

УДК 537.634:620.179.17

Скальський В. Р., Почапський Є. П., Клим Б. П., Рудак М. О.

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України. Україна, м. Київ

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ МАГНЕТОПРУЖНОЇ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ДЛЯ КОНТРОЛЮ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ФЕРОМАГНЕТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ

Наведено результати досліджень впливу залишкових напружень зварних швів на параметри сигналу магнетопружної акустичної емісії (МАЕ) із використанням вимірювальної системи МАЕ-1L. Виявлено тенденцію зниження суми амплітуд сигналу МАЕ для вихідних, напружених наявністю зварних швів зразків зі сталі 15 в порівнянні з відпаленими. Проведено додаткові дослідження з метою встановлення залежності між прикладеним навантаженням до зразка та параметрами сигналів МАЕ. Отримані залежності демонструють зменшення суми амплітуд сигналів МАЕ зі зростанням величини прикладеного зусилля. Результати проведених досліджень підтверджують перспективність методу МАЕ для неруйнівного контролю діючого обладнання та споруд.

*Ключевые слова:* неруйнівний контроль; зварний шов; залишкові напруження; магнетопружна акустична емісія; доменна стінка.

Забезпечення міцності та якості виробів, працездатності елементів конструкцій та споруд, багато в чому визначається рівнем напруженого стану, що виникає в процесі їх виготовлення та експлуатації.

Важлива роль у розв'язанні цієї проблеми належить розробці та широкому застосуванню методів і засобів неруйнівного контролю. Перспективним у цьому напрямі є застосування методу магнетопружної акустичної емісії (МАЕ) завдяки його високій чутливості до змін структури та напружено-деформованого стану матеріалу [1, 2]. МАЕ виникає за перемагнечування феромагнетного конструкційного матеріалу і пов'язана з ефектом Баркгаузена. Необоротні процеси стрибкоподібної зміни положення 90°-градусних доменних стінок, супроводжуються пружними імпульсами, які виходять на поверхню з глибин металу [3].

Метою роботи є експериментальне дослідження впливу напруженого стану феромагнетного матеріалу на параметри сигналів МАЕ.

В експериментах використовували комплект апаратури для збудження, відбору, реєстрації та обробки сигналів МАЕ, загальний вигляд блоків якої наведено на рис. 1.

До її складу входять: комп'ютеризована вимірювальна система МАЕ-1Л 1, персональний комп'ютер 2, попередній під-

силювач 3, соленоїд 4, п'єзоелектричний перетворювач 5 [4]. Для досліджень виготовляли експериментальні зразки зі сталі 15 (пластина розмірами 240 × 30 × 2 мм) 6.

Зварні шви виконували автоматичним зварюванням під флюсом з різною орієнтацією у зразках (рис. 2).

Для зняття залишкових напружень проводили релаксаційний відпал з підігрівом до температури  $T = 600$  °С тривалістю  $t = 2$  год. з наступним охолодженням разом з нагрівальним обладнанням [5].

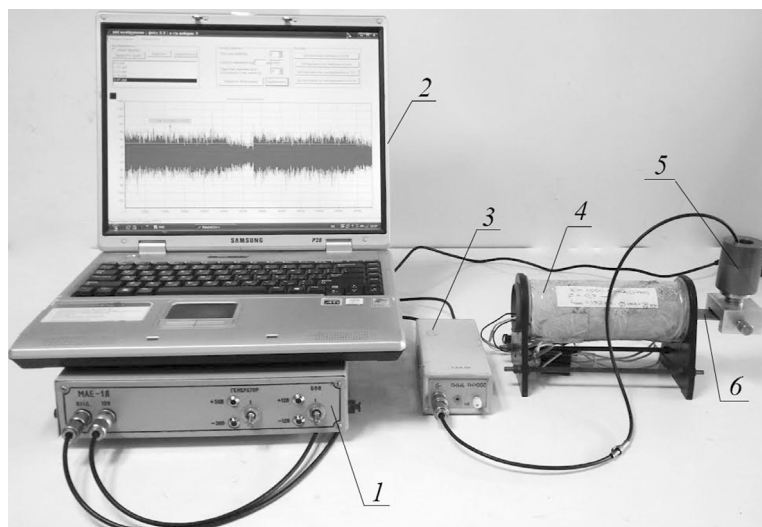


Рис. 1. Комплект апаратури для збудження, відбору, реєстрації та обробки сигналів МАЕ

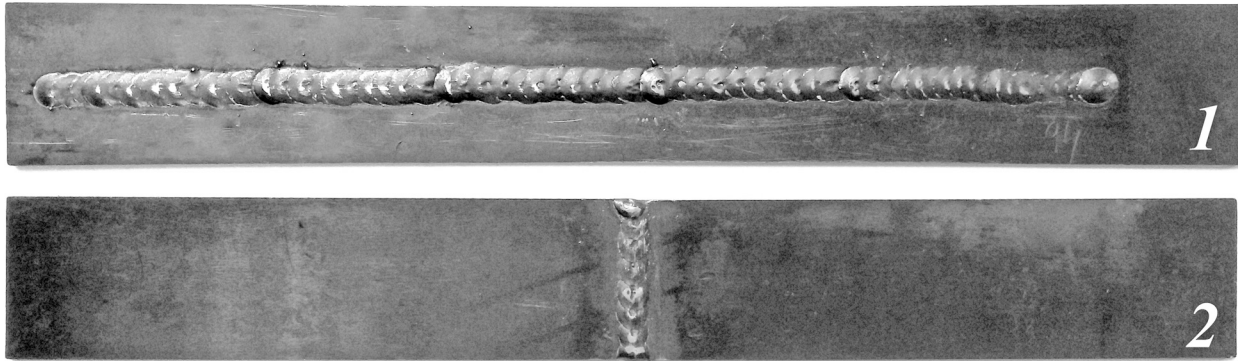


Рис. 2. Загальний вигляд зразків після зварювання:  
1 – з поздовжнім, 2 – з поперечним швами

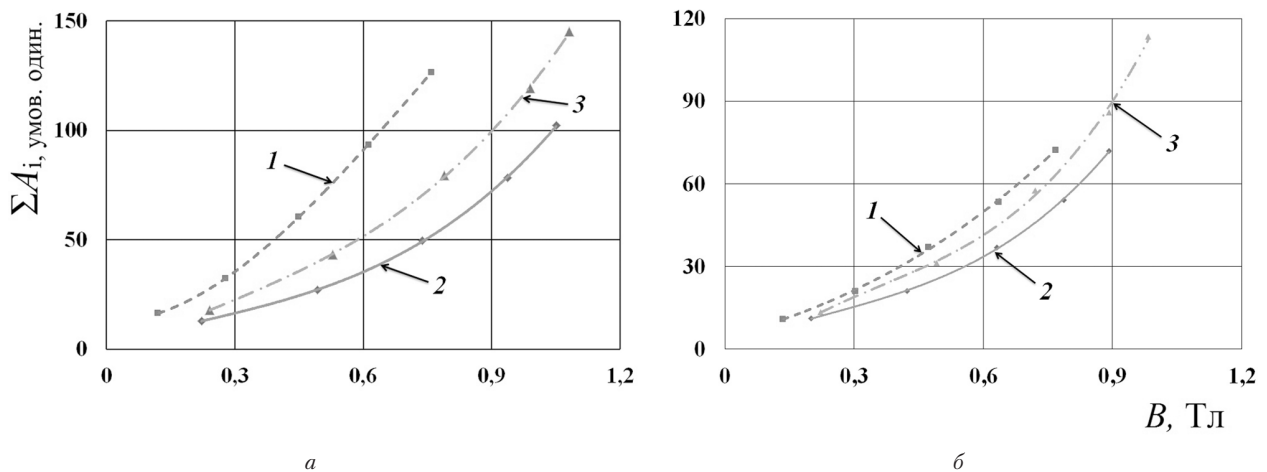


Рис. 3. Залежності суми амплітуд сигналів МАЕ  $\Sigma A_i$  (в умовних одиницях) від амплітуди індукції перемангнечувального поля  $B$  для зразків з поперечним (а) та поздовжнім (б) швами:  
1 – вихідний без шва, 2 – зразок зі зварним швом, 3 – відпалений зразок



Рис. 4. Загальний вигляд обладнання для досліджень

У результаті перемангнечення зразків встановлено вплив залишкових напружень на параметри сигналу МАЕ (рис. 3).

З експериментальних залежностей видно різницю між значеннями сум амплітуд сигналів МАЕ  $\Sigma A_i$  для вихідних, напружених наявністю зварного шва та відпалених зразків. За сталої індукції магнетного поля  $B$  найбільші значення  $\Sigma A_i$  зареєстровано за перемангнечування вихідних зразків. У зразках зі зварними з'єднаннями значення  $\Sigma A_i$  знижується за рахунок присутніх у матеріалі напружень I-го роду, які зумовлюють зростання кількості центрів закріплення доменних стінок, що перешкоджають їх руху. Проведений нами релаксаційний відпал зумовив зняття напруженого стану у зразку, що у свою чергу підвищило активність руху доменних стінок за прикладеного змінного магнетного поля.

Беручи до уваги отримані вище результати, були проведені дослідження з метою встановлення залежності між прикладеним навантаженням до зразка та параметрами сигналів МАЕ. Схема експерименту зображена на рис. 4.

Результати експериментальних досліджень представлені на рис. 5.

Отримані залежності підтверджують зменшення суми амплітуд сигналів МАЕ зі зростанням величини прикладеного зусилля.

Отже, проведені дослідження показали, що параметри сигналу МАЕ є чутливими до напружено-деформованого стану феромагнетного матеріалу, що свідчить про можливість використання цього методу для проведення неруйнівного контролю виробів та елементів конструкцій.

### Література

[1] Jiles D. C. Review of magnetic methods for nondestructive evaluation // NDT&International. – 1988. – 21 (5). – P. 311–319.  
 [2] Назарчук З. Т. Оцінювання водневої деградації феромагнетиків у магнетному полі // З. Т. Назарчук, О. Є. Андрейків, В. Р. Скальський. – Київ: Наук. думка, 2013. – 271 с.  
 [3] Об акустической эмиссии перемангничиваемых ферромагнетиков / В. В. Волков, В. Ф. Кумейшин, М. Ю. Черниковский и др. // Дефектоскопия. – 1986. – 4. – С. 21–28.

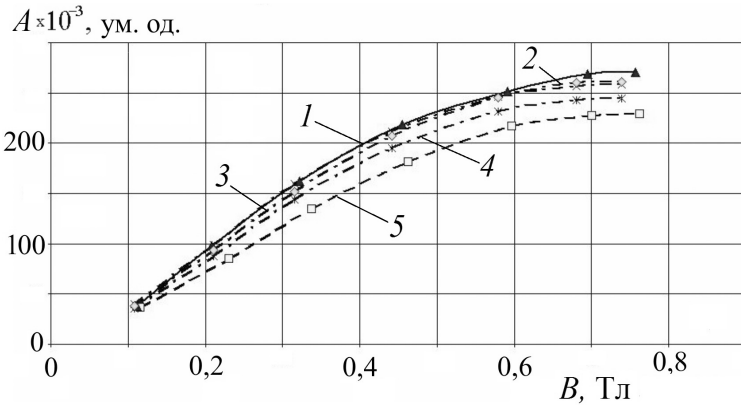


Рис. 5. Залежності суми амплітуд сигналів МАЕ  $A_i$  (в умов. один.) від амплітуди індукції перемагнечувального поля  $B$  для різних значень напруження:

1 – 136 МПа, 2 – 237 МПа, 3 – 322 МПа, 4 – 339 МПа, 5 – 350 МПа

[4] Клим Б. П., Почапський Є. П., Скальський В. Р. Інформаційно-обчислювальна система обробки сигналів магнітопружної акустичної емісії // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2008. – №2. – С. 43 – 49.  
 [5] Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Практикум [Текст] : [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. за напрямом «Інж. механіка»] / В. В. Попович, А. І. Кондир, Е. І. Плешаков та ін. – Львів : Світ, 2009. – 551 с.

Skalskyi V. R., Pochapskyi Ye. P., Klym B. P., Rudak M. O.

Karpenko Physico-Mechanical Institute of National Academy of Sciences of Ukraine. Ukraine, Kiev

### APPLICATION OF MAGNETOELASTIC ACOUSTIC EMISSION FOR CONTROL OF THE STRESS STATE OF FERROMAGNETIC STRUCTURAL ELEMENTS

*The results of investigations of the influence of residual stress in welded joints on the parameters of signal of magnetoelastic acoustic emission (MAE) with using a measuring system MAE-1L are presented. The tendency of decline of sum of MAE signal amplitudes for output and tense samples of steel 15 as compared to the annealed samples is revealed. Additional research with the aim of establishment of dependence between added loading to the sample and the parameters of MAE signals are carried out. The obtained dependences demonstrated a decreasing of sum of MAE signal amplitudes with increasing of the magnitude of the applied load. The obtained results are confirms a perspective of MAE method for non-destructive testings of operation equipment and constructions.*

Keywords: non-destructive testing; weld; residual stresses; magnetoelastic acoustic emission; domain wall.

### References

[1] Jiles D. C. Review of magnetic methods for nondestructive evaluation // NDT&International. – 1988. – 21 (5). – P. 311–319.

- [2] Nazarchuk Z. T. Ozinuvannia vodnevoi dehradazii feromagnetiv u magnetnomu poli // Z. T. Nazarchuk, O. Ye. Andreykiv, V. R. Skalskyi. – Kyiv: Nauk. dumka, 2013. – 271 p.
- [3] Ob akusticheskoi emissii peremagnichivayemykh ferromagnetikov / V. V. Volkov, V. F. Kumejshin, M. U. Chernihovskyi et al. // Defektoskopiya. – 1986. – 4. – P. 21–28.
- [4] Klym B. P., Pochapskyi Ye. P., Skalskyi V. R. Informaziyno-obchysluvalna systema obrobky sygnaliv magnitoprugnoi akustichnoi emisii // Tehnicheskaya diagnostika i nerazrushayushchiy kontrol. – 2008. – №2. – P. 43 – 49.
- [5] Popovych V. V. Tehnolohiya konstrukziynykh materialiv i materialoznavstvo. Praktykum: [navch. posib. dla stud. vyshch. navch. zakl. za naprjamom «Ing. mehanika»] / V. V. Popovych, A. I. Kondyr, E. I. Pleshakov et al.. – Lviv : Svit, 2009. – 551 p.