

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНЕТООПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА КЕРРА К
ИССЛЕДОВАНИЮ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

Киренский Л.В., Дегтярев И.Ф. СССР, Институт физики АН СССР,
г. Красноярск.

Описана установка для исследования доменной структуры, использующая продольный магнетооптический эффект Керра. Исследована доменная структура в монокристаллах трансформаторной стали от комнатных температур до 700°C .

Исследование доменной структуры ферромагнетиков позволяет вскрыть физическую картину технического намагничивания в области процесса смещения границ. В настоящее время известен ряд методов по исследованию доменных структур. Наиболее распространенным является метод Акулова-Биттера или метод порошковых фигур. Он представляет широкие возможности для исследований при относительно невысоких температурах и небольшой скорости изменения магнитного поля и упругих напряжений. Примененный Киренским и Дылгеровым метод киносъемки порошковых фигур позволяет исследовать динамику доменной структуры при изменении магнитного поля /1/. Метод был использован для исследования динамики доменной структуры Киренским, Дылгеровым и Савченко /2/, а также Шуром и его сотрудниками /3/. Однако, при высоких температурах, а также при быстропеременных полях и быстропеременных напряжениях этот метод применен быть не может. Весьма многообещающим является электронно-оптический метод, разработанный Спиваком и его

сотрудниками /3/; в исследованиях динамики доменной структуры он пока не использовался. Известен также метод перемаллового зонда (Кацзер) /4/, но он не дает столь ясной картины, как метод порошковых фигур. В последнее время появился ряд работ по исследованию доменной структуры ферромагнетиков /5/, в которых применялся магнетоптический метод.

В настоящей работе для исследования доменной структуры в кристаллах трансформаторной стали использован продольный магнетоптический эффект Керра. Метод основан на неодинаковой способности различно намагниченных участков ферромагнитного металла вращать плоскость поляризации поляризованного света, отраженного от его поверхности.

Экспериментальная установка схематически показана на рис. 1. Свет от источника S (точечная лампа накаливания) при помощи линзы L_1 собирается в параллельный пучок и поляризованной призмой P поляризуется в плоскости, перпендикулярной плоскости падения. В дальнейшем световой пучок падает на образец K под углом 60° и, отражаясь, проходит линзу L_2 с помощью которой получается изображение поверхности образца на матовом стекле фотокамеры C. В месте максимального схождения лучей помещается анализатор A. Установка позволяет поворачивать поляризатор и анализатор с точностью до $1'$.

Перед фотографированием поляризатор и анализатор устанавливались на минимум прохождения света, для чего на месте фотокамеры помещался фотоэлектронный умножитель ФЭУ-19М (ток в цепи последнего регистрировался микроамперметром). Затем

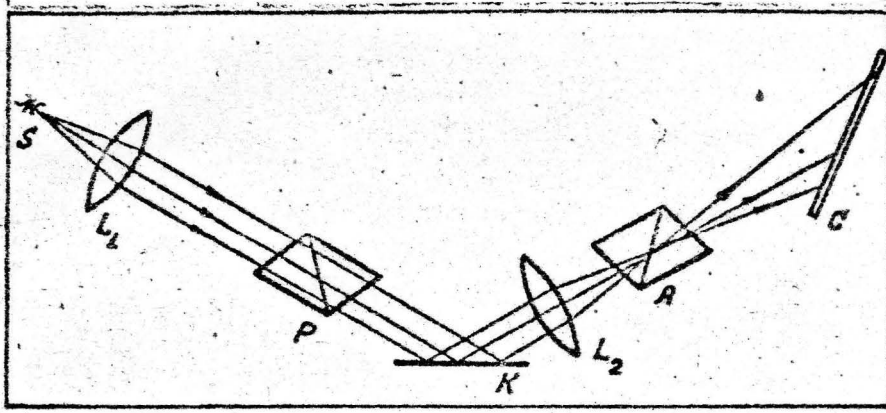


Рис. 1. Принципиальная схема установки.

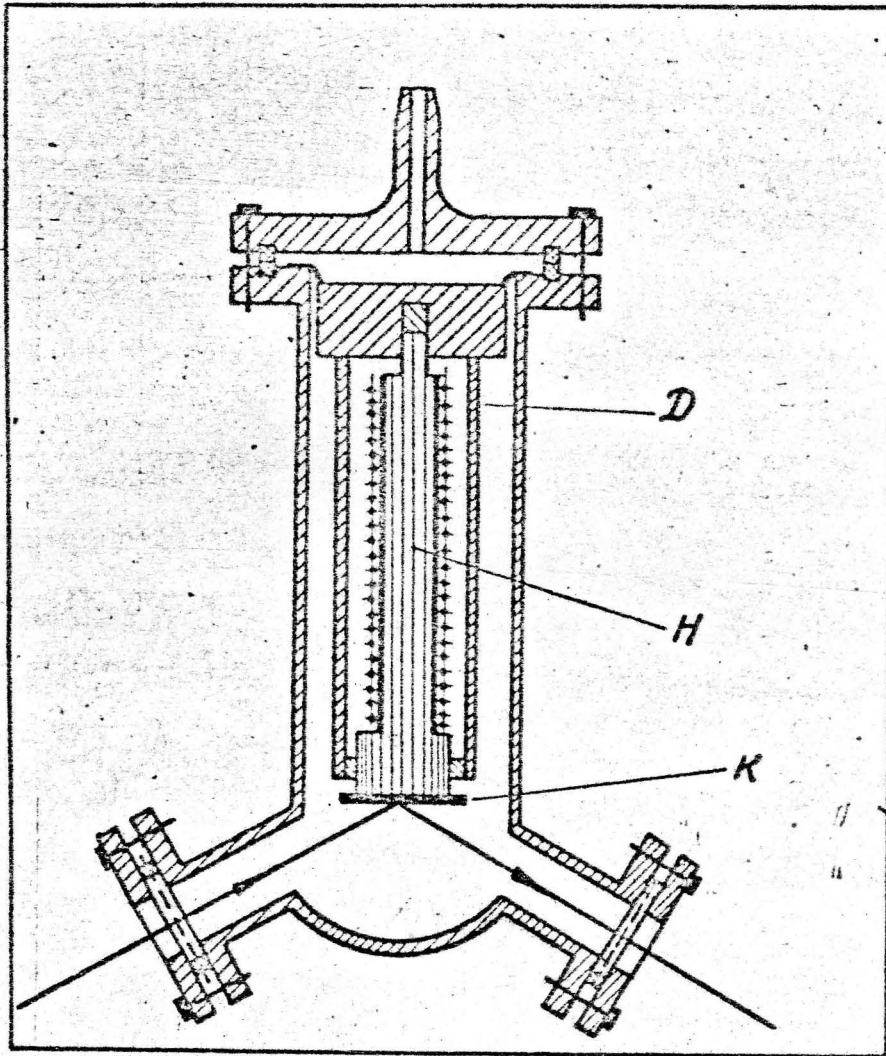


Рис. 2. Схема прибора для нагрева образца.

анализатор поворачивался на $1-1,5^\circ$ и в таком положении производилось фотографирование. Так как поверхность образца располагалась под углом 60° к оптической оси объективной линзы, то большее увеличение не допускалось и все снимки делались при пятикратном линейном увеличении.

Выявление доменов на фотографиях в первых опытах достигалось лишь в результате использования исправляющего позитива /6/. Такая методика заключалась в том, что образец намагничивался до насыщения, фотографировался, а затем из полученного негатива контактно изготовлялся позитив, который точно совмещался с негативом, снятым с образца в исследуемом состоянии. Тем самым снижалась интенсивность фона, вызванного выявлением дефектов поверхности образца в поляризованном свете и обеспечивалась достаточная контрастность изображения доменной структуры.

Наблюдение доменов значительно упрощается, если использовать зависимость величины магнетооптического эффекта Керра от толщины и оптических свойств, нанесенных на поверхность металла тонких пленок /7/.

С этой целью образец, приготовленный так же как и для наблюдения порошковых фигур, отжигался в вакууме порядка 10^{-3} мм рт.ст. при температуре около 1000°C в течение 2-3 часов. Такой отжиг снимал механические напряжения и покрывал поверхность образца тонкой пленкой окиси железа. Эта пленка в значительной мере изменяла угол вращения плоскости поляризации отраженного света и при соответствующей толщине пленки возникало большое отрицательное вращение. Чувствительность метода тем самым повышалась.

Сравнение фотографий, полученных с чистой поверхности и с поверхности, покрытой пленкой окиси железа, показало, что пленка не вызывает заметного искажения картин. Влияние окисной пленки могло быть таким образом с успехом использовано, и в дальнейшем фотографирование производилось без исправляющего позитива.

Использование пленки окиси железа позволило производить установку поляризатора и анализатора без фотоэлектронного умножителя непосредственно по визуальному выявлению доменов. С этой целью на месте фотокамеры помещался 4-х кратный окуляр.

Так как описываемый метод безинерционен, то, используя стробоскопический эффект, можно отчетливо наблюдать процесс смещения границ в переменных полях с частотой в 50 герц и выше. Оказалось также возможным исследовать доменную структуру в весьма широком интервале температур. Для этого образец К помещался вместе с нагревателем Н в камеру, в которой создавался вакуум (рис.2). Снаружи камера снабжалась водяной рубашкой (на рисунке не показана) и имела два окна, закрытых плоскими стеклами и расположенных под прямым углом к падающим и отраженным лучам. Нагреватель закреплялся в фарфоровой трубке Д так, чтобы при изменении температуры не произошло смещения образца. Температура последнего измерялась с помощью термопары нихром-константан. При температурах выше 500°C возникало свечение образца, но вплоть до 700°C это собственное излучение не оказывало существенного действия на фотопленку.

Для наблюдения изменения доменной структуры с изменением поля применялись катушки Гельмгольца, а при исследовании во вращающихся полях - небольшой электромагнит особой конструкции.

Все исследования проводились на монокристаллах кремнистого железа, вырезанных в виде полосок и дисков в плоскости (110).

Изменение доменной структуры с нарастанием поля представлено на рис.3. Из рисунка видно, что наиболее выгодно ориентированные по отношению к полю домены растут за счет менее выгодно ориентированных, пока в поле $H = 60$ э доменная структура не исчезает (образец достигает насыщения).

Была исследована также доменная структура при различных температурах в отсутствие поля. Доменная структура вплоть до 700°C остается практически неизменной. Этот результат находится в противоречии с известным теоретическим положением, согласно которому ширина доменов $a = \left(\frac{A}{K}\right)^{\frac{1}{2}}$, где A — обменный интеграл и K — константа магнитной анизотропии.

При рассмотрении доменной структуры во вращающихся магнитных полях можно было бы ожидать следующую картину. В поле $H = 0$ должна наблюдаться доменная структура, состоящая из одинаковых по ширине доменов, намагниченность которых совпадает с осью легкого намагничивания. При увеличении поля происходит уже разобранное выше смещение границ вплоть до их исчезновения в поле насыщения. При положении поля под некоторым острым углом к оси легкого намагничивания действующим будет слагающая поля вдоль оси легкого намагничивания, и насыщение вдоль этого направления будет достигнуто в более сильных полях. С дальнейшим ростом поля должно возникнуть вращение вектора намагниченности, причем доменная структура будет отсутствовать. Следовательно, при вращении магнитного поля вокруг образца доменная структура должна то исчезать, то возникать в виде полос вдоль оси легкого намагничивания.

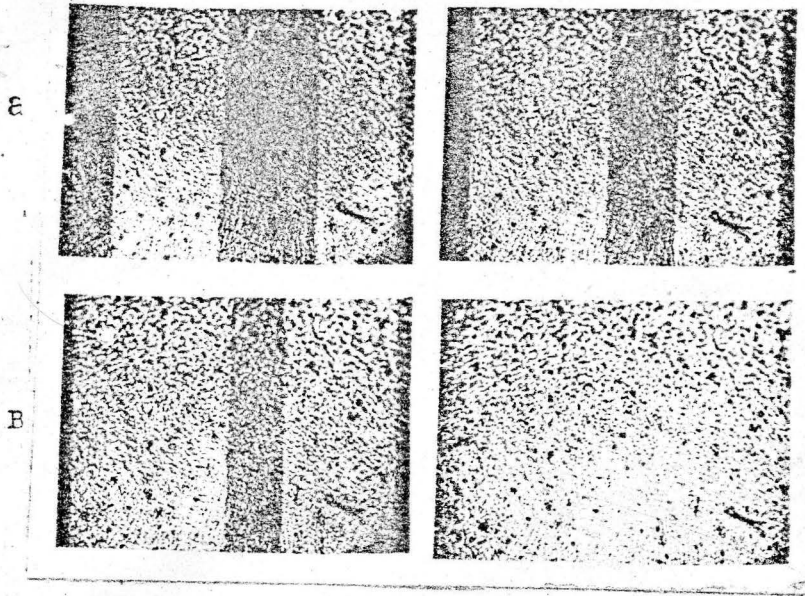


Рис.3. Фотографии доменной структуры
в полях:
а) $H=0$; б) $H=15\text{э}$; в) $H=25\text{э}$; г) $H=60\text{э}$.

Описанная картина действительно наблюдается при вращении в поле $H = 100 \text{ э}^{\text{х}}$). Однако в более сильных полях при некотором угле поворота возникает вторичная доменная структура^{х)}, связанная, очевидно, с новыми положениями минимумов полной энергии. Следует отметить, что возникновение вторичной доменной структуры ставит наличие вращения вектора I_s как целого под сомнение.

х) По техническим причинам соответствующие фотографии редакция поместить не смогла.

Литература:

1. Л.В.Киренский и В.Д.Дылгеров. Физм, 1956, 3, вып.2, 216.
2. Л.В.Киренский, В.Д.Дылгеров и м.К.Савченко. Изв.АН СССР, сер.Физ.1957, 21, № 8, 1168.
3. Я.С.Шур. Изв.АН СССР, сер.Физ. 1957, 21, № 8, 1162.
4. Я.Кацзер. Изв.АН СССР, сер.Физ.1957, 21, № 8, 1170.
5. Williams, Foster, Wood
Phys.Rev., 1951, 82, 119.
- С.А.Fowler, E.M.Fryer
Phys.Rev., 1952, 86, 426.
- С.А.Fowler, E.M.Fryer
Phys.Rev., 1954, 94, 52.
6. С.А.Fowler, E.M.Fryer. Opt.Soc.Am, 1954, 44, N 3, 256.
7. М.М.Носков и А.В.Соколов. ЖЭТФ. 1947, 17, вып.11, 964.
8. Г.В.Спивак, Н.Г.Канавина, И.С.Сбитникова, И.Н.Прилежасва, Т.Н.Домбровская и В.К.Азевцев. Изв.АН СССР, сер.Физ.1957, 21 № 8, 1177.