(полагаем $L_{23} \neq 0$) следует неравенство

$$\left| \left(\Delta \frac{\partial \sigma}{\partial X_2^0} \right)_{X_3^0} \right| > \left| \left(\Delta \frac{\partial \sigma}{\partial X_2^0} \right)_{J_s=0} \right|,$$

являющееся обобщением принципа Ле Шателье в неравновесной термодинамике для второго из рассмотренных видов внешних воздействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Гроот С. Р., де. Термодинамика необратимых процессов. М., 1956. [2] Гроот С. Р., де, Мазур П. Неравновесная термодинамика. М., 1964. [3] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. М.: Наука, 1964.

Поступила в редакцию 18.06.82

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1988, Т. 24, № 2

УДК 537.622.4:669.018.5

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СОСТОЯНИЙ В СПЛАВЕ Fe₃₄Cr₄₁Co₂₅ ПОСЛЕ ТЕРМОМАГНИТНЫХ ОБРАБОТОК

С. Д. Антипов, Л. А. Кондрашова, П. Н. Стеценко

(кафедра общей физики для естественных факультетов)

Известно, что сплавы системы FeCrCo широко используются в качестве материала для постоянных магнитов. Соответствующие термомагнитные обработки этих сплавов позволяют получать для них удачное сочетание высоких значений коэрцитивной силы H_c и остаточной индукции B_r с довольно хорошей пластичностью [1, 2].

В работе [3] было исследовано магнитное поведение гомогенизированных сплавов $Fe_{34}(Cr_xCo_{1-x})_{66}$ в зависимости от содержания хрома в образцах. Было показано, что атомы хрома не являются простыми разбавителями.

В настоящей работе проводилось исследование магнитных состояний в сплаве Fe₃₄Cr₄₁Co₂₅ после термообработок в переменном магнитном поле напряженностью 500 Э и частотой 70 Гц.

Сплав приготовлялся методом электронно-лучевой плавки из компонент чистотой не хуже 99,9%. Гомогенизирующий отжиг слитка сплава проводился при температуре 1050°С в течение 96 ч в вакууме. Затем был проведен отжиг при 1200°С в атмосфере очищенного гелия в течение 2 ч с последующей резкой закалкой слитка в 10%-ный раствор поваренной соли. Это состояние сплава было принято в качестве исходного, поскольку затем проводились различные термические отжиги порошков сплава в переменном магнитном поле с целью изменения исходного магнитного состояния.

Магнитное состояние образцов сплава после отжигов исследовалось методом эффекта Мёссбауэра и по температурной зависимости намагниченности. Фазовые состояния исходного образца и образцов после различных термомагнитных обработок анализировались по дифрактограммам, снятым на установке УРС-50М. Мёссбауэровские спектры снимались на спектрометре, работающем в режиме постоянных ускорений с движущимся поглотителем. В качестве источника мёссбауэровских у-квантов использовался ⁵⁷Со на палладиевой подложке. Съемка температурной зависимости намагниченности различных образцов сплава проводилась на автоматическом магнитометре, работающем в динамическом режиме (магнитометр разработан в проблемной лаборатории магнетизма физического факультета МГУ).



Рис. 1. Мёссбауэровские спектры тройного сплава Fe₃₄Cr₄₁Co₂₅ после различных термообработок На рентгенограмме сплава в исходном состоянии присутствуют в основном рефлексы α -ОЦК-фазы. Мёссбауэровский спектр того же образца, снятый при комнатной температуре (рис. 1, кривая 1), представляет собой наложение монолинии и слабо разрешенных секстетов. Кривая температурной зависимости намагниченности (рис. 2, кривая 1) в исходном состоянии свидетельствует о сложной магнитной структуре, обусловленной наличием сегрегаций в сплаве. Исходя из этой кривой можно предположить, что высокотемпературный переход обусловлен существованием ферромагнитной фазы FeCo в сплаве с $T_c \approx$ $\approx 900^{\circ}$ С. По фазовой диаграмме магнитного перехода для системы FeCo [4] составу с 25 ат. % Со соответствует температура Кюри 960° С. Понижение T_c в нашем случае обусловлено частичным замещением в сплаве атомов Fe атомами Cr.

Наряду с указанной точкой Кюри (900° С) на температурной зависимости намагниченности выделяются широкий максимум намагниченности в области 500° С и область еще одного магнитного перехода с $T_c \approx 700^\circ$ С. Это свидетельствует о магнитной неоднородности сплава $Fe_{34}Cr_{41}Co_{25}$ в исходном состоянии. Поскольку рентгеновские исследо-



Рис. 2. Изменение удельной намагниченности σ сплава в зависимости от температуры

подтверждают вания структурную однородность сплава, магнитная неоднородность может быть обусловлена наличием в сплаве внутрифазовых сегрегаций (кластеров). Состав этих сегрегаций может варьироваться в широких пределах и значительно отличаться от среднего состава сплава. Наличие максимума на кривой намагниченности указывает на существование сегрегаций с преимущественным антиферромагнитным обменным взаимодействием, т. е. сегрегаций, обогащенных хромом. Некото-

рая доля их при комнатной температуре является парамагнитной, о чем свидетельствует интенсивная монолиния в центральной части мёссбауэровских спектров образцов.

При последующей термообработке исходного образца: отжиге до 610° С и охлаждении до комнатной температуры без магнитного поля — происходит переход из состояния с широким распределением эффективных полей на ядрах Fe в магнитно-упорядоченных кластерах к распределению полей p(H) с наиболее вероятной локальной конфигурацией атомов двух типов, как это следует из спектра (см. рис. 1, 2), причем функции распределения обеих конфигураций довольно близки. Увеличение средних магнитных моментов на атом сплава высокотемпературной (от 700 до 900° С) магнитной фазы, а также увеличение вероятности эффекта Мёссбауэра на ядрах ⁵⁷Fe говорят о том, что в ней растет магнитное упорядочение.

Другая термообработка исходного образца: разогрев в переменном магнитном поле до температуры 610° С (в течение 40 мин) и охлаждение до комнатной температуры без поля (в течение 50 мин) приводит к исчезновению горба на кривой температурной зависимости намагниченности (см. рис. 2, 3). По-видимому, это обусловлено исчезновением антиферромагнитных сегрегаций. Поведение кривой температурной зависимости намагниченности в области высоких температур свидетельствует также об относительном увеличении содержания высокотемпературной магнитной фазы по сравнению с исходным состоянием и состоянием после обработки без магнитного поля (см. рис. 2, 2). На мёссбауэровском спектре этого образца (см. рис. 1, 3) явно проявляются монолиния, соответствующая немагнитной фазе, и наложение двух секстетов, соответствующих наиболее вероятным магнитным конфигурациям с полями $H_1 = 350$ к \Im и $H_2 = 340$ к \Im .

Отжиг исходного образца в переменном магнитном поле с подъемом температуры до 610°С (в течение 40 мин) и охлаждение в том же поле до комнатной температуры (в течение 50 мин) привели к еще большему увеличению относительной доли ферромагнитных кластеров, что видно из температурного хода кривой намагниченности (см. рис. 2, 4). Сравнение этого состояния сплава с предыдущими указывает на сильное влияние охлаждения образца в магнитном поле от температуры 610°С до комнатной. На мёссбауэровском спектре (см. рис. 1, 4) заметно расщепление секстетов соответствующих магнитных фаз с $H_1 = 350$ кЭ и $H_2 = 325$ кЭ.

Таким образом, магнитное поведение сплава Fe₃₄Cr₄₁Co₂₅, закаленного с 1200° С, позволяет сделать вывод о том, что сплав расслаивается на антиферромагнитную, ферромагнитные и немагнитную фазы, обусловленные выделением внутрифазовых сегрегаций с наиболее вероятными конфигурациями локального атомного окружения, распределение относительной доли которых зависит в большей степени от характера термомагнитной обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Капеко Н. et al. IEEE Trans. Magn., 1972, 8, р. 347. [2] Винтойкин Е. З., Баркалая А. А., Беляцкая И. С. ФММ, 1978, 45, с. 990. [3] Антипов С. Д., Кондрашова Л. А., Стеценко П. Н. Вестн. Моск. ун-та. Сер. Физ. Астрон., 1982, 23, № 1, с. 20. [4] Хансен М., Андерко К. Структура двойных сплавов. М.: Металлургиздат, 1962.

Поступила в редакцию 28.06.82