

УДК 666.1

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/45/10>

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ВОЛОКНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ВОЗДУШНОЙ ПЛАЗМЫ

©**Волокитин О. Г.**, SPIN-код: 7011-7845, д-р техн. наук, Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия, volokitin_oleg@mail.ru

©**Шеховцов В. В.**, SPIN-код: 2981-7230, Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия, shehovcov2010@yandex.ru

TECHNOLOGY FOR PRODUCING MINERAL FIBER USING ELECTRIC ARC PLASMA

©**Volokitin O.**, SPIN-code: 7011-7845, Dr. habil., Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia, volokitin_oleg@mail.ru

©**Shekhovtsov V.**, SPIN-code: 2981-7230, Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia, shehovcov2010@yandex.ru

Аннотация. В работе представлены результаты экспериментальных исследований получения минерального волокна с использованием электродуговой воздушной плазмы. Установлено, что при оптимальном режиме работы плазменного генератора (при мощности $P = 35,2\text{--}56$ кВт и удельных тепловых потоках $q = 1,8\text{--}2,6 \times 10^6$ Вт/м²) расплав гомогенизируется в плавильной печи, что обеспечивает в дальнейшем формирование волокон с минимальным количеством неоднородных включений, удельные энергетические затраты при получении расплава составляют 1,5–2,1 кВт/кг, что в 2–2,5 раза меньше, чем в существующих технологиях.

Abstract. The paper presents the results of experimental studies of obtaining mineral fibers using electric arc air plasma. It has been established that with the optimal operation of the plasma generator (power $P = 35.2\text{--}56$ kW and specific heat fluxes $q = 1.8\text{--}2.6 \cdot 10^6$ W/m²), the melt is homogenized in a melting furnace, which ensures the further formation of fibers with a minimum number of inhomogeneous inclusions, the specific energy expenditures upon receipt of the melt are 1.5–2.1 kW / kg, which is 2.0–2.5 times less than in the existing technologies.

Ключевые слова: технология, минеральное волокно, плазма, техногенные отходы, промышленность.

Keywords: technology, mineral fiber, plasma, industrial waste, industry.

Введение

Все вещества, находящиеся в стекловидном состоянии, имеют общие физико-химические характеристики: они изотропны, т. е. их свойства одинаковы во всех направлениях; в отличие от кристаллов они при нагревании не плавятся, а постепенно размягчаются и переходят из упругохрупкого и упруговязкого в вязкопластичное, а затем капельно-жидкое состояние. Свойства тел, находящихся в стекловидном состоянии, изменяются непрерывно, они выдерживают неоднократный разогрев до расплавленного состояния. Если не произойдет кристаллизации или ликвации (распадения расплава размягченного стекла на несколько жидких фаз) после охлаждения по одинаковым режимам, тела снова приобретут первоначальные свойства. При благоприятных температурных

условиях они кристаллизуются, так как обладают большим запасом энергии, чем в кристаллическом состоянии.

В настоящее время получение однородного по температуре и составу силикатного расплава из сырьевых материалов, имеющих температуру плавления более 1500 °С, с использованием традиционных технологий не представляется возможным [1–3]. Использование энергии низкотемпературной плазмы дает возможность в сотни раз увеличить скорость нагрева силикатных смесей и добиться стабильно высоких температур 3000–3500 °С [4–6] при получении силикатных расплавов из сырья с температурой плавления 1500 °С и более.

За последнее время на ряде заводов стали плавить минеральное сырье в печах, работающих на природном газе, без дефицитного кокса — ваннных печах. В ваннных печах плавят как брикетированную, так и порошкообразную шихту [5–7]. Минеральный расплав, полученный в ваннных печах, имеет температуру верхнего предела кристаллизации от 1075 (для щелочесодержащего стеклянного волокна) до 1400 °С (для бесщелочной минеральной ваты).

Целью работы является разработка технологии получения высокотемпературных силикатных расплавов для изготовления минерального волокна с использованием устройств низкотемпературной плазмы.

Материал и методы исследования

В данной работе в качестве источника энергии для получения силикатных расплавов, с требуемой для формирования минеральных волокон вязкостью, предлагается использовать генератор низкотемпературной плазмы. Актуальным является применение плазменных технологий при получении таких дефицитных материалов стройиндустрии, как минеральная вата, что позволит сделать существующие производства более экономичными и решить проблемы экологии.

Корпус плавильной печи 3 выполнен из нержавеющей стали в виде водоохлаждаемого цилиндра, внутрь которого помещен графитовый тигель 4. Сливной желоб 2 расположен в верхней части плавильной печи. Устройство для подачи порошкообразного сырья закреплено на противоположной сливному желобу боковой поверхности корпуса плавильной печи и выполнено в виде шнекового питателя 5. Это обеспечивает введение сырья не сверху на поверхность расплава, а с боковой части корпуса плавильной печи и непосредственно в область расплава, исключая выдувание мелкодисперсных частиц потоком низкотемпературной плазмы. Все это позволяет поддерживать однородность и низкую вязкость расплава по всему объему печи. После того, как расплав достигает уровня сливного желоба 2, поток силикатного расплава, переливаясь через его край, поступает к устройству сбора расплава 8.

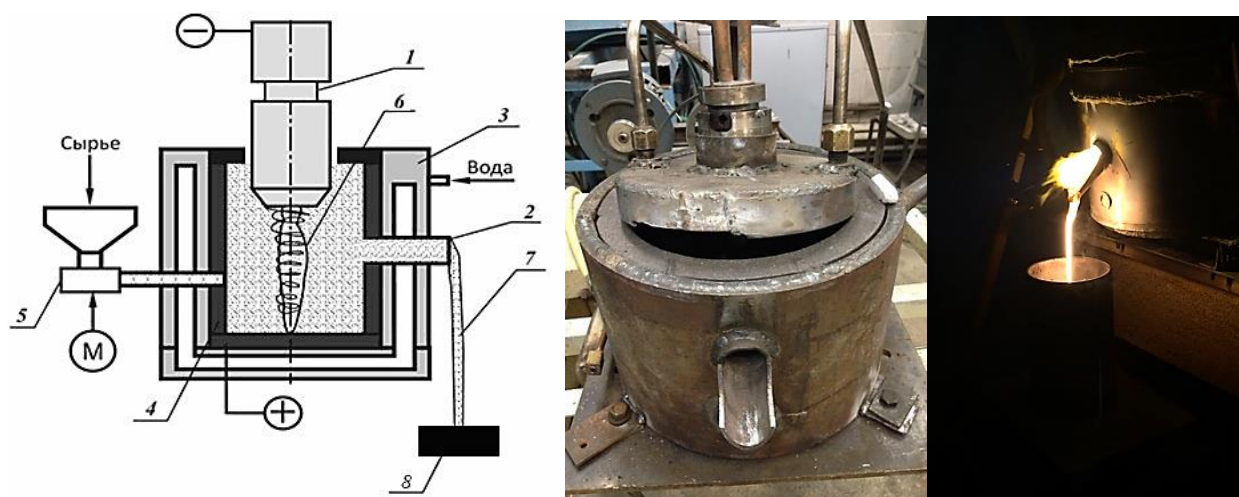


Рисунок 1. Схема экспериментальной плазменной установки для получения высокотемпературных силикатных расплавов: 1 — плазмотрон; 2 — сливной желоб; 3 — водоохлаждаемая плавильная печь; 4 — графитовый тигель; 5 — шнековый питатель; 6 — плазменная дуга; 7 — силикатный расплав; 8 — устройство для сбора расплава.

Результаты и обсуждение

На Рисунке 2 представлена вольтамперная характеристика плазменного генератора при различных расходах плазмообразующего газа [8–11]. В результате работы было установлено, что вольтамперная характеристика дугового разряда существенно зависит от величины расхода газа, например, при токе дуги 300 А изменение расхода газа от 1,0 до 2,0 г/с приводит к повышению напряжения на дуге от 130 до 180 В.

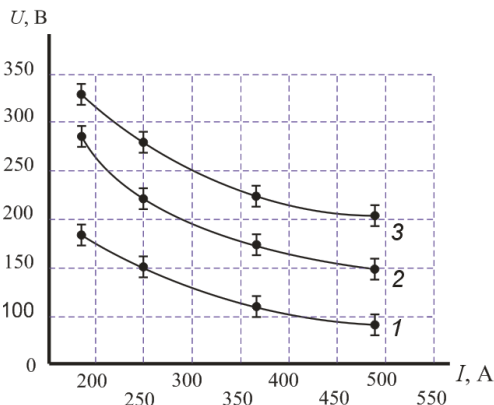


Рисунок 2. Вольтамперная характеристика плазмотрона: 1 — расход плазмообразующего газа 1,0 г/с; 2 — 2,0 г/с; 3 - 3,0 г/с.

Это обеспечивает дополнительную возможность регулирования мощности плазмотрона и выбора оптимального режима его работы. Сведения о вольтамперных характеристиках дуги, их зависимости от расхода газа, условий горения обеспечивают также выбор необходимого источника питания. С учетом того, что в плазмотронах данного типа значительная часть дуги (около 90%) находится вне зоны катодного и анодного узлов, коэффициент полезного действия (КПД) таких плазмотронов достаточно высок (0,8–0,9).

При определении производительности описанной установки немаловажным является установление параметров работы шнекового питателя. В специальном градуировочном эксперименте была определена скорость подачи сырья в зависимости от числа оборотов вала шнекового питателя (Рисунок 3).

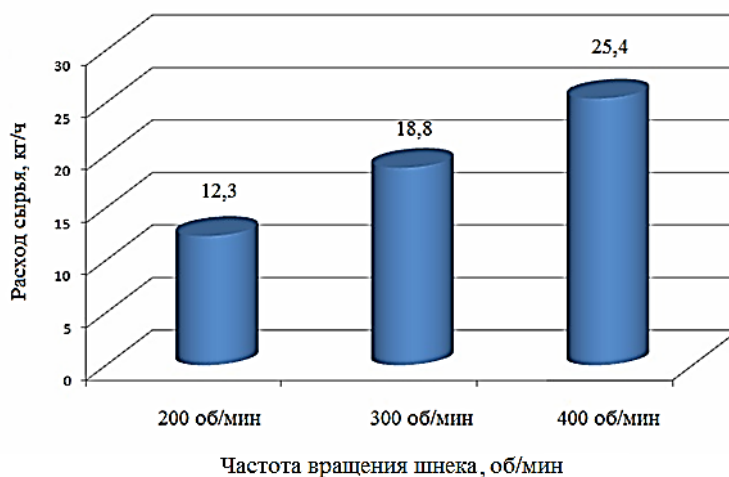


Рисунок 3. Производительность шнекового дозатора при различном числе оборотов вала электродвигателя.

Установлено, что производительность используемого шнекового питателя регулируется в пределах от 12,3 кг/ч до 25,4 кг/ч.

В результате проведенного эксперимента была определена производительность электроплазменной установки по волокну, она составила 10,8 кг/ч. Таким образом можно сделать вывод о том, что мощности генератора низкотемпературной плазмы достаточно для получения 100% расплава исходного сырья за небольшой промежуток времени и выработки из него минеральных волокон (Рисунок 4). Свойства волокна (Таблица), полученного в результате проведения экспериментов, удовлетворяют техническим условиям на минеральную вату.

(Кратность увеличения X300)

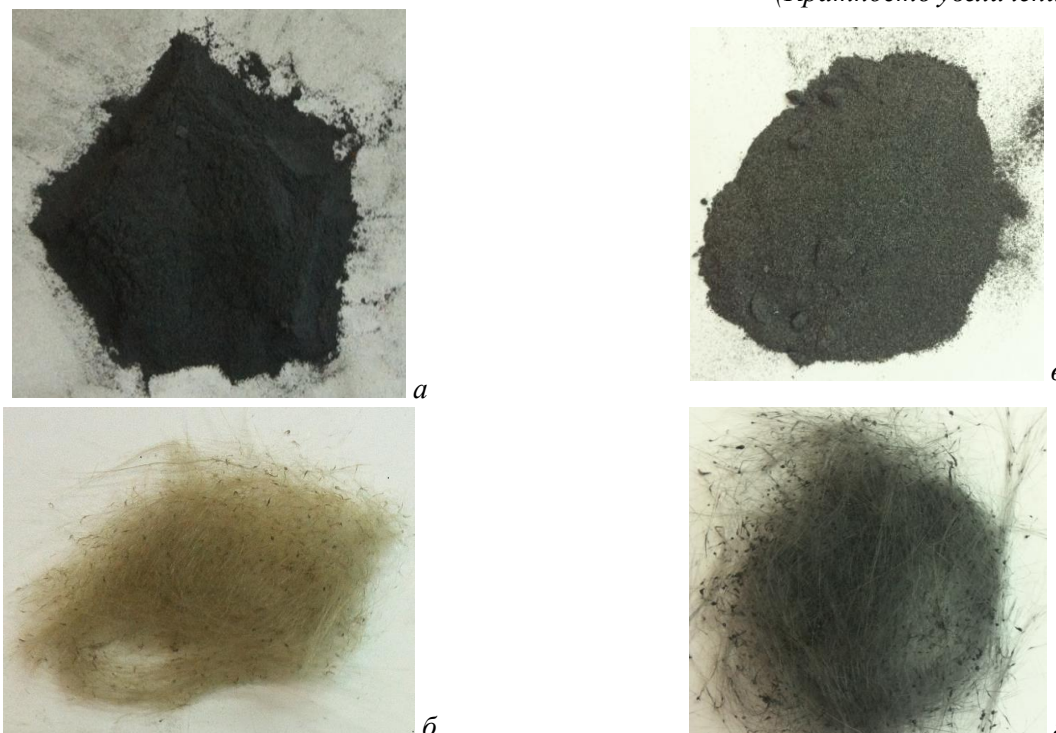


Рисунок 4. Микрофотографии: а) Зола Карагандинской ГРЭС-2; б) Минеральное волокно на основе золы ГРЭС-2; в) Зола РК г. Кокшетау; г) Минеральное волокно на основе золы РК г. Кокшетау.

Таблица.

СВОЙСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН

Свойства	Минеральное волокно из золы ГРЭС-2 (плазменный метод)	Минеральное волокно из золы РК (плазменный метод)	Минеральное волокно (ваграночный метод)
1. Модуль кислотности	<4,63	<11,28	<1,4
2. Водостойкость, рН, не более	8	7	7
3. Толщина волокон, мкм	11	14	12
4. Содержание корольков, %	18	25	25
5. Длина волокна, мм	50–90	70–100	40
6. Теплопроводность при температуре (398±5) К, Вт/(м·К), не более	0,063	0,067	0,066

В результате проведенных исследований, было установлено, что золы ГРЭС–2 и РК–2 республики Казахстан могут быть использованы для получения минерального волокна с использованием низкотемпературной плазмы. При этом полученное минеральное волокно характеризуется высокими эксплуатационными характеристиками, а также повышенной устойчивостью к воздействию высоких температур.

Заключение

Качество полученного минерального волокна удовлетворяет техническим требованиям на минеральную вату. Отличительными свойствами волокна являются высокий модуль кислотности, водостойкость, длина волокна. Таким образом, в результате проведенных исследований отходов энергетических производств с различным химическим и минералогическим составом установлена реальная возможность использования их в производстве минеральных волокон. Перспективным для выработки волокон с повышенными химической стойкостью и эксплуатационными свойствами могут считаться золы, обладающие повышенным модулем кислотности, при условии получения гомогенного расплава с высокой степенью химической однородности, что возможно, используя плазменные. Установлено, что при оптимальном режиме работы плазменного генератора (при мощности $P = 35,2–56$ кВт и удельных тепловых потоках $q=1,8–2,6 \times 10^6$ Вт/м²) расплав гомогенизируется в плавильной печи, что обеспечивает в дальнейшем формирование волокон с минимальным количеством неоднородных включений, удельные энергетические затраты при получении расплава составляют 1,5–2,1 кВт/кг, что в 2,0–2,5 раза меньше, чем в существующих технологиях.

Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерства образования и науки РФ (номер проекта 11.8207.2017/8.9), гранта Президента РФ (МД-553.2018.8) и стипендии Президента РФ (СП-313.2018.1).

Список литературы:

1. Шихова В. А., Яценко Е. А. Получение теплоизоляционных материалов строительного назначения на основе отходов топливно-энергетического комплекса //

Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2013. №4 (173). С. 63-66.

2. Wallenberger F. T., Bingham P. A. *Fiberglass and Glass Technology: Energy-Friendly Compositions and Applications*. Springer. 2009. 474 p.

3. Колесов Ю. И., Кудрявцев М. Ю., Михайленко Н. Ю. Типы и составы стекол для производства непрерывного стеклянного волокна // *Стекло и керамика*. 2001. №6. С. 5-10.

4. Бурченко А. Е. Возможность использования вторичного сырья для получения строительной керамики и ситаллов // *Вестник Тувинского государственного университета. №3 Технические и физико-математические науки*. 2013. №3 (18). С. 7-14.

5. Вакалова Т. В., Хабас Т. А., Эрдман С. В., Верещагин В. И. *Практикум по основам технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов*. Томск: Изд. ТПУ, 1999.

6. Микульский В. Г., Горчаков Г. И. *Строительные материалы*. М.: АСВ, 2002. 534 с.

7. Полляк В. В., Саркисов П. Д., Солинов В. Ф., Царицын М. А. *Технология строительного и технического стекла и шлакоситаллов*. М.: Стройиздат, 1993. 183 с.

8. Волокитин О. Г., Скрипникова Н. К., Волокитин Г. Г., Шеховцов В. В., Верещагин В. И., Хайсундинов А. И. Минеральное волокно, полученное в агрегатах низкотемпературной плазмы из продуктов сжигания каменного угля и горючих сланцев // *Строительные материалы*. 2013. №11. С. 44-46.

9. Волокитин О. Г., Шеремет М. А., Шеховцов В. В., Бондарева Н. С., Кузьмин В. И. Исследование режимов конвективного теплопереноса при получении высокотемпературных силикатных расплавов // *Теплофизика и аэромеханика*. 2016. Т. 23. №5 (101). С. 789-800.

10. Волокитин О. Г., Верещагин В. И., Волокитин Г. Г., Скрипникова Н. К., Шеховцов В. В. Получение силикатных расплавов с высоким силикатным модулем из кварц-полевошпатсодержащего сырья по плазменной технологии // *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2014. Т. 57. №1. С. 73-77.

11. Волокитин О. Г., Шеховцов В. В. Процессы получения силикатных расплавов и материалов на их основе в низкотемпературной плазме // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2017. №1 (60). С. 144-148.

References:

1. Shikhova, V. A., & Yatsenko, E. A. (2013). Poluchenie teploizolyatsionnykh materialov stroitel'nogo naznacheniya na osnove otkhodov toplivno-energeticheskogo kompleksa. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Tekhnicheskie nauki*, 4(173), 63-66.

2. Wallenberger, F. T., & Bingham, P. A. (2009). *Fiberglass and Glass Technology: Energy-Friendly Compositions and Applications*. Springer, 474.

3. Kolesov, Yu. I., Kudryavtsev, M. Yu., & Mikhailenko, N. Yu. (2001). Tipy i sostavy stekol dlya proizvodstva nepreryvnogo steklyannogo volokna. *Steklo i keramika*, (6), 5-10.

4. Buruchenko, A. E. (2013). Vozmozhnost' ispol'zovaniya vtorichnogo syr'ya dlya polucheniya stroitel'noi keramiki i sitallov. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta, no. 3, Tekhnicheskie i fiziko-matematicheskie nauki*, (3), 7-14.

5. Vakalova, T. V., Khabas, T. A., Erdman, S. V., & Vereshchagin, V. I. (1999). *Praktikum po osnovam tekhnologii tugoplavkikh nemetallicheskih i silikatnykh materialov*. Tomsk, Izd. TPU.

6. Mikulskii, V. G., & Gorchakov, G. I. (2002). *Stroitel'nye materialy*. Moscow, ASV, 534.

7. Pollyak, V. V., Sarkisov, P. D., Solinov, V. F., & Tsaritsyn, M. A. (1993). *Tekhnologiya stroitel'nogo i tekhnicheskogo stekla i shlakositallov*. Moscow, Stroizdat, 183.

8. Volokitin, O. G., Skripnikova, N. K., Volokitin, G. G., Shekhovtsov, V. V., Vereshchagin, V. I., & Khaisundinov, A. I. (2013). Mineral'noe volokno, poluchennoe v agregatakh nizkotemperaturnoi plazmyiz produktov szhiganiya kamennogo uglya i goryuchikh slantsev. *Stroitel'nye materialy*, (11), 44-46.

9. Volokitin, O. G., Sheremet, M. A., Shekhovtsov, V. V., Bondareva, N. S., & Kuz'min, V. I. (2016). Issledovanie rezhimov konvektivnogo teploperenosa pri poluchenii vysokotemperaturnykh silikatnykh rasplavov. *Teplofizika i aeromekhanika*, 23(5), 789-800.

10. Volokitin, O. G., Vereshchagin, V. I., Volokitin, G. G., Skripnikova, N. K., & Shekhovtsov, V. V. (2014). Poluchenie silikatnykh rasplavov s vysokim silikatnym modulem iz kvartspolevoshpatsoderzhashchego syr'ya po plazmennoi tekhnologii. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 57(1). 73-77.

11. Volokitin, O. G., & Shekhovtsov, V. V. (2017). Protsessy polucheniya silikatnykh rasplavov i materialov na ikh osnove v nizkotemperaturnoi plazme. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, (1), 144-148.

*Работа поступила
в редакцию 27.06.2019 г.*

*Принята к публикации
01.07.2019 г.*

Ссылка для цитирования:

Волокитин О. Г., Шеховцов В. В. Технология получения минерального волокна с использованием электродуговой воздушной плазмы // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. №8. С. 93-99. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/45/10>

Cite as (APA):

Volokitin, O., & Shekhovtsov, V. (2019). Technology for Producing Mineral Fiber Using Electric Arc Plasma. *Bulletin of Science and Practice*, 5(8), 93-99. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/45/10> (in Russian).