

УДК 621.039.531

РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ НЕГЕРМЕТИЧНЫХ ПОГЛОЩАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ С КАРБИДОМ БОРА В ВОДО-ВОДЯНЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРАХ

© 2012 В.Д. Рисованный¹, С.Р. Фридман², А.В. Захаров¹, Е.М. Муралева^{1,3}

¹ ОАО «ГНЦ НИИАР», г. Димитровград

² Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова, г. Гатчина

³ Ульяновский государственный университет

Поступила в редакцию 20.11.2012

Рассмотрены положительные и отрицательные качества основного поглощающего материала в пэлах – карбида бора. Для уменьшения распухания поглощающего сердечника и снижения напряжения в оболочке предлагается создание негерметичности в пэле. Был проведен эксперимент по облучению негерметичных макетов пэлов в реакторе СМ до максимального флюенса нейтронов $3,1 \cdot 10^{21} \text{см}^{-2}$ ($E > 0,1 \text{ МэВ}$) и $1,0 \cdot 10^{20} \text{см}^{-2}$ ($E < 0,465 \text{ эВ}$). Приведены результаты испытаний негерметичных макетов пэлов. Показано, что при наличии исходной негерметичности в оболочке пэла в виде непровара в сварном шве или продольной щели работоспособность пэла при эксплуатации в стационарных условиях не ухудшается.

Ключевые слова: карбид бора, поглощающие элементы.

ВВЕДЕНИЕ

Карбид бора широко применяется в качестве поглощающего материала в органах регулирования атомных реакторах, что обусловлено высокой исходной физической эффективностью и возможностью ее повышения за счет обогащения по изотопу ^{10}B , поглощением нейтронов в широкой области энергий, высокой химической стабильностью и температурой плавления (2450°C), низкой стоимостью и большими запасами сырья. Вместе с тем, низкая радиационная стойкость из-за протекания (n, α) – реакции с накоплением большого количества гелия в поглощающем сердечнике и возникающее при этом давление под оболочкой, ограничивают срок эксплуатации органов регулирования. Для снижения избыточного давления в герметичных конструкциях органов регулирования реакторов на тепловых нейтронах с водяным теплоносителем применяют газосборники [1]. Но как показали исследования поведения герметичных поглощающих элементов с карбидом бора с газосборниками в аварийных ситуациях, связанных с перегревом выше 600°C , даже сравнительно небольшое выгорание изотопа ^{10}B (~ 3%) может привести к деформации и разрушению оболочки.

Рисованный Владимир Дмитриевич, доктор технических наук, заместитель директора. E-mail: risovanuy@yandex.ru
Фридман Сергей Рувинович, кандидат технических наук, заведующий группы металлов отдела физики и техники реакторов. E-mail: FridmanSR@yandex.ru

Захаров Анатолий Васильевич, начальник лаборатории, кандидат технических наук

Муралева Елена Михайловна, научный сотрудник, кандидат технических наук. E-mail: muraleva@niiar.ru

Одно из перспективных направлений работ по увеличению ресурса и надежности эксплуатации органов регулирования с карбидом бора для тепловых ядерных реакторов с водяным теплоносителем – создание негерметичных конструкций, широко используемых в ядерных реакторах на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем [2]. Принципиальная возможность создания таких конструкций для пэлов реакторов ВВЭР-1000 показана в настоящей работе.

ИССЛЕДУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Предметом исследований были образцы, выполненные в виде макетов поглощающих элементов (пэлов) реактора ВВЭР-1000. Макеты пэлов представляют собой цилиндрическую оболочку из никелевого сплава ЭП-630У (диаметр 8,2 мм, толщина стенки 0,465 мм), заполненную порошком или таблетками B_4C и загерметизированную концевыми деталями. Высота поглощающего сердечника, как и газосборника, составляет 30 мм, всего макета 88 мм. Между поглощающим сердечником и газосборником находится вкладыш из никелевой сетки для фиксации поглощающего сердечника и свободного выхода газа. Макеты имели негерметичности в оболочке, представляющие продольную щель длиной 15 мм и шириной до 2 мм, непровар в сварном шве площадью 1мм^2 (рис. 1).

Реакторные испытания макетов пэлов проводили в реакторе СМ. Параметры реакторных испытаний представлены в табл.1. Макеты размещали в облучательное устройство, представляющее сборку сепараторного типа из шести периферийных трубок с макетами поглощающих

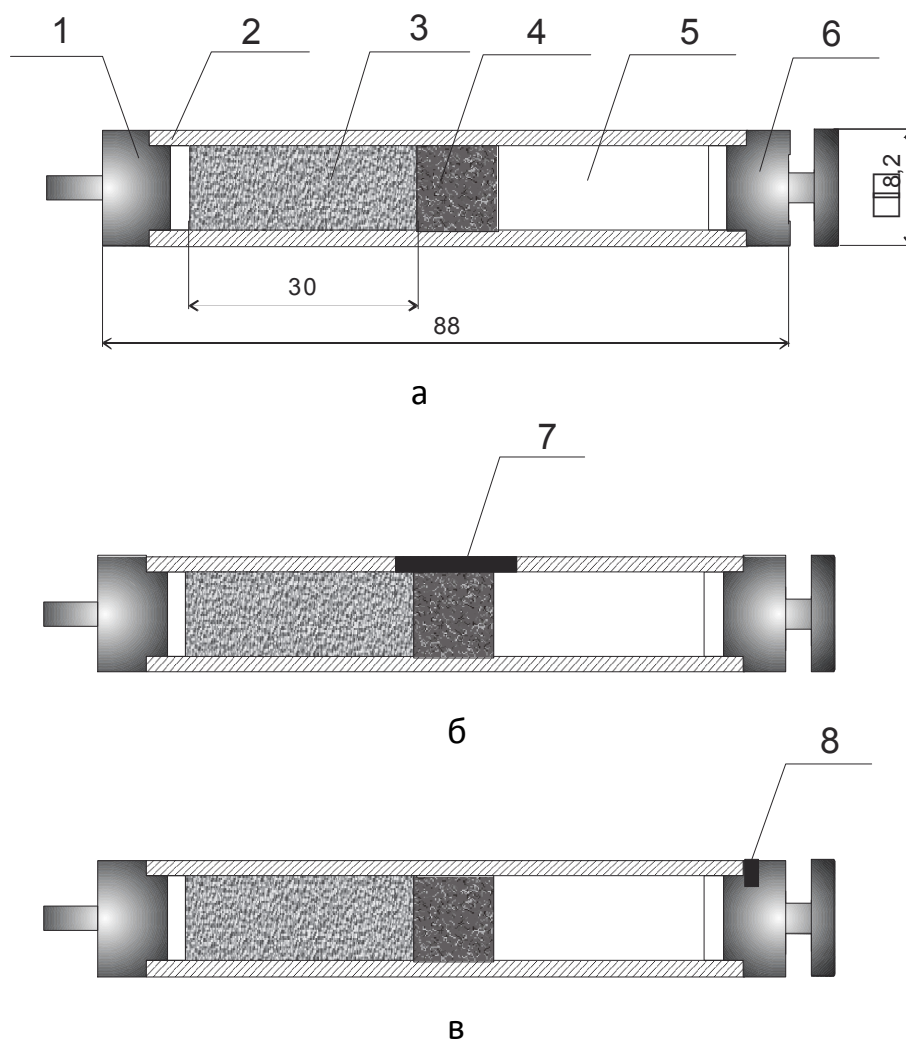


Рис. 1. Конструкция макетов пэлов с порошком карбида бора: 1,6– концевые детали; 2 – оболочка; 3 – поглощающий сердечник; 4 – никелевая сетка; 5 – газосборник; 7, 8 – узлы негерметичности

Таблица 1. Параметры реакторных испытаний негерметичных макетов пэлов

Эффективное время облучения	101 – 158 сут
Температура воды - теплоносителя	(290±20) °С
Давление	(14±1) МПа
Скорость	(1,7±0,3) м/с
Флюенс нейтронов:	
Быстрых (E>0,1 МэВ)	(1,7-3,1)·10 ²¹ см ⁻²
Тепловых (E<0,465 эВ)	(0,6-1,0)·10 ²⁰ см ⁻²

элементов и из центральной несущей трубки (рис. 2). Периферийные трубки фиксировали в верхней и нижней дисанционирующих решетках с помощью концевых деталей. Конструкция облучательного разборная, что позволяет периодически извлекать ее из реактора и после исследования макетов снова ставить их на облучение.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСЛЕРЕАКТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

После реакторного облучения все макеты пэ-

лов сохранили форму и целостность, повреждения в виде трещин, отложений, а также изгибы отсутствовали. Оболочка имела матовый цвет: в области поглощающего сердечника более темный, в области газосборника – светлый с резкой границей. Внешний вид негерметичных макетов не изменился после облучения. Увеличения диаметров макетов не произошло.

При разделке макета пэла с порошком карбида бора и исходным дефектом в виде продольной щели, облучавшегося до флюенса нейтронов 3,1·10²¹ см⁻² (E>0,1МэВ), наблюдался монолит-

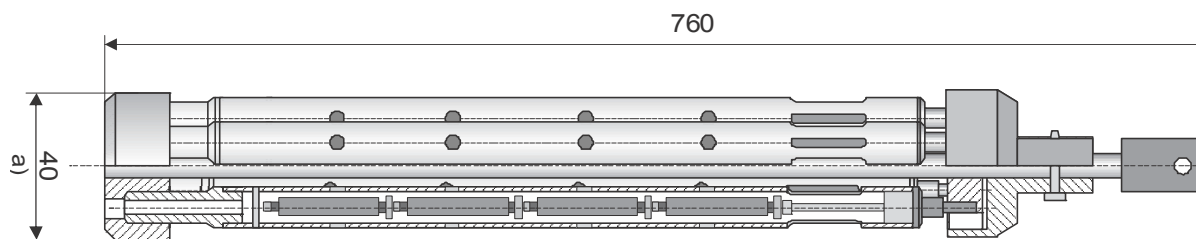
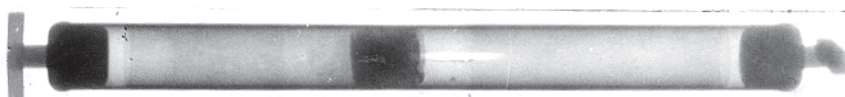


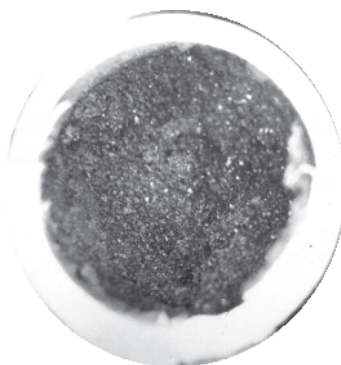
Рис. 2. Конструкция облучательного устройства



а



б



в

Рис. 3. Внешний вид (а), рентгеновский снимок (б) и макроструктура (в) поперечного сечения макета с негерметичной оболочкой в районе поглощающего сердечника после облучения до флюенса $3,1 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-2}$ ($E > 0,1 \text{ МэВ}$)

ный сердечник. При разделке макета с исходным дефектом в виде непровара в сварном шве, облучавшегося до флюенса нейтронов $1,72 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-2}$ ($E > 0,1 \text{ МэВ}$), и дальнейшей подготовке шлифов порошок сердечник полностью выкрошился.

Оболочки макетов имели мелкозернистую структуру, средний условный диаметр зерна составлял $0,017 \text{ мкм}$, что соответствует баллу зерна 8-9. Следов взаимодействия между оболочкой из хромо-никелевого сплава ЭП 630У и карбидом бора не наблюдается. Оболочки макетов из сплава ЭП 630У имели высокие механические характеристики: при температуре 350°C общее и равномерное удлинение были равны и составляли $\delta_o = \delta_p = 10 \pm 2\%$ и условный предел прочности составил $\sigma_{02} = 630 \pm 40 \text{ МПа}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований показана возможность создания конструкций пэлов для водо-водяных реакторов с узлами негерметичности в виде непровара в сварном шве или отверстий в оболочке различной формы. Непровар в сварном шве площадью до 1 мм^2 не приводит к снижению работоспособности поглощающего элемента и позволяет исключить деформацию макетов от повышенного газовыделения.

Возможность использования негерметичных конструкций имеет большое практическое значение, в том числе и при изготовлении пэл, т.к. приводит к исключению ряда технологических операций, что в целом снижает стоимость изготовления.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках федеральных целевых программ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 - 2013 годы» и «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рисованый В.Д., Пономаренко В.Б.* стойкость поглощающих материалов органов регулирования ядерных реакторов // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Материаловедение и новые материалы. 1992. Вып.2(46). С.65-69.
2. *Рисованый В.Д., Захаров А.В., Клочков Е.П., Гусева Т.М.* в ядерной технике. Димитровград: НИИАР, 2003. 344 с.

RADIATION RESISTANCE LEAKY ABSORBING ELEMENTS WITH BORON CARBIDE IN WATER-COOLED NUCLEAR REACTORS

© 2012 V.D. Risovaniy¹, S.R. Friedman², A.V. Zaharov¹, E.M. Muraleva^{1,3}

¹Joint Stock Company “State Scientific Center Research Institute of Atomic Reactors”, Dimitrovgrad

²Petersburg Nuclear Physics Institute named after B.P. Konstantinov, Gatchina

³Ulyanovsk State University

We consider the positive and negative qualities of the main absorbent material boron carbide. For reduce the swelling of the neutron absorbed materials and the stress drop small holes was made in the shell. An experiment was conducted for irradiation of leaking layouts absorbing elements in the SM reactor. Neutron fluence up to a maximum $3,1 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ ($E > 0,1 \text{ MeV}$) and $1,0 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-2}$ ($E < 0,465 \text{ eV}$). The results of testing leaky models absorbing elements is shown. It is shown that in the presence of leaks in the shell of the absorbed rod as lack of fusion in the weld or longitudinal cracks.

Key words: boron carbide, absorbed materials, absorbed rods

Vladimir Risovaniy, Doctor of Technics, Deputy Director.

E-mail: risovanyy@yandex.ru

Sergei Friedman, Candidate of Technics, Head at the Metals Physics Group. E-mail: FridmanSR@yandex.ru

Anatoly Zaharov, Candidate of Technics, Head of laboratory.

Elena Muraleva, Candidate of Technics, Research Fellow.

E-mail: muraleva@niiar.ru