

ИЗУЧЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ЛЕНТОЧНЫХ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ Fe(Ni, Cu)(SiB), ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВЕРХБЫСТРОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Каминская Т. П.^{1,*}, Шипко М. Н.², Степович М. А.³, Вирюс А. А.⁴, Тихонов А. И.², Попов В. В.¹

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

² Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

³ Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского

⁴ Институт экспериментальной минералогии им. Академика Д.С. Коржинского РАН

*e-mail: ktp53@mail.ru

Методы растровой электронной микроскопии (РЭМ), атомно-силовой микроскопии (АСМ) и магнитно-силовой микроскопии (МСМ) совместно с измерениями магнитных характеристик до и после воздействия импульсами слабого магнитного поля (10...100 кА/м) низкой частоты (10...20 Гц) использованы для изучения особенностей состояния поверхности, определяющих доменную структуру, магнитные свойства и магнитные потери при перемагничивании ленточных аморфных сплавов Fe(Ni, Cu)(SiB).

Аморфные сплавы Fe(Ni, Cu)(SiB) широко используются в электротехнической промышленности для изготовления сердечников цифровых трансформаторов. Одной из причин, сдерживающих более широкое их применение, являются относительно высокие потери на перемагничивание, определяемые состоянием поверхности аморфной ленты и геометрией доменной структуры. В настоящей работе исследовано влияние магнитоимпульсной обработки (МИО) на доменную структуру, состояние поверхности и вихрековые потери на перемагничивание сплава на различных частотах и при различных значениях индукции магнитного поля.

Образцы аморфной электротехнической стали (фольги) Fe(Ni, Cu)(SiB) представляли собой ленту толщиной около 100 мкм, шириной 10 мм, длиной 50 мм, которые были получены методом сверхбыстрого охлаждения при распылении расплава на вращающемся барабане. Для их МИО использовали импульсы магнитного поля амплитудой $(5-8) \times 10^3$ А/м² длительностью (0.1-0.5) с с интервалом между импульсами (1-2) с. Количество импульсов составляло 10-50.

Микрофотографии поверхности свободной поверхности ленты, не прилегавшей к медному барабану, исследованных методами РЭМ АСМ, представлены на рис. 1 и рис. 2, а результаты исследований другими методами – на рис. 3 и рис. 4.

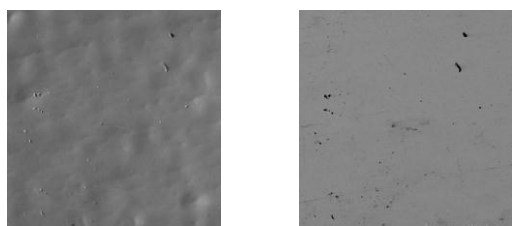


Рис. 1. РЭМ-изображение поверхности свободной стороны фольги: а – вторичная электронная эмиссия; б – обратное рассеяние электронов. Область сканирования 1x1 мм.

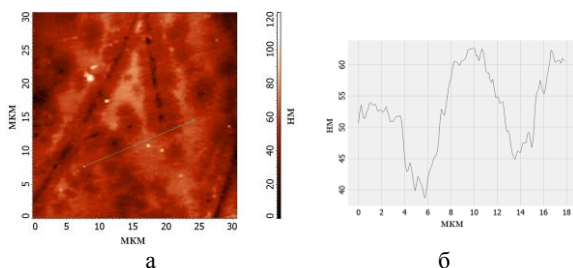


Рис. 2. а – АСМ-изображение участка свободной поверхности фольги; б – профиль сечения фольги, иллюстрирующий характер неровностей вдоль отрезка прямой, указанной на рис. 2а.

Свободная сторона имеет шероховатость около 25-30 нм на расстоянии примерно 20-30 мкм. На поверхности имеются многочисленные выделения практически круглой формы размерами от 20 до 80 мкм. Другая сторона фольги имеет большую шероховатость около 40-60 мкм с многочисленными выделениями до 200 мкм. Здесь практически отсутствуют плоские участки поверхности, что не позволило провести МСМ-исследования. После МИО характер шероховатости не изменился. На МСМ-снимках свободной стороны до МИО доменной структуры не наблюдалось. После МИО видны полосовые домены шириной 0.6-0.8 мкм, замыкающие домены на дефектах структуры шириной от 1 мкм до 1.6 мкм (рис. 3) и крупные и мелкие домены с формой, близкой к треугольной.

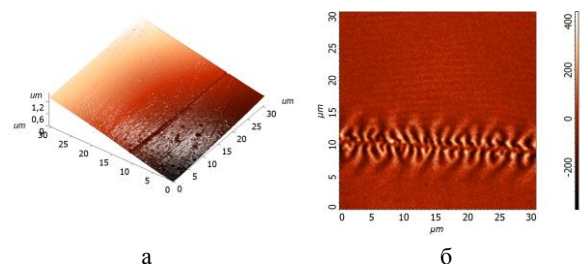


Рис. 3. а – АСМ изображение участка свободной стороны фольги с царапиной на поверхности; б – МСМ-изображение этого же участка фольги с замыкающими доменами. В верхней части рис. 3б видны полосовые домены.

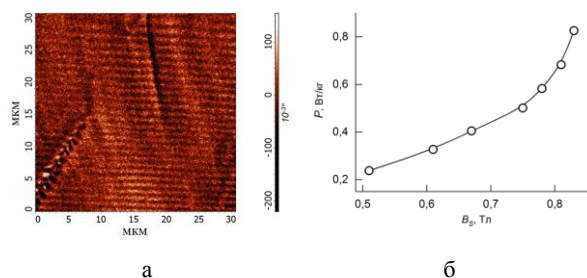


Рис. 4. а – МСМ-изображение участка свободной поверхности фольги, приведённого на рис. 2а. Видны полосовые и замыкающие домены; б – удельные потери для фольги в зависимости от магнитной индукции.

Выводы

Установлено влияние МИО на магнитные свойства аморфных сплавов Fe(Ni, Cu)(SiB). Потери на перемагничивание в большой степени связаны с потерями, обусловленными вихревыми токами, и связаны с шириной доменов, которая зависит от режимов МИО незначительно. Полученные результаты исследований могут быть использованы для уточнения методики снятия напряжений, возникающих в процессе изготовления аморфных лент.