

# О ВЛИЯНИИ МАГНИТОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТИ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ЛЕНТОЧНЫХ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ Fe(Ni, Cu)(SiB)

М.Н. Шипко<sup>1\*)</sup>, Т.П. Каминская<sup>2)</sup>, М.А. Степович<sup>3)</sup>, А.А. Вирюс<sup>4)</sup>, А.И. Тихонов<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, Иваново, Россия

<sup>2)</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>3)</sup>Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, Калуга, Россия

<sup>4)</sup>Институт экспериментальной минералогии им. Академика Д.С. Коржинского РАН, Черноголовка, Россия

<sup>\*)</sup>e-mail: michael-1946@mail.ru

Методы растровой электронной (РЭМ), атомной силовой (АСМ) и магнитной силовой (МСМ) микроскопии 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/м<sup>2</sup> длительностью (0.1-0.5) с с интервалом между импульсами (1-2) с. Количество импульсов составляло 10-50.

Микрофотографии поверхности материалов, исследованных методами РЭМ и АСМ, представлены на рис. 1 и рис. 2, а результаты исследований другими методами – на рис. 3 и рис. 4.

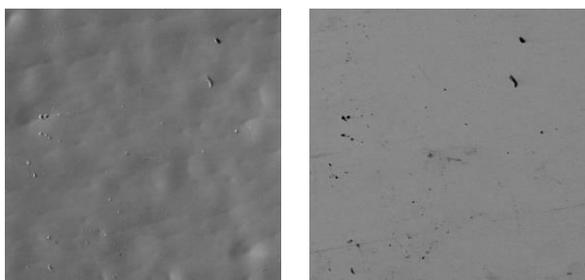


Рис. 1. Поверхность блестящей стороны фольги в режимах работы РЭМ: вторичная электронная эмиссия (а) и обратно рассеянные электроны (б).

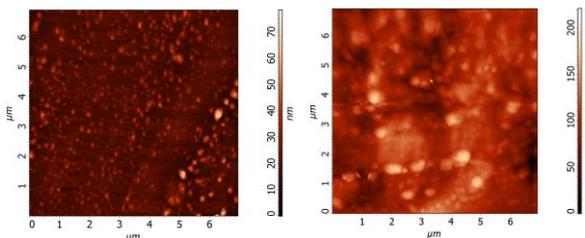


Рис. 2. Поверхность блестящей (а) и матовой (б) сторон фольги в АСМ.

Блестящая сторона имеет шероховатость около 5-10 мкм. На поверхности имеются многочисленные выделения

практически круглой формы размерами от 20 до 80 мкм. Матовая сторона имеет большую шероховатость около 40 мкм с многочисленными выделениями до 200 мкм. Практически отсутствуют плоские участки поверхности, что не позволило провести МСМ-исследования. После МИО характер шероховатости не изменился. На МСМ-снимках блестящей 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.

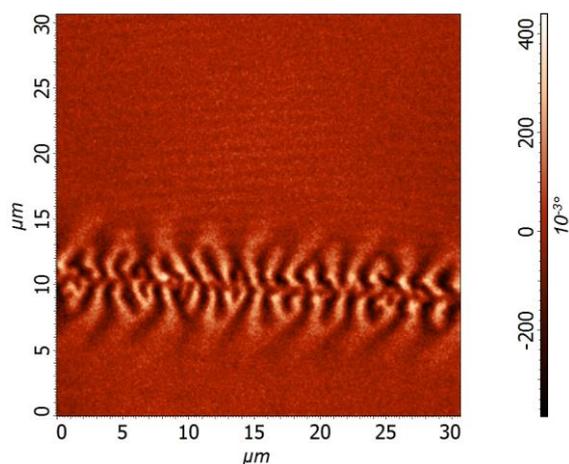


Рис. 3. МСМ-изображение блестящей стороны фольги.

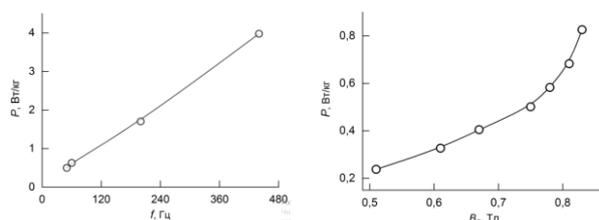


Рис. 4. Удельные потери для фольги в зависимости от частоты поля (а) и магнитной индукции (б).

## Выводы

Установлено, что потери на перемагничивание в большой степени связаны с потерями, обусловленными вихревыми токами, и связаны с шириной доменов, которая зависит от режимов магнитоимпульсной обработки незначительно. Полученные результаты исследований могут быть использованы для уточнения методики снятия напряжений, возникающих в процессе изготовления аморфных лент.

Исследования проведены при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-03-00271).