

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В FeGa СПЛАВАХ ПРИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКЕ ПО ДАННЫМ МАЛОУГЛОВОГО РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ

М. В. Авдеев

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия

⁴Испарительный источников нейтронов, Дунгуань, Китай

⁵Институт физики высоких энергий Китайской Академии наук, Пекин, Китай

*E-mail: avd@nf.jinr.ru

Эффект резкого увеличения константы магнитострикции сплавов Fe–Ga при добавлении 19 или 27 ат. % галлия к железу, обнаруженный в начале 2000-х годов, является предметом интенсивных экспериментальных и теоретических исследований. Для его описания было предложено несколько физических моделей, основанных на предположении, что кристаллическая матрица сплавов Fe–Ga содержит неоднородности (преципитаты), в том числе с анизотропной структурой. Такого рода неоднородности являются традиционным объектом исследования методом малоуглового рассеяния, охватывающим диапазон размеров от ~ 10 до ~ 100 Å. Малоугловое рассеяние нейтронов (МУРН) чувствительно к магнитным неоднородностям и указывает на то, что увеличение константы магнитострикции может быть связано с наличием, прежде всего, магнитных нанонеоднородностей. Для данных сплавов показано преобладание магнитного рассеяния, которое подавляется во внешнем магнитном поле насыщения.

В настоящей работе МУРН применен для FeGa сплавов в классическом виде для немагнитных образцов в отсутствие внешнего магнитного поля, что позволяет четко разделить изотропное магнитное рассеяние неоднородностями от рассеяния матрицей. Данный подход был использован для анализа процессов формирования преципитатов в сплавах, легированных Tb, что усиливает магнитострикционные свойства.

Для сплава $\text{Fe}_{81}\text{Ga}_{19}\text{Tb}_{0.1}$, предварительно состаренном при различных температурах, кривые МУРН показывают четкую картину формирования нанопреципитатов с характерным размером, растущим при увеличении температуры отжига. Эксперименты *insitu* показали, что формирование неоднородностей происходит сравнительно быстро в основном в первые минуты отжига (~ 10 мин для температуры 300 °C). Анализ МУРН в сочетании с данными нейтронной дифракции позволил связать наблюдаемые неоднородности с кластерами фазы D03, диспергированными в матрице A2.

Для сплава $\text{Fe}_{73}\text{Ga}_{27}\text{Tb}_{0.1}$ на кривых МУРН, полученных при комнатной температуре для образцов, состаренных при $T = 400, 450$ и 530 °C, помимо основных асимптов наблюдаются неоднородности с характерными размерами нанонеоднородностей ~ 80 и ~ 800 Å. Измерения *insitu* для образцов в процессе длительного изотермического старения при 400, 470 и 550 °C показали, что оба типа неоднородностей возникают и развиваются достаточно быстро (менее чем за 10 мин). Их последующая более медленная эволюция хорошо согласуется с полученными ранее результатами нейтронной дифракции относительно кластеров структурно и магнитоупорядоченной ОЦК-фазы D03, диспергированной в матрице B2, которые в процессе старения трансформируются в ГЦК-фазу (A1/L12). Наблюдаемые эффекты в МУРН связали с переходом при нагреве ОЦК-фазы в парамагнитное состояние ($T_C \sim 450$ °C) которое контрастирует в МУРН с ферромагнитным состоянием ГЦК-фазы (температура парамагнитного перехода $T_C \sim 650$ °C). Таким образом, с помощью МУРН отслежена временная зависимость относительной доли ОЦК-фазы в сплаве при отжиге.

Различия в особенностях эволюции МУРН для двух составов свидетельствует о том, что механизмы, ответственные за пиковые значения константы магнитострикции при содержании Ga 19 и 27 ат.%, не связаны напрямую с образованием наблюдаемых нанопреципитатов.