/рік

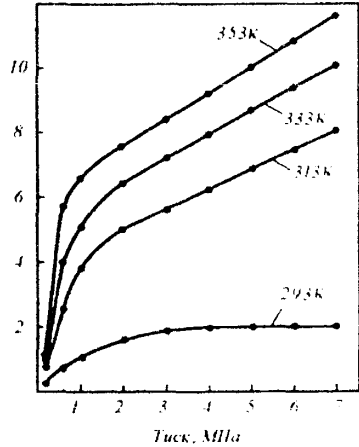
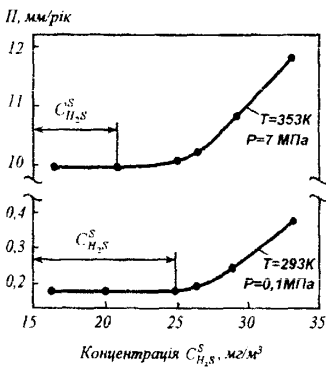


Рис.2. Залежність проникності корозії сталі 17Г1С від тиску корозійного середовища при різних температурах

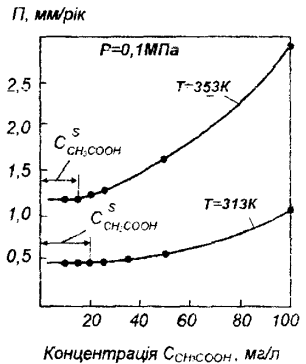
Збільшення тиску сірководневих газів також сприяє росту швидкості корозії (Рис.2). Найбільш інтенсивно вона зростає при підвищенні тиску до 0,5МПа. Встановлено, що характер цих залежностей досить складний. Перш за все, він

залежить також і від температури корозійного середовища. Так, при кімнатній температурі 293К ріст тиску приводить до несуттєвого зростання корозійної проникності сталі. Якщо при зростанні тиску з 2 МПа до 3 МПа проникність корозії збільшується в 1,2 раза, то подальший ріст тиску практично не змінює швидкість корозії. Найбільш інтенсивно корозійні процеси протікають при тисках більше 0,5 МПа і підвищених температурах (313К...353К).

Проведені експериментальні дослідження в лабораторних умовах з метою визначення допустимої концентрації сірководню в природному газі. Такі дослідження здійснені для двох крайніх випадків: 1) при тиску $P=0,1$ МПа і температурі $T=293$ К (найбільш сприятливий з точки зору корозійної тривкості), 2) при тиску $P=7$ МПа і температурі $T=353$ К (найбільш несприятливий). Результати випробувань представлені на рис. 3а.



а)



б)

Рис. 3 Залежність проникності корозії сталі 17Г1С від концентрації сірководню (а) і оцтової кислоти (б) в природному газі

Іншою важливою причиною внутрішньотрубної корозії є присутність в продукції газових і газоконденсатних родовищ вуглекислого газу та низькомолекулярних карбонових кислот.

Встановлено, що розвиток корозійного процесу починається, коли вміст карбонових кислот у водній фазі досягає свого певного критичного значення за відповідних експлуатаційних умов. Як приклад, на рис. 3б показано, що розвиток корозійного процесу сталі 17Г1С починається, коли вміст оцтової кислоти у водній фазі досягає 20 мг/л при температурі 313К. При 353К інтенсифікація процесу протікає при меншій концентрації оцтової кислоти - 15мг/л.

З наведених на рис. 3 даних видно, що існують певні характеристичні значення концентрації сірководню ($C_{H_2S}^S$) та оцтової кислоти ($C_{CH_3COOH}^S$), які відповідають різкому зростанню проникності корозії сталі 17Г1С. Нижче величин C^S параметр Π практично не змінюється. Є всі підстави стверджувати, що критерій C^S - це характеристика системи „матеріал-середовище”, яка має

тенденції змінюватись залежно від концентрації агресивних домішок, температури та тиску корозійного середовища.

Аналіз результатів досліджень, проведених з низькими значеннями концентрації іонів йоду і броду (1 ...10 мг/л), величини яких відповідають їх вмісту в конденсованих водах, показав, що за відсутності кисню в розглянутому агресивному середовищі вказані іони активізують корозійний процес в незначній мірі (на 3...4%), величиною якої можна практично знехтувати.

Визначено вплив карбонових кислот з концентрацією 250 мг/л на корозію сталі в середовищі високомінералізованої води ($C_I = 79$ г/л) при температурах 313...393К і тиску CO_2 0,7 МПа.

Встановлено, що абсолютна величина корозії при спільному впливі іонів хлору і органічних кислот значно вища, ніж у випадку впливу одного компонента (іонів хлору). Найбільш інтенсивний розвиток корозії спостерігався в температурному інтервалі 353...373К. Вище і нижче вказаних границь корозійний процес заповільнюється.

Показано, що в діапазоні температур 288...353 К вуглекислотна корозія сталі 17Г1С в значній мірі визначається дією мурашиної, оцтової, пропіонової та масляної кислот, що містяться у водному конденсаті, причому найбільш агресивною є мурашина кислота.

В результаті вивчення спільного впливу органічних кислот і вуглекислоти на корозію сталі 17Г1С встановлено, що процес протікає за нелінійним законом, виражаючи чіткий взаємозв'язок між швидкістю корозії, вмістом карбонових кислот, температурою випробувань і парціальним тиском CO_2 . Так, в умовах парціального тиску CO_2 в межах 0,1...0,7 МПа і температури 353 К швидкість вуглекислої корозії інтенсивно зростає в 1,6 раза від добавки мурашиної кислоти з концентрацією 100 мг/л. Ріст температур випробувань призводить до зростання швидкості корозії, досягаючи максимуму при 353 К.

Підвищення концентрації карбонових кислот в розчині до ~500 мг/л при 313 К, 333 К і 353 К приводить до зниження темпу росту швидкості корозії та її стабілізації. Для 288 К і 303 К ця ж тенденція проявляється при 200...250 мг/л.

З метою встановлення залежності між агресивними компонентами та швидкістю корозії (П) для різних температурних умов отримані статистичні моделі. В основу статистичного моделювання корозійного процесу покладений багатofакторний регресійний аналіз, результатом якого є отримання емпіричних формул, що відображають ступінь взаємозв'язків і вплив окремих факторів (x) на результативну ознаку – швидкість корозії (П).

Наприклад, для $T=313$ К ця модель має вигляд:

$$P = -0.150 + 0.115(5.155P_{CO_2} - 0.032C_1 + 0.040C_2 - 0.005C_3 + 0.0043C_4 + 187.1P_{CO_2}^2 - 0.814P_{CO_2} \cdot C_1 + 0.032P_{CO_2} \cdot C_2 - 0.34P_{CO_2} \cdot C_4 + 0.0001C_1^2 + 0.0005C_1 \cdot C_2 - 0.00003C_1 \cdot C_4 - 0.00028C_3^2).$$

Проведені порівняння розрахункових величин проникності корозії з отриманими експериментально показують на задовільну збіжність ($\pm 5\%$) фактичних і розрахункових результатів.

Аналіз результатів експериментальних досліджень з визначення міри окрихчення сталі в умовах, аналогічних промисловим, показав, що при дії оцтової кислоти, взятої в межах від 100 мг/л до 300 мг/л і парціального тиску CO_2 в межах 0,1...1,1 МПа при температурах до 393 К міцнісні характеристики сталі 17Г1С не погіршувались. Проте відносне видовження (δ_5) зразків зменшилося з 26% до 24% (на ~ 7%), а відносне звуження (Ψ) з 55% до 43% (майже 22%). Отже, відносне звуження показало себе найбільш чутливою характеристикою до окрихчуючої дії корозійного середовища.

В роботах, виконаних під керівництвом доктора технічних наук, професора Никифорчина Г.М. розглядалась проблема оцінки працездатності та залишкового ресурсу магістрального нафтопроводу „Кременчук-Херсон” у зв'язку з виявленими корозійними пошкодженнями внутрішньої поверхні трубопроводу. Досліджували зразки, вирізані з труб сталі 17Г2С після 28 років експлуатації, та у вихідному стані (контрольна труба у стані поставки) при різних температурах. Найменші швидкості корозії при всіх температурах спостерігали для вихідного матеріалу, а найбільше королюють зразки з нижніх фрагментів труби.

Аналогічні результати отримані нами на зразках труб сталі 17Г1С після 29 років їх експлуатації з газопроводу „Долина-Ужгород”. За модельне середовище слугувала „донна” вода з обладнання Богородчанського виробничого управління підземного зберігання газу. Якщо вважати, що напружений стан металу є результатом лише тиску перекачуваного середовища по трубі, то суто механічний чинник не слід брати до уваги при поясненні різниці в ступені деградації різних фрагментів труби. Можна припустити, що така різниця пов'язана з наводнювальною дією „донної” води. Адже наводнювання конструкційних сталей, підсилене дією механічних напружень, тим більше циклічного характеру, сприяє деградації механічних властивостей матеріалу. Як виявилось, така деградація може стосуватись і корозійних властивостей і в такий спосіб також негативно впливати на працездатність трубопроводу.

Четвертий розділ роботи представляє результати досліджень мікроелектрохімічної неоднорідності зварних з'єднань трубопроводів при різних видах термічної обробки. З'єднання отримували ручним електродуговим зварюванням електродами УОНИ-13/55Ø5 –УД1. Вперше вивчено вплив таких видів термічної обробки зварних швів трубопроводів, як відпал, нормалізація з високим відпуском і високий відпуск на їх схильність до корозійного руйнування в сірководневому середовищі. Аналізом літературних джерел і власних експериментальних досліджень встановлено, що однією з основних характеристик схильності до корозійного руйнування зварних з'єднань трубопроводів є їх мікроелектрохімічна неоднорідність поверхонь, що контактують із сірководневим середовищем.

Хімічний аналіз показав на різницю в складі елементів металу зварного шва та основного металу.

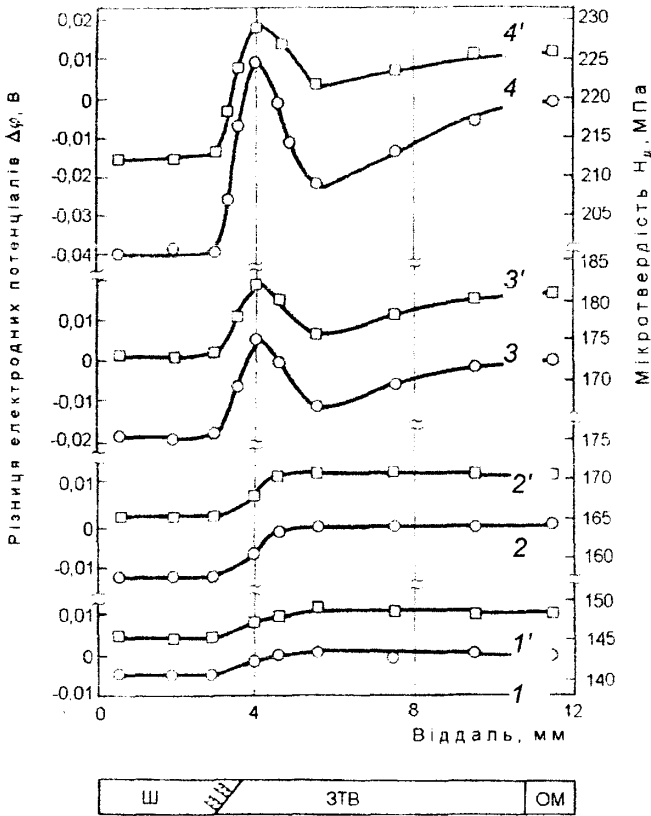


Рис.4. Розподіл різниці електродних потенціалів (1–4) і мікротвердості (1'–4') у зварному з'єднанні при різних видах термічної обробки (Ш- шов; ЗТВ – зона термічного впливу; ОМ – основний метал):

1, 1' – відпал; 2, 2' – нормалізація і високий відпуск; 3, 3' – високий відпуск; 4, 4' – вихідний стан.

З рис. 4 видно, що електродні потенціали та мікротвердість в різних зонах зварного з'єднання суттєво залежать від структурно-хімічної неоднорідності та режимів термічної обробки, при цьому розподіл електродного потенціалу має характер, аналогічний розподілу мікротвердості. Найбільш від'ємне значення мав метал шва. Однією з причин роботи шва як анода є підвищений у ньому, порівняно з основним металом, вміст марганцю та кремнію. Максимальне значення мікроелектрохімічної гетерогенності порівняно з металом шва і основним металом має навколошовна зона з голчастою структурою фериту. Меншу гетерогенність має основний метал, модифікований церієм.

Всі досліджені види термічних обробок приводять до зменшення як макро- так і мікроелектрохімічної гетерогенності зварних з'єднань і навколошовних зон. При цьому найбільш суттєвий вплив справляв відпал та нормалізація з високим відпуском.

З підвищенням рівня напружень при розтягу або циклічному згині різниця електродних потенціалів збільшується, так як зсув потенціалів різних ділянок зварного з'єднання відбувається не в однаковій мірі у зв'язку з тим, що кількість дефектів кристалічної ґратки в різних ділянках неоднакова і зміна вільної енергії зон буде різна. При циклічному згині різниця електродних потенціалів зростає суттєвіше, ніж при розтягу, як після термічної обробки, так і у вихідному стані.

Різниця електродних потенціалів зразків зварного з'єднання, підданих термічній обробці, як при циклічному згині, так і при розтягу в сірководневому електроліті збільшується в меншій мірі, ніж зразків у вихідному стані. Це пов'язано з вирівнюванням при термічній обробці як макро-, так і мікроелектрохімічної неоднорідності.

Аналогічно змінюється опір сульфідному розтріскуванню в 0,5% $\text{CH}_3\text{COOH} + 3\% \text{Na Cl} + 3\text{г/дм}^3 \text{H}_2\text{S}$ зварних зразків, що підлягали відпалу, нормалізації з високим відпуском, високому відпуску та у вихідному стані, досягаючи, відповідно, 1,05; 0,99; 0,94 і 0,89 від границі течіння основного металу.

Довговічність при циклічному навантаженні в цьому середовищі була також найвищою після нормалізації з високим відпуском і після відпалу.

Отже, шляхом вибору раціональних режимів термічної обробки зварних з'єднань трубопроводів можна керувати електрохімічною гетерогенністю і суттєво підвищувати їх довговічність в сірководневих середовищах.

У **п'ятому розділі** роботи підняті питання коректної оцінки тріщиностійкості магістральних трубопроводів. Невеликі корозійно-механічні дефекти під час експлуатації магістральних трубопроводів часто переростають у тріщини. Тому в 2000 році в Україні були введені будівельні норми ВБН В.2.3-00018201.04-2000 „Розрахунки на міцність діючих магістральних трубопроводів з дефектами”, де оцінка залишкової міцності магістральних трубопроводів здійснюється через критичні коефіцієнти інтенсивності напружень K_{IC} .

Як видно з рисунка 5, з підвищенням температури випробувань значення K_{IC} різко зростають. При $T_{\text{випр}} = 240 \text{ K}$ і вище в експерименті не виконуються умови плоскої деформації, тому оцінка K_{IC} стає недостовірною (пунктирні лінії на рисунку 5).

В зв'язку з цим слід відзначити, що правомірна оцінка тріщиностійкості трубних сталей вже при кімнатній температурі за показниками критичних коефіцієнтів інтенсивності напружень пов'язана із значними труднощами, так як для них звичайно не виконуються обмеження, що накладаються лінійною механікою руйнування на величину пластичної деформації у вершині тріщини з врахуванням довжини останньої та розмірів досліджуваних зразків.

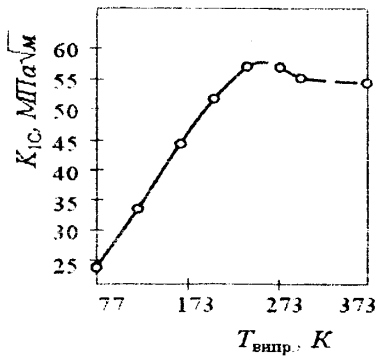


Рис. 5. Зміна характеристик в'язкості руйнування нормалізованої сталі 17Г1С залежно від температури

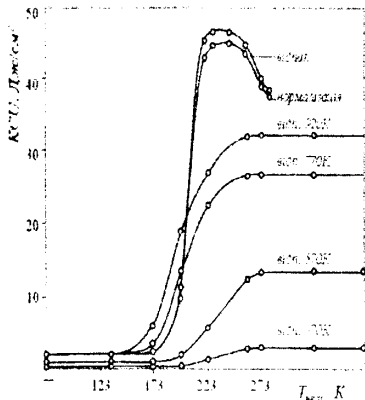


Рис. 6. Криві холодноламкості сталі 17Г1С після відпалу, нормалізації та гартування з наступним відпуском при різних температурах.

Тому довідникова інформація про K_{IC} для трубних сталей досить обмежена. Враховуючи методичні труднощі при експериментальному визначенні в'язкості руйнування, будівельні норми дозволяють використання науково обгрунтованих кореляційних залежностей K_{IC} і ударної в'язкості. Однак у ряді досліджень вказується на окремі випадки різної структурної чутливості в'язкості руйнування і ударної в'язкості. Як наслідок, це може спричинити порушення кореляційних залежностей між K_{IC} і ударною в'язкістю.

Щоб з'ясувати це питання, нами проведені серіальні випробування на ударну в'язкість зразків Менаже зі сталі 17Г1С в прийнятному діапазоні температур випробувань - від 77К до 373К(рис.6).

Відзначимо, що залежність K_{IC} від температури випробувань має теж характер крихко-в'язкого переходу (рис. 5). Проте, у всіх випадках випробувань (коли одержували достовірні значення K_{IC}) мало місце квазікрихке руйнування, оскільки, незалежно від температури випробувань, реалізується макровідривний характер росту тріщин. Тому, як встановлено електронно-фрактографічним аналізом, зафіксоване різке збільшення роботи поширення тріщини (з ростом температури випробувань) в умовах плоскої деформації не можна інтерпретувати як перехід від макрокрихкого до макров'язкого руйнування або як зміна макрорівного деформованого стану на макрорівнонапружений.

Порівняння результатів випробувань на K_{IC} і ударну в'язкість (рис.5 і 6) показали, що в той час, як ударна в'язкість в межах температур від 77К до 173К для нормалізованої сталі 17Г1С залишається на низькому (практично постійному) рівні, то значення K_{IC} зростають у два рази. Ці дані вступають у протиріччя з методикою визначення K_{IC} за величиною ударної в'язкості, запропованою в будівельних нормах України. Згідно з останніми, між K_{IC} і ударною в'язкістю існує прямопропорційний зв'язок: з ростом одного параметра збільшується й інший. Така невідповідність викликана тим, що ударна в'язкість визначається в

області крихкого руйнування (рис.5), а параметр K_{IC} на ділянці переходу від крихкого до квазів'язкого руйнування (рис.6).

Показано, що непередбачену зміну характеру руйнувань від крихкого до в'язкого можуть викликати і інші фактори, наприклад, фактори конструктивні (зменшення радіуса надрізу ударних зразків, тобто перехід до більш жорсткого виду навантаження), структурні (різна чутливість до величини зерна).

Враховуючи викладені вище результати, слушно підняти питання про вивчення кореляційних зв'язків між параметрами K_{IC} та іншими показниками механічних властивостей матеріалів.

При випробуваннях на розтяг нормалізованих зразків сталі 17Г1С замітили подібний характер температурних залежностей міцнісних характеристик (рис.7) з температурними залежностями K_{IC} (рис.5).

Аналізом літературних даних і результатами наших експериментів показано, що дослідні дані достовірних значень K_{IC} задовільно розміщуються вздовж прямої лінії, яка описується рівнянням:

$$K_{IC} = k \frac{K_{IC}}{\sigma_n + \sigma_t} + b$$

Звідси

$$K_{IC} = \frac{b}{1 - \frac{k}{\sigma_n + \sigma_t}}$$

де k і b – постійні матеріалу.

Це дає можливість запропонувати методику визначення величини K_{IC} за результатами випробувань на розтяг.

Рудком В.П. показано, що не слід нехтувати можливістю перевантажень (наприклад, при зсувах ґрунтів), які призводять до пластичної деформації матеріалу в окремих зонах трубопроводу. Це вказує на важливість урахування впливу попереднього пластичного деформування на статичну та циклічну тріщиностійкість трубопроводу. Так, попереднє пластичне деформування розтягом ($\epsilon_p=5\%$) знижує короточасну тріщиностійкість сталі 17Г1С від 122 до $103 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$. Опір утомному росту тріщини практично не міняється, а за низької асиметрії циклічного навантаження навіть дещо зростає.

Необхідно зважати і на можливе наводнювання матеріалу в робочих середовищах, передусім у місцях концентрації напружень, що може додатково негативно вплинути на короточасну та циклічну тріщиностійкість трубопроводів.

Так, якщо в'язкість руйнування трубопровідної сталі 17Г1С у вихідному стані становила $122 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$, то після попереднього електролітичного

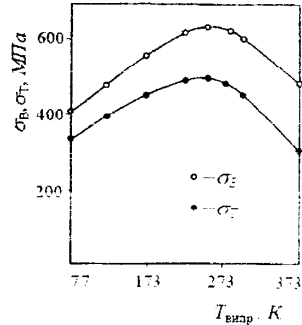


Рис. 7. Температурні залежності характеристик міцності нормалізованої сталі 17Г1С.

наводнювання її величина стала 57 МПа√м, тобто знизилася у 2,14 раза. Аналогічні випробування попередньо деформованих зразків встановили ще більше падіння K_C : від 103 до 32 МПа√м (у 3,2 раза).

Тоді сумарний вплив перевантажень, що привів до пластичного деформування зразків, і наводнювання спричинив до спаду в'язкості руйнування сталі трубопроводу в 3,8 раза – від 122 до 32 МПа√м.

Сильний окрихчующий ефект від сумарного впливу перевантажень і наводнювання підтверджується тим фактом, що в даному випадку ми могли оцінити в'язкість руйнування металу за критичним коефіцієнтом інтенсивності напружень при плоско деформованому стані K_C .

Наводнювання матеріалу у вихідному стані не змінює швидкості пришарового втомного росту тріщин за високочастотного навантаження. Наводнювання попередньо деформованого матеріалу дещо зсуває припорогову ділянку діаграми $da/dN - \Delta K_{eff}$ у бік вищих швидкостей росту тріщини. За підвищених ΔK водневе окрихчення виражене яскравіше. Заресстрований різкий стрибок швидкості в середньоамплітудній ділянці діаграм відображає сильну чутливість до водневого розтріскування під циклічним навантаженням. Цей чинник може суттєво понизити довговічність трубопроводу на стадії стабільного підростання втомної тріщини.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено обґрунтування та вирішення науково-технічної задачі, яка полягає у встановленні умов виникнення та швидкості поширення внутрішньої корозії промислових і магістральних нафтогазопроводів

Вдосконалена методика оцінки технічного стану трубопроводів через параметри тріщиностійкості з метою використання отриманих результатів для прогнозування їх ресурсу. При цьому отримані такі основні результати:

1. Показано, що однією з причин корозійного руйнування нафтогазопроводів є наявність в продукції родовищ домішок сірководню, а також вуглекислого газу та низькомолекулярних карбонових кислот, що в умовах високих температур і тисків обумовлює інтенсивну внутрішню корозію. Найбільш інтенсивно корозійні процеси протікають при тисках більше 0,5 МПа і підвищених температурах (313К...353К). Вивченням впливу агресивних середовищ на внутрішню корозію трубних сталей встановлено, що процес корозії протікає за нелінійним законом, виражаючи чіткий взаємозв'язок між швидкістю корозії, вмістом агресивних домішок, температурою випробувань і тиском. Для відповідних температурних умов вперше отримані статистичні моделі, які з точністю $\pm 5\%$ дозволяють чисельно визначити міру дії парціального тиску вуглекислого газу та концентрації карбонових кислот на корозійну проникність сталі 17Г1С.

2. Запропоновано та обґрунтовано новий параметр для оцінки процесів корозії, що є певним характеристичним значенням концентрації сірководню чи карбонових кислот C^S , з досягненням якого відбувається різке зростання швидкості корозії сталі 17Г1С.

3. Встановлено, що визначальною причиною корозійних пошкоджень внутрішньої поверхні є наявність так званої „донної” води. Виявлено відмінність між корозійною тривкістю в донній воді нової трубної сталі 17Г1С і сталі після 29 років експлуатації. Понижена корозійна тривкість верхніх фрагментів труби і, особливо, нижніх є наслідком експлуатаційного старіння (деградації) трубної сталі. Найбільш чутливою характеристикою до окрихчуючої дії корозійного середовища показало себе відносне звуження Ψ .

4. Показано, що електродні потенціали та мікротвердість в різних зонах зварного з'єднання суттєво залежать від структурно-хімічної неоднорідності та режимів термічної обробки, при цьому розподіл електродного потенціалу має характер, аналогічний до розподілу мікротвердості. Всі досліджені види термообробки приводять до зменшення електрохімічної гетерогенності зварних з'єднань, при цьому найбільш суттєвий вплив справляв відпал і нормалізація з високим відпуском.

5. Встановлено, що з підвищенням рівня напружень при розтягу або циклічному згині різниця електродних потенціалів збільшується. Аналогічно змінюється опір розтріскуванню в 0,5% $\text{CH}_3\text{COOH}+3\%\text{NaCl}+3\text{г/дм}^3\text{H}_2\text{S}$ зварних зразків, що підлягали відпалу, нормалізації з високим відпуском, високому відпуску та у вихідному стані, досягаючи, відповідно, 1,05; 0,99; 0,94 і 0,89 від границі течіння основного металу. Довговічність при циклічному навантаженні в цьому середовищі була також найбільшою після нормалізації з високим відпуском і після відпалу.

6. На основі механічних випробувань і електронно-фрактографічного аналізу вивчений вплив структурних і механічних факторів на характер крихко-в'язкого переходу трубної сталі 17Г1С. З підвищенням температури випробувань значення K_{IC} зростають і при 240 К і вище не виконуються умови плоскої деформації. Тому оцінка K_{IC} стає недостовірною і для її визначення вперше запропонований кореляційний зв'язок даного параметра з границями міцності σ_B та течіння σ_T трубної сталі 17Г1С. Це дало можливість розробити методику визначення величини K_{IC} за результатами випробувань на розтяг.

7. Встановлений суттєвий спад в'язкості руйнування K_C трубної сталі 17Г1С внаслідок сумарної дії перевантажень трубопроводів і наводнювання.

Наводнювання матеріалу у вихідному стані не змінює швидкості припорогового втомного росту тріщини за високочастотного навантаження. Наводнювання попередньо деформованого матеріалу дещо зсуває припорогову ділянку кінетичної діаграми у бік вищих швидкостей росту тріщини. За підвищених ΔK зафіксований різкий стрибок швидкості в середньо амплітудній ділянці діаграми, який відображає сильну чутливість матеріалу до водневого розтріскування під циклічним навантаженням і може суттєво понизити довговічність трубопроводу з тріщиновидними дефектами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Крижанівський Є.І., Рудко В.П., Онищук О.О., Петрина Д.Ю. Оцінка тріщиностійкості магістральних трубопроводів з позиції δ_k -моделі //Науковий вісник Івано-Франківського технічного університету нафти і газу.–2002.–№2(3).–С.66–73. (Дослідження тріщиностійкості сталі 17Г1С за критичними коефіцієнтами інтенсивності напружень, 20%).

2. Крижанівський Є.І., Рудко В.П., Онищук О.О., Петрина Д.Ю. Оцінка тріщиностійкості магістральних трубопроводів за критичними коефіцієнтами інтенсивності напружень //Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.–2003.–№1(6).–С.6–11. (Запропонована методика визначення величини K_{IC} за результатами випробувань на розтяг, 50%).

3. Петрина Ю.Д., Онищук О.О., Петрина Д.Ю., Стоцький І.М. Вплив наводнювання та попереднього пластичного деформування на тріщиностійкість трубопроводів //Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.–Івано-Франківськ.–2003.–№2(7).–С.102–105.(Вивчено вплив наводнювання зразків на тріщиностійкість трубопроводів, 40%) .

4. Петрина Ю.Д., Рудко В.П., Онищук О.О. Вплив параметрів перекачування сірководневих газів на корозійну тривкість трубної сталі //Машинознавство. – 2003.–№6.–С.24–26. (Запропонований новий параметр – характеристичне значення концентрації агресивних компонентів C^S , 30%).

5. Крижанівський Є.І., Рудко В.П., Онищук О.О., Петрина Ю.Д. Вплив попереднього пластичного деформування на механічні характеристики сталі 17Г1С-У //Наукові нотатки ЛДТУ.–Луцьк.–2003.–Вип.13.–С.150-159. (Сформульовані основні причини низької втомної міцності трубопроводів, 20%).

6. Петрина Д.Ю., Онищук О.О., Савчук Я.І. Вплив низькомолекулярних карбонових кислот на вуглекислотну корозію трубних сталей// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.–Івано-Франківськ.–2004.–№2(11).–С.28–32.(Вивчений вплив карбонових кислот на вуглекислотну корозію сталі з врахуванням експлуатаційних параметрів перекачування газів, 50%).

7. Петрина Д.Ю., Онищук О.О. Чутливість електрохімічних показників до експлуатаційної деградації зварних з'єднань трубопроводів// Методи та прилади контролю якості.–Івано-Франківськ.2005.–№13 С.7–10. (Досліджена електрохімічна гетерогенність неексплуатованих зварних з'єднань трубопроводів, 50%).

8. Ye. Kryzhanivskyi, D. Petryna, O. Onystchuk, V. Rudko. Effect of hydrogenation and plastic predeformation on the crack growth resistance of structural steel. // Buletin științific, Seria C, Vol.XVII.–Baia Mare, 2003.–P.173–176. (Вивчений вплив сірководню на тріщиностійкість трубної сталі 17Г1С, 30%)

9. Петрина Д.Ю., Онищук О.О. Залежність корозії зварних з'єднань трубопроводів від термічної обробки// Збірка тез II всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів „Зварювання та суміжні технології”.– Київ: ІЕЗ ім. Патона НАН України.–2003.–с.33.(Запропоновані раціональні режими термообробки зварних з'єднань трубопроводів, 50%).

АНОТАЦІЯ

Онищук О.О. Оцінка характеристик матеріалів нафтогазопроводів при внутрішньотрубній корозії. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – нафтопроводи, бази та сховища. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2005.

У дисертації наведено обґрунтування та вирішення науково-технічної задачі, яка полягає у встановленні умов виникнення та швидкості поширення внутрішньої корозії нафтогазопроводів. Показано, що однією з причин корозійного руйнування трубопроводів є наявність в продукції родовищ домішок сірководню, а також вуглекислого газу та низькомолекулярних карбонових кислот, що в умовах високих температур і тисків обумовлює інтенсивну внутрішню корозію. Запропоновано та обґрунтовано новий параметр для оцінки процесів корозії, що є певним характеристичним значенням концентрації шкідливих домішок, з досягненням якого відбувається різке зростання швидкості корозії сталі І7Г1С. Показано, що експлуатаційне старіння сталі понижує корозійну тривкість трубопроводів.

Встановлено, що електродні потенціали та мікротвердість в різних зонах зварного з'єднання суттєво залежать від структурно-хімічної неоднорідності та режимів термічної обробки. Всі досліджені види термообробки приводять до підвищення корозійно-механічної тривкості зварних з'єднань, при цьому найбільш суттєвий вплив справляв відпал і нормалізація з високим відпуском.

Вдосконалена методика оцінки технічного стану трубопроводів через параметри тріщиностійкості з метою використання отриманих результатів для прогнозування їх ресурсу.

Ключові слова : магістральний трубопровід, внутрішньотрубна корозія, корозійно-механічні дефекти, зварний шов, критичний коефіцієнт концентрації напружень, кінетичні діаграми втомного руйнування.

АННОТАЦИЯ

Онищук О.А. Оценка характеристик материалов трубопроводов при внутритрубной коррозии. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – нефтегазопроводы, базы и хранилища. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. Ивано-Франковск, 2005.

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, общих выводов, списка использованных источников и приложения.

В первом разделе выполнен критический анализ современного состояния проблемы исследования коррозионно-механических повреждений нефтегазопроводов, на основании которого сформулированы цель и задачи работы.

Второй раздел посвящен методологии исследования. В соответствии с изложенной постановкой задач изучены коррозионно-механические

повреждений нефтегазопроводов в экспериментах использовались образцы, вырезанные из трубы диаметром 1020 мм и толщиной стенки 12 мм. Описаны оборудование и методика их коррозионных, микроэлектрохимических, механических и микроструктурных исследований.

В третьем разделе работы показано, что одной из причин коррозионного разрушения нефтегазопроводов является присутствие в продукции месторождений примесей сероводорода, а также углекислого газа и низкомолекулярных карбоновых кислот, что в условиях высоких температур и давлений приводит к интенсивному коррозионному разрушению внутренней поверхности. Приведены данные о влиянии концентрации агрессивных примесей в природном газе на интенсивность процессов внутренней коррозии магистральных трубопроводов.

Установлен новый критерий для оценки процессов коррозии, что представляет собой некоторое характеристическое значение концентрации сероводорода или низкомолекулярных карбоновых кислот, при достижении которого происходит существенная активация коррозионного разрушения стали 17Г1С.

Показано, что главной причиной коррозионных повреждений внутренней поверхности является наличие «донной» воды. Выявлено отличие между коррозионной стойкостью в «донной» воде новой трубной стали 17Г1С и стали после 29 лет эксплуатации. Последний факт является следствием эксплуатационного старения (деградации) трубной стали.

Четвертый раздел работы представляет результаты исследований микроэлектрохимической неоднородности сварных соединений трубопроводов при различных видах термической обработки. Впервые изучено влияние таких видов термической обработки сварных швов трубопроводов как отжиг, нормализация с высоким отпуском и высокий отпуск на их склонность к коррозионному разрушению в сероводородной среде. Установлено, что одной из основных характеристик склонности к коррозионному разрушению сварных соединений трубопроводов является их микроэлектрохимическая неоднородность поверхностей, контактирующих с сероводородной средой.

Показано, что электродные потенциалы и микротвердость в различных зонах сварного соединения существенно зависят от структурно-химической неоднородности и режимов термической обработки, при этом распределение электродного потенциала аналогично распределению микротвердости.

Все исследованные виды термических обработок приводят к уменьшению как макро- так и микроэлектрохимической гетерогенности сварных соединений и околошовных зон. При этом наиболее существенное влияние оказывал отжиг и нормализация с высоким отпуском.

С повышением уровня напряжений при коррозионно-механических испытаниях разность электродных потенциалов возрастает. Термическая обработка выравнивает как макро- так и микроэлектрохимическую неоднородность.

В пятом разделе работы приведены результаты исследования трещиностойкости магистральных трубопроводов. С повышением температуры испытаний значения K_{IC} возрастают. При $T = 240\text{K}$ и выше в эксперименте не

выполняются условия плоской деформации, а оценка K_{IC} становится недостоверной. Поэтому справочная информация по K_{IC} для трубных сталей достаточно ограничена. Учитывая методические трудности при экспериментальном определении вязкости разрушения, строительные нормы Украины разрешают использование научно обоснованных корреляционных зависимостей K_{IC} и ударной вязкости. Однако анализом литературных данных и результатами наших механических испытаний и электронно-фрактографического анализа указывается на отдельные случаи различной структурной чувствительности вязкости разрушения и ударной вязкости, что приводит к существенным ошибкам при определении K_{IC} . Поэтому в работе рассмотрен вопрос об изучении корреляционных связей между параметрами K_{IC} и другими показателями механических свойств материалов. Показано, что такая удовлетворительная связь существует между величиной K_{IC} и параметрами механических испытаний на растяжение (σ_B и σ_T).

При оценке трещиностойкости трубопроводов необходимо считаться с возможностью их перегрузок, например при оползневых явлениях, которые приводят к появлению пластической деформации, а также с наводороживанием материала в рабочих средах, прежде всего в местах концентрации напряжений, что может дополнительно отрицательно повлиять на кратковременную и усталостную трещиностойкость.

Установлено, что суммарное действие предварительного пластического деформирования и наводороживания уменьшает почти в 4 раза кратковременную трещиностойкость стали трубопроводов, а сопротивление подрастанию усталостной трещины может уменьшиться на порядок..

Ключевые слова: магистральный трубопровод, внутритрубная коррозия, коррозионно-механические дефекты, сварной шов, критический коэффициент концентрации напряжений, кинетические диаграммы усталостного разрушения.

SUMMARY

Onystchuk O.A. Estimation of descriptions of pipelines materials by internal corrosion of oil-and-gas pipelines. - Manuscript.

Thesis for competition of a scientific degree of the candidate of technical science on a speciality 05.15.13 – Oil and gas pipelines, plants and storages –Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2005 .

The substantiation and solution of scientific and technical problem which lies in determination of conditions of origin and propagation rate of internal corrosion of oil-and-gas pipelines are given in this dissertation. It is shown, that one of the reasons of corrosion damage of pipelines is the presence of hydrogen sulphide and also carbon dioxide and low-molecular carboxylic acids admixtures in the products of deposits, which under high temperature and pressure conditions causes intensive internal corrosion. A new parameter for estimation of corrosion processes is proposed and substantiated. This is certain characteristic value of concentration of harmful admixtures, and on reaching it abrupt growth of corrosion rate of 17Г1С steel occurs. It is shown, that the operating ageing of steel reduces corrosion resistance of pipelines.

It is determined, that electrode potentials and microhardness in different areas of the welded connection substantially depend on structural-chemical heterogeneous and heat treatment conditions. All explored types of heat treatment result in the increase of stress corrosion stability of the welded connections; here the annealing and high-temperature tempering normalization had the most substantial influence.

The method of maintenance estimation of the pipelines by means of the crack-resistance parameters was improved with the purpose of using the findings for fatigue prediction.

Keywords: main pipeline, internal corrosion, stress corrosion defects, welded joint, critical factor of stress concentration, diagnostics, kinetic diagrams of fatigue damage.

