

## 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  $\text{YCo}_5$  и  $\text{LaCo}_5$ ,  $\sim -300 \cdot 10^{-6}$  для  $\text{CeCo}_5$  и  $\sim -500 \cdot 10^{-6}$  для  $\text{SmCo}_5$ .

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/см<sup>3</sup>). 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  $\text{Sm}$ ) и поликристаллических стержнях размером

$1,3 \times 1,3 \times 6$  мм<sup>3</sup>, 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  $\pm 1$  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  $\text{SmCo}_5$ , 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  $\text{SmCo}_5$   $H_A$  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  $\text{CeCo}_5$  наклон  $d\lambda/dH$  составляет  $\approx 25 \cdot 10^{-10}$  э<sup>-1</sup>, для остальных  $\text{RCo}_5$   $d\lambda/dH \approx 3 \cdot 10^{-10}$  э<sup>-1</sup>, 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,  $\lambda_n$ . Таким образом, в базисной плоскости  $\lambda = \lambda_n + \lambda_b$ , где  $\lambda_b$  - 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  $\text{YCo}_5$  и  $\text{LaCo}_5$  и  $\lambda_s \sim -300 \cdot 10^{-6}$  для  $\text{CeCo}_5$ . Для  $\text{SmCo}_5$  в направлении поперек ОЛН  $\lambda < 0$ . Определяя вклад  $\lambda_n$  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  $\lambda_n$  и  $\lambda_b > 0$ , кривая поперек оси текстуры (кривая 2) идет выше других кривых и ме-

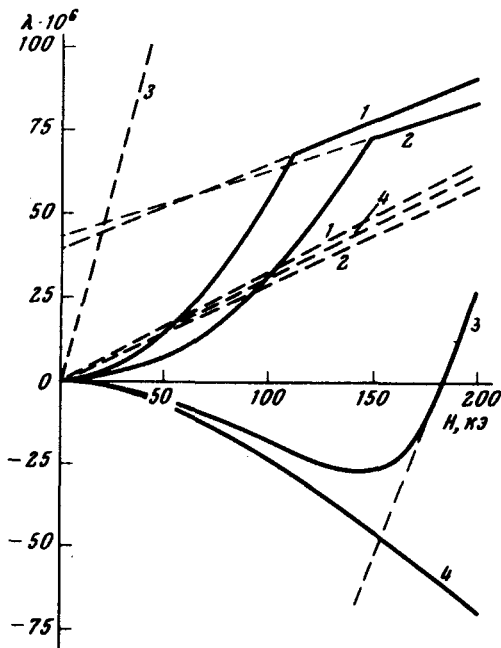


Рис. 1. Кривые  $\lambda(H)$  вдоль (пунктирные кривые) и поперек (сплошные кривые) оси легкого намагничивания монокристаллов: 1 —  $YCo_5$ , 2 —  $LaCo_5$ , 3 —  $CeCo_5$ , 4 —  $SmCo_5$

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  $\lambda$  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  $\text{SmCo}_5$  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.

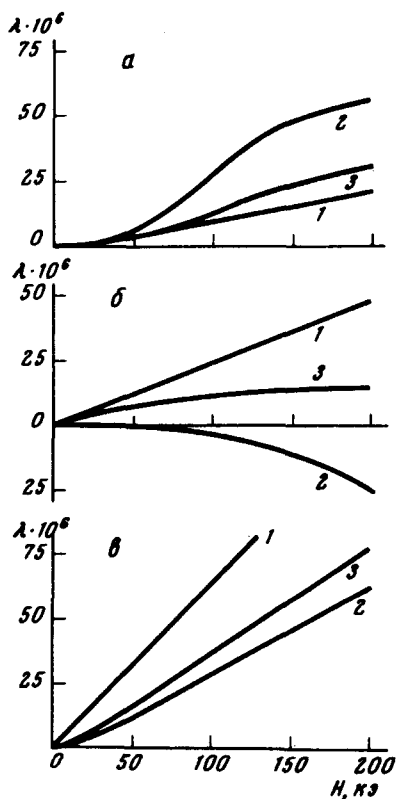


Рис. 2. Кривые  $\lambda H$  поликристаллических образцов: а —  $\text{YCo}_5$ , б —  $\text{SmCo}_5$ , в —  $\text{CeCo}_5$ ; 1 — вдоль, 2 — поперек оси магнитной текстуры, 3 — изотропный образец

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.