

УДК: 539.141;537.868

**ПОЛУЧЕНИЕ РАСПЛАВА БАЗАЛЬТА
В ПЛАЗМЕННОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ РЕАКТОРЕ****В.Г.Лукьященко¹, В.Е.Мессерле¹, А.Б.Устименко^{1,2*}, К.А.Умбеткалиев¹,
В.Н.Шевченко¹, З.А.Мансуров¹, С.Х.Акназаров¹**¹ Институт проблем горения, 050012, Казахстан, Алматы, ул.Богенбай Батыра, 172 (Institute of² Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики КазНУ им. аль-Фараби, 050040, Казахстан, Алматы, улица аль-Фараби, 71

*e-mail: ust@physics.kz

Аннотация

В данной работе показаны преимущества применения базальтового волокна и изделий из них в стройиндустрии и теплоэнергетике. Приведены результаты расчетов процесса плавления Казахских базальтов. Расчеты показали, что в газообразных и конденсированных продуктах процесса вредные вещества отсутствуют. Показаны преимущества электроплавки минеральных пород, включая базальт, по сравнению с руднотермическими печами. Приведены результаты экспериментальных плавки базальта в реакторе с электромагнитным перемешиванием расплава. Показана перспективность плавки базальта и получения минерального волокна на малогабаритных модульных установках, созданных на основе электромагнитного реактора (ЭМР). Найдено, что удельные энергозатраты на получение однородного расплава базальта не превышает 1,1 кВт·ч/кг, что выгодно отличает ЭМР от традиционных плавильных устройств (вагранки, руднотермические и газовые печи, электропечи), в которых этот показатель в несколько раз выше.

Ключевые слова: расплав, плазма, реактор, базальт, волокно**Введение**

В последние годы в мире получила распространение аббревиатура МММФ (Man-Made Mineral Fiber) – искусственное минеральное волокно. Мировое производство минеральной ваты (включая шлаковату и стекловату) составляет более 5 млн. тонн в год [1]. Около 50 % мирового производства МММФ составляют стекловолно и стекловата, которые, например, в Австралии и Германии относятся к потенциально канцерогенным материалам.

Производство МММФ в России составляет около 0,5 млн. тонн в год, т.е. достигает только 10 % мирового. По прогнозам, в ближайшие годы в целях решения проблемы энергосбережения и соблюдения требований, новых санитарных норм и правил (СНиП) объем производства МММФ увеличится в несколько раз [1].

Потребность в минеральной вате быстро растёт в связи с использованием её в качестве теплоизоляции зданий, энергетических и промышленных установок и трубопроводов. По экспертным оценкам 85 % всей минераловатной продукции используется в строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве и 15% - в

энергетике. По сведениям Европейской ассоциации производителей теплоизоляционных изделий, в процессе эксплуатации зданий, теплопроводов и сооружений потребляется около 40 % расходуемой странами ЕС электрической и тепловой энергии. Широкое применение теплоизоляции из МММФ в строительстве позволит уменьшить выбросы в атмосферу основного парникового газа, диоксида углерода (CO₂). Предложения крупнейших мировых производителей теплоизоляции по расширению её применения в целях энергосбережения были сформулированы для участников Киотской встречи в так называемом Лиссабонском протоколе [2].

Снижение выбросов CO₂ ведёт к улучшению мировой экологической обстановки, в связи с чем, Президентом Республики Казахстан Н.А. Назарбаевым была выдвинута инициатива по разработке и реализации программы «зелёный мост», поддержанная всеми странами - членами ООН и вошедшая в декларацию Всемирного саммита в Рио-де-Жанейро в 2012 г. Эта инициатива обсуждалась участниками Международного форума «Энергия будущего (Future Energy): сокращение выбросов CO₂» (октябрь 2014 г., Астана).

По плотности материалов можно судить об эффективности теплоизоляции. Плотность минеральной ваты из базальта в 200 раз меньше плотности стали, в 60 раз – железобетона и в 45 раз – кирпича.

Низкая плотность позволяет минеральной вате конкурировать с пенобетонами, а высокая термостойкость (до 700-1000 °С) – с синтетическими полимерными пористыми наполнителями.

Кроме того, в агрессивных средах базальтоволоконные материалы могут использоваться без капитального ремонта в течение 60-80 лет [3]. Таким образом, дом с применением материалов из базальтового волокна будет значительно легче, чем из традиционных стройматериалов.

Коэффициент теплопроводности ваты из базальта на два порядка меньше, чем железобетона и на порядок – кирпича. Применение 1 м³ базальтоволоконного теплоизоляционного материала дает экономию 1 т условного топлива в год.

Это объясняется тем, что с учетом используемой для обогрева жилья электроэнергии затраты органического топлива на теплоснабжение составляют половину от используемого топлива, т.е. столько, сколько расходуется на все остальные отрасли промышленности и транспорт.

Из вагона базальтовой породы производят 20 вагонов базальтового волокна. Таким образом, чтобы повысить экономическую эффективность производства минераловатных теплоизоляционных материалов и изделий целесообразно организовывать его вблизи потребителей, что исключает или минимизирует высокие издержки на транспортировку конечной продукции.

Высокой производительностью, до нескольких тонн расплава в час, обладают вагранки и руднотермические печи. Такие печи являются основой производства минеральной ваты в США и ЕС. Однако приспособлены они для переработки в основном шлаков, удельные энергозатраты на плавление которых варьируются в интервале 3-7 кВт·ч/кг. Эти печи очень громоздкие, требуют высоких капитальных затрат и дорогостоящей очистки отходящих газов и утилизации коксовых остатков.

В последние годы в связи с ужесточением требований по защите окружающей среды и истощением запасов традиционных видов

ископаемых топлив большое внимание уделяется применению экологически чистых источников электрической энергии для переработки минерального сырья в электрических печах. Электрические стекловаренные печи при такой производительности менее 25 тонн оказываются экономически более выгодными, чем крупнотоннажные газовые и коксовые печи [4]. Если учесть необходимость использования дорогостоящего оборудования для снижения загрязнения окружающей среды, создаваемого этими печами, то преимущества электрических печей возрастают. Отметим, что при этом традиционные электропечи представляют собой громоздкие сооружения, футерованные дорогостоящей керамикой.

В Российской Федерации широкое распространение получили электрические высокочастотные установки для плавки минерального сырья, в том числе базальта. Основными разработчиками и изготовителями этих установок являются две фирмы ФГУП «ФНПЦ Алтай» (г. Бийск) и ООО «Фирма Рось» (г. Барнаул Алтайского края РФ) [5]. Основу данных установок составляет водоохлаждаемый графитовый или керамический тигель, расположенный в медном индукторе, электропитание которого обеспечивается высокочастотным генератором с частотой от 0,44 до 1,76 МГц.

Установки компактны, удобны в монтаже и обслуживании и позволяют получить хорошо гомогенизированный расплав благодаря его перегреву (выше 1800 °С) с последующим охлаждением до требуемых температур (порядка 1550 °С) и сливу расплава в верхней части тигеля. Индукционный нагрев и перегрев расплава ведут к повышенным энергозатратам от 2 до 4,5 кВт·ч/кг на 1 кг расплава. Кроме этого, имеются ограничения по производительности, не превышающей 100 кг/ч.

Учитывая вышесказанное, представляется целесообразным осуществлять плавление минерального сырья с последующим получением базальтовой ваты в ЭМР с более высокими эколого-экономическими показателями, по сравнению с рассмотренными выше топливными и электрическими печами. В настоящей работе представлены результаты термодинамического анализа и экспериментального исследования процесса плавления базальта в трехфазном реакторе с объемным электромагнитным перемешиванием расплава [6, 7].

Характеристики базальтового волокна

Самым важным свойством базальтового волокна является то, что оно плавится при температуре 1150°C , что значительно выше, чем у стекловолокна, и приближается к точке плавления керамического волокна. В тоже время базальтовое волокно значительно дешевле керамического. Температура применения базальтового волокна варьируется от -260 до $+700$, в то время как стекловолокно применяется в интервале температур от -50 до $+380^{\circ}\text{C}$. Базальтовые волокна обладают высокой химической стойкостью к действию влаги, растворов солей, химических и щелочных сред. Как было подтверждено исследованиями Института химии СО РАН (г. Барнаул), срок эксплуатации базальтовых волокон превосходит 60 лет [5]. Базальтоволокнистые материалы – негорючие и при высоких температурах не выделяют вредных газов. Коэффициент теплопроводности базальтовой ваты порядка $0,05 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\text{K}^{-1}$, что составляет величину только в два раза выше теплопроводности собственно воздуха при комнатной температуре. Низкий удельный вес изделий из базальтовой ваты позволяет конкурировать с пенобетонами по эффективности теплоизоляции.

Основным сырьём для производства базальтового волокна является магматическая порода древних вулканических процессов, застывшая в верхних слоях земной коры или на земной поверхности. Это базальты, габбро и диабазы, наличие которых на земной поверхности является повсеместно доступными и практически неисчерпаемыми. Минераловатные утеплители и базальтопластики изготавливаются из волокна. Волокна делятся на две группы: дискретные (или «штапельные»), их длина составляет от нескольких миллиметров до нескольких десятков сантиметров и непрерывные (один обрыв на несколько километров длины волокна). Для производства утеплителей используются штапельные тонкие ($\varnothing=3\div 6 \text{ мкм}$) и супертонкие с диаметром 3 мкм и менее. В ЕС большинство минеральных волокон производится с диаметром от 4 до 6 мкм. При толщине $>10 \text{ мкм}$ волокна могут проколоть кожу человека.

Поскольку арамидное, керамическое, углеродное волокно значительно дороже, чем базальтовое, то базальтовое непрерывное волокно найдет широкое применение в компо-

зитных строительных материалах как добавка в бетон, черепицу, тротуарные плитки и асфальт, железнодорожные шпалы и другие изделия, где при больших объёмах требуется очень незначительная армирующая добавка к базовому материалу. Кроме того, базальтовые волокна могут использоваться напрямую в изготовлении автомобильных тормозных колодок и накладок исключительной долговечности, которые могут служить столько же, сколько сам автомобиль. Химические модификации его поверхности позволяют использовать его в качестве корда для автомобильных шин, а также для изготовления пуленепробиваемых жилетов, заменяя кевларовую ткань. Химическая обработка поверхности позволяет обеспечить прямую связку базальта с эпоксидными смолами и другими полимерными системами. Это особенно эффективно при производстве базальтопластиковой арматуры, различных строительных профилей, труб и сеток [9].

Базальтовые непрерывные волокна уверенно и объективно вытесняют из подавляющего большинства сегментов рынка стекловолокно. Основным и практически единственным сдерживающим фактором широкого применения и распространения базальтовых волокон и изделий сегодня является крайне низкий объём их реального промышленного производства. Так, если непрерывного стекловолокна в мире выпускается 3 млн. т в год на сумму 10-12 млрд. долларов США, то базальтового волокна выпускают чуть более 3 тыс. т в России и порядка 300 т на Украине, т.е. почти в 1000 раз меньше.

Прошивные маты из базальтового волокна без наполнителей и связующих обладают не только прекрасными тепло- и звукоизоляционными свойствами, но они не подвержены гниению и негорючи, поэтому они применяются для повышения огнестойкости металлоконструкций и коробов систем вентиляции и дымогазоудаления.

Применение материала базальтового огнезащитного рулонного ОАО «Тизол», одного из ведущих предприятий России, в России и Казахстане ежегодно защищает от огня более 3 млн. м^2 строительных конструкций и инженерных сетей [10]. Именно этот материал был использован при строительстве важнейших олимпийских объектов в Сочи, построенных к Олимпиаде 2014 г.

Термодинамический анализ нагрева и плавления базальта

Для определения оптимальных параметров осуществления технологии плавки минеральных веществ были выполнены термодинамические расчеты процесса нагрева и плавления в электромагнитном реакторе. Электромагнитный реактор представляет собой теплоизолированную систему, функцию футеровки в которой выполняет естественный слой гарнисажа, получаемый в процессе работы реактора из слоя расплава, прилегающего к водоохлаждаемым стенкам.

В силу этих причин для расчетов процесса плавления базальта в таком реакторе можно использовать термодинамические методы.

Термодинамический анализ высокотемпературных процессов плавки и переработки минерального сырья были выполнены с помощью универсальной программы расчета многокомпонентных гетерогенных систем TERRA [11]. Для переработки в ЭМП было выбрано следующее сырье: базальтовая порода (таблица 1) с целью получения минерального волокна из расплава (теплоизоляционного материала).

Таблица 1 – Химический состав горных пород базальта Казахстана

Месторождение	Содержание, масс. %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅
Актюбинское	47,29	12,93	13,56	1,25	7,91	13,98	2,95	0,13	-	-
Архарлы	51,14	16,44	10,96	1,87	4,07	10,4	2,84	1,46	0,15	0,67
Малайсары	49,93	19,30	11,41	0,98	5,12	9,55	2,67	0,66	0,18	0,20

Температура плавления базальтовых пород находится в области 1500-1600 К, поэтому с учетом того, что ЭМП не герметичен, все расчеты по плавке базальта выполнялись при давлении 1 атм в интервале температур 400-

2000 К и с учетом эрозии графитовых электродов (C=2%).

На рис. 1 представлены равновесные составы конденсированной и газовой фаз.

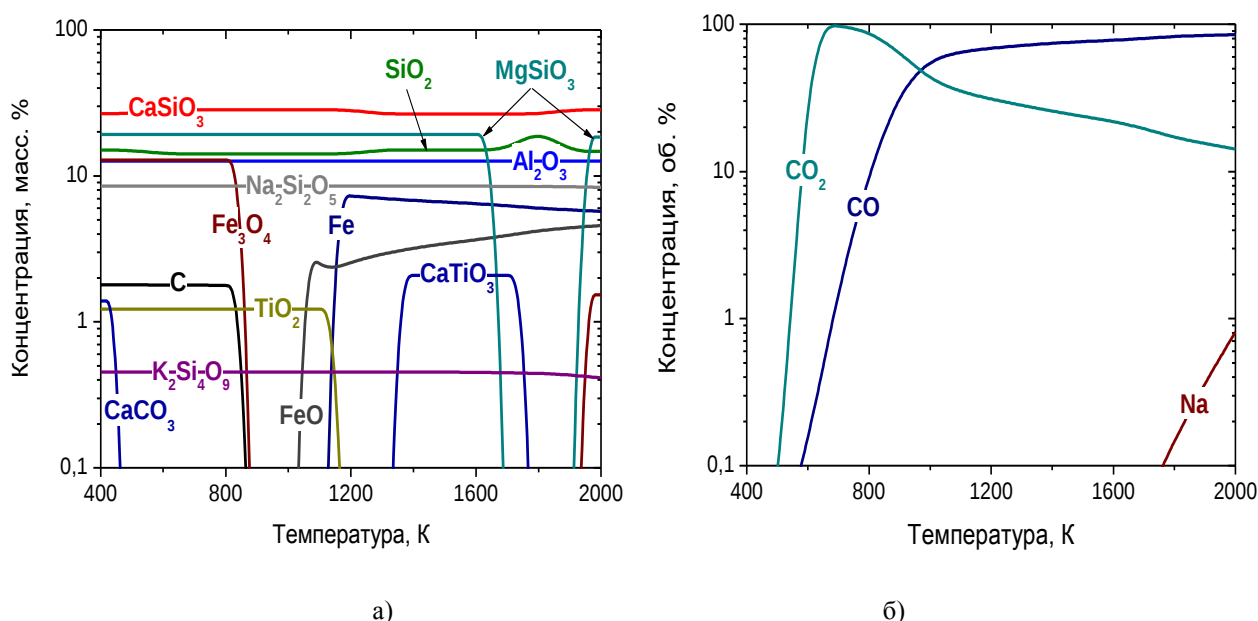


Рис. 1 – Температурная зависимость состава расплава актюбинского базальта (а) и газовой фазы (б) с учетом 2% добавки углерода

Как видно из рисунка, основу расплава при температуре до 1500 К составляют моносиликаты кальция (CaSiO₃), трисиликаты

кальция (Ca₃Si₂O₇), моносиликаты магния (MgSiO₃), кремнезем (SiO₂), оксид алюминия (Al₂O₃), дисиликаты магния (Mg₂SiO₄), оксид

железа (Fe_3O_4) и дисиликат натрия ($\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$). Что касается газовой фазы, то она состоит в основном из оксидов углерода (CO и CO_2) и паров металлов (Na , K , Mg).

На рис. 2 представлены результаты расчетов удельных энергозатрат на нагрев и плавление актюбинского базальта.

Экспериментальные исследования плавления базальта в ЭМР

Экспериментальные исследования нагрева и плавления базальта были выполнены на электромагнитном технологическом реакторе с тремя погружными электродами с использова-

нием принципа бесконтактного электромагнитного перемешивания расплава. Электромагнитный реактор представляет собой плавленную камеру, выполненную из вертикальных водоохлаждаемых изолированных секций из листовой нержавеющей немагнитной стали. Сверху камера ограничена водоохлаждаемой крышкой, на которой расположены устройства ввода трех силовых электродов и одного центрального нейтрального электрода и подачи шихты, а также патрубков отходящих газов, а снизу охлаждаемым дном (подиной) с легкой выпуска расплава (Рис. 3). На рис. 4 представлена схема ЭМР.

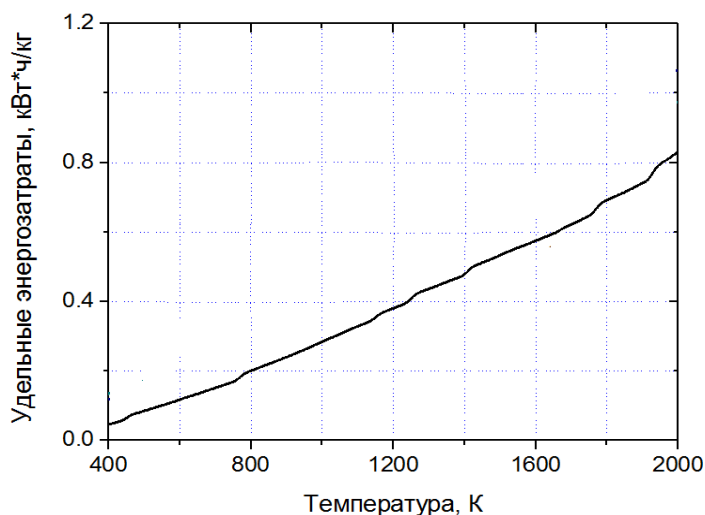


Рис. 2 – Температурная зависимость удельных энергозатрат на нагрев и плавление актюбинского базальта

Снаружи камеру охватывает трехфазный электромагнит поперечного магнитного поля с обмотками, включенными последовательно в цепь электродов. Силовое электропитание реактора осуществляется от трехфазного управляемого тиристорного регулятора, включенного в сеть через разделительный трансформатор.

Запуск реактора осуществляется через замыкание электродов на графит или с помощью дополнительного теплового источника, например, факела плазмотрона. После получения линзы расплава, дальнейший нагрев сырья происходит за счет токов проводимости между силовыми электродами через расплав.

В результате взаимодействия этих токов с магнитным полем трехфазного электромаг-

нита возникают силы, действующие на определенные области расплава, что обеспечивает его электромагнитное перемешивание и, как следствие, увеличивается скорость нагрева материалов, улучшается гомогенизация расплава и повышается его тепловой КПД ЭМР.

Кроме этого, движению расплава способствует вращающееся магнитное поле трехфазного электромагнита, охватывающего плавленную зону.

Нейтральный электрод выполняет роль затвора летки, так же способствует дополнительному прогреву расплава в нижней части реакционной камеры в районе летки. Диаметр выпускного отверстия летки определен равным 8 мм. При производительности реактора не более 200 кг/ч.

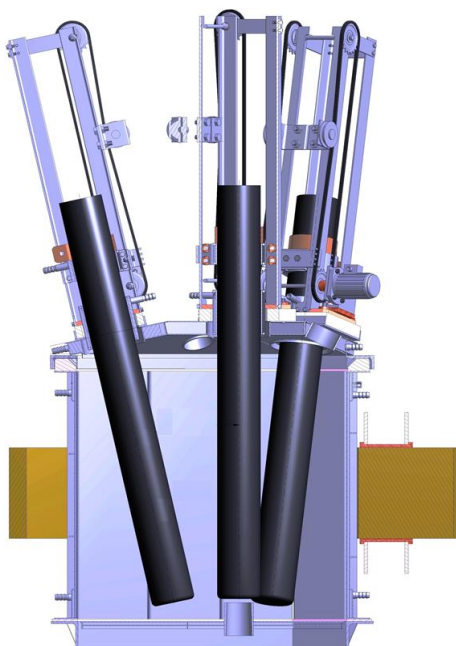


Рис. 3 – Общий вид электромагнитного реактора с нейтральным центральным электродом и силовыми электродами, расположенными под определенным углом относительно оси камеры

Реакционная камера в разрезе имеет шестиугольную форму. Эта форма выбрана из условий увеличения значения магнитного поля, которое достигается путем сближения полюсов электромагнита при сохранении достаточного большого расстояния между электродами. Это ведет к повышению рабочего напряжения и снижению величины рабочего тока при заданной мощности реактора. Отметим, что снижение величины рабочего тока приводит к уменьшению плотности тока на электродах и, следовательно, к уменьшению их износа.

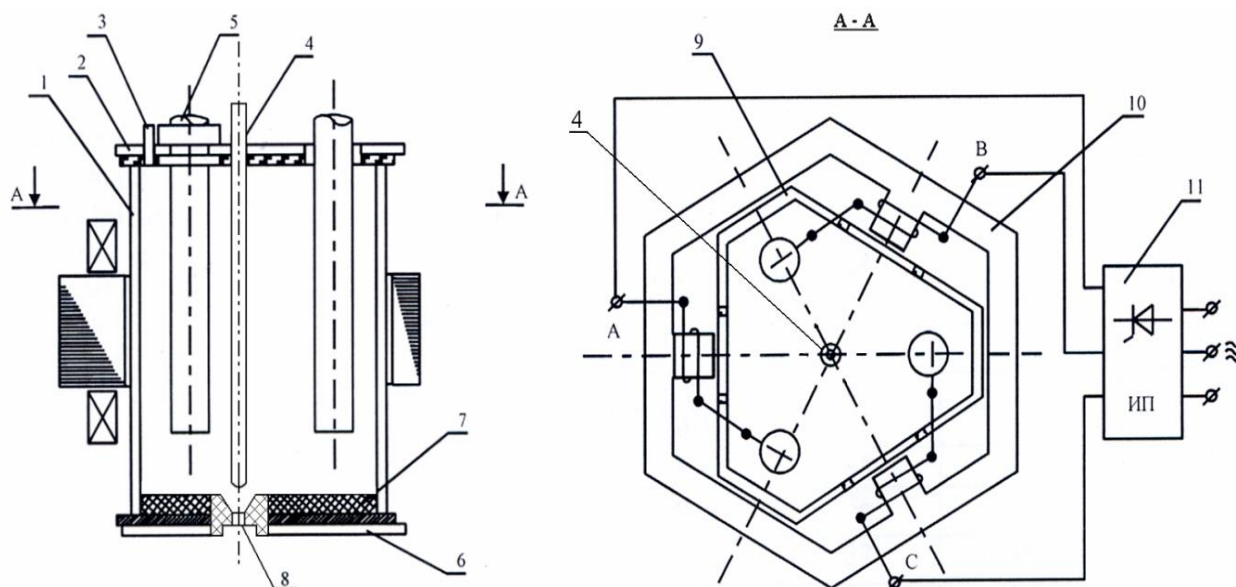
В результате экспериментов на данном реакторе по плавке базальтового сырья было найдено, что в начальный период до образования линзы расплава процесс плавления минералов затруднен, поэтому расстояние между электродами должно быть минимальным. В рабочем режиме для обеспечения необходимой мощности и повышения напряжения между электродами, электроды должны быть разведены; поэтому силовые электроды вместе с механизмами их подачи крепятся на крышке реактора наклонно, то есть электроды выполняют сходящимися вниз к центру. Кроме трех силовых электродов в реакторе целесооб-

разно установить центральный нейтральный электрод по оси камеры, который также снабжен механизмом перемещения.

Нейтральный электрод выполняет роль затвора летки, так же способствует дополнительному прогреву расплава в нижней части реакционной камеры в районе летки.

Расплав из ЭМР выпускается с температурой струи на выходе, равной 1450-1650⁰С и, как показали экспериментальные плавки, он оказался чрезвычайно агрессивным к различным тугоплавким керамическим материалам, используемых для выпуска расплава. Так подвергались поверхностному разрушению (растворению материала струей расплава с поверхности летки) летки, изготовленные из кварца, диоксида циркония и нитрида титана. Наилучшие показания были получены для водоохлаждаемых леток, изготовленных из силицированного графита.

Вставка из силицированного графита впрессовывается в графитовый стакан, который в свою очередь с помощью нижнего фланца фиксируется в водоохлаждаемой конусной втулке. Вся эта система крепится во втулке подины реактора.



1 – плавильная камера; 2 – крышка реактора; 3 – патрубок ввода базальтовой крошки;
 4 – центральный графитовый электрод; 5 – графитовые электроды; 6 – дно реактора;
 7 – огнеупорная футеровка дна реактора; 8 – летка выпуска струи расплава;
 9 – секции камеры реактора; 10 – трехфазный электромагнит; 11 – источник питания

Рис. 4 – Схема трехфазного электромагнитного реактора с тремя погружными электродами

Для теплоизоляции внутренней поверхности плавильной камеры был использован шамотный кирпич, толщиной 40 и 65 мм. В качестве связующей массы была применена смесь перетертых шамота и кварцевого стекла на жидком стекле (силикатный клей).

При работе ЭМР футеровка с поверхно-

сти частично разъедалась расплавом продуктов реакции, покрывалась гарниссажем и в дальнейшем образовывала устойчивую ванну плавильной камеры. На рис. 5 показан общий вид ЭМР и струя расплава базальта, вытекающего из него.



Рис. 5 – Экспериментальный ЭМР и струя расплава

В экспериментах использовались два метода получения минерального волокна из расплава, газодинамический раздув и с использованием центрифуги. Для раздува струи расплава базальта в волокно использовалась газодинамическая головка, адаптированная на расход 200-250 кг/час по расплаву. Силовое электропитание реактора осуществлялось от трехфазного тиристорного агрегата, работающего в режиме источника тока. Дно реактора

было футеровано огнеупором. Стенки реактора не футеровались и работа велась на естественном гарнисаже, образующемся при контакте расплава базальта с водоохлаждаемыми секциями камеры. Толщина слоя гарнисажа в нижней части достигала 30-35 мм, а в верхней 8-12 мм. При проведении балансовых плавов были получены следующие результаты, сведенные в таблицу 2.

Таблица 2 – Технические характеристики электромагнитного реактора и тепловой баланс плавки базальтовой крошки (после выхода на рабочий режим при выпуске струи расплава и непрерывной подсыпке крошки через два устройства подачи)

Наименование узла	№	Расход воды кг/с	$T_{\text{вых.}}^{\circ\text{C}}$ воды	Δt [$^{\circ}\text{C}$]	$Q_{\text{потерь}}$ кВт	Примечания
Секции фазы «А»	1	0,1	24	6	2,51	
	2	0,1	26	8	3,35	
	3	0,1	26	8	3,35	
	4	0,09			Ср.7,33	
Секции фазы «В»	1	0,09			Ср.3,98	
	2	0,1	19	1	0,419	
	3	0,09	24	6	2,26	
	4	0,1	37	19	7,96	
Секции фазы «С»	1	0,1	29	11	4,61	
	2	0,1	23	5	2,1	
	3	0,09			Ср.2,8	
	4	0,1	34	16	6,7	$\Sigma=47,37$ кВт
Электроды	А	0,075	24	6	1,89	
	В	0,06	23	5	1,26	
	С	0,075	25	7	2,2	
	Центр	0,075	24	6	1,89	$\Sigma=7,24$ кВт
Катушка	А	~0,05	27	9	~1,88	
	В	~0,05	35	17	~3,56	
	С	~0,05	36	18	~3,77	$\Sigma=9,21$ кВт
Крышка		0,13	37	19	10,35	
Дно		0,13	28	10	5,44	
						$Q_{\text{теп. потерь}}=79,61$ кВт

На основе сведения материального и теплового балансов процесса получены следующие интегральные показатели:

- ✓ $P_{\text{эл}}=170,1$ кВт ($J_{\text{ср.ф}}=295$ А; $U_{\text{ср.л}}=333,33$ В); $G_{\text{базальта}}=192$ кг/ч;
- ✓ Удельные энергозатраты на килограмм расплава $q_{\text{уд}}=P_{\text{эл}}/G_{\text{базальта}}=0,885\sim 0,9$ кВт·ч/кг;
- ✓ $Q_{\text{тепловых потерь}}=79,61$ кВт; $\eta_{\text{т.реактора}}=0,53$;
- ✓ Износ силового электрода $\sim 1,41$ г/мин;
- ✓ Расход воздуха на газодинамическую головку – 18 м³/мин.
- ✓ Мощность компрессора – 75 кВт.

В результате работ на опытно-промышленном ЭМР с объемом плавильной зоны 0,2 м³ получены следующие обобщенные результаты и определены его технические характеристики:

- мощность 170 - 200 кВт;
- производительность по расплаву 180 - 200 кг/ч;
- температура истекающей струи расплава 1540 - 1650 $^{\circ}\text{C}$;
- удельные энергозатраты на плавление базальта $\sim 1,1$ кВт ч/кг;
- время выхода на рабочий режим ~ 60 мин;

– толщина гарнисажа 8-12 мм.

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что энергозатраты на получение расплава базальтовой породы в промышленном реакторе составят не более 1,1 кВт ч/кг, что выгодно отличает данную технологию от технологии с высокочастотным нагревом (СВЧ – технология), где аналогичные энергозатраты выше примерно в 3-4 раза. Кроме того, в сравнении с высокочастотным нагревом, стоимость тиристорного источника электропитания значительно ниже стоимости

высокочастотного генератора. Также не требуется дистиллированной воды для охлаждения реактора, и нет принципиальных ограничений по росту производительности установки по расплаву до 0,5 т/ч и более. Для центробежного раздува струи базальта, вытекающей из летки реактора, использовалась 3-х валковая центрифуга с осадительной камерой и дутьевым вентилятором (Рис. 6). После осадительной камеры базальтовое волокно в виде мягкого мата поступало на конвейер.



Рис. 6. Раздув струи базальтового расплава в волокно с помощью 3-х валковой центрифуги

Центробежный раздув струи базальта в волокно показал большую экономичность по сравнению с газодинамическим раздувом. Это объясняется снижением потребляемой мощности дутьевого вентилятора до 30 кВт, по сравнению с потребляемой мощностью компрессора сжатого воздуха – 75 кВт.

Данные экспериментальных исследований показали высокую эффективность плавки базальта в ЭМР. Удельные энергозатраты на плавление и получение струи расплава не превысили 1,1 кВт·ч/кг расплава, что выгодно отличает его от известных технологий плавления минеральных веществ, включая базальт.

Благодарность

Настоящая работа выполнена при поддержке Комитета Науки Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках грантового финансирования научных исследований.

Литература

1. Земцов А.Н. Минеральная вата на основе горных пород // Сборник материалов “Базальтовая вата: история и современность”. Пермь. Некоммерческое партнерство “Базальтовые технологии”. 2003. – С.42.
2. Земцов А.Н. О санитарно-гигиенической безопасности минеральной ваты // Сборник материалов “Базальтовая вата: история и современность”. Пермь. Некоммерческое партнерство “Базальтовые технологии”. 2003. - С. 49.
3. Малова Ю.Г., Аблесимов Н.Е. Каменная шерсть на основе композитов // Научно-технический отраслевой журнал «Базальтовые технологии». Пермь. 2013. - С. 26-28.
4. S.E. Ladue. Progress Report on electric melting // The glass industry. June. -1979. –P.12-16.
5. Татаринцева О.С. Изоляционные материалы из базальтовых волокон, полученных индукционным способом: дис. д-ра техн. наук: 05.23.05. Бийск, 2006. - 272 с.

6. Карпенко Е.И., Лукьященко В.Г., Мессерле В.Е., Устименко А.Б., Яковенко А.В. Новые технологии топливоиспользования и переработки минерального сырья. // Горение и плазмохимия. – 2004. - Том 2, №2. - С. 117-146.

7. Карпенко Е.И., Лукьященко В.Г., Мессерле В.Е., Иванов А.А., Малых А.В. Электромагнитный технологический реактор и способ его пуска // Патент РК №13473, Бюл. №9 от 15.09.2003.

8. Лукьященко В.Г., Мессерле В.Е., Нестеренков А.Г., Шевченко В.Н., Устименко А.Б., Осадчий С.Ф., Голыш В.И., Нестеренков В.А. Электромагнитный технологический реактор (варианты) и стержневой электрод, используемый в реакторе. // Патент РК № 18229 бюл.№ 1 от 16.05.2011.

9. Пономарев В.Б. Основы базальтовых технологий // Научно-технический отраслевой журнал “Базальтовые технологии”. Пермь. Январь-июнь 2013. - С. 12.

10. ОАО “Тизол”, Волокнистые базальтовые материалы ОАО технологии “Тизол” – надежная защита от огня // Научно-технический отраслевой журнал “Базальтовые технологии”. Пермь. Июль-декабрь 2013. -С.7-8.

11. Gorokhovski M., Karpenko E.I., Lockwood F.C., Messerle V.E., Trusov B.G. and Ustimenko A.B. Plasma Technologies for Solid Fuels: Experiment and Theory. // Journal of the Energy Institute. – 2005. - 78, N4. - P. 157-171

GETTING THE MELT OF BASALT IN PLASMA ELECTROMAGNETIC REACTOR

V.G.Lukyachshenko, V.E.Messerle, A.B.Ustimenko, K.A.Umbetkaliev,
V.N.Shevchenko, Z.A.Mansurov, S.Kh.Aknazarov

Combustion Problems, 172, Bogenbai Batyr str., Almaty, 050012, Kazakhstan)

Research Institute of Experimental and Theoretical Physics, 71, al-Farabi str., Almaty, 050040, Kazakhstan

Abstract

In this paper, the advantages of the use of basalt fibers and their products in the building industry and power system. The results of calculations of the melting process of Kazakhstan basalts. Calculations have shown that the gaseous products of the process and condensed contaminants are absent. The advantages of electric melting mineral rocks, including basalt, compared to ore-smelting furnaces. The results of experimental heats of basalt in a reactor with electromagnetic stirring of the melt are demonstrated. The prospects of melting basalt and obtain mineral fiber for small modular units that are based on electromagnetic reactor (EMR) are shown. It was found that the specific energy consumption for a homogeneous melt basalt does not exceed 1.1 kWh/kg, which compares EMR favorably to traditional melting devices (cupola, ore-smelting furnaces and gas furnaces, electric furnaces) in which this figure is several times higher.

ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК РЕАКТОРДА ПЛАЗМАЛЫҚ КҮЙДЕ БАЗАЛЬТТІҢ БАЛҚЫМАСЫН АЛУ

¹В.Г. Лукьященко, ¹В.Е. Мессерле, ^{1,2}А.Б. Устименко, ¹К.А. Умбеткалиев, ¹В.Н. Шевченко,
¹З.А.Мансуров, ¹С.Х. Акназаров.

¹Жану проблемалар институт, 050012, Қазақстан, Алматы, Бөгенбай батыр көш.,172

² аль-Фараби атындағы ҚазҰУ эксперименттік және теориялық физиканың ғылыми-зерттеу институты, 050040, Қазақстан, Алматы, аль-Фараби көш.,71

e-mail: ust@physics.kz

Аннотация

Аталған жұмыста базальт талшықтарының және содан жасалған бұйымдардың жылу энергетикасы мен құрылыс индустриясында қандай артықшылықтары бары екені жазылған. Қазақстандық базальттың балқыту процесі кезіндегі есептеулер көрсетілген. Электробалқытқыштың рудалық пештен айырмашылығы көрсетілген. Электромагнитті араластырғыш реакторда базальттың балқымасы алынды. Гомогенді базальт балқымасын алуда кететін электро-шығын 1,1 кВт*сағ/кг екендігі анықталды. Электрромагнитті араластырғыш пештің дәстүрлі алып жүрген пештерден қарағанда артықшылы бар екендігі, тиімді жол екендігі дәлелденіп көрсетілді.