

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Филатовой Надежды Константиновны

**“ Научное обоснование оптимальных параметров промышленной технологии выплавки слитков гафния для атомной промышленности”**,

Повышение уровня безопасности эксплуатации механизмов и установок, обеспечивающих те или иные сферы производства и жизнедеятельности, во все времена являлось одной из самых актуальных задач. В первую очередь это относится к атомной промышленности и, естественно, к ядерным реакторам, в которых необходимо применение материалов, являющихся поглотителями нейтронов. Одним из наиболее перспективных материалов в этой сфере является гафний, обладающий рядом физических и технологических свойств, таких как высокая технологичность и прочность, термическая и радиационная активность, выгодно отличающих его от других материалов,. Все вышесказанное делает совершенно очевидным обоснованность выбора указанного металла для его применения в ядерных реакторах.

### 1. Актуальность.

Вопросы создания промышленной технологии получения слитков гафния на протяжении последних десятилетий решались крупнейшими зарубежными компаниями США (Teledine Wah Chang (США), Western Zirconium Co) и Франции (Cezus), Для получения гафния в США используется магниетермический метод восстановления тетрахлорида гафния, широко применяемый для получения титана. Во Франции гафний получают методами электролиза расплава солей и йодидного рафинирования. В СССР металлургическое производство гафния было

создано на Украине и основывалось на методе кальциетермического восстановления с последующим получением слитка электронно-лучевым переплавом. Созданное в России на АО «ЧМЗ» промышленное производство электролитического порошка гафния поставило задачу разработки технологии получения слитков гафния, которое позволило бы избежать всех недостатков, присущих слиткам, производимым из кальциетермического гафния украинского производства. До сих пор эта задача в полной мере не решена. В свете вышесказанного совершенно очевидно, что цель поставленная в работе Филатовой Н.К., заключающаяся в «разработке и научном обосновании оптимальных параметров промышленной технологии получения слитков гафния для нужд атомной промышленности», является весьма актуальной и важной задачей для атомной промышленности России как с практической, так и с научной точки зрения.

В первой главе автором изучено и проанализировано большое количество литературных источников в частности, по способам получения металлического гафния и методов изготовления слитков гафния, таких как электронно-лучевой и вакуумно-дуговой. В результате проведенного анализа показаны преимущества и недостатки вышеуказанных методов выплавки слитков. Так, рассмотрена кинетика рафинирования гафния от легколетучих примесей, показано, что электронно-лучевая плавка может использоваться как для первого рафинирующего переплава слитков гафния, так и для переработки отходов (оборотов) гафниевого производства. При этом автором отмечено, что вакуумно-дуговая плавка не обеспечивает степень рафинирования, достигаемую при электронно-лучевой плавке, но позволяет получать более плотные слитки. На основе проведенного анализа автором сформулированы задачи исследования, решение которых позволит достичь поставленной в работе цели – получение слитков гафния на основе российского исходного материала для обеспечения потребностей атомной промышленности.

Вторая глава посвящена разработке технологических схем выплавки слитков гафния в зависимости от содержания титана в электролитическом порошке, при этом показан принцип проведения химического анализа слитков гафния, основанный на разработанной автором схеме отбора проб, позволяющей наиболее полно получать информацию о степени однородности слитка.

В третьей главе представлены результаты исследования параметров электронно-лучевого и вакуумно-дугового переплава, влияющих на качество получаемых слитков, и разработаны параметры технологических схем получения слитков гафния на основе электролитического порошка гафния, выполненные на основании определения зависимостей физических и механических свойств брикетов, электродов и получаемых слитков. Так, автором на основе микроструктурного анализа определена температура спекания брикетов, при которой происходит диффузионное сваривание частиц электролитического порошка; определены оптимальные параметры сварки брикетов и режимы вакуумно-дугового переплава.

Данные, представленные автором в четвёртой главе, являются результатами промышленного опробования на АО «ЧМЗ» разработанных схем и параметров выплавки слитков гафния на основе электролитического порошка. Исследования качества промышленных слитков гафния, выполненные автором, наглядно демонстрируют соответствие их качества всем требованиям нормативной документации.

В заключительной главе автором представлена классификация оборотов производства гафниевых изделий и сформулированы нормативы их применения для выплавки слитков гафния марки ГФЭ-1. Следует особо отметить, что автором разработан полный цикл получения слитков гафния – от формирования брикетов до возможности применения оборотов – что особенно ценно в металлургическом производстве.

## 2. Научная новизна.

Диссертантом на основе детального анализа разработан новый метод определения оптимального режима выведения усадочной раковины при последнем вакуумно-дуговом переплаве для устранения литейных дефектов в верхней части слитка; научно обоснованы и экспериментально подтверждены оптимальные параметры вакуумно-дуговых переплавов слитков гафния, обеспечивающие стабильность плавки, проплавление периферийных зон и получение плотной, однородной структуры слитков, основанные на определении коэффициентов зависимостей между силой тока и диаметром кристаллизаторов. Автор определил критерии, обеспечивающие снижение содержания титана в гафнии, являющегося наиболее трудно удаляемой примесью, до уровня менее 0,005 масс. %.

## 3. Практическая ценность.

В диссертации получен целый ряд результатов, имеющих важное практическое значение. Прежде всего, это относится к разработке и внедрению в промышленное производство технологических схем выплавки слитков гафния на основе электролитического порошка в зависимости от содержания в нем титана и технология выплавки слитков гафния на основе оборотов в электронно-лучевой печи с гарниссажным тиглем, позволяющей эффективно перерабатывать компактные обороты гафниевого производства.

Разработанные научные и технологические решения внедрены в промышленном производстве в АО «ЧМЗ», что позволило получать слитки гафния российского производства, соответствующие всем требованиям нормативно-технической документации.

#### 4. Достоверность результатов и выводов.

В диссертации при проведении научных исследований эффективно использовались современные методы изучения конструкционных материалов. В первую очередь это методы металлографического анализа, а также разрушающего и неразрушающего контроля. Следует отметить необходимость и удачное использование математического аппарата. Экспериментальные результаты, полученные разными методами, хорошо согласуются друг с другом и не противоречат современным представлениям научного материаловедения. В этой связи результаты диссертационной работы можно признать достоверными, а выводы обоснованными.

#### 5. Замечания по работе.

- Первая глава несколько перегружена сведениями о гафнии, как о элементе Периодической системы Д.И. Менделеева и его физических свойствах.
- При описании методов исследования и методик не указаны ни методы, ни методики исследования структурно-фазового состава, используемые диссертантом в своей работе.
- На стр. 17 представлены требования, предъявляемые к химическому составу слитков гафния. Однако, при ссылке на нормативно-техническую документации не указан ни один регистрационный номер документа.
- Некорректно сформулирован заголовок таблицы 1.5 (стр. 24) с данными по химическому составу.
- Представляются не совсем обоснованными исследования по динамике дегазации в процессе проведения вакуумно-дуговой плавки слитка. Полный комплекс аналогичных исследований был проведен В.В. Тетюхиным с

коллективом авторов еще в 1980-1983гг. для метода вакуумно-дуговой плавки титановых сплавов.

#### 6. Соответствие требованиям ВАК.

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности работы, которая написана технически грамотным языком. Диссертация является самостоятельной законченной научной квалификационной работой. По актуальности темы, научной новизне, практической значимости и достоверности результатов удовлетворяет требованиям ВАК РФ. Автореферат и опубликованные работы отражают основное содержание диссертации. Автор диссертационной работы, Филатова Надежда Константиновна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов» за разработку научно-обоснованных оптимальных параметров промышленной технологии выплавки слитков, гафния для атомной промышленности.

Официальный оппонент,

начальник лаборатории ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ,

доктор технических наук



Ночовная Н.А.

Москва, ул. Космонавта Волкова, д.17,к.1,кв.3

8(499)2638567, [nochovnaya\\_viam@mail.ru](mailto:nochovnaya_viam@mail.ru)

Подпись Ночовной Н.А. удостоверяю

Начальник НИО

ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ



Антипов В.В.