

В вышеизложенном уравнении: p_c – предельное давление разрушения; p_{el} – давление упругого сжатия; p_p – давление пластического разрушения; f_o – овальность поперечного сечения кабеля; D – номинальный наружный диаметр кабеля; t – номинальная толщина кабеля (трубы).

Овальность можно определить как

$$f_o = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D}. \quad (3)$$

Здесь $D_{\max}$ и $D_{\min}$ – максимальный и минимальный внешний диаметр кабеля соответственно, где D – номинальный внешний диаметр.

Стоит отметить, что существует другая формула для определения овальности, определяемое как

$$f_o = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\max} + D_{\min}}. \quad (4)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. DNV-OS-F101. Submarine Pipeline Systems: offshore standard. – Baerum: Det Norske Veritas, 2012. – 367 с.
2. Расчет на прочность тонкостенных оболочек вращения и толстостенных цилиндров: учебное пособие / сост.: В.Ф. Першин, Ю.Т. Селиванов. – Тамбов : Из-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 20 с.
3. Bjørn Fallqvist. Collapse of thick deepwater pipelines due to hydrostatic pressure: Master thesis report. – Stockholm, 2009. – 74 p.
4. Конструирование и расчет элементов тонкостенных сосудов: учебное пособие / С.Н. Виноградов, К.В. Таранцев. – Пенза: Из-во Тамб. гос. ун-та, 2004. – 20 с.

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ МАССЫ ГРАФИТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО РЕАКТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Д.А. Корытов¹, Т.С. Шляхов², П.В. Поваляев³

Томский политехнический университет,

¹ ИШЭ, ОЭЭ, группа 5A26; ² ИШЭ, ОЭЭ, группа 5A22; ³ ИШЭ, ОЭЭ, группа A1-48

Научный руководитель: А.Я. Пак, д.т.н, профессор ОЭЭ ИШЭ ТПУ

В настоящее время развитие методов синтеза тугоплавких, сверхтвердых материалов является важной областью развития промышленности и материаловедения, в частности. Существует большое количество методик получения материалов и исследований по их изучению. Наиболее распространёнными методами получения тугоплавких материалов являются такие методы как, металлотермическое восстановление, электролиз растворов и расплавов, метод зонной плавки [1, 2]. Также стоит отметить электродуговой метод синтеза материалов, авторами данного исследования в течение нескольких лет активно развивается данный метод [3].

Электродуговой синтез происходит в безвакуумной среде. Данный метод имеет ряд преимуществ за счет протекания реакций в атмосфере воздуха, то есть без использования защитных сред в виде вакуума или инертных газов, что значительно упрощает конструкцию установки, а также данная методика синтеза характеризуется высокой скоростью протекания процесса синтеза. Все вышеуказанные преимущества снижают энергетические и, соответственно, экономические затраты. Помимо этого, реализовано большое количество работ по получению карбидов и боридов металлов, также в процессе исследований разработано множество модификаций для реализации данной методики.

Большое внимание при изучении данного процесса уделяется вопросам повторяемости экспериментов и возможности их масштабирования. В связи с потребностью получения большого количества продукта синтеза для дальнейших исследований, возникает необходимость в проведении большого количества экспериментов и оценки расхода графитовых компонентов, используемых в экспериментах для создания реакционной зоны. Оценка изменения массы графитовых элементов в рабочем цикле дугового реактора, позволит прогнозировать и планировать процесс покупки требуемого количества расходных материалов их графита.

Поэтому целью данного исследования является оценка изменения массы графитовых элементов электродугового реактора постоянного тока.

Для исследования использовался однофазный дуговой реактор постоянного тока с вертикальным расположением электродов. Устройство включает в себя источник питания, систему перемещения (3-осевой линейный привод, оснащенный шаговыми двигателями), реакционную зону, включающую в себя стальную гильзу для установки графитовых стержней и алюминиевую пластину под установку графитовых тиглей. Для инициирования дугового разряда в установке предусмотрен источник постоянного тока (ИПТ), а именно выпрямительно-инверторный преобразователь Colt Condor 220 с встроенным регулятором рабочего тока в диапазоне от 20 до 220 А [4].

Для проведения экспериментов в графитовый тигель помещалась смесь исходных компонентов, после чего данный тигель закрывался графитовой крышкой и помещался в тигель большего размера. После чего тигли устанавливались в посадочное отверстие на алюминиевой пластине. Соосно сверху над внутренним тиглем с крышкой устанавливался графитовый электрод. После чего запускался ИПТ, устанавливались необходимые параметры силы тока и продолжительности дуговой стадии. После выбора параметров синтеза, посредством шагового двигателя графитовый электрод перемещался до контакта с графитовой крышкой. После кратковременного контакта электрод отводился на заданное расстояние, в результате чего происходил процесс инициирования дугового разряда. По завершении заданного времени горение дугового разряда прекращалось путем перемещения электрода в начальное положение. Для проведения экспериментов использовались графитовые элементы следующих размеров: внутренний графитовый тигель (20 мм высота, 20 мм диаметр, внутренний диаметр 14 мм); внешний графитовый тигель (40 мм высота, 30 мм диаметр и 22 мм внутренний диаметр); крышка 20 мм диаметр, 5 мм толщина; графитовый электрод длиной 100 мм и диаметром 8 мм.

Для оценки изменения массы графитовых элементов реактора в процессе экспериментов осуществлялись измерения масс каждого компонента до и после эксперимента с помощью аналитических весов Ньютон ГЛС. Все эксперименты проводились при максимальных параметрах реактора – значении силы тока ИПТ 220 А и времени дуговой стадии 60 с. Для регистрации электрических параметров и расчета количества подведенной энергии использовали осциллограф Rigol DS1052E.

По результатам измерений выявлено, что наибольшему изменению по массе подвержены внешний графитовый тигель и графитовый электрод, поэтому оценка изменения массы проводилась для данных элементов. На рисунке 1 представлены графики зависимостей разности масс внешнего графитового тигля и электродов полученных при вычислении разности масс соответствующих элементов до и после процесса синтеза.

Стоит отметить, что один тигель использовался для проведения 29 экспериментов, дальнейшее использование приводило к нарушению целостности стенок тигля. По данным расхода массы графитового тигля (рис. 1, а), видно, что масса тигля уменьшается равномерно в течение 29 экспериментов, однако, увеличение количества экспериментов приводит к увеличению среднего расхода графитового тигля. Если за первые 10 экспериментов $\Delta m_{\text{ср}} = 0,54$ г, то за последние 10 опытов данное значение увеличивается до 0,61 г. Данный эффект можно объяснить тем, что с увеличением количества экспериментов масса тигля снижается, что

приводит к уменьшению стенок тигля и соответственно к ускоренному нагреву и разрушению графитового тигля. Известно, что при работе дугового реактора в атмосфере воздуха происходит разрушение внешних стенок графитового тигля, в результате чего выделяющийся углерод, взаимодействуя с кислородом, образует соединение монооксида CO и оксида углерода CO_2 , что способствует формированию экранирующей газовой среды вокруг реакционной зоны, что препятствует окислению образца в полости тигля [3].

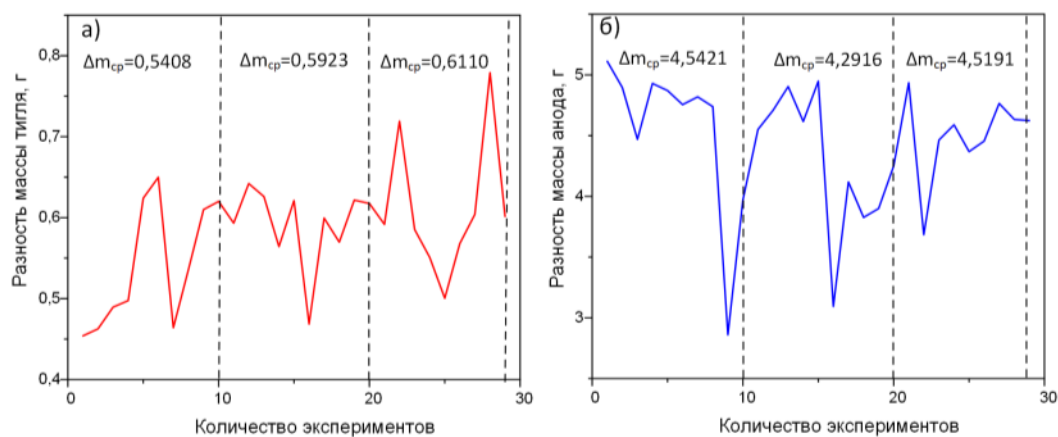


Рис. 1. Графики расхода массы в процессе проведения экспериментов:
а) графитового тигля; б) графитового электрода

По данным представленным на рисунке 1Б, видно, что значительного изменения массы графитовых электродов в процессе проведения экспериментов не наблюдается. В свою очередь снижение значения Δm_{cp} в некоторых экспериментах ниже 4 г можно объяснить не стабильностью горения дугового разряда, в результате чего значение расхода графитового электрода, так и тигля может снижаться до указанных на графике (рис. 1, б) значений.

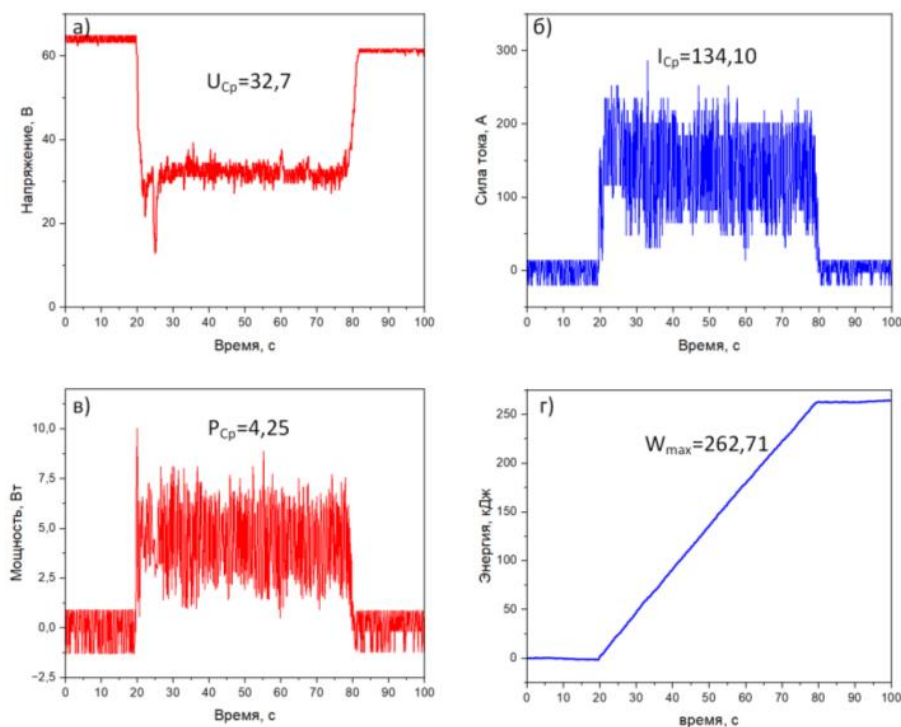


Рис. 2. График зависимости а) напряжения от времени; б) силы тока от времени;
в) электрической мощности от времени; г) количества подведенной энергии от времени

На рис. 2 представлены зависимости тока и напряжения, а также мощности и энергии от времени зарегистрированные данные в процесс одного эксперимента (сила тока 200 А, время дуговой стадии 60 с).

По зарегистрированным данным определено, что значение силы тока и напряжения стабилизируются до следующих величин: I_{cp} до 134,10 А, U_{cp} до 32,70 В. На протяжении дуговой стадии среднее значение электрической мощности составляет 4,2501 кВт, а количество электрической энергии подведенной в зону реакции 0,0729 кВт·ч.

Таким образом, проведенное исследование позволило оценить изменение массы графитовых компонентов в процессе электродугового синтеза материалов. Определено что средний расход графитового тигля за один эксперимент составляет 0,5813 г, однако данное значение увеличивается при большем количестве экспериментов. Также определены энергетические параметры, так, например, за один эксперимент количество подведенной энергии в зону реакции составляет 262,71 кДж. Также определено что один тигель может использоваться в течение 29 экспериментов, при установлении максимальных параметров электродугового реактора (сила тока 200 А, время дуговой стадии 60 с).

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2022-0018).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сандлер Р.А., Александровский С.В. Металлотермическое получение некоторых тугоплавких металлов и их сплавов восстановлением хлоридов из расплавов // Записки Горного института. – 1975. – № 3 55. – С. 35.
2. Труханов С.В. Технологии получения монокристаллов тугоплавких металлов методом зонной плавки с применением электронно-лучевого нагрева // ИННОВАЦИИ и ИНВЕСТИЦИИ. – 2018. – № 12. – С. 200–203.
3. Vacuumless synthesis of tungsten carbide in a self-shielding atmospheric plasma of DC arc discharge, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia / A.Ya. Pak, I.I. Shanenkov, G.Y. Mamontov, A.I. Kokorina // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2020. – V. 93. – P. 105343.
4. Plasma reactor for material synthesis and waste recycling, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia / Zh. Bolatova, A.YA. Pak, A.A. Gumovskaya, P.V. Povalyaev, R.S. Martynov, K.B. Larionov // Proceedings of 8th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects. – 2022. – C1. – P. 801–805.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ

Д.О. Речкин

Томский политехнический университет, ИШЭ, ОЭЭ, группа 5A18

Научный руководитель: Д.Ю. Ляпунов, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Введение

Эффективность электрических приводов играет ключевую роль в современном мире, где энергосбережение и экологическая устойчивость становятся приоритетными задачами. Электрические приводы используются практически во всех областях промышленности, транспорта и бытовых устройств, и их доля в общем энергопотреблении продолжает расти.

Однако традиционные материалы, используемые при производстве электрических приводов, имеют ряд ограничений, таких как высокие потери энергии, низкая долговечность и недостаточная устойчивость к экстремальным условиям.