

ВИКОРИСТАННЯ МАГНЕТОПРУЖНОЇ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ДЛЯ КОРОЗІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СТАЛЕЙ

Є. П. ПОЧАПСЬКИЙ, Б. П. КЛИМ, М. О. РУДАК,
Н. П. МЕЛЬНИК, Ю. І. КАНЮК

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

Експериментально досліджено вплив сірководню на сигнали магнетопружної акустичної емісії (МАЕ). Вивчено дію сірководневого середовища на параметри сигналу МАЕ перемагнечених зразків сталей 15 і 2 після 173 h витримки у ньому за кімнатної температури. Деградована структура матеріалу зумовлює зниження рухливості не 180-градусних доменних стінок, оскільки зростає кількість центрів їх закріплення, і, як наслідок, зменшується сума амплітуд сигналів МАЕ у пошкоджених зразках.

Ключові слова: *корозія, сірководень, намагнеченість, сигнал магнетопружної акустичної емісії, феромагнетний матеріал, вимірювальна система.*

У промисловому секторі України використовують багато обладнання тривалого експлуатування, зокрема, у нафто- та газопровідному транспорті, машинобудуванні, теплоенергетиці тощо. В окремих галузях понад 80% виробничих фондів вичерпало свій проектний ресурс. Однією з причин руйнування обладнання є присутність сірководню H_2S , який підвищує корозійну агресивність технологічного середовища, зумовлює корозійно-водневі та корозійно-механічні руйнування конструкційних матеріалів. Внаслідок тривалого контакту з таким середовищем у матеріалах знижуються міцнісні та пластичні характеристики, тріщиностійкість, довговічність тощо [1].

Водень, який проник у метал спричиняє деградацію металоконструкцій та погіршення їх експлуатаційних властивостей, внаслідок чого підвищується ризик аварій, скорочення робочого ресурсу тощо. Таким чином, необхідно дослідити деградацію матеріалів та конструкцій за умов, наближених до експлуатаційних, розробити новітні методи та засоби діагностування їх стану.

Для вивчення корозії перспективним є метод магнетопружної акустичної емісії (МАЕ) завдяки високій чутливості до змін структури та напружено-деформованого стану матеріалу [2, 3]. МАЕ виникає за перемагнечування феромагнетного конструкційного матеріалу і пов'язана з ефектом Баркгаузена. Незворотні процеси стрибкоподібної зміни положення не 180-градусних доменних стінок, супроводжуються пружними імпульсами, які виходять на поверхню з глибин металу [4]. Такі імпульси реєструють та опрацьовують вимірювальними засобами.

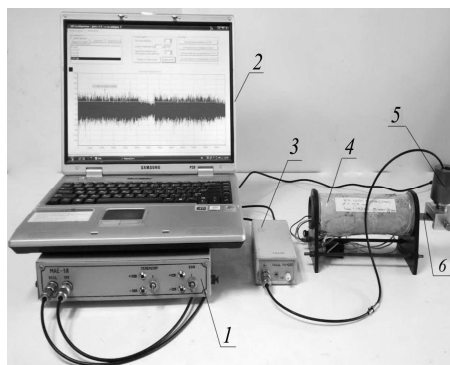
Сигнал МАЕ усереднюється по всьому об'єму перемагнеченого матеріалу та є суперпозицією великої кількості пружних імпульсів від окремих джерел. До його інформативних параметрів належать: підсумковий рахунок, сума амплітуд сигналу, середньоквадратичне значення, миттєва потужність, амплітудно-частотний спектр, густина ймовірності розподілу амплітуд тощо [5]. Отже, за сигналами МАЕ можна діагностувати інтенсивність корозійних процесів, оскільки zdegradovaniy матеріал змінює свою доменну структуру, що впливає на параметри сигналів.

Мета роботи – експериментально дослідити зміну суми амплітуд сигналів МАЕ для феромагнетних зразків зі сталей 15 та Ст. 2нс під впливом сірководневого чинника.

Методика і засоби вимірювання. В експериментах використовували комплект апаратури (рис. 1) для збудження, відбору, реєстрації та обробки сигналів МАЕ.

Рис. 1. Комплект апаратури для збудження, відбору, реєстрації та обробки сигналів МАЕ: 1 – комп'ютеризована вимірювальна система МАЕ-1Л, 2 – персональний комп'ютер; 3 – попередній підсилювач; 4 – соленоїд; 5 – п'єзоелектричний перетворювач; 6 – зразок.

Fig. 1. A set of equipment for excitation, selection, monitoring and processing of magneto-acoustic emission (MAE) signals: 1 – measuring system MAE-1L; 2 – PC; 3 – preamplifier; 4 – solenoid; 5 – piezoelectric transducer; 6 – specimen.



Структурно система МАЕ-1Л складається із каналів збудження сигналу МАЕ та вимірювального. Перший має попередній підсилювач, смуговий фільтр, основний підсилювач з програмокерованим коефіцієнтом підсилення. До його складу входять також блоки аналого-цифрового перетворювача, оперативної пам'яті, цифро-аналогового перетворювача, дискримінації та відстежування сигналу [6, 7]. Для збудження сигналу МАЕ у феромагнетних матеріалах розроблені відповідні технічні вузли, які виконані як генератор сигналу перемагнетнення, вихідний силовий блок генератора, блок вимірювання струму перемагнетнення. Роботою системи керує персональний комп'ютер, зв'язок з яким здійснюється через відповідний інтерфейс. Програмне забезпечення системи розроблено в середовищі швидкого візуального проектування DELPHI.

Під час експерименту сигнал МАЕ в графічній формі виводиться у реальному часі на монітор, а також номер зареєстрованої вибірки, період дискретизації та масштаб шкали амплітуд.

На панелі інструментів знаходяться кнопки вибору вікон задання коефіцієнта підсилення та рівня дискримінації акустичного каналу Amp; частоти дискретизації SF; довжини вибірки SL; параметрів генератора сигналу перемагнетнення; імені файла даних. У вікні розміщені також кнопки управління вимірюваннями ("Reset", "Start", "Stop", "Close"), генератором ("Reset", "Start"), вибору режиму роботи ("synchronous", "asynchronous").

Розроблений і апробований алгоритм для постобробки сигналу дає змогу оцінювати такі параметри: амплітуду, суму амплітуд, підсумковий рахунок і потужність сигналів МАЕ у вибірці, а також їх середні значення з довірчими інтервалами для всіх вибірок.

Зразки для дослідження виготовляли зі сталі 15 (пластина розмірами 230×30×2 mm) і Ст. 2нс (пластина розмірами 230×30×6 mm) та витримували їх упродовж 173 h у розчині NACE (5% NaCl + 0,5% CH₃COOH + H₂S (нас.)) [8]. Пізніше зразки промивали водою, видаляли продукти корозії, мили в ацетоні та висушували.

Результати досліджень. На рис. 2 зображена поверхня зразків після експерименту. Вона пошкоджена пухирями, утворення яких ініційоване воднем [9–11].

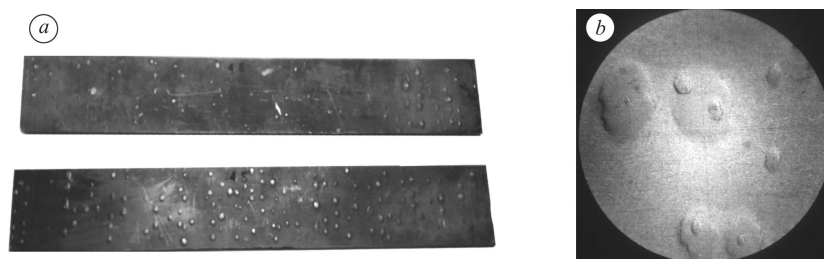


Рис. 2. Загальний вигляд поверхні пластинчатих зразків зі сталі 15 (а) та поверхневі пухирі на Ст. 2нс ($\times 16$) (b), які розвинулись у розчині NACE.

Fig. 2. General view of the surface of the plate specimens of steel 15 (a) and surface blisters on Ст. 2нс steel ($\times 16$) (b), which developed in the solution of NACE.

Поява пухирів найімовірніша в зонах накопичення коагульованих вакансій за наявності шлакових включень, мікро- та макропустот. Аналіз [9] складу газу в пухирях засвідчує, що він може містити до 99,5% водню, а тиск газу досягати кількох сотень атмосфер.

Встановили вплив сірководневого середовища на параметри сигналу МАЕ внаслідок перемагнетчення зразків (рис. 3).

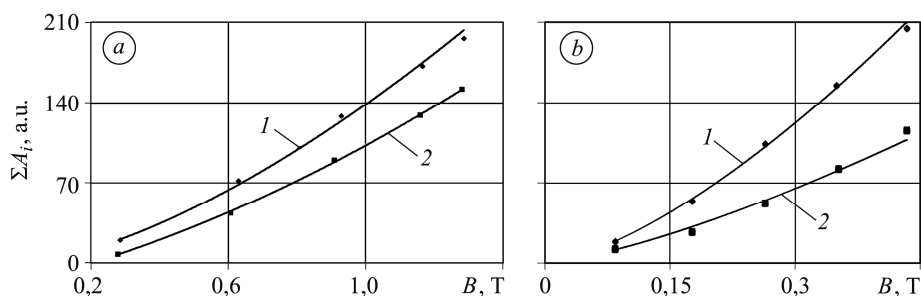


Рис. 3. Залежності суми амплітуд сигналів МАЕ ΣA_i від амплітуди індукції перемагнетчувального поля B для вихідних (1) та витриманих в сірководневому середовищі (2) пластинчатих зразків зі сталі 15 товщиною 2 mm (a) та Ст. 2нс завтовшки 6 mm (b).

Fig. 3. Dependence of the MAE signal amplitudes sum ΣA_i on the induction amplitude of the re-magnetization field B for the initial (1) and aged in hydrogen sulphide environment (2) plate specimens of steel 15 of thickness 2 mm (a) and Ст. 2нс of thickness 6 mm (b).

З отриманих залежностей видно різницю між сумами амплітуд сигналів МАЕ для вихідного зразка та витриманого в сірководневому середовищі. Зокрема, для зразка зі сталі 15 товщиною 2 mm, пошкодженого агресивним середовищем, сума амплітуд приблизно на 50 а.у. нижча, ніж для вихідного, за сталої індукції магнетного поля у зразку ($B = 1,3$ Т). Зі збільшенням товщини зразка до 6 mm для Ст. 2нс різниця зростає майже вдвічі до 90...100 а. у. за $B = 0,4$ Т через його більший перемагнетчений об'єм. Зменшення суми амплітуд сигналів МАЕ у пошкоджених зразках пояснюється деградованістю структури матеріалу, яка зумовлює зниження рухливості доменних стінок внаслідок зростання кількості центрів їх закріплення.

ВИСНОВКИ

У результаті експериментальних досліджень підтверджена чутливість параметрів сигналу МАЕ до пошкоджень феромагнетних матеріалів внаслідок сірководневої корозії. Зокрема встановлено, що за перемагнетчення зразків зі сталі 15 завтовшки 2 mm та зі Ст. 2нс товщиною 6 mm сума амплітуд сигналів МАЕ значно зменшується для пошкоджених зразків порівняно з вихідними.

РЕЗЮМЕ. Экспериментально исследовано влияние сероводорода на сигналы магнитоакустической эмиссии (МАЭ). Изучено действие сероводородной среды на параметры сигнала МАЭ перемангнитенных образцов сталей 15 и 2 после 173 h выдержки в ней при комнатной температуре. Деградирующая структура материала приводит к снижению подвижности не 180-градусных доменных стенок, вследствие роста количества центров их закрепления, и к уменьшению суммы амплитуд сигналов МАЭ в поврежденных образцах.

SUMMARY. An experimental investigation of the effect of hydrogen sulphide on the magneto-acoustic emission (MAE) signals was conducted. The samples of the steels 15 and 2 after holding 173 h in a hydrogen sulphide environment at a room temperature were investigated. As a result of the specimens re-magnetization the effect of hydrogen sulphides damage on the MAE signal parameters was found. The decrease of the MAE amplitudes sum in a damaged specimen could be explained by the degradation of the material structure that set conditions for reducing the mobility of the non-180° domain walls due to the increasing number of the pinning centres.

1. *Ткачев В. И., Холодный В. И., Левина И. Н.* Работоспособность сталей и сплавов в среде водорода. – Львов: Вертикаль, 1999. – 256 с.
2. *Jiles D. C.* Review of magnetic methods for nondestructive evaluation // *NDT & International*. – 1988. – **21** (5). – P. 311–319.
3. *Назарчук З. Т., Андрейків О. Є., Скальський В. Р.* Оцінювання водневої деградації ферромагнетиків у магнетному полі. – К.: Наук. думка, 2013. – 272 с.
4. *Об акустической эмиссии перемангнитываемых ферромагнетиков* / В. В. Волков, В. Ф. Кумейшин, М. Ю. Черниковский, Ю. П. Лобастов, С. М. Лепский // *Дефектоскопия*. – 1986. – **4**. – С. 21–28.
5. *Глухов Н. А., Колмогоров В. Н.* Связь параметров акустических шумов в перемангнитываемых конструкционных материалах // *Дефектоскопия*. – 1988. – **2**. – С. 26–29.
6. *Клим Б. П., Почапський С. П., Скальський В. Р.* Інформаційно-обчислювальна система обробки сигналів магнітопружної акустичної емісії // *Техническая диагностика и разрушающий контроль*. – 2008. – № 2. – С. 43–49.
7. *Instrumentation for magnetoacoustic emission diagnostics of ferromagnetic materials* / V. Skalsky, Ye. Pochapsky, V. Klym, S. Hirnyj, Ya. Tolopko, and P. Dolishnyi // *Вісник ТНТУ*. – 2011. – Спецвип. Ч. 2. – С. 82–88.
8. *NACE Standard MR-0175-96. Standard Material Requirements Sulfide Stress Cracking Resistance Metallic Materials for Oilfield Equipment*. – Houston, Tx.: National Association of Corrosion Engineers (NACE). – 1996. – 30 p.
9. *Радкевич О. І., Похмурський В. І.* Вплив сірководню на роботоздатність матеріалів обладнання газодобувної промисловості // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. – 2001. – **37**, № 2. – С. 157–170.
(*Radkevych O. I., Pokhmurs'kyi V. I.* Influence of hydrogen sulfide on serviceability of materials of gas field equipment // *Materials Science*. – 2001. – **37**, № 2. – P. 319–332.)
10. *Хома М. С.* Проблеми руйнування металів у сірководневих середовищах // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. – 2010. – **46**, № 2. – С. 55–66.
(*Khoma M. S.* Problems of fracture of metals in hydrogen-sulfide media // *Materials Science*. – 2010. – **46**, № 2. – P. 190–200.)
11. *Василенко И. И., Мелехов Р. К.* Коррозионное растрескивание сталей. – К.: Наук. думка, 1977. – 266 с.

Одержано 21.06.2016