

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 01.04.07 Физика конденсированного состояния)

Школа ИЯТШ

отделение Экспериментальной физики

Научный доклад об основных результатах подготовленной  
научно-квалификационной работы

Тема научно-квалификационной работы
Исследование и моделирование нестационарных процессов диффузии водорода в Ti, Zr, Pd, Ni

УДК 539.213:669.788

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A7-08	Чжан Хунжу		25.05.21

Руководителя профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор-консультант ОЭФ ИЯТШ	Чернов И. П	Д.ф.-м.н, профессор		

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры ИЯТШ	Лидер А. М.	Д.т.н. профессор		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Тюрин Ю. И.	Д.ф.-м.н, профессор		25.05.21

## Аннотация

Поведение водорода в металлах становится все более многоплановой междисциплинарной проблемой на стыке физики и химии твердого тела.

По сравнению с другими конкурирующими и существующими технологиями (баллоны, ожижение, органические соединения), металлы (Mg, Al, Li, Ti) в качестве носителя для хранения водорода обладают способностью хранить большое количество водорода с более плотностью. Поэтому они были признаны перспективными материалами накопителей водорода для топливных элементов мобильных транспортных средств или стационарных топливных элементов.

В то же время из-за влияния водорода на механические и физические свойства металлов система металл-водород имеет большое значение для разработки и исследования материалов, используемых в машиностроении, разделении изотопов и ядерной, термоядерной и водородной энергетике.

В последние годы из-за потребности в новой экологически чистой и безопасной энергии и применения водородной энергии было проведено множество экспериментов и теоретических исследований системы металл-водород. Эти исследования объясняют состояние водорода в объёме на поверхности различных металлов, фазовые переходы, процессы диффузии водорода в объёме металла, а также процессы десорбции с поверхности.

Таким образом, необходимо всесторонне рассмотреть и выявить лимитирующие стадии в процессах диффузии водорода из объёма на поверхность, рекомбинации атомов водорода и образования молекул водорода на поверхности и десорбции молекулярного водорода с поверхности металла.

В работе исследованы и рассмотрены модели процессов термо- и радиационно-стимулированного газовыделения водорода из предварительно насыщенных водородом плоских металлических образцов в режиме равновесного линейного нагрева, неравновесного радиационного и джоулева нагрева. Определены параметры взаимодействия водорода с поверхностью и объёмом

гидридо-образующих Ti, Zr и формирующих твердые растворы Ni, Pd переходных металлов.

Научная новизна исследования состоит в следующем:

1. Экспериментально исследован термостимулированный выход водорода в режиме линейного нагрева (1К/с) из плоскопараллельных пластинок металлов Ti, Zr, Ni и Pd различной толщины (0.05 - 1 мм) предварительно насыщенных водородом электролитически и методом Сивертса.

2. Получены корреляции между толщиной образца, скоростью нагрева и температурой положения максимума пика плотности потока выделяющегося водорода в различных материалах в условиях диффузионной и десорбционной лимитирующих стадий. Показано, что второй пик кривой термодесорбции может быть связан с разложением гидридной фазы.

3. Методами термо- и радиационно-стимулированного газовыделения изучен десорбции водорода в вакуум из предварительно насыщенных водородом (электролитический метод) плоских образцов Ti, Zr, Ni, Pd при нагреве джоулевым теплом (переменный электрический ток 50Гц) и пучком ускоренных электронов. Определено влияние динамических составляющих электромагнитных полей и ускоренных частиц на активацию выделения водорода из металлов.

4. Рассмотрены аналитические и численные модели нестационарных процессов диффузионного выхода водорода из предварительно насыщенных водородом плоских образцов Ti, Zr, Ni, Pd с учетом диффузионных и десорбционных процессов.

5. Предложены, разработаны и освоены программы для численного моделирования процессов термодесорбции. Проверены и скорректированы теоретические модели на основе экспериментальных данных. Освоены расчетные методы определения параметров процесса десорбции водорода из металла на основе обработки экспериментальных кривых ТСГВ и РСГВ.

6. Получены соотношения связывающие энергии активации и предэкспоненциальные множители процессов диффузии и распада гидридов с положением температурного максимума, толщиной образца, скоростью нагрева,

шириной линий и положением точек перегиба на спектрах ТСГВ. Учтены кинетические особенности процессов выхода и накопления атомов водорода на поверхности, образования молекул водорода и их десорбции при описании экспериментальных кривых ТСГВ.