

ЗВ'ЯЗОК МІЖ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЮ ПОШКОДЖЕНІСТЮ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ ТА ЇХ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Г. М. Никифорчин

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

Abstract. Long-term operation of structural steels causes an essential decrease of the mechanical properties, especially characteristics of brittle fracture resistance. It is often accompanied by an intensive development of in-bulk material damaging. Special effects of different types of damaging on the mechanical properties are considered in the paper. They can result from the first view even an improving of the certain properties in spite of the general deterioration of the metal state after service. Therefore the special attention should be given for the test procedure for prevention of uncorrected analysis in an evaluation of operated metal state.

Вступ.

Аналіз стану тривало експлуатованого металу інженерних конструкцій є однією з необхідних умов при обґрунтуванні можливості продовження їх залишкового ресурсу [1]. Такий підхід використовують, у першу чергу, для конструкційних матеріалів енергетичного та нафтохімічного обладнання, транспорту, мостів тощо, експлуатація яких триває десятками років і для яких особливо важливе подальше безпечне використання.

Встановлено, що в процесі тривалої експлуатації конструкційних сталей найінтенсивніше погіршуються характеристики опору крихкому руйнуванню [1–8], що небезпечно з огляду неконтрольованого росту тріщин, особливо за дії агресивних корозивно-наводнювальних середовищ. Їх роль двояка, оскільки вони: а) сильніше прискорюють руйнування саме деградованого матеріалу; б) сприяють експлуатаційній деградації матеріалу “в об’ємі”, що пов’язано з його наводнюванням. Останній чинник часто не береться до уваги, зазвичай враховують тільки напруження, спричинені механічним навантаженням конструкцій.

Розглядають різні стадії експлуатаційної деградації металу, серед яких найнебезпечнішою вважають розвиток пошкоджень, який, як відомо, інтенсифікується за дії наводнювальних середовищ. Цей процес відповідним чином впливає і на механічні властивості металу. Мета даної роботи – проаналізувати роль пошкоджень “в об’ємі” конструкційних сталей у формуванні їх поточних механічних властивостей.

Характерні особливості експлуатаційних пошкоджень “в об’ємі матеріалу”.

Слід брати до уваги можливий різний характер пошкоджень, що пов’язано з особливостями мікроструктури матеріалу, умовами механічного навантаження та дією агресивного середовища. Так, на прикладі теплостійких сталей теплоенергетичного обладнання показано (рис. 1а [9]), що експлуатаційна пошкодженість може бути межизеренною, коли цілі конгломерати зерен втрачають зв’язок з матрицею. Такий тип пошкоджень відзначають і для перлітних сталей трубопроводів транспортування вуглеводнів та пов’язують його з переміщенням вільного карбону в напрямі границь зерен і формуванням там нанопрошарків карбідів [10] (рис. 1б). Саме вони слугують межизеренному руйнуванню. Особливість цього механізму деградації металу полягає у потребі незначної кількості карбону, тому процес можливий навіть за повільної його дифузії за кімнатної температури, коли достатнє переміщення карбону на віддаль в ~ 1 мкм за десятки років експлуатації. У розвиток такого механізму можна додати, що у випадку наводнювання металу слід очікувати, що прискориться процес дифузії карбону [11] і, відповідно, утворення зерномежового нанопрошарку карбідів. У цьому випадку водень буде не тільки інтенсифікувати мікроструктурну деградацію металу, але повинен також полегшувати

розшарування між карбідами і матрицею за рахунок рекомбінації на межі фаз з атомарного в молекулярний стан.

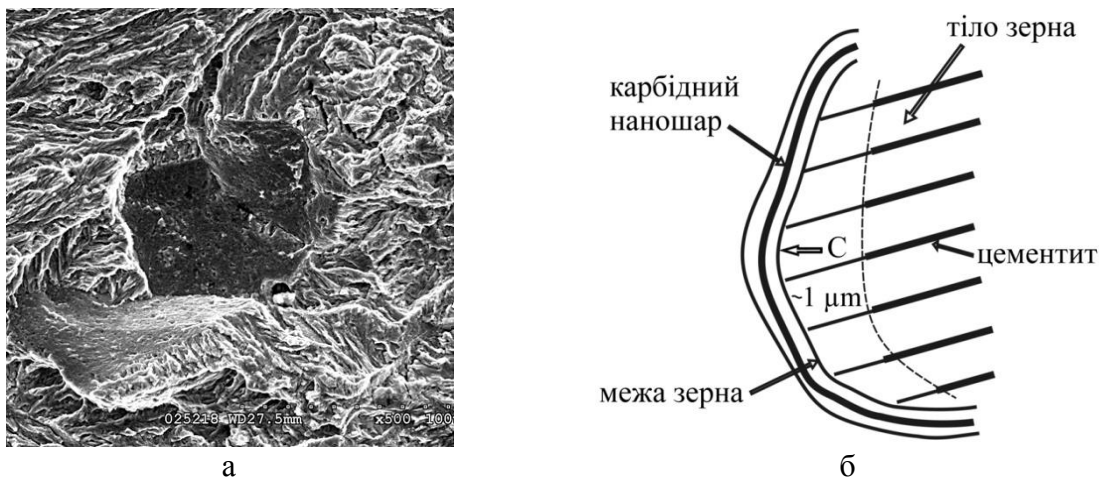


Рис. 1. Приклад експлуатаційної межизеренного пошкодження у сталі 15X1M1Φ (а) та схема утворення зерномежового нанопрошарку карбідів (б).

Стальному металопрокату властиві експлуатаційні пошкодження на межі витягнутих вальцюванням неметалевих включень [12], при цьому визначальна роль рекомбінації водню у молекулярний стан, що створює в дефектах його значні тиски.

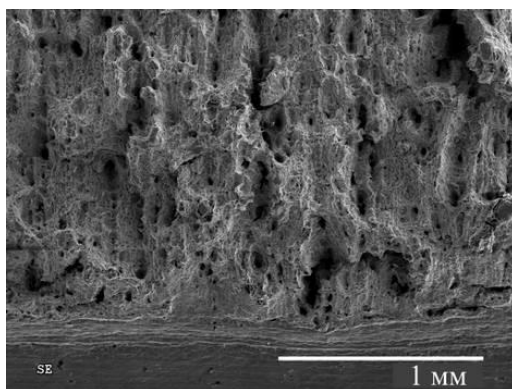


Рис. 2. Поверхня зламу після випробувань зразків Шарпі на ударну в'язкість сталі 17Г1С після 29 років експлуатації на магістральному газопроводі [13].

З прикладу на рис. 2 чітко видно ланцюжки ямкоподібних пошкоджень, які відбивають текстуру металопрокату, з якого виготовлено трубу. Очевидно, що такі округлі пустоти спричинені високим тиском водню.

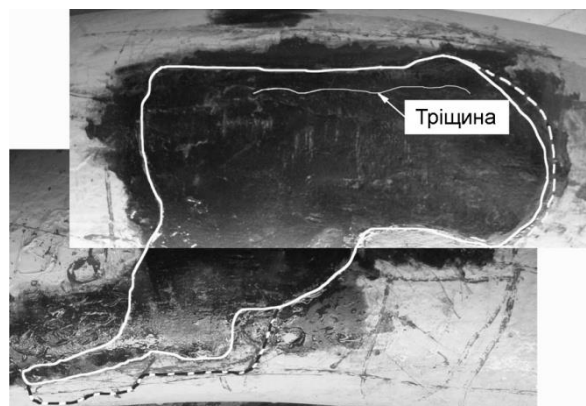


Рис. 3. Маркування експлуатаційного розшарування у коліні труби газопроводу (суцільна лінія) та його поширення у результаті гідроопресування (пунктирна лінія).

Зазначимо, що саме такий механізм розвитку пошкоджень приводить до масштабного розшарування всередині стінки труби газопроводу (рис. 3 [11]). Це особливий випадок, оскільки при аналізі цілісності труби необхідно враховувати і тиск водню всередині такої порожнини. У наведеному прикладі на поверхню труби в зоні розшарування на віддалі ~ 60 мм від його контуру вийшла тріщина довжиною ~ 190 мм. Це означає, що поява такої тріщини пов'язана не з переорієнтацією поширення розшарування в радіальному напрямі, а розривом поверхні над порожниною.

Роль пошкоджень “в об'ємі матеріалу” та закономірності експлуатаційної деградації конструкційних сталей.

Зазначимо низку особливостей впливу пошкоджень на формування поточних механічних властивостей, які можуть призвести до некоректного аналізу стану металу. Перш за все, це певний вклад множинних пошкоджень у видовження зразків під час їх випробувань розтягом для визначення характеристик міцності та пластичності. Це завищує значення відносного видовження і може призвести до помилкового твердження про навіть збільшення пластичності металу внаслідок його експлуатації. Тому слід віддавати перевагу відносному звуженню як характеристиці пластичності. Крім того, запропоновано спеціальну геометрію зразків з концентратором значного заокруглення, роль якого полягає у концентрації деформації при розтягуванні зразків практично в одному його січенні [11].

Для оцінювання конструкційного матеріалу опору крихкому руйнуванню найчастіше використовують випробування на ударну в'язкість зразків Менаже та Шарпі. В першому випадку надріз тупіший, тому доля енергії зародження тріщини значніша. Однак, як показано в працях [14, 15], експлуатаційна деградація сталей проявляється, в першу чергу, у зниженні опору поширенню тріщин, тому слід віддавати перевагу випробуванням зразків Шарпі.

Важливо враховувати напрям вирізання зразків стосовно напрямку вальцювання прокату при визначенні механічних властивостей металу. Зокрема, за інтенсивного розшарування між неметалевими включеннями у вальцьованій трубній сталі випробування повздовжніх зразків на ударну в'язкість можуть не відбивати експлуатаційного зниження опору крихкому руйнуванню. У цьому випадку площа руйнування перетинає поверхню розшарування, що вимагає додаткової енергії. Тому запропоновано спеціальну геометрію зразків (та процедуру їх виготовлення) [16], у яких площа руйнування паралельна площині розшарування. Такі випробування відбивають експлуатаційне ослаблення адгезії між волокнами структури прокату та чітко вказують на зниження опору розшаруванню.

Висновки.

1. Експлуатаційне пошкодження в тривало експлуатованих конструкційних сталях може бути різним як за механізмом руйнування, так і його масштабністю. За дії наводнотривалого середовища процес розвитку пошкоджень прискорюється. Особлива роль відводиться карбону, який мігрує в напрямі дефектів типу границь зерен та утворює там нанопрошарки карбідів. Загалом декогезію між неметалевими фазами і феритом можна вважати універсальним механізмом розвитку пошкоджень як на мікро- так і макрорівні аж до великомасштабних розшарувань.

2. Запропоновано низку методичних рекомендацій щодо врахування особливостей експлуатаційної пошкоженості при оцінюванні поточного стану металу за його механічними властивостями.

Список використаної літератури

1. Технічна діагностика матеріалів і конструкцій: довідн. пос. / Під заг. ред. З. Т. Назарчука. Т. 1: Є. І. Крижанівський, О. П. Осташ, Г. М. Никифорчин, О. З. Студент, П. В. Ясній. Експлуатаційна деградація конструкційних матеріалів. – Львів: Простір-М, 2016. – 360 с.
2. Чувильдеев В. Н. Влияние старения на эксплуатационные свойства сталей магистральных газопроводов // Проблемы старения сталей магистральных

- трубопроводов: сб. трудов науч.-практ. семинара. Под общ. ред. Б. В. Будзуляка, А. Д. Седых. – Нижний Новгород: Университетская книга, 2006. – С. 18–67.
3. Механіка руйнування та міцність матеріалів: Довідн. пос. / Під заг. ред. В. В. Панасюка. Т. 11: Міцність і довговічність нафтогазових трубопроводів і резервуарів / Г. М. Никифорчин, С. Г. Поляков, В. А. Черватюк та ін. Під ред. Г. М. Никифорчина – Львів: Сполом, 2009. – 504 с.
 4. Крижанівський Є. І., Никифорчин Г. М. Корозійно-воднева деградація нафтових і газових трубопроводів та її запобігання: Наук.-техн. пос. у 3-х т. / Під ред. В. В. Панасюка. – Івано-Франківськ: Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу: Т. 1: Основи оцінювання деградації трубопроводів. – 2011. – 457 с.; Т. 2: Деградація нафтопроводів та резервуарів і її запобігання. – 2011. – 447 с.; Т. 3: Деградація газопроводів та її запобігання. – 2012. – 432 с.
 5. Красовський А. Я., Лохман І. В., Ориняк І. В. Оцінка залишкового ресурсу трубопроводу, ушкодженого стрес-корозією // Трубопровідний транспорт. – 2012. – № 2. – С. 18–21.
 6. Масштабные урони деформации и разрушения теплостойких сталей / П. О. Марущак, С. В. Панин, А. З. Студент, Б. Б. Овечкин / Отв. ред. Пичугин В. Ф. – Томск: Из-во национального исследовательского Томского политехнического университета, 2013. – 236 с.
 7. Пустовой В., Рещенко І., Звірко О. Електрохімічний метод контролю експлуатаційної деградації механічних властивостей сталей морських порталних кранів // Вісник ТНТУ – Тернопіль: ТНТУ, 2015. – Том 77. – № 1. – С. 79–87.
 8. Corrosion degradation of old structures steels / О. І. Zvirko, Н. М. Nykyforchyn, М. Szata, А. Kutnyi, G. Lesiuk // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2014. – Спец. вип. № 10, Т. 1. – С. 29–33.
 9. Оцінювання впливу зупинок технологічного процесу на зміну технічного стану металу головних парогонів ТЕС / Г. М. Никифорчин, О. З. Студент, Г. В. Кречковська, А. Д. Марков // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2010. – № 2. – С. 42–54.
 10. Нечаев Ю.С. Физические комплексные проблемы старения, охрупчивания и разрушения металлических материалов водородной энергетики и магистральных газопроводов // Успехи физических наук. – 2008. – № 7. – С. 709–726.
 11. Похмурський В. І., Федоров В. В. Вплив водню на дифузійні процеси в металах. – Львів: ФМІ НАНУ, 1998. – 208 с.
 12. Діагностика водневого макророзшарування в стінці гину труби системи магістральних газопроводів / Л. Є. Харченко, О. Є. Кунта, О. І. Звірко, Р. С. Савула, З. А. Дурягіна // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2015. – № 4. – С. 84–90.
 13. Греділь М. І. Експлуатаційна деградація сталей магістральних газопроводів // Металлофізика и новейшие технологии. – 2008. – Т. 30, спец. вып. – С. 397–406.
 14. Effect of in-service degradation of trunk gas pipeline steel on its “in-bulk” properties / G. Gabetta, Н. М. Nykyforchyn, E. Lunarska, P. P. Zonta, O. T. Tsyurulnyk, M. I. Hredil, D. Yu. Petryna, T. Vuherer // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2008. – № 1. – С. 88–99.
 15. Кречковська Г. В., Студент О. З. Оцінювання деградації сталей парогонів за ударною в'язкістю на зразках з різною геометрією надрізу // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2016. – № 4. – С. 106–110.
 16. Analysis and mechanical properties characterization of operated gas main elbow with hydrogen assisted large-scale delamination / Н. Nykyforchyn, О. Tsyurulnyk, О. Zvirko, N. Kret // Engineering Failure Analysis. – 2017 (in Press). doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.07.015.