

УДК 620.191.33

**Л.С. ШЛАПАК** (д-р. техн. наук, проф.)

**П.М. ПРИСЯЖНЮК** (канд. техн. наук, доц.)

**Л.Д. ЛУЦАК** (канд.техн. наук, доц.)

**Д.Л. ЛУЦАК** (асистент)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна,  
м. Івано-Франківськ

## РЕМОНТ КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНИХ ДЕФЕКТІВ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВІДІВ МЕТОДОМ НАПЛАВЛЕННЯ ПОРОШКОВИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

Наведено результати досліджень по усуненні корозійно-механічних дефектів зовнішніх поверхонь трубопроводів шляхом їх заплавлення порошковими електродами, які забезпечують структуру марганцевого аустеніту із дисперсними включеннями дибориду титану. Механічні випробовування зразків із заплавленими дефектами показують, що їх міцність при розтягу є вищою на 30 % порівняно із зразками, які не підлягали ремонту. Розроблена технологія пропонується для впровадження при ремонті дефектів на нафтопроводах без припинення транспортування вуглеводнів.

**Ключові слова:** трубопроводи, корозійно-механічні дефекти, порошкові електроди, марганцевий аустеніт, дисперсне зміцнення, міцність на розтяг.

**Вступ.** Паливно-енергетичний комплекс є однією з найважливіших частин реального сектора економіки України. Він відіграє не тільки важливу роль у енергозабезпеченні країни, а і у формуванні доходів державного бюджету.

Важливу роль у паливно-енергетичній безпеці країни відіграє трубопровідний транспорт рідких і газоподібних вуглеводнів, без яких неможливе життєзабезпечення населення і нормальне функціонування господарського комплексу.

Трубопровідний транспорт вуглеводнів України – складна технічна система, що володіє потужним енергетичним потенціалом, на якій зберігаються та транспортуються продукти, які при певних умовах набувають здатності до займання або вибуху, забрудненню довкілля при аваріях і відмовах, є великою небезпекою для населення, інженерних споруд та природних масивів.

Тому до трубопроводів ставляться високі вимоги з забезпечення надійності і безпеки їх функціонування. Відомими шляхами розв'язання цієї проблеми є сучасна діагностика, всеохоплюючий моніторинг, капітальний ремонт і реконструкція, а також принципово нові, науково обгрунтовані технічні, технологічні, організаційні рішення, реалізація яких дозволить перевести трубопровідний транспорт до відновлювальних систем з подовженим терміном експлуатації.

Аналіз статистики руйнувань магістральних трубопроводів при експлуатації показує, що одною з поширених причин є пошкодження суцільності поверхні труб внаслідок корозійно-механічних пошкоджень.

Вони проявляється як у стоншенні стінки труби, так і в корозійному та водневому ризикуванні, корозійно-втомному поширенні тріщин. Це особливо небезпечні види корозійно-механічного руйнування, кінетику яких важко прогнозувати. Дефекти, які виникають внаслідок корозійно-механічних та ерозійних пошкоджень не зважаючи на їх невеликі розміри виконують роль концентраторів напружень та призводять до знеміцнення стінок труби та утворення локальних магістральних тріщин. Поряд із цим слід зазначити, що на ранніх стадіях розвитку такі дефекти можуть бути успішно усунуті [1]. Системний аналіз методів ремонту трубопроводів під тиском проведений у роботі [2] показує, що використання технологій заварювання для дефектів різної геометрії дозволяє отримати суттєвий економічний ефект та знизити техногенне навантаження на навколишнє середовище за рахунок зменшення викидів екологічно шкідливих сполук вуглецю. Зокрема корозійні та ерозійні виразки на зовнішній поверхні труби розмірами до 20 мм можуть бути усунуті шляхом їх заварювання без зупинки нафтопроводу [3]. При цьому особливо гостро постає питання щодо зниження рівня теплового впливу під час проведення ремонту, який регулюється режимами та типом електродів для наплавлення. Заварюван-

ня зазвичай проводиться електродами із низьковуглецевої легованої сталі суцільного перерізу. Це, у багатьох випадках, призводить до формування структур гартування у зоні термічного впливу [4], поява яких веде до виникнення напружень розтягу і, як наслідок, холодних тріщин. Способи, які можуть частково або повністю зупинити проходження наведених процесів та базуються на методах сповільнення охолодження шляхом попереднього та (або) супутнього електричного, індукційного або газополуменевого нагрівання у багатьох випадках є не раціональними з огляду на значне збільшення трудомісткості ремонтних робіт та ризику виникнення аварійних ситуацій. Принципово інший підхід спрямований на зниження температурного впливу запропоновано у роботі [5]. Він базується на використанні порошкового дроту замість дроту суцільного перерізу. Ефективність заварювання дефектів при такому способі досягається за рахунок підвищення коефіцієнта наплавлення у  $\sim 2,5$  рази та суттєвого зменшення термічного впливу. Однак питання щодо принципу раціонального вибору складу порошкових дротів на даний час є недостатньо вивченим.

Виходячи з цього метою роботи було встановлення міцності трубних сталей, дефекти у яких заварені порошковим дротом, який забезпечує структуру дисперсно-зміцненого аустеніту.

**Матеріали та методика досліджень.** Для виготовлення порошкових електродів використовувався розроблений в ІЕЗ ім. Є.О. Патона прокатний стан для виготовлення стрічкового реліту [6], який було оснащено дозуючим пристроєм конвеєрного типу. Оболонка порошкових електродів була виготовлена із холоднокатаної сталевий стрічки марки 08кп ГОСТ 3559-75, розміром  $0,5 \times 20$  мм. Порошковий наповнювач готувався шляхом змішування металевого марганцю, та дисперсного порошку дибориду титану, а також компонентів, які забезпечують самозахист ванни під час горіння дуги. Заварювання дефектів проводилось ручним способом на зразках виготовлених із вирізаної із магістрального трубопроводу котушки (рис. 1).



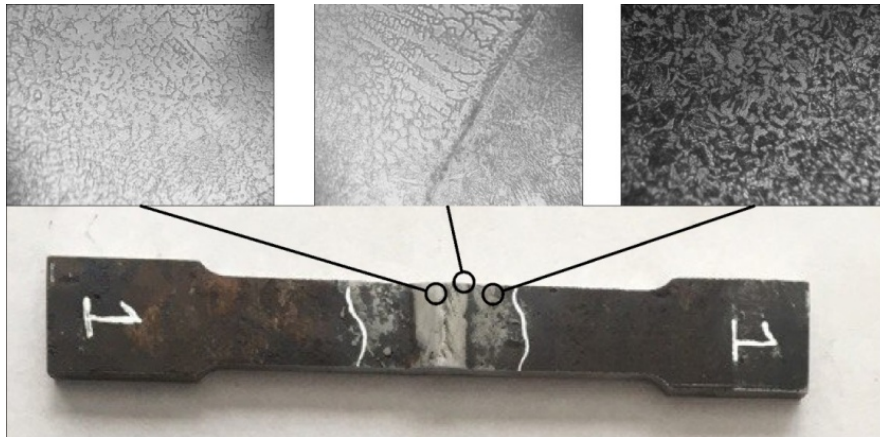
**Рис. 1.** Котушка із дефектними ділянками для вирізання зразків

Заварювання дефектів проводилось ручним способом, режими наплавлення: вольтамперна характеристика – падаюча, сила струму 160-180 А, напруга дуги 30-32 В, полярність – зворотна, охолодження ванни проходило на повітрі.

**Результати та їх обговорення.** У результаті було отримано зразки для міцнісних випробувань, мікроструктура яких складається із трьох основних зон (рис. 2): основи із вихідною ферито-перлітною структурою; зони сплавлення, у якій зі сторони наплавленого шару було виявлено кристаліти марганцевого аустеніту дендритної форми спрямовані по нормалі до границі розділу між основним та наплавленим металом; наплавленого шару, що представляє собою марганцевий аустеніт зміцнений дисперсними включеннями дибориду титану.

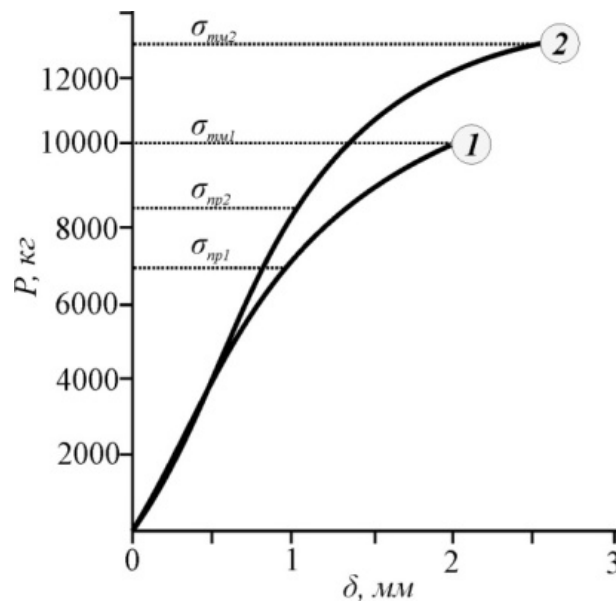
Металографічні дослідження показують, що зона сплавлення характеризується суцільністю, а також відсутністю пор, раковин та тріщин. При цьому у структурі наплавленого шару та зоні термічного впливу не було виявлено структур гартування. Таким чином, запропонована

технологія дозволяє формувати у поверхневих шарах структуру, яка здатна релаксувати напруження за рахунок відсутності фазових переходів у процесі охолодження після наплавлення.



**Рис. 2.** Основні структурні зони зразка для досліджень із дефектами завареними порошковим дротом

Результати визначення порівняльної міцності зразків із заплвленими та незаплвленими дефектами (рис. 3) показують, що заплвлєння корозійно-механічних дефектів порошковим електродом призводить до суттєвого росту міцності під час розтягування та підвищення межі пружності.



**Рис. 3.** Результати міцнісних випробувань зразків із не завареними (1) та завареними корозійно-механічними дефектами (2)

Такий характер підвищення рівня механічних властивостей зумовлений сприятливою матрично-армованою структурою наплавленого шару та бездефектною зоною сплавлення.

**Висновки.** Аналіз проведених досліджень показує, що усунення втрати металу на зовнішніх поверхнях нафтогазопроводів, викликаних корозійно-механічним руйнуванням може бути успішно реалізовано шляхом електродугового заварювання порошковим дротом, компонентний склад якого дозволяє уникнути структур гартування. Рівень механічних властивостей зразків із заплвлєними дефектами є вищим порівняно із вихідним на  $\sim 30\%$ . Враховуючи високу продуктивність та низький рівень термічного впливу запропонована технологія може бути реалізована на діючих нафтогазопроводах, що передбачає отримання значного економічного ефекту.

**Библиографический список**

1. Гумеров А.Г., Азметов Х.А., Гумеров Р.С., Векштейн М.Г. Аварийно-восстановительный ремонт магистральных нефтепроводов / Под ред. А.Г. Гумерова. 1998. - 271 с.: ил.
2. Основные направления развития технологии ремонта магистральных трубопроводов в условиях эксплуатации под давлением / В.С. Бут, О.И. Олейник // Автоматическая сварка. — 2007. — № 5 (649). — С. 42-48. — Библиогр.: 4 назв. — рос.
3. Математическое моделирование язвенных дефектов на действующих нефтегазопроводах и разработка численного метода оценки допустимых режимов дуговой заварки таких дефектов / В.И. Махненко, В.С. Бут, Е.А. Великоиваненко, Г.Ф. Розынка, Н.И. Пивторак // Автоматическая сварка. — 2001. — № 11 (584). — С. 3-10. — Библиогр.: 10 назв. — рос. 2
4. Развитие в Украине технологий ремонта дуговой сваркой магистральных трубопроводов в условиях эксплуатации / В.С. Бут, О.И. Олейник // Автоматическая сварка. — 2014. — № 5 (732). — С. 42-50. — Библиогр.: 23 назв. — рос.
5. Перспективные технологии восстановления работоспособности трубопроводов / В.А. Рыбин// Экспозиция, нефть газ. — 2014. — № 6 (38). — С. 102-103. — Библиогр.: 23 назв. — рос.
6. Фурмин Е.И. Ленточный релит – материал для наплавки буровых долот / Е.И. Фурмин, А. П. Жудра, М. А. Пащенко // Сварочное производство. – 1977. – № 2. – С. 16-18.

*Надійшла до редакції 30.04.2017*

**Л.С. Шлапак, П.М. Присяжнюк, Л.Д. Луцак, Д.Л. Луцак**

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина, г. Ивано-Франковск

**РЕМОНТ КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ**

Приведены результаты исследований по устранению коррозионно-механических дефектов внешних поверхностей трубопроводов путем их заплавления порошковыми электродами которые обеспечивают структуру марганцевого аустенита из дисперсными включениями диборида титана. Механические испытания образцов из заплавленными дефектами показывают, что их прочность при растяжении выше на 30 % по сравнению из образцами, которые не поддавали ремонту. Разработанная технология предлагается для внедрения при ремонте дефектов на нефтепроводах без прекращения транспортировки углеводородов.

**Ключевые слова:** трубопроводы, коррозионно-механические дефекты, порошковые электроды, марганцевый аустенит, дисперсное упрочнение, прочность при растяжении.

**L. Shlapak, P. Pryszyzhnyuk, L. Lutsak, D. Lutsak**

Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas, Ukraine, Ivano-Frankivsk

**REPAIR OF CORROSION-MECHANICAL DEFECTS OF MAGISTRAL PIPELINES BY THE METHOD OF SURFACING BY POWDER ELECTRODES**

The results of studies on the elimination of corrosion-mechanical defects in the outer surfaces of pipelines by the surfacing with powder electrodes which provide the structure of manganese austenite with dispersed inclusions of titanium diboride are presented. Mechanical tests of samples from surfaced defects show that their tensile strength is higher by 30% compared to samples that did not respond to repair. The developed technology proposed for implementation in the repair of defects on the pipeline without stopping the transportation of hydrocarbons.

**Key words:** pipelines, corrosion-mechanical defects, powder electrodes, manganese austenite, dispersive hardening, tensile strength.