
Фізико-технічні проблеми транспорту та зберігання енергоносіїв

УДК 622.4.07.6:620.197.6

ВІДНОВЛЕННЯ ПРОТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ ПІДЗЕМНИХ ГАЗОНАФТОПРОВОДІВ У СИЛЬНОМІНЕРАЛІЗОВАНИХ ГРУНТАХ

¹Є.І. Крижанівський, ¹М.С. Полутренко, ¹Я.Т. Федорович, ²В.В. Рудко, ³І.Я. Федорович

¹ ІФНТУНГ, 76019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42353,
e-mail: no@nuing.edu.ua

² УМГ “Київтрансгаз”, 03065, м. Київ, вул. Комарова, 44, тел. (044) 2397870,
e-mail: Rudko@ktg.com.ua

³ БМУ4 БМФ “Укргазпромбуд”, 76000, м. Івано-Франківськ, вул. Галицька, 57А,
тел. (0342) 775931, e-mail: pmk4@inbox.ru

Наведено основні причини корозійного руйнування газонафтопроводів з метою ефективного застосування певного виду протикорозійного ізоляційного покриття. Теоретично обґрунтовано практичне застосування піскоструменевої обробки поверхні металу труби. Експериментально досліджено взаємозалежність залишкових напружень від часу піскоструменевої обробки на спеціальному комплексі термоабразивного очищення КТО-І. Для збільшення терміну експлуатації трубопроводів в сильномінералізованих ґрунтах запропоновано комплексний протикорозійний захист. Подано результати випробувань ізоляційного покриття, нанесеного на газопровід Роздільна-Ізмаїл.

Ключові слова: магістральні газопроводи, переізоляція, ізоляційне модифіковане бітумно-полімерне покриття, піскоструменева обробка, залишкові напруження, сильномінералізовані ґрунти, інгібітори корозії-біоциди, адгезія

Приведены основные причины коррозионного разрушения газонефтепроводов с целью эффективного применения определенного вида противокоррозионного изоляционного покрытия. Теоретически обосновано практическое применение пескоструйной обработки поверхности металла трубы. Экспериментально исследованы взаимозависимость остаточных напряжений от времени пескоструйной обработки на специальном комплексе термоабразивной очистки. КТО-І. Для увеличения срока эксплуатации трубопроводов в сильноминерализованных грунтах предложена комплексная противокоррозионная защита. Поданы результаты испытаний изоляционного покрытия, нанесенного на газопровод Роздильна-Измаил.

Ключевые слова: магистральные газопроводы, переизоляция, изоляционное битумно-полимерное покрытие, пескоструйная обработка, остаточные напряжения, сильноминерализованные грунты, ингибиторы коррозии-биоциды, адгезия

Principal reasons of corrosive destruction of oil and gas pipelines are presented with the purpose of effective application of certain type of anticorrosive isolating coat. Practical application of sandblasting of pipe metal surface theoretically of surface is proven. The interdependence of residual stresses from time of sandblasting on the special complex of the thermal and abrasive cleaning NFC-І. For the increase of term of exploitation of pipelines in highly mineralized soils the complex anticorrosive protection is offered. The results of tests of insulated coating applied to the gas pipeline of the Rozdilna-Izmail gas pipeline are given.

Keywords: gas main pipelines, reinsulation, modified bituminous-polymeric, insulated coating sandblasting, residual stresses, highly mineralized soils, corrosion inhibitors – biocides, adhesion

Україна володіє потужною мережею газотранспортних і нафтопровідних систем. Значна частина її припадає на магістральні трубопроводи - понад 42 тис. км. Магістральні трубопроводи газу і нафти – це найбільш безпечний, надійний і економічний метод транспортування продуктів на великі відстані. Основною складовою магістральних трубопроводів є газопроводи.

На сьогодні газотранспортна система ДК „Укртрансгаз” НАК „Нафтогаз України” включає 38,6 тис. км газопроводів різного призначення та продуктивності. В загальній структурі магістральних газопроводів за терміном експлуатації від 21 до 30 років і більше частка їх становить близько 70% [1]. Більшість магістральних газопроводів мають протикорозійне плівкове покриття, яке не забезпечує їх надійного захисту.

Тривала експлуатація трубопроводів супроводжується старінням ізоляційного покриття з втратою його діелектричних властивостей. Що стосується підземних газонафтопроводів з бітумним покриттям, то в трасових умовах з часом можливе розтріскування захисного покриття. Якщо трубопроводи, прокладені в засоленних сильномінералізованих ґрунтах, що містять розчинні CO₂ та H₂S, в утворених у їх покритті тріщинах відбуваються корозійні явища, що є наслідком прискореного переходу заліза в розчин у присутності сірководню, а також утворення H₂ з йонів водню. Йони заліза, які переходять в розчин, утворюють з H₂S малорозчинну сполуку FeS (сульфід заліза), яка у вигляді плівки відкладається на поверхні металу. При цьому у місці відкладення плівки утворюється місцева гальванічна мікропара, в якій FeS - катод, а залізо під шаром сульфиду заліза - анод. Сульфід заліза, як катод гальванічної мікропари, полегшує утворення водню з йонів водню, що знаходяться в розчині. Проникнення водню до стальної поверхні призводить до різкого зниження міцності металеві конструкції, що зумовлює корозійні процеси. Крім цього плівка сульфиду заліза, що відкладається на поверхні трубопроводу, покращує змочування поверхні металу водою, що також призводить до інтенсифікації корозії.

До руйнування підземних трубопроводів призводить також мікробіологічна корозія, зумовлена корозійною активністю ґрунтів. Біокорозійна активність ґрунтів викликає зміни фізико-хімічних властивостей захисних покриттів, зменшує їх міцність та адгезію до поверхні металу. Оскільки частка мікробіологічного чинника у збитках від корозії перевищує 50 % [2], то зрозуміло, що даним чинником не можна нехтувати.

Такі умови функціонування газонафтогазотранспортної системи спонукають до ретельного пошуку та впровадження прогресивних методів протикорозійного захисту трубопроводів, що, в свою чергу, призведе до збільшення термінів експлуатації основних виробничих засобів, скорочення аварійних ситуацій і, зрештою, – до

зменшення експлуатаційних та ремонтних витрат.

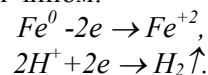
Оскільки згідно з даними технічних обстежень значна частина магістральних газопроводів вимагає переізоляції, особлива увага приділяється ізоляційним покриттям на бітумнополімерній основі як найбільш придатним та ефективним для ремонту газонафтопроводів у трасових умовах. Ці покриття займають третю позицію за використанням [3] після захисних покриттів заводського та базового нанесення на основі стабілізованого поліетилену та покриття на основі терморективних, в тому числі епоксидних і поліуретанових смол.

Реалії структури виробництва і застосування протикорозійних матеріалів для ізолювання різних типів магістральних і промислових трубопроводів в Україні не дозволяють відмовитися в найближчі 5-10 років від дешевих і доступних покриттів на основі бітумнополімерних матеріалів.

Ефективність захисту від корозії трубопроводів залежить від низки чинників, які потрібно враховувати як при виборі покриття, способу його нанесення, так і стану поверхні трубопроводу перед його нанесенням. Вказані чинники є по-своєму важливими, і тому дослідження характеристик покриттів, їх параметрів, а також підготовка поверхні трубопроводу, якість виконання якої суттєво впливає на корозійну тривкість та міцність адгезійного зв'язку з покриттям, є актуальними.

На сьогодні відомі такі механічні способи очищення поверхні металу від пасивних плівок, нерозчинних оксидів металу, як піскоструменева та дробоструменева обробка, шліфування очисними інструментами тощо. Першим етапом механічного способу очищення поверхні металу перед нанесенням покриття є видалення окалини або іржі за допомогою металевих щіток. Але у такий спосіб не досягається рівномірного очищення поверхні: на ній залишаються смуги, подряпини, продукти корозії.

Піскоструменеву обробку проводять з метою досягнення рівномірної матової однорідної поверхні металу, створення необхідного рівня і розподілу залишкових напружень у поверхневих шарах трубопроводу для компенсації втрат міцності від корозійних пошкоджень. Проте застосування відомих способів піскоструменевої обробки призводить до деформації поверхні на 30-50 °А, а неоднорідність поверхні металу, залишки забруднень викликають електрохімічну корозію. В цьому випадку при контакті металу з електролітом (яким може бути волога), на його поверхні виникає багато мікрогальванічних пар, де анодами є частинки металу, а катодами – забруднення. При цьому аноди розчиняються, на катодах зв'язуються електрони. Процес корозії сталюї поверхні можна зобразити наступним чином:



Отже, залізо в результаті водневої деполяризації починає кородувати.

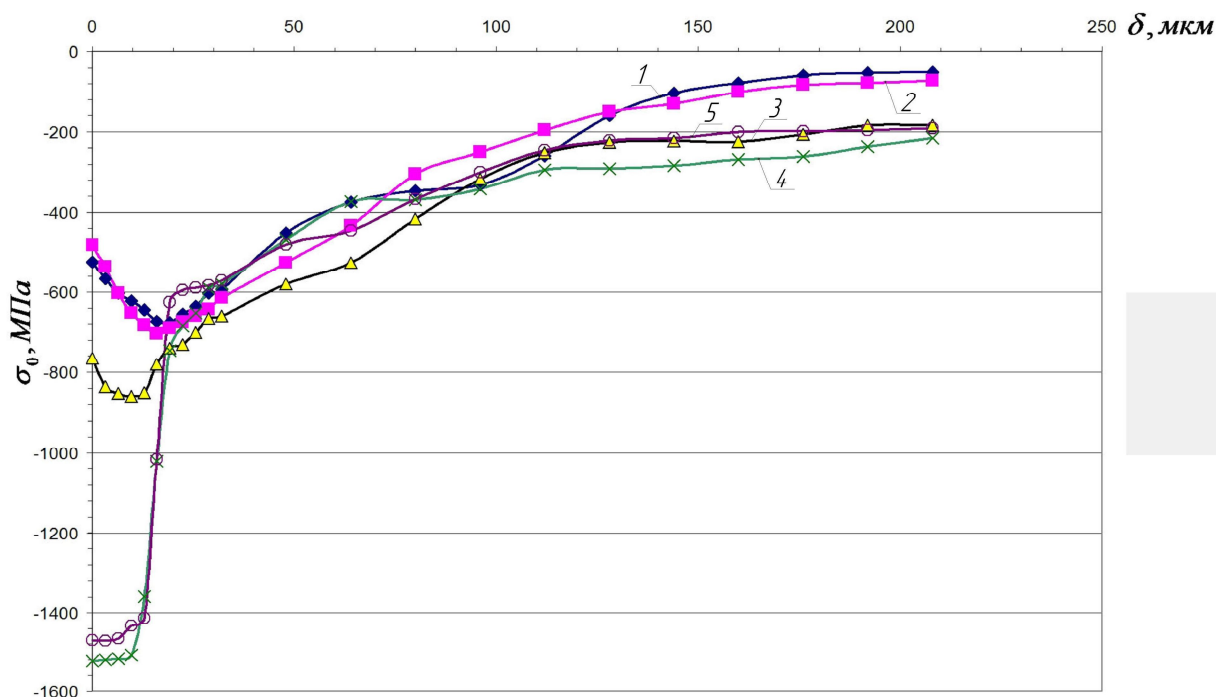


Рисунок 1 – Розподіл залишкових напружень у поверхневих шарах зразків

Іншим прикладом утворення гальванічної пари на поверхні металу є зварний шов - основний метал. В даному випадку анодом стає метал поблизу зварного шва, на якому відбуваються корозійні явища.

Метою даної роботи було вдосконалення способу відновлення сталевих трубопроводів шляхом поверхневої обробки перед нанесенням покриття з отриманням оптимальної величини залишкових напружень у приповерхневих шарах металу та рівномірний їх розподіл по всій поверхні, з метою компенсування зниження міцності через корозійні пошкодження. Це дасть змогу отримати рівномірну поверхню без пор, тріщин, домішок із можливістю міцного адгезійного зв'язку до модифікованого бітумно-полімерного покриття, до складу додатково введені інгібітори корозії, та біоциди, що дозволить збільшити їх стійкість до мікробного впливу, забезпечити захисні протикорозійні, гідрофобні та бактерицидні властивості і забезпечити можливість використання в сильноінергалізованих ґрунтах.

Експеримент і обговорення

Спосіб ремонту сталевих трубопроводів, полягає в тому, що після відновлення дефектних ділянок, очищення поверхні трубопроводів від пошкодженого покриття, подальшим нанесенням багатшарового захисного покриття її піддають пластичному деформуванню, яке здійснюють піскоструменевою обробкою. Для цього на поверхню металу труби через сопло діаметром до 10 мм, віддалене на відстань 70-150 мм, подають кварцовий пісок. Кут нахилу струменя піску – в межах 70-90°, час обробки – 60 с. Після цього поверхню металу покривають

ґрунтівою, а після повного її висихання наносять модифіковану мастику і трубу обмотують ізоляційною стрічкою [4].

Зміцнення поверхні металу піскоструменевою обробкою обумовлене створенням залишкових напружень в поверхневому шарі і виключенні росту тріщин шляхом блокування їх частинками кварцу, що утруднює проникнення корозійного середовища всередину зароджених тріщин. Утворені залишкові напруження стискання в приповерхневому шарі трубопроводу забезпечують компенсування втрати міцності від корозійних пошкоджень, суттєво впливають на формування залишкових напружень в захисних покриттях. В залежності від їх величини в основі покриття виникають залишкові напруження стискання, які обумовлюють високу надійність покриттів.

Зміцнення поверхні трубопроводу експериментально перевірено на зразках, вирізаних із труб магістральних газопроводів зі сталі 10Г2ФБ. Очищені і знежирені зразки піддавали піскоструменевої обробці на спеціальному комплексі термоабразивного очищення КТО-1. Обробку поверхні здійснювали в п'яти часових режимах: 10; 30; 60; 120; 180 с. (рис. 1, криві 1-5).

Подавання кварцового піску здійснювалось через спеціальне сопло діаметром 10 мм. Найбільш ефективним режимом є обдування поверхні, розміщеної на відстані 70-150 мм соплом з кутом нахилу струменя піску до поверхні в межах 70-90°. Тиск повітря, що забезпечив вихід піску через сопло, – в межах 0,5-0,55 МПа.

Залишкові напруження на поверхні зразків після проведеної обробки в різних режимах визначали за методикою, розробленою у Фізико-механічному інституті НАН України. Режими зміцнення оптимізували за розподілом залиш-

Таблиця 1 – Результати випробувань зразків

Вид поверхневої обробки зразків	Адгезія стрічки (ПВХ) до мастики, Н/мм	Адгезія мастики до заґрунтованого металу, Н/мм ²	Загальна товщина захисного покриття, мм	Міцність на удар при 20 °С, Дж
необроблена	1,7	0,69	4,2	15
оброблена металічними щітками	1,7	0,72	4,2	15
піскоструменева обробка	1,7	0,76	4,2	15

кових напружень в поверхневих шарах зразків. Розподіл залишкових напружень встановлювали в залежності від параметрів і режимів піскоструменевої обробки. При виборі параметрів керувались необхідністю формування максимальних залишкових напружень стискання в поверхневих шарах труби. Під час піскоструменевго очищення поверхні металу утворюється ювенільна поверхня.

Під дії частинок на поверхні металу виникає електронна емісія, яка затухає через 15–20 хв. і позитивно впливає на формування адгезійного контакту “покриття – метал”. Тільки під дією електронної емісії вдається підвищити адгезійну міцність у 1,5 рази.

Розподіл осьових залишкових напружень в поверхневих шарах зразків (див. рис.1) залежить від часу обробки при подаванні піску з одного сопла діаметром 10 мм.

Як видно з рис. 1, глибина поширення залишкових напружень стискання по товщині зразка розподіляється на 208 мкм. В подальшому відбувається їх зменшення. На глибині поверхневого шару 1,0 мм вони практично відсутні.

Найбільш оптимальний розподіл залишкових напружень по глибині поверхневих шарів прокородованих зразків досягається при часі обробки 60 с (крива 3 на рис. 1).

Збільшення тривалості процесу обробки в інтервалі 120–180 с призводить до збільшення залишкових напружень стискання до 1470 МПа. Проте ці режими не є ефективними, оскільки вимагають великих витрат піску і при цьому зменшується товщина стінки труби. Дослідження, проведені на нових трубах показали, що стабільність розподілу залишкових напружень в приповерхневих шарах досягається при оптимальній тривалості режиму обробки, яка становить 30 с.

Після піскоструменевої обробки поверхні труби на оптимальному режимі на неї, з метою захисту від корозії та збільшення адгезії ізоляційного покриття до металу, наносять ґрунтівку. Ґрунтівку готують безпосередньо перед нанесенням на метал шляхом розчинення бітумно-полімерної мастики у бензині при масовому співвідношенні 1:2 з введенням інгібітора „В” в кількості 0,66 мас.%. Інгібітор корозії „В”, який відноситься до катіонних водонасичених активних речовин, що зменшують водонасичення і запобігають біокорозії, додають в ґрунтівку для покращення протикорозійних, ізоляційних та бак-

терицидних характеристик. Додавки цих речовин знижують поверхневий натяг ґрунтівки, збільшують її здатність до змочування металу і рівномірного розтікання його поверхнею. Ґрунтівка заповнює всі нерівності поверхні, що сприяє міцному зчепленню покриття з металом.

Після повного висихання ґрунтівки на неї наноситься модифікована мастика такого складу, мас %:

бітумно-полімерна мастика – 99,95
інгібітор корозії-біоцид "Г" – 0,05.

Підбирання інгібіторів проводили з тих міркувань, щоб введення невеликої їх кількості до бітумно-полімерної мастики покращувало адгезійні характеристики, забезпечувало мікробіологічну стійкість та гідрофобні властивості покриття.

В табл. 1 наведені порівняльні результати випробування модифікованого бітумно-полімерного покриття, нанесеного на зразки із магістральних трубопроводів залежно від виду обробки їх поверхонь.

Одержані дані свідчать, що в результаті піскоструменевої обробки поверхні трубопроводу адгезія мастики до заґрунтованого металу зросла більше ніж на 10%.

Для зміцнення поверхні трубопроводів зверху модифікованої мастики додатково наклеюють ізоляційну стрічку. Завдяки запропонованому способу досягається структурно однорідне покриття з високими показниками механічних властивостей. Отримане однорідне покриття не потребує додаткової обробки, що спрощує процес ізолювання і робить його більш ефективним. Застосування даного способу попереджає утворення втомних тріщин та крихке руйнування поверхні, завдяки чому збільшується термін експлуатації трубопроводів. Введення інгібіторів корозії-біоцидів як до складу ґрунтівки, так і до складу бітумно-полімерної мастики забезпечує захист підземних трубопроводів від корозії в сильномінералізованих ґрунтах.

З метою перевірки основних технічних характеристик ізоляційного покриття на основі модифікованої бітумно-полімерної мастики МБПМ-Д-1Г нами були проведені випробування ізоляційного покриття в трасових умовах газопроводу Роздільна-Ізмаїл (Одеська область) за програмою і методикою, розробленою науковцями університету відповідно до вимог ДСТУ 4219-2003 „Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги захисту від корозії”.

Таблиця 2 – Результати перевірки ізоляційного покриття на основі модифікованої бітумно-полімерної мастики та стрічки ПВХ виробництва ЗАТ „Озом”

Назва показника	Вимоги згідно з ДСТУ 4219-2003	Результати випробовувань	Методи випробовувань
Зовнішній вигляд захисного покриття	Суцільний шар	Однорідний суцільний	ДСТУ 4219
Загальна товщина захисного покриття, мм	Не менше 4,2	4,3	ДСТУ 4219
Адгезія мастики до заґрунтованої сталеві поверхні, Н/мм ²	Не менше 0,25	0,6	Додаток Е ДСТУ 4219
Адгезія стрічки до мастики, Н/мм	Не менше 1,5	1,7	Додаток Е ДСТУ 4219
Суцільність захисного покриття при електричній напрузі 5 кВ на 1мм товщини покриття	Відсутність пробою	28	ДСТУ 4219
Міцність на удар при t = 20 °С, Дж	Не менше 15	18	Додаток А ДСТУ 4219

Результати випробовувань ізоляційного покриття, нанесеного на пошкоджену (дослідну) ділянку газопроводу Роздільна-Ізмаїл довжиною 260 м діаметром 800 мм, прокладеного на відстані 55 км від ГКС Березівка, представлені в таблиці 2.

Результатами промислових випробовувань в трасових умовах було встановлено, що ізоляційне покриття на основі бітумно-полімерної мастики МБПМ-Д-1Г показало вищі фізико-механічні характеристики за нормативні показники згідно з ДСТУ 4219. Введення інгібіторів корозії як до складу ґрунтівки, так і до складу мастики посилює біостійкість ізоляційного покриття, а також збільшує термін експлуатації підземних газонафтопроводів в сильномінералізованих ґрунтах.

Висновки

1. Експериментально перевірено зміцнення поверхні трубопроводу способом піскоструменевої обробки на спеціальному комплексі термоабразивної очистки КТО-1 на зразках, вирізаних із труб магістральних газопроводів зі сталі 10Г2ФБ.

2. Встановлено, що найбільш оптимальний розподіл залишкових напружень по глибині поверхневих шарів прокородованих зразків досягається за часу обробки 60 с.

3. На нових трубах стабільність розподілу залишкових напружень в приповерхневих шарах досягається за оптимальної тривалості режиму обробки 30 с.

4. Результатами випробування модифікованого бітумно-полімерного покриття, нанесеного на зразки із магістральних трубопроводів, в залежності від виду обробки їх поверхонь встановлено, що адгезія модифікованої мастики до заґрунтованих зразків, поверхня яких піддавалася піскоструменевої обробці в оптимальному режимі є вищою більше ніж на 10 % порівняно з необробленими зразками.

5. Проведені випробування ізоляційного покриття на основі модифікованої бітумно-полімерної мастики МБПМ-Д-1Г в трасових умовах газопроводу Роздільна-Ізмаїл.

6. Встановлено, що ізоляційне покриття на основі бітумно-полімерної мастики МБПМ-Д-1Г показало вищі фізико-механічні характеристики за нормативні показники згідно з ДСТУ 4219. Введення інгібіторів корозії-біоцидів як до складу ґрунтівки, так і до складу мастики посилює біостійкість ізоляційного покриття, а також збільшує термін експлуатації підземних газонафтопроводів в сильномінералізованих ґрунтах.

Література

1 Обґрунтування нового підходу до виконання зварювальних робіт на трубопроводах під тиском / В.С. Бут, Ю.Я. Грецький, В.В. Розганюк, В.М. Коломєєв // Нафтогазова промисловість. – 2001. – № 4. – С. 33-39.

2 Мікробна корозія підземних споруд / К.І. Андруєк, І.П. Козлова І.П., Котєва Ж.П. та ін.. – К.: Наукова думка, 2005. – 257 с.

3 Сучасні тенденції у застосуванні протикорозійних покриттів для захисту магістральних нафтогазопроводів та резервуарів / В. Черватюк І. Пермінова. // Проблеми корозії та протикорозійного захисту металів. – 2010. – № 8. – С. 625- 630.

4 Пат. 84769 Україна, МПК (2006) F16L 58/02 Спосіб ремонту сталевих трубопроводів / Крижанівський Є.І., Федорович Я.Т., Полутренко М.С., Рудко В.В., Федорович І.Я., заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № а200613389; опубл. 25.11.2008, Бюл.№22.

Стаття надійшла до редакційної колегії 18.04.11

Рекомендована до друку професором В. Я. Грудзом