

05

Радиационно-индуцированные превращения в сплавах Гейслера при высокодозном ионном облучении

© В.С. Хмелевская, Н.Ю. Богданов

Обнинский государственный технический университет атомной энергетики, Студгородок-1, Обнинск, Калужской области
E-mail: khmel@iate.obninsk.ru

Поступило в Редакцию 28 января 2008 г.

Исследованы сплавы Гейслера систем Cu–Mn–Al и Ni–Mn–Ga после облучения ионами Ag^+ с энергией 40 keV. В узком интервале радиационных параметров (температур мишени) обнаружено сильное изменение магнитных свойств. Одновременно существенно изменялась рентгеновская дифракционная картина облученных сплавов. Предыдущие исследования авторов позволяют сделать предположение, что наблюдаемые дифракционные эффекты есть следствие образования в исходной кристаллической решетке нанокластеров с симметрией, отличной от матрицы, что и приводит к изменению магнитных свойств сплавов.

PACS: 61.82.Bg

Сплавы Гейслера — это тройные интерметаллические соединения со стехиометрическим соотношением X_2YZ , где X и Y могут быть переходными элементами, а Z — *sp*-элементом. Ферромагнитные сплавы со структурой фазы Гейслера (тип $L2_1$), например, Cu_2MnAl , Ni_2MnGa , Fe_2VGa представляют собой типичный пример сильной зависимости характеристик магнитного упорядочения от локальных атомных конфигураций.

Как показывает технологическая практика, сплавы Гейслера обладают весьма перспективными свойствами для создания современных электромагнитных устройств, такими как термоупругое мартенситное превращение, обеспечивающее эффект памяти формы [1,2], гигантское магнитосопротивление [3].

Ранее в работах авторов было показано [4–6], что при высокодозном ионном облучении металлических материалов в результате локальной перестройки кристаллической решетки в окрестности радиационных

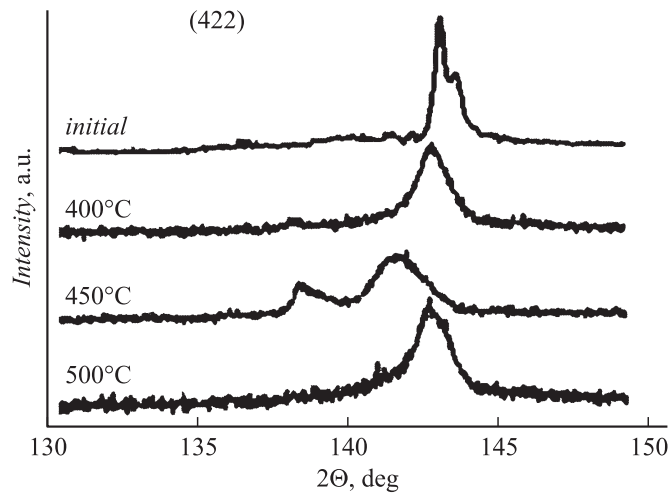


Рис. 1. Дифракционные линии (422) образцов сплава Cu–16Mn–8Al (фазы Гейслера) (CuK_α -излучение), облученных (Ar^+ , 40 keV) при различной температуре мишени.

точечных дефектов (вакансий) может происходить пространственное перераспределение атомов решетки, при этом образуются атомные группы и малые кластеры с симметрией, отличной от симметрии исходной матрицы. Тестовым признаком подобного превращения, методически наиболее удобным для экспериментального наблюдения, оказываются изменения рентгеновской дифракционной картины (изменение формы линий дифрактограммы, в частности их расщепление). Компьютерные эксперименты позволяют утверждать, что данные дифракционные изменения действительно являются результатом существования кластеров другой симметрии, интегрированных в матрицу [7].

Для описываемого превращения характерными являются следующие признаки:

- новое кластерное состояние возникает в интервале радиационных параметров (в частности в интервале температур мишени в процессе облучения);
- данное структурное состояние является неравновесным и разрушается в процессе пострadiационного отжига при температурах, не превосходящих температуры мишени при облучении;

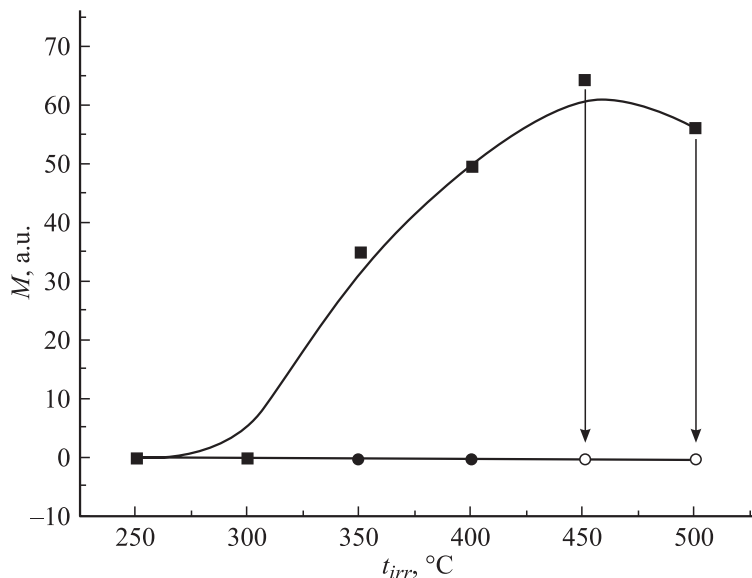


Рис. 2. Намагниченность облученного сплава Cu–16Mn–8Al при различной температуре облучения. Горизонтальная линия соответствует исходному уровню намагниченности. Стрелками показано уменьшение намагниченности сплава при пострадиационных отжигах.

— появление подобной кластерной структуры в металлических материалах приводит к аномально сильному изменению свойств материала, относящихся как к ионной, так и к электронной подсистемам металла.

Оказалось, что сходные эффекты наблюдаются также в сплавах со структурой фазы Гейслера — после ионного облучения в них зарегистрированы изменения свойств (намагниченности), при этом наблюдалось расщепление линий дифрактограммы, с которым связано возникновение кластерной структуры.

В данной работе объектом исследования являлись сплавы Cu_2MnAl и Ni_2MnGa . Образцы представляли собой ленты, полученные методом спиннингования, шириной 10 mm и толщиной 40 μm . Материалы облучались в ионном ускорителе ионами Ar^+ с энергией 40 keV при плотности тока 50 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ до дозы $1.5 \cdot 10^{18}$ ion/cm^2 при различных температурах мишени (200–600°C) в вакууме 10^{-6} Pa. Пострадиа-

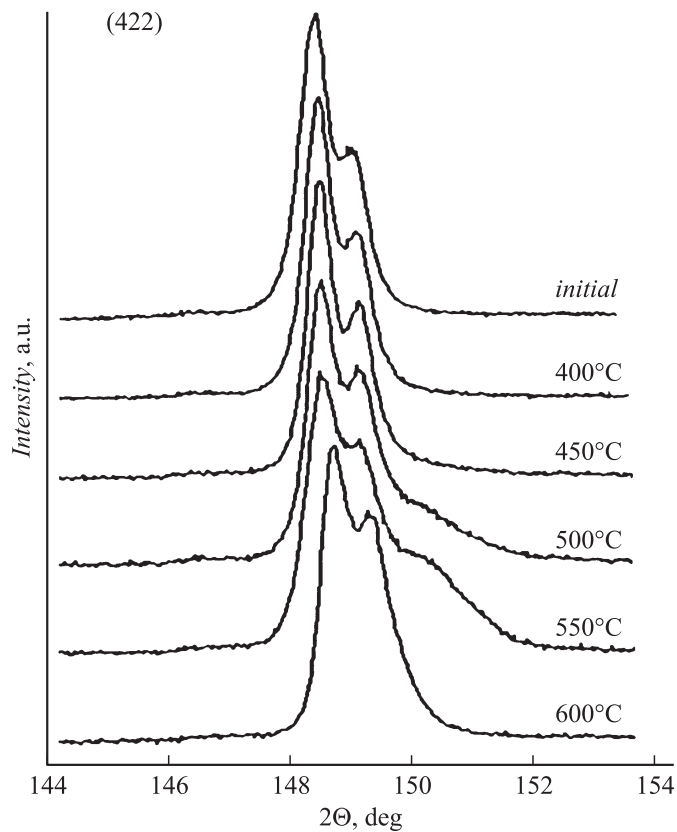


Рис. 3. Дифракционные линии (422) образцов Ni–25Mn–25Ga (фазы Гейслера) ($\text{CrK}\alpha$ -облучение), облученных (Ar^+ , 40 keV) при различной температуре мишени.

ционные отжиги проводились в вакууме 10^{-4} Па в течение 1 h (что соответствует времени облучения в ускорителе) при температурах, равных температурам облучения. Дифракционные измерения выполнены на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2.0 УМ в $\text{CrK}\alpha$ -излучении, измерение намагниченности образцов проводилось пондеромоторным методом.

Исходная структура исследованных сплавов по данным рентгеновской дифракции соответствует структуре $L2_1$. После облучения

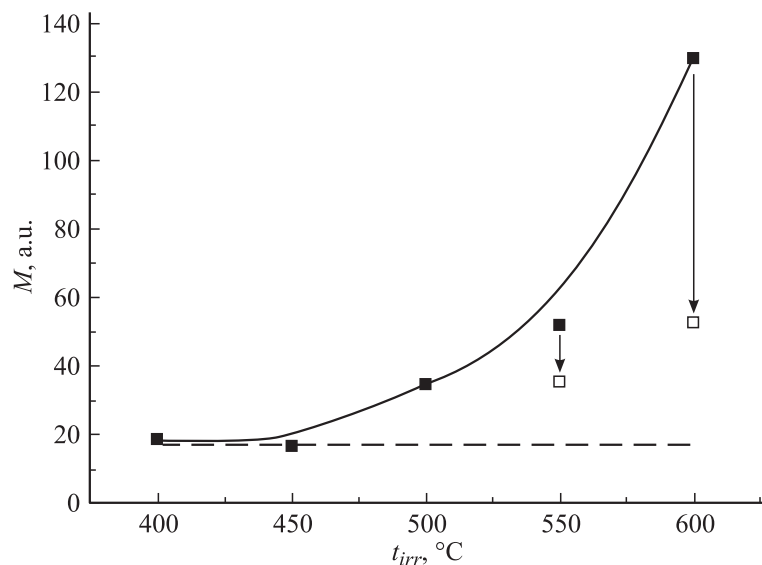


Рис. 4. Намагниченность облученного сплава Ni–25Mn–25Ga при различной температуре облучения. Горизонтальная линия соответствует исходному уровню намагниченности. Стрелками показано уменьшение намагниченности сплава Ni–25Mn–25Ga при пострадиационных отжигах.

сплава Cu–16Mn–8Al при различных температурах мишени оказалось, что в нем происходят некоторые изменения в определенном интервале температур, которые достигают максимума при температуре 450°C (рис. 1). При этой температуре дифракционная линия (422) оказывается раздвоенной. Одновременно сильно возрастает намагниченность сплава (рис. 2), также достигая максимума при 450°C. В процессе пострадиационного отжига описанные изменения исчезли (на рис. 2 изменения намагниченности при отжиге показаны стрелками).

Сплав Гейслера Ni₂MnGa в радиационном поле ведет себя сходным образом. И здесь в некотором интервале температур мишени форма линий на дифрактограмме изменяется (рис. 3). Видно, что и в этом случае регистрируются существенные изменения формы рентгеновской линии (422) — предположительно она раздваивается так же, как это

наблюдается в сплаве Cu–Mn–Al. Одновременно с возникновением дифракционных эффектов сильно увеличивается намагниченность (рис. 4).

Образовавшееся состояние материала является неравновесным и разрушается в процессе отжига при температуре, равной температуре мишени во время облучения.

Если предположить, что сходство регистрируемых дифракционных изменений и изменений свойств материала в сплавах Гейслера, с одной стороны, и в металлических твердых растворах, с другой стороны, указывает на сходство происходящих в материале процессов, то изменение намагниченности в сплавах Гейслера можно объяснить следующим образом. При образовании в матрице кластеров с симметрией, отличной от симметрии матрицы, возможно изменение расстояния между атомами с нескомпенсированным спином, что и является причиной изменения намагниченности.

Таким образом, по-видимому, при ионном облучении материалов до высоких доз формирование в кристаллической решетке кластеров с симметрией, отличной от симметрии, присущей исходной матрице, является достаточно универсальным эффектом, который может быть использован для получения новых свойств материала, недостижимых другими способами воздействия.

Работа поддержана грантами Российского фонда фундаментальных исследований 06-02-17535-а, 08-03-13535.

Список литературы

- [1] *Bouchard M., Thomas G.* // *Acta Metallurgica*. 1975. V. 23. P. 1485.
- [2] *Pushin V.G., Korolev A.V., Kourov N.I.* et al. // *Materials Science Forum*. 2006. V. 503–504. P. 545.
- [3] *Zhang M., Cui Y., Liu Z.* et al. // *Phys. Stat. Sol. (a)*. 2004. V. 201. N 7. P. 1570.
- [4] *Хмелевская В.С., Мальнкин В.Г., Накин А.В.* // *Металлофиз. Новейшие технол.* 2004. Т. 26. № 12. С. 1671–1681.
- [5] *Накин А.В., Хмелевская В.С.* // *Кристаллография*. 2006. Т. 51. № 2. С. 357–364.
- [6] *Khmelevskaya V.S., Kraposhin V.S., Malynkin V.G.* // *International Journal of Non-Equilibrium Processing*. 1998. V. 10. P. 323–331.
- [7] *Хмелевская В.С., Куликова Н.В., Накин А.В., Мальнкин В.Г.* // *Изв. вузов. Ядерная энергетика*. 1999. Приложение к № 2. С. 83–88.