

УДК 537.311

© 1990

## АНИЗОТРОПИЯ ВЕЛИЧИНЫ МАГНИТНОГО МОМЕНТА В АМОРФНЫХ СПЛАВАХ ТЬ—СО С НАВЕДЕННОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ

А. С. Андреевко, Р. Н. Дамянова, Т. И. Иванова,  
С. А. Никитин, Е. В. Синицын

Исследованы температурные и полевые зависимости крутящих моментов аморфного сплава  $Tb_{21}Co_{79}$  с наведенной одноосной анизотропией в плоскости пленки. Измерения проводились на крутильном анзиметре в магнитных полях до 15 кЭ в интервале температур 80—300 К. Экспериментально обнаружены «срывы» на кривых вращающихся моментов, а в магнитных полях до 9 кЭ наблюдался также вращательный гистерезис. Интерпретация результатов дана на основе теории, учитывающей зависимость величины среднего магнитного момента образца от его ориентации относительно оси легкого намагничивания.

Исследования процессов намагничивания в редкоземельных аморфных сплавах ТЬ—СО с наведенной анизотропией показали [1], что величина среднего магнитного момента образца  $\langle M \rangle$  зависит от его ориентации относительно оси анизотропии. Эта зависимость определяется различной величиной дисперсии ориентационных флуктуаций магнитных моментов  $D_m$  для различных положений  $\langle M \rangle$  относительно оси анизотропии  $n$ . Было установлено, что при намагничивании аморфных сплавов вдоль оси трудного намагничивания (ОТН) на конечном участке кривой намагничивания вращение  $\langle M \rangle$  замедляется вследствие того, что часть энергии внешнего магнитного поля расходуется на подавление ориентационных флуктуаций  $D_m$ . Особенности угловой зависимости среднего магнитного момента образца, обнаруженные при измерениях намагниченности в работе [1], безусловно должны приводить к характерным аномалиям кривых вращающихся моментов. В данной работе проведено исследование температурных и полевых зависимостей вращающихся моментов в аморфных сплавах ТЬ—СО с наведенной магнитной анизотропией.

1. Условия изготовления и паспортные данные аморфных сплавов ТЬ—СО подробно описаны в работе [1].

Измерение вращающихся моментов проводилось по методике, описанной в работе [2], в области температур 80—300 К в магнитных полях до 15 кЭ. Первоначальное положение оси легкого намагничивания (ОЛН) образца, т. е. направление ОЛН до проведения измерений, определялось по максимуму остаточной намагниченности на вибрационном магнитометре.

2. На рис. 1 представлены кривые вращающихся моментов в аморфном сплаве  $Tb_{21}Co_{79}$  (99 К). Измерения проводились в разных магнитных полях, ориентированных вдоль плоскости образца. Наблюдается  $180^\circ$  симметрия кривых вращающихся моментов, что и следовало ожидать в аморфном сплаве с одноосной магнитной анизотропией.

На кривых  $L(\theta)$  видны характерные «срывы» вращающихся моментов, происходящие вблизи углов  $\theta = \theta_{cr}$ , причем эти срывы наблюдаются как при измерениях кривых вращающихся моментов, начиная с малых углов,

так и при обратном прохождении, т. е. начиная с больших углов. Наблюдается также гистерезис  $L(\theta)$  в магнитном поле  $H \leq 9$  кЭ.

На рис. 2 приведены полевые зависимости  $L(\theta)$  для сплава  $Tb_{21}Co_{79}$ , снятые при различных температурах. На начальных участках кривых

наблюдается линейная зависимость  $L_{max}(\theta)$  от поля при всех температурах. Однако при дальнейшем увеличении поля происходит замедление роста величины  $L_{max}(\theta)$ .

3. Как показано в [1], особенности кривых намагничивания аморфных

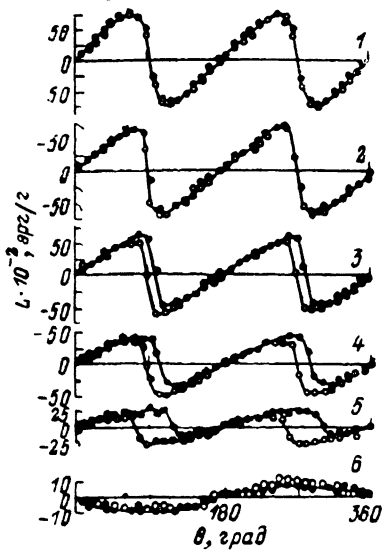


Рис. 1. Угловые зависимости крутящего момента при 99 К.

$H$ , Э: 1 — 15, 2 — 12, 3 — 9, 4 — 6, 5 — 3, 6 — 1.

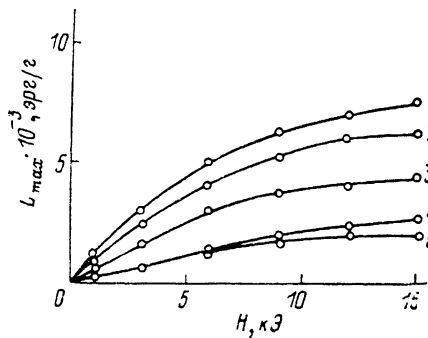


Рис. 2. Полевые зависимости максимального значения крутящего момента.

$T$ , К: 1 — 83, 2 — 129, 3 — 191, 4 — 300, 5 — 267.

сплавов с наведенной анизотропией можно объяснить уменьшением величины среднего магнитного момента образца при его ориентации вдоль

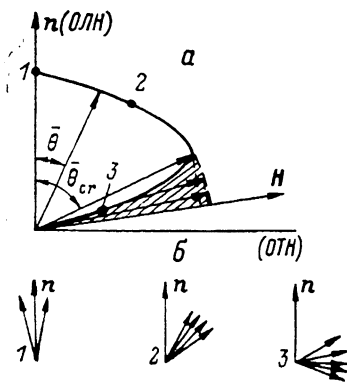


Рис. 3. Зависимость величины среднего магнитного момента от его ориентации (схематически).  $M(\bar{\theta}) = \langle M \rangle$ .  $a$  — область углов  $\theta > \theta_{cr}$  является запрещенной, ОЛН и ОТН определяются наведенной анизотропией;  $b$  — изображение дисперсии ориентационных флуктуаций  $M(\theta)$  при различных ориентациях (1—3)  $\langle M \rangle$ .

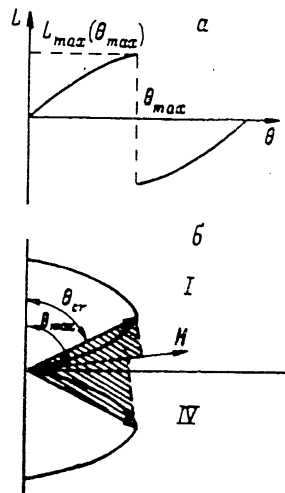


Рис. 4. К возникновению аномалий на кривых  $L(\theta)$ .

$a$  — схематический вид  $L(\theta)$ ;  $b$  — перебор  $\langle M \rangle$  из квадранта I в IV вследствие возникновения области запрещенных ориентаций (заштриховано).

ОТН. На рис. 3 схематически изображено, как зависит величина среднего магнитного момента от его ориентации по отношению к осям анизотропии. Из этого рисунка видно, что существуют области «запрещенной» ориентации  $\langle M \rangle$ . Так, для  $\langle M \rangle$  при заданном поле  $H$  не выгодно отклониться от

оси  $n$  на угол, больший  $\theta_{cr}$ , так как это сопровождалось бы увеличением энергии Зеемана. Процесс намагничивания после отклонения  $\langle M \rangle$  от  $n$  на угол  $\theta_{cr}$  происходит за счет подавления дисперсии ориентационных флуктуаций  $D_m$ , что приводит к уменьшению области запрещенных ориентаций  $\langle M \rangle$  (рис. 3, *a*). Из рис. 3, *a* видно, что в достаточно широком интервале полей углы  $\theta_{cr}$  слабо зависят от величины  $\langle M \rangle$  и имеют тенденцию к увеличению с ростом магнитного поля  $H$ , что обусловлено падением величины флуктуаций  $D_m$  и соответственно уменьшением «провала» на зависимости  $M(\theta)$ .

При таких особенностях процессов намагничивания можно ожидать, что зависимости вращающих моментов при наличии области запрещенных ориентаций имеют вид (рис. 4, *a*). При сопоставлении экспериментальных кривых (рис. 1) и схемы (рис. 4, *a*) наблюдается хорошее качественное согласие.

Гистерезис вращающих моментов в малых полях (рис. 1) скорее всего обусловлен образованием доменов при переориентации  $\langle M \rangle$  из квадранта I в квадрант IV (рис. 4, *b*). Максимальная величина  $L_{max}(\theta)$ , достигаемая перед срывом (рис. 4), имеет вид

$$L_{max}(\theta) = M(\theta_{cr}) H \sin(\theta_{cr} - \theta).$$

Поскольку  $\theta_{cr}$  и  $M(\theta_{cr})$  в области достаточно слабых магнитных полей весьма слабо зависят от величины внешнего магнитного поля  $H$ , то  $L_{max}(\theta)$  должно зависеть от  $H$  практически линейно, что и наблюдалось в эксперименте (рис. 2). В больших же магнитных полях линейная зависимость нарушалась, что связано с уменьшением  $D_m(\theta_{cr})$ , вследствие чего начинали зависеть от  $H$  параметры  $M(\theta_{cr})$  и  $\theta_{cr}$ .

Таким образом, измерения вращающих моментов в аморфном сплаве  $Tb_{21}Co_{79}$  с наведенной анизотропией хорошо описываются в рамках теории, предложенной в работе [1].

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Андреевко А. С., Дамянова Р. Н., Золотухин И. В., Никитин С. А., Сивицын Е. В., Соловьев А. С. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 10. С. 1854—1862.  
 [2] Tajima K., Chikazumi S. // Jap. J. Appl. Phys. 1967. V. 6. N 7. P. 897.

Московский государственный университет  
 им. М. В. Ломоносова  
 Москва

Поступило в Редакцию  
 5 сентября 1989 г.