

лить варианты ЛИМ с низкими показателями эффективности при одинаковых исходных условиях и обосновать бесперспективность модификации подобных технических решений.

3. Для одного из перспективных решений на основании расчетов проведен выбор конструкции и схемы включения индуктора и получены положительные результаты для конкретных условий эксплуатации.

4. Показано, что при равной линейной токовой нагрузке выгоднее использовать конструкцию ЛИМ-3 с включением по схеме АУС. При этом есть возможность существенно снизить плотность тока в проводнике и тем самым повысить надежность.

5. В результате исследования получен комплекс качественных и количественных критериев для построения алгоритма оптимального выбора конструктивного исполнения ЛИМ и параметров питания.

Библиографические ссылки

1. Вольдек А. И. Индукционные МГД-машины с жидкометаллическим рабочим телом. Л. : Энергия, 1970.
2. Ямамура С. Теория линейных асинхронных двигателей. Л. : Энергоатомиздат. 1983.
3. Математическое моделирование плоской линейной индукционной машины с увеличенным рабочим зазором / Е. А. Головенко, М. В. Первухин, В. Ю. Неверов и др. // Вестник Воронежского гос. техн. ун-та. 2010. Т. 6. № 10. С. 21–25.
4. Неверов В. Ю., Ковальский В. В., Михайлов К. А. Оптимизация параметров плоской линейной индукционной машины с жидкометаллическим рабочим телом // Радиотехника, электротехника и энергетика : материалы XV ежегодной междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. МЭИ. Москва, 2009. С. 165–166.

© Головенко Е. А., Горемыкин В. А., Кинев Е. С., Гудков И. С., Бежитский С. С., 2013

УДК 539.21

КЛАСТЕРНАЯ МОДЕЛЬ МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СПЛАВЕ $Fe_{86}Mn_{13}C$

Л. И. Квеглис¹, В. С. Жигалов², М. Н. Волочаев², А. В. Джес¹

¹Сибирский федеральный университет

Россия, 660074, Красноярск, ул. Киренского, 26. E-mail: kveglis@list.ru

²Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева

Россия, 660014, г. Красноярск, пр. имени газеты «Красноярский рабочий», 31. E-mail: zhigalov@iph.krasn.ru

Сплав $Fe_{86}Mn_{13}C$ обладает уникальными механическими, электрическими и магнитными свойствами благодаря особой модулированной структуре. Благодаря сочетанию свойств проводится изучение тонких пленок $Fe_{86}Mn_{13}C$ как возможного материала для задач спинтроники. В работе представлены результаты расшифровки картин дифракции электронов, полученные от пленок сплава $Fe_{86}Mn_{13}C$, подвергнутых криомеханической обработке. Показано, что мартенсит деформации, обнаруженный в пленках, имеет аналогичную структуру, характерную для сплава $Fe_{86}Mn_{13}C$. Предлагается модель структурообразования мартенсита деформации в виде самоорганизации кластеров при переходе ГЦК-ОЦК структур под воздействием криомеханической обработки. Неоднородная кластерная структура обуславливает эффекты магнитного последдействия в исследуемых материалах.

Ключевые слова: мартенсит деформации, кластерная структура, магнитная вязкость.

CLUSTER MODEL OF MARTENSITIC TRANSFORMATIONS IN THE ALLOY $Fe_{86}Mn_{13}C$

L. I. Kveglis¹, V. S. Zhigalov², M. N. Volochaev², A. V. Dzhes¹

¹Siberian Federal University

26 Kirenskiy street, Krasnoyarsk, 660074, Russia. E-mail: kveglis@list.ru

²Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev

31 "Krasnoyarskiy Rabochiy" prospect, Krasnoyarsk, 660014, Russia. E-mail: zhigalov@iph.krasn.ru

$Fe_{86}Mn_{13}C$ alloy has unique mechanical, electrical and magnetic properties due to the special modulated structure. Due to the combination of these properties in thin films, we study $Fe_{86}Mn_{13}C$ as a possible material for spintronics problems. The results of electron diffraction patterns transcripts obtained from the alloy films $Fe_{86}Mn_{13}C$ are presented in the article. The films were cryomechanically processed. The authors show that deformation martensites observed in the films has structure characteristics similar to the characteristics of alloy $Fe_{86}Mn_{13}C$. The authors offer a model of structure formation of deformation martensites in the form of self-organization of clusters in the transition of FCC-BCC structures under the influence of criomechanical processing. The inhomogeneous structure of the cluster causes the effects of magnetic aftereffect in the investigated materials.

Keywords: deformation martensite, cluster structure, magnetic viscosity.

Известно, что перемещения атомов при мартенситных превращениях в сплавах могут проходить по нескольким схемам [1; 2]. В этом случае кристаллическая решетка исходной фазы когерентно переходит в решетку конечного продукта как при прямом, так и при обратном превращении. Основные схемы ориентационных соотношений исходной и конечной фаз при мартенситных превращениях представлены в работах [1; 2]. В нашей работе предлагается кластерная модель структурной перестройки при мартенситных превращениях на примере сплава $\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{13}\text{C}$, которая позволяет получить практически все представленные авторами указанных работ ориентационные соотношения.

Для исследования мартенситных превращений нами использованы пленки сплава $\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{13}\text{C}$. В сплаве такого состава нами ранее обнаружен знакопеременный термоэлектрический эффект [3].

Пленки $\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{13}\text{C}$ были получены методом термического вакуумного осаждения на установке ВУП-4 при давлении 10^{-5} мм рт. ст. на 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.

Картина микродифракции электронов, полученная с пленки сплава $\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{13}\text{C}$, приведена на рис. 1. Из расшифровки следует, что в пленке содержатся мелкодисперсные кристаллиты аустенитной и мартенситной фаз. С помощью двух плоских сеток нами проведена индексация фаз и установлены ориентационные соотношения кристаллитов аустенита и мартенсита.

Треугольная сетка соответствует ориентации ГЦК-фазы аустенита осью зоны [110], квадратная сетка соответствует ориентации ОЦК-фазы мартенсита осью зоны [001]. Соответствующие плоскости совпадают с плоскостью чертежа, как это показано на рис. 1, б. При этом направление [022] ГЦК-решетки параллельно направлению [020] ОЦК-решетки.

Подобная картина представлена в работе [2]. Авторами этой работы исследованы утоненные образцы

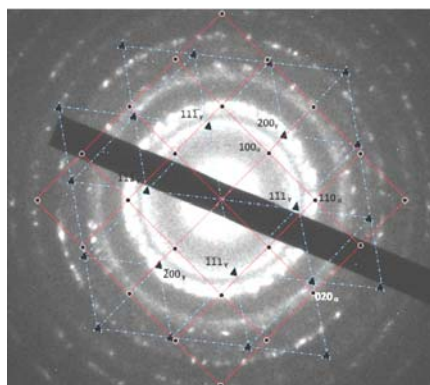
массивного сплава $\text{Fe}_{21,7}\text{Mn}_{14,5}\text{Al}$. Ими обнаружена когерентно связанная аустенитно-мартенситная смесь фаз. В этой же работе представлена таблица известных ориентационных соотношений когерентно связанных кристаллитов аустенита и мартенсита.

Полученные нами и авторами [2] ориентационные соотношения мы предлагаем рассмотреть с позиции кластерного структурообразования. Такой подход позволяет получить практически все известные ориентационные соотношения при мартенситных превращениях кубических фаз.

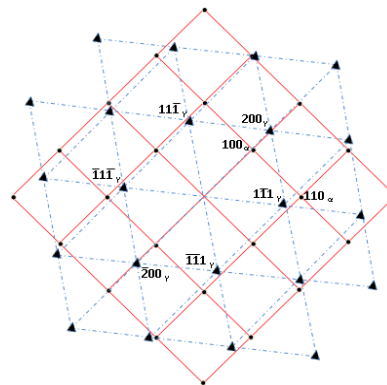
На электроннограмме (рис. 1, а) присутствует дифракционное кольцо, соответствующее плоскости (100) ОЦК-решетки. В этом случае рефлекс (100) является сверхструктурным, а параметр элементарной ячейки такой ОЦК-решетки будет удвоенным относительно известной ОЦК-решетки для сплавов на основе α -железа.

Трехмерные компьютерные модели атомной структуры когерентно связанных фаз показаны на рис. 2. Сборка из двух тетраэдров и одного октаэдра, которая соответствует структурному модулю ГЦК-решетки (рис. 2, а) [4]. Такой модуль фактически является элементарной ячейкой ГЦК-решетки. На рис. 2, б показано сечение модуля ГЦК-решетки плоскостью (110). Такое сечение состоит из четырех одинаковых равнобедренных треугольников. Два равнобедренных треугольника являются сечением октаэдра плоскостью (110) и два – сечениями двух тетраэдров плоскостью (110). Такими треугольниками сформирована треугольная сетка, показанная на рис. 1, б.

Ромбический икосаэдр, составленный из тетраэдрических симплексов ОЦК-решетки, полученных сечением кубической решетки плоскостями типа (110), представлен на рис. 2, в [4]. Фрагмент данной сборки может быть совмещен с ребром октаэдра ГЦК модуля, как это показано на рис. 2, г. При этом половина сборки относится к ГЦК модулю, а другая половина является фрагментом ОЦК-решетки. Стрелками показано возможное переключение химических связей при образовании мартенсита деформации.



а



б

Рис. 1. Картина микродифракции электронов, полученная от пленки сплава $\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{13}\text{C}$ (а) и схема ее расшифровки (б)

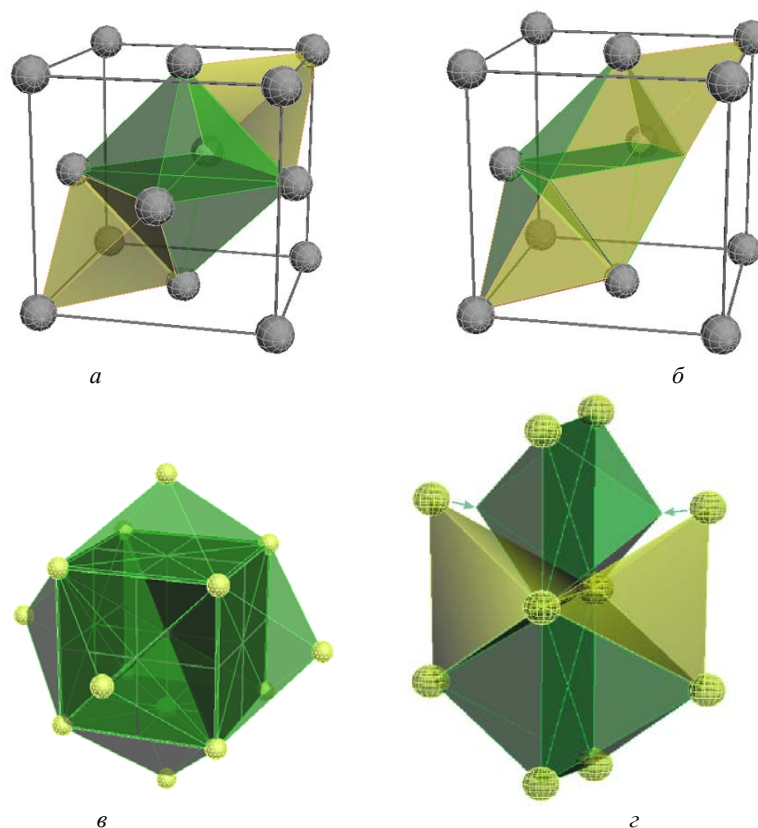


Рис. 2. Компьютерные модели трехмерных кластеров, сделанные в среде 3ds Max

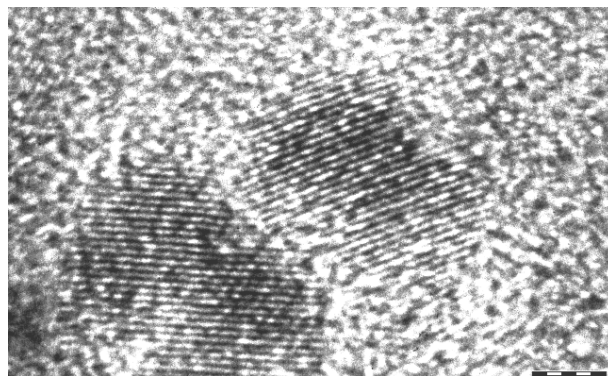
Трехмерное представление ориентационного соотношения ГЦК- и ОЦК-решеток совпадает с экспериментом, показанным на рис. 1, б. Небольшое рассогласование при наложении треугольных и квадратных сеток обусловлено переключением химических связей ГЦК-ОЦК при наложении треугольных граней ГЦК-тетраэдра и ОЦК-сборки (рис. 2, г). Это согласуется с положениями, высказанными в работах [4; 5]. Удвоение периода ОЦК-решетки является результатом такого переключения химических связей, которое, в свою очередь, инициируется механическим воздействием на кристаллическую решетку аустенита при криомеханической обработке.

Предложенная модель хорошо описывает все известные схемы ориентационных соотношений: Курдюмова–Закса, Питча и т. д. [1; 2]. Поскольку при детальном рассмотрении ряда векторов в ГЦК и ОЦК решетках мы можем обнаружить их совпадения в пределах четырех межатомных расстояний. Например вектор $[111]$ ГЦК-решетки может быть параллелен вектору $[110]$ ОЦК-решетки, или вектор $[110]$ ГЦК-решетки параллелен вектору $[001]$ ОЦК-решетки.

Предложенная трехмерная модель ориентационных соотношений позволяет объяснить переход коллектива из нескольких тысяч атомов из одной фазы в другую путем кооперативных сдвигов и поворотов. При этом повороты могут осуществляться в различных направлениях.

На рис. 3 представлено электронно-микроскопическое изображение пленки $\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{13}\text{C}$ высокого разрешения. Мы видим когерентную связь двух соседних

кластеров. Каждая атомная плоскость одного кластера переходит в атомную плоскость другого кластера под некоторым фиксированным углом.

Рис. 3. Изображение в высокоразрешающем электронном микроскопе кластерной структуры пленки сплава $\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{13}\text{C}$

Таким образом, отдельные кластеры соединяются в кластерные агрегаты и формируют пленку в целом.

На когерентную связь отдельных структурных элементов пленки указывает свойство магнитной анизотропии. На рис. 4 показана кривая крутящих моментов, снятая в крутильном магнитометре с чувствительностью $3,76 \cdot 10^{-4}$ Дж в поле с напряженностью 1 кЭ. Кривые крутящих моментов свидетельствуют о том, что намагниченность пленки имеет ярко выраженную анизотропию. Кроме того имеется ярко выраженный анизотропный гистерезис.

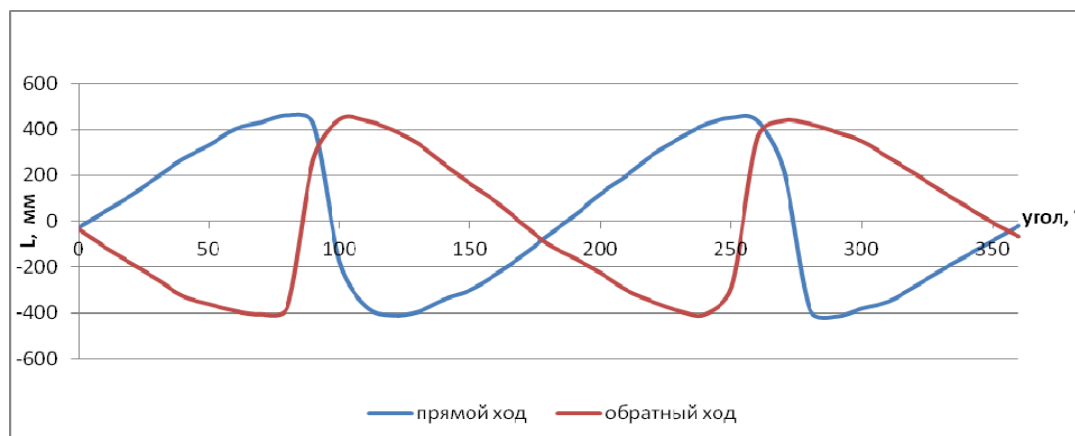


Рис. 4. Кривые крутящих моментов, полученные от пленок $\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{13}\text{C}$ в крутильном магнитометре

Таким образом, исследованы структура и магнитные свойства пленок $\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{13}\text{C}$, обнаружена когерентная связь аустенитно-мартенситной структуры, предложена трехмерная кластерная модель мартенситного превращения, описывающая известные ориентационные соотношения фаз при мартенситных переходах.

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

Библиографические ссылки

1. Утевский Л. М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. М.: Металлургия, 1973.
2. Yifeng Liao, Fanling Meng, Ian Baker. L12 precipitates within L21 ordered Fe-21.7Mn-14.5Al // Philosophical Magazine. Vol. 91, Iss. 27, 2011

3. 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.

4. Бульёвков Н. А., Тытик Д. Л. Модульный дизайн икосаэдрических металлических кластеров // Известия РАН (Сер. Химия), 2001. № 1. С. 1.

5. Кузьмин В. И., Гадзаев А. Ф., Тытик Д. Л., Белашенко Д. К., Сиренко А. Н. Методы разделения быстрых и медленных движений атомов как основа анализа динамической структуры наночастиц // Российские нанотехнологии, 2010. Т. 5. № 11-12. С. 92-97.

© Квеглис Л. И., Жигалов В. С., Волочаев М. Н., Джес А. В., 2013

UDC 669.715^621.789

IMPROVEMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF BOAT-TYPE SCREWS OF ALUMINIUM-SILICON ALLOY AK12 WITH THE HELP OF THERMAL-CYCLE PROCESSING

G. G. Krushenko

Institute of Computational Modeling of Siberian Branch of RAS
ICM SB RAS Akademgorodok, 660036, Krasnoyarsk, Russia
Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31 "Krasnoyarskiy Rabochiy" prospect, Krasnoyarsk, 660014, Russia. E-mail: genry@icm.krasn.ru

The use of thermal-cycle processing improves the mechanical properties of boat screws of aluminium-silicon alloy AK12.

Keywords: thermal-cycle processing, mechanical properties, boat-type screw, aluminium-silicon alloy AK12.

ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛОДОЧНОГО ВИНТА ИЗ АЛЮМИНИЕВО-КРЕМНИЕВОГО СПЛАВА АК12 С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Г. Г. Крушенко

Институт вычислительного моделирования СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50, стр. 44
Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31. E-mail: genry@icm.krasn.ru