

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СВЯЗИ ОКИСЛЕНИЯ В ПАРЕ ОБОЛОЧЕЧНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ Zr и Fe-Cr С ИХ СОСТАВОМ. В.Г. Крицкий, Е.А. Моткова (АО «АТОМПРОЕКТ», г. Санкт-Петербург) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 2(103). С. 4-16.

Представлены результаты термодинамического анализа экспериментальных данных высокотемпературного окисления оболочечных сплавов на основе циркония и железа, применяемых для изготовления оболочек твэлов [при аварии с потерей теплоносителя – LOCA (loss-of-coolant accident)], в паре. Результаты изотермических испытаний в одной среде позволили связать энергию активации окисления сплавов с их химическим составом, рассмотреть процесс их окисления. Разработаны алгоритм расчета скоростей окисления и термодинамическая модель влияния состава сплавов на их окисление в паре. С использованием достоверных экспериментальных данных выполнена верификация модели и определена кинетика окисления в паре (интервал температур 1073-1473 K) циркониевых сплавов Э110опт, Э635 на губчатой основе, проведено сравнение с кинетикой окисления сплава М5. Для сплавов железа с хромом при разном содержании последнего результаты расчета по предложенной модели сопоставлены с экспериментальными данными окисления альтернативных оболочечных сплавов (рис. – 9, табл. – 5, список литературы – 14 назв.).

Ключевые слова: сплавы циркония, сплавы на основе железа, авария LOCA, кинетика окисления, термодинамика, разработка и верификация модели.

REGULARITIES OF THE OXIDATION ASSOCIATION IN A PAIR OF CLADDING ALLOYS BASED ON ZR AND FE-CR WITH THEIR COMPOSITION. V.G. Kritskiy, E.A. Motkova (JSC «ATOMPROEKT»), St. Petersburg) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 2(103). P. 4-16.

The results of the thermodynamic analysis of the experimental data on high-temperature steam oxidation of zirconium- and iron-based alloys applied in manufacturing of fuel element cladding (at loss-of-coolant accident (LOCA)) are presented. The results of isothermal testing in one medium allow to relate the activation energy of alloy oxidation to their chemical composition in order to study the process of their oxidation. The algorithm for calculation of oxidation rates and the thermodynamic model of alloys steam oxidation dependence on their composition are developed. The verification of the model is accomplished using the plausible experimental data, and the kinetics of steam oxidation is determined (the temperature interval is 1073–1473 K) for zirconium alloys E110opt, E635 on the sponge base, and a comparison with the kinetics of M5 alloy oxidation is carried out. For iron–chrome alloys with different contents of the latter, the results of calculations by the proposed model are compared to the data of the experiment on oxidation of alternative cladding alloys (fig. – 9, tables – 5, references – 14).

Keywords: zirconium alloys, iron-based alloys, LOCA, oxidation kinetics, thermodynamics, model development and verification.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ. Е.В. Кошелева, Н.И. Сельченкова, А.Я. Учаев (РФЯЦ – ВНИИЭФ, г. Саров) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 2(103). С. 17-30.

Проведён анализ данных по амплитудно-временным закономерностям процесса динамического разрушения твердых тел при различных видах высокоинтенсивного воздействия во временных диапазонах неравновесных состояний $t \sim 10^{-5}$ с и $t \sim 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-10}$ с и по установлению общих закономерностей с целью прогнозирования поведения свойств материалов в экстремальных условиях. Проанализированы результаты исследований процесса динамического разрушения твердых тел различной природы с использованием магнито-импульсного способа нагружения (микросекундный диапазон неравновесных состояний), а также результаты исследований процесса динамического разрушения ряда металлов в режиме импульсного объемного разогрева при воздействии импульсов релятивистских электронных пучков (нано- и субнаносекундные диапазоны неравновесных состояний). В динамическом диапазоне долговечности зависимость времени разрушения от амплитуды приложенной нагрузки при двух способах импульсного нагружения твердых тел различной природы имеет степенной вид, что определяет скейлинговую природу процесса разрушения в микросекундном - субнаносекундном диапазонах неравновесных состояний. Определена возможность прогнозирования свойств неисследованных твердых тел в микро-, нано- и субнаносекундном диапазонах неравновесных состояний (рис. – 8, табл. – 0, список литературы – 10 назв.).

Ключевые слова: динамическое разрушение, метод ударно-волнового нагружения, магнито-импульсный способ нагружения, воздействие импульсов релятивистских электронных пучков, скейлинговая природа процесса разрушения, прогнозирование поведения свойств неисследованных твердых тел.

ON THE POSSIBILITY OF PREDICTING THE BEHAVIOR OF SOLIDS IN EXTREME CONDITIONS UNDER VARIOUS TYPES OF HIGH-INTENSITY IMPACT. Ye.V. Kosheleva, N.I. Sel'chenkova, A.Ya. Uchaev (Russian Federal Nuclear Center – All-Russia Research Institute of Experimental Physics) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 2(103). P. 17-30.

The data on amplitude-time regularities of the solids dynamic failure process under different types of high-intense action within the time ranges of non-equilibrium states $t \sim 10^{-5}$ s and $t \sim 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-10}$ s and establishment of total regularities of materials behavior under extreme conditions is analyzed. The results of studies on the dynamic failure of solid bodies of different nature using a magnetic pulse loading method (micro-second range of non-equilibrium states) and the results of studies on the dynamic failure for a number of metals in the mode of pulsed volumetric heating-up under exposure to pulses of relativistic electron beams (nano- and subnano-second range of non-equilibrium states) is presented.

It is shown that in the longevity dynamic range, the dependence of failure time on applied load amplitude at two methods of pulsed loading of various nature solids is of a power form that testifies to the failure scaling nature in microsecond – subnano-second ranges of non-equilibrium states.

The possibility of predicting the dynamic properties of unexplored solids in micro-, nano- and subnanosecond ranges of non-equilibrium states is determined (fig. – 8, tables – 0, references – 10).

Keywords: dynamic failure process, shock-wave loading method, magnetic pulse loading method, impact of relativistic electron pulses, scaling nature of failure process, prediction of unstudied solids' behavior.

СВЕРХПРОВОДЯЩАЯ МАГНИТНАЯ СИСТЕМА С КОНДУКТИВНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ДЛЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ.

Е.И. Демихов, М.В. Константинов, В.В. Лысенко, А.С. Рыбаков (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 2(103). С. 31-40.

Сверхпроводящий магнит с полем 1,5 Тл для специализированного ортопедического магнитно-резонансного томографа был разработан и успешно испытан. Магнитная система размещена в компактном криостате с теплым отверстием диаметром 325 мм и длиной 600 мм. Сверхпроводящие обмотки охлаждаются кондуктивным способом за счет работы встроенного криорефрижератора. Захолаживание магнита от комнатной температуры занимает примерно 100 часов. Экспериментально продемонстрировано, что организация естественной конвекции в области корпуса криорефрижератора значительно ускоряет процесс захолаживания. Магнит имеет активное экранирование. Линия рассеянного поля 0,5 мТл отстоит от центра на 1,7 / 2,5 м в радиальном / осевом направлении. Сверхпроводящая магнитная система надежно работает в короткозамкнутом режиме со стабильностью замороженного поля лучше, чем 10^{-8} отн. ед. за час. Однородность магнитного поля после пассивного шиммирования составляет 0,002% в сфере диаметром 160 мм (рис. – 7, табл. – 1, список литературы – 8 назв.).

Ключевые слова: сверхпроводящий магнит, криорефрижератор, криостат, кондуктивное охлаждение, магнитно-резонансная томография.

CONDUCTIVELY COOLED SUPERCONDUCTING MAGNET FOR MAGNETIC RESONANCE IMAGING. E. Demikhov, M. Konstantinov, V. Lysenko, A. Rybakov (P.N. Lebedev Physical institute of RAS, Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 2(103). P. 31-40.

The paper presents a 1,5 T cryogen free superconducting magnet for a dedicated orthopedic MRI. The magnet has a compact cryostat cooled by a pulse tube coldhead. The warm bore of a cryostat is 325 mm in diameter, 600 mm in length. Cooling down the magnet from ambient to operating temperature took about 100 hours. It was shown experimentally that the convection of helium gas in the coldhead sleeve speeds up the cool down significantly. The magnet is actively shielded. 0,5 mT stray field located at 1,7 / 2,5 m from the magnet center in radial / axial directions, accordingly. The magnet has shown steady operation at 1,5 T in persistent mode with magnetic field stability of better than 0.01 ppm/hour. The field homogeneity is about 20 ppm in 160 mm DSV after passive shimming (fig. – 7, tables – 1, references – 8).

Keywords: superconducting magnet, cryocooler, cryostat, cryogen free cooling, magnetic resonance imaging.

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО РАДИАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНЫХ СТАЛЕЙ. С.В. Рогожкин¹, А.А. Никитин¹, Н.А. Искандаров¹, А.А. Хомич¹, В.В. Хорошилов¹, А.А. Богачев¹, А.А. Лукьянчук¹, О.А. Разницын¹, А.С. Шутов¹, П.А. Федин¹, Т.В. Кулевой¹, А.Л. Васильев², М.Ю. Пресняков², К.С. Кравчук², А.С. Усеинов², М.В. Леонтьева-Смирнова², Е.М. Можанов², А.А. Никитина² (¹Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва; ²НИЯУ «МИФИ», Москва; ³НИЦ «Курчатовский институт», Москва; ⁴Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов, Троицк, Москва; ⁵АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 2(103). С. 41-51.

В настоящей работе проведено моделирование радиационно-индуцированных эффектов в сталях Eurofer 97, ЭК-181 и ЧС-139 при низкотемпературном облучении ионами железа. Методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), атомно-зондовой томографии (АЗТ) и наноиנדентирования исследованы образцы после облучения ионами железа при различных температурах 250-400 °С и повреждающих доз до 6 сна. В области исследуемых температур и повреждающих доз основными радиационно-индуцированными дефектами, обнаруженными методами ПЭМ, являлись дислокационные петли типа <100>, плотность которых составляла $(1-7) \times 10^{21} \text{ м}^{-3}$, а размер 5-20 нм. Методами атомно-зондовой томографии в облученной стали ЭК-181 также были обнаружены небольшие продолговатые скопления Si с характерной плотностью $\sim 10^{22}-10^{23} \text{ м}^{-3}$, а в облученной стали ЧС-139 – высокая плотность кластеров ($\sim 10^{24} \text{ м}^{-3}$) и атмосфер Коттрелла, обогащенных Ni, Si и Mn. Обнаруженные изменения твердого раствора стали Eurofer 97 были незначительны. Результаты наноиנדентирования облученных образцов демонстрируют хорошую корреляцию с оценками упрочнения в рамках модели упрочняющих барьеров с использованием полученных методами ПЭМ и АЗТ данных о радиационно-индуцированных эффектах (рис. – 4, табл. – 2, список литературы – 25 назв.).

Ключевые слова: ферритно-мартенситная сталь, ионное облучение, моделирование радиационных повреждений, упрочнение, наноиנדентирование.

STUDY OF LOW-TEMPERATURE RADIATION HARDENING OF FERRITE-MARTENSITIC STEELS. S.V. Rogozhkin^{1,2}, A.A. Nikitin^{1,2}, N.A. Iskandarov¹, A.A. Khomich¹, V.V. Khoroshilov¹, A.A. Bogachev¹, A.A. Lukyanchuk¹, O.A. Raznitsyn¹, A.S. Shutov¹, P.A. Fedin¹, T.V. Kulevoy¹, A.L. Vasiliev³, M.Yu. Presniakov³, K.S. Kravchuk⁴, A.S. Useinov⁴, M.V. Leontyeva-Smirnova⁵, E.M. Mozhanov⁵, A.A. Nikitina⁵ (¹Alikhanov Institute for Theoretical and Experimental Physics, National Research Center Kurchatov Institute, Moscow; ²National Research Nuclear University MPhI), Moscow; ³NRC Kurchatov Institute, Moscow; ⁴Technological Institute for Superhard and Novel Carbon Materials, Troitsk, Moscow; ⁵A.A. Bochvar High-Technology Research Institute of Inorganic Materials, Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 2(103). P. 41-51.

In the present work, radiation-induced effects under low-temperature reactor irradiation were simulated in Eurofer 97, EK-181, and ChS-139 steels with iron ions. Transmission electron microscopy (TEM), atomic probe tomography (APT), and nanoindentation methods were used to study samples after ion irradiation with iron ions at various temperatures of 250-400 °C and damage doses up to 6 dpa. In the studied temperatures and the damage doses, the main radiation-induced features detected by TEM methods were the <100> type dislocation loops, whose number density was $(1-7) \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$, and typical sizes were 5-20 nm. Small elongated accumulations of Si with a number density of $10^{22}-10^{23} \text{ m}^{-3}$ were also detected with atom probe tomography in irradiated EK-181 steel, and the formation of high density clusters ($\sim 10^{24} \text{ m}^{-3}$) and Cottrell atmospheres enriched in Ni, Si and Mn were detected in irradiated ChS-139 steel. Detected heterogeneity of solid solution in Eurofer 97 was negligible. The results of nanoindentation of the irradiated samples demonstrate a good correlation with the hardening calculated within the framework of the dispersed-barrier hardening model using TEM and APT data on radiation-induced effects (fig. – 4, tables – 2, references – 25).

Keywords: Ferritic-martensitic steel, ion irradiation, modeling of radiation damage, hardening, nanoindentation.

ЭКСТРАКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА 2,2'-ТИОБИС(N,N-ДИОКТИЛАЦЕТАМИД) ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ РАСТВОРОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ. А.М. Сафиулина¹, Д.В. Зверев¹, Т.В. Макарова¹, Н.Е. Борисова^{2,3}, Д.А. Лопатин², В.Е. Баулин⁵, С.Н. Калмыков², А.Ю. Цивадзе⁴ (¹АО «ВНИИНМ», г. Москва; ²МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва; ³Институт элементоорганических соединений имени А.Н. Несмеянова РАН, г. Москва; ⁴Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина, г. Москва; ⁵Институт физиологически активных веществ РАН, Московская область) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 2(103). С. 53-57.

Исследована экстракция благородных металлов из имитаторов ОЯТ 0,2 М раствором 2,2'-тиобис(N,N-диоктилацетамид)а в ионной жидкости BuMeImTf. Тио-ТОДГА обладает высокой экстракционной способностью к извлечению металлов платиновой группы, особенно по отношению к палладию. Высокая экстракционная способность Тио-ТОДГА по отношению к молибдену при одновременно низком извлечении урана и алюминия позволяет предположить использование данного экстрагента для выделения ⁹⁹Mo из облученных U/Al мишеней (рис. – 1, табл. – 1, список литературы – 5 назв.).

Ключевые слова: благородные металлы, палладий, экстракция, диамида, тиодигликольамида, переработка ОЯТ.

2,2 THIOBIS(N,N-DIOCTYLACETAMIDE). EXTRACTION PROPERTIES FOR NOBLE METALS SEPARATION FROM SNF PROCESSING SOLUTIONS. A.M. Safiulina¹, D.V. Zverev¹, T.V. Makarova¹, N.E. Borisova^{2,3}, D.A. Lopatin², V.E. Baulin^{4,5}, S.N. Kalmykov², A.Yu. Tsivadze⁵ (¹SC «A.A. Bochvar high-technology research institute of inorganic materials», Moscow; ²Moscow State University, Moscow; ³A.N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of Russian Academy of Sciences, Moscow, V-334, Vavilova St. 28, INEOS RAS; ⁴Institute of Physiologically Active Substances of the Russian Academy of Sciences, Moscow Region; ⁵A.N. Frumkin Institute of Physical chemistry and Electrochemistry RAS, Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 2(103). P. 53-57.

The extraction of noble metals from SNF simulators with a 0,2 M solution of 2,2'-thiobis(N,N-dioctylacetamide) in BuMeImTf ionic liquid was studied. Thio-TODGA has a high extraction ability for the extraction of platinum group metals, especially with respect to palladium. The high extraction ability of Thio-TODGA related to molybdenum while simultaneously low extraction of uranium and aluminum suggests the use of this extractant to isolate ⁹⁹Mo from irradiated U/Al targets (fig. – 1, tables – 1, references – 5).

Keywords: noble metals, palladium, extraction, diamides, thiodiglycolamides, SNF processing.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ИММОБИЛИЗАЦИИ ТРИТИЙСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В СЛАБО - ЭМИТИРУЮЩИХ ВЫСОКОСТОЙКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ МАТРИЦАХ. Д.А. Коробейников, А.Н. Букин, А.А. Семенов, А.С. Аникин, Д.М. Хватов, А.В. Лизунов, И.Г. Лесина, Н.Е. Забирова, А.С. Крюкова (АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 2(103). С. 58-68.

Обоснована технология иммобилизации тритийсодержащих отходов с их переводом в химически инертное состояние с помощью слабо-эмитирующих и высокостойких минеральных матриц. Обоснован выбор использования цементобетонных матриц для иммобилизации тритийсодержащих отходов. Определена скорость диффузии трития из бетона (рис. – 6, табл. – 3, список литературы – 13 назв.).

Ключевые слова: тритий, дейтерий, протий, изотопы водорода, иммобилизация, цементобетонные смеси, тритийсодержащие отходы, жидкие радиоактивные отходы, диффузия, суперпластификаторы, добавки, поликарбоксилаты.

EVALUATION OF THE IMMOBILIZATION RELIABILITY OF TRITIUM-CONTAINING WASTE IN WEAKLY EMITTING HIGHLY PERSISTENT MINERAL MATRIXES. D.A. Korobeynikov, A.N. Bukin, A.A. Semenov, A.S. Anikin, D.M. Khvatov, A.V. Lizunov, I.G. Lesina, N.E. Zabirowa, A.S. Kryukova (SC «A.A. Bochvar High-technology Research Institute of Inorganic Materials», Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 2(103). P. 58-68.

The technology of immobilization of tritium-containing waste with its transfer to a chemically inert state using weakly emitting and highly resistant mineral matrices is substantiated. The choice of the use of cement concrete matrices for the immobilization of tritium-containing waste is substantiated. The diffusion rate of tritium from concrete is determined (fig. – 6, tables – 3, references – 13).

Keywords: tritium, deuterium, protium, hydrogen isotopes, immobilization, cement compound, tritium-containing wastes, liquid radioactive wastes, diffusion, superplasticizers, additives, polycarboxylates.

СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ ИЗ СТАЛИ ЭП823-Ш ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ В РЕАКТОРЕ БН-600. Д.Е. Маркелов¹, Ф.Н. Крюков¹, В.С. Неустроев¹, А.В. Обухов¹, Д.А. Соколовский¹, В.В. Яковлев¹, М.В. Скупов², М.В. Леонтьева-Смирнова² (1АО «ГНЦ НИИАР», г. Димитровград; 2АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 2(103). С. 70-81.

Методом трансмиссионной электронной микроскопии (ТЭМ) исследованы микроструктурные причины радиационного упрочнения ферритно-мартенситной стали ЭП823-Ш материала оболочек твэлов реактора БРЕСТ. Образцы для электронно-микроскопических исследований и механических испытаний были вырезаны из оболочек твэлов, облучённых в реакторе БН-600 при температурах от 380 до 580 °С. Получены новые данные по радиационно-индуцированным изменениям фазовой и дислокационной структуры и механическим свойствам стали ЭП823-Ш. Радиационно-индуцированные микроструктурные изменения (дислокационные петли, сетка дислокаций и мелкодисперсные выделения) определяют упрочнение стали после нейтронного облучения (рис. – 6, табл. – 2, список литературы – 7 назв.).

Ключевые слова: электронно-микроскопические исследования; микроструктура стали; ферритно-мартенситная сталь, ЭП823-Ш, радиационное повреждение; выделения второй фазы, механические свойства, низкотемпературное радиационное охрупчивание (НТРО).

STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF FUEL CLADDINGS MADE OF EP823 SR (Slag Remelting) STEEL AFTER IRRADIATION IN THE BN-600. D.E. Markelov¹, F.N. Kryukov¹, V.S. Neustroev¹, A.V. Obukhov¹, D.A. Sokolovski¹, V.V. Yakovlev¹, M.V. Skupov², M.V. Leont'eva-Smirnova² (1SSC «RIAR», Dimitrovgrad; 2Bochvar Inorganic Materials Research Institute JSC, Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 2(103). P. 70-81.

Using transmission electron microscopy (TEM), there were studied the microstructural causes of radiation hardening of EP823-SR ferritic-martensitic steel used as a cladding material for BREST reactor fuel elements. The samples for conducting electron microscopy studies and mechanical tests were cut out from the claddings of the fuel elements irradiated in the BN-600 reactor at temperatures from 380 to 580 ° C. New data were obtained on radiation-induced changes in the phase and dislocation structure and on the mechanical properties of EP823 steel as well. Radiation-induced microstructural changes (dislocation loops, a network of dislocations, and finely dispersed precipitates) determine the hardening of steel after neutron irradiation (fig. – 6, tables – 2, references – 7).

Keywords: electron microscopic studies; microstructure of steel; ferrite-martensitic steel, EP823, radiation damage; the second phase, mechanical property, low temperature radiation embrittlement.

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ. К.Л. Ковалев, В.Н. Полтавец, И.П. Колчанова (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 2(103). С. 82-96.

Повышение энергоэффективности и улучшение экологии за счет внедрения новых инновационных технологий, в том числе использования сверхпроводящих материалов, является одним из ключевых стратегических направлений мирового развития электроэнергетики. Появление высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) создало принципиально новые возможности для практического использования этого явления. Сверхпроводящие материалы позволяют создавать высокопроизводительные устройства с новым уровнем параметров, которых невозможно достичь с помощью традиционных электрических материалов. В статье приведен обзор зарубежных разработок сверхпроводниковых ветрогенераторов и кинетических накопителей энергии (КНЭ) с магнитным ВТСП подвесом. Описаны конструкции созданных в России опытных образцов – сверхпроводникового ветрогенератора мощностью 1 МВА и кинетического накопителя энергии с магнитным ВТСП подвесом с запасаемой энергией более 5 МДж (рис. – 14, табл. – 3, список литературы – 25 назв.).

Ключевые слова: высокотемпературные сверхпроводники, возобновляемые источники энергии, сверхпроводниковый генератор, кинетический накопитель энергии, ВТСП подвес.

APPLICATION OF SUPERCONDUCTOR TECHNOLOGIES FOR RENEWABLE ENERGY. K. Kovalev, V. Poltavets, I. Kolchanova (Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 2(103). P. 82-96.

Increasing energy efficiency and improving the environment through the introduction of new innovative technologies, including the use of superconducting materials, is one of the key strategic directions in the global development of the electric power industry. The advent of high-temperature superconductors (HTSC) has created fundamentally new opportunities for the practical use of this phenomenon. Superconducting materials allow us to create high-performance devices with a new level of parameters that cannot be achieved using traditional electrical materials. The article provides a review of foreign developments of superconducting wind generators and flywheel energy storage systems (FESS) with magnetic HTSC suspension. The designs of the Russia's first 1 MVA superconducting wind generator and the first 5 MJ FESS with HTSC magnetic suspension are described (fig. – 14, tables – 3, references – 25).

Keywords: high-temperature superconductors, renewable energy sources, superconductor generator, flywheel energy storage systems, HTS suspension.

ОБЗОР ТЕРМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ТАБЛЕТОК $UO_{2\pm x}$ И $(U,Gd)O_{2\pm x}$. А.В. Федотов, Д.С. Миссорин, Е.Н. Михеев (АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 2(103). С. 97-116.

Проведён анализ экспериментальных данных по термическому расширению топливных таблеток из диоксида урана различной сверхстехиометрии и уран-гадолиниевого оксида с разной массовой долей Gd_2O_3 . Результаты работ противоречивые и в большинстве своём имеют ряд замечаний методического характера и по пробоподготовке. Термическое расширение для урановых и уран-гадолиниевых оксидных таблеток с массовой долей оксида гадолия до 8% совпадает до 1900 К в пределах экспериментального разброса данных с учётом погрешности. Данные по термическому расширению уран-гадолиниевых оксидных таблеток для температур выше 2000 К в открытых источниках не обнаружены. Выданы рекомендации по корректному определению термического расширения (рис. – 6, табл. – 2, список литературы – 33 назв.).

Ключевые слова: диоксид урана, термическое расширение, уран-гадолиниевый оксид, коэффициент термического расширения, топливные таблетки.

A REVIEW OF THERMAL EXPANSION OF $UO_{2\pm x}$ AND $(U,Gd)O_{2\pm x}$ FUEL PELLETS. A.V. Fedotov, D.S. Missorin, E.N. Mikheev (Bochvar Inorganic Materials Research Institute JSC, Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 2(103). P. 97-116.

The analysis of experimental data on the thermal expansion of fuel pellets made of uranium dioxide of various hyperstoichiometry and uranium-gadolinium oxide fuel pellets with different gadolinia content is carried out. The results of publications are contradictory and for the most part they have a number of remarks concerning the methodology and sample preparation. Thermal expansion for uranium and uranium-gadolinium oxide pellets with gadolinia content up to 8 wt.% coincides up to 1900 K within the range of experimental data dispersion taking into account the measurement error. The data on the thermal expansion of uranium-gadolinium oxide pellets for the temperatures above 2000 K were not found in open sources. Recommendations on the correct determination of thermal expansion are issued (fig. – 6, tables – 2, references – 33).

Keywords: uranium dioxide, thermal expansion, uranium-gadolinium oxide, thermal expansion coefficient, fuel pellets.

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫПЛАВКИ СЛИТКОВ СПЛАВА Э110 НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ЦИРКОНИЯ В ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ К «BREAKAWAY» ОКИСЛЕНИЮ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ПАРЕ. В.В. Новиков, А.А. Кабанов, Н.К. Филатова, А.В. Головин (АО «ВНИИНМ», г. Москва); А.Г. Зиганшин, А.А. Мартынов, Р.Ф. Бекмансуров (АО «Чепецкий механический завод», г. Глазов, Удмуртская республика) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 2(103). С. 117-134.

Оболочки твэлов из сплава Э110 на основе электролитического порошка циркония, изготовленные из слитка, выплавленного двойным вакуумно-дуговым переплавом, склонны к «breakaway» окислению в высокотемпературном паре из-за присутствия в материале примеси фтора. Исключить «breakaway» окисление позволяет изготовление сплава Э110 на основе губчатого циркония, в котором примеси фтора нет. Другая возможность заключается в применении для сплава Э110 из электролитического циркония дополнительных переплавов слитка для удаления примеси фтора до уровня не более 1 ppm, при котором «breakaway» окисление не наблюдается.

В настоящей статье представлены результаты разработки нового техпроцесса изготовления слитков из сплава Э110 на основе электролитического циркония, включающего в себя операции подготовки брикетов, оптимизацию режимов электронно-лучевого рафинирования первого переплава и последующих двух или трех вакуумно-дуговых переплавов для минимизации содержания примеси фтора в металле слитка. Показана динамика снижения концентрации фтора в слитках после каждого переплава, а также его содержание в кованных заготовках, полуфабрикатах прокатного передела и готовых трубах. Установлено, что уже после трех переплавов концентрация фтора в слитке составляет не более 1 ppm и оболочечные трубы не проявляют «breakaway» окисления, соответствуя критериям безопасности в условиях проектной аварии LOCA (рис. – 11, табл. – 3, список литературы – 18 назв.).

Ключевые слова: сплав Э110, электролитический цирконий, «breakaway» окисление, остаточная примесь фтора, слиток, электронно-лучевая плавка, вакуумно-дуговая плавка.

SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF PARAMETERS FOR SMELTING E110 ALLOY BARS ON THE BASIS OF ELECTROLYTIC ZIRCONIUM TO ENSURE THE RESISTANCE OF BREAKAWAY SHELL FUEL OXIDATIONS AT A HIGH TEMPERATURE. V.V. Novikov, A.A. Kabanov, N.K. Filatova, A.V. Golovin (Bochvar Inorganic Materials Research Institute JSC, Moscow); A.G. Ziganshin, A.A. Martynov, R.F. Bekmansurov (JSC «Chepetsky mechanical plant») – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 2(103). P. 117-134.

The claddings of fuel elements made of E110 alloy based on zirconium electrolytic powder made of an ingot melted by a double vacuum-arc remelting are prone to breakaway oxidation in high temperature steam due to the presence of fluorine impurities in the material. The «breakaway» oxidation can be eliminated by the manufacture of alloy E110 based on sponge zirconium, in which there is no fluorine impurity. Another possibility is to use additional ingot remelts for E110 alloy from electrolytic zirconium to remove fluorine impurities to a level of less than 1 ppm, at which no breakaway oxidation is observed.

This article presents the results of the development of an innovative technological process for the manufacture of ingots from E110 alloy based on electrolytic zirconium, including briquetting operations, optimization of electron beam refining of the first remelting, and subsequent two or three vacuum-arc remelting to minimize the content of fluorine impurity in the metal of the ingot. The dynamics of the decrease in the concentration of fluorine in ingots after each remelting, as well as its content in forged billets, semi-finished products of rolling redistribution and finished pipes, is shown. It has been established that already after three remelting of the ingot, the fluorine concentration in the alloy is less than 1 ppm and the shell pipes do not exhibit a «breakaway» of oxidation, meeting the safety criteria in the conditions of a LOCA design accident (fig. – 11, tables – 3, references – 18).

Keywords: E110 alloy, electrolytic zirconium, «breakaway» oxidation, residual fluorine impurity, ingot, electron beam melting, vacuum arc melting.

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХРОМО-НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА 42ХНМ И ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ Э110 И Э635 ПРИ ОБЛУЧЕНИИ В НЕЙТРОННЫХ ПОЛЯХ РЕАКТОРА ВВЭР-1000 И ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ. А.И. Блохин¹, Д.А. Блохин², М.В. Леонтьева-Смирнова², В.М. Чернов^{2,3} (¹Институт безопасного развития атомной энергетики РАН, г. Москва; ²АО «ВНИИНМ», г. Москва; ³НИЯУ «МИФИ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 2(103). С. 135-152.

Определены ядерные физические свойства сплавов 42ХНМ (Ni-42Cr-1,25Mo), Э110 (Zr-Nb) и Э635 (Zr-Nb-Sn-Fe) при нейтронном облучении (до 7 эффективных лет) в энергетическом реакторе типа ВВЭР-1000 и после облучения (до 1000 лет). Получен набор ядерных физических характеристик сплавов (первичная радиационная повреждаемость, радиоактивность, ядерное энерговыделение, поглощение нейтронов) при облучении и их спад (ядерное охлаждение) после облучения, и дан их сравнительный анализ. Расчёты проведены на базе комплекса ACDAM-2.0 с учётом элементных (легирующих и примесных) составов сплавов и типичного нейтронного спектра для центра активной зоны реактора ВВЭР-1000. Сплавы 42ХНМ, Э110 и Э635 не являются малоактивируемыми при нейтронном облучении. Спад мощности гамма-излучения до уровня 10 мЗв/час мммпроисходит в облучённых сплавах после их облучения длительностью более 4 лет на период более 1000 лет. Повторное использование (рециклирование) облучённых сплавов возможно через 1000 лет и более после облучения. Спад радиоактивности в облучённых сплавах до уровня 10^{10} Бк/кг после облучения длительностью более 4 лет достигается через время около 100 лет для сплавов циркония и через время более 1000 лет для сплава 42ХНМ. Определены уровни ядерной наработки водорода и гелия в сплавах (рис. – 14, табл. – 4, список литературы – 32 назв.).

Ключевые слова: Сплавы 42ХНМ (Ni-42Cr-1,25Mo), Э110 (Zr-Nb), Э635 (Zr-Nb-Sn-Fe), реактор ВВЭР-1000, облучение, ядерные физические свойства, радиоактивность, трансмутация, первичная радиационная повреждаемость, радиогенный водород, радиогенный гелий, поглощение нейтронов, ядерное охлаждение после облучения.

NUCLEAR-PHYSICAL PROPERTIES OF THE 42KhNM CHROMIUM-NICKEL ALLOY AND E110 AND E635 ZIRCONIUM ALLOYS UNDER IRRADIATION IN THE NEUTRON FIELDS OF THE VVER-1000 REACTOR AND AFTER IRRADIATION. A.I. Blokhin¹, D.A. Blokhin², M.V. Leontieva-Smirnova², V.M. Chernov^{2,3} (1Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Science (IBRAE RAS), Moscow; 2A.A. Bochvar High-technology Research Institute of Inorganic Materials, Moscow; 3National Nuclear Research University «MPhI», Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 2(103). P. 135-152.

The nuclear physical properties of 42KhNM (Ni-42Cr-1,25 Mo), E110 (Zr-Nb) and E635 (Zr-Nb-Sn-Fe) alloys were determined under neutron irradiation (up to 7 effective years) in a power reactor of the VVER-1000 type and after irradiation (up to 1000 years). A set of nuclear physical characteristics of alloys (primary radiation damage, radioactivity, nuclear energy release, neutron absorption) during irradiation and their decline (nuclear cooling) after irradiation is obtained and their comparative analysis is given. Calculations were performed on the basis of the ACDAM-2.0 complex, taking into account the elemental (alloying and impurity) compositions of alloys and the typical neutron spectrum for the core center of the VVER-1000 reactor. 42KhNM, E110 and E635 alloys are not low activated under neutron irradiation. The decrease in gamma radiation power to the level of 10 mSv/hour after irradiation lasting more than 4 years for the period of more than 1000 years. Their reuse (recycling) after irradiation is possible after a period of more than 1000 years. The decrease in radioactivity in irradiated materials to the level of 10^{10} Bq/kg after irradiation lasting more than 4 years is achieved after a time of about 100 years for zirconium alloys and after a time of more than 1000 years for the 42KhNM alloy. The levels of nuclear generation of hydrogen and helium in alloys are determined (fig. – 14, tables – 4, references – 32).

Keywords: alloys 42KhNM (Ni-42Cr-1,25Mo), E110 (Zr-Nb), E635 (Zr-Nb-Sn-Fe), VVER-1000 reactor, irradiation, nuclear physical properties, radioactivity, transmutation, primary radiation damage, radiogenic hydrogen, radiogenic helium, the absorption of neutrons, nuclear cooling after irradiation.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РУКОПИСИ

В Издательство представляется рукопись на электронном носителе (дискета, CD, flash) или по электронной почте. Рукописные вставки не допускаются.

При использовании текстового редактора Word следует придерживаться следующих правил.

1. **Текст** должен быть расположен на листе формата А4 по ширине страницы с учетом полей (левое, правое, нижнее – 2,5 см, верхнее – 2,0 см), набран шрифтом Times New Roman (Сур), кегель – 12, межстрочный интервал 1,2. Абзацные отступы должны быть одинаковыми по всему тексту – 1 см (не допускается создание абзацной строки с помощью пробелов или клавиши «Табуляция»). Кавычки (« »), скобки ([], ()), маркеры и другие знаки должны быть сохранены аналогичными на протяжении всего предоставляемого материала.

2. **Заголовки и подзаголовки** оформляются в едином стиле по всей работе и отделяются от основного текста 1 интервалом и располагаются по центру строки. Заголовки (наименования разделов) записывают прописными буквами, подзаголовки (наименования подразделов) – строчными. Переносы слов в заголовках не допускаются. Точку в конце заголовка не ставят. Название статьи приводится на русском и английском языках.

3. **Фамилии авторов и место работы** указываются на русском и английском языках после названия статьи. Также необходимо указать e-mail для связи с авторами.

4. **Аннотации** набирают на 1 кегель меньше, курсивом с отступом 3 см, после заголовка. Аннотация приводится на русском и английских языках.

5. **Ключевые слова** указываются после аннотации на русском и английском языках набранные шрифтом Times New Roman (Сур), кегель – 11.

6. **Формулы**, даже состоящие из единственного символа, набираются только с использованием редактора формул Equation Editor или MathType. Категорически не допускается замена латинских и греческих букв сходными по начертанию русскими, а также знака суммы заглавной буквой сигма. Если необходимо использовать в формулах русские буквы, то их следует набирать в текстовом стиле.

7. **Нумерация страниц** обязательна. Посередине страницы, кегель 11 пт.

8. **Список литературы** любого источника осуществляется на языке его издания, помещается в конце рукописи в порядке упоминания в тексте. В списке приводятся только источники, на которые автор ссылается в тексте. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Внутри текста ссылки на список приводятся в квадратных скобках. Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ, кегель 11, курсив.

9. **Переносы** и принудительные (ручные) не ставить.

10. **Рисунки, графики, схемы** должны выполняться в графических редакторах, поддерживающих векторную графику. Желательно предоставлять все рисунки в виде отдельных файлов в исходном графическом формате. Графические иллюстрации должны так же быть выполнены и в виде отдельных файлов в исходном графическом формате. Оригиналы отсканированных изображений должны предоставляться высокого качества (не менее 300 dpi). Все рисунки должны быть пронумерованы и иметь подрисовочные подписи (11 кегель, курсив, посередине листа, точка в конце не ставится).

11. **Таблицы** следует делать в режиме таблиц (добавить таблицу), а не рисовать от руки, не разрывать, если таблица большая, ее необходимо поместить на отдельной странице. Кегель 11. Слово «Таблица» расположить в правом верхнем углу, а название таблиц по центру (не жирный и не курсив, 12 кегель). Каждая таблица располагается после ссылки на нее (Напр.: табл. 1) и должна иметь нумерационный и тематический заголовок. Ширина таблицы не должна быть больше полосы набора текста. Ссылка на рисунки и таблицы в тексте обязательны. Если в статье один рисунок или одна таблица, они не нумеруются. **Иллюстрации и таблицы** не должны разрывать предложение, их нужно располагать после абзаца.

Порядок представления и опубликования рукописей в научно-техническом журнале «Вопросы атомной науки и техники. Серия Материаловедение и новые материалы» (ВАНТ)

1. Публикация научно-технических статей в журнале ВАНТ бесплатна. Информационный обмен и общение между авторами и редакцией происходит посредством электронной почты – MVPozdeev@bochvar.ru.
2. Тексты статей оформляются в соответствии с «ТРЕБОВАНИЯМИ К ОФОРМЛЕНИЮ РУКОПИСИ». Рукописи, разрешения на открытое опубликование и сопроводительные письма направляются на адрес электронной почты MVPozdeev@bochvar.ru.
3. Статьи, не соответствующие требованиям к оформлению, направляются авторам на доработку. Тексты, соответствующие требованиям, отправляются на рецензирование в соответствии с «ПОРЯДКОМ РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ РУКОПИСЕЙ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ ВАНТ СЕРИЯ «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ».
4. В случае отрицательного заключения рецензента, авторам по электронной почте направляется мотивированный отказ. В случае положительного заключения рецензента, автору по электронной почте направляется подтверждение о приеме рукописи к публикации.
5. После принятия рукописи к публикации, авторы должны оформить, подписать и прислать в редакцию в бумажном варианте «ЛИЦЕНЗИОННЫЙ ДОГОВОР С АВТОРАМИ СТАТЕЙ, РАЗМЕЩАЕМЫХ В ЖУРНАЛЕ ВАНТ».
6. После получения редакцией договора статья направляется в верстку.
7. После опубликования статьи каждому автору бесплатно направляется экземпляр журнала.

Об Издательстве

Выпуски научно-технического журнала «Вопросы атомной науки и техники» (ВАНТ). Серия «Материаловедение и новые материалы», посвященные проблемам атомного материаловедения, издаются в АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара».

Журнал ВАНТ издается с 1972 года. Серия «Материаловедение и новые материалы» издается с 1989 г. по настоящее время тиражом не менее 250 экземпляров.

В журнале ВАНТ Серия «Материаловедение и новые материалы» представлены результаты исследований по физическому материаловедению, радиационной повреждаемости, активации и трансмутации материалов, физике радиационных явлений, механизмам формирования исходной и радиационной микроструктуры, теории, моделированию и экспериментальным исследованиям дефектов, структуры и свойств материалов. Выпуски журнала, помимо статей сотрудников института и ведущих специалистов отрасли, включают материалы на основе докладов, которые были представлены на конференциях «Материалы ядерной техники» (МАЯТ) в разные годы.

Кроме того, в журнале ВАНТ раскрываются актуальные проблемы, связанные с изменением приоритетов в оборонных задачах, разработкой новых технологий, включающих структурирование материалов наночастицами, вопросы разработки новых сплавов, особых видов термообработки и т.п.

На журнал ВАНТ. Серия «Материаловедение и новые материалы» можно подписаться в информагентстве «Пресса России», подписной индекс 41288 и в агентстве «Урал-Пресс», подписной индекс ВН005557.

Адрес издательства: 123098, г. Москва, а/я 369, ул. Рогова, д. 5а.

Контактное лицо: Ученый секретарь АО «ВНИИИМ» – Поздеев Михаил Васильевич, тел. +7 (499) 190-89-99 доб. 82-59, адрес электронной почты MVPozdeev@bochvar.ru.

Сдано в набор 02.06.2020 г. Подписано в печать 22.06.2020 г.
Печ. л. 16,0. Уч.-изд. л. 8,3. Формат 60×90/8
Компьютерный набор, вёрстка – Махмутова М.Р.

Отдел полиграфии ВНИИНМ. Тел. 8(495) 190-89-99 доб. 84-79. Тираж 200 экз. Заказ №93.
Цена договорная.

Отпечатано в АО «ВНИИНМ». 123098, Москва, а/я 369.