

УДК 620.17:669.017

ДЕГРАДАЦІЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛУ ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ ЕКСПЛУАТОВАНОГО МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ

О. Т. ЦИРУЛЬНИК¹, В. А. ВОЛОШИН¹, Д. Ю. ПЕТРИНА²,
М. І. ГРЕДІЛЬ¹, О. І. ЗВІРКО¹

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів;

² Національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ

Досліджено механічні та електрохімічні властивості окремих зон зварного з'єднання трубної сталі 17Г1С. Встановлено, що тривала експлуатація спричиняє зниження пластичності та ударної в'язкості, особливо металу зони термічного впливу. Для експлуатованого матеріалу спостерігається загальна закономірність зміщення потенціалу всіх зон зварного з'єднання у від'ємний бік, найменше – для основного металу. Зі збільшенням тривалості експлуатації магістральних трубопроводів на металі шва може локалізуватись корозія.

Ключові слова: зони зварного з'єднання, поляризаційний опір, ударна в'язкість, стаціонарний потенціал.

Проблема деградації властивостей сталей магістральних газопроводів загострилася останнім часом [1] у зв'язку з тривалою (30 і більше років) експлуатацією основних її мереж. Порівняльні випробування експлуатованих сталей і металу труб запасу на міцність, пластичність, ударну в'язкість, тріщиностійкість та опір корозійному розтріскуванню [2–5] виявили різке зниження опору, в першу чергу, крихкому руйнуванню та корозійно-водневому розтріскуванню. Електрохімічні дослідження в модельному середовищі водного конденсату всередині магістральних газопроводів показали можливість наводнювання металу стінки труби від її внутрішньої поверхні, а отже, і деградації властивостей за сумісної дії механічного навантаження і транспортованого середовища [6].

Зварні з'єднання (ЗЗ) магістральних газопроводів вразливі до дії корозивно-наводнювальних середовищ. Відома проблема окрихчувального впливу зварювання внаслідок порівняно швидкого охолодження, що спричиняє структурні зміни, перерозподіл шкідливих домішок і залишкові напруження. Крім того, ЗЗ мають високу електрохімічну гетерогенність, через що активізуються локальні корозійні процеси як у металі зони термічного впливу (ЗТВ), так і в металі шва (МШ).

Нижче досліджено механічні властивості та електрохімічними методами оцінено корозійну тривкість окремих зон ЗЗ трубної сталі 17Г1С.

Матеріали та методики досліджень. Випробовували польове стикове ЗЗ сталі 17Г1С, вирізане з експлуатованої 30 років труби зовнішнім діаметром 1220 mm та товщиною 12 mm і виготовлене із металу труби запасу за прийнятою технологією зварювання труб у польових монтажних умовах. Ширина шва 3...4 mm, а ЗТВ – до 11 mm. Механічні властивості визначали розтягом зі швидкістю деформування $3 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ циліндричних зразків діаметром робочої частини 5 mm та довжиною 25 mm, в центрі якої знаходилася досліджувана зона ЗЗ з круговим концентратором глибиною 1 mm. При цьому отримували умовні характеристики міцності (границя текучості $\sigma_{0,2}$ і границя міцності σ_B) і пластичності (відносне звуження ψ). Ударну в'язкість (KCV) визначали методом Шарпі.

Електрохімічні дослідження виконували у розчині сірчаної кислоти (рН 1), щоб усунути камуфлювальний вплив поверхневих бар'єрних плівок і отримати електрохімічні характеристики саме металу. Визначали стаціонарний потенціал E_{st} (відносно хлоридсрібного електрода) і будували поляризаційні криві, за якими знаходили поляризаційний опір R_p металу окремих зон ЗЗ. На задалегідь поліровану поверхню ЗЗ наносили захисний покрив (суміш парафіну і каніфолі в пропорції 1:1), окрім вибраної для електрохімічних досліджень певної зони (площею $\sim 5 \text{ mm}^2$). В окремих випадках, за випроб лінії сплаву (ЛС), розмір такої площі зменшували до 1 mm^2 .

Результати і їх обговорення. Механічні властивості основного металу (ОМ) і ЗТВ зварного з'єднання труби запасу (табл. 1) практично не відрізняються.

Таблиця 1. Механічні властивості різних зон ЗЗ сталі 17Г1С

Зони ЗЗ	Стан металу	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	HV	ψ , %	KCV , J/cm ²
ОМ	Вихідний	653	796	187	62,5	274/260
	Експлуатований	630	833	192	54	200/159
ЗТВ	Вихідний	651	809	202	61	192/184
	Експлуатований	665	835	207	50	122/86
МШ	Вихідний	753	942	207	51	232/192
	Експлуатований	740	838	187	47	182/100

Примітка: для KCV у чисельнику – середні значення результатів випроб не менше чотирьох зразків, в знаменнику – мінімальні.

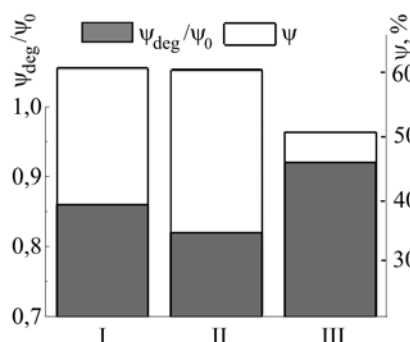


Рис. 1. Вплив експлуатації на відносне звуження різних зон зварного з'єднання сталі 17Г1С: I – ОМ; II – ЗТВ; III – МШ.

Fig. 1. Influence of service on the reduction in area of 17G1S steel: I – base metal (BM); II – heat affected zone (HAZ); III – weld metal (WM).

даних різко зростає, особливо для ЗТВ і МШ. Таке зниження ударної в'язкості відповідає спаду пластичності за відносним звуженням, проте часто не узгоджується зі зміною міцності. Зокрема, в результаті експлуатації границя міцності МШ зменшилась від 942 до 838 МПа, що мало би супроводжуватися ростом показників ψ і KCV . Проте зафіксовано їх спад і це найімовірніше відповідає виявленому раніше феномену одночасного зниження міцності і твердості, а з іншого боку – опору крихкому руйнуванню тривало експлуатованих ошаднолегованих сталей [2–5, 7]. Зазначимо, що найінтенсивніше деградує метал ЗТВ.

Отримані за поляризаційними кривими значення поляризаційного опору вказують, що МШ у вихідному стані властива значно вища корозійна тривкість порівняно з металом ОМ і ЗТВ (табл. 2). Тривала експлуатація практично однаково погіршує опірність корозії всіх зон ЗЗ.

Загалом з отриманих даних складно зробити висновок про вплив експлуатації на міцність металу ЗЗ через відмінність вихідних властивостей труб різних плавів. Твердість металу різних зон ЗЗ міняється симбатно. Що стосується пластичності, то вона для всіх зон ЗЗ знижується, найінтенсивніше – для ЗТВ (рис. 1). І хоч пластичність МШ залишається найменшою, різниця у значеннях ψ для різних зон експлуатованого ЗЗ зменшується.

Найвища ударна в'язкість властива ОМ, найменша – металу ЗТВ (табл. 1), при цьому розкид експериментальних даних невеликий. Внаслідок тривалої експлуатації ударна в'язкість всіх зон ЗЗ зменшується, найсильніше – для металу ЗТВ. Розкид експериментальних

Таблиця 2. Поляризаційний опір R_p і стаціонарний потенціал E_{st} ЗЗ у розчині H_2SO_4

Стан металу \ Зони ЗЗ	ОМ		ЗТВ		МШ		ЛС
	$R_p, \Omega \cdot cm^2$	E_{st}, V	$R_p, \Omega \cdot cm^2$	E_{st}, V	$R_p, \Omega \cdot cm^2$	E_{st}, V	E_{st}, V
Вихідний	710	-0,465	766	-0,470	1048	-0,445	-0,435
Експлуатований	513	-0,480	509	-0,495	822	-0,490	-0,455

Проте корозійну тривкість певних зон ЗЗ визначає не тільки їх поляризаційний опір, але і взаємна поляризація, якщо електродні потенціали різних зон різні, а це властиво саме ЗЗ. Тому електрохімічна гетерогенність окремих зон відносно електродних потенціалів є важлива характеристика. У корозивному середовищі вони формують гальванопари, в яких ОМ практично не поляризується, оскільки його площа набагато більша, ніж інших зон. Відповідно, поляризуються ЗТВ і МШ. Тому не виключено, що зона з вищою корозійною тривкістю (якщо її розглядати окремо) кородуватиме у гальванічній парі з іншими зонами ЗЗ інтенсивніше.

Через специфіку вимірювання електродних потенціалів, значення яких не залежать від площі металу, вивчали також ділянки на межі МШ і ЗТВ площею близько 1 mm^2 . Це дало можливість виділити ще одну зону – ЛС, що розділяє МШ і ЗТВ. Загалом різниця потенціалів різних зон ЗЗ у вихідному стані не перевищує $0,035 \text{ V}$ (табл. 2). Найвід’ємніше значення отримано для ЗТВ, а найпозитивніше – для ЛС. Отже, для вихідного стану дві зони, МШ і ЛС, поляризуватимуться у від’ємний бік, а в позитивний, хоч лише на 5 mV , – ЗТВ. Відповідно, катодна поляризація МШ і ЛС інтенсифікуватиме на них катодні реакції і гальмуватиме анодні. З іншого боку, анодна поляризація ЗТВ пришвидшуватиме анодні реакції і гальмуватиме катодні. Оскільки ОМ через набагато більшу площу практично не поляризуватиметься (рис. 2а), то його корозійну тривкість визначатиме тільки поляризаційний опір. Водночас опірність корозії інших зон ЗЗ залежатиме від їх поляризаційного опору і поляризації. Металу шва властивий вищий поляризаційний опір, а за додаткового позитивного впливу катодної поляризації його корозійна тривкість посилиться. Поляризаційний опір металу ЗТВ дещо вищий, ніж ОМ, проте внаслідок негативного впливу на нього анодної поляризації у гальванопарі ЗЗ його корозійна тривкість знижуватиметься, можливо, до (чи нижче) рівня опірності корозії ОМ, і однозначно нижче МШ.

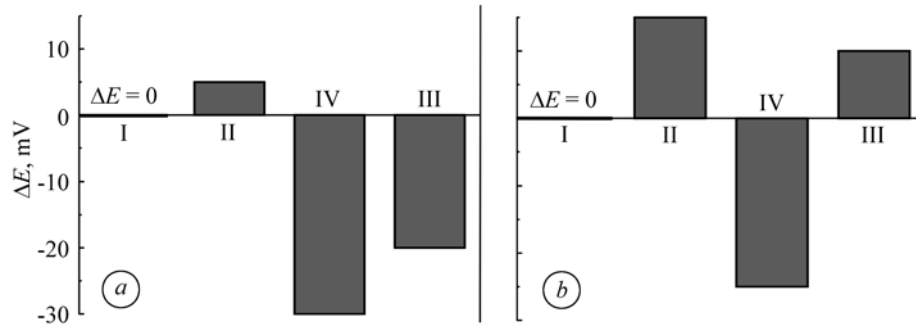


Рис. 2. Поляризація різних зон зварного з'єднання сталі 17Г1С у вихідному стані (а) і після експлуатації (б): I – ОМ; II – ЗТВ; III – МШ; IV – ЛС.

Fig. 2. Polarization of different zones of 17Г1С steel welding joint in the initial state (a) and after service (b): I – BM; II – HAZ; III – WM; IV – alloy line (AL).

Для експлуатованого ЗЗ спостерігається загальна закономірність зміщення потенціалу всіх зон у від’ємний бік. Проте найменше для ОМ, а для МШ вже стає від’ємніший за потенціал ОМ (табл. 2). Отже, для експлуатованого зварного з'єднання ЗТВ і МШ поляризуються анодно, тобто на них інтенсифікується корозія (рис. 2б). У нашому випадку цей ефект невеликий. Однак це вказує на небезпеку

появи вибіркової корозії ЗТВ і, дещо менше МШ зі збільшенням тривалості експлуатації трубопроводів. У ґрунтових середовищах, а також водних конденсатах всередині газопроводу катодний процес протікає із виділенням водню [4], тобто у катодно поляризованих зонах можливе наводнювання металу. Отримані результати вказують на те, що особливо сильно повинен наводнюватися метал по ЛС. Якщо ж брати до уваги можливу інтенсифікацію вибіркової корозії ЗТВ і МШ на деградованому ЗЗ, то наводнювання після появи корозійних виразок у зоні МШ ближче до ЛС може призвести до зародження тріщин за механізмом водневого окрихчення. Подальший їх розвиток від ЛС визначатиметься тим, якій із зон МШ чи ЗТВ властивий найнижчий опір крихкому руйнуванню.

ВИСНОВКИ

Тривала експлуатація мало впливає на характеристики міцності металу ЗЗ сталі 17Г1С, але спричиняє деградацію характеристик пластичності, ударної в'язкості та корозійної тривкості. Потенціал всіх зон експлуатованого ЗЗ зміщений у від'ємний бік порівняно з вихідним станом. Проте найменше для ОМ, а найсильніше для МШ, що вказує на небезпеку появи вибіркової корозії МШ з продовженням експлуатації магістральних трубопроводів. У ґрунтових середовищах, а також водних конденсатах найсильніше метал наводнюватиметься по ЛС. За появи корозійних виразок внаслідок вибіркової корозії у зоні МШ можливе ближче до ЛС зародження тріщин за механізмом водневого окрихчення. Подальший їх розвиток від ЛС найімовірніший у ЗТВ, якій властивий найнижчий опір крихкому руйнуванню.

РЕЗЮМЕ. Исследованы механические и электрохимические свойства отдельных зон сварного соединения трубной стали 17Г1С. Установлено, что длительная эксплуатация вызывает снижение пластичности и ударной вязкости, особенно металла зоны термического влияния. Для эксплуатируемого материала наблюдается общая закономерность смещения потенциала всех зон сварного соединения в отрицательную сторону, менее всего – для основного металла. С увеличением длительности эксплуатации магистральных трубопроводов на металле шва может локализоваться коррозия.

SUMMARY. The mechanical and electrochemical properties of certain zones of welding joint of 17Г1С pipe steel were investigated. It was established that long-term service causes a decrease of plasticity and impact toughness, especially of the heat affected zone metal. Material after service revealed a general regularity of the potential shift to the negative direction for all zones of welding joint, least of all, for a base metal. Corrosion can be localized on the weld metal with the increase of the main pipes service time.

1. *Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. пос. / Під заг. ред. В. В. Панасюка. Том 11: Міцність і довговічність нафтогазових трубопроводів і резервуарів / Г. М. Никифорчин, Р. М. Джала, І. В. Ориняк та ін. Під ред. Г. М. Никифорчина – Львів: Сполом, 2008. – 554 с.*
2. *Effect of in-service degradation of trunk gas pipeline steel on its “in-bulk” properties / G. Gabetta, H. M. Nykyforchyn, E. Lunarska, et al. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2008. – 44, № 1. – С. 88–99.*
3. *Kurzydowski K. and Nykyforchyn H. Environmentally assisted degradation of structure and properties of long term exploited materials / Ed. V. V. Panasyuk // Proc. of the 4th Conf. “Fracture mechanics of materials and structural integrity”. – Lviv, Karpenko Physico-Mechanical Institute, 2009. – P. 725–736.*
4. *Effect of the long-term service of the gas pipeline on the properties of the ferrite–pearlite steel / H. Nykyforchyn, E. Lunarska, O. Tsyrlunyk, et al. // Materials and Corrosion. – 2009. – № 9. – P. 716–725.*
5. *Environmentally assisted “in-bulk” steel degradation of long term service gas trunkline / H. Nykyforchyn, E. Lunarska, O. Tsyrlunyk et al. // Engineering failure Analysis. – 2010. – 17. – P. 624–632.*
6. *Вплив експлуатації сталі Х52 на корозійні процеси у модельному розчині газового конденсату / О. Т. Цирульник, З. В. Слободян, О. І. Звірко та ін. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2008. – № 5. – С. 29–37.*
7. *Никифорчин Г. М., Студент О. З., Марков А. Д. Аномальний прояв високотемпературної деградації металу шва зварного з'єднання ошадно легованої сталі // Там же. – 2007. – № 1. – С. 73–79.*

Одержано 03.09.2010