

PACS: 75.30.Kz, 75.30.Sg

И.Ф. Грибанов¹, А.В. Головчан¹, В.Д. Запорожец¹,
В.И. Каменев¹, Л.Д. Клищенко¹, В.В. Коледов²,
В.И. Митюк³, А.П. Сиваченко¹

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПРЕДЫСТОРИИ НА БАРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИХ СПЛАВАХ $Mn_{1-x}Cr_xNiGe$

¹Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина

²Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия

³ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Минск, Беларусь

Статья поступила в редакцию 10 августа 2018 года

Проведено измерение температурных и полевых зависимостей намагниченности для медленно и быстро охлажденных сплавов магнитокалорической системы $Mn_{1-x}Cr_xNiGe$ ($0 < x < 0.11$) в магнитном поле до 1 Т под давлением до 14 kbar. Построены соответствующие фазовые P–T-диаграммы и на основании их сравнения выявлено влияние термической предыстории на фазовые превращения в исследуемых сплавах. Установлено, что быстрое прохождение точки мартенситного фазового перехода между гексагональной (типа Ni_2In) и орторомбической (типа $TiNiSi$) кристаллическими структурами при охлаждении образцов приводит к дополнительному сжатию кристаллической решетки в сравнении с ее размерами при медленном процессе охлаждения. Показано, что фазовые P–T-диаграммы быстро и медленно охлажденных образцов одного состава отличаются в основном смещением температурной оси в сторону увеличения давления в первом случае. Выявлены также различия в реализации магнитоструктурных переходов порядок–беспорядок у медленно и быстро охлажденных образцов, существенно влияющие на их функциональные характеристики.

Ключевые слова: магнитный, структурный и магнитоструктурный фазовые переходы, термическая предыстория, барические характеристики, магнитокалорический эффект

Сплавы системы $Mn_{1-x}Cr_xNiGe$ в настоящее время позиционируются как перспективные «зеленые» магнитокалорические материалы для использования в магнитных рефрижераторах в диапазоне температур, близких к комнатной. Как известно, $MnNiGe$ характеризуется мартенситным фазовым переходом из низкотемпературной орторомбической структуры типа $TiNiSi$ (пространственная группа $Pnma$, $c > a > b$) в высокотемпературную гексагональную структуру типа Ni_2In (пространственная группа $P6_3/mmc$), темпера-

тура которого при нагревании $T_{st} \sim 528$ К [1]. В литературе отмечается сильная зависимость T_{st} от состава и методики приготовления образцов, что приводит к разбросу ее значений у разных авторов. Магнитное упорядочение в основном состоянии – двойная спираль с волновым вектором вдоль a -оси кристаллической решетки. При $T > 260$ К двойная спираль превращается в простую с точкой Нееля $T_N = 346$ К. Переход в парамагнитное (PM) состояние является типичным изоструктурным магнитным фазовым переходом 2-го рода [1].

Магнитное поведение MnNiGe подвержено радикальному изменению при внешних воздействиях (легировании, специальной термообработке, наложении давления и др.). В частности, замещение атомов Mn атомами Cr приводит к сжатию решетки, понижению T_{st} и возникновению ферромагнитного (FM) состояния на месте гелимагнитной (HM) фазы (рис. 1). Комбинируя легирование сплава MnNiGe хромом и твердофазную закалку от температур, превышающих T_{st} (в частности, от температуры гомогенизирующего отжига, см. ниже), удастся совмещать магнитный и структурный переходы, изменяя при этом характер магнитного превращения PM \leftrightarrow FM от изоструктурного перехода 2-го рода до магнитоструктурного перехода 1-го рода, обуславливающего наблюдаемый в сплавах Mn_{1-x}Cr_xNiGe гигантский магнитокалорический эффект (МКЭ) [3,4].

В настоящей работе более подробно изучено влияние термической предыстории на фазовые превращения и связанные с ними магнитокалорические характеристики сплавов Mn_{1-x}Cr_xNiGe ($0 < x < 0.11$) в сравнении с действием внешнего давления. Поставленную задачу решали путем построения и сравнения фазовых P - T -диаграмм образцов, медленно или быстро охлажденных от температур, превышающих температуру мартенситного перехода.

Исследуемые образцы были приготовлены индукционной плавкой исходных элементов Mn, Cr, Ni, Ge, взятых в соответствующих пропорциях. Полученные слитки помещали в откачанные кварцевые ампулы и отжигали при температуре 850°C в течение 100 h. Одну часть образцов от температуры отжига закаляли путем быстрого переноса ампул в воду и последующего их разрушения; а вторую – медленно охлаждали вместе с печью.

Выбор диапазона концентраций Cr ($0 < x < 0.11$) обусловлен отдельным существованием магнитного и структурного фазовых превращений в сплавах Mn_{1-x}Cr_xNiGe (в том числе закаленных) при таком уровне легирования хромом.

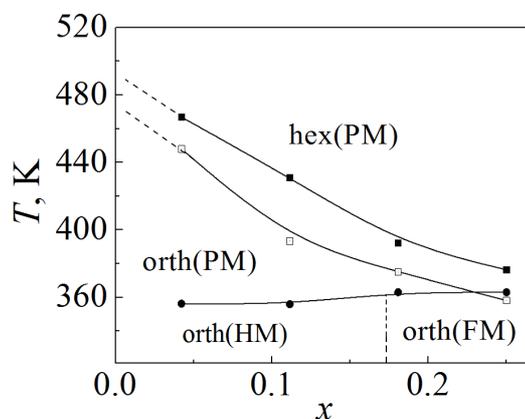


Рис. 1. Фазовая T - x -диаграмма для медленно охлажденных сплавов системы Mn_{1-x}Cr_xNiGe [2]

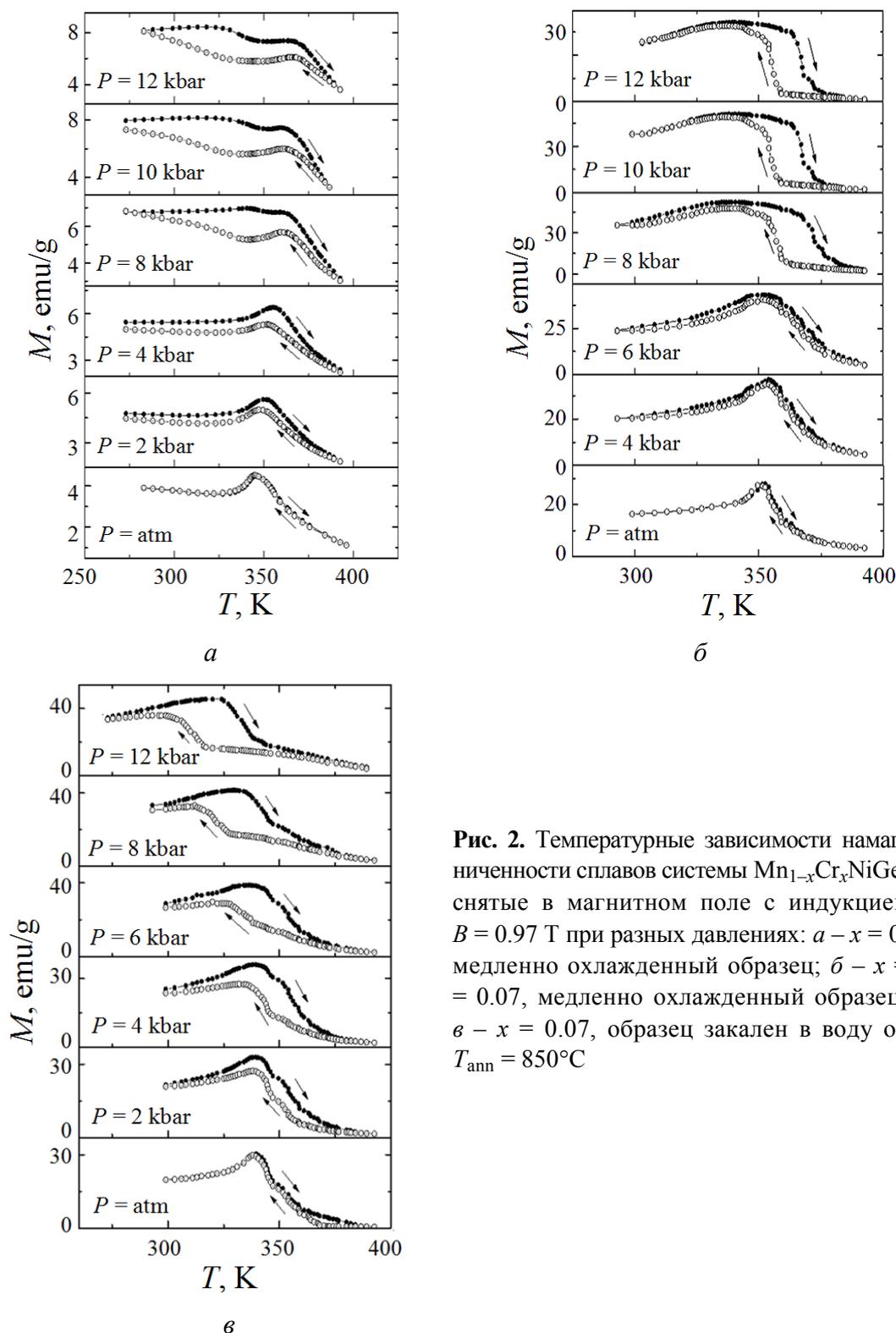


Рис. 2. Температурные зависимости намагниченности сплавов системы $\text{Mn}_{1-x}\text{Cr}_x\text{NiGe}$, снятые в магнитном поле с индукцией $B = 0.97$ Т при разных давлениях: *a* – $x = 0$, медленно охлажденный образец; *б* – $x = 0.07$, медленно охлажденный образец; *в* – $x = 0.07$, образец закален в воду от $T_{\text{ann}} = 850^\circ\text{C}$

При $x = 0.11$ и больше (исследован диапазон $0.11 < x < 0.25$) происходит совмещение указанных переходов сначала в закаленных, а затем и в медленно охлажденных образцах [2–5]. Для определения положения на P – T -диаграммах линий, соответствующих магнитным и магнитоструктурным фазовым пе-

реходам, снимали температурные зависимости намагниченности при разных давлениях. Кроме того, с целью идентификации возникающих магнитоупорядоченных состояний строили кривые намагничивания при фиксированных температурах. Эксперименты проводили в магнитных полях $B < 1$ Т с помощью маятниковых магнитных весов типа Доменикали с подвешенным к концу маятника немагнитным контейнером высокого давления. Результаты представлены на рис. 2, 3, 6, 7.

Рентгеноструктурную аттестацию образцов и изучение динамики структурно-фазовых превращений в диапазоне температур $100 < T < 400$ К проводили на дифрактометре ДРОН-3 с использованием $\text{Cu } K_{\alpha}$ -излучения и модернизированной низкотемпературной рентгеновской камеры КРН-190.

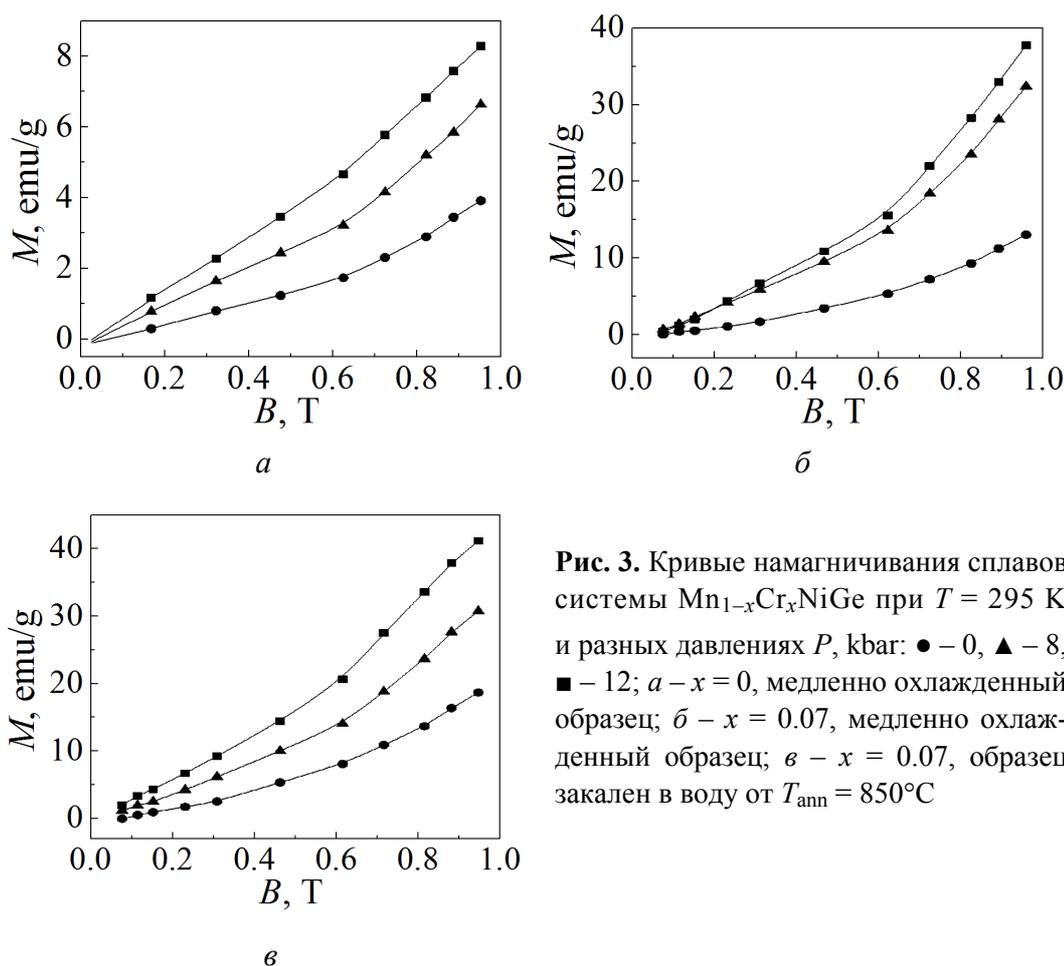


Рис. 3. Кривые намагничивания сплавов системы $\text{Mn}_{1-x}\text{Cr}_x\text{NiGe}$ при $T = 295$ К и разных давлениях P , kbar: ● – 0, ▲ – 8, ■ – 12; *a* – $x = 0$, медленно охлажденный образец; *б* – $x = 0.07$, медленно охлажденный образец; *в* – $x = 0.07$, образец закален в воду от $T_{\text{ann}} = 850^\circ\text{C}$

Как видно из рис. 2,*a*, для прямого и обратного температурного хода намагниченности температуры Нееля, соответствующие пикам на зависимостях $M(T)$, практически совпадают во всем исследованном интервале давлений. С другой стороны, для $x = 0.07$ с ростом давления возникает широкий температурный гистерезис перехода из магнитоупорядоченного в РМ-состояние, что свидетельствует о совмещении магнитного и структурного переходов (рис. 2,*б,в*). Наличие критических полей на кривых намагничивания, снятых

при комнатной температуре (рис. 3), указывает на то, что во всех случаях в отсутствие магнитного поля имеет место гелимагнитное упорядочение, причем при $x = 0.07$ НМ-мода «мягкая» и легко намагничивается небольшим магнитным полем.

Поэтому магнитное состояние, которое реализуется в измерительном поле (с максимальной индукцией $B = 0.97$ Т), в сплавах с $x = 0.07$ мы обозначили как суперпозицию НМ- и FM-состояний. Полученные в итоге фазовые P – T -диаграммы показаны на рис. 4 и 5, причем P – T -диаграмма быстро охлажденного сплава MnNiGe взята из работы [6]. Это вносит некоторую некорректность в наши рассуждения ввиду отмеченного выше разброса параметров мартенситного перехода у разных авторов, связанного с различиями в методиках синтеза образцов (корректный подход должен включать приготовление медленно и быстро охлажденных образцов из одной партии гомогенизированных слитков). На рис. 4 и 5 штриховыми линиями обозначены гипотетические зависимости температур структурных T_{st} и магнитоструктурных T_{mst} превращений от давления. Эти границы фаз построены исходя из имеющихся в литературе данных относительно концентрационных и барических зависимостей T_{st} и T_{mst} в сплавах системы $Mn_{1-x}Cr_xNiGe$ [2,4,6].

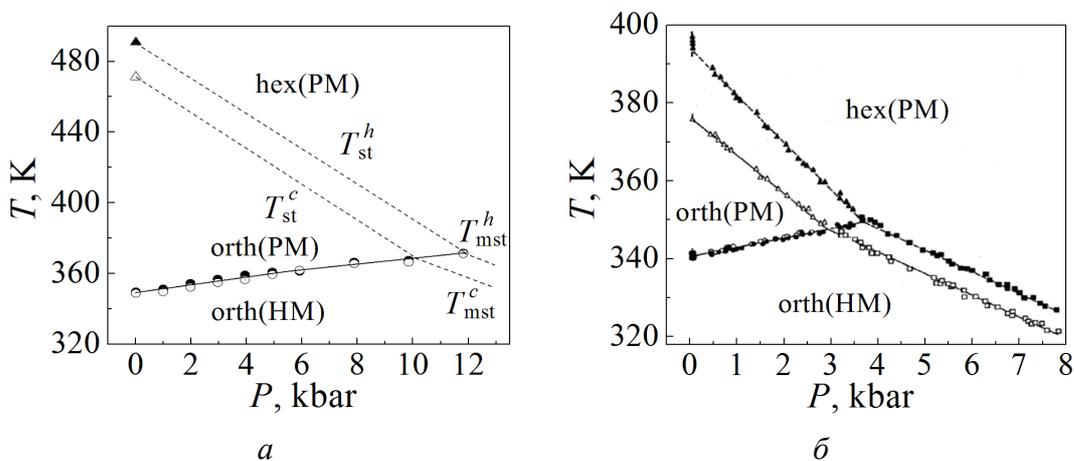


Рис. 4. Фазовые P – T -диаграммы образцов сплава MnNiGe, медленно охлажденного (а) и быстро охлажденного от $T = 300^\circ\text{C}$ (б) [6]. Темные и светлые символы означают соответственно нагрев и охлаждение образца в процессе структурного (\blacktriangle , \triangle), магнитного (\bullet , \circ) и магнитоструктурного (\blacksquare , \square) переходов, характеризуемых температурами T_{st} , T_m и T_{mst}

Сравнивая P – T -диаграммы медленно и быстро охлажденных образцов сплава MnNiGe (рис. 4), можно сделать вывод, что интегральный эффект влияния быстрого охлаждения на магнитоструктурные свойства сплава в основном аналогичен действию давления и сводится к смещению оси ординат на P – T -диаграмме медленно охлажденного сплава в сторону увеличения давления примерно на 7 kbar. Этот вывод подтверждается также сравнением P – T -диаграмм медленно и быстро охлажденных образцов $Mn_{0.93}Cr_{0.07}NiGe$

(рис. 5), причем смещение оси ординат в данном случае меньше (около 3 kbar), что, вероятно, связано с влиянием легирования, в частности с уменьшением параметров кристаллической решетки MnNiGe при замещении атомов Mn атомами Cr [2].

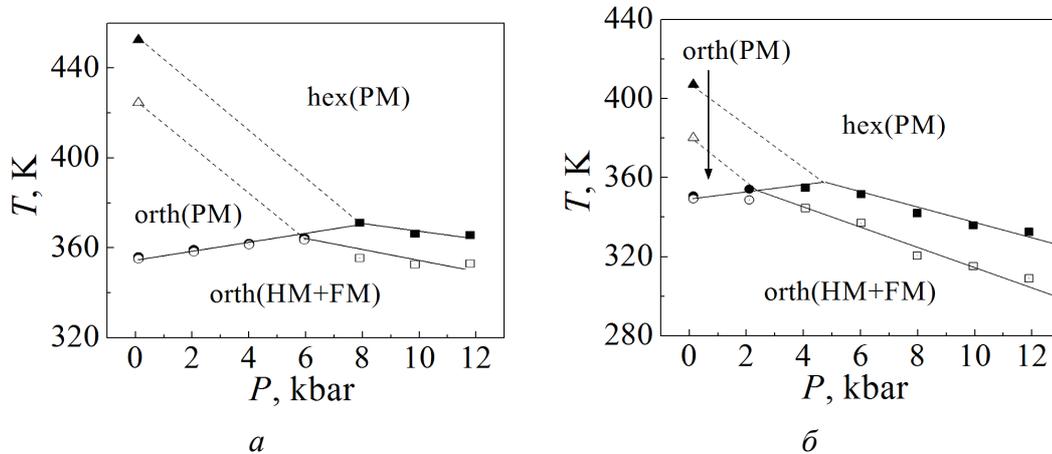


Рис. 5. Фазовые P – T -диаграммы образцов сплава $\text{Mn}_{0.93}\text{Cr}_{0.07}\text{NiGe}$, медленно охлажденного (*a*) и закаленного в воду от $T_{\text{ann}} = 850^\circ\text{C}$ (*б*). Обозначения те же, что на рис. 4

Следует отметить, что сжатие решетки MnNiGe является критически важным моментом для возникновения FM-упорядочения и реализации гигантского МКЭ [7]. Однако различные способы осуществления такого сжатия имеют свои особенности влияния на физические характеристики данного сплава, в частности на параметры интересующего нас магнитоструктурного перехода порядок–беспорядок, определяющие функциональные возможности материала. Наглядно это можно продемонстрировать на примере сплава $\text{Mn}_{0.89}\text{Cr}_{0.11}\text{NiGe}$, позиционируемого как тестовый материал в системе $\text{Mn}_{1-x}\text{Cr}_x\text{NiGe}$ ($x < 0.25$), для которого уже закалка в воду от температуры гомогенизирующего отжига приводит к совмещению структурного и магнитного переходов [3–5].

Из рис. 1 видно, что температура структурного перехода у медленно охлажденного образца $\text{Mn}_{0.89}\text{Cr}_{0.11}\text{NiGe}$ в сравнении с нелегированным MnNiGe понизилась примерно на 80 K, приблизившись к температуре магнитного перехода, на которую легирование хромом практически не оказывает влияния. Тем не менее магнитный и структурный переходы остаются четко разделенными по температуре, причем магнитный переход является по-прежнему изоструктурным безгистерезисным переходом 2-го рода. С другой стороны, образец, закаленный в воду от $T_{\text{ann}} = 850^\circ\text{C}$, демонстрирует совмещение указанных переходов, причем результирующее магнитоструктурное превращение имеет все признаки перехода 1-го рода [3–5]. К подобному результату приводит также воздействие давления на медленно охлажденный образец сплава $\text{Mn}_{0.89}\text{Cr}_{0.11}\text{NiGe}$ и другие сплавы на основе MnNiGe с разделенными по температуре магнитным и структурным фазовыми переходами и подхо-

дящим легированием, обеспечивающим стабилизацию ферромагнитного состояния (например, сплавы системы $\text{MnNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{Ge}$ [8]).

Трансформацию характера магнитного перехода в $\text{Mn}_{0.89}\text{Cr}_{0.11}\text{NiGe}$ под действием давления наглядно демонстрирует рис. 6. Как видно, при наложении давления имеет место резкое изменение характера перехода РМ \leftrightarrow FM от изоструктурного 2-го рода до магнитоструктурного 1-го рода благодаря, в основном, существенному понижению при сжатии решетки T_{st} вплоть до ее совмещения с температурой магнитного упорядочения.

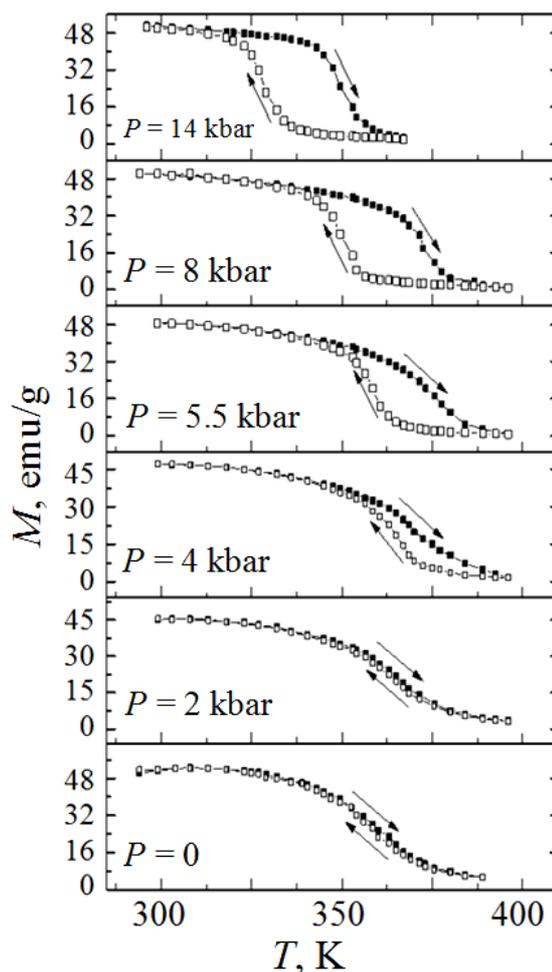


Рис. 6. Температурные зависимости намагниченности сплава $\text{Mn}_{0.89}\text{Cr}_{0.11}\text{NiGe}$ в поле $B = 0.97$ Т при разных давлениях

На рис. 7 дано сравнение магнитоструктурных переходов РМ \leftrightarrow FM, реализующихся в медленно охлажденном сплаве $\text{Mn}_{0.89}\text{Cr}_{0.11}\text{NiGe}$ под давлением и при быстром охлаждении этого сплава от температуры гомогенизирующего отжига. Как видно, имеет место существенно больший температурный гистерезис и большее размытие перехода в первом случае, что должно сказываться на функциональных характеристиках материала.

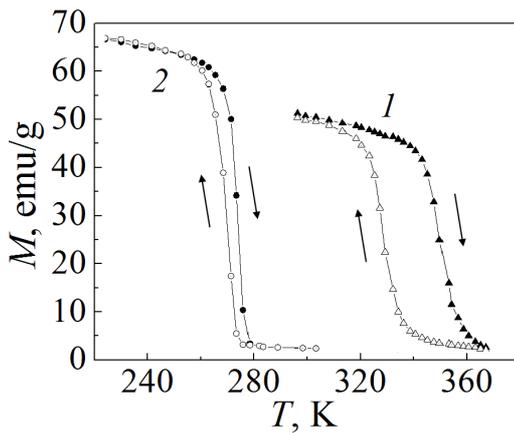


Рис. 7. Сравнение влияния термической предыстории и внешнего давления на магнитоструктурный переход порядок–беспорядок в сплаве $\text{Mn}_{0.89}\text{Cr}_{0.11}\text{NiGe}$. Зависимости $M(T)$ измерены в магнитном поле $B = 0.97$ Т: 1 – медленно охлажденный образец, $P = 14$ kbar; 2 – образец закален в воду от $T_{\text{ann}} = 850^\circ\text{C}$, $P = 0$

Исходя из температурных зависимостей намагниченности, снятых в магнитном поле $B = 0.97$ Т при разных давлениях, построена фазовая P – T -диаграмма медленно охлажденного сплава $\text{Mn}_{0.89}\text{Cr}_{0.11}\text{NiGe}$ (рис. 8,а). Видно, что основными барическими особенностями магнитных превращений в данном материале, как и в сплавах $\text{Mn}_{1-x}\text{Cr}_x\text{NiGe}$ с $x < 0.11$ (см. рис. 4, 5), являются немонотонная зависимость температуры перехода $\text{PM} \leftrightarrow \text{FM}$ от давления и изменение характера этого перехода с ростом P . Для переходов, реализующихся при нагреве образца, имеем $dT_c/dP \approx 3$ К/kbar в диапазоне $0 < P < 6$ kbar и $dT_c/dP \approx -3.8$ К/kbar при $6 < P < 14$ kbar. Для обратных переходов, соответствующих охлаждению образца, $dT_c/dP \approx 1$ К/kbar в диапазоне $0 < P < 3.5$ kbar и $dT_c/dP \approx -4$ К/kbar при $3.5 < P < 14$ kbar. Приведенные значения барических скоростей изменения температуры магнитных превращений близки к таковым для других сплавов изучаемой системы. Плавный рост величины температурного гистерезиса слева от максимума зависимости $T_c(P)$ является следствием размытости фазовых переходов.

Фазовая P – T -диаграмма образца $\text{Mn}_{0.89}\text{Cr}_{0.11}\text{NiGe}$, закаленного в воду от $T_{\text{ann}} = 850^\circ\text{C}$, показана на рис. 8,б (взята из работы [4]). В этом случае, как

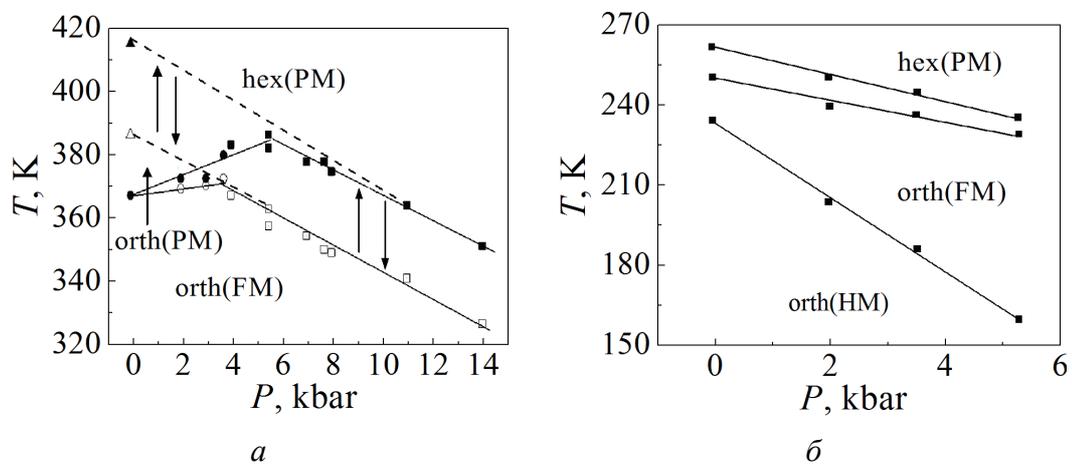


Рис. 8. Фазовые P – T -диаграммы сплава $\text{Mn}_{0.89}\text{Cr}_{0.11}\text{NiGe}$, медленно охлажденного (а) и закаленного в воду от $T_{\text{ann}} = 850^\circ\text{C}$ [4] (б). Обозначения те же, что на рис. 4

видим, зависимости $T_c(P)$ являются монотонно нисходящими ($dT_c/dP = -5.2$ К/кбар и -4 К/кбар соответственно при нагреве и охлаждении образца в процессе измерения), причем магнитоструктурный переход 1-го рода $FM \leftrightarrow PM$ имеет место уже при $P = 0$. Температурный гистерезис при этом $\Delta T_c \approx 11$ К и уменьшается с ростом давления.

Заметим, что согласно данным нейтронографии при атмосферном давлении в отсутствие магнитного поля в сплаве $Mn_{0.89}Cr_{0.11}NiGe$ во всем температурном интервале существования магнитоупрядоченного состояния реализуется магнитная структура типа «простая спираль» [9]. Однако, как и в случае с $Mn_{0.93}Cr_{0.07}NiGe$, гелимагнитная мода является «мягкой» и легко намагничивается небольшим магнитным полем. Поэтому магнитная фаза, обозначенная на рис. 8,а как FM, скорее всего является суперпозицией НМ- и FM-состояний.

Сравнительная оценка влияния давления и быстрого охлаждения образцов на магнитокалорические характеристики сплава $Mn_{0.89}Cr_{0.11}NiGe$ представлена на рис. 9. Температурный ход скачка энтропии при намагничивании образца в окрестности фазового перехода $FM \leftrightarrow PM$ определяли стандартным образом с использованием соотношения Максвелла, причем серию изотермических кривых намагничивания в случае измерений под давлением получали при соответствующей обработке серии температурных зависимостей намагниченности, снятых в разных магнитных полях B от 0.1 до 1 Т с шагом 0.1 Т.

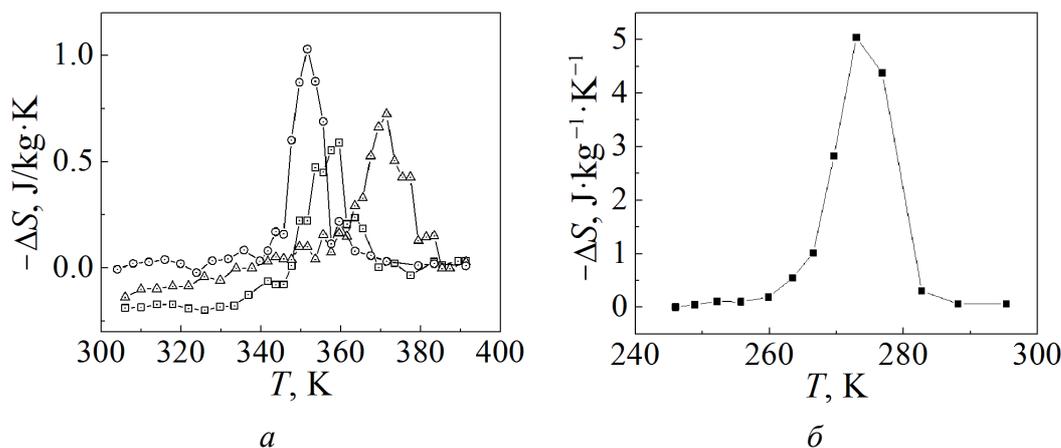


Рис. 9. Сравнение температурных зависимостей скачков энтропии в процессе изотермического намагничивания сплава $Mn_{0.89}Cr_{0.11}NiGe$ в магнитном поле $\Delta B = 0-1$ Т при разных условиях получения и измерения образцов: *а* – медленно охлажденный образец, P , кбар: \square – 0, Δ – 8, \circ – 14; *б* – образец закален в воду от $T_{ann} = 850^\circ C$, $P = 0$

Как видно из рис. 9,а, наложение давления ожидаемо увеличивает скачок энтропии ввиду изменения характера перехода $FM \leftrightarrow PM$. Однако этот скачок остается существенно меньшим, чем у закаленного образца (рис. 9,б). Это связано с различиями в реализации интересующих нас магнитоструктурных переходов, в частности с различиями в изменении намагниченности при наложении магнитного поля, в размытии фазовых переходов, во вкладе

структурной составляющей в скачок энтропии при намагничивании сплавов в области магнитоструктурных превращений и др. Более подробно роль различных вкладов в магнитокалорический эффект, сопровождающий индуцированные магнитным полем магнитоструктурные превращения в сплавах системы $Mn_{1-x}Cr_xNiGe$, рассмотрена теоретически в работе [10].

Таким образом, приведенные результаты демонстрируют наличие сходства между влиянием внешнего давления и быстрого охлаждения на магнитоструктурные характеристики сплавов системы $Mn_{1-x}Cr_xNiGe$. Это связано со сжатием кристаллической решетки в обоих случаях и проявляется в схожести фазовых диаграмм, построенных в координатах давление–температура, что может быть полезно для качественного прогнозирования влияния температурной предыстории на магнитное и другое поведение указанных сплавов. Однако более корректное прогнозирование, необходимое для успешной оптимизации их служебных характеристик, по-прежнему требует всестороннего изучения воздействия различных факторов на магнитоструктурные и магнитокалорические свойства рассматриваемых сплавов системы $Mn_{1-x}Cr_xNiGe$.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант: 14-22-00279.

1. *H. Fjellvag, A.F. Andresen, J. Magn. Magn. Mater.* **50**, 291 (1985).
2. *A. Szytula, S. Baran, T. Jaworska-Golab, M. Marzec, A. Deptuch, Yu. Tyvanchuk, B. Penc, A. Hoser, A. Sivachenko, V. Val'kov, V. Dyakonov, H. Szymczak, J. Alloys Comp.* **726**, 978 (2017).
3. *И.Ф. Грибанов, А.П. Сиваченко, В.И. Каменев, В.И. Митюк, Л.И. Медведева, Е.А. Дворников, Т.С. Сиваченко, ФТВД* **23**, № 3, 15 (2013).
4. *T. Jaworska-Golab, S. Baran, R. Duraj, M. Marzec, V. Dyakonov, A. Sivachenko, Yu. Tyvanchuk, H. Szymczak, A. Szytula, J. Magn. Magn. Mater.* **385**, 1 (2015).
5. *В.И. Вальков, И.Ф. Грибанов, В.Д. Запорожец, В.И. Каменев, В.И. Митюк, А.П. Сиваченко, В.В. Бурховецкий*, в сб.: Труды XII Международного семинара «Магнитные фазовые переходы», Махачкала, Россия (2017), с. 73–76.
6. *S. Anzai, K. Ozawa, Phys. Rev.* **B18**, 2173 (1978).
7. *А.В. Головчан, И.Ф. Грибанов, ФТВД* **23**, № 3, 23 (2013).
8. *J.S. Niziol, A. Zieba, R. Zach, M. Baj, L. Dmowski, J. Magn. Magn. Mater.* **38**, 205 (1983).
9. *B. Penc, A. Hoser, S. Baran, A. Szytula, Phase Transitions* **91**, 118 (2018).
10. *В.И. Вальков, И.Ф. Грибанов, Б.М. Тодрус, А.В. Головчан, В.И. Митюк, ФТТ* **60**, 1113 (2018).

*I.F. Griбанov, A.V. Golovchan, V.D. Zaporozhets, V.I. Kamenev,
L.D. Klischenko, V.V. Koledov, V.I. Mityuk, A.P. Sivachenko*

EFFECT OF THERMAL PRE-HISTORY ON THE BARIC FEATURES OF PHASETRANSITIONS IN MAGNETOCALORIC $Mn_{1-x}Cr_xNiGe$

Temperature and field dependences of the magnetization are measured in slowly and rapidly cooled alloys of the magnetocaloric system $Mn_{1-x}Cr_xNiGe$ ($0 < x < 0.11$) in the mag-

netic field up to 1 T under the pressure up to 14 kbar. The related P - T phase diagrams are plotted and analyzed. The effect of thermal pre-history on the phase transitions in the tested alloys is found. It is established that quick crossing of the point of martensitic phase transition between the hexagonal crystal structure of Ni_2In type and orthorhombic one of TiNiSi type in the course of cooling of the samples results in additional compression of the lattice as compared to slow cooling. It is shown that the P - T phase diagrams of quickly and rapidly cooled samples of the same composition differ mostly in a shift of the temperature axis towards an increase in pressure, in the first case. Some differences in realization of magnetostructural order-disorder transitions in slowly and rapidly cooled samples are revealed that substantially affect the operational characteristics.

Keywords: magnetic, structural and magnetostructural phase transitions, thermal pre-history, baric characteristics, magnetocaloric effect

Fig. 1. T - x phase diagram in slowly cooled alloys of $\text{Mn}_{1-x}\text{Cr}_x\text{NiGe}$ [2]

Fig. 2. Temperature dependences of magnetization in $\text{Mn}_{1-x}\text{Cr}_x\text{NiGe}$ that are registered in magnetic field of induction of $B = 0.97$ T under varied pressure: $a - x = 0$, slowly cooled sample; $\bar{o} - x = 0.07$, slowly cooled sample; $\bar{e} - x = 0.07$, water-quenched sample at $T_{\text{ann}} = 850^\circ\text{C}$

Fig. 3. Magnetization curves of the $\text{Mn}_{1-x}\text{Cr}_x\text{NiGe}$ alloys at $T = 295$ K and varied pressure P , kbar: $\bullet - 0$, $\blacktriangle - 8$, $\blacksquare - 12$; $a - x = 0$, slowly cooled sample; $\bar{o} - x = 0.07$, slowly cooled sample; $\bar{e} - x = 0.07$, water-quenched sample at $T_{\text{ann}} = 850^\circ\text{C}$

Fig. 4. P - T phase diagrams in the samples of MnNiGe , slowly-cooled one (a) and rapidly-cooled one from $T = 300^\circ\text{C}$ (\bar{o}) [6]. Dark and light symbols mark heating and cooling of the sample, respectively, in the course of structural (\blacktriangle , \triangle), magnetic (\bullet , \circ) and magnetostructural (\blacksquare , \square) transitions characterized by temperatures T_{st} , T_m and T_{mst}

Fig. 5. P - T phase diagrams in $\text{Mn}_{0.93}\text{Cr}_{0.07}\text{NiGe}$, slowly cooled one (a) and water-quenched one at $T_{\text{ann}} = 850^\circ\text{C}$ (\bar{o}). The symbols are as in Fig. 4

Fig. 6. Temperature dependences of magnetization in $\text{Mn}_{0.89}\text{Cr}_{0.11}\text{NiGe}$ in the field of $B = 0.97$ T under varied pressure

Fig. 7. Comparison of the effect of thermal pre-history and external pressure on the magnetostructural order-disorder transition in $\text{Mn}_{0.89}\text{Cr}_{0.11}\text{NiGe}$. $M(T)$ are measured in magnetic field $B = 0.97$ T: 1 – slowly-cooled sample, $P = 14$ kbar; 2 – water-quenched sample at $T_{\text{ann}} = 850^\circ\text{C}$, $P = 0$

Fig. 8. P - T phase diagrams in $\text{Mn}_{0.89}\text{Cr}_{0.11}\text{NiGe}$, slowly-cooled one (a) and water-quenched one at $T_{\text{ann}} = 850^\circ\text{C}$ [4] (\bar{o}). The symbols are as in Fig. 4

Fig. 9. Comparison of temperature dependences of entropy jumps in the course of isothermal magnetization of the $\text{Mn}_{0.89}\text{Cr}_{0.11}\text{NiGe}$ alloy in magnetic field of $\Delta B = 0$ -1 T under varied conditions of sample production and measurements: a – slowly-cooled sample, P , kbar: $\square - 0$, $\triangle - 8$, $\circ - 14$; \bar{o} – water-quenched sample at $T_{\text{ann}} = 850^\circ\text{C}$, $P = 0$