

ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАЗМЕННОЙ ГРАФИТАЦИИ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА

1. Назначение технологии

Технология предназначена для замены менее энергоэффективных традиционных технологий графитации углеродного волокна (УВ) связанных с резистивным или индукционным нагревом.

2. Область применения

Область применения технологии - производство графитированного УВ.

3. Конкурентные преимущества

- Высокая надежность и простота конструкции, возможность графитации УВ при более высоких температурах.
- Снижение энергозатрат на процесс графитации на 25 – 35% в сравнении с традиционными (индукционными печами) способами графитации УВ.
- Значительная миниатюризация оборудования для реализации плазменной технологии по сравнению с оборудованием для реализации нагрева УВ традиционными способами.

4. Новизна и патентная чистота

Новизна и патентная чистота предлагаемой технологии обеспечены. Поданы заявки на получение патентов на изобретения и полезные модели.

5. Краткое описание технологии

5.1. Общие сведения

Предлагаемая технология графитации УВ основана на генерации тонкого слоя плазмы непосредственно вокруг УВ по всей его длине находящейся в камере графитации. Таким образом, обеспечивается наилучший теплообмен и достигается максимально полная передача тепловой энергии плазмы на УВ. Камера графитации одновременно является частью резонатора, в котором с помощью магнетрона создается сильное электромагнитное СВЧ поле.

Механизм образование плазмоида сводится к следующим двум стадиям:

1. Наводка в участке проводника (УВ), находящегося в резонаторной камере, тока (доли мА), характеризуемого определенным значением напряжения. Наводимый ток должен иметь напряжение больше или равное критическому напряжению U_k . Критическое напряжение U_k – минимальное значение напряжения, обеспечивающего критическую напряженность поля вокруг коронирующего электрода необходимую для возникновения коронного разряда.
2. Образование коронного разряда вокруг УВ создает участок ионизированного газа, способного поглощать энергию СВЧ излучения, что приводит к его резкому разогреву и зажиганию плазмоида.

В общем случае зависимость величин наводимого критического напряжения и создаваемого им критической напряженности поля вокруг участка УВ определяются по нижеприведенным формулам, при условии, что радиус УВ менее 10^{-2} метра. На практике, для расчетов используется приведенный условный радиус, поскольку даже если жгут УВ имеет существенно больший диаметр, участками для возникновения пробоя и коронного разряда являются элементарные филаменты (волокна), имеющие диаметр в несколько мкм.

$$U_k = E_k r_0 \ln \frac{R}{r_0}, \text{ В}$$

U_k – критическое напряжение, В

r_0 – радиус коронирующего электрода (радиус УВ), м;

R – приведенное расстояние до стенки резонаторной камеры, м (в нашем случае – 14,7 см)

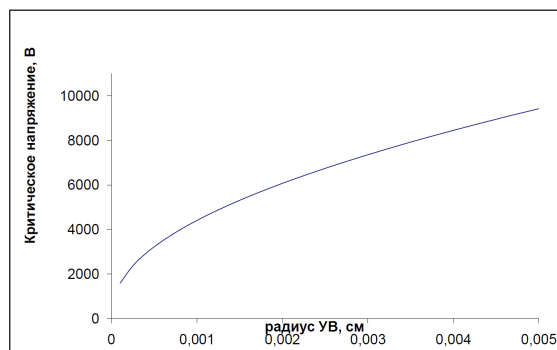
E_k – напряженности поля вокруг коронирующего электрода, В/м

$$E_k = a \cdot \rho \cdot \left(1 + \frac{b}{\sqrt{\rho \cdot r_0}}\right), \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$$

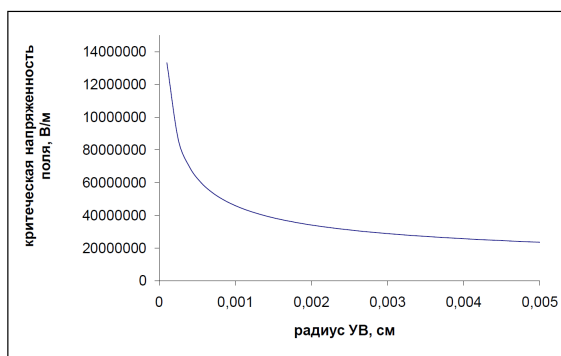
r_0 – радиус коронирующего электрода (радиус УВ), см;

ρ – плотность газа при нормальных условиях, кг/м^3 ;

a, b – эмпирические коэффициенты, для аргона 31,0 и 0,3087 соответственно, воздуха 31,0 и 0,3081.



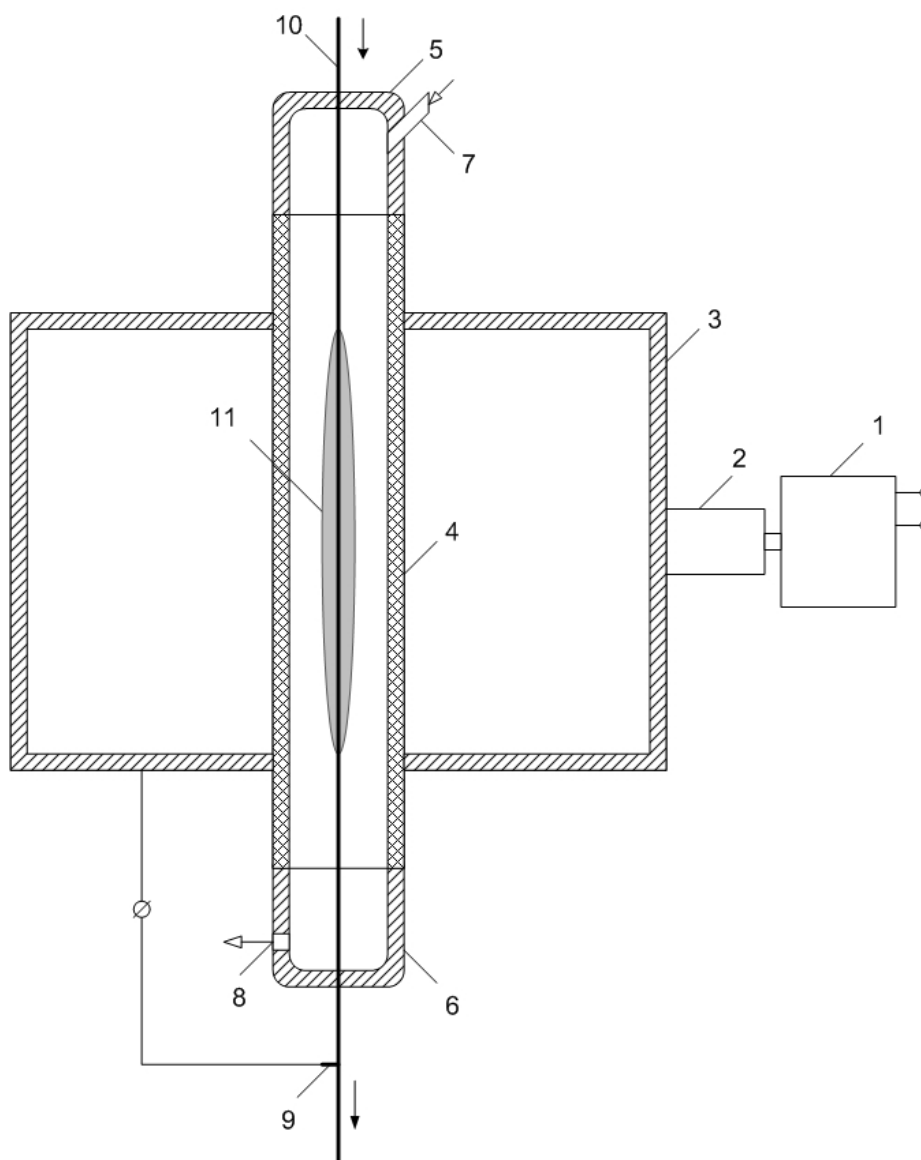
Зависимость значения критического напряжения от радиуса УВ



Зависимость значения критической напряженности поля от радиуса УВ

5.2. Схема установки для графитации УВ и описание ее работы

Схема установки плазменной графитации УВ



1 – магнетрон, 2 – волновод, 3 – резонатор, 4 - камера нагрева, 5, 6 - устройства герметичного ввода и вывода б волокна, 7, 8 – подача и вывод инертного газа (азота), 9 - скользящий электрический контакт, 10 – волокно, 11 – плазма.

Описание схемы установки

Внутри объема резонатора **3** посредством соединенного с ним волноводом **2** магнетроном **1** создается сильное СВЧ электромагнитное поле. В УВ **10**, имеющего электрический контакт **9** с корпусом резонатора **3** и протягиваемого сквозь камеру нагрева, выполненную из прозрачного для СВЧ излучения материала, наводится ток высокого напряжения. Мощность магнетрона и параметры резонатора рассчитаны таким образом, что бы не происходило самопроизвольного пробоя газа внутри резонатора, а наводимый ток в волокне **10**, имел достаточную напряженность для возникновения вокруг нагреваемого волокна **10** коронного разряда. Коронный разряд вызывает ионизацию молекул инертного газа (азота) вокруг волокна **10**, что делает его восприимчивым к поглощению СВЧ излучению. Вследствие поглощения энергии СВЧ излучения происходит разогрев газа вокруг нагреваемого материала **10** с образованием СВЧ плазмы. Образующийся плазмоид равномерно распределен вокруг волокна **10** по всей его длине находящейся внутри камеры нагрева **4**. Высокая температура плазмы (6000К) обеспечивает мгновенный нагрев волокна и фазовый переход углерода. Для пространственной стабилизации плазмоида, а также для предотвращения избыточного разогрева стенок камеры нагрева **4**, в последнюю предусмотрена тангенциальная подача инертного газа. Подача инертного газа, одновременно предохраняет волокно от окисления кислородом воздуха. Ввод и вывод инертного газа осуществляется через отверстия **7** и **10** в устройствах герметичного ввода **5** и вывода **6** УВ **10**. Конструкция устройств герметичного ввода **5** и вывода **6** имеет отверстия близкие по размеру диаметра размеру диаметра протягиваемого сквозь них волокна (жгута волокон) **10**, и могут использоваться в качестве скользящего контакта для электрической связи волокна **10** и резонатора **3**.

5.3. Основные особенности конструкционных решений

- Технология плазменной графитации УВ и установка для ее реализации легко могут быть интегрированы в существующее производство УВ.
- Конструкционная схема установки графитации УВ предполагает ее масштабируемость и использования традиционных для химического машиностроения доступных материалов

6. Уровень разработки

- Разработана базовая промышленная технология графитации УВ
- Проработаны основные технические решения и изготовлена экспериментальная масштабируемая установка графитации УВ.



Экспериментальная масштабируемая установка высокотемпературной плазменной обработки волокна (Изготовлена в ходе работ в интересах ОДО ТХФ, РБ, Минск).

- Разработан проект ТЗ на разработку и поставку опытной установки по графитации УВ.*

*Проект ТЗ может быть скорректирован в соответствии с требованиями Заказчика.

7. Ориентировочные сроки и стоимость работ по поставке опытной установки по графитации УВ и предлагаемой технологии

Ориентировочные сроки поставки опытной установки графитации УВ составляют 18 месяцев с момента подписания. Стоимость работ определяться производительностью установки графитации УВ. Возможна продажа лицензии и конструкторской документацией на установку плазменной графитации УВ.