

УДК622.692.052.5

DOI: 10.18372/0370-2197.2(83).13695

А. В. БОЙКО¹, В. П. КУЛИК², В. Д. МАКАРЕНКО³, Л. А. ТАРАБОРКІН⁴¹Національний університет біоресурсів і природокористування України²Ніжинський агротехнічний Інститут ВП НУБіП України³Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка⁴Інститут електровзарювання ім. Є.О.Патона НАН України

КОРОЗИЙНІ УШКОДЖЕННЯ ТРУБОК ВИПАРНИХ АПАРАТІВ ХІМІЧНИХ І ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

За допомогою високоточного металографічного експериментального устаткування досліджені механізми корозійних ушкоджень поверхонь трубок випарних апаратів та запропоновані заходи щодо подальших досліджень методів зниження корозійної активності технологічного середовища і зчеплення осадів солей та карбонатів (накипи) з поверхнею трубок парових апаратів хімічного та харчового виробництва. Зокрема, показано, що для усунення корозії металу та відкладень осадів солей у вигляді накипу на поверхні трубок водопідігрівачів необхідно одночасно знижувати хімічну активність водопарового середовища з використанням різних реагентів, а трубки покривати антикорозійним захисним шаром.

Ключові слова: корозія, деградація, водопідігрівачі, структура, міцність

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Технологічні середовища хімічних та харчових виробництв утримують у своєму складі такі хімічно-активні інгредієнти, як кисень, вуглецевий газ (CO₂), окис вуглецю (CO), сірку, водень, аніони вуглецевої і сірчаної кислоти, іони хлору, домішки карбонату кальцію, заліза і соляної кислоти тощо. Усе це призводить до інтенсивної корозії обладнання, знижуючи його надійність і довговічність. Корозійно-механічна стійкість металу обладнання, наприклад, хімічних та цукрових підприємств, має велике значення для забезпечення екологічних і санітарно-гігієнічних вимог, які унеможливають забруднення продукту іонами металів. Корозійним ушкодженням піддаються, перш за все, трубки випарних станцій, дифузійних апаратів та парових котлів хімічних та агропереробних (цукрових) підприємств, що викликано негативним впливом високотемпературного і корозійно-активного пара під високим тиском. Значно погіршує цю негативну ситуацію ще й відкладення осадів солей, карбонатів, кислот тощо. Аналіз корозійних ушкоджень свідчить, що переважає, в основному, точкова і виразкова корозія, які посилюються внаслідок внутрішніх та/або зовнішніх навантажень. На відміну від рівномірної корозії, знайти і сповільнити яку не становить особливих труднощів, ці види корозії зазвичай виявляються лише після спричинених ними аварійних відмов чи руйнувань. Тому основні причини відмов технічних об'єктів, серед яких важливе місце займають руйнування чи спрацювання від корозійних і корозійно-механічних ушкоджень, потрібно ретельно досліджувати і по можливості вчасно усувати.

Слід відзначити, що підвищення температури і тиску пара вимагає посилення вимог до якості металевого обладнання відповідно до стандартів, прийнятих у хімічній і харчово-переробній галузі, а також використання інгібіторного захисту металу. Це важливо ще й тому, що на сучасному, наприклад, бурякоцукровому виробництві широко використовують пар тиском 100 *ата* і температурою 510° С, причо-

му прогресивні марки металу й антикорозійних покриттів дозволяють підвищувати початкові параметри до $170...240 \text{ ата}$ і $t=550...600^\circ \text{ С}$ відповідно.

Аналіз останніх досліджень і публікацій Аналіз літературних джерел [1-13] і практичні дані свідчать, що існуючі науково-технічні і технологічні розробки стосовно забезпечення надійної корозійно-механічної стійкості та довговічності обладнання, зокрема, труб випарних станцій хімічного й харчового виробництва, і в цілому аграрно-переробної галузі в значній частині містять протиріччя і невизначеність; відсутні кількісно обґрунтовані рекомендації щодо практичних застосувань з підвищення корозійно-механічної стійкості устаткування, яке працює в експлуатаційно-агресивних середовищах за знакозмінних температурно-баричних умов, і їх впровадження у виробництво на промислових підприємствах; виникла необхідність системного вивчення причин, умов і механізмів корозійних ушкоджень тривало експлуатованого обладнання (паропроводів, труб випарних станцій, водопідігрівачів, тощо) з урахуванням водневої деградації металу.

Отже, проблема підвищення службового (робочого) ресурсу технологічного обладнання хімічних харчових та агропереробних підприємств є актуальною, а її вирішення має важливе значення для народного господарства України.

Мета досліджень – дослідження механізму корозійних ушкоджень трубок випарних апаратів, що контактують у процесі тривалої експлуатації з хімічно-агресивними технологічними середовищами промислових підприємств.

Методика та матеріали досліджень. Комплекс досліджень ушкодженого металу труб випарних апаратів (сталь 20 і 06Х1) з тривалим терміном експлуатації (від 0 до 20 років) включав, поряд зі стандартними, також спеціальні види досліджень, зокрема: різні варіанти рентгеноспектрального аналізу з використанням растрового електронного мікроскопа «JSM-35CF» (фірма «Джеол», Японія), «SEM-515» з мікроаналізатором «Link» фірми «Philips», скануючу Оже-електронну спектроскопію (мікроаналізатор «AES-2000»). Крім того, вміст і характер розподілу в металі труб водопідігрівачів водню, сірки і кисню визначали методом локального мас-спектрального аналізу з лазерним мікрозондом, а також методом плавки проб металу в потоці несучого газу з використанням установки фірми «Лесо».

Виклад основного матеріалу. Сполучення корозійного ураження металу з його значним локальним наводненням, окисненням і окрихченням встановлено для більшості досліджуваних випадків корозійного ушкодження труб апаратів підігріву соку бурякоцукрового виробництва. Уявлення про це дають дані таблиці, в якій наведено результати досліджень вмісту газів (кисню і водню) в металі з боку парової камери. Видно, що з підвищенням терміну експлуатації водопідігрівачів, особливо з 5 до 15 років, наводнення й окиснення відбувається як в матриці основного металу, так і в поверхневих шарах труб. Причому різко зростає концентрація водню, сірки і кисню навколо корозійних виразок (рис. 1), що викликає окрихчування поверхневих шарів металу трубок, яке, своєю чергою, сприяє утворенню мікрокаверн, від яких беруть початок мікротріщини, що слугують осередком відкладень осаду із карбонатів, гідрокарбонатів та інших солей.

Про окрихчування поверхневих шарів металу свідчать дані рис. 2, зокрема, різке зростання мікротвердості навколо корозійних виразок, особливо це чітко проявляється з ростом терміну експлуатації підігрівальних апаратів.

Таблиця 1

Вміст газів в металі труб водопідігрівачів

Термін експлуатації	Середні значення вмісту газів, 10^{-4} % мас.	
	В матриці основного металу	Уздовж зовнішньої поверхні
В О Д Е Н Ь		
Сталь не експлуатаційна (із резерву)	2,49	2,55
1,5	2,76	3,17
5	3,21	4,38
10	4,12	5,42
15	4,52	6,74
К И С Е Н Ь		
Сталь не експлуатаційна (із резерву)	3,12	3,18
1,5	3,47	3,94
5	3,73	4,36
10	4,21	5,82
15	4,58	6,75

Примітка: У таблиці наведено середні значення із 6-ти вимірювань. Відхили значень від середніх не перевищують 10%.

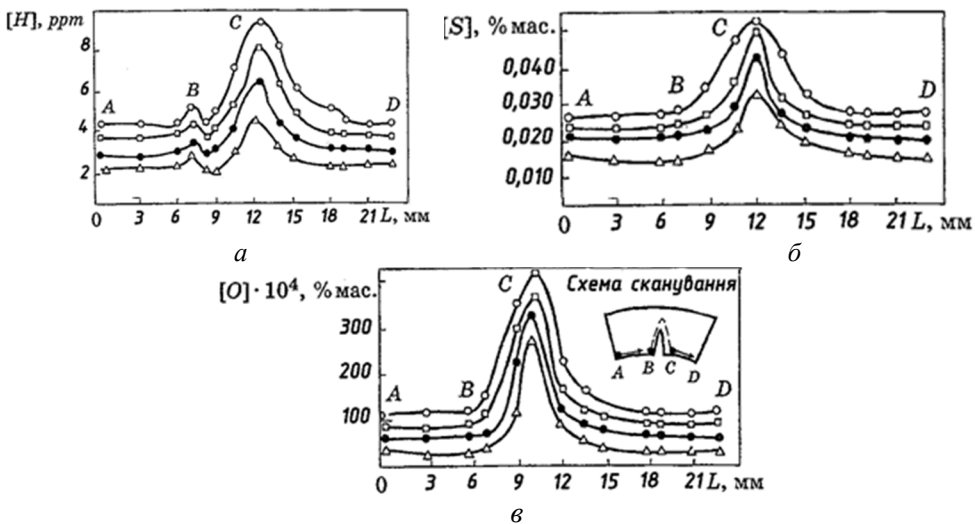


Рис. 1. Діаграми розподілу залишкових концентрацій водню (а), сірки (б) і кисню (в) в металі труб (сталь 20) водопідігрівачів з різним терміном експлуатації (у роках): Δ – 5; \bullet – 10; \square – 15; \circ – 20.

Така сама картина вимальовується і при дослідженнях зразків труб із сталі 06X1 (рис. 3) і 20 (рис. 4) з різними термінами експлуатації.

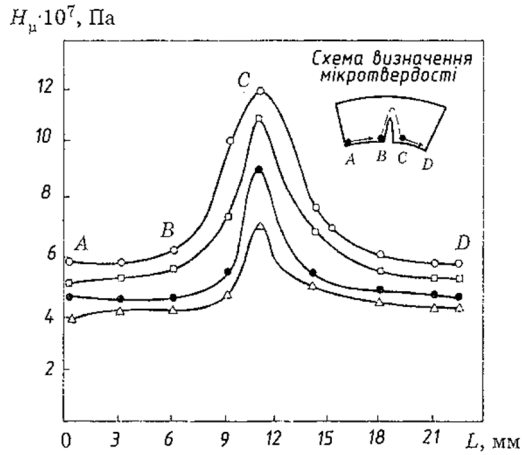


Рис. 2. Діаграми розподілу мікротвердості в металі труб (сталь 20) водопідігрівачів з різним терміном експлуатації (у роках): Δ – 5; ● – 10; □ – 15; ○ – 20.

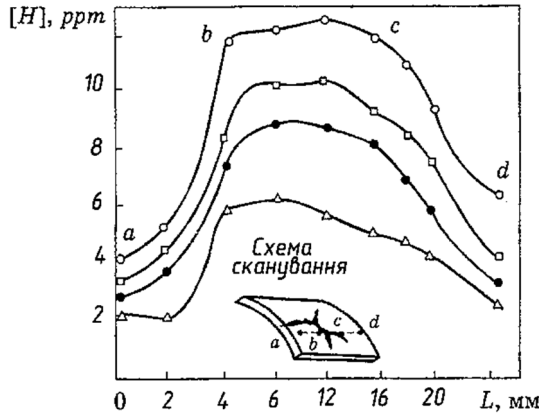


Рис. 3. Діаграми розподілу концентрацій водню в зоні корозійного розтріскування метала труб (сталь 20) водопідігрівачів з різним терміном експлуатації (у роках): Δ – 5; ● – 10; □ – 15; ○ – 20.

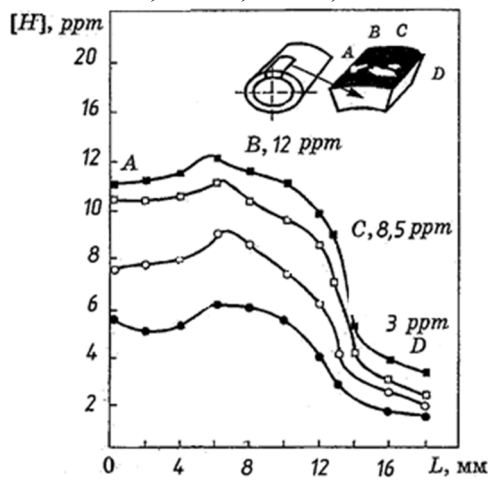


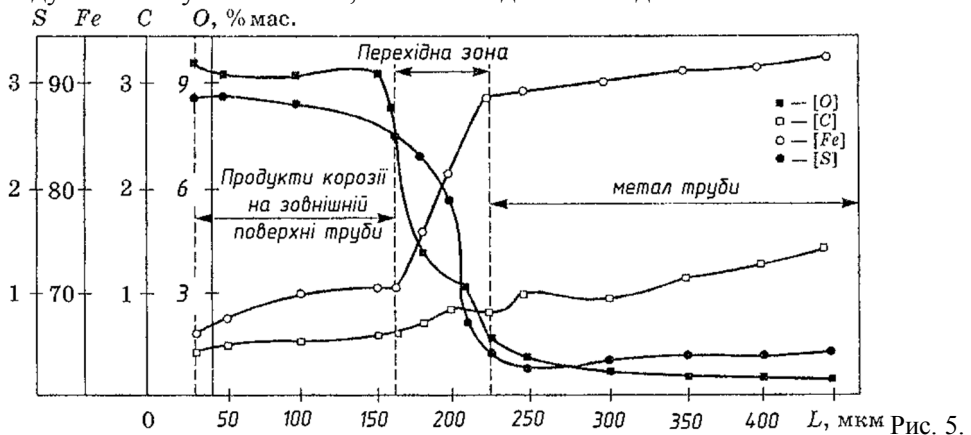
Рис. 4. Діаграми розподілу концентрацій водню в зоні корозійного розтріскування метала труб (сталь 06X1) водопідігрівачів з різним терміном експлуатації (у роках): Δ – 5; ● – 10; □ – 15; ○ – 20.

Траса зондування (рис. 3) проходила по краю неущожденної поверхні близько корозійної виразки (ділянка a-b і c-d), а також по металу, безпосередньо розташованому біля корозійних уражень (ділянка b-c). Таке значне наводнення (до 10-12 ppm) пояснюється спільною дією як агресивного технологічного середовища, так і циклічності змін температурно-баричного режиму в паровій камері. В другому випадку (рис. 4) траса сканування (A-B-C-D) проходила по зовнішньому шару продуктів корозії (A-B), по чистому металу (C-D), по перехідній зоні від продуктів корозії до основного металу (B-C).

Саме в цій зоні концентрація водню виявилася максимальною (залежно від терміну експлуатації водопідігрівачів вона складає 8,7-12 ppm). Одиниця вимірювання вмісту водню в залізі дорівнює: 1 ppm = 0,0001 % (по масі) = 0,00553 % (ат.) = 0,087% (об'ємн.) = 1,11 см³/100 г.

Рентгеноспектральним аналізом у зовнішньому шарі продуктів корозії встановлено присутність сірки (до 0,87%), кальцію (до 0,98%), кремнію (до 1,76%) і марганцю (до 2,25%). У корозійних відкладеннях коричневого кольору під зовнішнім шаром знайдено сірку й марганець (відповідно 2,56% і 4,15% мас.). Використовуючи Оже-електронну спектроскопію (метод дискретно-точкового аналізу), додатково досліджували розподіл елементів у напрямку від зовнішньої поверхні продуктів корозії до самого металу труб і далі в глибину їх стінок.

Глибинний профіль розподілу деяких елементів (Fe, S, O, C) наведено на рис. 5. Інформаційна глибина отриманих профілограм (800 мкм) охоплює сумарний шар продуктів корозії – 370 мкм, перехідну зону між цим шаром і зовнішньою поверхнею труби – близько 100 мкм, прилеглий до неї метал на глибину до 330 мкм. Дані рис. 5 підтверджують присутність в продуктах корозії сірки, марганцю й кальцію. Додатково знайдений вуглець, який раніше без застосування методу Оже не був виявлений, оскільки відноситься до легких елементів.



Глибинні профілі розподілу заліза, вуглецю, сірки і кисню в продуктах корозії і підповерхневих шарах металу труб (сталі 20) водопідігрівачів з 10-тирічним терміном експлуатації (метод Оже).

Насичення поверхневих шарів сталі труб елементами зі значною орбітальною хмарою (O,C,S) можна, на наш погляд, пояснити: а) деградацією і розпушенням підповерхневих шарів сталі з утворенням багатьох колекторів і несучільностей; б) високою концентрацією в металі труб і на його поверхні зазначених елементів (або відповідних сполук, наприклад, FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, FeS тощо).

За даними хімічного і мікрорентгеноспектрального аналізу виявлено, що продукти корозії (рис. 6), які сформувалися в середовищах зі зниженим вмістом іонів кальцію, більш щільні, міцно зчеплені з металом і до певного часу добре захищають поверхню метала від контакту з корозійним середовищем. Із схематично відображеного рис.6 видно, що продукти корозії багатощарові, представлені поперемінними шарами фаз: FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, CaCO₃, FeCO₃ та їх сполученнями. Причому послідовність утворення багатощарових продуктів корозії підтверджується термодинамічними розрахунками. Згідно значенням енергії Гіббса (ΔG^0_{298} , кДж/моль) реакцій утворення фаз: -1929(FeO); -1448(Fe₂O₃); -1023(Fe₃O₄); -496(CaCO₃); -67FeS; -33 (FeCO₃), менші значення вказують на більш високу реакційну здатність метала і більш високу термодинамічну стійкість продуктів реакції. Як видно з наведених розрахункових даних, утворення оксидів енергетично більш ймовірно, ніж карбонатів кальцію або заліза. Утворення сульфідів заліза енергетично ймовірно. Присутність у продуктах корозії рихлого шару карбонатів приводить до відшарування останніх від поверхні метала і утворення виразок (каверн). А тому одним із перспективних напрямків зниження корозійної активності технологічного середовища є видалення іонів кальцію із парової камери шляхом використання спеціальних хімічних реагентів [3, 8, 11].

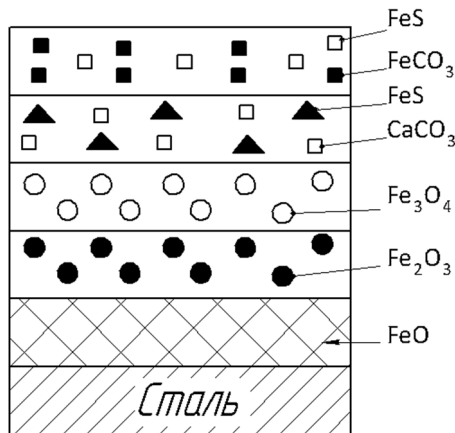


Рис. 6. Будова продуктів корозії на поверхні труби водопідігрівача (сталь 20-А).

Відомо [14-17], що в процесі окиснення заліза і його сплавів окисна плівка на їх поверхні складається в основному з вюститу (FeO) і магнетиту (Fe₃O₄), кристалічні ґратки яких добудовують кубічну ґратку α - Fe. Оскільки в технологічних середовищах парових камер водопідігрівачів присутні компоненти (іони й аніони), які в процесі протікання корозійних реакцій сприяють утворенню кубічної ґратки, тобто вони, як правило, «добудовують» ґратку FeO або магнетиту Fe₃O₄, сприяючи формуванню проміжного шару [45,46,50]. Періоди кристалічних ґраток основних сполук продуктів корозії (в ангстремах): α - Fe - 2,86; FeO-4,30; Fe₃O₄ -8,39; Fe₂O₃; γ - Fe - 3,64.

За допомогою рентгеноспектроскопії і мас-спектрального методу досліджували структуру окисних прошарків корозійних уражень. Виявлено, що вуглецеві сталі (наприклад, котельна сталь К20 і конструкційна сталь марки 20А), які мають структуру з кристалічною ґраткою α - Fe, у разі контакту з активним середовищем утворюють окисний прошарок, кристалічна ґратка якої складається

переважно з FeO. У разі легованої сталі (наприклад 06X1) зі структурою γ - Fe, (період гратки γ – 3,64 Å), прошарок складається з FeO – Fe₃O₄ і шпінелі CaO·2FeO. Тому роль аніонів в утворенні епітаксіального (перехідного) шару в цьому випадку другорядна, тобто наявність сполук у вигляді карбоніту не є обов'язковою умовою формування окисного шару на поверхні кородованого металу. Окисна кірка зчіплюється з поверхнею металу лише при виникненні між ними проміжного шару, структура якого подібна структурі α - Fe або γ - Fe, тобто сприяє епітаксіальному зрощенню оксидів з металом.

Авторами [1–3, 8, 11] встановлено, що чим більше часу перебуває система «активне середовище-метал» при температурі активного проходження окисно-відновлювальних і дифузійних процесів ($t = 80\text{--}90^\circ\text{C}$), тим товще окисна плівка, тобто прискорюється корозійний процес руйнування стінки труб. Окисні умови, що впливають на формування окисного прошарку, вказують на те, що іонно-аніонний склад водопарової суміші сприяє будівництву ґраток окисної поверхні, а не чистого металу.

Отже, вищенаведені дані показують, що для усунення корозії металу та відкладень осадів солей у вигляді накипу на поверхні трубок водопідігрівачів необхідно, на наш погляд, одночасно знижувати хімічну активність водопарового середовища з використанням різних реагентів, а трубки покривати антикорозійним захисним, наприклад, карбонітрованим, склопластиковим чи металопластиковим покриттям, для чого для конкретних випадків необхідно провести додаткові дослідження.

Висновки. За допомогою високоточного металографічного експериментального устаткування досліджено механізми корозійних ушкоджень поверхонь трубок випарних апаратів та запропоновані заходи щодо подальших досліджень методів зниження корозійної активності технологічного середовища та зчеплення осадів солей та карбонатів (накипу) з поверхнею трубок парових апаратів хімічних, агропереробних і харчових виробництв.

Список літератури

1. Винников Ю.Л., Макаренко В.Д., Кравець І.А., Миненко І.С. Дослідження причин зниження міцності трубопроводів ТЕЦ. – Проблеми тертя та зношування. – 2019. – №1(82). – С.63-68.
2. Макаренко В.Д., Чеботар І.М., Петренко О.О., Ногіна А.М. Дослідження механічних властивостей труб охолоджуючих систем довготривалої експлуатації в широкому інтервалі мінусових температур в умовах бродильного виробництва. – Проблеми тертя та зношування. – 2019. – №1(82). – С.69-79.
3. Ставников В.Н., Баранцев В.И. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Пищевая промышленность. – 1984. – 327с.
4. Pressoure G.M., Blondeau R., Cadion L. HSLA steels within proved hydrogen sulfide cracking resistance // Proc. Conf. Amer. Soc. Metals. - Philadelphia: Pa, 2012. –P. 827-843.
5. Martynova O.I., Vainman A.B. Einige Probleme der Sauerstoff-fahrweise in Anlagen mit Zwang durch laufkesseln // VGB Kraftwerkstechnik. – 2011. – №8. – S.659-663.
6. Trucbon M.R., Crolet J.I. Experimental limits of sourer service for tubular steels //SSC Symposium. – Saint-Cloud. – №21. – 2013.
7. Stardisco J.B., Pitts R.E. Corrosion of Iron in H₂S-CO₂-H₂O System , Mechanism of Sulfide Film Formation an Kinetics of Corrosion // Corrosion. – 2014. – №9. – P.245-253.
8. Макаренко В.Д., Бутко М.П., Мурашко М.І., Кіндрачук М.В. Екологічні аспекти руйнувань агропромислового обладнання. – Київ: Видавничий Центр НУБіПУ. – 2013.– 423с.

9. Specification Tengui Oil and Gas Plant. Process Plant. Lurgi code № 65102-00-MAL-TENGUIZ II. Specification No.SPC-62900-XP-007.

10. Романив О.Н., Никифорчин Г.Н. Механика коррозионного разрушения конструкционных сплавов. – М.:Металлургия. – 1986. – 294 с.

11. Макаренко В.Д., Палий Р.В., Галиченко Е.Н. Физико-механические основы сероводородного коррозионного разрушения промышленных трубопроводов. – Челябинск: изд-во ЦНТИ. – 2002. – 412с.

12. О проблеме коррозионных и коррозионно-механических повреждений металла пароводяного тракта блоков СКД/ А.Б. Вайнман, С.В. Яцкевич, Г.В. Мухопад и др.//Энергетика и электрификация. – 1995. – №4. – С.1-10.

13. Вайнман А.Б., Мухопад Г.В., Довготелес Г.А. О хрупких повреждениях трубопроводов подачи воды в парохладители котлов блоков СКД// Энергетика и электрификация. – 1996. – №5 – С.9-16.

14. NACE Standard TM-01-77(90). Standard Test Method // NASE.-Houston. P.O.BOX 218340. – 2009. – 22р.

15. Лебедев А.А., Бойко А.В. Установка для испытания конструкционных материалов на трещиностойкость при двусосном растяжении. – Проблемы прочности. – №8. – С.56-59

16. Лебедев А.А., Бойко А.В., Загорняк О.В. Упругопластическое разрушение пластин с трещиной. – Физ.-хим. механика материалов. – 1991. – №6. – С.54-57

17. Загорняк О.В., Бойко А.В., Лебедев А.А. Предельное состояние пластины с трещиной при двусосном растяжении. – Проблемы прочности. – №12. – С.21-26

Стаття надійшла до редакції 04.04.2019.

Бойко Андрій Васильович – професор, доктор технічних наук, andrey-boyko@meta.ua;

Кулик Василь Петрович – доцент, кандидат технічних наук, fedoryna@gmail.com.

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

Тараборкін Леонід Анатолійович – доцент, кандидат фізико-математичних наук; leotar@ukr.net.

A. V. BOYKO, V. P. KULYK, V. D. MAKARENKO, L. A. TARABORKIN

RESEARCH OF CORROSIVE DAMAGE TO THE PURPOSE OF FOOD PRODUCTION

Chemical and food processing environments contain chemically active ingredients such as oxygen, carbon dioxide (CO₂), carbon monoxide (CO), sulfur, hydrogen, carbon acid ion and sulfuric acid ion, chlorine ions, impurities of calcium carbonate, iron, and hydrochloric acid, etc. All these factors lead to intensive corrosion of the equipment, reducing its reliability and durability. The corrosion-mechanical resistance of metal equipment, such as chemical and sugar plants, is of great importance for environmental and sanitary requirements that make it impossible to contaminate the product with metal ions. First of all, the tubes of evaporation stations, diffusion apparatuses and steam boilers of chemical and agro-processing (sugar) enterprises are exposed to corrosive damage caused by the negative influence of high-temperature and corrosive-active steam under high pressure. Significantly worsens this negative situation and deposition of sediments of salts, carbonates, acids, and others. The analysis of corrosive damages suggests that predominantly point and pitting corrosion predominate, which are exacerbated by internal or external loads. Unlike uniform corrosion, finding and slowing down which is not a particular difficulty, these types of corrosion are usually detected only after they are caused by emergency failures or fractures. Therefore, the main reasons for failures of technical facilities, among which the important place is the destruction or operation of corrosion and corrosion and mechanical damage, must be carefully investigated and, if possible, eliminated on time. The complex of investigations of the damaged metal of evaporator tubes (steel 20 and 06X1) with a life time (from 0 to 20 years) included, along with standard, also special types of research, in particular: various variants of X-ray spectral analysis using a raster electron microscope "JSM-35CF" (Jeol, Japan), "SEM-515" with Philips microanalyzer "Link" scanning Auger electron spectroscopy (micro-analyzer "AES-2000"). In addition, the content and character of the distribution in the metal of pipes of water heaters of hydrogen, sulfur and oxygen were determined by the method of local mass spectral analysis with a laser microprobe, as well as by the method of melting of metal samples in the flow of carrier gas using the installation of the firm "Leco". With the help of high-precision metallographic experimental equipment, the mechanism of corrosion damage to the surfaces of evaporator tubes and the proposed measures for further research on methods for reducing the corrosion activity of the process environment and the adhesion of salt and carbonate sediments to the surface of the tubes of steam generators of food production is investigated. In particular, it has been shown that in order to eliminate metal corrosion and deposits of salt sediments in the form of scale on the surface of pipes of water heaters, it is necessary simultaneously to reduce the chemical activity of the water-vapor environment using different reagents, and to cover the tube with anticorrosive protective.

Keywords: corrosion, degradation, waterheaters, structure, strength.

References

1. Vynnykov Yu.L., Makarenko V.D., Kravec' I.A., Mynenko I.S. Doslidzhennya prychny znyzhennya micznosti truboprovodiv TECz. – Problemy tertya ta znoshuvannya. – 2019. – №1(82). – S.63-68.
2. Makarenko V.D., Chebotar I.M., Petrenko O.O., Nogina A.M. Doslidzhennya mexanichnyx vlastyvostej trub oxolodzhuyuchykh system dovgotryvaloi ekspluatatsii v shyrokomu intervali minusovykh temperatur v umovah brodynogo vyrobnyctva. – Problemy tertya ta znoshuvannya. – 2019. – №1(82). – S.69-79.
3. Stavnykov V.N., Barancev V.Y'. Processy i apparaty pishhevyyh proyvodstv. – M.: - Pyshehvaya promyshlennost. – 1984. – 327s.
4. Pressoure G.M., Blondeau R., Cadion L. HSLA steels with improved hydrogen sulfide cracking resistance//Proc. Conf. Amer. Soc. Metals. – Philadelphia: Pa, 2012. – P. 827-843.

5. Martynova O.I., Vainman A.B. Einige Probleme der Sauerstoff-fahrweise in Anlagen mit Zwang durch laufkesseln // VGB Kraftwerkstechnik. – 2011. – №8. – S.659-663.
6. Trucbon M.R., Crolet J.I. Experimental limits of sourer servise for tubular steels //SSC Symposium. – Saint-Cloud. – №21. – 2013.
7. Stardisco J.B., Pitts R.E. Corrosion of Iron in H₂S-CO₂-H₂O System , Mechanism of Sulfide Film Formation an Kinetics of Corrosion//Corrosion. – 2014. – №9. – P.245-253.
8. Makarenko V.D., Butko M.P., Murashko M.I., Kindrachuk M.V. Ekologichni aspekty rujnuvan agropromyslovogo obladnannya. – Kyiv:Vydavnychyj Centr NUBiPU. – 2013. – 423s.
9. Specification Tenguz Oil and Gas Plant. Process Plant. Lurgi code № 65102-00-MAL-TENGUIZ II.SpecificationNo.SPC-62900-XP-007.
10. Romanyv O.N., Nykyforchyn G.N. Mexanyka korrozyonnogo razrushenyya konstrukcyonnyh splavov.- M.: Metallurgya.- 1986. – 294 s.
11. Makarenko V.D., Palyj R.V., Galychenko E.N. Fyzyko – mexanycheskye osnovy serovodorodnogo korrozyonnogo razrushenyya promyslovyx truboprovodov. – Chelyabynsk: yzd-voCzNTY`.- 2002. – 412s.
12. O probleme korrozyonnyx y korrozyonno-mexanycheskyh povrezhdenyj metala parovodyanogo trakta blokov SKD/ A.B. Vajnman, S.V. Yaczkevych, G.V. Muxopad y dr.//Energetyka y Elektryfykacyya. – 1995. – №4. – S.1-10.
13. Vajnman A.B., Muxopad G.V., Dovgoteles G.A. O hrupkyh povrezhdennyah truboprovodov podachy vody v parooxlyadytely kotlov blokov SKD// Energetyka y elektryfykacyya. – 1996. – №5. – S.9-16.
14. NACEStandard TM-01-77(90). Standard Test Method // NASE.-Houston. P.O.BOX 218340. – 2009. – 22p.
15. Lebedev A.A., Bojko A.V. Ustanovka dlya yspytannya konstrukcyonnyh materyalov na treshhynostojkost pry dvuosnom rastyazhenyy. – Problemy prochnosti. – №8. – S.56-59.
16. Lebedev A.A., Bojko A.V., Zagornyak O.V. Uprugoplastycheskoe razrushenye plastyn s treshhynoj. – Fyz.-xym. mexanyka materyalov. – 1991. - №6. – S.54-57.
17. Zagornyak O.V., Bojko A.V., Lebedev A.A. Predelnoe sostoyanye plastyny s treshhynoj pry dvuosnom rastyazhenyy. – Problemy prochnosti`. – №12. – S.21-26.