УДК 620.191.33: 620.193
Ж.М. Гущак, У.П. Добош
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

ДЕФЕКТИ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

У роботі класифіковано характерні дефекти трубопроводів залежно від їх типу, походження, розміщення та кількості. Проаналізовано причини виникнення дефектів, описано можливі шляхи їх усунення та запобігання утворенню.

Ключові слова: *класифікація дефектів, трубопровід, магістральний газопровід.*

Постановка проблеми. Магістральні газопроводи – важливий елемент газотранспортної системи (ГТС) нашої держави та енергетики в цілому. Транзит вуглеводнів щорічно приносить солідний дохід Україні та забезпечує енергетичну безпеку багатьох європейських країн.

Забезпечення безпеки виробничих об'єктів, пов'язаних с транспортуванням чи видобуванням газу, є пріоритетом на рівні державної політики. Це пов'язано з тим, що витрати на ліквідацію наслідків надзвичайних ситуацій, особливо техногенного характеру, значно перевищують затрати на забезпечення надійності виробничого об'єкта. Найбільш відчутної шкоди завдається у результаті аварій на магістральних трубопроводах. При руйнуванні магістрального газопроводу й миттєвому вивільненні енергії газу виникають механічні пошкодження природного ландшафту та рельєфу, порушення цілісності грунтово-рослинного покриву. При загорянні газу механічний та бризантний вплив супроводжуються термічним впливом з відповідним синергетичним ураженням територій радіусом до 540 м від осередку аварії, а можливий розкид фрагментів трубопроводу може сягати 480 м [7].

Об'єкти трубопровідного транспорту неочищеного газу відносяться до категорії небезпечних, виникнення аварійних ситуацій на яких веде, як правило, до значних втрат. З одного боку, для експлуатуючої трубопроводи організації важливо забезпечити їхню експлуатаційну надійність, враховуючи фінансові затрати на оцінювання технічного стану об'єктів та реалізації цих заходів. З другого боку, враховуючи близькість населених пунктів трасам трубопроводів, а також їх пересікання з основними водними перешкодами, на перший план виходить підвищення вимог безпеки.

Зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Однією з найважливіших проблем сучасного трубопровідного транспорту є надійність трубопровідних систем, яка напряму пов'язана з виникненням великої кількості дефектів, аварій, інцидентів тощо. Тому оцінювання ризику руйнування та залишкового ресурсу дефектних елементів відповідальних трубопровідних систем тривалої експлуатації (магістральні та локальні газопроводи тощо) яке базується на повній інформації про дефект є важливою науково-практичною задачею [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При проектуванні та будівництві газотранспортної системи на території України у 50–80 х рр. минулого століття було закладено значний запас міцності. На сьогодні, середній термін експлуатації магістральних газопроводів складає більше 20 років (приблизно 75% магістральних газопроводів експлуатуються більше 20 років) [3, 4]. Стабільність їх функціонування забезпечується завдяки впровадженню прогресивних методів діагностики, плановому проведенню ремонтно-відновлювальних робіт обслуговуючими організаціями.

Основним показником стану промислової безпеки ГТС є кількість аварій та надзвичайних ситуацій. В ідеалі – це їх відсутність завдяки проведенню відповідних профілактичних робіт. У 2008–2011 роках категорійних аварій на ГТС за відкритими офіційними даними не було. Найвищі показники аварійності на ГТС України були зафіксовані в 1996 та 2007 роках і становили відповідно 0,059 та 0,054 аварії / 1000 км (наприклад: 1996 рік – аварії на газопроводі „Опарі–Дрогобич", 2007-й – на „Уренгой–Помари–Ужгород") [2].

Слід зазначити, що упродовж останніх п'яти років загальна кількість надзвичайних ситуацій зросла майже втричі – з 59 до 141 у 2010 році. Однак при цьому кількість надзвичайних ситуацій виробничого характеру має стійку тенденцію до зниження (із 45 у 2005-му до 37 у 2010 році) [2].

© Ж.М. Гущак, У.П. Добош

Внаслідок послідовного нарощування обсягів діагностики лінійної частини магістральних газопроводів та своєчасного усунення виявлених дефектів ДК „Укртрансгаз” вдалося суттєво зменшити кількість випадків розгерметизації трубопроводів з 45 у 2005 році до 34 у 2010-му [2].

Формулювання цілей статті. Навести класифікацію дефектів трубопроводів, проаналізувати причини виникнення, описати можливі шляхи їх усунення та запобігання утворенню.

Виклад основного матеріалу дослідження. Перш за все, слід розібратися в тому, що таке дефект. Дефект – це будь-яка невідповідність регламентним нормам. Основна причина появи дефектів – відхилення робочого параметра від нормативного значення, обґрунтованого допуском.

Дефекти трубопроводів поділяють на два класи [1]:

1-й клас – дефекти суцільності металу (дефекти матеріалу), що характеризуються локальним порушенням суцільності матеріалу;

2-й клас – дефекти форми, що проявляються у локальній зміні геометрії елементів трубопроводу в процесі виготовлення або експлуатації.

Дефекти трубопроводів залежно від свого походження поділяються на:

– заводські (технологічні), що зумовлені відхиленнями від технології під час виготовлення складових елементів об’єкта;

– будівельні при будівництві магістрального трубопроводу;

– експлуатаційні, що виникають під час експлуатації трубопроводу.

Дефекти матеріалу за розмірністю поділяють на тріщиноподібні (характеризуються довжиною та глибиною) та тривимірні (характеризуються довжиною, глибиною та шириною). До тріщиноподібних дефектів відносять власне тріщини, а також гострі тривимірні дефекти основного металу (риски, подряпини тощо); зварного шва (підрізи, непровари, пори, шлакові включення тощо).

За товщиною стінки розрізняють: поверхневі дефекти, що виходять на одну з вільних поверхонь труби; підповерхневі дефекти, що не виходять на вільну поверхню труби; наскрізні дефекти, що виходять на протилежні поверхні стінки труби.

За кількістю дефектів та їх взаємним впливом розрізняють поодинокі, парні та групові.

Причини виникнення дефектів труб:

– існуючі технології виготовлення та прокатки металу на окремих металургійних заводах є однією з причин неякісних труб; непоодинокі випадки руйнування внаслідок розшарування металу труб;

– на трубних заводах вхідний контроль сировини недосконалий або повністю відсутній, це, в свою чергу, призводить до того, що дефекти сировини стають дефектами труб;

– при виготовленні труби зазнають напружень співрозмірних з межею текучості, що зумовлює наклеп, мікророзшарування, надриви та появу інших прихованих дефектів (вибірковий контроль якості труб на масовому виробництві не дає гарантій виявлення всіх дефектних виробів);

– недостатній контроль на виробництві і за геометричними параметрами форми труб (так на трубах діаметром 500...800 мм зміщення кромок сягає 3 мм (при нормі для спірально-шовних труб 0,75...1,2 мм), овальність – 2%) [6];

– механічний вплив при завантажувально-розвантажувальних, транспортних і монтажних операціях призводять до появи на трубах вм’ятин, рисок, подряпин, задирів.

– при очищенні трубопроводів шкребками-різцями виникають дефекти пластичної деформації локальних ділянок поверхні труби – риски, підрізи тощо. Ці концентратори напружень є потенційними джерелами зародження корозійно-втомних тріщин. Очищення трубопроводів за допомогою дротяних щіток виключає пошкодження труб у вигляді підрізів, але при певних режимах обробки призводить до деформацій поверхні металу, що знижує його корозійну стійкість [3, 5].

– корозійні пошкодження труб (зовнішні та внутрішні). Окрім того розрізняють такі види корозії: суцільну, локальну, піттингову, а також локальну з піттиговими виразками.

Дефект зварного з’єднання – це різного роду відхилення від встановлених норм і технічних вимог, які зменшують міцність і експлуатаційну надійність зварних з’єднань і можуть привести до руйнування всієї конструкції. Найчастіше зустрічаються дефекти форми і розмірів зварних швів, дефекти макро- і мікроструктури, деформація і викривлення зварних конструкцій.

Порушення форми і розмірів шва свідчать про присутність таких дефектів, як напливи, підрізи, пропалені ділянки, незаварені кратери.

© Ж.М. Гущак, У.П. Добош

Напливи – найчастіше утворюються при зварюванні горизонтальними швами вертикальних поверхонь, в результаті натікання рідкого металу на кромки холодного основного металу. Вони можуть бути локальними (у вигляді окремих застиглих крапель) або повздовжніми (вздовж шва). Причинами виникнення напливів є велика сила зварювального струму, довга дуга, неправильне положення електрода, великий кут нахилу виробу при зварюванні на підйом і спуск.

Підрізи – заглиблення, що утворюються в основному металі вздовж краю шва. Підрізи утворюються внаслідок завеликої потужності зварювального апарату і призводить до ослаблення перерізу основного металу і руйнування зварного з'єднання.

Пропалені ділянки – це проплавлення основного або наплавленого металу з можливим утворенням наскрізних отворів. Вони виникають внаслідок недостатнього притуплення кромок, великого зазору між ними, великої сили зварювального струму або потужності апарату при невисоких швидкостях зварювання. Особливо часто спостерігаються у процесі зварювання тонкого металу і при виконанні першого проходу багатошарового шва, а також при збільшенні тривалості зварювання, малому зусиллі стиску і присутності бруду на поверхнях деталей, що зварюються або електродах (точкове і шовне контактне зварювання).

Незаварені кратери – утворюються при різкому обриві дуги в кінці зварювання. Вони зменшують переріз шва і можуть бути джерелами зародження тріщин.

До дефектів макроструктури відносять наступні: газові пори, шлакові включення, непровари, мікротріщини.

Газові пори – утворюються в зварних швах внаслідок швидкого твердіння газонасиченого розплавленого металу, при якому гази не встигають вийти в атмосферу.

Такий дефект спостерігається при підвищеному вмісті вуглецю в основному металі, присутності іржі, масла і фарби на кромках основного металу та поверхні зварювального дроту, використанні вологого флюсу.

Шлакові включення – результат недбалого очищення кромок деталей і зварювального дроту від окалини, іржі та бруду, а також (при багатошаровому зварюванні) неповного видалення шлаку з попередніх шарів. Вони можуть виникати при зварюванні довгою дугою, неправильному підібраному куті нахилу електроду, недостатній силі зварювального струму, завищеній швидкості зварювання. Шлакові включення різні за формою (від сферичної до голчастої) та розміром (від мікроскопічної до декількох міліметрів). Вони можуть бути розташовані в корені шва, між окремими шарами чи середині наплавленого металу. Шлакові включення послаблюють зварний шов, зменшують його міцність і є зонами підвищеної концентрації напружень.

Непровари – місцеве несплавлення основного металу з наплавленням, а також несплавлення між собою окремих шарів шва при багатошаровому зварюванні внаслідок присутності тонкого шару окислів, а іноді і товстого шлакового шару в середині швів.

Причинами непроварів є неякісне очищення металу від окалини, іржі та бруду, малий зазор у стику, зайве притуплення і малий кут зрізу кромок, недостатня сила струму або потужності зварювального апарату, вища швидкість зварювання, зсув електрода в сторону від осі шва. Непровари по перерізу шва можуть виникнути внаслідок вимушених перерв у процесі зварювання.

Тріщини – залежно від температури утворення поділяють на гарячі та холодні.

Гарячі тріщини виникають у процесі кристалізації металу шва при температурі 1100…1300ºС. Їх утворення зумовлене напіврідкими прошарками між кристалами наплавленого металу шва при його твердінні та дією в ньому розтягуючих усадочних напружень. Підвищений вміст у металі шва вуглецю, кремнію, водню і нікелю також сприяє утворенню гарячих тріщин, які зазвичай розташовуються всередині шва. Такі тріщини виявити важко.

Холодні тріщини виникають при температурах 100…300ºС у легованих сталях і при нормальних (менше 100ºС) температурах в вуглецевих сталях відразу після охолодження шва або через тривалий проміжок часу. Основна причина їх утворення – значні напруження, що виникають в зоні зварювання при розпаді твердого розчину і накопичення під великим тиском молекулярного водню в порожнинах, наявних у металі шва. Холодні тріщини виходять на поверхню шва і добре помітні.

До дефектів мікроструктури зварного з'єднання відносять:

- мікропори;
- мікротріщини;
- різноманітні неметалеві включення;
- крупнозернистість;

– ділянки перегріву і перепалу.

Дефекти ізоляції – порушення суцільності покриття, неякісна адгезія, нерівномірна товщина, зморшки; задири; подряпини; проколи тощо.

Основні причини утворення дефектів ізоляційного покриття на трубопроводах:

– при зберіганні та підготовці матеріалів – засмічення бітуму та підвищена вологість готової мастики та її компонентів;

– при приготуванні ґрунтовки і мастики – недбале дозування складових; недотримання режиму розігрівання котла; недостатнє розмішування бітуму при приготуванні ґрунтовки;

– при нанесенні ґрунтовки і бітумної мастики – загустіння ґрунтовки; утворення бульбашок на поверхні трубопроводу; осідання пилу на поверхню труб; нерівномірність шару ґрунтовки і мастики на поверхні трубопроводу; охолодження мастики; конструктивні недоліки ізоляційної машини;

– при нанесенні армуючих і обгорткових рулонних матеріалів – порушення однорідності покриття; видавлювання шару мастики; недостатнє занурення склополотна в мастику;

– при нанесенні полімерних стрічок – наскрізні отвори в стрічці; несуцільний клейовий шар; нерівномірність товщини стрічки у рулоні; неправильне регулювання намотувальної машини; порушення температурного режиму нанесення стрічки; неякісне очищення поверхні труб;

– при укладанні трубопроводу – порушення технології укладання, особливо при роздільному способі укладання; захоплення ізольованих труб тросом; тертя трубопроводу об стінки траншеї при укладанні; відсутність підготовки дна траншеї; відсутність підсипання не менше 10см дна траншеї на ділянках з кам'янистими і щебенистими ґрунтами; недостатнє розпушування мерзлих ґрунтів і особливо відсутність регулювання ізоляційних машин;

– при експлуатації трубопроводу – дія ґрунту; вага трубопроводу; ґрунтові води; мікроорганізми; коріння рослин; температурні впливи; агресивність ґрунту.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. У роботі наведено класифікацію дефектів трубопроводів залежно від типу (дефекти суцільності металу, дефекти форми), за походженням (заводські, будівельні та експлуатаційні), за розміщенням (поверхневі, підповерхневі та наскрізні) та їх кількістю (поодинокі, парні та групові). Проаналізовано причини виникнення, описано можливі шляхи їх усунення та запобігання утворенню.

Наведену класифікацію дефектів трубопроводів можна використати для подальшого оцінювання ризику руйнування та залишкового ресурсу пошкоджених елементів конструкцій (магістральні та локальні газопроводи тощо).

1. Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами. Настанови: ДСТУ Н Б В.2.3–21:2008. – [Чинний від 2009-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 64 с. – (Національний стандарт України).
2. Герасименко Ю. М. Стан промислової безпеки ГТС України // Трубопровідний транспорт. – 2011. – № 2(68). – С. 14–15.
3. Никифорчин Г.М., Поляков С.Г., Черватюк В.А. та ін. Механіка руйнування і міцність матеріалів // Довідн. пос. за заг. ред. В. В. Панасюка. Т. 11: Міцність і довговічність нафтогазових трубопроводів і резервуарів / За ред. Г. М. Никифорчина. – Львів: Сполом, 2009. – 504 с.
4. Охрімчук С.О., Руденко С. М., Бабельський Р.М. Огляд можливих причин виникнення тріщин на двошовних трубах // Трубопровідний транспорт. – 2011. – №4(70). – С. 23–25.
5. Поляков С., Ниркова Л., Клименко А., Коваленко С. Корозія внутрішньої поверхні магістральних газопроводів // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів (Корозія-2006): у 2-х т. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2006. – Спец. вип. № 5. – Т. 1. – С. 300–304.
6. Чиркова А.Г., Рубцов А. В., Наумкин Е.А. и др. Комплексные исследования поведения оболочковой конструкции из аустенитной стали, бывшей в эксплуатации, при деформировании внутренним давлением // Нефтегазовое дело. – 2007. – http://www.ogbus.ru/authors/Chirkova/Chirkova_2.pdf
7. Щербаков С.Г. Проблемы трубопроводного транспорта нефти и газа. – М.: Наука, 1982. – 207 с.

© Ж.М. Гущак, У.П. Добош