

АМОРФНЫЙ МАГНЕТИЗМ В ЖЕЛЕЗНИКЕЛЬМАРГАНЦЕВЫХ СПЛАВАХ

А.З. Меншиков, В.А. Казанцев, Н.Н. Кузьмин

Впервые установлена магнитная диаграмма Fe–Ni–Mn сплавов, на которой имеется область аморфных магнетиков, характеризующихся наличием "замороженных" областей ближнего ферро- и антиферромагнитного порядка, взаимодействующих между собой через область разориентированных спинов. Новому магнитному состоянию дано название "миксомагнетизм".

В настоящее время открыт широкий класс аморфных магнетиков, для определения магнитного состояния которых введены новые понятия "спиновое стекло" [1] и "миктомагнетизм" [2]. В спиновом стекле каждый индивидуальный спин находится в собственном хаотическом поле H_i , но в отличие от простого парамагнетика при $T \rightarrow 0$ оно имеет большую жесткость спин-системы по отношению к внешнему магнитному полю. Состояние спинового стекла наблюдается в разбавленных

сплавах типа Cu–Mn [3] и Au–Fe [4] и причиной тому является осциллирующий дальнедействующий характер обменного взаимодействия, описываемый механизмом РККИ. Термином "миктомагнетизм" Бек [2] определил другой класс аморфных магнетиков с наличием в основном магнитном состоянии "замороженных" ферромагнитных кластеров, разбросанных хаотически в спиновом стекле.

При исследовании диаграммы магнитного состояния железоникель-марганцевых сплавов мы обнаружили область составов, которая также может быть отнесена к аморфным магнетикам. Однако их основное состояние не описывается в рамках спинового стекла или миктомагнетизма.

Для построения диаграммы магнитного состояния тройных железоникельмарганцевых сплавов использован большой набор составов (около 100), подчиняющийся формуле $(Fe_c Ni_{1-c-m})Mn_m$, который позволил через фиксированные добавки марганца (3; 5; 6,5; 9,0; 10,0; 15; 20,0 ат.%) постепенно перейти от Fe–Ni системы к Ni–Mn и Fe–Mn. Все исследованные образцы в исходном закаленном состоянии имели структуру гранцентрированного куба. Основные измерения точек Кюри сделаны с помощью эффекта Мессбауэра по исчезновению парамагнитной линии поглощения при сканировании по температуре, а точек Нееля – нейтронографически по температурной зависимости антиферромагнитного рефлекса (110).

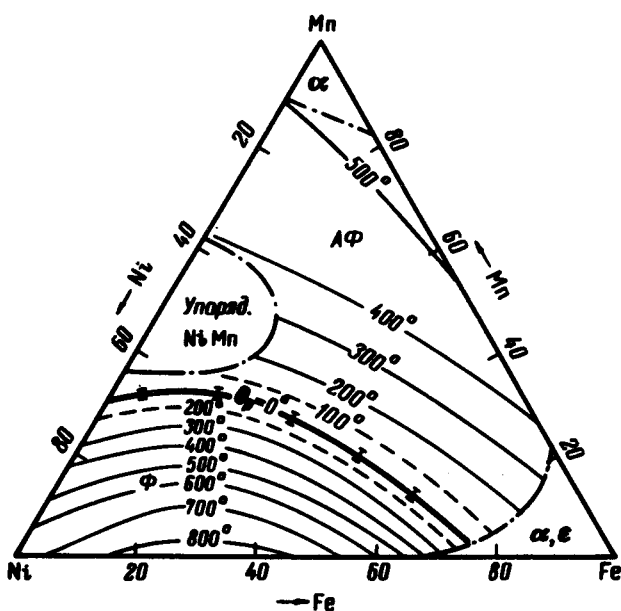


Рис. 1. Проекция диаграммы магнитного состояния Fe–Ni–Mn сплавов

На рис. 1 представлена проекция исследованной диаграммы, в левом углу которой имеется большая область ферромагнитных сплавов, а в верхнем и правом – антиферромагнитных. Между ними существует переходная область, обозначенная пунктирной линией со стороны ферро- и антиферромагнетиков, в пределах которой нам не удалось каким-либо способом зафиксировать точки Кюри у сплавов меньше ~200К и точки Нееля меньше ~100К. Для этих сплавов на температурных

кривых намагничения и амплитуды парамагнитной линии γ -резонанса проявлялись сильные размытия в области фазового перехода второго рода, а на нейтронограммах не наблюдалось антиферромагнитных рефлексов даже при гелиевой температуре в пределах точности эксперимента ($\sim 8\%$).

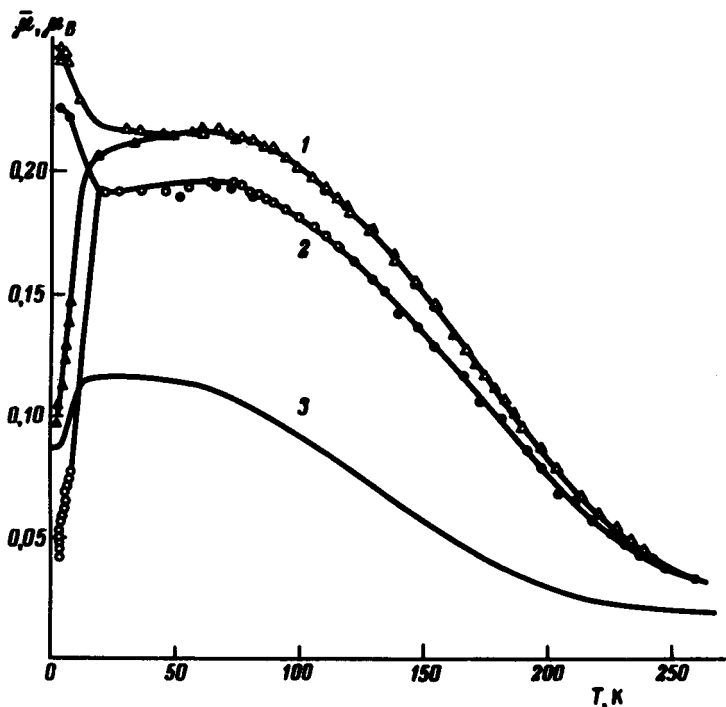


Рис. 2. Кривые намагничения, снятые в поле $5,7 \text{ кэ}$ и охлажденные до $4,2 \text{ К}$ без поля (светлые точки) и в поле $15,7 \text{ кэ}$ (темные точки): 1 – $45\text{Fe } 35\text{Ni } 20\text{Mn}$; 2 – $55\text{Fe } 30 \text{ Ni } 15\text{Mn}$; 3 – $66\text{Fe } 24\text{Ni } 10\text{Mn}$ [8]

Магнитные свойства сплавов переходной области исследовались особо тщательно на вибромагнитометре и магнитных весах от температуры жидкого гелия до 1200 К . На температурных зависимостях намагнитченности отчетливо зафиксированы аномалии в области низких температур для различных магнитных полей, которые в качестве иллюстрации показаны на рис. 2. При этом указанная аномалия исчезала, если образец охлаждался до гелиевой температуры во внешнем магнитном поле. Более того, на месте минимума возникал максимум, а петля гистерезиса смещалась примерно на $(0,5 - 1,5) \text{ кэ}$. Эти особенности в магнитных свойствах характерны для сплавов с наличием обменной анизотропии [5], обусловленной сосуществованием областей ближнего ферро- и антиферромагнитного упорядочения.

В большой области температур сплавы переходной области имеют также отличную от закона Кюри – Вейсса зависимость магнитной восприимчивости. Типичные кривые обратной восприимчивости, представ-

ленные в качестве примера на рис. 3, имеют явно выраженный s-образный характер. Наличие пологого участка в области низких температур на первый взгляд указывало на принадлежность этих сплавов к спиновым стеклам. Однако условием последних [6] является $(\chi^{-1})_{sg} > (\chi^{-1})_p$ при $T < T_c$ и $(\chi^{-1})_{sg} = (\chi^{-1})_p$ при $T \geq T_c$, причем парамагнитная точка Кюри равна нулю ($\theta_p = 0$). В нашем случае в значительном интервале температур $\chi^{-1} < (\chi^{-1})_p$ и такая ситуация наблюдается не только для сплавов с $\theta_p = 0$, но и для составов с $\theta_p < 0$. Поэтому основное магнитное состояние сплавов переходной области отличается от состояния спинового стекла.

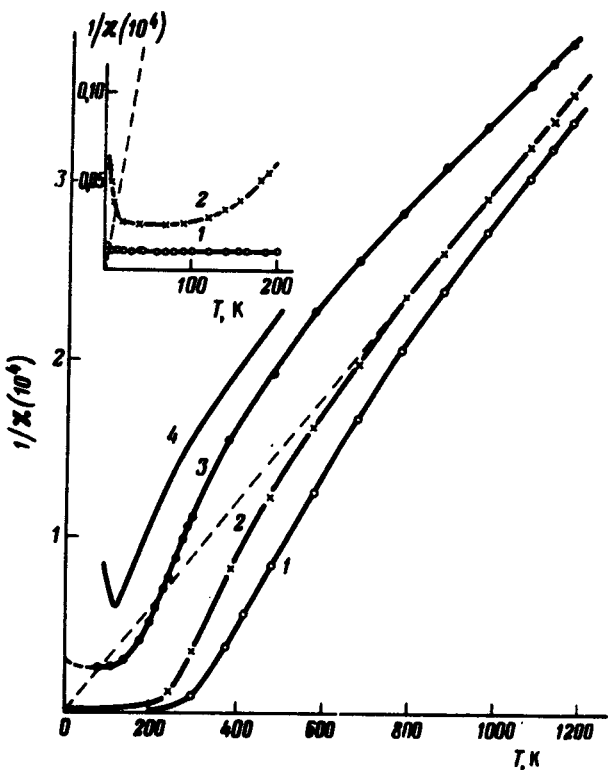


Рис. 3. Температурные зависимости обратной восприимчивости для сплавов переходной области: 1 — 50Fe 35Ni 15Mn ($\theta_p > 0$); 2 — 55Fe 30Ni 15Mn ($\theta_p = 0$); 3 — 60Fe 25Ni 15Mn ($\theta_p < 0$); 4 — 65Fe 21Ni 14Mn [8]

Нет оснований относить их к микромагнетикам. По определению Бека [2] в микромагнетиках существуют только области ближнего ферромагнитного порядка. Этому условию могли бы удовлетворить сплавы переходной области с $\theta_p > 0$ (кривая 1, рис. 3), но, судя по температурным кривым намагничивания, и в них еще присутствуют некоторые области с преобладанием ближнего антиферромагнитного упорядочения.

Следовательно, основное магнитное состояние Fe-Ni-Mn сплавов переходной области представляет собой новый тип аморфных магнетиков и названо здесь "миксомagnetизмом" (от слова mixed — смешанный). Оно характеризуется наличием замороженных областей с преобладанием ближнего ферро- и антиферромагнитного порядка, которые взаимодействуют между собой через зону разориентированных спинов.

Миксомагнетизм характерен для всех сплавов переходной области, в том числе и тех, у которых $\theta_p = 0$, отмеченных на диаграмме состояний жирной линией, но особое внимание мы обращаем на сплавы с $\theta_p < 0$, имеющих двойное пересечение температурной зависимости обратной восприимчивости с линейным ходом χ^{-1} простого парамагнетика с $\theta_p = 0$ (кривая 3, рис. 3).

Основной причиной сложного магнитного состояния Fe-Ni-Mn сплавов в переходной области является наличие в них смешанного характера обменного взаимодействия между атомами, установленного в работе [7], где методом неупругого рассеяния нейтронов на спиновых волнах показано, что два из шести взаимодействий (железо-железо и марганец-марганец) являются отрицательными. Наличие смешанного обменного взаимодействия фактически и определяет преобладание ферро- или антиферромагнитного упорядочения в той или иной флуктуации, которые существуют в совершенно разупорядоченных сплавах из-за статистического распределения атомов.

Авторы искренне благодарны М.В.Медведеву за плодотворное обсуждение работы и Л.В.Смирнову за приготовление сплавов.

Институт физики металлов
Академии наук СССР
УНЦ

Поступила в редакцию
27 октября 1975 г.

Литература

- [1] P.W.Anderson. Amorphous Magnetism, ed. by H.O.Hooper and A.M.de Graaf, Plenum Press, p.5, 1973.
- [2] P.A.Beck. Metallurg. Transactions, 2, 2015, 1971; J.Less-Common Metals, 28, 193, 1972.
- [3] J.S.Kouvel. J.Appl. Physics, 31, 1429, 1960.
- [4] V.Cannella, J.A.Mydosh. Phys. Rev., B6, 4220, 1972.
- [5] J.S.Kouvel, J.S.Kasper. J. Phys. Chem. Sol., 11, 231, 1959.
- [6] S.F.Edwards, P.W.Anderson. J.Phys. F.Metal Phys., 5, 965, 1975.
- [7] А.З.Меньшиков, В.А.Казанцев, Н.Н.Кузьмин, С.К.Сидоров, В.М.Калинин, А.И.Захаров. Труды междунар. конф. по магнетизму, МКМ-73. М., изд. Наука, 2, 221, 1974.
- [8] M.Shiga. J. Phys. Soc. Japan, 22, 2, 539, 1967.