

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(НИЯУ МИФИ)

Каширское шоссе, д.31, г. Москва, 115409

Тел. (499) 324-87-66, факс (499) 324-21-11

<http://www.mephi.ru>

12.10.2015 № 192/700

УТВЕРЖДАЮ  
Ректор НИЯУ МИФИ

М.Н. Стриханов

2016 г.

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### ОТЗЫВ

ведущей организации – ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – на диссертацию Филатовой Надежды Константиновны на тему: «Научное обоснование оптимальных параметров промышленной технологии выплавки слитков гафния для атомной промышленности», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Актуальность рецензируемой работы заключается в том, что после распада СССР в России отсутствовала собственная металлургия гафния.

Гафний, благодаря комплексу физико-химических и механических свойств, используется в качестве органов регулирования ядерных реакторов, в том числе и реакторов нового поколения ,

В связи с этим возникла необходимость разработать промышленную технологию выплавки слитков гафния на основе электролитического порошка гафния российского производства, позволяющую получать химический состав слитков и однородную макро- и микроструктуру слитков, соответствующие требованиям российской нормативной документации.

В 2009 году в АО «ЧМЗ» совместно с АО «ВНИИНМ» было создано промышленное производство электролитического порошка гафния.

Актуальность работы подтверждается двумя отраслевыми программами, в рамках которых выполнялись работы по диссертации:

- № 981-46/672 от 04.03.99 «Реконструкция части химического передела циркониевого производства в гафниевое»;

- № 981-14/614 от 01.02.2007 «Организация и выпуск гафниевых пластин и труб в АО «ЧМЗ»».

**Цель диссертационного исследования** – разработка и научное обоснование оптимальных параметров промышленной технологии получения слитков гафния для нужд атомной промышленности России.

**Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:**

1. Разработаны промышленные технологические схемы получения слитков гафния на основе исходного шихтового материала российского производства с целью импортозамещения.

2. Установлены зависимости качественных показателей расходуемых электродов для вакуумно-дуговой и расходуемых заготовок для электронно-лучевой плавки от режимов прессования, спекания и сварки брикетов на основе электролитического порошка гафния с целью получения необходимых механических характеристик.

3. Определены и научно обоснованы параметры первого и второго переплавов электролитического порошка гафния, позволяющие получить слитки гафния, соответствующие требованиям нормативной документации.

4. Проведена классификация оборотов, образующихся на всех технологических операциях производства гафниевых изделий, разработаны способы возвращения оборотов в производственный цикл с целью снижения себестоимости гафниевых изделий.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе обобщен значительный объем научных исследований отечественных и зарубежных ученых по изучаемой проблеме, показаны имеющиеся трудности и направления их преодоления. На основе анализа полученных данных и физико-химических методов исследований автором решены поставленные задачи и проведено



научное обоснование оптимальных параметров промышленных технологий выплавки слитков гафния на основе электролитического порошка и оборотов производства.

Большое внимание в работе уделено исследованию поведения примесей во время электронно-лучевой плавки гафния с целью определения оптимальных параметров электронно-лучевого переплава расходуемых электродов на основе электролитического порошка. По результатам расчётов показано, что в гафнии наиболее трудно удаляемой примесью является титан.

С целью эффективного рафинирования гафния от титана построена зависимость которая позволяет определить оптимальные параметры электронно-лучевого переплава в зависимости от исходного содержания титана в электролитическом порошке гафния, обеспечивающая снижение его содержания до значения менее 0,005 масс. %, что соответствует предъявляемым требованиям. Используя метод расчёта, предложенный автором, можно определить оптимальные параметры электронно-лучевого переплава других тугоплавких элементов.

### **Основные научные результаты, полученные автором:**

1 Научно обоснованы и экспериментально подтверждены коэффициенты зависимостей между силой тока и диаметром кристаллизаторов для первого и второго вакуумно-дуговых переплавов слитков гафния на основе электролитического порошка, обеспечивающие стабильность плавки, проплавление периферийных зон и получение плотной, однородной структуры слитков после второго переплава.

2. Проведен теплофизический расчёт кристаллизации слитков в процессе вакуумно-дугового переплава, разработан новый метод определения оптимального режима выведения усадочной раковины при последнем вакуумно-дуговом переплаве для устранения литейных дефектов в верхней части слитка.

3. На основе физико-химического расчета коэффициентов разделения гафния от примесей установлено, что наиболее трудно удаляемой примесью является титан, который снижает коррозионную стойкость изделий из гафния. Построена

зависимость степени очистки гафния от титана в процессе электронно-лучевой плавки от режимов переплава, позволяющая определить оптимальные параметры плавки, обеспечивающие снижение содержания титана в слитках гафния до требуемого уровня менее 0,005 масс. %.

Полученные научные результаты использовались при разработке высокоэффективной технологии выплавки слитков гафния и циркония в АО «ЧМЗ».

#### **Практическая значимость:**

1. Разработана и внедрена в промышленное производство технология формирования расходуемых электродов из брикетов на основе электролитического порошка гафния для вакуумно-дуговой плавки и расходуемых заготовок для электронно-лучевой плавки.

2. Внедрены в промышленное производство две технологические схемы выплавки слитков гафния на основе электролитического порошка в зависимости от содержания в нем титана.

3. Разработана и внедрена в промышленное производство технология выплавки слитков гафния на основе оборотов в электронно-лучевой печи с гарниссажным тиглем, позволяющая эффективно перерабатывать компактные обороты гафниевого производства.

4. Разработанные научные и технологические решения внедрены в опытно-промышленном производстве в АО «ВНИИНМ» (с 2001 г. по 2008 г.) и в промышленном производстве в АО «ЧМЗ» (с 2009 г. по настоящее время), что позволило получать слитки гафния российского производства, соответствующие требованиям.

В приложении к диссертации представлен акт о практическом применении полученных результатов диссертационных исследований Филатовой Н.К. в АО «ЧМЗ».

Слитки гафния, полученные по режимам и параметрам, представленным в работе, соответствуют всем предъявляемым требованиям.

Результаты, полученные в процессе диссертационного исследования, и применяемые методики могут быть использованы при разработке эффективной технологии выплавки слитков тугоплавких металлов.

**Достоверность результатов** подтверждается воспроизводимостью данных по получению промышленных слитков гафния, удовлетворяющих всем требованиям с 2009 г. по настоящее время.

Диссертация представляет законченную научно-квалификационную работу. Поставленные перед диссертантом цель и задачи в полной мере решены в рамках данной работы, научная новизна и практическая значимость работы достоверны и в настоящее время используются для производства слитков гафния в АО «ЧМЗ». Работа Филатовой Н.К. имеет четкую последовательность и является законченным диссертационным исследованием.

Считаем целесообразным продолжить работу по разработке теоретических основ процессов вакуумно-дугового и электронно-лучевого переплавов и их математического моделирования. Необходимо определить возможность совершенствования разработанной технологии для сужения диапазонов параметров процессов (силы тока, напряжения). Рекомендуем совершенствовать методы определения содержания примесей с целью снижения погрешности измерений.

**Личный вклад автора.** Постановка задач исследования и выбор научных подходов к их решению, обработка результатов экспериментов, формулирование выводов, подготовка публикаций. Разработка и внедрение в АО «ЧМЗ» промышленных технологических схем производства слитков гафния и их параметров.

Автор принимал непосредственное участие в качестве ответственного исполнителя и руководителя работ, в проведении экспериментальных плавов гафния и исследований качества слитков.

К защите представлена диссертационная работа, изложенная на 157 страницах, состоящая из 5 глав, выводов, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего 120 наименований,



приложения. В приложении представлен акт о практическом применении полученных результатов диссертационных исследований Филатовой Н.К. в АО «ЧМЗ».

**Автореферат** отражает содержание диссертации, приведенные публикации соответствуют содержанию диссертации.

По работе имеются следующие **замечания**:

1. Из работы не совсем ясно, в чем состоят отличия предлагаемого автором нового метода определения оптимального режима устранения литейных дефектов в верхней части слитка от обычных методов, изложенных, например, в книге В.И. Добаткина «Слитки титановых сплавов», на которую автор и ссылается;

2. В работе отсутствует обсуждение связи между режимом выплавки и структурой второй фазы, располагающейся по границам зерен в полученных слитках. Очевидно, что идентификация и морфология частиц второй фазы важны для определения их влияния на технологических свойствах материала при его дальнейшем переделе;

3. В работе имеются погрешности технического характера (опечатки).

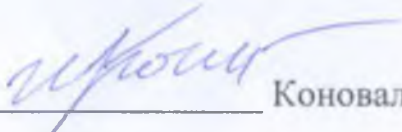
Приведенные замечания существенно не влияют на научную и практическую значимость полученных результатов и выводов и не снижают общую положительную оценку выполненной работы.

### **Заключение**

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу на актуальную тему. Новые результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Научно-технический приоритет результатов диссертации подтверждён патентом Российской Федерации № 2443789 «Способ получения слитков гафния в электронно-лучевой печи» и заявкой на патент № 083204 Российская Федерация «Способ получения слитков гафния вакуумно-дуговым переплавом» (решение о выдаче патента на изобретение от 08.04.2016).

Диссертация соответствует требованиям ВАК по п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор, Филатова Надежда Константиновна, за разработку и научное обоснование оптимальных параметров промышленной технологии получения слитков гафния для нужд атомной промышленности России заслуживает присуждение искомой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Заместитель директора  
ИПЯТ НИЯУ МИФИ,  
доктор физико-математических наук

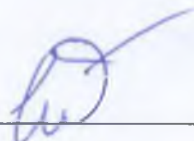
  
Коновалов И.И.

Ведущий инженер,  
кандидат технических наук  
ВАТarasov@mephi.ru  
+7 (495) 788-56-99 доб. 8706


  
Тарасов Б.А.

Диссертация, автореферат и данный отзыв были заслушаны и одобрены на расширенном заседании НТС Института промышленных ядерных технологий НИЯУ МИФИ протокол № 9 от 10 октября 2016. На заседании присутствовали 1 доктор и 6 кандидатов наук.

Председатель НТС,  
директор ИПЯТ НИЯУ МИФИ,  
кандидат технических наук

  
Глаговский Э.М.

Председатель Совета по  
аттестации и подготовке научно-  
педагогических кадров НИЯУ  
МИФИ, д.ф.-м.н., профессор

  
Кудряшов Н.А.