



АЙДАРАЛИЕВ А.Ж., АБДИЕВ М.С., КАСЫМОВ Т.М., ДУБИНИН Ю.Н.

¹КГУСТА им. Н. Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика

²Институт Физики им. Ж. Жеенбаева НАН КР, Бишкек, Кыргызская Республика

AYDARALIEV A.ZH., ABDIEV M.S., KASYMO T.M., DUBININ YU.N.

¹KSUCTA n. a. N. Isanov, Bishkek, Kyrgyz Republic

²Institute of Physics named after J. Jeenbaev National Academy of Science of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic

СОЗДАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ ПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ БАЗАЛЬТА-КАМЕННОГО ЛИТЬЯ

ESTABLISHMENT OF A LABORATORY MELTING FURNACE FOR BASALT STONE CASTING

Аталган жумушта базальт ташын эритүү боюнча ар түрдүү күйүүчү отун пайдаланылган печтин конструкциясы базальт ташын ээритүү максатында жаратылыш газы менен иштөөчү печтин конструкциясы тандалып алынды. Анализ көрсөткөндөй газ менен иштеген печтин конструкциясы жөнөкөй жана баасы арзан болгондугуна байланыштуу тез эле убакыт ичинде изилдөө багытында базальт-таш композициялык материалды алууга болот. Түзүлгөн газдык негизде ээритүүчү лабораториялык печь моноклин пироксен диоксид-геденбергит катарына ээ болгон, базальт-таш шихтасынын негизинде жаны материалдарды алууга мүмкүнчүлүк берет. Бул группа куйма таш куйма буюмдарынын составында негизги жана жалпы куйманын (70-95%) түзөт.

Өзөк сөздөр: эритүү меши, факел, эритинди, шахталык-ванналык меш, мартен меши, вагранка, электр дугалык меш, базальт-таш куймасы, петрохимиялык ыкма.

В работе проведен литературный анализ по конструкции печи для плавки базальта, в которых используются различные виды топлива. Для создание лабораторной печи для плавки базальтовой шихты была выбрана конструкция печи, работающая на природном (сжиженном) газе. Анализ показал, что по простоте и дешевизне материала конструкция газовой плавильной печи значительно проще и дешевле электрической и позволяет нам быстро получить литьевого базальто-каменный композиционный материал для исследования. Созданная газовая плавильная лабораторная печь позволяет получать новые материалы на основе базальто-каменной шихты, которые имеют моноклинный пироксен диоксид-геденбергитового ряда. Эта группа является ведущей в составе литых каменных изделий и составляет (70-95%) всей массы отливки.

Ключевые слова: плавильная печь, факел, расплав, шахтно-ванная печь, мартеновская печь, вагранка, электродуговая печь, базальто-каменное литье, петрохимический метод.

The work carried out a literary analysis of the design of a furnace for melting basalt rock. The analysis showed that, due to the simplicity and low cost of the material, the design of a gas melting furnace (operating on natural gas) is much simpler and cheaper than with electric melting and allows one to obtain a cast basalt-stone composite material. Under laboratory conditions, a



laboratory gas melting furnace was created, which makes it possible to obtain new materials based on basalt raw materials, having a monoclinic pyroxene of the diopside-hedenbergite series. This group is the leading one in the composition of cast stone products and makes up from 70 to 95% of the total mass of the casting.

Key words: *melting furnace, torch, melt, shaft-bath furnace, open-hearth furnace, cupola, electric arc furnace, basalt-stone casting, petrochemical method.*

Опыт работы электрических печей в Чехии, США, Франции, России доказывает, что во многих случаях их эксплуатация эффективней, чем печей, работающих на газообразном энергоносителе [1-4]. Одним из традиционных, широко распространенных способов плавления горных пород является способ пламенного обогрева, заключающийся в передаче тепла плавящемуся материалу от факела, образующегося при сжигании природного газа, мазута над расплавом. По этому принципу работают ванные печи в стекольной промышленности и минераловатного производства [1-3].

В России используются ванные печи, в которых подвод тепла к шихте осуществляется комбинированным газозлектрическим способом [4 5]. Использование дополнительного электрического обогрева принципиально отличает процесс теплообмена при пламенном обогреве [6]. Тепло, выделяется непосредственно от пода печи, а также использование специального копильника для подогрева расплава перед его выдачей намного эффективнее верхнего обогрева. При этом происходит интенсивное перемешивание расплава и быстрый нагрев до необходимой температуры по технологическому процессу. Исследования показали, что при использовании дополнительного электроподогрева в количестве 10 % от общей подачи тепла, удается поднять производительность стекловаренной печи на 30 % [7-9]. В работах [10] рассмотрены перспективы применения плазматрона для плавки базальта. Несмотря на перспективность данного способа, широкого распространения он пока не нашёл. Спроектированы и внедрены различные конструкции плавильных печей электрического нагрева графитовыми и молибденовыми электродами. [11, 12].

Целью настоящей работы является создание высокотемпературной лабораторной печи для получения базальто-каменного литья.

При выборе плавильной печи для плавки шихты необходимо учитывать состав и свойства сырьевых материалов, долговечность и простоту конструкции, а также вид применяемого топлива.

В настоящее время в производстве каменного литья используются плавильные печи, работающие на различном топливе и имеющую различную конструкцию.

Таблица 1 - Основные виды печей и используемое топливо для производства каменного литья

Наименование печей	Вид топлива	Расход на 1 т. расплава	КПД
Мартеновская	Мазут, газ	200 кг	21-22
Вагранка	Кокс	220 кг	28-30
Шахтно -ванная	Мазут, газ	350 кг	13-14
Вращающаяся	Газ, мазут	900 м ³	10-11
Электродуговая	Электричество	1600 кВт	40-45

Мартеновская печь (мартен) - плавильная печь предназначена для переработки передельного чугуна и лома в сталь нужного химического состава и качества. Мартеновскую печь приспособливают для плавки базальтового щебня. После небольших доработок, её используют для получения больших объёмов базальтового расплава.

Основной принцип действия - вдувание раскаленной смеси горючего газа и воздуха в печь с низким сводчатым потолком, отражающим жар вниз, на расплав. Нагревание воздуха



происходит посредством продувания его через предварительно нагретый регенератор (специальная камера, в которой выложены каналы огнеупорным кирпичом). Нагрев регенератора до нужной температуры осуществляется очищенными горячими печными газами. Происходит попеременный процесс: сначала нагрев регенератора продувкой печных газов, затем продувка холодного воздуха. Для лабораторной печи довольно сложная конструкция.

В **вагранке** необходимо создать специфические условия для плавления шихты. Трудность регулирования температуры выходящего расплава и восстановительная атмосфера плавления, усложняют получение качественного литья. При многокомпонентной шихте в условиях ваграночного производства трудно добиться в плавильной зоне однородного по химическому составу расплава. При плавлении горных пород в вагранке очень трудно избавиться от газонасыщения расплава. Также не подходит для создания лабораторной печи.

Шахтно - ваннные печи широко распространены на Чешских камнелитейных заводах. Печи такого типа наиболее приспособлены для плавления кусковой породы газом или мазутом. Конструкция печи подходит для создания малой лабораторной печи

Вращающиеся печи для производства каменного литья впервые были применены на Донецком камнелитейном заводе. Основным преимуществом данных печей является возможность интенсивного перемешивания шихты, за счет вращения. Вращающаяся печь обеспечивает хорошие условия теплопередачи в шихте, что сокращает время плавки. Такие печи удобны для многокомпонентной и мелкой шихты, требуется прочный наружный кожух и механизм вращения печи.

Возможно изготовление лабораторной печи, но конструкция довольно сложная. Плавка щебня в **дуговых печах** с помощью графитовых электродов для получения расплавов каменного литья не нашла широкого распространения, т.к. расплав получается сильно загазован. Графитовые электроды, взаимодействуя с расплавом, восстанавливают железо, частично почти все металлы, присутствующие в шихте выпадают в осадок, изменяя его химический состав.

Оценка изменения расплава производится с помощью **петрохимических методов** А.Н.Заварицкого, А.С.Гинзберга, [13] в которых объединяются суммы кислотных, основных и щелочных окислов (коэффициент кислотности):

$$K(1) = \frac{SiO_2 + TiO_2 + Al_2O_3 + FeO + MnO + CaO + MgO + Na_2O + K_2O}{CaO + MgO + Na_2O + K_2O}$$

Пригодны для получения каменного литья породы с коэффициентом кислотности в интервалах **1,5-1,8**; при $K > 1,8-1,9$ и при $K < 1,3$ подготовит подшихтовку соответственно более основными и более кислотными материалами. Следовательно, выпавшие в осадок металлы могут сделать не пригодным полученный расплав для получения отливки, поэтому такие печи не рекомендуются для получения качественных отливок. При горении графитовых электродов образуют большое количество газов, которые насыщают расплав, и удаление этих газов сопряжено с определенными трудностями.

Наиболее качественные расплавы дают электрические печи с молибденовыми электродами, которые не взаимодействуют с расплавом, не изменяют химический состав шихты, не образуют ферросилиций, не образуют газов.

Конструкции промышленных печей не подходят для создания лабораторной печи. Из них можно только взять принцип работы и методы нагрева. Краткий анализ конструкций печей показал, что для создания лабораторной конструкция печи подходят два варианта: - первый – это электрическая печь с молибденовыми электродами; - второй – это шахтно-ванная печь.

Для работы электрической печи с молибденовыми электродами необходимо изготовить или приобрести: печные трансформаторы необходимой мощности, специальные холодильники и магистрали по которым циркулирует дистиллированная техническая вода, градирня для охлаждения воды, тиристорная система управления токами большой

мощности. Дополнительную сложность представляет первоначальный пуск системы нагрева молибденовых электродов, а также большая стоимость комплектующих не вполне подходит для лабораторной печи.

Шахтно-ванная для лабораторных исследований расплавов имеет простую конструкции печи, состоит из доступных материалов, характеризуется устойчивой работой, не требует для работы специальных знаний. Можно использовать природный и сжиженный газ.

Принципиальная схема лабораторной печи приведена на рис. 1.

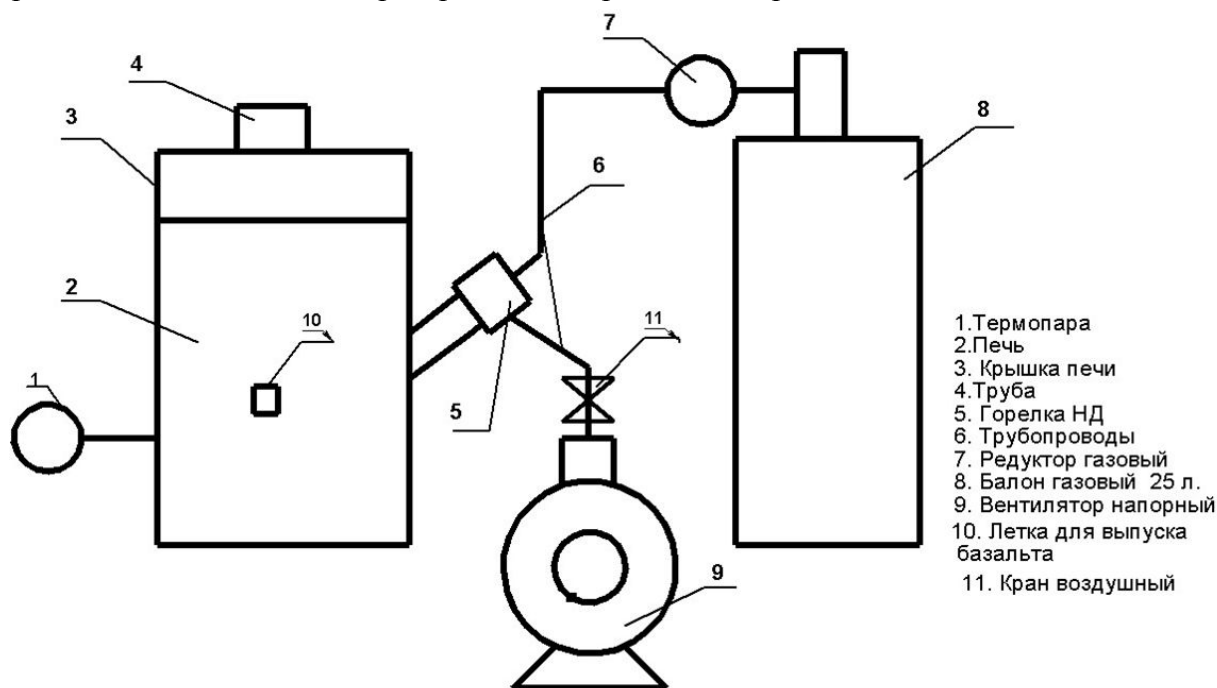


Рис. 1. Схема плавильной печи

Согласно рис. 1, печь состоит из следующих элементов: 1- термопара с измерительным прибором; 2- Плавильная печь; 3- крышка печи ; 4 –труба (дымоход); 5- горелка низкого давления; 6- газопроводы; 7- редуктор газовый; 8 –баллон газовый ; 9- вентилятор напорный ; 10- летка для выпуска базальтового расплава; 11-регулятор подачи воздуха.

Описание лабораторной печи:

1 - термопара марки ТПП 13 служит для измерения температуры в печи. Технические характеристики, используемые термопары и пределы измерения температуры приведены в табл. 1

Таблица 2 - Технические характеристики термопреобразователей

Тип ТП	Обозначение НСХ	Тип ТП по ГОСТ 6616-94	Диапазон измеряемых температур, °С
	S	Платинородий –платиновые ТПП 10	от 0 до 1300 (кратковременно до 1600)
	R	Платинородий-платиновые ТПП 13	
ТПРТ	В	Платинородий-платинородиевые	

2. Плавильная печь изготовлена из шамотных кирпичей марки ШБ-5, геометрические размеры которых, доработаны алмазной пилой, позволяющих сложить 8-угольную форму внутри металлического кожуха. Технические характеристики огнеупорных кирпичей, используемых для кладки подины и стен приведены в табл. 2.



Таблица 3 - Техническая характеристика огнеупорных кирпичей марки ШБ-5.

№ пп	Наименование	Значение
1	Максимально допустимая температура для марки ШБ	1650°C
2	Температура рабочая	1400°C
3	Плотность огнеупора	1500÷1700 кг/м ³
4	Стандартный камень ШБ 5 имеет вес 3,6 кг, при этом его размеры	230x114x65 мм
5	Коэффициент теплопроводности	0,6÷0,7 Вт/м°C
6	Объемная доля открытых пор для марок ШБ	не более 24%
7	Максимальное сжатие, выдерживаемое штучным изделием без разрушения	20 Н/мм ²

Плавильная печь изготавливается в следующем порядке:

Дно печи выкладывается двумя рядами шамотных кирпичей в металлическом кожухе Ø600 мм. по схеме

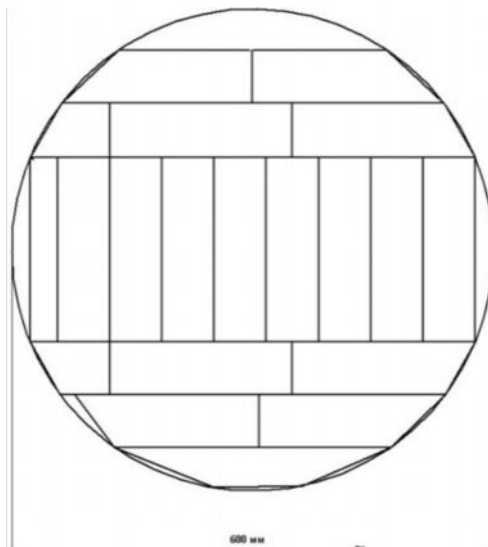


Рис. 2. Раскладка шамотных кирпичей на дне печи

Стена раскладывается согласно схеме указанные на рис. 3.

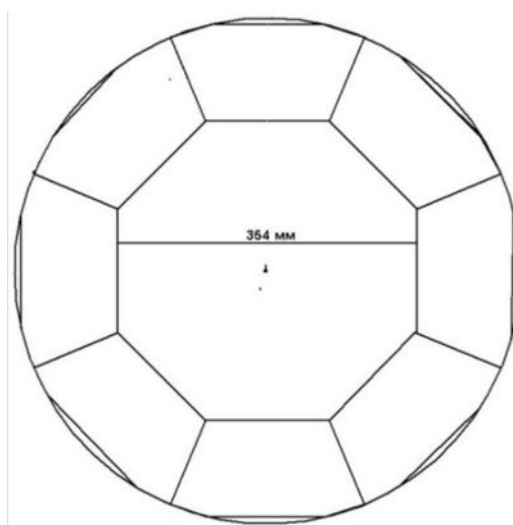


Рис. 3. Схема раскладки шамотных кирпичей для стены



Для такой раскладки каждый огнеупорный кирпич дорабатывался на изготовленном для этого станке согласно рис. 4. На все швы и плоскости для создания герметичной кладки, равномерно помещается огнеупорный мертель ТУ 5745-001-51125281-05. Жаростойкость мертеля составляет $+1780^{\circ}\text{C}$, рекомендуемая толщина слоя 3-8 мм. На стену выложено 8 рядов кирпичей. Площадь зеркала дна равна $S = 0.1 \text{ м}^2$. Учитывая, что эффективная глубина прогрева расплавленного базальта составляет $t = 150-200 \text{ мм}$, то полезный объём расплава составит: $0.1 \cdot 0.15 \cdot 0.015 \text{ м}^3$.

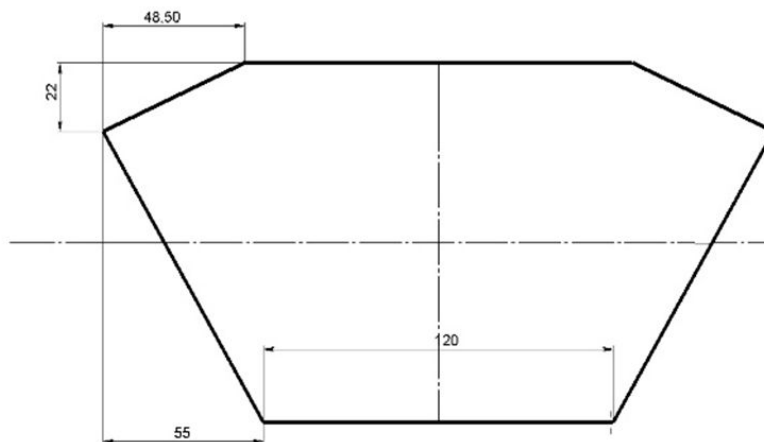


Рис.4. Резанный кирпич

Плотность плавленного базальта может достигать 2700 кг/м^3 . Исходя из этого максимальный объём отливки, которую можно получить на данной конструкции печи составит:

$$0.015 \cdot 2700 \cdot 40 \text{ кг}$$

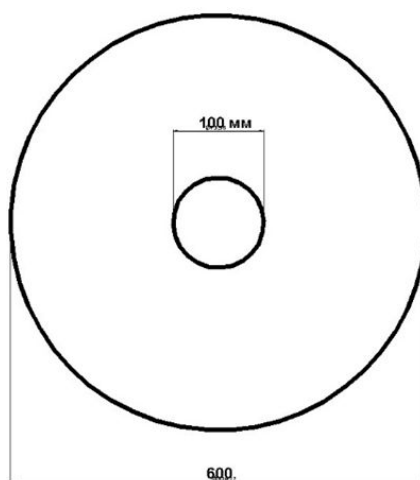


Рис. 5. Крышка печи

Крышка печи – рис.5, изготовлена из высоко-глинозёмистого бетона на основе шамотной крошки, толщиной 100 мм. Такая конструкция способна длительно выдерживать высокие температуры.

Горелка низкого давления – рис. 6 спроектирована и изготовлена специально для лабораторной печи. Носик головки изготовлен из серого чугуна СЧ 35 по ГОСТ 1412—54. Он позволяет не терять форму при нагреве до температур 1350°C . Для создания высокой температуры плавления необходимо принудительно подавать воздух в пропорции 1:10, 1:11, это позволяет получить температуру порядка 2000°C . Воздух, нагнетается центробежным

вентилятором, производительностью 1200 м³/час. Регулировка производительности подачи воздуха производится шаровым краном $D_y = 50$.

Подача газа и воздуха производится по отдельным патрубкам, поэтому данные горелки называют *двухпроводными*. Горелки с принудительной подачей воздуха еще называют *смесительными*, так как они обеспечивают полное перемешивание газозвушной смеси. Для получения разной тепловой производительности изготовлены три жиклёра с диаметрами центрального отверстия $\varnothing 1.5$, $\varnothing 1.75$, $\varnothing 2.0$ мм. Для эффективного перемешивания воздуха с газом в цилиндрическую часть носика головки установлен 6 - лопастной завихритель воздуха.

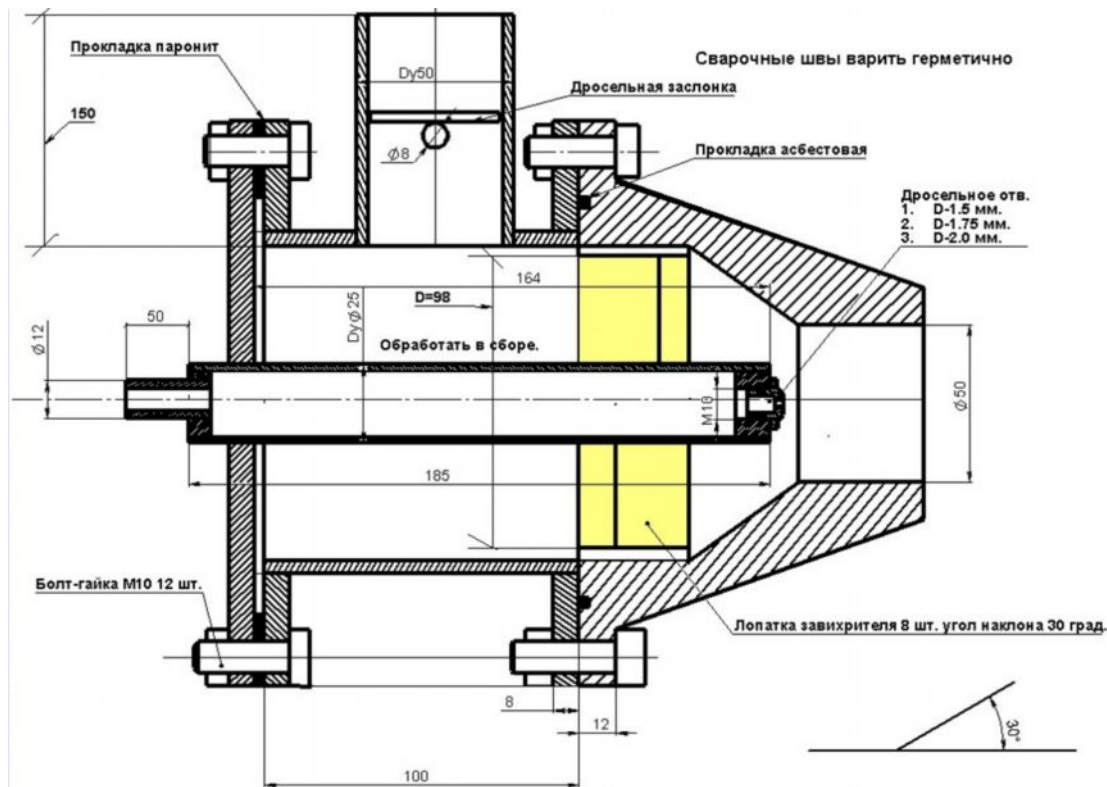


Рис. 6. Горелка низкого давления

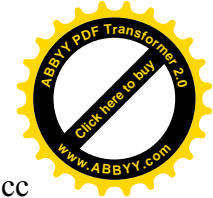
Характеристики редуктора пропановый БПО-5-КР-И :

- редуцирующий газ - Пропан;
- наибольшая пропускная способность, м³/ч: - 5;
- наибольшее давление газа на входе, МПа (кгс/см²) - 2,5 (25);
- наибольшее рабочее давление газа, МПа (кгс/см²) - 0,3 (3,0)

Редуктор предназначен для понижения давления газа, поступающего из баллона, и автоматического поддержания постоянным заданного рабочего давления при горении газа. Позволяет проводить тонкую настройку рабочего давления.

50-литровый газовый баллон – размеры его стандартны. Высота составляет 960, а ширина в диаметре 299 мм. Толщина стальной стенки составляет 3 мм, а вес – 22 кг. Для баллонов подобного объема рабочее давление составляет до 1,6 МПа (кг/см²). Хорошо подходит для транспортировки газа, его хранения, и для работ в лаборатории.

Летка изготовлена путем сверления отверстия $\varnothing 20$ мм. в стене печи, а в режиме разогрева она забивается огнеупорной глиной. Для выпуска расплава необходимо удалить сверлом подходящего диаметра огнеупорную глину и струя расплава под статическим давлением начнёт выходить из печи и заполнять разливочную форму, установленную под струей. После заполнения разливочной формы из неё производят заливку кокильных форм,



расположенных в электрической кристаллизационной печи. Процесс кристаллизации литых изделий направлен на получение отливки однородной, мелкокристаллической структуры, с минимальным количеством минералогических фаз, поэтому в кристаллизационной печи установлена автоматическая регулировка температуры на всем цикле технологического процесса от 900⁰С до полного остывая отливки.

Всё оборудование должно быть установлено в пожаробезопасном помещении, высокотемпературные газы должны эффективно удаляться из помещения лаборатории

Таким образом, такая конструкция печи удобна, безопасна и не требует дорогостоящего оборудования, также обеспечивает длительной работы печи при эксплуатации.

Список литературы

1. Гоберис С.Ю. Пути совершенствования плавильных агрегатов в производствеминеральной и стеклянной ваты [Текст] / С.Ю.Гоберис. – Вильнюс: 1971. - 159 с.
2. Джигирис Д.Д. Ванная печь для плавления основных горных пород [Текст] // Д.Д.Джигрис, П.П. Полевой, Р.П. Полевой // Строительные материалы. – 1974. – №9. – С. 8-9.
3. Феннер Б. Газовая вагранка – новая разработка для производства минеральнойваты [Текст] / Б. Феннер, М. Ульрих // Базальтовые технологии. – 2017. – №5. – С. 27-31.
4. Ормонбеков Т. Техника и технология производства базальтовых волокон [Текст] /Т.Ормонбеков. – Бишкек: Илим, 2005. -152 с.
5. Героиценкова Л.Г. Электрическая и пламенно-электрическая варка стекла в зарубежной и отечественной промышленности [Текст] / Л.Г.Героиценкова // Стекло и керамика. -1971. -№1. – С. 19-23.
6. . Вакуленко О.В., Джигирис Д.Д. Излучательная способность базальтовых расплавов [Текст] / О.В.Вакуленко, Д.Д.Джигирис // Стекло и керамика. – 1978. -№9. – С.14- 16.
7. Акназаров С.К. Плавка базальта в реакторе с объемным электромагнитным перемешиванием расплава. [Текст] / С.К. Акназаров, В.Г. Лукьященко, Н.Ю. Головченко и др. // Наука и мир.– 2015. – Т.1. – №5. – С. 114-116.
8. Абдыкалыков А.А. Высокотемпературная печь для получения базальто-каменного литья [Текст] / А.А. Абдыкалыков, Ж.К. Айдаралиев, Н.А. Сопубекови др. // Материаловедение. - 2013. - №2. - С.179-182.
9. Кычкин А.К. Применение плазменно-омического нагрева для переработки базальта [Текст] / А.К. Кычкин, А.С. Аньшаков, Э.К. Урбах, И.И. Суздалов // Вестник ЯГУ. – 2017. – Т.9.– №. – С. 1-4.
10. Абдыкалыков А.А. Перспективы применения плазматрона для плавильной печи [Текст] / А.А.Абдыкалыков, Ж.К.Айдаралиев, Ю.Н.Дубинин, А.Т.Кайназаров // Вестник КГУСТА . – 2016. - № 4 (54). - С. 29-34.
11. Абдыкалыков А.А. Новая конструкция теплообменника для электроплавильной печи горных пород [Текст] / А.А.Абдыкалыков, Т.М. Касымов, Ж.К. Айдаралиев, Ю.Н.Дубинин //Наука и инновационные технологии. – 2018. - № 3. - С.244-247.
12. Абдыкалыков А.А. Разработка конструкции печи для получения твердого полиметаллического сплава из базальтовых пород [Текст] /



А.А.Абдыкалыков, Ж.К. Айдаралиев, Ю.Х. Исманов, А.Т. Кайназаров, М.С. Абдиев // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – Пенза: Издательский дом "Академия естествознания", 2019. - №8 – С. 109-113.

13. Рашиг Г.А., Четвериков С.Д., Петрохимический метод оценки сырья для каменного литья [Текст] / Г.А.Рашиг, С.Д. Четвериков // Изв. ВУЗов геология и разведка. - М.: 1964. - №9. - с 71-79.