УДК 669.24'783:539.389.1

DOI: 10.17223/00213411/64/8/57

*В.В. ШЕХОВЦОВ, О.Г. ВОЛОКИТИН, О.В. МАТВИЕНКО***МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАВЛЕНИЯ
СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПЛАЗМЕННОМ РЕАКТОРЕ ***

Представлены результаты математического моделирования процесса плавления силикатного материала, находящегося в реакторе. В качестве модельного материала использовался кварцевый песок, содержащий $\text{SiO}_2 \sim 98$ мас. %. Установлено, что при температуре $T_f = 2500$ К воздушно-плазменной среды в начальный период времени температура газа вблизи границы раздела фаз оказывается ниже температуры плавления. В результате процесса теплообмена в газовой фазе тепловая энергия передается сначала из центральных, а затем из верхних слоев к границе раздела фаз. Если запас тепловой энергии в газовой фазе оказывается достаточным для осуществления фазового перехода, то спустя некоторое время начинается процесс плавления. С ростом начальной температуры $T_f = 3000$ К процесс плавления начинается практически мгновенно ($t_m = 0.2$ с). В этом случае на границе раздела фаз устанавливается постоянная температура, незначительно превышающая температуру плавления. Показано, что скорость распространения фронта плавления определяется начальной температурой газовой фазы и теплофизическими характеристиками материала, но слабо зависит от толщины слоя засыпанного материала.

Ключевые слова: силикатные материалы, кварцевый песок, теплообмен, плавление, математическое моделирование, задача Стефана.

Введение

В настоящее время широкое распространение для производства теплоизоляционных материалов и изделий получили силикатные расплавы с различным содержанием SiO_2 [1, 2]. Силикатные расплавы – это расплавы, которые получают из кремнезема SiO_2 и соединений на его основе – силикатов [3, 4]. Сырьем для получения силикатных расплавов служат распространенные горные породы (песок, базальт, диабаз, мергель) [5], побочные продукты промышленности (металлургические шлаки, золы) [6] и вторичное сырье (стеклобой и др.) [7]. Из силикатных расплавов в зависимости от исходного сырья, определяющего химический состав расплава, и режима охлаждения можно получить различные по структуре и свойствам материалы и изделия: стекло, стеклянные изделия, стеклокристаллические и частично закристаллизованные материалы.

Разработка технологических основ получения силикатных расплавов с использованием нетрадиционных источников нагрева является актуальной [8, 9]. В работе [10] описаны комплексные исследования практического применения энергии низкотемпературной плазмы при плавлении различных видов материалов с содержанием SiO_2 от 50 до 99 мас. %. Показано, что при использовании энергии низкотемпературной плазмы можно получать однородный по температуре и химическому составу силикатный расплав. Отметим, что данные процессы протекают в среде низкотемпературной плазмы при малых значениях времени $t_m < 1$ с. Высокая скорость протекания процессов сопряжена с определенными трудностями при получении экспериментальных данных. Построение математической модели позволит устранить указанные трудности и корректно интерпретировать данные, полученные в ходе экспериментальных работ.

Проведенные теоретические [11, 12] и экспериментальные [13, 14] работы показывают, что процесс взаимодействия «твердая частица – плазма» включает большое количество различных физических явлений, поэтому их полное описание практически невозможно. В работе [15] представлена физико-математическая модель процесса плавления частицы кварца в условиях низкотемпературной плазмы. Расчеты позволили установить полное расплавление частиц с предельным радиусом $0.14 \leq r_p \leq 0.44$ мм.

Цель настоящего исследования – разработка физико-математической модели плавления силикатного материала в плазменном реакторе. В рамках численного решения рассматриваемой задачи использовалась комбинация метода контрольного объема и метода Рунге – Кутты – Мерсона с автоматическим контролем шага по времени четвертого порядка точности.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-79-10102).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>