

ГИГАНТСКАЯ КОЭРЦИТИВНАЯ СИЛА И НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ МАССИВНЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ $\text{Sm}(\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x)_5$

А.С.Ермоленко, А.В.Королев

Обнаружено, что в некоторых ферромагнитных соединениях $\text{Sm}(\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x)_5$ в области низких температур границы между доменами остаются замороженными до очень высоких значений постоянного магнитного поля. В массивных монокристаллах при 4,2К наблюдалась аномальная анизотропия магнитной восприимчивости и аномально высокая коэрцитивная сила, превосходящая 83 кэ.

Интерметаллические ферромагнитные соединения редкоземельных металлов обладают, как правило, очень высокой энергией анизотропии, сравнимой по величине с обменной энергией или даже превосходящей ее. Толщина доменной границы, определяемая соотношением между этими энергиями, в подобных соединениях весьма мала и в предельном случае может быть равна одному межатомному расстоянию. Такие границы должны быть замороженными вплоть до приложения магнитных полей, сравнимых с полем анизотропии [1 – 3]. Действительно, в ряде соединений такой эффект наблюдался [2 – 5], хотя поля смещения границ оказались гораздо ниже теоретических оценок. В соединениях изученного в данной работе ряда $\text{Sm}(\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x)_5$ эффекты, связанные с замораживанием границ, проявляются особенно ярко, в частности, коэрцитивная сила достигает рекордно высоких значений.

Исследовано 11 сплавов, равномерно перекрывающих весь интервал $0 \leq x \leq 1$. Они были выплавлены в индукционной печи, в атмосфере аргона. Исходными компонентами служили $\text{Sm} - 99,9\%$, электролитические Co и Ni чистотой 99,99%. После плавки слитки гомогенизировались при 1150°C в течение 6 часов с последующей закалкой в воду. Металлографическим и рентгенографическим анализом установлено, что сплавы были в основном однофазными с гексагональной структурой типа CaZn_5 ; в отдельных случаях наблюдались следы фазы $\text{Sm}_2(\text{Co}, \text{Ni})_7$. Из крупных зерен сплавов были изготовлены монокристаллические образцы в виде шариков $\phi 2 - 3$ мм. Магнитные свойства измеряли баллистическим методом в сверхпроводящем соленоиде с предельным полем 83 кэ. Точку Кюри определяли по измерению начальной восприимчивости в переменном магнитном поле.

Все сплавы имели ось легкого намагничивания, совпадающую с осью c кристалла. Из кривых намагничивания, снятых вдоль этой оси, определяли магнитный момент насыщения σ_s сплавов. Констан-

ту анизотропии K_1 определяли по наклону начального участка кривой намагничивания, снятой в направлении, перпендикулярном оси c . Эти характеристики для 4,2К а также точки Кюри сплавов приведены на рис. 1. Видно, что точка Кюри монотонно снижается по мере увеличения x , в то время как K_1 имеет максимум в районе $x \approx 0,35$.

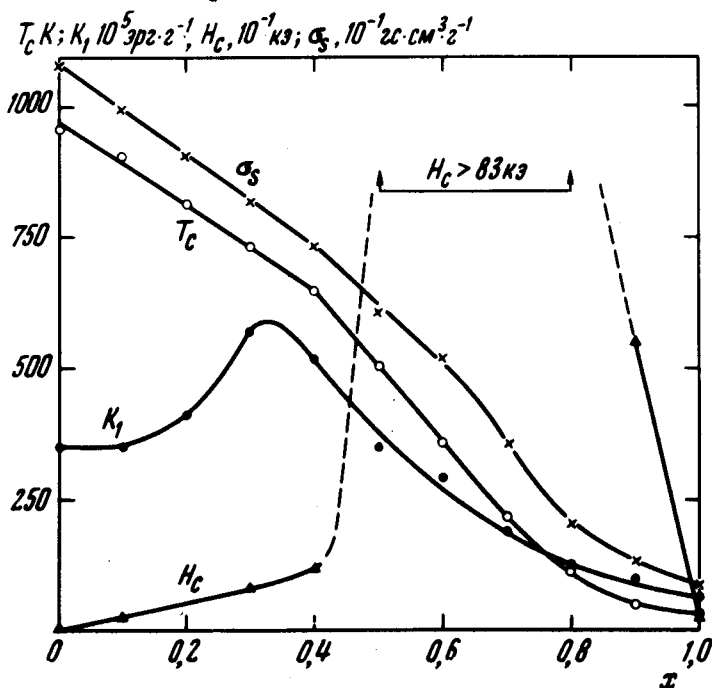


Рис. 1. Концентрационная зависимость спонтанной намагниченности σ_s , константы анизотропии K_1 и коэрцитивной силы H_c , измеренных при 4,2К, а также точки Кюри T_c для соединений $\text{Sm}(\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x)_5$

Перемагничивание образцов с $0 \leq x \leq 0,4$ вдоль оси c происходит скачкообразно, что обусловлено затруднением образования и роста зародышей обратной фазы [6]. Коэрцитивная сила плавно возрастает с ростом x . Однако, начиная с $x = 0,5$ образцы в поле 83 кэ практически не намагничиваются при 4,2К. Их удавалось намагнитить лишь путем охлаждения от комнатной температуры в присутствии магнитного поля. После этого они не размагничивались даже в обратном поле 83 кэ. Таким образом их коэрцитивная сила превышала 83 кэ. Можно было, варьируя величину поля при охлаждении, получить и промежуточные состояния между размагниченным и намагниченным до насыщения; эти состояния также сохранялись при приложении поля ± 83 кэ. Ясно поэтому, что мы имеем дело с доменной структурой с замороженными границами. Интересно, что такие образцы в размагниченном состоянии имеют, подобно антиферромагнетикам, большую восприимчивость вдоль направления трудного намагничивания (за счет процессов вращения), чем вдоль оси c . Если их поместить в магнитное поле в незакрепленном состоянии, они ориентируются осью легкого намагничивания перпендикулярно полю.

При $x = 0,9$ коэрцитивная сила уменьшается и ее можно было измерить. Кривая намагничивания и петля гистерезиса этого сплава показаны на рис. 2. Процесс намагничивания на пологой части кривой носит обратимый характер, а на крутой ее части — необратимый, с ярко выраженным последствием. Последнее наблюдается и при перемагничивании образца. На вставке внутри петли гистерезиса показана временная развертка процесса перемагничивания из точки A в точку B при фиксированном внешнем поле. Эффекты последствия ответственны и за пересечение кривой намагничивания с восходящей ветвью петли гистерезиса.

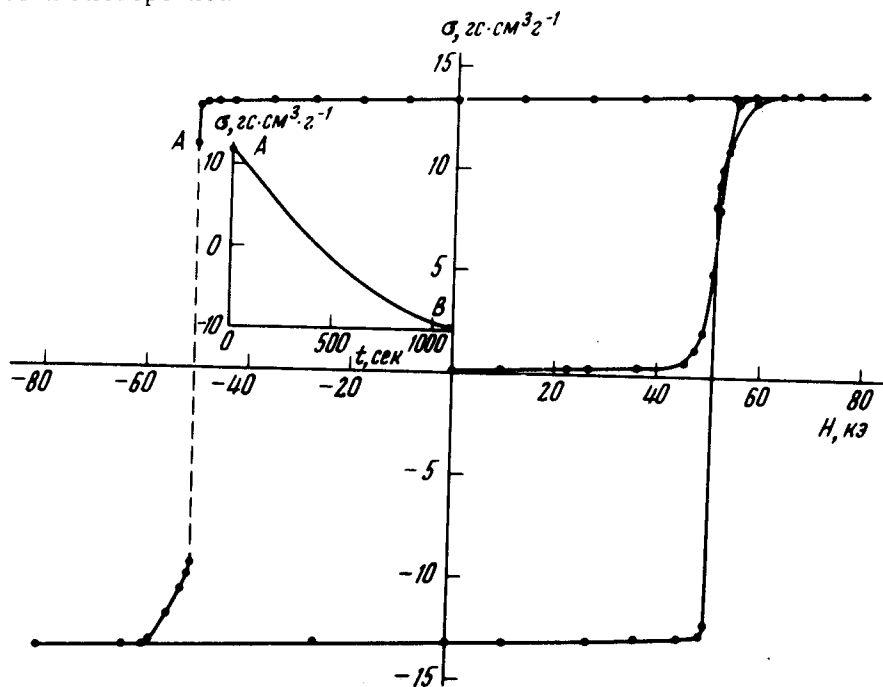


Рис. 2. Кривая намагничивания и петля гистерезиса соединения $\text{SmCo}_{0,5}\text{Ni}_{4,5}$ при 4,2К

В соединении SmNi_5 H_c при 4,2К равна 2500 э и процессы перемагничивания в нем не имеют описанных выше особенностей.

Основные закономерности процесса перемагничивания сплавов с $0,5 \leq x \leq 0,9$ могут быть поняты с точки зрения модели замороженных тонких доменных границ, развиваемой в [1–3]. Действительно, по мере замещения кобальта никелем T_c соединений снижается в гораздо большей степени, чем K_1 (последняя до $x \approx 0,35$ даже растет). Отношение энергии анизотропии к обменной энергии при этом увеличивается, а толщина доменных границ уменьшается. Возможно, что при $x = 0,5$ последние становятся настолько тонкими, что оказываются, в соответствии с упомянутой выше моделью, замороженными до сравнительно высоких магнитных полей. Снижение H_c при x , близких к единице может быть связано с уменьшением K_1 и приближением температуры измерения (4,2К) к точке Кюри сплавов.

Следует, однако, отметить, что большой скачок коэрцитивной силы при переходе от $x = 0,4$ к $x = 0,5$ трудно объяснить с точки зрения модели замороженных доменных границ, поскольку основные характеристики сплавов в этой области составов не испытывают значительных изменений. Возможно, что резкое повышение H_c связано с неизвестными пока особенностями кристаллической или магнитной структуры, появляющимися в сплавах, начиная с $x = 0,5$.

Институт физики металлов
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
7 ноября 1974 г.

УНЦ

Литература

- [1] J.J.Van der Broek, H.Zijlstra. IEEE Trans. on Magn., Mag-7, 226, 1971.
 - [2] V.Barbara, C. Vecle, R.Lemaire, D.Paccard. J. de Phys., 32, C-1, 299, 1971.
 - [3] V.Barbara, G.Fillion, D.Gignoux, R.Lemaire. Solid State Comm. 10, 1149, 1972.
 - [4] K.N.R.Taylor, D.Melville, G.J.Primavesi. J.Phys. F. Metal Phys., 2, 584, 1972.
 - [5] H.Oesterreicher. Solid State Comm., 14, 571, 1974.
 - [6] А.С.Ермоленко, А.В.Королев, Я.С.Шур. Письма в ЖЭТФ, 17, 499, 1973.
-