

ОСОБЕННОСТИ МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СПЕЧЕННЫХ ПОРОШКАХ СПЛАВОВ ГЕЙСЛЕРА Ni–Mn–Ga ВО ВНЕШНИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Ховайло В. В.¹⁾, Коледов В. В.²⁾, Шавров В. Г.²⁾, Мики Х.³⁾, Такаги Т.³⁾

¹⁾НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

²⁾ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия

³⁾Institute of Fluid Science, Tohoku University, Sendai, Japan

khovaylo@misis.ru

Введение

Гигантские (до 10%) деформации, индуцированные магнитным полем в монокристаллах нестехиометрических сплавов Гейслера Ni–Mn–Ga привлекает существенное внимание к изучению этих материалов (см. обзоры [1,2]). С точки зрения практических применений гигантских магнитодеформаций представляется интересным изучение магнитомеханических свойств поликристаллов [3]. Наряду с этим изучались также образцы Ni–Mn–Ga, полученные методом электроимпульсного спекания [4, 5]. В данной работе представлены результаты дилатометрических исследований особенностей мартенситных превращений в спеченных порошках сплавов Ni_{2+x}Mn_{1-x}Ga (0.16 ≤ x ≤ 0.20) во внешних магнитных полях.

Приготовление образцов

Сплавы Ni_{2+x}Mn_{1-x}Ga с номинальной композицией Ni_{2.16}Mn_{0.84}Ga, Ni_{2.18}Mn_{0.82}Ga и Ni_{2.20}Mn_{0.80}Ga были приготовлены методом дуговой плавки в атмосфере аргона. Термообработка полученных слитков заключалась в отжиге в вакууме при температуре 1100 К в течение 9 дней с последующей закалкой в ледяную воду. Часть слитков использовалась для приготовления образцов методом электроимпульсного спекания. Для этой цели слитки размалывались в порошок, который просеивался через сито с размером ячейки 53 мкм. Методика приготовления спеченных порошков описана в [4, 5].

Зависимости линейных размеров образцов от температуры и магнитного поля измерялись на образцах размером 3×3×6 мм. Дилатометрические измерения проводились в магнитных полях до 5 Тл с помощью нечувствительных к полю тензодатчиков.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Дилатометрические кривые, измеренные при нагреве и охлаждении в спеченных порошках Ni_{2.16}Mn_{0.84}Ga, Ni_{2.18}Mn_{0.82}Ga и Ni_{2.20}Mn_{0.80}Ga показаны на рис. 1. Как типичный пример этих измерений, рассмотрим дилатометрические данные, полученные для Ni_{2.16}Mn_{0.84}Ga (рис. 1а). При нагреве длина образца монотонно возрастает вплоть до температуры начала обратного мартенситного перехода $A_S = 331$ К. Превращение из мартенсита в аустенит сопровождается резким увеличением длины образца. В аустенитном состоянии дилатометрическая кривая выполаживается. При последующем охлаждении длина образца начинает резко уменьшаться при температуре прямого мартенситного перехода $M_S = 328$ К.

Из данных дилатометрических измерений (рис. 1) следует, что изменение длины образца при мартенситном превращении (стрикция перехода) $\Delta l/l \sim 0.07\%$ в составе Ni_{2.16}Mn_{0.84}Ga. В образцах с большим избытком Ni ($x = 0.18$ и $x = 0.20$) стрикция перехода больше, $\Delta l/l \sim 0.2\%$ и $\Delta l/l \sim 0.1\%$, соответственно. Тот факт, что $\Delta l/l$ в составах с $x \geq 0.18$ больше, чем в образце $x = 0.16$ обусловлен, вероятно, тем, что они имеют разную кристаллическую структуру мартенситной фазы (моноклинная модулированная в $x = 0.16$ и тетрагональная немодулированная NM в $x \geq 0.18$, см. [1]). Это предположение

не объясняет, однако, большого отличия в $\Delta l/l$ между $\text{Ni}_{2.18}\text{Mn}_{0.82}\text{Ga}$ и $\text{Ni}_{2.20}\text{Mn}_{0.80}\text{Ga}$. Одной из возможных причин может быть то, что спеченные порошки этих составов отличаются по плотности, т.е. характеризуются разной степенью пористости.

Из рис. 1 видно, что во всех исследуемых составах длина образца увеличивается при переходе из мартенсита в аустенит. Подобное поведение является, в принципе, ожидаемым, т.к. объем элементарной ячейки аустенитной фазы больше, чем мартенситной (см. например [6]). Интересно отметить несколько особенностей, которые, на наш взгляд, присущи спеченым порошкам сплавов Гейслера с памятью формы. Во-первых, учитывая изотропную микроструктуру спеченного порошка можно предположить, что в этих материалах стрикция перехода пропорциональна изменению объема. Во-вторых, из-за присущей им пористости изменение объема при мартенситном превращении в спеченных порошках намного превышает изменение объема в поли- и монокристаллах.

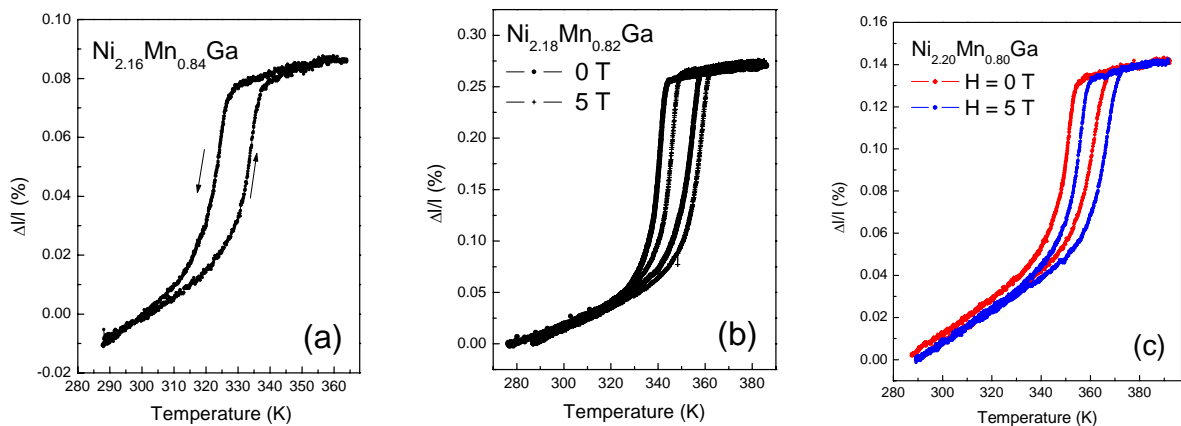


Рис. 1. Дилатометрические кривые спеченных порошков сплавов Гейслера $\text{Ni}_{2.16}\text{Mn}_{0.84}\text{Ga}$ (a), $\text{Ni}_{2.18}\text{Mn}_{0.82}\text{Ga}$ (b) и $\text{Ni}_{2.20}\text{Mn}_{0.80}\text{Ga}$ (c). Кривые нагрева и охлаждения показаны стрелками (для состава $\text{Ni}_{2.16}\text{Mn}_{0.84}\text{Ga}$). Для составов $\text{Ni}_{2.18}\text{Mn}_{0.82}\text{Ga}$ и $\text{Ni}_{2.20}\text{Mn}_{0.80}\text{Ga}$ приведены результаты измерений в нулевом магнитном поле и в поле 5 Тл. Кривые, измеренные в поле смещены в высоко-температурную область (примерно на 5 К) по отношению к кривым, измеренным без поля.

Дилатометрические кривые образцов $\text{Ni}_{2.18}\text{Mn}_{0.82}\text{Ga}$ и $\text{Ni}_{2.20}\text{Mn}_{0.80}\text{Ga}$, измеренные в нулевом магнитном поле и в поле $H = 5$ Тл (рис. 1b,c), указывают на то, что характерные температуры мартенситного превращения смещаются в сторону более высоких температур примерно на 5 К. Эта величина хорошо согласуется с данными, полученными на поликристаллических образцах одинакового химического состава [7]. Отличительной особенностью спеченных порошков $\text{Ni}_{2+x}\text{Mn}_{1-x}\text{Ga}$ является то, что приложение магнитного поля не влияет на стрикцию перехода, т.е. внешние магнитные поля до 5 Тл не влияют на изменение длины образца при мартенситном превращении. Эта характеристика разительно отличается от поведения поликристаллических образцов, в которых существенное увеличение стрикции перехода наблюдалось в намного меньшем магнитном поле $H = 1.4$ Тл [8]. Указанное различие обусловлено микроструктурой материалов. В случае поликристаллических образцов присущая в той или иной степени всем поликристаллам макроскопическая текстура приводит к тому, что во внешнем магнитном поле образование мартенситных вариантов, легкая ось намагниченности которых совпадает с направлением вектора внешнего магнитного поля, является более энергетически выгодным. Этот процесс и приводит к сильной зависимости стрикции перехода от магнитного поля. В случае образцов спеченных порошков, микроструктура которых является сильно изотропной, формирование мартенситных вариантов макро-

скопических размеров не происходит и, таким образом, стрикция перехода в магнитном поле не изменяется.

Список литературы

1. Васильев А.Н., Бучельников В.Д., Такаги Т., Ховайло В.В., Эстрин Э.И. Ферромагнетики с памятью формы // УФН. 2003. Т. 173. С. 577-608.
2. Söderberg O., Sozinov A., Ge Y., Hannula S.-P., Lindroos V.K. Giant magnetostrictive materials // Handbook of Magnetic Materials V. 16 P. 1-39 (Elsevier, 2006).
3. Takagi T., Khovailo V., Nagatomo T., Miki H., Matsumoto M., Abe T., Wang Z., Estrin E., Vasil'ev A., Bozhko A. Magnetostrain in Ni_{2-x}Mn_{1-x}Ga compounds prepared by arc-melting and SPS methods // Trans. Mat. Res. Soc. Jpn. 2001. V. 26. P. 197-200.
4. Wang Z., Matsumoto M., Abe T., Oikawa K., Takagi T., Qiu J., Tani J. Compressive properties of Ni₂MnGa produced by spark plasma Sintering // Mater. Trans. JIM. 1999. V. 40. P. 863-866.
5. Ховайло В.В., Коледов В.В., Шавров В.Г., Рычкова О.В. Магнитомеханические свойства ферромагнетиков с памятью формы Ni_{2+x}Mn_{1-x}Ga, полученных методом электроимпульсного спекания // Материаловедение. 2008. №8. С. 61-64.
6. Cong D.Y., Zetterström P., Wang Y.D., Delaplane R., Lin Peng R., Zhao X., Zuo L. Crystal structure and phase transformation in Ni₅₃Mn₂₅Ga₂₂ shape memory alloy from 20 K to 473 K // Appl. Phys. Lett. 2005. V. 87. P. 111906.
7. Божко А.Д., Васильев А.Н., Ховайло В.В., Дикштейн И.Е., Коледов В.В., Селецкий С.М., Тулайкова А.А., Черечукин А.А., Шавров В.Г., Бучельников В.Д. Магнитные и структурные фазовые переходы в ферромагнитных сплавах с памятью формы Ni_{2+x}Mn_{1-x}Ga // ЖЭТФ. 1999. Т. 115. С. 1740-1748.
8. Vasil'ev A.N., Estrin E.I., Khovailo V.V., Bozhko A.D., Ischuk R.A., Matsumoto M., Takagi T., Tani J. Dilatometric study of Ni_{2+x}Mn_{1-x}Ga under magnetic field // Int. J. Appl. Electromagn. Mech. 2000. V. 12. P. 35-40.

ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ГЕТЕРОФАЗНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Викарчук А. А., Растегаева И. И., Растегаев И. А., Селезнев М. Н.

Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Россия
fti@tltsu.ru

Настоящая работа посвящена применению акустических методов контроля для определения оптимальных режимов кавитационной обработки гетерофазных жидкостей: воды, эмульсии, нефти и нефтепродуктов.

Варьируя гидродинамические параметры (расход жидкости, давление, состав жидкости, температуру и т.д.), с помощью датчиков регистрируются и обрабатываются сигналы акустической эмиссии (АЭ). Регистрация и обработка сигналов АЭ проводилась с помощью акустико-эмиссионного комплекса «ЭЯ-1», производства Тольяттинского государственного университета: диапазон регистрируемых частот 30–1000 кГц; общий коэффициент усиления АЭ тракта $10^2 - 10^4$; частота дискретизации мгновенного значения сигнала для вычисления медианной частоты 6,25 МГц.

Проведенные исследования показали, что потребляемая обрабатываемой жидкостью мощность от двигателя вихревого кавитатора, температура на выходе, RMS, энергия АЭ сложным образом зависит частоты вращения активатора. Так из рис. 1.а видно, что начало кавитационных процессов связано с характерным изменением (некоторым уменьшением) мощности потребляемой двигателем, при этом температура резко уве-