

ПОТЕНЦИАЛЫ МЕЖАТОМНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КАСКАДОВ АТОМНЫХ СТОЛКНОВЕНИЙ И СОБСТВЕННЫХ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ В ОЦК-МЕТАЛЛАХ Fe И V. ¹А.Б. Сивак, ²В.А. Романов, ¹Д.Н. Демидов, ¹П.А. Сивак, ³В.М. Чернов (¹НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва; ²ООО «Лаборатория материалов ИАТЭ», г. Обнинск; ³АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2019. ВЫП. 4(100). С. 5-124.

Проведен сравнительный анализ потенциалов межатомного взаимодействия в ОЦК кристаллических металлах Fe и V, используемых для молекулярно-динамического моделирования каскадов атомных столкновений и свойств (кинетических, энергетических) собственных точечных дефектов (междоузельных атомов и вакансий) в этих металлах. Определены и рекомендованы к применению потенциалы, наиболее точно (сравнение с экспериментальными данными) описывающие объемные свойства кристаллов, пороговые энергии смещения, каскады и собственные точечные дефекты в Fe и V (рис. – 3, табл. – 11, список литературы – 91 назв.).

Ключевые слова: железо, ванадий, потенциалы межатомного взаимодействия, объемные свойства кристаллов, свойства собственных точечных дефектов, пороговые энергии смещения, сравнение модельных и экспериментальных данных.

INTERATOMIC INTERACTION POTENTIALS FOR SIMULATION OF ATOMIC COLLISION CASCADES AND SELF-POINT DEFECTS IN BCC Fe AND V METALS. ¹A.B. Sivak, ²V.A. Romanov, ¹D.N. Demidov, ¹P.A. Sivak, ³V.M. Chernov (¹ NRC «Kurchatov Institute», Moscow; ² LLC «OINPE Laboratory of Materials», Obninsk; ³ JSC «VNIINM», Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2019. ED. 4(100). P. 5-24.

A comparative analysis of the interatomic interaction potentials in the bcc Fe and V crystal metals used in molecular dynamics simulation of atomic collision cascades and properties (kinetic, energetic) of self-point defects (interstitial atoms and vacancies) in these metals has been carried out. The potentials most accurately (in terms of comparison with experimental data) describing the crystal bulk properties, the threshold displacement energies, the cascades and self-point defects in Fe and V are determined and recommended for use (fig. – 3, tables – 11, references – 91).

Keywords: iron, vanadium, interatomic interaction potentials, crystal bulk properties, self-point defect properties, threshold displacement energies, comparison of simulation and experimental data.

ПЕРВИЧНАЯ РАДИАЦИОННАЯ ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ В ОЦК-МЕТАЛЛАХ Fe И V: АНАЛИЗ МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКИХ ДАННЫХ. ¹А.Б. Сивак, ¹Д.Н. Демидов, ²К.П. Зольников, ²А.В. Корчуганов, ¹П.А. Сивак, ³В.А. Романов, ⁴В.М. Чернов (¹НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва; ²ИФПМ СО РАН, г. Томск; ³ООО «Лаборатория материалов ИАТЭ», г. Обнинск; ⁴АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2019. ВЫП. 4(100). С. 25-57.

Проведён анализ результатов молекулярно-динамического исследования первичной радиационной повреждаемости (каскадов атомных столкновений) для различных повреждающих энергий каскадов (1, 5, 10, 20, 50 кэВ) и начальных (до начала развития каскадов) температур модельных кристаллитов (300, 600, 900 К) в ОЦК-металлах Fe и V. Рассчитаны зависимости от температуры и повреждающей энергии среднего количества пар Френкеля, выживших спустя 20 пс от начала развития каскадов. Подобрано аналитическое выражение, описывающее расчетные данные в пределах их статистических разбросов. В каскадах с повреждающей энергией выше 10 кэВ среднее количество выживших пар Френкеля составляет 23-26% от значений, предсказываемых NRT-стандартом, в зависимости от материала и начальной температуры. Получены распределения образовавшихся в каскадах кластеров собственных точечных дефектов по размеру. Обсуждены возможные физические механизмы, лежащие в основе наблюдаемых особенностей поведения рассчитанных зависимостей количества пар Френкеля и распределений кластеров собственных точечных дефектов по размерам (рис. – 12, табл. – 5, список литературы – 74 назв.).

Ключевые слова: первичная радиационная повреждаемость, каскады атомных столкновений, собственные точечные дефекты, каскадная эффективность, кластеры собственных точечных дефектов, распределение кластеров по размерам, молекулярная динамика, потенциалы межатомного взаимодействия, железо, ванадий.

THE PRIMARY RADIATION DAMAGE IN BCC METALS Fe AND V: ANALYSIS OF MOLECULAR DYNAMIC DATA. ¹A.B. Sivak, ¹D.N. Demidov, ²K.P. Zolnikov, ²A.V. Korchuganov, ¹P.A. Sivak, ³V.A. Romanov, ⁴V.M. Chernov (¹NRC «Kurchatov Institute», Moscow; ²Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Tomsk; ³LLC «Laboratory of materials of Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering», Obninsk; ⁴JSC «VNIINM», Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2019. ED. 4(100). P. 25-57.

The analysis of the results of molecular dynamic study of primary radiation damage (atomic collision cascades) for various cascades damage energies (1, 5, 10, 20, 50 keV) and initial (before cascade initiation) temperatures of model crystallites (300, 600, 900 K) has been performed in bcc metals Fe and V. The dependences of the mean number of Frenkel pairs, survived after 20 ps from cascades initiation, on temperature and damage energy have been calculated. An analytic expression has been chosen that describes the calculated data within the statistical uncertainty of the data. The mean number of produced Frenkel pairs is ~ 23-26% of expected by NRT-standard values at damage energies higher than 10 keV depending on material and initial temperatures. Size-distributions of clusters of self-point defects, generated by collision cascades, have been obtained. Possible physical mechanisms underlying the observed features of the obtained energy- and temperature-dependences of the number of Frenkel pairs and the cluster size-distributions have been discussed (fig. – 12, tables – 5, references – 74).

Keywords: primary radiation damage, atomic collision cascades, self-point defects, cascade efficiency, clusters of self-point defects, size distributions of clusters, molecular dynamics, interatomic interaction potentials, iron, vanadium.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАСТВОРЕНИЯ НИОБИЯ В ЦИРКОНИИ. Н.К. Филатова, А.В. Головин, А.А. Кабанов, В.В. Новиков (АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2019. ВЫП. 4(100). С. 58-69.

Основным легирующим элементом во всех Российских циркониевых сплавах является ниобий. Однако сравнительный анализ физико-химических свойств циркония и ниобия показал, что температура плавления ниобия (2468 °С) выше, температуры плавления циркония (1855 °С) на 613 °С, следовательно, при температуре плавления циркония ниобия будет находиться в твердом состоянии. Поэтому в процессе вакуумно-дугового переплава слитков циркониевых сплавов растворение ниобия происходит только диффузионным путём и состоит из нескольких последовательных стадий.

Исходя из уравнения непрерывности потока, определена зависимость времени полного растворения частиц ниобия от их первоначального размера. С целью определения параметров, входящих в полученную зависимость, проведена научно-исследовательская работа по выплавке слитка на основе циркониевой губки с введением агломератов ниобия в виде таблеток заданных размеров.

Проведена верификация установленной зависимости времени полного растворения частиц ниобия от их первоначального размера путём измерения конечных размеров нерасплавленных агломератов ниобия. Определена скорость растворения агломерата ниобия в ванне жидкого циркония вне зависимости от основы сплава – $0,092 \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$. Полученная скорость растворения ниобия позволяет определить максимальный размер частиц порошка ниобия, гарантированно растворяющихся в процессе выплавки слитков циркониевых сплавов (рис. – 8, табл. – 0, список литературы – 4 назв.).

Ключевые слова: циркониевые сплавы, циркониевая губка, агломераты ниобия, макро- и микроструктура, время полного растворения, скорость растворения.

RESEARCH OF KINETICS OF DISSOLUTION OF NIOBIUM IN ZIRCONIA. N.K. Filatova, A.V. Golovin, A.A. Kabanov, V.V. Novikov (SC «VNIINM», Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2019. ED. 4(100). P. 58-69.

The main alloying element in all Russian zirconium alloys is niobium. However, a comparative analysis of the physicochemical properties of zirconium and niobium shows that the melting point of niobium (2468 °C) is higher than the melting temperature of zirconium (1855 °C) by 613 °C, therefore, at the melting temperature of zirconium niobium will be in the solid state. Therefore, in the process of vacuum-arc remelting of zirconium alloy ingots, the dissolution of niobium occurs only by diffusion and consists of several successive stages.

Based on the flow continuity equation, the dependence of the time of the complete dissolution of niobium particles on their initial size is determined. In order to define the parameters that are a part of the obtained dependence, research aimed at the smelting of an ingot based on a zirconium sponge with the introduction of niobium agglomerates in the form of tablets of a given size was conducted.

The established dependence of the time of complete dissolution of niobium particles on their initial size was verified by measuring the final sizes of the unmelted niobium agglomerates. The dissolution rate of niobium agglomerate in a bath of liquid zirconium was determined regardless of the alloy base, at $0,092 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$. The obtained dissolution rate of niobium makes it possible to determine a maximum size of the niobium powder particles which are guaranteed for dissolving during the smelting of zirconium alloy ingots (fig. – 8, tables – 0, references – 4).

Keywords: zirconium alloys, zirconium sponge, niobium agglomerates, macro- and microstructure, time of complete dissolution, dissolution rate.

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ТЕРМОЛАБИЛЬНОГО КСЕНОНСОДЕРЖАЩЕГО ГИДРИДА БЕРИЛЛИЯ. Е.В. Козлова, А.С. Аникин, М.С. Шeverдяев, А.А. Семенов, А.В. Забродин (АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2019. ВЫП. 4(100). С. 70-80.

Рассмотрен способ получения и исследованы свойства термолabileного ксенонсодержащего гидрида бериллия с различным содержанием ксенона. Определена плотность полученных образцов методом гидростатического взвешивания. Проведен анализ химического состава образцов методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии. Методами дифференциально-термического анализа (ДТА) и термогравиметрического анализа (ТГА) исследована термическая устойчивость ксенонсодержащего гидрида бериллия и проведена оценка стабильности полученного соединения при длительном хранении. Получены данные по ИК-спектрометрии образцов. Выдвинуто предположение о структуре ксенонсодержащего комплексного соединения (рис. – 6, табл. – 8, список литературы – 4 назв.).

Ключевые слова: гидрид бериллия, ксенон, термолabileный ксенонсодержащий гидрид бериллия, термогравиметрический анализ, дифференциально-термический анализ, рентгенофлуоресцентный анализ, ИК-спектроскопия.

MANUFACTURING AND PROPERTIES OF THERMOLABILE XENON-CONTAINING BERYLLIUM HYDRIDE. E.V. Kozlova, A.S. Anikin, M.S. Sheverdyayev, A.A. Semenov, A.B. Zabrodin (SC «VNIINM», Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2019. ED. 4(100). P. 70-80.

The method of manufacturing and the properties of the thermolabile xenon-containing beryllium hydride with various xenon contents have been examined. The density of the samples obtained has been defined by hydrostatic weighing. The chemical composition analysis of the samples has been conducted by x-ray fluorescence spectrometry (XRFS). The differential thermal analysis (DTA) and the thermogravimetric analysis (TGA) were applied to investigate the thermal stability of xenon-containing beryllium hydride. The stability of the obtained samples during long-term storage has been evaluated. IR spectroscopy data on the samples have been obtained. An assumption on the structure of the xenon-containing complex compound has been made (fig. – 6, tables – 8, references – 4).

Keywords: hydride beryllium, xenon, thermolabile xenon-containing hydride beryllium, thermogravimetric analysis, differential thermal analysis, x-ray fluorescence analysis, infrared spectroscopy.

РАДИОЛЮМИНОГРАФИЯ – ВЫСОКОИНФОРМАТИВНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ТРИТИЙСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ. ¹И.Г. Лесина, ¹А.А. Семенов, ¹А.С. Аникин, ¹Н.Е. Забирова, ¹А.В. Лизунов, ¹Р.М. Дроздов, ¹А.С. Крюкова, ^{1,2}А.Н. Букин, ^{1,3}Н.П. Бобырь, ¹Е.В. Козлова (¹АО «ВНИИНМ»; ²РХТУ им. Д.И. Менделеева; ³НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2019. ВЫП. 4(100). С. 81-90.

Большинство методов анализа изотопов водорода в конструкционных и функциональных материалах позволяют судить только об интегральных величинах их концентраций, не давая информации о распределении водорода в образце. Однако существует такой высокоинформативный метод анализа как радиолюминография, позволяющий с высокой точностью определять содержание и распределение трития в различных материалах. Это открывает новые перспективы в исследованиях взаимодействия водорода с конструкционными и функциональными материалами. Кроме того метод радиолюминографии позволяет определять коэффициенты диффузии трития в широком диапазоне температур, даже в тех случаях, когда применение мембранных методов затруднено. Применение различных типов пластин позволяет детектировать тритий как по бета-излучению, так и по тормозному рентгеновскому излучению (рис. – 8, табл. – 0, список литературы – 4 назв.).

Ключевые слова: тритий, радиолюминография, фотостимулированная люминесценция, распределение трития, коэффициент диффузии.

RADIOLUMINOGRAPHY – A HIGHLY INFORMATIVE METHOD FOR STUDYING TRITIUM-CONTAINING MATERIALS. ¹I.G. Lesina, ¹A.A. Semenov, ¹A.S. Anikin, ¹N.E. Zabirowa, ¹A.V. Lizunov, ¹R.M. Drozdov, ¹A.S. Kryukova, ^{1,2}A.N. Bukin, ^{1,3}N.P. Bobyr, ¹E.V. Kozlova (¹SC «A.A. Bochvar High-technology Research Institute of Inorganic Materials»; ²D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia; ³National Research Center «Kurchatov Institute») – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2019. ED. 4(100). P. 81-90.

Most methods of hydrogen isotopes analysis in construction and functional materials only enable to form an opinion about integral quantities of their concentrations failing to provide information about hydrogen distribution in the sample. However, there is a highly-informative analysis technique such as radioluminography that allows estimating, to a high precision, the content and distribution of tritium in different materials. It breaks new ground for investigations of hydrogen interaction with the construction and functional materials. In addition, radioluminography technique enables to detect tritium diffusion coefficient over a wide temperature range, even where the application of membrane methods is difficult. The use of various types of plates allows detecting tritium as to beta-radiation and X-ray bremsstrahlung (fig. – 8, tables – 0, references – 4).

Keywords: tritium, radioluminography, photostimulated luminescence, tritium distribution, diffusion coefficient.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПЕРЕОРИЕНТАЦИЮ ГИДРИДОВ В ЦИРКОНИЕВЫХ ТРУБАХ. А.В. Никулина, М.М. Перегуд, М.И. Сергачева (АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2019. ВЫП. 4(100). С. 91-101.

Рассмотрены публикации, относящиеся к факторам и параметрам, влияющим на переориентацию гидридов в циркониевых трубах.

Формирование радиально-ориентированных гидридов в циркониевых трубах – функция многих факторов и параметров, из которых главным является растягивающая тангенциальная компонента напряжения $\sigma_{\text{порог}}$ ($\sigma_{\text{порог}}$ – напряжение, при котором в структуре появляются радиально ориентированные гидриды), когда концентрация водорода в металле превышает его растворимость.

Значение $\sigma_{\text{порог}}$ существенно зависит от ряда параметров (концентрация водорода, напряжение, температура, термоциклы). Такие зависимости приведены в данной работе (рис. – 9, табл. – 1, список литературы – 16 назв.).

Ключевые слова: циркониевые трубы, гидриды, переориентация гидридов, факторы.

FACTORS AFFECTING HYDRIDES REORIENTATION IN ZIRCONIUM TUBES. A.V. Nikulina, M.M. Pergud, M.I. Sergacheva (SC «VNIINM», Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2019. ED. 4(100). P. 91-101.

Publications related to factors and parameters affecting hydrides reorientation in zirconium tubes are reviewed.

Formation of radially oriented hydrides in zirconium tubes is a function of many factors and parameters, where the tensile hoop stress component $\sigma_{\text{threshold}}$ is the main one when hydrogen concentration in the metal exceeds its solubility.

The $\sigma_{\text{threshold}}$ value depends on a number of parameters (hydrogen concentration, stress, temperature, thermal cycles). Such dependencies are given in the work (fig. – 9, tables – 1, references – 16).

Keywords: zirconium tubes, hydrides, reorientation of hydrides, factors.

ПОВРЕЖДЕНИЯ ТРУБ ИЗ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Zr-Nb В ПРОЦЕССЕ ИХ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ. М.И. Сергачева, А.В. Никулина, К.В. Ожмегов, А.А. Кабанов (АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2019. ВЫП. 4(100). С. 102-117.

Основными изделиями тепловыделяющих сборок легководных ядерных реакторов на тепловых нейтронах являются тонкостенные трубки из циркониевых сплавов, используемые в качестве оболочек твэлов и труб направляющих каналов. В числе основных требований, предъявляемых к таким трубам, – трещиностойкость в условиях их производства и эксплуатации. В данном обзоре представлены материалы, относящиеся к дефектообразованию в циркониевых трубах в процессе холодной деформации (рис. – 12, табл. – 4, список литературы – 21 назв.).

Ключевые слова: сплавы циркония, пильгерная прокатка, дефекты, механические и металлургические факторы.

DAMAGES OF TUBES MADE OF Zr-Nb ALLOYS DURING THEIR COLD ROLLING. M.I. Sergacheva, A.V. Nikulina, K.V. Ozhmegov, A.A. Kabanov (JSC «VNIINM», Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2019. ED. 4(100). P. 102-117.

The main products of the fuel assemblies in light- water thermal neutron reactors are thin-walled tubes made of zirconium alloys used as claddings for fuel elements and tubes of guide channels. Among the main requirements for such tubes is crack resistance during their production and operation. This review presents materials related to defect formation in zirconium tubes during cold deformation (fig. – 12, tables – 4, references – 21).

Keywords: zirconium alloys, pilger rolling, defects, mechanical and metallurgical factors.

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПОКРЫТИЯ КОНТЕЙНМЕНТА НА ОСНОВЕ ОРГАНОСИЛИКАТНОЙ КОМПОЗИЦИИ ОС 51-03 В УСЛОВИЯХ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ НА АЭС. ¹А.А. Фиськов, ¹В.Г. Крицкий, ²А.Ю. Макасеев, ²Ю.Н. Макасеев, ³В.М. Погребенков (¹АО «АТОМПРОЕКТ», г. Санкт-Петербург; ²Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, г. Северск; ³Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2019. ВЫП. 4(100). С. 119-127.

С целью обеспечения коррозионной защиты контейнмента внутренняя поверхность облицовки покрывается защитным покрытием. В качестве защитного покрытия используется органосиликатная композиция ОС-51-03. При протекании тяжелых аварий внутри контейнмента создается высокоагрессивная среда. В работе исследована химическая и термическая стойкости покрытия ОС-51-03 в условиях протекания тяжелых аварий, а также характеристики образующегося поставарийного дебриса (рис. – 8, табл. – 2, список литературы – 11 назв.).

Ключевые слова: органосиликатная композиция, тяжелая авария, коррозионная защита, дебрис, контейнмент, АЭС, ВВЭР, безопасность.

JUSTIFICATION OF THE USE OF CONTAINMENT COATING BASED ON ORGANIC SILICATE COMPOUND OS-51-03 IN CONDITIONS OF SEVERE ACCIDENTS AT NPP. ¹A. Fiskov, ¹V. Kritskiy, ²A. Makaseev, ²Yu. Makaseev, ³V. Pogrebenkov (¹JSC «АТОМПРОЕКТ», St.-Peterburg; ²Seversk State Technological Institute, Seversk, Tomsk obl.; ³Tomsk Polytechnic University, Tomsk) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2019. ED. 4(100). P. 119-127.

To ensure the corrosion protection of the containment, the lining internal surface is covered with a protective coating. Organic silicate compound OS-51-03 is used as a protective coating. During severe accidents inside the containment a highly aggressive medium is available. The work studies the radiation and thermal stability of the OS-51-03 coating under the severe accident conditions as well as the parameters of the post-accident debris accumulated (fig. – 8, tables – 2, references – 11).

Keywords: organic silicate compound, severe accidents, corrosion protection, debris, containment, NPP, VVER, safety.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ 2016-2017 гг. ПО ОТРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ НА НАУЧНО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ СТЕНДАХ АО «СХК».
¹Д.С. Шляжко, ¹С.Г. Терентьев, ¹С.А. Чешуяков, ¹С.Н. Круглов, ²А.Ю. Шадрин, ³К.Н. Двоеглазов, ³В.И. Волк (¹АО «СХК», г. Северск Томской обл.; ²ИТЦП «ПРОРЫВ», г. Москва; ³АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2019. ВЫП. 4(100). С. 128-134.

В рамках реализации стратегии замыкания ядерного топливного цикла в 2016-2017 гг. на АО «СХК» были проведены исследования технологии переработки отработанного смешанного нитридного уран-плутониевого топлива быстрых реакторов.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы на модельных растворах проводились по направлению экстракционно-кристаллизационного аффинажа и СВЧ-денитрации. По результатам исследований выданы рекомендации по корректировке технических проектов опытно-промышленного оборудования экстракционно-кристаллизационной переработки ОЯТ (рис. – 4, табл. – 0, список литературы – 1 назв.).

Ключевые слова: ядерный топливный цикл, отработанное смешанное нитридное уран-плутониевое топливо, ОЯТ.

THE RESULTS OF THE 2016-2017 STUDY ON THE IMPROVEMENT OF THE FAST REACTORS SPENT FUEL REPROCESSING TECHNOLOGY CARRIED OUT BY MEANS OF THE RESEARCH EQUIPMENT AT THE JSC «SCK» PLANT.
¹D.S. Shlyazhko, ¹S.G. Terentyev, ¹S.A. Cheshuyakov, ¹S.N. Kruglov, ²A.Yu. Shadrin, ³K.N. Dvoeglazov, ³V.I. Volk (¹JSC «SCK», Tomsk region; ²ITCP «PRORYV», Moscow; ³SC «VNIINM», Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2019. ED. 4(100). P. 128-134.

To solve the strategic task of the closed nuclear fuel cycle, the study on the reprocessing technology of the mixed uranium – plutonium nitride fast reactors spent fuel was carried out at the JSC SCK plant over the period of 2016-2017.

The research and development work was performed with simulated solutions used for extraction and crystallization parting as well as SHF denitration. According to the research results obtained, the recommendations were proposed on the adjustment of the technical projects aimed at the improving the experimental industry-applied equipment used for the spent fuel extraction and crystallization reprocessing (fig. – 4, tables – 0, references – 1).

Keywords: nuclear fuel cycle, mixed uranium – plutonium nitride spent fuel, SF.

ЭКСТРАКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДИФЕНИЛФОСФОРИЛМОЧЕВИН С АЛИФАТИЧЕСКИМИ ω -АЗОТСОДЕРЖАЩИМИ РАДИКАЛАМИ. ¹А.М. Сафиулина, ¹И.В. Алыпов, ²Т.В. Баулина, ²Е.И. Горюнов, ²В.К. Брель (¹ АО «ВНИИНМ», г. Москва; ²Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2019. ВЫП. 4(100). С. 135-142.

Изучена экстракция La(III), Nd(III), Ho(III), Yb(III), U(VI) и Th(IV) 0,01 моль/л растворами N-(дифенилфосфорил)-N'-n-пропилмочевин, содержащими в ω -положении алкильного заместителя азотсодержащие радикалы (имидазол, диэтиламино, пирид-2-ил, 2-оксопирролидино) из азотнокислых сред. Лантаниды, относящиеся к иттриевой подгруппе – Ho(III) и Yb(III), экстрагируются значительно лучше, чем La(III) и Nd(III), принадлежащие цериевой подгруппе. При этом для исследованных f-элементов и лигандов, как правило, наблюдается рост коэффициентов распределения при увеличении концентрации азотной кислоты. Наилучшими экстракционными свойствами обладает N-(дифенилфосфорил)мочевина, содержащая ω -(2-оксопирролидино)-пропильный радикал у терминального атома азота (рис. – 5, табл. – 0, список литературы – 16 назв.).

Ключевые слова: экстракция, лантаниды, актиниды, фосфорорганические соединения, фосфорилмочевины.

EXTRACTION PROPERTIES OF DIPHENYLPHOSPHOROLYL UREAS WITH ALIPHATIC ω - NITROGEN CONTAINING RADICALS. ¹A.M. Safiulina, ¹I.V. Alypov, ²T.V. Baulina, ²E.I. Goryunov, ²V.K. Brel (¹SC «VNIINM», Moscow; ²A.N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of Russian Academy of Sciences, Moscow, INEOS RAS) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2019. ED. 4(100). P. 135-142.

The extraction of La(III), Nd(III), Ho(III), Yb(III), U(VI) and Th(IV) by 0.01 mol/L solutions of N-(diphenylphosphoryl)-N'-n-propylurea with nitrogen-containing radicals in ω -position of the alkyl substituent (imidazolyl, diethylamino, pyrid-2-yl, 2-oxopyrrolidino) from nitric acid environments was studied. The yttrium subgroup lanthanides – Ho(III) and Yb(III) are extracted much better than those from cerium subgroup– La(III) and Nd(III). Moreover, for the studied f-elements and ligands, as a rule, an increase of the distribution coefficients is observed with an increase of the nitric acid concentration. The best extraction properties are possessed by N-(diphenylphosphoryl) urea containing a ω -(2-oxopyrrolidino)propyl radical at the terminal nitrogen atom (fig. – 5, tables – 0, references – 16).

Keywords: extraction, lanthanides, actinides, organophosphorus compounds, phosphorylureas.

МЕХАНИЗМЫ ДЕГРАДАЦИИ СВОЙСТВ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ ТЕПЛОВЫХ РЕАКТОРОВ В УСЛОВИЯХ СУХОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ХРАНЕНИЯ ОЯТ.
А.А. Плясов (АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2019. ВЫП. 4(100). С. 144-159.

В работе представлен обзор возможных механизмов деградации свойств оболочек твэлов тепловых реакторов в условиях сухого контейнерного хранения отработавшего ядерного топлива. Проанализирован зарубежный опыт обоснования сухого контейнерного хранения (рис. – 0, табл. – 4, список литературы – 29 назв.).

Ключевые слова: отработавшая ТВС, оболочка твэла, деградация свойств, ползучесть, водородное охрупчивание, переориентация гидридов, замедленное гидридное растрескивание, сухое контейнерное хранение, анализ пробела в технических данных.

MECHANISMS OF WATER-COOLED REACTOR CLADDING PROPERTIES DEGRADATION DURING DRY STORAGE OF SPENT NUCLEAR FUEL.
A.A. Plyasov (SC «VNIINM», Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2019. ED. 4(100). P. 144-159.

Possible mechanisms of water-cooled reactor cladding properties degradation during dry storage of spent nuclear fuel are reviewed. Foreign experience of the dry storage validation is analyzed (fig. – 0, tables – 4, references – 29).

Keywords: spent fuel assembly, fuel cladding, properties degradation, creep, hydrogen embrittlement, hydride reorientation, delay hydride cracking, dry storage, technical gap analysis.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ В ЛАБОРАТОРИИ ВЫСОКИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ГРЕНОБЛЕ. П.А. Лукьянов, И.М. Абдюханов, В.И. Панцырный, М.В. Поликарпова, В.В. Гурьев, И.А. Панащук, И.Е. Ермолаев, М.В. Алексеев, М.Н. Насибулин, К.А. Мареев, М.М. Потапенко, А.С. Цаплева, Н.В. Коновалова, И.И. Савельев, М.В. Крылова (АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2019. ВЫП. 4(100). С. 160-171.

Бурное развитие термоядерной энергетики, нацеленной на производство «зеленой» энергии, а также магнитных систем для ускорителей частиц высоких энергий обуславливает растущую потребность в улучшении характеристик Nb_3Sn сверхпроводников. В данных системах уровень индукции магнитного поля на оси плазмы достигает 11-15 Тл, при этом рабочее поле сверхпроводящей обмотки магнитных систем составляет 16-22 Тл, что предполагает развитие новых подходов к разработке технологии Nb_3Sn сверхпроводников. Обычно для оценки токонесущей способности провода в области высоких полей разработчики магнитов используют экстраполяцию Крамера на базе токовых испытаний в низких полях. Однако для новых материалов с улучшенными характеристиками она не является надежной, поэтому требуются прямые испытания сверхпроводников в сильных магнитных полях. Национальная Европейская Лаборатория Магнитных полей в г. Гренобль – European Magnetic Field Laboratory (EMFL) – обладает комплексом электромагнитов с уровнем достигаемой индукции магнитных полей от 20 до 35 Тл, при этом возможности испытательного оборудования непрерывно повышаются. За последнее десятилетие сотрудниками АО «ВНИИНМ» проведены четыре серии экспериментов в EMFL. Для их проведения созданы портативный регистратор сигналов и уникальные измерительные зонды, обеспечивающие крепление образца и заведение тока до 1 кА. Получены полевые зависимости плотности критического тока $J_c(B)$ сверхпроводящих Nb_3Sn стрендов, изготовленных по бронзовой технологии и методом внутреннего источника. Показан неуклонный рост токонесущей способности Nb_3Sn сверхпроводников в течение 10 лет. Проведенные испытания позволяют получить информацию о фундаментальных свойствах новых материалов (рис. – 13, табл. – 0, список литературы – 11 назв.).

Ключевые слова: Nb_3Sn сверхпроводник, сильное магнитное поле, плотность критического тока.

IMPLEMENTATION OF PROGRAMS FOR SUPERCONDUCTIVE MATERIALS INVESTIGATIONS IN THE LABORATORY OF HIGH-MAGNETIC FIELDS IN GRENOBLE. P.A. Lukyanov, I.M. Abdyukhanov, V.I. Pantsyrny, M.V. Polikarpova, V.V. Guryev, I.A. Panashuk, I.E. Ermolaev, M.V. Alekseev, M.N. Nasibulin, K.A. Mareev, M.M. Potapenko, A.S. Tsapleva, N.V. Konovalova, I.I. Saveliev, M.V. Krylova (SC «VNIINM», Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2019. ED. 4(100). P. 160-171.

The rapid development of thermonuclear energy, aimed at the production of green energy, as well as magnetic systems for high-energy particle accelerators, causes a growing need for improving the Nb₃Sn superconductors performance. Since the level of magnetic field induction on the plasma axis reaches 11-15 T, the operating field of the superconducting winding of magnetic systems is 16-22 T, which suggests the development of new approaches to the development of Nb₃Sn technology of superconductors. Typically, Kramer extrapolations based on tests in low fields are used to evaluate the current carrying capacity of the wire in high fields. However, it is not well applicable for new materials with improved characteristics; therefore, direct tests of superconductors in strong magnetic fields are required. The European Magnetic Field Laboratory (EMFL) provides a complex of electromagnets with a level of magnetic field induction from 20 to 35 T. The capabilities of the test equipment are constantly increasing. Over the past decade, JSC VNIINM employees have carried out four series of experiments in EMFL, and also, created mobile recorder and unique probes that provide sample retention and a current supply up to 1 kA. A steady increase in the current carrying capacity of Nb₃Sn superconductors over 10 years is shown. The implemented tests allow us to obtain information on the fundamental properties of new materials (fig. – 13, tables – 0, references – 11).

Keywords: Nb₃Sn superconductor, high magnetic field, critical current density.