

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу Букатина Тимофей Николаевича по теме: «Оптимизация процесса газофазной химической пропитки вольфрамового порошка вторично осаждённым вольфрамом», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение

Диссертационная работа Букатина Т.Н. посвящена решению актуальной научно-технической проблемы – разработке научных основ процесса химической пропитки из газовой фазы порошковой засыпки вольфрама вторично осаждённым вольфрамом. Работа выполнена в рамках стратегического направления «Приоритет-2030» НИТУ МИСИС и имеет прямое отношение к созданию изделий из тугоплавких металлов, востребованных в ядерной энергетике, аэрокосмической технике и установках класса MegaScience.

Диссертация содержит глубокий аналитический обзор более 130 источников, включая классические работы по фторидному переделу вольфрама и современные статьи по аддитивным технологиям. Автор критически осмыслил теоретические основы процесса и выявил недостаточно изученную область – влияние пористой среды на кинетику осаждения. Применение симуляции методами конечных элементов совместно с EBSD-анализом и механическими испытаниями позволило установить связь между технологическими параметрами (температура, состав и расход газов, способ подачи) и конечной микроструктурой.

За время работы над диссертацией Букатин Т.Н. проявил себя как целеустремлённый исследователь. Он способен самостоятельно формулировать научные цели и задачи, выбирать адекватные методы их решения. Особо следует отметить его умение работать со сложным вакуумным и газодинамическим оборудованием: он участвовал в проектировании, сборке и отладке двух типов реакторов – с общим и локальным нагревом. К важным личным качествам следует отнести настойчивость в достижении цели и способность работать в составе научного коллектива. Кроме того, соискатель привлекался к выполнению совместных работ с ИФХЭ РАН им. А.Н. Фрумкина (по гранту и при подготовке патента). Это свидетельствует о его способности интегрироваться в междисциплинарные и кооперационные проекты, а также о востребованности полученных результатов в академической и отраслевой среде.

Научная новизна работы заключается в том, что соискатель впервые:

- экспериментально и теоретически обосновал, что определяющим фактором глубины и равномерности химической пропитки является не термодинамическая вероятность реакции, а кинетические условия осаждения, в частности скорость роста вторичного вольфрама;
- с помощью математического моделирования в среде COMSOL Multiphysics установил режимы, обеспечивающие минимальную остаточную

пористость (до 1,5 % по расчёту) и локальность пропитки; – разработал и изготовил оригинальную оснастку для локальной подачи газовой смеси и локального нагрева, что позволило управлять формированием монолитного слоя;

– на основе EBSD-анализа впервые показал, что при пропитке в пористой среде вторичный вольфрам формируется в высокодефектном субструктурированном состоянии (около 54 % субструктурированных зёрен) с преобладанием малоугловых границ и отсутствием сильной кристаллографической текстуры, что принципиально отличает его от CVD-покрытий на гладких подложках.

Практическая значимость работы подтверждена созданием двух типов реакторов (с общим и локальным нагревом), верифицированной численной моделью, которая позволяет прогнозировать пористость и глубину пропитки, а также разработанным и запатентованным способом аддитивного формования изделий из вольфрама (патент RU2828910C1). Полученные композиты имеют плотность до 17,0 г/см³ и прочность на изгиб до 250 МПа, что сопоставимо с образцами, полученными методом селективного лазерного плавления.

Диссертация является законченным научно-квалификационным трудом, в котором решена важная задача – установлены кинетические закономерности химической пропитки вольфрамового порошка и на их основе разработан метод аддитивного формования изделий.

Основные положения выполненных Букатиным Тимофеем Николаевичем исследований достаточно полно отражены в 4 работах, в том числе в 3 статьях в научном издании, индексируемом в международных базе данных Scopus, в 1 статье, а также в 1 патенте РФ.

Диссертационная работа Букатина Тимофея Николаевича «Оптимизация процесса газофазной химической пропитки вольфрамового порошка вторично осаждённым вольфрамом» полностью соответствует требованиям п. 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней» (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение.

Научный руководитель,
кандидат физико-математических наук, доцент,
доцент кафедры физического наук и высоких технологий
НИТУ МИСИС



Подпись

заверяю

Зам. начальника
отдела кадров

Карпенков Д.Ю.

Кузнецова А.Е.

« 12 » 05 2026 г.

/ Д.Ю. Карпенков /

« 12 » мая 2026 г.