

1. перераспределения нагрузки в ступенях многоступенчатых МВВН;
2. изменения длин проточных частей;
3. изменения скоростей вращения роторов насоса.

Литература

1. Демихов К.Е., Никулин Н.К. Расчет комбинированных турбомолекулярных высоковакуумных насосов. *Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. Машиностроение*, 2001, №3, с. 23-28.
2. Демихов К.Е., Никулин Н.К. Энергетические характеристики молекулярновязкостного вакуумного насоса. *Конверсия в машиностроении*, 2002, № 1, с. 18 – 20.
3. Бурмистров А.В., Райков А.А., Саликеев С.И. Энергетические характеристики безмасляного кулачково-зубчатого вакуумного насоса. *Вестник Казанского технологического университета*, 2012, № 8 (15), с. 257-258.
4. Антипов И.А., Никулин Н.К. Исследование энергетических характеристик многоступенчатого молекулярно-вязкостного вакуумного насоса. *Сборник трудов I Всероссийской студенческой научно-практической конференции «Вакуумная, компрессорная техника и пневмоагрегаты»*. М.: МГТУ, 2008, с. 182 – 186.
5. Романов А.В. *Электрический привод: Курс лекций*. Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2006, 143 с.
6. Демихов К.Е., Панфилов Ю.В. и др. *Вакуумная техника: Справочник*. Демихов К.Е., Панфилов Ю.В. ред. М.: Машиностроение, 2009, 590с.
7. Официальный сайт компании АО «Atlas Copco» URL:<https://www.atlascopco.com> (дата обращения: 15.04.2018).

Модульная вакуумно-термическая установка для пиролитического разложения этанола

***С.П.Бычков, Е.А. Зикий, О.В. Огнев, Ю.В. Панфилов, *Ю.М. Саранулов, *М.С. Сиrotский
Москва, ФГБОУВО МГТУ им Н.Э. Баумана, ул.2-я Бауманская, д.5, bychkov@bmstu.ru
* Брянск, АО НПО «Спецэлектромеханика», ул. Карачижская, д.79, sem-bf@semgroup.ru***

Рассмотрены возможности применения модульной вакуумно-термической установки для проведения процессов пиролитического разложения газов. Проведены расчет температур поверхностей рабочей камеры на основе разработанной математической модели. Установка является совместной разработкой кафедры МТ-11 «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана и АО НПО «Спецэлектромеханика» (г. Брянск).

Modular vacuum-thermal unit for pyrolytic decomposition of ethanol. S.P.Bychkov, E.A.Zickiy, O.V.Ognev, Y.V.Panfilov, Y.M.Sarapulov, M.S.Sirotskiy. The possibilities of using a modular vacuum-thermal unit for pyrolytic decomposition of gases are considered. The working chamber surface temperature is calculated on the basis of the developed mathematical model. This unit is a joint work of the department МТ-11 "Electronic technologies in mechanical engineering" (BMSTU, Moscow) and NPO "Spetsselektromekhanika" (Bryansk).

В результате сотрудничества кафедры МТ-11 «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана и АО НПО «Спецэлектромеханика» (г.Брянск) была спроектирована и изготовлена лабораторная модульная вакуумно-термическая установка (МВТУ) для реализации технологических процессов в вакууме в условиях локального распределения температур в рабочей камере, позволяющая получать достаточно высокую температуру на обрабатываемой подложке при холодных стенках камеры. Это делает

возможной реализацию на ней достаточно широкой гаммы физико-химических процессов, используемых в электронных технологиях [1].

Например, при синтезе углеродных нанотрубок (УНТ) всё большую популярность набирают пиролитические методы, так как они применимы для массового получения УНТ, не требуют столь высоких температур, как при возгонке графита, могут применяться для выращивания УНТ на значительных площадях, ими легче управлять. Выход УНТ в пиролитических методах может достигать 90 – 95%.

Наиболее простой и распространённый пиролитический метод – пиролиз с порошкообразным катализатором [2]. Самая распространённая установка для реализации данного метода представляет собой обогреваемую кварцевую горизонтальную камеру, в которой расположена подложка с навеской катализатора (рис. 1).

После разогрева подложки до требуемой температуры в камеру напускается углеродосодержащий газ, например, этанол. Обычно рабочее парциальное давление паров спирта находится в пределах от 0,7 до 1,4 кПа, а необходимая рабочая температура подложки может варьироваться от 400 до 850°С [3].

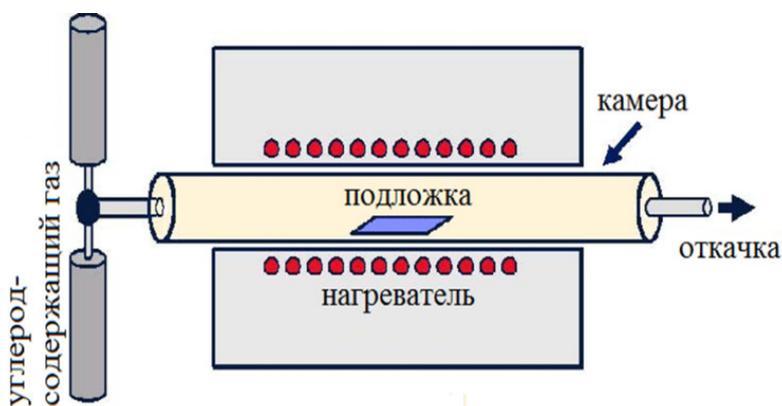


Рис.1. Общая схема пиролиза с термическим активированием.

В случае пиролиза на подложке в качестве катализатора выступает либо тонкая плёнка активного металла (соединения) толщиной от нескольких долей нанометра до нескольких нанометров, либо островковая плёнка активного соединения. Замечена зависимость диаметра получаемых УНТ от толщины плёнки катализатора. Обычно с ростом толщины плёнки увеличивается и диаметр формирующихся на ней УНТ. Замечено, что нанесение буферного слоя (Al_2O_3 , TiO_2 , $TiNi$ др.) между подложкой и слоем катализатора обычно позитивно влияет на качество получаемых УНТ. Также на качество получаемых УНТ влияет шероховатость подложки. После завершения процесса содержимое лодочки промывается в специальных растворах для очистки от остатков катализатора [4].

МВТУ – модульная вакуумная термическая установка, схема которой представлена на рис.2.

Синтез УНТ здесь осуществляется каталитическим пиролизом на гладкой подложке с катализатором на носителе посредством термического активирования в камере с холодными стенками. Предполагается использование керамических, полупроводниковых и стеклянных подложек. В качестве катализатора предполагается использовать островковые плёнки никеля, полученные методом резистивного испарения или магнетронного распыления.

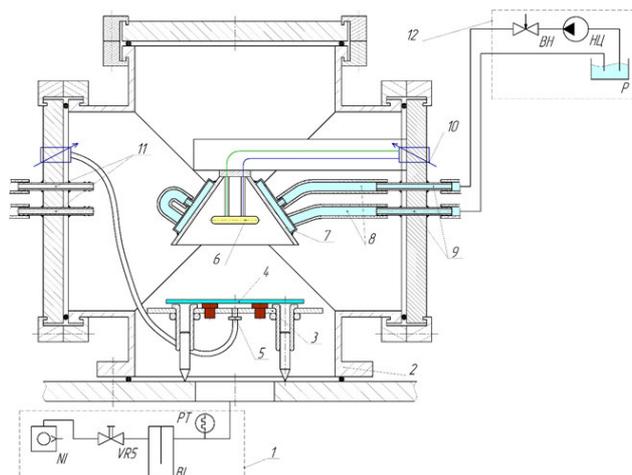


Рис. 2. Схема модульной вакуумной термической установки:

- 1- откачная система; 2 - вакуумная камера; 3 - подложкодержатель;
4 - подложка; 5 - терморпара; 6 - галогенная лампа; 7- водоохлаждаемый рефлектор;
8 - шланги для водяного охлаждения; 9 - водяные патрубки;
10 - токоввод; 11 - газовые патрубки; 12- система циркуляции воды.*

Внешний вид установки представлен на рис. 3.

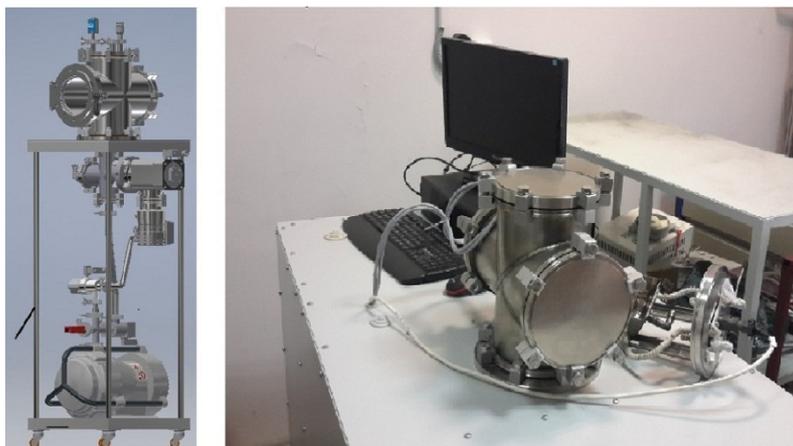


Рис. 3. Модульная вакуумно-термическая установка.

Для оценки возможной температуры подложки, обеспечиваемой нагревательным элементом в виде ГЛН типа КГМ-36-500 в вакууме, был выполнен тепловой расчёт. Задача расчёта – определение максимальной температуры нагрева изделия при заданной мощности нагревателя при известных геометрических и теплофизических параметрах рассматриваемой системы тел. Базовая расчетная схема - система 5-ти поверхностей - представлена на рис.4.

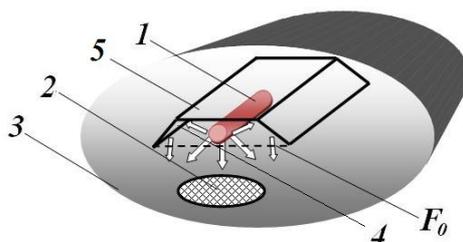


Рис. 4. Расчетная схема системы 5-ти поверхностей:

- 1 – нагреватель, 2 – изделие, 3 – поверхность рабочей камеры, 4 – рабочая поверхность рефлектора, 5 – обратная поверхность рефлектора, F_0 – вспомогательная поверхность.*

При эффективном охлаждении рабочей камеры и рефлектора при диффузном отражении взаимодействующих поверхностей значение максимальной температуры нагрева изделия T_2 [K]

$$T_2 = \sqrt[4]{\frac{E_{02}}{\sigma_0}}$$

где $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} [\frac{Вт}{м^2 K^4}]$ – постоянная Стефана – Больцмана,

$$E_{02} = A^* \frac{p_n}{F_2} + E_{охл} [Вт/м^2]$$

где p_n - мощность нагревателя [Вт], F_2 - площадь поверхности подложки [м²]. Значения остальных величин рассчитываются по следующим формулам:

$$A^* = \frac{1 - \varphi_{14} + (\varphi_{42} + \varphi_{43})R_4 + \frac{A_{12}^D}{A_{11}^D} (\varphi_{12} + \varphi_{42}R_4)}{\varphi_{24} + \frac{A_{12}^D}{A_{11}^D}}$$

$$A_{11}^D = \varphi_{32}R_3 - \varphi_{42}R_4 \left(1 + \frac{\varphi_{35}R_3}{1 + R_5}\right)$$

$$A_{12}^D = \left(1 + \frac{\varphi_{35}R_3}{1 + R_5}\right) (1 + (\varphi_{42} + \varphi_{43})R_4) + \varphi_{34}R_3$$

$$E_{охл} = \sigma_0 T_{охл} = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 280^4 = 348,5 [\frac{Вт}{м^2}]$$

Коэффициенты A^*, A_{11}^D, A_{12}^D зависят от значений соответствующих угловых коэффициентов (φ_{ij}) и относительных рефлективностей ($R_i = (1 - \varepsilon_i)/\varepsilon_i$) поверхностей в рассматриваемой системе тел (ε_i – коэффициент излучения i -ой поверхности), при этом максимальная температура нагреваемой поверхности не зависит от ее коэффициента излучения ε_2 .

Расчетные зависимости температуры на поверхности подложки от расстояния между подложкой и рефлектором для заданной конструкции рабочей камеры при нагреве в атмосфере и в вакууме представлены на рис. 5.



Рис. 1. Изменение температуры на поверхности подложки в зависимости от расстояния между подложкой и рефлектором.

Расчеты показывают, что водоохлаждаемый нагревательный модуль с нагревательным элементом типа ГЛН мощностью 500Вт позволяет получить на подложке при нагреве в вакууме температуру от 250 до 900°C, достаточную для реализации заявленного процесса. Требуемая температура обеспечивается изменением расстояния между подложкой и

рефлектором. Это расстояние определяется расчетом, при этом точная регулировка при необходимости может быть осуществлена незначительным изменением питающего напряжения на нагревателе.

Литература

1. С.П.Бычков, Л.Л.Колесник, Ю.В.Панфилов, Ю.М. Сарапулов, М.С. Сиротский. Перспективы совместной разработки вакуумного оборудования МГТУ им. Н.Э. Баумана и АО НПО «Спецэлектромеханика - XIII Международная научно-техническая конференция "Вакуумная техника, материалы и технология» - Москва, 2018
2. Раков, Э.Г. Получение тонких углеродных нанотрубок каталитическим пиролизом на носителе /Э.Г.Раков//Успехи химии. 2007. – Т.76, №1. – С.3-26.
3. Исмагилов Р.Р. Получение и свойства углеродных тубулярных наноструктур: дис. к-татехн. наук/ Р.Р. Исмагилов. – Москва, 2011. – 121с.
4. Карнаухов, А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов/ А.П. Карнаухов. — Новосибирск: Наука. 1999. — 470 с.

Металло-керамическая рентгеновская трубка нового поколения

Е.Д. Суманова, М.В. Гарькуша, Е.П. Шешин

*г. Долгопрудный. ФГАОУВО «Московский физико-технический институт (НИУ)»
tizori133@mail.ru, m.v.garkusha@gmail.com, sheshin.ep@mipt.ru*

Предложен прототип металлокерамической рентгеновской трубки нового образца с автоэмиссионным катодом на основе остеклованного пучка углеродных волокон. Изготовлен образец данной рентгеновской трубки с наиболее оптимальными параметрами конструкции.

Metal-ceramic X-ray tube. E.D.Sumanova, M.V.Garkusha, E.P.Sheshin. A design is proposed for an X-Ray tube with glassed polyacrylonitrile fiber field emission cathode. The prototype X-Ray tube is manufactured and presented with the most optimal design parameters.

Введение

В настоящий момент времени использование рентгеновской аппаратуры приобрело широкий спектр. Рентгеновское излучение нашло свое применение в различных областях науки, медицины и иных областей. За счет высокой проникающей способности рентгеновского излучения, появилась возможность получать информацию о внутреннем строении веществ на микроуровне с помощью острофокусных рентгеновских трубок. Они используются для структурного анализа, микродефектоскопии, кристаллографических исследований, медицинской диагностики и т.п. На качество получаемого изображения сильно влияют многие параметры рентгеновской трубки[1]. В связи с этим в сфере острофокусной рентгеновской трубки наблюдается тенденция разработки конструкций, каждая из которых должна максимально подходить под заданные цели исследований и их требования.

Наиболее распространенный тип острофокусных рентгеновских трубок, приобретших популярность – приборы с анодом прострельного типа, на мишень которого попадают электроны, создавая наименьшее фокусное пятно при наибольшей возможной мощности(мощности, которая позволяет трубке эффективно работать не разрушая слой мишени).[2] Также существует необходимость в создании компактных трубок с отсутствующей системой охлаждения на основе данных характеристик. Это достигается заменой термоэмиссионных катодов на автоэмиссионные катоды, например, из полиакрилонитрильных (ПАН) углеродных волокон[3].