

МАГНИТОСТРИКЦИЯ НЕКОТОРЫХ СОЕДИНЕНИЙ $R\text{Co}_5$ В СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

В. И. Храбров, Я. С. Шур

В импульсных полях до 200 кэ измерена магнитострикция соединений $R\text{Co}_5$ ($R - \text{Y, La, Ce, Sm}$). Показано, что в базисной плоскости стрикция обусловлена магнитострикцией парапроцесса и магнитострикцией, связанной с вращением намагниченности. Величина насыщения последней составляет: $40 \cdot 10^{-6}$ для YCo_5 и LaCo_5 , $\sim - 300 \cdot 10^{-6}$ для CeCo_5 и $\sim - 500 \cdot 10^{-6}$ для SmCo_5 .

1. Для понимания многих явлений в ферромагнетиках важно знать их магнитострикцию. Это относится и к магнитноодноосным соединениям типа $R\text{Co}_5$ ($R -$ редкоземельный металл или иттрий), у которых очень велика константа магнитокристаллической анизотропии ($K \sim 10^8$ эрг/см³). Интерес к этим соединениям вызван тем, что из них изготавливают постоянные магниты с уникальными характеристиками. В частности, на монокристалле $\text{SmCo}_{5,3}$ получено рекордное значение магнитной энергии, равное $32 \cdot 10^6$ эс·э, что соответствует теоретическому пределу [1]. Однако коэрцитивная сила магнитов оказывается значительно меньше теоретически ожидаемого значения, определяемого полем анизотропии $H_A = 2K/I_s$ ($I_s -$ намагниченность насыщения). Одной из возможных причин этого является магнитоупругая анизотропия, которая может приводить в отдельных участках кристалла к низкой эффективной магнитной анизотропии. Однако до сих пор нет данных о величине магнитострикции в соединениях $R\text{Co}_5$. Настоящая работа частично восполняет этот пробел.

2. Измерения проводились на монокристаллических сферах диаметром 2 мм ($R - \text{Y, La, Ce}$ и Sm) и поликристаллических стержнях размером

$1,3 \times 1,3 \times 6$ мм³, вырезанных из изотропных и анизотропных постоянных магнитов, изготовленных путем прессования порошка с последующим спеканием (R - Y, Ce и Sm).

Магнитострикция измерялась методом выносных пьезодатчиков [2]. Период собственных колебаний измерительной системы составлял 0,13 мсек. Импульсное магнитное поле до 200 кэ и длительностью 5 мсек получалось путем разряда батареи конденсаторов на проволочный соленоид. Неоднородность поля на расстоянии 5 мм от центра соленоида не превышала 2%. Поле измерялось с ошибкой 5%. Центр образца устанавливался в центре соленоида с точностью ± 1 мм.

Измерение магнитострикции на анизотропных образцах поперек оси легкого намагничивания (ОЛН) осложнялось тем, что при ориентации ОЛН не строго $\perp H$ на образец действует вращающий момент, который одновременно с магнитострикцией воспринимается пьезодатчиками.

В результате не только амплитуда сигнала, но и, как оказалось, величина и знак фазового сдвига между сигналом и полем зависят от угла между ОЛН и H . Специальные измерения показали, что за искомое положение образца следует принимать такое, при котором фазовый сдвиг минимален. Это положение отыскивалось путем изменения взаимного положения соленоида и образца. Точность установки образца описанным методом была порядка $0,1 - 0,5^\circ$.

После многократного перемонтирования образцов разброс значения стрикции в поле 200 кэ от среднеарифметического значения составлял $\pm 10 - 25\%$, за исключением образцов SmCo_5 , на которых при измерении поперек ОЛН разброс достигал $\pm 50\%$.

3. Из кривых намагничивания поперек ОЛН монокристаллов с R - Y, La, Ce и Sm были получены соответственно следующие значения полей анизотропии: $H_A = 110, 150, 170$ и 450 кэ. (Измерения проводились индукционным методом [3] в импульсных полях до 240 кэ). Для SmCo_5 H_A было оценено путем экстраполяции кривой намагничивания до значения, соответствующего намагниченности насыщения. Полученные значения H_A согласуются с приведенными в [4].

На рис. 1 приведены кривые стрикции $\lambda(H)$, измеренные на монокристаллах вдоль и поперек ОЛН. Видно, что вдоль ОЛН $\lambda > 0$ и линейно растет с полем. Для CeCo_5 наклон $d\lambda/dH$ составляет $\approx 25 \cdot 10^{-10}$ э⁻¹, для остальных RCO_5 $d\lambda/dH \approx 3 \cdot 10^{-10}$ э⁻¹, т. е. на порядок меньше. Практически такой же наклон имеют участки кривых $\lambda(H)$ в полях $H > H_A$, измеренных поперек ОЛН кристаллов с R - Y, La и Ce. Это указывает что стрикция, зависящая от поля линейно, является магнитострикцией парапроцесса, λ_n . Таким образом, в базисной плоскости $\lambda = \lambda_n + \lambda_b$, где λ_b - магнитострикция, связанная с вращением намагниченности. Величину насыщения этой магнитострикции находим экстраполируя линейные участки сплошных кривых $\lambda(H)$ на $H = 0$: $\lambda_s \approx 40 \cdot 10^{-6}$ для YCo_5 и LaCo_5 и $\lambda_s \sim -300 \cdot 10^{-6}$ для CeCo_5 . Для SmCo_5 в направлении поперек ОЛН $\lambda < 0$. Определяя вклад λ_n в соответствии с пунктирной кривой 4, находим, что в поле 200 кэ $\lambda_b = \lambda - \lambda_n \approx -100 \cdot 10^{-6}$. Экстраполируя $\lambda_b(H)$ до $H = 450$ кэ получаем $\lambda_s \sim -500 \cdot 10^{-6}$.

На рис. 2 приведены кривые $\lambda(H)$ для поликристаллических образцов YCo_5 , $SmCo_5$ и $CeCo_5$. Из сравнения с рис. 1 видно, что в поликристаллах стрикция в основном меньше, чем в монокристаллах. Это может быть связано с пористостью образцов, с неполной магнитной текстурой, а также с неодинаковой формой монокристаллических и поликристаллических образцов (в том числе с неодинаковой формой используемых в каждом случае для градуировки эталонных образцов никеля). Однако качественно вид кривых $\lambda(H)$ поликристаллов и монокристаллов согласуется. Так, для всех соединений вдоль оси магнитной текстуры $\lambda > 0$ и растет линейно с полем. Для YCo_5 , у которого λ_n и $\lambda_b > 0$, кривая поперек оси текстуры (кривая 2) идет выше других кривых и ме-

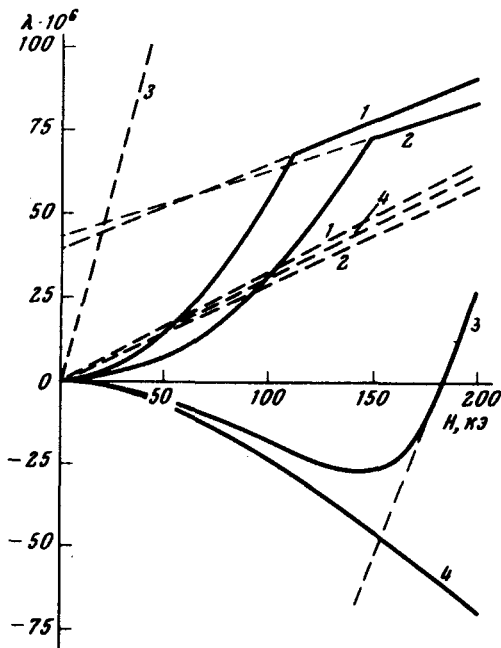


Рис. 1. Кривые $\lambda(H)$ вдоль (пунктирные кривые) и поперек (сплошные кривые) оси легкого намагничивания монокристаллов: 1 — YCo_5 , 2 — $LaCo_5$, 3 — $CeCo_5$, 4 — $SmCo_5$

няет наклон в области $H \approx H_A$. В $SmCo_5$, наоборот, кривая 2 идет ниже остальных кривых, что также согласуется с ходом кривых $\lambda(H)$ монокристалла. Кривая 2 $CeCo_5$ вся лежит в области $\lambda > 0$, что не соответствует ходу кривой $\lambda(H)$ в базисной плоскости монокристалла. Это можно объяснить неполной магнитной текстурой в поликристалле, принимая при этом во внимание то, что в монокристалле λ вдоль ОЛН много больше, чем поперек.

Таким образом, из приведенных результатов следует, что: а) соединения RCO_5 обладают большой положительной магнитострикцией парапроцесса. Эта магнитострикция в YCo_5 , $LaCo_5$ и $SmCo_5$ такого же порядка, как в кобальте [5], и больше на порядок в $CeCo_5$; б) измерения на YCo_5 и $LaCo_5$ показывают, что магнитострикция, связанная с вращением намагниченности в подсистеме ионов кобальта положительна, а ее величина насыщения составляет $\approx 40 \cdot 10^{-6}$. В $CeCo_5$ и $SmCo_5$, наоборот, эта магнитострикция отрицательна и приблизительно на порядок

больше по абсолютной величине; в) большая величина магнитоупругости в SmCo_5 показывает, что магнитоупругая анизотропия может быть одной из причин снижения в области дефектов магнитокристаллической анизотропии, приводя к относительно низкой коэрцитивной силе постоянных магнитов, изготавливаемых из этого материала.

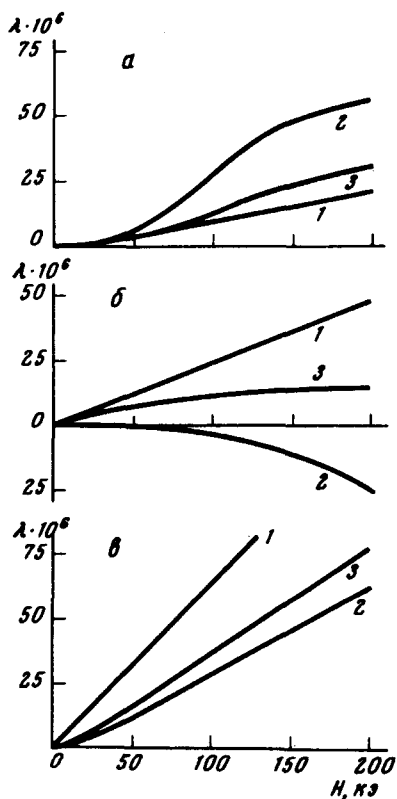


Рис. 2. Кривые λH поликристаллических образцов: а — YCo_5 , б — SmCo_5 , в — CeCo_5 ; 1 — вдоль, 2 — поперек оси магнитной текстуры, 3 — изотропный образец

Авторы благодарят Р.З.Левитина и Ю.Ф.Попова за ценные консультации по методике измерения магнитоупругости, А.С.Ермоленко, А.В.Королева, А.Е.Ермакова и В.Г.Майкова — за предоставление аттестованных монокристаллических и поликристаллических образцов и Н.В.Кручинина — за большую помощь в проведении измерений.

Институт физики металлов
Академии наук УНЦ

Поступила в редакцию
7 августа 1974 г.

Литература

- [1] А.С.Ермоленко, А.В.Королев, Я.С.Шур. Письма в ЖЭТФ, 17, 499, 1973.
- [2] Р.З.Левитин, Б.К.Пономарев. ПТЭ, 3, 188, 1966.
- [3] J.S.Jacobs, P.E.Lawrence. Rev. Sci. Instr., 29, 713, 1958.
- [4] А.В.Королев, А.С.Ермоленко. ФММ, 36, 957, 1973; K.J.Strnat, IEEE Trans. Magnetics. MAG-6, 182, 1970.
- [5] R.M.Bozorth. Phys. Rev., 96, 311, 1954.