УДК 538.9

СТРУКТУРА, МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА И ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАРТЕНСИТА ДЕФОРМАЦИИ В СПЛАВЕ $Fe_{86}Mn_{13}C$

Л.И. КВЕГЛИС[1], доктор физ.-мат.наук, профессор,
Ю.В. ПАНИЧКИН[2], Ю. А. ОРЛОВА[3],
В.А. БОНДАРЦЕВ[3], В.Е. СОКОЛОВСКИЙ[3],
М.Н. ВОЛОЧАЕВ[4]
([1]Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия,
[2]Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан,
[3]Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан,
***[4]Сибирский государственный аэрокосмический университет им. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия*)**

Статья поступила 2 сентября 2012 года

Орлова Ю. А. – 070020, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. 30-й Гвардейской дивизии, 34,
Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова,
orlova_ua87@mail.ru

Представлены трехмерные модели формирования структуры мартенсита деформации в сплаве $Fe_{86}Mn_{13}C$ в виде самоорганизации кластеров. Приведенные модели основаны на экспериментальных исследованиях структуры тонких пленок сплава и их свойств.

Ключевые слова: спинтроника, сталь Гадфильда, сплав $Fe_{86}Mn_{13}C$, кластеры, трехмерная модель.

В настоящее время развивающаяся наука спинтроника требует новых материалов, обладающих необходимыми параметрами, технологичностью получения и низким показателем экономических затрат. Поскольку сплав $Fe_{86}Mn_{13}C$ обладает набором уникальных электрических и магнитных свойств и является дешевым материалом, необходимость изучения этого сплава в массивном и пленочном состоянии как материала для спинтроники очевидна.

В работе предлагается модель структурообразования мартенсита деформации в виде самоорганизации кластеров. Модель основана на экспериментальных исследованиях структуры пленок и их свойств.

Сплав $Fe_{86}Mn_{13}C$, известный также как сталь Гадфильда (110Г13Л), представляет собой антиферромагнитный инвар. При ударной нагрузке в образцах появляется локальная намагниченность. Для выяснения причины такого поведения сплава исследовали структуру и магнитные свойства массивных образцов стали 110Г13Л, подвергнутых ударному нагружению, и тонкопленочных образцов, подвергнутых криомеханической обработке.

На рис. 1 приведено изображение поверхности массивного образца сплава $Fe_{86}Mn_{13}C$ после ударной нагрузки. Картина свидетельствует о возникновении новой фазы − мартенсита деформации. Эта фаза локализуется в полосах сдвиговой деформации зерен аустенита. Методом крутящих моментов показано наличие неоднородной магнитной структуры в таких образцах. На рис. 2 приведена зависимость крутящего момента от угла поворота магнитного поля напряженностью 8 кЭ для пластинок стали размером 10×5×0.1 мм. Из этой зависимости видно, что магнитная структура сплава неоднородна. Сплав

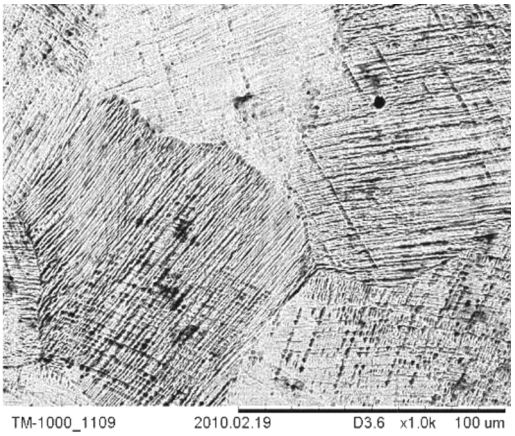


Рис. 1. Изображение поверхности деформированного массивного образца сплава $Fe_{86}Mn_{13}C$ в сканирующем электронном микроскопе

обладает магнитной вязкостью, т. е. зависимостью скорости намагничивания от времени.

Ранее в наших работах [1, 2] была исследована зависимость ЭДС от температуры в установке, схема которой представлена на рис. 3*а*. Из температурной зависимости термоЭДС (рис. 3*б*) видно, что эта величина может менять знак при изменении температуры. Магнитного поля к образцу приложено не было. Тем не менее знак термоЭДС менялся при достижении определенных температур как при нагревании, так и при охлаждении образца. Микроструктура такого образца представлена на рис. 1. Из рисунка видно, что полосчатая структура аустенит-мартенсит деформации пересекает каждое зерно, и полосы мартенсита деформации одного зерна переходят в полосы другого зерна.

Поскольку поиск новых материалов для спинтроники предполагает создание тонкопленочных образцов, то дальнейшая наша задача − исследовать структуру и свойства тонких пленок сплава $Fe_{86}Mn_{13}C$.

Пленки $Fe_{86}Mn_{13}C$ были получены методом термического вакуумного осаждения на установке ВУП-4 при давлении 10^{-5} мм рт. ст. на

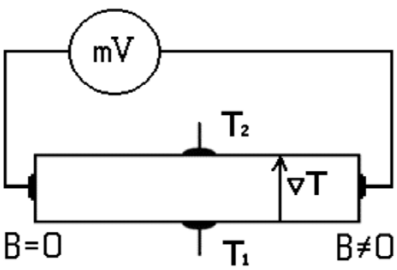


Рис. 3, а. Схема измерения термоЭДС

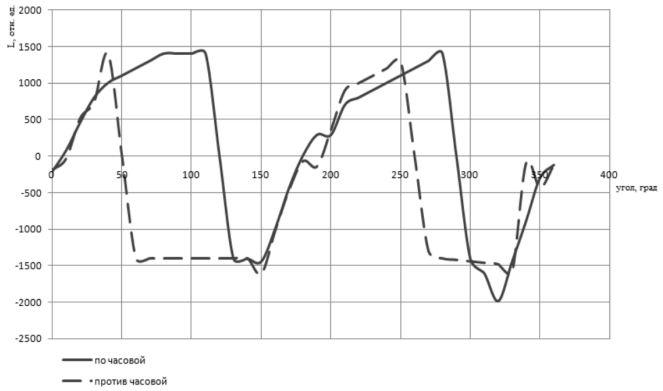


Рис. 2. Кривые крутящих моментов деформированного образца сплава $Fe_{86}Mn_{13}C$, иллюстрирующие неоднородность магнитной структуры

подложки из стекла и NaCl. Далее пленки отделяли от подложки и исследовали их структуру методом просвечивающей электронной микроскопии и микродифракции на приборах ПРЭМ – 200 и (JEM – 2100). Для изучения магнитных свойств пленок использовался метод крутящих моментов на магнитометре и индукционный метод построения петель гистерезиса с помощью феррометра. Исследовали пленки сплава $Fe_{86}Mn_{13}C$, обладающего неоднородной магнитной структурой. Неоднородность связана с неоднородностью кристаллической структуры пленок, в которых сосуществуют аустенит, имеющий антиферромагнитную структуру, и мартенсит деформации, обладающий ферримагнитным порядком. Мартенсит деформации возникал в пленках под воздействием криомеханической обработки. Обработка заключалась в циклическом охлаждении пленки до температуры жидкого азота и последующем ее нагревании до комнатной температуры.

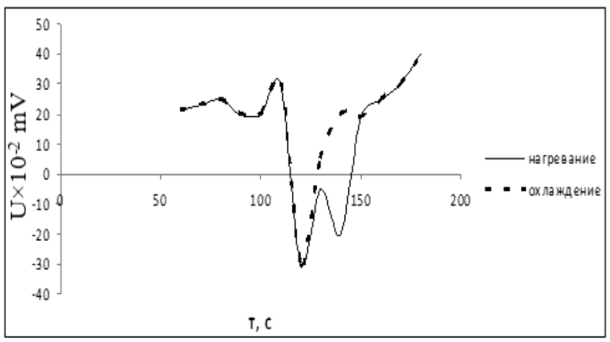


Рис. 3, б. Зависимость термоЭДС при нагревании и охлаждении образца сплава $Fe_{86}Mn_{13}C$

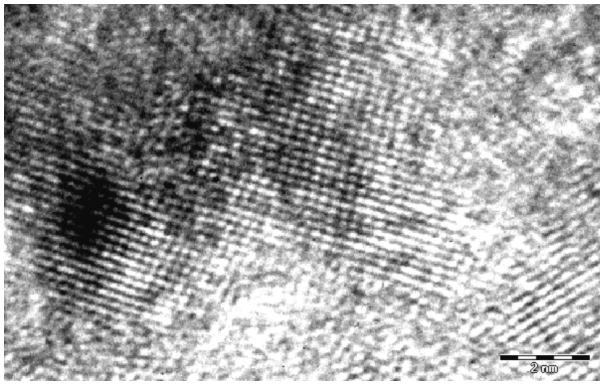


Рис. 4. Изображение в высокоразрешающем электронном микроскопе кластерной структуры пленки сплава $Fe_{86}Mn_{13}C$

На рис. 4 представлено электронно-микроскопическое изображение высокого разрешения пленки $Fe_{86}Mn_{13}C$. Мы видим когерентную связь соседних кластеров. Каждая атомная плоскость одного кластера переходит в атомную плоскость другого кластера. Таким образом, отдельные кластеры соединяются в кластерные агрегаты и формируют пленку в целом.

В левой части рис. 4 видна темная область. При фокусировке пучка электронов на темную область в течение несколько секунд в ней формируется полосчатый контраст. Такой контраст сложно интерпретировать как муаровый узор [4], поскольку размер области невелик. Кроме того, темный цвет создается не перепадом амплитуды, а как фазовый контраст, поскольку электронный пучок отклоняется магнитным полем кластера. В результате формируется темная область из-за недостатка электронов. Избыток электронов формирует светлые области. Полосатая структура представляет собой смесь мартенсита деформации и аустенита, который возникает при нагревании участка электронами. Здесь магнитная мартенситная фаза остается темной, аустенитная фаза светлеет.

Игольчатая форма мартенсита деформации была обнаружена нами в изломах деформированных массивных образцов. На рис. 5*а* представлена поверхность излома образца сплава $Fe_{86}Mn_{13}C$, подвергнутого ударной нагрузке в маятниковом копре. Исследование проведено с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM – 6390VL. В полости кратера излома обнаружена фаза распространяющегося мартенсита деформации в виде длинных иголок, расположенных под фиксированным углом, «выступающих» из основной матрицы. Это говорит о большей, чем основная матрица, прочности игл. Такие иглы можно наблюдать только в образцах, подверженных ударной нагрузке [5].

Мартенсит деформации, полученный в результате ударных механических воздействий, может составлять значительную часть объема материала и иметь, наряду с известными фазами, структуру Франка − Каспера [6, 7]. В связи с этим нами сделана попытка компьютерного моделирования возможных структур мартенсита деформации как для массивных, так и для пленочных образцов сплава $Fe_{86}Mn_{13}C$. Использование пакетов для моделирования трехмерной графики, таких как 3dsMax, основанных на объектно-ориентированном пользовательском интерфейсе, позволяет осуществлять моделирование сложных объемных структур и решать обратную задачу − нахождение координат по уже построенным точкам моделей или объектов.

При моделировании использовалось трехмерное Евклидово пространство с Декартовой системой координат. Использование вложенных в базу пакета моделирования геометрических

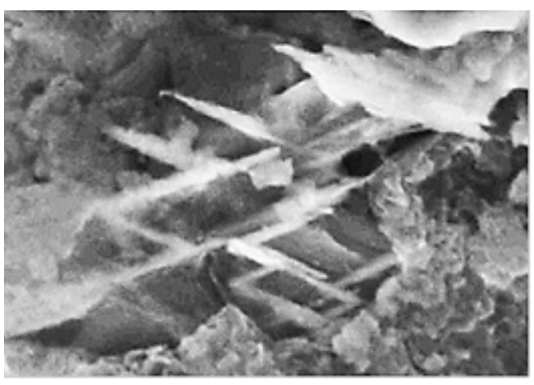


Рис. 5а. Микрофотография поверхности излома образца сплава $Fe_{86}Mn_{13}C$

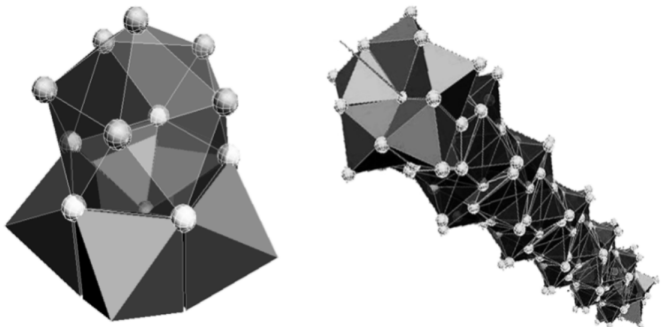


Рис. 5б. Трехмерная модель стержней прорастания: часть стержня прорастания – комбинация икосаэдра (ФК 12) и пяти октаэдров (слева), стержень прорастания, полученный комбинацией икосаэдра (ФК 12) и октаэдров (справа)

фигур дает возможность сохранения правильных пропорций и углов между гранями моделей, получаемых сочетанием из этих фигур.

На рис. 5*б* приведена структура одной из созданных трехмерных моделей – стержня прорастания. Трехмерная модель стержней прорастания представляет собой комбинацию икосаэдра (ФК-12) и пяти октаэдров, образующих пентагональную «чашу». Так была построена модель формирования игл мартенсита деформации в массивных образцах. Модель была построена на данных рентгеноструктурного анализа, полученных от массивных образцов сплава $Fe_{86}Mn_{13}C$.

Выводы

1. Сделана попытка компьютерного моделирования возможных структур мартенсита деформации как для массивных, так и для пленочных образцов сплава $Fe_{86}Mn_{13}C$.

2. Моделирование структур Франка − Каспера позволяет понять природу структурообразования в межзеренных границах массивных образцов сплава $Fe_{86}Mn_{13}C$ при ударном нагружении.

3. Сочетание структуры антиферромагнитного аустенита и ферримагнитного мартенсита деформации создают уникальные электрические и магнитные свойства сплава $Fe_{86}Mn_{13}C$ как в массивном, так и в пленочном состоянии.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории «ІРГЕТАС» Восточно-Казахстанского технического университета и заводской лаборатории АО «Востокмашзавод» за помощь в выполнении работы.

Список литературы

1. *Kveglis L.I., Abylkalykova R.B., Semchenko V.V., Volochaev M.N.* The variable thermoelectric Effect in magnetic viscosity Alloy Fe86Mn13C VII International Conference on Mechanochemistry and Mechanical Alloying INCOME 2011, August 31-September 3, 2011, Herceg Novi.

2. *Panichkin U., Abylkalykova R., Kveglis B.L., Semchenko V.* «The Sign-alternating Thermoelectric Effect in Magnetic Viscosity Alloy Fe86Mn13C» Scientific Israel- Technological Advantages" V.12, № 3, 2010, P. 30–35.

3. *Орлова Ю.А., Нявро А.В., Квеглис Л.И.* Электронная структура сплава железо-марганец, подверженного пластической деформации // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сб. трудов III Международной науч.-практ. конф. с элементами научной школы для молодых ученых: в 2 т. / Юргинский технологический институт. − Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2012. − Т. 1. − 362 с.

4. *Hirsch P., Howie A., Nicholson, R., J. Peschl, M.* Whelan, Electron Microscopy of thin crystals. / / Per. from English. - Springer-Verlag, 1968, 562 p.

5. *Темкин Д.Е.* О скорости роста кристаллической иглы в переохлажденном расплаве // Доклады АН СССР. 1960, 132, 6, 1307–1310.

6. *Sidhom H., Portier R*. An icosaedral phase in annealed austenitic stainless steel? // Philosophical Magazine Letters. – 1989. – V. 59. – №. 3. – P. 131–139.

7. The local electron structure and magnetization in β-Fe86Mn13C / L.I. Kveglis, F.M. Noskov, A.V. Arhipkin, V.A. Musikhin, V.N. Cherepanov, A.V. Niavro// Superlattices and Microstructures 46 (2009) 114–120.

Structure, magnetic properties, and three-dimensional modeling deformation martensite in alloy Fe86Mn13C

L.I. Kveglis, Y.V. Panichkin, Y.A. Orlova, V.A. Bondartsev, V.E. Sokolovsky, M.N. Volochaev

The paper presents three-dimensional models of structure formation of martensite deformation in the alloy in the form of self-organization $Fe_{86}Mn_{13}C$ clusters. These models are based on experimental studies of the structure and properties of thin films of the alloy.

Key words: spintronics, Hadfield steel, alloy $Fe_{86}Mn_{13}C$, clusters, three-dimensional model.