

*В.Ю. Польшиков**

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДИФФУЗИОННОМ ПЛАМЕНИ

Образование углеродных наноструктурных материалов в виде протяженных тубулированных структур (нанотрубок и нановолокон) при реализации дугового синтеза, при лазерном испарении графита и газофазном химическом осаждении происходит на катализаторах, содержащих переходные металлы или их соединения. Синтез в пламени также требует наличия нано- или микрочастиц катализаторных прекурсоров [1].

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ГОУ ВПО ТГТУ А.А. Баранова.

Несмотря на большое количество научных исследований, посвященных образованию наноматериалов при горении углеводородов, до сих пор не существует единой точки зрения на механизм образования структурного углерода в виде нанотрубок и нановолокон при наличии катализаторных прекурсоров в обогащенной топливной смеси или на подложке-саженакопителе. Однако понятно, что производство углеродных нанопродуктов при сжигании углеводородного сырья в различных горелочных устройствах является более технологичным и легкоуправляемым процессом, чем синтез другими методами.

Синтез в пламени привлекателен вследствие непосредственного наличия источника тепла, потенциальной возможности масштабирования, легкости регулирования и контроля, простоты аппаратурного оформления, безопасности технологического процесса.

Проведенный нами теоретический анализ термодинамики реагирования пропан-бутановой смеси с окислителями [2] показывает, что при сжигании в кислороде выход конденсированной фазы может достигать значений, наблюдаемых при пиролизе. А для реализации реальных процессов синтеза с высоким выходом конденсированного углерода в воздушном пламени необходимо производить сжигание с коэффициентом избытка окислителя $0,02...0,04$, а в кислородном использовать $0,05...0,1$. С использованием таких богатых топливных смесей возможны проблемы с устойчивостью пламени и может потребоваться принудительное инициирование процесса горения с помощью мощных источников воспламенения.

Поэтому необходимы экспериментальные исследования по изучению кинетических особенностей синтеза углеродных наноструктурных материалов в пламени с целью подбора реагентных газов, катализаторных систем, режимных параметров проведения процесса.

В этой связи на кафедре «Техника и технологии производства нанопродуктов» ГОУ ВПО ТГТУ разработана технологическая схема (рис. 1) и спроектирована установка для синтеза углеродных наноструктур в диффузионном пламени. В схеме получения наноуглерода из баллона *БГ* поступает углеводород, расход которого регулируется вентилем *ВРЗ* и расходомером *РЗ*. Необходимая концентрация углеводорода устанавливается путем смешения его в газовом смесителе *С* с инертным газом из баллона *БИ*, расход которого регулируется вентилем *ВР4* и расходомером *Р4*. Смесь газов поступает в катализаторную емкость *Е*, которая заполнена одним из четырех возможных катализаторных прекурсоров (порошкообразный катализатор, жидкий прекурсор, коллоидный раствор, возгоняемые металлоорганические соедине-

ния). Катализаторная емкость E имеет возможность нагрева с помощью нагревателя H для получения катализаторного прекурсора в паровой или газовой фазе. Смесь углеводорода, инертного газа и катализатора поступает по топливной линии в диффузионную горелку $ГД$, а по линии сжатого воздуха вентилятором B подается воздух на горение, расход которого регулируется вентилем $BP2$ и расходомером $P2$. Также имеется возможность вместо воздуха подавать на горение кислород из баллона $БК$ с регулировкой расхода с помощью вентиля $BP1$ и расходомера $P1$. В диффузионной горелке $ГД$ происходит химическое реагирование компонентов топлива в присутствии катализаторных частиц и накопление наночуглерода на специальной подложке-саженеакпителе. Газообразные продукты горения удаляются в атмосферу.

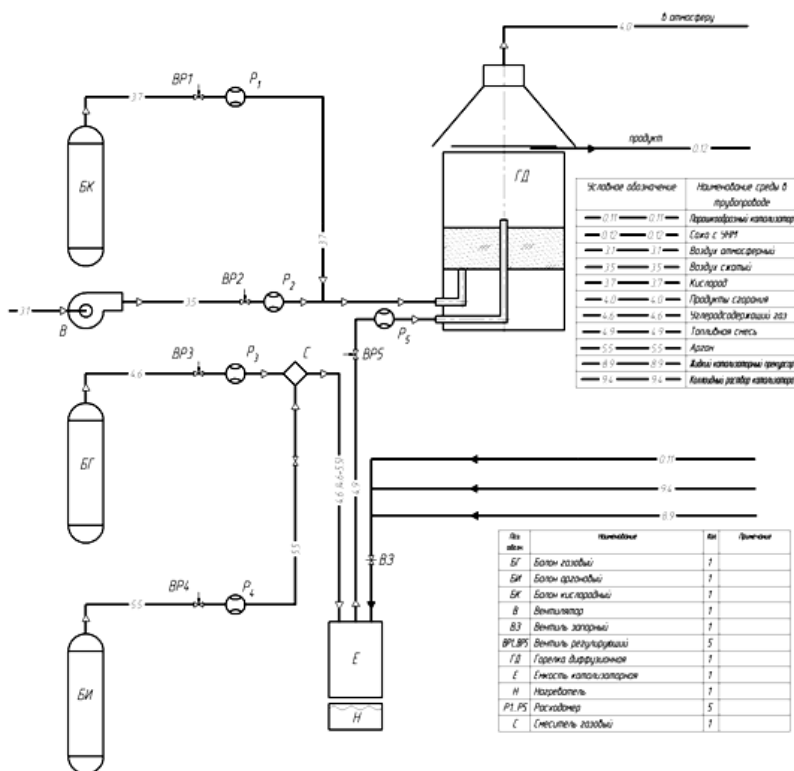


Рис. 1. Технологическая схема синтеза углеродных нанопроductов в диффузионном пламени

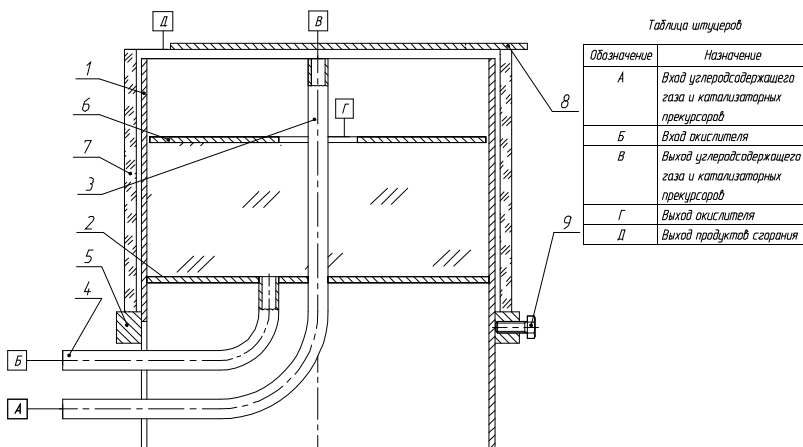


Рис. 2. Схема диффузионной горелки для синтеза углеродных наноструктурных материалов

Основным технологическим аппаратом в схеме синтеза является диффузионная горелка (рис. 2). Горелка включает цилиндрический корпус 1 с дном 2, в котором закреплены патрубки для подвода углеводорода 3 и окислителя 4. На дном 2 размещена газораспределительная зернистая насадка, закрытая кольцом 6. Телескопически с корпусом 2 соединен стеклянный кожух 7. На верхний торец кожуха 7 установлена съемная подложка-саженакопитель 8 с прорезями на периферии для отвода газообразных продуктов сгорания. Положение кожуха 7 и подложки 8 по высоте горелки и пламени регулируется перемещением позиционного кольца 5 с фиксацией болтами 9.

Предложенная конструкция диффузионной горелки совместно с технологической схемой синтеза углеродных нанотрубок в диффузионном пламени позволяет провести весь комплекс исследований и определить перспективы метода синтеза наноструктурного углерода в процессе горения топливных смесей с недостатком окислителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lee, G.W. Formation of Ni-catalyzed multiwalled carbon nanotubes and nanofibers on a substrate using an ethylene inverse diffusion flame / G.W. Lee // *Combustion and Flame*, 139. – 2004. – 167 – 175.
2. Польшиков, В.Ю. Синтез наноструктурного углерода в диффузионном пламени / В.Ю. Польшиков, А.А. Баранов, А.А. Паско // *Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновацион-*

ный менеджмент : материалы II Всероссийской научно-инновационной молодежной конференции (с международным участием) 27 – 29 октября 2010. – Тамбов : Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2010. – С. 181 – 183.

Кафедра «Техника и технологии производства нанопродуктов» ГОУ ВПО ТГТУ