

УДК 528.511 : 532.782 : 546.27.72

© 1992

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ МАГНИТНОЕ СОСТОЯНИЕ АМОРФНЫХ ИНВАРНЫХ СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗО—БОР

В. Г. Барьяхтар, Г. А. Такзей, А. Б. Сурженко, М. В. Гавриленко

Исследованы низкотемпературные магнитные свойства аморфных инварных сплавов $\text{Fe}_x\text{B}_{100-x}$ ($x=79\div 85$ ат. %). Показано, что в основном магнитном состоянии, как и классические инварные сплавы FeNi , они обладают асперомагнитной спиновой структурой.

Классические кристаллические инварные сплавы $\text{Fe}_x\text{Ni}_{100-x}$ при $X \approx 65$ ат. % обладают рядом специфических свойств: практически нулевым коэффициентом теплового расширения при комнатных температурах, большой спонтанной магнитострикцией и восприимчивостью парапроцесса, сильной зависимостью температуры Кюри T_c от давления и т. д. [1]. Указанные свойства весьма характерны и для аморфных инварных сплавов $\text{Fe}_x\text{B}_{100-x}$ [2].

Следует отметить, что вопрос о природе инварного эффекта в сплавах на основе железа до настоящего времени окончательно не решен. Однако вполне очевидно, что для понимания причин инварности указанных сплавов большое значение имеют сведения об их основном (при 0 К) магнитном состоянии. Применительно к кристаллическим сплавам $\text{Fe}_x\text{Ni}_{100-x}$ данному вопросу посвящено значительное количество работ (см., например, обзор в [3]). Однако только в последнее время стало ясно, что из-за наличия конкурирующего обменного взаимодействия основное магнитное состояние классических инварных сплавов FeNi можно рассматривать как асперомагнитное, т. е. неколлинеарное магнитное состояние, в котором сосуществуют ферромагнитное упорядочение спинов и спин-стекольное упорядочение их поперечных компонентов [4, 5]. В то же время природа основного магнитного состояния аморфных инварных сплавов $\text{Fe}_x\text{B}_{100-x}$ до настоящего времени не ясна. Решению данной проблемы и посвящена настоящая работа.

1. М е т о д и к а э к с п е р и м е н т а

Изучались образцы сплавов $\text{Fe}_x\text{B}_{100-x}$ ($x=79, 80, 82, 83$ и 85 ат. %), полученные в виде лент после вылива расплава на вращающийся медный барабан. Все сплавы оказались рентгеноаморфными.

Динамическая магнитная восприимчивость изучалась с помощью моста взаимной индукции. Статическую намагниченность исследовали на магнитометре с вибрирующим образцом.

2. Экспериментальные результаты и их обсуждение

Динамическая магнитная восприимчивость.

Для выяснения природы основного магнитного состояния исследуемых сплавов рассмотрим вначале температурные зависимости вещественной χ'_0 и мнимой χ''_0 составляющих их динамической магнитной восприимчивости. Из рис. 1,

на котором в качестве примера приведены соответствующие данные для сплава $\text{Fe}_{80}\text{V}_{20}$, видно, что в минимальном перемангничивающем поле $h_0=0.08$ Э кривые $\chi'_0(T)$ имеют излом, а $\chi''_0(T)$ — максимум при температуре $T_A=14.5$ К. Приведенные зависимости напоминают поведение $\chi'_0(T)$ и $\chi''_0(T)$ для сп-

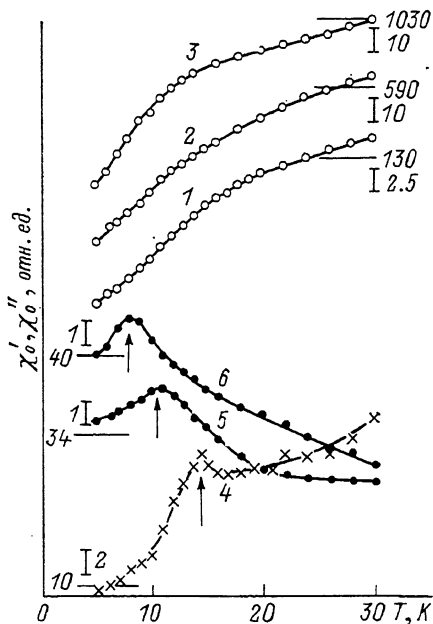


Рис. 1. Температурные зависимости вещественной χ'_0 (1—3) и мнимой χ''_0 (4—6) составляющих динамической магнитной восприимчивости аморфного сплава $\text{Fe}_{80}\text{V}_{20}$ в перемангничивающих полях различной напряженности.

1, 4 — 0.08; 2, 5 — 0.30; 3, 6 — 0.60 Э. Измерительная частота 73 Гц.

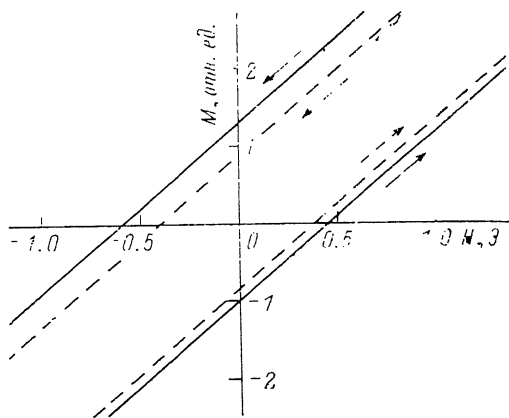


Рис. 2. Петли гистерезиса аморфного сплава $\text{Fe}_{80}\text{V}_{20}$ после его охлаждения до заданной температуры в магнитном поле 50 Э. $T=4.5$ (сплошная линия) и 35 К (штриховая линия).

стем, в которых происходят возвратные температурные переходы «ферромагнетик—спиновое стекло». Однако в этом случае ниже температуры T_f образования возвратного спинового стекла $\chi'_0(T)$, $\chi''_0(T) \rightarrow 0$ при $T \rightarrow 0$ [5]. В то же время видно, что ниже T_A относительные изменения $\chi'_0(T)$ и $\chi''_0(T)$ весьма незначительны. Кроме того, в отличие от рассматриваемого сплава в системах с возвратными переходами в состояние спинового стекла температура аномалии $\chi''_0(T)$ в районе T_f практически не зависит от амплитуды перемангничивающего поля [5, 6]. Отсюда следует, что при гелиевых температурах в аморфном сплаве $\text{Fe}_{80}\text{V}_{20}$, как и в классических инварных сплавах [4, 5], не возникает фаза возвратного спинового стекла.

Возможные причины возникновения аномалии χ''_0 при температуре T_A и сильной зависимости T_A от h_0 (рис. 1) рассмотрены в [7] с привлечением модели [8] возвратных температурных переходов «ферромагнетик—спиновое стекло». Согласно этой модели, при температурах $T_A < T_c$ (для исследованных нами сплавов $T_c=500-600$ К [2], вблизи фрустрированных узлов, т. е. атомов, связанных с ближайшими соседями помимо ферромагнитных также антиферро-

магнитными связями, (в случае аморфных сплавов Fe_xB_{100-x} антиферромагнитные связи могут образовывать пары атомов железа, расположенные на ближайших расстояниях друг от друга), возникают асперомагнитные флуктуации с эффективными размерами в несколько межатомных расстояний. При понижении температуры угол разворота спинов относительно направления спонтанной намагниченности в пределах асперомагнитной флуктуации возрастает [8], и при достаточно малом вкладе антиферромагнитного взаимодействия в общую обменную энергию этот процесс развивается вплоть до 0 К без образования фазы возвратного спинового стекла.

Таким образом, в исследованном сплаве при температурах $0 \text{ К} < T < T_A = 14.5 \text{ К} < T_c$ развивается неколлинеарная (асперомагнитная) спиновая структура, имеющая локальный характер. Тем не менее всю систему в указанном состоянии можно описать одним параметром порядка (параметром неколлинеарности) [8]

$$Q_{nc} = \left[(2/N^2) \sum_{i,j} |\langle S_i \rangle \times \langle S_j \rangle|^2 \right]^{1/4}, \quad (1)$$

где N — число магнитных атомов, а $\langle S_i \rangle$ — средний спин i -го атома. В коллинеарной ферромагнитной фазе $Q_{nc} = 0$, а в асперомагнитном состоянии $Q_{nc} \neq 0$, приобретая все большие значения по мере понижения температуры. Из сказанного следует, что возникновение в сплаве локальных асперомагнитных флуктуаций можно формально рассматривать как переход всего сплава в асперомагнитное состояние, характеризующееся параметром порядка Q_{nc} . О возникновении именно такого состояния сигнализирует аномалия $\chi''(T)$ при температуре T_A ($h_0 \rightarrow 0$).

Однонаправленная анизотропия. Подтверждением сделанных выше выводов могут служить результаты исследований однонаправленной анизотропии в аморфных сплавах Fe_xB_{100-x} . Действительно, в металлических системах важную роль может играть анизотропия Дзялошинского—Мории [9], энергия H_{DM} которой имеет вид

$$H_{DM} = -D(R_1, R_2)(S_1 \times S_2), \quad (2)$$

где R_1 и R_2 — координаты спинов S_1 и S_2 , взаимодействующих между собой через третий атом, помещенный в начале координат, а $D(R_1, R_2)$ — постоянная. Взаимодействие (2) приводит к возникновению макроскопической однонаправленной анизотропии [10], проявляющейся в смещении петли перемагничивания относительно начала координат в отрицательную область магнитных полей после охлаждения системы в магнитном поле. Из формулы (2) видно, что анизотропия Дзялошинского—Мории и связанная с ней однонаправленная анизотропия возникают лишь в неколлинеарных магнитных структурах (спиновых стеклах, асперомагнетиках). В коллинеарных же магнетиках указанные типы анизотропии не возникают.

Из рис. 2, на котором приведена кривая перемагничивания сплава $Fe_{80}B_{20}$, полученная после его охлаждения от температуры 50 до 4.5 К в магнитном поле 50 Э (сплошная кривая), видно, что при гелиевой температуре петля гистерезиса оказывается смещенной на величину $\delta H = 0.08 \text{ Э}$ в область отрицательных магнитных полей. При повышении температуры эксперимента δH уменьшается и при $T = 35 \text{ К} > T_A = 14.5 \text{ К}$ $\delta H = 0$ (штриховая кривая). В соответствии со сказанным выше экспериментальные данные подтверждают заключение о том, что в исследованном сплаве $Fe_{80}B_{20}$ при температурах $T < T_A = 14.5 \text{ К}$ развивается неколлинеарное ферромагнитное (асперомагнитное) состояние, причем с понижением температуры степень неколлинеарности возрастает.

В заключение следует подчеркнуть, что для сплавов Fe_xB_{100-x} других исследованных составов характерны те же особенности магнитных свойств, что и для сплава $Fe_{80}B_{20}$.

Таким образом, на основании анализа результатов экспериментов можно сделать вывод, что, как и для классических инварных сплавов Fe_xNi_{100-x} [4, 5], основным магнитным состоянием аморфных инварных сплавов Fe_xV_{100-x} является неоднородное состояние, спиновую структуру которого можно рассматривать как ферромагнитную матрицу с расположенными в ней асперомагнитными областями с эффективными размерами в несколько межатомных расстояний. Тем не менее такое состояние сплавов может быть формально отождествлено с однородным асперомагнитным упорядочением, распространяющимся на весь объем сплавов.

Авторы выражают искреннюю благодарность А. Г. Белостокову за предоставленные образцы для исследований.

Список литературы

- [1] Physics and Applications of Invar Alloys. Tokyo: Maruzen Co. LTD, 1978. 646 p.
- [2] Fukamichi K. // Amorphous Metallic Alloys, Butterworth Monographs in Materials. V. 14. London, 1983. P. 317—340.
- [3] Runcourt D. R., Chehab S., Lamarche G. // J. Magn. Magn. Mat. 1989. V. 78. N 2. P. 129—152.
- [4] Такзей Г. А., Костышин А. М., Сыч И. И. и др. // Металлофизика. 1987. Т. 9. № 2. С. 47—49.
- [5] Такзей Г. А., Гребенюк Ю. П., Сыч И. И. // ЖЭТФ. 1990. Т. 97. № 3. С. 1022—1030.
- [6] Такзей Г. А., Гавриленко М. В., Гребенюк Ю. П. и др. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 6. С. 1—5.
- [7] Такзей Г. А., Гребенюк Ю. П., Костышин А. М. и др. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 1. С. 83—86.
- [8] Saslov W. M., Parker G. // Phys. Rev. Lett. 1986. V. 56. N 10. P. 1074—1077.
- [9] Binder K., Young A. P. // Rev. Mod. Phys. 1986. V. 58. N 4. P. 801—976.
- [10] Alloul H., Hippert F. // J. Magn. Magn. Mat. 1983. V. 31—34. P. 1321—1326.

Институт металлофизики
АН Украины
Киев

Поступило в Редакцию
23 августа 1991 г.