

УДК621.791.01.669

DOI: 10.18372/0370-2197.1(82).13488

*Ю. Л. ВИННИКОВ, В. Д. МАКАРЕНКО, І. А. КРАВЕЦЬ, І. С. МИНЕНКО**Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава*

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ЗНИЖЕННЯ МІЦНОСТІ ТРУБОПРОВОДІВ ТЕЦ

В статті на базі механічних, металографічних і рентгеноспектральних досліджень встановлена причина аварійних руйнувань трубопроводів ТЕЦ. Показано, що корозійні ураження метала трубопроводів супроводжуються його активним наводнюванням і окрихченням, в наслідок чого знижуються пластичні властивості і стійкість матеріалу проти корозійно-механічного руйнування трубопроводів, особливо після 3-5 років експлуатації. Металографічними дослідженнями встановлено, що поверхня трубопроводів вражена корозійними виразками, характерними для продуктів корозійного впливу хімічно-активного технологічного середовища, яке перекачується трубопроводами.

Ключові слова: *трубопровід; міцність; корозія; виразки; наводнювання; тріщиностійкість*

Вступ і постановка проблеми. Надійність і економічність роботи ТЕЦ промислових підприємств залежить від раціонального вибору матеріалів і якості монтажних робіт при будівництві трубопроводів, які являються основним елементом теплоенергетичної системи виробництва [9-11]. Правильний вибір трубних сталей і розмірів трубопроводів (ТП) та ізолюючих матеріалів забезпечує економічність транспортування пара і гарячої води з допустимими втратами тиску і температури.

Відомо [2-4; 9-11], що вибір матеріалів для трубопроводів ТЕЦ бурякоцукрового виробництва проводиться відповідно Правил і норм котлонадзора України (ПНКУ). Згідно вимог ПНКУ, трубопровід, розрахований на умовний тиск $P_{\text{умов}} = 64$ атм, можна використовувати при температурі перекачуючого середовища (водяного пара) 450-475°C і найбільшого робочого тиску 50 атм [10-11].

Надійність трубопроводів ТЕЦ, в значній мірі, залежить від корозійно-механічних властивостей трубних сталей, але існуючі до цих пір науково-технічні і технологічні розробки щодо підвищення експлуатаційної надійності і довговічності трубопроводів виявляють протиріччя і невизначеність як у дослідників, так і експлуатаційників, відсутність чіткої уяви про причини і чинники, визиваючи відмови і руйнування ТП, а також науково обґрунтованих практичних рекомендацій стосовно оптимального вибору трубних сталей, експлуатуючих в умовах хімічно-агресивних середовищ при змінних температурно-баричних режимах бурякоцукрового виробництва [1-8; 12-14]. Це, в свою чергу, не дає можливості розробити ефективні організаційно-технічні заходи щодо попередження відмов і аварійних руйнувань трубопроводів, які можуть привести до важких технологічних і економіко-екологічних наслідків. У зв'язку з цим виникла необхідність у вивченні причин корозійних уражень стінок ТП, що слугуватиме основою для розробки технологічних і експлуатаційних заходів з підвищення корозійно-механічної стійкості трубних сталей трубопроводів ТЕЦ бурякоцукрових підприємств.

Мета досліджень – вивчення причин корозійно-механічних руйнувань трубопроводів ТЕЦ бурякоцукрових підприємств.

Методика досліджень. Об'єктом досліджень служили фрагменти труб, вирізані в процесі вимушеного чи планового ремонту із аварійних трубопроводів з різними термінами експлуатації: від 0 (аварійний запас) до 20 років. В дослідженнях використовували зразки трубопроводів, виготовлених із сталей марок 20, К15, 06Х1 і 09Г2С. Діаметр труб – 200мм, товщина стінки – 10мм. Зразки пошкодженого металу трубопроводів досліджували з використанням растрового електронного мікроскопа JSM-35CF (фірма «Джеол», Японія). Вміст водню і характер розподілу його в металі труб вивчали методом локального мас-спектрального аналізу з лазерним мікрозондом.

Зміну рівня напружень сталей труб з різним терміном експлуатації визначали на стандартних циліндричних зразках діаметром 5мм, які були вирізані із заготовок цих сталей, і піддавалися одноосному розтягуванню типу МИ-12 [6]. Механічні випробування виконували на універсальній розривній машині «Ін-строн-1251» (Великобританія) із швидкістю деформування 5мм/хв при постійній температурі 22°C. За результатами експериментальних випробувань для кожного зразка визначали межу текучості – параметр $\sigma_{0.2}$ [2; 3].

Концентраційний розподіл елементів на окремих ділянках корозійних вражень стінок труб вивчали з допомогою вторинної іонної мас-спектрометрії (установка «LAS-2000» з приладом MS-156) [5,6].

Мікротвердість визначали відповідно ГОСТ 9450-80 з використанням алмазної піраміди разом з металографічним мікроскопом. Зразки для вимірювань твердості готували подібним чином, як макрошліфи [6].

Результати досліджень. Результати вимірювань вмісту водню і характер його розподілу в сталях 20, К15 і 06Х1 представлені на рис. 1-3. На рис. 4 показаний характер розподілу мікротвердості металу труб із сталі 20 з різним терміном експлуатації. На рис. 5 показаний також розподіл водню і мікротвердості о перерізу труб із сталі 10Г з різним терміном експлуатації.

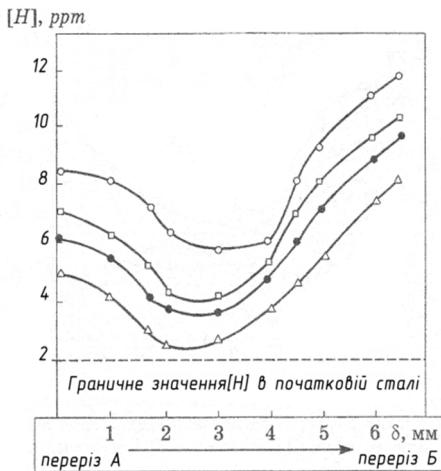


Рис. 1. Діаграми розподілу водню по перерізу стінки трубопроводів ТЕЦ (сталь 20) з різним терміном експлуатації (в роках): Δ – 5; \bullet – 10; \square – 15; \circ – 20.

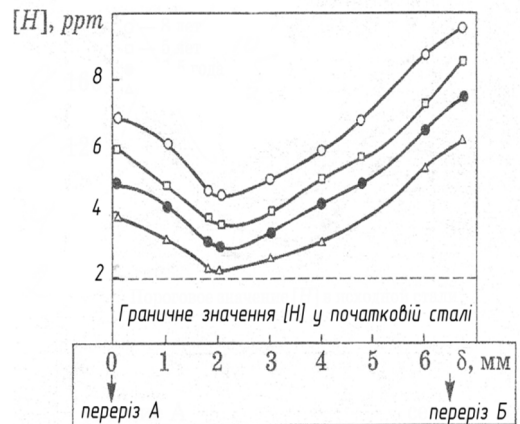


Рис. 2. Діаграми розподілу водню по перерізу стінки трубопроводів ТЕЦ (сталь К15) з різним терміном експлуатації (в роках): Δ – 5; \bullet – 10; \square – 15; \circ – 20.

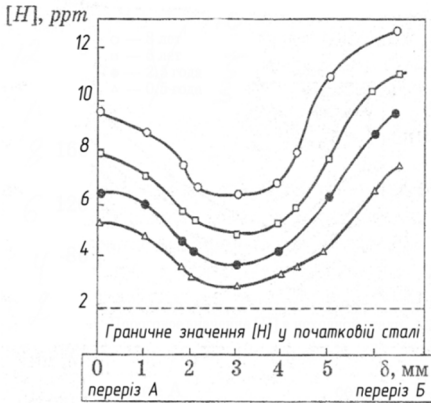


Рис. 3. Діаграми розподілу водню по перерізу стінки трубопроводів ТЕЦ (сталь 06X1) з різним терміном експлуатації (в роках): Δ – 5; \bullet – 10; \square – 15; \circ – 20.

$H_{\mu} \cdot 10^7, \text{Па}$

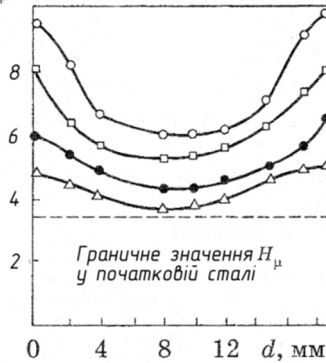


Рис. 5. Діаграми розподілу мікротвердості і водню по перерізу стінки трубопроводів ТЕЦ (сталь 10Г) з різним терміном експлуатації (в роках): Δ – 5; \bullet – 10; \square – 15; \circ – 20.

Із даних рис.1-5 видно, що в процесі довготривалої експлуатації трубопроводів ТЕЦ відбувається сильне наводнювання металу, що приводить до його окрихчення (підвищення твердості) і зниження пластичних властивостей, що підтверджується результатами, приведеними на рис.6.

Так, із даних, приведених на рис.1-3, 5, видно, що особливо наводнюванню піддаються зовнішні і внутрішні поверхневі шари металу труб, приблизно на глибину 2-3мм, причому більше по значенню і глибше наводнюється поверхня трубопроводів із зовнішньої сторони, не дивлячись на гідро- і теплоізоляцію. Слід звернути увагу на те, що наводнювання збільшується на трубопроводах з ростом терміну експлуатації, причому така тенденція характерна для всіх досліджуваних сталей труб.

На прикладі сталей 20 (рис. 4) і 10Г (рис. 5) можна засвідчити, що наводнювання поверхневих шарів стінок труб приводить до різкого (1,3-1,5 раза) підвищення твердості і, як наслідок, окрихчення матеріала, що значно знижує опір матеріала проти зародження і розповсюдження мікротріщин, так як значно (в 1,5-2,2 раза) знижуються пластичні властивості трубопроводів.

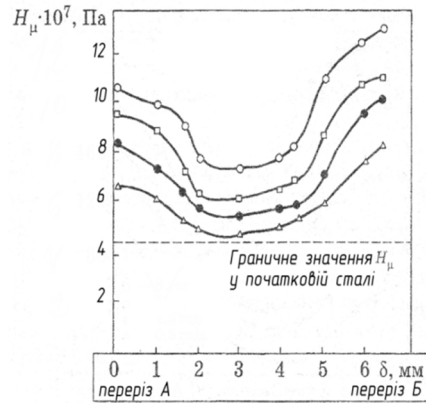
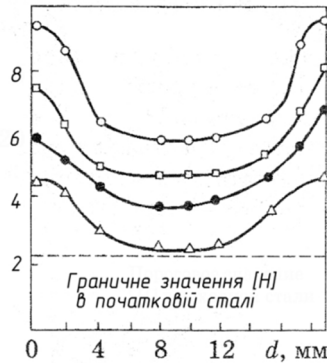


Рис. 4. Діаграми розподілу мікротвердості по перерізу стінки трубопровода ТЕЦ (сталь 20) з різними термінами експлуатації (в роках): Δ – 5; \bullet – 10; \square – 15; \circ – 20.

$[H], \text{prpt}$



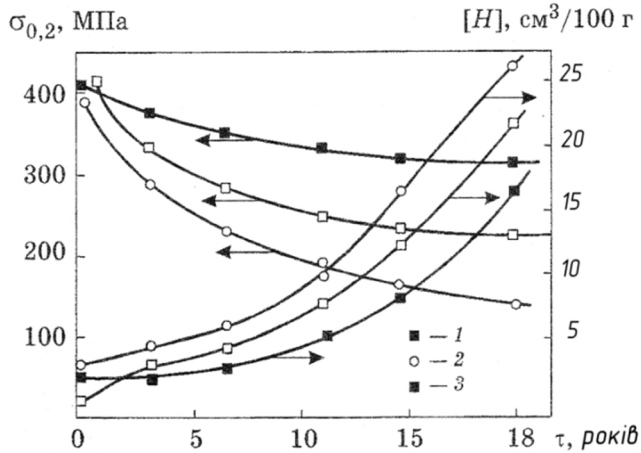


Рис. 6. Залежності показників пластичності і твердості від терміну експлуатації трубопроводів ТЕЦ. Марки сталей: ○ – 20; □ – К15; ■ – 06Х1

Металографічними дослідженнями встановлено наступне (рис. 7): поверхня трубопроводів вражена корозійними виразками (кавернами), характерними для продуктів корозійного впливу хімічно-активного технологічного середовища, перекачуючого трубопроводами.

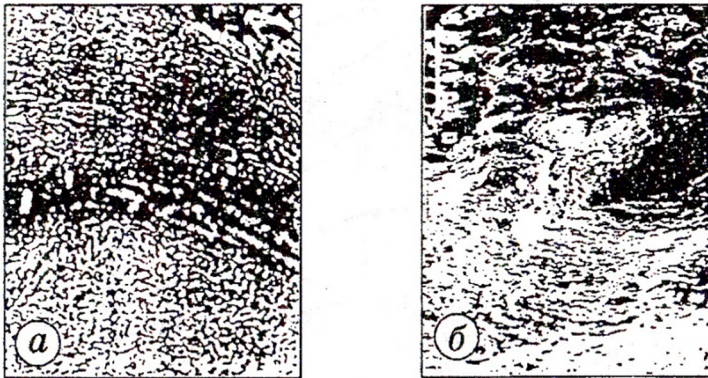


Рис. 7. Початкова ділянка мікротріщин в трубі паропроводу (а – $\times 2000$) і відображення у вторинних електронах фрагмента ураженої пітингом зовнішньої поверхні труби безпосередньо біля мікротріщин (б – $\times 3000$).

На рис. 8 приведені відображення у повторних електронах ділянок внутрішньої поверхні труб з корозійними виразками і мікротріщиною, заповненою оксидами заліза, марганця і карбонатами заліза і кальція, а також концентраційні криві розподілу на цих ділянках різних елементів (відповідно b - d і b' - d'). Сканування проводилося по горизонтальній лінії, в середній частині кожної ділянки. Побудову кривих розподілу присутніх в сталі легуючих елементів, зокрема хрому, виконували для уточнення границь вказаних дефектів. В порожнинах виразок (каверн) зафіксовані максимуми концентрацій вуглецю і подібний з ним розподіл кисню (рис.8, b, b', c), що свідчить про вуглецево-кислотну корозію металу в присутності хімічно-агресивних технологічних середовищ.

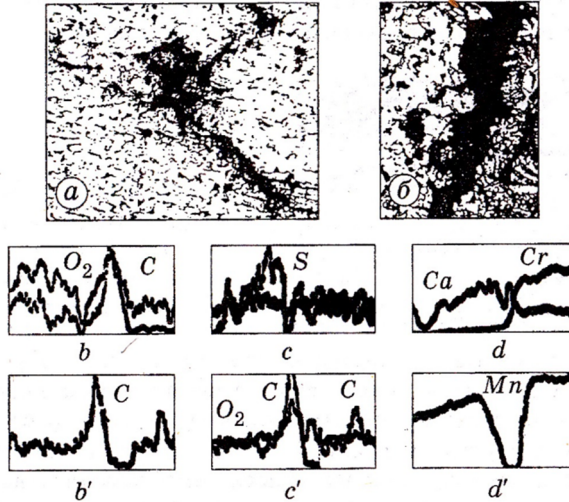


Рис. 8. Відображення у вторинних електронах ділянок зовнішньої поверхні трубопроводів ТЕЦ з корозійною виразкою (а) і мікротріщиною (б), і концентраційні криві розподілу елементів на цих ділянках (відповідно b – d і b' – d').

Висновки. На основі механічних, металографічних і рентгеноспектральних досліджень встановлена причина аварійних руйнувань трубопроводів ТЕЦ бурякоцукрового виробництва, яка полягає в тому, що корозійні враження метала трубопроводів супроводжуються його активним наводнюванням і окрихненням, в наслідок чого знижуються пластичні властивості і стійкість матеріалу проти корозійно-механічного руйнування трубопроводів, особливо після 3-5 років експлуатації.

Список літератури

1. Андрейкин А.Е., Панасюк В.В., Харин В.С. Теоретические аспекты кинетики водородного охрупчивания металлов//Физ. хим. механика материалов. -1978.-№3.-С.15-19.
2. Арчаков Ю.И. Водородная коррозия стали. –М.: Металлургия. -2005.-192с.
3. Вайнман А.Б., Мелехов Р.К., Смиян О.Д. Водородное охрупчивание элементов котлов высокого давления. – Киев.: Наукова думка. -1998.-272с.
4. Василенко И.И., Мелехов О.Д. Коррозионное растрескивание стали. – Киев: Наукова думка. -1997. -265с.
5. Галактионова И.А. Водород в металлах. –М.:Металлургия. -2007.-304с.
6. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия. – 2013.-350с.
7. Калачев Б.А. Водородная хрупкость металлов. –М.: Металлургия. -2009.-216с.
8. Карпенко Г.В., Крипякевич Р.И. Влияние водорода на свойства стали. –М.: Металлургия. -1992. -200с.
9. Литвин И.М. Технология и технохимический контроль свеклосахарного производства. –М.:Пищепромиздат.-1992.-448.
10. Гуревич М.С., Федоров П.Д. Теплосиловые свойства сахарных заводов. – Машиностроение. -1992. -379.
11. Ставников В.Н., Баранцев В.И. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.:Пищевая промышленность. – 1984. – 327.

Стаття надійшла до редакції 07.02.2019.

Y. L. VINNIKOV, V. D. MAKARENKO, I. A. KRAVETS, I. S. MINENKO

STUDY OF THE CAUSATION OF THE VALUE OF PIPELINE TECHNIQUES

In the article on the basis of mechanical, metallographic and X-ray spectral studies, the cause of accidental destruction of CHP pipelines is established. Metallurgical investigations have established that the surface of the pipelines is affected by corrosive ulcers, characteristic of products of corrosive influence of the chemically active process medium, pumped by pipelines. It is shown that corrosion of metal pipes of pipelines is accompanied by its active flooding and venting, which results in decrease of plastic properties and stability of the material against corrosion- mechanical destruction of pipelines, especially after 3-5 years of operation. Concentric distribution of elements on separate sections of corrosive impressions of pipe walls was studied using secondary ion mass spectrometry. Metallographic studies found that the surface of the pipelines was affected by corrosive ulcers, characteristic of products of corrosive influence of the chemically active process medium, which is pumped by pipelines. The scan was done horizontally, in the middle part of each plot. The construction of the distribution curves of the alloying elements present in the steel, in particular chromium, was performed to clarify the boundaries of these defects. In the cavities of the ulcers, the maxima of carbon concentrations and the oxygen distribution similar to it are recorded, indicating carbon-carbon corrosion of the metal in the presence of chemically aggressive technological environments. Microhardness was determined according to GOST 9450-80 using a diamond pyramid together with a metallographic microscope. Samples for hardness measurements were prepared in the same way as macrosplights. The change in the level of stresses of steel steels with different operating life was determined on standard cylindrical specimens with a diameter of 5 mm, which were cut from the blanks of these steels, and subjected to uniaxial stretching type MI-12 [6].

Key words: pipeline; strength; corrosion; ulcers; flooding; crack resistance; stability; concentration; vibrations; steel; properties; curves.

References

1. Andrejky'n A.E., Panasyuk V.V., Xary'n V.S. Teorety'chesky'e aspekt ky'nety'ky' vodorodnogo oxrupchy'vany'ya metallov//Fy'z. xy'm. mexany'ka matery'alov. -1978. -#3. -S.15-19.
2. Archakov Yu.Y'. Vodorodnaya korrozy'ya staly'. -M.: Metallurgy'ya. -2005.-192s.
3. Vajnman A.B., Melexov R.K., Smy'yan O.D. Vodorodnoe oxrupchy'vany'e elementov kotlov vysokogo davleny'ya. - Ky'ev.: Naukova dumka. -1998.-272s.
4. Vasy'lenko Y'.Y'. , Melexov O.D. Korrozy'onnoe rastresky'vany'e staly'. - Ky'ev: Naukova dumka. -1997. -265s.
5. Galakty'onova Y'.A. Vodorod v metallax. -M.:Metallurgy'ya. -2007.-304s.
6. Zolotorevsky'j V.S. Mexany'chesky'e svojstva metallov. -M.: Metallurgy'ya. - 2013.-350s.
7. Kalachev B.A. Vodorodnaya xrupkost' metallov. -M.: Metallurgy'ya. -2009.-216s.
8. Karpenko G.V., Kry'pyakevy'ch R.Y'. Vly'yany'e vodoroda na svojstva staly'. -M.: Me-tallurgy'ya. -1992. -200s.
9. Ly'tvy'n Y'.M. Texnologiy'ya y' texnoxy'my'chesky'j kontrol' sveklosaxarnogo proy'zvodstva. -M.:Py'shhepromy'zdat.-1992.-448.
10. Gurevy'ch M.S., Fedorov P.D. Teplosy'love svojstva saxarnx zavodov. - Mashy'nostroeny'e. -1992. -379.
11. Stavny'kov V.N., Barancev V.Y'. Process y' apparat py'shhevix proy'zvodstv. - M.:Py'shhevaya promshlennost'. - 1984. - 327.

Винников Юрій Леонідович – доктор технічних наук, професор, директор Інституту нафти і газу ПолтНТУ, fngp2015@ukr.net.

Макаренко Валерій Дмитрович – доктор технічних наук, професор, lebtar@ukr.net.

Кравець Ігор Андрійович – студент Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, Igorkravets2014@yandex.ua.

Миненко Ігор Станіславович – студент Полтавського національного університету імені Юрія Кондратюка, Igor.mynenko@gmail.com.