УДК:620.194

РОБОТОЗДАТНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛЕЙ ФОНТАННОЇ ТА ЗАПІРНОЇ АРМАТУРИ НАФТОГАЗОВИДОБУВНОГО ОБЛАДНАННЯ У СІРКОВОДНЕВОСТІЙКОМУ ВИКОНАННІ

О. Радкевич

Канд. техн. наук

Г. Чумало

Канд. техн. наук

Р. Юркевич

Канд. техн. наук

І. Антощак

Канд. техн. наук

Фізико-механічний інститут
ім. Г. В. Карпенка
НАНУкраїни,
м. Львів

Досліджено опірність сірководневому корозійному розтріскуванню під напруженням (СКРН) конструкційних матеріалів деталей фонтанної та запірної арматури, які виготовляються зі сталей різних марок і класів. Підібрано сталі з високою опірністю СКРН для виготовлення корпусних деталей, шиберів, шпильок, фланців, тощо. Для виготовлення шиберів запропоновано використовувати плазмову наплавку нікель-хромовим сплавом, що забезпечує високу корозійну тривкість у поєднанні з високою опірністю СКРН та циклічною тріщиностійкістю. Для виготовлення деталей кульових кранів класу К2 рекомендовано сталь 30ХМА виробництва ВАТ „Дніпроспецсталь", яка пройшла відповідну термообробку. Показано, що сталі, які використовувалися для виготовлення фонтанної арматури у звичайному виконанні непридатні для роботи у сірководневому середовищі.

сірководень, сірководневе корозійне розтріскування під напруженням, корозійна тривкість, кульові крани, шибер, плазмове наплавлення

Вступ. Сірководень – небезпечний компонент технологічних середовищ нафтогазових родовищ, який пришвидшує загальну корозію, викликає сірководневе корозійне розтріскування під напруженням (СКРН) – *sulfide stress cracking* (*SSC*), воднем ініційоване розтріскування (ВІР) – *hydrogen induced cracking* (*HIC*) та поверхневе пухиріння (*blistering*) сталей і сплавів [1-4]. Тому такі родовища, а їх в Україні – третина, слід облаштовувати устаткуванням у сірководневостійкому виконанні, до якого відноситься підземне та наземне обладнання свердловин [5, 6].

Однією з найвідповідальніших частин наземного устаткування свердловин є гирлове (фонтанна арматура), яке служить для утримання колони насосно-компресорних труб, герметизації затрубного простору між колонами обсадних і насосно-компресорних труб, а також регулювання режимів відбору нафти чи природного газу та спрямування продукції свердловин у трубопроводи.

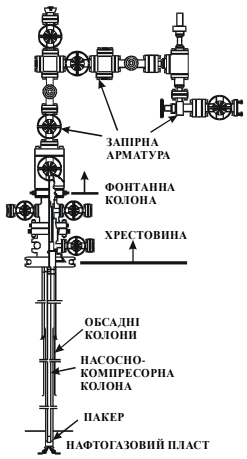

Рис. 1. Обладнання нафтогазових свердловин

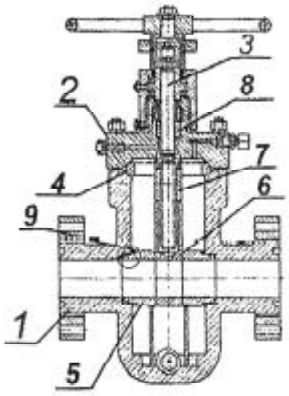

Рис. 2. Схема засувки

Особливо важливою є надійність корпусних деталей фонтанної арматури, зокрема, таких, як хрестовини, фонтанні колони, запірна арматура (рис. 1), які повинні мати високу опірність корозії, ВІР та СКРН.

На сьогодні корпусні деталі згаданого обладнання вітчизняного виробництва виготовляють зі сталей, які не задовільняють сучасним вимогам, оскільки мають низьку опірність СКРН та водневому окрихченню [7, 8], а сталі, які містить 1,0 – 1,4 % Ni, не можна експлуатувати у сірководневих середовищах [9], оскільки стандартом NACE MR0175-99 [10] забороняється використання низьколегованих сталей з вмістом нікелю ≥ 1 %. Провідні закордонні фірми, зокрема, Cameron, Shaffer корпусні деталі запірної арматури у сірководневостійкому виконанні виготовляють зі сталей типу AISI 4130 з Cr-Mo системою легування. З цієї ж марки сталі виготовляють обсадні й насосно-компресорні труби підвищеної міцності (класи С-95, Р-110 і вище [11, 12]). На рис. 2 зображено одну з найвідповідальніших деталей запірної арматури – засувку.

Позиції на рис. 2 відповідають її основним елементам конструкції: 1 – корпус. Сталь 30ХМА ГОСТ 4543; $\sigma_{0.2min}$= 414 МПа; σ_{bmin}= 586 МПа; δ_{min}= 18 %; φ_{min}= 35 %. 2 – покришка. Сталь 30ХМА ГОСТ 4543; $\sigma_{0.2min}$= 414 МПа; σ_{bmin}= 586 МПа; δ_{min}= 18 %; φ_{min}= 35 %. 3 – покришка. Сталь 30Х13 ГОСТ 5632; $\sigma_{0.2min}$= 647 МПа. 4 – кільце ущільнююче. Сталь 20; максимально 160 НВ. 5 – сідло. Сталь 95Х18 ГОСТ 5632; 40–45 HRC. 6 – шибер. Сталь 95Х18; 50–55 HRC. 7 – гайка ходова. БрАЖМЦ 10-3-1,5 ГОСТ 18175; 170 – 190 НВ. 8 – манжета. Капролон ТУ 6-05-988-87. 9 – пружина. Сталь 60С2А ГОСТ 14959; 44–50 HRC.

Згідно стандарту NACE MR0175-99 [10], у сірководневих середовищах можна використовувати вуглецеві й низьколеговані сталі з твердістю HRC < 22, які можуть бути гарячокатаними (тільки вуглецеві сталі), відпаленими, нормалізованими, нормалізованими й відпущеними, нормалізованими з наступним гартуванням і відпуском та загартованими й відпущеними. Хромомолібденові сталі типу AISI 4130 та їхні модифікації можна використовувати тільки у загартованому й відпущеному стані, якщо їхня твердість HRC < 26 після кінцевої технологічної операції. Особлива увага до хімічного складу і термічного оброблення цих сталей приділяється для отримання високої опірності СКРН при твердості HRC > 22. Для цього загальноприйнято у світовій практиці проводити випробування опірності СКРН зразків сталей за стандартом NACE.

Висока опірність сталі СКРН вказує на її високу якість, що забезпечує працездатність та надійність виготовленого з неї обладнання. На чутливість сталі до ВІР, переважаючий вплив має її чистота, тобто наявність неметалевих включень. Однак, якщо сталь є стійкою до ВІР, то ще не можна зробити висновок про її високу опірність СКРН, а лише про відсутність в кристалічній ґратці металу критичних дефектних місць, що є, окрім інших, обов'язковою умовою забезпечення високої стійкості сталі до СКРН.

Мета цієї роботи – перевірка та вибір вітчизняних конструкційних матеріалів для виготовлення корпусних деталей фонтанної та запірної арматури, які могли б надійно працювати на газових родовищах, що містять сірководень.

Матеріали та методи досліджень. Нами досліджено сталі вітчизняного виробництва, які використовуються ВАТ "Конотопський арматурний завод" для виготовлення елементів фонтанної та запірної арматури. Сортамент досліджуваних сталей та область їх застосування подано в табл. 1. У табл. 2 наведено хімічний склад цих сталей. Окрім цього, вибрано такий режим термообробки сталі 30ХМА, який забезпечує високі корозійно-механічні властивості відповідальних деталей кульових кранів, що працюють у сірководневих середовищах. Необхідність виконання цієї роботи зумовлена можливістю корозійних та корозійно-механічних пошкоджень деталей обладнання, які встановлені на газових та нафтових родовищах з домішками сірководню великих концентрацій – до 6% об. Корозійна агресивність таких середовищ відноситься до класу К2 згідно з ГОСТом 13846-89 (Стандарт РЕВ) «Арматура фонтанная и технические требования к конструкции».

Одним зі шляхів забезпечення належної корозійної та корозійно-механічної тривкості сталей та сплавів в умовах дії технологічних середовищ і робочих навантажень є наплавлення на основний матеріал. Нижче подано резуль-

Таблиця 1

Сортамент досліджуваних сталей

Матеріал	Призначення матеріалу
30ХМА	Корпус, покришка засувок, гайки. Корпус колонної головки. Корпус трубної головки, муфтова підвіска, трійник, хрестовик, перевідний фланець, фланці
10Х17Н13М3Т	Шпіндель.
12Х13	Ходова гайка. Шибер, сідло під наплавку сплавом ПР-НХ16СР-У ТУ 14-22-68-94
08Х18Н10Т	Прокладки
38ХМ	Шпильки
12Х18Н10Т	Стрижень розрядної пробки арматури фонтанної
95Х18	Шибер, сідло
14Х17Н2	Шпиндель
БрАЖ9-4	Гайка ходова
БрАЖМц10-3-1,5	Гайка ходова

тати досліджень корозійних та корозійно-механічних властивостей матеріалів відповідальних деталей газовидобувного обладнання, зокрема шибера, під час виготовлення якого використано плазмове наплавлення нікель-хромового сплаву на сталь 30ХМА.

Схильність сталей і сплавів до СКРН визначали згідно з вимогами стандарту NACE – TM0177-2005 [13]. Довготривалу корозійну міцність матеріалів визначали під статичним одновісним навантаженням циліндричних зразків діаметром 6,4 мм, занурених у стандартний сірководневий розчин NACE (5%-й водний розчин NaCl + 0,5% CH_3COOH + H_2S (насичення); pH = 3,0j4,0; 20±2 °С. Критерій опірності сталей СКРН – порогове напруження $\sigma_{tssc.}$ (*threshold sulfide stress cracking*), визначене на базі 720 год. Рівень напружень зразків задавали відносно мінімально допустимого значення умовної границі текучості сталі. Загальноприйнятим критерієм придатності сталі до експлуатації у сірководневих середовищах є відношення $\sigma_{tscc}/\sigma_{0.2}(\sigma_т)$. Вважають, що сталь стійка до СКРН, якщо σ_{tssc} е" $0{,}8\sigma_{0.2min}$ [4, 11, 14]. Сталі, які не зруйнувалися за напружень $0{,}8\sigma_{0.2min}$ випробовували за напружень $0{,}9\sigma_{0.2min}$.

Для дослідження ВІР та поверхневого пухиріння використовували прямокутні зразки, які витримували протягом 96 год (при необхідності витримку збільшували до ~ 200 год) без навантаження у морській воді (3% розчин NaCl), насиченій сірководнем (pH 4,8…5,4) згідно стандарту NACE TM-02-84 та в стандартному сірководневому розчині NACE.

Корозійну тривкість основного та наплавленого металу вивчали за втратою маси зразка за одиницю часу з одиниці поверхні у розчині NACE. Електрохімічні властивості вивчали на потенціостаті IPC-Pro у розчині NACE. Електрод порівняння – насичений хлоросрібляний. Мікротвердість вимірювали приладом ПМТ-3.

Розподіл легувальних елементів досліджено в Центрі електронної мікроскопії та рентгенівського мікроаналізу, створеному на базі відділу фізико-хімічних методів зміцнення матеріалів Фізико-механічного інституту НАН України, на сканівному електронному мікроскопі EVO-

Таблиця 2

Хімічний склад досліджуваних сталей

Матеріал	Хімічний склад, %												
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Ti	Mo	Cu	Al	Fe	V
30ХМА	0,33	0,31	0,65	0,021	0,019	0,96			0,20				
10Х17Н13М3Т	0,046	0,69	1,73	0,018	0,022	17,02	13,3	0,5	2,99				
12Х13	0,15	0,08	0,08	0,025	0,030	14,0	0,6	0,2		0,30			
08Х18Н10	0,08	0,08	0,2	0,020	0,035	19,0	11,0	0,5		0,30			
38ХМ	0,40	0,28	0,39	0,009	0,014	1,26	0,23		0,21	0,18			0,01
12Х18Н10Т	0,08	0,75	1,53	0,021	0,017	17,81	9,49	0,5					
95Х18	0,94	0,26	0,21	0,006	0,028	17,34	0,32	0,01	0,05	0,10			0,04
14Х17Н2	0,11	0,71	0,76	0,022	0,020	17,1	1,9						
БрАЖ9-4			0,19						87,07	8,7	2,48		
БрАЖМц10 3-1,5			1,50						85,38	9,8	2,30	0,27	

Таблиця 3

Хімічний склад порошків (мас.%) та твердість наплавленого металу

Порошок	C	Si	Cr	B	Fe	Ni	Твердість наплавленого металу, *HRC*
ПР-НХ15СР2	0,35...0,60	2,8...3,5	14,0...16,0	1,8...2,3	≤ 5	Основа	45...47
ПР-НХ16СР3	0,6...0,9	2,7...3,7	15,0...17,0	2,3...3,0	≤ 5	Основа	50...55

40XVP (фірма Carl Zeiss) зі системою мікроаналізу INCA Energy 350 (фірма Oxford Instruments).

Досліджено корозійні та корозійно-механічні властивості матеріалів шибера, при виготовленні якого використано плазмове наплавлення. Наплавляють шибери на Конотопському арматурному заводі на установці ОБ2184М, Для цього використовують плазмову дугу, яку отримують у плазмотроні з неплавильним електродом. Присадкою були порошки зі зносо- та корозійнотривких нікелевих сплавів. Порошки (табл. 3) для наплавлювання виготовляє російська фірма ВАТ "Полема" згідно з ТУ 1422-33-90.

Поковки шиберів виготовлені на молоті вільного кування зі сталі 30ХМА (ГОСТ 4543-71) та термооброблені за режимом: гартування від 860 °С ± 10°С, охолодження в оливі; відпуск при 660 °С, охолодження на повітрі; твердість 217…235 НВ. Заздалегідь робочі поверхні шиберів підігрівали в електропечі до 560...580 °С. Наплавлений шибер без переохолодження поміщали в піч з температурою 620 °С ± 10 С, витримували дві години, охолоджували з піччю до 150 °С, далі – на повітрі. Після візуального огляду шибера на відсутність тріщин, пор, свищів, ділянок несплавлення шару з основним металом виконували чистове фрезерування та кольорову дефектоскопію; далі його механічно обробляли та притирали робочі поверхні на плитах.

Опірність матеріалу до СКРН оцінювали за результатами випробувань плоских зразків (рис. 3), які статично навантажували на установках важільного типу [13] в цьому ж середовищі. Товщини наплавки та основного металу 2 мм.

Результати досліджень. В результаті проведених досліджень встановлено, що опірність зразків досліджених сталей СКРН помітно відрізняється. Так, зразки зі сталей 30ХМА, 10Х17Н13М3Т, 08Х18Н10, 12Х18Н10Т та бронз БрАЖ9-4 і БрАЖМц10 3 1,5 (група 1, табл. 4) виявились стійкими до СКРН. Вони вистояли базову кількість годин в середовищі NACE і навіть більше за рівнів навантажень $0{,}8\sigma_{0.2min}$ та $0{,}9\sigma_{0.2min}$ та можуть бути рекомендовані для виготовлення деталей фонтанної та запірної арматур у сірководневому виконанні. Проте, через

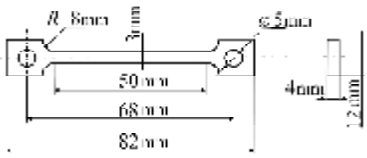

Рис. 3. Плоский зразок для дослідження СКРН

можливу контактну корозію гальванопари "бронза – сталь", стандарт NACE MR0175-99 [10] не рекомендує використовувати сплави на основі міді для нафтогазового обладнання, яке призначене для експлуатації на родовищах з домішками сірководню.

До групи 2 в табл. 4 увійшли матеріали, які не вистояли базовий час.

Для можливості застосування вказаних матеріалів з метою виготовлення деталей нафтогазового обладнання досліджували їх опірність СКРН після термообробки. Результати проведених досліджень подано в табл. 4 та рис. 4 (сталі, які пройшли термообробку, позначені буквою (т) після марки сталі). Режими проведеної термоброки подано нижче:

38ХМ. 1-е гартування: 920 °С, 20 хв, масло; 2-е гартування: 800 °С, 20 хв, масло; відпуск: 700 °С, 2 год, повітря.

14Х17Н2. Гартування: 1100 °С, 20 хв, масло; 1-й відпуск: 620 °С, 2 год, повітря; 2-й відпуск: 600 °С, 2 год, повітря.

12Х13. 1-е гартування: 1010°С, повітря; 2-е гартування: 970 °С, повітря; 1-й відпуск: 670 °С, 2 год, повітря; 2-й відпуск: 620 С, 2 год, повітря.

95Х18. Відпал: 1050 °С, охолодження з піччю; 1-е гартування: 1010 °С, повітря; 2-е гартування: 970 °С, повітря; 1-й відпуск: 670 °С, 2 год., повітря; 2-й відпуск: 620 °С, 2 год, повітря.

Як видно з рис. 4, у вказаних сталях після проведеної термообробки при незначній втраті міцності (табл. 4) значно зросла опірність СКРН, проте не настільки, щоби їх можна було рекомендувати для виробництва деталей фонтанної та запірної арматури.

Таблиця 4

Механічні характеристики досліджуваних сталей та час витримки їх під напруженням

Групи	Матеріал	Час витримки за напружень, год		Границя текучості
		$0{,}8\sigma_{0.2min}$	$0{,}9\sigma_{0.2min}$	$\sigma_{0.2min}$, МПа
1	30ХМА	979	768	710
	10Х17Н13М3Т	983	768	320–330
	08Х18Н10	888	1728	279
	12Х18Н10Т	814	1728	200
	БрАЖ9-4	960	1032	468
	БрАЖМц10 3-1,5	1437	936	300
2	38ХМ	18		790–800
	38ХМ(т)	244		738,7
	14Х17Н2	18		670
	14Х17Н2(т)	140		621,7
	12Х13	22		600
	12Х13(т)	192		500
	95Х18	3,5		635,5
	95Х18(т)	71		581

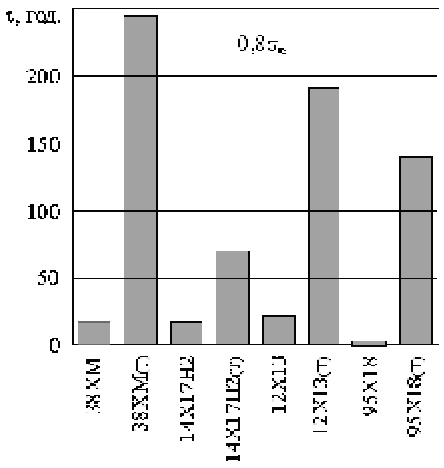

Рис. 4. Вплив термообробки сталей на їх опірність СКРН в розчині NACE

З аналізу даних, приведених в табл. 4, видно, що найбільший вплив на опірність матеріалів СКРН очевидно має структура матеріалу, а не його міцність, як може здатися на перший погляд, що підтверджується в працях [11, 12, 15]. Це видно з того, що при високих значеннях границі текучості сталі 30ХМА вона виявилася стійкою до СКРН, на відміну від сталей 14Х17Н2, 12Х13, 95Х18, границі текучості яких є нижчими, але сталі до СКРН не є стійкими. Також про це ж свідчить і той факт, що після термообробки, в результаті якої структура стала більш дрібнозернистою, стійкість цих сталей до СКРН зросла (рис. 5). Зазначимо, що після термообробки, в результаті якої структура стала більш дрібнозернистою, опірність сталі до СКРН зросла майже в 4 рази.

Враховуючи попередні результати досліджень сталі 30ХМА, ми розглянули можливість її застосування для виготовлення елементів бурового обладнання (кульові крани) у сірководневостійкому виконанні.

Оскільки термічна обробка суттєво впливає на структуру, механічні та інші властивості сталей, у тому числі на опірність СКРН, тому для можливості застосування конструкційних матеріалів з метою виготовлення деталей нафтогазового обладнання досліджували їх опірність СКРН після термообробки.

Для виготовлення кульових кранів необхідні високоміцні конструкційні матеріали, тому слід використовувати низько- або середньолеговані сталі. Міжнародний стандарт NACE [10], в якому враховано практичний досвід експлуатації нафтогазового обладнання, рекомендує використання сталей із системою легування Cr – Mo, зокрема сталь AISI 4130, яка включена в міжнародний стандарт і використовується для виготовлення нафтогазовидобувного обладнання, призначеного для роботи у сірководневих середовищах. Вітчизняна сталь 30ХМА, яка є аналогом закордонної сталі AISI 4130, показала високу опірність СКРН за результатами наших досліджень. Тому для експериментів обрано сталь 30ХМА виробництва – ВАТ "Дніпроспецсталь", оскільки саме цей виробник забезпечує належну її чистоту за неметалевими домішками [19], низьким вмістом сірки і фосфору, тощо.

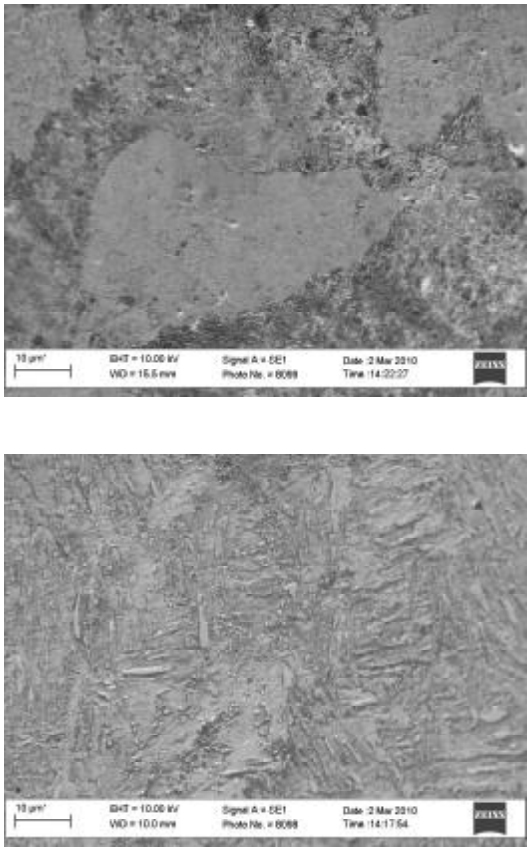

Рис. 5. Мікроструктура сталі 30ХМА до (*а*) та після термообробки (*б*): гартування при 890 єС в масло з наступним відпуском при температурі 650 ^{0}С

У зв'язку з необхідністю забезпечення границі текучості конструкційних матеріалів кульових кранів не менше 735 МПа (згідно технічних умов) проведено дослідження зразків із сталі 30ХМА після різних термічних обробок. Зокрема, досліджували зразки після гартування при 890 ^{0}С в масло з наступним відпуском при температурах 570, 600 і 650 ^{0}С (витримка 2 год, охолодження на повітрі) на схильність до ВІР та опірність СКРН [20].

Встановлено, що сталь після вищезгаданих режимів термообробок не піддається поверхневому пухирінню та ВІР. Окрім цього, жоден зі зразків (використовували по 5 зразків на кожен експеримент) не зруйнувався протягом 720 год при напруженнях 80% від границі текучості сталі 30ХМА після відпусків 650, 600 і 570 ^{0}С, що свідчить про високу опірність конструкційного матеріалу сірководневому корозійному розтріскуванню під напруженням й підтверджує можливість застосування сталі 30ХМА для виготовлення деталей нафтогазового обладнання, яке працює в контакті з технологічними середовищами, що містять високі концентрації сірководню (до 6 % об. H_2S та 6 % об. CO_2).

Для забезпечення надійної працездатності сталей та сплавів в умовах дії технологічних середовищ і робочих навантажень застосовують наплавлення на основний матеріал. Плазмове наплавлення відрізняється незначним проплавленням основного металу, високою якістю

наплавленого металу, можливістю наплавлення тонких шарів з допомогою присадних матеріалів [21 – 23]. Цей спосіб привабливий тоді, коли основою виробу є вуглецева або низьковуглецева сталі, а наплавлений метал – дороговартісний сплав на основі нікелю та кобальту.

Нами досліджено корозійну та корозійно-механічну поведінку нікель-хромового покриву, нанесеного на сталь 30ХМА плазмово-порошковим наплавлюванням. Зі зменшенням глибини проплавлення основного металу іноді наплавлений метал під час експлуатації відшаровується від деталі. Тому досліджували корозійні, корозійно-механічні та електрохімічні властивості наплавленого та основного металу, а також зони сплавлення.

Встановлено (рис. 6), що в зоні наплавки мікротвердість в 2–4 рази вища, ніж в основному металі, що повинно забезпечувати високу зносотривкість наплавленого покриву, а глибина проплавлення основного металу всього 35мкм.

Видно чітку межу між сталлю 30ХМА та матеріалом наплавки, вздовж якої локалізуються мікровключення, найімовірніше, сполуки бору, оскільки саме тут зафіксовано підвищену його концентрацію (рис. 7). В зоні сплавлення спостерігається взаємодифузія нікелю та заліза і часткова аустенітизація. Загалом зона сплавлення суцільна, без розшарувань.

Під час експлуатації обладнання у середовищах з високим вмістом сірководню, наприклад нафті й газі, тріщини в сталях утворюються внаслідок ВІР, тобто за відсутності навантажень під дією високого тиску молекулярного водню біля внутрішніх дефектів. Тріщини орієнтовані переважно вздовж напряму вальцювання труб та інших деталей. Опірність ВІР та поверхневому пухирінню визначають і для деталей фонтанної та запірної арматури, оскільки такий тест обов'язковий під час вибору матеріалів, які зазнають впливу наводнювального сірководневого середовища. В нашому випадку важливо було дослідити поведінку матеріалу наплавки та зони сплавлення. Виявлено високу опірність ВІР як основного металу, так і зон сплавлення та наплавки (рис. 8). Зона сплавлення основного металу та наплавки неушкоджена, відшарування не зафіксовані навіть після 200 год витримки в середовищі NACE.

Досліджували зміну потенціалу в часі нікель-хромової наплавки та знімали потенціодинамічні поляризаційні криві (рис. 9). Анодна крива має чітко виражену область

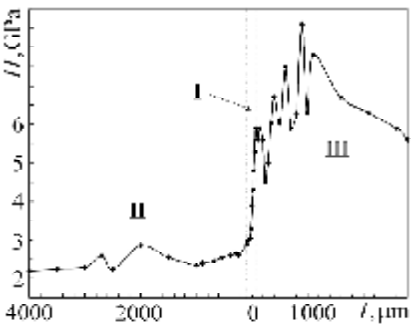

Рис. 6. Мікротвердість різних зон фрагмента шибера з наплавкою: I – зона сплавлення; II – сталь 30ХМА; III – наплавка

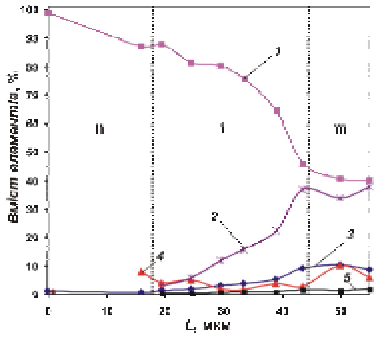

Рис. 7. Розподіл легувальних елементів по лінії сплавлення: *1* – Fe; *2* – Ni; *3* – Cr; *4* – B; *5* – Si. I – зона сплавлення; II – сталь 30ХМА; III – наплавка

Рис. 8. Структура матеріалу шибера з наплавкою після витримки в розчині NACE (200 год): I – сталь 30ХМА; II – наплавка

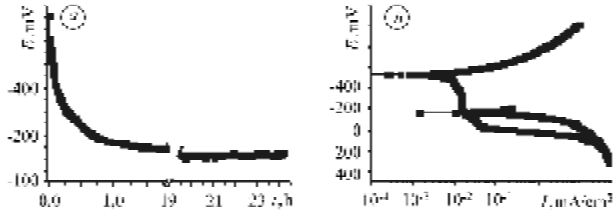

Рис. 9. Зміна потенціалу в часі Ni–Cr наплавки в розчині NACE (t = 24 год, E_{cor} = –160 мВ) (*a*) та поляризаційні криві матеріалу наплавки (*b*) (E_{cath} = –1200 мВ, 10 хв, V_{scan} = 1 мВ/с)

пасивності ~350 мВ, однак, потенціал корозії (–160 мВ) встановлюється на межі пасивної зони та зони нестабільної пасивації і незначне зміщення його в позитивну область може призвести до активного анодного розчинення.

Швидкість корозії вивчали за умов, наближених до реальних роботи нафтогазовидобувного обладнання: перемішування середовища до 6 м/сек, тиск 0,5 МПа. Досліджували у рідинній (р-н NACE) та парогазовій фазах з абразивом (1мас.% кварцевого піску, фракція 14) та без нього (табл. 5).

Матеріал наплавки виявився корозійнотривким як у парогазовій, так і у рідинній фазах. Абразив у рідинній фазі збільшує швидкість корозії матеріалу вдвічі, однак, вона не перевищує 0,1 г/(м^2· год). За десятибальною шкалою корозійної тривкості металів (ГОСТ 5272-68) матеріал наплавки відноситься до групи "тривкі" та відповідає 4-му та 5-му (випробування з абразивом) балам тривкості.

Поведінку матеріалу наплавки досліджували в умовах дії змінних напружень і корозивно-агресивного середо-

Таблиця 5

Швидкість корозії основного металу та наплавленого

Матеріал	Середовище	K_m, г/(м^2·год)	K_n, мм/рік
Сталь 30ХМА (осн. метал)	NACE (рідка фаза)	2,049	2,283
	NACE (парогазова)	0,711	0,792
	NACE (рідка фаза + абразив)	4,680	5,214
Хромо-нікелева наплавка	NACE (рідка фаза)	0,039	0,434
	NACE(парогазова)	0,016	0,018
	NACE (рідка фаза + абразив)	0,077	0,086

вища: зразки витримали лише 38000 циклів за амплітуди $\Delta K = 3{,}25$ МПа·м$^{1/2}$, а швидкість поширення тріщини $6 \cdot 10^{-6}$ м/сек. Схильність до СКРН вивчали у сірководневому середовищі на плоских зразках за напружень $0{,}7\sigma_{0.2}$ та $0{,}8\sigma_{0.2}$ (сталь 30ХМА) ($\sigma_{0.2} = 414$ МПа). Зразки не зруйнувалися на базі випробувань 720 год, що підтверджує високі корозійно-механічні можливості матеріалу шибера.

Висновки. 1. Результати досліджень показали, що сталі 30ХМА, 10Х17Н13М3Т, 08Х18Н10, 12Х18Н10Т є стійкими до СКРН і можуть бути рекомендовані для виготовлення деталей фонтанної та запірної арматур у сірководневому виконанні. Застосування з цією метою бронз БрАЖ9-4 і БрАЖМц10 3-1,5 є небажаним до проведення спеціальних досліджень.

2. Проведена нами термічна обробка сталей 38ХМ, 14Х17Н2, 12Х13 та 95Х18 значно підвищує їх опірність СКРН, проте не настільки, щоби можна було рекомендувати ці матеріали для використання.

3. Вибрано режими термообробки сталі 30ХМА, які забезпечують високу опірність ВІР та СКРН.

4. Сталь 30ХМА згідно ГОСТу 4543-71 виробництва ВАТ „Дніпроспецсталь” відповідає вимогам стандарту NACE MR0175-99 за видом термічної обробки та вмістом сірки. Деталі кульових кранів класу К2 рекомендовано виготовляти з цієї сталі, яка пройшла відповідну термообробку.

5. Виявлено високу корозійну тривкість нікель-хромового покриву як у парогазовій, так і рідинній фазах середовища NACE навіть за наявності абразиву (1%) та перемішування, а також хороші корозійно-механічні властивості. Матеріал наплавки можна успішно використовувати для виготовлення елементів фонтанної та запірної арматури, що зазнають впливу сірководню.

Література

1. *Коррозионное* растрескивание мартенситных нержавеющих сталей в сероводородсодержащих средах / А. И. Радкевич, В. П. Коваль, Е. Н. Каличак, И. И. Василенко // Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности. – 1974. – №11. – С. 3–5.

2. *Радкевич А. И., Чапля О. Н., Василенко И. И.* Коррозионно-электрохимическое поведение нержавеющей стали в сероводородсодержащих средах // Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности. – 1981. – № 5. – С. 2-А.

3. *Влияние* состава сероводородсодержащей среды на скорость роста трещины при циклическом нагружении / А. И. Радкевич, М. Д. Клапкив, Т. С. Долотова, И. И. Василенко // Физ.-хим. механика материалов. – 1984. – № 3. – С. 29–32.

4. *Порівняльний* аналіз корозійно-механічних властивостей вітчизняної трубної сталі 20ЮЧ з іноземними аналогами / О. Чапля, О. Радкевич, О. П’ясецький, Я. Спектор // Машинознавство. – 1999. – № 9. – С. 52–56.

5. *О. Радкевич, Г. Чумало, І. Домінюк.* Корозійна та корозійно-механічна стійкість корпусних сталей фонтанної арматури свердловин // Машинознавство. – 2001. – № 4/5. – С. 21–24.

6. *Роботоздатність* насосно-компресорних та обсадних труб у сірководневих середовищах / *О. І. Радкевич*, І. М. Домінюк Г. В. Чумало, А. В. Василик. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2001. – № 6. – С. 106–110.

7. *Карпенко Г. В., Василенко И. И.* Коррозионное растрескивание сталей. – Киев: Техніка, 1971. – 191 с.

8. *Саакиян Л.С., Ефремов А. П.* Защита нефтегазопромыслового оборудования от коррозии. – М.: Недра, 1982.

9. *Марочник* сталей и сплавов / Под ред. В. Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 1989. – 640 с.

10. *NACE* Standard MR0175-99. Standard Material Requirments. Sulfide stress cracking resistant metallic materials for oilfield equipment // NACE. – Houston: P.O. Box 218340. – 1999. – 34p.

11. *Канеко Т., Окада Я., Икеда А.* Влияние микроструктуры на чувствительность к SSC низколегированных высокопрочных трубных изделий нефтяного сортамента // Трубы нефтяного сортамента и нефтепроводные производства Сумитомо. – Токио: Сумитомо Ltd.,1987. – 1-2-1. – 21 с.

12. *Канеко Т., Окада Я., Икеда А.* Влияние микроструктуры на чувствительность к SSC низколегированных высокопрочных трубных изделий для нефтедобывающих стран // Трубы нефтяного сортамента и нефтепроводные производства Сумитомо. – Япония: Сумитомо Ltd., 1989. – 1-2-1. – 21 с.

13. *NACE* Standard TM-0177-2005. Standard Test Method. Laboratory Testing of for Resis-tance to Sulfide Stress Cracking and Stress Corrosion Cracking in H2S Environments. – Houston, Tx.: National Association of corrosion Engineers (NACE). – 2005. – 39 p.

14. *Specification* Tenguiz Oil and Gas Plant. Process Plant. Lurgi code: 65102-00-MAL – TENGUIZ II. Specification No. SPC-62900-XP-007.

15. *Василенко І. І., Шульте О. Ю., Радкевич О. І.* Вплив хімічного складу і технології виробництва сталей на їх чутливість до водневого тріщиноутворення та сірководневого корозійного розтріскування // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 1990. – № 4. – С. 8–22.

16. *Технічні* вимоги до матеріалів газопромислового обладнання та методів і засобів боротьби з корозією при експлуатації в природному газі з домішками сірководню / Під ред. О.І. Радкевича. – Львів: УАК та ФМІ НАНУ, 2000. – 15 с.

17. *Карпенко Г.В., Василенко И.И.* Коррозионное растрескивание сталей. – К.: Техніка, 1971. – 191 с.

18. *Василенко И.И., Мелехов Р.К.* Коррозионное растрескивание сталей. – К.: Наук. Думка, 1977. – 265 с.

19. *Влияние* неметаллических включений на водородное расслоение низколегированных сталей / Ю. И. Рубенчик, Р. П. Соколов, А. И. Радкевич и др. // Физ.-хим. механика материалов. –1988. – № 3. – С. 47–51.

20. *Чумало Г.* Вибір конструкційних матеріалів для виготовлення кульових кранів, які працюють в сірководневих середовищах // Машинознавство. –2008.– № 12.– С. 29 – 33.

21. *Гоголицын М., Фрумин И.* Плазменная наплавка // Автомат. сварка. – 1965. – № 3. – С. 23–27.

22. *Зусин В. Я., Цыплюхин А. В.* Сварка и наплавка цветных металлов и сплавов на предприятиях Мариупольского региона // Автомат. сварка. – 2009. – № 9. – С. 45–47.

23. *Стеклов О. И., Александров О. А.* Повышение стойкости против отслаивания наплавленного слоя нержавеющей стали при плазменно-дуговой наплавке // Автомат. сварка. – 1994. – № 9. – С. 38–39.

Отримана 25.08.12

O. Radkevych, H. Chumalo, R. Yurkevych, I. Antoshchak

Serviceability of structural materials of Christmas tree components and stop valve of oil-and-gas production equipment resistant to the hydrogen sulphide environment

Karpenko Physico-Mechanical Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv

The resistance to sulfide stress corrosion cracking (SSCC) of structural materials and components for Christmas tree, which are made of steel of various grades and classes has been investigated. The steels with high SSCC resistance for manufacturing body parts, gates, pins, flanges, etc. have been selected To prepare the gate it is proposed to use plasma welding deposition of nickel-chromium alloy that provides high corrosion resistance combined with high resistance to SSCC and fatigue crack growth resistance. 30ХМА steel manufactured at "Dniprospetsstal" plant is recommended to produce details for ball cock K2 class after the appropriate heat treatment It has been shown that the conventional steels used for making Christmas tree are unsuitable for operation in hydrogen sulphide environments.

Інформація

IX Международная конференция
СТРАТЕГИЯ КАЧЕСТВА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ОБРАЗОВАНИИ

31 мая – 07 июня 2013 г.
Технический университет-Варна, Болгария

1. Качество в промышленности:
- теоретические и прикладные результаты научных исследований, инновационные разработки и технологии для базовых отраслей промышленности;
- современные технологии и оборудование для предприятий металлургии и машиностроения, обеспечение качества и конкурентоспособности продукции;
- перспективные конструкционные материалы и перспективные технологии обработки материалов;
- энергосберегающие технологии в промышленности;
- экология и охрана окружающей среды;
- вопросы стандартизации, оценки соответствия и аккредитации в промышленности.

2. Качество в образовании.
3. Информационные технологии в промышленности и образовании.
4. Теоретические и прикладные аспекты развития экономической теории и ее инновационно-инвестиционный потенциал в сферах техники, технологии, технического регулирования и обеспечения качества.

Контактная информация
Тел. +38 056 372-79-74; факс +38 0562 36-07-64
E-mail: st@gipo.dp.ua