

## МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЦИРКОНИЯ И СПЛАВА $Zr1\%Nb$ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ УСКОРИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ МАГНЕТРОННОЙ ПУШКИ

*А.Н. Довбня, С.Д. Лавриненко\*, В.В. Закутин, А.Н. Аксёнова\*, Н.Г. Решетняк,  
Н.Н. Пилипенко\*, В.Н. Пелых\*, Г.Н. Толмачева\**

*Научно-исследовательский комплекс «Ускоритель» ННЦ ХФТИ,  
\*Институт физики твердого тела, материаловедения и технологий ННЦ ХФТИ  
Харьков, Украина*

Представлены экспериментальные результаты по модифицированию поверхности образцов сплава  $Zr1\%Nb$ , вырезанных из труб-оболочек твэлов, и чистого циркония методом облучения трубчатым электронным пучком ускорителя на основе магнетронной пушки. Изучены структура поверхности циркониевых материалов после облучения металлографическими методами, измерения микротвердости в поверхностном слое и механические свойства с помощью метода наноиндентирования. Показана перспективность применения электронного пучка ускорителя для целенаправленной модификации поверхности реакторных материалов.

### ВВЕДЕНИЕ

Достаточно жесткие условия (химически активная среда; механические, тепловые и радиационные нагрузки; физические поля) эксплуатации элементов конструкций атомно-энергетических установок (АЭУ) приводят к возрастанию требований свойствам конструкционных материалов, их геометрии, величине и количеству допускаемых дефектов [1, 2]. Свойства и эксплуатационные характеристики конструкционных материалов определяются их структурно-фазовым состоянием. Некоторые эксплуатационные характеристики, такие как коррозионная и эрозионная стойкости, сопротивление разрушению и износу, трещиностойкость и ряд других, определяются структурно-фазовым состоянием приповерхностных слоев [3].

Методы обработки (модифицирования) поверхности материалов концентрированными потоками энергии (электронными пучками, лазерным облучением, ионной имплантацией) получили широкое распространение в последние годы. При взаимодействии концентрированных потоков электронов, ионов и фотонов с поверхностью твердого тела имеет место целый комплекс процессов: высокоскоростной нагрев, оплавление, испарение, выброс плазмы и нейтральных частиц с поверхностного слоя, генерация динамических напряжений в твердом теле, распространение ударных волн, перенос и перераспределение вакансий и примесей. Все эти процессы существенным образом зависят от величины удельного энерговыделения, которое определяется сортом бомбардирующих частиц и энергией применяемых пучков. Использование ионных пучков требует довольно сложного в эксплуатации оборудования. Лазерные пучки имеют сравнительно малый коэффициент полезного действия. Применение концентрированных электронных пучков является более удобным для поверхностной обработки материалов, так как они имеют более высокий КПД преобразования запасаемой электрической энергии в энергию пучка, большую надежность, высокую степень ре-

гулирования параметров пучка, меньшую стоимость оборудования. В отличие от лазерного электронный пучок практически полностью поглощается облучаемым материалом, что делает его очень удобным инструментом не только для исследований, но и для практического применения [4-6].

Поверхностное структурообразование в материалах при воздействии сильноточных импульсных пучков происходит в результате комплекса модифицирующих эффектов, обусловленных термическими, термомеханическими и диффузионными явлениями [4, 7, 8]. Наряду с указанными факторами формирование структурно-фазовых состояний в значительной степени определяется и структурными особенностями облучаемого материала.

Оболочки твэлов и некоторые комплектующие изделия тепловыделяющих сборок (ТВС) тепловых реакторов изготовлены из циркониевых сплавов Э110 и Э635 и обеспечивают проектные выгорания топлива. Дальнейшее повышение безопасности, обеспечение экономичности ядерной энергетики требуют повышения энергонапряженности, мощности единичных блоков АЭС, увеличения длительности кампаний, более эффективного сжигания топлива, в том числе за счет повышения качества конструкционных материалов. Например, повышение выгорания топлива в ВВЭР-1000 до 70 (МВт·сут)/(кг U) и длительности эксплуатации топлива до 5...7 лет, а также повышение рабочей температуры теплоносителя требуют улучшения эксплуатационных характеристик существующих циркониевых изделий ТВС (коррозионной и износостойкостей). Для повышения коррозионной стойкости и сопротивления износу перспективными являются методы модифицирования структурно-фазового состояния в приповерхностных слоях тонкостенных изделий, в нашем случае оболочек твэлов из сплавов циркония.

Целью данной работы было исследование возможности целенаправленной модификации поверхности циркониевых сплавов (образцов оболочек

твэлов из Zr1%Nb и ленты чистого циркония) при ее облучении электронным пучком ускорителя, а также исследование изменения свойств и структуры поверхности под воздействием электронного пучка.

## МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА И ИССЛЕДУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

На рис. 1 показана принципиальная схема ускорителя электронов, в котором используется магнетронная пушка с холодным металлическим вторично-эмиссионным катодом.

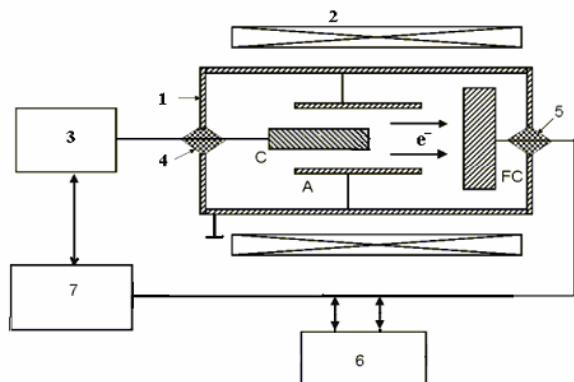


Рис. 1. Принципиальная схема ускорителя электронов с магнетронной пушкой, в которой используется холодный металлический вторично-эмиссионный катод: 1 - вакуумная камера; C - катод; A - анод; 2 - соленоид; FC - цилиндр Фарадея; 3 - высоковольтный импульсный генератор; 4 - высоковольтный ввод; 5 - вакуумированный разъем; 6 - компьютерная измерительная система; 7 - блок синхронизации

Основными узлами ускорителя являются: магнетронная пушка, состоящая из катода C и анода A, размещенных в вакуумной камере 1, давление в которой перед началом эксперимента составляет  $\sim 10^{-6}$  мм рт. ст. Анод через резистор (на рисунке не показан) заземлен. Он представляет собой полый цилиндр из нержавеющей стали с внутренним диаметром 78 и длиной 140 мм. Катод C - медный цилиндр диаметром 40 и длиной 85 мм. Продольное магнитное поле для генерации и транспортировки электронного пучка магнетронной пушки создается четырехсекционным соленоидом 2, который размещается снаружи вакуумной камеры. Соленоид питается от источника постоянного тока (на рисунке не показан). Амплитуду и продольное распределение магнитного поля, создаваемого соленоидом, можно регулировать путем изменения величины тока в его секциях.

Устройство мишени (рис. 2), на котором размещаются и закрепляются облучаемые образцы, находится в вакуумной камере и располагается на торцевой части цилиндра Фарадея (FC), которая во время облучения образцов охлаждается водой. Торцевая часть FC изготовлена из нержавеющей стали и находится на расстоянии  $\sim 100$  мм от торцевой поверхности анода. Высоковольтный импульсный генератор 3 соединен с помощью высоковольтного ввода 4 с катодом C, а цилиндр Фарадея через ва-

куумированный разъем 5 - с компьютерной системой 6, обрабатывающей результаты измерений параметров импульса напряжения и тока пучка на цилиндре Фарадея и выводящей полученные данные измерений на экран компьютера. Блок синхронизации 7 задает работу импульсного генератора и компьютерной системы. В схеме высоковольтного импульсного генератора используются полные разряды накопительных емкостей, которые подаются на первичную обмотку импульсного трансформатора. Вторичная обмотка импульсного трансформатора соединена с катодом, что обеспечивает получение на нем импульса напряжения специальной формы с амплитудой выброса 190 кВ, длительностью спада выброса  $\sim 0,6$  мкс. Амплитуда плоской части импульса напряжения составляет  $\sim 150$  кВ, ее длительность  $\sim 15$  мкс, частота следования импульсов - 2 Гц.

Принцип работы описанной магнетронной пушки основан на вторично-эмиссионном размножении электронов и получении электронного пучка в скрещенных электрическом и магнитном полях. При этом образуется электронный пучок трубчатой формы. Схема ускорителя электронов на основе магнетронной пушки с холодным металлическим вторично-эмиссионным катодом и работа отдельных его узлов более подробно описаны в работе [7].

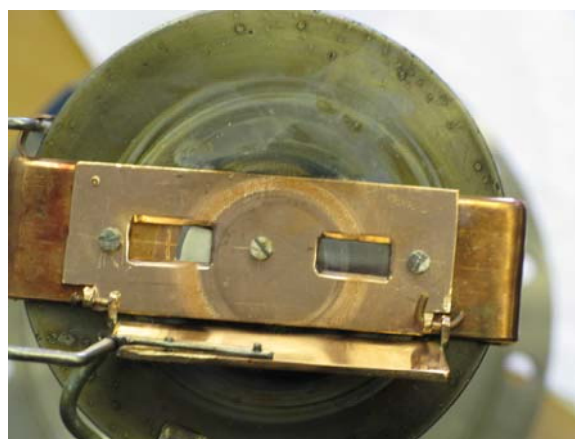


Рис. 2. Устройство мишени

Перед облучением материалов на данном ускорителе было проведено исследование формирования электронного пучка в зависимости от величины импульса напряжения на катоде, величины и распределения магнитного поля вдоль оси магнетронной пушки. Определена зависимость тока пучка на цилиндре Фарадея от распределения магнитного поля вдоль канала транспортировки. Погрешность измерений составляла 1...2%. Выбраны оптимальные режимы работы ускорителя [9].

В качестве исследуемых материалов использованы образцы Zr1%Nb, вырезанные из оболочек твэлов для реакторов ВВЭР и ленты чистого циркония.

При проведении экспериментов электронный пучок имел следующие параметры: энергия электронов 70...80 кэВ, длительность импульса 15 мкс, частота посылок 2 имп./с. Облучение проводилось в двух режимах: плотность энергии на образцах со-

ставляла 10 и 20 Дж/см<sup>2</sup>, количество импульсов - 5. При таких параметрах пучка глубина модифицированного слоя составляет ~10...100 мкм.

Морфология поверхности облученных образцов и глубина кратеров, образованных под действием электронного луча, изучались с помощью оптического микроскопа ММР-4. Измерение микротвердости поверхности образцов проведено на приборе ПМТ-3 при нагрузке 50 г. При измерении микротвердости на каждом образце делалось по 2 дорожки, после чего были построены графики зависимости микротвердости облученной и необлученной областей от расстояния.

Для изучения механических характеристик поверхности использовался метод наноиндентирования с помощью прибора Nano Indenter G200, с применением алмазной трехгранной пирамидки Берковича с радиусом затупления при вершине около 20 нм. Прецизионная точность нагружения и измерения смещений обеспечивается электромагнитным приводом зонда и емкостными датчиками перемещений. Точность измерения глубины отпечатка ±0,04 нм.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При воздействии на материал мощного импульса пучка электронов или ионов слой поверхности толщиной порядка пробега частиц в материале (10...100 мкм) быстро нагревается до температуры фазовых переходов, например, до температуры плавления. По окончании импульса воздействия нагретый слой материала быстро охлаждается отводом тепла в толщу материала посредством теплопроводности (рис. 3). В результате этих процессов свойства поверхностного слоя изменяются (модификация поверхности):

- изменяется микроструктура - размер зерна уменьшается от сотен до долей микрометра, возможен переход в аморфное состояние;

- изменяется фазовый состав, при этом возможно появление метастабильных фаз и соединений, которые при обычных методах термообработки материалов образоваться не могут;

- гомогенизируется фазовый состав, например, измельчаются и однородно распределяются карбиды в сталях.

Скорость нагрева и охлаждения зависит от свойств материала и параметров пучка. Скорость нагрева может достигать величины ~ 10<sup>10</sup> К/с. Максимальная скорость охлаждения (~ 10<sup>8</sup> К/с) достигается при адиабатическом режиме облучения, когда энергия, вносимая пучком в материал, в течение длительности импульса остаётся в пределах поверхностного слоя, т. е. не успевает переноситься в толщу материала теплопроводностью [10].

Формирование подобных структур оказывает существенное влияние на изменение их физико-механических свойств. В частности, способствует повышению микротвердости и поверхностной прочности сплавов.

Полученные результаты показали, что облучение электронами поверхности циркония и его сплава вызывает существенные изменения в структуре приповерхностного слоя. На рис. 4 показаны поверхности границы раздела облученной и необлученной областей циркониевых материалов. Видно, что облучение электронами поверхностей циркониевых материалов вызывает заметные изменения в структуре их приповерхностного слоя. Отчетливо видно изменение рельефа поверхности, вызванное её оплавлением и интенсивным испарением. Облучение приводит к существенному сглаживанию шероховатости поверхности, она стала более гладкой и зеркальной. В ряде случаев (при плотности энергии 20 Дж/см<sup>2</sup>) на участках внутри облученной области даже при небольшом увеличении (×160) наблюдается образование кратеров, что связано с выбросом материала и выходом на поверхность газов и наиболее летучих элементов с приповерхностного слоя (см. рис. 4, г).

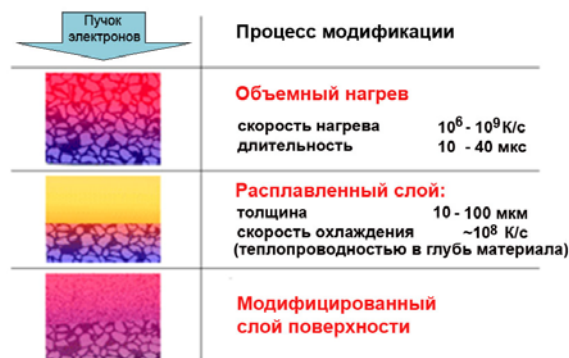


Рис. 3. Схема импульсной электронно-пучковой модификации поверхности материалов

После облучения произошли некоторые фазовые изменения, в процессе быстрого охлаждения из β-области образуется так называемый грубый продукт пластинчатого типа. Местабильная α'-фаза, характеризующаяся размытием линий решётки α-фазы, свидетельствует о наличии больших внутренних напряжений, вызывающих увеличение прочности и твёрдости сплавов.

Важное значение для изучения механических свойств материалов имеют измерения микротвердости в поверхностном слое. Исследования микротвердости облученной и необлученной областей поверхности циркониевых материалов показывают, что ее значения в облученной области изменяются: микротвёрдость сплава Zr1%Nb увеличилась на ~ 20 % от исходного значения (1920 МПа) при плотности энергии облучения 10 Дж/см<sup>2</sup> и на ~ 35 % при плотности энергии 20 Дж/см<sup>2</sup>, что может быть связано с различным количеством переданной энергии облученной поверхности. На рис. 5 приведены зависимости изменений микротвёрдости Zr1%Nb и чистого циркония от координат на облученной и необлученной поверхностях при различных режимах. На графиках видно, что значения твёрдости в облученной области изменяются, микротвёрдость Zr1%Nb увеличилась, следовательно, произошло небольшое упрочнение.

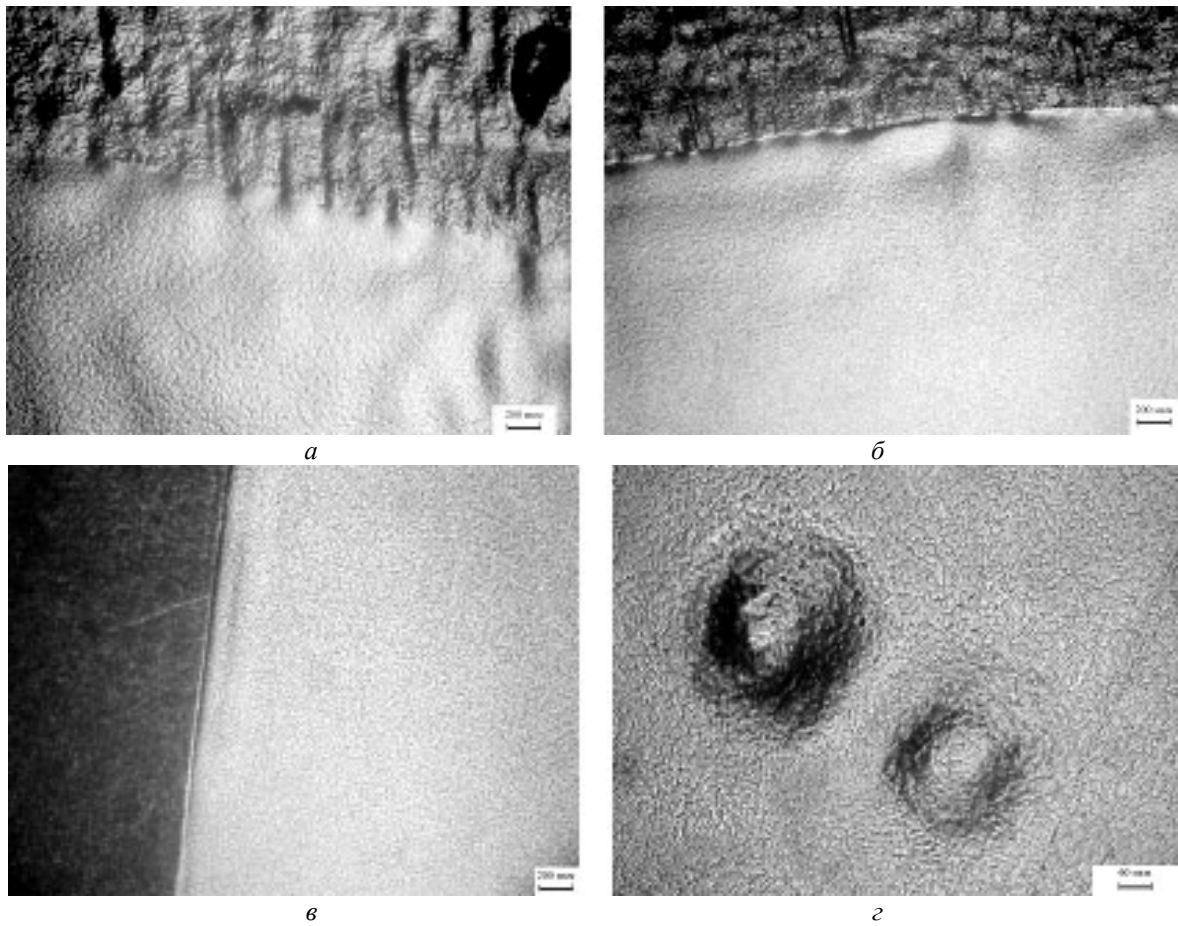


Рис. 4. Граница раздела необлученной и облученной областей электронным пучком с плотностью энергии 10 (а) и 20 Дж/см<sup>2</sup> (б, в, г) поверхности сплава Zr1%Nb (а, б) и Zr (в) (×50) и участок облученной области Zr (г) (×160)

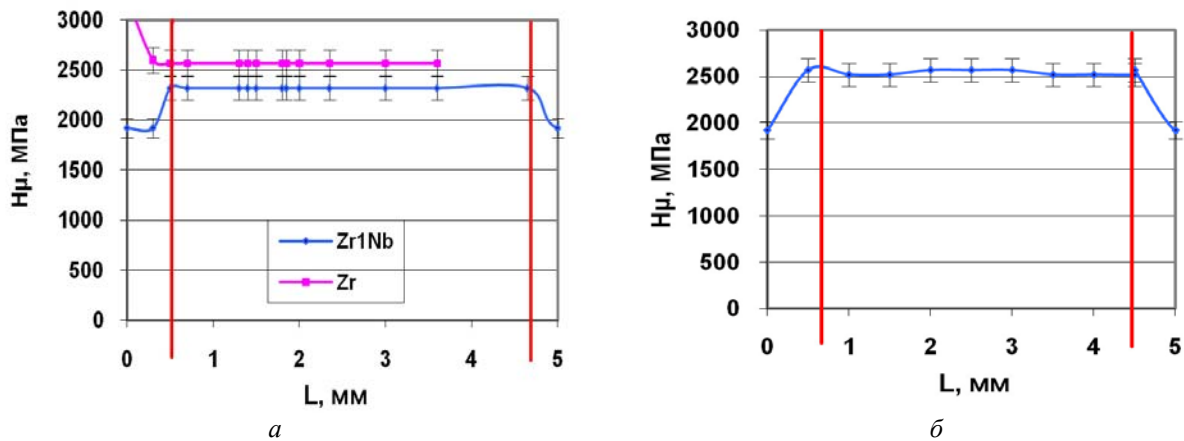


Рис. 5. Изменение микротвердости от расстояния на облученной (между вертикальными линиями) и необлученной областях поверхности сплава Zr1%Nb (а, б) и Zr (а) при плотности энергии электронного пучка 10 (а) и 20 Дж/см<sup>2</sup> (б)

Исходные значения микротвёрдости циркония составляют 3210 МПа. При облучении циркония электронным пучком с плотностью энергии 10 Дж/см<sup>2</sup> наблюдается уменьшение микротвердости (см. рис. 5,а), что может быть связано со снятием наклепа с поверхности образцов, полученных прокаткой. Измерения прибором ПМТ-3 существенных изменений в твердости для необлученной и облученной электронным пучком с плотностью энергии 20 Дж/см<sup>2</sup> поверхностей не показывают.

Традиционный метод измерения микротвердости с помощью микротвердомера ПМТ-3 наряду с такими достоинствами, как простота и высокая локальность, имеет недостаток, он заключается в том, что испытания могут проводиться только при больших нагрузках, что не позволяет достоверно испытывать тонкие слои толщиной в несколько микрометров. Это обстоятельство ограничивает возможность применения метода для изучения тонких слоев поверхности материалов. В последнее

время для исследования механических свойств материалов в наномасштабе широко применяется техника наноиндентирования [11], позволяющая измерять нанотвердость и модуль Юнга при глубине слоя меньше 1 мкм. В отличие от обычных твердомеров на этом приборе не нужно определять оптическим методом площадь отпечатка для нахождения твердости. Вместо этого в ходе испытаний непрерывно регистрируется зависимость положения индентора относительно поверхности образца в зависимости от приложенной нагрузки. Это позволяет определить глубину отпечатка без получения его изображения.

Измерения образцов проводили до глубины 500 нм (глубина выбрана так, что результаты испытаний можно сравнивать с результатами микротвердости). Отпечатки наносились таким образом, чтобы измерять свойства каждой области (облученная и необлученная границы). Обработку полученных экспериментальных данных проводили по анализу нагрузочной кривой методом Оливера и Фарра [11]. На рис. 6 приведены фотографии поверхности образцов из сплава Zr1%Nb и циркония до и после облучения. На фотографиях видны отпечатки после уколов иглы наноиндентера и микротвердомера.

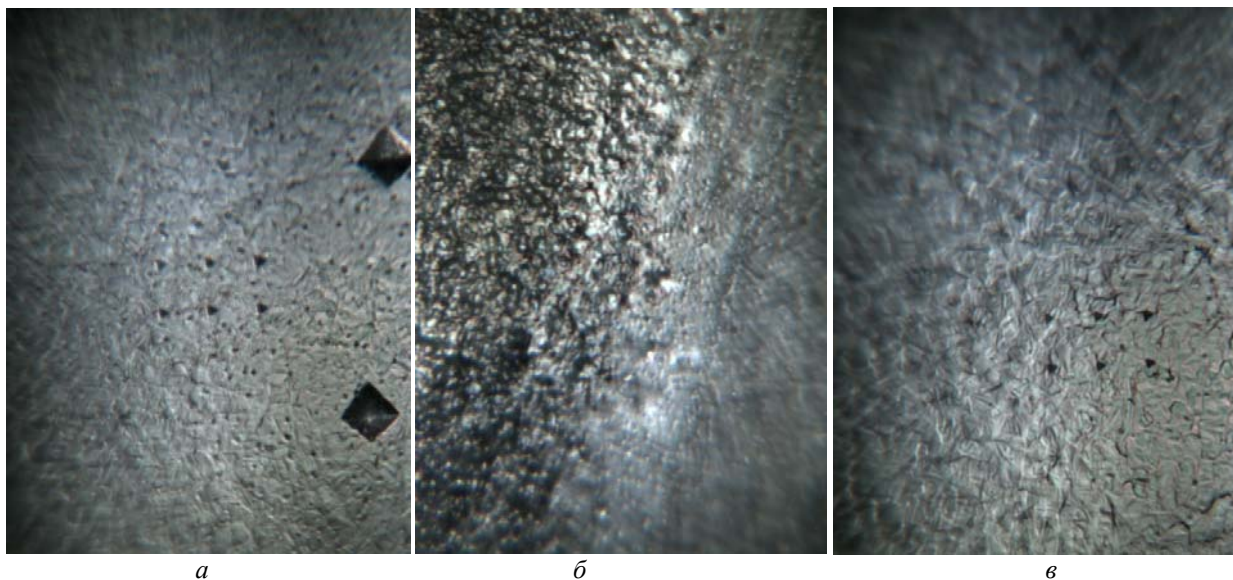


Рис. 6. Фотографии облученной поверхности (а, в) образцов из циркония (а, б) и сплава Zr1%Nb (в) и граница раздела необлученной и облученной областей электронным пучком с плотностью энергии 20 Дж/см<sup>2</sup> (б) ( $\times 1000$ )

На рис. 7 показаны зависимости нанотвердости поверхности циркония и сплава Zr1%Nb исходного и после облучения электронным пучком от глубины поверхностного слоя, построенные по результатам наноиндентирования при последовательном увеличении глубины проникновения индентера в поверхность образцов.

Из результатов измерений (см. рис. 7), видно, что после облучения электронами на поверхности формируется нанослой с повышенной твердостью. Так, максимальная нанотвердость образцов сплава Zr1%Nb после облучения достигает 3,6 ГПа в сравнении с 2,3 ГПа для исходного образца. Причем, значение нанотвердости монотонно уменьшается до 3,0 ГПа на глубине 500 нм.

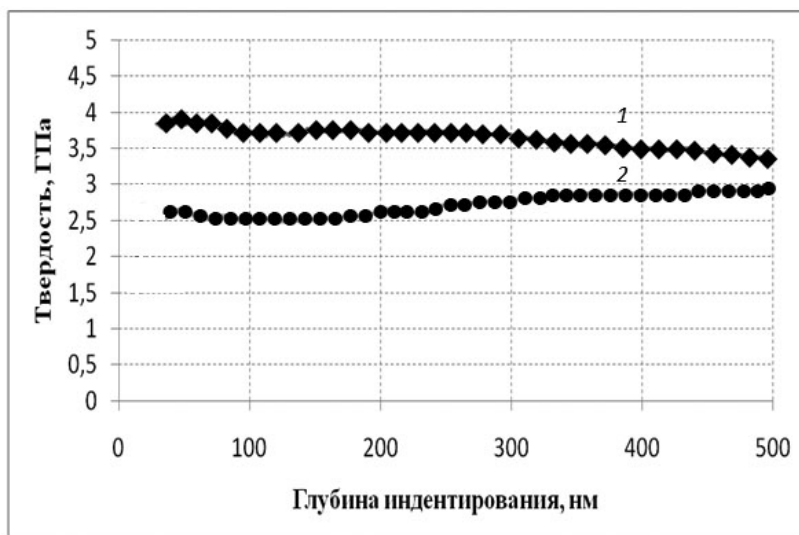
Для образцов циркония после облучения характерно увеличение нанотвердости до 3,8 ГПа на поверхности с последующим незначительным уменьшением в глубь образца (3,5 ГПа на глубине 500 нм). Нанотвердость исходных образцов циркония увеличивается в глубину с 2,5 ГПа на поверхности до 2,9 ГПа на глубине 500 нм.

Модуль Юнга, который характеризует сопротивление материала растягиванию/сжатию при упругой деформации, также изменяется после облуче-

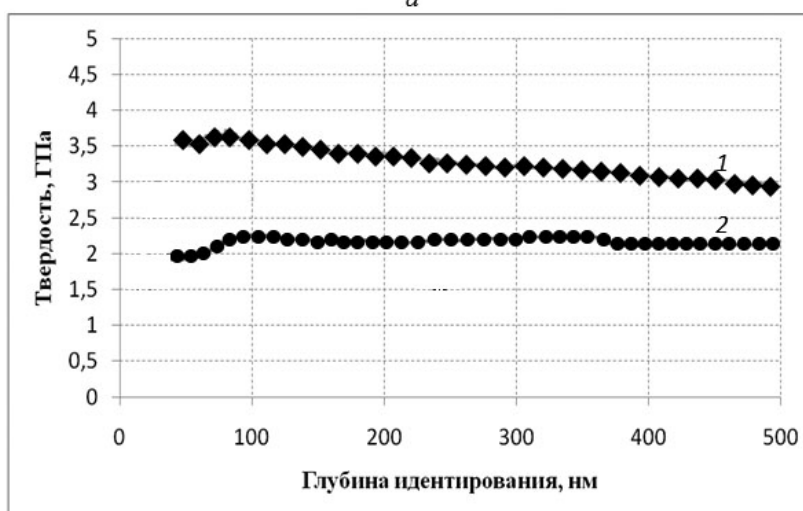
ния образцов пучком электронов. Значения модуля Юнга для исходных образцов исследуемых циркониевых материалов составляют 80 ГПа, а для образцов после облучения – 120 ГПа.

Таким образом, полученные изменения твердости показывают, что при соответствующем выборе режимов облучения циркониевых материалов может быть получена закалка поверхности, которая будет смягчающей термической операцией, вызывающей увеличение ее пластичности. Важным результатом воздействия электронного пучка на циркониевые материалы является повышение прочностных характеристик при сохранении пластичности обрабатываемых образцов.

Проведенные исследования показали, что облучение поверхности циркония и его сплава Zr1%Nb вызывает значительные изменения структуры и фазового состояния приповерхностного слоя и, как следствие, изменение его микротвердости. Поэтому при выборе оптимальных характеристик электронного облучения данная методика может быть рекомендована для упрочнения и модификации приповерхностного слоя циркониевых материалов для атомной энергетики.



а



б

Рис. 7. Зависимости нанотвердости поверхности образцов циркония (а) и сплава Zr1%Nb (б): исходного (2), после облучения (1) электронным пучком с плотностью энергии 10 (б) и 20 Дж/см<sup>2</sup> (а) от глубины поверхностного слоя

## ВЫВОДЫ

Показана принципиальная возможность применения метода облучения трубчатым электронным пучком ускорителя на основе магнетронной пушки для модифицирования структурно-фазового состояния в приповерхностных слоях тонкостенных оболочек твэлов из сплавов циркония. Для оптимальной модификации поверхности различных циркония и его сплавов необходимо проводить исследования результатов различных режимов облучения.

Металлографические изучения облученной электронами поверхности циркониевых материалов показали возможность ее целенаправленной модификации.

Результаты измерений, полученных с помощью метода наноиндентирования, показали, что после обработки поверхности циркония и сплава Zr1%Nb на поверхности формируется наноструктурный слой с повышенной твердостью. Максимальная нанотвердость образцов после облучения достигает 3,8 ГПа в сравнении с 2,3 ГПа для исходных образцов.

Ускоритель с параметрами электронного пучка (энергией электронов 70...80 кэВ, длительностью импульса 15 мкс, плотностью энергии 10...20 Дж/см<sup>2</sup>, частотой посылок 2 Гц) может быть рекомендован для целенаправленного модифицирования поверхности циркониевых материалов для ядерной энергетики и применен в различных исследовательских и технологических целях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. И.М. Неклюдов. Состояние и проблемы атомной энергетики в Украине // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. 2007, №2, с. 3-9.
2. М.И. Солонин, Ф.Г. Решетников, А.Г. Иолтуховский, А.В. Никулина. Новые конструкционные материалы активных зон ядерных энергетических установок // *Физика и химия обработки материалов*. 2001, №4, с. 17-27.
3. Б.А. Калинин, Н.В. Волков, В.Л. Якушин. Радиационно-пучковое воздействие – метод создания градиентного структурно-фазового состояния в

- материалах атомной техники // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. 2007, №2, с. 164-171.
4. V. Engelko, G. Mueller, A. Andreev, et al. Pulsed electron beam facilities (GESA) for surface treatment of materials // *Proceeding tenth International conference on applied charged particle accelerators in medicine and industry. Russia, Saint-Petersburg, 1-4 October, 2001*, p. 412-417.
  5. N.G. Reshetnyak, A.N. Dovbnya, V.V. Zakutin, et al. The electron accelerator based on the secondary emission source material - surface treatment // *Abstracts XX th Russian Conference on Charged Particle Accelerators. Russia, Novosibirsk, 10-14 September*, p. 108.
  6. И.М. Неклюдов, В.Б. Юферов, Л.Г. Сороковой и др. О некоторых процессах при взаимодействии мощного импульсного электронного пучка с поверхностями твердых тел // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Плазменная электроника и новые методы ускорения»*. 2003, № 4, с. 326-328.
  7. В.П. Табаков, А.В. Рандин. Применение импульсной лазерной обработки для повышения работоспособности быстрорежущего инструмента с многослойными покрытиями // *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2005, № 1, с. 32-37.
  8. А.П. Гопкало, А.В. Трапезон, А.В. Рутковский. Модифицирование поверхности материалов низкоэнергетическим ионным воздействием // *Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов в машиностроении, ОТТОМ-2*. Харьков, 2001, ч. 2, с. 94-98.
  9. А.Н. Довбня, В.В. Закутин, Н.Г. Решетняк и др. Изучение поверхности сталей ХВГ, Х18Н10Т и титана ВТ-1 после облучения электронным пучком ускорителя на основе магнетронной пушки с вторично-эмиссионным катодом // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники»*. 2009, № 6, с. 134-140.
  10. Н.И. Писчасов, А.В. Николаев. Модифицирование структуры и свойств твердых сплавов системы WC-CO сильноточными пучками заряженных частиц // *Вестник Омского университета*. 1996, в. 2, с. 39-43.
  11. С.Н. Дуб, Н.В. Новиков. Испытания твердых тел на нанотвердость // *Сверхтвердые материалы*. 2004, № 6, с. 1-18.

Статья поступила в редакцию 31.08.2010 г.

## **МОДИФІКАЦІЯ ПОВЕРХНІ ЦИРКОНІЮ ТА СПЛАВУ Zr1%Nb ЕЛЕКТРОННИМ ПУЧКОМ ПРИСКОРЮВАЧА НА ОСНОВІ МАГНЕТРОННОЇ ПУШКИ**

*А.М. Довбня, С.Д. Лавриненко, В.В. Закутин, А.Н. Аксьонова, Н.Г. Решетняк,  
М.М. Пилипенко, В.М. Пелих, Г.М. Толмачова*

Представлено експериментальні результати по модифікуванню поверхні зразків сплаву Zr1%Nb, вирізаних із труб-оболонки твєлів, та чистого цирконію методом опромінення трубчатим електронним пучком прискорювача на основі магнетронної пушки. Вивчено структуру поверхні цирконієвих матеріалів після опромінення металографічними методами, вимірювання мікротвердості в поверхневому шарі і механічні властивості з допомогою метода наноіндентування. Показана перспективність застосування електронного пучка прискорювача для цілеспрямованої модифікації поверхні реакторних матеріалів.

## **MODIFICATION OF SURFACE OF ZIRCONIUM AND Zr1%Nb ALLOY BY ELECTRON BEAM OF ACCELERATOR BASED ON MAGNETRON**

*A.M. Dovbnya, S.D. Lavrinenko, V.V. Zakutin, A.N. Aksyonova, N.G. Reshetnyak,  
M.M. Pylypenko, V.M. Pelyh, G.M. Tolmachova*

Experimental results of modification of surface of the samples of Zr1%Nb alloy from the pipes-shells of fuel assemblies, and pure zirconium by the method of irradiation by the electron beam of accelerator based on magnetron. The structure of surface of zirconium materials is studied, after the irradiation, by metallographic method, measuring of microhardness in a superficial layer and mechanical properties by nanoindenter technique. Perspectives of application of electron beam of accelerator for purposeful modification of surface of reactor materials are shown.