

НАСТРОЙКА КАНАЛА ВЫВОДА УСКОРИТЕЛЯ ТИПр-1 ДЛЯ ИМИТАЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ РЕАКТОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Р.П. Куйбида, Т.В. Кулевой, Б.Б. Чалых, А.И. Семенников, Г.Н. Кропачев,
И.А. Стоякин, А.О. Черница, А.Д. Фертман, А.А. Алеев, А.А. Никитин, Н.Н. Орлов,
С.В. Рогожкин*

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва, Россия

E-mail: 4alix@gmail.com

Потребности атомной промышленности определяют необходимость изучения радиационной стойкости конструкционных материалов. Одним из возможных методов анализа данных материалов является проведение имитационных экспериментов на ускорителях заряженных частиц. В Институте теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ) ведётся подготовка экспериментов на линейном ускорителе с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой ТИПр-1. Представлены результаты подготовки канала вывода пучка ускорителя ТИПр-1 для эксперимента по облучению материалов, используемых в реакторостроении.

ВВЕДЕНИЕ

Срок службы ядерных реакторов на данный момент определяется радиационной стойкостью используемых конструкционных материалов. В настоящее время многие исследования направлены на улучшение свойств данных материалов, в частности, их стойкости к воздействию ионизирующего облучения. Проведение экспериментов с вновь разрабатываемыми материалами на действующих реакторах затруднено тем, что набор необходимой дозы радиационных повреждений занимает несколько лет. Кроме этого, дальнейшее изучение облученных образцов осложняется наличием в них наведённой радиации. Одним из возможных вариантов изучения конструкционных материалов ядерных, а также термоядерных реакторов является проведение имитационных экспериментов на пучках заряженных частиц, имеющих сечение взаимодействия с атомами облучаемого вещества гораздо больше, чем у нейтронов [1-4]. Как следствие, время набора необходимого количества радиационных изменений в изучаемом образце сокращается до нескольких часов. Ионное облучение не вносит в материал наве-

дённую радиацию, что позволяет применять стандартный инструментарий для дальнейшего изучения материала. В ИТЭФ ведётся подготовка имитационного эксперимента на ускорителе с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой (ПОКФ) – тяжелоионный прототип 1 (ТИПр-1) с энергией ускоренных ионов 101 кэВ/нукл. [5]. В статье представлены результаты модернизации и настройки канала вывода пучка ускорителя ТИПр-1 для данных экспериментов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Схема ускорителя ТИПр-1 показана на Рис.1. Ускоритель состоит из 100 кВ-инжектора (1), диагностической камеры А (2) на его выходе, канала согласования пучка с двумя электростатическими линзами (3), двенадцатиметровой ускоряющей системы с ПОКФ (4), трёх квадрупольных линз (Л1, Л2, Л3) и диагностической камеры В (5) на выходе ускорителя. Для проведения эксперимента была разработана новая мишенная камера. Она устанавливалась на выходе ускорителя вместо камеры наблюдений 5 (см. Рис.1).

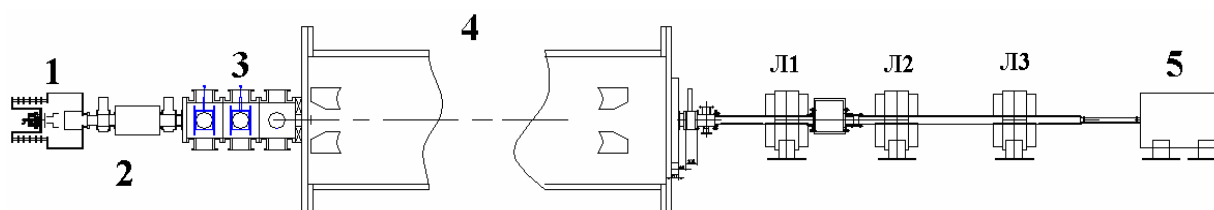


Рис.1. ТИПр-1: 1 – инжектор; 2 – камера наблюдений А; 3 – электростатические линзы; 4 – ускорительная структура ПОКФ; 5 – камера наблюдений В; Л1, Л2, Л3 – квадрупольные линзы

МИШЕННАЯ УСТАНОВКА

При разработке мишенной камеры были учтены следующие требования: возможность проведения облучения образца с температурой в диапазоне 300...1000 К при контроле данной температуры в ходе облучения с точностью до 2 К при вакууме до 10^{-7} Торр. Количество облучаемых образцов – до 7 штук диаметром 3 мм.

Мишенный блок (Рис.2) представляет собой медную болванку 2, на торце которой устанавливается сборка-держатель образцов 1. Болванка закрепляется на двух кольцах из нержавеющей стали 3. Кольца закрепляются внутри экрана водяного охлаждения 4. Для удобства монтажа образцов сначала их устанавливают в специальную кассету (см. Рис.2, поз.1), которая крепится к нагреваемому держателю. Конструкция кассеты позволяет устанавливать одновременно семь образцов диаметром 3 мм и толщиной 0,1 мм.

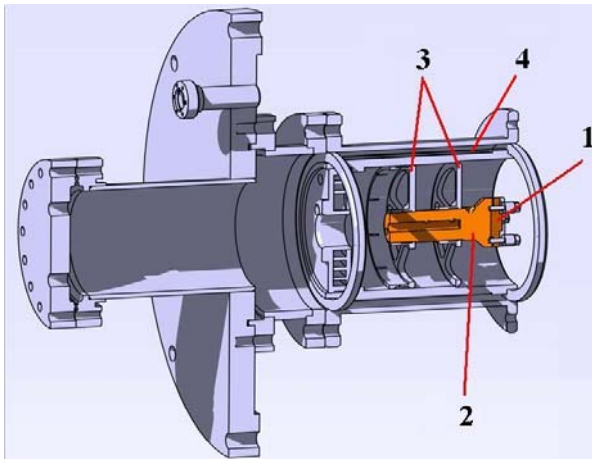


Рис.2. Мишенный блок: 1 – сборка-держатель образцов; 2 – медная болванка; 3 – спицы из нержавеющей стали; 4 – система водяного охлаждения

Шесть образцов симметрично расположены вокруг центрального. Расстояние между образцами 0,5 мм. Во время проведения эксперимента необходимо контролировать набираемый флюэнс. Для этого перед держателем образцов располагается система метрики ионного пучка, предназначенная для измерения плотности его тока и контроля дозы облучения образцов в ходе эксперимента. Кроме этого, данная система позволяет определять положение ионного пучка в области расположения образцов. Внешний вид системы представлен на Рис.3.

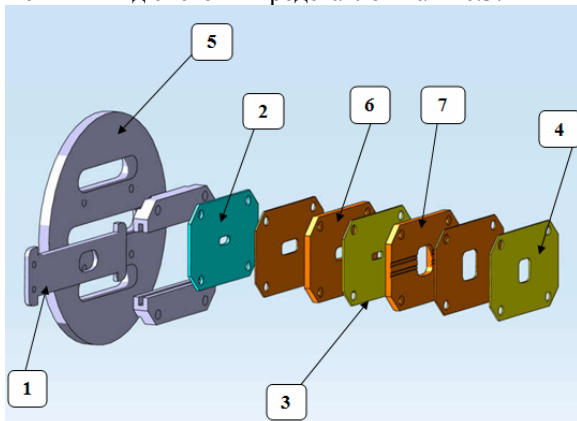


Рис.3. Внешний вид системы метрики ионного пучка: 1 – токоприемник; 2 – супрессор; 3 – вторая диафрагма; 4 – первая диафрагма; 5 – базовый фланец; 6, 7 – тефлоновые изоляторы

Система метрики пучка имеет два режима работы: режим измерения (заслонка на токоприемнике закрыта, мишень не облучается) и рабочий режим, при котором происходит непосредственное облучение мишени (заслонка открыта). В первом случае измеряется ток ионного пучка, который приходит на заслонку. При попадании ионов пучка на заземленный токоприемник (см. Рис.3, поз.1) можно определить силу тока ионного пучка. Для удержания вторичных электронов перед токоприемником установлен супрессор (см. Рис.3, поз.2), на который подается отрицательный потенциал. Согласно теоретическим расчетам, для этого на супрессор толщиной 2 мм с проходным окном размером 13×5 мм необходимо подать отрицательный потенциал величиной порядка 300 В. Во избежание попадания ионного

пучка на супрессор перед ним была установлена заземленная диафрагма 2 толщиной 1 мм с проходным окном размером 12×4 мм (см. Рис.3, поз.3). Помимо прочего, диафрагма 2 является защитной пластиной для горизонтальной части профилометра, речь о котором пойдет ниже. Для защиты фторопластовых изоляторов используется диафрагма 1 толщиной 3 мм (см. Рис.3, поз.4) с проходным окном размером 14×14 мм.

Все детали системы крепятся на базовый фланец (см. Рис.3, поз.5), который с высокой точностью (отклонение соосности не более 0,01 мм) центрируется относительно облучаемой мишени. Тем самым ось системы метрики ионного пучка совпадает с осью центрального образца.

Для настройки и контроля положения ионного пучка в области установки облучаемых образцов в конструкцию системы метрики пучка включен профилометр, состоящий из набора вертикальных и горизонтальных контактных ламелей. Горизонтальная часть профилометра состоит из четырех вертикальных ламелей диаметром 0,8 мм, расположенных с шагом 3,5 мм симметрично относительно вертикальной оси. Вертикальная часть профилометра имеет в своем составе четыре горизонтальные ламели того же диаметра, расположенные с шагом 2; 4,5 и 2 мм симметрично относительно горизонтальной оси. Данное расположение горизонтальных ламелей с переменным шагом позволяет избежать перекрытия ими ионного пучка на пути к облучаемым образцам. Последовательный опрос каждой из ламелей позволяет оценить форму пучка и его отклонение от геометрической оси.

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ПРОВОДКЕ ПУЧКА

При монтаже мишенной камеры было необходимо добиться соосности ионного пучка и центра облучаемой мишени. Для этого была изготовлена и установлена юстировочная платформа. После того как камера была выставлена на геометрическую ось канала вывода пучка ускорителя ТИПр-1, на место расположения образцов был установлен сцинтиллятор с аттестованным перекрестием для проверки точности юстировки «по пучку», так как оптическая ось канала вывода и ось пучка могли не совпадать.

Для проверки точности юстировки мишенной камеры ионный пучок был последовательно сфокусирован сначала по вертикальной (Рис.4), а затем по горизонтальной оси (Рис.5). В результате проведенного эксперимента стало ясно, что ось ионного пучка по вертикали совпадает с оптической осью канала вывода ускорителя, а по горизонтали заметно отклоняется влево по направлению пучка.

Для корректировки ионного пучка в конструкции квадрупольных линз предусмотрены дополнительные корректирующие обмотки. Изменяя величину тока и его направление в корректирующих обмотках во второй квадрупольной линзе в пределах от 0 до 1,2 А, необходимая центровка ионного пучка была достигнута при токе 0,8 А и магнитном поле, направленном вверх (Рис.6). Таким образом, была экспериментально подтверждена возможность корректировки положения ионного пучка на мишени.

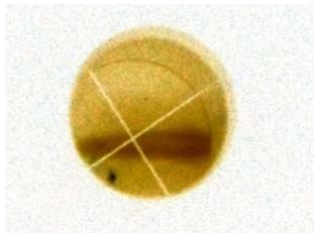


Рис.4. Фокусировка ионного пучка на сцинтиляторе по вертикали

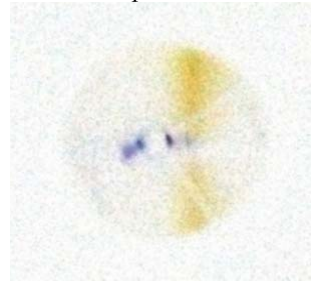


Рис.5. Фокусировка ионного пучка на сцинтиляторе по горизонтали



Рис.6. Фокусировка ионного пучка на сцинтиляторе с применением корректирующих обмоток

ВЫВОДЫ

В канале вывода пучка ускорителя ТИПр-1 установлена мишенная камера для эксперимента по моделированию радиационных повреждений стале- и сплавов ядерной промышленности. Проведена настройка «по пучку» канала вывода, по результатам которой были сделаны выводы о готовности канала к проведению экспериментальных работ. Сконст-

руированная система мишенного держателя и метрики пучка позволяет проводить одновременное облучение до 7 образцов. Первые эксперименты будут проводиться с тремя образцами, что позволит в ускоренном режиме набирать необходимое количество радиационных повреждений.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования РФ в рамках государственного контракта № П1094.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. R.S. Nelson, D.J. Mazey, J.A. Hudson. The use of ion accelerators to simulate fast neutron-induced voidage in metals // *Journal of Nuclear Materials*. 1970, v.37, p.1-12.
2. A.D. Marwick. The primary recoil spectrum in the simulation of fast-reactor radiation damage by charged-particle bombardment // *Journal of Nuclear Materials*. 1975, v.55, p.259-266.
3. Shiori Ishino. A review of in situ observation of defect production heavy ions // *Journal of Nuclear Materials*. 1997, v.251, p.225-236.
4. V. Voyevodin, I. Neklyudov, G. Tolstolutsкая, V. Bryk, J. Fomenko, R. Vasilenlo. Modern Status of Accelerators in R&D of Structural Materials for Nuclear Reactors // *IAEA Proceeding series. International Topical Meeting on Nuclear Research Applications and Utilization of Accelerators*, Vienna, Austria, 2009, AP/INT-02, p.1-8, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1433_CD/datasets/papers/ap_int-02.pdf
5. D. Kashinsky, A. Kolomiets, T. Kulevoy, R. Kuybida, V. Kuzmichov, S. Minaev, V. Pershin, B. Sharkov, R. Vengrov, S. Yaramishev. Commissioning of IТЕР 27 MHz Heavy Ion RFQ // *Proceedings of the Seventh European Particle Accelerator Conference EPAC-2000*, Vienna. 2000, p.854-856.

Статья поступила в редакцию 22.06.2012 г.

SETTING THE OUTPUT CHANNEL OF ACCELERATOR HIP-1 FOR IMITATIONAL EXPERIMENTS FOR STUDY OF RADIOACTIVE RESISTANCE REACTOR MATERIALS

R.P. Kuybida, T.V. Kulevoy, B.B. Chalykh, A.I. Semennikov, G.N. Kropachev, I.A. Stoyakin, A.O. Cheritsa, A.D. Fertman, A.A. Aleev, A.A. Nikitin, N.N. Orlov, S.V. Rogozhkin

Needs of nuclear industry determine necessity of studying radiation resistance of structural materials. Possible method of analysis of these materials is to conduct simulation experiments on particle accelerators. At Institute of Theoretical and Experimental Physics is preparing experiments at linear accelerator with radio frequency quadrupole HIP-1. Presents the results of training output channel beam accelerator HIP-1 for experiments on irradiation of materials used in reactor-building.

НАСТРОЙКА КАНАЛУ ВИВЕДЕННЯ ПРИСКОРЮВАЧА ТИПр-1 ДЛЯ ІМІТАЦІЙНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ З ВИВЧЕННЯ РАДІАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ РЕАКТОРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Р.П. Куйбіда, Т.В. Кулевий, Б.Б. Чалих, О.І. Семенніков, Г.М. Кропачев, І.А. Стоякін, А.О. Черниця, О.Д. Фертман, А.А. Алєєв, О.О. Нікітін, М.М. Орлов, С.В. Рогозжкін

Потреби атомної промисловості визначають необхідність вивчення радіаційної стійкості конструкційних матеріалів. Одним з можливих методів аналізу даних матеріалів є проведення імітаційних експериментів на прискорювачах заряджених частинок. В Інституті теоретичної і експериментальної фізики ведеться підготовка експериментів на лінійному прискорювачі з просторово-однорідним квадрупольним фокусуванням ТИПр-1. Представлені результати підготовки каналу виведення пучка прискорювача ТИПр-1 для експерименту по опроміненню матеріалів, що використовуються в реакторобудуванні.