

УДК 537.52:542.9:661.66

А. Ю. ТЕРЕХОВ, Н. И. КУСКОВА**ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА НАНОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА КАРБИДА ТИТАНА**

Проведено експериментальні дослідження умов формування СВС в системах порошків: «титан + графіт», «титан + УНМ». Використання в порошкових сумішах екзотермічної добавки – політетрафторетилену призводить до збільшення швидкості СВС процесів. Експериментально визначені основні параметри процесу СВС порошкової системи «титан + УПМ»: температура запалювання; лінійна швидкість горіння; ширина зони прогріву; довжина хвилі і швидкість нагрівання речовини в хвилі.

Ключові слова: самопоширюваний високотемпературний синтез, електророзрядна обробка, титан, політетрафторетилен, вуглецеві наноматеріали.

Для реализации самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) нанопорошков карбида титана использованы углеродные наноматериалы (УНМ), синтезированные методом электроразрядной обработки углеводородов. Использование в порошковых смесях экзотермической добавки – политetraфторэтилена приводит к увеличению скорости СВС-процессов. Экспериментально определены основные параметры процесса СВС карбида титана – температура зажигания; линейная скорость горения; ширина зоны прогрева; длина волны и скорость нагревания вещества в волне. Результаты рентгенофазового анализа показали, что большая часть исходных порошков вступила в СВС-реакцию с образованием нанопорошков карбида титана.

Ключевые слова: самораспространяющийся высокотемпературный синтез, волна горения, разрядноимпульсное иницирование, карбид титана, термограмма горения.

Experimental investigations of formation conditions in SHS powders systems: "titanium + graphite", "titanium + CNM" were conducted. The use in powder mixtures of exothermic additive – polytetrafluoroethylene lead to speed increase of SHS processes. The main parameters of SHS in the powder system "titanium + CNM": ignition temperature; linear burn rate; the width of the heating zone; wave's length and rate of material's heating in the wave were experimentally determined.

Keywords: self-propagating high-temperature synthesis, electric discharge treatment, titanium, polytetrafluoroethylene, carbon nanomaterials.

Введение. Широкое применение для получения ценных в практическом отношении композитов и карбидов металлов [1,2] нашел самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). СВС-метод основан на химических реакциях, протекающих внутри узкой высокотемпературной зоны (от 1000 до 4000 К), которая распространяется в исходной системе порошков, состоящей из мелкодисперсной фракции окислителя и восстановителя [3]. Изучение закономерностей СВС и разработка методов управления синтезом продукта являются основными задачами исследования.

Технологические достоинства СВС заложены в самом принципе – использование быстро выделяющегося тепла химических реакций вместо нагрева вещества от внешнего источника, поэтому многие СВС-процессы даже в простейшем варианте успешно конкурируют с традиционными энергоемкими технологиями. Однако по мере развития метода и технологий СВС к ним предъявляются все более сложные требования с целью получения максимального эффекта.

Малые времена синтеза (0,05 - 1 сек) и высокие скорости нагревания вещества в волне (до миллиона градусов в секунду) говорят о том, что СВС следует отнести к категории экстремальных химических процессов. Такие темпы нагревания конденсированного вещества в миллиметровых слоях с помощью внешних источников энергии осуществить трудно. Экспериментально установлено, что СВС относится к трудно инициируемым процессам горения. Температура и энергия зажигания этих систем превосходят таковые

для известных конденсированных взрывчатых веществ и порохов [4-6].

Основные физико-химические процессы СВС протекают на фронте и в протяженной пространственной зоне за фронтом волны горения. Измерение температуры позволяет исследовать тепловую структуру волны и направлено на физико-химическую классификацию процесса СВС. Визуализация (фотографирование) процесса горения и последующая обработка информации поставляет данные о стадийности и механизме распространения волны.

Анализ предварительных исследований и литературы. Известно, что метод СВС является энергосберегающим и высокопроизводительным способом получения качественного порошка карбида титана. При использовании в твердых сплавах порошка карбида титана с ультрадисперсной и нанокристаллической структурой существенно увеличиваются твердость, прочность и вязкость сплава [7].

Традиционная технология СВС карбида титана основана на нефильтрационном сжигании шихты - исходной смеси порошков титана и сажи - в насыпном виде или в виде прессованных брикетов (таблеток) в замкнутом реакторе, в результате чего происходит значительный рост давления в реакторе и получается сильно спеченная прочная масса карбида титана. Такой спек продукта горения трудно поддается дроблению и размолу в порошок, особенно в порошок высокой дисперсности.

Размер частиц в продуктах СВС составляет обычно от 1 до 5 мкм, поэтому предполагалось, что получить этим методом вещества в нанокристаллическом состоянии нельзя. В 2002 г. было предложено осуществлять синтез нанопорошков карбида титана в результате использования инертного разбавителя, предотвращающего рост образующихся частиц карбида вследствие образования тонкого слоя расплава соли. Синтезированный с использованием в качестве разбавителя NaCl (при оптимальном содержании массовой доли ~ 30 %) порошок карбида имеет средний размер частиц ~ 100 нм. Недостатком метода является необходимость отмывания NaCl [4,5].

Для получения высокодисперсного порошка карбида титана применяют способ получения тугоплавких соединений на основе процесса СВС с фильтрацией газов и использованием гранулированной шихты [8]. Это позволяет значительно снизить давление в реакторе, сделать процесс СВС более безопасным и получить высокопористый слабоспеченный продукт, который легко размалывается в микropорошок. Кроме того, для увеличения дисперсности синтезируемого порошка карбида титана до наноразмерного используют различные специальные добавки в шихту, которые бы предотвращали рост синтезируемых карбидных частиц [9].

В настоящее время в области СВС ведутся перспективные работы по синтезу нанопорошков и наноматериалов. Целенаправленный поиск новых СВС-систем, изучение механизма и закономерностей их горения и условий синтеза металлоуглеродных наноматериалов составляют перспективу развития метода СВС и разработки новых эффективных технологических процессов [10].

Целью работы является получение параметров, характеризующих процесс СВС нанопорошка карбида титана в системе «титан + углеродный наноматериал».

Методика проведения эксперимента. Образцы для экспериментов готовили из смеси порошков с мольным отношением реагентов, соответствующим стехиометрическому уравнению химической реакции



Порошок углеродного наноматериала (УНМ) был получен методом высоковольтной электроразрядной обработки углеводородных жидкостей (в данном случае керосина ТС-1) [11,12].

Проводили предсинтезную обработку порошковых реагентов экзотермической смеси – измельчение компонентов и просеивание мелкой фракции, что позволяет получать систему с частицами необходимого размера. Капсулу, заполненную смесью порошков, располагали в технологическом узле, после чего к торцу образца подвели иницирующую проволоку, предварительно закрепленную в токоведущих электродах. Для нагрева экзотермической смеси была выбрана вольфрамовая проволока радиусом 0,3 мм.

Иницирование волны горения (локальный нагрев экзотермической смеси кратковременным импульсом тока, текущего по проволоке) реализовано разрядным импульсом тока. Для разрядноимпульсно-

го иницирования СВС был разработан соответствующий электроразрядный контур (рис. 1).

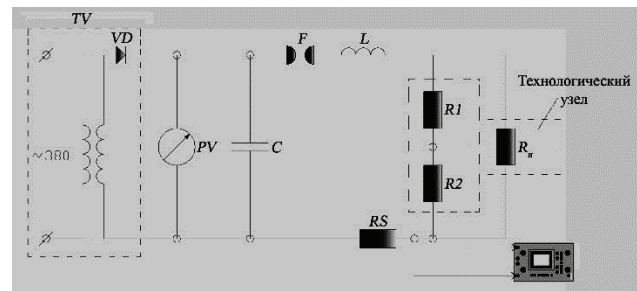


Рисунок 1 – Электроразрядный контур для иницирования СВС: *TV* – высоковольтный трансформатор с выпрямителем *VD*; *PV* – киловольтметр; *C* – батарея конденсаторов; *F* – управляемый воздушный разрядник; *L* – катушка индуктивности; *RS* – измерительный шунт; *R1, R2* – делитель напряжения; *R_n* – иницирующая проволока

Установка включает технологический узел в виде прямоугольной камеры, выполненной из оргстекла, позволяющий упростить процесс видеорегистрации процесса СВС и обеспечить измерение скорости волны и профилей температуры в результате использования двух термопар, а также электроразрядный контур в металлическом корпусе, в котором для коммутации разрядных импульсов тока использован тиристор.

Для измерения температуры на фронте волны горения использованы термопары вольфрам-рениевые (ТВР) А1 диаметром 450 мкм, для установки которых в камере и капсуле с образцом просверливали отверстия глубиной ~2 мм и диаметром 1 мм. Следует отметить, что погрешность высокотемпературных измерений с помощью термопар ТВР А1 в волне СВС составляет от 10 до 50 К [13].

Для исследования температуры и скорости распространения фронта горения, а также динамики волны СВС использовали лабораторную установку, представленную на рис. 2.



Рисунок 2 – Технологический узел и электроразрядный контур в металлическом корпусе установки СВС

В связи с тем, что термопары ТВР А1 имеют малую величину термоэлектрической движущей силы (т.э.д.с.), сравнимую с уровнем помех на самом осциллографе, было решено усиливать сигналы перед непосредственной подачей на вход осциллографа. Для усиления сигналов применяли аналоговый прецизионный усилитель AD627.

Для калибровки датчика температуры использовали табличные данные для термопар ТВР А1 по

ДСТУ 2837-94 (ГОСТ 3044-94).

Камеру с образцом герметично закрывали и заполняли дистиллированной водой через подводящую трубку.

При помощи электроразрядного импульса иницирующая проволока нагревалась и поджигала экзотермическую смесь. В момент подачи разрядного импульса включали видеозапись процесса СВС на цифровой фотоаппарат Sony Cyber-shot DSC-H7 и осуществляли регистрацию усиленных сигналов с датчиков температуры (термопар) с помощью осциллографа Wittig Technologies W2012.

После окончания СВС- процесса камеру открывали, капсулу извлекали из ячейки, жидкость с содержащимися в ней СВС-продуктами сливали и фильтровали на вакуум-фильтровальной установке, а для продолжения эксперимента устанавливали следующий образец. Полезный продукт в виде порошка собирали с фильтра и просушивали.

Результаты измерения линейной скорости волны горения и температуры на фронте волны горения позволяют рассчитать следующие основные параметры, характеризующие процесс СВС – ширину зоны прогрева x_m , время реакции в волне t_p , время нагревания вещества в волне t_m и скорость нагревания вещества в волне W , используя расчетные формулы, указанные в [14],

$$x_m = \frac{\alpha}{u}, \quad (2)$$

$$t_m = \frac{x_m}{u}, \quad (3)$$

$$t_p = \frac{(L_e - x_m)}{u}, \quad (4)$$

$$W = \frac{(T_e - T_0)}{t_m}, \quad (5)$$

где α – коэффициент температуропроводности образца, $\text{м}^2/\text{с}$; u – линейная скорость волны горения, $\text{м}/\text{с}$; L_e – длина волны горения, м ; T_0 – начальная температура шихты, К ; T_e – максимальная температура горения на температурном профиле, К .

Результаты и обсуждение. Различают верхний и нижний концентрационный предел распространения волны горения. Нижний предел определяется минимальной концентрацией реагента, ниже которой количество теплоты, выделившееся в месте локального нагрева, недостаточно для протекания реакции во всем объеме. Верхний предел характеризуется максимальной концентрацией реагента, выше которой горение невозможно из-за его недостатка.

Для исследования пределов распространения волны горения использовали две порошковые системы «титан + графит» и «титан + УНМ». УНМ получали методом разрядноимпульсной обработки керосина ТС-1 [11, 12].

Для реализации процесса СВС карбида титана порошки с размером частиц менее 50 мкм были смешаны до однородного состояния. Эксперименты проводили при различном содержании углерода в исходной смеси (с избытком или недостатком).

При использовании введенной в иницирующей проводник мощности $0,1 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ волна горения образуется только в системе «титан + УНМ». Зажигание СВС в системе «титан + графит» реализовали при использовании экзотермической добавки – политетрафторэтилена $(-\text{C}_2\text{F}_4)_n$ 15 масс%.

На рис. 3 представлены зависимости средних скоростей горения указанных порошковых систем от молярного содержания углерода. Максимальные значения скорости горения достигаются при горении стехиометрических составов. Отклонение от стехиометрии в сторону уменьшения или увеличения содержания углерода в исходной смеси приводит к уменьшению скорости горения. При этом первый и второй пределы горения достигаются при одинаковой молярной концентрации углерода в исходных смесях.

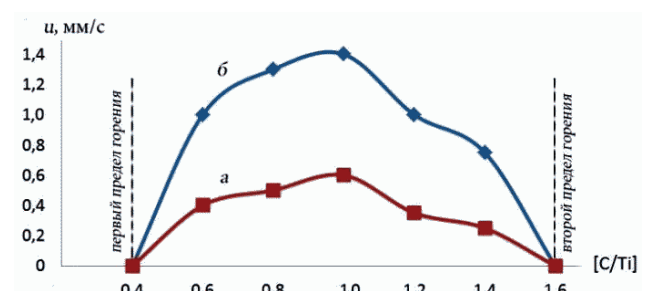


Рисунок 3 – Зависимость средней скорости волны горения от молярного отношения $[C]/[Ti]$ для смесей: а – графит+титан+ $(-\text{C}_2\text{F}_4)_n$, 15 масс%; б – УНМ+титан

Максимальная скорость волны горения смеси порошков титана, графита и политетрафторэтилена составляет $0,5 \text{ мм}/\text{с}$, а смеси титана с УНМ – $1,4 \text{ мм}/\text{с}$. При этом критические пределы горения практически совпадают.

Различие средних скоростей волны горения, очевидно, обусловлено более высокой реакционной способностью УНМ по сравнению с графитом.

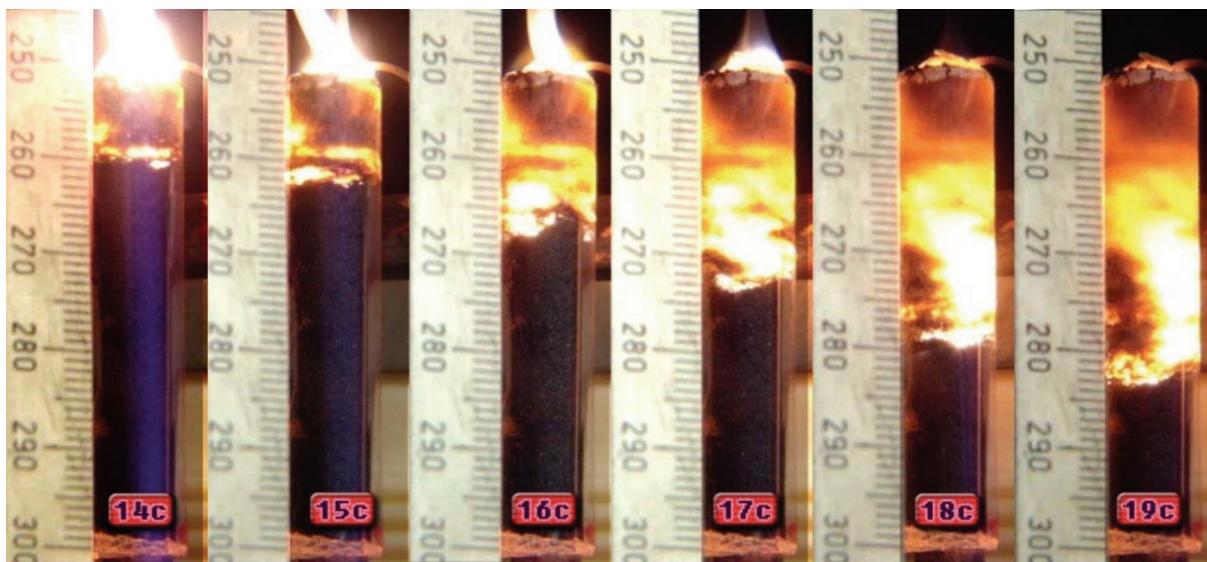
Таким образом, для увеличения скорости волны горения в качестве экзотермической добавки может быть использован политетрафторэтилен.

Для исследования параметров синтеза карбида титана были выбраны две системы: «титан + УНМ» и «титан + УНМ+ $(-\text{C}_2\text{F}_4)_n$ 15 масс%».

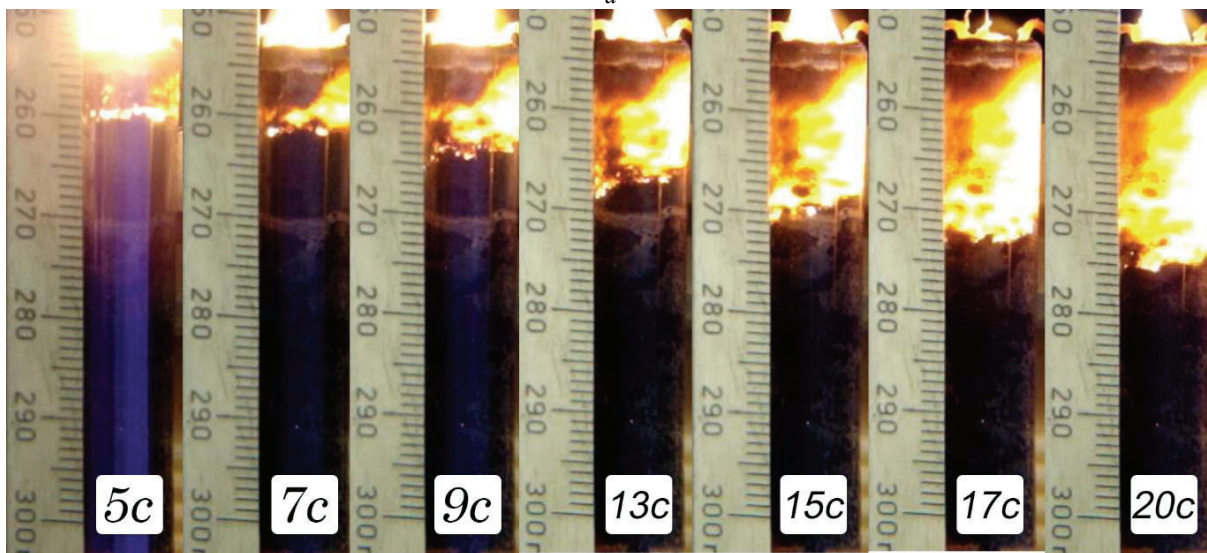
На рис. 4 показаны результаты кадровой иницированных СВС-процессов в указанных смесях порошков, помещенных в кварцевые капсулы с внутренним диаметром 3 мм и длиной 70 мм.

Полученные термограммы горения для указанных систем аналогичны. На рис. 5 представлена термограмма для системы «титан + УНМ». Температурный профиль волн горения в обеих системах имеет резкий подъем от начальной температуры T_0 до конечной $T_r \approx 3400 \text{ К}$.

На основании результатов визуализации волн горения и измерения температур в системах «титан + УНМ» и «титан + УНМ+ $(-\text{C}_2\text{F}_4)_n$ 15 масс%» были рассчитаны основные параметры, характеризующие процессы СВС карбида титана. Результаты обработки полученных экспериментальных данных и результаты расчетов по формулам (2) – (5) приведены в табл. 1.



а



б

Рисунок 4 – Фотографии процесса СВС в разные моменты времени в системах:
а – «титан + УНМ», б – «титан + УНМ+(-C₂F₄)_n15масс%»

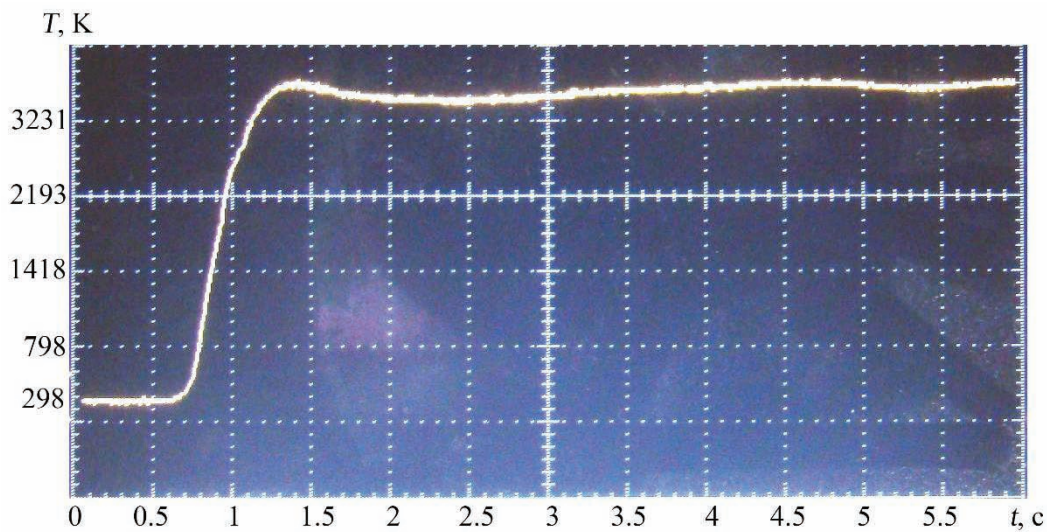


Рисунок 5 – Термограмма горения смеси «титан + УНМ»

Таблица 1 – Параметры процесса СВС

Система	Ti+УНМ	Ti+УНМ + (-C ₂ F ₄) _n 15масс%
Материал спирали	вольфрам	вольфрам
Диаметр образца $d_{обр}$, мм	6	6
Длина образца $l_{обр}$, мм	40	40
Температура зажигания T_3 , К	1400	1400
Температура горения T_r , К	3400	3400
Длительность процесса $t_{пр}$, с	26,7	6,7
Линейная скорость горения u , мм/с	1,5	6,0
Ширина зоны прогрева $x_{пр}$, мм	1,01	0,23
Общая длина волны L_w , мм	1,3	4,2
Время реакции в волне t_D , с	0,19	0,67
Время нагревания вещества в волне t_m , с	0,67	0,038
Скорость нагревания вещества в волне W , К/с	$4 \cdot 10^3$	$7,2 \cdot 10^4$

Линейная скорость горения системы «титан+УНМ» составляет 1,5 мм/с, ширина зоны прогрева – 1 мм.

Температуры зажигания и горения обеих смесей одинаковые – 1400 и 3400 К, соответственно. Адиабатическая температура горения приблизительно равна температуре плавления продукта (температура плавления карбида титана 3413 К) и превышает температуру плавления титана. Таким образом, в волне горения процесс реагирования идет через растворение углерода в расплаве металла с кристаллизацией фазы карбида из расплава.

В СВС-системе, содержащей экзотермическую добавку – политетрафторэтилен, ширина зоны прогрева уменьшается, а скорость фронта горения увеличивается в 4 раза вследствие значительного роста скорости нагревания вещества в волне.

Результаты рентгенофазового анализа показали, что исходные порошки вступили в СВС-реакции с образованием нанопорошка карбида титана. Таким образом, для получения наноразмерных карбидов целесообразно использовать порошки УНМ, синтезированные методом электроразрядной обработки углеводородов.

Выводы. Проведены экспериментальные исследования условий формирования СВС в системах порошков: «титан + графит», «титан + УНМ». Использование в порошковых смесях экзотермической добавки – политетрафторэтилена 15масс% приводит к увеличению скорости СВС- процессов.

Экспериментально определены основные параметры процесса СВС порошковой системы «титан+УНМ» – температура зажигания; линейная скорость горения; ширина зоны прогрева; длина волны и скорость нагревания вещества в волне.

Для получения наноразмерных карбидов целесообразно использовать порошки УНМ, синтезированные методом электроразрядной обработки углеводородов.

Список литературы

1. Garret W. Die castable aluminum metal matrix compos-

ites by self-propagating high-temperature synthesis / W. Garret, J. Nuechterlein, I. Jo, A. Munitz, M. J. Kaufman, J. J. Moore // Society of Die Casting Engineers. – 2012. – Vol. 55. – P. 71-78.

2. Garret W. Control of self-propagating high-temperature synthesis derived aluminum-titanium carbide metal matrix composites: PhD thesis / W. Garret // Colorado School of Mines Researches. – Golden: Colorado School of Mines, 2012. – P. 160-170.

3. Bystrzejewski M. Self-sustaining high-temperature synthesis of carbon-encapsulated magnetic nanoparticles from organic and inorganic metal precursors / M. Bystrzejewski, M. Szala, W. Kicinski, W. Kaszuwara, M.H. Rummeli, T. Gemming, A. Huczko // New Carbon Materials. – 2010. – Vol. 25, № 2. – P. 81-88.

4. Мержанов А.Г. Процессы горения и взрыва в физикохимии и технологии неорганических материалов / А.Г. Мержанов // Успехи химии. – 2003. – Т. 72, № 4. – С. 323-412.

5. Ремпель А.А. Нанотехнологии, свойства и применение наноструктурированных материалов / А.А. Ремпель // Успехи химии. – 2007. – Т. 76, № 5. – С. 474-499.

6. Wang T. Activation energy of self-heating process studied by DSC / T. Wang, R. Y. Liu, M. L. Zhu, J. S. Zhang // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2002. – Vol. 70. – P. 507-519.

7. Nuechterlein J. Production of ceramic nanoparticles through self-propagating high-temperature synthesis (SHS) and their introduction into a metallic matrix to form metal matrix composites (MMC) / J. Nuechterlein // Colorado School of Mines Researches. – Golden: Colorado School of Mines, 2013. – P. 76.

8. Самборук А.А. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез микро- и нанопорошков карбида титана из гранулированной шихты: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: спец. 01.04.17 «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества» / А.А. Самборук. – Самара, 2012. – 19 с.

9. Баринов В.Ю. Горение СВС-составов в условиях квазистатического сжатия: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук: спец. 01.04.17 «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества» / В.Ю. Баринов. – Черноголовка, 2013. – 17 с.

10. Амосов А. П. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: Учеб. пособие / А. П. Амосов, И. П. Боровинская, А. Г. Мержанов; под научной редакцией В. Н. Анциферова. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 471 с.

11. Кускова Н.И. Получение углеродных наноматериалов в процессе обработки органических жидкостей / Н.И.Кускова, А.Н.Ющишина, А.П.Малюшевская, П.Л.Цолин, Л.А.Петриченко, А.А.Смалько // Электронная обработка материалов. – 2010. – № 2. – С. 72-76.

12. Патент на винахід № 100467 Україна, МПК (2012.01) C01B 31/06. Спосіб переробки органічних розчинників або їх відходів / О.І.Вовченко, Н.І. Кускова, С.В. Петриченко, Л.З.Богуславський; заявник і патентовласник Ін-т імпульсних процесів і технологій НАН України. – № а 2011 08413; заявл. 04.07.11; опубл. 25.12.12, Бюл. № 24. – 4 с.: ил.

13. Рогачев А. С. Горение для синтеза материалов: введение в структурную макрокинетику / А. С. Рогачев, А. С. Мукасян. – М.: Физматлит, 2012. – 400 с.

14. Wang T. Activation energy of self-heating process studied by DSC / T. Wang, R. Y. Liu, M. L. Zhu, J. S. Zhang // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2002. – Vol. 70. – P. 507-519.

References (transliterated)

1. Garret W., Nuechterlein J., Munitz I. Jo, A., Kaufman

M. J., Moore J. J. Die castable aluminum metal matrix composites by self-propagating high-temperature synthesis. Society of Die Casting Engineers, 2012, vol. 55, pp. 71-78.

2. Garret W. Control of self-propagating high-temperature synthesis derived aluminum-titanium carbide metal matrix composites: PhD thesis. Colorado School of Mines Researches, Golden: Colorado School of Mines, 2012, pp. 160-170.

3. Bystrzejewski M., Szala M., Kicinski W., Kaszuwara W., Rummeli M.H., Gemming T., Huczko A. Self-sustaining high-temperature synthesis of carbon-encapsulated magnetic nanoparticles from organic and inorganic metal precursors. New Carbon Materials, 2010, vol. 25, No 2, pp. 81-88.

4. Merzhanov A.G. Processy gorenija i vzryva v fiziko-himii i tehnologii neorganicheskikh materialov. Uspehi himii, 2003, vol. 72, No 4, pp. 323-412.

5. Rempel' A.A. Nanotehnologii, svojstva i primenenie nanostrukturirovannykh materialov. Uspehi himii, 2007, vol. 76, No 5, pp. 474-499.

6. Wang T., Liu R. Y., Zhu M. L., Zhang J. S. Activation energy of self-heating process studied by DSC. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2002, vol. 70, pp. 507-519.

7. Nuechterlein J. Production of ceramic nanoparticles through self-propagating high-temperature synthesis (SHS) and their introduction into a metallic matrix to form metal matrix composites (MMC). Colorado School of Mines Researches, Golden: Colorado School of Mines, 2013, p. 76.

8. Samboruk A.A. Samorasprostranyayuschijysya vysokotemperaturnyj sintez mikro- i nanoporoshkov karbida titana iz granulirovannoj shihty: avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. tehn. nauk: spec. 01.04.17 "Himicheskaya fizika, gorenje i vzryv, fizika ekstremal'nyh sostojanij veschestva". Samara,

2012, 19 p.

9. Barinov V.Yu. Gorenje SVS-sostavov v usloviyah kvazistaticheskogo szhatiya: avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. fiz.-mat. nauk: spec. 01.04.17 "Himicheskaya fizika, gorenje i vzryv, fizika ekstremal'nyh sostojanij veschestva". Chernogolovka, 2013, 17 p.

10. Amosov A. P., Borovinskaya I. P., Merzhanov A. G. Poroshkovaya tehnologiya samorasprostranyayuschegosya vysokotemperaturnogo sinteza materialov: Ucheb. posobie. Pod nauchnoj redakciej V. N. Anciferova. Moscow: Mashinostroenie-1, 2007, 471 p.

11. Kuskova N.I., Yuschishina A.N., Malyushevskaya A.P., Colin P.L., Petrichenko L.A., Smal'ko A.A. Poluchenie uglerodnyh nanomaterialov v processe obrabotki organicheskikh zhidkostej. Elektronnaya obrabotka materialov, 2010, No 2, pp. 72-76.

12. Patent na vynakhid No 100467 Ukrayina, MPK (2012.01) S01V 31/06. Sposib pererobky orhanichnykh rozchynnykiv abo yikh vidkhodiv. O.I.Vovchenko, N.I. Kuskova, S.V. Petrychenko, L.Z.Bohuslavs'kyj; zayavnyk i patentovlasnyk In-t impul'snykh procesiv i tekhnolohij NAN Ukrayiny. – No a 2011 08413; zayavl. 04.07.11; opubl. 25.12.12, Byul. No 24. 4 p.

13. Rogachev A. S., Mukas'yan A. S. Gorenje dlya sinteza materialov: vvedenie v strukturnuyu makrokinetiku. Moscow: Fizmatlit, 2012, 400 p.

14. Wang T., Liu R. Y., Zhu M. L., Zhang J. S. Activation energy of self-heating process studied by DSC. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2002, vol. 70, pp. 507-519.

Поступила (received) 19.04.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Параметри процесу самопоширюваного високотемпературного синтезу нанодисперсного порошку карбиду титана / А. Ю. Терехов, Н. И. Кускова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 36 (1208). – С. 85-90. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-0740.

Параметры процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза нанодисперсного порошка карбида титана / А. Ю. Терехов, Н. И. Кускова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 36 (1208). – С. 85-90. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-0740.

Pulse discharge initiation of self-propagating high-temperature synthesis processes in some powder systems / A. J. Terehov, N. I. Kuskova // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016. – № 36 (1208). – С. 85-90. – Bibliogr.: 14. – ISSN 2079-0740.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Терехов Анатолій Юрійович, – аспірант; Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України (ІПТ НАНУ), Миколаїв, тел.: (093) 764-76-06; email: iiptnan@gmail.com.

Терехов Анатолій Юрьевич, – аспірант; Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України (ИИПТ НАНУ), Николаев, тел.: (093) 764-76-06; email: iiptnan@gmail.com.

Terehov Anatoliy Jurievich – Postgraduate Student; Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Mykolayiv, tel.: (093) 764-76-06; email: iiptnan@gmail.com..

Кускова Наталія Іванівна – доктор технічних наук, професор, зав. відділом електрофізичних досліджень Інституту імпульсних процесів і технологій НАН України (ІПТ НАНУ), Миколаїв, тел.: (050) 737-94-52; email: nataljakuskova@mail.ru.

Кускова Наталья Ивановна – доктор технічних наук, професор, зав. відділом електрофізических досліджень Інституту імпульсних процесів і технологій НАН України (ИИПТ НАНУ), Николаев, тел.: (050) 737-94-52; email: nataljakuskova@mail.ru.

Kuskova Natalya Ivanovna – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Electrophysical Researches of the Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Mykolayiv, tel.: (050) 737-94-52; email: nataljakuskova@mail.ru.