

# АНАЛІЗ ПРИЧИН РУЙНУВАННЯ МОНТАЖНИХ ЗВАРНИХ СТИКІВ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ ПІСЛЯ ДОВГОТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Л.І. Ниркова, Л.В. Гончаренко

ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: lnyrkova@gmail.com

У цій роботі на прикладах руйнування чотирьох трубопроводів авторами розглянуті та проаналізовані причини руйнування кільцевих стикових зварних з'єднань магістральних газонафтопроводів з тривалим терміном експлуатації діаметром 530...1420 мм з низьколегованих феритно-перлітних сталей марок 17Г1С, 17ГС та 15ГСТЮ, побудованих ще наприкінці ХХ століття. Технічними експертами стверджується, що аварії, як правило, пов'язані з руйнуванням кільцевих стикових зварних з'єднань, виконаних на монтажі. В літературних джерелах досить обмежена достовірна інформація про причини утворення дефектів, що призводять до руйнувань монтажних зварних з'єднань. Авторами показано, що навіть при забезпеченні задовільних механічних властивостей сталей та відсутності відхилень хімічного складу зварних з'єднань, розгерметизація трубопроводів відбулася через послаблення шва внаслідок утворення дефектів під час експлуатації або під час будівельно-монтажних робіт, а саме пори, несплавлення, непровари, зміщення кромок, застосування закладних елементів тощо, які не були виявлені методами неруйнівного контролю. Отримані результати дали змогу скоригувати ряд технологічних рекомендацій щодо вимог та правил виконання складальних та зварювальних робіт під час будівництва та ремонтів магістральних трубопроводів в Україні за останні 20 років. Бібліогр. 10, табл. 2, рис. 7.

*Ключові слова:* магістральні газонафтопроводи, кільцеві шви стикові, зварні з'єднання, руйнування, технологічні дефекти, збиральні та зварювальні роботи, порушення

**Вступ.** У межах України експлуатуються понад 40 тис. км діючих газонафтопроводів, термін експлуатації яких складає 30–50 років. Наведені в науково-технічній літературі статистичні дані, а також власний досвід свідчать, що аварії, які відбуваються на магістральних трубопроводах, досить часто пов'язані з руйнуванням кільцевих швів зварних стиків. Як правило, статистично випадки їх руйнування відносять до браку будівельно-монтажних робіт.

До ключових чинників, що сприяють руйнуванню кільцевих зварних швів, є розміри дефектів, невідповідні властивості трубних сталей і зварних з'єднань. Зокрема слід відмітити наявність навантажень [1], які виникають з різних причин: через джерела активного зовнішнього впливу, наприклад, через зсув ґрунту, або навантаження, що виникають у трубопроводі в процесі будівництва та експлуатації тощо.

Наприклад, у багатьох випадках причиною виникнення критичних дефектів зварювання кільцевого шва називають шлакові включення, які не були своєчасно виявлені та видалені [2, 3]. Також руйнуванню сприяла виявлена тріщина у корені шва довжиною 10 мм. Але ці автори не розглядали причини утворення дефектів. У літературних джерелах [4] частку руйнувань магістральних трубопроводів, пов'язаних із зазначеним фактором, оцінюють в 22...25 %, при цьому дефекти зварювання становлять приблизно 13...19 %.

У роботі [5] за результатами втомних досліджень доведено, що за наявності типових дефектів зварювання у кільцевому зварному шві термін служби трубопроводу, може становити понад 30 років. Такий підхід може стати основою для аналізу довговічності та оцінки надійності трубопроводу. Сукупність дефектів, що виявляються методом неруйнівного контролю, не завжди дають змогу встановити причину їх утворення [6]. Тому важливо встановити походження та причини розвитку дефектів у швах для запобігання їх утворення.

Мета роботи – встановити ймовірні причини утворення найбільш типових дефектів, як на стадії монтажу так і після довготривалого терміну експлуатації, що призвели до руйнування під час експлуатації газонафтопроводів, які були побудовані наприкінці ХХ століття.

**Методика експериментів.** Дослідження проводили на зразках монтажних стикових зварних з'єднань. Фрагменти кільцевих з'єднань газонафтопроводів, вирізали зі зруйнованих частин газонафтопроводів діаметром 530...1420 мм під час їх ремонту. Як правило, на той час це були труби з типових низьковуглецевих низьколегованих та мікролегованих сталей марки 17ГС, 17Г1С та 15ГСТЮ. Якість металу зварних з'єднань визначали методом візуально-оптичного контролю та вивчення макро- та мікросхліфів зварних з'єднань. Шліфи готували за стандартною методикою із використанням паст різної зернистості. Механічні

властивості сталей визначали на машині моделі ZDM згідно з ГОСТ 6996. Хімічний склад сталей та металу швів визначали методом спектрального аналізу на спектрометрі моделі ДФС-36.

**Результати та їх обговорення.** Авторами розглянуто та проаналізовано чотири випадки найбільш характерних руйнувань кільцевих стикових зварних з'єднань трубопроводів, що відбувалися під час їх експлуатації. При будівництві таких трубопроводів застосовувалися марки електродів, які рекомендовані для дугового зварювання монтажних з'єднань згідно ВСН 006. В табл.1 наведено механічні властивості досліджених зразків труб. Хімічний склад основного металу та металу кільцевих швів наведено в табл. 2.

Особливості мікроструктури кільцевих стикових зварних з'єднань. Низьколеговані сталі у нормалізованому та гарячекатаному стані мають феритно-перлітну структуру з розміром зерна 6, 7 та 8, зі смугастістю не більше 2, рис. 1, 2, а.

Мікроструктура металу досліджених кільцевих швів, на низьколегованих феритно-перлітних трубних сталей 17Г1С, 17ГС та 15ГСТЮ схожа. Мікроструктура металу кореневого шару та заповнювальних шарів, які зазнають повторного нагрівання під час виконання наступних шарів, у основному, феритно-перлітна з більш рівновісними зернами фериту (рис. 1, б, г, 2, в, г). Типова мікроструктура металу облицювальних шарів (рис. 1, 2) – суміш різних форм структурних складових в основному, полігонального фериту, бейніту, та більш

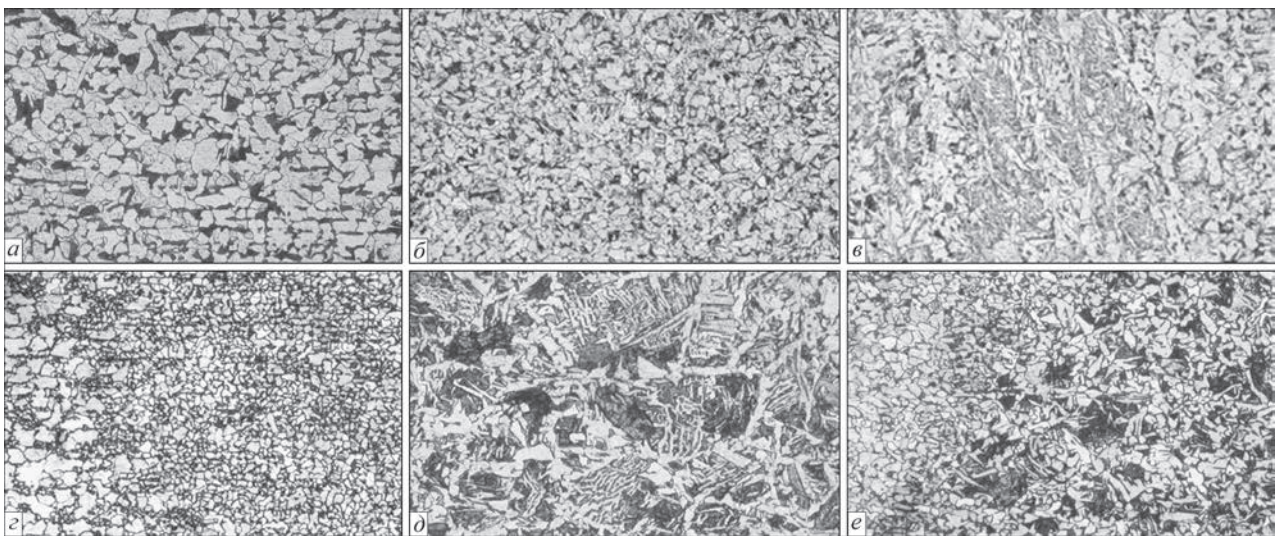


Рис. 1. Мікроструктура металу кільцевих зварних з'єднань труб зі сталі 17Г1С,  $\times 200$ : а – основний метал; б – метал кореневого шару; в – метал лицьовального шару; г – зона крупного зерна кореневого шару; д – зона крупного зерна лицьовального шару; е – шов та зона крупного зерна заповнювального шару

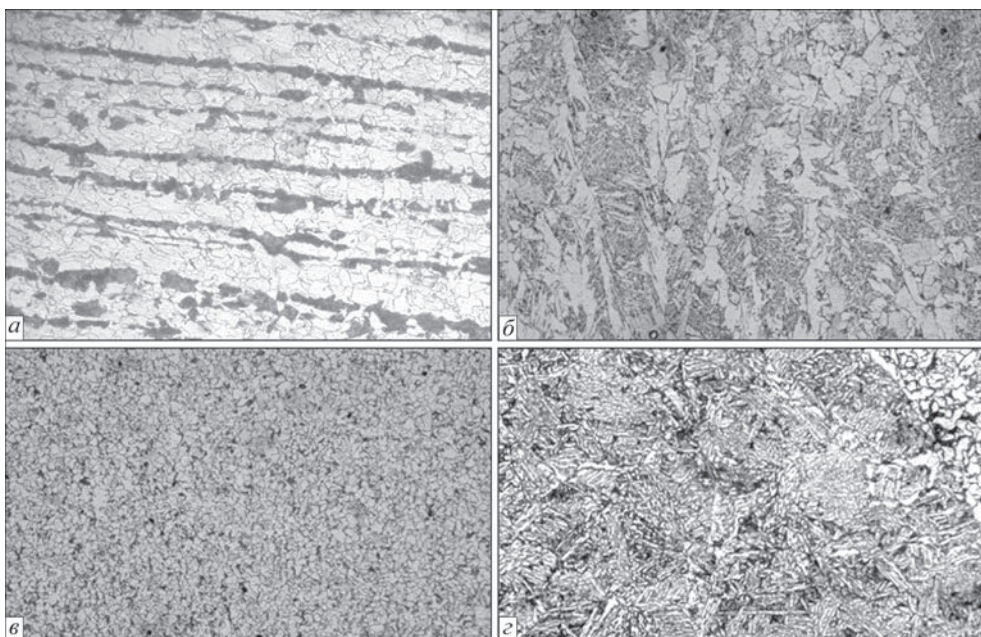


Рис. 2. Мікроструктура металу кільцевого шва труб зі сталі 15ГСТЮ: а – основний метал; б – лицьовальний шов,  $\times 200$ ; в – кореневий шов,  $\times 200$ ; г – зона крупного зерна лицьовального шару,  $\times 320$

Таблиця 1. Механічні властивості основного металу досліджених труб

Шифр	Марка сталі	Розмір труби, мм, особливості технології виготовлення сталі	$\sigma_t$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta_5$ , %	$KCV^{0-}$ , Дж/см <sup>2</sup>
1	17Г1С	1020×14×10, нормалізована	460	568	30	90
2	17ГС	720×7,5, гарячекатана	415	541	23	55
3	15ГСТЮ	1020×10,6, гарячекатана	416	592	27	109

Таблиця 2. Хімічний склад основного металу та металу кільцевих швів досліджених зразків зварних з'єднань

Марка сталі	Зона зварного з'єднання	Вагова частка елементів, %									
		C	Mn	Si	S	P	Al	Ni	Mo	Ti	Cr
17Г1С	ОМ	0,16	1,32	0,47	0,023	0,016	Н.в.	0,06	Відс.	Н.в.	0,04
	ЗШ	0,11	0,95	0,29	0,036	0,025	Н.в.	0,08	0,34	Н.в.	0,06
17ГС	ОМ	0,18	1,09	0,49	0,029	0,023	0,006	0,09	Н.в.	–	0,054
	ЗШ	0,105	0,83	0,43	0,023	0,017	Н.в.	0,04	Н.в.	–	0,05
15ГСТЮ	ОМ	0,17	1,31	0,67	0,032	0,031	0,044	0,05	<0,03	0,14	0,07
	ЗШ	0,076	0,92	0,34	0,025	0,012	0,005	0,05	<0,03	0,12	0,06
17ГС [8]	ОМ	0,14...0,20	1,0...1,4	0,4...0,6	≤0,0405	≤0,035	–	≤0,3	–	–	≤0,3
17Г1С, ТУ 14-3-721	ОМ	0,15...0,20	1,15...1,60	0,4...0,6	≤0,035	≤0,030	–	≤0,3	–	–	≤0,3
15ГСТЮ ЧМТУ-156	ОМ	0,12...0,16	1,00...1,35	0,50...0,85	≤0,035	≤0,030	0,025...0,085	–	–	0,15...0,20	≤0,3

дрібних окремих ділянок відманштеттового і пластинчатого фериту та перліту. Слід відзначити, зміна кількості домішок легувальних елементів в сталях та швах впливають, в основному, на співвідношення доєвтектоїдного фериту та структур проміжного розпаду, які замінують перліт. Отже, у кільцевому шві на сталі 15ГСТЮ (рис. 2), у порівнянні зі швом на сталі 17ГС (рис. 1) збільшується кількість бейніту, та практично відсутній перліт, кількість доєвтектоїдного фериту залишається стабільною. Зразок структури облицювального шару кільцевих з'єднань труби зі сталі 17ГС та 15ГСТЮ наведено на рис. 1, в та рис. 2, в.

**Аналіз кільцевих з'єднань газонафтопроводів, що зруйнувалися під час експлуатації.** Для встановлення типу дефектів керувалися чинними на період будівництва трубопроводів та сучасними нормативними документами СНиП II-42 та ВСН 006 [9, 10], відповідно до яких оцінювали розміри та допустимість дефектів. За аналізом особливостей дефектів визначали можливі причини їх утворення. У кожному випадку, що розглядався, визначали осередок руйнування, оцінювали якість (дефектність) зварних з'єднань і властивості їх металу.

У першому випадку руйнування кільцевого шва зварного з'єднання магістрального газопроводу, побудованого орієнтовно в 1987 р. зі спіральшовних труб зі сталі 17Г1С, відбулося, в основному, по зоні сплавлення кільцевого шва з основним металом (рис. 3) на ділянці довжиною близько  $\frac{3}{4}$  периметра цього стику. Кореневий та заповнювальний шари кільцевого з'єднання виконані ручним дуговим зварюванням, а облицювальний шар – дуговим зварюванням під флюсом. На поверхні зламу на одній з ділянок руйнування виявлено велику кількість пор діаметром не біль-

ше 3 мм і глибиною не більше 7 мм (рис. 3, а, б). На поперечних макрошліфах зразків з цієї ділянки видні глибокі пори (рис. 3, б), які розповсюджуються у метал кільцевого шва від зони його сплавлення з основним металом на зовнішній поверхні труби. Пори сполучаються з ділянкою несплавлення (довжиною 300 мм, глибиною 8 мм) заповнювального і облицювального шарів з основним металом, що призвело до послаблення перетину шва. З протилежної сторони руйнування видна частина нерозплавленої кромки. Спостерігається також зміщення осі зовнішнього шва по відношенню до кореневого на 3 мм. У зазначеній ділянці присутнє несплавлення кореневого шва з основним металом (глибиною до 3 мм). Загальна довжина цієї дефектної ділянки складає приблизно 350 мм, глибина – не перевищує 7 мм. На інших ділянках зламу по периметру кільцевого шва присутні тільки окремі пори діаметром не більше 2 мм. Особливістю цього з'єднання труб з кільцевим швом є зниження твердості металу ЗТВ на  $50 HV_{49}$ , що є наслідком знеміцнення металу під час зварювання. Ширина ділянки зниження міцності складає 4...5 мм. Виявлене знеміцнення металу у разі зварювання термооброблених труб є типовим явищем і не стало причиною руйнування досліджуваного зварного з'єднання.

З огляду вищенаведеного можливо стверджувати, що причиною руйнування монтажного зварного з'єднання газопроводу зі спіральшовних труб є дефекти формування кільцевого шва у вигляді протяжного (близько 300 мм) несплавлення кореневого й заповнювального шарів з однією з крайок з'єднання та скупченням пор. Ці дефекти утворились під час виконання зварювальних операцій при будівництві газопроводу внаслідок зміщення зазначених шарів відносно стику кра-

йок з'єднання та не були виявлені неруйнівним контролем.

У другому випадку на магістральному газопроводі зі сталі 15ГСТЮ, будівництво якого датується 1970 р., при виконанні діагностичних робіт виявлено виток газу. Робочий тиск в цьому газопроводі складав 4,7 МПа. Газопровід покритий бітумно-гумовою ізоляцією. У верхній частині кільцевого з'єднання у шві виявлено наскрізний тріщиноподібний дефект (рис. 4). Кільцевий шов, виконаний одностороннім ручним зварюванням, з'єднував спіральшовну трубу розміром 1020×10,6 мм зі сталі 15ГСТЮ з прямошовною трубою розміром 1020×9,5 мм зі сталі категорії Х60. Виявлений дефект розташований вздовж шва з деяким зміщенням відносно його центра. Довжина дефекту становить приблизно 250 мм. Розкриття його крайок незначна (не перевищує 1 мм). Зварне з'єднання на довжині приблизно 170 мм виконане зі значним зміщенням крайок в радіальному напрямку та з широким зазором крайок (рис. 4, в). Зміщення крайок на цій ділянці становить 6 мм, що значно перевищує допустиму норму (не більше 3 мм). На зовнішній поверхні труб в області дефекту біля лінії сплавлення кільцевого

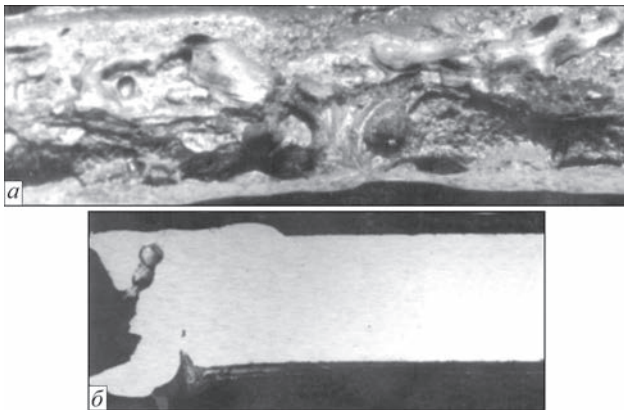


Рис. 3. Вигляд зламу (а) та дефекти (б) в металі зруйнованого шва газопроводу зі спіральшовних труб діаметром 1020 мм зі сталі 17Г1С: а – несплавлення глибиною 8 мм, пори 7 мм; б – зміщення швів, пори глибиною 8 мм

шва видно сліди пластичного деформування металу, що утворилися під час складання крайок труб з метою їх стикування для зварювання (рис. 4, а).

На зламі видно, що початкова тріщина проходить по краю кореневого шару і починається від несплавлення з однією із крайок стика (рис. 4, з). Глибина несплавлення становить приблизно 3 мм. Зворотне формування кореневого шару шва зовсім відсутнє. Розташування тріщини співпадає з ділянкою протоку металу в зоні суттєвого зміщення крайок (рис. 4, в). У зоні дефекту, що примикає до внутрішньої поверхні стика, присутні пори та їх скупчення. Розмір окремих пор сягає 4 мм.

З огляду на вищенаведене, можна констатувати, що причиною руйнування кільцевого шва зазначеного магістрального газопроводу стала низька якість складання крайок кільцевого зварного з'єднання (неприпустиме за величиною радіальне зміщення зварювальних крайок та широкий зазор), що призвело до утворення дефектів формування (несплавлення, пор) в кореновому шві в процесі його зварювання, а у подальшому спровокувало виникнення наскрізної тріщини. Утворенню і розвитку тріщини сприяли локальні напруження, які викликані спробами примусового усунення неприпустимих радіальних зміщень крайок. Поверхня тріщини значно пошкоджена корозією, що свідчить про тривалу експлуатацію труби з дефектом.

Далі розглянуто руйнування двох кільцевих зварних з'єднань нафтопроводу діаметром 720 мм, спорудженого з труб з товщиною стінки 7,4 мм класу міцності К54. У першому кільцевому шві виявлено наскрізний тріщиноподібний дефект довжиною приблизно 300 мм (рис. 5). У зоні тріщини спостерігались перевищення крайок на довжині 600 мм, яке досягало 7 мм, та великий зазор між крайками до 10 мм на довжині 740 мм. З метою зменшення зазору, всупереч нормативним документам, в розроблення крайок приварено 2 прутки діаметром 6 мм і довжиною до 150 мм

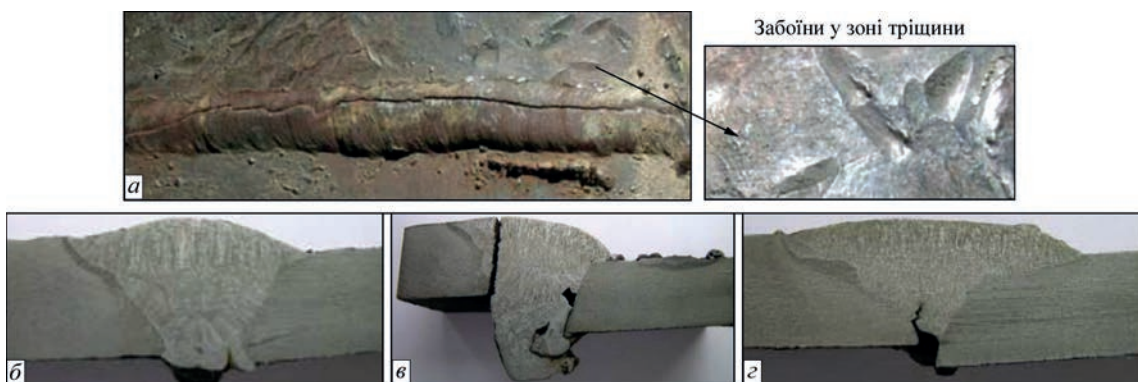


Рис. 4. Дефекти у кільцевому шві трубопроводу діаметром 1020 зі сталі 15ГСТЮ і Х60: а – тріщина довжиною ~250 мм у кільцевому шві; б – макрошліф кільцевого шва поза межами тріщини; в – макрошліф кільцевого шва у зоні тріщини, зміщення кромки до 6 мм, несплавлення кромки; г – макрошліф кільцевого шва у кінцевій частині тріщини, несплавлення та тріщина у кореновому шарі, зміщення кромки до 3 мм

(рис. 5, б). У корені шва формування внутрішнього шва неякісне, виявлено недопустимі неспровари та несплавлення крайок глибиною до 3 мм. У другому кільцевому шві у зламі зруйнованого з'єднання також виявлено дефекти типу несплавлення та неспровару зі сторони внутрішньої поверхні шва загальною протяжністю біля 100 мм. Мінімальна товщина наплавленого металу у перетині між зовнішньою поверхнею та ділянкою з дефектами (бездефектної ділянки) не перевищувала 1 мм.

Отже причиною витоку нафти у 3-му дослідженому випадку є утворення дефектів у швах кільцевих з'єднань внаслідок неналежного виконання процесу зварювання з явним порушенням правил збирання стиків, зокрема, при наявності надмірного (до 7 мм) перевищення крайок та зазору (до 10 мм) між ними, а також застосування додаткових закладних елементів для заповнення розроблення кромки. Виникненню тріщин в кільцевих швах сприяла присутність в них недопустимих неспроварів у корені шва та несплавлень, обумовлених низькою якістю збирання стикового з'єднання. Розвиток тріщин і формування наскрізного дефекту відбувалося, найбільш імовірно, внаслідок змінного навантаження під час експлуатації нафтопроводу.

Щодо 4-го випадку, то тут були виявлені неконструктивні закладні елементи для заповнення надмірного зазору у зварному з'єднанні газопроводу діаметром 1020 мм, спорудженого з труб, виготовлених з рулонної гарячекатаної сталі 15ГСТЮ. Виявлений наскрізний дефект у кільцевому шві, був орієнтований практично по центру шва та мав довжину приблизно 200 мм (рис. 6, а). На частині шва довжиною 700 мм, до якої входила й ділянка з тріщиною, присутнє зміщення крайок труб у радіальному напрямку (рис. 6, б). Найбільше зміщення крайок (до 5 мм) зафіксовано у зоні тріщини. Саме в частині тріщини, у зоні кореневого шару спостерігалось несплавлення крайок, глибина яко-



Рис. 5. Кільцеве з'єднання нафтопроводу діаметром 720 мм з тріщиною у шві: а – зі сторони зовнішньої поверхні труби; б – з внутрішньої поверхні труби

го досягала 3,5 мм. Із внутрішньої сторони кільцевого з'єднання є ділянки значного витоку металу (на висоту до 7 мм).

Аналізом хімічного складу металу кореневого шару у зоні тріщини виявлено надмірно високий вміст ванадію, до 1,7 % (звичайно вміст ванадію в швах на низьколегованій, або мікролегованій трубній сталі не перевищує 0,1 %). Це свідчить, що під час зварювання кільцевого шва з великим зміщенням крайок застосовували металеві заготовки, з метою запобігання потоку металу в цій ділянці, що призвело до суттєвого підвищення вмісту ванадію у кореновому шарі і виникненню гарячої тріщини по його центру (рис. 6, в).

Приймаючи до уваги вищенаведене причиною руйнування кільцевого стикового зварного з'єднання газопроводу, спорудженого з труб діаметром 1020 мм зі сталі 15ГСТЮ, є тріщина, що утворилась внаслідок використання під час зварювання кореневого шару додаткових сторонніх елементів, зазорів та перевищень крайок, неприпустимих згідно з нормативними документами. Це призвело до локального збагачення (до 1,7 %) ванадієм металу кореневого шва та виникненню тріщини, гарячого походження. Таким чином, можна стверджувати, що в процесі експлуатації газопроводу вона поступово розвивалася в заповнювальних й облицювальних шарах кільцевого шва до формування наскрізного дефекту. Утворенню наскрізного дефекту значною мірою сприяли дефекти у кільцевому шві та недоліки складання крайок, в першу чергу, надмірне, до 5 мм, їх перевищення та недопустимі зазори.

Таким чином, виявлені дефекти, що призвели до відмови газонафтопроводів, за умовами виникнення можна визначити, як дефекти технологічного походження (тобто утворені в зварних з'єднаннях безпосередньо під час виконання скла-

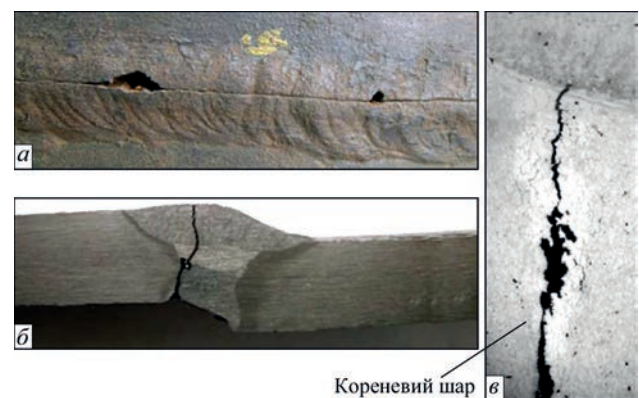


Рис. 6. Тріщина у кільцевому зварному з'єднанні трубопроводу діаметром 1020 мм зі сталі 15ГСТЮ: а – загальний вигляд кільцевого з'єднання з тріщиною; б – тріщина у шві, зміщення кромки у зоні з тріщиною (до 5 мм); в – аномальна структура металу кореневого і заповнювальних шарів монтажного з'єднання (вміст ванадію ~1,7 %), виконаного ручним зварюванням у зоні тріщини

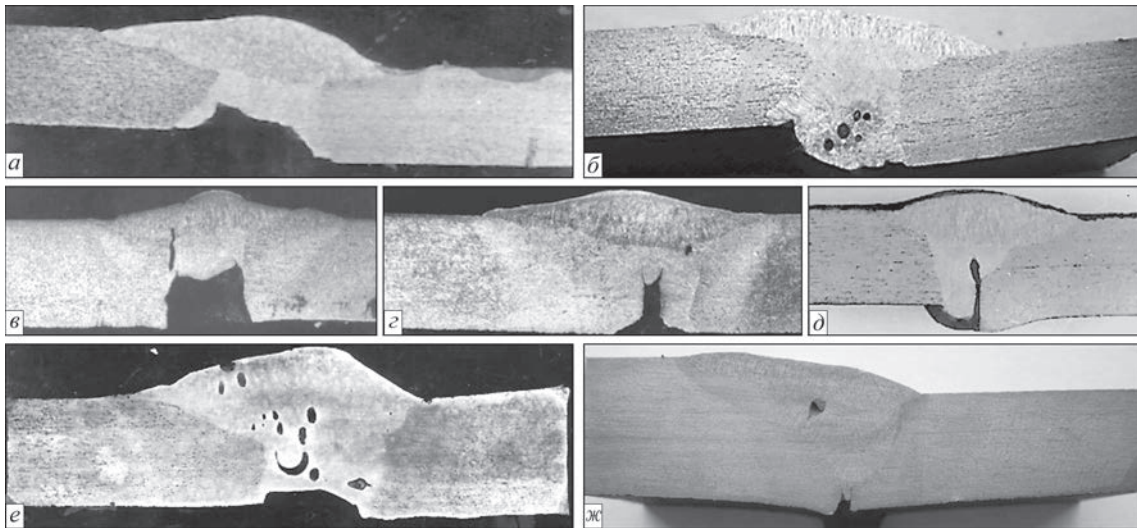


Рис. 7. Дефекти у кільцевих зварних з'єднаннях газонафтопроводів труб розміром: а – 720×9 мм із сталі 17ГС, зміщення кромок, широкий зазор, незаповнення кореневої частини шва; б – 820×9 мм із сталі 19Г, зміщення кромок, широкий зазор, деформовані кінці труб, скупчення пор; в – широкий зазор, відсутність кореневого шару, несплавлення шва з основним металом; г – 720×7,5 мм із сталі 17ГС, непровар в кореновому шарі глибиною 4 мм; д – 720×8 мм зі сталі типу 16ГБ, зміщення кромок, несплавлення (4 мм) в кореневій частині шва; е – 720×9 мм із сталі 19Г, зверхнормований зазор, скупчення пор; жс – різнотовщинне з'єднання із сталі 17Г1С 1020×10 та 1020×14 мм, деформовані торці труб, непровар в кореновому шарі

дально-зварювальних робіт), до яких у першу чергу можна віднести надмірні радіальні зміщення крайок і зазор між ними, що призвело до виникнення непроварів, несплавлень, пор, тріщин, порожнин та інших дефектів, зокрема у зоні кореневого шва.

**Аналіз кільцевих зварних з'єднань газонафтопроводів, що виявлені під час ремонту.** Дефекти що утворилися через порушення технологічного процесу виконання кільцевого шва та розвинулися під час експлуатації. Типові дефекти наведені на рис. 7.

Найчастіше вдавалося ідентифікувати наступні дефекти: радіальне зміщення крайок (рис. 7, а, б, д), надмірний зазор між крайками (рис. 7, а, б, е), непровар кореневого шару (рис. 7, а, в, г, д, жс), несплавлення кореневого чи проміжного шарів (рис. 5, д), пори та шлакові включення (рис. 7, б, е), деформовані торці труб (рис. 7, жс). Слід відзначити, що у більшості випадків виявлені дефекти утворилися внаслідок неякісного виконання операції складання крайок (надмірне їх зміщення або зазор) суміжних труб у процесі будівництва трубопроводів.

Вище зазначалось, що під час дослідження зруйнованих кільцевих зварних з'єднань трубопроводів проводили оцінювання механічних властивостей металу суміжних труб і власне з'єднання, а також його структурні особливості. Ґрунтовно стверджуємо, що в усіх досліджених випадках механічні характеристики металу труб і з'єднань відповідали встановленим нормам, а рівень характеристик чи структурні ознаки не дають підстав вважати їх причинами вищенаведених руйнувань.

## Висновки

1. З'ясовано, що дефекти технологічного походження, які стали причиною руйнування досліджених кільцевих з'єднань, виникли внаслідок порушення вимог до складання крайок (надмірні радіальні зміщення і зазор між ними), що призвело до виникнення тріщин, непроварів, несплавлень, пор тощо, в першу чергу, в кореновому шарі кільцевого шва. У ряді випадків розвитку руйнування також сприяли локальні напруження, що виникли при холодному способі усунення недопустимих зміщень кромок при зварюванні труб, зокрема, під час виконання захльостів.

2. Встановлено, що ні в одному з досліджених випадків рівень механічних властивостей або структурні характеристики металу кільцевих зварних з'єднань, виконаних за технологіями зварювання, що застосовувались під час будівництва газонафтопроводів, не стали причиною їх руйнування.

3. Отримані результати дали змогу скоригувати ряд технологічних рекомендацій щодо вимог та правил виконання складальних та зварювальних робіт під час будівництва та ремонтів магістральних трубопроводів в Україні за останні 20 років.

## Список літератури/References

- Young, A., Andrews, R.M. (2020) Preventing Girth Weld Failure in Pipelines: Measurement of Loads and Application of Assessment Methods, 2020 13th International Pipeline Conference. Virtual, Online, 28–30 вересня. DOI: <https://doi.org/10.1115/ipc2020-9551>.
- Cao, J., Ma, W., Pang, G. et al. (2021) Failure analysis on girth weld cracking of underground tee pipe. *Int. J. of Pressure Vessels and Piping*. 191, 104371. DOI 10.1016/j.ijpvp.2021.104371.

3. Xu, Y., Wu, M., Nie, et al. (2022) Performance inspection and defect cause analysis of girth weld of high steel grade pipeline. *J. of Physics: Conference Series*, 2262(1), 012006. DOI: 10.1088/1742-6596/2262/1/012006.
4. Chen, M.J., Dong, G., Jakobsen, R.A. et al. (2000) Assessment of pipeline girth weld defects. *Y: The Tenth International Offshore and Polar Engineering Conference. OnePetro*.
5. Lihua, Q., Hui, F., Hui, Z. et al. (2018) Effect of welding defects on mechanical properties and fatigue life of girth welds of X80 steel pipe. *Pipeline Technology Conference*.
6. Ma, W.F., Ren, J.J., Zhou, H.P. et al. (2019) Effect of type B steel sleeve rehabilitate girth weld defect on the microstructure and property of X80 pipeline. *Materials Science Forum*, 944, 854-861. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.944.854.
7. ГОСТ 5058-65. *Сталь низколегированная конструкционная*.  
GOST 5058-65: Low-alloyed structural steel [in Russian].
8. ЧМТУ-156-68. *Временные технические условия на трубы электросварные диаметром 1920 мм из стали марки 15ГСТЮ*.  
ChMTU-156-68: *Provisional specifications for electric-welded pipes with a diameter of 1920 mm from 15GSTYu steel grade* [in Russian].
9. СНиП III-42-80. *Строительные нормы и правила. Магистральные трубопроводы*.  
SNiP III-42-80: *Construction norms and regulations. Main pipelines* [in Russian].
10. ВСН 006-89. *Будівництво магістральних і промислових трубопроводів. Зварка*.  
VSN 006-89: *Construction of main and field pipelines. Welding* [in Russian].

## ANALYSIS OF CAUSES OF FAILURE OF SITE WELDED BUTT JOINTS OF MAIN PIPELINES AFTER LONG-TERM OPERATION

L.I. Nyrkova, L.V. Goncharenko

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.  
E-mail: lnyrkova@gmail.com

In the work on the examples of failure of four pipelines, the authors considered and analyzed the causes of failure of circumferential welded butt joints of main gas pipelines with a long-term service life with a diameter of 530...1420 mm from low-alloy ferritic-perlitic steels of grades 17G1S, 17GS and 15GSTYu, constructed back at the end of the twentieth century. Technical experts assume that, as a rule, accidents are associated with the failure of circumferential butt welded joints produced during assembly. Literature sources give quite limited reliable information about the causes of defects formation that lead to the failure of site welded joints. The authors show that even having provided satisfactory mechanical properties of steels and at the absence of deviations in the chemical composition of welded joints, depressurization of pipelines occurred due to weakening of the weld as a result of defects formation during operation or during construction and assembly works. The defects include pores, lacks of fusion, lacks of penetration, displacement of edges, use of backup elements, etc. that have not been detected by non-destructive testing methods. The obtained results made it possible to adjust a set of technological recommendations on the requirements and rules for performing assembly and welding works during the construction and repair of main pipelines in Ukraine over the last 20 years. 10 Ref., 2 Tabl., 7 Fig.

*Keywords: main gas pipelines, circumferential butt welds, welded joints, failure, technological defects, assembly and welding works, violations*

Надійшла до редакції 06.04.2023

WORLD TRADE FAIR FOR WELDING ENGINEERING —  
JOINING, CUTTING, SURFACING



# LET'S JOIN THE WORLD!

11. – 15. September, 2023

REGISTER NOW!