

## ОТЗЫВ

на диссертационную работу **Черезова Никиты Петровича** на тему:

### СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВС-ГИДРИРОВАНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОГО ДЕГИДРИРОВАНИЯ

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 1.3.17 - Химическая физика, горение и взрыв, физика  
экстремальных состояний вещества

Порошковая металлургия титана – технология, которая существует и постоянно развивается в СССР и РФ как минимум 70 лет. При механической обработке изделий из титана, полученных или литьем или методами порошковой металлургии образуются отходы в виде порошка различной формы и размеров, а также значительного количество стружки. Стружковые отходы титана чаще всего отправляются на переплав. Однако такие отходы титана можно перерабатывать и снова отправлять их в производство.

Поэтому данная диссертационная работа, посвященная разработке технологии переработки отходов титана в порошок методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и **актуальность данного исследования сомнения не вызывает.**

Цель данной диссертационной работы - разработать метод получения порошков на основе титана СВС-гидрированием с последующим термическим дегидрированием исходных продуктов – титановой губки и стружки- изучение свойств получаемых порошков и попытаться применить разработанный метод в практику технологии порошковой металлургии.

Автором диссертации исследован процесс гидрирования титановой губки с помощью СВС-процесса. Определена температура экзотермической реакции горения титановой губки в водороде 1050-1060 °С, скорость горения титановой губки в водороде - 2 мм/с. И предложен механизм её горения. Им экспериментально установлено, что в процессе СВС-гидрирования снижается содержание углерода и кислорода в исходной титановой губке, что важно для разработки технологии изготовления из полученного порошка титана конкретных деталей.

При изучении дегидрирования губки титана, соискатель определил количество выделившегося водорода, скорость его выделения, время его полного удаления из частиц различного размера. Также им изучены технологические свойства порошков после дегидрирования и установлено, что в процессе термического разложения гидрида титана происходит уменьшение среднего размера частиц порошка на 6–28%. Им также достаточно подробно разработана технология горения титановой губки в конкретном реакторе СВС.

Вторая часть данной диссертационной работы посвящена результатам экспериментов по получению порошка титана с помощью СВС-гидрирования и термического дегидрирования титановой стружки. Важно, что автор контролировал изменение основных свойств сплава ВТ6 (в виде порошка) в процессе получения порошка методом СВС-гидрирования и термического дегидрирования. Полученный порошок ВТ6 имеет аналогичный фазовый состав прутка, из которого и была получена стружка. Для обеспечения стабильности процесса горения соискатель считает, что стружку титана необходимо предварительно спрессовать в брикеты до относительной плотности 0,30-0,55 и смешать с 50-70 масс. % титановой губки.

Несомненно, полезными для интенсивно развивающейся в настоящее время, **аддитивной технологии получения изделий из титанового порошка** можно считать примененную диссертантом финишную **обработку** дегидрированного порошка титана (форма частиц – осколочная) потоком плазмы с целью изменения морфологии и самой главной формы (*от осколочной к сферической*) частиц, определен гранулометрический и элементный состав данного порошка.

С точки зрения технологии порошковой металлургии созданный диссертантом процесс СВС-гидрирования стружки титанового сплава ВТ1-0, ВТ6 показал, что в реакторе где спрессованной стружка размещена в центре реактора, а по краям обсыпана титановой губкой, для успешного горения стружки в водороде в режиме СВС ее необходимо предварительно спрессовать в брикеты до относительной плотности 0,3-0,5, что обеспечивает необходимую теплопроводность для успешного прохождения СВС-гидрирования и получения хрупкого гидрида по всему объему стружки.

Значительный раздел диссертационной работы посвящен разработке получения пористых титановых каркасов. Автор исследовал влияние доли порообразователя ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ) в исходной смеси порошка титана, влияние температуры и среды спекания на пористость (изменяется от 3 до 59%) и механические свойства пористого брикета из порошка титана. Прочность пористых каркасов зависит не только от количества порообразователя, но и от среды и температуры спекания. После спекания в условиях вакуума

прочность каркаса достигает 1449 МПа. А его модуль упругости снижается от 50 до 4 ГПа с увеличением пористости от 3 до 59 %.

Автор также оценил (конечно, с большим допущением) экономику метода СВС-гидрирования и дегидрирования для получения порошка титана. Основными затратами при производстве порошка титана по технологии гидрирования-дегидрирования является расходы на исходное сырье и электричество. А применение метода СВС позволяет значительно снизить расход электроэнергии на этапе синтеза гидрида. Внедрение СВС-гидрирования в технологию гидрирования-дегидрирования снижает производственные расходы на 14 %. Автор считает, что благодаря сочетанию энергоэффективности метода СВС и применения дешевого сырья стоимость производимых порошков в 2-12 раз меньше по сравнению с аналогами.

Достоверность полученных результатов диссертационной работы подтверждается применением современных методов исследования физико-химических и физико-механических свойств полученных материалов. Достоверность полученных результатов также подтверждается публикацией основных результатов диссертации в достойных отечественных и зарубежных научных журналах, докладами, обсуждениями результатов на конференциях, семинарах, а также патентом РФ.

По теме диссертационной работы автор опубликовал 21 печатную работу, в том числе 9 статей в реферируемых научных журналах, входящих в Перечень ВАК, 13 тезисов в сборниках трудов отечественных и международных конференций и получен 1 патент РФ.

#### Замечания по тексту диссертационной работы.

1. Не очень четко описан процесс горения титановой губки в атмосфере водорода.
2. Что влияет на хрупкость титановой губки после окончания процесса ее горения в водороде: образовавшийся твердый раствор водорода в титане или сформировавшаяся гидрид титана  
Почему с уменьшением размера частиц титановой губки увеличивается время выделения водорода во время ее дегидрирования?
3. Стр.65 диссертации, первый абзац. «Содержание водорода в гидридах не зависит от массы исходного металла, загружаемого в реактор, поэтому загрузка в состоянии свободной засыпки ограничивается только емкостью

используемого реактора». А от дисперсности стружки и от состояния ее поверхности содержание водорода каким-то образом зависит?!

4. стр.68 диссертации, последний абзац «На основании проведённых экспериментов был предложен механизм горения титановой губки в водороде при давлении 2 Мпа» . Почему выбрана именно такая величина давления водорода?

5. Стр. 124 диссертации, первый абзац. В чем заключается эффектом механической активации (МА) частиц смеси (Ni+Ti) ?

Не смотря на высказанные замечания данная диссертация соответствует требованиям ВАК РФ, а соискателю, Черезову Никите Петровичу, может быть присуждена степень кандидата технических наук по специальности 1.3.17 - Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества

Официальный оппонент, ведущий научный сотрудник

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Федерального исследовательского центра

«Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук»  
д.ф.-м.н., профессор



Лигачев А.Е.

Адрес: 119991 ГСП-1, г. Москва, ул. Вавилова д. 38.  
[carbin@yandex.ru](mailto:carbin@yandex.ru), Телефон: +7 (499) 503-8734

