

Звірко О. І.
Греділь М. І.
Никифорчин Г. М.
Студент О. З.
Цирульник О. Т.
Кречковська Г. В.

ВПЛИВ ВОДНЮ НА РОЗВИТОК ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПОШКОДЖЕНОСТІ ТРУБОПРОВІДНОЇ СТАЛІ

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

Анотація.

Тривала експлуатація може спричинити високу чутливість до дії водню навіть низькоміцних сталей. Причина у розвитку розсіяної в об'ємі металу пошкодженості формуванням пор під дією деформації, спричиненої високим тиском рекомбінованого в них водню. Звідси експлуатаційна пошкодженість воднево-деформаційного характеру поширює діапазон міцності сталей у бік низькоміцних, за якого можуть реалізовуватися механізми водневої крихкості.

Ключові слова: трубна сталь, міцність, водень, механізм розвитку пошкодженості.

Найнебезпечнішим механізмом експлуатаційної деградації конструкційних сталей вважають розвиток в них розсіяної пошкодженості [1]. Ця проблема стосується і трубних сталей нафтогазового комплексу України [2]. У даній праці на прикладі експлуатованої 29 років на магістральному газогоні низькоміцної ферит-перлітної сталі 17Г1С встановили характерні ознаки механізму впливу водню на розвиток експлуатаційної пошкодженості. Порівнювали сталь у вихідному стані та після експлуатації. Широко використано мікрофрактографічний аналіз.

Оскільки труби виготовляють з листового прокату, це створює на мікрорівні особливо сприятливі передумови для експлуатаційної пошкодженості сталей вздовж меж між матрицею і витягнутими в напрямі вальцювання неметалевими включеннями. Запропонована стабільність розвитку пошкодженості. Спочатку відбувається декогезія на окремих нанорозмірних ділянках міжфазних меж між ними. Утворені нанодефекти слугують ефективними пастками водню, рекомбінація якого до молекулярного стану сприяє досягненню у них високого тиску газоподібного водню. В результаті їх коалесценції та росту вздовж міжфазних меж порушується когезія включень з матрицею вже на мікрорівні аж до їх повного відшарування.

Таким чином, роль водню в процесі розвитку пошкодженості виявилась двоякою. З одного боку, водень полегшує відшарування включень від матриці з утворенням великих пор з неметалевими включеннями всередині них. А з іншого, акумульований в цих порах водень сприяє їх деформаційному росту внаслідок зростання його тиску в часі тривалої експлуатації сталі. Однак деструктивна роль включень на цьому не завершується, оскільки вони істотно зменшують об'єм порожнин, в яких накопичується водень. Цим вони відчутно зменшують кількість водню, потрібну для досягнення в них високого тиску.

Механізм формування водневих пор має деформаційну природу, тому ефективніше реалізується в сталях з вищою здатністю до пластичного деформування. За наявності таких дефектів, які створюють концентрацію напружень та посилюють наводнювання металу в їх околі, виникають сприятливі передумови для класичного водневого розтріскування, пов'язаного зі зниженням когезивної міцності. Очевидно, що ці два механізми можуть реалізовуватися не лише одночасно і посилювати один одного, але і супроводжувати корозійно-механічне руйнування сталей з низьким опором крихкому руйнуванню. Звідси експлуатаційна пошкодженість воднево-деформаційного характеру розширює діапазон міцності сталей на низькоміцніші, які стають схильними до водневої крихкості, хоча у вихідному стані не виявляли такої схильності. Так, попри здатність до інтенсивного

наводнювання низькоміцні трубопровідні сталі з ферит-перлітною структурою у вихідному стані практично не схильні до корозійного розтріскування. Однак після тривалої експлуатації вони набувають такої схильності [3], що повинно враховуватися під час оцінювання їх роботоздатності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zvirko O. I. In-Service Degradation of Structural Steels (A Survey), *Materials Science*, 2021. V. 57, No. 3. P. 319–330.
2. Nykyforchyn H., Tsyurulnyk O., Zvirko O., Kret N., Analysis and mechanical properties characterization of operated gas main elbow with hydrogen assisted large-scale delamination, *Engineering Failure Analysis*, 2017. V. 82. P. 364–377.
3. Zvirko O., Gabetta G., Tsyurulnyk O., Kret N. Assessment of in-service degradation of gas pipeline steel taking into account susceptibility to stress corrosion cracking. *Procedia Structural Integrity*. 2019. Vol. 16. P. 121–125.

Звірко Ольга Іванівна – доктор технічних наук, професор, завідувач відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів; olha.zvirko@gmail.com.

Греділь Мирослава Іванівна – кандидат технічних наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів; mysya.lviv@gmail.com.

Никифорчин Григорій Миколайович – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів; hnykyforchyn@gmail.com.

Студент Олександра Зиновіївна – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів; student@ipm.lviv.ua.

Цирульник Олександр Тимофійович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів; otsyurulnyk@gmail.com.

Кречковська Галина Василівна – доктор технічних наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів; krechkovskahalyna@gmail.com.

INFLUENCE OF HYDROGEN ON THE DEVELOPMENT OF OPERATIONAL DAMAGES IN PIPELINE STEEL

Abstract.

Long-term operation can cause a high susceptibility to the action of hydrogen, even for low-strength steels. The reason is the development of dissipated damages in the metal in-bulk due to the formation of pores under the action of deformation caused by the high pressure of hydrogen recombined in them. Hence, operational damaging of steels due to hydrogen-related deformation extends the strength range of steels, in which hydrogen embrittlement mechanisms can be realized, towards low-strength ones.

Key words: pipeline steel, strength, hydrogen, mechanism of damage development.

Olha Zvirko – D.Sc., Professor, Head of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv; olha.zvirko@gmail.com.

Myroslava Hredil – Ph.D, Senior Research Fellow, Senior Researcher of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv; mysya.lviv@gmail.com.

Hryhoriy Nykyforchyn – D.Sc., Professor, Leading Researcher of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv; hnykyforchyn@gmail.com.

Oleksandra Student – D.Sc., Professor, Leading Researcher of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv; student@ipm.lviv.ua.

Oleksandr Tsyurulnyk – D.Sc., Senior Research Fellow, Leading Researcher of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv; otsyurulnyk@gmail.com.

Halyna Krechkovska – D.Sc., Senior Research Fellow, Leading Researcher of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv; krechkovskahalyna@gmail.com.