

УДК 624.131.7

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАВОДНЮВАННЯ І ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ТРИЩИНОСТІЙКІСТЬ І СПРОТИВ КОРОЗІЙНОМУ РУЙНУВАННЮ ТРУБНИХ СТАЛЕЙ ПІДЗЕМНОЇ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Валерій Макаренко,

д-р техн. наук, професор кафедри технології
будівельних конструкцій і виробів, професор,

Оксана Бердник,

канд. техн. наук, доцент кафедри технології
будівельних конструкцій і виробів, доцент,

Алла Майстренко,

канд. техн. наук, доцент кафедри технології
будівельних конструкцій і виробів, доцент

Наталія Амеліна,

канд. техн. наук, доцент кафедри технології
будівельних конструкцій і виробів, доцент

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

Згідно проведеним дослідженням і інформації з чисельних літературних джерел, надійність трубних конструкцій підземних систем водопостачання визначається багатьма факторами чи їх сполученнями. Однак, слід наголосити, в першу чергу, на ті фактори, які суттєво провокують розвиток корозійних руйнувань.

До 74% аварій трубопроводів водопостачання спричиняють корозійні процеси. Ліквідація наслідків аварій трубопроводів приводить до значних трудових і матеріальних витрат. Практика будівництва трубопровідних конструкцій показує, що в нашій країні переважає відкритий спосіб зведення водоводів, в той час як в передовій зарубіжній практиці 95% усіх робіт, пов'язаних з прокладкою підземних комунікацій, проводиться безтраншейним способом. Розробка технологічних і організаційних робіт, які дозволяють підвищити довговічність підземних конструкцій водопостачання та тунельних колекторів і споруджень з них, а значить забезпечити безаварійність їх експлуатації, подовжити міжремонтні періоди – важлива умова підвищення експлуатації систем водопостачання.

Враховуючи вищевикладене і в зв'язку з хімічно-біологічною агресивністю транспортуючих середовищ, була прийнята спроба системного і комплексного дослідження корозійно-механічної стійкості конструкційних сталей різних марок з метою визначення можливості застосування їх для зведення підземних систем водопостачання. Особливу увагу присвячено дослідженню впливу економного модифікування таких сталей мікродомішками ванадію, ніобію, церію, молібдену на корозійно-механічну стійкість та тривалу втомленість (міцність) металу.

Мета дослідження. Експериментальні дослідження впливу наводнювання металу і терміну експлуатації підземних водоводів на корозійно-механічну стійкість і тривалу втомленість трубних сталей та пошук шляхів підвищення їх робочого (експлуатаційного) ресурсу.

В якості матеріалів використовували дослідні сталі економно модифіковані ніобієм, церієм, ванадієм, молібденом, хромом, азотом, зокрема 06Г2БА, 08ХМЧА, а також промислові сталі 09Г2С, 17Г1С, ВСт3сп, 10 і 20. Механічні випробування проводили на установці моделі «1251» фірми «Інстрон» (Великобританія). З урахуванням того, що сірка і кисень спричиняють сульфідне розтріскування труб, які експлуатуються в агресивному середовищі, проводили додаткове дослідження зразків на сульфідне розтріскування за методикою відповідно стандарту NACE TM -01-77. В якості модельного середовища служив насичений сірко-водневий розчин в складі 5% NaCl і 0,5% оцтової кислоти. При цьому вміст H_2S складав 50г/л. Початкове значення рН дорівнювало 3,8, кінцеве – 4,1. Визначення вмісту водню в зразках трубних сталей визначали методом вакуум-плавки на установці «Гереус» (Німеччина). На рис. 1. наведені графіки залежності вмісту водню в трубних сталях від їх терміну експлуатації. Видно, що особливо різко наводнювання відбувається після 15-20 років експлуатації трубних конструкцій. Причому, найбільш стійкою проти наводнювання виявилися економно модифіковані ніобієм і церієм сталі 06Г2БА і 08ХМЧА. Матеріалом труб служила сталь 06Г2БА і 08ХМЧА. Також з графіків видно, що одночасно з наводнюванням зростає мікротвердість H_{μ} приблизно в 1,5-2 рази. Аналогічні результати наведені на рис. 2, де показані графіки залежності вмісту водню [H] від терміну експлуатації труб водопостачання колекторів τ (в роках).

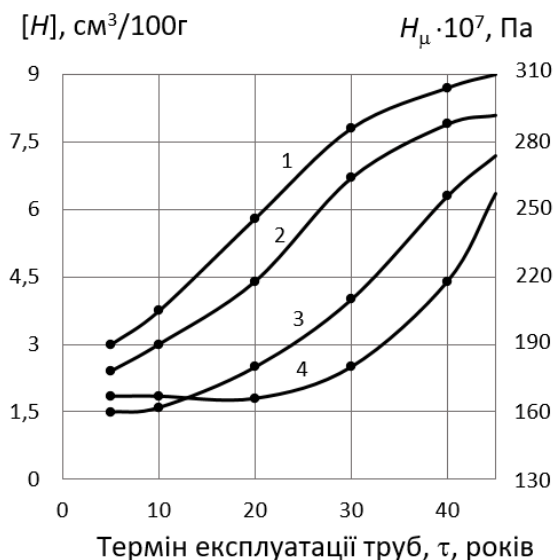


Рис. 1. Залежність вмісту водню H і мікротвердості по Роквеллу трубних сталей від терміну експлуатації підземної системи водопостачання.
Позначення: 1 – сталь 10; 2 – сталь 20; 3 – 08ХМЧА; 4 – 06Г2БА

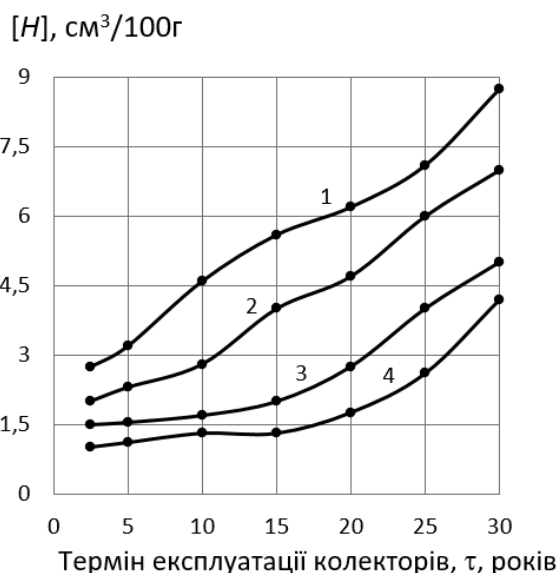


Рис. 2. Залежність вмісту водню в трубах підземного водопостачання від терміну експлуатації сталей: 1 – сталь 10; 2 – сталь 20; 3 – 08ХМЧА; 4 – 06Г2БА

Видно з рис. 2, що до найбільшого наводнювання схильні труби із сталі марки 10, потім 20. В той же час стійкі до наводнювання виявилися трубні сталі економно модифіковані, зокрема 06Г2БА і 08ХМЧА. Це можна пояснити, на нашу думку, тим, що сталі 06Г2БА і 08ХМЧА характеризуються дрібнозернистою, дуже ущільненою структурою, яка, в свою чергу, містить невелику кількість неметалевих включень і шкідливих газів (кисню, сірки та ін.), що знижує коефіцієнт дифузії водню в сталях. Як відомо, водень розчинюється в між вузлах кристалічної решітки. В залежності від типу кристалічної решітки змінюється рухомість атомів водню, зокрема модифіковані сталі церієм, хромом, ванадієм, молібденом, ніобієм в присутності нітридів різко знижують рухомість водню (коефіцієнт дифузії) D_H знижується до величини $D_H = 5 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2 / \text{с}$ (сталь 08ХМЧА), а для сталі марки 10 $D_H = 4 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2 / \text{с}$. Слід зауважити, що деякі модифіковані добавки, наприклад церій, мають велику хімічну спорідненість до водню, утворюючи хімічно міцні сполуки, що сприяє уповільненню дифузії водню в структурі трубних сталей.

На рис. 3 представлені графіки, які характеризують залежність роботи руйнування (A_p) від терміну випробувань зразків підземних трубопроводів з термінами експлуатації приблизно 10 років і при вмісті водню в трубних сталях в середньому $60 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$ з попереднім напруженням від $0.3 \cdot \sigma_T$ до $0.9 \cdot \sigma_T$. Видно суттєвий вплив попереднього напруження зразків на величину енергії руйнування, зокрема чим більші значення напружень на зразок, тим потрібна невелика енергія для їх руйнування.

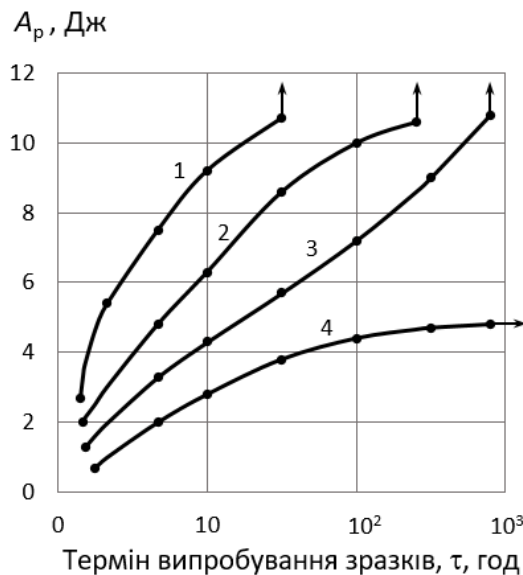


Рис. 3. Залежність роботи руйнування A_p (Дж) від терміну випробувань зразків сталей трубопроводів водопостачання, експлуатованих 10 років, при вмісті водню $60 \text{ см}^3/100\text{г}$ і попередньо напружених:

1 – $0.9\sigma_T$; 2 – $0.6 \sigma_T$; 3 – $0.3 \sigma_T$; 4 – не напружені. Сталь 06Г2БА.

Позначення: \uparrow – зразки зруйнувалися; \rightarrow – зразки зняти без руйнування

Висновки. Уперше проведені системні дослідження впливу водню і терміну експлуатації на параметри тріщиностійкості металу K_{IC} і H_m , що дозволило визначити марки сталей, які характеризуються високим спротивом проти утворення і розповсюдження тріщин, зокрема економно модифіковані ніобієм і молібденом і церієм дослідні сталі марок 06Г2БА і 08ХМЧА.

Спеціальними дослідженнями встановлена схильність до сульфідного корозійного руйнування під напруженням зразків трубних сталей в залежності від терміну випробувань згідно вимог Міжнародної асоціації корозійників NACE. Найбільш корозійностійкими в сульфідному середовищі NACE виявилися економно модифіковані сталі 06Г2БА і 08ХМЧА, які рекомендуються використовувати для будівництва відповідальних конструкцій типу трубопроводів.

Список використаних джерел:

1. Макаренко В. Д., Гоц В. І., Савенко В. І., Владимиров О. В., Макаренко Ю. В. Експериментальні дослідження кінетики росту тріщин та несучої здатності трубних сталей підземних систем водовідведення. *Опір матеріалів і теорія споруд*. 2023. Вип. №110. С. 469–482.

2. Макаренко Ю. В., Савенко В. І., Горлач О. М., Задорожнікова О. В., Чигиринець О. Е., Победа С. С. Дослідження кінетики росту тріщин під дією статичних і динамічних навантажень трубних сталей в корозійно-агресивному середовищі NACE. *Опір матеріалів і теорія споруд*. 2023. Вип. №110. С. 520–532.