

ПЕРСПЕКТИВЫ ОПТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Драгошанский Ю.Н., Пудов В.И.

Институт физики металлов им. М.Н. Мухомеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.
drago@imp.uran.ru; pudov@imp.uran.ru

Введение

Уровень физических свойств твёрдых тел существенно зависит от состояния их кристаллической структуры, наличия в ней различных неоднородностей химического состава, внутренних напряжений, различных включений, шероховатости поверхности. В частности, в ферромагнитных сталях и сплавах при намагничивании уровень их магнитных характеристик в значительной мере определяется взаимодействием движущихся границ магнитных доменов с этими структурными неоднородностями. Эта связь динамики магнитных доменов с неоднородностями структуры металлов и сплавов служит надёжной основой их магнитной структуроскопии [1].

Методы магнитной структуроскопии металлов и сплавов.

Среди методов магнитной структуроскопии широко используется оптический мониторинг поверхности твёрдых тел с использованием различного вида оптических микроскопов. Они позволяют, например, в магнитомягких материалах исследовать динамику магнитной структуры при различных внешних воздействиях (механические деформации, термообработка, намагничивание, облучение), в целях улучшения структуры и свойств материалов. Так как наиболее массовые магнитомягкие сплавы и электротехнические стали (ЭТС) широко используются в качестве магнитопроводов в виде тонких листов и лент, то наиболее достоверным и информативным может быть исследование их структуры в одних и тех же участках материала на двух противоположных его поверхностях одновременно.

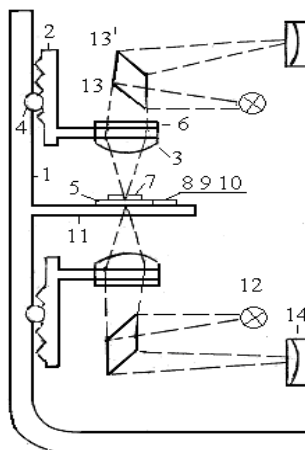


Рисунок 1- Схема устройства для оптического мониторинга двух поверхностей образца

Для этой цели устройство [2] на основе двух взаимосвязанных оптических систем, расположенных на общей станине 1 (рис.1). Оно снабжено двумя кольцевыми постоянными магнитами 6, перемещаемыми вдоль объективов 3, а также устройством для растяжения 7 и перемещения 8,9,10 исследуемых листовых образцов сплавов, располагаемых между объективами. Обе системы, состоят из одинаковых оптических элементов – объективов, окуляров 14, источников света 12, свето-преломляющих призм 13, 13', зубчато-винтовых механизмов фокусировки 4. Они расположены в вертикальной плоскости, параллельно одна относительно другой, причём их объективы установлены соосно и направлены линзами навстречу друг к другу.

Новое устройство создаёт возможность исследования кристаллической и магнитной структур и их изменений одновременно в двух противоположных слоях одного и того же участка металлического образца, а при его малых толщинах (0.30–0.05 мм для ЭТС) достаточно достоверно прогнозировать вид структуры и внутри образца. Становится также возможным определять оптимальные режимы обработок, места зарождения основных и замыкающих доменов, распределение и условия сквозного прохождения их границ, физические механизмы изменения параметров доменов при различных деформационно-текстурирующих воздействиях, улучшая магнитные свойства материала.

Результаты мониторинга поверхности лент сплава Fe-3%Si

Установлено, что сквозная магнитная структура из основных полосовых 180° доменов формируется при толщине кристалла порядка ширины этих доменов, для замыкающих доменов – порядка их длины. Обнаружено в объёме кристаллов сложное комплексное $180\text{-}90^\circ$ -градусное строение замыкающих доменных структур (рис.2), управление параметрами которых позволяет снижать магнитные потери при растяжении или локальной лазерной обработке стали или магнитопроводов [3–7].

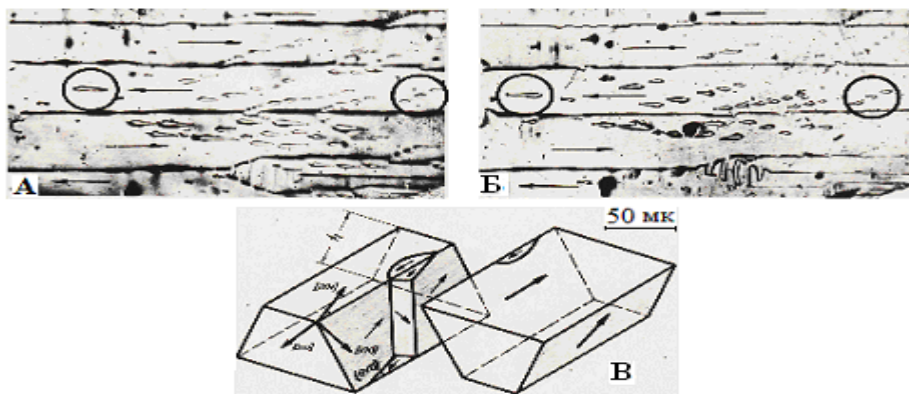


Рисунок 2- Вид сквозной магнитной структуры на верхней(а) и нижней (б) поверхностях кристалла стали и объёмная схема $180\text{-}90^\circ$ комплексов замыкающих доменов (в)

Изучение доменной структуры в сплаве Fe-3%Si типа $(110)[001]$ одновременно на двух противоположных его поверхностях (рис.3 а, б) позволило также определить и объёмный вид доменов в процессе их сложной перестройки при намагничивании под разными углами к оси лёгкого намагничивания (ОЛН), например, под углом 25° . В этом

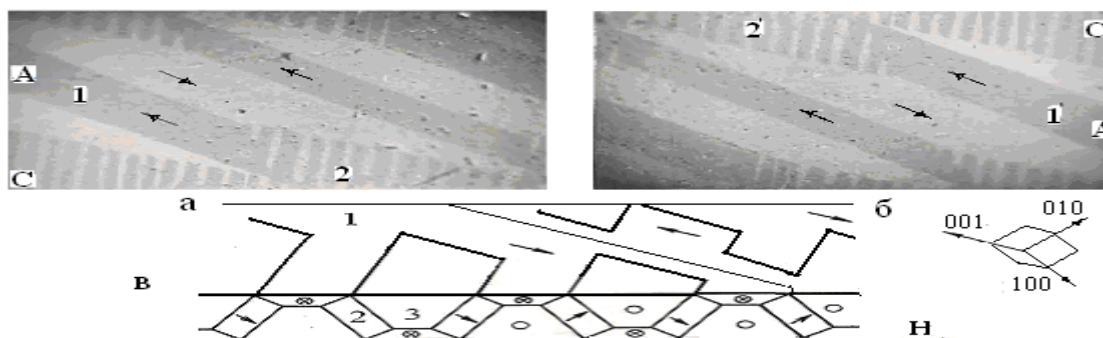


Рисунок 3 - Вид доменов типа А и С кристалла Fe-3%Si при намагничивании.
H→ направление поля

случае вначале происходит постепенное вытеснение исходной полосовой структуры 180° доменов 1 типа А системой узких внутриобъёмных 90° доменов 2 типа С, намагниченных вдоль двух других ОЛН кристалла – $[010]$ и $[100]$. Магнитный поток доменов 2 новой структуры замыкается вблизи поверхностей кристалла через систему дополнительных трапециевидных доменов 3 (рис.3 в). Дальнейшее увеличение поля

приводит к росту тех доменов 2 структуры типа С, намагниченность которых ближе к направлению действующего поля H , чем намагниченность в соседних доменах.

Аналогичное объемное строение замыкающей структуры доменов типа С обнаружено и вблизи достаточно крупных локальных дефектов в кристаллах сплава Fe-3%Si, поверхности которых составляют значительные углы с ОЛН (рис.4).

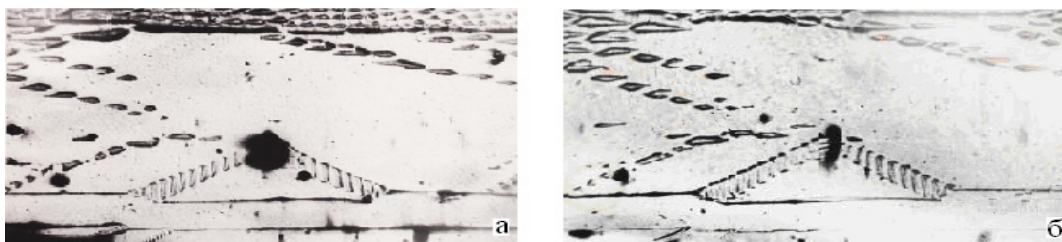


Рисунок 4 - Вид сквозной замыкающей доменной структуры при сквозном дефекте на верхней (а) и нижней (б) поверхностях кристалла.

Наличие 90° доменов в таких замыкающих структурах затрудняет смещение границ доменов при намагничивании и увеличивает линейную магнитострикцию сплава. Нанесение магнитоактивных (растягивающих металл) электроизоляционных покрытий переводит эти домены типа С в менее вредные клиновидные 180° субобласти.

Заключение

Таким образом, данное оптико-магнито-механическое устройство существенно повышает уровень и качество исследования кристаллической и магнитной структур и их изменений, причем одновременно в двух противоположных слоях и в объеме металлического образца. При этом технический результат направлен также на перспективность снижения трудоемкости, повышения информативности исследований, на расширение областей практического использования устройства.

Работа выполнена в рамках ГЗ по темам «Магнит» №АААА-А18-118020290129-5, «Диагностика» №АААА-А18-118020690196-3 и проекту УрО РАН №18-10-2-8.

Список литературы

1. Горкунов, Э.С. Влияние структуры сталей на процессы перемагничивания и решение задач магнитной структуроскопии / Э.С. Горкунов, Ю.Н. Драгошанский, С.С. Родионова // Дефектоскопия. – 1998. – № 6. – С. 42–59.
2. Драгошанский Ю.Н., Пудов В.И. Устройство для оптического мониторинга поверхностей твердых тел // Патент РФ. № 174673. Бюл. изобр. 2017. -№ 30.
3. Nozawa T., Mizogami M., Mogi H., Matsuo Y. Magnetic properties and dynamic domain behavior in grain-oriented 3%Si-Fe // IEEE Trans. Magn. -1996. -V.32, № 2.- P. 572–589.
4. Dragoshanskii Yu.N., Karenina L.S., Pudov V.I. Effect of laser treatment stress on the magnetic properties of grain-oriented electrical steel // Актуальные проблемы прочности: Сб. трудов. 53 Международной конференции. Витебск. – 2012. – Ч.1. – С. 231–233.
5. Драгошанский, Ю.Н. Улучшение магнитной структуры и свойств магнитомягких сплавов при модификации их поверхности / Ю.Н. Драгошанский, В.И. Пудов // ФХОМ. – 2013. – №3. – С. 48–52.
6. Пудов В.И., Драгошанский Ю.Н. Способ изготовления анизотропной электротехнической стали // Патент RU. №2569260. Бюл. изобр. -2015.- №32.
7. Пудов, В.И. Доменная структура и магнитные потери шихтованных магнитопроводов при лазерной обработке / В.И. Пудов, Ю.Н. Драгошанский // ФММ.– 2015.–Т.116, №6.– С.571-576.