

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки/профиль 03.06.01- физика и астрономия (профиль Физика
конденсированного состояния)

Школа ИЯТШ

отделение Экспериментальной физики

Научно-квалификационная работа

Тема научно-квалификационной работы
Формирование покрытий на основе нитрида титана из вакуумного дугового разряда для защиты конструкционных материалов от водородного охрупчивания

УДК 621.793.7: 661.88:620.19

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A6-08	Чжан Ле		

Руководителя профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Чернов И.П	Дктор ф.-м.н.		

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Лидер А.М.	Д.т.н.		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Никитенков Н. Н.	Дктор ф.-м.н., с.н.с.		

Томск – 2020 г.

Аннотация

диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

«Формирование покрытий из вакуумного дугового разряда на основе нитрида титана для защиты конструкционных материалов от водородного охрупчивания»

Актуальность темы исследования. Покрытия из нитрида титана применяется в качестве защитных покрытий, благодаря своей износостойкости, твердости и химической стабильности. Все чаще эти покрытия используются как защитный барьер от проникновения водорода и водородного охрупчивания. Циркониевые сплавы представляются себя широкие применения: насосы и трубозапорная арматура, работающая в условиях воздействия агрессивных сред, материалы ядерной энергетики (ТВЭЛ), биомедицинские имплантаты и т. д.

Цель настоящей работы: создание систем TiN/Ti/Zr-1%Nb методами ПИИИ Ti⁺ и осаждения TiN из плазмы ВДР титана и исследование адгезии покрытия TiN при его эксплуатации в экстремальных условиях Арктики.

Поставленная цель предопределила решение следующих задач:

1. Определить оптимальные параметры ПИИИ Ti⁺ и нанесения покрытия TiN на поверхность сплава Э110, чтобы получить системы TiN/Ti/Zr-1Nb с минимальной скоростью сорбции водорода.
2. Изучить морфологию поверхности, кристаллический и фазовый состав покрытий, а также его защитные свойства от проникновения водорода.
3. Изучить влияние водородного насыщения и условий Арктики на адгезию покрытия.
4. Разработать функциональную модель покрытия.

Результаты диссертационной работы:

1. Экспериментальные результаты, свидетельствующие, что ПИИИ титана из плазмы дугового разряда происходит, преимущественно, в виде кластеров Ti_n⁺, где n ~10-100, что приводит к созданию наноструктурированного приповерхностного слоя толщиной ~ 300нм после имплантации.
2. Эмпирическая модель процесса сорбции водорода слоями системы TiN/Ti/Zr-1%Nb.
3. Установлено, что адгезия покрытий TiN образцов системы TiN/Ti/Zr-1%Nb улучшается при замораживании в Морской воде при температуре -20°C на время 24 часа.

Результаты диссертационной работы изложены в 12 научных публикациях, из них 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 6 статей в журналах, входящих в базы данных SCOPUS и Web of Science.

Основными результатами, полученными при выполнении работы, являются следующие:

1. Выполнены систематические исследования влияния плазменно-иммерсионной ионной имплантации и осаждения покрытий TiN из плазмы

вакуумного дугового разряда на послойное распределение химических элементов, фазовый состав, структуру и морфологию приповерхностного слоя, механические свойства получаемых покрытий (систем TiN/Ti/Zr1%N).

2. Комплекса полученных результатов и известные теории, позволили предложить новые представления о формировании nano структурированной системы TiN/Ti/Zr1%N с позиций представлений о плазме дугового разряда, как преимущественно кластерной плазме.
3. С позиций формирования приповерхностного слоя системы TiN/Ti/Zr-1%Nb, как результата взаимодействия кластеров $Ti_n^+, (TiN)_n^+$ ($n \sim 2-100$), объяснены все экспериментальные закономерности распределений элементного и фазового состава.
4. На основе данных о распределении водорода по глубине модифицированного слоя, а также распределений элементного и химического состава предложена феноменологическая (эмпирическая) модель механизмов взаимодействия водорода с модифицированным слоем.
5. Впервые обнаружено формирование слоя гидридов титана и циркония в переходной области «покрытие TiN–подложка Zr-1%Nb» при насыщении системы водородом.
6. Предложены схемы, собрана и использована установка для моделирования воздействия экстремальных условий Арктики на приповерхностные слои металлов и адгезию защитных покрытий конструкционных и функциональных материалов в условиях материковой лаборатории.
7. С помощью установки (п.6) проведены исследования воздействия экстремальных условий Арктики на металлический титан и на адгезию покрытий TiN.
8. Обнаружено существенное улучшение адгезии покрытия TiN при вмораживании системы TiN/Ti/Zr-1%Nb в лёд морской воды при температуре $-20\text{ }^\circ\text{C}$ на срок 24 часа, вместе с тем, обнаружено ускоренное формирование гидроксида титана в переходной области «покрытие TiN–подложка Zr-1%Nb» за время нахождения системы в замороженном состоянии.