

ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЦИРКОНИЯ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА*

Е.А. Пестерев^{1,2}, А.В. Соловьев², Е.В. Яковлев^{1,2}, А.Б. Марков^{1,2}

¹ Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия

² Томский научный центр СО РАН, г. Томск, Россия

Представлены результаты численных и экспериментальных исследований циркония, облучаемого низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком с плотностью энергии, меняющейся в диапазоне от 2.2 до 5.2 Дж/см². Промоделирована динамика плавления поверхности, определены толщина и время жизни расплава, а также скорости охлаждения, реализуемые в цирконии при импульсной электронно-пучковой обработке. Экспериментально исследованы структура и свойства циркония, показано, что в результате обработки в закаленном из расплава слое формируется мартенситная α' -фаза. Установлено, что образование мартенситной фазы приводит к увеличению нанотвердости и износостойкости поверхности. Максимально полученное значение нанотвердости поверхностного слоя после обработки в 2 раза превышает исходное значение.

Ключевые слова: низкоэнергетический сильноточный электронный пучок, цирконий, нанотвердость, износостойкость, шероховатость, плотность энергии.

Введение

Привлекательные свойства, такие как малое поглощение нейтронов, хорошая коррозионная стойкость и удовлетворительное сочетание пластичности и прочности, позволили широко использовать сплавы циркония в химической и ядерной промышленности [1–3]. Поскольку конструкционные материалы в последнем случае работают в специфических условиях, таких как высокие температуры, агрессивные среды, различные виды механических и тепловых нагрузок, то к ним предъявляются наиболее жесткие эксплуатационные требования. Тем не менее при эксплуатации изделий из циркония могут наблюдаться поверхностные разрушения из-за точечной коррозии и фреттинг-износа [4]. Не менее важны механические свойства поверхности, поскольку циркониевые компоненты находятся в непосредственном контакте с теплоносителем. По техническим условиям эксплуатации циркониевые материалы подвержены проникновению в них водорода, т.е. гидрированию. В настоящее время решение задачи улучшения комплекса свойств сплавов, используемых в ядерной промышленности, ведется по нескольким направлениям: усовершенствование композиционного состава; разработка и создание новых типов сплавов; нанесение различных защитных покрытий и разработка методов модификации поверхности изделий. Наиболее перспективным и экономически выгодным способом решения данной проблемы является модификация поверхности уже готовых деталей и конструкций из циркониевых сплавов.

В настоящее время существуют различные методы обработки поверхности: ионная имплантация [5, 6], микродуговое оксидирование [7], лазерное плавление поверхности [8] и, наконец, электронно-пучковое воздействие [9–11]. Модификация поверхности материала низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком (НСЭП) привлекает широкое внимание благодаря своему большому потенциалу применения и преимуществам. При облучении НСЭП большое количество энергии выделяется в поверхностном слое за очень короткое время, что приводит к его быстрому нагреву, плавлению и последующему охлаждению в результате теплопроводности. Как следствие, свойства, такие как твердость и износостойкость, могут быть улучшены [11]. На данный момент выполнен ряд работ [12, 13] по облучению Zr низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком, где исследуется зависимость различных свойств от количества импульсов облучения, однако еще одним не менее важным параметром облучения является плотность энергии пучка.

Цель данной работы – исследование морфологии и топографии поверхности циркония, а также ее механических и трибологических свойств в зависимости от плотности энергии НСЭП при импульсном плавлении.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Министерства науки и высшего образования (проект № 075-15-2021-1348) в рамках мероприятия № 2.1.9.

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>