

Г. С. КАНДАУРОВА, А. В. ДЕРЯГИН, А. Е. ЛАГУТИН

**О ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЕ ВЫСОКОАНИЗОТРОПНЫХ
МНОГООСНЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ RFe_2**

(Представлено академиком С. В. Вонсовским 25 III 1974)

В последнее время появились сообщения⁽¹⁻³⁾ о существовании нового класса ферромагнетиков: высокоанизотропных многоосных редкоземельных соединений RFe_2 ($R=Sm, Tb, Dy, Er, Tm$), представляющих большой интерес как магнитно-жесткие и магнитоотрицательные материалы. Сплавы RFe_2 обладают кубической кристаллической решеткой типа $MgCu_2$. Константа магнитной кристаллической анизотропии K некоторых сплавов составляет $\sim 10^6$ эрг/см³ при 300° К и $\sim 10^8$ эрг/см³ при 0° К; поле анизотропии H_A может превышать 900 кэ, а величина магнитоотрицательности достигать рекордных значений $\lambda \sim 10^{-3}$. Для этих соединений $K > 2\pi I_s^2$ (где I_s — намагниченность насыщения), тогда как обычно для многоосных ферромагнетиков (Fe, Ni и др.) $K \ll 2\pi I_s^2$ ⁽⁴⁾.

Поскольку отмеченные физические характеристики оказывают существенное влияние на доменную структуру (д.с.) и ее поведение в магнитном поле, то можно ожидать, что д.с. сплавов RFe_2 будет обладать рядом особенностей, отличающих ее от д.с. низкоанизотропных многоосных ферромагнетиков.

Нами проведены наблюдения д.с. на сплавах $DyFe_2$ и $ErFe_2$, которые являются многоосными ферромагнетиками с осями легкого намагничивания (о.л.н.) типа $\langle 100 \rangle$ и $\langle 111 \rangle$ соответственно.

После выплавки на механически полированной поверхности слитка сплава $DyFe_2$ в зернах размером ~ 100 мкм наблюдались мелкие порошковые фигуры, которые свидетельствовали о том, что в пределах одного кристаллита ориентация, форма и размер доменов различны. Более четко эта особенность видна на зернах сплава $ErFe_2$, прошедшего гомогенизацию при температуре 1200° в течение 10 час. Поэтому в дальнейшем обсуждаются результаты, относящиеся именно к этому сплаву. По рентгеновским данным сплав после гомогенизации практически однофазен, а на наблюдаемую поверхность шлифа (рис. 1) выходят в основном кристаллографические плоскости типа $\{211\}$.

Обнаружено, что д.с. может быть также выявлена с помощью полярного магнитно-оптического эффекта Керра (рис. 1а), причем оказалось, что исчезновение керровского контраста в различных зернах или участках одного зерна происходит при раскрещивании николей на разные углы от 1 до 10°. Это, по-видимому, свидетельствует о различной величине нормальной компоненты намагниченности в поверхностном слое.

В д.с. можно выделять домены двух типов: А) относительно широкие полосовые домены с ровными границами и Б) нерегулярные более мелкие полосовые домены (рис. 1а, б); те и другие выстроены преимущественно в двух направлениях, угол между которыми в среднем составляет $112 \pm 5^\circ$. На кристаллографической плоскости (211) этот угол равен углу между лежащей в плоскости осью $[\bar{1}\bar{1}1]$ (с этим направлением совпадает

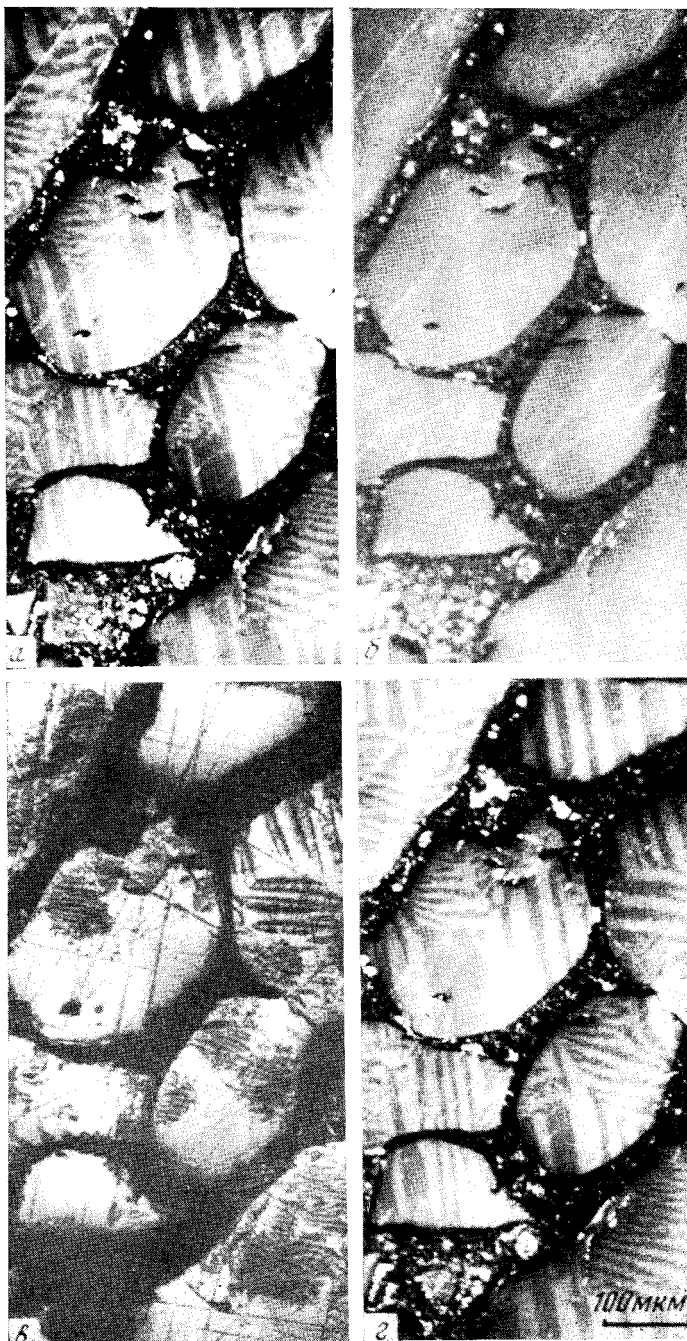


Рис. 1. Доменная структура на механически полированной поверхности образца сплава E_9Fe_2 , выявленная с помощью полярного эффекта Керра (а, б, в) и порошковых фигур (г)

также проекция оси $[111]$) и проекцией одной из двух осей $[\bar{1}\bar{1}1]$ или $[\bar{1}1\bar{1}]$ на эту плоскость. Можно предполагать, что намагниченность в наблюдаемых доменах типа А направлена вдоль оси $[111]$ (или $[\bar{1}\bar{1}1]$), составляющей угол $\sim 29^\circ$ с поверхностью образца, а в доменах типа Б вдоль $[111]$, ориентированной под углом $\sim 70^\circ$ к поверхности. Значит, в силу каких-то причин, например, из-за анизотропии внутренних напряжений в разных зернах или разных участках одного зерна в качестве о.л.н. выбирается та или другая из четырех осей типа $\langle 111 \rangle$.

Это существенно отличает д.с. многоосных от д.с. одноосных высокоанизотропных ферромагнетиков, для которых характерно то, что в пределах одного зерна имеется одна ориентация о.л.н. и поэтому наблюдается однотипная д.с.

Высокоанизотропность сплава ErFe_2 ($K_1 = -3,3 \cdot 10^6$ эрг/см³, $I_s = 290$ гс, $K/(2\pi I_s^2) \approx 6$ (4)) приводит к тому, что в кристаллитах формируются д.с. с открытыми полюсами и незамкнутым магнитным потоком. Именно поэтому оказалось возможным выявление д.с. полярным Керр-эффектом. Кроме того на большинстве зерен д.с. очень проста (рис. 1а, з) и состоит иногда только из основных полосовых доменов, пересекающих весь кристаллит. Замыкающих доменов ни у края зерен, ни на их поверхности не видно. В то же время при сопоставимых размерах (~ 100 мкм) в кристаллитах никеля, который является тоже четырехосным, но низкоанизотропным ферромагнетиком ($K_1 = -5 \cdot 10^4$ эрг/см³, $I_s = 484$ гс, $K/(2\pi I_s^2) = 0,03$), образуются сложные системы замыкающих доменов (5, 6).

Наблюдения в магнитном поле выявили еще некоторые особенности поведения д.с. на механически полированной поверхности образца ErFe_2 . При намагничивании в поле, перпендикулярном к плоскости наблюдения, наряду со смещением доменных границ происходит постепенное и необратимое исчезновение керровского контраста. После приложения поля, равного 27 кэ, судя по керровской картине д.с. (рис. 1б), все зерна находятся в однодоменном состоянии. Многодоменное состояние не наблюдается и в отрицательных полях, и после намагничивания в горизонтальном поле 27 кэ, и после размагничивания образца коммутируемым полем. Можно было бы думать, что это метастабильное однодоменное состояние зерен, аналогичное тому, которое наблюдается в частицах одноосных высокоанизотропных ферромагнетиков (7, 8). Однако это не так. На самом деле зерна многодоменны и домены (особенно типа Б) выявляются с помощью магнитной суспензии (рис. 1е). На многодоменность указывают также низкие значения величины относительной остаточной намагниченности ($\sigma_r/\sigma_m = 0,08$ при $\sigma_m = 28$ гс·см³/г в $H = 27$ кэ) и коэрцитивной силы ($H_c = 80$ э).

Отсюда естественно предположить, что после воздействия магнитным полем лишь тонкий поверхностный слой остается однородно намагниченным (рис. 1б), тогда как в объеме кристаллиты разбиваются на домены. Действительно, очень непродолжительная дополнительная механическая полировка приводит к тому, что снова с помощью керровской методики выявляются все домены (рис. 1з). Аналогичный эффект дает кратковременная электрополировка поверхности. Причем важно подчеркнуть, что после электрополировки не наблюдается необратимого исчезновения керровского контраста при намагничивании образца. Значит, в результате механической обработки такого высокомагнитострикционного сплава, как ErFe_2 ($\lambda = -229 \cdot 10^{-6}$ (3)) возникает особое, по-видимому, магнитножесткое состояние поверхностного деформированного слоя.

Таким образом, первые наблюдения д.с. высокоанизотропных кубических ферромагнетиков выявили особенности д.с., отличающие их от высокоанизотропных одноосных и низкоанизотропных многоосных ферромагнетиков, а также необычное поведение поверхностного слоя, деформированного при механической полировке.

Авторы благодарят С. А. Шерендо за приготовление сплавов и А. В. Андреева за рентгенографическую аттестацию образцов.

Уральский государственный университет
им. А. М. Горького
Свердловск

Поступило
15 III 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ A. E. Clark, H. S. Belson, N. Tamagawa, Phys. Lett., v. 42A, 160 (1972). ² A. E. Clark, Appl. Phys. Lett., v. 23, 642 (1973). ³ A. E. Clark, H. S. Belson, R. E. Strakka, J. Appl. Phys., v. 44, 2913 (1973). ⁴ С. В. Вонсовский, Магнетизм, М., 1971. ⁵ M. Yamamoto, T. Iwata, Sci. Rep. Res. Inst. Tôhoku Univ., v. 5A, 433 (1953); см. пер. в сборн. Магнитная структура ферромагнетиков, под ред. С. В. Вонсовского, М., 1959. ⁶ R. W. De Blois, J. Appl. Phys., v. 36, 1647 (1965). ⁷ Я. С. Шур, Е. В. Штольц и др., Физ. мет. и металловед., т. 5, 234 (1957). ⁸ Г. С. Кандаурова, Я. С. Шур, А. В. Делягин, Изв. АН СССР, сер. физ., т. 36, 1591 (1972).