

ЗАСОБИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ У СЕРЕДОВИЩІ ВОДНЮ ВИСОКИХ ПАРАМЕТРІВ

В. Р. СКАЛЬСЬКИЙ, Я. Л. ІВАНИЦЬКИЙ

Водень у сучасному науково-технічному поступі відіграє дуже важливу роль. Він стає все більше необхідним у технологічних процесах як хімічне паливо, а його важкі ізотопи — дейтерій та тритій — є незамінними у якості палива для ядерних реакторів. Тому проблема взаємодії водню із конструкційними матеріалами, із яких виготовляються ємності для його зберігання і технологічне обладнання — для транспортування, привертає до себе увагу багатьох науково-дослідницьких центрів. Підвищену зацікавленість у розв'язанні цієї проблеми проявляють авіакосмічна, хімічна та нафтопереробна промисловості та ціла низка галузей машинобудування.

Хоча прояв руйнування, котре зумовлене водневою деградацією матеріалів, відомий вже давно, однак практично відсутні методи досліджень, а також засоби реалізації останніх, які дозволяли б виявляти ранні стадії спричиненого воднем руйнування. І сьогодні актуальні задачі забезпечення надійності роботи як конструкцій в цілому, так і окремих їх деталей і вузлів, котрі працюють у безпосередньому контакті із воденьвмісними середовищами. З цієї точки зору в якості методу неруйнівного контролю особливою ефективністю відзначається метод акустичної емісії (АЕ), що забезпечує завчасне виявлення руйнування матеріалу під дією водневого чинника та прикладеного навантаження [1–5]. Він вигідно відрізняється від інших методів неруйнівного контролю тим, що генерація сигналів АЕ (САЕ) розпочинається вже за навантажень, за яких дефекти у мікрообластях матеріалу ще не можуть себе проявити на макрорівні [6–10].

Якщо взяти до уваги, що у згаданих сферах виробництва в унікальних конструкціях поряд із кольоровими металами і високолегованими сталями все більше використовуються високоміцні низьколеговані сталі, то їх діагностування неможливо уявити без застосування явища АЕ. Адже вони надзвичайно чутливі до процесів водневого окрихчування, тобто мають високу чутливість до дії водню навіть за дуже низьких концентрацій. Як показали результати експериментальних досліджень, за допомогою АЕ можна виявляти водневе і корозійне розтріскування на ранніх стадіях цих процесів не тільки під час лабораторних випробувань [11–15], але і під час експлуатації виробів [16–18]. В даний час в Україні серійно не випускаються засоби для проведення досліджень конструкційних матеріалів у воденьвмісних середовищах. Тим більше застосування методу АЗ вимагає певної специфіки конструкцій таких засобів.

Виходячи із цього, метою роботи є розробка конструкцій засобів для оцінки динаміки розвитку про-

цесів водневого розтріскування конструкційних матеріалів у середовищі газоподібного водню високих температур та тисків.

Установка для випробувань зразків триточковим згином. За конструктивними ознаками установку можна розділити на такі дві автономні основні частини: автоклав і навантажувальний пристрій. До складу першої входять (рис. 1): 1 — корпус, 2 — кришка, 3 — гайка, 4 — ущільнююче кільце, 5 — затискний прогонич, 6 — вузол для відкачування газів і подачі газоподібного водню у автоклав, 7, 8 — струмовводи електронагрівача та термопари відповідно. Навантажувальний пристрій має наступні елементи і вузли: 9 — інденитор-хвилевід САЕ (який одним кінцем безпосередньо контактує із досліджуваним зразком матеріалу, а іншим — утворює вузол відбору інформації у складі тензометричного динамометра 10, в якому розміщено первинний п'єзоперетворювач САЕ (ПАЕ) — П), 12 — гайку, 13 — шток, 14 — корпус, 15 — підшипник, 16 — навантажувальний прогонич, 17 — опорну гайку, 18 — ущільнення, 19 — вузол охолодження із каналами для проточної води 20, 21 — тензометричний вимірювач переміщення індентора, 22 — стрілочний індикатор переміщення, 23 — стяжки, 24 — кронштейн, 25 — втулку.

Всі вище перераховані елементи утворюють необхідні компоновочні вузли, які є розбірними і забезпечують задані режими роботи установки. Конструкція автоклаву виконана компактною із мінімальним робочим об'ємом, що дає змогу дотримуватися правил безпечної експлуатації його під час проведення експериментальних робіт з використанням газоподібного водню. Нагрівання робочого об'єму здійснюється електронагрівачами спеціальної конструкції. Навантаження призматичного зразка триточковим згином може бути монотонним або ступінчатодискретним, від механічних чи гідравлічних навантажувальних установок або ручним.

Монтаж установки проводять таким чином. До корпусу 1 автоклаву із попередньо жорстко зафіксованим вузлом охолодження 19 приєднують навантажувальний пристрій шляхом розміщення втулки 25 із індентором 9, та ущільненням 18, кронштейном 24 та ПАЕ 11 і ущільнюють гайкою 12, а відтак встановлюють корпус 14 за допомогою різьбового з'єднання. У корпусі розміщують шток 13 із підшипником 15 і навантажувальним прогоничем 16 з опорною гайкою 17 та завершують монтаж пристрою фіксацією стяжок 23, стрілочного індикатора переміщення 22 і пружного елемента 21 тензометричного вимірювача переміщення індентора-хвилевода САЕ 9. Після цього корпус автоклаву фіксується за допомогою фланця 25 до станини 26 і в його робочому об'ємі на опорах 27 розміщують

досліджуваний зразок 28 із виведеною втомною тріщиною 29 або без такої, у залежності від умов експерименту. Зверху корпус 1 закривається кришкою 2 після під'єднання до неї виводів термопари 8 та електронагрівача 9. Кришка 2 ставиться на ущільнююче кільце 4 і здійснюється її затискання гайкою 3, а кінцево — прогоничами 5.

Принцип роботи установки. Виконавши всі необхідні процедури з герметизації автоклаву та налаштуванню навантажувального пристрою, приступають до створення необхідних параметрів водневого середовища. Це відбувається шляхом проведення необхідних процедур, а саме: відкачування повітря із робочого об'єму автоклаву, створення вакууму, промивання робочого об'єму автоклаву і т. ін. за допомогою пристроїв та систем, котрі по-

казано на рис. 2. Вийшовши на потрібний режим наводнення і контролюючи його температуру та тиск, переходять до навантаження зразка 28. Для цього використовують гвинтову пару 16, 17 у корпусі 14 (рис. 1), зусилля навантаження від якої передається через підшипник 15 і шток 13 на індентор-хвилевід САЕ 9. З метою забезпечення оптимальних температурних режимів роботи тензометричного динамометра 10 і ПАЕ 11 у вузлі охолодження підтримується (проточною водою через канали 20) необхідна температура індентора-хвилевода.

Діаграми руйнування та акустограми у реальному масштабі часу отримують за допомогою електронних пристроїв і персонального комп'ютера (рис. 2), що дає змогу визначати параметри розвитку тріщини, а, відтак, визначати не тільки кіне-

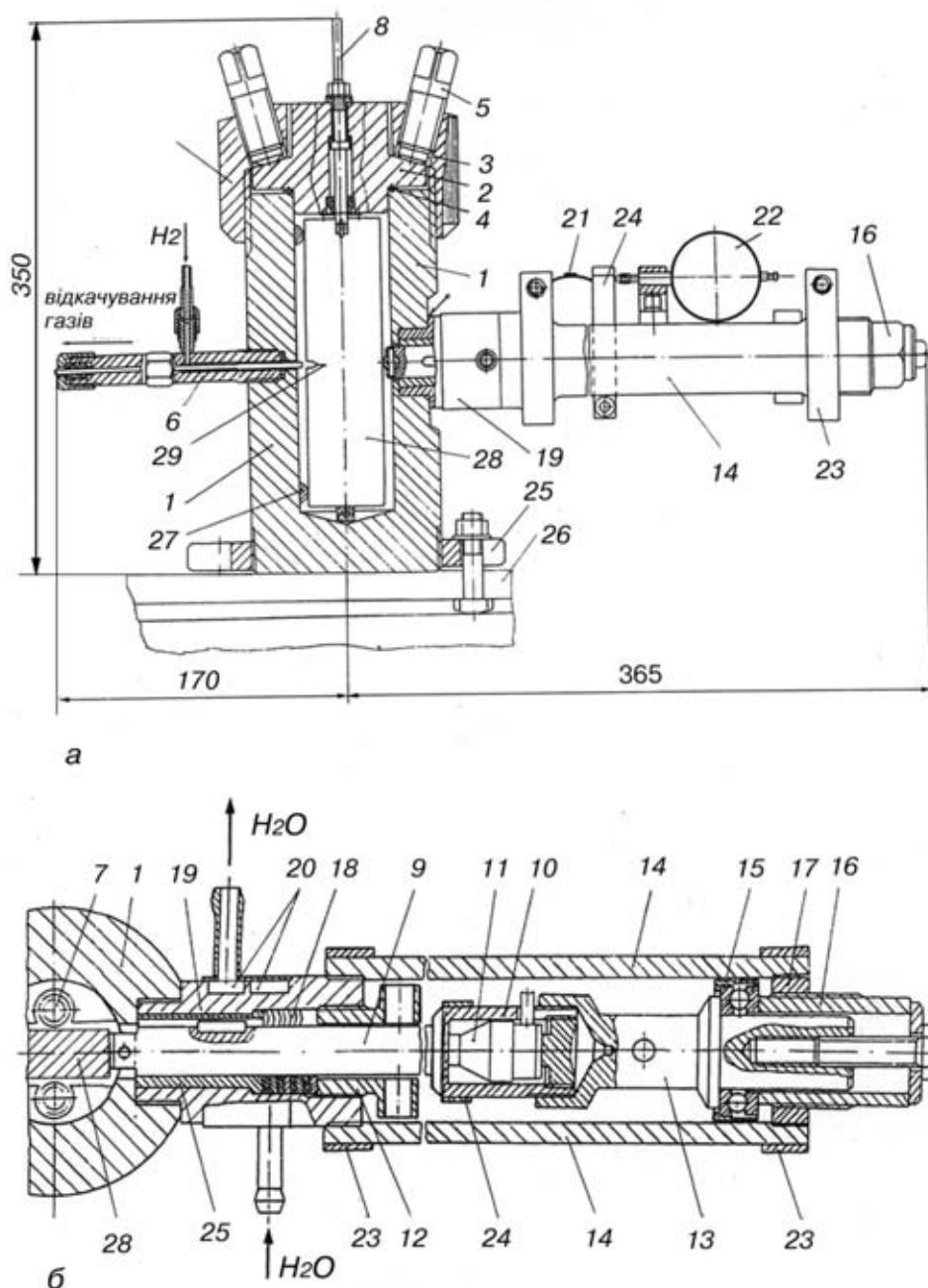


Рис. 1. Будова автоклаву (а) та навантажувального пристрою із вузлом охолодження (б).

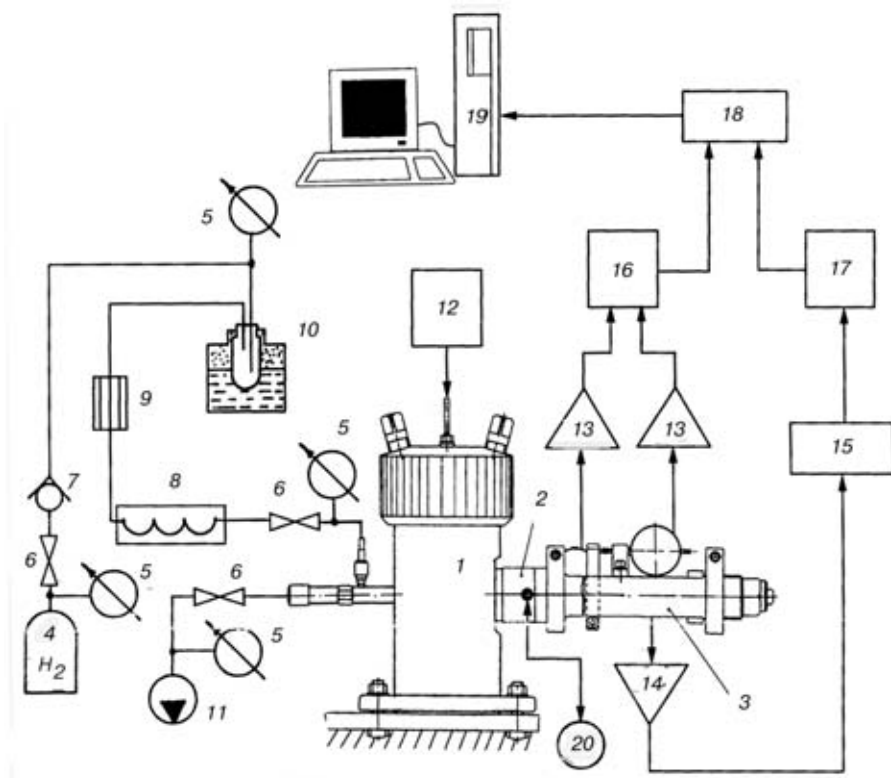


Рис. 2. Функціональна блок-схема проведення експериментальних робіт із використанням установки: 1 – автоклав, 2 – навантажувальний пристрій, 3 – вузол охолодження, 4 – ємність із газоподібним воднем, 5 – манометр, 6 – вентиль, 7 – редуктор, 8 – пристрій просушування газоподібного водню, 9 – пристрій очистки від твердих домішок, 10 – камера відбору водяної пари, 11 – форвакуумна помпа, 12 – блок управління нагрівом автоклаву, 13 – підсилювач постійного струму, 14 – попередній підсилювач САЕ, 15 – блок фільтрів, 16 – аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), 17 – АЦП САЕ, 18 – пристрій обміну між АЦП і комп'ютером, 19 – персональний комп'ютер PC/AT, 20 – система охолодження.

тику їх розвитку чи тріщиностійкість матеріалу, а й такий важливий параметр в'язкості руйнування матеріалів у робочих середовищах як нижнє порогове значення коефіцієнта інтенсивності напружень – K_{Isc} . Саме застосування методу АЕ дозволяє визначати стадії докритичного розвитку тріщини під час довготривалого статичного навантаження, коли вона розпочинає свій субкритичний ріст всередині зразка локально по фронту втомної тріщини. Як показала практика таких досліджень, інші методи неруйнівного контролю у цьому випадку неефективні.

Розрахунок геометричних розмірів індентор-хвилевода і його частотних характеристик проводили за методиками [19], а автоматичне управління нагрівом автоклаву здійснювали за допомогою спеціально розробленого блоку [20].

Технічні характеристики установки

Робоче середовище	газоподібні водень, азот, кисень, повітря, інертні гази
Максимальний тиск газів	.....25 МПа
Діапазон температур	..... 253... 673 К
Час виходу на температурний режим	..... 1,8 кс
Робочий об'єм автоклаву	..... 0,58 dm ³
Робочий об'єм газу	..... 0,18 dm ³
Максимальний струм нагрівання	..... 100 А
Максимальні розміри зразка (товщина, висота, довжина)	..... 12×46×170 mm
Максимальне навантаження	..... 18,8 kN
Габаритні розміри (ширина, довжина, висота)	..... 135×535×350 mm
Маса установки	..... 295 N

Спеціальний автоклав для насичення зразків газоподібним воднем.

На рис. 3 показано конструкцію автоклаву, котрий розроблено спеціально для дослідження водневої деградації зразків матеріалів після дії на них газоподібного водневого середовища високого тиску та температури. Принцип завантаження робочого об'єму автоклаву наступний. Зразки 11 розміщують в циліндричному об'ємі електронагрівача 5, що разом із електровводами розміщений на основі 11. Після цього в канавку основи закладають ущільнювач 4, на який ставиться корпус 10. Він накривається обіймою 7, яка фіксується до основи за допомогою двох півкільць – стяжок 3, що з'єднуються прогоничами 8. Герметизація автоклаву здійснюється за рахунок зусиль стиску, які створюються по чергово натискними прогоничами 2 та гайкою-затискачем 9.

Системи промивки робочого об'єму автоклаву, подачі газоподібного водню, управління нагрівом і т.д. використовуються аналогічні описаній вище установці (див. рис. 2).

Технічні характеристики автоклаву

Максимально допустимий тиск газоподібного водневого середовища	..... 250 МПа
Об'єм робочої частини	..... 850 cm ³
Діаметр робочої частини	..... 100 mm
Час нагріву до температури 773 К	..... 26,64 кс
Габаритні розміри:	
- діаметр найширшої частини автоклаву	..... 576 mm
- висота	..... 805 mm
Маса автоклаву	..... 1,56 kN

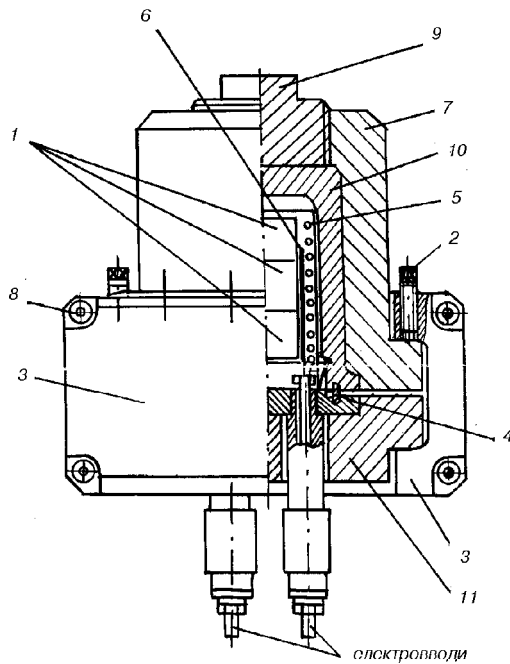


Рис. 3. Будова автоклаву для насичення зразків конструкційних матеріалів у середовищі водню високих концентрацій: 1 — зразок, 2 — натискний прогонич, 3 — напівкільце-стяжка, 4 — ущільнення, 5 — нагрівач, 6 — термопара, 7 — обойма, 8 — прогонич, 9 — затиска гайка, 10 — корпус, 11 — основа, 12 — електропроводи

Отже, конструкції описаних засобів забезпечують ефективне їх застосування у лабораторних дослідженнях і відзначаються високою надійністю роботи та простотою обслуговування, оригінальністю вирішення проблеми відбору і реєстрації необхідної вимірювальної інформації. Крім того, вони забезпечують економію енергоресурсів, матеріалів і не потребують високої кваліфікації обслуговуючого персоналу, що дає підстави для запровадження їх у серійне виробництво.

1. Dunegan H. L., Tetelman A. S. Nondestructive characterization of hydrogen embrittlement cracking by acoustic emission // Eng. Fract. Mech. — 1971. — 2, V 4. — P. 387-402.
2. Schnitt-Thomas K. G., Stengel W. Möglichkeiten zur Führung von Wasserstoffschadigungen in metallischen Werkstoffen durch Anwendung der Schallemissionanalyse // Werkstoffe und Korrosion. — 1983. — 34. — S. 7-13.
3. Hartbower C. E., Gerberich W. W., Crimmins P. P. Monitoring subcritical crack growth by detecting of elastic stress waves // Weld. Journ. — 1968. — 47, № 1. — P. 15. — 18s.
4. Bassim M. N., Piron D. L. Acoustic emission monitoring of large structures under corrosive environment // Brit. J. Non-Destruct. Test. — 1982. — 24, № 5. — P. 259-262.
5. Застосування методу акустичної емісії при дослідженні матеріалів у водневому та корозійному середовищах / О. Є. Андрейків, М. В. Лисак, О. М. Сергієнко, Скальський В. Р.

Фіз.-мех. ін-т НАН України ім. Г. В. Карпенка,
Львів

// Физ.-хим. механика материалов. — 1990. — № 5. — С. 26-36.

6. Застосування методу акустичної емісії для дослідження утворення тріщин під захисною наплавкою корпусів реакторів / М. В. Лисак, В. Р. Скальський, Я. Л. Іваницький, С. Є. Ковчик і ін. // Там же. — 1989. — № 2. — С. 79-81.
7. Водородное растрескивание металлов и сплавов и его акустико-эмиссионный контроль / А. Е. Андрейків, Н. В. Лысак, В. Р. Скальський и др. // Там же. — 1992. — № 4. — С. 63-68.
8. Определение водородной поврежденности сталей котельных труб импульсным прозвучиванием / А. Е. Андрейків, Н. В. Лысак, В. Р. Скальський, О. Н. Сергієнко // Технич. диагностика и неразруш. контроль. — 1993. — № 3. — С. 58-65.
9. Скальський В. Р. Влияние водорода на растрескивание металлов и контроль таких процессов методом АЭ // Там же. — 1995. — № 1. — С. 52-65.
10. Скальський В. Р., Вайтман А. Б. Особливості генерації сигналів акустичної емісії корозійнопошкодженого сталю трубопроводів живлення надвисокого тиску // Фіз.-хім. механіка матеріалів. Спец. випуск. — 2000. — 2, № 1. — С. 692-697.
11. Методика определения $K_{I\text{SSC}}$ стали в среде водорода с помощью метода акустической эмиссии / А. Е. Андрейків, Н. В. Лысак, В. Р. Скальський, О. М. Сергієнко // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1992. — № 1. — С. 18-26.
12. Andreykiv O. Ye., Lysak M. V., Skalsky V. R. Method of accelerated evaluation of $K_{I\text{SSC}}$ under stress corrosion cracking // Eng. Fract. Mech. — 1996. — 54, № 3. — P. 387-394.
13. Скальський В. Р., Андрейків О. Є., Сергієнко О. М. Оцінка водневої пошкодженості матеріалів за амплітудами сигналів акустичної емісії // Техн. диагностика й неразруш. контроль. — 1999. — № 1. — С. 17-27.
14. Андрейків О. С., Скальський В. Р., Гембара О. В. Метод оцінки високотемпературного водневого руйнування біметалевих елементів конструкцій // Фіз.-хім. механіка матеріалів. — 2000. — № 4. — С. 15-22.
15. Патент України №23095А. МПК: GO1N17/00; GO1N29/04. Спосіб оцінки схильності до водневої деградації конструкційних сплавів / Скальський В. Р. Опубл. 30.06.98 р. Бюл. № 3.
16. Dwight P. Detection of corrosion pitting using acoustic emission technology // Proc. 14th Symp. Nondestruct. Eval., Sail Antonio, Tex., 19-21 Apr., 1983. — 1. — P. 388-402.
17. Hutton P.H., Kurtz R.J. Acoustic emission for on-line reactor monitoring. Results of intermediate vessel test monitoring and reactor hot functional // Rev. Progr. Quart. Nondestruct. Eval.: Proc. 11-th Annu. Rev., San Diego, Calif., 8-13 July, 1984. — New-York 1985. — P. 701-708.
18. Singh G. P. Inspection for hydrogen damage in boiler waterwall tubes // Mater. Eval. — 1985. — 43, № 4. — P. 1164-1166.
19. Лисак М. В., Скальський В. Р., Сергієнко О. М. Дослідження впливу хвилеводу на зміну параметрів сигналів акустичної емісії // Фіз.-хім. механіка матеріалів. — 1994. — № 2. — С. 64-70.
20. Пристрої і установки для визначення тріщиностійкості конструкційних матеріалів методом акустичної емісії / В. Р. Скальський, О. Є. Андрейків, М. В. Лисак, С. Є. Ковчик і ін. — Львів, 1998. — 56 с. — (Препр./ НАН України. Фіз.-мех. ін-т; № 1/98).

Надійшла до редакції
18.12.2000