

УДК 628.477.7

**ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОДУКТА ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЕРЕРАБОТКИ
ШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ**

Ж. Болатова, А. В. Филимонок

Научный руководитель: к.т.н. А.Я. Пак

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: zsb3@tpu.ru

THERMAL ANALYSIS OF THE PRODUCT OF ELECTRIC ARC PROCESSING OF SLAG WASTE

Zh. Bolatova, A. V. Philimonenko

Scientific Supervisor: PhD. A. Ya. Pak

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: zsb3@tpu.ru

***Abstract.** Coal slag, which is a solid waste mass produced from coal combustion, is considered hazardous to the environment. Recycling coal slag is a promising way to tackle this problem. In this work, coal slag after coal gasification was synthesized by plasma treatment in a vacuum-free environment. After utilization, the synthesized samples were analyzed by differential scanning calorimetry (DSC) and thermogravimetry (TG).*

Введение. Рост объемов промышленных отходов превратился в серьезную социальную и экологическую проблему из-за увеличения мирового населения и его потребностей в энергии и новых материалах. Угольный шлак, образующийся на тепловых электростанциях, вызывает множество проблем, связанных с загрязнением окружающей среды [1]. Использование промышленных отходов для производства новых материалов является эффективным способом решения многих экологических проблем. Ввиду исходящей потенциальной угрозы для окружающей среды, было предложено и разработаны различные методы обработки опасной летучей золы, такие как пиролиз, карбонизация, газификация и сжигание. Метод пиролиза является коротким и простым в реализации, однако могут образоваться вредные оксиды серы из-за наличия в составе таких соединений, как $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. Кристаллоиды кислорода разлагаются на $\gamma-Al_2O_3$ при 870 °C [2]. Метод карбонизации преодолевает этот недостаток. Вкратце метод карбонизации заключается в том, что фильтрат обрабатывается раствором NaOH, а затем разлагается карбонизацией с получением $Al(OH)_3$ [3]. Но процесс карбонизации является длительным, и образуется большое количество сточных вод со значительным количеством Na^+ . Высокие уровни Na^+ в сточных водах обычно имеют негативные последствия для качества почвы и роста сельскохозяйственных культур [4].

Среди множества методов переработки отходов можно выделить перспективный метод плазменной обработки сырья [5]. Поскольку температура плазменной обработки чрезвычайно высока (свыше 1000 °C), из органических веществ в отходах образуется синтез-газ, а неорганические вещества превращаются в стеклообразный шлак или же могут претерпевать фазовые превращения [6]. Недостатком группы плазменных методов является высокая стоимость, которая связана использованием плазменных газов,

относительной сложностью оборудования и методик, высокой энергоемкости процессов. В последние годы активно развивается перспективный безвакуумный электродуговой метод [7].

Экспериментальная часть. Плазменная обработка шлаков проводилась в лабораторной электродуговой установке [7]. Рабочая сила тока источника питания составляла 220 А. К источнику питания подключались графитовые электроды. Анод представляет собой стержень из графита диаметром 8 мм, в качестве катода служит графитовый тигель с диаметром 30 мм, высотой 30 мм, диаметром внутренней полости 20 мм.

Угольный шлак был собран после газификации угля; шлак был измельчен и просеян в сите с размером ячеек 160 мкм. Далее просеянный шлак перемалывали в шаровой мельнице 45 минут (MixerMill8000M). Угольный шлак в количестве 0,5 г (весы ВЛ-124И - С, ГОСМЕТР, Россия, $\pm 0,0001$ г) помещался в катод, где был подвержен плазменной обработке с длительностью до 25 с. Полученный продукт был исследован методом термического анализа на анализаторе Netzsch STA 449 Jupiter в окислительной среде. Все эксперименты проводились при скорости нагрева 10 °С/мин в корундовом тигле с перфорированной крышкой в интервале температур 50–1200 °С.

Результаты. Экспериментальные кривые ТГ, ДТГ и ДСК окисления исследуемых образцов, полученные методом термического анализа, представлены на рис. 1. Данные анализа ТГ показывают, что в области 600 °С начинается процесс, который происходит до 900 °С с потерей массы до 60 %. Исходный образец (шлак) характеризуется отсутствием выраженного процесса со снижения массы; можно заметить процесс потери массы на 7%, который начинается с 280 °С. Температура начала интенсивного окисления у исходного образца (шлака) достигала 390 °С. Для синтезированного образца начало интенсивного окисления равно 635 °С, что объясняется интенсивностью плазменной обработки, после которой летучие вещества шлака были удалены, а несвязанный углерод в переработанном материале представлен фазой графита, как и углерод, являющийся продуктом эрозии анода (рис. 1, в).

Данные ДТГ (рис. 1, а) показывают, что процесс окисления исходного образца характеризовался мономодальным пиком в интервале температур 500–950 °С. Процесс окисления образца характеризовался максимальной скоростью реакции, которая составляла 2,02 мас.%/мин.

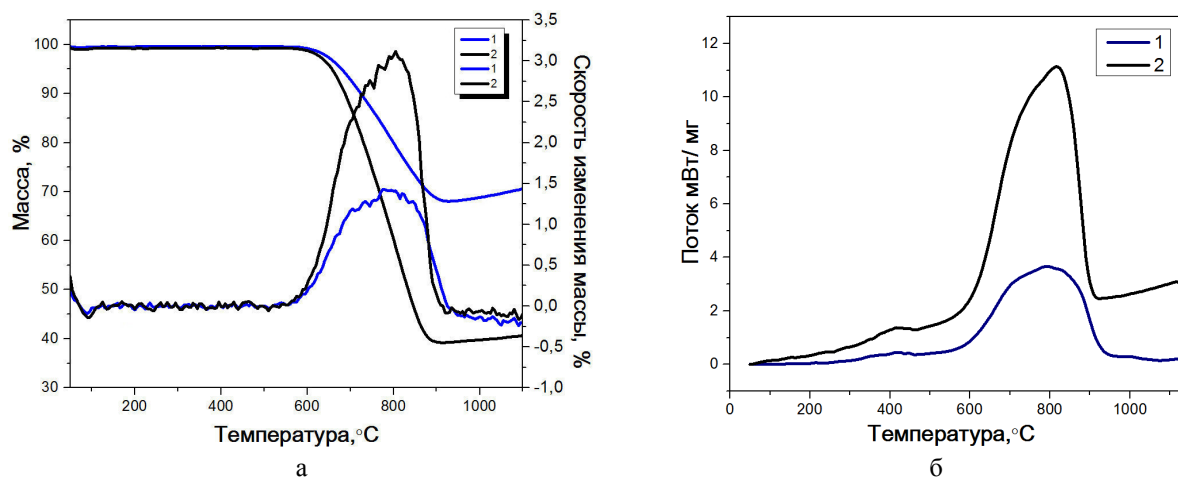


Рис. 1. ТГ – ДТГ (а) и ДСК (б) кривые шлака (1) и синтезированного в плазме образца (2)

Согласно ДСК-кривым, карбиды кремния очистка полученного продукта синтеза от несвязанного углерода путем его горения (рис. 1, б) наблюдаются при 600-850 °С в ходе экзотермического процесса. У синтезированного образца наибольшее выделение тепла можно увидеть при 825 °С, что также связано с интенсивным окислением несвязанного углерода.

Заключение. Были проведены экспериментальные исследования по утилизации золошлаковых отходов методом плазменной электродуговой обработки. Полученный в результате переработки материал проанализирован методом термического анализа; идентифицированы окислительные процессы и их характерные температурные интервалы. В процессе плазменной утилизации шлаковых отходов происходят фазовые переходы с образованием карбидов кремния при восстановлении оксидов кремния; однако при этом продукт синтеза сильно загрязнен несвязанным углеродом в фазе графита, который, как показал термический анализ, может быть удален из продукта синтеза путем отжига материала в воздушной среде.

Работа выполнена в рамках Госзадания Высшим учебным заведениям «Наука», проект FSWW-2020-0022.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ter Teo P., Anasyida A.S., Basu P., Nurulakmal M.S. Recycling of Malaysia's electric arc furnace (EAF) slag waste into heavy-duty green ceramic tile // *Waste Managment.* – 2014. – V. 34. – P. 2697-2708.
2. Bai G.H., Qiao Y.H., Shen B. Thermal decomposition of coal fly ash by concentrated sulfuric acid and alumina extraction process based on it // *Fuel Processing Technology.* – 2011. – V. 92. – P. 1213-1219.
3. Ding J., Ma S.H., Shen S.Z. Research and industrialization progress of recovering alumina from fly ash: a concise review // *Waste Managment.* – 2017. – V. 60. – P. 375-387.
4. Wen J., Dong H.R., Zeng G.M. Application of zeolite in removing salinity sodicity from wastewater: a review of mechanisms, challenges and opportunitie // *Journal of Cleaner Production.* – 2018. – V. 197. – P. 1435-1446.
5. Biswajit R., Subhajyoti G. Technological aspects for thermal plasma treatment of municipal solid waste—A review // *Fuel Processing Technology.* – 2014. – V. 126. – P. 298-308.
6. Jung C.H., Matsuto T., Tanaka N. Behavior of metals in ash melting and gasification-melting of municipal solid waste (MSW) // *Waste Managment.* – 2005. – V. 25. – P. 301-310.
7. Пак А.Я., Губин В.Е., Мамонтов Г.Я. Получение керамики на основе карбида кремния из золошлаковых отходов // *Письма в ЖТФ.* 2020. – Т. 46., № 14. - С. 21-24.