

ГЕТТЕРНЫЕ СПЛАВЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЛОВУШЕК ВОДОРОДА В КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

*В.М. Ажажа, С.Д. Лавриненко, А.П. Свиначенко, Ю.П. Бобров, А.Н. Аксенова,
Т.Г. Емлянинова, А.С. Тортика*

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
Харьков, Украина*

E-mail: slavrinenko@kipt.kharkov.ua

Исследованы фазовый состав, структура и спектры газовой выделения водорода из железоиттриевых сплавов, имеющих составы: Fe(90)-Y(10), Fe(85)-Y(15), Fe(65)-Y(35), Fe(57)-Y(43 мас.%) и цирконий-кобальт-иттриевых сплавов составов: Zr(80,8)-Co(14,2)-Y(5), Zr(82,28)-Co(17,72), Zr(66,1)-Co(17,8)-Y(16,1), Zr(75,53)-Co(13,95)-Y(10,52 мас.%). Сделан вывод, что некоторые из исследуемых сплавов могут рассматриваться в качестве геттерных добавок при создании ловушек водорода в конструкционных материалах и сварных соединениях оборудования АЭС с целью уменьшения их водородной хрупкости.

ВВЕДЕНИЕ

Охрупчивание сварных швов конструкционных материалов, как правило, вызывает потерю их эксплуатационных характеристик. Имеющиеся на сегодня сведения о поведении водорода в металлах и сплавах дают основания в большинстве случаев связывать это охрупчивание швов с присутствием в них водорода и его взаимодействием с микроструктурными неоднородностями материала шва - фазовыми выделениями, границами зерен, дислокациями, примесями и т.д., являющимися «ловушками» водорода. Основным параметром этих «ловушек» является энергия взаимодействия их с водородом [1].

Поэтому уменьшение концентрации водорода в сварном шве и зоны вблизи него, а также все способы, которые уменьшают подвижность водорода и тем самым замедляют его диффузию, будут уменьшать и вероятность водородного охрупчивания.

Одним из способов, позволяющих замедлять процессы диффузии водорода в материале шва, есть искусственное создание в нем энергетических ловушек, которыми могут быть специально введенные в шов (и область вблизи от него) геттерные сплавы, характеризующиеся достаточно большой энергией взаимодействия с водородом, способные эффективно поглощать, накапливать и удерживать водород [2-3].

Таким образом, изучение сплавов, которые могут использоваться в качестве ловушек водорода, является задачей обоснованной и актуальной.

ВЫБОР ГЕТТЕРНЫХ СПЛАВОВ И МЕТОД ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

Исходя из проведенного анализа литературных данных, были выбраны и выплавлены две серии сплавов - на основе бинарной системы Fe-Y и тройной системы Zr-Co-Y, которые имели следующие составы:

Fe(90)-Y(10 мас.%); Zr(82,3)-Co(17,7 мас.%);

Fe(85)-Y(15 мас.%); Zr(80,8)-Co(14,2)-Y(5 мас.%);

Fe(65)-Y(35 мас.%); Zr(75,5)-Co(14)-Y(10,5 мас.%);

Fe(57)-Y(43 мас.%); Zr(66,1)-Co(17,8)-Y(16,1 мас.%).

Первая серия сплавов на основе системы железо-иттрий выбрана, главным образом, для использования водородосорбционных свойств иттрия и его гидридов.

Известно [4], что интерметаллические соединения, содержащие редкоземельные металлы, при взаимодействии с водородом могут легко разрушаться и, в конечном счете, образовывать смеси, содержащие гидриды редкоземельных металлов, свойства которых и позволяют использовать их в качестве ловушек водорода. Кроме того, выбранные сплавы близки по составу к составам интерметаллидов системы железо-иттрий [5]: Fe₂Y, Fe₃Y, Fe₁₇Y₂, хрупкость которых позволяет получать материалы геттера в виде порошка или крупки заданного размера, что является удобным при введении геттерного материала в сварной шов.

Выбор серии сплавов на основе тройной системы цирконий-кобальт-иттрий обусловлен содержанием в ней интерметаллических соединений, которые имеют большую емкость по водороду. Например, для гидрида на основе интерметаллического соединения (ИМС) Zr₃Co, которое содержится в этой системе, максимальное содержание водорода (в атомах водорода на атом металла) составляет ~1,72. Кроме того, металлическая структура этого гидрида может стабилизироваться кислородом и поэтому является стойкой к диспропорционированию (разрушению металлической матрицы гидрида при его нагревании и образовании при этом смеси гидрида металла (PЗМ, Ti, Zr и др.) и другого соединения или отдельного металла с меньшим или нулевым содержанием водорода), т. е. эти сплавы способны и поглощать относительно большое количество водорода, и удерживать его при повышенных температурах [6].

В качестве исходных элементов использовались: высокочистое железо многократного электронного переplava, йодидный цирконий, электролитический кобальт чистотой ~99,92% и иттрий чистотой ~99,9%.

Сплавы были получены с помощью метода аргодуговой плавки с нерасходуемым вольфрамовым электродом в защитной атмосфере высокочистого аргона. Слитки сплавов переплавлялись несколько раз для получения равномерного распределения составляющих элементов.

МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Металлографические исследования полученных сплавов были проведены на микроскопе ММР-4, для определения микротвердости сплавов использовался микротвердомер ПМТ-3.

Поверхности образцов перед исследованием шлифовались на абразивных бумагах, а затем полировались с помощью алмазной пасты с уменьшающимся размером частиц.

Для выявления микроструктуры сплавов железо-иттрий использовался 5% раствор азотной кислоты в этиловом спирте («ниталь»), а для сплавов на основе цирконий-кобальт-иттрий - травитель следующего состава: HF – 15,4 мл; HNO_3 – 17,3 мл; H_2SO_4 – 17,3 мл; дистиллированная вода - 50 мл. Серная кислота добавлялась в травитель с целью удаления пленки, образующейся вследствие пассивирования поверхности образцов в процессе их травления.

Исследования фазового состава сплавов были проведены на дифрактометре ДРОН-2М в отфильтрованном CuK_α -излучении. Профили дифракционных кривых регистрировались, оцифровывались и выводились непосредственно на компьютер. Для обработки дифракционных данных использовалась база PCPDF, а также комплекс программ для рентгеноструктурного анализа поликристаллов [7].

Для исследования спектров газовой выделения был использован масс-спектрометр MX 7203, предназначенный для определения водорода, а также контроля газовых примесей в металлах и сплавах, которые выделяются из них при нагревании (могут определяться газы с массовыми числами до 60). Предварительно образец исследуемого сплава: железо-иттрий и цирконий-кобальт-иттрий в виде отдельных кусочков (не порошка) общим весом $\sim 0,2$ г насыщался высокочистым водородом при температуре 350°C в течение 8 ч на установке, схема которой изображена на рис. 1. Выбор температуры и времени был обусловлен необходимостью получить объемное наводороживание образца для исследования процесса термодесорбции.

В качестве источника водорода использовался гидрид сплава неодим-железо-бор.

Насыщенный водородом образец исследуемого сплава после его охлаждения до комнатной температуры помещался в предварительно обезгаженный тигель, находящийся в нагревателе камеры масс-спектрометра, откуда выделяющиеся при нагревании из него газы поступали в анализатор масс-спектрометра. С анализатора информация о происходящем процессе подавалась на компьютер, где она обрабатывалась, строились графики термодесорбции и проводился расчет количества поглощенного водорода.

Масс-спектрометр работал в динамическом режиме, т. е. выделившиеся газы непрерывно откачивались диффузионным насосом с постоянной скоростью, которая при необходимости могла быть застabilизирована ограничением проходного сечения вакуум-провода в области анализатора.

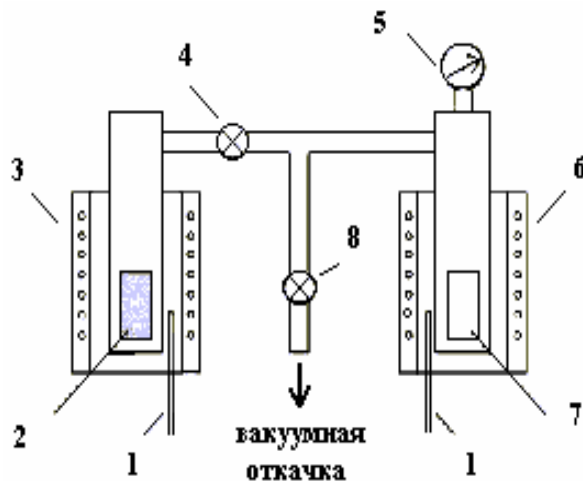


Рис. 1. Схема установки для насыщения образцов водородом:

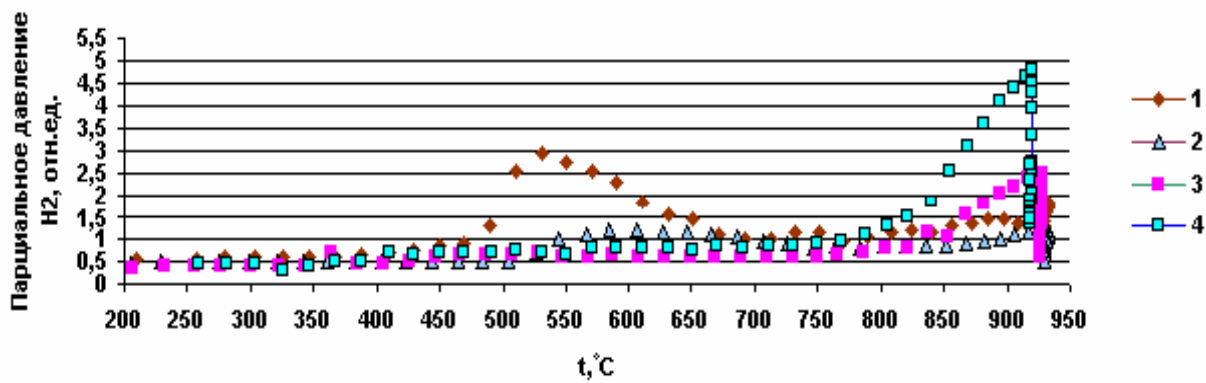
- 1 – термопары;
- 2 - сплав Nd-Fe - B; 3, 6 – нагреватели;
- 4, 8 – вакуумные клапаны;
- 5 – образцовый манометр;
- 7 – образец исследуемого сплава

Исследование спектров газовой выделения водорода начиналось при достижении давления в анализаторе масс-спектрометра $\sim 2 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст. С помощью программного регулятора можно было изменять температуру исследуемого образца в диапазоне от комнатной до 960°C . Данный регулятор также позволял регулировать скорость нагрева образца, которая в данных исследованиях была установлена 40°мин^{-1} . Более подробно методика насыщения образцов исследуемых сплавов водородом и получение кривых термодесорбции описаны в работах [8-9].

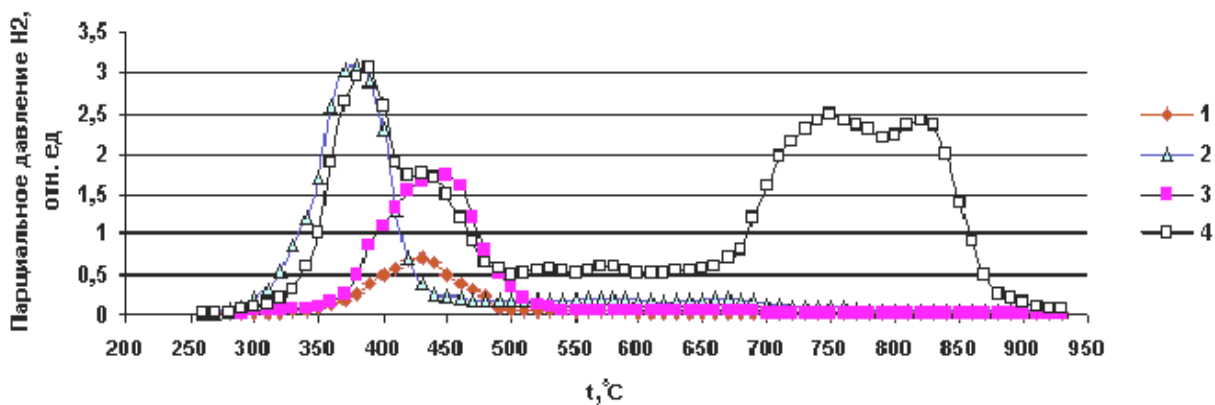
Были получены и исследованы спектры термодесорбции водорода из образцов всех выплавленных сплавов систем железо-иттрий и цирконий-кобальт-иттрий, рассчитано количество поглощенного ими водорода.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сплавы системы железо-иттрий. На рис. 2 показаны кривые изменения парциального давления водорода в процессе нагревания в вакууме образцов сплавов железо-иттрий до (а) и после (б) их наводороживания.



a



б

Рис. 2. Изменения парциального давления водорода при нагревании в вакууме образцов сплавов железо-иттрий, имеющих составы: 1 - Fe(90)-Y(10 мас.%); 2 - Fe(85)-Y(15 мас.%); 3 - Fe(65)-Y(35 мас.%); 4 - Fe(57)-Y(43 мас.%) до (а) и после (б) их наводороживания

Каждая из представленных кривых термодесорбции водорода отражает суммарный результат его выделения из содержащихся в сплаве фаз, а также их гидридов и продуктов гидролиза (диспропорционирования), если они образовались в процессе приготовления образцов. Вид кривых будет определяться главным образом количеством водорода, находящегося во всех составляющих сплава, его перераспределением в них в процессе изменения температуры, растворимостью водорода и величиной его равновесного давления. В соответствии с диаграммой равновесия системы железо-иттрий [5] все исследуемые в данной работе сплавы являются двухфазными. Сплавы составов: Fe-Y(10 мас.%) и Fe-Y(15 мас.%) содержат фазы α -Fe(Y) и Fe₁₇Y₂, а сплавы составов: Fe-Y(35 мас.%) и Fe-Y(43 мас.%) - фазы Fe₃Y и Fe₂Y и согласно оценкам по правилу "отрезков" процентное соотношение фаз в образцах сплавов составляет: 38 и 62 %; 5 и 95 %; 96 и 4 %; 14 и 86 мас. % соответственно.

Рентгеноструктурные исследования показали, что в сплаве Fe-Y(10 мас.%) присутствует фаза α -Fe(Y) и низкотемпературная фаза Fe₁₇Y₂. В сплавах Fe-Y(15 мас.%) и Fe-Y(35 мас.%) рентгенографически определяется только одна фаза: Fe₁₇Y₂ в сплаве Fe-Y(15 мас.%) и Fe₃Y в сплаве Fe-Y(35 мас.%). Дифракционные линии от вторых фаз в этих сплавах четко не фиксируются из-за их малого содержания в сплавах. В

сплаве Fe-Y(43 мас.%) четко определяются две фазы: Fe₃Y и Fe₂Y. Параметры кристаллических решеток идентифицированных фаз согласуются с литературными данными. Результаты металлографических исследований (рис. 3 а, б, в, г), не противоречат рентгеноструктурным.

Фазовый состав исследуемых сплавов, а также данные по содержанию в них водорода (табл.1) позволяют высказать соображения о наблюдаемых кривых термодесорбции.

Кривые термодесорбции сплавов Fe-Y(10 мас.%) (см. кривая 1, рис.2) и Fe-Y(15 мас.%) (см. кривая 2, рис.2), содержащих фазу Fe₁₇Y₂, подтверждают результаты работ [10, 11] по исследованию термодесорбции из соединения Fe₁₇Y₂. Наблюдаемые области термодесорбции водорода этих сплавов преимущественно определяются выделением водорода из фазы Fe₁₇Y₂. Для сплава Fe-Y(10 мас.%), содержащего значительное количество фазы α -Fe (~38 %), можно наблюдать минимумы в области температур ~770 и выше ~910 °C, что, возможно, связано соответственно с фазовыми превращениями железа - магнитного в точке Кюри и фазового ($\alpha \rightarrow \gamma$), в которых происходит скачок растворимости водорода [12,13].

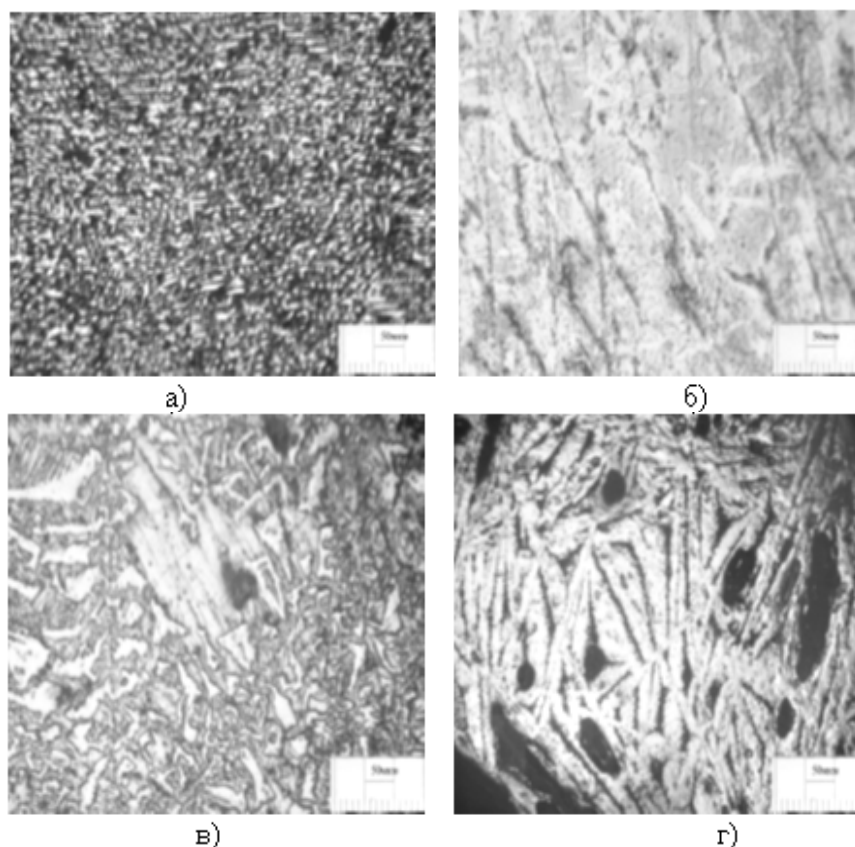


Рис. 3. Микроструктура образцов сплавов железо-иттрий составов: а - Fe(90)-Y(10 мас. %); б - Fe(85)-Y(15 мас. %); в - Fe(65)-Y(35 мас. %); г - Fe(57)-Y(43 мас. %). Увеличение $\times 160$

Возрастание амплитуды в высокотемпературной области (см. кривые 3 и 4 рис. 2, а и кривую 4 рис. 2, б) может быть связано с наличием в сплавах: Fe-Y(35 мас. %) и Fe-Y(43 мас. %), содержащих фазы Fe₃Y и Fe₂Y, гидрида иттрия YH_x, где $x \sim 2$. Этот гидрид образуется при диспропорционировании гидридов фазы Fe₂Y.

Отсутствие высокотемпературной области газовой выделения (см. кривую 3 рис. 2, б) является результатом выбранной чувствительности масс-анализатора, которая для регистрации значительно более высокой амплитуды газовой выделения из гидрида фазы Fe₃Y была выбрана такой, что газовой выделение, связанное с наличием незначительного количества фазы Fe₂Y (4%), не регистрировалось. Низкотемпературная область на этой кривой согласуется с данными по термодесорбции водорода из гидрида интерметаллида Fe₃Y [14].

Область термодесорбции при низких температурах $\sim (300 \dots 500)^\circ\text{C}$ (см. кривую 4, рис. 2, б) отражает характер газовой выделения из совокупности гидридов фазы Fe₂Y, имеющих различный состав и стабильность, и согласуется с результатами работы [15], где исследовалась термодесорбция из гидридов Fe₂YD_x, ($x = 1,3; 2,5; 3,5; 4,2$) и наблюдалось наличие целого ряда пиков газовой выделения в этой области температур.

Анализ кривых термодесорбции (см. кривые 1-4 рис. 2, б), а также значения количества поглощенного водорода, (см. табл. 1), показывают, что сплав Fe-Y(43 мас. %) и поглощает наибольшее количество водорода, и удерживает его до более высоких температур ($\sim 900^\circ\text{C}$ и выше) по сравнению с другими исследованными сплавами системы железо-иттрий.

Таблица 1
Количество водорода в образцах сплавов железо-иттрий до и после насыщения их водородом

Состав сплава, мас. %	Количество водорода в исходных сплавах		Количество водорода в сплавах после их насыщения водородом	
	см ³ /100 г	количество газа, мас. %	см ³ /100 г	количество газа, мас. %
Fe(90)-Y(10)	89	0,008	1400	0,13
Fe(85)-Y(15)	46	0,004	3300	0,3
Fe(65)-Y(35)	64	0,006	6700	0,6
Fe(57)-Y(43)	138	0,012	15300	1,38

Сплавы системы цирконий-кобальт-иттрий. Данные металлографии (рис.4) показывают, что сплавы исследуемых нами составов: Zr(80,8)-Co(14,2)-Y(5 мас.%), Zr(75,5)-Co(14)-Y(10,5 мас.%), Zr(66,1)-Co(17,8)-Y(16,1 мас.%) состоят из трех фаз, сплав состава Zr(82,3)-Co(17,7 мас.%) - однофазный.

Рентгеноструктурный анализ сплава Zr(82,3)-Co(17,7 мас.%) показал, что он представляет собой интерметаллид Zr₃Co с параметрами ромбической решетки: a = (8,945 ± 0,002), b = (10,875 ± 0,013), c = (3,270 ± 0,003) Å и объемом элементарной ячейки V = (318,10 ± 0,74) Å³, что совпадает с известными данными [16].

Сплав Zr(80,8)-Co(14,2)-Y(5 мас.%), состоит из фаз: Zr₃Co с параметрами ромбической решетки: a = (8,915 ± 0,25), b = (10,914 ± 0,03), c = (3,298 ± 0,019) Å и

объем элементарной ячейки V = 320,92 ± 3,82 Å³; α-Zr с параметрами гексагональной ячейки: a = (3,238 ± 0,003), c = (5,161 ± 0,001) Å; и α-Y с параметрами гексагональной ячейки: a = (3,649 ± 0,004), c = (5,752 ± 0,03) Å.

Сплав Zr(75,5)-Co(14)-Y(10,5 мас.%) состоит из тех же самых фаз, что и предыдущий, и эти фазы имеют соответственно параметры: a = (8,932 ± 0,008), b = (10,955 ± 0,4), c = (3,273 ± 0,001) Å и объем элементарной ячейки V = (320,23 ± 1,56) Å³; a = (3,231 ± 0,004), c = (5,161 ± 0,004); a = (3,652 ± 0,005), c = (5,735 ± 0,02) Å.

В сплаве состава Zr(66,1)-Co(17,8)-Y(16,1 мас.%) из трех фаз, наблюдаемых металлографически (см. рис. 4,б), точно идентифицирована только фаза Zr₃Co.

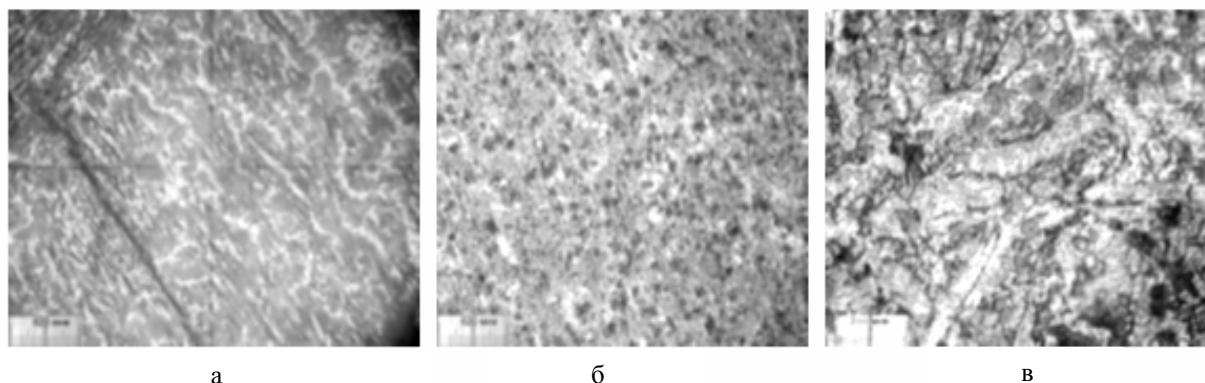


Рис. 4. Микроструктура образцов сплавов цирконий-кобальт-иттрий составов: а - Zr(80,8)-Co(14,2)-Y(5 мас.%); б - Zr(66,1)-Co(17,8)-Y(16,1 мас.%); в - Zr(75,53)-Co(13,95)-Y(10,52 мас.%). Увеличение ×320

На рис. 5 показаны кривые изменения парциального давления водорода в процессе нагревания в вакууме образцов сплавов цирконий-кобальт-иттрий, до (а) и после (б) их наводороживания.

Кривые термодесорбции 1,2,3 (см. рис.5,а), практически совпадают, не имеют четких максимумов в области низких температур, увеличение выделения водорода наблюдается с температуры ~725 °С и заканчивается в области температур ~940...960 °С. Кривая термодесорбции 4 в области температур 300...700 °С и выше 850 °С имеет значительно большую амплитуду по сравнению с кривыми 1,2,3 и небольшой максимум в области 350...370 °С.

Сложные профили кривых термодесорбции (см. рис. 5,б), свидетельствуют о том, что в сплавах, прошедших

процесс наводороживания, с увеличением температуры проходят сложные структурные изменения. Заметное выделение водорода на этих кривых наблюдается с температуры более 300 °С и заканчивается в области температур ~800...920 °С.

Из кривых термодесорбции (см. кривые 1-4, рис. 5,б) и данных табл. 2, видно, что сплав Zr(75,5)-Co(14)-Y(10,5 мас.%) и поглощает наибольшее количество водорода и удерживает его до более высоких температур (~900 °С и выше) по сравнению с другими исследованными сплавами системы цирконий-кобальт-иттрий.

Таблица 2

Количество водорода в образцах сплавов цирконий-кобальт-иттрий до и после их насыщения

Состав сплава, мас.%	Количество водорода в исходных сплавах		Количество водорода в сплавах после их насыщения водородом	
	см ³ /100 г	количество газа, мас.%	см ³ /100 г	количество газа, мас.%
Zr(80,8)-Co(14,2) - Y(5)	106	0,01	22400	2,02
Zr(82,3)-Co(17,7)	81	0,007	14100	1,27
Zr(66,1)-Co(17,8)-Y(16,1)	170	0,015	16400	1,48
Zr(75,5)-Co(14)-Y(10,5)	206	0,02	22800	2,05

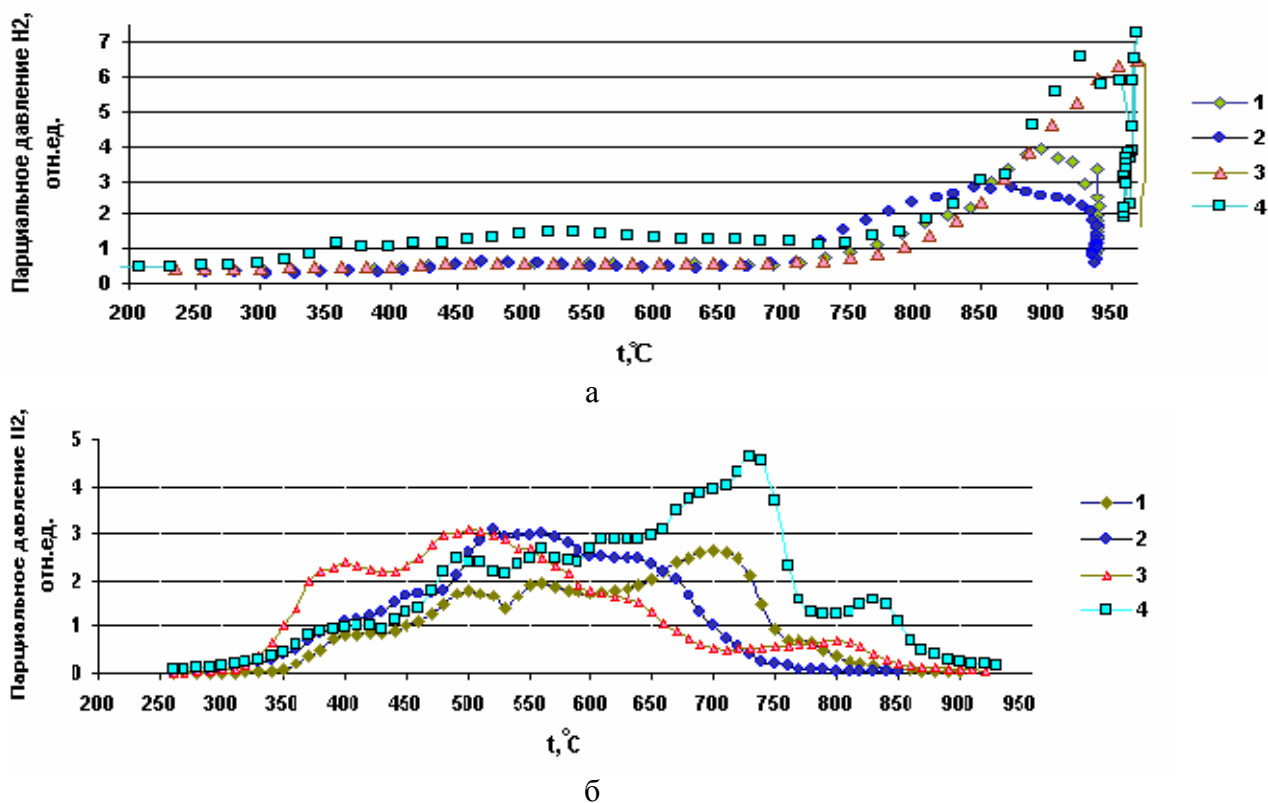


Рис. 5. Изменения парциального давления водорода при нагревании в вакууме образцов сплавов цирконий-кобальт-иттрий составов: 1 - Zr(80,8)-Co(14,2)-Y(5 мас.%); 2 - Zr(82,3)-Co(17,7 мас.%); 3 - Zr(66,1)-Co(17,8)-Y(16,1 мас.%); 4 - Zr(75,53)-Co(13,95)-Y(10,52 мас.%) до (а) и после (б) их наводороживания

Таким образом, в системах железо-иттрий и цирконий-кобальт-иттрий существуют сплавы, которые поглощают большое количество водорода и в которых он удерживается до высоких температур (~900 °C и выше). В сплавах железо-иттрий это сплав состава Fe(57)-Y(43 мас.%), а в сплавах цирконий-кобальт-иттрий - Zr(75,5)-Co(14)-Y(10,5 мас.%). Эти геттерные сплавы можно рекомендовать для дальнейшего изучения использования их в качестве геттерных добавок для создания ловушек водорода в конструкционных материалах и сварных соединениях оборудования АЭС для улучшения их эксплуатационных характеристик путем уменьшения негативного влияния водорода.

Безусловно, для реализации возможностей этих геттерных добавок необходимо разрабатывать соответствующие методики, в которых учитывать высокое химическое сродство этих геттерных добавок к другим газам и исходя из этого определять требуемое количество вносимого материала, подбирать соответствующий размер крупки либо порошка, если материал вносится в сварной шов.

ВЫВОДЫ

1. Получены сплавы на основе систем железо-иттрий и цирконий-кобальт-иттрий различного химического состава. Исследован их фазовый состав и термодесорбционные свойства.

2. Показано, что из исследованных сплавов системы железо-иттрий наибольшее количество водорода поглощает сплав состава Fe(57) - Y(43 мас.%), а из сплавов системы цирконий-

кобальт-иттрий - сплав состава Zr(75,5) - Co(14) - Y(10,5 мас.%).

Эти же сплавы характеризуются более высокой температурой удержания водорода (выше 900 °C) и поэтому могут рассматриваться в качестве геттерных материалов для создания ловушек водорода в конструкционных материалах и сварных соединениях оборудования АЭС с целью улучшения их эксплуатационных характеристик путем уменьшения вредного влияния водорода.

3. Для реализации возможностей этих сплавов в качестве материалов геттерных добавок необходимо разрабатывать соответствующие методики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.В. Кеворкян, П.А. Платонов, И.Е. Турсунов и др. О некоторых особенностях радиационной хрупкости конструкционных сталей в присутствии газовых примесей // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. 1985, в. 1 (34), с. 1-77

2. И.К. Походня, И.Р. Явдошин, А.П. Пальцевич, В.И. Швачко, А.С. Котельчук. *Металлургия дуговой сварки. Взаимодействие металла с газами* // Киев: «Наукова думка», 2004, 506 с.

3. В.М. Ажажа, П.Н. Вьюгов, И.Е. Копанец, С.Д. Лавриненко, Н.Н. Пилипенко, В.В. Ружицкий, А.П. Свиначенко и др. Накопление и удержание водорода и дейтерия в сплавах циркония и низколегированных сталях с добавками геттерных сплавов на

основе цирконія // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники»*. 2006, № 1(15), с. 41-48.

4. В.Н. Вербецкий *Синтез и свойства многокомпонентных гидридов металлов*. Дис. докт. хим. наук. М., 1988.

5. *Диаграммы состояния двойных металлических систем* / Под.ред. Н.П. Лякишева: Справочник в 3-х т. М.: «Машиностроение», 1996, т. 1, с. 447-448.

6. О. Рябов, І. Завалій, Р. Денис. Модифікування ІМС на основі РЗМ та Zr для створення сорбентів водню, стійких до диспропорціонування // *Вісник Львів. ун-ту. Серія хім.* 2002, в. 41, с. 101-106.

7. В.П. Серых, Л.М. Серых *Компьютерные методы в рентгеновской дифрактометрии поликристаллов*: Обзор. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2004, 76 с.

8. В.М. Ажажа, Ю.П. Бобров, А.М. Бовда, В.А. Бовда, А.Е. Дмитренко, С.Д. Лавриненко и др. Исследование газовой выделенности при нагреве в вакууме гидрированного сплава Nd-Fe-B // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Вакуум, чистые металлы, сверхпроводники»*. 2006, № 1(15), 156-159 с.

9. В.М. Ажажа, П.М. В'югов, С.Д. Лавриненко, А.П. Свиначенко, М.М. Пилипенко, М.М. Матюшенко, Г.М. Аксьонова, Ю.В. Тур, С.С. Гранкін та інші. Звіт про науково-дослідну роботу. «Розробка гетерних сплавів для поліпшення властивостей зварних

швів матеріалів, що використовуються в ядерній енергетиці.»

10. S. Wirth, R. Skomski, J.M.D.Coe. Hydrogen in R_2Fe_{17} intermetallic compounds: Structural, thermodynamics, and magnetic properties // *Research papers in physics and astronomy, Physical review B*. 1998, v. 55, № 9, p. 5700.

11. С.А. Никитин, Е.А. Овченко, И.С. Терешина, А.А. Саламова, В.Н. Вербецкий. Синтез тройных гидридов и нитридов R_2Fe_{17} (R-Y, Tb, Dy, Ho, Er) и влияния элементов внедрения (H_2 , N_2) на магнитную анизотропию и магнитострикцию // *Металлы*. 1998, №2, с. 111.

12. В.И. Шаповалов, Л.В. Бойко // *Изв. вузов. Черная металлургия*. 1984, № 8, с. 122-125.

13. *Диаграммы состояния двойных металлических систем* / Под.ред. Н.П. Лякишева: Справочник в 3-х т. М.: «Машиностроение», 1996, т. 2, с. 270

14. Б.А. Колачев, Р.Е. Шалин, А.А. Ильин. *Сплавы-накопители водорода*. Справочник, М.: «Металлургия», 1995, 155 с.

15. T. Leblond, V. Paul-boncour, F. Cuevas, O.Isnard, and J.F. Fernandez. Study of the multipeak deuterium thermodesorption in YFe_2D_x ($1.3 \leq x \leq 4.2$) by DSC, TD and in situ neutron diffraction // *International Journal Hydrogen energy*, 2009, v. 34, issue 5.

16. База данных PCPDF // *International Center for Diffraction Data*, 1996.

Статья поступила в редакцию 05.09.2008 г.

ГЕТЕРНИ СПЛАВИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПАСТОК ВОДНЮ В КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ І ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ УСТАТКУВАННЯ АЕС

В.М. Ажажа, С.Д. Лавриненко, О.П. Свиначенко, Ю.П. Бобров, Г.М. Аксьонова, Т.Г. Ємлянінова, О.С. Тортика

Досліджено фазовий склад, структуру і спектри газовиділення водню із залізоїтрієвих сплавів, які мали склади: Fe(90)-Y(10), Fe(85)-Y(15), Fe(65)-Y(35), Fe(57)-Y(43 мас.%) та цирконій-кобальт-ітрієвих сплавів, які мали склади: Zr(80,8)-Co(14,2)-Y(5), Zr(82,28)-Co(17,72), Zr(66,1)-Co(17,8)-Y(16,1), Zr(75,53)-Co(13,95)-Y(10,52 мас.%). Зроблено висновок, що деякі з досліджених сплавів можуть розглядатися в якості гетерних додатків для створення пасток водню в конструкційних матеріалах та зварних з'єднаннях устаткування АЕС з метою зменшення їх водневої крихкості.

THE GETTER ALLOYS FOR FORMATION OF HYDROGEN TRAPS IN THE CONSTRUCTION MATERIALS AND WELDS JOINTS AT ATOMIC STATION

V.M. Azhazha, S.D. Lavrinenko, A.P. Svyachenko, Yu.P. Bobrov, A.N. Aksyonova, T.G. Emlyaninova, A.S. Tortika

Phase composition, structure and spectra of hydrogen release from Fe(90)-Y(10), Fe(85)-Y(15), Fe(65)-Y(35), Fe(57)-Y(43 wt.%) iron-yttrium alloys and Zr(80.8)-Co(14.2)-Y(5), Zr(82.28)-Co(17.72), Zr(66.1)-Co(17.8)-Y(16.1), Zr(75.53)-Co(13.95)-Y(10.52 wt.%) zirconium-cobalt-yttrium alloys were investigated. It has been concluded that some of investigated alloys can be regarded as getter additions for formation of hydrogen traps in the structural materials and welds joints at atomic station to decrease their hydrogen embrittlement.