

ОТЗЫВ
ЗАРУБЕЖНОГО НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА
на диссертационную работу Миниязова Армана Жанарбековича
«Влияние теплового и плазменного воздействий на структурное
состояние и свойства карбидного приповерхностного слоя вольфрама»,
представленную на соискание степени доктора философии (PhD)
по образовательной программе 8D05302 – «Техническая физика»

Тема диссертационной работы Миниязова А.Ж. связана с развитием техники и технологии термоядерной энергетики и созданием Казахстанского материаловедческого токамака КТМ на базе Национального ядерного центра Республики Казахстан. Диссертационная работа посвящена исследованию взаимодействия гелиевой плазмы с поверхностью конструкционного материала с карбидным слоем.

Актуальность выбранной автором темы исследования обусловлена тем, что одной из основных областей, где изучается взаимодействие плазмы с материалами, является разработка технологий термоядерной энергетики. В процессе термоядерного синтеза изотопов водорода в термоядерной установке возникает экстремально высокотемпературная плазма. Взаимодействие этой плазмы с облицовочными материалами является критически важным для обеспечения эффективности и безопасности реактора. Взаимодействие гелиевой плазмы с материалами может вызывать радиационный и термический износ, что может представлять опасность для структурной целостности реакторной установки. Исследования в этой области позволяют более точно оценить риски и разработать стратегии для минимизации повреждений.

В материалах диссертации Миниязова А.Ж. представлен уникальный метод маломасштабных экспериментов с применением линейного ускорителя для исследования процессов взаимодействия плазмы с вольфрамом, обеспечивающий высокую точность реализации условий высокотемпературного и плазменного испытания. Разработанный соискателем способ представляет собой метод высокотемпературного испытания материалов с использованием электронного пучка в среде вакуума или газа. Основная новизна и практическая значимость данного изобретения заключается в разработке установки и метода, которые позволяют проводить контролируемый отжиг материалов при высоких температурах с высокой точностью и повторяемостью. Установка способна достигать температур до 2500°C, что охватывает широкий спектр потенциальных приложений. Кроме того, возможность настраивать скорость нагрева от 10°C/с до 500°C/с позволяет более точно имитировать реальные условия обработки материалов. Разработанный соискателем способ высокотемпературного плазменного испытания вольфрама, интеллектуальная собственность которого защищена патентом Республики Казахстан на изобретение, позволяет проводить экспериментальные исследования с высокой степенью детализации и обеспечивает высокую точность контроля условий и измерения данных.

Изобретение имеет важное значение для научных исследований в области материаловедения, металлургии и металловедения. Оно позволяет более глубоко изучать влияние термического воздействия на свойства материалов при различных условиях, что может привести к разработке новых материалов с улучшенными характеристиками и оптимизации существующих производственных процессов.

В диссертационной работе в результате проведения расчетного моделирования взаимодействия плазмы с вольфрамовой облицовкой с карбидным слоем дивертора термоядерного реактора установлены точные температуры, соответствующие определенным тепловым нагрузкам термоядерного реактора ИТЭР ($10 \text{ МВт}/\text{м}^2$ и $20 \text{ МВт}/\text{м}^2$). Полученные данные параметры успешно реализованы в экспериментальных условиях с минимально допустимой погрешностью, что подтверждает высокую практическую значимость полученных результатов о влиянии теплового и плазменного воздействий на облицовку дивертора из вольфрама с карбидным слоем.

Исследование влияния карбидного слоя на взаимодействие с гелиевой плазмой выявило механизм образования гелиевых пузырей и изменения морфологии поверхности при различных условиях облучения.

Полученные результаты расширяют понимание влияния тепловых и плазменных процессов на свойства материалов, что может быть полезным при разработке новых методов обработки и защиты материалов в условиях высоких тепловых и плазменных нагрузок.

Необходимо отметить, что задачи, охватываемые данной диссертационной работой реализованы в рамках выполнения мероприятия «Научно-техническое обеспечение экспериментальных исследований на Казахстанском материаловедческом токамаке КТМ» Республиканской бюджетной программы «Развитие атомных и энергетических проектов» Министерства энергетики Республики Казахстан (№0115РК02433, №0115РК02433).

Миниязов А.Ж. докладывал об основных результатах, изложенных в материалах диссертации, на 16-ти международных конференциях, а также является соавтором 6 научных статей по теме диссертационного исследования, включая 4 статьи в журналах, индексируемом в базах данных Scopus и Web of Science, кроме этого, имеет 2 патента на изобретения Республики Казахстан.

Достоверность результатов, представленных в работе, основывается на применении широкого спектра апробированных методов и высокоточного аналитического оборудования, том числе включающие в себя проведение расчетного моделирования и анализ полученных данных.

В 2022 году Миниязов А.Ж. прошел зарубежную научную онлайн-стажировку в Инженерной школе ядерных технологий Национального исследовательского Томского политехнического университета. В период стажировки получил необходимые знания о методах исследований в экспериментальной физике и провел исследования тонкой структуры

вольфрама с карбидным слоем с применением метода просвечивающей электронной микроскопии. Полученные результаты исследования позволили изучить поверхностный слой исследуемого материала в поперечном сечении и получить необходимые данные о характере изменения тонкой структуры вольфрама с карбидным слоем в результате плазменного облучения.

Главы диссертации структурированы, логически взаимосвязаны и имеют внутреннее единство. Она представляет собой квалифицированную, завершенную работу и вызывает огромный интерес специалистов в области термоядерной энергетики, реакторного материаловедения и физики конденсированного состояния. Работа выполнена с соблюдением принципа академической честности.

Соискатель Миниязов А.Ж. выполнил как теоретические, так и практические работы самостоятельно по теме диссертационной работы при поддержке научных консультантов и специалистов филиала «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК.

Считаю, что весь объем работы, практическая значимость, уровень выполнения, точность и достоверность представленных результатов, достигнутых Миниязовым А.Ж., соответствуют всем требованиям, определенных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК.

Миниязов Арман Жанарбекович заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05302 – «Техническая физика».

**Зарубежный научный консультант,
доктор технических наук, профессор**

А.В. Градобоеев

09 января 2024 г.

Градобоеев Александр Васильевич, доктор технических наук, профессор Отделения экспериментальной физики Инженерной школы ядерных технологий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Тел.: +7-913-866-8405

E-mail: gradoboev1@mail.ru, gava@tpu.ru

Подпись профессора А.В. Градобоева заверяю

Ученый секретарь ФГАОУ ВО
«Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»



Е.А. Кулинич/