

УДК 539.25:539.1.043:539.26

DOI: 10.17223/00213411/62/5/112

*И.П. МИШИН¹, Г.П. ГРАБОВЕЦКАЯ¹, Е.Н. СТЕПАНОВА², Р.С. ЛАПТЕВ², А.Д. ТЕРЕСОВ³***ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА ФОРМИРОВАНИЕ ДЕФЕКТНОЙ СТРУКТУРЫ В СПЛАВЕ Zr – 1 мас. % Nb ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ***

Методами рентгеноструктурного анализа, электронной и позитронной спектроскопии установлено, что облучение поверхности импульсным электронным пучком в режиме плавления приводит к формированию в приповерхностном слое сплава Zr – 1 мас. % Nb пластинчатой $\alpha+\alpha'$ -структуры, росту плотности дислокаций, растворению фазы β -Nb и образованию дефектов типа «вакансия-примесь». Присутствие водорода в сплаве при облучении электронным пучком способствует образованию в приповерхностном слое наряду с дислокациями сложных водород-вакансионных комплексов.

Ключевые слова: циркониевый сплав, водород, импульсный электронный пучок, дефекты.

Введение

В последние годы для повышения эксплуатационных характеристик металлических материалов и создания защитных покрытий используется модификация поверхности путем ее облучения электронными и ионными пучками [1, 2]. В процессе воздействия электронных и ионных пучков в поверхностных слоях материала возникают большие градиенты температур и напряжений, в результате этого происходит образование дефектов [3–8]. Образовавшиеся дефекты взаимодействуют с уже существующими в кристалле дефектами, что может приводить к образованию новых дефектов [9, 10]. Существенно изменить плотность и тип образующихся при облучении дефектов может присутствие в материале водорода. Известно, что водород может индуцировать образование в материале новых дефектов и активно взаимодействовать с уже имеющимися дефектами структуры [11–13]. От типа и количества тех или иных дефектов в материале зависит его устойчивость к водородной хрупкости. В этой связи представляется важным изучение влияния водорода на эволюцию дефектной структуры материала в условиях облучения электронным пучком.

В настоящей работе проведено сравнительное исследование влияния режима облучения импульсным электронным пучком на дефектную структуру сплавов Zr – 1 мас. % Nb и Zr – 1 мас. % Nb – 0.21 мас. % H.

Материал и методы исследования

В качестве исходного материала для исследования использовали промышленный циркониевый сплав Zr – 1 мас. % Nb с содержанием водорода 0.0016 мас. % (далее сплав Zr – 1 Nb). Наводороживание цилиндрических заготовок сплава до концентрации ~ 0.21 % (здесь и далее концентрация водорода указана в мас. %) проводили путем отжига в среде водорода при давлении 1 атм и температуре 873 К в высоковакуумной установке типа Сиверста (марка РСІМ). Заготовки после наводороживания гомогенизировали при температуре 853 К в течение 15 ч. Концентрацию водорода в слитках измеряли с помощью газового анализатора RHEN 602 с точностью 0.0001 %.

Облучение сплавов импульсным пучком электронов было проведено в установке «СОЛО» [14] с импульсным электронным источником. Были использованы два режима облучения: режим плавления (плотность энергии 12 Дж/см²) и режим отсутствия плавления (плотность энергии 5 Дж/см²). В обоих случаях было выполнено по три импульса облучения с частотой 0.3 с^{–1} и длительностью импульса 50 мкс. Облучение образцов диаметром 20 мм и толщиной 0.8 мм проводили в атмосфере аргона при остаточном давлении 0.02 Па. Площадь облучаемой поверхности составляла ~ 2.6 см². Поверхность образцов перед облучением подвергали механической шлифовке и электролитической полировке.

Структуру сплава исследовали с помощью оптического (марка AXIOVERT-200MAT) и просвечивающего электронного (марка JEM-2100) микроскопов. Размеры структурных элементов оп-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 18-08-00158, с использованием научного оборудования Томского материаловедческого центра коллективного пользования.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>