

УДК 620.179.14
СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТОАКУСТИЧЕСКОЙ
ЭМИССИИ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ДЕФОРМИРОВАННЫХ И
ТЕРМООБРАБОТАННЫХ СТАЛЕЙ

В. Н. КОСТИН, Д. Ю. ФИЛАТЕНКОВ, О. Н. ВАСИЛЕНКО,
А. Н. СТАШКОВ
ФГБУН ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
«ИНСТИТУТ ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ УРО РАН»
Екатеринбург, Россия

Высокая структурная чувствительность магнитоакустической эмиссии (МАЭ) нашла применение при исследовании структурных превращений, а также упругих и пластических деформаций ферромагнитных материалов [1–3]. Под магнитоакустической эмиссией принято понимать всю совокупность упругих колебаний, возникающих в ферромагнетике при его перемагничивании. Магнитная акустическая эмиссия несет информацию как о локальных магнитострикционных взаимодействиях, связанных с необратимыми смещениями 90-градусных доменных границ, так и о результирующем магнитострикционном изменении размеров ферромагнетика.

До настоящего времени для регистрации МАЭ чаще всего использовали обычные узкополосные пьезопреобразователи. При этом количественной характеристикой МАЭ являлось среднеквадратичное значение огибающей потока упругих колебаний. Такой способ регистрации не позволяет селективно оценивать вклады различных механизмов формирования МАЭ и определять их связь со структурой материалов. Между тем, процессы перестройки доменной структуры имеют различные размерные (например, площадь или длина пробега доменной границы), количественные (например, число одновременно смещающихся границ) и временные (время скачка Баркгаузена) характеристики и, соответственно, должны проявляться в различных участках спектра упругих колебаний.

Для выявления перспективных параметров контроля структурного состояния материалов был исследован комплекс магнитных и магнитоакустических свойств сталей различного химического состава, подвергнутых деформации и термической обработке [4]. При этом характеристики МАЭ определялись с применением широкополосных датчиков акустической эмиссии и цифрового анализа полученных спектров сигналов.

На ряде сплавов железа было установлено, что амплитуда A_{f_λ} низкочастотной ($f_\lambda = 2f_p$, где f_p – частота перемагничивания) гармоники МАЭ сигнала коррелирует с магнитострикционной чувствительностью $\gamma = d\lambda/dH$ материалов. Как видно из рис. 1 величина A_{f_λ} практически

линейно растет при увеличении γ для исследованных сплавов Fe-C и характер этой зависимости не меняется при изменении частоты перемагничивания. Учитывая, что магнитострикционные параметры весьма чувствительны к внешним и внутренним напряжениям, можно считать величину A_{f_λ} перспективным параметром контроля напряженно-деформированного состояния ферромагнитных изделий.

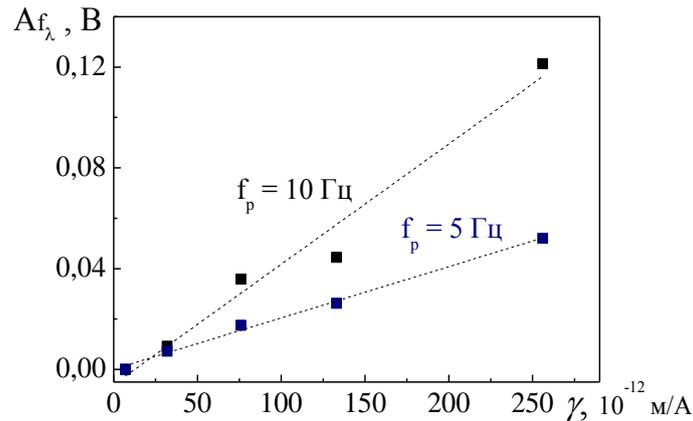


Рис. 1. Зависимость амплитуды гармоники f_λ от магнитострикционной чувствительности сплавов железа

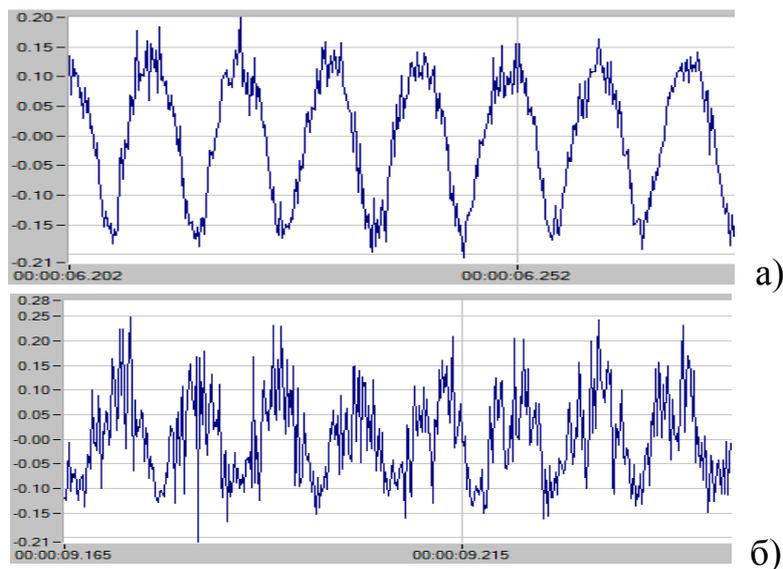


Рис. 2. Цифровые осциллограммы МАЭ сигналов образцов из стали 60С2А: а – $T_{omm} = 340 \text{ }^\circ\text{C}$; б – $T_{omm} = 600 \text{ }^\circ\text{C}$

Структурно-фазовое состояние сплавов Fe-C и, как следствие, доменная структура в очень большой степени меняется при такой обработке, как закалка с последующим отпуском при различных температурах. Исследо-

вания, проведенные на сталях 09Г2, 35 и 60С2А показали, что общим для всех этих сталей является изменение характера МАЭ сигналов при повышении температуры отпуска. Повышение T_{omn} значительно увеличивает вклад высокочастотных компонент в МАЭ сигнал (пример приведен на рис. 2).

Такое изменение характера сигнала может быть связано с ростом числа 90-градусных доменных границ вследствие появления замыкающих доменов вокруг укрупняющихся при средне- и высокотемпературном отпуске карбидных частиц.

Сопоставление магнитоакустических параметров с другими магнитными свойствами показало, что такие параметры МАЭ, как основная частота f^* (частота гармоники с наибольшей амплитудой и мощностью) и усредненная амплитуда упругих колебаний A_{cp} , коррелируют с остаточной магнитной индукцией вещества B_r деформированных и термообработанных сталей. Эта корреляция может быть объяснена тем, что остаточная магнитная индукция в большой степени зависит от 90-градусной подсистемы, являющейся в то же время источником МАЭ.

Полученные в работе результаты могут быть использованы при разработке магнитных и магнитоакустических методов контроля и диагностики.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов 12-П-2-1031 и РФФИ № 12-08-33098 мол-а-вед.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ranjan, R.** Magnetoacoustic emission, magnetization and barkhausen effect in decarburized steels / R. Ranjan, D. S. Jiles, P. K. Rastogi [Текст] // IEEE Trans. Magn. – 1986. – MAG-22. – N 5. – P. 511–513.
2. **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.
3. **Piotrowski, L.** The influence of elastic deformation on the properties of the magnetoacoustic emission (MAE) signal for GO electrical steel [Текст] / L. Piotrowski, M. Chmielewski, B. Augustyniak // Journal of Magnetism and Magnetic Materials – V. 324. – 2012 – P. 2496–2500.
4. Амплитудно-частотные характеристики магнитоакустической эмиссии термообработанных сплавов железа / В. Н. Костин [и др.] // Физическая мезомеханика. – 2013. – Т. 16. – № 5. – С. 103–110.