

ОТЗЫВ на автореферат

диссертационной работы **Короля Артема Алексеевича**

«Материалы на основе многокомпонентных гидридообразующих сплавов для водородной энергетики: синтез, физико-механические и водородсорбционные свойства».

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.6.17 «Материаловедение»

Диссертационная работа А. А. Короля «Материалы на основе многокомпонентных гидридообразующих сплавов для водородной энергетики: синтез, физико-механические и водородсорбционные свойства» посвящена исследованию сплавов разного состава, полученных с помощью различных технологических процессов, применяемых в водородной энергетике в качестве материалов, способных накапливать в себе водород.

В работе рассмотрен широкий спектр объектов, которые имеют перспективу использования в качестве водородных накопителей. Это высокоэнтропийные Ti-Zr-V-Nb-Ta-Hf сплавы разного состава; легированное Cr и S гидридообразующее соединение TiFe; металл-полимерные композиты, в которых в качестве наполнителей полимерной матрицы использовались интерметаллическое соединение $\text{La}(\text{Ni}, \text{Co}, \text{Mn})_5$, а также многокомпонентный Ti-Zr-V-Nb-Ta-Hf сплав; образцы ферротитана и LaNi_5 соединения, полученные методом селективного лазерного плавления. Проведенный в работе анализ структурно-фазового состояния данных объектов, а также их эксплуатационных и технологических характеристик делает это исследование весьма актуальным и практически значимым.

В работе продемонстрирован ряд важных результатов:

1) Анализ профилей рентгенодифракционных пиков и рентгеновский микроспектральный анализ позволили установить, что после разных методов получения $\text{Ti}_{20}\text{Zr}_{20}\text{V}_{20}\text{Nb}_{20}\text{Ta}_{20}$ сплава, а именно, электродуговой выплавки, электроннолучевой плавки в сочетании с экстракцией висящей капли расплава и механохимического синтеза он находится в различных структурных состояниях, которые оказывают влияние на его поведение при гидрировании.

2) Показано, что варьируя концентрацию элементов с большим атомным радиусом в многокомпонентных сплавах системы Ti-Zr-V-Nb-Ta-Hf можно увеличить параметр решетки исходной ОЦК фазы, тем самым повлияв на максимальную концентрацию водорода при его накоплении.

3) Для сплавов разного состава системы Ti-Zr-V-Nb-Ta-Hf определены механические, физические и водородсорбционные характеристики. Показано, что сплавы данной системы заметно превосходят широко используемое гидридообразующее интерметаллическое соединение LaNi_5 по характеристикам, требуемым для их использования в качестве водородных накопителей.

4) Методом рентгеновского фазового анализа исследованы фазовые переходы, протекающие в $\text{Ti}_{25}\text{Zr}_{25}\text{V}_{15}\text{Nb}_{15}\text{Ta}_{20}$ сплаве при гидрировании и дегидрировании при разных температурах. Установлено, что фазовые переходы при дегидрировании зависят от температуры, и дегидрирование при температуре 493 К вместо обратного ГЦК $\rightarrow$ ОЦК перехода сопровождается образованием промежуточного гидрида с ОЦТ кристаллической решеткой.

5) В работе продемонстрирована возможность формирования легированных Cr, а также Cr и S гидридообразующих интерметаллических соединений TiFe, в которых, в отличие от нелегированных соединений, взаимодействие с водородом начинается без предварительной высокотемпературной активации. Установлена природа влияния легирующих элементов на температуру активации.

6) Отработаны режимы селективного лазерного плавления для формирования объектов из ферротитана и сплава на основе соединения LaNi_5 с разной плотностью заполнения. Можно отметить следующие недостатки работы:

1) На рисунке 3 сравнение гомогенности распределения элементов в структуре Ti-Zr-V-Nb-Ta сплава, полученного разными методами, проводится по снимкам микроструктуры, полученным с разным увеличением.

2) При испытании на сжатие в разных сплавах системы Ti-Zr-V-Nb-Ta в зависимости от состава была зафиксирована пластичность от 12 % до значения более 50 % (сверхпластичность). Представляется интересным обойденный вниманием соискателя вопрос, чем объясняется столь разное поведение экспериментальных сплавов.

3) Из результатов, приведенных в таблице 4, следует, что состав сплавов системы Ti-Zr-V-Nb-Ta и метод их получения существенно влияют на температуру активации, но нет анализа механизмов этого влияния.

4) Из автореферата непонятно, какие задачи ставились в работе при исследовании металл-полимерных композитов.

5) На основании изображения (рис.17(д)), полученного во вторичных электронах (РЭМ), в работе сделан вывод о однородности распределения элементов в сформированной при селективном лазерном плавлении структуре. Однако, гетерогенность структур, получаемых данным методом, как правило, проявляется не в масштабе ванн расплава, а в масштабе ячеек кристаллизации, которые имеют диаметр менее мкм.

Тем не менее, указанные недостатки не снижают ценности полученных результатов. Работа выполнена на высоком научном уровне с использованием современных методов исследования. Достоверность результатов подтверждена применением различных взаимодополняющих методов исследования и статистической обработкой полученных результатов. Выводы подкреплены соответствующими экспериментальными данными.

Таким образом, диссертационная работа Короля Артема Алексеевича соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС», а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 «Материаловедение».

Базалеева Ксения Олеговна

кандидат физико-математических наук

по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»,

Ведущий научный сотрудник ИИИТ РУДН

Почтовый адрес: 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

Тел. +7 905 760 12 32

Эл. адрес: bazaleeva-ko@rudn.ru

ноба

15.06.2026

Подпись кандидата физико-математических наук **Базалеевой К.О.** заверяю.

Ученый секретарь Ученого совета,
профессор



К.П. Курылев