

УДК 666

**ПРОЦЕССЫ ПЛАВЛЕНИЯ  
СИЛИКАТОВ В ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОМ РЕАКТОРЕ**

**PROCESSES OF MELTING SILICATES IN CHEMICAL REACTOR**

©**Волокитин О. Г.**

канд. техн. наук

*Томский государственный архитектурно–строительный университет  
г. Томск, Россия, volokitin\_oleg@mail.ru*

©**Volokitin O.**

*Ph.D., Tomsk State University of Architecture and Building  
Tomsk, Russia, volokitin\_oleg@mail.ru*

©**Шеховцов В. В.**

*Томский государственный архитектурно–строительный университет  
г. Томск, Россия, shehovcov2010@yandex.ru*

©**Shekhovtsov V.**

*Tomsk State University of Architecture and Building  
Tomsk, Russia, shehovcov2010@yandex.ru*

*Аннотация.* В работе установлены процессы плавления силикатных частиц в условиях низкотемпературной плазмы. Расчетным путем определена траектория движения потока силикатного расплава в плазмохимическом реакторе и определена температура образования 100%-ого расплава для исходного сырья.

*Abstract.* The paper established the melting processes of silicate particles in a low-temperature plasma. The settlement is determined by the trajectory of silicate melt flow in the plasma-chemical reactor and determined the formation temperature of the melt of 100% for the feedstock.

*Ключевые слова:* силикатный расплав, низкотемпературная плазма, математическая модель, процессы плавления, плазмохимический реактор.

*Keywords:* silicate melt, low-temperature plasma, mathematical model, melting process, plasma-chemical reactor.

Использование энергии низкотемпературной плазмы дает возможность в сотни раз увеличить скорость нагрева силикатных смесей и добиться стабильно высоких температур 3000–3500 °С при получении силикатных расплавов из сырья с температурой плавления 1500 °С и более. При этом процесс плавления силикатных смесей позволит значительно снизить энергетические затраты и вредные выбросы в атмосферу. В связи с этим особую актуальность приобретают вопросы расширения сырьевой базы для получения строительных материалов силикатной группы за счет использования распространенного природного сырья и техногенных отходов, в том числе некондиционных, для стекловарения. Системное решение научных и практических задач, связанных с получением силикатных расплавов по плазменной технологии при создании материалов различного назначения является определяющим в решении поставленной задачи.

В качестве исходных материалов для получения высокотемпературных силикатных расплавов использовались:

- базальтовая порода месторождения Кемеровской области;
- зола ТЭЦ г. Северск (Томская область), полученная после сжигания каменного угля;

- продукты сжигания горючих сланцев провинции Далянь (Китай);
- кварц–полевошпатсодержащие отходы обогащения молибденовых руд Сорского ГОКа (Хакасия);
- кварцевый песок Туганского месторождения (Томская область);

В процессе плавления силикатных систем с использованием энергии низкотемпературной плазмы [1] происходит ряд многообразных физико–химических и фазовых превращений, интенсификация которых возрастает с увеличением температур. Исследование указанных превращений, а также определение особенностей поведения силикатных систем с учетом их химического состава целесообразно проводить с использованием диаграммы состояния и кривых плавкости, отражающих количество и состав жидкой фазы при изменении температуры. Анализ кривых плавкости сырьевых материалов с учетом фактического химического состава позволил установить температуру и количество образованного при плавлении первичного расплава, а также температуру получения 100%-го расплава (Таблица) [2].

Таблица.

ИЗМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА РАСПЛАВА ПРИ ПЛАВЛЕНИИ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ  
 С УЧЕТОМ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

<i>Сырьевые материалы</i>	<i>Температура образования первичного расплава, °С</i>	<i>Количество первичного расплава, %</i>	<i>Температура образования 100%-го расплава, °С</i>
Базальт	1170	35,92	1370
Зола	1170	33,33	1590
Продукт сжигания сланцев	1170	6,4	1600
Кварц–полевошпатсодержащее сырье	710	20,8	1400
Кварцевый песок	1170	1,8	1610

Разница в температурах образования первичного расплава определяется химическим составом сырья, наличием щелочных оксидов и оксидов металлов. Кривые плавкости реальных систем характеризуются более низкими температурами образования расплава по сравнению с модельными. Высокие температуры, реализуемые генератором плазмы, создают условия одновременного плавления всех фаз смеси и обеспечивают образование в локальных областях гетерогенного расплава. Скорость гомогенизации определяется низкой вязкостью расплавов при температурах 3000–3500 °С.

На Рисунке представлена динамика развития термогидродинамических структур внутри плавильной печи [3]. В начальный момент времени ( $t = 10$  с) внутри полости формируется вихревое течение вблизи входного отверстия, которое обуславливает изменение направления движения расплава. Сначала расплав поступает к основанию полости, далее поток разворачивается и направляется к выходному отверстию. Такая гидродинамическая картина позволяет естественным способом повысить время нахождения расплава в печи и тем самым интенсифицировать процесс плавления поступающего материала.

Дальнейшее увеличение  $t$ , которое описывает эволюцию моделируемого физического явления, проявляется в росте масштабов этого углового вихря, что приводит при  $t = 50$  с к диссипации рециркуляции, расположенной у входного отверстия, и изменению первоначального направления движения среды. Отмеченные изменения характеризуют формирование застойной зоны внутри полости плавильной печи, температура которой полностью определяется энергией поступающего в печь материала [4–6].

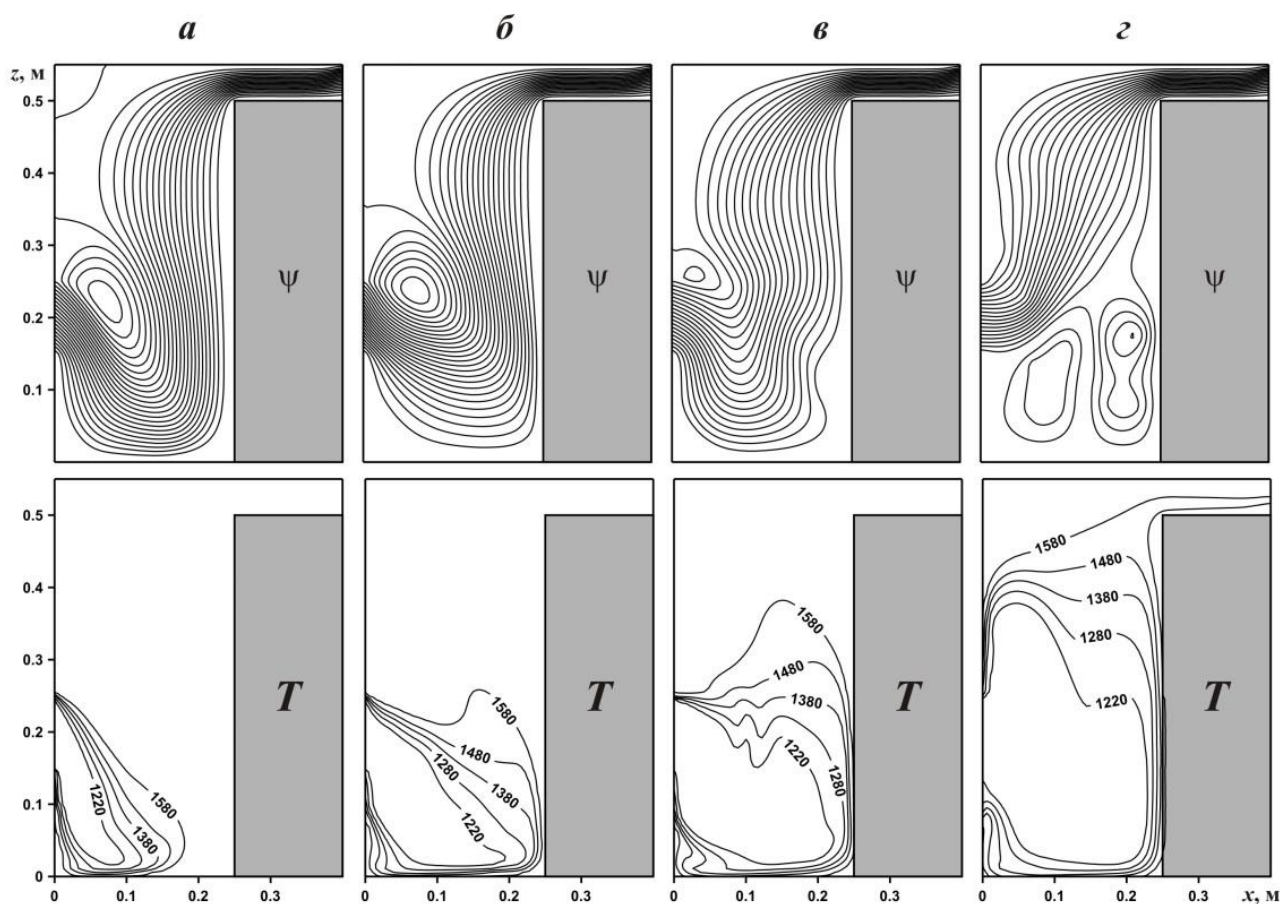


Рисунок. Изолинии функции тока  $\psi$  и температуры  $T$ : а)  $t = 10$  с, б)  $t = 20$  с, в)  $t = 30$  с, г)  $t = 50$  с.

Проведено математическое моделирование нестационарных режимов конвективного теплопереноса высокотемпературных силикатных расплавов в предположении их неньютоновского характера течения в объеме плавильной печи с использованием энергии низкотемпературной плазмы. На основании результатов численного анализа и экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что температурное поле, формирующееся внутри полости печи вследствие работы генератора низкотемпературной плазмы, позволяет получать высокотемпературные силикатные расплавы из материалов с содержанием кремнезема до 100%. Определена температура образования 100-ого расплава для каждого исследуемого сырьевого материала.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-48-700656.*

#### Список литературы:

1. Пат. 2503628 Российская Федерация. Плазменная установка для получения тугоплавкого силикатного расплава. Волокитин О. Г., Тимонов Е. В., Волокитин Г. Г., Никифоров А. А., Чибирков В. К.
2. Волокитин О. Г., Скрипникова Н. К. Расчет кривых плавкости многокомпонентных силикатных систем // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2016. Т. 59. №11. С. 50–54.
3. Бондарева Н. С., Волокитин О. Г., Морозова О. О., Шеремет М. А. Нестационарные режимы гидродинамики и теплопереноса при получении высокотемпературных силикатных расплавов // Теплофизика и аэромеханика. 2013. Т. 20, №5. С. 633–641.

4. Martyushev S. G., Sheremet M. A. Conjugate natural convection combined with surface thermal radiation in a three-dimensional enclosure with a heat source // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2014. V. 73. P. 340–353.

5. Sheremet M. A. Laminar natural convection in an inclined cylindrical enclosure having finite thickness walls // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2012. V. 55. P. 3582–3600.

6. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1978. 736 с.

*References:*

1. Pat. 2503628 Russian Federation. Plasma plant for producing molten silicate refractory. Volokitin O. G., Timonov E. V., Volokitin G. G., Nikiforov A. A., Chibirkov V. K.

2. Volokitin O. G., Skripnikova N. K. The calculation of the melting curves of multicomponent silicate systems. Math. universities. Chemistry and Chemical Engineering technology, 2016, v. 59, no. 11, pp. 50–54.

3. Bondarev N. S. Transient regimes of fluid flow and heat transfer in the preparation of high-temperature silicate melts / N. S. Bondarev, O. G. Volokitin, O. O. Morozov, M. A. Sheremet. Thermophysics and Aeromechanics, 2013, v. 20, no 5, pp. 633–641.

4. Martyushev S. G. Conjugate natural convection combined with surface thermal radiation in a three-dimensional enclosure with a heat source / S. G. Martyushev, M. A. Sheremet. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2014, v. 73, pp. 340–353.

5. Sheremet M. A. Laminar natural convection in an inclined cylindrical enclosure having finite thickness walls / M. A. Sheremet. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2012, v. 55, pp. 3582–3600.

6. Loitsiansky L. G. Fluid Mechanics / L. G. Loitsiansky. Moscow, Nauka, 1978, 736 p.

*Работа поступила  
в редакцию 23.01.2017 г.*

*Принята к публикации  
26.01.2017 г.*

---

*Ссылка для цитирования:*

Волокитин О. Г., Шеховцов В. В. Процессы плавления силикатов в плазмохимическом реакторе // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2017. №2 (15). С. 59–62. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/volokitin> (дата обращения 15.02.2017).

*Cite as (APA):*

Volokitin, O., & Shekhovtsov, V. (2017). Processes of melting silicates in chemical reactor. *Bulletin of Science and Practice*, (2), 59–62. Available at: <http://www.bulletennauki.com/volokitin>, accessed 15.02.2017. (In Russian).