

ВПЛИВ ОРІЄНТАЦІЇ НАДРІЗУ ЗРАЗКІВ НА УДАРНУ В'ЯЗКІСТЬ ТРУБОПРОВІДНОЇ СТАЛІ З УРАХУВАННЯМ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

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

Анотація.

Проаналізовано експлуатаційну зміну ударної в'язкості феритно-перлітної сталі API 5L X67 з урахуванням впливу орієнтації надрізу в зразках відносно напрямку вальцювання. Встановлено вищу ударну в'язкість сталі за використання зразків із надрізом, орієнтованим у радіальному напрямі. Найбільшу чутливість KCV до експлуатаційної деградації зафіксовано за випробувань поперечних зразків з концентратором в осьовому напрямі. Макрофрактографічний аналіз виявив характерне низькоенергоємне розшарування вздовж напрямку вальцювання.

Ключові слова: мікроструктура, сталь, експлуатація, опір крихкому руйнуванню, орієнтація надрізу, фрактографічний аналіз.

Перепрофілювання магістральних газопроводів для транспортування водню є важливою проблемою для розвитку водневої енергетики як в Україні, так і у світі [1, 2]. Для оцінювання їх роботоздатності за транспортування водню необхідно враховувати поточний опір крихкому руйнуванню сталей з урахуванням їх тривалої експлуатації та старіння [3], оскільки він є визначальною характеристикою. Трубопровідним сталям властива анізотропія, зокрема, і ударної в'язкості, спричинена багатьма чинниками (кристаліграфічна текстура, неметалеві включення, тощо) [4, 5]. Анізотропія вальцьованих сталей проявляється не тільки за використання зразків різної орієнтації щодо напрямку вальцювання, але її слід також очікувати і за різної орієнтації шляху поширення руйнування, тобто надрізу.

У даній праці дослідили вплив орієнтації концентратора напружень зразків Шарпі стосовно напрямку вальцювання на опір крихкому руйнуванню феритно-перлітної сталі API 5L X67 з урахуванням її експлуатаційної деградації. Порівняли два стани сталі: вихідний – труба запасу (границі плинності $\sigma_{0,2} = 482$ МПа та міцності $\sigma_B = 577$ МПа, відносні видовження $\delta = 23,1\%$ та звуження $\psi = 73\%$) та експлуатований на магістральному газопроводі впродовж 34 років ($\sigma_{0,2} = 510$ МПа, $\sigma_B = 576$ МПа, $\delta = 22,0\%$, $\psi = 71\%$), характеристики визначені з використанням поперечних зразків. Експлуатованій сталі властива дещо вища міцність за показником границі плинності, що супроводжувалося зниженням пластичності металу. Незначне підвищення рівня $\sigma_{0,2}$ за незмінної границі міцності для експлуатованої сталі зумовлене, очевидно, експлуатаційною деградацією. Ударну в'язкість KCV зразків Шарпі визначали з використанням поперечних та поздовжніх до напрямку вальцювання зразків з урахуванням вихідного та експлуатованого станів сталі, порівнюючи значення KCV сталі за орієнтації надрізу «збоку» та «зверху».

Отримано нижчі значення ударної в'язкості сталі за випроб поперечних зразків, порівняно із поздовжніми і для вихідного стану, і для експлуатованого (рис. 1). Найвищий ступінь анізотропії ударної в'язкості зафіксували для експлуатованого металу у випадку, коли руйнування поширюється у напрямі вальцювання. Таку поведінку металу пов'язали зі структурно-металургійним чинником та розвитком експлуатаційної мікропошкоженості.

Найвищі значення опору крихкому руйнуванню для сталі в обох станах виявили за випробувань зразків з надрізом орієнтованим у радіальному напрямі (рис. 1). Зокрема, для поперечних зразків експлуатованої сталі ударна в'язкість удвічі нижча, коли руйнування поширюється у поздовжньому напрямі, ніж у радіальному. Для експлуатованого металу ударна в'язкість сталі нижча за всіх умов випроб, водночас найвищу чутливість до експлуатаційної деградації виявили за використання поперечних зразків.

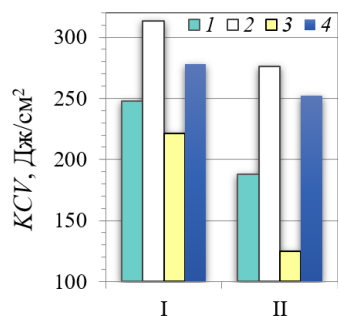


Рис. 1. Ударна в'язкість зразків сталі API 5L X67 у вихідному (I) та експлуатованому (II) станах з використанням поздовжніх (1, 2) та поперечних (3, 4) зразків за орієнтації надрізу «збоку» (1, 3) та «зверху» (2, 4).

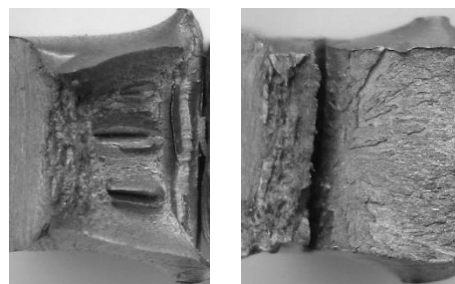


Рис. 2. Злами поперечних зразків сталі API 5L X67 у вихідному стані за орієнтації надрізу «збоку» (а) та «зверху» (б).

Макрофрактографічний аналіз зразків з надрізом у радіальному напрямі виявив переважно плоский злом у головній площині руйнування незалежно від стану сталі. Водночас на поперечних зразках (рис. 2) спостерігали також глибокі бокові тріщини (рис. 2б). На зразках з концентратором «збоку» у головній площині злomu зафіксували розшарування (рис. 2а), що типово для вальцьованих сталей [4].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A review of challenges with using the natural gas system for hydrogen / P. Martin, I. B. Ocko, S. Esquivel-Elizondo, et al. // Energy Sci. Eng. 2024. 12, № 10. P. 3995–4009.
2. Pipeline durability and integrity issues at hydrogen transport via natural gas distribution network / H. Nykyforchyn, L. Unigovskyi, O. Zvirko, et al. // Procedia Struct. Integr. 2021. 33(C). P. 646–651.
3. Zvirko O. I. In-service degradation of structural steels (A survey), Materials Science, 2021. V. 57, No. 3. P. 319–330.
4. Joo M.S., Suh D.W., Bhadeshia H.K.D.H. Mechanical anisotropy in steels for pipelines // ISIJ inter-national. 2013. 53, № 8. P. 1305–1314.
5. Nykyforchyn H., Tsyrunyk O., Zvirko O., Kret N., Analysis and mechanical properties characterization of operated gas main elbow with hydrogen assisted large-scale delamination, Eng. Fail. Anal. 2017. V. 82. P. 364–377.

Демянчук Дмитро Олександрович – аспірант відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів; dima.dem.fl@gmail.com.

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

INFLUENCE OF THE ORIENTATION OF THE SPECIMEN NOTCH ON THE IMPACT TOUGHNESS OF PIPELINE STEEL TAKING INTO ACCOUNT THE OPERATIONAL CONDITIONS

Abstract.

The operational change in the impact toughness of ferritic-pearlitic steel API 5L X67 was analyzed taking into account the influence of the orientation of the notch in the samples relative to the rolling direction. The higher impact toughness of the steel was established when using samples with a notch oriented in the radial direction. The greatest sensitivity of KCV to operational degradation was recorded during tests of transverse samples with a concentrator in the axial direction. Macrofractographic analysis revealed a characteristic low-energy delamination along the rolling direction..

Key words: microstructure, steel, operation, brittle fracture resistance, notch orientation, fractographic analysis.

Dmytro Demianchuk – Ph.D. Student of Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv; dima.dem.fl@gmail.com.

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