

05;12

Доменная структура и эффект Баркгаузена в аморфном сплаве $\text{Fe}_{78}\text{B}_{12}\text{Si}_9\text{Ni}_1$

© Т.М. Бречко, Н.Е. Скрябина, Л.В. Спивак, М.Я. Брамович

Варминско-Мазурский университет, г. Ольштын, Польша
Пермский государственный университет
E-mail: levspivak@permonline.ru

Поступило в Редакцию 28 октября 2003 г.

Показано отсутствие корреляции между размерами элементов доменной структуры магнитомягкого сплава $\text{Fe}_{78}\text{B}_{12}\text{Si}_9\text{Ni}_1$ в исходном состоянии, после насыщения водородом или отжига и характеристиками эффекта Баркгаузена в этом сплаве. Традиционные представления об эффекте Баркгаузена, природа которого связана с размерами доменов и подвижностью их границ, не имеют места в неупорядоченных структурах, какими являются магнитомягкие аморфные металлические сплавы.

Введение. Введение водорода (дейтерия) в аморфные металлические сплавы на основе железа приводит к многократному увеличению интегральной ЭДС Баркгаузена; расширению диапазона намагничивающего поля, в котором наблюдаются скачки Баркгаузена; увеличению числа скачков Баркгаузена с высоким значением амплитуды отдельных скачков [1–3]. Отжиг сплава выше 300°C оказывает на эффект Баркгаузена качественно аналогичное влияние. При выдержке насыщенного водородом образца, ЭДС Баркгаузена и прочие характеристики спектра шумов Баркгаузена возвращаются к значениям, характерным для исходного, перед насыщением водородом, состояния. Время релаксации к этому состоянию составляет несколько дней. Для образцов, прошедших отжиг, изменения в ЭДС Баркгаузена сохраняются неограниченно долго.

Поэтому поступившие для исследования доменной структуры образцы практически не содержат водорода. Мы имеем дело с последствием влияния такого насыщения водородом на доменную структуру материала.

В настоящей работе исследование доменной структуры было проведено с использованием новых подходов, основанных на регистрации намагниченности микрообъемов материала.

Методика исследования. В работе реализовано двухстороннее насыщение водородом из кислого электролита аморфной ленты толщиной $30 \mu\text{m}$ при плотности катодного тока 50 A/m^2 . Измерения ЭДС Баркгаузена и частотного спектра осуществляли с помощью специально разработанной установки. Датчик ЭДС Баркгаузена состоял из накладного электромагнита, наводящего магнитное поле в объеме образца, и измерительной катушки, улавливающей магнитный поток от скачков Баркгаузена. Частота переключения магнитного поля составляла 50 Hz . Перемагничивание в объеме образца было однородным. Термическая обработка (отжиг) осуществлялась в вакуумной печи с выдержкой при температуре отжига в течение 30 min .

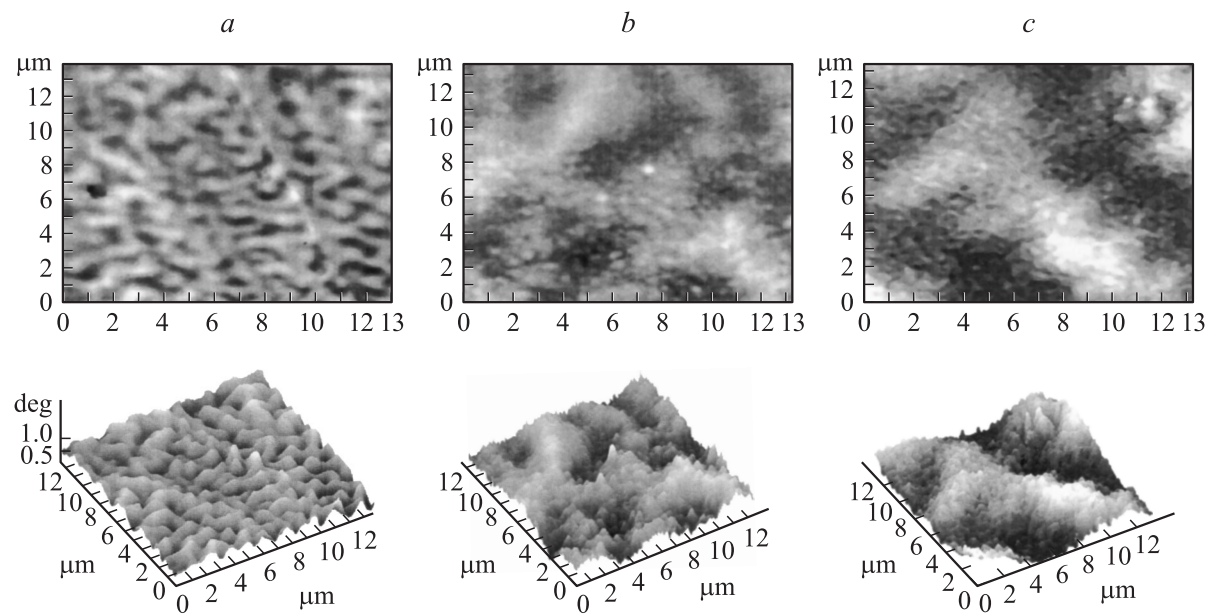
Исследования доменной структуры проводили на магнитно-силовом микроскопе в два прохода при комнатной температуре. В первом проходе измеряли топографию поверхности образца, а во втором — изменения фазы $\Delta\Phi$ собственных колебаний кантиливера, вызванные магнитным полем домена. Эти изменения равны [4]

$$\Delta\Phi = \frac{Q}{k} \left(q \frac{\partial H_z}{\partial z} + m_x \frac{\partial^2 H_x}{\partial z^2} + m_y \frac{\partial^2 H_y}{\partial z^2} + m_z \frac{\partial^2 H_z}{\partial z^2} \right),$$

где Q — коэффициент качества, q — эффективный заряд зонда, k — постоянная упругости кантиливера, m_x , m_y , m_z — компоненты магнитного момента кантиливера, H_x , H_y , H_z — компоненты магнитного момента домена.

Для исследований использовался консольно закрепленный датчик с зондом (кантиливер), покрытым слоем кобальта толщиной $30\text{--}40 \text{ nm}$. Зонд намагничивали в однородном магнитном поле в направлении, параллельном его оси. На представленных рисунках светлые поля показывают измеренные приращения фазы $\Delta\Phi$ в градусах, соответствуют противоположному направлению векторов намагниченности образца и кантиливера, а темные — одинаковому их направлению.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. На рисунке, *a* показана доменная структура сплава $\text{Fe}_{78}\text{B}_{12}\text{Si}_9\text{Ni}_1$ в исходном состоянии. Она характеризуется наличием доменного хаоса с тенденцией к формированию в плоскости ленты лабиринтной по своей морфологии



Доменная структура аморфного сплава $\text{Fe}_{78}\text{B}_2\text{Si}_{19}\text{Ni}_1$: *a* — исходное состояние; *b* — после насыщения водородом; *c* — после отжига.

структуры доменов. Хорошо видно, особенно на трехмерном изображении, что намагниченность отдельных доменов неоднородна и убывает к его границам.

Введение водорода изменяет его доменную структуру (см. рисунок, *b*) и характеристики эффекта Баркгаузена, а именно: интегральное значение ЭДС Баркгаузена за цикл перемагничивания увеличивается более чем в три раза (см. [1]); число скачков Баркгаузена на единицу объема возрастает с 25 до 95, диапазон намагничивающего поля, в котором фиксируются скачки Баркгаузена, возрастает с 60 до 100 А/м. Однако существенно подчеркнуть, что доменная структура исследуется на образце через достаточно большое время после насыщения водородом, в течение которого уже произошла полная эвакуация водорода, и характеристики эффекта Баркгаузена возвратились к исходным, перед насыщением водородом, значениям. Это время обычно не превышает 20–30 часов.

Таким образом, исходное состояние с относительно небольшими размерами отдельных элементов доменной структуры и состояние после насыщения водородом и его эвакуации из металла с существенно большими размерами доменов имеют близкие интегральные и спектральные характеристики шумов Баркгаузена.

Доменная структура этого сплава после отжига при 360°C (см. рисунок, *c*) отличается от исходной существенно большими размерами доменов и близка по своим характеристикам к структуре сплава после насыщения водородом. Однако для этого материала характерны высокие значения ЭДС Баркгаузена, в несколько раз превышающие значения этой величины для исходного состояния и состояния после насыщения водородом.

Приведенные данные показывают, что во всех случаях доменная структура аморфных металлических сплавов представляет собой доменный хаос с неоднородной намагниченностью по объему каждого домена. Границы доменов размыты и хаотически ориентированы к вектору намагничивающего поля, лежащего в плоскости ленты. Их лабиринтная структура не позволяет осуществить движение одних границ доменов за счет других. Такую доменную структуру можно рассматривать как статичную к воздействию внешнего поля 100–1000 А/м.

Оказалось, что фрактальная размерность доменной структуры не зависит от термообработки или водородного воздействия и во всех случаях равна 1.75 ± 0.05 . Это говорит о близости типа морфологии

областей спонтанной намагниченности в трех рассматриваемых состояниях.

Представленные данные показывают, что в неупорядоченных структурах, какими являются аморфные металлические сплавы, размер отдельных доменов в доменном хаосе, по-видимому, не связан непосредственно с характеристиками эффекта Баркгаузена. Ответственной за шумы Баркгаузена в таких сплавах, скорее всего, следует считать переориентацию векторов спонтанной намагниченности отдельных доменов, или, как мы полагаем, субдоменной магнитной структуры материала. Последнее замечание существенно, поскольку фиксируется неоднородная плотность в распределении величин вектора спонтанной намагниченности в пределах отдельного домена.

Список литературы

- [1] Скрябина Н.Е., Спивак Л.В., Кинев А.С., Варской Б.Н., Вылежнев В.П., Савельева Т.Ю. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. В. 21. С. 26–30.
- [2] Спивак Л.В., Кинев А.С. // Вестник Пермского университета. Сер. Физика. 2000. В. 6. С. 9–12.
- [3] Скрябина Н.Е., Спивак Л.В., Кинев А.С., Пименова Н.В. // Материаловедение. 2001. № 6. С. 29–32.
- [4] Kong L., Chou S.Y. // Appl. Phys. Lett. 1997. V. 70. N 15. P. 2043–2045.