

ДІАГНОСТУВАННЯ ДЕГРАДАЦІЇ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕЙ ГАЗОПРОВІДІВ ЗА ЗМІНОЮ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

О. Звірко, О. Цирульник

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України

Abstract. The results of research aimed to choosing diagnostic criteria for evaluation of current technical condition of pipeline steels, taking into account in-service degradation, has been presented in the paper. Mechanical properties degradation of pipeline steels caused by operation can be estimated by measurements of changes in their electrochemical characteristics. Having initial properties of the material, its actual properties can be predicted.

Трубні сталі нафтогазотранспортної системи піддаються старінню та деградації упродовж їх тривалої експлуатації. Відтак ризик неконтрольованого руйнування елементів цих відповідальних металоконструкцій значно зростає зі збільшенням терміну їх експлуатації завдяки окрихченню металу та погіршенню його механічних властивостей [1]. Тому проблема забезпечення цілісності нафтогазотранспортної мережі України є надзвичайно ваговою та актуальною для енергетичної безпеки як України, так і країн Європейського Союзу з огляду на значний вік більшості магістральних нафтогазопроводів України, що забезпечують транзит вуглеводневих енергоресурсів.

Значно знизити ризик неконтрольованого руйнування транзитних трубопроводів можна шляхом застосування ефективних методів та засобів діагностування поточного технічного стану трубних сталей та оцінювання ступеня їх деградації.

За допомогою періодичних обстежень трубопроводів із застосуванням неруйнівних методів контролю отримують інформацію стосовно наявності макро дефектів та пошкоджень. Однак, для коректного визначення залишкового ресурсу старіючих трубопроводів важливо враховувати поточний технічний стан власне матеріалу. Адже відомо [1–3], що внаслідок тривалої експлуатації значно погіршуються як механічні, так і електрохімічні властивості трубних сталей. Тому, за можливості побудови креляційних залежностей між механічними та електрохімічними інформативними параметрами, запропоновано для діагностування деградації механічних властивостей тривало експлуатованих трубних сталей застосовувати електрохімічний метод.

У даній роботі проаналізовано та обґрунтовано вибір діагностичних критеріїв для оцінювання поточного технічного стану матеріалу з урахуванням деградації його властивостей, зумовленої експлуатаційними чинниками упродовж тривалої експлуатації.

Матеріали й методика досліджень.

Досліджували трубні сталі різних класів міцності: 17Г1С (клас міцності X52), X60 та X70 у різних станах – вихідному та після тривалої експлуатації. Фрагменти труб, з яких виготовляли зразки для досліджень, були вирізані з магістральних газопроводів після різних термінів їх експлуатації: 17Г1С – 30 років, X60 – 25 років та X70 – 37 років. Для порівняння властивостей сталей також досліджували зразки, вирізані з труб запасу (резервних), виготовлених зі сталей різних класів міцності (X52, X60 та X70). Визначали механічні (ударна в'язкість KCV) та електрохімічні (потенціал корозії E_{corr} , густина струму корозії i_{corr} та поляризаційний опір R_p) властивості сталей. Електрохімічні випробування проводили шляхом зняття поляризаційних кривих потенціодинамічним методом у модельному водному середовищі NS4 за кімнатної температури. Потенціал визначали відносно електрода порівняння Ag|AgCl.

Результати досліджень та обговорення.

Як свідчать результати досліджень, наведені у таблиці, досліджені трубні сталі нижчих класів міцності (17Г1С – клас міцності Х52 та Х60) характеризуються суттєвим зниженням характеристики опору крихкому руйнуванню – ударної в'язкості, зумовленим їх експлуатаційною деградацією. Найсильніше ця характеристика знизилась для трубної сталі з найменшою міцністю. Водночас слід зазначити, що для високоміцної сталі Х70 не виявлено такої тенденції – експлуатованій сталі властиві дещо вищі значення ударної в'язкості, ніж сталі у вихідному стані (рис. 1), що, очевидно, може бути пов'язано з певними відмінностями у процесі виготовлення труб різних поставок або значною об'ємною розсіяною пошкодженістю експлуатованої сталі Х70, яка зумовлює підвищення енергоємності руйнування [4].

Таблиця. Ударна в'язкість та електрохімічні властивості (у розчині NS4) трубних сталей різної міцності у вихідному та експлуатованому станах та їх деградація

| Сталь | Стан | KCV, МДж/м ² | | E _{corr} , В | i _{corr} , μА/см ² | R _p , кОм·см ² | KCV ^{deg} / KCV _{in} / I* | i _{corr deg} / i _{corr in} | R _{p deg} / R _{p in} |
|-------|----------------|-------------------------|------|-----------------------|--|--------------------------------------|---|--|--|
| | | 1* | 2* | | | | | | |
| 17Г1С | Вихідний | 2,55 | 1,95 | -0,683 | 1,85 | 8,63 | 0,51 | 2,27 | 0,41 |
| | Експлуатований | 1,29 | - | -0,687 | 4,20 | 3,53 | | | |
| Х60 | Вихідний | 3,42 | 3,26 | -0,664 | 1,81 | 8,90 | 0,77 | 2,13 | 0,44 |
| | Експлуатований | 2,63 | 2,25 | -0,696 | 3,86 | 3,89 | | | |
| Х70 | Вихідний | 2,77 | 2,37 | -0,518 | 0,67 | 23,49 | 1,19 | 3,34 | 0,30 |
| | Експлуатований | 3,30 | 2,50 | -0,642 | 2,24 | 6,92 | | | |

1* - зразки вирізані у поздовжньому напрямі;

2* - зразки вирізані у поперечному напрямі.

Після тривалої експлуатації істотно змінилась корозійна тривкість трубних сталей – для всіх досліджених сталей виявлено деградацію їх електрохімічних властивостей (табл. 1). Високоміцна сталь Х70 характеризується найвищою корозійною тривкістю серед досліджених трубних сталей різних класів міцності у водному розчині NS4 в обох досліджених станах, проте вона піддалась у процесі експлуатації корозійній деградації більшою мірою, ніж інші досліджені сталі (рис. 2). Ступінь корозійної деградації сталей нижчих класів міцності (17Г1С та Х60) відрізняється незначно за характеристиками густини струму корозії i_{corr} та поляризаційного опору R_p, проте потенціал корозії E_{corr} сталі Х60 змінився більшою мірою, ніж сталі 17Г1С. Найбільший зсув потенціалу корозії у сторону більш від'ємних значень після експлуатації зафіксовано для сталі Х70 – більш як на 0,12 В (таблиця). Характеристики густини струму корозії та поляризаційного опору характеризуються вищою чутливістю до змін стану металу, зумовлених тривалою експлуатацією. Зокрема, густина струму корозії сталей 17Г1С та Х60 зростає в ~ 2,1...2,3 рази після експлуатації, а сталі Х70 у ~ 3,3 рази. Стосовно поляризаційного опору, то його значення для експлуатованих сталей є нижчим у ~ 2,4, ~ 2,3 рази та ~ 3,4 рази порівняно зі сталями у вихідному стані для сталей 17Г1С, Х60 та Х70, відповідно. Отже, найчутливішими електрохімічними характеристиками до експлуатаційної деградації трубних сталей є густина струму корозії та поляризаційний опір i, відповідно, вони можуть слугувати діагностичними критеріями для оцінювання поточного технічного стану матеріалу з урахуванням деградації його властивостей.

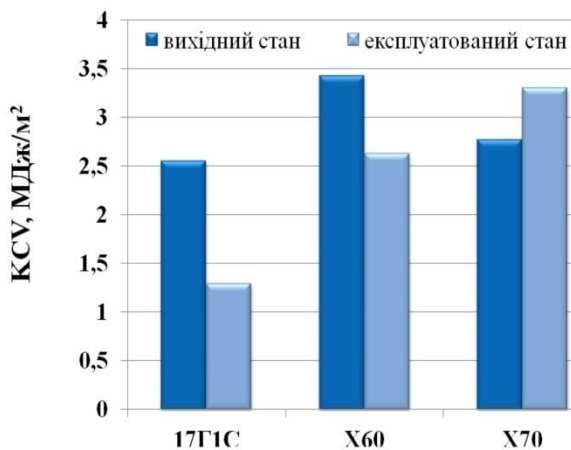


Рис. 1. Ударна в'язкість трубних сталей 17Г1С, X60 та X70 у вихідному та експлуатованому станах (визначена на поздовжніх зразках).

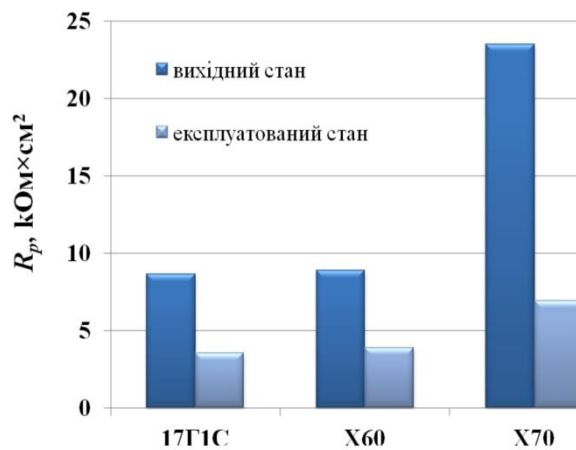


Рис. 2. Поляризаційний опір трубних сталей 17Г1С, X60 та X70 у вихідному та експлуатованому станах при корозії у розчині NS4.

Оскільки для сталей нижчої міцності (17Г1С та X60) тенденція зміни електрохімічних характеристик та опору крихкому руйнуванню (ударної в'язкості) є подібною, то для оцінювання поточного технічного стану цих трубних сталей можна застосувати електрохімічний метод [5], який ґрунтується на кореляційній залежності між електрохімічним відкликом на експлуатаційну зміну стану металу та зміну його механічних властивостей, зумовлену тривалим впливом експлуатаційних чинників упродовж експлуатації. Стосовно ж можливості застосування цього методу до оцінювання експлуатаційної деградації високоміцної сталі X70 необхідно провести додаткові дослідження.

The research has been supported by the NATO in the Science for Peace and Security Programme under the Project G5055.

Список використаної літератури

1. Крижанівський Є.І., Никифорчин Г.М. Корозійно-воднева деградація нафтових і газових трубопроводів та її запобігання // наук.-техн. пос.: у 3-х т. – Т. 3: Деградація газопроводів та її запобігання. – Івано-Франківськ: Івано-Франк. нац. техн. ун-т нафти і газу, 2012. – 432 с.
2. Оценка деградации физико-механических свойств сталей длительно эксплуатируемых магистральных газопроводов / Г. Н. Никифорчин, О. Т. Цирульник, О. И. Звирко и др. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2013. – т. 79, № 9. – С. 48–55.
3. Звирко О. І. Корозійна деградація трубних сталей різної міцності // 6-та Міжнародна науково-технічна конференція “Нафтогазова енергетика 2017”: тези доповідей, 15-19 травня, 2017, м. Івано-Франківськ, Україна. – Івано-Франківськ: підприємець Голіней О. М., 2017. – С. 242.
4. Analysis and mechanical properties characterization of operated gas main elbow with hydrogen assisted large-scale delamination / Н. М. Nykyforchyn, О. І. Zvirko, О. Т. Tsyrunyk, N. V. Kret // Engineering Failure Analysis. 2017 (у друці). <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.07.015>.
5. Nykyforchyn H., Zvirko O. and Tsyrunyk O. Non-destructive diagnostics of hydrogen-induced degradation of pipelines steels by electrochemical method // Book of Abstracts of 14th International Conference on Fracture (ICF 14), June 18-23, 2017, Rhodes, Greece. Ed. E. E. Gdoutos. – 2 p.