

Письма в редакцию

УДК 546.26.057:662.237.3

В. Ю. Долматов^{1,*}, А. Vehanen², V. Myllymäki²

¹ФГУП “Специальное конструкторско-технологическое бюро “Технолог”, г. Санкт-Петербург, Россия

²Carbodeon Ltd. Оу, г. Вантаа, Финляндия

*diamondcentre@mail.ru

Влияние состава водной бронировки заряда из сплава тротила с гексогеном на выход и качество детонационного наноалмаза и алмазной шихты при детонационном синтезе

Приведены факторы детонационного синтеза, определяющие выход детонационных наноалмазов, алмазной шихты и их качество. Описано влияние такого важного фактора, как состав бронировки (оболочки) заряда взрывчатого вещества. Рассмотрены три различных варианта подрыва заряда взрывчатого вещества – газовый, водный, ледяной, их преимущества и недостатки. Показано влияние состава смесей водных растворов различных веществ (органических и неорганических) на результат детонационного синтеза.

Ключевые слова: детонационный синтез, бронировка, алмазная шихта, детонационные наноалмазы, смесь тротила и гексогена, уротропин, несгораемые примеси, взрывная камера.

ВВЕДЕНИЕ

Проведенные за последние 30 лет исследования детонационного синтеза наноалмазов позволили выявить зависимость выхода и качества детонационных наноалмазов (ДНА) и их полупродукта – алмазной шихты (АШ) – от следующих факторов [1, 2]:

- состава заряда;
- кислородного баланса (КБ);
- плотности заряда;
- бронировки (оболочки) заряда ВВ и ее состава;
- модификации заряда взрывчатого вещества (ВВ);
- формы заряда;
- состава и теплоемкости среды во взрывной камере (ВК);

© В. Ю. ДОЛМАТОВ, А. VEHANEN, V. MYLLYMÄKI, 2017

- мощности и места инициирования заряда ВВ;
- соотношения массы заряда и объема ВК;
- конструкции и материала стенок ВК.

В [3] определен оптимальный кислородный баланс для различных составов ВВ – –35–(–60) %, и оптимальная плотность зарядов – 1600–1700 кг/м³.

Собрать воедино все управляющие параметры процесса синтеза ДНА, выраженные в виде каких-либо простых и ясных зависимостей, пока не удастся. Прямой эксперимент для определения реального процесса образования наноалмазов за фронтом детонационной волны до сих пор является неразрешимой проблемой.

Однако, на основе собственных экспериментальных данных можно определить и рекомендовать такой важный фактор, как состав бронировки заряда ВВ.

Подрыв заряда ВВ осуществляют в трех вариантах:

- в среде собственных газообразных продуктов детонации (ПД) или в среде инертных газов (азот, аргон, углекислый газ) [4–6] с выходом АШ – 3–8 %¹, ДНА – 2–4 % и количестве ДНА в АШ – 25–40 % [7, 8].
- в водной бронировке (оболочке заряда) с выходом АШ – 6–12 %, ДНА – 3–6 % и количестве ДНА в АШ – 40–60 %.
- в ледяной бронировке заряда с выходом АШ 6–12 %, ДНА – 6–8 % и количестве ДНА в АШ – 45–63 %. [9].

Каждый из представленных способов имеет свои достоинства и недостатки.

В первом варианте к достоинствам можно отнести простоту способа, однако при этом выход АШ и ДНА низкий, воздействие ударной волны на стенки ВК – максимальное, а отсюда – максимальное количество несгораемых примесей (в основном оксиды металлов) в АШ и ДНА (продукты коррозии стенок ВК, кусочки проводов и капсуля – детонатора). Количество несгораемых примесей в АШ может достигать до 28 % (НПО “Алтай”, г. Бийск, РФ; Nanogroup Ltd., Чехия).

Во втором варианте (водная бронировка) – выход АШ и ДНА уже технологически и экономически приемлем, детонация происходит в более мягких условиях, чем в первом случае; вода, обладая высокой теплоемкостью, достаточно эффективно понижает температуру постдетонационных процессов. Однако количество несгораемых примесей еще достаточно велико – 6–8 %, что затрудняет химическую очистку АШ до ДНА, количество несгораемых примесей в ДНА – 1,5–2,0 %.

В третьем варианте (ледяная бронировка) достигается максимальный выход АШ и ДНА, но куски льда, разбрасываемые взрывной волной, наносят ущерб стенкам ВК, уменьшая ее ресурс, количество несгораемых примесей составляет 4–5 % в АШ и 1,2–1,5 % в ДНА.

Имеющиеся в литературе данные по выходу АШ и ДНА для одних и тех же зарядов ВВ существенно разнородны, и это служит почвой для преждевременных выводов о тех или иных преимуществах одних и тех же способов охлаждения ПД перед другими.

Современные данные [1, 2, 10] свидетельствуют о том, что выделение энергии ВВ детонационной волне затянато во времени и не завершается даже в плоскости Чепмена-Жуге. Некоторые исследователи определяют зону химической реакции как зону, в которой выделяется основная (~ 80 %) доля

¹ Здесь и далее выход материалов и количество примесей приведено в % (по массе).

энергии, ~ 20 % энергии выделяется за пределами этой зоны, а бронировка заряда позволяет задерживать разлет ПД и, тем самым, максимально завершить химические реакции в зоне химпика (зоне химических реакций), удерживать давление и температуру еще доли микросекунды, обеспечивая большее время для образования кристаллитов ДНА и увеличивая их количество. В то же время водная бронировка способствует быстрому отводу избыточного тепла взрыва, препятствуя графитизации ДНА и их окислению водой и CO_2 .

Эксперименты, приведенные в данной работе, показали, что наиболее простым способом увеличения выхода АШ и ДНА, а также уменьшения негорючих примесей является переход от чисто водной бронировки к бронировке из водных растворов различных веществ (органических и неорганических).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использованы составы ВВ – тротил и гексоген 50/50, полученные литьем или прессованием, вес заряда был 700 или 500 г соответственно. Бронировку готовили на основе дистиллированной воды. Соотношение массы заряда и бронировки – 1:10.

Подрыв проводили во взрывной камере “Альфа-2М” объемом 2,14 м³.

Полученную АШ тщательно промывали холодной дистиллированной водой (4 раза) и горячей водой (2 раза). Затем АШ обрабатывали 57 %-ной HNO_3 при температуре ~ 230 °С и давлении 80 атм. [11], затем отмывали от остатков кислоты дистиллированной водой.

Каждая экспериментальная точка – среднее из 5–20 параллельных опытов (подрывов).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В таблице приведено восемь бронировок различного состава (чистая H_2O , добавки: трилон Б (динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты), гидразин, аммиак, мочевины, уротропин, борная кислота, дигидрофосфат аммония). Отчетливо прослеживается их влияние на выход ДНА и АШ.

Наибольший выход ДНА и АШ наблюдали при использовании в качестве добавки в водную бронировку уротропина (эксперимент 7 – 18,2 и 13,7 % соответственно) и дигидрофосфата аммония (эксперимент 9 – 7,2 и 13,4 % соответственно).

Добавка уротропина (восстановителя) в водную бронировку способствует уменьшению окислительного воздействия агрессивных газов (H_2O и CO_2) на образовавшийся твердый углерод, подменяется мишенью атаки – уротропин значительно легче окисляется, чем ДНА и неалмазные формы углерода [12, 13]. Аммониевые соли также обладают выраженными восстановительными свойствами.

Как показали эксперименты, в условиях взрыва уротропин обладает ярко выраженными свойствами комплексона и основное количество примесей связывает в легкоудаляемые при промывке водой или химической очистке [11] соединения. Поэтому и количество примесей в АШ (и, соответственно, ДНА) аномально мало (эксперимент 6 и 7). Также мало количество негорючих примесей в АШ и ДНА при введении в бронировку борной кислоты, так как при нагревании в условиях взрыва борная кислота растворяет оксиды металлов, образуя растворимые соли.

Трилон Б очень хороший комплексон для большинства металлов, но с уже образовавшимися оксидами металлов в воде он практически не реагирует.

Отсюда – большое количество примесей в АШ (эксперимент 2) и небольшое их количество в ДНА, что говорит об эффективности метода очистки [11] (трилон Б активно реагирует с оксидами металлов в сильноокислой среде).

Состав водной бронировки заряда ВВ, выход ДНА и АШ, количество несгораемых примесей

№ эксперимента	Состав водной бронировки соединений, %	Выход АШ, %	Количество несгораемых примесей в АШ, %	Количество ДНА в АШ, %	Выход ДНА, %	Количество несгораемых примесей в ДНА, %
1	H ₂ O (без добавок)	9,4	6,8	48,9	4,6	0,57
2	H ₂ O–трилон Б (5 %)	11,1	6,3	50,2	5,6	0,34
3	H ₂ O + гидразин гидрат (6 %)	12,0	6,2	50,8	6,1	0,54
4	Водный аммиак (10 %)	11,4	4,5	51,8	5,9	0,92
5	H ₂ O + мочевины (5 %)	12,8	4,8	43,8	5,6	0,65
6	H ₂ O + уротропин (5 %)	12,7	2,52	52,0	6,6	0,18
7	H ₂ O + уротропин (7 %)	13,7	2,4	59,8	8,2	0,22
8	H ₂ O + H ₃ BO ₃ (5 %)	10,8	2,7	62,8	6,8	0,12
9	H ₂ O + NH ₄ H ₂ PO ₄ (5 %)	13,4	7,6	53,8	7,2	0,30

Использование других восстановителей – гидразина, аммиака и мочевины (эксперимент 3–5) дает достаточно высокий выход ДНА (~ 6 %) и АШ (~ 12 %), среднее количество несгораемых примесей в АШ (~ 5,2 %) и вполне приемлемое количество примесей в ДНА (~ 0,7 %), что опять же говорит об эффективности азотнокислой очистки [11].

ВЫВОДЫ

В сравнении с водяной бронировкой бронировка заряда ВВ водными растворами органических и неорганических соединений позволяет поднять выход ДНА до 1,8 раза, выход АШ – до 1,5 раза, снизить количество несгораемых примесей в ДНА до 5 раз, в АШ – до 3 раз, количество ДНА в АШ поднять на 14 %.

Показано, что для получения максимального выхода АШ и ДНА необходимо использовать добавку уротропина или дигидрофосфата аммония.

Минимальное количество несгораемых примесей в АШ достигается при использовании борной кислоты и уротропина.

Максимальное количество ДНА в АШ достигается при использовании в качестве добавки в водную бронировку борной кислоты, уротропина и дигидрофосфата аммония.

Минимальное количество несгораемых примесей в ДНА достигается при использовании борной кислоты, уротропина, дигидрофосфата аммония и трилона Б.

Наведено фактори детонаційного синтезу, що визначають вихід детонаційних наноалмазів, алмазної шихти та їх якість. Описано вплив такого важливого чинника, як склад бронювання (оболонки) заряду вибухової речовини. Розглянуто три різні варіанти підризу заряду вибухової речовини – газовий, водний, крижаний, їх переваги і недоліки. Показано вплив складу сумішей водних розчинів різних речовин (органічних і неорганічних) на результат детонаційного синтезу.

Ключові слова: детонаційний синтез, бронювання, алмазна шихта, детонаційні наноалмази, суміш тротилу та гексогену, уротропін, вогнетривкі домішки, вибухова камера.

This paper presents the factors of detonation synthesis, determining detonation nanodiamonds and the diamond blend yield and their quality. We describe the effect of such an important factor as the composition of armor protection (shell) of the explosive charge. We consider three different ways of undermining an explosive charge – gas, water, ice, their advantages and disadvantages. We also show the influence of the aqueous solutions composition of various mixtures of substances (organic and inorganic) on detonation synthesis result in details.

Keywords: detonation synthesis, armoring, diamond blend, detonation nanodiamonds, TNT and RDX mixture, urotropin, incombustible impurities, explosion chamber.

1. Даниленко В. В. Взрыв: физика, техника, технология. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 784 с.
2. Долматов В. Ю. Детонационные наноалмазы. Получение, свойства, применение. – СПб: НПО “Профессионал”, 2011. – 536 с.
3. Долматов В. Ю. Оценка применимости зарядов взрывчатых веществ для синтеза детонационных наноалмазов // Сверхтв. материалы. – 2016, № 5. – С. 109–113.
4. Лямкин А. И., Петров Е. А., Еришов А. П. и др. Получение алмазов из взрывчатых веществ // ДАН СССР. – 1988. – **302**, № 3. – С. 611–613.
5. Петров Е. А., Сакович Г. В., Брыляков П. М. Условия сохранения алмазов в процессе детонационного получения // Там же. – 1990. – **313**, № 4. – С. 862–863
6. А. с. СССР № 1644996. Способ получения алмазов / Ю. А. Истомин, В. Ю. Истомин. – Оpubл. 30.04.91.
7. Саввакин Г. И. Структурные дефекты, формирующиеся в ультрадисперсном алмазе (УДА) при детонации углеродсодержащих ВВ, и их влияние на процесс спекания алмазов под давлением // Сб. докл. V Всесоюзн. совещ. по детонации, Красноярск, 5–12 авг. 1991 г. – Т. 2. – С. 254–258.
8. Pat. 5353708 US. Method for production of ultradispersed diamond / S. Y. Stavrev, S. B. Lazarov, K. L. Stoev, L. G. Markov, V. I. Ivanov. – Publ. 11.10.94.
9. Пат. 2230702 РФ, 7 С01 В31/06. Способ получения наноалмаза / В. Ю. Долматов, М. В. Веретенникова. – Заявл. 06.02.03; Оpubл. 20.06.04, БИ № 17.
10. Лободко Б. Г., Любятинский С. Н. Зоны реакции детонирующих твердых взрывчатых веществ // Физика горения и взрыва. – 2000. – **36**, № 6. – С. 45–64.
11. Пат. 2109683 РФ, МПК С01 В31/06. Способ выделения синтетических ультрадисперсных алмазов // В. Ю. Долматов, В. Г. Суцев, В. А. Марчуков. – Оpubл. 05.03.96.
12. Пат. 2359902 РФ. Алмаз-углеродный материал и способ его получения / В. Ю. Долматов. – Заявл. 30.12.05; Оpubл. 12.07.07, БИ № 18.
13. Пат. 2348580 РФ. Наноалмаз и способ его получения / В. Ю. Долматов. – Заявл. 30.12.05; Оpubл. 12.07.07.

Поступило 16.01.17