

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертацию Абдульменовой Екатерины Владимировны
«Механохимическое легирование полифазной системы Ti-Ni и его влияние на селективное поглощение водорода», представляемую на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния

Развитие водородной энергетики обусловлено исчерпаемостью природного газа, углеводородов и эффективностью использования водорода в качестве источника энергии. Для внедрения водородных технологий в энергетику требуется безопасный и эффективный способ аккумуляирования, хранения и транспортировки водорода. Одним из таких многообещающих способов является хранение и транспортировка водорода в твёрдых носителях, например в гидридах металлов (Ti-Ni, Fe-Ti, фазы Лавеса и др.). Тем не менее, для экономической целесообразности материалы-носители водорода должны удовлетворять ряду важных требований: коррозионная стойкость, обратимость процесса сорбции/десорбции водорода, высокая водородная емкость, низкий удельный вес, не токсичность. Разработка подобных материалов-носителей является актуальной задачей для внедрения водорода в промышленность. Сплавы системы Ti-Ni удовлетворяют вышеприведенным требованиям и могут рассматриваться, как материалы-носители водорода. Наибольшей сорбционной емкостью водорода среди всех фаз системы Ti-Ni (TiNi (B2, B19'), Ni₃Ti) обладает фаза Ti₂Ni, при этом способ получения сплава, содержащего фазу Ti₂Ni, влияет на способность этой фазы к аккумуляированию водорода.

Диссертационная работа Абдульменовой Е.В. посвящена экспериментальному исследованию изменений фазового и структурного состояния порошков на основе Ti-Ni в зависимости от способа механической обработки и его механохимического легирования титаном в условиях электрохимического гидрирования. Эта работа непосредственно связана с поиском основных закономерностей в процессах поглощения водорода порошками Ti-Ni и (Ti-Ni) – Ti и с разработкой оптимального режима гидрирования для обеспечения максимального содержания водорода. Принимая во внимание вышеизложенное, **актуальность** темы диссертации Абдульменовой Е.В. не вызывает сомнений.

ИФПМ СО РАН	
« 07.11.2022 »	201_г.
вх. № 071122/4	
индекс	

Диссертация, изложенная на 171 странице, состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 306 наименований и 1 приложения.

Во Введении обоснованы актуальность области исследования, изложены цель и основные задачи работы, обсуждена научная новизна работы и её теоретическая и практическая значимость. Сформулированы положения, выносимые на защиту и личный вклад автора. **В первой главе** диссертационной работы приведён литературный обзор современного состояния науки в области аккумуляирования, хранения и транспортировки водорода. Изучена ускоренная диффузия водорода по дефектам структуры в металлах. Проанализировано влияние водорода на структуру и свойства металлических порошков и сплавов. Приведены способы гидрирования металлов. Особое внимание уделено описанию диаграммы состояния системы Ti-Ni, анализу структурных характеристик интерметаллических соединений этой системы и типы междоузлий в разных структурах, которые могут занимать атомы водорода.

Во второй главе на основе проведённого анализа литературных данных сформулированы нерешённые проблемы и задачи диссертационной работы. Описаны материалы в исходном состоянии, способы обработок исследованных порошков и синтез порошковых смесей состава (Ti-Ni) – Ti. Описано использованное экспериментальное оборудование. Особое внимание уделено методам экспериментальных исследований.

Главы 3 и 4 составляют непосредственно оригинальную часть диссертационной работы, отражающую полученные новые результаты. **В третьей главе** приведены результаты анализа структуры и фазового состава порошка Ti-Ni после механической обработки разной длительности и порошковых смесей (Ti-Ni) – Ti с разным содержанием в них титана после механохимического легирования. Механическая обработка порошка Ti-Ni по результатам рентгеноструктурного анализа привела к уширению всех дифракционных отражений фаз TiNi (B2, B19'), Ti₂Ni, Ni₃Ti вследствие формирования как высокодефектного состояния, так и рентгеноаморфного состояния. Наибольшая рентгеновская плотность дислокаций наблюдалась в фазе Ti₂Ni, что обусловило взаимодействие водорода с этой фазой. Полученные порошковые сплавы состава (Ti-Ni) – Ti по результатам рентгеноструктурного анализа характеризуются двумя изоморфными состояниями фазы Ti₂Ni. Фаза Ti₂Ni (I) присутствовала в исходном порошке Ti-Ni. Фаза Ti₂Ni (II) образовалась в процессе механохимического легирования порошка Ti-Ni. Определён состав порошковой смеси (Ti-Ni) – Ti с преобладающим содержанием фазы

Ti_2Ni (Ti_2Ni (I) + Ti_2Ni (II)) для исследования взаимодействия этого порошка с водородом.

Четвёртая глава посвящена исследованию закономерностей изменения структуры и фазового состава порошка Ti-Ni и (Ti-Ni) – Ti в условиях электрохимического гидрирования. Обнаружено формирование твёрдых растворов внедрения водорода на основе фазы Ti_2Ni при механической обработке порошков Ti-Ni в течение 30 и 50 секунд. При механической обработке порошков Ti-Ni более 60 секунд формируются гидриды $Ti_2NiH_{0,58}$ – $Ti_2NiH_{0,73}$. Установлено, что при гидрировании порошковой смеси состава (Ti-Ni) – 15 % масс. Ti взаимодействие водорода происходит преимущественно с фазой Ti_2Ni (II) с образованием гидридов $Ti_2NiH_{1,9}$ – $Ti_2NiH_{2,8}$ в зависимости от длительности гидрирования.

В заключении сформулированы общие выводы по всем исследованиям, проведённым в диссертационной работе.

Наиболее интересными **новыми результатами** представляются следующие:

1) Впервые установлено, что в процессе высокоинтенсивной механической обработки полифазной порошковой системы Ti-Ni наиболее интенсивное увеличение рентгеновской плотности дислокаций происходит в фазе Ti_2Ni , обуславливающее преимущественное взаимодействие водорода с этой фазой.

2) Впервые синтезирован порошковый сплав на основе Ti_2Ni методом механохимического легирования титаном полифазной порошковой системы Ti-Ni, в котором присутствует две изоморфные модификации Ti_2Ni разного происхождения. Поэтому исследования взаимодействия этого порошкового сплава с водородом вносят существенный вклад в понимание общих закономерностей использования этого материала для хранения водорода.

3) Разработаны способ гидрирования порошка Ti-Ni электрохимическим методом с применением предварительной механической обработки и способ получения гидрированного порошка пластичного металла или сплава.

К недостаткам рецензируемой работы можно отнести следующее:

1) В главе 3 в таблице 3.1, в которой приведён элементный состав порошков Ti-Ni в исходном состоянии и после механической обработки, указывается относительно высокое содержание кислорода. Однако в работе влияние содержания кислорода на процесс последующего гидрирования не анализируется.

2) Методом рентгеноструктурного анализа в работе доказывается существование двух изоморфных состояний фазы Ti_2Ni в порошках, синтезированных с помощью

механохимического легирования. Следовало бы привести больше доказательств в поддержку этого факта, например, используя метод просвечивающей электронной микроскопии.

3) В работе не обсуждается вопрос о состоянии дальнего атомного порядка и антифазной доменной структуры в интерметаллических фазах. Известно, что как интенсивная механическая обработка, так и электрохимическое гидрирование могут оказывать влияние на процессы связанные с атомным упорядочением-разупорядочением.

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку основных результатов работы.

Большой объём экспериментальных данных, а также использование различных методов, взаимодополняющих друг друга, обеспечивают **надёжность и достоверность** полученных результатов. Полученные результаты в диссертационной работе Абдульменовой Е.В. хорошо согласуются с литературными данными и имеют научную ценность для развития фундаментальных представлений о взаимодействии водорода с интерметаллическими соединениями системы Ti-Ni. Практическая значимость полученных в диссертации результатов обусловлена их вкладом в разработку новых эффективных материалов-носителей водорода на основе интерметаллических соединений системы Ti-Ni. Установленные в работе основные закономерности влияния механохимического легирования титаном на структуру, фазовое состояние и взаимодействие с водородом полифазной порошковой системы Ti-Ni могут быть полезны в разработке портативных металлгидридных батарей.

По теме диссертации опубликовано 11 статей в рецензированных журналах, входящих в перечень ВАК РФ и библиографические базы данных цитирования Web of Science и Scopus, а также 2 патента РФ.

Оценивая диссертационную работу Абдульменовой Е.В. в целом, можно отметить, что она представляет собой **завершённое научное исследование**. Полученные результаты, безусловно, являются новыми, представляют практический интерес и важны для развития водородных технологий. Автореферат и публикации в полной мере отражают содержание диссертационной работы и основные положения, выносимые на защиту, а сама диссертация полностью соответствует заявленной специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния (технические науки).

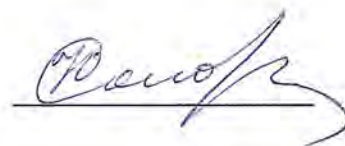
Считаю, что диссертационная работа Абдульменовой Екатерины Владимировны «Механохимическое легирование полифазной системы Ti-Ni и его влияние на

селективное поглощение водорода» по актуальности выбранной темы, объёму исследования, новизне и достоверности, полученных результатов полностью отвечает требованиям, предъявляемым к диссертационным работам, утверждённых постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. 11.09.2021) и удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п. П. 9 Положения о порядке присуждения учёных степеней), а её автор – Абдульменова Екатерина Владимировна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния.

Согласна на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и дальнейшую их обработку.

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук (специальность 01.04.07 (1.3.8) Физика конденсированного состояния), заведующий кафедрой физики, химии и теоретической механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет».

Соловьева Юлия Владимировна



Адрес организации: 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Томский государственный
архитектурно-строительный университет»
Тел: +7 (3822) 65-42-65, E-mail: j_sol@tsuab.ru

Подпись Ю.В. Соловьевой удостоверяю,

Ученый секретарь ученого Совета **ФЕБОУ ВО ТГАСУ**

к.т.н.

Дата подписания отзыва _____



Ю. А. Какушкин