ЭВОЛЮЦИЯ ДЕФЕКТНОЙ СТРУКТУРЫ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ1-0 ПРИ ТЕРМОВОДОРОДНОМ ЦИКЛИРОВАНИИ

О.В. Хусаева, Ю.С. Бордулев, В.Н. Кудияров
Научный руководитель: ассистент кафедры ОФ Р. С. Лаптев
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск,пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: Khusaeva852@mail.ru

DEFECT STRUCTURE'S EVOLUTION OF THE TITANIUM ALLOY VT1-0 AFTER THERMOHYDROGEN CYCLING

O.V. Khusaeva, U.S. Bordulev, V.N. Kudiyarov
Scientific Supervisor: assistant Department of General Physics R.S. Laptev
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: Khusaeva852@mail.ru

Changes of the defect structure in titanium alloy after thermohydrogen cycling were studied by means positron lifetime spectrometry and Doppler broadening spectrometry.

Титан и его сплавы, обладая такими свойствами как малый вес, высокая удельная прочность, трещиностойкость, коррозионная стойкость, нашли широкое применение в качестве конструкционного материала. При эксплуатации в химической, атомной, нефтегазовой промышленности, а также в авиапромышленности изделия из титановых сплавов подвергаются наводороживанию. Под действием водорода происходят существенные изменения физико-механических свойств титановых сплавов, которые приводят к охрупчиванию и разрушению изделий из них [1, 2], что создает необходимость удалять водород. Наиболее надежным методом экстракции водорода из металлов является высокотемпературный отжиг в вакууме, однако вопрос о влиянии такой обработки (накопление водорода – термический отжиг) на дефектную структуру титановых сплавов остается открытым.

Целью данной работы является исследование эволюции дефектной структуры титанового сплава ВТ1-0 при термоводородном циклировании. В качестве методов исследования были использованы методы электрон-позитронной аннигиляции (ЭПА), которые обладают высокой чувствительностью для определения концентрации и типа дефектов.

В качестве объекта исследования были использованы прямоугольные плоские образцы титанового сплава ВТ1-0 размерами 20×20×1 мм. Образцы были механически отшлифованы, отполированы и отожжены при температуре 750 °С в течение 60 минут с последующим медленным охлаждением до комнатной температуры в вакууме. Насыщение водородом проводилось методом Сиверста до 0,05 масс.% при температуре 500 °С при давлении 0,66 атм. Отжиг и наводороживание проводились на установке Gas Reaction Controller [3]. После каждой стадии обработки проводились измерения времени жизни позитронов и допплеровского сдвига аннигиляционной линии [4].

На рис. 1 изображена зависимость среднего времени жизни позитронов $\tau_{ср}$ от стадии обработки. Из графика видно, что при наводороживании, а также последующем отжиге значение среднего времени жизни практически не изменяется. Однако при повторном насыщении водородом наблюдается резкий рост значения среднего времени жизни позитронов до 145,5±0,4 пс. Среднее время жизни позитрона характеризует совокупное влияние разных типов дефектов на электронную плотность материала. Более подробную информацию о дефектах после каждой стадии обработки дает многокомпонентное разложение временных спектров. Полученные компоненты и их интенсивности позволяют получить качественную и количественную информацию о типе дефектов и их концентрации. Для анализа были использованы две временные компоненты: короткоживущая компонента τ_1 и долгоживущая компонента τ_2, а также соответствующие им интенсивности I_1 и I_2. Компонента τ_1 связана с аннигиляцией позитронов из делокализованного состояния в решетке металла, а долгоживущая компонента соответствует аннигиляции позитронов из локализованного состояния в окрестности дефектов. В таблице 1 представлены результаты обработки временных спектров. Наводороживание приводит к появлению во временных спектрах долгоживущей компоненты со временем жизни 301,8 пс, данное значение намного больше, чем значение времени жизни позитронов в моновакансиях τ_{vac} = 220 пс и соответствует аннигиляции позитронов, захваченных вакансионными кластерами, состоящих из четырех моновакансий [5]. После второго цикла наводороживания наблюдается значительное увеличение долгоживущей компоненты, ее величина достигает 656,6 пс, что возможно связано с образованием микропор. По сравнению с первым циклом наводороживания интенсивность компоненты не значительно увеличилась

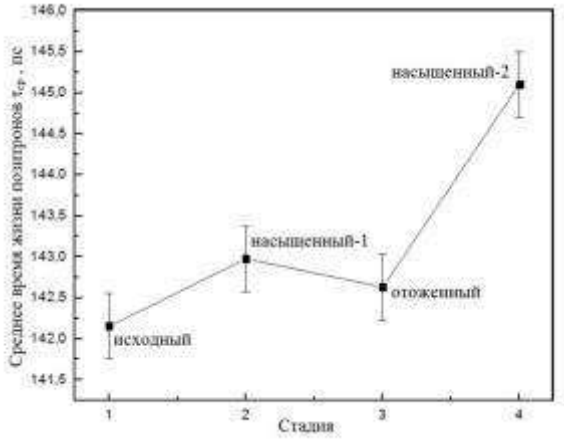

Рис. 1. Зависимость среднего времени жизни позитронов от стадии обработки.

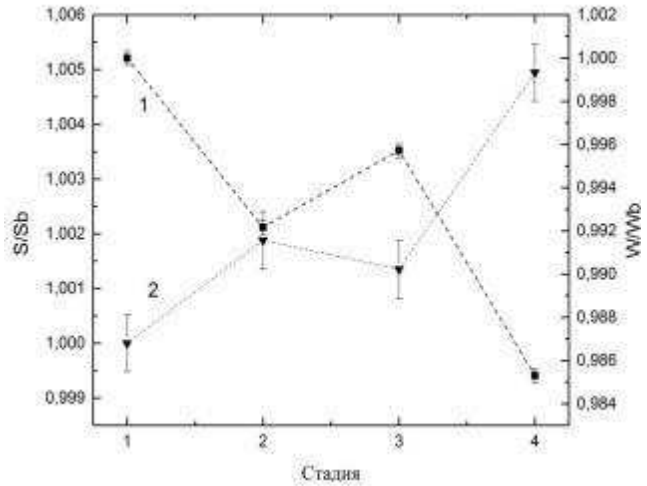

Рис. 2. Зависимости S/S_b и W/W_b параметров формы ДУАЛ от стадии обработки образца. 1- относительный параметр S/S_b; 2-относительный параметр W/W_b

Таблица 1. Значения двухкомпонентного разложения временного распределения

Стадия обработки	Компоненты времени жизни позитронов, пс		Интенсивность компоненты, %
	τ_1	τ_2	I_2
Исходный	142,2	–	–
Насыщенный-1	142,8	301,8	0,10
Отожженный-1	142,6	–	–
Насыщенный-2	144,4	656,6	0,16

В анализе спектров доплеровского уширения анниляционной линии (ДУАЛ) используют параметры формы S и W. Параметр S определяется в области низких энергии и характеризует вероятность аннигиляции позитронов с валентными электронами. W параметр определяется в области высоких энергий и характеризует вероятность аннигиляции позитронов с остовными электронами [6]. На рис. 2 представлены зависимости относительных параметров S/S_b и W/W_b от стадии обработки, где S_b и W_b параметры исходного образца. Из графика видно, что при насыщении образца водородом происходит увеличение параметра S/S_b и понижение W/W_b. Указанные изменения аннигиляционных характеристик обусловлены образованием вакансионных кластеров. После отжига наблюдается снижение параметра S/S_b и увеличение W/W_b, что указывает об уменьшении дефектности образца. На данном этапе видно, что дефектная структура также не вернулась в исходное состояние. Повторное насыщение вызывает значительный рост S/S_b параметра и падение W/W_b параметра, что соответствует резкому увеличению дефектов в образце. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами анализа по спектрометрии средней времени жизни позитронов.

В ходе данной работы было проведено исследование изменения дефектной структуры титанового сплава ВТ1-0 при термоводородном циклировании методами ЭПА. Анализ результатов по спектрометрии средней времени жизни позитронов и доплеровского уширения аннигиляционной линии показал, что при насыщении титана водородом до 0,05 масс.%, в образце появляются дефекты: после первого цикла наводороживания образуются вакансионные кластеры, состоящие из четырех моновакансий, после второго – микропоры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернов И.П. Методы исследования систем металл-водород. Томск; М.: Энергоатомиздат, 2004. – 269 с.

2. Мукашев К.М., Тронин Б.А. Дефекты водородного происхождения в сплавах тугоплавких металлов и аннигиляция позитронов // Известия ВУЗов. Физика. – 2012 – № 1/3 – С.119–125.

3. Кудияров В. Н. , Лидер А. М. Изучение процессов сорбции и десорбции водорода при помощи автоматизированного комплекса gas reaction controller LP // Фундаментальные исследования. – 2013 – №. 10–15. – С. 3466–3471.

4. Бордулев Ю. С. , Лаптев Р. С. Спектрометр времени жизни позитронов // Современные техника и технологии: сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 т., Томск, 15-19 Апреля 2013. – Томск: ТПУ, 2013 – Т. 1 – С. 131–132.

5. Čížek J., Melikhova O., Barnovská Z., Procházka I. and Islamgaliev R. K. Vacancy clusters in ultra fine grained metals prepared by severe plastic deformation// J. Phys. Conf. Ser. – 2013. – 443.

6. Krause-Rehberg R., and Leipner H. S. Positron Annihilation in Semiconductors: Defect Studies, Springer, Berlin Heidelberg New York, 1999. – 397 p.