

УДК 537.5

К.К. ПРИВАЛИХИНА, БИЯТТО Е.В., студентки гр. 5АМ62 (НИ ТПУ)

Научный руководитель А.Я. ПАК, к.т.н., доцент (НИ ТПУ)

г. Томск

ПОЛУЧЕНИЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА

На сегодняшний день карбид кремния является редким веществом на Земле, однако, он широко распространён в космосе. Это вещество находится в пылевых облаках вокруг богатых углеродом звёзд, также его содержание высоко в метеоритах. Природный карбид кремния — Муассанит можно найти только в ничтожно малых количествах в некоторых типах метеоритов и в месторождениях корунда и кимберлита. Впервые Муассанит был обнаружен в 1893 году в качестве небольшого включения в метеорите Каньон Диабло в Аризоне Фердинандом Анри Муассаном, в честь которого и был назван минерал в 1905 году [1].

Первые сведения о несистематических и непризнанных синтезах карбида кремния появились еще в 1849 году. Широкомасштабное производство начал Эдвард Гудрич Ачесон в 1893. Он запатентовал метод получения порошкообразного карбида кремния 28 февраля 1893 [1]. Ачесон также разработал электрическую печь, в которой карбид кремния создаётся до сих пор.

Для создания новых материалов с заданными свойствами, а также переработки углеводородных соединений, в том числе полимерных [2,3] широкое распространение в мире получили плазменные электротехнологические установки [4,5,6]. Стремительно развиваются электроискровые и электродуговые системы поджигания топлива и стабилизации горения [7], проводятся экспериментальные и теоретические исследования электроразрядных явлений [8,9].

Установки постоянного тока, доля которых в мире составляет порядка 87% [10] в классификации схожих систем по типу электропитания являются одной из основных разновидностей систем для генерации плазмы. В то же время, существует ряд недостатков современных электродуговых установок, а именно: влияние полярности подключения источника питания на процесс осуществления переноса массы с одного электрода на другой, сложность реализации равномерного распределения параметров плазмы, сложность в распространении и удержании плазменного факела в значительном объеме части объема реактора, необходимость контроля состава и давления газовой среды реактора [11], относительно высокое энергопотребление [12].

Возможным подходом, позволяющим решить рассматриваемые затруднения, может быть генерация плазмы с использованием графитовых

электродов [13]. Это может теоретически позволить повысить значения температур в плазменном факеле (до 10-12 тыс. градусов) при сравнительно небольших значениях тока (100-200 А) [14]. По этой причине проведение экспериментальных исследований электрической дуги постоянного тока между графитовыми электродами представляется весьма актуальной задачей, в частности с применением современных источников электропитания.

Для исследования процесса генерации углеродной плазмы была создана простейшая экспериментальная установка с использованием графитовых электродов марки «ESAB OK Carbon», которые были подключены к источнику электропитания постоянного тока со встроенным преобразователем частоты (Condor Colt 200) и максимальным рабочим током до 200 А. Данный источник позволяет плавно регулировать уровень тока в диапазоне от 20 А до 200 А. Напряжение холостого хода составляет 62 В.

В электродах было проделано отверстие, в которое был засыпан порошок кремния. Один из электродов был закреплен неподвижно, и подключен к минусовой клемме источника питания, второй электрод – подвижный, подключен к положительной клемме. Для того чтобы создать дуговой разряд необходимо, чтобы подвижный электрод был поднесен к неподвижному, вплоть до их соприкосновения, тем самым обеспечивая электрический контакт.

Эксперимент проведен для различных значений уровня тока, от 20 А до 200 А. После зажигания дуги подвижный электрод отводился по продольной оси электродов со скоростью 2 мм/с, тем самым реализуется удлинение дуги, до момента погасания заряда. Источник питания в свою очередь, обладает встроенными амперметром и цифровым мультиметром, работающим в режиме вольтметра; благодаря возможности визуального наблюдения за плазмой было возможно оценить размеры (длину) дугового разряда. Для защиты органов зрения применялся светофильтр для сварочных работ, через который можно осуществлять наблюдение за экспериментом.

Схематически экспериментальная установка представлена на рис.1.

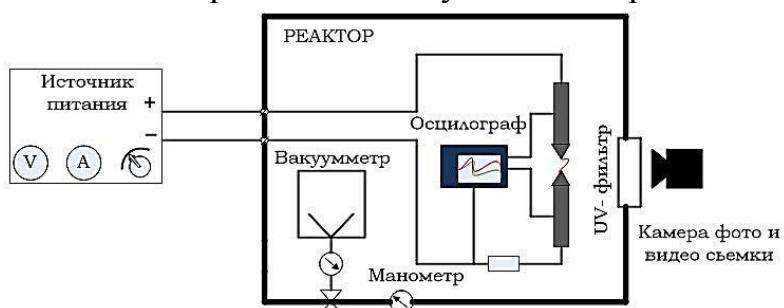


Рис.1. – Устройство экспериментальной установки

В ходе эксперимента было замечено, что электрод, подключенный к положительному заряду значительно выгорает, а на отрицательном происходит осаждение порошкового материала. Полученное вещество было

проанализировано под электронным микроскопом, а также с помощью рентгеновского излучения. Результаты показали, что полученное вещество – содержит кубический карбид кремния. Данный продукт был получен при токах около 150 А.

Рентгенограмма порошкового продукта представлена на рис.2.

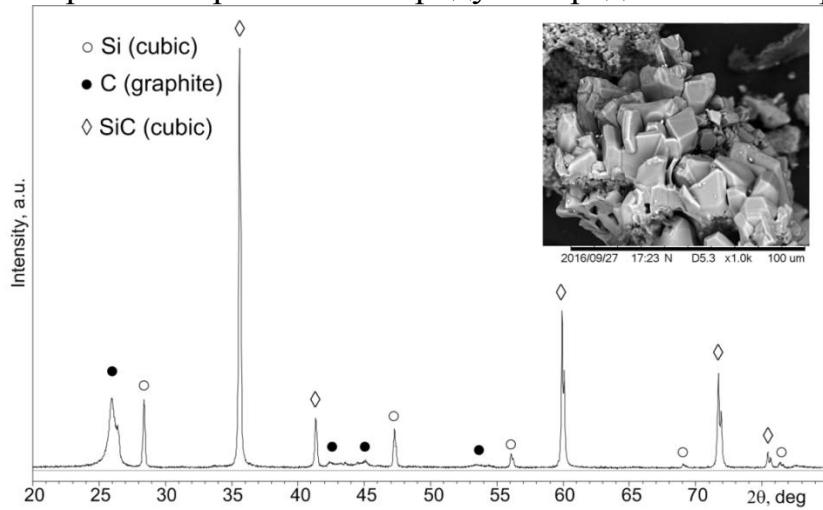


Рис.2. – Рентгенограмма порошкового продукта

Эксперимент проводился в системе «острие – острье», а также «острие – плоскость». При наибольшей длине дуги, то есть в момент погасания дугового разряда значение напряжения было фиксировано. По величине напряжения и тока рассчитывалась электрическая мощность дугового разряда. Можно заметить, что при увеличении тока в системе «острие – острье» значение напряжения увеличивается быстрее, чем в системе «острие – плоскость», а также это отражается на мощности системы и длине дуги между электродами, данные экспериментов можно видеть в таблице 1.

Таблица 1. Усредненные экспериментальные данные

I, A	система «острие-острие»			система «острие(+) - плоскость (-)»		
	U, В	P, Вт	L _{дуги} , мм	U, В	P, Вт	L _{дуги} , мм
20	45	900	12	45	900	6
55	50	2750	25	42	2310	6
90	50	4500	25	45	4050	8
130	52	6760	15	45	5850	12
165	54	8910	12	50	8250	10
200	52	10400	10	50	10000	10

Приведенные расчётные данные показывают, что в зависимости от уровня тока мощность дугового разряда менялась от 0,9 кВт до \sim 10,5 кВт. Непосредственно перед погасанием дугового разряда его максимальное напряжение находилось примерно на одном уровне и было примерно равно 50 В. Изменение уровня напряжения при погасании дуги, вероятнее всего, связано со значением напряжения холостого хода источника питания. Можно сказать, что происходит снижение скорости подачи энергии в дуговой разряд и погашение дуги, что достигается приближением напряжения к напряжению источника электропитания.

Используя графитовые электроды можно достичнуть температуры плазмы 10-12 тыс. К. при рассматриваемых величинах тока [15]. В серии проведенных экспериментов было получено изменение максимальной длины дуги, которое представляет существенный интерес. При токе дугового разряда в диапазоне 60-90 А и мощностях около 3,0-4,5 кВт. Данный факт объясняется тем, что при наличии низких уровней тока электрическая мощность, поступающая в разряд, не обеспечивает устойчивое горение дуги при ее удлинении в проводимых экспериментах более 10-12 мм. С другой стороны, максимальная длина полученного разряда при более высоких уровнях токов ограничена падением напряжения на дуговом разряде, которое становится близким к напряжению источника питания при токах около 160...200 А. Это происходит при увеличении длины дуги в промежутке около 10-12 мм. В процессе эксперимента «острие-плоскость» можно заметить, что длина дуги меньше, в сравнении с длинной дуги, полученной в электродной системе «острие – острье».

При этом в данных условиях проведения экспериментов «острие-острие» и «острие-плоскость» можно создать наибольшую длину дуги, достигая оптимальных значений токов.

Полученные результаты являются предсказуемыми ввиду известных закономерностей влияния формы электродов на электроразрядные явления [16] в вопросах создания благоприятных условий для формирования разрядных каналов в системе «острие – острье».

Таким образом, в рассматриваемой работе проведено экспериментальное исследование по генерации углеродной электроразрядной плазмы в воздушной атмосфере при различных конструкциях электродов «острие – острье» и «острие (+) - плоскость (-)». В результате установлено, что более предпочтительной конструкцией с точки зрения максимальной длины дугового разряда является система «электрод – электрод».

Благодаря уникальным сочетаниям свойств карбида кремния, электронных и механических, и физико-химических свойств, его можно использовать в качестве материала для широкого диапазона устройств и датчиков, особенно в работе с высокими температурами или в агрессивных средах, в различных областях применения, в таких как машиностроение,

атомная энергетика, на предприятиях оборонной, металлургической, пищевой, химической, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленностей. В рассматриваемой работе описан успешный эксперимент по получению кубической фазы карбида кремния при помощи электрической дуги.

Список литературы:

1. Карбид кремния [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%B1%D0%B8%D0%B4%D0%BA%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%B8%D1%8F>;
2. Словецкий Д.И. Плазмохимические процессы в нефтехимии (ОБЗОР)/ Нефтехимия, том 46, Номер 5, 2006;
3. Тухватуллин А.М., Засыпкин И.М. Плазмохимическая технология переработки углеводородного сырья, обезвреживания и утилизации токсичных отходов/ Генерация низкотемпературной плазмы и плазменные технологии. Проблемы и перспективы, 2004
4. E. Gomez et al. / Journal of Hazardous Materials 161 (2009) 614–626; P. Zhao et al. / Journal of Hazardous Materials 181 (2010) 580–585;
5. А.Г. Каренгин, О.Д. Шахматова/Вестник науки Сибири. 2012. № 2 (3). с.22-26;
6. K. Reineke et al. / Innovative Food Science and Emerging Technologies 30 (2015) 112–118;
7. A. Starikovskiy, N. Aleksandrov / Progress in Energy and Combustion Science 39 (2013) 61-110;
8. A.S.DeFilippo, J.Chen / Combustion and Flame 172 (2016) 38-48;
9. S.Merola, L.Marchitto et al. / Applied Thermal Engeneering 69 (2014) 177–187;
10. N. Arora, N.N. Sharma / Diamond & Related Materials 50 (2014) 135–150;
11. D.Sun, R. Hong et al. / Chemical Engineering Journal 303 (2016) 217–230;
12. F X. Lu et al. / Diamond am/Related Materials 7 (1998) 737 – 741;
13. C. Tendero et al. / Spectrochimica Acta Part B 61 (2006) 2 – 30;
14. D.V. Schur et al./ Carbon 45 (2007) p.1322–1329 ;
15. N. Arora, N.N. Sharma / Diamond & Related Materials 50 (2014) 135–150.
16. Бутенко В.А. Техника высоких напряжений: учебное пособие/ В.А. Бутенко, В.Ф. Важов, Ю.И.Кузнецов – Томск: Изд-во ТПУ, 2008.- 118с.