

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ВЫХОДА ДЕТОНАЦИОННЫХ НАНОАЛМАЗОВ (ДНА)

В. Ю. Долматов¹, Д. В. Руденко¹, А. Н. Олешкевич², М. А. Блинова^{1,3}

¹) ФГУП «СКТБ «Технолог», Советский пр., 33а, 192076 Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: diamondcentre@mail.ru

²) Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030 Минск, Беларусь,
e-mail: oleshkevich@bsu.by

³) Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
Московский пр., 24-26/49 лит. А, 190013 Санкт-Петербург, Россия

Дефицитность, высокая стоимость и сложность работы с взрывчатыми веществами (ВВ) вынуждает разработать достоверную прогнозную оценку выхода наноалмазов, связанную с характеристиками исходных ВВ. Параллельно разработано прогнозное определение характеристик ВВ без проведения взрывных работ.

Ключевые слова: детонационные наноалмазы; выход; взрывчатые вещества; прогнозная оценка.

PREDICTIVE ESTIMATION OF DETONATION NANODIAMOND YIELDS

V. Yu. Dolmatov¹, D. V. Rudenko¹, A. N. Oleshkevich², M. A. Blinova^{1,3}

¹) FSUE «SCTB «Technolog», Sovetsky pr., 33a, 192076 Saint-Petersburg, Russia

²) Belarusian State University, Nezavisimosti av. 4, 220030 Minsk, Belarus

³) SPSIT, Saint-Petersburg State Institute of Technology,

Moskovskiy pr., 24-26/49 lit. A, 190013 Saint-Petersburg, Russia

Corresponding author: V. Yu. Dolmatov (diamondcentre@mail.ru)

The scarcity, high cost and complexity of work with explosives makes it necessary to develop a reliable predictive estimation of nanodiamond yield related to the characteristics of the initial explosives. In parallel, a predictive characterization of explosives without blasting has been developed.

Key words: detonation nanodiamonds; yield; explosives; predictive evaluation.

ВВЕДЕНИЕ

Детонационные наноалмазы (ДНА) являются в настоящее время одной из самых востребованных аллотропий углерода, причем внимание уделяется разработке технологий получения различных видов ДНА, подборке исходных взрывчатых веществ (ВВ) для их получения, исследованию свойств и главное – применению в различных областях промышленности, электроники, медицины, сельского хозяйства [1]. Поскольку любое использование ВВ является опасным процессом и не все потенциально подходящие вещества для получения ДНА легкодоступны, целесообразно теоретически определить возможность использования того или иного ВВ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время известны только два способа получения ДНА – из смеси тротила с гексогеном и из тетрила, но из-за роста стоимости сырья (ВВ) и его дефицитности возникла необходимость поиска новых, более доступных видов ВВ. Наиболее известными характеристиками ВВ являются скорость детонации и кислородный баланс (КБ). В работе [2] установлено, что для некоторых ароматических нитросоединений (ВВ) оптимальный КБ для получения ДНА с выходом $\geq 5\%$ от массы ВВ составляет -35 — -60% . Эти данные, в качестве первого приближения со значительной долей вероятности, можно использовать, связав эту величину со скоростью детонации ВВ, так как в работе [3] показана зависимость выхода ДНА от скорости детонации ряда ароматических нитросоединений (в основном, смесей тротила с гексогеном) с оптимумом 7250 – 8000 м/сек (выход ДНА $\geq 5\%$ от массы ВВ). На рисунке 1, в координатах скорость детонации – кислородный баланс выделена область, ограниченная $КБ = -35$ — -60% и оптимальной скоростью детонации 7250 – 8000 м/сек. Все входящие в эту область (а также лежащие сразу за ней) ВВ с большой вероятностью могут обеспечить приемлемый выход ДНА ($\geq 5\%$ мас.). К этим новым исходным ВВ можно отнести: гексил (гексанитродифениламин), гексанитродифенил, тетранитроанилин, тетранитробензолы, тринитроанилин, тринитроанизол, 1,3-диамино-2,4,6-тринитробензол, тринитробензол и их смеси.

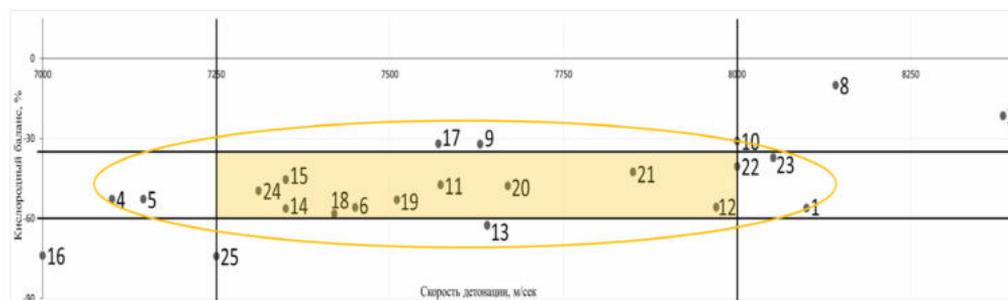


Рис. 1. Скорость детонации и кислородный баланс ВВ, оптимальные для получения ДНА с выходом $\geq 5\%$ от массы ВВ

На следующем этапе целесообразно использовать определенную авторами зависимость выхода ДНА от содержания элементов (углерод, водород, азот и кислород) в молекулах ВВ (рисунки 2).

Выраженная куполообразная зависимость выхода детонационных наноалмазов от массового содержания углерода в молекуле ВВ (рис. 2, верх зависимостей отсечен прямой, параллельной оси абсцисс, от 5%) определяет необходимое количество углерода для получения наноалмазов с технологически приемлемым выходом. Содержание водорода, необходимое и достаточное для получения выхода наноалмазов не менее 5% , составляет $1,5$ – $3,0\%$. Азот считается инертным элементом для взрывных процессов, однако отчетливо выраженная куполообразная зависимость выхода наноалмазов от массового содержания азота в молекуле ВВ (23 – 31%) опровергает такое утверждение. Количество кислорода в молекуле ВВ, необходимое для обеспечения нужного количества энергии процесса взрыва, но недостаточное для полного окисления углерода до газообразных продуктов, составляет 42 – 46% .

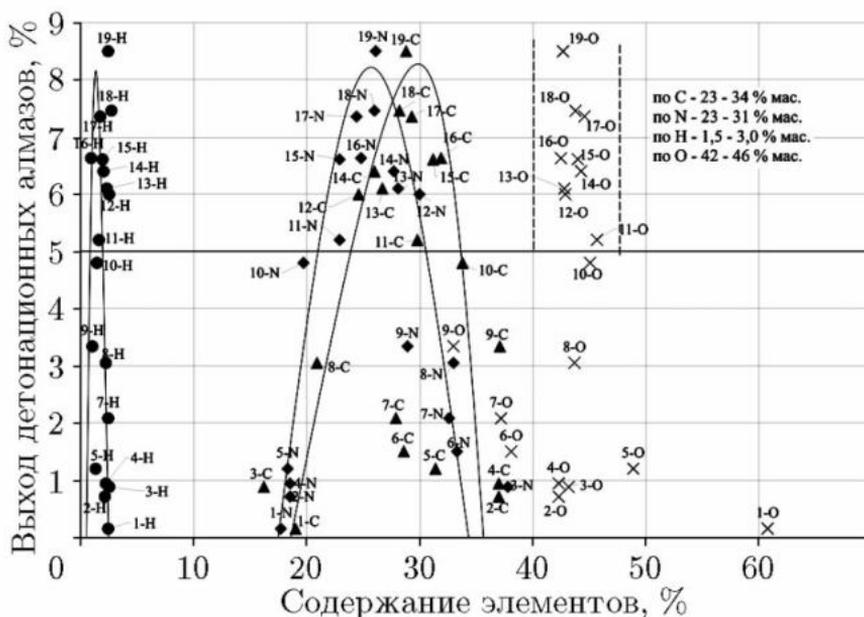


Рис. 2. Зависимости выхода детонационных наноалмазов от содержания углерода, водорода, азота и кислорода в молекулах ВВ

Таким образом, для достижения технологически приемлемого выхода наноалмазов необходимо, чтобы одновременно были соблюдены следующие условия: массовое содержание водорода в молекуле ВВ 1,5–3,0%, углерода – 23–34%, азота – 23–31% и кислорода – 42–46%.

В результате аппроксимации получено следующее.

1. Линия, соответствующая азоту. Линия аппроксимируется параболой, соответствующей выходу наноалмазов (%):

$$y(N) = -0,18(x_N)^2 + 9,5x_N - 110.$$

2. Линия, соответствующая углероду. Линия аппроксимируется параболой, соответствующей выходу наноалмаза (%):

$$y(C) = -0,10(x_C)^2 + 5,4x_C - 64.$$

3. Линия, соответствующая водороду. Линия аппроксимируется функцией:

$$x_H = 1,3 \pm 0,1 \%,$$

при $0 < y(H) < y_{\max}(H) = 8,55 \%$ – максимальное значение выхода наноалмаза.

4. Линия, соответствующая кислороду. Линия аппроксимируется функцией:

$$x_O = 42,7 \pm 0,1 \% \text{ и } y_O \text{ от } y_{\min}(O) = 5 \% \text{ до } y_{\max}(O) = 8,55 \%.$$

Оптимальное содержание наноалмазов в алмазной шихте – от 45 до 71% – достигается при наличии в молекулах ВВ от 26 до 31% углерода.

Кроме того, зная скорость детонации или давление в плоскости Чепмена-Жуге можно определить выход ДНА по зависимостям, отраженным в работе [4].

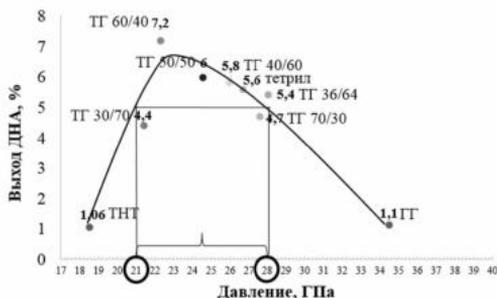


Рис. 3. Зависимость выхода ДНА от давления в плоскости Чепмена-Жуге при подрыве ВВ

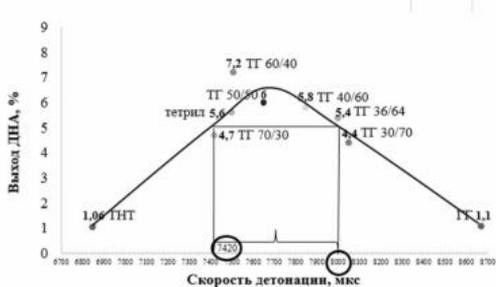


Рис. 4. Зависимость выхода ДНА от скорости детонации ВВ

Более глубокие знания о характеристиках ВВ позволяют определить выход ДНА от длины зоны химической реакции на рис. 5.

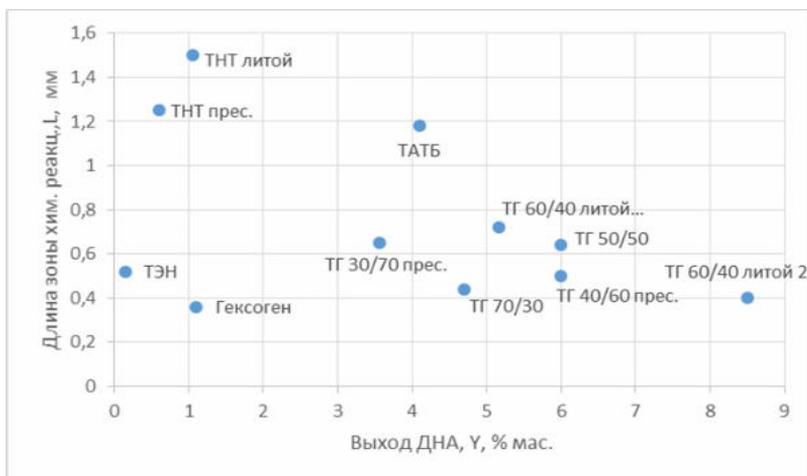


Рис. 5. Зависимость выхода ДНА от длины зоны химической реакции

Уравнение наилучшего линейного приближения (без учета точек, соответствующих ТЭН и гексогену) зависимости выхода ДНА, % мас. (Y) от длины зоны химической реакции, мм (L):

$$Y = -7,7L + 11.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью широко известных данных о ВВ (скорости детонации и кислородного баланса) удалось провести прогнозную оценку применимости ряда ВВ для получения ДНА, а также используя найденный комплекс зависимостей, можно легко определить различные характеристики ВВ, включая выход ДНА, зная хотя бы одну из характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Долматов В.Ю., Озерин А.Н., Кулакова И.И., Бочечка А.А., Лапчук Н.М., Мюллюмаки В., Веханен А. Новые аспекты теории и практики синтеза, свойств и применения детонационных наноалмазов // Успехи химии. 2020. Том 89. С. 1428–1462.
2. Долматов В.Ю. Оценка применимости зарядов взрывчатых веществ для синтеза детонационных наноалмазов // Сверхтвердые материалы. 2016. № 5. С. 109–113.
3. Dolmatov V.Yu., Eidelman E.D., Kiselev M.N., Marchukov V.M., Blinova M.A., Bazanov O.V., Osawa E., Myllymäkie. V. Specific Power of Explosive and its Effect on Nanodiamonds // Universal Journal of Carbon Research. 2023. V. 1. Is. 2. P. 6.
4. Долматов В.Ю., Мюллюмаки В., Веханен А., Дорозов А.О., Киселев М.Н. Зависимость выхода детонационных наноалмазов от параметров детонационного процесса // Сверхтвердые материалы. 2019. № 5. С. 84–89.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОЧАСТИЦ НА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВОЙ МИШЕНИ И ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ ТИТАНА СДВОЕННЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

К. Ф. Ермалицкая, Е. С. Воропай, Н. Н. Красноперов, А. П. Зажогин

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, Минск, Беларусь
e-mail: zajogin_an@mail.ru*

Изучено влияние энергии, величины расфокусировки лазерного пучка и количества сдвоенных лазерных импульсов на целенаправленное формирование компонентного и зарядового состава лазерной плазмы методом лазерной искровой спектрометрии (спектрометр LSS-1). Изучены возможности формирования развитой поверхности и показана возможность формирования на поверхности мишени из титана в воздушной атмосфере наночастиц из оксидов титана методом абляции поверхности сериями сдвоенных лазерных импульсов. Проведенные исследования показали, что отрицательная расфокусировка более благоприятна для формирования развитой поверхности.

Ключевые слова: оксиды титана; импульсное лазерное распыление; лазерная плазма; лазерная искровая спектрометрия.

STUDY OF THE PROCESSES OF FORMATION OF MICROPARTICLES ON THE SURFACE OF A TITANIUM TARGET AND THE FORMATION OF TITANIUM OXIDES BY DOUBLE LASER PULSES

K. F. Ermalitskaia, E. S. Voropay, N. N. Krasnoperov, A. P. Zazhogin

*Belarusian state University, 4 Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Belarus
Corresponding author: A. P. Zazhogin (e-mail: zajogin_an@mail.ru)*

The effect of energy, laser beam defocusing value and the number of double laser pulses on the targeted formation of the component and charge composition of laser plasma was studied using the laser spark spectrometry method (LSS-1 spectrometer). The possibilities of forming a developed surface were studied and the possibility of forming titanium