

ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ ПРИ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОМ ЭФФЕКТЕ

Лукьянов А.И.

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва, Россия*

Ключевые слова: электрогидравлический эффект Л.А. Юткина, высоковольтный разряд в жидкости, кавитация, углеродные наночастицы, эфир целлюлозы, химические реакции.

Аннотация. Для получения углеродных наночастиц был применен электрогидравлический эффект Л.А. Юткина в жидкости, содержащий эфир целлюлозы. Было проведено пятьдесят высоковольтных разрядов. После определенного количества разрядов измерялась удельная электропроводность и общее количество растворенных веществ. Было установлено, что в результате химической реакции, инициированной электрогидравлическим эффектом, эфир целлюлозы перешел в углеродные наночастицы. Результат исследовался на электронном микроскопе.

PRODUCTION OF CARBON NANOPARTICLES USING THE ELECTROHYDRAULIC EFFECT

Lukyanov A.I.

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

Keywords: electrohydraulic effect of L.A. Yutkin, high-voltage discharge in liquid, cavitation, carbon nanoparticles, cellulose ether, chemical reactions.

Abstract. To obtain carbon nanoparticles, L.A. Yutkin's electrohydraulic effect was applied to a liquid containing cellulose ether. Fifty high-voltage discharges were performed. After a certain number of discharges, the specific electrical conductivity and total amount of dissolved substances were measured. It was found that the cellulose ether had transformed into carbon nanoparticles as a result of the chemical reaction initiated by the electrohydraulic effect. The result was examined using an electron microscope.

Введение. Композитные материалы активно внедряются во многих отраслях промышленности в силу своих очевидных преимуществ перед металлами. Одним из основных компонентов в композиционных материалах являются углеродные наночастицы, которые на сегодняшний день представлены большим ассортиментом комбинаций соединения углерода. Добавка наночастиц в микродозах порядка 0,01-1% заметно изменяет в лучшую сторону конструкционные характеристики композита. По оценкам специалистов [1] применение углеродных наночастиц позволит уменьшить массу космических аппаратов на 80%, авиационной техники – на 60%, а деталей газотурбинных двигателей – в 2 раза.

Способов получения углеродных наночастиц немного, это: разложение графитовых электродов при дуговом разряде; распыление графита при действии электронного облучения в атмосфере инертного газа и пиролиз

углеводородов. Электрогидравлический эффект Л.А. Юткина [2] обладает набором физических явлений, способствующих эффективному протеканию химических реакций, это:

- высокое давление, до 100 000 атмосфер;
- по некоторым оценкам в кавитационном пузырьке, возникающим при разряде, температура достигает 10 000 К;
- искровой разряд, как известно, обладает спектром излучения (в УФ-диапазоне, в радиодиапазоне).

Цель работы – получение результата, доказывающего, что при электрогидравлическом эффекте возможно получение углеродных наночастиц при существенном сокращении технологического процесса.

В работе [3] китайские ученые предлагают отказаться от получения углеродных нановолокон из нефти, так как нефть является невозобновляемым ресурсом, и разработали технологию получения углеродных нановолокон из лигнина, который получают из растительной биомассы. Основная проблема, которую они успешно решили – разделение лигнина с различной химической структурой и после этого термообработка полученных фракций. Такие углеродные нановолокна обладают хорошей огнестойкостью и термической чувствительностью.

В своем эксперименте я решил объединить два технологических процесса в один при помощи электрогидравлического эффекта Л.А. Юткина. В специально подготовленной жидкости осуществляется высоковольтный разряд, приводящий к получению углеродных наночастиц. Схема для получения высоковольтного разряда и физика процесса достаточно подробно описана в книге Л.А. Юткина «Электрогидравлический эффект». Поэтому я приведу лишь выходные параметры высоковольтного генератора: напряжение $U = 30$ кВ, емкость блока конденсаторов $C = 0,76$ мкФ; основной разрядный промежуток – 8 мм; частота следования импульсов – через каждые 15-20 секунд. Фото экспериментальной установки показано на рисунке 1.

Еще один важный параметр – крутизна волнового фронта разряда от которого зависит выделяемая мощность. При помощи датчика давления и осциллографа зафиксирована крутизна волнового фронта (рис. 2).

Все разряды сопровождались громким хлопком и яркой световой вспышкой.

Материалы. При высоковольтном разряде происходила химическая реакция в специально подготовленной жидкости, общим объемом 550 мл и состоящая из: 400 мл дистиллированной воды; 100 мл ацетона и углеродообразующей – 50 мл (1 гр растворенного в воде сухого вещества) эфира целлюлозы. Общий вид исходного раствора – светонепроницаемый молочного цвета.

Оборудование и технологии. В качестве измерительного инструмента использовался кондуктометр СОМ-80. С помощью него измерялась удельная электропроводность (ЕС) в микросименсах (μS) и общее количество растворенных в растворе веществ (TDS) в промиле (ppm).



Рис. 1. Экспериментальная установка

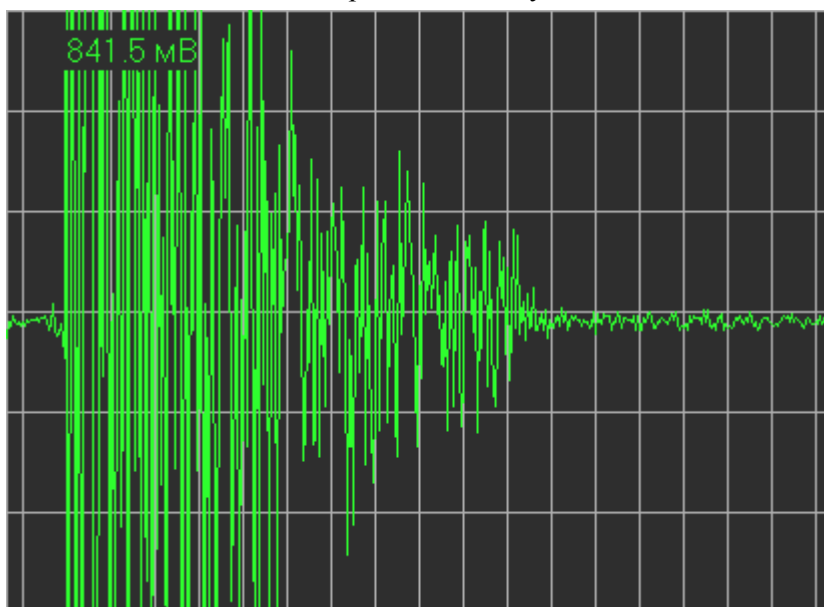


Рис. 2. Осциллограмма волнового фронта разряда

Результаты эксперимента. Результаты эксперимента были занесены в таблицы 1 и 2.

По таблице 1 видно, что результаты ЕС и TDS не изменились под воздействием высоковольтных разрядов, а в таблице 2 заметно изменились.

Табл. 1. Результаты замеров ЕС и TDS без добавления эфира целлюлозы

Замеряемый параметр	Количество разрядов						
	0	5	10	20	30	40	50
ЕС, μS	186	183	183	183	186	183	183
TDS, ppm	87	88	86	88	87	88	88

Табл. 2. Результаты замеров ЕС и TDS с добавлением эфира целлюлозы

Замеряемый параметр	Количество разрядов						
	0	5	10	20	30	40	50
ЕС, μS	69	123	126	126	135	137	140
TDS, ppm	33	59	59	61	63	65	65

Выводы

1. По окончании эксперимента жидкость из молочного цвета стала прозрачной. Как предположение, это говорит о том, что гелеобразное вещество эфира целлюлозы перешло в новое качество – углеродные наночастицы. Из таблицы 2 видно, что ЕС и TDS возрастают с большим числом разрядов, что подтверждает наличие углеродных наночастиц, которые не обладают электропроводностью, и раствор постепенно переходит в состояние, приведенное в таблице 1 (без эфира целлюлозы).

2. Полученный раствор процентрифугировал на ОС-6МЦ 80 минут, при 2000 об/мин. На дне пробирки наблюдались черные вкрапления. После сушки изучал в электронный микроскоп SNE-4500M Plus при 500 крат (рис. 3).

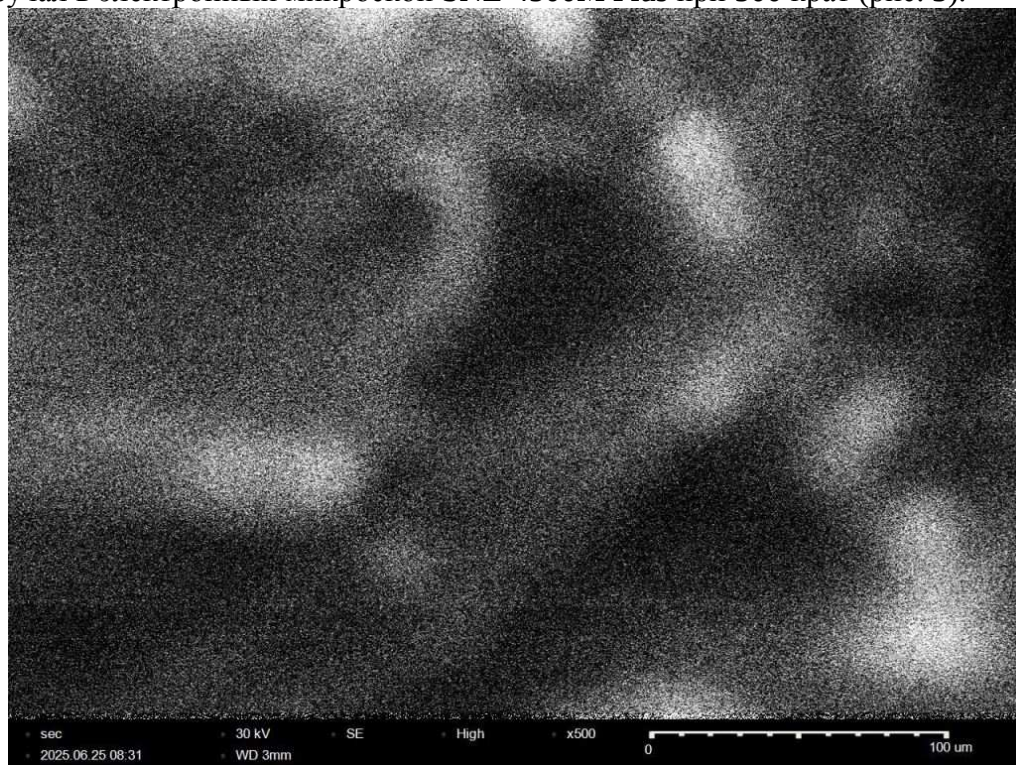


Рис. 3. Фото коагулированных наноуглеродных частиц

Так как разрешающая способность микроскопа 300 nm при 150000 крат, то рассмотреть отдельные частицы не удалось. Поэтому привожу общее фото при 500 крат, которое тем не менее подтверждает наличие углеродных наночастиц.

Список литературы

1. Ильченко С.И., Гуняев Г.М., Алексахин В.М., Пономарев А.Н., Комарова О.А., Деев И.С. Углеродные наночастицы – структурные модификаторы и упрочнители полимеров и полимерных композитов // Авиационные материалы и технологии. – 2004. – №2. – С. 36-54.
2. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект. – М.: МАШГИЗ, 1955. – 45 с.
3. Zheng Chuanqi, Qiping Cao, Lei Pu, Jingyu Xu, Hui Gong, Ziyi Shen, Kaibin Chu, Dechao Chen, Qin Li, Ning Han, Yao Li. Carbon nanofibers based on polymerized lignin for highly efficient generators and energy storage devices // Journal of Chemical Engineering. 2024, vol. 500, p. 156342. doi.org/10.1016/j.cej.2024.156342_

References

1. Ilchenko S.I., Gunyaev G.M., Aleksashin V.M., Ponomarev A.N., Komarova O.A., Deev I.S. Carbon Nanoparticles as Structural Modifiers and Strengtheners of Polymers and Polymer Composites // Aviation Materials and Technologies. 2004, no. 2, pp. 36-54.
2. Yutkin L.A. Electrohydraulic effect. – M.: MASHGIZ, 1955. – 45 p.
3. Zheng Chuanqi, Qiping Cao, Lei Pu, Jingyu Xu, Hui Gong, Ziyi Shen, Kaibin Chu, Dechao Chen, Qin Li, Ning Han, Yao Li. Carbon nanofibers based on polymerized lignin for highly efficient generators and energy storage devices // Journal of Chemical Engineering. 2024, vol. 500, p. 156342. doi.org/10.1016/j.cej.2024.156342.

Лукьянов Алексей Игоревич – младший научный сотрудник, лаборатория физических методов упрочнения поверхностей трения	Lukyanov Aleksey Igorevich – junior researcher, laboratory of physical methods for hardening friction surfaces
alexxx0072@rambler.ru	

Received 25.06.2025