

ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета на диссертацию Ельца Дениса Игоревича на тему: «Механизмы активации и кинетики десорбции водорода из гидрида магния», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

В настоящее время нахождение безопасного способа обратимого хранения и транспортировки водорода является одной из важных задач в области водородной энергетики. Однако главным препятствием для перехода к водородной энергетике является отсутствие материалов для эффективного хранения водорода. Хранение водорода в различных гидридах металлов и сплавов является одним из перспективных способов решения проблемы. Большое значение для решения проблем водородной энергетики также имеют гидриды интерметаллических соединений, в которых один из металлов образует стабильный бинарный гидрид, а другой не взаимодействует с водородом в обычных условиях, являясь при этом катализатором диссоциации молекул H_2 . В этом смысле тема кандидатской диссертации Ельца Д.И., направленная на установление физических механизмов и построение моделей разложения гидрида магния при различных методах его активации, а также синтез гидрида интерметаллида Mg_2NiH_4 представляется **актуальной** как в научном, так и в прикладном аспектах.

Работа представляет собой законченное исследование, в ходе которого реализовано комплексное исследование, базирующееся на постановке эксперимента в плоской конфигурации, что позволило автору использовать достаточно простые математические модели.

Важным достоинством работы является детальное рассмотрение различных способов активации разложения гидрида магния, анализ вариантов кинетики синтеза пленок интерметаллидов, сопоставление с экспериментальными данными и последующие выводы о лимитирующих стадиях реакции. Автором разработан и апробирован механический метод активации гидрида магния (одноосное прессование), который является эффективной альтернативой другим механическим методам; проанализированы и обоснованы причины активации термического разложения гидрида магния при прессовании.

На мой взгляд особый интерес представляют следующие результаты:

1. Выявление центров ускоренного формирования зародышей металлической фазы в результате механического воздействия на порошок гидрида магния и, следовательно, каналов быстрой десорбции водорода, что и приводит к активному разложению гидрида

магния. Именно зародыши металлической фазы на поверхности MgH_2 вне зависимости от природы появления являются каналами быстрой десорбции водорода.

2. Применение никель-катализатора в сочетании с прессованием ускоряет десорбцию водорода и позволяет добиться значительного эффекта.

3. Разработка модели, учитывающей формирование тонкого подслоя интерметаллида $MgNi_2$ при формировании пленки гидрида интерметаллида Mg_2NiH_4 на границе раздела фаз $MgNi_2$ - Mg_2NiH_4 .

В **прикладном аспекте** следует отметить, что Елец Д.И. разработал и апробировал механический метод одноосного прессования для активации десорбции из гидрида магния, который является достаточно простым в применении и не уступающим по эффективности другим известным механическим методам, при этом в разработанном методе температура разложения снижается до 280 °С. Также синтезированы и изучены пленки Mg_2NiH_4 , которые имеют подходящую для прикладного использования кинетику поглощения/выделения водорода в мягких условиях, и поэтому являются основными претендентами для создания систем хранения водорода. Диссертационная работа Ельца Д.И. решает важные проблемы в понимании этих процессов, что будет способствовать созданию таких систем.

Достоверность результатов диссертации подтверждается использованием современной электронно-микроскопической приборной базы для проведения структурных и спектроскопических исследований, воспроизводимостью полученных экспериментальных данных на различных образцах и использованием хорошо апробированных теоретических подходов при их интерпретации. Основные результаты работы опубликованы и прошли рецензирование в международных научных журналах, что подтверждает достаточную **обоснованность** сформулированных в диссертации научных положений, выводов и рекомендаций.

Диссертация построена логично, изложена грамотным языком и хорошо иллюстрирована. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы.

При знакомстве с диссертационной работой возникли следующие вопросы и замечания:

1. На рис.2.6 представлена дифрактограмма синтезированного порошка MgH_2 . В табличке приведено содержание различных фаз, но на самой дифрактограмме какие-либо обозначения отсутствуют.

2. На рисунке 3.10 приведена зависимость потока выделяющегося водорода от времени при одноосном прессовании. Видно, что зависимость при воздействии высоким

давлением не является монотонной, а состоит из нескольких пиков разной интенсивности. Более того, пики объединяются в две серии, разделенные глубоким минимумом. С чем связано такое поведение зависимости? И насколько выявленная немонотонность повторяется при каждом отдельном шаге прессования?

3. Описание рисунков 3.11. и 3.12., приведенное на странице 54 выглядит противоречиво. С одной стороны, на рис 3.11. «...было замечено, что на одинаковые ступени повышения усилия образец гидрида магния выделяет не одинаковые порции водорода, а также, что порции уменьшаются по мере роста давления.» С другой стороны, на рисунке 3.12. «...количество выделившегося водорода прямо пропорционально приложенному давлению.» Как сочетаются два этих наблюдения?

4. Стр. 57. Приведено объяснение влияния добавки магния на десорбцию водорода из прессованной смеси «... металлические частицы пластичны в отличие от хрупких гидридных, а значит при приложении усилия принимают большую часть нагрузки на себя, уменьшая тем самым деформацию гидрида магния.» Почему аналогичный эффект не наблюдается в случае алюминия?

5. Из приведенных в 3 главе исследований следует, что более разумным является синтезирование пленки никеля на магниевой пластинке. В этом случае процесс роста пленки определяется формированием соединения Mg_2Ni . Данное соединение легко и быстро реагирует с водородом с образованием гидрида Mg_2NiH_4 . В чем причина выбора подложки из никеля, с последующим ростом двух интерметаллидов?

Сделанные выше замечания не снижают научной ценности работы и не влияют на общее положительное впечатление от диссертационной работы, которая выполнена на высоком современном научно-техническом уровне и содержит ряд новых результатов, существенно расширяющих существующие фундаментальные представления о физических механизмах и моделях разложения гидрида магния при различных методах его активации. По **актуальности** темы, **объему** и **достоверности** представленных результатов, глубине и **значимости** выводов работа полностью соответствует уровню диссертации на соискание степени кандидата наук. Полученные автором результаты представлены в пяти научных статьях, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных РИНЦ, Web of Science и Scopus и докладывались на международных и российских научных конференциях. Уровень публикаций достаточно высокий.

Считаю, что диссертация Ельца Дениса Игоревича на тему: «Механизмы активации и кинетики десорбции водорода из гидрида магния» соответствует специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния. Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития

области водородной энергетики. Нарушений пунктов 9, 11 Порядка присуждения Санкт-Петербургским государственным университетом ученой степени кандидата наук соискателем ученой степени мною не установлено. Диссертация соответствует критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, установленным приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете». Соискатель Елец Денис Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Председатель диссертационного совета

Доктор физ.-мат. наук, профессор,

Профессор СПбГУ

Дата 17 января 2025 г.



Филатова Е.О.