

УДК 621.791.01.669

DOI: 10.18372/0370-2197.1(82).13489

В. Д. МАКАРЕНКО, І. М. ЧЕБОТАР, О. О. ПЕТРЕНКО, А. М. НОГІНА

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,
Полтава*

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРУБ ОХОЛОДЖУЮЧИХ СИСТЕМ ДОВГОТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В ШИРОКОМУ ІНТЕРВАЛІ МІНУСОВИХ ТЕМПЕРАТУР В УМОВАХ БРОДИЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

В роботі встановлено, що зі збільшенням терміну експлуатації як трубопроводів з транспорту холодильного середовища, так і труб теплообмінних апаратів охолоджуючих систем відбувається наводнення металу із збільшенням в структурі неметалевих вкраплень, що веде до його окрихчення і знеміцнення, в результаті чого знижуються параметри тріщиностійкості, що свідчить про зниження спротиву металу зародженню тріщин, які ведуть до руйнування конструкції. Крім того, механічними дослідженнями встановлено, що при зміні температурного режиму від +20 до -50°C значно зменшуються показники тріщиностійкості трубної сталі, зокрема ударна в'язкість; коефіцієнт інтенсивності напружень; коефіцієнт ширини розкриття тріщини і коефіцієнт мікроскола, що свідчить про зменшення спротиву зародженню і розповсюдженню мікротріщин в сталі.

Ключові слова: охолоджуючі системи; в'язкість; корозія; руйнування; напруження; тріщиностійкість.

Постановка проблематики і аналіз літератури. Більшість металевого обладнання і трубних конструкцій харчової і аграрно-переробної галузі працює в складних умовах навантаження під впливом активних робочих і зовнішніх середовищ, що нерідко визивають необоротні фізико-хімічні зміни в матеріалі, внаслідок протікання корозійних, сорбційних, ерозійних, кавітаційних та інших процесів, які приводять до втрат міцності і руйнуванню конструкцій [8-11]. Підвищення міцності (спротиву руйнуванню під дією зовнішніх навантажень) і надійності (безвідмовної роботи конструкції) в заданих експлуатаційних умовах базується на підвищенні стійкості, тобто спротиву впливу корозійних середовищ. В зв'язку з цим важливим являється вивчення стійкості металевого обладнання агропереробного і харчового виробництва в умовах дії корозійно-агресивних газорідних середовищ, що визивають електрохімічну корозію [9; 10].

Вищевикладене показує важливість питань, пов'язаних з корозійно-механічними руйнуваннями харчово-переробного обладнання, для чого потрібний аналіз загальних шляхів підвищення спротиву матеріалу конструкцій руйнуванням, причин руйнування і способів підвищення стійкості металевого обладнання, особливо оболонкових конструкцій (типу посудин, ємностей, трубопроводів) в конкретних технологічних середовищах [16; 19].

В роботах встановлено [1-7; 12-16; 19], що в процесі довготривалої експлуатації особливо при мінусових температурах відбувається наводнення металу яке негативно впливає на ударну в'язкість і пластичні властивості вуглецевих і низьколегованих сталей. Причому, водень не тільки зменшує значення ударної в'язкості, але і підвищує схильність до холодноломкості. Вплив його становиться помітним при достатньо великому вмісту, що змінюється для різних сталей в межах від 2 до 8 см³/100 г.

Відповідно існуючим теоріям водневої крихкості, шкідливий вплив водню проявляється в значному збільшенні енергії тріщинної дислокації і зменшенні зусилля, при якому утворюється зародишева тріщина, а також у взаємодії атомів водню з дислокаціями в процесі пластичної деформації [12-15].

Із робіт [2; 3] слідує, що наводнення особливо при мінусових температурах (до -60°C) помітно зменшує число циклів до руйнування зразків при наявності концентрації напружень, особливо в умовах малоциклового втомного руйнування. Відомо [5; 7; 19], що зі зниженням температури (до $-20\dots-60^{\circ}\text{C}$) зменшується ударна в'язкість і показники деформаційної здатності (ψ, δ) метала. Автором [4] встановлено, що робота руйнування зразків зменшилася в 10-12 разів при зниженні температури до -70°C .

В роботі [6] показано, що холодостійкі сталі з малим вмістом водню ($H_{\text{диф}} < 3 \text{ см}^3/100\text{г}$) менш схильні до окрихчення при мінусових температурах, ніж сталі з більш високим вмістом водню.

Таким чином, зниження вмісту водню в металі який експлуатується довготривалий термін в умовах корозійних середовищ і мінусових температур (до -50°C) являється необхідною умовою підвищення в'язко-пластичних властивостей, зокрема ударної в'язкості, яка в значній мірі відповідальна за експлуатаційний ресурс металеві конструкції.

Як показує аналіз літературних джерел [2-4; 13; 14; 19] і практика, в значній мірі термін служби трубопровідних систем, в тому числі працюючих в екстремальних температурно-баричних умовах харчових виробництв, визначається корозійною стійкістю метала.

Однак, для наукового вирішення практичних задач протикорозійного захисту трубопровідних мереж охолоджуючих систем потрібні додаткові комплексні дослідження впливу мінусових температур в умовах довготривалої експлуатації в агресивних середовищах на корозійні пошкодження сталі.

Мета роботи – дослідження механічних властивостей труб охолоджуючих систем в процесі довготривалої експлуатації в широкому інтервалі мінусових температур.

Методика і матеріали досліджень. Зміну рівня напружень сталей труб з різним терміном експлуатації визначали на стандартних (плоских) зразках, які виготовляли розміром робочої частини $35 \times 4 \times 1,5 \text{ мм}$ згідно з методикою викладеною в роботі [18]. Зразки були вирізані із заготовок опитних сталей і піддавалися одновісному розтягуванню зі швидкістю деформування $\dot{\epsilon} = 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ [19]. Механічні випробування виконували на універсальній розривній машині «Інстрон-1251» (Великобританія) в інтервалі зміни температури від $+20$ до -50°C . За результатами експериментальних випробувань для кожного зразка визначали стандартні показники механічних властивостей сталей: межу міцності (σ_b) і текучості ($\sigma_{0,2}$), поперечну (ψ) і поздовжню (δ) деформації [19]. Причому вважається [17, 19], що механічні характеристики – $\sigma_{0,2}$ і ψ являються найбільш чуйливими до окрихчення структури метала.

Одним із характерних показників спротиву крихкому руйнуванню сталей являється ударна в'язкість. Для її дослідження використовували зразки з V-образним надрізом - KCV (по Шарпі). При цьому напрямок зразків і розміщення надрізів були однаковими. Зразки випробувались на динамічний згин в широкому інтервалі температур відповідно ГОСТ9454-78 і ГОСТ1497-84. Для визначення ударної в'язкості використовували зразки довжиною 55 мм і площею поперечного перерізу

$8 \times 8 \text{ мм}^2$ з V-подібним надрізом довжиною 2 мм та кутом розхилу 45° , вирізані з трубоної сталі у різних станах. Випробування проводили згідно відомої методики [19]. Результати випробувань є усередненими не менш ніж 3-х досліджень.

Крім того, в якості критерію тріщиностійкості використовували відомий із сучасної механіки руйнування металоконструкцій показник R_{mc} – опір сталі мікросколу, який залежить від структурного стану сталі, зокрема від розміру зерна і товщини пластин цементитних вкраплень і не залежить від зовнішніх факторів, на відміну від інших інтегральних критеріїв механічних властивостей, тобто від температури, швидкості деформування, геометричних розмірів і форми зразка та виду напруженого стану [17]. Визначення показника R_{mc} проводили відповідно методики, описаній в роботі [17].

Визначали також характеристики тріщиностійкості – параметри в'язкості руйнування K_{Ic} і δ_c , для чого готували зразки стандартних розмірів [1; 18; 19]. Втомні тріщини в зразках створювали за допомогою гідропульсатора CDM-10 (Германія) при частоті навантаження 10...15 Гц і коефіцієнтів асиметрії циклу $r = 0.1 \dots 0.2$. Випробування з метою визначення параметрів в'язкості руйнування K_{Ic} і δ_c проводили на установках УМЭ-10 і «Інстрон» (Великобританія) по стандартним методикам [18; 19].

Об'єктами досліджень служили зразки із сталі марок 3, 10 і 20, виготовлені з трубопроводів для перекачування холодильної ропи (термін експлуатації коливався від 0 до 30 років), а також із сталі марок 3, 10 і 20 кожухотрубних теплообмінників холодильних систем (термін експлуатації від 0 до 12 років), які експлуатуються на бродильному підприємстві.

Основою для підготовки зразків служили фрагменти труб, вирізані в процесі вимушеного чи планового ремонту із аварійних трубопроводів чи трубок теплообмінників охолоджуючих систем.

Результати досліджень і їх обговорення. Результати механічних випробувань трубних зразків для визначення параметрів тріщиностійкості в широкому інтервалі змін мінусових температур наведені на рис. 1-4.

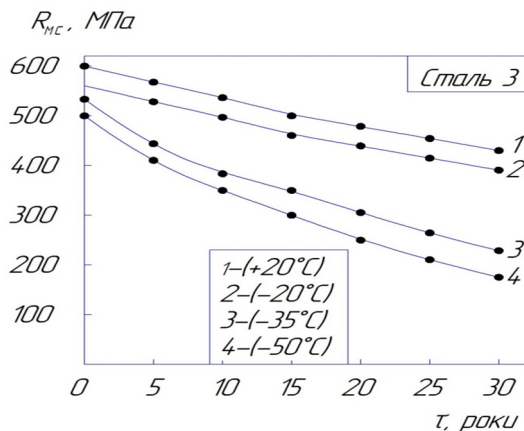


Рис. 1. Графічна залежність напруження мікросколу сталі 3 від терміну експлуатації трубопроводів для перекачування холодильної ропи на підприємстві бродильної промисловості. Позначення температури випробувань (в $^\circ\text{C}$):

1 – $(+20)$; 2 – (-20) ; 3 – (-35) ; 4 – (-50) .

Дані рис. 1 показують, що із збільшенням терміну експлуатації на всьому інтервалі зміни температур від $+20$ до -50°C коефіцієнт інтенсивності напружень R_{mc} сталі 3 зменшується, причому це помітно проявляється для зразків труб з те-

рміном експлуатації 10 років і більше і температурах $-35\dots-50^{\circ}\text{C}$. Так, для зразків, виготовлених із труб аварійного запасу, параметр R_{mc} при температурах $+20$ і -20°C дорівнює відповідно: 580 і 560 МПа, а при температурі -50°C цей параметр має наступні значення: 400 і 460 МПа відповідно, тобто величина R_{mc} знижується в 1,2-1,45 раз. В той же час параметр R_{mc} при температурах $-35\dots-50^{\circ}\text{C}$ для зразків не експлуатованої сталі 3 має наступні значення: 530 і 500 МПа, а після 30 років експлуатації відповідно 250 і 200 МПа, тобто величина R_{mc} знижується в 1,6-2,0 раз. Причому, така тенденція зберігається на всьому інтервалі змін мінусових температур і термінів експлуатації трубних конструкцій.

Негативний вплив зниження температури випробувань від $+20$ до -50°C на параметри тріщиностійкості K_{Ic} і δ_c спостерігається на всьому терміні довготривалої експлуатації трубопроводів. Аналіз даних, наведених на рис. 2 і 3, показує, що для не експлуатованої сталі при температурі $+20^{\circ}\text{C}$ значення K_{Ic} і δ_c дорівнюють відповідно $115 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ і $0,79 \text{ мм}$, а для експлуатованої трубної сталі на протязі, наприклад 25 років, ті ж параметри при такій же температурі мають відповідні значення: $74 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ і $0,39 \text{ мм}$, тобто в 2,2 рази (K_{Ic}) і 2 рази (δ_c) знижується тріщиностійкість сталей.

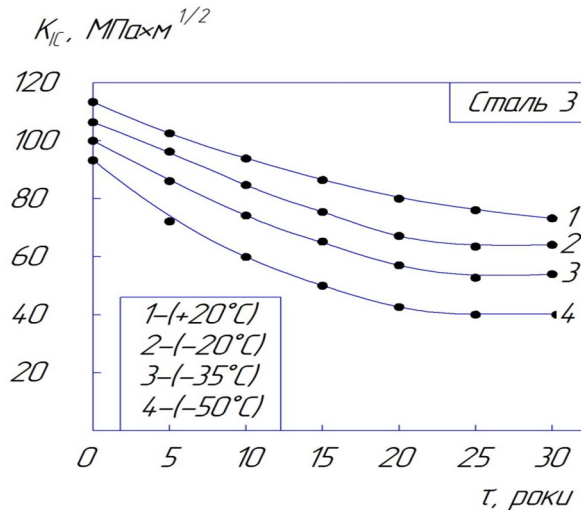


Рис. 2. Графічні залежності коефіцієнта інтенсивності напружень K_{Ic} від терміну експлуатації трубопроводів для перекачування холодильної ропи на підприємстві бродильної промисловості. Позначення температури випробувань (в $^{\circ}\text{C}$): 1 – $(+20)$; 2 – (-20) ; 3 – (-35) ; 4 – (-50) .

Для не експлуатованої сталі при температурі -50°C значення параметрів K_{Ic} і δ_c рівні $95 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ і $0,67 \text{ мм}$, в той же час для сталі з терміном експлуатації, наприклад 30 років, ті ж параметри мають наступні значення: $41 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ і $0,17 \text{ мм}$ відповідно, тобто зменшуються в 2,3 рази (K_{Ic}) і в ≈ 4 рази (δ_c), тобто при мінусовій температурі -50°C значно знижується опір сталі 3 проти тріщиноутворення з подальшим руйнуванням трубних конструкцій, безпосередньо контактуючих з агресивним технологічним середовищем бродильного виробництва.

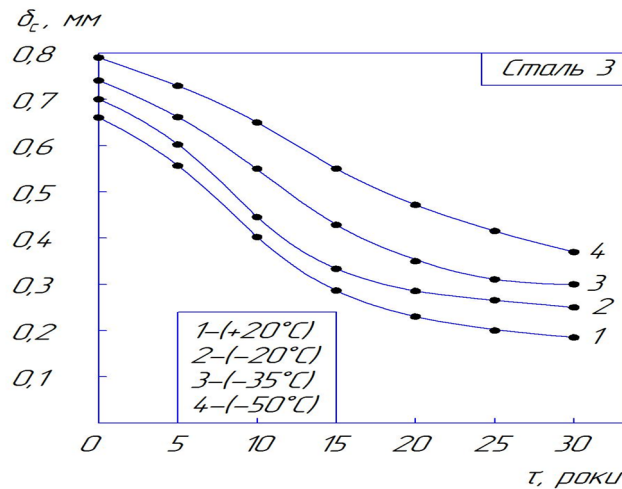


Рис. 3. Графічні залежності коефіцієнта критичного розкриття тріщини від терміну експлуатації трубопроводів для транспортування холодильної ропи на підприємстві бродильної промисловості. Позначення температури випробувань (в °C): 1 – (+20); 2 – (-20); 3 – (-35); 4 – (-50).

Графіки, викладені на рис.4, свідчать про значну зміну параметра в'язкості руйнування KCV в широкому інтервалі змін як терміну експлуатації трубних конструкцій, так і температури випробувань зразків. Видно, що для не експлуатованої сталі при температурі +20°C (крива 1) параметр KCV дорівнює 0,68 МДж/м², а збільшення інтервалу експлуатації, наприклад до 30 років, приводить до зниження параметра KCV, значення якого в такому випадку дорівнюють 0,38 МДж/м², тобто зменшуються в 1,7 раз. В той же час при температурі випробувань -50°C параметр KCV має значення 0,54 МДж/м² (сталь не експлуатована сталь) і 0,15 МДж/м² (термін експлуатації сталі 30 років), які зменшуються в 3,6 рази. Звертає увагу те, що така ж тенденція зберігається для сталей з різними термінами експлуатації (від 0 до 30 років) в температурному режимі випробувань (від +20 до -50°C).

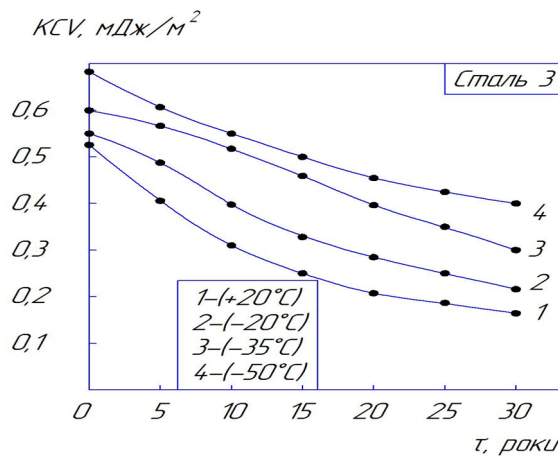


Рис. 4. Графічні залежності ударної в'язкості (зразки по Шарпі) металу від терміну експлуатації трубопроводів для транспортування холодильної ропи на підприємстві бродильної промисловості. Позначення температури випробувань (в °C): 1 – (+20); 2 – (-20); 3 – (-35); 4 – (-50).

Дані рис. 5 свідчать, що зі зміною терміну експлуатації трубопроводу із сталі 3 від 0 до 30 років майже не змінюються значення границі міцності σ_B , але значення межі текучості σ_T зменшуються від 240 МПа (сталь не експлуатована) до 170 МПа (30 років експлуатації), тобто майже в 1,5 рази. Значення поздовжньої δ і поперечної ψ деформації відповідно змінюються від 33 % (δ) і 75% (ψ) (сталь не експлуатована) до 14% (δ) і 50,5% (ψ) (термін експлуатації 30 років), тобто в 2,2 (δ) і 1,48 (ψ) раз зменшилися показники пластичності для сталі з довготривалим терміном експлуатації.

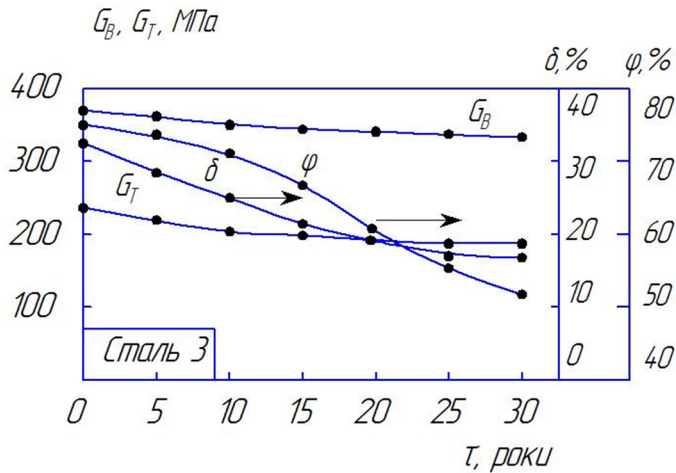


Рис. 5. Графічні залежності границі міцності (σ_B) і текучості (σ_T), поздовжньої (δ) і поперечної (ψ) деформації металу від терміну експлуатації трубопроводів для транспорту холодильної ропи на підприємств бродильної промисловості.

На рис. 6 представлені графічні залежності показника пластичності – $\sigma_{0,2}$ та ступеню наводнення металу [Н] від терміну експлуатації сталей марки 3, 10 і 20 трубопроводів для транспортування холодильної ропи бродильного виробництва. Видно, що найбільш високими пластичними властивостями характеризується сталь марки 20, в той же час сталь 10 показала найбільш низькі значення параметра $\sigma_{0,2}$ на протязі всього терміну експлуатації трубопроводів. Аналіз даних рис.6 показує, що збільшення терміну експлуатації визиває зниження показника $\sigma_{0,2}$, зокрема для сталі 3 значення $\sigma_{0,2}$ для не експлуатованої сталі дорівнюють 220 МПа, а для експлуатованої сталі з терміном 30 років він уже дорівнює 140 МПа, тобто пластичність зменшується в 1,57 раз. Така ж тенденція спостерігається і для сталей марок 10 і 20. Наприклад, у випадку не експлуатованих сталей значення параметра $\sigma_{0,2}$ дорівнюють 210 МПа (сталь 10) і 250 МПа (сталь 20), а для експлуатованих сталей з терміном 30 років параметр $\sigma_{0,2}$ рівний 115 МПа (сталь 10) і 180 МПа (сталь 20), тобто пластичні властивості зменшуються в 1,82 (сталь 10) і 1,38 (сталь 20) раз відповідно.

Вищевикладені дані свідчать про ймовірне наводнення трубних сталей в процесі довготривалої експлуатації, що підтверджується результатами вимірювань залишкового водню [Н] в металі трубопроводів, транспортуючих холодильну ропу (суміш) – рис. 6. Так, для не експлуатованих сталей марок 3, 10 і 20 значення [Н] дорівнюють (в ppm): 4,1 (сталь 3); 3,1 (сталь 10) і 1,5 (сталь 20), а для цих же сталей з 30 річним терміном експлуатації значення [Н] відповідно рівні (в ppm): 14,3 (сталь 3); 12,5 (сталь 10) і 10,2 (сталь 20), тобто наводнення

сталей зі збільшенням терміну експлуатації від 0 (аварійний запас) до 30 років зростає в 3,5 раз (сталь 3); в 4 рази (сталь 10) і в 6,8 раз (сталь 20) відповідно.

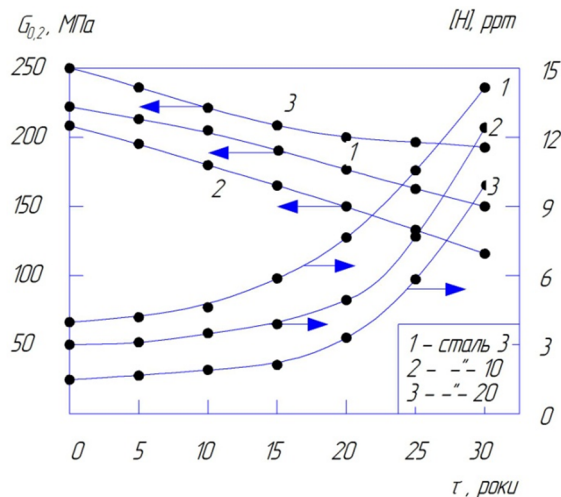


Рис. 6. Графіки зміни пластичності і ступеня наводнення металу в залежності від терміну експлуатації трубопроводів для транспортування холодильної ропи на підприємстві бродильного виробництва.

Із даних, приведених на рис. 6, слідує, що в значно меншій мірі зменшуються значення параметра пластичності $\sigma_{0.2}$ для сталі 20 в порівнянні з іншими сталями марок 3 і 10. Так, значення $\sigma_{0.2}$ для не експлуатованих сталей дорівнюють (в МПа): 250 (сталь 20); 240 (сталь 3) і 205 (сталь 10), а для експлуатованих сталей з терміном, рівним 30 років, параметр $\sigma_{0.2}$ має наступні значення (в МПа): 190 (сталь 20); 155 (сталь 3) і 105 (сталь 10), тобто значення $\sigma_{0.2}$ зменшуються в 1,32 раз (сталь 20); в 1,55 раз (сталь 3) і в ≈ 2 рази (сталь 10) відповідно. Такі дані, як і вищевикладені для трубопроводів, свідчать про наводнення трубних сталей в процесі їх довготривалої експлуатації, що підтверджується результатами визначення концентрації залишкового водню в сталях (рис. 6).

Аналіз наведених даних на рис.6 показує наступне. Для не експлуатованих сталей вміст водню [H] дорівнює (в ppm): 3,2 (сталь 3); 1,0 (сталь 10) і 2,1 (сталь 20), а для сталей з терміном експлуатації 30 років значення [H] дорівнюють (ppm): 19,3 (сталь 3); 15,8 (сталь 10) і 11,0 (сталь 20), тобто зі збільшенням терміну експлуатації від 0 (сталі не експлуатовані) до 12 років наводнення сталей збільшується в 6 раз (сталь 3); в 15,8 раз (сталь 10) і в 5,2 раз (сталь 20) відповідно.

Крім того, як показали металографічні дослідження, результати яких приведені в таблиці, які були отримані на установці «Квантімет-720», зі збільшенням терміну експлуатації трубопроводів зростає розмір і кількість неметалевих вкраплень, які, як відомо [1; 2; 19], являються осередками зародження мікротріщин, тому що метал в таких випадках характеризується низькою деформаційною здатністю при дії знакозмінних навантажень в умовах корозійних середовищ.

Таким чином, можна припустити, що зі збільшенням терміну експлуатації як трубопроводів з транспорту холодильного середовища, так і труб теплообмінних апаратів охолоджуючих систем відбувається наводнення металу із збільшенням в структурі неметалевих вкраплень, що веде до його окрихчення і знеміцнення, в результаті чого знижуються параметри тріщиностійкості, що свідчить про зниження спротиву металу зародженню тріщин, які ведуть до руйнування конструкції.

Кількість неметалевих вкраплень в металі трубопроводів з різним терміном експлуатації

Термін експлуатації, роки	Загальна частка вкраплень, %	Розмір вкраплень, мкм							
		> 1,0 всього	1-1,5	1,5-2	2-2,5	2,5-3	3-3,5	3,5-4	>4.0
0	0,055	1289	790	134	98	45	36	19	10
10	0,15	1798	1362	253	189	67	46	34	21
20	0,25	3423	2308	367	234	89	61	57	64

Примітка: Неметалеві вкраплення в металі визначали на установці «Квантімет -720».

Таким чином, можна припустити, що зі збільшенням терміну експлуатації як трубопроводів з транспорту холодильного середовища, так і труб теплообмінних апаратів охолоджуючих систем відбувається наводнення металу із збільшенням в структурі неметалевих вкраплень, що веде до його окрихчення і знеміцнення, в результаті чого знижуються параметри тріщиностійкості, що свідчить про зниження спротиву металу зародженню тріщин, які ведуть до руйнування конструкції.

Висновки

1. Механічними дослідженнями встановлено, що при зміні температурного режиму від +20 до -50°C значно зменшуються показники тріщиностійкості трубної сталі марки 3, зокрема ударна в'язкість (по Шарпі) KCV – в 1,5 рази; коефіцієнт інтенсивності напружень K_{1c} – в 2,3 рази; коефіцієнт ширини розкриття тріщини δ_c – в 4 рази і коефіцієнт мікроскола R_{mc} – в 2 рази, що свідчить про зменшення спротиву зародженню і розповсюдженню мікротріщин в сталі.

2. Встановлено, що показники в'язко-пластичних властивостей – межа текучості $\sigma_{0,2}$, відносні поздовжні (δ) і поперечні деформації (ψ) різко знижуються в процесі довготривалої експлуатації трубної сталі марки 3, зокрема при експлуатації на протязі 30 років ці показники зменшуються в 1,5 рази ($\sigma_{0,2}$); в 2,2 рази (δ) і в 1,48 раз (ψ). При чому одночасно відбувається інтенсивне наводнення металу, зокрема вміст водню в процесі 12-ти річної експлуатації в сталі 3 збільшився в 1,58 раз; в сталі 10 – в 6 раз, а в сталі 20 – в 5,2 раз.

Список літератури

1. Морозов А.Н. Водород и азот в стали. – М.: Металлургия. –1968.–197с.
2. Чипман Дж., Эллиот Дж. Физическая химия жидкой стали//Пер. с англ./ Производство стали в электропечах. – М.: Металлургия.–1965. – 548с
3. Явойский В.И. Теория процессов производства стали. – М.: Металлургия. –1967.–792 с.
4. Тарлинский В.Д. Влияние водорода на характеристики механических свойств конструкционных низколегированных сталей и стальных сварных соединений//Устойчивость против коррозионного растрескивания сварных соединений трубопроводов и роль водорода при электродуговой сварке.- М.: ВНИИСТ. –1969.–С.91-123.
5. Фаст Д. Взаимодействие металлов с газами. – М.: Металлургия. – 1975.–352с.
6. Migel R., Rude V. Hydrogen an alloy element //Schw. und Schn. – 1973–№7.–S.250–252.

7. Новолоцкий Д.И., Бакшин О.А. О водородной хрупкости сталей// Изв. Вузов. Черная металлургия. –1985.–№10.–С.54–59.
8. Литвак И.М. Технология и технологический контроль свеклосахарного производства. –М.: –Пищепромиздат. – 1992. – 448с.
9. Гуревич М.С., Федоров П.Д. Теплосиловое хозяйство сахарных заводов. – Киев. – 1992. – 379с.
10. Ставников В.Н., Баранцев В.И. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: – Пищевая промышленность. – 1984. – 327с.
11. Сухенко Ю.Г., Литвиненко О.А., Сухенко В.Ю. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв. – Київ.- НУХТ. – 2010. – 547с.
12. Pressoure G.M., Blondeau R., Cadion L. HSLA steels with in proved hydrogen sulfide cracking resistance // Proc. Conf. Amer. Soc. Metals. – Philadelphia: Pa, 2012. – P. 827–843.
13. Martynova O.I., Vainman A.B. Einige Probleme der Sauerstoff-fahrweise in Anlagen mit Zwangdurchlaufkesseln // VGB Kraftwerkstechnik.– 2011.–№8.– S.659–663.
14. Trucbon M.R., Crolet J.I. Experimental limits of sourer servise for tubular steels //SSC Symposium. – Saint-Cloud.– 21.– 2013p.
15. 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.
16. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning internal representation by error propagation. Rumelhart D.E. and McClelland J.L., eds. Parallel Data Processing. V. 1. Cambridge. MA.: The M.I.T. Press. 1986. P. 318.
17. Мешков Ю.Я. Физические основы прочности стальных конструкций. – Киев: Наукова думка. – 1981. – 238 с.
18. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Определение вязкости разрушения (трещиностойкости) при статическом нагружении// Методические указания. – М.: ВНИИНМаш. – 1979. – 100 с.
19. Георгиев М.Н. Вязкость малоуглеродистых сталей. – М.: Металлургия. – 1973. – 224 с.

Стаття надійшла до редакції 07.02.2019.

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

Чеботар Іван Миколайович – директор ПП «МЕТКОН» (м. Київ).

Ногіна Анастасія Максимівна – студент.

Петренко Олександр Олександрович – студент.

MAKARENKO V.D., CHEBOTAR I.M., PETRENKO O.O., NOGINA A.M.

RESEARCH OF MECHANICAL PROPERTIES OF PIPES OF COOLING SYSTEMS OF LONG-TERM OPERATION IN A WIDE INTERVAL OF MINIMUM TEMPERATURE IN THE CONDITIONS OF BROADBAND MANUFACTURE

In the work it was established that with the prolongation of the service life of both the pipelines from the transport medium of the refrigerating medium and the pipes of the heat-exchange apparatuses of the cooling systems, there is flooding of the metal with an increase in the structure of non-metallic inclusions, which leads to its exfoliation and deterioration, resulting in lowering the parameters crack resistance, indicating a decrease in the resistance of the metal to the origin of cracks that lead to the destruction of the structure. In addition, mechanical studies have found that when the temperature-mode changes from +20 to -500C, the parameters of crack strength of the tubular steel, in particular, the impact strength, are significantly reduced; intensity of stress; coefficient of crack opening width and microscope coefficient, indicating a decrease in resistance to the origin and spread of microcracks in steel. It has been established that viscous-plastic properties are the yield strength $\sigma_{0.2}$, the relative longitudinal (δ) and transverse deformations (ψ) are sharply reduced in the process of long-term operation of steel grade 3 steel, in particular, when used for 30 years these parameters decrease in 1.5 times ($\sigma_{0.2}$); in 2.2 times (δ) and in 1.48 times (ψ). At the same time, there is an intense flood of metal, in particular, the hydrogen content during the 12 years of operation in steel 3 increased 1.58 times; in steel 10 - 6 times, and in steel 20 - in 5.2 times.

Keywords: cooling systems; viscosity; corrosion; fracture; stresses; fissure-toothless bones.

References

1. Morozov A.N. Vodorod i azot v stali. – M.: Metallurgija. –1968. –197s
2. Chipman Dzh., Jelliot Dzh. Fizicheskaja himija zhidkoj stali//Per. s angl./ Proizvodstvo stali v jelektropechah. – M.: Metallurgija. –1965. – 548s
3. Javojskij V.I. Teorija processov proizvodstva stali. – M.:Metallurgija. –1967. –792s
4. Tarlinskij V.D. Vlijanie vodoroda na harakteristiki mehanicheskikh svojstv konstrukcionnyh nizkolegированных stalej i stal'nyh svarnykh soedinenij//Ustojchivost' protiv korrozionnogo rastreskivanija svarnykh soedinenij truboprovodov i rol' vodoroda pri jelektrodugovoj svarke. – M.: VNIIST. –1969. –S.91–123
5. Fast D. Vzaimodejstvie metallov s gazami. – M.: Metallurgija. – 1975. –352s
6. Migel R., Rude V. Hydrogen an alloy element //Schw. und Schn. – 1973–№7. –S.250–252.
7. Novolockij D.I., Bakshin O.A. O vodorodnoj hrupkosti stalej// Izv. Vuzov. Chernaja metallurgija. -1985.-№10.-S.54-59
8. Litvak I.M. Tehnologija i tehnologicheskij kontrol' sveklosaharnogo proizvodstva. – M.: -Pishhepromizdat. – 1992. – 448s.
9. Gurevich M.S., Fedorov P.D. Teplosilovoe hazhajstvo saharnykh zavodov. – Kiev. -1992. – 379s.
10. Stavnikov V.N., Barancev V.I. Processy i apparaty pishhevykh proizvodstv. – M.: - Pishhevaja promyshlennost'. – 1984. - 327s.
11. Suxenko Yu.G., Ly'tvy'nenko O.A., Suxenko V.Yu. Nadijnist' i dovgovichnist' ustatkuvannya xarchovy'x i pererobny'x vy'robny'cztv. – Ky'iv.- NUXT. – 2010. – 547s.
12. Pressoure G.M., Blondeau R., Cadion L. HSLA steels with in proved hydrogen sulfide cracking resistance // Proc. Conf. Amer. Soc. Metals. - Philadelphia: Pa, 2012. – P. 827-843.
13. Martynova O.I., Vainman A.B. Einige Probleme der Sauerstoff-fahrweise in Anlagen mit Zwangdurchlaufkesseln // VGB Kraftwerkstechnik.- 2011.-№8.- S.659-663.
14. Trucbon M.R., Crolet J.I. Experimental limits of sourer servise for tubular steels //SSC Symposium.- Saint-Cloud.- 21.- 2013p.
15. 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.

-
16. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning internal representation by error propagation. Rumelhart D.E. and McClelland J.L., eds. Parallel Data Processing. V. 1. Cambridge, MA.: The M.I.T. Press. 1986. P. 318.
 17. Meshkov Ju.Ja. Fizicheskie osnovy prochnosti stal'nyh konstrukcij. – Kiev: Naukova dumka. – 1981. – 238 s.
 18. Raschety i ispytaniya na prochnost' v mashinostroenii. Metody mehanicheskikh ispytaniy metallov. Opredelenie vjzskosti razrusheniya (treshhinostojkosti) pri staticheskom nagruzhении// Metodicheskie ukazaniya. – M.: VNIINMash. – 1979. – 100 s.
 19. Georgiev M.N. Vjzskost' malouglerodistykh stalej. – M.: Metallurgija. – 1973. – 224 s.