

УДК 669.863/864:538.652

ОСОБЕННОСТИ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ТЕРБИЙ—ДИСПРОЗИЙ В ПАРАМАГНИТНОЙ ОБЛАСТИ ВБЛИЗИ ТЕМПЕРАТУРЫ НЕЕЛЯ

Г. И. Катаев, М. Р. Саттаров, В. В. Шубин

(кафедра общей физики для естественных факультетов)

На частотах ~ 1 кГц в полях до 14,5 кЭ и области температур $T=78\text{—}320$ К изучено внутреннее трение Q^{-1} сплавов Tb—Dy. Выше точки Нееля обнаружен максимум $Q^{-1}(T)$, обладающий большим температурным гистерезисом и связываемый с исчезновением ближнего антиферромагнитного порядка.

При исследовании упругих постоянных ультразвуковыми методами дополнительно, как правило, измеряются температурные, полевые и т. п. зависимости коэффициента затухания ультразвука α . При использовании для тех же целей низких частот, например, как в нашем случае, частот 1—2 кГц изгибных колебаний образца, удобно говорить соответственно о внутреннем трении Q^{-1} . Поскольку этот параметр чрезвычайно чувствителен к различным фазовым переходам в материале, к его структурным особенностям и к частотному диапазону измерений, иногда получаемая с его помощью информация по своей значимости превосходит ту, что дает исследование упругих свойств.

В работе исследовано внутреннее трение поликристаллических образцов сплавов Tb—Dy в магнитных полях до 14,5 кЭ в температурном диапазоне 78—320 К на частотах 1—2 кГц с целью изучения влияния на Q^{-1} ближнего магнитного порядка выше температуры Нееля Θ_2 , а также поведения Q^{-1} в области между температурой Кюри Θ_1 и Θ_2 .

Изгибные колебания образца в виде малой консоли размерами $7 \times 3 \times 0,2$ мм возбуждались электростатически в цепи с электромеханической обратной связью. Разрыв этой цепи вел к затуханию колебаний, число которых между двумя амплитудными порогами, определяемыми дискриминатором, сосчитывалось электронным счетчиком [1]. Точность измерений Q^{-1} составляла 2—3%, изменения Q^{-1} — десятки доли процента.

Сплавы выплавлены в ГИРЕДМЕТ, их магнитострикция и магнитокалорический эффект в области магнитных фазовых переходов были изучены в работе [2]. В настоящей работе мы подробнее остановимся на свойствах одного из крайевых составов системы — поликристаллического диспрозия и близкого к нему состава Tb_{0,125}Dy_{0,875}. Некоторые магнитоупругие свойства последнего приведены в работе [3].

Хотя измерения упругих свойств и затухания ультразвука на образцах Dy производились многократно, на низких частотах выявляется ряд особенностей, которые не были замечены ранее. На рис. 1, где показаны зависимости Q^{-1} диспрозия от температуры T в отсутствие поля и в поле 3 кЭ, видны аномалии не только в районе $\Theta_1=85$ К (переход ферромагнетизм (ФМ) — геликоидальный антиферромагнетизм (АФМ)) и температуры Нееля $\Theta_2=180$ К (переход АФМ — ПМ (парамагнетизм)), но и на 90—100 К выше Θ_2 . В последнем случае наблюдается широкий максимум, вершина которого соответствует температуре T_N «выклинивания» далеко протянувшегося в парамагнитную область температурного гистерезиса модуля упругости материала E . Вершина максимума зависимости $Q^{-1}(T)$ также имеет значительный температурный гистерезис (см. рис. 1). Результаты измерений на мегагерцевых частотах (см., напр., [4]) не обнаруживают особенности в парамагнитной области; наши измерения методом «составного вибратора» на частоте 180 кГц повторяют ход $Q^{-1}(T)$ ниже Θ_1 и между Θ_1 и Θ_2 (см. рис. 1), однако в парамагнитной области не дают ни максимума, ни заметного температурного гистерезиса.

Отсюда можно заключить, что природа аномалий зависимости Q^{-1} от T выше Θ_2 , наблюдавшихся нами при всех составах системы, но постепенно убывающих при увеличении содержания Tb, связана с некоторыми неоднородностями, размеры и концентрация которых мешают им «проявиться» на высоких частотах. Это могут быть магнитные кластеры, т. е. области ближнего АФМ-порядка (исчезающего при T_N), имеющие при нагреве и охлаждении разные зависимости угла геликонда от температуры, разные размеры и концентрацию. С учетом работы [5] можно было бы предложить и другую гипотезу, по которой большие внутренние напряжения, воз-

никние в материале при охлаждении ниже Θ_1 и связанные с гигантской спонтанной магнитоупругостью, остаются потом и при нагреве значительно выше Θ_2 , исчезая только при T_H . Если учесть, однако, что максимум $Q^{-1}(T)$ выше Θ_2 наблюдался нами и при первичном охлаждении образцов, последняя гипотеза становится сомнительной.

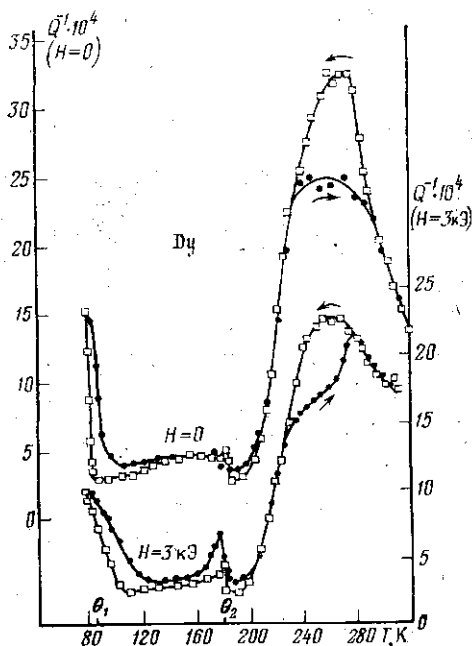


Рис. 1

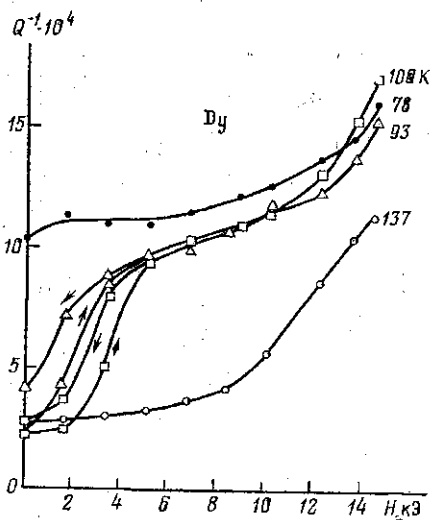


Рис. 2

Измерения $Q^{-1}(T)$ проводились в полях 0; 3; 7 и 14,5 кЭ. Высота максимума $Q^{-1}(T)$ в поле 3 кЭ в полтора раза ниже по сравнению с данными при $H=0$ (см. рис. 1) и имеет несколько другой ход гистерезиса, что свидетельствует о магнитной природе данной аномалии. Аномалии такого типа наблюдались нами и при измерениях вдоль оси c монокристалла $Tb_{0,5}Dy_{0,5}$.

В АФМ-области у Dy (и ряда сплавов Tb—Dy) наблюдается также полевой гистерезис внутреннего трения (и модуля упругости E). На рис. 2 он виден на зависимостях $Q^{-1}(H)$ в полях до 5 кЭ при температурах 93 и 100 К. Он отсутствует в ФМ-области (78 К) и, с другой стороны, при 137 К, т. е. исчезает еще довольно далеко от Θ_2 . Согласно [2] критическое поле H_K перехода ФМ—АФМ в Dy при 100 К несколько меньше 2 кЭ, т. е. гистерезисные явления (см. рис. 2), связанные, видимо, со сдвигом при росте поля температуры магнитного фазового перехода (I рода) Θ_1 при увеличении и уменьшении поля b области, соответствующей смещению доменных границ, захватывают не только АФМ-, но в какой-то мере и ФМ-состояние. При росте температуры до 165 К критическое поле H_K почти линейно увеличивается примерно до 11 кЭ, т. е. переходит в область вращения, что может служить объяснением ненаблюдения полевого гистерезиса Q^{-1} выше 119 К. (При указанном росте температуры наблюдаемый минимум отрицательного ΔE -эффекта для Dy смещается в сторону более сильных полей, а величина самого эффекта сильно уменьшается.) Переход к более быстрому росту $Q^{-1}(H)$ для безгистерезисной кривой при 137 К на рис. 2 наблюдается в поле, несколько большем величины $H_K=7$ кЭ при данной температуре. Явления, подобные изображенным на рис. 2, были обнаружены на полевой зависимости упругой постоянной c_{33} монокристалла $Tb_{0,5}Ho_{0,5}$ [6].

Возвращаясь к результатам исследования сплавов системы в парамагнитной области, отметим, что там наблюдается линейная зависимость от квадрата поля относительного изменения внутреннего трения $\Delta Q^{-1}/Q_0^{-1}$, где Q_0^{-1} — значение внутреннего трения в отсутствие поля при данной температуре. Соответствующие прямые показаны на рис. 3, а для $Tb_{0,125}Dy_{0,875}$. Аналогичные зависимости наблюдались для

коэффициентов затухания продольной ультразвуковой волны, распространяющейся вдоль оси c монокристалла Tb, и ряда кристаллов других РЗМ [7] и объясняются тем, что затухание пропорционально квадрату индуцированной полем спиновой поляризации, в свою очередь линейно зависящей от поля. Для Dy и Tb_{0,125}Dy_{0,875} (и несколько менее точно для ряда других составов системы Tb—Dy) обнаружена также линейная температурная зависимость обратной величины относительного изменения внутреннего трения $Q_0^{-1}/\Delta Q^{-1}$, но не во всей области температур выше Θ_2 , а в диапазоне от Θ_2 до T_H . На рис. 3, б приведены соответствующие зависимости для сплава Tb_{0,125}Dy_{0,875}, для которого $T_H \approx 260$ —270 К. Тогда для данных составов и указанной области температур можно записать эмпирическую формулу:

$$Q^{-1}(H, T) = Q_0^{-1}(T) \{1 + \beta H^2 / (T - \tau)\},$$

где коэффициенты β и τ определяются из графиков типа рис. 3: для образца Tb_{0,125}Dy_{0,875} $\beta = 11,2 \cdot 10^{-2}$ К/кЭ², $\tau = 174$ К, для образца Dy β лежит в пределах $(7 \div 11) \cdot 10^{-2}$ К/кЭ², $\tau \approx 182$ К.

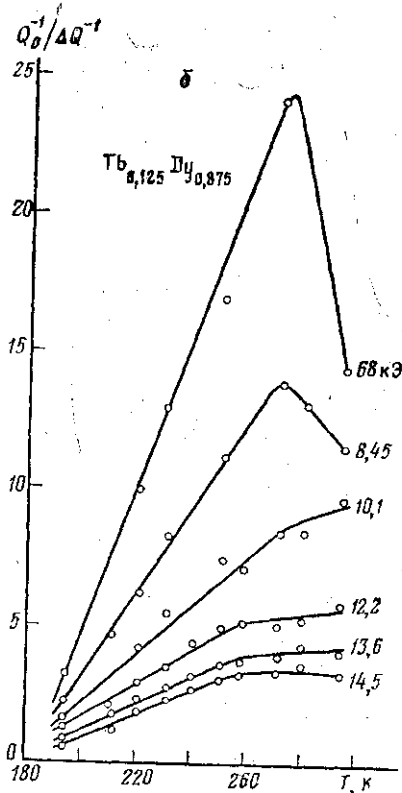
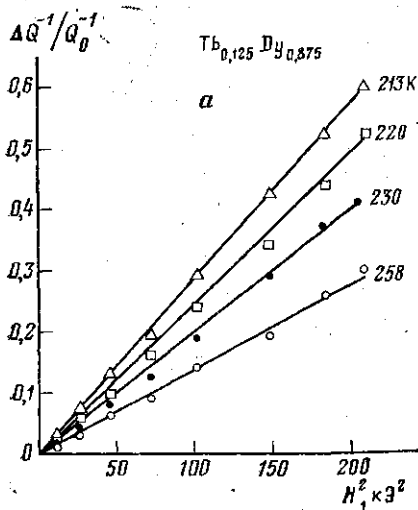


Рис. 3

Можно сделать следующие выводы.

1. На частотах 1—2 кГц изгибных колебаний обнаружен максимум внутреннего трения диспрозия и его сплавов с тербием, вершина которого обладает заметным температурным гистерезисом и лежит при температуре T_H в парамагнитной области, на несколько десятков градусов выше точки Нееля Θ_2 ; природа максимума предположительно связывается с исчезновением при T_H ближнего антиферромагнитного порядка.

2. В области температур $\Theta_2 \div T_H$ для этих же материалов подтверждена линейная зависимость относительного изменения внутреннего трения при постоянных температурах от квадрата внешнего поля и обнаружена линейная зависимость обратной величины относительного изменения Q^{-1} от температуры при постоянных полях.

3. В области температур, близкой к Θ_1 , обнаружен полевой гистерезис внутреннего трения, связываемый со смещением при изменении поля температуры Кюри Θ_1 .

Примечание при корректуре. В последнее время опубликована наша работа, где приведены результаты измерения E и Q^{-1} для монокристалла Tb_{0,5}Dy_{0,5} (Катаев Г. И., Саттаров М. Р. // ФТТ. 1989. 31, № 1. С. 280.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Катаев Г. И., Шубин В. В.//ФММ. 1979. 48, № 1. С. 188. [2] Никитин С. А., Иванова Т. И., Леонтьев П. И., Галалаева Е. В.//Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1986. 27, № 3. С. 52. [3] Шубин В. В., Катаев Г. И., Иванова Т. И.//ФММ. 1985. 59. С. 746. [4] Blackie G. N., Palmer S. B.//Portgal Phys. 1980. 11, fasc. 1—2. P. 23. [5] Баазов Н. Г., Манджавидзе А. Г. Исследование редкоземельных магнетиков нейтронными методами. Тбилиси, 1983. С. 47. [6] Isci C., Palmer S. B.//J. Phys. Chem. Solids. 1977. 38. P. 1253. [7] Mea Kawa S., Treder R., Tachiki M., Levi M.//Phys. Rev. 1976. 13. P. 1284.

Поступила в редакцию
25.05.88