

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ КАВИТАЦИЯ СУСПЕНЗИЙ ДЕТОНАЦИОННЫХ НАНОАЛМАЗОВ

А.Л. Верецагин, О.В. Стеблева, Г.В. Леонов, Г.С. Юрьев

Изучено воздействие ультразвуковой кавитации на суспензии детонационных наноалмазов (ДНА). Приведены результаты микроскопического, термического и рентгеноструктурного анализа образцов.

Ключевые слова: ультразвуковая кавитация, детонационные наноалмазы, лонсдейлит, электронная микроскопия, термический анализ, синхротронное излучение

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что ультразвуковая кавитация вызывает необратимые физико-химические процессы в обрабатываемой среде. Так, например, [1] нами было обнаружено образование фаз углерода в процессе кавитации углеродсодержащих жидкостей. Особое значение приобретает ультразвуковое облучение наночастиц для управления их морфологией [2], в частности, для получения моодисперсных округлых частиц селенида свинца [3].

Целью данной работы является изучение влияния кавитации в суспензиях детонационных наноалмазов (ДНА) на состояние поверхности и их реакционную способность.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектом исследований явились детонационные наноалмазы, полученные из сплава тротил-гексоген 60/40 [4]. Ультразвуковая обработка образцов ДНА проводилась в воде и 96% этиловом спирте в открытом сосуде из нержавеющей стали X1810T объемом 50 см³. Источником ультразвукового излучения был аппарат «Надежда 2», конструкции Бийского технологического института мощностью 200 Вт. Условия и режимы подготовки образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1

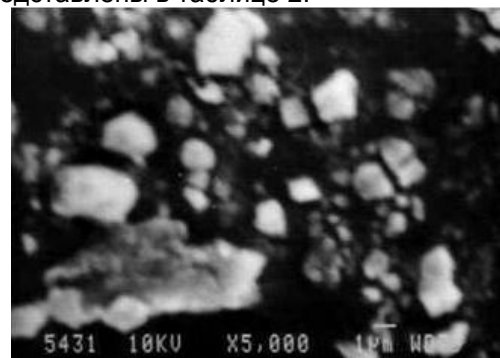
Условия получения образцов

№	Образец	Режим и время обработки, мин	Интенсивность облучения, Вт/см ²
1	ДНА + этанол	кавитационный, 90	6
2	ДНА + вода	безкавитационный, 60	2
3	ДНА + вода	кавитационный, 90	4,3
4	ДНА исх.	без обработки	

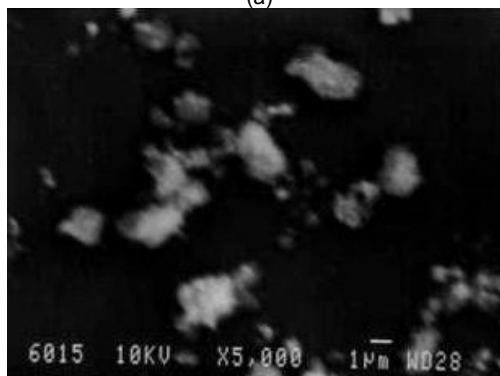
Сканирующая электронная микроскопия. Фотографии образцов ДНА, полученные на сканирующем электронном микроскопе JSM-840, представлены на рисунке 1.

Как видно из фотографий после обработки ультразвуком ДНА в этиловом спирте наблюдается диспергирование частиц с 5-10 до 2 мкм.

Термический анализ. Термический анализ проводился на термоанализаторе Shimadzu 60. Методами ДТА и ДСК был проведен анализ образцов в атмосфере воздуха со скоростью нагревания 10 градусов/мин до температуры 973 К. Масса образцов - 1,376 - 1,710 мг. Повторность опытов - четырехкратная. Данные обрабатывались статистически с $p \leq 0,05$. Результаты термического анализа представлены в таблице 2.



(а)



(б)

Рисунок 1. Фото ДНА с 5000-кратным увеличением: а) ДНА исходный (образец 4); б) ДНА после обработки в этиловом спирте (образец 1)

Таблица 2

Окисление образцов ДНА

Образец	Температура начала окисления, К	Тепловой эффект окисления, кДж/г	Потеря массы на участке 293-973 К, %	Потеря массы на стадии окисления, %
ДНА+этанол кавит.	809.9 ±1.5	27.9 ±1.5	77.3	76.0
ДНА+вода безкав.	807.1 ±1.5	26.0 ±1.5	73.2	70.4
ДНА+вода кавит.	807.1 ±2.5	26.8 ±1.5	85.0	82.5
ДНА исходный	809.1 ±4.1	27.5 ±1.5	71.0	68.9

Из этих данных следует, во-первых, что ультразвуковая обработка в этаноле приводит к осаждению наноглерода на поверхность детонационных наноалмазов, что в свою очередь ведет к повышению однородности поверхности ДНА, этот эффект можно связать с избирательной адсорбцией наноглерода на поверхности ДНА.

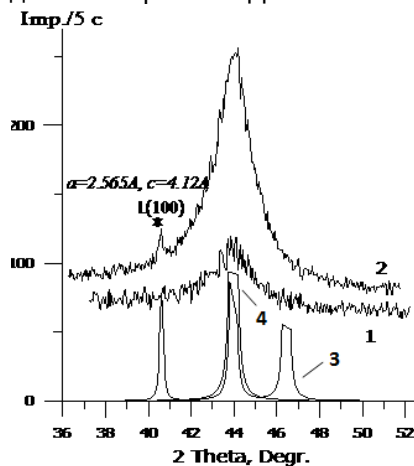
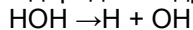


Рисунок 2. Дифрактограмма образцов ДНА: 1 - экспериментальное отражение ДНА, подвергнутого воздействию ультразвука в водной среде в режиме кавитации и затем облучению дозой СИ; 2 - экспериментальное отражение ДНА, предварительно подвергнутого воздействию ультразвука (при $2\theta \approx 41^\circ$ отражение (100) лонсдейлита); 3 – фрагмент дифракционной картины поликристаллического лонсдейлита; 4 – отражение поликристаллического алмаза (111)

Во-вторых, можно полагать, что обработка ДНА водой в кавитационном режиме

приводит к росту степени окисления углерода алмазной фазы. Вероятнее всего, это связано с реакцией расщепления молекул воды на атом водорода и гидроксильную группу



внутри кавитационного пузырька [5] и последующих реакций образования пероксида водорода. Пероксид водорода и атомарный кислород, образующийся при его распаде, возможно, окисляют поверхностные атомы углерода частиц ДНА.

Рентгеноструктурный анализ. Для анализа был взят образец ДНА, обработанный ультразвуком в этиловом спирте.

Структура образца определялась на основе дифракционных картин с использованием синхротронного излучения (СИ) ускорителя-накопителя на встречных электрон-позитронных пучках (ВЭПП-3, ИЯФ СО РАН, г. Новосибирск). Картины регистрировались на дифрактомере высокого разрешения с монохроматизацией как падающего на образец излучения ($\lambda = 1.5390 \text{ \AA}$), так и дифрагированного. Дифрактометр был установлен на втором канале ВЭПП-3.

Дифракционная картина образца ДНА (рисунок 2) после воздействия ультразвукового облучения (УО) показала не только отражения алмаза, но и отражение лонсдейлита d_{100} ($a = 2.565 \text{ \AA}$, $b = 4.12 \text{ \AA}$).

После ультразвукового облучения в суспензии образец облучался синхротронным излучением. На дифракционной картине этого образца отсутствовали отражения фазы лонсдейлита.

ВЫВОДЫ

Можно предположить, что под влиянием ультразвуковой кавитации происходят диспергирование и столкновение наночастиц ДНА. Причем энергия этого столкновения достаточна для осуществления фазового перехода алмаз-лонсдейлит на поверхности наночастиц со степенью превращения 1-10 % (достаточной для регистрации). Последующее облучение интенсивным синхротронным излучением вызывает либо сублимацию фазы лонсдейлита, либо его обратный фазовый переход. Наблюдаемый переход приобретает особый интерес в свете последних данных по микротвердости лонсдейлита (152 ГПа), превышающей на 58% соответствующую величину для алмаза [6]. Следует отметить также, что впервые об изменении структуры алмазов под воздействием рентгеновского излучения было упомянуто в работе с метаморфическим алмазами [7].

В данном случае необходимы дополнительные исследования для уточнения механизма наблюдавшихся явлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стеблева О.В., Верещагин А.Л., Леонов Г.В. // Ползуновский вестник – 2008. - № 1-2. – С. 38-41.
2. Clemens Burda, Xiaobo Chen, Radha Narayanan, and Mostafa A. El-Sayed // Chem. Rev. – 2005. – V. 105. - P. 1025-1102.
3. Jun-Jie Zhu, Hui Wang, Shu Xu, and Hong-Yuan Chen Sonochemical // Langmuir. – 2002. – V.18.- P. 3306-3310.
5. Верещагин А.Л. Детонационные наноалмазы. - Барнаул: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2001. – 137 с.
6. Флинн Г. // Физическая акустика. – 1967. - Т. 1. - С. 7-138.
7. Pan, Zicheng; Sun, Hong; Zhang, Yi; and Chen, Changfeng. // Physical Review Letters. - 2009. – V. 102.– P. 055503.
8. Шумилова Т.Г., Янулова Л.А. // Патент РФ 2080289 от 27.05.97.

ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАВИТАЦИИ В ВОДЕ

А.В. Куничан, Г.В. Леонов

В работе представлены результаты исследования ультразвуковой кавитации, создаваемой в камере кавитационного акустического широкополосного излучателя (КАШИ).

Ключевые слова: кавитационный кластер, широкополосный ультразвук, жидкость

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ультразвуковая кавитация используется в промышленности в качестве интенсифицирующего фактора, хотя является не до конца изученным и плохо прогнозируемым явлением. Хорошо известны условия возникновения кавитации, однако сам процесс и механизм ее протекания до сих пор является предметом научных дискуссий. Известные в настоящее время математические описания процессов акустической кавитации - фрагментарны, недостаточно точны и, посему, малопригодны в качестве основы для математических моделей, которые могли бы использовать при проектировании технологических процессов и аппаратов и управлении ими.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для реализации возможности исследования кавитации на кафедре МСИА БТИ были разработаны конструкции гидрофона [1] и кавитационного излучателя акустических колебаний широкого спектра [2]. Конструктивная схема излучателя представлена на рисунке 1. Фотографии излучателя представлены на рисунках 2 (в собранном виде) и 2 (УЗ вибратор и стакан расстыкованы).

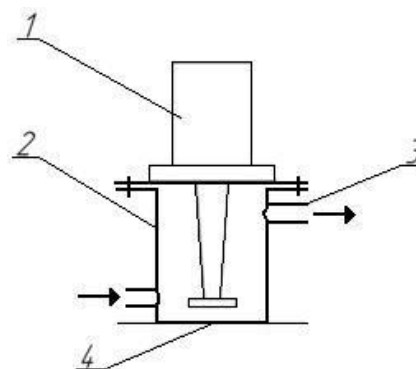


Рисунок 1. Конструктивная схема кавитационного акустического широкополосного излучателя (КАШИ)

Он состоит из ультразвукового излучателя 1 [3] и стакана 2, выполненного из нержавеющей стали. Стакан снабжен патрубками 3 для организации циркуляции воды. Дно стакана выполнено в виде стальной мембраны 4 толщиной 0,23 мм.