

ВПЛИВ ПОЛІВ РОЗМАГНЕЧЕННЯ НА МЕХАНІЗМИ ГЕНЕРУВАННЯ МАГНЕТОПРУЖНОЇ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ У ФЕРОМАГНЕТНИХ МАТЕРІАЛАХ

Є. П. Почапський, Н. П. Мельник, І. М. Коблан

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

Magnetoelastic acoustic emission (MAE) has been measured from a Ni bar and a steel bar of various thickness. The magnetizing field was produced by a c-core electromagnet, which was separated from the specimen surface by a nonmagnetic spacer layer various thickness. The generation of MAE is due to domain wall creation, motion and annihilation during the process of magnetization. Influence of the demagnetizing fields allows to separate these three processes.

Вступ. Для забезпечення надійного використання, визначення реальної дефектності конструкцій, що експлуатуються під великим навантаженням, необхідно постійно контролювати їх технічний стан. Серед сучасних методів неруйнівного контролю, які застосовують для технічного діагностування виробів, елементів конструкцій, обладнання більшості галузей промисловості перспективним є метод магнетопружної акустичної емісії (MAE). Він поєднує два фізичні принципи: перемагнення зовнішнім магнетним полем і реєстрацію пружних хвиль, які виникають під час стрибкоподібного переміщення доменних стінок у феромагнетику. Метод MAE дає можливість діагностувати об'єкт по усій товщині без прикладання додаткового механічного навантаження, адже останнє може спричинити руйнування об'єкта контролю.

Інформаційні параметри сигналу MAE (підсумковий рахунок, сума амплітуд) є чутливим до структурних змін матеріалу об'єкта контролю. Механізмами генерування сигналів магнетопружної акустичної емісії є незворотній рух не-180° доменних стінок, а також процеси утворення та анігіляції доменних стінок.

Мета роботи – дослідження особливостей магнетопружної акустичної емісії у феромагнетних матеріалах, зокрема залежностей форми та тривалості сигналів MAE від товщини досліджуваного феромагнетного зразка за різних значень полів розмагнення, зумовлених їх впливом на механізми генерування MAE.

Дослідження залежності магнетопружної акустичної емісії різних матеріалів від їх структурних змін, що спричинені деформаційними та температурними впливами, проводили протягом останніх десятиліть [1–8]. Для проведення експериментальних досліджень важливо розділити ділянки значень величини поля перемагнення, в яких відбувається утворення, переміщення та анігіляція не-180° доменних стінок. Вплив полів розмагнення на амплітуди сигналів MAE досліджували у працях [9–11].

Для суцільного тороїдного полікристалічного зразка, де відсутні поля розмагнення, виготовленого із залізо-ітрієвого гранату, що проявляє феромагнетні властивості, піки амплітуд сигналів MAE навколо «колін» петлі гістерезису і в околі коерцитивного поля розташовані дуже близько і в результаті на обвідній MAE формується один суцільний пік [9]. Для зразка зі щільною на кривій формується два піки і один мінімум, оскільки область великих значень амплітуд сигналів MAE зосереджена навколо «колін» петлі гістерезису і є мінімальною в околі коерцитивного поля. Отож, розмагнечувальне поле дозволяє розділити піки амплітуд в часі, та виділити окремі, які беруть участь у генерації сигналів MAE.

Вивчали MAE на балкових зразках виготовлених з нікелю та магнетом'якої сталі [10]. Магнетне поле генерували П-подібним електромагнетом, який був відокремлений від поверхні зразка немагнетним проміжним шаром. У нікеловому зразку обвідна сигналів MAE має одиничний пік за малих товщин розділювального шару. Зі збільшенням товщини з'являється другий пік, а потім і третій, що є свідченням того, що MAE спричиняють не лише процеси утворення та анігіляції доменних стінок, але і їх рух. У випадку сталевих зразка,

виявлено лише два піки, які все більше відділяються зі зростанням товщини немагнетного шару.

Центральний пік в Ni формується в результаті руху доменних стінок, що свідчить про те, що не- 180° стінки в Ni легше відкріпити, ніж в сталі, тому процеси МАЕ відбуваються за низьких значень перемагнечуючого поля. У сталі лише 180° стінки можуть рухатись у низьких полях, але переміщення таких стінок не породжують МАЕ. Не- 180° стінки менш рухливі і потребують більших полів, щоб здійснити рух.

У праці [11] оцінювали активність генерування сигналу МАЕ та особливості умов, коли домінуючий вплив на амплітуду сигналу МАЕ чинять механізми утворення та анігіляції доменних стінок, а також вплив процесів руху доменних стінок.

Залежність форми та тривалості сигналів магнетопружної акустичної емісії від величини поля розмагнечення. Досліджено вплив полів розмагнечення на форму обвідних сигналів МАЕ та їхню тривалість для зразків виготовлених з ніколу та сталі за різної товщини немагнетного прошарку l між П-подібним магнетом і поверхнею зразка (l змінювали від 0 мм до 4,7 мм).

Для ніколових зразків за відсутності розмагнечувального поля піки активності МАЕ в околі «колін» петлі гістерезису та коерцитивного поля розташовані дуже близько і в результаті на обвідних формується один суцільний пік (рис. 1). Зі збільшенням товщини немагнетного прошарку поле розмагнечення спричиняє збільшення тривалості сигналів МАЕ та зменшення їх амплітуди за сталого значення магнетної індукції зовнішнього поля перемагнечення.

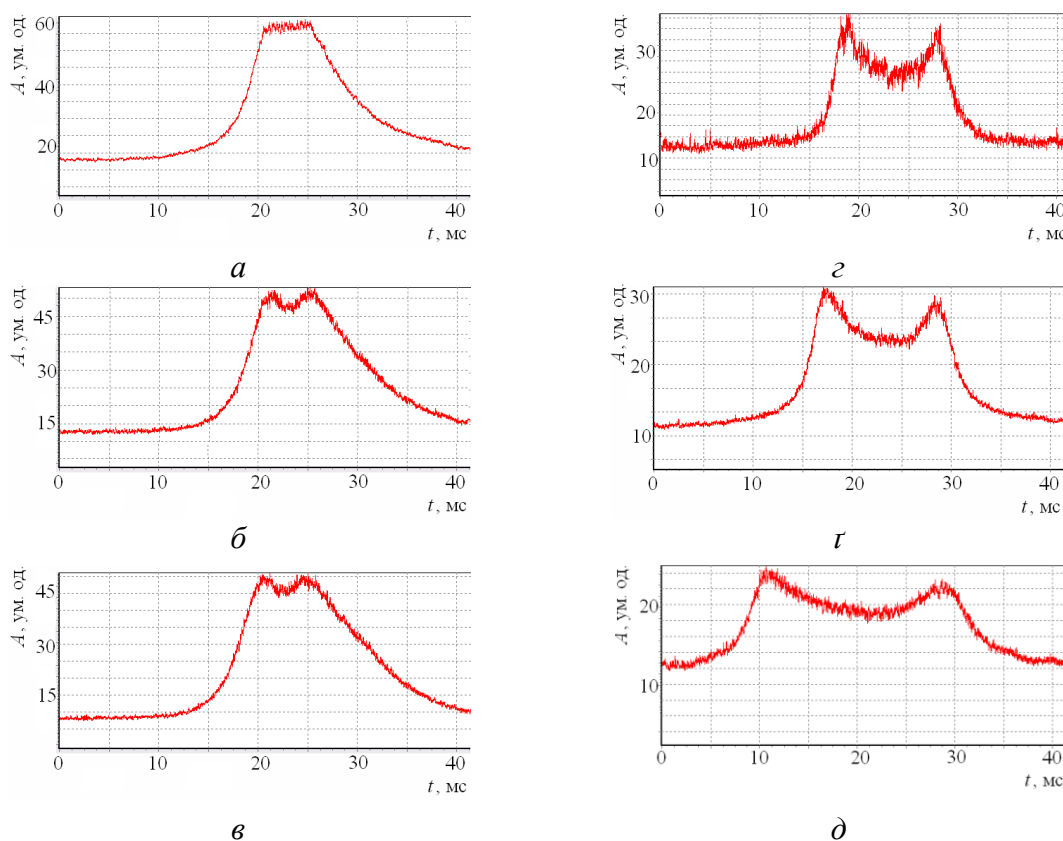


Рис. 1. Обвідні сигналів МАЕ: а–в – ніковий зразок ($l = 0,05$ мм, 1,27 мм, 4,7 мм); г–е – сталевий зразок ($l = 0,05$ мм, 1,27 мм, 4,7 мм)

Обвідні МАЕ для сталі мають два піки, амплітуда яких зі збільшенням товщини прошарку зменшується, а вони віддаляються, тобто тривалість сигналів магнетопружної акустичної емісії збільшується. Відсутність центрального піку для сталі можна пояснити різною рухливістю не- 180° доменних стінок у матеріалах та різним значенням сили їхнього закріплення f_p [12]

$$f_p = 2M_s A_p H_c, \quad (1)$$

де M_s – намагненість насичення, A_p – площа закріпленої стінки, H_c – значення коерцитивного поля. Матеріал з низькою намагненістю насичення M_s (наприклад, нікол) має меншу силу закріплення доменних стінок, ніж матеріал з високою M_s (наприклад, сталь), тому доменні стінки швидше рухаються в ніколі, ніж в сталі.

Експериментально підтверджено, що за сталого значення індукції поля перемагнення та зі збільшенням величини полів розмагнення тривалість сигналів магнетопружної акустичної емісії збільшується як для ніколу, так і для сталі. (рис. 2).

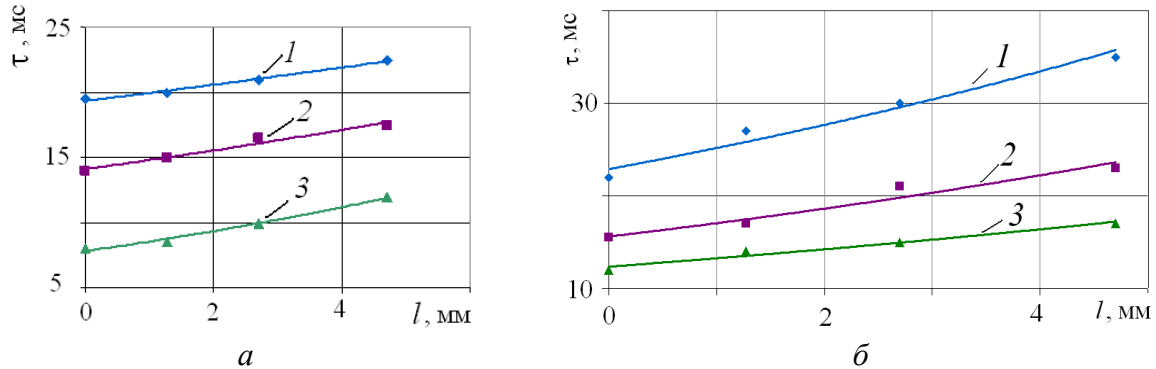


Рис. 2. Залежності тривалості сигналів МАЕ τ від товщини немагнетного прошарку: a – нікелова пластина (крива 1 – $B = 0,339$ Тл; крива 2 – $B = 0,652$ Тл; крива 3 – $B = 0,762$ Тл); b – сталева пластина (крива 1 – $B = 0,720$ Тл; крива 2 – $B = 1,220$ Тл; крива 3 – $B = 1,880$ Тл)

Залежність тривалості сигналу магнетопружної акустичної емісії від товщини досліджуваного феромагнетного зразка. Досліджено зміну форми обвідної магнетопружної акустичної емісії для зразків з ніколу та сталі товщини $h = 1$ мм; 2 мм; 5 мм за постійних значень поля розмагнення та магнетної індукції $B = 1,880$ Тл (рис. 3). Зі збільшенням товщини зразка піки на обвідній МАЕ розділяються і тривалість сигналу збільшується. Зі зменшенням товщини зразків розділення піків проявляється чітко та виразно. Це пов'язано з тим, що практично усі області зразка знаходяться в однаковій фазі перемагнення. Для товстіших зразків характерний більший зсув за фазою перемагнечувального поля для глибших шарів феромагнетного матеріалу.

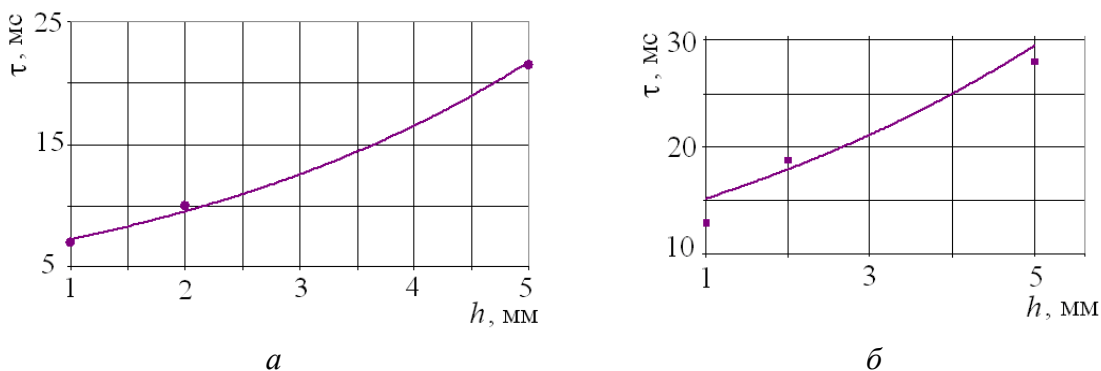


Рис. 3. Залежності тривалості сигналів МАЕ τ від товщини досліджуваного феромагнетного зразка: a – нікелова пластина; b – сталева пластина

Отримано, що зі збільшенням товщини досліджуваних зразків ніколу та сталі за сталого значення індукції поля перемагнення тривалість сигналів магнетопружної акустичної емісії збільшується.

Висновки. Для діагностування технічного стану об'єктів промисловості та визначення їхнього залишкового ресурсу необхідно застосовувати сучасні методики неруйнівного контролю. Перспективним для цього є використання методу магнетопружної акустичної емісії. Випромінювання пружних хвиль, спричинених ефектом Баркгаузена, тобто МАЕ, пов'язане із магнетострикційними деформаціями у ферромагнетику, які відбуваються у локальних областях тіла, де спостерігаються раптові зміни положення доменних стінок під впливом зовнішнього магнетного поля. Виникаючі пружні коливання мають досить широкий діапазон частот і можуть бути зареєстровані за допомогою п'єзоперетворювачів. Розмагнетчувальне поле дозволяє розділити процеси утворення, руху та анігіляції не-180° доменних стінок, які беруть участь у генерації сигналів МАЕ, проте для одержання кращих експериментальних результатів потрібно проводити дослідження на тонких зразках, де відсутній зсув за фазою перемагнетчувального поля, що характерний для глибших шарів ферромагнетного матеріалу. Внаслідок збільшення полів розмагнетчення тривалість сигналів магнетопружної акустичної емісії збільшується за сталого значення індукції поля перемагнетчення для ніколу та сталі.

1. Effect of stress on magneto-acoustic emission from mild steel and nickel / D. H. L. Ng, J. P. Jakubovics, C. B. Scruby, G. A. D. Briggs // J. Magn. Magn. Mater. – 1992. – V. 104. – P. 355–356.
2. An investigation on magnetoacoustic emission of ferromagnetic materials with 180° magnetic domain walls / X. Yuehuang, S. Gongtian, G. Ying, L. Jing, Y. Yuwu, D. Fengmu // J. Magn. Magn. Mater. – 1993. – V. 127. – Iss. 1–2. – P. 169–180.
3. Magnetoacoustic emission and Barkhausen noise of cobalt nickel oriented silicon steel and permalloy / Y. H. Xu, L. Ma, F. M. Du, X. Y. Ma, D. H. L. Ng // J. Magn. Magn. Mater. – 2000. – V. 219. – Iss. 2. – P. 166–172.
4. Impact of plastic deformation on magnetoacoustic properties of Fe–2%Si alloy / L. Piotrowski, B. Augustyniak, M. Chmielewski, F. J. G. Landgraf, M. J. Sablik // NDT&E International. – 2009. – V. 42. – P. 92–96.
5. Горкунов Э. С. Магнитоупругая акустическая эмиссия в ферромагнитных материалах. 2. Влияние упругих и пластических деформаций на параметры магнитоупругой акустической эмиссии / Э. С. Горкунов, Ю. Н. Драгошанский, В. А. Хамитов // Дефектоскопия. – 2001. – № 12. – С. 3–30.
6. Горкунов Э. С. Магнитоупругая акустическая эмиссия в ферромагнитных материалах. 3. Влияние структурных изменений на магнитоупругую акустическую эмиссию: Обзор / Э. С. Горкунов, А. И. Ульянов, В. А. Хамитов // Дефектоскопия. – 2002. – № 5. – С. 86–112.
7. Study on the applicability of the measurements of magnetoelastic properties for a nondestructive evaluation of thermally induced microstructure changes in the P91 grade steel / L. Piotrowski, B. Augustyniak, M. Chmielewski, J. Labanowski, M. Lech-Grega // NDT&E International. – 2012. – V. 47. – P. 157–162.
8. The influence of elastic deformation on the properties of the magnetoacoustic emission (MAE) signal for GO electrical steel / L. Piotrowski, M. Chmielewski, B. Augustyniak // J. Magn. Magn. Mater. – 2012. – V. 324. – P. 2496–2500.
9. Guyot M. The magneto-acoustic emission (invited) / M. Guyot, V. Cagan // J. Appl. Phys. – 1993. – 73 (10). – P. 5348–5353.
10. Ng D. H. L. The effects of demagnetizing and stray fields on magnetoacoustic emission / D. H. L. Ng, C. C. H. Lo, J. P. Jakubovics // J. Appl. Phys. – 1994. – 75 (10). – P. 7009–7011.
11. The dependence of magnetoacoustic emission on magnetizing frequency in nickel and mild steel / D. H. L. Ng, C. C. Yu, C-D. Qin et al. // J. Appl. Phys. – 1996. – 79 (8). – P. 6057–6059.
12. Gaunt P. Magnetic coercivity / P. Gaunt // Can. J. Phys. – 1987. – 65 (10). – P. 1194–1199.