

# РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ФУЛЛЕРЕНОВ

**А.А. Захаров.**

**Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»**

Перспективы разработок эффективных мембранных материалов для тонкой фильтрации и обеззараживания питьевой воды связывают с получением композитных материалов, включающих фуллерены, например активированных углей, модифицированных фуллеренами  $C_{60}$ , а также с помощью других пористых материалов (силикагелей), объемно и поверхностно модифицированных фуллеренами. Однако промышленные приложения такого рода разработок ограничены еще не решенными проблемами эффективного и крупномасштабного производства фуллеренов. Данная работа посвящается обсуждению новых возможностей развития методов синтеза фуллеренов.

*Ключевые слова:* тонкая фильтрация питьевой воды, композитные материалы, фуллерены, методы синтеза фуллеренов

## DEVELOPMENT OF METHODS OF PRODUCTION OF FULLERENES

A.A. Zakharov. Petersburg nuclear physics institute them B.P. Konstantinov of National research centre «Kurchatov institute»

Prospects for development of effective membrane materials for fine filtration and disinfection of drinking water associated with the production of composite materials, including fullerenes, for example, activated carbon, modified fullerene  $C_{60}$ , as well as with other porous materials (silica), the volume and surface-modified fullerenes. However, the industrial application of such research is limited not yet address the effective and large-scale production of fullerenes. This work is dedicated to the discussion of new opportunities for the development of methods of synthesis of fullerenes.

*Keywords:* fine filtration of drinking water, composite materials, fullerenes, methods of synthesis of fullerenes

Перспективы разработок эффективных мембранных материалов для тонкой фильтрации и обеззараживания питьевой воды связывают с получением композитных материалов, включающих фуллерены, например активированных углей, модифицированных фуллеренами  $C_{60}$ , а также с помощью других пористых материалов (силикагелей), объемно и поверхностно модифицированных фуллеренами. Однако промышленные приложения такого рода разработок ограничены еще не решенными проблемами эффективного и крупномасштабного производства фуллеренов. Данная работа посвящается обсуждению новых возможностей развития методов синтеза фуллеренов.

Типичная схема электродуговой установки для синтеза фуллеренов приведена на рис. 1. Конструктивно подобные установки могут иметь различное количество электродов, отличающихся размерами и формами, с вертикальным или горизонтальным расположением, с обдувом или без обдува зоны горения дуги буферным газом [1]. В качестве буферного газа используется гелий или аргон при различных давлениях.

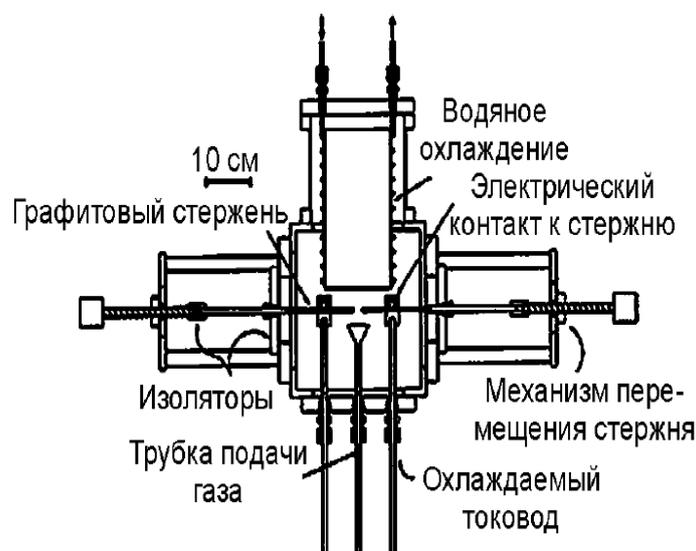


Рис. 1. Типичная схема электродуговой установки для синтеза фуллеренов

Совершенствование метода получения фуллеренов с помощью электрической дуги заключается в оптимизации межэлектродного расстояния, диаметра электродов, силы и типа разрядного тока, давления и типа буферного газа, геометрии охлаждаемого сборника сажи. В поисках оптимальных параметров было создано большое количество экспериментальных установок для синтеза фуллеренов [2].

Роль буферного газа в процессе синтеза фуллеренов пока точно не установлена. Предполагается, что буферный газ отводит излишки колебательной энергии растущего углеродного кластера, выделяемой при синтезе, и препятствует разлету образовавшихся углеродных фрагментов [3].

При постоянном токе электрической дуги испаряется в основном анодный электрод. Углеродный пар уносится из зоны горения дуги и конденсируется на поверхности охлаждаемой камеры. Если в зоне дуги не обеспечивается принудительный поток буферного газа, то унос пара происходит только за счет конвекции газа. В этом случае значительная часть углеродного пара конденсируется на катоде, образуя нарост (катодный депозит). Он представляет собой структуру с твердой наружной оболочкой, внутри которой находится рыхлый углеродный материал. Фуллерены в катодном депозите практически отсутствуют.

Не смотря на многие попытки повысить производительность электродугового способа, его производительность остается низкой. Установленный оптимальный диаметр электрода, с торца которого в плазму поступает углерод, составляет всего 6 мм. Повышение тока дуги приводит к увеличению эрозии электрода, однако не сопровождается увеличением выхода фуллеренов. При больших токах происходит отрыв крупных частиц с поверхности графитового электрода. При дуговом способе синтеза существует определенный диапазон давления, тока и диаметра электродов, при котором сажа будет содержать не менее 10 % фуллеренов (рис. 2) [4, 5].

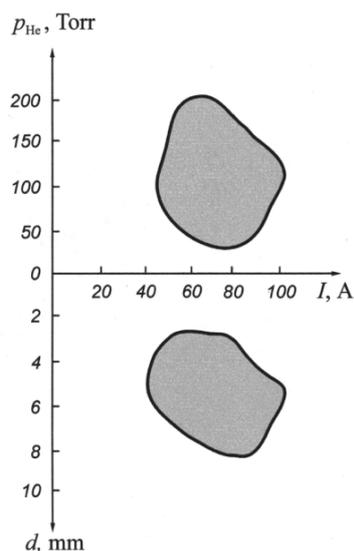


Рис. 2. Область параметров дугового разряда (ток, давление гелия, межэлектродное расстояние) с содержанием фуллеренов в саже более 10 % (диаметр электродов – 6 мм)

Синтез фуллеренов происходит в температурном интервале 2 500–3 500 К. Выход фуллеренов, образовавшихся в процессе синтеза, в значительной степени определяется их температурной устойчивостью. Расчетные значения температурной устойчивости  $C_{60}$  в Ar (рис. 3) при атмосферном давлении и очень низком содержании углерода в смеси приближаются к значению температурной стабильности 2 650 К, полученному экспериментально.

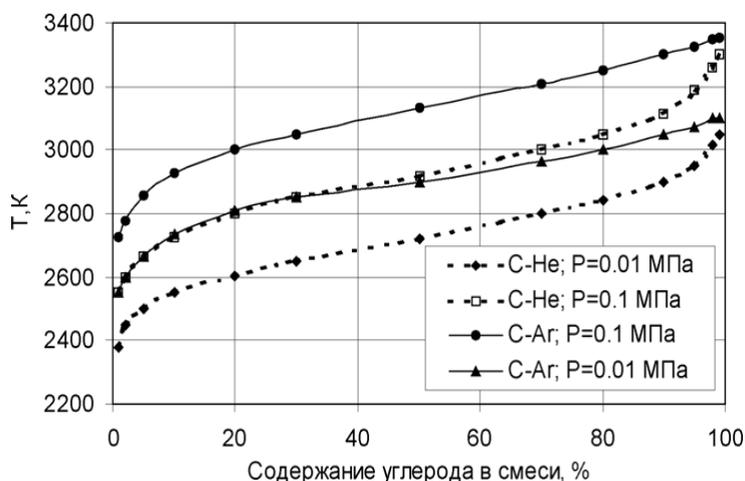


Рис. 3. Зависимость температуры устойчивости фуллерена  $C_{60}$  от давления и соотношения масс углерода и буферного газа в смеси

Теоретически исследовано влияние концентрации электронов [6] на образование фуллерена  $C_{60}$  (рис. 4).

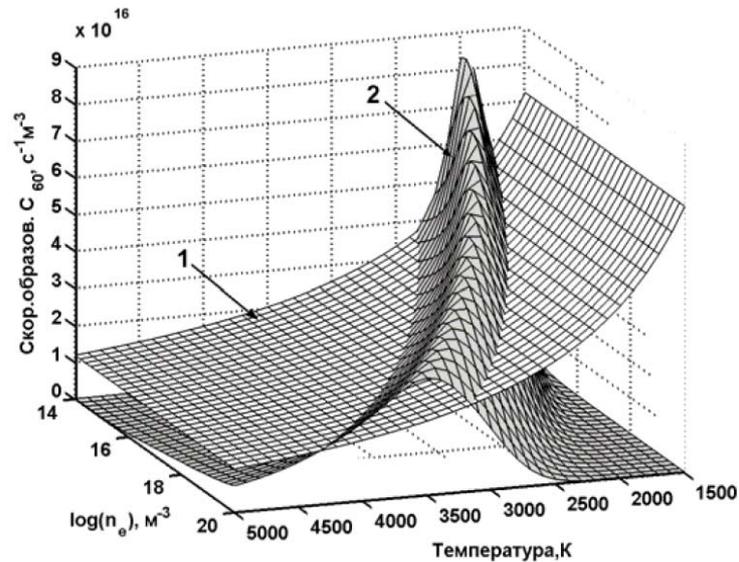


Рис. 4. Скорость образования фуллера  $C_{60}$  в зависимости от температуры и концентрации электронов: 1 – без учета зарядов; 2 – с учетом зарядов реагирующих кластеров

Примером использования плазмотрона для получения фуллеренов может служить установка, представленная на рис. 5. Плазмотрон имеет W катод, Si анод и несколько альтернативных каналов для подачи газа, в который добавляется графитовый порошок. Зазор между электродами находится в интервале 1÷3 мм. Электропитание плазмотрона осуществлялось генератором постоянного тока мощностью 12 кВт. В качестве плазмообразующего газа использовался Ar с расходом 18÷20 л/мин.

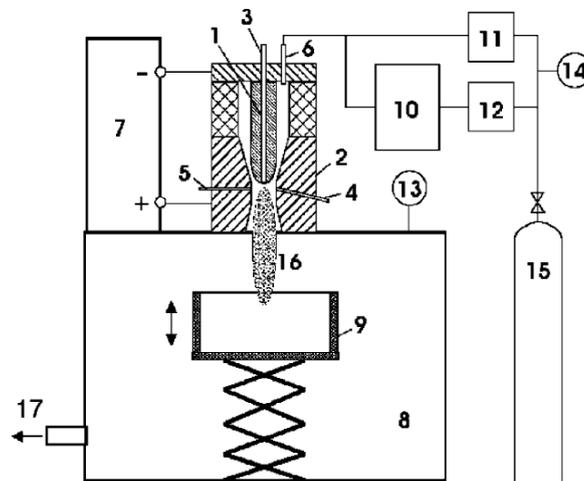


Рис. 5. Схема экспериментальной плазмотронной установки.

1 – катод; 2 – анод; 3, 4, 5, 6 – входные каналы; 7 – источник электропитания; 8 – охлаждаемая водой камера; 9 – подвижный сборник сажи; 10 – устройство подачи графитового порошка; 11, 12 – устройства управления подачи газа; 13, 14 – манометры; 15 – газовый баллон; 16 – плазменная струя; 17 – выходная труба

На основании анализа расчетных и экспериментальных результатов можно определить направления развития методов производства фуллеренов:

1. Использование плазменной струи плазмотрона для испарения углерода и производства фуллеренов. Применение плазмотрона практически не имеет ограничения по вкладываемой

мощности, что позволит интенсивно испарять углерод и получать большое количество исходного материала (атомов и ионов углерода) для последующего синтеза фуллеренов.

2. Формирование оптимизированной зоны синтеза. Создание турбулентной зоны достаточного объема с температурами, при которых происходит синтез фуллеренов, повысит вероятность образования молекул фуллеренов. Наличие некоторой тепловой устойчивости образовавшихся молекул способствует их выходу из «горячей» зоны синтеза.

3. Управление электронной плотностью в зоне синтеза. Поддержание оптимального значения концентрации электронов в зоне синтеза способствует образованию углеродных кластеров и последующему синтезу фуллеренов.

В настоящее время в Петербургском институте ядерной физики им. Б.П. Константинова НИЦ «Курчатовский институт» разрабатывается установка с использованием плазмотрона для испарения графита, в которой формируется турбулентная зона с оптимальной температурой и оптимальным значением концентрации электронов для эффективного синтеза фуллеренов.

### **Литература**

1. Чурилов Г.Н., Булина Н.В., Федоров А.С. Фуллерены. Синтез и теория образования // Изд-во СО РАН. Новосибирск, 2007. 230 с.

2. Образование фуллеренов в дуговом разряде / Д.В. Афанасьев [и др.] // ЖТФ. 1994. Т. 64. Вып. 10. С. 76–90.

3. Образование фуллеренов в дуговом разряде II / Д.В. Афанасьев [и др.] // ЖТФ. 1997. Т. 67. Вып. 2. С. 125–128.

4. Перспективы развития промышленных методов производства фуллеренов / А.А. Богданов [и др.] // ЖТФ. 2000. Т. 70. Вып. 5. С. 1–7.

5. Дюжев Г.А., Каратаев В.И. Где в дуговом разряде образуются фуллерены? // ФТТ. 1994. Т. 36. № 9. С. 2 795–2 798.

6. Основные закономерности и механизмы процесса формирования молекул фуллерена и фуллереновых производных в ионизированном углеродном паре / Г.Н. Чурилов [и др.] // Препринт № 816Ф. ИФ СО РАН. Красноярск, 2002. 32 с.