

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПО ПОЛУЧЕНИЮ ЯДЕРНО-ЧИСТОГО ЦИРКОНИЯ И СПЛАВА НА ЕГО ОСНОВЕ

Н.Н. Пилипенко

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
Харьков, Украина*

E-mail: azhazha@kipt.kharkov.ua

Представлены результаты исследований по разработке физико-химических и технологических основ получения ядерно-чистого циркония и сплава на его основе, выполненные в ННЦ ХФТИ. Разработана технология производства слитков реакторного сплава цирконий-1% ниобия из отечественного сырья для изготовления изделий реакторов ВВЭР. Проанализирована схема получения циркония на ГНПП «Цирконий», выданы рекомендации по усовершенствованию технологических процессов производства ядерно-чистого циркония. Результаты проведенных исследований позволили разработать исходные данные для технико-экономического обоснования проектирования циркониевого производства в Украине.

Дальнейшее повышение безопасности, обеспечение экономичности ядерной энергетики требует повышения энергонапряженности, мощности единичных блоков ядерно-энергетических установок (ЯЭУ), увеличения длительности кампаний, более эффективного сжигания топлива, в том числе за счет повышения качества конструкционных материалов. Это, в свою очередь, приводит к возрастанию требований к свойствам материалов, величине и количеству допускаемых дефектов элементов конструкций.

Главными факторами, определяющими общие требования к свойствам конструкционных материалов основного оборудования ЯЭУ, являются:

- напряженное состояние, возникающее в элементах конструкций под действием механических, термических и радиационных нагрузок;

- рабочая температура материала, обусловленная соотношением энерговыделения и теплоотвода;

- наличие химически активной среды: движущегося теплоносителя, продуктов ядерных реакций и остаточных газов;

- циклический характер работы материалов вследствие теплосмен и изменений механических нагрузок в процессе эксплуатации;

- радиационное воздействие на материалы: нейтронов с широким энергетическим спектром, гамма-излучения, наведенной радиоактивности.

Практически все материалы, из которых изготавливаются различные конструктивные узлы и рабочие части ядерных установок, подвергаются действию этих факторов во время их работы. Поскольку длительность работы ядерных реакторов и проектируемых термоядерных аппаратов должна быть не менее 10 лет (иначе они будут экономически невыгодными), то в течение этого же времени должны бесперебойно "работать" и материалы конструкций. Однако излучения реакторов, действуя на материалы, изменяют их структуру, а значит, и их прочностные, электрические и другие свойства. Поэтому проблема усовершенствования имеющихся и создания новых конструкционных радиационно-стойких материалов приобретает

принципиальное значение в дальнейшем прогрессе человечества в освоении новых источников энергии [1].

Анализ перспектив развития мировой ядерной энергетики показывает, что в ближайшем будущем ее основу будут составлять реакторы на тепловых нейтронах, охлаждаемые водой под давлением (PWR и ВВЭР), доля которых в настоящее время составляет более 50% [2]. В течение следующих приблизительно 15...20 лет будут разрабатываться и вводятся в эксплуатацию проекты усовершенствованных тепловых реакторов, которые должны стать основой наращивания ядерных мощностей. Наиболее рациональным для Украины в этот период будет повышение безопасности эксплуатации, рост КИУМ, повышение выгорания топлива, снижение эксплуатационной составляющей стоимости электроэнергии и продление проектных сроков службы основного оборудования энергоблоков.

На 15 энергоблоках АЭС Украины с общей установленной мощностью 13835 МВт в 2008 году было выработано 90,118 млрд кВт/ч электроэнергии, что составляет около 50% от общего объема отечественного производства электроэнергии. Потребности АЭС Украины в топливе для реакторов типа ВВЭР-1000 составляют 620 тепловыделяющих сборок (ТВС) в год. Сегодня все энергоблоки украинских АЭС обеспечиваются ядерным топливом производства ОАО ТВЭЛ (Российская Федерация).

Концептуально развитие производства ядерного топлива в Украине базируется на использовании национальных сырьевых ресурсов, производственного и научно-технического потенциала в области ядерных технологий, в частности добычи и переработки урановых и циркониевых руд, производства циркониевых сплавов и проката. Все это нашло свое отражение в стратегии развития ядерной энергетики в Украине на период до 2030 года и дальнейшей перспективы и государственной целевой программы «Ядерное топливо Украины» [3].

Основным конструкционным материалом активных зон реакторов на тепловых нейтронах с водным

теплоносителем являются циркониевые сплавы, обладающие низким сечением захвата тепловых нейтронов, хорошей радиационной и коррозионной стойкостью.

Одной из составляющих повышения эффективности использования топлива является замена стальных конструктивных элементов тепловыделяющих сборок (направляющие трубы и дистанционирующие решетки) на циркониевый сплав с содержанием гафния не более 0,01 мас.%. Такая замена обеспечит уменьшение величины искривления ТВС в активной зоне, т.е. повысит размерную стабильность ТВС [4]. Ограничение по содержанию гафния (менее 0,01 мас.%) объясняется необходимостью обеспечения минимального содержания в активной зоне реактора материалов с повышенным коэффициентом захвата нейтронов.

Даже очень малые добавки эффективно влияют на физико-механические и физико-химические свойства циркония, что может повлечь за собой изменение механических и коррозионных свойств циркониевых сплавов, а также изменение оптимальных режимов деформационной и термической обработки. Кроме того, возможно также влияние совокупного содержания нового состава примесей на свойства циркониевых сплавов.

Необходимость и целесообразность развития циркониевого производства, организация производства комплектующих изделий для тепловыделяющих сборок и ядерного топлива вызвана возможностью:

- снижения расходов на приобретение ядерного топлива за границей за счет собственного производства топлива;
- обеспечения диверсификации поставок ядерного топлива на атомные электростанции Украины и, как следствие, повышения надежности энергообеспечения страны.

Производство ядерного топлива должно включать изготовление циркониевой продукции и ТВС. Изготовление циркониевой продукции состоит из следующих процессов:

- производство двуокиси циркония из циркониевого концентрата;
- производство циркониевой губки из двуокиси циркония;
- производство циркониевого сплава и заготовки из циркониевого сплава;
- производство циркониевого проката (труба, прут, лента);
- изготовление комплектующих изделий;
- производство ТВС.

В Украине имеется сырьевая и производственная база [5], реконструкция и расширение которой даст возможность создать полный цикл циркониевого производства до 2013 года, как предусмотрено Энергетической стратегией Украины на период до 2030 года. Решение проблемы циркониевого производства будет способствовать укреплению национальной безопасности Украины и повышению экономической эффективности.

Создаваемая в Украине технология изготовления сплава $Zr + 1 \text{ мас. \% Nb (ZrNb)}$ на основе отечест-

венного циркония должна обеспечить достижение характеристик, сравнимых с характеристиками штатного сплава Э-110, а изготовленные в Украине комплектующие - обеспечить работоспособность ядерного топлива при 4- и 5-годичных циклах работы. Предусматривается, что применение новых технологий изготовления сплава $ZrNb$ обеспечит более высокие характеристики работоспособности и надежности изделий из него в сравнении с аналогом.

Для развития созданного в начале 70-х годов прошлого столетия промышленно-экспериментального производства циркония в ННЦ ХФТИ в последние годы проведен большой объем научно-исследовательских работ по решению следующих задач:

- разработка физических основ рафинирования циркония на разных этапах его производства [6,7];
- разработка технологии производства циркониевой ленты для сборок ТВС;
- разработка и исследование новых циркониевых сплавов и исследование их физико-механических свойств [8,9];
- изучение радиационных эффектов в цирконии и его сплавах [10];
- изучение процессов окисления циркония и его сплавов [11];
- разработка физических основ создания радиационно-стойких изделий из циркониевых сплавов [12];
- исследование механических свойств циркония в широкой области температур и установление механизмов, контролирующих пластическую деформацию циркония и его сплавов [13].

В лаборатории физики циркония и технологий чистых металлов ННЦ ХФТИ в содружестве с другими научными и производственными подразделениями проведен комплекс материаловедческих и технологических исследований, направленных на обоснование создания производства циркониевых сплавов и изделий на их основе для ядерного топлива реакторов ВВЭР из отечественного сырья. Разработаны физико-химические основы получения ядерно-чистого циркония, пригодного для использования в ядерной энергетике. Проведено физическое обоснование и экспериментальное исследование поведения примесей в процессе рафинирования циркония методом электронно-лучевой плавки (ЭЛП) в высоком вакууме. Получены образцы циркония ядерной чистоты и изучено влияние чистоты циркония на его свойства. Расчетами и экспериментально показана эффективность использования раскисляющих компонентов для очистки циркония от кислорода при вакуумной плавке. Предложена концепция уменьшения содержания кислорода в цирконии благодаря введению алюминия в исходное сырье на предварительных стадиях производства, в частности при восстановлении, в результате образования и удаления оксида алюминия в процессе ЭЛП циркония, что приводит к повышению качества циркония [5-9, 14].

С целью усовершенствования технологического процесса получения циркония реакторной чистоты были проведены систематические исследования по

очистке циркония от примесей. Благоприятные условия рафинирования в сочетании с оптимальной технологией позволяют достигать при ЭЛП значительного повышения чистоты циркония. Как следует из обобщенных результатов систематических исследований процесса рафинирования йодидного и кальциетермического циркония (КТЦ) методом ЭЛП в установке с комбинированной откачкой, микротвердость йодидного циркония снижается с

1200 до 800 МПа, происходит существенное уменьшение концентрации металлических и газовых примесей (рис. 1), а также снижается твердость. На основе проведенных исследований выработаны рекомендации по улучшению производства циркония, что позволит выбрать оптимальную технологическую схему промышленного производства слитков сплава Zr-1Nb для изготовления твэльных труб и других изделий для реакторов ВВЭР-1000.

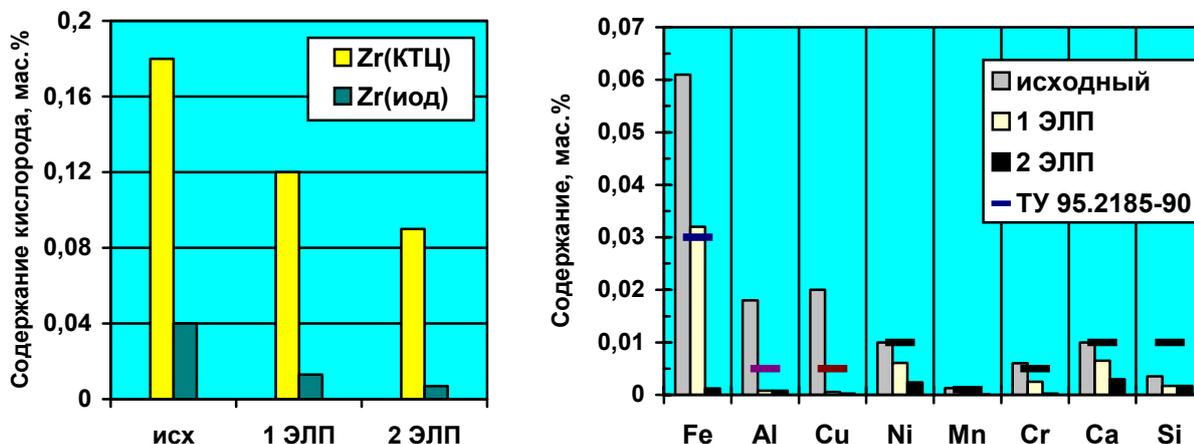


Рис.1. Изменение содержания кислорода и металлических примесей в цирконии после двух последовательных ЭЛП

В ННЦ ХФТИ разработана технология получения слитков сплава Zr-1Nb на основе кальциетермического циркония, оборотов трубного производства и йодидного циркония с содержанием кислорода менее 0,10 мас.%. Разработанная технология предусматривает:

- выплавку исходных расходуемых электродов из сплава КТЦ-110;
- сборку электрода из тройной шихты для первого вакуумно-дугового переплава (ВДП) в кристаллизатор диаметром 160 мм;
- проведение первого дугового переплава, получение слитков диаметром 160 мм, длиной 450...480 мм;
- сборку электрода для второго ВДП;
- проведение второго дугового переплава, получение слитков диаметром 200 мм, длиной до 450 мм.

Химический состав сплава удовлетворяет требованиям ТУ 95.166-98 на циркониевые сплавы, применяемые в ядерной энергетике (табл.1). Исследованиями установлено, что структура и микроструктура сплавов Zr1Nb и Э110 идентичны (рис.2). Твердость сплава Zr-1Nb составляет 1600...1720 МПа, а твердость сплава Э110 – 1580...1680 МПа [15]. Механические свойства металла, полученного методом двойной ВДП, исследованы в поперечном направлении при температурах 20 и 380 °С. Результаты механических испытаний и значения твердости приведены в табл. 2 [16]. Сравнительный анализ данных по механическим свойствам полученного сплава и сплава Э-110 показал, что значения пределов прочности и текучести, а также пластичности близки. Коррозийные испытания, проведенные в воде при температуре 350 °С и давлении 16,8 МПа и в паре при 400 °С и 20,0 МПа,

показали, что сплав Zr1Nb ведет себя так же, как и сплав Э110 [17].

Таблица 1

Содержание примесей в слитках сплава Zr1Nb после двойного ВДП, мас.%

Примесь	Zr1Nb	Э110*
Al	0,00011...0,00022	0,008
B	<0,00001	-
Be	<0,00001	0,003
C	0,008...0,01	0,02
Ca	<0,0005	0,03
Cd	<0,00001	0,00003
Cl	<0,0005	0,003
Cr	0,001...0,0016	0,02
Cu	0,0024...0,0045	0,005
F	<0,0005	0,003
Fe	0,012	0,05
Hf	0,015...0,036	0,05
K	<0,0005	0,004
Li	<0,00001	0,0002
Mn	<0,0005	0,002
Mo	<0,001	0,005
N	0,0008...0,0014	0,006
Ni	0,002...0,003	0,02
O	0,07...0,93	0,1
Pb	<0,001	0,005
Si	0,001...0,002	0,02
Ti	<0,0001	0,005
Nb	0,94...1,02	0,9...1,1

*Для сплава Э110 в соответствии с ТУ 95.166-98.

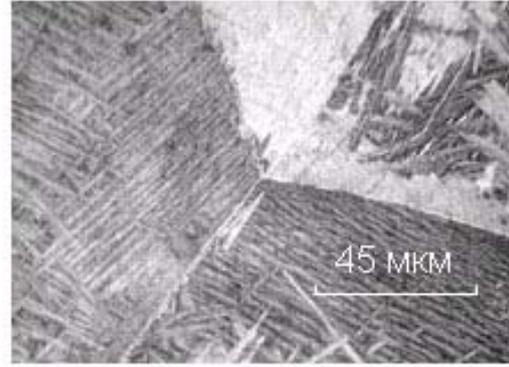
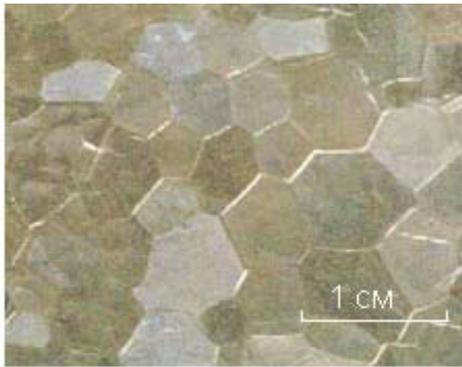


Рис.2. Структура сплава Zr1Nb после двойной ВДП

Таблица 2

Механические свойства сплава Zr1Nb

$T_{исп} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$				$T_{исп} = 380\text{ }^{\circ}\text{C}$				КСУ, кгс/см ² , $T_{исп} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %	φ , %	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %	φ , %	
440...450	385...395	14,0...15,0	49,0...50,5	150...175	120...135	16,0	70,0...79,5	8,5...9,7

Проведенные исследования по использованию полученных слитков сплава циркония с 1% ниобия для производства трубных заготовок, TREX-труб, изготовлению опытно-промышленной партии твэльных труб и изучению их основных показателей показали, что полученный сплав отвечает требованиям технических условий на сплав Э110 и может быть использован для производства оболочечных труб для твэлов реакторов ВВЭР-1000.

В Украине на ГНПП «Цирконий» (Днепропетровск) производился цирконий по кальциетермической технологии, которая предусматривает получение чистого тетрафторида циркония (ТФЦ), его восстановление кальцием и последующую электронно-лучевую плавку восстановленного циркония. Особенностью циркония украинского производства является пониженное содержание гафния [8]. С целью установления стадий, которые приводят к повышению содержания примесей в сплаве Zr1Nb, были проанализированы основные этапы производства циркония на ГНПП «Цирконий». Установлены основные операции, что приводят к повышенному содержанию примесей в сплаве. Исследованы процессы дегазации ТФЦ, циркония и его сплава при нагреве в вакууме при различных температурах. Одним из источников поступления кислорода в металлический цирконий и гафний в процессе восстановления является стружка кальция. В ННЦ ХФТИ разработана конструкция установки для грануляции кальция, внедрение которой в производство позволит получать металл с заданным стабильным содержанием кислорода. Рассмотрен также вопрос улучшения вакуумных условий при ЭЛП циркония и его сплавов. В случае рафинирования химически активных металлов, даже при очень низком давлении, концентрация газовых примесей и углерода в них может не только уменьшаться, но и расти из-за их поглощения из остаточной атмосферы вакуумной

печи. Улучшения вакуумных условий при плавке можно достичь заменой действующих бустерных насосов на другие типы вакуумных насосов – электроразрядных, гетероионных, титановых сублимационных, сорбционных, криогенных и др. Для получения качественных слитков циркония и гафния, которые применяются в атомной энергетике с повышенными требованиями по содержанию примесей внедрения, рекомендовано улучшать вакуумные условия при ЭЛП на промышленных установках [7,14]. Как показали лабораторные исследования, показатели чистоты двукратного рафинирования циркония методом ЭЛП несколько лучше (см. рис.1), поэтому рекомендуется проводить двойную ЭЛП в промышленных условиях [9].

На основе проведенных исследований выработаны рекомендации по оптимизации и улучшению технологических процессов производства циркония и сплава на его основе (Zr1Nb) для изготовления твэльных труб, лент и других изделий для реакторов ВВЭР-1000.

Результаты исследований, полученных при физическом обосновании и экспериментальном изучении рафинирования циркония; изменении структуры и свойств циркония от содержания примесей; производству слитков методом вакуумно-дугового переплава, трубных заготовок, TREX-труб и твэльных труб из сплава Zr1Nb с использованием отечественного сырья для реакторов ВВЭР-1000 и изучению свойств сплава Zr1Nb, были использованы для разработки исходных данных для технико-экономического обоснования (ТЭО) проектирования циркониевого производства в Украине [18].

При разработке исходных данных для ТЭО по производству сплава циркония из циркониевой губки и трубной заготовки TREX-трубы был проанализирован технологический процесс получения магнетермического циркония по всем существующим

на данное время технологиям. Определены преимущества, недостатки и отличия существующих в мире схем производства изделий из сплава циркония.

Проведен анализ и приведены исходные данные для создания производства расходных электродов для вакуумно-дугового переплава, который в мировой практике используется как наиболее приемлемый метод изготовления слитков сплавов циркония для последующего изготовления из них комплектов изделий. В основу такого подхода положены представления о целесообразности использования для получения слитков циркониевой губки, которая образуется при магнетермическом восстановлении тетрахлорида циркония (метод Кроля). Этот метод в настоящее время наиболее широко используется для получения исходного циркония.

Проанализированы технические характеристики вакуумных дуговых печей разных конструкций, их габариты и зоны обслуживания печей.

В предполагаемой схеме получения изделий из циркониевого сплава для переработки отходов (оборотного металла) предполагается использование

электронно-лучевого переплава как эффективного метода рафинирования циркония [5-8]. Анализ огромного разнообразия существующих установок ЭЛП (с капельным переплавом, промежуточной емкостью, электромагнитным перемешиванием, гарнисажным тиглем и т.д.) и полученных экспериментальных данных по рафинированию циркония позволил выбрать наиболее подходящие схемы электронно-лучевых печей с учетом энергетических характеристик, их вакуумные системы, системы управления и контроля плавкой.

Проведен анализ возможных технологических схем получения слитков и литых заготовок из сплавов циркония в электронно-лучевых печах с использованием губки циркония, а также различные варианты горячей обработки (ковка) циркониевых слитков.

На рис. 3 приведена схема получения слитков сплава цирконий -1% ниобия из губки магнетермического циркония.

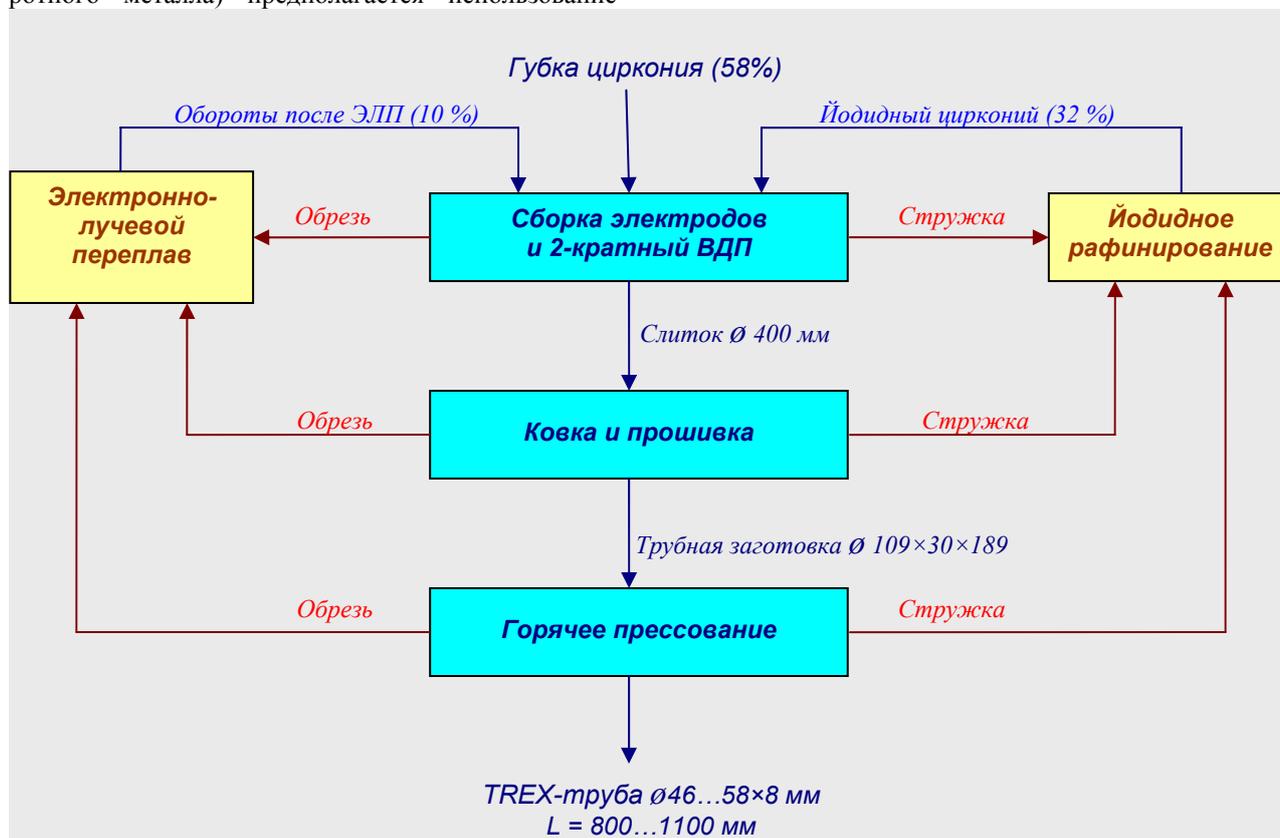


Рис.3. Схема получения слитков сплава Zr1Nb из губки магнетермического циркония

Разработаны предложения и сформулированы исходные данные для создания участков подготовки (формирования) расходных электродов для ВДП; сбора, классификации и переработки отходов; рафинирования оборотов (кондиционных отходов) циркониевого производства; йодидного рафинирования отходов; аналитического контроля качества. Приведено описание технологического процесса и аппаратного оформления участка изготовления передельных заготовок и TREX-труб из сплава

Zr1Nb. Сформулированы общие требования к помещениям для цехов циркониевого производства с указанием наименований и содержания технологических операций, определены основные виды, типы и количество единиц оборудования, используемого в технологических процессах. Проведен расчет годового баланса по цирконию для выпуска TREX-труб с учетом передельных коэффициентов на каждом этапе технологического процесса.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны физико-технологические основы получения ядерно-чистого циркония, который удовлетворяет современным требованиям ядерной энергетики. Физически обосновано и экспериментально исследовано поведение примесей в процессе рафинирования циркония методом ЭЛП в высоком вакууме. Получен цирконий ядерной чистоты и исследовано влияние чистоты циркония на его свойства.

2. Впервые в Украине создана технология производства слитков реакторного сплава цирконий-1% ниобия из отечественного сырья для изготовления изделий для реакторов ВВЭР-1000. Установлено, что полученный сплав по структуре, химическому составу и данным механических свойств удовлетворяет требованиям реакторного материала активной зоны реакторов на тепловых нейтронах и может использоваться для изготовления оболочечных труб твэлов.

3. Выданы рекомендации по усовершенствованию технологических процессов производства ядерно-чистого циркония на ГНПП «Цирконий».

4. Результаты проведенных исследований позволили разработать исходные данные для технико-экономического обоснования по производству сплава циркония из циркониевой губки и трубной заготовки, необходимые для проектирования циркониевого производства в Украине.

Автор выражает благодарность академику НАН Украины В.М. Ажаже и доктору технических наук С.Д. Лавриненко за полезные обсуждения материала статьи, ценные замечания и советы.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.М. Неклюдов. Проблемы работоспособности материалов основного оборудования АЭС Украины // *Прогресивні технології*. В 2-х т. К.: Академперіодика, 2003, т. 1, с. 277-295.
2. М.И. Солонин, И.И. Коновалов. Текущие и перспективные задачи топливообеспечения ядерной энергетики // *Атомная энергетика*. 2003, т. 95, в. 2, с. 113-121.
3. *Стратегия развития ядерной энергетики в Украине на период до 2030 года и на дальнейшую перспективу (проект)*. Киев, 2005, 34 с.
4. А.А. Афанасьев. Повышение экономичности топливных циклов ВВЭР-1000 путем увеличения выгорания топлива // *ВАНТ. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. 2000, № 4, с. 45-56.
5. Н.Н. Пилипенко. Получение циркония ядерной чистоты // *Там же*. 2008, № 2, с. 66-72.
6. В.М. Ажажа, П.Н. Вьюгов, С.Д. Лавриненко, В.И. Лапшин, Н.Н. Пилипенко. Электронно-лучевая плавка циркония // *ВАНТ. Серия «Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники»*. 2000, № 5, с. 3-11.
7. В.М. Ажажа, П.Н. Вьюгов, С.Д. Лавриненко, Н.Н. Пилипенко. Вакуумные условия и ЭЛП циркония // *ВАНТ. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. 2006, № 4, с. 144-151.

8. В.М. Ажажа, П.Н. Вьюгов, С.Д. Лавриненко, К.А. Линдт, А.П. Мухачев, Н.Н. Пилипенко. *Цирконий и его сплавы: технологии производства, области применения*: Обзор. Харьков: ННЦ ХФТИ, 1998, 89 с.

9. В.С. Красноруцкий, С.Д. Лавриненко, В.М. Ажажа и др. Разработки и обоснования по повышению ресурса работы, надежности и безопасности элементов активной зоны атомных реакторов – твэлов и ТВС // *Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин*. К.: ИЭС им. Е.О. Патона, 2006, с. 228-231.

10. О.В. Бородин, В.В. Брык, Р.Л. Василенко, В.Н. Воеводин и др. Влияние содержания кислорода на эволюцию микроструктуры сплава Zr1Nb при ионном облучении // *ВАНТ. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»* 2008, № 2, с. 53-61.

11. В.С. Красноруцкий, И.А. Петельгузов, В.Р. Татаринов и др. Исследование некоторых характеристик работоспособности экспериментального сплава Zr1Nb (КТЦ-110) как материала для твэлов реактора ВВЭР-1000 // *Научные ведомости (Белгородский университет)*. Серия: Физика. 2001, № 1(14), с. 140-145.

12. В.Н. Воеводин, И.М. Неклюдов, О.В. Бородин А.С. Бакай, А.А. Туркин. Эволюция структурно-фазовых состояний циркониевых сплавов под облучением // *Труды Конференции "Проблемы циркония и гафния в атомной энергетике", 14-19 июня 1999 г., Алушта, Крым*, с. 119-120.

13. В.М. Ажажа, И.Н. Бутенко, П.Н. Вьюгов и др. Механические свойства сплава Zr1Nb в интервале температур 300...770 К // *ВАНТ. Серия «Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники»*. 2007, № 4, с. 79-81.

14. В.М. Ажажа, П.Н. Вьюгов, С.Д. Лавриненко, Н.Н. Пилипенко. Получение сплава циркония и изделий из него в Украине // *Физика и химия обработки материалов*. 2009, № 1, с. 5-8.

15. В.М. Ажажа, А.Ф. Болков, Б.В. Борц и др. Вакуумно-дуговой способ получения трубной заготовки из сплава Zr1Nb // *ВАНТ. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. 2005, № 5, с. 110-114.

16. В.М. Ажажа, Б.В. Борц, І.М. Бутенко та ін. Виробництво партії трубних заготовок трекс-труб та виготовлення дослідно-промислової партії твельних труб із сплаву Zr1Nb із вітчизняної сировини // *Наука та інновації*. 2006, т. 2, № 6, с. 18-30.

17. В.М. Ажажа, И.Н. Бутенко, Б.В. Борц и др. Сплав Zr1Nb для атомной энергетики Украины // *Ядерна фізика та енергетика*. 2007, № 3(21), с. 67-74.

18. В.М. Ажажа, С.Д. Лавриненко, М.М. Пилипенко та ін. *Видача вихідних даних для одержання зливка цирконію з його губки*: Звіт про НДР (заключний) / ННЦ ХФТИ. № ДР 0108U008410. Харків, 2008, 133 с.

Статья поступила в редакцию 08.10.2009 г.

ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКИ ПО ОТРИМАННЮ ЯДЕРНО-ЧИСТОГО ЦИРКОНІЮ І СПЛАВУ НА ЙОГО ОСНОВІ

М.М. Пилипенко

Представлено результати досліджень по розробці фізико-хімічних і технологічних основ отримання ядерно-чистого цирконію і сплаву на його основі, виконані в ННЦ ХФТІ. Розроблена технологія виробництва злитків реакторного сплаву цирконій-1% ніобію із вітчизняної сировини для виготовлення виробів реакторів ВВЕР. Проаналізована схема отримання цирконію на ДНВП «Цирконій», видано рекомендації по удосконаленню технологічних процесів виробництва ядерно-чистого цирконію. Результати проведених досліджень дозволили розробити вихідні дані для техніко-економічного обґрунтування проектування цирконієвого виробництва в Україні.

R&D FOR OBTAINING OF NUCLEAR-PURE ZIRCONIUM AND ALLOY ON ITS BASIS

М.М. Pylypenko

The results of researches on development of physical-chemical and technological bases of obtaining of nuclear-pure zirconium and alloy on its basis, executed in NSC KIPT, are represented. The technology of the production of the ingots of reactor alloy zirconium-1% of niobium from the domestic raw material for the manufacture of the articles for VVER reactors is developed. Recommendations on the improvement of technological processes of production of nuclear-pure zirconium are given out. The results of the conducted investigations made it possible to develop initial data for the technical and economic substantiation of the design of zirconium production in the Ukraine.