

МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫЙ ТЕРМОУПРУГИЙ МАРТЕНСИТНЫЙ ПЕРЕХОД В СПЛАВЕ ГЕЙСЛЕРА Ni-Mn-In(Co)

Дильмиева Э.Т.¹, Каманцев А.П.¹, Коледов В.В.^{1,2}, Маширов А.В.¹, Шавров В.Г.¹,

Гречишкин Р.М.², Эрнандо Б.³, Гонсалес Л.³, Гарсия Х.³, Прида В.³,

Ари-Гур П.⁴, Мадилигама А.⁴, Кокорин В.В.⁵, Коноплюк С.М.⁵, Суньол Х.⁶

¹Институт Радиотехники и Электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия

²Тверской государственный университет, Тверь, Россия

³Университет Овиедо, Испания

⁵Институт Магнетизма НАНУ, Киев, Украина

⁴Университет Западного Мичигана, Каламазу, США

⁶Университет Хирона, Хирона, Испания

kelvit@mail.ru

В последнее время большое внимание исследователей привлекают сплавы с эффектом памяти формы (ЭПФ), испытывающие термоупругий мартенситный переход (ТМП) в ферромагнитном состоянии, например, сплав Гейслера Ni₂MnGa. Следствием магнитоупругой связи является зависимость точки ТМП от магнитного поля и такие яркие эффекты, как магнитоуправляемый ЭПФ и гигантский магнитокалорический эффект (МКЭ) [1]. Один из лимитирующих факторов, который на сегодняшний день не позволяет внедрить сплав Ni₂MnGa в технику – слишком большая величина внешнего магнитного поля (\square 10 Тл), необходимая для осуществления обратимого ТМП при постоянной температуре. В связи с этим активно ведутся поиски новых сплавов, в которых ТМП будет управляться "средними" полями - до 2 Тл, легко создаваемыми постоянными магнитами. Наибольший интерес представляют тройные и квазичетверные сплавы Гейслера Ni-Mn-In(X), где X – переходный металл [2]. В этих сплавах наблюдается т.н. *метамагнитоструктурный* фазовый переход (ФП) 1-го рода из ферромагнитного аустенита в (предположительно) антиферромагнитный мартенсит. Чувствительность температуры ТМП к магнитному полю у некоторых составов этих сплавов на порядок выше, чем у Ni-Mn-Ga. В семействе Ni-Mn-In(X) весьма перспективен поиск новых составов, которые будут основой для магнитоуправляемых устройств нового поколения, способных осуществлять полезную работу при постоянной температуре в магнитных полях средней величины.

Цели данной работы: синтез сплавов Гейслера семейства Ni-Mn-In(Co) и исследование ТМП, индуцированного магнитным полем и сопутствующих ему ЭПФ и МКЭ. Получены следующие основные результаты:

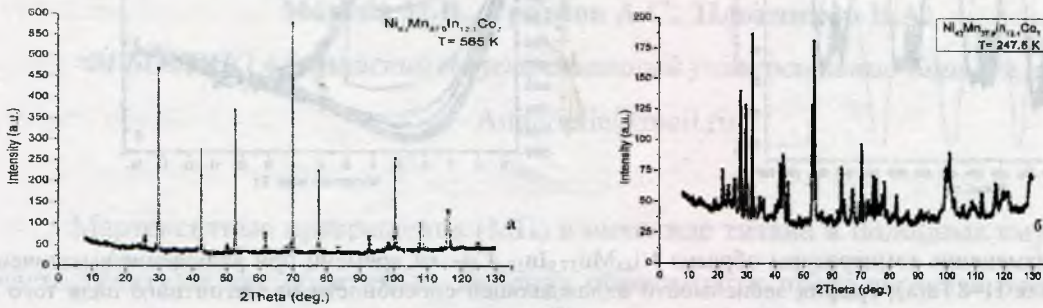


Рисунок 1. Структура сплава $Ni_{43}Mn_{37.9}In_{12.1}Co_7$ изученная методом порошковой дифракции нейтронов в аустените (а) и мартенсите (б)

1) В работе созданы образцы семейства Гейслера $Ni_{(50-x)}Mn_{(50-y)}In_yCo_x$ при $x=7; 7,5; 8$ и $(12,45 > y > 12,9)$ по технологии аргонно-дуговой плавки в атмосфере аргона и с последующим отжигом. Исследованы влияния длительного отжига при температуре $T=750$ °С на гистерезис ТМП.

2) Кристаллографическая структура изучена методами рентгеновской, синхротронной и порошковой нейтронной дифракции. Показано, что аустенитная фаза при температуре 565 К имеет кубическую структуру $L2_1$ с параметром решетки $a = 5.9823 \text{ \AA}$, а мартенситная при $T=247,5$ К - моноклинную модулированную решетку 14M с параметрами: $a = 4,29(8) \text{ \AA}$; $b = 5,96(6) \text{ \AA}$; $c = 30,198(1) \text{ \AA}$; $\beta = 93,67^\circ$ (см. рис.1).

3) ФП исследованы методами ДСК и магнитометрии в полях до $H=3$ Тл. Определены температуры Кюри (T_c) и ТМП: T_c слабо зависит от состава и примерно равняется 420 К; повышение содержания Mn, при уменьшении содержания In на 0,01% при фиксированном содержании Ni и Co приводит к снижению температур ТМП на 15-20 °С. Во всех образцах мартенситный переход является одностадийным и его температура в среднем зависит от магнитного поля ~ 10 К/Тл (см.рис.2).

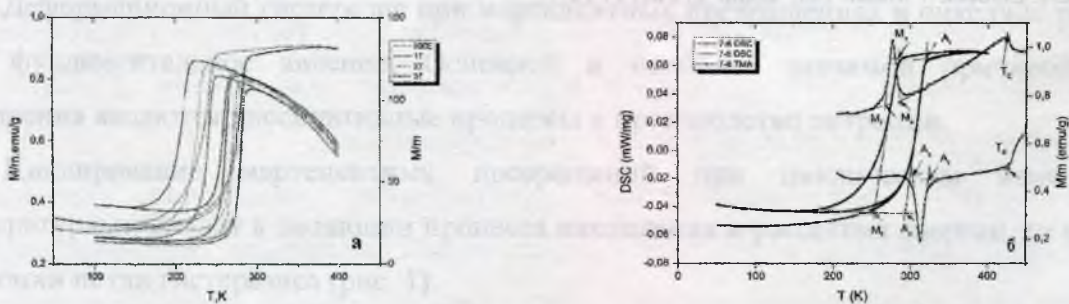


Рисунок 2. Зависимость нормализованной намагниченности образца $Ni_{43}Mn_{37.9}In_{12.1}Co_7$ от температуры для различных магнитных полей до $H=3$ Тл (а), ДСК кривые для образца $Ni_{43}Mn_{37.9}In_{12.1}Co_7$ для сравнения совмещены с зависимостью намагниченности от температуры в магнитном поле 50 Э(б)

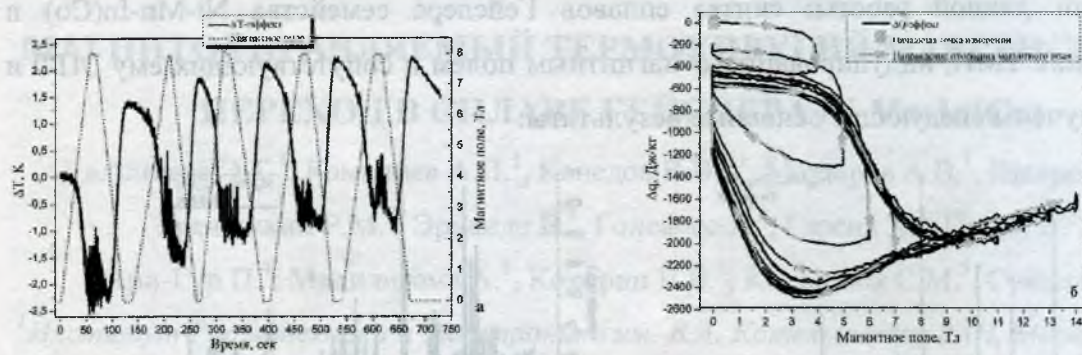


Рисунок 3. - Изменение температуры образца $Ni_{43}Mn_{37.9}In_{12.1}Co_7$ от времени при включение/выключении магнитного поля $H=8Tл$ (а); график зависимости охлаждающей способности от магнитного поля того же образца при включении/выключении магнитного поля(б)

4) Проведены прямые исследования магнитоуправляемого ТМП и связанного с ним обратного МКЭ в поле Биттеровского магнита до 14 Тл. МКЭ исследован новым прямым методом, позволяющим измерять в одном эксперименте и адиабатическое изменение температуры при изменении поля (ΔT – эффект) (рис. 3 а), и охлаждающую способность в квазиизотермическом режиме (ΔQ – эффект) (рис. 3б). В результате, для образца $Ni_{43}Mn_{37.9}In_{12.1}Co_7$ $\Delta T = -3,21 \pm 0,39_{0,95} K$ в поле $H=8Tл$, а $\Delta Q = -2 кДж/кг$. На графиках (рис. 3б) можно заметить, что $|\Delta Q|$ возрастает до $H=8 Tл$, дальнейшее увеличение магнитного поля до 14 Тл не приводит к увеличению обратного МКЭ. Это объясняется тем, что обратный МКЭ вызван магнитоиндуцированным ТМП. Понижение температуры прекращается при $H=8Tл$, когда завершается ФП из аустенита в мартенсит. Дальнейшее небольшое повышение температуры обусловлено прямым МКЭ в ферромагнитном аустените. В будущем необходимо направить усилия на создание новых материалов с уменьшенной шириной гистерезиса и увеличенной чувствительностью ФП к магнитному полю.

Работа поддержана РФФИ, гранты № 12-08-01043, 12-07-00656, 13-07-12130, 14-07-31179, 14-07-00729.

1. A.A. Cherechukin, I.E. Dikstien, D.I. Ermakov et.al. Phys.Lett. Vol. 291, pp 175-183, 2001.
2. T. Kanomata, K. Fukushima, H. Nishihara, R. Kainuma, W. Ito, K. Oikawa, K. Ishida, K.-U. Neumann and K.R.A. Ziebeck // Mater. Sci. 2008. V. 583, P. 119.