

НЕЙТРОННЫЕ ДИФРАКЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СПЛАВОВ Fe-Ga-RE

Б. Ержанов^{1,2,3*}, А. М. Балагуров¹, С. В. Сумников¹, Б. Мухаметулы^{1,2}, В. В. Палачева⁴,
И. С. Головин⁴

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

²Институт ядерной физики Министерства энергетики Республики Казахстан, Алматы, Республика Казахстан

³Казанский федеральный университет, Казань, Россия

⁴Университет науки и технологий МИСиС, Москва, Россия

* E-mail: bekarys@jinr.ru

Сплавы на основе железа обладают многочисленными полезными функциональными свойствами, которые давно и широко используются в различных технологиях. Одним из них является «гигантская» магнитострикция, открытая в начале 2000-х годов в сплавах Fe–Ga с двумя максимумами магнитострикции в зависимости от содержания в них Ga, активно изучаемая в течение последних двух десятилетий [1]. Интересной структурной темой является изучение влияния легирования сплавов Fe–Ga редкоземельными элементами. Легирование сплавов Fe–Ga микроколичествами редкоземельных элементов (RE) приводит к улучшению магнитострикционных свойств этих функциональных сплавов. Физические и технические свойства таких функциональных сплавов во многом зависят от их специфической атомной структуры, объемного содержания различных структурных фаз и их микроструктурного состояния. Несмотря на многочисленные исследования, механизм формирования повышенной магнитострикции в сплавах Fe–Ga и его связь с атомным упорядочением до сих пор остается предметом дискуссий.

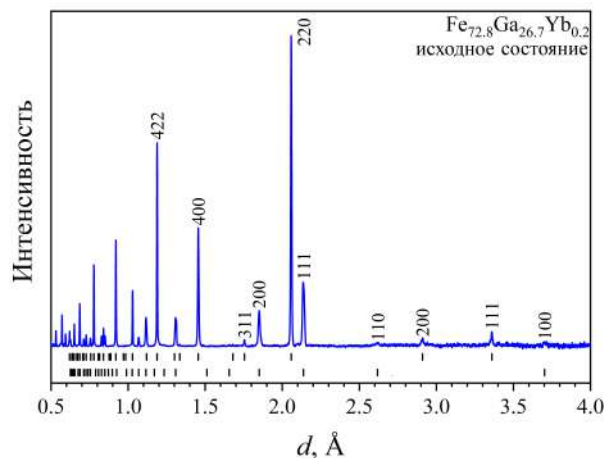


Рис. 1. Спектр $\text{Fe}_{73}\text{Ga}_{27}\text{Yb}_{0.2}$ сплава до его нагрева, на котором обнаружены фазы DO_3 (~83%) и L1_2 (~17%).

В широком температурном интервале проведены исследования эволюции фазового состава и микроструктуры литых магнитострикционных сплавов $\text{Fe}_{100-(x+y)}\text{Ga}_x\text{RE}_y$ ($x \approx 19$ ат% и 27 ат%), легированных микродобавками ($y \approx 0.1 - 0.5$ ат.%) редкоземельных элементов (Dy, Er, Pr, Sm, Tb, Yb), всего 14 составов. Результаты получены в экспериментах с использованием дифракции нейтронов, проведенных на установке ФДВР

(ОИЯИ, ИБР-2, Дубна) в двух режимах: с высоким разрешением по межплоскостному расстоянию и с высокой интенсивностью при непрерывном сканировании по температуре при нагреве до ~ 900 °C и последующем охлаждении со скоростью ± 2 °C/мин [2]. Информация о микроструктурном состоянии сплавов получена с использованием методов Вильямсона-Холла и Пелашека, которые позволяют оценивать характерные размеры и распределение по размерам областей когерентного рассеяния путем анализа профилей дифракционных пиков.

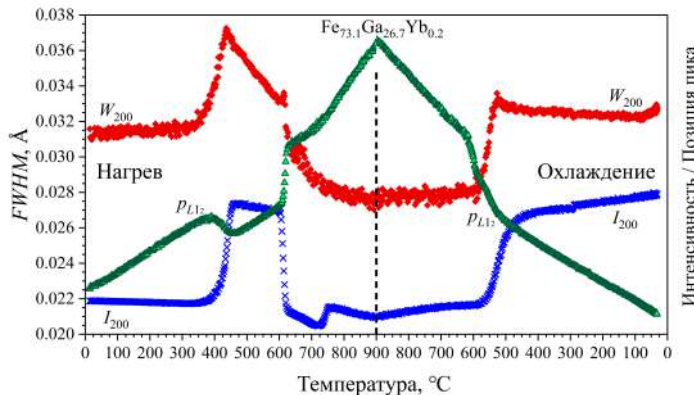


Рис. 2. Корреляция между резким увеличением интенсивности основного пика фазы $L1_2$ (I_{200}), изменением его положения (p_{L1_2}), резким увеличением его ширины (W_{200}) при нагреве и охлаждении сплава $Fe_{73}Ga_{27}Yb_{0.2}$.

Нагрев и последующее охлаждение сплавов $Fe_{81}Ga_{19}RE$ приводит к формированию кластеров фазы DO_3 с размерами в диапазоне (200 – 300) Å в матрице неупорядоченной фазы 2. Структурные перестройки в этих сплавах протекают в целом одинаковым образом, как в исходном сплаве $Fe_{81}Ga_{19}$. В сплавах $Fe_{73}Ga_{27}RE$ с содержанием RE от 0.1 до 0.5 ат.%, как последовательность образующихся и исчезающих структурных фаз при нагреве и охлаждении сплава, так и финальное состояние сплава зависят от типа и количества редкоземельного элемента. В этих сплавах обнаружен эффект подавления формирования фаз со структурами на основе ГЦК- ($L1_2/A1$) и ГПУ-ячеек ($DO_{19}/A3$) и стабилизации фаз со структурами на основе ОЦК-ячейки ($DO_3/A2$) при легировании сплавов RE элементами. По-другому ведет себя сплав $Fe_{73}Ga_{27}Yb_{0.2}$, в котором в исходном состоянии обнаружено заметное присутствие фазы $L1_2$ в количестве (17%) (рис. 1). При его нагреве фазы со структурами на основе ГЦК-ячейки ($A1/L1_2$) существуют вплоть до 900 °C, чего не наблюдается ни в одном другом составе. При охлаждении сплава с Yb равновесная фаза $L1_2$ с параметром ячейки $a \approx 3.687$ Å также как в других составах становится основной при < 500 °C (рис. 2), но дополнительно к ней формируется фаза (ее доля $\sim 20\%$) с такой же, как у $L1_2$ системой пиков, но с увеличенным до $a \approx 3.708$ Å параметром ячейки.

Поиск структурного упорядочения в объеме сплава, соответствующего тетрагональной фазе $L6_0$, обнаруженной в ряде электронно-дифракционных исследований в Fe–Ga сплавах, не привел к положительному результату.

Работа выполнена в рамках проекта № 19-72-20080 РФФ.

1. E. M. Summers, T. A. Lograsso, M. Wun-Fogle, J. Materials Science **42**, 9582–9594 (2007).
2. A. M. Balagurov and et al, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research B **436**, 263–271 (2018).