

однозначный вывод о возможности использования того или иного вида ДНА в конкретных технологиях применения. Для более полной сертификации необходимо разработать дополнительные методы анализа и использовать их в совокупности с существующими.

2. Среди исследованных образцов ДНА наилучшим комплексом свойств обладают ДНА-МО, полученные в среде водного раствора мочевины.

Авторы выражают благодарность за помощь в исследованиях сотрудникам лаборатории 7/10 ИСМ Г. Д. Ильницкой, Г. Г. Цапюк, Г. А. Базалий, Г. Г. Пюре.

### Литература

1. ТУ У 26.8-05417377-177:2007. Порошки алмазные ультрадисперсные. Технические условия. – К.: Укрметртестстандарт, 2007.
2. Физико-химические свойства новых марок алмазных нанопорошков детонационного синтеза. Н. В. Новиков, Г. П. Богатырева, М. А. Маринич и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2009. – Вып. 12. – С. 305-311.
3. Physicochemical properties of different grades of detonation-synthesized nanodiamonds. G. P. Bogatyreva, M. A. Marinich, G. A. Bazaliy, A. N. Panova // Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Intern. Sympos. "Detonation Nanodiamonds: Technology, Properties and Applications", 1–4 July, 2008. – St.Petersburg, 2008. – P. 137-142.
4. ТУ У 26.8-05417377-178:2007. Порошки алмазные поликристаллические наноструктурные. Технические условия. – К.: Укрметртестстандарт. – 2007.
5. ТУ У 26.8-05417377-179:2007. Суспензии водные алмазные ультрадисперсные. Технические условия. – К.: Укрметртестстандарт. – 2007.
6. Получение элитных марок алмазных порошков субмикрон- и нанодиапазона. Г. П. Богатырева, М. А. Маринич, Г. А. Базилий, В. Л. Гвяздовская // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: Сб. науч. тр. / Отв. ред. Н. В. Новиков. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – С. 63-71.

Поступила 22.04.10

УДК 621.921.343

**В. Ю. Долматов**, канд. хим. наук

ФГУП «СКТБ «Технолог», г. Санкт-Петербург, Россия

### О НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ МОЩНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЕТОНАЦИОННЫХ НАНОАЛМАЗОВ

*In the work technical and economical motivation of necessity of creation of large-scale manufacturing firm for detonation nanodiamonds (DND) (~10 tons/year) is presented. To reduce production costs the firm must be oriented to only manufacture of DND. As a basis of such manufacture a new method of obtaining of defect-free DND by means of blasting of explosive charge in the reducing medium must be assumed.*

В XXI веке нанотехнологии будут все сильнее воздействовать на экономическую и социальную жизнь человечества, что требует принятия соответствующих мер для расширения исследований и внедрения ранее разработанных в этой области технологий.

Нанотехнологии можно определить как набор технологий или методик, основанных на манипуляциях с отдельными атомами и молекулами (т. е. методик регулирования структуры и состава вещества) в масштабе 1–100 нм. Новые материалы обещают осуществить научно-техническую революцию в информационных технологиях, производстве конструкционных материалов, изготовлении фармацевтических препаратов, конструировании сверхточных устройств и т. д.

Классическим примером достижения нанотехнологий является открытие российскими учеными детонационных наноалмазов (ДНА) и технологии их получения: наносборка приблизительно шести нанометровых кристалликов ДНА осуществляется из «лишних» атомов углерода молекул взрывчатых веществ в нанометровой зоне химпика, идущего за фронтом детонационной волны при взрыве смеси тротила и гексогена [1]. Технология синтеза ДНА оказалась настолько успешной, что появилась возможность получать новый продукт в нанодисперсном состоянии в количестве, необходимом для реального промышленного производства.

Во ФГУП «СКТБ «Технолог» на базе новейших разработок создано современное производство ДНА мощностью около 0,5 т в год (рис. 1).

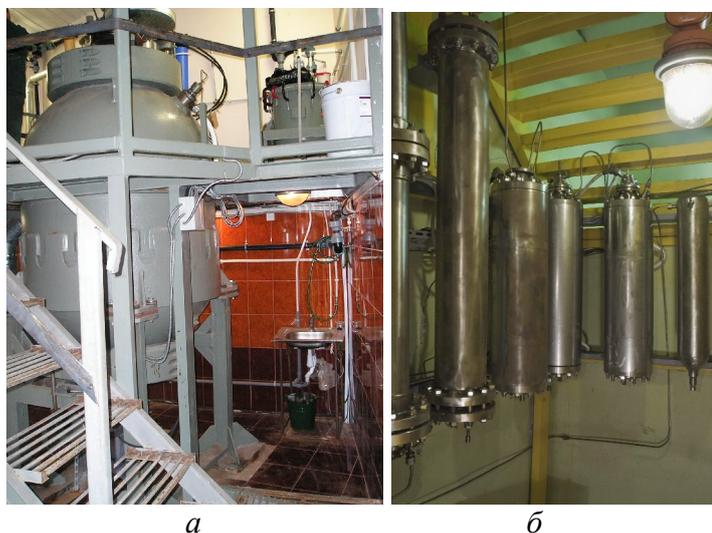


Рис. 1. Общий вид взрывной камеры «Альфа-2МП» с внутренним объемом 2 м<sup>3</sup> (а) (первая стадия - получение алмазосодержащей шихты) и реакторного блока для термоокислительной обработки АШ под давлением (б) (вторая стадия – химическая очистка)

Причем, расположение ФГУП «СКТБ «Технолог» в Санкт-Петербурге, дефицит производственных площадей и точек роста не позволяют осуществлять более мощное производство ДНА на данной технологической площадке.

Детонационные наноалмазы – перспективный наноуглеродный материал, который может использоваться в различных областях современных технологий [2]. В настоящее время ДНА широко применяются как составляющая полировальных композиций в области точной оптики и микро- наноэлектроники, что позволяет доводить неровность поверхностей до ангстремов. Несколько предприятий, используют ДНА для нанесения металл-алмазных гальванических покрытий с Cr, Ni, Ag, Au, Zn, Cu. Разрабатываются методики еще для нескольких металлов. Так, при композитном хромировании износостойкость по сравнению с обычным твердым хромированием сповышается в 2,5–5,7 раза, коррозионная устойчивость – в 2–2,5 раза при рабочих температуре инструмента до 1100 °С и толщине покрытия 0,5–200 микрон. Нанесение осуществляется на углеродистые, инструментальные, штамповые стали, чугун, медь и латунь. Данная технология уже используется для производства элементов насосного оборудования, в частности бурового и скважинного оборудования для нефтедобычи и других нагруженных систем, и имеет огромные перспективы использования практически в любом гальваническом производстве. Детонационные наноалмазы широко применяют в полимерных композициях

(термопластах, резинах, пленках, мембранах), в маслах и смазках; добавляют в «вечные» бетоны, лазеро-инициирующие ВВ, используют как прекурсоры для CVD, в спеках-компактах. Применение ДНА также перспективно в водородной энергетике, медицине и биологии.

Несмотря на достижения российских ученых и технологов в настоящий момент широкого производства ДНА в России не существует, хотя в 80-е годы прошлого века Россия была единственным в мире производителем ДНА. В то же время такие страны, как Китай, Беларусь, Чехия, наращивают производство ДНА, к созданию крупных промышленных производств ДНА приступают США, Япония, Иран, Турция.

В 2009 г. мировой объем потребления ДНА составил 8–10 т. Лимитирующими факторами развития рынка ДНА являются слишком большое разнообразие видов качества ДНА у производителей и высокая чувствительность технологий применения ДНА к постоянству качества ДНА. Кроме того, для широкого внедрения ДНА в промышленное производство необходимо снизить их стоимость за грамм с приблизительно 2,5 до 1–1,5 долл., т. е. до стоимости синтетических алмазов статического синтеза (обычного технического алмаза) (см. таблицу).

#### Себестоимость и стоимость ДНА в зависимости от объема единичного производства

Объем единичного производства, т	Себестоимость 1 кг ДНА, долл.	Стоимость 1 кг ДНА, долл.
до 1,0	1500	2500
до 5,0	1200	2000
до 10,0	800	1500
до 15,0	700	1400

Указанные проблемы будут решены в случае создания предприятия по производству ДНА уникального качества годовой мощностью не менее 10 т. Благодаря разработанным в «СКТБ «Технолог» новым технологиям, новому аппаратному оформлению, оптимизации трудозатрат и большой единичной мощности появилась возможность снизить себестоимость ДНА до порогового уровня и завоевать лидирующие позиции быстро развивающегося мирового рынка ДНА.

Также в «СКТБ «Технолог» разработана технология детонационного синтеза ДНА в водном растворе сильных восстановителей, дающая высокий выход и качество ДНА, малотоксичные и высокоэффективные технологии очистки и химической модификации ДНА.

Получаемые по новой технологии ДНА принципиально выгодно отличаются от существующих, ДНА, в частности имеют совершенную структуру алмаза, очень малое количество несгораемых примесей (<0,1 % масс.), увеличенный в 2 раза выход ДНА по сравнению с лучшим из известных вариантов их получения.

Целевые потребители продукции – предприятия электроники, электротехники и машиностроения, самолето- и судостроения; инструментальной, горнодобывающей, нефтегазовой, полимерной, атомной, текстильной, строительной, ювелирной отраслей промышленности, металлообработки, медицины и биологии.

В настоящий момент имеются многочисленные отечественные и зарубежные заказчики гальванических покрытий с ДНА (Cr, Ni, Au, Ag, Cu, Al), полимер-алмазных композиций (мембран для погружных нефтяных насосов, антифрикционных покрытий, шин и т. п.), масел, смазок и СОЖ, антиплесневых и биоцидных покрытий поверхностей домов, стен бетонных сооружений и т. д.

Продолжается работа с потенциальными покупателями продукции Работа из России, США, Японии, Южной Кореи, стран Скандинавии, Бенилюкса, Германией, Великобританией.

С учетом быстроразвивающегося рынка ДНА и продукции с использованием ДНА есть уверенность в успешной экспансии России на этот рынок и занятия на нем лидирующих позиций.

Главной задачей проекта является создание высокорентабельного и конкурентоспособного промышленного производства нанодисперсных алмазов высокого качества с широкой гаммой выпускных форм продукции.

Предпосылки для решения этой задачи таковы:

наличие надежной сырьевой базы в виде производств ВВ (тротил и гексоген);  
наличие апробированной передовой технологии получения высокочистых наноалмазов;  
наличие специалистов, способных реализовывать и развивать накопленный научно-технологический потенциал;

появление инвестиционных возможностей, позволяющих сосредоточить финансовые ресурсы на решении долгосрочных задач создания высококонкурентных развивающихся производств.

Коммерческий проект может успешно завершиться за 1,5–2 года лишь при создании изначально достаточно мощного производства ДНА (годовой мощностью не менее 10 т), требующего инвестиций около 15 млн. евро.

### Литература

1. Долматов В. Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза. – СПб: Изд-во СПбГПУ, 2003. – 344 с.
2. Долматов В. Ю. Детонационные наноалмазы: получение, свойства, применение // Успехи химии. – 2007. – 76, № 4. – С. 375–397.

Поступила 06.04.10

УДК 541.183

**И. В. Шугалей**, д-р.хим.наук; **З. В. Капитоненко**, канд.техн.наук; **А. А. Дрыгина**,  
**М. А. Илюшин**, д-р техн.наук; **А. П. Возняковский**; д-р хим.наук

*Санкт-Петербургский Государственный технологический институт (Технический университет), Россия*

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СИНТЕЗА ДЕТОНАЦИОННЫХ НАНОАЛМАЗОВ. 1. ВЫДЕЛЕНИЕ ИЗ ПРОДУКТОВ СИНТЕЗА

*The problems of wasted products of detonation nanodiamonds synthesis utilization are discussed. The corresponding process flowsheet is proposed*

Большинство разработок по созданию материалов нового поколения большей частью ориентировано на композиционные материалы. В этой связи увеличилось количество исследований, посвященных синтезу углеродных наноструктур и поиску областей их практического применения. Наиболее интенсивно изучаются такие аллотропные формы углерода, как фуллерены и нанотрубки.

Несколько в тени остались детонационные наноалмазы (ДНА), хотя их синтез был разработан гораздо раньше – в 70-х годах прошлого века.

Однако в последние годы повышается интерес к поиску областей применения этого вида нанодисперсных веществ. Конечно, такое изменение направления вектора исследований можно связать с тем, что ожидания, связанные с фуллеренами и нанотрубками, оправдались не в полной мере. Так, от ДНА ожидают возможность достижения сочетания свойств макроскопических алмазов со свойствами, обусловленными их высокой дисперсностью и методом получения.

Уже существуют технологии, в которых активно используются ДНА [1–8], в частности это технологии получения различных видов композиционных материалов, электрохимия.