

УДК 536.42

КЛАСТЕРНОЕ СПИНОВОЕ СТЕКЛО В КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СПЛАВАХ

А. Дж. ГЕЗАЛЯН

Ереванский государственный университет, Армения

(Поступила в редакцию 18 мая 2007 г.)

Исследованы спиновое стекло и структурное состояние сплавов систем Ni–Mn, Ni₃Mn–Ni₃V и Ni₃Mn–Ni₃Cr. Температуры “замерзания” спинового стекла T_g и Кюри T_c определены по температурным зависимостям дифференциальной магнитной восприимчивости χ_{ac} . Структурное состояние сплавов изучено методом нейтроноструктурного анализа. Установлен кластерный механизм образования спинового стекла.

1. Введение

Исторически изучение состояния спинового стекла (СС) началось с исследования разбавленных сплавов 3d-переходных металлов (Fe, Mn) в матрице благородных элементов (Ag, Au, Cu, Pt). Впоследствии состояние СС было обнаружено во многих металлических, диэлектрических и полупроводниковых системах. Широкий класс неупорядоченных магнетиков представляют концентрированные СС, в которых все атомы сплава являются магнитными. Такими являются сплавы на основе Ni–Mn.

Спиновое стекло в системе Ni–Mn образуется вблизи стехиометрического состава Ni₃Mn при $T < 100$ К и зачастую трактуется [1,2] как результат конкурирующего обменного взаимодействия пар атомов с обменными интегралами разных знаков. Сильная зависимость магнитных состояний Ni₃Mn от атомного упорядочения [3,4] заставляет предположить кластерную природу СС в этой системе.

Известно [5], что в ГЦК сплавах Ni–Mn взаимодействие ближайших соседей Mn–Mn является антиферромагнитным (АФМ), а Mn–Ni и Ni–Ni – ферромагнитным (ФМ). Кроме того, взаимодействие Mn–Mn во второй координационной сфере также ферромагнитно. А наличие конкурирующего взаимодействия и разупорядоченность сплава являются необходимым условием образования состояния обычного СС. Разупорядоченное состояние сплавов обычно получается закаливанием. Однако к разрушению атомного порядка может привести и легирование при определенной концентрации легирующего элемента в отожженных сплавах.

С этой точки зрения представляет интерес возможность образования СС в сплавах на основе Ni–Mn после различных термообработок.

2. Методика исследований и образцы

Структурное состояние сплавов определялось с помощью нейтроно- структурного анализа. Нейтронограммы образцов были получены на дифрактометре с длиной волны нейтронов $\lambda = 0,128$ нм; вклад в интенсивность $\lambda/2$ нейтронов составлял 1,5%.

Магнитное состояние изучалось методом измерения дифференциальной магнитной восприимчивости χ_{ac} . Температурные зависимости магнитной восприимчивости χ_{ac} измерялись с помощью дифференциального трансформатора на частотах от 200 до 500 Гц в полях с амплитудой 0,5 Э.

Все поликристаллические сплавы после выплавки прошли гомогенизирующий отжиг в течение 24 ч при 1000°C, а затем, как исходное состояние, закаливались в воде. Сплавы концентрационного разреза Ni₃Mn–Ni₂Cr изучались как после закалки, так и после ступенчатого отжига в вакууме, для получения возможного упорядочения по следующему режиму:

	500°C	–
72 ч, 480°C – 100 ч, 460°C – 100 ч, 440°C – 100 ч, 420°C – 100 ч, 400°C – 100 ч.		

Составы образцов приведены на рисунках.

3. Результаты измерений и их обсуждение

На рис.1 представлены температурные зависимости магнитной восприимчивости χ_{ac} закаленных с 1000°C сплавов Ni–Mn, Ni₃Mn–Ni₂Cr и Ni₃Mn– Ni₃V. На основании результатов измерений χ_{ac} на рис.2 построена магнитная фазовая диаграмма закаленных сплавов. Из вида кривых следует, что там, где отмечены температура “замерзания” СС T_g и температура Кюри T_c , в температурном интервале $T < T_g$ сосуществуют две фазы – магнитно-неупорядоченное СС и ФМ фаза. СС, которое сосуществует с ФМ порядком, часто называют возвратным спиновым стеклом [6-8] (FSG, рис.2). Кривые, которые имеют только острый максимум, соответствуют температурному переходу парамагнетик (ПМ) – СС. В этом случае СС рассматривается как обычное СС. О возникновении такого состояния свидетельствует острый максимум низкополевой магнитной восприимчивости (рис.1а, образцы 3,4 и рис.1b, 1–4). В области $25\% \leq c_{Mn} \leq 30\%$ (всюду атомные проценты) в сплавах Ni–Mn ланжевенновский ПМ “замораживается” при температуре T_g , переходя в состояние нормального СС (рис.1а). А сплавы 1 и 2, охлаждаясь, сначала переходят в ФМ фазу при точках Кюри $T_c = 246$ К и 182 К, а затем в фазу возвратного СС при $T_g = 53$ К и 66 К, соответственно, где СС сосуществует с ФМ фазой (рис.2, область FSG). ФМ фаза представляется в виде конечных феррокластеров в этой области.

На рис.2 показана низкотемпературная диаграмма магнитных состояний вышеупомянутых закаленных сплавов, на которой видны области обычного и возвратного СС (T_g). При этом для системы Ni–Mn всюду наблюдается ближний атомный порядок, свидетельствующий об образовании атомных кластеров типа Ni₃Mn [8].

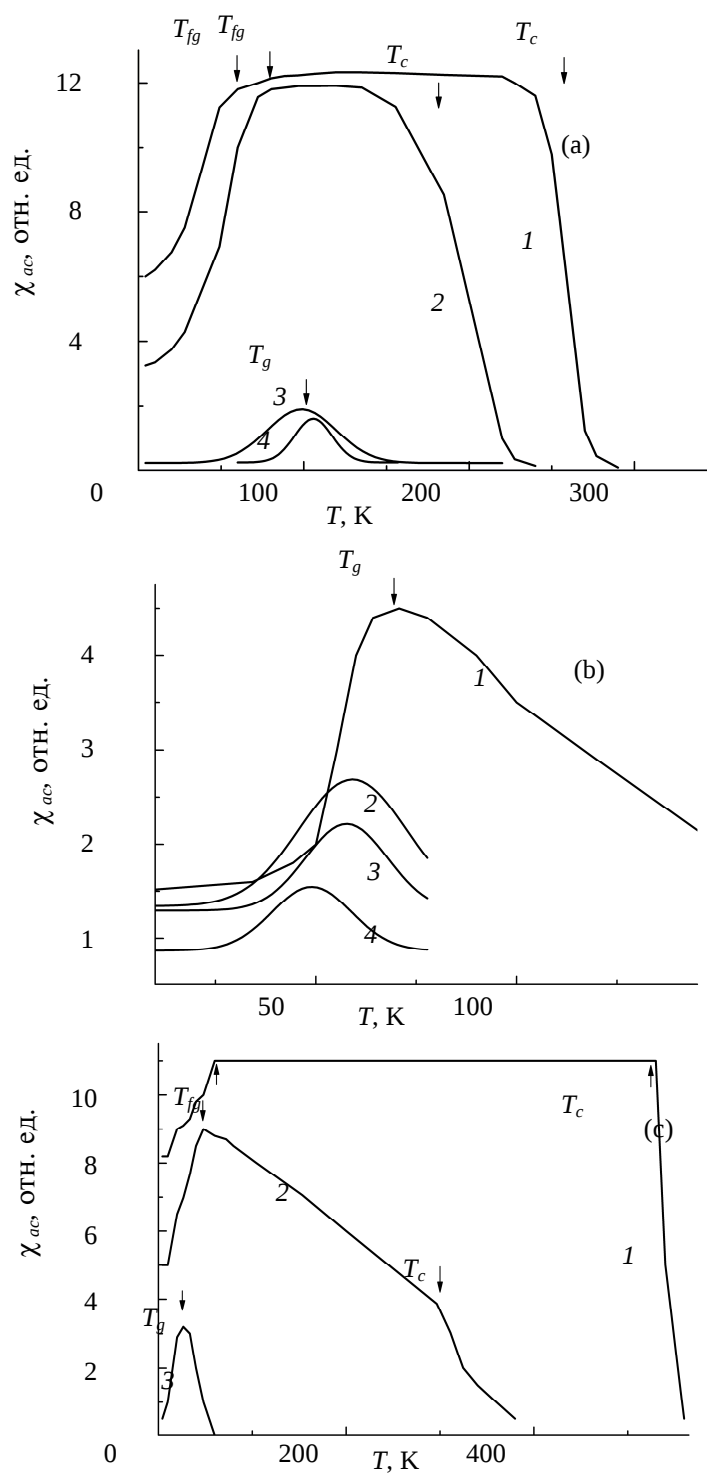


Рис.1. Температурные зависимости дифференциальной магнитной восприимчивости $\chi_{ас}$

закаленных сплавов: а) Ni-Mn; 1 – 21,2% Mn, 2 – 23,1% Mn, 3 – 25,2% Mn, 4 – 27,6% Mn; б) Ni_3Mn – Ni_2Cr ; 1 – 2,5% Cr, 23,25% Mn, 74,25% Ni; 2 – 5,0% Cr, 20,5% Mn, 74,5% Ni; 3 – 7,5% Cr, 19,25% Mn, 73,25% Ni; 4 – 10,0% Cr, 17,5% Mn, 72,5% Ni; в) $\text{Ni}_3(\text{Mn}_{1-x}\text{V}_x)$; 1 – 10% V, 2 – 12,5% V, 3 – 15% V.

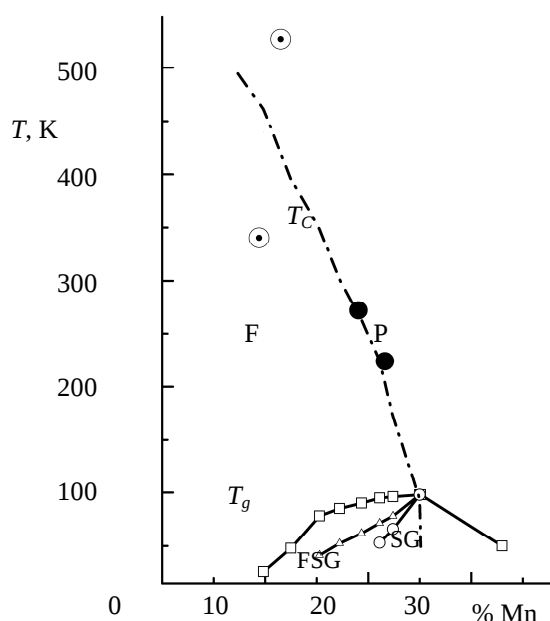


Рис.2. Магнитная фазовая диаграмма закаленных сплавов: о, • – Ni-Mn, Δ – Ni_3Mn - Ni_2Cr , □, ▢ – Ni_3Mn - Ni_3V .

При замене атомов Mn на атомы Cr или V число пар атомов Mn-Mn уменьшается, но ближний порядок либо сохраняется, либо развивается в дальний, что приводит и к дальнему магнитному порядку с определенными значениями T_c и T_g (рис.1). Таким образом, V и Cr до определенных концентраций стимулируют образование кластеров типа Ni_3Mn и формирование СС. При этом области СС сдвигаются к меньшим концентрациям Mn, а в случае легирования V прослеживаются состояния от обычного СС (10% Mn) до возвратного СС (12,5% и 15% Mn) через состояние суперпарамагнетизма (20% Mn, рис.1с).

На рис.3 представлены температурная зависимость магнитной восприимчивости χ_{ac} и нейтронограммы сверхструктурных отражений (100) отожженных сплавов Ni_3Mn - Ni_2Cr . Из рис.3б видно, что интенсивности сверхструктурных отражений (100) уменьшаются с увеличением концентрации Cr, т.е. происходит концентрационное разупорядочение. Это означает, что при полном образовании дальнего порядка (рис.3б, образец 1, 10% Cr) одновременно формируется ферромагнитная фаза (рис.3а, образец 1), тем самым исключая переход в СС состояние при охлаждении. И наоборот, при наличии только ближнего порядка (рис.3б, образец 4) размеры образовавшихся феррокластеров настолько малы, что имеем только температурный переход ПМ-СС (рис.3а, образец 4). С ростом дальнего порядка на фоне ближнего (рис.3б, образцы 2-4) мелкие кластеры, объединяясь в более крупные феррокластеры, приводят к возникновению хаотических конкурирующих обменных

взаимодействий и в итоге к возвратному СС с сосуществованием ФМ и СС при $T < T_{fg}$.

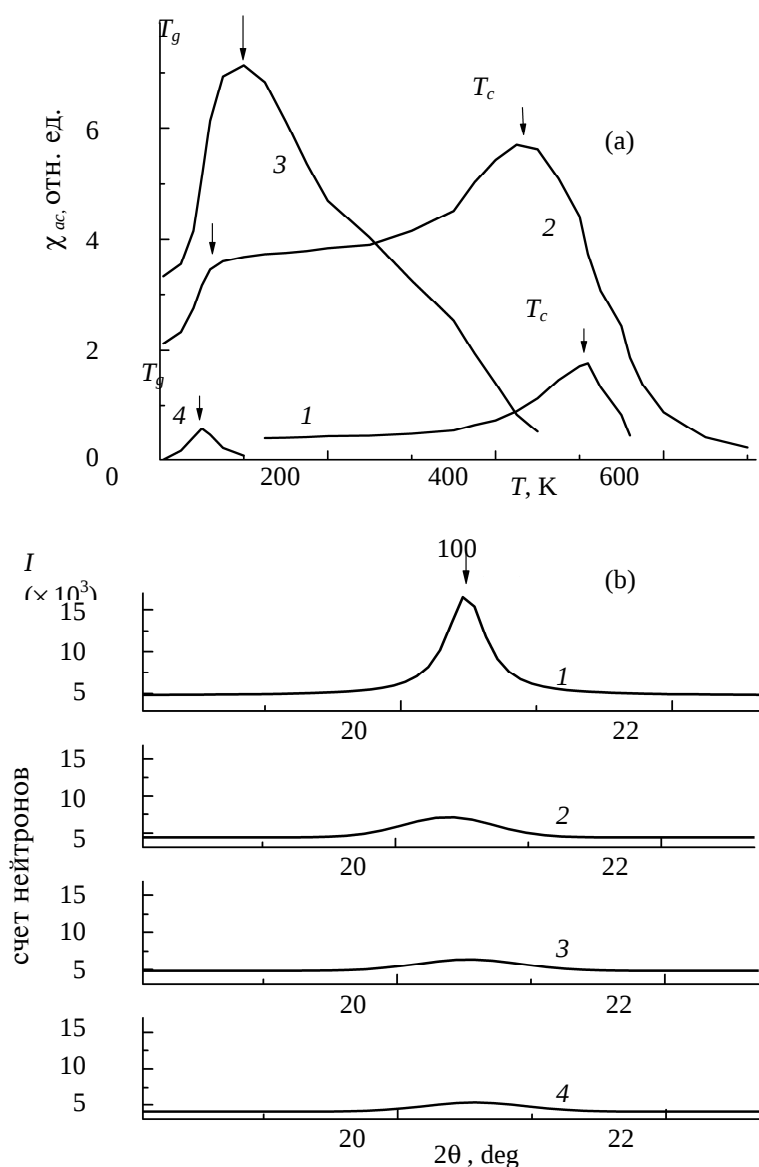


Рис.3. Температурная зависимость магнитной восприимчивости χ_{ac} (a) и нейтронограммы сверхструктурных отражений (100) отожженных сплавов системы $\text{Ni}_3\text{Mn}-\text{Ni}_2\text{Cr}$ (b): 1 – 10,0% Cr, 17,5% Mn, 72,5% Ni; 2 – 12,5% Cr, 16,0% Mn, 71,5% Ni; 3 – 15,0% Cr, 13,8% Mn, 71,2% Ni; 4 – 17,5% Cr, 12,0% Mn, 70,5% Ni.

В длительно отожженных Ni–Mn сплавах [4] с совершенным атомным порядком СС образуется только вблизи порога образования сверхструктуры Ni_3Mn .

Таким образом, образование низкотемпературного СС обусловлено формированием сверхструктуры Ni_3Mn : при промежуточных степенях дальнего порядка реализуется

возвратное СС и наблюдается переход ПМ– ФМ–СС, при близком порядке – переход ПМ–СС.

Автор благодарен В.И. Гоманькову за обсуждение результатов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.П.Гребенюк, М.В.Гавриленко, А.М.Двоеглазов и др. Препринт ИМФ, Киев, 1989.
2. W.Abdul-Razzaq, M.Wu. J. Appl. Phys., **69**, 5078 (1991).
3. Д.Ф.Литвин, В.А.Удовенко, Е.З.Винтайкин. ДАН СССР, **198**, 1316 (1971).
4. В.И.Гоманьков, А.Дж.Гезальян, Б.Н. Третьяков и др. ФММ, № 12, 49 (1990).
5. J.W.Cable, H.R.Child. Phys. Rev. B, **10**, 4607 (1974).
6. W.Abdul-Razzaq, J.S.Kouvel. J. Appl. Phys., **57**, 3467 (1985).
7. А.Дж.Гезальян, С.В.Шульпекова. Письма в ЖЭТФ, **54**, 48 (1991).
8. А.Дж.Гезальян, А.А.Саакян. Изв. НАН Армении, Физика, **39**, 402 (2004).

ՎԼԱՍՏԵՐԱՅԻՆ ՍՊԻՆԱՅԻՆ ԱՊԱԿԻՆ ԽԻՏ ՀԱՄԱԶՈՒՎՎԱԾՔՆԵՐՈՒՄ

Ա.Ջ. ԳՅՈԶԱԼՅԱՆ

Հետազոտված են Ni-Mn, Ni₃Mn-Ni₃V և Ni₃Mn-Ni₂Cr համակարգերի համաձուլվածքների կառուցվածքային վիճակներն ու սպինային ապակին: Դիֆերենցիալ մագնիսական ընկալունակության χ_{ac} ջերմաստիճանային կախվածության միջոցով որոշված են սպինային ապակու “սառեցման” T_g և Կյուրիի T_c ջերմաստիճանները: Նեյտրոնակառուցվածքային անալիզի մեթոդով ուսումնասիրված են համաձուլվածքների կառուցվածքային վիճակները: Հաստատված է սպինային ապակու ձևավորման կլաստերային մեխանիզմը:

CLUSTER SPIN GLASS IN CONCENTRATED ALLOYS

A.J. GYOZALYAN

Spin glass and structural states of Ni-Mn, Ni₃Mn-Ni₃V and Ni₃Mn-Ni₂Cr systems of alloys are investigated. The “freezing” temperature T_g of spin glass and Curie temperatures are obtained from the temperature dependence of the differential magnetic susceptibility χ_{ac} . The structural states of alloys are studied by the neutron diffraction technique. The cluster mechanism of spin glass formation is established.