ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии»,

посвященная 90-летию со дня рождения
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН
академика Виктора Евгеньевича Панина

в рамках
Международного междисциплинарного симпозиума
«Иерархические материалы: разработка и приложения
для новых технологий и надежных конструкций»

5–9 октября 2020 года
Томск, Россия

Томск
Издательство ТГУ
2020

DOI: 10.17223/9785946219242/249

УПРАВЛЕНИЕ РАЗМЕРАМИ АГЛОМЕРАТОВ НАНОАЛМАЗОВ ДЕТОНАЦИОННОГО СИНТЕЗА

Кудряшова О.Б. Петров Е.А.

Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Бийск

Технология детонационный синтеза наноалмазов разработана в середине прошлого века. Этот уникальный по своим свойствам материал нашел широкое применение в технике, производстве новых материалов, в экологических и биомедицинских приложениях.

Углеродный порошок, содержащий алмазную фазу, получается в результате детонации взрывчатого вещества и представляет собой иерархическую структуру, содержащую нанокристаллиты алмаза и графита на нижнем уровне, поверхностные примеси различного химического состава и наноструктурные агломераты на верхнем уровне [1]. Для целей технологических применений важен размер нанокристаллитов, фазовый состав углеродного порошка, химический состав и количество примесей, размер и стойкость агломератов. Большое значение имеет площадь удельной поверхности частиц. Чем больше удельная поверхность, тем выше адсорбционные свойства порошка, что находит применение в технологиях очистки [2] и в перспективных технологиях использования таких порошков в системах доставки лекарственных веществ [3]. Известно, что среди углеродных наноструктур наименьшим токсическим действием обладает детонационный наноалмаз [4]. В последнее время в качестве оптимального носителя для лекарственных веществ рассматривается именно детонационный наноалмаз благодаря оптимальному комплексу его физико-химических, биофармацевтических и фармако-токсикологических характеристик.

В работе рассматриваются способы управления размерами агломератов наноалмазов детонационного синтеза. Описываются параметры условий синтеза, влияющие на конечный размер агломерата, и приводится оценочное выражение для этой величины:

$$D_{\max} = D_0 + k\sqrt{\frac{\varepsilon}{\nu}\frac{M}{W \cdot L^2}}D_0^4, \tag{1}$$

где D_0 – средний диаметр нанокристаллита, M – масса заряда, L – характерный размер взрывной камеры, W – скорость расширения продуктов детонации, ε – локальная скорость диссипации энергии, ν – кинематическая вязкость продуктов детонации, k – коэффициент пропорциональнсти.

Из анализа выражения (1) следует, что параметры процесса, которыми можно управлять для получения желаемого размера агломератов, это – размер взрывной камеры, масса заряда, размер первичного нанокристаллита алмаза. При этом увеличение характерного размера детонационной камеры L (пропорционально квадрату линейного размера) и уменьшение массы заряда M приведет к уменьшению размеров агломератов, а увеличение среднего размера первичных нанокристаллитов алмаза приведет к увеличению размеров агломератов пропорционально четвертой степени диаметра наночастиц.

Приводится качественное описание механизмов ультразвукового воздействия на суспензии алмазных порошков и результаты расчетов в соответствии с предложенной ранее математической моделью [5]. Минимальный диаметр частиц, на которые может быть раздроблен агломерат, определяется выражением:

$$D_{\min} = \frac{\sigma_{stp}}{\omega\rho_l}\sqrt{\frac{2W_l}{I}}, \tag{2}$$

где I – интенсивность излучения, σ_{stp} – предел прочности агломерата (его величина меньше, чем у кристалла алмаза), D – его характерный размер, ρ_l – плотность жидкости, $W_l = \rho_l c$ – волновое сопротивление среды, c – скорость звука в жидкости.

Экспериментально исследовано изменение размеров агломератов при ультразвуковой обработке водных суспензий порошков, полученных в разных условиях детонационного синтеза (табл. 1).

Таблица 1. Среднеарифметический диаметр частиц до и после обработки ультразвуком

Наименование образца*	Средний диаметр частиц до обработки ультразвуком, мкм	Средний диаметр частиц после обработки ультразвуком, мкм	Уменьшение диаметра, %
А-33	1.62	0.73	55
А-36	1.71	0.73	57
А-37	1.77	0.74	58
А-43	1.45	0.78	46
А-31	1.61	0.82	49
А-39	1.62	0.72	56
А-40	1.83	0.86	53
А-41	1.69	0.81	52
УН-Г33	0.85	0.85	0
УН-Г41	1.04	0.78	25

* Префикс А соответствует порошкам очищенного алмаза, префикс УН – углеродному порошку, содержащему алмазную фазу.

Показано, что вне зависимости от условий синтеза, фазового состава и начального размера агломератов после ультразвуковой обработки в течение 20 минут средний диаметр частиц становится одинаковым и соответствует величине, определяемой выражением (2). Предельный минимальный размер частиц зависит от условий ультразвуковой обработки и от прочности агломератов, которая, как показал эксперимент, одинакова для всех образцов. Следует отметить, что размер частицы после обработки (~0.8 мкм) намного превышает размер нанокристаллитов алмаза в исследуемых образцах (4-6 нм). Удельная поверхность порошка возрастает обратно пропорционально квадрату диаметра.

Таким образом, управление размерами агломератов наноалмазов детонационного синтеза возможно (как минимум) двумя путями:

1. изменением условий синтеза (размер взрывной камеры, масса заряда и т.п.);
2. ультразвуковой обработкой в водной суспензии.

При этом можно добиться существенного увеличения удельной поверхности частиц, что важно для биомедицинских и экологических применений.

Благодарности. *Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-29-19070 мк.*

1. Сакович Г. В., Губаревич В. Д., Бадаев Ф. З., Брыляков П. М., Беседина О. А. Агрегация алмазов, полученных из взрывчатых веществ // Докл. АН СССР. 1990. Т. 310. №. 2. С. 402-404.
2. Vereschagin A. L., Kudryashova O. B., Stepkina M. Y., Balakhnina A. V., Petrov E. A. Use of nanodiamond for absorption of aerosol particles // Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures. – 2020. Т. 28. №. 1. С. 14-19.
3. Ho D. Nanodiamonds: Applications in biology and nanoscale medicine // Springer US). 2010. Т. 10. С. 978-1.
4. Zhang X., Zhang X., Hu W., Li J., Tao L., Wei Y. A comparative study of cellular uptake and cytotoxicity of multi-walled carbon nanotubes, graphene oxide, and nanodiamond // Toxicology Research. 2012. Т. 1. №. 1. С. 62-68.
5. Kudryashova O. B., Vereshchagin A. L., Balakhnina A. V., Petrov E. A. Ultrasonic agglomeration-fragmentation of diamond nanoparticles // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2019. Т. 2167. №. 1. С. 020189.