



Conventional Methods for Non-destructive Testing of Main Gas Pipelines

Tsvetomir BORISOV, Yordan MIRCHEV

Institute of Mechanics at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria,
e-mail: nntdd@abv.bg

Abstract

The article examines the different types of main gas pipeline routes as one of the most critical and vulnerable parts of the gas infrastructure, ensuring energy sustainability and security. The main methods of non-destructive testing, possibly applicable to the specific maintenance activities and the removal of accidents on the transit routes during operation, are summarized. The moments surrounding the good production practices were considered and the great importance of performing an engineering critical assessment was touched upon, the results of which are directly related to the operational suitability of the gas pipeline under different technical conditions, which are also the main starting data for determining the residual resource of the facility.

Keywords: Main gas pipelines, non-destructive testing, welding, ultrasound, radiography, engineering critical assessment, workmanship criteria

Конвенционални методи за безразрушителен контрол на магистрални газопроводи

Цветомир БОРИСОВ, Йордан МИРЧЕВ

1. Увод

Жизненият цикъл на дадено магистрално тръбопроводно трасе започва още от производството и монтажа на тръбните профили. Жизненият цикъл по време на експлоатация на тръбопровода зависи от степента на качество на изработката на тръбните профили и класа на качество на изработените челни заварени съединения. Надеждното откриване и правилното оценяване на съществуващите несъвършенства в продуктите (тръбен профил и челно заварено съединение) на тръбопроводите, предопределя качеството на експлоатационният живот на тръбопровода. Правилното прилагането на методи за безразрушителен контрол за откриване на несъвършенства и следене на състоянието на вече известните допустими несъвършенства по време на производство, монтаж и експлоатация на магистралните тръбопроводи намалява риска от аварии и нежелани спирания [1 ÷ 4].

Полето на приложимост на безразрушителното изпитване е много широко, интердисциплинарно, което изисква значителни познания от специалистите за да се подберат правилните методи и технологии за изпитване на обектите в зависимост от материала и вида, разположението и големината на изпитваните дефекти в тях.

Целта на настоящата работа е да се представят възможните дефекти при производство, монтаж и експлоатация и методите за тяхното безразрушително изпитване, както и видовете критериите за оценка на магистрални тръбопроводи.

2. Дефекти в тръбопроводите

Дефектите възникват по време на различните етапи на производство, монтаж и експлоатация на магистрални газопроводи. Причините за тяхната поява се определят от качеството на технологичните процеси за производство на отделните продукти, лош монтаж и условията за експлоатация на газопроводите.

Обобщен анализ на видовете дефекти, възникващи на различен етапи от жизнения цикъл на газопроводите, е дадено на фиг. 1.



Фиг.1. Видове несъвършенства и отклонения в газопроводи.

Половината от отказите на газопроводите се дължат на различни причини за възникване и/или развитие на дефекти по време на работа на газопроводите. Дефектите, които не са открити по време на производство и монтаж, могат да се развият по време на експлоатация и да причинят аварии.

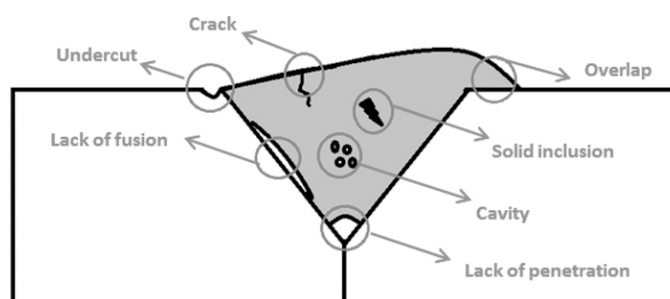
Разпределението на отказите в газопроводи, по причина на тяхното появяване, е представено в таблица 1, като се използват данни, приведени в [4].

Таблица 1. Разпределение на отказите в газопроводи.

№	Видове откази в газопроводи	Разпределение
1	Вътрешна корозия и ерозия	2.5 %
2	Външна корозия и корозия под напрежение	29%
3	Повреди при експлоатация	16%
4	Несъвършенства в тръбите при изработването им	14%
5	Несъвършенства на оборудването при доставката	1%
6	Нарушаване на режима на експлоатация	1.5%
7	Несъвършенства при монтаж на оборудването	23%
8	Стихийни бедствия	7%
9	Други причини	5%

Производствените дефекти се получават по времена технологични процеси за обработване на металите, като леене, валцуване, заваряване, термообработване и др. След всеки технологичен процес за производство на съответния продукт прокат, тръбен профил или заварено съединение се провежда безразрушителен контрол за оценка наличието на дефекти.

Основните откази по време на експлоатация на газопреносната мержа са вследствие на развитие на *дефекти по време на монтаж в заварените съединения* – 23 %. Несъвършенства в заварените съединения са класифицирани в стандарт EN ISO 6520-1 [5], а тяхната оценка за качество на завареното съединение се провежда по EN ISO 5817 [6] с допълнителни изисквания дадени в продуктовете стандарти за производств и монтаж на тръбопроводи. Един пример за обобщение на видовете несъвършенства в заварени съединения е даден на фиг.2.



Фиг.2. Основни видове несъвършенства в заварени съединения.

Несъвършенствата, дадени на фиг. 2, се класифицират в следните групи съгласно EN ISO 6520-1:

- група 100 – пукнатини;
- група 200 – кухини (газови включвания);
- група 300 – твърди включвания;
- група 400 – несплавявания и непроваряване;
- група 500 – дефекти при монтажа;
- група 600 – други.

Качеството на завареното съединения за съответната група и подгрупа несъвършенства се определя съгласно три нива дадени в EN ISO 5817. Клас за качество е В, С и D, като класа на качество намалява от В към D. За оценяване класа на качество се използват резултати получени от методи за безразрушително изпитване на тръбопроводите.

Преносът на природен газ през цялата дължина на магистралния преносен напорен тръбопровод е непрекъснат през времето процес извършващ се при постоянно положително, високо налягане на транспортируемият газ. В различните участъци налягането варира в известни граници, но въпреки тези явления налягането е в диапазона 50-100 Bar. Наблюдават се и циклични непостоянни положителни флукуации в налягането в различните участъци на тръбопровода, които се характеризират, като вредни и водят до пряко влияние върху механичните свойства на метала, увеличавайки възможността за развитието на структурни изменения в него и появата на умора в материала. Всичко това води до *развитие на несъвършенствата до дефекти по време на експлоатация*.

Значителен обем от всички несъвършенства в процентно съотношение се пада на несъвършенствата свързани с външна корозия на газопровода – 29 %. Най-опасни са несъвършенствата, свързани с корозия под напрежение, които нарушават целостта на тръбопровода, което води и до аварии. Най-често местата, където се появяват тези поражения, като комплекси от повреди, са областите, в които възниква концентрация на механичните напрежения.

По време на транспорт на различни типове природен газ (съответно с различна концентрация на включеният водород) през тръбопроводното трасе, като съпътстващ примес в газа се наблюдава и наличието на газ водород. Неблагоприятното разпадане на молекулата му води до появата на атомен водород, в следствие на което се наблюдава появата на водородна крехкост в метала. Крайно нежелано явление водещо до промяна на механичните свойства на метала, което е свързано с по-бързо развитие на дефекти при условията на механични и термични натоварвания на материала по време на експлоатация.

В зависимост от вида и местоположението на несъвършенствата се използват различни методи и технологии за безразрушително изпитване. Разработени са достатъчно технически спецификации за прилагане на методите за безразрушително изпитване за контрол на тръбопроводи за пренос на газ и нефт [7 ÷ 11].

2. Методи

В таблица 2 са дадени използваните методи и стандарти за безразрушителен контрол в заварени съединения на Европейски офшорни газопроводи за пренос на природен газ [12 ÷ 19].

Таблица 2. Методи и стандарти, прилагани при безразрушително изпитване на заварарени съединения в Европейски офшорни газопроводи за природен газ

Метод за изпитване	Стандарт за изпитване
Визуален	ISO 17637 и ISO 5817
Магнитно-прахов	ISO 17638
Капилярен	ISO 3452-1
Радиографичен	ISO 17636-1
Ръчен ултразвуков	ISO 17640
Ръчен или автоматизиран с фазиращи осезатели	ISO 13588
Автоматизиран с фазиращи осезатели, технология за зонално разделяне	ASTM E-1961-16 ISO 13847, Annex G
Ултразвуков за разслой	ISO 10893-8
Време-дифракционен (TOFD)	ISO 10863

Методите за безразрушително изпитване се разделят на две основни групи, обемен и повърхностни. Обикновено за получаване на цялостна информация за изпитваният тръбопровод се използват в комбинация обемен и повърхностен метод.

2.1 Повърхностни методи за безразрушително изпитване

Това са методите, които се прилагат за изпитване на повърхностния и подповърхностния слой на обекта:

- визуален;

- капилярнен;
- магнитно-прахов;

Повърхностен метод е също така вихровотоковият, но той не се разглежда в настоящата работа, понеже не се прилага за изпитване в продуктите стандарти за изграждане на газопроводи.

Всеки от повърхностните методи има своите предимства и недостатъци в зависимост от изпитвания материал, вид и разположение на изпитваните несъвършенства. На основата на физичните принципи на прилаганите методи, на техните предимства и недостатъци се определя кой от методите е по-подходящ за решаване на конкретната задача за безразрушително изпитване на тръбопроводите.

Визуалният метод регистрира несъвършенства с по-големи размери спрямо останалите повърхностни методи, но е по-бърз за провеждане и не изисква технически средства за безразрушително изпитване а само такива за осветление, измерване и увеличение. При визуален контрол се използват осветителни тела, увеличителни лупи и измерителни технически средства, като шублер, краещни мерки, шаблони и компаратори.

Капилярният метод е с най-голяма чувствителност към откриване на малки дефекти спрямо останалите повърхностни методи. Предимство на капилярния метод пред магнитно-праховият е че може да се използва за изпитване на неферомагнитни материали, като аустенитна стомана. Недостатък на капилярния спрямо магнитно-праховия метод е, че несъвършенството трябва да бъде с разкритие на повърхността и да не е запълнено със замърсявания.

Трябва да се отбележи че магнитно-праховият метод има възможността да открива и подповърхностни нецялостности, с дълбочина на залягане до приблизително 2 mm в зависимост от създаваното магнитно поле в изпитвания материал.

2.2. Обемни методи за безразрушително изпитване

Това са методите, които се прилагат за изпитване на приблизително целия обем на обекта, като регистрираните отклонения от стандартните или зададените норми под формата на индикации от нецялостности и несъвършенства, се отнасят индиректно за състоянието на обема на изпитвания обект, чрез интерпретация на получените сигнали и индикации посредством физичните характеристики на съответния метод:

- радиография;
- ултразвук.

Въпреки, че се явяват обемни, двата метода не могат напълно да изпитат 100% от обема за изпитване на обекта.

Радиографският метод за изпитание не е достатъчно прецизен при регистрирането на линейни несъвършенства и несъвършенства, перпендикулярни на направлението на пролъчване.

Ултразвуковият метод за изпитание не е достатъчно прецизен при регистрирането на линейни несъвършенства и несъвършенства, съвпадащи с направлението на прозвучаване. Един обширен преглед на ултразвуковите методи за контрол на магистрални тръбопроводи за пренос на газ и нефт е даден в [3].

Въз основа на спомената по-горе информация се налага комбинирано използване на няколко съществуващи методи за безразрушително изпитване, за да може да се изпита целият обем на обекта и да се елиминират слабите страни на методите.

3. Критерии за оценка

Традиционните критерии за оценка с използване на резултати чрез изпитване с безразрушителни методи се основата на добрата производствена практика (workmanship criteria). Голяма част от стандартите за оценка чрез безразрушителен контрол, в т.ч EN ISO 5817 са разработени на основата на критериите за добра производствена практика (изработка). Критериите за добра производствена практика са разработени с ограничено влияние на характеристиките на материала и не взема под внимание приложението по предназначение (fitness for service) на оценяваният продукт или съоръжение. Взета е предвид само дължината на даден дефект на заваръчния шев.

В резултат на остарелите разбирания за процесите, с времето, критериите за изработка стават все по-консервативни. Този консерватизъм води до ненужни ремонти, които могат да увеличат разходите за производство на продукта, също така водят и до нежелани остатъчни заваръчни напрежения и деформации в мястото на извършения ремонт, което е нежелателно.

През 70-те до началото на 80-те години на миналия век инженерната критична оценка (engineering critical assessment – ECA) започва да се появява като алтернатива на традиционните критерии за добра производствена практика. ECA разчита до голяма степен на последните разработки и иновации в областта на механиката на разрушаване. При ECA критерии за приемане на несъвършенства се вземат предвид допълнителни фактори относно приложението по предназначение на оценяваното съоръжението като:

- история на натоварването на заваръчния шев, включително всички циклични и статични напрежения, очаквани през целия жизнен цикъл на заварената конструкция;
- якост на основния метал и заваръчния материал ;
- якост на разрушаване на основния метал и заваръчния материал;
- ориентация на несъвършенството (напр. измерване на неговите дължина, височина и обемния му вид, за разлика само от дължината на несъвършенството).

Заедно анализирани, тези допълнителни фактори позволяват по-точни критерии за приемане на несъвършенства, което води до толерантност към дефектите (damage tolerance) и по-малко ненужно ремонтирани заварени съединения.

Задълбочен анализ на предимствата и недостатъците между ECA и Workmanship criteria за оценка на изпитваните с безразрушителни методи продукти и съоръжения е направен в [20].

Критериите за приемане на дефекти, базирани на инженерната критична оценка, успешно се използват в нефтената и газовата промишленост, особено по отношение на оценката на челно заварените съединения на тръбопроводи за магистрален пренос на нефт и газ. По-лесно се прилага ECA за оценка на заварени съединения на магистрални тръбопроводи, защото тези свързващи заварени съединения са еднакви по цялата дължина, което позволява да се използва автоматизирано заваряване, което ги прави еднотипни по свойства елементи, част от структурата. Прилагането на ECA за оценка на заварени съединения в магистрални тръбопроводи за пренос на газ и петрол е валидирано в със стандарти EN 12732 [7] и ISO 13847 [9].

4. Изводи

Анализът на проведените изследвания за видове дефекти в газопроводи и откази показва, че най-голям процент от всички причини за аварии са вследствие на външна корозия и корозия под напрежение, както и вследствие на несъвършенства, възникнали

при монтаж на оборудването чрез заваряване. В резултат на анализа е проведено допълнително изследване за възможностите на прилагане на методи за безразрушителен контрол на несъвършенства в заварени съединения на тръбопроводи.

Анализът на проведените изследвания за прилагане на методите за безразрушително изпитване показва, че за цялостна оценка на завареното съединение трябва да се прилагат минимум по един обемен и един повърхностен метод. Това ще гарантира покриване на целия обем по време на изпитването. От разгледаните по-горе конвенционални методи за изпитване и оценка на заварени съединения използвани при строежа на магистрални газопроводи, като най-безопасен и с достатъчна за практиката надеждност и достоверност е определен ултразвуковият метод. Той ни дава информация за наличие или липса на несъвършенства в обема на завареното съединение. Предимствата на ултразвуковият пред радиографичния метод от гледна точка на безопасност по време на извършване на изпитанието е липсата на опасно лъчение (гама или рентгеново) и възможността за прилагането му в присъствие на други работещи по време на изпитанието. Изключително голямата бързина, с която се осъществява ултразвуковото изпитание (особено при автоматизация на изпитването), както и възможността за предоставянето на резултат, непосредствено след изпитанието, открояват ултразвукът, като го правят по-подходящ метод за извършването на дейностите по изпитване и оценка.

Не на последно място трябва да се спомене за наличните съвременни технологични решения при прилагането на ултразвуковото изпитване, разполагащи с големи възможности и чувствителност на изпитването спрямо конвенционалната ултразвукова техника [21].

6. Заключение

Направеният обзор дава възможност да се придобие професионална представа за основните дефекти и техните причини за откази на газопровода, възникващи при изграждането, монтажа и експлоатацията им.

Разгледани са безразрушителните методи за контрол на тръбопроводи за нефт и газ, като са посочени валидирани решения за тяхното приложение чрез стандарти.

Разгледани са двата основни обемен метода за контрол на заварени съединения на газопровода, като са отбелязани характерните им особености с техните силни и слаби страни. Безразрушителното изпитване трябва да демонстрира не само способността за надеждно откриване на потенциално критични несъвършенства, но обикновено трябва също така да демонстрира способността си количествено да оразмерява и точно да позиционира несъвършенствата в компонента или обекта.

Засегната и разгледана е темата за важността за провеждане на безразрушително изпитване. Резултатите от него оказват непосредствено влияние върху икономическите и техническите експлоатационни параметри, които неминуемо оказват и пряко обществено влияние върху здравето и безопасността на хората. Данните, които се използват за извършване на инженерна критична оценка в по-големият си процент се получават на базата на получените резултати от приложените методи за безразрушителен контрол.

Засегнато е понятието „приложение по предназначение“, като е спомената възможността за „толерантност към дефектите“, защото в някои случаи е по-добре да наблюдаваме развитието на даден дефект до достигането му на ниво на недопустимост, отколкото извършването на ремонтни дейности по отстраняването му още по време на производството или когато е регистрирано по време на експлоатация на съоръжението.

Може би най-голямото погрешно схващане, поддържано от специалистите за безразрушителен контрол, е идеята, че стандартните критерии за добра производствена практика, съдържащи се в действащите стандарти, са пряко свързани с безопасността на компонентите или обекта. Когато персоналът приеме едни критерии за оценка на дадена изработка на обект, се възприема позицията, че резултатите от изпитването „трябва да гарантират, че дефектите са открити и отстранени като част от стандарт за добра производствена практика“, това показва, че концепцията за качество на изработка не се разбира. Може би този вид твърдение е добронамерено, но въпреки това, за да се дефинира „дефект“, потребителят на обекта трябва да извърши критична инженерна оценка (ЕСА), за да определи размера и позицията на несъвършенствата, която може да бъде критична за съоръжението и да доведе до разрушаване. След това процедурата за изпитване ще трябва да бъде валидирана, за да се гарантира, че може надеждно да открие този геометричен размер на дефекта и да може с достатъчна прецизност да оразмери положението на наличната му индикация, за да го сравни с предварително определен и разрешен размер на несъвършенствата.

Когато се използват критерии за оценка на добрата производствена практика, потребителите трябва да имат предвид, че действителната им функция е, просто, да се оцени „качеството“ на изработваната продукция или на изпитваното съоръжение. Човек не трябва да се придържа към някакво фалшиво чувство за безопасност, свързано с него. В следствие на засиленият интерес от много индустрии към възможностите на ултразвуковият метод, се наблюдава допълнително развитието на нови валидирани и внедрени в промишлеността технологии и технически средства за изпитване, с предполагаеми възможности за решаването на сериозни технологични проблеми.

Литературни източници

1. Mihovski M., M. Sotirova, Non destructive testing of pipelines state and methods for its repairing, Scientific proceeding on STUME (ISSN 1310-3946), Edition XXI, Number 2 (139), International conference “NDT days 2013”, Sozopol, June 2013, pp. 392-410.
2. Skordev Al., Validated technical solution for non-destructive inspection of welded gas pipelines, International Journal “NDT Days”, ISSN 2603-4018, 2019, Vol. 2, Issue 4, pp. 450 – 461.
3. Mihovski M., P. Chukachev, Y. Mirchev, V. Sergienko, Application of ultrasonic methods for manufacture of pipelines and maintenance, 19th World Conference of NDT, Munich, 2016.
4. Конов В.В., Комплексная дистанционная диагностика подземных газопроводов, Территория NDT, 2013, 2, 43-52.
5. БДС EN ISO 6520-1. Заваряване и сродни процеси. Класификация на геометричните несъвършенства в метални материали. Част 1: Заваряване чрез стопяване.
6. БДС EN ISO 5817. Заваряване. Заваряване чрез стопяване на съединения от стомана, никел, титан и техните сплави (с изключение на лъчево заваряване). Нива на качество според несъвършенствата.
7. БДС EN 12732. Газова инфраструктура. Заваряване на стоманени тръбопроводи. Функционални изисквания.
8. БДС EN ISO 13686. Природен газ. Определяне на качеството.
9. ISO 13847. Petroleum and natural gas industries- Pipeline transportation systems- Welding of pipelines.
10. ASTM E-1961-16. Standard Practice for Mechanized Ultrasonic Testing of Girth Welds Using Zonal Discrimination with Focused Search Units.
11. ASME Code Boiler and Pressure Vessel Code. Sec. V. Nondestructive Examination.
12. БДС EN ISO 17637. Изпитване без разрушаване на заварени съединения. Визуално изпитване на заварени чрез стопяване съединения.
13. БДС EN ISO 17636-1. Изпитване без разрушаване на заварени съединения. Радиографично изпитване. Част 1: Технологии за изпитване посредством рентгеново и гама лъчение с използване на индустриални радиографични филми.

14. БДС EN ISO 17636-2. Изпитване без разрушаване на заварени съединения. Радиографично изпитване. Част 2: Технологии за изпитване посредством рентгеново и гама лъчение с използване на цифрови индикатори.
15. БДС EN ISO 17640. Изпитване без разрушаване на заварени съединения. Ултразвуково изпитване. Технологии, нива на изпитване и оценяване.
16. БДС EN ISO 10863. Изпитване без разрушаване на заварени съединения. Ултразвуково изпитване. Използване на време-дифракционна технология (TOFD).
17. БДС EN ISO 10893-8. Изпитване (контрол) без разрушаване на стоманени тръби. Част 8: Автоматизирано ултразвуково изпитване на безшевни и заварени стоманени тръби за откриване на плоски несъвършенства.
18. БДС EN ISO 3452-1. Изпитване (контрол) без разрушаване. Изпитване с проникващи течности. Част 1: Общи принципи.
19. БДС EN ISO 17638. Изпитване без разрушаване на заварени съединения. Магнитно-прахово изпитване.
20. Edward A. Ginzel, Misconceptions about NDT Workmanship Acceptance Criteria for Quality Control, Materials Research Institute, Waterloo, Ontario Canada.
21. Mirchev Y.N., Chukachev P.H., Mihovski M.M., Yanev P.A., Automatic systems for ultrasonic inspection of pipelines. International Journal NDT Days, ISSN 2603-4018, 2018, Vol. 1, Issue 1 (2018), pp. 27-37.