

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ВАКУУМНО-КОМПРЕССИОННАЯ ПЛАВИЛЬНАЯ УСТАНОВКА

В.М. Лопатин, Р.Ш. Насыров

Описано устройство установки, которая предназначена для получения образцов особо чистого кварцевого стекла методом вакуумной плавки. Основным узлом установки является малогабаритная плавильная электропечь, сконструированная по принципу «матрешки», которая содержит вакуум-плотную термобаростойкую внутреннюю оболочку. Установка может использоваться при выполнении научно-исследовательских работ в области термообработки силикатных материалов.

Ключевые слова: высокотемпературная обработка силикатных материалов, синтез кварцевого стекла, вакуумно-компрессионная электропечь.

Изготовление кварцевых стекол особо чистой категории основано на использовании уникального оборудования, обеспечивающего синтез материала в вакуумной среде в условиях высоких рабочих температур. Вакуумная технология изготовления кварцевых стекол включает этапы очистки исходного сырья, вакуумной плавки, обработки расплавленного слитка в газовой среде высокого давления и отжиг. Высокотемпературные этапы вакуумной плавки и газовой обработки выполняются с помощью вакуумно-компрессионной установки, создание которой является сложной технической задачей. Сложность установки связана с высокими требованиями к материалам и узлам плавильной камеры, которая должна функциониро-

вать при температуре до 2000°C и давлении газовой среды до 3 МПа. Степень сложности повышается в случае создания компактной установки, для которой возрастают значения градиентов температуры и газового давления.

Цель настоящей работы заключалась в создании вакуумно-компрессионной установки с настольным размещением плавильной камеры, то есть в малогабаритном исполнении. Выбор малогабаритного исполнения связан с необходимостью выполнения исследовательских работ в области силикатных технологий, когда масса получаемого слитка обеспечивает решение исследовательских задач и, как правило, не превышает одного килограмма.

Основным узлом плавильной установки является вакуумно-компрессионная электрическая печь [1]. Для достижения и поддержания указанных режимов температуры и давления в ограниченном рабочем объеме электропечи выбрана многослойная конструкция (рис. 1), в которую встроена прочная толстостенная оболочка (баллон), дополненная системами термоизоляции и водоохлаждения. В основу многослойной конструкции положен принцип «матрешки», наружная оболочка которой выполнена из тонкостенного металлического листа, а внутренняя представляет собой толстостенный баллон, который испытывает основные механические нагрузки и обеспечивает функционирование плавильной камеры. Зазор между оболочками образует полость, через которую прокачивается охлаждающая вода. Наружная и внутренняя оболочка выполнены в форме цилиндрического основания с крышкой, которые сопрягаются между собой с помощью фланцев и стяжных болтов через уплотнительную прокладку.

Внутренняя толстостенная оболочка ограничивает рабочий объем электропечи и образует плавильную камеру, оснащенную высокотемпературным тепловым узлом с резистивным нагревателем и многослойным тепловым экраном. Плавильная камера имеет вакуум-плотное и баростойкое исполнение, что позволяет выполнять операции вакуумирования или заполнения инертным газом высокого давления. Вакуумная откачка камеры выполняется через трубопровод, расположенный в крышке корпуса. При необходимости создания в камере высокого давления газа трубопровод перекрывается тарельчатым клапаном, который разделяет объемы низкого и высокого давления.

В зазоре между оболочками, через который прокачивается охлаждающая вода, расположен спиральный трубопровод для напуска и выпуска инертного газа. Водяное охлаждение трубопровода позволяет производить выпуск нагретого до высокой температуры газа из плавильной камеры в атмосферу на любом этапе рабочего цикла плавки, обеспечивая целостность как самого трубопровода, так и запорной арматуры газовой магистрали.

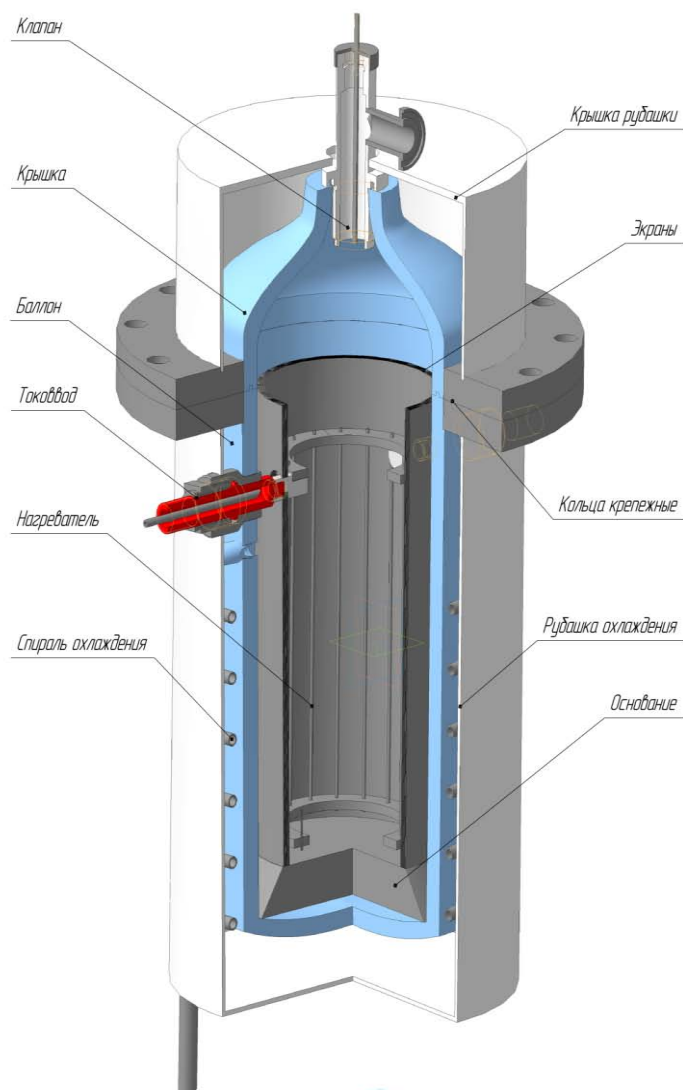


Рис. 1. Вакуумно-компрессионная электропечь

На цилиндрической поверхности электропечи диаметрально противоположно установлены два токоввода, через которые обеспечивается электропитание теплового узла. Токовводы выполнены из меди, имеют герметичное водоохлаждаемое исполнение и рассчитаны на токи до 1500 А. Тепловой узел камеры содержит четное количество стержневых вольфрамовых нагревателей, которые соединены с токовводами молибденовыми кольцами. Молибденовые кольца, между которыми располагается вольфрамовые нагреватели, образуют цилиндрическую конструкцию типа «беличье колесо», в котором верхнее кольцо разделено на два полукольца. Каждое полукольцо соединено при этом с одним из токовводов, в результате стержневые нагреватели разбиты на две равные группы проводников, соединенных между собой последовательно, а вольфрамовые стерж-

жни закреплены в подвешенном состоянии и сохраняют работоспособность в процессе их нагрева и линейного расширения.

Нагреватели теплового узла помещены в теплоизоляционный экран, имеющий вид цилиндрического стакана с крышкой. Теплоизоляционный экран по всем поверхностям выполнен из нескольких слоев листового молибдена. Зазор между слоями экранов не менее 1–2 мм. Многослойная конструкция экрана эффективно поглощает излучение нагревателей и кварцевого слитка, который размещается во внутреннем объеме экрана в молибденовом тигле. Внутри теплового узла установлены также две вольфрам-рениевые термопары для регистрации температуры теплового узла.

Функционирование вакуумно-компрессионной электропечи в составе установки обеспечивают следующие агрегаты и системы (рис. 2).

1. Вакуумный пост обеспечивает предварительную откачку на уровне 10^{-1} – 10^{-2} Па и величину предельного вакуума на уровне 10^{-4} Па.
2. Газовая система предназначена для плавного напуска инертного газа в плавильную камеру и выпуска горячего газа в атмосферу.
3. Блок электропитания теплового узла осуществляет регулировку тока через нагреватели в диапазоне до 1500 А при напряжении около 15 В.
4. Система водоохлаждения обеспечивает отвод тепла с внешней поверхности камеры.
5. Система контроля регистрирует значения давления, температуры и других параметров.

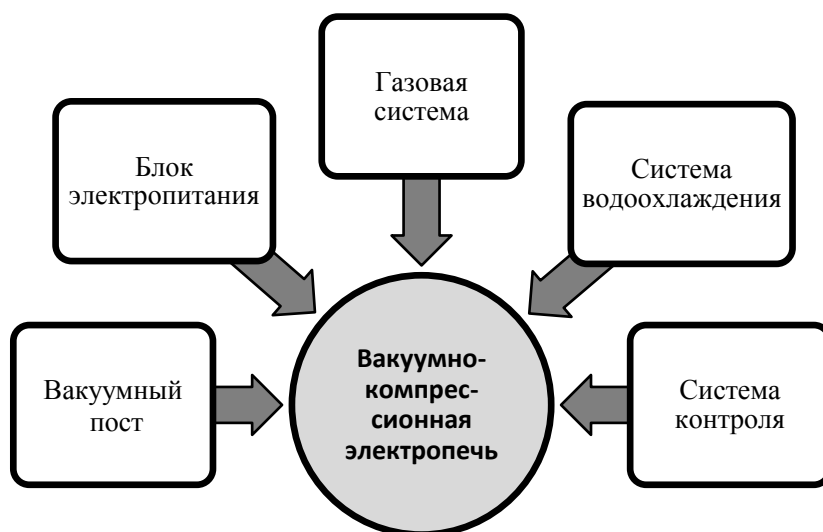


Рис. 2. Состав вакуумно-компрессионной установки

Состав агрегатов установки позволяет варьировать в широком диапазоне давление и температуру слитка кварцевого стекла и открывает тем самым большие возможности для проведения исследовательских работ в области термообработки силикатных материалов, в частности, в области получения высококачественного кварцевого стекла из природного сырья [2]. Ограниченный объем электропечи, не превышающий 15 литров, позволяет использовать установку не только в исследовательской работе, но и в мелкосерийном производстве малогабаритных кварцевых блоков.

Следует отметить также, что многослойная конструкция с компактным расположением основных элементов позволяет получить произведение $P \cdot V$ меньше 500 (V – объем рабочего газа в литрах и P – давление газа внутри печи в атмосферах), что соответствует безопасному уровню работ с сосудами высокого давления и допускает отсутствие регистрации в органах Госгортехнадзора России.

Разработка установки выполнялась в рамках Межотраслевого научно-исследовательского центра высокотемпературных расплавных и газофазных технологий при сотрудничестве специалистов Института минералогии УрО РАН и Филиала Южно-Уральского госуниверситета в г. Миассе. Авторы выносят благодарность студентам машиностроительного факультета Сучкову Алексею и Соломатову Егору за активную помощь в создании электронной конструкторской документации деталей и узлов установки.

Библиографический список

1. Пат. на полезную модель 150474 Российская Федерация, МПК F 27 В 14/04. Вакуумно-компрессионная электрическая печь / Р.Ш. Насыров, В.М. Лопатин. – № 2014113356/02; заявл. 04.04.2014; опубл. 20.02.2015, Бюл. № 5. – 6 с.
2. Насыров, Р.Ш. Высококачественное кварцевое стекло из природного сырья / Р.Ш. Насыров, С.А. Попов, В.М. Лопатин, Б.С. Лунин // Материаловедение. – 2013. – № 4. – С. 31–33.

[К содержанию](#)