СТАТЬИ

УДК 669:66.041:553.2

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПЕЧИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТВЕРДОГО ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА ИЗ БАЗАЛЬТОВЫХ ПОРОД

Абдыкалыков А.А., Айдаралиев Ж.К., Исманов Ю.Х., Кайназаров А.Т., Абдиев М.С.

*Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры
им. Н. Исанова, Бишкек, e-mail: i_yusupjan@mail.ru*

Решение проблемы использования отходов производства супертонкого волокна теплоизоляционного назначения является необходимым условием повышения экономической эффективности данного производства и одним из решающих факторов в деле охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. Исследования, касающиеся применения отходов промышленности в качестве сырья, ведутся в двух направлениях: получение благородных и редких металлов из металлического отходов или применение его целиком, как металлического сплава, и получение каменного литья из флюса. В работе рассматривается разработанная авторами малогабаритная печь для получения полиметаллического сплава из базальтовых и других горных пород. Разработанная конструкция печи позволяет получить твердый полиметаллический сплав при расплаве горных пород, в том числе базальта. Полученный полиметаллический сплав обладает хорошими физико-техническими характеристиками и химическим составом, позволяющими использовать его при создании высокопрочных композитов. Помимо этого, предлагаемая конструкция печи может быть использована для получения сплавов из драгоценных и редкоземельных металлов, таких как золото и платина, на так называемых малых месторождениях, где строить фабрики для получения драгоценных и редкоземельных металлов нерентабельно.

Ключевые слова: силикатный расплав, полиметаллический сплав, горные породы, электронагрев, гравитационное расслоение

DEVELOPMENT OF THE DESIGN OF THE FURNACE FOR OBTAINING A SOLID POLYMETALLIC ALLOY FROM BASALT ROCKS

Abdykalykov A.A., Aydaraliev Zh.K., Ismanov Yu.Kh., Kaynazarov A.T., Abdiev M.S.

*Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov, Bishkek,
e-mail: i_yusupjan@mail.ru*

Solving the problem of using waste from the production of super-thin fiber for thermal insulation is a prerequisite for increasing the economic efficiency of this production and one of the decisive factors in protecting the environment and rational use of natural resources. Research on the use of industrial waste as a raw material is conducted in two directions: the production of precious and rare metals from metal waste or its application as a whole, as a metal alloy, and the production of stone casting from flux. The paper discusses a small-size furnace developed by the authors to produce a polymetallic alloy from basalt and other rocks. The developed furnace design makes it possible to obtain a solid polymetallic alloy from various rocks, including basalt. The resulting polymetallic alloy has good physical and technical characteristics and chemical composition, allowing it to be used to create high-strength composites. In addition, the proposed furnace design can be used to produce alloys from precious and rare earth metals, such as gold and platinum, in the so-called small deposits, where building factories to produce precious and rare earth metals is unprofitable.

Keywords: silicate melt, polymetallic alloy, rocks, electric heating, gravity separation

Среди известных методов плавания горных пород, метод пламенного обогрева занимает ведущее место. В основе этого метода лежит нагрев с помощью газового факела, который размещают непосредственно над плавящейся породой [1–3]. Основным недостатком печей на основе этого метода являются их большие габариты. Как следствие, такие печи имеют низкий КПД из-за больших потерь тепла, требуют больших капитальных затрат [4–6]. Низкая эффективность таких печей также обусловлена слабой светопропускаемостью силикатных расплавов, применяемых для изготовления минеральной ваты.

Высокая отражающая способность расплавов, препятствующая передаче тепла

глубинным слоям, обусловлена наличием оксидов металлов, в первую очередь оксидов железа, окрашивающих расплавы в темный цвет [7–9]. При проектировании печей для плавания горных пород типа базальта необходимо учитывать свойства расплавов.

В Кыргызской Республике, как и в России, начали функционировать ванны печи, в которых подвод тепла к шихте осуществляется комбинированным газозлектрическим способом [3–5].

Сравнительный анализ тепловой эффективности печей (табл. 1) показывает преимущество электродуговых печей по сравнению с наиболее распространенными в силикатной промышленности плавильными агрегатами [8].

Таблица 1

Сравнительный анализ тепловой эффективности печей

Показатели	Коксовая вагранка	Ванная печь	Электродуговая печь	Шлакоприемная печь
Удельные затраты на 1 кг расплава, кДж	6300–12600	10700–20900	2510–2930	1250–2970
Коэффициент полезного действия, %	20–30	15–35	60–70	2–5

Рис. 1. Схематическое изображение электрической печи для получения полиметаллического сплава

Пропускание электрического тока через расплав позволяет воздействовать на электрические силы взаимодействия молекул в расплаве эффективней, чем традиционные способы подвода тепла.

При плавлении силикатных расплавов для получения минеральной ваты, особенно при использовании в качестве сырья основных горных пород, характеризующихся черным цветом расплава, электронагрев является весьма эффективным, позволяющим значительно интенсифицировать процесс плавления по сравнению с пламенным обогревом [10, 11].

При разработке технологии производства супертонких волокон из горных пород необходимо стремиться к созданию малоотходного, экономически эффективного, низко энергоемкого и экологически чистого процесса. Первым и наиболее важным шагом в этом направлении является исследование физико-химических процессов при плавлении горных пород в электродуговой установке [12].

Решение проблемы использования отходов производства супертонкого волокна

теплоизоляционного назначения является необходимым условием повышения экономической эффективности данного производства и одним из решающих факторов в деле охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

Исследования, касающиеся применения отходов промышленности в качестве сырья, ведутся в двух направлениях: получение благородных и редких металлов из металлического отходов или применение его целиком, как металлического сплава, и получение каменного литья из флюса.

Целью данной работы является разработка конструкции печи для получения полиметаллического сплава из горных пород.

Малогабаритная печь для получения полиметаллического сплава из горных пород

Схематичное изображение электрической печи для получения полиметаллического сплава в разрезе представлено на рис. 1.

Рис. 2. Промышленная электродуговая печь для получения полиметаллического сплава

Температура печи контролируется с помощью оптического пирометра и оптического многоканального интерферометра [13–15].

Печь, предназначенная для проведения исследовательских работ и отработки технологических регламентов и получения полиметаллического сплава в промышленных масштабах, представлена на рис. 2.

Печь смонтирована на шамотных блоках (10) марки ША размером 1000х400х300 мм. При кладке основания печи стыки между блоками плотно подгоняются и подпираются винтовыми домкратами, которые в процессе нагрева позволяют осуществлять прижим с постоянным усилием. Шамотные блоки образуют «стол» с параметрами 1000х1600х300 мм. На этом столе монтируется ванна для получения высокотемпературного расплава. Ванна – это наиболее ответственный элемент конструкции печи. Ванна сложена из высокоглиноземистого кирпича (9) марки МКП-72, размером 230х115х65 мм.

Техническая характеристика электродуговой печи приведена в табл. 2.

В центре плавильного пространства размещен сборник расплавленного полиметаллического сплава. Кирпичи МКП-72

пилятся алмазным диском и плотно подгоняются между собой и стягиваются специальной струбциной (8) через холодильники (7). Холодильник и струбцина между изолированы с помощью диэлектрических пластин – для безопасности обслуживающего персонала. Все силикатные расплавы проводят электрический ток, они являются проводниками второго рода, т.е. перемещение электричества в них осуществляется ионами. Ионы представлены катионами Fe^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , и другими, а также анионами. Холодильник ванны (7) и электродный холодильник (5) также между собой электрически разъединены пластиной из МКП-72 размером 230х115х30. Электродный холодильник (5) рассчитан на работу с графитированным электродом (12) $D = 100$ мм. Электродный холодильник представляет собой металлическую сварную конструкцию. Передняя стенка электродного холодильника, обращенная к расплаву, выполнена из стали толщиной 8–10 мм. Остальные стенки 2–3 мм. Холодильники между собой также диэлектрически разъединены кирпичом МКП-72 толщиной 65 мм. Верхняя часть холодильников закладывается двумя рядами шамотного кирпича (4) марки ША, ШБ. Клинчатая арка печи сделана водоохлаждаемой, потому что температура газов весьма высокая, порядка 1300–1350 °С. Крыша сделана съемной из квадратных стальных труб 120х80х6 (2). Трубы футерованы шамотным кирпичом для укладки сводов (3). Аналогов этих кирпичей нет, поэтому он выпиливается из обыкновенного кирпича размерам 230х115х63 по чертежам. Все элементы печи охлаждаются с помощью холодильников через систему труб (1) дистиллированной или умягченной водой для уменьшения образования накипи. Вода в холодильниках подается насосом, марки ЗК6. Вода охлаждается с помощью градирни. Графитовые электроды (12) $D=100$ мм марки ЭГ-1. Исходя из технических характеристик, максимальный ток для диаметра 100 мм составляет

$$S = \pi r^2 \cdot 25 = 3,14 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 25 = 1962,5 \text{ А.}$$

Таблица 2

Техническая характеристика электродуговой печи

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Величина
1	Производительность	кг/час	80
2	Мощность трансформатора	кВт	2х400
3	Напряжение	V	200
4	Максимальный рабочий ток	A	600
5	Количество шихты, загружаемой на одну плавку	кг	200
6	Количество электродов	шт.	12
7	Диаметр электродов	мм.	100
8	Расход электроэнергии на 1 т расплава	кВт/час	1600
9	Печь качающаяся	мм	200

Таблица 3

Результаты спектрального анализа полиметаллического сплава

Химический состав	№ изм.	Fe	Al	Ni	Cu	Mn	Cr	Ca	Mg	In
Полиметаллический сплав	1	38,5	0,06	8,2	3,2	25,0	24,81	0,06	0,04	0,1
	2	39,0	0,065	8,0	3,4	25,2	24,25	0,05	0,035	0,12
	3	38,75	0,0625	8,1	3,3	25,1	24,54	0,055	0,075	0,11
Среднее значение		38,75	0,0625	8,1	3,3	25,1	24,54	0,055	0,075	0,11

Таблица 4

Результаты фотометрического анализа полиметаллического сплава

Наименование элемента	Железо	Алюминий	Никель	Медь	Марганец	Хром	Серебро
Процентное содержание	39,8	0,04	7,4	2,6	19,6	25	0,3

Графитированные электроды лежат на электроизолированных изложницах, которые передают электроду ток и позволяют электроду занимать фиксированное положение в пространстве. Между противоположными парами в расплаве возникает дуга (11). В центре дуги возникает высокая температура, которая, в зависимости от выделяемой мощности между электродами, может достигать 2500–2700 °С. Мощность, выделяемая между электродами, составляет

$$W = UI = 150 \cdot 600 = 90 \text{ кВт.}$$

U – напряжение на электродах, вольт;

I – ток на электродах, ампер.

Такая мощность в малом объеме разогревает вещество до больших температур, что приводит к распаду вещества на ионные составляющие. Высокая температура в присутствии графита (графитированных электродов) способствует реакции восстановления окислов металлов до чистого металла.

Здесь также протекают и другие реакции восстановления тех окислов, которые находятся в расплаве. Плотность расплава находится в пределах 1,8–2,4 г/см³. Плотность железа 7,8 г/см³. Плотность хрома 7,19 г/см³. Плотность никеля 8,9 г/см³. Плотность осевших в осадок металлов гораздо больше плотности самого расплава, поэтому происходит гравитационное расслоение – «выпадение» тяжелых металлов на дно печи. Конструкция печи имеет летку для выпуска расплава через торцевой холодильник. Торцевые холодильники стягиваются между собой штангой (6). Выпуск

металла происходит с определенной периодичностью в формы для приема расплавленного металла.

Был проведен подробный анализ химического состава полученного полиметаллического сплава. Результаты анализа приведены в табл. 3–4.

Выводы

Разработана конструкция печи для производства полиметаллического сплава специального назначения.

Проведен химический анализ, который показал, что полученный полиметаллический сплав содержит такие металлические компоненты металлов, как никель, хром и др.

Предлагаемая конструкция печи может быть использована для получения сплавов из драгоценных и редкоземельных металлов, таких как золото, платина, на так называемых малых месторождениях, где строить фабрики для получения драгоценных и редкоземельных металлов нерентабельно. Также разработанная печь может быть применена для получения полиметаллических сплавов, имеющих большую температуру плавления.

Список литературы

1. Акназаров С.К., Лукьяшенко В.Г., Головченко Н.Ю., Мессерле В.Е., Головченко О.Ю. Плавка базальта в реакторе с объемным электромагнитным перемешиванием расплава // Наука и Мир. 2015. Т. 1. № 5. С. 114–116.
2. Феннер Б., Ульрих М. Газовая вагранка – новая разработка для производства минеральной ваты // Базальтовые технологии. 2017. № 5. С. 27–31.
3. Буянтуев С.Л., Нин Гун Лин К вопросу изучения состава и свойств базальта Далянского месторождения (КНР) для получения расплава электродуговым способом с выработкой волокна // Вестник Бурятского государственного университета. Химия – Физика. 2017. Вып. 2–3. С. 1–9.
4. Кычкин А.К., Аньшаков А.С., Урбах Э.К., Суздаков И.И. Применение плазменно-омического нагрева для переработки базальта // Вестник ЯГУ. 2017. Т. 9. № 1. С. 1–4.

5. Сахаревич А.Н. Индукционные тигельные печи. Конструктивные отличия, эксплуатация // Литье и металлургия. 2012. № 3 (67). С. 242–245.
6. Закожурников С.С., Закожурникова Г.С. Оптимизация технологического процесса производства карбида кремния // Молодой ученый. 2016. № 9. С. 147–150. [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/archive/113/29481> (дата обращения: 27.06.2019).
7. Пячин С.А. Плавление титанового сплава под действием электрических разрядов различной длительности // Известия вузов Кыргызстана. Физика. 2018. Т. 61. № 12. С. 83–89.
8. Бершицкий И.М., Скочиллов А.А., Беякова Н.П., Коровина В.М., Аведин Р.Р., Мирский С.Б. Руднотермические электропечи малой емкости для производства теплоизоляционных материалов и ферросплавов. [Электронный ресурс]. URL: <http://naftaros.ru/articles/30/index.html> (дата обращения: 27.06.2019).
9. Ормонбеков Т. Технология базальтовых волокон и изделия на их основе. Бишкек, Технология, 1997. 122 с.
10. Ормонбеков Т. Техника и технология производства базальтовых волокон. Бишкек: Илим, 2005. 152 с.
11. Абдыкалыков А.А., Айдаралиев Ж.К., Дубинин Ю.Н., Кайназаров А.Т. Перспективы применения плазматрона для плавильной печи // Вестник КГУСТА им. Н. Исанова. 2016. № 4 (54). С. 29–34.
12. Айдаралиев Ж.К., Кайназаров А.Т., Исманов Ю.Х., Абдиев М.С., Атырова Р.С. Минералогические фазы, образующиеся при кристаллизации расплавленных магматических горных пород // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 2. С. 7–11.
13. Ismanov Y.Kh., Tynyshova T.D., Aidaraliev Z.K. Wide-range holographic interferometer. Optical Engineering. 2018. № 57 (12). 124106. DOI: 10.1117/1.OE.57.12.124106.
14. Исманов Ю.Х. Интерферометрия на основе метода бесщелевой радужной голографии // Вестник КГУСТА. 2015. № 4 (40). С. 194–198.
15. Исманов Ю. Х. Голографическая интерферометрия на основе эффекта Тальбота // Известия НАН КР. 2015. № 2. С. 20–23.