

UDC 623-4

Author: PAVLENKO Vyacheslav Ivanovich, Doctor of Engineering, Professor, Honored Inventor of the Russian Federation, Director of Institute of Chemical Technology, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Kostyukova str., 46, Belgorod, Russia, 308012, e-mail: belpavlenko@mail.ru;

Author: CHERKASHINA Natalia Igorevna, PhD in Engineering, Associate Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Kostyukova str., 46, Belgorod, Russia, 308012, e-mail: natalipv13@mail.ru;

Author: YASTREBINSKY Roman Nikolaevich, Ph.D. in Physics and Mathematics, Associate Professor of Department of Theoretical and Applied Chemistry, Belgorod State Technological University of V. G. Shukhov (Russia); Kostyukov str., 46, Belgorod, Russia, 308012, e-mail: yrndo@mail.ru

CREATING NANOSHELL ON THE SURFACE OF TITANIUM HYDRIDE BEAD

EXTENDED ABSTRACT:

The article presents data on the modification of titanium hydride bead by creating titanium nanoshell on its surface by ion-plasma vacuum magnetron sputtering. To apply titanium nanoshell on the titanium hydride bead vacuum coating plant of multifunctional nanocomposite coatings QVADRA 500 located in the center of high technology was used.

Analysis of the micrographs of the original surface of titanium hydride bead showed that the microstructure of the surface is flat, smooth, in addition the analysis of the microstructure of material surface showed the presence of small porosity, roughness, mainly cavities, as well as shallow longitudinal cracks. The presence of oxide film in titanium hydride prevents the free release of hydrogen and fills some micro-cracks on the surface.

Differential thermal analysis of both samples was conducted to determine the thermal stability of the initial titanium hydride bead and bead with applied titanium nanoshell. Hydrogen thermal desorption spectra of the samples of the initial titanium hydride bead and bead with applied titanium nanoshell show different thermal stability of compared materials in the temperature range from 550 to 860°C. Titanium nanoshells applied in this way allows increasing the heat resistance of titanium hydride bead – the temperature of starting decomposi-



tion is 695°C and temperature when decomposition finishes is more than 1000°C. Modified in this way titanium hydride bead can be used as a filler in the radiation protective materials used in the construction or upgrading biological protection of nuclear power plants.

Key words: titanium nitride, nanoshell modification, sputtering, thermal stability.

DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-6-102-119

MACHINE-READABLE INFORMATION ON CC-LICENSES (HTML-CODE) IN METADATA OF THE PAPER

```
<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/"></a><br /><span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">Creating nanoshell on the surface of titanium hydride bead</span> by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2016, Vol. 8, no. 6, pp. 102–119. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-6-102-119" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Pavlenko V.I., Cherkashina N.I., Yastrebinsky R.N. </a> is licensed under a <a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">Creative Commons Attribution 4.0 International License</a>.<br />Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-6-2016/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-6-2016/</a>.<br />Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="natalipv13@mail.ru" rel="cc:morePermissions">natalipv13@mail.ru</a>.
```

References:

1. *Zhirkov E.O.* Atomnaja jenergetika Rossii na mirovom rynke [Nuclear energy Russia on the world market]. Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Novye gumanitarnye issledovanija [Herald of Oryol State University. Series: New humanitarian research]. 2010. No 6 (14). pp. 272–275. (In Russian).
2. *Azarenkov N.A., Voevodin V.N., Kirichenko V.G., Kovtun G.P.* Nanostrukturnye materialy v jadernoju jenergetike [Nanostructured materials in nuclear power]. Visnyk Harkivskogo universitetu. 2010. No 887. pp. 4–24. (In Russian).
3. *Gusev B.V., Falikman V.R., Leistner S. et al.* Industrial technological research «Development of Russian market of nanotechnological products in construction until 2020». Part 1. Analysis of the world market. Nanotehnologii v stroitel'stve =



- Nanotechnologies in Construction. 2013, Vol. 5, no. 1, pp. 6–17. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2013-5-1-6-17. (In Russian).
4. *Gusev B.V., Falikman V.R., Leistner S. et al.* Industrial technological research «Development of Russian market of nanotechnological products in construction until 2020». Part 2. Analysis of the world market. Nanotekhnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2013, Vol. 5, no. 2, pp. 6–20. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2013-5-2-6-20. (In Russian).
 5. *Gusev B.V., Falikman V.R., Leistner S. et al.* Industrial technological research «Development of Russian market of nanotechnological products in construction until 2020». Part 3. Analysis of the Russian market. Analysis of the world market. 2013, Vol. 5, no. 3, pp. 6–19. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2013-5-3-6-19. (In Russian).
 6. *Ivanov L.A., Muminova S.R.* New technical solutions in the field of nanotechnologies. Part 1. Nanotekhnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2016, Vol. 8, no. 2, pp. 52–70. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-2-52-70. (In Russian).
 7. *Falikman V., Weiner A.* The photocatalytic cement composites containing mesoporous nanoparticles of dioxide of a titanium Nanotekhnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2014, Vol. 6, no. 1, pp. 14–26. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2014-6-1-14-26. (In Russian).
 8. *Falikman V., Weiner A.* New high performance nanoadditives for photocatalytic concrete: synthesis and research. Nanotekhnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2015, Vol. 7, no. 1, pp. 18–28. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-18-28. (In Russian).
 9. *Feynman R.* Vnizu polnym polno mesta: priglashenie v novyj mir fiziki [At the bottom so full of places: an invitation to the new world of physics]. Himija i zhizn' [Chemistry and life]. 2002, No. 12, pp. 20–26. (In Russian).
 10. Nauchnaja sessija Obshhego sobranija RAN 19 XII 2002 g [Scientific session of the General Meeting of the RAS 19 XII 2002]. Vestnik RAN [Herald of the RAS]. 2003, Vol. 73, No 5. pp. 429–439. (In Russian).
 11. *Andrievsky R.A., Raguli A.V.* Nanostrukturnye materialy [Nanostructured materials]. Moscow, Academy, 2005, 192 p. (In Russian).
 12. *Pokonova Y.* Kompozicionnyj material na osnove slancevyh fenolov dlja zakrepleniya radioaktivnyh othodov [The composite material is based on Shale Phenols to secure radioactive waste]. Himija tverdogo topliva [Solid Fuel Chemistry]. 2011, No 2, pp. 45–47. (In Russian).



13. *Sokolenko I.V.* Razrabotka radiacionno-zashhitnogo kompozicionnogo materiala kosmicheskogo naznachenija na osnove steklomatricy [Development of radiation-protective composite space applications based on steklomatritsy]. Trudy MAI [Proceedings of the MAI]. 2015. No 79. pp. 18. (In Russian).
14. *Gulbin V.N., Kolpakov N.S., Gorkavenko V.V., Cherdyntsev V.V.* Development and research of radio and radiation-protective composite materials. Nanotehnologii: razrabotka, primenenie – XXI vek [Nanotechnology: development, application – XXI century]. 2015, Vol. 7, No 2, pp. 17–25. (In Russian).
15. *Mashkovich V.P., Kudrjavceva A.V.* Zashhita ot ionizirujushhijh izluchenij. Spravochnik [Protection from ionizing radiation. Reference]. Moscow, Energoatomisdat, 1995, 496 p. (In Russian).
16. *Kozlov V.F.* Spravochnik po radiacionnoj bezopasnosti [Radiation Safety Guide]. Moscow: Energoatomisdat, 1991, 352 p. (In Russian).
17. *Sokolenko I.V.* Termostojkie polimernye kompozicionnye materialy dlja nejtronnoj i gamma-zashhity kosmicheskijh jadernyh jenergeticheskijh ustanovok [Heat-resistant polymer composite materials for neutron and gamma-protection space nuclear power plants]. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. 2014, No 6-1 (25), pp. 70–71. (In Russian).
18. *Bondarenko Ju.M.* Kompozicionnyj material na osnove aljuminievoj matricy i vysokodispersnyh oksidov tjazhelyh metallov – jeffektivnyj material dlja formirovanija radiacionno-zashhitnyh inzhenernyh bar'erov [The composite material based on aluminum oxide matrix and highly heavy metal – effective material for the formation of radiation-protective engineering barriers]. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova [Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov]. 2014. No 1. pp. 30–34. (In Russian).
19. *Kuprieva O.V.* Termodinamicheskie raschety termicheskoj dissociacii gidrida titana [Thermodynamic calculations thermal dissociation of the titanium hydride]. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova [Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov]. 2014. No 5. pp. 161–163. (In Russian).
20. *Pavlenko V.I., Edamenko O.D., Cherkashina N.I., Kuprieva O.V., Noskov A.V.* Study of the attenuation coefficients of photon and neutron beams passing through titanium hydride // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2015, V. 9, № 3, pp. 546–549.
21. *Pavlenko V.I., Kuprieva O.V., Cherkashina N.I., Yastrebinskij R.N.* Defects in Modified Titanium Hydride Crystals Subjected to Heat Treatment. Russian Physics Journal. 2015, Vol. 58, Issue 5, pp. 724–729.



22. *Pavlenko V.I., Cherkashina N.I., Noskov A.V., Yastrebinski R.N.* Theoretical calculation of the average mileage of electrons of energies up to 10 MeV in polymer composite. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2015, Vol. №5(99), pp. 32–35.
23. *Pavlenko V.I., Bondarenko G.G., Cherkashina N.I.* Razrabotka nejtronno-zashhitnyh polimernyh kompozitov na osnove tonkomolotogo gidrida titana [The development of neutron-shielding polymer composites based on titanium hydride from fine]. *Perspektivnye materialy [Advanced Materials]*. 2016. No 7. pp. 16–21. (In Russian).
24. *Pavlenko V.I., Nartsev V.M., Kuprieva O.V., Pavlenko Z.V., Cherkashina N.I.* Study of thermal effects on the structure of thin-film borosilicate coatings by ellipsometry, and x-ray diffraction. *Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques*. 2015, V. 9. № 5, pp. 1022–1025.
25. *Kuprieva O.V.* Izmeneniya strukturnogo sostojaniya borosilikatnogo pokrytija pri nagreve [Changes in the structural state of borosilicate coating when heated]. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]*. 2014. No 6-1 (25). pp. 14–15. (In Russian).

DEAR COLLEAGUES!

THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:

Pavlenko V.I., Cherkashina N.I., Yastrebinski R.N. Creating nanoshell on the surface of titanium hydride bead. *Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction*. 2016, Vol. 8, no. 6, pp. 102–119. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-6-102-119](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-6-102-119). (In Russian).

Contact information

e-mail: natalipv13@mail.ru
Ph.: (4722) 55-16-62



УДК 623-4

Автор: ПАВЛЕНКО Вячеслав Иванович, доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель РФ, директор Химико-технологического института, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»; ул. Костюкова, 46, г. Белгород, Россия, 308012, e-mail: belpavlenko@mail.ru;

Автор: ЧЕРКАШИНА Наталья Игоревна, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»; ул. Костюкова, 46, г. Белгород, Россия, 308012, e-mail: natalipv13@mail.ru;

Автор: ЯСТРЕБИНСКИЙ Роман Николаевич, к-т физ.-мат. наук, доц., доцент кафедры теоретической и прикладной химии, «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (Россия); ул. Костюкова, 46, Белгород, Россия, 308012, e-mail: yrndo@mail.ru

СОЗДАНИЕ НАНОБОЛОЧКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ДРОБИ ГИДРИДА ТИТАНА

АННОТАЦИЯ К СТАТЬЕ (АВТОРСКОЕ РЕЗЮМЕ, РЕФЕРАТ):

В статье представлены данные по модифицированию дроби гидрида титана путем создания титановой наноболочки на его поверхности методом ионно-плазменного вакуумного магнетронного напыления. Для нанесения наноболочки титана на дробь гидрида титана использовали вакуумную установку нанесения многофункциональных нанокompозитных покрытий QVADRA 500, расположенную в Центре высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова (г. Белгород).

Анализ микрофотографий поверхности исходной дроби гидрида титана показал, что микроструктура его поверхности ровная, гладкая, также анализ микроструктуры поверхности материала показал наличие небольшой пористости, неровностей, преимущественно впадин, а также неглубоких продольных трещин. Наличие у дроби гидрида титана оксидной плёнки препятствует свободному высвобождению водорода, а также немного заполняет микротрещины на поверхности.

Для определения термической устойчивости исходной дроби гидрида титана и дроби с нанесенной наноболочкой из титана был проведен диффе-



рениально-термический анализ обоих образцов. Спектры термодесорбции водорода из образцов исходной дроби гидрида титана и дроби гидрида титана с напыленным титановым покрытием свидетельствуют о различной термической устойчивости сравниваемых материалов в интервале температур от 550 до 860°C. Нанесенная таким способом нанооболочка из титана позволяет увеличить термостойкость дроби гидрида титана – начало разложения приходится на температуру в 695°C, а температура окончания разложения – более 1000°C. Модифицированная таким способом дробь гидрида титана может использоваться в качестве наполнителя в радиационно-защитные материалы, используемые при строительстве или модернизации биологической защиты ядерных энергетических установок.

Ключевые слова: гидрид титана, нанооболочка, модифицирование, напыление, термическая устойчивость.

DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-6-102-119

МАШИНОЧИТАЕМАЯ ИНФОРМАЦИЯ О СС-ЛИЦЕНЗИИ В МЕТАДАННЫХ СТАТЬИ (HTML-код):

```
<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/"></a><br />Произведение «<span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">Создание нанооболочка поверхности дроби гидрида титана </span>» созданное автором по имени <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">Лицензия Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная</a>. Основано на произведении с <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/ru_RU/nanobuild-6-2016/">http://nanobuild.ru/ru_RU/nanobuild-6-2016/</a>. Разрешения, выходящие за рамки данной лицензии, могут быть доступны на странице <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="mailto:natalipv13@mail.ru" rel="cc:morePermissions">natalipv13@mail.ru</a>.
```

В последние десятилетия одной из самых перспективных отраслей промышленности является атомная энергетика [1]. В связи с этим одной из задач является развитие фундаментальных и прикладных исследований в области радиационного материаловедения и радиационных технологий [2]. При проведении таких исследований важной задачей является создание новых топливных и конструкционных материалов и новых методов анализа и контроля материалов. Нанотехнологии в последнее время стали применяться практически во всех сферах



новейших технологий и по сути дела превратились в междисциплинарную область науки и техники [3–5]. Использование нанотехнологий позволяет придать материалам совершенно новые свойства, значительно превосходящие их первоначальные характеристики, что позволяет расширить диапазон применения этих материалов [6–8].

В атомной отрасли нанотехнологии применялись еще до того, когда стали использовать приставку «нано», так как созданные топливные и конструкционные материалы во многом были основаны на качественном изменении свойств материалов при переходе в нанометрический диапазон размеров [9–11].

В связи с этим все большую актуальность приобретают вопросы разработки современных строительных материалов, обладающих высокими радиационно-защитными свойствами с использованием нанотехнологий [12–14].

Нейтронное и гамма-излучение имеют наибольшую проникающую способность среди всех видов ионизирующих излучений и представляют основную опасность для персонала и оборудования ядерных энергетических установок [15, 16]. Для замедления нейтронов в промышленности применяются материалы, содержащие в своем составе атомы легких элементов, в особенности таких, как бор и водород [17, 18]. Известно, что из-за небольшой атомной массы водород – это лучший замедлитель нейтронов, обладающий наибольшим сечением захвата нейтронов. Одним из перспективных материалов для защиты от нейтронов является гидрид титана [19–23].

Гидрид титана – химическое соединение бинарной структуры, представляющее собой соединение водорода с металлом TiH_2 . Содержание в гидриде титана водорода равно 4,04%. Представляет собой порошок темно-серого, практически черного цвета, имеющий кристаллическую природу. Вещество достаточно хрупкое. Гидрид титана может существовать в нескольких кристаллических модификациях – кристаллы могут иметь кубическую или тетрагональную форму. Гидрид титана негигроскопичен и очень устойчив к воздействию воды. Одно из отличительных его свойств является устойчивость к разбавленным кислотам. При температуре 300°C начинается процесс разложения гидрида титана. Для увеличения термической стойкости гидрида титана существуют различные технологические приемы, такие, как использование его в виде дробы, создание на его поверхности боросиликатной оболочки и др. [24,25].



В данной работе представлен способ увеличения термической стойкости дроби гидроксида титана путем создания титановой наноболочки на его поверхности методом ионно-плазменного вакуумного магнетронного напыления. На сегодняшний день наиболее универсальным и перспективным методом получения всего спектра покрытий (от традиционных металлических до многофазных нанокompозитных покрытий) признается именно метод магнетронного распыления. В данном методе удачно сочетаются технологические факторы, способствующие получению плотных микро- и нанокристаллических структур, которые обеспечивают экстраординарные свойства покрытий.

Для нанесения наноболочки титана на дробь гидроксида титана использовали вакуумную установку нанесения многофункциональных нанокompозитных покрытий QVADRA 500, расположенную в Центре высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова (г. Белгород). Установка QVADRA 500 работает по типу квадрупольного магнетронного распыления. Вокруг карусельного устройства магнетроны квадрупольной системы равномерно распределены, в отличие от дуальной схемы. В процессе нанесения покрытия по всей траектории движения изделия это обеспечивает более высокую однородность плазмы. Это исключает наличие зон с малой степенью ионизации и плотностью потока атомов (рис. 1).



Рис. 1. Вакуумная установка нанесения многофункциональных нанокompозитных покрытий QVADRA 500



Потребляемая мощность установки в режиме нанесения покрытий – не более 30 кВт. Карусельное устройство планетарного вращения сателлитов – вокруг центральной оси карусели и вокруг своей оси. Размер мишеней – 380x80x6 мм.

На рис. 2 показана схема нанесения нанопокрyтия из титана на дробь гидрида титана.

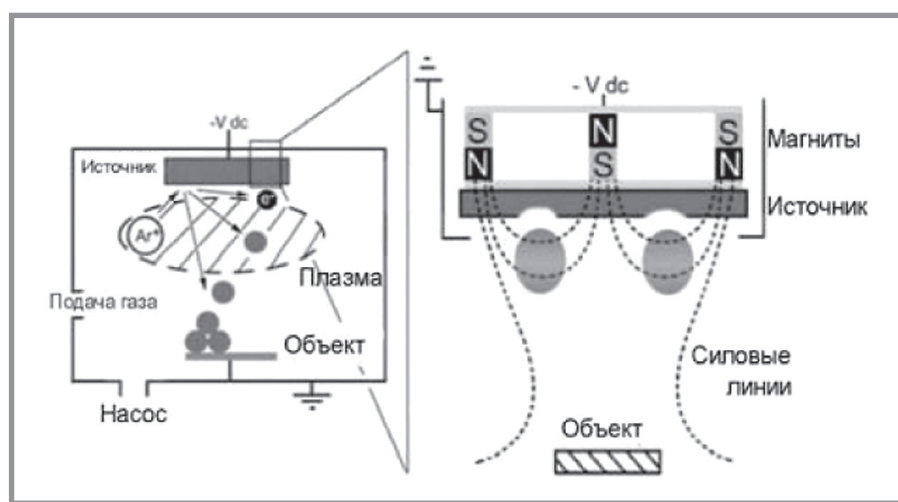


Рис. 2. Схема процесса нанесения покрытий методом магнетронного распыления (слева); схема несбалансированного магнетрона (справа)

В установке реализован один из наиболее эффективных на сегодняшний день методов нанесения металлических или реактивных покрытий. В центре вакуумной камеры расположен планетарный механизм, а по ее периметру установлены магнетронные источники плазмы.

На магнетрон устанавливалась мишень, изготовленная из титана. В вакуумную камеру помещаются образцы дроби гидрида титана. Камера с образцами откачивается до остаточного давления газов $9 \cdot 10^{-3}$ Па. Для предварительной очистки и активации поверхности дроби гидрида титана камера оснащается ионным источником и нагревательным элементом. При равномерном нагреве вращающихся деталей происходит испарение воды и углеводородных соединений и увеличение подвижности поверхностных атомов и молекул. Для очистки поверхности от оксидной пленки и других относительно термостабильных загрязнений проводится ее обработка выходящим из ионного источника пучком ионов с энергией 1–1,5 кэВ.



С помощью устройств автоматического газонапуска, имеющего обратную связь с прибором контроля вакуума, в камеру подается рабочий газ – аргон до давления $6 \cdot 10^{-2}$ Па. Включается вращение предметного стола, ионный источник выводится в режим травления: ускоряющее напряжение – 2200 В, ток – 110 мА, и проводится ионная очистка поверхности подложки в течение 10 мин.

Принцип действия ионного источника заключается в отборе ионов аргона из плазменного разряда, возбуждаемого между анодом и катодом в скрещенных электрическом и магнитном полях. Поток ионов аргона направляется на обрабатываемые частицы дроби гидрида титана и бомбардирует их поверхность, очищая от загрязнений. С поверхности частиц дроби гидрида титана удаляются микрозагрязнения, препятствующие образованию прочных связей поверхностных атомов подложки с осаждаемыми атомами покрытия. Причем предварительная обработка поверхности в вакууме значительно улучшает адгезию защитной пленки.

После окончания этого процесса с помощью устройств дозирующего газонапуска устанавливается постоянное натекание реакционных газов – азота с относительным парциальным давлением 0,22 Па. Включается магнетрон с параметрами работы – 500 В и 6 А. Расстояние от подложек до магнетрона было одинаковое – 70 мм, время напыления составило 30 мин, частота вращения предметного стола составляла 20 Гц.

Операцию остывания проводили в две стадии: первая – на потоке аргона – и вторая – на базовом вакууме. При остывании в вакууме уменьшается влияние негативных факторов – покрытие проходит частичную релаксацию (переходит в равновесное состояние), температура поверхности дроби гидрида титана с нанобоначкой уменьшается. После завершения операции остывания автоматически производится напуск в вакуумную камеру атмосферного воздуха и выгрузка дроби гидрида титана с титановой нанобоначкой из вакуумной камеры.

В ходе проведенных исследований были получены микрофотографии поверхности исходной дроби гидрида титана и модифицированной титановой оболочкой с различным увеличением. На рис. 3 представлены микрофотографии образца дроби гидрида титана без защитного покрытия и с защитной оболочкой из титана.



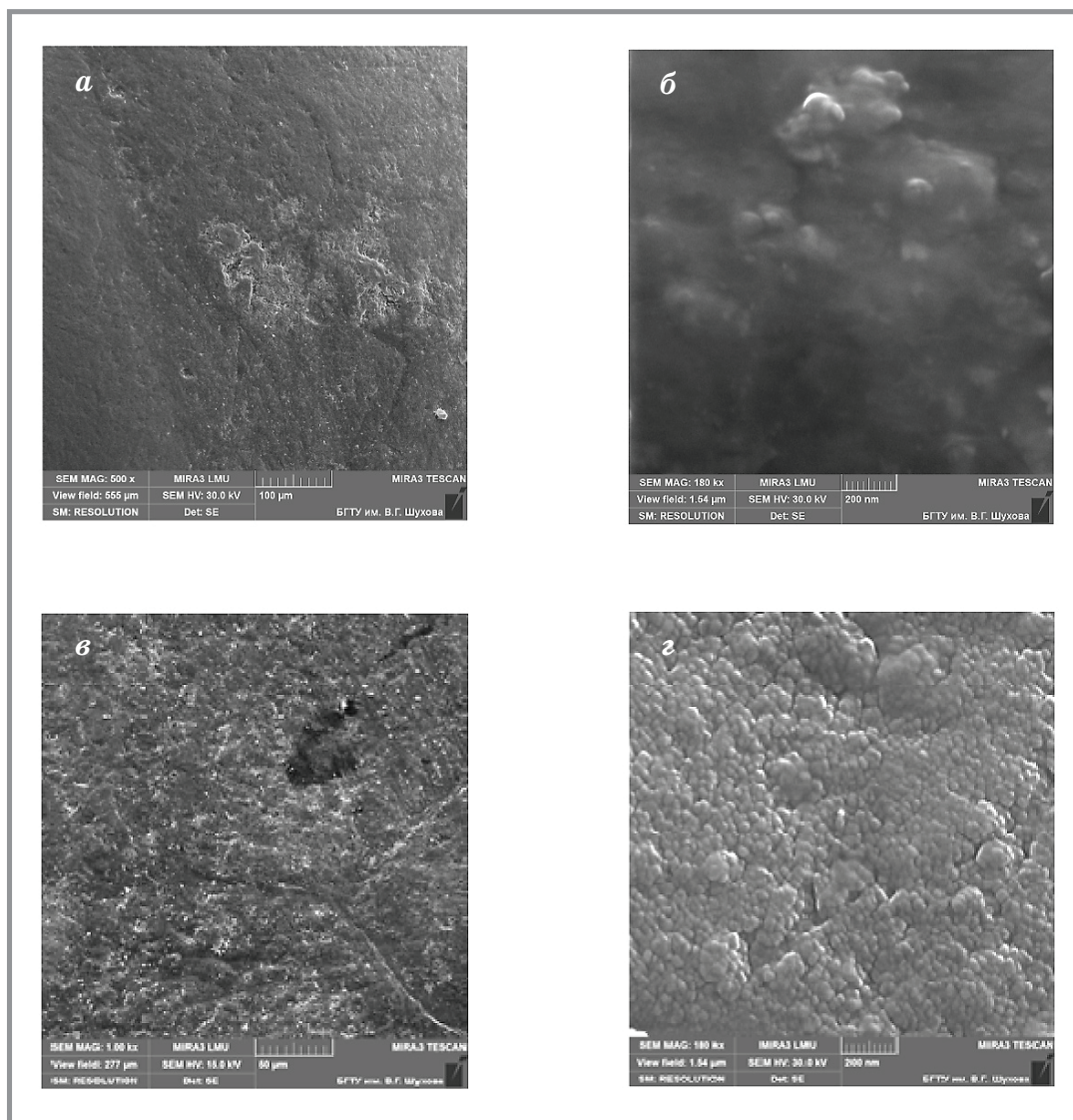


Рис. 3. Микроструктура поверхности дробы гидрида титана:
 а, б – исходного; в, г – с титановой оболочкой;
 а, в – увеличение в 1000 раз; б, г – увеличение в 18 000 раз

Анализ микрофотографий поверхности исходной дробы гидрида титана (рис. 3) показал, что микроструктура его поверхности ровная, гладкая, также анализ микроструктуры поверхности материала показал наличие небольшой пористости, неровностей, преимущественно впадин, а также неглубоких продольных трещин. Наличие у дробы гидрида титана оксидной плёнки препятствует свободному высвобождению водорода, а также немного заполняет микротрещины на поверхности.

Трещины на поверхности объясняются напряжениями, вызванными из-за различных удельных объемов титана и гидрида. При термообработке поверхности дроби гидрида титана микротрещины будут увеличиваться, и через них будет происходить активное выделение водорода. Анализ микрофотографий поверхности дроби гидрида титана, модифицированной титаном, показал, что микроструктура его поверхности более шероховатая, чем у образца дроби гидрида титана без нанесения оболочки. Поверхность имеет зернистую структуру с размерами зерен 25–50 нм.

Так же, как и на поверхности дроби гидрида титана, трещины на поверхности гидрида титана, модифицированной титаном, объясняются напряжениями, вызванными из-за различных удельных объемов титана и гидрида. Но на микрофотографии хорошо видно, что на поверхности модифицированной дроби отсутствуют микротрещины. Их заменили небольшие микроуглубления, нанесенное металлизированное покрытие в виде титана заполнило микротрещины, и вместо них образовались углубления. При термообработке поверхности дроби гидрида титана, модифицированной титаном, микротрещины не увеличиваются, так как в большей части отсутствуют или частично заполнены металлизированным покрытием. На микрофотографиях гидрида титана, модифицированного титаном, отчетливо видны так называемые «перья», указывающие на наличие на поверхности дроби гидрида титана защитного металлизированного покрытия.

Для определения толщины и структуры нанесенного титанового покрытия также был сделан скол модифицированной дроби гидрида титана. На рис. 4 представлены микрофотографии скола дроби гидрида титана с защитным металлизированным покрытием в виде титана. Толщина нанесенного металлического покрытия в виде титана практически одинакова по всей длине поверхности дроби и составляет ~ 275 нм (рис. 4). Граница раздела нанесенного металлического покрытия и дроби гидрида титана прослеживается на всем участке съемки. Нанесенное покрытие имеет однородную структуру, плотно прилегает к поверхности дроби.

Для определения термической устойчивости исходной дроби гидрида титана и дроби с нанесенной нанооболочкой из титана был проведен дифференциально-термический анализ обоих образцов. Спектры термодесорбции водорода из образцов исходной дроби гидрида титана и дроби



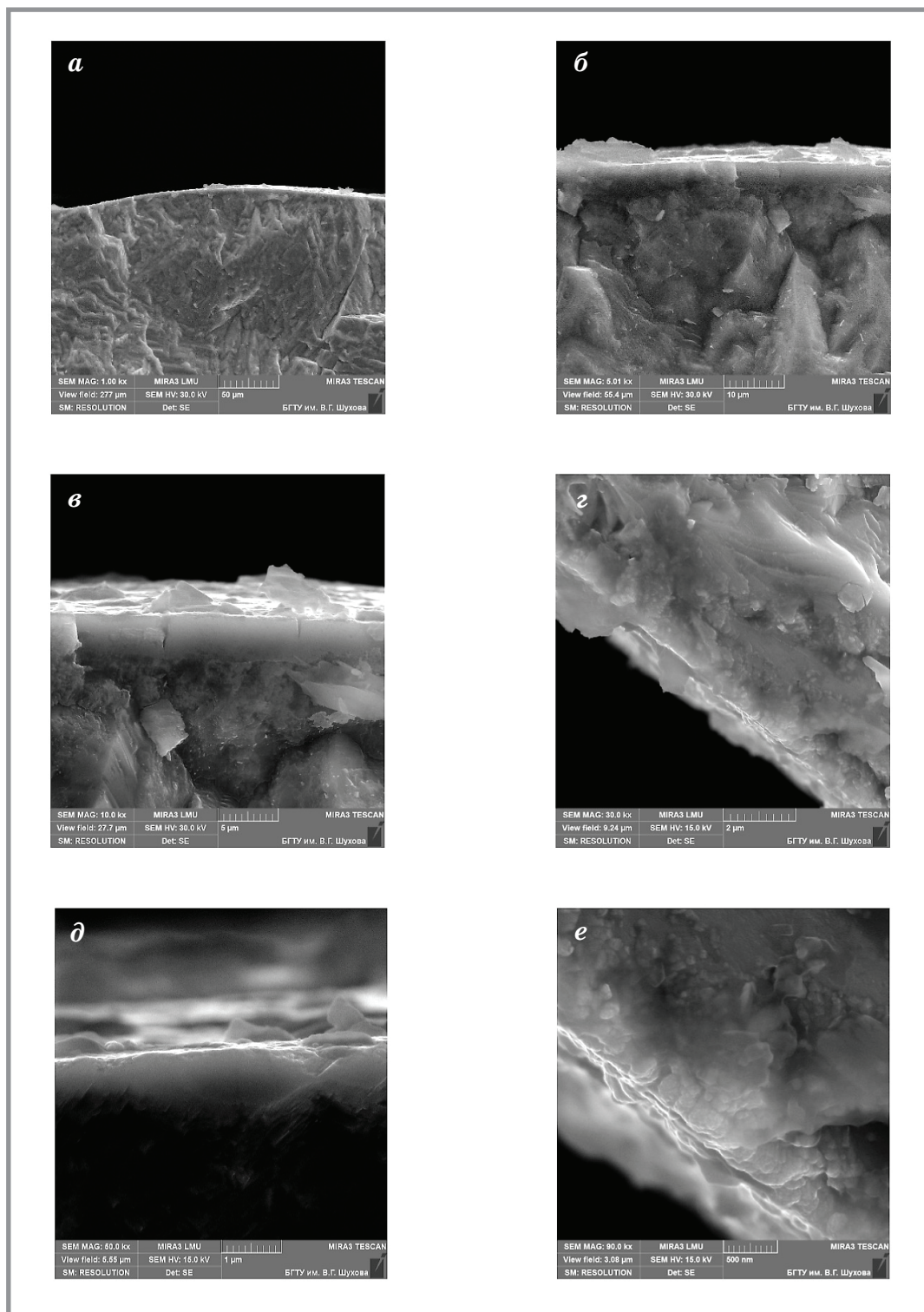


Рис. 4. Микрофотографии скола дроби гидроксида титана, модифицированной титаном:
 а – увеличение в 1000 раз; б – увеличение в 5000 раз; в – увеличение в 10 000 раз;
 г – увеличение в 30 000 раз; д – увеличение в 50 000 раз; е – увеличение в 90 000 раз

гидрида титана с напыленным титановым покрытием свидетельствуют о различной термической устойчивости сравниваемых материалов в интервале температур от 550 до 860°C. Анализ полученных спектров свидетельствует об эндотермическом эффекте разложения, наблюдаемом на спектрах термодесорбции обоих исследуемых материалов.

Начало процесса разложения исходной дроби гидрида титана соответствует температуре в 552°C, а окончание – в 875,3°C. Максимальная скорость разложения исходной дроби гидрида титана достигается при температуре 681,4°C. Эндотермический эффект для исходной дроби гидрида титана наблюдается при температуре выше 550°C, что связано с его разложением.

Установлено, что напыление на частицы дроби гидрида титана нанооболочки из титанового покрытия значительно повышает его температуру начала разложения. Так, начало разложения приходится на температуру в 695°C, а температура окончания разложения – более 1000°C. Пик термодесорбции водорода в дроби гидрида титана с напыленным титановым покрытием соответствует 799,3°C.

Заключение

Метод ионно-плазменного вакуумного магнетронного напыления позволяет создавать нанооболочки на поверхности дроби гидрида титана, в частности из титана. Нанесенная таким способом нанооболочка из титана позволяет увеличить термостойкость дроби гидрида титана – начало разложения приходится на температуру в 695°C, а температура окончания разложения – более 1000°C. Модифицированная таким способом дробь гидрида титана может использоваться в качестве наполнителя в радиационно-защитные материалы, используемые при строительстве или модернизации биологической защиты ядерных энергетических установок.

Работа выполнена при поддержке проектной части Государственного задания Минобрнауки РФ, проект № 11.2034.2014/К.



УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

**ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАТЕРИАЛА ДАННОЙ СТАТЬИ
ПРОСИМ ДЕЛАТЬ БИБЛИОГРАФИЧЕСКУЮ ССЫЛКУ НА НЕЁ:**

Павленко В.И., Черкашина Н.И., Ястребинский Р.Н. Создание нанооболочки на поверхности дроби гидроксида титана // Нанотехнологии в строительстве. – 2016. – Том 8, № 6. – С. 102–119. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-6-102-119](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-6-102-119).

DEAR COLLEAGUES!

THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:

Pavlenko V.I., Cherkashina N.I., Yastrebinsky R.N. Creating nanoshell on the surface of titanium hydride bead. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2016, Vol. 8, no. 6, pp. 102–119. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-6-102-119](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-6-102-119). (In Russian).

Библиографический список:

1. *Жиркова Е.О.* Атомная энергетика России на мировом рынке // Вестник Орловского государственного университета. Серия: Новые гуманитарные исследования. – 2010. – № 6 (14). – С. 272–275.
2. *Азаренков Н.А., Воеводин В.Н., Кириченко В.Г., Ковтун Г.П.* Наноструктурные материалы в ядерной энергетике // Вісник Харківського університету. – 2010. – № 887. – С. 4–24.
3. *Гусев Б.В., Фаликман В.Р., Лайстнер Ш. и др.* Отраслевое технологическое исследование «Развитие российского рынка нанотехнологических продуктов в строительной отрасли до 2020 года» // Нанотехнологии в строительстве. – 2013. – Том 5, № 1. – С. 6–17. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2013-5-1-6-17](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2013-5-1-6-17). (In Russian).
4. *Гусев Б.В., Фаликман В.Р., Лайстнер Ш. и др.* Отраслевое технологическое исследование «Развитие российского рынка нанотехнологических продуктов в строительной отрасли до 2020 года». Часть 2. Анализ мирового рынка // Нанотехнологии в строительстве. – 2013. – Том 5, № 2. – С. 6–20. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2013-5-2-6-20](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2013-5-2-6-20). (In Russian).



5. *Гусев Б.В., Фаликман В.Р., Лайстнер Ш. и др.* Отраслевое технологическое исследование «Развитие российского рынка нанотехнологических продуктов в строительной отрасли до 2020 года». Часть 3. Анализ российского рынка // Нанотехнологии в строительстве. – 2013. – Том 5, № 3. – С. 6–19. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2013-5-3-6-19. (In Russian).
6. *Иванов Л.А., Муминова С.Р.* Новые технические решения в области нанотехнологий. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. – 2016. – Том 8, № 2. – С. 52–70. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-2-52-70. (In Russian).
7. *Фаликман В.Р., Вайнер А.Я.* Фотокаталитические цементные композиты, содержащие мезо-пористые наночастицы диоксида титана // Нанотехнологии в строительстве. – 2014. – Том 6, № 1. – С. 14–26. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2014-6-1-14-26. (In Russian).
8. *Фаликман В.Р., Вайнер А.Я.* Новые высокоэффективные нанодобавки для фотокаталитических бетонов: синтез и исследование // Нанотехнологии в строительстве. – 2015. – Том 7, № 1. – С. 18–28. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-18-28. (In Russian).
9. *Фейнман Р.* Внизу полным полно места: приглашение в новый мир физики // Химия и жизнь. – 2002. – №.12. – С. 20–26.
10. Научная сессия Общего собрания РАН 19 XII 2002 г. // Вестник РАН. – 2003. – Т. 73, № 5. – С. 429–439.
11. *Андреевский Р.А., Рагуля А.В.* Наноструктурные материалы. – Москва: ИЦ «Академия», 2005. – 192 с.
12. *Поконова Ю.В.* Композиционный материал на основе сланцевых фенолов для закрепления радиоактивных отходов // Химия твердого топлива. – 2011. – № 2. – С. 45–47.
13. *Соколенко И.В.* Разработка радиационно-защитного композиционного материала космического назначения на основе стекломатрицы // Труды МАИ. – 2015. – № 79. – С. 18.
14. *Gulbin V.N., Kolpakov N.S., Gorkavenko V.V., Cherdyntsev V.V.* Development and research of radio and radiation-protective composite materials // Нанотехнологии: разработка, применение – XXI век. – 2015. – Т. 7, № 2. – С. 17–25.
15. *Машкович В.П., Кудрявцева А.В.* Защита от ионизирующих излучений. Справочник. – Москва: Изд. Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.
16. *Козлов В.Ф.* Справочник по радиационной безопасности. – Москва: Изд. Энергоатомиздат, 1991. – 352 с.
17. *Соколенко И.В.* Термостойкие полимерные композиционные материалы для нейтронной и гамма-защиты космических ядерных энергетических устано-



- вок // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 6-1 (25). – С. 70–71.
18. *Бондаренко Ю.М.* Композиционный материал на основе алюминиевой матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов – эффективный материал для формирования радиационно-защитных инженерных барьеров // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 1. – С. 30–34.
 19. *Куприева О.В.* Термодинамические расчеты термической диссоциации гидрида титана // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 5. – С. 161–163.
 20. *Pavlenko V.I., Edamenko O.D., Cherkashina N.I., Kuprieva O.V., Noskov A.V.* Study of the attenuation coefficients of photon and neutron beams passing through titanium hydride // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2015. – Т. 9, № 3. – С. 546–549.
 21. *Pavlenko V.I., Kuprieva O.V., Cherkashina N.I., Yastrebinskii R.N.* Defects in Modified Titanium Hydride Crystals Subjected to Heat Treatment // Russian Physics Journal. – 2015. – Vol. 58, Issue 5. – pp. 724–729.
 22. *Pavlenko V.I., Cherkashina N.I., Noskov A.V., Yastrebinski R.N.* Theoretical calculation of the average mileage of electrons of energies up to 10 MeV in polymer composite // Problems of Atomic Science and Technology. 2015. – Vol. 5 (99). – pp. 32–35.
 23. *Павленко В.И., Бондаренко Г.Г., Черкашина Н.И.* Разработка нейтронно-защитных полимерных композитов на основе тонкомолотого гидрида титана // Перспективные материалы. – 2016. – № 7. – С. 16–21.
 24. *Pavlenko V.I., Nartsev V.M., Kuprieva O.V., Pavlenko Z.V., Cherkashina N.I.* Study of thermal effects on the structure of thin-film borosilicate coatings by ellipsometry, and x-ray diffraction // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2015. – Т. 9. № 5. – С. 1022–1025.
 25. *Куприева О.В.* Изменения структурного состояния боросиликатного покрытия при нагреве // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 6-1 (25). – С. 14–15.

Контакты**e-mail: natalipv13@mail.ru**
Тел.: (4722) 55-16-62