

©1993

МАГНИТНЫЕ МОМЕНТЫ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ Tb-Co И Dy-Co

А.С.Андреевко, Р.Н.Дамьянова, В.И.Яковлев

Из данных по исследованию полевых зависимостей намагниченности при низких температурах рассчитаны магнитные моменты и оценены углы полураствора конусов ψ , которые образуют магнитные моменты редкоземельных ионов в аморфных сплавах Dy_xCo_{100-x} и Tb_xCo_{100-x} . Установлено, что концентрационные зависимости $\psi(x)$ имеют максимумы в области концентраций, где магнитные моменты редкоземельной и кобальтовой подсистемы практически компенсируют друг друга. Обсуждение проведено на основе ранее опубликованных модельных представлений.

1. Магнитные структуры аморфных сплавов тяжелых редкоземельных металлов (ТРЗМ) с 3d-переходными металлами (ПМ) изучены достаточно подробно [1,2]. Обычно эти структуры описываются как две магнитные подсистемы РЗ и ПМ ионов, причем их средние магнитные моменты имеют противоположные направления $\langle \mu_R \rangle \uparrow \downarrow \langle \mu_{ПМ} \rangle$. Магнитные моменты R-подсистемы образуют конус, и их величина вследствие сильной локализации 4f-подоболочки определяется правилами Хунда. Структурный беспорядок практически не влияет на величину μ_R . Угол раствора конуса, образуемого моментами R-ионов, определяется конкуренцией обменных взаимодействий и локальной магнитной анизотропии, возникающей в результате взаимодействия электронных оболочек R-ионов с кристаллическим полем ближайшего окружения. Хотя уже выполнено несколько исследований нейтронной дифракции на аморфных сплавах R-ПМ [3,4], оценка угла полураствора конуса R-моментов известна лишь для сплавов $DyCo_{3,4}$ ($\psi = 70^\circ$) [5] и $TbFe_2$ ($\psi = 47^\circ$) [6], причем эти величины получены из магнитных измерений.

Нам представлялось важным провести оценку зависимости угла полураствора конуса ψ не в отдельном сплаве, а в системе сплавов $R_xПМ_{100-x}$, поскольку в этом случае зависимость угла ψ от состава характеризует изменение соотношения между обменными взаимодействиями и локальной анизотропией. С этой целью нами проведены исследования магнитных свойств двух систем аморфных сплавов Tb_xCo_{100-x} и Dy_xCo_{100-x} при температурах 1.5 и 4.2 К в полях до 80 и 16 кЭ соответственно.

2. Измерения проводились на толстых (до 40 мкм) аморфных пленках Tb-Co и Dy-Co, полученных ионно-плазменным напылением [7,8]. Все образцы были рентгеновски аморфными.

На рис. 1, 2 приведены концентрационные зависимости намагниченности σ (для сплавов Tb_xCo_{100-x} , $H = 70$ кЭ, $T = 1.5$ К и для сплавов Dy_xCo_{100-x} , $H = 16$ кЭ, $T = 4.2$ К) и рассчитанные значения магнитных

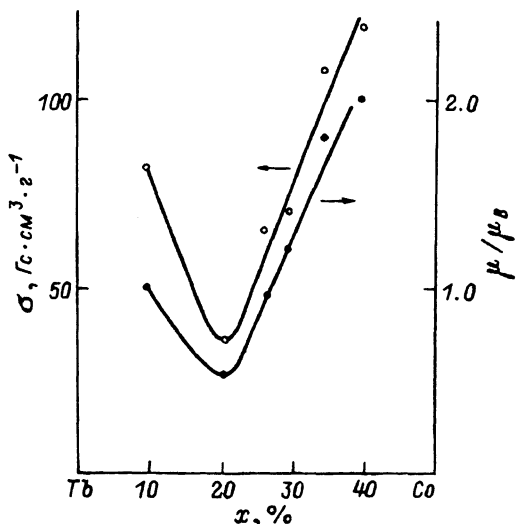


Рис. 1. Концентрационные зависимости намагниченности σ и магнитных моментов μ для сплавов Tb_xCo_{100-x} . $H = 70$ кЭ, $T = 1.5$ К.

моментов на формульную единицу μ . Как видно из этих рисунков, кривые $\sigma(x)$ и $\mu(x)$ имеют минимумы при $x \approx 21$. Подобные зависимости свидетельствуют о ферримагнитном упорядочении средних магнитных моментов $\langle \mu_R \rangle$ и $\langle \mu_{Co} \rangle$, а минимум указывает на наличие компенсационного состава при $x \approx 21$, где магнитные моменты подсистемы РЗМ и Co при низких температурах практически совпадают.

Известно, что атомы переходных d -металлов, помещенные в неметаллическую матрицу или образующие неметаллические соединения, ведут себя аналогично ионам РЗМ в том смысле, что величина их магнитного момента не меняется по сравнению с магнитным моментом свободного иона. Однако в металлических соединениях наличие широких зон проводимости приводит к изменению магнитного момента и его величина не соответствует значению, определяемому по правилам Хунда. Спин-орбитальная связь в $3d$ -металлах значительно слабее, чем взаимодействие с кристаллическим полем. Поэтому в аморфных структурах основными факторами, влияющими на величину магнитного мо-

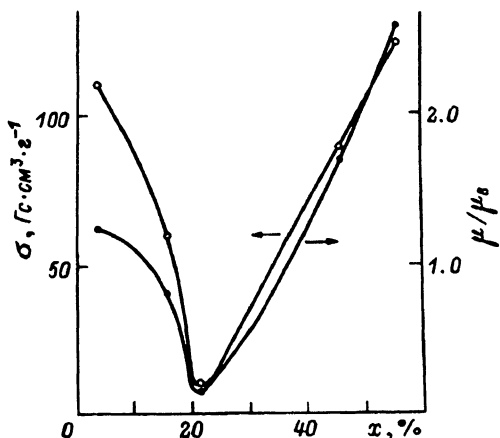


Рис. 2. Концентрационные зависимости намагниченности σ и магнитных моментов μ для сплавов Dy_xCo_{100-x} . $H = 16$ кЭ, $T = 4.2$ К.

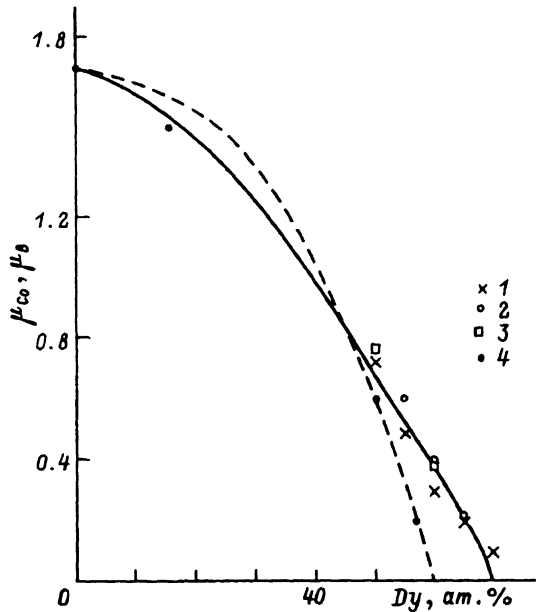


Рис. 3. Концентрационные зависимости магнитного момента Co в аморфных сплавах Y_xCo_{100-x} (штриховая кривая) и Cd_xCo_{100-x} (сплошная кривая), полученные из работ [9](1), [10](2), [11](3), [12](4).

мента ПМ, являются слабая экранировка, частичная делокализация $3d$ -электронов, тип и число ближайших соседей.

По этим причинам магнитные моменты $3d$ -металлов меняются по величине в ряду как кристаллических соединений, так и аморфных сплавов R-ПМ.

Измерения, проведенные в работах [9–12] на аморфных сплавах и кристаллических соединениях Y-Co, где Y — немагнитный металл, позволили определить магнитные моменты Co (рис. 3). Результаты этих работ были использованы нами для расчета магнитных моментов подсистемы РЗМ, а также для оценки угла полураствора конуса.

Возможность использования значений магнитных моментов ионов кобальта в аморфных сплавах Y-Co в расчетах магнитных структур R-Co нуждается в дополнительном обосновании. Во-первых, наличие $f-d$ -обменного взаимодействия может приводить к дополнительному сдвигу подзон спинов с различной ориентацией у ПМ и изменять их магнитный момент по сравнению со сплавами Y-Co. Во-вторых, электронные радиусы R-ионов несколько отличаются от радиуса электронной оболочки Y. Вследствие этого расстояния между ближайшими соседями в сплавах Y-Co и R-Co различны, что сказывается на перекрытии волновых функций $3d$ -металлов. Однако, как показывают экспериментальные данные по измерению магнитных свойств Gd-Co, в которых наблюдается коллинеарная магнитная структура [9], различия в значениях μ_{Co} для сплавов Y-Co и Gd-Co невелики (рис. 3).

Используя значения μ и данные по расчету μ_{Co} , из рис. 3 можно рассчитать средние значения проекций магнитных моментов ионов Tb и Dy (μ_R) на направление магнитного поля по формуле [9]

$$\langle \mu \rangle = [x \langle \mu_R \rangle \pm (100 - x) \langle \mu_{Co} \rangle] / 100. \quad (1)$$

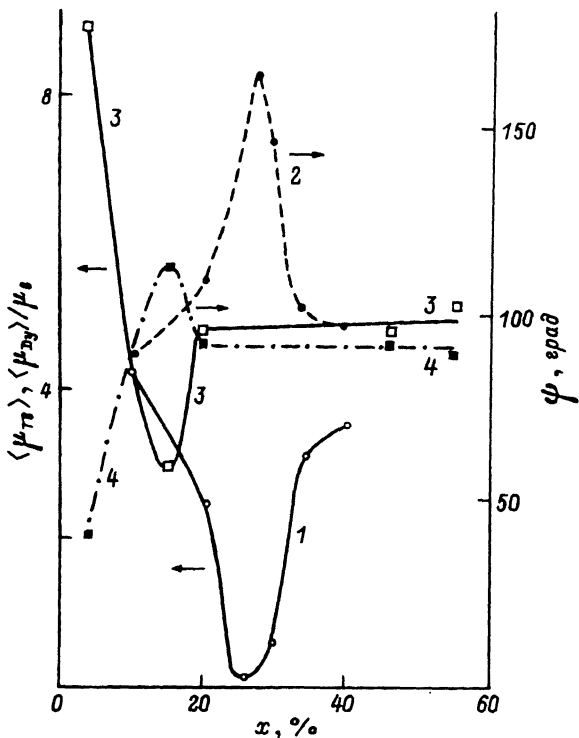


Рис. 4. Концентрационные зависимости средних магнитных моментов $\langle \mu_{Tb} \rangle$ и $\langle \mu_{Dy} \rangle$ и углов полураствора конуса ψ для аморфных сплавов Tb_xCo_{100-x} и Dy_xCo_{100-x} для $H = 70$ кЭ, $T = 1.5$ К и $H = 16$ кЭ, $T = 4.2$ К соответственно.

1 — $\langle \mu_{Tb} \rangle$, 2 — ψ для Tb_xCo_{100-x} ,
3 — $\langle \mu_{Dy} \rangle$, 4 — ψ для Dy_xCo_{100-x} .

Угол полураствора конуса ψ определялся из соотношения [13]

$$\langle \mu_R \rangle = \frac{1}{2} \mu_R (1 + \cos \psi), \quad (2)$$

где μ_R — магнитный момент свободного R-иона.

На рис. 4 приведены концентрационные зависимости $\langle \mu_{Dy} \rangle$, $\langle \mu_{Tb} \rangle$, а также угла ψ для сплавов Dy_xCo_{100-x} , Tb_xCo_{100-x} в полях 16 и 70 кЭ соответственно. Из этого рисунка видно, что углы ψ имеют широкий спектр значений от 50 до 165°, причем наблюдается резкий максимум в области компенсационных составов (ср. с рис. 1 и 2).

При обсуждении этих результатов следует учесть, что компенсационные сплавы обладают рядом аномальных магнитных характеристик [14, 15]. Эти аномалии объясняются флуктуациями магнитных моментов, обменных взаимодействий, анизотропии, которые присущи всем аморфным сплавам, но наиболее ярко проявляются в сплавах, где магнитные моменты подсистем почти компенсируют друг друга. Наиболее правдоподобным объяснением рис. 4 может служить то, что в компенсационных сплавах возможно сосуществование областей с $\langle \mu_R \rangle > \langle \mu_{Co} \rangle$ и областей с $\langle \mu_R \rangle < \langle \mu_{Co} \rangle$. При намагничивании в первых областях по полю ориентируется магнитный момент R-подсистемы, в которых магнитное поле уменьшает величину ψ , а во вторых областях — подсистемы Co. Здесь магнитное поле разупорядочивает R-моменты, приводя к росту ψ . В результате суммирование магнитных моментов областей по всему объему образца приводит к получению усредненной величины ψ , которая должна находиться в пределах $90^\circ < \psi < 180^\circ$, что соответствует данным рис. 4.

Для анализа величины ψ в областях концентраций выше или ниже компенсационного состава требуются дополнительные данные по обменным взаимодействиям и величине локальной магнитной анизотропии, которыми мы не располагаем.

3. Таким образом, полученные в работе экспериментальные результаты по намагниченности аморфных сплавов Tb_xCo_{100-x} и Du_xCo_{100-x} при низких температурах позволили рассчитать величины средних магнитных моментов, приходящихся на формульную единицу, и углы полураствора конусов ψ_{μ_R} . Обнаруженный в области компенсационного состава максимум $\psi(x)$ свидетельствует о сосуществовании двух типов областей, где средние магнитные R-моменты превышают значения средних моментов Co и областей с $\langle \mu_{Co} \rangle > \langle \mu_R \rangle$. Аддитивное сложение средних магнитных моментов $\langle \mu_R \rangle$ для этих участков и приводит к возрастанию значения $\langle \mu_R \rangle(x)$, наблюдаемому в эксперименте.

Список литературы

- [1] Handbook on the physics and chemistry of rare-earths/ Ed. Gschneidner K.A., Jr. and Eyring L.R. Amsterdam, 1978.
- [2] Moorjani K., Coey J.M.D. Magnetic glasses Elsevier. Amsterdam, 1984.
- [3] Pickart S.J., Hasanain S., Shirane G., Majkrzak C.F. // JMMM. 1986. V. 58. P. 83-90.
- [4] Pickart S.J., Rhyne J.J., Alperin H.A. // A.I.P. Conf. Ser. 1974. V. 24. P. 117-118.
- [5] Rhyne J.J., Schelling J.H., Koon N.C. // Phys. Rev. B. 1974. V. 1. P. 4672.
- [6] Coey J.M.D., Chappert J., Rebouillat J.P., Wang T.S. // Phys. Rev. Lett. 1976. V. 36. P. 1061.
- [7] Андреевко А.С., Дамянова Р.Н., Золотухин И.В., Никитин С.А., Синицын У.В., Соловьев Ф.С. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 10. С. 3002-3009.
- [8] Андреевко А.С., Спичкин Ю.И., Яковлев В.И. // Тез. докл. V Всес. конф. «Аморфные прецизионные сплавы». Ростов Великий, 1991. С. 71.
- [9] Yang X., Miyazaki T. // JMMM. 1988. V. 73. P. 39-45.
- [10] Fukamichi K. et al. // JMMM. 1986. V. 54-57. P. 239-240.
- [11] Buschow K.H.J., Brouha M., Biesterbos J.W.M., Dirks A.G. // Physica. 1977. V. 91B. P. 261-270.
- [12] Lee K., Heiman N. // A.I.P. Conf. Proc. Ser. 1974. N 24.
- [13] Fang R.-Y., Dai D., Lui Z., Wan H., Ji Y. // JMMM. 1986. V. 58. P. 273-279.
- [14] Nikitin S.A., Andreenko A.S., Damianova R.N. // IEEE Trans. on Magn. 1988. V. 3. P. 1987-1989.
- [15] Mimura I., Imamura N., Kobayashi T., Okada A., Kushiro I. // J. Appl. Phys. 1978. V. 49. N 3. P. 1208-1215.

Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступило в Редакцию
22 марта 1993 г.