

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Задорожного Владислава Юрьевича «Особенности взаимодействия с водородом гидридообразующих сплавов в неравновесном состоянии и композиционных материалов на их основе», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17 – «Материаловедение».

В настоящее время исследования в направлении синтеза материалов в метастабильном или неравновесном состоянии для водород-аккумулирующих сплавов вызывают особый научный и прикладной интерес. Такие материалы получают благодаря использованию различных методов, в том числе и методов экстремального воздействия. Однако, влияние полученного неравновесного состояния указанными методами на водородсорбционные характеристики при синтезе гидридообразующих сплавов до сих пор до конца не выяснены. Используемые в диссертационной работе Задорожного Владислава Юрьевича сверхбыстрая закалка из жидкого состояния и твёрдофазный механохимический синтез (МХС) относятся к методам экстремального воздействия на материал.

Использование этих методов позволили существенно расширить интервалы существования однофазных областей исследуемых гидридообразующих сплавов, обусловленное ростом взаимной растворимости компонентов в твердых растворах, а также синтезировать такие материалы в наноструктурном и аморфном состояниях. В этой связи, акцент, сделанный в работе Задорожного Владислава Юрьевича, направленный на выявление закономерностей влияния приобретенного неравновесного состояния на эксплуатационные свойства материалов для обратимого хранения и выделения водорода свидетельствует об очевидной актуальности целей и задач, поставленных в работе.

В работе получен ряд новых научных результатов, среди которых можно отметить следующие: 1) Путем прямого высокоэнергетического твёрдофазного механохимического синтеза получены интерметаллические соединения NiTi , TiFe и $(\text{TiFe})_{100-x}\text{M}_x$ ($\text{M} = \text{Zr}, \text{Nb}, \text{Mn}, \text{Co}, \text{Cu}, \text{Mg}, \text{Al}, \text{Ni}, \text{Cr}$ и S) в неравновесном наноструктурном состоянии с существенно увеличенной взаимной растворимостью компонентов по сравнению с растворимостью, указанной на равновесных диаграммах состояния. Изучено влияние неравновесного состояния на водородсорбционные свойства. Проведена оценка коэффициентов диффузии компонентов в исследуемых системах. Показано, что процесс формирования фаз начинается с соединения на основе малоподвижного элемента, при этом, с увеличением продолжительности обработки

концентрация легкоподвижного элемента в образующихся соединениях растёт, что подтверждает диффузионный характер формирования фаз при МХС, 2) Проведены термодинамические расчеты условий формирования однофазного состояния в многокомпонентных сложнолегированных системах, получено экспериментальное подтверждение образования однофазных твёрдых растворов в таких системах. Показано, что вероятность формирования однофазного состояния в сложных многокомпонентных системах выше в тех сплавах, в которых бинарные энтальпии смешения близки к нулю, 3) Установлено, что при использовании механической активации достигается высокодефектное состояние порошковых сплавов-накопителей водорода (СНВ), что позволяет понизить температуру их консолидации в пористые объёмные образцы с сохранением наноструктурного состояния, 4) Предложен метод нанесения барьерных полимерных покрытий на порошки СНВ, которые пропускают водород, но препятствуют проникновению кислорода и влаги. Использование металлополимерных композитов предотвращает пассивацию порошков гидридообразующих сплавов компонентами воздуха и других газообразных сред, 5) Предложен метод формирования металлополимерных композиционных мембранных материалов нового типа для выделения водорода из газовых смесей. В основе метода лежит способность гидридообразующих материалов обратимо взаимодействовать только с водородом.

В качестве замечаний можно высказать следующее:

1. Не всегда автору удавалось анализировать имеющиеся и доступные литературные данные, касающиеся предметной части диссертации по механосинтезированным сплавам на основе TiFe. Так, например, работы (Hoda Emami et al., <http://dx.doi.org/10.1016/j.actamat.2014.12.052>, Hydrogen Storage Performance of TiFe after Processing by Ball Milling и Hydrogen storage behavior of TiFe alloy activated by different methods, Fangqin Guo et al., <https://doi.org/10.1016/j.mlblux.2021.100061>) и другие оказались вне поля зрения автора. Также можно сожалеть о том, что автор работы не упоминает относительно свежий обзор в УФН (Неравновесные фазовые превращения в сплавах при интенсивной пластической деформации / И.К. Разумов, А.Е. Ермаков, Ю.Н. Горностырев, Б.Б. Страумал. // Успехи физических наук. 2020. V. 190. Р. 785—810) о различных сценариях и детальном механизме превращений в твердом теле при существенно неравновесных воздействиях.

Вместе с тем должен отметить, что приведенный автором анализ имеющихся данных в диссертации по упомянутым сплавам является достаточно полным и исчерпывающим для обоснования и постановки новых задач.

2. Известно из литературных источников, что максимальная водородоемкость в литом бинарном сплаве TiFe достигает 1.9 вес.%, однако после механохимического синтеза TiFe максимальная водородоемкость снижается до 1.4 вес.%. Было бы важно узнать мнение автора о причинах заметного различия в водородоемкости после МХС.

3. Из текста автореферата не совсем понятно, в чём заключается принципиальная особенность и преимущество получения гидридообразующих соединений с использованием шаровой планетарной мельницы?

Сделанные замечания никак не влияют на общую высокую оценку работы. Диссертационная работа Задорожного Владислава Юрьевича представляется законченной, выполнена на высоком уровне, полученные результаты имеют несомненную научную новизну. Автор работы Задорожный Владислав Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17 – «Материаловедение».

Главный научный сотрудник
лаборатории прикладного магнетизма
Института физики металлов Уральского отделения РАН,
д.ф.-м.н., профессор

Ермаков А.Е.

