

С.Стасюк

Інститут проблем міцності ім. Г.С.Писаренка НАН України

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЙНОЇ СТАЛІ 09Г2С ДЛЯ ОЦІНКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ УСТАТКУВАННЯ, ЩО ПРАЦЮЄ У ВОДНЕВМІСНИХ СЕРЕДОВИЩАХ НА НАФТОПЕРЕРОБНИХ ЗАВОДАХ

Робота присвячена дослідженню стану металу корпусу реактора гідроочищення бензину Р-3, виконаного зі сталі 09Г2С, що експлуатувався 180 000 годин при температурі 280 °С і тиску 4,0 МПа в умовах впливу на метал водневмісного газу наступного складу: Н₂ - до 85 %; Н₂С - до 0,05 %. Лабораторні випробування проведені на зразках, виготовлених з темплету, вирізаного з діючого реактора, який містив зварний шов. Дослідження показали, що напрацювання матеріалу реактора у водневмісному середовищі високих параметрів не привело до зміни структури металу; міцність і пластичність основного металу практично залишилася на початковому рівні, тим часом ударна в'язкість знизилася на 20 %. Більшу чутливість до умов експлуатації виявили зварні з'єднання. Результати даних досліджень лягли в основу розрахунків ресурсу безпечної експлуатації реакторів каталітичного риформінгу і гідроочищення, у матеріальному оформленні яких використані вуглецеві і низьколеговані марганцевисті і марганцево-кремністі сталі.

В даний час у зв'язку зі скороченням переозброєння виробництва збільшилася частка устаткування, що відпрацювало свій розрахунковий ресурс. Продовження термінів його експлуатації зв'язано з діагностикою і контролем технічного стану з метою виявлення дефектів і ушкоджень, що можуть привести до відмови як складових частин, так і об'єкта в цілому. У регламентованому обсязі діагностичних процедур важливе місце займають лабораторні дослідження, тому що дозволяють оцінити вплив умов експлуатації на поведінку матеріалу, вивчити причини, механізми й умови виникнення дефектів.

Характерним для технологічного устаткування нафтопереробних виробництв є те, що тривала експлуатація в умовах водневмісних середовищ високих параметрів може привести до ушкодження матеріалу, викликати водневу корозію і зміни фізико-механічних властивостей [1-4]. У цьому зв'язку контроль механічних характеристик матеріалу дозволяє обґрунтовано підійти до вибору критеріїв працездатного стану для оцінки експлуатаційної надійності устаткування, розрахунків залишкового ресурсу і встановлення безпечного терміну служби [5-8].

Робота присвячена дослідженню стану металу корпусу реактора гідроочищення бензину Р-3, виконаного зі сталі 09Г2С, що експлуатувався 180 000 годин при температурі 280 °С і тиску 4,0 МПа в умовах впливу на метал водневмісного газу наступного складу: Н₂ до 85 %; Н₂С до 0,05 %; НСІ до 2 мг/н·м³; вологи до 40 мг/н·м³. Низьколегована марганцевокремніста сталь містила 0,11 % С; 1,3 % Мn; 0,5 % Si; 0,12 % Cr; 0,2 % Ni; 0,05 % Cu; 0,015 % S.

Лабораторні випробування проведені на зразках, виготовлених з темплету, вирізаного з діючого реактора. Темплет розмірами 60x300x300 мм містив зварний шов. Комплекс випробувань на розтяг, ударний згин, втому зразків основного металу і зварних з'єднань, а також металографічні дослідження виконані в повній відповідності до вимог стандартів [9].

Металографічні дослідження показали, що мікроструктура металу характерна для даного класу сталей: феритне зерно (7 бал) із включеннями перліту, причому в середній частині перетину спостерігалася смугастість структури (рис. 1 а); у перетині з боку внутрішньої поверхні апарата кількість перліту зменшилася (рис. 1 б), що може свідчити про початок процесів зневуглецювання металу, тому що з умов експлуатації відомо, що матеріал реактора піддавався перегріванню понад 300⁰ С тривалістю більш 4000 годин.

Фрактографічний аналіз поверхні зламу заставних зразків (знаходилися в реакторі протягом усього терміну експлуатації) показав, що механізм руйнування носить квазикрихкий характер з наявністю фасеток сколювання і гребінців відриву (рис.2); спостерігаються вторинні тріщини розшарування, пов'язані з текстурою матеріалу. Ознаки поразки металу водневою корозією відсутні.

Характеристики міцності і пластичності основного металу і зварних з'єднань при кімнатній температурі приведені в табл. 1 (із зірочкою дані результати іспитів матеріалу у вихідному стані). При оцінці механічних характеристик визначалася середня арифметична величина з трьох і більше результатів.

Таблиця 1

Механічні характеристики

Стан	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Ψ , %
Основний метал	496 / 470*	293 / 292*	37,1 / 34,9*	73,1/65,1*
Зварні з'єднання	481 / 504*	318 / 338*	29,1 / 28,6*	68,2/70,3*
За ГОСТ 19282-73	450	285	21	63...68...68

Аналіз даних табл. 1 показав, що характеристики міцності основного металу матеріалу з напрацюванням практично не відрізняються від таких у вихідному стані. Тим часом механічні характеристики зварних з'єднань знизилися в середньому на 6 %.

Ударна в'язкість, отримана при випробуваннях зразків з концентраторами виду U, V за ДСТ 9454-87 і тріщиною, приведена в табл. 2 (із зірочкою – результати випробувань матеріалу у вихідному стані).

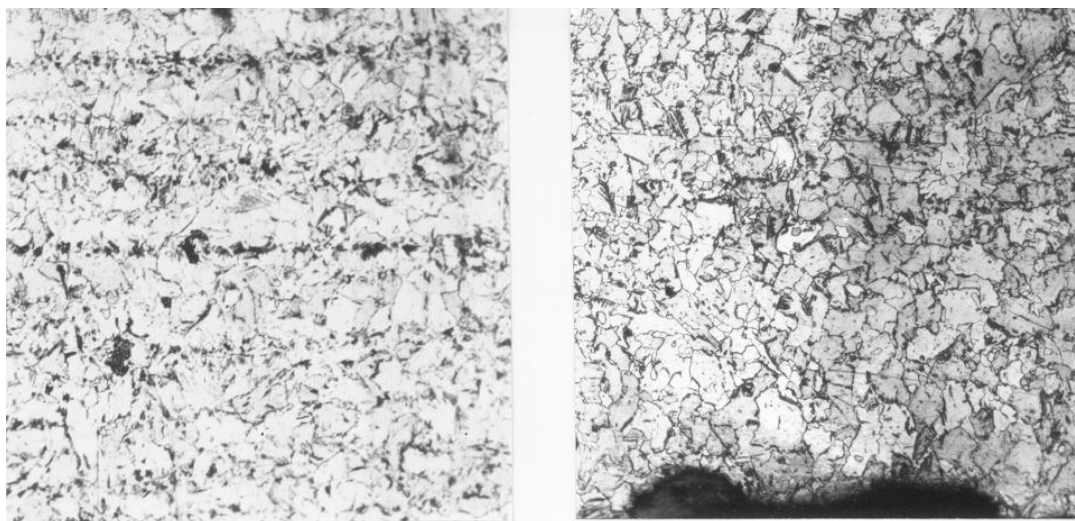
Таблиця 2

Результати випробувань зразків на ударний згин

Стан	Робота удару, Дж			Ударна в'язкість, Дж/см ²		
	KU	KV	KT	KCU	KCV	KCT
Основний метал	136 / 136*	58 / 73*	33 / 37*	170 / 170*	73 / 91*	62 / 69*
Зварні з'єднання	102 / 128*	58 / 76*	27 / 37*	128 / 160*	73 / 95*	53 / 67*

З даних табл. 2 видно, що в порівнянні з вихідним станом ударна в'язкість KCT і KCV основного металу з напрацюванням знизилася на 10 і 19 % відповідно; у той же час для зварних з'єднань зниження ударної в'язкості складає 20 % за всіма показниками.

Таким чином, дані випробувань свідчать про те, що зварні з'єднання більш чуттєві, ніж основний метал, до умов експлуатації.



а

б

Рис. 1. Мікроструктура металу реактора зі сталі 09Г2С в середній частині перетину (а) і з боку внутрішньої поверхні (б), $\times 100$

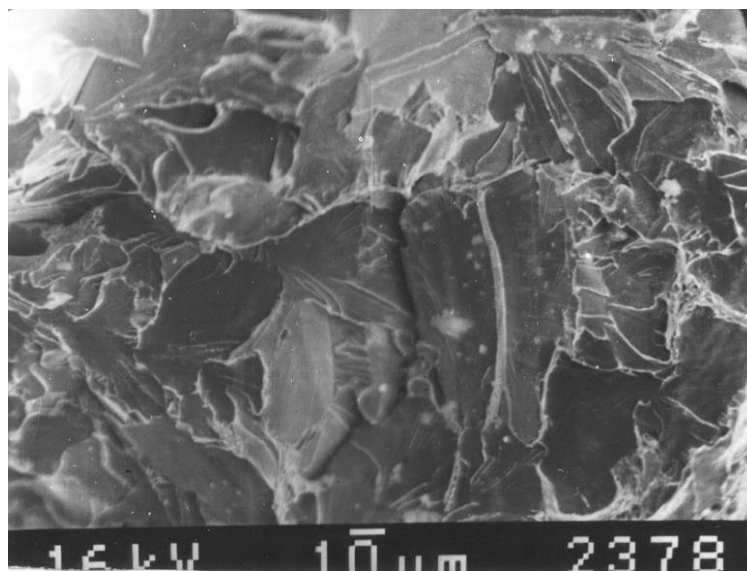


Рис. 2. Фрактограма поверхні руйнування заставного зразка

З урахуванням того, що у випадку порушення торкрет-бетонної футеровки може відбутися нагрівання стінки реактора до температури реакції, що складає 525°C , важливо визначити інкубаційний період сталі 09Г2С. Експериментами встановили, що за температури 570°C і тиску 10 МПа інкубаційний період склав 12 годин. У зв'язку з цим практичний інтерес представляють результати дослідження механічних властивостей сталі після водневого насичення протягом 25 годин за тими ж параметрами (табл. 3).

Таблиця 3

Механічні характеристики після водневого насичення

Стан	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Ψ , %	КСУ, Дж/см ²	КСV, Дж/см ²
Основний метал	451	258	29,8	49,0	133	46
Зварні з'єднання	385	231	12,9	17,2	128	74

Результати випробувань показали, що в порівнянні з матеріалом у вихідному стані границя міцності водневонасичених зразків змінилася незначно, величина $\sigma_{0,2}$ зменшилася на 12 %, характеристики пластичності δ і Ψ – на 15 і 25 % відповідно, а КСV – у два рази. Тим часом зварні з'єднання чутливість до негативного впливу водню виявили в зниженні характеристик міцності до 30 %, а пластичності до 75 %.

Результати випробувань на втому приведені в табл. 4 і представлені на рис. 3.

У вихідному стані матеріалу значення умовної границі витривалості при навантажуванні до 10^7 циклів для основного металу і зварних з'єднань практично збігаються і складають 290 і 280 МПа відповідно. При високих навантаженнях зварний шов має більшу довговічність і його циклічна міцність вища. Зі зменшенням амплітуди циклічного навантаження відбувається зближення циклічної міцності звареного шва й основного металу і при 320 МПа на високих базах навантажування (більша за 3×10^6 циклів) їх довговічності збігаються. Після високотемпературного насичення довговічність зразків основного металу і зварних з'єднань при заданому рівні навантаження знижується в цілому на 20 % і умовну границю витривалості на базі 10^7 циклів складає 230 МПа.

Таблиця 4

Результати випробувань на втому

Стан	Після водневого насичення		Вихідні зразки	
	σ , МПа	Число циклів до руйнування N	σ , МПа	Число циклів до руйнування N
Основний метал	340	$1,02 \times 10^6$	370	$0,335 \times 10^6$
	370	$0,62 \times 10^6$	310	$2,595 \times 10^6$
	370	$0,59 \times 10^6$	230	$10,0 \times 10^6$
	300	$10,0 \times 10^6$	280	$10,0 \times 10^6$
	320	$10,0 \times 10^6$	300	$5,475 \times 10^6$
	330	$5,5 \times 10^6$	370	$0,524 \times 10^6$
	400	$0,175 \times 10^6$	290	$10,0 \times 10^6$
	350	$3,75 \times 10^6$	340	$1,02 \times 10^6$
	340	$4,35 \times 10^6$		
Зварні з'єднання	300	$0,95 \times 10^6$	340	$1,7 \times 10^6$
	260	$3,95 \times 10^6$	320	$2,6 \times 10^6$
	240	$10,0 \times 10^6$	300	$3,15 \times 10^6$
	260	$2,9 \times 10^6$	280	$10,0 \times 10^6$
	250	$0,72 \times 10^6$	290	$8,85 \times 10^6$
	250	$10,0 \times 10^6$	300	$10,0 \times 10^6$
	260	$10,0 \times 10^6$	400	$0,48 \times 10^6$

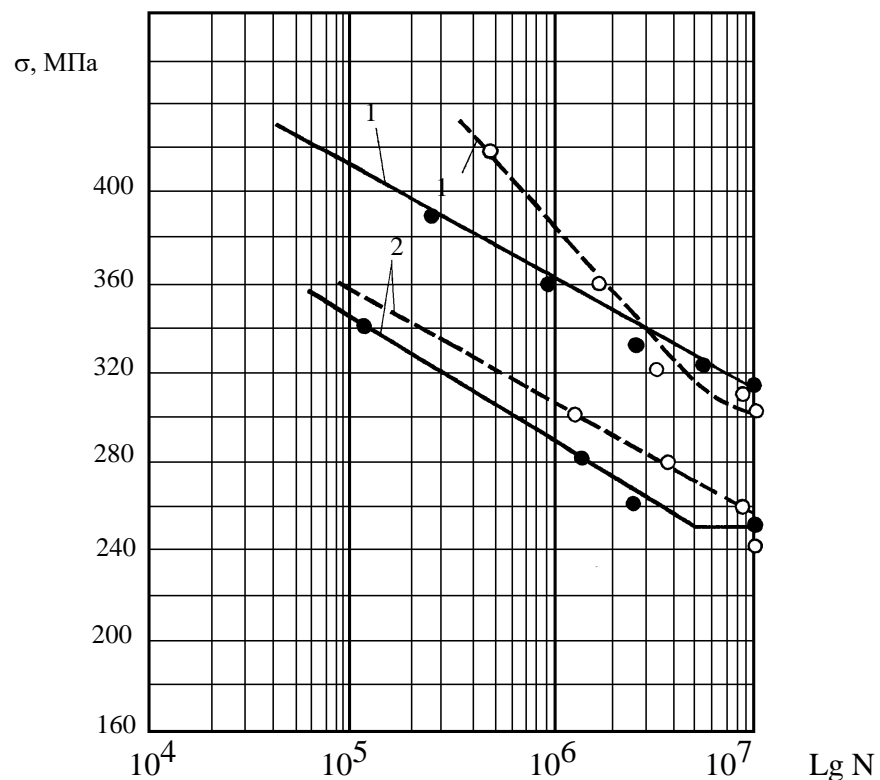


Рис. 3. Криві втому зразків основного металу (суцільна лінія) і зварних з'єднань (пунктирна лінія) у вихідному стані (1) і після водневого насичення (2)

Таким чином, дослідження показали, що напрацювання матеріалу реактора у водневмісному середовищі високих параметрів не привело до зміни структури металу; міцність і пластичність основного металу практично залишилася на колишньому рівні, тим часом ударна в'язкість знизилася на 20 %. Більшу чутливість до умов експлуатації виявили зварні з'єднання.

Жорсткість умов впливу на матеріал газоподібного водню (насичення протягом 25 годин при температурі 570⁰ С и тиску 10 МПа) привело до падіння механічних властивостей як основного металу, так і зварних з'єднань, однак матеріал має ще достатній запас працездатності.

Результати даних досліджень лягли в основу розрахунків ресурсу безпечної експлуатації реакторів каталітичного риформінгу і гідроочищення, у матеріальному оформленні яких використані вуглецеві і низьколеговані марганцевисті і марганцево-кремністі сталі.

The work is devoted to research of metal case of the reactor of petrol hydroclearing executed from steel 09Г2С, which was maintained 180 000 hours at temperature 280 °С and pressure 4,0 МПа in conditions of influence on metal of gas containing hydrogen, following structure: H₂ up to 85 %; H₂S up to 0,05 %. The laboratory tests of samples of the basic metal and welded connections which have been cut out from a wall working reactor, and also microstructural and fractographical research are carried out. Is established, that the operating time of a material of the reactor in environment containing hydrogen, high parameters has not resulted in change of structure of metal; the durability and plasticity of the basic metal has remained at a former level, but the shock viscosity has decreased on 20 %. The welded connections were shown large sensitivity to conditions of operation. The conclusion about a stock of serviceability of a material and opportunity of the further operation of the reactor over regulating term is made on the basis of the received results.

Література

1. Нефтеперерабатывающая промышленность. Справ. Изд./Под ред. Ю.И.Арчакова, А.М.Сухотина.-Л.: Химия, 1990.- 400 с.
2. Арчаков Ю.И. Водородная коррозия стали. - М.: Металлургия, 1985.- 192 с.
3. Колачев Б.А. Водородная хрупкость металлов. - М.: Металлургия, 1985.- 216 с.
4. Арчаков Ю.И. Современные проблемы водородной коррозии сталей и надежности эксплуатации оборудования гидрогенизационных процессов // Тр. конференции "Водородная обработка материалов". - Донецк, 2001.- С. 482-491.
5. Трощенко В.Т. Научные основы и обоснования продления ресурса элементов конструкций по критериям прочности// Праці конференції "Оцінка й обґрунтування продовження ресурсу елементів конструкцій". - Київ, 2000.- С. 3-10.
6. Стрижало В.А., Стасюк С.З. К проблеме прогнозирования остаточного ресурса и увеличения сроков эксплуатации оборудования нефтеперерабатывающих производств // Праці конференції "Оцінка й обґрунтування продовження ресурсу елементів конструкцій". - Київ, 2000.- С. 731-736.
7. Стасюк С.З. Оценка деградации свойств хромомолибденовой стали при эксплуатации в водородсодержащей среде // Тр. конференции "Водородная обработка материалов". - Донецк, 2001.- С. 337-339.
8. ДНАОП 1.3.00-8.02-93 Проведення робіт з оцінки залишкової працездатності технологічного обладнання нафтопереробних, нафтохімічних та хімічних виробництв.
9. ДСТУ 4046-2001. Обладнання технологічне нафтопереробних, нафтохімічних та хімічних виробництв. Технічне діагностування. Загальні технічні вимоги.

Одержано 10.06.2002 р.