

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРЫ МАГНИТНЫХ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В АМОРФНЫХ СПЛАВАХ R-Fe

А.С.Андреевко, С.А.Никитин, Ю.И.Спичкин

Известно, что гидростатическое давление оказывает существенное влияние на магнитные структуры аморфных сплавов [1,2] и кристаллических соединений [3,4] на основе железа, где в качестве второго компонента содержатся немагнитные иттрий или лютетий. Эти процессы объясняются относительным усилением отрицательных обменных взаимодействий в результате увеличения степени перекрытия волновых функций $3d$ -электронов ионов железа при уменьшении межатомных расстояний. Несомненный интерес представляют исследования влияния давления на намагниченность и магнитную восприимчивость аморфных сплавов R-Fe (R — редкоземельный металл), где редкоземельная подсистема имеет отличный от нуля магнитный момент. Ранее в работе [5] было установлено, что внешнее давление приводит к изменению обменных взаимодействий как внутри подсистемы железа, так и между редкоземельной и железной магнитными подсистемами. Следует отметить, что и в кристаллических соединениях R-Fe влияние давления на магнитные свойства практически не исследовано. Исключением является работа [6], где в соединении $\text{Er}_2\text{Fe}_{17}$ была обнаружена индуцированная давлением неколлинеарная структура в подрешетке железа.

В данной работе сообщается об исследованиях влияния внешнего гидростатического давления на магнитные свойства редкоземельных аморфных сплавов R = Fe в широкой области концентраций. Образцы получены методом ионно-плазменного напыления, имели толщину 15–25 μm и были рентгеновски аморфными при комнатной температуре. Измерения намагниченности и динамической восприимчивости проводились в присутствии гидростатического давления до 14 кбар в области температур 85–350 К, а также при атмосферном давлении при температурах от 4.2 до 300 К.

На рис. 1 приведены температурные зависимости динамической восприимчивости $\chi(T)$ и удельной намагниченности $\sigma(T)$ при различных значениях внешнего давления P для аморфного сплава $\text{Dy}_{25}\text{Fe}_{75}$. Из этого рисунка видно, что сдвиг температуры Кюри Θ под влиянием гидростатического давления $\partial\Theta/\partial P < 0$ (значение Θ определялось по методу термодинамических коэффициентов [2]). Внешнее давление приводит также к уменьшению намагниченности. Обращают на себя внимание резкое уменьшение величины магнитной восприимчивости χ вблизи точки Кюри под влиянием давления (рис. 1, кривые 3,4) и смещение пика $\chi(T)$ в сторону низких температур в соответствии со значением $\partial\Theta/\partial P$. Аналогичные зависимости наблюдались и в аморфных сплавах $\text{Er}_{24}\text{Fe}_{76}$ и $\text{Y}_{19}\text{Fe}_{81}$.

В аморфных сплавах R = Fe, где содержание железа было существенно меньшим, внешнее давление, незначительно смещающее макси-

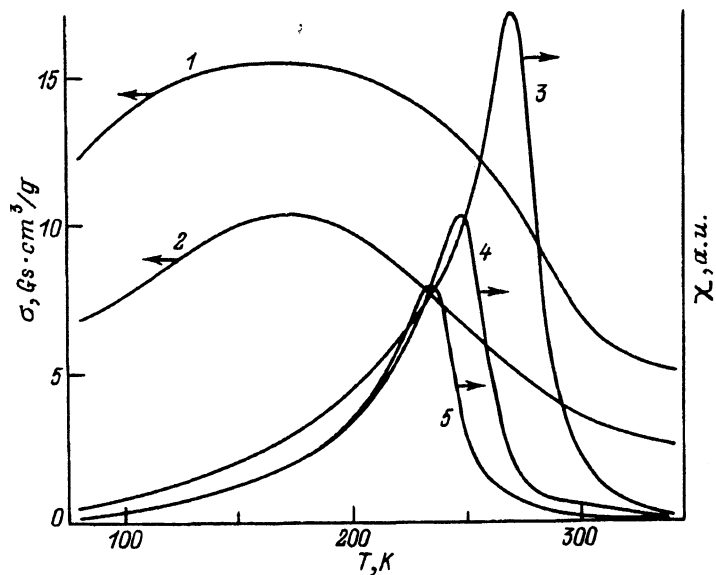


Рис. 1. Температурные зависимости намагниченности $\sigma(T)$ в поле $H = 12$ кОе (1 — атмосферное давление, 2 — $p = 10$ kbar) и магнитной восприимчивости $\chi(T)$ (3 — атмосферное давление, 4 — 5.8, 5 — 9.6 kbar) аморфного сплава $Dy_{25}Fe_{75}$.

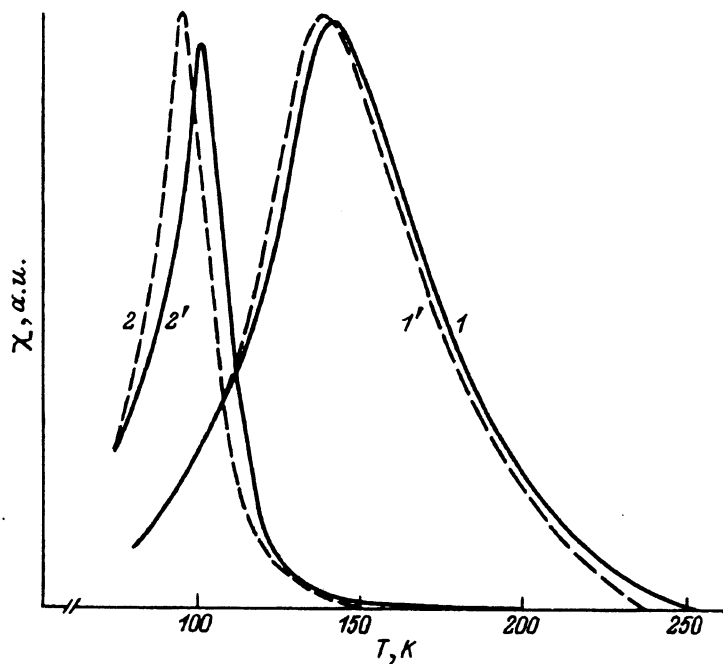


Рис. 2. Температурные зависимости магнитной восприимчивости $\chi(T)$ аморфных сплавов $Dy_{59}Fe_{41}$ (1, 1') и $Tb_{60}Fe_{40}$ (2, 2') при атмосферном давлении (1, 2) и $P = 5.7$ (1') и 8.1 kbar (2').

мум $\chi(T)$ в области точки Кюри в сторону низких температур, практически не влияет на его величину. На рис. 2 представлены для примера зависимости $\chi(T)$ для аморфных сплавов $Tb_{60}Fe_{40}$ и $Dy_{59}Fe_{41}$.

В таблице приведены температуры Кюри для всех исследованных аморфных сплавов и $\partial\Theta/\partial P$, определенные методом термодинамических коэффициентов. Видно, что значения $\partial\Theta/\partial P$ падают с уменьшением содержания железа в сплавах (например, для сплавов $Er-Fe$ или $Dy-Fe$). Для сплавов с близким соотношением редкоземельных ионов и ионов Fe сдвиг температуры Кюри под влиянием давления приблизительно одинаков (см. таблицу, сплавы $Er_{54}Fe_{46}$, $Dy_{59}Fe_{41}$ и $Tb_{60}Fe_{40}$).

Сопоставляя полученные результаты с данными по исследованию влияния давления на магнитную структуру аморфного сплава $Y_{19}Fe_{81}$ [1], необходимо принимать во внимание следующие два обстоятельства. Во-первых, наличие в аморфных сплавах $R = Fe$ ферромагнитных обменных взаимодействий между магнитными подсистемами редкой земли и железа, что проявляется в более высоких по сравнению со сплавами $Y-Fe$ значениях температур Кюри. Во-вторых, ионный радиус всех тяжелых редкоземельных металлов меньше ионного радиуса иттрия, следствием чего является меньшее расстояние между ионами Fe в сплавах $R = Fe$ по сравнению со сплавами $Y-Fe$. По этой причине отрицательные обменные взаимодействия внутри подсистемы железа за счет перекрытия волновых функций $3d$ -электронов ближайших соседей будет сильнее в сплавах $R = Fe$, чем в сплавах $Y-Fe$.

Очевидно, что два этих фактора противоположным образом влияют на магнитное упорядочение в аморфных сплавах $R = Fe$. Первый стабилизирует ферромагнитное упорядочение в аморфных сплавах, содержащих редкоземельный элемент; второй способствует его разрушению. Наши экспериментальные результаты показывают, что внешнее давление, уменьшая расстояние между ближайшими соседями внутри подсистемы железа, изменяет соотношение между ферро- и антиферромагнитными взаимодействиями в пользу последних, так же как это происходит в сплавах $Y-Fe$. Весьма вероятно существование критического давления, при котором наблюдаемые в сплавах $R = Fe$ фазовые переходы парамагнетизм-сперимагнетизм-спиновое стекло трансформируются в один фазовый переход парамагнетизм-спиновое стекло, как это наблюдается в аморфных сплавах $Y-Fe$ [1].

Значения температур Кюри Θ и их смещений под влиянием давления $\partial\Theta/\partial P$ в аморфных сплавах R_xFe_{100-x}

Сплав	Θ , К	$\partial\Theta/\partial P$, К/kbar
$Y_{19}Fe_{81}$	166	-5.7
$Er_{26}Fe_{74}$	212	-3.5
$Er_{32}Fe_{68}$	129	-0.85
$Er_{54}Fe_{46}$	118	-0.40
$Ho_{21}Fe_{79}$	226	-1.64
$Dy_{25}Fe_{75}$	267	-2.5
$Dy_{59}Fe_{41}$	160	-0.60
$Tb_{60}Fe_{40}$	105	-0.50

В сплавах $R = Fe$ с более низкой концентрацией железа ферромагнитный вклад в суммарное обменное взаимодействие внутри подсистемы железа существенно превышает антиферромагнитную составляющую, в результате чего достижимое в эксперименте внешнее давление в меньшей степени оказывает влияние на магнитную структуру этих сплавов (см. рис. 2 и таблицу).

Таким образом, можно сделать общий вывод о том, что в аморфных сплавах и интерметаллических соединениях [6] $R = Fe$ уменьшение межатомных расстояний приводит к усилению антиферромагнитных взаимодействий внутри подсистемы Fe , причем этот эффект сильнее проявляется в сплавах, богатых железом.

В заключение авторы выражают благодарность И.В.Золотухину за предоставленные образцы аморфных сплавов.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Международного научного фонда Дж.Сороса.

Список литературы

- [1] Andreenko A.S., Nikitin S.A., Spichkin Yu.I., Cheschlja D.Yu. // JMMM. 1993. V. 118. P. 147-151.
- [2] Андреевко А.С., Никитин С.А., Спичкин Ю.И. // Вестник МГУ. Сер. физ. и астр. 1993. Т. 34. № 1. С. 55-71.
- [3] Андреевко А.С., Никитин С.А., Спичкин Ю.И., Тишин А.М. // ФТТ. 1991. Т. 33. № 8. С. 2463-2465.
- [4] Strnat K., Hoffer G., Ray A.E. // IEEE Trans. Magn. 1966. V. 2. P. 489.
- [5] Andreenko A.S., Nikitin S.A., Spichkin Ju.I. // JMMM. 1993. V. 118. P. 142-146.
- [6] Андреевко А.С., Никитин С.А., Спичкин Ю.И. // ФТТ. 1992. Т. 34. № 6. С. 1823-1827.

Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступило в Редакцию
14 июня 1994 г.