

УДК 622.691

DOI: 10.31471/2304-7399-2023-18(68)-157-165

ПРОТИКОРОЗІЙНИЙ ЗАХИСТ ТРУБОПРОВОДІВ**Р. Т. Мартинюк**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. 72-71-38;
e-mail: snp@nupq.edu.ua*

В даний час в нашій країні питання захисту металів від корозії досягло високих результатів, то існує великий розрив між досягненням науково-досліджуваних робіт в цьому напрямку і їх використання в промисловості. Необхідно розробляти і впроваджувати високоефективні методи збільшення міцності, корозійної стійкості, тепло і холодостійкості металів і сплавів. Важливе значення має популяризація, розповсюдження і впровадження ефективних методів захисту від корозії і корозійно-механічного руйнування машин, апаратів, обладнання і металоконструкцій.

При поверхнево-пластичній деформації не утворюється стружка, а проходить тонке пластичне деформування поверхневого шару. В результаті чого зміцнюється поверхневий шар, збільшується зносостійкість і стійкість до корозійного середовища. В багатьох випадках використання поверхнево-пластичної деформації дає можливість збільшити запас міцності деталей працюючих при змінних навантаженнях від 1,5 до 3 рази збільшити термін служби деталей. В роботі розглянуті напрямки збільшення стійкості деталей нафтопромислового обладнання методом поверхневопластичного деформування, для стійкості проти дії різного виду корозії і корозійно-механічного руйнування.

Втома – це явище поступового нагромадження пошкодження матеріалу під дією змінних навантажень, що приводить до змінення властивостей утворення тріщин, їхньому розвитку і руйнуванню. Процеси втоми металу вивчалися багатьма дослідниками, була висунута безліч гіпотез, але природа втоми залишається багато в чому усе ще не з'ясованою.

Ключові слова: *корозія, собівартість, корозійне руйнування, проблема, домна.*

Актуальність теми

Корозія приносить великі матеріальні збитки як в металургії так і в народному господарстві. Збитки металу від корозії і корозійно-механічне руйнування перевищують від 10 до 12 % річного випуску. Основною задачею машинобудівників являється технічно правильний вибір металу, розмірів деталей, їх обробки і захисту від дії агресивних

середовищ. Кожна шоста домна в світі працює тільки на корозію, 1/3 виробленого металу виходить із технічного вжитку по причині корозії. Руйнує готові вироби, машини і конструкції, собівартість яких перевищує ціну самого металу. Збитки від корозії в промислово-розвинутих країнах досягає 70 млрд.доларів, тому проблема захисту металу від корозії, і від корозійно-механічного руйнування, для кожної країни по мірі її розвитку промисловості і збільшення металевого фонду, переходить в велику національну проблему. Аналіз, проведений національними комісіями різних країн показав, що при широкому використанні існуючих антикорозійних засобів можна б було загальні втрати від цього виду руйнування зменшити більш чим на 1/4.

В даний час в нашій країні питання захисту металів від корозії досягло високих результатів, то існує великий розрив між досягненням науково-досліджуваних робіт в цьому напрямку і їх використання в промисловості. Необхідно розробляти і впроваджувати високоефективні методи збільшення міцності, корозійної стійкості, тепло і холодо-стійкості металів і сплавів. Важливе значення має популяризація, розповсюдження і впровадження ефективних методів захисту від корозії і корозійно-механічного руйнування машин, апаратів, обладнання і металоконструкцій.

Корозія в сполученні з одночасною дією механічних напружень є особливо небезпечним явищем, що різко знижує довговічність металевих виробів. У залежності від виду напруження розрізняють статичну і циклічну корозійну втоми. При одночасному впливі змінних навантажень і корозійного середовища виникає корозійна втома, у тому випадку, коли діють статичні навантаження, має місце корозійне розтріскування, або статична корозійна втома.

З існуючих гіпотез, що пояснюють механізм корозійно-втомного руйнування металів, найбільше поширення отримала електрохімічна й адсорбційно-електрохімічна гіпотези. У процесі корозії, а також внаслідок концентрації напружень при знакозмінних напруженнях, дно такої поразки має більш негативний потенціал відносно стінок, в результаті чого схильність до руйнування збільшується і приводить до утворення корозійно-втомних тріщин.

Подальший розвиток електрохімічна теорія одержала в роботі [4]. В процесі подальших досліджень механізму корозійно-втомного руйнування ряд явищ не знаходив достатнього пояснення з позиції електрохімічної теорії, що обумовило необхідність робити спроби її вдосконалення, а також створення нових гіпотез. Приймаючи за основу електрохімічну теорію, корозійно-механічну гіпотезу узагальненого механізму корозійної втоми металів.

В основу фізико-хімічної механіки матеріалів було покладене пояснення адсорбційного впливу середовища, що адсорбція поверхнево-активних речовин з навколишнього середовища на поверхні твердих тіл викликає пониження поверхневої енергії цих тіл, полегшує їхню дефо-

рмацію і руйнується в процесі навантаження. Сутність теорії полягає в тому, що первинним актом впливу корозійного середовища на циклічно деформований металу являється адсорбційний вплив, що приводить до термодинамічних незмінних змін міцності металу а також можливість охрупчування за рахунок адсорбції водню на катодних ділянках металу, що викликає водневу втому. Адсорбційна гіпотеза водневої крихкості металів являється однією з багатьох, запропонованих автором роботи для пояснення зниження міцності і пластичності сталі в процесі її водневого охрупчування. Відмінне експериментальне підтвердження адсорбційна гіпотеза водневої крихкості отримала в роботі автор якої вважає [3], що полегшення розвитку тріщини під впливом газоподібного водню і сірководню, особливо при високих рівнях напружень, викликалося адсорбційним впливом водню на метал у вершиш тріщини, що розвивалися, досить широкі дослідження корозійної втоми металів з урахуванням впливу умов навантаження, структури сталі.

Аналогічне явище має місце при експлуатації насосних штанг у шпарах, що містять сірководень, у яких присутність останнього сприяє посиленому проникненню атомарного водню в метал.

У питаннях, зв'язаних зі швидкістю циклювання, чутливістю до корозійного розтріскування сталей, а також у дослідженні механізму руйнування при одночасній дії корозійної втоми і корозійного розтріскування в сірководневих середовищах ще залишилося багато невирішених проблем, і тому вивчення цих проблем з погляду адсорбційно-електрохімічною теорією представляє больовий науковий, і практичний інтерес.

Взаємодія корозійного середовища з металом завжди починається з адсорбції поверхнево-активних елементів середовища на металевій поверхні електрода. Іони з електроліту, навіть цілі молекули із середовища (мастила), адсорбуючись на металі, знижують його поверхневу енергію. Адсорбційний ефект (ефект Ребіндера) багатогранний і як відомо, приводить до зміни фізико-механічних властивостей деформуючих твердих тіл. Його роль досить велика не тільки в корозійних, але й у некорозійних поверхнево-активних середовищах (органічних кислоти, спирти, мастила, розплави) і підсилюється при збільшенні механічних напружень і деформацій.

Багато питань, у тому числі і фізико-хімічній сутності адсорбційного ефекту на втомному рівні, ще не зовсім ясні і вимагають подальших теоретичних і експериментальних досліджень. Тому що це питання має важливе значення для розуміння корозії під напруженням, розглянемо більш докладно деякі його аспекти.

Адсорбційний ефект при втомі в слабких поверхнево-активних середовищах виявлений у 1947 році уже тоді був замічений двоїстий його прояв. Поверхнево-активні середовища можуть підвищувати опір металу втомному руйнуванню при високих амплітудах напружень і знижувати його при амплітудах, близьких до границі витривалості.

Різний прояв адсорбційного ефекту при втомі сталі деякі автори пояснювали тим, що при високих амплітудах напружень зі зниженням

поверхневої енергії процес зародження дислокацій починає превалювати над процесом виходу їх на поверхню, що сприяє зміцненню металу і підвищенню витривалості. При напруженнях, близьких до границі витривалості, вихід дислокації на поверхню превалює над їхнім зародженням і взаємодією (гальмуванням). Це приведе до розуцільнення і зниження витривалості металу в поверхнево-активному середовищі.

Збільшення вмісту вуглецю в загартованій і низьковідпущеній сталі підсилює прояв адсорбційного ефекту, тобто границя витривалості в поверхнево-активному середовищі зменшується більш помітно у високовуглецевих сталях, чим у низковуглецевих. Це підрозумівається охрупчуванням металу зі збільшенням у ньому кількості вуглецю. Тендітні сталі завжди більш чутливі до адсорбційного впливу середовища.

Слабкі поверхнево-активні середовища являють собою суміш різних неактивних вуглеводнів з домішками органічних кислот, смол і інших поверхнево-активних компонентів, що мають великі молекули, і тому їхньому впливу при росту тріщини може перешкоджати стеричний фактор. Так, досвіди показують, що витривалість сталі (зразки з наведеною тріщиною) збільшується з переходом від метилового чи етилового до бутилового і октилового спиртів, у яких кількість вуглеводневих атомів у молекулі відповідно зростає від 1 до 8. З цієї причини зниження температури середовища, погіршення механічних характеристик металу може також послабити прояв адсорбційного ефекту.

Місця виходу дислокації і вакансій на поверхню є найбільш активними центрами адсорбційної, водневої і корозійної взаємодії середовища з напруженим металом. При переміщенні вакансій і їхньої коагуляції в результаті адсорбційного впливу середовища можуть виникати мікропорожнини і пори.

Вплив водню на властивості металу найбільше яскраво повинне виявлятися при одночасному наводорожуванні і навантаженні. Такі умови найчастіше зустрічаються в процесі експлуатації деталей машин, апаратів і елементів конструкцій, у тому числі і при електрозахисті від корозії [1].

Описані дослідження показують, що при електрозахисті об'єктів необхідно застосовувати такі щільності струму, що максимально гальмували б корозію і мінімально наводнювали метал. Важливим фактором є також рівномірність розподілу деформацій на різних ділянках виробу, тому що це буде збільшувати або зменшувати наводнення. При дослідженні на втому (частота 50 Гц) макродеформація зразка не перевищує межі пружності, особливо в корозійному середовищі; при одноосьовому розтяганні перевищує границю текучості; при технологічній пробі на знакомінний перегин (частота порядку 0,3 Гц) набагато перевищує границя текучості. Таким чином, пластична деформація підсилюється від першого випадку до третього. У першому випадку пластичної деформації піддаються тільки окремі сприятливо орієнтовані зерна зразка; у другому випадку пластична деформація поширюється посту-

пово на весь зразок і відбувається рівномірно в одному напрямку; в останньому випадку деформація нерівномірна і знакозмінна.

Відомо, що вуглець зменшує рухливість водню в металах. У низьковуглецевих сталях вуглецю мало, але він сконцентрований переважно по границях зерен. Такий розподіл вуглецю приводить до охрупчівання границь. Там же спостерігається скупчення водню. Сконцентрований водень, полегшуючи деформацію границь і прилягаючих мікробсягів металу адсорбційним чи хемосорбційним шляхом, підвищує опір зародженню і росту втомних тріщин і витривалість зразків у цілому. Водень може при відсутності домішок, включень і інших бар'єрів легко переміщатися до границь на поверхню шляхом термодифузії чи дислокаціями, не викликаючи водневого охрупчування. Для прояву адсорбційного чи хемосорбційного впливу потрібно визначена кількість водню.

Збільшення вмісту вуглецю в сталі легування її іншими елементами, що погіршують рухливість водню, як і підвищення її метастабільності термічною обробкою (загартування), підсилює охрупчування і при значно меншій кількості поглиненого водню знижує опір росту втомних тріщин. Дефектність кристалічної будови сталі в цьому випадку зростає і розподілена вона відносно рівномірно. Водень, скраплюючись у дефектах, гальмує рух дислокації і підсилює концентрацію напружень по всьому обсязі, куди він проникнув. Високоміцні тендітні сталі, як відомо, більш чутливі до концентрації напружень, чим пластичні. У даному випадку переважний вплив на витривалість робить водневе охрупчування металу.

Таким чином, водень при катодній поляризації може робити подвійне, діаметрально протилежний вплив на витривалість сталі. Прояв того чи іншого впливу залежить від фізико-механічних властивостей металу й умов експлуатації. Це підтверджується досвідами, у яких установлено, що при розтяганні (в умовах кімнатної температури) наводнених зразків з армованого заліза зменшується, зникає площадка і зуб плинності. Пояснюють це полегшенням протікання пластичної деформації в результаті збільшення рухливості дислокації в наводненому металі. Тому ефект катодного захисту для високоміцних сталей навіть оптимальний при різних густинах струму, чим для пластичних низьковуглецевих сталей.

Адсорбція водню і його взаємодія з металом, як і в інших активних компонентів середовища, починається в місцях виходу дислокації на поверхню на дислокаціях і інших недосконалоостях кристалічної будови, в середині твердого тіла (на площинах ковзання, на границях зерен і фрагментів, біля неметалічних включень і в інших місцях з максимальною вільною енергією). На відміну від слабких поверхнево-активних речовин, при впливі яких превалює фізична адсорбція, водень може хемосорбуватися й утворювати хімічні сполуки. Ці види адсорбції відрізняються не тільки енергією зв'язку але і тим, що фізична адсорбція відбувається більш рівномірно, а хімічна – вибірково, але і тим,

що в першому випадку структура електронних оболонок середовища й електронна щільність твердого тіла не змінюються, у той час як у другому – змінюються й електронні оболонки адсорбованих атомів і електронна щільність металу .

Корозія взагалі, й електрохімічна корозія зокрема, являє собою окислювально-відновну реакцію і з погляду хімії не відрізняється від ряду цілеспрямованих корисних технологічних процесів, наприклад, травлення, гальваностегії, розчинення тощо. Але їх не називають корозією, під якою на практиці мають на увазі шкідливе і небажане явище, відмінність від корисного, творчого. З теоретичної точки зору і перше і друге варто було б називати «окислюванням». При корозії відбувається окислювання (віддача електронів) металу і відновлення (прийом електронів) окислювача (найчастіше водню, кисню).

Руйнування при малоцикловій корозійній втомі має свою специфіку і займає проміжне положення між статичним (короткочасним) і багатоцикловим втомним руйнуванням. Тому що інтенсивність деформування дуже велика, це накладає відбиток на протікання багатьох фізико-хімічних процесів взаємодії середовища з металом. При малоцикловій втомі звичайно розрізняють три стадії. Перша стадія полягає в структурних змінах і нагромадженні дефектів в ґратці. Вона складає близько 1% загальної довговічності зразка (деталі). На другій стадії зароджуються первинні втомні тріщини. У зернах з'являються мікроскопічні блоки, лінії ковзання і мікротріщини. Величина блоків залежить, головним чином, від амплітуди першого циклу і не змінюється при подальшому навантаженні. Друга стадія займає від 75 до 95 % усієї довговічності деталі. Третя стадія характеризується злиттям дрібних тріщин у магістральні великі тріщини, що приводить до руйнування.

Поширено представлення про те, що при корозійній втомі переважний вплив на руйнування сталі має механічний фактор, а при корозійній статичній втомі – електрохімічний (корозійний). Однак приймається, що в обох випадках відповідальними за зниження втомної міцності сталі в корозійних середовищах є анодні процеси, активовані діючими напруженнями.

Відповідно до цих представлень, в умовах корозійної втоми окремі ділянки поверхні металу, внаслідок численних причин, знаходяться під дією різних по величині напружень. Напруження полегшують руйнування металевого зв'язку між іонами та атомами металу і знижують роботу виходу. Тому електродні потенціали по-різному напружених ділянок різні, ділянки з максимальними напруженнями мають більш низькі потенціали, тобто під дією цих напружень вони стають анодними. Руйнування захисної плівки на металі при дії механічних навантажень приводить до появи найбільше розповсюджених анодних ділянок. Далі, напруги можуть викликати розпад пересиченого твердого розчину під впливом деформації й утворення нових фаз з новими електрохі-

мічними характеристиками. Усе це підсилює електрохімічну неоднорідність металу і викликає корозію, що протікає вибірково.

Багато деталей машин ще до початку експлуатації піддаються корозійному враженню, яке змінює міцність і витривалість сталі як в повітрі, так і в інших робочих середовищах. Даний вплив на міцність і витривалість металу буде залежати від виду і інтенсивності першочергового корозійного враження, причому вплив вказує враження металу, зв'язане з анодними процесами, тоді як наводнення металу, зв'язане з катодними процесами, не дає практично відчутного впливу на міцність і витривалість сталі.

Однією з основних умов надійної експлуатація газотранспортної системи Компанії є забезпечення ефективного пасивного та активного протикорозійного захисту магістральних газопроводів та технологічного обладнання.

Як відомо, пасивний захист є найважливішим елементом у системі протикорозійного захисту, що безпосередньо впливає на її надійність та ефективність. Починаючи з 1993 р., під час реконструкції і будівництва нових газопроводів використовуються тільки труби з заводською ізоляцією Харцизького трубного заводу діаметром від 500 до 1400 мм. Найближчим часом ринок продукції поповниться трубами з ізоляцією екструдованим поліетиленом діаметром від 100 до 500 мм, виготовленими НІШ "Укртрубоізол" (Дніпропетровськ). Ізоляція стиків здійснюється термоусадковими муфтами типу "Райхем" виробництва фірми "СКВ" (Біла Церква). Проводяться дослідження вітчизняних поліуретанових і екструдованих полімерних покриттів для нанесення в польових умовах. Наземні споруди покриваються тільки сучасними високоякісними матеріалами з гарантійним терміном служби не менше від 15 до 20 років. У цьому випадку, як показує практика, додаткові початкові витрати багаторазово окупаються в процесі експлуатації.

Система постійного активного захисту забезпечується 4364 установками катодного захисту, 105 установками дренажного захисту та 7446 установками протекторного захисту. На лінійній частині газопроводів встановлено 1696 ізолюючих з'єднань [2].

Експлуатація системи захисту від корозії газотранспортної системи здійснюється спеціалізованими службами в підрозділах Компанії, оснащеними необхідною ремонтною базою, сучасними приладами та автотранспортом.

Працівники служби протикорозійного захисту виконують постійний догляд за засобами катодної поляризації та з періодичністю два рази на рік проводять вимірювання різниці потенціалів "труба-земля" на контрольно-вимірювальних пунктах з метою перевірки відповідності їх значень нормативним. За результатами вимірів, у разі необхідності, проводять регулювання вихідних параметрів перетворювачів установок катодного захисту та здійснюють інші заходи для налагодження й оптимізації роботи системи.

Для детального визначення корозійного стану та ефективності протикорозійного захисту спеціалізовані лабораторії Компанії та підрядні організації проводять комплексну технічну діагностику об'єктів газотранспортної системи з річним обсягом робіт близько 2500 км, результатом якої є визначення корозійно-небезпечних ділянок газопроводів, необхідності ремонту ізоляційного покриття та заміни труб, видів та обсягів робіт щодо посилення катодного захисту. До цих робіт належить також і моніторинг корозійного стану газотранспортної системи та розробка заходів щодо підвищення її надійності. З метою постійного підвищення технічного рівня проведення моніторингу ДК "Укртрансгаз" фінансує науково конструкторські роботи з розробки сучасних приладів і засобів для збору, передачі та аналізу інформації.

Велику увагу в цьому питанні компанія приділяє поширенню зв'язків з вітчизняними виробниками і розвитку в Україні широкої промислової бази. Ще сім років тому в Україні було відсутнє виробництво установок катодного захисту, анодних заземлень, приладів для визначення точного місцезнаходження підземних комунікацій, діагностики стану металу труби та якості ізоляційного покриття. Зараз частка обладнання вітчизняного виробництва із захисту підземних комунікацій від корозії в загальному обсязі постачань становить близько 90 %. Рівень цін на вітчизняну продукцію нижчий, ніж у західних і навіть російських аналогів, а якість відповідає необхідним вимогам [1].

Висновок. Досвід роботи управління свідчить про те, що ефективна робота галузі неможлива без постійного розвитку сучасної нормативної бази. Провідні нормативні документи у більшій своїй частині переглянуті і цілком відповідають сучасним умовам. Зараз завершується розробка нового Державного стандарту "Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії". Велика увага приділена питанням пасивного захисту, вимоги до якого гармонізовані з європейськими нормами. Порівняно з ГОСТ 25812-83 розширено вимоги до експлуатації, корозійного моніторингу і проектування засобів захисту.

На найближчу перспективу технічного переоснащення Компанії та впровадження енергозберігаючих технологій планується ряд заходів з експериментального монтажу новітніх засобів катодного захисту, ширшого впровадження телеметричного контролю засобів ЕХЗ та багато іншого. Щоденна робота щодо забезпечення стабільної роботи системи, виконання намічених планів і рішень щодо її розвитку і підвищення ефективності дає змогу стверджувати, що захист газопроводів України від руйнування внаслідок корозії здійснюється на високому рівні і відповідає всім міжнародним стандартам.

Література

1. Бакаев В.В. Технологии и оборудование компании "Розен" для диагностики объектов нефтегазовой отрасли. Материалы 3 науч.-техн.

- конф. "Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта". Минск, 2000, с. 120-123.
2. Гончарук М.І. Корозія та розгерметизація газопроводів // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – № 2. С. 56-57.
 3. Сопрунюк П., Юзевич В., Огірко О. Оцінка поверхневої енергії сталей у сірководневих середовищах // Фіз.-хім. механіка матеріалів. Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів. – 2000. – Т.2, Спеціальний випуск № 1. – С. 726-730
 4. Трубопровідний транспорт газу / М.П. Ковалко, В.Я. Грудз, В.Б. Михалків та ін.– К.: Арена-ЕКО, 2002. – 600 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії 31.10.2023 р.

ANTI-CORROSION PROTECTION OF PIPELINES

R. T. Martyniuk

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;
76019, Ivano-Frankivsk, str. Karpatska, 15, tel. 72-71-38;
e-mail: snp@nunq.edu.ua*

Currently, in our country, the issue of protecting metals from corrosion has achieved high results, so there is a big gap between the achievements of scientific research in this direction and their use in industry. It is necessary to develop and implement highly effective methods of increasing the strength, corrosion resistance, heat and cold resistance of metals and alloys. Popularization, dissemination and implementation of effective methods of protection against corrosion and corrosive-mechanical destruction of machines, devices, equipment and metal structures are of great importance.

During surface-plastic deformation, a chip is not formed, but a fine plastic deformation of the surface layer takes place. As a result, the surface layer is strengthened, wear resistance and resistance to corrosive environment increases. In many cases, the use of surface-plastic deformation makes it possible to increase the safety margin of parts working under variable loads by 1.5 to 3 times, and to increase the service life of parts. The paper examines directions for increasing the stability of parts of oil industry equipment by the method of surface plastic deformation, for resistance against various types of corrosion and corrosive-mechanical destruction.

Fatigue is the phenomenon of gradual accumulation of material damage under the action of variable loads, which leads to changes in the properties of crack formation, their development and destruction. The processes of metal fatigue have been studied by many researchers, many hypotheses have been put forward, but the nature of fatigue remains largely unexplained.

Keywords: *corrosion, cost, corrosion destruction, problem, blast furnace.*