

УДК 669.295: 539.219.1

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ В СПЛАВАХ Zr - Fe⁵⁷ - М (М=V, Cr, Nb, Mo, Cu, Ta)

В.Г. Кириченко, А.И. Кирдин

*Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина,
Институт высоких технологий, физико-технический факультет,
пр. Курчатова, 31, 61108, г. Харьков. E-mail: kirdin@pht.univer.kharkov.ua*
Поступила в редакцию 25 февраля 2006 г.

С помощью мессбауэровской спектроскопии на ядрах Fe⁵⁷ и рентгеноспектрального анализа проведено исследование структуры и фазового состава интерметаллических фаз в двойных (Zr-0,31вес.%Fe, Zr-0,63вес.%Fe) и тройных Zr-0,31вес.%Fe -M (M= 0,28вес.%V; 0,3вес.%Cr; 0,5вес.%Mo; 0,5вес.%Nb; 1вес.%Ta; 0,3вес.%Cu) сплавах на основе йодидного циркония в исходном деформированном и отожженном состояниях. В деформированном состоянии обнаружена композиционная неоднородность включений интерметаллических фаз, которые состоят из двух фаз различной структуры. При термическом отжиге в диапазоне температур 570 – 1070К во всех сплавах (кроме Zr-0,31вес.%Fe-0,28вес.%V) проявляются сегрегационные эффекты, заключающиеся в повышении концентрации железосодержащих интерметаллидов в поверхностном слое, вследствие высокой подвижности нанокристаллических частиц включений в сплавах. На основе экспериментальных данных для систем Zr-Fe-M (M – переходной металл) обнаружена корреляция между параметрами сверхтонких взаимодействий (изомерный сдвиг и квадрупольное расщепление) и коэффициентом обогащения поверхностного слоя атомами Fe⁵⁷, с одной стороны, и электротрицательностью М, с другой стороны.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сплавы циркония, интерметаллические включения, сверхтонкие взаимодействия, сегрегация.

Особое место в ядерной энергетике и ядерной промышленности занимает проблема создания и модернизации конструкционных материалов для активной зоны ядерных реакторов. К конструкционным материалам активной зоны ядерных реакторов относятся прежде всего циркониевые сплавы. Циркониевые сплавы с различными легирующими добавками (например используемые в Украине и России сплавы Zr-1вес.%Nb и Zr-2,5вес.%Nb) обладают высокими механическими и прочностными характеристиками, и высокой коррозионной стойкостью при эксплуатации в диапазоне температур 570-590К в воде высоких параметров и в условиях интенсивного нейтронного облучения [1]. Использование сплавов на основе циркония будет продолжаться и в новых типах реакторов при повышенных температурах эксплуатации тепловыделяющих элементов с целью увеличения степени выгорания ядерного топлива. Кроме того, необходимо увеличение длительности эксплуатации циркониевых оболочек в маневренных условиях реакторной кампании. Создание перспективных циркониевых сплавов основано на поиске оптимальных комбинаций и концентраций добавок элементов для комплексного легирования циркония, а также разработке режимов термомеханической обработки, оптимизирующих физико-механические свойства сплавов. Кроме того, перспективным направлением является разработка сплавов на основе кальцийтермического циркония [1]. Вследствие малой растворимости легирующих добавок при легировании циркония в металлической матрице сплавов образуются нанокристаллические выделения интерметаллических фаз сложного состава (размером 10-100 нм). При этом формируется микроструктура сплава с выделениями твердых нанокристаллических частиц в металлической матрице [2]. Одним из ядерно-физических методов анализа фазового состава циркониевых сплавов является мессбауэровская спектроскопия на ядрах Fe⁵⁷. Метод ядерной гамма-резонансной спектроскопии на ядрах ⁵⁷Fe и ¹¹⁹Sn обладает высокой чувствительностью (10¹⁴ ат/см³) и высоким энергетическим разрешением и эффективно применяется в геометриях пропускания и рассеяния для информативного и локального исследования электронных и магнитных свойств, динамики решетки, фазовых превращений и фазового состава в железо- и оловосодержащих материалах, как в объеме, так и в приповерхностных слоях глубиной до 0,1 мкм. Ранее нами сообщалось об идентификации железосодержащих фаз в двойных и тройных сплавах циркония [3-4].

В связи с этим актуальна задача проведения исследования особенностей влияния легирующих добавок на образование фаз и фазовые превращения в сплавах циркония с добавками железа, в которых формируется набор включений интерметаллических фаз, эффективно модифицирующих микроструктуру сплавов. Данное исследование целесообразно проводить с применением мессбауэровской спектроскопии, рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализа.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Сплавы Zr- 0,31вес.%Fe, Zr-0,63вес.%Fe и Zr-0,31вес.%Fe-M (M = 0,28вес.%V; 0,3вес.%Cr; 0,5вес.%Mo; 0,5вес.%Nb; 1вес.%Ta; 0,3 вес.%Cu) на основе йодидного циркония были приготовлены методом электроннолучевой плавки в вакууме. Добавки железа обогащены стабильным изотопом Fe⁵⁷ до 85%. Схема термомеханической обработки (ТМО) приведена в [5]. ТМО включала набор гомогенизирующих отжигов и ряда этапов пластической холодной деформации прокаткой с финишным отжигом (970К, 3ч).

Рентгеноструктурный анализ с использованием установки ДРОН-3,0 показал, что на всех этапах ТМО сплавов металл матрицы представлен только α -фазой Zr. Параметры a и c определяли методом графической экстраполяции и расчета. Для хорошо отожженных образцов точность в определении параметра c составляла $5 \cdot 10^{-4}$ Å, параметра a - $7 \cdot 10^{-4}$ Å. По полуширине дифракционных максимумов была оценена плотность дислокаций в циркониевой матрице.

Идентификацию железосодержащих фаз производили с помощью мессбауэровской спектроскопии на ядрах ^{57}Fe в геометрии поглощения и в геометрии обратного рассеяния при регистрации электронов внутренней конверсии (МСКЭ). Образцы и источник γ -квантов ^{57}Co в матрице Сг находились при комнатной температуре. Использовали программу анализа экспериментальных спектров рассеяния (DISTRIBUTION P(QS), P(IS) - DISTR1), позволяющую получать функции распределения $P(QS)$ и $P(IS)$, а также значения интенсивностей линий и ширины линий. Оценка размеров выделений и средних расстояний между ними проводилась с помощью электронного микроскопа ЭМ-200. Рентгеноспектральный анализ поверхности сплавов циркония производили на спектрометре "Сamebax MBX 268".

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В данной работе для выявления общих закономерностей формирования интерметаллических фаз в сплавах, а также фазовых превращений при ТМО, использовали набор легирующих добавок, включающий в себя $3d$ -переходные металлы: V, Cr и Fe, переходные $4d$ -металлы: Nb и Mo; и, наконец, Ta, относящийся к $5d$ -периоду. Типичные мессбауэровские спектры представлены на рис.1. Спектры поглощения на ядрах ^{57}Fe являются уширенными дублетами. Ранее нами в работе [2] была произведена идентификация железосодержащих фаз в тройных сплавах циркония. Обработка спектров заключалась в разложении их на два дублета. Дублеты с большей величиной квадрупольного расщепления были отнесены к фазам $(\text{Zr}_{1-x}\text{M}_x)_2\text{Fe}$ (1), дублеты с меньшими значениями расщепления - к фазам $(\text{Zr}_x\text{M}_{1-x})\text{Fe}_2$ (2) в тройных сплавах с $\text{M} = \text{Nb}, \text{Ta}, \text{Mo}, \text{Cu}$. В сплаве Zr-Fe-V выпадает одна фаза $\text{Zr}(\text{V}_{1-x}\text{Fe}_x)_2$. При отжиге (изохронном и изотермическом в диапазоне температур $T=573-1073\text{K}$ и диапазоне времен - 0,4-30 ч), протекает фазовое превращение $1 \rightarrow 2$, о чем свидетельствует падение интенсивности линий 1 дублета с ростом температуры, а интенсивность линий другого при этом возрастает (рис.2.).

По рентгеновским данным для йодидного циркония (отжиг при $T=770\text{K}$ в течение 15 часов) получили значения параметров решетки $a=3,2291\text{Å}$ и $c=5,1463\text{Å}$ и $c/a=1,5937$.

Отношение параметров решетки c/a металлической фазы сплавов до отжига меньше, чем чистого α -Zr. С отжигом величина c/a начинает расти, достигая значение, характерное для йодидного циркония. При этом наблюдается сужение рентгеновских линий. Более высокие значения полуширин для деформированных образцов сплавов по сравнению с йодидным цирконием обусловлены упрочнением сплавов включениями.

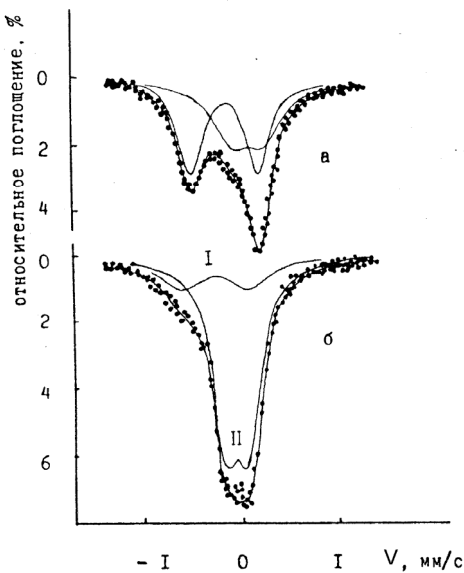


Рис.1. Типичные спектры поглощения сплавов Zr-0,31вес.%Fe-M для случая $\text{M}=0,5\text{вес.}\% \text{Nb}$ (а) после деформации, (б) после отжига при 970K в течение 15 ч.

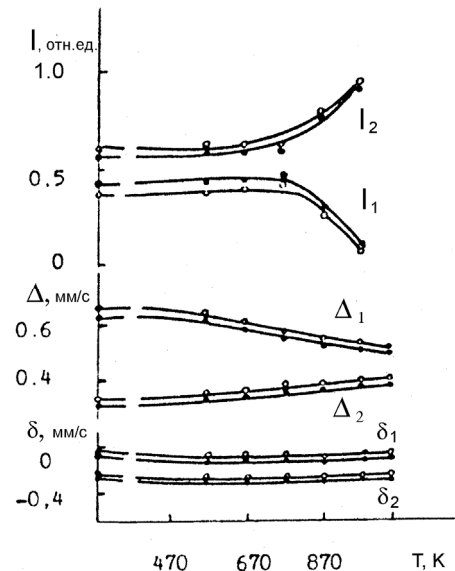


Рис.2. Зависимости параметров спектров сплавов Zr-0,31вес.%Fe-M ($\text{M}=0,5\text{вес.}\% \text{Mo}; 1\text{вес.}\% \text{Ta}$) от температуры отжига

Термомеханическая обработка, включающая в себя прокатку гомогенизированных слитков с промежуточными отжигами, пластическую деформацию полученных пластин с последующим отжигом, приводит как к изменениям субструктуры α -Zr матрицы сплавов, так и к фазовым превращениям в интерметаллических фазах

и росту частиц интерметаллидов. Рентгеноструктурные исследования субструктуры сплавов, использующие в качестве субструктурных характеристик размеры блоков когерентного рассеяния и значения искажений второго рода в направлении $\langle 0001 \rangle$, свидетельствуют о возврате свойств деформированных сплавов при изохронном отжиге в диапазоне $T=673\div 723\text{K}$. При этом, размер блоков увеличивается от 250-400 Å до 500-1500 Å и происходит снятие искажений. Приблизительно при 720K протекает первичная рекристаллизация. По электронно-микроскопическим данным наблюдается аномальный рост зерен и субзерен циркониевой матрицы сплавов, начиная с температуры $T=720\text{K}$. Средний размер включений, составляющий в деформированных сплавах 100-200Å, возрастает при отжиге в 3-4 раза, а средние расстояния между включениями от значений 300-400 Å возрастают в 3-5 раз в зависимости от состава сплава.

Фазовые превращения 1→2 в железосодержащих интерметаллических включениях в исследованных сплавах (с добавками Nb, Ta, Mo, Cu, Cr) начинают интенсивно развиваться при температурах $T>673\text{K}$, судя по температурным зависимостям интенсивностей мессбауэровских спектров поглощения фаз 1 и 2, т.е. когда происходит рост частиц выделений и рекристаллизация циркониевой матрицы.

Исследование двойных и тройных железосодержащих циркониевых сплавов с применением мессбауэровской спектроскопии на конверсионных электронах (МСКЭ) приводит к выводу о приповерхностной сегрегации железосодержащих интерметаллических фаз при отжиге деформированных сплавов всех составов, кроме сплава Zr-Fe-V. Приповерхностная сегрегация проявляется, начиная с температур отжига 650-700K, в резком увеличении в несколько раз значений величины эффекта рассеяния ε спектров МСКЭ, а значит и содержания железа, входящего в состав в виде интерметаллидов в поверхностном слое толщиной до 0,3 мкм (рис.3).

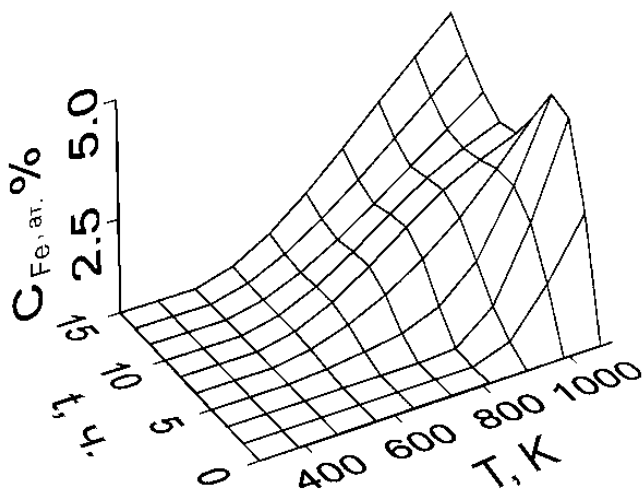


Рис.3. Диаграмма $C(\text{at.}\% \text{Fe})-T-t$ для сплава Zr-0,31вес.% Fe, демонстрирующая сегрегацию железа в поверхностном слое толщиной 0,3 мкм при отжиге деформированного сплава.

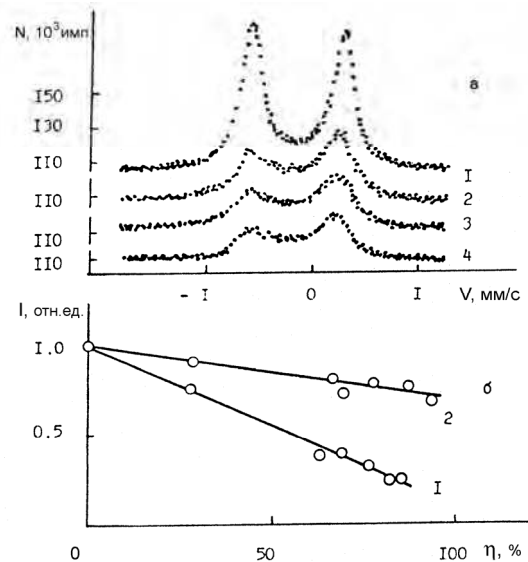


Рис. 4. (а) - Спектры МСКЭ сплава Zr-0,63вес.%Fe после отжига (1) и деформации прокаткой со степенью обжатия 62% (2), 78% (3), 88% (4). (б) - Зависимости относительной интенсивности спектров рассеяния от степени обжатия для сплавов Zr-0,63 вес.%Fe (1) и Zr-0,31вес.%Fe-1вес.%Ta (2)

Пластическая деформация отожженных железосодержащих сплавов (рис.4) приводит к уменьшению интенсивности спектров рассеяния МСКЭ на ядрах ^{57}Fe , что может быть обусловлено как уменьшением доли интерметаллических включений в приповерхностном слое, так и, в меньшей степени, уменьшением величин фактора Дебая-Валлера, вызванным измельчением частиц интерметаллидов при перерезании выделений дислокациями. Эти результаты удовлетворительно согласуются с данными по движению интерметаллидов в отожженных сплавах циркония от поверхности вглубь при импульсном лазерном облучении поверхности [6]. Лазерное излучение неодимового лазера (длительность импульса 30 нс) приводит к уменьшению концентрации интерметаллидов в предварительно обогащенном ими поверхностном слое отожженных сплавов, в отличие от деформированных сплавов, в которых включения движутся к поверхности в направлении градиента температуры.

По рентгеноспектральным данным анализ элементов C, O, Fe по линии пересечения интерметаллического включения в поверхностном слое отожженных сплавов Zr-Fe показывает, что неоднородность распределения элементов Zr и Fe и повышение концентрации Fe в области включения за счет сегрегации интерметаллидов в поверхностный слой (рис.5), сопровождается неоднородным распределением примесей внедрения O (а также и C) вблизи включения (рис. 6). Пик распределения примесей внедрения вблизи включений связан как с упругими напряжениями в этой области, так и с особенностями структуры интерметаллических фаз. Обращает на себя

внимание поведение примеси кислорода в процессе отжига, и, следовательно, в процессе миграции включений интерметаллических фаз. Пик содержания кислорода в области вблизи включения уменьшается при повышении температуры отжига сплава Zr-Fe.

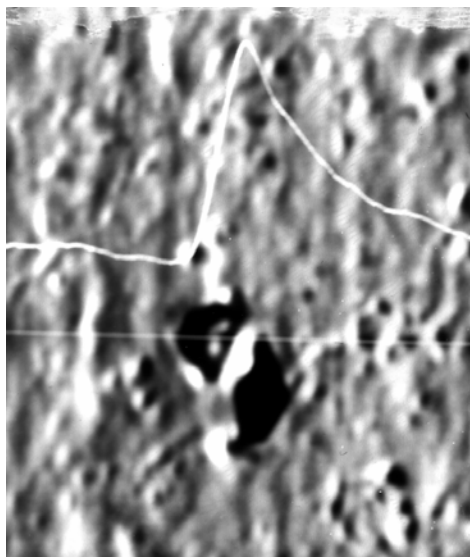


Рис.5. Распределение железа по линии сканирования поверхности отожженного при 970К в течение 5 ч сплава Zr-0,63вес.%Fe. Увеличение 2000^x.

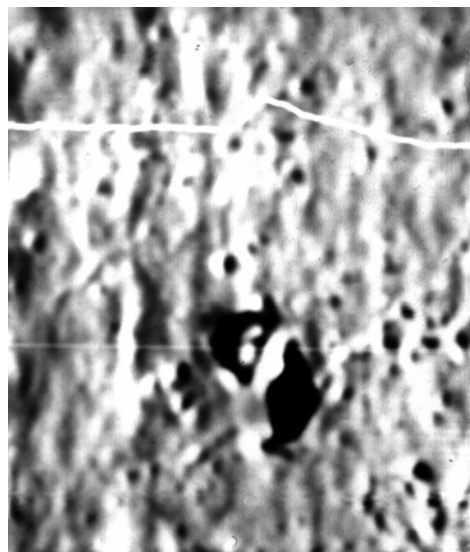


Рис. 6. Распределение кислорода по линии сканирования поверхности отожженного при 970К в течение 5 ч сплава Zr-0,63вес.%Fe. Увеличение 2000^x.

Интересной особенностью фазообразования в тройных сплавах на основе циркония является проявление переноса плотности d -электронов в интерметаллидах сплавов Zr-0,31вес.%Fe-M. Для богатых цирконием бинарных сплавов Zr-M в интерметаллидных фазах основную роль играет межатомное взаимодействие ближайших соседей Zr-M. Легирование разбавленных сплавов Zr-Fe добавками переходных металлов изменяет локальное окружение атомов Fe и приводит к формированию указанного выше набора интерметаллидных фаз. Это свидетельствует о сильном межатомном взаимодействии атомов переходных металлов друг с другом и с атомами циркония, что может быть обусловлено наличием двухъямного межатомного потенциала, описывающего взаимодействие атомов в объеме интерметаллида и на поверхности включения, подобно потенциалу, приведенному в работе [7].

Термодинамической характеристикой, описывающей взаимодействие разнородных атомов в сплавах, является теплота смешения. Мидема с соавторами предложил модель, которая устанавливает связь энтальпии образования сплава и сегрегационных эффектов с различиями в электроотрицательностях и электронной плотности на границах ячеек Вигнера - Зейтца рассматриваемых элементов. Разработанная теория в приложении к равновесной межкристаллитной адсорбции (РМА) позволяет определить энергию связи атомов примеси с границами раздела в растворителе. Модель Мидемы, первоначально примененная для учета теплоты образования твердых интерметаллических соединений, была распространена на описание энтальпий образования двухатомных интерметаллических молекул [8].

В отношении двухатомных молекул эффекты взаимодействия, которые имеют место при контакте поверхности между несходными атомами, будут обусловлены различием в электронной плотности на границе ячейки двух металлов. Такая трактовка была применена к теплоте смешения жидких сплавов двух металлов и теплоте образования интерметаллических соединений, включая, по крайней мере, один переходной металл. Модельные энтальпии сплавления можно представить в виде:

$$\Delta H_A^{\text{рас тв}} = \frac{-2V_A^{2/3} P (\Delta\Phi^*)^2}{\left(n_{ws}^A\right)^{-1/3} + \left(n_{ws}^B\right)^{-1/3}} + V_A^{2/3} Q_0 \left(\Delta n_{ws}^{1/2}\right)^2 \quad (1)$$

где Φ^* - параметр электроотрицательности; n_{ws} - (полуэмпирический) параметр, представляющий электронную плотность металла на границе ячейки Вигнера-Зейтца. При хорошем приближении константы пропорциональности P и Q имеют те же значения для различных систем. Первый член в выражении (1) соответствует энергии дипольных слоев при контакте поверхности между двумя металлами. Оба члена пропорциональны контактной поверхностной области, которая в случае теплоты раствора A в металле B пропорциональна $V^{2/3}$.

На основе подобных представлений в работе [9] был проведен расчет переноса электронного заряда между атомами компонентов бинарных сплавов с использованием химических потенциалов чистых металлов при условии равенства электронной плотности на границах атомных ячеек. Такой расчет дает возможность построить

шкалу электроотрицательности μ металлов. Сопоставление изомерных сдвигов δ , взятых относительно α -Fe, и квадрупольных расщеплений Δ для ядер Fe^{57} в железосодержащих интерметаллидах сплавов Zr-0,31вес.%Fe-M с относительными значениями $\Delta\mu$ приведено на рис.7. Экспериментальные данные получены при анализе спектров поглощения, литературные данные взяты из [10-13], значения $\Delta\mu$ – это разница электроотрицательностей Zr и M.

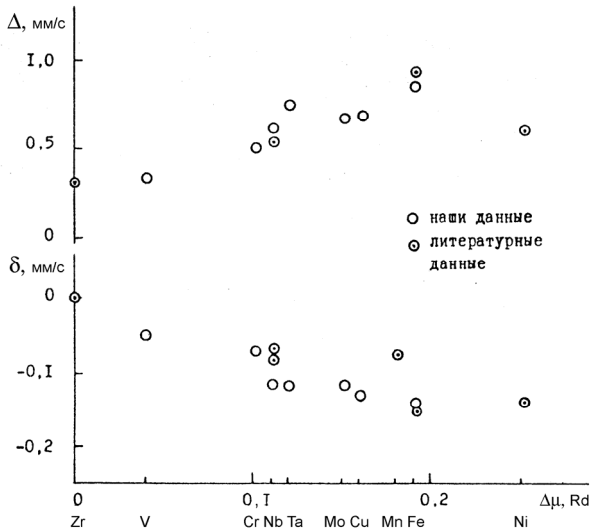


Рис. 7. Корреляционная зависимость между параметрами спектров тройных фаз и относительной электроотрицательностью.

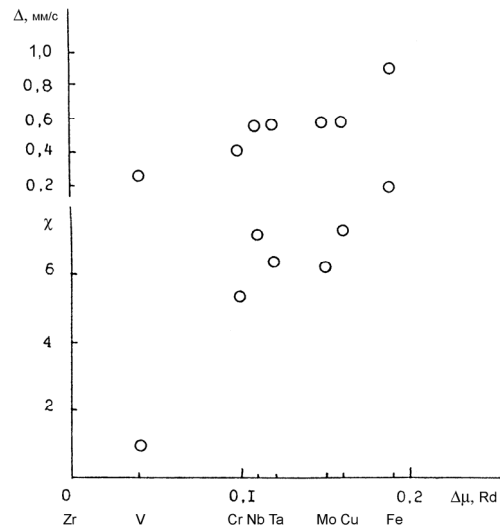


Рис.8. Зависимость степени обогащения поверхностного слоя Fe и квадрупольного расщепления для поверхностных фаз от относительной электроотрицательности.

С ростом относительной электроотрицательности изомерный сдвиг уменьшается, что свидетельствует об увеличении s-электронной плотности на ядрах Fe^{57} в этих фазах. Квадрупольное расщепление при этом растет, что говорит об увеличении степени отклонения симметрии решетки фаз от кубической. Эти результаты могут свидетельствовать об увеличении заселенности d-состояний ионов Fe в фазах. Кроме того, возможно это связано с переносом заряда в тройных интерметаллидах от атомов циркония к атомам M.

На рис.8 представлены значения χ относительного увеличения концентрации атомов Fe в поверхностном слое сплавов Zr-0,31вес.%Fe, Zr-0,63 вес.%Fe и Zr-0,31вес.%Fe-M и значений квадрупольного расщепления для Fe^{57} в составе фаз в поверхностных слоях сплавов в зависимости от относительной электроотрицательности. Эти данные хорошо коррелируют с результатами, описывающими электронный перенос в фазах.

Как известно, сегрегация, в том числе, межкристаллитная адсорбция одного или нескольких компонентов твердого раствора наблюдается во многих поликристаллических материалах [14]. При этом концентрация элементов в сегрегациях может во много раз превышать их объемное содержание. Для того, чтобы проанализировать поведение компонентов твердого раствора при РМА в сплавах, необходимо выяснить физическую природу различной активности элементов по отношению к границам зерен в двухкомпонентных твердых растворах. Термодинамическим стимулом образования равновесных сегрегаций является понижение избыточной энергии при РМА. Взаимодействие примесных атомов с границами зерен обусловлено упругим и химическим факторами, связанными с искажениями кристаллической решетки растворителя и особенностями межатомных взаимодействий. Одним из критериев, определяющих склонность элемента к обогащению им границ зерен, является меньшая, по сравнению с металлом – растворителем, поверхностная энергия чистого вещества. Полученные в работе результаты описывают такое взаимодействие в условиях одновременной коагуляции частиц интерметаллических фаз при отжиге деформированных сплавов, сегрегации к поверхности за счет движения границ зерен при обнаруженном аномальном росте размера зерен и субзерен. Возможно, это связано с эффектами электронного d-переноса в интерметаллических фазах, образующихся в сплавах на основе циркония при комплексном легировании.

ВЫВОДЫ

С помощью мессбауэровской спектроскопии и рентгеновского анализа проведено экспериментальное исследование фазового состава и структуры бинарных Zr-0,31вес.%Fe, Zr-0,63вес.%Fe и тройных Zr-0,31вес.%Fe-M (M= 0,28 вес.% V; 0,3 вес. %Cr; 0,5 вес.% Mo; 0,5вес. %Nb; 1 вес. %Ta; 0,3 вес.%Cu) сплавов на основе йодидного циркония. При изохронном и изотермическом отжиге в диапазоне температур $T=573-1073K$

протекает фазовое превращение в объеме включений одновременно с их ростом и возвратом свойств деформированных сплавов. Приблизительно при 720К протекает первичная рекристаллизация.

Результаты анализа спектров МСКЭ свидетельствуют о приповерхностной сегрегации железосодержащих интерметаллических фаз при отжиге деформированных сплавов всех составов, кроме сплава Zr-Fe-V. Особенностью фазообразования в тройных сплавах на основе циркония является обнаруженная корреляция между параметрами сверхтонких взаимодействий (изомерный сдвиг и квадрупольное расщепление), описывающими распределение электронной плотности в тройных интерметаллидах, и относительной электроотрицательностью легирующих добавок.

Обнаружено взаимодействие легирующих добавок в поликристаллических сплавах циркония в условиях одновременной коагуляции частиц интерметаллических фаз при отжиге деформированных сплавов, сегрегации к поверхности за счет движения границ зерен при аномальном росте размера зерен и субзерен. Возможно, что эти явления связаны с эффектами электронного d-переноса в интерметаллических фазах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проблемы циркония и гафния в атомной энергетике. Труды конференции 14-19 июня 1999 г., г. Алушта, Крым. ВАНТ, 1999. -137с.
2. National Sci. Found. CNPq-Brazilian National Research Council. Title.htm. 18.01.99.
3. Игрушин В.В., Кириченко В.Г., Петельгузов И.А., Чекин В.В. Взаимодействие добавок ванадия и меди с примесными атомами железа в α -Zr // Известия АН СССР. Сер. Металлы. -1982. -№1. -С.87-90.
4. Игрушин В.В., Кириченко В.Г., Петельгузов И.А., Чекин В.В. Влияние добавок Sn, V, Cr, Mo, Nb, и Ta на локальное окружение примесных атомов Fe в α -Zr //Физика металлов и металловедение. -1983. -Т.55. -№6. -С.1143-1149.
5. Кириченко В.Г. Поверхностная сегрегация и электронная структура интерметаллических фаз в сплавах циркония // ВАНТ сер. ФРП и РМ. -1998. -Вып. 3(69)-4(70). -С.71-73.
6. Кириченко В.Г. Исследование структурно-фазовых превращений в поверхностных слоях сплавов циркония при импульсном лазерном воздействии // ВАНТ. Сер. Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники. -1998. -Вып. 6. -С.181-183.
7. Кацнельсон М.И., Трефилов А.В. Коллективные явления в динамике решетки и механизмы развития структурных неустойчивостей // ФММ. -1987. -Т.64. -Вып.4. -С.629-642.
8. Miedema A.R. Cohesion in alloys-fundamentals of a semi-empirical model // Physica. – 1980. -V.100B. - P.1-28.
9. Alonso J.A., Girifalco I.A. Electronegativity scale for metals // Phys.Rev. B. Condens. Matter. -1979. -V.19. -N8, -P/3889-3895.
10. Sawicka B.D. Properties of iron implanted microalloys correlated with atomic volumes and with Miedema model for alloying // Nucl. Instrum. and Meth. -1981.-V.182-183. -P.1039-1042.
11. Maurer M., Frieds J.M. and Sanchez J.P. Local structure of amorphous and crystalline FeZr_x (x=2,3) phases: Mossbauer spectroscopy and EXAFS investigations // J.Phys.F.Metal.Phys. -1985. -V.15. -N.7. -P.1449-1465.
12. Zhang C.S., Li B., Norton P.R. The Segregation of Fe on the Zr Surface // Surf. Sci. -1995. -V.338. -P.157-168.
13. Кириченко В.Г. Влияние легирующих элементов на поверхностную сегрегацию и структуру интерметаллических фаз в сплавах циркония // ВАНТ. Сер. ФРП и РМ. -1999. -Вып. 1/73, 2/74. -С.101-106.
14. Мартин Дж., Дозрти Р. Стабильность микроструктуры металлических систем // М.: Атомиздат, 1978. -С.280.

THE FORMATION FEATURES OF THE INTERMETALLIDES IN Zr - Fe⁵⁷- M (M=V, Cr, Nb, Mo, Cu, Ta) ALLOYS

V.G. Kirichenko, A.I. Kirdin

Kharkov National University,

High Technology Institute, Physical and Technical Department

31 Kurchatov St., Kharkov, 61108, Ukraine

E-mail:kirdin@pht.univer.kharkov.ua

By using Mössbauer Spectroscopy on Fe⁵⁷ nuclei the investigation of structure and phase composition of intermetallides in binary (Zr-0,31wt.%Fe, Zr-0,63wt.%Fe) and ternary Zr-0,31wt.%Fe-M (M= 0,28wt.%V; 0,3wt.%Cr; 0,5wt.%Mo; 0,5wt.%Nb; 1wt.%Ta; 0,3wt.%Cu) on the zirconium base at the deformed and annealed state is carried out. In deformed state the compositional heterogeneity of intermetallic phase inclusions, which consist from two phases with various structures, is discovered. Under thermal aging in temperature range 570-1070K in all alloys (except Zr-0,31wt.%Fe-0,28wt.%V) the segregation effects which concluded in concentration rise of the ferrous containing intermetallic inclusions in subsurface layers by high mobility of nanocrystalline particles of the ferrous containing are formed. On the base of experimental data for Zr-Fe-M (M – transition metal) systems the correlation between hyperfine interactions parameters (isomer shift and quadrupole splitting) and coefficients of surface segregation by Fe⁵⁷ atoms and electric negativity of M is found.

KEY WORDS: zirconium alloys, intermetallic inclusions, hyperfine interactions, segregation.