

DOI: 10.12737/22817

Ястребинская А.В., канд. техн. наук, доц.,  
Карнаухов А.А., магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРГИРОВАННОЙ ДРОБИ ГИДРИДА ТИТАНА

karanna1@mail.ru

В работе исследованы физико-технические свойства молотой дроби гидрида титана, с целью создания, на её основе, радиационно-стойкого материала в условиях длительных радиационно-термических нагрузок.

В качестве исходного материала использовалась дробь гидрида титана с содержанием водорода до 3,35 % масс., измельчённая до дисперсности 10,7–6,6 мкм. Термогравиметрическими исследованиями установлено окисление гидрида титана в процессе нагрева с образованием рутила, что приводит к снижению радиационно-защитных свойств материала. Для сохранения радиационно-защитных свойств, проведено прессование порошкообразного гидрида титана до монолитного материала при различных удельных давлениях. Установлены оптимальные технологические режимы прессования материала и исследована структура поверхности полученных образцов. Материал рекомендован для получения радиационно- и термически стойкого композита на основе наполненных гидридом титана тяжёлых флинтов, которые будут являться дополнительным связующим агентом, позволяющим обеспечить готовому композиту стойкость как к нейтронному, так и к гамма излучению.

**Ключевые слова:** гидрид титана, дробь, диспергирование, структура, свойства, радиационная стойкость, термическая стойкость.

**Введение.** В настоящее время, с целью обеспечения безопасности эксплуатации ядерных реакторов АЭС и ядерных энергетических установок (ЯЭУ), необходимо создание материалов обладающих не только высокой поглощающей способностью гамма- и нейтронного излучения, но и термически устойчивых материалов обладающих требуемыми физико-механическими и радиационно-защитными свойствами в условиях длительных радиационно-термических нагрузок [1–3].

В современных ЯЭУ для радиационной защиты широко применяется гидрид титана. Данный материал обладает высокими нейтронно-защитными свойствами и используется для поглощения нейтронных потоков в ядерной энергетике в качестве замедлителя в регулирующих стержнях ядерного реактора на быстрых нейтронах, а также в качестве наполнителя для защиты от радиоактивного излучения [4–7].

В данной работе исследованы физико-технические свойства молотой дроби гидрида титана, с целью создания, на её основе, радиационно-стойкого материала в условиях длительных радиационно-термических нагрузок.

**Методика.** В качестве исходного материала использовался гидрид титана, в виде мелкодисперсной дроби полученной ОАО «ВНИИНМ» (г. Москва) методом центробежного распыления из титана марки ВТ 1-0 на установке ЦЕНТР-710-2 с последующим гидрированием до несте-

хиометрического содержания водорода 3,35 % масс. Т.к. сама по себе дробь гидрида титана плохо поддается прессованию, а прессование со связующим не дает гарантии высокой плотности упаковки нейтронно-защитных частиц и отсутствия «проскока» нейтронов, решено было придать дроби гидрида титана порошкообразную форму.

Порошкообразное состояние дроби достигалось путем ее измельчения на планетарной мельнице типа Санд-1, помол проводился в несколько этапов, что позволило пронаблюдать изменение удельной поверхности материала при помощи лазерного анализатора частиц и получить результаты, представленные в табл. 1.

Таблица 1

### Результаты гранулометрии

№ образца	Диаметр частицы (мкм)	Удельная поверхность (см <sup>2</sup> /см <sup>3</sup> )
1	10,7	14 323
2	9,3	14 346
3	9,7	16 348
4	7,1	26 104
5	7,0	28 183
6	6,6	33 695

По результатам гранулометрии, для дальнейших исследований были выбраны образцы молотой дроби гидрида титана с удельной поверхностью (см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>) и диаметром частиц (мкм), соответственно: 14323 и 10,7 (образец

№1); 26104 и 7,1 (образец №4); 33695 и 6,6 (образец №6), обладающие наибольшим разбросом дисперсности, что в свою очередь должно обеспечить наибольшую степень упаковки частиц при прессовании материала.

**Основная часть**

В результате перехода дроби в порошкообразное состояние, возможна потеря водорода, что может негативно сказаться на нейтронно-защитных свойствах материала. Поэтому был

проведен рентгено-фазовый анализ образцов №1, №4, №6, результаты которого представлены на рис. 1-3.

В ходе расшифровки рентгенограмм, обнаружено полное соответствие межплоскостных расстояний, представленных на рисунках, гидриду титана  $TiH_{1,95}$ , что свидетельствует о сохранении химически-связанного водорода в составе порошка молотой дроби.

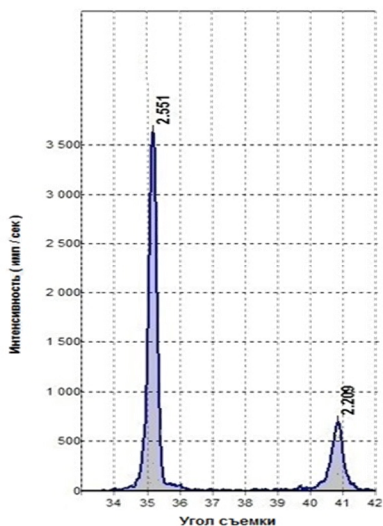


Рис. 1. Рентгенограмма образца №1

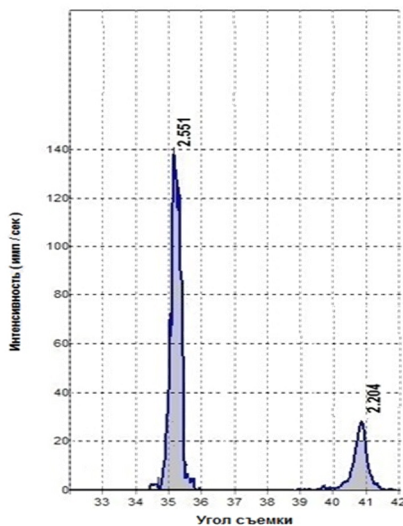


Рис. 2. Рентгенограмма образца №4

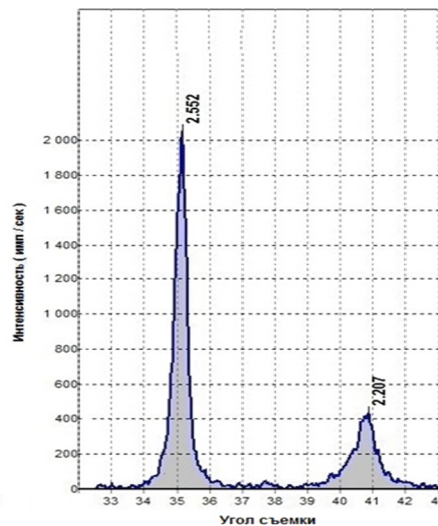


Рис. 3. Рентгенограмма образца №6

В дальнейшем был проведен дифференциальный термический анализ (ДТА) образцов, в среде кислорода ( $O_2$ ) и аргона ( $Ar$ ) с помощью прибора синхронного термического анализа

STA 449 F1 Jupiter. Зависимости изменения массы образцов от увеличения температуры в среде кислорода представлены на рис.4, в среде аргона – на рис.5.

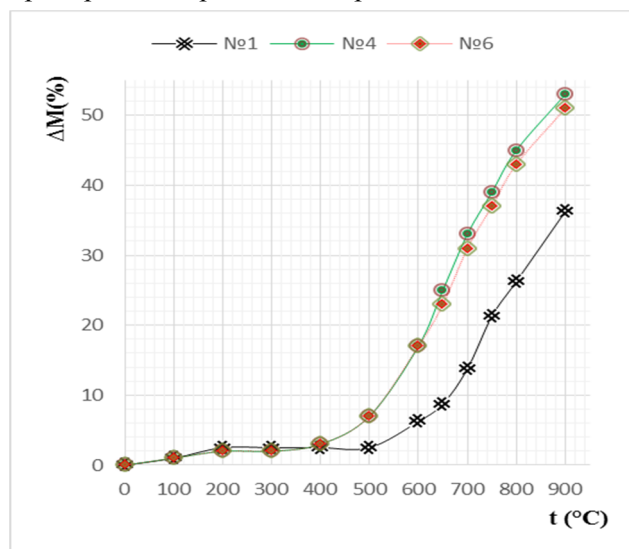


Рис. 4. Зависимость изменения массы образцов от увеличения температуры в среде кислорода

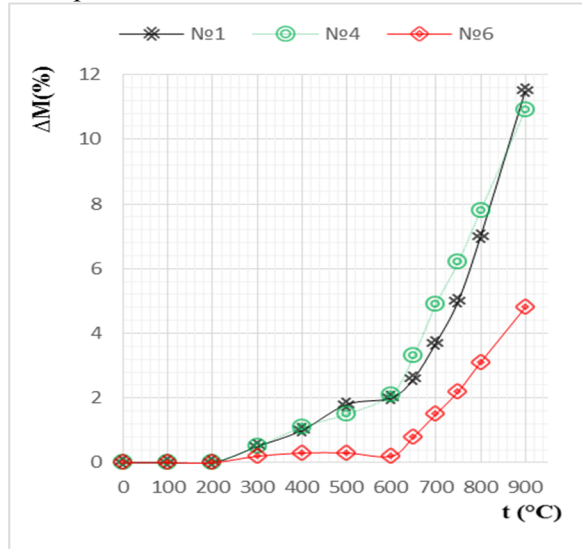


Рис. 5. Зависимость изменения массы образцов от увеличения температуры в среде аргона

На рис.4 видно, что наиболее термоустойчивым в среде кислорода является образец № 1, значительный прирост массы которого начинается от 500 °С. В общем случае, прирост массы связан с тем, что в процессе помола была нару-

шена защитная оболочка дроби, что повлекло окисление гидрида титана в процессе нагрева и произошло образование рутила, что подтверждается результатом расшифровки рентгенограмм образца молотой дроби гидрида титана

после нагрева до 600<sup>0</sup>С, представленным на рис.6.

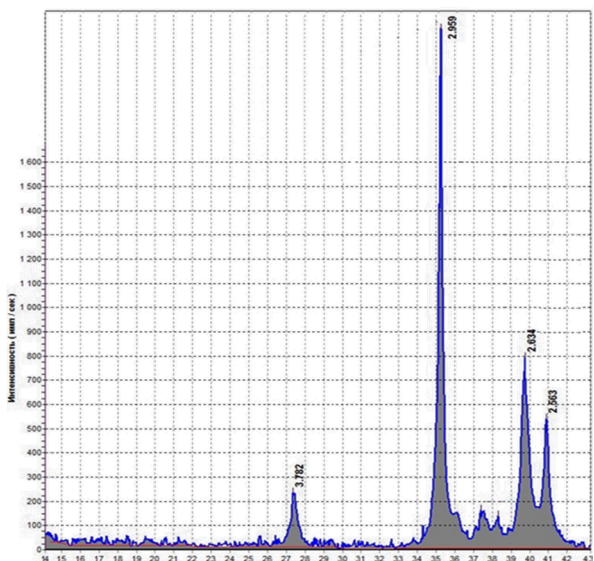


Рис. 6. Рентгенограмма молотой дроби гидрида титана после нагрева до 600 °С

моокислительной деструкции которого соответствует 600 С.

Исходя из результатов ДТА, можно сделать вывод, что порошок дроби гидрида титана теряет свои нейтронно-защитные свойства в процессе нагрева. Для сохранения радиационно-защитных свойств, было принято решение спрессовать порошкообразный гидрид титана до монолитного материала.

Прессование проводилось, в пресс форме с диаметром пуансона 35 мм. При 25 т., 50 т. и 150 т. Что позволило достигнуть удельного давления 63,7373 МПа, 127,4835 МПа и 382,425 МПа соответственно. Материал прекрасно спрессовался, без добавления какого-либо связующего за счет пластической деформации металлического титана.

Полученные материалы, исследованы при помощи сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU, результаты представлены на рис. 7–12.

Наибольшей термоустойчивостью в среде аргона, рис.5, обладает образец №6, начало тер-

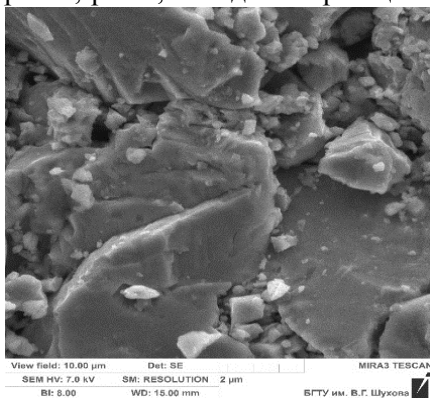


Рис. 7. Образец №1  
Удельное давление  
63,7373 МПа

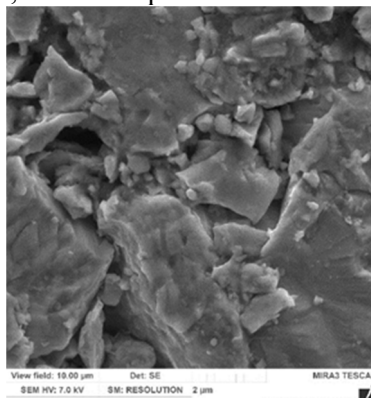


Рис. 8. Образец №1  
Удельное давление  
127,4845 МПа

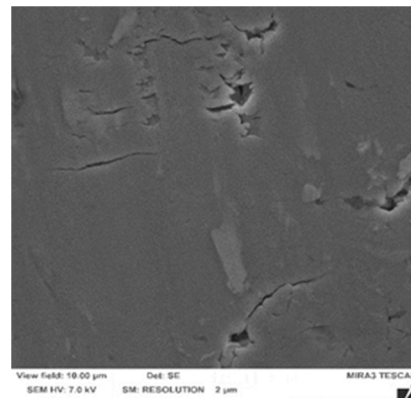


Рис. 9. Образец №1  
Удельное давление  
382,425 Мпа

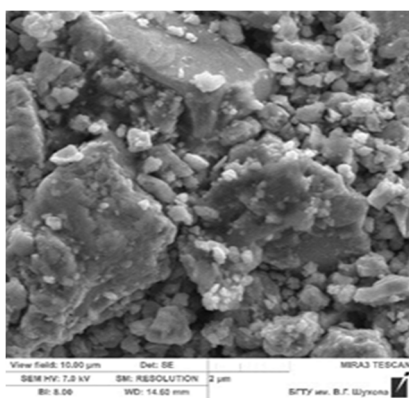


Рис. 10. Образец №4,  
Удельное давление  
63,7373 МПа

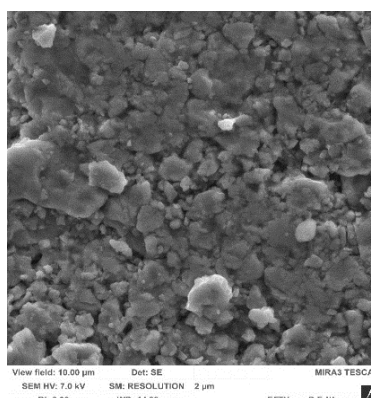


Рис. 11. Образец №4  
Удельное давление  
127,4845 МПа

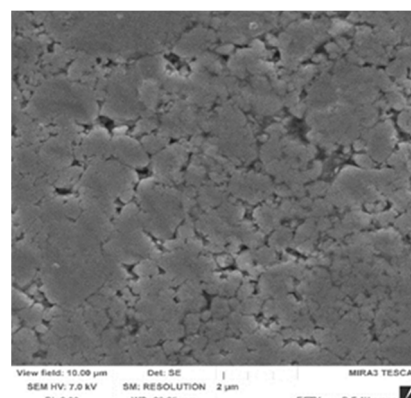


Рис. 12. Образец №4  
Удельное давление  
382,425 МПа

С увеличением удельной нагрузки, как в образце 1, так и в образце 4, снижается количество микротрещин. При этом в образце 1 при

нагрузке 382,425 МПа количество микротрещин минимально.

Дальнейшие исследования будут направлены на получение радиационно- и термически стойкого материала на основе молотой дроби гидроксида титана (образец №1) и, в том числе, тяжёлых флюидов, которые будут являться дополнительным связующим агентом, позволяющим обеспечить готовому композиту стойкость как к нейтронному, так и к гамма излучению.

**Выводы.** Установлено, что при помолу дроби гидроксида титана не происходит потерь химически связанного водорода.

По результатам ДТА было определено, что образец молотой дроби гидроксида титана с удельной поверхностью ( $\text{см}^2/\text{см}^3$ ) и диаметром частиц (мкм), соответственно: 14323 и 10,7 (образец №1); является наиболее термоустойчивым в среде кислорода, а образец молотой дроби гидроксида титана с удельной поверхностью ( $\text{см}^2/\text{см}^3$ ) и диаметром частиц (мкм), соответственно: 33695 и 6,6 (образец №6) – в среде аргона;

Результатами микроскопии подтверждено, что с увеличением удельного давления снижается количество микротрещин на поверхности образцов. Образец №1 имеет более однородную поверхность по сравнению с образцом №4

Таким образом, для дальнейших исследований был выбран образец молотой дроби гидроксида титана с удельной поверхностью  $14323 \text{ см}^2/\text{см}^3$  и диаметром частиц 10,7 мкм.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев Г.А. Водородсодержащие материалы для атомной энергетики // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. № 11-2 (30). С. 10–13.
2. Трухня А.Д.. Основы современной энергетики; под общ. ред. чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. Т. 1. С. 174.
3. . Мюллер В. Гидриды металлов. В. Мюллер Д. Блэкедж и Дж. Либовиц. М.: Атомиздат. 1998. С. 432.
4. Карнаухов А.А., Ястребинская А.В.. О возможности использования гидроксида титана для нейтронной защиты // Международная научно-техническая конференция «Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды», БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород. Ч.2. С. 48–52.
5. Павленко В.И., Едаменко О.Д., Черкашина Н.И., Куприева О.В., Носков А.В. Изучение коэффициентов ослабления фотонного и нейтронного пучков при прохождении через гидрид титана // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2015. № 6. С. 21.
6. Ястребинский Р.Н. Радиационно-стойкий композиционный материал с высокой поглощающей способностью гамма- и нейтронного излучения / Безопасность жизнедеятельности в техносфере: сб. докл. II Междунар. интернет-конф., 22–23 окт. 2014 г. // Белгор. гос. технол. ун-т. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. С. 68–71.
7. Ястребинская А.В., Матюхин П.В., Павленко З.В., Карнаухов А.В., Черкашина Н.И. Использование гидридсодержащих композитов для защиты ядерных реакторов от нейтронного излучения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12–6. С. 987–990.

**Yastrebinskaya A.V., Karnaukhov A.A.**

#### PHYSICS AND TECHNOLOGY PROPERTIES OF THE DISPERSED FRACTION OF HYDRIDE OF TITANIUM

*In operation physics and technology properties of ground fraction of hydride of titanium, for the purpose of creation, on its basis, radiation resistant material in the conditions of the long radiation and thermal loadings are probed.*

*As the initial material the fraction of hydride of titanium with the content of hydrogen up to 3,35% of masses was used., crushed to dispersibility of 10,7-6,6 microns. Thermogravimetric researches set oxidation of hydride of titanium in the course of heating with formation of rutile that leads to lowering of radiation protective properties of material. For saving radiation protective properties, molding of powdery hydride of titanium to monolithic material in case of different unit pressures is carried out. The optimum technological modes of molding of material are set and the structure of a surface of the received samples is probed. Material is recommended for receiving radiation and thermally resistant aggregate on the basis of the heavy flints filled with hydride of titanium which will be the additional binding agent allowing to provide to a ready aggregate firmness both to neutron and to a gamma to radiation.*

**Key words:** hydride of titanium, fraction, dispersion, structure, properties, radiation firmness, thermal firmness.

**Ястребинская Анна Викторовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: karanna1@mail.ru

**Карнаухов Александр Алексеевич**, магистрант кафедры безопасности жизнедеятельности.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: gamma.control@ya.ru