

УДК 54.05

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО РЕАКТОРА НА ПРОДУКТ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ SI-C

**О.А. Болотникова, магистрант первого курса группы 5АМ8Ч, А.Я. Пак,
к.т.н., доцент Отделения автоматизации и робототехники**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
г. Томск

Карбид кремния – неоксидный керамический материал, обладающий рядом физико-механических, физико-химических и электрофизических свойств, которые привлекают внимание множества исследователей в мире [1].

Существующие ныне методы синтеза карбида кремния имеют ряд недостатков, таких как высокая длительность процесса и необходимость создания защитной атмосферы. Таким образом, актуальной задачей является разработка и оптимизация методов получения дисперсных материалов, содержащих карбид кремния [2].

С целью реализации процесса электродугового синтеза был собран лабораторный экспериментальный плазмохимический реактор постоянного тока. В качестве источника электропитания использовался выпрямительно-инверторный сварочный трансформатор марки Condor Colt 200 с диапазоном рабочих токов от 20 А до 200 А, с возможностью плавного регулирования, источник запитан от электромеханической схемы с магнитным пускателем. При помощи силовых линий связи к источнику питания подключались графитовые электроды, формирующие разрядный промежуток. Дуговой разряд инициировался кратковременным соприкосновением электродов. Непосредственно перед рабочим циклом системы в зону формирования дугового разряда закладывалась смесь углерода и кремния (Si/C) в массовом соотношении Si:C =2:1 [3]. В результате проведения серии экспериментов обычно получается продукт, состоящий из карбида кремния, графита и кубической фазы кремния [3]. В качестве напоминания о морфологии частиц получаемого микроразмерного карбида кремния представлен снимок с растрового электронного микроскопа [3]. Одним из загрязнений по отношению к карбиду кремния является графит, количество которого зависит от массы эрозии графитового анода реактора. Соответственно, определение количества эродированного материала в процессе синтеза является важным аспектом процесса управления фазовым составом продукта.

В данной работе рассматриваются две серии экспериментов, в одной из которых изменялось значение силы тока, в другой зависимость была основана на изменении длительности процесса синтеза и последующей оценки эрозии анода в обеих сериях.

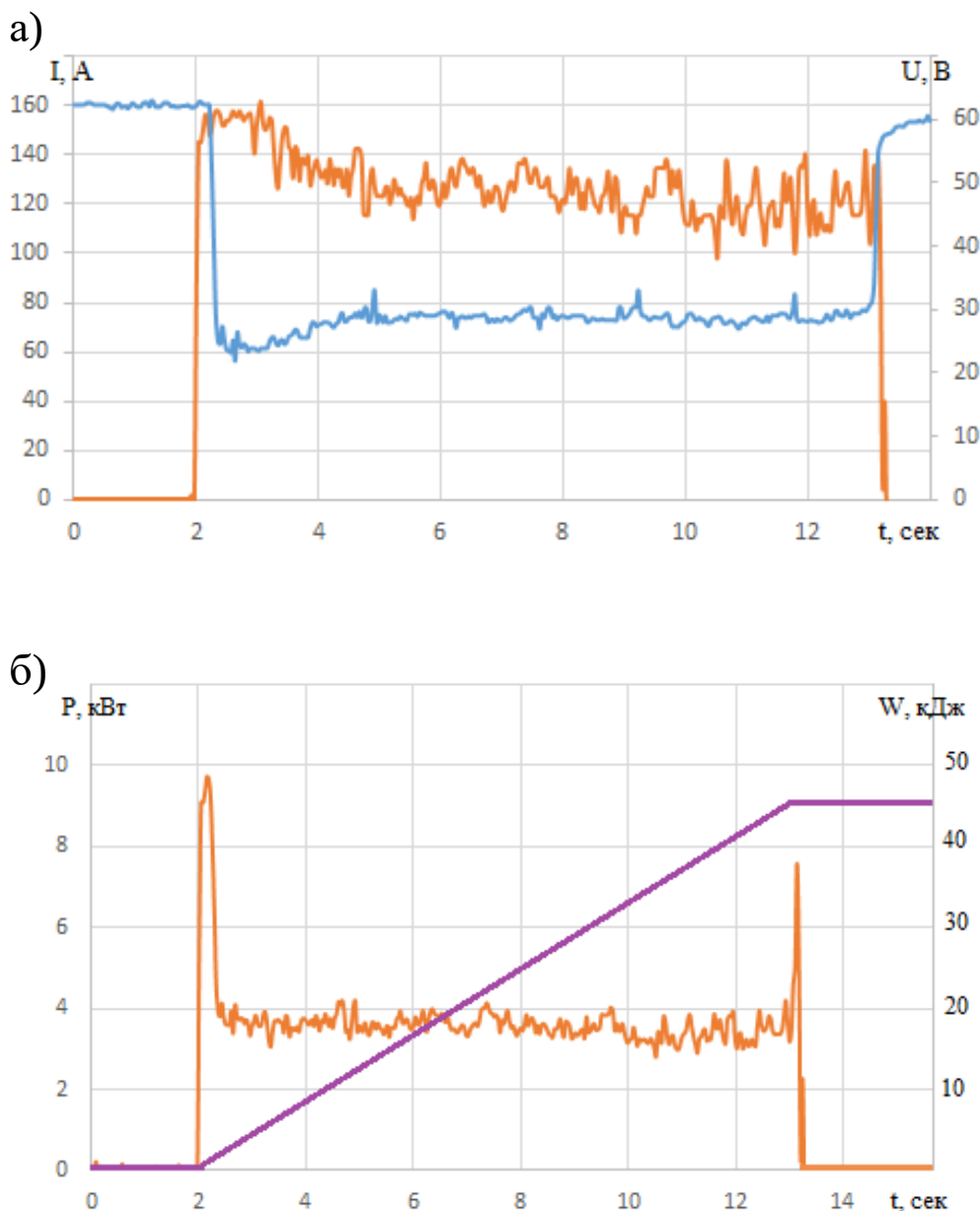


Рисунок 1 - Типичные зарегистрированные осциллограммы тока напряжения (а) и рассчитанные по экспериментальным данным кривые мощности и выделения энергии (б)

Электрическая эрозия электродов влияет на массу продукта синтеза и усложняет достижение повторяемости экспериментов. Данное явление считается общепризнанным недостатком электродуговых методов синтеза. В целях оценки влияния энергии дугового разряда на фазовый состав продукта,

построены зависимости массы эрозии анода от подведенной энергии, изменяемой длительностью горения разряда (рис.4) или величиной силы тока (рис.3). Простейшими элементами математической статистики найдены отклонения эрозии, рассчитанные по 6 экспериментам с одинаковыми исходными данными. Основные результаты серии экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения оцениваемых параметров при различном значении силы тока

№	Сила тока I, А	Энергия W, кДж	Эрозия Δm , г
1	0	0	0
2	70	11,08	0,05
3	100	24,21	0,15
4	165	35,27	0,41
5	180	38,75	0,44
6	200	38,38	0,44

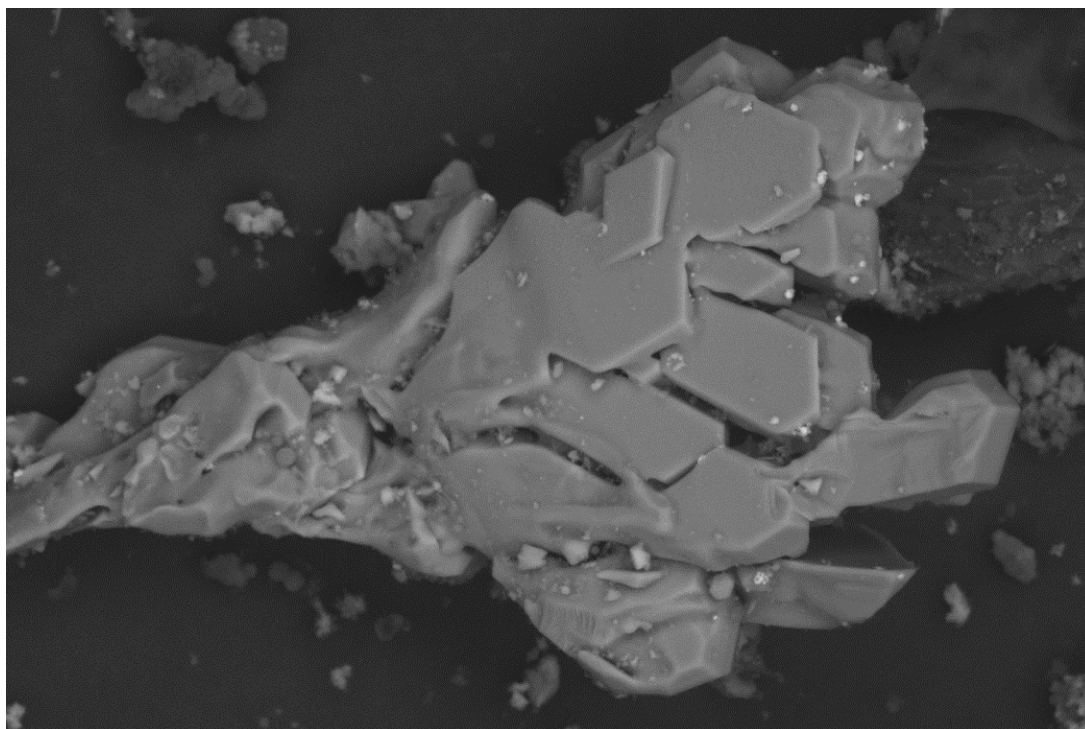


Рисунок 2 - SEM-снимок продукта, содержащего карбид кремния

Оценка массы эрозии была проведена по пяти экспериментам, проведенных при различных режимах работы установки, то есть величина силы тока менялась в пределах от 70 А до 200 А. Согласно полученным данным масса эрозии анода зависит нелинейно от уровня энергии дугового разряда. На рис. 3 отмечены значения отклонения $\pm \Delta = 0.04$ г при среднеквадратичном отклонении $\sigma = 0.032$.

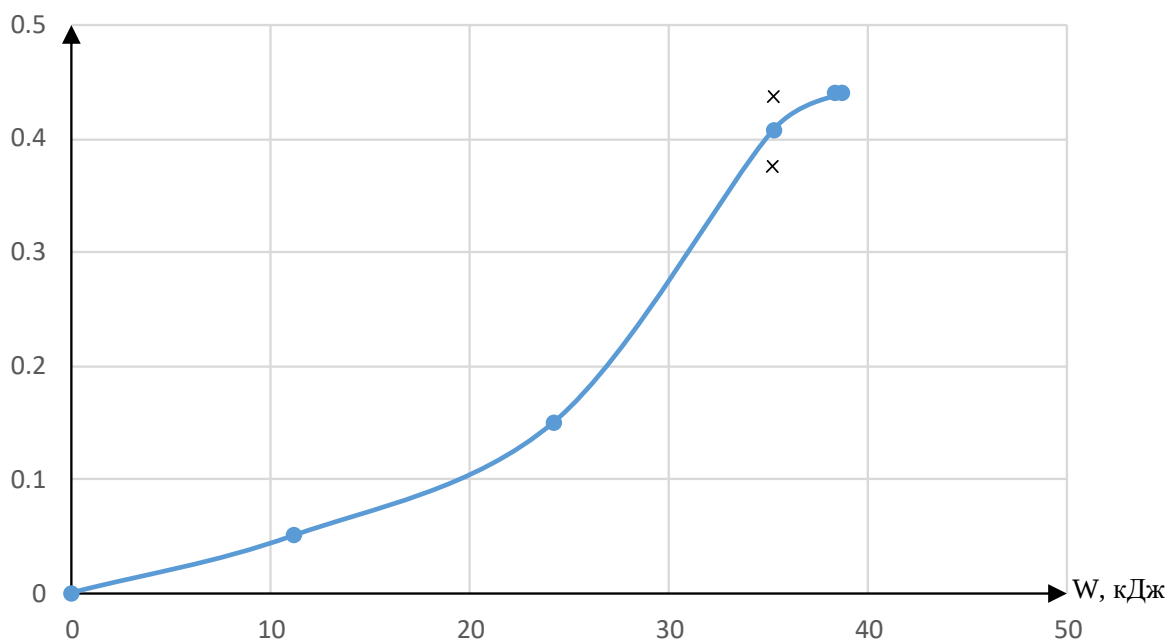


Рисунок 3 – Зависимость изменения эрозии анода от энергии при различных уровнях тока

Также была предпринята попытка построить кривую, которая отражала бы зависимость эрозии анода от энергии при увеличении продолжительности горения дугового разряда. Однако результаты характеризуются существенным разбросом, что говорит о невысокой повторяемости экспериментов. Но, тем не менее, все же можно судить об увеличении массы эрозии с увеличением времени. Значительный разброс может быть вызван частичным разрушением (крошением) анода в процессе горения разряда, что можно было наблюдать в некоторых экспериментах по наличию визуально заметных осколков графита с размерами порядка 0,5 мм.

Таблица 2. Зависимость изменения эрозии анода от энергии при различном времени горения дугового разряда

№	Время t , с	Энергия W , кДж	Эрозия Δm , г
1	0	0	0
2	5,0	28,40	0,19
2	5,1	26,69	0,18
3	9,0	32,79	0,12
4	10,0	36,70	0,25
5	10,0	37,30	0,33
6	12,9	48,65	0,32

Основные данные по экспериментам приведены в таблице 2. Зависимость исследуемых параметров показана на рисунке 4.

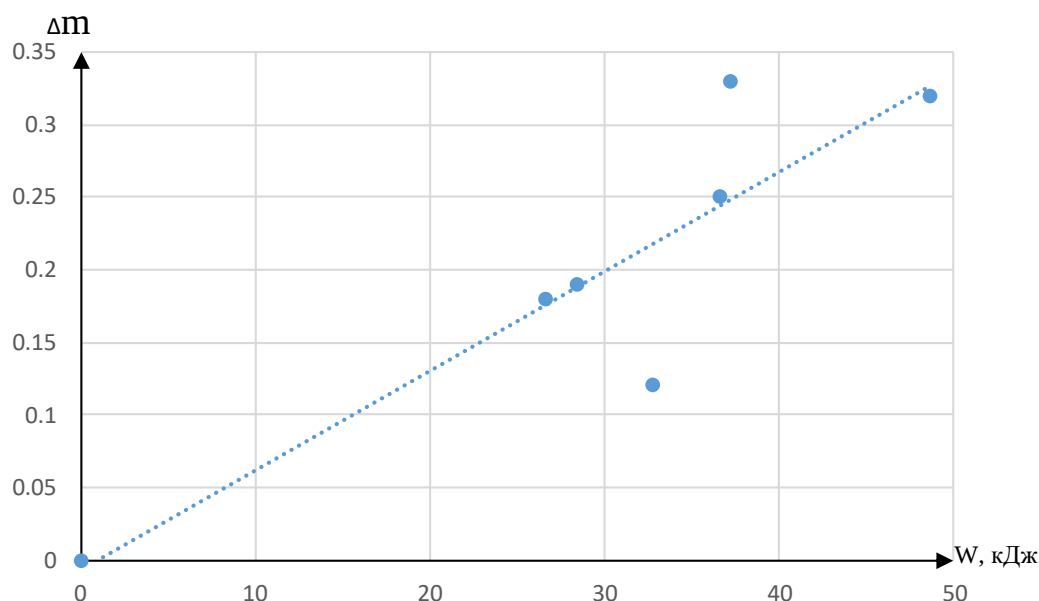


Рисунок 4 – Зависимость изменения эрозии анода от энергии при раз-
личном времени горения дугового разряда

Эрозия электродов является причиной износа электродов, а именно анода, поэтому важно найти оптимальную величину тока и время поддержания дугового разряда, чтобы увеличить долю фазы карбида кремния в продукте синтеза при снижении расхода анода и увеличении срока его службы. Судя по полученным данным, величина силы тока, обеспечивающая незначительную эрозию анода, составляет 165 А, превышение данного значения ведет к более высокой эрозии анода и ее значительному росту при дальнейшем увеличении силы тока.

Список литературы:

1. Андреевский Р.А. Наноразмерный карбид кремния: синтез, структура, свойства / Андреевский Р.А. // Успехи химии. – 2009. – № 78. С. 889-900.
2. Wu R., Zhou K., Yue CY, Wei J, Pan Y. Recent progress in synthesis, properties and potential applications of SiC nanomaterials. *Progr. Mater.Sci.*, 2015, no 72, pp. 1-110.
3. Pak, A.Y., Rudmin, M.A., Mamontov, G.Y., Bolotnikova, O.A. Electroarc Synthesis and Cleaning from Carbon Impurities of Cubic Silicon Carbide in the Air Atmosphere. *Journal of Superhard Materials*, 2018, no. 40, pp. 157-163